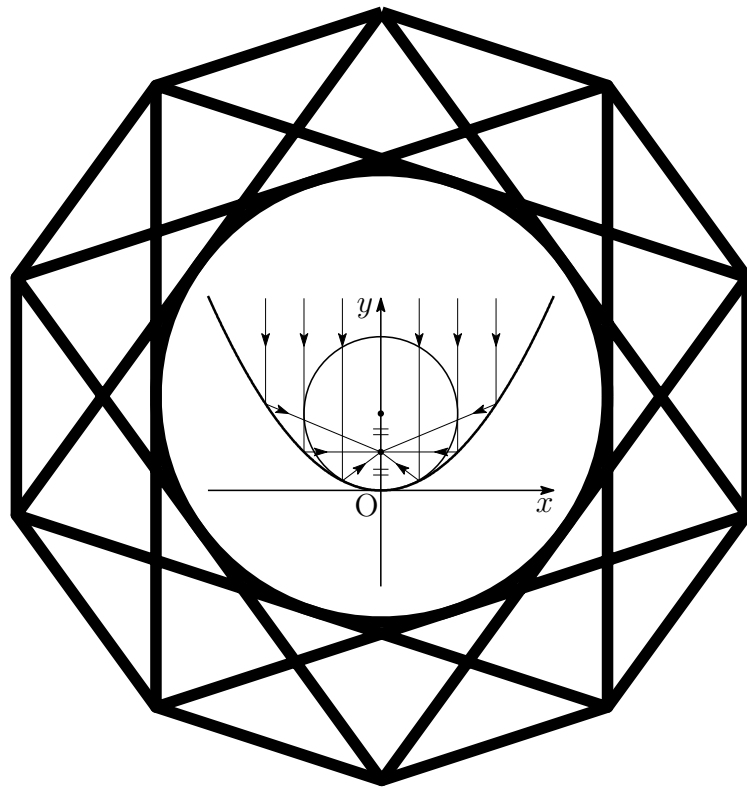


入試の軌跡

九州地区大学

2015 - 2025

数 学



2025 年 8 月 3 日

Typed by L^AT_EX 2_ε

序

九州地区の国立大学

九州大学 九州工業大学 福岡教育大学 佐賀大学 長崎大学
熊本大学 大分大学 宮崎大学 鹿児島大学 琉球大学

が実施した平成 27 年 (2015 年) 度から令和 7 年 (2025 年) 度までの一般前期試験問題 (数学) および解答例をすべて掲載しました。

本書は、パソコン・スマートフォン・電子黒板での使用を想定した ICT 教材です。

1. 解答は、図や解説を充実させ、自学自習ができるように配慮しました。
2. 電子黒板を利用される場合は、電子黒板の PDF ブラウザをご使用ください。ファイルサイズに優れ、ハイパーリンク・拡大・スワイプ・書き込みもスムーズに機能します。
3. パソコン (Adobe Reader) で読み込む際には、全画面表示 (**[Ctrl]+L**) および描画領域に合わせる (**[Ctrl]+3**) と見やすくなります。ページスクロールには、(**[Ctrl]+▲**, **[Ctrl]+▼**) が利用でき、リンク (ジャンプ) 先から戻る (**[Alt]+◀**), 進む (**[Alt]+▶**) も利用できます。なお、全画面表示を解除するには **[ESC]**。
4. スマートフォンでの使用も想定し、問題および解答には相互リンクを施しています。各問の解答の終わりにある ■ をクリックすると、各年度のトップページに戻ります。

上の 3, 4 の機能をサポートする PDF ブラウザとして、Adobe Reader をご使用ください (フリーソフト)。スマートフォンには、同アプリがインストールされていない場合が多いので、同アプリをインストールしてからご使用ください。

令和 7 年 5 月 編者

目次

序	i
第1章 九州大学	1
文系 出題分野	1
1.1 2015 年(文系)	2
1.2 2016 年(文系)	7
1.3 2017 年(文系)	15
1.4 2018 年(文系)	21
1.5 2019 年(文系)	26
1.6 2020 年(文系)	30
1.7 2021 年(文系)	35
1.8 2022 年(文系)	41
1.9 2023 年(文系)	49
1.10 2024 年(文系)	58
1.11 2025 年(文系)	63
理系 出題分野	68
1.12 2015 年(理系)	69
1.13 2016 年(理系)	78
1.14 2017 年(理系)	89
1.15 2018 年(理系)	100
1.16 2019 年(理系)	114
1.17 2020 年(理系)	124
1.18 2021 年(理系)	132
1.19 2022 年(理系)	142
1.20 2023 年(理系)	156
1.21 2024 年(理系)	169
1.22 2025 年(理系)	178
第2章 九州工業大学	185
工学部 出題分野	185
2.1 2015 年(工学部)	186
2.2 2016 年(工学部)	196
2.3 2017 年(工学部・情報工学部)	208
2.4 2018 年(工学部・情報工学部)	216
2.5 2019 年(工学部・情報工学部)	225

2.6	2020 年 (工学部・情報工学部)	233
2.7	2021 年 (工学部・情報工学部)	244
2.8	2022 年 (工学部・情報工学部)	255
2.9	2023 年 (工学部・情報工学部)	269
2.10	2024 年 (工学部・情報工学部)	281
2.11	2025 年 (工学部・情報工学部)	291
	情報工学部 出題分野	301
2.12	2015 年 (情報工学部)	302
2.13	2016 年 (情報工学部)	310
第 3 章 福岡教育大学		321
	出題分野	321
3.1	2015 年	322
3.2	2016 年	335
3.3	2017 年	341
3.4	2018 年	348
3.5	2019 年	355
3.6	2020 年	361
3.7	2021 年	368
3.8	2022 年	375
3.9	2023 年	382
3.10	2024 年	391
3.11	2025 年	404
第 4 章 佐賀大学		415
	出題分野	415
4.1	2015 年	419
4.2	2016 年	431
4.3	2017 年	440
4.4	2018 年	453
4.5	2019 年	468
4.6	2020 年	479
4.7	2021 年	492
4.8	2022 年	499
4.9	2023 年	510
4.10	2024 年	521
4.11	2025 年	532

第5章 長崎大学	543
出題分野	543
5.1 2015 年	548
5.2 2016 年	563
5.3 2017 年	578
5.4 2018 年	596
5.5 2019 年	611
5.6 2020 年	626
5.7 2021 年	650
5.8 2022 年	683
5.9 2023 年	702
5.10 2024 年	722
5.11 2025 年	750
第6章 熊本大学	811
文系 出題分野	811
6.1 2015 年(文系)	812
6.2 2016 年(文系)	817
6.3 2017 年(文系)	823
6.4 2018 年(文系)	830
6.5 2019 年(文系)	836
6.6 2020 年(文系)	843
6.7 2021 年(文系)	852
6.8 2022 年(文系)	859
6.9 2023 年(文系)	866
6.10 2024 年(文系)	873
6.11 2025 年(文系)	881
理系 出題分野	890
6.12 2015 年(理系)	891
6.13 2016 年(理系)	899
6.14 2017 年(理系)	906
6.15 2018 年(理系)	913
6.16 2019 年(理系)	919
6.17 2020 年(理系)	926
6.18 2021 年(理系)	934
6.19 2022 年(理系)	943
6.20 2023 年(理系)	949
6.21 2024 年(理系)	955

6.22 2025 年 (理系)	962
医学部 出題分野	973
6.23 2015 年 (医学部)	974
6.24 2016 年 (医学部)	981
6.25 2017 年 (医学部)	988
6.26 2018 年 (医学部)	1001
6.27 2019 年 (医学部)	1010
6.28 2020 年 (医学部)	1016
6.29 2021 年 (医学部)	1025
6.30 2022 年 (医学部)	1035
6.31 2023 年 (医学部)	1042
6.32 2024 年 (医学部)	1052
6.33 2025 年 (医学部)	1060
第 7 章 大分大学	1069
出題分野	1069
7.1 2015 年	1073
7.2 2016 年	1086
7.3 2017 年	1100
7.4 2018 年	1112
7.5 2019 年	1125
7.6 2020 年	1135
7.7 2021 年	1148
7.8 2022 年	1161
7.9 2023 年	1174
7.10 2024 年	1185
7.11 2025 年	1195
第 8 章 宮崎大学	1205
出題分野	1205
8.1 2015 年	1210
8.2 2016 年	1231
8.3 2017 年	1249
8.4 2018 年	1269
8.5 2019 年	1283
8.6 2020 年	1300
8.7 2021 年	1318
8.8 2022 年	1346
8.9 2023 年	1365

8.10	2024 年	1384
8.11	2025 年	1406
第 9 章 鹿児島大学		1429
	出題分野	1429
9.1	2015 年	1432
9.2	2016 年	1443
9.3	2017 年	1453
9.4	2018 年	1465
9.5	2019 年	1475
9.6	2020 年	1486
9.7	2021 年	1503
9.8	2022 年	1514
9.9	2023 年	1525
9.10	2024 年	1538
9.11	2025 年	1555
第 10 章 琉球大学		1567
	出題分野	1567
10.1	2015 年	1569
10.2	2016 年	1577
10.3	2017 年	1585
10.4	2018 年	1593
10.5	2019 年	1601
10.6	2020 年	1610
10.7	2021 年	1618
10.8	2022 年	1626
10.9	2023 年	1635
10.10	2024 年	1644
10.11	2025 年	1652

第 1 章 九州大学

出題分野 (文系 理系)

文系 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	九州大学 文系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式			2								
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明					4						
	複素数と方程式						3		3			
	図形と方程式			2				1・2				2
	三角関数									2		
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	1	1	1	1	2	1	3	1・4	1	1	1
A	場合の数と確率	3	3	3	4	1	4			4	4	4
	整数の性質	4	4	4	2		3				3	3
	図形の性質		2									
B	数列							4				
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				3					3	2	
	空間のベクトル	2				3	2		2			

数字は問題番号

1.1 2015年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 座標平面上の2つの放物線

$$C_1 : y = x^2$$

$$C_2 : y = -x^2 + ax + b$$

を考える。ただし、 a, b は実数とする。

(1) C_1 と C_2 が異なる2点で交わるための a, b に関する条件を求めよ。

以下、 a, b が(1)の条件を満たすとし、 C_1 と C_2 で囲まれる面積が9であるとする。

(2) b を a を用いて表せ。

(3) a がすべての実数値をとって変化するとき、放物線 C_2 の頂点が描く軌跡を座標平面上に図示せよ。

2 1辺の長さが1である正四面体OABCを考える。辺OAの中点をP, 辺OBを2:1に内分する点をQ, 辺OCを1:3に内分する点をRとする。以下の問いに答えよ。

(1) 線分PQの長さと線分PRの長さを求めよ。

(2) $\overrightarrow{PQ}$ と $\overrightarrow{PR}$ の内積 $\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR}$ を求めよ。

(3) 三角形PQRの面積を求めよ。

3 袋の中に最初に赤玉2個と青玉1個が入っている。次の操作を考える。

(操作) 袋から1個の玉を取り出し、それが赤玉ならば代わりに青玉1個を袋に入れ、青玉ならば代わりに赤玉1個を袋に入れる。袋に入っている3個の玉がすべて青玉になるとき、硬貨を1枚もらう。

この操作を4回繰り返す。もらう硬貨の総数が1枚である確率と、もらう硬貨の総数が2枚である確率をそれぞれ求めよ。

4 以下の問いに答えよ。

(1) n が正の偶数のとき、 $2^n - 1$ は3の倍数であることを示せ。

(2) p を素数とし、 k を0以上の整数とする。 $2^{p-1} - 1 = p^k$ を満たす p, k の組をすべて求めよ。

解答例

- 1** (1) $y = x^2$ と $y = -x^2 + ax + b$ から y を消去すると

$$x^2 = -x^2 + ax + b \quad \text{すなわち} \quad 2x^2 - ax - b = 0 \quad \cdots (*)$$

C_1 と C_2 が異なる 2 点で交わるとき, $(*)$ より

$$(-a)^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-b) > 0 \quad \text{ゆえに} \quad a^2 + 8b > 0$$

- (2) 方程式 $(*)$ の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$)

$$\alpha + \beta = \frac{a}{2}, \quad \alpha\beta = -\frac{b}{2}$$

$$\beta - \alpha = \sqrt{(\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta} = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + 8b} \quad \cdots \textcircled{1}$$

C_1 と C_2 で囲まれる部分の面積は

$$\begin{aligned} \int_{\alpha}^{\beta} \{(-x^2 + ax + b) - x^2\} dx &= - \int_{\alpha}^{\beta} (2x^2 - ax - b) dx \\ &= -2 \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx \\ &= \frac{1}{3}(\beta - \alpha)^3 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{1}{3}(\beta - \alpha)^3 = 9 \quad \text{ゆえに} \quad \beta - \alpha = 3 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より} \quad \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + 8b} = 3 \quad \text{よって} \quad b = -\frac{1}{8}a^2 + \frac{9}{2}$$

- (3) (2) の結果から, C_2 は

$$y = -x^2 + ax - \frac{1}{8}a^2 + \frac{9}{2} \quad \text{すなわち} \quad y = -\left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + \frac{1}{8}a^2 + \frac{9}{2}$$

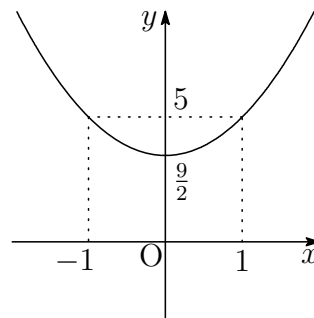
C_2 の頂点を (x, y) とすると

$$x = \frac{a}{2}, \quad y = \frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \frac{9}{2}$$

よって, C_2 の頂点が描く軌跡の方程式は

$$y = \frac{1}{2}x^2 + \frac{9}{2}$$

その軌跡は, 右の図のようになる.



2 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とおくと

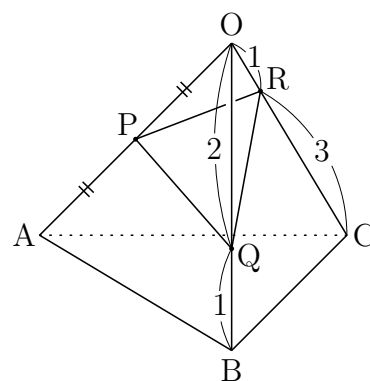
$$|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = 1$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = 1 \cdot 1 \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$$

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\vec{a}, \quad \overrightarrow{OQ} = \frac{2}{3}\vec{b}, \quad \overrightarrow{OR} = \frac{1}{4}\vec{c}$$

$$\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = \frac{2}{3}\vec{b} - \frac{1}{2}\vec{a}$$

$$\overrightarrow{PR} = \overrightarrow{OR} - \overrightarrow{OP} = \frac{1}{4}\vec{c} - \frac{1}{2}\vec{a}$$



$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad |\overrightarrow{PQ}|^2 &= \left| \frac{2}{3}\vec{b} - \frac{1}{2}\vec{a} \right|^2 = \frac{4}{9}|\vec{b}|^2 - \frac{2}{3}\vec{a} \cdot \vec{b} + \frac{1}{4}|\vec{a}|^2 \\ &= \frac{4}{9} - \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{13}{36} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{PR}|^2 &= \left| \frac{1}{4}\vec{c} - \frac{1}{2}\vec{a} \right|^2 = \frac{1}{16}|\vec{c}|^2 - \frac{1}{4}\vec{c} \cdot \vec{a} + \frac{1}{4}|\vec{a}|^2 \\ &= \frac{1}{16} - \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{3}{16} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{PQ} = \frac{\sqrt{13}}{6}, \quad \mathbf{PR} = \frac{\sqrt{3}}{4}$$

別解 $\triangle OPQ$ および $\triangle OPR$ に余弦定理を適用すると

$$PQ^2 = OP^2 + OQ^2 - 2OP \cdot OQ \cos \frac{\pi}{3} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\right)^2 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{13}{36}$$

$$PR^2 = OP^2 + OR^2 - 2OP \cdot OR \cos \frac{\pi}{3} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{16}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad \overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR} &= \left(\frac{2}{3}\vec{b} - \frac{1}{2}\vec{a} \right) \cdot \left(\frac{1}{4}\vec{c} - \frac{1}{2}\vec{a} \right) \\ &= \frac{1}{6}\vec{b} \cdot \vec{c} - \frac{1}{3}\vec{a} \cdot \vec{b} - \frac{1}{8}\vec{c} \cdot \vec{a} + \frac{1}{4}|\vec{a}|^2 \\ &= \frac{1}{12} - \frac{1}{6} - \frac{1}{16} + \frac{1}{4} = \frac{5}{48} \end{aligned}$$

$$(3) \quad \triangle PQR = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{PQ}|^2 |\overrightarrow{PR}|^2 - (\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{13}{36} \cdot \frac{3}{16} - \left(\frac{5}{48}\right)^2} = \frac{\sqrt{131}}{96} \quad \blacksquare$$

3 1, 3 回目の操作で青玉の個数は 2 個または 0 個.

2, 4 回目の操作で青玉の個数は 3 個または 1 個.

したがって, もらう硬貨の枚数は 0, 1, 2 枚のいずれかである.

2 回目の操作で青玉 3 個である確率は

$$\frac{2}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$$

したがって, 2 回目の操作で青玉 1 個である確率は

$$1 - \frac{2}{9} = \frac{7}{9}$$

2, 4 回目の操作で青玉 3 個, すなわち, もらう硬貨の総数が 2 枚である確率は

$$\frac{2}{9} \times 1 \times \frac{1}{3} = \frac{2}{27}$$

2, 4 回目の操作で青玉 1 個, すなわち, 硬貨を 1 枚ももらわない確率は

$$\frac{7}{9} \times \frac{7}{9} = \frac{49}{81}$$

よって, もらう硬貨の総数が 1 枚である確率は

$$1 - \left(\frac{2}{27} + \frac{49}{81} \right) = \frac{26}{81}$$

補足 x 回目の操作で青玉が y 個である確率を $P(x, y)$ とすると

$$P(2, 3) = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$$

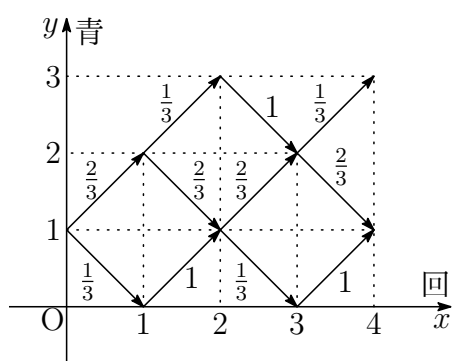
$$P(2, 1) = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot 1 = \frac{7}{9}$$

4 回の操作で硬貨を 2 枚もらう (青玉が 2 回 3 個になる) 確率は

$$P(2, 3) \times 1 \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{9} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{27}$$

4 回の操作で硬貨を 1 枚ももらわない確率は

$$\{P(2, 1)\}^2 = \left(\frac{7}{9} \right)^2 = \frac{49}{81}$$



- 4 (1) n が正の偶数のとき, $\frac{n}{2}$ は自然数であるから

$$2^n - 1 \equiv 4^{\frac{n}{2}} - 1 \equiv 1^{\frac{n}{2}} - 1 \equiv 0 \pmod{3}$$

よって, $2^n - 1$ は 3 の倍数である.

- (2) $2^{p-1} - 1 = p^k$ (p は素数, k は 0 以上の整数) $\cdots (*)$

(i) $p = 2$ のとき, $(*)$ は

$$1 = 2^k \quad \text{ゆえに} \quad k = 0$$

(ii) $p \neq 2$ のとき, p は奇素数であるから, $p - 1$ は偶数である.

(1) の結果から, $2^{p-1} - 1$ は 3 の倍数である.

$(*)$ より, p^k は 3 を因数にもつから

$$p = 3$$

これを $(*)$ に代入すると

$$3 = 3^k \quad \text{ゆえに} \quad k = 1$$

よって $(p, k) = (2, 0), (3, 1)$



1.2 2016 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 座標平面において、 x 軸上に 3 点 $(0, 0)$, $(\alpha, 0)$, $(\beta, 0)$ ($0 < \alpha < \beta$) があり、曲線 $C: y = x^3 + ax^2 + bx$ が x 軸とこの 3 点で交わっているものとする。ただし、 a, b は実数である。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 C と x 軸で囲まれた 2 つの部分の面積の和を S とする。 S を α と β の式で表せ。
- (2) β の値を固定して、 $0 < \alpha < \beta$ の範囲で α を動かすとき、 S を最小とする α を β の式で表せ。

- 2 t を $0 < t < 1$ を満たす実数とする。面積が 1 である三角形 ABC において、辺 AB, BC, CA をそれぞれ $2:1, t:1-t, 1:3$ に内分する点を D, E, F とする。また、 AE と BF , BF と CD , CD と AE の交点をそれぞれ P, Q, R とする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 3 直線 AE, BF, CD が 1 点で交わるときの t の値 t_0 を求めよ。

以下、 t は $0 < t < t_0$ を満たすものとする。

- (2) $AP = kAE, CR = \ell CD$ を満たす実数 k, ℓ をそれぞれ求めよ。
- (3) 三角形 BCQ の面積を求めよ。
- (4) 三角形 PQR の面積を求めよ。

- 3 袋の中に、赤玉が15個、青玉が10個、白玉が5個入っている。袋の中から玉を1個取り出し、取り出した玉の色に応じて、以下の操作で座標平面に置いたコインを動かすことを考える。

(操作) コインが点 (x, y) にあるものとする。赤玉を取り出したときにはコインを点 $(x + 1, y)$ に移動、青玉を取り出したときには点 $(x, y + 1)$ に移動、白玉を取り出したときには点 $(x - 1, y - 1)$ に移動し、取り出した球は袋に戻す。

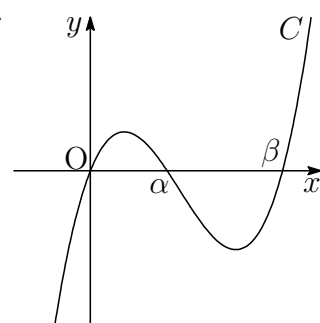
最初に原点 $(0, 0)$ にコインを置き、この操作を繰り返して行う。指定した回数だけ操作を繰り返した後、コインが置かれている点を到達点と呼ぶことにする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 操作を n 回繰り返したとき、白玉を1度だけ取り出したとする。このとき、到達点となり得る点をすべて求めよ。
 - (2) 操作を n 回繰り返したとき、到達点となり得る点の個数を求めよ。
 - (3) 座標平面上の4点 $(1, 1)$, $(-1, 1)$, $(-1, -1)$, $(1, -1)$ を頂点とする正方形 D を考える。操作を n 回繰り返したとき、到達点が D の内部または辺上にある確率を P_n とする。 P_3 を求めよ。
 - (4) 自然数 N に対して P_{3N} を求めよ。
- 4 自然数 n に対して、 10^n を13で割った余りを a_n とおく。 a_n は0から12までの整数である。以下の問いに答えよ。
- (1) a_{n+1} は $10a_n$ を13で割った余りに等しいことを示せ。
 - (2) $a_1, a_2, \dots, a_6$ を求めよ。
 - (3) 以下の3条件を満たす自然数 N をすべて求めよ。
 - (i) N を十進数で表示したとき6桁となる。
 - (ii) N を十進数で表示して、最初と最後の桁の数字を取り除くと2016となる。
 - (iii) N は13で割り切れる。

解答例

- 1 (1) C は x 軸との共有点の x 座標が $x = 0, \alpha, \beta$ であるから, $C: y = f(x)$ の方程式は x^3 の係数に注意して ($0 < \alpha < \beta$)

$$\begin{aligned} f(x) &= x(x - \alpha)(x - \beta) \\ &= x^3 - (\alpha + \beta)x^2 + \alpha\beta x \end{aligned}$$



関数 $f(x)$ の原始関数の 1 つを

$$F(x) = \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{3}(\alpha + \beta)x^3 + \frac{1}{2}\alpha\beta x^2$$

とおくと

$$F(0) = 0, \quad F(\alpha) = -\frac{1}{12}\alpha^4 + \frac{1}{6}\alpha^3\beta, \quad F(\beta) = -\frac{1}{12}\beta^4 + \frac{1}{6}\alpha\beta^3$$

したがって

$$\begin{aligned} S &= \int_0^\alpha f(x) dx - \int_\alpha^\beta f(x) dx = \left[F(x) \right]_0^\alpha - \left[F(x) \right]_\alpha^\beta \\ &= 2F(\alpha) - F(\beta) - F(0) \\ &= 2 \left(-\frac{1}{12}\alpha^4 + \frac{1}{6}\alpha^3\beta \right) - \left(-\frac{1}{12}\beta^4 + \frac{1}{6}\alpha\beta^3 \right) \\ &= -\frac{1}{6}\alpha^4 + \frac{1}{3}\alpha^3\beta - \frac{1}{6}\alpha\beta^3 + \frac{1}{12}\beta^4 \end{aligned}$$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{dS}{d\alpha} &= -\frac{2}{3}\alpha^3 + \alpha^2\beta - \frac{1}{6}\beta^3 \\ &= \frac{1}{6}(2\alpha - \beta)\{2\alpha(\beta - \alpha) + \beta^2\} \end{aligned}$$

$$0 < \alpha < \beta \text{ であるから } 2\alpha(\beta - \alpha) + \beta^2 > 0$$

したがって

α	(0)	$\dots$	$\frac{\beta}{2}$	$\dots$	(β)
$\frac{dS}{d\alpha}$		$-$	0	$+$	
S		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

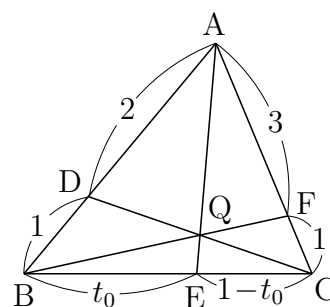
よって, S を最小にする α は $\alpha = \frac{\beta}{2}$



- 2 (1) チェバの定理により

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CF}{FA} \cdot \frac{AD}{DB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t_0}{1-t_0} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{1} = 1$$

$$\text{これを解いて} \quad t_0 = \frac{3}{5}$$

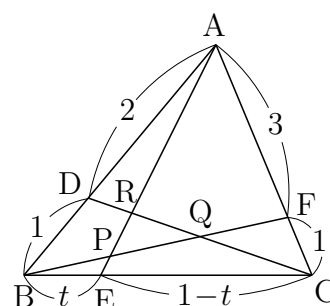


- (2) $\triangle AEC$ および直線 BF について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AP}{PE} \cdot \frac{EB}{BC} \cdot \frac{CF}{FA} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AP}{PE} \cdot \frac{t}{1} \cdot \frac{1}{3} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{AP}{PE} = \frac{3}{t}$$

$$\text{よって} \quad k = \frac{AP}{AE} = \frac{3}{3+t}$$



$\triangle BCD$ および直線 AE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CR}{RD} \cdot \frac{DA}{AB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t}{1-t} \cdot \frac{CR}{RD} \cdot \frac{2}{3} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{CR}{RD} = \frac{3(1-t)}{2t}$$

$$\text{よって} \quad \ell = \frac{CR}{CD} = \frac{3(1-t)}{3(1-t) + 2t} = \frac{3(1-t)}{3-t}$$

- (3) (2) の図について、 $\triangle BCF$ および直線 AE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CA}{AF} \cdot \frac{FP}{PB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t}{1-t} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{FP}{PB} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{FP}{PB} = \frac{3(1-t)}{4t} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$t = \frac{3}{5} \text{ のとき, } P \text{ は } Q \text{ に一致するので} \quad \frac{FQ}{QB} = \frac{1}{2} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\text{よって} \quad \triangle BCQ = \frac{2}{3} \triangle BCF = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} \triangle ABC = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1 = \frac{1}{6}$$

(4) $t = \frac{3}{5}$ のとき, R は Q に一致するので, (2) の結果から

$$\frac{CQ}{CD} = \frac{3(1 - \frac{3}{5})}{3 - \frac{3}{5}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{したがって } CQ : QR = \frac{1}{2} : \frac{3(1-t)}{3-t} - \frac{1}{2} = 3-t : 3-5t$$

また, ①, ② から

$$BQ : PQ = \frac{2}{3} : \frac{3(1-t)}{3(1-t)+4t} - \frac{1}{3} = 3+t : 3-5t$$

$\triangle BCQ : \triangle PQR = BQ \cdot CQ : PQ \cdot QR$ であるから

$$\triangle BCQ : \triangle PQR = (3+t)(3-t) : (3-5t)^2$$

$$(3) \text{ の結果から } \triangle PQR = \frac{1}{6} \times \frac{(3-5t)^2}{(3+t)(3-t)} = \frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)}$$

解説 $\vec{b} = \overrightarrow{AB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{AC}$ とおくと

$$\overrightarrow{AQ} = \frac{\overrightarrow{AB} + 2\overrightarrow{AF}}{2+1} = \frac{\vec{b} + 2 \cdot \frac{3}{4}\vec{c}}{3} = \frac{1}{3}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}$$

$$\overrightarrow{AP} = k\overrightarrow{AE} = \frac{3}{3+t}\{(1-t)\vec{b} + t\vec{c}\}$$

$CR : RD = 3(1-t) : 2t$ であるから

$$\overrightarrow{AR} = \frac{2t\overrightarrow{AC} + 3(1-t)\overrightarrow{AD}}{3(1-t) + 2t} = \frac{1}{3-t}\{2(1-t)\vec{b} + 2t\vec{c}\}$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{QP} = \frac{3-5t}{6(3+t)}(4\vec{b} - 3\vec{c}), \quad \overrightarrow{QR} = \frac{3-5t}{6(3-t)}(2\vec{b} - 3\vec{c})$$

これらを空間ベクトルと考え, 外積の性質を用いると¹

$$\overrightarrow{QP} \times \overrightarrow{QR} = -\frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)}\vec{b} \times \vec{c}$$

$$\text{よって } \triangle PQR : \triangle ABC = \frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)} : 1$$

外積は高校数学の範囲外であるから, 2次試験では使えないが, センター試験では, 非常に有効な計算法である. なお, 外積 (ベクトル積) の演算について, 次式が成り立つことに注意したい.

$$\vec{b} \times \vec{c} = -\vec{c} \times \vec{b}$$

また, これに $\vec{c} = \vec{b}$ を代入すると $\vec{b} \times \vec{b} = \vec{0}$



¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2004.pdf

- 3 (1) 白玉を1度だけ取り出すので、赤玉を m 回 ($m = 0, 1, \dots, n-1$) 取り出すとすると、青玉を取り出す回数は $n - m - 1$ であるから、到達点 (x, y) は

$$x = m - 1, \quad y = (n - m - 1) - 1 = n - m - 2$$

よって、到達点は $(m - 1, n - m - 2) \quad (m = 0, 1, \dots, n - 1)$

- (2) 赤玉, 青玉, 白玉を取り出す回数を, それぞれ i, j, k とすると, 到達点 (x, y) は $(i + j + k = n)$

$$x = i - k, \quad y = j - k$$

このとき, $k = n - i - j$ であるから

$$(*) \begin{cases} x = i - (n - i - j) = 2i + j - n \\ y = j - (n - i - j) = i + 2j - n \end{cases}$$

ここで

$$2i + j - n = 2i' + j' - n, \quad i + 2j - n = i' + 2j' - n$$

とすると

$$2(i - i') + (j - j') = 0, \quad (i - i') + 2(j - j') = 0$$

これを解くと $(i, j) = (i', j')$

したがって, $(i, j) \neq (i', j')$ のとき

$$(2i + j - n, i + 2j - n) \neq (2i' + j' - n, i' + 2j' - n)$$

このことから, (i, j, k) の組合せの個数とその到達点の個数は一致する. よって, 求める到達点の個数は, 赤玉, 青玉, 白玉の3種類の玉から n 個取り出す重複組合せの総数に一致するので

$${}_3H_n = {}_{3+n-1}C_n = {}_{n+2}C_n = {}_{n+2}C_2 = \frac{(n+2)(n+1)}{2}$$

(3) (*) から

$$i = \frac{2x-y}{3} + \frac{n}{3}, \quad j = \frac{2x-y}{3} - x + y + \frac{n}{3} \quad \cdots (**)$$

$n = 3$ のとき, 上式より

$$i = \frac{2x-y}{3} + 1, \quad j = \frac{2x-y}{3} - x + y + 1$$

(x, y) が D 内にあるとき ($k = 3 - i - j$)

$$(x, y, i, j, k) = (-1, 1, 0, 2, 1), (0, 0, 1, 1, 1), (1, -1, 2, 0, 1)$$

よって, 求める確率は

$$P_3 = \frac{3!}{2!1!} \left(\frac{1}{3}\right)^2 \frac{1}{6} + \frac{3!}{1!1!1!} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{6} + \frac{3!}{2!1!} \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{1}{6} = \frac{25}{72}$$

(4) $n = 3N$ のとき, (**) より

$$i = \frac{2x-y}{3} + N, \quad j = \frac{2x-y}{3} - x + y + N$$

(x, y) が D 内にあるとき ($k = 3N - i - j$)

$$(x, y, i, j, k) = (-1, 1, N-1, N+1, N), (0, 0, N, N, N), \\ (1, -1, N+1, N-1, N)$$

よって, 求める確率は

$$\begin{aligned} P_{3N} &= \frac{(3N)!}{(N-1)!(N+1)!N!} \left(\frac{1}{2}\right)^{N-1} \left(\frac{1}{3}\right)^{N+1} \left(\frac{1}{6}\right)^N \\ &\quad + \frac{(3N)!}{N!N!N!} \left(\frac{1}{2}\right)^N \left(\frac{1}{3}\right)^N \left(\frac{1}{6}\right)^N \\ &\quad + \frac{(3N)!}{(N+1)!(N-1)!N!} \left(\frac{1}{2}\right)^{N+1} \left(\frac{1}{3}\right)^{N-1} \left(\frac{1}{6}\right)^N \\ &= \frac{(19N+6)(3N)!}{6^{2N+1}(N!)^2(N+1)!} \end{aligned}$$

■

4 (1) 仮定から $10^n \equiv a_n, \quad 10^{n+1} \equiv a_{n+1} \pmod{13}$

第1式から $10^{n+1} \equiv 10a_n \pmod{13}$

したがって $a_{n+1} \equiv 10a_n \pmod{13}$

(2) $10^1 = 10$ より $\mathbf{a_1 = 10}$

(1)の結果を用いると、法13について

$$a_2 \equiv 10a_1 \equiv 100 \equiv 9$$

$$a_3 \equiv 10a_2 \equiv 90 \equiv 12$$

$$a_4 \equiv 10a_3 \equiv 120 \equiv 3$$

$$a_5 \equiv 10a_4 \equiv 30 \equiv 4$$

$$a_6 \equiv 10a_5 \equiv 40 \equiv 1$$

よって $\mathbf{a_2 = 9, a_3 = 12, a_4 = 3, a_5 = 4, a_6 = 1}$

(3) 整数 p, q を $1 \leq p \leq 9, 0 \leq q \leq 9$ とし、求める自然数 N を

$$N = p \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 + 10^2 + 6 \cdot 10 + q$$

とおくと、法13に関して

$$N \equiv p \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 + 10^2 + 6 \cdot 10 + q$$

$$\equiv p \cdot 4 + 2 \cdot 3 + 9 + 6 \cdot 10 + q = 4p + q + 75$$

$$\equiv 4p + q - 3$$

このとき、 $N \equiv 0 \pmod{13}$ を満たす整数 (p, q) の組は

$$(p, q) = (2, 8), (3, 4), (4, 0), (5, 9), (6, 5), (7, 1), (9, 6)$$

よって、求める自然数 N は

$$\mathbf{220168, 320164, 420160, 520169, 620165, 720161, 920166}$$



1.3 2017 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 定数 $a < 1$ に対し, 放物線 $C_1: y = 2x^2 + 1$, $C_2: y = -x^2 + a$ を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 放物線 C_1 , C_2 の両方に接する 2 つの直線の方程式をそれぞれ a を用いて表せ。
- (2) C_1 と (1) で求めた 2 つの直線で囲まれた図形の面積を S_1 , C_2 と (1) で求めた 2 つの直線で囲まれた図形の面積を S_2 とするとき, $\frac{S_2}{S_1}$ を求めよ。

2 座標平面上に原点 O , 点 $A(1, a)$, 点 $B(s, t)$ がある。以下の問いに答えよ。

- (1) $a = 1$ のとき, $\triangle OAB$ が正三角形となるような (s, t) をすべて求めよ。
- (2) $\sqrt{3}$ は無理数であることを証明せよ。
- (3) $\triangle OAB$ が正三角形であり, a が有理数であるとき, s と t のうち少なくとも 1 つは無理数であることを示せ。

3 A と B の 2 人が $A, B, A, B, \dots$ の順にさいころを投げ, 先に 3 以上の目を出した人を勝者として勝敗を決め, さいころ投げを終える。以下では, さいころを投げた回数とは A と B が投げた回数の和のこととする。2 と 3 の常用対数を $\log_{10} 2 = 0.301$, $\log_{10} 3 = 0.477$ として, 以下の問いに答えよ。

- (1) さいころを投げた回数が n 回以下では勝敗が決まらない確率 p_n ($n = 1, 2, \dots$) を求めよ。さらに, p_n が 0.005 より小さくなる最小の n を求めよ。
- (2) さいころを投げた回数が 3 回以下で A が勝つ確率を求めよ。
- (3) 自然数 k に対し, さいころを投げた回数が $2k + 1$ 回以下で A が勝つ確率を求めよ。

4 以下の問いに答えよ。

- (1) 2017 と 225 の最大公約数を求めよ。
- (2) 225 との最大公約数が 15 となる 2017 以下の自然数の個数を求めよ。
- (3) 225 との最大公約数が 15 であり, かつ 1998 との最大公約数が 111 となる 2017 以下の自然数をすべて求めよ。

解答例

- 1 (1) 求める直線を $l: y = px + q$ とおく. C_1 と l の方程式から y を消去すると

$$2x^2 + 1 = px + q \quad \text{ゆえに} \quad 2x^2 - px - q + 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

C_1 と l は接するので, 方程式 $(*)$ の係数について

$$(-p)^2 - 4 \cdot 2(-q + 1) = 0 \quad \text{整理すると} \quad p^2 + 8q - 8 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

同様に, C_2 と l の方程式から y を消去すると

$$-x^2 + a = px + q \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + px + q - a = 0 \quad \cdots (**)$$

C_2 と l は接するので, 上の方程式の係数について

$$p^2 - 4 \cdot 1(q - a) = 0 \quad \text{整理すると} \quad p^2 - 4q + 4a = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から} \quad p^2 = \frac{8}{3}(1 - a), \quad q = \frac{1}{3}(a + 2)$$

よって, 求める2直線の方程式は

$$y = \pm 2\sqrt{\frac{2}{3}(1 - a)}x + \frac{1}{3}(a + 2)$$

- (2) (1) の結果から, 次の2式は平方式になることに注意して

$$2x^2 + 1 - (px + q) = 2\left(x - \frac{p}{4}\right)^2$$

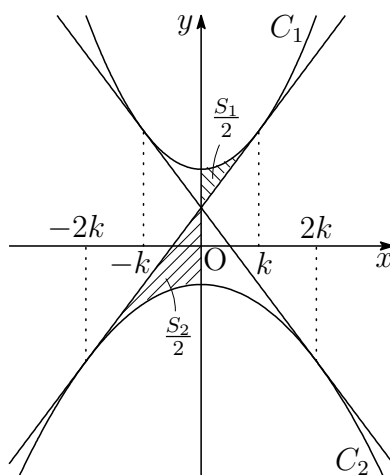
$$px + q - (-x^2 + a) = \left(x + \frac{p}{2}\right)^2$$

$p = 2\sqrt{\frac{2}{3}(1 - a)}$ のとき, $k = \frac{p}{4}$ とおく.
 C_1, C_2 および2接線は y 軸に関して対称であることに注意して

$$\begin{aligned} \frac{S_1}{2} &= \int_0^k 2(x - k)^2 dx \\ &= \left[\frac{2}{3}(x - k)^3 \right]_0^k = \frac{2k^3}{3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{S_2}{2} &= \int_{-2k}^0 (x + 2k)^2 dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x + 2k)^3 \right]_{-2k}^0 = \frac{8k^3}{3} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \frac{S_2}{S_1} = \frac{16k^3}{3} \times \frac{3}{4k^3} = 4$$



解説 $y = kx^2 \cdots \textcircled{1}$ は $y = x^2 \cdots \textcircled{2}$ を x 軸を元に y 軸方向に k 倍だけ拡大したものであるが、 $\textcircled{1}$ 上の点 $P(t, kt^2)$ に対して $\overrightarrow{OQ} = k\overrightarrow{OP}$ となる点 $Q(x, y)$ をとると

$$(x, y) = k(t, kt^2) \quad \text{ゆえに} \quad x = kt, \quad y = (kt)^2$$

これから、点 Q の描く軌跡は、 $y = x^2$ である。

したがって、 $\textcircled{1}$ と $\textcircled{2}$ は相似であり、その相似比は $1 : |k|$ である。

一般に、放物線は相似であり、2つの放物線

$$C_1 : y = a_1x^2 + b_1x + c_1, \quad C_2 : y = a_2x^2 + b_2x + c_2$$

の相似比は $\frac{1}{|a_1|} : \frac{1}{|a_2|}$ である。

右の図のように、 C_1, C_2 と 2本の共通接線との接点を B, C, D, E とすると、点 A は線分 BD および線分 CE を

$$\frac{1}{|a_1|} : \frac{1}{|a_2|}$$

に内分するのである。また、2つの斜線部分の面積を S_1, S_2 とすると、面積比は相似比の2乗に比例するから

$$S_1 : S_2 = \frac{1}{a_1^2} : \frac{1}{a_2^2}$$

特に、 $S_1 = \frac{1}{3}\triangle ABC$, $S_2 = \frac{1}{3}\triangle ADE$ である²。

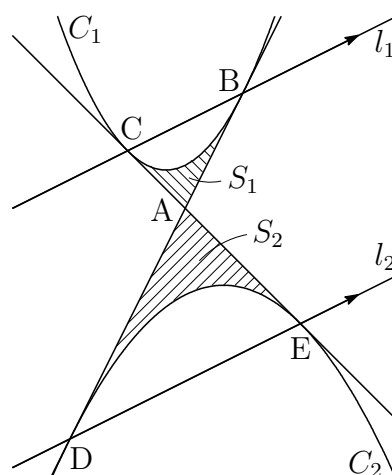
本題の点 A は C_1 の頂点 $(0, 1)$ と C_2 の頂点 $(0, a)$ を $1 : 2$ に内分する点で

$$A\left(0, \frac{2+a}{3}\right)$$

また、 C_1 上の点 P について、 $\overrightarrow{AQ} = -2\overrightarrow{AP}$ をみたす点 Q の軌跡が C_2 である。

点 A を通り、傾き m の直線 $y = mx + \frac{2+a}{3}$ が $C_1 : y = 2x^2 + 1$ と接するとき、2次方程式 $2x^2 - mx + \frac{1-a}{3} = 0$ の係数により

$$(-m)^2 - 4 \cdot 2 \cdot \frac{1-a}{3} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad m = \pm 2\sqrt{\frac{2}{3}(1-a)}$$



²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_bun.2009.pdf [4] の補足を参照。

- 2 (1) 3点 $O(0, 0)$, $A(1, 1)$, $B(s, t)$ について, $\triangle OAB$ が正三角形であるから, $OA^2 = OB^2 = AB^2$ より

$$1^2 + 1^2 = s^2 + t^2 = (s-1)^2 + (t-1)^2$$

整理すると $s^2 + t^2 = 2, \quad s + t = 1$

これを解いて $(s, t) = \left(\frac{1 \pm \sqrt{3}}{2}, \frac{1 \mp \sqrt{3}}{2} \right)$ (複号同順)

- (2) $\sqrt{3}$ が有理数であると仮定すると, 自然数 p, q を用いて

$$\sqrt{3} = \frac{p}{q} \quad (p, q \text{ は互いに素})$$

とおける. これから, $p = \sqrt{3}q$ の両辺を平方すると

$$p^2 = 3q^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

p^2 は3の倍数であるから, p は3の倍数である.

したがって, $p = 3k$ (k は自然数) とおけ, これを $\textcircled{1}$ に代入すると

$$(3k)^2 = 3q^2 \quad \text{ゆえに} \quad q^2 = 3k^2$$

q^2 は3の倍数であるから, q も3の倍数である. このことは, p と q が互いに素であることに反する. よって, $\sqrt{3}$ は無理数である.

- (3) $\overrightarrow{OA} = (1, a)$, $\overrightarrow{OB} = (s, t)$ であるから, $\triangle OAB$ の面積により

$$\frac{1}{2} |\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}| \sin 60^\circ = \frac{1}{2} |t - as|$$

このとき, $|\overrightarrow{OA}| = |\overrightarrow{OB}|$ であることに注意して

$$\frac{1}{2} (a^2 + 1) \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{2} |t - as| \quad \text{ゆえに} \quad \sqrt{3} = \frac{2|t - as|}{a^2 + 1} \quad \dots (*)$$

a が有理数であるとき, 2数 s, t がともに有理数であるとする, $(*)$ の右辺は有理数となり, (2) の結果に矛盾する.

よって, s と t のうち少なくとも1つは無理数である. ■

- 3** (1) サイコロを 1 回投げるとき、勝敗が決まらない、すなわち、1 または 2 の目が出る確率は

$$\frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

n 回以下では勝敗が決まらないのは、 n 回とも 1 または 2 の目が出ることであるから、よって、求める確率 p_n は

$$p_n = \left(\frac{1}{3}\right)^n = \frac{1}{3^n}$$

p_n が 0.005 より小さいとき

$$\frac{1}{3^n} < 0.005 = \frac{1}{200} \quad \text{ゆえに} \quad 3^n > 200$$

$3^4 = 81$, $3^5 = 243$ であるから、求める最小の n は $n = 5$

- (2) サイコロを 1 回投げるとき、勝者が決まる、すなわち、3, 4, 5, 6 の目が出る確率は

$$\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$$

さいころを投げた回数が 3 回以下で A が勝つのは、1 回目または 3 回目で A が勝つことであるから、求める確率は

$$\frac{2}{3} + p_2 \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3} + \frac{1}{3^2} \times \frac{2}{3} = \frac{20}{27}$$

- (3) 求める確率は

$$\begin{aligned} \frac{2}{3} + \sum_{i=1}^k p_{2i} \times \frac{2}{3} &= \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \sum_{i=1}^k \frac{1}{3^{2i}} = \frac{2}{3} \sum_{i=0}^k \left(\frac{1}{9}\right)^i \\ &= \frac{2}{3} \times \frac{1 - \left(\frac{1}{9}\right)^{k+1}}{1 - \frac{1}{9}} = \frac{3}{4} \left(1 - \frac{1}{9^{k+1}}\right) \end{aligned}$$

■

- 4 (1) ユークリッドの互除法を用いて

$$2017 = 225 \times 8 + 217,$$

$$225 = 217 \times 1 + 8,$$

$$217 = 8 \times 27 + 1$$

よって、求める最大公約数は **1**

- (2) $225 = 3^2 \times 5^2$, $2017 = 15 \times 134 + 7$

全体集合を $U = \{1, 2, 3, \dots, 134\}$ とし、その部分集合を

$$A = \{3 \cdot 1, 3 \cdot 2, 3 \cdot 3, \dots, 3 \cdot 44\},$$

$$B = \{5 \cdot 1, 5 \cdot 2, 5 \cdot 3, \dots, 5 \cdot 26\}$$

とすると

$$A \cap B = \{15 \cdot 1, 15 \cdot 2, 15 \cdot 3, \dots, 15 \cdot 8\}$$

したがって、求める個数は

$$\begin{aligned} n(\overline{A \cap B}) &= n(\overline{A \cup B}) = n(U) - n(A \cup B) \\ &= n(U) - \{n(A) + n(B) - n(A \cap B)\} \\ &= 134 - (44 + 26 - 8) = \mathbf{72} \end{aligned}$$

- (3) $225 = 3^2 \times 5^2$, $15 = 3 \times 5$, $1998 = 2 \times 3^3 \times 37$, $111 = 3 \times 37$

求める数は 2017 以下で、 $3 \times 5 \times 37$ の倍数は

$$\{555n \mid n = 1, 2, 3\}$$

ただし、 n は 2, 3, 5 と互いに素であるから、求める数は **555** ■

1.4 2018 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 座標平面内の曲線 $y = x^3 + ax^2 + bx + c$ が点 $(c, 0)$ において x 軸に接しているとする。ただし, a, b は実数, $c > 0$ である。以下の問いに答えよ。

- (1) a, b をそれぞれ c を用いて表せ。
 (2) この曲線と x 軸で囲まれた部分の面積を S とする。 S を最小にする c の値を求めよ。

- 2 以下の問いに答えよ。

- (1) n を自然数とするととき, 2^n を 7 で割った余りを求めよ。
 (2) 自然数 m は, 2 進法で 101 が 6 回連続する表示

$$101101101101101101_{(2)}$$

をもつとする。 m を 7 で割った余りを求めよ。

- 3 平面上に三角形 ABC と点 O が与えられている。この平面上の動点 P に対し,

$$L = PA^2 + PB^2 + PC^2$$

とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ および $\vec{x} = \overrightarrow{OP}$ とおくとき, 次の等式を示せ。

$$L = 3|\vec{x}|^2 - 2(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \cdot \vec{x} + |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2$$

- (2) L を最小にする点 P は三角形 ABC の重心であることを示せ。また, L の最小値は

$$\frac{1}{3}(AB^2 + BC^2 + CA^2)$$

であることを示せ。

4 3つの部品 a, b, c からなる製品が多数入った箱がある。製品を1つ取り出したとき、部品 a, b, c が不良品である確率について次のことがわかっている。

- 部品 a が不良品である確率は p である。
- 部品 a が不良品でないとき、部品 b が不良品である確率は q である。
- 部品 a が不良品であるとき、部品 b も不良品である確率は $3q$ である。
- 部品 b が不良品でないとき、部品 c が不良品である確率は r である。
- 部品 b が不良品であるとき、部品 c も不良品である確率は $5r$ である。

ただし、 $0 < p < 1$, $0 < q < \frac{1}{3}$, $0 < r < \frac{1}{5}$ である。以下の問いに答えよ。

- (1) 製品を1つ取り出したとき、部品 a, b の少なくとも一方が不良品である確率を p, q を用いて表せ。
- (2) 製品を1つ取り出したとき、部品 c が不良品である確率を p, q, r を用いて表せ。
- (3) 製品を1つ取り出したところ部品 c が不良品であった。このとき、部品 b も不良品である確率を p, q を用いて表せ。

解答例

- 1 (1) 曲線 $y = x^3 + ax^2 + bx + c$ が点 $(c, 0)$ において x 軸に接するから、曲線の方程式の x^3 の係数および定数項に注意して

$$y = (x - c)^2 \left(x + \frac{1}{c} \right) \quad \cdots (*)$$

とおける．これを展開すると

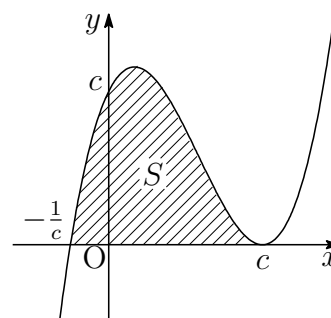
$$y = x^3 + \left(\frac{1}{c} - 2c \right) x^2 + (c^2 - 2)x + c$$

与えられた曲線の方程式と上式の同じ次数の項の係数を比較すると

$$a = \frac{1}{c} - 2c, \quad b = c^2 - 2$$

- (2) (*) により ($c > 0$)

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\frac{1}{c}}^c \left(x + \frac{1}{c} \right) (c - x)^2 dx \\ &= \frac{1}{12} \left(c + \frac{1}{c} \right)^4 \end{aligned}$$



$c > 0$, $\frac{1}{c} > 0$ であるから、相加平均・相乗平均の関係により

$$c + \frac{1}{c} \geq 2\sqrt{c \cdot \frac{1}{c}} = 2$$

上式において、等号が成立するのは

$$c = \frac{1}{c} \quad \text{すなわち} \quad c = 1$$

のときで、このとき S は最小となる．よって $c = 1$

補足 定積分の公式

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$$

が利用できる³．

³<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> [1]

- 2** (1) $2^1 = 2, 2^2 = 4, 2^3 = 8 \equiv 1 \pmod{7}$ であるから

$$2^n \text{ を } 7 \text{ で割った余りは } \begin{cases} n \equiv 0 \pmod{3} \text{ のとき } & 1 \\ n \equiv 1 \pmod{3} \text{ のとき } & 2 \\ n \equiv 2 \pmod{3} \text{ のとき } & 4 \end{cases}$$

- (2) $m = 101101101101101101_{(2)}$

これに (1) の結果を用いると、法 7 に関して

$$m = \sum_{k=0}^5 (2^2 + 1)2^{3k} \equiv \sum_{k=0}^5 5 \cdot 1 = 30 \equiv 2 \pmod{7}$$

よって、求める余りは **2** ■

- 3** (1) $L = PA^2 + PB^2 + PC^2$, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{x} = \overrightarrow{OP}$ より

$$\begin{aligned} L &= |\overrightarrow{PA}|^2 + |\overrightarrow{PB}|^2 + |\overrightarrow{PC}|^2 \\ &= |\vec{a} - \vec{x}|^2 + |\vec{b} - \vec{x}|^2 + |\vec{c} - \vec{x}|^2 \\ &= |\vec{a}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{x} + |\vec{x}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2\vec{b} \cdot \vec{x} + |\vec{x}|^2 + |\vec{c}|^2 - 2\vec{c} \cdot \vec{x} + |\vec{x}|^2 \\ &= 3|\vec{x}|^2 - 2(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \cdot \vec{x} + |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 \end{aligned}$$

- (2) $\triangle ABC$ の重心を G とし, $\vec{g} = \overrightarrow{OG}$ とおくと

$$\vec{g} = \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = 3\vec{g}$$

これを (1) に代入すると

$$\begin{aligned} L &= 3|\vec{x}|^2 - 6\vec{g} \cdot \vec{x} + |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 \\ &= 3(|\vec{x}|^2 - 2\vec{g} \cdot \vec{x} + |\vec{g}|^2) + |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 - 3|\vec{g}|^2 \\ &= 3|\vec{x} - \vec{g}|^2 + \frac{1}{3}\{3|\vec{a}|^2 + 3|\vec{b}|^2 + 3|\vec{c}|^2 - 3|\vec{g}|^2\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで} \quad & 3|\vec{a}|^2 + 3|\vec{b}|^2 + 3|\vec{c}|^2 - |\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|^2 \\ &= 2|\vec{a}|^2 + 2|\vec{b}|^2 + 2|\vec{c}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} - 2\vec{b} \cdot \vec{c} - 2\vec{c} \cdot \vec{a} \\ &= |\vec{a}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2\vec{b} \cdot \vec{c} + |\vec{c}|^2 + |\vec{c}|^2 - 2\vec{c} \cdot \vec{a} + |\vec{a}|^2 \\ &= |\vec{b} - \vec{a}|^2 + |\vec{c} - \vec{b}|^2 + |\vec{a} - \vec{c}|^2 = (AB^2 + BC^2 + CA^2) \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad L = 3|\vec{x} - \vec{g}|^2 + \frac{1}{3}(AB^2 + BC^2 + CA^2)$$

よって, $\vec{x} = \vec{g}$, すなわち, P が $\triangle ABC$ の重心であるとき,

L は最小値 $\frac{1}{3}(AB^2 + BC^2 + CA^2)$ をとる. ■

4 a, b, c がそれぞれ不良品である事象をそれぞれ A, B, C とすると

$$P(A) = p, P_{\bar{A}}(B) = q, P_A(B) = 3q, P_{\bar{B}}(C) = r, P_B(C) = 5r$$

$$(1) P_{\bar{A}}(B) = \frac{P(\bar{A} \cap B)}{P(\bar{A})} = \frac{P(\bar{A} \cap B)}{1 - P(A)}, P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \text{ より}$$

$$P(\bar{A} \cap B) = \{1 - P(A)\}P_{\bar{A}}(B) = (1 - p)q$$

$$P(A \cap B) = P(A)P_A(B) = p \cdot 3q = 3pq$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに } P(B) &= P(A \cap B) + P(\bar{A} \cap B) \\ &= 3pq + (1 - p)q = (1 + 2p)q \end{aligned}$$

よって、求める確率は

$$\begin{aligned} P(A \cup B) &= P(A) + P(B) - P(A \cap B) \\ &= p + (1 + 2p)q - 3pq = \mathbf{p + q - pq} \end{aligned}$$

$$(2) P_{\bar{B}}(C) = \frac{P(\bar{B} \cap C)}{P(\bar{B})} = \frac{P(\bar{B} \cap C)}{1 - P(B)}, P_B(C) = \frac{P(B \cap C)}{P(B)} \text{ より}$$

$$P(\bar{B} \cap C) = \{1 - P(B)\}P_{\bar{B}}(C) = \{1 - (1 + 2p)q\}r$$

$$P(B \cap C) = P(B)P_B(C) = (1 + 2p)q \cdot 5r = 5(1 + 2p)qr$$

よって、求める確率は

$$\begin{aligned} P(C) &= P(\bar{B} \cap C) + P(B \cap C) \\ &= \{1 - (1 + 2p)q\}r + 5(1 + 2p)qr \\ &= \{1 + 4(1 + 2p)q\}r = \mathbf{(1 + 4q + 8pq)r} \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から、求める確率は

$$P_C(B) = \frac{P(B \cap C)}{P(C)} = \frac{5(1 + 2p)qr}{(1 + 4q + 8pq)r} = \frac{\mathbf{5(1 + 2p)q}}{\mathbf{1 + 4q + 8pq}}$$

■

1.5 2019年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 表に3, 裏に8が書かれた硬貨がある。この硬貨を10回投げるとき, 出た数字10個の積が8桁になる確率を求めよ。ただし, $\log_{10} 2 = 0.3010$, $\log_{10} 3 = 0.4771$ とする。

2 k を実数とする。3次関数 $y = x^3 - kx^2 + kx + 1$ が極大値と極小値をもち, 極大値から極小値を引いた値が $4|k|^3$ になるとする。このとき, k の値を求めよ。

3 座標空間内の3点 $A(1, 2, 3)$, $B(3, 2, 3)$, $C(4, 5, 6)$ を通る平面を α とし, 平面 α 上にない点 $P(6, p, q)$ を考える。以下の問いに答えよ。

(1) 点 P から平面 α に下ろした垂線と α との交点を H とする。線分 PH の長さを p, q を用いて表せ。

(2) 点 P が $(p-9)^2 + (q-7)^2 = 1$ を満たしながら動くとき, 四面体 $ABCP$ の体積の最大値と最小値を求めよ。

4 0でない2つの整式 $f(x), g(x)$ が以下の恒等式を満たすとする。

$$\begin{aligned} f(x^2) &= (x^2 + 2)g(x) + 7 \\ g(x^3) &= x^4 f(x) - 3x^2 g(x) - 6x^2 - 2 \end{aligned}$$

以下の問いに答えよ。

(1) $f(x)$ の次数と $g(x)$ の次数はともに2以下であることを示せ。

(2) $f(x)$ と $g(x)$ を求めよ。

解答例

- 1 硬貨を 10 回投げて、裏が出た回数を n とすると、出た数字 10 個の積は

$$8^n \cdot 3^{10-n}$$

これが 8 桁の数であるから $10^7 \leq 8^n \cdot 3^{10-n} < 10^8$

辺々の常用対数をとると $7 \leq n \log_{10} 8 + (10-n) \log_{10} 3 < 8$

$\log_{10} 8 = 3 \log_{10} 2 = 3 \times 0.3010 = 0.9030$, $\log_{10} 3 = 0.4771$ より

$$7 \leq 0.9030n + 0.4771(10-n) < 8$$

整理すると $22290 \leq 4259n < 32290$ ゆえに $5 + \frac{995}{4259} \leq n < 7 + \frac{2477}{4259}$

n は整数 ($0 \leq n \leq 10$) であるから $n = 6, 7$

よって、求める確率は

$${}_{10}C_6 \left(\frac{1}{2}\right)^{10} + {}_{10}C_7 \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = (210 + 120) \times \frac{1}{1024} = \frac{165}{512}$$

■

- 2 $f(x) = x^3 - kx^2 + kx + 1$ とおくと $f'(x) = 3x^2 - 2kx + k$

$f(x)$ は極大値と極小値をもつから、 $f'(x) = 0$ の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$)

$$\beta - \alpha = \frac{k + \sqrt{k^2 - 3k}}{3} - \frac{k - \sqrt{k^2 - 3k}}{3} = \frac{2}{3} \sqrt{k(k-3)} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$f'(x) = 3(x - \alpha)(x - \beta)$$

極大値、極小値は、それぞれ $f(\alpha), f(\beta)$ であるから

$$\begin{aligned} f(\alpha) - f(\beta) &= \int_{\beta}^{\alpha} f'(x) dx = 3 \int_{\beta}^{\alpha} (x - \alpha)(x - \beta) dx \\ &= -3 \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx = \frac{1}{2}(\beta - \alpha)^3 \end{aligned}$$

条件により、 $f(\alpha) - f(\beta) = 4|k|^3$ であるから

$$\frac{1}{2}(\beta - \alpha)^3 = 4|k|^3 \quad \text{ゆえに} \quad \beta - \alpha = 2|k| \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② より $2|k| = \frac{2}{3} \sqrt{k(k-3)}$ ゆえに $k(8k+3) = 0$

$k(k-3) > 0$ に注意して、これを解くと $k = -\frac{3}{8}$

■

- 3** (1) $A(1, 2, 3)$, $B(3, 2, 3)$, $C(4, 5, 6)$, $P(6, p, q)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (2, 0, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (3, 3, 3), \quad \overrightarrow{AP} = (5, p-2, q-3)$$

$\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ の両方に垂直なベクトル, すなわち,
 α の法線ベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = (0, 1, -1)$$

とおき, $\overrightarrow{AP}$ と $\vec{n}$ のなす角を θ とすると

$$PH = |\overrightarrow{AP}| |\cos \theta|, \quad \cos \theta = \frac{\overrightarrow{AP} \cdot \vec{n}}{|\overrightarrow{AP}| |\vec{n}|}$$

$$\text{よって } PH = \frac{|\overrightarrow{AP} \cdot \vec{n}|}{|\vec{n}|} = \frac{|0 \cdot 5 + 1 \cdot (p-2) - 1 \cdot (q-3)|}{\sqrt{0^2 + 1^2 + (-1)^2}} = \frac{|p - q + 1|}{\sqrt{2}}$$

- (2) $|\overrightarrow{AB}| = 2$, $|\overrightarrow{AC}| = \sqrt{3^2 + 3^2 + 3^2} = 3\sqrt{3}$, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 6$
 $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ の張る平行四辺形の面積を S とすると

$$S = \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} = \sqrt{2^2 (3\sqrt{3})^2 - 6^2} = 6\sqrt{2}$$

四面体 ABCP の体積を V とすると ⁴

$$V = \frac{1}{6} S \cdot PH = \frac{1}{6} \cdot 6\sqrt{2} \cdot \frac{|p - q + 1|}{\sqrt{2}} = |p - q + 1|$$

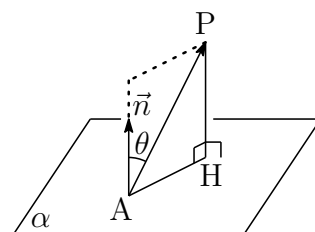
$(p-9)^2 + (q-7)^2 = 1$ より, $p-9 = \cos \theta$, $q-7 = \sin \theta$ とおくと

$$p = \cos \theta + 9, \quad q = \sin \theta + 7$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } V &= |p - q + 1| = |(\cos \theta + 9) - (\sin \theta + 7) + 1| \\ &= |3 - (\sin \theta - \cos \theta)| = 3 - \sqrt{2} \sin(\theta - 45^\circ) \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } 3 - \sqrt{2} \leq V \leq 3 + \sqrt{2}$$

$$\text{よって 最大値 } 3 + \sqrt{2}, \text{ 最小値 } 3 - \sqrt{2}$$



⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/N/Hdai/Hdai_bun_2016.pdf **3** の解説を参照.

- 4 (1) 2つの整式 $f(x)$, $g(x)$ が満たす恒等式

$$(*) \begin{cases} f(x^2) = (x^2 + 2)g(x) + 7 \\ g(x^3) = x^4 f(x) - 3x^2 g(x) - 6x^2 - 2 \end{cases}$$

により, $f(x)$, $g(x)$ の次数をそれぞれ m , n とすると

$$\begin{cases} 2m = 2 + n & \cdots \textcircled{1} \\ 3n = \max(4 + m, 2 + n) & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

(i) $4 + m \geq 2 + n$ のとき, $\textcircled{2}$ より $3n = 4 + m$ ゆえに $m = 3n - 4$
これと $\textcircled{1}$ を条件に注意して解くと $m = n = 2$

(ii) $4 + m < 2 + n$ のとき, $\textcircled{2}$ より $3n = 2 + n$ ゆえに $n = 1$
これを $\textcircled{1}$ に代入すると, $m = \frac{3}{2}$ となり, 不適.

$f(x)$ と $g(x)$ の次数はともに 2 であるから, 題意は成立する.

- (2) $(*)$ の第 1 式において, x を $-x$ に置き換えることにより

$$f(x^2) = (x^2 + 2)g(-x) + 7$$

これと $(*)$ の第 1 式により $g(-x) = g(x) \cdots \textcircled{3}$

また, $(*)$ の第 2 式の x を $-x$ に置き換えると

$$g(-x^3) = x^4 f(-x) - 3x^2 g(-x) - 6x^2 - 2$$

$\textcircled{3}$ より, $g(x)$ は偶関数であるから

$$g(x^3) = x^4 f(-x) - 3x^2 g(x) - 6x^2 - 2$$

これと $(*)$ の第 2 式より $f(-x) = f(x)$

また, $(*)$ に $x = 0$ を代入すると

$$f(0) = 2g(0) + 7, \quad g(0) = -2 \quad \text{ゆえに} \quad f(0) = 3$$

以上の結果から, $f(x) = ax^2 + 3$, $g(x) = px^2 - 2$ とおくと, $(*)$ は

$$\begin{cases} ax^4 + 3 = (x^2 + 2)(px^2 - 2) + 7 \\ px^6 - 2 = x^4(ax^2 + 3) - 3x^2(px^2 - 2) - 6x^2 - 2 \end{cases}$$

整理すると
$$\begin{cases} ax^4 = px^4 + 2(p-1)x^2 \\ px^6 = ax^6 - 3(p-1)x^4 \end{cases}$$

上の 2 式の両辺の同じ次数の項の係数を比較すると

$$a = p, \quad p - 1 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad a = p = 1$$

よって $f(x) = x^2 + 3$, $g(x) = x^2 - 2$ ■

1.6 2020年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 $a \geq 0$ とする。2つの放物線 $C_1: y = x^2$, $C_2: y = 3(x - a)^2 + a^3 - 40$ を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) C_1 と C_2 が異なる2点で交わるような定数 a の値の範囲を求めよ。
- (2) a が(1)で求めた範囲を動くとき、 C_1 と C_2 で囲まれた図形の面積 S の最大値を求めよ。

2 座標空間内の4点 $O(0, 0, 0)$, $A(1, 1, 0)$, $B(1, 0, p)$, $C(q, r, s)$ を頂点とする四面体が正四面体であるとする。ただし、 $p > 0$, $s > 0$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) p, q, r, s の値を求めよ。
- (2) z 軸に垂直な平面で正四面体 $OABC$ を切ったときの断面積の最大値を求めよ。

3 a, b, c を整数とし、 i を虚数単位とする。整式 $f(x) = x^3 + ax^2 + bx + c$ が $f\left(\frac{1 + \sqrt{3}i}{2}\right) = 0$ をみたすとき、以下の問いに答えよ。

- (1) a, b を c を用いて表せ。
- (2) $f(1)$ を7で割ると4余り、 $f(-1)$ を11で割ると2余るとする。 c の絶対値が40以下であるとき、方程式 $f(x) = 0$ の解をすべて求めよ。

4 4個のサイコロを同時に投げるとき、出る目すべての積を X とする。以下の問いに答えよ。

- (1) X が25の倍数になる確率を求めよ。
- (2) X が4の倍数になる確率を求めよ。
- (3) X が100の倍数になる確率を求めよ。

解答例

- 1 (1) $f(x) = x^2$, $g(x) = 3(x-a)^2 + a^3 - 40$ とおくと

$$\begin{aligned} f(x) - g(x) &= x^2 - \{3(x-a)^2 + a^3 - 40\} \\ &= -(2x^2 - 6ax + a^3 + 3a^2 - 40) \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

2 次方程式

$$2x^2 - 6ax + a^3 + 3a^2 - 40 = 0 \quad \cdots (**)$$

の判別式を D とすると

$$\begin{aligned} D/4 &= (-3a)^2 - 2(a^3 + 3a^2 - 40) \\ &= -2a^3 + 3a^2 + 80 = (4-a)(2a^2 + 5a + 20) \\ &= (4-a) \left\{ 2 \left(a + \frac{5}{4} \right)^2 + \frac{135}{8} \right\} \end{aligned}$$

方程式 $(**)$ が異なる 2 つの実数解をもつから, $D > 0$ より

$a \geq 0$ に注意して, $4-a > 0$ を解くと $0 \leq a < 4$

- (2) 2 次方程式 $(**)$ の解を α , β とおくと ($\alpha < \beta$)

$$\begin{aligned} \beta - \alpha &= \frac{3a + \sqrt{D/4}}{2} - \frac{3a - \sqrt{D/4}}{2} = \sqrt{D/4} \\ f(x) - g(x) &= -2(x-\alpha)(x-\beta) \end{aligned}$$

$\alpha \leq x \leq \beta$ において, $f(x) - g(x) \geq 0$ であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} \{f(x) - g(x)\} dx = -2 \int_{\alpha}^{\beta} (x-\alpha)(x-\beta) dx \\ &= \frac{1}{3}(\beta-\alpha)^3 = \frac{1}{3}\{D/4\}^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

$$h(a) = D/4 \text{ とおくと } S = \frac{1}{3}\{h(a)\}^{\frac{3}{2}}$$

$$h(a) = -2a^3 + 3a^2 + 80 \text{ より } h'(a) = -6a^2 + 6a = -6a(a-1)$$

a	0	$\cdots$	1	$\cdots$	(4)
$h'(a)$		+	0	-	
$h(a)$		$\nearrow$	81	$\searrow$	

よって, 求める S の最大値は $\frac{1}{3}\{h(1)\}^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{3} \cdot 81^{\frac{3}{2}} = 243$



- 2 (1) 4点 $O(0, 0, 0)$, $A(1, 1, 0)$, $B(1, 0, p)$, $C(q, r, s)$ について,
 $OA = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}$, $OB = OA$ であるから

$$\sqrt{1^2 + p^2} = \sqrt{2} \quad \text{条件 } p > 0 \text{ により } p = 1$$

$OC^2 = AC^2 = BC^2 = 2$ であるから

$$(*) \begin{cases} q^2 + r^2 + s^2 = 2 \\ (q-1)^2 + (r-1)^2 + s^2 = 2 \\ (q-1)^2 + r^2 + (s-1)^2 = 2 \end{cases}$$

(*) の第2式, 第3式をそれぞれ整理すると

$$(q^2 + r^2 + s^2 - 2) - 2(q + r - 1) = 0,$$

$$(q^2 + r^2 + s^2 - 2) - 2(q + s - 1) = 0$$

(*) の第1式を上 の2式に代入することにより

$$\begin{cases} q + r - 1 = 0 \\ q + s - 1 = 0 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad (**) \begin{cases} q = 1 - s \\ r = s \end{cases}$$

(**) を (*) の第1式に代入すると

$$(1-s)^2 + s^2 + s^2 = 2 \quad \text{ゆえに} \quad (s-1)(3s+1) = 0$$

$s > 0$ に注意して $s = 1$ (**) より $q = 0, r = 1$

よって $p = 1, q = 0, r = 1, s = 1$

- (2) 2点 O, A の z 座標が0で, 2点 B, C の z 座標が1であるから, 四面体 $OABC$ の平面 $z = t$ による断面は, 線分 AB, AC, OC, OB を $t : 1 - t$ に内分する点を頂点とする四角形である. これらの頂点を順に D, E, F, G とおくと

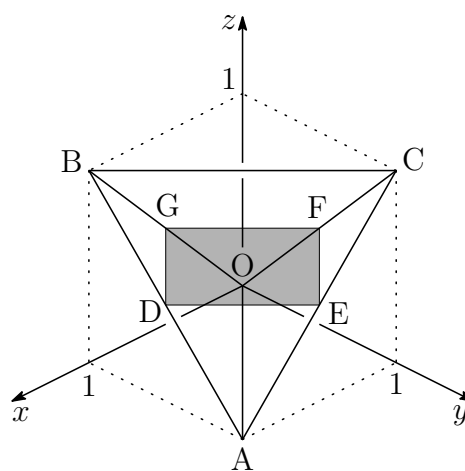
$$\overrightarrow{DE} = \overrightarrow{GF} = t\overrightarrow{BC}$$

$$\overrightarrow{GD} = \overrightarrow{FE} = (1-t)\overrightarrow{OA}$$

$\overrightarrow{BC} = (-1, 1, 0)$, $\overrightarrow{OA} = (1, 1, 0)$ より $\overrightarrow{BC} \perp \overrightarrow{OA}$, この断面積を S とすると

$$S = t(1-t)|\overrightarrow{BC}||\overrightarrow{OA}| = 2t(1-t) = -2\left(t - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}$$

$0 \leq t \leq 1$ より, 断面積は, $t = \frac{1}{2}$ のとき, 最大値 $\frac{1}{2}$ をとる. ■



- 3** (1) $w = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2}$ が実数を係数とする整式 $f(x) = 0$ の解であるから,
 $f(x)$ は, $(x - w)(x - \bar{w})$, すなわち, $x^2 - x + 1$ を因数にもつ.

$$\begin{aligned} f(x) &= x^3 + ax^2 + bx + c \\ &= (x^2 - x + 1)(x + a + 1) \\ &\quad + (a + b)x - a + c - 1 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad a + b = 0, \quad -a + c - 1 = 0$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{a = c - 1, \quad b = 1 - c}$$

$$(2) (1) \text{の結果から} \quad f(x) = x^3 + (c - 1)x^2 + (1 - c)x + c$$

$$\text{ゆえに} \quad f(1) = c + 1, \quad f(-1) = 3c - 3$$

$f(1)$ を 7 で割ると 4 余るから

$$c + 1 \equiv 4 \quad \text{ゆえに} \quad c \equiv 3 \pmod{7}$$

$$\text{したがって, 整数 } k \text{ を用いて} \quad c = 7k + 3 \cdots \textcircled{1}$$

$f(-1)$ を 11 で割ると 2 余るから

$$3c - 3 \equiv 2 \quad \text{ゆえに} \quad 4 \cdot 3c = 4 \cdot 5 \quad \text{すなわち} \quad c \equiv 9 \pmod{11}$$

① を上式に代入すると

$$7k + 3 \equiv 9 \quad \text{ゆえに} \quad 3 \cdot 7k \equiv 3 \cdot 6 \quad \text{すなわち} \quad k \equiv 4 \pmod{11}$$

$$\text{したがって, 整数 } \ell \text{ を用いて} \quad k = 11\ell + 4$$

$$\text{これを } \textcircled{1} \text{ に代入すると} \quad c = 7(11\ell + 4) + 3 = 77\ell + 31$$

c の絶対値が 40 以下であるから

$$c = 31 \quad \text{ゆえに} \quad a = 30, \quad b = -30 \quad \cdots (*)$$

(1) の結果から

$$f(x) = (x^2 - x + 1)(x + a + 1)$$

(*) をこれに代入して

$$f(x) = (x^2 - x + 1)(x + 31)$$

$$f(x) = 0 \text{ の解は} \quad x = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}, \quad -31$$



- 4 (1) X が5で割り切れない, すなわち, 4回とも5以外の目が出る確率を p_0 , X が5で割り切れるが25で割り切れない, すなわち, 4回のうち5の目が丁度1回出る確率を p_1 とすると

$$p_0 = \left(\frac{5}{6}\right)^4 = \frac{625}{1296}, \quad p_1 = {}_4C_1 \left(\frac{1}{6}\right) \left(\frac{5}{6}\right)^3 = \frac{500}{1296}$$

求める確率は, これらの余事象の確率であるから

$$1 - (p_0 + p_1) = 1 - \left(\frac{625}{1296} + \frac{500}{1296}\right) = \frac{19}{144}$$

- (2) X が2で割り切れない, すなわち, 4回とも奇数の目が出る確率を q_0 , X が2で割り切れるが4で割り切れない, すなわち, 4回のうち2または6の目が1回と奇数の目が3回出る確率を q_1 とすると

$$q_0 = \left(\frac{3}{6}\right)^4 = \frac{1}{16}, \quad q_1 = {}_4C_1 \left(\frac{2}{6}\right) \left(\frac{3}{6}\right)^3 = \frac{1}{6}$$

求める確率は, これらの余事象の確率であるから

$$1 - (q_0 + q_1) = 1 - \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{6}\right) = \frac{37}{48}$$

- (3) X が100の倍数となるは, 出る目の組合せが次の (i)~(iv) の場合である.

- (i) $\{A, A, 5, 5\}$ のとき ($A = 2, 6$)

$$\frac{4!}{2!2!} \left(\frac{2}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{24}{1296}$$

- (ii) $\{4, 5, 5, B\}$ のとき ($B = 1, 2, 3, 6$)

$$\frac{4!}{2!} \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \cdot \frac{4}{6} = \frac{48}{1296}$$

- (iii) $\{4, 4, 5, 5\}$ のとき

$$\frac{4!}{2!2!} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{6}{1296}$$

- (iv) $\{4, 5, 5, 5\}$ のとき

$$\frac{4!}{3!} \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{4}{1296}$$

- (i)~(iv) より, 求める確率は $\frac{24 + 48 + 6 + 4}{1296} = \frac{82}{1296} = \frac{41}{648}$ ■

1.7 2021 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 座標平面上の 3 点 $O(0, 0)$, $A(1, 0)$, $B(0, 2)$ を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 三角形 OAB に内接する円の中心の座標を求めよ。
- (2) 中心が第 1 象限にあり, x 軸と y 軸の両方に接し, 直線 AB と異なる 2 つの交点をもつような円を考える。この 2 つの交点を P , Q とするとき, 線分 PQ の長さの最大値を求めよ。

2 以下の問いに答えよ。

- (1) 次の条件 A をみたす座標平面上の点 (x, y) 全体の集合を図示せよ。

条件 A : すべての実数 t に対して $y \geq xt - 2t^2$ が成立する。

- (2) 次の条件 B をみたす座標平面上の点 (x, y) 全体の集合を図示せよ。

条件 B : $|t| \leq 1$ をみたすすべての実数 t に対して
 $y \geq xt - 2t^2$ が成立する。

3 a を正の実数とし, 放物線

$$C : y = -x^2 - 2ax - a^3 + 10a$$

を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 放物線 C と直線 $\ell : y = 8x + 6$ が接するような a の値を求めよ。
- (2) a が (1) で求めた値のとき, 放物線 C , 直線 ℓ , y 軸で囲まれた図形の面積を求めよ。

4 以下の問いに答えよ。

- (1) n を自然数とすると,

$$\sum_{k=1}^n k2^{k-1}$$

を求めよ。

- (2) 次のように定義される数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

$$a_1 = 2, \quad a_{n+1} = 1 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (n+1-k)a_k \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

解答例

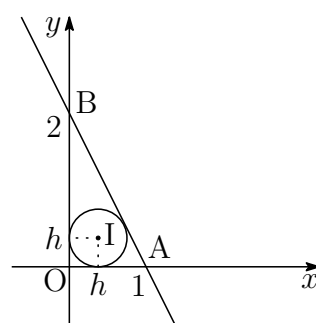
- 1 (1) $\triangle OAB$ の内心を $I(h, h)$ とし ($h > 0$), $\triangle OAB$ の周の長さを ℓ とすると

$$\ell = 1 + 2 + \sqrt{1^2 + 2^2} = 3 + \sqrt{5}$$

$$\triangle OAB = \frac{1}{2}\ell h \text{ であるから}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 = \frac{1}{2}(3 + \sqrt{5})h$$

$$\text{これを解いて } h = \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \text{ よって } I\left(\frac{3 - \sqrt{5}}{2}, \frac{3 - \sqrt{5}}{2}\right)$$

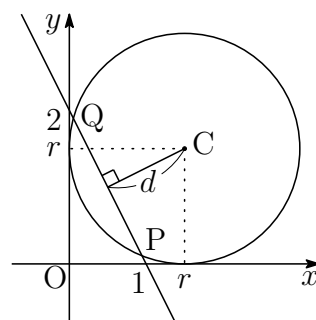


- (2) 2点 $A(1, 0)$, $B(0, 2)$ を通る直線は

$$\frac{x}{1} + \frac{y}{2} = 1 \quad \text{すなわち} \quad 2x + y - 2 = 0$$

中心が第1象限で, x 軸と y 軸の両方に接する円の半径を r , 中心を $C(r, r)$, C から直線 AB までの距離を d とすると

$$d = \frac{|2r + r - 2|}{\sqrt{2^2 + 1^2}} = \frac{|3r - 2|}{\sqrt{5}}$$



この円と直線 AB が2つの交点 P , Q をもつとき, $d < r$ であるから

$$\frac{|3r - 2|}{\sqrt{5}} < r \quad \text{整理すると} \quad r^2 - 3r + 1 < 0$$

$$\text{これを解いて} \quad \frac{3 - \sqrt{5}}{2} < r < \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \left(\frac{PQ}{2}\right)^2 &= r^2 - d^2 = r^2 - \left(\frac{|3r - 2|}{\sqrt{5}}\right)^2 \\ &= -\frac{4}{5}r^2 + \frac{12}{5}r - \frac{4}{5} \\ &= -\frac{4}{5}\left(r - \frac{3}{2}\right)^2 + 1 \end{aligned}$$

$$\textcircled{1} \text{ および上式より } \left(\frac{PQ}{2}\right)^2 \leq 1 \quad \text{ゆえに} \quad PQ \leq 2$$

よって, 線分 PQ の長さの最大値は **2**



- 2 (1) $y \geq xt - 2t^2$ より $2t^2 - xt + y \geq 0$

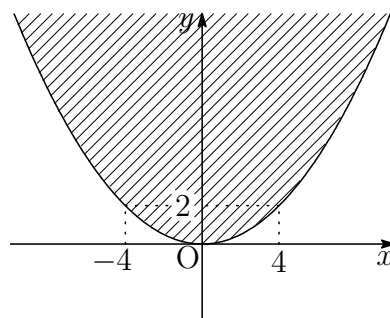
$f(t) = 2t^2 - xt + y$ とおくと

$$(*) \quad f(t) = 2\left(t - \frac{x}{4}\right)^2 - \frac{x^2}{8} + y$$

すべての実数 t に対して, $f(t) \geq 0$ より

$$-\frac{x^2}{8} + y \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad y \geq \frac{x^2}{8}$$

よって, 求める領域は右上の図の斜線部分で境界線を含む.



- (2) (1) と同様に, $|t| \leq 1$ に対して $f(t) \geq 0$

(*) より, 次をみたせばよい.

- (i) $\frac{x}{4} < -1$, すなわち, $x < -4$ のとき $f(-1) \geq 0$

$$f(-1) = 2 + x + y \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad y \geq -x - 2$$

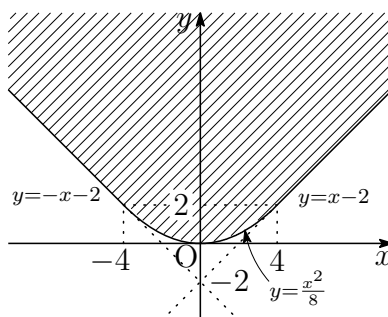
- (ii) $-1 \leq \frac{x}{4} \leq 1$ のとき $f\left(\frac{x}{4}\right) \geq 0$

$$f\left(\frac{x}{4}\right) = -\frac{x^2}{8} + y \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad y \geq \frac{x^2}{8}$$

- (iii) $1 < \frac{x}{4}$, すなわち, $4 < x$ のとき $f(1) \geq 0$

$$f(1) = 2 - x + y \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad y \geq x - 2$$

(i)~(iii) より, 求める領域は, 下の図の斜線部分で境界線を含む.



- 3** (1) 放物線 $C: y = -x^2 - 2ax - a^3 + 10a$ と直線 $\ell: y = 8x + 6$ の方程式から y を消去して整理すると

$$x^2 + 2(a+4)x + a^3 - 10a + 6 = 0 \quad (*)$$

C と ℓ が接するから、上の2次方程式の係数について

$$\begin{aligned} D/4 &= (a+4)^2 - (a^3 - 10a + 6) \\ &= -a^3 + a^2 + 18a + 10 \\ &= -(a-5)(a^2 + 4a + 2) = 0 \end{aligned}$$

$a > 0$ より、 $a^2 + 4a + 2 > 0$ に注意して **$a = 5$**

- (2) $a = 5$ のとき、2次方程式 $(*)$ は

$$x^2 + 18x + 81 = 0 \quad \text{すなわち} \quad (x+9)^2 = 0$$

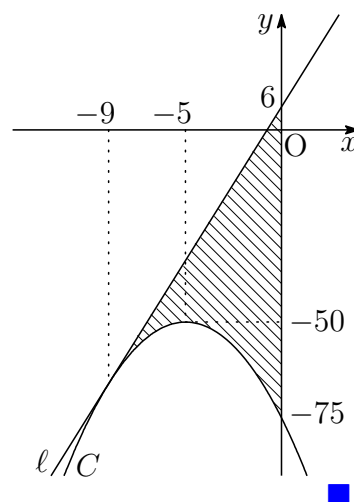
したがって、 C と ℓ の接点の x 座標は

$$x = -9$$

$$(8x+6) - (-x^2 - 2ax - a^3 + 10a) = (x+9)^2$$

であるから、求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-9}^0 (x+9)^2 dx \\ &= \frac{1}{3} \left[(x+9)^3 \right]_{-9}^0 = \mathbf{243} \end{aligned}$$



4 (1) $x_n = \sum_{k=1}^n k2^{k-1}$ とおくと, $x_n = \sum_{k=2}^{n+1} (k-1)2^{k-2}$ より

$$\begin{aligned} 2x_n &= \sum_{k=2}^{n+1} (k-1)2^{k-1} = \sum_{k=1}^{n+1} (k-1)2^{k-1} \\ &= \sum_{k=1}^n (k-1)2^{k-1} + n2^n \\ &= \sum_{k=1}^n k2^{k-1} - \sum_{k=1}^n 2^{k-1} + n2^n \\ &= x_n - \frac{2^n - 1}{2 - 1} + n2^n \end{aligned}$$

よって $x_n = (n-1)2^n + 1$

(2) $a_1 = 2, \quad a_{n+1} = 1 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (n+1-k)a_k \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$

$$a_2 = 1 + \frac{1}{2}a_1 = 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 = 2$$

$$\begin{aligned} a_{n+2} - a_{n+1} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n+1} (n+2-k)a_k - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (n+1-k)a_k \\ &= \frac{1}{2}a_{n+1} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n a_k \end{aligned}$$

整理すると $2a_{n+2} - 3a_{n+1} = \sum_{k=1}^n a_k$

$S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とすると $S_1 = a_1 = 2, \quad S_2 = a_1 + a_2 = 4$

$$2(S_{n+2} - S_{n+1}) - 3(S_{n+1} - S_n) = S_n$$

$$S_{n+2} - 2S_{n+1} = \frac{1}{2}(S_{n+1} - 2S_n)$$

$S_2 - 2S_1 = 4 - 2 \cdot 2 = 0$ より

$$S_{n+1} - 2S_n = 0 \quad \text{ゆえに} \quad S_n = S_1 2^{n-1} = 2^n$$

したがって

$$a_n = \begin{cases} S_1 & (n=1) \\ S_n - S_{n-1} & (n \geq 2) \end{cases} \quad \text{よって} \quad a_n = \begin{cases} 2 & (n=1) \\ 2^{n-1} & (n \geq 2) \end{cases}$$

補足 $S_1 = 2, S_2 = 4, 2S_{n+2} - 5S_{n+1} + 2S_n = 0$

漸化式の特性方程式は

$$2x^2 - 5x + 2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = 2, \frac{1}{2}$$

したがって, $\{S_n\}$ は定数 p, q を用いて

$$S_n = p2^n + q \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

とおける. このとき

$$2p + \frac{q}{2} = 2, \quad 4p + \frac{q}{4} = 4 \quad \text{これを解いて} \quad p = 1, q = 0$$

したがって $S_n = 2^n$ (以下同様)

別解 $a_1 = 2, \quad a_{n+1} = 1 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (n+1-k)a_k \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$

$$a_2 = 1 + \frac{1}{2}a_1 = 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 = 2$$

$$a_3 = 1 + \frac{1}{2}(2a_1 + a_2) = 1 + \frac{1}{2}(2 \cdot 2 + 2) = 4$$

$$a_4 = 1 + \frac{1}{2}(3a_1 + 2a_2 + a_3) = 1 + \frac{1}{2}(3 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 4) = 8$$

これから, $\{a_n\}$ を次のように推測する.

$$n \geq 2 \text{ のとき } a_n = 2^{n-1} \quad \dots (*)$$

[1] $n = 2$ のとき, $(*)$ は成立する.

[2] $2 \leq n \leq j$ のとき, $(*)$ が成立すると仮定すると

$$\begin{aligned} a_{j+1} &= 1 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^j (j+1-k)a_k \\ &= 1 + \frac{1}{2}(j+1) \sum_{k=1}^j a_k - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^j ka_k \end{aligned}$$

$$a_1 = 2 \text{ より, } \sum_{k=1}^j a_k = 2^j, \quad \sum_{k=1}^j ka_k = (j-1)2^j + 2 \text{ であるから}$$

$$a_{j+1} = 1 + \frac{1}{2}(j+1)2^j - \frac{1}{2}\{(j-1)2^j + 2\} = 2^j$$

よって, $2 \leq n \leq j+1$ のときも, $(*)$ が成立する.

[1], [2] より, $(*)$ が成立する. よって, $a_1 = 2, a_n = 2^{n-1} (n \geq 2)$



1.8 2022 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 a を $-3 < a < 13$ をみたす実数とし、次の曲線 C と直線 ℓ が接しているとする。

$$C: y = |x^2 + (3-a)x - 3a|, \quad \ell: y = -x + 13$$

以下の問いに答えよ。

- (1) a の値を求めよ。
- (2) 曲線 C と直線 ℓ で囲まれた 2 つの図形のうち、点 $(a, 0)$ が境界線上にある図形の面積を求めよ。

- 2 座標空間内の 4 点

$$O(0, 0, 0), A(1, 1, 0), B(2, 1, 2), P(4, 0, -1)$$

を考える。3 点 O, A, B を通る平面を α とし、 $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$ とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) ベクトル $\vec{a}, \vec{b}$ の両方に垂直であり、 x 成分が正であるような、大きさが 1 のベクトル $\vec{n}$ を求めよ。
- (2) 点 P から平面 α に垂線を下ろし、その交点を Q とおく。線分 PQ の長さを求めよ。
- (3) 平面 α に関して点 P と対称な点 P' の座標を求めよ。

- 3 k を実数とし、整式 $f(x)$ を

$$f(x) = x^4 + 6x^3 - kx^2 + 2kx - 64$$

で定める。方程式 $f(x) = 0$ が虚数解をもつとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ は $x - 2$ で割り切れることを示せ。
- (2) 方程式 $f(x) = 0$ は負の実数解をもつことを示せ。
- (3) 方程式 $f(x) = 0$ のすべての実数解が整数であり、すべての虚数解の実部と虚部がともに整数であるとする。このような k をすべて求めよ。

4 定積分について述べた次の文章を読んで、後の問いに答えよ。

$f(x)$ を整式とする。 $F'(x) = f(x)$ となる関数 $F(x)$ を1つ選び、 $f(x)$ の a から b までの定積分を

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad \dots \textcircled{1}$$

で定義する。定積分の値は $F(x)$ の選び方によらずに定まる。定積分は次の性質 (A), (B), (C) をもつ。

$$(A) \int_a^b \{kf(x) + lg(x)\} dx = k \int_a^b f(x) dx + l \int_a^b g(x) dx$$

$$(B) a \leq c \leq b \text{ のとき, } \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx = \int_a^b f(x) dx$$

(C) 区間 $a \leq x \leq b$ において $g(x) \geq h(x)$ ならば,

$$\int_a^b g(x) dx \geq \int_a^b h(x) dx$$

ただし、 $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$ は整式、 k , l は定数である。

以下、 $f(x)$ が区間 $0 \leq x \leq 1$ 上で増加関数になる場合を考える。 n を自然数とする。定積分の性質 ア を用い、定数関数に対する定積分の計算を行うと、

$$\frac{1}{n} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} f\left(\frac{i}{n}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \textcircled{2}$$

が成り立つことがわかる。 $S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right)$ とおくと、不等式 $\textcircled{2}$ と定積分の性質 イ より次の不等式が成り立つ。

$$0 \leq \int_0^1 f(x) dx - S_n \leq \frac{f(1) - f(0)}{n} \quad \dots \textcircled{3}$$

よって、 n を限りなく大きくすると、 S_n は $\int_0^1 f(x) dx$ に限りなく近づく。

- (1) 関数 $F(x)$, $G(x)$ が微分可能であるとき,

$$\{F(x) + G(x)\}' = F'(x) + G'(x)$$

が成り立つことと定積分の定義 ① を用いて, 性質 (A) で $k = l = 1$ とした場合の等式

$$\int_a^b \{f(x) + g(x)\} dx = \int_a^b f(x) dx + \int_a^b g(x) dx$$

を示せ。

- (2) 定積分の定義 ① と, 関数の増減と導関数の関係を用いて, 次を示せ。

$a < b$ のとき, 区間 $a \leq x \leq b$ において $g(x) > 0$ ならば, $\int_a^b g(x) dx > 0$

- (3) (A), (B), (C) のうち, 空欄 に入る記号として最もふさわしいものを 1 つ選び答えよ。また文章中の下線部の内容を詳しく説明することで, 不等式 ② を示せ。
- (4) (A), (B), (C) のうち, 空欄 に入る記号として最もふさわしいものを 1 つ選び答えよ。また, 不等式 ③ を示せ。

解答例

- 1 (1) 曲線 $C: y = |x^2 + (3-a)x - 3a| = |(x+3)(x-a)|$ ($-3 < a < 13$) および直線 $\ell: y = -x + 13$ が接するとき, C と ℓ の x 軸との交点の x 座標に注目すると, C と ℓ の接点の x 座標は区間 $-3 < a < 13$ にあるから

$$-\{x^2 + (3-a)x - 3a\} = -x + 13$$

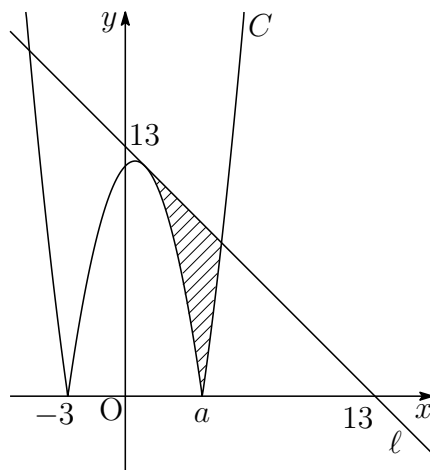
$$\text{したがって } x^2 + (2-a)x + 13 - 3a = 0 \quad \cdots (*)$$

このとき, 係数について

$$D = (2-a)^2 - 4 \cdot 1(13-3a) = 0, \quad -3 < -\frac{2-a}{2} < a$$

$$\text{それぞれ整理すると } (a+12)(a-4) = 0, \quad -2 < a$$

$-3 < a < 13$ に注意して, これを解くと $a = 4$



- (2) 接点の x 座標は, (1) の結果から $-\frac{2-a}{2} = -\frac{2-4}{2} = 1$
 $x > 4$ における C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x^2 - x - 12 = -x + 13 \quad x \text{ の範囲に注意して解くと } x = 5$$

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_1^5 \{(-x+13) - |(x+3)(x-4)|\} dx \\ &= \int_1^4 (x-1)^2 dx + \int_4^5 (-x^2 + 25) dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x-1)^3 \right]_1^4 + \left[-\frac{1}{3}x^3 + 25x \right]_4^5 = \frac{41}{3} \end{aligned}$$

■

- 2 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA} = (1, 1, 0)$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB} = (2, 1, 2)$
 $\vec{n} = (x, y, z)$ とおくと, $\vec{a} \cdot \vec{n} = 0$, $\vec{b} \cdot \vec{n} = 0$ であるから

$$x + y = 0, \quad 2x + y + 2z = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y = -x, \quad z = -\frac{1}{2}x$$

$$\vec{n} = \left(x, -x, -\frac{1}{2}x\right), \quad |\vec{n}|^2 = 1 \text{ であるから}$$

$$x^2 + x^2 + \frac{1}{4}x^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 9x^2 = 4$$

$$x > 0 \text{ に注意して } x = \frac{2}{3} \quad \text{よって} \quad \vec{n} = \left(\frac{2}{3}, -\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}\right)$$

- (2) $\overrightarrow{ON} = \vec{n}$ とし, P から直線 ON に引いた垂線の交点を T とすると

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OQ} + \overrightarrow{OT}, \quad \overrightarrow{OT} = (\overrightarrow{OP} \cdot \vec{n}) \vec{n} \quad (*)$$

$$\overrightarrow{OP} = (4, 0, -1) \text{ より, } \overrightarrow{OP} \cdot \vec{n} = 3 \text{ であるから}$$

$$\overrightarrow{OT} = (2, -2, -1), \quad |\overrightarrow{OT}| = 3 \quad (**)$$

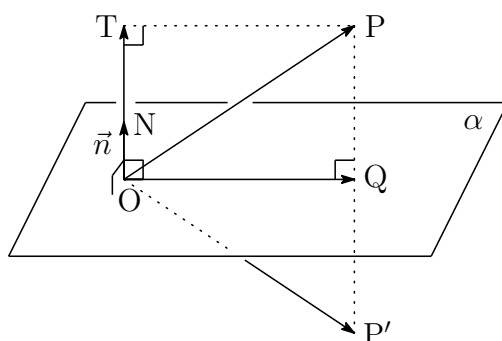
$$PQ = |\overrightarrow{OT}| \text{ であるから } \mathbf{PQ} = 3$$

- (3) (*) の第 1 式と (**) の第 1 式により,

$$(4, 0, -1) = \overrightarrow{OQ} + (2, -2, -1) \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OQ} = (2, 2, 0)$$

したがって

$$\overrightarrow{OP'} = \overrightarrow{OQ} + \overrightarrow{QP'} = \overrightarrow{OQ} + (-\overrightarrow{OT}) = (0, 4, 1) \quad \text{よって} \quad \mathbf{P'(0, 4, 1)}$$



- 3** (1) $f(x) = x^4 + 6x^3 - kx^2 + 2kx - 64$ について

$$f(2) = 2^4 + 6 \cdot 2^3 - k \cdot 2^2 + 2k \cdot 2 - 64 = 0$$

因数定理により, $f(x)$ は $x - 2$ を因数にもつ, すなわち, $f(x)$ は $x - 2$ で割り切れる.

- (2) (1) の結果から

$$f(x) = (x - 2)\{x^3 + 8x^2 + (16 - k)x + 32\}$$

条件から, 3 次方程式 $x^3 + 8x^2 + (16 - k)x + 32 = 0$ の解を $\alpha, \bar{\alpha}, r$ とおくと, 解と係数の関係から

$$\alpha \bar{\alpha} r = -32 \quad \text{ゆえに} \quad |\alpha|^2 r = -32$$

したがって, r は負の実数. よって, $f(x) = 0$ は負の実数解をもつ.

- (3) $\alpha = p + qi, \bar{\alpha} = p - qi$ とおく ($q > 0$). 条件から, p, q, r は整数であり, 解と係数の関係から

$$\begin{aligned} (p + qi) + (p - qi) + r &= -8, \\ (p + qi)(p - qi) + (p + qi)r + (p - qi)r &= 16 - k, \\ (p + qi)(p - qi)r &= -32 \end{aligned}$$

これらをそれぞれ整理すると

$$2p + r = -8, \quad p^2 + q^2 + 2pr = 16 - k, \quad (p^2 + q^2)r = -32 \quad (*)$$

(*) の第 1 式から, $r = -2p - 8 \cdots \textcircled{1}$. これを (*) の第 3 式に代入すると

$$(p^2 + q^2)(p + 4) = 16$$

上式において $p + 4 \geq 1$ ($p + 4$ は 16 の約数), $p^2 < p^2 + q^2 \leq 16$ より

$$p = -3, -2, 0$$

$p = -3$ のとき, $9 + q^2 = 16$ より, $q^2 = 7$ となり, 不適

$p = -2$ のとき, $(4 + q^2) \cdot 2 = 16$ より, $q = 2$

$p = 0$ のとき, $4q^2 = 16$ より, $q = 2$

① より $(p, q, r) = (-2, 2, -4), (0, 2, -8)$

(*) の第 2 式より, $k = 16 - (p^2 + q^2 + 2pr)$ であるから $k = -8, 12$ ■

- 4 (1) $F'(x) = f(x)$, $G'(x) = g(x)$ を満たす $F(x)$, $G(x)$ をとり,

$$H(x) = F(x) + G(x), \quad h(x) = H'(x)$$

とすると, 次式が成立する.

$$h(x) = H'(x) = \{F(x) + G(x)\}' = F'(x) + G'(x) = f(x) + g(x)$$

上式および定積分の定義 ① により

$$\begin{aligned} \int_a^b \{f(x) + g(x)\} dx &= \int_a^b h(x) dx = \left[H(x) \right]_a^b = H(b) - H(a) \\ &= F(b) + G(b) - \{F(a) + G(a)\} \\ &= F(b) - F(a) + G(b) - G(a) \\ &= \int_a^b f(x) dx + \int_a^b g(x) dx \end{aligned}$$

- (2) $G'(x) = g(x)$ を満たす $G(x)$ をとると, 定積分の定義により

$$\int_a^b g(x) dx = G(b) - G(a)$$

区間 $a \leq x \leq b$ において $G'(x) = g(x) > 0$ より, 関数 $G(x)$ はこの区間で増加するから

$$G(a) < G(b) \quad \text{ゆえに} \quad G(b) - G(a) > 0$$

以上の結果から

$$\int_a^b g(x) dx > 0$$

(3) 答 (C)

$f(x)$ は, 区間 $\frac{i-1}{n} \leq x \leq \frac{i}{n}$ で連続な増加関数であるから ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq f(x) \leq f\left(\frac{i}{n}\right)$$

性質 (C) により

$$\int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f\left(\frac{i-1}{n}\right) dx \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f\left(\frac{i}{n}\right) dx \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

したがって

$$\frac{1}{n} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} f\left(\frac{i}{n}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

(4) 答 (B)

S_n の定義により

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i}{n}\right) &= \frac{1}{n} \sum_{i=2}^{n+1} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right) + \frac{1}{n} f(1) - \frac{1}{n} f(0) \\ &= S_n + \frac{f(1) - f(0)}{n} \end{aligned}$$

上式に注意すると, ② より

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right) &\leq \sum_{i=1}^n \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i}{n}\right) \\ S_n &\leq \int_0^1 f(x) dx \leq S_n + \frac{f(1) - f(0)}{n} \end{aligned}$$

よって $0 \leq \int_0^1 f(x) dx - S_n \leq \frac{f(1) - f(0)}{n}$



1.9 2023 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 a を $0 < a < 9$ を満たす実数とする。 xy 平面上の曲線 C と直線 ℓ を、次のように定める。

$$C: y = |(x-3)(x+3)|, \quad \ell: y = a$$

曲線 C と直線 ℓ で囲まれる図形のうち、 $y \geq a$ の領域にある部分の面積を S_1 、 $y \leq a$ の領域にある部分の面積を S_2 とする。 $S_1 = S_2$ となる a の値を求めよ。

- 2 xy 平面上の曲線 $C: y = x^3 - x$ を考える。実数 $t > 0$ に対して、曲線 C 上の点 $A(t, t^3 - t)$ における接線を ℓ とする。直線 ℓ と直線 $y = -x$ の交点を B 、三角形 OAB の外接円の中心を P とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 B の座標を t を用いて表せ。
- (2) $\theta = \angle OBA$ とする。 $\sin^2 \theta$ を t を用いて表せ。
- (3) $f(t) = \frac{OP}{OA}$ とする。 $t > 0$ のとき、 $f(t)$ を最小にする t の値と $f(t)$ の最小値を求めよ。

- 3 点 O を原点とする座標平面上の $\vec{0}$ でない 2 つのベクトル

$$\vec{m} = (a, c), \quad \vec{n} = (b, d)$$

に対して、 $D = ad - bc$ とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) $\vec{m}$ と $\vec{n}$ が平行であるための必要十分条件は $D = 0$ であることを示せ。以下、 $D \neq 0$ であるとする。
- (2) 座標平面上のベクトル $\vec{v}$, $\vec{w}$ で

$$\vec{m} \cdot \vec{v} = \vec{n} \cdot \vec{v} = 1, \quad \vec{m} \cdot \vec{w} = \vec{n} \cdot \vec{w} = 0$$

を満たすものを求めよ。

- (3) 座標平面上のベクトル $\vec{q}$ に対して

$$r\vec{m} + s\vec{n} = \vec{q}$$

を満たす実数 r と s を $\vec{q}$, $\vec{v}$, $\vec{w}$ を用いて表せ。

4 ω を $x^3 = 1$ の虚数解のうち虚部が正であるものとする。さいころを繰り返し投げて、次の規則で4つの複素数 $0, 1, \omega, \omega^2$ を並べていくことにより、複素数の列 $z_1, z_2, z_3, \dots$ を定める。

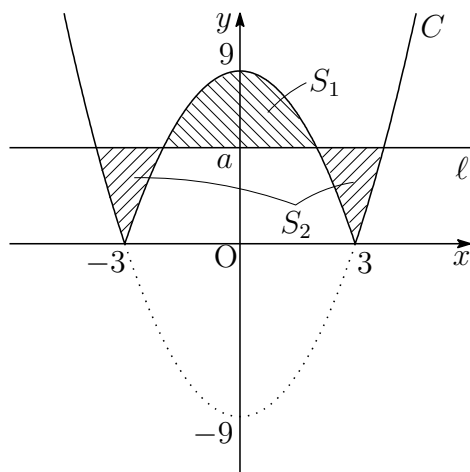
- $z_1 = 0$ とする。
- z_k まで定まったとき、さいころを投げて、出た目を t とする。このとき z_{k+1} を以下のように定める。
 - $z_k = 0$ のとき, $z_{k+1} = \omega^t$ とする。
 - $z_k \neq 0, t = 1, 2$ のとき, $z_{k+1} = 0$ とする。
 - $z_k \neq 0, t = 3$ のとき, $z_{k+1} = \omega z_k$ とする。
 - $z_k \neq 0, t = 4$ のとき, $z_{k+1} = \overline{\omega z_k}$ とする。
 - $z_k \neq 0, t = 5$ のとき, $z_{k+1} = z_k$ とする。
 - $z_k \neq 0, t = 6$ のとき, $z_{k+1} = \overline{z_k}$ とする。

ここで複素数 z に対し, $\bar{z}$ は z と共役な複素数を表す。以下の問いに答えよ。

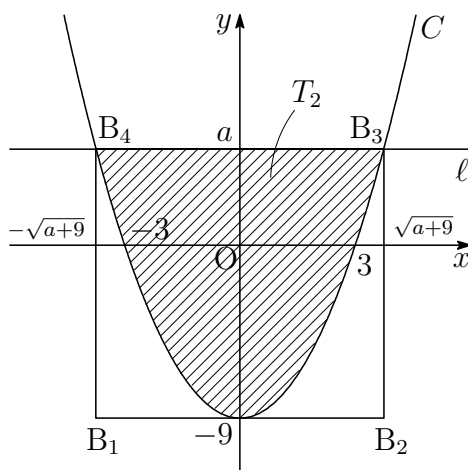
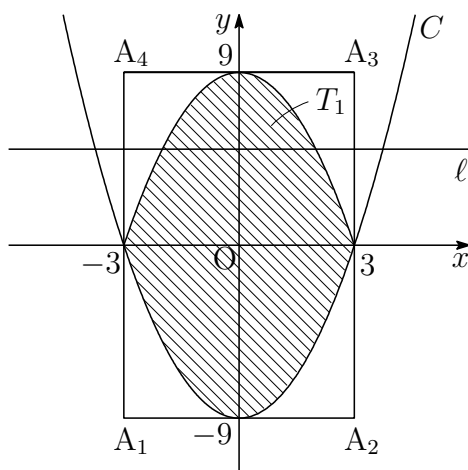
- (1) $\omega^2 = \bar{\omega}$ となることを示せ。
- (2) $z_n = 0$ となる確率を n の式で表せ。
- (3) $z_3 = 1, z_3 = \omega, z_3 = \omega^2$ となる確率をそれぞれ求めよ。
- (4) $z_n = 1$ となる確率を n の式で表せ。

解答例

1 S_1, S_2 は下の図の斜線部分の面積である.



$S_1 = S_2$ のとき, 下の2つ図の斜線部分の面積 T_1, T_2 について, $T_1 = T_2$ である.



T_1, T_2 は, それぞれ図の長方形 $A_1A_2A_3A_4, B_1B_2B_3B_4$ の面積の $\frac{2}{3}$ であるから, このとき, これら2つの長方形の面積は等しい.

$$6 \times 18 = 2\sqrt{a+9} \times (a+9) \quad \text{ゆえに} \quad (a+9)^{\frac{3}{2}} = 2 \cdot 3^3$$

$$\text{したがって} \quad a+9 = 2^{\frac{2}{3}} \cdot 3^2 \quad \text{よって} \quad a = 9(\sqrt[3]{4} - 1)$$

補足 下の fig-1 について, 2つの面積 S_1 と S_2 の面積比を考える.

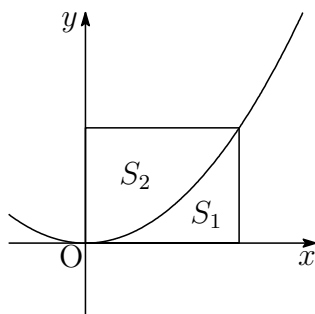


fig-1

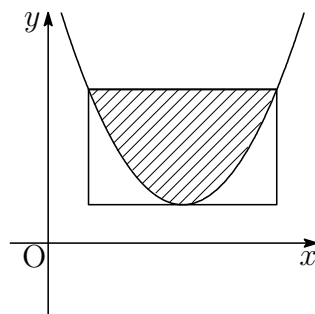


fig-2

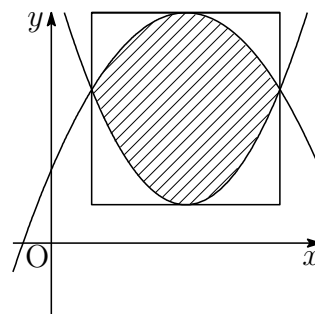


fig-3

S_1 を放物線 $y = kx^2$ と直線 $x = a$ と x 軸で囲まれた部分の面積とすると

$$S_1 = \int_0^a kx^2 dx = k \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^a = \frac{1}{3}ka^3 \quad (k, a > 0)$$

$S_1 + S_2$ は x 軸, y 軸, 直線 $x = a$, 直線 $y = ka^2$ で囲まれた部分の面積であるから

$$S_1 + S_2 = a \cdot ka^2 = ka^3 \quad \text{上の結果から} \quad S_2 = \frac{2}{3}ka^3 \quad \text{よって} \quad S_1 : S_2 = 1 : 2$$

fig-2 の放物線は fig-1 の放物線を平行移動したものとする. fig-2 の放物線の軸に関する対称性により, 斜線部の面積は長方形の面積の $2/3$ であることがわかる.

さらに, fig-2 の面積比を利用すると, fig-3 における斜線部分の面積も長方形の面積の $2/3$ であることもわかる. ■

- 2 (1) $y = x^3 - x$ より $y' = 3x^2 - 1$
 C 上の点 $A(t, t^3 - t)$ における接線 ℓ は

$$y - (t^3 - t) = (3t^2 - 1)(x - t)$$

$$\text{すなわち } y = (3t^2 - 1)x - 2t^3$$

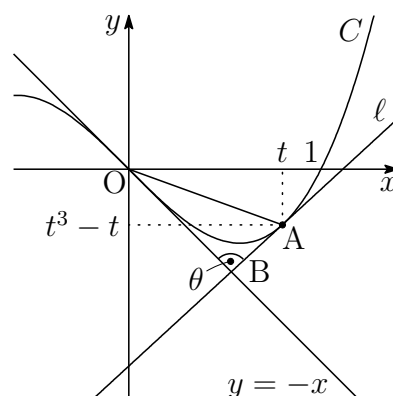
これと $y = -x$ から y を消去すると

$$(3t^2 - 1)x - 2t^3 = -x$$

$$\text{整理すると } t^2(3x - 2t) = 0$$

$$t > 0 \text{ であるから } 3x - 2t = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{2t}{3}$$

$$\text{これを } y = -x \text{ に代入して } \quad B\left(\frac{2t}{3}, -\frac{2t}{3}\right)$$



- (2) 直線 ℓ の偏角を α , 直線 $y = -x$ の偏角を β とすると

$$\tan \alpha = 3t^2 - 1, \quad \tan \beta = -1, \quad \theta = \frac{3}{4}\pi - \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad \tan \theta &= \tan(\beta - \alpha) = \frac{\tan \beta - \tan \alpha}{1 + \tan \beta \tan \alpha} \\ &= \frac{-1 - (3t^2 - 1)}{1 + (-1) \cdot (3t^2 - 1)} = \frac{3t^2}{3t^2 - 2} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\sin^2 \theta} = 1 + \left(\frac{1}{\tan \theta}\right)^2 = 1 + \left(\frac{3t^2 - 2}{3t^2}\right)^2 = \frac{18t^4 - 12t^2 + 4}{9t^4} \quad (*)$$

$$\text{したがって} \quad \sin^2 \theta = \frac{9t^4}{18t^4 - 12t^2 + 4}$$

- (3) 点 P は $\triangle OAB$ の外心であるから, 正弦定理により

$$\frac{OA}{\sin \theta} = 2OP \quad \text{ゆえに} \quad f(t) = \frac{OP}{OA} = \frac{1}{2 \sin \theta} \quad (**)$$

$$(*), (**) \text{ より, } u = \frac{2}{t^2} \text{ とおくと } (u > 0)$$

$$f(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \sqrt{18 - 6 \cdot \frac{2}{t^2} + \left(\frac{2}{t^2}\right)^2} = \frac{1}{6} \sqrt{18 - 6u + u^2} = \frac{1}{6} \sqrt{(u - 3)^2 + 9}$$

$$u = 3 \quad \text{すなわち} \quad t = \sqrt{\frac{2}{3}} \text{ のとき, 最小値 } \frac{1}{2} \text{ をとる.} \quad \blacksquare$$

3 (1) $\vec{m} = (a, c)$, $\vec{n} = (b, d)$ より $(\vec{m} \neq \vec{0}, \vec{n} \neq \vec{0})$

$$\begin{cases} d\vec{m} - c\vec{n} = (ad - bc, 0) = (D, 0) \\ -b\vec{m} + a\vec{n} = (0, ad - bc) = (0, D) \end{cases} \quad (*)$$

$$(a^2 + c^2)(b^2 + d^2) = (ab + cd)^2 + (ad - bc)^2 \text{ より}$$

$$|\vec{m}|^2 |\vec{n}|^2 = (\vec{m} \cdot \vec{n})^2 + D^2 \quad (**)$$

(i) $D = 0$ のとき, $(*)$ より

$$d\vec{m} = c\vec{n}, \quad b\vec{m} = a\vec{n} \quad \text{ゆえに} \quad \vec{m} // \vec{n}$$

(ii) $\vec{m} // \vec{n}$ のとき, $|\vec{m}|^2 |\vec{n}|^2 = (\vec{m} \cdot \vec{n})^2$ であるから, $(**)$ より

$$D = 0$$

(i), (ii) より $D = 0 \iff \vec{m} // \vec{n}$ [証終]

(2) $D \neq 0$ のとき, 基本ベクトル $\vec{e}_1 = (1, 0)$, $\vec{e}_2 = (0, 1)$ は, $(*)$ より

$$\vec{e}_1 = (1, 0) = \frac{d\vec{m} - c\vec{n}}{D}, \quad \vec{e}_2 = (0, 1) = \frac{-b\vec{m} + a\vec{n}}{D} \quad (\#)$$

と表される.

$(\#)$ の基本ベクトルと $\vec{v}$ の内積をとると

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 \cdot \vec{v} &= \frac{(d\vec{m} - c\vec{n}) \cdot \vec{v}}{D} = \frac{d\vec{m} \cdot \vec{v} - c\vec{n} \cdot \vec{v}}{D} = \frac{d}{D} \\ \vec{e}_2 \cdot \vec{v} &= \frac{(-b\vec{m} + a\vec{n}) \cdot \vec{v}}{D} = \frac{-b\vec{m} \cdot \vec{v} + a\vec{n} \cdot \vec{v}}{D} = -\frac{b}{D} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \vec{v} = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2 = \frac{1}{D} (d, -b)$$

同様に, $(\#)$ の基本ベクトルと $\vec{w}$ の内積をとると

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 \cdot \vec{w} &= \frac{(d\vec{m} - c\vec{n}) \cdot \vec{w}}{D} = \frac{d\vec{m} \cdot \vec{w} - c\vec{n} \cdot \vec{w}}{D} = -\frac{c}{D} \\ \vec{e}_2 \cdot \vec{w} &= \frac{(-b\vec{m} + a\vec{n}) \cdot \vec{w}}{D} = \frac{-b\vec{m} \cdot \vec{w} + a\vec{n} \cdot \vec{w}}{D} = \frac{a}{D} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \vec{w} = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2 = \frac{1}{D} (-c, a)$$

(3) ベクトル $\vec{v}$, $\vec{w}$ が

$$\vec{m} \cdot \vec{v} = \vec{n} \cdot \vec{w} = 1, \quad \vec{m} \cdot \vec{w} = \vec{n} \cdot \vec{v} = 0$$

を満たすことを利用して、内積 $\vec{q} \cdot \vec{v}$, $\vec{q} \cdot \vec{w}$ を求めると

$$\begin{aligned} \vec{q} \cdot \vec{v} &= (r\vec{m} + s\vec{n}) \cdot \vec{v} \\ &= r\vec{m} \cdot \vec{v} + s\vec{n} \cdot \vec{v} = r, \\ \vec{q} \cdot \vec{w} &= (r\vec{m} + s\vec{n}) \cdot \vec{w} \\ &= r\vec{m} \cdot \vec{w} + s\vec{n} \cdot \vec{w} = s \end{aligned}$$

よって $r = \vec{q} \cdot \vec{v}$, $s = \vec{q} \cdot \vec{w}$ ■

4 (1) $x^3 = 1$ より, $(x-1)(x^2+x+1) = 0$ を解くと

$$x = 1, \quad \frac{-1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

ω は方程式 $x^3 = 1$ の解で虚部が正であるから

$$\omega = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}, \quad \bar{\omega} = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$$

$\omega^3 = 1$, $\omega\bar{\omega} = 1$ であるから

$$\bar{\omega} = \frac{1}{\omega} = \frac{\omega^3}{\omega} = \omega^2$$

- (2) $z_n = 0, z_n = 1, z_n = \omega, z_n = \omega^2$ となる確率をそれぞれ p_n, q_n, r_n, s_n とおくと、初期条件から、 $p_1 = 1, q_1 = r_1 = s_1 = 0$ となる。

また、さいころの出た目による z_n から z_{n+1} の推移は次のようになる。

	$z_n = 0$	$z_n = 1$	$z_n = \omega$	$z_n = \omega^2$
1	ω	0	0	0
2	ω^2	0	0	0
3	1	ω	ω^2	1
4	ω	ω^2	ω	1
5	ω^2	1	ω	ω^2
6	1	1	ω^2	ω

したがって、次の確率漸化式が成立する。

$$(*) \left\{ \begin{array}{l} p_{n+1} = \frac{1}{3}q_n + \frac{1}{3}r_n + \frac{1}{3}s_n \\ q_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{1}{3}q_n + \frac{1}{3}s_n \\ r_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{1}{6}q_n + \frac{1}{3}r_n + \frac{1}{6}s_n \\ s_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{1}{6}q_n + \frac{1}{3}r_n + \frac{1}{6}s_n \end{array} \right.$$

(*) の第3式と第4式から $r_{n+1} = s_{n+1}$

また、 $r_1 = s_1 = 0$ より $r_n = s_n$ ($n \geq 1$)

$s_n = r_n$ を (*) の第2式と第3式に代入すると

$$q_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{1}{3}q_n + \frac{1}{3}r_n, \quad r_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{1}{6}q_n + \frac{1}{2}r_n$$

上の2式の辺々の差をとると

$$q_{n+1} - r_{n+1} = \frac{1}{6}(q_n - r_n)$$

$q_1 = r_1 = 0$ であるから $q_n = r_n$ ($n \geq 0$)

$q_n = r_n = s_n$ であるから、(*) の第1式および第2式において、

$r_n = q_n, s_n = q_n$ を代入して整理すると

$$(**) \left\{ \begin{array}{l} p_{n+1} = q_n \\ q_{n+1} = \frac{1}{3}p_n + \frac{2}{3}q_n \end{array} \right.$$

(**) の 2 式から

$$\begin{aligned} p_{n+1} - q_{n+1} &= -\frac{1}{3}(p_n - q_n), \\ p_{n+1} + 3q_{n+1} &= p_n + 3q_n \end{aligned}$$

$p_1 = 1, q_1 = 0$ より

$$\begin{aligned} p_n - q_n &= (p_1 - q_1) \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} = \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1}, \\ p_n + 3q_n &= p_1 + 3q_1 = 1 \end{aligned}$$

上の 2 式および $q_n = r_n = s_n$ から

$$p_n = \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} \right\}, \quad q_n = r_n = s_n = \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} \right\} \quad (\#)$$

$$z_n = 0 \text{ となる確率 } p_n \text{ は } \quad p_n = \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} \right\}$$

(3) $z_3 = 1, z_3 = \omega, z_3 = \omega^2$ となる確率は, それぞれ q_3, r_3, s_3 であるから, (#) より

$$q_3 = r_3 = s_3 = \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \right\} = \frac{2}{9}$$

(4) $z_n = 1$ となる確率は q_n であるから, (#) より

$$q_n = \frac{1}{4} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} \right\}$$

■

1.10 2024年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 2つの放物線

$$C_1: y = 2x^2, \quad C_2: y = 2x^2 - 8x + 16$$

の両方に接する直線を ℓ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ。
- (2) 2つの放物線 C_1 , C_2 と直線 ℓ で囲まれた図形の面積を求めよ。

2 座標平面上の原点 $O(0, 0)$, 点 $A(2, 1)$ を考える。点 B は第1象限にあり, $|\vec{OB}| = \sqrt{10}$, $\vec{OA} \perp \vec{AB}$ をみたすとする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 B の座標を求めよ。
- (2) s, t を正の実数とし, $\vec{OC} = s\vec{OA} + t\vec{OB}$ をみたす点 C を考える。三角形 OAC と三角形 OBC の面積が等しく, $|\vec{OC}| = 4$ が成り立つとき, s, t の値を求めよ。

3 以下の問いに答えよ。

- (1) 自然数 a, b が $a < b$ をみたすとき, $\frac{b!}{a!} \geq b$ が成り立つことを示せ。
- (2) $2 \cdot a! = b!$ をみたす自然数の組 (a, b) をすべて求めよ。
- (3) $a! + b! = 2 \cdot c!$ をみたす自然数の組 (a, b, c) をすべて求めよ。

4 n を3以上の整数とする。座標平面上の点のうち, x 座標と y 座標がともに1以上 n 以下の整数であるものを考える。これら n^2 個の点のうち3点以上を通る直線の個数を $L(n)$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $L(3)$ を求めよ。
- (2) $L(4)$ を求めよ。
- (3) $L(5)$ を求めよ。

解答例

- 1 (1) $y = 2x^2$ を微分すると $y' = 4x$
 C_1 上の点 $(t, 2t^2)$ における接線の方程式は

$$y - 2t^2 = 4t(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = 4tx - 2t^2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

C_2 と直線 $\textcircled{1}$ の方程式から y を消去すると

$$2x^2 - 8x + 16 = 4tx - 2t^2$$

整理すると $x^2 - 2(t+2)x + t^2 + 8 = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$

C_2 と直線 $\textcircled{1}$ が接するから、 $\textcircled{2}$ の係数について

$$D/4 = (t+2)^2 - (t^2 + 8) = 4t - 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = 1$$

求める直線 ℓ の方程式は、 $t = 1$ を $\textcircled{1}$ に代入して $y = 4x - 2$

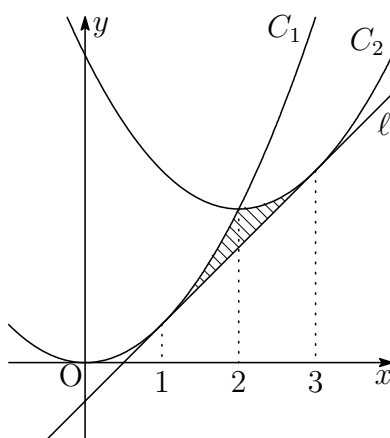
- (2) $t = 1$ より、 C_1 と ℓ の接点の x 座標は $x = 1$

また、 $\textcircled{2}$ の係数から、 C_2 と ℓ の接点の x 座標は

$$x = -\frac{-2(t+2)}{2 \cdot 1} = t + 2 = 1 + 2 = 3$$

よって、求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_1^2 \{2x^2 - (4x - 2)\} dx + \int_2^3 \{(2x^2 - 8x + 16) - (4x - 2)\} dx \\ &= \int_1^2 2(x-1)^2 dx + \int_2^3 2(x-3)^2 dx \\ &= \frac{2}{3} \left[(x-1)^3 \right]_1^2 + \frac{2}{3} \left[(x-3)^3 \right]_2^3 = \frac{4}{3} \end{aligned}$$



- 2** (1) $\overrightarrow{OA} \perp \overrightarrow{AB} = 0$ より, $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AB} = 0$ であるから

$$\overrightarrow{OA} \cdot (\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = |\overrightarrow{OA}|^2 = 5$$

$\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ のなす角を θ とすると, $\overrightarrow{OA} = (2, 1)$ より $|\overrightarrow{OA}| = \sqrt{5}$

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}}{|\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}|} = \frac{5}{\sqrt{5} \sqrt{10}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{ゆえに} \quad \theta = \frac{\pi}{4}$$

$\overrightarrow{OA}$ の偏角を α とすると

$$(2, 1) = |\overrightarrow{OA}|(\cos \alpha, \sin \alpha) = (\sqrt{5} \cos \alpha, \sqrt{5} \sin \alpha)$$

点 B が第 1 象限の点であることから, $B(b_1, b_2)$ とすると

$$\begin{aligned} b_1 &= |\overrightarrow{OB}| \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{4} \right) = \sqrt{10} \left(\cos \alpha \cos \frac{\pi}{4} - \sin \alpha \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \sqrt{5} \cos \alpha - \sqrt{5} \sin \alpha = 2 - 1 = 1, \\ b_2 &= |\overrightarrow{OB}| \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{4} \right) = \sqrt{10} \left(\sin \alpha \cos \frac{\pi}{4} + \cos \alpha \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \sqrt{5} \sin \alpha + \sqrt{5} \cos \alpha = 1 + 2 = 3 \end{aligned}$$

よって **B(1, 3)**

- (2) $\overrightarrow{OC} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB} = s(2, 1) + t(1, 3) = (2s + t, s + 3t)$ より ($s, t > 0$)

$$\begin{aligned} \triangle OAC &= \frac{1}{2} |2 \cdot (s + 3t) - 1 \cdot (2s + t)| = \frac{5}{2} |t| = \frac{5}{2} t \\ \triangle OBC &= \frac{1}{2} |1 \cdot (s + 3t) - 3 \cdot (2s + t)| = \frac{5}{2} |s| = \frac{5}{2} s \end{aligned}$$

$\triangle OAC = \triangle OBC$ より, $s = t$ であるから $\overrightarrow{OC} = (3s, 4s)$

$$|\overrightarrow{OC}| = 4 \text{ より } \sqrt{(3s)^2 + (4s)^2} = 5s = 4 \quad \text{よって} \quad s = t = \frac{4}{5}$$



3 (1) $b > a$ のとき, $b - 1 \geq a$ であるから $(b - 1)! \geq a!$

$$b! = b \cdot (b - 1)! \geq b \cdot a! \quad \text{よって} \quad \frac{b!}{a!} \geq b$$

(2) $2 \cdot a! = b!$ より $\frac{b!}{a!} = 2 > 1$ であるから

$$a! < b! \quad \text{すなわち} \quad a < b$$

$a < b$ より, (1) の結論を用いると

$$2 = \frac{b!}{a!} \geq b > a \quad \text{よって} \quad (a, b) = (1, 2)$$

(3) (i) $a \leq c, b \leq c$ のとき

$$\frac{a!}{c!} + \frac{b!}{c!} = 2, \quad \frac{a!}{c!} \leq 1, \quad \frac{b!}{c!} \leq 1$$

このとき $\frac{a!}{c!} = 1, \frac{b!}{c!} = 1$ すなわち $a = c, b = c \cdots (*)$

(ii) $a > c$ または $b > c$ のとき, 一般性を失うことなく, $b > c$ とし,
(1) の結論を用いると

$$2 = \frac{a!}{c!} + \frac{b!}{c!} \geq \frac{a!}{c!} + b > b > c \geq 1$$

これをみたす b, c は存在しない.

(i), (ii) より $(a, b, c) = (n, n, n)$ (n は自然数) ■

- 4 (1) 条件を満たす直線は、次の8本より $L(3) = 8$

$$y = x, \quad y = -x + 4, \quad x = k, \quad y = k \quad (k = 1, 2, 3)$$

- (2) 条件を満たす直線は、次の14本より $L(4) = 14$

$$\begin{aligned} y = x - 1, \quad y = x, \quad y = x + 1, \\ y = -x + 4, \quad y = -x + 5, \quad y = -x + 6, \\ x = k, \quad y = k \quad (k = 1, 2, 3, 4) \end{aligned}$$

- (3) 条件を満たす直線で傾きが0以上の直線は、(i)～(iv)の16本ある.

(i) 条件を満たす x 軸に平行な直線は $y = k \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5)$

(ii) 条件を満たす傾き $\frac{1}{2}$ の直線は $y - k = \frac{x - 1}{2} \quad (k = 1, 2, 3)$

(iii) 条件を満たす傾き1の直線は $y = x + k \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2)$

(iv) 条件を満たす傾き2の直線は $y - 1 = 2(x - k) \quad (k = 1, 2, 3)$

(i)～(iv)の直線を点(3, 3)を中心に 90° 回転させた直線も条件を満たす.

よって $L(5) = 16 \times 2 = 32$ ■

1.11 2025 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 2つの曲線

$$y = x^3 + x^2 - x - 1, \quad y = x^2$$

の両方に接するすべての直線の方程式を求めよ。

2 半径1の円周 C 上の2点 A, B は $AB = \sqrt{3}$ をみたすとする。点 P が円周 C 上を動くとき、 $AP^2 + BP^2$ の最大値を求めよ。

3 以下の問いに答えよ。

(1) n を自然数とすると、 n^2 を8で割った余りは0, 1, 4のいずれかであることを示せ。

(2) $2^m = n^2 + 3$ をみたす0以上の整数の組 (m, n) をすべて求めよ。

4 1個のさいころを3回投げ、出る目を順に a, b, c とする。整式

$$f(x) = (x^2 - ax + b)(x - c)$$

について、以下の問いに答えよ。

(1) $f(x) = 0$ をみたす実数 x の個数が1個である確率を求めよ。

(2) $f(x) = 0$ をみたす自然数 x の個数が3個である確率を求めよ。

解答例

$$\boxed{1} \quad f(x) = x^3 + x^2 - x - 1 \text{ とおくと } f'(x) = 3x^2 + 2x - 1$$

曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y = f'(t)(x - t) + f(t) \quad (*)$$

直線 $(*)$ と曲線 $y = x^2$ の方程式から y を消去して整理すると

$$x^2 - f'(t)x + tf'(t) - f(t) = 0$$

このとき、上の2次方程式の係数について

$$\begin{aligned} f'(t)^2 - 4\{tf'(t) - f(t)\} &= 0 \\ \{f'(t) - 2t\}^2 + 4\{f(t) - t^2\} &= 0 \\ (3t^2 - 1)^2 + 4(t^3 - t - 1) &= 0 \end{aligned}$$

$t = \pm 1$ がこの方程式の解であることに注意して、整理すると

$$\begin{aligned} 9t^4 - 6t^2 - 3 + 4(t^3 - t) &= 0 \\ 3(t^2 - 1)(3t^2 + 1) + 4t(t^2 - 1) &= 0 \\ (t^2 - 1)\{3(3t^2 + 1) + 4t\} &= 0 \\ (t + 1)(t - 1)(9t^2 + 4t + 3) &= 0 \end{aligned}$$

$9t^2 + 4t + 3 = (2t + 1)^2 + 5t^2 + 2 > 0$ であるから $t = \pm 1$

$f'(1) = 4, f(1) = 0, f'(-1) = 0, f(-1) = 0$ を $(*)$ にそれぞれ代入して

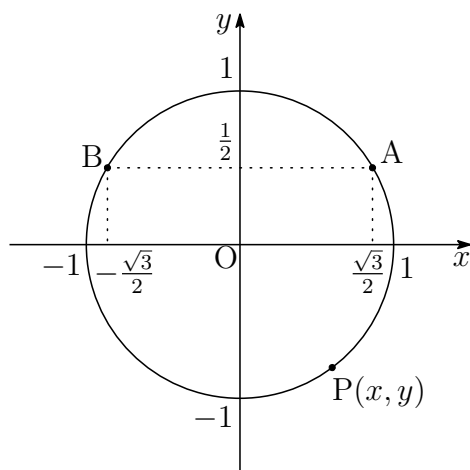
$$y = 4(x - 1), \quad y = 0$$

■

- 2 C を原点 O を中心とする円とし, C 上に 2 点 $A\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$, $B\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$ をとり, C 上の点 $P(x, y)$ について $(x^2 + y^2 = 1)$

$$\begin{aligned} AP^2 + BP^2 &= \left(x - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(x + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{1}{2}\right)^2 \\ &= 2(x^2 + y^2) + 2 - 2y = 2 \cdot 2 + 2 - 2y \\ &= 4 - 2y \end{aligned}$$

$-1 \leq y \leq 1$ であるから, $y = -1$ のとき, 最大値 6 をとる.



■

3 (1) 法8について

$$n \equiv 0 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 0 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 1 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 1 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 2 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 4 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 3 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 1 \pmod{8}$$

$$n \equiv 4 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 0 \pmod{8}$$

よって、 n^2 を8で割った余りは(n は自然数) 0, 1, 4のいずれかである.

(2) (*) $2^m = n^2 + 3$ について (m, n は0以上の整数)

$$2^1 < n^2 + 3 \text{ であるから, } m \geq 2$$

$$(i) \ m = 2 \text{ のとき, } (*) \text{ は } 2^2 = n^2 + 3$$

$$n^2 = 1 \quad n \text{ は0以上の整数であるから } n = 1$$

$$(ii) \ m \geq 3 \text{ のとき } 2^m \equiv 0 \pmod{8} \text{ であるから}$$

$$n^2 + 3 \equiv 0 \quad \text{ゆえに} \quad n^2 \equiv 5 \pmod{8}$$

(1) の結論から, 上の第2式を満たす n は存在しない.

$$(i), (ii) \text{ から } (m, n) = (2, 1)$$



- 4 (1) (i) $x^2 - ax + b = 0$ が実数解をもたないとき ($c = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

$$a^2 - 4b < 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a^2}{4} < b \leq 6$$

このとき, $a \leq 4$ に注意して

$$a = 1 \text{ のとき} \quad b = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$a = 2 \text{ のとき} \quad b = 2, 3, 4, 5, 6$$

$$a = 3 \text{ のとき} \quad b = 3, 4, 5, 6$$

$$a = 4 \text{ のとき} \quad b = 5, 6$$

- (ii) $x = c$ が $f(x) = 0$ の 3 重解であるとき

$$f(x) = (x - c)^3 = (x^2 - 2cx + c^2)(x - c)$$

$a = 2c, b = c^2$ であるから, このとき

$$(a, b, c) = (2, 1, 1), (4, 4, 2)$$

- (i), (ii) より, 求める確率は

$$\frac{(6 + 5 + 4 + 2) \times 6 + 2}{6^3} = \frac{13}{27}$$

- (2) $a^2 - 4b$ が平方数であることは, $x^2 - ax + b = 0$ が自然数を解にもつための必要条件である. $a \geq 2$ に注意して

$$a = 2 \text{ のとき} \quad b = 1$$

$$a = 3 \text{ のとき} \quad b = 2$$

$$a = 4 \text{ のとき} \quad b = 3, 4$$

$$a = 5 \text{ のとき} \quad b = 4, 6$$

$$a = 6 \text{ のとき} \quad b = 5$$

これらを係数とする 2 次方程式 $x^2 - ax + b = 0$ で異なる 2 つの実数解をもつのは, 次の 5 通りである.

$$\begin{aligned} x^2 - 3x + 2 = 0, \quad x^2 - 4x + 3 = 0, \quad x^2 - 5x + 4 = 0, \\ x^2 - 5x + 6 = 0, \quad x^2 - 6x + 5 = 0 \end{aligned}$$

それぞれの場合について, c のとり方は 4 通りあるから

$$\frac{5 \times 4}{6^3} = \frac{5}{54}$$



理系 出題分野 (2015-2025) 150 分

◀	九州大学 理系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明					2		5				
	複素数と方程式						2					
	図形と方程式											4
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	1										
III	関数											
	極限		1			1・4			2	2		
	微分法とその応用			1			1	3				
	積分法	2							4	4	5	2
	積分法の応用	3	1	1	2		5	3	5	5		
A	場合の数と確率	4	3	4	3	3	4				4	5
	整数の性質	5	4	3	4		2		3		3	3
	図形の性質		2									
B	数列			3								
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル									3		
	空間のベクトル			2			3	1	1		1	1
	複素数平面		5	5	5	3・5		2・4		1	2	
	式と曲線				1							

数字は問題番号

1.12 2015 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4 5

1 C_1, C_2 をそれぞれ次式で与えられる放物線の一部とする。

$$C_1 : y = -x^2 + 2x, \quad 0 \leq x \leq 2$$

$$C_2 : y = -x^2 - 2x, \quad -2 \leq x \leq 0$$

また, a を実数とし, 直線 $y = a(x + 4)$ を ℓ とする。

(1) 直線 ℓ と C_1 が異なる 2 つの共有点をもつための a の値の範囲を求めよ。

以下, a が (1) の条件を満たすとする。このとき, ℓ と C_1 で囲まれた領域の面積を S_1 , x 軸と C_2 で囲まれた領域で ℓ の下側にある部分の面積を S_2 とする。

(2) S_1 を a を用いて表せ。

(3) $S_1 = S_2$ を満たす実数 a が $0 < a < \frac{1}{5}$ の範囲に存在することを示せ。

2 以下の問いに答えよ。

(1) 関数 $y = \frac{1}{x(\log x)^2}$ は $x > 1$ において単調に減少することを示せ。

(2) 不定積分 $\int \frac{1}{x(\log x)^2} dx$ を求めよ。

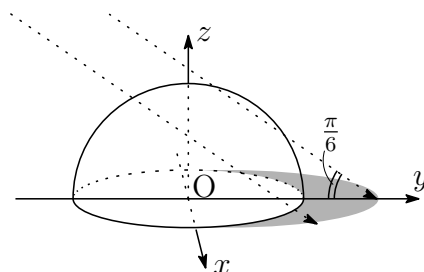
(3) n を 3 以上の整数とすると, 不等式

$$\sum_{k=3}^n \frac{1}{k(\log k)^2} < \frac{1}{\log 2}$$

が成り立つことを示せ。

- 3 座標空間内に、原点 $O(0, 0, 0)$ を中心とする半径 1 の球がある。下の概略図のように、 y 軸の負の方向から仰角 $\frac{\pi}{6}$ で太陽光線が当たっている。この太陽光線はベクトル $(0, \sqrt{3}, -1)$ に平行である。球は光を通さないものとするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 球の $z \geq 0$ の部分が xy 平面上につくる影を考える。 k を $-1 < k < 1$ を満たす実数とするとき、 xy 平面上の直線 $x = k$ において、球の外で光が当たらない部分の y 座標を k を用いて表せ。
- (2) xy 平面上において、球の外で光が当たらない部分の面積を求めよ。
- (3) $z \geq 0$ において、球の外で光が当たらない部分の体積を求めよ。



- 4 袋の中に最初に赤玉 2 個と青玉 1 個が入っている。次の操作を繰り返し行う。

(操作) 袋から 1 個の玉を取り出し、それが赤玉ならば代わりに青玉 1 個を袋に入れ、青玉ならば代わりに赤玉 1 個を袋に入れる。袋に入っている 3 個の玉がすべて青玉になるとき、硬貨を 1 枚もらう。

- (1) 2 回目の操作で硬貨をもらう確率を求めよ。
- (2) 奇数回目の操作で硬貨をもらうことはないことを示せ。
- (3) 8 回目の操作ではじめて硬貨をもらう確率を求めよ。
- (4) 8 回の操作でもらう硬貨の総数がちょうど 1 枚である確率を求めよ。

- 5 以下の問いに答えよ。

- (1) n が正の偶数のとき、 $2^n - 1$ は 3 の倍数であることを示せ。
- (2) n を自然数とする。 $2^n + 1$ と $2^n - 1$ は互いに素であることを示せ。
- (3) p, q を異なる素数とする。 $2^{p-1} - 1 = pq^2$ を満たす p, q の組をすべて求めよ。

解答例

- 1** (1) $y = -x^2 + 2x$ ($0 \leq x \leq 2$) と $y = a(x+4)$ から y を消去すると
 $-x^2 + 2x = a(x+4)$ すなわち $x^2 + (a-2)x + 4a = 0 \quad \cdots (*)$

C_1 と ℓ が接するとき, $(*)$ より

$$(a-2)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 4a = 0, \quad 0 < -\frac{a-2}{2 \cdot 1} < 2$$

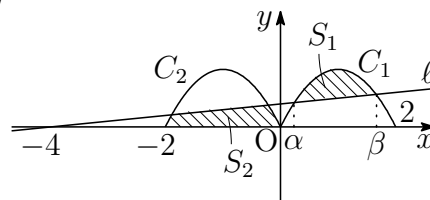
上の第1式および第2式から

$$a = 10 \pm 4\sqrt{6}, \quad -2 < a < 2 \quad \text{すなわち} \quad a = 10 - 4\sqrt{6}$$

よって, 求める a の値の範囲は $0 \leq a < 10 - 4\sqrt{6}$

- (2) 方程式 $(*)$ の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$)

$$\begin{aligned} \alpha + \beta &= -(a-2), \quad \alpha\beta = 4a, \\ \beta - \alpha &= \sqrt{(\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta} \\ &= \sqrt{a^2 - 20a + 4} \end{aligned}$$



したがって
$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{\alpha}^{\beta} \{(-x^2 + 2x) - a(x+4)\} dx \\ &= - \int_{\alpha}^{\beta} \{x^2 + (a-2)x + 4a\} dx \\ &= - \int_{\alpha}^{\beta} (x-\alpha)(x-\beta) dx \\ &= \frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 = \frac{1}{6}(a^2 - 20a + 4)^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

- (3) $y = -x^2 - 2x$ ($-2 \leq x \leq 0$) と $y = a(x+4)$ から y を消去すると
 $-x^2 - 2x = a(x+4)$ すなわち $x^2 + (a+2)x + 4a = 0 \quad \cdots (**)$

方程式 $(**)$ の解を γ, δ とすると ($\gamma < \delta$)

$$\begin{aligned} \gamma + \delta &= -(a+2), \quad \gamma\delta = 4a, \\ \delta - \gamma &= \sqrt{(\gamma + \delta)^2 - 4\gamma\delta} = \sqrt{a^2 - 12a + 4} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} S_2 &= \int_{-2}^0 \{-x^2 - 2x\} dx + \int_{\gamma}^{\delta} \{-x^2 - 2x - a(x+4)\} dx \\ &= - \int_{-2}^0 x(x+2) dx - \int_{\gamma}^{\delta} (x-\gamma)(x-\delta) dx \\ &= \frac{1}{6} \cdot 2^3 - \frac{1}{6}(\delta - \gamma)^3 = \frac{4}{3} - \frac{1}{6}(a^2 - 12a + 4)^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

$$S_1 = S_2 \text{ より } \frac{1}{6}(a^2 - 20a + 4)^{\frac{3}{2}} = \frac{4}{3} - \frac{1}{6}(a^2 - 12a + 4)^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{整理すると } (a^2 - 20a + 4)^{\frac{3}{2}} + (a^2 - 12a + 4)^{\frac{3}{2}} - 8 = 0$$

$$\text{ここで, } f(a) = (a^2 - 20a + 4)^{\frac{3}{2}} + (a^2 - 12a + 4)^{\frac{3}{2}} - 8 \text{ とおくと}$$

$$f(0) = 8 > 0, \quad f\left(\frac{1}{5}\right) = \frac{41\sqrt{41} - 999}{125} < \frac{41 \cdot 7 - 999}{125} < 0,$$

$$10 - 4\sqrt{6} = 2(5 - 2\sqrt{6}) = \frac{2}{5 + 2\sqrt{6}} > \frac{2}{5 + 5} = \frac{1}{5}$$

$f(a)$ は連続であるから, 中間値の定理により, $f(a) = 0$, すなわち $S_1 = S_2$ を満たす実数 a が $0 < a < \frac{1}{5}$ の範囲に存在する. ■

2 (1) $y = \frac{1}{x(\log x)^2}$ を微分すると $y' = -\frac{\log x + 2}{x^2(\log x)^3}$

$$\text{したがって, } x > 1 \text{ において } y' < 0$$

$$\text{よって, } y = \frac{1}{x(\log x)^2} \text{ は } x > 1 \text{ において, 単調減少.}$$

$$(2) \int \frac{1}{x(\log x)^2} dx = \int \frac{(\log x)'}{(\log x)^2} dx = -\frac{1}{\log x} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

別解 $t = \log x$ とおくと, $\frac{dt}{dx} = \frac{1}{x}$ であるから

$$\int \frac{1}{x(\log x)^2} dx = \int \frac{1}{t^2} dt = -\frac{1}{t} + C = -\frac{1}{\log x} + C$$

(3) (1), (2) の結果から, n が 3 以上の整数であるとき

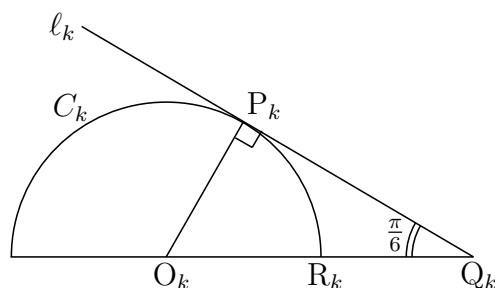
$$\begin{aligned} \sum_{k=3}^n \frac{1}{k(\log k)^2} &= \sum_{k=3}^n \int_{k-1}^k \frac{1}{k(\log k)^2} dx \\ &< \sum_{k=3}^n \int_{k-1}^k \frac{1}{x(\log x)^2} dx = \int_2^n \frac{1}{x(\log x)^2} dx \\ &= \left[-\frac{1}{\log x} \right]_2^n = -\frac{1}{\log n} + \frac{1}{\log 2} < \frac{1}{\log 2} \end{aligned}$$

■

- 3 (1) 球 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ の $z \geq 0$ の部分の平面 $x = k$ ($-1 < k < 1$) による断面の表す図形は、中心 $O_k(k, 0, 0)$ 、半径 $\sqrt{1 - k^2}$ の半円

$$y^2 + z^2 = 1 - k^2 \quad (-1 < k < 1), \quad z \geq 0$$

この半円を C_k とし、 C_k 上の点を $R_k(k, \sqrt{1 - k^2}, 0)$ とする. 方向ベクトルが $(0, \sqrt{3}, -1)$ で C_k に接する直線を ℓ_k とし、 ℓ_k と C_k の接点を P_k 、 ℓ_k と xy 平面との共有点を Q_k とすると



$$\begin{aligned} O_k R_k &= O_k P_k = \sqrt{1 - k^2} \\ O_k Q_k &= 2 O_k P_k = 2\sqrt{1 - k^2} \end{aligned}$$

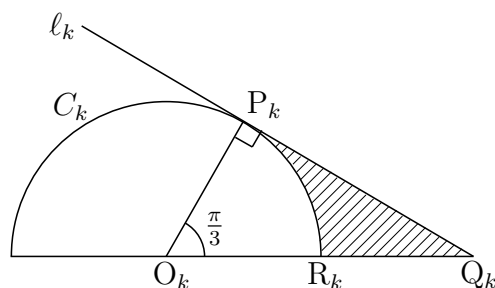
よって $\sqrt{1 - k^2} \leq y \leq 2\sqrt{1 - k^2}$

- (2) (1) の結果から $R_k Q_k = O_k Q_k - O_k R_k = \sqrt{1 - k^2}$

よって $\int_{-1}^1 \sqrt{1 - k^2} dk = \frac{\pi}{2}$

- (3) 右の図の斜線部分の面積は

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} O_k P_k \cdot P_k Q_k - \frac{1}{2} O_k R_k^2 \cdot \frac{\pi}{3} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} (1 - k^2) - \frac{\pi}{6} (1 - k^2) \\ &= \frac{3\sqrt{3} - \pi}{6} (1 - k^2) \end{aligned}$$



よって、求める体積を V とすると

$$V = \frac{3\sqrt{3} - \pi}{6} \int_{-1}^1 (1 - k^2) dk = \frac{6\sqrt{3} - 2\pi}{9}$$

■

- 4 (1) 求める確率は、2回連続して赤玉を取り出す確率であるから

$$\frac{2}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$$

- (2) 1回の操作で青玉の個数は1個だけ増減する．最初に青玉が1個(奇数個)であるから，奇数回目の操作で青玉は偶数個となる．したがって，奇数回目の操作で青玉が3個(奇数個)にならない．よって，奇数回目の操作で硬貨をもらうことはない．

- (3) 偶数回目の操作で青玉の個数は1個または3個である．青玉1個の状態からその後の2回目の操作で青玉が1個となる確率を p とすると

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot 1 = \frac{7}{9}$$

8回目の操作ではじめて硬貨をもらう確率は

$$ppp(1-p) = p^3(1-p) = \left(\frac{7}{9}\right)^3 \frac{2}{9} = \frac{686}{6561}$$

- (4) 青玉3個の状態から，2回連続して青玉を取り出す確率を q とすると

$$q = 1 \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}$$

2回目の操作のときに限り，硬貨を1枚もらう確率は

$$(1-p)qpp = p^2(1-p)q$$

4回目の操作のときに限り，硬貨を1枚もらう確率は

$$p(1-p)qp = p^2(1-p)q$$

6回目の操作のときに限り，硬貨を1枚もらう確率は

$$pp(1-p)q = p^2(1-p)q$$

上式および(3)の結果から

$$\begin{aligned} 3 \times p^2(1-p)q + p^3(1-p) &= 2p^2(1-p) + p^3(1-p) \\ &= p^2(1-p)(2+p) \\ &= \left(\frac{7}{9}\right)^2 \cdot \frac{2}{9} \cdot \frac{25}{9} = \frac{2450}{6561} \end{aligned}$$

研究

操作を n 回繰り返す中で袋の中の玉が 3 個とも青玉になることなしに、青玉の個数が 1 個である確率を p_n とする.

(i) n が奇数のとき

(2) で示したように奇数回目に青玉が 1 個になることはないから $p_n = 0$

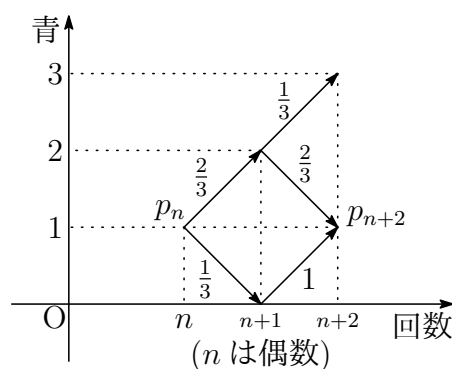
(ii) n が偶数のとき $p_0 = 1$

$$p_{n+2} = p_n \times \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot 1 \right) = \frac{7}{9} p_n$$

$$\text{ゆえに} \quad p_n = \left(\frac{7}{9} \right)^{\frac{n}{2}}$$

n 回目の操作ではじめて硬貨をもらう確率は

$$p_{n-2} \times \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{9} \left(\frac{7}{9} \right)^{\frac{n-2}{2}}$$



東大理科 2008 年

白黒 2 種類のカードがたくさんある. そのうち k 枚のカードを手もとにもっているとき, 次の操作 (A) を考える.

(A) 手持ちの k 枚の中から 1 枚を, 等確率 $\frac{1}{k}$ で選び出し, それを違う色のカードにとりかえる.

以下の問 (1), (2) に答えよ.

(1) 最初に白 2 枚, 黒 2 枚, 合計 4 枚のカードをもっているとき, 操作 (A) を n 回繰り返した後に初めて, 4 枚とも同じ色のカードになる確率を求めよ.

(2) 最初に白 3 枚, 黒 3 枚, 合計 6 枚のカードをもっているとき, 操作 (A) を n 回繰り返した後に初めて, 6 枚とも同じ色のカードになる確率を求めよ.

解答 (1) 操作 (A) を n 回繰り返す中で 4 枚とも同じ色になることなしに、白と黒のカードが 2 枚ずつである確率を p_n とする.

(i) n が奇数のとき

奇数回目に 4 枚とも同じ色になることはないので、求める確率は 0

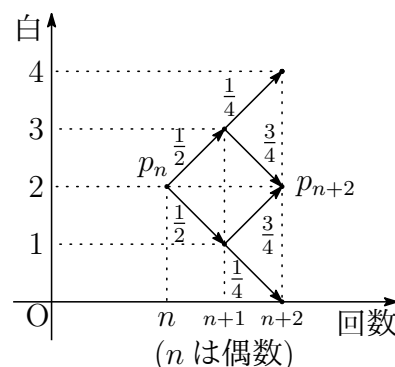
(ii) n が偶数のとき $p_0 = 1$

$$p_{n+2} = p_n \times \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \times 2 = \frac{3}{4} p_n$$

$$\text{ゆえに } p_n = \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{n}{2}}$$

求める確率は

$$p_{n-2} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \times 2 = \frac{1}{4} \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{n-2}{2}}$$



(2) 操作 (A) を n 回繰り返す中で 6 枚とも同じ色になることなしに、白のカードが 2 枚である確率を q_n とすると、対称性により白のカードが 4 枚である確率も q_n である.

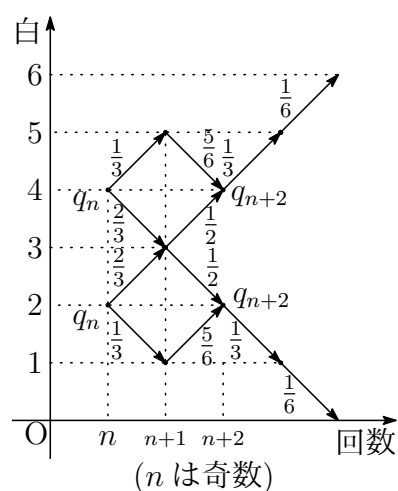
(i) n が奇数のとき $q_1 = \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} q_{n+2} &= q_n \times \frac{1}{3} \cdot \frac{5}{6} + q_n \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{1}{2} \\ &= \frac{17}{18} q_n \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } q_n = \frac{1}{2} \left(\frac{17}{18}\right)^{\frac{n-1}{2}}$$

求める確率は、3 以上の奇数のとき

$$q_{n-2} \times \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{6} \times 2 = \frac{1}{18} \left(\frac{17}{18}\right)^{\frac{n-3}{2}}$$



(ii) n が 1 または偶数のとき

6 枚とも同じ色になることはないので、求める確率は 0

- 5 (1) n が正の偶数のとき, $\frac{n}{2}$ は自然数であるから

$$2^n - 1 \equiv 4^{\frac{n}{2}} - 1 \equiv 1^{\frac{n}{2}} - 1 \equiv 0 \pmod{3}$$

よって, $2^n - 1$ は 3 の倍数である.

- (2) n が自然数のとき, $2^n - 1$ は奇数である.

i) $n = 1$ のとき, $2^n + 1$ と $2^n - 1$ は互いに素である.

ii) $n \geq 2$ のとき

$$2^n + 1 = 1(2^n - 1) + 2$$

上式より, $2^n + 1$ を $2^n - 1$ で割った余りは 2.

$2^n - 1$ を 2 で割った余りは 1 であるから, ユークリッドの互除法により, $2^n + 1$ と $2^n - 1$ の最大公約数は 1 である.

よって, $2^n + 1$ と $2^n - 1$ は互いに素である.

- (3) $2^{p-1} - 1 = pq^2$ (p, q は異なる素数) $\cdots (*)$

(*) について, $p = 2$ のとき $1 = 2q^2$

これを満たす素数 q は存在しない.

$p \neq 2$ となり, p は奇素数であるから, $\frac{p-1}{2}$ は自然数である.

(1) の結果から, $2^{p-1} - 1$ は 3 の倍数であるから, pq^2 は 3 を因数にもつ.

i) $p = 3$ のとき, (*) より $3 = 3q^2$

q は素数であるから, 不適.

ii) $q = 3$ のとき, (*) より

$$2^{p-1} - 1 = 9p \quad \text{ゆえに} \quad (2^{\frac{p-1}{2}} + 1)(2^{\frac{p-1}{2}} - 1) = 9p$$

i) より, 奇素数 p は $p \geq 5$ であること, (2) の結果から, $2^{\frac{p-1}{2}} + 1$ と $2^{\frac{p-1}{2}} - 1$ は互いに素であることに注意して

$$(A) \begin{cases} 2^{\frac{p-1}{2}} + 1 = 9 \\ 2^{\frac{p-1}{2}} - 1 = p \end{cases} \quad \text{または} \quad (B) \begin{cases} 2^{\frac{p-1}{2}} + 1 = p \\ 2^{\frac{p-1}{2}} - 1 = 9 \end{cases}$$

(A) を解いて, $p = 7$. (B) の第 2 式を満たす奇素数 p は存在しない.

よって $(p, q) = (7, 3)$ ■

1.13 2016年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

1 座標平面上の曲線 C_1 , C_2 をそれぞれ

$$C_1 : y = \log x \quad (x > 0)$$

$$C_2 : y = (x-1)(x-a)$$

とする。ただし、 a は実数である。 n を自然数とすると、曲線 C_1 , C_2 が2点 P , Q で交わり、 P , Q の x 座標はそれぞれ 1 , $n+1$ となっている。また、曲線 C_1 と直線 PQ で囲まれた領域の面積を S_n , 曲線 C_2 と直線 PQ で囲まれた領域を T_n とする。このとき、以下の問いに答えよ。

(1) a を n の式で表し、 $a > 1$ を示せ。

(2) S_n と T_n をそれぞれ n の式で表せ。

(3) 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n \log T_n}$ を求めよ。

2 t を $0 < t < 1$ を満たす実数とする。面積が1である三角形 ABC において、辺 AB , BC , CA をそれぞれ $2:1$, $t:1-t$, $1:3$ に内分する点を D , E , F とする。また、 AE と BF , BF と CD , CD と AE の交点をそれぞれ P , Q , R とする。このとき、以下の問いに答えよ。

(1) 3直線 AE , BF , CD が1点で交わるときの t の値 t_0 を求めよ。

以下、 t は $0 < t < t_0$ を満たすものとする。

(2) $AP = kAE$, $CR = \ell CD$ を満たす実数 k , ℓ をそれぞれ求めよ。

(3) 三角形 BCQ の面積を求めよ。

(4) 三角形 PQR の面積を求めよ。

- 3** 座標平面上で円 $x^2 + y^2 = 1$ に内接する正六角形で、点 $P_0(1, 0)$ を 1 つの頂点とするものを考える。この正六角形の頂点を P_0 から反時計まわりに順に P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 とする。ある頂点に置かれている 1 枚のコインに対し、1 つのサイコロを 1 回投げ、出た目に応じてコインを次の規則にしたがって頂点上を動かす。

- (規則) (i) 1 から 5 までの目が出た場合は、出た目の数だけコインを反時計まわりに動かす。例えば、コインが P_4 にあるときに 4 の目が出た場合は P_2 まで動かす。
- (ii) 6 の目が出た場合は、 x 軸に関して対称な位置にコインを動かす。ただし、コインが x 軸上にあるときは動かさない。例えば、コインが P_5 にあるときに 6 の目が出た場合は P_1 に動かす。

はじめにコインを 1 枚だけ P_0 に置き、1 つのサイコロを続けて何回か投げて、1 回投げるごとに上の規則にしたがってコインを動かしていくゲームを考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 2 回サイコロを投げた後に、コインが P_0 の位置ある確率を求めよ。
- (2) 3 回サイコロを投げた後に、コインが P_0 の位置ある確率を求めよ。
- (3) n を自然数とする。 n 回サイコロを投げた後に、コインが P_0 の位置ある確率を求めよ。

- 4** 自然数 n に対して、 10^n を 13 で割った余りを a_n とおく。 a_n は 0 から 12 までの整数である。以下の問いに答えよ。

- (1) a_{n+1} は $10a_n$ を 13 で割った余りに等しいことを示せ。
- (2) $a_1, a_2, \dots, a_6$ を求めよ。
- (3) 以下の 3 条件を満たす自然数 N をすべて求めよ。
 - (i) N を十進数で表示したとき 6 桁となる。
 - (ii) N を十進数で表示して、最初と最後の桁の数字を取り除くと 2016 となる。
 - (iii) N は 13 で割り切れる。

5 以下の問いに答えよ。

- (1) θ を $0 \leq \theta < 2\pi$ を満たす実数, i を虚数単位とし, z を $z = \cos \theta + i \sin \theta$ で表される複素数とする。このとき, 整数 n に対して次の式を証明せよ。

$$\cos n\theta = \frac{1}{2} \left(z^n + \frac{1}{z^n} \right), \quad \sin n\theta = -\frac{i}{2} \left(z^n - \frac{1}{z^n} \right)$$

- (2) 次の方程式を満たす実数 x ($0 \leq x < 2\pi$) を求めよ。

$$\cos x + \cos 2x - \cos 3x = 1$$

- (3) 次の式を証明せよ。

$$\sin^2 20^\circ + \sin^2 40^\circ + \sin^2 60^\circ + \sin^2 80^\circ = \frac{9}{4}$$

解答例

- 1 (1) C_1 と C_2 の交点 Q の x 座標が $n+1$ であるから

$$\log(n+1) = (n+1-1)(n+1-a)$$

$n \neq 0$ であるから

$$a = n+1 - \frac{\log(n+1)}{n}$$

$$\text{上式より } a-1 = \frac{n^2 - \log(n+1)}{n}$$

$$\text{ここで } \int_0^n \frac{t}{t+1} dt = \left[t - \log(t+1) \right]_0^n = n - \log(n+1) > 0$$

$$\text{上の2式から } a-1 = \frac{n^2 - \log(n+1)}{n} > \frac{n^2 - n}{n} = n-1 \geq 0$$

よって $a > 1$

$$\begin{aligned} (2) \quad S_n &= \int_1^{n+1} \log x \, dx - \frac{1}{2} \{ (n+1) - 1 \} \log(n+1) \\ &= \left[x \log x - x \right]_1^{n+1} - \frac{n}{2} \log(n+1) = \frac{n+2}{2} \log(n+1) - n \end{aligned}$$

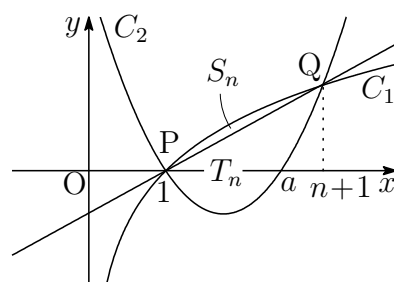
C_2 の x^2 の係数および2点 P , Q の x 座標に注意して

$$T_n = \frac{1}{6} \{ (n+1) - 1 \}^3 = \frac{1}{6} n^3$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{S_n}{n \log T_n} &= \frac{\frac{n+2}{2} \log(n+1) - n}{n \log \frac{n^3}{6}} = \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n}\right) \log(n+1) - 1}{3 \log n - \log 6} \\ &= \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n}\right) \{ \log n + \log \left(1 + \frac{1}{n}\right) \} - 1}{3 \log n - \log 6} \\ &= \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n}\right) \left\{ 1 + \frac{\log \left(1 + \frac{1}{n}\right)}{\log n} \right\} - \frac{1}{\log n}}{3 - \frac{\log 6}{\log n}} \end{aligned}$$

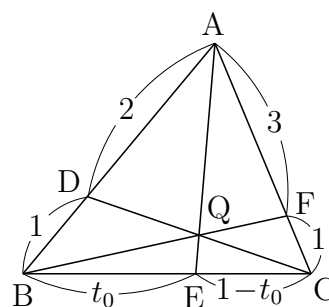
$$\text{よって } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n \log T_n} = \frac{\left(\frac{1}{2} + 0\right) (1 + 0) - 0}{3 - 0} = \frac{1}{6}$$



- 2 (1) チェバの定理により

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CF}{FA} \cdot \frac{AD}{DB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t_0}{1-t_0} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{1} = 1$$

$$\text{これを解いて} \quad t_0 = \frac{3}{5}$$

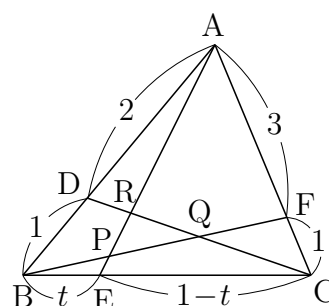


- (2) $\triangle AEC$ および直線 BF について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AP}{PE} \cdot \frac{EB}{BC} \cdot \frac{CF}{FA} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AP}{PE} \cdot \frac{t}{1} \cdot \frac{1}{3} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{AP}{PE} = \frac{3}{t}$$

$$\text{よって} \quad k = \frac{AP}{AE} = \frac{3}{3+t}$$



$\triangle BCD$ および直線 AE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CR}{RD} \cdot \frac{DA}{AB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t}{1-t} \cdot \frac{CR}{RD} \cdot \frac{2}{3} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{CR}{RD} = \frac{3(1-t)}{2t}$$

$$\text{よって} \quad \ell = \frac{CR}{CD} = \frac{3(1-t)}{3(1-t) + 2t} = \frac{3(1-t)}{3-t}$$

- (3) (2) の図について、 $\triangle BCF$ および直線 AE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{BE}{EC} \cdot \frac{CA}{AF} \cdot \frac{FP}{PB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t}{1-t} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{FP}{PB} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{FP}{PB} = \frac{3(1-t)}{4t} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$t = \frac{3}{5} \text{ のとき, } P \text{ は } Q \text{ に一致するので} \quad \frac{FQ}{QB} = \frac{1}{2} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\text{よって} \quad \triangle BCQ = \frac{2}{3} \triangle BCF = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} \triangle ABC = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1 = \frac{1}{6}$$

(4) $t = \frac{3}{5}$ のとき, R は Q に一致するので, (2) の結果から

$$\frac{CQ}{CD} = \frac{3(1 - \frac{3}{5})}{3 - \frac{3}{5}} = \frac{1}{2}$$

$$\text{したがって } CQ : QR = \frac{1}{2} : \frac{3(1-t)}{3-t} - \frac{1}{2} = 3-t : 3-5t$$

また, ①, ② から

$$BQ : PQ = \frac{2}{3} : \frac{3(1-t)}{3(1-t)+4t} - \frac{1}{3} = 3+t : 3-5t$$

$\triangle BCQ : \triangle PQR = BQ \cdot CQ : PQ \cdot QR$ であるから

$$\triangle BCQ : \triangle PQR = (3+t)(3-t) : (3-5t)^2$$

$$(3) \text{ の結果から } \triangle PQR = \frac{1}{6} \times \frac{(3-5t)^2}{(3+t)(3-t)} = \frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)}$$

解説 $\vec{b} = \overrightarrow{AB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{AC}$ とおくと

$$\overrightarrow{AQ} = \frac{\overrightarrow{AB} + 2\overrightarrow{AF}}{2+1} = \frac{\vec{b} + 2 \cdot \frac{3}{4}\vec{c}}{3} = \frac{1}{3}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}$$

$$\overrightarrow{AP} = k\overrightarrow{AE} = \frac{3}{3+t}\{(1-t)\vec{b} + t\vec{c}\}$$

$CR : RD = 3(1-t) : 2t$ であるから

$$\overrightarrow{AR} = \frac{2t\overrightarrow{AC} + 3(1-t)\overrightarrow{AD}}{3(1-t) + 2t} = \frac{1}{3-t}\{2(1-t)\vec{b} + 2t\vec{c}\}$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{QP} = \frac{3-5t}{6(3+t)}(4\vec{b} - 3\vec{c}), \quad \overrightarrow{QR} = \frac{3-5t}{6(3-t)}(2\vec{b} - 3\vec{c})$$

これらを空間ベクトルと考え, 外積の性質を用いると⁵

$$\overrightarrow{QP} \times \overrightarrow{QR} = -\frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)}\vec{b} \times \vec{c}$$

$$\text{よって } \triangle PQR : \triangle ABC = \frac{(3-5t)^2}{6(3+t)(3-t)} : 1$$

外積は高校数学の範囲外であるから, 2次試験では使えないが, センター試験では, 非常に有効な計算法である. なお, 外積 (ベクトル積) の演算について, 次式が成り立つことに注意したい.

$$\vec{b} \times \vec{c} = -\vec{c} \times \vec{b}$$

また, これに $\vec{c} = \vec{b}$ を代入すると $\vec{b} \times \vec{b} = \vec{0}$

⁵http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2004.pdf

- 3 (1) n 回サイコロ投げた後に, コインが P_i ($i = 0, 1, \dots, 5$) の位置にある確率を $P_i(n)$ とすると

$$\begin{aligned} P_0(n+1) &= \frac{1}{6}P_0(n) + \frac{1}{6}P_1(n) + \frac{1}{6}P_2(n) + \frac{1}{6}P_3(n) + \frac{1}{6}P_4(n) + \frac{1}{6}P_5(n) \\ &= \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n) + P_5(n)\} \end{aligned}$$

自然数 n に対して $P_0(n) + P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n) + P_5(n) = 1$ したがって $P_0(n) = \frac{1}{6} \times 1 = \frac{1}{6} \quad \dots (*)$

よって, 求める確率は $\frac{1}{6}$

(2) (*) より, 求める確率は $\frac{1}{6}$

(3) (*) より, 求める確率は $\frac{1}{6}$

解説 $P_i(n+1)$ は $P_j(n)$ によって決定する確率過程 (マルコフ連鎖) である.

$$P_0(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n) + P_5(n)\}$$

$$P_1(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n) + 2P_5(n)\}$$

$$P_2(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_1(n) + P_3(n) + 2P_4(n) + P_5(n)\}$$

$$P_3(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n) + P_5(n)\}$$

$$P_4(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + P_1(n) + 2P_2(n) + P_3(n) + P_5(n)\}$$

$$P_5(n+1) = \frac{1}{6}\{P_0(n) + 2P_1(n) + P_2(n) + P_3(n) + P_4(n)\}$$

したがって $P_0(n) = P_3(n) = \frac{1}{6},$

$$P_1(n+1) - P_5(n+1) = -\frac{1}{3}\{P_1(n) - P_5(n)\},$$

$$P_2(n+1) - P_4(n+1) = -\frac{1}{3}\{P_2(n) - P_4(n)\}$$

$P_1(1) = P_2(1) = P_4(1) = P_5(1) = \frac{1}{6}$ より $P_1(n) = P_5(n), P_2(n) = P_4(n)$

これらの結果から $P_1(n+1) = P_2(n+1) = \frac{1}{3}\left\{P_1(n) + P_2(n) + \frac{1}{6}\right\}$

ゆえに $P_1(n+1) = \frac{2}{3}P_1(n) + \frac{1}{18}$

$P_1(1) = \frac{1}{6}$ であるから $P_1(n) = \frac{1}{6}$ よって $P_i(n) = \frac{1}{6} \quad (i = 0, 1, \dots, 5)$

■

4 (1) 仮定から $10^n \equiv a_n, \quad 10^{n+1} \equiv a_{n+1} \pmod{13}$

第 1 式から $10^{n+1} \equiv 10a_n \pmod{13}$

したがって $a_{n+1} \equiv 10a_n \pmod{13}$

(2) $10^1 = 10$ より **$a_1 = 10$**

(1) の結果を用いると、法 13 について

$$a_2 \equiv 10a_1 \equiv 100 \equiv 9$$

$$a_3 \equiv 10a_2 \equiv 90 \equiv 12$$

$$a_4 \equiv 10a_3 \equiv 120 \equiv 3$$

$$a_5 \equiv 10a_4 \equiv 30 \equiv 4$$

$$a_6 \equiv 10a_5 \equiv 40 \equiv 1$$

よって **$a_2 = 9, a_3 = 12, a_4 = 3, a_5 = 4, a_6 = 1$**

(3) 整数 p, q を $1 \leq p \leq 9, 0 \leq q \leq 9$ とし、求める自然数 N を

$$N = p \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 + 10^2 + 6 \cdot 10 + q$$

とおくと、法 13 に関して

$$N \equiv p \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^4 + 10^2 + 6 \cdot 10 + q$$

$$\equiv p \cdot 4 + 2 \cdot 3 + 9 + 6 \cdot 10 + q = 4p + q + 75$$

$$\equiv 4p + q - 3$$

このとき、 $N \equiv 0 \pmod{13}$ を満たす整数 (p, q) の組は

$$(p, q) = (2, 8), (3, 4), (4, 0), (5, 9), (6, 5), (7, 1), (9, 6)$$

よって、求める自然数 N は

$$\mathbf{220168, 320164, 420160, 520169, 620165, 720161, 920166}$$



5 (1) ド・モアブルの定理により

$$z^n = \cos n\theta + i \sin n\theta, \quad \frac{1}{z^n} = \cos n\theta - i \sin n\theta \quad \cdots (*)$$

(*) の辺々を加えると

$$z^n + \frac{1}{z^n} = 2 \cos n\theta \quad \text{ゆえに} \quad \cos n\theta = \frac{1}{2} \left(z^n + \frac{1}{z^n} \right)$$

(*) の辺々を引くと

$$z^n - \frac{1}{z^n} = 2i \sin n\theta \quad \text{ゆえに} \quad \sin n\theta = -\frac{i}{2} \left(z^n - \frac{1}{z^n} \right)$$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} \cos x &= \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right) \\ \cos 2x &= \frac{1}{2} \left(z^2 + \frac{1}{z^2} \right) = \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right)^2 - 1 \\ \cos 3x &= \frac{1}{2} \left(z^3 + \frac{1}{z^3} \right) = \frac{1}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right)^3 - \frac{3}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right) \end{aligned}$$

$t = z + \frac{1}{z}$ とおくと

$$\cos x = \frac{1}{2}t, \quad \cos 2x = \frac{1}{2}t^2 - 1, \quad \cos 3x = \frac{1}{2}t^3 - \frac{3}{2}t$$

これらを $\cos x + \cos 2x - \cos 3x = 1$ に代入すると

$$\frac{1}{2}t + \frac{1}{2}t^2 - 1 - \left(\frac{1}{2}t^3 - \frac{3}{2}t \right) = 1$$

整理すると $t^3 - t^2 - 4t + 4 = 0$ ゆえに $(t-1)(t+2)(t-2) = 0$

これを解いて $t = 1, -2, 2$ したがって $\cos x = \frac{1}{2}, -1, 1$

$0 \leq x < 2\pi$ であるから $x = 0, \frac{\pi}{3}, \pi, \frac{5}{3}\pi$

(3) (1) の結果から

$$\sin^2 n\theta = \left\{ -\frac{i}{2} \left(z^n - \frac{1}{z^n} \right) \right\}^2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \left(z^{2n} + \frac{1}{z^{2n}} \right)$$

$\theta = 20^\circ$ とすると, $z^{18} = 1$ であるから

$$(z^2 - 1)(z^{16} + z^{14} + \cdots + z^2 + 1) = 0$$

$z^2 \neq 1$ であるから $z^{16} + z^{14} + \cdots + z^2 + 1 = 0$

また, $z \neq 0$ であるから $\sum_{n=1}^4 \left(z^{2n} + \frac{1}{z^{2n}} \right) = -1$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \sum_{n=1}^4 \sin^2 n\theta &= \sum_{n=1}^4 \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \left(z^{2n} + \frac{1}{z^{2n}} \right) \right\} \\ &= 4 \times \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \sum_{n=1}^4 \left(z^{2n} + \frac{1}{z^{2n}} \right) \\ &= 2 - \frac{1}{4} \times (-1) = \frac{9}{4} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \sin^2 20^\circ + \sin^2 40^\circ + \sin^2 60^\circ + \sin^2 80^\circ = \frac{9}{4}$$

別解 $\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$ および $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ により

$$\begin{aligned} &\sin^2 20^\circ + \sin^2 40^\circ + \sin^2 60^\circ + \sin^2 80^\circ \\ &= \frac{9}{4} - \frac{\cos 40^\circ + \cos 80^\circ + \cos 160^\circ}{2} \end{aligned}$$

方程式 $\cos 3\theta + \frac{1}{2} = 0$ ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$) の解は $\theta = 40^\circ, 80^\circ, 160^\circ$

ここで, $\cos 3\theta = 4\cos^3 \theta - 3\cos \theta$ であるから, 方程式

$$4\cos^3 \theta - 3\cos \theta + \frac{1}{2} = 0 \quad (0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ)$$

の解と係数の関係により $\cos 40^\circ + \cos 80^\circ + \cos 160^\circ = 0$

$$\text{よって} \quad \sin^2 20^\circ + \sin^2 40^\circ + \sin^2 60^\circ + \sin^2 80^\circ = \frac{9}{4}$$

補足 また, 解と係数の関係により $\cos 40^\circ \cos 80^\circ \cos 160^\circ = -\frac{1}{8}$

参考 $\theta = \frac{\pi}{n}$, $\alpha = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$ とおくと

$$z^n - 1 = (z - 1) \prod_{k=1}^{n-1} (z - \alpha^k)$$

$$\text{また } z^n - 1 = (z - 1) \sum_{k=1}^n z^{n-k} \quad \text{ゆえに} \quad \prod_{k=1}^{n-1} (z - \alpha^k) = \sum_{k=1}^n z^{n-k} \quad \dots (*)$$

(*) は, z に関する恒等式であるから, $z = 1$ を代入すると

$$(\text{左辺}) = \prod_{k=1}^{n-1} (1 - \cos 2k\theta - i \sin 2k\theta) = \prod_{k=1}^{n-1} (2 \sin^2 k\theta - 2i \sin k\theta \cos k\theta)$$

$$= 2^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin k\theta \prod_{k=1}^{n-1} (\sin k\theta - i \cos k\theta)$$

$$= 2^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin k\theta \prod_{k=1}^{n-1} \left\{ \cos \left(\frac{\pi}{2} - k\theta \right) - i \sin \left(\frac{\pi}{2} - k\theta \right) \right\}$$

$$= 2^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin k\theta \times (\cos 0 - i \sin 0) = 2^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin k\theta$$

$$(\text{右辺}) = n$$

$$\text{よって} \quad \prod_{k=1}^{n-1} \sin \frac{k\pi}{n} = \frac{n}{2^{n-1}}$$

$$\text{たとえば, } n = 9 \text{ のとき} \quad \prod_{k=1}^8 \sin \frac{k\pi}{9} = \frac{9}{256}$$

$$\text{したがって} \quad \sin 20^\circ \sin 40^\circ \sin 60^\circ \sin 80^\circ = \frac{3}{16} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\text{同様に, } n = 18 \text{ のとき} \quad \prod_{k=1}^{17} \sin \frac{k\pi}{18} = \frac{9}{2^{16}}$$

$$\text{したがって} \quad \sin 10^\circ \sin 20^\circ \sin 30^\circ \dots \sin 80^\circ = \frac{3}{256} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\text{さらに, } \textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から} \quad \sin 10^\circ \sin 30^\circ \sin 50^\circ \sin 70^\circ = \frac{1}{16}$$



1.14 2017 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 定数 $a > 0$ に対し, 曲線 $y = a \tan x$ の $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$ の部分を C_1 , 曲線 $y = \sin 2x$ の $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$ の部分を C_2 とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C_1 と C_2 が原点以外に交点をもつための a の条件を求めよ。
- (2) a が (1) の条件を満たすとき, 原点以外の C_1 と C_2 の交点を P とし, P の x 座標を p とする。 P における C_1 と C_2 のそれぞれの接線が直交するとき, a および $\cos 2p$ の値を求めよ。
- (3) a が (2) で求めた値のとき, C_1 と C_2 で囲まれた図形の面積を求めよ。

- 2 2つの定数 $a > 0$ および $b > 0$ に対し, 座標空間内の4点を

$$A(a, 0, 0), B(0, b, 0), C(0, 0, 1), D(a, b, 1)$$

と定める。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 A から線分 CD におろした垂線と CD の交点を G とする。 G の座標を a, b を用いて表せ。
- (2) さらに, 点 B から線分 CD におろした垂線と CD の交点を H とする。 $\overrightarrow{AG}$ と $\overrightarrow{BH}$ がなす角を θ とするとき, $\cos \theta$ を a, b を用いて表せ。

- 3 初項 $a_1 = 1$, 公差 4 の等差数列 $\{a_n\}$ を考える。以下の問いに答えよ。

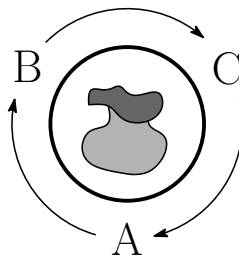
- (1) $\{a_n\}$ の初項から第 600 項のうち, 7 の倍数である項の個数を求めよ。
- (2) $\{a_n\}$ の初項から第 600 項のうち, 7^2 の倍数である項の個数を求めよ。
- (3) 初項から第 n 項までの積 $a_1 a_2 \cdots a_n$ が 7^{45} の倍数となる最小の自然数 n を求めよ。

- 4 赤玉2個，青玉1個，白玉1個が入った袋が置かれた円形のテーブルの周りに A, B, C の3人がこの順番で時計回りに着席している。3人のうち，ひとりが袋から玉を1個取り出し，色を確認したら袋にもどす操作を考える。1回目は A が玉を取り出し，次のルール (a), (b), (c) に従って勝者が決まるまで操作を繰り返す。

- (a) 赤玉を取り出したら，取り出した人を勝者とする。
 (b) 青玉を取り出したら，次の回も同じ人が玉を取り出す。
 (c) 白玉を取り出したら，取り出した人の左隣りの人が次の回に玉を取り出す。

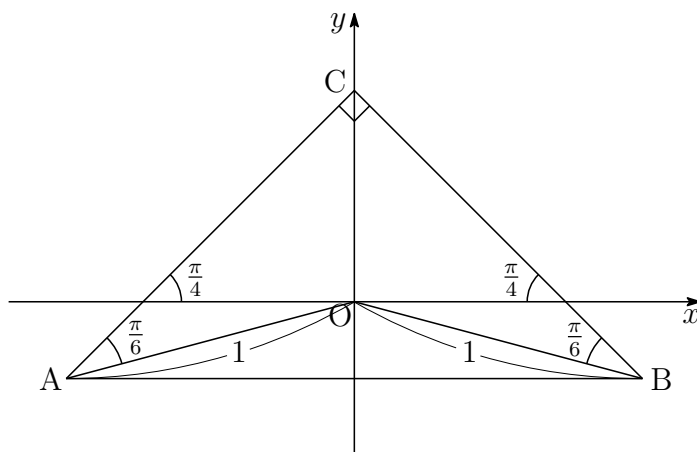
A, B, C の3人が n 回目に玉を取り出す確率をそれぞれ a_n, b_n, c_n ($n = 1, 2, \dots$) とする。ただし， $a_1 = 1, b_1 = c_1 = 0$ である。以下の問いに答えよ。

- (1) A が4回目に勝つ確率と7回目に勝つ確率をそれぞれ求めよ。
 (2) $d_n = a_n + b_n + c_n$ ($n = 1, 2, \dots$) とおくとき， d_n を求めよ。
 (3) 自然数 $n \geq 3$ に対し， a_{n+1} を a_{n-2} と n を用いて表せ。



5 2つの複素数 $\alpha = 10000 + 10000i$ と $w = \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{1}{4}i$ を用いて、複素数平面上の点 $P_n(z_n)$ を $z_n = \alpha w^n$ ($n = 1, 2, \dots$) により定める。ただし、 i は虚数単位を表す。2 と 3 の常用対数を $\log_{10} 2 = 0.301$, $\log_{10} 3 = 0.477$ として、以下の問いに答えよ。

- (1) z_n の絶対値 $|z_n|$ と偏角 $\arg z_n$ を求めよ。
- (2) $|z_n| \leq 1$ が成り立つ最小の自然数 n を求めよ。
- (3) 下図のように、複素数平面上の $\triangle ABC$ は線分 AB を斜辺とし、点 $C\left(\frac{i}{\sqrt{2}}\right)$ を一つの頂点とする直角二等辺三角形である。なお A, B を表す複素数の虚部は負であり、原点 O と 2 点 A, B の距離はともに 1 である。点 P_n が $\triangle ABC$ の内部に含まれる最小の自然数 n を求めよ。



解答例

- 1 (1) $0 < x < \frac{\pi}{2}$ のとき, $y = a \tan x$ と $y = \sin 2x$ から y を消去すると

$$a \tan x = \sin 2x \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{\sin 2x}{\tan x} = 2 \cos^2 x \quad \cdots \textcircled{1}$$

このとき, $0 < 2 \cos^2 x < 2$ より $0 < a < 2$

- (2) $f(x) = a \tan x$, $g(x) = \sin 2x$ において, これらを微分すると

$$f'(x) = \frac{a}{\cos^2 x}, \quad g'(x) = 2 \cos 2x$$

交点 P の x 座標が p であるから, ① より $a = 2 \cos^2 p \quad \cdots \textcircled{2}$

$$f'(p)g'(p) = -1 \text{ であるから } \frac{a}{\cos^2 p} \times 2 \cos 2p = -1$$

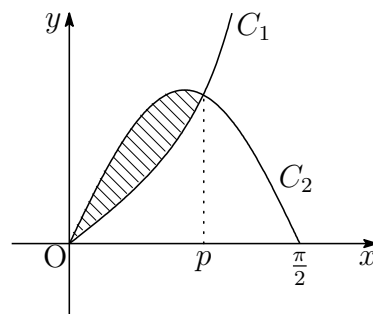
② を上式に代入すると

$$\frac{2 \cos^2 p}{\cos^2 p} \times 2 \cos 2p = -1 \quad \text{ゆえに} \quad \cos 2p = -\frac{1}{4}$$

$$\text{したがって} \quad a = 2 \cos^2 p = \cos 2p + 1 = -\frac{1}{4} + 1 = \frac{3}{4}$$

- (3) 求める面積は右の図の斜線部分であるから, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^p \left(\sin 2x - \frac{3}{4} \tan x \right) dx \\ &= \left[-\frac{1}{2} \cos 2x + \frac{3}{4} \log |\cos x| \right]_0^p \\ &= -\frac{1}{2} \cos 2p + \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \log |\cos p| \end{aligned}$$



$$\text{ここで, (2) の結果から} \quad \log |\cos p| = \frac{1}{2} \log \cos^2 p = \frac{1}{2} \log \frac{3}{8}$$

$$\text{よって} \quad S = -\frac{1}{2} \times \left(-\frac{1}{4} \right) + \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \log \frac{3}{8} = \frac{5}{8} + \frac{3}{8} \log \frac{3}{8}$$

■

2 (1) $A(a, 0, 0)$, $C(0, 0, 1)$, $D(a, b, 1)$ より

$$\overrightarrow{CA} = (a, 0, -1), \quad \overrightarrow{CD} = (a, b, 0)$$

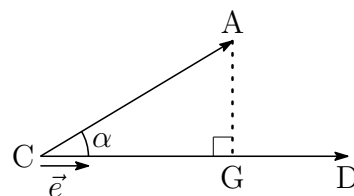
$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{CG} = \frac{\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CD}|^2} \overrightarrow{CD} = \frac{a^2}{a^2 + b^2} (a, b, 0)$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OG} &= \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{CG} = (0, 0, 1) + \frac{a^2}{a^2 + b^2} (a, b, 0) \\ &= \left(\frac{a^3}{a^2 + b^2}, \frac{a^2 b}{a^2 + b^2}, 1 \right) \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad G \left(\frac{a^3}{a^2 + b^2}, \frac{a^2 b}{a^2 + b^2}, 1 \right)$$

補足 $\overrightarrow{CA}$ と $\overrightarrow{CD}$ のなす角を α とし, 単位ベクトル $\vec{e}$ を

$$\vec{e} = \frac{\overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CD}|} \quad \cdots \textcircled{1}$$



とすると, A から CD に下ろした垂線と CD の交点 G について

$$\overrightarrow{CG} = (|\overrightarrow{CA}| \cos \alpha) \vec{e} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{また, } \cos \alpha = \frac{\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CA}| |\overrightarrow{CD}|} \text{ であるから } |\overrightarrow{CA}| \cos \alpha = \frac{\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CD}|}$$

$$\text{これと } \textcircled{1} \text{ を } \textcircled{2} \text{ に代入すると } \quad \overrightarrow{CG} = \frac{\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CD}|^2} \overrightarrow{CD}$$

(2) $B(0, b, 0)$ から, $\overrightarrow{CB} = (0, b, -1)$ であるから, (1) と同様にして

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OH} &= \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{CH} = \overrightarrow{OC} + \frac{\overrightarrow{CB} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{CD}|^2} \overrightarrow{CD} \\ &= (0, 0, 1) + \frac{b^2}{a^2 + b^2} (a, b, 0) = \left(\frac{ab^2}{a^2 + b^2}, \frac{b^3}{a^2 + b^2}, 1 \right)\end{aligned}$$

上式および (1) の結果から

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AG} &= \overrightarrow{OG} - \overrightarrow{OA} = \left(\frac{a^3}{a^2 + b^2}, \frac{a^2b}{a^2 + b^2}, 1 \right) - (a, 0, 0) \\ &= \left(-\frac{ab^2}{a^2 + b^2}, \frac{a^2b}{a^2 + b^2}, 1 \right), \\ \overrightarrow{BH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OB} = \left(\frac{ab^2}{a^2 + b^2}, \frac{b^3}{a^2 + b^2}, 1 \right) - (0, b, 0) \\ &= \left(\frac{ab^2}{a^2 + b^2}, -\frac{a^2b}{a^2 + b^2}, 1 \right)\end{aligned}$$

$\vec{u} = (a^2 + b^2)\overrightarrow{AG}$, $\vec{v} = (a^2 + b^2)\overrightarrow{BH}$ とおくと

$$\vec{u} = (-ab^2, a^2b, a^2 + b^2), \quad \vec{v} = (ab^2, -a^2b, a^2 + b^2)$$

$$\begin{aligned}\text{したがって} \quad \vec{u} \cdot \vec{v} &= -a^2b^4 - a^4b^2 + (a^2 + b^2)^2 \\ &= (a^2 + b^2)(a^2 + b^2 - a^2b^2), \\ |\vec{u}|^2 = |\vec{v}|^2 &= a^2b^4 + a^4b^2 + (a^2 + b^2)^2 \\ &= (a^2 + b^2)(a^2 + b^2 + a^2b^2)\end{aligned}$$

$\vec{u}$ と $\vec{v}$ のなす角は θ であるから

$$\cos \theta = \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{u}||\vec{v}|} = \frac{(a^2 + b^2)(a^2 + b^2 - a^2b^2)}{(a^2 + b^2)(a^2 + b^2 + a^2b^2)} = \frac{a^2 + b^2 - a^2b^2}{a^2 + b^2 + a^2b^2}$$



- 3** (1) 初項 $a_1 = 1$, 公差 4 の等差数列 $\{a_n\}$ の一般項は

$$a_n = 1 + 4(n-1) = 4n - 3 \cdots \textcircled{1}$$

a_n が 7 の倍数であるとき, $4n - 3 \equiv 0 \pmod{7}$ であるから

$$8n \equiv 6 \quad \text{ゆえに} \quad n \equiv -1 \pmod{7}$$

このとき, n は整数 m を用いて

$$n = 7m - 1 \quad \cdots \textcircled{2}$$

したがって, $1 \leq 7m - 1 \leq 600$ を満たす整数 m の個数は

$$\frac{2}{7} \leq m \leq \frac{601}{7} \quad \text{すなわち} \quad 1 \leq m \leq 85$$

よって, 求める個数は **85** (個)

- (2) ② を ① に代入すると

$$a_n = 4(7m - 1) - 3 = 7(4m - 1)$$

a_n が 7^2 の倍数であるとき, $4m - 1 \equiv 0 \pmod{7}$ であるから

$$8m \equiv 2 \quad \text{ゆえに} \quad m \equiv 2 \pmod{7}$$

このとき, m は整数 l を用いて

$$m = 7l + 2$$

これを ② に代入すると

$$n = 7(7l + 2) - 1 = 49l + 13 \quad \cdots \textcircled{3}$$

したがって, $1 \leq 49l + 13 \leq 600$ を満たす整数 l の個数は

$$-\frac{12}{49} \leq l \leq \frac{587}{49} \quad \text{すなわち} \quad 0 \leq l \leq 11$$

よって, 求める個数は **12** (個)

(3) ③を①に代入すると

$$a_n = 4(49l + 13) - 3 = 7^2(4l + 1)$$

a_n が 7^3 の倍数であるとき, $4l + 1 \equiv 0 \pmod{7}$ であるから

$$8l \equiv -2 \quad \text{ゆえに} \quad l \equiv -2 \pmod{7}$$

このとき, l は整数 k を用いて

$$l = 7k - 2$$

これを③に代入すると

$$n = 49(7k - 2) + 13 = 343k - 85 \quad \cdots \textcircled{4}$$

$1 \leq 343k - 85 \leq 600$ を満たす整数 k は 1 で, このとき $n = 258$

④を①に代入すると

$$a_n = 4(343k - 85) - 3 = 7^3(4k - 1)$$

これから, a_n が 7^4 の倍数となることはない.

以上の結果および②, ③より, $1 \leq n \leq 600$ に対して

$$a_n \text{ が } 7 \text{ の倍数であるとき} \quad n \equiv -1 \pmod{7}$$

$$a_n \text{ が } 7^2 \text{ の倍数であるとき} \quad n \equiv 13 \pmod{49}$$

$$a_n \text{ が } 7^3 \text{ の倍数であるとき} \quad n = 258$$

数列 $\{a_n\}$ のうち, 7 の倍数の項を次のように並べると

a_6	a_{13}	a_{20}	a_{27}	a_{34}	a_{41}	a_{48}
a_{55}	a_{62}	a_{69}	a_{76}	a_{83}	a_{90}	a_{97}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_{202}	a_{209}	a_{216}	a_{223}	a_{230}	a_{237}	a_{244}
a_{251}	a_{258}	a_{265}				

上の表で2列目のみ 7^2 を因数にもち, それ以外の列は7を因数にもつ.

ただし, 第6行目第2列の a_{258} のみ 7^3 を因数にもつ.

したがって, 2列目以外の32項(7を因数にもつ), 2列目の第1行から第5行目までの5項(7^2 を因数にもつ) および第6行目第2列の a_{258} より

$$32 \times 1 + 2 \times 5 + 3 = 45$$

よって, 求める n の最小値は $n = 265$

別解 (2) $a_n = 4n - 3$ より, a_n が 7^2 の倍数であるとき

$$4n - 3 \equiv 0 \quad \text{ゆえに} \quad 12(4n - 3) \equiv 0 \quad \text{すなわち} \quad n \equiv 13 \pmod{7^2}$$

$$n \text{ は整数 } l \text{ を用いて} \quad n = 49l + 13$$

したがって, $1 \leq 49l + 13 \leq 600$ を満たす整数 l の個数は

$$-\frac{12}{49} \leq l \leq \frac{587}{49} \quad \text{すなわち} \quad 0 \leq l \leq 11$$

よって, 求める個数は **12 (個)**

(3) $a_n = 4n - 3$ より, a_n が 7^3 の倍数であるとき

$$4n - 3 \equiv 0 \quad \text{ゆえに} \quad 86(4n - 3) \equiv 0 \quad \text{すなわち} \quad n \equiv 258 \pmod{7^3}$$

$$n \text{ は整数 } m \text{ を用いて} \quad n = 343m + 258$$

したがって, $1 \leq 343m + 258 \leq 600$ を満たす整数 m は $m = 0$ の 1 個で

$$a_{258} = 4 \cdot 258 - 3 = 1029 = 3 \cdot 7^3$$

また, $\{a_n\}$ の初項から第 600 項のうち, 7^4 で割り切れる項はない.

(1),(2) の結果から, 数列 $\{a_n\}$ のうち, 7 の倍数の項を次のように並べると

a_6	a_{13}	a_{20}	a_{27}	a_{34}	a_{41}	a_{48}
a_{55}	a_{62}	a_{69}	a_{76}	a_{83}	a_{90}	a_{97}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_{202}	a_{209}	a_{216}	a_{223}	a_{230}	a_{237}	a_{244}
a_{251}	a_{258}	a_{265}				

これら 38 個の項をそれぞれ 7 で割ると, さらに 7 で割り切れる項が第 2 列に 6 個あり, これらをまた 7 で割ると, 最後に残った a_{258} だけが 7 で 1 回割れる.

したがって, これら 38 個の積は 7 で $38 + 6 + 1$, すなわち, 45 回割り切れる.

よって, 求める n の最小値は **$n = 265$** ■

- 4 (1) 定められたルールにより, 次の確率漸化式が得られる.

$$(*) \quad a_{n+1} = \frac{1}{4}(a_n + c_n), \quad b_{n+1} = \frac{1}{4}(a_n + b_n), \quad c_{n+1} = \frac{1}{4}(b_n + c_n)$$

$$d_n = a_n + b_n + c_n \quad (n = 1, 2, \dots) \text{ とすると}$$

$$d_1 = a_1 + b_1 + c_1 = 1 + 0 + 0 = 1$$

(*) の辺々を加えることにより

$$d_{n+1} = \frac{1}{2}d_n \quad \text{ゆえに} \quad d_n = \frac{1}{2^{n-1}} \quad \dots \textcircled{1}$$

したがって, (*) は

$$a_{n+1} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2^{n-1}} - b_n \right) = \frac{1}{2^{n+1}} - \frac{1}{4}b_n$$

$$b_{n+1} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2^{n-1}} - c_n \right) = \frac{1}{2^{n+1}} - \frac{1}{4}c_n$$

$$c_{n+1} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2^{n-1}} - a_n \right) = \frac{1}{2^{n+1}} - \frac{1}{4}a_n$$

上の3式から, $n \geq 3$ のとき

$$\begin{aligned} a_{n+1} &= \frac{1}{2^{n+1}} - \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2^n} - \frac{1}{4}c_{n-1} \right) = \frac{1}{2^{n+2}} + \frac{1}{16}c_{n-1} \\ &= \frac{1}{2^{n+2}} + \frac{1}{16} \left(\frac{1}{2^{n-1}} - \frac{1}{4}a_{n-2} \right) = \frac{3}{2^{n+3}} - \frac{1}{64}a_{n-2} \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

② に $n = 3, 6$ を代入することにより

$$\begin{aligned} a_4 &= \frac{3}{2^6} - \frac{1}{64}a_1 = \frac{3}{64} - \frac{1}{64} \cdot 1 = \frac{1}{32} \\ a_7 &= \frac{3}{2^9} - \frac{1}{64}a_4 = \frac{3}{512} - \frac{1}{64} \cdot \frac{1}{32} = \frac{11}{2048} \end{aligned}$$

$$\text{よって A が 4 回目に勝つ確率は } a_4 \times \frac{2}{4} = \frac{1}{32} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$$

$$\text{A が 7 回目に勝つ確率は } a_7 \times \frac{2}{4} = \frac{11}{2048} \times \frac{1}{2} = \frac{11}{4096}$$

$$(2) \textcircled{1} \text{ より } d_n = \frac{1}{2^{n-1}}$$

$$(3) \textcircled{2} \text{ より } a_{n+1} = \frac{3}{2^{n+3}} - \frac{1}{64}a_{n-2}$$



5 (1) $\alpha = 10000 + 10000i = 10000\sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)$

$$w = \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{1}{4}i = \frac{1}{2} \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right)$$

ゆえに $z_n = \alpha w^n = \frac{10000\sqrt{2}}{2^n} \left\{ \cos \left(\frac{n}{6} + \frac{1}{4} \right) \pi + i \sin \left(\frac{n}{6} + \frac{1}{4} \right) \pi \right\}$

よって $|z_n| = \frac{10000}{2^{n-\frac{1}{2}}}, \quad \arg z_n = \left(\frac{n}{6} + \frac{1}{4} \right) \pi$

(2) (1) の結果から, $|z_n| \leq 1$ のとき

$$\frac{10000}{2^{n-\frac{1}{2}}} \leq 1 \quad \text{ゆえに} \quad 2^{n-\frac{1}{2}} \geq 10^4$$

両辺の常用対数をとると

$$\left(n - \frac{1}{2} \right) \log_{10} 2 \geq 4 \quad \text{ゆえに} \quad n \geq \frac{4}{\log_{10} 2} + \frac{1}{2}$$

ここで $\frac{4}{\log_{10} 2} + \frac{1}{2} = \frac{4}{0.301} + 0.5 = 13.7 \dots$

よって, 求める最小の自然数 n は $\mathbf{n = 14}$

(3) (1),(2) の結果から

$$|z_{14}| = \frac{10000}{2^{14-\frac{1}{2}}} = \frac{2^4 \cdot 5^4}{2^{13}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{5^4}{2^9} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{625}{512} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} > \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\arg z_{14} = \left(\frac{14}{6} + \frac{1}{4} \right) \pi = \frac{7}{12} \pi + 2\pi$$

$$|z_{15}| = \frac{10000}{2^{15-\frac{1}{2}}} = \frac{2^4 \cdot 5^4}{2^{14}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{5^4}{2^{10}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{625}{1024} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{125}{128} \cdot \frac{5}{4\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{125}{128} \sqrt{\frac{25}{32}} < \frac{1}{2}$$

$$\arg z_{15} = \left(\frac{15}{6} + \frac{1}{4} \right) \pi = \frac{3}{4} \pi + 2\pi$$

したがって, P_{14} は $\triangle ABC$ の外部にあり, P_{15} は $\triangle ABC$ の内部にある.

よって, 求める最小の自然数 n は $\mathbf{n = 15}$



1.15 2018年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

1 座標空間において, xy 平面上にある双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ のうち $x \geq 1$ を満たす部分を C とする。また, z 軸上の点 $A(0, 0, 1)$ を考える。点 P が C 上を動くとき, 直線 AP と平面 $x = d$ との交点の軌跡を求めよ。ただし, d は正の定数とする。

2 原点を中心とする半径 3 の半円 $C: x^2 + y^2 = 9$ ($y \geq 0$) 上の 2 点 P と Q に対し, 線分 PQ を 2:1 に内分する点を R とする。以下の問いに答えよ。

(1) 点 P の y 座標と Q の y 座標が等しく, かつ P の x 座標は Q の x 座標より小さくなるように P と Q が動くものとする。このとき, 線分 PR が通過してできる図形 S の面積を求めよ。

(2) 点 P を $(-3, 0)$ に固定する。 Q が半円 C 上を動くとき線分 PR が通過してできる図形 T の面積を求めよ。

(3) (1) の図形 S から (2) の図形 T を除いた図形と第 1 象限の共通部分を U とする。 U を y 軸のまわりに 1 回転させてできる回転体の体積を求めよ。

3 1 から 4 までの数字を 1 つずつ書いた 4 枚のカードが箱に入っている。箱の中から 1 枚カードを取り出してもとに戻す試行を n 回続けて行う。 k 回目に取り出したカードの数字を X_k とし, 積 $X_1 X_2 \cdots X_n$ を 4 で割った余りが 0, 1, 2, 3 である確率をそれぞれ p_n, q_n, r_n, s_n とする。 p_n, q_n, r_n, s_n を求めよ。

4 整数 a, b は 3 の倍数ではないとし,

$$f(x) = 2x^3 + a^2x^2 + 2b^2x + 1$$

とおく。以下の問いに答えよ。

(1) $f(1)$ と $f(2)$ を 3 で割った余りをそれぞれ求めよ。

(2) $f(x) = 0$ を満たす整数 x は存在しないことを示せ。

(3) $f(x) = 0$ を満たす有理数 x が存在するような組 (a, b) をすべて求めよ。

5 α を複素数とする。等式

$$\alpha(|z|^2 + 2) + i(2|\alpha|^2 + 1)\bar{z} = 0$$

を満たす複素数 z をすべて求めよ。ただし, i は虚数単位である。

解答例

- 1 C 上の点 P を $\left(\frac{1}{\cos \theta}, \tan \theta, 0\right)$ とおく $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$. 直線 AP と平面 $x = d$ との交点を Q とすると, 実数 k を用いて

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OQ} &= \overrightarrow{OA} + k\overrightarrow{AP} \\ &= (0, 0, 1) + k\left(\frac{1}{\cos \theta}, \tan \theta, -1\right) \\ &= \left(\frac{k}{\cos \theta}, k \tan \theta, 1 - k\right) \quad \cdots \textcircled{1}\end{aligned}$$

点 Q の x 座標が d であるから

$$\frac{k}{\cos \theta} = d \quad \text{ゆえに} \quad k = d \cos \theta$$

これを ① に代入すると

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OQ} &= (d, d \sin \theta, 1 - d \cos \theta) \\ &= (d, 0, 1) + d(0, \sin \theta, -\cos \theta)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ここで} \quad \sin \theta &= \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \\ -\cos \theta &= -\sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{OQ} = (d, 0, 1) + d\left(0, \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right), \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

このとき, $-\pi < \theta - \frac{\pi}{2} < 0$ であるから, 求める軌跡は,

平面 $x = d$ 上の点 $(d, 0, 1)$ を中心とする半径 d の円周上で $z < 1$.

別解 軌跡の方程式を, 次のように表してもよい.

$$\begin{cases} x = d \\ y^2 + (z - 1)^2 = d^2 \\ z < 1 \end{cases}$$

双曲線の媒介変数表示

双曲線 $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ は, $\frac{1}{\cos^2 \theta} - \tan^2 \theta = 1$ により,

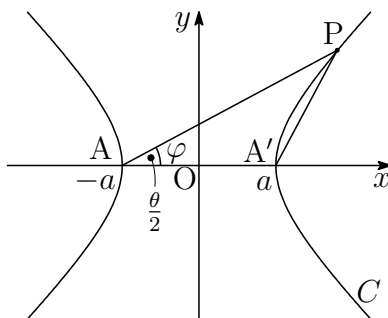
$$\frac{x}{a} = \frac{1}{\cos \theta}, \quad \frac{y}{b} = \tan \theta$$

とおくと, 双曲線上の点 $P(x, y)$ は, 次のように媒介変数表示ができる.

$$\begin{cases} x = \frac{a}{\cos \theta} \\ y = b \tan \theta \end{cases}$$

とくに, $a = b$ のとき, 直角双曲線となる.

直角双曲線 $C: x^2 - y^2 = a^2$ 上の点を $P(x, y)$, 2頂点を $A(-a, 0)$, $A'(a, 0)$ とおく.



直線 AP の傾きを m , 直線 $A'P$ の傾きを m' とすると

$$m = \frac{y}{x+a}, \quad m' = \frac{y}{x-a} \quad \text{ゆえに} \quad mm' = \frac{y^2}{x^2 - a^2} = 1$$

P は 2 直線 $AP: y = m(x+a)$, $A'P: y = \frac{1}{m}(x-a)$ の交点であるから

$$x = \frac{1+m^2}{1-m^2}a, \quad y = \frac{2m}{1-m^2}a$$

ここで, $m = \tan \varphi$ とおくと $x = \frac{a}{\cos 2\varphi}$, $y = a \tan 2\varphi$

さらに, $\theta = 2\varphi$ とおくことにより $x = \frac{a}{\cos \theta}$, $y = a \tan \theta$

直角双曲線の漸近線が $y = x$ と $y = -x$ であるから, $0 \leq \theta < 2\pi$, すなわち, $0 \leq \varphi < \pi$ において, $\varphi \neq \frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi$ である. $\varphi = \frac{\pi}{4} - 0$ のとき P は第 1 象限の無限遠点, $\varphi = \frac{\pi}{4} + 0$ のとき P は第 3 象限の無限遠点, $\varphi = \frac{3}{4}\pi - 0$ のとき P は第 2 象限の無限遠点, $\varphi = \frac{3}{4}\pi + 0$ のとき P は第 4 象限の無限遠点にある. ■

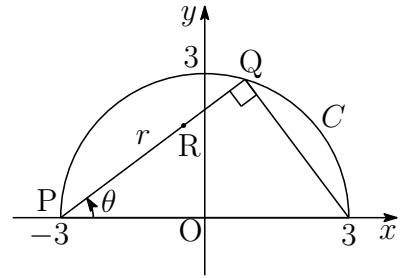
2 (1) $\int_0^3 PQ dy = \frac{1}{2}\pi \cdot 3^2 = \frac{9}{2}\pi$ であるから, $PR = \frac{2}{3}PQ$ より

$$S = \int_0^3 PR dy = \frac{2}{3} \int_0^3 PQ dy = \frac{2}{3} \cdot \frac{9}{2}\pi = 3\pi$$

(2) $\theta = \angle OPQ$, $r = PQ$ とおくと ($r = 6 \cos \theta$)

$$\frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^2 d\theta = \frac{9}{2}\pi$$

$PR = \frac{2}{3}r$ より



$$T = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{2}{3}r\right)^2 d\theta = \frac{4}{9} \cdot \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^2 d\theta = \frac{4}{9} \cdot \frac{9}{2}\pi = 2\pi$$

(3) $C: x^2 + y^2 = 9$ ($y \geq 0$) の第 1 象限と y 軸で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転させてできる回転体の体積は, 半径 3 の半球の体積であるから

$$\pi \int_0^3 x^2 dy = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 3^3 = 18\pi$$

$P(-x, y)$, $Q(x, y)$ を 2 : 1 に内分する点は $\left(\frac{x}{3}, y\right)$ ($x \geq 0, y \geq 0$)

この点の軌跡は C の第 1 象限の部分を y 軸を元に x 軸方向に $\frac{1}{3}$ だけ縮小したものであるから, 図形 S と第 1 象限の共通部分を y 軸のまわりに 1 回転させてできる回転体の体積を V_1 とすると

$$V_1 = \pi \int_0^3 \left(\frac{x}{3}\right)^2 dy = \frac{1}{9} \pi \int_0^3 x^2 dy = \frac{1}{9} \cdot 18\pi = 2\pi$$

$P(-3, 0)$, $Q(s, t)$ を 2 : 1 に内分する点を $R(x, y)$ とすると

$$x = \frac{2s - 3}{3}, \quad y = \frac{2t}{3} \quad \text{ゆえに} \quad s = \frac{3}{2}(x + 1), \quad t = \frac{3}{2}y$$

Q は C 上の点であるから $s^2 + t^2 = 9$ ($t \geq 0$)

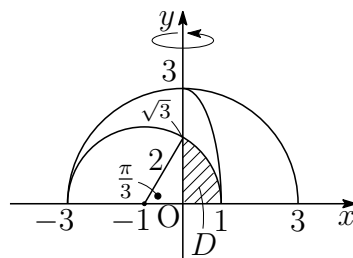
これに上の結果を代入することにより, R の軌跡の方程式は

$$\frac{9}{4}(x+1)^2 + \frac{9}{4}y^2 = 9 \quad \text{ゆえに} \quad (x+1)^2 + y^2 = 4 \quad (y \geq 0) \quad \cdots (*)$$

(*) の y 軸との交点の y 座標は, (*) に $x = 0$ を代入して

$$y = \sqrt{3}$$

右の図の領域 D を y 軸のまわりに回転させてできる回転体の体積を V_2 とすると



$$\begin{aligned} V_2 &= \pi \int_0^{\sqrt{3}} x^2 dy \\ &= \pi \int_0^{\sqrt{3}} \{(x+1)^2 - 1\} dy - 2\pi \int_0^{\sqrt{3}} x dy \quad \cdots (**) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで } \int_0^{\sqrt{3}} \{(x+1)^2 - 1\} dy &= \int_0^{\sqrt{3}} (3 - y^2) dy \\ &= \left[3y - \frac{1}{3}y^3 \right]_0^{\sqrt{3}} = 2\sqrt{3} \end{aligned}$$

また, $\int_0^{\sqrt{3}} x dy$ は, D の面積であるから

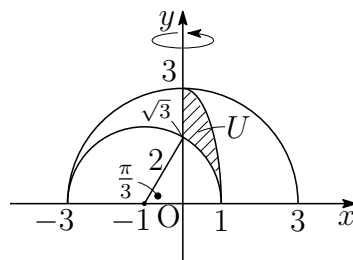
$$\int_0^{\sqrt{3}} x dy = \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot \frac{\pi}{3} - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \sqrt{3} = \frac{2}{3}\pi - \frac{\sqrt{3}}{2}$$

これらを (**) に代入すると

$$V_2 = 2\sqrt{3}\pi - 2\pi \left(\frac{2}{3}\pi - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \left(3\sqrt{3} - \frac{4}{3}\pi \right) \pi$$

U の表す領域は右の図の斜線部分で, これを y 軸のまわりに 1 回転させた回転体の体積は

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &= 2\pi - \left(3\sqrt{3} - \frac{4}{3}\pi \right) \pi \\ &= \left(2 - 3\sqrt{3} + \frac{4}{3}\pi \right) \pi \end{aligned}$$

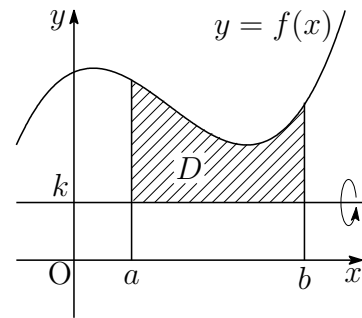


注意 (**) の $\pi \int_0^{\sqrt{3}} \{(x+1)^2 - 1\} dy$ は, D を直線 $x = -1$ のまわりに 1 回転させた回転体の体積を表す.

解説

$k > 0$ とする. 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = k$ が, 区間 $a \leq x \leq b$ において, $f(x) \geq k$ であるとき, この区間において, 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = k$ で囲まれた領域 D を直線 $y = k$ のまわりに 1 回転させた回転体の体積を V とすると

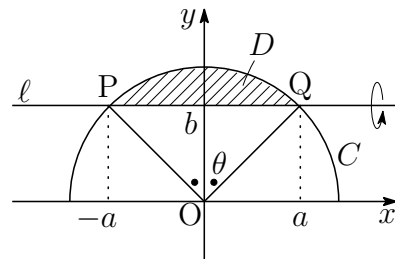
$$\begin{aligned} V &= \pi \int_a^b (y - k)^2 dy \\ &= \pi \int_a^b (y^2 - k^2) dx - 2\pi k \int_a^b (y - k) dx \end{aligned}$$



D を x 軸のまわりに 1 回転させた回転体の体積を V_x , D の面積を S とすると

$$V = V_x - 2\pi k S$$

半円 $C: x^2 + y^2 = a^2 + b^2$ ($y \geq 0$) と直線 $\ell: y = b$ ($b \geq 0$) で囲まれた領域を D とする. D を ℓ のまわりに 1 回転させた回転体の体積を V , D を x 軸のまわりに 1 回転させた回転体の体積を V_x , D の面積を S とすると



$$V_x = \pi \int_{-a}^a (y^2 - b^2) dx = \pi \int_{-a}^a (a^2 - x^2) dx = \frac{4}{3}\pi a^3$$

とくに, V_x は C の半径 r に関係なく a の値により決定する.

C と ℓ の 2 つの交点 P, Q に対し, $\angle POQ = 2\theta$, $OP = OQ = r$ とおくと

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2}r^2 \cdot 2\theta - \frac{1}{2} \cdot 2a \cdot b = r^2\theta - ab, \\ V &= V_x - 2\pi b S = \frac{4}{3}\pi a^3 - 2\pi b(r^2\theta - ab) \\ &= 2\pi \left(\frac{2}{3}a^3 + ab^2 - br^2\theta \right) \end{aligned}$$

例えば, $C: x^2 + y^2 = 4$, $\ell: y = 1$ のとき, $a = \sqrt{3}$, $b = 1$, $r = 2$, $\theta = \frac{\pi}{3}$ より

$$V = 2 \left(3\sqrt{3} - \frac{4}{3}\pi \right) \pi$$

これは, 前ページで求めた V_2 の 2 倍に等しい.

このように、領域 D を回転させた回転体の体積 V は、 D の面積 S を利用すると、簡単に求めることができる。

例題 次の領域 D_1 および D_2 をそれぞれ x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積を求めよ。

$$D_1 : \begin{cases} x^2 + (y-1)^2 \leq 4 \\ y \geq 2 \end{cases} \quad D_2 : \begin{cases} x^2 + (y-1)^2 \leq 4 \\ 0 \leq y \leq 2 \end{cases}$$

解答 D_1, D_2 の面積をそれぞれ S_1, S_2 とする。

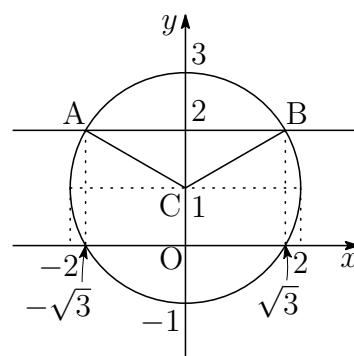
右図において、 $\angle ACB = \frac{2\pi}{3}$ であるから

$$S_1 = \frac{1}{2} \cdot 2^2 \left(\frac{2\pi}{3} - \sin \frac{2\pi}{3} \right) = \frac{4\pi}{3} - \sqrt{3}$$

$$S_2 = \pi \cdot 2^2 - 2S_1 = \frac{4\pi}{3} + 2\sqrt{3}$$

$y = 1 + \sqrt{4 - x^2}$ ($-2 \leq x \leq 2$) $\cdots (*)$ とすると

$$\int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} (y-2) dx = S_1 = \frac{4\pi}{3} - \sqrt{3}$$



D_1 および D_2 を x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積をそれぞれ V_1, V_2 とする。(*) より、 $x^2 + (y-1)^2 = 4$ であるから

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi \int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} (y^2 - 2^2) dx \\ &= 2\pi \int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} (y-2) dx + \pi \int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} (3 - x^2) dx \\ &= 2\pi S_1 + \pi \int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} (\sqrt{3} + x)(\sqrt{3} - x) dx \\ &= 2\pi \left(\frac{4\pi}{3} - \sqrt{3} \right) + \frac{\pi}{6} (2\sqrt{3})^3 \\ &= 2\pi \left(\frac{4\pi}{3} + \sqrt{3} \right) \end{aligned}$$

D_2 の境界を表す 2 曲線 $C_1 : y = f(x)$, $C_2 : y = g(x)$ を

$$f(x) = \begin{cases} 1 + \sqrt{4 - x^2} & (\sqrt{3} \leq |x| \leq 2) \\ 2 & (|x| \leq \sqrt{3}) \end{cases}$$

$$g(x) = \begin{cases} 1 - \sqrt{4 - x^2} & (\sqrt{3} \leq |x| \leq 2) \\ 0 & (|x| \leq \sqrt{3}) \end{cases}$$

とすると

$$f(x) + g(x) = 2, \quad \int_{-2}^2 \{f(x) - g(x)\} dx = S_2$$

したがって

$$\begin{aligned} V_2 &= \pi \int_{-2}^2 \{f(x)^2 - g(x)^2\} dx \\ &= \pi \int_{-2}^2 \{f(x) + g(x)\} \{f(x) - g(x)\} dx \\ &= \pi \int_{-2}^2 2\{f(x) - g(x)\} dx = 2\pi \int_{-2}^2 \{f(x) - g(x)\} dx \\ &= 2\pi S_2 = 2\pi \left(\frac{4\pi}{3} + 2\sqrt{3} \right) \end{aligned}$$

補足 D_2 の重心は $(0, 1)$ であるから, パップス・ギュルダンの定理⁶により

$$V_2 = 2\pi S_2 \cdot 1 = 2\pi \left(\frac{4\pi}{3} + 2\sqrt{3} \right)$$

九大理系 2012 年

円 $x^2 + (y - 1)^2 = 4$ で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ。

解答 求める体積は $V_1 + V_2 = 2\pi \left(\frac{8\pi}{3} + 3\sqrt{3} \right)$

⁶http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-ri_2012.pdf (p.6 参照)

九大理系 2013 年

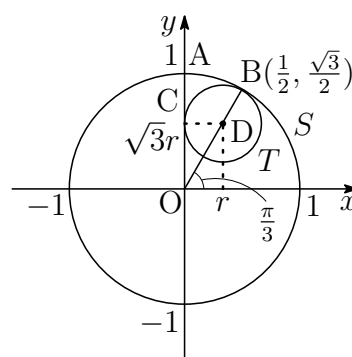
原点 O を中心とし、点 $A(0, 1)$ を通る円を S とする。点 $B\left(\frac{1}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ で円 S に内接する円 T が、点 C で y 軸に接しているとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 円 T の中心 D の座標と半径を求めよ。
- (2) 点 D を通り x 軸に平行な直線を l とする。円 S の短い方の弧 $\widehat{AB}$ ，円 T の短い方の弧 $\widehat{BC}$ ，および線分 AC で囲まれた図形を l のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ。

解答 (1) OB の x 軸の正の方向となす角は $\frac{\pi}{3}$ であるから、 T の半径を r とすると、 D の座標は $(r, \sqrt{3}r)$ ， $OD = 2r$ である。
右の図より、 $OD + DB = 1$ であるから

$$2r + r = 1 \quad \text{ゆえに} \quad r = \frac{1}{3}$$

$$\text{よって} \quad D\left(\frac{1}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3}\right), \quad \text{半径} \frac{1}{3}$$

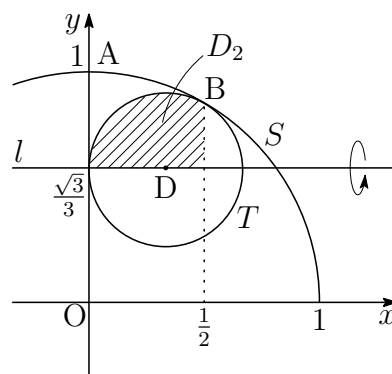
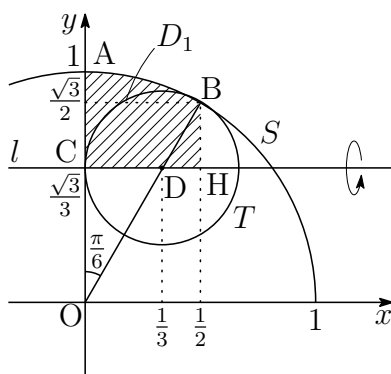


- (2) $y = \sqrt{1-x^2}$ とすると、 S と y 軸， l ，直線 $x = \frac{1}{2}$ で囲まれた領域 D_1 の面積は、左下の図から

$$\int_0^{\frac{1}{2}} \left(y - \frac{\sqrt{3}}{3} \right) dx = \frac{1}{2} \cdot 1^2 \cdot \frac{\pi}{6} - \triangle OCD + \triangle BDH$$

$$= \frac{\pi}{12} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{\sqrt{3}}{6}$$

$$= \frac{\pi}{12} - \frac{\sqrt{3}}{24} \quad \dots (*)$$



D_1 を l の周りに 1 回転してできる立体の体積を V_1 とすると, $x^2 + y^2 = 1$ および (*) に注意して

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{\pi} &= \int_0^{\frac{1}{2}} \left(y - \frac{\sqrt{3}}{3} \right)^2 dx = \int_0^{\frac{1}{2}} \left(y^2 - \frac{2\sqrt{3}}{3}y + \frac{1}{3} \right) dx \\ &= \int_0^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{3} - x^2 \right) dx - \frac{2\sqrt{3}}{3} \int_0^{\frac{1}{2}} \left(y - \frac{\sqrt{3}}{3} \right) dx \\ &= \int_0^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{3} - x^2 \right) dx - \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{\sqrt{3}}{24} \right)\end{aligned}$$

D_2 を l の周りに 1 回転してできる立体の体積を V_2 とすると,

$$\left(x - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(y - \frac{\sqrt{3}}{3} \right)^2 = \frac{1}{9}$$

に注意して

$$\frac{V_2}{\pi} = \int_0^{\frac{1}{2}} \left(y - \frac{\sqrt{3}}{3} \right)^2 dx = \int_0^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{3}x - x^2 \right) dx$$

求める体積 V は

$$\begin{aligned}\frac{V}{\pi} &= \frac{V_1}{\pi} - \frac{V_2}{\pi} = \frac{2}{3} \int_0^{\frac{1}{2}} (1 - x) dx - \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{\sqrt{3}}{24} \right) \\ &= \frac{2}{3} \left[x - \frac{x^2}{2} \right]_0^{\frac{1}{2}} - \frac{\sqrt{3}}{18}\pi + \frac{1}{12} = \frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{18}\pi\end{aligned}$$

よって $V = \pi \left(\frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{18}\pi \right)$



- 3** 法4に関する0, 1, 2, 3の積は, 右のようになる.
したがって, 次の確率漸化式が成立する.

	0	1	2	3
0	0	0	0	0
1	0	1	2	3
2	0	2	0	2
3	0	3	2	1

$$p_1 = q_1 = r_1 = s_1 = \frac{1}{4}$$

$$p_{n+1} = p_n + \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{2}r_n + \frac{1}{4}s_n \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$q_{n+1} = \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{4}s_n \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$r_{n+1} = \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{2}r_n + \frac{1}{4}s_n \quad \cdots \textcircled{3}$$

$$s_{n+1} = \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{4}s_n \quad \cdots \textcircled{4}$$

$q_1 = s_1 = \frac{1}{4}$ および $\textcircled{2}$, $\textcircled{4}$ より, $q_n = s_n$ であるから

$$q_1 = \frac{1}{4}, \quad q_{n+1} = \frac{1}{2}q_n \quad \text{ゆえに} \quad q_n = q_1 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2^{n-1}} = \frac{1}{2^{n+1}}$$

したがって $q_n = s_n = \frac{1}{2^{n+1}}$ これを $\textcircled{3}$ に代入すると

$$r_{n+1} = \frac{1}{2}r_n + \frac{1}{2^{n+2}} \quad \text{ゆえに} \quad 2^{n+1}r_{n+1} = 2^n r_n + \frac{1}{2}$$

数列 $\{2^n r_n\}$ は初項 $2r_1 = \frac{1}{2}$, 公差 $\frac{1}{2}$ の等差数列であるから

$$2^n r_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(n-1) = \frac{n}{2} \quad \text{ゆえに} \quad r_n = \frac{n}{2^{n+1}}$$

$p_n + q_n + r_n + s_n = 1$ であるから

$$\begin{aligned} p_n &= 1 - q_n - r_n - s_n \\ &= 1 - \frac{1}{2^{n+1}} - \frac{n}{2^{n+1}} - \frac{1}{2^{n+1}} = 1 - \frac{n+2}{2^{n+1}} \end{aligned}$$



4 (1) 整数 a, b は 3 の倍数ではないから

$$a \equiv \pm 1, b \equiv \pm 1 \quad \text{ゆえに} \quad a^2 \equiv 1, b^2 \equiv 1 \pmod{3} \quad \cdots (*)$$

$f(x) = 2x^3 + a^2x^2 + 2b^2x + 1$ より, 法 3 に関して

$$f(1) = a^2 + 2b^2 + 3 \equiv 1 + 2 \cdot 1 + 3 \equiv 0 \pmod{3}$$

$$f(2) = 4a^2 + 4b^2 + 17 \equiv 4 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 17 \equiv 1 \pmod{3}$$

よって, $f(1)$ と $f(2)$ を 3 で割った余りはそれぞれ **0** と **1**

(2) $f(x) = 0$ を満たす整数 x が m であるとき

$$2m^3 + a^2m^2 + 2b^2m + 1 = 0$$

$$\text{したがって} \quad m(2m^2 + a^2m + 2b^2) = -1$$

上式より, 次の (i), (ii) の場合分けができる.

(i) $m = 1, 2m^2 + a^2m + 2b^2 = -1$ のとき,

第 1 式を第 2 式を代入すると

$$2 + a^2 + 2b^2 = -1 \quad \text{ゆえに} \quad a^2 + 2b^2 = -3$$

$a^2 + 2b^2 \geq 0$ であるから, 不適.

(ii) $m = -1, 2m^2 + a^2m + 2b^2 = 1$ のとき,

第 1 式を第 2 式を代入すると

$$2 - a^2 + 2b^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad -a^2 + 2b^2 = -1$$

(*) より, $-a^2 + 2b^2 \equiv 1 \pmod{3}$ であるから, 不適.

(i), (ii) より, $f(x) = 0$ を満たす整数 x は存在しない.

補足 x を整数とすると $x + 3 \equiv x \pmod{3}$

n を自然数とすると $(x + 3)^n \equiv x^n \pmod{3}$

ゆえに $f(x + 3) \equiv f(x) \pmod{3}$

これと (1) の結果および $f(0) = 1$ から, $x \equiv 1 \pmod{3}$ が $f(x) = 0$ を満たす x であるための必要条件である. したがって, (2) は, (ii) の $m = 1$ の場合についてのみ調べればよい.

- (3) $f(x) = 0$ を満たす x は負である. (2) の結果に注意すると, $f(x) = 0$ を満たす有理数 x は整数ではないから, x を $\frac{p}{q}$ とすると (p, q は互いに素である整数, $p < 0, q > 1$)

$$\begin{aligned} 2\left(\frac{p}{q}\right)^3 + a^2\left(\frac{p}{q}\right)^2 + 2b^2\frac{p}{q} + 1 &= 0 \\ 2p^3 + a^2p^2q + 2b^2pq^2 + q^3 &= 0 \\ \frac{2p^3}{q} + a^2p^2 + 2b^2pq + q^2 &= 0 \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

上式の $a^2p^2 + 2b^2pq + q^2$ が整数であるから, $\frac{2p^3}{q}$ は整数である. このとき, p と q は互いに素であるから ($q > 1$), $q = 2$. これを ① に代入すると

$$p^3 + a^2p^2 + 4b^2p + 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad p(p^2 + a^2p + 4b^2) = -4 \quad \cdots \textcircled{2}$$

負の整数 p は -4 の約数で, $q (= 2)$ と互いに素であるから $p = -1$
 $p = -1$ を ② に代入すると

$$-(1 - a^2 + 4b^2) = -4 \quad \text{ゆえに} \quad |a|^2 - 4|b|^2 = -3$$

$$\text{したがって} \quad (|a| + 2|b|)(|a| - 2|b|) = -3$$

条件より a, b は 0 でない整数であるから, $|a| + 2|b| \geq 3$ に注意すると

$$\begin{cases} |a| + 2|b| = 3 \\ |a| - 2|b| = -1 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad |a| = |b| = 1$$

a, b は, 3 の倍数でないことに注意して

$$(a, b) = (1, 1), (1, -1), (-1, 1), (-1, -1)$$



5 $\alpha(|z|^2 + 2) + i(2|\alpha|^2 + 1)\bar{z} = 0$ より

$$\frac{\alpha}{2|\alpha|^2 + 1} + \frac{\bar{z}i}{|z|^2 + 2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\bar{z}}{|z|^2 + 2} = \frac{\alpha i}{2|\alpha|^2 + 1}$$

上の第 2 式の共役複素数は $\frac{z}{|z|^2 + 2} = \frac{-\bar{\alpha}i}{2|\alpha|^2 + 1} \quad \cdots (*)$

(i) $\alpha = 0$ のとき, $(*)$ より $z = 0$

(ii) $\alpha \neq 0$ のとき, $(*)$ より, $\frac{z}{-\bar{\alpha}i} = \frac{|z|^2 + 2}{2|\alpha|^2 + 1} = k$ とおくと ($k > 0$)

$|z| = k|\alpha|$ であるから, これを $\frac{|z|^2 + 2}{2|\alpha|^2 + 1} = k$ に代入すると

$$\frac{k^2|\alpha|^2 + 2}{2|\alpha|^2 + 1} = k \quad \text{ゆえに} \quad |\alpha|^2 k^2 - (2|\alpha|^2 + 1)k + 2 = 0$$

したがって $(k - 2)(|\alpha|^2 k - 1) = 0$ これを解いて $k = 2, \frac{1}{|\alpha|^2}$

$$\frac{z}{-\bar{\alpha}i} = k \text{ であるから } z = -2\bar{\alpha}i, \quad -\frac{\bar{\alpha}i}{|\alpha|^2}$$

(i), (ii) より $\alpha = 0$ のとき $z = 0$

$$\alpha \neq 0 \text{ のとき } z = -2\bar{\alpha}i, \quad -\frac{\bar{\alpha}i}{|\alpha|^2}$$



1.16 2019年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 n を自然数とする。 x, y がすべての実数を動くとき、定積分

$$\int_0^1 (\sin(2n\pi t) - xt - y)^2 dt$$

の最小値を I_n とおく。極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} I_n$ を求めよ。

- 2 0 でない 2 つの整式 $f(x), g(x)$ が以下の恒等式を満たすとする。

$$\begin{aligned} f(x^2) &= (x^2 + 2)g(x) + 7 \\ g(x^3) &= x^4 f(x) - 3x^2 g(x) - 6x^2 - 2 \end{aligned}$$

以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ の次数と $g(x)$ の次数はともに 2 以下であることを示せ。
 (2) $f(x)$ と $g(x)$ を求めよ。
- 3 1 個のサイコロを 3 回投げて出た目を順に a, b, c とする。2 次方程式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

の 2 つの解 z_1, z_2 を表す複素数平面上の点をそれぞれ $P_1(z_1), P_2(z_2)$ とする。また、複素数平面上の原点を O とする。以下の問いに答えよ。

- (1) P_1 と P_2 が一致する確率を求めよ。
 (2) P_1 と P_2 がともに単位円の周上にある確率を求めよ。
 (3) P_1 と O を通る直線を ℓ_1 とし、 P_2 と O を通る直線を ℓ_2 とする。 ℓ_1 と ℓ_2 のなす鋭角が 60° である確率を求めよ。
- 4 座標平面上の 3 点 $O(0, 0), A(2, 0), B(1, \sqrt{3})$ を考える。点 P_1 は線分 AB 上にあり、 A, B とは異なる点とする。

線分 AB 上の点 $P_2, P_3, \dots$ を以下のように順に定める。点 P_n が定まったとき、点 P_n から線分 OB に下ろした垂線と OB との交点を Q_n とし、点 Q_n から線分 OA に下ろした垂線と OA との交点を R_n とし、点 R_n から線分 AB に下ろした垂線と AB との交点を P_{n+1} とする。

$n \rightarrow \infty$ のとき、 P_n が限りなく近づく点の座標を求めよ。

- 5 a, b を複素数, c を純虚数でない複素数とし, i を虚数単位とする。複素数平面において, 点 z が虚軸全体を動くとき

$$w = \frac{az + b}{cz + 1}$$

で定まる点 w の軌跡を C とする。次の 3 条件が満たされているとする。

(ア) $z = i$ のときに $w = i$ となり, $z = -i$ のときに $w = -i$ となる。

(イ) C は単位円の周に含まれる。

(ウ) 点 -1 は C に属さない。

このとき a, b, c の値を求めよ。さらに C を求め, 複素数平面上に図示せよ。

解答例

1 まず、次の定積分を計算する.

$$\begin{aligned}\int_0^1 \sin^2 2n\pi t \, dt &= \frac{1}{2} \int_0^1 (1 - \cos 4n\pi t) \, dt = \frac{1}{2} \left[t - \frac{1}{4n\pi} \sin 4n\pi t \right]_0^1 = \frac{1}{2}, \\ \int_0^1 t \sin 2n\pi t \, dt &= \left[-\frac{t}{2n\pi} \cos 2n\pi t + \frac{1}{4n^2\pi^2} \sin 2n\pi t \right]_0^1 = -\frac{1}{2n\pi}, \\ \int_0^1 \sin 2n\pi t \, dt &= -\frac{1}{2n\pi} \left[\cos 2n\pi t \right]_0^1 = 0, \\ \int_0^1 t^2 \, dt &= \frac{1}{3}, \quad \int_0^1 t \, dt = \frac{1}{2}, \quad \int_0^1 dt = 1\end{aligned}$$

上の結果により

$$\begin{aligned}\int_0^1 (\sin(2n\pi t) - xt - y)^2 \, dt &= \int_0^1 \sin^2 2n\pi t \, dt + x^2 \int_0^1 t^2 \, dt + y^2 \int_0^1 dt \\ &\quad - 2x \int_0^1 t \sin 2n\pi t \, dt - 2y \int_0^1 \sin 2n\pi t \, dt + 2xy \int_0^1 t \, dt \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{3}x^2 + y^2 - 2x \left(-\frac{1}{2n\pi} \right) - 2y \cdot 0 + 2xy \cdot \frac{1}{2} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{3}x^2 + y^2 + \frac{x}{n\pi} + xy \\ &= \left(y + \frac{x}{2} \right)^2 + \frac{x^2}{12} + \frac{x}{n\pi} + \frac{1}{2} \\ &= \left(y + \frac{x}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \left(x + \frac{6}{n\pi} \right)^2 + \frac{1}{2} - \frac{3}{n^2\pi^2} \quad \cdots (*)\end{aligned}$$

したがって $x = -\frac{6}{n\pi}$, $y = \frac{3}{n\pi}$ のとき, (*) は最小値 $I_n = \frac{1}{2} - \frac{3}{n^2\pi^2}$ をとる.

よって $\lim_{n \rightarrow \infty} I_n = \frac{1}{2}$

別解 $\int_0^1 dt = 1$, $\int_0^1 t dt = \frac{1}{2}$ より, $f(t) = t - \frac{1}{2}$ とおくと

$$\int_0^1 f(t) dt = 0, \quad \int_0^1 f(t)^2 dt = \frac{1}{3} \left[\left(t - \frac{1}{2} \right)^3 \right]_0^1 = \frac{1}{12}$$

$$\int_0^1 \sin 2n\pi t dt = 0, \quad \int_0^1 t \sin 2n\pi t dt = -\frac{1}{2n\pi} \text{ より}$$

$$\int_0^1 f(t) \sin 2n\pi t dt = -\frac{1}{2n\pi} = -\frac{6}{n\pi} \cdot \frac{1}{12} = -\frac{6}{n\pi} \int_0^1 f(t)^2 dt$$

$$\text{したがって} \quad \int_0^1 f(t) \left\{ \sin 2n\pi t + \frac{6}{n\pi} f(t) \right\} dt = 0$$

$$g(t) = \sin 2n\pi t + \frac{6}{n\pi} f(t) \text{ とおくと} \quad \int_0^1 f(t)g(t) dt = 0$$

$$\int_0^1 g(t) dt = \int_0^1 \sin 2n\pi t dt + \frac{6}{n\pi} \int_0^1 f(t) dt = 0,$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 g(t)^2 dt &= \int_0^1 \sin^2 2n\pi t dt + \frac{12}{n\pi} \int_0^1 f(t) \sin 2n\pi t dt + \frac{36}{n^2\pi^2} \int_0^1 f(t)^2 dt \\ &= \frac{1}{2} + \frac{12}{n\pi} \left(-\frac{1}{2n\pi} \right) + \frac{36}{n^2\pi^2} \cdot \frac{1}{12} = \frac{1}{2} - \frac{3}{n^2\pi^2} \end{aligned}$$

$$\sin 2n\pi t = -\frac{6}{n\pi} f(t) + g(t), \quad t = f(t) + \frac{1}{2} \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} \sin 2n\pi t - xt - y &= -\frac{6}{n\pi} f(t) + g(t) - x \left(f(t) + \frac{1}{2} \right) - y \\ &= -\left(x + \frac{6}{n\pi} \right) f(t) + g(t) - \left(\frac{x}{2} + y \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 (\sin 2n\pi t - xt - y)^2 dt &= \left(x + \frac{6}{n\pi} \right)^2 \int_0^1 f(t)^2 dt + \int_0^1 g(t)^2 dt + \left(\frac{x}{2} + y \right)^2 \\ &= \frac{1}{12} \left(x + \frac{6}{n\pi} \right)^2 + \frac{1}{2} - \frac{3}{n^2\pi^2} + \left(\frac{x}{2} + y \right)^2 \\ &\geq \frac{1}{2} - \frac{3}{n^2\pi^2} = I_n \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} I_n = \frac{1}{2}$$

■

- 2 (1) 2つの整式 $f(x)$, $g(x)$ が満たす恒等式

$$(*) \begin{cases} f(x^2) = (x^2 + 2)g(x) + 7 \\ g(x^3) = x^4f(x) - 3x^2g(x) - 6x^2 - 2 \end{cases}$$

により, $f(x)$, $g(x)$ の次数をそれぞれ m , n とする. $(*)$ の第1式から, $f(x)$ と $g(x)$ の最高次の係数が等しいことに注意して

$$\begin{cases} 2m = 2 + n & \cdots \textcircled{1} \\ 3n = \max(4 + m, 2 + n) & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

(i) $4 + m \geq 2 + n$ のとき, $\textcircled{2}$ より $3n = 4 + m$ ゆえに $m = 3n - 4$
これと $\textcircled{1}$ を条件に注意して解くと $m = n = 2$

(ii) $4 + m < 2 + n$ のとき, $\textcircled{2}$ より $3n = 2 + n$ ゆえに $n = 1$
これを $\textcircled{1}$ に代入すると, $m = \frac{3}{2}$ となり, 不適.

$f(x)$ と $g(x)$ の次数はともに 2 であるから, 題意は成立する.

- (2) $(*)$ の第1式において, x を $-x$ に置き換えることにより

$$f(x^2) = (x^2 + 2)g(-x) + 7$$

これと $(*)$ の第1式により $g(-x) = g(x) \quad \cdots \textcircled{3}$

また, $(*)$ の第2式の x を $-x$ に置き換えると

$$g(-x^3) = x^4f(-x) - 3x^2g(-x) - 6x^2 - 2$$

$\textcircled{3}$ より, $g(x)$ は偶関数であるから

$$g(x^3) = x^4f(-x) - 3x^2g(x) - 6x^2 - 2$$

これと $(*)$ の第2式より $f(-x) = f(x)$

また, $(*)$ に $x = 0$ を代入すると

$$f(0) = 2g(0) + 7, \quad g(0) = -2 \quad \text{ゆえに} \quad f(0) = 3$$

以上の結果から, $f(x) = ax^2 + 3$, $g(x) = ax^2 - 2$ とおくと, $(*)$ は

$$\begin{cases} ax^4 + 3 = (x^2 + 2)(ax^2 - 2) + 7 \\ ax^6 - 2 = x^4(ax^2 + 3) - 3x^2(ax^2 - 2) - 6x^2 - 2 \end{cases}$$

整理すると $\begin{cases} 2(a-1)x^2 = 0 \\ -3(a-1)x^4 = 0 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad a = 1$

よって $f(x) = x^2 + 3$, $g(x) = x^2 - 2$ ■

- 3** (1) 2 次方程式 $ax^2 + bx + c = 0 \cdots (*)$ の解 z_1, z_2 が $z_1 = z_2$, すなわち, 2 次方程式 $(*)$ が重解をもつ確率である. 係数について, $b^2 - 4ac = 0$ であるから, $b^2 = 4ac$ より

$$b = 2 \text{ のとき, } ac = 1 \text{ より } (a, c) = (1, 1)$$

$$b = 4 \text{ のとき, } ac = 4 \text{ より } (a, c) = (1, 4), (2, 2), (4, 1)$$

$$b = 6 \text{ のとき, } ac = 9 \text{ より } (a, c) = (3, 3)$$

$$\text{よって, 求める確率は } \frac{1+3+1}{6^3} = \frac{5}{216}$$

- (2) (i) 2 次方程式 $(*)$ が単位円周上に実数解をもつとき, その解は 1 ではないから, $(*)$ は -1 を重解にもち, その方程式は

$$a(x+1)^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad b = 2a, \quad c = a$$

これを満たす (a, b, c) の組は, 次の 3 組である.

$$(a, b, c) = (1, 2, 1), (2, 4, 2), (3, 6, 3)$$

- (ii) 2 次方程式 $(*)$ が単位円周上に虚数解をもつとき $b^2 - 4ac < 0 \cdots \textcircled{1}$

$(*)$ の解と係数の関係および $z_2 = \bar{z}_1, |z_1| = 1$ に注意して

$$z_1 z_2 = \frac{c}{a} \quad \text{ゆえに} \quad |z_1|^2 = \frac{c}{a} \quad \text{すなわち} \quad c = a \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{2} \text{ を } \textcircled{1} \text{ に代入して } b^2 - 4a^2 < 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{b}{2} < a = c$$

$$b = 1 \text{ のとき} \quad a = c = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$b = 2, 3 \text{ のとき} \quad a = c = 2, 3, 4, 5, 6$$

$$b = 4, 5 \text{ のとき} \quad a = c = 3, 4, 5, 6$$

$$b = 6 \text{ のとき} \quad a = c = 4, 5, 6$$

これらの (a, b, c) の組の総数は $6 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 3 = 27$ 組

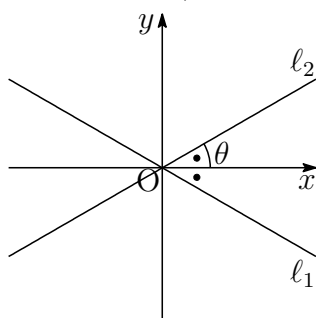
$$\text{よって, 求める確率は } \frac{3+27}{6^3} = \frac{5}{36}$$

(3) 条件を満たす z_1, z_2 は虚数であるから

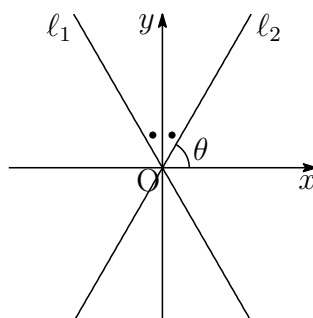
$$z_1 = \frac{-b + \sqrt{4ac - b^2}i}{2a}, \quad z_2 = \frac{-b - \sqrt{4ac - b^2}i}{2a}$$

$$\ell_2 \text{ の偏角を } \theta \text{ とすると } \tan \theta = \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{b}$$

$$(i) \tan \theta = \frac{1}{\sqrt{3}}$$



$$(ii) \tan \theta = \sqrt{3}$$



$$(i) \tan \theta = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ のとき, } \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{b} = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ より}$$

$$\sqrt{3(4ac - b^2)} = b \quad \text{すなわち} \quad b^2 = 3ac$$

$$b = 3 \text{ のとき, } ac = 3 \text{ より } (a, c) = (1, 3), (3, 1)$$

$$b = 6 \text{ のとき, } ac = 12 \text{ より } (a, c) = (2, 6), (3, 4), (4, 3), (6, 2)$$

これらの (a, b, c) の組の総数は $2 + 4 = 6$ 組

$$(ii) \tan \theta = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ のとき, } \frac{\sqrt{4ac - b^2}}{b} = \sqrt{3} \text{ より}$$

$$\sqrt{4ac - b^2} = \sqrt{3}b \quad \text{すなわち} \quad b^2 = ac$$

$$b = 1 \text{ のとき, } ac = 1 \text{ より } (a, c) = (1, 1)$$

$$b = 2 \text{ のとき, } ac = 4 \text{ より } (a, c) = (1, 4), (2, 2), (4, 1)$$

$$b = 3 \text{ のとき, } ac = 9 \text{ より } (a, c) = (3, 3)$$

$$b = 4 \text{ のとき, } ac = 16 \text{ より } (a, c) = (4, 4)$$

$$b = 5 \text{ のとき, } ac = 25 \text{ より } (a, c) = (5, 5)$$

$$b = 6 \text{ のとき, } ac = 36 \text{ より } (a, c) = (6, 6)$$

これらの (a, b, c) の組の総数は $5 \cdot 1 + 3 = 8$ 組

$$\text{よって, 求める確率は } \frac{6 + 8}{6^3} = \frac{7}{108}$$

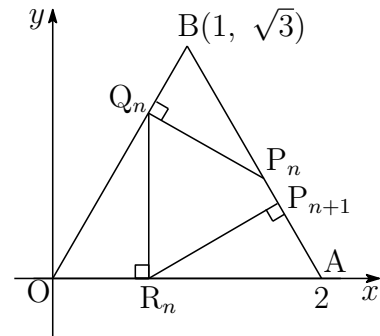


4 点 $P_n(x_n, y_n)$ を通り、直線 OB に垂直な直線は

$$y = -\frac{1}{\sqrt{3}}(x - x_n) + y_n$$

これと直線 $OB: y = \sqrt{3}x$ の交点の x 座標は

$$\sqrt{3}x = -\frac{1}{\sqrt{3}}(x - x_n) + y_n$$



これを解くことにより、点 Q_n の x 座標は $x = \frac{x_n + \sqrt{3}y_n}{4}$

次に、点 $P_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1})$ を通り、直線 AB に垂直な直線の方程式は

$$y = \frac{1}{\sqrt{3}}(x - x_{n+1}) + y_{n+1}$$

この直線と x 軸との交点の x 座標は

$$0 = \frac{1}{\sqrt{3}}(x - x_{n+1}) + y_{n+1}$$

これを解くことにより、点 R_n の x 座標は $x = x_{n+1} - \sqrt{3}y_{n+1}$

点 Q_n と点 R_n の x 座標は等しいから

$$x_{n+1} - \sqrt{3}y_{n+1} = \frac{x_n + \sqrt{3}y_n}{4}$$

2 点 P_n, P_{n+1} は直線 $AB: y = -\sqrt{3}x + 2\sqrt{3}$ 上の点であるから

$$x_{n+1} - \sqrt{3}(-\sqrt{3}x_{n+1} + 2\sqrt{3}) = \frac{x_n + \sqrt{3}(-\sqrt{3}x_n + 2\sqrt{3})}{4}$$

整理すると $x_{n+1} = -\frac{1}{8}x_n + \frac{15}{8}$ ゆえに $x_{n+1} - \frac{5}{3} = -\frac{1}{8}\left(x_n - \frac{5}{3}\right)$

数列 $\left\{x_n - \frac{5}{3}\right\}$ は初項 $x_1 - \frac{5}{3}$ 、公比 $-\frac{1}{8}$ の等比数列であるから

$$x_n - \frac{5}{3} = \left(x_1 - \frac{5}{3}\right) \left(-\frac{1}{8}\right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \frac{5}{3}$$

また $\lim_{n \rightarrow \infty} y_n = \lim_{n \rightarrow \infty} (-\sqrt{3}x_n + 2\sqrt{3}) = -\sqrt{3} \cdot \frac{5}{3} + 2\sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

よって、求める点の座標は $\left(\frac{5}{3}, \frac{\sqrt{3}}{3}\right)$ ■

$$\boxed{5} \quad C: w = \frac{az+b}{cz+1} \quad \cdots (*)$$

$$\text{条件 (ア) により} \quad i = \frac{ai+b}{ci+1}, \quad -i = \frac{a(-i)+b}{c(-i)+1}$$

$$\text{ゆえに} \quad b+c+(a-1)i=0, \quad b+c-(a-1)i=0$$

$$\text{上の2式から} \quad a=1, \quad b=-c$$

$$\text{これを (*) に代入すると} \quad w = \frac{z-c}{cz+1} \quad \cdots \textcircled{1} \quad \text{ゆえに} \quad z = -\frac{w+c}{cw-1}$$

$$\text{点 } z \text{ は虚軸全体を動くから, } z+\bar{z}=0 \text{ より} \quad -\frac{w+c}{cw-1} - \frac{\bar{w}+\bar{c}}{\bar{c}\bar{w}-1} = 0$$

$$\text{整理すると} \quad (c+\bar{c})|w|^2 + (|c|^2-1)(w+\bar{w}) - (c+\bar{c}) = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{条件 (イ) に注意すると, } \textcircled{1} \text{ により} \quad c \neq 0$$

$$\text{さらに, } c \text{ は純虚数ではないから} \quad c+\bar{c} \neq 0$$

$$k = \frac{|c|^2-1}{c+\bar{c}} \quad \cdots \textcircled{3} \text{ とおいて (} k \text{ は実数), } \textcircled{2} \text{ に適用すると}$$

$$|w|^2 + k(w+\bar{w}) - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad |w+k|^2 = k^2 + 1$$

$$\text{条件 (イ) により} \quad k^2 + 1 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = 0 \quad \text{よって} \quad |w| = 1 \quad \cdots (**)$$

$$\text{また, } \textcircled{3} \text{ により} \quad |c|^2 - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad c = \pm 1$$

$$(i) \quad c = 1 \text{ のとき, } \textcircled{1} \text{ により}$$

$$w = \frac{z-1}{z+1} \quad \text{ゆえに} \quad w+1 = \frac{2z}{z+1}$$

$$z = 0 \text{ のとき, } w = -1 \text{ となり, 条件 (ウ) に反する.}$$

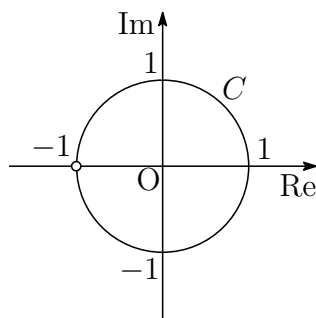
$$(ii) \quad c = -1 \text{ のとき, } \textcircled{1} \text{ により}$$

$$w = \frac{z+1}{-z+1} \quad \text{ゆえに} \quad w+1 = \frac{2}{-z+1} \neq 0$$

$$\text{これは, 条件 (ウ) を満たす.}$$

$$\text{よって} \quad a=1, \quad b=1, \quad c=-1$$

(**) および $w \neq -1$ により, C の概形は右の図のようになる.



補足 $z = i \tan \theta$ $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ を $w = \frac{z+1}{-z+1}$ に代入すると

$$w = \frac{i \tan \theta + 1}{-i \tan \theta + 1} = \frac{\cos \theta + i \sin \theta}{\cos \theta - i \sin \theta} = (\cos \theta + i \sin \theta)^2 = \cos 2\theta + i \sin 2\theta$$

$-\pi < 2\theta < \pi$ より, w は点 -1 を除く原点 O を中心とする単位円周上にある.

解説 一般に, 1 次分数式変換 (メビウス変換)

$$f(z) = \frac{az+b}{cz+d} \quad (a, b, c, d \text{ は複素数, } ad-bc \neq 0)$$

は, 拡大 (回転) kz , 平行移動 $z + \alpha$, 反転 $\frac{1}{z}$ の合成変換である.

特に反転に関して, 次の性質がある⁷.

- 原点を通らない円は, 原点を通らない円に移る.
- 原点を通る円は, 原点を通らない直線に移る.
- 原点を通らない直線は, 原点を通る円から原点を除いた図形に移る.
- 原点を通る直線は, 原点を通る直線から原点を除いた図形に移る.

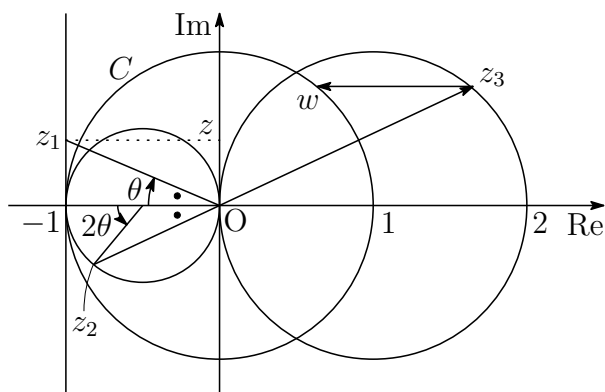
次の変換 (平行移動, 反転, 拡大, 平行移動)

$$f_1(z) = z - 1, \quad f_2(z) = \frac{1}{z}, \quad f_3(z) = -2z, \quad f_4(z) = z - 1$$

について, 合成変換 $f(z) = f_4 \circ f_3 \circ f_2 \circ f_1(z)$ は $f(z) = \frac{z+1}{-z+1}$

$z = i \tan \theta$, $z_1 = f_1(z)$, $z_2 = f_2(z_1)$, $z_3 = f_3(z_2)$, $w = f_4(z_3)$ とすると

$$\begin{aligned} z_2 = f_2 \circ f_1(z) &= \frac{1}{i \tan \theta - 1} = \frac{-\cos \theta}{\cos \theta - i \sin \theta} \\ &= -\cos \theta (\cos \theta + i \sin \theta) = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}(\cos 2\theta + i \sin 2\theta) \end{aligned}$$



⁷<http://kumamoto.s12.xrea.com/N/Tdai/Tdai.ri.2017.pdf> [3] の解説を参照.

1.17 2020年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 点 $(a, 0)$ を通り，曲線 $y = e^{-x} - e^{-2x}$ に接する直線が存在するような定数 a の値の範囲を求めよ。
- 2 a, b, c, d を整数とし， i を虚数単位とする。整式 $f(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d$ が $f\left(\frac{1 + \sqrt{3}i}{2}\right) = 0$ をみたすとき，以下の問いに答えよ。
- (1) c, d を a, b を用いて表せ。
 - (2) $f(1)$ を 7 で割ると 1 余り，11 で割ると 10 余るとする。また， $f(-1)$ を 7 で割ると 3 余り，11 で割ると 10 余るとする。 a の絶対値と b の絶対値がともに 40 以下であるとき，方程式 $f(x) = 0$ の解をすべて求めよ。
- 3 四面体 $OABC$ において，辺 OA の中点と辺 BC の中点を通る直線を ℓ ，辺 OB の中点と辺 CA の中点を通る直線を m ，辺 OC の中点と辺 AB の中点を通る直線を n とする。 $\ell \perp m$ ， $m \perp n$ ， $n \perp \ell$ であり， $AB = \sqrt{5}$ ， $BC = \sqrt{3}$ ， $CA = 2$ のとき，以下の問いに答えよ。
- (1) 直線 OB と直線 CA のなす角 θ $\left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$ を求めよ。
 - (2) 四面体 $OABC$ の 4 つの頂点をすべて通る球の半径を求めよ。
- 4 4 個のサイコロを同時に投げるとき，出る目すべての積を X とする。以下の問いに答えよ。
- (1) X が 25 の倍数になる確率を求めよ。
 - (2) X が 4 の倍数になる確率を求めよ。
 - (3) X が 100 の倍数になる確率を求めよ。
- 5 座標空間において，中心 $(0, 2, 0)$ ，半径 1 で xy 平面内にある円を D とする。 D を底面とし， $z \geq 0$ の部分にある高さ 3 の直円柱 (内部を含む) を E とする。点 $(0, 2, 2)$ と x 軸を含む平面で E を 2 つの立体に分け， D を含む方を T とする。以下の問いに答えよ。
- (1) $-1 \leq t \leq 1$ とする。平面 $x = t$ で T を切ったときの断面積 $S(t)$ を求めよ。また， T の体積を求めよ。
 - (2) T を x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。

解答例

1 $y = e^{-x} - e^{-2x}$ より $y' = -e^{-x} + 2e^{-2x}$

曲線 $y = e^{-x} - e^{-2x}$ 上の点 $(t, e^{-t} - e^{-2t})$ における接線の方程式は

$$y - (e^{-t} - e^{-2t}) = (-e^{-t} + 2e^{-2t})(x - t)$$

この直線が点 $(a, 0)$ を通るから

$$-(e^{-t} - e^{-2t}) = (-e^{-t} + 2e^{-2t})(a - t)$$

したがって $(e^t - 2)(a - t) = (e^t - 1) \cdots (*)$

$e^t - 2 = 0$, すなわち, $t = \log 2$ は, $(*)$ は満たさない.

$t \neq \log 2$ のとき, $(*)$ から

$$a - t = \frac{e^t - 1}{e^t - 2} \quad \text{ゆえに} \quad a = t + 1 + \frac{1}{e^t - 2}$$

$f(t) = t + 1 + \frac{1}{e^t - 2}$ とおくと

$$f'(t) = 1 - \frac{e^t}{(e^t - 2)^2} = \frac{(e^t - 2)^2 - e^t}{(e^t - 2)^2} = \frac{(e^t - 1)(e^t - 4)}{(e^t - 2)^2}$$

t	$\cdots$	0	$\cdots$	$(\log 2)$	$\cdots$	$2 \log 2$	$\cdots$
$f'(t)$	$+$	0	$-$		$-$	0	$+$
$f(t)$	$\nearrow$	0	$\searrow$		$\searrow$	$\frac{3}{2} + 2 \log 2$	$\nearrow$

このとき $\lim_{t \rightarrow -\infty} f(t) = -\infty, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \infty$
 $\lim_{t \rightarrow \log 2 - 0} f(t) = -\infty, \quad \lim_{t \rightarrow \log 2 + 0} f(t) = \infty,$

したがって, $f(t)$ のとり得る値の範囲は $f(t) \leq 0, \quad \frac{3}{2} + 2 \log 2 \leq f(t)$

よって, 求める a の値の範囲は $a \leq 0, \quad \frac{3}{2} + 2 \log 2 \leq a$ ■

- 2 (1) $w = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2}$ が実数を係数とする整式 $f(x) = 0$ の解であるから,
 $f(x)$ は, $(x - w)(x - \bar{w})$, すなわち, $x^2 - x + 1$ を因数にもつ.

$$\begin{aligned} f(x) &= x^4 + ax^2 + bx^2 + cx + d \\ &= (x^2 - x + 1)\{x^2 + (a+1)x + a+b\} \\ &\quad + (b+c-1)x - a - b + d \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad b+c-1=0, \quad -a-b+d=0$$

$$\text{よって} \quad c=1-b, \quad d=a+b$$

$$(2) (1) \text{の結果から} \quad f(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + (1-b)x + a+b$$

$$\text{ゆえに} \quad f(1) = 2a+b+2, \quad f(-1) = 3b$$

$f(1), f(-1)$ を 7 で割った余りが, それぞれ 1, 3 であるから

$$2a+b+2 \equiv 1, \quad 3b \equiv 3 \pmod{7}$$

上の第 2 式から $b \equiv 1 \pmod{7}$ これを第 1 式に代入すると

$$2a+1+2 \equiv 1 \quad \text{ゆえに} \quad a \equiv -1 \pmod{7}$$

$f(1), f(-1)$ を 11 で割った余りが, ともに 10 であるから

$$2a+b+2 \equiv 10, \quad 3b \equiv 10 \pmod{11}$$

上の第 2 式から $b \equiv 7 \pmod{11}$ これを第 1 式に代入すると

$$2a+7+2 \equiv 10 \quad \text{ゆえに} \quad 2a \equiv 1 \pmod{11}$$

$$\text{さらに} \quad 6 \cdot 2a \equiv 6 \cdot 1 \quad \text{ゆえに} \quad a \equiv 6 \pmod{11}$$

$$\text{ゆえに} \quad (*) \begin{cases} a \equiv -1 \pmod{7} \\ a \equiv 6 \pmod{11} \end{cases} \quad (**) \begin{cases} b \equiv 1 \pmod{7} \\ b \equiv 7 \pmod{11} \end{cases}$$

(*) の第 1 式から, $a = -1 + 7k$ とおき (k は整数), これを (*) の第 2 式に代入すると

$$-1 + 7k \equiv 6 \quad \text{ゆえに} \quad k \equiv 1 \pmod{11}$$

$k = 1 + 11\ell$ とおくと (ℓ は整数)

$$a = -1 + 7(1 + 11\ell) = 6 + 77\ell$$

a の絶対値が 40 以下であるから, $\ell = 0$ より $a = 6 \quad \cdots \textcircled{1}$

(**) の第 2 式から, $b = 7 + 11m$ とおき (m は整数), これを (**) の第 1 式に代入すると

$$7 + 11m \equiv 1 \quad \text{ゆえに} \quad 4m \equiv 1 \quad \text{したがって} \quad m \equiv 2 \pmod{7}$$

$m = 2 + 7n$ とおくと (n は整数)

$$b = 7 + 11(2 + 7n) = 29 + 77n$$

b の絶対値が 40 以下であるから, $n = 0$ より $b = 29 \quad \dots \textcircled{2}$

(1) の結果から

$$f(x) = (x^2 - x + 1)\{x^2 + (a + 1)x + a + b\}$$

①, ② をこれに代入して

$$f(x) = (x^2 - x + 1)(x^2 + 7x + 35)$$

$f(x) = 0$ の解は, $x^2 - x + 1 = 0$, $x^2 + 7x + 35 = 0$ を解いて

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}, \frac{-7 \pm \sqrt{91}i}{2}$$

$$\text{補足 } (*) \begin{cases} a \equiv -1 \pmod{7} \\ a \equiv 6 \pmod{11} \end{cases} \quad (**) \begin{cases} b \equiv 1 \pmod{7} \\ b \equiv 7 \pmod{11} \end{cases} \quad \text{より}$$

$$\begin{cases} a - 6 \equiv 0 \pmod{7} \\ a - 6 \equiv 0 \pmod{11} \end{cases} \quad \begin{cases} b - 29 \equiv 0 \pmod{7} \\ b - 29 \equiv 0 \pmod{11} \end{cases}$$

したがって $a - 6 \equiv 0$, $b - 29 \equiv 0 \pmod{77}$

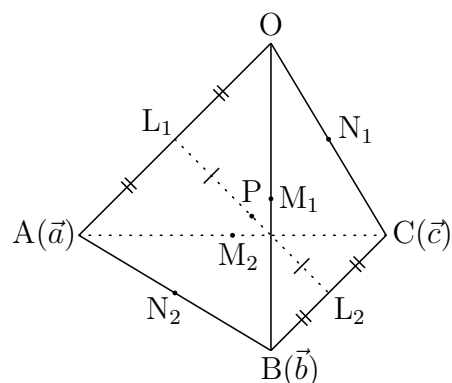
a, b の絶対値がともに 40 以下であるから $a = 6$, $b = 29$ ■

- 3** (1) 点Oを始点とし, 3点A, B, Cの位置ベクトルをそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ とする. 線分OA, OB, OCの中点をそれぞれ L_1 , M_1 , N_1 とし, 線分BC, CA, ABの中点をそれぞれ L_2 , M_2 , N_2 とすると

$$2\overrightarrow{L_1L_2} = \vec{b} + \vec{c} - \vec{a},$$

$$2\overrightarrow{M_1M_2} = \vec{c} + \vec{a} - \vec{b},$$

$$2\overrightarrow{N_1N_2} = \vec{a} + \vec{b} - \vec{c}$$



直線 L_1L_2 , M_1M_2 , N_1N_2 はそれぞれ直線 ℓ , m , n であるから, $\ell \perp m$ より, $\overrightarrow{L_1L_2} \perp \overrightarrow{M_1M_2}$ であるから

$$\begin{aligned} (2\overrightarrow{L_1L_2}) \cdot (2\overrightarrow{M_1M_2}) &= (\vec{b} + \vec{c} - \vec{a}) \cdot (\vec{c} + \vec{a} - \vec{b}) \\ &= |\vec{c}|^2 - |\vec{b} - \vec{a}|^2 = 0 \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$m \perp n$, $n \perp \ell$ であるから, 同様にして

$$\begin{aligned} (2\overrightarrow{M_1M_2}) \cdot (2\overrightarrow{N_1N_2}) &= (\vec{c} + \vec{a} - \vec{b}) \cdot (\vec{a} + \vec{b} - \vec{c}) \\ &= |\vec{a}|^2 - |\vec{c} - \vec{b}|^2 = 0 \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2\overrightarrow{N_1N_2}) \cdot (2\overrightarrow{L_1L_2}) &= (\vec{a} + \vec{b} - \vec{c}) \cdot (\vec{b} + \vec{c} - \vec{a}) \\ &= |\vec{b}|^2 - |\vec{a} - \vec{c}|^2 = 0 \quad \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

①~③より

$$\begin{aligned} |\vec{c}| &= |\vec{b} - \vec{a}| = |\overrightarrow{AB}| = AB = \sqrt{5} \\ |\vec{a}| &= |\vec{c} - \vec{b}| = |\overrightarrow{BC}| = BC = \sqrt{3} \\ |\vec{b}| &= |\vec{a} - \vec{c}| = |\overrightarrow{CA}| = CA = 2 \end{aligned}$$

①~③をそれぞれ整理すると

$$2\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - |\vec{c}|^2 = 3 + 4 - 5 = 2 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = 1$$

$$2\vec{b} \cdot \vec{c} = |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 - |\vec{a}|^2 = 4 + 5 - 3 = 6 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{b} \cdot \vec{c} = 3$$

$$2\vec{c} \cdot \vec{a} = |\vec{c}|^2 + |\vec{a}|^2 - |\vec{b}|^2 = 5 + 3 - 4 = 4 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{c} \cdot \vec{a} = 2$$

$\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ と $\overrightarrow{CA} = \vec{a} - \vec{c}$ のなす角を φ とすると($0 \leq \varphi \leq \pi$)

$$\cos \varphi = \frac{\vec{b} \cdot (\vec{a} - \vec{c})}{|\vec{b}| |\vec{a} - \vec{c}|} = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{b}|^2} = \frac{1 - 3}{2^2} = -\frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \varphi = \frac{2\pi}{3}$$

よって, 直線OBと直線CAのなす角 θ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$)は

$$\theta = \pi - \varphi = \pi - \frac{2\pi}{3} = \frac{\pi}{3}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \overrightarrow{OA} \cdot (2\overrightarrow{L_1L_2}) &= \vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c} - \vec{a}) = \vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{c} \cdot \vec{a} - |\vec{a}|^2 = 1 + 2 - 3 = 0 \\
 \overrightarrow{BC} \cdot (2\overrightarrow{L_1L_2}) &= (\vec{c} - \vec{b}) \cdot (\vec{b} + \vec{c} - \vec{a}) = |\vec{c}|^2 - |\vec{b}|^2 + \vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{c} \cdot \vec{a} \\
 &= 5 - 4 + 1 - 2 = 0
 \end{aligned}$$

したがって $OA \perp L_1L_2$, $BC \perp L_1L_2$

2 点 L_1 , L_2 の中点を P とすると $PO = PA = PB = PC$

点 P は, 四面体 $OABC$ の 4 頂点を通る球面の中心である. したがって

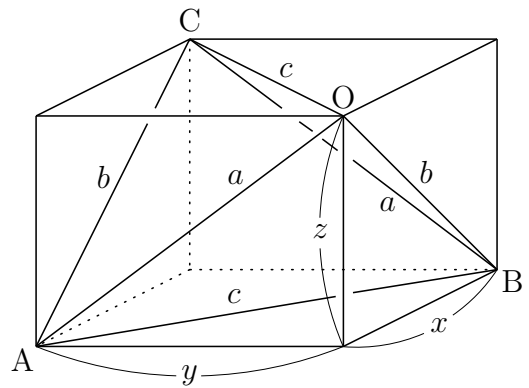
$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2} (\overrightarrow{OL_1} + \overrightarrow{OL_2}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} = \frac{1}{4}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c})$$

$$\begin{aligned}
 \text{このとき } |\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|^2 &= |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 2\vec{b} \cdot \vec{c} + 2\vec{c} \cdot \vec{a} \\
 &= 3 + 4 + 5 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 24
 \end{aligned}$$

$$\text{よって, 求める半径は } \frac{1}{4}|\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}| = \frac{1}{4}\sqrt{24} = \frac{\sqrt{6}}{2}$$

補足 四面体 $OABC$ のすべての面が合同である四面体を等面四面体という. $a = OA$, $b = OB$, $c = OC$ とすると, 直方体の縦, 横, 高さがそれぞれ x , y , z で

$$\begin{aligned}
 y^2 + z^2 &= a^2 \\
 z^2 + x^2 &= b^2 \\
 x^2 + y^2 &= c^2
 \end{aligned}$$



を満たすものが唯一存在する.

$$x^2 = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2}, \quad y^2 = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2}, \quad z^2 = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2}$$

したがって, 等面四面体はこの直方体に埋め込まれ, 求める球面の半径はこの長方形に外接する球面の半径 R に等しい.

$$R = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \frac{\sqrt{2}}{4}\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

等面四面体の体積を V とすると⁸(直方体から 4 つの直角四面体を除く)

$$\begin{aligned}
 V &= xyz - 4 \cdot \frac{1}{6}xyz = \frac{1}{3}xyz \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{12} \sqrt{(b^2 + c^2 - a^2)(c^2 + a^2 - b^2)(a^2 + b^2 - c^2)}
 \end{aligned}$$

⁸http://kumamoto.s12.xrea.com/N/THdai/THdai_ri.2015.pdf (pp.11-12)

- 4 (1) X が5で割り切れない, すなわち, 4回とも5以外の目が出る確率を p_0 , X が5で割り切れるが25で割り切れない, すなわち, 4回のうち5の目が丁度1回出る確率を p_1 とすると

$$p_0 = \left(\frac{5}{6}\right)^4 = \frac{625}{1296}, \quad p_1 = {}_4C_1 \left(\frac{1}{6}\right) \left(\frac{5}{6}\right)^3 = \frac{500}{1296}$$

求める確率は, これらの余事象の確率であるから

$$1 - (p_0 + p_1) = 1 - \left(\frac{625}{1296} + \frac{500}{1296}\right) = \frac{19}{144}$$

- (2) X が2で割り切れない, すなわち, 4回とも奇数の目が出る確率を q_0 , X が2で割り切れるが4で割り切れない, すなわち, 4回のうち2または6の目が1回と奇数の目が3回出る確率を q_1 とすると

$$q_0 = \left(\frac{3}{6}\right)^4 = \frac{1}{16}, \quad q_1 = {}_4C_1 \left(\frac{2}{6}\right) \left(\frac{3}{6}\right)^3 = \frac{1}{6}$$

求める確率は, これらの余事象の確率であるから

$$1 - (q_0 + q_1) = 1 - \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{6}\right) = \frac{37}{48}$$

- (3) X が100の倍数となるは, 出る目の組合せが次の (i)~(iv) の場合である.

- (i) $\{A, A, 5, 5\}$ のとき ($A = 2, 6$)

$$\frac{4!}{2!2!} \left(\frac{2}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{24}{1296}$$

- (ii) $\{4, 5, 5, B\}$ のとき ($B = 1, 2, 3, 6$)

$$\frac{4!}{2!} \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \frac{4}{6} = \frac{48}{1296}$$

- (iii) $\{4, 4, 5, 5\}$ のとき

$$\frac{4!}{2!2!} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{6}{1296}$$

- (iv) $\{4, 5, 5, 5\}$ のとき

$$\frac{4!}{3!} \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{4}{1296}$$

- (i)~(iv) より, 求める確率は $\frac{24 + 48 + 6 + 4}{1296} = \frac{82}{1296} = \frac{41}{648}$ ■

5 (1) T の表す領域は

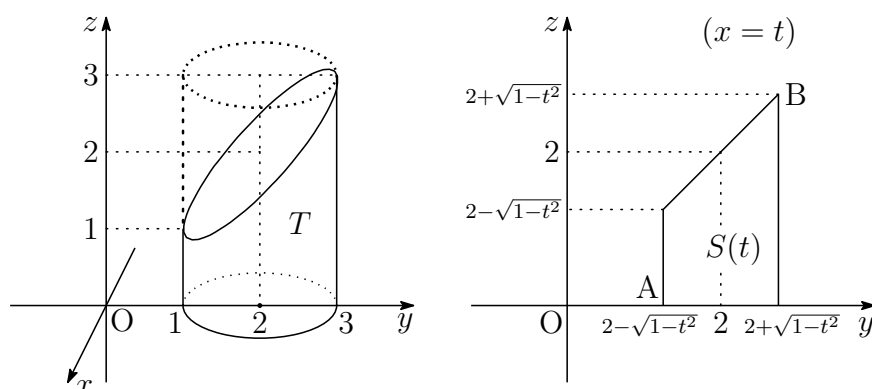
$$x^2 + (y-2)^2 \leq 1, \quad 0 \leq z \leq y$$

T を平面 $x = t$ ($-1 \leq t \leq 1$) で切ったときの断面を表す領域は

$$x = t, \quad 2 - \sqrt{1-t^2} \leq y \leq 2 + \sqrt{1-t^2}, \quad 0 \leq z \leq y$$

右下の図で中央の z 座標が 2 であることに注意して

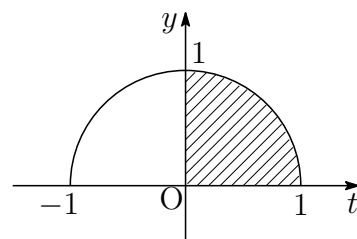
$$S(t) = 2\{(2 + \sqrt{1-t^2}) - (2 - \sqrt{1-t^2})\} = 4\sqrt{1-t^2}$$



右の図の斜線部分の面積は

$$\int_0^1 \sqrt{1-t^2} dt = \frac{\pi}{4}$$

よって、求める T の体積を V_1 とすると



$$V_1 = \int_{-1}^1 S(t) dt = \int_{-1}^1 4\sqrt{1-t^2} dt = 8 \int_0^1 \sqrt{1-t^2} dt = 8 \cdot \frac{\pi}{4} = 2\pi$$

(2) 2 点 A, B を (1) の図のようにとると

$$OA = 2 - \sqrt{1-t^2}, \quad OB = \sqrt{2}(2 + \sqrt{1-t^2})$$

求める立体の体積を V_2 とすると, T が yz 平面に関して対称であるから

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{2\pi} &= \int_0^1 (OB^2 - OA^2) dt = \int_0^1 \{2(2 + \sqrt{1-t^2})^2 - (2 - \sqrt{1-t^2})^2\} dt \\ &= \int_0^1 (5 - t^2) dt + 12 \int_0^1 \sqrt{1-t^2} dt = \left[5t - \frac{t^3}{3} \right]_0^1 + 12 \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{14}{3} + 3\pi \end{aligned}$$

よって $V_2 = 2\pi \left(\frac{14}{3} + 3\pi \right)$ ■

1.18 2021 年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 座標空間内の4点 $O(0, 0, 0)$, $A(1, 0, 0)$, $B(0, 1, 0)$, $C(0, 0, 2)$ を考える。
以下の問いに答えよ。

- (1) 四面体 $OABC$ に内接する球の中心の座標を求めよ。
- (2) 中心の x 座標, y 座標, z 座標がすべて正の実数であり, xy 平面, yz 平面, zx 平面のすべてと接する球を考える。この球が平面 ABC と交わる時, その交わりとしてできる円の面積の最大値を求めよ。

- 2 θ を $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ をみたす定数とし, x の2次方程式

$$x^2 - (4 \cos \theta)x + \frac{1}{\tan \theta} = 0 \quad \cdots (*)$$

を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 2次方程式 $(*)$ が実数解をもたないような θ の値の範囲を求めよ。
- (2) θ が(1)で求めた範囲にあるとし, $(*)$ の2つの虚数解を α , β とする。ただし, α の虚部は β の虚部より大きいとする。複素数平面上の3点 $A(\alpha)$, $B(\beta)$, $O(0)$ を通る円の中心を $C(\gamma)$ とするとき, θ を用いて γ を表せ。
- (3) 点 O , A , C を(2)のように定めるとき, 三角形 OAC が直角三角形になるような θ に対する $\tan \theta$ の値を求めよ。

- 3 座標平面上の点 (x, y) について, 次の条件を考える。

条件: すべての実数 t に対して $y \leq e^t - xt$ が成立する。 $\cdots (*)$

以下の問いに答えよ。必要ならば $\lim_{x \rightarrow +0} x \log x = 0$ を使ってよい。

- (1) 条件 $(*)$ をみたす点 (x, y) 全体の集合を座標平面上に図示せよ。
- (2) 条件 $(*)$ をみたす点 (x, y) のうち, $x \geq 1$ かつ $y \geq 0$ をみたすものの全体の集合を S とする。 S を x 軸の周りに1回転させてできる立体の体積を求めよ。

4 自然数 n と実数 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ($a_n \neq 0$) に対して, 2つの整式

$$f(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$$

$$f'(x) = \sum_{k=1}^n k a_k x^{k-1} = n a_n x^{n-1} + (n-1) a_{n-1} x^{n-2} + \dots + a_1$$

を考える。 α, β を異なる複素数とする。複素数平面上の2点 α, β を結ぶ線分上にある点 γ で,

$$\frac{f(\beta) - f(\alpha)}{\beta - \alpha} = f'(\gamma)$$

をみたすものが存在するとき,

$\alpha, \beta, f(x)$ は平均値の性質をもつ

ということにする。以下の問いに答えよ。ただし, i は虚数単位とする。

- (1) $n = 2$ のとき, どのような $\alpha, \beta, f(x)$ も平均値の性質をもつことを示せ。
- (2) $\alpha = 1 - i, \beta = 1 + i, f(x) = x^3 + ax^2 + bx + c$ が平均値の性質をもつための, 実数 a, b, c に関する必要十分条件を求めよ。
- (3) $\alpha = \frac{1-i}{\sqrt{2}}, \beta = \frac{1+i}{\sqrt{2}}, f(x) = x^7$ は, 平均値の性質をもたないことを示せ。

5 以下の問いに答えよ。

- (1) 自然数 n, k が $2 \leq k \leq n-2$ をみたすとき, ${}_nC_k > n$ であることを示せ。
- (2) p を素数とする。 $k \leq n$ をみたす自然数の組 (n, k) で ${}_nC_k = p$ となるものをすべて求めよ。

解答例

- 1 (1) 四面体 OABC に内接する球の中心を I, 半径を d とすると, I から xy 平面, yz 平面, zx 平面, 平面 ABC までの距離はともに d であり, $I(d, d, d)$ とおける ($d > 0$). $\triangle OAB$, $\triangle OBC$, $\triangle OCA$, $\triangle ABC$ の面積は

$$\begin{aligned}\triangle OAB &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = \frac{1}{2}, \\ \triangle OBC &= \triangle OCA = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 = 1\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{AB} = (-1, 1, 0), \overrightarrow{AC} = (-1, 0, 2) \text{ より}$$

$$\triangle ABC = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{2 \cdot 5 - 1^2} = \frac{3}{2}$$

したがって, 四面体 OABC の表面積を S , 体積を V とすると

$$S = \frac{1}{2} + 1 + 1 + \frac{3}{2} = 4, \quad V = \frac{1}{3} \triangle OAB \cdot OC = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = \frac{1}{3}$$

上の結果を $V = \frac{1}{3} Sd$ に代入すると

$$\frac{1}{3} = \frac{1}{3} \cdot 4d \quad \text{ゆえに} \quad d = \frac{1}{4} \quad \text{よって} \quad I\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$$

- (2) 条件を満たす球を S' とし, S' の中心を $I'(r, r, r)$, 半径を r とする ($r > 0$).

$\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ に垂直なベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = (2, 2, 1)$$

とおき, I' から平面 ABC に垂線 $I'H$ を引くと

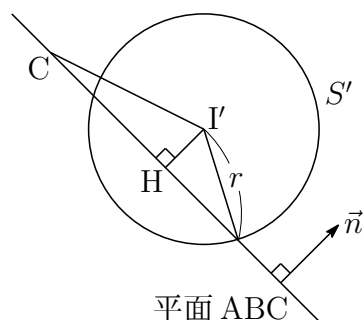
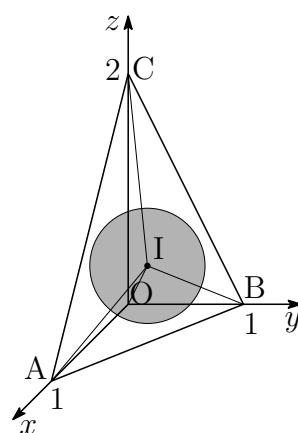
$$\overrightarrow{CI'} = (r, r, r-2)$$

$$\text{したがって} \quad \vec{n} \cdot \overrightarrow{CI'} = 2r + 2r + r - 2 = 5r - 2$$

$$\overrightarrow{CI'} = \overrightarrow{CH} + \overrightarrow{HI'}, \quad \vec{n} \perp \overrightarrow{CH} \text{ であるから} \quad \vec{n} \cdot \overrightarrow{HI'} = 5r - 2$$

$$\vec{n} \parallel \overrightarrow{HI'} \text{ であるから} \quad |\vec{n}| |\overrightarrow{HI'}| = |5r - 2|$$

$$|\overrightarrow{HI'}| = \frac{|5r - 2|}{|\vec{n}|} = \frac{|5r - 2|}{3}$$



S' が平面 ABC と共有点をもつとき, $|HI'| \leq r$ であるから

$$\frac{|5r-2|}{3} \leq r \quad \text{ゆえに} \quad -3r \leq 5r-2 \leq 3r$$

これを解いて $\frac{1}{4} \leq r \leq 1 \quad \dots \textcircled{1}$

S' と平面 ABC が交わってできる円の半径を R とすると

$$\begin{aligned} R^2 &= r^2 - |\overrightarrow{HI'}|^2 = r^2 - \left(\frac{|5r-2|}{3} \right)^2 \\ &= -\frac{1}{9}(16r^2 - 20r + 4) \\ &= -\frac{16}{9} \left(r - \frac{5}{8} \right)^2 + \frac{1}{4} \end{aligned}$$

① に注意すると, $r = \frac{5}{8}$ のとき, R^2 の最大値は $\frac{1}{4}$

よって, 求める円の面積の最大値は $\frac{\pi}{4}$

補足 $\overrightarrow{AB} = (-1, 1, 0)$, $\overrightarrow{AC} = (-1, 0, 2)$ の外積 (ベクトル積) は ⁹

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC} &= (1 \cdot 2 - 0 \cdot 0, 0 \cdot (-1) - (-1) \cdot 2, -1 \cdot 0 - 1 \cdot (-1)) \\ &= (2, 2, 1) \end{aligned}$$

は $\overrightarrow{AB}$ および $\overrightarrow{AC}$ に直交する.

3 点 A(1, 0, 0), B(0, 1, 0), C(0, 0, 2) を通る平面の方程式は

$$\frac{x}{1} + \frac{y}{1} + \frac{z}{2} = 1 \quad \text{すなわち} \quad 2x + 2y + z - 2 = 0$$

この平面の法ベクトルは ¹⁰ $\vec{n} = (2, 2, 1)$

点 $I'(r, r, r)$ から平面 $2x + 2y + z - 2 = 0$ までの距離は

$$\frac{|2r + 2r + r - 2|}{\sqrt{2^2 + 2^2 + 1^2}} = \frac{|5r - 2|}{3}$$

■

⁹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_kiseki_ri.pdf (p.179 (物理ページ p.184))

¹⁰http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_kiseki_ri.pdf (p.171 (物理ページ p.176))

2 (1) x の2次方程式

$$x^2 - (4 \cos \theta)x + \frac{1}{\tan \theta} = 0 \quad \dots (*)$$

が実数解をもたないから、係数について

$$D/4 = (2 \cos \theta)^2 - \frac{1}{\tan \theta} = \frac{1}{\tan \theta} (4 \sin \theta \cos \theta - 1) = \frac{2 \sin 2\theta - 1}{\tan \theta} < 0$$

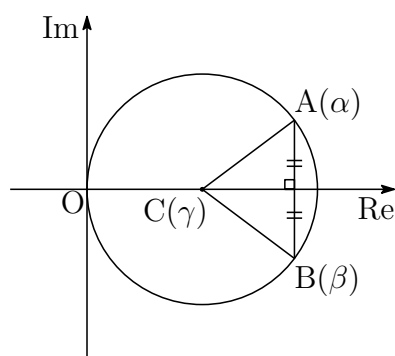
$$0 < \theta < \frac{\pi}{4} \text{ に注意して解くと } 0 < 2\theta < \frac{\pi}{6} \text{ よって } 0 < \theta < \frac{\pi}{12}$$

(2) 2次方程式(*)の解と係数の関係により

$$\alpha + \beta = 4 \cos \theta, \quad \alpha\beta = \frac{1}{\tan \theta}$$

α, β は互いに共役で、中心 $C(\gamma)$ は A, B の垂直二等分線上、すなわち、実軸上の点であるから、 γ は実数である。

$$OC = AC \text{ より } |\gamma| = |\gamma - \alpha|$$



$$\gamma^2 = (\gamma - \alpha)(\gamma - \bar{\alpha}) = (\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)$$

$$\text{整理すると } (\alpha + \beta)\gamma = \alpha\beta$$

$$\text{よって } \gamma = \frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} = \frac{1}{4 \cos \theta \tan \theta} = \frac{1}{4 \sin \theta}$$

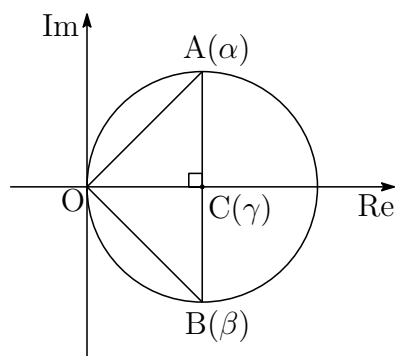
(3) $OC = AC$ より、 $\triangle OAC$ が直角三角形であるとき、 $\angle OCA = \frac{\pi}{2}$ 、すなわち、 C は AB の中点であるから、 $\frac{\alpha + \beta}{2} = \gamma$ より、(2)の結果から

$$\frac{4 \cos \theta}{2} = \frac{1}{4 \sin \theta} \quad \text{ゆえに} \quad \sin 2\theta = \frac{1}{4}$$

$$\sin 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} \text{ であるから}$$

$$\frac{2 \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} = \frac{1}{4} \quad \text{ゆえに} \quad \tan^2 \theta - 8 \tan \theta + 1 = 0$$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{4} \text{ より, } 0 < \tan \theta < 1 \text{ に注意して } \tan \theta = 4 - \sqrt{15}$$



■

- 3 (1) $f(t) = e^t - xt - y$ とおく. 条件 (*) をみたすとき, すべての実数 t に対して

$$f(t) \geq 0 \quad (\text{A})$$

をみたす点 (x, y) の集合を求めればよい.

- (i) $x < 0$ のとき

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} f(t) = \lim_{t \rightarrow -\infty} (e^t - xt - y) = -\infty$$

このとき, (A) をみたさない.

- (ii) $x = 0$ のとき, $f(t) = e^t - y$ は, 単調増加であるから

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} f(t) = \lim_{t \rightarrow -\infty} (e^t - y) = -y \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad y \leq 0$$

- (iii) $x > 0$ のとき, $f'(t) = e^t - x$ より

t	$\cdots$	$\log x$	$\cdots$
$f'(t)$	$-$	0	$+$
$f(t)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$

極小値 $f(\log x) = x - x \log x - y$ であるから, (A) をみたすとき

$$x - x \log x - y \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad y \leq x - x \log x$$

- (i)~(iii) より

$$g(x) = \begin{cases} 0 & (x = 0) \\ x - x \log x & (x > 0) \end{cases}$$

とおくと, 条件 (*) をみたす点 (x, y) は

$$x \geq 0 \quad \text{かつ} \quad y \leq g(x)$$

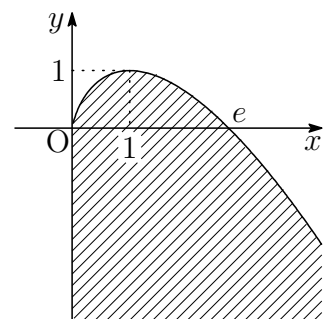
$$x > 0 \text{ のとき } g'(x) = -\log x, \quad g''(x) = -\frac{1}{x} < 0$$

したがって, $x \geq 0$ における $g(x)$ の増減表は

x	0	$\cdots$	1	$\cdots$
$g'(x)$		$+$	0	$-$
$g''(x)$		$-$	$-$	$-$
$g(x)$	0	$\nearrow$	1	$\searrow$

$$\lim_{x \rightarrow +0} g(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} g(x) = -\infty$$

よって, 点 (x, y) 全体の集合は, 右上の図の斜線部分で境界線を含む.



(2) 求める立体の体積を V とすると

$$\frac{V}{\pi} = \int_1^e x^2(1 - \log x)^2 dx$$

$$x = e^t \text{ とおくと } \frac{dx}{dt} = e^t \quad \begin{array}{c|c} x & 1 \longrightarrow e \\ \hline t & 0 \longrightarrow 1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 (e^t)^2(1-t)^2 \cdot e^t dt = \int_0^1 e^{3t}(t-1)^2 dt \\ &= \frac{1}{3} \left[e^{3t} \left\{ (t-1)^2 - \frac{\{(t-1)^2\}'}{3} + \frac{\{(t-1)^2\}''}{3^2} \right\} \right]_0^1 \\ &= \frac{1}{3} \left[e^{3t} \left\{ (t-1)^2 - \frac{2(t-1)}{3} + \frac{2}{9} \right\} \right]_0^1 = \frac{2e^3}{27} - \frac{17}{27} \end{aligned}$$

$$\text{よって } V = \frac{\pi(2e^3 - 17)}{27}$$

補足 対数型から指数型の積分に置換すると、次の積分公式が利用できる¹¹.

$$\int e^{px+q} f(x) dx = \frac{e^{px+q}}{p} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} - \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C$$

補足 まず, $0 < x \leq 1$ のとき, $-\frac{2}{\sqrt{x}} < \log x$ を示す.

$$h(x) = \log x + \frac{2}{\sqrt{x}} \quad (0 < x \leq 1) \text{ とおくと}$$

$$0 < x < 1 \text{ のとき } h'(x) = \frac{1}{x} - \frac{1}{x\sqrt{x}} = \frac{\sqrt{x}-1}{x\sqrt{x}} < 0$$

$h(x)$ は単調減少で, $h(1) = 2$ であるから

$$h(x) > 0 \quad \text{ゆえに} \quad \log x + \frac{2}{\sqrt{x}} > 0$$

$$\text{よって} \quad 0 < x < 1 \text{ のとき } -\frac{2}{\sqrt{x}} < \log x < 0$$

$$\text{したがって} \quad 0 < x < 1 \text{ のとき } -2\sqrt{x} < x \log x < 0$$

$\lim_{x \rightarrow +0} (-2\sqrt{x}) = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{x \rightarrow +0} x \log x = 0$$

¹¹<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-math.2015-kouki.pdf> (p.7)

- 4 (1) $n = 2$ のとき, $f(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0$, $f'(x) = 2a_2x + a_1$

$$\frac{f(\beta) - f(\alpha)}{\beta - \alpha} = \frac{a_2(\beta^2 - \alpha^2) + a_1(\beta - \alpha)}{\beta - \alpha} = a_2(\alpha + \beta) + a_1$$

$$f'(\gamma) = 2a_2\gamma + a_1$$

γ を複素数平面上の 2 点 α, β の中点, すなわち, $\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2}$ とすると

$$\frac{f(\beta) - f(\alpha)}{\beta - \alpha} = f'(\gamma)$$

よって, どのような $\alpha, \beta, f(x)$ も平均値の性質をもつ.

- (2) $\alpha = 1 - i, \beta = 1 + i, f(x) = x^3 + ax^2 + bx + c, f'(x) = 3x^2 + 2ax + b$

$$\begin{aligned} \frac{f(\beta) - f(\alpha)}{\beta - \alpha} &= \frac{\beta^3 - \alpha^3 + a(\beta^2 - \alpha^2) + b(\beta - \alpha)}{\beta - \alpha} \\ &= (\alpha + \beta)^2 - \alpha\beta + a(\alpha + \beta) + b \\ &= 2 + 2a + b \end{aligned}$$

γ は, 複素数平面上の線分 α, β 上の点であるから

$$\gamma = 1 + ti \quad (-1 \leq t \leq 1)$$

とおくと

$$\begin{aligned} f'(\gamma) &= 3(1 + ti)^2 + 2a(1 + ti) + b \\ &= 3 - 3t^2 + 2a + b + 2t(3 + a)i \end{aligned}$$

平均値の性質をもつとき

$$2 + 2a + b = 3 - 3t^2 + 2a + b + 2t(3 + a)i$$

整理すると $1 - 3t^2 = 0$ かつ $2t(3 + a) = 0$

$$-1 \leq t \leq 1 \text{ に注意して } t = \pm \frac{1}{\sqrt{3}}, a = -3$$

このとき, 平均値の性質をもつ.

よって, 実数 a, b, c に関する必要十分条件は

$$a = -3, 2 \text{ 数 } b, c \text{ は任意の実数}$$

$$(3) \alpha = \frac{1-i}{\sqrt{2}} = \cos \frac{\pi}{4} - i \sin \frac{\pi}{4}, \quad \beta = \frac{1+i}{\sqrt{2}} = \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \text{ より}$$

$$\alpha^7 = \left(\cos \frac{\pi}{4} - i \sin \frac{\pi}{4} \right)^7 = \cos \frac{7}{4}\pi - i \sin \frac{7}{4}\pi = \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} = \beta$$

$$\beta^7 = \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)^7 = \cos \frac{7}{4}\pi + i \sin \frac{7}{4}\pi = \cos \frac{\pi}{4} - i \sin \frac{\pi}{4} = \alpha$$

$f(x) = x^7$, $f'(x) = 7x^6$ について

$$\frac{f(\beta) - f(\alpha)}{\beta - \alpha} = \frac{\beta^7 - \alpha^7}{\beta - \alpha} = \frac{\alpha - \beta}{\beta - \alpha} = -1, \quad f'(\gamma) = 7\gamma^6 \quad (*)$$

$$\arg \alpha = -\frac{\pi}{4}, \quad \arg \beta = \frac{\pi}{4} \text{ であるから } -\frac{\pi}{4} \leq \arg \gamma \leq \frac{\pi}{4}$$

平均値の性質をもつと仮定すると, $\arg(7\gamma^6) = \arg(-1)$ であるから

$$6 \arg \gamma = \pm \pi \quad \text{ゆえに} \quad \arg \gamma = \pm \frac{\pi}{6}$$

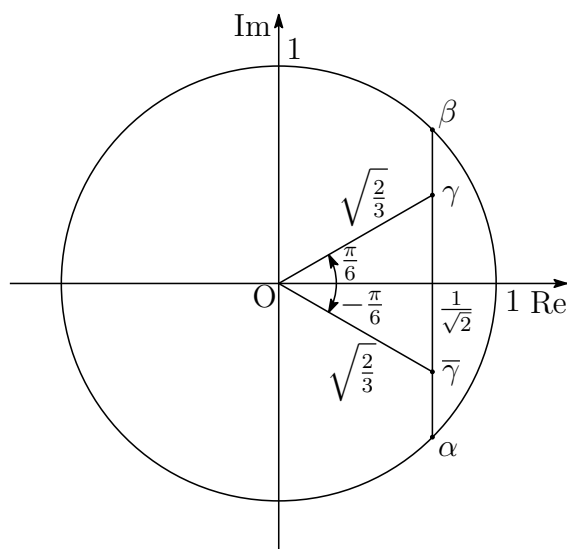
これをみたす2点 α, β を結ぶ線分上の点 γ について

$$|\gamma| = \frac{1}{\sqrt{2} \cos \frac{\pi}{6}} = \sqrt{\frac{2}{3}},$$

$$|7\gamma^6| = 7 \left(\sqrt{\frac{2}{3}} \right)^6 = \frac{56}{27} \neq |-1|$$

上の第2式から, $7\gamma^6 \neq -1$ となり, 平均値の性質に反する.

よって, $\alpha = \frac{1-i}{\sqrt{2}}, \beta = \frac{1+i}{\sqrt{2}}, f(x) = x^7$ は, 平均値の性質をもたない.



5 (1) (i) $2 \leq k \leq n-k \leq n-2$ のとき, $\frac{n-j}{j} \geq 1$ であるから ($j = 1, 2, \dots, k$)

$$\begin{aligned} {}_nC_k &= \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n+1-k)}{1\cdot 2\cdot 3\cdots k} \\ &> n \cdot \frac{n-2}{2} \cdot \frac{n-3}{3} \cdots \frac{n-k}{k} \\ &\geq n \cdot 1 \cdot 1 \cdots 1 = n \end{aligned}$$

(ii) $2 \leq n-k \leq k \leq n-2$ のとき, $k' = n-k$ とおくと

$$2 \leq k' \leq n-k' \leq n-2$$

(i) の結果から ${}_nC_{k'} > n$ ゆえに ${}_nC_k > n$

(i),(ii) より, 自然数 n, k が $2 \leq k \leq n-2$ をみたすとき

$${}_nC_k > n$$

(2) $2 \leq k \leq n-2$ について

$${}_nC_k = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n+1-k)}{1\cdot 2\cdot 3\cdots k} = p \quad (*)$$

が成立するとき, 素数 p は $n, n-1, \dots, n-k+1$ のいずれかの因数で

$${}_nC_k = p \leq n$$

これは, (1) の結論に反する.

$k=0, n$ のとき, $(*)$ は成立しないから, $k=1, n-1$ より

$${}_nC_1 = {}_nC_{n-1} = p$$

よって $(n, k) = (p, 1), (p, p-1)$ ■

1.19 2022年(理系)

出題分野 ① ② ③ ④ ⑤

① 座標空間内の5点

$O(0, 0, 0)$, $A(1, 1, 0)$, $B(2, 1, 2)$, $P(4, 0, -1)$, $Q(4, 0, 5)$

を考える。3点 O , A , B を通る平面を α とし, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$ とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) ベクトル $\vec{a}$, $\vec{b}$ の両方に垂直であり, x 成分が正であるような, 大きさが1のベクトル $\vec{n}$ を求めよ。
- (2) 平面 α に関して点 P と対称な点 P' の座標を求めよ。
- (3) 点 R が平面 α 上を動くとき, $|\overrightarrow{PR}| + |\overrightarrow{RQ}|$ が最小となるような点 R の座標を求めよ。

② n を3以上の自然数, α , β を相異なる実数とするとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) 次をみたす実数 A , B , C と整式 $Q(x)$ が存在することを示せ。

$$x^n = (x - \alpha)(x - \beta)^2 Q(x) + A(x - \alpha)(x - \beta) + B(x - \alpha) + C$$

- (2) (1) の A , B , C を n , α , β を用いて表せ。
- (3) (2) の A について, n と α を固定して, β を α に近づけたときの極限 $\lim_{\beta \rightarrow \alpha} A$ を求めよ。

③ 自然数 m , n が

$$n^4 = 1 + 210m^2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

をみたすとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) $\frac{n^2 + 1}{2}$, $\frac{n^2 - 1}{2}$ は互いに素な整数であることを示せ。
- (2) $n^2 - 1$ は168の倍数であることを示せ。
- (3) ①をみたす自然数の組 (m, n) を1つ求めよ。

4 定積分について述べた次の文章を読んで、後の問いに答えよ。

区間 $a \leq x \leq b$ で連続な関数 $f(x)$ に対して、 $F'(x) = f(x)$ となる関数 $F(x)$ を 1 つ選び、 $f(x)$ の a から b までの定積分を

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad \dots \textcircled{1}$$

で定義する。定積分の値は $F(x)$ の選び方によらずに定まる。定積分は次の性質 (A), (B), (C) をもつ。

$$(A) \int_a^b \{kf(x) + lg(x)\} dx = k \int_a^b f(x) dx + l \int_a^b g(x) dx$$

$$(B) a \leq c \leq b \text{ のとき, } \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx = \int_a^b f(x) dx$$

(C) 区間 $a \leq x \leq b$ において $g(x) \geq h(x)$ ならば,

$$\int_a^b g(x) dx \geq \int_a^b h(x) dx$$

ただし、 $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$ は区間 $a \leq x \leq b$ で連続な関数、 k , l は定数である。

以下、 $f(x)$ を区間 $0 \leq x \leq 1$ で連続な増加関数とし、 n を自然数とする。定積分の性質 ア を用い、定数関数に対する定積分の計算を行うと、

$$\frac{1}{n} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} f\left(\frac{i}{n}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots \textcircled{2}$$

が成り立つことがわかる。 $S_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right)$ とおくと、不等式 $\textcircled{2}$ と定積分の性質 イ より次の不等式が成り立つ。

$$0 \leq \int_0^1 f(x) dx - S_n \leq \frac{f(1) - f(0)}{n} \quad \dots \textcircled{3}$$

よって、はさみうちの原理より $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \int_0^1 f(x) dx$ が成り立つ。

- (1) 関数 $F(x)$, $G(x)$ が微分可能であるとき,

$$\{F(x) + G(x)\}' = F'(x) + G'(x)$$

が成り立つことを, 導関数の定義に従って示せ。また, この等式と定積分の定義 ① を用いて, 定積分の性質 (A) で $k = l = 1$ とした場合の等式

$$\int_a^b \{f(x) + g(x)\} dx = \int_a^b f(x) dx + \int_a^b g(x) dx$$

を示せ。

- (2) 定積分の定義 ① と平均値の定理を用いて, 次を示せ。

$a < b$ のとき, 区間 $a \leq x \leq b$ において $g(x) > 0$ ならば, $\int_a^b g(x) dx > 0$

- (3) (A), (B), (C) のうち, 空欄 ア に入る記号として最もふさわしいものを 1 つ選び答えよ。また文章中の下線部の内容を詳しく説明することで, 不等式 ② を示せ。

- (4) (A), (B), (C) のうち, 空欄 イ に入る記号として最もふさわしいものを 1 つ選び答えよ。また, 不等式 ③ を示せ。

5 xy 平面上の曲線 C を, 媒介変数 t を用いて次のように定める。

$$x = 5 \cos t + \cos 5t, \quad y = 5 \sin t - \sin 5t \quad (-\pi \leq t < \pi)$$

以下の問いに答えよ。

- (1) 区間 $0 < t < \frac{\pi}{6}$ において, $\frac{dx}{dt} < 0$, $\frac{dy}{dx} < 0$ であることを示せ。
- (2) 曲線 C の $0 \leq t \leq \frac{\pi}{6}$ の部分, x 軸, 直線 $y = \frac{1}{\sqrt{3}}x$ で囲まれた図形の面積を求めよ。
- (3) 曲線 C は x 軸に関して対称であることを示せ。また, C 上の点を原点を中心として反時計回りに $\frac{\pi}{3}$ だけ回転させた点は C 上にあることを示せ。
- (4) 曲線 C の概形を図示せよ。

解答例

1 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA} = (1, 1, 0)$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB} = (2, 1, 2)$

$\vec{n} = (x, y, z)$ とおくと, $\vec{a} \cdot \vec{n} = 0$, $\vec{b} \cdot \vec{n} = 0$ であるから

$$x + y = 0, \quad 2x + y + 2z = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y = -x, \quad z = -\frac{1}{2}x$$

$$\vec{n} = \left(x, -x, -\frac{1}{2}x\right), \quad |\vec{n}|^2 = 1 \text{ であるから}$$

$$x^2 + x^2 + \frac{1}{4}x^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 9x^2 = 4$$

$$x > 0 \text{ に注意して } x = \frac{2}{3} \quad \text{よって} \quad \vec{n} = \left(\frac{2}{3}, -\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}\right)$$

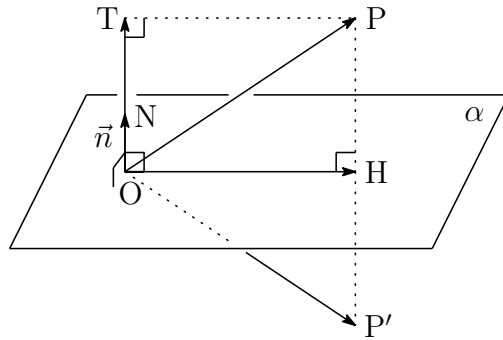
(2) $\overrightarrow{ON} = \vec{n}$ とし, P から平面 α および直線 ON に引いた垂線の交点をそれぞれ H, T とすると

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{OT}, \quad \overrightarrow{OT} = (\overrightarrow{OP} \cdot \vec{n}) \vec{n} \quad (*)$$

$$\overrightarrow{OP} = (4, 0, -1) \text{ より, } \overrightarrow{OP} \cdot \vec{n} = 3 \text{ であるから } \overrightarrow{OT} = (2, -2, -1)$$

これと (*) の第 1 式により, $\overrightarrow{OH} = (2, 2, 0)$ であるから

$$\overrightarrow{OP'} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HP'} = \overrightarrow{OH} + (-\overrightarrow{OT}) = (0, 4, 1) \quad \text{よって} \quad P'(0, 4, 1)$$



(3) $\overrightarrow{OP} \cdot \vec{n} = 3 > 0$, $Q(4, 0, 5)$ より, $\overrightarrow{OQ} \cdot \vec{n} = 1 > 0$ であるから, P, Q は平面 α に関して同じ側にある. このとき, $PR : RQ = P'R : RQ = 3 : 1$ であるから, R は線分 $P'Q$ を 3 : 1 に内分する点である.

$$\left(\frac{1 \cdot 0 + 3 \cdot 4}{3 + 1}, \frac{1 \cdot 4 + 3 \cdot 0}{3 + 1}, \frac{1 \cdot 1 + 3 \cdot 5}{3 + 1}\right) \quad \text{すなわち} \quad R(3, 1, 4)$$

別解 $\overrightarrow{OP} \cdot \vec{n} = 3 > 0$, $Q(4, 0, 5)$ より, $\overrightarrow{OQ} \cdot \vec{n} = 1 > 0$ であるから, P, Q は平面 α に関して同じ側にある. このとき点 R は, 2点 $P'(0, 4, 1), Q(4, 0, 5)$ を通る直線上にある.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OR} &= \overrightarrow{OP'} + t\overrightarrow{P'Q} \quad (t \text{ は実数}) \\ &= (0, 4, 1) + t(4, -4, 4) \\ &= (4t, 4 - 4t, 1 + 4t)\end{aligned}$$

点 R は平面 α 上にあるから, $\overrightarrow{OR} \cdot \vec{n} = 0$ より

$$\frac{2}{3} \cdot 4t - \frac{2}{3}(4 - 4t) - \frac{1}{3}(1 + 4t) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{3}{4}$$

したがって $\overrightarrow{OR} = (3, 1, 4)$ よって $\mathbf{R(3, 1, 4)}$ ■

2 (1) x^n を $x - \alpha$ で割った商を $Q_1(x)$, 余りを C とすると

$$x^n = (x - \alpha)Q_1(x) + C$$

$Q_1(x)$ を $x - \beta$ で割った商を $Q_2(x)$, 余りを B とすると

$$Q_1(x) = (x - \beta)Q_2(x) + B$$

$Q_2(x)$ を $x - \beta$ で割った商を $Q(x)$, 余りを A とすると

$$Q_2(x) = (x - \beta)Q(x) + A$$

したがって

$$\begin{aligned}x^n &= (x - \alpha)Q_1(x) + C \\ &= (x - \alpha)\{(x - \beta)Q_2(x) + B\} + C \\ &= (x - \alpha)(x - \beta)Q_2(x) + B(x - \alpha) + C \\ &= (x - \alpha)(x - \beta)\{(x - \beta)Q(x) + A\} + B(x - \alpha) + C \\ &= (x - \alpha)(x - \beta)^2Q(x) + A(x - \alpha)(x - \beta) + B(x - \alpha) + C \quad (*)\end{aligned}$$

(2) $x = \alpha$ を (*) に代入すると $C = \alpha^n$

$$x^n - \alpha^n = (x - \alpha)(x - \beta)^2 Q(x) + A(x - \alpha)(x - \beta) + B(x - \alpha)$$

$$\frac{x^n - \alpha^n}{x - \alpha} = (x - \beta)^2 Q(x) + A(x - \beta) + B$$

$$f(x) = \frac{x^n - \alpha^n}{x - \alpha} \text{ とおくと } f'(x) = \frac{nx^{n-1}(x - \alpha) - (x^n - \alpha^n)}{(x - \alpha)^2}$$

$$f(x) = (x - \beta)^2 Q(x) + A(x - \beta) + B,$$

$$f'(x) = 2(x - \beta)Q(x) + (x - \beta)^2 Q'(x) + A$$

これから, $B = f(\beta)$, $A = f'(\beta)$ より

$$B = \frac{\beta^n - \alpha^n}{\beta - \alpha}, \quad A = \frac{n\beta^{n-1}(\beta - \alpha) - (\beta^n - \alpha^n)}{(\beta - \alpha)^2}$$

(3) $g(\beta) = n\beta^{n-1}(\beta - \alpha) - (\beta^n - \alpha^n)$ とおくと

$$g'(\beta) = n(n-1)\beta^{n-2}(\beta - \alpha)$$

$$g''(\beta) = n(n-1)\{(n-2)\beta^{n-3}(\beta - \alpha) + \beta^{n-2}\}$$

$g(\alpha) = 0$, $g'(\alpha) = 0$, $g''(\alpha) = n(n-1)\alpha^{n-2}$ より, $g(\beta)$ は $(\beta - \alpha)^2$ を因数にもつから, $g(\beta) = (\beta - \alpha)^2 H(\beta)$ とおくと ($A = H(\beta)$)

$$g'(\beta) = 2(\beta - \alpha)H(\beta) + (\beta - \alpha)^2 H'(\beta)$$

$$g''(\beta) = 2H(\beta) + 4(\beta - \alpha)H'(\beta) + (\beta - \alpha)^2 H''(\beta)$$

$$g''(\alpha) = 2H(\alpha) = n(n-1)\alpha^{n-2}, \quad A = H(\beta) \text{ より}$$

$$\lim_{\beta \rightarrow \alpha} A = \lim_{\beta \rightarrow \alpha} H(\beta) = H(\alpha) = \frac{1}{2}n(n-1)\alpha^{n-2}$$

補足 n 次式 $g(\beta)$ を α を極としてテイラー展開すると ¹²

$$g(\beta) = g(\alpha) + g'(\alpha)(\beta - \alpha) + \frac{g''(\alpha)}{2!}(\beta - \alpha)^2 + \sum_{k=3}^n \frac{g^{(k)}(\alpha)}{k!}(\beta - \alpha)^k$$

$$\text{このとき } A = \frac{g(\beta)}{(\beta - \alpha)^2} = \frac{g''(\alpha)}{2!} + \sum_{k=3}^n \frac{g^{(k)}(\alpha)}{k!}(\beta - \alpha)^{k-2}$$

$$\text{よって } \lim_{\beta \rightarrow \alpha} A = \frac{g''(\alpha)}{2!} = \frac{1}{2}n(n-1)\alpha^{n-2}$$



¹²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2001.pdf (p.7)

3 (1) $n^4 = 1 + 210m^2 \cdots \textcircled{1}$ の右辺は奇数であるから, n は奇数.

$n^2 + 1, n^2 - 1$ は偶数であるから, $\frac{n^2 + 1}{2}, \frac{n^2 - 1}{2}$ は整数.

$\frac{n^2 + 1}{2} - \frac{n^2 - 1}{2} = 1$ より, $\frac{n^2 + 1}{2}, \frac{n^2 - 1}{2}$ は互いに素である.

補足 ユークリッドの互除法により $\frac{n^2 + 1}{2} = \frac{n^2 - 1}{2} \cdot 1 + 1$

$\frac{n^2 + 1}{2}, \frac{n^2 - 1}{2}$ の最大公約数が1であるから, これらの2数は互いに素.

(2) n が奇数であるから, $n + 1, n - 1$ はともに偶数で, 一方は4で割り切れるから, 次式から $n^2 - 1$ は, 8の倍数である.

$$n^2 - 1 = (n + 1)(n - 1)$$

$$\textcircled{1} \text{ より } (n^2 + 1)(n^2 - 1) = 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 m^2 \cdots \textcircled{1}'$$

$$\text{ここで } n^2 \equiv 0, 1 \pmod{3} \text{ より } n^2 + 1 \not\equiv 0 \pmod{3} \cdots \textcircled{2}$$

$$n^2 \equiv 0, 1, 4, 2 \pmod{7} \text{ より } n^2 + 1 \not\equiv 0 \pmod{7} \cdots \textcircled{3}$$

$\textcircled{1}', \textcircled{2}, \textcircled{3}$ より, $n^2 - 1$ は $3 \cdot 7$ の倍数である.

よって, $n^2 - 1$ は, $8 \times 3 \cdot 7$, すなわち, 168 の倍数である.

(3) (2) の結論から, $n^2 - 1 = 168N$ (N は整数) とおくと, $\textcircled{1}'$ より

$$(168N + 2) \cdot 168N = 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 m^2 \quad \text{ゆえに} \quad m = 2\sqrt{\frac{2N(84N + 1)}{5}}$$

$2N$ は偶数, $84N + 1$ は奇数であるから, $N = 2k$ (k は整数) とおくと

$$m = 4\sqrt{\frac{k(168k + 1)}{5}}, \quad n = \sqrt{336k + 1} \quad (*)$$

(*) の第1式から, 整数 k の必要条件は

$$k \equiv 0 \quad \text{または} \quad 168k + 1 \equiv 0 \quad \text{すなわち} \quad k \equiv 0, 3 \pmod{5}$$

$k = 3$ のとき $m = 4\sqrt{3 \cdot 101}, n = \sqrt{1009}$ より, 不適

$k = 5$ のとき $m = 4\sqrt{841} = 4 \cdot 29 = 116, n = \sqrt{1681} = 41$

よって $(m, n) = (116, 41)$ ■

4 (1) $F(x)$, $G(x)$ が微分可能であるから

$$F'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{F(x+h) - F(x)}{h}, \quad G'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{G(x+h) - G(x)}{h}$$

$H(x) = F(x) + G(x)$ とおくと

$$\begin{aligned} H'(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{H(x+h) - H(x)}{h} = \frac{F(x+h) + G(x+h) - F(x) - G(x)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{F(x+h) - F(x)}{h} + \lim_{h \rightarrow 0} \frac{G(x+h) - G(x)}{h} = F'(x) + G'(x) \end{aligned}$$

よって $\{F(x) + G(x)\}' = F'(x) + G'(x)$

次に, $F'(x) = f(x)$, $G'(x) = g(x)$ を満たす $F(x)$, $G(x)$ をとり,

$$H(x) = F(x) + G(x), \quad h(x) = H'(x)$$

とすると, 次式が成立する.

$$h(x) = H'(x) = \{F(x) + G(x)\}' = F'(x) + G'(x) = f(x) + g(x)$$

上式および定積分の定義 ① により

$$\begin{aligned} \int_a^b \{f(x) + g(x)\} dx &= \int_a^b h(x) dx = \left[H(x) \right]_a^b = H(b) - H(a) \\ &= F(b) + G(b) - \{F(a) + G(a)\} \\ &= F(b) - F(a) + G(b) - G(a) \\ &= \int_a^b f(x) dx + \int_a^b g(x) dx \end{aligned}$$

(2) $G'(x) = g(x)$ を満たす $G(x)$ をとると, 定積分の定義により

$$\int_a^b g(x) dx = G(b) - G(a)$$

上式の右辺は平均値の定理により

$$\frac{G(b) - G(a)}{b - a} = G'(c) \quad (a < c < b)$$

$G'(c) = g(c) > 0$ であるから, 以上の結果から

$$\int_a^b g(x) dx = (b - a)g(c) > 0$$

(3) 答 (C)

(2) と同様に $\int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx$ に平均値の定理を適用すると ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$\int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx = \left(\frac{i}{n} - \frac{i-1}{n} \right) f(c_i) = \frac{1}{n} f(c_i) \quad \left(\frac{i-1}{n} < c_i < \frac{i}{n} \right)$$

 $f(x)$ は、区間 $0 \leq x \leq 1$ で連続な増加関数であるから

$$f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq f(c_i) \leq f\left(\frac{i}{n}\right)$$

以上の結果から、次式を得る.

$$\frac{1}{n} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \leq \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} f\left(\frac{i}{n}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

(4) 答 (B)

 S_n の定義により

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i}{n}\right) &= \frac{1}{n} \sum_{i=2}^{n+1} f\left(\frac{i-1}{n}\right) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right) + \frac{1}{n} f(1) - \frac{1}{n} f(0) \\ &= S_n + \frac{f(1) - f(0)}{n} \end{aligned}$$

上式に注意すると、②より

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{i-1}{n}\right) &\leq \sum_{k=1}^n \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} f(x) dx \leq \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f\left(\frac{i}{n}\right) \\ S_n &\leq \int_0^1 f(x) dx \leq S_n + \frac{f(1) - f(0)}{n} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad 0 \leq \int_0^1 f(x) dx - S_n \leq \frac{f(1) - f(0)}{n}$$



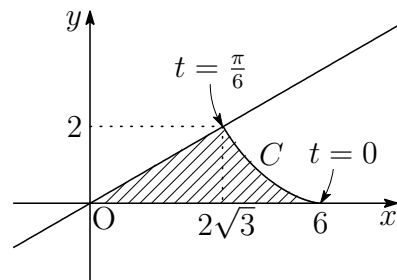
- 5 (1) $x = 5 \cos t + \cos 5t$, $y = 5 \sin t - \sin 5t$ ($-\pi \leq t < \pi$) より

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -5(\sin t + \sin 5t) = -10 \sin 3t \cos 2t, \\ \frac{dy}{dt} &= 5(\cos t - \cos 5t) = 10 \sin 3t \sin 2t, \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{dy}{dt} \bigg/ \frac{dx}{dt} = -\tan 2t\end{aligned}$$

$$0 < t < \frac{\pi}{6} \text{ のとき, } 0 < 2t < 3t < \frac{\pi}{2} \text{ であるから } \frac{dx}{dt} < 0, \frac{dy}{dx} < 0$$

- (2) (1) の結果および $\frac{dy}{dt} > 0$ より

t	0	...	$\frac{\pi}{6}$
$\frac{dx}{dt}$		-	
$\frac{dy}{dt}$		+	
$(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt})$		$\nwarrow$	
(x, y)	(6, 0)	...	$(2\sqrt{3}, 2)$



右上の図の斜線部分が求める面積で、その面積を S とすると

$$\begin{aligned}S &= \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{3} \cdot 2 + \int_{2\sqrt{3}}^6 y \, dx = 2\sqrt{3} + \int_{\frac{\pi}{6}}^0 y \frac{dx}{dt} \, dt \\ &= 2\sqrt{3} + \int_{\frac{\pi}{6}}^0 (5 \sin t - \sin 5t)(-5 \sin t - 5 \sin 5t) \, dt \\ &= 2\sqrt{3} + 5 \int_0^{\frac{\pi}{6}} (5 \sin^2 t - \sin^2 5t + 4 \sin 5t \sin t) \, dt \\ &= 2\sqrt{3} + 5 \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left\{ 5 \cdot \frac{1 - \cos 2t}{2} - \frac{1 - \cos 10t}{2} - 2(\cos 6t - \cos 4t) \right\} \, dt \\ &= 2\sqrt{3} + 5 \left[2t - \frac{5}{4} \sin 2t + \frac{1}{20} \sin 10t - \frac{1}{3} \sin 6t + \frac{1}{2} \sin 4t \right]_0^{\frac{\pi}{6}} \\ &= 2\sqrt{3} + 5 \left(\frac{\pi}{3} - \frac{2\sqrt{3}}{5} \right) = \frac{5}{3} \pi\end{aligned}$$

(3) $f(t) = 5 \cos t + \cos 5t$, $g(t) = 5 \sin t - \sin 5t$ とおくと

$$f(-t) = f(t), \quad g(-t) = -g(t)$$

よって, C 上の2点 $(f(t), g(t))$ と $(f(-t), g(-t))$ は x 軸に関して対称.

xy 直交座標系の原点 O を中心に反時計回りに $\frac{\pi}{3}$ だけ回転させた直交座標系を XY 系とすると

$$\begin{aligned} x \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + y \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} &= X \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{3} \\ \sin \frac{\pi}{3} \end{pmatrix} + Y \begin{pmatrix} \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right) \\ \sin \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right) \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} &= X \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{3} \\ \sin \frac{\pi}{3} \end{pmatrix} + Y \begin{pmatrix} -\sin \frac{\pi}{3} \\ \cos \frac{\pi}{3} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$X = f(t)$, $Y = g(t)$ とすると

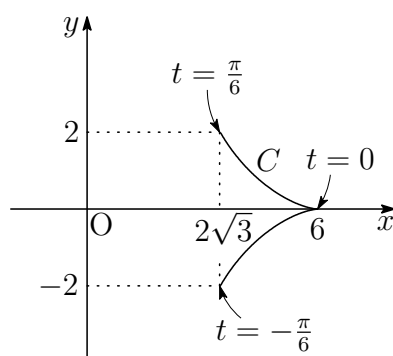
$$\begin{aligned} x &= (5 \cos t + \cos 5t) \cos \frac{\pi}{3} - (5 \sin t - \sin 5t) \sin \frac{\pi}{3} \\ &= 5 \left(\cos t \cos \frac{\pi}{3} - \sin t \sin \frac{\pi}{3} \right) + \cos 5t \cos \frac{\pi}{3} + \sin 5t \sin \frac{\pi}{3} \\ &= 5 \cos \left(t + \frac{\pi}{3} \right) + \cos \left(5t - \frac{\pi}{3} \right) \\ &= 5 \cos \left(t + \frac{\pi}{3} \right) + \cos 5 \left(t + \frac{\pi}{3} \right) = f \left(t + \frac{\pi}{3} \right), \\ y &= (5 \cos t + \cos 5t) \sin \frac{\pi}{3} + (5 \sin t - \sin 5t) \cos \frac{\pi}{3} \\ &= 5 \left(\cos t \sin \frac{\pi}{3} + \sin t \cos \frac{\pi}{3} \right) + \cos 5t \sin \frac{\pi}{3} - \sin 5t \cos \frac{\pi}{3} \\ &= 5 \sin \left(t + \frac{\pi}{3} \right) - \sin \left(5t - \frac{\pi}{3} \right) \\ &= 5 \sin \left(t + \frac{\pi}{3} \right) - \sin 5 \left(t + \frac{\pi}{3} \right) = g \left(t + \frac{\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

XY 系における点 $(f(t), g(t))$ は, xy 系における点 $\left(f \left(t + \frac{\pi}{3} \right), g \left(t + \frac{\pi}{3} \right) \right)$ であるから, C 上の点を原点を中心として反時計回りに $\frac{\pi}{3}$ だけ回転させた点は C 上にある.

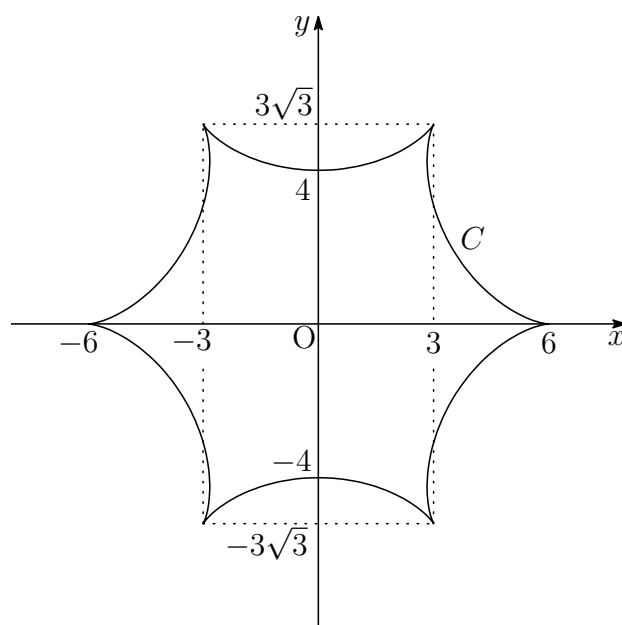
(4) $\frac{dy}{dx} = -\tan 2t$ および $\frac{dx}{dt} < 0$ ($0 < t < \frac{\pi}{6}$) により, $0 < t < \frac{\pi}{6}$ において

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dy}{dx} \right) \bigg/ \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(-\tan 2t) \bigg/ \frac{dx}{dt} = -\frac{2}{\cos^2 2t} \bigg/ \frac{dx}{dt} > 0$$

(3) の結果から, C の $0 \leq t \leq \frac{\pi}{6}$ の部分と $-\frac{\pi}{6} \leq t \leq 0$ の部分は x 軸に関して対称であるから, C の $-\frac{\pi}{6} \leq t \leq \frac{\pi}{6}$ の概形は次のようになる.



さらに, これを原点を中心に反時計回りに $\frac{\pi}{3}$ だけ回転させた部分も C 上にある. よって, C の $-\pi \leq t < \pi$ の概形は, 次のようになる.



■

解説 C 上の点 $(x, y) = (f(t), g(t))$ における接ベクトルは $(f'(t), g'(t))$ より

$$\frac{dy}{dx} = \frac{g'(t)}{f'(t)} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{g'(t)}{f'(t)} \right\} \cdot \frac{dt}{dx}$$

逆関数定理により, $\frac{dt}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dt}} = \frac{1}{f'(t)}$ であるから

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t)}{f'(t)^2} \cdot \frac{1}{f'(t)} = \frac{g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t)}{f'(t)^3}$$

本題において

$$f(t) = 5 \cos t + \cos 5t, \quad g(t) = 5 \sin t - \sin 5t \quad (-\pi \leq t < \pi)$$

したがって

$$\begin{aligned} f'(t) &= -5(\sin t + \sin 5t), & g'(t) &= 5(\cos t - \cos 5t) \\ f''(t) &= -5(\cos t + 5 \cos 5t), & g''(t) &= -5(\sin t - 5 \sin 5t) \end{aligned}$$

これから

$$\begin{aligned} g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t) &= 25(\sin t - 5 \sin 5t)(\sin t + \sin 5t) \\ &\quad + 25(\cos t - \cos 5t)(\cos t + 5 \cos 5t) \\ &= -100 + 100(\cos 5t \cos t - \sin 4t \sin t) \\ &= -100(1 - \cos 6t) \end{aligned}$$

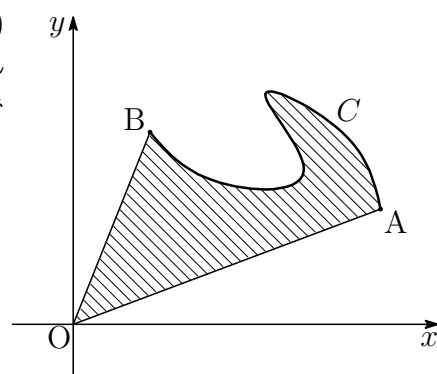
$$0 < t < \frac{\pi}{6} \text{ において } f'(t) < 0, \quad g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t) < 0$$

$$\text{したがって} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t)}{f'(t)^3} > 0$$

ガウス・グリーン定理

曲線 $C: x = f(t), y = g(t)$ ($\alpha \leq t \leq \beta$)
 について, $t = \alpha, \beta$ に対応する点をそれぞれ A, B とする. C と直線 OA, OB で
 囲まれた部分の面積を S とすると
 (OB の偏角 $>$ OA の偏角)

$$S = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$



本題 (2) は, ガウス・グリーン定理を用いて求めることもできる.

$$\begin{aligned}
 f(t)g'(t) - f'(t)g(t) &= (5 \cos t + \cos 5t) \cdot 5(\cos t - \cos 5t) \\
 &\quad + 5(\sin t + \sin 5t) \cdot (5 \sin t - \sin 5t) \\
 &= 20 - 20(\cos 5t \cos t - \sin 5t \sin t) \\
 &= 20(1 - \cos 6t)
 \end{aligned}$$

したがって, 求める面積 S は

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt \\
 &= 10 \int_0^{\frac{\pi}{6}} (1 - \cos 6t) dt = 10 \left[t - \frac{1}{6} \sin 6t \right]_0^{\frac{\pi}{6}} = \frac{5}{3} \pi
 \end{aligned}$$

1.20 2023年(理系)

出題分野 1 2 3 4 5

1 以下の問いに答えよ。

(1) 4次方程式 $x^4 - 2x^3 + 3x^2 - 2x + 1 = 0$ を解け。(2) 複素数平面上の $\triangle ABC$ の頂点を表す複素数をそれぞれ α, β, γ とする。

$$(\alpha - \beta)^4 + (\beta - \gamma)^4 + (\gamma - \alpha)^4 = 0$$

が成り立つとき、 $\triangle ABC$ はどのような三角形になるか答えよ。2 α を実数とする。数列 $\{a_n\}$ が

$$a_1 = \alpha, \quad a_{n+1} = |a_n - 1| + a_n - 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定められるとき、以下の問いに答えよ。

(1) $\alpha \leq 1$ のとき、数列 $\{a_n\}$ の収束、発散を調べよ。(2) $\alpha > 2$ のとき、数列 $\{a_n\}$ の収束、発散を調べよ。(3) $1 < \alpha < \frac{3}{2}$ のとき、数列 $\{a_n\}$ の収束、発散を調べよ。(4) $\frac{3}{2} \leq \alpha < 2$ のとき、数列 $\{a_n\}$ の収束、発散を調べよ。

3 点 O を原点とする座標平面上の $\vec{0}$ でない 2 つのベクトル

$$\vec{m} = (a, c), \quad \vec{n} = (b, d)$$

に対して、 $D = ad - bc$ とおく。座標平面上のベクトル $\vec{q}$ に対して、次の条件を考える。

条件 I $r\vec{m} + s\vec{n} = \vec{q}$ を満たす実数 r, s が存在する。

条件 II $r\vec{m} + s\vec{n} = \vec{q}$ を満たす整数 r, s が存在する。

以下の問いに答えよ。

(1) 条件 I がすべての $\vec{q}$ に対して成り立つとする。 $D \neq 0$ であることを示せ。

以下、 $D \neq 0$ とする。

(2) 座標平面上のベクトル $\vec{v}, \vec{w}$ で

$$\vec{m} \cdot \vec{v} = \vec{n} \cdot \vec{w} = 1, \quad \vec{m} \cdot \vec{w} = \vec{n} \cdot \vec{v} = 0$$

を満たすものを求めよ。

(3) さらに a, b, c, d が整数であるとし、 x 成分と y 成分がともに整数であるすべてのベクトル $\vec{q}$ に対して条件 II が成り立つとする。 D のとりうる値をすべて求めよ。

4 以下の文章を読んで後の問いに答えよ。

三角関数 $\cos x$, $\sin x$ については加法定理が成立するが、逆に加法定理を満たす関数はどのようなものがあるだろうか。実数全体を定義域とする実数値関数 $f(x)$, $g(x)$ が以下の条件を満たすとする。

(A) すべての x, y について $f(x+y) = f(x)f(y) - g(x)g(y)$

(B) すべての x, y について $g(x+y) = f(x)g(y) + g(x)f(y)$

(C) $f(0) \neq 0$

(D) $f(x)$, $g(x)$ は $x=0$ で微分可能で $f'(0) = 0$, $g'(0) = 1$

①条件 (A), (B), (C) から $f(0) = 1$, $g(0) = 0$ がわかる。以上のことから

② $f(x)$, $g(x)$ はすべての x の値で微分可能で, $f'(x) = -g(x)$, $g'(x) = f(x)$ が成立する ことが示される。

③上のことから $\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) = 1$ であることが、実部と虚部を調べることによりわかる。ただし i は虚数単位である。よって条件 (A), (B), (C), (D) を満たす関数は三角関数 $f(x) = \cos x$, $g(x) = \sin x$ であることが示される。

さらに, a, b を実数で $b \neq 0$ とする。このとき条件 (D) をより一般的な

(D)' $f(x)$, $g(x)$ は $x=0$ で微分可能で $f'(0) = a$, $g'(0) = b$

におきかえて, 条件 (A), (B), (C), (D)' を満たす $f(x)$, $g(x)$ はどのような関数になるか考えてみる。この場合でも, 条件 (A), (B), (C) から $f(0) = 1$, $g(0) = 0$ が上と同様にわかる。ここで

$$p(x) = e^{-\frac{a}{b}x} f\left(\frac{x}{b}\right), \quad q(x) = e^{-\frac{a}{b}x} g\left(\frac{x}{b}\right)$$

とおくと, ④条件 (A), (B), (C), (D) において, $f(x)$ を $p(x)$ に, $g(x)$ を $q(x)$ におきかえた条件が満たされる。すると前半の議論により, $p(x)$, $q(x)$ がまず求まり, このことを用いると $f(x) = \boxed{\text{ア}}$, $g(x) = \boxed{\text{イ}}$ が得られる。

- (1) 下線部 ① について, $f(0) = 1$, $g(0) = 0$ となることを示せ。
- (2) 下線部 ② について, $f(x)$ がすべての x の値で微分可能な関数であり, $f'(x) = -g(x)$ となることを示せ。
- (3) 下線部 ③ について, 下線部 ①, 下線部 ② の事実を用いることにより, $\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) = 1$ となることを示せ。
- (4) 下線部 ④ について, 条件 (B), (D) において, $f(x)$ を $p(x)$ に, $g(x)$ を $q(x)$ におきかえた条件が満たされることを示せ。つまり $p(x)$ と $q(x)$ が,
- (B) すべての x, y について $q(x+y) = p(x)q(y) + q(x)p(y)$
- (D) $p(x), q(x)$ は $x = 0$ で微分可能で $p'(0) = 0$, $q'(0) = 1$
- を満たすことを示せ。空欄 ア, イ に入る関数を求めよ。

5 xy 平面上の曲線 C を, 媒介変数 t を用いて次のように定める。

$$x = t + 2 \sin^2 t, \quad y = t + \sin t \quad (0 < t < \pi)$$

以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 C に接する直線のうち y 軸と平行なものがいくつあるか求めよ。
- (2) 曲線 C のうち $y \leq x$ の領域にある部分と直線 $y = x$ で囲まれた図形の面積を求めよ。

解答例

1 (1) (*) $x^4 - 2x^3 + 3x^2 - 2x + 1 = 0$

$x = 0$ は方程式 (*) の解ではないから, (*) の両辺を x^2 で割ると

$$x^2 - 2x + 3 - \frac{2}{x} + \frac{1}{x^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(x + \frac{1}{x}\right)^2 - 2\left(x + \frac{1}{x}\right) + 1 = 0$$

$$\text{したがって} \quad \left(x + \frac{1}{x} - 1\right)^2 = 0 \quad \text{すなわち} \quad (x^2 - x + 1)^2 = 0$$

$$\text{これを解いて} \quad x = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

(2) (**) $(\alpha - \beta)^4 + (\beta - \gamma)^4 + (\gamma - \alpha)^4 = 0$

$\alpha \neq \beta$ であるから, (**) の両辺を $(\beta - \alpha)^4$ で割ると

$$1 + \left\{ \frac{(\beta - \alpha) - (\gamma - \alpha)}{\beta - \alpha} \right\}^4 + \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right)^4 = 0$$

$$z = \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \text{ とおくと} \quad 1 + (1 - z)^4 + z^4 = 0$$

$$\text{整理すると} \quad z^4 - 2z^3 + 3z^2 - 2z + 1 = 0$$

$$(1) \text{ の結果から, これを解くと} \quad z = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = \cos\left(\pm\frac{\pi}{3}\right) + i\sin\left(\pm\frac{\pi}{3}\right) \quad (\text{複号同順})$$

$$AB = AC, \angle CAB = \frac{\pi}{3} \text{ より} \quad \triangle ABC \text{ は正三角形}$$



2 $a_1 = \alpha$, $a_{n+1} = |a_n - 1| + a_n - 1$ より ($n = 1, 2, 3, \dots$)

$$\begin{aligned} a_{n+1} &= \max(a_n - 1, -a_n + 1) + a_n - 1 \\ &= \max(2(a_n - 1), 0) \end{aligned}$$

k を自然数とすると, 上の漸化式から

- (i) $a_k \leq 1$ のとき, $2(a_k - 1) \leq 0$ より, $a_{k+1} = 0$
- (ii) $a_k > 2$ のとき, $2(a_k - 1) > 2$ より, $a_{k+1} = 2(a_k - 1) > 2$
- (iii) $1 < a_k < \frac{3}{2}$ のとき, $0 < 2(a_k - 1) < 1$ より, $0 < a_{k+1} < 1$
- (iv) $\frac{3}{2} \leq a_k < 2$ のとき, $1 < 2(a_k - 1) < 2$ より, $a_{k+1} = 2(a_k - 1)$
このとき, $a_{k+1} - a_k = a_k - 2 < 0$ より $a_{k+1} < a_k$

が成立する.

- (1) $\alpha \leq 1$ のとき, (i) より $a_2 = 0$
順次, (i) を適用すると $a_3 = 0, a_4 = 0, \dots$
よって $\{a_n\}$ は収束し, $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$
- (2) $\alpha > 2$ のとき, (ii) より $a_{n+1} = 2(a_n - 1)$
ゆえに $a_{n+1} - 2 = 2(a_n - 2)$ すなわち $a_n = 2 + (\alpha - 2) \cdot 2^{n-1}$
よって $\{a_n\}$ は発散し, $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$
- (3) $1 < \alpha < \frac{3}{2}$ のとき, (iii) より $0 < a_2 < 1$
さらに, (i) を順次適用すると $a_3 = 0, a_4 = 0, \dots$
よって $\{a_n\}$ は収束し, $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$
- (4) $\frac{3}{2} \leq \alpha < 2$ のとき, すべての自然数 n について

$$\frac{3}{2} \leq a_n < 2$$

であると仮定すると, (iv) より $a_{n+1} = 2(a_n - 1)$

$$a_n = 2 + (\alpha - 2) \cdot 2^{n-1}$$

このとき, 十分大きな k に対して, $a_k < \frac{3}{2}$ となり, 仮定に反する.

よって, $a_k < \frac{3}{2}$ となる整数 k が存在するので, (i), (iii) より

$$\{a_n\} \text{ は収束し, } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$$

■

3 (1) $\vec{m} = (a, c)$, $\vec{n} = (b, d)$ より $(\vec{m} \neq \vec{0}, \vec{n} \neq \vec{0})$

$$(*) \begin{cases} d\vec{m} - c\vec{n} = (ad - bc, 0) = (D, 0) \\ -b\vec{m} + a\vec{n} = (0, ad - bc) = (0, D) \end{cases}$$

$D = 0$ のとき $d\vec{m} = c\vec{n}$, $b\vec{m} = a\vec{n}$ ゆえに $\vec{m} // \vec{n}$

このとき, $\vec{m}, \vec{n}$ は1次従属であるから, $\vec{q}$ がこれらのベクトルと平行でないならば, 条件I

$$r\vec{m} + s\vec{n} = \vec{q}$$

を満たす実数 r, s は存在しない.

$D \neq 0$ のとき, 基本ベクトル $\vec{e}_1 = (1, 0)$, $\vec{e}_2 = (0, 1)$ は, $(*)$ より

$$\vec{e}_1 = (1, 0) = \frac{d\vec{m} - c\vec{n}}{D}, \quad \vec{e}_2 = (0, 1) = \frac{-b\vec{m} + a\vec{n}}{D} \quad (**)$$

のように, これらの基本ベクトルは $\vec{m}, \vec{n}$ の線形結合で表される.

したがって, 任意のベクトル $\vec{q} = (x, y)$ を

$$(x, y) = x(1, 0) + y(0, 1) = x\vec{e}_1 + y\vec{e}_2 \quad (***)$$

とすると, $\vec{q}$ は $\vec{m}, \vec{n}$ の線形結合で表される.

よって, $D \neq 0$ のとき, 条件Iを満たす実数 r, s が存在する. [証終]

(2) $(**)$ の基本ベクトルと $\vec{v}$ の内積をとると

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 \cdot \vec{v} &= \frac{(d\vec{m} - c\vec{n}) \cdot \vec{v}}{D} = \frac{d\vec{m} \cdot \vec{v} - c\vec{n} \cdot \vec{v}}{D} = \frac{d}{D} \\ \vec{e}_2 \cdot \vec{v} &= \frac{(-b\vec{m} + a\vec{n}) \cdot \vec{v}}{D} = \frac{-b\vec{m} \cdot \vec{v} + a\vec{n} \cdot \vec{v}}{D} = -\frac{b}{D} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \vec{v} = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1)\vec{e}_1 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2)\vec{e}_2 = \frac{1}{D}(d, -b)$$

同様に, $(**)$ の基本ベクトルと $\vec{w}$ の内積をとると

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 \cdot \vec{w} &= \frac{(d\vec{m} - c\vec{n}) \cdot \vec{w}}{D} = \frac{d\vec{m} \cdot \vec{w} - c\vec{n} \cdot \vec{w}}{D} = -\frac{c}{D} \\ \vec{e}_2 \cdot \vec{w} &= \frac{(-b\vec{m} + a\vec{n}) \cdot \vec{w}}{D} = \frac{-b\vec{m} \cdot \vec{w} + a\vec{n} \cdot \vec{w}}{D} = \frac{a}{D} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \vec{w} = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1)\vec{e}_1 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2)\vec{e}_2 = \frac{1}{D}(-c, a)$$

(3) (**) を (***) に代入すると

$$\begin{aligned}\vec{q} &= x \left(\frac{d\vec{m} - c\vec{n}}{D} \right) + y \left(\frac{-b\vec{m} + a\vec{n}}{D} \right) \\ &= \frac{dx - by}{D} \vec{m} + \frac{-cx + ay}{D} \vec{n}\end{aligned}\tag{A}$$

条件 II を満たすとき, $\frac{dx - by}{D}$, $\frac{-cx + ay}{D}$ が整数である. とくに

$$\vec{q} = (1, 0) \text{ のとき } \quad \vec{q} = \frac{d}{D} \vec{m} - \frac{c}{D} \vec{n}$$

$$\vec{q} = (0, 1) \text{ のとき } \quad \vec{q} = -\frac{b}{D} \vec{m} + \frac{a}{D} \vec{n}$$

上の 2 式から, $\frac{a}{D}$, $\frac{b}{D}$, $\frac{c}{D}$, $\frac{d}{D}$ は整数である.

$$\frac{a}{D} \cdot \frac{d}{D} - \frac{b}{D} \cdot \frac{c}{D} = \frac{ad - bc}{D^2} = \frac{1}{D}$$

は整数であるから $D = \pm 1$

逆に, $D = \pm 1$ のとき, (A) より, 条件 II を満たす.

したがって $D = \pm 1$



- 4 (1) 条件式 (A), (B) に $x = y = 0$ を代入すると

$$f(0) = f(0)^2 - g(0)^2, \quad g(0) = 2f(0)g(0) \quad (*)$$

上の第2式から $\{2f(0) - 1\}g(0) = 0$

したがって $f(0) = \frac{1}{2}$ または $g(0) = 0$

- $f(0) = \frac{1}{2}$ のとき, (*) の第1式に代入して整理すると $g(0)^2 = -\frac{1}{4}$
 $g(0)$ は実数値であるから, $f(0) = \frac{1}{2}$ は不適.
- $g(0) = 0$ のとき, これを (*) の第1式に代入して整理すると

$$f(0)\{f(0) - 1\} = 0 \quad f(0) \neq 0 \text{ に注意して } f(0) = 1$$

よって, 題意は成立する.

- (2) (1) の結論および条件 (A), (D) より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x)f(h) - g(x)g(h) - f(x)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ f(x) \cdot \frac{f(h) - f(0)}{h} - g(x) \cdot \frac{g(h) - g(0)}{h} \right\} \\ &= f(x)f'(0) - g(x)g'(0) \\ &= f(x) \cdot 0 - g(x) \cdot 1 = -g(x) \end{aligned} \quad (**)$$

- (3) (2) と同様に, (1) の結論および条件 (B), (D) より

$$\begin{aligned} g'(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(x+h) - g(x)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x)g(h) + g(x)f(h) - g(x)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ f(x) \cdot \frac{g(h) - g(0)}{h} + g(x) \cdot \frac{f(h) - f(0)}{h} \right\} \\ &= f(x)g'(0) + g(x)f'(0) \\ &= f(x) \cdot 1 + g(x) \cdot 0 = f(x) \end{aligned} \quad (***)$$

$\pi(x) = \{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x)$ とおくと, (2) および上式から

$$\begin{aligned} \pi'(x) &= \{f(x) + ig(x)\}'(\cos x - i \sin x) + \{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x)' \\ &= \{f'(x) + ig'(x)\}(\cos x - i \sin x) + \{f(x) + ig(x)\}(-\sin x - i \cos x) \\ &= \{-g(x) + if(x)\}(\cos x - i \sin x) - i\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) \\ &= i\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) - i\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) = 0 \end{aligned}$$

$\pi(x)$ は定数関数であるから $\pi(x) = \pi(0) = \{f(0) + ig(0)\} \cdot 1 = 1$

よって $\{f(x) + ig(x)\}(\cos x - i \sin x) = 1$

- (4) (3) の結論から $f(x) + ig(x) = \cos x + i \sin x$
 $f(x), g(x)$ は実関数 (実数値関数) であるから

$$f(x) = \cos x, \quad g(x) = \sin x$$

ここで, $\varphi(x) = f(x) + ig(x)$ とおくと

$$\varphi'(x) = f'(x) + ig'(x) = -g(x) + if(x) = i\{f(x) + ig(x)\} = i\varphi(x)$$

$\varphi(0) = \cos 0 + i \sin 0 = 1$ および上式を満たす $\varphi(x)$ を求める.

$$\varphi'(x)e^{-ix} - i\varphi(x)e^{-ix} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \{\varphi(x)e^{-ix}\}' = 0$$

したがって $\varphi(x)e^{-ix} = C$ (C は積分定数) ゆえに $\varphi(x) = Ce^{ix}$

$\varphi(0) = 1$ より $C = 1$ すなわち $\varphi(x) = e^{ix}$

$\varphi(x) = f(x) + ig(x) = \cos x + i \sin x$ であるから

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x \quad (\#)$$

(#) により, 条件 (A), (B), (C), (D') を満たす関数 $f(x), g(x)$ を求める.
 (D') を (**), (***) に代入すると

$$f'(x) = af(x) - bg(x), \quad g'(x) = bf(x) + ag(x)$$

$\phi(x) = f(x) + ig(x)$ とおくと

$$\begin{aligned} \phi'(x) &= f'(x) + ig'(x) = \{af(x) - bg(x)\} + i\{bf(x) + ag(x)\} \\ &= (a + bi)\{f(x) + ig(x)\} = (a + bi)\phi(x) \end{aligned}$$

$\phi(0) = f(0) + ig(0) = 1 + i \cdot 0 = 1$ および上式を満たす $\phi(x)$ を求める.

$$\phi'(x)e^{-(a+bi)x} - (a+bi)\phi(x)e^{-(a+bi)x} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \{\phi(x)e^{-(a+bi)x}\}' = 0$$

したがって

$$\phi(x)e^{-(a+bi)x} = C_0 \quad (C_0 \text{ は積分定数}) \quad \text{ゆえに} \quad \phi(x) = C_0 e^{(a+bi)x}$$

$\phi(0) = 1$ より $C_0 = 1$ すなわち $\phi(x) = e^{(a+bi)x}$

(#) より $\phi(x) = e^{ax}e^{ibx} = e^{ax}(\cos bx + i \sin bx)$

$\phi(x) = f(x) + ig(x)$ であるから ($f(x), g(x)$ は実関数)

$$f(x) = e^{ax} \cos bx, \quad g(x) = e^{ax} \sin bx$$

$$\text{これから } f\left(\frac{x}{b}\right) = e^{\frac{a}{b}x} \cos x, \quad g\left(\frac{x}{b}\right) = e^{\frac{a}{b}x} \sin x$$

これらを $p(x) = e^{-\frac{a}{b}x} f\left(\frac{x}{b}\right)$, $q(x) = e^{-\frac{a}{b}x} g\left(\frac{x}{b}\right)$ に代入すると

$$p(x) = \cos x, \quad q(x) = \sin x$$

[B の証明] このとき, 加法定理を用いて

$$\begin{aligned} q(x+y) &= \sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y \\ &= q(x)p(y) + p(x)q(y) = p(x)q(y) + q(x)p(y) \end{aligned}$$

[D の証明] $p'(x) = -\sin x$, $q'(x) = \cos x$ より

$$p'(0) = 0, \quad q'(0) = 1 \quad \text{[証終]}$$

補足 本題の線形の連立微分方程式

$$\begin{aligned} f(0) &= 1, \quad g(0) = 0, \quad f'(0) = a, \quad g'(0) = b, \\ f'(x) &= af(x) - bg(x), \quad g'(x) = bf(x) + ag(x) \end{aligned}$$

から $g(x)$, $g'(x)$ を消去して, 2 階の微分方程式

$$f(0) = 1, \quad f'(0) = a, \quad f''(x) - 2af'(x) + (a^2 + b^2)f(x) = 0$$

を解いてもよい. 特性方程式 $X^2 - 2aX + a^2 + b^2 = 0$ の解を

$$\alpha = a + bi, \quad \beta = a - bi$$

とおくと $f(x) = C_1 e^{\alpha x} + C_2 e^{\beta x}$ (C_1, C_2 は積分定数)¹³

このとき, $f(0) = 1$, $f'(0) = a$ より

$$C_1 + C_2 = 1, \quad \alpha C_1 + \beta C_2 = a$$

上の第 2 式について $\frac{\alpha + \beta}{2}(C_1 + C_2) + \frac{\alpha - \beta}{2}(C_1 - C_2) = a$

$\frac{\alpha + \beta}{2} = a$, $\frac{\alpha - \beta}{2} = bi$ を代入すると $a(C_1 + C_2) + bi(C_1 - C_2) = a$

$C_1 + C_2 = 1$, $b \neq 0$ より $C_1 = C_2 = \frac{1}{2}$ よって $f(x) = e^{ax} \cos bx$

同様に, 2 階の微分方程式

$$g(0) = 0, \quad g'(0) = b, \quad g''(x) - 2ag'(x) + (a^2 + b^2)g(x) = 0$$

を解くと, $g(x) = e^{ax} \sin bx$ を得る. ■

¹³http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/oita/oita_2010.pdf (p.17 例 2)

- 5 (1) $C: (x, y) = (f(t), g(t)) = (t + 2\sin^2 t, t + \sin t)$ とおくと $(0 < t < \pi)$
 $f'(t) = 0$ とすると $1 + 4\sin t \cos t = 0$

$$1 + 2\sin 2t = 0 \quad (0 < t < \pi) \quad \text{ゆえに} \quad t = \frac{7}{12}\pi, \frac{11}{12}\pi$$

$$\begin{aligned} \text{このとき} \quad f\left(\frac{7\pi}{12}\right) &= \frac{7\pi}{12} + 1 - \cos \frac{7\pi}{6} = \frac{7\pi}{12} + 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \\ f\left(\frac{11\pi}{12}\right) &= \frac{11\pi}{12} + 1 - \cos \frac{11\pi}{6} = \frac{11\pi}{12} + 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

したがって, C の $t = \frac{7\pi}{12}, \frac{11\pi}{12}$ における 2 接線

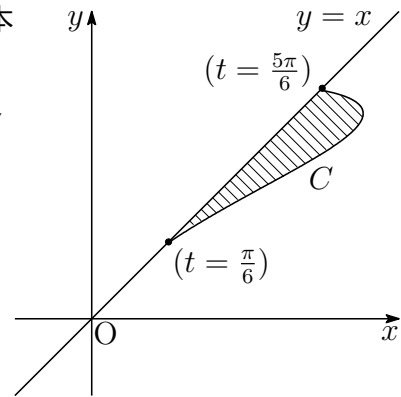
$$x = f\left(\frac{7\pi}{12}\right), \quad x = f\left(\frac{11\pi}{12}\right)$$

が異なるから, 求める接線の本数は **2 本**

- (2) 求める面積を右の図の斜線部分である.
 この面積を S とすると, ガウス・グリーンの定理により

$$S = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$

このとき



$$\begin{aligned} f(t)g'(t) - f'(t)g(t) &= (t + 2\sin^2 t)(1 + \cos t) - (1 + 4\sin t \cos t)(t + \sin t) \\ &= t(\cos t - 4\sin t \cos t) + 2\sin^2 t - \sin t - 2\sin^2 t \cos t \\ &= t(\sin t - 2\sin^2 t)' + 2\sin^2 t - \sin t - 2\sin^2 t \cos t \\ &= \{t(\sin t - 2\sin^2 t)\}' + 2(2\sin^2 t - \sin t) - \frac{2}{3}(\sin^3 t)' \end{aligned}$$

よって ¹⁴

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \left[t(\sin t - 2\sin^2 t) \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} + \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (2\sin^2 t - \sin t) dt - \frac{1}{3} \left[\sin^3 t \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \\ &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (1 - \cos 2t - \sin t) dt = \left[t - \frac{1}{2} \sin 2t + \cos t \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{2}{3}\pi - \frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

¹⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2022.pdf 5

別解 $\frac{\pi}{6} \leq t \leq \frac{5\pi}{6}$ で $y = g(t)$ は単調増加であることに注意して

$$\begin{aligned} S &= \int_{g(\frac{\pi}{6})}^{g(\frac{5\pi}{6})} (x - y) dy = \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} f(t)g'(t) dt - \left[\frac{y^2}{2} \right]_{g(\frac{\pi}{6})}^{g(\frac{5\pi}{6})} \\ &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} f(t)g'(t) dt - \frac{1}{2} \left\{ g\left(\frac{5\pi}{6}\right)^2 - g\left(\frac{\pi}{6}\right)^2 \right\} \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$f\left(\frac{\pi}{6}\right) = g\left(\frac{\pi}{6}\right)$, $f\left(\frac{5\pi}{6}\right) = g\left(\frac{5\pi}{6}\right)$ に注意して変形すると

$$\begin{aligned} S &= \left[f(t)g(t) \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} f'(t)g(t) dt - \frac{1}{2} \left\{ g\left(\frac{5\pi}{6}\right)^2 - g\left(\frac{\pi}{6}\right)^2 \right\} \\ &= - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} f'(t)g(t) dt + \frac{1}{2} \left\{ g\left(\frac{5\pi}{6}\right)^2 - g\left(\frac{\pi}{6}\right)^2 \right\} \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② の辺々を加えることにより, 次式を得る.

$$S = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$

$g\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2}$, $g\left(\frac{5\pi}{6}\right) = \frac{5\pi}{6} + \frac{1}{2}$ であるから, ① より

$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (t + 2\sin^2 t)(1 + \cos t) dt - \frac{1}{2} \left\{ g\left(\frac{5\pi}{6}\right)^2 - g\left(\frac{\pi}{6}\right)^2 \right\} \\ &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (t + t\cos t + 2\sin^2 t + 2\sin^2 t\cos t) dt - \frac{\pi}{3}(\pi + 1) \\ &= \left[\frac{t^2}{2} + t\sin t + \cos t + t - \frac{1}{2}\sin 2t + \frac{2}{3}\sin^3 t \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} - \frac{\pi}{3}(\pi + 1) \\ &= \frac{2}{3}\pi - \frac{\sqrt{3}}{2} \end{aligned}$$

■

1.21 2024 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 a を実数とし、座標空間内の 3 点 $P(-1, 1, -1)$, $Q(1, 1, 1)$, $R(a, a^2, a^3)$ を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) $a \neq -1$, $a \neq 1$ のとき、3 点 P , Q , R は一直線上にないことを示せ。
 (2) a が $-1 < a < 1$ の範囲を動くとき、三角形 PQR の面積の最大値を求めよ。

- 2 整式

$$f(z) = z^6 + z^4 + z^2 + 1$$

について、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(z) = 0$ をみたすすべての複素数 z に対して、 $|z| = 1$ が成り立つことを示せ。
 (2) 次の条件をみたす複素数 w をすべて求めよ。

条件： $f(z) = 0$ をみたすすべての複素数 z に対して
 $f(wz) = 0$ が成り立つ。

- 3 以下の問いに答えよ。

- (1) 自然数 a, b が $a < b$ をみたすとき、 $\frac{b!}{a!} \geq b$ が成り立つことを示せ。
 (2) $2 \cdot a! = b!$ をみたす自然数の組 (a, b) をすべて求めよ。
 (3) $a! + b! = 2 \cdot c!$ をみたす自然数の組 (a, b, c) をすべて求めよ。

- 4 n を 3 以上の整数とする。座標平面上の点のうち、 x 座標と y 座標がともに 1 以上 n 以下の整数であるものを考える。これら n^2 個の点のうち 3 点以上を通る直線の個数を $L(n)$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $L(3)$ を求めよ。
 (2) $L(4)$ を求めよ。
 (3) $L(5)$ を求めよ。

5 自然数 m, n に対して

$$I(m, n) = \int_1^e x^m e^x (\log x)^n dx$$

とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $I(m+1, n+1)$ を $I(m, n+1)$, $I(m, n)$, m , n を用いて表せ。
- (2) すべての自然数 m に対して, $\lim_{n \rightarrow \infty} I(m, n) = 0$ が成り立つことを示せ。

解答例

- 1 (1) 3 点 $P(-1, 1, -1)$, $Q(1, 1, 1)$, $R(a, a^2, a^3)$ より

$$\overrightarrow{PQ} = (2, 0, 2), \quad \overrightarrow{PR} = (a+1, a^2-1, a^3+1)$$

3 点 P , Q , R が一直線上にあると仮定すると, $\overrightarrow{PQ}$, $\overrightarrow{PR}$ の y 成分から

$$a^2 - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = \pm 1$$

これは, $a \neq -1$, $a \neq 1$ に反する.

よって, 3 点 P , Q , R は一直線上にない.

- (2) $|\overrightarrow{PQ}|^2 = 8$, $\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR} = 2(a^3 + a + 2)$

点 R から直線 PQ に垂線 RH を引くと

$$\begin{aligned} \overrightarrow{PH} &= \frac{\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR}}{|\overrightarrow{PQ}|^2} \overrightarrow{PQ} = \frac{2(a^3 + a + 2)}{8} (2, 0, 2) \\ &= \left(\frac{a^3}{2} + \frac{a}{2} + 1, 0, \frac{a^3}{2} + \frac{a}{2} + 1 \right), \\ \overrightarrow{RH} &= \overrightarrow{PH} - \overrightarrow{PR} = \left(-\frac{a}{2} + \frac{a^3}{2}, 1 - a^2, \frac{a}{2} - \frac{a^3}{2} \right) \\ &= (1 - a^2) \left(-\frac{a}{2}, 1, \frac{a}{2} \right) \end{aligned}$$

$-1 < a < 1$ より, $1 - a^2 > 0$ であるから

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{RH}| &= (1 - a^2) \sqrt{\left(-\frac{a}{2}\right)^2 + 1^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - a^2) \sqrt{2 + a^2} \\ \Delta PQR &= \frac{1}{2} |\overrightarrow{PQ}| |\overrightarrow{RH}| = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - a^2) \sqrt{2 + a^2} \\ &= (1 - a^2) \sqrt{2 + a^2} \end{aligned}$$

ここで, $t = 1 - a^2$ とおくと $0 < t \leq 1$

$$\Delta PQR = t\sqrt{3-t} = \sqrt{3t^2 - t^3}$$

$$f(t) = 3t^2 - t^3 \quad \text{とおくと} \quad f'(t) = 6t - 3t^2 = 3t(2-t) > 0$$

$f(t)$ は単調増加であるから, $t = 1$, すなわち, $a = 0$ のとき, ΔPQR の面積は, 最大値 $\sqrt{2}$ をとる.

補足 (外積を用いる解法)

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PQ} \times \overrightarrow{PR} &= (2(1-a^2), 2a(1-a^2), -2(1-a^2)) \\ &= 2(1-a^2)(1, a, -1)\end{aligned}$$

$-1 < a < 1$ に注意して

$$\triangle PQR = \frac{1}{2} |\overrightarrow{PQ} \times \overrightarrow{PR}| = (1-a^2)\sqrt{2+a^2}$$

(面積公式を用いる解法)

$$\begin{aligned}|\overrightarrow{PQ}|^2 &= 2^2 + 0^2 + 2^2 = 8, \\ |\overrightarrow{PR}|^2 &= (a+1)^2 + (a^2-1)^2 + (a^3+1)^2 \\ &= (a+1)^2 \{1 + (a-1)^2 + (a^2-a+1)^2\} \\ &= (a+1)^2 (a^4 - 2a^3 + 4a^2 - 4a + 3), \\ \overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR} &= 2(a+1) + 0 + 2(a^3+1) \\ &= 2(a+1)(a^2 - a + 2)\end{aligned}$$

$-1 < a < 1$ に注意して

$$\begin{aligned}\triangle PQR &= \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{PQ}|^2 |\overrightarrow{PR}|^2 - (\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{8 \cdot (a+1)^2 (a^4 - 2a^3 + 4a^2 - 4a + 3) - \{2(a+1)(a^2 - a + 2)\}^2} \\ &= (a+1) \sqrt{2(a^4 - 2a^3 + 4a^2 - 4a + 3) - (a^2 - a + 2)^2} \\ &= (a+1) \sqrt{a^4 - 2a^3 + 3a^2 - 4a + 2} \\ &= (a+1) \sqrt{(a-1)^2 (a^2 + 2)} \\ &= (a+1)(1-a) \sqrt{a^2 + 2} \\ &= (1-a^2) \sqrt{2+a^2}\end{aligned}$$



2 (1) $f(z) = z^6 + z^4 + z^2 + 1 = (z^2 + 1)(z^4 + 1)$
 $f(z) = 0$ をみたすとき $z^2 = -1, z^4 = -1 \dots (*)$

$$|z^2| = |z|^2 = 1, |z^4| = |z|^4 = 1 \quad \text{よって} \quad |z| = 1$$

補足 $z^8 - 1 = (z^2 - 1)(z^2 + 1)(z^4 + 1)$, $f(z) = z^6 + z^4 + z^2 + 1 = (z^2 + 1)(z^4 + 1)$
より, $z^8 - 1 = (z^2 - 1)f(z)$ であるから, z は実数以外の 1 の 8 乗根である.

(2) $(*)$ より $z^2 = -1, \pm i$
 $f(z) = (z^2 + 1)(z^2 + i)(z^2 - i)$ より

$$f(wz) = (w^2z^2 + 1)(w^2z^2 + i)(w^2z^2 - i)$$

(i) $z^2 = -1$ のとき

$$f(wz) = (-w^2 + 1)(-w^2 + i)(-w^2 - i) = 0$$

したがって $w^2 = 1, \pm i \dots \textcircled{1}$

(ii) $z^2 = i$ のとき

$$\begin{aligned} f(wz) &= (iw^2 + 1)(iw^2 + i)(iw^2 - i) \\ &= -i(w^2 - i)(w^2 + 1)(w^2 - 1) = 0 \end{aligned}$$

したがって $w^2 = \pm 1, i \dots \textcircled{2}$

(iii) $z^2 = -i$ のとき

$$\begin{aligned} f(wz) &= (-iw^2 + 1)(-iw^2 + i)(-iw^2 - i) \\ &= i(w^2 + i)(w^2 - 1)(w^2 + 1) = 0 \end{aligned}$$

したがって $w^2 = \pm 1, -i \dots \textcircled{3}$

①~③ を同時にみたすとき $w^2 = 1$ よって $w = \pm 1$ ■

- 3** (1) $b > a$ のとき, $b - 1 \geq a$ であるから $(b - 1)! \geq a!$

$$b! = b \cdot (b - 1)! \geq b \cdot a! \quad \text{よって} \quad \frac{b!}{a!} \geq b$$

- (2) $2 \cdot a! = b!$ より $\frac{b!}{a!} = 2 > 1$ であるから

$$a! < b! \quad \text{すなわち} \quad a < b$$

$a < b$ より, (1) の結論を用いると

$$2 = \frac{b!}{a!} \geq b > a \quad \text{よって} \quad (a, b) = (1, 2)$$

- (3) (i) $a \leq c, b \leq c$ のとき

$$\frac{a!}{c!} + \frac{b!}{c!} = 2, \quad \frac{a!}{c!} \leq 1, \quad \frac{b!}{c!} \leq 1$$

このとき $\frac{a!}{c!} = 1, \frac{b!}{c!} = 1$ すなわち $a = c, b = c \quad \dots (*)$

- (ii) $a > c$ または $b > c$ のとき, 一般性を失うことなく, $b > c$ とし,
(1) の結論を用いると

$$2 = \frac{a!}{c!} + \frac{b!}{c!} \geq \frac{a!}{c!} + b > b > c \geq 1$$

これをみたす b, c は存在しない.

- (i), (ii) より $(a, b, c) = (n, n, n)$ (n は自然数)



- 4 (1) 条件を満たす直線は、次の 8 本より $L(3) = 8$

$$y = x, \quad y = -x + 4, \quad x = k, \quad y = k \quad (k = 1, 2, 3)$$

- (2) 条件を満たす直線は、次の 14 本より $L(4) = 14$

$$\begin{aligned} y = x - 1, \quad y = x, \quad y = x + 1, \\ y = -x + 4, \quad y = -x + 5, \quad y = -x + 6, \\ x = k, \quad y = k \quad (k = 1, 2, 3, 4) \end{aligned}$$

- (3) 条件を満たす直線で傾きが 0 以上の直線は、(i)~(iv) の 16 本ある.

(i) 条件を満たす x 軸に平行な直線は $y = k \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5)$

(ii) 条件を満たす傾き $\frac{1}{2}$ の直線は $y - k = \frac{x - 1}{2} \quad (k = 1, 2, 3)$

(iii) 条件を満たす傾き 1 の直線は $y = x + k \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2)$

(iv) 条件を満たす傾き 2 の直線は $y - 1 = 2(x - k) \quad (k = 1, 2, 3)$

(i)~(iv) の直線を点 (3, 3) を中心に 90° 回転させた直線も条件を満たす.

よって $L(5) = 16 \times 2 = 32$ ■

5 (1) $I(m, n) = \int_1^e x^m e^x (\log x)^n dx$ より (m, n は自然数)

$$\begin{aligned}
 & I(m+1, n+1) \\
 &= \int_1^e (e^x)' x^{m+1} (\log x)^{n+1} dx \\
 &= \left[e^x x^{m+1} (\log x)^{n+1} \right]_1^e \\
 &\quad - \int_1^e e^x \left\{ e^x (m+1) x^m (\log x)^{n+1} + x^{m+1} (n+1) (\log x)^n \frac{1}{x} \right\} dx \\
 &= e^{m+e+1} \\
 &\quad - (m+1) \int_1^e x^m e^x (\log x)^{n+1} dx - (n+1) \int_1^e x^m e^x (\log x)^n dx \\
 &= e^{m+e+1} - (m+1)I(m, n+1) - (n+1)I(m, n)
 \end{aligned}$$

(2) $1 \leq x \leq e$ において, $x^m e^x (\log x)^n \geq 0$ であるから (m, n は自然数)

$$I(m, n) = \int_1^e x^m e^x (\log x)^n dx \geq 0$$

上式および (1) の結果から

$$0 \leq (n+1)I(m, n) \leq e^{m+e+1} - (m+1)I(m, n+1) \leq e^{m+e+1}$$

したがって $0 \leq I(m, n) \leq \frac{e^{m+e+1}}{n+1}$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{e^{m+e+1}}{n+1} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} I(m, n) = 0$$

別解 $1 \leq x \leq e$ において, $0 \leq x^m e^x (\log x)^n \leq e^{m+e} (\log x)^n$ であるから

$$0 \leq I(m, n) \leq e^{m+e} \int_1^e (\log x)^n dx$$

$$x = e^t \text{ とおくと } \frac{dx}{dt} = e^t \quad \begin{array}{c|c|c} x & 1 & \longrightarrow e \\ t & 0 & \longrightarrow 1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} 0 \leq \int_1^e (\log x)^n dx &= \int_0^1 t^n e^t dt = \int_0^{1-\frac{1}{n}} t^n e^t dt + \int_{1-\frac{1}{n}}^1 t^n e^t dt \\ &\leq e \int_0^{1-\frac{1}{n}} t^n dt + e \int_{1-\frac{1}{n}}^1 dt \\ &= \frac{e}{n+1} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n+1} + \frac{e}{n} \end{aligned}$$

$$\text{ここで } \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \left\{ \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{-n} \right\}^{-1} = \frac{1}{e}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{e}{n+1} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n+1} + \frac{e}{n} \right\} = 0 \text{ であるから, はさみうちの原理により}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_1^e (\log x)^n dx = 0 \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} I(m, n) = 0$$

■

1.22 2025 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4 5

- 1 座標空間内の3点 $A(1, 1, -5)$, $B(-1, -1, 7)$, $C(1, -1, 3)$ を通る平面を α とする。点 $P(a, b, t)$ を通り α に垂直な直線と xy 平面との交点を Q とする。

- (1) 点 Q の座標を求めよ。
 (2) t がすべての実数値をとって変化するときの OQ の最小値が1以下となるような a, b の条件を求めよ。ただし、 O は原点である。

- 2 以下の問いに答えよ。

- (1) $y = \tan x$ とするとき、 $\frac{dy}{dx}$ を y の整式で表せ。
 (2) 次の定積分を求めよ。

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{\tan^4 x - \tan^2 x - 2}{\tan^2 x - 4} dx$$

- 3 以下の問いに答えよ。

- (1) n を自然数とすると、 n^2 を8で割った余りは0, 1, 4のいずれかであることを示せ。
 (2) $2^m = n^2 + 3$ をみたす0以上の整数の組 (m, n) をすべて求めよ。

- 4 半径1の円周上に反時計回りに A, B, C, D を順にとり、線分 AD は直径で、 $AC = CD$, $AB = BC$ が成り立つとする。

- (1) $\angle ACB$ を求めよ。
 (2) BC を求めよ。
 (3) 線分 AC と線分 BD の交点を E とするとき、三角形 BCE の面積を求めよ。

- 5 1個のさいころを3回投げ、出る目を順に a, b, c とする。整式

$$f(x) = (x^2 - ax + b)(x - c)$$

について、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x) = 0$ をみたす実数 x の個数が1個である確率を求めよ。
 (2) $f(x) = 0$ をみたす自然数 x の個数が3個である確率を求めよ。

解答例

- 1 (1) $\overrightarrow{AB} = (-2, -2, 12) = 2(-1, -1, 6)$, $\overrightarrow{AC} = (0, -2, 8) = 2(0, -1, 4)$ より, α の法線ベクトルを

$$\vec{n} = \frac{1}{4} \overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC} = (2, 4, 1)$$

とすると, 点 $P(a, b, t)$ を通り, 方向ベクトルが $\vec{n}$ である直線の方程式は

$$\frac{x-a}{2} = \frac{y-b}{4} = z-t$$

であり, この直線と xy 平面の交点は, 上式に $z=0$ を代入して

$$x = -2t + a, \quad y = -4t + b$$

よって $Q(-2t + a, -4t + b, 0)$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{OQ}|^2 &= (-2t + a)^2 + (-4t + b)^2 \\ &= 20t^2 - 4(a + 2b)t + a^2 + b^2 \\ &= 20 \left\{ t^2 - \frac{1}{5}(a + 2b)t \right\} + a^2 + b^2 \\ &= 20 \left\{ t - \frac{1}{10}(a + 2b) \right\}^2 + \frac{1}{5}(2a - b)^2 \end{aligned}$$

したがって, OQ の最小値は $\frac{|2a - b|}{\sqrt{5}}$

OQ の最小値が 1 以下となる a, b の条件は

$$\frac{|2a - b|}{\sqrt{5}} \leq 1 \quad \text{すなわち} \quad |2a - b| \leq \sqrt{5}$$



2 (1) $y = \tan x$ を微分すると

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x} = 1 + \tan^2 x = \mathbf{1 + y^2}$$

(2) (1) の結果を利用すると

x	$0 \rightarrow \frac{\pi}{4}$
y	$0 \rightarrow 1$

$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{\tan^4 x - \tan^2 x - 2}{\tan^2 x - 4} dx &= \int_0^1 \frac{y^4 - y^2 - 2}{y^2 - 4} \cdot \frac{dy}{1 + y^2} \\ &= \int_0^1 \frac{y^2 - 2}{y^2 - 4} dy = \int_0^1 \left(1 + \frac{2}{y^2 - 4} \right) dy \\ &= \left[y + \frac{1}{2} \log \left| \frac{y - 2}{y + 2} \right| \right]_0^1 = \mathbf{1 - \frac{1}{2} \log 3} \end{aligned}$$



3 (1) 法 8 について

$$n \equiv 0 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 0 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 1 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 1 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 2 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 4 \pmod{8}$$

$$n \equiv \pm 3 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 1 \pmod{8}$$

$$n \equiv 4 \text{ のとき} \quad n^2 \equiv 0 \pmod{8}$$

よって, n^2 を 8 で割った余りは (n は自然数) 0, 1, 4 のいずれかである.

(2) (*) $2^m = n^2 + 3$ について (m, n は 0 以上の整数)

$$2^1 < n^2 + 3 \text{ であるから, } m \geq 2$$

$$(i) \ m = 2 \text{ のとき, (*) は } 2^2 = n^2 + 3$$

$$n^2 = 1 \quad n \text{ は 0 以上の整数であるから } n = 1$$

$$(ii) \ m \geq 3 \text{ のとき } 2^m \equiv 0 \pmod{8} \text{ であるから}$$

$$n^2 + 3 \equiv 0 \quad \text{ゆえに} \quad n^2 \equiv 5 \pmod{8}$$

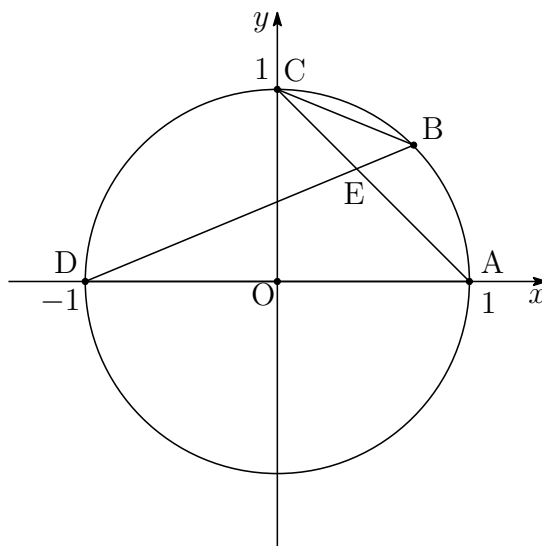
(1) の結論から, 上の第 2 式を満たす n は存在しない.

$$(i), (ii) \text{ から } (m, n) = (2, 1)$$



- 4 (1) AD は半径1の円の直径であるから、Oを原点とする座標平面上に $A(1, 0)$, $D(-1, 0)$ をとると、OB, OC の偏角はそれぞれ $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\pi}{2}$ である.
円周角と中心角の定理により

$$\angle ACB = \angle ADB = \frac{1}{2} \angle AOB = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{8}$$



- (2) $B\left(\cos \frac{\pi}{4}, \sin \frac{\pi}{4}\right)$, $C\left(\cos \frac{\pi}{2}, \sin \frac{\pi}{2}\right)$ より $B\left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$, $C(0, 1)$

$$\text{よって } BC = \sqrt{\left(0 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{2 - \sqrt{2}}$$

- (3) 直線 AC の方程式は $x + y = 1$
直線 BD の方程式は

$$y = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2}} + 1}(x + 1) \quad \text{すなわち} \quad y = (\sqrt{2} - 1)(x + 1)$$

直線 AC と BD の方程式から x を消去すると、点 E の y 座標は

$$y = (\sqrt{2} - 1)(2 - y) \quad \text{これを解いて} \quad y = 2 - \sqrt{2}$$

$$\text{したがって} \quad \triangle ADE = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (2 - \sqrt{2}) = 2 - \sqrt{2}$$

$\triangle BCE \sim \triangle ADE$ であるから

$$\triangle BCE = \left(\frac{BC}{AD}\right)^2 \triangle ADE = \left(\frac{\sqrt{2 - \sqrt{2}}}{2}\right)^2 (2 - \sqrt{2}) = \frac{3 - 2\sqrt{2}}{2} \quad \blacksquare$$

- 5** (1) (i) $x^2 - ax + b = 0$ が実数解をもたないとき ($c = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

$$a^2 - 4b < 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a^2}{4} < b \leq 6$$

このとき, $a \leq 4$ に注意して

$$a = 1 \text{ のとき} \quad b = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$a = 2 \text{ のとき} \quad b = 2, 3, 4, 5, 6$$

$$a = 3 \text{ のとき} \quad b = 3, 4, 5, 6$$

$$a = 4 \text{ のとき} \quad b = 5, 6$$

- (ii) $x = c$ が $f(x) = 0$ の 3 重解であるとき

$$f(x) = (x - c)^3 = (x^2 - 2cx + c^2)(x - c)$$

$a = 2c, b = c^2$ であるから, このとき

$$(a, b, c) = (2, 1, 1), (4, 4, 2)$$

- (i), (ii) より, 求める確率は

$$\frac{(6 + 5 + 4 + 2) \times 6 + 2}{6^3} = \frac{13}{27}$$

- (2) $a^2 - 4b$ が平方数であることは, $x^2 - ax + b = 0$ が自然数を解にもつための必要条件である. $a \geq 2$ に注意して

$$a = 2 \text{ のとき} \quad b = 1$$

$$a = 3 \text{ のとき} \quad b = 2$$

$$a = 4 \text{ のとき} \quad b = 3, 4$$

$$a = 5 \text{ のとき} \quad b = 4, 6$$

$$a = 6 \text{ のとき} \quad b = 5$$

これらを係数とする 2 次方程式 $x^2 - ax + b = 0$ で異なる 2 つの実数解をもつのは, 次の 5 通りである.

$$\begin{aligned} x^2 - 3x + 2 = 0, \quad x^2 - 4x + 3 = 0, \quad x^2 - 5x + 4 = 0, \\ x^2 - 5x + 6 = 0, \quad x^2 - 6x + 5 = 0 \end{aligned}$$

それぞれの場合について, c のとり方は 4 通りあるから

$$\frac{5 \times 4}{6^3} = \frac{5}{54}$$



第 2 章 九州工業大学

出題分野 (工学部 情報工学部)

工学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

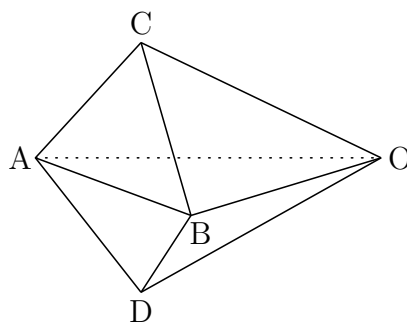
◀	九工大 工学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式											
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限			1	2				2		4	
	微分法とその応用	3・4	3・4	1・2	2			2			1	3
	積分法	3		1・3		2						
	積分法の応用	4	4	2	1	1	1・2	1	1	1	2	
	場合の数と確率			4	4	4	4	4		2		
A	整数の性質											
	図形の性質											
	図形の性質											
B	数列	2	2	4					4			1
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				3							
	空間のベクトル	1	1					3	3	3		4
	複素数平面					3	3			4	3	
	式と曲線		3									2

数字は問題番号 (2017 年以降は情報工学部と共通問題)

2.1 2015年(工学部)

出題分野 ① ② ③ ④

- ① 四面体 $OABC$ において、三角形 ABC は1辺の長さが1の正三角形であり、 $OA = OB = OC = 2$ とする。また、点 C を通り平面 OAB に垂直な直線上に点 D があり、線分 CD の中点 H は平面 OAB に含まれるとする。すなわち、点 D は平面 OAB に関して、点 C と対称な点である。



$\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおいて、次に答えよ。

- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ および $\overrightarrow{BC} \cdot \vec{a}$ を求めよ。
- (2) $\overrightarrow{OH}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ で表せ。また、 $\overrightarrow{OD}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ で表せ。
- (3) 直線 BH と直線 OA の交点を P とする。 $\overrightarrow{BP}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ で表し、 $\overrightarrow{BP} \cdot \vec{a}$ を求めよ。さらに、 OP および BP の長さを求めよ。
- (4) (3) で定めた点 P に対して、四角形 $BCPD$ の面積 S を求めよ。また、四角錐 $O-BCPD$ の体積 V を求めよ。

- 2** 初項 1, 公差 3 の等差数列 $\{a_n\}$ と, 一般項が $b_n = \left\lfloor \frac{2n+2}{3} \right\rfloor$ で与えられる数列 $\{b_n\}$ がある. ここで, 実数 x に対して $[x]$ は x を超えない最大の整数を表す. たとえば, $b_1 = \left\lfloor \frac{4}{3} \right\rfloor = 1$, $b_2 = [2] = 2$, $b_3 = \left\lfloor \frac{8}{3} \right\rfloor = 2$ である. 数列 $\{a_n\}$ を次のように, b_1 個, b_2 個, b_3 個, $\dots$ の群に分け, 第 k 群には b_k 個の数が入るようにする.

$$\begin{array}{ccccccc} | & a_1 & | & a_2, a_3 & | & a_4, a_5 & | & a_6, \dots \\ \text{第 1 群} & & \text{第 2 群} & & \text{第 3 群} & & \dots \end{array}$$

第 k 群の最初の数 c_k とする. 次に答えよ.

- (1) 自然数 m に対して, b_{3m-2} , b_{3m-1} , b_{3m} をそれぞれ m の多項式で表せ. また, 数列 $\{b_n\}$ の初項から第 $3m$ 項までの和 S_{3m} を求めよ.
- (2) 自然数 m に対して, c_{3m-2} , c_{3m-1} , c_{3m} をそれぞれ m の多項式で表せ. また, 数列 $\{c_k\}$ の初項から第 $3m$ 項までの和 T_{3m} を求めよ.
- (3) 1000 は第何群の何番目の数か.
- (4) $x \geq 1$ のとき $\sqrt{x^2+1} < x + \frac{1}{2}$ であることを用いて, 次の不等式が成り立つことを示せ. ただし, m は自然数とする.

$$\sum_{k=1}^{3m} (\sqrt{c_k} - k) < \frac{m}{2}$$

3 n を 2 以上の自然数とし、関数 $f(x)$ を $f(x) = x^n \log x$ ($x > 0$) とする。ただし、対数は自然対数とする。次に答えよ。

- (1) $x > 0$ のとき、不等式 $\log x + \frac{1}{x} > 0$ を証明せよ。
- (2) $\lim_{x \rightarrow +0} x^n \log x = 0$ を示せ。
- (3) 関数 $f(x)$ の増減を調べ、その最小値を求めよ。また、曲線 $y = f(x)$ の概形をかけ。ただし、曲線の凹凸は調べなくてよい。
- (4) $f(x)$ が最小値をとるときの x の値を c_n とし

$$I_n = \int_{c_n}^1 f(x) dx$$

とする。 $\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 I_n$ を求めよ。

4 関数 $f(x) = \frac{\sqrt{x^2 - 1}}{x}$ ($x \geq 1$) と曲線 $C: y = f(x)$ について、次に答えよ。

- (1) 区間 $x > 1$ で、 $f(x)$ は増加し、曲線 C は上に凸であることを示せ。
- (2) 曲線 C の点 $(\sqrt{2}, f(\sqrt{2}))$ における接線 ℓ の方程式を求めよ。
- (3) (2) で求めた直線 ℓ と曲線 C および x 軸で囲まれた図形を D とする。 D を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を求めよ。
- (4) (3) で定めた図形 D の面積 S を求めよ。

解答例

- 1** (1) $\theta = \angle AOB$ とし, $\triangle OAB$ に余弦定理を適用すると

$$\cos \theta = \frac{OA^2 + OB^2 - AB^2}{2OA \cdot OB} = \frac{2^2 + 2^2 - 1^2}{2 \cdot 2 \cdot 2} = \frac{7}{8}$$

$$\text{よって} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta = 2 \cdot 2 \cdot \frac{7}{8} = \frac{7}{2}$$

$$\triangle OAB \equiv \triangle OBC \equiv \triangle OCA \text{ であるから} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = \frac{7}{2}$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{BC} \cdot \vec{a} = (\vec{c} - \vec{b}) \cdot \vec{a} = \vec{c} \cdot \vec{a} - \vec{b} \cdot \vec{a} = 0$$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} |\vec{a} + \vec{b}|^2 &= |\vec{a}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2 \\ &= 2^2 + 2 \cdot \frac{7}{2} + 2^2 = 15 \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{OH}$ に平行な単位ベクトルの 1 つを $\vec{e} = \frac{\vec{a} + \vec{b}}{|\vec{a} + \vec{b}|}$ とおくと

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= (\vec{c} \cdot \vec{e}) \vec{e} = \left(\frac{\vec{c} \cdot (\vec{a} + \vec{b})}{|\vec{a} + \vec{b}|} \right) \frac{\vec{a} + \vec{b}}{|\vec{a} + \vec{b}|} \\ &= \frac{\vec{c} \cdot \vec{a} + \vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{a} + \vec{b}|^2} (\vec{a} + \vec{b}) = \frac{\frac{7}{2} + \frac{7}{2}}{15} (\vec{a} + \vec{b}) = \frac{7}{15} (\vec{a} + \vec{b}) \end{aligned}$$

2 点 C, D の中点が H であるから, $\overrightarrow{OH} = \frac{\overrightarrow{OC} + \overrightarrow{OD}}{2}$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OD} &= 2\overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OC} \\ &= 2 \cdot \frac{7}{15} (\vec{a} + \vec{b}) - \vec{c} = \frac{14}{15} \vec{a} + \frac{14}{15} \vec{b} - \vec{c} \end{aligned}$$

(3) Hは直線BP上の点であるから

$$\overrightarrow{OH} = \frac{7}{15}\vec{a} + \frac{7}{15}\vec{b} = \frac{8}{15}\left(\frac{7}{8}\vec{a}\right) + \frac{7}{15}\overrightarrow{OB} \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OP} = \frac{7}{8}\vec{a}$$

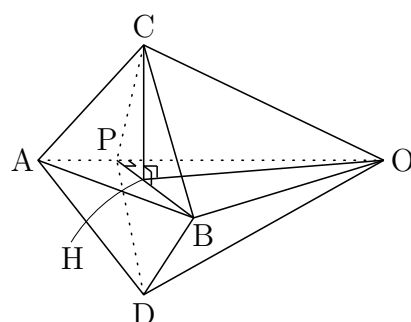
$$\text{よって} \quad \overrightarrow{BP} = \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OB} = \frac{7}{8}\vec{a} - \vec{b}$$

$$\overrightarrow{BP} \cdot \vec{a} = \left(\frac{7}{8}\vec{a} - \vec{b}\right) \cdot \vec{a} = \frac{7}{8}|\vec{a}|^2 - \vec{a} \cdot \vec{b} = \frac{7}{8} \cdot 2^2 - \frac{7}{2} = 0$$

$$OP = |\overrightarrow{OP}| = \frac{7}{8}|\vec{a}| = \frac{7}{8} \cdot 2 = \frac{7}{4}$$

$\overrightarrow{BP} \cdot \vec{a} = 0$ より, $\angle OPB = 90^\circ$ であるから

$$\begin{aligned} BP &= \sqrt{OB^2 - OP^2} \\ &= \sqrt{2^2 - \left(\frac{7}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{15}}{4} \end{aligned}$$



$$(4) \text{ ①より } |\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{15} \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{OH}| = \frac{7}{15}|\vec{a} + \vec{b}| = \frac{7}{\sqrt{15}}$$

$$\text{したがって} \quad CH = \sqrt{OC^2 - OH^2} = \sqrt{2^2 - \left(\frac{7}{\sqrt{15}}\right)^2} = \sqrt{\frac{11}{15}}$$

$$\frac{S}{2} = \triangle BCP = \frac{1}{2}BP \cdot CH = \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{15}}{4} \times \sqrt{\frac{11}{15}} = \frac{\sqrt{11}}{8}$$

$$\text{よって} \quad S = \frac{\sqrt{11}}{4}$$

$$\overrightarrow{CH} = \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OC} = \frac{7}{15}(\vec{a} + \vec{b}) - \vec{c} \quad \text{より}$$

$$\overrightarrow{CH} \cdot \vec{a} = \frac{7}{15}(|\vec{a}|^2 + \vec{a} \cdot \vec{b}) - \vec{c} \cdot \vec{a} = \frac{7}{15}\left(2^2 + \frac{7}{2}\right) - \frac{7}{2} = 0$$

$\overrightarrow{BP} \perp \vec{a}$, $\overrightarrow{CH} \perp \vec{a}$ であるから

$$V = \frac{1}{3}S \cdot OP = \frac{1}{3} \times \frac{\sqrt{11}}{4} \times \frac{7}{4} = \frac{7\sqrt{11}}{48}$$

■

2 (1) $b_n = \left\lfloor \frac{2n+2}{3} \right\rfloor$ より

$$b_{3m-2} = \left\lfloor \frac{2(3m-2)+2}{3} \right\rfloor = \left\lfloor 2m-1 + \frac{1}{3} \right\rfloor = \mathbf{2m-1}$$

$$b_{3m-1} = \left\lfloor \frac{2(3m-1)+2}{3} \right\rfloor = \lfloor 2m \rfloor = \mathbf{2m}$$

$$b_{3m} = \left\lfloor \frac{2 \cdot 3m+2}{3} \right\rfloor = \left\lfloor 2m + \frac{2}{3} \right\rfloor = \mathbf{2m}$$

$$\begin{aligned} S_{3m} &= \sum_{k=1}^m (b_{3k-2} + b_{3k-1} + b_{3k}) = \sum_{k=1}^m \{(2k-1) + 2k + 2k\} \\ &= \sum_{k=1}^m (6k-1) = 6 \cdot \frac{1}{2} m(m+1) - m = \mathbf{m(3m+2)} \end{aligned}$$

(2) $\{a_n\}$ は初項 1, 公差 3 の等差数列であるから, 一般項は

$$a_n = 1 + (n-1) \cdot 3 = 3n - 2$$

$$m \geq 2 \text{ のとき } S_{3(m-1)} = (m-1)\{3(m-1)+2\} = (m-1)(3m-1)$$

c_{3m-2} は $\{a_n\}$ の第 $S_{3(m-1)} + 1$ 項であるから

$$\begin{aligned} c_{3m-2} &= 3\{(m-1)(3m-1)+1\} - 2 \\ &= 9m^2 - 12m + 4 = \mathbf{(3m-2)^2} \end{aligned}$$

c_{3m-1} は $\{a_n\}$ の第 $S_{3(m-1)} + b_{3m-2} + 1$ 項であるから

$$\begin{aligned} c_{3m-1} &= 3\{(m-1)(3m-1) + (2m-1) + 1\} - 2 \\ &= 9m^2 - 6m + 1 = \mathbf{(3m-1)^2} \end{aligned}$$

c_{3m} は $\{a_n\}$ の第 $S_{3(m-1)} + b_{3m-2} + b_{3m-1} + 1$ 項であるから

$$\begin{aligned} c_{3m} &= 3\{(m-1)(3m-1) + (2m-1) + 2m + 1\} - 2 \\ &= \mathbf{9m^2 + 1} \end{aligned}$$

上の c_{3m-2} , c_{3m-1} , c_{3m} は $m=1$ のときも成り立つことに注意して

$$\begin{aligned} T_{3m} &= \sum_{k=1}^m (c_{3k-2} + c_{3k-1} + c_{3k}) = \sum_{k=1}^m \{(3k-2)^2 + (3k-1)^2 + (9k^2+1)\} \\ &= \sum_{k=1}^m (27k^2 - 18k + 6) = 27 \times \frac{1}{6} m(m+1)(2m+1) - 18 \times \frac{1}{2} m(m+1) + 6m \\ &= \mathbf{\frac{3}{2} m(6m^2 + 3m + 1)} \end{aligned}$$

(3) (2)の結果から, $31^2 < 1000 < 32^2$ であるから

$$c_{31} = 31^2 = 961, \quad 1000 = 961 + 3 \times 13$$

よって, 1000 は 第 31 群の 14 番目

(4) (2)の結果から, $\sqrt{c_{3k-2}} - (3k-2) = 0$, $\sqrt{c_{3k-1}} - (3k-1) = 0$ であるから

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{3m} (\sqrt{c_k} - k) &= \sum_{k=1}^m (\sqrt{c_{3k}} - 3k) \\ &= \sum_{k=1}^m (\sqrt{(3k)^2 + 1} - 3k) < \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} = \frac{m}{2} \end{aligned}$$

■

3 (1) $g(x) = \log x + \frac{1}{x}$ とおくと $g'(x) = \frac{1}{x} - \frac{1}{x^2} = \frac{x-1}{x^2}$

したがって, $g(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	$\dots$	1	$\dots$
$g'(x)$		-	0	+
$g(x)$		$\searrow$	1	$\nearrow$

ゆえに $g(x) \geq 1 > 0$ よって $\log x + \frac{1}{x} > 0$

(2) (1)の結果から $-\frac{1}{x} < \log x$

また, $0 < x < 1$ のとき $-\frac{1}{x} < \log x < 0$ ゆえに $-x^{n-1} < x^n \log x < 0$

n は 2 以上の自然数であるから $\lim_{x \rightarrow +0} (-x^{n-1}) = 0$

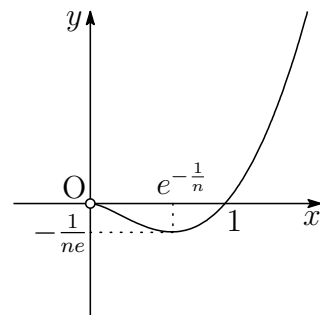
よって, はさみうちの原理により $\lim_{x \rightarrow +0} x^n \log x = 0$

(3) $f(x) = x^n \log x$ を微分すると

$$f'(x) = x^{n-1}(n \log x + 1)$$

したがって, $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	$\dots$	$e^{-\frac{1}{n}}$	$\dots$
$f'(x)$		-	0	+
$f(x)$		$\searrow$	$-\frac{1}{ne}$	$\nearrow$



よって, グラフの概形は右の図のようになる. 最小値 $f\left(e^{-\frac{1}{n}}\right) = -\frac{1}{ne}$

(4) (3) の結果から, $c_n = e^{-\frac{1}{n}}$ であるから

$$\begin{aligned} I_n &= \int_{c_n}^1 x^n \log x \, dx = \frac{1}{n+1} \int_{e^{-\frac{1}{n}}}^1 (x^{n+1})' \log x \, dx \\ &= \left[\frac{x^{n+1} \log x}{n+1} - \frac{x^{n+1}}{(n+1)^2} \right]_{e^{-\frac{1}{n}}}^1 \\ &= \frac{1}{n(n+1)} e^{-\frac{n+1}{n}} - \frac{1}{(n+1)^2} (1 - e^{-\frac{n+1}{n}}) \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad n^2 I_n = \frac{n}{n+1} e^{-\frac{n+1}{n}} - \frac{n^2}{(n+1)^2} (1 - e^{-\frac{n+1}{n}})$$

$$\text{ここで} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{n+1} = 1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2}{(n+1)^2} = 1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} e^{-\frac{n+1}{n}} = e^{-1}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} n^2 I_n = e^{-1} - (1 - e^{-1}) = 2e^{-1} - 1 \quad \blacksquare$$

4 (1) $f(x) = \frac{\sqrt{x^2 - 1}}{x} \quad (x \geq 1)$ より $\{f(x)\}^2 = 1 - \frac{1}{x^2}$

上の第2式の両辺を微分すると

$$2f(x)f'(x) = \frac{2}{x^3} \quad \text{ゆえに} \quad f(x)f'(x) = \frac{1}{x^3} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$x > 1$ のとき, $f(x) > 0$ であるから, $\textcircled{1}$ より $f'(x) > 0$

よって, 区間 $x > 1$ で $f(x)$ は増加する.

$$\textcircled{1} \text{ の両辺を微分すると} \quad \{f'(x)\}^2 + f(x)f''(x) = -\frac{3}{x^4}$$

$$\text{したがって} \quad f(x)f''(x) = -\{f'(x)\}^2 - \frac{3}{x^4}$$

$x > 1$ のとき, $f(x) > 0$ であるから, 上式から $f''(x) < 0$

よって, 区間 $x > 1$ で, 曲線 C は上に凸である.

$$(2) \text{ ① より } f(\sqrt{2})f'(\sqrt{2}) = \frac{1}{(\sqrt{2})^3}$$

$$f(\sqrt{2}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ であるから } f'(\sqrt{2}) = \frac{1}{2}$$

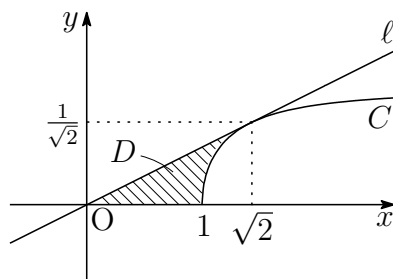
ℓ は点 $\left(\sqrt{2}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ を通り, 傾き $\frac{1}{2}$ の直線であるから

$$y - \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}(x - \sqrt{2}) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{1}{2}x$$

$$(3) y = \frac{\sqrt{x^2-1}}{x} \text{ より } x^2 = \frac{1}{1-y^2}, \quad y = \frac{1}{2}x \text{ より } x^2 = 4y^2$$

よって, 求める体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \left(\frac{1}{1-y^2} - 4y^2 \right) dy \\ &= \left[\frac{1}{2} \log \left| \frac{y+1}{y-1} \right| - \frac{4}{3} y^3 \right]_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \\ &= \log(\sqrt{2}+1) - \frac{\sqrt{2}}{3} \end{aligned}$$



$$\text{よって} \quad V = \pi \left\{ \log(\sqrt{2}+1) - \frac{\sqrt{2}}{3} \right\}$$

別解 (バウムクーヘン型求積法)

$$\begin{aligned} \frac{V}{2\pi} &= \int_0^{\sqrt{2}} x \cdot \frac{1}{2} x dx - \int_1^{\sqrt{2}} x \cdot \frac{\sqrt{x^2-1}}{x} dx \\ &= \left[\frac{1}{6} x^3 \right]_0^{\sqrt{2}} - \left[\frac{1}{2} x \sqrt{x^2-1} - \frac{1}{2} \log(x + \sqrt{x^2-1}) \right]_1^{\sqrt{2}} \\ &= \frac{1}{2} \log(\sqrt{2}+1) - \frac{\sqrt{2}}{6} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad V = \pi \left\{ \log(\sqrt{2}+1) - \frac{\sqrt{2}}{3} \right\}$$

(4) $A(\sqrt{2}, f(\sqrt{2}))$, $B\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ とすると $\triangle OAB = \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$

曲線 C の方程式を x について解くと $x = \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} \quad (y \geq 0)$

また, 定積分 $\int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} dy$ について, $y = \sin \theta$ とおくと

$$\frac{1}{\sqrt{1-y^2}} = \frac{1}{\cos \theta}, \quad \frac{dy}{d\theta} = \cos \theta \quad \begin{array}{c|c} y & 0 \longrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \theta & 0 \longrightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

したがって
$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} dy &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\cos \theta} \cdot \cos \theta d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{4} \end{aligned}$$

よって
$$S = \int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} dy - \triangle OAB = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}$$

別解 $P(\sqrt{2}, f(\sqrt{2}))$, $Q(\sqrt{2}, 0)$ とすると $\triangle OPQ = \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$

また, 定積分 $\int_1^{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{x^2-1}}{x} dx$ について, $x = \frac{1}{\cos \theta}$ とおくと

$$\frac{\sqrt{x^2-1}}{x} = \sin \theta, \quad \frac{dx}{d\theta} = \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \quad \begin{array}{c|c} x & 1 \longrightarrow \sqrt{2} \\ \theta & 0 \longrightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

したがって
$$\begin{aligned} \int_1^{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{x^2-1}}{x} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin \theta \cdot \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{1}{\cos^2 \theta} - 1 \right) d\theta \\ &= \left[\tan \theta - \theta \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = 1 - \frac{\pi}{4} \end{aligned}$$

よって
$$S = \triangle OPQ - \int_1^{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{x^2-1}}{x} dx = \frac{1}{2} - \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \quad \blacksquare$$

2.2 2016年(工学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 四面体 OABC の面はすべて合同であり, $OA = 5$, $OB = 8$, $AB = 7$ である.
 $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ として, 次に答えよ.

- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$, $\vec{b} \cdot \vec{c}$ および $\vec{c} \cdot \vec{a}$ を求めよ.
- (2) 3点 O, A, B の定める平面を α とし, α 上の点 H を直線 CH と α が垂直になるように選ぶ. $\overrightarrow{OH}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.
- (3) (2) の点 H に対して, 線分 CH の長さを求めよ.
- (4) 四面体 OABC の体積 V_1 を求めよ. また, 辺 OC の中点を D とし, さらに辺 OB 上に点 E を $AE + ED$ が最小となるようにとる. このとき, 四面体 OAED の体積 V_2 を求めよ.

- 2 $s > 0$, $t > 0$ とする. 正の数からなる 2 つの数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ は初項と第 2 項が $a_1 = b_1 = s$, $a_2 = b_2 = t$ であり, すべての自然数 n に対して

$$a_{n+2} = \frac{a_{n+1} + a_n}{2}, \quad b_{n+2} = \sqrt{b_{n+1}b_n}$$

をみたすとする. 次に答えよ.

- (1) a_3 , b_3 , a_4 , b_4 を s , t を用いて表せ.
- (2) 自然数 n に対して, $c_n = a_{n+1} - a_n$ とおく. 数列 $\{c_n\}$ は等比数列であることを示し, 一般項を求めよ. さらに, 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.
- (3) 自然数 n に対して, $d_n = \log b_n$ とおく. 数列 $\{d_n\}$ の一般項を求めよ. さらに, 数列 $\{b_n\}$ の一般項を s の累乗と t の累乗を用いて表せ. ただし, 対数は自然対数とする.
- (4) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ と $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ を求めよ.
- (5) $t = s$ は $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ であるための必要十分条件であることを示せ.

3 $a < 0$, b を実数とする. 楕円 $C: x^2 + 4y^2 = 4$ と直線 $l: y = ax + b$ が異なる 2 個の共有点 $P(x_1, y_1)$, $Q(x_2, y_2)$ ($x_1 < x_2$) を持つとし, l に平行な直線 m が第 1 象限の点 A において C と接しているとする. 次に答えよ.

- (1) b の値の範囲を a を用いて表せ.
- (2) 直線 m の方程式を a を用いて表せ.
- (3) $x_2 - x_1$ を a , b を用いて表せ.
- (4) 三角形 APQ の面積 S を a , b を用いて表せ.
- (5) b が (1) で求めた範囲を動くとき, (4) で求めた S の最大値を求めよ.

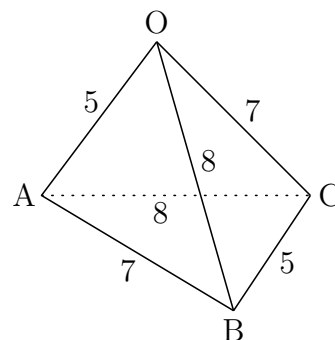
4 点 $A(1, 0)$ および点 $P(\sqrt{3}\cos\theta, \sqrt{3}\sin\theta)$ ($0 < \theta < \frac{\pi}{4}$) がある. x 軸に関して点 P と対称な点を Q とし, 2 点 P , A を通る直線を l , 2 点 O , Q を通る直線を m とする. 次に答えよ. ただし, O は原点を表す.

- (1) $\sqrt{3}\cos\theta > 1$ を示せ.
- (2) 直線 l の方程式と直線 m の方程式を θ を用いて表せ.
- (3) 直線 l と直線 m の交点 R の座標を θ を用いて表せ.
- (4) 三角形 PAQ の面積を S とする. θ が変化するとき, S の最大値とそのときの θ の値を求めよ.
- (5) θ が (4) で求めた値をとるとき, 2 直線 l , m および曲線 $x^2 + y^2 = 3$ ($x \geq \sqrt{3}\cos\theta$) で囲まれた図形を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を求めよ.

解答例

1 (1) 余弦定理により

$$\begin{aligned}\cos \angle AOB &= \frac{OA^2 + OB^2 - AB^2}{2OA \cdot OB} \\ \cos \angle BOC &= \frac{OB^2 + OC^2 - BC^2}{2OB \cdot OC} \\ \cos \angle COA &= \frac{OC^2 + OA^2 - CA^2}{2OC \cdot OA}\end{aligned}$$



したがって

$$\begin{aligned}\vec{a} \cdot \vec{b} &= OA \cdot OB \cos \angle AOB = \frac{1}{2}(OA^2 + OB^2 - AB^2) \\ &= \frac{1}{2}(5^2 + 7^2 - 7^2) = 20 \\ \vec{b} \cdot \vec{c} &= OB \cdot OC \cos \angle BOC = \frac{1}{2}(OB^2 + OC^2 - BC^2) \\ &= \frac{1}{2}(7^2 + 8^2 - 5^2) = 44 \\ \vec{c} \cdot \vec{a} &= OC \cdot OA \cos \angle COA = \frac{1}{2}(OC^2 + OA^2 - CA^2) \\ &= \frac{1}{2}(8^2 + 5^2 - 8^2) = 5\end{aligned}$$

(2) x, y を実数とし, $\overrightarrow{OH} = x\vec{a} + y\vec{b}$ とおくと

$$\overrightarrow{CH} = \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OC} = x\vec{a} + y\vec{b} - \vec{c}$$

このとき, $\vec{a} \perp \overrightarrow{CH}$, $\vec{b} \perp \overrightarrow{CH}$ であるから, $\vec{a} \cdot \overrightarrow{CH} = 0$, $\vec{b} \cdot \overrightarrow{CH} = 0$ より

$$\begin{aligned}\vec{a} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b} - \vec{c}) &= 0 & \vec{b} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b} - \vec{c}) &= 0 \\ x|\vec{a}|^2 + y\vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{c} \cdot \vec{a} &= 0 & x\vec{a} \cdot \vec{b} + y|\vec{b}|^2 - \vec{b} \cdot \vec{c} &= 0\end{aligned}$$

上の2式に $|\vec{a}| = 5$, $|\vec{b}| = 8$, および(1)の結果を代入すると

$$\begin{aligned}25x + 20y - 5 &= 0 & 20x + 64y - 44 &= 0 \\ 5x + 4y &= 1 & 5x + 16y &= 11\end{aligned}$$

これを解いて $x = -\frac{7}{15}$, $y = \frac{5}{6}$ よって $\overrightarrow{OH} = -\frac{7}{15}\vec{a} + \frac{5}{6}\vec{b}$

(3) (1),(2) の結果から, $\vec{a} \cdot \vec{CH} = 0$, $\vec{b} \cdot \vec{CH} = 0$ に注意して

$$\begin{aligned} CH^2 &= |\vec{CH}|^2 = \vec{CH} \cdot \vec{CH} = \left(-\frac{7}{15}\vec{a} + \frac{5}{6}\vec{b} - \vec{c} \right) \cdot \vec{CH} \\ &= -\vec{c} \cdot \vec{CH} = -\vec{c} \cdot \left(-\frac{7}{15}\vec{a} + \frac{5}{6}\vec{b} - \vec{c} \right) \\ &= \frac{7}{15}\vec{c} \cdot \vec{a} - \frac{5}{6}\vec{b} \cdot \vec{c} + |\vec{c}|^2 = \frac{7}{15} \cdot 5 - \frac{5}{6} \cdot 44 + 7^2 = \frac{44}{3} \end{aligned}$$

よって $CH = \sqrt{\frac{44}{3}} = \frac{2\sqrt{33}}{3}$

(4) $\triangle OAB$ の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{5^2 \cdot 8^2 - 20^2} = 10\sqrt{3}$$

よって $V_1 = \frac{1}{3} S \times CH = \frac{1}{3} \cdot 10\sqrt{3} \times \frac{2\sqrt{33}}{3} = \frac{20\sqrt{11}}{3}$

右の図の展開図において, $OA = BC = 5$,
 $AB = OC = 7$ であるから, 四角形 $OABC$
 は平行四辺形である. D は OC の中点,
 $\triangle EDO \sim \triangle EAB$ より

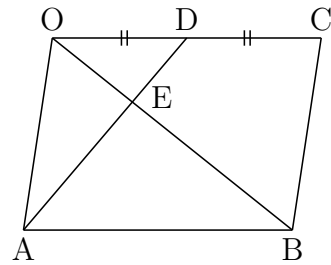
$$OE = \frac{1}{3} OB$$

ゆえに $\triangle OAE = \frac{1}{3} S$

また, D から α までの距離は $\frac{1}{2} CH$ よって $V_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} V_1 = \frac{10\sqrt{11}}{9}$

補足 (1) の余弦定理により $\angle AOB = \frac{\pi}{3}$

したがって $S = \frac{1}{2} OA \cdot OB \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3}$ ■



2 (1) 与えられた漸化式から

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{s + t}{2}, & a_4 &= \frac{a_2 + a_3}{2} = \frac{t + \frac{s+t}{2}}{2} = \frac{s + 3t}{4} \\ b_3 &= \sqrt{b_1 b_2} = \sqrt{st}, & b_4 &= \sqrt{b_2 b_3} = \sqrt{t\sqrt{st}} = \sqrt[4]{st^3} \end{aligned}$$

(2) 与えられた漸化式から

$$a_{n+2} - a_{n+1} = -\frac{1}{2}(a_{n+1} - a_n) \quad \text{ゆえに} \quad c_{n+1} = -\frac{1}{2}c_n$$

$\{c_n\}$ は初項が $c_1 = a_2 - a_1 = t - s$, 公比が $-\frac{1}{2}$ の等比数列であるから

$$c_n = c_1 \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} = (t - s) \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

$$\begin{aligned} n \geq 2 \text{ のとき} \quad a_n &= a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} c_k = s + (t - s) \sum_{k=1}^{n-1} \left(-\frac{1}{2}\right)^{k-1} \\ &= s + (t - s) \times \frac{1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1}}{1 - \left(-\frac{1}{2}\right)} \\ &= \frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-2} \right\} s + \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} t \end{aligned}$$

上式は, $n = 1$ のときも成り立つので

$$a_n = \frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-2} \right\} s + \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} t$$

(3) $b_{n+2} = \sqrt{b_{n+1} b_n}$ の両辺の自然対数をとると

$$\log b_{n+2} = \frac{\log b_{n+1} + \log b_n}{2} \quad \text{ゆえに} \quad d_n = \frac{d_{n+1} + d_n}{2}$$

$d_1 = \log b_1 = \log s$, $d_2 = \log b_2 = \log t$ より, (2) の結果を利用して

$$\begin{aligned} d_n &= \frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-2} \right\} \log s + \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} \log t \\ &= \log s^{\frac{1}{3} \{1 - (-\frac{1}{2})^{n-2}\}} t^{\frac{2}{3} \{1 - (-\frac{1}{2})^{n-1}\}} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad b_n = s^{\frac{1}{3} \{1 - (-\frac{1}{2})^{n-2}\}} t^{\frac{2}{3} \{1 - (-\frac{1}{2})^{n-1}\}}$$

(4) (2), (3) の結果から $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \frac{s + 2t}{3}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \sqrt[3]{st^2}$

(5) $\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n$, $\beta = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ とすると, $s > 0$, $t > 0$ より, $\alpha > 0$, $\beta > 0$

$$(4) \text{ の結果から } \alpha^3 - \beta^3 = \frac{1}{27}(s-t)^2(s+8t)$$

よって, $t = s$ は $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ であるための必要十分条件である.

別解 $s > 0$, $t > 0$ であるから, 3 数 s , t , t の相加平均・相乗平均の関係により

$$\frac{s+t+t}{3} \geq \sqrt[3]{stt} \quad \text{すなわち} \quad \frac{s+2t}{3} \geq \sqrt[3]{st^2}$$

上式において, 等号が成立するのは, $s = t$ のときに限る.

$$\text{したがって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n \implies s = t$$

また, (4) の結果から, この逆は自明.

よって, $t = s$ は $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ であるための必要十分条件である.

補足 $s > 0$, $t > 0$ に対して, $p > 0$, $q > 0$, $p+q=1$ とすると

$$ps + qt \geq s^p t^q$$

が成り立つ (等号が成立するのは $s = t$) ので, $p = \frac{1}{3}$, $q = \frac{2}{3}$ とおくと

$$\frac{1}{3}s + \frac{2}{3}t \geq s^{\frac{1}{3}}t^{\frac{2}{3}} \quad \text{すなわち} \quad \frac{s+2t}{3} \geq \sqrt[3]{st^2}$$

一般に, $a_k > 0$, $p_k > 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$), $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$ のとき

$$p_1 a_1 + p_2 a_2 + \dots + p_n a_n \geq a_1^{p_1} a_2^{p_2} \dots a_n^{p_n}$$

が成り立つ (等号が成り立つのは, $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ のとき)¹.

とくに, $p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n}$ とすると, 次式が成り立つ.

$$\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \geq \sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n}$$

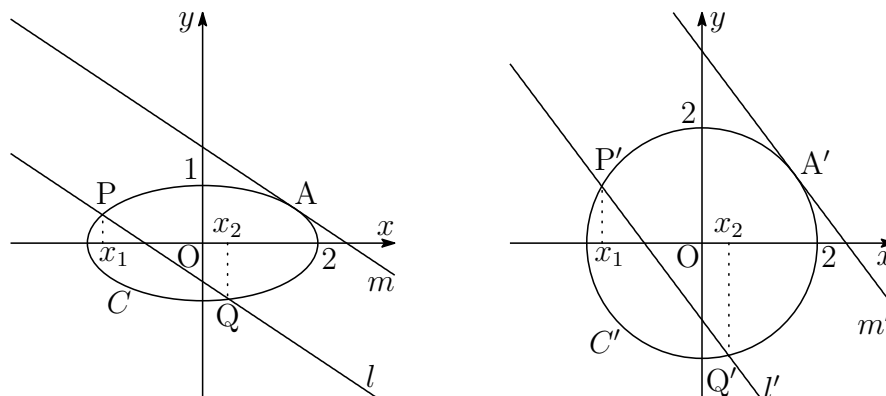
■

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2002.pdf [3] を参照

- 3 (1) C, l を x 軸をもとに y 軸方向に 2 倍に拡大した図形をそれぞれ

$$C' : x^2 + y^2 = 4, \quad l' : 2ax - y + 2b = 0$$

とする. また, これらの曲線上に 2 点 $P'(x_1, 2y_1), Q'(x_2, 2y_2)$ をとる.



l' と C' が異なる 2 個の共有点を持てばよいので

$$\frac{|2b|}{\sqrt{(2a)^2 + (-1)^2}} < 2 \quad \text{よって} \quad -\sqrt{4a^2 + 1} < b < \sqrt{4a^2 + 1}$$

- (2) l' に平行な直線 m' が第 1 象限の点 A' において C' と接しているとする.
このとき, (1) と同様にして

$$\frac{|2b|}{\sqrt{(2a)^2 + (-1)^2}} = 2 \quad \text{ゆえに} \quad |b| = \sqrt{4a^2 + 1}$$

b の符号に注意して $b = \sqrt{4a^2 + 1} \dots \textcircled{1}$ よって $y = ax + \sqrt{4a^2 + 1}$

- (3) C' と l' の方程式から y を消去すると $x^2 + (2ax + 2b)^2 = 4$

$$\text{すなわち} \quad (4a^2 + 1)x^2 + 8abx + 4b^2 - 4 = 0 \quad \dots (*)$$

方程式 $(*)$ の解と係数の関係により

$$x_1 + x_2 = -\frac{8ab}{4a^2 + 1}, \quad x_1 x_2 = \frac{4b^2 - 4}{4a^2 + 1} \quad \dots (**)$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad (x_2 - x_1)^2 &= (x_1 + x_2)^2 - 4x_1 x_2 \\ &= \left(-\frac{8ab}{4a^2 + 1} \right)^2 - 4 \times \frac{4b^2 - 4}{4a^2 + 1} \\ &= \frac{16(4a^2 - b^2 + 1)}{(4a^2 + 1)^2} \end{aligned}$$

$$x_1 < x_2 \text{ および (1) の結果に注意して} \quad x_2 - x_1 = \frac{4\sqrt{4a^2 - b^2 + 1}}{4a^2 + 1}$$

(4) (2) の結果から, m' の方程式は $y = 2ax + 2\sqrt{4a^2 + 1} \cdots \textcircled{2}$

A' の座標を (x_0, y_0) とすると, x_0 は $(*)$ の重解である.

このとき, ① に注意して

$$x_0 = -\frac{8ab}{2(4a^2 + 1)} = -\frac{8a\sqrt{4a^2 + 1}}{2(4a^2 + 1)} = -\frac{4a}{\sqrt{4a^2 + 1}}$$

これを ② に代入することにより

$$y_0 = 2a \left(-\frac{4a}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right) + 2\sqrt{4a^2 + 1} = \frac{2}{\sqrt{4a^2 + 1}}$$

よって, $A' \left(-\frac{4a}{\sqrt{4a^2 + 1}}, \frac{2}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right)$ から直線 $l' : 2ax - y + 2b = 0$ までの距離を d とすると, (1) の結果に注意して

$$\begin{aligned} d &= \frac{\left| 2a \left(-\frac{4a}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right) - \frac{2}{\sqrt{4a^2 + 1}} + 2b \right|}{\sqrt{(2a)^2 + (-1)^2}} \\ &= \frac{2|\sqrt{4a^2 + 1} - b|}{\sqrt{4a^2 + 1}} = 2 \left(1 - \frac{b}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right) \end{aligned}$$

(3) の結果から

$$\begin{aligned} P'Q' &= \sqrt{1 + (2a)^2} |x_2 - x_1| = \sqrt{4a^2 + 1} \times \frac{4\sqrt{4a^2 - b^2 + 1}}{4a^2 + 1} \\ &= \frac{4\sqrt{4a^2 - b^2 + 1}}{\sqrt{4a^2 + 1}} = 4\sqrt{1 - \frac{b^2}{4a^2 + 1}} \end{aligned}$$

したがって

$$\triangle A'P'Q' = \frac{1}{2} P'Q' \cdot d = 4 \left(1 - \frac{b}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right) \sqrt{1 - \frac{b^2}{4a^2 + 1}}$$

$S = \frac{1}{2} \triangle A'P'Q'$ であるから

$$S = 2 \left(1 - \frac{b}{\sqrt{4a^2 + 1}} \right) \sqrt{1 - \frac{b^2}{4a^2 + 1}}$$

(5) (1) の結果から, $t = \frac{b}{\sqrt{4a^2+1}}$ とすると $-1 < t < 1$

$$f(t) = S^2 \text{ とおくと } f(t) = 4(1-t)^2(1-t^2) = -4(t-1)^3(t+1)$$

$$\text{これを微分すると } f'(t) = -8(t-1)^2(2t+1)$$

したがって, $f(t)$ の増減表は

t	(-1)	$\cdots$	$-\frac{1}{2}$	$\cdots$	(1)
$f'(t)$		$+$	0	$-$	
$f(t)$		$\nearrow$	極大 $\frac{27}{4}$	$\searrow$	

$$\text{よって, 求める } S \text{ の最大値は } \sqrt{\frac{27}{4}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}$$

別解 (5) で求めた $f(t) = 4(1-t)^3(1+t)$ について, $-1 < t < 1$ であるから, $1-t > 0$, $1+t > 0$ より

$$\frac{1}{2} = \frac{3}{4} \left(\frac{1-t}{3} \right) + \frac{1}{4}(1+t) \geq \left(\frac{1-t}{3} \right)^{\frac{3}{4}} (1+t)^{\frac{1}{4}}$$

この両辺を 4 乗すると

$$\frac{1}{16} \geq \frac{(1-t)^3(1+t)}{27} \quad \text{ゆえに} \quad f(t) \leq \frac{27}{4}$$

上式において, 等号が成立するとき

$$\frac{1-t}{3} = 1+t \quad \text{すなわち} \quad t = -\frac{1}{2}$$

したがって, $f(t)$ は $t = -\frac{1}{2}$ のとき, 最大値 $\frac{27}{4}$ をとる.

$$\text{よって, 求める } S \text{ の最大値は } \sqrt{\frac{27}{4}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}$$

補足 $1-t$, $1-t$, $1-t$, $3(1+t)$ の相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{3}{2} = \frac{3(1-t) + 3(1+t)}{4} \geq \sqrt[4]{(1-t)^3 \cdot 3(1+t)}$$

この両辺を 4 乗すると

$$\frac{81}{16} \geq 3(1-t)^3(1+t) \quad \text{ゆえに} \quad f(t) \leq \frac{27}{4}$$

上式において, 等号が成立するとき $1-t = 3(1+t)$ すなわち $t = -\frac{1}{2}$

参考 S が最大となるとき, $\triangle A'P'Q'$ は正三角形である.

一般に, 円に内接する三角形の面積が最大となる三角形は正三角形である. 実際, 辺 BC に対し, 直線 BC から最も遠くなるように A を取ると面積は最大になる. このとき, $\triangle ABC$ は $AB = AC$ の鋭角二等辺三角形である. 円の半径を R とし, $B = C = \theta$ とすると, $A = \pi - 2\theta$. このとき正弦定理により

$$AB = AC = 2R \sin \theta \quad \cdots \textcircled{3}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } \triangle ABC &= \frac{1}{2}(2R \sin \theta)^2 \sin(\pi - 2\theta) \\ &= 2R^2 \sin^2 \theta \sin 2\theta = 4R^2 \sin^3 \theta \cos \theta \end{aligned}$$

$\sin \theta > 0$, $\cos \theta > 0$ であるから

$$\frac{1}{4} = \frac{3}{4} \left(\frac{\sin^2 \theta}{3} \right) + \frac{1}{4} \cos^2 \theta \geq \left(\frac{\sin^2 \theta}{3} \right)^{\frac{3}{4}} (\cos^2 \theta)^{\frac{1}{4}}$$

$$\text{両辺を平方して } \frac{1}{16} \geq \frac{\sin^3 \theta \cos \theta}{3\sqrt{3}} \quad \text{ゆえに} \quad \sin^3 \theta \cos \theta \leq \frac{3\sqrt{3}}{16}$$

上式において, 等号が成立するのは

$$\frac{\sin^2 \theta}{3} = \cos^2 \theta \quad \text{ゆえに} \quad \tan^2 \theta = 3 \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{3}$$

このとき $A = B = C = \frac{\pi}{3}$ となる. したがって, 円に内接する三角形は面積が最大となるとき正三角形である. このことに注意すると, 二等辺三角形 $A'P'Q'$ は面積が最大るとき正三角形であるから, $R = 2$ より

$$P'Q' = 2\sqrt{3}$$

$$(4) \text{ で求めた } P'Q' = 4\sqrt{1 - \frac{b^2}{4a^2 + 1}} \text{ と上式により}$$

$$\frac{b^2}{4a^2 + 1} = \frac{1}{4}$$

A' は第 1 象限の点であるから, $b > 0$ のとき, 二等辺三角形 $A'P'Q'$ は鈍角三角形である. ゆえに $b < 0$ より

$$\frac{b}{\sqrt{4a^2 + 1}} = -\frac{1}{2}$$

■

- 4 (1) $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ より, $\frac{1}{\sqrt{2}} < \cos \theta < 1$ であるから

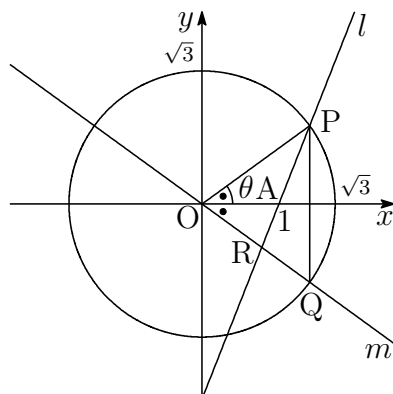
$$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} < \sqrt{3} \cos \theta < \sqrt{3} \quad \text{よって} \quad \sqrt{3} \cos \theta > \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} > 1$$

- (2) 2点 P, A を通る直線 l の方程式は

$$y = \frac{\sqrt{3} \sin \theta}{\sqrt{3} \cos \theta - 1} (x - 1)$$

- 2点 O, Q を通る直線 m の方程式は

$$y = -(\tan \theta)x$$



- (3) (2) で求めた 2 直線 l, m の方程式から y を消去すると

$$\frac{\sqrt{3} \sin \theta}{\sqrt{3} \cos \theta - 1} (x - 1) = -(\tan \theta)x \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\sqrt{3}(x - 1)}{\sqrt{3} \cos \theta - 1} = -\frac{x}{\cos \theta}$$

(1) の結果に注意して $x = \frac{\sqrt{3} \cos \theta}{2\sqrt{3} \cos \theta - 1}$

これを m の方程式に代入して $y = -\frac{\sqrt{3} \sin \theta}{2\sqrt{3} \cos \theta - 1}$

よって $R\left(\frac{\sqrt{3} \cos \theta}{2\sqrt{3} \cos \theta - 1}, -\frac{\sqrt{3} \sin \theta}{2\sqrt{3} \cos \theta - 1}\right)$

- (4) $PQ = 2\sqrt{3} \sin \theta$ であり, A と直線 PQ との距離は $\sqrt{3} \cos \theta - 1$

したがって $S = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{3} \sin \theta (\sqrt{3} \cos \theta - 1) = \sqrt{3}(\sqrt{3} \sin \theta \cos \theta - \sin \theta)$

$$\begin{aligned} \frac{dS}{d\theta} &= \sqrt{3}\{\sqrt{3}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) - \cos \theta\} \\ &= \sqrt{3}(2\sqrt{3} \cos^2 \theta - \cos \theta - \sqrt{3}) \\ &= \sqrt{3}(\sqrt{3} \cos \theta + 1)(2 \cos \theta - \sqrt{3}) \end{aligned}$$

S の増減表は

θ	(0)	...	$\frac{\pi}{6}$	...	$(\frac{\pi}{4})$
$\frac{dS}{d\theta}$		+	0	-	
S		↗	$\frac{\sqrt{3}}{4}$	↘	

よって $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき, 最大値 $\frac{\sqrt{3}}{4}$

(5) (4) の結果から, $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき, $P\left(\frac{3}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$, $Q\left(\frac{3}{2}, -\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

また, このとき, (2),(3) の結果から

$$R\left(\frac{3}{4}, -\frac{\sqrt{3}}{4}\right), \quad l: y = \sqrt{3}(x-1), \quad m: y = -\frac{1}{\sqrt{3}}x$$

2つの領域 $x \geq \frac{3}{2}$, $x^2 + y^2 \leq 3$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_1 とすると

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{2\pi} &= \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left\{ x^2 - \left(\frac{3}{2}\right)^2 \right\} dy = \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left\{ (3-y^2) - \frac{9}{4} \right\} dy \\ &= \left[\frac{3}{4}y - \frac{1}{3}y^3 \right]_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{4} \end{aligned}$$

$\triangle PQR$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_2 とすると

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{2\pi} &= \int_{\frac{3}{4}}^{\frac{3}{2}} x \left\{ \sqrt{3}(x-1) - \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}x\right) \right\} dx = \frac{1}{\sqrt{3}} \int_{\frac{3}{4}}^{\frac{3}{2}} (4x^2 - 3x) dx \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[\frac{4}{3}x^3 - \frac{3}{2}x^2 \right]_{\frac{3}{4}}^{\frac{3}{2}} = \frac{15\sqrt{3}}{32} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad V = V_1 + V_2 = 2\pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{15\sqrt{3}}{32} \right) = \frac{23\sqrt{3}}{16}\pi$$

補足 以下の検算法がある (高校数学の範囲外のため答案には書かないこと).

$\angle POQ$ を中心角とする扇形の半径を r , P の y 座標を a とすると, この扇形を y 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積を V_3 とすると²

$$V_3 = \frac{4}{3}\pi r^2 a = \frac{4}{3}\pi (\sqrt{3})^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 2\sqrt{3}\pi$$

$\triangle OPR$ の面積を T , 重心の x 座標を h とし, これを y 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積を V_4 とすると

$$T = \frac{3\sqrt{3}}{8}, \quad h = \frac{3}{4}, \quad V_4 = 2\pi Th = 2\pi \cdot \frac{3\sqrt{3}}{8} \cdot \frac{3}{4} = \frac{9\sqrt{3}}{16}\pi$$

$$\text{よって} \quad V = V_3 - V_4 = 2\sqrt{3}\pi - \frac{9\sqrt{3}}{16}\pi = \frac{23\sqrt{3}}{16}\pi$$

²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2012.pdf の [1] を参照.

2.3 2017年(工学部・情報工学部)

出題分野(工学部・情報工学部) 1 2 3 4

1 関数 $f(x) = x(x^2 + 1)e^{-x^2}$ について、次に答えよ。ただし、 e は自然対数の底とする。

- (1) 関数 $g(t) = t^2 e^{-t}$ の増減を調べ、 $t > 1$ のとき $g(t) < 1$ であることを示せ。
- (2) $k = 0, 1, 2, 3$ に対して、 $x > 1$ のとき $x^k e^{-x^2} < \frac{1}{x^{4-k}}$ が成立することを示し、 $\lim_{x \rightarrow \infty} x^k e^{-x^2} = 0$ を示せ。
- (3) 関数 $y = f(x)$ について、増減および漸近線に注意して、そのグラフの概形をかけ。ただし、グラフの凹凸は調べなくてよい。
- (4) $s \geq 0$ に対して、定積分 $F(s) = \int_0^s f(x) dx$ を計算し、 $\lim_{s \rightarrow \infty} F(s)$ を求めよ。

2 座標平面上で、曲線

$$x = \theta - \sin \theta, \quad y = 1 + \cos \theta \quad (0 < \theta < 2\pi)$$

を C とする。次に答えよ。

- (1) 曲線 C 上の点 $(\theta - \sin \theta, 1 + \cos \theta)$ における接線の方程式を求めよ。
- (2) 曲線 C は下に凸であることを示せ。
- (3) $0 < \theta < \pi$ のとき、点 $P(\theta - \sin \theta, 1 + \cos \theta)$ における曲線 C の接線と、点 $Q(\theta + \pi - \sin(\theta + \pi), 1 + \cos(\theta + \pi))$ における曲線 C の接線が、垂直に交わることを示せ。
- (4) (3) の2点を結んだ線分 PQ の長さの最大値とそのときの θ の値を求めよ。
- (5) (4) で求めた θ に対応する点 P, Q の x 座標を、それぞれ α, β とする。曲線 C と x 軸、および2直線 $x = \alpha, x = \beta$ で囲まれた部分の面積を求めよ。

3 a を実数とする. 関数 $f(x)$, $g(x)$ が

$$f(x) = \sin 2x + \left(\int_0^a g(t) dt \right) \sin x$$

$$g(x) = e^{-x} \left(-x + \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) dt \right)$$

をみたすとき, 次に答えよ.

- (1) $A = \int_0^a g(t) dt$, $B = \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) dt$ とおくとき, B を A を用いて表せ.
- (2) $f(x)$, $g(x)$ を a を用いて表せ.
- (3) $0 < x < \frac{\pi}{2}$ において, $f(x) = 0$ となるときの $\cos x$ の値を a を用いて表せ.
- (4) $-2 \leq a \leq 0$ において, $\int_0^{\frac{\pi}{2}} |f(x)| dx$ を最小にする a の値を求めよ.

4 数 1 と数 2 の並びを考える. たとえば, 1, 2, 1 の順の並びを (1, 2, 1) で表す. 和が自然数 n となるような数 1 と数 2 の並びの集合を S_n と表し, S_n の要素の個数を a_n とする. たとえば, $n = 3$ のとき, $3 = 2 + 1 = 1 + 2 = 1 + 1 + 1$ となるので, $S_3 = \{(2, 1), (1, 2), (1, 1, 1)\}$, $a_3 = 3$ となる. 次に答えよ.

- (1) a_4 および a_5 を求めよ.
- (2) a_{n+2} を a_{n+1} と a_n で表せ.
- (3) $\sum_{i=1}^n a_i = a_{n+2} - 2$ となることを示せ.
- (4) S_{n+3} から並びを一つ選ぶとき, その並びの 1 番目の数が 1 となる確率を a_{n+1} と a_{n+2} を用いて表せ.
- (5) S_{n+3} から並びを一つ選ぶとき, その並びの 2 番目の数が 2 となる確率を a_{n+1} と a_{n+2} を用いて表せ.
- (6) S_{n+4} から並びを一つ選ぶ. 選んだ並びの 2 番目の数が 2 であるとき, その並びの 1 番目の数が 1 である確率を a_{n+1} と a_{n+2} を用いて表せ.

解答例

- 1 (1) $g(t) = t^2 e^{-t}$ を微分すると

$$g'(t) = 2te^{-t} - t^2 e^{-t} = t(2-t)e^{-t}$$

したがって、 $g(t)$ の増減表は

t	...	0	...	2	...
$g'(t)$	-	0	+	0	-
$g(t)$	$\searrow$	0	$\nearrow$	$(\frac{2}{e})^2$	$\searrow$

$g(2) < 1$ であるから、上の増減表より、 $t > 1$ のとき、 $g(t) < 1$

- (2) $x > 1$ のとき、 $t = x^2$ とおくと、 $t > 1$ であるから、(1) の結果により

$$x > 1 \text{ のとき } (x^2)^2 e^{-x^2} < 1 \quad \text{ゆえに} \quad x^k e^{-x^2} < \frac{1}{x^{4-k}}$$

$x > 1$ のとき、 $0 < x^k e^{-x^2} < \frac{1}{x^{4-k}}$ であるから

$$k = 0, 1, 2, 3 \text{ に対して } \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x^{4-k}} = 0$$

したがって、はさみうちの原理により $\lim_{x \rightarrow \infty} x^k e^{-x^2} = 0$

- (3) $f(x) = x(x^2 + 1)e^{-x^2} = (x^3 + x)e^{-x^2}$ より

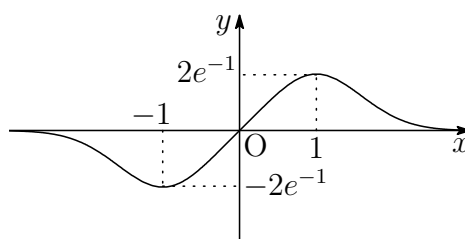
$$\begin{aligned} f'(x) &= (3x^2 + 1)e^{-x^2} + (x^3 + x)e^{-x^2}(-2x) \\ &= (-2x^4 + x^2 + 1)e^{-x^2} \\ &= -(x+1)(x-1)(2x^2 + 1)e^{-x^2} \end{aligned}$$

x	...	-1	...	1	...
$f'(x)$	-	0	+	0	-
$f(x)$	$\searrow$	極小 $-2e^{-1}$	$\nearrow$	極大 $2e^{-1}$	$\searrow$

(2) の結果から $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$

$$\begin{aligned} \text{また } \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) &= \lim_{x \rightarrow \infty} f(-x) \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \{-f(x)\} = 0 \end{aligned}$$

漸近線は $y = 0$



$$(4) \quad t = x^2 \text{ とおくと, } \frac{dt}{dx} = 2x \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow s \\ \hline t & 0 \longrightarrow s^2 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad F(s) &= \int_0^s f(x) dx = \frac{1}{2} \int_0^s (x^2 + 1) e^{-x^2} \cdot 2x dx \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{s^2} (t + 1) e^{-t} dt = -\frac{1}{2} \left[(t + 2) e^{-t} \right]_0^{s^2} \\ &= 1 - \frac{1}{2} (s^2 + 2) e^{-s^2} \end{aligned}$$

上式および (2) の結果から $\lim_{s \rightarrow \infty} F(s) = 1$ ■

2 (1) $x = \theta - \sin \theta$, $y = 1 + \cos \theta$ より

$$\frac{dx}{d\theta} = 1 - \cos \theta, \quad \frac{dy}{d\theta} = -\sin \theta$$

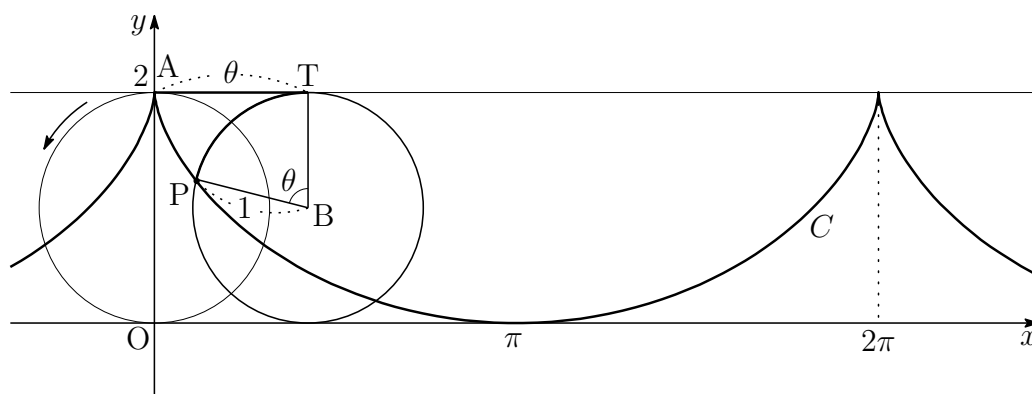
C 上の点 $(\theta - \sin \theta, 1 + \cos \theta)$ における接線の方程式は

$$\begin{aligned} -\frac{dy}{d\theta} \{x - (\theta - \sin \theta)\} + \frac{dx}{d\theta} \{y - (1 + \cos \theta)\} &= 0 \\ \sin \theta \cdot (x - \theta + \sin \theta) + (1 - \cos \theta)(y - 1 - \cos \theta) &= 0 \\ (\sin \theta)x + (1 - \cos \theta)y - \theta \sin \theta &= 0 \end{aligned}$$

補足 下の図の半径 1 の円上の点 $P(x, y)$ について, 円が角 θ だけ回転したとき, 円の中心を B , 直線 $y = 2$ との接点を T とする. このとき, $\widehat{AT} = \widehat{PT} = \theta$ であり, $\overrightarrow{BP}$ は $\overrightarrow{BT}$ を θ だけ回転させたものであるから

$$\overrightarrow{OB} = \begin{pmatrix} \theta \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \overrightarrow{BP} = \begin{pmatrix} \cos(\theta + \frac{\pi}{2}) \\ \sin(\theta + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BP} = \begin{pmatrix} \theta \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta - \sin \theta \\ 1 + \cos \theta \end{pmatrix}$$



(2) $x = f(\theta) = \theta - \sin \theta$, $y = g(\theta) = 1 + \cos \theta$ とおくと ($0 < \theta < 2\pi$)

さらに, $\theta = f^{-1}(x) = h(x)$ とおくと $y = g(h(x))$

$$\text{したがって} \quad (*) \quad \begin{cases} \frac{dy}{dx} = g'(h(x))h'(x), \\ \frac{d^2y}{dx^2} = g''(h(x))\{h'(x)\}^2 + g'(h(x))h''(x) \end{cases}$$

ここで, $x = f(h(x))$ であるから

$$\begin{cases} 1 = f'(h(x))h'(x) \\ 0 = f''(h(x))\{h'(x)\}^2 + f'(h(x))h''(x) \end{cases}$$

$$\text{ゆえに} \quad (**) \quad \begin{cases} 1 = f'(\theta)h'(x) \\ 0 = f''(\theta)\{h'(x)\}^2 + f'(\theta)h''(x) \end{cases}$$

$$(**) \text{ の第1式から} \quad h'(x) = \frac{1}{f'(\theta)} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\textcircled{1} \text{ を } (**) \text{ の第2式に代入することにより} \quad h''(x) = -\frac{f''(\theta)}{\{f'(\theta)\}^3} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$h(x) = \theta$ および $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ を $(*)$ の第2式に代入して整理すると

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{g''(\theta)f'(\theta) - g'(\theta)f''(\theta)}{\{f'(\theta)\}^3}$$

$$\text{このとき} \quad f'(\theta) = 1 - \cos \theta \quad g'(\theta) = -\sin \theta$$

$$f''(\theta) = \sin \theta \quad g''(\theta) = -\cos \theta$$

$$g''(\theta)f'(\theta) - g'(\theta)f''(\theta) = 1 - \cos \theta$$

$$\text{したがって} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1 - \cos \theta}{(1 - \cos \theta)^3} = \frac{1}{(1 - \cos \theta)^2} > 0$$

よって, 曲線 C は下に凸である.

別解 C 上の点 $(x, y) = (f(\theta), g(\theta))$ における接ベクトルは $(f'(\theta), g'(\theta))$ であるから

$$\frac{dy}{dx} = \frac{g'(\theta)}{f'(\theta)} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{d\theta} \left\{ \frac{g'(\theta)}{f'(\theta)} \right\} \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

$$\text{逆関数定理により, } \frac{d\theta}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{d\theta}} = \frac{1}{f'(\theta)} \text{ であるから}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{g''(\theta)f'(\theta) - g'(\theta)f''(\theta)}{\{f'(\theta)\}^2} \cdot \frac{1}{f'(\theta)} = \frac{g''(\theta)f'(\theta) - g'(\theta)f''(\theta)}{\{f'(\theta)\}^3}$$

- (3) C 上の 2 点 $P(f(\theta), g(\theta))$, $Q(f(\theta + \pi), g(\theta + \pi))$ における接ベクトルをそれぞれ $\vec{u}$, $\vec{v}$ とすると

$$\vec{u} = (f'(\theta), g'(\theta)) = (1 - \cos \theta, -\sin \theta)$$

$$\vec{v} = (f'(\theta + \pi), g'(\theta + \pi)) = (1 + \cos \theta, \sin \theta)$$

$$\text{このとき } \vec{u} \cdot \vec{v} = (1 - \cos \theta)(1 + \cos \theta) + (-\sin \theta) \sin \theta = 0$$

よって, C 上の 2 点 P , Q におけるそれぞれの接線は垂直に交わる.

- (4) $P(\theta - \sin \theta, 1 + \cos \theta)$, $Q(\theta + \pi + \sin \theta, 1 - \cos \theta)$ であるから

$$\begin{aligned} PQ^2 &= (\pi + 2 \sin \theta)^2 + (-2 \cos \theta)^2 \\ &= 4\pi \sin \theta + \pi^2 + 4 \end{aligned}$$

$0 < \theta < \pi$ において, PQ は $\theta = \frac{\pi}{2}$ のとき, 最大値 $\sqrt{\pi^2 + 4\pi + 4} = \pi + 2$

- (5) (4) の結果から, $\alpha = f\left(\frac{\pi}{2}\right)$, $\beta = f\left(\frac{3}{2}\pi\right)$. 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} y \, dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} y \frac{dx}{d\theta} d\theta \\ &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} (1 + \cos \theta)(1 - \cos \theta) d\theta = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} \sin^2 \theta d\theta \\ &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta = \left[\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} = \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

■

- 3** (1) 関数 $f(x)$, $g(x)$ が

$$f(x) = \sin 2x + \left(\int_0^a g(t) dt \right) \sin x$$

$$g(x) = e^{-x} \left(-x + \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) dt \right)$$

をみたすとき, $A = \int_0^a g(t) dt$, $B = \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) dt$ より (a は実数)

$$f(x) = \sin 2x + A \sin x, \quad g(x) = e^{-x}(-x + B)$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } B &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin 2t + A \sin t) dt \\ &= \left[-\frac{1}{2} \cos 2t - A \cos t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = A + 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad (1) \text{と同様に} \quad A &= \int_0^a g(t) dt = \int_0^a e^{-t}(-t+B) dt \\
 &= \left[e^{-t}(t-B+1) \right]_0^a = e^{-a}(a-B+1) + B-1
 \end{aligned}$$

上式に (1) の結果を代入すると

$$A = e^{-a}(a-A) + A \quad \text{ゆえに} \quad A = a, \quad B = a+1$$

$$\text{よって} \quad f(x) = \sin 2x + a \sin x, \quad g(x) = e^{-x}(-x+a+1)$$

(3) (2) の結果から

$$f(x) = 2 \sin x \cos x + a \sin x = 2 \sin x \left(\cos x + \frac{a}{2} \right)$$

$0 < x < \frac{\pi}{2}$ において, $f(x) = 0$ となる $\cos x$ の値は

$$\begin{aligned}
 -2 < a < 0 \text{ のとき} \quad \cos x &= -\frac{a}{2} \\
 a \leq -2, \quad 0 \leq a \text{ のとき} \quad \cos x &\text{はない}
 \end{aligned}$$

(4) $-2 \leq a \leq 0$ に対して, $\cos \theta = -\frac{a}{2}$ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) とすると

$$0 \leq x \leq \theta \text{ のとき } f(x) \geq 0, \quad \theta \leq x \leq \frac{\pi}{2} \text{ のとき } f(x) \leq 0$$

$f(x)$ の原始関数の 1 つを $F(x) = -\frac{1}{2} \cos 2x - a \cos x$ とおくと

$$\begin{aligned}
 \int_0^a |f(x)| dx &= \left[F(x) \right]_0^\theta - \left[F(x) \right]_\theta^{\frac{\pi}{2}} \\
 &= 2F(\theta) - F(0) - F\left(\frac{\pi}{2}\right) \\
 &= 2 \left(-\frac{1}{2} \cos 2\theta - a \cos \theta \right) - \left(-\frac{1}{2} - a \right) - \frac{1}{2} \\
 &= -\cos 2\theta - 2a \cos \theta + a \\
 &= -2 \cos^2 \theta - 2a \cos \theta + a + 1 \\
 &= -2 \left(-\frac{a}{2} \right)^2 - 2a \left(-\frac{a}{2} \right) + a + 1 \\
 &= \frac{a^2}{2} + a + 1 = \frac{1}{2}(a+1)^2 + \frac{1}{2}
 \end{aligned}$$

よって, 上式を最小にする a の値は $a = -1$



- 4 (1) $S_1 = \{(1)\}$, $S_2 = \{(1, 1), (2)\}$ より $a_1 = 1$, $a_2 = 2$

S_{n+2} は S_{n+1} の要素の並びの先頭に 1 を付け加えた集合と S_n の要素の先頭に 2 を付け加えた集合の和集合であるから

$$a_{n+2} = a_{n+1} + a_n \quad \cdots (*)$$

したがって $a_3 = a_2 + a_1 = 2 + 1 = 3$

$$a_4 = a_3 + a_2 = 3 + 2 = 5$$

$$a_5 = a_4 + a_3 = 5 + 3 = 8$$

- (2) (*) より $a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$

- (3) (2) の結果より $a_n = a_{n+2} - a_{n+1}$

よって
$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n (a_{i+2} - a_{i+1}) = a_{n+2} - a_2 = a_{n+2} - 2$$

- (4) S_{n+3} の要素のうち, その並びの 1 番目が 1, 2 である個数はそれぞれ a_{n+2} , a_{n+1} であるから, 求める確率は

$$\frac{a_{n+2}}{a_{n+3}} = \frac{a_{n+2}}{a_{n+2} + a_{n+1}}$$

- (5) S_{n+3} の並びの 2 番目が 2 である個数は S_{n+1} の要素の並びの 2 番目に 2 を付け加えた集合の個数に等しいから, 求める確率は

$$\frac{a_{n+1}}{a_{n+3}} = \frac{a_{n+1}}{a_{n+2} + a_{n+1}}$$

- (6) S_{n+4} から並びを一つ選ぶとき, 選んだ並びの 2 番目の数が 2 である事象を A とすると, その確率 $P(A)$ は, (5) の結果から

$$P(A) = \frac{a_{n+2}}{a_{n+4}}$$

S_{n+4} から並びを一つ選ぶとき, 選んだ並びの 1 番目の数が 1 である事象を B とすると, 事象 $A \cap B$ の個数は, S_{n+1} の要素の先頭に 1, 2 を付け加えたものであるから, a_{n+1} に等しい. したがって

$$P(A \cap B) = \frac{a_{n+1}}{a_{n+4}}$$

よって, 求める確率は
$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{a_{n+1}}{a_{n+4}} \cdot \frac{a_{n+4}}{a_{n+2}} = \frac{a_{n+1}}{a_{n+2}} \quad \blacksquare$$

2.4 2018年(工学部・情報工学部)

出題分野(工学部・情報工学部) ① ② ③ ④

① a を正の実数とする. 円 $C: x^2 + y^2 = 1$ と曲線 $D: y = ax^2 - 1$ について, 次に答えよ.

- (1) a の値によらず, 円 C と曲線 D の両方がつねに通る点の座標を求めよ.
- (2) 円 C と曲線 D が (1) で求めた点以外で交点をもつとき, a の範囲を求めよ.
- (3) a が (2) で求めた範囲にあるとき, (1) で求めた点以外の円 C と曲線 D の交点の座標を a を用いて表せ.
- (4) (3) で求めた交点を通り, x 軸と平行な直線を ℓ とする. 直線 ℓ と曲線 D で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を a を用いて表せ.
- (5) (4) で求めた立体の体積 V の最大値を求めよ. また, そのときの a の値を求めよ.

② L を正の定数とする. 3 以上の整数 n に対して, 辺の長さの和が L である正 n 角形を P_n とし, P_n の面積を $S(n)$ とする. 次に答えよ.

- (1) P_n の外接円の中心から各辺に下ろした垂線の長さを h とする. h を L と n を用いて表せ.
- (2) $S(n)$ を L と n を用いて表せ.
- (3) $0 < x < \frac{\pi}{2}$ において, 関数 $f(x) = \frac{\tan x}{x}$ が単調増加であることを示せ.
- (4) $S(n)$ と $S(n+1)$ の大小を比較せよ.
- (5) $\lim_{n \rightarrow \infty} S(n)$ を L を用いて表せ.

- 3** 平面 α 上の $\triangle OAB$ に対して, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $|\vec{a}| = 1$, $|\vec{b}| = t$, $\angle AOB = \theta$ とする. ただし, $0 < \theta < \pi$ とする. また, $\triangle OAB$ の面積を S とする. 次に答えよ.

- (1) $|\overrightarrow{OA}|^2 + |\overrightarrow{OB}|^2 + |\overrightarrow{AB}|^2 - 4\sqrt{3}S$ を t , $\cos \theta$, $\sin \theta$ を用いて表せ.
 (2) t を固定したとき, (1) で求めた式を $f(\theta)$ とする. $f(\theta)$ の最小値を t を用いて表せ. また, その最小値をとるときの θ の値を求めよ.

設問 (3), (4) では, 点 P が平面 α 上を動くものとし, $\overrightarrow{OP} = \vec{x}$ とする.

- (3) t および θ を固定したとき, $|\overrightarrow{OP}|^2 + |\overrightarrow{AP}|^2 + |\overrightarrow{BP}|^2$ の最小値を t , $\cos \theta$ を用いて表せ. また, その最小値をとるときの $\vec{x}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.
 (4) t , θ および $\vec{x}$ によらず, $|\overrightarrow{OP}|^2 + |\overrightarrow{AP}|^2 + |\overrightarrow{BP}|^2 \geq \frac{4\sqrt{3}}{3}S$ が成り立つことを示せ. また, この不等式において等号が成立するのはどのような場合か答えよ.

- 4 人工知能ベンチャータウンにある A 社と B 社は、「はい」か「いいえ」で答えられる質問に回答する知能ロボットを開発した。質問に対して、A 社製のロボットは、 $\frac{4}{5}$ の確率で正しい答えを返し、 $\frac{1}{5}$ の確率で間違った答えを返す。B 社製のロボットは、 $\frac{1}{10}$ の確率で正しい答えを返し、 $\frac{9}{10}$ の確率で間違った答えを返す。A 社製のロボットが 3 体、B 社製のロボットが 3 体、計 6 体のロボットがある。これらのロボットは外見では区別することができない。

ベンチャータウンの入口に、二股の分かれ道があり、一方の道は A 社へ、もう一方の道は B 社へ続いている。この入口に、6 体の中から無作為に選ばれた 1 体のロボットが案内役として立っている。次に答えよ。

- (1) 案内役ロボットに「あなたは A 社製のロボットですか？」と質問して、答えが「はい」である確率を求めよ。
- (2) 案内役ロボットに「あなたは A 社製のロボットですか？」と質問して、答えが「はい」であったとき、このロボットが A 社製のロボットである確率を求めよ。
- (3) 案内役ロボットに、無作為に選んだ一方の道を指しながら「この道はあなたを作った会社へ続く道ですか？」と質問して、答えが「はい」であったとき、指した道が A 社へ続く道である確率を求めよ。
- (4) 案内役ロボットが、(2), (3) のどちらの質問に対しても「はい」と答えたとき、指した道が A 社へ続く道である確率を求めよ。
- (5) 残りの 5 体のロボットの中から無作為に選ばれた 1 体のロボットが入口にやってきた。これら 2 体のロボットに「あなたたちは同じ会社製のロボットですか？」と質問したところ、案内役ロボットは「はい」と答え、あとから来たロボットは「いいえ」と答えた。このとき、2 体とも A 社製のロボットである確率を求めよ。

解答例

- 1 (1) $D: y = ax^2 - 1$ が a の値によらず通る点は $(0, -1)$

$C: x^2 + y^2 = 1$ もこの点を通るから、求める点は $(0, -1)$

- (2) C と D の方程式から x を消去すると

$$y = a(1 - y^2) - 1 \quad \text{整理すると} \quad a(y^2 - 1) + y + 1 = 0$$

ゆえに $(y + 1)(ay - a + 1)$ これを解いて $y = -1, \frac{a-1}{a} \dots \textcircled{1}$

共有点の y 座標に注意して $-1 < \frac{a-1}{a} \leq 1$ よって $a > \frac{1}{2}$

- (3) 点 $(0, -1)$ 以外の C と D の共有点の y 座標は、 $\textcircled{1}$ より $y = \frac{a-1}{a}$

これを D の方程式に代入して

$$\frac{a-1}{a} = ax^2 - 1 \quad \text{ゆえに} \quad x = \pm \frac{\sqrt{2a-1}}{a}$$

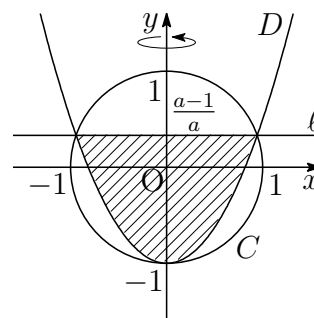
よって、求める交点の座標は $\left(\pm \frac{\sqrt{2a-1}}{a}, \frac{a-1}{a} \right)$

- (4) D と ℓ で囲まれた部分は右の図の斜線部分で、 y 軸に関して対称である。 D の方程式から

$$x^2 = \frac{y+1}{a}$$

よって、求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_{-1}^{\frac{a-1}{a}} x^2 dy = \frac{\pi}{a} \int_{-1}^{\frac{a-1}{a}} (y+1) dy \\ &= \frac{\pi}{2a} \left[(y+1)^2 \right]_{-1}^{\frac{a-1}{a}} = \frac{\pi}{2a^3} (2a-1)^2 \end{aligned}$$



(5) (4) の結果から, $f(a) = \frac{\pi}{2}a^{-3}(2a-1)^2$ とおくと ($a > \frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} f'(a) &= \frac{\pi}{2} \{-3a^{-4}(2a-1)^2 + a^{-3} \cdot 4(2a-1)\} \\ &= \frac{\pi}{2} a^{-4}(2a-1) \{-3(2a-1) + 4a\} = -\frac{\pi}{2} a^{-4}(2a-1)(2a-3) \end{aligned}$$

したがって, $f(a)$ の増減表は次のようになる.

a	$(\frac{1}{2})$	$\dots$	$\frac{3}{2}$	$\dots$
$f'(a)$		+	0	-
$f(a)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, V は $a = \frac{3}{2}$ のとき, 最大値 $f\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{16}{27}\pi$

解説 (1) で示したように, a の値によらず, 点 $(0, -1)$ は C と D の共有点である.

$$C: x^2 + y^2 = 1 \text{ より } (*) \begin{cases} 2x + 2yy' = 0, \\ 2 + 2(y')^2 + 2yy'' = 0 \end{cases}$$

$$D: y = ax^2 - 1 \text{ より } (**) \begin{cases} y' = 2ax, \\ y'' = 2a \end{cases}$$

これらに共有点 $(0, -1)$ の座標を代入することにより

$$(*) \text{ から } y' = 0, y'' = 1, \quad (**) \text{ から } y' = 0, y'' = 2a$$

したがって, 共有点 $(0, -1)$ において, C と D の第1次導関数の値が等しいから, C と D は, $(0, -1)$ において **1 次の接触**をなす (共通接線をもつ).

とくに, $a = \frac{1}{2}$ のとき, C と D の第1次・第2次導関数の値がともに等しいから, C と D は, $(0, -1)$ において **2 次の接触**をなす. このとき, C と D の点 $(0, -1)$ における接触円 (曲率円) が一致する³.

なお, y が x の関数であるとき, その曲率 κ は次式で与えられる⁴. また, 曲率半径 R は曲率の逆数である

$$\kappa = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad R = \frac{1}{\kappa}$$

$y = ax^2 - 1$ の点 $(0, -1)$ における曲率および曲率半径は $\kappa = 2a, \quad R = \frac{1}{2a}$

とくに, $a = \frac{1}{2}$ のとき, $R = 1$ となり, C の半径と一致する. ■

³http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/kumadai_i_2017.pdf (p.10 を参照)

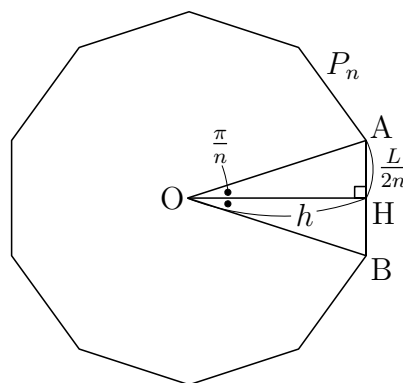
⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2009.pdf (p.8 を参照)

- 2** (1) 正 n 角形 P_n の 1 つの辺 AB に P_n の外心 O から垂線 OH を引くと

$$\angle AOH = \frac{\pi}{n}, \quad OH = h, \quad AH = \frac{L}{2n}$$

$$\text{したがって} \quad h \tan \frac{\pi}{n} = \frac{L}{2n}$$

$$\text{よって} \quad h = \frac{L}{2n \tan \frac{\pi}{n}}$$



- (2) $\triangle OAB$ の面積について, (1) の結果を利用すると

$$\frac{S(n)}{n} = \frac{1}{2} AB \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{n} \cdot \frac{L}{2n \tan \frac{\pi}{n}} \quad \text{よって} \quad S(n) = \frac{L^2}{4n \tan \frac{\pi}{n}}$$

- (3) $f(x) = \frac{\tan x}{x}$ を微分すると $\left(0 < x < \frac{\pi}{2}\right)$

$$f'(x) = \frac{\frac{1}{\cos^2 x} \cdot x - \tan x}{x^2} = \frac{2x - 2 \sin x \cos x}{2x^2 \cos^2 x} = \frac{2x - \sin 2x}{2x^2 \cos^2 x}$$

ここで, $g(x) = 2x - \sin 2x$ とおくと $\left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$

$$g(0) = 0, \quad g'(x) = 2(1 - \cos 2x) > 0$$

$0 < x < \frac{\pi}{2}$ において, $g(x) > 0$, すなわち, $f'(x) > 0$

よって, $0 < x < \frac{\pi}{2}$ において, $f(x)$ は単調増加である.

- (4) (2) の結果から $S(n) = \frac{L^2}{4n \tan \frac{\pi}{n}} = \frac{L^2}{4\pi} \cdot \frac{\frac{\pi}{n}}{\tan \frac{\pi}{n}} = \frac{L^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{f\left(\frac{\pi}{n}\right)} \quad \cdots (*)$

$\frac{\pi}{n+1} < \frac{\pi}{n}$ であるから, (3) の結果より

$$f\left(\frac{\pi}{n+1}\right) < f\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{f\left(\frac{\pi}{n}\right)} < \frac{1}{f\left(\frac{\pi}{n+1}\right)}$$

よって, (*) より $S(n) < S(n+1)$

- (5) $x = \frac{\pi}{n}$ とおくと, (*) より $\lim_{n \rightarrow \infty} S(n) = \lim_{x \rightarrow +0} \frac{L^2}{4\pi} \cdot \frac{1}{f(x)}$

$$\text{ここで} \quad \lim_{x \rightarrow +0} f(x) = \lim_{x \rightarrow +0} \frac{\tan x}{x} = 1 \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} S(n) = \frac{L^2}{4\pi}$$

補足 $\lim_{n \rightarrow \infty} P_n$ は円 (半径 R) に収束するから $\lim_{n \rightarrow \infty} S(n) = \pi R^2 = \frac{(2\pi R)^2}{4\pi} = \frac{L^2}{4\pi}$ ■

- 3** (1) $\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{b}$, $|\vec{a}| = 1$, $|\vec{b}| = t$, $\angle AOB = \theta$ より

$$|\vec{OA}|^2 + |\vec{OB}|^2 + |\vec{AB}|^2 = |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{b} - \vec{a}|^2 = 2|\vec{a}|^2 + 2|\vec{b}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b}$$

$$= 2 \cdot 1^2 + 2t^2 - 2 \cdot 1 \cdot t \cos \theta = 2 + 2t^2 - 2t \cos \theta,$$

$$4\sqrt{3}S = 4\sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \theta = 2\sqrt{3}t \sin \theta$$

よって $|\vec{OA}|^2 + |\vec{OB}|^2 + |\vec{AB}|^2 - 4\sqrt{3}S$

$$= 2 + 2t^2 - 2t \cos \theta - 2\sqrt{3}t \sin \theta$$

$$= \mathbf{2t^2 + 2 - 2t(\sqrt{3} \sin \theta + \cos \theta)}$$

- (2) (1) の結果から $f(\theta) = 2t^2 + 2 - 4t \sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right)$

$0 < \theta < \pi$ より, $\frac{\pi}{6} < \theta + \frac{\pi}{6} < \frac{7}{6}\pi$ であるから, $f(\theta)$ は

$$\theta + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{2}, \text{ すなわち, } \mathbf{\theta = \frac{\pi}{3}}$$
 のとき, 最小値 $\mathbf{2(t-1)^2}$

(3) $|\vec{OP}|^2 + |\vec{AP}|^2 + |\vec{BP}|^2 = |\vec{x}|^2 + |\vec{x} - \vec{a}|^2 + |\vec{x} - \vec{b}|^2$

$$= 3|\vec{x}|^2 - 2(\vec{a} + \vec{b}) \cdot \vec{x} + |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2$$

$$= 3 \left| \vec{x} - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \right|^2 + \frac{2}{3}(|\vec{a}|^2 - \vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2)$$

$$= 3 \left| \vec{x} - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \right|^2 + \frac{2}{3}(1 - t \cos \theta + t^2) \quad \cdots (*)$$

よって, $\mathbf{\vec{x} = \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b})}$ のとき, 最小値 $\mathbf{\frac{2}{3}(1 - t \cos \theta + t^2)}$

- (4) $\frac{4\sqrt{3}}{3}S = \frac{4\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{1}{2} |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \theta = \frac{2\sqrt{3}}{3}t \sin \theta$ であるから, (*) より

$$|\vec{OP}|^2 + |\vec{AP}|^2 + |\vec{BP}|^2 - \frac{4\sqrt{3}}{3}S$$

$$= 3 \left| \vec{x} - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \right|^2 + \frac{2}{3}(1 - t \cos \theta + t^2) - \frac{2\sqrt{3}}{3}t \sin \theta$$

$$= 3 \left| \vec{x} - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \right|^2 + \frac{2}{3}(t^2 - 2t + 1) + \frac{2}{3}t(2 - \sqrt{3} \sin \theta - \cos \theta)$$

$$= 3 \left| \vec{x} - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \right|^2 + \frac{2}{3}(t-1)^2 + \frac{4}{3}t \left\{ 1 - \sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right) \right\} \geq 0$$

よって $|\vec{OP}|^2 + |\vec{AP}|^2 + |\vec{BP}|^2 \geq \frac{4\sqrt{3}}{3}S$

等号が成立する場合は $\mathbf{\vec{x} = \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b})}$, $\mathbf{t = 1}$, $\mathbf{\theta = \frac{\pi}{3}}$ ■

- 4 質問に対して A 社製ロボットが正しい答え, 間違った答えを返す確率をそれぞれ $a, \bar{a}$ とし, 同様に B 社製ロボットが正しい答え, 間違った答えを返す確率をそれぞれ $b, \bar{b}$ とする ($a = \frac{8}{10}, \bar{a} = \frac{2}{10}, b = \frac{1}{10}, \bar{b} = \frac{9}{10}$).

- (1) 案内役ロボットが A 社製, B 社製である確率は, ともに $\frac{3}{6} = \frac{1}{2}$
案内役ロボットが「はい」と答える確率は

$$\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}\bar{b} = \frac{1}{2} \left(\frac{8}{10} + \frac{9}{10} \right) = \frac{17}{20}$$

- (2) 案内役ロボットが「はい」と答えたとき, ロボットが A 社製である確率は

$$\frac{\frac{1}{2}a}{\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}\bar{b}} = \frac{a}{a + \bar{b}} = \frac{\frac{8}{10}}{\frac{8}{10} + \frac{9}{10}} = \frac{8}{17}$$

- (3) 案内役ロボットがどちらか, 指した道がどちらであるかにより, 次の 4 つの場合がある.

- (i) A 社製ロボットに A 社への道を指した
- (ii) B 社製ロボットに A 社への道を指した
- (iii) A 社製ロボットに B 社への道を指した
- (iv) B 社製ロボットに B 社への道を指した

これらの確率は, すべて $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

したがって, 案内ロボットが「はい」と答える確率は

$$(i) \text{ のとき } \frac{1}{4}a, \quad (ii) \text{ のとき } \frac{1}{4}\bar{b}, \quad (iii) \text{ のとき } \frac{1}{4}\bar{a}, \quad (iv) \text{ のとき } \frac{1}{4}b$$

よって, 指した道が A 社へ続く道である確率は

$$\frac{\frac{1}{4}a + \frac{1}{4}\bar{b}}{\frac{1}{4}a + \frac{1}{4}\bar{b} + \frac{1}{4}\bar{a} + \frac{1}{4}b} = \frac{a + \bar{b}}{(a + \bar{a}) + (b + \bar{b})} = \frac{\frac{8}{10} + \frac{9}{10}}{1 + 1} = \frac{17}{20}$$

- (4) 前問と同様に, (2), (3) どちらの質問に対しても「はい」と答える確率は

$$(i) \text{ のとき } \frac{1}{4}a^2, \quad (ii) \text{ のとき } \frac{1}{4}\bar{b}^2, \quad (iii) \text{ のとき } \frac{1}{4}a\bar{a}, \quad (iv) \text{ のとき } \frac{1}{4}\bar{b}b$$

よって, 指した道が A 社へ続く道である確率は

$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{4}a^2 + \frac{1}{4}\bar{b}^2}{\frac{1}{4}a^2 + \frac{1}{4}\bar{b}^2 + \frac{1}{4}a\bar{a} + \frac{1}{4}\bar{b}b} &= \frac{a^2 + \bar{b}^2}{a(a + \bar{a}) + \bar{b}(b + \bar{b})} = \frac{a^2 + \bar{b}^2}{a + \bar{b}} \\ &= \frac{\left(\frac{8}{10}\right)^2 + \left(\frac{9}{10}\right)^2}{\frac{8}{10} + \frac{9}{10}} = \frac{8^2 + 9^2}{10(8 + 9)} = \frac{29}{34} \end{aligned}$$

(5) 案内役ロボットとあとから来たロボットの組合せとその確率は、次のようになる。

- ① 案内役が A 社製，後からきたのも A 社製のとき $\frac{3}{6} \times \frac{2}{5} = \frac{1}{5}$
 ② 案内役が A 社製，後からきたのが B 社製のとき $\frac{3}{6} \times \frac{3}{5} = \frac{3}{10}$
 ③ 案内役が B 社製，後からきたのが A 社製のとき $\frac{3}{6} \times \frac{3}{5} = \frac{3}{10}$
 ④ 案内役が B 社製，後からきたのも B 社製のとき $\frac{3}{6} \times \frac{2}{5} = \frac{1}{5}$

案内役ロボットは「はい」，あとから来たロボットが「いいえ」と答える確率は

$$\text{①のとき } \frac{1}{5}a\bar{a}, \quad \text{②のとき } \frac{3}{10}\bar{a}b, \quad \text{③のとき } \frac{3}{10}\bar{b}a, \quad \text{④のとき } \frac{1}{5}b\bar{b}$$

したがって，2 体とも A 社製のロボットである確率は

$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{5}a\bar{a}}{\frac{1}{5}a\bar{a} + \frac{3}{10}\bar{a}b + \frac{3}{10}\bar{b}a + \frac{1}{5}b\bar{b}} &= \frac{2a\bar{a}}{2a\bar{a} + 3\bar{a}b + 3\bar{b}a + 2b\bar{b}} \\ &= \frac{2 \cdot \frac{8}{10} \cdot \frac{2}{10}}{2 \cdot \frac{8}{10} \cdot \frac{2}{10} + 3 \cdot \frac{2}{10} \cdot \frac{1}{10} + 3 \cdot \frac{9}{10} \cdot \frac{8}{10} + 2 \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{9}{10}} \\ &= \frac{2 \cdot 8 \cdot 2}{2 \cdot 8 \cdot 2 + 3 \cdot 2 \cdot 1 + 3 \cdot 9 \cdot 8 + 2 \cdot 1 \cdot 9} \\ &= \frac{32}{272} = \frac{2}{17} \end{aligned}$$



2.5 2019 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) 1 2 3 4

- 1 k を正の実数とする. 原点を O , 曲線 $C: y = \frac{1}{x} (x > 0)$ と直線 $y = kx$ の交点を P , 線分 OP の中点を Q とする. さらに, 点 Q を通り y 軸と平行な直線と C の交点を R , 点 Q を通り x 軸と平行な直線と C の交点を S とする. 次に答えよ.

- (1) 点 P の座標を k を用いて表せ.
- (2) 点 P における曲線 C の接線と直線 RS は平行であることを示せ.
- (3) 直線 RS と曲線 C で囲まれた図形の面積は k の値によらず一定になることを示せ.
- (4) 直線 RS と曲線 C で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を k を用いて表せ.

- 2 n を自然数とする. $f(x)$ と S_n を次のように定める.

$$f(x) = x + \sqrt{x^2 + 1}$$

$$S_n = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

次に答えよ.

- (1) $\frac{f'(x)}{f(x)}$ を求めよ.
- (2) 定積分 $\int_1^{n+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx$ を計算せよ.
- (3) 数列 $\{S_n\}$ は発散することを示せ. ただし, 自然数 k に対して, $k \leq x$ のとき, $\sqrt{k^2 + 1} \leq \sqrt{x^2 + 1}$ が成り立つことを用いてよい.
- (4) $\lim_{n \rightarrow \infty} (S_{2n} - S_n)$ を求めよ. ただし, 自然数 k に対して, $k-1 \leq x \leq k$ のとき, $\sqrt{x^2 + 1} \leq \sqrt{k^2 + 1} \leq \sqrt{(x+1)^2 + 1}$ が成り立つことを用いてよい.

3 a を正の実数とし，複素数平面上の4点 $O(0)$ ， $A(6+4i)$ ， $B(8-2i)$ ， $C(-2ai)$ を4頂点とする四角形 $OABC$ を考える．四角形 $OABC$ の各辺を1辺とする4つの正方形を四角形 $OABC$ の外側に作る．正方形において，2本の対角線の交点をその正方形の重心という．辺 OA を1辺とする正方形の重心を P ，辺 AB を1辺とする正方形の重心を Q ，辺 BC を1辺とする正方形の重心を R ，辺 CO を1辺とする正方形の重心を S とする．次に答えよ．

- (1) 原点を中心として，点 A を反時計回りに 90 度回転させて得られる点を表す複素数を求めよ．
- (2) 点 P および点 Q を表す複素数をそれぞれ求めよ．また，点 R および点 S を表す複素数をそれぞれ a を用いて表せ．
- (3) 線分 QS の長さを a を用いて表せ．
- (4) 線分 PR と線分 QS の長さの比を求めよ．
- (5) どのような正の実数 a に対しても，2直線 PR ， QS は垂直であることを示せ．

4 箱 A と箱 B がある．はじめに，どちらの箱にも白玉2個と黒玉1個が入っている．次に答えよ．

- (1) 箱 A から無作為に1個の玉を取り出し，色を確認し，箱 A に戻す．この試行を3回行うとき，白玉を2回，黒玉を1回取り出す確率を求めよ．
- (2) 箱 A と箱 B から無作為に1個ずつ玉を同時に取り出し，箱 A から取り出した玉を箱 B に，箱 B から取り出した玉を箱 A に入れる．このとき，箱 A の中身が白玉1個と黒玉2個である確率 P_1 ，箱 A の中身が白玉2個と黒玉1個である確率 P_2 ，箱 A の中身が白玉3個である確率 P_3 をそれぞれ求めよ．
- (3) (2) の試行を2回続けて行う．すなわち，(2) の試行を行い，箱の中身をそのままにして，(2) の試行をもう1回行う．このとき，1回目で箱 A の中身が白玉3個になり，かつ2回目で箱 A の中身が白玉2個と黒玉1個になる確率を求めよ．
- (4) (2) の試行を2回続けて行う．このとき，箱 A の中身が白玉2個と黒玉1個である確率を求めよ．
- (5) (2) の試行を2回続けて行ったとき，箱 A の中身が白玉2個と黒玉1個であった．このとき，1回目の試行の後で，箱 A の中身が白玉2個と黒玉1個である条件付き確率を求めよ．

解答例

- 1 (1) $C: y = \frac{1}{x}$ と $y = kx$ から y を消去すると

$$\frac{1}{x} = kx \quad \text{ゆえに} \quad x^2 = \frac{1}{k} \quad x > 0 \text{ に注意して} \quad x = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

これを C の方程式に代入して $y = \sqrt{k}$ よって $P\left(\frac{1}{\sqrt{k}}, \sqrt{k}\right)$

- (2) $y = \frac{1}{x}$ を微分すると $y' = -\frac{1}{x^2}$

点 $P\left(\frac{1}{\sqrt{k}}, \sqrt{k}\right)$ における C の接線の傾きは

$$y' = -\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{k}}\right)^2} = -k \quad \cdots \textcircled{1}$$

線分 OP の中点 Q は $\left(\frac{1}{2\sqrt{k}}, \frac{\sqrt{k}}{2}\right)$

C 上の点 R の x 座標が $\frac{1}{2\sqrt{k}}$, 点 S の y 座標が $\frac{\sqrt{k}}{2}$ であるから

$$R\left(\frac{1}{2\sqrt{k}}, 2\sqrt{k}\right), \quad S\left(\frac{2}{\sqrt{k}}, \frac{\sqrt{k}}{2}\right)$$

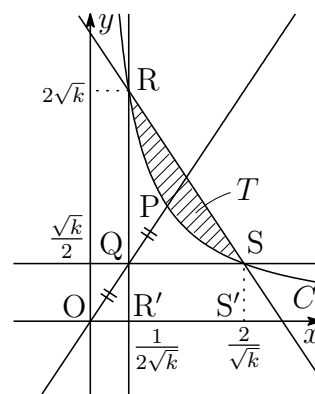
$$\text{直線 } RS \text{ の傾きは } \frac{\frac{\sqrt{k}}{2} - 2\sqrt{k}}{\frac{2}{\sqrt{k}} - \frac{1}{2\sqrt{k}}} = -k \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② より, 点 P における曲線 C の接線と直線 RS は平行である.

- (3) 直線 RS と曲線 C で囲まれた図形の面積を T とする. 2 点 R, S から x 軸にそれぞれ垂線 RR', SS' を下ろし, 台形 $RR'S'S$ の面積を利用すると

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \left(2\sqrt{k} + \frac{\sqrt{k}}{2} \right) \left(\frac{2}{\sqrt{k}} - \frac{1}{2\sqrt{k}} \right) - \int_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} \frac{dx}{x} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{5\sqrt{k}}{2} \cdot \frac{3}{2\sqrt{k}} - \left[\log x \right]_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} = \frac{15}{8} - 2 \log 2 \end{aligned}$$

したがって, T は, k の値によらず一定である.



(4) 直線 RS は点 $\left(\frac{1}{2\sqrt{k}}, 2\sqrt{k}\right)$ を通り、傾き $-k$ の方程式であるから

$$y - 2\sqrt{k} = -k \left(x - \frac{1}{2\sqrt{k}}\right) \quad \text{すなわち} \quad y = -k \left(x - \frac{5}{2\sqrt{k}}\right)$$

台形 RR'S'S を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_1 とすると

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{\pi} &= k^2 \int_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} \left(x - \frac{5}{2\sqrt{k}}\right)^2 dx \\ &= \frac{k^2}{3} \left[\left(x - \frac{5}{2\sqrt{k}}\right)^3 \right]_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} = \frac{21}{8} \sqrt{k} \end{aligned}$$

曲線 C , 2 直線 RR', SS' および x 軸で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_2 とすると

$$\frac{V_2}{\pi} = \int_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} \left(\frac{1}{x}\right)^2 dx = \left[-\frac{1}{x}\right]_{\frac{1}{2\sqrt{k}}}^{\frac{2}{\sqrt{k}}} = \frac{3}{2} \sqrt{k}$$

したがって、求める立体の体積を V とすると

$$V = V_1 - V_2 = \left(\frac{21}{8} \sqrt{k} - \frac{3}{2} \sqrt{k}\right) \pi = \frac{9}{8} \sqrt{k} \pi$$

補足 台形 RR'S'S を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体は円錐台である。円錐台の上底の半径 a , 下底の半径 b , 高さ h について、その体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^h \left(\frac{b-a}{h}x + a\right)^2 dx = \int_0^h \left\{ \left(\frac{b-a}{h}\right)^2 x^2 + \frac{2a(b-a)}{h}x + a^2 \right\} dx \\ &= \left[\left(\frac{b-a}{h}\right)^2 \frac{x^3}{3} + \frac{a(b-a)}{h}x^2 + a^2x \right]_0^h \\ &= h \left\{ \frac{1}{3}(b-a)^2 + a(b-a) + a^2 \right\} = \frac{h}{3}(a^2 + ab + b^2) \end{aligned}$$

上の円錐台の体積の公式に

$$a = RR' = 2\sqrt{k}, \quad b = \frac{\sqrt{k}}{2}, \quad h = R'S' = \frac{2}{\sqrt{k}} - \frac{1}{2\sqrt{k}} = \frac{3}{2\sqrt{k}}$$

を代入すると

$$\frac{V_1}{\pi} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2\sqrt{k}} \left\{ (2\sqrt{k})^2 + 2\sqrt{k} \cdot \frac{\sqrt{k}}{2} + \left(\frac{\sqrt{k}}{2}\right)^2 \right\} = \frac{21}{8} \sqrt{k}$$



2 (1) $f(x) = x + \sqrt{x^2 + 1}$ を微分すると

$$f'(x) = 1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}} = \frac{x + \sqrt{x^2 + 1}}{\sqrt{x^2 + 1}} = \frac{f(x)}{\sqrt{x^2 + 1}}$$

よって
$$\frac{f'(x)}{f(x)} = \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}}$$

(2) (1) の結果を用いて

$$\begin{aligned} \int_1^{n+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx &= \int_1^{n+1} \frac{f'(x)}{f(x)} dx = \left[\log f(x) \right]_1^{n+1} \\ &= \log f(n+1) - \log f(1) \\ &= \log(n+1 + \sqrt{n^2 + 2n + 2}) - \log(1 + \sqrt{2}) \end{aligned}$$

(3) $k \leq x \leq k+1$ のとき, $\frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \geq \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}}$ より

$$\frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} = \int_k^{k+1} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} dx \geq \int_k^{k+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx$$

したがって

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} \geq \sum_{k=1}^n \int_k^{k+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx = \int_1^{n+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx$$

上式および (2) の結果から

$$S_n \geq \log(n+1 + \sqrt{n^2 + 2n + 2}) - \log(1 + \sqrt{2})$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log(n+1 + \sqrt{n^2 + 2n + 2}) = \infty \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \infty$$

$$(4) \quad S_{2n} - S_n = \sum_{k=1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} - \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} = \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} &\geq \sum_{k=n+1}^{2n} \int_k^{k+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx = \int_{n+1}^{2n+1} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx \\ &= \left[\log f(x) \right]_{n+1}^{2n+1} = \log \frac{f(2n+1)}{f(n+1)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} &\leq \sum_{k=n+1}^{2n} \int_{k-1}^k \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx = \int_n^{2n} \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}} dx \\ &= \left[\log f(x) \right]_n^{2n} = \log \frac{f(2n)}{f(n)} \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \log \frac{f(2n+1)}{f(n+1)} \leq S_{2n} - S_n \leq \log \frac{f(2n)}{f(n)}$$

ここで

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(2n+1)}{f(n+1)} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n+1 + \sqrt{4n^2 + 4n + 2}}{n+1 + \sqrt{n^2 + 2n + 2}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 + \frac{1}{n} + \sqrt{4 + \frac{4}{n} + \frac{2}{n^2}}}{1 + \frac{1}{n} + \sqrt{1 + \frac{2}{n} + \frac{2}{n^2}}} = 2, \\ \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(2n)}{f(n)} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n + \sqrt{4n^2 + 1}}{n + \sqrt{n^2 + 1}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2 + \sqrt{4 + \frac{1}{n^2}}}{1 + \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}}} = 2 \end{aligned}$$

$$\text{はさみうちの原理により} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (S_{2n} - S_n) = \log 2$$

$$\text{別解} \quad S_{2n} - S_n = \sum_{k=1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} - \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} = \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}}$$

$$\text{自然数 } k \text{ について} \quad \frac{1}{k+1} < \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} < \frac{1}{k}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} &< \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{k} \leq \sum_{k=n+1}^{2n} \int_{k-1}^k \frac{1}{x} dx \\ &= \int_n^{2n} \frac{1}{x} dx = \left[\log x \right]_n^{2n} = \log 2, \\ \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} &> \sum_{k=n+1}^{2n} \frac{1}{k+1} \geq \sum_{k=n+1}^{2n} \int_{k+1}^{k+2} \frac{1}{x} dx \\ &= \int_{n+2}^{2n+2} \frac{1}{x} dx = \left[\log x \right]_{n+2}^{2n+2} = \log \frac{2n+2}{n+2} \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \log \frac{2n+2}{n+2} = \lim_{n \rightarrow \infty} \log \frac{2 + \frac{2}{n}}{1 + \frac{2}{n}} = \log 2$$

$$\text{上の諸式から, はさみうちの原理により} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (S_{2n} - S_n) = \log 2 \quad \blacksquare$$

- 3** (1) 点 O を中心に点 A を $+90^\circ$ 回転させた点を $A'(\alpha)$ とすると

$$\alpha = (6 + 4i)i = -4 + 6i$$

- (2) 点 P は線分 AA' の中点であるから

$$\frac{(6 + 4i) + (-4 + 6i)}{2} = 1 + 5i$$

よって **P(1 + 5i)**

点 A を中心に点 B を $+90^\circ$ 回転させた点を $B'(\beta)$ とすると

$$\frac{\beta - (6 + 4i)}{(8 - 2i) - (6 + 4i)} = i$$

これを解いて $\beta = 12 + 6i$

点 Q は線分 BB' の中点であるから

$$\frac{(8 - 2i) + (12 + 6i)}{2} = 10 + 2i \quad \text{よって} \quad \mathbf{Q(10 + 2i)}$$

点 B を中心に点 C を $+90^\circ$ 回転させた点を $C'(\gamma)$ とすると

$$\frac{\gamma - (8 - 2i)}{-2ai - (8 - 2i)} = i \quad \text{これを解いて} \quad \gamma = 2a + 6 - 10i$$

点 R は線分 CC' の中点であるから

$$\frac{-2ai + (2a + 6 - 10i)}{2} = a + 3 - (a + 5)i$$

よって **R(a + 3 - (a + 5)i)**

原点 O を中心に点 C を -90° 回転させた点を $D(\delta)$ とすると

$$\delta = (-2ai)(-i) = -2a$$

点 S は線分 CD の中点であるから

$$\frac{-2ai + (-2a)}{2} = -a - ai \quad \text{よって} \quad \mathbf{S(-a - ai)}$$

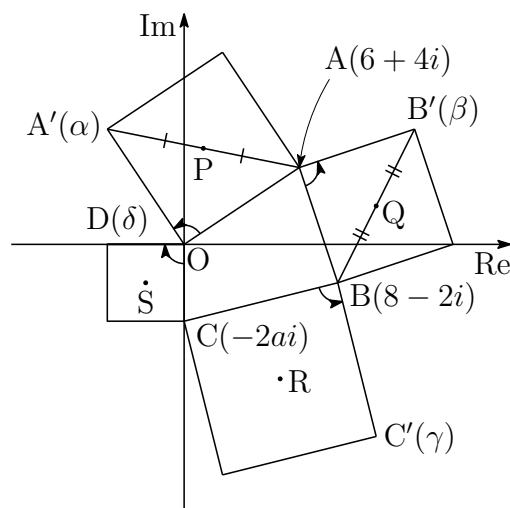
- (3) 4 点 P, Q, R, S の座標をそれぞれ p, q, r, s とすると

$$s - q = (-a - ai) - (10 + 2i) = -(a + 10) - (a + 2)i$$

$$\text{よって} \quad QS = |s - q| = \sqrt{(a + 10)^2 + (a + 2)^2} = \sqrt{2a^2 + 24a + 104}$$

- (4) (2) の結果から $r - p = a + 3 - (a + 5)i - (1 + 5i) = a + 2 - (a + 10)i$

$$\text{ゆえに} \quad PR = |r - p| = \sqrt{(a + 2)^2 + (a + 10)^2} \quad \text{よって} \quad \mathbf{PR : QS = 1 : 1}$$



$$(5) \frac{s-q}{r-p} = \frac{-(a+10) - (a+2)i}{a+3 - (a+5)i - (1+5i)} = \frac{-(a+10) - (a+2)i}{a+2 - (a+10)i} = -i$$

これが純虚数であるから，2直線 PR，QS は垂直である。 ■

- 4 (1) 箱 A から玉を 1 回取り出すとき，白玉である確率は $\frac{2}{3}$

よって，3 回取り出すとき，白玉をちょうど 2 回取り出す確率は

$${}_3C_2 \left(\frac{2}{3}\right)^2 \left(1 - \frac{2}{3}\right) = \frac{4}{9}$$

- (2) P_1 は箱 A から白玉，箱 B から黒玉を取り出す確率であるから

$$P_1 = \frac{2}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$$

P_2 は箱 A，箱 B から同色の玉を取り出す確率であるから

$$P_2 = \left(\frac{2}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \frac{5}{9}$$

P_3 は箱 A から黒玉，箱 B から白玉を取り出す確率であるから

$$P_3 = \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{2}{9}$$

補足 $P_2 = 1 - (P_1 + P_3) = 1 - \left(\frac{2}{9} + \frac{2}{9}\right) = \frac{5}{9}$

- (3) 1 回目の試行後，箱 A の中身が白玉 3 個であるとき，箱 B の中身は白玉 1 個，黒玉 2 個である．さらに，2 回目の試行で箱 A から白玉，箱 B から黒玉を取り出す確率であるから

$$P_3 \times 1 \times \frac{2}{3} = \frac{4}{27}$$

- (4) 1 回目の試行後，箱 A の中身が白玉 1 個，黒玉 2 個であるとき，箱 B の中身は白玉 3 個である．さらに，2 回目の試行で箱 A から黒玉，箱 B から白玉を取り出す確率は

$$P_1 \times \frac{2}{3} \times 1 = \frac{4}{27}$$

1 回目，2 回目の試行後，ともに箱 A の中身が白玉 2 個，黒玉 1 個である確率は

$$P_2^2 = \frac{25}{81}$$

これと (3) の結果から，求める確率を P とすると $P = \frac{4}{27} + \frac{4}{27} + \frac{25}{81} = \frac{49}{81}$

- (5) よって，求める条件つき確率は $\frac{P_2^2}{P} = \frac{25}{81} \cdot \frac{81}{49} = \frac{25}{49}$ ■

2.6 2020 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) [1] [2] [3] [4]

[1] xy 平面上の曲線 $C: y = 2\log x$ と、実数 a によって定まる曲線 $D: y = x^2 + a$ を考える. 曲線 C と曲線 D は点 $P(p, q)$ を通り、点 P における共通の接線 l をもつ. 次に答えよ.

- (1) 点 P の座標 (p, q) , 実数 a の値, および接線 l の方程式をそれぞれ求めよ.
- (2) 曲線 C と曲線 D , および直線 $x = t$ ($0 < t < p$) で囲まれた領域の面積 $S(t)$ を t を用いて表せ. また, $\lim_{t \rightarrow +0} S(t)$ を求めよ. ただし, 必要ならば $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log x}{x} = 0$ が成り立つことを用いてもよい.
- (3) 曲線 C と曲線 D , および直線 $x = t$ ($t > p$) で囲まれた領域の面積 $T(t)$ を t を用いて表せ. また, 関数 $f(t) = \frac{T(t)}{t^3}$ は区間 $t > p$ で増加することを示せ.

[2] xy 平面上の点 $A(0, -\pi)$, 点 $B(0, \pi)$, および動点 P を考える. 動点 P は時刻 0 では点 A にある. 時刻 t における動点 P の座標を $(x(t), y(t))$ とすると, 動点 P の速度 $\vec{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$ は,

$$y(t) \leq 0 \text{ のとき } \vec{v} = (a \cos b + \sin y(t), a \sin b)$$

$$y(t) > 0 \text{ のとき } \vec{v} = \left(0, \frac{1}{2\pi b} \right)$$

で与えられる. ただし, 実数 a, b は $a > 0$, $0 < b < \frac{\pi}{2}$ をみたす. 次に答えよ.

- (1) 動点 P が点 A から x 軸上の点に到達するまでの間の $y(t)$ を t, a, b を用いて表せ.
- (2) 動点 P が点 A から x 軸上の点に到達するまでの間の $x(t)$ を t, a, b を用いて表せ.
- (3) 動点 P が原点 O に到達するためにみたすべき条件を a と b を用いて表せ.
- (4) 動点 P が時刻 T に点 B に到達した. 時刻 T を b を用いて表せ. また, T の最小値とそのときの b を求めよ.

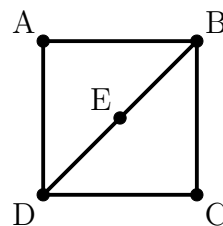
- 3** α, β は定められた複素数とする. 複素数平面上の点 z_1 に対して,
 z_n ($n = 2, 3, 4, \dots$) を以下の規則によって定める.

$$(\text{規則}) \quad z_n = \alpha z_{n-1} + \beta$$

点 z_1 として $z_1 = 3\sqrt{3} - 3i$ を選び, この規則を用いて z_2, z_3 を定めたところ,
 $z_2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2}i, z_3 = 3i$ となった. 次に答えよ.

- (1) z_1 と z_2 を通る直線と, z_2 と z_3 を通る直線を考える. この2直線のなす角 θ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) を求めよ.
- (2) α と β を求めよ. また, それぞれの絶対値, 偏角も求めよ.
- (3) 規則に示した z_n と z_{n-1} の関係を $z_n - \gamma = \alpha(z_{n-1} - \gamma)$ と表す. γ を求めよ.
- (4) z_n を z_1, α および (3) の γ を用いて表せ. ただし, z_1, α および γ は記号のまま表せ.
- (5) 複素数平面上の点 z_1 を選びなおし, 規則を用いて z_5 を定めなおす. z_5 が $|z_5| < 1$ をみたすために z_1 がみたすべき条件を求めよ. また, その条件をみたす点 z_1 の全体の表す図形を複素数平面上に図示せよ.

- 4 右図のように，正方形 ABCD があり，対角線 BD の中点を E とする．時刻 $n = 0$ において，点 P は頂点 A であり，点 Q は頂点 C にある．時刻 $n = 1, 2, 3, \dots$ における点 P と点 Q の位置は，次の移動規則によって定まる．



- 点 P の移動規則

時刻 $n - 1$ における点 P の位置が頂点 A のときは，それぞれ $\frac{1}{2}$ の確率で頂点 B か頂点 D に移動する．頂点 B または頂点 D のときは，それぞれ $\frac{1}{2}$ の確率で頂点 A か頂点 C に移動する．頂点 C のときは，移動せずそのままとどまる．

- 点 Q の移動規則

時刻 $n - 1$ における点 Q の位置が頂点 C のときは，それぞれ $\frac{1}{3}$ の確率で頂点 B に移動するか頂点 D に移動するか移動せずそのままとどまる．頂点 B または頂点 D のときは，それぞれ $\frac{1}{3}$ の確率で頂点 A に移動するか点 E に移動するか移動せずそのままとどまる．頂点 A または点 E のときは，移動せずそのままとどまる．

次に答えよ．

- (1) 時刻 $n = 4$ における点 P の位置が頂点 C である確率を求めよ．
- (2) 時刻 n における点 Q の位置が頂点 B である確率を求めよ．
- (3) 時刻 n において，はじめて点 Q の位置が頂点 A となる確率を求めよ．
- (4) 時刻 $n = 4$ までに，少なくとも一度，同時刻に点 P と点 Q の位置が頂点 B となる確率を求めよ．
- (5) 時刻 $n = 4$ における点 P の位置が頂点 C であった．このとき，はじめて点 P の位置が頂点 C となった時刻より前に点 Q の位置が頂点 A となる条件付き確率を求めよ．

解答例

- 1 (1) $g(x) = 2\log x$, $h(x) = x^2 + a$ とおくと $g'(x) = \frac{2}{x}$, $h'(x) = 2x$
 2 曲線 $C_1: y = g(x)$, $C_2: y = h(x)$ が, 点 $P(p, q)$ で共通接線 l をもつか
 ら, l の傾きを m とすると, $q = g(p) = h(p)$, $m = g'(p) = h'(p)$ より

$$q = 2\log p = p^2 + a, \quad m = \frac{2}{p} = 2p \quad \cdots (*)$$

(*) の第2式から ($p > 0$) $p = 1$, $m = 2$

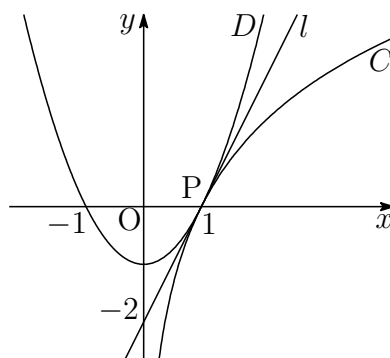
$p = 1$ を (*) の第1式に代入して

$$q = 0 = 1 + a \quad \text{ゆえに} \quad a = -1$$

したがって **P(1, 0)**

l は, P を通り, 傾き 2 の直線であるから

$$y = 2(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = 2x - 2$$



- (2) $C: y = 2\log x$, $D: y = x^2 - 1$ より, $0 < t < 1$ のとき

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_t^1 (x^2 - 1 - 2\log x) dx = \left[\frac{x^3}{3} + x - 2x \log x \right]_t^1 \\ &= \frac{4}{3} - \frac{t^3}{3} - t + 2t \log t \end{aligned}$$

$$\text{ここで} \quad \lim_{t \rightarrow +0} t \log t = \lim_{u \rightarrow \infty} \frac{1}{u} \log \frac{1}{u} = \lim_{u \rightarrow \infty} \left(-\frac{\log u}{u} \right) = 0$$

$$\text{よって} \quad \lim_{t \rightarrow +0} S(t) = \lim_{t \rightarrow +0} \left(\frac{4}{3} - \frac{t^3}{3} - t + 2t \log t \right) = \frac{4}{3}$$

- (3) (2) と同様に, $t > 1$ のとき

$$\begin{aligned} T(t) &= \int_1^t (x^2 - 1 - 2\log x) dx = \left[\frac{x^3}{3} + x - 2x \log x \right]_1^t \\ &= \frac{t^3}{3} + t - 2t \log t - \frac{4}{3}, \\ f(t) &= \frac{T(t)}{t^3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{t^2} - \frac{2\log t}{t^2} - \frac{4}{3t^3} \\ f'(t) &= -\frac{4}{t^3} + \frac{4\log t}{t^3} + \frac{4}{t^4} = \frac{4}{t^3} \left(-1 + \log t + \frac{1}{t} \right) \end{aligned}$$

$$\varphi(t) = -1 + \log t + \frac{1}{t} \text{ とおく } (t \geq 1)$$

$$\varphi'(t) = \frac{1}{t} - \frac{1}{t^2} = \frac{t-1}{t^2} > 0 \quad (t > 1)$$

$$\varphi(1) = 0 \text{ であるから } t \geq 1 \text{ において } \varphi(t) \geq 0$$

$$\text{したがって } t > 1 \text{ において } f'(t) = \frac{4\varphi(t)}{t^3} > 0$$

よって $f(t)$ は区間 $t > 1$ で増加する ■

- 2 補足** 与えられた条件より, $\frac{dy}{dt} > 0$ であるから, 動点 P は y 軸の正の向きに運動する. $t = 0$ で $A(0, -\pi)$ にあった点 P が $t = T_1$ 秒後に x 軸上の点に到達するものとする, その後, P の x 軸方向の速度ベクトルが $\frac{dx}{dt} = 0$ であることから, y 軸と平行な向きに等速度 $\vec{v} = \left(0, \frac{1}{2\pi b}\right)$ で運動し, 点 $B(0, \pi)$ に到達する. すなわち, $t = T_1$ で P は原点 O を通過し, その後, P は y 軸上を等速度で点 B まで運動する. OB 間の移動に要する時間を T_2 とすると, P は $t = T$ ($T = T_1 + T_2$) で B に到達する.

- (1) 動点 P が点 A から x 軸上の点に到達するまで, y 軸方向の速度ベクトル

$$\frac{dy}{dt} = a \sin b$$

が一定であるから, これを t について積分すると

$$y(t) = at \sin b + C_1 \quad (C_1 \text{ は積分定数})$$

$$y(0) = -\pi \text{ であるから, これを上式に代入すると } C_1 = -\pi$$

$$\text{よって } y(t) = at \sin b - \pi$$

- (2) (1) の結果を $\frac{dx}{dt} = a \cos b + \sin y(t)$ に代入すると

$$\frac{dx}{dt} = a \cos b + \sin(at \sin b - \pi) = a \cos b - \sin(at \sin b)$$

これを t について積分すると

$$x(t) = at \cos b + \frac{\cos(at \sin b)}{a \sin b} + C_2 \quad (C_2 \text{ は積分定数})$$

$$x(0) = 0 \text{ であるから, これを上式に代入すると } C_2 = -\frac{1}{a \sin b}$$

$$\text{よって } x(t) = at \cos b + \frac{\cos(at \sin b)}{a \sin b} - \frac{1}{a \sin b}$$

(3) $t = T_1$ で原点 O に到達するとき, (1), (2) の結果から

$$aT_1 \sin b - \pi = 0, \quad aT_1 \cos b - \frac{\cos(aT_1 \sin b - \pi)}{a \sin b} - \frac{1}{a \sin b} = 0$$

上の第1式から, $T_1 = \frac{\pi}{a \sin b} \cdots \textcircled{1}$. これを第2式に代入すると

$$\frac{\pi \cos b}{\sin b} - \frac{2}{a \sin b} = 0 \quad \text{よって} \quad a = \frac{2}{\pi \cos b}$$

(4) $y(t)$ の符号に関係なく, $\frac{dy}{dt} > 0$ であるから, $A(0, -\pi)$ を出発した P が x 軸を通過し, その後の x 軸方向の速度ベクトルが $\frac{dx}{dt} = 0$ であるから, y 軸と平行な向きに等速度 $\vec{v} = \left(0, \frac{1}{2\pi b}\right)$ で運動し, 点 $B(0, \pi)$ に到達する. すなわち, $t = T_1$ で P は原点 O を通過し, その後, P は y 軸上を等速度で点 B まで運動する. OB 間の移動に要する時間を T_2 とすると

$$\frac{1}{2\pi b} \cdot T_2 = \pi \quad \text{ゆえに} \quad T_2 = 2\pi^2 b$$

また, (3) の結果を $\textcircled{1}$ に代入すると

$$T_1 = \frac{\pi \cos b}{2} \cdot \frac{\pi}{\sin b} = \frac{\pi^2}{2 \tan b}$$

$$\text{よって} \quad T = T_1 + T_2 = \frac{\pi^2}{2 \tan b} + 2\pi^2 b = \pi^2 \left(\frac{1}{2 \tan b} + 2b \right)$$

$$f(b) = \frac{1}{2 \tan b} + 2b \quad \text{とおくと} \quad \left(0 < b < \frac{\pi}{2}\right)$$

$$f'(b) = -\frac{1}{2 \sin^2 b} + 2 = \frac{4 \sin^2 b - 1}{2 \sin^2 b} = \frac{(2 \sin b + 1)(2 \sin b - 1)}{2 \sin^2 b}$$

b	(0)	$\cdots$	$\frac{\pi}{6}$	$\cdots$	$\left(\frac{\pi}{2}\right)$
$f'(b)$		$-$	0	$+$	
$f(b)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

よって, T は $b = \frac{\pi}{6}$ のとき, 最小値 $\pi^2 f\left(\frac{\pi}{6}\right) = \pi^2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\pi}{3}\right)$ をとる.



$$\begin{aligned} \text{[3]} \quad (1) \quad z_2 - z_1 &= \frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2}i - (3\sqrt{3} - 3i) = -\frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{9}{2}i \\ &= 3\sqrt{3} \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = 3\sqrt{3} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_3 - z_2 &= 3i - \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2}i \right) = -\frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2}i \\ &= 3 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) = 3 \left(\cos \frac{5\pi}{6} + i \sin \frac{5\pi}{6} \right) \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad \frac{z_3 - z_2}{z_2 - z_1} = \frac{3 \left(\cos \frac{5\pi}{6} + i \sin \frac{5\pi}{6} \right)}{3\sqrt{3} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right)$$

$$\text{よって} \quad \theta = \arg \left(\frac{z_3 - z_2}{z_2 - z_1} \right) = \frac{\pi}{6}$$

$$(2) \quad \text{与えられた規則により} \quad z_2 = \alpha z_1 + \beta, \quad z_3 = \alpha z_2 + \beta$$

$$z_1 \neq z_2 \text{ に注意してこれを解くと} \quad \alpha = \frac{z_3 - z_2}{z_2 - z_1}, \quad \beta = \frac{z_2^2 - z_1 z_3}{z_2 - z_1}$$

$$\begin{aligned} z_2^2 - z_1 z_3 &= \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{3}{2}i \right)^2 - (3\sqrt{3} - 3i) \cdot 3i \\ &= -\frac{9}{2} - \frac{9\sqrt{3}}{2}i = 9 \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = 9 \left(\cos \frac{4\pi}{3} + i \sin \frac{4\pi}{3} \right), \\ \frac{z_2^2 - z_1 z_3}{z_2 - z_1} &= \frac{9 \left(\cos \frac{4\pi}{3} + i \sin \frac{4\pi}{3} \right)}{3\sqrt{3} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right)} = \sqrt{3} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

上の諸式および (1) の結果から

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right), \quad |\alpha| = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \arg \alpha = \frac{\pi}{6}, \\ \beta &= \sqrt{3} \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right), \quad |\beta| = \sqrt{3}, \quad \arg \beta = \frac{2\pi}{3} \end{aligned}$$

(3) $\gamma = \alpha\gamma + \beta \cdots$ ① とおくと, (規則) と ① との辺々の差をとると, 関係式

$$z_n - \gamma = \alpha(z_{n-1} - \gamma) \quad \cdots (*)$$

が得られるから, ① を満たす γ を求めればよい.

$$\gamma = \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}i \text{ より}$$

$$\begin{aligned} 1 - \alpha &= 1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}}i \right) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}}i \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ \cos \left(-\frac{\pi}{6} \right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{6} \right) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \gamma &= \frac{\beta}{1 - \alpha} = \frac{\sqrt{3} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right)}{\frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ \cos \left(-\frac{\pi}{6} \right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{6} \right) \right\}} \\ &= 3 \left(\cos \frac{5\pi}{6} + i \sin \frac{5\pi}{6} \right) \\ &= 3 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) \end{aligned}$$

(4) (*) より, $\{z_n - \gamma\}$ は初項 $z_1 - \gamma$, 公比 α の等比数列であるから

$$z_n - \gamma = \alpha^{n-1}(z_1 - \gamma) \quad \text{よって} \quad z_n = \gamma + \alpha^{n-1}(z_1 - \gamma)$$

(5) $w = \cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6}$ とおくと, (2), (3) の結果から

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}w, \quad \beta = \sqrt{3}w^4, \quad \gamma = 3w^5$$

(4) の結果から

$$\begin{aligned} z_5 &= \gamma + \alpha^4(z_1 - \gamma) = 3w^5 + \frac{1}{9}w^4(z_1 - 3w^5) \\ &= \frac{1}{9}w^4(z_1 + 27w - 3w^5) \end{aligned}$$

ここで

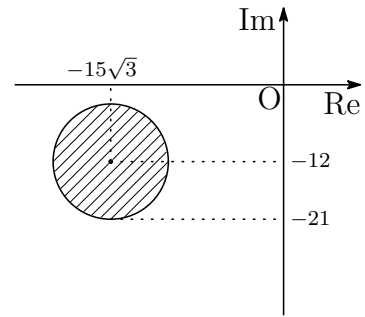
$$27w - 3w^5 = 27 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) - 3 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) = 15\sqrt{3} + 12i$$

$|z_5| < 1$ より

$$\frac{1}{9}|w^4||z_1 + 27w - 3w^5| < 1$$

$$\text{ゆえに } |z_1 + 15\sqrt{3} + 12i| < 9$$

よって, 点 z_1 は, $-15\sqrt{3} - 12i$ を中心とする半径 9 の円の内部にある. ただし, 境界線は含まない.



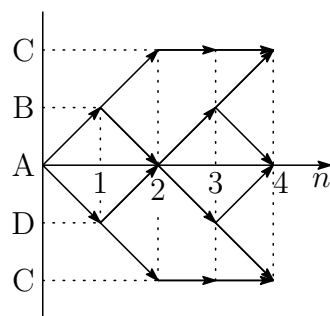
■

- 4 (1) 時刻 $n = 4$ において、点 P は頂点 A または C にある． $n = 4$ で点 P が頂点 A にある確率は

$$\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

求める確率は、この余事象の確率であるから

$$1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$



- (2) 点 Q が時刻 n で、頂点 B, C にある確率をそれぞれ b_n, c_n とすると、点 Q の移動規則により、次の確率漸化式が成立する．

$$b_0 = 0, \quad c_0 = 1, \quad b_{n+1} = \frac{1}{3}b_n + \frac{1}{3}c_n, \quad c_{n+1} = \frac{1}{3}c_n$$

数列 $\{c_n\}$ は初項 1, 公比 $\frac{1}{3}$ の等比数列であるから $c_n = \frac{1}{3^n}$

これから $b_{n+1} = \frac{1}{3}b_n + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3^n}$ したがって $3^{n+1}b_{n+1} - 3^n b_n = 1$

$$n \geq 1 \text{ のとき } \sum_{k=0}^{n-1} (3^{k+1}b_{k+1} - 3^k b_k) = n \quad \text{ゆえに} \quad b_n = \frac{n}{3^n}$$

$n = 0$ のときも成立するから $b_n = \frac{n}{3^n}$

- (3) 時刻 n において、点 Q が頂点 D にある確率は、B と D の対称性により

$$b_n$$

時刻 n ($n \geq 1$) において、はじめて点 Q が頂点 A にある確率は、点 Q の移動規則により

$$b_{n-1} \times \frac{1}{3} \times 2 = \frac{2(n-1)}{3^n}$$

$n = 0$ のときは、その確率は 0 であるから、求める確率は

$$n = 0 \text{ のとき } 0, \quad n \geq 1 \text{ のとき } \frac{2(n-1)}{3^n}$$

- (4) 時刻 $n = 4$ までに、同時刻に点 P と点 Q の位置が B であるのは、1 秒後と 3 秒後である。2 点 P, Q の位置が 1 秒後, 3 秒後に B である事象を、それぞれ X, Y とすると、そのときの確率について

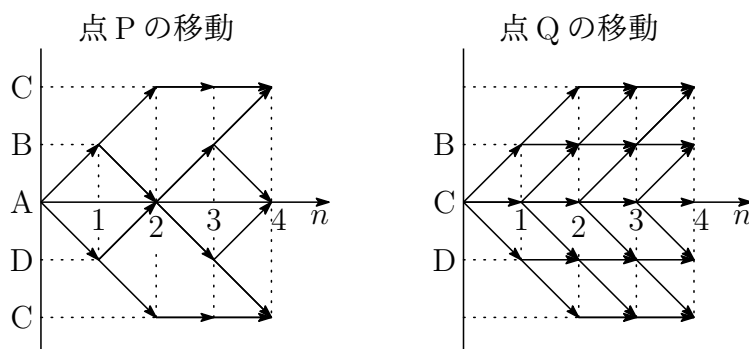
$$P(X) = \frac{1}{2}b_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$$

$$P(Y) = \frac{1}{4}b_3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{9} = \frac{1}{36}$$

$$P(X \cap Y) = \left(\frac{1}{2}\right)^3 \left(\frac{1}{3}\right)^3 = \frac{1}{216}$$

よって $P(X \cup Y) = P(X) + P(Y) - P(X \cap B)$

$$= \frac{1}{6} + \frac{1}{36} - \frac{1}{216} = \frac{41}{216}$$



- (5) はじめて点 P の位置が頂点 C となるのは、2 秒後と 4 秒後であるが、2 秒後よりも前に点 Q の位置が頂点 A となることはない。4 秒後にはじめて点 P の位置が頂点 C にある確率は

$$\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{4}$$

(3) で求めた確率を

$$q_n = \frac{2(n-1)}{3^n} \quad (n \geq 1)$$

とおく。4 秒後に点 P の位置が頂点 C にある事象を S 、はじめて点 P の位置が頂点 C となった時刻より前に点 Q の位置が頂点 A となる事象を T とすると、(1) の結果および上式における $n = 2, 3$ の場合から

$$P(S) = \frac{3}{4}, \quad P(S \cap T) = \frac{1}{4}(q_2 + q_3) = \frac{1}{4} \left(\frac{2}{9} + \frac{4}{27} \right) = \frac{1}{4} \cdot \frac{10}{27}$$

よって、求める確率は $P_S(T) = \frac{P(S \cap T)}{P(S)} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \frac{10}{27}}{\frac{3}{4}} = \frac{10}{81}$ ■

2.7 2021 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) [1] [2] [3] [4]

[1] 関数 $f(x) = x + \sqrt{4 - x^2}$, $g(x) = |x - \sqrt{4 - x^2}|$ について, 次に答えよ.

- (1) 方程式 $x = \sqrt{4 - x^2}$ を解け.
- (2) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ.
- (3) 関数 $g(x)$ の極値を求めよ.
- (4) 曲線 $y = f(x)$ と曲線 $y = g(x)$ で囲まれた図形を D とおく. 図形 D の面積 S を求めよ.
- (5) (4) の図形 D を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を求めよ.

[2] 正の定数 a, b は $a < b$ をみたしている. 関数 $f(x)$ を

$$f(x) = \frac{\log(a^x + b^x) - \log(2)}{x}$$

とする. 次に答えよ. ただし, 対数は自然対数を表し, e は自然対数の底とする.

- (1) $e^{f(1)}$ を求めよ. また, $e^{f(-1)}$ を求めよ.
- (2) 関数 $g(x) = \log(a^x + b^x)$ について, $g(0)$ および $g'(0)$ を求めよ.
- (3) 極限值 $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ および $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$ を求めよ.
- (4) 関数 $h(x) = x \log(x)$ について, $h''(x)$ を求めよ. また, $x \neq 0$ のとき, 不等式 $f'(x) > 0$ を示せ. ただし, 以下の命題は証明せずに用いてよい.

命題 P: 正の実数 c, d は $c \neq d$ をみたしている. $x > 0$ のとき $k''(x) > 0$ をみたす関数 $k(x)$ について, 不等式

$$k\left(\frac{c+d}{2}\right) < \frac{k(c) + k(d)}{2}$$

が成立する.

- (5) $x_1 < 0 < x_2$ のとき, $f(x_1) < f(x_2)$ を示せ. また, 不等式

$$\frac{2ab}{a+b} < \frac{a+b}{2}$$

を証明せよ.

3 ^{ひし}菱形 ABCD を底面とする四角錐^{すい}O-ABCD を考える. 菱形 ABCD の一辺の長さを 3 とし, $OA = OC = 5$, $OB = OD$ とする. $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD} = 1$ のとき, 次に答えよ.

- (1) 菱形 ABCD の対角線の長さ AC, BD を求めよ.
- (2) 内積 $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}$ を求めよ.
- (3) 三角形 OAB の面積 S を求めよ.
- (4) 四角錐 O-ABCD の体積 V を求めよ.
- (5) 球 K が四角錐 O-ABCD の 5 つの面に接している. 球 K の半径 r を求めよ.

4 自然数 x, y に対して, 自然数 $x + y + xy$ を $x \circ y$ と表す. 次に答えよ.

- (1) $x \circ y = y \circ x$ および $(x \circ y) \circ z = x \circ (y \circ z)$ を示せ.

以下では, $(x \circ y) \circ z$ を $x \circ y \circ z$ と表す.

- (2) $y > z$ のとき, $x \circ y > x \circ z$ を示せ.
- (3) 1 から 3 までの数字が 1 つずつ記入された 3 枚のカードから 1 枚を抜き出し, 数字を調べてからもとに戻すことを 3 回繰り返す. 1 回目, 2 回目, 3 回目に調べた数字をそれぞれ a, b, c とする.
 - (a) $a \circ b \circ c \geq 1 \circ 3 \circ 3$ かつ $a \leq b \leq c$ をみたす (a, b, c) の組をすべて求めよ.
 - (b) $a \circ b \circ c \geq 1 \circ 3 \circ 3$ となる事象を A とするとき, 確率 $P(A)$ を求めよ.
- (4) 1 から 6 までの数字が 1 つずつ記入された 6 枚のカードから 1 枚抜き出し, 数字を調べてからもとに戻すことを 3 回繰り返す. 1 回目, 2 回目, 3 回目に調べた数字をそれぞれ a, b, c とする. $a \circ b \circ c \leq 1 \circ 3 \circ 4$ となる事象を E , $a \circ b \circ c \leq 1 \circ 2 \circ 2$ となる事象を F とする. 事象 E が起こったときの, 事象 F の起こる条件付き確率 $P_E(F)$ を求めよ.

解答例

- 1 (1) $x = \sqrt{4-x^2}$ の両辺を平方すると

$$x^2 = 4 - x^2 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 = 2 \quad \text{これを解いて} \quad x = \pm\sqrt{2}$$

このとき、原方程式を満たす解は $x = \sqrt{2}$

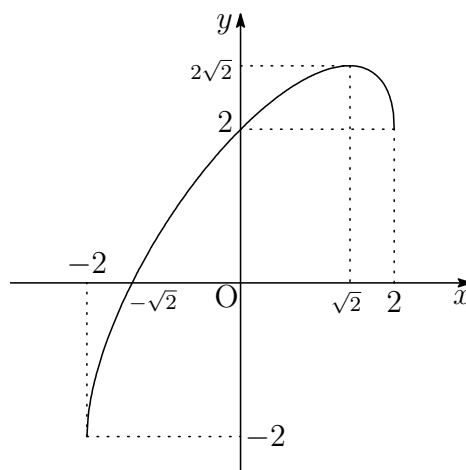
- (2) $f(x) = x + \sqrt{4-x^2}$ の定義域は

$$4 - x^2 \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad -2 \leq x \leq 2$$

$$f'(x) = 1 - \frac{x}{\sqrt{4-x^2}} = \frac{\sqrt{4-x^2} - x}{\sqrt{4-x^2}}$$

x	-2	...	$\sqrt{2}$	...	2
$f'(x)$		+	0	-	
$f(x)$	-2	$\nearrow$	$2\sqrt{2}$	$\searrow$	2

よって 極大値 $f(\sqrt{2}) = 2\sqrt{2}$



- (3) $h(x) = x - \sqrt{4-x^2}$ とおくと $(-2 \leq x \leq 2)$

$$h'(x) = 1 + \frac{x}{\sqrt{4-x^2}} = \frac{\sqrt{4-x^2} + x}{\sqrt{4-x^2}}$$

x	-2	...	$-\sqrt{2}$	...	2
$h'(x)$		-	0	+	
$h(x)$	-2	$\searrow$	$-2\sqrt{2}$	$\nearrow$	2

$h(x) = 0$ とすると、(1) の結果から

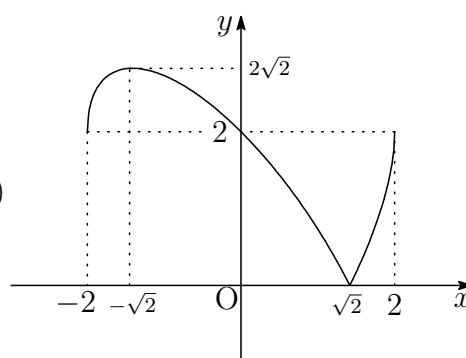
$$x = \sqrt{2}$$

したがって

$$(*) \quad g(x) = \begin{cases} -h(x) & (-2 \leq x \leq \sqrt{2}) \\ h(x) & (\sqrt{2} \leq x \leq 2) \end{cases}$$

よって 極大値 $g(-\sqrt{2}) = 2\sqrt{2}$

極小値 $g(\sqrt{2}) = 0$



補足 x を $-\sqrt{2}$ の近傍 ($-\sqrt{2}$ の局所的な前後の値) とすると、 $g(x) \leq g(-\sqrt{2})$ であるから、 $g(-\sqrt{2})$ は極大値. x を $\sqrt{2}$ の近傍とすると、 $g(x) \geq g(\sqrt{2})$ であるから、 $g(\sqrt{2})$ は極小値. なお、 $g(-2)$ 、 $g(2)$ はその近傍 (局所的な前後の値) が取れないから、極値ではない.

- (4) (2), (3) の結果から, S は右の図の斜線部分の面積であるから

$$S = \int_0^2 \{f(x) - g(x)\} dx$$

- (i) $0 \leq x \leq \sqrt{2}$ のとき

$$\begin{aligned} f(x) - g(x) &= f(x) + h(x) \\ &= 2x \end{aligned}$$

- (ii) $\sqrt{2} \leq x \leq 2$ のとき

$$\begin{aligned} f(x) - g(x) &= f(x) - h(x) \\ &= 2\sqrt{4 - x^2} \end{aligned}$$

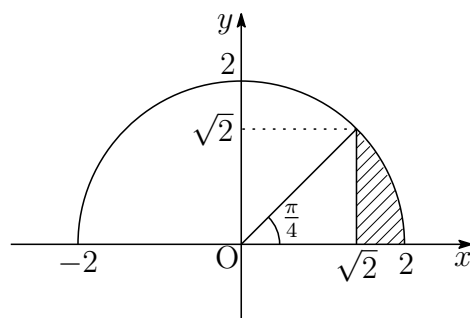
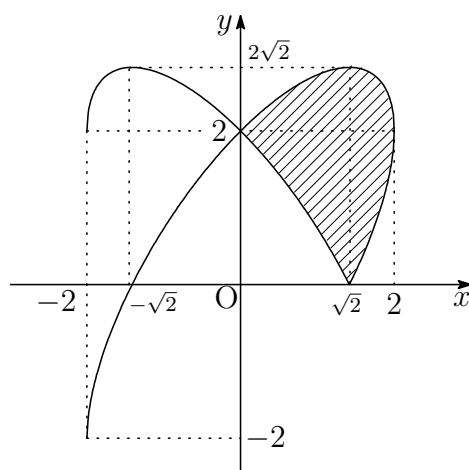
したがって, 求める面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\sqrt{2}} 2x dx + \int_{\sqrt{2}}^2 2\sqrt{4 - x^2} dx \\ &= \left[x^2 \right]_0^{\sqrt{2}} + 2 \int_{\sqrt{2}}^2 \sqrt{4 - x^2} dx \end{aligned}$$

ここで, 右の図の斜線部分の面積を S_1 とすると

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{\sqrt{2}}^2 \sqrt{4 - x^2} dx \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{2} \sqrt{2} = \frac{\pi}{2} - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって } S &= 2 + 2S_1 = 2 + 2\left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \\ &= \pi \end{aligned}$$



(5) $g(x)$ は (*) で示した $h(x)$ を用いて, 次のようになる.

(i) $0 \leq x \leq \sqrt{2}$ のとき

$$f(x) + g(x) = f(x) - h(x)$$

$$f(x) - g(x) = f(x) + h(x)$$

(ii) $\sqrt{2} \leq x \leq 2$ のとき

$$f(x) + g(x) = f(x) + h(x)$$

$$f(x) - g(x) = f(x) - h(x)$$

(i), (ii) より, $0 \leq x \leq 2$ において

$$\begin{aligned} f(x)^2 - g(x)^2 &= \{f(x) + g(x)\}\{f(x) - g(x)\} \\ &= \{f(x) + h(x)\}\{f(x) - h(x)\} \end{aligned}$$

$f(x) = x + \sqrt{4 - x^2}$, $h(x) = x - \sqrt{4 - x^2}$ であるから

$$f(x) + h(x) = 2x, \quad f(x) - h(x) = 2\sqrt{4 - x^2}$$

ゆえに $\{f(x) + h(x)\}\{f(x) - h(x)\} = 2x \cdot 2\sqrt{4 - x^2} = 4x\sqrt{4 - x^2}$

したがって, 求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^2 \{f(x)^2 - g(x)^2\} dx \\ &= \int_0^2 4x\sqrt{4 - x^2} dx = -\frac{4}{3} \left[(4 - x^2)^{\frac{3}{2}} \right]_0^2 = \frac{32}{3} \end{aligned}$$

よって $V = \frac{32}{3}\pi$ ■

2 (1) $f(x) = \frac{\log(a^x + b^x) - \log(2)}{x}$ より

$$f(1) = \log \frac{a+b}{2}, \quad f(-1) = \log \frac{2}{a^{-1} + b^{-1}} = \log \frac{2ab}{a+b}$$

$$\text{よって } e^{f(1)} = \frac{a+b}{2}, \quad e^{f(-1)} = \frac{2ab}{a+b}$$

(2) $g(x) = \log(a^x + b^x)$ より $g(0) = \log 2$

$$(*) \quad g'(x) = \frac{a^x \log a + b^x \log b}{a^x + b^x}$$

$$\text{よって } g'(0) = \frac{\log a + \log b}{2}$$

(3) (**) $f(x) = \frac{g(x) - g(0)}{x}$ であるから, (2) の結果から

$$\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{g(x) - g(0)}{x} = g'(0) = \frac{\log a + \log b}{2}$$

$$f(x) = \frac{1}{x} \log(a^x + b^x) - \frac{\log 2}{x} \text{ より } (0 < a < b)$$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) &= \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{x} \log b^x \left\{ 1 + \left(\frac{a}{b} \right)^x \right\} - \frac{\log 2}{x} \right] \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \left[\log b + \frac{1}{x} \log \left\{ 1 + \left(\frac{a}{b} \right)^x \right\} - \frac{\log 2}{x} \right] \\ &= \log b, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) &= \lim_{x \rightarrow -\infty} \left[\frac{1}{x} \log a^x \left\{ 1 + \left(\frac{a}{b} \right)^{-x} \right\} - \frac{\log 2}{x} \right] \\ &= \lim_{x \rightarrow -\infty} \left[\log a + \frac{1}{x} \log \left\{ 1 + \left(\frac{a}{b} \right)^{-x} \right\} - \frac{\log 2}{x} \right] \\ &= \log a \end{aligned}$$

(4) $h(x) = x \log x$ より $h'(x) = \log x + 1$ よって $h''(x) = \frac{1}{x}$
 $x > 0$ のとき, $h''(x) > 0$ が成り立ち, $c > 0, d > 0, c \neq d$ のとき

$$\begin{aligned} h\left(\frac{c+d}{2}\right) &< \frac{h(c) + h(d)}{2} \\ \frac{c+d}{2} \log \frac{c+d}{2} &< \frac{1}{2}(c \log c + d \log d) \\ \frac{c \log c + d \log d}{c+d} &> \log \frac{c+d}{2} \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$f(x) = \frac{g(x) - \log 2}{x} \text{ より } f'(x) = \frac{xg'(x) - \{g(x) - \log 2\}}{x^2}$$

$$xg'(x) = x \cdot \frac{a^x \log a + b^x \log b}{a^x + b^x} = \frac{a^x \log a^x + b^x \log b^x}{a^x + b^x}$$

$$g(x) - \log 2 = \log(a^x + b^x) - \log 2 = \log \frac{a^x + b^x}{2}$$

$c = a^x, d = b^x$ を ① に代入すると

$$\frac{a^x \log a^x + b^x \log b^x}{a^x + b^x} > \log \frac{a^x + b^x}{2}$$

これから $xg'(x) - \{g(x) - \log 2\} > 0$ よって $f'(x) > 0$

補足 $f(x) = \frac{\log(a^x + b^x) - \log 2}{x}$ より, $x \neq 0$ のとき

$$\begin{aligned} f(x) + f(-x) &= \frac{\log(a^x + b^x) - \log 2}{x} + \frac{\log(a^{-x} + b^{-x}) - \log 2}{-x} \\ &= \frac{\log(a^x + b^x) - \log(a^{-x} + b^{-x})}{x} \\ &= \frac{\log(a^x + b^x) - \log\{a^{-x}b^{-x}(a^x + b^x)\}}{x} = \log ab \end{aligned}$$

$f(x) + f(-x) = \log ab$ の両辺を x で微分すると ($x \neq 0$)

$$f'(x) - f'(-x) = 0 \quad \text{すなわち} \quad f'(x) = f'(-x)$$

$f'(x)$ は偶関数である.

解説 $k''(x) > 0$ を満たす関数 $k(x)$ について, $b > 0$ とすると

$$\begin{aligned} k(a+b) - k(a) &= \int_a^{a+b} k'(x) dx = - \int_a^{a+b} (a+b-x)' k'(x) dx \\ &= - \left[(a+b-x)k'(x) \right]_a^{a+b} + \int_a^{a+b} (a+b-x)k''(x) dx \\ &= bk'(a) + \int_a^{a+b} (a+b-x)k''(x) dx > bk'(a) \\ k(a-b) - k(a) &= -bk'(a) + \int_a^{a-b} (a-b-x)k''(x) dx \\ &= -bk'(a) + \int_{a-b}^a (x-a+b)k''(x) dx > -bk'(a) \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad k(a+b) + k(a-b) > 2k(a) \quad \text{よって} \quad k\left(\frac{c+d}{2}\right) < \frac{k(c) + k(d)}{2}$$

別解 (*) を微分すると

$$\begin{aligned} g''(x) &= \frac{a^x(\log a)^2 + b^x(\log b)^2}{a^x + b^x} - \frac{(a^x \log a + b^x \log b)^2}{(a^x + b^x)^2} \\ &= \frac{(a^x + b^x)\{a^x(\log a)^2 + b^x(\log b)^2\} - (a^x \log a + b^x \log b)^2}{(a^x + b^x)^2} \\ &= \frac{a^x b^x (\log b - \log a)^2}{(a^x + b^x)^2} > 0 \end{aligned}$$

(**) を微分すると

$$f'(x) = \frac{xg'(x) - g(x) + g(0)}{x^2}$$

ここで, $\varphi(x) = xg'(x) - g(x) + g(0)$ とおくと $\varphi(0) = 0$

$$\varphi'(x) = xg''(x)$$

$g''(x) > 0$ であるから, $\varphi(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	0	$\cdots$
$\varphi'(x)$	$-$	0	$+$
$\varphi(x)$	$\searrow$	0	$\nearrow$

$f'(x) = \frac{\varphi(x)}{x^2}$ および $x \neq 0$ のとき $\varphi(x) > 0$ であるから

$$f'(x) > 0$$

(5) (3),(4) の結果から, $x_1 < 0 < x_2$ について

$$f(x_1) < \lim_{x \rightarrow 0} f(x) < f(x_2) \quad \text{よって} \quad f(x_1) < f(x_2)$$

このとき, $x_1 = -1$, $x_2 = 1$ とおくと

$$f(-1) < f(1) \quad \text{ゆえに} \quad e^{f(-1)} < e^{f(1)}$$

(1) の結果から
$$\frac{2ab}{a+b} < \frac{a+b}{2}$$

補足 $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \log \sqrt{ab}$ より, $f(0) = \log \sqrt{ab}$ によって, $f(0)$ を定義すれば,
(4) より, $f(x)$ は $-\infty < x < \infty$ において, 単調増加な連続関数になり,

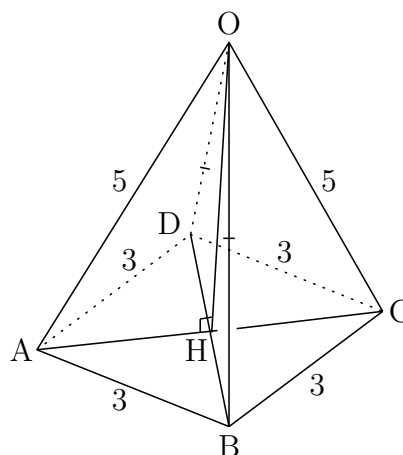
$$x_1 < 0 < x_2 \quad \text{のとき} \quad f(x_1) < f(x_2)$$

■

3 (1) $|\vec{AB}| = |\vec{AD}| = 3$, $\vec{AB} \cdot \vec{AD} = 1$ より

$$\begin{aligned} |\vec{AC}|^2 &= |\vec{AB} + \vec{AD}|^2 \\ &= |\vec{AB}|^2 + 2\vec{AB} \cdot \vec{AD} + |\vec{AD}|^2 \\ &= 3^2 + 2 \cdot 1 + 3^2 = 20 \\ |\vec{BD}|^2 &= |\vec{AD} - \vec{AB}|^2 \\ &= |\vec{AD}|^2 - 2\vec{AB} \cdot \vec{AD} + |\vec{AB}|^2 \\ &= 3^2 - 2 \cdot 1 + 3^2 = 16 \end{aligned}$$

よって $AC = 2\sqrt{5}$, $BD = 4$



(2) 対角線 AC, BD の交点を H とすると

$$AH = \frac{1}{2}AC = \sqrt{5}, \quad BH = \frac{1}{2}BD = 2$$

$$OA^2 = AH^2 + OH^2, \quad OB^2 = BH^2 + OH^2 \text{ より}$$

$$5^2 = (\sqrt{5})^2 + OH^2, \quad OB^2 = 2^2 + OH^2$$

$$\text{これを解いて } OH = 2\sqrt{5}, \quad OB = 2\sqrt{6}$$

$$\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA} \text{ より}$$

$$|\overrightarrow{AB}|^2 = |\overrightarrow{OB}|^2 - 2\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} + |\overrightarrow{OA}|^2$$

$$3^2 = (2\sqrt{6})^2 - 2\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} + 5^2$$

$$\text{よって } \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = 20$$

$$(3) S = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{OA}|^2 |\overrightarrow{OB}|^2 - (\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{25 \cdot 24 - 20^2} = 5\sqrt{2}$$

別解 $\triangle OAB$ に余弦定理を適用すると

$$\cos \angle OAB = \frac{OA^2 + AB^2 - OB^2}{2OA \cdot AB} = \frac{25 + 9 - 24}{2 \cdot 5 \cdot 3} = \frac{1}{3}$$

$$\sin \angle OAB = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\text{よって } S = \frac{1}{2} \cdot OA \cdot AB \sin \angle OAB = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 3 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} = 5\sqrt{2}$$

(4) 四角錐 O-ABCD の底面積を T とすると

$$T = \frac{1}{2}AC \cdot BD = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{5} \cdot 4 = 4\sqrt{5}$$

$$\text{よって } V = \frac{1}{3}T \cdot OH = \frac{1}{3} \cdot 4\sqrt{5} \cdot 2\sqrt{5} = \frac{40}{3}$$

$$(5) V = \frac{1}{3}(4S + T)r \text{ より } \frac{40}{3} = \frac{1}{3}(4 \cdot 5\sqrt{2} + 4\sqrt{5})r$$

$$\text{これを解いて } r = \frac{2}{9}(5\sqrt{2} - \sqrt{5})$$



4 (1) $x \circ y = x + y + xy$ より $y \circ x = y + x + yx$ よって $x \circ y = y \circ x$

$$\begin{aligned}
 (x \circ y) \circ z &= (x + y + xy) \circ z \\
 &= (x + y + xy) + z + (x + y + xy)z \\
 &= x + y + z + xy + yz + zx + xyz, \\
 x \circ (y \circ z) &= x \circ (y + z + yz) \\
 &= x + (y + z + yz) + x(y + z + yz) \\
 &= x + y + z + xy + yz + zx + xyz
 \end{aligned}$$

$$\text{よって } (x \circ y) \circ z = x \circ (y \circ z)$$

(2) $x \circ y = x + y + xy$, $x \circ z = x + z + xz$ より

$$\begin{aligned}
 x \circ y - x \circ z &= (x + y + xy) - (x + z + xz) \\
 &= (1 + x)(y - z)
 \end{aligned}$$

x, y, z は自然数であるから, $y > z$ のとき

$$x \circ y - x \circ z > 0 \quad \text{すなわち} \quad x \circ y > x \circ z$$

(3) (a) (1) の結果から

$$\begin{aligned}
 a \circ b \circ c &= a + b + c + ab + bc + ca + abc \\
 &= (a + 1)(b + 1)(c + 1) - 1 \\
 1 \circ 3 \circ 3 &= (1 + 1)(3 + 1)(3 + 1) - 1 \\
 &= 32 - 1
 \end{aligned}$$

$$\text{したがって } (a + 1)(b + 1)(c + 1) \geq 32 \quad \cdots (*)$$

$$a \circ b \circ c \geq 1 \circ 3 \circ 3 \text{ かつ } a \leq b \leq c \text{ より } (c + 1)^3 \geq 32$$

上式を満たす自然数 c は $c = 3$

$$c = 3 \text{ を } (*) \text{ に代入することにより } (a + 1)(b + 1) \geq 8$$

これを満たす (a, b) の組は $(a, b) = (2, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 3)$

よって $(a, b, c) = (2, 2, 3), (1, 3, 3), (2, 3, 3), (3, 3, 3)$

(b) 求める確率は, (a) の結果に順序を付けることにより

$$\frac{3 + 3 + 3 + 1}{3^3} = \frac{10}{27}$$

(4) $a \circ b \circ c \leq 1 \circ 3 \circ 4$ より

$$(a+1)(b+1)(c+1) - 1 \leq (1+1)(3+1)(4+1) - 1$$

ゆえに $(a+1)(b+1)(c+1) \leq 2 \cdot 4 \cdot 5$

$a \leq b \leq c$ で上式を満たす (a, b, c) の組は

$$\begin{aligned} (a, b, c) = & (1, 1, 1), (1, 1, 2), (1, 1, 3), (1, 1, 4), (1, 1, 5), (1, 1, 6), \\ & (1, 2, 2), (1, 2, 3), (1, 2, 4), (1, 2, 5), (1, 3, 3), (1, 3, 4), \\ & (2, 2, 2), (2, 2, 3) \end{aligned}$$

$$\text{したがって } P(E) = \frac{1 \times 2 + 3 \times 8 + 6 \times 4}{6^3} = \frac{50}{216}$$

$a \circ b \circ c \leq 1 \circ 2 \circ 2$ より

$$(a+1)(b+1)(c+1) - 1 \leq (1+1)(2+1)(2+1) - 1$$

ゆえに $(a+1)(b+1)(c+1) \leq 2 \cdot 3 \cdot 3$

$a \leq b \leq c$ で上式を満たす (a, b, c) の組は

$$(a, b, c) = (1, 1, 1), (1, 1, 2), (1, 1, 3), (1, 2, 2)$$

$$\text{したがって } P(F) = \frac{1 + 3 + 3 + 3}{6^3} = \frac{10}{216}$$

$F \subset E$ であるから, 求める条件付き確率は

$$P_E(F) = \frac{\frac{10}{216}}{\frac{50}{216}} = \frac{1}{5}$$



2.8 2022 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) 1 2 3 4

1 $p \neq 0$ を定数とし, 関数 $f(x)$, $g(x)$ をそれぞれ

$$f(x) = x^2 - px + 1, \quad g(x) = \frac{1}{p}x$$

とおく. 定数 $\alpha > 1$ に対し $f(\alpha) = 0$ であるとき, 曲線 $C: y = f(x)$ および直線 $l: y = g(x)$ について, 次に答えよ.

- (1) $f\left(\frac{1}{\alpha}\right) = 0$ を示せ.
- (2) 曲線 C と直線 l の交点の座標を p を用いて表せ.
- (3) 曲線 C の点 $(\alpha, f(\alpha))$ における法線を m とする. 法線 m と直線 l の交点の座標を p を用いて表せ.
- (4) (3) の法線 m を $y = h(x)$ と表す. 連立不等式

$$\begin{cases} y \geq f(x) \\ y \leq g(x) \\ y \geq h(x) \end{cases}$$

の表す図形を D とする. 図形 D を直線 $x = \frac{p}{2}$ のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を α を用いて表せ.

2 関数

$$f(x) = \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{x+4}}, \quad g(x) = \frac{x-2}{x}$$

がある. 次に答えよ. ただし, 対数は自然対数とする.

- (1) 極限值 $\lim_{x \rightarrow \infty} \{\log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) - \log \sqrt{x}\}$ を求めよ.
- (2) 2 つの関数 $\sqrt{x(x+4)}$ と $\log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4})$ をそれぞれ微分せよ.
- (3) $x > 0$ のとき, 不等式 $f(x) > g(x)$ を示せ.
- (4) O を原点とする座標平面において, 曲線 $y = g(x)$ と x 軸の交点を P とする. $t > 2$ のとき, 2 曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ と線分 OP および直線 $x = t$ で囲まれた図形の面積を $S(t)$ とする. 極限值 $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t)$ を求めよ.

- 3** Oを原点とする座標空間に一直線上にない3点A, B, Cがある. ベクトル $\overrightarrow{AB}$ の成分表示を (b_1, b_2, b_3) , $\overrightarrow{AC}$ の成分表示を (c_1, c_2, c_3) とする. また, 点Aを始点とし成分表示が $(b_2c_3 - b_3c_2, b_3c_1 - b_1c_3, b_1c_2 - b_2c_1)$ となるベクトルの終点をDとする. 次に答えよ.

- (1) 3点A, B, Cの定める平面上の任意の点をPとする. このとき, 内積 $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{AD}$ の値が0になることを示せ.

以下では, 3点A, B, Cの座標をそれぞれ

$$(-1, 1, 2), \quad (3, -1, 0), \quad (1, 3, -2)$$

とする.

- (2) 三角形ABCの面積を求めよ.
 (3) 正の実数 k に対して $\overrightarrow{AE} = k\overrightarrow{AD}$ をみたす点Eがある. 三角形EBCの面積が $6\sqrt{5}$ であるとき, 点Eの座標を求めよ.
 (4) (3)で求めた点Eに対して, 三角形EBCの重心をGとする. 以下の2つの条件をみたす点Qの座標をすべて求めよ.
 (条件1) $\overrightarrow{GQ}$ は3点E, B, Cの定める平面に垂直である.
 (条件2) 四面体QEBCの体積と四面体EABCの体積が等しい.

- 4** 数列 $\{a_n\}$ に対して, 数列 $\{b_n\}$ を

$$b_n = \frac{a_n + a_{n+1} + a_{n+2}}{3} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. 次に答えよ.

- (1) $a_n = n^2$ の場合を考える. このとき, b_n および $\sum_{k=1}^n b_k$ を n を用いて表せ.
 (2) $a_n = \sin n\theta$ ($0 < \theta < \pi$) の場合を考える. $b_n = 0$ がすべての n について成り立つとき θ を求めよ.
 (3) $a_n = \sqrt{n+1} - \sqrt{n}$ の場合を考える.
 (i) 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b_n}{a_{n+1}}$ を求めよ.
 (ii) b_n と a_{n+1} の大小を比較せよ.
 (4) $a_1 = 1, a_2 = 4$, および $\sum_{k=1}^n a_k = \sum_{k=1}^n b_k$ が成り立つ場合を考える.
 (i) a_{n+1} と a_n の関係を表す等式を求めよ.
 (ii) b_n および $\sum_{k=1}^n b_k$ を n を用いて表せ.

解答例

- 1 (1) $f(x) = x^2 - px + 1$ および $f(\alpha) = 0$ より

$$\begin{aligned} f\left(\frac{1}{\alpha}\right) &= \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 - p \cdot \frac{1}{\alpha} + 1 \\ &= \frac{1}{\alpha^2}(1 - p\alpha + \alpha^2) = \frac{1}{\alpha^2}f(\alpha) = 0 \end{aligned}$$

- (2) $C: y = x^2 - px + 1$, $l: y = \frac{1}{p}x$ から, y を消去すると

$$x^2 - px + 1 = \frac{1}{p}x \quad \text{ゆえに} \quad (x-p)\left(x - \frac{1}{p}\right) = 0$$

l の方程式から $x = p$ のとき $y = 1$, $x = \frac{1}{p}$ のとき $y = \frac{1}{p^2}$

よって, C と l の交点の座標は $(p, 1)$, $\left(\frac{1}{p}, \frac{1}{p^2}\right)$

- (3) $f(x) = x^2 - px + 1$ より $f'(x) = 2x - p$
 $f(\alpha) = 0$, $f'(\alpha) = 2\alpha - p$ であるから, m の方程式は

$$x - \alpha + f'(\alpha)\{y - f(\alpha)\} = 0 \quad \text{すなわち} \quad x - \alpha + (2\alpha - p)y = 0$$

これと l の方程式から y を消去すると

$$x - \alpha + (2\alpha - p) \cdot \frac{1}{p}x = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \alpha(2x - p) = 0$$

$\alpha \neq 0$ より $x = \frac{p}{2}$ これを l の方程式に代入すると $y = \frac{1}{2}$

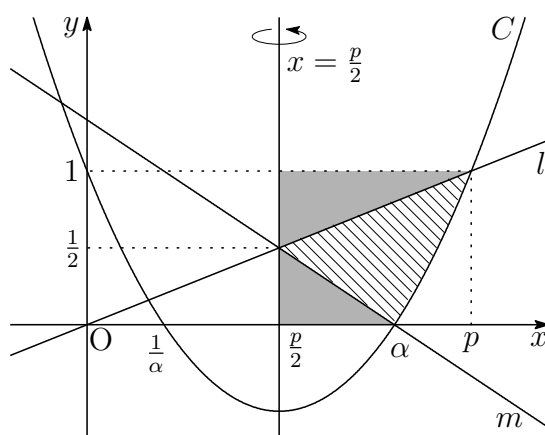
よって, 交点の座標は $\left(\frac{p}{2}, \frac{1}{2}\right)$

(4) $f(x) = 0$ の解が $\alpha, \frac{1}{\alpha}$ であるから ($\alpha > 1$), 解との係数の関係により

$$\alpha + \frac{1}{\alpha} = p \quad \text{ゆえに} \quad 0 < \frac{1}{\alpha} < \frac{p}{2} < \alpha$$

曲線 C の方程式を変形すると $\left(x - \frac{p}{2}\right)^2 = y + \frac{p^2}{4} - 1$

連立不等式の表す領域 D は, 下の図の斜線部分である.



したがって, 求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^1 \left(x - \frac{p}{2}\right)^2 dy - \frac{1}{3}\pi \left(\alpha - \frac{p}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{3}\pi \left(p - \frac{p}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \\ &= \pi \int_0^1 \left(y + \frac{p^2}{4} - 1\right) dy - \frac{\pi}{6} \left(\alpha^2 - \alpha p + \frac{p^2}{2}\right) \\ &= \pi \left[\frac{y^2}{2} + \left(\frac{p^2}{4} - 1\right)y \right]_0^1 - \frac{\pi}{6} \left(\alpha^2 - \alpha p + \frac{p^2}{2}\right) \\ &= \pi \left(\frac{p^2}{6} - \frac{1}{2} - \frac{\alpha^2}{6} + \frac{\alpha p}{6} \right) \\ &= \pi \left\{ \frac{1}{6} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 - \frac{1}{2} - \frac{\alpha^2}{6} + \frac{\alpha}{6} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right) \right\} \\ &= \frac{\pi}{6} \left(\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \end{aligned}$$

補足 2 点 $(\alpha, 0)$, $(p, 1)$ を通る直線を n とする. 3 直線 l , m , n で囲まれた三角形を T とし, T の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2} \left(p - \frac{p}{2} \right) g(\alpha) = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{\alpha}{p} = \frac{\alpha}{4}$$

T の重心を G とし, G の x 座標を x_g とすると

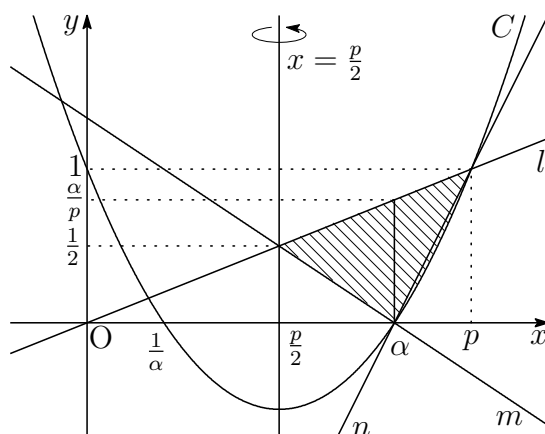
$$x_g = \frac{1}{3} \left(\frac{p}{2} + \alpha + p \right) = \frac{p}{2} + \frac{\alpha}{3}$$

G と直線 $x = \frac{p}{2}$ の距離を d とすると

$$d = x_g - \frac{p}{2} = \left(\frac{p}{2} + \frac{\alpha}{3} \right) - \frac{p}{2} = \frac{\alpha}{3}$$

T を直線 $x = \frac{p}{2}$ のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_1 とすると, パップス・ギュルダンの定理 (Pappus-Guldinus theorem) により ⁵

$$V_1 = 2\pi dS = 2\pi \cdot \frac{\alpha}{3} \cdot \frac{\alpha}{4} = \frac{\pi\alpha^2}{6}$$



直線 n の方程式は $y = \frac{1}{p-\alpha}(x-\alpha)$ すなわち $y = \alpha(x-\alpha)$

C と n で囲まれた図形を直線 $x = \frac{p}{2}$ のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V_2 とすると, バウムクーヘン型求積法により

$$\frac{V_2}{2\pi} = \int_{\alpha}^p \left(x - \frac{p}{2} \right) \left\{ \alpha(x-\alpha) - (x-\alpha) \left(x - \frac{1}{\alpha} \right) \right\} dx$$

⁵http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2012.pdf (p.6 を参照)

$p = \alpha + \frac{1}{\alpha}$ を利用すると

$$\begin{aligned}
 \frac{V_2}{2\pi} &= \int_{\alpha}^p \left(x - \frac{p}{2}\right) (x - \alpha) \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} - x\right) dx \\
 &= \int_{\alpha}^p \left\{ \frac{p}{2} - (p - x) \right\} (x - \alpha) (p - x) dx \\
 &= \frac{p}{2} \int_{\alpha}^p (x - \alpha)(p - x) dx - \int_{\alpha}^p (x - \alpha)(p - x)^2 dx \\
 &= \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{6} (p - \alpha)^3 - \frac{1}{12} (p - \alpha)^4 \\
 &= \frac{1}{12} \{p - (p - \alpha)\} (p - \alpha)^3 = \frac{1}{12} \alpha \left(\frac{1}{\alpha}\right)^3 = \frac{1}{12\alpha^2}
 \end{aligned}$$

したがって $V_2 = \frac{\pi}{6\alpha^2}$ よって $V = V_1 + V_2 = \frac{\pi}{6} \left(\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}\right)$

バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき, $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$

また積分公式⁶

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$$

を利用している. ■

⁶<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010-kouki.pdf> の [1] を参照.

2 (1) $\lim_{x \rightarrow \infty} \{\log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) - \log \sqrt{x}\} = \lim_{x \rightarrow \infty} \log \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{x}} \right) = \log 2$

(2)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \sqrt{x(x+4)} &= \frac{\{x(x+4)\}'}{2\sqrt{x(x+4)}} = \frac{x+2}{\sqrt{x(x+4)}} \\ \frac{d}{dx} \log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) &= \frac{(\sqrt{x} + \sqrt{x+4})'}{\sqrt{x} + \sqrt{x+4}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{x} + \sqrt{x+4}} \left(\frac{1}{2\sqrt{x}} + \frac{1}{2\sqrt{x+4}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{x} + \sqrt{x+4}} \cdot \frac{\sqrt{x+4} + \sqrt{x}}{2\sqrt{x(x+4)}} = \frac{1}{2\sqrt{x(x+4)}} \end{aligned}$$

(3) $f(x) = \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{x+4}}, \quad g(x) = \frac{x-2}{x}$

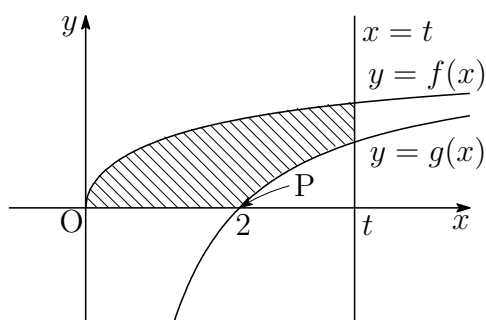
(i) $0 < x \leq 2$ のとき, $f(x) > 0, g(x) \leq 0$ より $f(x) > g(x)$

(ii) $x > 2$ のとき, $f(x) > 0, g(x) > 0$

$$\begin{aligned} f(x)^2 - g(x)^2 &= \frac{x}{x+4} - \frac{(x-2)^2}{x^2} \\ &= \frac{x^3 - (x+4)(x-2)^2}{x^2(x+4)} = \frac{4(3x-4)}{x^2(x+4)} > 0 \end{aligned}$$

(i), (ii) より $x > 0$ のとき $f(x) > g(x)$

(4) $S(t)$ は, 次の図の斜線部分の面積である



これから

$$S(t) = \int_0^2 f(x) dx + \int_2^t \{f(x) - g(x)\} dx \quad (*)$$

(2)の結果から

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{x+4}} = \frac{x}{\sqrt{x(x+4)}} \\ &= \frac{x+2}{\sqrt{x(x+4)}} - 4 \cdot \frac{1}{2\sqrt{x(x+4)}} \\ &= \frac{d}{dx} \left\{ \sqrt{x(x+4)} - 4 \log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) \right\}, \end{aligned}$$

また

$$g(x) = \frac{x-2}{x} = 1 - \frac{2}{x} = \frac{d}{dx}(x - 2 \log x)$$

これから

$$F(x) = \sqrt{x(x+4)} - 4 \log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}), \quad G(x) = x - 2 \log x \quad (**)$$

とおくと

$$\sqrt{x(x+4)} - x = \frac{x(x+4) - x^2}{\sqrt{x(x+4)} + x} = \frac{4x}{\sqrt{x(x+4)} + x} = \frac{4}{\sqrt{1 + \frac{4}{x}} + 1}$$

に注意して

$$\begin{aligned} F(x) - G(x) &= \sqrt{x(x+4)} - 4 \log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) - (x - 2 \log x) \\ &= \sqrt{x(x+4)} - x - 4 \{ \log(\sqrt{x} + \sqrt{x+4}) - \log \sqrt{x} \} \\ &= \frac{4}{\sqrt{1 + \frac{4}{x}} + 1} - 4 \log \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{x}} \right) \quad (***) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (*) \text{ より } \quad S(t) &= \left[F(x) \right]_0^2 + \left[F(x) - G(x) \right]_2^t \\ &= -F(0) + G(2) + \{F(t) - G(t)\} \end{aligned}$$

$$(**) \text{ より } \quad F(0) = -4 \log 2, \quad G(2) = 2 - 2 \log 2$$

$$(***) \text{ より } \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \{F(t) - G(t)\} = 2 - 4 \log 2$$

よって

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = -(-4 \log 2) + (2 - 2 \log 2) + (2 - 4 \log 2) = 4 - 2 \log 2$$



- 3** (1) $\overrightarrow{AB} = (b_1, b_2, b_3)$, $\overrightarrow{AC} = (c_1, c_2, c_3)$,
 $\overrightarrow{AD} = (b_2c_3 - b_3c_2, b_3c_1 - b_1c_3, b_1c_2 - b_2c_1)$ について

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD} &= b_1(b_2c_3 - b_3c_2) + b_2(b_3c_1 - b_1c_3) + b_3(b_1c_2 - b_2c_1) \\ &= b_1b_2c_3 - b_3b_1c_2 + b_2b_3c_1 - b_1b_2c_3 + b_3b_1c_2 - b_2b_3c_1 = 0, \\ \overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{AD} &= c_1(b_2c_3 - b_3c_2) + c_2(b_3c_1 - b_1c_3) + c_3(b_1c_2 - b_2c_1) \\ &= b_2c_3c_1 - b_3c_1c_2 + b_3c_1c_2 - b_1c_2c_3 + b_1c_2c_3 - b_2c_3c_1 = 0\end{aligned}$$

$\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ が 1 次独立であるから, 平面 ABC 上の任意の点 P は

$$\overrightarrow{AP} = \alpha \overrightarrow{AB} + \beta \overrightarrow{AC} \quad (\alpha, \beta \text{ は実数})$$

とおける. したがって

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{AD} &= (\alpha \overrightarrow{AB} + \beta \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{AD} \\ &= \alpha \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD} + \beta \overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{AD} = 0\end{aligned}$$

(2) 等式

$$\begin{aligned}(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2)(c_1^2 + c_2^2 + c_3^2) &= (b_1c_1 + b_2c_2 + b_3c_3)^2 + (b_2c_3 - b_3c_2)^2 \\ &\quad + (b_3c_1 - b_1c_3)^2 + (b_1c_2 - b_2c_1)^2\end{aligned}$$

より, $|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 = (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2 + |\overrightarrow{AD}|^2$ が成立する.

したがって, $\triangle ABC$ の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} = \frac{1}{2} |\overrightarrow{AD}| \quad (*)$$

A(-1, 1, 2), B(3, -1, 0), C(1, 3, -2) より

$$\overrightarrow{AB} = (4, -2, -2), \quad \overrightarrow{AC} = (2, 2, -4)$$

$$\begin{aligned}\text{ゆえに } \overrightarrow{AD} &= (-2 \cdot (-4) - (-2) \cdot 2, (-2) \cdot 2 - 4 \cdot (-4), 4 \cdot 2 - (-2) \cdot 2) \\ &= (12, 12, 12)\end{aligned}$$

$$\text{よって } S = \frac{1}{2} |\overrightarrow{AD}| = \frac{1}{2} \sqrt{12^2 + 12^2 + 12^2} = 6\sqrt{3}$$

(3) (*) と同様に, $\overrightarrow{BC} = (d_1, d_2, d_3)$, $\overrightarrow{BE} = (e_1, e_2, e_3)$ に対して

$$\overrightarrow{BF} = (d_2e_3 - d_3e_2, d_3e_1 - d_1e_3, d_1e_2 - d_2e_1) \quad (**)$$

とすると, $\triangle BCE = \frac{1}{2}|\overrightarrow{BF}|$ である.

$A(-1, 1, 2)$, $B(3, -1, 0)$, $C(1, 3, -2)$, $\overrightarrow{AE} = k\overrightarrow{AD}$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OE} &= \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AE} = \overrightarrow{OA} + k\overrightarrow{AD} \\ &= (-1, 1, 2) + k(12, 12, 12) \\ &= (12k - 1, 12k + 1, 12k + 2) \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

このとき

$$\begin{aligned} \overrightarrow{BC} &= \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OB} = (1, 3, -2) - (3, -1, 0) = (-2, 4, -2), \\ \overrightarrow{BE} &= \overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OB} = (12k - 1, 12k + 1, 12k + 2) - (3, -1, 0) \\ &= (12k - 4, 12k + 2, 12k + 2) \end{aligned}$$

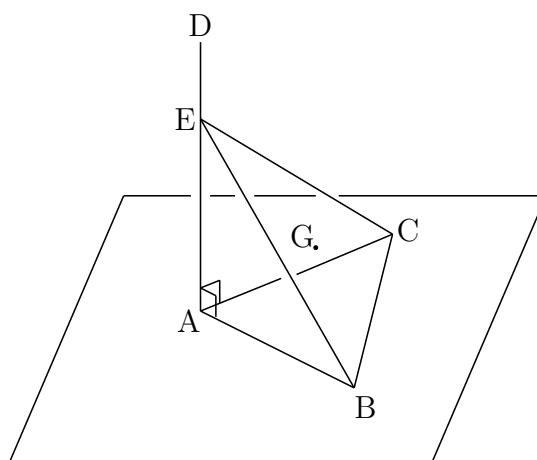
(**) により, $\overrightarrow{BF} = 12(-6k - 1, -1, 6k - 1)$ であるから

$$\begin{aligned} \triangle BCE &= \frac{1}{2} \cdot 12 \sqrt{(-6k - 1)^2 + (-1)^2 + (6k - 1)^2} \\ &= 6\sqrt{72k^2 + 3} \end{aligned}$$

$\triangle EBC = 6\sqrt{5}$ であるから

$$6\sqrt{72k^2 + 3} = 6\sqrt{5} \quad \text{これを解いて } (k > 0) \quad k = \frac{1}{6}$$

① より $\overrightarrow{OE} = (1, 3, 4)$ よって **E(1, 3, 4)**



(4) $A(-1, 1, 2)$, $E(1, 3, 4)$ より

$$\overrightarrow{AE} = (2, 2, 2) \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{AE}| = 2\sqrt{3}$$

$$2 \text{ つの条件から} \quad \frac{1}{3}\triangle ABC|\overrightarrow{AE}| = \frac{1}{3}\triangle BCE|\overrightarrow{GQ}|$$

$$\frac{1}{3} \cdot 6\sqrt{3} \cdot 2\sqrt{3} = \frac{1}{3} \cdot 6\sqrt{5}|\overrightarrow{GQ}| \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{GQ}| = \frac{6}{\sqrt{5}}$$

$$(3) \text{ の結果から} \quad \overrightarrow{BF} = 12(-2, -1, 0)$$

$\overrightarrow{BF}$ と平行な単位ベクトルを $\vec{e}$ とすると

$$\vec{e} = \pm \frac{1}{\sqrt{5}}(2, 1, 0)$$

$\overrightarrow{GQ}$ と $\overrightarrow{BF}$ は平行であるから

$$\overrightarrow{GQ} = |\overrightarrow{GQ}|\vec{e} = \pm \frac{6}{5}(2, 1, 0)$$

また, $E(1, 3, 4)$, $B(3, -1, 0)$, $C(1, 3, -2)$ より, $\triangle EBC$ の重心 G は

$$G\left(\frac{5}{3}, \frac{5}{3}, \frac{2}{3}\right)$$

したがって

$$\overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OG} + \overrightarrow{GQ} = \left(\frac{5}{3}, \frac{5}{3}, \frac{2}{3}\right) \pm \frac{6}{5}(2, 1, 0)$$

よって, 求める点 E の座標は

$$\left(\frac{61}{15}, \frac{43}{15}, \frac{2}{3}\right) \quad \text{または} \quad \left(-\frac{11}{15}, \frac{7}{15}, \frac{2}{3}\right)$$



4 (1) $a_n = n^2$ より

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{a_n + a_{n+1} + a_{n+2}}{3} \\ &= \frac{1}{3}\{n^2 + (n+1)^2 + (n+2)^2\} = \mathbf{n^2 + 2n + \frac{5}{3}} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n b_k &= \sum_{k=1}^n \left(k^2 + 2k + \frac{5}{3} \right) \\ &= \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) + 2 \cdot \frac{1}{2}n(n+1) + \frac{5}{3}n \\ &= \frac{1}{6}n\{(n+1)(2n+1) + 6(n+1) + 10\} \\ &= \frac{1}{6}\mathbf{n(2n^2 + 9n + 17)} \end{aligned}$$

(2) $a_n = \sin n\theta$ ($0 < \theta < \pi$) より

$$\begin{aligned} 3b_n &= a_n + a_{n+1} + a_{n+2} \\ &= \sin n\theta + \sin(n+1)\theta + \sin(n+2)\theta \\ &= \sin(n+1)\theta + \{\sin n\theta + \sin(n+2)\theta\} \\ &= \sin(n+1)\theta + 2\sin(n+1)\theta \cos \theta \\ &= (1 + 2\cos \theta) \sin(n+1)\theta = 0 \end{aligned}$$

$1 + 2\cos \theta \neq 0$ と仮定すると, すべての n について

$$\sin(n+1)\theta = 0$$

となる. 例えば, $n = 1, 2$ のとき

$$\sin 2\theta = 0 \quad \text{かつ} \quad \sin 3\theta = 0$$

すなわち $\theta = \frac{\pi}{2}$ かつ $\theta = \frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}$ これを満たす θ は存在しない.

したがって, $1 + 2\cos \theta = 0$ ($0 < \theta < \pi$) を解いて $\mathbf{\theta = \frac{2\pi}{3}}$

(3) (i) $a_n = \sqrt{n+1} - \sqrt{n}$ より

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{a_n + a_{n+1} + a_{n+2}}{3} \\ &= \frac{1}{3} \{ (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) + (\sqrt{n+2} - \sqrt{n+1}) + (\sqrt{n+3} - \sqrt{n+2}) \} \\ &= \frac{1}{3} (\sqrt{n+3} - \sqrt{n}) = \frac{1}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} \end{aligned}$$

また, $a_{n+1} = \sqrt{n+2} - \sqrt{n+1} = \frac{1}{\sqrt{n+2} + \sqrt{n+1}}$ であるから

$$\frac{b_n}{a_{n+1}} = \frac{\sqrt{n+2} + \sqrt{n+1}}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} = \frac{\sqrt{1 + \frac{2}{n}} + \sqrt{1 + \frac{1}{n}}}{\sqrt{1 + \frac{3}{n}} + 1}$$

$$\text{よって } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{b_n}{a_{n+1}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{1 + \frac{2}{n}} + \sqrt{1 + \frac{1}{n}}}{\sqrt{1 + \frac{3}{n}} + 1} = \frac{1+1}{1+1} = 1$$

(ii) $a_n = \sqrt{n+1} - \sqrt{n} = \frac{1}{\sqrt{n+1} + \sqrt{n}}$ より

$$\frac{1}{\sqrt{n+2} + \sqrt{n+1}} < \frac{1}{\sqrt{n+1} + \sqrt{n}} \quad \text{すなわち} \quad a_{n+1} < a_n$$

$\{a_n\}$ は単調減少列であるから

$$\begin{aligned} \frac{b_n}{a_{n+1}} - 1 &= \frac{\sqrt{n+2} + \sqrt{n+1}}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} - 1 \\ &= \frac{\sqrt{n+2} + \sqrt{n+1} - \sqrt{n+3} - \sqrt{n}}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} \\ &= \frac{(\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) - (\sqrt{n+3} - \sqrt{n+2})}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} \\ &= \frac{a_n - a_{n+2}}{\sqrt{n+3} + \sqrt{n}} > 0 \end{aligned}$$

$a_{n+1} > 0$ であるから $b_n > a_{n+1}$

$$(4) \quad (i) \quad (*) \quad \sum_{k=1}^n a_k = \sum_{k=1}^n b_k$$

(*) に $n = 1$ を代入すると, $a_1 = b_1$ より

$$a_1 = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad \text{整理すると} \quad a_3 + a_2 - 2a_1 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$n \geq 2$ のとき, (*) より

$$\sum_{k=1}^{n-1} a_k = \sum_{k=1}^{n-1} b_k, \quad \sum_{k=1}^{n-1} a_k + a_n = \sum_{k=1}^{n-1} b_k + b_n$$

上の2式から $a_n = b_n$

$$a_n = \frac{a_n + a_{n+1} + a_{n+2}}{3} \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+2} + a_{n+1} - 2a_n = 0 \quad (**)$$

① より, (**) は, 正の整数 n について成立するから

$$a_{n+2} + 2a_{n+1} = a_{n+1} + 2a_n \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} + 2a_n = a_2 + 2a_1$$

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 4 \quad \text{より} \quad a_{n+1} + 2a_n = 6$$

$$(ii) \quad (**) \quad \text{より} \quad a_{n+2} - a_{n+1} = -2(a_{n+1} - a_n)$$

$$a_{n+1} - a_n = (-2)^{n-1}(a_2 - a_1) = 3(-2)^{n-1}$$

これと (i) の結果から, a_{n+1} を消去すると

$$3a_n = 6 - 3(-2)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 2 - (-2)^{n-1}$$

$$a_n = b_n \quad \text{であるから} \quad b_n = 2 - (-2)^{n-1}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n b_k &= \sum_{k=1}^n \{2 - (-2)^{k-1}\} \\ &= 2n - \frac{1 - (-2)^n}{1 - (-2)} \\ &= 2n - \frac{1 - (-2)^n}{3} \end{aligned}$$



2.9 2023 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) 1 2 3 4

- 1 $a \neq 0$ を実数とし、関数 $f(x)$ を $f(x) = -x + 2a\sqrt{x-3}$ とする. 曲線 $C: y = f(x)$ の点 $(7, f(7))$ における接線 l が、点 $A(4, 0)$ と直線 $y = x - 2$ 上にある点 P とを結ぶ線分 AP の垂直二等分線となるときの、次に答えよ.

- (1) 接線 l の方程式を a を用いて表せ.
- (2) a をすべて求めよ.
- (3) 原点を通り接線 l に平行な直線を m とする. 曲線 C と直線 m で囲まれた図形の面積 S を求めよ.

- 2 関数 $f_n(x)$ ($n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) を以下で定める.

$$f_1(x) = x, \quad f_2(x) = \frac{1}{(x-2)(x+1)}, \quad f_3(x) = \cos(\pi x),$$

$$f_4(x) = xe^x, \quad f_5(x) = \frac{1}{\sqrt{4-x^2}}, \quad f_6(x) = \sin(\pi x)$$

次に答えよ.

- (1) $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ について、 $f'_n(0)$ および $\int_0^1 f_n(x) dx$ を求めよ. 以下では、(1) で得られた値が 1 つずつ書かれた 12 枚のカードから 1 枚を抜き出し、値を調べてからもとに戻すことを 3 回繰り返す. 1 回目, 2 回目, 3 回目に調べた値をそれぞれ a, b, c とする.
 - (2) $ab = 0$ となる確率を求めよ.
 - (3) $ab = c$ となる確率を求めよ.

- 3** 四面体 OABC は $OA = OC = 1$, $OB = \sqrt{2}$, $\angle AOB = \angle BOC = \frac{\pi}{4}$ をみたしている. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\angle COA = \theta$ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) として, 次に答えよ.

- (1) 線分 AB の長さおよび内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ を求めよ.
- (2) 内積 $\overrightarrow{BA} \cdot \overrightarrow{BC}$ および三角形 ABC の面積 S を θ を用いて表せ.
- (3) 3 点 A, B, C の定める平面を α とし, α 上の点 H を直線 OH と α が垂直になるように選ぶ. $\overrightarrow{OH}$ を $\overrightarrow{OB}$, $\overrightarrow{BA}$, $\overrightarrow{BC}$ および θ を用いて表せ.
- (4) (3) の点 H に対して, 線分 OH の長さを θ を用いて表せ.
- (5) 四面体 OABC の体積を V とする. V を θ を用いて表せ. また, θ が変化するとき, V の最大値とそのときの θ の値を求めよ.

- 4** 複素数 α について, 実部を $\operatorname{Re}(\alpha)$, 虚部を $\operatorname{Im}(\alpha)$ とおく. 次に答えよ.

- (1) 複素数 z について, 方程式 $\frac{z-1}{z} = z$ を解け.
- (2) 整数 a, b, c, d は $ad - bc = 1$ をみたしている. 等式

$$\operatorname{Im} \left(\frac{az + b}{cz + d} \right) = \frac{\operatorname{Im}(z)}{|cz + d|^2} \quad (cz + d \neq 0)$$

が成り立つことを示せ.

以下では, 複素数 z について,

$$\text{条件 P : } |z| = 1, \quad -\frac{1}{2} < \operatorname{Re}(z) \leq \frac{1}{2}$$

を考える.

- (3) ある整数 m, n について, $|mz + n| = 1$ と条件 P をみたす複素数 z が存在する. このとき, m, n の組をすべて求めよ.
- (4) $ad - bc = 1$, $b < 0$ をみたすある整数 a, b, c, d について, $\frac{az + b}{cz + d} = z$ と条件 P をみたす複素数 z が存在する. このとき, a, b, c, d の組をすべて求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad f(x) = -x + 2a\sqrt{x-3} \text{ より } f'(x) = -1 + \frac{a}{\sqrt{x-3}}$$

$$\text{ゆえに } f(7) = -7 + 4a, \quad f'(7) = -1 + \frac{a}{2}$$

したがって, C 上の点 $(7, f(7))$ における接線の方程式は

$$y - (-7 + 4a) = \left(-1 + \frac{a}{2}\right)(x - 7)$$

$$\text{よって } l: \left(\frac{a}{2} - 1\right)x - y + \frac{a}{2} = 0$$

(2) 点 $A(4, 0)$ を通り, l に垂直な直線は

$$1(x - 4) + \left(\frac{a}{2} - 1\right)y = 0 \quad \text{ゆえに } x + \left(\frac{a}{2} - 1\right)y - 4 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

直線 $\textcircled{1}$ と直線 $y = x - 2 \cdots \textcircled{2}$ の交点が P である.

$\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ から y を消去すると

$$x + \left(\frac{a}{2} - 1\right)(x - 2) - 4 = 0 \quad \text{ゆえに } x = 2 + \frac{4}{a}$$

$$\text{これを } \textcircled{2} \text{ に代入して } y = \frac{4}{a} \quad \text{ゆえに } P\left(2 + \frac{4}{a}, \frac{4}{a}\right)$$

A, P の中点 $\left(3 + \frac{2}{a}, \frac{2}{a}\right)$ は l 上の点であるから

$$3 + \frac{2}{a} + \left(\frac{a}{2} - 1\right) \cdot \frac{2}{a} - 4 = 0 \quad \text{整理すると } a^2 - a - 2 = 0$$

したがって $(a + 1)(a - 2) = 0$ これを解いて $a = -1, 2$

(3) l に平行で原点を通る直線 m の方程式は $y = \left(\frac{a}{2} - 1\right)x$

$g(x) = f(x) - \left(\frac{a}{2} - 1\right)x$ とすると

$$g(x) = -x + 2a\sqrt{x-3} - \left(\frac{a}{2} - 1\right)x = \frac{a}{2}(4\sqrt{x-3} - x)$$

$g(x) = 0$ とすると $4\sqrt{x-3} = x$

$$16(x-3) = x^2 \quad \text{ゆえに} \quad (x-4)(x-12) = 0$$

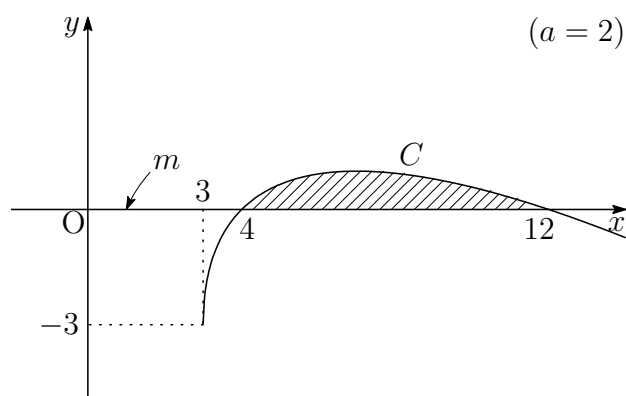
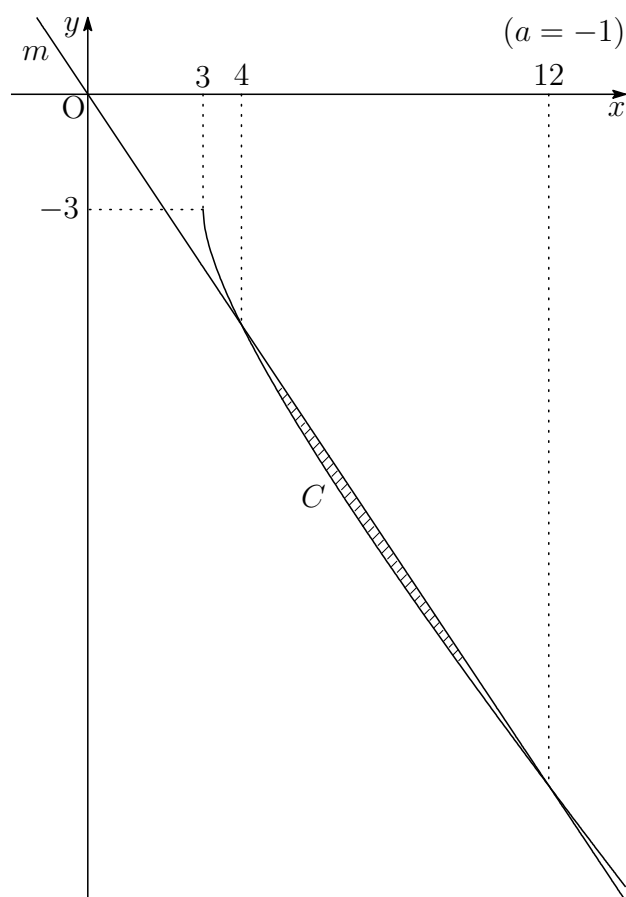
したがって, C と m の交点の x 座標は $x = 4, 12$

$4 \leq x \leq 12$ において $4\sqrt{x-3} - x \geq 0$

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_4^{12} |g(x)| dx = \frac{|a|}{2} \int_4^{12} (4\sqrt{x-3} - x) dx \\ &= \frac{|a|}{2} \left[\frac{8}{3}(x-3)^{\frac{3}{2}} - \frac{x^2}{2} \right]_4^{12} = \frac{8}{3}|a| \end{aligned}$$

よって $a = -1$ のとき $S = \frac{8}{3}$, $a = 2$ のとき $S = \frac{16}{3}$



2 (1) $f_1(x) = x$ より $f'_1(x) = 1$

$$f'_1(0) = 1, \quad \int_0^1 f_1(x) dx = \int_0^1 x dx = \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^1 = \frac{1}{2}$$

$$f_2(x) = \frac{1}{(x-2)(x+1)} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{x-2} - \frac{1}{x+1} \right) \text{ より}$$

$$f'_2(x) = \frac{1}{3} \left\{ -\frac{1}{(x-2)^2} + \frac{1}{(x+1)^2} \right\} \quad \text{ゆえに} \quad f'_2(0) = \frac{1}{3} \left(-\frac{1}{4} + 1 \right) = \frac{1}{4}$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 f_2(x) dx &= \frac{1}{3} \int_0^1 \left(\frac{1}{x-2} - \frac{1}{x+1} \right) dx \\ &= \frac{1}{3} \left[\log \left| \frac{x-2}{x+1} \right| \right]_0^1 = -\frac{2}{3} \log 2 \end{aligned}$$

$$f_3(x) = \cos(\pi x) \text{ より} \quad f'_3(x) = -\pi \sin(\pi x)$$

$$f'_3(0) = 0, \quad \int_0^1 f_3(x) dx = \int_0^1 \cos(\pi x) dx = \frac{1}{\pi} \left[\sin(\pi x) \right]_0^1 = 0$$

$$f_4(x) = xe^x \text{ より} \quad f'_4(x) = (x+1)e^x$$

$$f'_4(0) = 1, \quad \int_0^1 f_4(x) dx = \int_0^1 xe^x dx = \left[(x-1)e^x \right]_0^1 = 1$$

$$f_5(x) = \frac{1}{\sqrt{4-x^2}} \text{ より} \quad f'_5(x) = \frac{x}{(4-x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{ゆえに} \quad f'_5(0) = 0$$

$$x = 2 \sin \theta \text{ とおくと} \quad \frac{dx}{d\theta} = 2 \cos \theta \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 1 \\ \hline \theta & 0 \longrightarrow \frac{\pi}{6} \end{array}$$

$$\int_0^1 f_5(x) dx = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2}} = \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{2 \cos \theta} \cdot (2 \cos \theta) d\theta = \frac{\pi}{6}$$

$$f_6(x) = \sin(\pi x) \text{ より} \quad f'_6(x) = \pi \cos(\pi x)$$

$$f'_6(0) = \pi, \quad \int_0^1 f_6(x) dx = \int_0^1 \sin(\pi x) dx = \frac{1}{\pi} \left[-\cos(\pi x) \right]_0^1 = \frac{2}{\pi}$$

(2) (1) の結果から, 0 でないカードが 9 枚あるから, $ab \neq 0$ となる確率は

$$\left(\frac{9}{12}\right)^2 = \frac{9}{16}$$

$ab = 0$ となる確率は, この余事象の確率であるから

$$1 - \frac{9}{16} = \frac{7}{16}$$

(3) $ab = c = 0$ となる確率は, (1) の結果から

$$\frac{7}{16} \cdot \frac{3}{12} = \frac{7}{64}$$

$ab = c \neq 0$ となる確率は, 次の (i)~(iv) である.

(i) $a = b = 1$ のとき, $a = b = c = 1$ となる確率であるから

$$\left(\frac{3}{12}\right)^3 = \frac{1}{64}$$

(ii) $a = 1, b \neq 1$ のとき, $1 \cdot b = b \neq 0$ となる確率であるから

$$\frac{3}{12} \cdot \left(\frac{1}{12}\right)^2 \times 6 = \frac{1}{96}$$

(iii) $a \neq 1, b = 1$ のとき, $a \cdot 1 = a \neq 0$ となる確率であるから

$$\frac{3}{12} \cdot \left(\frac{1}{12}\right)^2 \times 6 = \frac{1}{96}$$

(iv) $a \neq 1, b \neq 1$ のとき, $ab = c \neq 0$, すなわち, $a = b = \frac{1}{2}, c = \frac{1}{4}$ となる確率は

$$\left(\frac{1}{12}\right)^3 = \frac{1}{1728}$$

以上の結果から, 求める確率は

$$\frac{7}{64} + \frac{1}{64} + \frac{1}{96} + \frac{1}{96} + \frac{1}{1728} = \frac{253}{1728}$$



$$\boxed{3} \quad (1) \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{OA} \cdot \vec{OB} = |\vec{OA}| |\vec{OB}| \cos \angle AOB = 1 \cdot \sqrt{2} \cos \frac{\pi}{4} = 1$$

$$\vec{AB} = \vec{b} - \vec{a} \text{ より}$$

$$|\vec{AB}|^2 = |\vec{b} - \vec{a}|^2 = |\vec{b}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{a}|^2 = (\sqrt{2})^2 - 2 \cdot 1 + 1^2 = 1$$

$$\text{よって } AB = |\vec{AB}| = 1$$

$$\text{補足 } OA = 1, OB = \sqrt{2}, \angle AOB = \frac{\pi}{4} \text{ より } OA = AB = 1, \angle OAB = \frac{\pi}{2}$$

(2) $|\vec{BC}|$ は, (1) と同様に

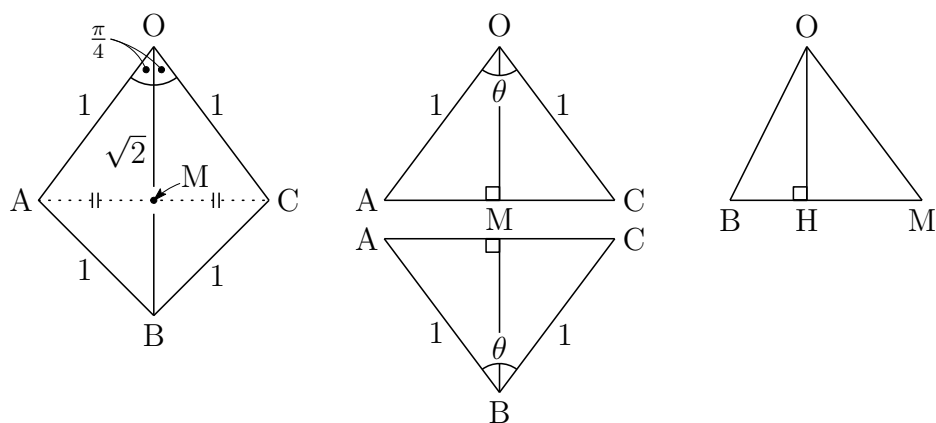
$$\begin{aligned} |\vec{BC}|^2 &= |\vec{OC} - \vec{OB}|^2 = |\vec{OC}|^2 - 2\vec{OB} \cdot \vec{OC} + |\vec{OB}|^2 \\ &= 1^2 - 2|\vec{OB}| |\vec{OC}| \cos \angle BOC + (\sqrt{2})^2 \\ &= 3 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 \cos \frac{\pi}{4} = 1 \end{aligned}$$

$$OA = OC = 1, BA = BC = 1 \text{ より } \triangle OAC \equiv \triangle BAC$$

$\angle ABC = \angle COA = \theta$ であるから

$$\vec{BA} \cdot \vec{BC} = |\vec{BA}| |\vec{BC}| \cos \angle ABC = 1 \cdot 1 \cos \theta = \cos \theta$$

$$S = \frac{1}{2} |\vec{BA}| |\vec{BC}| \sin \angle ABC = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 \sin \theta = \frac{1}{2} \sin \theta$$



(3) MをACの中点とする. 平面 $OBM \perp AC$ であるから, Hは平面 OBM 上の点で, OHはBMに引いた垂線である.

$$\vec{BH} = \frac{(\vec{BO} \cdot \vec{BM})}{|\vec{BM}|^2} \vec{BM} \quad (*)$$

このとき

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{BM}} &= \frac{1}{2}(\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}), \\ |\overrightarrow{\text{BM}}|^2 &= \frac{1}{4}|\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}|^2 = \frac{1}{4}(|\overrightarrow{\text{BA}}|^2 + |\overrightarrow{\text{BC}}|^2 + 2\overrightarrow{\text{BA}} \cdot \overrightarrow{\text{BC}}) \\ &= \frac{1}{4}(1^2 + 1^2 + 2\cos\theta) = \frac{1 + \cos\theta}{2}, \\ \overrightarrow{\text{BO}} \cdot \overrightarrow{\text{BM}} &= \overrightarrow{\text{BO}} \cdot \frac{1}{2}(\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}) = -\vec{b} \cdot \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{c} - 2\vec{b}) \\ &= \frac{1}{2}(-\vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{b} \cdot \vec{c} + 2|\vec{b}|^2) = \frac{1}{2}(-1 - 1 + 2 \cdot 2) = 1\end{aligned}$$

これらを (*) に代入すると $\overrightarrow{\text{BH}} = \frac{\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}}{1 + \cos\theta}$

よって $\overrightarrow{\text{OH}} = \overrightarrow{\text{OB}} + \overrightarrow{\text{BH}} = \overrightarrow{\text{OB}} + \frac{\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}}{1 + \cos\theta}$

(4) $\overrightarrow{\text{OH}} \perp \overrightarrow{\text{BA}}, \overrightarrow{\text{OH}} \perp \overrightarrow{\text{BC}}$ に注意して

$$\begin{aligned}|\overrightarrow{\text{OH}}|^2 &= \overrightarrow{\text{OH}} \cdot \overrightarrow{\text{OH}} = \overrightarrow{\text{OH}} \cdot \left(\overrightarrow{\text{OB}} + \frac{\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}}{1 + \cos\theta} \right) = \overrightarrow{\text{OH}} \cdot \overrightarrow{\text{OB}} \\ &= \left(\overrightarrow{\text{OB}} + \frac{\overrightarrow{\text{BA}} + \overrightarrow{\text{BC}}}{1 + \cos\theta} \right) \cdot \overrightarrow{\text{OB}} = \left(\vec{b} + \frac{\vec{a} + \vec{c} - 2\vec{b}}{1 + \cos\theta} \right) \cdot \vec{b} \\ &= |\vec{b}|^2 + \frac{\vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{b} \cdot \vec{c} - 2|\vec{b}|^2}{1 + \cos\theta} = 2 + \frac{1 + 1 - 2 \cdot 2}{1 + \cos\theta} = \frac{2\cos\theta}{1 + \cos\theta}\end{aligned}$$

よって $\text{OH} = |\overrightarrow{\text{OH}}| = \sqrt{\frac{2\cos\theta}{1 + \cos\theta}}$

(5) (2), (4) の結果から

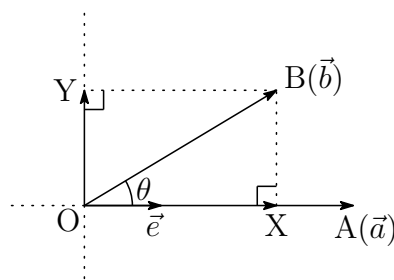
$$\begin{aligned}V &= \frac{1}{3}S|\overrightarrow{\text{OH}}| = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \sin\theta \cdot \sqrt{\frac{2\cos\theta}{1 + \cos\theta}} \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\cos\theta \sin^2\theta}{1 + \cos\theta}} = \frac{1}{6} \sqrt{2\cos\theta(1 - \cos\theta)}\end{aligned}$$

ゆえに $V = \frac{\sqrt{2}}{6} \sqrt{-\cos^2\theta + \cos\theta} = \frac{\sqrt{2}}{6} \sqrt{-\left(\cos\theta - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}}$

よって $\theta = \frac{\pi}{3}$ のとき, 最大値 $\frac{\sqrt{2}}{12}$

補足 3点 O, A, B について, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$ とする. B から直線 OA に垂線 BX を下ろし, B から直線 OA に垂直な直線に垂線 BY を下ろす. このとき, 次の2式が成立する.

$$\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{OX} + \overrightarrow{OY}, \quad \overrightarrow{OX} = \frac{(\vec{a} \cdot \vec{b})}{|\vec{a}|^2} \vec{a}$$



証明 第1式は自明.

$\vec{a}$ と同じ向き単位ベクトルを $\vec{e}$ とすると $\vec{e} = \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|}$

$\vec{b}$ と $\vec{e}$ のなす角を θ とすると ($|\vec{e}| = 1$)

$$\vec{b} \cdot \vec{e} = |\vec{b}| |\vec{e}| \cos \theta = |\overrightarrow{OB}| \cos \theta$$

$\overrightarrow{OX} = (|\overrightarrow{OB}| \cos \theta) \vec{e}$ であるから

$$\overrightarrow{OX} = (\vec{b} \cdot \vec{e}) \vec{e} = \left(\vec{b} \cdot \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|} \right) \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|} = \frac{(\vec{a} \cdot \vec{b})}{|\vec{a}|^2} \vec{a}$$

証終

発展 四面体 OABC において, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とし, 行列 M を $M = (\vec{a} \ \vec{b} \ \vec{c})$ とすると, 四面体 OABC の体積 V は

$$V = \frac{1}{6} |\det M|$$

$\vec{a} \cdot \vec{a} = \vec{c} \cdot \vec{c} = 1$, $\vec{b} \cdot \vec{b} = 2$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = 1$, $\vec{c} \cdot \vec{a} = \cos \theta$ であるから

$${}^t M M = \begin{pmatrix} \vec{a} \cdot \vec{a} & \vec{a} \cdot \vec{b} & \vec{a} \cdot \vec{c} \\ \vec{b} \cdot \vec{a} & \vec{b} \cdot \vec{b} & \vec{b} \cdot \vec{c} \\ \vec{c} \cdot \vec{a} & \vec{c} \cdot \vec{b} & \vec{c} \cdot \vec{c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \cos \theta \\ 1 & 2 & 1 \\ \cos \theta & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$\det M = \det {}^t M$ より, $\det({}^t M M) = \det {}^t M \det M = (\det M)^2$ に注意して

$$(\det M)^2 = 2 \cos \theta (1 - \cos \theta) \quad \text{ゆえに} \quad |\det M| = \sqrt{2 \cos \theta (1 - \cos \theta)}$$

$$\text{よって} \quad V = \frac{1}{6} |\det M| = \frac{1}{6} \sqrt{2 \cos \theta (1 - \cos \theta)} \quad \blacksquare$$

4 (1) $\frac{z-1}{z} = z$ より $z^2 - z + 1 = 0$

$$z \neq 0 \text{ に注意して, これを解くと } z = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

(2) $\frac{az+b}{cz+d} = \frac{(az+b)(c\bar{z}+d)}{|cz+d|^2} = \frac{ac|z|^2 + adz + bc\bar{z} + bd}{|cz+d|^2}$ より

$$\frac{az+b}{cz+d} - \overline{\left(\frac{az+b}{cz+d}\right)} = \frac{(ad-bc)(z-\bar{z})}{|cz+d|^2} = \frac{z-\bar{z}}{|cz+d|^2}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } \operatorname{Im}\left(\frac{az+b}{cz+d}\right) &= \frac{1}{2i} \left\{ \frac{az+b}{cz+d} - \overline{\left(\frac{az+b}{cz+d}\right)} \right\} \\ &= \frac{1}{|cz+d|^2} \cdot \frac{z-\bar{z}}{2i} = \frac{\operatorname{Im}(z)}{|cz+d|^2} \end{aligned}$$

(3) 条件 P を満たすとき, $|\operatorname{Im}(z)| = \sqrt{|z|^2 - \operatorname{Re}(z)^2}$ より

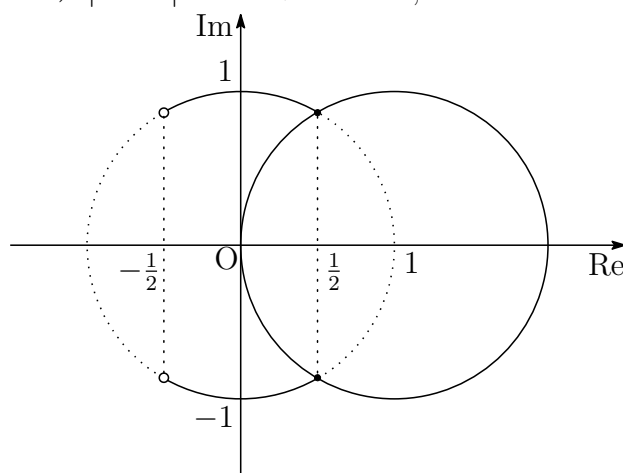
$$|z| = 1, \quad -\frac{1}{2} < \operatorname{Re}(z) \leq \frac{1}{2} \text{ であるから } \frac{\sqrt{3}}{2} \leq |\operatorname{Im}(z)| \leq 1$$

$$|mz+n| = 1 \text{ について } (m, n \text{ は整数})$$

(i) $m = 0$ のとき, $|n| = 1$ ゆえに $n = \pm 1$

(ii) $m = 1$ のとき, $|z - (-n)| = 1$ より $-n = 0, 1$ ゆえに $n = 0, -1$

(iii) $m = -1$ のとき, $|z - n| = 1$ より $n = 0, 1$



(iv) $|m| \geq 2$ のとき $\left|z + \frac{n}{m}\right| = \frac{1}{|m|} \leq \frac{1}{2}$

$$\left|z + \frac{n}{m}\right| \geq \left|\operatorname{Im}\left(z + \frac{n}{m}\right)\right| = |\operatorname{Im}(z)| \geq \frac{\sqrt{3}}{2}$$

このとき, 条件を満たす z は存在しない.

(i)~(iv) から $(m, n) = (0, \pm 1), (\pm 1, 0), (\pm 1, \mp 1)$, (複号同順)

$$(4) \frac{az+b}{cz+d} = z \text{ に (2) を適用すると } \frac{\operatorname{Im}(z)}{|cz+d|^2} = \operatorname{Im}(z)$$

$$\operatorname{Im}(z) \neq 0 \text{ であるから } |cz+d|^2 = 1 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{さらに, } \frac{|az+b|^2}{|cz+d|^2} = |z|^2 \text{ より } |az+b|^2 = 1 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$b < 0 \text{ および (3) の結果から } (a, b) = (0, -1), (1, -1)$$

このとき, $\frac{az+b}{cz+d}$ は実数でないことに注意して, ① および (3) の結果から, 次の (i)~(iv) の場合について確認する.

$$(i) (a, b, c, d) = (0, -1, 1, 0) \text{ のとき } \frac{-1}{z} = z$$

ゆえに $z^2 = -1$ すなわち $z = \pm i$ これは条件 P を満たす.

$$(ii) (a, b, c, d) = (0, -1, -1, 0) \text{ のとき } \frac{-1}{-z} = z$$

ゆえに $z^2 = 1$ すなわち $z = \pm 1$ これは条件 P を満たさない.

$$(iii) (a, b, c, d) = (0, -1, 1, -1) \text{ のとき } \frac{-1}{z-1} = z$$

ゆえに $z^2 - z + 1 = 0$ これは, (1) の結果から, 条件 P を満たす.

$$(iv) (a, b, c, d) = (0, -1, -1, 1) \text{ のとき } \frac{-1}{-z+1} = z$$

$$\text{ゆえに } z^2 - z - 1 = 0 \text{ すなわち } z = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

これは条件 P を満たさない.

$$(v) (a, b, c, d) = (1, -1, 1, 0) \text{ のとき } \frac{z-1}{z} = z$$

ゆえに $z^2 - z + 1 = 0$ これは, (1) の結果から, 条件 P を満たす.

$$(vi) (a, b, c, d) = (1, -1, -1, 0) \text{ のとき } \frac{z-1}{-z} = z$$

$$\text{ゆえに } z^2 + z - 1 = 0 \text{ すなわち } z = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

これは条件 P を満たさない.

$$(vii) (a, b, c, d) = (1, -1, 0, 1) \text{ のとき } \frac{z-1}{1} = z$$

解なしとなり, 条件 P を満たさない.

$$(viii) (a, b, c, d) = (1, -1, 0, -1) \text{ のとき } \frac{z-1}{-1} = z$$

$$z = \frac{1}{2} \text{ となり, 条件 P を満たさない.}$$

(i)~(viii) より, 求める a, b, c, d は, 次の 3 組である.

$$(a, b, c, d) = (0, -1, 1, 0), (0, -1, 1, -1), (1, -1, 1, 0) \quad \blacksquare$$

2.10 2024 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) 1 2 3 4

1 自然数 n は定数とする. 関数

$$f(x) = \frac{\log x}{x^n},$$

$$g(x) = \frac{5}{12}x^4 + \left(\frac{1}{3}e^3 - 2\right)x - \log x + \int_e^x (f(t) + xt^2) dt$$

について, 次に答えよ. ただし, 対数は自然対数を表し, e は自然対数の底とする.

- (1) 関数 $h(x) = 3x^3 - 2 - \frac{1}{x}$ は $x > 0$ で増加することを示せ. また, $x > 0$ の範囲で方程式 $h(x) = 0$ を解け.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ の概形をかけ. ただし, 曲線の凹凸は調べなくてよい.
- (3) $e^{(\pi^n)}$ と $\pi^{(e^n)}$ の大小関係を調べよ. 必要であれば, $e < \pi$ を用いてよい.
- (4) $g(x)$ が最小になるときの x の値を求めよ.
- (5) $g(x)$ の最小値を求めよ.

2 $a > 0$, $b > 0$, $0 < t < 1$ とする. 曲線

$$C: \frac{(x-1)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

は 3 直線

$$l_1: y = x, \quad l_2: y = -x + 2, \quad l_3: y = -t$$

に接しているとし, C と l_1 の接点を P とする. 次に答えよ.

- (1) a , b を t を用いて表せ.
- (2) 点 P の座標を t を用いて表せ.
- (3) l_2 と l_3 の交点を Q とする. 直線 PQ が点 $(1, 0)$ を通るとき, t の値を求めよ.
- (4) 曲線 C の媒介変数表示を $x = 1 + a \cos \theta$, $y = b \sin \theta$ とし, 点 P の座標を $(1 + a \cos \beta, b \sin \beta)$ と表す. t が (3) で求めた値のとき, β ($0 \leq \beta < 2\pi$) を求めよ.
- (5) t は (3) で求めた値とし, 曲線 C の $y \geq 0$ の部分を C_1 とする. 2 直線 l_1 , l_2 と曲線 C_1 で囲まれた図形の面積 S を求めよ.

3 次に答えよ.

- (1) $z = \cos \frac{2\pi}{9} + i \sin \frac{2\pi}{9}$ とする. z^9 と $z^3 + \bar{z}^3$ を求めよ. ただし, i は虚数単位を表し, $\bar{z}$ は z と共役な複素数を表す.
- (2) $k = 1, 2, 3, 4$ に対して, $8 \cos^3 \frac{2k\pi}{9} - 6 \cos \frac{2k\pi}{9} + 1$ を求めよ.
- (3) $\cos \frac{2\pi}{9} + \cos \frac{4\pi}{9} + \cos \frac{8\pi}{9}$ と $\cos \frac{2\pi}{9} \cdot \cos \frac{4\pi}{9} \cdot \cos \frac{8\pi}{9}$ を求めよ.
- (4) $k = 1, 2, 4$ に対して, $\cos \frac{2k\pi}{9}$ は無理数であることを示せ.
- (5) $\cos \frac{2\pi}{9}$ は 2 次方程式 $ax^2 + bx + c = 0$ (a, b, c は有理数, $a \neq 0$) の解とはならないことを示せ.

4 n は自然数とする. A と B の 2 種類の文字のみを用いて, B が連続しないように n 個並べた文字列全体の集合を X_n とする. X_n の 2 つの部分集合

$$S_n = \{x \mid x \in X_n \text{ かつ } x \text{ の最後の文字が } A\},$$

$$T_n = \{x \mid x \in X_n \text{ かつ } x \text{ の最後の文字が } B\}$$

の要素の個数をそれぞれ a_n, b_n とおく. 例えば, $n = 1$ のとき, $X_1 = \{A, B\}$, $S_1 = \{A\}$, $T_1 = \{B\}$ より, $a_1 = 1, b_1 = 1$ である. また, $n = 2$ のとき, $X_2 = \{AA, AB, BA\}$, $S_2 = \{AA, BA\}$, $T_2 = \{AB\}$ より, $a_2 = 2, b_2 = 1$ である. 次に答えよ.

- (1) a_3, b_3, a_4, b_4 を求めよ.
- (2) a_{n+1}, b_{n+1} をそれぞれ a_n と b_n を用いて表せ.
- (3) $a_n \geq 100$ と $b_n \geq 100$ をともにみたす最小の n を求めよ.
- (4) 自然数 a, b と $c = a + b$ に対して,

$$L = \{d \mid d \text{ は } a, b \text{ の公約数}\}, \quad R = \{d \mid d \text{ は } a, c \text{ の公約数}\}$$

とする. $L \subset R$ と $L \supset R$ がともに成り立つこと (つまり $L = R$) を示せ. また, すべての自然数 m に対して, a_m と b_m は互いに素であることを数学的帰納法により示せ.

- (5) $r_n = \frac{a_n}{a_n + b_n}$ とする. ある関数 $f(x)$ により等式 $r_{m+1} = f(r_m)$ がすべての自然数 m について成立する. $f(x)$ をひとつ求めよ. また, 極限值 $\lim_{m \rightarrow \infty} r_m$ を求めよ.

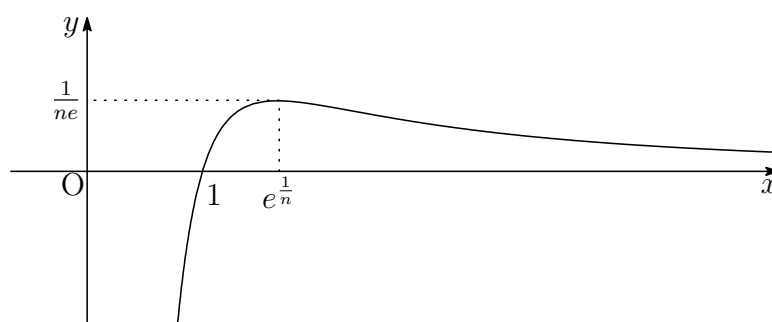
解答例

1 (1) $h(x) = 3x^3 - 2 - \frac{1}{x}$ より $h'(x) = 9x^2 + \frac{1}{x^2} > 0$

$h(x)$ は $x > 0$ で増加し, $h(1) = 0$ より, $x > 0$ における解は $x = 1$

(2) $f(x) = \frac{\log x}{x^n}$ より $f'(x) = \frac{1 - n \log x}{x^{n+1}}$

x	(0)	$\cdots$	$e^{\frac{1}{n}}$	$\cdots$
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$		$\nearrow$	$\frac{1}{ne}$	$\searrow$



(3) (2) の結果から, $e^{\frac{1}{n}} < x$ の範囲で $f(x)$ は単調減少であるから

$$f(e) > f(\pi) \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{e^n} > \frac{\log \pi}{\pi^n}$$

したがって $\pi^n \log e > e^n \log \pi$ よって $e^{(\pi^n)} > \pi^{(e^n)}$

$$(4) \int_e^x (f(t) + xt^2) dt = \int_e^x f(t) dt + x \int_e^x t^2 dt \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} \int_e^x (f(t) + xt^2) dt &= \int_e^x f(t) dt + x \left[\frac{t^3}{3} \right]_e^x \\ &= \int_e^x f(t) dt + \frac{x^4}{3} - \frac{1}{3}e^3x \end{aligned}$$

$$g(x) = \frac{5}{12}x^4 + \left(\frac{1}{3}e^3 - 2 \right)x - \log x + \int_e^x (f(t) + xt^2) dt \text{ より}$$

$$g(x) = \frac{3}{4}x^4 - 2x - \log x + \int_e^x f(t) dt \quad (*)$$

これを x について微分すると $g'(x) = h(x) + f(x)$

$0 < x < 1$ において $h(x) < 0, f(x) < 0$ より $g'(x) < 0$

$1 < x$ において $h(x) > 0, f(x) > 0$ より $g'(x) > 0$

$h(1) = f(1) = 0$ より $g'(1) = h(1) + f(1) = 0$

よって $g(x)$ は, $x = 1$ で最小.

(5) $n = 1$ のとき

$$\int_e^1 f(t) dt = \int_e^1 \frac{\log t}{t} dt = \frac{1}{2} \left[(\log t)^2 \right]_e^1 = -\frac{1}{2}$$

$n > 1$ のとき

$$\begin{aligned} \int_e^1 f(t) dt &= \int_e^1 t^{-n} \log t dt = \frac{1}{-n+1} \int_e^1 (t^{-n+1})' \log t dt \\ &= \frac{1}{-n+1} \left[t^{-n+1} \log t \right]_e^1 - \frac{1}{-n+1} \int_e^1 t^{-n} dt \\ &= -\frac{e^{-n+1}}{-n+1} - \frac{1}{(-n+1)^2} \left[t^{-n+1} \right]_e^1 \\ &= -\frac{e^{-n+1}}{-n+1} - \frac{1 - e^{-n+1}}{(-n+1)^2} = \frac{ne^{-n+1} - 1}{(n-1)^2} \end{aligned}$$

$$x = 1 \text{ のとき } \frac{3}{4}x^4 - 2x - \log x = -\frac{5}{4}, \quad (*) \text{ より}$$

$$n = 1 \text{ のとき } \text{最小値 } g(1) = -\frac{5}{4} + \left(-\frac{1}{2} \right) = -\frac{7}{4}$$

$$n > 1 \text{ のとき } \text{最小値 } g(1) = -\frac{5}{4} + \frac{ne^{-n+1} - 1}{(n-1)^2}$$

■

2 (1) C と l_1 から y を消去すると $\frac{(x-1)^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1$

$$(a^2 + b^2)x^2 - 2b^2x + b^2(1 - a^2) = 0 \quad (*)$$

上式は、係数について $(-b^2)^2 - (a^2 + b^2) \cdot b^2(1 - a^2) = 0$

$a > 0, b > 0$ に注意して整理すると $a^2 + b^2 = 1 \quad \dots \textcircled{1}$

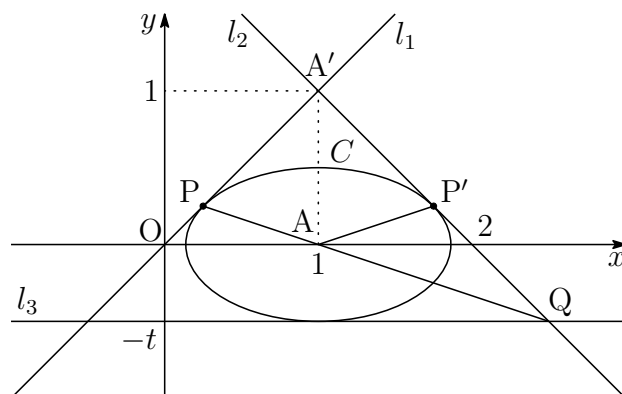
C と l_3 が接するから $-b = -t \quad \dots \textcircled{2}$

$a > 0, b > 0$ であるから、 $\textcircled{1}, \textcircled{2}$ より $a = \sqrt{1 - t^2}, b = t$

(2) (1) の結果を $(*)$ に代入すると $x^2 - 2t^2x + t^4 = 0$

$$(x - t^2)^2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = t^2$$

P は l_1 上の点であるから $P(t^2, t^2)$



(3) $l_2: y = -x + 2$ 上の点 Q の y 座標が $-t$ であるから

$$-t = -x + 2 \quad \text{ゆえに} \quad x = t + 2$$

$P(t^2, t^2), Q(t+2, -t)$ より、直線 PQ の傾きは $(0 < t < 1)$

$$\frac{-t - t^2}{(t+2) - t^2} = \frac{t(t+1)}{(t+1)(t-2)} = \frac{t}{t-2}$$

点 $Q(t+2, -t)$ を通り、傾き $\frac{t}{t-2}$ の直線は

$$y + t = \frac{t}{t-2}(x - t - 2)$$

点 $(1, 0)$ はこの直線上の点であるから

$$t = \frac{t}{t-2}(-t-1) \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{1}{2}$$

(4) (3)の結果を(1)の結果に代入すると $a = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $b = \frac{1}{2}$

$$\text{したがって} \quad x = 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta, \quad y = \frac{1}{2} \sin \theta \quad (**)$$

(3)の結果を(2)の結果に代入すると $P\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$

$$\text{条件から} \quad 1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \beta = \frac{1}{4}, \quad \frac{1}{2} \sin \beta = \frac{1}{4}$$

$$\text{すなわち} \quad \cos \beta = -\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \sin \beta = \frac{1}{2}$$

$$0 \leq \beta < 2\pi \text{ より } \beta = \frac{5}{6}\pi$$

(5) C , l_1 , l_2 が直線 $x = 1$ に関して対称であるから, $\alpha = \frac{\pi}{6}$ すると,

$$C \text{ と } l_2 \text{ の接点を } P' \text{ とすると } P' \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha, \frac{1}{2} \sin \alpha \right)$$

4点 $P\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\right)$, $A(1, 0)$, $P'\left(\frac{7}{4}, \frac{1}{4}\right)$, $A'(1, 1)$ を頂点とする四角形の面積を S_1 とすると (A' は l_1 , l_2 の交点)

$$S_1 = \frac{1}{2} AA' \cdot PP' = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{3}{2} = \frac{3}{4}$$

(**) より (ガウス・グリーン定理⁷⁾)

$$\begin{aligned} x \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} y &= \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta \right) \cdot \frac{1}{2} \cos \theta - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \sin \theta \right) \cdot \frac{1}{2} \sin \theta \\ &= \frac{1}{2} \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{4} \end{aligned}$$

AP' , AP , C_1 で囲まれた部分の面積を S_2 とすると

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \left(x \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} y \right) d\theta = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \left(\frac{1}{2} \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{4} \right) d\theta \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{\sqrt{3}}{4} \theta \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} = \frac{\sqrt{3}}{12} \pi \end{aligned}$$

$$\text{よって, 求める面積は } S_1 - S_2 = \frac{3}{4} - \frac{\sqrt{3}}{12} \pi$$



⁷http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2022.pdf [5]

3 (1) $z = \cos \frac{2\pi}{9} + i \sin \frac{2\pi}{9}$ より $z^9 = \cos 2\pi + i \sin 2\pi = 1$

$$z^3 = \cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3}, \quad \bar{z}^3 = \cos \frac{2\pi}{3} - i \sin \frac{2\pi}{3}$$

よって $z^3 + \bar{z}^3 = 2 \cos \frac{2\pi}{3} = 2 \times \left(-\frac{1}{2}\right) = -1$

(2) $z^3 = \cos \frac{2k\pi}{3} + i \sin \frac{2k\pi}{3}, \quad \bar{z}^3 = \cos \frac{2k\pi}{3} - i \sin \frac{2k\pi}{3}$ より

$$z^3 + \bar{z}^3 = 2 \cos \frac{2k\pi}{3} = \begin{cases} -1 & (k=1, 2, 4) \\ 2 & (k=3) \end{cases}$$

$z^3 + \bar{z}^3 = (z + \bar{z})^3 - 3z\bar{z}(z + \bar{z}), \quad z + \bar{z} = 2 \cos \frac{2k\pi}{9}$ より

$$\left(2 \cos \frac{2k\pi}{9}\right)^3 - 3 \left(2 \cos \frac{2k\pi}{9}\right) = 2 \cos \frac{2k\pi}{3}$$

よって

$$8 \cos^3 \frac{2k\pi}{9} - 6 \cos \frac{2k\pi}{9} + 1 = 1 + 2 \cos \frac{2k\pi}{3} = \begin{cases} 0 & (k=1, 2, 4) \\ 3 & (k=3) \end{cases}$$

(3) (2) の結果から, $\cos \frac{2\pi}{9}, \cos \frac{4\pi}{9}, \cos \frac{8\pi}{9}$ は, 3 次方程式

$$8x^3 - 6x + 1 = 0 \quad (*)$$

の解であるから, 解と係数の関係により

$$\cos \frac{2\pi}{9} + \cos \frac{4\pi}{9} + \cos \frac{8\pi}{9} = 0, \quad \cos \frac{2\pi}{9} \cdot \cos \frac{4\pi}{9} \cdot \cos \frac{8\pi}{9} = -\frac{1}{8}$$

(4) $\cos \frac{2k\pi}{9}$ が有理数であると仮定し ($k=1, 2, 4$),

$$\cos \frac{2k\pi}{9} = \frac{p}{q} \quad (p, q \text{ は互いに素である整数, } q > 0)$$

とおくと, これが方程式 (*) の解であるから

$$8 \left(\frac{p}{q}\right)^3 - 6 \left(\frac{p}{q}\right) + 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{8p^3}{q^2} = 6p - q$$

上の第 2 式の右辺は整数であるから, q^2 は 8 の約数, すなわち, $q=1, 2$

(i) $q=1$ のとき $8p^3 = 6p - 1$ ゆえに $2p(4p^2 - 3) = -1$

これを満たす整数 p は存在しない.

(ii) $q=2$ のとき $2p^3 = 6p - 2$ ゆえに $p(p^2 - 3) = -1$

$p = \pm 1$ となるが, ともにこれを満たさない.

よって, $k=1, 2, 4$ のとき, $\cos \frac{2k\pi}{9}$ は無理数である.

- (5) $8x^3 - 6x + 1$ を $ax^2 + bx + c$ で割ったときの商を $Q(x)$, 余りを $rx + s$ とすると, a, b, c が有理数であるとき, $Q(x)$ は有理数を係数とする 1 次式, r, s は有理数である.

$$8x^3 - 6x + 1 = (ax^2 + bx + c)Q(x) + rx + s \quad (**)$$

- (4) の結論から, $8x^3 - 6x + 1 = 0$ の解を α とする (α は無理数).
 α が $ax^2 + bx + c = 0$ の解であると仮定すると, $(**)$ より

$$8\alpha^3 - 6\alpha + 1 = (a\alpha^2 + b\alpha + c)Q(\alpha) + r\alpha + s$$

このとき

$$r\alpha + s = 0 \quad (A)$$

を得る.

- (i) $r \neq 0$ のとき

$$\alpha = -\frac{s}{r}$$

このとき, α が無理数であることに矛盾する.

- (ii) $r = 0$ のとき, (A) より, $s = 0$ となる. このとき, $(**)$ より

$$8x^3 - 6x + 1 = (ax^2 + bx + c)Q(x)$$

となる. $Q(x) = lx + m$ とおくと (l, m は有理数), 3 次方程式

$$8x^3 - 6x + 1 = 0$$

が有理数の解 $-\frac{m}{l}$ をもち, 矛盾.

よって, $\cos \frac{2\pi}{9}$ は, 有理数を係数とする 2 次方程式

$$ax^2 + bx + c = 0$$

の解とはならない. ■

- 4 (1) $\{a_n\}, \{b_n\}$ について, 次の漸化式が成立する.

$$a_1 = b_1 = 1, \quad a_{n+1} = a_n + b_n, \quad b_{n+1} = a_n \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (*)$$

$a_2 = 2, b_2 = 1$ であるから, 順次, $n = 2, 3$ を代入すると

$$a_3 = 3, \quad b_3 = 2, \quad a_4 = 5, \quad b_4 = 3$$

(2) (**) より $a_{n+1} = a_n + b_n, \quad b_{n+1} = a_n$

(3) (**) より, $\{a_n\}, \{b_n\}$ は自然数の数列で

$$a_{n+1} - a_n = b_n > 0, \quad b_{n+1} = a_n$$

であるから, これらは単増加列である.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_n	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233
b_n	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144

よって, 条件をともにみたす最小の n は $n = 12$

(4) n が m で割り切れること (m が n の約数) を $m | n$ と表記する.

(A) $d \in L$ について, $d | a, d | b$ であるから

$$a = pd, \quad b = qd$$

となる整数 p, q が存在するから

$$c = a + b = pd + qd = (p + q)d \quad \text{ゆえに} \quad d | c$$

$d | a, d | c$ であるから, $d \in R$ したがって $L \subset R$

(B) $d \in R$ について, $d | a, d | c$ であるから

$$a = rd, \quad c = sd$$

となる整数 r, s が存在するから

$$b = c - a = sd - rd = (s - r)d \quad \text{ゆえに} \quad d | b$$

$d | a, d | b$ であるから, $d \in L$ したがって $R \subset L$

(A), (B) から $L = R$

$L_n = \{d \mid d \text{ は } a_n, b_n \text{ の公約数} \}$ とすると, 前の結論により

$$\begin{aligned} L_n &= \{d \mid d \text{ は } a_n, a_n + b_n \text{ の公約数} \} \\ &= \{d \mid d \text{ は } b_{n+1}, a_{n+1} \text{ の公約数} \} = L_{n+1} \end{aligned}$$

$L_1 = \{1\}$ であるから, すべての自然数 n について $L_n = \{1\}$ によって, すべての自然数 m に対して, a_m と b_m は互いに素である.

$$(5) \quad r_n = \frac{a_n}{a_n + b_n} \text{ より } \frac{1}{r_n} = 1 + \frac{b_n}{a_n}$$

$$\begin{aligned} r_{n+1} &= \frac{a_{n+1}}{a_{n+1} + b_{n+1}} = \frac{a_n + b_n}{(a_n + b_n) + a_n} \\ &= \frac{1 + \frac{b_n}{a_n}}{1 + \left(1 + \frac{b_n}{a_n}\right)} = \frac{\frac{1}{r_n}}{1 + \frac{1}{r_n}} = \frac{1}{r_n + 1} \end{aligned}$$

したがって $f(x) = \frac{1}{x+1}$

$f(x) = x$ とすると $\frac{1}{x+1} = x \quad \cdots \textcircled{1}$

$$x(x+1) = 1 \quad \text{整理すると} \quad x^2 + x - 1 = 0$$

この2次方程式の解を

$$\alpha = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}, \quad \beta = \frac{-1 - \sqrt{5}}{2}$$

とおくと, ①に注意して

$$r_{n+1} - \alpha = \frac{1}{r_n + 1} - \frac{1}{\alpha + 1} = -\frac{r_n - \alpha}{(\alpha + 1)(r_n + 1)} = -\frac{\alpha(r_n - \alpha)}{r_n + 1}$$

同様に $r_{n+1} - \beta = -\frac{\beta(r_n - \beta)}{r_n + 1}$

$\{r_n\}$ について, 明らかに $r_n > 0$ であるから, $r_n - \beta \neq 0$ より

$$\frac{r_{n+1} - \alpha}{r_{n+1} - \beta} = \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{r_n - \alpha}{r_n - \beta} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{r_n - \alpha}{r_n - \beta} = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{n-1} \cdot \frac{r_1 - \alpha}{r_1 - \beta}$$

$$\left| \frac{\alpha}{\beta} \right| < 1 \text{ より } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_n - \alpha}{r_n - \beta} = 0 \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} r_n = \alpha = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} \quad \blacksquare$$

2.11 2025 年 (工学部・情報工学部)

出題分野 (工学部・情報工学部) 1 2 3 4

1 2つのさいころを同時に投げることを1回の試行とする。1回の試行につき、2つのさいころの出た目の和が奇数の場合は1点、偶数の場合は2点得られる。さらに、2つのさいころの出た目が同じ場合は、追加で1点得られるとする。次の問いに答えよ。

- (1) 5回の試行のあとの合計得点の最小値と最大値を求めよ。
- (2) 5回の試行のあとの合計得点が8である確率を求めよ。

さらに、最初の試行から数えて n 回の試行のあとの合計得点が奇数である確率を a_n とする ($n = 1, 2, 3, \dots$)。

- (3) a_1, a_2 をそれぞれ求めよ。
- (4) a_{n+1} を a_n を用いて表せ。
- (5) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- (6) 5回の試行のあとの合計得点が奇数であった。このとき、4回の試行のあとの合計得点が奇数である条件付き確率を求めよ。

2 座標平面上の原点 O を頂点とし、点 $F\left(\frac{1}{4}, 0\right)$ を焦点とし、直線 $x = -\frac{1}{4}$ を準線 l とする放物線を C とする。つまり、 C は F と l からの距離が等しい点 P の軌跡である。 C 上の2点 $Q(s, t), Q'(v, w)$ は、 $s > v, t > 0, w < 0$ を満たし、さらに直線 OQ と直線 OQ' は垂直であるとする。また、直線 QQ' を m とする。次の問いに答えよ。

- (1) 放物線 C の方程式を求めよ。
- (2) 直線 m の傾きを t を用いて表せ。
- (3) 直線 m は t の値によらず、定点 E を通る。この E の座標を求めよ。
- (4) 点 Q から y 軸に下ろした垂線を QR とし、直線 m と y 軸の交点を S とする。 t の値が変化するとき、 $\triangle QRS$ の面積 T の最小値を求めよ。

3 n が自然数のとき、関数 $y = x^n e^{-x}$ について、次の問いに答えよ.

- (1) $n = 1$ の場合の関数 $y = x e^{-x}$ の最大値を求めよ.
- (2) $n = 2$ の場合の関数 $y = x^2 e^{-x}$ の極値を求めよ.
- (3) $n \geq 3$ の場合の関数 $y = x^n e^{-x}$ のグラフの変曲点を求めよ.
- (4) (3) で求めた変曲点のうち、 y 座標の値が最大のものはどれか. 理由とともに答えよ. ただし、任意の実数 $t > 1$ に対して、 $\left(\frac{t+1}{t-1}\right)^t > e^2$ が成り立つことを用いてよい.
- (5) $I_n = \int_0^2 x^n e^{-x} dx$ とおくとき、 I_{n+1} を I_n の式で表せ.

4 原点を O とする座標空間に 3 点 $P(b, a-b, 0)$, $Q(0, b, a-b)$, $R(b, 0, a-b)$ がある. ただし、 a と b は、 $a > b > 0$ を満たす実数とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 点 G は 2 点 P, R を通る直線上にあるものとする. ベクトル $\overrightarrow{OG}$ と $\overrightarrow{PR}$ が垂直であるとき、点 G の座標を、 a, b を用いて表せ.
- (2) ベクトル $\overrightarrow{QP}$ と $\overrightarrow{QR}$ のなす角が 90° 以上となるための条件を、 a, b を用いて表せ.
- (3) $\triangle PQR$ の面積を、 a, b を用いて表せ.
- (4) 次の条件を満たす a の最大値を求めよ. ただし、 $1.7 < \sqrt{3} < 1.8$ を用いてよい.

条件: a, b は自然数であり、 $a > b$ を満たすすべての b に対して $\triangle PQR$ の面積が 10 未満である.

解答例

- 1** (1) 5回の試行のすべて得点が3点であるとき, 最大値 **15(点)**

5回の試行のすべて得点が1点であるとき, 最小値 **5(点)**

- (2) 1回の試行で得点が1点, 2点, 3点となる確率は, $p = \frac{1}{6}$ とおくと, それぞれ

$$\frac{18}{36} = 3p, \quad \frac{12}{36} = 2p, \quad \frac{6}{36} = p$$

5回の試行の後の合計得点が8になる得点の組合せは

	1	2	3	4	5	6
1	3	1	2	1	2	1
2	1	3	1	2	1	2
3	2	1	3	1	2	1
4	1	2	1	3	1	2
5	2	1	2	1	3	1
6	1	2	1	2	1	3

$$\{1, 1, 2, 2, 2\}, \{1, 1, 1, 2, 3\}$$

したがって, 求める確率は

$$\begin{aligned} \frac{5!}{2!3!}(3p)^2(2p)^3 + \frac{5!}{3!1!1!}(3p)^3 \cdot 2p \cdot p &= 720p^5 + 1080p^5 \\ &= 1800p^5 = \frac{1800}{6^5} = \frac{25}{108} \end{aligned}$$

- (3) 1回の試行で得点が奇数となる確率は $3p + p = 4p = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

$$1 \text{ 回の試行で得点が偶数となる確率は } 2p = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

$$\text{したがって } a_1 = \frac{2}{3}, \quad a_2 = \frac{2!}{1!1!} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{4}{9}$$

- (4) (3) で示した試行の確率により

$$a_{n+1} = \frac{1}{3}a_n + \frac{2}{3}(1 - a_n) = -\frac{1}{3}a_n + \frac{2}{3}$$

$$\text{よって } a_{n+1} = -\frac{1}{3}a_n + \frac{2}{3}$$

- (5) (4) の結果から $a_{n+1} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{3}\left(a_n - \frac{1}{2}\right)$

$\left\{a_n - \frac{1}{2}\right\}$ は初項 $a_1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$, 公比 $-\frac{1}{3}$ の等比数列であるから

$$a_n - \frac{1}{2} = \frac{1}{6} \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1} \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{1}{2} \left\{1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^n\right\}$$

- (6) 5回の試行のあとの合計得点が奇数である事象を A とし, 4回の試行のあとの合計得点が奇数である事象を B とすると

$$P(A) = a_5 = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3} \right)^5 \right\} = \frac{122}{243}$$
$$P(A \cap B) = a_4 \times \frac{1}{3} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{3} \right)^4 \right\} \times \frac{1}{3} = \frac{40}{243}$$

したがって, 求める条件付き確率は

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{40}{243} \bigg/ \frac{122}{243} = \frac{20}{61}$$



- 2 (1) 焦点 $F\left(\frac{1}{4}, 0\right)$, 準線 $l: x = -\frac{1}{4}$ の放物線 C の方程式は

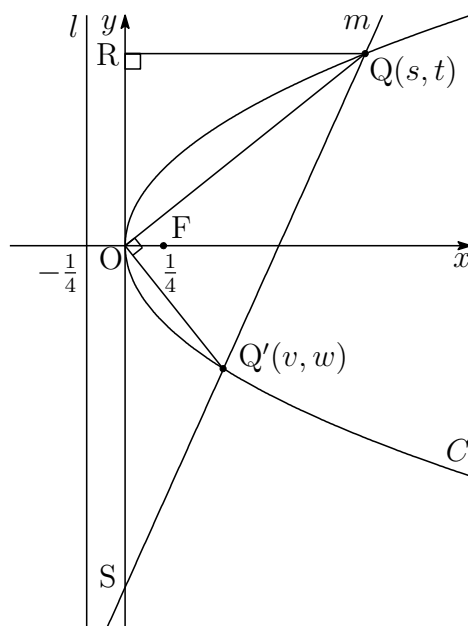
$$y^2 = 4 \cdot \frac{1}{4} x \quad \text{ゆえに} \quad y^2 = x$$

- (2) Q, Q' は C 上の点であるから $Q(t^2, t), Q'(w^2, w)$
 $\overrightarrow{OQ} \perp \overrightarrow{OQ'}$ であるから, $\overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{OQ'} = 0$ より ($w < 0 < t$)

$$t^2 w^2 + tw = 0 \quad \text{ゆえに} \quad w = -\frac{1}{t} \quad \cdots \textcircled{1}$$

直線 m の傾きは

$$\frac{w - t}{w^2 - t^2} = \frac{1}{w + t} = \frac{1}{-\frac{1}{t} + t} = \frac{t}{t^2 - 1}$$



- (3) 直線 m は, 点 $Q(t^2, t)$ を通り, 傾き $\frac{t}{t^2 - 1}$ の直線であるから

$$y - t = \frac{t}{t^2 - 1}(x - t^2) \quad \text{ゆえに} \quad t(x - 1) + (1 - t^2)y = 0 \quad (*)$$

上の第2式は, $x - 1 = 0, y = 0$, すなわち, $x = 1, y = 0$ のとき, すべての t について成立する. よって, 求める点 E の座標は $(1, 0)$

$$(4) \ s = t^2, \ v = w^2, \ s > v \text{ より } \quad t^2 > w^2$$

$$\textcircled{1} \text{ より } (t > 0) \quad t^2 > \frac{1}{t^2} \quad \text{ゆえに } t^4 > 1 \quad \text{すなわち } t > 1$$

点 S の y 座標は, $(*)$ に $x = 0$ を代入して

$$-t + (1 - t^2)y = 0 \quad \text{ゆえに } y = \frac{t}{1 - t^2}$$

これと R の y 座標 t および Q の x 座標 t^2 より

$$T = \frac{1}{2} \left(t - \frac{t}{1 - t^2} \right) t^2 = \frac{t^5}{2(t^2 - 1)}$$

これを t で微分すると

$$T' = \frac{5t^4(t^2 - 1) - t^5 \cdot 2t}{2(t^2 - 1)^2} = \frac{t^4(3t^2 - 5)}{2(t^2 - 1)^2}$$

$t > 1$ における T の増減表は

t	(1)	$\cdots$	$\sqrt{\frac{5}{3}}$	$\cdots$
T'		$-$	0	$+$
T		$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって $t = \sqrt{\frac{5}{3}}$ のとき, 最小値 $\frac{25}{12}\sqrt{\frac{5}{3}}$



- 3** (1) $y = xe^{-x}$ より $y' = e^{-x} - xe^{-x} = (1-x)e^{-x}$

x	$\cdots$	1	$\cdots$
y'	+	0	-
y	$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって $x = 1$ のとき 最大値 $\frac{1}{e}$

- (2) $y = x^2e^{-x}$ より $y' = 2xe^{-x} - x^2e^{-x} = x(2-x)e^{-x}$

x	$\cdots$	0	$\cdots$	2	$\cdots$
y'	-	0	+	0	-
y	$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって $x = 0$ のとき 極小値 0, $x = 2$ のとき 極大値 $\frac{4}{e^2}$

- (3) $y = x^ne^{-x}$ より ($n \geq 3$)

$$y' = nx^{n-1}e^{-x} - x^ne^{-x}$$

$$y'' = n(n-1)x^{n-2}e^{-x} - 2nx^{n-1}e^{-x} + x^ne^{-x}$$

$$= (x^2 - 2nx + n^2 - n)x^{n-2}e^{-x}$$

$$= (x - n + \sqrt{n})(x - n - \sqrt{n})x^{n-2}e^{-x}$$

n が偶数のとき

x	$\cdots$	0	$\cdots$	$n - \sqrt{n}$	$\cdots$	$n + \sqrt{n}$	$\cdots$
y''	+	0	+	0	-	0	+

n が奇数のとき

x	$\cdots$	0	$\cdots$	$n - \sqrt{n}$	$\cdots$	$n + \sqrt{n}$	$\cdots$
y''	-	0	+	0	-	0	+

変曲点は n が偶数のとき $(n \pm \sqrt{n}, (n \pm \sqrt{n})^ne^{-n \mp \sqrt{n}})$ (複号同順)

n が奇数のとき $(0, 0), (n \pm \sqrt{n}, (n \pm \sqrt{n})^ne^{-n \mp \sqrt{n}})$ (複号同順)

- (4) (3) で求めた 2 つの変曲点の y 座標を

$$y_1 = (n - \sqrt{n})^ne^{-n+\sqrt{n}}, \quad y_2 = (n + \sqrt{n})^ne^{-n-\sqrt{n}}$$

とおくと

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{(n + \sqrt{n})^ne^{-n-\sqrt{n}}}{(n - \sqrt{n})^ne^{-n+\sqrt{n}}} = \left(\frac{\sqrt{n} + 1}{\sqrt{n} - 1} \right)^n e^{-2\sqrt{n}} = \left\{ \left(\frac{\sqrt{n} + 1}{\sqrt{n} - 1} \right)^{\sqrt{n}} e^{-2} \right\}^{\sqrt{n}}$$

$$\sqrt{n} > 1 \text{ より } \left(\frac{\sqrt{n} + 1}{\sqrt{n} - 1} \right)^{\sqrt{n}} > e^2 \text{ ゆえに } \left(\frac{\sqrt{n} + 1}{\sqrt{n} - 1} \right)^{\sqrt{n}} e^{-2} > 1$$

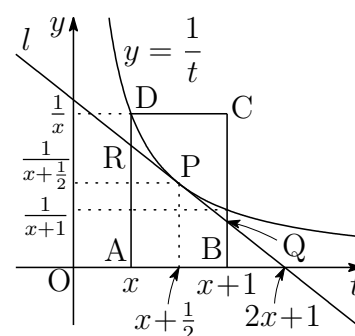
$$y_2 > y_1 \text{ であるから } (n + \sqrt{n}, (n + \sqrt{n})^ne^{-n-\sqrt{n}})$$

$$(5) I_n = \int_0^2 x^n e^{-x} dx \text{ より}$$

$$\begin{aligned} I_{n+1} &= \int_0^2 x^{n+1} e^{-x} dx = - \int_0^2 x^{n+1} (e^{-x})' dx \\ &= - \left[x^{n+1} e^{-x} \right]_0^2 + (n+1) \int_0^2 x^n e^{-x} dx \\ &= -2^{n+1} e^{-2} + (n+1) I_n \end{aligned}$$

注意 $f'(\alpha) = 0$ であっても, $x = \alpha$ の前後で $f'(x)$ の符号が変わらないとき, $f(\alpha)$ は極値ではない. 同様に, $f''(\beta) = 0$ であって, $x = \beta$ の前後で $f''(x)$ の符号が変わらないとき, 点 $(\beta, f(\beta))$ は変曲点ではない⁸.

補足 曲線 $y = \frac{1}{t}$ の点 $P\left(x + \frac{1}{2}, \frac{1}{x + \frac{1}{2}}\right)$ における接線を l とし ($x > 0$), l と直線 $t = x$, $t = x+1$ との交点をそれぞれ R , Q とする. 右の図のように $x \leq t \leq x+1$ において, 曲線 $y = \frac{1}{t}$ および t 軸で囲まれた図形の面積と2つの四角形 $ABCD$ および $ABQR$ の面積との大小関係により



$$\frac{1}{x + \frac{1}{2}} < \int_x^{x+1} \frac{dt}{t} < \frac{1}{x} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{x + \frac{1}{2}} < \log\left(1 + \frac{1}{x}\right) < \frac{1}{x}$$

$$\text{したがって} \quad \log\left(1 + \frac{1}{x}\right)^x < 1 < \log\left(1 + \frac{1}{x}\right)^{x+\frac{1}{2}}$$

$$\text{よって} \quad \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x < e < \left(1 + \frac{1}{x}\right)^{x+\frac{1}{2}}$$

$s > 1$ とし, $x = \frac{s-1}{2}$ を上式に代入すると

$$\left(1 + \frac{2}{s-1}\right)^{\frac{s-1}{2}} < e < \left(1 + \frac{2}{s-1}\right)^{\frac{s}{2}}$$

上式の辺々を平方すると

$$\left(\frac{s+1}{s-1}\right)^{s-1} < e^2 < \left(\frac{s+1}{s-1}\right)^s \quad (s > 1)$$

⁸http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_jou_2004.pdf [1]

- 4 (1) $\vec{OP} = (b, a-b, 0)$, $\vec{OR} = (b, 0, a-b)$ より

$$|\vec{OP}|^2 = |\vec{OR}|^2 = b^2 + (a-b)^2, \quad \vec{OP} \cdot \vec{OR} = b^2$$

G は直線 PR 上の点であるから, 実数 t を用いて

$$\vec{OG} = (1-t)\vec{OP} + t\vec{OR}$$

とおくと, $\vec{OG} \perp \vec{PR}$ であるから, $\vec{OG} \cdot \vec{PR} = 0$ より

$$\begin{aligned} \{(1-t)\vec{OP} + t\vec{OR}\} \cdot (\vec{OR} - \vec{OP}) &= 0 \\ (t-1)|\vec{OP}|^2 + t|\vec{OR}|^2 - (2t-1)\vec{OP} \cdot \vec{OR} &= 0 \\ (2t-1)\{b^2 + (a-b)^2\} - (2t-1)b^2 &= 0 \\ (2t-1)(a-b)^2 &= 0 \end{aligned}$$

$a > b$ より, $a-b \neq 0$ であるから $t = \frac{1}{2}$

$$\text{したがって } \vec{OG} = \frac{1}{2}\vec{OP} + \frac{1}{2}\vec{OR} = \left(b, \frac{a-b}{2}, \frac{a-b}{2}\right)$$

$$\text{よって } G\left(b, \frac{a-b}{2}, \frac{a-b}{2}\right)$$

- (2) 3点 P($b, a-b, 0$), Q($0, b, a-b$), R($b, 0, a-b$) より

$$\vec{QP} = (b, a-2b, b-a), \quad \vec{QR} = (b, -b, 0)$$

条件を満たすとき, $\vec{QP} \cdot \vec{QR} \leq 0$ であるから

$$b \cdot b + (a-2b) \cdot (-b) \leq 0 \quad \text{ゆえに} \quad b(3b-a) \leq 0$$

$b > 0$ であるから $3b-a \leq 0$ すなわち $a \geq 3b$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} |\vec{QP}|^2 &= b^2 + (a-2b)^2 + (b-a)^2 = 2a^2 - 6ab + 6b^2 \\ |\vec{QR}|^2 &= b^2 + (-b)^2 = 2b^2 \\ \vec{QP} \cdot \vec{QR} &= b \cdot b + (a-2b)(-b) = b(3b-a) \end{aligned}$$

したがって, $\triangle PQR$ の面積を S とすると ($a > b > 0$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{QP}|^2 |\vec{QR}|^2 - (\vec{QP} \cdot \vec{QR})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{(2a^2 - 6ab + 6b^2) \cdot 2b^2 - b^2(3b-a)^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{3b^2(a-b)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} b(a-b) \end{aligned}$$

別解 $\overrightarrow{QP} = (b, a - 2b, b - a)$, $\overrightarrow{QR} = (b, -b, 0)$ より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{QP} \times \overrightarrow{QR} &= (b(b-a), b(b-a), b(b-a)) \\ &= b(b-a)(1, 1, 1)\end{aligned}$$

したがって, $\triangle PQR$ の面積を S とすると ($a > b > 0$)

$$S = \frac{1}{2} |\overrightarrow{QP} \times \overrightarrow{QR}| = \frac{1}{2} |b(b-a)|\sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}}{2} b(a-b)$$

(4) (3) の結果から $S < 10$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} b(a-b) < 10 \quad \text{ゆえに} \quad b(a-b) < \frac{20}{\sqrt{3}}$$

$$\text{ここで} \quad 121 < \left(\frac{20}{\sqrt{3}}\right)^2 < 144 \quad \text{ゆえに} \quad 11 < \frac{20}{\sqrt{3}} < 12$$

a, b ($a > b > 0$) は自然数であるから $b(a-b) \leq 11$

$$a \leq b + \frac{11}{b} \quad (b = 1, 2, \dots, 11)$$

$f(b) = b + \frac{11}{b}$ とすると

$$\begin{aligned}f(b+1) - f(b) &= b+1 + \frac{11}{b+1} - \left(b + \frac{11}{b}\right) \\ &= 1 - \frac{11}{b(b+1)} = \frac{b(b+1) - 11}{b(b+1)}\end{aligned}$$

したがって $f(1) > f(2) > f(3) < f(4) < \dots < f(11)$

$$f(3) = 3 + \frac{11}{3} = 6 + \frac{2}{3}$$

すべての b に対して $a \leq f(b)$ を満たす最大の自然数 a は 6



情報工学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	九工大 情報工学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式	2										
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限			1	2				2		4	
	微分法とその応用	1・2	1	1・2	2			2			1	3
	積分法	3		1・3		2						
	積分法の応用	1	2	2	1	1	1・2	1	1	1	2	
A	場合の数と確率	4	4	4	4	4	4	4		2		
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列	3		4					4			1
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				3							
	空間のベクトル							3	3	3		4
	複素数平面		3			3	3			4	3	
	式と曲線											2

数字は問題番号 (2017 年以降は工学部と共通問題)

2.12 2015 年 (情報工学部)

出題分野 1 2 3 4

1 関数 $f(x) = e^{-x} \cos \sqrt{3}x$ について以下の問いに答えよ. ただし, e は自然対数の底とする.

(1) $0 \leq x \leq \frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$ の範囲で $f(x) = 0$ をみたす x の値をすべて求めよ.

(2) $0 \leq x \leq \frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$ の範囲で $f(x)$ の増減を調べよ. ただし, 凹凸は調べなくてよい.

(3) 部分積分を2回用いて $f(x)$ の不定積分を求めよ.

(4) $0 \leq x \leq \frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$ の範囲で2つの曲線 $y = f(x)$ と $y = e^{-x}$ によって囲まれた部分の面積を求めよ.

2 座標平面上に原点を中心とする半径1の円 $C: x^2 + y^2 = 1$ と点 $A(-1, -1)$, $B(0, -1)$ があり, 点 A を通る傾き k の直線 ℓ を考える. 直線 ℓ は円 C と異なる2点で交わるものとし, 点 A から遠い方の交点を P , 近い方の交点を Q とする. 以下の問いに答えよ.

(1) 直線 ℓ の方程式を k を用いて表せ.

(2) 点 P , Q の座標をそれぞれ k を用いて表せ.

(3) 三角形 BPQ の面積を k を用いて表せ.

(4) 三角形 BPQ の面積を最大にする k を求めよ.

3 n を自然数とし, 関数 $f_m(x)$ ($m = 0, 1, 2, \dots, n$) を次のように定める.

$$f_m(x) = \begin{cases} 1 & (m = 0) \\ x^m & (m \geq 1) \end{cases}$$

さらに, a_k ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) を次のように定める.

$$a_k = \int_{-1}^1 f_k(1-x)f_{n-k}(1+x) dx$$

以下の問いに答えよ.

- (1) a_0 と a_1 をそれぞれ n を用いて表せ.
- (2) $k \geq 1$ のとき, a_k を n, k, a_{k-1} を用いて表せ.
- (3) a_k を n, k を用いて表せ.
- (4) $\sum_{k=0}^n \frac{1}{a_k}$ を n を用いて表せ.

4 1 から 9 までの数字が 1 つずつ書かれた 9 個の玉があり, これらのうち, 1, 2, 3 が書かれた玉をそれぞれ玉 1, 玉 2, 玉 3 と呼ぶ. 以下の問いに答えよ.

- (1) 9 個の玉から 3 個を選んで 1 つの箱に入れる. この入れ方は何通りあるか.
- (2) (1) の入れ方のうち, 箱に, 玉 1 と玉 2 がいっしょに含まれず, 玉 1 と玉 3 もいっしょに含まれないものは何通りあるか.
- (3) 9 個の玉を区別できない 3 つの箱に分けて入れる. ただし, 各箱にはそれぞれ 3 個ずつの玉を入れるものとする. この入れ方は何通りあるか.
- (4) (3) の入れ方のうち, どの箱にも, 玉 1 と玉 2 がいっしょに含まれず, 玉 1 と玉 3 もいっしょに含まれないものは何通りあるか.

解答例

1 (1) $0 \leq x \leq \frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$ より $0 \leq \sqrt{3}x \leq 2\pi$

したがって, $f(x) = 0$ をみたす x の値は

$$\sqrt{3}x = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi \quad \text{よって} \quad x = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}, \frac{\sqrt{3}}{2}\pi$$

(2) $f(x) = e^{-x} \cos \sqrt{3}x$ を微分すると

$$f'(x) = -e^{-x}(\sqrt{3} \sin \sqrt{3}x + \cos \sqrt{3}x) = -2e^{-x} \sin \left(\sqrt{3}x + \frac{\pi}{6} \right)$$

$\frac{\pi}{6} \leq \sqrt{3}x + \frac{\pi}{6} \leq \frac{13}{6}\pi$ であるから, $f'(x) = 0$ をみたす x の値は

$$\sqrt{3}x + \frac{\pi}{6} = \pi, 2\pi \quad \text{すなわち} \quad x = \frac{5\pi}{6\sqrt{3}}, \frac{11\pi}{6\sqrt{3}}$$

したがって, $0 \leq x \leq \frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$ における $f(x)$ の増減は, 次のようになる.

x	(0)	$\cdots$	$\frac{5\pi}{6\sqrt{3}}$	$\cdots$	$\frac{11\pi}{6\sqrt{3}}$	$\cdots$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi$
$f'(x)$		$-$	0	$+$	0	$-$	
$f(x)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$	

(3) $e^{-x} = -(e^{-x})'$ であることに注意して, 部分積分を行うと

$$\begin{aligned}
 \int e^{-x} \cos \sqrt{3}x \, dx &= - \int (e^{-x})' \cos \sqrt{3}x \, dx \\
 &= -e^{-x} \cos \sqrt{3}x + \int e^{-x} (-\sqrt{3} \sin \sqrt{3}x) \, dx \\
 &= -e^{-x} \cos \sqrt{3}x + \sqrt{3} \int (e^{-x})' \sin \sqrt{3}x \, dx \\
 &= -e^{-x} \cos \sqrt{3}x + \sqrt{3}e^{-x} \sin \sqrt{3}x - 3 \int e^{-x} \cos \sqrt{3}x \, dx
 \end{aligned}$$

したがって

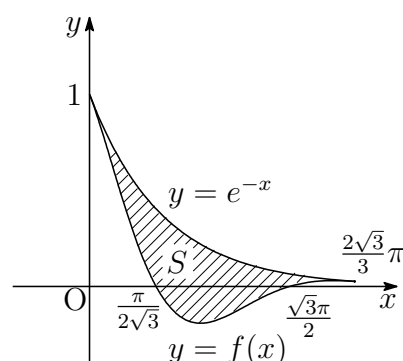
$$\begin{aligned}
 \int f(x) \, dx &= \int e^{-x} \cos \sqrt{3}x \, dx \\
 &= \frac{1}{4}e^{-x}(\sqrt{3} \sin \sqrt{3}x - \cos \sqrt{3}x) + C \\
 &= \frac{1}{2}e^{-x} \sin \left(\sqrt{3}x - \frac{\pi}{6} \right) + C \quad (C \text{ は積分定数})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (4) \quad e^{-x} - f(x) &= e^{-x} - e^{-x} \cos \sqrt{3}x \\
 &= e^{-x}(1 - \cos \sqrt{3}x) \geq 0
 \end{aligned}$$

したがって、求める面積を S とすると、

(3) の結果を用いると

$$\begin{aligned}
 S &= \int_0^{\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi} \{e^{-x} - f(x)\} dx \\
 &= \left[-e^{-x} - \frac{1}{2}e^{-x} \sin \left(\sqrt{3}x - \frac{\pi}{6} \right) \right]_0^{\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi} \\
 &= \frac{3}{4} \left(1 - e^{-\frac{2\sqrt{3}}{3}\pi} \right)
 \end{aligned}$$



- 2** (1) ℓ は、点 $A(-1, -1)$ を通り、傾き k の直線であるから

$$y + 1 = k(x + 1) \quad \text{すなわち} \quad y = kx + k - 1$$

- (2) (1) の結果から、 P, Q は連立方程式

$$\begin{cases} kx - y = 1 - k & \cdots \textcircled{1} \\ x^2 + y^2 = 1 \end{cases}$$

の解である。上の 2 式を等式

$$(kx - y)^2 + (x + ky)^2 = (k^2 + 1)(x^2 + y^2)$$

に代入すると

$$(1 - k)^2 + (x + ky)^2 = k^2 + 1 \quad \text{ゆえに} \quad (x + ky)^2 = 2k$$

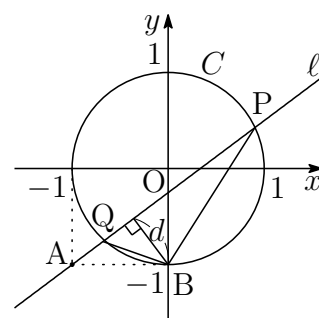
ℓ と C が異なる 2 点で交わるとき、右上の図より $k > 0$ であるから

$$x + ky = \pm \sqrt{2k} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ を解いて } x = \frac{k(1 - k) \pm \sqrt{2k}}{k^2 + 1}, \quad y = \frac{k - 1 \pm k\sqrt{2k}}{k^2 + 1} \quad (\text{複号同順})$$

P, Q の位置関係に注意して

$$\begin{aligned}
 P &\left(\frac{k(1 - k) + \sqrt{2k}}{k^2 + 1}, \frac{k - 1 + k\sqrt{2k}}{k^2 + 1} \right), \\
 Q &\left(\frac{k(1 - k) - \sqrt{2k}}{k^2 + 1}, \frac{k - 1 - k\sqrt{2k}}{k^2 + 1} \right)
 \end{aligned}$$



(3) (2) の結果から $\overrightarrow{\text{QP}} = \frac{2\sqrt{2k}}{k^2+1}(1, k)$

したがって $|\overrightarrow{\text{QP}}| = \frac{2\sqrt{2k}}{k^2+1}\sqrt{1+k^2} = \frac{2\sqrt{2k}}{\sqrt{k^2+1}}$

点 $B(0, -1)$ と直線 $\ell: kx - y + k - 1 = 0$ の距離 d は, $k > 0$ に注意して

$$d = \frac{|k \cdot 0 - 1 + k - 1|}{\sqrt{k^2+1}} = \frac{k}{\sqrt{k^2+1}}$$

$\triangle BPQ$ の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2}|\overrightarrow{\text{QP}}| \times d = \frac{1}{2} \times \frac{2\sqrt{2k}}{\sqrt{k^2+1}} \times \frac{k}{\sqrt{k^2+1}} = \frac{\sqrt{2}k^{\frac{3}{2}}}{k^2+1}$$

(4) (3) の結果から $\frac{dS}{dk} = -\frac{\sqrt{k}(k^2-3)}{\sqrt{2}(k^2+1)^2}$

したがって, $k > 0$ における S の増減表は, 次のようになる.

k	(0)	$\cdots$	$\sqrt{3}$	$\cdots$
$\frac{dS}{dk}$		+	0	-
S		$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, 求める k の値は $k = \sqrt{3}$ ■

3 (1) $f_m(x) = \begin{cases} 1 & (m=0) \\ x^m & (m \geq 1) \end{cases}$ より $(m=0, 1, 2, \dots, n)$

$$\begin{aligned} a_0 &= \int_{-1}^1 f_0(1-x)f_n(1+x)dx = \int_{-1}^1 1 \cdot (1+x)^n dx \\ &= \left[\frac{1}{n+1}(1+x)^{n+1} \right]_{-1}^1 = \frac{2^{n+1}}{n+1} \\ a_1 &= \int_{-1}^1 f_1(1-x)f_{n-1}(1+x)dx = \int_{-1}^1 (1-x)(1+x)^{n-1} dx \\ &= \int_{-1}^1 \{2 - (1+x)\}(1+x)^{n-1} dx = \int_{-1}^1 \{2(1+x)^{n-1} - (1+x)^n\} dx \\ &= \left[\frac{2}{n}(1+x)^n - \frac{1}{n+1}(1+x)^{n+1} \right]_{-1}^1 = \frac{2^{n+1}}{n} - \frac{2^{n+1}}{n+1} = \frac{2^{n+1}}{n(n+1)} \end{aligned}$$

$$(2) f_m(x) = \begin{cases} 1 & (m=0) \\ x^m & (m \geq 1) \end{cases} \quad \text{よ り } (m=0, 1, 2, \dots, n)$$

(i) $1 \leq k < n$ のとき

$$\begin{aligned} a_k &= \int_{-1}^1 f_k(1-x)f_{n-k}(1+x)dx = \int_{-1}^1 (1-x)^k(1+x)^{n-k} \\ &= \int_{-1}^1 (1-x)^k \left\{ \frac{(1+x)^{n-k+1}}{n-k+1} \right\}' dx \\ &= \left[(1-x)^k \frac{(1+x)^{n-k+1}}{n-k+1} \right]_{-1}^1 - \int_{-1}^1 \{(1-x)^k\}' \frac{(1+x)^{n-k+1}}{n-k+1} dx \\ &= \frac{k}{n-k+1} \int_{-1}^1 (1-x)^{k-1}(1+x)^{n-(k-1)} dx \\ &= \frac{k}{n-k+1} \int_{-1}^1 f_{k-1}(1-x)f_{n-(k-1)}(1+x) dx \\ &= \frac{k}{n-k+1} a_{k-1} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

(ii) $k = n$ のとき

$$\begin{aligned} a_n &= \int_{-1}^1 f_n(1-x)f_0(1+x)dx = \int_{-1}^1 (1-x)^n \cdot 1 dx \\ &= \int_{-1}^1 (1-x)^n (1+x)' dx \\ &= \left[(1-x)^n (1+x) \right]_{-1}^1 - \int_{-1}^1 \{(1-x)^n\}' (1+x) dx \\ &= n \int_{-1}^1 (1-x)^{n-1} (1+x) dx \\ &= n \int_{-1}^1 f_{n-1}(1-x)f_1(1+x) dx \\ &= n a_{n-1} \end{aligned}$$

上式より, $(*)$ は, $k = n$ のときも成り立つ.

よって, $k \geq 1$ のとき

$$a_k = \frac{k}{n-k+1} a_{k-1}$$

(3) (1), (2) の結果から, $k \geq 0$ のとき $a_k > 0$ であるから

$$\frac{a_k}{a_{k-1}} = \frac{k}{n-k+1}$$

したがって

$$\begin{aligned}\frac{a_k}{a_{k-1}} &= \frac{k}{n-k+1} \\ \frac{a_{k-1}}{a_{k-2}} &= \frac{k-1}{n-k+2} \\ &\vdots \\ \frac{a_2}{a_1} &= \frac{2}{n-1} \\ \frac{a_1}{a_0} &= \frac{1}{n}\end{aligned}$$

上の諸式の辺々を掛け合わせると $\frac{a_k}{a_0} = \frac{k!}{{}_nP_k}$

ここで, ${}_nC_k = \frac{{}_nP_k}{k!}$ であるから $\frac{a_k}{a_0} = \frac{1}{{}_nC_k}$

上式に (1) の結果を代入すると $a_k = \frac{a_0}{{}_nC_k} = \frac{2^{n+1}}{(n+1){}_nC_k}$

(4) (3) の結果より, $\frac{1}{a_k} = \frac{(n+1){}_nC_k}{2^{n+1}}$ であるから

$$\sum_{k=0}^n \frac{1}{a_k} = \frac{n+1}{2^{n+1}} \sum_{k=0}^n {}_nC_k = \frac{n+1}{2^{n+1}} \times 2^n = \frac{n+1}{2}$$

■

4 (1) ${}_9C_3 = \frac{9 \cdot 8 \cdot 7}{3 \cdot 2 \cdot 1} = 84$ (通り)

- (2) 玉 1 と玉 2 がいっしょに含まれる場合の数は 7 (通り)
 玉 1 と玉 3 がいっしょに含まれる場合の数は 7 (通り)
 玉 1, 玉 2, 玉 3 の 3 個がいっしょに含まれる場合が 1 通りある.
 よって, 求める場合の数は

$$84 - (7 + 7 - 1) = 71 \text{ (通り)}$$

- (3) 9 個の玉を A, B, C の 3 つの箱に 3 個ずつ入れる場合の数は

$${}_9C_3 \times {}_6C_3 = 84 \times 20 \text{ (通り)}$$

求める場合の数は, A, B, C の区別をなくせばよいので

$$\frac{84 \times 20}{3!} = 280 \text{ (通り)}$$

- (4) 玉 1 と玉 2 がいっしょに含まれる場合の数は

$$7 \times \frac{{}_6C_3}{2!} = 70 \text{ (通り)}$$

玉 1 と玉 3 がいっしょに含まれる場合の数は

$$7 \times \frac{{}_6C_3}{2!} = 70 \text{ (通り)}$$

玉 1, 玉 2, 玉 3 がいっしょに含まれる場合の数は

$$\frac{{}_6C_3}{2!} = 10 \text{ (通り)}$$

よって, 求める場合の数は

$$280 - (70 + 70 - 10) = 150 \text{ (通り)}$$



2.13 2016年(情報工学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 座標平面上の曲線 $C: y = \frac{1}{x} (x > 0)$ と点 $P(s, t) (s > 0, t > 0, st < 1)$ を考える. また, $u = st$ とする. 点 P を通る曲線 C の2本の接線をそれぞれ l_1, l_2 とし, これらの接線と曲線 C との接点をそれぞれ $A\left(a, \frac{1}{a}\right), B\left(b, \frac{1}{b}\right)$ とする. ただし, $a < b$ とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) a, b を s, t を用いて表せ.
- (2) 2点 $E(a, 0), F(b, 0)$ を考える. 台形 $ABFE$ の面積を u を用いて表せ.
- (3) $\triangle PAB$ の面積を u を用いて表せ.
- (4) (3) で求めた $\triangle PAB$ の面積を $S(u)$ とする. $S(u)$ は区間 $0 < u < 1$ で減少することを示せ.
- (5) 点 P が2点 $(3, 0), (0, 1)$ を結ぶ線分上の端点以外にあるものとする. このとき, $\triangle PAB$ の面積が最小となる点 P の座標を求めよ. また, そのときの面積を求めよ.

- 2 原点 O を中心とする半径 1 の円を C_1 とする. 円 C_1 に外接しながら, 半径 1 の円 C_2 がすべることなく回転する. 円 C_2 の中心を P とし, 円 C_2 上の点 Q は最初, x 軸上の点 $A(3, 0)$ にあるものとする. 半直線 PQ 上で点 P からの距離が 2 の点を R とし, OP が x 軸の正の向きとなす角を θ とする. C_2 が回転して θ が 0 から 2π まで変化するとき, 点 R が描く曲線を C とする. 曲線 C の概形を図 1 に示す. 以下の問いに答えよ.

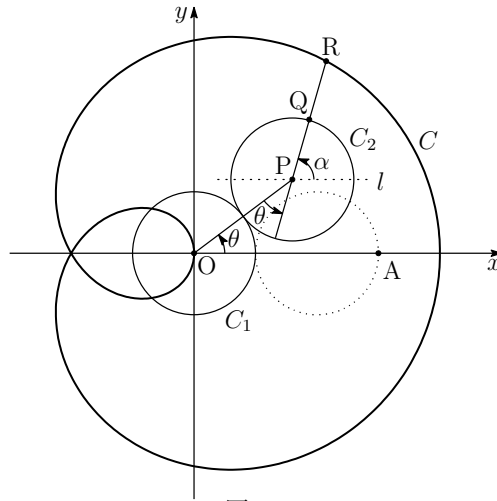


図 1

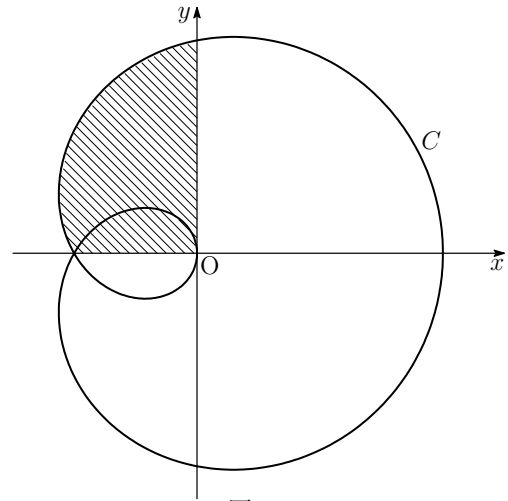


図 2

- (1) 点 P の座標を θ を用いて表せ.
- (2) 点 P を通り x 軸と平行な直線を l とする. 直線 l と線分 PR のなす角 α を, θ を用いて表せ. また, R の座標を θ を用いて表せ.
- (3) 曲線 C と x 軸の共有点の座標をすべて求めよ.
- (4) 曲線 C と y 軸の共有点の座標をすべて求めよ.
- (5) 点 R の x 座標が最小となるときの点 R の座標をすべて求めよ.
- (6) 曲線 C と x 軸, y 軸に囲まれた図 2 の斜線部分の面積を求めよ.

3 複素数 z_n を

$$z_0 = 0, \quad z_1 = 1, \quad z_{n+2} = z_{n+1} + \alpha(z_{n+1} - z_n) \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

により定める. ただし, i を虚数単位とし, $\alpha = \frac{1}{2} \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$ とする. また, 複素平面上で複素数 z_n を表す点を P_n とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) z_2, z_3, z_4 を求めよ.
- (2) 点 P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 を図示せよ. また, 線分 $P_0P_1, P_1P_2, P_2P_3, P_3P_4$ の長さ, および $\angle P_2P_1P_0, \angle P_3P_2P_1, \angle P_4P_3P_2$ の値も図中に示せ.
- (3) $z_{n+1} - z_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を α と n を用いて表せ.
- (4) z_n の実部, 虚部をそれぞれ x_n, y_n とする. このとき, x_n, y_n をそれぞれ n を用いて表せ.
- (5) (4) で求めた x_n, y_n について, $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n, \lim_{n \rightarrow \infty} y_n$ をそれぞれ求めよ.

4 はじめに, 4 枚の硬貨 A, B, C, D が, 表が上の状態で置かれている. これらの硬貨に対して以下の試行を繰り返すものとする.

試行: 4 枚の硬貨のうち, 裏が上の硬貨はそのままにし,
表が上の硬貨はすべて拾って同時に投げる.

ただし, すべての硬貨が, 裏が上の場合も, 0 枚の硬貨を拾って投げるとみなして, 試行を繰り返すものとする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 硬貨 A が 3 回目の試行の後に表が上である確率を求めよ.
- (2) 3 回目の試行の後, 硬貨 A と B は表が上で, かつ, 硬貨 C と D は裏が上である確率を求めよ.
- (3) 3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚である確率を求めよ.
- (4) 1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 3 枚であった. このとき, 3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚である確率を求めよ.
- (5) 1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 3 枚で, かつ, 3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚である確率を求めよ.
- (6) 3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚であった. このとき, 1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 3 枚である確率を求めよ.

解答例

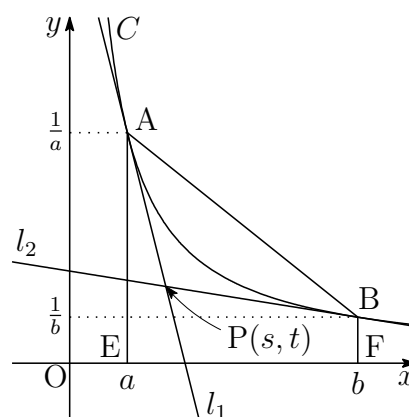
- 1 (1) $y = \frac{1}{x}$ を微分すると $y' = -\frac{1}{x^2}$
 $A\left(a, \frac{1}{a}\right)$ における接線 l_1 の方程式は

$$y - \frac{1}{a} = -\frac{1}{a^2}(x - a)$$

ゆえに $y = -\frac{1}{a^2}x + \frac{2}{a}$

これが, $P(s, t)$ を通るから

$$t = -\frac{1}{a^2}s + \frac{2}{a}$$



上式を a について, 整理すると $ta^2 - 2a + s = 0$

$B\left(b, \frac{1}{b}\right)$ についても同様にして $tb^2 - 2b + s = 0$

上の 2 式から, a, b は λ に関する 2 次方程式

$$t\lambda^2 - 2\lambda + s = 0 \quad \cdots (*)$$

の解であるから ($a < b$), $t > 0$, $st < 1$ に注意して

$$a = \frac{1 - \sqrt{1 - st}}{t}, \quad b = \frac{1 + \sqrt{1 - st}}{t}$$

(2) 方程式 (*) の解と係数の関係および (1) の結果から

$$a + b = \frac{2}{t}, \quad ab = \frac{s}{t}, \quad b - a = \frac{2\sqrt{1 - st}}{t} \quad \cdots (**)$$

台形 ABFE の面積は, 上式により

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}(AE + BF) \cdot EF &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) (b - a) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{a + b}{ab} (b - a) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{t} \cdot \frac{t}{s} \cdot \frac{2\sqrt{1 - st}}{t} \\ &= \frac{2\sqrt{1 - st}}{st} = \frac{2\sqrt{1 - u}}{u} \end{aligned}$$

- (3) $\overrightarrow{PA} = \left(a - s, \frac{1}{a} - t\right)$, $\overrightarrow{PB} = \left(b - s, \frac{1}{b} - t\right)$ であるから ($a < b$),
 (**) および $u = st < 1$ により

$$\begin{aligned}
 \triangle PAB &= \frac{1}{2} \left| (a - s) \left(\frac{1}{b} - t\right) - (b - s) \left(\frac{1}{a} - t\right) \right| \\
 &= \frac{1}{2} \left| s \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) + t(b - a) - \left(\frac{b}{a} - \frac{a}{b}\right) \right| \\
 &= \frac{1}{2} (b - a) \left| \frac{s}{ab} + t - \frac{a + b}{ab} \right| \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2\sqrt{1 - st}}{t} \left| s \cdot \frac{t}{s} + t - \frac{2}{t} \cdot \frac{t}{s} \right| \\
 &= 2\sqrt{1 - st} \left| 1 - \frac{1}{st} \right| = 2\sqrt{1 - u} \left| 1 - \frac{1}{u} \right| \\
 &= 2\sqrt{1 - u} \cdot \frac{|u - 1|}{u} = \frac{2(1 - u)^{\frac{3}{2}}}{u}
 \end{aligned}$$

- (4) (3) の結果から $S(u) = \frac{2(1 - u)^{\frac{3}{2}}}{u}$
 これを微分すると $S'(u) = -\frac{(u + 2)\sqrt{1 - u}}{u^2}$
 したがって, $0 < u < 1$ において $S'(u) < 0$
 よって, $S(u)$ は区間 $0 < u < 1$ で減少する.

- (5) 条件から, $P(s, t)$ について $\frac{s}{3} + t = 1$ ($0 < t < 1$)
 すなわち $s = 3 - 3t$ ($0 < t < 1$)
 ゆえに $u = st = (3 - 3t)t = -3\left(t - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}$
 したがって, u は, $s = \frac{3}{2}$, $t = \frac{1}{2}$ のとき最大値 $\frac{3}{4}$ をとる.
 (3), (4) の結果から, $P\left(\frac{3}{2}, \frac{1}{2}\right)$ で $\triangle PAB$ は最小となり, 最小値は

$$S\left(\frac{3}{4}\right) = \frac{1}{3}$$

補足 $s > 0$, $t > 0$ であるから相加平均・相乗平均の関係により

$$1 = \frac{s}{3} + t \geq 2\sqrt{\frac{s}{3} \cdot t} = 2\sqrt{\frac{u}{3}} \quad \text{よって} \quad u \leq \frac{3}{4}$$

等号が成立するのは $\frac{s}{3} = t$ すなわち $s = \frac{3}{2}$, $t = \frac{1}{2}$ ■

- 2** (1) $OP = 2$, OP と x 軸の正の向きとなす角が θ であるから

$$P(2 \cos \theta, 2 \sin \theta)$$

- (2) 線分 OP の P の延長と C_2 の交点を Q' とすると, 直線 l と PQ' のなす角は θ であり, $\angle Q'OQ = \theta$ であるから

$$\alpha = \theta + \angle Q'OQ = \theta + \theta = 2\theta$$

$$PR = 2 \text{ であるから } \overrightarrow{PR} = (2 \cos 2\theta, 2 \sin 2\theta)$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } \overrightarrow{OR} &= \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PR} \\ &= (2 \cos \theta, 2 \sin \theta) + (2 \cos 2\theta, 2 \sin 2\theta) \\ &= (2 \cos \theta + 2 \cos 2\theta, 2 \sin \theta + 2 \sin 2\theta) \end{aligned}$$

$$\text{よって } R(2 \cos \theta + 2 \cos 2\theta, 2 \sin \theta + 2 \sin 2\theta)$$

- (3) $R(x, y)$ とすると, (2) の結果から

$$y = 2 \sin \theta + 2 \sin 2\theta = 4 \sin \frac{3\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi \text{ において, } y = 0 \text{ を解くと } \theta = 0, \frac{2}{3}\pi, \pi, \frac{4}{3}\pi, 2\pi$$

これらの θ の値を順次, (2) の結果に代入すると

$$(4, 0), (-2, 0), (0, 0), (-2, 0), (4, 0)$$

よって, 求める x 軸との共有点の座標は

$$(4, 0), (-2, 0), (0, 0)$$

- (4) (3) と同様に, (2) の結果から

$$x = 2 \cos \theta + 2 \cos 2\theta = 4 \cos \frac{3\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi \text{ において, } x = 0 \text{ を解くと } \theta = \frac{\pi}{3}, \pi, \frac{5}{3}\pi$$

よって, これらの θ の値を順次, (2) の結果に代入すると

$$(0, 2\sqrt{3}), (0, 0), (0, -2\sqrt{3})$$

(5) (2) の結果から

$$\begin{aligned}
 x &= 2 \cos \theta + 2 \cos 2\theta \\
 &= 2 \cos \theta + 2(2 \cos^2 \theta - 1) \\
 &= 4 \cos^2 \theta + 2 \cos \theta - 2 \\
 &= 4 \left(\cos \theta + \frac{1}{4} \right)^2 - \frac{9}{4}
 \end{aligned}$$

点 R の x 座標が最小となるとき

$$\cos \theta = -\frac{1}{4}$$

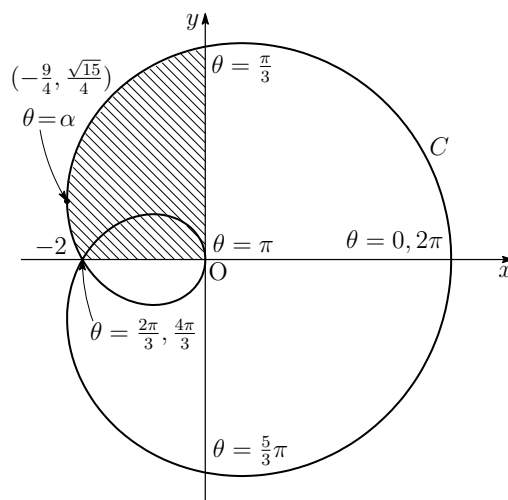
$$\text{このとき } \sin \theta = \pm \frac{\sqrt{15}}{4}, \cos 2\theta = -\frac{7}{8}, \sin 2\theta = \mp \frac{\sqrt{15}}{8} \quad (\text{複号同順})$$

$$\text{よって, 求める座標は } \left(-\frac{9}{4}, \pm \frac{\sqrt{15}}{4} \right)$$

(6) よって, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{-2}^0 y \, dx = \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} y \frac{dx}{d\theta} \, d\theta \\
 &= \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} (2 \sin \theta + 2 \sin 2\theta)(2 \cos \theta + 2 \cos 2\theta)' \, d\theta \\
 &= 4 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (\sin \theta + \sin 2\theta)(\sin \theta + 2 \sin 2\theta) \, d\theta \\
 &= 4 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (\sin^2 \theta + 3 \sin \theta \sin 2\theta + 2 \sin^2 2\theta) \, d\theta \\
 &= 4 \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{2} + 3 \times \frac{\cos \theta - \cos 3\theta}{2} + 2 \times \frac{1 - \cos 4\theta}{2} \right) \, d\theta \\
 &= \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} (6 + 6 \cos \theta - 2 \cos 2\theta - 6 \cos 3\theta - 4 \cos 4\theta) \, d\theta \\
 &= \left[6\theta + 6 \sin \theta - \sin 2\theta - 2 \sin 3\theta - \sin 4\theta \right]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} = 2\pi
 \end{aligned}$$

$$\text{補足 } S = \int_{-\frac{9}{4}}^0 y \, dx - \int_{-\frac{9}{4}}^{-2} y \, dx = \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{3}} y \frac{dx}{d\theta} \, d\theta - \int_{\alpha}^{\frac{2\pi}{3}} y \frac{dx}{d\theta} \, d\theta = \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} y \frac{dx}{d\theta} \, d\theta$$

類題 長崎大学 (2009 年 [7])⁹⁹http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/nagasaki/nagasaki_2009.pdf

3 (1) 与えられた漸化式より

$$z_{n+2} - z_{n+1} = \alpha(z_{n+1} - z_n) \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad \cdots (*)$$

であるから

$$z_2 - z_1 = \alpha(z_1 - z_0) = \alpha = \frac{1}{2} \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) = \frac{1}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}i \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$z_3 - z_2 = \alpha(z_2 - z_1) = \alpha^2 = \frac{1}{4} \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right) = -\frac{1}{8} + \frac{\sqrt{3}}{8}i$$

$$z_4 - z_3 = \alpha(z_3 - z_2) = \alpha^3 = \frac{1}{8} (\cos \pi + i \sin \pi) = -\frac{1}{8}$$

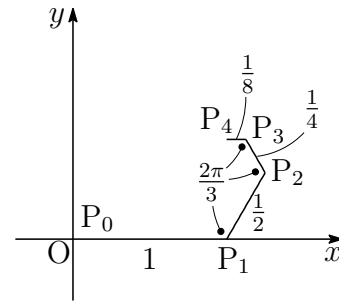
上の第 1 式と第 2 式, および上の 3 式の辺々を加えると

$$z_3 - z_1 = \frac{1}{8} + \frac{3\sqrt{3}}{8}i, \quad z_4 - z_1 = \frac{3\sqrt{3}}{8}i$$

$z_1 = 1$ であるから, ① および上の 2 式から

$$z_2 = \frac{5}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}i, \quad z_3 = \frac{9}{8} + \frac{3\sqrt{3}}{8}i, \quad z_4 = 1 + \frac{3\sqrt{3}}{8}i$$

- (2) α は大きさが $\frac{1}{2}$, 偏角が $\frac{\pi}{3}$ であるから, (*) より, $P_{n+1}P_{n+2}$ は P_nP_{n+1} を $\frac{1}{2}$ に縮小し, $\frac{\pi}{3}$ だけ回転させたものである. $P_0(0)$, $P_1(1)$ であるから, P_2, P_3, P_4 を複素数平面上にとると, 右の図のようになる.



- (3) $z_0 = 0$, $z_1 = 1$, および (*) より

$$z_{n+1} - z_n = \alpha^n(z_1 - z_0) = \alpha^n$$

(4) (3)の結果から, $n \geq 1$ のとき

$$\sum_{k=0}^{n-1} (z_{k+1} - z_k) = \sum_{k=0}^{n-1} \alpha^k \quad \text{ゆえに} \quad z_n = \frac{\alpha^n - 1}{\alpha - 1} \quad \cdots (**)$$

(**) は $n = 0$ についても成り立つ. ここで

$$\begin{aligned} \alpha^n &= \frac{1}{2^n} \left(\cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3} \right) \\ \alpha - 1 &= \frac{1}{2} \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) - 1 = -\frac{3}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}i \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\cos \frac{5}{6}\pi + i \sin \frac{5}{6}\pi \right) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} z_n &= \frac{\frac{1}{2^n} \left(\cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3} \right) - 1}{\frac{\sqrt{3}}{2} \left(\cos \frac{5}{6}\pi + i \sin \frac{5}{6}\pi \right)} \\ &= \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}} \left(\cos \frac{2n-5}{6}\pi + i \sin \frac{2n-5}{6}\pi \right) \\ &\quad - \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\cos \frac{5}{6}\pi + i \sin \frac{5}{6}\pi \right) \\ &= \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}} \left(\cos \frac{2n-5}{6}\pi + i \sin \frac{2n-5}{6}\pi \right) + 1 + \frac{1}{\sqrt{3}}i \\ &= \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}} \cos \frac{2n-5}{6}\pi + 1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{2^{n-1}} \sin \frac{2n-5}{6}\pi + 1 \right) i \end{aligned}$$

$z_n = x_n + y_n i$ であるから

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}} \cos \frac{2n-5}{6}\pi + 1 \\ y_n &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{2^{n-1}} \sin \frac{2n-5}{6}\pi + 1 \right) \end{aligned}$$

(5) (4)の結果から $|x_n - 1| \leq \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}}, \quad \left| y_n - \frac{1}{\sqrt{3}} \right| \leq \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}}$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^{n-1}\sqrt{3}} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} y_n = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

■

- 4 (1) 硬貨 A が 3 回続けて表が上の確率であるから $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{8}$
- (2) それぞれの硬貨は 3 回目の試行の後、表が上である確率が $\frac{1}{8}$ であるから、それぞれの硬貨が 3 回目の試行の後、裏である確率は

$$1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$$

よって、求める確率は $\left(\frac{1}{8}\right)^2 \left(\frac{7}{8}\right)^2 = \frac{49}{4096}$

- (3) 3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚の場合の総数は ${}_4C_2$ (通り)

よって、(2) の結果により ${}_4C_2 \left(\frac{1}{8}\right)^2 \left(\frac{7}{8}\right)^2 = \frac{147}{2048}$

- (4) 1 枚の硬貨が 2 回連続して表が上である確率は $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$

3 枚の硬貨について、2 枚が 2 回連続して表が上で、残りの 1 枚が裏が上の確率であるから

$${}_3C_2 \left(\frac{1}{4}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{9}{64}$$

- (5) 1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 3 枚である確率は

$${}_4C_3 \left(\frac{1}{2}\right)^3 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{4}$$

これと (4) の結果により $\frac{1}{4} \times \frac{9}{64} = \frac{9}{256}$

- (6) 1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚で、かつ、3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚である確率は

$${}_4C_2 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 \times \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{3}{128}$$

1 回目の試行の後に表が上の硬貨が 4 枚で、かつ、3 回目の試行の後に表が上の硬貨が 2 枚である確率は

$$\left(\frac{1}{2}\right)^4 \times {}_4C_2 \left(\frac{1}{4}\right)^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right)^2 = \frac{27}{2048}$$

(5) と以上の結果により、求める確率は $\frac{\frac{9}{256}}{\frac{3}{128} + \frac{9}{256} + \frac{27}{2048}} = \frac{24}{49}$

別解 (3), (5) より $\frac{9}{256} \div \frac{147}{2048} = \frac{24}{49}$



第 3 章 福岡教育大学

中等教育 (数学専攻) 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	福岡教育大学	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明	1										1
	複素数と方程式						1					
	図形と方程式			2								
	三角関数		1									
	指数関数と対数関数	1・2		1	1	1	1	1		1	1	
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限					3		1				
	微分法とその応用			3								
	積分法				4	1			4	1		1
	積分法の応用	4	4	4		4	4	4		4	4	4
A	場合の数と確率		1	1	3	3			2	2	2	
	整数の性質		1	1	1	1						1
	図形の性質											
B	数列	1	2				1	2				
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	3			2	2	3	1		1		2
	空間のベクトル										3	
	複素数平面		3		1		2	3	1・3	3	1	3
	式と曲線										1	

初等教育 (数学専攻) は 2016 年～2022 年で数学による学科試験なし

3.1 2015年

出題分野 1 2 3 4 初等教育(数学専修) 5 6 7 8

1 次の問いに答えよ.

(1) $(x - 3y + 2z)^7$ の展開式における $x^4 y^2 z$ の項の係数を求めよ.(2) a は正の定数で, $a \neq 1$ とする. 不等式

$$\log_a(a - x - y) > \log_a x + \log_a y$$

が表す領域を図示せよ.

(3) n は3以上の自然数とする. 数学的帰納法によって, 次の不等式を証明せよ.

$$2^n > \frac{1}{2}n^2 + n$$

2 次の問いに答えよ.

(1) x がすべての実数を動くとき, $2^x + 2^{-x}$ の最小値を m とする. 次の (ア), (イ) に答えよ.(ア) m の値を求め, $2^x + 2^{-x} = m$ を満たす x を求めよ.(イ) $k > m$ のとき, $2^x + 2^{-x} = k$ を満たす x をすべて求めよ.(2) a を定数とし, $a \leq 2$ とする. 方程式

$$4^x + 4^{-x} - 3a \cdot 2^x - 3a \cdot 2^{-x} + 2(a^2 + 1) = 0$$

の異なる実数解の個数を求めよ.

3 平面上に $\triangle ABC$ と点 O がある. $\triangle ABC$ の内部に点 D があって, 三角形の面積比が

$$\triangle DBC : \triangle DCA : \triangle DAB = p : q : r$$

であるとする. 次の問いに答えよ.

(1) 直線 AD と辺 BC の交点を S , 直線 BD と辺 AC の交点を T とするとき, $BS : SC$ および $CT : TA$ を p, q, r を用いて表せ.(2) $\overrightarrow{OD} = \frac{p\overrightarrow{OA} + q\overrightarrow{OB} + r\overrightarrow{OC}}{p + q + r}$ となることを示せ.

- 4 a を正の定数とし、曲線 $y = a \cos x$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) と曲線 $y = \sin x$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) と y 軸によって囲まれる部分の面積が $\sqrt{3}-1$ であるとする。次の問いに答えよ。

- (1) a の値を求めよ。
- (2) 曲線 $y = a \cos x$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) と曲線 $y = \tan x$ ($0 \leq x < \frac{\pi}{2}$) の交点を求めよ。
- (3) 曲線 $y = a \cos x$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) と曲線 $y = \tan x$ ($0 \leq x < \frac{\pi}{2}$) と y 軸によって囲まれる部分を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。

- 5 次の問いに答えよ。

- (1) $(x - 3y + 2z)^7$ の展開式における $x^4 y^2 z$ の項の係数を求めよ。
- (2) a を定数とし、 $0 < a < 1$ とする。不等式

$$\log_a(a - x - y) > \log_a x + \log_a y$$

が表す領域を図示せよ。

- (3) n は 3 以上の自然数とする。数学的帰納法によって、次の不等式を証明せよ。

$$2^n > \frac{1}{2}n^2 + n$$

- 6 次の問いに答えよ。

- (1) x がすべての実数を動くとき、 $2^x + 2^{-x}$ の最小値を m とする。次の (ア), (イ) に答えよ。
 (ア) m の値を求め、 $2^x + 2^{-x} = m$ を満たす x を求めよ。
 (イ) $k > m$ のとき、 $2^x + 2^{-x} = k$ を満たす x をすべて求めよ。
- (2) a を定数とし、 $1 < a \leq 2$ とする。方程式

$$4^x + 4^{-x} - 3a \cdot 2^x - 3a \cdot 2^{-x} + 2(a^2 + 1) = 0$$

が異なる 3 つの実数解をもつとき、その 3 つの実数解をすべて求めよ。

- 7 $\triangle ABC$ を1辺の長さが1の正三角形とし、 $\triangle ABC$ の外接円の中心を O とする。次の問いに答えよ。

- (1) ベクトル $\overrightarrow{OA}$ の大きさを求めよ。
- (2) 点 P が $\triangle ABC$ の外接円上を動くとき、次の(ア)、(イ)に答えよ。
 - (ア) 内積の和 $\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PC} + \overrightarrow{PC} \cdot \overrightarrow{PA}$ の値を求めよ。
 - (イ) 内積 $\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB}$ の最大値と最小値を求めよ。

- 8 次の問いに答えよ。ただし、対数は自然対数とする。

- (1) 関数 $f(x) = x - \log x$ の最小値を求めよ。
- (2) a を1より大きい定数とし、曲線 $y = a \sin x \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$ と曲線 $y = \tan x \left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$ によって囲まれる部分 D の面積が $1 - \log 2$ であるとする。次の(ア)、(イ)に答えよ。
 - (ア) a の値を求めよ。
 - (イ) D を x 軸の周りに1回転させてできる立体の体積を求めよ。

解答例

1 (1) $\frac{7!}{4!2!1!}x^4(-3y)^2 \cdot 2z = 1890x^4y^2z$ よって、求める係数は **1890**

(2) $\log_a(a-x-y) > \log_a x + \log_a y \quad \cdots (*)$

(*) において、真数は正であるから

$$a-x-y > 0 \quad \text{かつ} \quad x > 0 \quad \text{かつ} \quad y > 0$$

すなわち $x > 0, \quad y > 0, \quad x+y < a \quad \cdots \textcircled{1}$

(*) から $\log_a(a-x-y) > \log_a xy \quad \cdots \textcircled{2}$

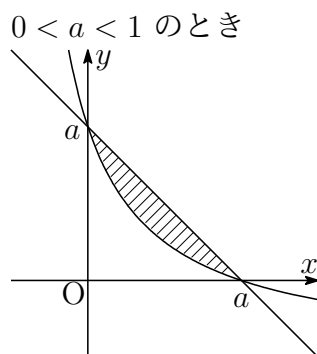
i) $0 < a < 1$ のとき、 $\textcircled{2}$ から

$$a-x-y < xy \quad \text{すなわち} \quad (x+1)(y+1) > a+1$$

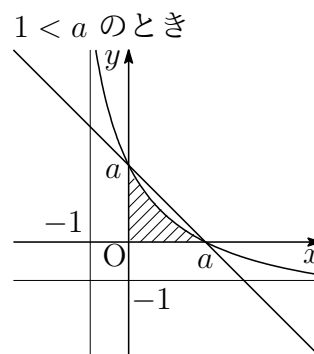
ii) $1 < a$ のとき、 $\textcircled{2}$ から

$$a-x-y > xy \quad \text{すなわち} \quad (x+1)(y+1) < a+1$$

i), ii) および $\textcircled{1}$ から、求める領域は、次のようになる.



境界線を含まない



境界線を含まない

(3) $2^n > \frac{1}{2}n^2 + n \cdots (A)$ とする.

[1] $n = 3$ のとき

$$(\text{左辺}) = 2^3 = 8, \quad (\text{右辺}) = \frac{1}{2} \cdot 3^2 + 3 = \frac{15}{2}$$

よって, $n = 3$ のとき, (A) が成り立つ.

[2] $k \geq 3$ として, $n = k$ のとき, (A) が成り立つ, すなわち

$$2^k > \frac{1}{2}k^2 + k$$

が成り立つと仮定する.

$n = k + 1$ のとき, (A) の差を考えると

$$\begin{aligned} 2^{k+1} - \left\{ \frac{1}{2}(k+1)^2 + (k+1) \right\} &= 2 \cdot 2^k - \left(\frac{1}{2}k^2 + 2k + \frac{3}{2} \right) \\ &> 2 \left(\frac{1}{2}k^2 + k \right) - \left(\frac{1}{2}k^2 + 2k + \frac{3}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2}(k^2 - 3) > 0 \end{aligned}$$

$$\text{すなわち} \quad 2^{k+1} > \frac{1}{2}(k+1)^2 + (k+1)$$

したがって, $n = k + 1$ のときも (A) が成り立つ.

[1], [2] から, 3 以上のすべての自然数 n について (A) が成り立つ. ■

2 (1)(ア) $2^x + 2^{-x} = (2^{\frac{x}{2}} - 2^{-\frac{x}{2}})^2 + 2$

$2^{\frac{x}{2}} - 2^{-\frac{x}{2}} = 0$ すなわち $x = 0$ のとき, 最小値 m は **2**

(イ) $t = 2^x$ とおくと, $2^x + 2^{-x} = k \cdots \textcircled{1}$ より

$$t + \frac{1}{t} = k \quad \text{すなわち} \quad t^2 - kt + 1 = 0$$

$k > 2$ に注意して, これを解くと $t = \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2}$

ゆえに $2^x = \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2}$ よって $x = \log_2 \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2}$

(2) 方程式 $4^x + 4^{-x} - 3a \cdot 2^x - 3a \cdot 2^{-x} + 2(a^2 + 1) = 0 \cdots (*)$ を変形すると

$$(2^x + 2^{-x})^2 - 3a(2^x + 2^{-x}) + 2a^2 = 0$$

① から $k^2 - 3ak + 2a^2 = 0$ ゆえに $(k - a)(k - 2a) = 0 \cdots \textcircled{2}$

(1) の結果より $k \geq 2$ であるから, ② の実数解は, $a \leq 2$ に注意して

$2a < 2$	すなわち	$a < 1$ のとき	実数解はない
$2a = 2$	すなわち	$a = 1$ のとき	$k = 2$
$a < 2 < 2a$	すなわち	$1 < a < 2$ のとき	$k = 2a$
		$a = 2$ のとき	$k = 2, 4$

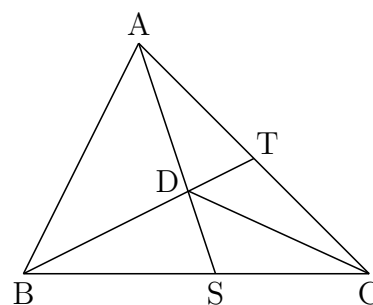
① が実数解をもつのは, $k \geq 2$ のときで, $k = 2$ のとき実数解は 1 個,
 $k > 2$ のとき実数解は 2 個であるから, 方程式 $(*)$ の実数解の個数は

$$\begin{cases} a < 1 \text{ のとき} & 0 \text{ 個} \\ a = 1 \text{ のとき} & 1 \text{ 個} \\ 1 < a < 2 \text{ のとき} & 2 \text{ 個} \\ a = 2 \text{ のとき} & 3 \text{ 個} \end{cases}$$



3 (1) 右の図から

$$\begin{aligned}
 BS : SC &= \triangle SAB : \triangle SCA \\
 &= \triangle DAB : \triangle DCA = r : q, \\
 CT : TA &= \triangle TBC : \triangle TAB \\
 &= \triangle DBC : \triangle DAB = p : r
 \end{aligned}$$



(2) $\triangle BCT$ および直線 AS について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{BS}{SC} \cdot \frac{CA}{AT} \cdot \frac{TD}{DB} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{r}{q} \times \frac{p+r}{r} \times \frac{TD}{DB} = 1$$

したがって $TD : DB = q : p + r$

D は TB を $q : p + r$ に内分する点であるから

$$\overrightarrow{OD} = \frac{(p+r)\overrightarrow{OT} + q\overrightarrow{OB}}{q + (p+r)} \quad \dots \textcircled{1}$$

T は CA を $p : r$ に内分する点であるから

$$\overrightarrow{OT} = \frac{r\overrightarrow{OC} + p\overrightarrow{OA}}{p+r} \quad \dots \textcircled{2}$$

② を ① に代入すると

$$\overrightarrow{OD} = \frac{(p+r) \cdot \frac{r\overrightarrow{OC} + p\overrightarrow{OA}}{p+r} + q\overrightarrow{OB}}{q + (p+r)} = \frac{p\overrightarrow{OA} + q\overrightarrow{OB} + r\overrightarrow{OC}}{p+q+r}$$

■

- 4 (1) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ における 2 つの曲線を

$$C_1: y = a \cos x, \quad C_2: y = \sin x$$

とし, これらの交点の x 座標を β とすると

$$a \cos \beta = \sin \beta$$

$$\text{ゆえに} \quad \sin \beta - a \cos \beta = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

右の図の斜線部分の面積は

$$\begin{aligned} \int_0^\beta (a \cos x - \sin x) dx &= \left[a \sin x + \cos x \right]_0^\beta \\ &= a \sin \beta + \cos \beta - 1 \end{aligned}$$

条件により, これが $\sqrt{3} - 1$ に等しいから

$$a \sin \beta + \cos \beta - 1 = \sqrt{3} - 1 \quad \text{ゆえに} \quad a \sin \beta + \cos \beta = \sqrt{3} \quad \cdots \textcircled{2}$$

次の等式

$$(\sin \beta - a \cos \beta)^2 + (a \sin \beta + \cos \beta)^2 = a^2 + 1$$

に ①, ② を代入すると

$$3 = a^2 + 1 \quad \text{このとき, } a > 0 \text{ により} \quad a = \sqrt{2}$$

$$(2) \quad \begin{cases} y = \sqrt{2} \cos x & \cdots \textcircled{3} \\ y = \tan x & \cdots \textcircled{4} \end{cases} \quad \text{とおく. ③, ④ から } y \text{ を消去すると}$$

$$\sqrt{2} \cos x = \tan x \quad \text{ゆえに} \quad \sqrt{2} \cos^2 x = \sin x$$

$$\text{整理すると} \quad \sqrt{2} \sin^2 x + \sin x - \sqrt{2} = 0$$

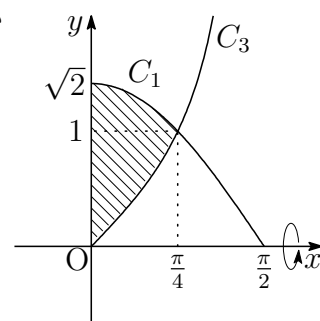
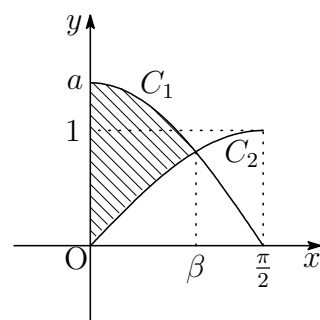
$$\text{したがって} \quad (\sin x + \sqrt{2})(\sqrt{2} \sin x - 1) = 0$$

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{2} \text{ に注意して, これを解くと} \quad x = \frac{\pi}{4}$$

これを ④ に代入して $y = 1$ よって, 求める交点は $\left(\frac{\pi}{4}, 1\right)$

- (3) $C_3: y = \tan x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$ とおく. 右の図から求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^{\frac{\pi}{4}} (2 \cos^2 x - \tan^2 x) dx \\ &= \pi \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\cos 2x - \frac{1}{\cos^2 x} + 2 \right) dx \\ &= \pi \left[\frac{1}{2} \sin 2x - \tan x + 2x \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\pi}{2} (\pi - 1) \end{aligned}$$



■

5 (1) $\frac{7!}{4!2!1!}x^4(-3y)^2 \cdot 2z = 1890x^4y^2z$ よって、求める係数は **1890**

(2) $\log_a(a-x-y) > \log_a x + \log_a y \quad \cdots (*)$

(*)において、真数は正であるから

$$a-x-y > 0 \quad \text{かつ} \quad x > 0 \quad \text{かつ} \quad y > 0$$

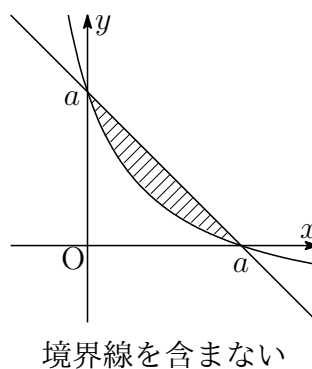
すなわち $x > 0, \quad y > 0, \quad x+y < a \quad \cdots \textcircled{1}$

(*) から $\log_a(a-x-y) > \log_a xy \quad \cdots \textcircled{2}$

$0 < a < 1$ であるから、 $\textcircled{2}$ より

$$a-x-y < xy \quad \text{すなわち} \quad (x+1)(y+1) > a+1$$

上式および $\textcircled{1}$ から、求める領域は、次のようになる。



(3) 1 (3) を参照. ■

6 (1)(ア) $2^x + 2^{-x} = (2^{\frac{x}{2}} - 2^{-\frac{x}{2}})^2 + 2$

$$2^{\frac{x}{2}} - 2^{-\frac{x}{2}} = 0 \quad \text{すなわち} \quad x = 0 \text{ のとき, 最小値 } m \text{ は } 2$$

(イ) $t = 2^x$ とおくと, $2^x + 2^{-x} = k \cdots \textcircled{1}$ より

$$t + \frac{1}{t} = k \quad \text{すなわち} \quad t^2 - kt + 1 = 0$$

$$k > 2 \text{ に注意して, これを解くと } t = \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2}$$

$$\text{ゆえに } 2^x = \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2} \quad \text{よって} \quad x = \log_2 \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4}}{2}$$

(2) 方程式 $4^x + 4^{-x} - 3a \cdot 2^x - 3a \cdot 2^{-x} + 2(a^2 + 1) = 0 \cdots (*)$ を変形すると

$$(2^x + 2^{-x})^2 - 3a(2^x + 2^{-x}) + 2a^2 = 0$$

$\textcircled{1}$ から $k^2 - 3ak + 2a^2 = 0$ ゆえに $(k - a)(k - 2a) = 0 \cdots \textcircled{2}$

(1) の結果より $k \geq 2$ であるから, $\textcircled{2}$ の実数解は, $1 < a \leq 2$ に注意して

$$\begin{aligned} a < 2 < 2a \quad \text{すなわち} \quad 1 < a < 2 \text{ のとき} \quad k &= 2a \\ a = 2 \text{ のとき} \quad k &= 2, 4 \end{aligned}$$

方程式 $(*)$ が 3 つの実数解をもつのは, $a = 2$ のときである.

このとき, $k = 2, 4$ を (1) の結果に代入して

$$x = 0, \log_2(2 \pm \sqrt{3})$$



- 7 (1) $\triangle ABC$ の外接円の半径を R とすると、正弦定理により

$$2R = \frac{1}{\sin 60^\circ} \quad \text{よって} \quad R = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\overrightarrow{OA} \text{ の大きさは } R \text{ であるから} \quad |\overrightarrow{OA}| = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$(2)(ア) \quad \begin{aligned} \overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} &= (\overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OP}) \cdot (\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OP}) \\ &= \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} - (\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}) \cdot \overrightarrow{OP} + |\overrightarrow{OP}|^2 \end{aligned}$$

$$\text{このとき} \quad \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = |\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}| \cos 120^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{6}$$

$$|\overrightarrow{OP}|^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{1}{3}$$

$$\text{ゆえに} \quad \overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} = \frac{1}{6} - (\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}) \cdot \overrightarrow{OP}$$

$$\text{同様に} \quad \overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PC} = \frac{1}{6} - (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \cdot \overrightarrow{OP}$$

$$\overrightarrow{PC} \cdot \overrightarrow{PA} = \frac{1}{6} - (\overrightarrow{OC} + \overrightarrow{OA}) \cdot \overrightarrow{OP}$$

上の3式の辺々を加えると

$$\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PC} + \overrightarrow{PC} \cdot \overrightarrow{PA} = \frac{1}{2} - 2(\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \cdot \overrightarrow{OP}$$

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} = \vec{0} \text{ であるから}$$

$$\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PC} + \overrightarrow{PC} \cdot \overrightarrow{PA} = \frac{1}{2}$$

$$(イ) \quad i) \text{ P が A, B に一致するとき} \quad \overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} = 0$$

$$ii) \text{ P が弦 AB に関して C と同じ側にあるとき, } \angle APB = 60^\circ$$

$x = PA, y = PB$ とし, $\triangle APB$ に余弦定理を適用すると

$$1^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos 60^\circ \quad \text{ゆえに} \quad xy = 1 - (x - y)^2 \leq 1$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} = xy \cos 60^\circ = \frac{1}{2} xy \leq \frac{1}{2}$$

$$iii) \text{ P が弦 AB に関して C と反対側にあるとき, } \angle APB = 120^\circ$$

同様に, $\triangle APB$ に余弦定理を適用すると

$$1^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos 120^\circ \quad \text{ゆえに} \quad xy = \frac{1}{3} - \frac{1}{3}(x - y)^2 \leq \frac{1}{3}$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB} = xy \cos 120^\circ = -\frac{1}{2} xy \geq -\frac{1}{6}$$

$$i) \sim iii) \text{ により, 最大値 } \frac{1}{2}, \text{ 最小値 } -\frac{1}{6}$$



8 (1) $f(x) = x - \log x$ を微分すると

$$f'(x) = 1 - \frac{1}{x} = \frac{x-1}{x}$$

したがって、 $f(x)$ の増減表は、次のようになる.

x	(0)	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$		$-$	0	$+$
$f(x)$		$\searrow$	1	$\nearrow$

よって、最小値は $f(1) = 1$

(2)(ア) $\begin{cases} y = a \sin x & \cdots \textcircled{1} \\ y = \tan x & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$ とおく. $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ から y を消去すると

$$a \sin x = \tan x \quad \text{ゆえに} \quad \sin x \left(a - \frac{1}{\cos x} \right) = 0$$

したがって、 $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ の交点の x 座標は

$$x = 0, \beta \quad \left(0 < \beta < \frac{\pi}{2}, \cos \beta = \frac{1}{a} \right)$$

また、 $0 \leq x \leq \beta$ において

$$a \sin x - \tan x = \sin x \left(a - \frac{1}{\cos x} \right) \geq 0$$

$0 \leq x \leq \beta$ において、 $y = a \sin x$ と $y = \tan x$ で囲まれた図形の面積は

$$\begin{aligned} \int_0^\beta (a \sin x - \tan x) &= \left[-a \cos x + \log \cos x \right]_0^\beta \\ &= a(1 - \cos \beta) + \log \cos \beta \\ &= a \left(1 - \frac{1}{a} \right) + \log \frac{1}{a} = a - \log a - 1 \end{aligned}$$

これが $1 - \log 2$ に等しいから

$$a - \log a - 1 = 1 - \log 2 \quad \text{ゆえに} \quad a - \log a = 2 - \log 2$$

上の第 2 式から $f(a) = f(2)$

(1) の増減表により、 $x > 1$ において、 $f(x)$ は単調増加であるから、上式をみたす a ($a > 1$) の値は

$$a = 2$$

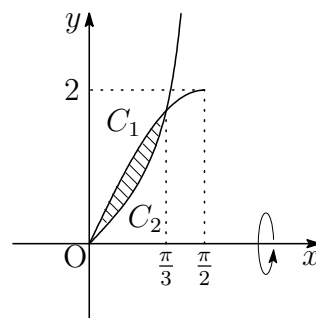
(イ) $a = 2$ より, $0 < \beta < \frac{\pi}{2}$ に注意して

$$\cos \beta = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \beta = \frac{\pi}{3}$$

$C_1 : y = 2 \sin x$, $C_2 : y = \tan x$ とする.

C_1 , C_2 によって囲まれた図形 D は, 右の図の斜線部分である.

よって, 求める体積を V とすると



$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^{\frac{\pi}{3}} \{(2 \sin x)^2 - \tan^2 x\} dx \\ &= \pi \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(3 - 2 \cos 2x - \frac{1}{\cos^2 x} \right) dx \\ &= \pi \left[3x - \sin 2x - \tan x \right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= \pi \left(\pi - \frac{3}{2} \sqrt{3} \right) \end{aligned}$$

■

3.2 2016 年

出題分野 1 2 3 4

1 次の問いに答えよ.

(1) $0 \leq x \leq 2\pi$ のとき

$$\cos 2x + \cos x + 1 > 0$$

を満たす x の範囲を求めよ.

(2) $a^2b - 3a^2 + 5b = 21$ を満たす整数の組 (a, b) をすべて求めよ.

(3) 正方形の各辺を n 等分した点から向かい合う辺に垂線を下ろす. このとき, 正方形の 4 つの辺とこれらの垂線を利用してできる長方形のうち, 正方形でないものの個数を n を用いて表せ.

2 数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ の初項から第 n 項までの和をそれぞれ

$$s_n = a_1 + a_2 + \cdots + a_n, \quad t_n = b_1 + b_2 + \cdots + b_n$$

とおいたとき

$$s_n = \frac{3n^2 + n}{2}, \quad \log_2(t_n + 1) = 2n \quad (n = 1, 2, \dots)$$

が成り立つ. 次の問いに答えよ.

(1) $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.

(2) $\{b_n\}$ の一般項を求めよ.

(3) $\sum_{k=1}^n a_k b_k$ を求めよ.

3 複素数 z は実部が $\frac{\sqrt{5}-1}{4}$, 虚部は正で $|z|=1$ である. 次の問いに答えよ.

- (1) $\left(z + \frac{1}{z}\right)^2 + \left(z + \frac{1}{z}\right)$ の値を求めよ.
- (2) $1 + z + z^2 + z^3 + z^4$ の値を求めよ.
- (3) z の偏角 θ を求めよ. ただし $0 \leq \theta < 2\pi$ とする.

4 a を正の定数とする. 関数 $f(x) = ax - x \log x$ の最大値が 1 であるとする. 次の問いに答えよ.

- (1) a の値を求めよ.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ の接線のうち, 傾きが $-\frac{1}{2}$ であるものを求めよ.
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸および (2) で求めた接線によって囲まれる部分の面積を求めよ.

解答例

- 1** (1) $\cos 2x = 2 \cos^2 x - 1$ であるから、不等式 $\cos 2x + \cos x + 1 > 0$ は

$$(2 \cos^2 x - 1) + \cos x + 1 > 0 \quad \text{ゆえに} \quad \cos x(2 \cos x + 1) > 0$$

$$\text{したがって} \quad \cos x < -\frac{1}{2}, \quad 0 < \cos x$$

$0 \leq x \leq 2\pi$ に注意して、これを解くと

$$0 \leq x < \frac{\pi}{2}, \quad \frac{2}{3}\pi < x < \frac{4}{3}\pi, \quad \frac{3}{2}\pi < x \leq 2\pi$$

- (2) $a^2b - 3a^2 + 5b = 21$ より $(a^2 + 5)b = 3a^2 + 21$

$$\text{したがって} \quad b = \frac{3a^2 + 21}{a^2 + 5} = 3 + \frac{6}{a^2 + 5} \quad \cdots (*)$$

$$a^2 + 5 \geq 5 \text{ は } 6 \text{ の約数であるから} \quad a^2 + 5 = 6$$

$$\text{ゆえに} \quad a = \pm 1 \quad \text{これを } (*) \text{ に代入して} \quad (a, b) = (\pm 1, 4)$$

- (3) 正方形の一辺の長さを n とすると、一辺の長さが k の正方形の個数は

$$(n + 1 - k)^2 \quad (1 \leq k \leq n)$$

であるから、その総数は

$$\sum_{k=1}^n (n + 1 - k)^2 = \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{1}{6}n(n + 1)(2n + 1)$$

また、長方形の総数は

$${}_{n+1}C_2 \times {}_{n+1}C_2 = \frac{1}{4}n^2(n + 1)^2$$

よって、求める個数は

$$\frac{1}{4}n^2(n + 1)^2 - \frac{1}{6}n(n + 1)(2n + 1) = \frac{1}{12}n(n + 1)(n - 1)(3n + 2)$$



- 2** (1) $a_1 = s_1$ であるから $a_1 = \frac{3 \cdot 1^2 + 1}{2} = 2$
 $n \geq 2$ のとき

$$a_n = s_n - s_{n-1} = \frac{3n^2 + n}{2} - \frac{3(n-1)^2 + (n-1)}{2} = 3n - 1$$

これは, $n = 1$ のときも成立するから $a_n = 3n - 1$

- (2) $\log_2(t_n + 1) = 2n$ より $t_n = 2^{2n} - 1$
 $b_1 = t_1$ であるから $b_1 = 2^2 - 1 = 3$
 $n \geq 2$ のとき

$$b_n = t_n - t_{n-1} = (2^{2n} - 1) - \{2^{2(n-1)} - 1\} = 3 \cdot 2^{2n-2}$$

これは, $n = 1$ のときも成立するから $b_n = 3 \cdot 2^{2n-2}$

- (3) $S_n = \sum_{k=1}^n a_k b_k$ とおくと, (1),(2) の結果から, $n \geq 2$ のとき

$$S_n = 3 \sum_{k=1}^n (3k - 1) \cdot 2^{2k-2} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$S_n = 3 \sum_{k=0}^{n-1} (3k + 2) \cdot 2^{2k} \quad \dots \textcircled{2}$$

① $\times 4 -$ ② から

$$\begin{aligned} 4S_n - S_n &= 3 \sum_{k=1}^n (3k - 1) \cdot 2^{2k} - 3 \sum_{k=0}^{n-1} (3k + 2) \cdot 2^{2k} \\ S_n &= \sum_{k=1}^n (3k - 1) \cdot 2^{2k} - \sum_{k=0}^{n-1} (3k + 2) \cdot 2^{2k} \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} (3k - 1) \cdot 2^{2k} + (3n - 1) \cdot 2^{2n} - \sum_{k=1}^{n-1} (3k + 2) \cdot 2^{2k} - 2 \\ &= (3n - 1) \cdot 2^{2n} - 2 - 3 \sum_{k=1}^{n-1} 2^{2k} \\ &= (3n - 1) \cdot 2^{2n} - 2 - 3 \times \frac{4(2^{2n-2} - 1)}{4 - 1} = (3n - 2) \cdot 2^{2n} + 2 \end{aligned}$$

$S_1 = a_1 b_1 = 2 \cdot 3 = 6$ であるから, 上式は $n = 1$ のときも成立する.

よって $S_n = (3n - 2) \cdot 2^{2n} + 2$ ■

3 (1) z の実部が $\frac{\sqrt{5}-1}{4}$ であるから $\frac{z+\bar{z}}{2} = \frac{\sqrt{5}-1}{4} \quad \dots \textcircled{1}$

$|z|=1$ より $|z|^2=1$ ゆえに $z\bar{z}=1$ すなわち $\bar{z} = \frac{1}{z} \quad \dots \textcircled{2}$

①, ② から $z + \frac{1}{z} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$

よって
$$\left(z + \frac{1}{z}\right)^2 + \left(z + \frac{1}{z}\right) = \left(\frac{\sqrt{5}-1}{2}\right)^2 + \frac{\sqrt{5}-1}{2}$$

$$= 1$$

(2) (1) の結果を展開して整理すると

$$\frac{1}{z^2} + \frac{1}{z} + 1 + z + z^2 = 0$$

両辺に z^2 を掛けると $1 + z + z^2 + z^3 + z^4 = 0$

(3) $z^5 - 1 = (z-1)(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1)$ であるから, (2) の結果から

$$z^5 - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad z^5 = 1$$

$z = r(\cos \theta + i \sin \theta)$ とおくと ($r > 0, 0 \leq \theta < 2\pi$)

$$r^5(\cos 5\theta + i \sin 5\theta) = 1$$

したがって $r^5 = 1, 5\theta = 2n\pi$ (n は整数)

すなわち $r = 1, \theta = \frac{2n\pi}{5} \quad \dots \textcircled{1}$

z の実部 $\frac{\sqrt{5}-1}{4} > 0$, 条件から虚部は正であるから

$$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$$

上式より, ① を満たす整数 n は $n = 1$ よって $\theta = \frac{2}{5}\pi$ ■

- 4 (1) $f(x) = ax - x \log x$ を微分すると $f'(x) = a - 1 - \log x$

$$f'(x) = 0 \text{ とすると } x = e^{a-1}$$

$f(x)$ の増減表は

x	(0)	...	e^{a-1}	...
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$		↗	e^{a-1}	↘

このとき, $f(x)$ の最大値が 1 であるから

$$e^{a-1} = 1 \quad \text{よって} \quad a = 1$$

- (2) (1) の結果から, $f(x) = x(1 - \log x)$, $f'(x) = -\log x$

$$f'(x) = -\frac{1}{2} \text{ とすると}$$

$$-\log x = -\frac{1}{2} \quad \text{すなわち} \quad x = \sqrt{e}$$

$f(\sqrt{e}) = \frac{1}{2}\sqrt{e}$ より, 求める接線は, 点 $\left(\sqrt{e}, \frac{1}{2}\sqrt{e}\right)$ を通り, 傾き $-\frac{1}{2}$ の直線であるから

$$y - \frac{1}{2}\sqrt{e} = -\frac{1}{2}(x - \sqrt{e}) \quad \text{よって} \quad y = -\frac{1}{2}x + \sqrt{e}$$

- (3) 曲線 $y = x(1 - \log x)$ の x 軸との交点の x 座標は

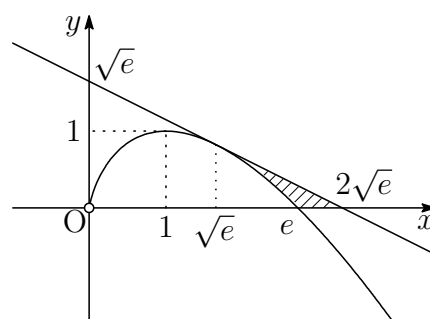
$$1 - \log x = 0 \quad \text{すなわち} \quad x = e$$

直線 $y = -\frac{1}{2}x + \sqrt{e}$ の x 軸との交点の x 座標は

$$-\frac{1}{2}x + \sqrt{e} = 0 \quad \text{すなわち} \quad x = 2\sqrt{e}$$

よって, 求める部分の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2}(2\sqrt{e} - \sqrt{e})f(\sqrt{e}) - \int_{\sqrt{e}}^e x(1 - \log x) dx \\ &= \frac{1}{2}\sqrt{e} \times \frac{1}{2}\sqrt{e} - \left[x^2 \left(\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \log x \right) \right]_{\sqrt{e}}^e \\ &= \frac{1}{4}e - \frac{1}{4}e^2 + \frac{1}{2}e = \frac{1}{4}e(3 - e) \end{aligned}$$



3.3 2017 年

出題分野 1 2 3 4

1 次の問いに答えよ.

- (1) 実数 x, y は $\log_2 x + \log_2 y = 2$ を満たす.
 - (ア) $t = x + y$ とおく. $x^2 + y^2$ を t を用いて表せ.
 - (イ) $x^2 + y^2 + xy - 6x - 6y + 11$ の最小値とそのときの x と y の値を求めよ.
- (2) $23x + 13y = 5$ を満たす整数 x, y の組で $|x| + |y|$ が最小になるものを求めよ.
- (3) 3 個のサイコロを同時に 1 回投げる.
 - (ア) 出る目の積が偶数である確率を求めよ.
 - (イ) 出る目の積が偶数であるとき, その出る目の和が 5 の倍数である確率を求めよ.

2 a を定数とし, 曲線 $y = \frac{1}{2}x^2$ を C , 直線 $y = a(x + 1)$ を ℓ とする. C と ℓ が異なる 2 点で交わっているとき, 次の問いに答えよ.

- (1) a のとり得る値の範囲を求めよ.
- (2) C と ℓ の 2 つの交点の x 座標を α, β とするとき $\alpha + \beta, \alpha\beta$ をそれぞれ a を用いて表せ.
- (3) C と ℓ の 2 つの交点を結ぶ線分の中点の軌跡を求めよ.

3 $P(x)$ を整式とし, 整式 $Q(x)$ を $Q(x) = \int_1^x P(t) dt$ で定める. $P(x)$ を $x - 1$ で割ったときの余りは 2 であった. 次の問いに答えよ.

- (1) $Q'(1)$ の値を求めよ.
- (2) $Q(x)$ を $(x - 1)^2$ で割ったときの余りを求めよ.
- (3) $Q(x)$ を $x - 2$ で割ったときの余りは 3 であった. $Q(x)$ を $(x - 1)^2(x - 2)$ で割ったときの余りを求めよ.

4 a, b を正の定数とし、 $f(x) = -xe^{-\frac{x}{a}}$ とする。 $y = f(x)$ のグラフを x 軸に関して対称移動し、さらに x 軸方向に $-a$ だけ平行移動して得られる曲線を $y = g(x)$ とし、 $h(x) = bg(x)$ とする。また、曲線 $y = f(x)$ の変曲点を P とし、点 P における曲線 $y = f(x)$ の接線を ℓ とする。関数 $h(x)$ の最大値が 1 であるとき、次の問いに答えよ。ただし、 e は自然対数の底とする。

- (1) 直線 ℓ の方程式を a を用いて表せ。
- (2) 関数 $g(x)$ を a を用いて表せ。
- (3) 定数 a, b の積 ab の値を求めよ。
- (4) 直線 ℓ と x 軸との交点の x 座標が 4 であるとき、曲線 $y = f(x)$, $y = h(x)$ と y 軸で囲まれた部分の面積を求めよ。

解答例

1 (1)(ア) $\log_2 x + \log_2 y = 2$ より, $\log_2 xy = 2$ ゆえに $xy = 4$

$$\text{よって } x^2 + y^2 = (x + y)^2 - 2xy = t^2 - 8$$

(イ) $\log_2 x + \log_2 y = 2$ の真数は正であるから $x, y > 0$

相加平均・相乗平均の関係により

$$t = x + y \geq 2\sqrt{xy} = 2\sqrt{4} = 4 \quad (\text{等号は } x = y = 2 \text{ のとき})$$

したがって

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + xy - 6x - 6y + 11 &= (t^2 - 8) + 4 - 6(x + y) + 11 \\ &= t^2 - 6t + 7 = (t - 3)^2 - 2 \end{aligned}$$

$t \geq 4$ より, $t = 4$, すなわち, $x = y = 2$ のとき, 最小値 -1

(2) $23 \equiv 10, 13 \equiv 0 \pmod{13}$ であるから, $23x + 13y = 5$ より

$$10x \equiv 5 \pmod{13} \quad \text{ゆえに} \quad 2x \equiv 1 \pmod{13} \quad \text{すなわち} \quad x \equiv 7 \pmod{13}$$

$$\text{したがって} \quad 23(x - 7) + 13(y + 12) = 0$$

$$\text{整数 } k \text{ を用いて} \quad x = 7 + 13k, \quad y = -12 - 23k$$

$k \geq 0$ のとき, $|x| = x = 7 + 13k, |y| = -y = 12 + 23k$ であるから

$$|x| + |y| = 19 + 36k$$

$k < 0$ のとき, $|x| = -x = -7 - 13k, |y| = y = -12 - 23k$ であるから

$$|x| + |y| = -19 - 36k$$

$k = -1$ で, $|x| + |y|$ は最小となり, このとき $x = -6, y = 11$

注意 $10x \equiv 5 \pmod{13}$ の両辺を 5 で割ることができるのは, 5 が 13 と互いに素であるから, $2x \equiv 1 \pmod{13}$ とすることができる.

$$10x \equiv 5 \iff 5(2x - 1) \equiv 0 \iff 2x \equiv 1 \pmod{13}$$

最後の式の両辺に 7 を掛けることにより (整数の掛け算には制約はない)

$$14x \equiv 7 \pmod{13} \quad \text{すなわち} \quad x \equiv 7 \pmod{13}$$

なお, $10x \equiv 5 \pmod{13}$ の両辺に 4 を掛けても

$$40x \equiv 20 \pmod{13} \quad \text{すなわち} \quad x \equiv 7 \pmod{13}$$

- (3)(ア) 出る目の積が奇数である確率は、3個のサイコロの目がすべて奇数であるから

$$\left(\frac{3}{6}\right)^3 = \frac{1}{8}$$

出る目の積が偶数である事象を A とすると、求める確率は、この余事象の確率であるから

$$P(A) = 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$$

- (イ) 目の和が5の倍数である事象を B とすると、 $A \cap B$ は、次の (i), (ii) の事象がある.

- (i) すべての目が異なる

$$\{1, 3, 6\}, \{1, 4, 5\}, \{2, 3, 5\}, \{4, 5, 6\}$$

- (ii) 同じ目が2つある

$$\{1, 2, 2\}, \{2, 2, 6\}, \{2, 4, 4\}, \{3, 3, 4\}, \{3, 6, 6\}$$

$$\text{したがって } P(A \cap B) = \frac{4 \cdot 3! + 5 \cdot {}_3C_2}{6^3} = \frac{13}{72}$$

$$\text{よって、求める確率は } P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{13}{72} \cdot \frac{8}{7} = \frac{13}{63}$$

■

- 2** (1) $y = \frac{1}{2}x^2$ と $y = a(x+1)$ から y を消去して整理すると

$$x^2 - 2ax - 2a = 0 \quad \cdots (*)$$

上の方程式は異なる2つの実数解をもつから、係数について

$$D/4 = (-a)^2 - 1 \cdot (-2a) = a(a+2) > 0$$

よって $a < -2, 0 < a$

- (2) 方程式(*)の解が α, β であるから、解と係数の関係により

$$\alpha + \beta = 2a, \quad \alpha\beta = -2a$$

- (3) C と ℓ の2つの交点 $(\alpha, a(\alpha+1)), (\beta, a(\beta+1))$ の中点は、(2)の結果により

$$\left(\frac{\alpha + \beta}{2}, \frac{a(\alpha + \beta)}{2} + a\right) \quad \text{すなわち} \quad (a, a^2 + a)$$

a の値の範囲に注意して $y = x^2 + x \quad (x < -2, 0 < x)$

■

$$\boxed{3} \quad (1) \quad Q(x) = \int_1^x P(t) dt \quad \cdots (*)$$

$P(x)$ を $x-1$ で割った余りが 2 であるから, 剰余の定理により $P(1) = 2$

(*) を微分すると $Q'(x) = P(x)$ よって $Q'(1) = P(1) = 2$

(2) (*) より $Q(1) = 0$

$Q(x)$ を $(x-1)^2$ で割ったときの商を $R(x)$, 余りを $ax+b$ とおくと

$$Q(x) = (x-1)^2 R(x) + ax + b$$

微分すると $Q'(x) = 2(x-1)R(x) + (x-1)^2 R'(x) + a$

上の 2 式に $x=1$ を代入すると, $Q(1) = 0$, $Q'(1) = 2$ により

$$a + b = 0, \quad a = 2 \quad \text{これから} \quad b = -2$$

よって, 求める余りは $2x - 2$

(3) (2) の結果から $Q(x) = (x-1)^2 R(x) + 2x - 2$

$R(x)$ を $x-2$ で割ったときの商を $S(x)$, 余りを c とすると

$$R(x) = (x-2)S(x) + c$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad Q(x) &= (x-1)^2 \{(x-2)S(x) + c\} + 2x - 2 \\ &= (x-1)^2 (x-2)S(x) + c(x-1)^2 + 2x - 2 \end{aligned}$$

$Q(x)$ を $x-2$ で割った余りが 3 であるから, 剰余の定理により $Q(2) = 3$

$$\text{したがって} \quad c + 2 = 3 \quad \text{すなわち} \quad c = 1$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad Q(x) &= (x-1)^2 (x-2)S(x) + (x-1)^2 + 2x - 2 \\ &= (x-1)^2 (x-2)S(x) + x^2 - 1 \end{aligned}$$

よって, 求める余りは $x^2 - 1$

別解1 $Q(x)$ を $(x-1)^2(x-2)$ で割ったときの商を $S(x)$, 余りを px^2+qx+r とすると

$$Q(x) = (x-1)^2(x-2)S(x) + px^2 + qx + r$$

$$Q(2) = 3 \text{ より } 4p + 2q + r = 3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$Q(x)$ を変形すると

$$\begin{aligned} Q(x) &= (x-1)^2(x-2)S(x) + p(x-1)^2 + (2p+q)x - p + r \\ &= (x-1)^2\{2(x-2)S(x) + p\} + (2p+q)x - p + r \end{aligned}$$

$Q(x)$ を $(x-1)^2$ で割った余りが $2x-2$ であるから, 係数を比較して

$$2p+q=2, \quad -p+r=-2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② を解いて $p=1, q=0, r=-1$ よって, 求める余りは x^2-1

別解2 $Q(x)$ を $(x-1)^2(x-2)$ で割ったときの商を $S(x)$, 余りを px^2+qx+r とすると

$$\begin{aligned} Q(x) &= (x-1)^2(x-2)S(x) + px^2 + qx + r, \\ Q'(x) &= 2(x-1)\{(x-2)S(x)\} + (x-1)^2\{(x-2)S(x)\}' + 2px + q \end{aligned}$$

上の第1式に $x=1, 2$, 第2式に $x=1$ を代入すると, $Q(1)=0, Q(2)=3, Q'(1)=2$ より

$$p+q+r=0, \quad 4p+2q+r=3, \quad 2p+q=2$$

これを解いて $p=1, q=0, r=-1$ よって, 求める余りは x^2-1 ■

4 (1) $f(x) = -xe^{-\frac{x}{a}}$ より

$$f'(x) = \left(\frac{x}{a} - 1\right)e^{-\frac{x}{a}}, \quad f''(x) = \left(\frac{2}{a} - \frac{x}{a^2}\right)e^{-\frac{x}{a}}$$

$x < 2a$ のとき $f''(x) > 0$, $2a < x$ のとき $f''(x) < 0$ であるから, $y = f(x)$ の上の点 $(2a, f(2a))$ は, この曲線の変曲点である. ゆえに

$$f(2a) = -2ae^{-2}, \quad f'(2a) = e^{-2}$$

したがって, ℓ の方程式は

$$y + 2ae^{-2} = e^{-2}(x - 2a) \quad \text{ゆえに} \quad y = e^{-2}(x - 4a)$$

注意 $f'(a) = 0$ は $f(a)$ が極値であるための必要条件であるように, $f''(2a) = 0$ は点 $(2a, f(2a))$ が変曲点であるための必要条件である. 変曲点を示すには, $x = 2a$ の前後で $f''(x)$ の符号が変化することを示さなければならない. 増減表で示してもよい.

$$(2) g(x) = -f(x+a) = (x+a)e^{-\frac{x+a}{a}}$$

(3) (1) の計算結果から

$$g'(x) = -f'(x+a) = -\left(\frac{x+a}{a} - 1\right)e^{-\frac{x+a}{a}} = -\frac{x}{a}e^{-\frac{x+a}{a}}$$

x	$\cdots$	0	$\cdots$
$g'(x)$	$+$	0	$-$
$g(x)$	$\nearrow$	ae^{-1}	$\searrow$

$b > 0$ より, $h(x) = bg(x)$ の最大値 abe^{-1} が 1 であるから $ab = e$

(4) (1) の結果から, ℓ と x 軸との交点の x 座標 $4a$ が 4 であるから $a = 1$

これを (3) の結果に代入して $b = e$

ゆえに $f(x) = -xe^{-x}$, $h(x) = e(x+1)e^{-x-1} = (x+1)e^{-x}$

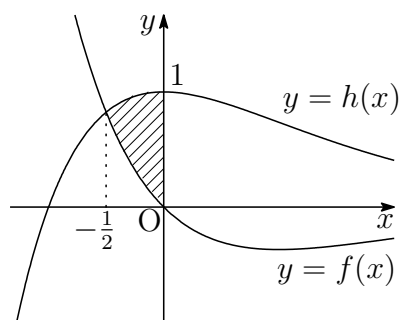
$$h(x) - f(x) = (2x+1)e^{-x}$$

したがって, $y = f(x)$ と $y = h(x)$ の交点の x 座標は

$$x = -\frac{1}{2}$$

$-\frac{1}{2} \leq x \leq 0$ において

$$h(x) - f(x) \geq 0$$



求める面積を S とすると

$$S = \int_{-\frac{1}{2}}^0 (2x+1)e^{-x} dx = \left[-(2x+3)e^{-x} \right]_{-\frac{1}{2}}^0 = 2\sqrt{e} - 3$$

■

3.4 2018年

出題分野 ① ② ③ ④

① 次の問いに答えよ.

- (1) $\log_4(x-5) - 1 \leq \log_{16} x$ を満たす実数 x の範囲を求めよ.
- (2) $x^2 - 10x - 10$ が整数の平方となるような整数 x をすべて求めよ.
- (3) 複素数平面上の単位円に内接する正六角形がある. この6個の頂点に対応する複素数は反時計回りに $1, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$ であるとする. 実数 t に対して, $z = 1 + tz_1$ とおくと, $w = \frac{z - z_3}{z_4 - z_3}$ が純虚数になるように t の値を定めよ. また, そのときの w の値を求めよ.

② 四面体 $OABC$ がある. 辺 OA の中点を M , 辺 BC の中点を N とし, 辺 OC を $p : 1 - p$ ($0 < p < 1$) に内分する点を P , 辺 AB を $p : 1 - p$ に内分する点を Q とする. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とするとき, 次の問いに答えよ.

- (1) $\overrightarrow{PM}$ を $\vec{a}, \vec{c}$ および p を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{PN}$ を $\vec{b}, \vec{c}$ および p を用いて表せ.
- (3) $\overrightarrow{PQ}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ および p を用いて表せ.
- (4) $\overrightarrow{PQ}$ は $s\overrightarrow{PM} + t\overrightarrow{PN}$ (s, t は実数) の形に表されることを示せ.

③ 0 から 9 までの整数が 1 つずつ書かれた 10 枚のカードがある. 次の問いに答えよ.

- (1) 書かれた整数の和が 3 の倍数になる 3 枚のカードの組合せの総数を求めよ.
- (2) 10 枚から 4 枚を同時に選ぶとき, それら 4 枚に書かれた整数の和が偶数になる確率を求めよ.
- (3) はじめ 10 枚あるカードの中から, 1 回に 1 枚ずつ選び, 0 が書かれたカードを選ぶまで繰り返す. 選んだすべてのカードに書かれた整数の和が 10 以上になる確率を求めよ. ただし, 1 回選んだカードは次回以降の選択肢から除くものとする.

- 4 a を定数とし、 $f(x) = e^{ax} \sin x$ ($0 \leq x \leq \pi$) とする。ただし、 e は自然対数の底とする。次の問いに答えよ。

(1) 定積分 $\int_0^\pi f(x) dx$ を求めよ。

(2) $a = \sqrt{3}$ のとき、関数 $y = f(x)$ について第 2 次導関数まで求めて増減を調べ、そのグラフをかけ。

解答例

1 (1) $\log_4(x-5) - 1 \leq \log_{16} x \quad \cdots (*)$

真数は正であるから

$$x-5 > 0 \quad \text{かつ} \quad x > 0 \quad \text{すなわち} \quad x > 5 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\log_4(x-5) = \log_{16}(x-5)^2$ より, $(*)$ は

$$\log_{16}(x-5)^2 \leq \log_{16} 16x$$

底 16 は 1 より大きいから

$$(x-5)^2 \leq 16x \quad \text{整理すると} \quad x^2 - 26x + 25 \leq 0$$

$$\text{ゆえに} \quad (x-1)(x-25) \leq 0 \quad \text{すなわち} \quad 1 \leq x \leq 25$$

求める実数 x の範囲は, $\textcircled{1}$ に注意して $5 < x \leq 25$

(2) $x^2 - 10x - 10 = n^2$ (n は整数) とおくと

$$(x-5)^2 - n^2 = 35 \quad \text{ゆえに} \quad (|x-5| + |n|)(|x-5| - |n|) = 35$$

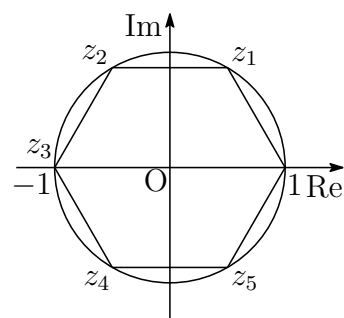
$$\text{したがって} \quad \begin{cases} |x-5| + |n| = 35 \\ |x-5| - |n| = 1 \end{cases}, \quad \begin{cases} |x-5| + |n| = 7 \\ |x-5| - |n| = 5 \end{cases}$$

$$\text{ゆえに} \quad \begin{cases} |x-5| = 18 \\ |n| = 17 \end{cases}, \quad \begin{cases} |x-5| = 6 \\ |n| = 1 \end{cases}$$

$$\text{よって} \quad x = \mathbf{23, -13, 11, -1}$$

(3) $z_4 - z_3 = z_5, \quad \frac{1}{z_5} = z_1$ であるから

$$\begin{aligned} w &= \frac{z - z_3}{z_4 - z_3} = \frac{1 + tz_1 - z_3}{z_5} \\ &= z_1(1 + tz_1 - z_3) \\ &= z_1 + tz_2 - z_4 = z_1 + tz_2 - (-z_1) \\ &= 2z_1 + tz_2 \end{aligned}$$



$$\text{ゆえに} \quad w = 2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) + t \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = 1 - \frac{t}{2} + (t+2)\frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$w \text{ は, 純虚数であるから} \quad 1 - \frac{t}{2} = 0 \quad \text{すなわち} \quad t = 2, \quad w = \mathbf{2\sqrt{3}i} \quad \blacksquare$$

2 (1) $\overrightarrow{PM} = \overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\vec{a} - p\vec{c}$

(2) $\begin{aligned}\overrightarrow{PN} &= \overrightarrow{ON} - \overrightarrow{OP} \\ &= \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) - p\vec{c} \\ &= \frac{1}{2}\vec{b} + \left(\frac{1}{2} - p\right)\vec{c}\end{aligned}$

(3) $\overrightarrow{OQ} = (1-p)\vec{a} + p\vec{b}$ より

$$\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = (1-p)\vec{a} + p\vec{b} - p\vec{c}$$

(4) $\overrightarrow{PQ} = s\overrightarrow{PM} + t\overrightarrow{PN}$ に (1)~(3) の結果を代入すると

$$\begin{aligned}(1-p)\vec{a} + p\vec{b} - p\vec{c} &= s\left(\frac{1}{2}\vec{a} - p\vec{c}\right) + t\left\{\frac{1}{2}\vec{b} + \left(\frac{1}{2} - p\right)\vec{c}\right\} \\ &= \frac{s}{2}\vec{a} + \frac{t}{2}\vec{b} + \left(-sp + \frac{t}{2} - pt\right)\vec{c}\end{aligned}$$

$\frac{s}{2} = 1-p, \quad \frac{t}{2} = p, \quad \text{すなわち, } s = 2-2p, \quad t = 2p \text{ とすると}$

$$\begin{aligned}-sp + \frac{t}{2} - pt &= -(2-2p)p + \frac{2p}{2} - p \cdot 2p \\ &= -2p + 2p^2 + p - 2p^2 = -p\end{aligned}$$

よって $\overrightarrow{PQ} = (2-2p)\overrightarrow{PM} + 2p\overrightarrow{PN}$ ■

3 (1) $A = \{0, 3, 6, 9\}, B = \{1, 4, 7\}, C = \{2, 5, 8\}$ とする.

3枚のカードの和が3の倍数になる組合せは, A から3枚, B から3枚, C から3枚, A, B, C からそれぞれ1枚ずつの場合であるから

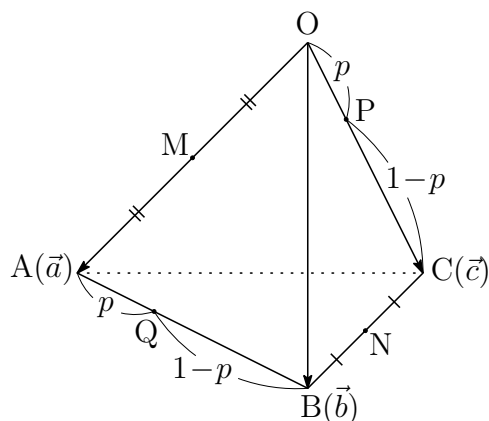
$${}_4C_3 + {}_3C_3 + {}_3C_3 + {}_4C_1 \cdot {}_3C_1 \cdot {}_3C_1 = 4 + 1 + 1 + 4 \cdot 3 \cdot 3 = 42 \text{ (通り)}$$

(2) $X = \{0, 2, 4, 6, 8\}, Y = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ とする.

4枚のカードの和が偶数になる組合せは, X から4枚, X, Y からそれぞれ2枚, Y から4枚の場合であるから, その総数は

$${}_5C_4 + {}_5C_2 \cdot {}_5C_2 + {}_5C_4 = 5 + 10 \cdot 10 + 5 = 110 \text{ (通り)}$$

よって, 求める確率は $\frac{110}{{}_{10}C_4} = \frac{110}{210} = \frac{11}{21}$



- (3) 0 が書かれたカードを選ぶまでに、選んだすべてのカードに書かれた整数の和が 10 未満である確率をまず求める.

(i) 1 回目に 0 が出るとき その確率は $\frac{1}{10}$

(ii) 2 回目に 0 が出るとき その確率は $\frac{9}{10} \cdot \frac{1}{9} = \frac{1}{10}$

- (iii) 3 回目に 0 が出るとき

2 回目までに目の和が 10 未満である組合せは、次の 16 通り.

目の和が 3 である組合せは $\{1, 2\}$

目の和が 4 である組合せは $\{1, 3\}$

目の和が 5 である組合せは $\{1, 4\}, \{2, 3\}$

目の和が 6 である組合せは $\{1, 5\}, \{2, 4\}$

目の和が 7 である組合せは $\{1, 6\}, \{2, 5\}, \{3, 4\}$

目の和が 8 である組合せは $\{1, 7\}, \{2, 6\}, \{3, 5\}$

目の和が 9 である組合せは $\{1, 8\}, \{2, 7\}, \{3, 6\}, \{4, 5\}$

その確率は $\frac{16 \cdot 2!}{10 \cdot 9} \cdot \frac{1}{8} = \frac{2}{45}$

- (iv) 4 回目に 0 が出るとき

3 回目までに目の和が 10 未満である組合せは、次の 7 通り.

目の和が 6 である組合せは $\{1, 2, 3\}$

目の和が 7 である組合せは $\{1, 2, 4\}$

目の和が 8 である組合せは $\{1, 2, 5\}, \{1, 3, 4\}$

目の和が 9 である組合せは $\{1, 2, 6\}, \{1, 3, 5\}, \{2, 3, 4\}$

その確率は $\frac{7 \cdot 3!}{10 \cdot 9 \cdot 8} \cdot \frac{1}{7} = \frac{1}{120}$

- (v) 5 回目以降に 0 が出るとき、4 回目までの目は 10 以上である.

- (i)~(v) より、0 が書かれたカードが選ぶまでに、書かれた整数の和が 10 未満である確率は

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{2}{45} + \frac{1}{120} = \frac{91}{360}$$

求める確率は、この余事象の確率であるから

$$1 - \frac{91}{360} = \frac{269}{360}$$



$$\boxed{4} \quad (1) \quad (e^{ax} \sin x)' = e^{ax}(a \sin x + \cos x) \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$(e^{ax} \cos x)' = e^{ax}(-\sin x + a \cos x) \quad \cdots \textcircled{2}$$

① $\times a$ - ② より

$$(ae^{ax} \sin x - e^{ax} \cos x)' = (a^2 + 1)e^{ax} \sin x$$

ゆえに $\int e^{ax} \sin x \, dx = \frac{1}{a^2 + 1} e^{ax} (a \sin x - \cos x) + C$ (C は積分定数)

よって $\int_0^\pi f(x) \, dx = \frac{1}{a^2 + 1} \left[e^{ax} (a \sin x - \cos x) \right]_0^\pi = \frac{e^{a\pi} + 1}{a^2 + 1}$

(2) ① より, $a = \sqrt{3}$ のとき

$$f'(x) = e^{\sqrt{3}x} (\sqrt{3} \sin x + \cos x) = 2e^{\sqrt{3}x} \sin \left(x + \frac{\pi}{6} \right),$$

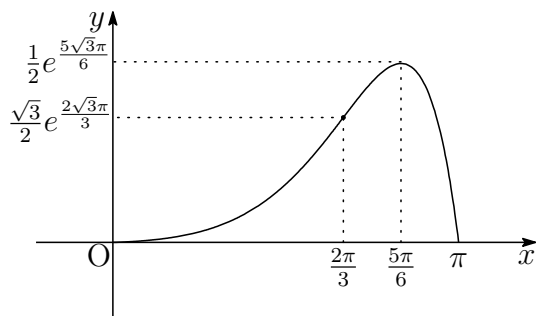
$$\begin{aligned} f''(x) &= 2e^{\sqrt{3}x} \left\{ \sqrt{3} \sin \left(x + \frac{\pi}{6} \right) + \cos \left(x + \frac{\pi}{6} \right) \right\} \\ &= 4e^{\sqrt{3}x} \sin \left(x + \frac{\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

増減および凹凸は次のようになる.

x	0	$\cdots$	$\frac{2\pi}{3}$	$\cdots$	$\frac{5\pi}{6}$	$\cdots$	π
$f'(x)$		+	+	+	0	-	
$f''(x)$		+	0	-	-	-	
$f(x)$	0	$\nearrow$	変曲点	$\nearrow$	極大	$\searrow$	0

よって 極大値 $f\left(\frac{5\pi}{6}\right) = \frac{1}{2}e^{\frac{5\sqrt{3}\pi}{6}}$ 変曲点 $\left(\frac{2\pi}{3}, \frac{\sqrt{3}}{2}e^{\frac{2\sqrt{3}\pi}{3}}\right)$

グラフの概形は, 次のようになる.



補足 $z = a + bi$, $r = |z|$, $\theta = \arg z$ とすると ¹

$$\begin{aligned}\frac{d}{dx} \{e^{ax} \cos bx\} &= r e^{ax} \cos(bx + \theta), \\ \frac{d}{dx} \{e^{ax} \sin bx\} &= r e^{ax} \sin(bx + \theta)\end{aligned}$$

さらに、次式が成立する.

$$\begin{aligned}\frac{d^n}{dx^n} \{e^{ax} \cos bx\} &= r^n e^{ax} \cos(bx + n\theta), \\ \frac{d^n}{dx^n} \{e^{ax} \sin bx\} &= r^n e^{ax} \sin(bx + n\theta)\end{aligned}$$

逆に次の積分を得る.

$$\begin{aligned}\int e^{ax} \cos bx \, dx &= \frac{1}{r} e^{ax} \cos(bx - \theta) + C, \\ \int e^{ax} \sin bx \, dx &= \frac{1}{r} e^{ax} \sin(bx - \theta) + C\end{aligned}$$

本題では, $f(x) = e^{\sqrt{3}x} \sin x$ であるから, $z = \sqrt{3} + i$ とすると

$$r = |z| = 2, \quad \theta = \arg z = \frac{\pi}{6}$$

したがって

$$\begin{aligned}f'(x) &= 2e^{\sqrt{3}x} \sin\left(x + \frac{\pi}{6}\right), \\ f''(x) &= 2^2 e^{\sqrt{3}x} \sin\left(x + 2 \cdot \frac{\pi}{6}\right) = 4e^{\sqrt{3}x} \sin\left(x + \frac{\pi}{3}\right)\end{aligned}$$

また, $f(x) = e^{\sqrt{3}x} \sin x$ の不定積分は次のようになる.

$$\int f(x) \, dx = \frac{1}{2} e^{\sqrt{3}x} \sin\left(x - \frac{\pi}{6}\right) + C$$

■

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_2018_kouki.pdf [2] を参照.

3.5 2019 年

出題分野 1 2 3 4

1 次の問いに答えよ.

(1) 連立方程式

$$\begin{cases} \log_2(1-x) - 2\log_4(y+6) = -2 \\ 3 \cdot 2^x + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^y = 2 \end{cases}$$

を解け.

(2) m, n を自然数とする. $m^2 + 1$ と $n^2 + 1$ がともに 5 で割り切れるならば, $m^3 n^3 - mn$ も 5 で割り切れることを示せ.

(3) $\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{dx}{\sin x}$ の値を求めよ.

2 a を正の定数とする. 座標平面上の点 $A(a, 0)$, 点 $B(-a, 0)$ について, 次の問いに答えよ.

(1) 任意の点 $P(x, y)$ について,

$$\left(|\overrightarrow{PA}||\overrightarrow{PB}|\right)^2 = \left(\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB}\right)^2 + 4a^2 y^2$$

となることを示せ. ただし, $\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB}$ は $\overrightarrow{PA}$ と $\overrightarrow{PB}$ の内積を表し, $|\overrightarrow{PA}|$ と $|\overrightarrow{PB}|$ はそれぞれ $\overrightarrow{PA}$ と $\overrightarrow{PB}$ の大きさを表す.

(2) 点 $P(x, y)$ が

$$|\overrightarrow{PA}||\overrightarrow{PB}| = 2\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB}$$

を満たすとき, P はどのような図形上にあるか図示せよ.

3 1 から 5 までの番号を 1 つずつ書いた 5 枚のカードがある. この中から 1 枚のカードを引いて番号を記録して元に戻す作業を n 回繰り返す. このとき, 記録した番号の和が偶数である確率を p_n とする. 次の問いに答えよ.

(1) p_1, p_2, p_3 を求めよ.

(2) p_n と p_{n+1} の関係式を求めよ.

(3) $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n$ を求めよ.

4 曲線 $y = \sqrt{1-x^2} + x - 1$ ($0 \leq x \leq 1$) と x 軸で囲まれた部分を D とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 極値, 凹凸を調べて曲線の概形を書け.
- (2) D の面積を求めよ.
- (3) D を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad (*) \begin{cases} \log_2(1-x) - 2\log_4(y+6) = -2 \\ 3 \cdot 2^x + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^y = 2 \end{cases}$$

(*) の第 1 式において、真数は正であるから

$$1-x > 0, \quad y+6 > 0 \quad \text{ゆえに} \quad x < 1, \quad y > -6 \quad \cdots \textcircled{1}$$

(*) の第 1 式から

$$\log_2(1-x) - \log_2(y+6) = -2 \quad \text{ゆえに} \quad \log_2 \frac{1-x}{y+6} = \log_2 \frac{1}{4}$$

$$\text{上の第 2 式から} \quad \frac{1-x}{y+6} = \frac{1}{4} \quad \text{すなわち} \quad y = -4x - 2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

これを (*) の第 2 式に代入すると

$$3 \cdot 2^x + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{-4x-2} = 2 \quad \text{ゆえに} \quad 3 \cdot 2^x + 2 \cdot 2^{2x} = 2$$

ここで、 $t = 2^x$ とおくと ($t > 0$)

$$3t + 2t^2 = 2 \quad \text{ゆえに} \quad (t+2)(2t-1) = 0$$

$$t > 0 \text{ に注意して } t = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad 2^x = 2^{-1} \quad \text{すなわち} \quad x = -1$$

したがって、 $\textcircled{1}$ に注意して、これを $\textcircled{2}$ に代入すると $y = 2$

よって $x = -1, y = 2$

$$(2) \quad m^3n^3 - mn = mn(m^2n^2 - 1) = mn(m^2n^2 + n^2 - n^2 - 1) \\ = mn\{n^2(m^2 + 1) - (n^2 + 1)\}$$

$m^2 + 1$ と $n^2 + 1$ がともに 5 で割り切れるから、次式は 5 で割り切れる.

$$m^3n^3 - mn$$

別解 条件から

$$m^2 + 1 \equiv 0, \quad n^2 + 1 \equiv 0 \quad \text{ゆえに} \quad m^2 \equiv -1, \quad n^2 \equiv -1 \pmod{5}$$

$$\text{したがって} \quad m^2n^2 \equiv (-1)^2 \quad \text{ゆえに} \quad m^2n^2 - 1 \equiv 0 \pmod{5}$$

$$\text{よって} \quad m^3n^3 - mn = mn(m^2n^2 - 1) \equiv 0 \pmod{5}$$

$$(3) \quad \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{dx}{\sin x} = \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{\sin x}{1 - \cos x} + \frac{\sin x}{1 + \cos x} \right) dx = \frac{1}{2} \left[\log \frac{1 - \cos x}{1 + \cos x} \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} \\ = \log \frac{3 + 2\sqrt{3}}{3}$$



$$\boxed{2} \quad (1) \quad (p^2 + q^2)(r^2 + s^2) = (pr + qs)^2 + (ps - qr)^2$$

$\vec{PA} = (p, q)$, $\vec{PB} = (r, s)$ とすると, 上式から

$$\left(|\vec{PA}| |\vec{PB}| \right)^2 = \left(\vec{PA} \cdot \vec{PB} \right)^2 + (ps - qr)^2 \quad \cdots (*)$$

$P(x, y)$, $A(a, 0)$, $B(-a, 0)$ であるから

$$\vec{PA} = (a - x, -y), \quad \vec{PB} = (-a - x, -y) \quad \cdots \textcircled{1}$$

ここでは, $p = a - x$, $q = -y$, $r = -a - x$, $s = -y$ より

$$ps - qr = (a - x)(-y) - (-y)(-a - x) = -2ay$$

これを (*) に代入すると, 次式を得る.

$$\left(|\vec{PA}| |\vec{PB}| \right)^2 = \left(\vec{PA} \cdot \vec{PB} \right)^2 + 4a^2y^2$$

$$(2) \quad |\vec{PA}| |\vec{PB}| = 2\vec{PA} \cdot \vec{PB} \quad \cdots (**)$$

$$\textcircled{1} \text{ より } \vec{PA} \cdot \vec{PB} = (a - x)(-a - x) + (-y) \cdot (-y)$$

$$= x^2 + y^2 - a^2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$|\vec{PA}| |\vec{PB}| \geq 0$ であるから, (**), $\textcircled{2}$ より

$$x^2 + y^2 - a^2 \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + y^2 \geq a^2 \quad \cdots \textcircled{3}$$

(**) を (1) の結果に代入して整理すると

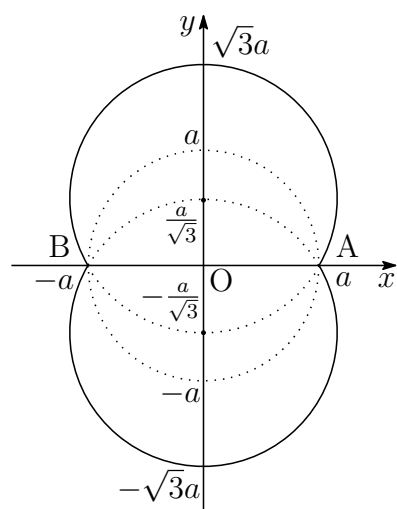
$$3(\vec{PA} \cdot \vec{PB})^2 = 4a^2y^2 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{PA} \cdot \vec{PB} = \pm \frac{2a}{\sqrt{3}}y$$

上の第2式に $\textcircled{2}$ を代入すると

$$x^2 + y^2 - a^2 = \pm \frac{2a}{\sqrt{3}}y$$

$$x^2 + \left(y \mp \frac{a}{\sqrt{3}} \right)^2 = \frac{4a^2}{3} \quad \cdots \textcircled{4}$$

$\textcircled{3}$, $\textcircled{4}$ より, 点Pの描く図形は, 右の図の実線部分である.



- 3** (1) 1 回の試行で偶数のカードを引く確率から

$$p_1 = \frac{2}{5}$$

2 回とも偶数または奇数のカードを引く確率から

$$p_2 = \left(\frac{2}{5}\right)^2 + \left(\frac{3}{5}\right)^2 = \frac{13}{25}$$

3 回とも偶数または 1 回だけ偶数のカードを引く確率から

$$p_3 = \left(\frac{2}{5}\right)^3 + {}_3C_1 \left(\frac{2}{5}\right) \left(\frac{3}{5}\right)^2 = \frac{62}{125}$$

- (2) 条件から、次の確率漸化式が成立する.

$$p_{n+1} = \frac{2}{5}p_n + \frac{3}{5}(1-p_n) \quad \text{よって} \quad p_{n+1} = \frac{3}{5} - \frac{1}{5}p_n$$

- (3) (2) の結果から $p_{n+1} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{5} \left(p_n - \frac{1}{2}\right)$

$\left\{p_n - \frac{1}{2}\right\}$ は、初項 $p_1 - \frac{1}{2} = -\frac{1}{10}$ 、公比 $-\frac{1}{5}$ の等比数列であるから

$$p_n - \frac{1}{2} = -\frac{1}{10} \left(-\frac{1}{5}\right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad p_n = \frac{1}{2} \left\{1 + \left(-\frac{1}{5}\right)^n\right\}$$

よって $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n = \frac{1}{2}$



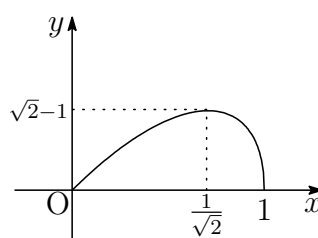
- 4 (1) $y = \sqrt{1-x^2} + x - 1$ ($0 \leq x \leq 1$) より

$$y' = -\frac{x}{\sqrt{1-x^2}} + 1, \quad y'' = -\frac{\sqrt{1-x^2} - x \cdot \frac{-x}{\sqrt{1-x^2}}}{1-x^2} \\ = -\frac{(1-x^2) + x^2}{(1-x^2)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{1}{(1-x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$$y' = 0 \text{ とすると } -\frac{x}{\sqrt{1-x^2}} + 1 = 0$$

$$\text{これを解いて } x = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

x	0	...	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	1
y'		+	0	-	
y''		-	-	-	
y	0	↗	極大	↘	0



$x = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき極大値 $\sqrt{2} - 1$

- (2) 領域 D の面積を S とすると

$$S = \int_0^1 (\sqrt{1-x^2} + x - 1) dx \\ = \int_0^1 \sqrt{1-x^2} dx + \left[\frac{x^2}{2} - x \right]_0^1$$

$$\int_0^1 \sqrt{1-x^2} dx \text{ は半径 } 1 \text{ の円の面積の } \frac{1}{4} \text{ であるから } S = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}$$

- (3) 求める立体の体積を V とすると

$$\frac{V}{\pi} = \int_0^1 (\sqrt{1-x^2} + x - 1)^2 dx \\ = \int_0^1 2x\sqrt{1-x^2} dx - 2 \int_0^1 (\sqrt{1-x^2} + x - 1) dx \\ = \left[-\frac{2}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}} \right]_0^1 - 2S \\ = \frac{2}{3} - 2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \right) = \frac{5}{3} - \frac{\pi}{2}$$

$$\text{よって } V = \pi \left(\frac{5}{3} - \frac{\pi}{2} \right)$$

■

3.6 2020 年

出題分野 1 2 3 4

1 次の問いに答えよ.

- (1) 方程式 $|3x^2 - 8x + 4| = 7x - 8$ を解け.
- (2) xy 平面において, x 座標と y 座標がともに整数である点を格子点という.
 n を自然数とすると, 連立不等式

$$\begin{cases} y \geq x^2 - nx \\ y \leq nx \end{cases}$$

の表す領域に含まれる格子点の個数を n を用いて表せ.

- (3) $x > 1$ のとき

$$\log_8 \left(\frac{x^3}{16} \right) + \log_x \left(\frac{8}{\sqrt[3]{x^2}} \right)$$

の最小値と, 最小値をとるときの x の値を求めよ.

2 n を自然数とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 複素数 z が $z \neq 1$, $|z| = 1$ をみたしているとき, $\frac{z}{(1-z)^2}$ は実数であることを示せ.
- (2) 複素数 z が $z \neq 1$ をみたしているとき,

$$\sum_{k=1}^n k z^k = \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (n+1)z^n + n z^{n+1}\}$$

が成り立つことを n に関する数学的帰納法で示せ.

- (3) 実数 θ が $\cos \theta \neq 1$ をみたしているとき,

$$\sum_{k=1}^n k \cos k\theta = \frac{1}{2(\cos \theta - 1)} \{1 - (n+1) \cos n\theta + n \cos(n+1)\theta\}$$

が成り立つことを示せ.

- 3** $\triangle OAB$ において、辺 OA の中点を C 、辺 OB を $2:1$ の比に内分する点を D 、直線 AD と直線 BC の交点を P とする。また、線分 OA と線分 OB を辺にもつ平行四辺形の辺と直線 OP の交点のうち、 O 以外のものを Q とする。 $OA = 2\sqrt{2}$ 、 $OD = 3$ 、 $AD = 5$ であるとき、次の問いに答えよ。

- (1) $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OD}$ の内積 $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OD}$ の値を求めよ。また、 $\sin \angle AOD$ の値を求めよ。
- (2) $s = \frac{AP}{AD}$ とおく。 $\overrightarrow{OP}$ を s 、 $\overrightarrow{OB}$ 、 $\overrightarrow{OC}$ を用いて表し、 s の値を求めよ。
- (3) $\overrightarrow{OQ}$ を $\overrightarrow{OA}$ 、 $\overrightarrow{OB}$ を用いて表せ。
- (4) $\triangle OAD$ と四角形 $OAQD$ の面積を求めよ。

- 4** 関数 $f(x)$ を

$$f(x) = \frac{x^3 - 2}{x}$$

によって定める。次の問いに答えよ。

- (1) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ。
- (2) 曲線 $y = f(x)$ について、原点を通る接線の方程式を求めよ。
- (3) a を定数とすると、方程式 $x^3 - ax - 2 = 0$ の異なる実数解の個数を求めよ。
- (4) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸、および直線 $x = 2$ で囲まれた部分の面積を求めよ。

解答例

1 (1) 方程式 $|3x^2 - 8x + 4| = 7x - 8$ より $|(x-2)(3x-2)| = 7x - 8$

(i) $\frac{8}{7} \leq x \leq 2$ のとき $-(3x^2 - 8x + 4) = 7x - 8$

ゆえに $(x+1)(3x-4) = 0$ したがって $x = \frac{4}{3}$

(ii) $2 \leq x$ のとき $3x^2 - 8x + 4 = 7x - 8$

ゆえに $(x-1)(x-4) = 0$ したがって $x = 4$

よって $x = \frac{4}{3}, 4$

(2) $y = x^2 - nx$ と $y = nx$ から, y を消去すると

$$x^2 - nx = nx \quad \text{ゆえに } x = 0, 2n$$

$y \geq x^2 - nx$, $y \leq nx$ を同時に満たす x の範囲は $0 \leq x \leq 2n$

この区間において, $x^2 - nx \leq nx$ であるから, 求める格子点の個数は

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{2n} \{nk - (k^2 - nk) + 1\} &= \sum_{k=0}^{2n} (1 + 2nk - k^2) \\ &= (2n+1) + 2n \cdot \frac{1}{2} 2n(2n+1) \\ &\quad - \frac{1}{6} \cdot 2n(2n+1)(4n+1) \\ &= \frac{1}{3} (2n+1)(2n^2 - n + 3) \end{aligned}$$

(3) $t = \log_8 x$ とおくと ($x > 1$) $t > 0$

$$\log_8 \left(\frac{x^3}{16} \right) = \log_8 x^3 - \log_8 16 = 3t - \frac{4}{3}$$

$$\log_x \left(\frac{8}{\sqrt[3]{x^2}} \right) = \log_x 8 - \log_x \sqrt[3]{x^2} = \frac{1}{t} - \frac{2}{3}$$

したがって $\log_8 \left(\frac{x^3}{16} \right) + \log_x \left(\frac{8}{\sqrt[3]{x^2}} \right) = 3t + \frac{1}{t} - 2$

相加平均・相乗平均の大小関係により $3t + \frac{1}{t} - 2 \geq 2\sqrt{3} - 2$

上式において, 等号が成立するとき $3t = \frac{1}{t}$ ゆえに $t = \frac{1}{\sqrt{3}}$

よって $x = 2^{3t} = 2^{\sqrt{3}}$ のとき, 最小値 $2\sqrt{3} - 2$ ■

2 (1) $w = \frac{z}{(1-z)^2}$ とおくと, $|z| = 1$ より

$$\bar{w} = \frac{\bar{z}}{(1-\bar{z})^2} = \frac{z^2\bar{z}}{z^2(1-\bar{z})^2} = \frac{z(z\bar{z})}{(z-z\bar{z})^2} = \frac{z|z|^2}{(z-|z|^2)^2} = \frac{z}{(z-1)^2}$$

$w = \bar{w}$ であるから, $w = \frac{z}{(1-z)^2}$ は実数である.

$$(2) \quad \sum_{k=1}^n kz^k = \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (n+1)z^n + nz^{n+1}\} \quad \cdots (*)$$

[1] $n = 1$ のとき

(*) の左辺 = z ,

$$(*) \text{ の右辺} = \frac{z}{(1-z)^2} (1 - 2z + z^2) = \frac{z}{(1-z)^2} (1-z)^2 = z$$

このとき, (*) は成立する.

[2] $n = j$ のとき, (*) が成立すると仮定すると

$$\sum_{k=1}^j kz^k = \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (j+1)z^j + jz^{j+1}\}$$

上式の両辺に $(j+1)z^{j+1}$ を加えると

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{j+1} kz^k &= \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (j+1)z^j + jz^{j+1}\} + (j+1)z^{j+1} \\ &= \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (j+1)z^j + jz^{j+1} + (j+1)(1-z)^2 z^j\} \\ &= \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (j+2)z^{j+1} + (j+1)z^{j+2}\} \end{aligned}$$

したがって, $n = j+1$ のときも, (*) が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (*) が成立する.

(3) $z = \cos \theta + i \sin \theta$ とおくと, $z + \bar{z} = 2 \cos \theta$ より, (1) で示した w について

$$\begin{aligned} w &= \frac{z}{(1-z)^2} = \frac{z}{1-2z+z^2} = \frac{z}{z\bar{z}-2z+z^2} \\ &= \frac{1}{z+\bar{z}-2} = \frac{1}{2\cos\theta-2} = \frac{1}{2(\cos\theta-1)} \end{aligned}$$

(2) の結果に $z = \cos \theta + i \sin \theta$ を代入すると, ド・モアブルの定理により

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n k \{\cos k\theta + i \sin k\theta\} &= w[1 - (n+1)\{\cos n\theta + i \sin n\theta\} \\ &\quad + n\{\cos(n+1)\theta + i \sin(n+1)\theta\}] \end{aligned}$$

上式の両辺の実部を比較すると

$$\sum_{k=1}^n k \cos k\theta = \frac{1}{2(\cos\theta-1)} \{1 - (n+1)\cos n\theta + n\cos(n+1)\theta\}$$

補足 $f(z) = \sum_{k=1}^n z^k = \frac{z - z^{n+1}}{1-z}$ とおくと $(1-z)f(z) = z - z^{n+1}$

これを z について微分すると $-f(z) + (1-z)f'(z) = 1 - (n+1)z^n$

$$\begin{aligned} (1-z)f'(z) &= 1 - (n+1)z^n + f(z) \\ &= 1 - (n+1)z^n + \frac{z - z^{n+1}}{1-z} \\ &= \frac{1 - (n+1)z^n + nz^{n+1}}{1-z} \end{aligned}$$

ゆえに $zf'(z) = \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (n+1)z^n + nz^{n+1}\}$

$$f'(z) = \sum_{k=1}^n kz^{k-1} \text{ より } zf'(z) = \sum_{k=1}^n kz^k$$

よって $\sum_{k=1}^n kz^k = \frac{z}{(1-z)^2} \{1 - (n+1)z^n + nz^{n+1}\}$ ■

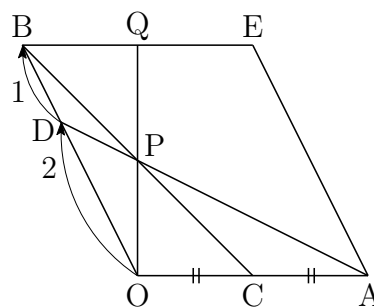
3 (1) $\overrightarrow{AD} = \overrightarrow{OD} - \overrightarrow{OA}$ より

$$|\overrightarrow{AD}|^2 = |\overrightarrow{OD}|^2 - 2\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OD} + |\overrightarrow{OA}|^2$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OD} &= \frac{|\overrightarrow{OA}|^2 + |\overrightarrow{OD}|^2 - |\overrightarrow{AD}|^2}{2} \\ &= \frac{8 + 9 - 25}{2} = -4\end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } \cos \angle AOD = \frac{\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OD}}{|\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OD}|} = \frac{-4}{2\sqrt{2} \cdot 3} = -\frac{\sqrt{2}}{3}$$

$$\text{よって } \sin \angle AOD = \sqrt{1 - \cos^2 \angle AOD} = \sqrt{1 - \frac{2}{9}} = \frac{\sqrt{7}}{3}$$



(2) P は線分 AD を $s : 1 - s$ に内分する点であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OP} &= (1 - s)\overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{OD} = (1 - s) \cdot 2\overrightarrow{OC} + s \cdot \frac{2}{3}\overrightarrow{OB} \\ &= \frac{2s}{3}\overrightarrow{OB} + 2(1 - s)\overrightarrow{OC}\end{aligned}$$

P は BC 上の点であるから $\frac{2s}{3} + 2(1 - s) = 1$ これを解いて $s = \frac{3}{4}$

(3) (2) の結果から $\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{2}\overrightarrow{OC} \dots \textcircled{1}$

$\overrightarrow{OE} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}$ とすると, $\overrightarrow{OC} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OA}$ より $\overrightarrow{OC} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OB}) \dots \textcircled{2}$

② を ① に代入すると

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}(\overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OB}) = \frac{1}{4}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{4}\overrightarrow{OE} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OE}}{2}$$

Q は直線 BE 上の点であるから

$$\overrightarrow{OQ} = \frac{\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OE}}{2} = \frac{\overrightarrow{OB} + (\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB})}{2} = \frac{\overrightarrow{OA} + 2\overrightarrow{OB}}{2}$$

(4) (1), (3) の結果から

$$\triangle OAD = \frac{1}{2}OA \cdot OD \sin \angle AOD = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{2} \cdot 3 \cdot \frac{\sqrt{7}}{3} = \sqrt{14}$$

$$\triangle OAQ = \triangle OAB = \frac{3}{2}\triangle OAD = \frac{3}{2}\sqrt{14}$$

$$\triangle OQD = \frac{2}{3}\triangle OQB = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}\triangle OBE = \frac{1}{3}\triangle OAB = \frac{1}{2}\sqrt{14}$$

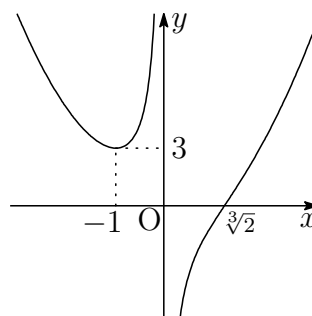
$$\text{四角形 OAQD} = \triangle OAQ + \triangle OQD = \frac{3}{2}\sqrt{14} + \frac{1}{2}\sqrt{14} = 2\sqrt{14}$$



4 (1) $f(x) = \frac{x^3 - 2}{x} = x^2 - \frac{2}{x}$ より

$$f'(x) = 2x + \frac{2}{x^2} = \frac{2}{x^2}(x+1)(x^2 - x + 1)$$

x	$\cdots$	-1	$\cdots$	0	$\cdots$
$f'(x)$	$-$		$+$		$+$
$f(x)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$		$\nearrow$



$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow -0} f(x) = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow +0} f(x) = -\infty$$

よって 極小値 $f(-1) = 3$

(2) 曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y - \frac{t^3 - 2}{t} = \left(2t + \frac{2}{t^2}\right)(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{2(t^3 + 1)}{t^2}x - t^2 - \frac{4}{t}$$

これが原点を通るから

$$-t^2 - \frac{4}{t} = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = -\sqrt[3]{4}$$

よって、求める接線の方程式は $y = -\frac{3}{\sqrt[3]{2}}x$

(3) $x = 0$ は方程式 $x^3 - ax - 2 = 0$ の解ではないから

$$a = \frac{x^3 - 2}{x}$$

方程式の実数解の個数は、 $y = f(x)$ と直線 $y = a$ の交点の個数に等しい。
したがって、(1) で示したグラフの概形から、求める実数解の個数は

$a < 3$ のとき 1 個, $a = 3$ のとき 2 個, $3 < a$ のとき 3 個

(4) $f(x) = 0$ の解は $x = \sqrt[3]{2}$, $\sqrt[3]{2} \leq x \leq 2$ において $f(x) \geq 0$

求める面積を S とすると

$$S = \int_{\sqrt[3]{2}}^2 \frac{x^3 - 2}{x} dx = \left[\frac{x^3}{3} - 2 \log x \right]_{\sqrt[3]{2}}^2 = 2 - \frac{4}{3} \log 2$$



3.7 2021 年

出題分野 ① ② ③ ④

① 次の問いに答えよ.

(1) $0 < a < 1$ のとき $\log_{a^2}(3-x) \leq \log_a(2x-3)$ を満たす x の範囲を求めよ.(2) 半径 r の円に内接する正 n 角形の面積を S_n とするとき,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \pi r^2$$

となることを示せ.

(3) $\triangle ABC$ において, $AB = 3$, $AC = 4$ であって, $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ の内積が $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 4\sqrt{5}$ を満たす. 点 P が次の条件を満たしながら動くとき, 点 P の存在範囲の面積を求めよ.

$$\overrightarrow{AP} = s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}, \quad s \geq 0, \quad t \geq 0, \quad 1 \leq \frac{3}{2}s + \frac{4}{3}t \leq 2$$

② 下の表のように, 正の偶数を並べ, 上から m 行目, 左から n 列目の数を $a(m, n)$ と表すことにする. 例えば, $a(3, 2) = 16$ である.

2	6	12	20	30	...
4	10	18	28	...	...
8	16	26	...	...	...
14	24	...	...	...	...
22	34	...	...	...	...
32	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

次の問いに答えよ.

(1) $a(m, n) = 360$ のとき, m, n の値を求めよ.(2) $a(m, n)$ を m, n を用いて表せ.(3) c を 2 以上の整数とするとき, $m+n=c$ となる $a(m, n)$ の和 S_c を c を用いて表せ.

3 z を $z \neq 1, z \neq -1, z \neq i, z \neq -i, |z| = 1$ を満たす複素数とし,

$$w = \frac{1+z}{1-z}$$

とおく. 次の問いに答えよ. ただし, i は虚数単位を表す.

- (1) w は純虚数であることを示せ.
- (2) 複素数平面において, $1, z, w$ を表す 3 点が一直線上にあることを示せ.
- (3) 複素数 $\frac{w-z}{i-z}$ の偏角 θ のとりうる値のうち, $0 \leq \theta < 2\pi$ を満たすものを全て求めよ.

4 $f(x) = \frac{2x}{x^2+2}$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ と直線 $x = -1, x = 2$ および x 軸によって囲まれる部分の面積を求めよ.
- (3) a を実数とするとき, 関数 $f(x)$ の区間 $a \leq x \leq a+1$ における最大値を求めよ.

解答例

1 (1) $0 < a < 1$ のとき $\log_{a^2}(3-x) \leq \log_a(2x-3) \quad \dots (*)$

真数は正であるから

$$3-x > 0, \quad 2x-3 > 0 \quad \text{すなわち} \quad \frac{3}{2} < x < 3 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$(*) \text{ より } \log_{a^2}(3-x) \leq \log_{a^2}(2x-3)^2$$

$$0 < a^2 < 1 \text{ であるから } 3-x \geq (2x-3)^2$$

$$\text{整理すると } 4x^2 - 11x + 6 \leq 0 \quad \text{ゆえに } (x-2)(4x-3) \leq 0$$

$$\text{これを解いて } \frac{3}{4} \leq x \leq 2 \quad \dots \textcircled{2}$$

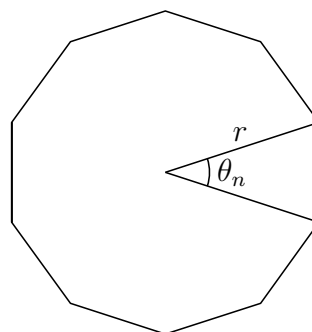
$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ の共通範囲を求めて } \frac{3}{2} < x \leq 2$$

(2) $\theta_n = \frac{2\pi}{n}$ とすると $n = \frac{2\pi}{\theta_n}$

$$\begin{aligned} S_n &= n \times \frac{1}{2} r^2 \sin \theta_n \\ &= \frac{2\pi}{\theta_n} \cdot \frac{1}{2} r^2 \sin \theta_n = \pi r^2 \cdot \frac{\sin \theta_n}{\theta_n} \end{aligned}$$

$n \rightarrow \infty$ のとき, $\theta_n \rightarrow +0$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{\theta_n \rightarrow +0} \pi r^2 \cdot \frac{\sin \theta_n}{\theta_n} = \pi r^2$$



(3) $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ のなす角を θ とすると

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}|} = \frac{4\sqrt{5}}{3 \cdot 4} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - \frac{5}{9}} = \frac{2}{3}$$

$$\overrightarrow{AP} = s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}, \quad s \geq 0, \quad t \geq 0, \quad 1 \leq \frac{3}{2}s + \frac{4}{3}t \leq 2 \text{ より}$$

$$\overrightarrow{AP} = \frac{3}{2}s \left(\frac{2}{3}\overrightarrow{AB} \right) + \frac{4}{3}t \left(\frac{3}{4}\overrightarrow{AC} \right)$$

$$s' = \frac{3}{2}s, \quad t' = \frac{4}{3}t, \quad \overrightarrow{AB'} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB}, \quad \overrightarrow{AC'} = \frac{3}{4}\overrightarrow{AC} \text{ とおくと}$$

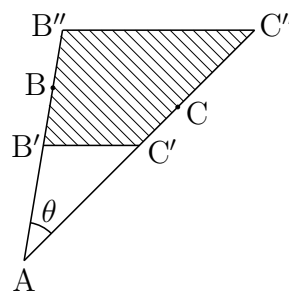
$$\overrightarrow{AP} = s'\overrightarrow{AB'} + t'\overrightarrow{AC'}, \quad s' \geq 0, \quad t' \geq 0, \quad 1 \leq s' + t' \leq 2$$

$$AB = 3, \quad AC = 4 \text{ より}$$

$$AB' = \frac{2}{3}AB = 2, \quad AC' = \frac{3}{4}AC = 3$$

$\triangle AB'C'$ の面積は

$$\triangle AB'C' = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 3 \sin \theta = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} = 2$$



$\overrightarrow{AB''} = 2\overrightarrow{AB'}$, $\overrightarrow{AC''} = 2\overrightarrow{AC'}$ とすると, 求める面積 S は, 台形 $B'C'C''B''$ の面積であるから

$$S = (2^2 - 1)\triangle AB'C' = 3 \cdot 2 = 6$$



- 2 (1) 1行目の数 $a(1, n)$ に着目すると

$$a(1, n) = 2 \sum_{k=1}^n k = n(n+1) \quad (*)$$

$a(1, 18) = 18 \cdot 19 = 342$, $a(1, 19) = 19 \cdot 20 = 380$ であるから

$$a(19, 1) = 342 + 2$$

$$a(18, 2) = 342 + 2 \cdot 2$$

$$a(17, 3) = 342 + 2 \cdot 3$$

$\vdots$

$$a(11, 9) = 342 + 2 \cdot 9 = 360$$

よって $m = 11, n = 9$

- (2) (*) により, $a(1, m+n-2) = (m+n-2)(m+n-1)$ であるから

$$a(m+n-1, 1) = (m+n-2)(m+n-1) + 2$$

$$a(m+n-2, 2) = (m+n-2)(m+n-1) + 2 \cdot 2$$

$$a(m+n-3, 3) = (m+n-2)(m+n-1) + 2 \cdot 3$$

$\vdots$

よって $a(m, n) = (m+n-2)(m+n-1) + 2n$

別解 群数列 $2|4, 6|8, 10, 12|14, 16, 18, 20|, \dots$ の第 i 群の j 番目は

$$2 \left(\sum_{k=1}^{i-1} k + j \right) = i(i-1) + 2j$$

$a(m, n)$ は第 $m+n-1$ 群の n 番目より, $i = m+n-1, j = n$ とする.

- (3) (2) の諸式から, $m+n=c$ より, $k=1, 2, 3, \dots, c-1$ に対して

$$a(c-k, k) = (c-2)(c-1) + 2k$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad S_c &= \sum_{\substack{k=1 \\ c-1}}^{c-1} a(c-k, k) \\ &= \sum_{k=1}^{c-1} \{(c-2)(c-1) + 2k\} \\ &= (c-2)(c-1)^2 + (c-1)c \\ &= (c-1)(c^2 - 2c + 2) \end{aligned}$$

■

3 (1) $w = \frac{1+z}{1-z}$ より ($|z|=1$)

$$w + \bar{w} = \frac{1+z}{1-z} + \frac{1+\bar{z}}{1-\bar{z}} = \frac{1+z}{1-z} + \frac{z+1}{z-1} = 0$$

$z \neq -1$ より, $w = \frac{1+z}{1-z} \neq 0$ であるから, w は純虚数である.

(2) $w = \frac{1+z}{1-z}$ より ($|z|=1$)

$$w - 1 = \frac{1+z}{1-z} - 1 = \frac{2z}{1-z} = \frac{2z(1-\bar{z})}{(1-z)(1-\bar{z})} = \frac{2(z-1)}{|1-z|^2}$$

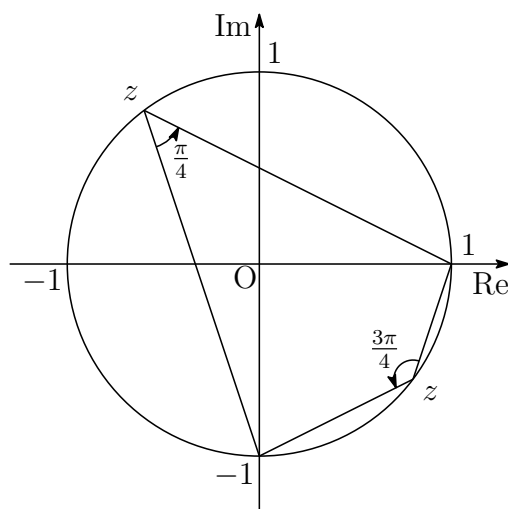
したがって $\frac{w-1}{z-1} = \frac{2}{|z-1|^2}$

$\frac{w-1}{z-1}$ が実数であるから, 3 点 $1, z, w$ は同一直線上にある.

(3) $w = \frac{1+z}{1-z}$ より

$$\frac{w-z}{i-z} = \frac{1}{i-z} \left(\frac{1+z}{1-z} - z \right) = \frac{1+z^2}{(i-z)(1-z)} = \frac{i+z}{1-z}$$

z は $z \neq 1, z \neq -i$ である原点を中心とする単位円周上の点である.



上の図から $\arg \frac{1-z}{-i-z} = \frac{\pi}{4}$... ① または $\arg \frac{-i-z}{1-z} = \frac{3\pi}{4}$... ②

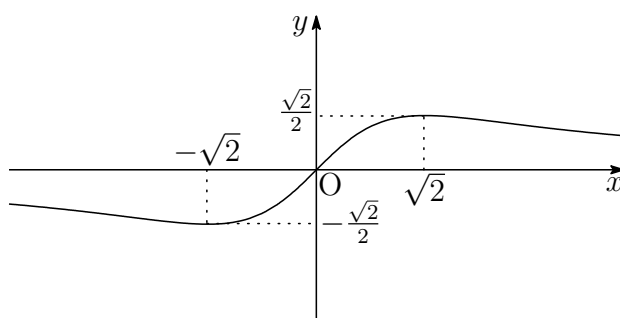
① より $\arg \frac{-i-z}{1-z} = -\frac{\pi}{4}$ ゆえに $\arg \frac{i+z}{1-z} = \frac{3\pi}{4}$

② より $\arg \frac{i+z}{1-z} = \frac{7\pi}{4}$

$\theta = \arg \frac{w-z}{i-z} = \arg \frac{i+z}{1-z}$ ($0 \leq \theta < 2\pi$) より $\theta = \frac{3\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$ ■

4 (1) $f(x) = \frac{2x}{x^2 + 2}$ より $f'(x) = \frac{2(x^2 + 2) - 2x \cdot 2x}{(x^2 + 2)^2} = \frac{2(2 - x^2)}{(x^2 + 2)^2}$

x	$\dots$	$-\sqrt{2}$	$\dots$	$\sqrt{2}$	$\dots$
$f'(x)$	$-$	0	$+$	0	$-$
$f(x)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$



よって 極大値 $f(\sqrt{2}) = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 極小値 $f(-\sqrt{2}) = -\frac{\sqrt{2}}{2}$

(2) $y = f(x)$ のグラフは原点に関して対称であるから, 求める面積を S は

$$\begin{aligned}
 S &= \int_0^1 f(x) dx + \int_0^2 f(x) dx \\
 &= \left[\log(x^2 + 2) \right]_0^1 + \left[\log(x^2 + 2) \right]_0^2 \\
 &= \log \frac{3}{2} + \log 3 = \log \frac{9}{2}
 \end{aligned}$$

(3) $f(a) = f(a+1)$ とすると $\frac{2a}{a^2 + 1} = \frac{2(a+1)}{(a+1)^2 + 1}$

整理すると $(a+2)(a-1) = 0$ ゆえに $a = -2, 1$

したがって, 関数 $f(x)$ の区間 $a \leq x \leq a+1$ における最大値は

$$\begin{aligned}
 a < -2 \text{ のとき} & \quad f(a) = \frac{2a}{a^2 + 2} \\
 -2 \leq a < \sqrt{2} - 1 \text{ のとき} & \quad f(a+1) = \frac{2a+2}{a^2 + 2a + 3} \\
 \sqrt{2} - 1 \leq a < \sqrt{2} \text{ のとき} & \quad f(\sqrt{2}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 \sqrt{2} \leq a \text{ のとき} & \quad f(a) = \frac{2a}{a^2 + 2}
 \end{aligned}$$



3.8 2022 年

出題分野 1 2 3 4

1 次の問いに答えよ.

- (1) z, w を複素数とする. $|z| = 1$ または $|w| = 1$ のとき

$$|z\bar{w} + 1| = |z + w|$$

が成り立つことを示せ. ただし, $\bar{w}$ は w の共役な複素数を表す.

- (2) a, r を実数とし, $a > 0, r \neq 0$ とする. $\{b_n\}$ を初項 2, 公比 r の等比数列とすると, 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ. ただし, e は自然対数の底とする.

$$a_1 = a, \quad a_{n+1} = a_n^r e^{b_n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (3) θ を $\sin \theta \neq 0$ である実数とし, n を自然数とする. n に関する数学的帰納法によって次の等式を示せ.

$$1 + 2 \sum_{k=1}^n \cos 2k\theta = \frac{\sin(2n+1)\theta}{\sin \theta}$$

2 n を 6 以下の自然数とする. 1 個のさいころを 3 回続けて投げるとき, 出た目の最大値が n となる確率を P_n とし, 出た目の最小値が n となる確率を p_n とする. 次の問いに答えよ.

- (1) P_1, p_1 をそれぞれ求めよ.
 (2) P_n, p_n をそれぞれ n を用いて表せ.
 (3) $P_n \leq p_n$ を満たす n をすべて求めよ.

3 複素数 z の実部と虚部がともに正であり, z は

$$z^2 + \frac{1}{z^2} = 1$$

を満たしている. 次の問いに答えよ.

- (1) z を極形式で表せ. ただし, 偏角 θ は $0 \leq \theta < 2\pi$ とする.
 (2) $z^{100} + \frac{1}{z^{100}}$ を求めよ.
 (3) 複素数平面上の 3 点 $z, z^2, z^{100} + \frac{1}{z^{100}}$ を頂点とする三角形の面積を求めよ.

4 次の問いに答えよ。ただし、対数は自然対数とする。

(1) k が自然数のとき、次の不等式を示せ。

$$\frac{1}{k+1} \leq \int_k^{k+1} \frac{1}{x} dx \leq \frac{1}{k}$$

(2) n が2以上の自然数のとき、次の不等式を示せ。

$$\log(n+1) \leq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \leq 1 + \log n$$

(3) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}$ を求めよ。

解答例

- 1 (1) $|z| = 1$ のとき, $z\bar{z} = 1$ より

$$\begin{aligned} |z\bar{w} + 1| &= |z\bar{w} + z\bar{z}| = |z(\bar{w} + \bar{z})| \\ &= |z||\bar{z} + \bar{w}| = |\overline{z + w}| = |z + w| \end{aligned}$$

$|w| = 1$ のとき, $w\bar{w} = 1$ より

$$\begin{aligned} |z\bar{w} + 1| &= |w||z\bar{w} + 1| = |w(z\bar{w} + 1)| \\ &= |zw\bar{w} + w| = |z + w| \end{aligned}$$

- (2) 漸化式 $a_1 = a > 0$, $a_{n+1} = a_n^r e^{b_n}$ より, $a_n > 0$ に注意して

$$\log a_{n+1} = r \log a_n + b_n$$

$\{b_n\}$ は初項 2, 公比 r の等比数列より, $b_n = 2r^{n-1}$ であるから

$$\log a_{n+1} = r \log a_n + 2r^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\log a_{n+1}}{r^{n+1}} = \frac{\log a_n}{r^n} + \frac{2}{r^2}$$

$\left\{ \frac{\log a_n}{r^n} \right\}$ は初項 $\frac{\log a}{r}$, 公差 $\frac{2}{r^2}$ の等差数列であるから

$$\frac{\log a_n}{r^n} = \frac{\log a}{r} + \frac{2}{r^2}(n-1)$$

したがって $\log a_n = r^{n-1} \log a + 2r^{n-2}(n-1)$

よって $a_n = e^{r^{n-1} \log a + 2r^{n-2}(n-1)}$

補足 $a_n = a^{r^{n-1}} e^{2r^{n-2}(n-1)}$ と表記してもよい.

- (3) 加法定理により

$$\sin(2k+1)\theta = \sin 2k\theta \cos \theta + \cos 2k\theta \sin \theta$$

$$\sin(2k-1)\theta = \sin 2k\theta \cos \theta - \cos 2k\theta \sin \theta$$

上の第 1 式から第 2 式を引くと

$$\sin(2k+1)\theta - \sin(2k-1)\theta = 2 \sin \theta \cos 2k\theta$$

$\sin \theta \neq 0$ であるから

$$2 \cos 2k\theta = \frac{\sin(2k+1)\theta}{\sin \theta} - \frac{\sin(2k-1)\theta}{\sin \theta} \quad (*)$$

n を自然数とする等式

$$1 + 2 \sum_{k=1}^n \cos 2k\theta = \frac{\sin(2n+1)\theta}{\sin \theta}$$

を (A) とする.

[1] $n = 1$ のとき, $k = 1$ を (*) に代入すると

$$2 \cos 2\theta = \frac{\sin 3\theta}{\sin \theta} - \frac{\sin \theta}{\sin \theta} \quad \text{ゆえに} \quad 1 + 2 \cos 2\theta = \frac{\sin 3\theta}{\sin \theta}$$

よって, $n = 1$ のとき, (A) は成立する.

[2] $n = m$ のとき, (A) が成立すると仮定すると

$$1 + 2 \sum_{k=1}^m \cos 2k\theta = \frac{\sin(2m+1)\theta}{\sin \theta}$$

$k = m + 1$ を (*) に代入すると

$$2 \cos 2(m+1)\theta = \frac{\sin(2m+3)\theta}{\sin \theta} - \frac{\sin(2m+1)\theta}{\sin \theta}$$

上の 2 式の辺々を加えると

$$1 + 2 \sum_{k=1}^{m+1} \cos 2k\theta = \frac{\sin(2m+3)\theta}{\sin \theta}$$

よって, $n = m + 1$ のときも (A) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (A) は成立する. ■

2 (1) P_1 は 3 回続けて 1 の目が出る確率であるから $P_1 = \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{1}{216}$

出た目の最小値が 2 以上である確率は $\left(\frac{5}{6}\right)^3$

p_1 はこの余事象の確率であるから $p_1 = 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^3 = \frac{91}{216}$

(2) 出た目の最大値が n 以下である確率は $\left(\frac{n}{6}\right)^3$

出た目の最大値が $n-1$ 以下である確率は $\left(\frac{n-1}{6}\right)^3$

したがって $P_n = \left(\frac{n}{6}\right)^3 - \left(\frac{n-1}{6}\right)^3 = \frac{3n^2 - 3n + 1}{216}$

出た目の最小値が n 以上である確率は $\left(\frac{7-n}{6}\right)^3$

出た目の最小値が $n+1$ 以上である確率は $\left(\frac{6-n}{6}\right)^3$

したがって $p_n = \left(\frac{7-n}{6}\right)^3 - \left(\frac{6-n}{6}\right)^3$

ここで, $A = 7 - n$ とおくと, 前の計算に注意して

$$p_n = \left(\frac{A}{6}\right)^3 - \left(\frac{A-1}{6}\right)^3 = \frac{3A^2 - 3A + 1}{216} \quad (*)$$

$$\text{よって } p_n = \frac{3(7-n)^2 - 3(7-n) + 1}{216} = \frac{3n^2 - 39n + 127}{216}$$

(3) P_n および (*) を $P_n \leq p_n$ に代入すると

$$\frac{3n^2 - 3n + 1}{216} \leq \frac{3A^2 - 3A + 1}{216}$$

ゆえに $(n-A)(n+A-1) \leq 0$ すなわち $6(2n-7) \leq 0$

n は 6 以下の自然数であるから $n = 1, 2, 3$

補足 P_n, p_n の結果をそのまま利用してもよい. ■

3 (1) $z^2 + \frac{1}{z^2} = 1$ より $\left(z + \frac{1}{z}\right)^2 = 3, \quad \left(z - \frac{1}{z}\right)^2 = -1$

したがって $z + \frac{1}{z} = \pm\sqrt{3}, \quad z - \frac{1}{z} = \pm i$

上の2式から $z = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \pm \frac{1}{2}i$ (複号任意)

z の実部と虚部がともに正であるから

$$z = \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i = \cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6}$$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} z^{100} &= \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6}\right)^{100} = \cos \frac{100\pi}{6} + i \sin \frac{100\pi}{6} \\ &= \cos \left(16\pi + \frac{2\pi}{3}\right) + i \sin \left(16\pi + \frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \end{aligned}$$

$z\bar{z} = 1$ より, $\frac{1}{z} = \bar{z}$ であるから

$$\frac{1}{z^{100}} = \overline{z^{100}} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \quad \text{よって} \quad z^{100} + \frac{1}{z^{100}} = -1$$

(3) 3点 $-1, z, z^2$ を頂点とする三角形の面積を S とすると²

$$S = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}\{(\overline{z+1})(z^2+1)\}|$$

このとき $(\overline{z+1})(z^2+1) = (\bar{z}+1)(z^2+1)$
 $= z + \bar{z} + 1 + z^2$

したがって $\operatorname{Im}\{(\overline{z+1})(z^2+1)\} = \operatorname{Im}(z^2) = \frac{\sqrt{3}}{2}$

よって, 三角形の面積は $S = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}\{(\overline{z+1})(z^2+1)\}| = \frac{\sqrt{3}}{4}$ ■

²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/kumadai_ri_2020.pdf [2] (2) を参照.

4 (1) $k \leq x \leq k+1$ のとき (k は自然数) $\frac{1}{k+1} \leq \frac{1}{x} \leq \frac{1}{k}$

$$\int_k^{k+1} \frac{1}{k+1} dx \leq \int_k^{k+1} \frac{1}{x} dx \leq \int_k^{k+1} \frac{1}{k} dx$$

したがって $\frac{1}{k+1} \leq \int_k^{k+1} \frac{1}{x} dx \leq \frac{1}{k}$

(2) (1) の結果から $\sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{k+1} \leq \sum_{k=1}^{n-1} \int_k^{k+1} \frac{1}{x} dx = \int_1^n \frac{1}{x} dx$

両辺に 1 を加えると $\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \leq 1 + \log n$ (*)

(1) の結果から $\sum_{k=1}^n \int_k^{k+1} \frac{1}{x} dx \leq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}$

$$\int_1^{n+1} \frac{1}{x} dx \leq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \quad \text{ゆえに} \quad \log(n+1) \leq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \quad (**)$$

(*), (**) より

$$\log(n+1) \leq \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \leq 1 + \log n$$

(3) (2) の結果から, n を 2 以上の自然数とすると

$$\frac{\log(n+1)}{\log n} \leq \frac{1}{\log n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \leq \frac{1}{\log n} + 1$$

ここで

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(n+1)}{\log n} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\log(n+1) - \log n}{\log n} + 1 \right\} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\log\left(1 + \frac{1}{n}\right)}{\log n} + 1 \right\} = 1, \\ \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\log n} + 1 \right) &= 1 \end{aligned}$$

はさみうちの原理により $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\log n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = 1$ ■

3.9 2023年

出題分野 1 2 3 (1)(2)(3)(4) 4

初等教育(数学専修) 3 (1)(2)(3)(5) 4 (2)(3) 5 6

1 次の問いに答えよ.

- (1) α を実数とし, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ とする. ベクトル $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ が $|\vec{a}| = 1, |\vec{b}| = 2, |\vec{c}| = \sqrt{3}$ をみたし, $\vec{a}$ と $\vec{b}, \vec{b}$ と $\vec{c}, \vec{c}$ と $\vec{a}$ のなす角がそれぞれ $\alpha, \frac{\pi}{2} - \alpha, \frac{5}{6}\pi$ であるとする. このとき, $|\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|$ の最大値と最小値を求めよ. また, そのときの α の値をそれぞれ求めよ.

- (2) 次の連立方程式を解け. ただし, x, y は正の実数であり, $x \neq 1, y \neq 1$ とする.

$$\begin{cases} 2\log_2 \frac{x}{4} + \log_3 3y = 2 \\ \log_x 8 + \log_y 9 = 3 \end{cases}$$

- (3) 定積分 $\int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx$ の値を求めよ.

2 A の袋には白玉が w 個, 青玉が b 個入っていて, B の袋にも白玉が w 個, 青玉が b 個入っている. 次の問いに答えよ. ただし, w, b はそれぞれ自然数とする.

- (1) A の袋から玉を 2 個同時に取り出したとき, 白玉, 青玉が 1 個ずつ取り出される確率を求めよ.
- (2) A の袋から玉を 2 個同時に取り出し, それらを B の袋に入れる. よくかき混ぜて B の袋から玉を 1 個取り出したとき, この玉が白玉である確率を求めよ.

3 $\alpha = \frac{1 + \sqrt{3}i}{1 + i}$ とするとき、次の問いに答えよ。ただし、 i は虚数単位とする。

- (1) 複素数 $1 + \sqrt{3}i$ および $1 + i$ を極形式で表せ。ただし、偏角 θ の範囲は $0 \leq \theta < 2\pi$ とする。
- (2) $\cos\left(-\frac{\pi}{12}\right) + i \sin\left(-\frac{\pi}{12}\right)$ を α を用いて表せ。
- (3) $\beta = \sqrt{2}\alpha^3$, $\gamma = 2\sqrt{2}i$ とおく。複素数平面において、点 β を、点 γ を中心として $-\frac{\pi}{12}$ だけ回転した点を表す複素数を求めよ。
- (4) $z = \frac{\alpha^4}{2}$ とおく。 n を 2 より大きい自然とし、

$$S_n = 1 + z + z^2 + \cdots + z^n$$

とする。 S_n が純虚数であり S_n の虚部が正となる最小の n とそのときの S_n の値を求めよ。

- (5) $z = \frac{\alpha^4}{2}$ とおいたとき、 $1 + z + z^2 + \cdots + z^8$ の値を求めよ。

4 $f(x) = |x - 1|e^x$ とする。次の問いに答えよ。ただし、 e は自然対数の底とする。

- (1) 関数 $f(x)$ は $x = 1$ において微分可能でないことを示せ。
- (2) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ。
- (3) $g(x) = 2xe^x$ とする。2つの曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ と y 軸によって囲まれた部分の面積を求めよ。

5 次の問いに答えよ.

- (1) ベクトル $\vec{a}$, $\vec{b}$ が $|\vec{a}| = 1$, $|\vec{b}| = 2$, $|\vec{a} + \vec{b}| = 3$ をみたしているとき, $|\vec{a} - 2\vec{b}|$ の値を求めよ.
- (2) 次の連立方程式を解け. ただし, x , y は正の実数であり, $x \neq 1$, $y \neq 1$ とする.

$$\begin{cases} 2\log_2 \frac{x}{4} + \log_3 3y = 2 \\ \log_x 8 + \log_y 9 = 3 \end{cases}$$

- (3) 定積分 $\int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx$ の値を求めよ.

6 A の袋には白玉が3個, 青玉が4個入っていて, B の袋にも白玉が3個, 青玉が4個入っている. 次の問いに答えよ. ただし, w , b はそれぞれ自然数とする.

- (1) A の袋から玉を2個同時に取り出したとき, 白玉, 青玉が1個ずつ取り出される確率を求めよ.
- (2) A の袋から玉を2個同時に取り出し, それらを B の袋に入れる. よくかき混ぜて B の袋から玉を1個取り出したとき, この玉が白玉である確率を求めよ.

解答例

1 (1) 与えられた条件から

$$\begin{aligned}\vec{a} \cdot \vec{b} &= |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \alpha = 1 \cdot 2 \cdot \cos \alpha = 2 \cos \alpha \\ \vec{b} \cdot \vec{c} &= |\vec{b}| |\vec{c}| \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \alpha = 2\sqrt{3} \sin \alpha \\ \vec{c} \cdot \vec{a} &= |\vec{c}| |\vec{a}| \cos \frac{5}{6}\pi = \sqrt{3} \cdot 1 \cdot \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = -\frac{3}{2}\end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned}|\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|^2 &= |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 2\vec{b} \cdot \vec{c} + 2\vec{c} \cdot \vec{a} \\ &= 1^2 + 2^2 + (\sqrt{3})^2 + 2 \cdot 2 \cos \alpha + 2 \cdot 2\sqrt{3} \sin \alpha + 2 \cdot \left(-\frac{3}{2} \right) \\ &= 4(\sqrt{3} \sin \alpha + \cos \alpha) + 5 = 8 \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{6} \right) + 5\end{aligned}$$

$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ であるから, $|\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|$ は

$$\alpha = \frac{\pi}{3} \text{ のとき 最大値 } \sqrt{13}, \quad \alpha = 0 \text{ のとき 最小値 } 3$$

注意 3つのベクトル $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ のなす角は設定できないため, 本題は全員正解.

(2) $x \neq 1, y \neq 1$ に注意して, 与えられた2式をそれぞれ変形すると

$$2 \log_2 x + \log_3 y = 5, \quad \frac{3}{\log_2 x} + \frac{2}{\log_3 y} = 3$$

$X = \log_2 x, Y = \log_3 y$ とおくと ($X \neq 0, Y \neq 0$)

$$(*) \quad 2X + Y = 5, \quad \frac{3}{X} + \frac{2}{Y} = 3$$

上の2式から Y を消去すると $\frac{3}{X} + \frac{2}{5-2X} = 3$

$$6X^2 - 19X + 15 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (2X-3)(3X-5) = 0$$

上式および(*)の第1式から $(X, Y) = \left(\frac{3}{2}, 2 \right), \left(\frac{5}{3}, \frac{5}{3} \right)$

よって $(x, y) = (2\sqrt{2}, 9), (2^{\frac{5}{3}}, 3^{\frac{5}{3}})$

(3) $t = \sin x$ とおくと $\frac{dt}{dx} = \cos x$

x	$0 \rightarrow \frac{\pi}{3}$
t	$0 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2}$

$$\begin{aligned}
 \int_{-\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx = 2 \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{1 - \sin^2 x} \cdot \cos x dx \\
 &= 2 \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \frac{1}{1 - t^2} dt = \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left(\frac{1}{t+1} - \frac{1}{t-1} \right) dt \\
 &= \left[\log \left| \frac{t+1}{t-1} \right| \right]_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 2 \log(2 + \sqrt{3})
 \end{aligned}$$

2 (1) 求める確率は

$$\frac{{}_w C_1 \cdot {}_b C_1}{{}_{w+b} C_2} = \frac{2wb}{(w+b)(w+b-1)}$$

(2) 求める確率は

$$\begin{aligned}
 &\frac{{}_w C_2}{{}_{w+b} C_2} \times \frac{w+2}{w+b+2} + \frac{{}_w C_1 \cdot {}_b C_1}{{}_{w+b} C_2} \times \frac{w+1}{w+b+2} + \frac{{}_b C_2}{{}_{w+b} C_2} \times \frac{w}{w+b+2} \\
 &= \frac{w(w-1) \times (w+2) + 2wb \times (w+1) + b(b-1) \times w}{(w+b)(w+b-1)(w+b+2)} \\
 &= \frac{w(w+b-1)(w+b+2)}{(w+b)(w+b-1)(w+b+2)} = \frac{w}{w+b}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[3]} \quad (1) \quad 1 + \sqrt{3}i &= 2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) \\ 1 + i &= \sqrt{2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i \right) = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{\alpha}{\sqrt{2}} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1 + \sqrt{3}i}{1 + i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)}{\sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)} \\ &= \cos \frac{\pi}{12} + i \sin \frac{\pi}{12} \quad \dots \text{①} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \cos \left(-\frac{\pi}{12} \right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{12} \right) = \frac{\sqrt{2}}{\alpha}$$

(3) (2) の結果から

$$\frac{\sqrt{2}}{\alpha} = \frac{\sqrt{2}(1+i)}{1+\sqrt{3}i} = \frac{\sqrt{2}(1+i)(1-\sqrt{3}i)}{(1+\sqrt{3}i)(1-\sqrt{3}i)} = \frac{1+\sqrt{3}+(1-\sqrt{3})i}{2\sqrt{2}}$$

上式および (1) の結果から

$$\cos \left(-\frac{\pi}{12} \right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{12} \right) = \frac{1+\sqrt{3}+(1-\sqrt{3})i}{2\sqrt{2}} \quad \dots \text{②}$$

$$\text{① より} \quad \alpha^3 = 2\sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) = 2 + 2i$$

$$\beta = \sqrt{2}\alpha^3 = \sqrt{2}(2 + 2i) = 2\sqrt{2} + 2\sqrt{2}i$$

$$\beta - \gamma = (2\sqrt{2} + 2\sqrt{2}i) - 2\sqrt{2}i = 2\sqrt{2}$$

点 β を点 γ を中心として $-\frac{\pi}{12}$ だけ回転した点を β' すると, ② より

$$\frac{\beta' - \gamma}{\beta - \gamma} = \frac{1 + \sqrt{3} + (1 - \sqrt{3})i}{2\sqrt{2}}$$

したがって

$$\begin{aligned} \beta' &= \frac{1 + \sqrt{3} + (1 - \sqrt{3})i}{2\sqrt{2}} (\beta - \gamma) + \gamma \\ &= \frac{1 + \sqrt{3} + (1 - \sqrt{3})i}{2\sqrt{2}} \cdot 2\sqrt{2} + 2\sqrt{2}i \\ &= 1 + \sqrt{3} + (1 + 2\sqrt{2} - \sqrt{3})i \end{aligned}$$

$$(4) \alpha = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{12} + i \sin \frac{\pi}{12} \right) \text{ より } \alpha^4 = 4 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$$z = \frac{\alpha^4}{2} = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

したがって

$$\begin{aligned} S_n &= 1 + z + z^2 + \cdots + z^n = \frac{z^{n+1} - 1}{z - 1} \\ &= \frac{2^{n+1} \left(\cos \frac{n+1}{3} \pi + i \sin \frac{n+1}{3} \pi \right) - 1}{2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) - 1} \\ &= \frac{\left(2^{n+1} \cos \frac{n+1}{3} \pi - 1 \right) + 2^{n+1} i \sin \frac{n+1}{3} \pi}{\sqrt{3}i} \\ &= \frac{2^{n+1}}{\sqrt{3}} \sin \frac{n+1}{3} \pi - \frac{i}{\sqrt{3}} \left(2^{n+1} \cos \frac{n+1}{3} \pi - 1 \right) \end{aligned}$$

S_n が純虚数のとき, $\frac{n+1}{3}$ が整数である. このとき

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{3}} \{ -2^{n+1} (-1)^{\frac{n+1}{3}} + 1 \} i = \frac{1}{\sqrt{3}} \{ 2^{n+1} (-1)^{\frac{n-2}{3}} + 1 \} i$$

S_n の虚部が正であるから, 求める最小の自然数 n は $n > 2$ に注意して

$$\frac{n-2}{3} = 2 \quad \text{これを解いて} \quad n = 8, \quad S_8 = 171\sqrt{3}i$$

$$(5) \alpha = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{12} + i \sin \frac{\pi}{12} \right) \text{ より } \alpha^4 = 4 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$$z = \frac{\alpha^4}{2} = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

したがって

$$\begin{aligned} 1 + z + z^2 + \cdots + z^8 &= \frac{z^9 - 1}{z - 1} = \frac{2^9 (\cos 3\pi + i \sin 3\pi) - 1}{2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) - 1} \\ &= \frac{-513}{\sqrt{3}i} = 171\sqrt{3}i \end{aligned}$$



- 4 (1) $f(x) = |x - 1|e^x$ より, $f(1) = 0$ に注意して

$$\begin{aligned}\lim_{h \rightarrow +0} \frac{f(1+h) - f(1)}{h} &= \lim_{h \rightarrow +0} \frac{|(1+h) - 1|e^{1+h}}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow +0} \frac{he^{1+h}}{h} = e, \\ \lim_{h \rightarrow -0} \frac{f(1+h) - f(1)}{h} &= \lim_{h \rightarrow -0} \frac{|(1+h) - 1|e^{1+h}}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow -0} \frac{-he^{1+h}}{h} = -e\end{aligned}$$

よって, $x = 1$ で微分可能ではない.

- (2) $\varphi(x) = (x - 1)e^x$ とおくと $\varphi(1) = 0$, $\varphi'(x) = xe^x$

x	$\cdots$	0	$\cdots$
$\varphi'(x)$	$-$	0	$+$
$\varphi(x)$	$\searrow$	-1	$\nearrow$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \varphi(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = \infty$$

$f(x) = |\varphi(x)|$ であるから, $f(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	0	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	$\diagup$	$+$
$f(x)$	$\nearrow$	1	$\searrow$	0	$\nearrow$

よって 極大値 $f(0) = 1$, 極小値 $f(1) = 0$

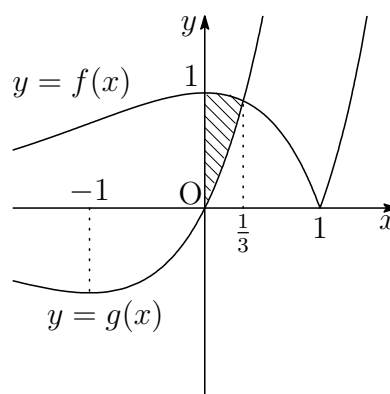
- (3) $y = f(x)$ と $y = g(x)$ から y を消去すると

$$(|x - 1| - 2x)e^x = 0$$

これを解くと

$$x = \frac{1}{3}$$

求める面積は右の図の斜線部分で, その面積を S とすると



$$\begin{aligned}S &= \int_0^{\frac{1}{3}} \{f(x) - g(x)\} dx = \int_0^{\frac{1}{3}} (1 - 3x)e^x dx \\ &= \left[(4 - 3x)e^x \right]_0^{\frac{1}{3}} = 3e^{\frac{1}{3}} - 4\end{aligned}$$

■

5 (1) $|\vec{a} + \vec{b}| = 3$ より $|\vec{a} + \vec{b}|^2 = 9$ ゆえに $|\vec{a}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2 = 9$

これに $|\vec{a}| = 1, |\vec{b}| = 2$ を代入すると

$$1^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 2^2 = 9 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = 2$$

したがって $|\vec{a} - 2\vec{b}|^2 = |\vec{a}|^2 - 4\vec{a} \cdot \vec{b} + 4|\vec{b}|^2 = 1^2 - 4 \cdot 2 + 4 \cdot 2^2 = 9$

よって $|\vec{a} - 2\vec{b}| = 3$

別解 条件から, $\vec{a}$ と $\vec{b}$ は同じ向きのベクトルで, $\vec{b} = 2\vec{a}$, $|\vec{a}| = 1$ より

$$|\vec{a} - 2\vec{b}| = |\vec{a} - 2 \cdot 2\vec{a}| = | -3\vec{a}| = 3|\vec{a}| = 3 \cdot 1 = 3$$

(2) **1** (2) を参照.

(3) **1** (3) を参照. ■

6 (1) $\frac{{}_3C_1 \cdot {}_4C_1}{{}_7C_2} = \frac{3 \cdot 4}{21} = \frac{4}{7}$

(2) $\frac{{}_3C_2}{{}_7C_2} \times \frac{5}{9} + \frac{{}_3C_1 \cdot {}_4C_1}{{}_7C_2} \times \frac{4}{9} + \frac{{}_4C_2}{{}_7C_2} \times \frac{3}{9} = \frac{1}{7} \cdot \frac{5}{9} + \frac{4}{7} \cdot \frac{4}{9} + \frac{2}{7} \cdot \frac{3}{9} = \frac{3}{7}$ ■

3.10 2024 年

出題分野

中等教育 (数学専攻) 1 2 3 4

初等教育 (数学専修) 3 5 6 7

1 次の問いに答えよ.

- (1) 楕円 $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1$ に内接する長方形で、各辺が座標軸に平行な長方形の面積の最大値を求めよ.
- (2) 次の連立方程式を満たす整数 x, y, z の組をすべて求めよ.

$$\begin{cases} 4^x 2^y 2^z = 128^3 \\ 2^z = (8^x)^y \end{cases}$$

- (3) z を複素数とし、 $w = i \frac{z+2}{z-1}$ とする. 複素数平面において点 z が原点 O を中心とする半径 2 の円上を動くとき、点 w が描く図形を求めよ. ただし、 i は虚数単位とする.

2 1 個のさいころを繰り返し投げるゲームを行う. 1 の目が k 回出た時点でゲームは終わる. このとき、ゲームが終わった時点でさいころを投げた回数が n である確率を p_n とする. ただし、 k は 2 以上の整数で、 n は k 以上の整数とする.

- (1) p_k, p_{k+1} を求めよ.
- (2) p_n を求めよ.
- (3) $p_n < p_{n+1}$ を満たす n の範囲を求め、さらに p_n が最大となる n をすべて求めよ.

3 点 O を原点とする座標空間内に 3 点 $A(2, 0, 0)$, $B(-2, 0, 0)$, $C(1, 2, 3)$ をとる. O, A, B と異なる点 $P(x, y, z)$ が $\overrightarrow{AP} \perp \overrightarrow{BP}$ となるように動くとき, 次の問いに答えよ.

- (1) x, y, z の満たす条件を求めよ.
- (2) 直線 AP と yz 平面との交点を $Q(0, \beta, \gamma)$ とする. 次の (ア), (イ), (ウ) に答えよ.
 - (ア) β, γ をそれぞれ x, y, z を用いて表せ.
 - (イ) x, y, z をそれぞれ β, γ を用いて表せ.
 - (ウ) 点 P がさらに $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{OC}$ となるように動くとき, Q は yz 平面上でどのような図形を描くか. Q の描く図形を求めよ.

4 区間 $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ において, 2 つの曲線 $y = \sin x$, $y = \cos 2x$ と 2 つの直線 $x = 0$, $x = \frac{\pi}{2}$ とで囲まれた部分を D とする. 次の問いに答えよ.

- (1) D の面積を求めよ.
- (2) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲で $|\sin x| \geq |\cos 2x|$ を解け.
- (3) D を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

5 次の問いに答えよ.

(1) 関数 $f(x) = 3^x + 3^{-x} - 3(3^{\frac{x}{2}} + 3^{-\frac{x}{2}}) + 14$ の最小値を求めよ. また, そのときの x の値を求めよ.

(2) $z = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}$ とするとき,

$$z^5 + z^4 + 2z^3 + 2z^2 + 2z + 3$$

の値を求めよ. ただし, i は虚数単位とする.

(3) 楕円 $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1$ に内接する長方形で, 各辺が座標軸に平行な長方形の面積の最大値を求めよ.

6 1 個のさいころを繰り返し投げるゲームを行う. 1 の目が 2 回出た時点でゲームは終わる. このとき, ゲームが終わった時点でさいころを投げた回数が n である確率を p_n とする. ただし, n は 2 以上の整数とする.

(1) p_2, p_3 を求めよ.

(2) p_n を求めよ.

(3) $p_n = p_{n+1}$ となる n を求めよ.

7 区間 $0 \leq x \leq \frac{\pi}{4}$ において, 2 つの曲線 $y = \sin x, y = \cos 2x$ と 2 つの直線 $x = 0, x = \frac{\pi}{4}$ とで囲まれた部分を D とする. 次の問いに答えよ.

(1) 区間 $0 \leq x \leq \frac{\pi}{4}$ において, 2 つの曲線 $y = \sin x, y = \cos 2x$ の交点の座標を求めよ.

(2) D の面積を求めよ.

(3) D を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

解答例

- 1 (1) 楕円 $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1$ 上の4点 $(\pm a, \pm b)$ (複号任意) を頂点とする四角形の面積を S とすると ($a > 0, b > 0$)

$$S = 4ab$$

2つの正の数 $\frac{a^2}{4}, \frac{b^2}{9}$ の相加平均・相乗平均の大小関係から

$$1 = \frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{9} \geq 2\sqrt{\frac{a^2}{4} \cdot \frac{b^2}{9}} = \frac{ab}{3} = \frac{S}{12} \quad \text{ゆえに} \quad S \leq 12$$

よって、求める面積の最大値は **12**

別解 楕円 $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1$ 上の4点 $(\pm 2 \cos \theta, \pm 3 \sin \theta)$ (複号任意) を頂点とする四角形の面積を S とすると ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)

$$S = 4 \cos \theta \cdot 6 \sin \theta = 12 \sin 2\theta \leq 12$$

よって、求める面積の最大値は **12**

- (2) 与えられた不等式から

$$\begin{cases} 2^{2x+y+z} = 2^{21} \\ 2^z = 2^{3xy} \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad (*) \begin{cases} 2x + y + z = 21 \\ z = 3xy \end{cases}$$

(*) から z を消去すると

$$2x + y + 3xy = 21 \quad \text{ゆえに} \quad (3x+1)(3y+2) = 65$$

$3x+1$ が65の約数となるとき

$$3x+1 = -65, -5, 1, 13$$

それぞれの場合について

$$3y+2 = -1, -13, 65, 5$$

したがって、整数 (x, y) の組は

$$(x, y) = (-22, -1), (-2, -5), (0, 21), (4, 1)$$

$z = 3xy$ より、求める (x, y, z) の組は

$$(x, y, z) = (-22, -1, 66), (-2, -5, 30), \\ (0, 21, 0), (4, 1, 12)$$

$$(3) \quad w = i \frac{z+2}{z-1} \text{ より } (w-i)z = w+2i$$

$$\text{上式において } w \neq i \text{ であるから } z = \frac{w+2i}{w-i}$$

$$|z| = 2 \text{ であるから}$$

$$\left| \frac{w+2i}{w-i} \right| = 2 \quad \text{ゆえに} \quad |w+2i| = 2|w-i| \quad (*)$$

$$\text{したがって} \quad |w+2i|^2 = 4|w-i|^2$$

$$(w+2i)(\bar{w}-2i) = 4(w-i)(\bar{w}+i)$$

$$\text{整理すると} \quad w\bar{w} + 2iw - 2i\bar{w} = 0$$

$$(w-2i)(\bar{w}+2i) = 4 \quad \text{ゆえに} \quad |w-2i| = 2$$

よって、点 w は中心 $2i$ 、半径 2 の円を描く。 ■

- 2 (1) p_k は k 回投げて, k 回とも 1 の目が出る確率であるから

$$p_k = \left(\frac{1}{6}\right)^k = \frac{1}{6^k}$$

p_{k+1} は k 回目までに 1 の目が $k-1$ 回出て, $k+1$ 回目に 1 の目が出る確率であるから

$$p_{k+1} = {}_k C_{k-1} \left(\frac{1}{6}\right)^{k-1} \cdot \frac{5}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{5k}{6^{k+1}}$$

- (2) p_n は $n-1$ 回目までに 1 の目が $k-1$ 回出て, n 回目に 1 の目が出る確率であるから

$$p_n = {}_{n-1} C_{k-1} \left(\frac{1}{6}\right)^{k-1} \left(\frac{5}{6}\right)^{n-k} \times \frac{1}{6} = {}_{n-1} C_{k-1} \left(\frac{1}{6}\right)^k \left(\frac{5}{6}\right)^{n-k}$$

- (3) (2) の結論を $p_n < p_{n+1}$ に代入すると

$${}_{n-1} C_{k-1} \left(\frac{1}{6}\right)^k \left(\frac{5}{6}\right)^{n-k} < {}_n C_{k-1} \left(\frac{1}{6}\right)^k \left(\frac{5}{6}\right)^{n+1-k}$$

$${}_{n-1} C_{k-1} = \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!}, \quad {}_n C_{k-1} = \frac{n!}{(n+1-k)!(k-1)!} \text{ より}$$

$$1 < \frac{n}{n+1-k} \cdot \frac{5}{6} \quad \text{ゆえに} \quad n < 6k - 6$$

$p_n < p_{n+1}$ となるとき, $k \leq n$ に注意して $k \leq n < 6k - 6$

$p_n = p_{n+1}$ となるとき, $n = 6k - 6$ より $p_{6k-6} = p_{6k-5}$

$p_n > p_{n+1}$ となるとき, $n > 6k - 6$ より $n \geq 6k - 5$

したがって $p_k < p_{k+1} < \cdots < p_{6k-6} = p_{6k-5} > p_{6k-4} > \cdots$

よって, p_n が最大になる n は $6k - 6, 6k - 5$ ■

- 3** (1) $A(2, 0, 0)$, $B(-2, 0, 0)$, $P(x, y, z)$ から

$$\overrightarrow{AP} = (x-2, y, z), \quad \overrightarrow{BP} = (x+2, y, z)$$

$\overrightarrow{AP} \perp \overrightarrow{BP}$ より, $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} = 0$ であるから

$$(x-2)(x+2) + y^2 + z^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + y^2 + z^2 = 4$$

$$P \neq A, \quad P \neq B \text{ に注意して} \quad x^2 + y^2 + z^2 = 4, \quad x \neq \pm 2$$

(2)

(ア) $\overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{AP}$ とすると (t は媒介変数)

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= (2, 0, 0) + t(x-2, y, z) \\ &= (2 + t(x-2), ty, tz) \end{aligned}$$

Q は yz 平面上の点であるから $2 + t(x-2) = 0$

$$\text{このとき, } x-2 \neq 0 \text{ であるから} \quad t = \frac{2}{2-x}$$

$$\overrightarrow{OQ} = \left(0, \frac{2y}{2-x}, \frac{2z}{2-x}\right) \quad \text{よって} \quad \beta = \frac{2y}{2-x}, \quad \gamma = \frac{2z}{2-x}$$

(イ) $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AQ}$ とすると (s は媒介変数), $P \neq A$ より, $s \neq 0$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= (2, 0, 0) + s(-2, \beta, \gamma) \\ &= (2-2s, \beta s, \gamma s) \end{aligned} \tag{*}$$

$|\overrightarrow{OP}|^2 = 4$ であるから

$$(2-2s)^2 + (\beta s)^2 + (\gamma s)^2 = 4 \quad \text{ゆえに} \quad s\{(\beta^2 + \gamma^2 + 4)s - 8\} = 0$$

$s \neq 0$ より, $s = \frac{8}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}$ を (*) に代入すると

$$\overrightarrow{OP} = \left(\frac{2\beta^2 + 2\gamma^2 - 8}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}, \frac{8\beta}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}, \frac{8\gamma}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}\right)$$

$$\text{よって} \quad x = \frac{2\beta^2 + 2\gamma^2 - 8}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}, \quad y = \frac{8\beta}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}, \quad z = \frac{8\gamma}{\beta^2 + \gamma^2 + 4}$$

(ウ) $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{OC}$ より, $\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{OC} = 0$ であるから

$$x + 2y + 3z = 0$$

(1) で求めた球面および上の平面の共通部分であるから, これに (イ) の結果を代入すると

$$\frac{2\beta^2 + 2\gamma^2 - 8}{\beta^2 + \gamma^2 + 4} + \frac{16\beta}{\beta^2 + \gamma^2 + 4} + \frac{24\gamma}{\beta^2 + \gamma^2 + 4} = 0$$

これを整理すると $\beta^2 + \gamma^2 + 8\beta + 12\gamma - 4 = 0$

したがって $(\beta + 4)^2 + (\gamma + 6)^2 = 56$

よって yz 平面上の $(-4, -6)$ を中心とする半径 $2\sqrt{14}$ の円



4 (1) $\sin x = \cos 2x$ とすると $\left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$ $\sin x = 1 - 2\sin^2 x$

$$(\sin x + 1)(2\sin x - 1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{\pi}{6}$$

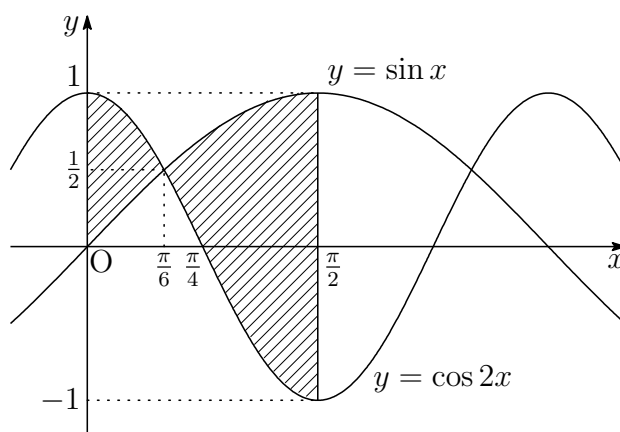
$f(x) = \cos 2x - \sin x$ の原始関数の 1 つを $F(x) = \frac{1}{2}\sin 2x + \cos x$ とおく.

D は, 下の図の斜線部分であるから, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{6}} f(x) dx - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} f(x) dx \\ &= 2F\left(\frac{\pi}{6}\right) - F(0) - F\left(\frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

$$F(0) = 1, \quad F\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{4}, \quad F\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0 \quad \text{であるから}$$

$$S = 2 \times \frac{3\sqrt{3}}{4} - 1 - 0 = \frac{3\sqrt{3}}{2} - 1$$



(2) $|\sin x| \geq |\cos 2x|$ より $\sin^2 x - \cos^2 2x \geq 0$

$$(\sin x + \cos 2x)(\sin x - \cos 2x) \geq 0$$

$$(-2\sin^2 x + \sin x + 1)(2\sin^2 x + \sin x - 1) \geq 0$$

$$-(\sin x - 1)(2\sin x + 1)(\sin x + 1)(2\sin x - 1) \geq 0$$

$$\cos^2 x(2\sin x + 1)(2\sin x - 1) \geq 0$$

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{2} \text{ に注意して解くと } \frac{\pi}{6} \leq x \leq \frac{\pi}{2}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \quad g(x) &= \cos^2 2x - \sin^2 x = \frac{1 + \cos 4x}{2} - \frac{1 - \cos 2x}{2} \\
 &= \frac{1}{2} \cos 4x + \frac{1}{2} \cos 2x
 \end{aligned}$$

$g(x)$ の原始関数の 1 つを $G(x) = \frac{1}{8} \sin 4x + \frac{1}{4} \sin 2x$ とする.

求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{\pi} &= \int_0^{\frac{\pi}{6}} g(x) dx - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} g(x) dx + \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 x dx \\
 &= 2G\left(\frac{\pi}{6}\right) - G(0) - G\left(\frac{\pi}{4}\right) + \left[\frac{x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x \right]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \\
 &= 2 \times \frac{3\sqrt{3}}{16} - 0 - \frac{1}{4} + \left(\frac{\pi}{8} + \frac{1}{4} \right) = \frac{3\sqrt{3}}{8} + \frac{\pi}{8}
 \end{aligned}$$

よって
$$V = \pi \left(\frac{3\sqrt{3}}{8} + \frac{\pi}{8} \right)$$



5 (1) 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$3^{\frac{x}{2}} + 3^{-\frac{x}{2}} \geq 2\sqrt{3^{\frac{x}{2}} \cdot 3^{-\frac{x}{2}}} = 2$$

上式において等号が成立するのは,

$$3^{\frac{x}{2}} = 3^{-\frac{x}{2}} \quad \text{すなわち} \quad x = 0$$

のときに限る. $t = 3^{\frac{x}{2}} + 3^{-\frac{x}{2}}$ とおくと $t \geq 2$

$$3^x + 3^{-x} = \left(3^{\frac{x}{2}} + 3^{-\frac{x}{2}}\right)^2 - 2 = t^2 - 2$$

したがって

$$\begin{aligned} 3^x + 3^{-x} - 3\left(3^{\frac{x}{2}} + 3^{-\frac{x}{2}}\right) + 14 &= (t^2 - 2) - 3t + 14 \\ &= \left(t - \frac{3}{2}\right)^2 + \frac{39}{4} \end{aligned}$$

よって $t = 2$, すなわち, $x = 0$ のとき, 最小値 **10**

$$(2) \quad z = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} = \cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \quad \text{より} \quad z^3 = 1 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$z^3 - 1 = (z - 1)(z^2 + z + 1) = 0$$

$$z - 1 \neq 0 \quad \text{であるから} \quad z^2 + z + 1 = 0 \quad \dots \textcircled{2}$$

①, ② より

$$\begin{aligned} z^5 + z^4 + 2z^3 + 2z^2 + 2z + 3 &= z^3(z^2 + z + 2) + 2z^2 + 2z + 3 \\ &= z^2 + z + 2 + 2z^2 + 2z + 3 \\ &= 3(z^2 + z + 1) + 2 = \mathbf{2} \end{aligned}$$

(3) **1** (1) を参照.



- 6** (1) p_2 は2回投げて、2回とも1の目が出る確率であるから

$$p_2 = \left(\frac{1}{6}\right)^2 = \frac{1}{36}$$

p_3 は2回目までに1の目が1回出て、3回目に1の目が出る確率であるから

$$p_3 = {}_2C_1 \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{5}{6} \times \frac{1}{6} = \frac{5}{108}$$

- (2) p_n は $n-1$ 回目までに1の目が1回出て、 n 回目に1の目が出る確率であるから

$$p_n = {}_{n-1}C_1 \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^{n-2} \times \frac{1}{6} = \frac{n-1}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^{n-2}$$

- (3) (2) の結論を $p_n = p_{n+1}$ に代入すると

$$\frac{n-1}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^{n-2} = \frac{n}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad n-1 = \frac{5}{6}n$$

これを解いて $n = 6$



- 7 (1) $y = \sin x$, $y = \cos 2x$ から y を消去すると $(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2})$

$$\sin x = 1 - 2 \sin^2 x \quad \text{ゆえに} \quad (\sin x + 1)(2 \sin x - 1) = 0$$

$$\text{これを解いて} \quad x = \frac{\pi}{6} \quad \text{よって} \quad \left(\frac{\pi}{6}, \frac{1}{2}\right)$$

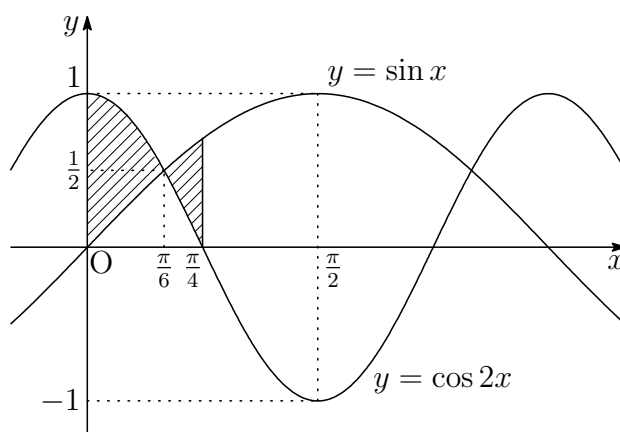
- (2) $f(x) = \cos 2x - \sin x$ の原始関数の 1 つを $F(x) = \frac{1}{2} \sin 2x + \cos x$ とおく.

D は, 下の図の斜線部分であるから, その面積を S とすると

$$S = \int_0^{\frac{\pi}{6}} f(x) dx - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} f(x) dx = 2F\left(\frac{\pi}{6}\right) - F(0) - F\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

$$F(0) = 1, \quad F\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{4}, \quad F\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{であるから}$$

$$S = 2 \times \frac{3\sqrt{3}}{4} - 1 - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{3}{2}$$



$$(3) \quad g(x) = \cos^2 2x - \sin^2 x = \frac{1 + \cos 4x}{2} - \frac{1 - \cos 2x}{2}$$

$$= \frac{1}{2} \cos 4x + \frac{1}{2} \cos 2x$$

$g(x)$ の原始関数の 1 つを $G(x) = \frac{1}{8} \sin 4x + \frac{1}{4} \sin 2x$ とする.

求める回転体の体積を V とすると

$$\frac{V}{\pi} = \int_0^{\frac{\pi}{6}} g(x) dx - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} g(x) dx = 2G\left(\frac{\pi}{6}\right) - G(0) - G\left(\frac{\pi}{4}\right)$$

$$= 2 \times \frac{3\sqrt{3}}{16} - 0 - \frac{1}{4} = \frac{3\sqrt{3}}{8} - \frac{1}{4}$$

$$\text{よって} \quad V = \pi \left(\frac{3\sqrt{3}}{8} - \frac{1}{4} \right)$$

■

3.11 2025 年

出題分野

中等教育 (数学専攻) 1 (1)(2)(3) 2 3 4初等教育 (数学専修) 1 (1)(2)(4) 5 6 71 次の問いに答えよ.

- (1) $(x - 5y + 2z)^7$ の展開式における x^4y^2z の係数を求めよ.
- (2) n は自然数とする. $4^n - 3n + 8$ は 9 の倍数であることを, n に関する数学的帰納法によって示せ.
- (3) 不定積分 $\int x \log(x+1) dx$ を求めよ. ただし, 対数は自然対数とする.
- (4) 不定積分 $\int (x+1) \log(x+1) dx$ を求めよ. ただし, 対数は自然対数とする.

2 $\triangle OAB$ に対して,

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$$

とおく. 実数 s, t が

$$2s + t = 1, \quad s \geq 0, \quad t \geq 0$$

を満たしながら変化するとき, 次の問いに答えよ.

- (1) 点 P の存在する範囲を求めよ.
- (2) 線分 AB を $2:3$ に内分する点を C とする. 線分 OC 上に点 P があるとき, $OP:PC$ を求めよ.
- (3) 線分 OA 上の点 D , 線分 OB 上の点 E をとり, 平行四辺形 $ODPE$ をつくる. この平行四辺形の面積が最大になるとき, 直線 OP と線分 AB の交点を F とする. $AF:FB$ を求めよ.

3 次の各問いに答えよ.

- (1) 複素数 z が $z^5 = 1$, $z \neq 1$ を満たしている. $w = z + \frac{1}{z}$ とおいたとき, $w^2 + w$ の値を求めよ.
- (2) 複素数 α の実部と虚部がともに正であり, $\alpha^5 = 1$ が成り立つとする. このとき, 次の (ア), (イ) に答えよ.
- (ア) $\alpha + \frac{1}{\alpha}$, $\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}$ の値をそれぞれ求めよ.
- (イ) t を実数とする. $|4t - \alpha| < |2t - \alpha^2|$ を満たす t の範囲を求めよ.

4 $-\frac{\pi}{2} < x < \pi$ の範囲で, 関数 $f(x)$, $g(x)$ を

$$f(x) = \frac{\sin x}{1 + \sin x}, \quad g(x) = \frac{\cos x}{1 + \sin x}$$

と定める. 次の各問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ の交点の座標を求めよ.
- (3) 曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ および y 軸によって囲まれる部分の面積を求めよ.

5 $\triangle OAB$ に対して,

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$$

とおく. 実数 s, t が

$$2s + t = 1, \quad s \geq 0, \quad t \geq 0$$

を満たしながら変化するとき, 次の問いに答えよ.

- (1) 点 P の存在する範囲を求めよ.
- (2) 線分 AB を $2:3$ に内分する点を C とする. 線分 OC 上に点 P があるとき, $OP:PC$ を求めよ.
- (3) 点 O, A, B の座標がそれぞれ $(0, 0), (-2, 1), (1, 3)$ のとき,

$$OP \perp AB$$

となるように s, t の値を定めよ.

6 次の各問いに答えよ.

- (1) 複素数 z が $z^5 = 1, z \neq 1$ を満たしている. このとき, 次の (ア), (イ) に答えよ.

(ア) $z + z^2 + z^3 + z^4$ の値を求めよ.

(イ) $w = z + \frac{1}{z}$ とおいたとき, $w^2 + w$ の値を求めよ.

- (2) 複素数 α の実部と虚部がともに正であり, α は $\alpha^5 = 1$ を満たしている. このとき,

$$\alpha + \frac{1}{\alpha}, \quad \alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}$$

の値をそれぞれ求めよ.

7 $-\frac{\pi}{2} < x < \frac{3}{2}\pi$ の範囲で, 関数 $f(x), g(x)$ を

$$f(x) = \frac{1}{1 + \sin x}, \quad g(x) = \frac{\cos x}{1 + \sin x}$$

と定める. 次の各問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の極値を求めよ.
- (2) 不定積分 $\int g(x) dx$ を求めよ.
- (3) 曲線 $y = f(x), y = g(x)$ および直線 $x = \frac{\pi}{4}$ によって囲まれる部分の面積を求めよ.

解答例

1 (1) $\frac{7!}{4!2!1!}x^4(-5y)^2 \cdot 2z = 5250x^4y^2z$ より, 求める係数は **5250**

(2) $f(n) = 4^n - 3n + 8$ とする.

(*) 「 $f(n)$ は 9 の倍数である」

[1] $n = 1$ のとき, $f(1) = 9$ より, (*) は成立する

[2] $n = k$ のとき, (*) が成立すると仮定すると

$$\begin{aligned} f(k+1) &= 4^{k+1} - 3(k+1) + 8 \\ &= 4(4^k - 3k + 8) + 9(k-3) \\ &= 4f(k) + 9(k-3) \end{aligned}$$

したがって, $n = k+1$ のときも (*) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について (*) は成立する.

補足 $4^3 \equiv 1 \pmod{9}$ に注目する.

$$n \equiv 0 \pmod{3} \text{ のとき } f(n) \equiv 1 - 0 + 8 \equiv 0 \pmod{9}$$

$$n \equiv 1 \pmod{3} \text{ のとき } f(n) \equiv 4 - 3 + 8 \equiv 0 \pmod{9}$$

$$n \equiv 2 \pmod{3} \text{ のとき } f(n) \equiv 4^2 - 6 + 8 \equiv 0 \pmod{9}$$

よって, すべての自然数 n について (*) は成立する.

(3) (C は積分定数)

$$\begin{aligned}
\int x \log(x+1) dx &= \frac{1}{2} \int (x^2-1)' \log(x+1) dx \\
&= \frac{1}{2} (x^2-1) \log(x+1) - \frac{1}{2} \int (x^2-1) \cdot \frac{1}{x+1} dx \\
&= \frac{1}{2} (x^2-1) \log(x+1) - \frac{1}{2} \int (x-1) dx \\
&= \frac{1}{2} (x^2-1) \log(x+1) - \frac{1}{4} (x-1)^2 + C
\end{aligned}$$

別解 $t = \log(x+1)$ とおくと $x+1 = e^t$, $\frac{dx}{dt} = e^t$

$$\begin{aligned}
\int x \log(x+1) dx &= \int (e^t-1) t e^t dt = \int t(e^{2t}-e^t) dt \\
&= \int t \left(\frac{1}{2} e^{2t} - e^t \right)' dt \\
&= t \left(\frac{1}{2} e^{2t} - e^t \right) - \left(\frac{1}{4} e^{2t} - e^t \right) + C \\
&= \left\{ \frac{1}{2} (x+1)^2 - (x+1) \right\} \log(x+1) \\
&\quad - \frac{1}{4} (x+1)^2 + (x+1) + C \\
&= \frac{1}{2} (x^2-1) \log(x+1) - \frac{1}{4} (x+1)(x-3) + C
\end{aligned}$$

(4) (C は積分定数)

$$\begin{aligned}
\int (x+1) \log(x+1) dx &= \frac{1}{2} \int \{(x+1)^2\}' \log(x+1) dx \\
&= \frac{1}{2} (x+1)^2 \log(x+1) - \frac{1}{2} \int (x+1)^2 \cdot \frac{1}{x+1} dx \\
&= \frac{1}{2} (x+1)^2 \log(x+1) - \frac{1}{2} \int (x+1) dx \\
&= \frac{1}{2} (x+1)^2 \log(x+1) - \frac{1}{4} (x+1)^2 + C
\end{aligned}$$



- 2 (1) $s' = 2s$, $\overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OA}$ とおくと, $2s + t = 1$, $s \geq 0$, $t \geq 0$ より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OP} &= s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB} = 2s\left(\frac{1}{2}\overrightarrow{OA}\right) + t\overrightarrow{OB} \\ &= s'\overrightarrow{OM} + t\overrightarrow{OB} \quad (s' + t = 1, s' \geq 0, t \geq 0)\end{aligned}$$

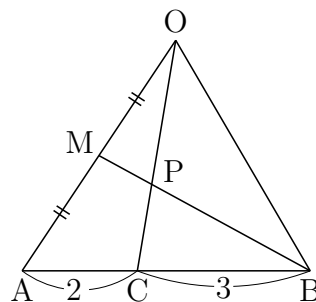
OA の中点を M とすると, P は両端を含む線分 MB 上の点である.

- (2) $\triangle OAC$ と直線 MB について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{OP}{PC} \cdot \frac{CB}{BA} \cdot \frac{AM}{MO} = 1$$

ゆえに $\frac{OP}{PC} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{1} = 1$

よって **OP : PC = 5 : 3**



- (3) $\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$ より $\overrightarrow{OD} = s\overrightarrow{OA}$, $\overrightarrow{OE} = t\overrightarrow{OB}$

平行四辺形 ODPE の面積を S とすると ($2s + t = 1$, $s \geq 0$, $t \geq 0$)

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{|\overrightarrow{OD}|^2 |\overrightarrow{OE}|^2 - (\overrightarrow{OD} \cdot \overrightarrow{OE})^2} = \sqrt{|s\overrightarrow{OA}|^2 |t\overrightarrow{OB}|^2 - (s\overrightarrow{OA} \cdot t\overrightarrow{OB})^2} \\ &= st \sqrt{|\overrightarrow{OA}|^2 |\overrightarrow{OB}|^2 - (\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB})^2}\end{aligned}$$

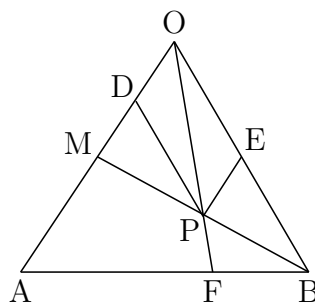
$$s \geq 0, t = 1 - 2s \geq 0 \text{ より } 0 \leq s \leq \frac{1}{2}$$

$$st = s(1 - 2s) = -2s^2 + s = -2\left(s - \frac{1}{4}\right)^2 + \frac{1}{8}$$

したがって, $s = \frac{1}{4}$, $t = \frac{1}{2}$ のとき, S は最大となる.

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{4}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}\overrightarrow{OB} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\overrightarrow{OA} + 2\overrightarrow{OB}}{3} \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OF} = \frac{\overrightarrow{OA} + 2\overrightarrow{OB}}{3}$$

よって **AF : FB = 2 : 1**



3 (1) $z^5 = 1$ より $(z-1)(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = 0$

$z-1 \neq 0$ であるから $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$

$$z^2 + z + 1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(z + \frac{1}{z}\right)^2 + z + \frac{1}{z} = 1 \quad (*)$$

よって $w^2 + w = 1$

(2)

(ア) (*) の第1式に $z = \alpha$ を代入すると

$$\alpha^2 + \alpha + 1 + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right) + \left(\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}\right) = -1$$

$\alpha^5 = 1$ より, $\alpha^3 = \frac{1}{\alpha^2}$, $\frac{1}{\alpha^3} = \alpha^2$ および (*) の第2式を利用すると

$$\begin{aligned} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right) \left(\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}\right) &= \alpha^3 + \frac{1}{\alpha} + \alpha + \frac{1}{\alpha^3} \\ &= \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha} + \alpha + \alpha^2 \\ &= \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 + \alpha + \frac{1}{\alpha} - 2 \\ &= 1 - 2 = -1 \end{aligned}$$

したがって, $\alpha + \frac{1}{\alpha}$, $\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}$ を解とする2次方程式は

$$x^2 + x - 1 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$\frac{1}{\alpha} = \bar{\alpha}$, $\operatorname{Re}(\alpha) > 0$ より, $\alpha + \frac{1}{\alpha} = \alpha + \bar{\alpha} = 2\operatorname{Re}(\alpha) > 0$ であるから

$$\alpha + \frac{1}{\alpha} = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}, \quad \alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2} = \frac{-1 - \sqrt{5}}{2}$$

別解 $z = \alpha$ は $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$ の解であるから, $z = \alpha$ は (*) を満たす. また, $\alpha^5 = 1$ に注意すると

$$(\alpha^2)^4 + (\alpha^2)^3 + (\alpha^2)^2 + \alpha^2 + 1 = \alpha^3 + \alpha + \alpha^4 + \alpha^2 + 1 = 0$$

であるから, $z = \alpha^2$ も $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$ の解で, $z = \alpha^2$ も (*) を満たす. したがって, $\alpha + \frac{1}{\alpha}$ と $\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}$ は方程式

$$w^2 + w = 1$$

の解である. (以下同様)

$$(イ) \quad |4t - \alpha| < |2t - \alpha^2| \text{ より } |4t - \alpha|^2 < |2t - \alpha^2|^2$$

$$\begin{aligned} (4t - \alpha)(4t - \bar{\alpha}) &< (2t - \alpha^2)(2t - \bar{\alpha}^2) \\ 16t^2 - 4(\alpha + \bar{\alpha})t + |\alpha|^2 &< 4t^2 - 2(\alpha^2 + \bar{\alpha}^2) + |\alpha|^2 \\ 16t^2 - 4\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)t &< 4t^2 - 2\left(\alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2}\right)t \end{aligned}$$

(ア) の結果を代入すると

$$\begin{aligned} 16t^2 - 4 \cdot \frac{-1 + \sqrt{5}}{2}t &< 4t^2 - 2 \cdot \frac{-1 - \sqrt{5}}{2}t \\ 12t^2 - (3\sqrt{5} - 1)t &< 0 \\ t\{12t - (3\sqrt{5} - 1)\} &< 0 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad 0 < t < \frac{3\sqrt{5} - 1}{12}$$



- 4 (1) $f(x) = \frac{\sin x}{1 + \sin x}$ を微分すると

$$f'(x) = \frac{\cos x(1 + \sin x) - \sin x \cos x}{(1 + \sin x)^2} = \frac{\cos x}{(1 + \sin x)^2}$$

x	$(-\frac{\pi}{2})$	$\cdots$	$\frac{\pi}{2}$	$\cdots$	$(\frac{\pi}{2})$
$f'(x)$		+	0	-	
$f(x)$		$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$	

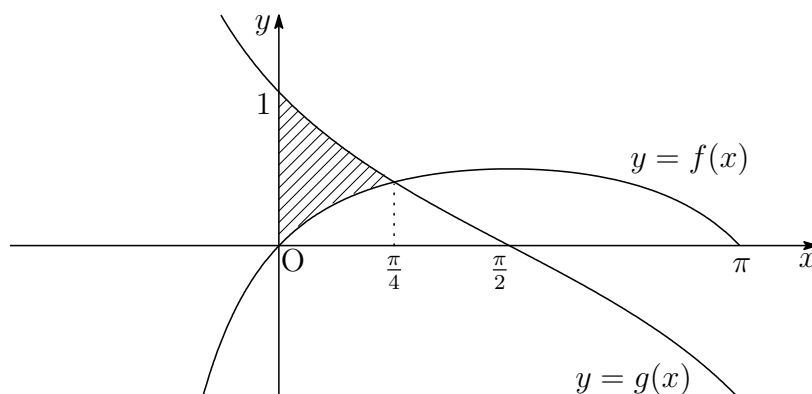
よって 極大値 $f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2}$

- (2) $f(x) = g(x)$ より $\sin x = \cos x$ ゆえに $\sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) = 0$

$$-\frac{\pi}{2} < x < \pi \text{ に注意して } f\left(\frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2} - 1 \quad \text{よって} \quad \left(\frac{\pi}{4}, \sqrt{2} - 1\right)$$

- (3) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{4}$ において, $g(x) \geq f(x)$ であるから, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \{g(x) - f(x)\} dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{\cos x}{1 + \sin x} - \frac{\sin x}{1 + \sin x} \right) dx \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{\cos x}{1 + \sin x} - 1 + \frac{1}{\cos^2 x} - \frac{\sin x}{\cos^2 x} \right) dx \\ &= \left[\log(1 + \sin x) - x + \tan x - \frac{1}{\cos x} \right]_0^{\frac{\pi}{4}} \\ &= \log\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) - \frac{\pi}{4} + 2 - \sqrt{2} \end{aligned}$$



5 (1) 2 (1) を参照

(2) 2 (2) を参照

(3) $\vec{OA} = (-2, 1)$, $\vec{OB} = (1, 3)$ より

$$|\vec{OA}|^2 = 5, \quad |\vec{OB}|^2 = 10, \quad \vec{OA} \cdot \vec{OB} = 1$$

$\vec{OP} = s\vec{OA} + t\vec{OB}$, $\vec{AB} = \vec{OB} - \vec{OA}$, $\vec{OP} \cdot \vec{AB} = 0$ であるから

$$\begin{aligned} (s\vec{OA} + t\vec{OB}) \cdot (\vec{OB} - \vec{OA}) &= -s|\vec{OA}|^2 + (s-t)\vec{OA} \cdot \vec{OB} + t|\vec{OB}|^2 \\ &= -5s + (s-t) + 10t \\ &= -4s + 9t = 0 \end{aligned}$$

これと $2s + t = 1$ を連立して解くと $s = \frac{9}{22}$, $t = \frac{2}{11}$ ■

6 (1)

(ア) $z^5 = 1$ より $(z-1)(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = 0$

$z-1 \neq 0$ であるから $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$ (*)

したがって $z + z^2 + z^3 + z^4 = -1$

(イ) (*) から

$$z^2 + z + 1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(z + \frac{1}{z}\right)^2 + z + \frac{1}{z} = 1 \quad (**)$$

よって $w^2 + w = 1$

(2) 3 (2)(ア) を参照 ■

7 (1) $f(x) = \frac{1}{1 + \sin x}$ より $f'(x) = -\frac{\cos x}{(1 + \sin x)^2}$

x	$(-\frac{\pi}{2})$	$\cdots$	$\frac{\pi}{2}$	$\cdots$	$(\frac{3\pi}{2})$
$f'(x)$		$-$	0	$+$	
$f(x)$		$\searrow$	$\frac{1}{2}$	$\nearrow$	

よって 極小値 $f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2}$

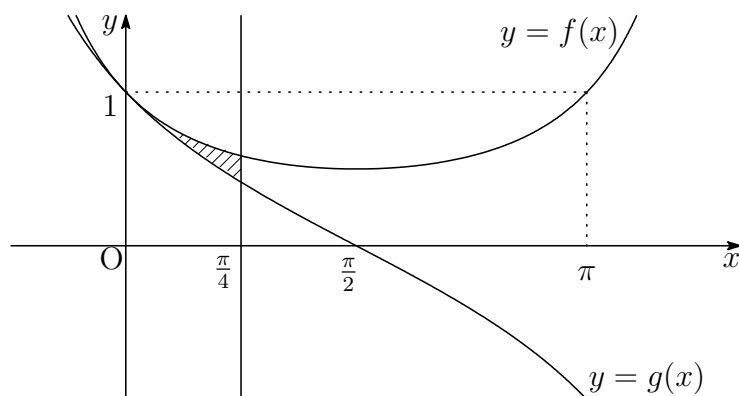
(2) $g(x) = \frac{\cos x}{1 + \sin x} = \frac{(1 + \sin x)'}{1 + \sin x}$ より

$$\int g(x) = \log(1 + \sin x) + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

(3) $f(x) = g(x)$ を解くと $x = 0$

$0 \leq x \leq \frac{\pi}{4}$ において, $f(x) \geq g(x)$ であるから, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \{f(x) - g(x)\} dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{1}{1 + \sin x} - \frac{\cos x}{1 + \sin x} \right) dx \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{1}{\cos^2 x} - \frac{\sin x}{\cos^2 x} - \frac{\cos x}{1 + \sin x} \right) dx \\ &= \left[\tan x - \frac{1}{\cos x} - \log(1 + \sin x) \right]_0^{\frac{\pi}{4}} \\ &= 2 - \sqrt{2} - \log \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \end{aligned}$$



第 4 章 佐賀大学

出題分野

(理工学部 医学部 農学部 文化教育学部)

理工学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	佐賀大学 理工学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式							2				
	2 次関数											
	図形と計量							1				
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式											
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法							4				
III	関数											
	極限		1									
	微分法とその応用	2		2	3・4							
	積分法						4			4		3
	積分法の応用	1・2	2	2・3	3	3	3		3		3	
A	場合の数と確率	4	4			1	1		2	2	2	1
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列		1		2							
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル			1	1		2	3			1	
	空間のベクトル	3				2			1	1		2
	複素数平面		3	4		4			4	3	4	4
	式と曲線											

数字は問題番号

医学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	佐賀大学 医学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式							5				
	2 次関数											
	図形と計量							1				
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式						5					
	図形と方程式											
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法							4				
III	関数	5										
	極限		1									
	微分法とその応用			2	6							
	積分法	5	6	5			6			6		5
	積分法の応用		5	2・3		6	3		3		3	
A	場合の数と確率	4			4	5	1		5	2	2	1
	整数の性質	6			5	8						
	図形の性質											
B	数列	4	1									
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル							3			1	
	空間のベクトル	3							1	1		2
	複素数平面		7	4		7			6	5	4	4
	式と曲線				3							

数字は問題番号

農学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	佐賀大学 農学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式							2				
	2 次関数						8					
	図形と計量							1				
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式								8			
	図形と方程式			8						7		
	三角関数	9				9					6	6
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	9	9	6	7・8	10	7	6	7	8	5	7
A	場合の数と確率	4	4	7	9	1	1		2	9	2	1
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列	7	1									
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル			1	1		2	3			1	
	空間のベクトル	8	8			2			1	1		2

数字は問題番号

文化教育学部 出題分野 (2015-2025) 100 分

◀	佐賀大学 文化教育	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式							2				
	2 次関数											
	図形と計量							1				
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式											
	三角関数					9						6
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	9	9	6	7	10	7	6	7	8	5	7
A	場合の数と確率		4	7	9		1		2	9	2	1
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列	7	1									
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル			1	1		2				1	
	空間のベクトル	8				2			1	1		

数字は問題番号

4.1 2015 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [4] [7] [8] [9] 数 I・II・A・B (120 分)
- 文化教育学部 [7] [8] [9] 数 I・II・A・B (100 分)

[1]

$$f(x) = \begin{cases} x(5-x) & (x \geq 0) \\ x(x^2-1) & (x < 0) \end{cases}$$

とおき、関数 $y = f(x)$ のグラフを C とおく. 直線 $y = ax$ と C は、原点 O およびそれ以外の 2 点 P, Q で交わっているものとする. ただし、点 P の x 座標は正、点 Q の x 座標は負であるとする. 線分 OP と C によって囲まれる図形の面積を $S_1(a)$ 、線分 OQ と C によって囲まれる図形の面積を $S_2(a)$ とし、 $S(a) = S_1(a) + S_2(a)$ とおく. このとき、次の問に答えよ.

- (1) a の値の範囲を求めよ.
- (2) $S_1(a)$ を a を用いて表せ.
- (3) $S_2(a)$ を a を用いて表せ.
- (4) (1) で求めた範囲を a が変化するとき、 $S(a)$ の最小値を求めよ.

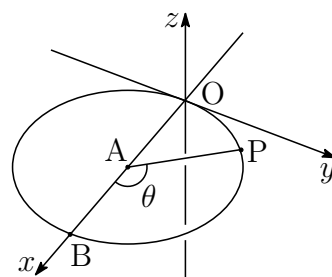
[2]

直線 $\ell: y = ax + b$ と曲線 $C: y = \log x$ ($x > 0$) は接するものとする. ただし、 a, b は定数であり、 $a > 0$ とする. このとき、次の問に答えよ.

- (1) b を a を用いて表せ.
- (2) ℓ と C および x 軸で囲まれた図形の面積を S とする. $0 < a < 1$ のとき、 S を a を用いて表せ.

- 3** 点 O を原点とし, x 軸, y 軸, z 軸を座標軸とする座標空間において, 3 点 $A(1, 0, 0)$, $B(2, 0, 0)$, $C(1, 0, 1)$ がある. 点 A を中心とする xy 平面上の半径 1 の円周上に点 P をとり, 図のように $\theta = \angle BAP$ とおく. ただし, $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3}{2}\pi$ とする. また, 直線 CP と yz 平面の交点を Q とおく. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 点 P の座標を θ を用いて表せ.
- (2) 点 Q の座標を θ を用いて表せ.
- (3) θ の値が $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3}{2}\pi$ の範囲で変化するとき, yz 平面における点 Q の軌跡の方程式を求め, その概形を図示せよ.



- 4** 正方形の 4 個の頂点を, 時計回りに順に A, B, C, D とする. 頂点 A から出発して頂点上を時計回りに点 P を進めるゲームを行う. 硬貨を 1 回投げるとき, 表が出たときには頂点 1 つ分だけ点 P を進め, 裏が出たときには頂点 2 つ分だけ点 P を進めるものとする. ただし, 点 P が頂点 D にとまった時点でゲームは終わるものとする.

硬貨を n 回投げ終えた時点で点 P が頂点 A に到達する確率を p_n とするとき, 次の問に答えよ.

- (1) p_2, p_3 を求めよ.
- (2) p_4, p_5 を求めよ.
- (3) p_{12} を求めよ.

- 5** a, b は定数であり, $0 < a < b$ とする. 定積分

$$I = \int_0^1 a^{1-t} b^t dt$$

について, 次の問に答えよ.

- (1) I を求めよ.
- (2) $0 \leq t \leq 1$ のとき,

$$a^{1-t} b^t + a^t b^{1-t} \geq 2\sqrt{ab}$$

であることを示せ. また, $I > \sqrt{ab}$ を示せ.

- (3) $0 < t < 1$ とする. $x > 1$ のとき, 次の不等式が成り立つことを証明せよ.

$$x^t < 1 + t(x - 1)$$

- (4) (3) の不等式を利用して, $I < \frac{a+b}{2}$ を示せ.

6 p を素数とすると、次の問に答えよ。

(1) 2つの自然数 m, n の最大公約数は1であるとし、 $x = \frac{n}{m}$ とおく。 p^x が有理数であるならば、 $m = 1$ であることを示せ。

(2) 方程式

$$p^x = -x^2 + 9x - 5$$

が有理数の解 x をもつような組 (p, x) をすべて求めよ。

7 等差数列 $\{a_n\}$ は

$$a_1 = \frac{1}{6}, \quad \sum_{k=11}^{40} a_k = 250$$

を満たすとする。このとき、次の問に答えよ。

(1) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

(2) $a_n \leq 10$ となる n の最大値 N を求めよ。

(3) (2) で求めた N に対して、和 $\sum_{k=1}^N a_k$ を求めよ。

8 a, b, c を正の定数とし、3点 $A(a, 0, 0), B(0, b, 0), C(0, 0, c)$ の定める平面を α とする。また、原点を O とし、平面 α に垂直な単位ベクトルを $\vec{n} = (n_1, n_2, n_3)$ とする。ただし、 $n_1 > 0$ とする。このとき、次の問に答えよ。

(1) $\vec{n}$ を求めよ。

(2) 平面 α 上に点 H があり、直線 OH は α に垂直であるとする。 $\overrightarrow{OH}$ および $|\overrightarrow{OH}|$ を求めよ。

(3) $\triangle ABC$ の面積を S 、 $\triangle OBC$ の面積を S_1 とする。四面体 $OABC$ の体積を考えることにより、 $S_1 = n_1 S$ であることを示せ。

9 a を定数とし、関数

$$f(\theta) = \sin^3 \theta + a \cos 2\theta + \frac{21}{4} \sin \theta$$

は $f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{13}{4}$ を満たすものとする。このとき、次の問に答えよ。

(1) a の値を求めよ。

(2) $t = \sin \theta$ とおくと、 $f(\theta)$ を t を用いて表せ。

(3) $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ における $f(\theta)$ の最大値、最小値を求めよ。また、そのときの θ の値を求めよ。

解答例

- 1 (1) 直線 $y = ax$ を ℓ とする.

$x > 0$ のとき, C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x(5-x) = ax \quad \text{ゆえに} \quad x(x-5+a) = 0$$

よって, 点 P の x 座標は $x = 5-a$

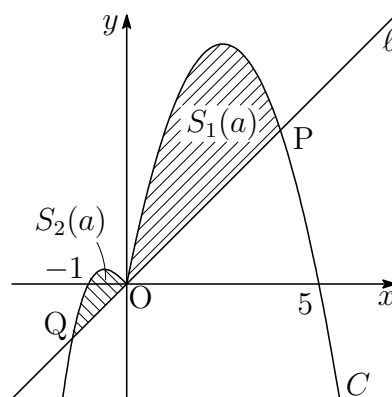
$x < 0$ のとき, C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x(x^2-1) = ax \quad \text{ゆえに} \quad x(x^2-a-1) = 0$$

よって, 点 Q の x 座標は $x = -\sqrt{a+1}$

P, Q それぞれの x 座標の符号から $5-a > 0, -\sqrt{a+1} < 0$

これを解いて $-1 < a < 5$



$$(2) S_1(a) = \int_0^{5-a} \{x(5-x) - ax\} dx$$

$$= -\int_0^{5-a} x(x-5+a) dx = \frac{1}{6}(5-a)^3$$

$$(3) S_2(a) = \int_{-\sqrt{a+1}}^0 \{x(x^2-1) - ax\} dx = \int_{-\sqrt{a+1}}^0 \{x^3 - (a+1)x\} dx$$

$$= \left[\frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}(a+1)x^2 \right]_{-\sqrt{a+1}}^0 = \frac{1}{4}(a+1)^2$$

(4) $S(a) = S_1(a) + S_2(a)$ より, (2), (3) の結果から

$$S(a) = \frac{1}{6}(5-a)^3 + \frac{1}{4}(a+1)^2$$

$$S'(a) = -\frac{1}{2}(5-a)^2 + \frac{1}{2}(a+1) = -\frac{1}{2}(a-3)(a-8)$$

$-1 < a < 5$ における $S(a)$ の増減表は次のようになる.

a	(-1)	$\cdots$	3	$\cdots$	(5)
$S'(a)$		$-$	0	$+$	
$S(a)$		$\searrow$	$\frac{16}{3}$	$\nearrow$	

よって, $S(a)$ の最小値は $S(3) = \frac{16}{3}$

■

- 2 (1) $f(x) = ax + b$, $g(x) = \log x$ とおくと

$$f'(x) = a, \quad g'(x) = \frac{1}{x}$$

ℓ と C の接点の x 座標を t とすると, $f(t) = g(t)$, $f'(t) = g'(t)$ であるから

$$at + b = \log t, \quad a = \frac{1}{t}$$

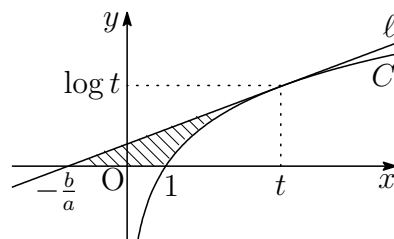
上の第 2 式より, $t = \frac{1}{a}$ であるから, これを第 1 式に代入すると

$$a \cdot \frac{1}{a} + b = \log \frac{1}{a} \quad \text{ゆえに} \quad b = -\log a - 1$$

- (2) $0 < a < 1$ より $t = \frac{1}{a} > 1$

ℓ と x 軸との交点の x 座標は

$$ax + b = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = -\frac{b}{a}$$



求める面積は, 右の図の斜線部分であるから, (1) の結果により

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \left\{ t - \left(-\frac{b}{a} \right) \right\} \log t - \int_1^t \log x \, dx \\ &= \frac{1}{2} \left(t + \frac{b}{a} \right) \log t - \left[x(\log x - 1) \right]_1^t \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a} - \frac{\log a + 1}{a} \right) (-\log a) - t(\log t - 1) - 1 \\ &= \frac{(\log a)^2}{2a} - \frac{1}{a}(-\log a - 1) - 1 \\ &= \frac{(\log a)^2}{2a} + \frac{\log a + 1}{a} - 1 \\ &= \frac{(\log a)^2 + 2\log a - 2a + 2}{2a} \end{aligned}$$

■

$$\begin{aligned}
 \text{[3]} \quad (1) \quad \vec{OP} &= \vec{OA} + \vec{AP} \\
 &= (1, 0, 0) + (\cos \theta, \sin \theta, 0) \\
 &= (1 + \cos \theta, \sin \theta, 0)
 \end{aligned}$$

よって、点 P の座標は $(1 + \cos \theta, \sin \theta, 0)$

(2) 直線 CP を媒介変数 t を用いて表すと

$$\begin{aligned}
 (x, y, z) &= (1-t)\vec{OC} + t\vec{OP} \\
 &= (1-t)(1, 0, 1) + t(1 + \cos \theta, \sin \theta, 0) \\
 &= (1 + t \cos \theta, t \sin \theta, 1-t) \quad \dots (*)
 \end{aligned}$$

直線 CP と yz 平面との交点 Q の x 座標は 0 であるから

$$1 + t \cos \theta = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = -\frac{1}{\cos \theta}$$

$$\text{これを } (*) \text{ に代入すると} \quad Q \left(0, -\tan \theta, 1 + \frac{1}{\cos \theta} \right)$$

(3) (2) の結果から、点 Q($0, y, z$) は

$$y = -\tan \theta, \quad z = 1 + \frac{1}{\cos \theta} \quad \dots (**)$$

$$\text{このとき, } \frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3}{2}\pi \text{ より} \quad z \leq 0 \quad \dots \textcircled{1}$$

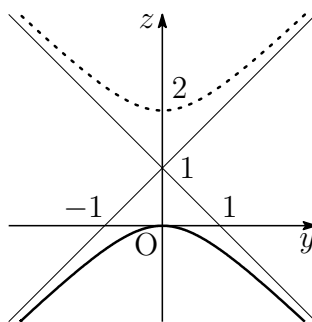
$$(**) \text{ から} \quad \tan \theta = -y, \quad \frac{1}{\cos \theta} = z - 1$$

$$\text{これらを } 1 + \tan^2 \theta = \left(\frac{1}{\cos \theta} \right)^2 \text{ に代入すると} \quad 1 + (-y)^2 = (z - 1)^2$$

点 Q の軌跡の方程式は、上式および $\textcircled{1}$ から

$$x = 0, \quad y^2 - (z - 1)^2 = -1, \quad z \leq 0$$

yz 平面における点 Q が描く軌跡は、双曲線 $y^2 - z^2 = -1$ を z 軸方向に 1 だけ平行移動したもので、下の図の実線部分である。



- 4 (1) p_2 は, 2 回連続して裏が出る確率であるから

$$p_2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

p_3 は, 「表表裏」の順に出る確率であるから

$$p_3 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

- (2) (1) の結果から

$$p_4 = p_2 \times p_2 = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

$$p_5 = p_3 \times p_2 + p_2 \times p_3 = \frac{1}{8} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{16}$$

- (3) (2) の結果から

$$p_6 = p_4 \times p_2 + p_3 \times p_3 = \frac{1}{16} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{32}$$

$$p_7 = p_5 \times p_2 + p_4 \times p_3 = \frac{1}{16} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{3}{128}$$

$$p_8 = p_6 \times p_2 + p_5 \times p_3 = \frac{1}{32} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{16} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$$

$$p_9 = p_7 \times p_2 + p_6 \times p_3 = \frac{3}{128} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{32} \times \frac{1}{8} = \frac{5}{512}$$

$$p_{10} = p_8 \times p_2 + p_7 \times p_3 = \frac{1}{64} \times \frac{1}{4} + \frac{3}{128} \times \frac{1}{8} = \frac{7}{1024}$$

よって

$$p_{12} = p_{10} \times p_2 + p_9 \times p_3 = \frac{7}{1024} \times \frac{1}{4} + \frac{5}{512} \times \frac{1}{8} = \frac{3}{1024}$$

別解 p_2, p_3 に対する事象をそれぞれ X, Y とする. 硬貨を 12 回投げ終えて P が A に到達するまでに X, Y が起きた回数をそれぞれ x, y とすると

$$2x + 3y = 12 \quad \text{これを解いて} \quad (x, y) = (6, 0), (3, 2), (0, 4)$$

よって, 求める確率は

$$\begin{aligned} p_{12} &= (p_2)^6 + {}_5C_2(p_2)^3(p_3)^2 + (p_3)^4 \\ &= \left(\frac{1}{4}\right)^6 + 10\left(\frac{1}{4}\right)^3\left(\frac{1}{8}\right)^2 + \left(\frac{1}{8}\right)^4 = \frac{3}{1024} \end{aligned}$$

■

$$\begin{aligned} \boxed{5} \quad (1) \quad I &= \int_0^1 a^{1-t} b^t dt = a \int_0^1 \left(\frac{b}{a}\right)^t dt \\ &= \frac{a}{\log \frac{b}{a}} \left[\left(\frac{b}{a}\right)^t \right]_0^1 = \frac{a}{\log \frac{b}{a}} \left(\frac{b}{a} - 1\right) = \frac{b-a}{\log b - \log a} \end{aligned}$$

$$(2) \quad \left(a^{\frac{1-t}{2}} b^{\frac{t}{2}} - a^{\frac{t}{2}} b^{\frac{1-t}{2}}\right)^2 \geq 0 \cdots (*) \text{ であるから}$$

$$a^{1-t} b^t - 2a^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}} + a^t b^{1-t} \geq 0$$

$$\text{すなわち} \quad a^{1-t} b^t + a^t b^{1-t} \geq 2\sqrt{ab} \quad \cdots (**)$$

$0 < a < b$ より, $(*)$ において, 等号が成立するとき

$$a^{\frac{1-t}{2}} b^{\frac{t}{2}} = a^{\frac{t}{2}} b^{\frac{1-t}{2}}$$

$$\text{したがって} \quad \left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{1}{2}-t} = 1 \quad \text{すなわち} \quad t = \frac{1}{2}$$

$$I = \int_0^1 a^{1-t} b^t dt \text{ で } u = 1-t \text{ とおくと } \frac{dt}{du} = -1, \quad \begin{array}{c|c} t & 0 \longrightarrow 1 \\ \hline u & 1 \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$\text{したがって} \quad I = \int_1^0 a^u b^{1-u} (-du) = \int_0^1 a^u b^{1-u} du = \int_0^1 a^t b^{1-t} dt$$

$(**)$ において, 等号が成立するのは, $t = \frac{1}{2}$ のときに限るので

$$\int_0^1 (a^{1-t} b^t + a^t b^{1-t}) dt > \int_0^1 2\sqrt{ab} dt$$

$$\text{したがって} \quad I + I > 2\sqrt{ab} \left[t \right]_0^1 \quad \text{よって} \quad I > \sqrt{ab}$$

$$(3) \quad f(u) = u^t \text{ とおくと, } f'(u) = tu^{t-1}. \text{ 平均値の定理により}$$

$$\frac{f(x) - f(1)}{x - 1} = f'(c) \quad (1 < c < x)$$

$$\text{を満たす } c \text{ が存在する. } 0 < t < 1 \text{ より} \quad f'(c) = tc^{t-1} < t \cdot 1^{t-1} = t$$

$$\text{したがって} \quad \frac{x^t - 1}{x - 1} < t \quad \text{よって} \quad x^t < 1 + t(x - 1)$$

$$(4) \quad 0 < a < b \text{ より, } x = \frac{b}{a} > 1 \text{ とおくと, } \left(\frac{b}{a}\right)^t < 1 + t\left(\frac{b}{a} - 1\right) \text{ であるから}$$

$$I = a \int_0^1 \left(\frac{b}{a}\right)^t dt < a \int_0^1 \left\{ 1 + t\left(\frac{b}{a} - 1\right) \right\} dt = \frac{a+b}{2}$$

■

- 6** (1) p^x が有理数 $\frac{a}{b}$ に等しいとき (a, b は互いに素とする)

$$p^{\frac{n}{m}} = \frac{a}{b} \quad \text{ゆえに} \quad p^n = \frac{a^m}{b^m} \quad \cdots \textcircled{1}$$

① は整数であるから $b^m = 1$ ゆえに $b = 1$

これを ① に代入すると $p^n = a^m \quad \cdots \textcircled{2}$

② より, a は p を因数にもつから, $a = p^k$ とおく (k は整数).

これを ② に代入すると

$$p^n = (p^k)^m \quad \text{ゆえに} \quad p^n = p^{km}$$

上の第 2 式から $n = km$ ゆえに $k = \frac{n}{m}$

m, n の最大公約数は 1 であるから $m = 1$

- (2) (1) の結果から, x は整数であるから

$$p^x = -x^2 + 9x - 5 \quad \cdots (*)$$

は正の整数である. $f(x) = -x^2 + 9x - 5$ とおくと, $f(x) > 0$ となる x は

x	1	2	3	4	5	6	7	8
$f(x)$	3	9	13	15	15	13	9	3

上の表から, $(*)$ を満たすのは, 次の 2 つである.

$$3^1 = f(1), \quad 3^2 = f(2)$$

よって $(p, x) = (3, 1), (3, 2)$



- 7** (1) $\{a_n\}$ の公差を d とすると

$$a_{11} = \frac{1}{6} + 10d, \quad a_{40} = \frac{1}{6} + 39d$$

$$\sum_{k=11}^{40} a_k = 250 \text{ より}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 30 \left\{ \left(\frac{1}{6} + 10d \right) + \left(\frac{1}{6} + 39d \right) \right\} = 250 \quad \text{これを解いて} \quad d = \frac{1}{3}$$

$$\text{よって, } \{a_n\} \text{ の一般項は } a_n = \frac{1}{6} + (n-1) \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{3}n - \frac{1}{6}$$

- (2) (1) の結果から, $a_n \leq 10$ のとき

$$\frac{1}{3}n - \frac{1}{6} \leq 10 \quad \text{ゆえに} \quad n \leq 30 + \frac{1}{2}$$

これを満たす n の最大値 N は **30**

- (3) (1), (2) の結果から

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N a_k &= \sum_{k=1}^{30} \left(\frac{1}{3}k - \frac{1}{6} \right) \\ &= \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 30(30+1) - \frac{1}{6} \cdot 30 = \mathbf{150} \end{aligned}$$



- 8 (1) $A(a, 0, 0)$, $B(0, b, 0)$, $C(0, 0, c)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (-a, b, 0),$$

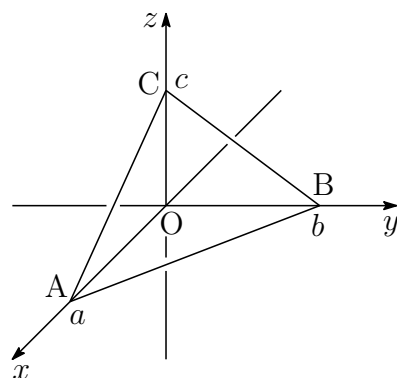
$$\overrightarrow{AC} = (-a, 0, c)$$

$\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ に垂直なベクトルの 1 つを

$$\vec{r} = (bc, ca, ab)$$

とおくと, $\vec{n}$ の x 成分の符号に注意して

$$\vec{n} = \frac{1}{|\vec{r}|} \vec{r} = \frac{1}{\sqrt{(bc)^2 + (ca)^2 + (ab)^2}} (bc, ca, ab)$$



$$(2) \quad \vec{r} = (bc, ca, ab) = \frac{bc}{a} \overrightarrow{OA} + \frac{ca}{b} \overrightarrow{OB} + \frac{ab}{c} \overrightarrow{OC} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\overrightarrow{OH} \text{ は } \vec{r} \text{ に平行であるから } (k \text{ は定数}) \quad \overrightarrow{OH} = k\vec{r} \quad \dots \textcircled{2}$$

① を ② に代入すると

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= k \left(\frac{bc}{a} \overrightarrow{OA} + \frac{ca}{b} \overrightarrow{OB} + \frac{ab}{c} \overrightarrow{OC} \right) \\ &= \frac{bc}{a} k \overrightarrow{OA} + \frac{ca}{b} k \overrightarrow{OB} + \frac{ab}{c} k \overrightarrow{OC} \end{aligned}$$

$$H \text{ は平面 } \alpha \text{ 上の点であるから} \quad \frac{bc}{a} k + \frac{ca}{b} k + \frac{ab}{c} k = 1$$

$$\text{したがって} \quad k = \frac{abc}{(bc)^2 + (ca)^2 + (ab)^2} = \frac{abc}{|\vec{r}|^2} \quad \dots \textcircled{3}$$

②, ③ および $k > 0$ に注意して

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= \frac{abc}{(bc)^2 + (ca)^2 + (ab)^2} \vec{r} \\ &= \frac{abc}{(bc)^2 + (ca)^2 + (ab)^2} (bc, ca, ab) \\ |\overrightarrow{OH}| &= k |\vec{r}| = \frac{abc}{|\vec{r}|^2} |\vec{r}| = \frac{abc}{|\vec{r}|} = \frac{abc}{\sqrt{(bc)^2 + (ca)^2 + (ab)^2}} \end{aligned}$$

$$(3) \text{ (1) の結果から} \quad n_1 = \frac{bc}{|\vec{r}|}$$

四面体 OABC の体積により, $\frac{1}{3} S_1 a = \frac{1}{3} S |\overrightarrow{OH}|$ であるから

$$S_1 a = S \times \frac{abc}{|\vec{r}|} \quad \text{ゆえに} \quad S_1 = \frac{bc}{|\vec{r}|} S = n_1 S$$



- 9 (1) $f(\theta) = \sin^3 \theta + a \cos 2\theta + \frac{21}{4} \sin \theta$ に $\theta = \frac{\pi}{2}$ を代入すると

$$f\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1 - a + \frac{21}{4} = \frac{25}{4} - a$$

$$f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{13}{4} \text{ であるから}$$

$$\frac{25}{4} - a = \frac{13}{4} \quad \text{これを解いて} \quad a = 3$$

- (2) $a = 3$, $\cos 2\theta = 1 - 2\sin^2 \theta$ より

$$\begin{aligned} f(\theta) &= t^3 + 3(1 - 2t^2) + \frac{21}{4}t \\ &= t^3 - 6t^2 + \frac{21}{4}t + 3 \end{aligned}$$

- (3) $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ より $-1 \leq t \leq 1$

$$g(t) = t^3 - 6t^2 + \frac{21}{4}t + 3 \quad (-1 \leq t \leq 1)$$

とおくと

$$\begin{aligned} g'(t) &= 3t^2 - 12t + \frac{21}{4} \\ &= \frac{3}{4}(4t^2 - 16t + 7) = \frac{3}{4}(2t - 1)(2t - 7) \end{aligned}$$

したがって、 $g(t)$ の増減表は、次のようになる.

t	-1	$\cdots$	$\frac{1}{2}$	$\cdots$	1
$g'(t)$		$+$	0	$-$	
$g(t)$	$-\frac{37}{4}$	$\nearrow$	$\frac{17}{4}$	$\searrow$	$\frac{13}{4}$

よって $t = \frac{1}{2}$ すなわち $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき 最大値 $\frac{17}{4}$

$t = -1$ すなわち $\theta = -\frac{\pi}{2}$ のとき 最小値 $-\frac{37}{4}$



4.2 2016 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [1] [5] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [1] (1)(2) [4] [8] [9] 数 I・II・A・B (120 分)
- 教育学部 [1] (1)(2) [4] [9] 数 I・II・A・B (100 分)

[1] $0 < p < 1$ とする.

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 2, \quad a_{n+2} = (1-p)a_{n+1} + pa_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定められる数列 $\{a_n\}$ に対して, 次の問に答えよ.

- (1) $b_n = a_{n+1} - a_n$ とおくとき, 数列 $\{b_n\}$ の一般項を求めよ.
- (2) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.
- (3) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ.

[2] 次の問に答えよ.

- (1) $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ を利用して, 不定積分 $\int \tan^2 x \, dx$ を求めよ.
- (2) 2 つの曲線 $y = \frac{3}{2} \tan x \left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$, $y = \cos x \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$ と x 軸で囲まれた図形を, x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ.

[3] 0 でない複素数 z の極形式を $r(\cos \theta + i \sin \theta)$ とするとき, 次の複素数を極形式で表せ. ただし, $0 \leq \theta < 2\pi$ とし, また z と共役な複素数を $\bar{z}$ で表す.

- (1) $-\bar{z}$
- (2) $\frac{1}{z^2}$
- (3) $z - |z|$

- 4 1 から 5 の数字が書かれたカードが 1 枚ずつある．これらから 4 枚を選び，横 1 列に並べる．並べられたカードに書かれた数字を左から順に a, b, c, d とおく．このとき，次の問に答えよ．

- (1) カードの並べ方の総数を求めよ．
 (2) 次のルールのもとで，3 と 4 のカードを捨てる場合は何通りあるかを求めよ．

- $a < b < c < d$ ならば， b と c のカードを捨てる．
- $a < b < d < c$ ならば， b と d のカードを捨てる．
- $b < a < c < d$ ならば， a と c のカードを捨てる．
- $b < a < d < c$ ならば， a と d のカードを捨てる．
- その他は何も捨てない．

- (3) (2) のルールのもとで，何も捨てない確率を求めよ．

- 5 2 つの曲線 $y = \frac{3}{2} \tan x \left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$ ， $y = \cos x \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$ と x 軸で囲まれた図形を， x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ．

- 6 実数 a, b は $a \geq 0, b \geq 0, a^2 + b^2 = 1$ を満たしているとする．このとき，次の問に答えよ．

- (1) 定積分

$$S = \int_0^{\frac{\pi}{2}} |a \sin x - b \cos x| dx$$

を a, b を用いて表せ．

- (2) S の最大値，最小値とそのときの a, b の値をそれぞれ求めよ．

7 複素数平面上の点 z に対して

$$w = \frac{3(1-i)z - 2i}{z + 3(1-i)}$$

で表される点 w をとる. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $w = z$ となるような点 z は 2 つある. これらを求めよ.
- (2) (1) で求めた異なる 2 点を α, β とする. ただし, $0 \leq \arg \alpha < \arg \beta < 2\pi$ とする. z が α, β と異なる点であるとき,

$$\frac{w - \beta}{w - \alpha} = k \cdot \frac{z - \beta}{z - \alpha}$$

となるような定数 k の値を求めよ.

- (3) 複素数 z_n を

$$z_1 = 0, \quad z_{n+1} = \frac{3(1-i)z_n - 2i}{z_n + 3(1-i)} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. また, z_n の実部と虚部をそれぞれ x_n, y_n とする. このとき, 数列 $\{x_n\}, \{y_n\}$ の一般項をそれぞれ求めよ. さらに, 数列 $\{x_n\}, \{y_n\}$ の極限を求めよ.

8 空間に 3 点 $A(1, 2, 6), B(7, 0, 9), C(s, t, 0)$ がある. ただし, s, t は実数とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 内積 $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}$ を s と t を用いて表せ.
- (2) $|\overrightarrow{AB}| = |\overrightarrow{AC}|$ となるとき, s と t の関係式を求めよ.
- (3) $\triangle ABC$ が $\angle BAC = 90^\circ$ の直角二等辺三角形となるとき, s と t の値を求めよ.

9 O を原点とする座標平面上に 2 点 $A(4, 0), P(t, 0)$ をとる. ただし, $0 < t < 4$ とする. さらに放物線 $C: y = -x^2 + 7x$ 上に 2 点 $B(4, 12), Q(t, -t^2 + 7t)$ をとる. $\triangle APB$ の面積を $f(t)$ とし, 放物線 C , 線分 PQ , 線分 OP によって囲まれた図形の面積を $g(t)$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $f(t)$ を t を用いて表せ.
- (2) $g(t)$ を t を用いて表せ.
- (3) $h(t) = f(t) + g(t)$ とおく. $0 < t < 4$ における $h(t)$ の最小値とそのときの t の値を求めよ.

解答例

1 (1) 与えられた漸化式から

$$a_{n+2} - a_{n+1} = -p(a_{n+1} - a_n) \quad \text{ゆえに} \quad b_{n+1} = -pb_n$$

$\{b_n\}$ は、初項 $b_1 = a_2 - a_1 = 2 - 1 = 1$ 、公比 $-p$ の等比数列であるから

$$b_n = 1 \cdot (-p)^{n-1} = (-p)^{n-1}$$

(2) (1) の結果から $a_{n+1} - a_n = (-p)^{n-1}$

$$n \geq 2 \text{ のとき} \quad a_n = a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} (-p)^{k-1} = 1 + \frac{1 - (-p)^{n-1}}{1 + p}$$

$$\text{上式は、} n = 1 \text{ のときも成立するから} \quad a_n = 1 + \frac{1 - (-p)^{n-1}}{1 + p}$$

(3) $0 < p < 1$ より $-1 < -p < 0$ であるから $\lim_{n \rightarrow \infty} (-p)^{n-1} = 0$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1 + \frac{1}{1 + p} = \frac{2 + p}{1 + p}$$

別解 与えられた漸化式から

$$a_{n+2} + pa_{n+1} = a_{n+1} + pa_n \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} + pa_n = a_2 + pa_1 = 2 + p$$

上式と $a_{n+1} - a_n = (-p)^{n-1}$ の差をとると

$$(1 + p)a_n = 2 + p - (-p)^{n-1} \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{2 + p - (-p)^{n-1}}{1 + p}$$



2 (1) $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ より, $\tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x} - 1$ であるから

$$\begin{aligned}\int \tan^2 x \, dx &= \int \left(\frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) dx \\ &= \tan x - x + C \quad (C \text{ は積分定数})\end{aligned}$$

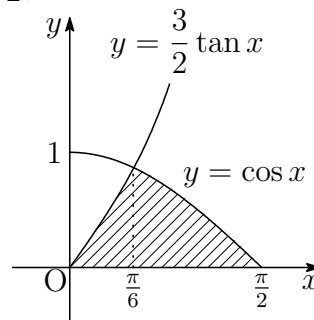
(2) $y = \frac{3}{2} \tan x \left(0 \leq x < \frac{\pi}{2} \right)$ と $y = \cos x \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2} \right)$ の共有点の x 座標は

$$\begin{aligned}\frac{3}{2} \tan x &= \cos x \\ 3 \sin x &= 2 \cos^2 x \\ 2 \sin^2 x + 3 \sin x - 2 &= 0 \\ (\sin x + 2)(2 \sin x - 1) &= 0\end{aligned}$$

$$0 \leq x < \frac{\pi}{2} \text{ より } x = \frac{\pi}{6}$$

したがって, 求める立体の体積を V とすると

$$\begin{aligned}V &= \pi \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left(\frac{3}{2} \tan x \right)^2 dx + \pi \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 x \, dx \\ &= \frac{9}{4} \pi \int_0^{\frac{\pi}{6}} \tan^2 x \, dx + \frac{\pi}{2} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} (1 + \cos 2x) dx \\ &= \frac{9}{4} \pi \left[\tan x - x \right]_0^{\frac{\pi}{6}} + \frac{\pi}{2} \left[x + \frac{1}{2} \sin 2x \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{5\sqrt{3}}{8} \pi - \frac{5}{24} \pi^2\end{aligned}$$



3 (1) $-\bar{z} = (\cos \pi + i \sin \pi) \cdot r \{ \cos(-\theta) + i \sin(-\theta) \}$
 $= r \{ \cos(\pi - \theta) + i \sin(\pi - \theta) \}$

(2) $\frac{1}{z^2} = \{ r(\cos \theta + i \sin \theta) \}^{-2}$
 $= \frac{1}{r^2} \{ \cos(-2\theta) + i \sin(-2\theta) \}$

(3) $z - |z| = r(\cos \theta + i \sin \theta) - r = r(\cos \theta - 1 + i \sin \theta)$
 $= r \left(-2 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2i \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \right) = 2r \sin \frac{\theta}{2} \left(-\sin \frac{\theta}{2} + i \cos \frac{\theta}{2} \right)$
 $= 2r \sin \frac{\theta}{2} \left\{ \cos \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + i \sin \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\pi}{2} \right) \right\}$

ここで, $0 \leq \theta < 2\pi$ より, $2r \sin \frac{\theta}{2} \geq 0$

- 4 (1) 異なる5枚のカードから4枚を1列に並べる順列の総数であるから

$${}_5P_4 = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 = 120 \text{ (通り)}$$

- (2) i) $a < b < c < d$ において, $(b, c) = (3, 4)$ のとき, 次の2通り.

$$(a, b, c, d) = (1, 3, 4, 5), (2, 3, 4, 5)$$

- ii) $a < b < d < c$ において, $(b, d) = (3, 4)$ のとき, 次の2通り.

$$(a, b, d, c) = (1, 3, 4, 5), (2, 3, 4, 5)$$

- iii) $b < a < c < d$ において, $(a, c) = (3, 4)$ のとき, 次の2通り.

$$(b, a, c, d) = (1, 3, 4, 5), (2, 3, 4, 5)$$

- iv) $b < a < d < c$ において, $(a, d) = (3, 4)$ のとき, 次の2通り.

$$(b, a, d, c) = (1, 3, 4, 5), (2, 3, 4, 5)$$

- i)~iv)の総数であるから $2 + 2 + 2 + 2 = 8$ (通り)

- (3) 捨てられるカードは, 3と4, 2と3, 2と4の3つの場合がある.

2と3の場合は, (2)で求めた3と4の場合と同様に8通り.

また, 2と4の場合は, 次のi)~iv)の4通り.

- i) $a < b < c < d$ において, $(b, c) = (2, 4)$ のとき

$$(a, b, c, d) = (1, 2, 4, 5)$$

- ii) $a < b < d < c$ において, $(b, d) = (2, 4)$ のとき

$$(a, b, d, c) = (1, 2, 4, 5)$$

- iii) $b < a < c < d$ において, $(a, c) = (2, 4)$ のとき

$$(b, a, c, d) = (1, 2, 4, 5)$$

- iv) $b < a < d < c$ において, $(a, d) = (2, 4)$ のとき

$$(b, a, d, c) = (1, 2, 4, 5)$$

したがって, カードを捨てる確率は $\frac{8+8+4}{120} = \frac{1}{6}$

求める確率は, この余事象の確率であるから $1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$

- 5 2 (2) と同じ

6 (1) a, b の条件から

$$a = \cos \theta, \quad b = \sin \theta \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

とおくと

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} |a \sin x - b \cos x| dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} |\cos \theta \sin x - \sin \theta \cos x| dx \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} |\sin(x - \theta)| dx \\ &= - \int_0^{\theta} \sin(x - \theta) + \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sin(x - \theta) dx \\ &= \left[\cos(x - \theta) \right]_0^{\theta} - \left[\cos(x - \theta) \right]_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \\ &= 2 - \cos \theta - \sin \theta \quad \cdots \textcircled{1} \\ &= \mathbf{2 - a - b} \end{aligned}$$

(2) ① から

$$S = 2 - \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right)$$

よって $\theta = 0, \frac{\pi}{2}$ すなわち $(a, b) = (1, 0), (0, 1)$ のとき, 最大値 **1**

$\theta = \frac{\pi}{4}$ すなわち $a = b = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき, 最小値 **$2 - \sqrt{2}$** ■

7 (1) $w = z$ のとき $z = \frac{3(1-i)z - 2i}{z + 3(1-i)}$ 整理すると $z^2 = -2i$

$$-2i = 2 \left(\cos \frac{3}{2}\pi + i \sin \frac{3}{2}\pi \right) \text{ であるから}$$

$$z = r(\cos \theta + i \sin \theta) \quad (r > 0, 0 \leq \theta < 2\pi)$$

とおくと

$$r^2 = 2, \quad 2\theta = \frac{3}{2}\pi + 2n\pi \quad (n \text{ は整数})$$

$$\text{したがって} \quad r = \sqrt{2}, \quad \theta = \frac{3}{4}\pi, \frac{7}{4}\pi$$

$$\text{すなわち} \quad z = \sqrt{2} \left(\cos \frac{3}{4}\pi + i \sin \frac{3}{4}\pi \right) = -1 + i$$

$$z = \sqrt{2} \left(\cos \frac{7}{4}\pi + i \sin \frac{7}{4}\pi \right) = 1 - i$$

(2) (1) の結果から, $\alpha = -1 + i$, $\beta = 1 - i$ であるから

$$\begin{aligned} w - \alpha &= \frac{3(1-i)z - 2i}{z + 3(1-i)} - (-1 + i) \\ &= \frac{3(1-i)z - 2i + (1-i)\{z + 3(1-i)\}}{z + 3(1-i)} = \frac{4(1-i)(z - \alpha)}{z + 3(1-i)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w - \beta &= \frac{3(1-i)z - 2i}{z + 3(1-i)} - (1 - i) \\ &= \frac{3(1-i)z - 2i - (1-i)\{z + 3(1-i)\}}{z + 3(1-i)} = \frac{2(1-i)(z - \beta)}{z + 3(1-i)} \end{aligned}$$

$$\text{上の2式から} \quad \frac{w - \beta}{w - \alpha} = \frac{2(1-i)}{4(1-i)} \cdot \frac{z - \beta}{z - \alpha} \quad \text{ゆえに} \quad k = \frac{2(1-i)}{4(1-i)} = \frac{1}{2}$$

$$(3) (2) \text{ の結果から} \quad \frac{z_{n+1} - \beta}{z_{n+1} - \alpha} = \frac{1}{2} \cdot \frac{z_n - \beta}{z_n - \alpha} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{z_n - \beta}{z_n - \alpha} = \left(\frac{1}{2} \right)^{n-1} \cdot \frac{z_1 - \beta}{z_1 - \alpha}$$

$z_1 = 0$, $-\alpha = \beta$ であるから

$$\frac{z_n - \beta}{z_n + \beta} = -\frac{1}{2^{n-1}} \quad \text{ゆえに} \quad z_n = \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n-1} + 1} \beta = \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n-1} + 1} (1 - i)$$

$$\text{よって} \quad x_n = \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n-1} + 1}, \quad y_n = -\frac{2^{n-1} - 1}{2^{n-1} + 1}$$

$$\text{また} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{1}{2^{n-1}}}{1 + \frac{1}{2^{n-1}}} = 1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} y_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{-1 + \frac{1}{2^{n-1}}}{1 + \frac{1}{2^{n-1}}} = -1$$

■

- 8 (1) $A(1, 2, 6)$, $B(7, 0, 9)$, $C(s, t, 0)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (6, -2, 3), \quad \overrightarrow{AC} = (s-1, t-2, -6)$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} &= 6(s-1) - 2(t-2) + 3 \cdot (-6) \\ &= 6s - 2t - 20 \end{aligned}$$

- (2) $|\overrightarrow{AB}| = |\overrightarrow{AC}|$ より, $|\overrightarrow{AB}|^2 = |\overrightarrow{AC}|^2$ であるから

$$6^2 + (-2)^2 + 3^2 = (s-1)^2 + (t-2)^2 + (-6)^2$$

$$\text{したがって} \quad (s-1)^2 + (t-2)^2 = 13$$

- (3) $\overrightarrow{AB} \perp \overrightarrow{AC}$ であるから, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 0$ を (1) の結果に代入すると

$$6s - 2t - 20 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = 3s - 10 \quad \cdots \textcircled{1}$$

さらに, ① を (2) の結果に代入すると

$$(s-1)^2 + (3s-10-2)^2 = 13 \quad \text{整理すると} \quad 5s^2 - 37s + 66 = 0$$

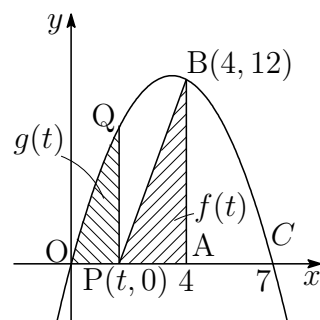
$$\text{ゆえに} \quad (s-3)(5s-22) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad s = 3, \frac{22}{5}$$

$$\text{よって, ① から} \quad (s, t) = (3, -1), \left(\frac{22}{5}, \frac{16}{5}\right) \quad \blacksquare$$

- 9 (1) 右の図から $f(t) = \frac{1}{2}PA \cdot AB = \frac{1}{2}(4-t) \cdot 12 = -6t + 24$

- (2) 右の図から

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_0^t (-x^2 + 7x) dx \\ &= \left[-\frac{1}{3}x^3 + \frac{7}{2}x^2 \right]_0^t \\ &= -\frac{1}{3}t^3 + \frac{7}{2}t^2 \end{aligned}$$



- (3) (1), (2) の結果から $h(t) = f(t) + g(t) = -\frac{1}{3}t^3 + \frac{7}{2}t^2 - 6t + 24$

$$\text{これを微分すると} \quad h'(t) = -t^2 + 7t - 6 = -(t-1)(t-6)$$

$0 < t < 4$ であるから, その増減表は

t	(0)	...	1	...	(4)
$h'(t)$		-	0	+	
$h(t)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

$$\text{よって, 最小値は} \quad h(1) = \frac{127}{6} \quad \blacksquare$$

4.3 2017年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 医学部 [2] [3] [4] [5] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農学部 [1] [6] [7] [8] 数I・II・A・B (120分)
- 教育学部 [1] [6] [7] 数I・II・A・B (100分)

[1] 平面上に三角形OABがあり、点A', B'は $\overrightarrow{OA'} = 2\overrightarrow{OA}$, $\overrightarrow{OB'} = 3\overrightarrow{OB}$ を満たしているとする. 線分A'B'を2:1に内分する点をPとし、線分OPと線分ABの交点をQとする. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とするとき、次の問に答えよ.

- (1) $\overrightarrow{OP}$ を $\vec{a}$ および $\vec{b}$ を用いて表せ.
- (2) $\frac{|\overrightarrow{OP}|}{|\overrightarrow{OQ}|}$ を求めよ.
- (3) $|\vec{a}| = \sqrt{5}$, $|\vec{b}| = \sqrt{3}$ であり、さらに $\overrightarrow{OP}$ と $\overrightarrow{AB}$ が直交しているとき、三角形OABの面積および三角形PABの面積を求めよ.

[2] a を正の定数とする. 関数 $f(x) = \frac{(\log ax)^3}{x}$ ($x > 0$) に対して、次の問に答えよ.

- (1) $f(x)$ が $x = b$ で極大値 $\frac{54}{e^3}$ をとるとき、 a および b を求めよ.
- (2) (1)の a に対して、不定積分 $\int f(x) dx$ を求めよ.
- (3) (1)の a, b に対して、曲線 $y = f(x)$ ($0 < x \leq b$)、直線 $x = b$ および x 軸とで囲まれた図形の面積を求めよ.

[3] 曲線 $C: y = \frac{\sin x}{e^x}$ について、次の問に答えよ.

- (1) $\frac{\sin x + \cos x}{e^x}$ の導関数および $\frac{\sin x}{e^x}$ の不定積分を求めよ.
- (2) $n = 0, 1, 2, \dots$ に対して、曲線 C の $2n\pi \leq x \leq (2n+1)\pi$ の部分と x 軸とで囲まれた図形の面積を a_n とする. $S_n = \sum_{k=0}^n a_k$ と定めるとき、極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ を求めよ.
- (3) $n = 0, 1, 2, \dots$ に対して、曲線 C の $0 \leq x \leq n\pi$ の部分を x 軸のまわりに1回転してできる立体の体積を V_n とする. 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} V_n$ を求めよ.

4 複素数 α, β が

$$|\alpha| = 1, \quad |\beta| = \sqrt{2}, \quad |\alpha - \beta| = 1$$

を満たし, $\frac{\beta}{\alpha}$ の虚部は正であるとする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\frac{\beta}{\alpha}$ および $\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^8$ を求めよ.
- (2) $|\alpha + \beta|$ を求めよ.
- (3) n が 8 で割ると 1 余る整数のとき, $|\alpha^n + \beta^n|$ を n を用いて表せ.

5 関数

$$f(x) = \frac{1}{x} \cos^2 \left(\frac{\log x}{2} \right) \quad (x \geq 1)$$

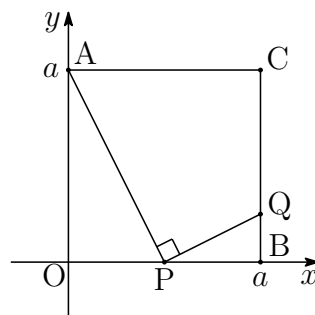
に対して, 次の問に答えよ.

- (1) $f'(x) = 0$ を満たすような x のうち, 最小のものを求めよ.
- (2) $f(x) = \frac{1}{10}$ はただ 1 つの解をもつことを示せ.
- (3) $t \geq 1$ のとき, 定積分 $\int_1^t f(x) dx$ を t を用いて表せ.

6 正の定数 a に対して, 3 点 $A(0, a)$, $B(a, 0)$, $C(a, a)$ をとる. 線分 OB 上の点 $P(t, 0)$ と線分 BC 上の点 Q において,

$$\angle APQ = 90^\circ$$

が成り立つとき, 次の問に答えよ. ただし, $0 < t < a$ とする.



- (1) 三角形 PBQ の面積 S を a と t を用いて表せ.
- (2) S の最大値とそのときの t の値を a を用いて表せ.

7 数直線上で, 点 P は原点 O を出発点とし, コインを投げて表が出れば正の向きに 1 だけ進み, 裏が出れば負の向きに 1 だけ進むものとする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) コインを 7 回投げ終えたとき, 点 P の位置が 1 となる確率を求めよ.
- (2) コインを 6 回投げ終えたときまでに点 P がちょうど 2 回正の位置にあり, 7 回投げ終えたときに点 P の位置が 1 となる確率を求めよ.

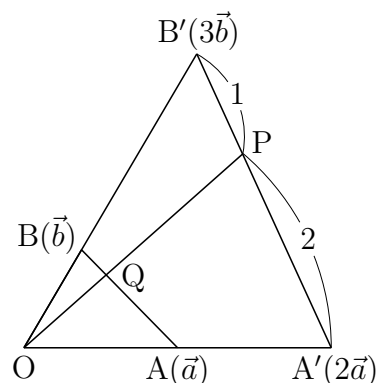
8 原点 O を中心とする半径 2 の円 C_1 に、点 P を中心とする半径 1 の円 C_2 が点 $A(a, b)$ で内接しているとする。このとき、次の問に答えよ。

- (1) 円 C_2 の方程式を求めよ。
- (2) 円 C_1 上に点 $B(c, d)$ をとる。ただし、 $ac + bd \neq 0$ とする。直線 OB と円 C_2 との交点のうち、原点 O 以外のものを Q とする。点 Q の座標を求めよ。
- (3) 点 B 、点 Q を (2) のものとし、 $A \neq B$ とする。 $\angle AOQ = \theta$ とおくとき、 $\angle APQ$ および線分 OQ の長さを θ を用いて表せ。

正解

- 1 (1) P は線分 $A'B'$ を $2:1$ に内分するので、
 $\overrightarrow{OA'} = 2\vec{a}$, $\overrightarrow{OB'} = 3\vec{b}$ より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OP} &= \frac{\overrightarrow{OA'} + 2\overrightarrow{OB'}}{2+1} \\ &= \frac{2\vec{a} + 2 \cdot 3\vec{b}}{3} = \frac{2\vec{a} + 6\vec{b}}{3}\end{aligned}$$



- (2) Q は線分 AB 上の点であるから、(1) の結果より

$$\overrightarrow{OP} = \frac{8}{3} \cdot \frac{\vec{a} + 3\vec{b}}{4} = \frac{8}{3} \overrightarrow{OQ} \quad \text{よって} \quad \frac{|\overrightarrow{OP}|}{|\overrightarrow{OQ}|} = \frac{8}{3}$$

- (3) $\overrightarrow{OP} = \frac{2}{3}(\vec{a} + 3\vec{b})$, $\overrightarrow{AB} = \vec{b} - \vec{a}$ より, $\overrightarrow{OP}$ と $\overrightarrow{AB}$ が直交しているとき

$$(\vec{a} + 3\vec{b}) \cdot (\vec{b} - \vec{a}) = 0 \quad \text{整理すると} \quad -|\vec{a}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 3|\vec{b}|^2 = 0$$

これに $|\vec{a}| = \sqrt{5}$, $|\vec{b}| = \sqrt{3}$ を代入すると

$$-5 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 3 \cdot 3 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = 2$$

したがって, 三角形 OAB の面積は

$$\triangle OAB = \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{5 \cdot 3 - 2^2} = \frac{\sqrt{11}}{2}$$

- (2) の結果から, $\triangle OAB : \triangle PAB = OQ : PQ = 1 : \frac{5}{3}$ であるから

$$\triangle PAB = \frac{5}{3} \triangle OAB = \frac{5}{3} \times \frac{\sqrt{11}}{2} = \frac{5\sqrt{11}}{6}$$

■

- 2 (1) $f(x) = \frac{(\log ax)^3}{x}$ を微分すると ($a > 0$)

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{3(\log ax)^2(\log ax)'x - (\log ax)^3}{x^2} \\ &= \frac{(\log ax)^2(3 - \log ax)}{x^2} \end{aligned}$$

$f'(x) = 0$ とすると $x = \frac{1}{a}, \frac{e^3}{a}$
したがって, $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	...	$\frac{1}{a}$	...	$\frac{e^3}{a}$	...
$f'(x)$		+	0	+	0	-
$f(x)$		↗	0	↗	極大 $\frac{27a}{e^3}$	↘

このとき, $x = b$ で極大値 $\frac{54}{e^3}$ をとるから

$$b = \frac{e^3}{a}, \quad \frac{54}{e^3} = \frac{27a}{e^3} \quad \text{よって} \quad a = 2, \quad b = \frac{e^3}{2}$$

- (2) $a = 2$ に対して

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= \int \frac{(\log 2x)^3}{x} dx = \int (\log 2x)^3 (\log 2x)' dx \\ &= \frac{1}{4} (\log 2x)^4 + C \quad (C \text{ は積分定数}) \end{aligned}$$

- (3) (1) の増減表および (2) の結果から, 求める図形の面積を S とすると

$$S = \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{e^3}{2}} f(x) dx = \left[\frac{1}{4} (\log 2x)^4 \right]_{\frac{1}{2}}^{\frac{e^3}{2}} = \frac{81}{4}$$

■

$$\begin{aligned}
\boxed{3} \quad (1) \quad & \left(\frac{\sin x + \cos x}{e^x} \right)' = \{e^{-x}(\sin x + \cos x)\}' \\
& = -e^{-x}(\sin x + \cos x) + e^{-x}(\cos x - \sin x) \\
& = -2e^{-x} \sin x = -\frac{2 \sin x}{e^x}
\end{aligned}$$

上式より, $\left(-\frac{\sin x + \cos x}{2e^x} \right)' = \frac{\sin x}{e^x}$ であるから

$$\int \frac{\sin x}{e^x} dx = -\frac{\sin x + \cos x}{2e^x} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

(2) $C : y = \frac{\sin x}{e^x}$ は, $2n\pi \leq x \leq (2n+1)\pi$ において, $y \geq 0$ であるから

$$\begin{aligned}
a_n &= \int_{2n\pi}^{(2n+1)\pi} \frac{\sin x}{e^x} dx = \left[-\frac{\sin x + \cos x}{2e^x} \right]_{2n\pi}^{(2n+1)\pi} \\
&= \frac{1}{2e^{(2n+1)\pi}} + \frac{1}{2e^{2n\pi}} = \frac{1+e^\pi}{2e^{(2n+1)\pi}} = \frac{1+e^\pi}{2e^\pi} \cdot (e^{-2\pi})^n
\end{aligned}$$

$0 < e^{-2\pi} < 1$ であるから

$$\begin{aligned}
\lim_{n \rightarrow \infty} S_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n a_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1+e^\pi}{2e^\pi} \sum_{k=0}^n (e^{-2\pi})^k \\
&= \frac{1+e^\pi}{2e^\pi} \times \frac{1}{1-e^{-2\pi}} = \frac{1+e^\pi}{2e^\pi} \times \frac{e^{2\pi}}{e^{2\pi}-1} = \frac{e^\pi}{2(e^\pi-1)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(3) \quad \frac{V_n}{\pi} &= \int_0^{n\pi} \left(\frac{\sin x}{e^x} \right)^2 dx \\
&= \int_0^{n\pi} e^{-2x} \sin^2 x dx = \int_0^{n\pi} \frac{1}{2} e^{-2x} (1 - \cos 2x) dx
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{ここで} \quad & (e^{-2x} \sin 2x)' = 2e^{-2x}(-\sin 2x + \cos 2x) \\
& (e^{-2x} \cos 2x)' = 2e^{-2x}(-\sin 2x - \cos 2x)
\end{aligned}$$

$$\text{上の 2 式から} \quad \{e^{-2x}(\sin 2x - \cos 2x)\}' = 4e^{-2x} \cos 2x$$

$$\text{ゆえに} \quad \int e^{-2x} \cos 2x dx = \frac{1}{4} e^{-2x} (\sin 2x - \cos 2x) + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

$$\text{したがって} \quad \frac{V_n}{\pi} = \left[\frac{1}{8} e^{-2x} (-2 - \sin 2x + \cos 2x) \right]_0^{n\pi} = \frac{1}{8} (1 - e^{-2n\pi})$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} V_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{8} (1 - e^{-2n\pi}) = \frac{\pi}{8} \quad \blacksquare$$

- 4 (1) 複素数平面上の原点を O とし, α, β を表す点をそれぞれ A, B とすると, $\triangle ABC$ は $OA = 1, OB = \sqrt{2}, AB = 1$ の直角二等辺三角形であるから

$$\angle AOB = \frac{\pi}{4}$$

このとき, $\left| \frac{\beta}{\alpha} \right| = \frac{|\beta|}{|\alpha|} = \sqrt{2}$ で, $\frac{\beta}{\alpha}$ の虚部が正であるから

$$\frac{\beta}{\alpha} = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) = 1 + i$$

また $\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^8 = (\sqrt{2})^8 (\cos 2\pi + i \sin 2\pi) = 16$

別解 $w = \frac{\beta}{\alpha}$ とおくと, $|\alpha| = 1, |\beta| = \sqrt{2}, |\alpha - \beta| = 1$ より

$$\frac{|\beta|}{|\alpha|} = \sqrt{2}, \quad \frac{|\alpha - \beta|}{|\alpha|} = 1 \quad \text{すなわち} \quad |w| = \sqrt{2}, \quad |1 - w| = 1$$

$|1 - w|^2 = 1$ より, $(1 - w)(1 - \bar{w}) = 1$ であるから

$$1 - w - \bar{w} + |w|^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad w + \bar{w} = 2$$

したがって $\operatorname{Re}(w) = \frac{w + \bar{w}}{2} = 1$

w の虚部は正であるから $\operatorname{Im}(w) = \sqrt{|w|^2 - 1^2} = 1$

よって $w = 1 + i$

- (2) (1) の結果から, $\beta = (1 + i)\alpha$ であるから

$$|\alpha + \beta| = |\alpha + (1 + i)\alpha| = |\alpha||2 + i| = 1\sqrt{2^2 + 1^2} = \sqrt{5}$$

(3) (1) の結果から, $\beta = \alpha(1+i)$ であるから

$$\begin{aligned} |\alpha^n + \beta^n| &= |\alpha^n + \alpha^n(1+i)^n| \\ &= |\alpha|^n |1 + (1+i)^n| = |1 + (1+i)^n| \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

ここで, $\frac{n-1}{8}$ は整数であるから

$$\begin{aligned} (1+i)^n &= \left\{ \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \right\}^n \\ &= (\sqrt{2})^n \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \left\{ \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right)^8 \right\}^{\frac{n-1}{8}} \\ &= (\sqrt{2})^n \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i \right) (\cos 2\pi + i \sin 2\pi)^{\frac{n-1}{8}} \\ &= (\sqrt{2})^{n-1} (1+i) \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② より

$$\begin{aligned} |\alpha^n + \beta^n|^2 &= |1 + (\sqrt{2})^{n-1}(1+i)|^2 \\ &= |1 + (\sqrt{2})^{n-1} + (\sqrt{2})^{n-1}i|^2 \\ &= \{1 + (\sqrt{2})^{n-1}\}^2 + \{(\sqrt{2})^{n-1}\}^2 \\ &= 1 + 2(\sqrt{2})^{n-1} + 2^{n-1} + 2^{n-1} \\ &= 1 + 2^{\frac{n+1}{2}} + 2^n \end{aligned}$$

よって $|\alpha^n + \beta^n| = \sqrt{1 + 2^{\frac{n+1}{2}} + 2^n}$ ■

5 (1) $f(x) = \frac{1}{x} \cos^2 \left(\frac{\log x}{2} \right) \quad (x \geq 1) \text{ より}$

$$f(x) = \frac{1}{2x} \{ \cos(\log x) + 1 \}$$

$x \geq 1$ より, $x = e^\theta$ ($\theta \geq 0$) とおくと

$$f(x) = \frac{1}{2} e^{-\theta} (\cos \theta + 1) \quad \cdots (*)$$

上式を θ について微分すると

$$f'(x) \frac{dx}{d\theta} = -\frac{1}{2} e^{-\theta} (\sin \theta + \cos \theta + 1) \quad \cdots (**)$$

$\frac{dx}{d\theta} = e^\theta$ であるから

$$f'(x) = -\frac{1}{2} e^{-2\theta} (\sin \theta + \cos \theta + 1)$$

$f'(x) = 0$ を満たすとき $\sin \theta + \cos \theta + 1 = 0 \quad (\theta \geq 0)$

これを満たす最小の θ を求めればよいので

$$\sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right) = -1 \quad \text{すなわち} \quad \theta = \pi$$

よって, 求める x は $x = e^\pi$

(2) $g(\theta) = f(x)$ とおくと, $(*)$ より

$$g(\theta) = \frac{1}{2} e^{-\theta} (\cos \theta + 1)$$

$g(\theta)$ を微分すると, $(**)$ より

$$\begin{aligned} g'(\theta) &= -\frac{1}{2} e^{-\theta} (\sin \theta + \cos \theta + 1) \\ &= -\frac{e^{-\theta}}{\sqrt{2}} \left\{ \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \right\} \end{aligned}$$

n を 0 以上の整数とすると, $g(\theta)$ は, 次の極値をとる.

$$\text{極小値 } g((2n+1)\pi) = 0,$$

$$\text{極大値 } g\left((2n + \frac{3}{2})\pi\right) = \frac{1}{2} e^{-(2n+\frac{3}{2})\pi}$$

連続関数 $g(\theta)$ の最大の極大値は $g(\frac{3}{2}\pi) = \frac{1}{2}e^{-\frac{3}{2}\pi}$

ここで $\frac{1}{2}e^{-\frac{3}{2}\pi} < \frac{1}{2}e^{-3} < \frac{1}{2} \cdot 2^{-3} < \frac{1}{10}$ ゆえに $g(\frac{3}{2}\pi) < \frac{1}{10}$

したがって、 $\theta \geq \pi$ において、 $g(\theta) = \frac{1}{10}$ を満たす θ は存在しない.

また、 $g(\theta)$ は、 $0 \leq \theta \leq \pi$ において単調減少で、 $g(0) = 1$ 、 $g(\pi) = 0$ であるから、この区間において、 $g(\theta) = \frac{1}{10}$ を満たす θ がただ 1 つ存在する.

よって、 $f(x) = \frac{1}{10}$ はただ 1 つの解をもつ.

(3) $f(x) = \frac{1}{2x} \cos(\log x) + \frac{1}{2x}$ であるから、 $t \geq 1$ のとき

$$\int_1^t f(x) dx = \left[\frac{1}{2} \sin(\log x) + \frac{1}{2} \log x \right]_1^t = \frac{\sin(\log t) + \log t}{2}$$

■

6 (1) $\theta = \angle PAO = \angle QPB$ とおくと $\tan \theta = \frac{OP}{AO} = \frac{t}{a}$ より

$$BQ = PB \tan \theta = (a - t) \cdot \frac{t}{a} = \frac{t}{a}(a - t)$$

$$\text{よって } S = \frac{1}{2}PB \cdot BQ = \frac{1}{2}(a - t) \cdot \frac{t}{a}(a - t) = \frac{t}{2a}(a - t)^2$$

(2) $f(t) = \frac{t}{2a}(a - t)^2$ ($0 < t < a$) とおくと

$$f(t) = \frac{1}{2a}(t^3 - 2at^2 + a^2t)$$

これを微分すると

$$f'(t) = \frac{1}{2a}(3t^2 - 4at + a^2) = \frac{1}{2a}(t - a)(3t - a)$$

$f(t)$ の増減表は

t	(0)	$\cdots$	$\frac{a}{3}$	$\cdots$	(a)
$f'(t)$		+	0	-	
$f(t)$		$\nearrow$	極大 $\frac{2}{27}a^2$	$\searrow$	

よって, $t = \frac{a}{3}$ のとき, 最大値 $\frac{2}{27}a^2$ をとる.

別解 3つの正数 $2t$, $a - t$, $a - t$ の相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{2t + (a - t) + (a - t)}{3} \geq \sqrt[3]{2t(a - t)(a - t)}$$

$$\text{したがって } 2t(a - t)^2 \leq \frac{8}{27}a^3 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{t}{2a}(a - t)^2 \leq \frac{2}{27}a^2$$

上式において, 等号が成立するのは

$$2t = a - t \quad \text{すなわち} \quad t = \frac{a}{3}$$

よって, $t = \frac{a}{3}$ のとき, S は最大値 $\frac{2}{27}a^2$ をとる. ■

- 7 (1) 求める確率は、コインを7回投げ終えたとき、表が4回、裏が3回出る確率であるから

$${}^7C_3 \left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{35}{128}$$

- (2) x 回投げ終えたときの座標が y であるとする、P は下のグラフの実線上にある格子点を $(0, 0)$ から $(7, 1)$ を移動する.

- (i) $(6, 0)$ を通るとき、1, 3, 5 回目のどこで2回 y 座標が1(正)になるかであるから、その過程は

$$(0, 0) \rightarrow (1, 1) \rightarrow (2, 0) \rightarrow (3, 1) \rightarrow (4, 0) \rightarrow (5, -1) \rightarrow (6, 0)$$

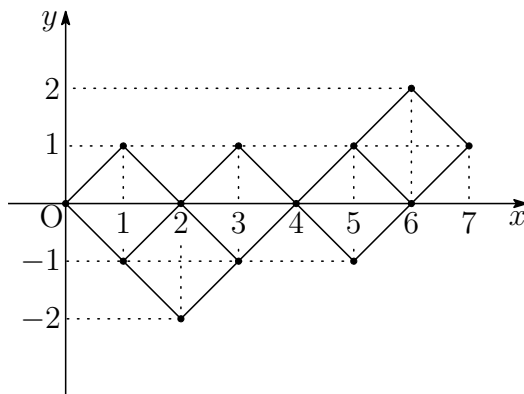
$$(0, 0) \rightarrow (1, 1) \rightarrow (2, 0) \rightarrow (3, -1) \rightarrow (4, 0) \rightarrow (5, 1) \rightarrow (6, 0)$$

$$(0, 0) \rightarrow (1, -1) \rightarrow (2, 0) \rightarrow (3, 1) \rightarrow (4, 0) \rightarrow (5, 1) \rightarrow (6, 0)$$

- (ii) $(6, 2)$ を通るとき、 $(5, 1)$ を通るから、 y 座標が正になるのは $0 \leq x \leq 4$ ではないから、その過程は

$$(0, 0) \rightarrow (1, -1) \rightarrow (2, 0) \rightarrow (3, -1) \rightarrow (4, 0) \rightarrow (5, 1) \rightarrow (6, 2)$$

$$(0, 0) \rightarrow (1, -1) \rightarrow (2, -2) \rightarrow (3, -1) \rightarrow (4, 0) \rightarrow (5, 1) \rightarrow (6, 2)$$



- (i), (ii) より、求める確率は

$$5 \left(\frac{1}{2}\right)^7 = \frac{5}{128}$$

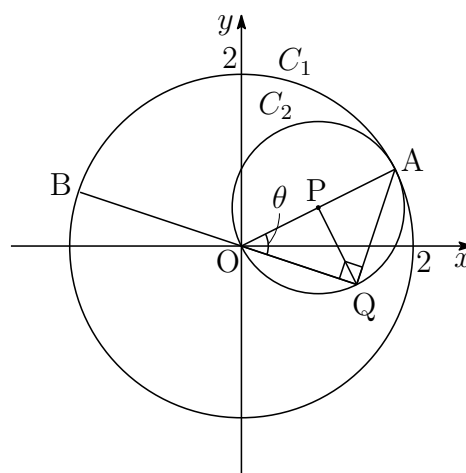


- 8 (1) P は線分 OA の中点であるから

$$P\left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}\right)$$

C_2 は P を中心とする半径 1 の円であるから

$$\left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{b}{2}\right)^2 = 1$$



- (2) B(c, d) より, 直線 OB の方程式は $dx - cy = 0 \cdots \textcircled{1}$

$\angle AQO$ は, C_2 の直径に対する円周角であるから $\angle AQO = 90^\circ$

直線 AQ は点 A(a, b) を通り, 直線 $\textcircled{1}$ に垂直であるから

$$c(x - a) + d(y - b) = 0 \quad \text{すなわち} \quad cx + dy = ac + bd \cdots \textcircled{2}$$

B は $C_2 : x^2 + y^2 = 4$ 上の点であるから $c^2 + d^2 = 4$

Q は $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ の交点で, 上式に注意してこれを解くと

$$x = \frac{c(ac + bd)}{4}, \quad y = \frac{d(ac + bd)}{4}$$

よって $Q\left(\frac{c(ac + bd)}{4}, \frac{d(ac + bd)}{4}\right)$

- (3) $PO = PQ$ であるから $\angle POQ = \angle PQO = \theta$

よって $\angle APQ = \angle POQ + \angle PQO = \theta + \theta = 2\theta$

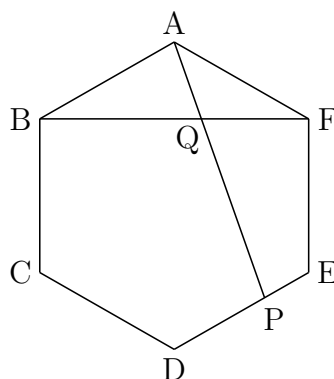
(1) の図から $OQ = AO \cos \theta = 2 \cos \theta$



4.4 2018 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [1] [7] [8] [9] 数 I・II・A・B (120 分)
- 教育学部 [1] [7] [9] 数 I・II・A・B (100 分)

- [1] 下の図のような 1 辺の長さが 1 の正六角形 ABCDEF において、線分 DE を 2:1 に内分する点を P とし、直線 AP と直線 BF の交点を Q とする. $\overrightarrow{AB} = \vec{a}$, $\overrightarrow{AF} = \vec{b}$ とおくと、次の問に答えよ.



- (1) $\overrightarrow{AD}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{AP}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.
- (3) $\overrightarrow{AQ}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.
- (4) $|\overrightarrow{AQ}|$ の値を求めよ.

2 数列 $\{a_n\}$ は

$$\begin{cases} a_1 = 1 \\ a_{n+1} = \sqrt{2} - \frac{a_n}{n+1} \quad (n = 1, 2, \dots) \end{cases}$$

で定められているとする。このとき、次の問に答えよ。

(1) 4つの有理数 p, q, r, s が

$$p + q\sqrt{2} = r + s\sqrt{2}$$

を満たすとする。このとき、 $p = r$ かつ $q = s$ であることを示せ。ただし、 $\sqrt{2}$ が無理数であることは用いてよい。

(2) 不等式

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right)\sqrt{2} < a_n < \sqrt{2}$$

が成立することと、 $a_n = p_n + q_n\sqrt{2}$ (p_n および q_n は有理数) と表されることを n に関する数学的帰納法を用いて示せ。

(3) (2) で定義された数列 $\{p_n\}$ に対して、 p_{n+1} と p_n が満たす関係式、および一般項 p_n を求めよ。

3 $f(x) = xe^{-x}$ とする。O(0, 0), P(t, 0), Q(t, f(t)), R(4, 0) とする。ただし、 $0 < t < 4$ とする。△PQR の面積を $S_1(t)$ とし、線分 OQ と曲線 $y = f(x)$ で囲まれた図形の面積を $S_2(t)$ とする。 $S(t) = S_1(t) + S_2(t)$ とおく。このとき、次の問に答えよ。

(1) 曲線 $y = f(x)$ の概形をかけ。ただし、 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$ は用いてよい。

(2) $S_1(t)$ を t を用いて表せ。

(3) $S_2(t)$ を t を用いて表せ。

(4) $S(t)$ の極値を求めよ。

- 4 曲線 $C: y = \log x$ 上の点 $P(t, \log t)$ をとる. ただし, 点 P および原点を通る直線と点 P における曲線 C の接線が垂直に交わっているものとする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\log t$ を t についての整式で表せ.
- (2) $0 < x < 1$ の範囲で不等式

$$2\log x < -x^2 + 4x - 3$$

が成立することを示せ.

- (3) $S = \sum_{n=1}^{\infty} t^{2n-1}$ とおく. $S = \frac{f(t)}{g(t)}$ となるような t についての整式 $f(t)$, $g(t)$ を一組求めよ. また, $S > 1.1$ となることを示せ.

- 5 次の問に答えよ.

- (1) 1, 4, 9, 16 のように, 自然数の 2 乗で表せる数を平方数という. n を平方数でない自然数とすると, $\sqrt{n}$ は無理数であることを示せ.
- (2) a, b を正の有理数, n を自然数とすると, $a\sqrt{n} + b\sqrt{n+1}$ は無理数であることを示せ.

- 6 関数 $f(x)$ は $x = 0$ で微分可能であり, すべての実数 x, y について等式

$$f(x+y) = f(x) \cos y + f(y) \cos x$$

が成り立つとする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $f(0)$ を求めよ.
- (2) a を実数とする. $f(x)$ は $x = a$ で微分可能であることを示せ.
- (3) $f'(0) = 3$ であるとする. $f'(x)$ および $f(x)$ を求めよ.

- 7 $f(x) = 2x(3-x)$, $g(x) = x(x-4)$ とおき, $0 < t < 3$ とする. $0 \leq x \leq t$ の範囲での曲線 $y = f(x)$, x 軸, 直線 $x = t$ で囲まれた図形の面積を $S_1(t)$ とする. $t \leq x \leq 4$ の範囲での曲線 $y = g(x)$, x 軸, 直線 $x = t$ で囲まれた図形の面積を $S_2(t)$ とする. $S(t) = S_1(t) + S_2(t)$ とおく. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $S_1(t)$ を t を用いて表せ.
- (2) $S_2(t)$ を t を用いて表せ.
- (3) t が $0 < t < 3$ の範囲を動くとき, $S(t)$ の最大値を求めよ.

- 8 a を正の数とする．放物線 $C_1 : y = x^2$ を x 軸方向に a , y 軸方向に $2a$ だけ平行移動した放物線を C_2 とする． C_1 と C_2 の交点を P とするとき，次の問に答えよ．

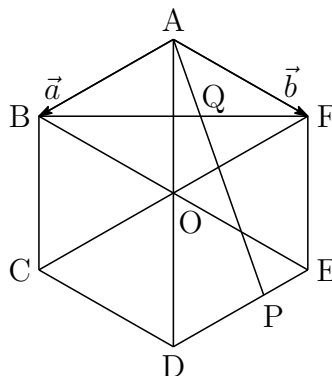
- (1) 点 P の座標を a を用いて表せ．
- (2) 放物線 C_2 の点 P における接線の方程式を a を用いて表せ．
- (3) (2) で求めた接線の傾きと y 切片がともに正となるような正数 a の値の範囲を求めよ．

- 9 座標平面上で，点 P は原点 O を出発点とし，サイコロを投げて奇数の目が出ればその目の分だけ x 軸と平行に正の方向に進み，偶数の目が出ればその目の分だけ y 軸と平行に正の方向に進むものとする． n を 2 以上の自然数とするととき，次の問に答えよ．

- (1) サイコロを 3 回投げ終えたとき，点 P の x 座標と y 座標が等しくなる確率を求めよ．
- (2) サイコロを n 回投げ終えたとき，点 P の y 座標が 2 となる確率を n を用いて表せ．
- (3) サイコロを $n - 1$ 回投げ終えたときには点 P の y 座標が 2 以下であり，かつ n 回投げ終えたときに点 P の y 座標が 4 以上である確率を n を用いて表せ．

解答例

- 1 (1) 正六角形の対角線 AD, BE, CF の交点を O とする.



$$\overrightarrow{AD} = 2\overrightarrow{AO} = 2(\vec{a} + \vec{b}) = 2\vec{a} + 2\vec{b}$$

$$(2) \overrightarrow{AE} = \overrightarrow{AO} + \overrightarrow{OE} = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{b} = \vec{a} + 2\vec{b}$$

点 P は線分 DE を 2 : 1 に内分する点であるから

$$\overrightarrow{AP} = \frac{\overrightarrow{AD} + 2\overrightarrow{AE}}{2 + 1} = \frac{2\vec{a} + 2\vec{b} + 2(\vec{a} + 2\vec{b})}{3} = \frac{4}{3}\vec{a} + 2\vec{b}$$

- (3) $\overrightarrow{AQ} // \overrightarrow{AP}$ であるから

$$\overrightarrow{AQ} = k\overrightarrow{AP} = k\left(\frac{4}{3}\vec{a} + 2\vec{b}\right) = \frac{4}{3}k\vec{a} + 2k\vec{b}$$

このとき, Q は線分 BF 上の点であるから

$$\frac{4}{3}k + 2k = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = \frac{3}{10}$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{AQ} = \frac{4}{3} \cdot \frac{3}{10}\vec{a} + 2 \cdot \frac{3}{10}\vec{b} = \frac{2}{5}\vec{a} + \frac{3}{5}\vec{b}$$

- (4) (3) の結果から $\overrightarrow{AQ} = \frac{1}{5}(2\vec{a} + 3\vec{b})$

$$\vec{a} \text{ と } \vec{b} \text{ のなす角は } 120^\circ \text{ であるから } \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos 120^\circ = 1 \cdot 1 \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned} |2\vec{a} + 3\vec{b}|^2 &= 4|\vec{a}|^2 + 12\vec{a} \cdot \vec{b} + 9|\vec{b}|^2 \\ &= 4 \cdot 1^2 + 12 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) + 9 \cdot 1^2 = 7 \end{aligned}$$

$$|2\vec{a} + 3\vec{b}| = \sqrt{7} \text{ より } |\overrightarrow{AQ}| = \frac{1}{5}|2\vec{a} + 3\vec{b}| = \frac{\sqrt{7}}{5}$$

■

2

$$(*) \begin{cases} a_1 = 1 \\ a_{n+1} = \sqrt{2} - \frac{a_n}{n+1} \quad (n = 1, 2, \dots) \end{cases}$$

$$(1) \quad p + q\sqrt{2} = r + s\sqrt{2} \text{ より } (q-s)\sqrt{2} = r-p \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$q-s \neq 0 \text{ と仮定すると } \sqrt{2} = \frac{r-p}{q-s} \quad (p, q, r, s \text{ は有理数})$$

上式について、左辺は無理数、右辺は有理数となり矛盾.

したがって、 $q-s=0$ これを $\textcircled{1}$ に代入して $r-p=0$

よって $p=r$ かつ $q=s$

$$(2) \quad \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sqrt{2} < a_n < \sqrt{2} \quad \cdots (A)$$

[1] $n=1$ のとき、 $a_1=1$ であるから

$$\left(1 - \frac{1}{1}\right) \sqrt{2} < a_1 < \sqrt{2}$$

このとき、(A) は成立する.

[2] $n=k$ のとき、(A) が成立する、すなわち

$$\left(1 - \frac{1}{k}\right) \sqrt{2} < a_k < \sqrt{2}$$

であると仮定すると、(*) より

$$\begin{aligned} \sqrt{2} - a_{k+1} &= \sqrt{2} - \left(\sqrt{2} - \frac{a_k}{k+1}\right) = \frac{a_k}{k+1} > 0, \\ a_{k+1} - \left(1 - \frac{1}{k+1}\right) \sqrt{2} &= \sqrt{2} - \frac{a_k}{k+1} - \left(1 - \frac{1}{k+1}\right) \sqrt{2} \\ &= \frac{\sqrt{2} - a_k}{k+1} > 0 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \left(1 - \frac{1}{k+1}\right) \sqrt{2} < a_{k+1} < \sqrt{2}$$

よって、 $n=k+1$ のときも (A) は成立する.

[1], [2] から、すべての自然数 n について、(A) は成立する.

$$a_n = p_n + q_n\sqrt{2} \quad (p_n \text{ および } q_n \text{ は有理数}) \quad \cdots (B)$$

[1] $n = 1$ のとき, $a_1 = 1$ であるから

$$1 = 1 + 0 \cdot \sqrt{2} \quad (p_1 = 1, q_1 = 0) \quad \cdots (2)$$

と表されるから, (B) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (B) が成立する, すなわち

$$a_k = p_k + q_k\sqrt{2} \quad (p_k \text{ および } q_k \text{ は有理数})$$

と表されると仮定すると, (*) より

$$\begin{aligned} a_{k+1} &= \sqrt{2} - \frac{p_k + q_k\sqrt{2}}{k+1} \\ &= -\frac{p_k}{k+1} + \left(1 - \frac{q_k}{k+1}\right)\sqrt{2} \end{aligned}$$

このとき

$$p_{k+1} = -\frac{p_k}{k+1}, \quad q_{k+1} = 1 - \frac{q_k}{k+1} \quad \cdots (**)$$

とおくと, p_k, q_k が有理数であるから, p_{k+1}, q_{k+1} も有理数である.
よって, $n = k + 1$ のときも (B) は成立する.

[1], [2] から, すべての自然数 n について, (B) は成立する.

$$(3) \quad (2) \text{ および } (**) \text{ の第 1 式より } p_1 = 1, \quad p_{n+1} = -\frac{1}{n+1}p_n$$

$$\text{したがって} \quad (n+1)!p_{n+1} = -n!p_n$$

数列 $\{n!p_n\}$ は, 初項 $1!p_1 = 1$, 公比 -1 の等比数列であるから

$$n!p_n = (-1)^{n-1} \cdot 1 \quad \text{よって} \quad p_n = \frac{(-1)^{n-1}}{n!}$$



3 (1) $f(x) = xe^{-x}$ より

$$f'(x) = e^{-x} + x(-e^{-x}) = (1-x)e^{-x}$$

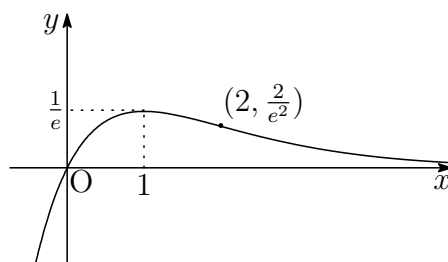
$$f''(x) = -e^{-x} + (1-x)(-e^{-x}) = (x-2)e^{-x}$$

したがって、 $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	...	1	...	2	...
$f'(x)$	+	0	-	-	-
$f''(x)$	-	-	-	0	+
$f(x)$	↗	極大 $\frac{1}{e}$	↘	変曲点 $\frac{2}{e^2}$	↘

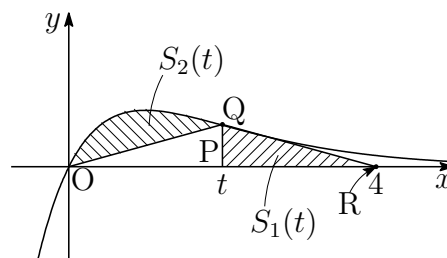
また $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -\infty$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$

よって、 $y = f(x)$ のグラフの概形は、次のようになる.



(2) $P(t, 0)$, $Q(t, te^{-t})$, $R(4, 0)$ より,
 $\triangle PQR$ の面積 $S_1(t)$ は

$$\begin{aligned} S_1(t) &= \frac{1}{2}(4-t) \cdot te^{-t} \\ &= \frac{t}{2}(4-t)e^{-t} \end{aligned}$$



(3) 右上の図から

$$\begin{aligned} S_2(t) &= \int_0^t xe^{-x} dx - \triangle OPQ \\ &= \left[-e^{-x}(x+1) \right]_0^t - \frac{1}{2}t \cdot te^{-t} \\ &= -e^{-t}(t+1) + 1 - \frac{t^2}{2}e^{-t} = 1 - \left(1 + t + \frac{t^2}{2} \right) e^{-t} \end{aligned}$$

(4) (2),(3) の結果から

$$\begin{aligned} S(t) &= S_1(t) + S_2(t) = \frac{t}{2}(4-t)e^{-t} + 1 - \left(1+t+\frac{t^2}{2}\right)e^{-t} \\ &= (-t^2+t-1)e^{-t} + 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad S'(t) &= (-2t+1)e^{-t} + (-t^2+t-1)(-e^{-t}) \\ &= (t^2-3t+2)e^{-t} = (t-1)(t-2)e^{-t} \end{aligned}$$

t	(0)	...	1	...	2	...	(4)
$S'(t)$		+	0	-	0	+	
$S(t)$		↗	極大	↘	極小	↗	

$$\text{よって} \quad \text{極大値 } S(1) = 1 - \frac{1}{e}$$

$$\text{極小値 } S(2) = 1 - \frac{3}{e^2}$$

■

4 (1) 点 $P(t, \log t)$ および原点を通る直線の傾きは $\frac{\log t}{t}$

$y = \log x$ より $y' = \frac{1}{x}$ ゆえに点 P における接線の傾きは $\frac{1}{t}$
直線 OP と C 上の点 P における接線が垂直であるから

$$\frac{\log t}{t} \cdot \frac{1}{t} = -1 \quad \text{よって} \quad \log t = -t^2$$

(2) $h(x) = -x^2 + 4x - 3 - 2\log x$ とおくと

$$h'(x) = -2x + 4 - \frac{2}{x} = -\frac{2x^2 - 4x + 2}{x} = -\frac{2(x-1)^2}{x}$$

$0 < x < 1$ において $h'(x) < 0$ であるから, $h(x)$ は単調減少.

$h(1) = 0$ であるあるから, $0 < x < 1$ において $h(x) > 0$, すなわち

$$-x^2 + 4x - 3 - 2\log x > 0$$

$$\text{よって, } 0 < x < 1 \text{ において} \quad 2\log x < -x^2 + 4x - 3$$

(3) (1)の結果から $\log t = -t^2 < 0$ すなわち $0 < t < 1$

ゆえに $S = \sum_{n=1}^{\infty} t^{2n-1} = \frac{t}{1-t^2}$ よって $f(t) = t, g(t) = 1-t^2$

(2)の結果から, $0 < x < 1$ において $-\frac{1}{2}x^2 + 2x - \frac{3}{2} > \log x$

$C' : y = -\frac{1}{2}x^2 + 2x - \frac{3}{2}$ とすると,
 $0 < x < 1$ において C' は C の上側
 にある. C, C' と $y = -x^2$ のグラフ
 の交点の x 座標をそれぞれ t, t' とお
 くと, $t' < t$ である. ここで

$$S(x) = \frac{x}{1-x^2} \quad (0 < x < 1)$$

とおくと $S'(x) = \frac{1+x^2}{(1-x^2)^2} > 0$

$S(x)$ は単調増加であるから

$$S(t) > S(t') \quad \text{すなわち} \quad S > S(t') \quad \cdots \textcircled{1}$$

$C' : y = -\frac{1}{2}x^2 + 2x - \frac{3}{2}$ と $y = -x^2$ のグラフの交点 P' の x 座標は

$$-\frac{1}{2}x^2 + 2x - \frac{3}{2} = -x^2 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + 4x - 3 = 0$$

$0 < x < 1$ に注意して $x = \sqrt{7} - 2$ すなわち $t' = \sqrt{7} - 2$

$$S(t') = \frac{t'}{1-t'^2} = \frac{\sqrt{7}-2}{1-(\sqrt{7}-2)^2} = \frac{\sqrt{7}-2}{4\sqrt{7}-10} = \frac{4+\sqrt{7}}{6} \quad \cdots \textcircled{2}$$

ここで $\frac{4+\sqrt{7}}{6} - 1.1 = \frac{5\sqrt{7}-13}{30} = \frac{1}{5(5\sqrt{7}+13)} > 0 \quad \cdots \textcircled{3}$

①, ②, ③ から $S > 1.1$

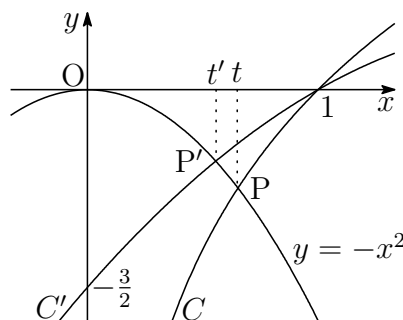
別解 (1), (2) の結果から

$$-2t^2 < -t^2 + 4t - 3 \iff \sqrt{7} - 2 < t < 1$$

$S(x) = \frac{x}{1-x^2} \quad (0 < x < 1)$ の単調増加性により

$$S(t) > S(\sqrt{7}-2) = \frac{\sqrt{7}-2}{4\sqrt{7}-10}$$

以下, ②, ③ より $S = S(t) > 1.1$



- 5** (1) n を平方数でない自然数とすると、 $\sqrt{n}$ が有理数であると仮定すると

$$\sqrt{n} = \frac{p}{q} \quad (p \text{ と } q \text{ は互いに素である自然数})$$

を満たす整数 p, q が存在する. この両辺を平方すると

$$n = \frac{p^2}{q^2} \quad \text{ゆえに} \quad nq = \frac{p^2}{q} \quad \dots \textcircled{1}$$

①の左辺は整数であり、右辺の p^2 は q と互いに素であるから

$$q = 1 \quad \text{これを①に代入して} \quad n = p^2$$

このとき、 n は平方数となり、条件に反し矛盾.

よって、 n が平方数でない自然数とすると、 $\sqrt{n}$ は無理数である.

- (2) a, b を正の有理数、 n を自然数とすると、 $a\sqrt{n} + b\sqrt{n+1}$ が有理数であると仮定すると

$$a\sqrt{n} + b\sqrt{n+1} = r \quad (r \text{ は有理数})$$

両辺を平方すると

$$\begin{aligned} a^2n + 2ab\sqrt{n(n+1)} + b^2(n+1) &= r^2 \\ \sqrt{n(n+1)} &= \frac{r^2 - a^2n - b^2(n+1)}{2ab} \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

②の右辺は有理数であるから、 $\sqrt{n(n+1)}$ は有理数である.

したがって、(1)の結果により、 $n(n+1)$ は平方数である.

一方、 $n^2 < n(n+1) < (n+1)^2$ より、 $n(n+1)$ が平方数ではないので矛盾.

よって、 a, b を正の有理数、 n を自然数とすると、 $a\sqrt{n} + b\sqrt{n+1}$ は無理数である. ■

$$\boxed{6} \quad (1) \quad f(x+y) = f(x) \cos y + f(y) \cos x \quad \cdots (*)$$

(*) に $x = y = 0$ を代入すると

$$f(0) = f(0) + f(0) \quad \text{ゆえに} \quad \mathbf{f(0) = 0}$$

(2) (1) の結果および $f(x)$ は $x = 0$ で微分可能であることに注意して

$$\begin{aligned} f'(a) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a) \cos h + f(h) \cos a - f(a)}{h} \end{aligned}$$

$g(x) = \cos x$ とおくと, $g(0) = 1$, $g'(x) = -\sin x$ より, $g'(0) = 0$

$$\begin{aligned} f'(a) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a)g(h) + f(h)g(a) - f(a)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ f(a) \cdot \frac{g(h) - g(0)}{h} + \frac{f(h) - f(0)}{h} g(a) \right\} \\ &= f(a)g'(0) + f'(0)g(a) \\ &= f'(0) \cos a \end{aligned}$$

よって, $f(x)$ は, $x = a$ で微分可能である.

(3) (2) と同様にして, $f'(x)$ を求めると

$$f'(x) = f'(0) \cos x$$

これに $f'(0) = 3$ を代入すると

$$\mathbf{f'(x) = 3 \cos x}$$

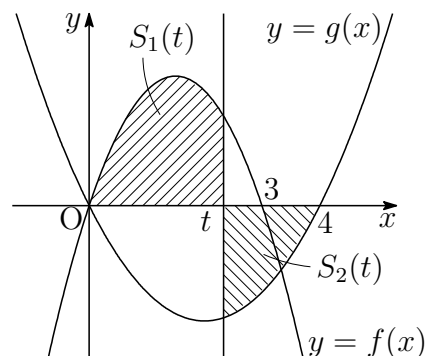
さらに, (1) の結果に注意して積分すると

$$\mathbf{f(x) = 3 \sin x}$$



7 (1) 右の図から

$$\begin{aligned} S_1(t) &= \int_0^t 2x(3-x) dx \\ &= \left[3x^2 - \frac{2}{3}x^3 \right]_0^t \\ &= 3t^2 - \frac{2}{3}t^3 \end{aligned}$$



(2) 右の図から

$$S_2(t) = \int_t^4 \{-x(x-4)\} dx = \left[-\frac{x^3}{3} + 2x^2 \right]_t^4 = \frac{t^3}{3} - 2t^2 + \frac{32}{3}$$

(3) (1),(2) の結果から

$$\begin{aligned} S(t) &= S_1(t) + S_2(t) \\ &= -\frac{t^3}{3} + t^2 + \frac{32}{3}, \\ S'(t) &= -t^2 + 2t = -t(t-2) \end{aligned}$$

したがって, $S(t)$ の増減表は次のようになる.

t	(0)	...	2	...	(3)
$S'(t)$		+	0	-	
$S(t)$		↗	極大	↘	

よって, 求める $S(t)$ の最大値は $S(2) = 12$



- 8 (1) C_2 は $C_1: y = x^2$ を x 軸方向に a , y 軸方向に $2a$ だけ平行移動したものであるから, C_2 の方程式は

$$y - 2a = (x - a)^2 \quad \text{すなわち} \quad y = x^2 - 2ax + a^2 + 2a \quad \cdots (*)$$

C_1 と C_2 の方程式から y を消去すると ($a > 0$)

$$x^2 = x^2 - 2ax + a^2 + 2a \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{a+2}{2}$$

これを C_1 の方程式に代入して $P\left(\frac{a+2}{2}, \frac{(a+2)^2}{4}\right)$

- (2) (*) を微分すると $y' = 2x - 2a$

これから, C_2 上の点 $P\left(\frac{a+2}{2}, \frac{(a+2)^2}{4}\right)$ における接線の傾きは

$$y' = 2 \cdot \frac{a+2}{2} - 2a = 2 - a$$

したがって, 求める接線の方程式は

$$y - \frac{(a+2)^2}{4} = (2-a) \left(x - \frac{a+2}{2}\right)$$

よって
$$y = (2-a)x + \frac{(a+2)(3a-2)}{4}$$

- (3) (2) で求めた接線の傾きと y 切片がともに正であるから

$$\begin{cases} 2-a > 0 \\ (a+2)(3a-2) > 0 \end{cases}$$

第1式を解いて $a < 2 \quad \cdots \textcircled{1}$

第2式を解いて $a < -2, \frac{2}{3} < a \quad \cdots \textcircled{2}$

$a > 0$ に注意して, $\textcircled{1}, \textcircled{2}$ の共通範囲を求めると $\frac{2}{3} < a < 2$ ■

- 9 (1) サイコロを 3 回投げ終えたとき、点 P の x 座標と y 座標が等しくなるとき、サイコロの目の出方の組合せは

$$\{1, 1, 2\}, \{1, 3, 4\}, \{3, 3, 6\}, \{1, 5, 6\}$$

よって、求める確率は

$$\left(\frac{3!}{2!} + 3! + \frac{3!}{2!} + 3!\right) \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{18}{6^3} = \frac{1}{12}$$

- (2) サイコロを n 回投げたとき、2 の目が 1 回と奇数の目が $n-1$ 回出る確率であるから

$${}_nC_1 \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = \frac{n}{3 \cdot 2^n}$$

- (3) (i) サイコロを $n-1$ 回投げ終えたときに点 P の y 座標が 0 ($n-1$ 回すべて奇数の奇数の目) で、 n 回投げ終えたときに点 P の y 座標が 4 以上 (n 回目に 4 または 6 の目) である確率は

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \times \frac{2}{6} = \frac{1}{3 \cdot 2^{n-1}}$$

- (ii) サイコロを $n-1$ 回投げ終えたときに点 P の y 座標が 2 で、 n 回投げ終えたときに点 P の y 座標が 4 以上 (n 回目に偶数の目) である確率は、(2) の結果を利用して

$$\frac{n-1}{3 \cdot 2^{n-1}} \times \frac{3}{6} = \frac{n-1}{3 \cdot 2^n}$$

求める確率は、(i) または (ii) の確率であるから

$$\frac{1}{3 \cdot 2^{n-1}} + \frac{n-1}{3 \cdot 2^n} = \frac{n+1}{3 \cdot 2^n}$$



4.5 2019年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 医学部 [5] [6] [7] [8] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農学部 [1] [2] [9] [10] 数I・II・A・B (120分)
- 教育学部 [2] [9] [10] 数I・II・A・B (100分)

[1] 10本のくじの中に、当たりくじが t 本、はずれくじが $(10-t)$ 本入っているものとする。この中からくじを3本続けて引くとき、次の問に答えよ。ただし、 $0 \leq t \leq 10$ とし、引いたくじは戻さないものとする。

- (1) 当たりくじがちょうど1本である確率を t を用いて表せ。
- (2) 当たりくじが1本以下である確率 $P(t)$ を t を用いて表せ。
- (3) (2)の $P(t)$ に対して、 $P(t) \leq \frac{1}{2}$ をみたす t をすべて求めよ。

[2] 座標空間の原点を O とし、4つの点

$$A(1, 0, -1), B(0, 1, 1), C(1, 1, 1), D\left(0, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

をとり、 $\triangle OAB$ の面積を α とする。このとき、次の問に答えよ。

- (1) α の値を求めよ。
- (2) 3点 O, A, B の定める平面に、点 C から垂線 CP を下ろす。

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$$

の形に表すとき、 s と t の値を求め、 $\overrightarrow{CP}$ を成分で表せ。

- (3) (2)で求めた $\overrightarrow{CP}$ に対して、点 E は、 $\overrightarrow{OE} = k\overrightarrow{CP}$ ($k > 0$)と表され、 $|\overrightarrow{OE}| = \alpha$ をみたすとする。 $\triangle ABC$ の重心を G とすると、 $\overrightarrow{OG} \perp \overrightarrow{DE}$ を示せ。

3 $a > 1$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 定積分 $\int_0^\pi \cos^2 x \, dx$, $\int_0^\pi \sin^2 x \, dx$, $\int_0^\pi \sin x \cos x \, dx$ を求めよ.
- (2) 曲線 $y = a \sin x + \frac{a}{a-1} \cos x$ ($0 \leq x \leq \pi$), x 軸, 2 直線 $x = 0$, $x = \pi$ で囲まれた部分を, x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積 V を a を用いて表せ.
- (3) $a > 1$ における, (2) の V の最小値とそのときの a の値を求めよ.

4 i を虚数単位とし, $\theta = \frac{2}{7}\pi$, $\alpha = \cos \theta + i \sin \theta$ とする. また,

$$f(x) = 8x^3 + 4x^2 - 4x - 1$$

とするとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\alpha^7 = 1$ および $\sum_{k=0}^6 \alpha^k = 0$ を示せ.
- (2) $\alpha + \frac{1}{\alpha} = 2 \cos \theta$ を示せ. これと (1) を用いて, $f(\cos \theta) = 0$ を示せ.
- (3) $f(\cos 2\theta) = 0$ を示せ.

5 10 本のくじの中に, 当たりくじが t 本, はずれくじが $(10-t)$ 本入っているものとする. この中からくじを 3 本続けて引くとき, 次の問に答えよ. ただし, $0 \leq t \leq 10$ とし, 引いたくじは戻さないものとする.

- (1) 当たりくじがちょうど 1 本である確率を t を用いて表せ.
- (2) 当たりくじが 1 本以下である確率を $P(t)$ とするとき, $P(t) \leq \frac{1}{2}$ をみたす t をすべて求めよ.

6 $a > 1$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 曲線 $y = a \sin x + \frac{a}{a-1} \cos x$ ($0 \leq x \leq \pi$), x 軸, 2 直線 $x = 0$, $x = \pi$ で囲まれた部分を, x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積 V を a を用いて表せ.
- (2) $a > 1$ における, (1) の V の最小値とそのときの a の値を求めよ.

- 7 i を虚数単位とし, $\theta = \frac{2}{7}\pi$, $\alpha = \cos \theta + i \sin \theta$ とする. また,

$$f(x) = 8x^3 + 4x^2 - 4x - 1$$

とするとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\alpha^7 = 1$ および $\sum_{k=0}^6 \alpha^k = 0$ を示せ.
- (2) $\alpha + \frac{1}{\alpha} = 2 \cos \theta$ を示せ. これと (1) を用いて, $f(\cos \theta) = 0$ を示せ.
- (3) $\cos 2\theta$, $\cos 3\theta$ が, 方程式 $f(x) = 0$ の解となることを示せ.

- 8 n, m を 0 以上の整数とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 自然数 x, y に対して, $x^2 + y^2$ が 3 の倍数ならば, x, y はともに 3 の倍数であることを示せ.
- (2) $x^2 + y^2 = 5 \cdot 3^{2n}$ をみたす自然数の組は (x, y) は

$$(3^n, 2 \cdot 3^n), (2 \cdot 3^n, 3^n)$$

のみであることを示せ.

- (3) $x^2 + y^2 = 7 \cdot 3^m$ をみたす自然数 x, y は存在しないことを示せ.

- 9 a を実数とし, $t = \sin x + \cos x$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\sin 2x$ を t を用いて表せ.
- (2) x がすべての実数を動くとき, t の動く範囲を求めよ.
- (3) x の方程式

$$\sin 2x - 2\sqrt{2}a(\sin x + \cos x) + 6a + 1 = 0$$

が実数解をもつような a の範囲を求めよ.

- 10 a を正の実数とする. C を放物線 $y = x^2$ とし, ℓ を直線 $y = 2ax - a^3$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) C と ℓ が異なる 2 点で交わる時, a の値の範囲を求めよ.
- (2) (1) のとき, C と ℓ で囲まれた図形の面積を S とする. S を a を用いて表せ.
- (3) (2) の S の最大値とそのときの a の値を求めよ.

解答例

- 1 (1) 当たりくじがちょうど1本であるとき, t 本の当たりくじから1本, $(10-t)$ 本のはずれくじから2本引くから

$$t \geq 1 \text{ かつ } 10-t \geq 2 \text{ すなわち } 1 \leq t \leq 8$$

上式の t の値について, その確率は

$$\frac{{}_t C_1 \cdot {}_{10-t} C_2}{{}_{10} C_3} = \frac{t(10-t)(9-t)}{240} \quad \dots \textcircled{1}$$

$t = 0, 9, 10$ のとき, 当たりくじをちょうど1本引くことはできないから, その確率は0で, このときも $\textcircled{1}$ は成立する.

よって, 求める確率は
$$\frac{t(10-t)(9-t)}{240}$$

- (2) 3本ともはずれくじとき, $(10-t)$ 本のはずれくじから3本引くから

$$10-t \geq 3 \text{ すなわち } t \leq 7$$

この t の値に, その確率は

$$\frac{{}_{10-t} C_3}{{}_{10} C_3} = \frac{(10-t)(9-t)(8-t)}{720}$$

$t = 8, 9, 10$ のとき, 3本ともはずれくじを引くことはできないから, その確率は0で, このときも上式は成立する. これと (1) の結果から

$$\begin{aligned} P(t) &= \frac{(10-t)(9-t)(8-t)}{720} + \frac{t(10-t)(9-t)}{240} \\ &= \frac{(10-t)(9-t)(4+t)}{360} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果を $P(t) \leq \frac{1}{2}$ に適用すると $\frac{(10-t)(9-t)(4+t)}{360} \leq \frac{1}{2}$

ゆえに $(t-5)(t^2-10t-36) \leq 0$

さらに $(t-5+\sqrt{61})(t-5)(t-5-\sqrt{61}) \leq 0$

これを解いて $t \leq 5-\sqrt{61}, 5 \leq t \leq 5+\sqrt{61}$

t は, $0 \leq t \leq 10$ を満たす整数であることに注意して

$$t = 5, 6, 7, 8, 9, 10$$



- 2 (1) $\vec{OA} = (1, 0, -1)$, $\vec{OB} = (0, 1, 1)$ より

$$|\vec{OA}|^2 = 2, \quad |\vec{OB}|^2 = 2, \quad \vec{OA} \cdot \vec{OB} = -1$$

$$\text{よって } \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{OA}|^2 |\vec{OB}|^2 - (\vec{OA} \cdot \vec{OB})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{2 \cdot 2 - (-1)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

- (2) $\vec{OP} = s\vec{OA} + t\vec{OB}$ より

$$\vec{CP} = \vec{OP} - \vec{OC} = s\vec{OA} + t\vec{OB} - \vec{OC} \quad \dots (*)$$

$\vec{OA} \perp \vec{CP}$, $\vec{OB} \perp \vec{CP}$ より, $\vec{OA} \cdot \vec{CP} = 0$, $\vec{OB} \cdot \vec{CP} = 0$ であるから

$$\vec{OA} \cdot (s\vec{OA} + t\vec{OB} - \vec{OC}) = 0, \quad \vec{OB} \cdot (s\vec{OA} + t\vec{OB} - \vec{OC}) = 0$$

$$\text{したがって } |\vec{OA}|^2 s + (\vec{OA} \cdot \vec{OB}) t = \vec{OA} \cdot \vec{OC},$$

$$(\vec{OA} \cdot \vec{OB}) s + |\vec{OB}|^2 t = \vec{OB} \cdot \vec{OC}$$

また, $\vec{OC} = (1, 1, 1)$ より, $\vec{OA} \cdot \vec{OC} = 0$, $\vec{OB} \cdot \vec{OC} = 2$ であるから

$$2s - t = 0, \quad -s + 2t = 2 \quad \text{これを解いて } s = \frac{2}{3}, \quad t = \frac{4}{3}$$

これを (*) に代入すると

$$\vec{CP} = \frac{2}{3}(1, 0, -1) + \frac{4}{3}(0, 1, 1) - (1, 1, 1) = \frac{1}{3}(-1, 1, -1)$$

- (3) (2) の結果から $|\vec{CP}| = \frac{1}{3} \sqrt{(-1)^2 + 1^2 + (-1)^2} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

$$\vec{OE} = k\vec{CP} \quad (k > 0), \quad |\vec{OE}| = \alpha \text{ より}$$

$$\alpha = k|\vec{CP}| \quad \text{ゆえに } \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{3}k \quad \text{これから } k = \frac{3}{2}$$

$$\text{したがって } \vec{OE} = \frac{3}{2}\vec{CP} = \frac{1}{2}(-1, 1, -1),$$

$$\begin{aligned} \vec{DE} &= \vec{OE} - \vec{OD} = \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right) - \left(0, -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right) \\ &= \frac{1}{2}(-1, 2, -2) \end{aligned}$$

$\triangle ABC$ の重心が G であるから

$$\vec{OG} = \frac{1}{3}(\vec{OA} + \vec{OB} + \vec{OC}) = \frac{1}{3}(2, 2, 1)$$

$$\text{ゆえに } \vec{OG} \cdot \vec{DE} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \{2 \cdot (-1) + 2 \cdot 2 + 1 \cdot (-2)\} = 0 \quad \text{よって } \vec{OG} \perp \vec{DE}$$



$$\begin{aligned}
\boxed{3} \quad (1) \quad & \int_0^\pi \cos^2 x \, dx = \frac{1}{2} \int_0^\pi (1 + \cos 2x) \, dx = \frac{1}{2} \left[x + \frac{1}{2} \sin 2x \right]_0^\pi = \frac{\pi}{2} \\
& \int_0^\pi \sin^2 x \, dx = \frac{1}{2} \int_0^\pi (1 - \cos 2x) \, dx = \frac{1}{2} \left[x - \frac{1}{2} \sin 2x \right]_0^\pi = \frac{\pi}{2} \\
& \int_0^\pi \sin x \cos x \, dx = \frac{1}{2} \int_0^\pi \sin 2x \, dx = -\frac{1}{4} \left[\cos 2x \right]_0^\pi = 0
\end{aligned}$$

(2) 求める立体の体積 V は, (1) の結果を利用して

$$\begin{aligned}
\frac{V}{\pi} &= \int_0^\pi \left(a \sin x + \frac{a}{a-1} \cos x \right)^2 dx \\
&= a^2 \int_0^\pi \sin^2 x \, dx + \frac{2a^2}{a-1} \int_0^\pi \sin x \cos x \, dx + \left(\frac{a}{a-1} \right)^2 \int_0^\pi \cos^2 x \, dx \\
&= a^2 \cdot \frac{\pi}{2} + \frac{2a^2}{a-1} \cdot 0 + \left(\frac{a}{a-1} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} \left\{ a^2 + \left(\frac{a}{a-1} \right)^2 \right\}
\end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad V = \frac{\pi^2}{2} \left\{ a^2 + \left(\frac{a}{a-1} \right)^2 \right\}$$

$$\begin{aligned}
(3) \quad a^2 &= \{(a-1) + 1\}^2 = (a-1)^2 + 2(a-1) + 1 \\
\left(\frac{a}{a-1} \right)^2 &= \left(\frac{1}{a-1} + 1 \right)^2 = \frac{1}{(a-1)^2} + \frac{2}{a-1} + 1
\end{aligned}$$

$b = a - 1$ とおくと, $a > 1$ より, $b > 0$ であるから

$$\begin{aligned}
a^2 + \left(\frac{a}{a-1} \right)^2 &= b^2 + 2b + 1 + \frac{1}{b^2} + \frac{2}{b} + 1 \\
&= b^2 + \frac{1}{b^2} + 2 \left(b + \frac{1}{b} \right) + 2 \\
&= b^2 - 2 + \frac{1}{b^2} + 2 \left(b - 2 + \frac{1}{b} \right) + 8 \\
&= \frac{(b^2 - 1)^2}{b^2} + \frac{(b - 1)^2}{b} + 8 \geq 8 \quad \cdots (*)
\end{aligned}$$

$b = 1$, すなわち, $a = 2$ のとき, $(*)$ において等号が成立する.

$(*)$ および (1) の結果から, $a = 2$ のとき, V は最小値 $4\pi^2$ をとる. ■

4 (1) $\theta = \frac{2}{7}\pi$, $\alpha = \cos \theta + i \sin \theta \cdots$ ① より

$$\alpha^7 = (\cos \theta + i \sin \theta)^7 = \cos 7\theta + i \sin 7\theta = \cos 2\pi + i \sin 2\pi = 1$$

$\alpha^7 - 1 = 0$ であるから, 等式 $\alpha^7 - 1 = (\alpha - 1) \sum_{k=0}^6 \alpha^k$ により

$$(\alpha - 1) \sum_{k=0}^6 \alpha^k = 0 \quad \text{また, } \alpha - 1 \neq 0 \text{ より} \quad \sum_{k=0}^6 \alpha^k = 0$$

(2) (1) の結果から $\alpha^6 + \alpha^5 + \alpha^4 + \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1 = 0 \quad \cdots (*)$

$$\text{したがって} \quad \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1 + \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^3} = 0$$

$$\alpha^3 + \frac{1}{\alpha^3} = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^3 - 3\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right), \quad \alpha^2 + \frac{1}{\alpha^2} = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 - 2 \text{ により}$$

$$\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^3 + \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 - 2\left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right) - 1 = 0$$

① および $\frac{1}{\alpha} = \cos \theta - i \sin \theta$ より, $\alpha + \frac{1}{\alpha} = 2 \cos \theta$ であるから

$$\begin{aligned} (2 \cos \theta)^3 + (2 \cos \theta)^2 - 2(2 \cos \theta) - 1 &= 0 \\ 8 \cos^3 \theta + 4 \cos^2 \theta - 4 \cos \theta - 1 &= 0 \end{aligned}$$

上式より, $f(x) = 8x^3 + 4x^2 - 4x - 1$ について $f(\cos \theta) = 0$

(3) $\beta = \alpha^2$ とすると, $\alpha^7 = 1$ および (*) により

$$\begin{aligned} \beta^6 + \beta^5 + \beta^4 + \beta^3 + \beta^2 + \beta + 1 &= \alpha^{12} + \alpha^{10} + \alpha^8 + \alpha^6 + \alpha^4 + \alpha^2 + 1 \\ &= \alpha^5 + \alpha^3 + \alpha + \alpha^6 + \alpha^4 + \alpha^2 + 1 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\beta = \cos 2\theta + i \sin 2\theta \text{ であるから} \quad \beta + \frac{1}{\beta} = 2 \cos 2\theta$$

したがって, (2) と同様にして $f(\cos 2\theta) = 0$ ■

- 5** (1) **1** (1) を参照.
 (2) **1** (2), (3) を参照を参照. ■

- 6** (1) **3** (2) を参照.
 (2) **3** (3) を参照を参照. ■

- 7** (1) **4** (1) を参照.
 (2) **4** (2) を参照を参照.
 (3) **4** (3) より, $\cos 2\theta$ は $f(x) = 0$ の解である.
 $\gamma = \alpha^3$ とすると, $\alpha^7 = 1$ および (*) により

$$\begin{aligned}\gamma^6 + \gamma^5 + \gamma^4 + \gamma^3 + \gamma^2 + \gamma + 1 &= \alpha^{18} + \alpha^{15} + \alpha^{12} + \alpha^9 + \alpha^6 + \alpha^3 + 1 \\ &= \alpha^4 + \alpha + \alpha^5 + \alpha^2 + \alpha^6 + \alpha^3 + 1 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\gamma = \cos 3\theta + i \sin 3\theta \text{ であるから } \gamma + \frac{1}{\gamma} = 2 \cos 3\theta$$

同様に, $\cos 3\theta$ は $f(x) = 0$ の解である. ■

- 8 (1) $x \equiv 0 \implies x^2 \equiv 0, x \equiv \pm 1 \implies x^2 \equiv 1 \pmod{3}$ より

$$x^2 \equiv 0 \iff x \equiv 0, \quad x^2 \equiv 1 \iff x \equiv \pm 1, \quad x^2 \not\equiv -1 \pmod{3}$$

よって $x^2 + y^2 \equiv 0 \implies x^2 \equiv y^2 \equiv 0 \implies x \equiv y \equiv 0 \pmod{3}$

(2)
$$x^2 + y^2 = 5 \cdot 3^{2n} \quad \dots (*)$$

- (i) $(*)$ について, $n = 0$ のとき $x^2 + y^2 = 5$

これをみたす自然数 x, y は 1 または 2 であるから, 求める組は

$$(x, y) = (1, 2), (2, 1)$$

- (ii) $(*)$ について, $n > 0$ のとき, $(*)$ は 3 の倍数であるから, (1) の結果から x, y はともに 3 の倍数であるから, x, y が 3^l ($l \leq n$) で割り切れ, $\frac{x}{3^l}, \frac{y}{3^l}$ の少なくとも一方は 3 で割り切れないとする.

$$\left(\frac{x}{3^l}\right)^2 + \left(\frac{y}{3^l}\right)^2 = 5 \cdot 3^{2(n-l)}$$

$l < n$ ならば, 上式の右辺は 3 の倍数となり, (1) の結論から, $\frac{x}{3^l}, \frac{y}{3^l}$ がともに 3 で割り切れ, 矛盾を生じる.

したがって, $l = n$ となり
$$\left(\frac{x}{3^n}\right)^2 + \left(\frac{y}{3^n}\right)^2 = 5$$

(i) の結果を利用して
$$\left(\frac{x}{3^n}, \frac{y}{3^n}\right) = (1, 2), (2, 1)$$

(i),(ii) より $(x, y) = (3^n, 2 \cdot 3^n), (2 \cdot 3^n, 3^n)$

(3)
$$x^2 + y^2 = 7 \cdot 3^m \quad \dots (**)$$

- (i) $(**)$ について, $m = 0$ のとき $x^2 + y^2 = 7$

これをみたす自然数 (x, y) の組は存在しない.

- (ii) $(**)$ について, $m > 0$ のとき, $(**)$ は 3 の倍数であるから, (1) の結果から x, y はともに 3 の倍数であるから, x, y が 3^k ($2k \leq m$) で割り切れ, $\frac{x}{3^k}, \frac{y}{3^k}$ の少なくとも一方は 3 で割り切れないとする.

$$\left(\frac{x}{3^k}\right)^2 + \left(\frac{y}{3^k}\right)^2 = 7 \cdot 3^{m-2k}$$

$2k < m$ ならば, 上式の右辺は 3 の倍数となり, (1) の結論から, $\frac{x}{3^k}, \frac{y}{3^k}$ がともに 3 で割り切れ, 矛盾を生じる.

したがって, $2k = m$ となり
$$\left(\frac{x}{3^k}\right)^2 + \left(\frac{y}{3^k}\right)^2 = 7$$

(i) の結果により, これをみたす自然数 $\frac{x}{3^k}, \frac{y}{3^k}$ は存在しない.

(i),(ii) により, $(**)$ をみたす自然数 x, y は存在しない. ■

9 (1) $t = \sin x + \cos x$ より

$$t^2 = (\sin x + \cos x)^2 = 1 + 2 \sin x \cos x = 1 + \sin 2x$$

よって $\sin 2x = t^2 - 1$

(2) $t = \sin x + \cos x = \sqrt{2} \sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right)$ より $-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$

(3) x の方程式

$$\sin 2x - 2\sqrt{2}a(\sin x + \cos x) + 6a + 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

について, (1), (2) の結果から

$$\begin{aligned} (*) \text{ の左辺} &= (t^2 - 1) - 2\sqrt{2}at + 6a + 1 \\ &= t^2 - 2\sqrt{2}at + 6a \\ &= (t - \sqrt{2}a)^2 - 2a^2 + 6a \end{aligned}$$

t に関する 2 次関数

$$f(t) = t^2 - 2\sqrt{2}at + 6a \quad (-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2})$$

の最大値を M , 最小値を m とすると

$$M = \begin{cases} f(-\sqrt{2}) & (a > 0) \\ f(\sqrt{2}) & (a \leq 0) \end{cases}, \quad m = \begin{cases} f(-\sqrt{2}) & (a < -1) \\ f(\sqrt{2}a) & (-1 \leq a \leq 1) \\ f(\sqrt{2}) & (1 < a) \end{cases}$$

$$f(\sqrt{2}) = 2a + 2, \quad f(-\sqrt{2}) = 10a + 2, \quad f(\sqrt{2}a) = -2a(a - 3) \text{ より}$$

(i) $a < -1$ のとき $M = f(\sqrt{2}) < 0$

(ii) $-1 \leq a \leq 0$ のとき $\begin{cases} M = f(\sqrt{2}) \geq 0 \\ m = f(\sqrt{2}a) \leq 0 \end{cases}$

(iii) $0 < a \leq 1$ のとき $m = f(\sqrt{2}a) > 0$

(iv) $1 < a$ のとき $m = f(\sqrt{2}) > 0$

(i)~(iv) より, $(*)$ が実数解をもつ a の値の範囲は $-1 \leq a \leq 0$ ■

- 10** (1) $C: y = x^2$ と $\ell: y = 2ax - a^3$ から y を消去して整理すると

$$x^2 - 2ax + a^3 = 0 \quad \cdots (*)$$

C と ℓ が異なる 2 点で交わる時、 $(*)$ の判別式を D とすると

$$D/4 = a^2 - a^3 > 0 \quad \text{ゆえに} \quad a^2(a-1) < 0$$

$$a > 0 \text{ により} \quad 0 < a < 1$$

- (2) 2 次方程式 $(*)$ の解は $x = a \pm \sqrt{a^2 - a^3}$

$$\alpha = a - \sqrt{a^2 - a^3}, \quad \beta = a + \sqrt{a^2 - a^3} \text{ とおくと}$$

$$x^2 - 2ax + a^3 = (x - \alpha)(x - \beta), \quad \beta - \alpha = 2\sqrt{a^2 - a^3}$$

求める図形の面積 S は、上の 2 式に注意して

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} \{(2ax - a^3) - x^2\} dx \\ &= - \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx \\ &= \frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 = \frac{1}{6}(2\sqrt{a^2 - a^3})^3 = \frac{4}{3}\{a^2(1 - a)\}^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

- (3) 3 正数 $a, a, 2(1 - a)$ の相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{a + a + 2(1 - a)}{3} \geq \sqrt[3]{a \cdot a \cdot 2(1 - a)} \quad \text{ゆえに} \quad a^2(1 - a) \leq \frac{4}{27}$$

上式において、等号が成立するは $a = 2(1 - a)$ すなわち $a = \frac{2}{3}$

よって、 $a = \frac{2}{3}$ のとき、 S は最大値 $\frac{4}{3} \left(\frac{4}{27} \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{32\sqrt{3}}{729}$ をとる. ■

4.6 2020 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [1] [3] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [1] [2] [7] [8] 数 I・II・A・B (120 分)
- 教育学部 [1] [2] [7] 数 I・II・A・B (100 分)

[1] ある病原菌の検査試薬は、その病原菌に感染している個体に対し誤って陰性反応を示す確率が $\frac{3}{100}$ であり、感染していない個体に対し誤って陽性反応を示す確率が $\frac{1}{100}$ である。ある集団にこの試薬で病原菌の検査を行い、全体の 4% が陽性反応を示したとき、次の問に答えよ。

- (1) 病原菌に感染している個体が陽性反応を示す確率を求めよ。
- (2) この集団から 1 つの個体を取り出すとき、その個体が病原菌に感染している確率を求めよ。
- (3) この集団の中で陽性反応を示した個体が、実際は病原菌に感染していない確率を求めよ。

[2] 平面上に $OA = 2$, $OB = 1$, $\angle AOB = \theta$ となる $\triangle OAB$ がある。辺 AB を $2:1$ に内分する点を C とするとき、次の問に答えよ。

- (1) $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とする。このとき、 $\overrightarrow{OC}$ および $\overrightarrow{AC}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ。
- (2) $f(\theta) = |\overrightarrow{AC}| + \sqrt{2}|\overrightarrow{OC}|$ とするとき、 $f(\theta)$ を θ を用いて表せ。
- (3) $0 < \theta < \pi$ における $f(\theta)$ の最大値、およびそのときの $\cos \theta$ の値を求めよ。

[3] $0 < t < 2$ とする。 $f(x) = x(3-x)$, $g(x) = 2x(x-2)$ とおく。曲線 $y = f(x)$ ($0 \leq x \leq t$) と直線 $x = t$ および x 軸で囲まれた図形を x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積を $V_1(t)$ とする。曲線 $y = g(x)$ ($t \leq x \leq 2$) と直線 $x = t$ および x 軸で囲まれた図形を x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積を $V_2(t)$ とする。 $V(t) = V_1(t) + V_2(t)$ とおくとき、次の問に答えよ。

- (1) $V_1(t)$ を t を用いて表せ。
- (2) $V_2(t)$ を t を用いて表せ。
- (3) $0 < t < 2$ における $V(t)$ の増減を調べ、極値を求めよ。

4 自然数 n に対して,

$$a_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \sin x \, dx, \quad b_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \cos x \, dx$$

とおくとき, 次の問に答えよ.

- (1) a_1 および b_1 を求めよ.
- (2) $n \geq 2$ のとき, a_n を n , b_{n-1} を用いて表せ. また, b_n を n , a_{n-1} を用いて表せ.
- (3) すべての自然数 n に対して, $0 \leq a_n \leq \frac{\pi}{2(n+1)}$ を示せ. また, 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} na_n$ および $\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 b_n$ を求めよ.

5 次の問に答えよ.

- (1) p, q を正の実数とし, 正の実数 α, β が

$$\alpha - \beta = q, \quad \alpha\beta = \left(\frac{p}{3}\right)^3$$

を満たすとする. このとき, $\sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta}$ は, 方程式

$$x^3 + px - q = 0$$

の解であることを示せ.

- (2) 3次方程式 $x^3 + 6x - 2 = 0$ は, ただ1つの実数解をもつ. この実数解を求めよ. ただし, ただ1つの実数解をもつことは証明しなくてよい.
- (3) 実数

$$\sqrt[3]{1 + \sqrt{\frac{28}{27}}} - \sqrt[3]{-1 + \sqrt{\frac{28}{27}}}$$

は有理数である. この有理数の値を求めよ.

6 自然数 n に対して,

$$a_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \sin x \, dx, \quad b_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \cos x \, dx$$

とおくとき, 次の問に答えよ.

- (1) a_1 および b_1 を求めよ.
- (2) $n \geq 2$ のとき, a_n を n , b_{n-1} を用いて表せ. また, b_n を n , a_{n-1} を用いて表せ.
- (3) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} na_n$ および $\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 b_n$ を求めよ.

7 円 $x^2 + (y - 2)^2 = 25$ を C , 直線 $y = -2x + 7$ を ℓ とする. また, 円 C と直線 ℓ の共有点を $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$ とする. ただし, $x_1 < x_2$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 点 A , B の座標を求めよ.
- (2) 放物線 $y = ax^2 + bx + c$ が点 A , B および $C(3, -2)$ を通るとき, a , b , c の値を求めよ.
- (3) (2) で求めた放物線の点 A , B における接線とこの放物線で囲まれた図形の面積を求めよ.

8 次の問に答えよ.

- (1) t を実数とするとき, x に関する方程式

$$x + \frac{1}{x} = t$$

の正の実数解の個数を求めよ.

- (2) k を正の実数とするとき, x に関する方程式

$$x^2 + \frac{1}{x^2} - 8 \left(x + \frac{1}{x} \right) + 17 = k$$

の正の実数解の個数を求めよ.

解答例

- 1 (1) 感染している事象を X , 陽性と判定される事象を Y とすると

$$P_X(\bar{Y}) = \frac{3}{100}, \quad P_{\bar{X}}(Y) = \frac{1}{100}, \quad P(Y) = \frac{4}{100} \quad \cdots (*)$$

上の第1式および第2式から

$$\left. \begin{aligned} P_X(Y) &= 1 - P_X(\bar{Y}) = 1 - \frac{3}{100} = \frac{97}{100} \\ P_{\bar{X}}(\bar{Y}) &= 1 - P_{\bar{X}}(Y) = 1 - \frac{1}{100} = \frac{99}{100} \end{aligned} \right\} \quad \cdots (**)$$

よって, 求める確率 $P_X(Y)$ は $\frac{97}{100}$

$$\begin{aligned} (2) \quad P(Y) &= P(X \cap Y) + P(\bar{X} \cap Y), \\ P(X \cap Y) &= P(X)P_X(Y), \\ P(\bar{X} \cap Y) &= P(\bar{X})P_{\bar{X}}(Y) = \{1 - P(X)\}P_{\bar{X}}(Y) \end{aligned}$$

上の第2式, 第3式を第1式に代入すると

$$P(Y) = P(X)P_X(Y) + \{1 - P(X)\}P_{\bar{X}}(Y)$$

(*), (**) をこれに代入すると

$$\frac{4}{100} = P(X) \cdot \frac{97}{100} + \{1 - P(X)\} \cdot \frac{1}{100}$$

よって, 求める確率 $P(X)$ は $\frac{1}{32}$

- (3) (1), (2) の結果により, 求める確率は

$$\begin{aligned} P_Y(\bar{X}) &= \frac{P(Y \cap \bar{X})}{P(Y)} = \frac{P(Y) - P(Y \cap X)}{P(Y)} = 1 - \frac{P(X \cap Y)}{P(Y)} \\ &= 1 - \frac{P(X)}{P(Y)} \cdot \frac{P(X \cap Y)}{P(X)} = 1 - \frac{P(X)}{P(Y)} \cdot P_X(Y) \\ &= 1 - \frac{1}{32} \cdot \frac{100}{4} \cdot \frac{97}{100} = \frac{31}{128} \end{aligned}$$

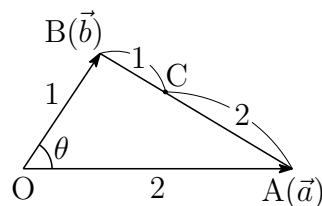
$$\begin{aligned} \text{別解 } P_Y(\bar{X}) &= \frac{P(Y \cap \bar{X})}{P(Y)} = \frac{P(\bar{X})}{P(Y)} \cdot \frac{P(\bar{X} \cap Y)}{P(\bar{X})} = \frac{1 - P(X)}{P(Y)} \cdot P_{\bar{X}}(Y) \\ &= \left(1 - \frac{1}{32}\right) \cdot \frac{100}{4} \cdot \frac{1}{100} = \frac{31}{128} \end{aligned}$$

■

- 2** (1) 点 C は AB を 2 : 1 に内分するから

$$\overrightarrow{OC} = \frac{\vec{a} + 2\vec{b}}{3}$$

$$\overrightarrow{AC} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB} = \frac{2}{3}(\vec{b} - \vec{a})$$



- (2) 与えられた条件から

$$|\vec{a}| = 2, \quad |\vec{b}| = 1, \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \theta = 2 \cos \theta$$

上式および (1) の結果から

$$|\overrightarrow{AC}| = \frac{2}{3}|\vec{b} - \vec{a}| = \frac{2}{3}\sqrt{|\vec{a}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{b}|^2} = \frac{2}{3}\sqrt{5 - 4 \cos \theta},$$

$$|\overrightarrow{OC}| = \frac{1}{3}|\vec{a} + 2\vec{b}| = \frac{1}{3}\sqrt{|\vec{a}|^2 + 4\vec{a} \cdot \vec{b} + 4|\vec{b}|^2} = \frac{2\sqrt{2}}{3}\sqrt{1 + \cos \theta}$$

$$\begin{aligned} \text{よって } f(\theta) &= |\overrightarrow{AC}| + \sqrt{2}|\overrightarrow{OC}| = \frac{2}{3}\sqrt{5 - 4 \cos \theta} + \sqrt{2} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3}\sqrt{1 + \cos \theta} \\ &= \frac{2}{3}(\sqrt{5 - 4 \cos \theta} + 2\sqrt{1 + \cos \theta}) \end{aligned}$$

- (3) $x = \sqrt{5 - 4 \cos \theta}$, $y = 2\sqrt{1 + \cos \theta}$ とおくと ($0 < \theta < \pi$)

$$(x + y)^2 = 2(x^2 + y^2) - (x - y)^2 = 18 - (x - y)^2 \leq 18 \quad \cdots (*)$$

(*) において, 等号が成立するとき, $x - y = 0$ であるから

$$\sqrt{5 - 4 \cos \theta} - 2\sqrt{1 + \cos \theta} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \cos \theta = \frac{1}{8}$$

(*) および $f(\theta) = \frac{2}{3}(x + y)$ より

$$f(\theta) = \frac{2}{3}(x + y) \leq \frac{2}{3}\sqrt{18} = 2\sqrt{2}$$

よって, $f(\theta)$ は, $\cos \theta = \frac{1}{8}$ のとき最大値 $2\sqrt{2}$ をとる. ■

- 3** (1) $f(x) = x(3-x)$ のとき, 曲線 $y = f(x)$ ($0 \leq x \leq t$) と直線 $x = t$ および x 軸で囲まれた図形を x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積 $V_1(t)$ は

$$\begin{aligned} V_1(t) &= \pi \int_0^t x^2(3-x)^2 dx \quad \cdots \textcircled{1} \\ &= \pi \int_0^t (x^4 - 6x^3 + 9x^2) dx \\ &= \pi \left[\frac{x^5}{5} - \frac{3}{2}x^4 + 3x^3 \right]_0^t = \pi \left(\frac{t^5}{5} - \frac{3}{2}t^4 + 3t^3 \right) \end{aligned}$$

- (2) $g(x) = 2x(x-2)$ のとき, 曲線 $y = g(x)$ ($t \leq x \leq 2$) と直線 $x = t$ および x 軸で囲まれた図形を x 軸の周りに 1 回転してできる立体の体積 $V_2(t)$ は

$$\begin{aligned} V_2(t) &= \pi \int_t^2 4x^2(x-2)^2 dx \quad \cdots \textcircled{2} \\ &= 4\pi \int_t^2 (x^4 - 4x^3 + 4x^2) dx \\ &= 4\pi \left[\frac{x^5}{5} - x^4 + \frac{4}{3}x^3 \right]_t^2 \\ &= 4\pi \left(-\frac{t^5}{5} + t^4 - \frac{4}{3}t^3 + \frac{16}{15} \right) \end{aligned}$$

- (3) ①, ② より

$$V_1'(t) = \pi t^2(3-t)^2, \quad V_2'(t) = -4\pi t^2(2-t)^2$$

$V(t) = V_1(t) + V_2(t)$ より

$$\begin{aligned} V'(t) &= \pi t^2(3-t)^2 - 4\pi t^2(2-t)^2 \\ &= \pi t^2\{(3-t)^2 - 4(2-t)^2\} = \pi t^2(7-3t)(t-1) \end{aligned}$$

したがって, $0 < t < 2$ における $V(t)$ の増減は

t	(0)	...	1	...	(2)
$V'(t)$		-	0	+	
$V(t)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

(1), (2) の結果から, 極小値は

$$V(1) = V_1(1) + V_2(1) = \frac{17}{10}\pi + \frac{32}{15}\pi = \frac{23}{6}\pi$$



4 (1) $a_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \sin x \, dx, \quad b_n = \left(\frac{2}{\pi}\right)^n \int_0^{\frac{\pi}{2}} x^n \cos x \, dx \quad (n \text{ は自然数})$

上の 2 式について, $x = \frac{\pi}{2}t$ とおくと $\frac{dx}{dt} = \frac{\pi}{2}$

x	$0 \longrightarrow \frac{\pi}{2}$
t	$0 \longrightarrow 1$

$$(*) \quad a_n = \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t \, dt, \quad b_n = \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \cos \frac{\pi}{2}t \, dt \quad (n \text{ は自然数})$$

(*) に $n = 1$ を代入すると

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\pi}{2} \int_0^1 t \sin \frac{\pi}{2}t \, dt = \left[-t \cos \frac{\pi}{2}t + \frac{2}{\pi} \sin \frac{\pi}{2}t \right]_0^1 = \frac{2}{\pi} \\ b_1 &= \frac{\pi}{2} \int_0^1 t \cos \frac{\pi}{2}t \, dt = \left[t \sin \frac{\pi}{2}t + \frac{2}{\pi} \cos \frac{\pi}{2}t \right]_0^1 = 1 - \frac{2}{\pi} \end{aligned}$$

(2) (*) より, $n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t \, dt = - \int_0^1 t^n \left(\cos \frac{\pi}{2}t \right)' dt \\ &= - \left[t^n \cos \frac{\pi}{2}t \right]_0^1 + n \int_0^1 t^{n-1} \cos \frac{\pi}{2}t \, dt \\ &= \frac{2n}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^{n-1} \cos \frac{\pi}{2}t \, dt = \frac{2n}{\pi} b_{n-1}, \\ b_n &= \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \cos \frac{\pi}{2}t \, dt = \int_0^1 t^n \left(\sin \frac{\pi}{2}t \right)' dt \\ &= \left[t^n \sin \frac{\pi}{2}t \right]_0^1 - n \int_0^1 t^{n-1} \sin \frac{\pi}{2}t \, dt \\ &= 1 - \frac{2n}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^{n-1} \sin \frac{\pi}{2}t \, dt = 1 - \frac{2n}{\pi} a_{n-1} \end{aligned}$$

(3) $0 \leq t \leq 1$ において, $0 \leq t^n \sin \frac{\pi}{2}t \leq t^n$ であるから

$$0 \leq \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t \, dt \leq \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \, dt \quad \text{ゆえに} \quad 0 \leq a_n \leq \frac{\pi}{2(n+1)}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2(n+1)} = 0$ であるから, 上式にはさみうちの原理を適用すると

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$$

$0 \leq t \leq 1$ において, $0 \leq t^n \cos \frac{\pi}{2}t \leq t^n$ であるから

$$0 \leq \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n \cos \frac{\pi}{2}t dt \leq \frac{\pi}{2} \int_0^1 t^n dt \quad \text{ゆえに} \quad 0 \leq b_n \leq \frac{\pi}{2(n+1)}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2(n+1)} = 0$ であるから, 上式にはさみうちの原理を適用すると

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$$

(2)の結果より, $b_n = 1 - \frac{2n}{\pi}a_{n-1}$ であるから ($n \geq 2$)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{2n}{\pi}a_{n-1}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - na_{n-1}\right)$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$ であるから, $\lim_{n \rightarrow \infty} (n+1)a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} na_{n-1} = \frac{\pi}{2}$ より

$$\lim_{n \rightarrow \infty} na_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{n+1} \cdot (n+1)a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{1 + \frac{1}{n}} \cdot (n+1)a_n = \frac{\pi}{2}$$

(2)の結果より, $a_n = \frac{2n}{\pi}b_{n-1}$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^2b_{n-1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2}na_n = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi^2}{4}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} (n+1)^2b_n = \frac{\pi^2}{4}$ であるから

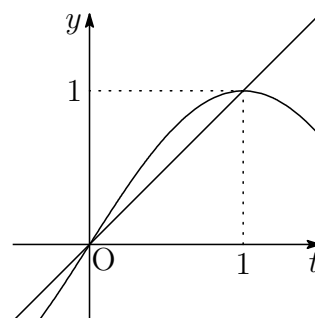
$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} n^2b_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2}{(n+1)^2} \cdot (n+1)^2b_n \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{(1 + \frac{1}{n})^2} \cdot (n+1)^2b_n = \frac{\pi^2}{4} \end{aligned}$$

別解 $0 \leq t \leq 1$ において, $t \leq \sin \frac{\pi}{2}t \leq 1$ より

$$\begin{aligned} \int_0^1 t^{n+1} dt &\leq \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t dt \leq \int_0^1 t^n dt \\ \frac{1}{n+2} &\leq \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t dt \leq \frac{1}{n+1} \end{aligned}$$

したがって

$$\frac{n\pi}{2(n+2)} \leq na_n \leq \frac{n\pi}{2(n+1)} \quad \text{ゆえに} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} na_n = \frac{\pi}{2}$$



- 5 (1) p, q, α, β は正の実数であるから, $\alpha\beta = \left(\frac{p}{3}\right)^3$ より $p = 3\sqrt[3]{\alpha\beta}$
 $q = \alpha - \beta$ であるから, 方程式 $x^3 + px - q = 0$ は

$$x^3 + 3\sqrt[3]{\alpha\beta}x - (\alpha - \beta) = 0 \quad \cdots (*)$$

$x = \sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta}$ を (*) の左辺に代入すると

$$\begin{aligned} (*) \text{ の左辺} &= (\sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta})^3 + 3\sqrt[3]{\alpha\beta}(\sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta}) - (\alpha - \beta) \\ &= \alpha - 3\sqrt[3]{\alpha^2\beta} + 3\sqrt[3]{\alpha\beta^2} - \beta \\ &\quad + 3\sqrt[3]{\alpha^2\beta} - 3\sqrt[3]{\alpha\beta^2} - \alpha + \beta \\ &= 0 \end{aligned}$$

よって, $\sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta}$ は方程式 $x^3 + px - q = 0$ の解である.

- (2) 3 次方程式 $x^3 + 6x - 2 = 0$ を (1) の結果に適用すると, $p = 6, q = 2$ より

$$\alpha - \beta = 2, \quad \alpha\beta = \left(\frac{6}{3}\right)^3 = 8$$

第 1 式から $\alpha = \beta + 2$ これを第 2 式に代入すると

$$(\beta + 2)\beta = 8 \quad \text{ゆえに} \quad (\beta - 2)(\beta + 4) = 0$$

与えられた方程式から, $\beta > 0$ に注意して $\beta = 2$ ゆえに $\alpha = 4$

求める実数解は $\sqrt[3]{\alpha} - \sqrt[3]{\beta}$, すなわち, $\sqrt[3]{4} - \sqrt[3]{2}$

$$(3) \quad t = \sqrt[3]{1 + \sqrt{\frac{28}{27}}} - \sqrt[3]{-1 + \sqrt{\frac{28}{27}}} \text{ とし,}$$

$$\alpha = 1 + \sqrt{\frac{28}{27}}, \quad \beta = -1 + \sqrt{\frac{28}{27}}$$

とすると

$$q = \alpha - \beta = 2, \quad p = 3\sqrt[3]{\alpha\beta} = 3\sqrt[3]{\frac{1}{27}} = 1$$

(1) の結果から, t は方程式 $x^3 + px - q = 0$, すなわち, $x^3 + x - 2 = 0$ の解であるから

$$(x - 1)(x^2 + x + 2) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = 1, \frac{-1 \pm \sqrt{7}i}{2}$$

t は実数であるから $t = 1$ よって 求める有理数は 1



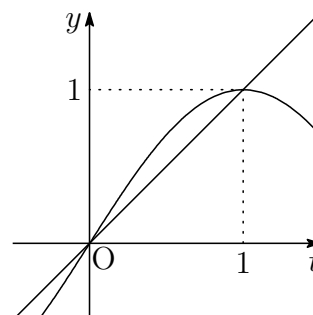
6 (1) 4 (1) を参照

(2) 4 (2) を参照

(3) $0 \leq t \leq 1$ において, $t \leq \sin \frac{\pi}{2}t \leq 1$ より

$$\int_0^1 t^{n+1} dt \leq \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t dt \leq \int_0^1 t^n dt$$

$$\frac{1}{n+2} \leq \int_0^1 t^n \sin \frac{\pi}{2}t dt \leq \frac{1}{n+1}$$



したがって

$$\frac{n\pi}{2(n+2)} \leq na_n \leq \frac{n\pi}{2(n+1)} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\pi}{2(1+\frac{2}{n})} \leq na_n \leq \frac{\pi}{2(1+\frac{1}{n})}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2(1+\frac{2}{n})} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2(1+\frac{1}{n})} = \frac{\pi}{2}$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} na_n = \frac{\pi}{2}$$

(2) の結果より, $a_n = \frac{2n}{\pi} b_{n-1}$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 b_{n-1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2} na_n = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{\pi^2}{4}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} (n+1)^2 b_n = \frac{\pi^2}{4}$ であるから

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} n^2 b_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2}{(n+1)^2} \cdot (n+1)^2 b_n \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{(1+\frac{1}{n})^2} \cdot (n+1)^2 b_n = \frac{\pi^2}{4} \end{aligned}$$

■

- 7 (1) $C: x^2 + (y-2)^2 = 25$ と直線 $\ell: y = -2x + 7$ の方程式から y を消去すると

$$x^2 + (-2x + 7 - 2)^2 = 25 \quad \text{整理すると} \quad x(x-4) = 0$$

これを解いて $x = 0, 4$ これらを ℓ の方程式に代入すると

$$x = 0 \text{ のとき } y = 7, \quad x = 4 \text{ のとき } y = -1$$

よって, x 座標に注意して $A(0, 7), B(4, -1)$

- (2) 放物線が点 $A(0, 7)$ を通るから, $y = ax^2 + bx + 7$ とおく.
これが 2 点 $B(4, -1), C(3, -2)$ を通るから

$$-1 = 16a + 4b + 7, \quad -2 = 9a + 3b + 7$$

これを解いて $a = 1, b = -6$

よって $a = 1, b = -6, c = 7$

- (3) (2) の結果から, $f(x) = x^2 - 6x + 7$ とおくと

$$f'(x) = 2x - 6$$

2 点 A, B における接線の傾きは, それぞれ

$$f'(0) = -6, \quad f'(4) = 2$$

C 上の点 $A(0, 7)$ における接線は

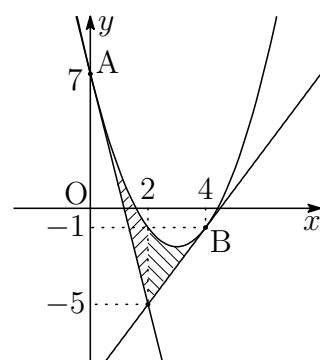
$$y = -6x + 7 \quad \cdots \textcircled{1}$$

C 上の点 $B(4, -1)$ における接線の方程式は

$$y - (-1) = 2(x - 4) \quad \text{すなわち} \quad y = 2x - 9 \quad \cdots \textcircled{2}$$

2 直線 ①, ② の交点の x 座標は

$$-6x + 7 = 2x - 9 \quad \text{これを解いて} \quad x = 2$$



よって、求める面積を S とすると ¹

$$\begin{aligned}
 S &= \int_0^2 \{(x^2 - 6x + 7) - (-6x + 7)\} dx \\
 &\quad + \int_2^4 \{(x^2 - 6x + 7) - (2x - 9)\} dx \\
 &= \int_0^2 x^2 dx + \int_2^4 (x - 4)^2 dx \\
 &= \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^2 + \left[\frac{1}{3}(x - 4)^3 \right]_2^4 = \frac{16}{3}
 \end{aligned}$$

- 8 (1) (*) $x + \frac{1}{x} = t$ より $x^2 - tx + 1 = 0$
 $f(x) = x^2 - tx + 1$ とおくと

$$f(0) = 1, \quad f(x) = \left(x - \frac{t}{2}\right)^2 + 1 - \frac{t^2}{4}$$

- (i) $t \leq 0$ のとき, $x > 0$ において, $f(x) > 0$ であるから,
 $f(x) = 0$, すなわち, (*) を満たす正の実数解 x は存在しない.
- (ii) $0 < t < 2$ のとき, $1 - \frac{t^2}{4} > 0$ より, $f(x) > 0$ であるから,
 $f(x) = 0$, すなわち, (*) を満たす正の実数解 x は存在しない.
- (iii) $t = 2$ のとき, $f(x) = (x - 1)^2$ により, $f(x) = 0$, すなわち,
 (*) を満たす正の実数解 x は 1 の 1 個のみ.
- (iv) $2 < t$ のとき, $1 - \frac{t^2}{4} < 0$ より, $f(x) = 0$, すなわち,
 (*) を満たす正の実数解 x は $\frac{t \pm \sqrt{t^2 - 4}}{2}$ の 2 個.
- (i)~(iv) から, (*) の正の実数解 x の個数は

$$\begin{cases} t < 2 \text{ のとき} & 0 \text{ 個} \\ t = 2 \text{ のとき} & 1 \text{ 個} \\ 2 < t \text{ のとき} & 2 \text{ 個} \end{cases}$$

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_bun.2009.pdf (p.6 の補足)

(2) k を正の実数とする x に関する方程式

$$(A) \quad x^2 + \frac{1}{x^2} - 8 \left(x + \frac{1}{x} \right) + 17 = k$$

について, $(*)$ より

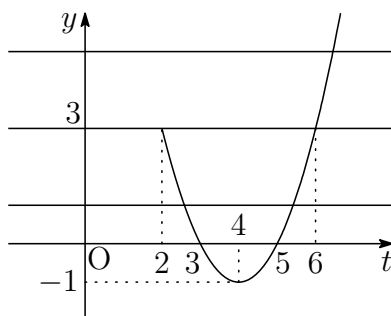
$$\begin{aligned} x^2 + \frac{1}{x^2} - 8 \left(x + \frac{1}{x} \right) + 17 &= \left(x + \frac{1}{x} \right)^2 - 8 \left(x + \frac{1}{x} \right) + 15 \\ &= t^2 - 8t + 15 \\ &= (t - 4)^2 - 1 \end{aligned}$$

$t \geq 2$ のとき

$$(t - 4)^2 - 1 = k \quad \cdots (**)$$

を満たす t の個数は, $y = (t - 4)^2 - 1$ ($2 \leq t$) と $y = k$ ($k > 0$) の共有点の個数である.

- (i) $0 < k < 3$ のとき, $(**)$ を満たす t が t_1 ($2 < t_1 < 3$), t_2 ($5 < t_2 < 6$) の 2 個存在し, それぞれの t の値に対して, 正の実数 x が 2 個ずつ存在する. したがって, (A) を満たす正の実数 x は 4 個存在する.
- (ii) $k = 3$ のとき, $(**)$ を満たす t は $t = 2, 6$ である. $t = 2$ に対する正の実数 x は 1 個, $t = 6$ に対する正の実数 x は 2 個存在する. したがって, (A) を満たす正の実数 x は 3 個存在する.
- (iii) $3 < k$ のとき, $(**)$ を満たす t が t_3 ($6 < t_3$) の 1 個存在し, この t の値に対して, 正の実数 x が 2 個ずつ存在する. したがって, (A) を満たす正の実数 x は 2 個存在する.



(i)~(iii) から, (A) の正の実数解 x の個数は

$$\begin{cases} 0 < k < 3 \text{ のとき} & 4 \text{ 個} \\ k = 3 \text{ のとき} & 3 \text{ 個} \\ 3 < k \text{ のとき} & 2 \text{ 個} \end{cases}$$



4.7 2021年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 医学部 [1] [3] [4] [5] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農学部 [1] [2] [3] [6] 数I・II・A・B (120分)
- 教育学部 [1] [2] [6] 数I・II・A・B (100分)

[1] $AB = 6$, $AC = 4$, $\cos B = \frac{3}{4}$ をみたす $\triangle ABC$ について、次の問に答えよ.

- (1) 辺 BC の長さを求めよ.
- (2) $\angle C$ が鋭角のとき, $\triangle ABC$ の面積を求めよ.
- (3) (2) の $\triangle ABC$ に対して, その外接円および内接円の半径をそれぞれ求めよ.

[2] $\alpha = \sqrt{2} + \sqrt{3}$ とするとき、次の問に答えよ.

- (1) α^2 と α^3 の値をそれぞれ求めよ.
- (2) $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{6}$ を, それぞれ有理数 a , b , c , d を用いて $a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d$ の形に表せ.
- (3) $\frac{1}{\alpha + 1}$ を, 有理数 a , b , c , d を用いて $a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d$ の形に表せ.
- (4) (1), (2), (3) で示した式のいずれかを用いることにより, α が有理数または無理数のどちらになるか, 理由をつけて答えよ. ただし, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{6}$ が無理数であることは用いてもよい.

[3] ベクトル $\vec{a} = (1, 3)$, $\vec{b} = (3, -1)$ のとき,

$$\begin{aligned}\vec{p} &= (\cos \theta)\vec{a} + (\sin \theta)\vec{b} \\ \vec{q} &= (\cos^2 \theta)\vec{a} + (\sin^2 \theta)\vec{b}\end{aligned}$$

とおく. ただし, $0 \leq \theta < 2\pi$ とする. このとき、次の問に答えよ.

- (1) $|\vec{a}|^2$, 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$, $|\vec{b}|^2$ の値をそれぞれ求め, 内積 $\vec{p} \cdot \vec{q}$ を θ を用いて表せ.
- (2) $t = \sin \theta + \cos \theta$ のとき, t のとりうる値の範囲を求めよ. また, 内積 $\vec{p} \cdot \vec{q}$ を t を用いて表せ.
- (3) 内積 $\vec{p} \cdot \vec{q}$ の最大値と最小値, およびそのときの θ の値をそれぞれ求めよ.

- 4 $f(x) = -x^3 + 4x$ とおく. 曲線 $y = f(x)$ 上の点 $P(t, f(t))$ における接線を ℓ とする. ただし, $0 < t < 2$ とする. $y = f(x)$ ($t \leq x \leq 2$), x 軸, および直線 $x = t$ で囲まれた部分の面積を $S_1(t)$ とする. $y = f(x)$ ($0 \leq x \leq t$), 直線 ℓ , および y 軸で囲まれた部分の面積を $S_2(t)$ とし, $S(t) = S_1(t) + S_2(t)$ とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ.
- (2) $S_1(t)$ を t を用いて表せ.
- (3) $S_2(t)$ を t を用いて表せ.
- (4) t が $0 < t < 2$ の範囲を動くとき, $S(t)$ の最小値とそのときの t の値を求めよ.

- 5 $\alpha = \sqrt{2} + \sqrt{3}$ とするとき, 次の問に答えよ.

- (1) $\sqrt{2}, \sqrt{3}, \sqrt{6}$ を, それぞれ有理数 a, b, c, d を用いて $a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d$ の形に表せ.
- (2) $\frac{1}{\alpha + 1}$ を, 有理数 a, b, c, d を用いて $a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d$ の形に表せ.
- (3) (1), (2) で示した式のいずれかを用いることにより, α が有理数または無理数のどちらになるか, 理由をつけて答えよ. ただし, $\sqrt{2}, \sqrt{3}, \sqrt{6}$ が無理数であることは用いてもよい.

- 6 $f(x) = 2x^2 + x + 1$ とおき, 放物線 $y = f(x)$ 上の点 $P(1, 4)$ における接線を ℓ とする. 点 P を通り, ℓ とのなす角が 45° である直線で, 傾きが正であるものを m とする. このとき, 次の問に答えよ.

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ.
- (2) 直線 m の方程式を求めよ.
- (3) $y = f(x)$ ($0 \leq x \leq 1$), 直線 m , および y 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

- 1 (1) $b = 4$, $c = 6$, $\cos B = \frac{3}{4}$ を余弦定理 $b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B$ に代入すると

$$16 = 36 + a^2 - 2 \cdot 6a \cdot \frac{3}{4} \quad \text{ゆえに} \quad a^2 - 9a + 20 = 0$$

したがって $(a - 4)(a - 5) = 0$ よって $BC = a = 4, 5$

- (2) $\angle C$ が鋭角であるから, $a^2 + b^2 > c^2$ をみたすとき, (1) の結果から

$$a = 5$$

$$\text{また} \quad \sin B = \sqrt{1 - \cos^2 B} = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

$$\text{よって} \quad \triangle ABC = \frac{1}{2}ca \sin B = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 5 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4} = \frac{15\sqrt{7}}{4}$$

- (3) $\triangle ABC$ の外接円および内接円の半径をそれぞれ R, r とおく.

$$\text{正弦定理により} \quad 2R = \frac{b}{\sin B}$$

$$R = \frac{b}{2 \sin B} = \frac{4}{2 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}} = \frac{8}{\sqrt{7}} = \frac{8}{7}\sqrt{7}$$

$\triangle ABC$ の周の長さを ℓ とすると $\ell = 5 + 4 + 6 = 15$

これと (2) の結果を $\frac{1}{2}r\ell = \triangle ABC$ に代入すると

$$\frac{1}{2}r \cdot 15 = \frac{15\sqrt{7}}{4} \quad \text{よって} \quad r = \frac{\sqrt{7}}{2}$$



2 (1) $\alpha = \sqrt{2} + \sqrt{3}$ より

$$\begin{aligned}\alpha^2 &= (\sqrt{2} + \sqrt{3})^2 = 5 + 2\sqrt{6}, \\ \alpha^3 &= \alpha^2\alpha = (5 + 2\sqrt{6})(\sqrt{2} + \sqrt{3}) \\ &= 5(\sqrt{2} + \sqrt{3}) + 4\sqrt{3} + 6\sqrt{2} = 11\sqrt{2} + 9\sqrt{3}\end{aligned}$$

(2) $\alpha = \sqrt{2} + \sqrt{3}$, $\alpha^3 = 11\sqrt{2} + 9\sqrt{3}$ より

$$\sqrt{2} = \frac{1}{2}(\alpha^3 - 9\alpha), \quad \sqrt{3} = \frac{1}{2}(-\alpha^3 + 11\alpha)$$

$$\alpha^2 = 5 + 2\sqrt{6} \text{ より } \sqrt{6} = \frac{1}{2}(\alpha^2 - 5)$$

(3) $\alpha^2 - 5 = 2\sqrt{6}$ の両辺を平方すると

$$\alpha^4 - 10\alpha^2 + 25 = 24 \quad \text{ゆえに} \quad \alpha^4 - 10\alpha^2 + 1 = 0$$

$\alpha^4 - 10\alpha^2 + 1$ を $\alpha + 1$ で割ることにより

$$\alpha^4 - 10\alpha^2 + 1 = (\alpha + 1)(\alpha^3 - \alpha^2 - 9\alpha + 9) - 8$$

上式の左辺は 0 であるから $8 = (\alpha + 1)(\alpha^3 - \alpha^2 - 9\alpha + 9)$

$$\text{よって} \quad \frac{1}{\alpha + 1} = \frac{1}{8}(\alpha^3 - \alpha^2 - 9\alpha + 9)$$

別解 (2) の結果から

$$\begin{aligned}\frac{1}{\alpha + 1} &= \frac{1}{\sqrt{2} + \sqrt{3} + 1} = \frac{1 + \sqrt{2} - \sqrt{3}}{(1 + \sqrt{2} + \sqrt{3})(1 + \sqrt{2} - \sqrt{3})} \\ &= \frac{1 + \sqrt{2} - \sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = \frac{1}{4}(2 + \sqrt{2} - \sqrt{6}) \\ &= \frac{1}{4}\left(2 + \frac{\alpha^3 - 9\alpha}{2} - \frac{\alpha^2 - 5}{2}\right) = \frac{1}{8}(\alpha^3 - \alpha^2 - 9\alpha + 9)\end{aligned}$$

$$(4) \quad \sqrt{6} = \frac{1}{2}(\alpha^2 - 5) \quad \dots (*)$$

α を有理数と仮定すると, $(*)$ の右辺は有理数であり, 左辺が無理数であることに反する. よって, α は無理数である. ■

3 (1) $\vec{a} = (1, 3)$, $\vec{b} = (3, -1)$ より

$$|\vec{a}|^2 = 1^2 + 3^2 = 10, \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = 1 \cdot 3 + 3 \cdot (-1) = 0, \quad |\vec{b}|^2 = 3^2 + (-1)^2 = 10$$

したがって

$$\begin{aligned} \vec{p} \cdot \vec{q} &= \{(\cos \theta) \vec{a} + (\sin \theta) \vec{b}\} \cdot \{(\cos^2 \theta) \vec{a} + (\sin^2 \theta) \vec{b}\} \\ &= (\cos^3 \theta) |\vec{a}|^2 + (\sin^3 \theta) |\vec{b}|^2 \\ &= 10(\sin^3 \theta + \cos^3 \theta) \end{aligned}$$

(2) (*) $t = \sin \theta + \cos \theta$ ($0 \leq \theta < 2\pi$) より

$$(**) \quad t = \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right) \quad \text{ゆえに} \quad -\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$$

また, (*) の両辺を平方すると

$$t^2 = 1 + 2 \sin \theta \cos \theta \quad \text{ゆえに} \quad \sin \theta \cos \theta = \frac{t^2 - 1}{2}$$

(*) と上式および (1) の結果から

$$\begin{aligned} \vec{p} \cdot \vec{q} &= 10(\sin^3 \theta + \cos^3 \theta) \\ &= 10(\sin \theta + \cos \theta)(1 - \sin \theta \cos \theta) \\ &= 10t \left(1 - \frac{t^2 - 1}{2} \right) = -5t^3 + 15t \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から, $f(t) = \vec{p} \cdot \vec{q}$ とおくと ($-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$)

$$f'(t) = -15t^2 + 15 = -15(t+1)(t-1)$$

t	$-\sqrt{2}$	$\dots$	-1	$\dots$	1	$\dots$	$\sqrt{2}$
$f'(t)$		$-$	0	$+$	0	$-$	
$f(t)$	$-5\sqrt{2}$	$\searrow$	-10	$\nearrow$	10	$\searrow$	$5\sqrt{2}$

(**) より $t = 1$ すなわち $\theta = 0, \frac{\pi}{2}$ のとき 最大値 10

$t = -1$ すなわち $\theta = \pi, \frac{3}{2}\pi$ のとき 最小値 -10



4 (1) $f(x) = -x^3 + 4x$ より $f'(x) = -3x^2 + 4$

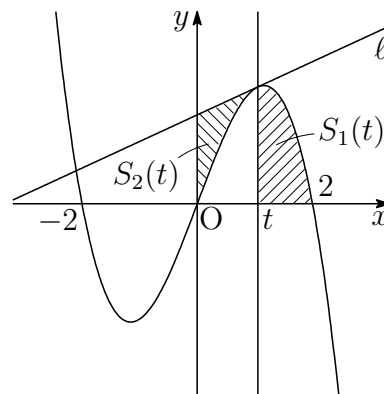
曲線 $y = f(x)$ 上の点 $P(t, f(t))$ における接線 ℓ の方程式は

$$y - (-t^3 + 4t) = (-3t^2 + 4)(x - t)$$

したがって $y = (-3t^2 + 4)x + 2t^3$

(2) $S_1(t)$ は右の図の斜線部分の面積であるから

$$\begin{aligned} S_1(t) &= \int_t^2 (-x^3 + 4x) dx \\ &= \left[-\frac{1}{4}x^4 + 2x^2 \right]_t^2 \\ &= \frac{1}{4}t^4 - 2t^2 + 4 \end{aligned}$$



(3) $S_2(t)$ は右上の図の斜線部分の面積であるから, (1) の結果により

$$\begin{aligned} S_2(t) &= \int_0^t \{(-3t^2 + 4)x + 2t^3 - (-x^3 + 4x)\} dx \\ &= \int_0^t (x^3 - 3t^2x + 2t^3) dx \\ &= \left[\frac{1}{4}x^4 - \frac{3}{2}t^2x^2 + 2t^3x \right]_0^t = \frac{3}{4}t^4 \end{aligned}$$

(4) (2), (3) の結果から

$$\begin{aligned} S(t) &= S_1(t) + S_2(t) = \frac{1}{4}t^4 - 2t^2 + 4 + \frac{3}{4}t^4 \\ &= t^4 - 2t^2 + 4 \\ &= (t^2 - 1)^2 + 3 \end{aligned}$$

$0 < t < 2$ より, $t = 1$ のとき, 最小値 3

5 (1) 2 (2) と同一

(2) 2 (3) と同一

(3) 2 (4) と同一

6 (1) $f(x) = 2x^2 + x + 1$ より $f'(x) = 4x + 1$

したがって $f(1) = 4$, $f'(1) = 5$

ℓ は点 $(1, 4)$ を通り, 傾き 5 の直線であるから

$$y - 4 = 5(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = 5x - 1$$

(2) 直線 ℓ の偏角を θ とすると, $\tan \theta = 5$ より

$$45^\circ < \theta < 90^\circ$$

したがって, ℓ とのなす角 45° で傾き正である直線 m の傾きは

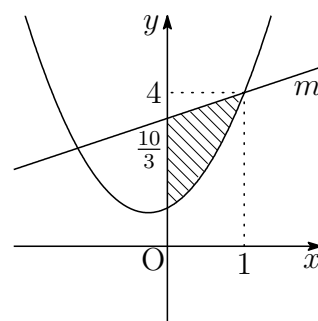
$$\tan(\theta - 45^\circ) = \frac{\tan \theta - \tan 45^\circ}{1 + \tan \theta \tan 45^\circ} = \frac{5 - 1}{1 + 5 \cdot 1} = \frac{2}{3}$$

m は点 $(1, 4)$ を通り, 傾き $\frac{2}{3}$ の直線であるから

$$y - 4 = \frac{2}{3}(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{2}{3}x + \frac{10}{3}$$

(3) 求める面積は, 右の図の斜線部分で, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^1 \left\{ \frac{2}{3}x + \frac{10}{3} - (2x^2 + x + 1) \right\} dx \\ &= \int_0^1 \left(-2x^2 - \frac{1}{3}x + \frac{7}{3} \right) dx \\ &= \left[-\frac{2}{3}x^3 - \frac{1}{6}x^2 + \frac{7}{3}x \right]_0^1 = \frac{3}{2} \end{aligned}$$



■

4.8 2022 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [1] [3] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [1] [2] [7] [8] 数 I・II・A・B (120 分)
- 教育学部 [1] [2] [7] 数 I・II・A・B (100 分)

[1] 座標空間内の 4 点 $O(0, 0, 0)$, $A(2, 0, 0)$, $B(2, 2, 0)$, $C(0, 2, 0)$ について

$$OD = AD = BD = CD = 2$$

を満たす点 D で, その z 座標が正, 負になるものを, それぞれ D_1 , D_2 とする. 次の問に答えよ.

- (1) 2 点 D_1 , D_2 の座標を求めよ.
- (2) 点 $P(1, 1, 0)$ と実数 a , b について

$$a\overrightarrow{OA} + b\overrightarrow{OD_1} - \overrightarrow{OP}$$

が 2 つのベクトル $\overrightarrow{OA}$, $\overrightarrow{OD_1}$ に垂直であるとする. このとき, a , b の値を求めよ.

- (3) 6 点 O , A , B , C , D_1 , D_2 を頂点とする正八面体を V とし, V のすべての面に内側から接する球を S とする. このとき, S の半径を求めよ. また, V の各面と S とのすべての接点を頂点とする凸多面体について, その名称を答え, 各辺の長さを求めよ.

[2] n を 5 以上の整数とする. 1 枚の硬貨を投げる試行を n 回繰り返すとき, 表が出る回数が, ちょうど n 回目の試行で 5 になる確率を p_n とする. 次の問に答えよ.

- (1) p_6 の値を求めよ.
- (2) p_n を n を用いて表せ.
- (3) $\frac{p_{n+1}}{p_n}$ を n を用いて表せ. また, p_n の最大値を求めよ.

3 関数 $f(x) = e^{-x^2}$ について、正の定数 a は $f''(a) = 0$ を満たすとする。次の問に答えよ。

- (1) a の値を求めよ。また、関数 $f(x)$ のグラフの凹凸を調べ、変曲点を求めよ。
- (2) 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = f(a)$ で囲まれた図形を、 y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。

4 複素数 z について、 $1, z, z^2$ を表す複素数平面上の点をそれぞれ A, B, C とする。次の問に答えよ。

- (1) 点 A, B, C が正三角形の 3 つの頂点となる z をすべて求めよ。
- (2) 点 A, B, C が直角三角形の 3 つの頂点となるための z に関する条件を求めよ。また、この条件を満たす点 z 全体を図示せよ。

5 n を 5 以上の整数とする。1 枚の硬貨を投げる試行を n 回繰り返すとき、表が出る回数が、ちょうど n 回目の試行で 5 になる確率を p_n とする。次の問に答えよ。

- (1) p_n を n を用いて表せ。
- (2) p_n の最大値を求めよ。

6 複素数 z について、 $1, z, z^2$ を表す複素数平面上の点をそれぞれ A, B, C とする。次の問に答えよ。

- (1) 点 A, B, C が正三角形の 3 つの頂点となる z をすべて求めよ。
- (2) 点 A, B, C が直角三角形の 3 つの頂点となる点 z 全体を図示せよ。

7 放物線 $y = x^2$ を C とし、 C 上の点 $P(t, t^2)$ における接線を ℓ とする。次の問に答えよ。

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ。
- (2) $0 < t < 6$ のとき、放物線 C 、直線 ℓ と x 軸で囲まれた図形の面積を $S_1(t)$ とし、放物線 C 、直線 ℓ と直線 $x = 6$ で囲まれた図形の面積を $S_2(t)$ とする。 $S_1(t) + S_2(t)$ を $S(t)$ とおくと、 $S(t)$ を t を用いて表せ。
- (3) 点 $P(t, t^2)$ が $2 \leq t \leq 5$ を満たしながら放物線 C 上を動くとき、(2) の $S(t)$ の最大値と最小値を求めよ。

8 a, b を整数とし，整式 $x^3 + ax^2 + bx + 2$ を $P(x)$ とおく．次の問に答えよ．

- (1) $P(x)$ が，整数 n と定数 p, q により

$$P(x) = (x - n)(x^2 + px + q)$$

と表されるとき， p と q は整数であることを示せ．さらに， n は 2 の約数であることを示せ．

- (2) 方程式 $P(x) = 0$ が異なる 3 つの整数解をもつような a, b の組 (a, b) を求めよ．
- (3) 方程式 $P(x) = 0$ が整数解と実数でない解をもつような a, b の組 (a, b) の個数を求めよ．

解答例

- 1 (1) $P(1, 1, 0)$ は D から平面 $OABC$ に降ろした垂線の足である.
 $OP = \sqrt{2}$, $OD = 2$ より

$$PD = \sqrt{OD^2 - OP^2} = \sqrt{2}$$

D_1, D_2 の z 座標の符号により

$$D_1(1, 1, \sqrt{2}), D_2(1, 1, -\sqrt{2})$$

- (2) $O(0, 0, 0)$, $A(2, 0, 0)$ および (1) の結果から

$$\begin{aligned} a\overrightarrow{OA} + b\overrightarrow{OD_1} - \overrightarrow{OP} &= a(2, 0, 0) + b(1, 1, \sqrt{2}) - (1, 1, 0) \\ &= (2a + b - 1, b - 1, \sqrt{2}b) \end{aligned}$$

これがベクトル $\overrightarrow{OA} = (2, 0, 0)$, $\overrightarrow{OD_1} = (1, 1, \sqrt{2})$ に垂直であるから

$$2(2a + b - 1) = 0, \quad 1(2a + b - 1) + 1(b - 1) + \sqrt{2} \cdot \sqrt{2}b = 0$$

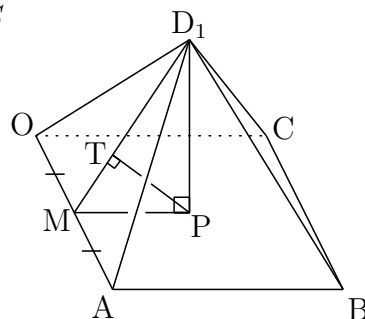
それぞれ整理すると $2a + b = 1$, $a + 2b = 1$ よって $a = b = \frac{1}{3}$

- (3) 辺 OA の中点を M とし, 平面 OAD_1 と球 S の接点を T とすると

$$2\triangle MPD_1 = MD_1 \cdot PT = MP \cdot PD_1$$

したがって $\sqrt{3}PT = 1 \cdot \sqrt{2}$

よって, 半径は $PT = \frac{\sqrt{6}}{3}$



(2) の結果より, $\overrightarrow{OT} = \frac{1}{3}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OD_1}$ であるから, T は $\triangle OAD_1$ の重心.
 $\triangle BCD_1$ の重心を T' , 平面 $OABC$ に関して T と対称な点を T'' とすると

$$TT' = \frac{2}{3}OC = \frac{4}{3}, \quad TT'' = \frac{2}{3}PD_1 = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$\triangle OAD_1$, $\triangle ABD_1$, $\triangle BCD_1$, $\triangle COD_1$ の 4 重心が凸多面体の頂点であり, その 1 辺の長さは

$$\frac{1}{\sqrt{2}}TT' = TT'' = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

よって, 凸多面体は立方体である. ■

- 2** (1) p_6 は、5 回目までに表が 4 回出て、6 回目に表が出る確率であるから

$$p_6 = {}_5C_4 \left(\frac{1}{2}\right)^5 \times \frac{1}{2} = 5 \left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{5}{64}$$

- (2) p_n は、 $n-1$ 回目までに表が 4 回出て、 n 回目に表が出る確率であるから

$$\begin{aligned} p_n &= {}_{n-1}C_4 \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} \times \frac{1}{2} \\ &= \frac{(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{4!} \left(\frac{1}{2}\right)^n \\ &= \frac{(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{3 \cdot 2^{n+3}} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{p_{n+1}}{p_n} &= \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{3 \cdot 2^{n+4}} \cdot \frac{3 \cdot 2^{n+3}}{(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)} \\ &= \frac{n}{2(n-4)} \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad \frac{p_{n+1}}{p_n} - 1 = \frac{n}{2(n-4)} - 1 = \frac{8-n}{2(n-4)}$$

$$\text{したがって} \quad p_5 < p_6 < p_7 < p_8 = p_9 > p_{10} > p_{11} > \cdots$$

$$\text{よって、最大値} \quad p_8 = p_9 = \frac{35}{256}$$



3 (1) $f(x) = e^{-x^2}$ より

$$f'(x) = -2xe^{-x^2}, \quad f''(x) = 2(2x^2 - 1)e^{-x^2}$$

$$f''(a) = 0 \text{ より } (a > 0) \quad 2a^2 - 1 = 0 \quad \text{よって} \quad a = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

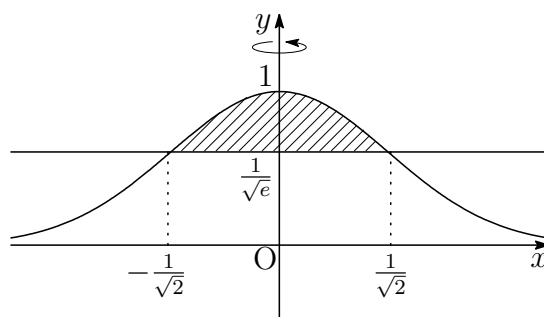
したがって、 $f(x)$ の増減および凹凸は次のようになる。

x	...	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	0	...	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	...
$f'(x)$	+	+	+	0	-	-	-
$f''(x)$	+	0	-	-	-	0	+
$f(x)$	↗	$\frac{1}{\sqrt{e}}$	↘	1	↘	$\frac{1}{\sqrt{e}}$	↗

変曲点は $\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{e}}\right), \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{e}}\right)$

(2) 求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= 2\pi \int_0^a x \{f(x) - f(a)\} dx = 2\pi \int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} x \left(e^{-x^2} - \frac{1}{\sqrt{e}} \right) dx \\ &= \pi \left[-e^{-x^2} - \frac{x^2}{\sqrt{e}} \right]_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \pi \left(1 - \frac{3}{2\sqrt{e}} \right) \end{aligned}$$



バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき、 $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$



4 (1) 3点 $A(1)$, $B(z)$, $C(z^2)$ に関する必要条件は

$$z \neq 1, \quad z^2 \neq 1, \quad z^2 \neq z \quad \text{すなわち} \quad z \neq 0, \pm 1 \quad (*)$$

このとき, $\angle BAC = \frac{\pi}{3}$ であるから

$$\frac{z^2 - 1}{z - 1} = \cos \frac{\pi}{3} \pm i \sin \frac{\pi}{3} \quad \text{ゆえに} \quad z + 1 = \frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$\text{よって} \quad z = -\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

別解 $AB = BC = CA \neq 0$ より $|z - 1| = |z^2 - z| = |z^2 - 1| \neq 0$

$$|z - 1| = |z||z - 1| = |z + 1||z - 1| \neq 0$$

したがって $1 = |z| = |z + 1|$, $z \neq 1$

2円 $|z| = 1$, $|z + 1| = 1$ の交点であるから $z = -\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2}i$

(2) (i) $\angle BAC = \frac{\pi}{2}$ のとき, $(*)$ に注意して $\frac{z^2 - 1}{z - 1} = z + 1$

上式は, 純虚数であるから

$$(z + 1) + (\overline{z + 1}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \operatorname{Re}(z) = \frac{z + \bar{z}}{2} = -1, \quad z \neq -1$$

(ii) $\angle ABC = \frac{\pi}{2}$ のとき, $(*)$ に注意して $\frac{z^2 - z}{1 - z} = -z$

上式は, 純虚数であるから

$$-z + (\overline{-z}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \operatorname{Re}(z) = 0, \quad z \neq 0$$

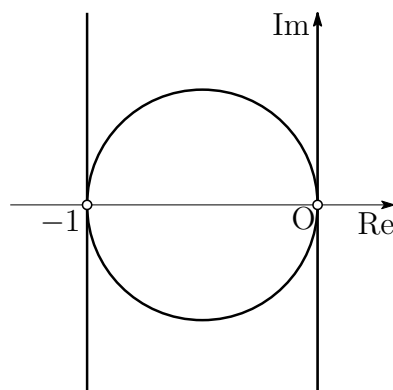
(iii) $\angle BCA = \frac{\pi}{2}$ のとき, $(*)$ に注意して $\frac{1 - z^2}{z - z^2} = \frac{1 + z}{z}$

上式は, 純虚数であるから

$$\frac{1 + z}{z} + \left(\frac{1 + z}{z} \right) = 0 \quad \text{整理すると} \quad \bar{z}(1 + z) + z(1 + \bar{z}) = 0$$

$$z\bar{z} + \frac{1}{2}z + \frac{1}{2}\bar{z} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left| z + \frac{1}{2} \right| = \frac{1}{2}, \quad z \neq 0, -1$$

(i)~(iii) より, 点 z 全体は, 下の図のようになる.



別解 $AB = |z - 1|$, $BC = |z^2 - z| = |z||z - 1|$, $CA = |1 - z^2| = |z + 1||z - 1|$

このとき, $AB \neq 0$, $BC \neq 0$, $CA \neq 0$ より $z \neq 0, \pm 1$

$AB : BC : CA = 1 : |z| : |z + 1|$ であるから, 次の (i)~(iii) の場合がある.

(i) $1^2 + |z + 1|^2 = |z|^2$ のとき

$$z + \bar{z} = -2 \quad \text{ゆえに} \quad \operatorname{Re}(z) = \frac{z + \bar{z}}{2} = -1, \quad z \neq -1$$

(ii) $1^2 + |z|^2 = |z + 1|^2$ のとき

$$z + \bar{z} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \operatorname{Re}(z) = \frac{z + \bar{z}}{2} = 0, \quad z \neq 0$$

(iii) $|z|^2 + |z + 1|^2 = 1^2$ のとき

$$z\bar{z} + \frac{1}{2}z + \frac{1}{2}\bar{z} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left|z + \frac{1}{2}\right| = \frac{1}{2}, \quad z \neq 0, -1$$

5 (1) **2** (2)

(2) **2** (3)

6 (1) **4** (1)

(2) **4** (2)

7 (1) $y = x^2$ を微分すると $y' = 2x$

ℓ は、点 $P(t, t^2)$ を通り、傾き $2t$ の直線であるから

$$y - t^2 = 2t(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = 2tx - t^2 \quad (*)$$

(2) ℓ と x 軸との交点の x 座標は、

(*) に $y = 0$ を代入して

$$t(2x - t) = 0$$

$$t \neq 0 \text{ より } x = \frac{t}{2}$$

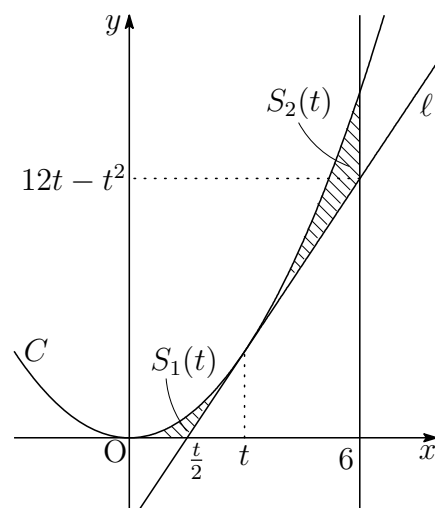
ℓ と直線 $x = 6$ との交点の y 座標は

(*) に $x = 6$ を代入して

$$y = 12t - t^2$$

$S(t) = S_1(t) + S_2(t)$ ($0 < t < 6$) は、

右の図から



$$\begin{aligned} S(t) &= \int_0^6 x^2 dx - \frac{1}{2} \left(6 - \frac{t}{2}\right) (12t - t^2) \\ &= -\frac{1}{4}t^3 + 6t^2 - 36t + 72 \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} S'(t) &= -\frac{3}{4}t^2 + 12t - 36 = -\frac{3}{4}(t^2 - 16t + 48) \\ &= -\frac{3}{4}(t - 4)(t - 12) \end{aligned}$$

したがって、 $2 \leq t \leq 5$ における $S(t)$ の増減表は次のようになる。

t	2	...	4	...	5
$S'(t)$		-	0	+	
$S(t)$	22	$\searrow$	8	$\nearrow$	$\frac{43}{4}$

よって 最大値 $S(2) = 22$, 最小値 $S(4) = 8$



- 8 (1) 整式 $P(x) = x^3 + ax^2 + bx + 2$ が

$$P(x) = (x - n)(x^2 + px + q) \quad (*)$$

と表されるから, $(*)$ を展開して

$$x^3 + ax^2 + bx + 2 = x^3 + (p - n)x^2 + (q - np)x - nq$$

同じ次数の項の係数が等しいから

$$a = p - n, \quad b = q - np, \quad 2 = -nq$$

したがって

$$p = a + n, \quad q = b + np, \quad nq = -2 \quad (**)$$

a, n は整数であるから, $(**)$ の第1式より, p は整数.

また, b は整数であるから, $(**)$ の第2式より, q は整数.

さらに, $(**)$ の第3式より, n は2の約数である.

- (2) $P(x) = 0$ が異なる3つの整数解をもつとき, $(*)$ より, 1つの整数解が n で他の2つの整数解を α, β とおくと, α, β は2次方程式

$$x^2 + px + q = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

の解であるから, 解と係数の関係により

$$q = \alpha\beta$$

これを $(**)$ の第3式に代入すると $n\alpha\beta = -2$

n, α, β は異なる整数であるから, これらは $1, -1, 2$

$P(x) = (x - 1)(x + 1)(x - 2)$ であるから

$$P(x) = x^3 - 2x^2 - x + 2$$

よって $a = -2, b = -1$

(3) 条件より, 2 次方程式 ① が実数でない解をもつから, 係数について

$$p^2 - 4q < 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

これから, $q > 0$ が必要条件で, $(**)$ の第 3 式より, $n < 0$

さらに, (1) の結論から, $n = -1, -2$

(i) $n = -1$ を $(**)$ に代入して

$$p = a - 1, \quad q = b - p, \quad q = 2$$

ゆえに, $p = a - 1, q = 2, b = a + 1$. ② により

$$(a - 1)^2 - 4 \cdot 2 < 0 \quad \text{これを満たす整数 } a \text{ は } a = -1, 0, 1, 2, 3$$

したがって, $(a, b) = (-1, 0), (0, 1), (1, 2), (2, 3), (3, 4)$ の 5 組

(ii) $n = -2$ を $(**)$ に代入して

$$p = a - 2, \quad q = b - 2p, \quad q = 1$$

ゆえに, $p = a - 2, q = 1, b = 2a - 3$. ② により

$$(a - 2)^2 - 4 \cdot 1 < 0 \quad \text{これを満たす整数 } a \text{ は } a = 1, 2, 3$$

したがって, $(a, b) = (1, -1), (2, 1), (3, 3)$ の 3 組

(i),(ii) から, 求める組 (a, b) の個数は $5 + 3 = 8$ (個) ■

4.9 2023年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 医学部 [1] [2] (2)(3) [5] [6] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農学部 [1] [7] [8] [9] 数I・II・A・B (120分)
- 教育学部 [1] [8] [9] 数I・II・A・B (100分)

[1] 四面体OABCにおいて、 $\overrightarrow{OA}$, $\overrightarrow{OB}$, $\overrightarrow{OC}$ をそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ とおく. これらは

$$|\vec{a}| = |\vec{b}| = 2, \quad |\vec{c}| = \sqrt{3}$$

および

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0, \quad \vec{a} \cdot \vec{c} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \frac{1}{2}$$

を満たすとする. 頂点Oから $\triangle ABC$ を含む平面に垂線を引き, 交点をHとする. 次の問に答えよ.

- (1) $|\overrightarrow{AB}|^2$, $|\overrightarrow{AC}|^2$, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}$ の値をそれぞれ求めよ.
 - (2) 実数 s, t により $\overrightarrow{AH}$ が $\overrightarrow{AH} = s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}$ と表されるとき, $\overrightarrow{OH}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$, s, t を用いて表せ.
 - (3) (2)の s, t の値をそれぞれ求めよ.
 - (4) 四面体OABCの体積を求めよ.
- [2] 0から3までの数字を1つずつ書いた4枚のカードがある. この中から1枚のカードを取り出し, 数字を確認してからもとへもどす. これを n 回くり返したとき, 取り出されたカードの数字の総和を S_n で表す. S_n が3で割り切れる確率を p_n とし, S_n を3で割ると1余る確率を q_n とすると, 次の問に答えよ.
- (1) p_2 および q_2 の値を求めよ.
 - (2) p_{n+1} および q_{n+1} を p_n, q_n を用いて表せ.
 - (3) p_n および q_n を n を用いて表せ. また, 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n$ および $\lim_{n \rightarrow \infty} q_n$ を求めよ.

3 a, b, c, d は実数とし, $x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d$ を $f(x)$ とおく. 4 次方程式 $f(x) = 0$ が 2 つの実数解 $\sqrt{6}, -\sqrt{6}$ および 2 つの虚数解 α, β を持つとする. 次の間に答えよ.

- (1) 整式 $f(x)$ は $x^2 - 6$ で割り切れることを示せ.
- (2) $\alpha + \beta, \alpha\beta, c, d$ を a, b を用いて表せ.
- (3) 複素数平面上において $A(\alpha), B(\beta), C(-\sqrt{6})$ が同一直線上にあるとき, a の値を求めよ.
- (4) (3) において, さらに点 $A(\alpha), B(\beta), D(\sqrt{6})$ が正三角形の 3 つの頂点となるとき, b の値を求めよ.

4 次の間に答えよ.

(1) 等式 $(\tan \theta)' = \frac{1}{\cos^2 \theta}$ を示せ. また, 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\cos^2 \theta} d\theta$ の値を求めよ.

(2) 等式

$$\frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} + \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{2}{\cos \theta}$$

を示せ. また, 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos \theta} d\theta$ の値を求めよ.

(3) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos^3 \theta} d\theta$ の値を求めよ.

5 a, b, c, d は実数とし, $x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d$ を $f(x)$ とおく. 4 次方程式 $f(x) = 0$ が 2 つの実数解 $\sqrt{6}, -\sqrt{6}$ および 2 つの虚数解 α, β を持つとする. 次の間に答えよ.

- (1) $\alpha + \beta, \alpha\beta, c, d$ を a, b を用いて表せ.
- (2) 複素数平面上において $A(\alpha), B(\beta), C(-\sqrt{6})$ が同一直線上にあるとき, a の値を求めよ.
- (3) (2) において, さらに点 $A(\alpha), B(\beta), D(\sqrt{6})$ が正三角形の 3 つの頂点となるとき, b の値を求めよ.

6 次の間に答えよ.

- (1) 等式 $(\tan \theta)' = \frac{1}{\cos^2 \theta}$ を示せ. また, 定積分 $\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sin^2 \theta} d\theta$ の値を求めよ.

- (2) 等式

$$\frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} + \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{2}{\cos \theta}$$

を示せ. また, 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos \theta} d\theta$ の値を求めよ.

- (3) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos^3 \theta} d\theta$ の値を求めよ.

7 $a > 0, b > 0$ とする. 座標平面上の 3 点 $O(0, 0), A(2a, a), B(b, 2b)$ を頂点とする三角形の重心は直線 $y = -2x + 4$ 上にあるとする. $\angle AOB$ を θ とおくとき, 次の間に答えよ.

- (1) 直線 OA と x 軸のなす鋭角を α , 直線 OB と x 軸のなす鋭角を β とおく. $\sin \alpha, \sin \beta$ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) $\sin \theta$ の値を求めよ.
- (3) b を a を用いて表せ. また, a のとりうる値の範囲を求めよ.
- (4) a が (3) で求めた範囲を動くとき, $\triangle OAB$ の面積 S の最大値を求めよ.

8 関数 $f(x)$ を $f(x) = x|x-7|$ で定める. 曲線 $y = f(x)$ の点 $P(3, f(3))$ における接線を ℓ とする. 次の問に答えよ.

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ と直線 ℓ の共有点のうち, 点 P と異なる点の座標を求めよ.
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と直線 ℓ で囲まれた図形の面積 S の値を求めよ.

9 0 から 3 までの数字を 1 つずつ書いた 4 枚のカードがある. この中から 1 枚のカードを取り出し, 数字を確認してからもとへもどす. これを n 回くり返したとき, 取り出されたカードの数字の総和を S_n で表す. S_n が 3 で割り切れる確率を p_n とし, S_n を 3 で割ると 1 余る確率を q_n とするとき, 次の問に答えよ.

- (1) p_2 および q_2 の値を求めよ.
- (2) p_{n+1} および q_{n+1} を p_n, q_n を用いて表せ.
- (3) p_n および q_n を n を用いて表せ.

解答例

$$\begin{aligned}
 \text{[1]} \quad (1) \quad |\overrightarrow{AB}|^2 &= |\vec{b} - \vec{a}|^2 = |\vec{b}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{a}|^2 = 2^2 - 2 \cdot 0 + 2^2 = 8 \\
 |\overrightarrow{AC}|^2 &= |\vec{c} - \vec{a}|^2 = |\vec{c}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{c} + |\vec{a}|^2 = (\sqrt{3})^2 - 2 \cdot \frac{1}{2} + 2^2 = 6 \\
 \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} &= (\vec{b} - \vec{a}) \cdot (\vec{c} - \vec{a}) = \vec{b} \cdot \vec{c} - \vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{a} \cdot \vec{c} + |\vec{a}|^2 = \frac{1}{2} - 0 - \frac{1}{2} + 2^2 = 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \overrightarrow{AH} &= s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC} \text{ より } \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OA} = s(\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}) + t(\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OA}) \\
 \overrightarrow{OH} &= (1 - s - t)\overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{OB} + t\overrightarrow{OC} \\
 &= (1 - s - t)\vec{a} + s\vec{b} + t\vec{c}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OA} &= s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}, \quad \overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AB}, \quad \overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AC} \text{ より} \\
 -\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AB} &= s|\overrightarrow{AB}|^2 + t\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}, \quad -\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AC} = s\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} + t|\overrightarrow{AC}|^2 \\
 \text{また} \quad -\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AB} &= -\vec{a} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) = -\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{a}|^2 = -0 + 2^2 = 4 \\
 -\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AC} &= -\vec{a} \cdot (\vec{c} - \vec{a}) = -\vec{a} \cdot \vec{c} + |\vec{a}|^2 = -\frac{1}{2} + 2^2 = \frac{7}{2}
 \end{aligned}$$

$$\text{上の諸式と (1) の結果から} \quad 8s + 4t = 4, \quad 4s + 6t = \frac{7}{2}$$

$$\text{これを解いて} \quad s = \frac{5}{16}, \quad t = \frac{3}{8}$$

$$\begin{aligned}
 (4) \quad \triangle ABC &= \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{8 \cdot 6 - 4^2} = 2\sqrt{2} \\
 \overrightarrow{OH} &= \overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}, \quad \overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AB}, \quad \overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AC} \text{ より}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |\overrightarrow{OH}|^2 &= (\overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OH} \\
 &= \overrightarrow{OA} \cdot (\overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC}) = |\overrightarrow{OA}|^2 + s\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AC} \\
 &= |\vec{a}|^2 - s(-\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AB}) - t(-\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AC}) \\
 &= 2^2 - \frac{5}{16} \cdot 4 - \frac{3}{8} \cdot \frac{7}{2} = \frac{23}{16}
 \end{aligned}$$

$$|\overrightarrow{OH}| = \frac{\sqrt{23}}{4} \text{ より, 求める体積を } V \text{ とすると}$$

$$V = \frac{1}{3} \triangle ABC \cdot |\overrightarrow{OH}| = \frac{1}{3} \cdot 2\sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{23}}{4} = \frac{\sqrt{46}}{6}$$



- 2** (1) S_n を 3 で割ると 2 余る確率を r_n とすると、次の確率漸化式が成立する.

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{2}{4}, \quad q_1 = \frac{1}{4}, \quad r_1 = \frac{1}{4} \\ p_{n+1} &= \frac{2}{4}p_n + \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{4}r_n \\ q_{n+1} &= \frac{1}{4}p_n + \frac{2}{4}q_n + \frac{1}{4}r_n \\ r_{n+1} &= \frac{1}{4}p_n + \frac{1}{4}q_n + \frac{2}{4}r_n \end{aligned}$$

$p_n + q_n + r_n = 1$ に注意すると

$$(*) \quad \begin{cases} p_{n+1} + q_{n+1} = \frac{1}{4}(p_n + q_n) + \frac{1}{2} \\ p_{n+1} - q_{n+1} = \frac{1}{4}(p_n - q_n) \end{cases}$$

(*) の第 1 式から
$$p_{n+1} + q_{n+1} - \frac{2}{3} = \frac{1}{4} \left(p_n + q_n - \frac{2}{3} \right)$$

$$\begin{aligned} p_n + q_n - \frac{2}{3} &= \left(\frac{1}{4} \right)^{n-1} \left(p_1 + q_1 - \frac{2}{3} \right) \\ p_n + q_n &= \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^n \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

(*) の第 2 式から
$$p_n - q_n = \left(\frac{1}{4} \right)^{n-1} (p_1 - q_1) = \left(\frac{1}{4} \right)^n \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② から
$$p_n = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^n, \quad q_n = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^n \quad (**)$$

よって
$$p_2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^2 = \frac{3}{8}, \quad q_2 = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^2 = \frac{5}{16}$$

(2) (*) より
$$p_{n+1} = \frac{1}{4}p_n + \frac{1}{4}, \quad q_{n+1} = \frac{1}{4}q_n + \frac{1}{4}$$

(3) (**) より
$$p_n = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^n, \quad q_n = \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \left(\frac{1}{4} \right)^n$$

よって
$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_n = \frac{1}{3}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} q_n = \frac{1}{3}$$

■

- 3** (1) $\sqrt{6}, -\sqrt{6}$ は、4次方程式 $f(x) = 0$ の解であるから、因数定理により、 $f(x)$ は $x - \sqrt{6}, x + \sqrt{6}$ を因数に持つ。したがって、 $f(x)$ は

$$(x - \sqrt{6})(x + \sqrt{6}) \quad \text{すなわち} \quad x^2 - 6$$

で割り切れる。

- (2) $f(x) = x^4 + ax^3 + bx^2 + cx + d$ のとき、 $f(x) = 0$ が $\sqrt{6}, -\sqrt{6}, \alpha, \beta$ を解にもつから、因数定理および最高次の係数に注意して

$$\begin{aligned} f(x) &= (x^2 - 6)(x - \alpha)(x - \beta) \\ &= (x^2 - 6)\{x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta\} \\ &= x^4 - (\alpha + \beta)x^3 + (\alpha\beta - 6)x^2 + 6(\alpha + \beta)x - 6\alpha\beta \end{aligned}$$

同じ次数の項の係数を比較すると

$$a = -(\alpha + \beta), \quad b = \alpha\beta - 6, \quad c = 6(\alpha + \beta), \quad d = -6\alpha\beta$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \alpha + \beta &= -a, \quad \alpha\beta = b + 6, \\ c &= -6a, \quad d = -6b - 36 \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から、 α, β は、2次方程式

$$x^2 + ax + b + 6 = 0 \quad (a, b \text{ は実数})$$

の虚数解であることに注意して解くと

$$x = \frac{-a \pm \sqrt{4(b+6) - a^2}i}{2} \quad \dots \textcircled{1}$$

これと $-\sqrt{6}$ が同一直線上にあるから

$$-\frac{a}{2} = -\sqrt{6} \quad \text{よって} \quad a = 2\sqrt{6}$$

- (4) (3) の結果を ① に代入すると $x = -\sqrt{6} \pm \sqrt{b}i$

$A(-\sqrt{6} + \sqrt{b}i), B(-\sqrt{6} - \sqrt{b}i), D(\sqrt{6})$ とすると

$$AB^2 = 4b, \quad AD^2 = BD^2 = 24 + b$$

$\triangle ABD$ が正三角形のとき $4b = 24 + b$ これを解いて $b = 8$ ■

4 (1) $(\sin \theta)' = \cos \theta$, $(\cos \theta)' = -\sin \theta$ より

$$\begin{aligned} (\tan \theta)' &= \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right)' = \frac{(\sin \theta)' \cos \theta - \sin \theta (\cos \theta)'}{\cos^2 \theta} \\ &= \frac{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \end{aligned}$$

したがって $\int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\cos^2 \theta} d\theta = \left[\tan \theta \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = 1$

$$\begin{aligned} (2) \quad \frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} + \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} &= \frac{\cos \theta(1 - \sin \theta) + \cos \theta(1 + \sin \theta)}{(1 + \sin \theta)(1 - \sin \theta)} \\ &= \frac{2 \cos \theta}{1 - \sin^2 \theta} = \frac{2 \cos \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{2}{\cos \theta} \end{aligned}$$

したがって $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos \theta} d\theta = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left(\frac{\cos \theta}{1 + \sin \theta} + \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} \right) d\theta$

$$= \frac{1}{2} \left[\log \left| \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \right| \right]_0^{\frac{\pi}{6}} = \frac{1}{2} \log 3$$

$$\begin{aligned} (3) \quad (\sin \theta \cos^n \theta)' &= \cos \theta \cos^n \theta + \sin \theta \cdot n \cos^{n-1} \theta (-\sin \theta) \\ &= (n+1) \cos^{n+1} \theta - n \cos^{n-1} \theta \end{aligned}$$

上式より、次式が成立する (C は積分定数).

$$(n+1) \int \cos^{n+1} \theta d\theta - n \int \cos^{n-1} \theta d\theta = \sin \theta \cos^n \theta + C$$

$n = -2$ とし、(2) の結果を利用する.

$$\begin{aligned} - \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos \theta} d\theta + 2 \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos^3 \theta} d\theta &= \left[\frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \right]_0^{\frac{\pi}{6}} \\ -\frac{1}{2} \log 3 + 2 \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos^3 \theta} d\theta &= \frac{2}{3} \end{aligned}$$

よって $\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\cos^3 \theta} d\theta = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \log 3$ ■

5 (1) 3 (2) を参照.

(2) 3 (3) を参照.

(3) 3 (4) を参照. ■

6 (1) $(\sin \theta)' = \cos \theta$, $(\cos \theta)' = -\sin \theta$ より

$$\begin{aligned} (\tan \theta)' &= \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right)' = \frac{(\sin \theta)' \cos \theta - \sin \theta (\cos \theta)'}{\cos^2 \theta} \\ &= \frac{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \end{aligned}$$

$$\text{また } \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sin^2 \theta} d\theta = \left[-\frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} = 1$$

(2) 4 (2) を参照.

(3) 4 (3) を参照. ■

7 (1) $\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{5}}, \sin \beta = \frac{2}{\sqrt{5}}$

(2) (1) の結果および $\cos \alpha = \frac{2}{\sqrt{5}}, \cos \beta = \frac{1}{\sqrt{5}}$ から

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \sin(\beta - \alpha) = \sin \beta \cos \alpha - \cos \beta \sin \alpha \\ &= \frac{2}{\sqrt{5}} \cdot \frac{2}{\sqrt{5}} - \frac{1}{\sqrt{5}} \cdot \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{3}{5} \end{aligned}$$

(3) 3 点 $O(0, 0)$, $A(2a, a)$, $B(b, 2b)$ を頂点とする三角形の重心は

$$\left(\frac{2a+b}{3}, \frac{a+2b}{3} \right)$$

これが直線 $y = -2x + 4$ 上にあるから

$$\frac{a+2b}{3} = -2 \cdot \frac{2a+b}{3} + 4 \quad \text{ゆえに} \quad b = -\frac{5}{4}a + 3$$

$$b > 0 \text{ より } -\frac{5}{4}a + 3 > 0$$

$$a > 0 \text{ に注意して, これを解くと } 0 < a < \frac{12}{5}$$

(4) $O(0, 0)$, $A(2a, a)$, $B(b, 2b)$ を頂点とする三角形の面積 S は

$$S = \frac{1}{2} |2a \cdot 2b - a \cdot b| = \frac{3}{2} ab$$

$$(3) \text{ の結果から } S = \frac{3}{2} a \left(-\frac{5}{4}a + 3 \right) = -\frac{15}{8} \left(a - \frac{6}{5} \right)^2 + \frac{27}{10}$$

よって, S は $a = \frac{6}{5}$ のとき, 最大値 $\frac{27}{10}$ をとる. ■

$$\boxed{8} \quad (1) \quad f(x) = x|x-7| = \begin{cases} x(x-7) & (x \geq 7) \\ -x(x-7) & (x \leq 7) \end{cases}$$

$x < 7$ のとき, $f(x) = -x^2 + 7x$ より $f'(x) = -2x + 7$

$f(3) = 12$, $f'(3) = 1$ であるから, 接線 ℓ の方程式は

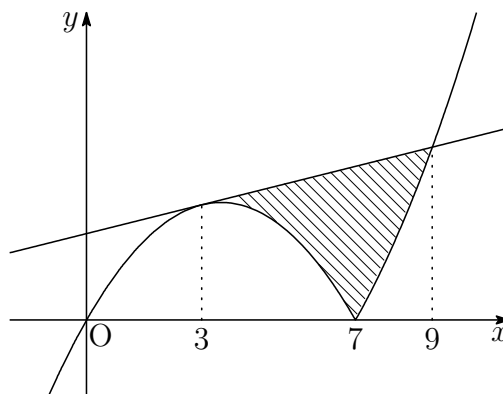
$$y - 12 = x - 3 \quad \text{すなわち} \quad y = x + 9$$

(2) $y = f(x)$ は区間 $x < 7$ において上に凸である. この区間における接線 ℓ と $y = f(x)$ の接点以外の共有点は, 曲線が下に凸となる部分にあるから

$$x(x-7) = x+9 \quad \text{ゆえに} \quad (x+1)(x-9) = 0$$

$x > 7$ に注意して解くと $x = 9$ よって **(9, 18)**

(3) 求める面積は, 下の図の斜線部分である.



よって, 求める面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \int_3^7 \{x+9 - (-x^2+7x)\} dx + \int_7^9 \{x+9 - (x^2-7x)\} dx \\ &= \int_3^7 (x-3)^2 dx + \int_7^9 (-x^2+8x+9) dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x-3)^3 \right]_3^7 + \left[-\frac{1}{3}x^3 + 4x^2 + 9x \right]_7^9 = \frac{116}{3} \end{aligned}$$

9 (1) **2** (1) を参照.

(2) **2** (2) を参照.

(3) **2** (3) を参照.

4.10 2024 年

- 理工学部 [1] [2] [3] (2)(3) [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農学部 [1] [2] [5] [6] 数 I・II・A・B (120 分)
- 教育学部 [1] [2] [5] 数 I・II・A・B (100 分)

[1] 平面上に $OA = 4$, $OB = \sqrt{2}$ を満たす $\triangle OAB$ がある. 頂点 B から直線 OA に下ろした垂線を BC とする. また, 頂点 O から直線 AB に下ろした垂線を OD とする. このとき, 点 C は辺 OA を $1:3$ に内分しているとする. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とおくとき, 次の問に答えよ.

- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ を求めよ.
- (2) 実数 s, t を用いて $\overrightarrow{OD} = s\vec{a} + t\vec{b}$ の形に表すとき, s と t の値を求めよ. さらに, $|\overrightarrow{OD}|$ の値を求めよ.
- (3) 直線 BC と直線 OD の交点を P とするとき, $|\overrightarrow{OP}|$ の値を求めよ.

[2] 座標平面上で, 点 P は原点 $(0, 0)$ を出発点とし, 1 個のさいころを投げて出た目によって次の通りに動くものとする.

出た目が奇数のとき, x 軸の正の向きに 1 だけ動く

出た目が 2 または 4 のとき, x 軸の負の向きに 1 だけ動く

出た目が 6 のとき, y 軸の正の向きに 1 だけ動く

n を 2 以上の自然数とすると, 次の問に答えよ.

- (1) さいころを n 回投げるとき, 点 P の座標が $(1, n-1)$ となる場合は何通りあるか.
- (2) さいころを n 回投げるとき, 点 P の座標が $(0, n-2)$ となる場合は何通りあるか.
- (3) さいころを n 回投げるとき, 点 P の x 座標が 0 以上, かつ y 座標が $n-2$ 以上となる場合は何通りあるか.

3 k を定数とする. 曲線 $y = e^{\sqrt{x}}$ と直線 $y = kx$ が 1 点 P で接しているとき, 次の問に答えよ.

- (1) 曲線 $y = e^{\sqrt{x}}$ の凹凸, 変曲点を調べ, その概形をかけ.
- (2) 定数 k の値と点 P の座標を求めよ.
- (3) 曲線 $y = e^{\sqrt{x}}$ と直線 $y = kx$ および y 軸で囲まれた図形の面積を求めよ.

4 複素数平面上に $|\alpha| = 2$ を満たす点 $A(\alpha)$ がある. 方程式

$$|z - 1| = \sqrt{2} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$|z - \alpha| = \sqrt{5} \quad \cdots \textcircled{2}$$

について, 次の問に答えよ.

- (1) 複素数平面上で方程式 $\textcircled{1}$ を満たす点 z の全体が表す図形を描け. また, 方程式 $\textcircled{1}$ および $\textcircled{2}$ を満たす複素数 z の個数が 2 個であることを示せ.
- (2) 方程式 $\textcircled{1}$ および $\textcircled{2}$ を満たす複素数 z について

$$\bar{z}(\alpha - 1) + z(\bar{\alpha} - 1) = 0$$

が成り立つことを示せ.

- (3) 方程式 $\textcircled{1}$ および $\textcircled{2}$ を満たす異なる 2 つの複素数を β, γ とする. 2 点 $B(\beta)$, $C(\gamma)$ と原点 O が一直線上にあることを示せ. また, $|\beta| = b$ とおくとき, $|\gamma|$ を b を用いて表せ.

5 t は $0 < t < 1$ を満たすとする.

$$f(x) = \frac{1}{2}x^2 - 2tx + 1, \quad g(x) = -\frac{1}{2}x^2 - (t-2)x - 2t + 1$$

とおく. 次の問に答えよ.

- (1) 2つの曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ の交点の x 座標をすべて求めよ.
- (2) 2つの曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ および直線 $x = 2t$ で囲まれた2つの図形のうち, 左側の図形の面積 $S(t)$ を求めよ.
- (3) t が $0 < t < 1$ の範囲を動くとき, (2) の $S(t)$ の増減を調べ, 極値を求めよ.

6 $f(x) = 4x^3 - 3x$ について, 次の問に答えよ.

- (1) 関数 $y = f(x)$ の増減を調べ, 方程式 $f(x) = a$ が異なる実数解を3個もつための, 定数 a についての条件を求めよ.
- (2) $\cos 3\theta = f(\cos \theta)$ を示せ.
- (3) 方程式 $f(x) = -\frac{\sqrt{2}}{2}$ の実数解をすべて求めよ.

解答例

- 1 (1) $OA = 4$, $OC = 1$, $OB = \sqrt{2}$, $\angle OCB = 90^\circ$ であるから $BC = 1$
 O を座標平面上の原点とし, $A(4, 0)$, $B(1, 1)$, $C(1, 0)$ とすると

$$\vec{a} = (4, 0), \vec{b} = (1, 1) \quad \text{よって} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = 4$$

- (2) 直線 AB の方程式は

$$y = \frac{0-1}{4-1}(x-4) \quad \text{すなわち} \quad y = -\frac{1}{3}x + \frac{4}{3}$$

直線 AB に垂直な直線 OD の方程式は $y = 3x$

2 直線 AB , OD の交点 D の座標は $\left(\frac{2}{5}, \frac{6}{5}\right)$

$(1, 0) = \frac{1}{4}\vec{a}$, $(0, 1) = -\frac{1}{4}\vec{a} + \vec{b}$ であるから

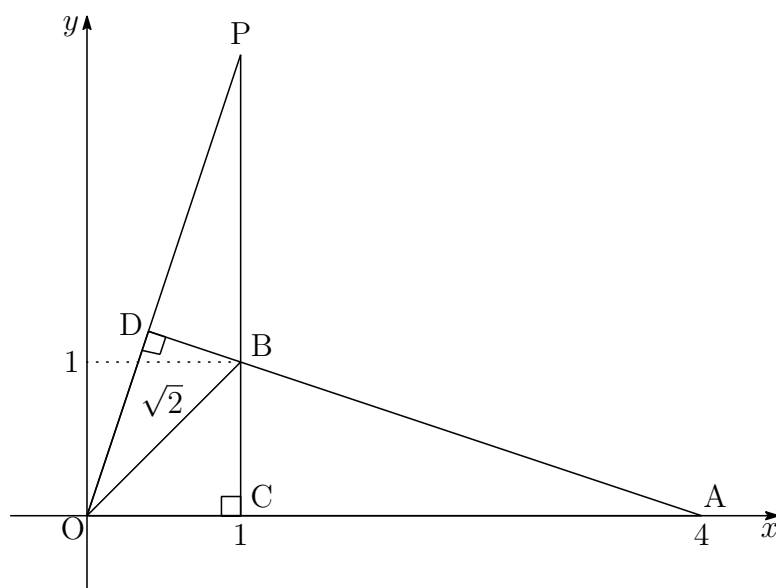
$$\overrightarrow{OD} = \frac{2}{5} \cdot \frac{1}{4}\vec{a} + \frac{6}{5} \left(-\frac{1}{4}\vec{a} + \vec{b}\right) = -\frac{1}{5}\vec{a} + \frac{6}{5}\vec{b}$$

よって $s = -\frac{1}{5}$, $t = \frac{6}{5}$

$$\overrightarrow{OD} = \frac{2}{5}(1, 3) \quad \text{より} \quad |\overrightarrow{OD}| = \frac{2}{5}\sqrt{1^2 + 3^2} = \frac{2\sqrt{10}}{5}$$

- (3) 点 P の x 座標が 1 であり, P は直線 $y = 3x$ 上の点であるから $P(1, 3)$

よって $|\overrightarrow{OP}| = \sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10}$



- 2** (1) n 回投げて点 P の座標が $(1, n-1)$, すなわち, n 回投げて奇数が 1 回, 6 の目が $n-1$ 回出る場合の総数であるから

$$\frac{n!}{1!(n-1)!} \cdot 3 \cdot 1^{n-1} = 3n \quad (\text{通り})$$

- (2) n 回投げて点 P の座標が $(0, n-2)$, すなわち, n 回投げて奇数が 1 回, 2 または 4 が 1 回, 6 の目が $n-2$ 回出る場合の総数であるから

$$\frac{n!}{1!1!(n-2)!} \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1^{n-2} = 6n(n-1) \quad (\text{通り})$$

- (3) (i) n 回投げて点 P の座標が $(2, n-2)$, すなわち, n 回投げて奇数が 2 回, 6 の目が $n-2$ 回出る場合の総数は

$$\frac{n!}{2!(n-2)!} \cdot 3^2 \cdot 1^{n-2} = \frac{9}{2}n(n-1)$$

- (ii) n 回投げて点 P の座標が $(0, n)$, すなわち, n 回投げて 6 の目が n 回出る場合の総数は

$$1 \quad (\text{通り})$$

求める場合の総数は, (1), (2) および (i), (ii) の場合であるから

$$3n + 6n(n-1) + \frac{9}{2}n(n-1) + 1 = \frac{21}{2}n^2 - \frac{15}{2}n + 1 \quad (\text{通り})$$



3 (1) $y = e^{\sqrt{x}}$ より

$$y' = \frac{1}{2\sqrt{x}} e^{\sqrt{x}},$$

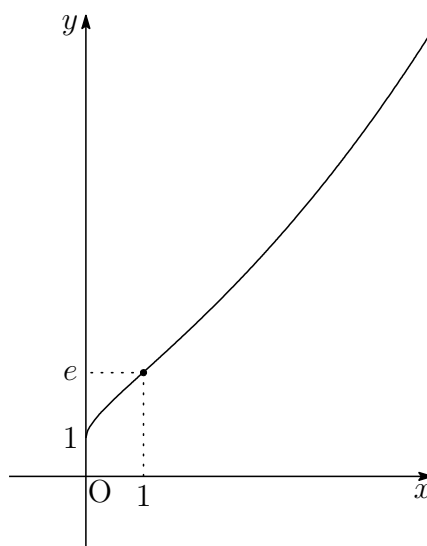
$$y'' = -\frac{1}{4x\sqrt{x}} e^{\sqrt{x}} + \frac{1}{2\sqrt{x}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{x}} e^{\sqrt{x}} = \frac{\sqrt{x} - 1}{4x\sqrt{x}} e^{\sqrt{x}}$$

したがって、 y の増減および凹凸は、次のようになる。

x	0	...	1	...
y'		+	+	+
y''		-	0	+
y	1	$\curvearrowright$	e	$\curvearrowleft$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} y = \infty$$

$y = e^{\sqrt{x}}$ のグラフの概形は、次のようになる。変曲点は $(1, e)$



(2) $y = e^{\sqrt{x}}$ 上の点 $(t, e^{\sqrt{t}})$ における接線の方程式は

$$y - e^{\sqrt{t}} = \frac{e^{\sqrt{t}}}{2\sqrt{t}}(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{e^{\sqrt{t}}}{2\sqrt{t}}x + \left(1 - \frac{\sqrt{t}}{2}\right)e^{\sqrt{t}}$$

これが原点 O を通るから

$$1 - \frac{\sqrt{t}}{2} = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 4$$

$$\text{よって} \quad k = \frac{e^{\sqrt{4}}}{2\sqrt{4}} = \frac{e^2}{4}, \quad P(4, e^2)$$

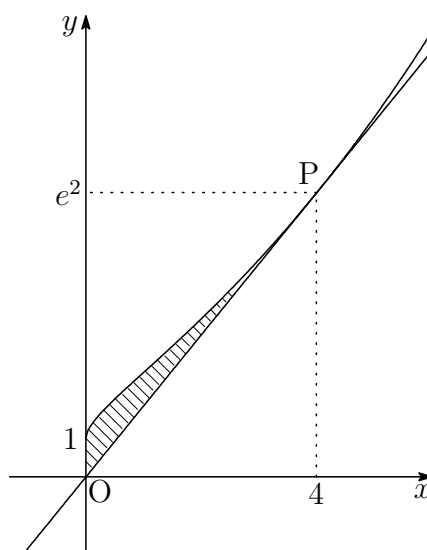
(3) 求める面積を S とすると、下の図から

$$S = \int_0^4 e^{\sqrt{x}} dx - \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot e^2$$

$$u = \sqrt{x} \text{ とおくと, } x = u^2 \text{ より } \frac{dx}{du} = 2u \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 4 \\ \hline u & 0 \rightarrow 2 \end{array}$$

$$\int_0^4 e^{\sqrt{x}} dx = \int_0^2 e^u \cdot 2u du = \left[e^u(2u - 2) \right]_0^2 = 2e^2 + 2$$

$$\text{よって } S = (2e^2 + 2) - 2e^2 = 2$$



補足 次の積分公式 (第 1 式) を利用している².

$$\int e^x f(x) dx = e^x \{f(x) - f'(x) + f''(x) - f'''(x) + \cdots\} + C$$

$$\int e^{-x} f(x) dx = -e^{-x} \{f(x) + f'(x) + f''(x) + f'''(x) + \cdots\} + C$$

■

²<http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kagoshima/kagoshima.2023.pdf> (p.10 の解説を参照)

4 (1) $|\alpha| = 2, |z - 1| = \sqrt{2} \cdots \textcircled{1}, |z - \alpha| = \sqrt{5} \cdots \textcircled{2}$

2円 $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ の中心間の距離 $|\alpha - 1|$ は

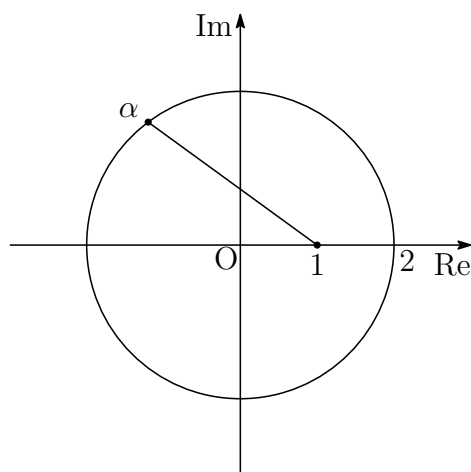
$$|\alpha| - 1 \leq |\alpha - 1| \leq |\alpha| + 1 \quad \text{ゆえに} \quad 1 \leq |\alpha - 1| \leq 3 \quad \cdots \textcircled{3}$$

$|z - \alpha| - |z - 1| < |\alpha - 1| < |z - \alpha| + |z - 1|$, すなわち, 次式を示せばよい.

$$\sqrt{5} - \sqrt{2} < |\alpha - 1| < \sqrt{5} + \sqrt{2}$$

$\sqrt{5} - \sqrt{2} < 1, 3 < \sqrt{5} + \sqrt{2}$ であるから, $\textcircled{3}$ より上式が成立する. 2円 $\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ の共有点の個数は2個であるから, $\textcircled{1}$ および $\textcircled{2}$ を満たす点 z の個数は2個である.

補足 $1 \leq |\alpha - 1| \leq 3$ は下の図からも分かる.



(2) $\textcircled{1}, \textcircled{2}$ より ($|\alpha| = 2$) $|z - 1|^2 = 2, |z - \alpha|^2 = 5$

$$z\bar{z} - \bar{z} - z + 1 = 0, \quad z\bar{z} - \alpha\bar{z} - \bar{\alpha}z + 1 = 0$$

上の第1式から第2式の辺々の差をとると

$$\bar{z}(\alpha - 1) + z(\bar{\alpha} - 1) = 0$$

- (3) ①, ② および $|\alpha| = 2$ から, $z \neq 0$, $\bar{\alpha} - 1 \neq 0$ に注意すると, (2) の結果から, $z(\bar{\alpha} - 1)$ は純虚数であるから, 実数 s, t を用いて ($s \neq 0, t \neq 0$)

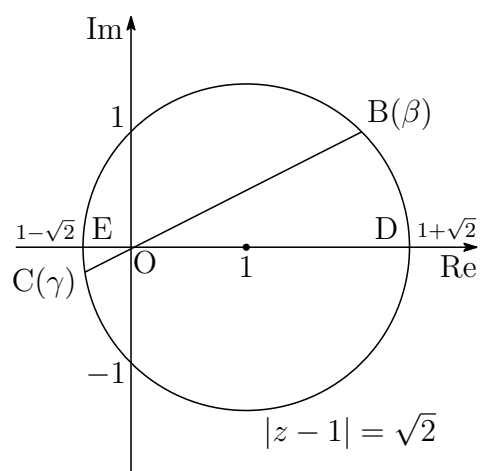
$$\beta(\bar{\alpha} - 1) = si, \quad \gamma(\bar{\alpha} - 1) = ti \quad \text{ゆえに} \quad \gamma = \frac{t}{s}\beta$$

よって, 2 点 $B(\beta), C(\gamma)$ と原点 O は一直線上にある.

円 ① 上の 2 点を $D(1 + \sqrt{2}), E(1 - \sqrt{2})$ とすると, 方べきの定理により

$$OB \cdot OC = OD \cdot OE \quad \text{ゆえに} \quad |\beta||\gamma| = (\sqrt{2} + 1)(\sqrt{2} - 1) = 1$$

$$|\beta| = b \text{ より } b|\gamma| = 1 \quad \text{よって} \quad |\gamma| = \frac{1}{b}$$



- 5 (1) $f(x) = \frac{1}{2}x^2 - 2tx + 1$, $g(x) = -\frac{1}{2}x^2 - (t-2)x - 2t + 1$
 $f(x) - g(x) = 0$ とし, 整理すると

$$x^2 - (t+2)x + 2t = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x-t)(x-2) = 0$$

これを解いて $x = t, 2$

- (2) (1) の計算より, $g(x) - f(x) = -(x-t)(x-2)$ であるから

$$\begin{aligned} S(t) &= - \int_t^{2t} (x-t)(x-2) dx \\ &= - \int_t^{2t} (x-t)\{(x-2t) + 2(t-1)\} dx \\ &= - \int_t^{2t} (x-t)(x-2t) dt - (t-1) \left[(x-t)^2 \right]_t^{2t} \\ &= \frac{1}{6}t^3 - (t-1) \cdot t^2 = -\frac{5}{6}t^3 + t^2 \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から $S'(t) = -\frac{5}{2}t^2 + 2t = -\frac{5}{2}t \left(t - \frac{4}{5} \right)$

$0 < t < 1$ における $S(t)$ の増減は

t	(0)	$\dots$	$\frac{4}{5}$	$\dots$	(1)
$S'(t)$		+	0	-	
$S(t)$		$\nearrow$	$\frac{16}{75}$	$\searrow$	

したがって 極大値 $S\left(\frac{4}{5}\right) = \frac{16}{75}$



6 (1) $f(x) = 4x^3 - 3x$ より $f'(x) = 12x^2 - 3 = 12\left(x + \frac{1}{2}\right)\left(x - \frac{1}{2}\right)$

$f(x)$ の増減は、次のようになる.

x	$\cdots$	$-\frac{1}{2}$	$\cdots$	$\frac{1}{2}$	$\cdots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\nearrow$	1	$\searrow$	-1	$\nearrow$

よって 極大値 $f\left(-\frac{1}{2}\right) = 1$, 極小値 $f\left(\frac{1}{2}\right) = -1$

$f(x) = a$ の解は, 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = a$ の共有点の x 座標であるから, 上の増減表から, $f(x) = a$ が異なる 3 つの実数解をもつための条件は

$$-1 < a < 1$$

(2) 加法定理により

$$\cos 3\theta = \cos(2\theta + \theta) = \cos 2\theta \cos \theta - \sin 2\theta \sin \theta$$

$$\cos \theta = \cos(2\theta - \theta) = \cos 2\theta \cos \theta + \sin 2\theta \sin \theta$$

上の 2 式の辺々を加えると, $\cos 2\theta = 2\cos^2 \theta - 1$ より

$$\cos 3\theta + \cos \theta = 2\cos 2\theta \cos \theta = 2(2\cos^2 \theta - 1)\cos \theta$$

$\cos 3\theta$ について解くと

$$\cos 3\theta = 4\cos^3 \theta - 3\cos \theta \quad \text{よって} \quad \cos 3\theta = f(\cos \theta)$$

(3) $f(-1) = -1$, $f(1) = 1$ から, (1) の増減表より, $f(x) = -\frac{\sqrt{2}}{2}$ の解は, $-1 < x < 1$ に存在する. $x = \cos \theta$ とおくと ($0 < \theta < \pi$), (2) の結果から

$$\cos 3\theta = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$0 < 3\theta < 3\pi$ であるから

$$3\theta = \frac{3}{4}\pi, \frac{5}{4}\pi, \frac{11}{4}\pi \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{4}, \frac{5}{12}\pi, \frac{11}{12}\pi$$

求める解は $x = \cos \frac{\pi}{4}, \cos \frac{5}{12}\pi, \cos \frac{11}{12}\pi$

$$\text{よって} \quad x = \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{4}, -\frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4}$$

■

4.11 2025 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B・C (120 分)
- 医学部 [1] [2] [4] [5] 数I・II・III・A・B・C (120 分)
- 農学部 [1] [2] [6] [7] 数I・II・A・B・C (120 分)
- 教育学部 [1] [6] [7] 数I・II・A・B・C (100 分)

[1] 1 から 6 の目が 1 つずつ書いてあるが, $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ について, k の目が出る確率が, 1 の目が出る確率の k 倍であるさいころを考える. 次の問に答えよ.

- (1) このさいころを 1 回投げたとき, 3 の目が出る確率を求めよ.
- (2) n を 2 以上の自然数とする. このさいころを n 回投げたとき, 3 の目が 2 回以上出る確率を n を用いて表せ.
- (3) このさいころを 2 回投げて出る目の和が偶数になるとき, 3 の目が 1 回以上出る条件付き確率を求めよ.

[2] O を原点とする座標空間上に 3 点 $A(1, 0, 0)$, $B(0, 2, 0)$, $C(0, 0, 1)$ をとり, 点 C を中心とする半径 1 の球面を S とする. 点 P が S 上を動くとき, 次の問に答えよ.

- (1) 球面 S の方程式を求めよ.
- (2) 点 $Q(a, b, c)$ は, 点 P のとり方によらず, $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} - \overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{CP} = 2$ を満たすとする. 定数 a, b, c の値を求めよ.
- (3) 点 P が S 上を動くときの, $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP}$ と $AP^2 + BP^2$ の最大値をそれぞれ求めよ.

3 n を 0 以上の整数とする. 次の問に答えよ.

(1) 関数 $y = \frac{(\log x)^{n+1}}{x}$ ($x > 1$) の極値を n を用いて表せ.

(2) (1) の結果を用いて, $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(\log x)^n}{x} = 0$ を示せ.

(3) 極限值

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \int_1^x \frac{1}{t^2} dt$$

を求めよ. また, 極限

$$I_n = \lim_{x \rightarrow \infty} \int_1^x \frac{(\log t)^n}{t^2} dt$$

について, I_n の漸化式を求め, I_n を n を用いて表せ.

4 $\alpha = 3 + 4i$ とし, 複素数平面上で

$$z\bar{z} - \bar{\alpha}z - \alpha\bar{z} = 0$$

を満たす点 z 全体が表す図形を C とする. 次の問に答えよ.

(1) C はどのような図形になるか.

(2) 原点と C 上の 3 点が正方形の 4 つの頂点をなすとき, この 3 点を表す複素数をそれぞれ求めよ.

(3) C 上の点 z について, 複素数平面上の 3 点 $0, \alpha, z$ が鈍角三角形の 3 つの頂点をなすとき, 複素数 $z = a + bi$ の実部 a がとる値の範囲を求めよ.

5 n を 0 以上の整数とする．次の問に答えよ．

(1) 関数 $y = \frac{(\log x)^{n+1}}{x}$ ($x > 1$) の極値を n を用いて表せ．

(2) (1) の結果を用いて, $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(\log x)^n}{x} = 0$ を示せ．

(3) 極限

$$I_n = \lim_{x \rightarrow \infty} \int_1^x \frac{(\log t)^n}{t^2} dt$$

について, I_n の漸化式を求め, I_n を n を用いて表せ．

6 $0 \leq \theta \leq \pi$ とし, $y = \sqrt{3} \sin 2\theta + \cos 2\theta + 6 \sin \theta - 2\sqrt{3} \cos \theta - 2$ とする．
 $t = \sqrt{3} \sin \theta - \cos \theta$ とするとき, 次の問に答えよ．

(1) t^2 を $\sin 2\theta$, $\cos 2\theta$ を用いて表せ．また, y を t を用いて表せ．

(2) t のとる値の範囲を求めよ．

(3) y の最大値と最小値を求めよ．また, そのときの θ の値をすべて求めよ．

7 k を定数とし, $f(x) = 4x^3 - 3x^2 + k$ とする．また, 正の実数 α は $f(\alpha) = 0$ および $f'(\alpha) = 0$ を満たすとする．次の問に答えよ．

(1) α および k の値を求めよ．

(2) 方程式 $f(x) = 0$ を解け．

(3) 関数 $y = f(x)$ の増減を調べ, そのグラフをかけ．

(4) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸で囲まれた図形の面積を, 積分をすることにより求めよ．

解答例

- 1 (1) 1 の目が出る確率を p とすると, k の目が出る確率は kp であるから
($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

$$p + 2p + 3p + 4p + 5p + 6p = 1 \quad \text{ゆえに} \quad p = \frac{1}{21}$$

したがって, k の目が出る確率は $\frac{1}{21}k$

よって, 3 の目が出る確率は $\frac{1}{21} \cdot 3 = \frac{1}{7}$

- (2) (1) の結果から, 3 以外の目が出る確率は $1 - \frac{1}{7} = \frac{6}{7}$

(i) n 回とも 3 以外の目が出る確率は $\left(\frac{6}{7}\right)^n$

(ii) 3 の目が 1 回, 3 以外の目が $n-1$ 回出る確率は

$${}_nC_1 \cdot \frac{1}{7} \left(\frac{6}{7}\right)^{n-1} = \frac{n}{6} \left(\frac{6}{7}\right)^n$$

求める確率は, (i), (ii) の余事象の確率であるから

$$1 - \left\{ \left(\frac{6}{7}\right)^n + \frac{n}{6} \left(\frac{6}{7}\right)^n \right\} = 1 - \left(1 + \frac{n}{6}\right) \left(\frac{6}{7}\right)^n$$

- (3) 奇数の目が出る確率は $\frac{1}{21} + \frac{3}{21} + \frac{5}{21} = \frac{3}{7}$

偶数の目が出る確率は $1 - \frac{3}{7} = \frac{4}{7}$

2 回投げて出る目の和が偶数となる事象 A は, 2 回とも偶数, 2 回とも奇数の場合であるから, その確率は

$$P(A) = \left(\frac{3}{7}\right)^2 + \left(\frac{4}{7}\right)^2$$

3 の目が 1 回以上出る事象を B とする.

3 の目が 1 回と 3 以外の奇数の目が 1 回出る確率は

$${}_2C_1 \cdot \frac{1}{7} \cdot \left(\frac{1}{21} + \frac{5}{21}\right) = \left(\frac{2}{7}\right)^2$$

2 回とも 3 の目が出る確率は $\left(\frac{1}{7}\right)^2$

よって, 求める条件付き確率は

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\left(\frac{2}{7}\right)^2 + \left(\frac{1}{7}\right)^2}{\left(\frac{3}{7}\right)^2 + \left(\frac{4}{7}\right)^2} = \frac{2^2 + 1}{3^2 + 4^2} = \frac{1}{5}$$



- 2 (1) 点 $C(0, 0, 1)$ を中心とする半径 1 の球面 S の方程式は

$$x^2 + y^2 + (z - 1)^2 = 1$$

- (2) $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} - \overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{CP} = 2$ より

$$\begin{aligned} (\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CA}) \cdot (\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CB}) - \overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{CP} &= 2 \\ |\overrightarrow{CP}|^2 - (\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{OQ}) \cdot \overrightarrow{CP} + \overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CB} &= 2 \end{aligned}$$

$|\overrightarrow{CP}| = 1$, $\overrightarrow{CA} = (1, 0, -1)$, $\overrightarrow{CB} = (0, 2, -1)$ より, $\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CB} = 1$ であるから, 整理すると

$$(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{OQ}) \cdot \overrightarrow{CP} = 0$$

S 上の点 P について, 常に上式が成立するから, $\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{OQ} = \vec{0}$ より

$$\overrightarrow{OQ} = -(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB}) = (-1, -2, 2) \quad (*)$$

よって $a = -1, b = -2, c = 2$

- (3) $(*)$ および $|\overrightarrow{CP}| = 1, |\overrightarrow{OQ}| = 3, |\overrightarrow{CA}|^2 = 2, |\overrightarrow{CB}|^2 = 5$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} &= (\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CA}) \cdot (\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CB}) \\ &= |\overrightarrow{CP}|^2 - (\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB}) \cdot \overrightarrow{CP} + \overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CB} \\ &= 1 + \overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{CP} + 1 \\ &\leq 2 + |\overrightarrow{OQ}| |\overrightarrow{CP}| = 2 + 3 \cdot 1 = 5, \\ AP^2 + BP^2 &= |\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CA}|^2 + |\overrightarrow{CP} - \overrightarrow{CB}|^2 \\ &= 2|\overrightarrow{CP}|^2 - 2(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB}) \cdot \overrightarrow{CP} + |\overrightarrow{CA}|^2 + |\overrightarrow{CB}|^2 \\ &= 2 \cdot 1^2 + 2\overrightarrow{OQ} \cdot \overrightarrow{CP} + 2 + 5 \\ &\leq 9 + 2|\overrightarrow{OQ}| |\overrightarrow{CP}| = 9 + 2 \cdot 3 \cdot 1 = 15 \end{aligned}$$

よって, $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP}$ の最大値は 5, $AP^2 + BP^2$ の最大値は 15



3 (1) $y = \frac{(\log x)^{n+1}}{x}$ ($x > 1$) を微分すると

$$y' = \frac{(n+1)(\log x)^n}{x^2} - \frac{(\log x)^{n+1}}{x^2} = \frac{(\log x)^n}{x^2}(n+1 - \log x)$$

したがって, y の増減表は

x	(1)	$\dots$	e^{n+1}	$\dots$
y'		+	0	-
y		$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, 極大値 $\frac{(\log e^{n+1})^{n+1}}{e^{n+1}} = \left(\frac{n+1}{e}\right)^{n+1}$, 極小値なし.

(2) (1) の結果から, $x > 1$ において $0 < \frac{(\log x)^{n+1}}{x} \leq \left(\frac{n+1}{e}\right)^{n+1}$

したがって $0 < \frac{(\log x)^n}{x} \leq \left(\frac{n+1}{e}\right)^{n+1} \frac{1}{\log x}$

$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{n+1}{e}\right)^{n+1} \frac{1}{\log x} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(\log x)^n}{x} = 0$$

(3) $I_0 = \lim_{x \rightarrow \infty} \int_1^x \frac{1}{t^2} dt = \lim_{x \rightarrow \infty} \left[-\frac{1}{t} \right]_1^x = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{x} \right) = 1$

$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{(\log t)^{n+1}}{t} \right\} = \frac{(n+1)(\log t)^n}{t^2} - \frac{(\log t)^{n+1}}{t^2}$ であるから

$$\left[\frac{(\log t)^{n+1}}{t} \right]_1^x = (n+1) \int_1^x \frac{(\log t)^n}{t^2} dt - \int_1^x \frac{(\log t)^{n+1}}{t^2} dt$$

上式について, $x \rightarrow \infty$ とすると, $I_n = \lim_{x \rightarrow \infty} \int_1^x \frac{(\log t)^n}{t^2} dt$ より

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(\log x)^{n+1}}{x} = (n+1)I_n - I_{n+1}$$

(2) の結果より $(n+1)I_n - I_{n+1} = 0$ すなわち $I_{n+1} = (n+1)I_n$

$I_0 = 1$ および $\frac{I_{n+1}}{(n+1)!} = \frac{I_n}{n!}$ より $\frac{I_n}{n!} = \frac{I_0}{0!} = 1$ よって $I_n = n!$ ■

- 4 (1) $z\bar{z} - \bar{\alpha}z - \alpha\bar{z} = 0$ より

$$(z - \alpha)(\bar{z} - \bar{\alpha}) = \alpha\bar{\alpha} \quad \text{ゆえに} \quad |z - \alpha|^2 = |\alpha|^2$$

$$|z - \alpha| = |\alpha|, \quad |\alpha| = |3 + 4i| = 5 \text{ であるから}$$

C は点 $3 + 4i$ を中心とする半径 5 の円

- (2) 求める 3 点を $A_n(z_n)$ とすると ($n = 1, 2, 3$), $A_n(z_n)$ は点 α を中心に点 0 を $\frac{n\pi}{2}$ だけ回転させた点であるから

$$z_n = \alpha + (-\alpha)i^n \quad (n = 1, 2, 3)$$

したがって

$$z_1 = \alpha - \alpha i = \alpha(1 - i) = (3 + 4i)(1 - i) = 7 + i,$$

$$z_2 = \alpha + \alpha = 2\alpha = 2(3 + 4i) = 6 + 8i,$$

$$z_3 = \alpha + \alpha i = \alpha(1 + i) = (3 + 4i)(1 + i) = -1 + 7i$$

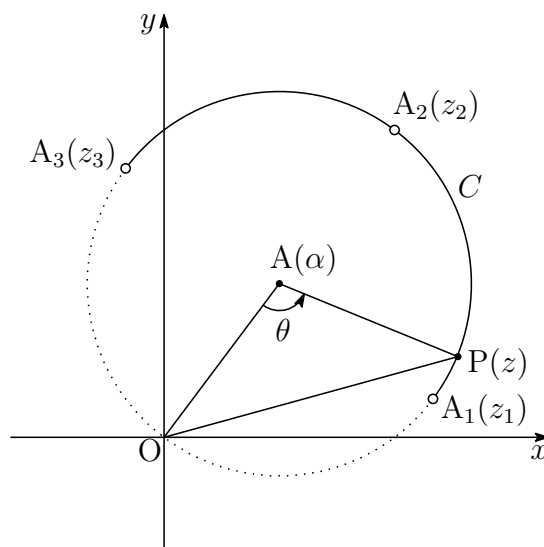
- (3) 3 点 $O(0)$, $A(\alpha)$, $P(z)$ が鈍角三角形であるとき

$$z = \alpha + (-\alpha)(\cos \theta + i \sin \theta) \quad \left(\frac{\pi}{2} < \theta < \pi, \pi < \theta < \frac{3}{2}\pi \right)$$

$$= \alpha(1 - \cos \theta - i \sin \theta)$$

$$= (3 + 4i)(1 - \cos \theta - i \sin \theta)$$

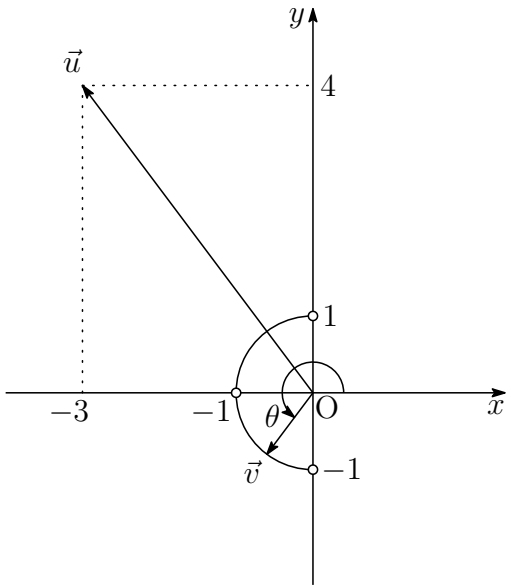
$$= (3 - 3 \cos \theta + 4 \sin \theta) + i(4 - 4 \cos \theta - 3 \sin \theta)$$



$\vec{u} = (-3, 4), \vec{v} = (\cos \theta, \sin \theta)$ とおくと

$$a = 3 - 3 \cos \theta + 4 \sin \theta = 3 + \vec{u} \cdot \vec{v} \quad \left(\frac{\pi}{2} < \theta < \pi, \pi < \theta < \frac{3}{2}\pi \right)$$

$\vec{u} \cdot \vec{v} \leq |\vec{u}| |\vec{v}| = 5 \cdot 1 = 5$ であるから $-1 < a < 6, 6 < a \leq 8$



5 3 を参照.



- 6** (1) $t = \sqrt{3}\sin\theta - \cos\theta$ の両辺を平方すると

$$\begin{aligned} t^2 &= 3\sin^2\theta - 2\sqrt{3}\sin\theta\cos\theta + \cos^2\theta \\ &= 3 \cdot \frac{1 - \cos 2\theta}{2} - \sqrt{3}\sin 2\theta + \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \\ &= -\sqrt{3}\sin 2\theta - \cos 2\theta + 2 \end{aligned}$$

上式より, $\sqrt{3}\sin 2\theta + \cos 2\theta - 2 = -t^2$ であるから

$$\begin{aligned} y &= \sqrt{3}\sin 2\theta + \cos 2\theta + 6\sin\theta - 2\sqrt{3}\cos\theta - 2 \\ &= (\sqrt{3}\sin 2\theta + \cos 2\theta - 2) + 2\sqrt{3}(\sqrt{3}\sin\theta - \cos\theta) \\ &= -t^2 + 2\sqrt{3}t \end{aligned}$$

$$(2) \quad t = \sqrt{3}\sin\theta - \cos\theta = 2\sin\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right)$$

$0 \leq \theta \leq \pi$ より, $-\frac{\pi}{6} \leq \theta - \frac{\pi}{6} \leq \frac{5\pi}{6}$ であるから

$$-1 \leq t \leq 2$$

- (3) (1), (2) の結果から

$$y = -(t - \sqrt{3})^2 + 3 \quad (-1 \leq t \leq 2)$$

$t = \sqrt{3}$, すなわち, $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{6}$ のとき, 最大値 2

$t = -1$, すなわち, $\theta = 0$ のとき, 最小値 $-1 - 2\sqrt{3}$ ■

7 (1) $f(x) = 4x^3 - 3x^2 + k$ を微分すると $f'(x) = 12x^2 - 6x \cdots \textcircled{1}$

$$f'(\alpha) = 0 \text{ より } (\alpha > 0) \quad 12\alpha^2 - 6\alpha = 0$$

$$6\alpha(2\alpha - 1) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \alpha = \frac{1}{2}$$

$$f\left(\frac{1}{2}\right) = 0 \text{ であるから}$$

$$4\left(\frac{1}{2}\right)^3 - 3\left(\frac{1}{2}\right)^2 + k = 0 \quad \text{これを解いて} \quad k = \frac{1}{4}$$

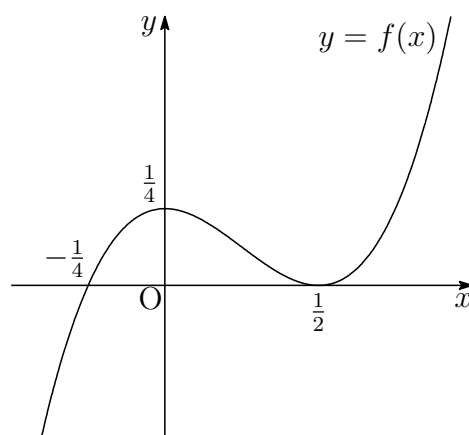
(2) $f(x) = 4x^3 - 3x^2 + \frac{1}{4}$ より, $f(x) = 0$ とすると

$$4\left(x + \frac{1}{4}\right)\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = -\frac{1}{4}, \frac{1}{2}$$

(3) $\textcircled{1}$ より, $f'(x) = 0$ を解くと $x = 0, \frac{1}{2}$

したがって, $y = f(x)$ の増減およびグラフの概形は次のようになる.

x	$\cdots$	0	$\cdots$	$\frac{1}{2}$	$\cdots$
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	$\nearrow$	$\frac{1}{4}$	$\searrow$	0	$\nearrow$



(4) $f(x) = 4\left(x + \frac{1}{4}\right)\left(\frac{1}{2} - x\right)^2$ であるから, 求める面積を S とすると³

$$S = 4 \int_{-\frac{1}{4}}^{\frac{1}{2}} \left(x + \frac{1}{4}\right) \left(\frac{1}{2} - x\right)^2 dx = 4 \cdot \frac{2!1!}{4!} \left\{ \frac{1}{2} - \left(-\frac{1}{4}\right) \right\}^4 = \frac{27}{256}$$

補足 $\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$ ■

³<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> (p.5 を参照)

第 5 章 長崎大学

出題分野

(教 B・薬 工・情 B・歯 医学部 教 A・経・環 水・情 A)

教育 B・薬学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	長崎大学 教 B・薬	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											4
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式	3										
	三角関数	3		3	3		3		3		4	4
	指数関数と対数関数		3		3	3	3	3	3			
	微分法と積分法				3	3・4	5				4	
III	関数											
	極限	5	7	7		7	7			4	6	
	微分法とその応用	7		3・5	5			5		3		6
	積分法	5	5	5		7	7	3		3	4	5
	積分法の応用	5・7	7		4・5			7*	5	5	7	7
A	場合の数と確率											
	整数の性質						3				3	
	図形の性質											
B	数列			3	3			3	4	2・3	3	5
	確率分布と統計											4
C	平面上のベクトル					4	4			3	3	
	空間のベクトル	4	4	4		3		4	2			
	複素数平面			3	7	6	3	8*	3			5
	式と曲線											4

数字は問題番号 (* は選択問題)

工・情 B・歯学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	長崎大学 工・情 B・歯	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											4
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式	3										
	三角関数	3		3	3		3		3		4	4
	指数関数と対数関数		3		3	3	3	3	3			
	微分法と積分法				3	3・4	5				4	
III	関数											
	極限	5		6		7				4	6	
	微分法とその応用	6		3・5	5			5		3		6
	積分法	5	5	5		7	6	3		3	4	5
	積分法の応用	5・6	6		4・5	5		7*	5	5	7	7
A	場合の数と確率											
	整数の性質						3				3	
	図形の性質											
B	数列			3	3			3	4	2・3	3	5
	確率分布と統計						9*	11*				4
C	平面上のベクトル				6	4	4			3	3	
	空間のベクトル	4	4	4		3		4	2			
	複素数平面			3			3	8*	3			5
	式と曲線											4

数字は問題番号 (* は選択問題)

医学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	長崎大学 医学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式	3										
	三角関数	3		3	3		3		3			
	指数関数と対数関数		3		3	3	3	3	3			8
	微分法と積分法				3	3・4					5	
III	関数											
	極限	5・8	7	7		7	7・8				8	11
	微分法とその応用			3				6		3		9
	積分法	5			8	7	7	3	7	3	5	
	積分法の応用	5・8	7・8	8	4			10*		5	7	10
A	場合の数と確率											
	整数の性質						3					
	図形の性質											
B	数列			3	3			3		2・3		8
	確率分布と統計											8
C	平面上のベクトル					4	4			3	5	
	空間のベクトル	4	4	4		3		4	2			
	複素数平面			3	7	8	3	9*	3	6	9	8
	式と曲線								6			

数字は問題番号

教育 A・経済・環境 出題分野 (2015-2025) 80 分

◀	長崎大学 教 A・経・環	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											1
	図形と計量										1	
	データの分析											
II	式と証明						1					
	複素数と方程式										1	
	図形と方程式		1	1				1	1			
	三角関数		1	1	1	1		1	1			
	指数関数と対数関数		1				1			1		
	微分法と積分法	1	1	2	1・2	2	2	1	1	1	1	3
A	場合の数と確率											
	整数の性質					1	1					
	図形の性質											
B	数列			1	1	1			1	2	1	1
	確率分布と統計											1
C	平面上のベクトル			1	1	1	1			1		1
	空間のベクトル	2	2					2	2		2	
	複素数平面											
	式と曲線											1

数字は問題番号

水産・情報 A 出題分野 (2015-2025) 110 分

◀	長崎大学 水・情 A	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											1
	図形と計量										1	
	データの分析											
II	式と証明						1					
	複素数と方程式										1	2
	図形と方程式		1	1				1	1			
	三角関数		1	1	1	1		1	1			2
	指数関数と対数関数		1				1			1		2
	微分法と積分法	1	1	2	1・2	2	2	1	1	1	1	3
A	場合の数と確率											
	整数の性質					1	1					
	図形の性質											
B	数列			1	1	1			1	2	1	1
	確率分布と統計											1
C	平面上のベクトル			1	1	1	1			1		1
	空間のベクトル	2	2					2	2		2	
	複素数平面											
	式と曲線											1

数字は問題番号

5.1 2015年

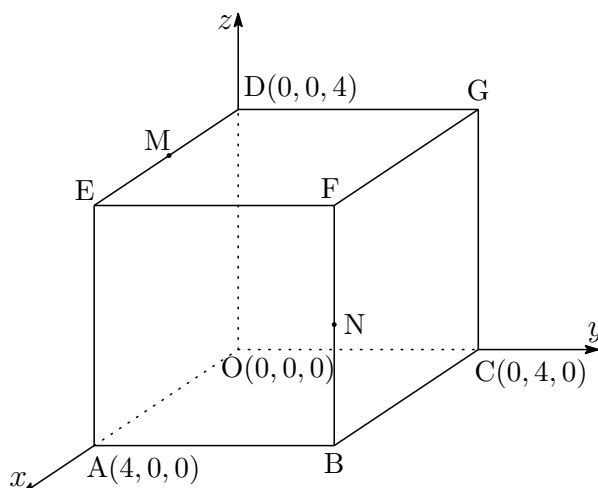
出題分野

- 教育・薬学部 [3] [4] [5] [7] 数I・II・III・A・B (120分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [6] 数I・II・III・A・B (120分)
- 経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数I・II・A・B (80分)
- 医学部 [3] [4] [5] [8] 数I・II・III・A・B (120分)

[1] 2つの放物線 $C_1: y = x^2$, $C_2: y = x^2 - 2ax + 2a^2$ を考える. ただし, $a > 0$ とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 放物線 C_2 の頂点の座標を a を用いて表せ.
- (2) 2つの放物線 C_1 , C_2 の共通接線を ℓ とし, C_1 と ℓ との接点の x 座標を p , C_2 と ℓ との接点の x 座標を q とする. p と q の値および ℓ の方程式を, それぞれ a を用いて表せ.
- (3) 放物線 C_1 , C_2 および接線 ℓ によって囲まれた図形の面積を S_1 とする. S_1 を a を用いて表せ.
- (4) 点 $\left(-\frac{a}{2}, \frac{a^2}{4}\right)$ における C_1 の接線を m とする. このとき, m の方程式を a を用いて表せ. また, m と接線 ℓ との交点の x 座標を求めよ.
- (5) 放物線 C_1 および接線 ℓ , m によって囲まれた図形の面積を S_2 とする. S_2 を a を用いて表せ. さらに, $\frac{S_2}{S_1}$ の値を求めよ.

- 2 4点 $O(0, 0, 0)$, $A(4, 0, 0)$, $C(0, 4, 0)$, $D(0, 0, 4)$ をとり, 下図のように線分 OA , OC , OD を3辺とする立方体 $OABC-DEFG$ を考える. 辺 DE , BF の中点を, それぞれ M , N とする. 以下の問いに答えよ.



- (1) ベクトル $\overrightarrow{GM}$ および $\overrightarrow{GN}$ を成分で表せ.
 - (2) $\angle MGN = \theta$ とする. $\cos \theta$ の値を求めよ.
 - (3) 3点 G , M , N を頂点とする三角形 GMN の面積を求めよ.
 - (4) 三角錐 $FGMN$ において, 三角形 GMN を底面としたときの高さを求めよ.
 - (5) 三角形 GMN を含む平面と線分 OF との交点を P とする. このとき, $\overrightarrow{OP}$ を $\overrightarrow{OF}$ を用いて表せ.
- 3 放物線 $C: y = x^2$ 上に異なる2点 P , Q をとる. P , Q の x 座標をそれぞれ p , q (ただし, $p < q$) とする. 直線 PQ の傾きを a とおく. 以下の問いに答えよ.
- (1) a を p , q を用いて表せ.
 - (2) $a = 1$ とする. 直線 PQ と x 軸の正の向きとのなす角 θ_1 (ただし, $0 < \theta_1 < \pi$) を求めよ.
 - (3) $a = 1$ とする. 放物線 C 上に点 R をとる. R の x 座標を r (ただし, $r < p$) とする. 三角形 PQR が正三角形になるとき, 直線 PR と x 軸の正の向きとのなす角 θ_2 (ただし, $0 < \theta_2 < \pi$) を求めよ. また, このとき直線 PR の傾き, および直線 QR の傾きを, それぞれ求めよ. さらに, 正三角形 PQR の面積を求めよ.
 - (4) $a = 2$ とする. 放物線 C 上に点 $S(1, 1)$ をとる. 三角形 PQS が $\angle S = \frac{\pi}{2}$ である直角三角形になるとき, この三角形の面積を求めよ.

- 4 ひし形の紙がある (図1). 点線で半分に折ると正三角形になった (図2). これを少し開いて机の上に立てると, 三角錐^{すい}の形になる. その高さを次のようにして求めたい.

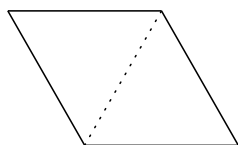


図1

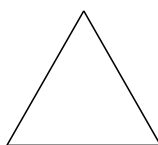


図2

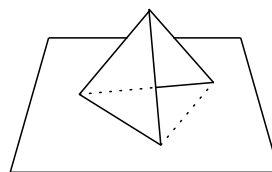


図3

図4において, 2つの正三角形 OAB と OAC の1辺の長さを1とする. 点 O と平面 ABC の距離が, 三角錐 $OABC$ の高さになる.

空間ベクトルを利用してこの高さを求める.
 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\angle BOC = \theta$ とおき, 線分 BC の中点を M とする. 以下の問いに答えよ.

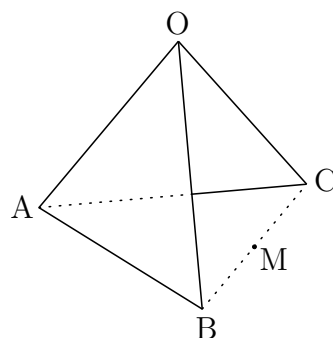


図4(図3の拡大図)

- (1) $\overrightarrow{OM}$ と $\overrightarrow{AM}$ を, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ.
- (2) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ と $\vec{a} \cdot \vec{c}$ の値を求めよ. また, $|\vec{b} + \vec{c}|^2$ の値を $\cos \theta$ を用いて表せ.
- (3) 実数 t に対して $\overrightarrow{OH} = (1-t)\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OM}$ とおくと, 点 H は直線 AM 上にある. このとき, $\overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{BC}$ が成り立つことを示せ. さらに, H が $\overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AM}$ を満たす点であるとき, t の値を $\cos \theta$ を用いて表せ.
- (4) 三角錐 $OABC$ の高さを h とする. h を $\cos \theta$ を用いて表せ. さらに, $\overrightarrow{OM} \perp \overrightarrow{AM}$ が成り立つとき, θ と h の値を求めよ.

5 以下の問いに答えよ.

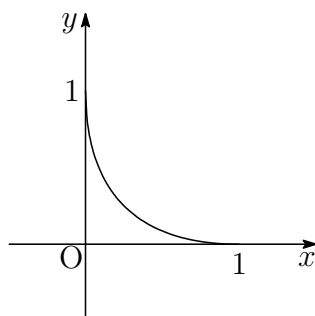
- (1) 次の関係式によって定められる数列 $\{a_n\}$ について, 一般項 a_n と $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ.

$$\begin{cases} a_1 = 1 \\ a_{n+1} - (\sqrt{2} + 1)a_n = 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

- (2) 次の極限值を求めよ.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^2 + 1^2} + \frac{2}{n^2 + 2^2} + \frac{3}{n^2 + 3^2} + \dots + \frac{n}{n^2 + n^2} \right)$$

- (3) 曲線 $C: \sqrt{x} + \sqrt{y} = 1$ と x 軸および y 軸で囲まれた下図の図形を, x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.



6 実数 $x \neq 1$ について定義される関数

$$f(x) = \frac{1+x}{1-x}$$

を考える. 以下の問いに答えよ.

- (1) $f'(x)$ と $f''(x)$ を求めよ.
- (2) $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow 1-0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow 1+0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ を求めよ.
- (3) x 座標と y 座標がともに整数である点を格子点という. 曲線 $y = f(x)$ 上の格子点の座標をすべて求めよ.
- (4) 関数 $y = f(x)$ のグラフをかけ.
- (5) $x \leq 0$ かつ $y \geq 0$ で表される領域において, x 軸と y 軸および曲線 $y = f(x)$ で囲まれた図形の面積を求めよ.

7 区間 $0 \leq x \leq \pi$ 上で定義される関数

$$f(x) = \cos 2x - 4 \sin^3 x$$

について、以下の問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の最大値と最小値を求めよ.
- (2) 不定積分 $\int f(x) dx$ を求めよ.
- (3) 方程式 $f(x) = 0$ の解を求めよ.
- (4) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸で囲まれた図形の面積を求めよ.

8 自然対数の底を e とする. 区間 $x \geq 0$ 上で定義される関数

$$f(x) = e^{-x} \sin x$$

を考え、曲線 $y = f(x)$ と x 軸との交点を、 x 座標の小さい順に並べる. それらを、 $P_0, P_1, P_2, \dots$ とする. 点 P_0 は原点である.

自然数 n ($n = 1, 2, 3, \dots$) に対して、線分 $P_{n-1}P_n$ と $y = f(x)$ で囲まれた図形の面積を S_n とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 点 P_n の x 座標を求めよ.
- (2) 面積 S_n を求めよ.
- (3) $I_n = \sum_{k=1}^n S_k$ とする. このとき、 I_n と $\lim_{n \rightarrow \infty} I_n$ を求めよ.

解答例

1 (1) $C_2: y = (x - a)^2 + a^2$ であるから, C_2 の頂点の座標は (a, a^2)

(2) $y = x^2$ を微分すると $y' = 2x$
 $y = x^2 - 2ax + 2a^2$ を微分すると $y' = 2(x - a)$
 C_1 上の点 (p, p^2) における接線の方程式は

$$y - p^2 = 2p(x - p) \quad \text{すなわち} \quad y = 2px - p^2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

C_2 上の点 $(q, q^2 - 2aq + 2a^2)$ における接線の方程式は

$$y - (q^2 - 2aq + 2a^2) = 2(q - a)(x - q)$$

$$\text{すなわち} \quad y = 2(q - a)x - q^2 + 2a^2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② の直線は一致するから

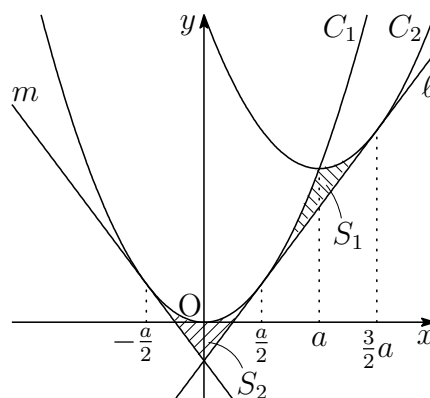
$$2p = 2(q - a), \quad -p^2 = -q^2 + 2a^2$$

$$\text{ゆえに} \quad q - p = a, \quad (q + p)(q - p) = 2a^2$$

$$\text{よって} \quad p = \frac{a}{2}, \quad q = \frac{3}{2}a$$

また, ① から ℓ の方程式は

$$y = ax - \frac{a^2}{4}$$



(3) C_1 と C_2 の共有点の x 座標は

$$x^2 = x^2 - 2ax + 2a^2 \quad \text{ゆえに} \quad x = a$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad S_1 &= \int_{\frac{a}{2}}^a \left\{ x^2 - \left(ax - \frac{a^2}{4} \right) \right\} dx \\ &\quad + \int_a^{\frac{3}{2}a} \left\{ (x^2 - 2ax + 2a^2) - \left(ax - \frac{a^2}{4} \right) \right\} dx \\ &= \int_{\frac{a}{2}}^a \left(x - \frac{a}{2} \right)^2 dx + \int_a^{\frac{3}{2}a} \left(x - \frac{3}{2}a \right)^2 dx \\ &= \left[\frac{1}{3} \left(x - \frac{a}{2} \right)^3 \right]_{\frac{a}{2}}^a + \left[\frac{1}{3} \left(x - \frac{3}{2}a \right)^3 \right]_a^{\frac{3}{2}a} = \frac{a^3}{12} \end{aligned}$$

- (4) C_1 は y 軸に関して対称である. C_1 上の2点 $\left(\frac{a}{2}, \frac{a^2}{4}\right)$, $\left(-\frac{a}{2}, \frac{a^2}{4}\right)$ は y 軸に関して対称であるから, C_1 上のそれぞれ点における接線 ℓ , m は y 軸に関して対称である. よって, m の方程式は

$$y = -ax - \frac{a^2}{4}$$

したがって, ℓ と m の交点の x 座標は $x = 0$

- (5) C_1 および ℓ , m によって囲まれた図形は, y 軸に関して対称であるから

$$\begin{aligned} S_2 &= 2 \int_0^{\frac{a}{2}} \left\{ x^2 - \left(ax - \frac{a^2}{4} \right) \right\} dx \\ &= 2 \int_0^{\frac{a}{2}} \left(x - \frac{a}{2} \right)^2 dx = 2 \left[\frac{1}{3} \left(x - \frac{a}{2} \right)^3 \right]_0^{\frac{a}{2}} = \frac{a^3}{12} \end{aligned}$$

これと (3) の結果から $\frac{S_2}{S_1} = 1$ ■

- 2** (1) $G(0, 4, 4)$, $M(2, 0, 4)$, $N(4, 4, 2)$ であるから

$$\begin{aligned} \overrightarrow{GM} &= (2, 0, 4) - (0, 4, 4) = (2, -4, 0) \\ \overrightarrow{GN} &= (4, 4, 2) - (0, 4, 4) = (4, 0, -2) \end{aligned}$$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} \overrightarrow{GM} \cdot \overrightarrow{GN} &= 2 \times 4 + (-4) \times 0 + 0 \times (-2) = 8 \\ |\overrightarrow{GM}| &= \sqrt{2^2 + (-4)^2 + 0^2} = 2\sqrt{5} \\ |\overrightarrow{GN}| &= \sqrt{4^2 + 0^2 + (-2)^2} = 2\sqrt{5} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \cos \theta = \frac{\overrightarrow{GM} \cdot \overrightarrow{GN}}{|\overrightarrow{GM}| |\overrightarrow{GN}|} = \frac{8}{2\sqrt{5} \cdot 2\sqrt{5}} = \frac{2}{5}$$

- (3) (2) の結果から $\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \frac{\sqrt{21}}{5}$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \triangle GMN &= \frac{1}{2} |\overrightarrow{GM}| |\overrightarrow{GN}| \sin \theta \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{5} \cdot 2\sqrt{5} \times \frac{\sqrt{21}}{5} = 2\sqrt{21} \end{aligned}$$

- (4) 三角錐 FGMN において $\triangle GMN$ を底辺とする高さを h とすると, 三角錐 FGMN の体積により

$$\frac{1}{3}\triangle GMN \times h = \frac{1}{3}\triangle MFG \times FN$$

したがって
$$\frac{1}{3} \times 2\sqrt{21} \times h = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4 \times 2$$

これを解いて
$$h = \frac{8}{\sqrt{21}} = \frac{8\sqrt{21}}{21}$$

- (5) $\overrightarrow{OF} = \alpha\overrightarrow{OG} + \beta\overrightarrow{OM} + \gamma\overrightarrow{ON}$ とおくと (α, β, γ は実数)

$$\begin{aligned} (4, 4, 4) &= \alpha(0, 4, 4) + \beta(2, 0, 4) + \gamma(4, 4, 2) \\ &= (2\beta + 4\gamma, 4\alpha + 4\gamma, 4\alpha + 4\beta + 2\gamma) \end{aligned}$$

成分を比較して $\beta + 2\gamma = 2, \quad \alpha + \gamma = 1, \quad 2\alpha + 2\beta + \gamma = 2$

ゆえに $\alpha = \frac{1}{5}, \beta = \frac{2}{5}, \gamma = \frac{4}{5}$ すなわち $\overrightarrow{OF} = \frac{1}{5}\overrightarrow{OG} + \frac{2}{5}\overrightarrow{OM} + \frac{4}{5}\overrightarrow{ON}$

$\overrightarrow{OP} = k\overrightarrow{OF}$ とおくと (k は実数)

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= k \left(\frac{1}{5}\overrightarrow{OG} + \frac{2}{5}\overrightarrow{OM} + \frac{4}{5}\overrightarrow{ON} \right) \\ &= \frac{k}{5}\overrightarrow{OG} + \frac{2k}{5}\overrightarrow{OM} + \frac{4k}{5}\overrightarrow{ON} \end{aligned}$$

このとき, P は平面 GMN 上の点であるから

$$\frac{k}{5} + \frac{2k}{5} + \frac{4k}{5} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = \frac{5}{7} \quad \text{よって} \quad \overrightarrow{OP} = \frac{5}{7}\overrightarrow{OF}$$



- 3 (1) $P(p, q), Q(q, q^2)$ であるから, 直線 PQ の傾き a は

$$a = \frac{q^2 - p^2}{q - p} = p + q$$

- (2) $a = 1$ より $\tan \theta_1 = 1$ これをみたす θ_1 ($0 < \theta_1 < \pi$) は $\theta_1 = \frac{\pi}{4}$

- (3) (2) 結果から, 直線 PR と x 軸の正の向きとなす角 θ_2 ($0 < \theta_2 < \pi$) は, $r < p$ に注意して

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{3} = \frac{7}{12}\pi$$

また, 直線 PR, QR の傾きは, (1) と同様にして

$$p + r = \tan \theta_2 = \tan \frac{7}{12}\pi = -2 - \sqrt{3}$$

$$q + r = \tan\left(\theta_1 - \frac{\pi}{3}\right) = \tan\left(-\frac{\pi}{12}\right) = -2 + \sqrt{3}$$

$a = 1$ であるから, (1) の結果および上の 2 式から

$$p + q = 1, \quad p + r = -2 - \sqrt{3}, \quad q + r = -2 + \sqrt{3}$$

$$\text{これを解くと} \quad p = \frac{1}{2} - \sqrt{3}, \quad q = \frac{1}{2} + \sqrt{3}, \quad r = -\frac{5}{2}$$

$$\theta_1 = \frac{\pi}{4} \text{ より} \quad PQ = \sqrt{2}(q - p) = \sqrt{2} \times 2\sqrt{3} = 2\sqrt{6}$$

$$\text{よって} \quad \triangle PQR = \frac{1}{2}(2\sqrt{6})^2 \sin 60^\circ = 6\sqrt{3}$$

- (4) $a = 2$ より, (1) の結果から $p + q = 2 \cdots \textcircled{1}$

$$S(1, 1) \text{ より} \quad \overrightarrow{SP} = (p - 1, p^2 - 1) = (p - 1)(1, p + 1)$$

$$\overrightarrow{SQ} = (q - 1, q^2 - 1) = (q - 1)(1, q + 1)$$

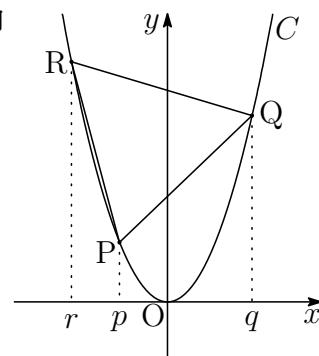
$$\angle S = \frac{\pi}{2} \text{ より} \quad \overrightarrow{SP} \cdot \overrightarrow{SQ} = 0 \text{ であるから}$$

$$1 \cdot 1 + (p + 1)(q + 1) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad pq + p + q + 2 = 0$$

$$\textcircled{1} \text{ を上式に代入すると} \quad pq = -4$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \triangle PQS &= \frac{1}{2} |(p - 1)(q - 1)| |1(q + 1) - 1(p + 1)| \\ &= \frac{1}{2} |pq - (p + q) + 1| (q - p) = \frac{1}{2} |-4 - 2 + 1| (q - p) \\ &= \frac{5}{2} (q - p) = \frac{5}{2} \sqrt{(p + q)^2 - 4pq} = \frac{5}{2} \sqrt{2^2 - 4 \cdot (-4)} = 5\sqrt{5} \end{aligned}$$

■



$$\boxed{4} \quad (1) \quad \overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}), \quad \overrightarrow{AM} = \overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OA} = \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) - \vec{a}$$

$$(2) \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos 60^\circ = 1 \cdot 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}, \quad \vec{a} \cdot \vec{c} = |\vec{a}||\vec{c}| \cos 60^\circ = 1 \cdot 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{また} \quad |\vec{b} + \vec{c}|^2 &= |\vec{b}|^2 + 2\vec{b} \cdot \vec{c} + |\vec{c}|^2 \\ &= 1^2 + 2 \cdot 1 \cdot 1 \cos \theta + 1^2 = 2 + 2 \cos \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \overrightarrow{OH} \cdot \overrightarrow{BC} &= \{(1-t)\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OM}\} \cdot (\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OB}) \\ &= \left\{ (1-t)\vec{a} + \frac{t}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} \cdot (\vec{c} - \vec{b}) \\ &= (1-t)(\vec{c} \cdot \vec{a} - \vec{a} \cdot \vec{b}) + \frac{t}{2}(|\vec{c}|^2 - |\vec{b}|^2) \\ &= (1-t) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) + \frac{t}{2}(1-1) = 0 \end{aligned}$$

したがって $\overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{BC}$

(2) の結果に注意して

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} \cdot \overrightarrow{AM} &= \left\{ (1-t)\vec{a} + \frac{t}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} \cdot \left\{ -\vec{a} + \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} \\ &= (t-1)|\vec{a}|^2 + \left\{ \frac{1}{2}(1-t) - \frac{t}{2} \right\} \vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) + \frac{t}{4}|\vec{b} + \vec{c}|^2 \\ &= (t-1) + \left(\frac{1}{2} - t \right) + \frac{t}{4}(2 + 2 \cos \theta) \\ &= -\frac{1}{2} + \frac{t}{2}(1 + \cos \theta) \end{aligned}$$

$\overrightarrow{OH} \perp \overrightarrow{AM}$ より, $\overrightarrow{OH} \cdot \overrightarrow{AM} = 0$ であるから

$$-\frac{1}{2} + \frac{t}{2}(1 + \cos \theta) = 0 \quad \text{よって} \quad t = \frac{1}{1 + \cos \theta}$$

(4) (2), (3) の結果を用いると

$$\begin{aligned}
 |\overrightarrow{\text{OH}}|^2 &= \left| (1-t)\vec{a} + \frac{t}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right|^2 \\
 &= (1-t)^2|\vec{a}|^2 + t(1-t)\vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) + \frac{t^2}{4}|\vec{b} + \vec{c}|^2 \\
 &= (1-t)^2 + t(1-t) + \frac{t^2}{4}(2 + 2\cos\theta) \\
 &= 1-t + \frac{1}{2}t^2(1 + \cos\theta) = 1 - \frac{1}{1 + \cos\theta} + \frac{1}{2(1 + \cos\theta)} \\
 &= \frac{1 + 2\cos\theta}{2(1 + \cos\theta)}
 \end{aligned}$$

よって $h = |\overrightarrow{\text{OH}}| = \sqrt{\frac{1 + 2\cos\theta}{2(1 + \cos\theta)}}$

$\overrightarrow{\text{OM}} \perp \overrightarrow{\text{AM}}$ のとき, $\overrightarrow{\text{OH}} = \overrightarrow{\text{OM}}$ であるから

$$(1-t)\vec{a} + \frac{t}{2}(\vec{b} + \vec{c}) = \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \quad \text{ゆえに} \quad (1-t) \left\{ \vec{a} - \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} = \vec{0}$$

したがって $(1-t)(\overrightarrow{\text{OA}} - \overrightarrow{\text{OM}}) = \vec{0}$

A と M は異なる点であるから $1-t=0$ よって $t=1$

これを (3) の結果に代入すると

$$\frac{1}{1 + \cos\theta} = 1 \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{2} \quad \text{このとき} \quad h = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$



$$\boxed{5} \quad (1) \quad \begin{cases} a_1 = 1 \\ a_{n+1} - (\sqrt{2} + 1)a_n = 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

上の漸化式およびその補助方程式は

$$\begin{cases} a_{n+1} = (\sqrt{2} + 1)a_n + 1 & \cdots \textcircled{1} \\ c = (\sqrt{2} + 1)c + 1 & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \text{ から } a_{n+1} - c = (\sqrt{2} + 1)(a_n - c)$$

$$\textcircled{2} \text{ を解いて } c = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{したがって } a_{n+1} + \frac{1}{\sqrt{2}} = (\sqrt{2} + 1) \left(a_n + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

数列 $\left\{ a_n + \frac{1}{\sqrt{2}} \right\}$ は、初項 $1 + \frac{1}{\sqrt{2}}$ 、公比 $\sqrt{2} + 1$ の等比数列であるから

$$a_n + \frac{1}{\sqrt{2}} = (\sqrt{2} + 1)^{n-1} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\text{よって } a_n = \frac{(\sqrt{2} + 1)^n - 1}{\sqrt{2}}$$

$$\sqrt{2} + 1 > 1 \text{ であるから } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$$

(2) 求める極限値は

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{k}{n^2 + k^2} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{\frac{k}{n}}{1 + \left(\frac{k}{n}\right)^2} \\ &= \int_0^1 \frac{x}{1 + x^2} dx = \left[\frac{1}{2} \log(1 + x^2) \right]_0^1 = \frac{\log 2}{2} \end{aligned}$$

$$(3) \quad \sqrt{x} + \sqrt{y} = 1 \text{ より } S = \pi \int_0^1 y^2 dx = \pi \int_0^1 (1 - \sqrt{x})^4 dx$$

$$t = 1 - \sqrt{x} \text{ とおくと } \begin{array}{c|c|c} x & 0 & \rightarrow & 1 \\ t & 1 & \rightarrow & 0 \end{array} \quad x = (1-t)^2 \text{ より } \frac{dx}{dt} = 2(t-1)$$

$$\begin{aligned} \text{よって } S &= \pi \int_1^0 t^4 \cdot 2(t-1) dt \\ &= \pi \int_0^1 (-2t^5 + 2t^4) dt = \pi \left[-\frac{1}{3}t^6 + \frac{2}{5}t^5 \right]_0^1 = \frac{\pi}{15} \end{aligned}$$

■

6 (1) $f(x) = \frac{1+x}{1-x} = -\frac{2}{x-1} - 1 = -2(x-1)^{-1} - 1$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= 2(x-1)^{-2} & f''(x) &= -4(x-1)^{-3} \\ &= \frac{2}{(x-1)^2} & &= -\frac{4}{(x-1)^3} \end{aligned}$$

(2) $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} \left(-\frac{2}{x-1} - 1 \right) = -1$

$\lim_{x \rightarrow 1-0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1-0} \left(-\frac{2}{x-1} - 1 \right) = \infty$

$\lim_{x \rightarrow 1+0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1+0} \left(-\frac{2}{x-1} - 1 \right) = -\infty$

$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(-\frac{2}{x-1} - 1 \right) = -1$

(3) $f(x) = -\frac{2}{x-1} - 1$ より, 格子点の x 座標は

$$x-1 = \pm 1, \pm 2 \quad \text{すなわち} \quad x = -1, 0, 2, 3$$

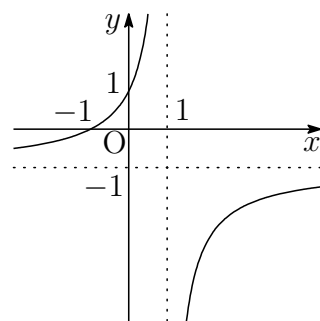
よって, 求める格子点の座標は

$$(-1, 0), (0, 1), (2, -3), (3, -2)$$

(4) $y = -\frac{2}{x-1} - 1$ より漸近線の方程式は

$$x = 1, \quad y = -1$$

したがって, 求めるグラフの概形は,
右のようになる.



(5) 求める図形の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-1}^0 f(x) dx = \int_{-1}^0 \left(-\frac{2}{x-1} - 1 \right) dx \\ &= \left[-2 \log |x-1| - x \right]_{-1}^0 = 2 \log 2 - 1 \end{aligned}$$

■

7 (1) $\cos 2x = 1 - 2\sin^2 x$ より $f(x) = 1 - 2\sin^2 x - 4\sin^3 x$

$$t = \sin x \quad (0 \leq x \leq \pi), \quad g(t) = f(x) \text{ とおくと}$$

$$g(t) = -4t^3 - 2t^2 + 1 \quad (0 \leq t \leq 1)$$

$$g'(t) = -12t^2 - 4t$$

$$= -4t(3t + 1)$$

$0 \leq t \leq 1$ において, $g'(t) < 0$ であるから, $g(t)$ は単調減少.

よって $t = 0$ すなわち $x = 0, \pi$ のとき 最大値 1

$t = 1$ すなわち $x = \frac{\pi}{2}$ のとき 最小値 -5

$$\begin{aligned} (2) \quad f(x) &= \cos 2x - 4\sin^3 x = \cos 2x - 4(1 - \cos^2 x)\sin x \\ &= \cos 2x - 4\sin x + 4\cos^2 x \sin x \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \int f(x) dx = \frac{1}{2} \sin 2x + 4 \cos x - \frac{4}{3} \cos^3 x + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

別解 $\sin 3x = 3\sin x - 4\sin^3 x$ より $f(x) = \cos 2x + \sin 3x - 3\sin x$

$$\text{よって} \quad \int f(x) dx = \frac{1}{2} \sin 2x - \frac{1}{3} \cos 3x + 3 \cos x + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

(補足) $\cos 3x = 4\cos^3 x - 3\cos x$

$$(3) \quad g(t) = -4t^3 - 2t^2 + 1 = -(2t - 1)(2t^2 + 2t + 1)$$

$$= -(2t - 1) \left\{ 2 \left(t + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \right\}$$

上式から, $g(t) = 0$ ($0 \leq t \leq 1$) の解は $t = \frac{1}{2}$

よって $f(x) = 0$ ($0 \leq x \leq \pi$) の解は $x = \frac{\pi}{6}, \frac{5}{6}\pi$

(4) (3) の結果から, $\frac{\pi}{6} \leq x \leq \frac{5}{6}\pi$ すなわち $\frac{1}{2} \leq t \leq 1$ において $g(t) \leq 0$

よって, (2), (3) の結果から, 求める面積を S とすると

$$S = - \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} f(x) dx = - \left[\frac{1}{2} \sin 2x + 4 \cos x - \frac{4}{3} \cos^3 x \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} = \frac{7\sqrt{3}}{2}$$



- 8 (1) $f(x) = e^{-x} \sin x$ ($x \geq 0$) について, $f(x) = 0$ となる x の値であるから

$$\sin x = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = n\pi \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

よって, 求める点 P_n の x 座標は $x = n\pi$

$$(2) (1) \text{の結果から} \quad S_n = \int_{(n-1)\pi}^{n\pi} |e^{-x} \sin x| dx$$

$$\text{ここで, } x = t + (n-1)\pi \text{ とおくと} \quad \begin{array}{c|c} x & (n-1)\pi \longrightarrow n\pi \\ \hline t & 0 \longrightarrow \pi \end{array} \quad \frac{dx}{dt} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad S_n &= \int_0^\pi |e^{-t-(n-1)\pi} \sin\{t + (n-1)\pi\}| dt \\ &= e^{-(n-1)\pi} \int_0^\pi e^{-t} \sin t dt \\ &= e^{-(n-1)\pi} \left[-\frac{1}{2} e^{-t} (\sin t + \cos t) \right]_0^\pi \\ &= e^{-(n-1)\pi} \times \frac{e^{-\pi} + 1}{2} = \frac{(e^{-\pi} + 1)e^{-(n-1)\pi}}{2} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} I_n &= \sum_{k=1}^n S_k = \frac{e^{-\pi} + 1}{2} \sum_{k=1}^n e^{-(k-1)\pi} \\ &= \frac{e^{-\pi} + 1}{2} \times \frac{1 - e^{-n\pi}}{1 - e^{-\pi}} = \frac{(1 + e^{-\pi})(1 - e^{-n\pi})}{2(1 - e^{-\pi})} \end{aligned}$$

また, $0 < e^{-\pi} < 1$ より, $\lim_{n \rightarrow \infty} e^{-n\pi} = 0$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} I_n = \frac{1 + e^{-\pi}}{2(1 - e^{-\pi})} = \frac{e^\pi + 1}{2(e^\pi - 1)}$$

■

5.2 2016 年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学部 [3] [4] [5] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下の問いに答えよ.

- (1) 放物線 $y = x^2 - x$ の頂点を P とする. 点 Q はこの放物線上の点であり, 原点 $O(0, 0)$ とも点 P とも異なるとする. $\angle OPQ$ が直角であるとき, 点 Q の座標を求めよ.
- (2) 関数 $f(x)$ は以下の条件 (イ), (ロ), (ハ) を満たす. そのような正の数 a の値と $f(x)$ を求めよ.
 - (イ) $f'(x) = x^2 + ax$
 - (ロ) $f(0) = -1$
 - (ハ) $f(x)$ の極大値と極小値の差が $\frac{4}{81}$
- (3) 方程式 $2(\log_2 x)^2 - 7|\log_2 x| - 4 = 0$ を解け.
- (4) $0 \leq x \leq 2\pi$ のとき, 不等式 $\sin 3x + \sin 2x < \sin x$ を解け.

[2] 空間において, 3 点 $A(5, 0, 1)$, $B(4, 2, 0)$, $C(0, 1, 5)$ を頂点とする三角形 ABC がある. 以下の問いに答えよ.

- (1) 線分 AB, BC, CA の長さを求めよ.
- (2) 三角形 ABC の面積 S を求めよ.
- (3) 原点 $O(0, 0, 0)$ から平面 ABC に垂線を下ろし, 平面 ABC との交点を H とする. $\overrightarrow{AH} = l\overrightarrow{AB} + m\overrightarrow{AC}$ とおくとき, 実数 l, m の値を求めよ.
- (4) 直線 AH と直線 BC の交点を M とする. $\overrightarrow{AH} = k\overrightarrow{AM}$ とおくとき, 実数 k の値と三角形 HBC の面積 T を求めよ.
- (5) 原点 O を頂点, 四角形 ABHC を底面とする四角錐 O-ABHC の体積 V を求めよ.

- 3 半径1の円に内接する正十二角形 D がある. その面積を S とする. D の各辺の中点を順に結んで正十二角形 D_1 をつくる. さらに, D_1 の各辺の中点を結んで正十二角形 D_2 をつくる. このように, D_{n-1} の各辺の中点を順に結んで正十二角形 D_n をつくる ($n \geq 2$). D_n の面積を S_n とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) S と S_1 を求めよ.
- (2) S_n を n の式で表せ ($n \geq 1$).
- (3) $S_n \leq \frac{1}{2}S$ となる最小の整数 n を求めよ. ただし,

$$1.89 < \log_2(2 + \sqrt{3}) < 1.9$$

である.

- 4 1 辺の長さが2の立方体 ABCD-EFGH がある. 右の図1のように, 2 辺 BC, CD 上に, $BS = CT = x$ ($0 \leq x \leq 2$) を満たす点 S, T をとる. このとき, 三角形 EST の面積の最大値と最小値を求めたい. 以下の問いに答えよ.

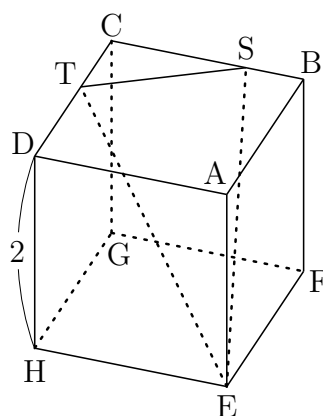


図1

- (1) 右の図2を参考にして, 三角形 OPQ において $\vec{OP} = \vec{p}$, $\vec{OQ} = \vec{q}$ とおくと, 三角形 OPQ の面積は

$$\frac{1}{2} \sqrt{|\vec{p}|^2 |\vec{q}|^2 - (\vec{p} \cdot \vec{q})^2}$$

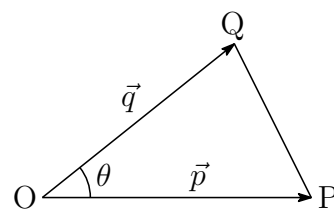


図2

と表されることを証明せよ.

- (2) $\vec{EF} = \vec{a}$, $\vec{EH} = \vec{b}$, $\vec{EA} = \vec{c}$ とおく. 立方体の1 辺の長さが2 であることに注意して, $\vec{ES}$, $\vec{ET}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ および x を用いて表せ. また, $|\vec{ES}|^2$, $|\vec{ET}|^2$ を, それぞれ x の式として表せ. さらに, $\vec{ES}$ と $\vec{ET}$ の内積 $\vec{ES} \cdot \vec{ET}$ は, x によらない一定の値になることを示せ.
- (3) 上の (1) を利用して三角形 EST の面積 $f(x)$ を求めよ.
- (4) $0 \leq x \leq 2$ の範囲で, $f(x)$ の最大値と最小値を求めよ. また, そのときの x の値も答えよ.

5 以下の問いに答えよ.

(1) 関数

$$y = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

の増減を調べ、 y のとり得る値の範囲を求めよ. また、この関数の逆関数を求めよ.

(2) 定積分

$$I_n = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan^n x \, dx$$

について、 I_1, I_2, I_3 を求めよ.

(3) 関数

$$f(x) = \frac{1 + \log x}{x} \quad (x > 0)$$

がある. 曲線 $C: y = f(x)$ の変曲点を $P(a, f(a))$ とする. 曲線 C と直線 $x = a$, および x 軸で囲まれた図形の面積 S を求めよ.

6 区間 $-1 \leq x \leq 1$ において、2つの関数 $f(x) = x + \sqrt{1 - x^2}$, $g(x) = x - \sqrt{1 - x^2}$ を考える. 曲線 $C_1: y = f(x)$ と曲線 $C_2: y = g(x)$ で囲まれた図形を D とする. 以下の問いに答えよ.

(1) 関数 $f(x)$ の増減を調べ、その最大値と最小値を求めよ.

(2) 曲線 C_1 は曲線 C_2 と原点に関して対称であることを示せ.

(3) 区間 $-1 \leq x \leq 1$ において、 $f(x)$ と $-g(x)$ の値の大小関係を調べよ. また、 $g(x) \geq 0$ が成り立つような x の範囲を求めよ.

(4) 図形 D の $x \geq 0$ の部分を x 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積 V を求めよ.

- 7 関数 $f(x) = xe^x$ で定まる曲線 $C: y = f(x)$ を考える. p を正の数とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) $f'(x)$ と $f''(x)$ を求めよ. また, すべての x について

$$\{(ax + b)e^x\}' = f(x)$$

が成り立つような定数 a, b の値を求めよ.

- (2) 曲線 C 上の点 $P(p, f(p))$ における C の接線を $\ell: y = c(x - p) + d$ とする. c と d の値を p を用いて表せ. さらに, 区間 $x \geq 0$ において関数 $g(x) = f(x) - \{c(x - p) + d\}$ の増減を調べ, 不等式

$$f(x) \geq c(x - p) + d \quad (x \geq 0)$$

が成り立つことを示せ.

- (3) $x \geq 0$ の範囲で, 曲線 C と接線 ℓ , および y 軸で囲まれた図形を F とする. その面積 $S(p)$ を求めよ.

- (4) 2 辺が x 軸, y 軸に平行な長方形 R を考える. R が図形 F を囲んでいるとき, R の面積の最小値 $T(p)$ を求めよ. さらに, $\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{S(p)}{T(p)}$ を求めよ.

- 8 楕円 $x^2 + \frac{y^2}{a^2} = 1$ ($a > 0$) と y 軸の交点を $A(0, a)$, $B(0, -a)$ とする. θ が $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲を動くとき, 点 $P(\cos \theta, a \sin \theta)$ はこの楕円上を動く. 以下の問いに答えよ.

- (1) 線分 AP の長さを ℓ とする. $X = \sin \theta$ ($-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) のとき, $Y = \ell^2$ となる関数を $Y = f(X)$ とする. $f(X)$ を X の式で表せ.

- (2) $0 < a < 1$ の場合.

(1) の関数 $f(X)$ の最大値を a を用いて表し, そのときの X の値を求めよ.

- (3) $a = 2$ の場合.

(1) の関数 $f(X)$ の値が最大となるときの点 P を P_1 とする. $f(X)$ の最大値と P_1 の座標を求めよ. また, 点 $A(0, 2)$ を中心とし点 P_1 を通る円を, x 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積 V を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad y = x^2 - x = \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{1}{4} \quad \text{ゆえに} \quad P\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{4}\right)$$

$$\text{直線 OP の傾きは} \quad \frac{-\frac{1}{4} - 0}{\frac{1}{2} - 0} = -\frac{1}{2}$$

$Q(t, t^2 - t)$ とすると, 直線 OP と直線 PQ は垂直であるから

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{t^2 - t - (-\frac{1}{4})}{t - \frac{1}{2}} = -1 \quad \text{整理すると} \quad (2t - 1)(2t - 5) = 0$$

$$t \neq \frac{1}{2} \text{ であるから } t = \frac{5}{2} \quad \text{よって} \quad Q\left(\frac{5}{2}, \frac{15}{4}\right)$$

(2) $f'(x) = x^2 + ax = x(x + a)$ より ($a > 0$), 3 次関数 $f(x)$ は, 極大値 $f(-a)$, 極小値 $f(0)$ をとる.

$$f(-a) - f(0) = \int_0^{-a} f'(x) dx = \left[\frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{2}ax^2 \right]_0^{-a} = \frac{1}{6}a^3$$

条件から, $f(-a) - f(0) = \frac{4}{81}$ であるから

$$\frac{1}{6}a^3 = \frac{4}{81} \quad \text{これを解いて} \quad a = \frac{2}{3}$$

$$f'(x) = x^2 + \frac{2}{3}x \text{ であるから, } f(0) = -1 \text{ より } f(x) = \frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{3}x^2 - 1$$

(3) 与えられた方程式から $2|\log_2 x|^2 - 7|\log_2 x| - 4 = 0$

ここで, $t = |\log_2 x|$ とおくと ($t \geq 0$)

$$2t^2 - 7t - 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (t - 4)(2t + 1) = 0$$

$$t \geq 0 \text{ より } t = 4 \quad \text{ゆえに} \quad \log_2 x = \pm 4 \quad \text{よって} \quad x = 2^{\pm 4} = 16, \frac{1}{16}$$

(4) 与えられた不等式から $(\sin 3x - \sin x) + \sin 2x < 0$

$$2 \cos 2x \sin x + 2 \sin x \cos x < 0$$

$$\sin x (\cos 2x + \cos x) < 0$$

$$\sin x (2 \cos^2 x + \cos x - 1) < 0$$

$$\sin x (\cos x + 1)(2 \cos x - 1) < 0$$

$$\sin x > 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < x < \pi \text{ のとき} \quad \cos x < \frac{1}{2}$$

$$\sin x < 0 \quad \text{すなわち} \quad \pi < x < 2\pi \text{ のとき} \quad \cos x > \frac{1}{2}$$

$$\text{よって} \quad \frac{\pi}{3} < x < \pi, \frac{5}{3}\pi < x < 2\pi$$

■

- 2 (1) A(5, 0, 1), B(4, 2, 0), C(0, 1, 5) より

$$\overrightarrow{AB} = (-1, 2, -1), \quad \overrightarrow{BC} = (-4, -1, 5), \quad \overrightarrow{CA} = (5, -1, -4)$$

$$\text{したがって } AB = |\overrightarrow{AB}| = \sqrt{(-1)^2 + 2^2 + (-1)^2} = \sqrt{6}$$

$$BC = |\overrightarrow{BC}| = \sqrt{(-4)^2 + (-1)^2 + 5^2} = \sqrt{42}$$

$$CA = |\overrightarrow{CA}| = \sqrt{5^2 + (-1)^2 + (-4)^2} = \sqrt{42}$$

- (2) (1) の結果から, 三角形 ABC は $BC = CA$ の二等辺三角形であるから, C から辺 AB に下した垂線の長さは

$$\sqrt{(\sqrt{42})^2 - \left(\frac{\sqrt{6}}{2}\right)^2} = \frac{9}{2}\sqrt{2}$$

$$\text{よって } S = \frac{1}{2} \times \sqrt{6} \times \frac{9}{2}\sqrt{2} = \frac{9}{2}\sqrt{3}$$

- (3) $\overrightarrow{AB} = (-1, 2, -1)$, $\overrightarrow{AC} = (-5, 1, 4)$, $\overrightarrow{AH} = \ell\overrightarrow{AB} + m\overrightarrow{AC}$ より

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AH}$$

$$= (5, 0, 1) + \ell(-1, 2, -1) + m(-5, 1, 4)$$

$$= (5 - \ell - 5m, 2\ell + m, 1 - \ell + 4m) \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{OH} = -1(5 - \ell - 5m) + 2(2\ell + m) - 1(1 - \ell + 4m)$$

$$= 6\ell + 3m - 6$$

$$\overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{OH} = -5(5 - \ell - 5m) + (2\ell + m) + 4(1 - \ell + 4m)$$

$$= 3\ell + 42m - 21$$

$$\overrightarrow{AB} \perp \overrightarrow{OH}, \quad \overrightarrow{AC} \perp \overrightarrow{OH} \quad \text{であるから, } \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{OH} = 0, \quad \overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{OH} = 0 \quad \text{より}$$

$$\begin{cases} 6\ell + 3m - 6 = 0 \\ 3\ell + 42m - 21 = 0 \end{cases} \quad \text{これを解いて } \ell = \frac{7}{9}, \quad m = \frac{4}{9}$$

- (4) (3) の結果から $\overrightarrow{AH} = \frac{7}{9}\overrightarrow{AB} + \frac{4}{9}\overrightarrow{AC} = \frac{11}{9} \cdot \frac{7\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{AC}}{11}$

$$\text{ゆえに } k = \frac{11}{9}, \quad AM : MH = 9 : 2 \quad \text{よって } T = \frac{2}{9}S = \frac{2}{9} \cdot \frac{9}{2}\sqrt{3} = \sqrt{3}$$

- (5) (3) の結果を ① に代入すると $\overrightarrow{OH} = (2, 2, 2)$ ゆえに $|\overrightarrow{OH}| = 2\sqrt{3}$

$$(4) \text{ の結果から, 四角形 ABHC の面積は } \frac{11}{9}S = \frac{11}{9} \cdot \frac{9}{2}\sqrt{3} = \frac{11}{2}\sqrt{3}$$

$$\text{よって } V = \frac{1}{3} \times \frac{11}{2}\sqrt{3} \times 2\sqrt{3} = 11$$

■

3 (1) $S = 12 \times \frac{1}{2} \cdot 1^2 \sin 30^\circ = 3$

S と S_1 の相似比は $1 : \cos 15^\circ = 1 : \frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4}$

S と S_1 の面積比は $1 : \left(\frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4} \right)^2 = 1 : \frac{2 + \sqrt{3}}{4}$

したがって $S_1 = \frac{2 + \sqrt{3}}{4} S = \frac{3(2 + \sqrt{3})}{4}$

(2) $S_n = \left(\frac{2 + \sqrt{3}}{4} \right)^n S = 3 \left(\frac{2 + \sqrt{3}}{4} \right)^n$

(3) (1), (2) の結果を $S_n \leq \frac{1}{2} S$ に代入すると

$$3 \left(\frac{2 + \sqrt{3}}{4} \right)^n \leq \frac{1}{2} \cdot 3 \quad \text{ゆえに} \quad \left(\frac{4}{2 + \sqrt{3}} \right)^n \geq 2$$

2 を底とする対数をとると

$$n \log_2 \frac{4}{2 + \sqrt{3}} \geq 1 \quad \text{ゆえに} \quad n \geq \frac{1}{\log_2 \frac{4}{2 + \sqrt{3}}} \quad \dots (*)$$

$1.89 < \log_2(2 + \sqrt{3}) < 1.9$, $\log_2 \frac{4}{2 + \sqrt{3}} = 2 - \log_2(2 + \sqrt{3})$ より

$$\frac{1}{10} = 0.1 < \log_2 \frac{4}{2 + \sqrt{3}} < 0.11 = \frac{11}{100}$$

したがって $9 + \frac{1}{11} < \frac{1}{\log_2 \frac{4}{2 + \sqrt{3}}} < 10$

よって, (*) を満たす最小の整数 n は **10**



$$\begin{aligned}
 \text{[4]} \quad (1) \quad \triangle OPQ &= \frac{1}{2} |\vec{p}| |\vec{q}| \sin \theta = \frac{1}{2} |\vec{p}| |\vec{q}| \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \\
 &= \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{p}|^2 |\vec{q}|^2 - (|\vec{p}| |\vec{q}| \cos \theta)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{p}|^2 |\vec{q}|^2 - (\vec{p} \cdot \vec{q})^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \vec{ES} &= \vec{a} + \frac{x}{2} \vec{b} + \vec{c}, \quad \vec{ET} = \frac{2-x}{2} \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} \\
 |\vec{a}| &= |\vec{b}| = |\vec{c}| = 2, \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = 0 \quad \text{であるから}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |\vec{ES}|^2 &= |\vec{a}|^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 = 2^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 2^2 + 2^2 \\
 &= x^2 + 8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |\vec{ET}|^2 &= \left(\frac{2-x}{2}\right)^2 |\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 = \left(\frac{2-x}{2}\right)^2 2^2 + 2^2 + 2^2 \\
 &= (2-x)^2 + 8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \vec{ES} \cdot \vec{ET} &= \frac{2-x}{2} |\vec{a}|^2 + \frac{x}{2} |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 = \frac{2-x}{2} \cdot 2^2 + \frac{x}{2} \cdot 2^2 + 2^2 \\
 &= 8
 \end{aligned}$$

(3) (2) の結果を (1) に代入すると

$$f(x) = \frac{1}{2} \sqrt{(x^2 + 8)\{(2-x)^2 + 8\} - 8^2}$$

ここで, $y = 2 - x$ とおくと, $x + y = 2$ であるから

$$\begin{aligned}
 (x^2 + 8)\{(2-x)^2 + 8\} - 8^2 &= (x^2 + 8)(y^2 + 8) - 8^2 \\
 &= x^2 y^2 + 8(x^2 + y^2) \\
 &= x^2 y^2 + 8\{(x+y)^2 - 2xy\} \\
 &= x^2 y^2 + 8(4 - 2xy) = x^2 y^2 - 16xy + 32 \\
 &= (8 - xy)^2 - 32 = \{8 - x(2-x)\}^2 - 32 \\
 &= \{(x-1)^2 + 7\}^2 - 32
 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad f(x) = \frac{1}{2} \sqrt{\{(x-1)^2 + 7\}^2 - 32}$$

(4) $0 \leq x \leq 2$ であるから, (3) の結果から

$x = 0, 2$ のとき最大値 $2\sqrt{2}$ をとり, $x = 1$ のとき最小値 $\frac{\sqrt{17}}{2}$ をとる.



5 (1) $y = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = 1 - \frac{2e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = 1 - \frac{2}{e^{2x} + 1}$ より $y' = \frac{4e^{2x}}{(e^{2x} + 1)^2} > 0$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} y = \lim_{x \rightarrow -\infty} \left(1 - \frac{2}{e^{2x} + 1} \right) = -1$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} y = \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{2}{e^{2x} + 1} \right) = 1$$

y は単調増加 ゆえに $-1 < y < 1$

$$y = 1 - \frac{2}{e^{2x} + 1} \text{ より } e^{2x} = \frac{1+y}{1-y} \text{ ゆえに } x = \frac{1}{2} \log \frac{1+y}{1-y}$$

よって, 求める逆関数は $y = \frac{1}{2} \log \frac{1+x}{1-x} \quad (-1 < x < 1)$

(2) $I_1 = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan x \, dx = \left[-\log \cos x \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = \frac{1}{2} \log 2$

$$I_2 = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan^2 x \, dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) dx = \left[\tan x - x \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = 1 - \frac{\pi}{4}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan^3 x \, dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan^2 x \tan x \, dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left(\frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) \tan x \, dx \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} (\tan x)' \tan x \, dx - \int_0^{\frac{\pi}{4}} \tan x \, dx = \left[\frac{1}{2} \tan^2 x \right]_0^{\frac{\pi}{4}} - I_1 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log 2 \end{aligned}$$

(3) $f(x) = \frac{1 + \log x}{x} = x^{-1} + x^{-1} \log x$ より

$$f'(x) = -x^{-2} - x^{-2} \log x + x^{-1} x^{-1} = -x^{-2} \log x$$

$$f''(x) = 2x^{-3} \log x - x^{-2} x^{-1} = \frac{2 \log x - 1}{x^3}$$

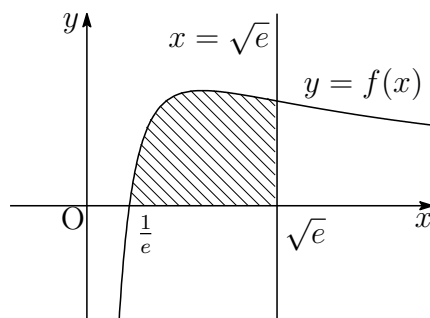
$f(x) = 0$ とすると $1 + \log x = 0$ すなわち $x = \frac{1}{e}$,

$f''(x) = 0$ とすると $2 \log x - 1 = 0$ すなわち $x = \sqrt{e}$

x	(0)	...	1	...	$\sqrt{e}$	...
$f'(x)$		+	0	-	-	-
$f''(x)$		-	-	-	0	+
$f(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{1}{e}}^{\sqrt{e}} \frac{1 + \log x}{x} dx \\ &= \int_{\frac{1}{e}}^{\sqrt{e}} (1 + \log x)(\log x)' dx \\ &= \left[\log x + \frac{1}{2}(\log x)^2 \right]_{\frac{1}{e}}^{\sqrt{e}} = \frac{9}{8} \end{aligned}$$



6 (1) $f(x) = x + \sqrt{1-x^2}$ を微分すると

$$f'(x) = 1 - \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{\sqrt{1-x^2} - x}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{1-2x^2}{\sqrt{1-x^2}(\sqrt{1-x^2} + x)}$$

したがって, $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	-1	...	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	1
$f'(x)$		+	0	-	
$f(x)$	-1	↗	極大 $\sqrt{2}$	↘	1

よって, 最大値 $f(\frac{1}{\sqrt{2}}) = \sqrt{2}$, 最小値 $f(-1) = -1$

$$(2) f(-x) = -x + \sqrt{1-(-x)^2} = -(x - \sqrt{1-x^2}) = -g(x)$$

よって, $C_1: y = f(x)$ と $C_2: y = g(x)$ は原点に関して対称である.

$$(3) f(x) - \{-g(x)\} = f(x) + g(x) = 2x \text{ であるから}$$

$$-1 \leq x \leq 0 \text{ のとき } f(x) \leq -g(x),$$

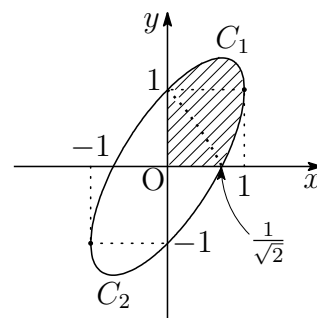
$$0 \leq x \leq 1 \text{ のとき } f(x) \geq -g(x)$$

$g(x) \geq 0$ のとき

$$x - \sqrt{1-x^2} \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad x \geq \sqrt{1-x^2} \geq 0$$

両辺を平方して $x^2 \geq 1-x^2$

$$0 \leq x \leq 1 \text{ に注意して解くと } \frac{1}{\sqrt{2}} \leq x \leq 1$$



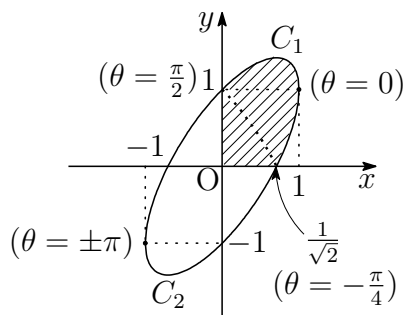
(4) (3) の結果から, 求める体積は, 上の図の斜線部分を x 軸のまわりに回転

したものであるから

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 (x + \sqrt{1-x^2})^2 dx - \int_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^1 (x - \sqrt{1-x^2})^2 dx \\
 &= \int_0^1 (2x\sqrt{1-x^2} + 1) dx + \int_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^1 (2x\sqrt{1-x^2} - 1) dx \\
 &= \left[-\frac{2}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}} + x \right]_0^1 + \left[-\frac{2}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}} - x \right]_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^1 = \frac{2}{3}(1 + \sqrt{2})
 \end{aligned}$$

よって $V = \frac{2}{3}(1 + \sqrt{2})\pi$

別解 $C(\theta) = (\cos \theta, \cos \theta + \sin \theta)$ とおくと, C_1, C_2 は, それぞれ $C(\theta)$ の $0 \leq \theta \leq \pi$ および $-\pi \leq \theta \leq 0$ の部分である.



$x = \cos \theta, y = \cos \theta + \sin \theta$ であるから

$$\begin{aligned}
 y^2 dx &= y^2 \frac{dx}{d\theta} d\theta = (\cos \theta + \sin \theta)^2 (-\sin \theta) d\theta \\
 &= (-\sin \theta - 2 \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta
 \end{aligned}$$

求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 \{f(x)\}^2 dx - \int_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^1 \{g(x)\}^2 dx \\
 &= \int_{\frac{\pi}{2}}^0 (-\sin \theta - 2 \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta - \int_{-\frac{\pi}{4}}^0 (-\sin \theta - 2 \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta \\
 &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{4}} (-\sin \theta - 2 \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta \\
 &= \left[\cos \theta - \frac{2}{3} \sin^3 \theta \right]_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{4}} = \frac{2}{3}(1 + \sqrt{2})
 \end{aligned}$$

よって $V = \frac{2}{3}(1 + \sqrt{2})\pi$ ■

7 (1) $f(x) = xe^x$ より

$$f'(x) = (x)'e^x + x(e^x)' = e^x + xe^x = (\mathbf{x+1})e^x$$

$$f''(x) = (x+1)'e^x + (x+1)(e^x)' = e^x + (x+1)e^x = (\mathbf{x+2})e^x$$

$$\text{また } \{(ax+b)e^x\}' = ae^x + (ax+b)e^x = (ax+a+b)e^x$$

$$\{(ax+b)e^x\}' = f(x) \text{ であるとき } (ax+a+b)e^x = xe^x$$

$$\text{したがって } a=1, a+b=0 \text{ よって } \mathbf{a=1, b=-1}$$

(2) C 上の点 $P(p, f(p))$ における接線 ℓ の方程式は

$$y - f(p) = f'(p)(x - p) \quad \forall \text{に} \quad y = f'(p)(x - p) + f(p)$$

$$\text{上式および (1) の結果から } c = f'(p) = (\mathbf{p+1})e^p, d = f(p) = \mathbf{p}e^p$$

$$g(x) = f(x) - \{c(x-p) + d\} \text{ より}$$

$$g(x) = f(x) - \{(p+1)e^p(x-p) + pe^p\} = f(x) - (p+1)e^p x + p^2 e^p$$

$$g'(x) = f'(x) - (p+1)e^p = f'(x) - f'(p)$$

(1) の結果から, $x \geq 0$ において, $f''(x) > 0$ であるから, $f'(x)$ は単調増加.

したがって, $g(x)$ の増減表は, 次のようになる.

x	0	$\cdots$	p	$\cdots$
$g'(x)$		$-$	0	$+$
$g(x)$		$\searrow$	極小 0	$\nearrow$

$$x \geq 0 \text{ において } g(x) \geq 0 \text{ であるから } f(x) - \{c(x-p) + d\} \geq 0$$

$$\text{よって } f(x) \geq c(x-p) + d \quad (x \geq 0)$$

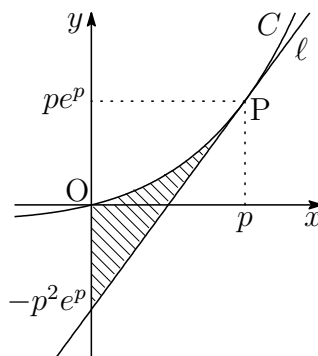
補足 $f''(x) > 0$ である曲線 $y = f(x)$ とその曲線上の点 $P(p, f(p))$ における接線を $y = h(x)$ とすると

$$\begin{aligned} f(x) - h(x) &= f(x) - \{f'(p)(x-p) + f(p)\} = \int_p^x f'(t) dt - f'(p)(x-p) \\ &= - \int_p^x (x-t)' f'(t) dt - f'(p)(x-p) \\ &= - \left[(x-t)f'(t) \right]_p^x + \int_p^x (x-t)f''(t) dx - f'(p)(x-p) \\ &= \int_p^x (x-t)f''(t) dt = \int_x^p (t-x)f''(t) dt \end{aligned}$$

$$x \geq p \text{ のとき } \int_p^x (x-t)f''(t) dt \geq 0, \quad x \leq p \text{ のとき } \int_x^p (t-x)f''(t) dt \geq 0$$

$$\text{したがって } f(x) - h(x) \geq 0 \quad \text{よって} \quad f(x) \geq h(x)$$

(3) 図形 F は、下の図の斜線部分である。



よって、 F の面積 $S(p)$ は、(1), (2) の結果から

$$\begin{aligned} S(p) &= \int_0^p g(x) dx = \int_0^p \{f(x) - (p+1)e^p x + p^2 e^p\} dx \\ &= \left[(x-1)e^x - \frac{1}{2}(p+1)e^p x^2 + p^2 e^p x \right]_0^p \\ &= \frac{1}{2}e^p(p-1)(p^2+2) + 1 \end{aligned}$$

(4) R は、 P および点 $(0, -p^2 e^p)$ を含む x 軸および y 軸に平行な長方形であるから、その面積の最小値 $T(p)$ は

$$T(p) = p\{pe^p - (-p^2 e^p)\} = p^2(p+1)e^p$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{S(p)}{T(p)} &= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{2}e^p(p-1)(p^2+2) + 1}{p^2(p+1)e^p} \\ &= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{\left(1 - \frac{1}{p}\right) \left(1 + \frac{2}{p^2}\right) + \frac{2}{p^3 e^p}}{2 \left(1 + \frac{1}{p}\right)} = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

■

- 8 (1) $A(0, a)$, $P(\cos \theta, a \sin \theta)$ より

$$\begin{aligned} AP^2 &= \cos^2 \theta + (a \sin \theta - a)^2 \\ &= 1 - \sin^2 \theta + a^2(\sin \theta - 1)^2 \\ &= 1 - X^2 + a^2(X - 1)^2 \\ &= (a^2 - 1)X^2 - 2a^2X + a^2 + 1 \end{aligned}$$

よって $f(X) = (a^2 - 1)X^2 - 2a^2X + a^2 + 1$

(2) (1) の結果から $f(X) = (a^2 - 1) \left(X - \frac{a^2}{a^2 - 1} \right)^2 + \frac{1}{1 - a^2}$

$0 < a < 1$ より, $a^2 - 1 < 0$, $\frac{a^2}{a^2 - 1} < 0$ であることに注意すると

$\frac{a^2}{a^2 - 1} < -1$ すなわち $\frac{1}{\sqrt{2}} < a < 1$ のとき 最大値 $f(-1) = 4a^2$

$\frac{a^2}{a^2 - 1} \geq -1$ すなわち $0 < a \leq \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき 最大値 $f\left(\frac{a^2}{a^2 - 1}\right) = \frac{1}{1 - a^2}$

- (3) $a = 2$ のとき

$$f(X) = 3X^2 - 8X + 5 = 3\left(X - \frac{4}{3}\right)^2 - \frac{1}{3} \quad (-1 \leq X \leq 1)$$

したがって, $f(X)$ は $X = -1$, すなわち, $P_1(0, -2)$ で最大値 16 をとる.

A を中心とし, P_1 を通る円を

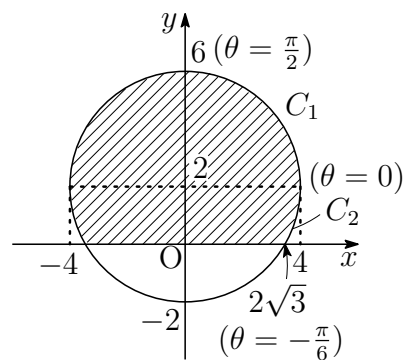
$$C(\theta) = (4 \cos \theta, 4 \sin \theta + 2)$$

とおく. この円の $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ および $-\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq 0$ の部分をそれぞれ C_1 , C_2 とすると, 求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{2\pi} &= \int_{C_1} y^2 dx - \int_{C_2} y^2 dx \\ &= \int_0^4 y^2 dx - \int_{2\sqrt{3}}^4 y^2 dx \end{aligned}$$

このとき

$$\begin{aligned} y^2 dx &= y^2 \frac{dx}{d\theta} d\theta = (4 \sin \theta + 2)^2 (4 \cos \theta)' d\theta \\ &= -16(4 \sin^3 \theta + 4 \sin^2 \theta + \sin \theta) d\theta \\ &= 16(\sin 3\theta + 2 \cos 2\theta - 4 \sin \theta - 2) d\theta \end{aligned}$$



したがって

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{2\pi} &= 16 \int_{\frac{\pi}{2}}^0 (\sin 3\theta + 2 \cos 2\theta - 4 \sin \theta - 2) d\theta \\
 &\quad - 16 \int_{-\frac{\pi}{6}}^0 (\sin 3\theta + 2 \cos 2\theta - 4 \sin \theta - 2) d\theta \\
 &= 16 \int_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{6}} (\sin 3\theta + 2 \cos 2\theta - 4 \sin \theta - 2) d\theta \\
 &= 16 \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} (-\sin 3\theta - 2 \cos 2\theta + 4 \sin \theta + 2) d\theta \\
 &= 16 \left[\frac{1}{3} \cos 3\theta - \sin 2\theta - 4 \cos \theta + 2\theta \right]_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{64}{3}\pi + 24\sqrt{3}
 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad V = \frac{128}{3}\pi^2 + 48\sqrt{3}\pi$$

参照 九大 2012 年一般前期理数数学 [1] の解答¹ を参照. ■

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-ri_2012.pdf

5.3 2017年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学部 [3] [4] [5] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下の問いに答えよ.

- (1) $\triangle OAB$ において、辺 OA を $1:2$ に内分する点を M とし、辺 OB を $3:2$ に内分する点を N とする. また、線分 AN と線分 BM の交点を P とし、直線 OP と辺 AB の交点を Q とする. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とおくとき、 $\overrightarrow{OP}$ および $\overrightarrow{OQ}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.

- (2) 連立不等式

$$x + y \leq 4, \quad y \leq 2x + 4, \quad y \geq 0$$

の表す領域と放物線 $y = x^2 - 6x + k$ が共有点をもつように、定数 k の値の範囲を求めよ.

- (3) $a_1 = 1$, $a_2 = 1$, $a_{n+2} - 2a_{n+1} + a_n = 1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) で定められる数列 $\{a_n\}$ がある. $b_n = a_{n+1} - a_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) とおくとき、数列 $\{b_n\}$ および数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.
- (4) $0 \leq \theta \leq \pi$ のとき、 $\sin^4 \theta + \cos^4 \theta$ の最大値と最小値、およびそのときの θ の値をそれぞれ求めよ.

- 2** 2つの放物線 $C_1: y = 2x^2$ と $C_2: y = -x^2 + 2mx + 1$ について考える. ただし, m を正の定数とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) A, B を C_1 上の2点とし, その x 座標をそれぞれ α, β とする. ただし, $\alpha < \beta$ である. このとき, 直線 AB の傾きおよび y 切片を, α と β で表せ.
- (2) C_1 と C_2 は異なる2点で交わることを示せ. (1) の2点 A, B が C_1 と C_2 の交点であるとき, 2次方程式の解と係数の関係を利用して, $\alpha + \beta, \alpha\beta$ を求めよ. さらに, $\beta - \alpha$ および直線 AB の方程式を m を用いて表せ.
- (3) (2) の点 A, B から x 軸に垂線を下ろし, x 軸との交点をそれぞれ D, E とする. このとき, 四角形 ABED の面積 S を m を用いて表せ.
- (4) C_1 と C_2 で囲まれた図形の面積 T を m を用いて表せ.
- (5) (3) と (4) で求めた S, T について,

$$S : T = 3 : 2$$

となるような定数 m の値を求めよ.

- 3** 以下の問いに答えよ.

- (1) $0 \leq \theta \leq \pi$ のとき, $4\sin^3 \theta + 3\cos^2 \theta$ の最大値と最小値, およびそのときの θ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) e を自然対数の底とする. $x > e$ の範囲において, 関数

$$y = x^{\frac{1}{x}}$$

を考える. この両辺の対数を x について微分することにより, y は減少関数であることを示せ. また, $e < a < b$ のとき, $a^b > b^a$ が成り立つことを証明せよ.

- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項が

$$a_n = \left(\frac{3}{4}\right)^n n(n-1)$$

であるとき, $a_{n+1} - a_n$ を n の式で表し, a_n が最大となる整数 n をすべて求めよ.

- (4) 複素数平面上の点 $P(z)$ が, 原点を中心とする半径3の円の周上を動くとき,

$$w = \frac{z + 3i}{z}$$

で表される点 $Q(w)$ はどのような図形を描くか.

- 4 空間内の3点 A, B, C を頂点とする $\triangle ABC$ を考える. 2辺 BC, AC の中点をそれぞれ M, N とし, 中線 AM と BN の交点を G とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) $\overrightarrow{AG}$ を, $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ を用いて表せ.
- (2) 2点 P, Q が $\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC} = \overrightarrow{PQ}$ を満たすとき, 3点 P, Q, G は同一直線上にあることを示せ.
- (3) $\triangle ABC$ の頂点の座標が $A(0, 0, 1), B(7, 0, 6), C(2, 12, 5)$ であるとき, xy 平面上を動く点 $P(x, y, 0)$ を考える. このとき, $|\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}|$ の最小値とそのときの P の座標を求めよ.
- (4) (3)において, 特に点 $P(x, y, 0)$ が, xy 平面上の円 $x^2 + y^2 = 1$ の周上を動くものとする. $|\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}|$ の最大値とそのときの P の座標, および最小値とそのときの P の座標を, それぞれ求めよ.

- 5 2つの関数 $f(x) = \log x, g(x) = e^x$ がある. 原点 O から曲線 $C_1: y = f(x)$ に引いた接線を ℓ_1 , 接点を A とし, 原点 O から曲線 $C_2: y = g(x)$ に引いた接線を ℓ_2 , 接点を B とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 接線 ℓ_1 の方程式と接点 A の座標を求めよ. また, 接線 ℓ_2 についても, その方程式と接点 B の座標を求めよ.
- (2) C_1 と ℓ_1 および x 軸で囲まれた図形の面積 S を求めよ.
- (3) C_1, C_2, x 軸, y 軸および線分 AB で囲まれた図形の面積 T を求めよ.
- (4) 直線 AB に平行な直線 m と曲線 C_1, C_2 の交点を, それぞれ P, Q とする. Q の座標を (t, e^t) とおくとき, 線分 PQ の長さを t の式で表し, PQ の長さの最小値と, そのときの P, Q の座標を求めよ.

6 xy 平面上に放物線 $C: y = x^2$ と直線 $\ell: y = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4}$ がある. $t > 0$ とし, ℓ 上を動く点 $P\left(t, \frac{1}{2}t - \frac{1}{4}\right)$ から C に接線を引く. このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) 点 P を通り, 傾き m の直線が C に接するとき, m が満たす 2 次方程式を求めよ. さらに, この 2 次方程式は, 常に異なる 2 つの実数解をもつことを示せ.
- (2) (1) で求めた 2 次方程式の解を m_1, m_2 ($m_1 < m_2$) とする. このとき, $m_1 + m_2, m_1 m_2, m_2 - m_1$ を, それぞれ t の式で表せ.
- (3) 傾き m_1, m_2 の 2 本の接線が x 軸の正の向きとなす角を, それぞれ θ_1, θ_2 ($-\frac{\pi}{2} < \theta_1 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$) とする. このとき, $m_1 = \tan \theta_1, m_2 = \tan \theta_2$ を利用して $\tan(\theta_2 - \theta_1)$ を t の式で表せ. さらに, この式を $f(t)$ とおくと, 極限值 $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$ を求めよ.
- (4) $t > 0$ であることに注意して, (3) の関数 $f(t)$ の最小値と, そのときの t の値および $\theta_2 - \theta_1$ の値を求めよ.

7 放物線 $C: y = x^2$ と定点 $A(0, 1), B(0, 2)$ および C 上の第 1 象限の点 $P_1(2, 4)$ が与えられている. 自然数 $n = 1, 2, 3, \dots$ について, 以下の操作を繰り返す.

C 上の第 1 象限の点 $P_n(p_n, p_n^2)$ に対し,

手順 1 直線 $P_n A$ と C との交点のうち, 第 2 象限にあるものを $Q_n(q_n, q_n^2)$ とし,

手順 2 直線 $Q_n B$ と C との交点のうち, 第 1 象限にあるものを $P_{n+1}(p_{n+1}, p_{n+1}^2)$ とする.

このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) a を定数とする. 直線 $y = ax + 1$ と C との交点のうち, 第 1 象限にあるものを $P(p, p^2)$, 第 2 象限にあるものを $Q(q, q^2)$ とする. このとき, $pq = -1$ が成り立つことを示せ. また, 点 Q_1 の座標を求めよ.
- (2) 点 P_2, Q_2 および P_3 の座標を求めよ.
- (3) 数列 $\{p_n\}$ および数列 $\{q_n\}$ の一般項をそれぞれ求めよ.
- (4) $x \geq 0$ の範囲において, C と直線 $P_n Q_n$ および y 軸で囲まれた図形の面積 S_n を求めよ. さらに, 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_{n+1}}{S_n}$ を求めよ.

- 8 xy 平面上に、原点 O を中心とする半径 1 の円がある．この円の周上に 2 点 $A(\cos \alpha, \sin \alpha)$ と $B(\cos \beta, \sin \beta)$ をとる．ただし、 $0 < \alpha < \beta < \frac{\pi}{2}$ とする．さらに、2 点 A, B から x 軸に垂線を下ろし、 x 軸との交点をそれぞれ C, D とする．扇形 OAB の面積を S_1 、弧 AB と線分 BD, DC, CA で囲まれた図形 F の面積を S_2 とするとき、以下の問いに答えよ．
 ただし、扇形 OAB と図形 F は、 $x \geq 0$ かつ $y \geq 0$ の範囲にあるものとする．

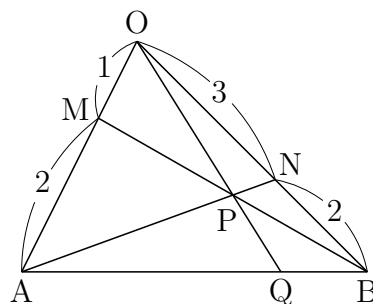
- (1) S_1 を α と β で表せ．
- (2) S_2 を α と β で表せ．
- (3) $S_1 = S_2$ のとき、 β を α の式で表せ．また、このとき $t = \cos \alpha - \cos \beta$ のとりうる値の範囲を求めよ．
- (4) (3) のとき、扇形 OAB および図形 F を x 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積を、それぞれ V_1 および V_2 とする．さらに、 $V = V_1 - V_2$ とする． V を t の式で表せ．
- (5) (4) において、 V の最大値、およびそのときの A, B の座標を求めよ．

解答例

1 (1) チェバの定理 $\frac{OM}{MA} \cdot \frac{AQ}{QB} \cdot \frac{BN}{NO} = 1$ により

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{AQ}{QB} \cdot \frac{2}{3} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad AQ : QB = 3 : 1$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{OQ} = \frac{\overrightarrow{OA} + 3\overrightarrow{OB}}{3+1} = \frac{\vec{a} + 3\vec{b}}{4}$$



$\triangle OQB$ と直線 AN について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{OP}{PQ} \cdot \frac{QA}{AB} \cdot \frac{BN}{NO} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{OP}{PQ} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{3} = 1$$

これから、 $OP : PQ = 2 : 1$ となるから

$$\overrightarrow{OP} = \frac{2}{3}\overrightarrow{OQ} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\vec{a} + 3\vec{b}}{4} = \frac{\vec{a} + 3\vec{b}}{6}$$

別解 $\overrightarrow{OP} = x\vec{a} + y\vec{b}$ とおくと、 $\vec{a} = 3\overrightarrow{OM}$, $\vec{b} = \frac{5}{3}\overrightarrow{ON}$ であるから

$$\overrightarrow{OP} = x\overrightarrow{OA} + \frac{5}{3}y\overrightarrow{ON} = 3x\overrightarrow{OM} + y\overrightarrow{OB}$$

P は 2 直線 AN , BM 上の点であるから $x + \frac{5}{3}y = 3x + y = 1$

$$\text{これを解いて} \quad x = \frac{1}{6}, y = \frac{1}{2} \quad \text{よって} \quad \overrightarrow{OP} = \frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b}$$

また、実数 k を用いて $\overrightarrow{OQ} = k\overrightarrow{OP}$ とおけるから

$$\overrightarrow{OQ} = k \left(\frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} \right) = \frac{k}{6}\vec{a} + \frac{k}{2}\vec{b}$$

Q は線分 AB 上の点であるから

$$\frac{k}{6} + \frac{k}{2} = 1 \quad \text{これを解いて} \quad k = \frac{3}{2}$$

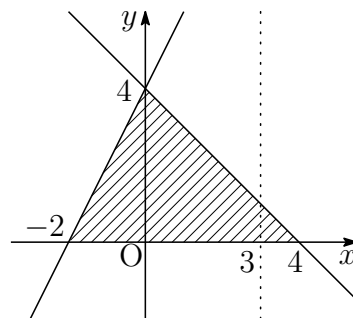
$$\text{よって} \quad \overrightarrow{OQ} = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} \right) = \frac{1}{4}\vec{a} + \frac{3}{4}\vec{b}$$

(2) 連立不等式

$$x + y \leq 4, \quad y \leq 2x + 4, \quad y \geq 0$$

の表す領域は、右の図の斜線部分で境界線を含む。放物線 $y = x^2 - 6x + k \cdots \textcircled{1}$ は

$$y = (x - 3)^2 + k - 9$$



放物線の軸 $x = 3$ に注意すると、 k が最大となるのは、直線 $x + y = 4$ 上の点であるから ($0 \leq x \leq 4$)、 $\textcircled{1}$ に $y = 4 - x$ を代入すると

$$4 - x = x^2 - 6x + k \quad \text{ゆえに} \quad k = -x^2 + 5x + 4 = -\left(x - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{41}{4}$$

したがって、 $x = \frac{5}{2}$ 、すなわち、 $\left(\frac{5}{2}, \frac{3}{2}\right)$ のとき、 k は最大値 $\frac{41}{4}$ をとる。

また、 k が最小となるのは、点 $(-2, 0)$ のときであるから、 $\textcircled{1}$ により

$$0 = (-2)^2 - 6 \cdot (-2) + k \quad \text{すなわち} \quad k = -16$$

よって、求める定数 k の値の範囲は $-16 \leq k \leq \frac{41}{4}$

- (3) $a_{n+2} - 2a_{n+1} + a_n = 1$ より $a_{n+2} - a_{n+1} = a_{n+1} - a_n + 1$
 $b_n = a_{n+1} - a_n$ であるから $b_1 = a_2 - a_1 = 0$, $b_{n+1} = b_n + 1$
 したがって、 $\{b_n\}$ は初項 0、公差 1 の等差数列であるから

$$b_n = 0 + 1(n - 1) = n - 1$$

$$\begin{aligned} n \geq 2 \text{ のとき} \quad \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) &= \sum_{k=1}^{n-1} (k - 1) \\ a_n - a_1 &= \frac{1}{2}(n-1)(0 + n-2) \\ a_n &= \frac{1}{2}(n^2 - 3n + 4) \end{aligned}$$

上式は、 $n = 1$ のときも成立するので $a_n = \frac{1}{2}(n^2 - 3n + 4)$

$$(4) \sin^4 \theta + \cos^4 \theta = (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta)^2 - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 2\theta$$

$0 \leq \theta \leq \pi$ より, $0 \leq 2\theta \leq 2\pi$ であるから

$$\sin 2\theta = 0 \quad \text{すなわち} \quad 2\theta = 0, \pi, 2\pi \text{ のとき} \quad \text{最大値} 1$$

$$\sin 2\theta = \pm 1 \quad \text{すなわち} \quad 2\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi \text{ のとき} \quad \text{最小値} \frac{1}{2}$$

よって $\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi$ のとき最大値 1, $\theta = \frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi$ のとき最小値 $\frac{1}{2}$ ■

- 2 (1) $C_1: y = 2x^2$ 上の 2 点 A, B の x 座標がそれぞれ α, β であるから, 2 点 $A(\alpha, 2\alpha^2), B(\beta, 2\beta^2)$ を通る直線の方程式は

$$y - \alpha^2 = \frac{2\beta^2 - 2\alpha^2}{\beta - \alpha}(x - \alpha) \quad \text{すなわち} \quad y = 2(\alpha + \beta)x - 2\alpha\beta$$

よって 傾き $2(\alpha + \beta)$, y 切片 $-2\alpha\beta$

- (2) C_1, C_2 の方程式から, y を消去すると

$$2x^2 = -x^2 + 2mx + 1 \quad \text{整理すると} \quad 3x^2 - 2mx - 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

(*) の係数について $D/4 = (-m)^2 - 3 \cdot (-1) = m^2 + 3 > 0$

したがって, C_1 と C_2 は異なる 2 点で交わる.

(*) の解が α, β であるから, 解と係数の関係により

$$\alpha + \beta = \frac{2m}{3}, \quad \alpha\beta = -\frac{1}{3} \quad \cdots (**)$$

上の 2 式から, $\alpha < \beta$ により

$$\beta - \alpha = \sqrt{(\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta} = \sqrt{\left(\frac{2m}{3}\right)^2 - 4\left(-\frac{1}{3}\right)} = \frac{2}{3}\sqrt{m^2 + 3}$$

直線 AB の方程式は, (1) の結果により $y = \frac{4m}{3}x + \frac{2}{3}$

- (3) $A(\alpha, 2\alpha^2), B(\beta, 2\beta^2), D(\alpha, 0), E(\beta, 0)$ を頂点とする四角形 ABED の面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2}(2\alpha^2 + 2\beta^2)(\beta - \alpha) = \{(\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta\}(\beta - \alpha) \\ &= \left\{ \left(\frac{2m}{3}\right)^2 - 2\left(-\frac{1}{3}\right) \right\} \times \frac{2}{3}\sqrt{m^2 + 3} \\ &= \frac{4}{27}(2m^2 + 3)\sqrt{m^2 + 3} \end{aligned}$$

(4) $\alpha \leq x \leq \beta$ において, $-x^2 + 2mx + 1 \geq 2x^2$ であるから, (**) により

$$\begin{aligned}
 T &= \int_{\alpha}^{\beta} \{(-x^2 + 2mx + 1) - 2x^2\} dx \\
 &= -3 \int_{\alpha}^{\beta} \left(x^2 - \frac{2m}{3}x - \frac{1}{3} \right) dx \\
 &= -3 \int_{\alpha}^{\beta} \{x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta\} dx \\
 &= -3 \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx = \frac{1}{2}(\beta - \alpha)^3 \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3}\sqrt{m^2 + 3} \right)^3 = \frac{4}{27}(m^2 + 3)\sqrt{m^2 + 3}
 \end{aligned}$$

(5) (3),(4) の結果から

$$\begin{aligned}
 S : T &= \frac{4}{47}(2m^2 + 3)\sqrt{m^2 + 3} : \frac{4}{27}(m^2 + 3)\sqrt{m^2 + 3} \\
 &= (2m^2 + 3) : (m^2 + 3)
 \end{aligned}$$

$S : T = 3 : 2$ であるから

$$(2m^2 + 3) : (m^2 + 3) = 3 : 2 \quad \text{ゆえに} \quad m^2 = 3$$

$m > 0$ であるから $m = \sqrt{3}$ ■

3 (1) $4\sin^3 \theta + 3\cos^2 \theta = 4\sin^3 \theta + 3(1 - \sin^2 \theta) = 4\sin^3 \theta - 3\sin^2 \theta + 3$

$t = \sin \theta$ とおくと, $0 \leq \theta \leq \pi$ のとき $0 \leq t \leq 1$

また, $f(t) = 4t^3 - 3t^2 + 3$ ($0 \leq t \leq 1$) とおくと

$$f'(t) = 12t^2 - 6t = 6t(2t - 1)$$

$f(t)$ の増減表は, 次のようになる.

t	0	...	$\frac{1}{2}$	...	1
$f'(t)$		-	0	+	
$f(t)$	3	$\searrow$	極小 $\frac{11}{4}$	$\nearrow$	4

よって $t = 1$ すなわち $\theta = \frac{\pi}{2}$ のとき 最大値 4

$t = \frac{1}{2}$ すなわち $\theta = \frac{\pi}{6}, \frac{5}{6}\pi$ のとき 最小値 $\frac{11}{4}$

(2) $y = x^{\frac{1}{x}}$ の両辺の自然対数をとると $\log y = \frac{1}{x} \log x$

これを x について微分すると

$$\frac{y'}{y} = -\frac{1}{x^2} \log x + \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x} \quad \text{ゆえに} \quad y' = \frac{1}{x^2} (1 - \log x) x^{\frac{1}{x}}$$

$x > e$ において, $y' < 0$ であるから, $x > e$ において, y は減少関数.

したがって, $e < a < b$ のとき $a^{\frac{1}{a}} > b^{\frac{1}{b}}$

この両辺を ab 乗すると $\left(a^{\frac{1}{a}}\right)^{ab} > \left(b^{\frac{1}{b}}\right)^{ab}$ よって $a^b > b^a$

(3) $a_n = \left(\frac{3}{4}\right)^n n(n-1)$ より

$$\begin{aligned} a_{n+1} - a_n &= \left(\frac{3}{4}\right)^{n+1} (n+1)n - \left(\frac{3}{4}\right)^n n(n-1) \\ &= \left(\frac{3}{4}\right)^n n \left\{ \frac{3}{4}(n+1) - (n-1) \right\} \\ &= \frac{1}{4} \left(\frac{3}{4}\right)^n n(7-n) \end{aligned}$$

したがって $a_1 < a_2 < \cdots < a_6 < a_7 = a_8 > a_9 > \cdots$

よって, a_n が最大となる正の整数 n は $n = 7, 8$

別解 $a_n = \left(\frac{3}{4}\right)^n n(n-1)$, $a_{n+1} = \left(\frac{3}{4}\right)^{n+1} (n+1)n$ より

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{3}{4} \cdot \frac{n+1}{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a_{n+1}}{a_n} - 1 = \frac{3(n-1)}{4(n-1)} - 1 = \frac{7-n}{4(n-1)}$$

したがって $a_1 = 0 < a_2 < \cdots < a_6 < a_7 = a_8 > a_9 > \cdots$

よって, a_n が最大となる正の整数 n は $n = 7, 8$

(4) 点 $P(z)$ は, 原点を中心とする半径 3 の円の周上にあるから $|z| = 3$

$w = \frac{z+3i}{z}$ より, $z(w-1) = 3i$ であるから

$$|z(w-1)| = |3i| \quad \text{ゆえに} \quad |z||w-1| = 3 \quad \text{よって} \quad |w-1| = 1$$

したがって, $Q(w)$ は, 点 1 を中心とする半径 1 の円を描く. ■

- 4 (1) $\triangle ABC$ の2本の中線の交点 G は, $\triangle ABC$ の重心であるから

$$\overrightarrow{AG} = \frac{1}{3}(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC})$$

- (2) (1) の結果から, $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC} = 3\overrightarrow{AG}$ であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC} &= \overrightarrow{PA} + (\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{AB}) + (\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{AC}) \\ &= 3\overrightarrow{PA} + (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \\ &= 3\overrightarrow{PA} + 3\overrightarrow{AG} = 3\overrightarrow{PG} \quad \dots \textcircled{1}\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC} = \overrightarrow{PQ} \text{ を満たすとき } \overrightarrow{PQ} = 3\overrightarrow{PG}$$

よって, 3点 P, Q, G は同一直線上にある.

- (3) 3点 $A(0, 0, 1), B(7, 0, 6), C(2, 12, 5)$ を頂点とする $\triangle ABC$ の重心 G は

$$\left(\frac{0+7+2}{3}, \frac{0+0+12}{3}, \frac{1+6+5}{3} \right) \quad \text{すなわち} \quad (3, 4, 4)$$

- ① より, $|\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}| = 3|\overrightarrow{GP}| \dots \textcircled{2}$ であるから

$$|\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}| = 3|\overrightarrow{GP}| = 3\sqrt{(x-3)^2 + (y-4)^2 + 16}$$

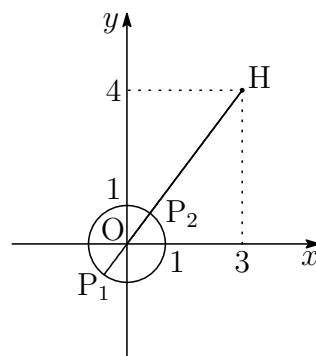
よって, $P(3, 4, 0)$ のとき, 最小値 **12** をとる.

- (4) G から xy 平面に垂線 GH を引くと $H(3, 4, 0)$

$$\begin{aligned}|\overrightarrow{GP}|^2 &= |\overrightarrow{GH}|^2 + |\overrightarrow{HP}|^2 \\ &= |\overrightarrow{HP}|^2 + 16 \quad \dots \textcircled{3}\end{aligned}$$

xy 平面上において, 直線 OH と円 $x^2 + y^2 = 1$ の2つの交点を

$$P_1 \left(-\frac{3}{5}, -\frac{4}{5} \right), \quad P_2 \left(\frac{3}{5}, \frac{4}{5} \right)$$



とおくと, P が P_1, P_2 にあるとき, $|\overrightarrow{HP}|$ は, それぞれ $6, 4$ となる.

$4 \leq |\overrightarrow{HP}| \leq 6$ であるから, ②, ③ より, $|\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}|$ は

$$P \left(-\frac{3}{5}, -\frac{4}{5}, 0 \right) \text{ のとき, 最大値 } 3\sqrt{6^2 + 16} = 6\sqrt{13}$$

$$P \left(\frac{3}{5}, \frac{4}{5}, 0 \right) \text{ のとき, 最小値 } 3\sqrt{4^2 + 16} = 12\sqrt{2}$$

■

- 5 (1) $f(x) = \log x$ を微分すると $f'(x) = \frac{1}{x}$

$C_1: y = \log x$ と ℓ_1 の接点 A を $(a, \log a)$ とすると, ℓ_1 の方程式は

$$y - \log a = \frac{1}{a}(x - a) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{x}{a} + \log a - 1$$

この直線は原点を通るから $0 = \log a - 1$ ゆえに $a = e$

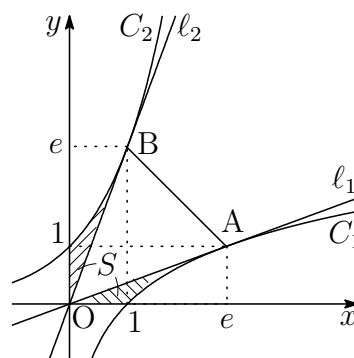
よって $A(e, 1)$, $\ell_1: y = \frac{x}{e}$

C_1 と C_2 は直線 $y = x$ に関して対称であるから, 点 B, 接線 ℓ_2 は, それぞれ点 A, 接線 ℓ_1 と直線 $y = x$ に関して対称である.

よって $B(1, e)$, $\ell_2: y = ex$

- (2) C_1 と ℓ_1 および x 軸で囲まれた図形の面積 S は, (1) で述べた対称性により, C_2 と ℓ_2 および y 軸で囲まれた図形の面積に等しいので

$$\begin{aligned} S &= \int_0^1 (e^x - ex) dx \\ &= \left[e^x - \frac{e}{2}x^2 \right]_0^1 = \frac{e}{2} - 1 \end{aligned}$$



- (3) 3点 $O(0, 0)$, $A(e, 1)$, $B(1, e)$ を頂点とする三角形の面積は

$$\triangle OAB = \frac{1}{2}|e \cdot e - 1 \cdot 1| = \frac{1}{2}(e^2 - 1)$$

したがって, (2) の図から, 面積 T は

$$T = 2S + \triangle OAB = 2\left(\frac{e}{2} - 1\right) + \frac{1}{2}(e^2 - 1) = \frac{1}{2}(e^2 + 2e - 5)$$

- (4) 直線 AB に平行な直線 m 上にある 2 点 P, Q は直線 $y = x$ に関して対称である. 点 $Q(t, e^t)$ のとき, 点 P の座標は (e^t, t) であるから

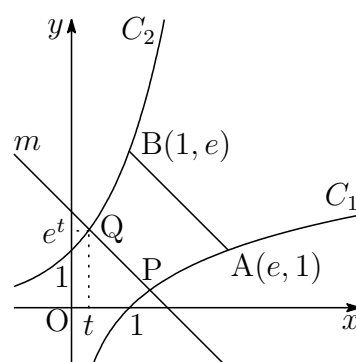
$$\begin{aligned} PQ &= \sqrt{(t - e^t)^2 + (e^t - t)^2} \\ &= \sqrt{2}|e^t - t| \end{aligned}$$

$$h(t) = e^t - t \text{ とおくと } h'(t) = e^t - 1$$

右の $h(t)$ の増減表より

$$PQ = \sqrt{2}(e^t - t)$$

また, $t = 0$, すなわち, $P(1, 0)$, $Q(0, 1)$ のとき, PQ は最小値 $\sqrt{2}$ をとる.



t	$\cdots$	0	$\cdots$
$h'(t)$	$-$	0	$+$
$h(t)$	$\searrow$	1	$\nearrow$

- 6** (1) $y = x^2$ を微分すると, $y' = 2x$ であるから, $C: y = x^2$ 上の点における接線の傾きが m となるときの, 接点の x 座標は

$$2x = m \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{m}{2}$$

したがって, C 上の点 $\left(\frac{m}{2}, \frac{m^2}{4}\right)$ を通り, 傾き m の直線は

$$y - \frac{m^2}{4} = m\left(x - \frac{m}{2}\right) \quad \text{すなわち} \quad y = mx - \frac{m^2}{4}$$

この直線が点 $P\left(t, \frac{1}{2}t - \frac{1}{4}\right)$ を通るから, m が満たす 2 次方程式は

$$\frac{1}{2}t - \frac{1}{4} = mt - \frac{m^2}{4} \quad \text{すなわち} \quad m^2 - 4tm + 2t - 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

この m に関する 2 次方程式 $(*)$ の係数について

$$D/4 = (-2t)^2 - 1(2t - 1) = 4t^2 - 2t + 1 = 4\left(t - \frac{1}{4}\right)^2 + \frac{3}{4} > 0$$

よって, 方程式 $(*)$ は, 常に異なる 2 つの実数解をもつ.

(2) 2 次方程式 (*) の解が m_1, m_2 であるから, 解と係数の関係により

$$m_1 + m_2 = 4t, \quad m_1 m_2 = 2t - 1$$

また, $m_1 < m_2$ であるから, 上の 2 式から

$$\begin{aligned} m_2 - m_1 &= \sqrt{(m_1 + m_2)^2 - 4m_1 m_2} \\ &= \sqrt{(4t)^2 - 4(2t - 1)} = 2\sqrt{4t^2 - 2t + 1} \end{aligned}$$

(3) $m_1 = \tan \theta_1, m_2 = \tan \theta_2$ であるから, (2) の結果により

$$\begin{aligned} \tan(\theta_2 - \theta_1) &= \frac{\tan \theta_2 - \tan \theta_1}{1 + \tan \theta_1 \tan \theta_2} = \frac{m_2 - m_1}{1 + m_1 m_2} \\ &= \frac{2\sqrt{4t^2 - 2t + 1}}{1 + (2t - 1)} = \frac{\sqrt{4t^2 - 2t + 1}}{t} \end{aligned}$$

$f(t) = \frac{\sqrt{4t^2 - 2t + 1}}{t}$ であるから

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{4t^2 - 2t + 1}}{t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \sqrt{4 - \frac{2}{t} + \frac{1}{t^2}} = 2$$

$$(4) \quad t > 0 \text{ より } f(t) = \sqrt{4 - \frac{2}{t} + \frac{1}{t^2}} = \sqrt{\left(\frac{1}{t} - 1\right)^2 + 3}$$

したがって, $f(t)$ は, $t = 1$ のとき, 最小値 $\sqrt{3}$ をとる.

$-\frac{\pi}{2} < \theta_1 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$ より, $0 < \theta_2 - \theta_1 < \pi$ であるから

$$\tan(\theta_2 - \theta_1) = \sqrt{3} \quad \text{すなわち} \quad \theta_2 - \theta_1 = \frac{\pi}{3}$$



- 7 (1) 2点 $P(p, p^2)$, $Q(q, q^2)$ を通る直線の方程式は $(q < 0 < p)$

$$y - p^2 = \frac{q^2 - p^2}{q - p}(x - p) \quad \text{すなわち} \quad y = (p + q)x - pq \quad \cdots (*)$$

直線 $(*)$ が $y = ax + 1$ に一致するから $pq = -1$

2点 $P_n(p_n, p_n^2)$, $Q_n(q_n, q_n^2)$ を通る直線は, $(*)$ より

$$y = (p_n + q_n)x - p_n q_n$$

これが, 点 $A(0, 1)$ を通るから $p_n q_n = -1 \quad \cdots \textcircled{1}$

$p_1 = 2$ のとき, $\textcircled{1}$ より $q_1 = -\frac{1}{2}$

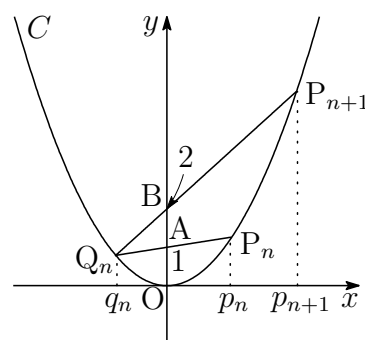
よって, C 上の点 Q_1 の座標は $\left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{4}\right)$

- (2) 2点 $P_{n+1}(p_{n+1}, p_{n+1}^2)$, $Q_n(q_n, q_n^2)$ を通る直線は, $(*)$ より

$$y = (p_{n+1} + q_n)x - p_{n+1} q_n$$

これが, 点 $B(0, 2)$ を通るから

$$p_{n+1} q_n = -2 \quad \cdots \textcircled{2}$$



$\textcircled{1}$ に $n = 2$, $\textcircled{2}$ に $n = 1, 2$ を代入すると

$$p_2 q_2 = -1, \quad p_2 q_1 = -2, \quad p_3 q_2 = -2$$

これに (1) の結果の $q_1 = -\frac{1}{2}$ を代入することにより

$$p_2 = 4, \quad q_2 = -\frac{1}{4}, \quad p_3 = 8$$

P_2, Q_2, P_3 は, C 上の点であるから

$$P_2(4, 16), \quad Q_2\left(-\frac{1}{4}, \frac{1}{16}\right), \quad P_3(8, 64)$$

(3) ①, ② から, q_n を消去すると $p_{n+1} = 2p_n$

$p_1 = 2$ より, 数列 $\{p_n\}$ は, 初項 2, 公比 2 の等比数列であるから

$$p_n = 2^n \quad \text{これを①に代入して} \quad q_n = -\frac{1}{2^n}$$

(4) (1) の結果から直線 PQ の方程式が $y = (p_n + q_n)x + 1$ であるから

$$\begin{aligned} S_n &= \int_0^{p_n} \{(p_n + q_n)x + 1 - x^2\} dx \\ &= \left[-\frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{2}(p_n + q_n)x^2 + x \right]_0^{p_n} \\ &= \frac{1}{6}p_n^3 + \frac{1}{2}p_n^2q_n + p_n \quad (p_nq_n = -1) \\ &= \frac{1}{6}p_n^3 + \frac{1}{2}p_n = \frac{1}{6}(2^n)^3 + \frac{1}{2} \cdot 2^n = \frac{1}{6}(8^n + 3 \cdot 2^n) \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_{n+1}}{S_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{8^{n+1} + 3 \cdot 2^{n+1}}{8^n + 3 \cdot 2^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{8 + 6 \cdot 2^{-2n}}{1 + 3 \cdot 2^{-2n}} = 8 \quad \blacksquare$$

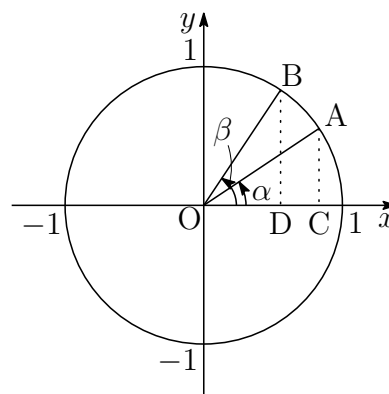
8 (1) $\angle AOB = \beta - \alpha$ より $S_1 = \frac{1}{2} \cdot 1^2 (\beta - \alpha) = \frac{1}{2} (\beta - \alpha)$

$$\begin{aligned} (2) \quad \triangle OAC &= \frac{1}{2} OC \cdot AC = \frac{1}{2} \cos \alpha \sin \alpha \\ &= \frac{1}{4} \sin 2\alpha \end{aligned}$$

$$\text{同様に} \quad \triangle OBD = \frac{1}{4} \sin 2\beta$$

したがって

$$\begin{aligned} S_2 &= (\triangle OAC + S_1) - \triangle OBD \\ &= (\triangle OAC - \triangle OBD) + S_1 \\ &= \frac{1}{4} (\sin 2\alpha - \sin 2\beta) + S_1 \quad \cdots \textcircled{1} \\ &= \frac{1}{4} (\sin 2\alpha - \sin 2\beta) + \frac{1}{2} (\beta - \alpha) \end{aligned}$$



(3) $S_1 = S_2$ のとき, ① より

$$\sin 2\alpha - \sin 2\beta = 0 \quad \text{すなわち} \quad \cos(\beta + \alpha) \sin(\beta - \alpha) = 0$$

$0 < \alpha < \beta < \frac{\pi}{2}$ より, $0 < \beta + \alpha < \pi$, $0 < \beta - \alpha < \frac{\pi}{2}$ であるから

$$\beta + \alpha = \frac{\pi}{2} \quad \text{よって} \quad \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad t &= \cos \alpha - \cos \beta = \cos \alpha - \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \\ &= \cos \alpha - \sin \alpha \quad \cdots \textcircled{2} \\ &= \sqrt{2} \left(\cos \alpha \cos \frac{\pi}{4} - \sin \alpha \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \sqrt{2} \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{4} \right) \end{aligned}$$

このとき, $0 < \alpha < \frac{\pi}{2} - \alpha < \frac{\pi}{2}$ であるから

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{4} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\pi}{4} < \alpha + \frac{\pi}{4} < \frac{\pi}{2}$$

よって $0 < t < 1$

(4) $\triangle OAC$ を x 軸の周りに回転してできる回転体の体積を V_α とすると

$$V_\alpha = \frac{\pi}{3} \sin^2 \alpha \cos \alpha$$

同様に, $\triangle OBD$ を x 軸の周りに回転してできる回転体の体積を V_β とすると, $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ であるから

$$V_\beta = \frac{\pi}{3} \sin^2 \beta \cos \beta = \frac{\pi}{3} \cos^2 \alpha \sin \alpha$$

このとき, $V_1 + V_\alpha = V_2 + V_\beta$ であるから

$$\begin{aligned} V &= V_1 - V_2 = V_\beta - V_\alpha \\ &= \frac{\pi}{3} \cos^2 \alpha \sin \alpha - \frac{\pi}{3} \sin^2 \alpha \cos \alpha \\ &= \frac{\pi}{3} \cos \alpha \sin \alpha (\cos \alpha - \sin \alpha) \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \text{ より} \quad t^2 = 1 - 2 \sin \alpha \cos \alpha \quad \text{ゆえに} \quad \cos \alpha \sin \alpha = \frac{1 - t^2}{2}$$

$$\text{よって} \quad V = \frac{\pi}{3} \times \frac{1 - t^2}{2} \times t = \frac{\pi}{6} (t - t^3)$$

(5) $f(t) = \frac{\pi}{6}(t - t^3)$ ($0 < t < 1$) とおくと

$$f'(t) = \frac{\pi}{6}(1 - 3t^2) = \frac{\pi}{6}(1 + \sqrt{3}t)(1 - \sqrt{3}t)$$

したがって、 $f(t)$ の増減表は

t	(0)	...	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	...	(1)
$f'(t)$		+	0	-	
$f(t)$		$\nearrow$	極大 $\frac{\sqrt{3}}{27}\pi$	$\searrow$	

したがって、 $t = \frac{1}{\sqrt{3}}$ のとき、最大値 $\frac{\sqrt{3}}{27}\pi$ をとる.

このとき、②より $\cos \alpha - \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}$... ③

③を等式 $(\cos \alpha - \sin \alpha)^2 + (\cos \alpha + \sin \alpha)^2 = 2$ に代入することにより

$$(\cos \alpha + \sin \alpha)^2 = \frac{5}{3}$$

このとき、 $\cos \alpha > 0$, $\sin \alpha > 0$ より $\cos \alpha + \sin \alpha = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}}$... ④

③, ④を解いて

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{5} + 1}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{6}, \quad \sin \alpha = \frac{\sqrt{5} - 1}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{15} - \sqrt{3}}{6}$$

また、(3)の結果 $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ により $\cos \beta = \sin \alpha$, $\sin \beta = \cos \alpha$

よって、2点 A, B の座標は

$$A \left(\frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{6}, \frac{\sqrt{15} - \sqrt{3}}{6} \right), \quad B \left(\frac{\sqrt{15} - \sqrt{3}}{6}, \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{6} \right)$$



5.4 2018年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学部 [3] [4] [5] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 関数 $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{2}x^2 - 2x + \frac{5}{6}$ の極値を求めよ．さらに，3 次方程式 $f(x) = k$ が，異なる正の解を 2 個，負の解を 1 個もつように，定数 k の値の範囲を定めよ．
- (2) $0 < \theta < \pi$ で $\tan \theta = -2\sqrt{2}$ のとき， $\cos \theta$ と $\cos \frac{\theta}{2}$ の値を求めよ．
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和を S_n とする．

$$S_n = 6n - 2a_n \quad (n = 1, 2, \dots)$$

が成り立つとき，初項 a_1 および一般項 a_n を求めよ．

- (4) 座標平面上に原点 O，点 A(5, 2)，点 B(11, 10) がある．条件 $\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} = 0$ を満たす点 P(x, y) の軌跡を求めよ．さらに， $|\overrightarrow{OP}|$ の最大値と最小値，およびそのときの P の座標をそれぞれ求めよ．

[2] 関数 $f(x)$ を

$$f(x) = \begin{cases} x^2 & (x < 0) \\ 2x^2 & (x \geq 0) \end{cases}$$

と定義する．曲線 $C: y = f(x)$ の上に 2 点 A(-a, a^2)，B(a, $2a^2$) がある．ただし， a は正の定数とする．以下の問いに答えよ．

- (1) 直線 AB の方程式を求めよ．また，線分 AB の長さを求めよ．
- (2) 曲線 C と直線 AB で囲まれる図形の面積 S を求めよ．
- (3) 2 点 A, B における曲線 C の接線を，それぞれ ℓ , m とする． ℓ , m の方程式を求めよ．さらに， ℓ と m の交点 D の座標を求めよ．
- (4) 直線 AB と直線 ℓ が直交するように， a の値を定めよ．このとき，曲線 C と 2 直線 ℓ , m とで囲まれる図形の面積 T を求めよ．

3 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和を S_n とする．

$$S_n = 6n - 2a_n \quad (n = 1, 2, \dots)$$

が成り立つとき，初項 a_1 および一般項 a_n を求めよ．

- (2) $\sin \frac{\alpha - \beta}{2} = A$ とするとき，

$$(\cos \alpha - \cos \beta)^2 + (\sin \alpha - \sin \beta)^2$$

の値を A を用いて表せ．

- (3) 方程式

$$\log_2 x^2 = 2 + \log_2 |x - 2|$$

を解け．

- (4) 関数 $f(x)$ を

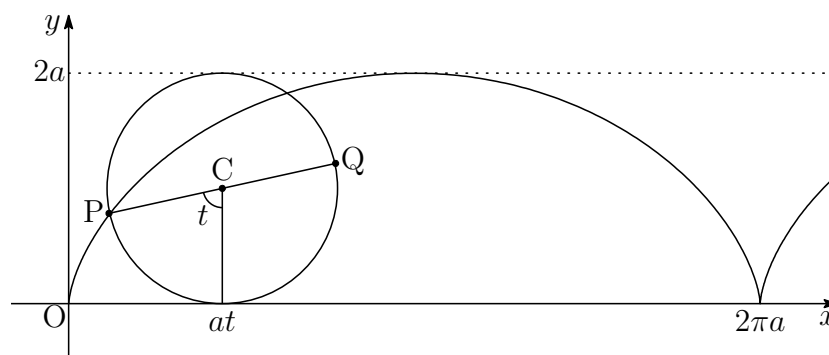
$$f(x) = \begin{cases} x^2 + x & (x < 0) \\ x & (x \geq 0) \end{cases}$$

と定義する．「微分係数の定義」にしたがって， $f(x)$ の $x = 0$ における微分係数を求めよ．

- 4 半径 a の円が x 軸上を滑ることなく正の方向に回転していくとき、円周上の2つの定点 P と Q の運動について考える. 時刻 $t = 0$ のとき P は原点 O にあり, Q は点 $(0, 2a)$ にある. 円は毎秒1ラジアンで回転する. このとき, 点 P の時刻 t における座標 (x, y) は

$$x = a(t - \sin t), \quad y = a(1 - \cos t)$$

で表される. 以下の問いに答えよ.



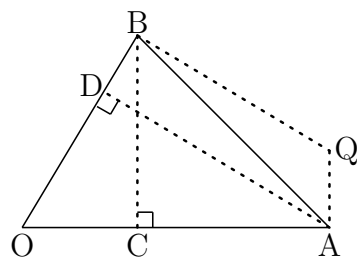
- (1) 時刻 t における円の中心 C と点 Q の座標を, それぞれ求めよ.
 - (2) 時刻 t における点 P の速度ベクトル $\vec{v}_P = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$ を求めよ. また, 時刻 t が $0 \leq t \leq 2\pi$ の範囲において, 速さ $|\vec{v}_P|$ の最大値と最小値, およびその時の P の座標を求めよ.
 - (3) 時刻 t における点 Q の速度ベクトル $\vec{v}_Q$ を求めよ. さらに, 内積 $\vec{v}_P \cdot \vec{v}_Q$ を求めよ.
 - (4) 時刻 $t = \frac{\pi}{2}$ から $t = \frac{3\pi}{2}$ までの間に点 P が動く道のり L_P と, 点 Q が動く道のり L_Q を, それぞれ求めよ.
- 5 関数 $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - x + 2$ がある. 曲線 $C: y = f(x)$ の変曲点を P とする. 以下の問いに答えよ.
- (1) 関数 $y = f(x)$ の増減および凹凸を調べ, 極値および P の座標を求めよ.
 - (2) 曲線 C 上の点 P における接線を ℓ とする. また, P を通り ℓ に垂直な直線を m とする. ℓ, m の方程式を求めよ.
 - (3) 直線 m と曲線 C との交点で, P と異なる点を Q, R とする. ただし, Q の x 座標は R の x 座標より小さいものとする. このとき, C と線分 PR とで囲まれる図形 F の面積 S を求めよ.
 - (4) P を通り, 図形 F の面積を2等分する直線の方程式を求めよ.

6 三角形 OAB において

$$OA = a, \quad OB = b, \quad \angle O = \theta$$

とおく. ただし, $0 < b \leq a$, $0 < \theta < \pi$ である. また, 点 C と D は, それぞれ, 直線 OA と OB 上にあり, $CB \perp OA$, $DA \perp OB$ を満たす.

$\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{b}$ とするとき, この三角形の外心 P について調べる. 以下の問いに答えよ.



(1) $\vec{OC}$ を $a, b, \theta, \vec{a}$ を用いて表せ. また, $\vec{OD}$ を $a, b, \theta, \vec{b}$ を用いて表せ.

(2) OA の A を通る垂線と, OB の B を通る垂線との交点を Q とする. このとき, $\vec{AQ} = \ell \vec{CB}$, $\vec{BQ} = m \vec{DA}$ となる実数 ℓ, m がある. $\vec{OA} + \vec{AQ} = \vec{OB} + \vec{BQ}$ であることに注意して, ℓ と m の値を a, b, θ を用いて表せ.

(3) Q が (2) の点であるとき,

$$\vec{OQ} = p\vec{a} + q\vec{b}$$

となる実数 p, q がある. p と q の値を a, b, θ を用いて表せ. また,

$$\vec{OP} = r\vec{a} + s\vec{b}$$

を満たす r と s の値を a, b, θ を用いて表せ.

7 t を正の実数とし, 複素数平面上に 2 点 $A(t)$, $B\left(-\frac{1}{t}\right)$ がある. 等式

$$t \left| z + \frac{1}{t} \right| = \frac{1}{t} |z - t| \tag{a}$$

を満たす点 $P(z)$ の全体が表す図形を F とする. 下の小問 (1) から (4) を通して F がどのような図形を表すか調べたい. 以下の問いに答えよ.

(1) A と B はどちらも図形 F の点ではないことを示せ.

(2) $t = 1$ ならば, F はどのような図形を表すか.

(3) $t \neq 1$ とする. 図形 F の点 $P(z)$ が直線 AB 上に位置するような z の値は 2 つある. その値 z_1 と z_2 を求めよ. ただし, $|z_1| < |z_2|$ とする.

(4) $t \neq 1$ とする. 2 点 $P_1(z_1)$, $P_2(z_2)$ を結ぶ線分の中点を $M(m)$ として, m の値を求めよ. また, $P(z)$ が図形 F の点であるとき, $|z - m|$ の値を求めよ. さらに, F はどのような図形を表すか.

8 積分を用いて表される次の関数

$$F_n(x) = \int_0^x \frac{t^n}{n!} e^{-t} dt \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

について、以下の問いに答えよ。ただし、 $0! = 1$ と定める。また、関数 $y = t^0$ は、関数 $y = 1$ を意味する。

- (1) 部分積分を利用して、 $F_2(x)$ を $F_1(x)$ を用いて表せ。同様に、 $F_1(x)$ を $F_0(x)$ を用いて表せ。
- (2) $F_0(x)$ を計算し、積分を含まない式として表せ。その結果を利用して、 $F_1(x)$ を積分を含まない式として表せ。さらに、 $F_2(x)$ を積分を含まない式として表せ。
- (3) $n \geq 1$ のとき、 $F_n(x)$ を $F_{n-1}(x)$ を用いて表せ。さらに、 $n \geq 0$ のとき、 $F_n(x)$ を積分を含まない式として表せ。
- (4) $p(x) = x^n$ とおくとき、 k 次導関数

$$p^{(k)}(x) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

を求めよ。そして、

$$\int_0^x t^n e^{-t} dt = n! - e^{-x} \sum_{k=0}^n p^{(k)}(x)$$

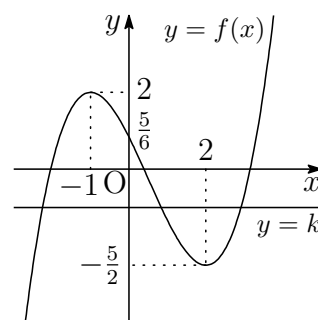
が成り立つことを示せ。ただし、 $p^{(0)}(x) = p(x)$ と定める。

解答例

1 (1) $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{2}x^2 - 2x + \frac{5}{6}$ より

$$f'(x) = x^2 - x - 2 = (x+1)(x-2)$$

x	...	-1	...	2	...
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	↗	極大	↘	極小	↗



よって 極大値 $f(-1) = 2$, 極小値 $f(2) = -\frac{5}{2}$

また, 3次方程式 $f(x) = k$ が, 異なる正の解を 2 個, 負の解を 1 個もつ k の値の範囲は, $y = f(x)$ のグラフと直線 $y = k$ の共有点の x 座標が $x > 0$ の範囲に 2 個と $x < 0$ の範囲に 1 個もつ範囲であるから

$$-\frac{5}{2} < k < \frac{5}{6}$$

(2) $0 < \theta < \pi$ で $\tan \theta = -2\sqrt{2} < 0$ であるから $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$... ①

$$1 + \tan^2 \theta = \frac{1}{\cos^2 \theta} \text{ より } 1 + (-2\sqrt{2})^2 = \frac{1}{\cos^2 \theta} \quad \text{ゆえに } \cos^2 \theta = \frac{1}{9}$$

① より, $\cos \theta < 0$ であるから $\cos \theta = -\frac{1}{3}$

これを $\cos^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1 + \cos \theta}{2}$ に代入すると $\cos^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1}{3}$

① より, $\frac{\pi}{4} < \frac{\theta}{2} < \frac{\pi}{2}$ であるから, $\cos \frac{\theta}{2} > 0$ に注意して

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$(3) S_n = 6n - 2a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad \dots (*)$$

(*) に $n = 1$ を代入すると $S_1 = 6 - 2a_1$

$S_1 = a_1$ であるから $a_1 = 6 - 2a_1$ これを解いて $a_1 = 2$

$n \geq 2$ のとき, $a_n = S_n - S_{n-1}$ であるから, (*) より

$$a_n = 6n - 2a_n - \{6(n-1) - 2a_{n-1}\}$$

整理すると $3a_n = 2a_{n-1} + 6$ ゆえに $a_n - 6 = \frac{2}{3}(a_{n-1} - 6)$

これから, 数列 $\{a_n - 6\}$ は初項 -4 , 公比 $\frac{2}{3}$ の等比数列であるから

$$a_n - 6 = -4 \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 6 - 4 \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから, 求める一般項は

$$a_n = 6 - 4 \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1}$$

$$(4) A(5, 2), B(11, 10), P(x, y) \text{ から}$$

$$\overrightarrow{AP} = (x - 5, y - 2), \quad \overrightarrow{BP} = (x - 11, y - 10)$$

$$\overrightarrow{AP} \cdot \overrightarrow{BP} = 0 \text{ であるから } (x - 5)(x - 11) + (y - 2)(y - 10) = 0$$

$$\text{したがって } (x - 8)^2 + (y - 6)^2 = 25 \quad \dots (*)$$

よって, 点 $P(x, y)$ の軌跡は 中心 $(8, 6)$, 半径 5 の円

円 (*) の中心を C , $\vec{r} = (4, 3)$ とおくと, $\overrightarrow{OC} = 2\vec{r}$, $|\vec{r}| = 5$ より, $|\overrightarrow{OP}|$ は

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OC} + \vec{r} = 3\vec{r}, \quad \text{すなわち, } P(12, 9) \text{ のとき } \text{最大値 } 3|\vec{r}| = 15$$

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OC} + (-\vec{r}) = \vec{r}, \quad \text{すなわち, } P(4, 3) \text{ のとき } \text{最小値 } |\vec{r}| = 5$$



- 2 (1) 2 点 $A(-a, a^2)$, $B(a, 2a^2)$ を通る直線の方程式は

$$y - a^2 = \frac{2a^2 - a^2}{a - (-a)}(x + a) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{a}{2}x + \frac{3}{2}a^2$$

線分 AB の長さは ($a > 0$)

$$AB = \sqrt{\{a - (-a)\}^2 + (2a^2 - a^2)^2} = \sqrt{4a^2 + a^4} = a\sqrt{4 + a^2}$$

- (2) C は下に凸であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_{-a}^0 \left(\frac{a}{2}x + \frac{3}{2}a^2 - x^2 \right) dx + \int_0^a \left(\frac{a}{2}x + \frac{3}{2}a^2 - 2x^2 \right) dx \\ &= \int_{-a}^a \left(\frac{a}{2}x + \frac{3}{2}a^2 \right) dx - \int_{-a}^0 x^2 dx - \int_0^a 2x^2 dx \\ &= \left[\frac{a}{4}x^2 + \frac{3}{2}a^2x \right]_{-a}^a - \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-a}^0 - \left[\frac{2}{3}x^3 \right]_0^a = 2a^3 \end{aligned}$$

- (3) $x < 0$ のとき, $f(x) = x^2$ より, $f'(x) = 2x$ であるから, ℓ の方程式は

$$y - a^2 = -2a(x + a) \quad \text{すなわち} \quad y = -2ax - a^2$$

$x \geq 0$ のとき, $f(x) = 2x^2$ より, $f'(x) = 4x$ であるから, m の方程式は

$$y - 2a^2 = 4a(x - a) \quad \text{すなわち} \quad y = 4ax - 2a^2$$

ℓ と m の連立方程式を解いて $D\left(\frac{a}{6}, -\frac{4}{3}a^2\right)$

- (4) 直線 AB と直線 ℓ が直交するから ($a > 0$)

$$\frac{a}{2} \cdot (-2a) = -1 \quad \text{ゆえに} \quad a = 1$$

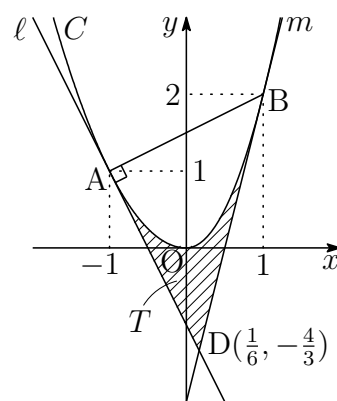
このとき $A(-1, 1)$, $B(1, 2)$

(3) の結果から $D\left(\frac{1}{6}, -\frac{4}{3}\right)$

ゆえに $AB = \sqrt{5}$, $AD = \frac{7}{6}\sqrt{5}$

したがって $\triangle ABD = \frac{1}{2}AB \cdot AD = \frac{35}{12}$

(2) の結果から $S = 2$ よって $T = \triangle ABD - S = \frac{35}{12} - 2 = \frac{11}{12}$ ■



3 (1) **1** (3) を参照.

(2) $\theta = \frac{\alpha - \beta}{2}$ とおくと, $A = \sin \theta$ であるから

$$\begin{aligned} & (\cos \alpha - \cos \beta)^2 + (\sin \alpha - \sin \beta)^2 \\ &= 2 - 2(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta) \\ &= 2 - 2 \cos(\alpha - \beta) = 2 - 2 \cos 2\theta \\ &= 2 - 2(1 - 2 \sin^2 \theta) = 4 \sin^2 \theta = 4A^2 \end{aligned}$$

(3) 方程式から $\log_2 x^2 = \log_2 4|x - 2|$

真数は正であるから $x^2 = 4|x - 2| > 0$

(i) $x > 2$ のとき $x^2 = 4(x - 2)$ ゆえに $(x - 2)^2 = -4$
これを満たす実数 x は存在しない.

(ii) $x < 2$ のとき $x^2 = 4(2 - x)$ ゆえに $(x + 2)^2 = 12$
 $x < 2$ に注意して $x = -2 \pm 2\sqrt{3}$

(i),(ii) より $x = -2 \pm 2\sqrt{3}$

(4) $f(x) = \begin{cases} x^2 + x & (x < 0) \\ x & (x \geq 0) \end{cases}$ より $f(0) = 0$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +0} \frac{f(x) - f(0)}{x} &= \lim_{x \rightarrow +0} \frac{x}{x} = 1, \\ \lim_{x \rightarrow -0} \frac{f(x) - f(0)}{x} &= \lim_{x \rightarrow -0} \frac{x^2 + x}{x} = \lim_{x \rightarrow -0} (x + 1) = 1 \end{aligned}$$

よって $f'(0) = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(0)}{x} = 1$

■

- 4 (1) 中心 C の座標 (x, y) は $\mathbf{x} = a\mathbf{t}, \quad \mathbf{y} = a$

$$\overrightarrow{CQ} = a \begin{pmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} - t) \\ \sin(\frac{\pi}{2} - t) \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} \sin t \\ \cos t \end{pmatrix} \text{ より}$$

$$\overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{CQ} = \begin{pmatrix} at \\ a \end{pmatrix} + a \begin{pmatrix} \sin t \\ \cos t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a(t + \sin t) \\ a(1 + \cos t) \end{pmatrix}$$

よって、点 Q の座標 (x, y) は $\mathbf{x} = a(t + \sin t), \quad \mathbf{y} = a(1 + \cos t)$

- (2) P の座標 (x, y) は、 $x = a(t - \sin t), \quad y = a(1 - \cos t)$ であるから

$$\overrightarrow{v_P} = (a(1 - \cos t), a \sin t)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq 2\pi \text{ において } |\overrightarrow{v_P}| &= a\sqrt{(1 - \cos t)^2 + \sin^2 t} \\ &= a\sqrt{2(1 - \cos t)} = 2a \left| \sin \frac{t}{2} \right| = 2a \sin \frac{t}{2} \end{aligned}$$

$|\overrightarrow{v_P}|$ は $t = \pi$, すなわち、 $\mathbf{P}(\pi a, 2a)$ のとき、最大値 $2a$
 $t = 0, 2\pi$, すなわち、 $\mathbf{P}(0, 0), \mathbf{P}(2\pi a, 0)$ のとき、最小値 0

- (3) (1) の結果から $\overrightarrow{v_Q} = (a(1 + \cos t), -a \sin t)$

$$\text{ゆえに } \overrightarrow{v_P} \cdot \overrightarrow{v_Q} = a^2(1 - \cos t)(1 + \cos t) - a^2 \sin^2 t = 0$$

$$(4) L_P = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} |\overrightarrow{v_P}| dt = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} 2a \sin \frac{t}{2} dt = \left[-4a \cos \frac{t}{2} \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} = 4\sqrt{2}a$$

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq 2\pi \text{ において } |\overrightarrow{v_Q}| &= a\sqrt{(1 + \cos t)^2 + \sin^2 t} \\ &= a\sqrt{2(1 + \cos t)} = 2a \left| \cos \frac{t}{2} \right| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_Q &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} |\overrightarrow{v_Q}| dt = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} 2a \cos \frac{t}{2} dt - \int_{\pi}^{\frac{3\pi}{2}} 2a \cos \frac{t}{2} dt \\ &= \left[4a \sin \frac{t}{2} \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} - \left[4a \sin \frac{t}{2} \right]_{\pi}^{\frac{3\pi}{2}} = 4(2 - \sqrt{2})a \end{aligned}$$

■

- 5 (1) $f(x) = \frac{1}{3}x^3 - x + 2$ より $f'(x) = x^2 - 1 = (x+1)(x-1)$, $f''(x) = 2x$

x	...	-1	...	0	...	1	...
$f'(x)$	+	0	-	-	-	0	+
$f''(x)$	-	-	-	0	+	+	+
$f(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって 極大値 $f(-1) = \frac{8}{3}$, 極小値 $f(1) = \frac{4}{3}$, 変曲点 $P(0, 2)$

- (2) (1)の結果から $f'(0) = -1$ ゆえに ℓ の傾きは -1 , m の傾きは 1

ℓ, m は点 $P(0, 2)$ を通るから $\ell: y = -x + 2$, $m: y = x + 2$

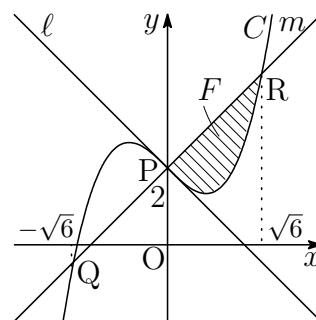
- (3) $C: y = \frac{1}{3}x^3 - x + 2$, $m: y = x + 2$ の共有点の x 座標は

$$\frac{1}{3}x^3 - x + 2 = x + 2 \quad \text{ゆえに} \quad x(x^2 - 6) = 0$$

これを解いて $x = 0, \pm\sqrt{6}$

F は右の図の斜線部分であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\sqrt{6}} \left\{ x + 2 - \left(\frac{1}{3}x^3 - x + 2 \right) \right\} dx \\ &= \int_0^{\sqrt{6}} \left(2x - \frac{1}{3}x^3 \right) dx = \left[x^2 - \frac{1}{12}x^4 \right]_0^{\sqrt{6}} = 3 \end{aligned}$$



- (4) (3)の図から, F を二等分する直線の方程式を $y = ax + 2$ ($-1 < a < 1$)とおくと, この直線と C の共有点の x 座標は

$$\frac{1}{3}x^3 - x + 2 = ax + 2 \quad \text{ゆえに} \quad x\{x^2 - 3(a+1)\} = 0$$

これを解いて $x = 0, \pm\sqrt{3(a+1)}$

$$\begin{aligned} \frac{S}{2} &= \int_0^{\sqrt{3(a+1)}} \left\{ ax + 2 - \left(\frac{1}{3}x^3 - x + 2 \right) \right\} dx \\ \frac{3}{2} &= \int_0^{\sqrt{3(a+1)}} \left\{ (a+1)x - \frac{1}{3}x^3 \right\} dx \\ &= \left[\frac{1}{2}(a+1)x^2 - \frac{1}{12}x^4 \right]_0^{\sqrt{3(a+1)}} = \frac{3}{4}(a+1)^2 \end{aligned}$$

したがって, $\frac{3}{4}(a+1)^2 = \frac{3}{2}$ を $-1 < a < 1$ に注意して解くと $a = \sqrt{2} - 1$

よって, 求める直線の方程式は $y = (\sqrt{2} - 1)x + 2$ ■

- 6 (1) $\vec{a}$, $\vec{b}$ と同じ向きの単位ベクトルを, それぞれ $\vec{e}$, $\vec{f}$ とおくと $\vec{e} = \frac{\vec{a}}{a}$, $\vec{f} = \frac{\vec{b}}{b}$

$$\text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OC} = (OB \cos \theta) \vec{e} = (b \cos \theta) \frac{\vec{a}}{a} = \frac{b \cos \theta}{a} \vec{a}$$

$$\overrightarrow{OD} = (OA \cos \theta) \vec{f} = (a \cos \theta) \frac{\vec{b}}{b} = \frac{a \cos \theta}{b} \vec{b}$$

$$(2) (1) \text{ の結果から } \quad \overrightarrow{CB} = \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OC} = \vec{b} - \frac{b \cos \theta}{a} \vec{a}$$

$$\overrightarrow{DA} = \overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OD} = \vec{a} - \frac{a \cos \theta}{b} \vec{b}$$

$$\overrightarrow{AQ} = \ell \overrightarrow{CB}, \quad \overrightarrow{BQ} = m \overrightarrow{DA} \text{ および上の2式から}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AQ} = \overrightarrow{OA} + \ell \overrightarrow{CB} \\ &= \vec{a} + \ell \left(\vec{b} - \frac{b \cos \theta}{a} \vec{a} \right) = \left(1 - \frac{b \cos \theta}{a} \ell \right) \vec{a} + \ell \vec{b} \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BQ} = \overrightarrow{OB} + m \overrightarrow{DA} \\ &= \vec{b} + m \left(\vec{a} - \frac{a \cos \theta}{b} \vec{b} \right) = m \vec{a} + \left(1 - \frac{a \cos \theta}{b} m \right) \vec{b} \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

$\vec{a}$, $\vec{b}$ は 1 次独立であるから

$$1 - \frac{b \cos \theta}{a} \ell = m, \quad \ell = 1 - \frac{a \cos \theta}{b} m$$

$$\text{上の2式から } m \text{ を消去すると } \ell = 1 - \frac{a \cos \theta}{b} \left(1 - \frac{b \ell \cos \theta}{a} \right)$$

$$\text{したがって } \ell(1 - \cos^2 \theta) = 1 - \frac{a \cos \theta}{b} \quad \text{すなわち} \quad \ell = \frac{b - a \cos \theta}{b \sin^2 \theta}$$

$$\begin{aligned} \text{これから} \quad m &= 1 - \frac{b \cos \theta}{a} \cdot \frac{b - a \cos \theta}{b \sin^2 \theta} \\ &= 1 - \frac{\cos \theta (b - a \cos \theta)}{a \sin^2 \theta} = \frac{a - b \cos \theta}{a \sin^2 \theta} \end{aligned}$$

$$(3) \overrightarrow{OQ} = p \vec{a} + q \vec{b} \text{ は, } \textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より } p = m, \quad q = \ell$$

$$\text{よって} \quad p = \frac{a - b \cos \theta}{a \sin^2 \theta}, \quad q = \frac{b - a \cos \theta}{b \sin^2 \theta}$$

$\angle OAQ = \angle OBQ = 90^\circ$ より, OQ は $\triangle AOB$ の外接円の直径である.

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2} \overrightarrow{OQ} \text{ より} \quad r = \frac{1}{2} p = \frac{a - b \cos \theta}{2a \sin^2 \theta}, \quad s = \frac{1}{2} q = \frac{b - a \cos \theta}{2b \sin^2 \theta} \quad \blacksquare$$

$$\boxed{7} \quad (1) \quad F: t \left| z + \frac{1}{t} \right| = \frac{1}{t} |z - t| \quad \cdots (a)$$

(a) に $z = t$ を代入すると, $t > 0$ より

$$(\text{左辺}) = t \left| t + \frac{1}{t} \right| = t \left(t + \frac{1}{t} \right) > 0, \quad (\text{右辺}) = 0$$

(a) に $z = -\frac{1}{t}$ を代入すると, $t > 0$ より

$$(\text{左辺}) = 0, \quad (\text{右辺}) = \frac{1}{t} \left| -\frac{1}{t} - t \right| = t \left(\frac{1}{t} + t \right) > 0$$

よって, $A(t)$, $B\left(-\frac{1}{t}\right)$ は, 図形 F の点ではない.

$$(2) \quad t = 1 \text{ のとき } F: |z + 1| = |z - 1|$$

F の点 z は 2 点 (1) , (-1) から等距離にあるから, F は虚軸にある直線.

$$(3) \quad (a) \text{ より, } t^2 \left| z + \frac{1}{t} \right|^2 = \frac{1}{t^2} |z - t|^2 \text{ であるから } (t \neq 1)$$

$$\begin{aligned} t^2 \left(z + \frac{1}{t} \right) \left(\bar{z} + \frac{1}{t} \right) &= \frac{1}{t^2} (z - t)(\bar{z} - t) \\ \left(t^2 - \frac{1}{t^2} \right) z \bar{z} + \left(t + \frac{1}{t} \right) (z + \bar{z}) &= 0 \\ z \bar{z} + \frac{t}{t^2 - 1} (z + \bar{z}) &= 0 \\ \left| z + \frac{t}{t^2 - 1} \right|^2 &= \frac{t^2}{(t^2 - 1)^2} \\ \left| z - \frac{t}{1 - t^2} \right| &= \frac{t}{|1 - t^2|} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

したがって, F は中心が $\frac{t}{1 - t^2}$ で, 半径 $\frac{t}{|1 - t^2|}$ の円である.

$$\text{よって, 条件から } z_1 = 0, z_2 = \frac{2t}{1 - t^2}$$

$$(4) \quad (3) \text{ の結果から } m = \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{t}{1 - t^2} \quad (*) \text{ より } |z - m| = \frac{t}{|1 - t^2|}$$

よって, F は m を中心とする半径 $|m|$ の円である. ■

8 (1) 部分積分法により

$$\begin{aligned}
 F_2(x) &= \int_0^x \frac{t^2}{2!} e^{-t} dt = - \int_0^x \frac{t^2}{2!} (e^{-t})' dt \\
 &= - \left[\frac{t^2}{2!} e^{-t} \right]_0^x + \int_0^x \frac{t}{1!} e^{-t} dt = - \frac{x^2}{2!} e^{-x} + F_1(x), \\
 F_1(x) &= \int_0^x t e^{-t} dt = - \int_0^x t (e^{-t})' dt \\
 &= - \left[t e^{-t} \right]_0^x + \int_0^x e^{-t} dt = -x e^{-x} + F_0(x)
 \end{aligned}$$

$$(2) \quad F_0(x) = \int_0^x e^{-t} dt = \left[-e^{-t} \right]_0^x = 1 - e^{-x}$$

上式および (1) の結果により

$$\begin{aligned}
 F_1(x) &= -x e^{-x} + (1 - e^{-x}) = 1 - e^{-x}(x + 1) \\
 F_2(x) &= -\frac{x^2}{2} e^{-x} + \{1 - e^{-x}(x + 1)\} = 1 - e^{-x} \left(\frac{x^2}{2} + x + 1 \right)
 \end{aligned}$$

(3) (1) と同様に，部分積分法を用いると

$$\begin{aligned}
 F_n(x) &= \int_0^x \frac{t^n}{n!} e^{-t} dt = - \int_0^x \frac{t^n}{n!} (e^{-t})' dt \\
 &= - \left[\frac{t^n}{n!} e^{-t} \right]_0^x + \int_0^x \frac{t^{n-1}}{(n-1)!} e^{-t} dt = - \frac{x^n}{n!} e^{-x} + F_{n-1}(x)
 \end{aligned}$$

$$F_k(x) - F_{k-1}(x) = -\frac{x^k}{k!} e^{-x} \text{ であるから } (k = 1, 2, \dots, n)$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^n \{F_k(x) - F_{k-1}(x)\} &= - \sum_{k=1}^n \frac{x^k}{k!} e^{-x} \\
 F_n(x) - F_0(x) &= -e^{-x} \sum_{k=1}^n \frac{x^k}{k!} \quad \dots (*)
 \end{aligned}$$

$F_0(x) = 1 - e^{-x}$ を (*) の辺々に加えると

$$F_n(x) = 1 - e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!}$$

$$(4) \quad p(x) = x^n \text{ より } p^{(k)}(x) = \frac{n!}{(n-k)!} x^{n-k}$$

$$(3) \text{ の結果から } \int_0^x \frac{t^n}{n!} e^{-t} dt = 1 - e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!}$$

$$\int_0^x t^n e^{-t} dt = n! - e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!} x^k$$

$$\text{ここで } \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!} x^k = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!} x^{n-k} = \sum_{k=0}^n p^{(k)}(x)$$

$$\text{よって } \int_0^x t^n e^{-t} dt = n! - e^{-x} \sum_{k=0}^n p^{(k)}(x)$$

解説 部分積分法により、次式が得られる.

$$\int e^{px+q} f(x) dx = \frac{e^{px+q}}{p} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} - \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C$$

$$\int e^{-x+q} f(x) dx = -e^{-x+q} \{ f(x) + f'(x) + f''(x) + f'''(x) + \cdots \} + C$$

本題は、上の第2式を用いると

$$\int_0^x e^{-t} p(t) dt = - \sum_{k=0}^n \left[e^{-t} p^{(k)}(t) \right]_0^x = \sum_{k=0}^n p^{(k)}(0) - \sum_{k=0}^n e^{-x} p^{(k)}(x)$$

$$p(x) = x^n \text{ であるから } p^{(k)}(0) = \begin{cases} 0 & (k = 0, 1, 2, \dots, n-1) \\ n! & (k = n) \end{cases}$$

$$\text{よって } \int_0^x t^n e^{-t} dt = n! - e^{-x} \sum_{k=0}^n p^{(k)}(x)$$

注意 $e^x = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \cdots (a)$ は、 $x \neq 0$ のとき、 $e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \cdots (b)$ と表記できるが、 $x = 0$ のとき、 0^0 の項が現れ不適切である (不定形). そこで便宜的に $0^0 = 1$ と定めておけば、(a) はすべての x について (b) と表記できる. 大学数学では、このように「 $0^0 = 1$ 」と定めて計算する流儀がある.

(*) より、正確には、 $F_n(x) = 1 - e^{-x} - e^{-x} \sum_{k=1}^n \frac{x^k}{k!}$ であるが、この便宜的な流儀にならい、 $F_n(x) = 1 - e^{-x} \sum_{k=0}^n \frac{x^k}{k!}$ と表記してもよい. ■

5.5 2019 年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学部 [3] [4] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 関数 $y = \cos^2 x - \sin x$ ($0 \leq x < 2\pi$) の最大値および最小値を求めよ．また，そのときの x の値をそれぞれ求めよ．
- (2) 等式 $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{2}{3}$ を満たす自然数の組 (x, y) をすべて求めよ．
- (3) 数列 $\{a_n\}$ が， $a_1 = 1$ ， $a_{n+1} = a_n + 2^n + 6n^2 + 4n - 1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を満たすとき，一般項 a_n を求めよ．
- (4) 平面上の 3 つのベクトル $\vec{a}$ ， $\vec{b}$ ， $\vec{c}$ において

$$|\vec{a}| = 2|\vec{b}| = 3|\vec{c}| = 6k \quad (k \text{ は正の定数})$$

$$\vec{a} + 2\vec{b} + 3\vec{c} = \vec{0}$$

が成り立っている．このとき， $\vec{c}$ を $\vec{a}$ と $\vec{b}$ で表し，内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ を k を用いて表せ．また， $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のなす角 θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) の値を求めよ．

[2] 実数 α ， β ($\alpha \leq \beta$) に対し， p ， q を $p = \alpha + \beta$ ， $q = \alpha\beta$ とする．以下の問いに答えよ．

- (1) $p = 3$ ， $q = -1$ のとき， α と β の値を求めよ．
- (2) 実数 α ， β を解とする x の 2 次方程式を p ， q を用いて表せ．また，このときの p ， q が満たす不等式を求めよ．
- (3) (2) の実数 α ， β が，さらに不等式 $\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2 - 3 \leq 0$ を満たすとき，点 $P(p, q)$ が存在する領域 E を pq 平面に図示せよ．また，領域 E の面積 S を求めよ．
- (4) (3) のとき， $\alpha\beta + \alpha + \beta$ の最大値および最小値を求めよ．また，そのときの実数 α と β の値を求めよ．

3 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 3次方程式 $x^3 - 3px + p = 0$ が異なる3つの実数解をもつように，実数 p の値の範囲を定めよ．
- (2) 関数 $y = \log x$ ($x > 0$) 上の点 $P(t, \log t)$ における接線を ℓ とする．また，点 P を通り， ℓ に垂直な直線を m とする．2本の直線 ℓ , m および y 軸とで囲まれる図形の面積を S とする． $S = 5$ となるとき点 P の座標を求めよ．
- (3) 空間内に，3点 $A(3, -1, 1)$, $B(0, 2, 4)$, $C(1, 0, 4)$ がある．点 C から直線 AB に垂線を引き，交点を H とする． $\overrightarrow{AH} = t\overrightarrow{AB}$ とおくと，実数 t の値と線分 CH の長さを求めよ．
- (4) 原点を O とする座標平面上に，曲線 $C: \frac{x^2}{4} + y^2 = 1$ があり， C 上に x 座標を t とする第1象限の点 P をとる．このとき，点 P から x 軸および y 軸に垂線を下ろし，交点をそれぞれ Q , R とする．四角形 $OQPR$ を x 軸のまわりに1回転してできる立体の体積 V の最大値と，そのときの P の座標を求めよ．

4 $\triangle OAB$ の2辺 OA , OB 上にそれぞれ点 C , D があり，直線 CD は $\triangle OAB$ の重心 G を通るものとする．

$$\overrightarrow{OA} = \vec{a}, \quad \overrightarrow{OB} = \vec{b}, \quad \overrightarrow{OC} = x\vec{a} \quad (0 < x < 1), \quad \overrightarrow{OD} = y\vec{b} \quad (0 < y < 1)$$

とするとき，以下の問いに答えよ．

- (1) $CG : GD = t : (1 - t)$, $0 < t < 1$ とする．このとき， x と y をそれぞれ t の式で表せ．
- (2) y を x の式で表せ．また， $0 < y < 1$ より x の値の範囲を求めよ．
- (3) $\triangle OCD$ の面積を S_1 , $\triangle OAB$ の面積を S_2 とし， $f(x) = \frac{S_1}{S_2}$ とする．関数 $f(x)$ の増減表をつくり， $f(x)$ の最小値と，そのときの x と y の値を求めよ．

5 曲線 $C: y = \sin x$ $\left(0 \leq x \leq \frac{2}{3}\pi\right)$ 上の x 座標が 0 の点を A, x 座標が $\frac{2}{3}\pi$ の点を B とする. 点 $P(p, \sin p)$ が曲線 C 上を動くとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) 線分 AP の中点を $M(x, y)$ とする. ただし, P が A と一致するときは, 中点 M は A とする. このとき, x と y をそれぞれ p を用いて表せ. また, M がえがく曲線を $C_1: y = f(x)$ とするとき, 関数 $f(x)$ と x の範囲を求めよ.
- (2) 線分 PB の中点を $N(x, y)$ とする. ただし, P が B と一致するときは, 中点 N は B とする. このとき, x と y をそれぞれ p を用いて表せ. また, N がえがく曲線を $C_2: y = g(x)$ とするとき, 関数 $g(x)$ と x の範囲を求めよ. さらに, $y = g(x)$ の最大値と, そのときの x の値を求めよ.
- (3) 曲線 C と直線 AB とで囲まれる図形の面積 S を求めよ.
- (4) 3 つの曲線 C, C_1, C_2 の概形をえがき, 3 つの曲線で囲まれる図形の面積 T を求めよ.

6 2 次方程式 $x^2 - x + 1 = 0$ の 2 つの解を α, β ($-\pi < \arg \beta < \arg \alpha < \pi$) とする. 数列 $\{a_n\}, \{b_n\}$ を

$$\begin{aligned} a_n &= \alpha^n + \beta^n & (n = 1, 2, 3, \dots) \\ b_n &= (\alpha\beta)^n - (\alpha^n + \beta^n) + 1 & (n = 1, 2, 3, \dots) \end{aligned}$$

と定めるとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) a_1, a_2, b_1, b_2 の値を求めよ.
- (2) α, β を極形式で表し, 一般項 a_n, b_n を求めよ.
- (3) すべての自然数 n に対して, a_n, b_n は整数であることを示せ.
- (4) 複素数平面上の異なる 3 点 $A(1), B(\alpha^n), C(\beta^n)$ について, 等式

$$b_n = |\alpha^n - \beta^n|^2$$

が成り立つとき, $\triangle ABC$ はどのような形になるか. また, このときの a_n と b_n の値を求めよ.

- 7 自然数 n に対して、関数 $f_n(x)$ と $g_n(x)$ を次のように定める.

$$\begin{aligned} f_n(x) &= \frac{a_n}{x} & (x > 0) \\ g_n(x) &= x(x-1)^{2n} & (x \geq 0) \end{aligned}$$

ただし、 a_n は各自然数 n に対して定まり、 x とは無関係な正の実数である. 以下の問いに答えよ.

- (1) $x = t$ ($0 < t < 1$) における $y = f_n(x)$ の接線を ℓ とするとき、 ℓ の式を t および a_n を用いて表せ.
- (2) (1) の接線 ℓ は、 $x = t$ ($0 < t < 1$) において、 $y = g_n(x)$ にも接しているものとする. すなわち、 $f_n(t) = g_n(t)$, $f'_n(t) = g'_n(t)$ が同時に成り立つ. このとき、 t および a_n をそれぞれ n の式で表せ.
- (3) 曲線 $y = g_n(x)$ と x 軸とで囲まれる図形の面積を S_n とするとき、 S_n を n の式で表せ.
- (4) (2) において、接線 ℓ と x 軸および y 軸とで囲まれる図形の面積を T_n とする. このとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{T_n}$ の値を e を用いて表せ. ただし、 $e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ とする.

- 8 方程式 $z^3 = 1$ の解を z_1, z_2, z_3 とし、 $0 \leq \arg z_1 < \arg z_2 < \arg z_3 < 2\pi$ とする. 複素数平面上に 3 点 $A(z_1), B(z_2), C(z_3)$ をとるとき、以下の問いに答えよ.

- (1) $z_1 + z_2 + z_3$, $z_1 z_2 + z_2 z_3 + z_3 z_1$, $z_1 z_2 z_3$ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) 複素数平面上の点 $P(\alpha)$ について、線分の長さの 2 乗の和 $AP^2 + BP^2 + CP^2$ および線分の長さの積 $AP \cdot BP \cdot CP$ の値を、 α を用いてそれぞれ表せ.
- (3) 複素数平面上の点 $P(\alpha)$ について、 α が $\frac{z_2 - \alpha}{z_3 - \alpha} = ri$ ($r > 0$) を満たすとき、 $AP^2 + BP^2 + CP^2$ の最大値および、そのときの r と α の値を求めよ. ただし、 i は虚数単位である.
- (4) (3) において、 $AP^2 + BP^2 + CP^2$ が最大となるときの $AP \cdot BP \cdot CP$ の値を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad y = \cos^2 x - \sin x = 1 - \sin^2 x - \sin x$$

$t = \sin x$ ($0 \leq x < 2\pi$) とおくと

$$\begin{aligned} y &= 1 - t^2 - t \quad (-1 \leq t \leq 1) \\ &= -\left(t + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{5}{4} \end{aligned}$$

よって $t = -\frac{1}{2}$, すなわち, $x = \frac{7}{6}\pi, \frac{11}{6}\pi$ のとき, 最大値 $\frac{5}{4}$

$t = 1$, すなわち, $x = \frac{\pi}{2}$ のとき, 最小値 -1

$$(2) \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{2}{3} \text{ より } 4xy = 6x + 6y \quad \text{ゆえに} \quad (2x-3)(2y-3) = 9$$

x は自然数であるから, $2x-3 \geq -1$, $2y-3 \geq -1$ に注意して

$$(2x-3, 2y-3) = (1, 9), (3, 3), (9, 1)$$

よって $(x, y) = (2, 6), (3, 3), (6, 2)$

$$(3) \quad a_1 = 1, \quad a_{n+1} - a_n = 2^n + 6n^2 + 4n - 1 \text{ より, } n \geq 2 \text{ のとき}$$

$$\begin{aligned} a_n &= a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) = 1 + \sum_{k=1}^{n-1} (2^k + 6k^2 + 4k - 1) \\ &= 1 + \frac{2(2^{n-1} - 1)}{2-1} + 6 \cdot \frac{1}{6} (n-1)n(2n-1) + 4 \cdot \frac{1}{2} (n-1)n - (n-1) \\ &= 2^n + n(2n^2 - n - 2) \end{aligned}$$

上式は, $n=1$ のときも成立するから $a_n = 2^n + n(2n^2 - n - 2)$

$$(4) \quad \vec{a} + 2\vec{b} + 3\vec{c} = \vec{0} \text{ より } \vec{c} = -\frac{\vec{a} + 2\vec{b}}{3}$$

$$3|\vec{c}| = |\vec{a} + 2\vec{b}| \text{ であるから } 9|\vec{c}|^2 = |\vec{a}|^2 + 4\vec{a} \cdot \vec{b} + 4|\vec{b}|^2 \quad \cdots (*)$$

$$|\vec{a}| = 2|\vec{b}| = 3|\vec{c}| = 6k \text{ より } |\vec{a}| = 6k, |\vec{b}| = 3k, |\vec{c}| = 2k$$

これを (*) に代入すると

$$9(2k)^2 = (6k)^2 + 4\vec{a} \cdot \vec{b} + 4(3k)^2 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = -9k^2$$

$$\text{したがって } \cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \frac{-9k^2}{6k \cdot 3k} = -\frac{1}{2} \quad \text{よって} \quad \theta = \frac{2}{3}\pi$$



- 2 (1) $p = \alpha + \beta$, $q = \alpha\beta$ より, α, β を解とする 2 次方程式は

$$x^2 - px + q = 0 \quad \text{すなわち} \quad x^2 - 3x - 1 = 0$$

$$\alpha \leq \beta \text{ であるから} \quad \alpha = \frac{3 - \sqrt{13}}{2}, \quad \beta = \frac{3 + \sqrt{13}}{2}$$

- (2) α, β を解とする 2 次方程式は

$$(x - \alpha)(x - \beta) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta = 0$$

$p = \alpha + \beta$, $q = \alpha\beta$ であるから, α, β を解とする 2 次方程式は

$$x^2 - px + q = 0 \quad \cdots (*)$$

この方程式が実数解をもつから, その判別式を D とすると, $D \geq 0$ より

$$p^2 - 4q \geq 0$$

- (3) $\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2 - 3 \leq 0$ より

$$(\alpha + \beta)^2 - \alpha\beta - 3 \leq 0 \quad \text{ゆえに} \quad p^2 - q - 3 \leq 0$$

領域 E (下図の斜線部分で境界線を含む) の表す不等式は
$$\begin{cases} q \geq p^2 - 3 \\ q \leq \frac{p^2}{4} \end{cases}$$

2 つの放物線 $q = p^2 - 3$, $q = \frac{p^2}{4}$ の共有点の p 座標は $p = \pm 2$

よって, 求める面積 S は

$$S = \int_{-2}^2 \left\{ \frac{p^2}{4} - (p^2 - 3) \right\} dp = -\frac{3}{4} \int_{-2}^2 (p+2)(p-2) dp = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{6} \cdot 4^3 = 8$$

- (4) $\alpha\beta + \alpha + \beta = q + p$ より, $p + q = k$ とおく.

E 上の点 $(2, 1)$ で k は最大値 **3** をとる.

α, β は $(*)$ より, 方程式 $x^2 - 2x + 1 = 0$ の解で

$$\alpha = \beta = 1$$

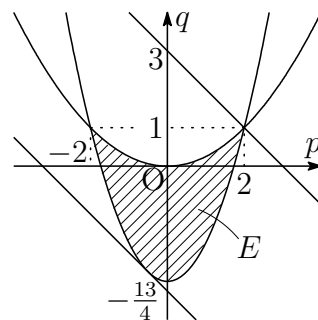
また, k が最小となるとき,

$$q = p^2 - 3 \quad (-2 \leq p \leq 2)$$

にあるから $k = p^2 + p - 3 = \left(p + \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{13}{4}$

ゆえに, 点 $\left(-\frac{1}{2}, -\frac{11}{4}\right)$ で, k は最小値 $-\frac{13}{4}$ をとる. α, β ($\alpha \leq \beta$) は,

2 次方程式 $x^2 + \frac{1}{2}x - \frac{11}{4} = 0$ の解で $\alpha = \frac{-1 - 3\sqrt{5}}{4}, \beta = \frac{-1 + 3\sqrt{5}}{4}$



- 3** (1) 3 次方程式 $x^3 - 3px + p = 0 \cdots (*)$ より, $f(x) = x^3 - 3px + p$ とおくと

$$f'(x) = 3x^2 - 3p = 3(x^2 - p)$$

$p \leq 0$ のとき, $f'(x) \geq 0$ となり, $f(x)$ が単調増加で, $(*)$ は異なる 3 つの実数解をもたない. ゆえに, $p > 0$ より, $f'(x) = 0$ の解は $x = \pm\sqrt{p}$

x	$\cdots$	$-\sqrt{p}$	$\cdots$	$\sqrt{p}$	$\cdots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$

極大値 $f(-\sqrt{p}) = p(2\sqrt{p} + 1) > 0$, 極小値 $f(\sqrt{p}) = p(-2\sqrt{p} + 1)$

ゆえに, 3 次方程式 $(*)$ が, 異なる 3 つの実数解をもつためには $f(\sqrt{p}) < 0$

したがって $-2\sqrt{p} + 1 < 0$ よって $p > \frac{1}{4}$

- (2) $y = \log x$ より $y' = \frac{1}{x}$

ℓ は, 点 P を通り, 傾き $\frac{1}{t}$ の直線であるから

$$y = \frac{1}{t}(x - t) + \log t = \frac{x}{t} - 1 + \log t$$

m は, 点 P を通り, 傾き $-t$ の直線であるから

$$y = -t(x - t) + \log t = -tx + t^2 + \log t$$

2 直線 ℓ , m の y 軸との交点をそれぞれ Q, R とすると

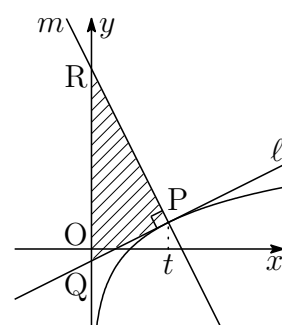
$$QR = (t^2 + \log t) - (-1 + \log t) = t^2 + 1$$

したがって $S = \triangle PQR = \frac{1}{2}t \cdot QR = \frac{1}{2}t(t^2 + 1)$

$S = 5$ のとき $\frac{1}{2}t(t^2 + 1) = 5$ ゆえに $(t - 2)(t^2 + 2t + 5) = 0$

$t^2 + 2t + 5 = (t + 1)^2 + 4 > 0$ に注意して, これを解くと $t = 2$

よって, 求める点 P の座標は **(2, log 2)**



(3) $\overrightarrow{CH} = \overrightarrow{AH} - \overrightarrow{AC} = t\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}$, $\overrightarrow{AB} \perp \overrightarrow{CH}$ より, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CH} = 0$ であるから

$$\overrightarrow{AB} \cdot (t\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t|\overrightarrow{AB}|^2 = \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \quad \dots (*)$$

A(3, -1, 1), B(0, 2, 4), C(1, 0, 4) より

$$\overrightarrow{AB} = (-3, 3, 3), \quad \overrightarrow{AC} = (-2, 1, 3),$$

$$|\overrightarrow{AB}|^2 = (-3)^2 + 3^2 + 3^2 = 27,$$

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = -3 \cdot (-2) + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 3 = 18$$

これを (*) に代入して $27t = 18$ よって $t = \frac{2}{3}$

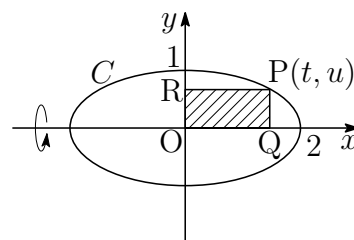
$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{AH} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB} = \frac{2}{3}(-3, 3, 3) = (-2, 2, 2)$$

$$\text{ゆえに} \quad \overrightarrow{CH} = \overrightarrow{AH} - \overrightarrow{AC} = (-2, 2, 2) - (-2, 1, 3) = (0, 1, -1)$$

$$\text{よって} \quad CH = |\overrightarrow{CH}| = \sqrt{0^2 + 1^2 + (-1)^2} = \sqrt{2}$$

(4) $C: \frac{x^2}{4} + y^2 = 1$ 上の点 P を (t, u) とすると

$$\frac{t^2}{4} + u^2 = 1 \quad \dots (*)$$



四角形 OQPR の体積 V は, (*) より

$$V = \pi u^2 t = \pi t \left(1 - \frac{t^2}{4}\right) = \pi \left(t - \frac{t^3}{4}\right) \quad (0 < t < 2)$$

$$f(t) = t - \frac{t^3}{4} \text{ とおくと } f'(t) = 1 - \frac{3}{4}t^2 = -\frac{3}{4} \left(t + \frac{2}{\sqrt{3}}\right) \left(t - \frac{2}{\sqrt{3}}\right)$$

$f(t)$ の増減表は, 次のようになる.

t	(0)	$\dots$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\dots$	(2)
$f'(t)$		+	0	-	
$f(t)$		$\nearrow$	$\frac{4\sqrt{3}}{9}$	$\searrow$	

$t = \frac{2}{\sqrt{3}}$ を (*) に代入し, $u > 0$ に注意して解くと $u = \frac{\sqrt{6}}{3}$

よって, 点 P $\left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{\sqrt{6}}{3}\right)$ のとき, V は最大値 $\frac{4\sqrt{3}}{9}\pi$ をとる. ■

4 (1) $\triangle OAB$ の重心 G は $\overrightarrow{OG} = \frac{\vec{a} + \vec{b}}{3}$

点 G について $CG : GD = t : 1 - t$ より

$$\overrightarrow{OG} = (1 - t)\overrightarrow{OC} + t\overrightarrow{OD}$$

また, $\overrightarrow{OC} = x\vec{a}$, $\overrightarrow{OD} = y\vec{b}$ であるから

$$\frac{\vec{a} + \vec{b}}{3} = (1 - t)x\vec{a} + ty\vec{b}$$

したがって $\left\{ (1 - t)x - \frac{1}{3} \right\} \vec{a} + \left(ty - \frac{1}{3} \right) \vec{b} = \vec{0}$

$\vec{a}$, $\vec{b}$ は 1 次独立であるから, $0 < t < 1$ に注意して

$$(1 - t)x - \frac{1}{3} = 0, \quad ty - \frac{1}{3} = 0 \quad \text{よって} \quad x = \frac{1}{3(1 - t)}, \quad y = \frac{1}{3t}$$

(2) (1) の結果から $\frac{1}{x} = 3(1 - t)$, $\frac{1}{y} = 3t$ ゆえに $\frac{1}{y} = 3 - \frac{1}{x} \dots (*)$

$0 < y < 1$ より, $\frac{1}{y} > 1$ であるから, $0 < x < 1$ に注意して

$$3 - \frac{1}{x} > 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{2} < x < 1$$

(*) および上の結果から $y = \frac{x}{3x - 1} \quad \left(\frac{1}{2} < x < 1 \right)$

(3) (2) の結果により $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\triangle OCD}{\triangle OAB} = xy = \frac{x^2}{3x - 1}$

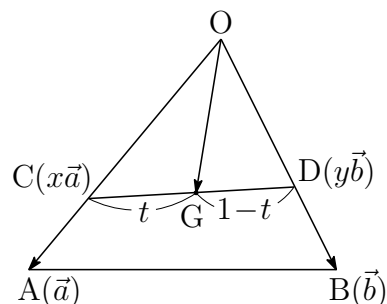
よって $f(x) = \frac{x^2}{3x - 1} = \frac{1}{9} \left(3x + 1 + \frac{1}{3x - 1} \right) \quad \left(\frac{1}{2} < x < 1 \right)$

$$f'(x) = \frac{1}{3} \left\{ 1 - \frac{1}{(3x - 1)^2} \right\} = \frac{x(3x - 2)}{(3x - 1)^2}$$

x	$\left(\frac{1}{2}\right)$	$\dots$	$\frac{2}{3}$	$\dots$	(1)
$f'(x)$		$-$	0	$+$	
$f(x)$		$\searrow$	$\frac{4}{9}$	$\nearrow$	

よって, $f(x)$ の最小値は $\frac{4}{9}$, このとき, (2) の結果から $x = y = \frac{2}{3}$

補足 $f(x) = \frac{1}{9} \left(3x - 1 + \frac{1}{3x - 1} + 2 \right) \geq \frac{1}{9} \left(2\sqrt{(3x - 1) \cdot \frac{1}{3x - 1}} + 2 \right) = \frac{4}{9}$ ■



- 5 (1) 2点 $A(0, 0)$, $P(p, \sin p)$ $\left(0 \leq p \leq \frac{2}{3}\pi\right)$ の中点が $M(x, y)$ であるから

$$x = \frac{p}{2}, \quad y = \frac{\sin p}{2} \quad \text{ゆえに} \quad C_1: y = \frac{1}{2} \sin 2x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}\right)$$

$$\text{よって} \quad f(x) = \frac{1}{2} \sin 2x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}\right)$$

- (2) 2点 $B\left(\frac{2\pi}{3}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$, $P(p, \sin p)$ $\left(0 \leq p \leq \frac{2}{3}\pi\right)$ の中点が $N(x, y)$ であるから

$$x = \frac{1}{2} \left(p + \frac{2\pi}{3}\right), \quad y = \frac{1}{2} \left(\sin p + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

上の2式から, p を消去すると

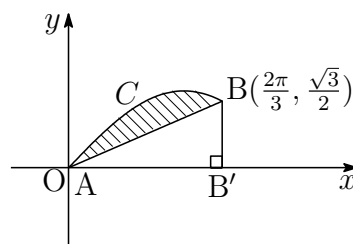
$$C_2: y = \frac{1}{2} \sin \left(2x - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{3}}{4} \quad \left(\frac{\pi}{3} \leq x \leq \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\text{よって} \quad g(x) = \frac{1}{2} \sin \left(2x - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{3}}{4} \quad \left(\frac{\pi}{3} \leq x \leq \frac{2\pi}{3}\right)$$

また, $2x - \frac{2\pi}{3} = \frac{\pi}{2}$, すなわち, $x = \frac{7\pi}{12}$ のとき, 最大値 $\frac{2 + \sqrt{3}}{4}$

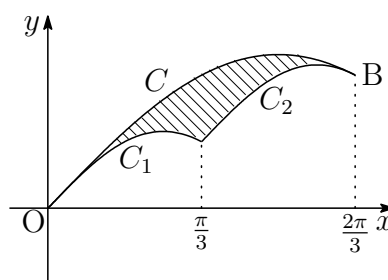
- (3) S は, 右の図の斜線部分であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \sin x \, dx - \triangle ABB' \\ &= \left[-\cos x\right]_0^{\frac{2\pi}{3}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3}{2} - \frac{\sqrt{3}}{6}\pi \end{aligned}$$



- (4) T は, 右の図の斜線部分であるから

$$\begin{aligned} T &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \sin x \, dx - \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{2} \sin 2x \, dx \\ &\quad - \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \left\{ \frac{1}{2} \sin \left(2x - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{3}}{4} \right\} dx \end{aligned}$$



$$\text{ここで} \quad \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \left\{ \frac{1}{2} \sin \left(2x - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{\sqrt{3}}{4} \right\} dx = \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{1}{2} \sin 2x + \frac{\sqrt{3}}{4} \right) dx$$

$$\text{よって} \quad T = \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \sin x \, dx - \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\sin 2x + \frac{\sqrt{3}}{4} \right) dx$$

$$= \left[-\cos x\right]_0^{\frac{2\pi}{3}} - \left[-\frac{1}{2} \cos 2x + \frac{\sqrt{3}}{4} x\right]_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{3}{4} - \frac{\sqrt{3}}{12}\pi$$

■

6 (1) 2 次方程式

$$x^2 - x + 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

の解が α, β であるから, 解と係数の関係により

$$a_1 = \alpha + \beta = 1, \quad \alpha\beta = 1$$

$$\text{ゆえに} \quad a_2 = \alpha^2 + \beta^2 = (\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta = 1^2 - 2 \cdot 1 = -1$$

$$a_n = \alpha^n + \beta^n,$$

$$b_n = (\alpha\beta)^n - (\alpha^n + \beta^n) + 1 = 1^n - a_n + 1 = 2 - a_n$$

$$\text{よって} \quad a_1 = 1, \quad a_2 = -1$$

$$b_1 = 2 - a_1 = 2 - 1 = 1, \quad b_2 = 2 - a_2 = 2 - (-1) = 3$$

$$(2) \text{ 2 次方程式 } (*) \text{ を解くと } \quad x = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

この方程式の解 α, β について, $-\pi < \arg \beta < \arg \alpha < \pi$ であるから

$$\alpha = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}, \quad \beta = \cos \left(-\frac{\pi}{3}\right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{3}\right)$$

したがって

$$\begin{aligned} a_n = \alpha^n + \beta^n &= \cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3} + \cos \left(-\frac{n\pi}{3}\right) + i \sin \left(-\frac{n\pi}{3}\right) \\ &= \cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3} + \cos \frac{n\pi}{3} - i \sin \frac{n\pi}{3} = 2 \cos \frac{n\pi}{3} \end{aligned}$$

$$b_n = 2 - a_n = 2 - 2 \cos \frac{n\pi}{3}$$

(3) (2) の結果から, 法 6 に関して

$$n \equiv 0 \pmod{6} \text{ のとき } (a_n, b_n) = (2, 0)$$

$$n \equiv \pm 1 \pmod{6} \text{ のとき } (a_n, b_n) = (1, 1)$$

$$n \equiv \pm 2 \pmod{6} \text{ のとき } (a_n, b_n) = (-1, 3)$$

$$n \equiv 3 \pmod{6} \text{ のとき } (a_n, b_n) = (-2, 4)$$

よって, すべての自然数 n に対して, a_n, b_n は整数である.

別解 $\alpha^{n+2} + \beta^{n+2} = (\alpha + \beta)(\alpha^{n+1} + \beta^{n+1}) - \alpha\beta(\alpha^n + \beta^n)$, $\alpha + \beta = \alpha\beta = 1$ より

$$a_{n+2} = a_{n+1} - a_n \quad \cdots \textcircled{1}$$

$a_1 = 1, a_2 = -1$ および $\textcircled{1}$ より, すべての自然数 n に対して, a_n は整数.

また, $b_n = 2 - a_n$ より, すべての自然数 n に対して, b_n は整数.

(4) (2) の計算により

$$\alpha^n - \beta^n = \left(\cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3} \right) - \left(\cos \frac{n\pi}{3} - i \sin \frac{n\pi}{3} \right) = 2i \sin \frac{n\pi}{3}$$

したがって

$$|\alpha^n - \beta^n|^2 = 4 \sin^2 \frac{n\pi}{3} = \begin{cases} 0 & (n \equiv 0, 3) \\ 3 & (n \equiv \pm 1, \pm 2) \end{cases} \pmod{6}$$

$b_n = |\alpha^n - \beta^n|^2$ が成り立つのは、上式および (3) の結果から、 $n \equiv \pm 2 \pmod{6}$ のときである。このとき、(2) で示した極形式により

$$\alpha^n = \cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3}, \quad \beta^n = \cos \left(-\frac{2\pi}{3} \right) + i \sin \left(-\frac{2\pi}{3} \right)$$

ゆえに $|\alpha^n - 1| = |\beta^n - 1| = |\alpha^n - \beta^n|$ すなわち $AB = AC = BC$

このとき $(a_n, b_n) = (-1, 3)$

別解 (2) で示したように、 b_n は 0 以上の整数 (実数) であるから、 $b_n = |b_n|$ より

$$\begin{aligned} b_n &= |(\alpha\beta)^n - (\alpha^n + \beta^n) + 1| = |(\alpha^n - 1)(\beta^n - 1)| \\ &= |\alpha^n - 1| |\beta^n - 1| \end{aligned}$$

ここで $|\beta^n - 1| = |\beta^n - \alpha^n \beta^n| = |\beta|^n |1 - \alpha^n| = |\alpha^n - 1|$

したがって $b_n = |\alpha^n - 1|^2 = |\beta^n - 1|^2$

$b_n = |\alpha^n - \beta^n|^2$ が成り立つとき

$$|\alpha^n - 1| = |\beta^n - 1| = |\alpha^n - \beta^n| \quad \text{すなわち} \quad AB = AC = BC$$

$\triangle ABC$ が正三角形になるための条件であるから、 $\arg \beta = -\arg \alpha$ より

$$\arg \alpha^n = n \arg \alpha = \frac{n}{3}\pi \equiv \pm \frac{2}{3}\pi \pmod{6} \quad \text{よって} \quad n \equiv \pm 2 \pmod{6}$$

このとき、(2) の結果により $(a_n, b_n) = (-1, 3)$ ■

7 (1) $f_n(x) = \frac{a_n}{x}$ より $f'_n(x) = -\frac{a_n}{x^2}$

ℓ は、点 $(t, f_n(t))$ を通り、傾き $f'_n(t)$ の直線であるから

$$y - \frac{a_n}{t} = -\frac{a_n}{t^2}(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = -\frac{a_n}{t^2}x + \frac{2a_n}{t}$$

$$(2) \quad g_n(x) = x(x-1)^{2n} \text{ より } \quad g'_n(x) = (x-1)^{2n} + 2nx(x-1)^{2n-1} \\ = \{(2n+1)x-1\}(x-1)^{2n-1}$$

$$f_n(t) = g_n(t) \text{ より } \quad \frac{a_n}{t} = t(t-1)^{2n} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = t^2(t-1)^{2n} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$f'_n(t) = g'_n(t) \text{ より } \quad -\frac{a_n}{t^2} = \{(2n+1)t-1\}(t-1)^{2n-1}$$

$$\text{ゆえに} \quad a_n = -t^2\{(2n+1)t-1\}(t-1)^{2n-1} \quad \dots \textcircled{2}$$

①, ② から, $0 < t < 1$ に注意して

$$t^2(t-1)^{2n} = -t^2\{(2n+1)t-1\}(t-1)^{2n-1} \\ t-1 = -\{(2n+1)t-1\}$$

$$\text{ゆえに} \quad t = \frac{1}{n+1} \quad \text{これを ① に代入すると}$$

$$a_n = \left(\frac{1}{n+1}\right)^2 \left(\frac{1}{n+1} - 1\right)^{2n} = \frac{n^{2n}}{(n+1)^{2n+2}}$$

(3) $y = g_n(x)$ は x 軸と 2 点 $(0, 0)$ と $(1, 0)$ を共有し, $0 \leq x \leq 1$ において, $g_n(x) \geq 0$ であるから

$$S_n = \int_0^1 x(x-1)^{2n} dx = \int_0^1 x(1-x)^{2n} dx$$

$$\text{ここで, } 1-x=t \text{ とおくと } \quad \frac{dx}{dt} = -1 \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 1 \\ \hline t & 1 \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$S_n = \int_1^0 (1-t)t^{2n}(-dt) = \int_0^1 (t^{2n} - t^{2n+1}) dt = \left[\frac{t^{2n+1}}{2n+1} - \frac{t^{2n+2}}{2n+2} \right]_0^1 \\ = \frac{1}{2n+1} - \frac{1}{2n+2} = \frac{1}{2(n+1)(2n+1)}$$

(4) 直線 $\ell: y = -\frac{a_n}{t^2}x + \frac{2a_n}{t}$ の x 切片 $2t$ および y 切片 $\frac{2a_n}{t}$ により

$$T_n = \frac{1}{2} \cdot 2t \cdot \frac{2a_n}{t} = 2a_n = \frac{2n^{2n}}{(n+1)^{2n+2}}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{T_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2(n+1)(2n+1)} \cdot \frac{(n+1)^{2n+2}}{2n^{2n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n+1}{4(2n+1)} \cdot \frac{(n+1)^{2n}}{n^{2n}} \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 + \frac{1}{n}}{4(2 + \frac{1}{n})} \left\{ \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \right\}^2 = \frac{e^2}{8}$$



- 8 (1) $z^3 - 1 = 0$ の解が z_1, z_2, z_3 であるから

$$\begin{aligned} z^3 - 1 &= (z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) \cdots (*) \\ &= z^3 - (z_1 + z_2 + z_3)z^2 + (z_1z_2 + z_2z_3 + z_3z_1)z - z_1z_2z_3 \end{aligned}$$

同じ次数の項の係数を比較して

$$z_1 + z_2 + z_3 = 0, \quad z_1z_2 + z_2z_3 + z_3z_1 = 0, \quad z_1z_2z_3 = 1$$

- (2) $A(z_1), B(z_2), C(z_3), P(\alpha)$ より

$$AP^2 = |\alpha - z_1|^2 = (\alpha - z_1)(\bar{\alpha} - \bar{z}_1) = |\alpha|^2 - \bar{z}_1\alpha - z_1\bar{\alpha} + 1$$

$$\text{同様に } BP^2 = |\alpha|^2 - \bar{z}_2\alpha - z_2\bar{\alpha} + 1, \quad CP^2 = |\alpha|^2 - \bar{z}_3\alpha - z_3\bar{\alpha} + 1$$

上式および (1) の結果から, $\bar{z}_1 + \bar{z}_2 + \bar{z}_3 = \overline{z_1 + z_2 + z_3} = 0$ により

$$\begin{aligned} AP^2 + BP^2 + CP^2 &= 3|\alpha|^2 - (\bar{z}_1 + \bar{z}_2 + \bar{z}_3)\alpha - (z_1 + z_2 + z_3)\bar{\alpha} + 3 \\ &= 3|\alpha|^2 + 3 \end{aligned}$$

$AP = |\alpha - z_1|, BP = |\alpha - z_2|, CP = |\alpha - z_3|$ および (*) により

$$\begin{aligned} AP \cdot BP \cdot CP &= |\alpha - z_1||\alpha - z_2||\alpha - z_3| \\ &= |(\alpha - z_1)(\alpha - z_2)(\alpha - z_3)| = |\alpha^3 - 1| \end{aligned}$$

- (3) $z^3 = 1$ を解いて $z = 1, \frac{-1 \pm \sqrt{3}i}{2}$

$0 \leq \arg z_1 < \arg z_2 < \arg z_3 < 2\pi$ に注意して

$$z_1 = 1, \quad z_2 = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}, \quad z_3 = \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$$

α が $\frac{z_2 - \alpha}{z_3 - \alpha} = ri \ (r > 0)$ を満たすとき

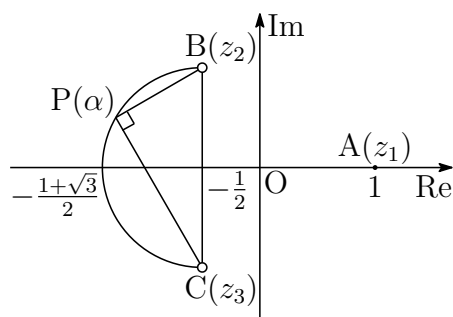
$$\angle z_3\alpha z_2 = \frac{\pi}{2}$$

したがって, 右の図のように, $P(\alpha)$ は BC を直径とする半円上にある (B, C を除く). また, (2) の結果から

$$AP^2 + BP^2 + CP^2 = 3|\alpha|^2 + 3$$

右上の図から, 上式は $\alpha = -\frac{1 + \sqrt{3}}{2}$ のとき, 最大となる.

$$\text{最大値は } 3 \left| -\frac{1 + \sqrt{3}}{2} \right|^2 + 3 = \frac{12 + 3\sqrt{3}}{2}$$



このとき, $BP = CP$, すなわち, $|z_2 - \alpha| = |z_3 - \alpha|$ より, $r > 0$ に注意して

$$r = |ri| = \left| \frac{z_2 - \alpha}{z_3 - \alpha} \right| = \frac{|z_2 - \alpha|}{|z_3 - \alpha|} = 1$$

別解 $P(\alpha)$ は BC を直径とする半円上にあるから (B, C を除く)

$$BP^2 + CP^2 = BC^2, \quad BC = \sqrt{3}$$

$$\text{ゆえに} \quad AP^2 + BP^2 + CP^2 = AP^2 + 3 \quad \cdots (**)$$

前ページの図から, $\alpha = -\frac{1 + \sqrt{3}}{2}$ のとき, $(**)$ は最大となる.

このとき, $AP = 1 - \left(-\frac{1 + \sqrt{3}}{2} \right) = \frac{3 + \sqrt{3}}{2}$ より, 求める最大値は

$$\left(\frac{3 + \sqrt{3}}{2} \right)^2 + 3 = \frac{12 + 3\sqrt{3}}{2}$$

(4) $AP \cdot BP \cdot CP = |\alpha^3 - 1|$ に $\alpha = -\frac{1 + \sqrt{3}}{2}$ を代入して

$$\begin{aligned} AP \cdot BP \cdot CP &= \left| -\left(\frac{1 + \sqrt{3}}{2} \right)^3 - 1 \right| \\ &= \left(\frac{1 + \sqrt{3}}{2} \right)^3 + 1 = \frac{9 + 3\sqrt{3}}{4} \end{aligned}$$



5.6 2020年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学部 [3] [4] [5] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 工・歯学部 [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 情報データ科学部 [3] [4] [6] 必答, [5] [9] の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) とともに零ベクトルでない 2 つのベクトル $\vec{a}$, $\vec{b}$ が $3|\vec{a}| = |\vec{b}|$ であり, $3\vec{a} - 2\vec{b}$ と $15\vec{a} + 4\vec{b}$ が垂直であるとき, $\vec{a}$, $\vec{b}$ のなす角 θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) を求めよ．
- (2) $a = 4^{50}$, $b = 6^{40}$, $c = 15^{25}$ の常用対数の値を求めよ．また, a , b , c の大小を不等式で表せ．ただし, $\log_{10} 2 = 0.3010$, $\log_{10} 3 = 0.4771$ とする．
- (3) $x = t + \frac{1}{t}$ とする． $t > 0$ のとき, $x \geq 2$ であることを示せ．また, 関数

$$y = t^2 + \frac{1}{t^2} - 2a \left(t + \frac{1}{t} \right) \quad (t > 0)$$

の最小値と, そのときの x の値を求めよ．ただし, a は定数とする．

- (4) $f(n) = (n-1)n(n+1)$, $g(n) = n^5 - n$ とする．このとき, すべての整数 n に対して, $f(n)$ は 6 の倍数, $g(n)$ は 30 の倍数であることをそれぞれ証明せよ．

2 xy 平面上に直線 $\ell: y = x - 1$ と放物線 $C: y = x^2$ がある. 直線 ℓ 上の点 $P(t, t-1)$ から放物線 C に 2 本の接線 m_1 と m_2 を引き, 接点をそれぞれ $Q_1(s_1, s_1^2)$ と $Q_2(s_2, s_2^2)$ とする. ただし, $s_1 < s_2$ である. このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) 2 つの接点のうち, 1 つを点 $Q(s, s^2)$ とする. $Q(s, s^2)$ における接線の式を s を用いて表せ. また, この接線が点 $P(t, t-1)$ を通ることから, s の 2 次方程式を作り, 和 $s_1 + s_2$ および積 $s_1 s_2$ の値を, それぞれ t を用いて表せ.
- (2) 直線 $Q_1 Q_2$ の式を t を用いて表せ.
- (3) 直線 $Q_1 Q_2$ は t の値にかかわらず定点 N を通る. N の座標を求めよ. また, この点 N が線分 $Q_1 Q_2$ の中点 M と一致するときの t の値を求めよ.
- (4) 直線 $Q_1 Q_2$ と放物線 C とで囲まれる図形の面積 S とするとき, S を t を用いて表せ. また, S を最小にする点 P の座標を求めよ.

3 以下はそれぞれ個別の問題である. 各問いに答えよ.

- (1) $-\pi \leq x \leq \pi$ で定義された関数 $f(x) = 3 \sin x \sin 2x + \cos 3x$ がある. $f(x)$ を $\cos x$ の式で表し, $f(x)$ の最大値および最小値を求めよ. また, そのときの x の値を求めよ.
- (2) 不等式 $\frac{2}{3} + \log_8(2x^2 - x + 1) \leq \log_2(x + 1)$ を解け.
- (3) 0 でなく, かつ 1 でもない複素数 z に対して, 複素数平面上に 3 点 $P\left(\frac{1}{z}\right)$, $Q\left(\frac{1}{1-z}\right)$, $R(1)$ をとる. 点 R が線分 PQ を $t : (1-t)$ ($0 \leq t \leq 1$) の比に分けるときの, z は実数ではないことを示せ.
- (4) $\alpha = 1 + \sqrt{2}$, $\beta = 1 - \sqrt{2}$ に対して, $P_n = \alpha^n + \beta^n$ とする. このとき, P_1 および P_2 の値を求めよ. また, すべての自然数 n に対して, P_n は 4 の倍数ではない偶数であることを証明せよ.

- 4 平面上に $\triangle ABC$ がある. 点 O を $\triangle ABC$ の外心とし, 外接円の半径を R とする.

また, 点 H は $\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} = \overrightarrow{OH}$ を満たす点とする.

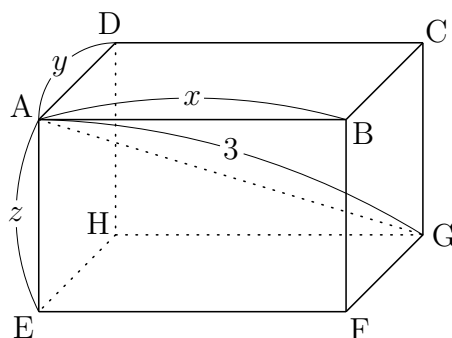
ただし, 点 H は 3 点 A, B, C と異なる点であるとする.

$\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とするとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) $\overrightarrow{AH}$ と $\overrightarrow{CH}$ をそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表し, $AH \perp BC$, $CH \perp AB$ であることを示せ.
- (2) 線分 OH の中点を P とし, $\triangle ABC$ の各辺 AB, BC, CA の中点を, それぞれ L, M, N とする. このとき, $\overrightarrow{PL}$, $\overrightarrow{PM}$, $\overrightarrow{PN}$ をそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表し, P は $\triangle LMN$ の外心になることを示せ.
- (3) 線分 AH の中点を D とするとき, P は線分 DM の中点になることを示せ.
- (4) 頂点 A から直線 BC に垂線を下ろし, 直線 BC との交点を E とするとき, E は $\triangle LMN$ の外接円の周上にあることを示せ.

- 5 下図のように, $AB = x$, $AD = y$, $AE = z$ である直方体 $ABCD - EFGH$ が空間内にある. 直方体の対角線 AG の長さを 3, 表面積 S を 16 とするとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) $x + y + z$ の値を求めよ.
- (2) $y + z$ と yz を x の式で表し, x を用いて y, z を解とする t の 2 次方程式を作れ.
- (3) x の値の取り得る範囲を求めよ.
- (4) この直方体の体積を V とするとき, V の最大値および最小値を求めよ. また, そのときの x の値を求めよ.



6 自然数 n に対して,

$$a_n = \int_1^e x^2 (\log x)^n dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) a_1 の値を求めよ.
- (2) a_{n+1} を a_n を用いて表せ. また, これを利用して, a_2, a_3, a_4 の値をそれぞれ求めよ.
- (3) $x > 0$ で定義された関数 $f(x) = x(\log x - 1)^2$ の増減およびグラフの凹凸を調べ, 極値と変曲点を求めよ.
- (4) (3) の関数 $f(x)$ について, $x \geq 1$ における曲線 $y = f(x)$ と x 軸および直線 $x = 1$ で囲まれた図形を F とする. このとき, F を x 軸の周りに 1 回転してできる回転体の体積 V を a_1, a_2, a_3, a_4 を用いて表し, その値を求めよ.

7 各自然数 n に対して, 平面上の 2 つの曲線

$$C_n : y = a_n \sin 2x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

$$D_n : y = a_{n+1} \cos x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

を考える. ただし, $\{a_n\}$ は, $a_1 = 1, a_n \geq a_{n+1} > 0$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を満たす x によらない数列とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 曲線 C_n, D_n の 2 つの交点のうち, x 軸上にない交点の x 座標を p_n とする. このとき, $\sin p_n$ を a_n, a_{n+1} を用いて表し, $0 < p_n \leq \frac{\pi}{6}$ であることを示せ.
- (2) 曲線 C_n と x 軸とで囲まれる図形の面積を S_n とするとき, S_n を a_n を用いて表せ. また, $x \geq p_n$ において, 曲線 C_n と D_n とで囲まれる図形の面積を T_n とするとき, T_n を a_n, a_{n+1} を用いて表せ.
- (3) すべての自然数 n に対して $T_n = r^2 S_n$ (r は正の定数) が成り立つとき, 一般項 a_n を求めよ. また, 数列 $\{a_n\}$ が収束するような r の値の範囲を求めよ.
- (4) 無限級数 $\sum_{n=1}^{\infty} S_n$ が収束するような r の値の範囲を求めよ. また, そのときの和を求めよ.

- 8 長さが a のひもを使って、周の長さが a の正三角形、正方形、正五角形、正六角形、 $\dots$ と順次、正多角形を作ることとする。頂点が n 個の正 n 角形 F_n (n は 3 以上の整数) の面積を S_n 、 F_n の外接円の半径を r_n とする。以下の問いに答えよ。

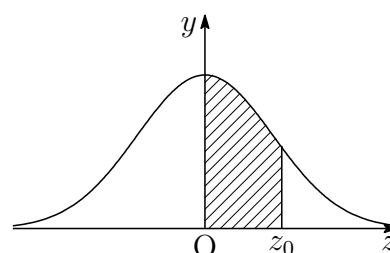
- (1) S_3 と S_4 をそれぞれ a を用いて表せ。
- (2) r_n および S_n をそれぞれ a , n を用いて表せ。
- (3) $0 < x \leq \frac{\pi}{3}$ で定義された関数 $f(x) = \frac{x}{\tan x}$ の増減を調べよ。
- (4) (3) を利用して、3 以上の整数 n に対して、 $S_n < S_{n+1}$ であることを示せ。
また、極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ を求めよ。さらに、この極限值が図形的にどのような意味を表しているか、簡単に説明せよ。

- 9 A 市の有権者のうち、ある政策に対する賛成者の母比率を p ($0 < p < 1$) とする。A 市の有権者 100 人を無作為に選んだときの、この政策に対する賛成者数を確率変数 X として、 $X = k$ のときの確率を $P(X = k)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, 100$) とする。以下の問いに答えよ。なお、必要に応じて次頁の正規分布表を用いてもよい。

- (1) $P(X = k)$ を p , k を用いて表せ。
- (2) 「100 人中 1 人だけが賛成者」ではない確率が、「100 人中 2 人だけが賛成者」ではない確率よりも大きくなる時、 p の値の範囲を求めよ。
- (3) $X = 80$ のとき、 p に対する信頼度 95% の信頼区間を求めよ。
- (4) $P(X = k)$ の自然対数 $\log P(X = k)$ を最大にする p を求めよ。ただし、 $k = 1, 2, \dots, 99$ とする。

正 規 分 布 表

次の表は，標準正規分布の分布曲線における
右図の斜線部分の面積をまとめたものである．



z_0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

解答例

- 1** (1) $3\vec{a} - 2\vec{b}$ と $15\vec{a} + 4\vec{b}$ が垂直であるから

$$(3\vec{a} - 2\vec{b}) \cdot (15\vec{a} + 4\vec{b}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad 45|\vec{a}|^2 - 18\vec{a} \cdot \vec{b} - 8|\vec{b}|^2 = 0$$

$$|\vec{b}| = 3|\vec{a}| \text{ であるから}$$

$$45|\vec{a}|^2 - 18\vec{a} \cdot \vec{b} - 8(3|\vec{a}|)^2 = 0 \quad \text{整理すると} \quad 3|\vec{a}|^2 + 2\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$$

$$3|\vec{a}|^2 = |\vec{a}||\vec{b}| \text{ であるから, } \vec{a} \text{ と } \vec{b} \text{ のなす角 } \theta \text{ (} 0 \leq \theta \leq \pi \text{) は}$$

$$|\vec{a}||\vec{b}| + 2\vec{a} \cdot \vec{b} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \cos \theta = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = -\frac{1}{2} \quad \text{よって} \quad \theta = \frac{2\pi}{3}$$

- (2) $a = 4^{50}$, $b = 6^{40}$, $c = 15^{25}$ より

$$\begin{aligned} \log_{10} a &= \log_{10} 4^{50} = 50 \log_{10} 4 = 100 \log_{10} 2 \\ &= 100 \times 0.3010 = \mathbf{30.10}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log_{10} b &= \log_{10} 6^{40} = 40 \log_{10} 6 = 40(\log_{10} 2 + \log_{10} 3) \\ &= 40 \times (0.3010 + 0.4771) = \mathbf{31.124} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log_{10} c &= \log_{10} 15^{25} = 25 \log_{10} 15 = 25(\log_{10} 10 + \log_{10} 3 - \log_{10} 2) \\ &= 25 \times (1 + 0.4771 - 0.3010) = \mathbf{29.4025} \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \log_{10} c < \log_{10} a < \log_{10} b$$

$$\text{底 } 10 \text{ は } 1 \text{ より大きいから} \quad \mathbf{c < a < b}$$

- (3) $t > 0$ より, 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$x = t + \frac{1}{t} \geq 2\sqrt{t \cdot \frac{1}{t}} \geq 2$$

$$t^2 + \frac{1}{t^2} = \left(t + \frac{1}{t}\right)^2 - 2 \text{ より}$$

$$y = x^2 - 2 - 2ax = (x - a)^2 - a^2 - 2$$

(i) $a \leq 2$ のとき, $x = 2$ で最小値 $2 - 4a$

(ii) $2 < a$ のとき, $x = a$ で最小値 $-a^2 - 2$

- (4) $f(n) = (n-1)n(n+1)$ は連続する 3 整数の積であるから, $f(n)$ は $3! = 6$ の倍数である.

$$\begin{aligned} g(n) &= n^5 - n = n(n^4 - 1) = n(n^2 + 1)(n^2 - 1) \\ &= n\{(n^2 - 4) + 5\}(n+1)(n-1) \\ &= n(n^2 - 4)(n+1)(n-1) + 5(n-1)n(n+1) \\ &= (n-2)(n-1)n(n+1)(n+2) + 5f(n) \end{aligned}$$

$(n-2)(n-1)n(n+1)(n+2)$ は連続する 5 整数の積で $5! = 120$ の倍数である. また, $5f(n)$ は $5 \cdot 6 = 30$ の倍数である. したがって, $g(n)$ は 30 の倍数である. ■

- 2 (1) $C: y = x^2$ を微分すると $y' = 2x$

C 上の点 $Q(s, s^2)$ における接線の方程式は

$$y - s^2 = 2s(x - s) \quad \text{すなわち} \quad y = 2sx - s^2$$

この接線が点 $P(t, t-1)$ を通るから

$$t-1 = 2st - s^2 \quad \text{ゆえに} \quad s^2 - 2ts + t - 1 = 0$$

上の第 2 式の s に関する 2 次方程式の解が s_1, s_2 であるから, 解と係数の関係により

$$s_1 + s_2 = 2t, \quad s_1 s_2 = t - 1$$

- (2) C 上の 2 点 $Q_1(s_1, s_1^2), Q_2(s_2, s_2^2)$ を通る直線の方程式は

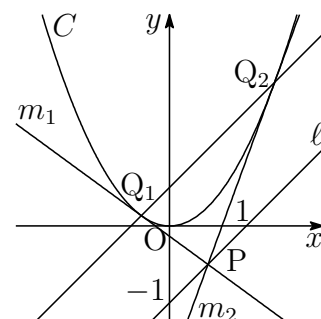
$$y - s_1 = \frac{s_2^2 - s_1^2}{s_2 - s_1}(x - s_1) \quad \text{ゆえに} \quad y = (s_1 + s_2)x - s_1 s_2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

これに (1) の結果を代入すると $y = 2tx - t + 1$

- (3) (2) の結果を t について整理すると $(2x-1)t + 1 - y = 0$

t に関する恒等式 (t の値に関係なく成立する) であるから

$$2x - 1 = 0, \quad 1 - y = 0 \quad \text{よって} \quad N\left(\frac{1}{2}, 1\right)$$



$Q_1(s_1, s_1^2), Q_2(s_2, s_2^2)$ の中点 M は $\left(\frac{s_1 + s_2}{2}, \frac{s_1^2 + s_2^2}{2}\right)$

$$\begin{aligned}\text{ここで } s_1^2 + s_2^2 &= (s_1 + s_2)^2 - 2s_1s_2 \\ &= (2t)^2 - 2(t-1) = 4t^2 - 2t + 2\end{aligned}$$

これと (1) の結果から, 線分 Q_1Q_2 の中点 M の座標は $(t, 2t^2 - t + 1)$

M と N が一致するとき $t = \frac{1}{2}, 2t^2 - t + 1 = 1$

上の第1式が第2式を満たすことに注意して $t = \frac{1}{2}$

(4) 面積 S は, ① および C の方程式から,

$$\begin{aligned}S &= \int_{s_1}^{s_2} \{(s_1 + s_2)x - s_1s_2 - x^2\} dx \\ &= - \int_{s_1}^{s_2} (x - s_1)(x - s_2) dx = \frac{1}{6}(s_2 - s_1)^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ここで } (s_2 - s_1)^2 &= (s_1 + s_2)^2 - 4s_1s_2 \\ &= (2t)^2 - 4(t-1) = 4(t^2 - t + 1)\end{aligned}$$

$s_1 < s_2$ より, $s_2 - s_1 = 2(t^2 - t + 1)^{\frac{1}{2}}$ であるから

$$S = \frac{1}{6} \{2(t^2 - t + 1)^{\frac{1}{2}}\}^3 = \frac{4}{3}(t^2 - t + 1)^{\frac{3}{2}}$$

$t^2 - t + 1 = \left(t - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}$ より, S は $t = \frac{1}{2}$ で最小となる.

よって, 求める点 P の座標は $P\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)$

補足 $S = \frac{2}{3}\triangle PQ_1Q_2$ を利用してもよい².

直線 $Q_1Q_2 : y = 2tx - t + 1$ 上に点 $R(t, 2t^2 - t + 1)$ をとると

$$\begin{aligned}PR &= (2t^2 - t + 1) - (t - 1) = 2(t^2 - t + 1) \\ \triangle PQ_1Q_2 &= \frac{1}{2}(s_2 - s_1) \cdot PR \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{t^2 - t + 1} \cdot 2(t^2 - t + 1) \\ &= 2(t^2 - t + 1)^{\frac{3}{2}}\end{aligned}$$

²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_bun.2009.pdf (p.6 の補足)

- 3** (1) $f(x) = 3 \sin x \sin 2x + \cos 3x$ ($-\pi \leq x \leq \pi$) より

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 3 \sin x \sin 2x + \cos 3x \\
 &= 3 \sin x \cdot 2 \sin x \cos x + (4 \cos^3 x - 3 \sin x) \\
 &= 6(1 - \cos^2 x) \cos x + 4 \cos^3 x - 3 \cos x \\
 &= -2 \cos^3 x + 3 \cos x
 \end{aligned}$$

$t = \cos x$ とおき, $g(t) = -2t^3 + 3t$ ($-1 \leq t \leq 1$) とすると

$$g'(t) = -6t^2 + 3 = -6 \left(t + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \left(t - \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

t	-1	$\cdots$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\cdots$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\cdots$	1
$g'(t)$		$-$	0	$+$	0	$-$	
$g(t)$	-1	$\searrow$	$-\sqrt{2}$	$\nearrow$	$\sqrt{2}$	$\searrow$	1

よって $t = \frac{1}{\sqrt{2}}$ すなわち $x = \pm \frac{\pi}{4}$ のとき 最大値 $\sqrt{2}$

$t = -\frac{1}{\sqrt{2}}$ すなわち $x = \pm \frac{3\pi}{4}$ のとき 最小値 $-\sqrt{2}$

- (2) $\frac{2}{3} + \log_8(2x^2 - x + 1) \leq \log_2(x + 1)$ の真数について

$$2x^2 - x + 1 > 0, \quad x + 1 > 0 \quad \text{すなわち} \quad x > -1$$

与えられた不等式から

$$\begin{aligned}
 \frac{2}{3} + \frac{\log_2(2x^2 - x + 1)}{\log_2 8} &\leq \log_2(x + 1) \\
 2 + \log_2(2x^2 - x + 1) &\leq 3 \log_2(x + 1) \\
 \log_2 4(2x^2 - x + 1) &\leq \log_2(x + 1)^3
 \end{aligned}$$

底 2 は 1 より大きいから

$$4(2x^2 - x + 1) \leq (x + 1)^3 \quad \text{整理すると} \quad x^3 - 5x^2 + 7x - 3 \geq 0$$

したがって $(x - 1)^2(x - 3) \geq 0$ よって $x = 1, 3 \leq x$

- (3) 3点 $P\left(\frac{1}{z}\right)$, $Q\left(\frac{1}{1-z}\right)$, $R(1)$ について, 線分 PQ を $t:1-t$ ($0 \leq t \leq 1$) の比に内分する点が R であるから

$$\frac{1-t}{z} + \frac{t}{1-z} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad (1-t)(1-z) + tz = z(1-z)$$

第2式を z について整理すると $z^2 + 2(t-1)z + 1-t = 0$

これを解くと $z = 1-t \pm \sqrt{t(t-1)}$

$t=0$ のとき $z=1$, $t=1$ のとき $z=0$ となり, z の条件に反する.

$0 < t < 1$ であるから, $t(t-1) < 0$ より, z は実数ではない.

- (4) $\alpha = 1 + \sqrt{2}$, $\beta = 1 - \sqrt{2}$ より $\alpha + \beta = 2$, $\alpha\beta = -1$

$P_n = \alpha^n + \beta^n$ より

$$P_1 = 2, \quad P_2 = (\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta = 2^2 - 2 \cdot (-1) = 6$$

$\alpha^{n+2} + \beta^{n+2} = (\alpha + \beta)(\alpha^{n+1} + \beta^{n+1}) - \alpha\beta(\alpha^n + \beta^n)$ であるから

$$P_{n+2} = 2P_{n+1} + P_n$$

$P_n \equiv P_{n+1} \equiv 2 \pmod{4}$ であると仮定すると (n は自然数)

$$P_{n+2} = 2P_{n+1} + P_n \equiv 2 \cdot 2 + 2 \equiv 2 \pmod{4}$$

$P_1 \equiv P_2 \equiv 2 \pmod{4}$ であるから, すべての自然数 n について

$$P_n \equiv 2 \pmod{4}$$

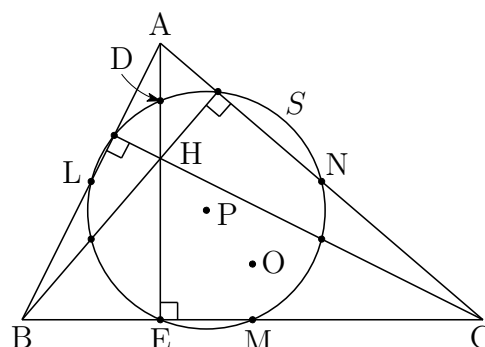
よって, P_n は4の倍数ではない偶数である. ■

4 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$,

$$\overrightarrow{OH} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OA} \\ &= (\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) - \vec{a} = \vec{b} + \vec{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{CH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OC} \\ &= (\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) - \vec{c} = \vec{a} + \vec{b} \end{aligned}$$



上式および $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = R$ より

$$\overrightarrow{AH} \cdot \overrightarrow{BC} = (\vec{b} + \vec{c})(\vec{c} - \vec{b}) = |\vec{c}|^2 - |\vec{b}|^2 = R^2 - R^2 = 0$$

$$\overrightarrow{CH} \cdot \overrightarrow{AB} = (\vec{a} + \vec{b})(\vec{b} - \vec{a}) = |\vec{b}|^2 - |\vec{a}|^2 = R^2 - R^2 = 0$$

よって $AH \perp BC$, $CH \perp AB$

補足 同様の計算により, $\overrightarrow{BH} \cdot \overrightarrow{AC} = 0$ となる. これと (1) の結果より, H が $\triangle ABC$ の垂心であることがわかる. また, $\triangle ABC$ の重心を G とすると

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}}{3} = \frac{\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}}{3} = \frac{1}{3}\overrightarrow{OH}$$

$\triangle ABC$ の重心 G は外心 O と垂心 H を 1 : 2 に内分する点である. 3 点 O, G, H は同一直線 (オイラー線) 上にある.

(2) L, M, N は AB, BC, CA の中点であるから

$$\overrightarrow{OL} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b}), \quad \overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}), \quad \overrightarrow{ON} = \frac{1}{2}(\vec{c} + \vec{a})$$

$$\text{点 P は OH の中点であるから } \overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OH} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c})$$

$$\overrightarrow{PL} = \overrightarrow{OL} - \overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b}) - \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) = -\frac{1}{2}\vec{c}$$

$$\overrightarrow{PM} = \overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) - \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) = -\frac{1}{2}\vec{a}$$

$$\overrightarrow{PN} = \overrightarrow{ON} - \overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}(\vec{c} + \vec{a}) - \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) = -\frac{1}{2}\vec{b}$$

$$|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = R \text{ より, } |\overrightarrow{PL}| = |\overrightarrow{PM}| = |\overrightarrow{PN}| = \frac{1}{2}R \text{ である.}$$

よって, 点 P は $\triangle LMN$ の外心である.

(3) 点 D は線分 AH の中点であるから

$$\overrightarrow{OD} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}\overrightarrow{OH} = \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}$$

線分 DM の中点は

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\overrightarrow{OD} + \frac{1}{2}\overrightarrow{OM} &= \frac{1}{2}\left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}\right) \\ &= \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) = \overrightarrow{OP}\end{aligned}$$

よって、P は線分 DM の中点である。

(4) $\triangle LMN$ の外接円を S とすると、(3) の結果から、DM は S の直径である。
 $\angle DEM$ は直角であるから、E は外接円 S 上の点である。

補足 E と同様に、頂点 B から直線 CA に垂直に引いた直線と CA との交点、頂点 C から直線 AB に垂直に引いた直線と AB との交点も S 上にある。また、D と同様に、線分 BH の中点、線分 CH の中点も S 上にある。これら 9 点が S 上にあるから、九点円 (オイラー円) と呼ばれている。 S の中心 P もオイラー線上にある。 $\triangle ABC$ の外心 O, 重心 G, 垂心 H を含めて次の比に内分される。

$$OG : GP : PH = 2 : 1 : 3$$

S の半径は、 $\triangle ABC$ の外接円の $\frac{1}{2}$ である。 ■

5 (1) 長方形の対角線の長さが 3 であるから $x^2 + y^2 + z^2 = 9 \quad \cdots \textcircled{1}$

表面積が 16 であるから $2(xy + yz + zx) = 16$

上の 2 式の辺々を加えると

$$x^2 + y^2 + z^2 + 2(xy + yz + zx) = 9 + 16$$

したがって $(x + y + z)^2 = 25$ よって $x + y + z = 5$

(2) (1) の結果から $y + z = 5 - x$

上式の両辺を平方すると $y^2 + z^2 + 2yz = 25 - 10x + x^2$

① より $y^2 + z^2 = 9 - x^2$ これを上式に代入すると

$$9 - x^2 + 2yz = 25 - 10x + x^2 \quad \text{よって} \quad yz = x^2 - 5x + 8$$

したがって、 y, z を解とする 2 次方程式は

$$t^2 - (5 - x)t + x^2 - 5x + 8 = 0 \quad \cdots (*)$$

(3) $x > 0$, $y > 0$, $z > 0$ であるから

$$y + z = 5 - x > 0 \quad \text{ゆえに} \quad 0 < x < 5 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$yz = x^2 - 5x + 8 = \left(x - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{7}{4} > 0$$

方程式(*)が実数解をもつから、係数について

$$D = (5 - x)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (x^2 - 5x + 8) \geq 0$$

$$\text{整理すると} \quad 3x^2 - 10x + 7 \leq 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x - 1)(3x - 7) \leq 0$$

$$\textcircled{2} \text{ に注意して, これを解くと} \quad 1 \leq x \leq \frac{7}{3}$$

(4) $yz = x^2 - 5x + 8$ より, $V = xyz = x^3 - 5x^2 + 8x$

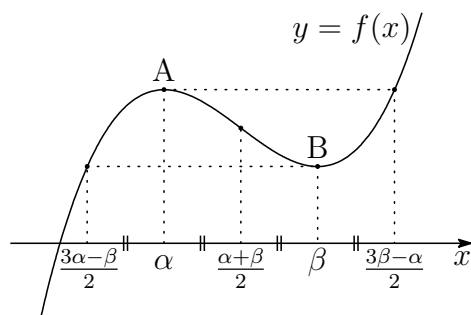
$$f(x) = x^3 - 5x^2 + 8x \text{ とおくと } \left(1 \leq x \leq \frac{7}{3}\right)$$

$$f'(x) = 3x^2 - 10x + 8 = (x - 2)(3x - 4)$$

x	1	$\cdots$	$\frac{4}{3}$	$\cdots$	2	$\cdots$	$\frac{7}{3}$
$f'(x)$		+	0	-	0	+	
$f(x)$	4	$\nearrow$	$\frac{112}{27}$	$\searrow$	4	$\nearrow$	$\frac{112}{27}$

よって $x = \frac{4}{3}, \frac{7}{3}$ で最大値 $\frac{112}{27}$, $x = 1, 2$ で最小値 4 をとる.

補足 $a > 0$, $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ について, $y = f(x)$ が点 $A(\alpha, f(\alpha))$ で極大, 点 $B(\beta, f(\beta))$ で極小であるとき, 変曲点 $(\frac{\alpha+\beta}{2}, f(\frac{\alpha+\beta}{2}))$ は A, B の中点である. また, $f(\frac{3\alpha-\beta}{2}) = f(\beta)$, $f(\alpha) = f(\frac{3\beta-\alpha}{2})$ が成立する.



本題のグラフの変曲点の座標について $\frac{\frac{4}{3} + 2}{2} = \frac{5}{3}$, $\frac{f(\frac{4}{3}) + f(2)}{2} = f(\frac{5}{3})$
 x 座標 $1, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, 2, \frac{7}{3}$ は等差数列をなし, $f(1) = f(2)$, $f(\frac{4}{3}) = f(\frac{7}{3})$. ■

$$\boxed{6} \quad (1) \quad (*) \quad a_n = \int_1^e x^2 (\log x)^n dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$n = 1$ のとき

$$a_1 = \int_1^e x^2 \log x dx = \left[\frac{x^3}{3} \log x - \frac{x^3}{9} \right]_1^e = \frac{2e^3}{9} + \frac{1}{9}$$

(2) (*) より

$$\begin{aligned} a_{n+1} &= \int_1^e x^2 (\log x)^{n+1} dx = \int_1^e \left(\frac{x^3}{3} \right)' (\log x)^{n+1} dx \\ &= \left[\frac{x^3}{3} (\log x)^{n+1} \right]_1^e - \int_1^e \frac{x^3}{3} \cdot (n+1) (\log x)^n \cdot \frac{1}{x} dx \\ &= \frac{e^3}{3} - \frac{n+1}{3} \int_1^e x^2 (\log x)^n dx = \frac{e^3}{3} - \frac{n+1}{3} a_n \end{aligned}$$

上式および (1) の結果から, 順次

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{e^3}{3} - \frac{2}{3} a_1 = \frac{e^3}{3} - \frac{2}{3} \left(\frac{2e^3}{9} + \frac{1}{9} \right) = \frac{5e^3}{27} - \frac{2}{27}, \\ a_3 &= \frac{e^3}{3} - a_2 = \frac{e^3}{3} - \left(\frac{5e^3}{27} - \frac{2}{27} \right) = \frac{4e^3}{27} + \frac{2}{27}, \\ a_4 &= \frac{e^3}{3} - \frac{4}{3} a_3 = \frac{e^3}{3} - \frac{4}{3} \left(\frac{4e^3}{27} + \frac{2}{27} \right) = \frac{11e^3}{81} - \frac{8}{81} \end{aligned}$$

(3) $f(x) = x(\log x - 1)^2$ より

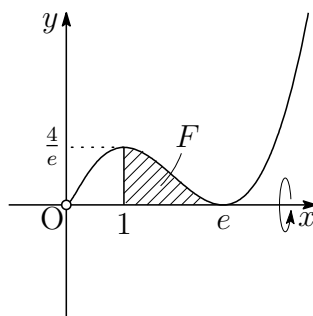
$$\begin{aligned} f'(x) &= (\log x - 1)^2 + x \cdot 2(\log x - 1) \cdot \frac{1}{x} \\ &= (\log x)^2 - 1 = (\log x + 1)(\log x - 1), \\ f''(x) &= \frac{2 \log x}{x} \end{aligned}$$

したがって, グラフの増減および凹凸は次のようになる.

x	(0)	$\dots$	$\frac{1}{e}$	$\dots$	1	$\dots$	e	$\dots$
$f'(x)$		+	0	-	-	-	0	+
$f''(x)$		-	-	-	0	+	+	+
$f(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって 極大値 $f\left(\frac{1}{e}\right) = \frac{4}{e}$, 極小値 $f(e) = 0$, 変曲点 $(1, 1)$

(4) (3) の増減表から, F の表す領域は下の図の斜線部分である.



(3) の増減表から, V の体積は

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{\pi} &= \int_1^e f(x)^2 dx = \int_1^e x^2 (\log x - 1)^4 dx \\
 &= \int_1^e x^2 \{ (\log x)^4 - 4(\log x)^3 + 6(\log x)^2 - 4\log x + 1 \} dx \\
 &= a_4 - 4a_3 + 6a_2 - 4a_1 + \int_1^e x^2 dx \\
 &= \frac{11e^3}{81} - \frac{8}{81} - 4 \left(\frac{4e^3}{27} + \frac{2}{27} \right) \\
 &\quad + 6 \left(\frac{5e^3}{27} - \frac{2}{27} \right) - 4 \left(\frac{2e^3}{9} + \frac{1}{9} \right) + \left[\frac{x^3}{3} \right]_1^e \\
 &= \frac{8e^3}{81} - \frac{131}{81}
 \end{aligned}$$

よって $V = \pi \left(\frac{8e^3}{81} - \frac{131}{81} \right)$

解説 本来，部分積分法

$$\int f(x)g'(x) dx = f(x)g(x) - \int f'(x)g(x) dx$$

は漸化式である． $f(x)$ の第 n 次導関数を $f^{(n)}(x)$ と表すように (n は自然数)，ここで， n を 0 さらに負の整数まで拡張することにする．実際にはこのような定義はないが³， $f^{(-n)}(x)$ を $f(x)$ の第 n 次原始関数と定義する．上の積分について，部分積分法を繰り返すと

$$\begin{aligned} \int f(x)g'(x) dx &= f(x)g(x) - f^{(1)}(x)g^{(-1)}(x) + f^{(2)}(x)g^{(-2)}(x) \\ &\quad \cdots + (-1)^n f^{(n)}(x)g^{(-n)}(x) + (-1)^{n+1} \int f^{(n+1)}(x)g^{(-n)}(x) dx \end{aligned}$$

例えば， $f(x)$ を n 次関数とし， $g'(x) = e^{ax+b}$ とすると (積分定数は 0 とする)

$$g^{(-k)}(x) = \frac{e^{ax+b}}{a^{k+1}} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

$f(x)$ の $n+1$ 次導関数は 0 であるから

$$\int f(x)e^{ax+b} dx = \frac{e^{ax+b}}{a} \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{f^{(k)}(x)}{a^k} + C$$

たとえば， $f(t) = t^4$ ， $g'(t) = e^{3t+3}$ とすると

$$\begin{aligned} \int t^4 e^{3t+3} dt &= \frac{e^{3t+3}}{3} \left(t^4 - \frac{4t^3}{3} + \frac{12t^2}{3^2} - \frac{24t}{3^3} + \frac{24}{3^4} \right) + C \\ &= \frac{e^{3t+3}}{3} \left(t^4 - \frac{4}{3}t^3 + \frac{4}{3}t^2 - \frac{8}{9}t + \frac{8}{27} \right) + C \end{aligned}$$

定積分 $I = \int_1^e x^2(\log x - 1)^4 dx$ について， $x = e^{t+1}$ とおくと

$$\frac{dx}{dt} = e^{t+1}, \quad \begin{array}{c|c} x & 1 \longrightarrow e \\ t & -1 \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$\begin{aligned} I &= \int_{-1}^0 (e^{t+1})^2 (\log e^{t+1} - 1)^4 e^{t+1} dt = \int_{-1}^0 t^4 e^{3t+3} dt \\ &= \left[\frac{e^{3t+3}}{3} \left(t^4 - \frac{4}{3}t^3 + \frac{4}{3}t^2 - \frac{8}{9}t + \frac{8}{27} \right) \right]_{-1}^0 = \frac{8e^3}{81} - \frac{131}{81} \end{aligned}$$

このように対数型の積分は指数型の積分に変換した方が計算しやすい³。

³<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-math.2015-kouki.pdf> [3]

前ページで示した結果から、定積分についても同様に、次式が成立する.

$$\begin{aligned} \int_x^a f(t)g'(t) dt &= \left[f(t)g(t) \right]_x^a + \sum_{k=0}^{n-1} \left[(-1)^k f^{(k)}(t)g^{(-k)}(t) \right]_x^a \\ &\quad + (-1)^n \int_x^a f^{(n)}(t)g^{(-n+1)}(t) dt \end{aligned}$$

$g^{(-k)}(t) = \frac{1}{k!}(t-x)^k$ とおくと ($k = -1, 0, 1, \dots$), $g(t) = 1$, $g'(t) = 0$ より

$$\begin{aligned} 0 &= \left[f(t) \right]_x^a + \sum_{k=1}^{n-1} \left[(-1)^k f^{(k)}(t) \frac{(t-x)^k}{k!} \right]_x^a \\ &\quad + (-1)^n \int_x^a f^{(n)}(t) \frac{(t-x)^{n-1}}{(n-1)!} dt \end{aligned}$$

したがって

$$f(x) = f(a) + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{f^{(k)}(a)}{k!} (x-a)^k + (-1)^n \int_x^a f^{(n)}(t) \frac{(t-x)^{n-1}}{(n-1)!} dt$$

ここで

$$J = (-1)^n \int_x^a \frac{(t-x)^{n-1}}{(n-1)!} dt = (-1)^n \left[\frac{(t-x)^n}{n!} \right]_x^a = \frac{(x-a)^n}{n!}$$

とおき、積分区間における $f^{(n)}(t)$ の最大値を M , 最小値を m とすると

$$K = (-1)^n \int_x^a f^{(n)}(t) \frac{(t-x)^{n-1}}{(n-1)!} dt$$

は MJ と mJ の間にあるから

$$K = f^{(n)}(c)J$$

を満たす c が積分区間に少なくとも 1 つ存在する (積分学の平均値の定理).

よって、次の等式が成立する (テイラー展開).

$$f(x) = f(a) + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{f^{(k)}(a)}{k!} (x-a)^k + \frac{f^{(n)}(c)}{n!} (x-a)^n$$

例えば、 n 次多項式 $f(x)$ の x^n の係数が A であるとき、次式が成立する.

$$f(x) = f(a) + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{f^{(k)}(a)}{k!} (x-a)^k + A(x-a)^n$$

3次式 $f(x)$ の x^3 の係数を a とし, $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ を満たすとする ($\alpha < \beta$)

$$f'(x) = 3a(x - \alpha)(x - \beta) = 3a\{x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta\}$$

$$f''(x) = 3a\{2x - (\alpha + \beta)\}$$

$$f'''(x) = 6a$$

ゆえに $f'(\alpha) = 0$, $f''(\alpha) = 3a(\alpha - \beta)$, $f'''(\alpha) = 6a$

$f(x)$ の $x = \alpha$ を極とするテイラー展開を行うと

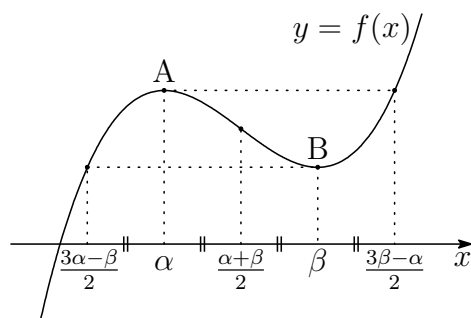
$$\begin{aligned} f(x) &= f(\alpha) + f'(\alpha)(x - \alpha) + \frac{1}{2!}f''(\alpha)(x - \alpha)^2 + \frac{1}{3!}f'''(\alpha)(x - \alpha)^3 \\ &= f(\alpha) + \frac{1}{2!} \cdot 3a(\alpha - \beta)(x - \alpha)^2 + \frac{1}{3!} \cdot 6a(x - \alpha)^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad f(x) - f(\alpha) &= \frac{3a}{2}(\alpha - \beta)(x - \alpha)^2 + a(x - \alpha)^3 \\ &= a(x - \alpha)^2 \left(x - \frac{3\beta - \alpha}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{同様に} \quad f(x) - f(\beta) = a(x - \beta)^2 \left(x - \frac{3\alpha - \beta}{2} \right)$$

また, $f''\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) = 0$ であるから, この点に変曲点である.

したがって, $a > 0$ のとき, $y = f(x)$ のグラフは次のようになる.



とくに, 数列 $\frac{3\alpha - \beta}{2}, \alpha, \frac{\alpha + \beta}{2}, \beta, \frac{3\beta - \alpha}{2}$ は, 等差数列をなす.

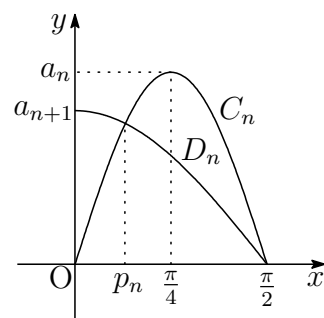
注意 関数 $f(x)$ について, $f'(\alpha) = 0$ であっても, $x = \alpha$ の前後で $f'(x)$ の符号が変化しないとき $f(\alpha)$ は極値ではないように, $f''(c) = 0$ であって, $x = c$ の前後で $f''(x)$ の符号が変化しないと点 $(c, f(c))$ は変曲点ではない. 3次関数 $f(x)$ については, $f''(x)$ は1次関数であるから, 変曲点が常に1つ存在する. ■

7 (1) $C_n : y = a_n \sin 2x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$

$$D_n : y = a_{n+1} \cos x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

C_n, D_n の 2 式から y を消去すると

$$\begin{aligned} a_n \sin 2x &= a_{n+1} \cos x \\ (2a_n \sin x - a_{n+1}) \cos x &= 0 \end{aligned}$$



したがって $\sin x = \frac{a_{n+1}}{2a_n}, \quad x = \frac{\pi}{2}$

x 軸上にない C_n, D_n の交点の x 座標 p_n は, $x \neq \frac{\pi}{2}$ であるから

$$\sin p_n = \frac{a_{n+1}}{2a_n}$$

$a_n \geq a_{n+1} > 0$ より, $0 < \frac{a_{n+1}}{2a_n} \leq \frac{1}{2}$ であるから $0 < p_n \leq \frac{\pi}{6}$

(2) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ において, $a_n \sin 2x \geq 0$ であるから

$$S_n = \int_0^{\frac{\pi}{2}} a_n \sin 2x \, dx = \left[-\frac{a_n}{2} \cos 2x \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = a_n$$

$p_n \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ において, $a_n \sin 2x \geq a_{n+1} \cos x$ であるから

$$\begin{aligned} T_n &= \int_{p_n}^{\frac{\pi}{2}} (a_n \sin 2x - a_{n+1} \cos x) \, dx \\ &= \left[-\frac{1}{2} a_n \cos 2x - a_{n+1} \sin x \right]_{p_n}^{\frac{\pi}{2}} \\ &= \frac{1}{2} a_n (1 + \cos 2p_n) - a_{n+1} (1 - \sin p_n) \\ &= a_n (1 - \sin^2 p_n) - a_{n+1} (1 - \sin p_n) \\ &= a_n \left(1 - \frac{a_{n+1}^2}{4a_n^2} \right) - a_{n+1} \left(1 - \frac{a_{n+1}}{2a_n} \right) \\ &= a_n - a_{n+1} + \frac{a_{n+1}^2}{4a_n} \end{aligned}$$

(3) $T_n = r^2 S_n$ (r は正の定数) が成り立つとき, (1), (2) の結果から

$$a_n - a_{n+1} + \frac{a_{n+1}^2}{4a_n} = r^2 a_n \quad \text{ゆえに} \quad 4a_n^2 - 4a_n a_{n+1} + a_{n+1}^2 = 4r^2 a_n^2$$

$$\text{したがって} \quad (2a_n - a_{n+1})^2 = (2ra_n)^2$$

$$a_n \geq a_{n+1} > 0, \quad r > 0 \text{ であるから}$$

$$2a_n - a_{n+1} = 2ra_n \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} = 2(1-r)a_n$$

$$a_1 = 1 \text{ であるから} \quad a_n = \{2(1-r)\}^{n-1}$$

数列 $\{a_n\}$ が収束するとき, $a_n > 0$ であることに注意して

$$0 < 2(1-r) \leq 1 \quad \text{これを解いて} \quad \frac{1}{2} \leq r < 1$$

(4) 無限級数 $\sum_{n=1}^{\infty} S_n$ が収束するとき, $a_n > 0$ に注意して

$$0 < 2(1-r) < 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{2} < r < 1$$

$$\text{求める無限級数の和は} \quad \frac{a_1}{1-2(1-r)} = \frac{1}{2r-1}$$

8 (1) S_3 は一辺が $\frac{a}{3}$ の正三角形の面積であるから

$$S_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{3}\right)^2 \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}a^2}{36}$$

S_4 は一辺が $\frac{a}{4}$ の正方形の面積であるから

$$S_4 = \left(\frac{a}{4}\right)^2 = \frac{a^2}{16}$$

(2) 正 n 角形 F_n の 1 つの辺 AB に F_n の外心 O から垂線 OH を引くと

$$\angle AOH = \frac{\pi}{n}, \quad AH = \frac{a}{2n}$$

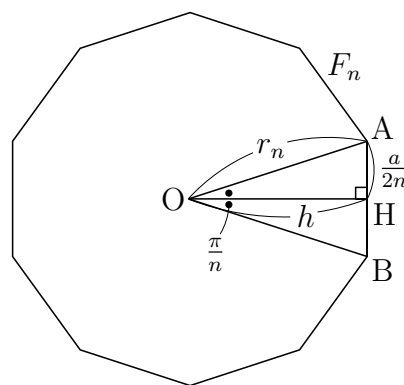
$$\text{したがって} \quad r_n \sin \frac{\pi}{n} = \frac{a}{2n}$$

$$\text{よって} \quad r_n = \frac{a}{2n \sin \frac{\pi}{n}}$$

$h = OH$ とおくと

$$h = r_n \cos \frac{\pi}{n} = \frac{a}{2n \sin \frac{\pi}{n}} \cdot \cos \frac{\pi}{n} = \frac{a}{2n \tan \frac{\pi}{n}}$$

$$\frac{S_n}{n} = \frac{1}{2} AB \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{n} \cdot \frac{a}{2n \tan \frac{\pi}{n}} \quad \text{よって} \quad S_n = \frac{a^2}{4n \tan \frac{\pi}{n}}$$



(3) $f(x) = \frac{x}{\tan x} = x \cdot \frac{1}{\tan x}$ を微分すると $\left(0 < x \leq \frac{\pi}{3}\right)$

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{1}{\tan x} + x \left(-\frac{1}{\sin^2 x} \right) = \frac{\sin x \cos x - x}{\sin^2 x} \\ &= \frac{2 \sin x \cos x - 2x}{2 \sin^2 x} = \frac{\sin 2x - 2x}{2 \sin^2 x} \end{aligned}$$

ここで, $g(x) = \sin 2x - 2x$ とおくと $\left(0 < x \leq \frac{\pi}{3}\right)$

$$g(0) = 0, \quad g'(x) = 2(\cos 2x - 1) < 0$$

$0 < x \leq \frac{\pi}{3}$ において $g(x) < 0$ すなわち $f'(x) < 0$

よって, $0 < x \leq \frac{\pi}{3}$ において, $f(x)$ は単調減少である.

(4) (2) の結果から $S_n = \frac{a^2}{4n \tan \frac{\pi}{n}} = \frac{a^2}{4\pi} \cdot \frac{\frac{\pi}{n}}{\tan \frac{\pi}{n}} = \frac{a^2}{4\pi} f\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad \cdots (*)$

$\frac{\pi}{n+1} < \frac{\pi}{n}$ であるから, (3) の結果より

$$f\left(\frac{\pi}{n}\right) < f\left(\frac{\pi}{n+1}\right) \quad \text{よって} \quad S_n < S_{n+1}$$

$x = \frac{\pi}{n}$ とおくと, (*) より $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{x \rightarrow +0} \frac{a^2}{4\pi} f(x)$

ここで $\lim_{x \rightarrow +0} f(x) = \lim_{x \rightarrow +0} \frac{x}{\tan x} = 1$ よって $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{a^2}{4\pi}$

F_n が円周の長さ a (半径 $\frac{a}{2\pi}$) の円に近づくから, 次が成立する (類題⁴).

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \pi R^2 = \frac{(2\pi R)^2}{4\pi} = \frac{a^2}{4\pi}$$

■

⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_2018.pdf 2

9 (1) $P(x = k) = {}_{100}C_k p^k (1 - p)^{100-k}$

(2) 100 人中 1 人だけ賛成である確率は $P(X = 1)$

100 人中 2 人だけ賛成である確率は $P(X = 2)$

「100 人中 1 人だけが賛成者」でない確率が, 「100 人中 2 人だけが賛成者」でない確率よりも大きいから

$$1 - P(X = 1) > 1 - P(X = 2) \quad \text{ゆえに} \quad P(X = 2) > P(X = 1)$$

したがって ${}_{100}C_2 p^2 (1 - p)^{98} > {}_{100}C_1 p (1 - p)^{99}$

$$\frac{100 \cdot 99}{2} p^2 (1 - p)^{98} > 100 p (1 - p)^{99}$$

$$99p > 2(1 - p)$$

$$0 < p < 1 \text{ であることに注意して } \frac{2}{101} < p < 1$$

(3) 正規分布表から $P(0 \leq z \leq 1.96) = 0.4750$

ゆえに $P(-1.96 \leq z \leq 1.96) = 0.4750 \times 2 = 0.9500$

標本比率 $p_0 = \frac{80}{100} = 0.8$, 標本の大きさ $n = 100$ のとき, 母比率 p に対する信頼度 95% の信頼区間は

$$\left[p_0 - 1.96 \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}, p_0 + 1.96 \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}} \right]$$

$$1.96 \sqrt{\frac{0.8(1 - 0.8)}{100}} = 1.96 \times 0.04 = 0.0784 \text{ より}$$

$$[0.8 - 0.0784, 0.8 + 0.0784] \quad \text{よって} \quad [0.7216, 0.8784]$$

(4) $P(X = k) = {}_{100}C_k p^k (1 - p)^{100-k}$ の自然対数をとると

$$\log P(X = k) = \log {}_{100}C_k + k \log p + (100 - k) \log(1 - p)$$

これを p について微分すると

$$\frac{d}{dp} \log P(X = k) = \frac{k}{p} - \frac{100 - k}{1 - p} = \frac{k - 100p}{p(1 - p)}$$

p	(0)	$\cdots$	$\frac{k}{100}$	$\cdots$	(1)
$\frac{d}{dp} P(X = k)$		+	0	-	
$P(X = k)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	

よって, 求める p の値は $p = \frac{k}{100}$



5.7 2021年

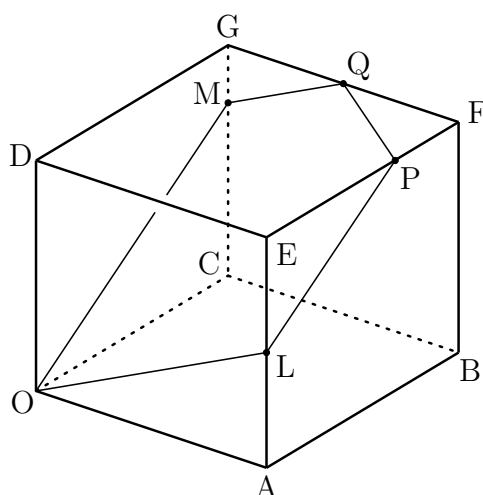
出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学・歯学・工学部 [3] [4] [5] 必答, [7] [8] の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [6] 必答, [9] [10] の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)
- 情報データ科学部 [3] [4] [5] 必答, [7] [8] [11] の 3 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) $0 \leq x \leq \pi$ で定義された関数 $y = \sin 2x - 2 \sin \left(x + \frac{\pi}{4}\right) + 1$ がある．
 $\sin x + \cos x = t$ とおくとき， t の値の範囲を求め， y を t の式で表せ．また，関数 y の最大値と最小値，およびそのときの t と x の値をそれぞれ求めよ．
- (2) 原点を O とする xy 座標平面上に円 $C: x^2 + y^2 = 5$ と直線 $l: x + 3y - 5 = 0$ がある．円 C と直線 l との 2 つの交点 A, B (A の x 座標は， B の x 座標より小さい) における接線をそれぞれ l_1, l_2 とし， l_1 と l_2 との交点を P とする．このとき， l_1, l_2 の式および点 P の座標を求めよ．また，直線 OP と円 C の交点を Q, R とするとき，線分の長さの積 $PQ \cdot PR$ を求めよ．
- (3) t の関数 $S(t)$ を， $S(t) = \int_0^1 |x^2 - t^2| dx$ とする．このとき， $S(1)$ の値を求めよ．また， $0 \leq t \leq 1$ における $S(t)$ の最大値と最小値，およびそのときの t の値を求めよ．

- 2 下図のように、1 辺の長さが 1 の立方体 DEFG-OABC がある．点 L は線分 AE を 1 : 1 に、点 M は線分 CG を 3 : 1 に内分する点である．また、3 点 O, L, M を通る平面 T は、辺 EF および辺 GF と 2 点 P, Q で交わる． $\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OC} = \vec{c}$, $\vec{OD} = \vec{d}$ とするとき、以下の問いに答えよ．ただし、(1) については答えのみでよい．



- (1) $\vec{OL}$, $\vec{OM}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ．また、 $\vec{OL}$, $\vec{OM}$ の大きさ $|\vec{OL}|$, $|\vec{OM}|$ および $\vec{OL}$ と $\vec{OM}$ の内積 $\vec{OL} \cdot \vec{OM}$ を求めよ．
- (2) $\cos \angle LOM$ の値、および $\triangle LOM$ の面積 S_1 を求めよ．
- (3) $EP : PF = p : (1 - p)$ ($0 < p < 1$), $GQ : QF = q : (1 - q)$ ($0 < q < 1$) とする．このとき、 p と q の値を求め、 $\vec{OP}$, $\vec{OQ}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ．
- (4) $\vec{LP}$, $\vec{MQ}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ．また、五角形 OLPQM の面積 S_2 を求めよ．

- 3 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) $\frac{1}{3} \leq x \leq 3$ で定義された関数 $y = -2(\log_3 3x)^3 + 3(\log_3 x + 1)^2 + 1$ がある．関数 y の最大値と最小値、およびそのときの x の値を求めよ．
- (2) 以下で定義される数列 $\{a_n\}$ がある．

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 4, \quad a_{n+2} = 5a_{n+1} - 6a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

このとき、 $a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \beta(a_{n+1} - \alpha a_n)$ を満たす α , β の値を求めよ．また、数列 $\{a_n\}$ の一般項を求め、極限を調べよ．

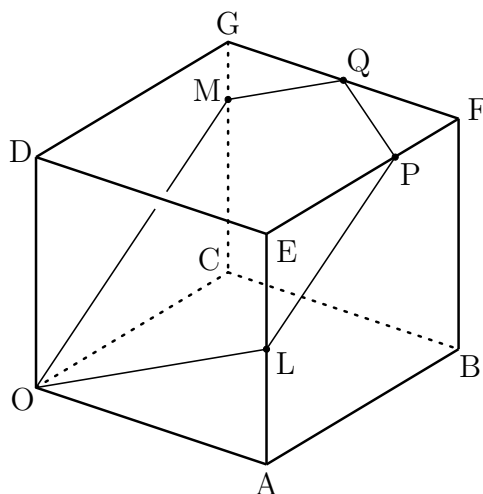
- (3) 2回微分可能な関数 $f(x)$ が、すべての実数 x について次の等式を満たしている.

$$f(x) = 2 + \int_0^x \sin(x-t)f(t) dt$$

このとき、 $f''(x)$ が定数であることを示せ.

また、 $f(0)$ および $f'(0)$ の値から、 $f'(x)$ と $f(x)$ をそれぞれ求めよ.

- 4 下図のように、1辺の長さが1の立方体 DEFG-OABC がある. 点 L は線分 AE を 1:1 に、点 M は線分 CG を 3:1 に内分する点である. また、3点 O, L, M を通る平面 T は、辺 EF および辺 GF と 2点 P, Q で交わる. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\overrightarrow{OD} = \vec{d}$ とするとき、以下の問いに答えよ. ただし、(1), (2) については答えのみでよい.



- (1) $\overrightarrow{OL}$, $\overrightarrow{OM}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表し、 $\overrightarrow{OL}$, $\overrightarrow{OM}$ の大きさ $|\overrightarrow{OL}|$, $|\overrightarrow{OM}|$ および $\overrightarrow{OL}$ と $\overrightarrow{OM}$ の内積 $\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM}$ を求めよ. また、 $\cos \angle LOM$ の値、および $\triangle LOM$ の面積 S_1 を求めよ.
- (2) $EP : PF = p : (1-p)$ ($0 < p < 1$), $GQ : QF = q : (1-q)$ ($0 < q < 1$) とする. このとき、 p と q の値を求め、 $\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ.
- (3) $\overrightarrow{LP}$, $\overrightarrow{MQ}$ を、それぞれ $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ. また、五角形 OLPQM の面積 S_2 を求めよ.
- (4) 点 D から平面 T に垂線を下ろし、その交点を H とする. $\overrightarrow{OH}$ を、 $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ. また、 $\overrightarrow{DH}$ の大きさ $|\overrightarrow{DH}|$ を求め、D を頂点とする五角錐 D-OLPQM の体積 V を求めよ.

- 5 xy 座標平面上の原点を通る 2 直線 $m_1: y = (\tan \theta)x$, $m_2: y = \left(\tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)\right)x$ が、直線 $x = 1$ と交わる点をそれぞれ P , Q とする. ただし, $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{4}$ である. $\tan \theta = t$ とするとき, 関数 $f(t)$ を線分 PQ の長さと定義する. 以下の問いに答えよ.

- (1) t の値の範囲を求め, $f(t)$ を t の式で表せ.
- (2) $\theta = -\frac{\pi}{4}$ と $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき, $f(t)$ の値をそれぞれ求めよ.
- (3) $f'(t)$ を求め, $f(t)$ の増減表を作成せよ. また, $l = f(t)$ のグラフの漸近線の式を求め, tl 座標平面上に $l = f(t)$ のグラフの概形をかけ.
- (4) $f(t)$ の最小値を求めよ. また, このときの 2 点 P , Q の座標, および θ の値を求めよ.

- 6 xy 座標平面上に 4 点 $A(0, -1)$, $B(1, -1)$, $C(1, 1)$, $D(0, 1)$ を頂点とする長方形 $ABCD$ がある. 原点を通る 2 直線 $m_1: y = (\tan \theta)x$, $m_2: y = \left(\tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)\right)x$ が長方形の辺と交わる点をそれぞれ P , Q とする. ただし, $-\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{4}$ である. $\tan \theta = t$ とするとき, 関数 $f(t)$ を以下のように定義する.

$-\frac{\pi}{4} < \theta \leq 0$ のとき, $f(t)$ は線分 PQ の長さとする.

$0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ のとき, $f(t)$ は線分 PC の長さと線分 CQ の長さの和とする.

以下の問いに答えよ.

- (1) $f(t)$ を t の式で表せ.
- (2) $\theta = \frac{\pi}{8}$ のとき, $f(t)$ の値を求めよ.
- (3) $f(t)$ が, $t = 0$ で微分可能であるかどうか調べよ.
- (4) $f(t)$ の増減表を作成せよ. $\lim_{t \rightarrow -1+0} f(t)$, $\lim_{t \rightarrow 1-0} f(t)$ を求め, $f(t)$ の最大値と最小値, およびこのときの t と θ の値をそれぞれ求めよ.

- 7 $a > 0$ とし、2つの関数 $f(x)$, $g(x)$ を、それぞれ以下のように定義する.

$$\begin{aligned} f(x) &= e^x & (x \geq 0) \\ g(x) &= ax^2 & (x \geq 0) \end{aligned}$$

2つの曲線 $C_1: y = f(x)$ と $C_2: y = g(x)$ は、ともに点 P を通り、かつ点 P において共通な直線 l に接しているものとする. 点 P の x 座標が p ($p > 0$) であるとき、以下の問いに答えよ. ただし、 e は自然対数の底である.

- (1) a と p の値、および直線 l の式を求めよ.
 - (2) $x > 0$ において定義される関数 $h(x) = \log f(x) - \log g(x)$ について、 $h(x)$ の増減表を作成せよ. また、 $x \geq 0$ ならば $f(x) \geq g(x)$ が成り立つことを示せ.
 - (3) 2つの曲線 C_1 と C_2 および y 軸とで囲まれる図形 F の面積 S を求めよ.
 - (4) (3) の図形 F を y 軸の周りに1回転してできる回転体の体積 V を求めよ.
- 8 自然数 n に対して定まる複素数平面上の点 $P_n(z_n)$ があり、 z_n は以下の式を満たしている.

$$z_{n+1} = \frac{z_n - 2}{2z_n - 1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

ただし、 z_1 は $|z_1| = 1$ を満たすものとする. また、 i は虚数単位とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) $z_{n+1} = z_n$ となる z_n を求めよ. また、 $z_{n+1} = -z_n$ となる z_n を求めよ.
- (2) すべての n に対して、 $|z_n| = 1$ であることを数学的帰納法を用いて証明せよ.
- (3) z_{n+2} を z_n で表せ. また、点 P_1 を定めたとき、線分 $P_n P_{n+1}$ の長さは、すべての n に対して一定であることを説明せよ.
- (4) z_n, z_{n+1} について、 $z_n = x + yi$ (x, y は実数)、 $z_{n+1} = X + Yi$ (X, Y は実数) とする. $X < 0$ かつ $Y > 0$ となるような点 $P_n(z_n)$ の存在する範囲を複素数平面上に図示せよ.

- 9 自然数 n に対して定まる複素数平面上の点 $P_n(z_n)$ があり, z_n は以下の式を満たしている.

$$z_{n+1} = \frac{z_n - 2}{2z_n - 1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

ただし, z_1 は $|z_1| = 1$ を満たすものとする. また, i は虚数単位とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) すべての n に対して, $|z_n| = 1$ であることを数学的帰納法を用いて証明せよ.
- (2) z_{n+2} を z_n で表せ. また, 点 P_1 を定めたとき, 線分 $P_n P_{n+1}$ の長さは, すべての n に対して一定であることを説明せよ.
- (3) z_n, z_{n+1} について, $z_n = x + yi$ (x, y は実数), $z_{n+1} = X + Yi$ (X, Y は実数) とする. $X < 0$ かつ $Y > 0$ となるような点 $P_n(z_n)$ の存在する範囲を複素数平面上に図示せよ.
- (4) 複素数平面上の原点を O とし, $z_1 = a + bi$ ($a > 0, b > 0$) とする. すべての n に対して, $\triangle OP_n P_{n+1}$ が直角三角形となるような a と b の値を求めよ.

- 10** 図1, 図2のように, 原点を O とする xyz 座標空間に扇形 OAB と直円錐^{すい}がある. 図1の扇形 OAB は, 線分 OA を半径とし, 中心角の大きさを θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) とする yz 平面上の扇形である. 図2の直円錐は, 線分 OA を母線とし, 線分 AC を底面の円の直径とする円錐である. 図1, 図2の点 A の座標を $A(0, 3, 0)$, 点 C の座標を $C\left(0, \frac{3}{2}, \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)$ とするとき, 以下の問いに答えよ.

図1

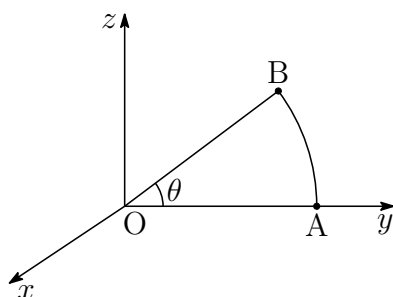
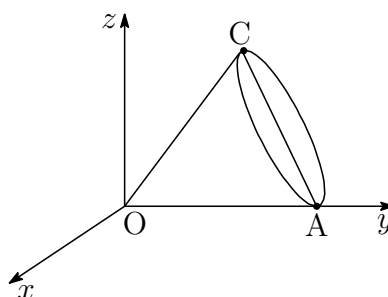


図2



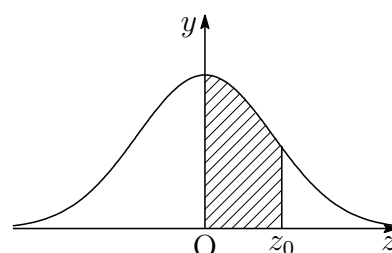
- (1) 図1の扇形 OAB を y 軸の周りに1回転してできる回転体を T_1 とする. 平面 $y = t$ ($0 \leq t \leq 3$) で T_1 を切ったときの断面積 $S_1(t)$ を t の式で表せ.
- (2) (1)の回転体 T_1 の体積 V_1 を求めよ.
- (3) 図2の直円錐を y 軸の周りに1回転してできる回転体を T_2 とする. 平面 $y = t$ ($0 \leq t \leq 3$) で T_2 を切ったときの断面積 $S_2(t)$ を t の式で表せ.
- (4) (3)の回転体 T_2 の体積 V_2 を求めよ.
- (5) (2)の V_1 と (4)の V_2 の大小を調べよ.

11 1回投げると、確率 p ($0 < p < 1$) で表、確率 $1 - p$ で裏が出るコインがある。このコインを投げたとき、動点 P は、表が出れば $+1$ 、裏が出れば -1 だけ、数直線上を移動することとする。はじめに、 P は数直線の原点 O にあり、 n 回コインを投げた後の P の座標を X_n とする。以下の問いに答えよ。必要に応じて、次頁の正規分布表を用いても良い。

- (1) $p = \frac{1}{2}$ とする。 X_4 と X_5 の確率分布、平均および分散を、それぞれ求めよ。
- (2) $p = \frac{1}{2}$ とする。6回コインを投げて、6回目ではじめて原点 O に戻る確率を求めよ。
- (3) X_1 の平均と分散を、それぞれ p を用いて表せ。また、 X_n の平均と分散を、それぞれ n と p を用いて表せ。
- (4) コインを 100 回投げたところ $X_{100} = 28$ であった。このとき、 p に対する信頼度 95% の信頼区間を求めよ。

正 規 分 布 表

次の表は，標準正規分布の分布曲線における
右図の斜線部分の面積をまとめたものである．



z_0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

解答例

1 (1) $t = \sin x + \cos x$ ($0 \leq x \leq \pi$) とおくと, $t = \sqrt{2} \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$ より

$$-1 \leq t \leq \sqrt{2}$$

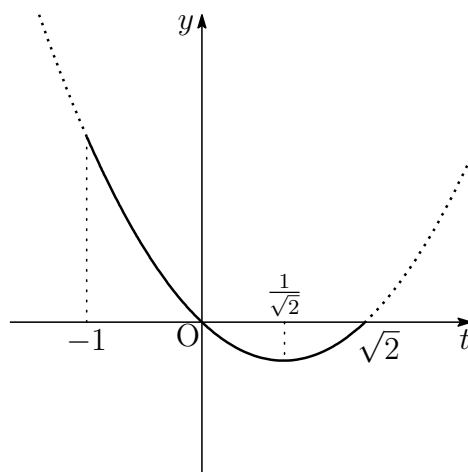
$y = \sin 2x - 2 \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) + 1$ について

$$\begin{aligned} \sin 2x + 1 &= 2 \sin x \cos x + 1 \\ &= (\sin x + \cos x)^2 = t^2 \\ 2 \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) &= 2 \left(\sin x \cos \frac{\pi}{4} + \cos x \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \sqrt{2}(\sin x + \cos x) = \sqrt{2}t \end{aligned}$$

$$\text{したがって } y = t^2 - \sqrt{2}t = \left(t - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 - \frac{1}{2}$$

よって $t = -1$ すなわち $x = \pi$ のとき 最大値 $1 + \sqrt{2}$

$t = \frac{1}{\sqrt{2}}$ すなわち $x = \frac{7}{12}\pi$ のとき 最小値 $-\frac{1}{2}$



(2) $C: x^2 + y^2 = 5$ と $l: x + 3y = 5$ の交点は、条件に注意して求めると

$$A(-1, 2), B(2, 1)$$

2点 A, B における接線は、それぞれ

$$l_1: -x + 2y = 5, \quad l_2: 2x + y = 5$$

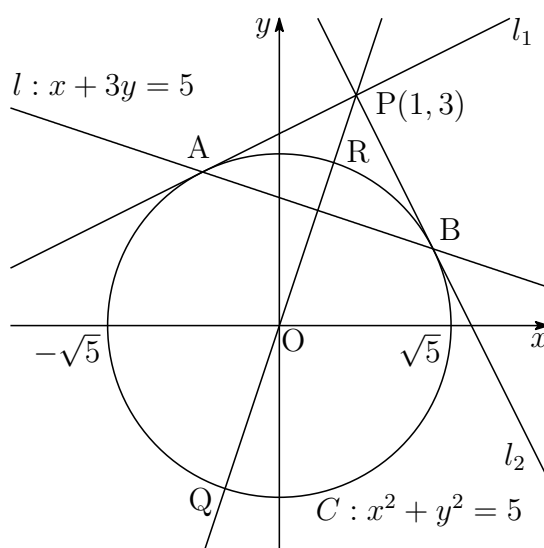
l_1 と l_2 の交点 P の座標は (1, 3)

$OP = \sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10}$ および C の半径が $\sqrt{5}$ であるから

$$PQ \cdot PR = (\sqrt{10} + \sqrt{5})(\sqrt{10} - \sqrt{5}) = 5$$

別解 方べきの定理により $PQ \cdot PR = PA^2 (= PB^2)$

$PA (= PB) = \sqrt{5}$ であるから $PQ \cdot PR = 5$



補足 l は点 $P(1, 3)$ を極とする極線である⁵。したがって、極線 l の方程式から、極 P の座標が求まる。

⁵http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/nagasaki/nagasaki_2012.pdf [7] を参照

$$(3) S(t) = \int_0^1 |x^2 - t^2| dx \text{ より}$$

$$S(1) = \int_0^1 |x^2 - 1| dx = \int_0^1 (1 - x^2) dx = \left[x - \frac{x^3}{3} \right]_0^1 = \frac{2}{3}$$

$0 \leq t \leq 1$ のとき

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_0^t (t^2 - x^2) dx + \int_t^1 (x^2 - t^2) dx \\ &= \left[t^2 x - \frac{x^3}{3} \right]_0^t + \left[\frac{x^3}{3} - t^2 x \right]_t^1 \\ &= \frac{4}{3}t^3 - t^2 + \frac{1}{3} \end{aligned}$$

$$\text{したがって } S'(t) = 4t^2 - 2t = 2t(2t - 1)$$

t	0	$\cdots$	$\frac{1}{2}$	$\cdots$	1
$S'(t)$		$-$	0	$+$	
$S(t)$	$\frac{1}{3}$	$\searrow$	$\frac{1}{4}$	$\nearrow$	$\frac{2}{3}$

$$\text{よって 最大値 } S(1) = \frac{2}{3}, \text{ 最小値 } S\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{4}$$

■

$$\boxed{2} \quad (1) \quad \overrightarrow{\text{OL}} = \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d}, \quad \overrightarrow{\text{OM}} = \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d}$$

$$|\overrightarrow{\text{OL}}|^2 = \left| \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \right|^2 = |\vec{a}|^2 + \frac{1}{4}|\vec{d}|^2 = \frac{5}{4} \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{\text{OL}}| = \frac{\sqrt{5}}{2}$$

$$|\overrightarrow{\text{OM}}|^2 = \left| \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} \right|^2 = |\vec{c}|^2 + \frac{9}{16}|\vec{d}|^2 = \frac{25}{16} \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{\text{OM}}| = \frac{5}{4}$$

$$\overrightarrow{\text{OL}} \cdot \overrightarrow{\text{OM}} = \left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \right) \cdot \left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} \right) = \frac{3}{8}|\vec{d}|^2 = \frac{3}{8}$$

(2) (1) の結果から

$$\cos \angle \text{LOM} = \frac{\overrightarrow{\text{OL}} \cdot \overrightarrow{\text{OM}}}{|\overrightarrow{\text{OL}}| |\overrightarrow{\text{OM}}|} = \frac{\frac{3}{8}}{\frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{5}{4}} = \frac{3}{25} \sqrt{5}$$

$$\text{このとき} \quad \sin \angle \text{LOM} = \sqrt{1 - \left(\frac{3}{5\sqrt{5}} \right)^2} = \frac{2\sqrt{29}}{5\sqrt{5}}$$

$$\text{よって} \quad S_1 = \frac{1}{2} |\overrightarrow{\text{OL}}| |\overrightarrow{\text{OM}}| \sin \angle \text{LOM} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{2\sqrt{29}}{5\sqrt{5}} = \frac{\sqrt{29}}{8}$$

$$\text{別解 } S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{OL}|^2 |\vec{OM}|^2 - (\vec{OL} \cdot \vec{OM})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5}{4} \cdot \frac{25}{16} - \left(\frac{3}{8}\right)^2} = \frac{\sqrt{29}}{8}$$

(3) $\vec{LP} // \vec{OM}$ より, $\vec{LP} = p\vec{OM}$ とおけるから

$$\begin{aligned} \vec{OP} &= \vec{OL} + \vec{LP} = \vec{OL} + p\vec{OM} \\ &= \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} + p\left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d}\right) \\ &= \vec{a} + p\vec{c} + \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4}p\right)\vec{d} \end{aligned}$$

$$\text{このとき } \frac{1}{2} + \frac{3}{4}p = 1 \quad \text{よって } p = \frac{2}{3}, \quad \vec{OP} = \vec{a} + \frac{2}{3}\vec{c} + \vec{d}$$

同様に, $\vec{MQ} // \vec{OL}$ より, $\vec{MQ} = q\vec{OL}$ とおけるから

$$\begin{aligned} \vec{OQ} &= \vec{OM} + \vec{MQ} = \vec{OM} + q\vec{OL} \\ &= \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} + q\left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d}\right) \\ &= q\vec{a} + \vec{c} + \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{2}q\right)\vec{d} \end{aligned}$$

$$\text{このとき } \frac{3}{4} + \frac{1}{2}q = 1 \quad \text{よって } q = \frac{1}{2}, \quad \vec{OQ} = \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$$

$$\text{別解 } \triangle CMO \sim \triangle ELP, \text{ 相似比は } 1:p = CM:EL = \frac{3}{4}:\frac{1}{2} \quad \text{ゆえに } p = \frac{2}{3}$$

$$\triangle ALO \sim \triangle GMQ, \text{ 相似比は } 1:q = AL:GM = \frac{1}{2}:\frac{1}{4} \quad \text{ゆえに } q = \frac{1}{2}$$

(4) (1), (3) の結果から

$$\begin{aligned} \vec{LP} &= \frac{2}{3}\vec{OM} = \frac{2}{3}\left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d}\right) = \frac{2}{3}\vec{c} + \frac{1}{2}\vec{d} \\ \vec{MQ} &= \frac{1}{2}\vec{OL} = \frac{1}{2}\left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d}\right) = \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{4}\vec{d} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{ON} = \overrightarrow{OL} + \overrightarrow{OM}$ となる点 N をとると、2 点 P, Q は、それぞれ平行四辺形 $OLNM$ の辺 LN, MN にあり

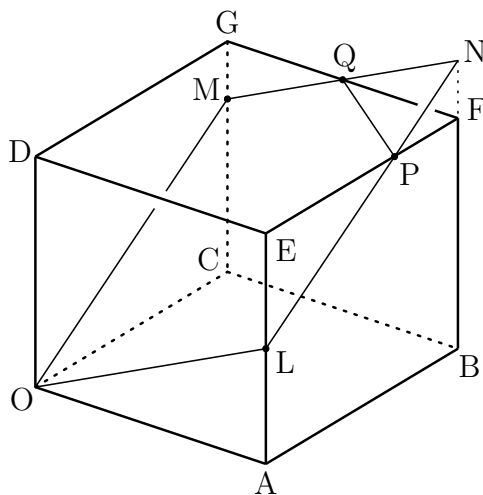
$$LP : PN = EP : PF = 2 : 1, \quad MQ : QN = GQ : QF = 1 : 1$$

したがって、 $\triangle NPQ$ の面積は、(2) の結果を用いて

$$\Delta\text{NPQ} = \frac{1}{2+1} \cdot \frac{1}{1+1} S_1 = \frac{1}{6} S_1$$

よって、求める五角形 OLPQM の面積 S_2 は

$$S_2 = 2S_1 - \frac{1}{6}S_1 = \frac{11}{6}S_1 = \frac{11}{6} \cdot \frac{\sqrt{29}}{8} = \frac{11}{48}\sqrt{29}$$



3 (1) $y = -2(\log_3 3x)^3 + 3(\log_3 x + 1)^2 + 1$
 $= -2(\log_3 3x)^3 + 3(\log_3 3x)^2 + 1$

$t = \log_3 3x$ とおくと, $\frac{1}{3} \leq x \leq 3$ より $0 \leq t \leq 2$

$$y = -2t^3 + 3t^2 + 1 \quad \text{ゆえに} \quad y' = -6t^2 + 6t = -6t(t-1)$$

t	0	$\dots$	1	$\dots$	2
y'		+	0	−	
y	1	$\nearrow$	2	$\searrow$	−3

よって $t = 1$ すなわち $x = 1$ のとき 最大値 2
 $t = 2$ すなわち $x = 3$ のとき 最小値 -3

$$(2) \ a_{n+2} = 5a_{n+1} - 6a_n \text{ より } a_{n+2} - 5a_{n+1} + 6a_n = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$(*) \ a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \beta(a_{n+1} - \alpha a_n) \text{ より}$$

$$a_{n+2} - (\alpha + \beta)a_{n+1} + \alpha\beta a_n = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} \text{ と } \textcircled{2} \text{ の係数を比較して } \alpha + \beta = 5, \quad \alpha\beta = 6$$

$$\alpha, \beta \text{ を解とする 2 次方程式は } x^2 - 5x + 6 = 0$$

$$(x-2)(x-3) = 0 \quad \text{これを解いて } x = 2, 3$$

$$(\alpha, \beta) = (2, 3), (3, 2) \text{ を } (*) \text{ にそれぞれ代入すると}$$

$$\begin{cases} a_{n+2} - 2a_{n+1} = 3(a_{n+1} - 2a_n) \\ a_{n+2} - 3a_{n+1} = 2(a_{n+1} - 3a_n) \end{cases}$$

$$a_1 = 1, \ a_2 = 4 \text{ により}$$

$$a_{n+1} - 2a_n = (a_2 - 2a_1) \cdot 3^{n-1} = 2 \cdot 3^{n-1}$$

$$a_{n+1} - 3a_n = (a_2 - 3a_1) \cdot 2^{n-1} = 2^{n-1}$$

$$\text{上の第 1 式から第 2 式の辺々の差をとると } a_n = 2 \cdot 3^{n-1} - 2^{n-1}$$

$$\text{よって } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} 3^{n-1} \left\{ 2 - \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1} \right\} = \infty, \quad \{a_n\} \text{ は発散する}$$

補足 $\alpha \neq \beta$ のとき, 上の結果から, 定数 A, B を用いて

$$a_n = A\alpha^n + B\beta^n$$

$$\alpha = \beta \text{ のとき, } a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \alpha(a_{n+1} - \alpha a_n) \text{ より}$$

$$a_{n+1} - \alpha a_n = (a_2 - \alpha a_1) \alpha^{n-1}$$

$$\frac{a_{n+1}}{\alpha^{n+1}} - \frac{a_n}{\alpha^n} = \frac{a_2}{\alpha^2} - \frac{a_1}{\alpha}$$

数列 $\left\{ \frac{a_n}{\alpha^n} \right\}$ は初項 $\frac{a_1}{\alpha}$, 公差 $\frac{a_2}{\alpha^2} - \frac{a_1}{\alpha}$ の等差数列である.

したがって, $\frac{a_n}{\alpha^n}$ は n の 1 次式で, 定数 C, D を用いて

$$\frac{a_n}{\alpha^n} = Cn + D \quad \text{ゆえに } a_n = (Cn + D)\alpha^n$$

(3) $f(x) = 2 + \int_0^x \sin(x-t)f(t) dt$ より

$$f(x) = 2 + (\sin x) \int_0^x f(t) \cos t dt - (\cos x) \int_0^x f(t) \sin t dt \quad (*)$$

(*) を微分すると

$$\begin{aligned} f'(x) &= (\cos x) \int_0^x f(t) \cos t dt + f(x) \sin x \cos x \\ &\quad + (\sin x) \int_0^x f(t) \sin t dt - f(x) \sin x \cos x \\ &= (\cos x) \int_0^x f(t) \cos t dt + (\sin x) \int_0^x f(t) \sin t dt \quad (**) \end{aligned}$$

さらに微分すると

$$\begin{aligned} f''(x) &= -(\sin x) \int_0^x f(t) \cos t dt + f(x) \cos^2 x \\ &\quad + (\cos x) \int_0^x f(t) \sin t dt + f(x) \sin^2 x \\ &= f(x) - (\sin x) \int_0^x f(t) \cos t dt + (\cos x) \int_0^x f(t) \sin t dt \end{aligned}$$

(*) を上式に代入して整理すると $f''(x) = 2$

(*), (**) に $x = 0$ を代入すると $f(0) = 2, f'(0) = 0$

したがって $f'(x) = 2x$ よって $f(x) = x^2 + 2$ ■

$$\boxed{4} \quad (1) \quad \overrightarrow{OL} = \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d}, \quad \overrightarrow{OM} = \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d}$$

$$|\overrightarrow{OL}|^2 = \left| \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \right|^2 = |\vec{a}|^2 + \frac{1}{4}|\vec{d}|^2 = \frac{5}{4} \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{OL}| = \frac{\sqrt{5}}{2}$$

$$|\overrightarrow{OM}|^2 = \left| \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} \right|^2 = |\vec{c}|^2 + \frac{9}{16}|\vec{d}|^2 = \frac{25}{16} \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{OM}| = \frac{5}{4}$$

$$\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM} = \left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \right) \cdot \left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} \right) = \frac{3}{8}|\vec{d}|^2 = \frac{3}{8}$$

$$\cos \angle LOM = \frac{\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM}}{|\overrightarrow{OL}| |\overrightarrow{OM}|} = \frac{\frac{3}{8}}{\frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{5}{4}} = \frac{3}{25}\sqrt{5}$$

$$\text{このとき} \quad \sin \angle LOM = \sqrt{1 - \left(\frac{3}{5\sqrt{5}} \right)^2} = \frac{2\sqrt{29}}{5\sqrt{5}}$$

$$\text{よって} \quad S_1 = \frac{1}{2} |\overrightarrow{OL}| |\overrightarrow{OM}| \sin \angle LOM = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{2\sqrt{29}}{5\sqrt{5}} = \frac{\sqrt{29}}{8}$$

$$\text{別解} \quad S_1 = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{OL}|^2 |\overrightarrow{OM}|^2 - (\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5}{4} \cdot \frac{25}{16} - \left(\frac{3}{8} \right)^2} = \frac{\sqrt{29}}{8}$$

$$(2) \quad \overrightarrow{LP} // \overrightarrow{OM} \text{ より, } \overrightarrow{LP} = p\overrightarrow{OM} \text{ とおけるから}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= \overrightarrow{OL} + \overrightarrow{LP} = \overrightarrow{OL} + p\overrightarrow{OM} \\ &= \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} + p \left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} \right) \\ &= \vec{a} + p\vec{c} + \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4}p \right) \vec{d} \end{aligned}$$

$$\text{このとき} \quad \frac{1}{2} + \frac{3}{4}p = 1 \quad \text{よって} \quad p = \frac{2}{3}, \quad \overrightarrow{OP} = \vec{a} + \frac{2}{3}\vec{c} + \vec{d}$$

$$\text{同様に, } \overrightarrow{MQ} // \overrightarrow{OL} \text{ より, } \overrightarrow{MQ} = q\overrightarrow{OL} \text{ とおけるから}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{MQ} = \overrightarrow{OM} + q\overrightarrow{OL} \\ &= \vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d} + q \left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d} \right) \\ &= q\vec{a} + \vec{c} + \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{2}q \right) \vec{d} \end{aligned}$$

$$\text{このとき} \quad \frac{3}{4} + \frac{1}{2}q = 1 \quad \text{よって} \quad q = \frac{1}{2}, \quad \overrightarrow{OQ} = \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$$

別解 $\triangle CMO \sim \triangle ELP$, 相似比は $1 : p = CM : EL = \frac{3}{4} : \frac{1}{2}$ ゆえに $p = \frac{2}{3}$

$\triangle ALO \sim \triangle GMQ$, 相似比は $1 : q = AL : GM = \frac{1}{2} : \frac{1}{4}$ ゆえに $q = \frac{1}{2}$

(3) (1), (2) の結果から

$$\overrightarrow{LP} = \frac{2}{3}\overrightarrow{OM} = \frac{2}{3}\left(\vec{c} + \frac{3}{4}\vec{d}\right) = \frac{2}{3}\vec{c} + \frac{1}{2}\vec{d}$$

$$\overrightarrow{MQ} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OL} = \frac{1}{2}\left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{d}\right) = \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{4}\vec{d}$$

$\overrightarrow{ON} = \overrightarrow{OL} + \overrightarrow{OM}$ となる点 N をとると, 2 点 P, Q は, それぞれ平行四辺形 $OLNM$ の辺 LN, MN 上にあり

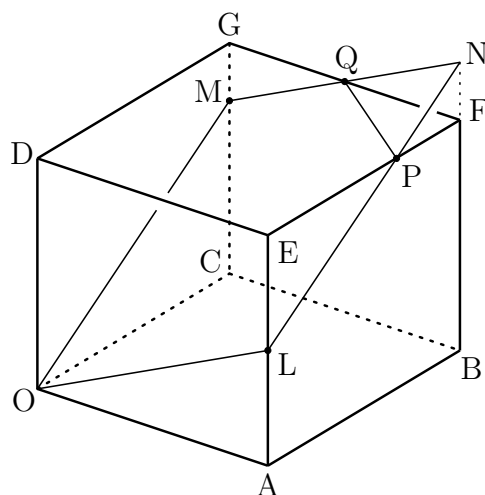
$$LP : PN = EP : PF = 2 : 1, \quad MQ : QN = GQ : QF = 1 : 1$$

したがって, $\triangle NPQ$ の面積は, (2) の結果を用いて

$$\triangle NPQ = \frac{1}{2+1} \cdot \frac{1}{1+1} S_1 = \frac{1}{6} S_1$$

よって, 求める五角形 $OLPQM$ の面積 S_2 は

$$S_2 = 2S_1 - \frac{1}{6}S_1 = \frac{11}{6}S_1 = \frac{11}{6} \cdot \frac{\sqrt{29}}{8} = \frac{11}{48}\sqrt{29}$$



$$(4) \quad \overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OD} = \left(\vec{a} + \frac{1}{2} \vec{d} \right) \cdot \vec{d} = \frac{1}{2}, \quad \overrightarrow{OM} \cdot \overrightarrow{OD} = \left(\vec{c} + \frac{3}{4} \vec{d} \right) \cdot \vec{d} = \frac{3}{4}$$

H は T 上の点であるから, 実数 s, t を用いて

$$\overrightarrow{OH} = s\overrightarrow{OL} + t\overrightarrow{OM} \quad (*)$$

と表されるから

$$\overrightarrow{DH} = \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OD} = s\overrightarrow{OL} + t\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OD}$$

$\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{DH} = 0, \overrightarrow{OM} \cdot \overrightarrow{DH} = 0$ であるから, 上の諸式と (1) の結果から

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{DH} &= \overrightarrow{OL} \cdot (s\overrightarrow{OL} + t\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OD}) \\ &= s|\overrightarrow{OL}|^2 + t\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OD} \\ &= \frac{5}{4}s + \frac{3}{8}t - \frac{1}{2} = 0 \quad \cdots \textcircled{1} \\ \overrightarrow{OM} \cdot \overrightarrow{DH} &= \overrightarrow{OM} \cdot (s\overrightarrow{OL} + t\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{OD}) \\ &= s\overrightarrow{OL} \cdot \overrightarrow{OM} + t|\overrightarrow{OM}|^2 - \overrightarrow{OM} \cdot \overrightarrow{OD} \\ &= \frac{3}{8}s + \frac{25}{16}t - \frac{3}{4} = 0 \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② を解いて $s = \frac{8}{29}, t = \frac{12}{29}$ これを (*) に代入すると

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= \frac{8}{29}\overrightarrow{OL} + \frac{12}{29}\overrightarrow{OM} = \frac{8}{29} \left(\vec{a} + \frac{1}{2} \vec{d} \right) + \frac{12}{29} \left(\vec{c} + \frac{3}{4} \vec{d} \right) \\ &= \frac{8}{29} \vec{a} + \frac{12}{29} \vec{c} + \frac{13}{29} \vec{d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{DH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OD} = \frac{8}{29} \vec{a} + \frac{12}{29} \vec{c} + \frac{13}{29} \vec{d} - \vec{d} \\ &= \frac{4}{29} (2\vec{a} + 3\vec{c} - 4\vec{d}) \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad |\overrightarrow{DH}| = \frac{4}{29} \sqrt{4|\vec{a}|^2 + 9|\vec{c}|^2 + 16|\vec{d}|^2} = \frac{4}{29} \sqrt{29}$$

$$\text{よって} \quad V = \frac{1}{3} S_2 |\overrightarrow{DH}| = \frac{1}{3} \cdot \frac{11}{48} \sqrt{29} \cdot \frac{4}{29} \sqrt{29} = \frac{11}{36}$$

別解 O を原点とする座標空間を考え, その座標を $O(0, 0, 0)$, $A(1, 0, 0)$, $C(0, 1, 0)$, $D(0, 0, 1)$ とすると

$$L\left(1, 0, \frac{1}{2}\right), \quad M\left(0, 1, \frac{3}{4}\right)$$

$\vec{OL}$, $\vec{OM}$ に垂直なベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = (-2, -3, 4)$$

とする. 五角形 $OLPQM$ を xy 平面に正射影した図形の面積を S'_2 とすると

$$S'_2 = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{11}{12}$$

$\vec{n}$ と xy 平面の法ベクトル $\vec{l} = (0, 0, 1)$ となす角を θ とすると

$$\cos \theta = \frac{\vec{n} \cdot \vec{l}}{|\vec{n}| |\vec{l}|} = \frac{4}{\sqrt{29}}$$

このとき, $S'_2 = S_2 |\cos \theta|$ であるから $S_2 = \frac{11}{12} \cdot \frac{\sqrt{29}}{4} = \frac{11}{48} \sqrt{29}$

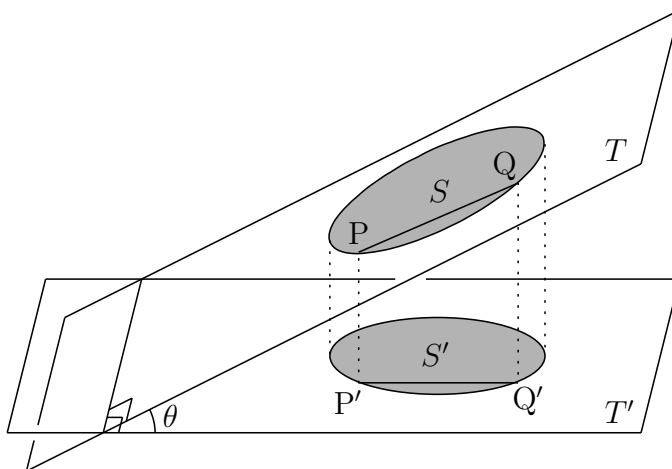
解説 平面 T 上の領域を平面 T' に正射影した領域について, それぞれの領域の面積を S , S' とし, T と T' の法ベクトルがなす角を θ とすると

$$S' = S |\cos \theta|$$

が成立する. T と T' の両方に垂直な面 (直断面) とこれらの領域の共通部分 PQ と $P'Q'$ について

$$P'Q' = PQ |\cos \theta|$$

T 上の領域を T' に正射影すると, その領域は $|\cos \theta|$ だけ縮小される.



ベクトル積

2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ が平行でないとき, ベクトル

$$(a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

は, $\vec{a}$ および $\vec{b}$ に直交する. このベクトルを, $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のベクトル積 (外積) という.

2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ のベクトル積は

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

であり, $\vec{b} \times \vec{a} = -\vec{a} \times \vec{b}$ が成り立つ. また, その大きさについて

$$\begin{aligned} |\vec{a} \times \vec{b}|^2 &= (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2 \\ &= (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)^2 \\ &= |\vec{a}|^2|\vec{b}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2 \end{aligned}$$

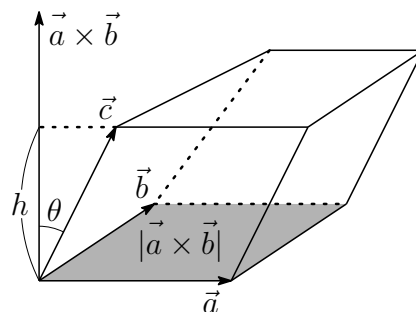
であるから, $\vec{a} \times \vec{b}$ の大きさは, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平行四辺形の面積に等しい.

$\vec{a} \times \vec{b}$ と $\vec{c}$ のなす角を θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) とすると

$$(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c} = |\vec{a} \times \vec{b}||\vec{c}| \cos \theta$$

両辺の絶対値をとると

$$|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |\vec{a} \times \vec{b}||\vec{c}| |\cos \theta|$$



$\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の張る平行六面体について, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平面を底面とすると, $|\vec{c}| \cos \theta$ は, その高さ h であるから, この平行六面体の体積 V_1 は

$$V_1 = |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$$

$\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{b}$, $\vec{OC} = \vec{c}$ とすると

四面体 OABC の体積 V は $V = \frac{1}{6} |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$

また, 対称性により, $|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |(\vec{b} \times \vec{c}) \cdot \vec{a}| = |(\vec{c} \times \vec{a}) \cdot \vec{b}|$ が成り立つ.

本題において $\vec{OL} \times \vec{OM} = \left(-\frac{1}{2}, -\frac{3}{4}, 1\right)$, $(\vec{OL} \times \vec{OM}) \cdot \vec{OD} = 1$

四面体 OLMD の体積は $\frac{1}{6} \cdot 1 = \frac{1}{6}$ $S_1 : S_2 = 1 : \frac{11}{6}$ より $V = \frac{1}{6} \cdot \frac{11}{6} = \frac{11}{36}$ ■

- 5 (1) $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{4}$, $t = \tan \theta$ より $t < 1$

直線 $m_1: y = (\tan \theta)x$ と直線 $x = 1$ の交点の座標は

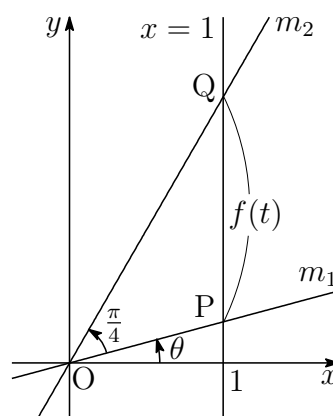
$$P(1, \tan \theta)$$

直線 $m_2: y = \left(\tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)\right)x$ と直線 $x = 1$ の交点の座標は

$$Q\left(1, \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)\right)$$

線分 PQ の長さ $f(t)$ は, $\tan \theta = t$ より

$$\begin{aligned} f(t) &= \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) - \tan \theta = \frac{\tan \theta + \tan \frac{\pi}{4}}{1 - \tan \theta \tan \frac{\pi}{4}} - \tan \theta \\ &= \frac{t+1}{1-t} - t = \frac{1+t^2}{1-t} \end{aligned}$$



- (2) (1) の結果により

$$\theta = -\frac{\pi}{4} \quad \text{すなわち} \quad t = -1 \quad \text{のとき} \quad f(-1) = \frac{1+(-1)^2}{1-(-1)} = 1$$

$$\theta = \frac{\pi}{6} \quad \text{すなわち} \quad t = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{のとき} \quad f\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{1+\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2}{1-\frac{1}{\sqrt{3}}} = \frac{2(3+\sqrt{3})}{3}$$

$$(3) f(t) = \frac{1+t^2}{1-t} = \frac{2-(1-t^2)}{1-t} = \frac{2}{1-t} - (1+t) \quad \text{より}$$

$$f'(t) = \frac{2}{(1-t)^2} - 1 = \frac{2-(1-t)^2}{(1-t)^2} = \frac{(\sqrt{2}+1-t)(\sqrt{2}-1+t)}{(1-t)^2}$$

したがって, $f(t)$ の増減表は

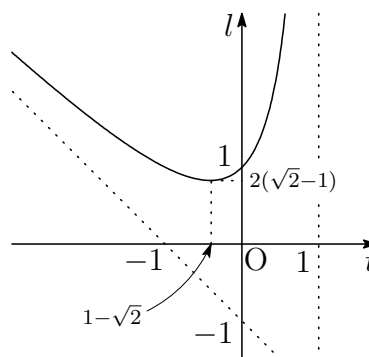
t	$\dots$	$1 - \sqrt{2}$	$\dots$	(1)
$f'(t)$	$-$	0	$+$	
$f(t)$	$\searrow$	$2(\sqrt{2}-1)$	$\nearrow$	

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} \{f(t) - (-t-1)\} = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} f(t) = \infty$$

漸近線は $l = -t - 1$, $t = 1$

よって, $l = f(t)$ のグラフは, 右の図のようになる.



別解 $f(t) = \frac{2}{1-t} - (1+t) = (1-t) + \frac{2}{1-t} - 2$

$t < 1$ より, $1-t > 0$ であるから, 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$f(t) \geq 2\sqrt{(1-t) \cdot \frac{2}{1-t}} - 2 = 2(\sqrt{2} - 1)$$

上式において, 等号が成立するとき, $1-t > 0$ に注意して

$$1-t = \frac{2}{1-t} \quad \text{ゆえに} \quad 1-t = \sqrt{2} \quad \text{すなわち} \quad t = 1 - \sqrt{2}$$

(4) (3) の結果から, $t = 1 - \sqrt{2}$ のとき, $f(t)$ は最小値 $2(\sqrt{2} - 1)$ をとる.

このとき $\tan\left(-\frac{\pi}{8}\right) = 1 - \sqrt{2}$ より $\theta = -\frac{\pi}{8}$

したがって $P\left(1, \tan\left(-\frac{\pi}{8}\right)\right), \quad Q\left(1, \tan\frac{\pi}{8}\right)$

よって $P(1, 1 - \sqrt{2}), \quad Q(1, \sqrt{2} - 1)$

補足 $\tan\frac{\pi}{8} = \sqrt{2} - 1, \tan\left(-\frac{\pi}{8}\right) = 1 - \sqrt{2}$ の値を知らなくても本題の次の計算から θ を求めることもできる.

$$\begin{aligned} \tan\theta &= t = 1 - \sqrt{2}, \\ \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) &= \frac{t+1}{1-t} = \frac{(1-\sqrt{2})+1}{1-(1-\sqrt{2})} = \sqrt{2} - 1 \end{aligned}$$

上の第1式から $\tan(-\theta) = \sqrt{2} - 1$ であるから, これと第2式から

$$\tan(-\theta) = \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{4} \text{ より, } -\frac{\pi}{4} < -\theta < \frac{\pi}{2}, \quad -\frac{\pi}{4} < \theta + \frac{\pi}{4} < \frac{\pi}{2} \text{ であるから}$$

$$-\theta = \theta + \frac{\pi}{4} \quad \text{ゆえに} \quad \theta = -\frac{\pi}{8}, \quad \theta + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{8}$$

したがって, $P(1, \tan\theta), Q\left(1, \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)\right)$ の座標は

$$P(1, 1 - \sqrt{2}), \quad Q(1, \sqrt{2} - 1)$$



6 (1) $t = \tan \theta$ より

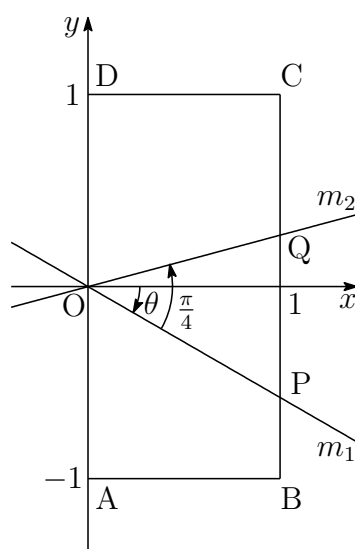
(i) $-\frac{\pi}{4} < \theta \leq 0$ のとき ($-1 < t \leq 0$)

$$\begin{aligned} f(t) &= \tan\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) - \tan \theta \\ &= \frac{\tan \theta + \tan \frac{\pi}{4}}{1 - \tan \theta \tan \frac{\pi}{4}} - \tan \theta = \frac{t+1}{1-t} - t = \frac{1+t^2}{1-t} \end{aligned}$$

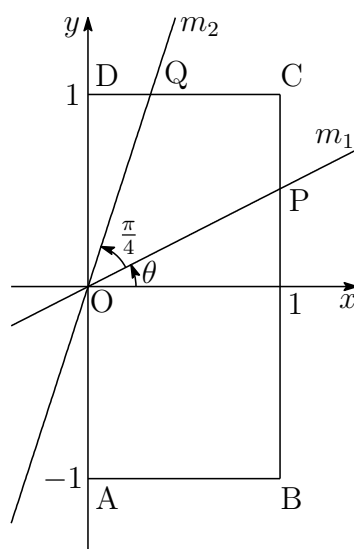
(ii) $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ のとき ($0 < t < 1$), $\angle QOD = \frac{\pi}{4} - \theta$ により

$$\begin{aligned} f(t) &= CP + QC = CP + CD - QD \\ &= (1 - \tan \theta) + 1 - \tan\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) \\ &= 2 - \tan \theta - \frac{\tan \frac{\pi}{4} - \tan \theta}{1 + \tan \frac{\pi}{4} \tan \theta} \\ &= 2 - t - \frac{1-t}{1+t} = \frac{1+2t-t^2}{1+t} \end{aligned}$$

(i) $-\frac{\pi}{4} < \theta \leq 0$ のとき



(ii) $0 < \theta \leq \frac{\pi}{4}$ のとき



(2) $\theta = \frac{\pi}{8}$ のとき, $t = \tan \frac{\pi}{8} = \sqrt{2} - 1$ を (ii) の結果に代入すると

$$f(\sqrt{2} - 1) = \frac{1 + 2(\sqrt{2} - 1) - (\sqrt{2} - 1)^2}{1 + (\sqrt{2} - 1)} = 4 - 2\sqrt{2}$$

補足 $\tan \frac{\pi}{8} = \sqrt{2} - 1$ は, $t = \tan \frac{\pi}{8}$, $-t = \tan(-\frac{\pi}{8})$ より求まる.

$$t = \tan \frac{\pi}{8} = \tan\left(-\frac{\pi}{8} + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\tan(-\frac{\pi}{8}) + \tan \frac{\pi}{4}}{1 - \tan(-\frac{\pi}{8}) \tan \frac{\pi}{4}} = \frac{-t+1}{1+t}$$

$t > 0$ に注意してこれを解くと $t = \sqrt{2} - 1$ ゆえに $t = \tan \frac{\pi}{8} = \sqrt{2} - 1$

(3) (1) の結果から $f(0) = 1$

[1] $t < 0$ のとき, (i) から

$$\frac{f(t) - f(0)}{t} = \frac{1}{t} \left(\frac{1+t^2}{1-t} - 1 \right) = \frac{1+t}{1-t}$$

ゆえに $\lim_{t \rightarrow -0} \frac{f(t) - f(0)}{t} = \lim_{t \rightarrow -0} \frac{1+t}{1-t} = 1$

[2] $t > 0$ のとき, (ii) から

$$\frac{f(t) - f(0)}{t} = \frac{1}{t} \left(\frac{1+2t-t^2}{1+t} - 1 \right) = \frac{1-t}{1+t}$$

ゆえに $\lim_{t \rightarrow +0} \frac{f(t) - f(0)}{t} = \lim_{t \rightarrow +0} \frac{1-t}{1+t} = 1$

[1], [2] より $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{f(t) - f(0)}{t} = 1$

よって, $f(t)$ は, $t = 0$ で微分可能である.

(4) $-1 < t \leq 0$ のとき, $f(t) = -t - 1 + \frac{2}{1-t}$ より

$$f'(t) = -1 + \frac{2}{(1-t)^2} = \frac{(\sqrt{2}+1-t)(\sqrt{2}-1+t)}{(1-t)^2}$$

$0 < t < 1$ のとき, $f(t) = -t + 3 - \frac{2}{1+t}$ より

$$f'(t) = -1 + \frac{2}{(1+t)^2} = \frac{(\sqrt{2}+1+t)(\sqrt{2}-1-t)}{(1+t)^2}$$

したがって, $f(t)$ の増減表は

t	(-1)	$\cdots$	$1 - \sqrt{2}$	$\cdots$	$\sqrt{2} - 1$	$\cdots$	(1)
$f'(t)$		$-$	0	$+$	0	$-$	
$f(t)$		$\searrow$	$2\sqrt{2} - 2$	$\nearrow$	$4 - 2\sqrt{2}$	$\searrow$	

$$\lim_{t \rightarrow -1+0} f(t) = \lim_{t \rightarrow -1+0} \left(-t - 1 + \frac{2}{1-t} \right) = 1$$

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} f(t) = \lim_{t \rightarrow 1-0} \left(-t + 3 - \frac{2}{1+t} \right) = 1$$

よって $t = \sqrt{2} - 1$ すなわち $\theta = \frac{\pi}{8}$ のとき 最大値 $4 - 2\sqrt{2}$

$t = 1 - \sqrt{2}$ すなわち $\theta = -\frac{\pi}{8}$ のとき 最小値 $2\sqrt{2} - 2$



- 7 (1) $f(x) = e^x$ ($x \geq 0$), $g(x) = ax^2$ ($x \geq 0$) より

$$f'(x) = e^x, \quad g'(x) = 2ax$$

2つの曲線 $C_1: y = f(x)$ と $C_2: y = g(x)$ が $x = p$ で接するとき

$$\begin{cases} f(p) = g(p) \\ f'(p) = g'(p) \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad (*) \quad \begin{cases} e^p = ap^2 \\ e^p = 2ap \end{cases}$$

(*) の2式から e^p を消去すると $ap^2 = 2ap$ ゆえに $ap(p-2) = 0$
 $a > 0, p > 0$ であるから $p = 2$ これを (*) の第1式に代入すると

$$e^2 = 4a \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{e^2}{4}$$

C_1 上の点 $P(2, e^2)$ における接線 l の傾きは e^2 であるから, l の方程式は

$$y - e^2 = e^2(x - 2) \quad \text{すなわち} \quad y = e^2(x - 1)$$

(2) (1) の結果から $g(x) = \frac{e^2 x^2}{4}$

$$\begin{aligned} h(x) &= \log f(x) - \log g(x) = \log e^x - \log \frac{e^2 x^2}{4} \\ &= x - 2 \log x - 2 + \log 4 \end{aligned}$$

したがって $h'(x) = 1 - \frac{2}{x} = \frac{x-2}{x}$

x	(0)	...	2	...
$h'(x)$		-	0	+
$h(x)$		↘	0	↗

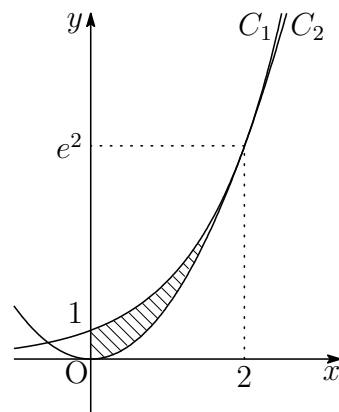
$x > 0$ のとき, $h(x) \geq 0$ であるから

$$\log f(x) - \log g(x) \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad f(x) \geq g(x)$$

また, $f(0) = 1, g(0) = 0$ であるから $x \geq 0$ のとき $f(x) \geq g(x)$

- (3) 求める面積 S は, 右の図の斜線部分の面積であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_0^2 \{f(x) - g(x)\} dx \\ &= \int_0^2 \left(e^x - \frac{e^2 x^2}{4} \right) dx \\ &= \left[e^x - \frac{e^2 x^3}{12} \right]_0^2 = \frac{e^2}{3} - 1 \end{aligned}$$



(4) 求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} V &= 2\pi \int_0^2 x \{f(x) - g(x)\} dx \\ &= 2\pi \int_0^2 \left(xe^x - \frac{e^2 x^3}{4} \right) dx \\ &= 2\pi \left[(x-1)e^x - \frac{e^2 x^4}{16} \right]_0^2 = 2\pi \end{aligned}$$

バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき, $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$

補足 2014 年の長崎大の 8 番で類題が出題されている⁶. ■

8 (1) (*) $z_{n+1} = \frac{z_n - 2}{2z_n - 1}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) について

$$z_{n+1} = z_n \text{ のとき } z_n = \frac{z_n - 2}{2z_n - 1} \quad \text{ゆえに} \quad z_n^2 - z_n + 1 = 0$$

$$\text{これを解いて} \quad z_n = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$$

$$z_{n+1} = -z_n \text{ のとき } -z_n = \frac{z_n - 2}{2z_n - 1} \quad \text{ゆえに} \quad z_n^2 = 1$$

$$\text{これを解いて} \quad z_n = \pm 1$$

(2) $|z_n| = 1$ と仮定すると, (*) より

$$|z_{n+1}|^2 = \frac{|z_n - 2|^2}{|2z_n - 1|^2} = \frac{|z_n|^2 - 2(z_n + \overline{z_n}) + 4}{4|z_n|^2 - 2(z_n + \overline{z_n}) + 1} = \frac{5 - 2(z_n + \overline{z_n})}{5 - 2(z_n + \overline{z_n})} = 1$$

$$\text{したがって} \quad |z_{n+1}| = 1$$

$|z_1| = 1$ であるから, 数学的帰納法により, すべての自然数 n について

$$|z_n| = 1$$

⁶http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/nagasaki/nagasaki_2014.pdf 8 を参照

$$\begin{aligned}
 (3) \quad (*) \text{ より } \quad z_{n+2} &= \frac{z_{n+1} - 2}{2z_{n+1} - 1} = \frac{\frac{z_n - 2}{2z_n - 1} - 2}{2 \cdot \frac{z_n - 2}{2z_n - 1} - 1} \\
 &= \frac{z_n - 2 - 2(2z_n - 1)}{2(z_n - 2) - (2z_n - 1)} = \frac{-3z_n}{-3} = z_n
 \end{aligned}$$

$$\text{したがって } P_{n+1}P_{n+2} = |z_{n+2} - z_{n+1}| = |z_n - z_{n+1}| = P_nP_{n+1}$$

よって、線分 P_nP_{n+1} の長さはすべての n に対して一定である。

(4) (*) および (2) の結果により

$$\begin{aligned}
 z_{n+1} &= \frac{(z_n - 2)(2\bar{z}_n - 1)}{(2z_n - 1)(2\bar{z}_n - 1)} \\
 &= \frac{2|z_n|^2 - z_n - 4\bar{z}_n + 2}{|2z_n - 1|^2} = \frac{-z_n - 4\bar{z}_n + 4}{|2z_n - 1|^2}
 \end{aligned}$$

$z_n = x + yi$ (x, y は実数) であるから

$$\begin{aligned}
 -z_n - 4\bar{z}_n + 4 &= -(x + yi) - 4(x - yi) + 4 \\
 &= (4 - 5x) + 3yi
 \end{aligned} \tag{**}$$

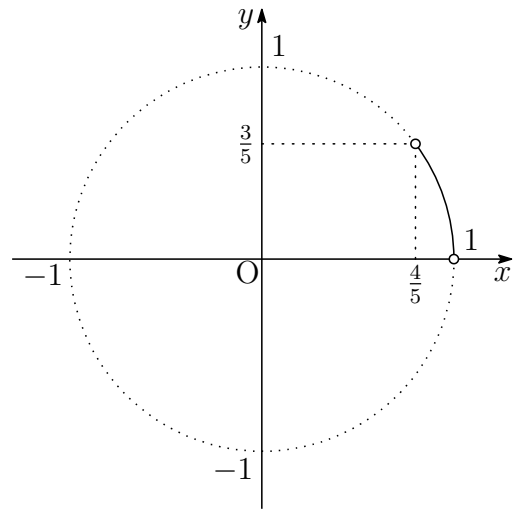
$z_{n+1} = X + Yi$ (X, Y は実数) について、 $X < 0$ かつ $Y > 0$ より

$$4 - 5x < 0 \quad \text{かつ} \quad 3y > 0$$

$$|z_n|^2 = 1 \text{ であるから } x^2 + y^2 = 1$$

$$\text{したがって } \begin{cases} x > \frac{4}{5} \\ y > 0 \\ x^2 + y^2 = 1 \end{cases}$$

よって、点 $P_n(z_n)$ の存在する範囲は、右の図の実線部分である。ただし、端点は含まない。



9 (1) 8 (2) を参照

(2) 8 (3) を参照

(3) 8 (4) を参照

(4) $z_{n+1} = \frac{-z_n - 4\overline{z_n} + 4}{|2z_n - 1|^2}$ および $|z_n| = 1$ より

$$\begin{aligned}\frac{z_{n+1}}{z_n} &= \frac{-z_n - 4\overline{z_n} + 4}{z_n|2z_n - 1|^2} = \frac{\overline{z_n}(-z_n - 4\overline{z_n} + 4)}{|z_n|^2|2z_n - 1|^2} \\ &= \frac{-4(\overline{z_n})^2 + 4\overline{z_n} - 1}{|2z_n - 1|^2}\end{aligned}$$

$|z_n| = |z_{n+1}|$ であるから, $\triangle OP_n P_{n+1}$ が直角三角形であるとき, $\angle P_n OP_{n+1}$ が直角, すなわち, $\frac{z_{n+1}}{z_n}$ が純虚数である. すべての n について $z_{n+2} = z_n$ であるから, $\frac{z_2}{z_1}$ が純虚数であればよい. $z_1 = a + bi$ より

$$\begin{aligned}-4(\overline{z_1})^2 + 4\overline{z_1} - 1 &= -4(a - bi)^2 + 4(a - bi) - 1 \\ &= -4(a^2 - b^2 - 2abi) + 4(a - bi) - 1 \\ &= (-4a^2 + 4b^2 + 4a - 1) + 4(2a - 1)bi\end{aligned}$$

上式が純虚数であることと, $|z_1|^2 = 1$ より ($a > 0, b > 0$)

$$\begin{cases} -4a^2 + 4b^2 + 4a - 1 = 0 & \cdots \textcircled{1} \\ a^2 + b^2 = 1 & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

①, ② から b^2 を消去して整理すると $8a^2 - 4a - 3 = 0$

$$a > 0 \text{ に注意して解くと } a = \frac{1 + \sqrt{7}}{4}$$

$$\text{これを ② に代入して整理すると } b^2 = \frac{8 - 2\sqrt{7}}{16}$$

$$b > 0 \text{ であるから } b = \frac{\sqrt{7} - 1}{4}$$

別解 (***) から y と Y の符号が一致し, $\frac{|z_2|}{|z_1|} = 1$, $\frac{z_2}{z_1}$ が純虚数であるから

$$x > 0, y > 0 \text{ に注意して } \frac{z_2}{z_1} = i \text{ ゆえに } \frac{z_1 - 2}{2z_1 - 1} = iz_1$$

$$\text{整理すると } z_1^2 - \frac{1-i}{2}z_1 - i = 0 \text{ ゆえに } \left(z_1 - \frac{1-i}{4}\right)^2 = \frac{7}{16}(1+i)^2$$

$$\text{したがって } z_1 = \frac{1 \pm \sqrt{7}}{4} + \frac{-1 \pm \sqrt{7}}{4}i \quad (\text{複号同順})$$

$$\text{Re}(z_1) > 0, \text{Im}(z_1) > 0 \text{ であるから } z_1 = \frac{1 + \sqrt{7}}{4} + \frac{-1 + \sqrt{7}}{4}i$$

$$\text{よって } a = \frac{1 + \sqrt{7}}{4}, b = \frac{-1 + \sqrt{7}}{4}$$

■

10 (1) 回転体 T_1 を平面 $y = t$ で切った断面積 $S_1(t)$ について次の場合分けを行う.

(i) $0 \leq t \leq 3 \cos \theta$ のとき, $S_1(t)$ は半径 $t \tan \theta$ の円の面積であるから

$$S_1(t) = \pi(t \tan \theta)^2 = \pi t^2 \tan^2 \theta$$

(ii) $3 \cos \theta \leq t \leq 3$ のとき, $S_1(t)$ は半径 $\sqrt{9 - t^2}$ の円の面積であるから

$$S_1(t) = \pi(\sqrt{9 - t^2})^2 = \pi(9 - t^2)$$

$$(i), (ii) \text{ から } S_1(t) = \begin{cases} \pi t^2 \tan^2 \theta & (0 \leq t \leq 3 \cos \theta) \\ \pi(9 - t^2) & (3 \cos \theta \leq t \leq 3) \end{cases}$$

図 1

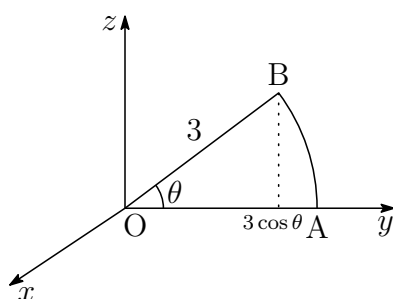
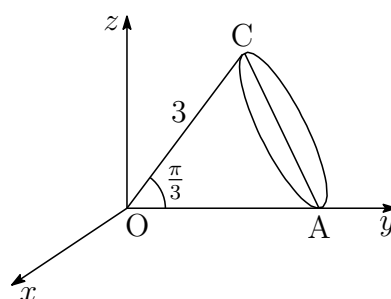


図 2



(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} V_1 &= \int_0^3 S_1(t) dt = \pi \int_0^{3 \cos \theta} t^2 \tan^2 \theta dt + \pi \int_{3 \cos \theta}^3 (9 - t^2) dt \\ &= \pi \left[\frac{t^3 \tan^2 \theta}{3} \right]_0^{3 \cos \theta} + \pi \left[9t - \frac{t^3}{3} \right]_{3 \cos \theta}^3 \\ &= 9\pi \sin^2 \theta \cos \theta + \pi(18 - 27 \cos \theta + 9 \cos^3 \theta) \\ &= 18\pi(1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

別解 $\widehat{AB}$ を O を極とする極方程式を用いて求めると⁷

$$V_1 = \frac{2\pi}{3} \int_0^\theta 3^3 \sin \varphi d\varphi = 18\pi \left[-\cos \varphi \right]_0^\theta = 18\pi(1 - \cos \theta)$$

⁷http://kumamoto.s12.xrea.com/N/KBdai/KBdai_ri_2016.pdf (p.12 を参照)

(3) 回転体 T_2 を平面 $y = t$ で切った断面積 $S_2(t)$ について次の場合分けを行う.

(i) $0 \leq t \leq \frac{3}{2}$ のとき, $S_2(t)$ は半径 $\sqrt{3}t$ の円の面積であるから

$$S_2(t) = \pi(\sqrt{3}t)^2 = 3\pi t^2$$

(ii) $\frac{3}{2} \leq t \leq 3$ のとき, 円錐の底面を xy 平面に正射影した図形は楕円

$$\frac{x^2}{\left(\frac{3}{2}\right)^2} + \frac{\left(y - \frac{9}{4}\right)^2}{\left(\frac{3}{4}\right)^2} = 1$$

$$yz \text{ 平面上の直線 AC は } \frac{y}{3} + \frac{z}{3\sqrt{3}} = 1$$

$y = t$ を上の2式にそれぞれ代入して整理すると

$$x^2 = -4t^2 + 18t - 18, \quad z = 3\sqrt{3} - \sqrt{3}t$$

このとき, $S_2(t)$ の面積は

$$\begin{aligned} S_2(t) &= \pi(x^2 + z^2) \\ &= \pi\{(-4t^2 + 18t - 18) + (3\sqrt{3} - \sqrt{3}t)^2\} = \pi(9 - t^2) \end{aligned}$$

$$(i), (ii) \text{ から } S_2(t) = \begin{cases} 3\pi t^2 & (0 \leq t \leq \frac{3}{2}) \\ \pi(9 - t^2) & (\frac{3}{2} \leq t \leq 3) \end{cases}$$

(4) (3) の結果から

$$\begin{aligned} V_2 &= \int_0^3 S_2(t) dt = \pi \int_0^{\frac{3}{2}} 3t^2 dt + \pi \int_{\frac{3}{2}}^3 (9 - t^2) dt \\ &= \pi \left[t^3 \right]_0^{\frac{3}{2}} + \pi \left[9t - \frac{t^3}{3} \right]_{\frac{3}{2}}^3 = 9\pi \end{aligned}$$

別解 $\widehat{AC}$ を O を極とする極方程式を用いて求めると

$$V_2 = \frac{2\pi}{3} \int_0^{\frac{\pi}{3}} 3^3 \sin \varphi d\varphi = 18\pi \left[-\cos \varphi \right]_0^{\frac{\pi}{3}} = 9\pi$$

(5) (2), (4) の結果から $V_2 - V_1 = 18\pi \left(\cos \theta - \cos \frac{\pi}{3} \right)$

よって $0 < \theta < \frac{\pi}{3}$ のとき $V_2 > V_1$, $\theta = \frac{\pi}{3}$ のとき $V_1 = V_2$,

$\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$ のとき $V_1 > V_2$ ■

11 (1) X_4 の確率分布は

X_4	-4	-2	0	2	4	計
確率	$\frac{1}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{6}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{1}{16}$	1

$$X_4 \text{ の平均は } E(X_4) = -4 \cdot \frac{1}{16} + (-2) \cdot \frac{4}{16} + 0 \cdot \frac{6}{16} + 2 \cdot \frac{4}{16} + 4 \cdot \frac{1}{16} = 0$$

$$E(X_4^2) = (-4)^2 \cdot \frac{1}{16} + (-2)^2 \cdot \frac{4}{16} + 0^2 \cdot \frac{6}{16} + 2^2 \cdot \frac{4}{16} + 4^2 \cdot \frac{1}{16} = 4$$

$$X_4 \text{ の分散は } V(X_4) = E(X_4^2) - E(X_4)^2 = 4 - 0^2 = 4$$

X_5 の確率分布は

X_5	-5	-3	-1	1	3	5	計
確率	$\frac{1}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{10}{32}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{32}$	1

X_5 の平均は

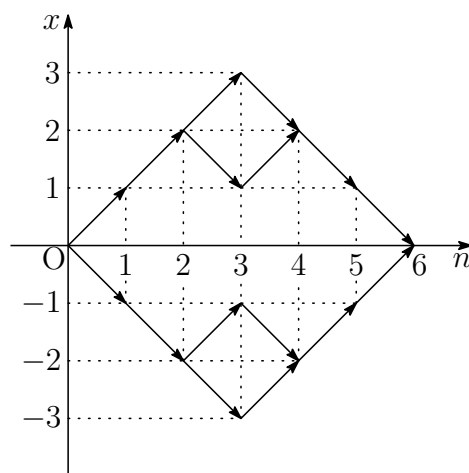
$$E(X_5) = -5 \cdot \frac{1}{32} + (-3) \cdot \frac{5}{32} + (-1) \cdot \frac{10}{32} + 1 \cdot \frac{10}{32} + 3 \cdot \frac{5}{32} + 5 \cdot \frac{1}{32} = 0$$

$$E(X_5^2) = (-5)^2 \cdot \frac{1}{32} + (-3)^2 \cdot \frac{5}{32} + (-1)^2 \cdot \frac{10}{32} + 1^2 \cdot \frac{10}{32} + 3^2 \cdot \frac{5}{32} + 5^2 \cdot \frac{1}{32} = 5$$

$$X_5 \text{ の分散は } V(X_5) = E(X_5^2) - E(X_5)^2 = 5 - 0^2 = 5$$

(2) 6回目で初めて原点に戻るとき、その推移をグラフに示すと、4通りある。よって、求める確率は

$$4 \left(\frac{1}{2} \right)^6 = \frac{1}{16}$$



(3) X_1 の平均は $E(X_1) = -1 \cdot (1-p) + 1 \cdot p = 2p - 1$

$$E(X_1^2) = (-1)^2 \cdot (1-p) + 1^2 \cdot p = 1$$

X_1 の分散は $V(X_1) = E(X_1^2) - E(X_1)^2 = 1 - (2p-1)^2 = 4p(1-p)$

$E(X_n) = E(X_{n-1} + X_1)$, $V(X_n) = V(X_{n-1} + X_1)$ で, X_{n-1} と X_1 は独立であるから

$$E(X_n) = nE(X_1) = n(2p - 1)$$

$$V(X_n) = nV(X_1) = 4np(1-p)$$

(4) 100 回のうち表が x 回出たとすると, 裏が $100 - x$ 回であるから

$$x \cdot 1 + (100 - x) \cdot (-1) = 28 \quad \text{これを解いて} \quad x = 64$$

標本の大きさ $n = 100$, 標本比率 $R = \frac{64}{100}$ とすると, p に対する信頼度 95% の信頼区間は

$$\left[R - 1.96 \sqrt{\frac{R(1-R)}{n}}, R + 1.96 \sqrt{\frac{R(1-R)}{n}} \right]$$

$$\text{ゆえに} \quad \left[0.64 - 1.96 \cdot \frac{48}{1000}, 0.64 + 1.96 \cdot \frac{48}{1000} \right]$$

$$\text{よって} \quad [0.54592, 0.73408]$$



5.8 2022 年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学・歯学・工学部 [2] [3] [4] [5] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [2] [3] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 情報データ科学部 [2] [3] [4] 必答, [5] [8] の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である。各問いに答えよ。

(1) 点 $P(x, y)$ が次の連立不等式

$$x + 2y \leq 6, \quad 3x + y \leq 9, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0$$

の表す領域を動くとき、 $2x + y$ の最大値、およびそのときの P の座標を求めよ。

(2) $0 \leq \theta < \pi$ のとき、次の不等式を満たす θ の値の範囲を求めよ。

$$\cos 2\theta + \sqrt{3} \sin 2\theta \geq 1$$

(3) 以下で定義される数列 $\{a_n\}$ がある。

$$a_1 = 2, \quad a_{n+1} = 2a_n - 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

このとき、一般項 a_n および $\sum_{k=1}^n 2ka_k$ を、それぞれ求めよ。

(4) 母線の長さが 1、高さが h の円錐^{すい}がある。この円錐の体積を $V(h)$ とするとき、 $V(h)$ の最大値、およびそのときの h の値を求めよ。

- 2 空間内の4点 $O(0, 0, 0)$, $A(1, 2, 3)$, $B(1, 1, -1)$, $C(7, 3, 5)$ がある. 直線 OA 上の動点 P に対して, 線分 BP , CP の長さの平方の和 $BP^2 + CP^2$ の最小値と, 線分の長さの和 $BP + CP$ の最小値を求めたい. 以下の問いに答えよ.

- (1) $\overrightarrow{OP} = t\overrightarrow{OA}$ (t は実数) とするとき, $BP^2 + CP^2$ を t の式で表せ.
- (2) $BP^2 + CP^2$ の最小値と, そのときの P の座標を求めよ.
- (3) 2点 B , C から直線 OA に垂線を下ろし, 交点をそれぞれ H , K とするとき, H , K の座標を求めよ. また, 2つのベクトル $\overrightarrow{HB}$, $\overrightarrow{KC}$ のなす角を θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) とするとき, $\cos \theta$ の値を求めよ.
- (4) $BP + CP$ の値が最小となるのは, P が線分 HK をどのような比に分けるときかを説明せよ. また, そのときの P の座標, および $BP + CP$ の値を求めよ.

- 3 以下はそれぞれ個別の問題である. 各問いに答えよ.

- (1) $a > 0$ とする. $a + a^{-1} = 18$ のとき, $a^{\frac{1}{2}} + a^{-\frac{1}{2}}$ および $a^{\frac{1}{3}} + a^{-\frac{1}{3}}$ の値をそれぞれ求めよ.

- (2) 次の方程式

$$\log_{\frac{1}{3}}(9x^2) \cdot \log_3\left(\frac{x}{81}\right) = -12$$

を解け.

- (3) $0 \leq \theta < 2\pi$ のとき, 次の不等式を満たす θ の値の範囲を求めよ.

$$\cos 2\theta + \sqrt{3} \sin 2\theta \geq 1$$

- (4) 次の方程式

$$z^4 = -8 - 8\sqrt{3}i$$

を解け. ただし, i は虚数単位である.

4 自然数 n に対して、以下で定義される x の 2 次関数 $f_n(x)$ がある.

$$f_1(x) = 3x^2$$

$$f_2(x) = 3x^2 + 4x$$

$$\vdots$$

$$f_{n+2}(x) = 3x^2 + 4x \int_0^1 f_{n+1}(t) dt - \int_0^1 f_n(t) dt \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$a_n = \int_0^1 f_n(t) dt$ とおくとき、以下の問いに答えよ.

- (1) a_1, a_2 の値を、それぞれ求めよ.
- (2) a_{n+2} を、 a_{n+1} と a_n を用いて表せ.
- (3) $b_n = a_{n+1} - a_n$ とする. b_n と a_n を、それぞれ n の式で表し、2 次関数 $f_n(x)$ を求めよ.
- (4) $x = \alpha$ で、 $f_{n+1}(x) - f_n(x)$ は、すべての自然数 n に対して一定の値 β をとる. このとき、 α と β の値を求めよ. また、2 つの曲線 $y = f_n(x)$ と $y = f_{n+1}(x)$ 、および直線 $x = \alpha$ で囲まれる図形の面積 S_n を求めよ.

5 曲線 $C: y = e^x$ 上の点 $P(t, e^t)$ における接線を l とする. ただし、 $0 < t < 1$ である. 以下の問いに答えよ.

- (1) l の方程式を求めよ. また、 l と y 軸との交点を Q とし、 l と x 軸との交点を R とする. このとき、2 点 Q, R の座標を、それぞれ求めよ.
- (2) 不定積分 $\int \log x dx$ および $\int (\log x)^2 dx$ を、それぞれ求めよ.
- (3) l と x 軸および y 軸で囲まれた図形を D_1 とし、これを y 軸の周りに 1 回転してできる回転体の体積を $V_1(t)$ とする. 同様に、 C と l および y 軸で囲まれた図形を D_2 とし、これを y 軸の周りに 1 回転してできる回転体の体積を $V_2(t)$ とする. このとき、 $V_1(t)$ と $V_2(t)$ を、それぞれ t を用いて表せ.
- (4) $V(t) = V_1(t) + V_2(t)$ とするとき、 $V(t)$ の最小値、およびそのときの t の値を求めよ.

6 原点を O とする xy 座標平面上に、楕円 $C: \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ($a > b > 0$) と、 C 上を動く点 $P(a \cos \alpha, b \sin \alpha)$ ($0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$) がある。以下の問いに答えよ。

- (1) C の方程式の両辺を x で微分し、 P における C の接線の傾きを求めよ。また、この接線の方程式は $\frac{\cos \alpha}{a}x + \frac{\sin \alpha}{b}y = 1$ であることを示せ。
- (2) P における C の接線と x 軸および y 軸とで囲まれる三角形の面積 S の最小値を求めよ。また、このときの P を点 Q とし、 Q における C の接線を l とする。 Q の座標および l の方程式を、 a, b を用いて表せ。
- (3) C 上の点 $R(a \cos \beta, b \sin \beta)$ ($\frac{\pi}{2} < \beta < \pi$) における接線 m が、(2) で求めた l と垂直に交わるものとし、その交点を A とする。このとき、 $\tan \beta$ の値および R の座標を、 a, b を用いて表せ。
- (4) (2) と (3) における Q, R, A について、線分 OQ, OR, OA の長さの平方 OQ^2, OR^2, OA^2 をそれぞれ a, b を用いて表し、線分 OQ, OR, OA の長さの大小を比較せよ。

7 自然数 n に対して、 $I_n = \int_1^e (\log x)^n dx$ とする。ただし、 e は自然対数の底であり、無理数である。以下の問いに答えよ。

- (1) I_1, I_2 の値を、それぞれ求めよ。また、 I_{n+1} を I_n を用いて表せ。
- (2) a および b を有理数とする。 $a + be = 0$ ならば $a = 0$ かつ $b = 0$ であることを、背理法を用いて証明せよ。
- (3) すべての n に対して、 $I_n = A_n + B_n e$ (A_n, B_n は有理数) と表すことができる。このことを数学的帰納法を用いて証明せよ。
- (4) (3) における A_n に対して、 $C_n = \frac{A_n}{(-1)^{n+1}n!}$ とする。このとき、 C_n および A_n を、それぞれ n を用いて表せ。
- (5) (3) における B_n は、 $B_n = 1 + \sum_{i=1}^n (-1)^i {}_n P_i$ であることを数学的帰納法を用いて証明し、 I_5 の値を求めよ。
ただし、 ${}_n P_r = \frac{n!}{(n-r)!}$ (r は $r \leq n$ の自然数) であり、 $0! = 1$ とする。

- 8 動点 P は数直線上の座標 1 あるいは -1 にある. 表が出る確率 p ($0 < p < 1$), 裏が出る確率 $1 - p$ のコインを投げ, その結果により P に以下のような操作を行う.

操作

- 表が出たとき, P が 1 にあれば -1 に, -1 にあれば 1 に移動させる.
- 裏が出たとき, P は動かさない.

コインを n 回投げたときの P の座標を X_n とし, $X_n = 1$ となる確率を q_n とする. 最初に P は 1 にあるものとして, 以下の問いに答えよ.

- (1) q_1, q_2, q_3 を, それぞれ p を用いて表せ.
- (2) q_{n+1} を p と q_n を用いて表せ.
- (3) q_n を p と n を用いて表せ.
- (4) 確率変数 X_n の平均 $E(X_n)$, 分散 $V(X_n)$, 標準偏差 $\sigma(X_n)$ を, それぞれ p と n を用いて表せ.

解答例

1 (1) 連立不等式

$$x + 2y \leq 6, \quad 3x + y \leq 9, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0$$

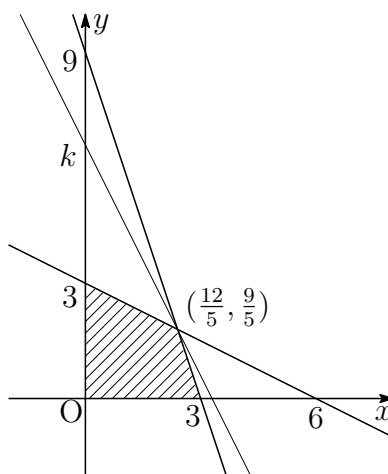
の表す領域は、右図の境界を含む斜線部分.

境界線 $x + 2y = 6$, $3x + y = 9$ の交点は

$$\left(\frac{12}{5}, \frac{9}{5}\right)$$

$2x + y = k$ とおくと、直線 $y = -2x + k$ がこの領域を通るとき、 k が最大となるのは、上の交点を通るときである.

したがって $P\left(\frac{12}{5}, \frac{9}{5}\right)$ で、 k は最大値 $\frac{33}{5}$ をとる.

(2) 不等式 $\cos 2\theta + \sqrt{3}\sin 2\theta \geq 1$ ($0 \leq \theta < \pi$) より

$$\sin\left(2\theta + \frac{\pi}{6}\right) \geq \frac{1}{2}, \quad \frac{\pi}{6} \leq 2\theta + \frac{\pi}{6} < 2\pi + \frac{\pi}{6}$$

したがって $\frac{\pi}{6} \leq 2\theta + \frac{\pi}{6} \leq \frac{5\pi}{6}$ よって $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}$

(3) $a_1 = 2$, $a_{n+1} = 2a_n - 1$ より $a_{n+1} - 1 = 2(a_n - 1)$

$\{a_n - 1\}$ は初項 $a_1 - 1 = 1$, 公比 2 の等比数列であるから

$$a_n - 1 = 1 \cdot 2^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 2^{n-1} + 1$$

これから $2ka_k = 2k(2^{k-1} + 1) = k2^k + 2k \quad \dots \textcircled{1}$

ここで、 $(k+1)2^{k+1} - k2^k = k2^k + 2^{k+1}$ より

$$k2^k = \{(k+1)2^{k+1} - k2^k\} - 2^{k+1} \quad \dots \textcircled{2}$$

①, ② より、 $2ka_k = \{(k+1)2^{k+1} - k2^k\} - 2^{k+1} + 2k$ であるから

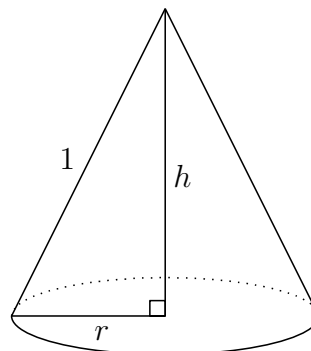
$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n 2ka_k &= \sum_{k=1}^n \{(k+1)2^{k+1} - k2^k\} - \sum_{k=1}^n 2^{k+1} + \sum_{k=1}^n 2k \\ &= (n+1)2^{n+1} - 2 - \frac{4(2^n - 1)}{2 - 1} + n(n+1) \\ &= (n-1)2^{n+1} + n^2 + n + 2 \end{aligned}$$

(4) 円錐の底面の半径を r とすると

$$r^2 = 1 - h^2 \quad (0 < h < 1)$$

したがって

$$\begin{aligned} V(h) &= \frac{\pi}{3} r^2 h = \frac{\pi}{3} (1 - h^2) h \\ &= \frac{\pi}{3} (h - h^3) \end{aligned}$$



$$V(h) \text{ を微分すると } V'(h) = \frac{\pi}{3} (1 - 3h^2)$$

これから $V(h)$ の増減表は

h	(0)	$\cdots$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\cdots$	(1)
$V'(h)$		+	0	-	
$V(h)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	

$$\text{よって } h = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ のとき, 最大値 } V\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{2\sqrt{3}}{27}\pi$$

■

2 (1) $\overrightarrow{OP} = t\overrightarrow{OA} = t(1, 2, 3)$, $\overrightarrow{OB} = (1, 1, -1)$, $\overrightarrow{OC} = (7, 3, 5)$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{BP} &= \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OB} = (t-1, 2t-1, 3t+1), \\ \overrightarrow{CP} &= \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OC} = (t-7, 2t-3, 3t-5) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} BP^2 + CP^2 &= |\overrightarrow{BP}|^2 + |\overrightarrow{CP}|^2 \\ &= (t-1)^2 + (2t-1)^2 + (3t+1)^2 \\ &\quad + (t-7)^2 + (2t-3)^2 + (3t-5)^2 \\ &= 28t^2 - 56t + 86 \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から $BP^2 + CP^2 = 28(t-1)^2 + 58$

よって $t=1$, すなわち, $\mathbf{P}(1, 2, 3)$ のとき, 最小値 **58** をとる.

$$(3) \quad \overrightarrow{OH} = \frac{\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OA}}{|\overrightarrow{OA}|^2} \overrightarrow{OA}, \quad \overrightarrow{OK} = \frac{\overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA}}{|\overrightarrow{OA}|^2} \overrightarrow{OA} \text{ であるから }^8$$

$$|\overrightarrow{OA}|^2 = 14, \quad \overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OA} = 0, \quad \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA} = 28$$

$$\text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OH} = \vec{0}, \quad \overrightarrow{OK} = 2\overrightarrow{OA} = 2(1, 2, 3)$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{H}(0, 0, 0), \mathbf{K}(2, 4, 6)$$

$$\text{また} \quad \overrightarrow{HB} = \overrightarrow{OB} = (1, 1, -1), \quad \overrightarrow{KC} = \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OK} = (5, -1, -1)$$

したがって, $\overrightarrow{HB}$, $\overrightarrow{KC}$ のなす角 θ は

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{HB} \cdot \overrightarrow{KC}}{|\overrightarrow{HB}| |\overrightarrow{KC}|} = \frac{1 \cdot 5 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1)}{\sqrt{3} \cdot 3\sqrt{3}} = \frac{5}{9}$$

(4) BP + CP の値が最小となるとき, $\triangle BPH \sim \triangle CPK$ であるから

$$|\overrightarrow{HB}| : |\overrightarrow{KC}| = \sqrt{3} : 3\sqrt{3} = 1 : 3 \quad \text{ゆえに} \quad HP : PK = 1 : 3$$

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{1+3} \overrightarrow{OK} = \frac{1}{4} \cdot 2\overrightarrow{OA} = \frac{1}{2} \overrightarrow{OA} \text{ であるから} \quad \mathbf{P} \left(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} BP^2 &= OB^2 + OP^2 = OB^2 + \left(\frac{1}{2} OA \right)^2 \\ &= 3 + \frac{1}{4} \cdot 14 = \frac{26}{4} \quad \text{ゆえに} \quad BP = \frac{\sqrt{26}}{2} \end{aligned}$$

$$CP = 3BP \text{ であるから} \quad BP + CP = 4BP = 4 \cdot \frac{\sqrt{26}}{2} = 2\sqrt{26} \quad \blacksquare$$

3 (1) $(a^{\frac{1}{2}} + a^{-\frac{1}{2}})^2 = a + a^{-1} + 2 = 18 + 2 = 20$

$$a^{\frac{1}{2}} + a^{-\frac{1}{2}} > 0 \text{ であるから} \quad a^{\frac{1}{2}} + a^{-\frac{1}{2}} = 2\sqrt{5}$$

$$(a^{\frac{1}{3}} + a^{-\frac{1}{3}})^3 - 3(a^{\frac{1}{3}} + a^{-\frac{1}{3}}) = a + a^{-1} = 18 \text{ より, } x = a^{\frac{1}{3}} + a^{-\frac{1}{3}} \text{ とおくと}$$

$$x^3 - 3x = 18 \quad \text{ゆえに} \quad (x-3)(x^2 + 3x + 6) = 0$$

$$x > 0 \text{ であるから} \quad x = 3 \quad \text{よって} \quad a^{\frac{1}{3}} + a^{-\frac{1}{3}} = 3$$

⁸<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-ri.2017.pdf> (p.5 の補足を参照)

$$(2) \quad (*) \quad \log_{\frac{1}{3}}(9x^2) \cdot \log_3\left(\frac{x}{81}\right) = -12$$

真数は正であるから

$$9x^2 > 0 \quad \text{かつ} \quad \frac{x}{81} > 0 \quad \text{すなわち} \quad x > 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$(*) \text{ を変形すると } -(2\log_3 x + 2)(\log_3 x - 4) = -12$$

$$(\log_3 x)^2 - 3\log_3 x - 10 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (\log_3 x + 2)(\log_3 x - 5) = 0$$

$$\text{したがって} \quad \log_3 x = -2, 5 \quad \textcircled{1} \text{ に注意して} \quad x = \frac{1}{9}, 243$$

$$(3) \quad \text{不等式 } \cos 2\theta + \sqrt{3}\sin 2\theta \geq 1 \quad (0 \leq \theta < 2\pi) \text{ より}$$

$$\sin\left(2\theta + \frac{\pi}{6}\right) \geq \frac{1}{2}, \quad \frac{\pi}{6} \leq 2\theta + \frac{\pi}{6} < 4\pi + \frac{\pi}{6}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{\pi}{6} \leq 2\theta + \frac{\pi}{6} \leq \frac{5\pi}{6}, \quad 2\pi + \frac{\pi}{6} \leq 2\theta + \frac{\pi}{6} \leq 2\pi + \frac{5\pi}{6}$$

$$\text{よって} \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{3}, \quad \pi \leq \theta \leq \frac{4\pi}{3}$$

$$(4) \quad z^4 = -8 - 8\sqrt{3}i = 16\left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i\right) = 2^4\left(\cos \frac{4\pi}{3} + i\sin \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$|z| = 2, \quad 4\arg z = \frac{4\pi}{3} + 2k\pi \quad \text{ゆえに} \quad \arg z = \frac{\pi}{3} + \frac{k}{2}\pi$$

$$0 \leq \arg z < 2\pi \text{ であるから } k = 0, 1, 2, 3$$

$$\text{したがって} \quad |z| = 2, \quad \arg z = \frac{\pi}{3}, \frac{5\pi}{6}, \frac{4\pi}{3}, \frac{11\pi}{6}$$

$$\text{よって} \quad z = 1 + \sqrt{3}i, \quad -\sqrt{3} + i, \quad -1 - \sqrt{3}i, \quad \sqrt{3} - i \quad \blacksquare$$

4 (1) 漸化式から

$$a_1 = \int_0^1 f_1(t) dt = \int_0^1 3t^2 dt = \left[t^3 \right]_0^1 = 1$$

$$a_2 = \int_0^1 f_2(t) dt = \int_0^1 (3t^2 + 4t) dt = \left[t^3 + 2t^2 \right]_0^1 = 3$$

(2) (*) $f_{n+2}(x) = 3x^2 + 4a_{n+1}x - a_n$ であるから

$$\begin{aligned} a_{n+2} &= \int_0^1 f_{n+2}(t) dt = \int_0^1 (3t^2 + 4a_{n+1}t - a_n) dt \\ &= \left[t^3 + 2a_{n+1}t^2 - a_nt \right]_0^1 \\ &= 1 + 2a_{n+1} - a_n \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から $a_{n+2} - a_{n+1} = a_{n+1} - a_n + 1$ ゆえに $b_{n+1} = b_n + 1$
 $\{b_n\}$ は初項 $b_1 = a_2 - a_1 = 3 - 1 = 2$, 公差 1 の等差数列であるから

$$b_n = 2 + 1(n-1) = n + 1$$

$a_{n+1} - a_n = n + 1$ であるから, $n \geq 2$ のとき

$$\sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) = \sum_{k=1}^{n-1} (k + 1)$$

ゆえに $a_n - 1 = \frac{1}{2}(n-1)(n+2)$ 整理すると $a_n = \frac{1}{2}n(n+1)$

これは, $n = 1$ のときも成立するから $a_n = \frac{1}{2}n(n+1)$

$n \geq 3$ のとき, これを (*) に代入すると

$$f_n(x) = 3x^2 + 2(n-1)nx - \frac{1}{2}(n-2)(n-1)$$

上式は, $n = 1, 2$ のときも成立するから

$$f_n(x) = 3x^2 + 2(n-1)nx - \frac{1}{2}(n-2)(n-1)$$

(4) (3) の結果から

$$\begin{aligned}
 (**) \quad f_{n+1}(x) - f_n(x) &= 2\{n(n+1) - (n-1)n\}x \\
 &\quad - \frac{1}{2}\{(n-1)n - (n-2)(n-1)\} \\
 &= 4nx - (n-1) \\
 &= n(4x-1) + 1
 \end{aligned}$$

$x = \frac{1}{4}$ のとき, すべての自然数 n に対して, 上式は 1 であるから

$$\alpha = \frac{1}{4}, \quad \beta = 1$$

$g_n(x) = f_{n+1}(x) - f_n(x)$ とおくと, (**) より, $g_n(x)$ は 1 次関数であり, $g_n(x) = 0$ の解を γ とすると

$$\gamma = \frac{1}{4} - \frac{1}{4n} = \alpha - \frac{1}{4n} \quad \text{ゆえに} \quad \alpha - \gamma = \frac{1}{4n}$$

$$g_n(\alpha) = 1 \text{ より } S_n = \frac{1}{2}(\alpha - \gamma)g_n(\alpha) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4n} \cdot 1 = \frac{1}{8n}$$

補足 $g_n(\alpha) \geq 0, g_n(\gamma) \geq 0$ のとき $S_n = \frac{1}{2}|\alpha - \gamma|\{g_n(\alpha) + g_n(\gamma)\}$ ■

- 5 (1) $C: y = e^x$ を微分すると $y' = e^x$
 C 上の点 $P(t, e^t)$ における接線 l は

$$y - e^t = e^t(x - t)$$

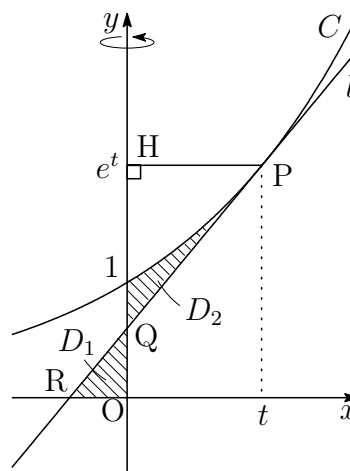
$$\text{すなわち } y = e^t(x - t + 1)$$

$x = 0$ のとき, $y = e^t(1 - t)$ であるから

$$Q(0, e^t(1 - t))$$

$y = 0$ のとき, $x = t - 1$ であるから

$$R(t - 1, 0)$$



- (2) 部分積分法により

$$\begin{aligned} \int \log x \, dx &= \int (x)' \log x \, dx = x \log x - \int dx \\ &= x(\log x - 1) + C_1 \quad (C_1 \text{ は積分定数}), \\ \int (\log x)^2 \, dx &= \int (x)' (\log x)^2 \, dx = x(\log x)^2 - 2 \int \log x \, dx \\ &= x(\log x)^2 - 2x(\log x - 1) + C_2 \\ &= x\{(\log x)^2 - 2 \log x + 2\} + C_2 \quad (C_2 \text{ は積分定数}) \end{aligned}$$

別解 $t = \log x$ とおくと, $x = e^t$, $\frac{dx}{dt} = e^t$ であるから

$$\begin{aligned} \int \log x \, dx &= \int e^t t \, dt = e^t \{t - (t)'\} + C_1 \\ &= e^t(t - 1) + C_1 \\ &= x(\log x - 1) + C_1, \\ \int (\log x)^2 \, dx &= \int e^t t^2 \, dt = e^t \{t^2 - (t^2)' + (t^2)''\} + C_2 \\ &= e^t(t^2 - 2t + 2) + C_2 \\ &= x\{(\log x)^2 - 2 \log x + 2\} + C_2 \end{aligned}$$

ここでは, 次の積分公式を利用している⁹.

$$\begin{aligned} \int e^{px} f(x) \, dx &= \frac{e^{px}}{p} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} - \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C \\ \int e^x f(x) \, dx &= e^x \{f(x) - f'(x) + f''(x) - f'''(x) + \cdots\} + C \end{aligned}$$

⁹<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-math.2015-kouki.pdf> (p.7 を参照)

(3) $V_1(t)$, $V_2(t)$ の体積は, 前ページの図から ($C: x = \log y$)

$$\begin{aligned}
 V_1(t) &= \frac{1}{3}\pi OR^2 \cdot OQ \\
 &= \frac{\pi}{3}(1-t)^2 \cdot e^t(1-t) = \frac{\pi}{3}e^t(1-t)^3, \\
 V_2(t) &= \frac{1}{3}\pi PH^2 \cdot QH - \pi \int_1^{e^t} (\log y)^2 dy \\
 &= \frac{\pi}{3}t^2 \cdot \{e^t - e^t(1-t)\} - \pi \left[y\{(\log y)^2 - 2\log y + 2\} \right]_1^{e^t} \\
 &= \frac{\pi}{3}e^t t^3 - \pi\{e^t(t^2 - 2t + 2) - 2\} \\
 &= \pi \left\{ e^t \left(\frac{t^3}{3} - t^2 + 2t - 2 \right) + 2 \right\}
 \end{aligned}$$

別解 バウムクーヘン型の求積法を用いると¹⁰, D_2 を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積 $V_2(t)$ は, $C: y = e^x$, $l: y = e^t x + (1-t)e^t$ より

$$\begin{aligned}
 \frac{V_2(t)}{2\pi} &= \int_0^t x\{e^x - e^t x - (1-t)e^t\} dx \\
 &= \left[e^x(x-1) - \frac{1}{3}e^t x^3 - \frac{1}{2}(1-t)e^t x^2 \right]_0^t \\
 &= e^t \left(\frac{t^3}{6} - \frac{t^2}{2} + t - 1 \right) + 1
 \end{aligned}$$

(4) (3) の結果から

$$\begin{aligned}
 V(t) &= V_1(t) + V_2(t) = \frac{\pi}{3}e^t(1-t)^3 + \pi \left\{ e^t \left(\frac{t^3}{3} - t^2 + 2t - 2 \right) + 2 \right\} \\
 &= \pi \left\{ e^t \left(t - \frac{5}{3} \right) + 2 \right\}, \\
 V'(t) &= e^t \left(t - \frac{2}{3} \right)
 \end{aligned}$$

$0 < t < 1$ における $V(t)$ の増減表は

t	(0)	$\dots$	$\frac{2}{3}$	$\dots$	1
$V'(t)$		$-$	0	$+$	
$V(t)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

よって, $V(t)$ は $t = \frac{2}{3}$ のとき, 最小値 $V\left(\frac{2}{3}\right) = \pi(2 - e^{\frac{2}{3}})$ をとる. ■

¹⁰<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/kumadai.i.2016.pdf> [2]

- 6 (1) $C: \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ の両辺を x で微分すると ($y \neq 0$)

$$\frac{2x}{a^2} + \frac{2yy'}{b^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y' = -\frac{b^2x}{a^2y}$$

C 上の点 $P(a \cos \alpha, b \sin \alpha)$ における接線の傾きは, $b \sin \alpha \neq 0$ に注意して

$$y' = -\frac{b^2 \cdot a \cos \alpha}{a^2 \cdot b \sin \alpha} = -\frac{b \cos \alpha}{a \sin \alpha}$$

したがって, C 上の点 P における接線 l の方程式は

$$y - b \sin \alpha = -\frac{b \cos \alpha}{a \sin \alpha}(x - a \cos \alpha)$$

両辺に $\frac{\sin \alpha}{b}$ を掛けると $\frac{\sin \alpha}{b}(y - b \sin \alpha) = -\frac{\cos \alpha}{a}(x - a \cos \alpha)$

整理すると $\frac{\cos \alpha}{a}x + \frac{\sin \alpha}{b}y = 1$

- (2) (1) で示した接線の x 切片, y 切片がそれぞれ, $\frac{a}{\cos \alpha}, \frac{b}{\sin \alpha}$ であるから

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{\cos \alpha} \cdot \frac{b}{\sin \alpha} = \frac{ab}{\sin 2\alpha} \geq ab \quad \left(0 < \alpha < \frac{\pi}{2}\right)$$

$\alpha = \frac{\pi}{4}$ で S は最小値 ab をとる. $Q\left(\frac{a}{\sqrt{2}}, \frac{b}{\sqrt{2}}\right), l: \frac{x}{\sqrt{2}a} + \frac{y}{\sqrt{2}b} = 1$

- (3) C 上の点 $R(a \cos \beta, b \sin \beta)$ ($\frac{\pi}{2} < \beta < \pi$) における接線 m は

$$\frac{\cos \beta}{a}x + \frac{\sin \beta}{b}y = 1$$

2直線 l, m の法線ベクトルは, それぞれ $\left(\frac{1}{\sqrt{2}a}, \frac{1}{\sqrt{2}b}\right), \left(\frac{\cos \beta}{a}, \frac{\sin \beta}{b}\right)$ であり, これらは垂直であるから

$$\frac{\cos \beta}{\sqrt{2}a^2} + \frac{\sin \beta}{\sqrt{2}b^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \tan \beta = -\frac{b^2}{a^2}$$

このとき $\frac{1}{\cos^2 \beta} = 1 + \tan^2 \beta = \frac{a^4 + b^4}{a^4}, \frac{1}{\sin^2 \beta} = 1 + \frac{1}{\tan^2 \beta} = \frac{a^4 + b^4}{b^4}$

$\frac{\pi}{2} < \beta < \pi$ より, $\cos \beta = -\frac{a^2}{\sqrt{a^4 + b^4}}, \sin \beta = \frac{b^2}{\sqrt{a^4 + b^4}}$ であるから

$$R\left(-\frac{a^3}{\sqrt{a^4 + b^4}}, \frac{b^3}{\sqrt{a^4 + b^4}}\right)$$

(4) (2) の結果から, l の方程式は

$$l : bx + ay = \sqrt{2ab}$$

また, (3) の結果から, m の方程式は

$$m : -ax + by = \sqrt{a^4 + b^4}$$

これらの 2 式から, l と m の交点 $A(x, y)$ について

$$\begin{aligned}(bx + ay)^2 + (-ax + by)^2 &= (\sqrt{2ab})^2 + (\sqrt{a^4 + b^4})^2 \\ (a^2 + b^2)(x^2 + y^2) &= (a^2 + b^2)^2 \\ x^2 + y^2 &= a^2 + b^2 \\ \mathbf{OA^2} &= \mathbf{a^2 + b^2}\end{aligned}$$

また, (2), (3) の結果から

$$\mathbf{OQ^2 = \frac{a^2 + b^2}{2}}, \quad \mathbf{OR^2 = \frac{a^6 + b^6}{a^4 + b^4}}$$

以上の結果から

$$\begin{aligned}\mathbf{OA^2 - OR^2} &= a^2 + b^2 - \frac{a^6 + b^6}{a^4 + b^4} = \frac{a^2 b^2 (a^2 + b^2)}{a^4 + b^4} > 0, \\ \mathbf{OR^2 - OQ^2} &= \frac{a^6 + b^6}{a^4 + b^4} - \frac{a^2 + b^2}{2} = \frac{(a^2 + b^2)(a^2 - b^2)^2}{2(a^4 + b^4)} > 0\end{aligned}$$

したがって $\mathbf{OA^2 > OR^2 > OQ^2}$ よって $\mathbf{OA > OR > OQ}$ ■

7 (1) $I_n = \int_1^e (\log x)^n dx$ より (n は自然数)

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_1^e \log x dx = \left[x(\log x - 1) \right]_1^e = 1, \\ I_2 &= \int_1^e (\log x)^2 dx = \left[x\{(\log x)^2 - 2\log x + 2\} \right]_1^e = e - 2, \\ I_{n+1} &= \int_1^e (x)'(\log x)^{n+1} dx \\ &= \left[x(\log x)^{n+1} \right]_1^e - (n+1) \int_1^e (\log x)^n dx \\ &= e - (n+1)I_n \end{aligned}$$

(2) $a + be = 0$ について (a, b は有理数), $b \neq 0$ とすると

$$e = -\frac{a}{b}$$

上式の左辺は無理数, 右辺は有理数であるから, 不合理.

$b = 0$ であるから, これを $a + be = 0$ に代入すると $a = 0$

よって, $a + be = 0$ ならば (a, b は有理数), $a = 0$ かつ $b = 0$

(3) (*) $I_n = A_n + B_n e$ (A_n, B_n は有理数)

[1] $n = 1$ のとき, $I_1 = 1 + 0 \cdot e$ より, (*) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (*) が成立する, すなわち,

$$I_k = A_k + B_k e \quad (A_k, B_k \text{ は有理数})$$

であると仮定すると, (1) で示した漸化式により

$$\begin{aligned} I_{k+1} &= e - (k+1)I_k = e - (k+1)(A_k + B_k e) \\ &= -(k+1)A_k + \{1 - (k+1)B_k\}e \end{aligned}$$

これから

$$A_{k+1} = -(k+1)A_k, \quad B_{k+1} = 1 - (k+1)B_k \quad (**)$$

とおくと, A_{k+1}, B_{k+1} は有理数であるから, $n = k+1$ のときも (*) は成立する.

[1], [2] により, すべての自然数 n について, (*) は成立する.

(4) (**) の第 1 式の両辺を $(-1)^{k+1}(k+1)!$ で割ると

$$\frac{A_{k+1}}{(-1)^k(k+1)!} = \frac{A_k}{(-1)^k k!} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{A_n}{(-1)^n n!} = \frac{A_1}{(-1)^1 1!}$$

$$A_1 = 1 \text{ であるから } A_n = (-1)^{n+1} n! \quad \text{また} \quad C_n = \frac{A_n}{(-1)^{n+1} n!} = 1$$

$$(5) \text{ (＃) } B_n = 1 + \sum_{i=1}^n (-1)^i {}_n P_i$$

[1] $n = 1$ のとき, $I_1 = 1 + 0 \cdot e$ より, $B_1 = 0$

$$\text{(＃) より } B_1 = 1 + \sum_{i=1}^1 (-1)^i {}_1 P_i = 1 + (-1) = 0$$

よって, $n = 1$ のとき, (＃) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (＃) が成立する, すなわち

$$B_k = 1 + \sum_{i=1}^k (-1)^i {}_k P_i$$

が成り立つと仮定すると, (**) の第 2 式から

$$\begin{aligned} B_{k+1} &= 1 - (k+1)B_k \\ &= 1 - (k+1) \left\{ 1 + \sum_{i=1}^k (-1)^i {}_k P_i \right\} \\ &= 1 + (-1)^1 {}_{k+1} P_1 + \sum_{i=1}^k (-1)^{i+1} {}_{k+1} P_{i+1} \\ &= 1 + (-1)^1 {}_{k+1} P_1 + \sum_{i=2}^{k+1} (-1)^i {}_{k+1} P_i = 1 + \sum_{i=1}^{k+1} (-1)^i {}_{k+1} P_i \end{aligned}$$

よって, $n = k+1$ のときも (＃) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (＃) は成立する.

(4) および上の結果を用いて

$$\begin{aligned} I_5 &= A_5 + B_5 e = (-1)^6 5! + \left\{ 1 + \sum_{i=1}^5 (-1)^i {}_5 P_i \right\} e \\ &= 120 + (1 - 5 + 20 - 60 + 120 - 120)e \\ &= 120 - 44e \end{aligned}$$

補足 $I_1 = 1$, $I_{n+1} = e - (n+1)I_n$ より

$$\frac{(-1)^{n+1}}{(n+1)!}I_{n+1} - \frac{(-1)^n}{n!}I_n = \frac{(-1)^{n+1}e}{(n+1)!}$$

したがって, $n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{n-1} \left\{ \frac{(-1)^{k+1}}{(k+1)!}I_{k+1} - \frac{(-1)^k}{k!}I_k \right\} &= \sum_{k=1}^{n-1} \frac{(-1)^{k+1}e}{(k+1)!} \\ \frac{(-1)^n}{n!}I_n + 1 &= \sum_{k=2}^n \frac{(-1)^k e}{k!} \end{aligned}$$

$$\sum_{k=2}^n \frac{(-1)^k e}{k!} = \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k e}{k!} \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} I_n &= (-1)^{n+1}n! + (-1)^n n! \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k e}{k!} \\ &= (-1)^{n+1}n! + e \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^{n-k} n!}{k!} \\ &= (-1)^{n+1}n! + e \sum_{k=0}^n \frac{(-1)^k n!}{(n-k)!} = (-1)^{n+1}n! + e \sum_{k=0}^n (-1)^k {}_n P_k \end{aligned}$$

上式は, $n=1$ のときも成立する. よって

$$A_n = (-1)^{n+1}n!, \quad B_n = \sum_{k=0}^n (-1)^k {}_n P_k = 1 + \sum_{k=1}^n (-1)^k {}_n P_k$$

また, $t = \log x$ とおくと, $x = e^t$, $\frac{dx}{dt} = e^t$ であるから (p.12 参照)

$$\begin{aligned} I_n &= \int_1^e (\log x)^n dx = \int_0^1 e^t t^n dt = \left[e^t \sum_{k=0}^n (-1)^k (t^n)^{(k)} \right]_0^1 \\ &= \left[e^t \sum_{k=0}^{n-1} (-1)^k {}_n P_k t^{n-k} + e^t (-1)^n n! \right]_0^1 \\ &= e \sum_{k=0}^n (-1)^k {}_n P_k + (-1)^{n+1}n! \end{aligned}$$



- 8** (1) q_1 は、1 回目に裏が出る確率であるから $q_1 = 1 - p$
 操作により、次の確率漸化式が成立する.

$$q_{n+1} = (1 - p)q_n + p(1 - q_n) \quad \text{すなわち} \quad q_{n+1} = (1 - 2p)q_n + p \quad (*)$$

これを变形すると

$$q_{n+1} - \frac{1}{2} = (1 - 2p) \left(q_n - \frac{1}{2} \right)$$

数列 $\left\{ q_n - \frac{1}{2} \right\}$ は初項 $q_1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}(1 - 2p)$, 公比 $1 - 2p$ の等比数列より

$$q_n - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}(1 - 2p) \cdot (1 - 2p)^{n-1} \quad \text{よって} \quad q_n = \frac{1}{2} \{ 1 + (1 - 2p)^n \} \quad (**)$$

$n = 2, 3$ を (**) に代入すると

$$q_2 = 1 - 2p + 2p^2, \quad q_3 = 1 - 3p + 6p^2 - 4p^3$$

(2) (*) より $q_{n+1} = (1 - 2p)q_n + p$

(3) (**) より $q_n = \frac{1}{2} \{ 1 + (1 - 2p)^n \}$

(4)

X_n	1	-1	合計
$P(X_n)$	q_n	$1 - q_n$	1

$$E(X_n) = 1q_n + (-1)(1 - q_n) = 2q_n - 1 = (1 - 2p)^n$$

$$E(X_n^2) = 1^2q_n + (-1)^2(1 - q_n) = 1$$

したがって

$$V(X_n) = E(X_n^2) - E(X_n)^2 = 1 - (1 - 2p)^{2n}$$

$$\sigma(X_n) = \sqrt{V(X_n)} = \sqrt{1 - (1 - 2p)^{2n}}$$



5.9 2023年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学部 [1] [2] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学・歯学・工学部 [2] [3] [4] [5] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [2] [3] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 情報データ科学部 [2] [3] [4] 必答, [5] [7] の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)

[1] 以下はそれぞれ個別の問題である。各問いに答えよ。

- (1) x の 3 次関数 $f(x) = x^3 - 3x^2 + ax + 1$ がある。曲線 $y = f(x)$ 上における接線の傾きの最小値が -12 になるとき、定数 a の値を求めよ。また、 $f(x)$ の極値、およびそのときの x の値を求めよ。
- (2) $\triangle OAB$ の 3 辺の長さは、それぞれ $OA = 2$, $AB = 3$, $BO = 3$ である。頂点 O から辺 AB に垂線を下ろし、直線 AB との交点を H とする。また、 $\triangle OAB$ の重心を G とする。 $\overrightarrow{GH}$ を $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ を用いて表し、線分 GH の長さを求めよ。
- (3) a を定数とするととき、不等式

$$\log_a 5x - \log_a(4 - x) \geq \log_a(x + 1)$$

を解け。

- (4) 整式 $f(x)$ が、すべての実数 x に対して

$$(f'(x) - 5)f'(x) = 3f(x) + x^2 - 7x - 12$$

を満たすものとする。 $f(x)$ の次数を n とするとき、 n は 3 以上にならないことを示し、 $f(x)$ を求めよ。ただし、 $f(x)$ の係数はすべて整数とする。

- 2** xy 座標平面上に、放物線 $C: y = (x - 3)^2$ と直線 $l: y = 2x + 9$ があり、 C と l で囲まれた領域の周および内部を図形 F とする。以下の問いに答えよ。

ただし、格子点とは、 x 座標、 y 座標がともに整数になる点をいう。

- (1) C と l の 2 つの交点の x 座標を p, q ($p < q$) とするとき、 p と q の値をそれぞれ求めよ。また、図形 F に含まれる格子点のうち、 x 座標が k ($p \leq k \leq q, k$ は整数) である格子点の個数 a_k を k の式で表せ。さらに、図形 F に含まれる格子点の総数 N を求めよ。
- (2) 図形 F に含まれる格子点を $Q(x, y)$ とするとき、 $x + y$ の最大値と最小値、およびそのときの Q の座標をそれぞれ求めよ。
- (3) 図形 F に含まれる 4 つの格子点を結んでできる 1 辺の長さが 1 の正方形のうち、頂点の x 座標が k および $k + 1$ (k は整数) である正方形の個数を b_k とする。 $b_k \geq 1$ となる k の値の範囲を求め、 b_k を k の式で表せ。
- (4) 図形 F に含まれる 4 つの格子点を結んでできる 1 辺の長さが 1 の正方形の面積の総和 T を求めよ。また、図形 F の面積を S とするとき、 $\frac{T}{S}$ の値を求めよ。

3 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 次のように，項数 m の2つの等差数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ がある．

$$\{a_n\} \quad 1, 2, 3, 4, \dots, m-2, m-1, m$$

$$\{b_n\} \quad m, m-1, m-2, \dots, 4, 3, 2, 1$$

数列 $\{c_n\}$ の一般項を $c_n = a_n b_n$ とするとき， c_n の最大値，および $\sum_{k=1}^m c_k$ をそれぞれ m の式で表せ．

- (2) $\triangle OAB$ の3辺の長さは，それぞれ $OA = 2$, $AB = 3$, $BO = 3$ である．頂点 O から辺 AB に垂線を下ろし，直線 AB との交点を H とする．また， $\triangle OAB$ の重心を G とする． $\overrightarrow{GH}$ を $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ を用いて表し，線分 GH の長さを求めよ．

- (3) $x > 0$ のとき，不等式

$$\log(1+x) < x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3}$$

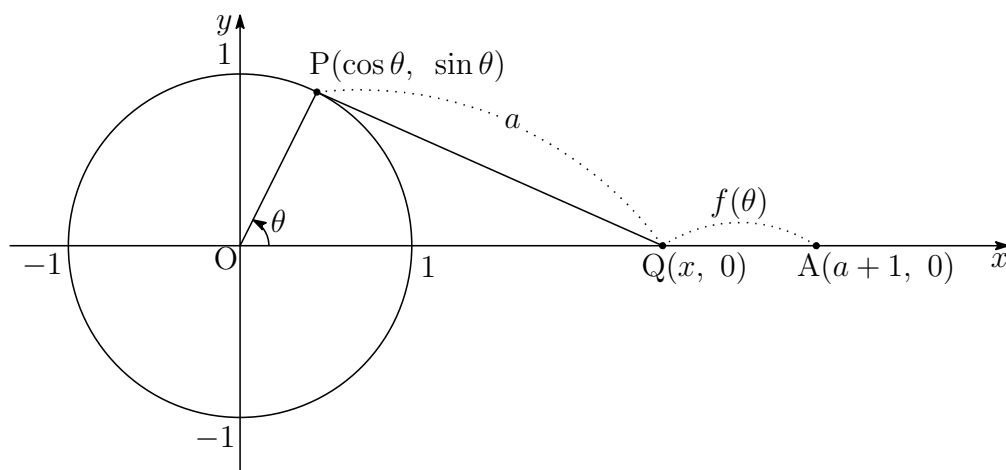
が成り立つことを証明せよ．ただし，対数は自然対数とする．

- (4) a, b を定数とする．すべての実数 x で連続な関数 $f(x)$ について，等式

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^b f(a+b-x) dx$$

が成り立つことを証明せよ．また，定積分 $\int_1^2 \frac{x^2}{x^2 + (3-x)^2} dx$ を求めよ．

- 4 下図のように、 xy 座標平面上に、原点 O を中心とする単位円周上の動点 $P(\cos \theta, \sin \theta)$ ($0 \leq \theta \leq 2\pi$) と x 軸上の動点 $Q(x, 0)$ ($x > 0$) がある. 2 点 P, Q 間の距離は a ($a > 1$) で一定とし、定点 $A(a+1, 0)$ と動点 $Q(x, 0)$ の 2 点間の距離 $f(\theta)$ とするとき、以下の問いに答えよ. ただし、(1) は答えのみでよい.



- (1) $f(0)$, $f\left(\frac{\pi}{2}\right)$, $f(\pi)$ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) 点 Q の x 座標を a, θ を用いて表せ.
- (3) $f(\theta)$ を a, θ を用いて表し、 $f(\theta)$ の導関数 $f'(\theta)$ を求め、 $f(\theta)$ の増減を調べよ.
- (4) 極限值 $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{f(\theta)}{\theta^2}$ を求めよ.

- 5 はじめに、図1のように xy 座標平面上に4点 $P(0, 0)$, $Q(2, 0)$, $R(2, 2)$, $S(0, 2)$ を頂点とする一辺の長さが2の正方形 $PQRS$ がある. この正方形を、図2のように反時計周りに移動させる. ただし、 P が x 軸上を点 $(0, 0)$ から点 $(2, 0)$ に毎秒1の速さで正の方向に動くと同時に、 S は y 軸上を点 $(0, 2)$ から点 $(0, 0)$ に動くものとする. この移動で、2秒後には図3のような状態になる. この移動を繰り返すことによって、正方形は8秒後には図1の状態に戻る. 以下の問いに答えよ. ただし、(1) は答えのみでよい.

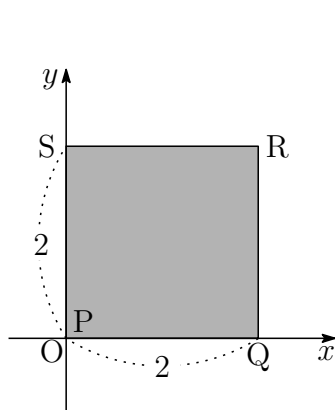


図1

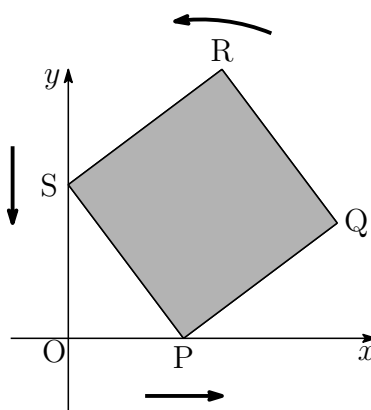


図2

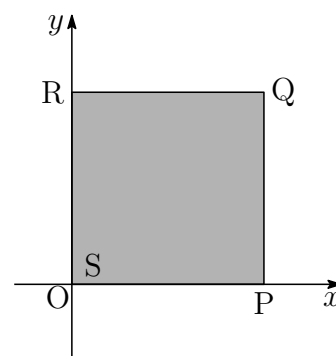


図3

- (1) 正方形が移動をはじめてから t ($0 \leq t \leq 2$) 秒後における4点 P , Q , R , S の座標を、それぞれ t を用いて表せ.
- (2) 正方形が移動をはじめてから t ($0 \leq t \leq 2$) 秒後における点 $Q(x, y)$ の速度 $\vec{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$ を求めよ. また、 $t = \sqrt{2}$ のときの Q の速さを求めよ.
- (3) 正方形が移動をはじめてから t ($0 \leq t \leq 2$) 秒後における点 Q の x 座標を $f(t)$ とする. $f(t)$ の最大値を求めよ. また、そのときの Q と R の座標を求めよ.
- (4) 正方形の対角線の交点を $D(x, y)$ とする. 正方形が移動をはじめてから8秒間における点 D は、どのような図形上にあるか説明せよ.
- (5) 正方形が移動をはじめてから8秒間における点 P の軌跡を C とする. C で囲まれる図形の面積 T を求めよ.

6 複素数平面上に原点 O を中心とする単位円 C があり, 2 点 $A(z_1)$, $B(z_2)$ は, 円 C の周上にある. $z_1 = \cos \alpha + i \sin \alpha$, $z_2 = \cos \beta + i \sin \beta$, $0 < \alpha < \frac{\pi}{2} < \beta < \pi$ とするとき, 以下の問いに答えよ. ただし, i は虚数単位である.

- (1) z_1 と z_2 の積 $z_1 z_2$ および $z_1 + z_2$ を, それぞれ極形式で表せ.
- (2) $w = \frac{2z_1 z_2}{z_1 + z_2}$ で表される点を $P(w)$ とするとき, w を極形式で表せ. また, 原点 O , 点 $P(w)$, 点 $D(z_1 + z_2)$ の 3 点は, 同一直線上にあることを示せ.
- (3) 直線 AP は, 円 C の接線であることを示せ.
- (4) 直線 AB に関して点 P と対称な点を $Q(v)$ とする. 点 Q が円 C の周上にあるとき, β を α の式で表せ.

- 7 ある日の朝，ある養鶏場で無作為に9個の卵を抽出して，それぞれの卵の重さを測ったところ，表1の結果が得られた．

表1 養鶏場で抽出した9個の卵の重さ (単位はグラム (g))

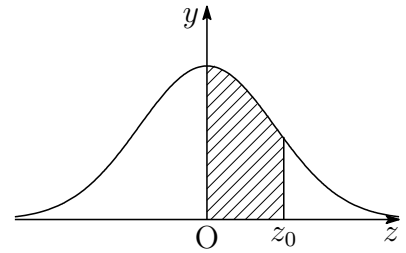
58	61	56	59	52	62	65	59	68

この養鶏場の卵の重さは，母平均が m ，母分散が σ^2 の正規分布に従うものとするとき，以下の問いに答えよ．必要に応じて次ページの正規分布表を用いてもよい．

- (1) 表1の標本の平均を求めよ．
- (2) 表1の標本の分散と標準偏差を求めよ．
- (3) 母分散 $\sigma^2 = 25$ であるとき，表1の標本から，母平均 m に対する信頼度95%の信頼区間を，小数点第3位を四捨五入して求めよ．
- (4) この養鶏場のすべての卵の重さからそれぞれ10gを引いて，50gで割った数値は，母平均 m_1 ，母分散 σ_1^2 の正規分布に従う．このとき， m_1 と σ_1^2 を，それぞれ m と σ の式で表せ．また， $\sigma^2 = 25$ であるとき，表1の標本から， m_1 に対する信頼度95%の信頼区間を，小数点第3位を四捨五入して求めよ．
- (5) 次の日の朝に， n 個の卵を無作為に抽出して，母平均 m に対する信頼度95%の信頼区間を求めることとする．信頼区間の幅が5以下となるための標本の大きさ n の最小値を求めよ．ただし，母分散 $\sigma^2 = 25$ であるとする．

正 規 分 布 表

次の表は，標準正規分布の分布曲線における
右図の斜線部分の面積をまとめたものである．



z_0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

解答例

- 1 (1) $f(x) = x^3 - 3x^2 + ax + 1$ より

$$f'(x) = 3x^2 - 6x + a = 3(x-1)^2 + a - 3$$

$f'(x)$ は最小値 $f'(1) = a - 3$ をとるから

$$a - 3 = -12 \quad \text{ゆえに} \quad a = -9$$

このとき $f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x + 1$

$$f'(x) = 3x^2 - 6x - 9 = 3(x+1)(x-3)$$

x	...	-1	...	3	...
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	↗	6	↘	-26	↘

よって $x = -1$ で極大値 6, $x = 3$ で極小値 -26

- (2) $BO = BA$ より, $\angle BOA = \angle BAO = \theta$ とおく.

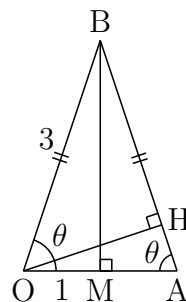
OA の中点を M とすると, $OM = 1$

$$\cos \theta = \frac{OM}{OB} = \frac{1}{3}$$

$$AH = OA \cos \theta = 2 \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$HB = AB - AH = 3 - \frac{2}{3} = \frac{7}{3}$$

$$AH : HB = \frac{2}{3} : \frac{7}{3} = 2 : 7 \text{ より}$$



$$\overrightarrow{OH} = \frac{7\overrightarrow{OA} + 2\overrightarrow{OB}}{2+7} = \frac{7}{9}\overrightarrow{OA} + \frac{2}{9}\overrightarrow{OB}$$

$$G \text{ は } \triangle OAB \text{ の重心であるから } \overrightarrow{OG} = \frac{1}{3}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OB}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{GH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OG} = \left(\frac{7}{9}\overrightarrow{OA} + \frac{2}{9}\overrightarrow{OB} \right) - \left(\frac{1}{3}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OB} \right) \\ &= \frac{4}{9}\overrightarrow{OA} - \frac{1}{9}\overrightarrow{OB} \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = |\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}| \cos \theta = 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{3} = 2, \quad |\overrightarrow{GH}| = \frac{1}{9} |4\overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OB}| \text{ より}$$

$$|4\overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OB}|^2 = 16|\overrightarrow{OA}|^2 - 8\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} + |\overrightarrow{OB}|^2 = 16 \cdot 2^2 - 8 \cdot 2 + 3^2 = 57$$

$$\text{よって} \quad |\overrightarrow{GH}| = \frac{\sqrt{57}}{9}$$

(3) 真数は正であるから

$$5x > 0, 4 - x > 0, x + 1 > 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < x < 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

与えた不等式から $\log_a 5x \geq \log_a (4 - x)(x + 1)$

(i) $a > 1$ のとき $5x \geq (4 - x)(x + 1)$

整理すると $(x + 1)^2 \geq 5$ ゆえに $|x + 1| \geq \sqrt{5}$

$\textcircled{1}$ に注意してこれを解くと $\sqrt{5} - 1 \leq x < 4$

(ii) $0 < a < 1$ のとき $5x \leq (4 - x)(x + 1)$

整理すると $(x + 1)^2 \leq 5$ ゆえに $|x + 1| \leq \sqrt{5}$

$\textcircled{1}$ に注意してこれを解くと $0 < x \leq \sqrt{5} - 1$

(4) (*) $(f'(x) - 5)f'(x) = 3f(x) + x^2 - 7x - 12$

$f(x)$ の次数を n とすると, (*) の両辺をの次数から

$$2(n - 1) = \max(n, 2) \quad \text{これを解いて} \quad n = 2$$

$f(x) = ax^2 + bx + c$ とおくと $f'(x) = 2ax + b$

上の 2 式を (*) に代入すると

$$(2ax + b - 5)(2ax + b) = 3(ax^2 + bx + c) + x^2 - 7x - 12$$

整理すると

$$4a^2x^2 + (4ab - 10a)x + b^2 - 5b = (3a + 1)x^2 + (3b - 7)x + 3c - 12$$

同じ次数の項の係数を比較すると

$$\begin{cases} 4a^2 = 3a + 1 & \cdots \textcircled{1} \\ 4ab - 10a = 3b - 7 & \cdots \textcircled{2} \\ b^2 - 5b = 3c - 12 & \cdots \textcircled{3} \end{cases}$$

$\textcircled{1}$ より $(a - 1)(4a + 1) = 0$

a が整数であることに注意して $a = 1$

$a = 1$ を $\textcircled{2}$ に代入して $4b - 10 = 3b - 7$ ゆえに $b = 3$

$b = 3$ を $\textcircled{3}$ に代入して $-6 = 3c - 12$ ゆえに $c = 2$

よって $f(x) = x^2 + 3x + 2$ ■

- 2 (1) $C: y = (x-3)^2$, $l: y = 2x+9$ の共有点の x 座標は

$$(x-3)^2 = 2x+9 \quad \text{ゆえに} \quad x(x-8) = 0$$

これを解いて $x = 0, 8$ よって $p = 0, q = 8$

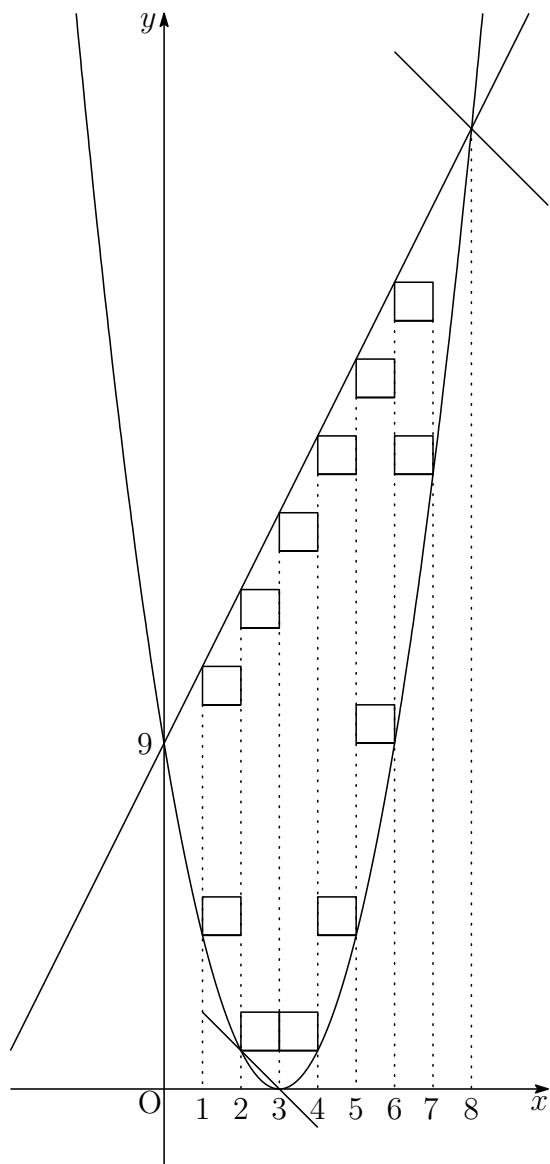
$$\text{また } a_k = 2k+9 - (x-3)^2 + 1 = -k^2 + 8k + 1$$

よって, 図形 F に含まれる格子点の総数 N は

$$N = \sum_{k=0}^8 (-k^2 + 8k + 1) = -\frac{1}{6} \cdot 8 \cdot 9 \cdot 17 + 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 9 + 9 = 93$$

- (2) x, y は整数であるから

$(x, y) = (8, 25)$ で最大値 33, $(x, y) = (2, 1), (3, 0)$ で最小値 3



- (3) 前ページの図から，頂点の x 座標が k および $k+1$ (k は整数) である正方形が存在するとき， k の値は

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$k = 1, 2 \text{ のとき} \quad b_k = (2k + 9) - (k - 3)^2 = -k^2 + 8k$$

$$k = 3, 4, 5, 6 \text{ のとき} \quad b_k = (2k + 9) - (k - 2)^2 = -k^2 + 6k + 5$$

- (4) (3) の結果から，面積の総和と正方形の個数が等しいことに注意して

$$\begin{aligned} T &= \sum_{k=1}^2 (-k^2 + 8k) + \sum_{k=3}^6 (-k^2 + 6k + 5) \\ &= \sum_{k=1}^6 (-k^2 + 6k + 5) + \sum_{k=1}^2 (2k - 5) \\ &= -\frac{1}{6} \cdot 6 \cdot 7 \cdot 13 + 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 7 + 5 \cdot 6 + \{-3 + (-1)\} = 61 \end{aligned}$$

また，図形 F の面積 S は

$$S = \int_0^8 \{2x + 9 - (x - 3)^2\} dx = \int_0^8 x(8 - x) dx = \frac{1}{6} \cdot 8^3 = \frac{256}{3}$$

よって
$$\frac{T}{S} = \frac{183}{256}$$



3 (1) $a_n = n$, $b_n = m + 1 - n$ より

$$\begin{aligned} c_n &= a_n b_n = n(m + 1 - n) = (m + 1)n - n^2 \\ &= -\left(n - \frac{m + 1}{2}\right)^2 + \frac{(m + 1)^2}{4} \end{aligned}$$

c_n の最大値は

$$m \text{ が奇数のとき, } n = \frac{m + 1}{2} \text{ で最大値 } \frac{(m + 1)^2}{4}$$

$$m \text{ が偶数のとき, } n = \frac{n}{2}, \frac{n}{2} + 1 \text{ で最大値 } \frac{m^2 + 2m}{4}$$

c_n の一般項より

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m \{(m + 1)k - k^2\} &= (m + 1) \cdot \frac{1}{2}m(m + 1) - \frac{1}{6}m(m + 1)(2m + 1) \\ &= \frac{1}{6}m(m + 1)(m + 2) \end{aligned}$$

(2) **1** (2) を参照.

(3) $f(x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \log(1 + x)$ とすると

$$f'(x) = 1 - x + x^2 - \frac{1}{1 + x} = \frac{x^3}{1 + x}$$

$f(0) = 0$, $x > 0$ で $f'(x) > 0$ であるから

$$x > 0 \text{ のとき } f(x) > 0 \quad \text{すなわち} \quad \log(1 + x) < x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3}$$

別解 $t > 0$ のとき $1 - t + t^2 - \frac{1}{1 + t} = \frac{t^3}{1 + t} > 0$

したがって, $x > 0$ のとき

$$\begin{aligned} \int_0^x \left(1 - t + t^2 - \frac{1}{1 + t}\right) dt &= \left[t - \frac{t^2}{2} + \frac{t^3}{3} - \log(1 + t) \right]_0^x \\ &= x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \log(1 + x) > 0 \end{aligned}$$

よって, $x > 0$ のとき $\log(1 + x) < x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3}$

$$(4) \quad t = a + b - x \text{ とすると } \frac{dt}{dx} = -1, \quad \overline{\begin{array}{c|c} x & a \longrightarrow b \\ \hline t & b \longrightarrow a \end{array}}$$

$$\begin{aligned} \int_a^b f(a+b-x) dx &= \int_b^a f(t) (-1) dt \\ &= \int_a^b f(t) dt = \int_a^b f(x) dx \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

(*)において, $a = 1, b = 2$ とし

$$I = \int_1^2 f(3-x) dx = \int_1^2 f(x) dx$$

とおくと, $f(x) = \frac{x^2}{x^2 + (3-x)^2}$ のとき

$$\begin{aligned} 2I &= \int_1^2 f(x) dx + \int_1^2 f(3-x) dx \\ &= \int_1^2 \frac{x^2}{x^2 + (3-x)^2} dx + \int_1^2 \frac{(3-x)^2}{(3-x)^2 + x^2} dx \\ &= \int_1^2 dx = 1 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad I = \int_1^2 \frac{x^2}{x^2 + (3-x)^2} dx = \frac{1}{2}$$



4 (1) $f(0) = OA - OQ = a + 1 - (a + 1) = 0$

$$f\left(\frac{\pi}{2}\right) = OA - OQ = a + 1 - \sqrt{a^2 - 1}$$

$$f(\pi) = OA - OQ = a + 1 - (a - 1) = 2$$

(2) $PQ^2 = a^2$ より $(x - \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta = a^2$

$$x > \cos \theta, \quad a > 1 \geq \sin \theta \text{ に注意して}$$

$$x = \cos \theta + \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}$$

(3) (2) の結果から

$$f(\theta) = a + 1 - x$$

$$= a + 1 - \cos \theta - \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}$$

$$f'(\theta) = \sin \theta + \frac{\sin \theta \cos \theta}{\sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}} = \frac{(\sqrt{a^2 - \sin^2 \theta} + \cos \theta) \sin \theta}{\sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}}$$

$$a > 1 \text{ であるから } \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta} + \cos \theta > \sqrt{1 - \sin^2 \theta} + \cos \theta \\ = |\cos \theta| + \cos \theta \geq 0$$

$f'(\theta)$ の符号は, $\sin \theta$ の符号と一致する.

θ	0	...	π	...	2π
$f'(\theta)$		+	0	-	
$f(\theta)$	0	$\nearrow$	2	$\searrow$	0

(4) $f(\theta) = a - \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta} + 1 - \cos \theta$ であるから

$$f(\theta) = \frac{a^2 - (a^2 - \sin^2 \theta)}{a + \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}} + \frac{1 - \cos^2 \theta}{1 + \cos \theta} \\ = \left(\frac{1}{a + \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}} + \frac{1}{1 + \cos \theta} \right) \sin^2 \theta$$

したがって

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{f(\theta)}{\theta^2} = \lim_{\theta \rightarrow 0} \left(\frac{1}{a + \sqrt{a^2 - \sin^2 \theta}} + \frac{1}{1 + \cos \theta} \right) \left(\frac{\sin \theta}{\theta} \right)^2 \\ = \left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2} \right) \cdot 1^2 = \frac{1}{2a} + \frac{1}{2}$$



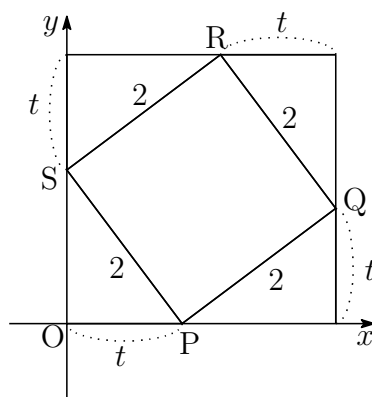
5 (1) $0 \leq t \leq 2$ のとき

$$P(t, 0)$$

$$Q(t + \sqrt{4 - t^2}, t)$$

$$R(\sqrt{4 - t^2}, t + \sqrt{4 - t^2})$$

$$S(0, \sqrt{4 - t^2})$$



(2) $Q(x, y)$ とすると $x = t + \sqrt{4 - t^2}$, $y = t$ ($0 \leq t \leq 2$)

$$\frac{dx}{dt} = 1 - \frac{t}{\sqrt{4 - t^2}}, \quad \frac{dy}{dt} = 1$$

$$\text{よって } \vec{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) = \left(1 - \frac{t}{\sqrt{4 - t^2}}, 1 \right)$$

したがって $t = \sqrt{2}$ のとき, $\vec{v} = (0, 1)$ より $|\vec{v}| = 1$

(3) $Q(t + \sqrt{4 - t^2}, t)$ より ($0 \leq t \leq 2$)

$$f(t) = t + \sqrt{4 - t^2}, \quad f'(t) = 1 - \frac{t}{\sqrt{4 - t^2}}$$

t	0	...	$\sqrt{2}$	...	2
$f'(t)$		+	0	-	
$f(t)$	2	$\nearrow$	$2\sqrt{2}$	$\searrow$	2

よって, $f(t)$ の最大値は $f(\sqrt{2}) = 2\sqrt{2}$

このとき, $t = \sqrt{2}$ より $Q(2\sqrt{2}, \sqrt{2})$, $R(\sqrt{2}, 2\sqrt{2})$

(4) 線分 PR と QS の中点はともに $\left(\frac{t + \sqrt{4 - t^2}}{2}, \frac{t + \sqrt{4 - t^2}}{2} \right)$

これが D であり, (3) の結果から $D\left(\frac{f(t)}{2}, \frac{f(t)}{2}\right)$ より

$$\text{直線 } y = x \quad (1 \leq x \leq \sqrt{2})$$

上を動く.

- (5) $0 \leq t \leq 2$ における点 Q の軌跡 C_1 と x 軸, y 軸, 直線 $y = 2$ で囲まれた図形の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^2 x \, dy = \int_0^2 (t + \sqrt{4 - t^2}) \, dt \\ &= \int_0^2 t \, dt + \int_0^2 \sqrt{4 - t^2} \, dt \\ &= \left[\frac{t^2}{2} \right]_0^2 + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2^2 = 2 + \pi \end{aligned}$$

$0 \leq t \leq 2$ における点 R の軌跡 C_2 と x 軸, y 軸, 直線 $x = 2$ で囲まれた図形の面積も S である. 求める面積 T は, C_1 , C_2 , x 軸, y 軸で囲まれた図形の面積であるから

$$T = 2S - 2^2 = 2(\pi + 2) - 4 = 2\pi$$



6 (1) $z_1 = \cos \alpha + i \sin \alpha$, $z_2 = \cos \beta + i \sin \beta$ より

$$\begin{aligned} z_1 z_2 &= (\cos \alpha + i \sin \alpha)(\cos \beta + i \sin \beta) \\ &= \cos(\alpha + \beta) + i \sin(\alpha + \beta) \\ z_1 + z_2 &= (\cos \alpha + i \sin \alpha) + (\cos \beta + i \sin \beta) \\ &= (\cos \alpha + \cos \beta) + i(\sin \alpha + \sin \beta) \\ &= 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} + 2i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ &= 2 \cos \frac{\beta - \alpha}{2} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \end{aligned}$$

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{2} < \beta < \pi \text{ より } 0 < \frac{\beta - \alpha}{2} < \frac{\pi}{2} \text{ であるから } \cos \frac{\beta - \alpha}{2} > 0$$

$$\text{よって } z_1 + z_2 = 2 \cos \frac{\beta - \alpha}{2} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} w &= \frac{2z_1 z_2}{z_1 + z_2} = \frac{2\{\cos(\alpha + \beta) + i \sin(\alpha + \beta)\}}{2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)} \\ &= \frac{1}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{したがって } z_1 + z_2 = \left(2 \cos^2 \frac{\beta - \alpha}{2} \right) w$$

$2 \cos^2 \frac{\beta - \alpha}{2}$ は実数より, 3 点 O , $P(w)$, $D(z_1 + z_2)$ は同一直線上にある.

$$(3) \quad \frac{w - z_1}{z_1} = \frac{2z_2}{z_1 + z_2} - 1 = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2}$$

$|z_1| = |z_2|$ より, $O(0)$, $A(z_1)$, $B(z_2)$, $D(z_1 + z_2)$ は菱形の頂点である.

$$OD \perp AB \quad \text{ゆえに } \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} \text{ は純虚数}$$

したがって, 直線 AP は円 C 上の点 A における接線である.

補足 $z_1 = \cos \alpha + i \sin \alpha$, $z_2 = \cos \beta + i \sin \beta$ より

$$\begin{aligned}
 z_2 - z_1 &= (\cos \beta + i \sin \beta) - (\cos \alpha + i \sin \alpha) \\
 &= (\cos \beta - \cos \alpha) + i(\sin \beta - \sin \alpha) \\
 &= -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\beta - \alpha}{2} + 2i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\beta - \alpha}{2} \\
 &= 2i \sin \frac{\beta - \alpha}{2} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)
 \end{aligned}$$

上式および (1) の結果から

$$\frac{w - z_1}{z_1} = \frac{z_2 - z_1}{z_1 + z_2} = 2i \tan \frac{\beta - \alpha}{2}$$

(4) 2点 A, B の中点を $M\left(\frac{z_1 + z_2}{2}\right)$ とすると, (1) の結果から

$$z_1 + z_2 = \cos \frac{\beta - \alpha}{2} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

(2) の結果から, $P(w)$ は

$$w = \frac{1}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

直線 PM は直線 AB に垂直であるから, C 上の点 $Q(v)$ は

$$v = - \left(\cos \frac{\alpha + \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \right)$$

$$M \text{ は 2 点 } P, Q \text{ の中点より } \cos \frac{\beta - \alpha}{2} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}} + (-1) \right\}$$

$$\begin{aligned}
 2 \cos^2 \frac{\beta - \alpha}{2} + \cos \frac{\beta - \alpha}{2} - 1 &= 0 \\
 \left(2 \cos \frac{\beta - \alpha}{2} - 1 \right) \left(\cos \frac{\beta - \alpha}{2} + 1 \right) &= 0
 \end{aligned}$$

$$0 < \frac{\beta - \alpha}{2} < \frac{\pi}{2} \text{ より } \frac{\beta - \alpha}{2} = \frac{\pi}{3} \quad \text{よって} \quad \beta = \alpha + \frac{2}{3}\pi$$



- 7** (1) 標本平均を $\bar{x}$ とすると

$$\bar{x} = \frac{1}{9}(58 + 61 + 56 + 59 + 52 + 62 + 65 + 59 + 68) = 60$$

別解 $\bar{x} = 60 + \frac{1}{9}\{(-2) + 1 + (-4) + (-1) + (-8) + 2 + 5 + (-1) + 8\} = 60$

- (2) 標本分散を S^2 , 標本標準偏差を S とすると

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{1}{9}\{(-2)^2 + 1^2 + (-4)^2 + (-1)^2 + (-8)^2 + 2^2 + 5^2 + (-1)^2 + 8^2\} \\ &= 20 \end{aligned}$$

よって $S = 2\sqrt{5}$

- (3) 標本の大きさ $n = 9$, 標本平均 $\bar{x} = 60$, 母分散 $\sigma^2 = 25$ より, 母平均 m に対する信頼度 95% の信頼区間は

$$\left[60 - 1.96 \cdot \frac{5}{\sqrt{9}}, 60 + 1.96 \cdot \frac{5}{\sqrt{9}} \right] \quad \text{すなわち} \quad [56.73, 63.27]$$

(4) $m_1 = \frac{m - 10}{50}, \quad \sigma_1^2 = \frac{\sigma^2}{50^2}$

すべての卵の重さからそれぞれ 10g を引いて, 50g で割った数値の標本平均を $\bar{X}$ とすると

$$\bar{X} = \frac{60 - 10}{50} = 1, \quad \sigma_1 = \frac{5}{50} = 0.1$$

m_1 に対する信頼度 95% の母平均 m の信頼区間は

$$\left[1 - 1.96 \cdot \frac{0.1}{3}, 1 + 1.96 \cdot \frac{0.1}{3} \right] \quad \text{すなわち} \quad [0.93, 1.07]$$

- (5) 抽出した n 個の卵の重さの平均を m' とする. 信頼度 95% の母平均 m の信頼区間は

$$m' - 1.96 \cdot \frac{5}{\sqrt{n}} \leq m < m' + 1.96 \cdot \frac{5}{\sqrt{n}}$$

この信頼区間の幅が 5 以下であるとき

$$2 \cdot 1.96 \cdot \frac{5}{\sqrt{n}} \leq 5 \quad \text{ゆえに} \quad \sqrt{n} \geq 3.92$$

$n \geq 15.3664$ であるから, n の最小値は 16



5.10 2024年

出題分野

- 教育 A・経済・水産・環境科学・情報データ科学部 A 1 2
数 I・II・A・B (80 分)
- 教育 B・薬学・歯学・工学部 3 4 6 7 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 5 7 8 9 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 情報データ科学部 B 3 4 6 必答, 7 10 の 2 題から 1 題選択
数 I・II・III・A・B (120 分)

1 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 3 次方程式 $x^3 - 3x^2 - 9x + a = 0$ が異なる 3 つの実数解をもつような定数 a の値の範囲を求めよ．
- (2) 等式 $f(x) = -x^2 + 4x \int_0^1 f(t) dt + \int_0^2 f(t) dt$ を満たす関数 $f(x)$ を求めよ．
- (3) 円に内接する四角形 ABCD があり, $AB = 4$, $BC = 3$, $CD = 1$, $DA = 4$ である． $\angle ABC = \theta$ とするとき, $\cos \theta$ の値および線分 AC の長さを, それぞれ求めよ．また, 線分 AC と BD の交点を P とするとき, 線分 AP の長さを求めよ．
- (4) 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和を S_n とする．数列 $\{a_n\}$ の初項は $\frac{1}{3}$ で, すべての自然数 n に対して $a_{n+1} = r(1 - S_n)$ が成り立つ．ただし, r は $0 < r < 1$ を満たす定数である． a_2, a_3 を r を用いてそれぞれ表せ．また, $n \geq 2$ のとき, a_{n+1} を r, a_n を用いて表し, 数列 $\{a_n\}$ が等比数列になるように r の値を定めよ．

- 2 下図のように、1 辺の長さが 1 の正四面体 $OABC$ がある。2 点 P, Q はそれぞれ辺 OC , 辺 AB 上にあり、線分 PQ は辺 OC と辺 AB に垂直である。 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とするとき、以下の問いに答えよ。

(1) $OP : PC = s : 1 - s$ ($0 < s < 1$),

$AQ : QB = t : 1 - t$ ($0 < t < 1$)

とするとき、 $\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$, $\overrightarrow{PQ}$ を、 $s, t, \vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いてそれぞれ表せ。

- (2) $PQ \perp OC$, $PQ \perp AB$ の関係から、 s, t の値および線分 PQ の長さを、それぞれ求めよ。

- (3) $\triangle OAB$, $\triangle CAB$ の重心をそれぞれ L, M とする。このとき、 $\overrightarrow{OL}$ と $\overrightarrow{OM}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いてそれぞれ表せ。

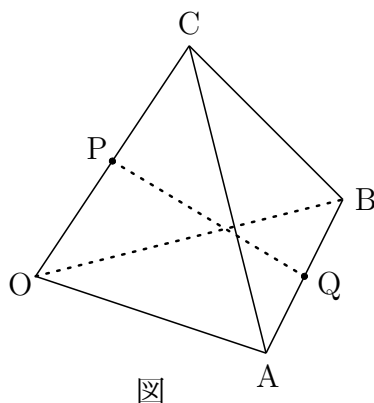
また、線分 LM と $\triangle PAB$ との交点を N とする。

$$LN : NM = u : (1 - u) \quad (0 < u < 1)$$

とするとき、 $\overrightarrow{ON}$ を $u, \vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ。

- (4) N は $\triangle PAB$ 上にあるので、 $\overrightarrow{ON} = \alpha \overrightarrow{OP} + \beta \overrightarrow{OA} + \gamma \overrightarrow{OB}$ ($\alpha + \beta + \gamma = 1$) とおける。このとき、 α, β, γ の値をそれぞれ求めよ。また、 $LN : NM$ を求めよ。

- (5) N は $\triangle PAB$ の重心であることを示せ。また、 $\triangle QLN$ の面積 S を求めよ。



3 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) p, q を実数とし，互いに異なるベクトル $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を，

$$\vec{a} = (1, p), \quad \vec{b} = (q, -1), \quad \vec{c} = (-1, 1)$$

とする． $\vec{a} - \vec{b}$ と $\vec{c}$ は垂直であり， $\vec{b} - \vec{c}$ と $\vec{a}$ は平行であるとき， p, q の値をそれぞれ求めよ．

- (2) 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和を S_n とする．数列 $\{a_n\}$ の初項は $\frac{1}{3}$ で，すべての自然数 n に対して $a_{n+1} = r(1 - S_n)$ が成り立つ．ただし， r は $0 < r < 1$ を満たす定数である． a_2, a_3 を r を用いてそれぞれ表せ．また， $n \geq 2$ のとき， a_{n+1} を r, a_n を用いて表し，数列 $\{a_n\}$ が等比数列になるように r の値を定めよ．

- (3) n を整数とすると， n^2 を 3 で割った余りは 2 にならないことを， $n = 3k, n = 3k + 1, n = 3k + 2$ (k は整数) のそれぞれの場合について示せ．

また， l, m, n を整数とすると， $l^2 + m^2 = n^2$ ならば， l または m は 3 の倍数となることを，背理法を用いて証明せよ．

4 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) $t = \cos x$ とおくとき， $\cos 2x$ および $\cos 3x$ を t の式でそれぞれ表せ．また， $0 \leq x \leq \pi$ のとき， $\cos x + \cos 2x + \cos 3x > 0$ となるような x の値の範囲を求めよ．

- (2) 微分可能な関数 $f(x)$ が，すべての実数 x, y に対して

$$f(x+y) = f(x) + f(y)$$

を満たしている．このとき， $f(0)$ の値を求めよ．また， $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(h)}{h} = 2$ のとき， $f'(x)$ および $f(x)$ をそれぞれ求めよ．

- (3) $\int_{-1}^0 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx = \int_0^1 \frac{e^x(x^2 - x^4)}{1 + e^x} dx$ が成り立つことを示し，定積分 $\int_{-1}^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx$ を求めよ．

5 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) p, q を実数とし，互いに異なるベクトル $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を，

$$\vec{a} = (1, p), \quad \vec{b} = (q, -1), \quad \vec{c} = (-1, 1)$$

とする． $\vec{a} - \vec{b}$ と $\vec{c}$ は垂直であり， $\vec{b} - \vec{c}$ と $\vec{a}$ は平行であるとき， p, q の値をそれぞれ求めよ．

- (2) 微分可能な関数 $f(x)$ が，すべての実数 x, y に対して

$$f(x+y) = f(x) + f(y)$$

を満たしている．このとき， $f(0)$ の値を求めよ．また， $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(h)}{h} = 2$ のとき， $f'(x)$ および $f(x)$ をそれぞれ求めよ．

- (3) $\int_{-1}^0 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx = \int_0^1 \frac{e^x(x^2 - x^4)}{1 + e^x} dx$ が成り立つことを示し，

定積分 $\int_{-1}^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx$ を求めよ．

- (4) n を整数とするとき， n^2 を 3 で割った余りは 2 にならないことを， $n = 3k$ ， $n = 3k + 1$ ， $n = 3k + 2$ (k は整数) のそれぞれの場合について示せ．

また， l, m, n を整数とするとき， $l^2 + m^2 = n^2$ ならば， l または m は 3 の倍数となることを，背理法を用いて証明せよ．

6 xy 座標平面上において， x 軸上に点 $P_1(a_1, 0)$ (ただし， $a_1 > 2$) がある．関数 $f(x)$ を $f(x) = x^3 - 8$ とするとき， $x = a_1$ における曲線 $C: y = f(x)$ 上の点を $Q_1(a_1, f(a_1))$ とする．また， Q_1 における C の接線 l_1 が x 軸と交わる点を $P_2(a_2, 0)$ とする．さらに， $x = a_2$ における C 上の点を $Q_2(a_2, f(a_2))$ とし， Q_2 における C の接線 l_2 が x 軸と交わる点を $P_3(a_3, 0)$ とする．このような操作を繰り返して得られる数列 $\{a_n\}$ を考える．以下の問いに答えよ．

- (1) 点 $Q_n(a_n, f(a_n))$ における曲線 C の接線 l_n の方程式を a_n を用いて表せ．
- (2) a_{n+1} を a_n を用いて表せ．
- (3) すべての自然数 n に対して， $a_n > 2$ が成り立つことを数学的帰納法を用いて証明せよ．
- (4) すべての自然数 n に対して， $a_n > a_{n+1}$ を示せ．
- (5) すべての自然数 n に対して， $a_{n+1} - 2 < \frac{2}{3}(a_n - 2)$ を示し， $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ．

7 原点を O とする xy 座標平面上において、放物線 $C: y = x^2$ と直線 $l: y = x$ があり、 C と l で囲まれた領域の周および内部を図形 F とする.

また、 C 上の点 $P(t, t^2)$ ($0 \leq t \leq 1$) を通り、 l に垂直な直線を m とし、 m と l の交点を Q とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 図形 F を x 軸の周りに 1 回転してできる回転体の体積 V_1 を求めよ.
- (2) 直線 m の方程式および点 Q の座標を、 t を用いてそれぞれ表せ.
- (3) 線分 PQ の長さの平方 (PQ^2) を t を用いて表せ.
- (4) 線分 OQ の長さを s とするとき、 s および $\frac{ds}{dt}$ を、 t を用いてそれぞれ表せ.
- (5) 図形 F を直線 l の周りに 1 回転してできる回転体の体積 V_2 を求めよ. また、(1) で求めた V_1 との比 $\frac{V_2}{V_1}$ を求めよ.

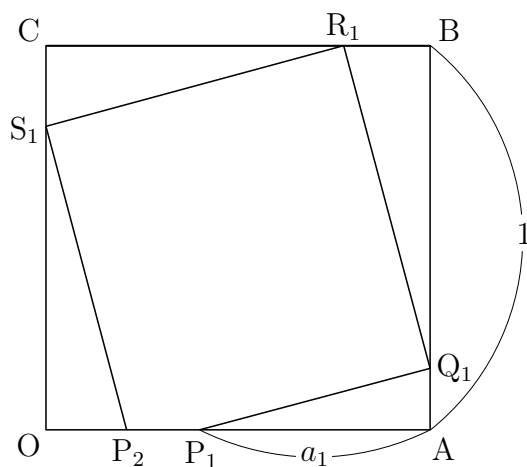
- 8 下図のように、一辺の長さが1の正方形OABCがある．辺OA上に点 P_1 をとり、 $AP_1 = a_1$ とする．ただし、 $0 < a_1 < 1$ とする．

$\angle AP_1Q_1 = \angle BQ_1R_1 = \angle CR_1S_1 = \theta$ ($0 < \theta < \frac{\pi}{4}$) となるように点 Q_1, R_1, S_1 を、それぞれ辺AB, BC, CO上にとる．

さらに、 $\angle OS_1P_2 = \angle AP_2Q_2 = \angle BQ_2R_2 = \angle CR_2S_2 = \theta$ となるように点 P_2, Q_2, R_2, S_2 を、それぞれ辺OA, AB, BC, CO上にとる．

このような操作を繰り返し、点 P_n, Q_n, R_n, S_n を、それぞれ辺OA, AB, BC, CO上にとる． $AP_n = a_n$ とするとき、以下の問いに答えよ．

- (1) 線分 AQ_n, BR_n, CS_n の長さを、 a_n, θ を用いてそれぞれ表せ．
- (2) a_{n+1} を a_n, θ を用いて表せ．
- (3) a_n を a_1, n, θ を用いて表せ．
- (4) P_1 と P_2 が同じ点のとき、 a_1 を θ を用いて表せ．また、 P_1 と P_2 が異なる点のとき、この操作を繰り返すと、 P_n は線分OAをどのような比に内分する点に限りなく近づくか説明せよ．



図

- 9 z に関する 4 次方程式 $z^4 + pz^2 + qz + 27 = 0$ (p, q は実数) がある. 複素数 α と α^2 はこの 4 次方程式の解であり, α の実部と虚部はともに正とする. 以下の問いに答えよ. ただし, $\bar{z}$ は複素数 z の共役複素数を表すものとする.

- (1) z_1, z_2 が複素数のとき, $\bar{z_1} + \bar{z_2} = \overline{z_1 + z_2}$, および $\bar{z_1} \bar{z_2} = \overline{z_1 z_2}$ が成り立つことを示せ.
- (2) $\bar{\alpha}$ はこの 4 次方程式の解であることを示せ.
- (3) $\alpha + \alpha^2$ は純虚数であることを示せ.
- (4) $|\alpha|$ および α の値をそれぞれ求めよ.
- (5) この 4 次方程式のすべての解を求めよ. また, p, q の値をそれぞれ求めよ.

- 10 ある町の中学校 1 年生の 50 メートル走における所要時間 (単位は秒) は, 母平均 m , 母分散 1 の正規分布に従うものとする.

高校生の花子さんと太郎さんは, この母集団から無作為に何人かを抽出して, 母集団の調査をそれぞれ行った.

表 1 は, 花子さんが 10 人の生徒 (A, B, C, $\dots$, J) を無作為に抽出したときの各自の所要時間 (測定値) を示している. 以下の問いに答えよ. 必要に応じて, 次のページの正規分布表を用いてもよい.

表 1

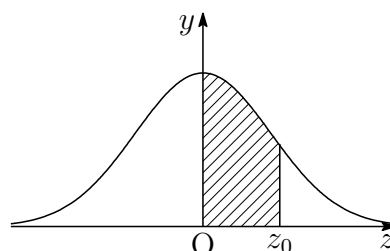
生徒	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
測定値 (秒)	9.0	9.0	8.0	8.0	9.0	9.0	10.0	9.0	10.0	x

(x は正の実数)

- (1) 花子さんが選んだ 10 人の生徒のうち, J を除いた 9 人の標本の平均 m_1 と分散 S_1^2 を, それぞれ求めよ.
- (2) 花子さんが選んだ (1) の 9 人の測定値の標本を用いて, 母平均 m に対する信頼度 95% の信頼区間を, 小数第 3 位を四捨五入して求めよ.
- (3) 花子さんが選んだ 10 人の標本の平均 m_2 と分散 S_2^2 を, x を用いてそれぞれ表せ. また, $8 \leq x \leq 10$ のとき, 平均 m_2 と分散 S_2^2 の取り得る値の範囲を, それぞれ求めよ.
- (4) 太郎さんは, 花子さんとは別に 4 人の生徒を無作為に抽出して調べることとした. 母平均 $m = 8$ のとき, 4 人の標本の平均が 9 秒以上となる確率を, 小数第 3 位を四捨五入して求めよ.

正 規 分 布 表

次の表は，標準正規分布の分布曲線における右図の斜線部分の面積の値をまとめたものである．



z_0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

解答例

1 (1) $f(x) = x^3 - 3x^2 - 9x + a$ とすると

$$f'(x) = 3x^2 - 6x - 9 = 3(x+1)(x-3)$$

x	$\dots$	-1	$\dots$	3	$\dots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\nearrow$	$a+5$	$\searrow$	$a-27$	$\nearrow$

$f(x) = 0$ が異なる 3 つの実数解をもつとき

$$a - 27 < 0 < a + 5 \quad \text{すなわち} \quad -5 < a < 27$$

$$(2) \quad f(x) = -x^2 + 4x \int_0^1 f(t) dt + \int_0^2 f(t) dt$$

$$A = \int_0^1 f(t) dt, \quad B = \int_0^2 f(t) dt \quad \text{とおくと} \quad f(x) = -x^2 + 4Ax + B$$

$$\begin{aligned} A &= \int_0^1 f(t) dt = \int_0^1 (-t^2 + 4At + B) dt \\ &= \left[-\frac{t^3}{3} + 2At^2 + Bt \right]_0^1 = -\frac{1}{3} + 2A + B, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \int_0^2 f(t) dt = \int_0^2 (-t^2 + 4At + B) dt \\ &= \left[-\frac{t^3}{3} + 2At^2 + Bt \right]_0^2 = -\frac{8}{3} + 8A + 2B \end{aligned}$$

$$\text{上の 2 式から} \quad A + B = \frac{1}{3}, \quad 8A + B = \frac{8}{3} \quad \text{ゆえに} \quad A = \frac{1}{3}, \quad B = 0$$

$$\text{よって} \quad f(x) = -x^2 + \frac{4}{3}x$$

(3) $\triangle ABC$, $\triangle ADC$ に余弦定理を適用すると

$$\begin{aligned} AC^2 &= AB^2 + BC^2 - 2AB \cdot BC \cos B \\ &= 4^2 + 3^2 - 2 \cdot 4 \cdot 3 \cos \theta = 25 - 24 \cos \theta, \\ AC^2 &= AD^2 + DC^2 - 2AD \cdot DC \cos D \\ &= 4^2 + 1^2 - 2 \cdot 4 \cdot 1 \cos(\pi - \theta) = 17 + \cos \theta \end{aligned}$$

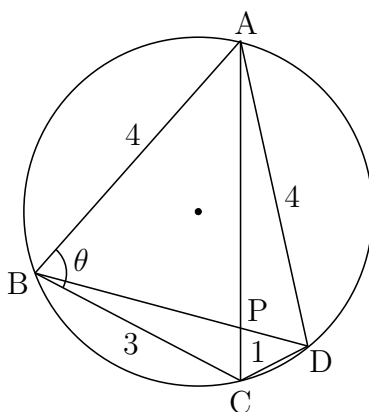
上の2式から $25 - 24 \cos \theta = 17 + 8 \cos \theta$ ゆえに $\cos \theta = \frac{1}{4}$

したがって $AC^2 = 19$ よって $AC = \sqrt{19}$

$AP : PC = \triangle ABD : \triangle BCD$ であるから

$$\begin{aligned} AP : PC &= \frac{1}{2} AB \cdot AD \sin A : \frac{1}{2} BC \cdot CD \sin(\pi - A) \\ &= AB \cdot AD : BC \cdot CD = 4 \cdot 4 : 3 \cdot 1 = 16 : 3 \end{aligned}$$

よって $AP = \frac{16}{16+3} AC = \frac{16}{19} \sqrt{19}$



$$(4) \quad a_1 = \frac{1}{3}, \quad a_{n+1} = r(1 - S_n) \quad \cdots (*)$$

$S_1 = a_1 = \frac{1}{3}$ であるから, $n = 1$ を $(*)$ に代入すると

$$a_2 = r \left(1 - \frac{1}{3} \right) = \frac{2}{3}r$$

$S_2 = a_1 + a_2 = \frac{1}{3} + \frac{2}{3}r$ であるから, $n = 2$ を $(*)$ に代入すると

$$a_3 = r \left\{ 1 - \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}r \right) \right\} = \frac{2}{3}r(1 - r)$$

$n \geq 2$ のとき, $a_{n+1} = r(1 - S_n)$, $a_n = r(1 - S_{n-1})$ の 2 式の差をとると

$$a_{n+1} - a_n = -r(S_n - S_{n-1}) = -ra_n \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} = (1 - r)a_n$$

上の第 2 式が $n = 1$ のときも成立するとき $\frac{2}{3}r = (1 - r) \cdot \frac{1}{3}$

$0 < r < 1$ に注意してこれを解くと $r = \frac{1}{3}$

補足 $a_{n+1} = (1 - r)a_n$ より, 公比は $1 - r = \frac{2}{3}$

$$a_2^2 = a_1 a_3 \text{ を利用すると } \left(\frac{2}{3}r \right)^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3}r(1 - r)$$

$0 < r < 1$ に注意してこれを解くと $r = \frac{1}{3}$



2 (1) $OP : PC = s : (1 - s)$ より $\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OC} = s\vec{c}$

$AQ : QB = t : (1 - t)$ より $\overrightarrow{OQ} = (1 - t)\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$
 $= (1 - t)\vec{a} + t\vec{b}$

したがって $\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = (1 - t)\vec{a} + t\vec{b} - s\vec{c}$

(2) $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = 1$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = 1 \cdot 1 \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$

$PQ \perp OC$, $PQ \perp AB$ より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{OC} &= \{(1 - t)\vec{a} + t\vec{b} - s\vec{c}\} \cdot \vec{c} \\ &= (1 - t)\vec{c} \cdot \vec{a} + t\vec{b} \cdot \vec{c} - s|\vec{c}|^2 \\ &= \frac{1}{2}(1 - t) + \frac{1}{2}t - s = \frac{1}{2} - s = 0, \\ \overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{AB} &= \left\{ (1 - t)\vec{a} + t\vec{b} - \frac{1}{2}\vec{c} \right\} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) \\ &= (1 - t)\vec{a} \cdot \vec{b} - (1 - t)|\vec{a}|^2 + t|\vec{b}|^2 - t\vec{a} \cdot \vec{b} - \frac{1}{2}\vec{b} \cdot \vec{c} + \frac{1}{2}\vec{c} \cdot \vec{a} \\ &= \frac{1}{2}(1 - t) - (1 - t) + t - \frac{t}{2} - \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = t - \frac{1}{2} = 0\end{aligned}$$

よって $s = t = \frac{1}{2}$ すなわち $\overrightarrow{PQ} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} - \vec{c})$

2点 P, Q はそれぞれ OC, AB の中点であるから

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\overrightarrow{OC}, \quad \overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}\overrightarrow{AB}$$

$\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}\overrightarrow{AB} - \frac{1}{2}\overrightarrow{OC}$ より

$$\begin{aligned}|\overrightarrow{PQ}|^2 &= \overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{PQ} \cdot \left(\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}\overrightarrow{AB} - \frac{1}{2}\overrightarrow{OC} \right) \\ &= \overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{OA} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b} - \vec{c}) \cdot \vec{a} \\ &= \frac{1}{2}(|\vec{a}|^2 + \vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{c} \cdot \vec{a}) \\ &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{2}\end{aligned}$$

よって $|\overrightarrow{PQ}| = \frac{1}{\sqrt{2}}$

(3) $\triangle OAB$, $\triangle CAB$ のそれぞれの重心が L , M であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OL} &= \frac{\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}}{3} = \frac{\vec{a} + \vec{b}}{3}, \\ \overrightarrow{OM} &= \frac{\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}}{3} = \frac{\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}}{3}\end{aligned}$$

$LN : NM = u : (1 - u)$ より ($0 < u < 1$)

$$\begin{aligned}\overrightarrow{ON} &= (1 - u)\overrightarrow{OL} + u\overrightarrow{OM} \\ &= (1 - u) \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b}}{3} + u \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}}{3} = \frac{\vec{a}}{3} + \frac{\vec{b}}{3} + \frac{u\vec{c}}{3}\end{aligned}$$

(4) (3) の結果から

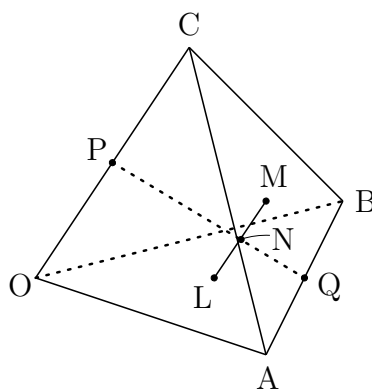
$$\overrightarrow{ON} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b}}{2} + \frac{2u}{3} \cdot \frac{\vec{c}}{2} = \frac{2}{3}\overrightarrow{OQ} + \frac{2u}{3}\overrightarrow{OP} \quad (*)$$

直線 LM は平面 OCQ 上にあるから, N は直線 PQ 上の点より

$$\frac{2}{3} + \frac{2u}{3} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad u = \frac{1}{2} \quad \text{よって} \quad LN : NM = 1 : 1$$

また, $u = \frac{1}{2}$ を (*) に代入すると

$$\overrightarrow{ON} = \frac{1}{3}\overrightarrow{OP} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OB} \quad \text{したがって} \quad \alpha = \beta = \gamma = \frac{1}{3}$$



(5) (3), (4) の結果から $\overrightarrow{ON} = \frac{\vec{a}}{3} + \frac{\vec{b}}{3} + \frac{\vec{c}}{6}$

$\triangle PAB$ の重心の位置ベクトルは

$$\frac{\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}}{3} = \frac{\frac{1}{2}\vec{c} + \vec{a} + \vec{b}}{3} = \frac{\vec{a}}{3} + \frac{\vec{b}}{3} + \frac{\vec{c}}{6} = \overrightarrow{ON}$$

したがって、 N は $\triangle PAB$ の重心である.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{LQ} &= \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OL} = \frac{\vec{a} + \vec{b}}{2} - \frac{\vec{a} + \vec{b}}{3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b}}{2} = \frac{1}{3} \overrightarrow{OQ} \\ \overrightarrow{LN} &= \overrightarrow{ON} - \overrightarrow{OL} = \frac{\vec{a}}{3} + \frac{\vec{b}}{3} + \frac{\vec{c}}{6} - \frac{\vec{a} + \vec{b}}{3} = \frac{\vec{c}}{6} = \frac{1}{6} \overrightarrow{OC}\end{aligned}$$

上の2式から、外積 $\overrightarrow{LQ} \times \overrightarrow{LN}$ は $\overrightarrow{OQ}$, $\overrightarrow{OC}$ を用いると

$$\overrightarrow{LQ} \times \overrightarrow{LN} = \frac{1}{18} \overrightarrow{OQ} \times \overrightarrow{OC}$$

したがって、上式および(2)の結果から

$$\begin{aligned}\triangle QLN &= \frac{1}{18} \triangle OQC = \frac{1}{18} \cdot \frac{1}{2} |\overrightarrow{OC}| |\overrightarrow{PQ}| \\ &= \frac{1}{18} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{72}\end{aligned}$$



3 (1) $\vec{a} = (1, p), \vec{b} = (q, -1), \vec{c} = (-1, 1)$

$$\vec{a} - \vec{b} = (1 - q, 1 + p) \perp \vec{c} = (-1, 1) \text{ より}$$

$$-(1 - q) + (1 + p) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad q = -p \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\vec{b} - \vec{c} = (q + 1, -2) // \vec{a} = (1, p) \text{ より}$$

$$p(q + 1) - (-2) \cdot 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad p(q + 1) + 2 = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

① を ② に代入すると

$$p(-p + 1) + 2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (p - 2)(p + 1) = 0$$

$$p = 2 \text{ のとき, } q = -2 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} = (1, 2), \vec{b} = (-2, -1)$$

$\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ はそれぞれ異なるので適する.

$$p = -1 \text{ のとき, } q = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} = \vec{b} = (1, -1) \text{ となり不適.}$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{p = 2, q = -2}$$

補足 $\vec{0}$ でない 2 つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2), \vec{b} = (b_1, b_2)$ について

$$\vec{a} \perp \vec{b} \iff a_1 b_1 + a_2 b_2 = 0, \quad \vec{a} // \vec{b} \iff a_1 b_2 - a_2 b_1 = 0$$

(2) **1** (4) を参照.

(3) k は整数

$$n = 3k, \text{ すなわち, } n \equiv 0 \pmod{3} \text{ のとき } n^2 \equiv 0 \pmod{3}$$

$$n = 3k + 1, \text{ すなわち, } n \equiv 1 \pmod{3} \text{ のとき } n^2 \equiv 1 \pmod{3}$$

$$n = 3k + 2, \text{ すなわち, } n \equiv 2 \pmod{3} \text{ のとき } n^2 \equiv 1 \pmod{3}$$

したがって, n^2 を 3 で割った余りは 2 にならない.

l および m が 3 の倍数でないと仮定すると, $l^2 \equiv m^2 \equiv 1 \pmod{3}$ より

$$l^2 + m^2 \equiv 1 + 1 \equiv 2, \quad n^2 \not\equiv 2 \pmod{3}$$

$$\text{したがって} \quad l^2 + m^2 \neq n^2$$

よって, l または m は 3 の倍数である. ■

- 4 (1) $\cos x + \cos 3x = 2 \cos 2x \cos x$, $\cos 2x = 2 \cos^2 x - 1$, $t = \cos x$ より

$$\begin{aligned}\cos 2x &= 2t^2 - 1, \\ \cos 3x &= 2 \cos 2x \cos x - \cos x \\ &= 2(2t^2 - 1)t - t = 4t^3 - 3t\end{aligned}$$

上の2式を利用すると

$$\begin{aligned}\cos x + \cos 2x + \cos 3x &= t + (2t^2 - 1) + (4t^3 - 3t) \\ &= 4t^3 + 2t^2 - 2t - 1 \\ &= (2t + 1)(2t^2 - 1) \\ &= (2t + 1)(\sqrt{2}t + 1)(\sqrt{2}t - 1)\end{aligned}$$

これから, 不等式 $\cos x + \cos 2x + \cos 3x > 0$ は

$$(2t + 1)(\sqrt{2}t + 1)(\sqrt{2}t - 1) > 0, \quad (-1 \leq t \leq 1)$$

したがって $-\frac{1}{\sqrt{2}} < t < -\frac{1}{2}$, $\frac{1}{\sqrt{2}} < t \leq 1$

よって $0 \leq x < \frac{\pi}{4}$, $\frac{2}{3}\pi < x < \frac{3}{4}\pi$

- (2) $f(x + y) = f(x) + f(y) \quad \cdots (*)$

(*) に $x = y = 0$ を代入すると

$$f(0) = f(0) + f(0) \quad \text{ゆえに} \quad f(0) = 0$$

(*) より, $f(x + h) = f(x) + f(h)$ であるから

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x + h) - f(x)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(h)}{h} = 2$$

これを積分すると $f(x) = 2x + C$ (C は積分定数)

$f(0) = 0$ であるから $C = 0$ よって $f(x) = 2x$

(3) $\int_{-1}^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx$ において, $x = -t$ とすると $\frac{dx}{dt} = -1$

x	$-1 \longrightarrow 0$
t	$1 \longrightarrow 0$

$$\begin{aligned} \int_{-1}^0 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx &= \int_1^0 \frac{t^2 - t^4}{1 + e^{-t}} (-1) dt = \int_0^1 \frac{e^t(t^2 - t^4)}{e^t + 1} dt \\ &= \int_0^1 \frac{e^x(x^2 - x^4)}{1 + e^x} dx \end{aligned}$$

したがって $\int_{-1}^0 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx = \int_0^1 \frac{e^x(x^2 - x^4)}{1 + e^x} dx$

上の等式を利用すると

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx &= \int_{-1}^0 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx + \int_0^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx \\ &= \int_0^1 \frac{e^x(x^2 - x^4)}{1 + e^x} dx + \int_0^1 \frac{x^2 - x^4}{1 + e^x} dx \\ &= \int_0^1 (x^2 - x^4) dx = \left[\frac{x^3}{3} - \frac{x^5}{5} \right]_0^1 = \frac{2}{15} \end{aligned}$$

■

- 5 (1) 3 (1) を参照.
 (2) 4 (2) を参照.
 (3) 4 (3) を参照.
 (4) 3 (3) を参照.

■

6 (1) $f(x) = x^3 - 8$ より $f'(x) = 3x^2$

C 上の点 $Q_n(a_n, f(a_n))$ における接線 l_n の方程式は

$$y = 3a_n^2(x - a_n) + a_n^3 - 8 \quad \text{すなわち} \quad y = 3a_n^2x - 2a_n^3 - 8$$

(2) 接線 l_n と x 軸の交点の x 座標が a_{n+1} であるから

$$0 = 3a_n^2a_{n+1} - 2a_n^3 - 8 \quad \text{ゆえに} \quad 3a_n^2a_{n+1} = 2a_n^3 + 8$$

$a_1 > 0$ であるから, 上の第2式より帰納的に $a_n > 0$

$$\text{よって} \quad a_{n+1} = \frac{2a_n^3 + 8}{3a_n^2}$$

(3) (*) $a_n > 2$

[1] $a_1 > 2$ より, $n = 1$ のとき, (*) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (*) が成立すると仮定すると, (2) の結果から

$$\begin{aligned} a_{k+1} - 2 &= \frac{2a_k^3 + 8}{3a_k^2} - 2 = \frac{2(a_k^3 - 3a_k^2 + 4)}{3a_k^2} \\ &= \frac{2(a_k - 2)^2(a_k + 1)}{3a_k^2} > 0 \end{aligned}$$

よって, $n = k + 1$ のときも (*) が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (*) が成立する.

(4) (2), (3) の結果から

$$a_n - a_{n+1} = a_n - \frac{2a_n^3 + 8}{3a_n^2} = \frac{a_n^3 - 8}{3a_n^2} > 0$$

したがって $a_n > a_{n+1}$

(5) (3) の計算および $a_n > 2$ であるから

$$\begin{aligned} a_{n+1} - 2 &= \frac{2}{3} \cdot \frac{(a_n + 1)(a_n - 2)}{a_n^2} (a_n - 2) \\ &= \frac{2}{3} \left(1 - \frac{1}{a_n} - \frac{2}{a_n^2} \right) (a_n - 2) < \frac{2}{3} (a_n - 2) \end{aligned}$$

したがって $0 < a_n - 2 < (a_1 - 2) \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1}$

$\lim_{n \rightarrow \infty} (a_1 - 2) \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 2$$



7 (1) 求める体積 V_1 は

$$\frac{V_1}{\pi} = \int_0^1 \{x^2 - (x^2)^2\} dx = \left[\frac{x^3}{3} - \frac{x^5}{5} \right]_0^1 = \frac{2}{15}$$

$$\text{よって} \quad V_1 = \frac{2}{15}\pi$$

(2) 直線 m は点 $P(t, t^2)$ を通り、傾き -1 であるから

$$y = -(x - t) + t^2 \quad \text{すなわち} \quad m: y = -x + t + t^2$$

$$\text{これと } l: y = x \text{ の共有点 } Q \text{ の座標は} \quad \left(\frac{t+t^2}{2}, \frac{t+t^2}{2} \right)$$

(3) $P(t, t^2), Q\left(\frac{t+t^2}{2}, \frac{t+t^2}{2}\right)$ より

$$PQ^2 = \left(t - \frac{t+t^2}{2}\right)^2 + \left(t^2 - \frac{t+t^2}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}(t - t^2)^2$$

(4) $Q\left(\frac{t+t^2}{2}, \frac{t+t^2}{2}\right)$ より $(0 \leq t \leq 1)$, $OQ = \frac{t+t^2}{\sqrt{2}}$ であるから

$$s = \frac{t+t^2}{\sqrt{2}}, \quad \frac{ds}{dt} = \frac{1+2t}{\sqrt{2}}$$

(5) s と t について

t	$0 \rightarrow 1$
s	$0 \rightarrow \sqrt{2}$

体積 V_2 は, (3), (4) の結果を利用して ¹¹

$$\begin{aligned} \frac{V_2}{\pi} &= \int_0^{\sqrt{2}} PQ^2 ds = \int_0^1 PQ^2 \frac{ds}{dt} \cdot dt \\ &= \int_0^1 \frac{(t-t^2)^2}{2} \cdot \frac{1+2t}{\sqrt{2}} dt \\ &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \int_0^1 t^2(1-t)^2 dt + \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^1 t^3(1-t)^2 dt \\ &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{2!2!}{5!} (1-0)^5 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{3!2!}{6!} (1-0)^6 = \frac{1}{30\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{60} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad V_2 = \frac{\sqrt{2}}{60}\pi, \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{\sqrt{2}}{60}\pi \bigg/ \frac{2}{15}\pi = \frac{\sqrt{2}}{8}$$

¹¹<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> の 1 を参照.

別解 C 上の点 $P(t, t^2)$, l 上の点 $R(t, t)$ をとる ($0 \leq t \leq 1$).

線分 PR の中点を M とすると $M\left(t, \frac{t^2+t}{2}\right)$

M から直線 $l: x - y = 0$ までの距離を d とすると

$$d = \frac{|t - \frac{t^2+t}{2}|}{\sqrt{1^2 + (-1)^2}} = \frac{t - t^2}{2\sqrt{2}}$$

$\Delta S = PR\Delta t = (t - t^2)\Delta t$ を l の周りに 1 回転させた体積 ΔV_2 は, パップス・ギュルダンの定理 (Pappus-Guldinus theorem) により ¹²

$$\Delta V_2 = 2\pi d \Delta S = 2\pi \cdot \frac{t - t^2}{2\sqrt{2}} \cdot (t - t^2)\Delta t = \frac{\pi t^2(1 - t)^2}{\sqrt{2}} \Delta t$$

$$\text{よって } V_2 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \int_0^1 t^2(1 - t)^2 dt = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2!2!}{5!} (1 - 0)^5 = \frac{\sqrt{2}}{60} \pi$$

九工大 2022 年後期

原点を O とする座標平面上の曲線 $y = x^3$ ($x \geq 0$) を C とし, 直線 $y = ax$ ($a > 0$) を l とする.

- (4) 直線 l と曲線 C で囲まれた図形を l のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を a を用いて表せ.

解答 C 上に点 $P(t, t^3)$, l 上に点 $Q(t, at)$ をとる ($0 \leq t \leq \sqrt{a}$).

線分 PQ の中点を M とすると $M\left(t, \frac{t^3 + at}{2}\right)$

M から直線 $l: ax - y = 0$ までの距離を d とすると

$$d = \frac{|at - \frac{t^3 + at}{2}|}{\sqrt{a^2 + (-1)^2}} = \frac{at - t^3}{2\sqrt{a^2 + 1}}$$

$\Delta S = PQ\Delta t = (at - t^3)\Delta t$ を l の周りに 1 回転させた体積 ΔV は

$$\Delta V = 2\pi d \Delta S = 2\pi \cdot \frac{at - t^3}{2\sqrt{a^2 + 1}} \cdot (at - t^3)\Delta t = \frac{\pi(at - t^3)^2}{\sqrt{a^2 + 1}} \Delta t$$

$$\begin{aligned} \text{よって } V &= \frac{\pi}{\sqrt{a^2 + 1}} \int_0^{\sqrt{a}} (at - t^3)^2 dt = \frac{\pi}{\sqrt{a^2 + 1}} \int_0^{\sqrt{a}} (t^6 - 2at^4 + a^2t^2) dt \\ &= \frac{\pi}{\sqrt{a^2 + 1}} \left[\frac{t^7}{7} - \frac{2a}{5}t^5 + \frac{a^2}{3}t^3 \right]_0^{\sqrt{a}} = \frac{8\pi a^{\frac{7}{2}}}{105\sqrt{a^2 + 1}} \end{aligned}$$

¹²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2012.pdf (p.6 を参照)

東北大理系 2018 年

 xy 平面内の図形

$$S: \begin{cases} x + y^2 \leq 2 \\ x + y \geq 0 \\ x - y \leq 2 \end{cases}$$

を考える. 図形 S を直線 $y = -x$ のまわりに 1 回転して得られる立体の体積を V とする.

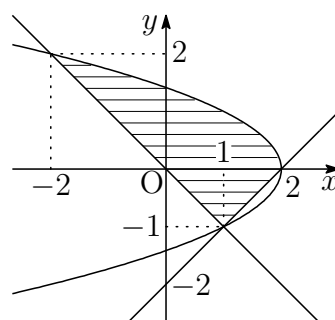
(1) S を xy 平面に図示せよ.

(2) V を求めよ.

解答 (1) xy 平面内の図形

$$S: \begin{cases} x + y^2 \leq 2 \\ x + y \geq 0 \\ x - y \leq 2 \end{cases}$$

の表す領域は, 右の図の斜線部分で境界線を含む.



(2) x 軸の下側の領域 D_1 の面積を S_1 とし, D_1 の重心 $\left(1, -\frac{1}{3}\right)$ と直線 $x + y = 0$ との距離を d_1 とすると

$$S_1 = 1, \quad d_1 = \frac{2}{3\sqrt{2}}$$

D_1 を直線 $x + y = 0$ のまわりに 1 回転した回転体を体積を V_1 とすると, (半径 $\sqrt{2}$, 高さ $\sqrt{2}$ の円錐の体積)

$$V_1 = 2\pi d_1 S_1 = 2\pi \cdot \frac{2}{3\sqrt{2}} \cdot 1 = \frac{2\sqrt{2}}{3}\pi$$

放物線 $x = -y^2 + 2$ 上に点 $P(-t^2 + 2, t)$, 直線 $x + y = 0$ 上に点 $Q(-t, t)$ をとり ($0 \leq t \leq 2$), 線分 PQ の中点を M とすると

$$M\left(-\frac{t^2}{2} - \frac{t}{2} + 1, t\right)$$

M と直線 $x + y = 0$ の距離を d とすると

$$d = \frac{\left|-\frac{t^2}{2} - \frac{t}{2} + 1\right|}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \frac{-t^2 + t + 2}{2\sqrt{2}}$$

$\Delta S = PQ\Delta t = (-t^2 + t + 2)\Delta t$ を l のまわりに 1 回転させた体積 ΔV_2 は

$$\begin{aligned}\Delta V_2 &= 2\pi d\Delta S = 2\pi \cdot \frac{-t^2 + t + 2}{2\sqrt{2}} \cdot (-t^2 + t + 2)\Delta t \\ &= \frac{\pi(-t^2 + t + 2)^2}{\sqrt{2}}\Delta t = \frac{\pi(2-t)^2(t+1)^2}{\sqrt{2}}\Delta t\end{aligned}$$

x 軸の上側の部分を直線 $x + y = 0$ のまわりに 1 回転させた体積 V_2 は

$$\begin{aligned}\frac{\sqrt{2}V_2}{\pi} &= \int_0^2 (2-t)^2(t+1)^2 dt = \int_0^2 (2-t)^2(t^2 + 2t + 1) dt \\ &= \int_0^2 t^2(2-t)^2 dt + 2 \int_0^2 t(2-t)^2 dt + \int_0^2 (2-t)^2 dt \\ &= \frac{2!2!}{5!}(2-0)^5 + 2 \cdot \frac{1!2!}{4!}(2-0)^4 + \left[\frac{(2-t)^3}{3} \right]_0^2 \\ &= \frac{2^5}{30} + \frac{2^4}{6} + \frac{2^3}{3} = 2^3 \left(\frac{2}{15} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \right) = \frac{32}{5}\end{aligned}$$

したがって
$$V_2 = \frac{16\sqrt{2}}{5}\pi$$

よって、求める回転体の体積は

$$V_1 + V_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3}\pi + \frac{16\sqrt{2}}{5}\pi = \frac{58\sqrt{2}}{15}\pi$$

東工大 2020 年

n を正の奇数とする. 曲線 $y = \sin x$ ($(n-1)\pi \leq x \leq n\pi$) と x 軸で囲まれた部分を D_n とする. 直線 $x + y = 0$ を l とおき, l の周りに D_n を 1 回転させてできる回転体を V_n とする.

(2) 回転体 V_n の体積を n の式で表せ.

解答 $y = \sin x$ の微小区間 $[t, t + \Delta t]$ の面積 ΔS とその重心 G は

$$\Delta S = (\sin t)\Delta t, \quad G \left(t, \frac{1}{2} \sin t \right)$$

G と直線 $x + y = 0$ の距離 d は
$$d = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(t + \frac{1}{2} \sin t \right)$$

$$\begin{aligned}V_n \text{ の体積} &= 2\pi \int_{(n-1)\pi}^{n\pi} \frac{1}{\sqrt{2}} \left(t + \frac{1}{2} \sin t \right) \sin t dt \\ &= \sqrt{2}\pi \left[-t \cos t + \sin t + \frac{t}{4} - \frac{1}{8} \sin 2t \right]_{(n-1)\pi}^{n\pi} = \sqrt{2}\pi^2 \left(2n - \frac{3}{4} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(1) \quad & \text{AQ}_n = \text{AP}_n \tan \theta \\
& = \mathbf{a}_n \tan \theta, \\
& \text{BR}_n = (1 - \text{AQ}_n) \tan \theta \\
& = (1 - a_n \tan \theta) \tan \theta \\
& = \tan \theta - \mathbf{a}_n \tan^2 \theta, \\
& \text{CS}_n = (1 - \text{BR}_n) \tan \theta \\
& = (1 - \tan \theta + a_n \tan^2 \theta) \tan \theta \\
& = \tan \theta - \tan^2 \theta + \mathbf{a}_n \tan^3 \theta
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(2) \quad & \text{AP}_{n+1} = 1 - \text{OP}_{n+1} \\
& = 1 - \text{OS}_n \tan \theta \\
& = 1 - (1 - \text{CS}_n) \tan \theta
\end{aligned}$$

上式および(1)の結果から

$$\begin{aligned}
a_{n+1} &= 1 - (1 - \tan \theta + \tan^2 \theta - a_n \tan^3 \theta) \tan \theta \\
&= \mathbf{1} - \tan \theta + \tan^2 \theta - \tan^3 \theta + \mathbf{a}_n \tan^4 \theta
\end{aligned} \tag{A}$$

(3) (2) で得られた漸化式の特微方程式の解を α とすると

$$\alpha = 1 - \tan \theta + \tan^2 \theta - \tan^3 \theta + \alpha \tan^4 \theta \tag{B}$$

したがって $(1 - \tan^4 \theta)\alpha = (1 + \tan^2 \theta)(1 - \tan \theta)$

$0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ より, $0 < \tan^4 \theta < 1$ であるから

$$\alpha = \frac{(1 + \tan^2 \theta)(1 - \tan \theta)}{1 - \tan^4 \theta} = \frac{1}{1 + \tan \theta}$$

(A), (B) より $a_{n+1} - \alpha = \tan^4 \theta (a_n - \alpha)$

数列 $\{a_n - \alpha\}$ は, 初項 $a_1 - \alpha$, 公比 $\tan^4 \theta$ の等比数列であるから

$$a_n - \alpha = (a_1 - \alpha)(\tan^4 \theta)^{n-1}$$

$$\begin{aligned}
\text{よって} \quad a_n &= (a_1 - \alpha)(\tan^4 \theta)^{n-1} + \alpha \\
&= \left(\mathbf{a}_1 - \frac{1}{1 + \tan \theta} \right) (\tan^4 \theta)^{n-1} + \frac{1}{1 + \tan \theta}
\end{aligned}$$

(4) (i) $P_1 = P_2$ のとき, $a_1 = a_2$ より

$$a_1 = 1 - \tan \theta + \tan^2 \theta - \tan^3 \theta + a_1 \tan^4 \theta \quad \text{ゆえに} \quad a_1 = \frac{1}{1 + \tan \theta}$$

(ii) $P_1 \neq P_2$ のとき, $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ より, $0 < \tan^4 \theta < 1$

$$(3) \text{の結果から} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \frac{1}{1 + \tan \theta}$$

(i), (ii) の結果から

$$\begin{aligned} OP_n : P_n A &= (1 - a_n) : a_n \\ &= 1 - \frac{1}{1 + \tan \theta} : \frac{1}{1 + \tan \theta} \\ &= \tan \theta : 1 = \sin \theta : \cos \theta \end{aligned}$$

よって, P_n は線分 OA を $\sin \theta : \cos \theta$ に内分する点に近づく. ■

9 (1) (*) $z^4 + pz^2 + qz + 27 = 0$

$z_1 = a + bi, z_2 = c + di$ とする (a, b, c, d は実数).

$$\begin{aligned}\overline{z_1} + \overline{z_2} &= (a - bi) + (c - di) \\ &= (a + c) - (b + d)i, \\ \overline{z_1 + z_2} &= \overline{(a + bi) + (c + di)} = \overline{(a + b) + (c + d)i} \\ &= (a + b) - (c + d)i\end{aligned}$$

よって $\overline{z_1} + \overline{z_2} = \overline{z_1 + z_2}$

$$\begin{aligned}\overline{z_1} \overline{z_2} &= (a - bi)(c - di) \\ &= (ac - bd) - (ad + bc)i, \\ \overline{z_1 z_2} &= \overline{(a + bi)(c + di)} = \overline{(ac - bd) + (ad + bc)i} \\ &= (ac - bd) - (ad + bc)i\end{aligned}$$

よって $\overline{z_1} \overline{z_2} = \overline{z_1 z_2}$

(2) $z = \alpha$ は方程式 (*) の解であるから

$$\alpha^4 + p\alpha^2 + q\alpha + 27 = 0$$

両辺の共役複素数をとると $\overline{\alpha^4 + p\alpha^2 + q\alpha + 27} = \overline{0}$

$$\overline{\alpha^4} + p\overline{\alpha^2} + q\overline{\alpha} + \overline{27} = \overline{0} \quad \text{ゆえに} \quad (\overline{\alpha})^4 + p(\overline{\alpha})^2 + q\overline{\alpha} + 27 = 0$$

よって, $z = \overline{\alpha}$ は方程式 (*) の解である.

(3) $\alpha + \alpha^2 = 0$ とすると $\alpha(1 + \alpha) = 0$ ゆえに $\alpha = 0, -1$

これは, α が $\operatorname{Re}(\alpha) > 0, \operatorname{Im}(\alpha) > 0$ であることに反するから

$$\alpha + \alpha^2 \neq 0 \tag{A}$$

α, α^2 が実係数の方程式 (*) の解であるから, $\overline{\alpha}, \overline{\alpha^2}$ は (*) の解である.

$\alpha, \alpha^2, \overline{\alpha}, \overline{\alpha^2}$ が方程式 (*) の解であるから, 解と係数の関係 (3 次の係数) により

$$\alpha + \alpha^2 + \overline{\alpha} + \overline{\alpha^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \alpha + \alpha^2 + \overline{\alpha + \alpha^2} = 0 \tag{B}$$

(A), (B) から, $\alpha + \alpha^2$ は純虚数である.

(4) 解と係数の関係により

$$\alpha\bar{\alpha}\alpha^2\bar{\alpha}^2 = 27 \quad \text{ゆえに} \quad |\alpha|^6 = 27 \quad \text{よって} \quad |\alpha| = \sqrt[3]{3}$$

$$x = \operatorname{Re}(\alpha), \quad y = \operatorname{Im}(\alpha) \quad \text{とおくと} \quad \alpha = x + yi$$

$$\begin{aligned} \alpha + \alpha^2 &= (x + yi) + (x + yi)^2 \\ &= x + x^2 - y^2 + (2x + 1)yi \end{aligned}$$

$|\alpha|^2 = 3$ および (3) の結果から

$$(*) \quad \begin{cases} x^2 + y^2 = 3 \\ x + x^2 - y^2 = 0 \\ (2x + 1)y \neq 0 \end{cases}$$

$x > 0, y > 0$ は (*) の第3式を満たす.

(*) の第1式と第2式から y^2 を消去すると

$$2x^2 + x - 3 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (2x + 3)(x - 1) = 0$$

$x > 0$ であるから $x = 1$ これを (*) の第1式に代入して $y^2 = 2$

$y > 0$ であるから $y = \sqrt{2}$ よって $\alpha = 1 + \sqrt{2}i$

(5) (4) の結果から $\bar{\alpha} = 1 - \sqrt{2}i$

$$\alpha^2 = (1 + \sqrt{2}i)^2 = -1 + 2\sqrt{2}i, \quad \bar{\alpha}^2 = -1 - 2\sqrt{2}i$$

$$\text{これから} \quad \alpha + \bar{\alpha} = 2, \quad \alpha^2 + \bar{\alpha}^2 = -2$$

方程式 (*) の解が $\alpha, \bar{\alpha}, \alpha^2, \bar{\alpha}^2$ であるから

$$\begin{aligned} (z - \alpha)(z - \bar{\alpha})(z - \alpha^2)(z - \bar{\alpha}^2) &= 0 \\ \{z^2 - (\alpha + \bar{\alpha})z + |\alpha|^2\}\{z^2 - (\alpha^2 + \bar{\alpha}^2)z + |\alpha|^4\} &= 0 \\ (z^2 - 2z + 3)(z^2 + 2z + 9) &= 0 \\ z^4 + 8z^3 - 12z + 27 &= 0 \end{aligned}$$

よって $p = 8, q = -12$



10 (1) 標本平均 m_1 は

$$m_1 = \frac{1}{9}(9.0 + 9.0 + 8.0 + 8.0 + 9.0 + 9.0 + 10.0 + 9.0 + 10.0) = \mathbf{9.0}$$

分散 S_1^2 は

$$S_1^2 = \frac{1}{9}\{0^2 + 0^2 + (-1)^2 + (-1)^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 1^2\} = \frac{4}{9}$$

別解 $m_1 = 9.0 + \frac{1}{9}\{0 + 0 + (-1.0) + (-1.0) + 0 + 0 + 1.0 + 0 + 1.0\} = \mathbf{9.0}$

(2) 母分散 $\sigma^2 = 1$, 標本の大きさ 9, 標本平均 9 より, 母平均 m に対する 95% の信頼区間は,

$$9.0 - 1.96 \cdot \frac{1}{\sqrt{9}} \leq m \leq 9.0 + 1.96 \cdot \frac{1}{\sqrt{9}}$$

$$8.346 \leq m \leq 9.653 \text{ より } \mathbf{8.35 \leq m \leq 9.65}$$

(3) $m_2 = \frac{9.0 + 9.0 + 8.0 + 8.0 + 9.0 + 9.0 + 10.0 + 9.0 + 10.0 + x}{10} = \frac{x + 81}{10}$

分散 S_2^2 は

$$\begin{aligned} S_2^2 &= \frac{9.0^2 + 9.0^2 + 8.0^2 + 8.0^2 + 9.0^2 + 9.0^2 + 10.0^2 + 9.0^2 + 10.0^2 + x^2}{10} \\ &\quad - \left(\frac{x + 81}{10} \right)^2 \\ &= \frac{9x^2 - 162x + 769}{100} = \frac{9(x - 9)^2 + 40}{100} \end{aligned}$$

$8 \leq x \leq 10$ より

$$\mathbf{8.9 \leq m_2 \leq 9.1}, \quad \frac{2}{5} \leq S_2^2 \leq \frac{49}{100} \quad (0.4 \leq S_2^2 \leq 0.49 \text{ も可})$$

(4) 母集団は 母平均 $m = 8$, 母分散 $\sigma^2 = 1$

大きさ 4 の標本平均 $\bar{X}$ は, 正規分布 $N\left(8, \frac{1^2}{4}\right)$ に従う.

$$\begin{aligned} P(\bar{X} \geq 9) &= P\left(\frac{\bar{X} - 8}{\sqrt{\frac{1}{4}}} \geq \frac{9 - 8}{\sqrt{\frac{1}{4}}}\right) = P(Z \geq 2) \\ &= 0.5 - u(2) = 0.5 - 0.4772 = 0.0228 \end{aligned}$$

よって, 求める確率は **0.02** ■

5.11 2025 年

出題分野

- 教育 A・経済・環境科学部 1 3 数 I・II・A・B (80 分)
- 水産・情報データ科学部 A 1 2 3 数 I・II・A・B・C (110 分)
- 教育 B・薬・歯・工・情報データ科学部 B 4 5 6 7
数 I・II・III・A・B・C (130 分)
- 医学部 8 9 10 11 数 I・II・III・A・B・C (130 分)

1 以下はそれぞれ個別の問題である。各問いに答えよ。

- (1) 2 次関数 $y = ax^2 - 2ax + b$ ($-1 \leq x \leq 2$) の最大値が 4 で、最小値が -2 であるとき、定数 a, b の値を求めよ。
 - (2) 数列 $\{a_n\}$ が、 $a_1 = 1, a_2 = 4, a_{n+2} - 4a_{n+1} + 4a_n = 0$ ($n \geq 1$) で定義されている。 $b_n = a_{n+1} - 2a_n, c_n = \frac{a_n}{2^n}$ とおくとき、 b_n, c_n をそれぞれ n の式で表し、一般項 a_n を求めよ。
 - (3) $\triangle ABC$ において、 $AB = 4, BC = 6, CA = 5$ である。 $\angle A$ の 2 等分線と辺 BC が交わる点を D とする。 $\overrightarrow{AD}$ を $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ を用いて表せ。また、内積 $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}$ および $|\overrightarrow{AD}|$ をそれぞれ求めよ。
- (4) は選択問題である。(A), (B) いずれか 1 問を解答すること。
- (4) (A) 円 $C: x^2 + y^2 = 1$ がある。この円 C を、 y 軸をもとにして x 軸方向に 3 倍、 x 軸をもとにして y 軸方向に 2 倍にした、だ円 D の方程式を求めよ。また、だ円 D と y 軸との 2 つの交点を A, B とする。ただし、 A の y 座標は正である。点 $P(x, y)$ が、だ円 D 上を動くとき、 A と P との距離 AP の最大値と、そのときの P の座標を求めよ。
 - (B) $0 \leq x \leq 1$ に値をとる確率変数 X の確率密度関数が $f(x) = kx(x-1)$ であるとき、定数 k の値を求めよ。また、 X が $\alpha \leq x \leq \beta$ の範囲の値をとる確率を $P(\alpha \leq X \leq \beta)$ とするとき、 $P\left(0 \leq X \leq \frac{1}{4}\right)$ および $P\left(\frac{1}{4} \leq X \leq 1\right)$ の値をそれぞれ求めよ。

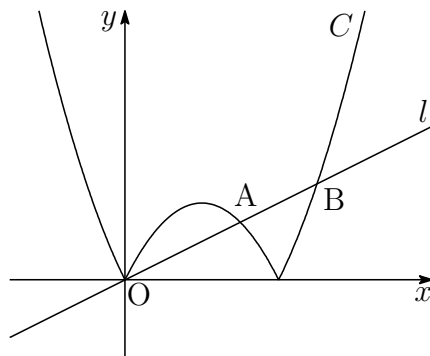
2 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 2 次方程式 $x^2 - 2ax + a = 0$ が $0 < x < 3$ の範囲において異なる 2 つの実数解をもつように定数 a の値の範囲を定めよ．
- (2) $0 < y < x < \pi$ のとき，以下の連立方程式の解 (x, y) を求めよ．

$$\begin{cases} \sin x + \cos y = 1 \\ 4 \cos^2 x - \sin^2 y = \frac{9}{4} \end{cases}$$

- (3) 関数 $f(x) = \log_2 x + 2 \log_2(3 - x)$ の最大値と，そのときの x の値を求めよ．

- 3 下図のように、原点を O とする xy 座標平面上における曲線 $C: y = |x^2 - x|$ と直線 $l: y = ax$ ($a > 0$) は、異なる3点 O, A, B を共有している。ただし、 A の x 座標は B の x 座標より小さいものとする。以下の問いに答えよ。



- (1) 2点 A, B の x 座標を、 a を用いてそれぞれ表せ。また、 a の取り得る値の範囲を求めよ。
- (2) 線分 OA と曲線 C とで囲まれる図形の面積 S_1 を a を用いて表せ。
- (3) 線分 AB と曲線 C とで囲まれる図形の面積 S_2 を a を用いて表せ。
- (4) (2) と (3) の S_1 と S_2 の和 ($S_1 + S_2$) の最小値と、そのときの a の値を求めよ。

4 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 2 次関数 $y = ax^2 - 2ax + b$ ($-1 \leq x \leq 2$) の最大値が 4 で，最小値が -2 であるとき，定数 a, b の値を求めよ．
- (2) $0 < y < x < \pi$ のとき，以下の連立方程式の解 (x, y) を求めよ．

$$\begin{cases} \sin x + \cos y = 1 \\ 4 \cos^2 x - \sin^2 y = \frac{9}{4} \end{cases}$$

(3) は選択問題である．(A)，(B) いずれか 1 問を解答すること．

- (3) (A) 円 $C: x^2 + y^2 = 1$ がある．この円 C を， y 軸をもとにして x 軸方向に 3 倍， x 軸をもとにして y 軸方向に 2 倍にした，だ円 D の方程式を求めよ．また，だ円 D と y 軸との 2 つの交点を A, B とする．ただし， A の y 座標は正である．点 $P(x, y)$ が，だ円 D 上を動くとき， A と P との距離 AP の最大値と，そのときの P の座標を求めよ．
- (B) $0 \leq x \leq 1$ に値をとる確率変数 X の確率密度関数が $f(x) = kx(x-1)$ であるとき，定数 k の値を求めよ．また， X が $\alpha \leq x \leq \beta$ の範囲の値をとる確率を $P(\alpha \leq X \leq \beta)$ とするとき， $0 \leq a \leq 1$ における $P(0 \leq X \leq a)$ を a を用いて表し， $P(0 \leq X \leq a) = \frac{7}{20}P(a \leq X \leq 1)$ を満たす定数 a の値を求めよ．

5 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

- (1) 原点を O とする複素数平面上に，原点 O と異なる 2 点 $A(\alpha)$ ， $B(\beta)$ があり， $4\alpha^2 - 6\alpha\beta + 3\beta^2 = 0$ が成り立つ．このとき， $\frac{\beta}{\alpha}$ の値を求めよ．また， $\frac{\beta}{\alpha}$ を極形式で表せ．ただし， $0 < \arg \frac{\beta}{\alpha} < \pi$ とする．
- (2) 数列 $\{a_n\}$ が， $a_1 = 1$ ， $a_2 = 4$ ， $a_{n+2} - 4a_{n+1} + 4a_n = 0$ ($n \geq 1$) で定義されている． $b_n = a_{n+1} - 2a_n$ ， $c_n = \frac{a_n}{2^n}$ とおくとき， b_n ， c_n をそれぞれ n の式で表し，一般項 a_n を求めよ．
- (3) 部分積分法を用いて定積分 $\int_0^1 \log(x^2 + 1) dx$ を求めよ．ただし，対数は自然対数とする．

- 6 図1のように，原点を O とする xy 平面上に，曲線 $C: y = x^2$ がある．曲線 C 上の点 $A(-1, 1)$ と曲線 C 上を動く点 $P(t, t^2)$ がある．ただし， $-1 < t < 0$ とする． C 上の A における接線を l とし， A を通り l に垂直な直線を法線 l' とする．同様に C 上の P における接線を m とし， P を通り m に垂直な直線を法線 m' とする．以下の問いに答えよ．

- (1) 接線 l および法線 l' の方程式をそれぞれ求めよ．
- (2) 接線 m および法線 m' の方程式をそれぞれ t を用いて表せ．
- (3) l' と m' の交点を R とする．曲線 C 上を P が A に限りなく近づくとき， R が限りなく近づく点を R_0 とする． R_0 の座標を求めよ．
- (4) (3) の R_0 を中心とし， A を通る円 D の方程式を求めよ．また，円 D と曲線 C が共有する点のうち， A と異なる点を B とする． B の座標を求めよ．
- (5) (4) において，円 D と法線 l' が共有する点のうち， A と異なる点を E とするとき，線分 BE ，円 D ，曲線 C とで囲まれる図形 (図2の斜線部，境界を含む) の面積を求めよ．

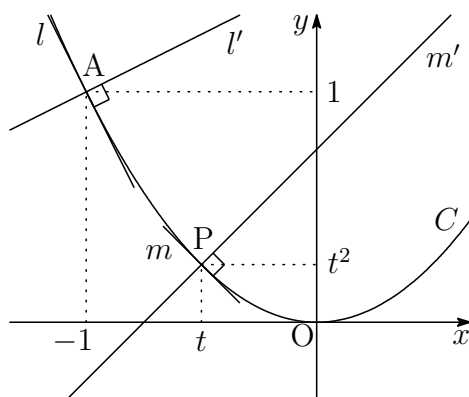


図1

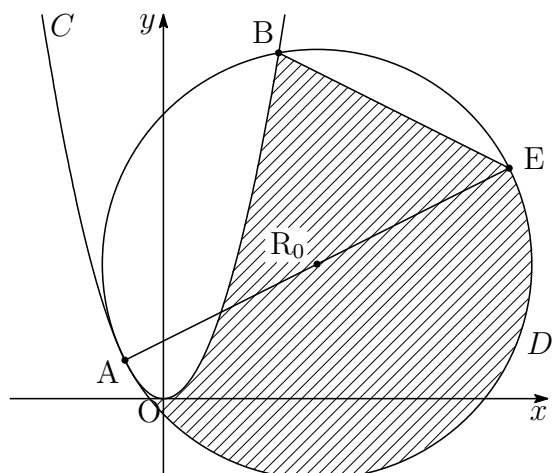
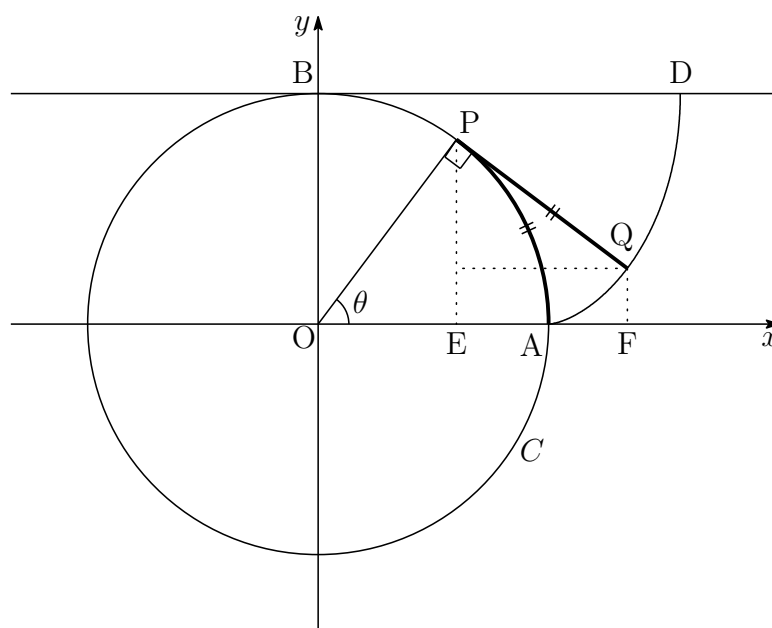


図2

- 7 下図のように, xy 座標平面上の原点 O を中心とする半径 2 の円 C がある. 点 $A(2, 0)$, 点 $B(0, 2)$ とするとき, 点 P は円 C の周上を A から B まで反時計まわりに動くものとする. また, $\angle AOP = \theta$ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) とし, 点 $Q(x, y)$ は, $\angle OPQ$ の大きさが常に $\frac{\pi}{2}$ で, 線分 PQ の長さが弧 AP の長さに等しくなるように動く. ただし, 点 Q の x 座標は常に 2 以上とし, $\theta = 0$ のときの Q の位置を A , $\theta = \frac{\pi}{2}$ のときの Q の位置を D とする. 以下の問いに答えよ.



- (1) 弧 AP の長さ l を θ を用いて表せ. また, D の座標を求めよ. ただし, 答えのみでよい.
- (2) 2 点 P, Q から x 軸に下した垂線と x 軸との交点をそれぞれ E, F とするとき, 4 点 P, E, F, Q の座標を θ を用いて表せ. ただし, 答えのみでよい.
- (3) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta \sin 2\theta \, d\theta$ および $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta^2 \cos 2\theta \, d\theta$ を, それぞれ求めよ.
- (4) $Q(x, y)$ が描く曲線と円 C および直線 BD とで囲まれる図形の面積 S を求めよ. ただし, この C については $x \geq 0, y \geq 0$ の円弧で考える.
- (5) $Q(x, y)$ がえがく曲線の長さ L を求めよ.

8 以下はそれぞれ個別の問題である．各問いに答えよ．

(1) 関数 $f(x) = \log_2 x + 2 \log_2 (3 - x)$ の最大値と，そのときの x の値を求めよ．

(2) 数列 $\{a_n\}$ が， $a_1 = 1$ ， $a_2 = 4$ ， $a_{n+2} - 4a_{n+1} + 4a_n = 0$ ($n \geq 1$) で定義されている． $b_n = a_{n+1} - 2a_n$ ， $c_n = \frac{a_n}{2^n}$ とおくとき， b_n ， c_n をそれぞれ n の式で表し，一般項 a_n を求めよ．

(3) は選択問題である．(A)，(B) いずれか 1 問を解答すること．

(3) (A) 原点を O とする複素数平面上に，原点 O と異なる 2 点 $A(\alpha)$ ， $B(\beta)$ があり， $4\alpha^2 - 6\alpha\beta + 3\beta^2 = 0$ が成り立つ．このとき， $\frac{\beta}{\alpha}$ の値を求めよ．

また， $\frac{\beta}{\alpha}$ を極形式で表し， $\triangle OAB$ はどのような三角形か答えよ．ただし， $0 < \arg \frac{\beta}{\alpha} < \pi$ とする．

(B) $0 \leq x \leq 1$ に値をとる確率変数 X の確率密度関数が $f(x) = kx(x-1)$ であるとき，定数 k の値を求めよ．また， X が $\alpha \leq x \leq \beta$ の範囲の値をとる確率を $P(\alpha \leq X \leq \beta)$ とするとき， $0 \leq a \leq 1$ における $P(0 \leq X \leq a)$ を a を用いて表し， $P(0 \leq X \leq a) = \frac{7}{20}P(a \leq X \leq 1)$ を満たす定数 a の値を求めよ．

- 9 原点を O とする xy 平面上の 2 点 $A(0, 2)$, $B(1, 0)$ を通る直線を l_1 とし, x 座標が t ($0 \leq t \leq 1$) である線分 AB 上の点を P とする. P から x 軸, y 軸に下した垂線と, x 軸, y 軸との交点をそれぞれ点 Q , 点 R とし, Q , R を通る直線を l_2 とする. P が線分 AB 上を A から B まで動くとき, 線分 QR が通過してできる図形の周および内部からなる領域を F とする. ただし,

P が A と一致するときは, Q は O とし, R は A とする.

P が B と一致するときは, Q は B とし, R は O とする.

以下の問いに答えよ.

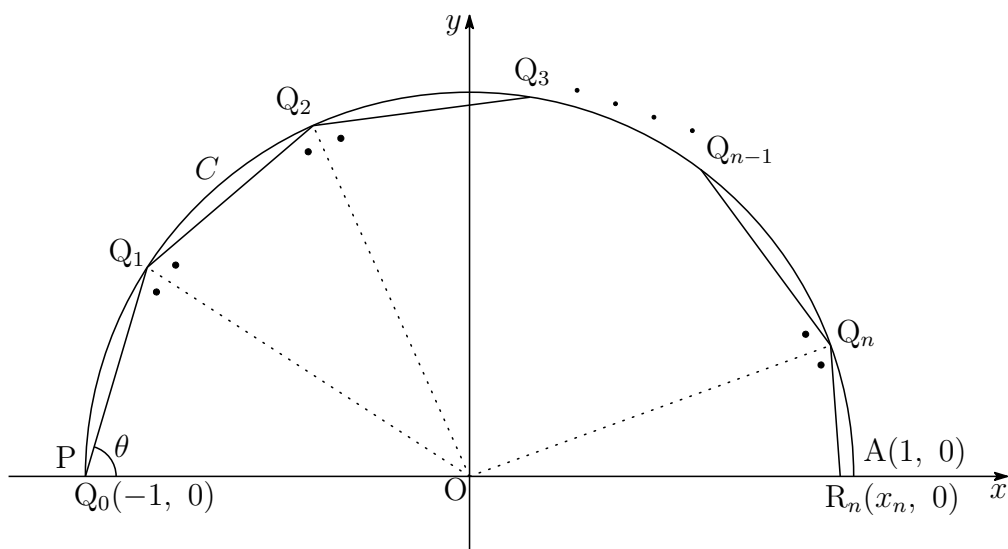
- (1) $\triangle AOB$ の周および内部からなる領域を不等式で表せ. ただし, 答えのみでよい.
- (2) 直線 l_2 の方程式意を t の 2 次方程式 $2t^2 + at + b = 0$ の形で表すとする. a , b をそれぞれ x と y の式で表せ.
- (3) 点 $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right)$ は領域 F に含まれるかどうかを調べよ.
- (4) 領域 F を x と y の不等式で表せ.
- (5) 解答用紙の xy 座標平面上に領域 F を図示せよ. また, 領域 F が表す図形の面積 S を求めよ.

10 xyz 座標空間の xy 平面上に、原点 O を中心とする半径 1 の円 C があり、円 C の周上を動く点を $P(\cos \theta, \sin \theta, 0)$ とする。また、 $z = 1$ で表される平面 T 上に、点 $A(0, 0, 1)$ を中心とする半径 1 の円 D があり、円 D の周上を動く点を $Q(\cos(\theta + \alpha), \sin(\theta + \alpha), 1)$ とする。ただし、 θ は $0 \leq \theta \leq 2\pi$ の変数とし、 α は $0 \leq \alpha \leq \pi$ の定数とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $\overrightarrow{PR} = t\overrightarrow{PQ}$ ($0 \leq t \leq 1$) とする。このとき、点 $R(x, y, z)$ の x, y, z をそれぞれ t, θ, α を用いて表せ。
- (2) (1) の R から z 軸に垂線 RH を下ろし、2 点 R と H の距離を d とする。 d^2 を α と t の式で表せ。また、 t が $t = 0$ から $t = 1$ まで変化するとき、 d の最小値を α を用いて表し、そのときの t の値を求めよ。ただし、 $0 < \alpha \leq \pi$ とする。
- (3) θ が $\theta = 0$ から $\theta = 2\pi$ まで変化するとき、線分 PQ が通過してできる曲面と、 xy 平面と平面 T の 2 平面とで囲まれる立体 F の体積 V を α を用いて表せ。
- (4) (3) の立体 F は、定数 α の値によって様々な形状になる。立体 F の体積 V が最大、最小になるときの α の値と体積をそれぞれ求め、そのときの形状をそれぞれ答えよ。

11 原点を O とする xy 平面上において $y = \sqrt{1-x^2}$ ($-1 \leq x \leq 1$) で表される半円を C とし, C 上の 2 点を $Q_0(-1, 0)$, $A(1, 0)$ とする. 下図のように, 小球 P (以下 P とよぶ) は Q_0 より, x 軸の正の向きとなす角が θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) となるように発射され, P が C 上の点 Q_1 に達すると, $\angle Q_0Q_1O = \angle OQ_1Q_2$ となるように反射される. さらに, P は, このような反射を繰り返し, はじめて x 軸に達したとき, 静止するものとする. このような反射を繰り返し, はじめて x 軸に達したとき, 静止するものとする. このときの反射の回数を n 回 (最後の反射する点は Q_n) とし, 静止する点を $R_n(x_n, 0)$ とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) P が, 1 回の反射で A に達するときの P の軌跡を示し, そのときの θ の値を求めよ. また, P が, 2 回の反射で A に達するときの P の軌跡を示し, そのときの θ の値を求めよ. ただし, θ の値は答のみでよい.
- (2) P が 1 回の反射で x 軸に達するとき, θ の値の範囲を求めよ. このとき, x_1 を $\sin \theta$ の式で表し, x_1 の取り得る値の範囲を求めよ.
- (3) P が n 回の反射で x 軸に達するとき, θ の値の範囲を求めよ. また, x_n を n, θ を用いて表せ.
- (4) (3) のとき, $\triangle OR_nQ_n$ の面積 S_n は, $S_n = \frac{\tan 2n\theta \tan \theta}{2(\tan 2n\theta + \tan \theta)}$ と表されることを示し, 反射の回数 n が限りなく大きくなる場合は, S_n は限りなく 0 に近づくことを証明せよ.



解答例

- 1** (1) $f(x) = ax^2 - 2ax + b$ とおくと $f(x) = a(x-1)^2 - a + b$
 $-1 \leq x \leq 2$ において、最大値 4, 最小値 -2 をとるから $a \neq 0$

(i) $a > 0$ のとき, $f(-1) = 4$, $f(1) = -2$ であるから

$$3a + b = 4, \quad -a + b = -2 \quad \text{これを解いて} \quad a = \frac{3}{2}, \quad b = -\frac{1}{2}$$

(ii) $a < 0$ のとき, $f(-1) = -2$, $f(1) = 4$ であるから

$$3a + b = -2, \quad -a + b = 4 \quad \text{これを解いて} \quad a = -\frac{3}{2}, \quad b = \frac{5}{2}$$

$$\text{よって} \quad (a, b) = \left(\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}\right), \quad \left(-\frac{3}{2}, \frac{5}{2}\right)$$

- (2) $a_{n+2} - 4a_{n+1} + 4a_n = 0$ ($n \geq 1$) より

$$a_{n+2} - 2a_{n+1} = 2(a_{n+1} - 2a_n) \quad \text{ゆえに} \quad b_{n+1} = 2b_n$$

$b_1 = a_2 - 2a_1 = 4 - 2 \cdot 1 = 2$ より, $\{b_n\}$ は初項 2, 公比 2 の等比数列であるから

$$b_n = 2 \cdot 2^{n-1} \quad \text{よって} \quad b_n = 2^n$$

上式を $b_n = a_{n+1} - 2a_n$ に代入すると $2^n = a_{n+1} - 2a_n$

$$\frac{a_{n+1}}{2^{n+1}} - \frac{a_n}{2^n} = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad c_{n+1} - c_n = \frac{1}{2}$$

$c_1 = \frac{a_1}{2} = \frac{1}{2}$ より, $\{c_n\}$ は初項 $\frac{1}{2}$, 公差 $\frac{1}{2}$ の等差数列であるから

$$c_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(n-1) = \frac{n}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a_n}{2^n} = \frac{n}{2} \quad \text{よって} \quad a_n = n \cdot 2^{n-1}$$

(3) 線分 AD は $\angle A$ の二等分線であるから $BD : DC = AB : AC = 4 : 5$

$$\overrightarrow{AD} = \frac{5\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{AC}}{9}$$

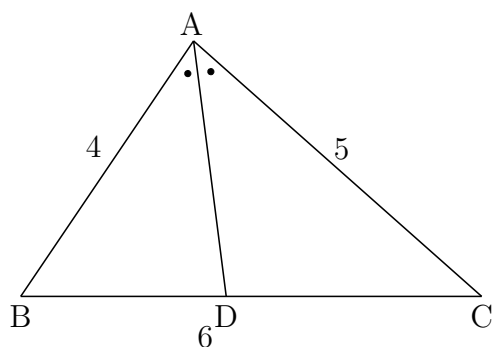
$$|\overrightarrow{BC}| = |\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}| \text{ より } |\overrightarrow{BC}|^2 = |\overrightarrow{AC}|^2 - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} + |\overrightarrow{AB}|^2$$

$$6^2 = 5^2 - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} + 4^2 \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = \frac{5}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } |5\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{AC}|^2 &= 25|\overrightarrow{AB}|^2 + 40\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} + 16|\overrightarrow{AC}|^2 \\ &= 25 \cdot 4^2 + 40 \cdot \frac{5}{2} + 16 \cdot 5^2 = 900 \end{aligned}$$

$$|5\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{AC}| = 30 \text{ であるから}$$

$$|\overrightarrow{AD}| = \frac{|5\overrightarrow{AB} + 4\overrightarrow{AC}|}{9} = \frac{30}{9} = \frac{10}{3}$$



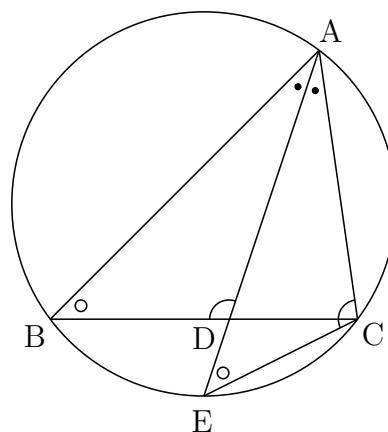
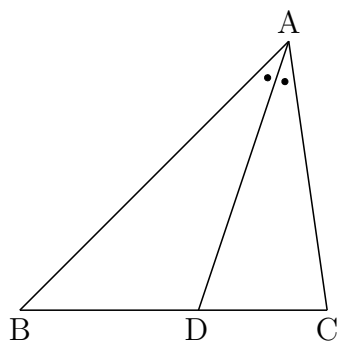
$$\text{別解 } AD^2 = AB \cdot AC - BD \cdot DC = 4 \times 5 - \frac{4}{9} \cdot 6 \times \frac{5}{9} \cdot 6 = \frac{100}{9}$$

三角形の角の二等分線に関する公式

$\triangle ABC$ の $\angle A$ の二等分線と辺 BC との交点を D とすると

$$AD^2 = AB \cdot AC - BD \cdot DC$$

証明 右下の図のように $\triangle ABC$ の外接円と AD の延長との交点を E とする.



$\triangle ABD \sim \triangle AEC$ より

$$AB : AD = AE : AC \quad \text{ゆえに} \quad AB \cdot AC = AD \cdot AE$$

$AE = AD + DE$ より

$$AB \cdot AC = AD(AD + DE) = AD^2 + AD \cdot DE$$

方べきの定理により, $AD \cdot DE = BD \cdot DC$ であるから

$$AB \cdot AC = AD^2 + BD \cdot DC \quad \text{よって} \quad AD^2 = AB \cdot AC - BD \cdot DC \quad \text{証終}$$

(4) 楕円 D の頂点が $(\pm 3, 0)$, $(0, \pm 2)$ であるから, その方程式は

$$\frac{x^2}{3^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1 \quad (*)$$

点 $A(0, 2)$ から D 上の点 $P(x, y)$ の距離 AP は

$$AP^2 = x^2 + (y - 2)^2$$

(*) から $x^2 = 9 - \frac{9}{4}y^2 \dots \textcircled{1}$ であるから, これを上式に代入すると

$$\begin{aligned} AP^2 &= 9 - \frac{9}{4}y^2 + (y - 2)^2 = -\frac{5}{4}y^2 - 4y + 13 \\ &= -\frac{5}{4}\left(y + \frac{8}{5}\right)^2 + \frac{81}{5} \end{aligned}$$

$-2 \leq y \leq 2$ であるから, $y = -\frac{8}{5}$ これを $\textcircled{1}$ に代入すると $x^2 = \frac{81}{25}$

よって, $P\left(\pm\frac{9}{5}, -\frac{8}{5}\right)$ のとき, 最大値 $\frac{9}{\sqrt{5}}$

(5) 確率変数の範囲が $0 \leq x \leq 1$ である確率密度関数 $f(x) = kx(x - 1)$ により (k は定数)

$$\int_0^1 f(x) dx = k \int_0^1 x(x - 1) dx = -\frac{k}{6} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = -6$$

したがって

$$\begin{aligned} P \leq \left(0 \leq x \leq \frac{1}{4}\right) &= -6 \int_0^{\frac{1}{4}} x(x - 1) dx = -6 \left[\frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} \right]_0^{\frac{1}{4}} = \frac{5}{32} \\ P \left(\frac{1}{4} \leq x \leq 1 \right) &= 1 - P \left(0 \leq x \leq \frac{1}{4} \right) = 1 - \frac{5}{32} = \frac{27}{32} \end{aligned}$$

■

- 2 (1) $f(x) = x^2 - 2ax + a$ とおくと $f(x) = (x - a)^2 - a^2 + a$
 2 次方程式 $f(x) = 0$ が $0 < x < 3$ の範囲に異なる 2 つの実数解をもつから

$$0 < a < 3, \quad f(0) > 0, \quad f(a) < 0, \quad f(3) > 0$$

$$\text{したがって } 0 < a < 3, \quad a > 0, \quad -a^2 + a < 0, \quad 9 - 5a > 0$$

$$\text{すなわち } \begin{cases} 0 < a < 3 \\ a > 0 \\ a < 0, 1 < a \\ a < \frac{9}{5} \end{cases} \quad \text{これを解いて } 1 < a < \frac{9}{5}$$

$$(2) \sin x + \cos y = 1 \text{ より } \cos y = 1 - \sin x \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$4 \cos^2 x - \sin^2 y = \frac{9}{4} \text{ より } 4(1 - \sin^2 x) - (1 - \cos^2 y) = \frac{9}{4}$$

$$\frac{3}{4} - 4 \sin^2 x + \cos^2 y = 0$$

$$\textcircled{1} \text{ を上式に代入すると } \frac{3}{4} - 4 \sin^2 x + (1 - \sin x)^2 = 0$$

$$-3 \sin^2 x - 2 \sin x + \frac{7}{4} = 0 \quad \text{ゆえに } 12 \sin^2 x + 8 \sin x - 7 = 0$$

$$(2 \sin x - 1)(6 \sin x + 7) = 0 \text{ より } (-1 \leq \sin x \leq 1) \quad \sin x = \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{これを } \textcircled{1} \text{ に代入すると } \cos y = \frac{1}{2} \quad 0 < y < \pi \text{ に注意して } y = \frac{\pi}{3}$$

$$0 < y < x < \pi \text{ より, } \frac{\pi}{3} < x < \pi \text{ に注意して } \textcircled{2} \text{ を解くと } x = \frac{5}{6}\pi$$

- (3) $f(x) = \log_2 x + 2 \log_2 (3 - x)$ について、真数は正であるから

$$x > 0, \quad 3 - x > 0 \quad \text{すなわち } 0 < x < 3$$

$f(x) = \log_2 x(3 - x)^2$ より、3 正数 $2x, 3 - x, 3 - x$ の相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{2x + (3 - x) + (3 - x)}{3} \geq \sqrt[3]{2x(3 - x)^2} \quad \text{ゆえに } x(3 - x)^2 \leq 4$$

上式において等号が成立するのは

$$2x = 3 - x \quad \text{すなわち } x = 1$$

よって、 $x = 1$ のとき最大値 2 をとる。 ■

3 (1) 点 A の x 座標は

$$-x^2 + x = ax \quad \text{ゆえに} \quad x(x - 1 + a) = 0$$

$$x \neq 0 \text{ であるから} \quad x = 1 - a$$

点 B の x 座標は

$$x^2 - x = ax \quad \text{ゆえに} \quad x(x - 1 - a) = 0$$

$$x \neq 0 \text{ であるから} \quad x = 1 + a$$

O, A, B の位置関係から, a のとり得る値の範囲は

$$0 < 1 - a < 1 + a \quad \text{すなわち} \quad 0 < a < 1$$

(2)

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{1-a} \{(-x^2 + x) - ax\} dx \\ &= \int_0^{1-a} x(1 - a - x) dx = \frac{1}{6}(1 - a)^3 \end{aligned}$$

(3) C と x 軸で囲まれた部分の面積を S_3 とすると

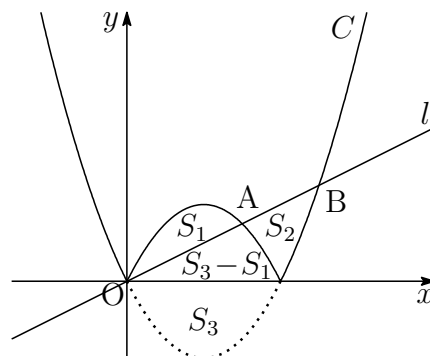
$$S_3 = \int_0^1 (-x^2 + x) dx = -\int_0^1 x(x - 1) dx = \frac{1}{6}$$

曲線 $y = x^2 - x$ と直線 $y = ax$ で囲まれた部分の面積は

$$\begin{aligned} S_3 + (S_3 - S_1) + S_2 &= \int_0^{1+a} \{ax - (x^2 - x)\} dx \\ &= \int_0^{1+a} x(1 + a - x) dx = \frac{1}{6}(1 + a)^3 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{1}{6}(1 + a)^3 + S_1 - 2S_3 \\ &= \frac{1}{6}(1 + a)^3 + \frac{1}{6}(1 - a)^3 - 2 \cdot \frac{1}{6} \\ &= a^2 \end{aligned}$$



(4) (2), (3) の結果から, $S(a) = S_1 + S_2$ とおくと

$$\begin{aligned} S(a) &= \frac{1}{6}(1-a)^3 + a^2 \\ &= -\frac{1}{6}a^3 + \frac{3}{2}a^2 - \frac{1}{2}a + \frac{1}{6} \\ S'(a) &= -\frac{1}{2}a^2 + 3a - \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$0 < a < 1$ に注意して, $S'(a) = 0$ を解くと $a = 3 - 2\sqrt{2}$

a	(0)	$\cdots$	$3 - 2\sqrt{2}$	$\cdots$	(1)
$S'(a)$		$-$	0	$+$	
$S(a)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

$$S(a) = \frac{1}{3}(a-3)f'(a) + \frac{1}{3}(8a-1) \text{ より}$$

$$a = 3 - 2\sqrt{2} \text{ のとき, 最小値 } f(3 - 2\sqrt{2}) = \frac{1}{3}(23 - 16\sqrt{2})$$

■

4 (1) 1 (1) を参照

(2) 2 (2) を参照

(3) 1 (4)(A) を参照

(4) 確率変数の範囲が $0 \leq x \leq 1$ である確率密度関数 $f(x) = kx(x-1)$ により (k は定数)

$$\int_0^1 f(x) dx = k \int_0^1 x(x-1) dx = -\frac{k}{6} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = -6$$

$$P(0 \leq x \leq a) = \frac{7}{20}P(a \leq x \leq 1) \text{ より}$$

$$P(0 \leq x \leq a) = \frac{7}{20}\{1 - P(0 \leq x \leq a)\} \quad P(0 \leq x \leq a) = \frac{7}{27}$$

$$P(0 \leq x \leq a) = -6 \int_0^a x(x-1) dx = -6 \left[\frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} \right] = -2a^3 + 3a^2 \text{ より}$$

$$-2a^3 + 3a^2 = \frac{7}{27} \quad \text{整理すると} \quad 54a^3 - 81a^2 + 7 = 0$$

$$\text{したがって} \quad (3a-1)(18a^2 - 21a - 7) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{1}{3}, \frac{7 \pm \sqrt{105}}{12}$$

$$0 \leq a \leq 1 \text{ であるから} \quad a = \frac{1}{3}$$

■

- 5 (1) $4\alpha^2 - 6\alpha\beta + 3\beta^2 = 0$ より ($\alpha \neq 0$)

$$\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2 - 6\frac{\beta}{\alpha} + 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\beta}{\alpha} = \frac{3 \pm \sqrt{3}i}{3}$$

$$0 < \arg \frac{\beta}{\alpha} < \pi \text{ であるから} \quad \frac{\beta}{\alpha} = \frac{3 + \sqrt{3}i}{3}$$

$$\left|\frac{\beta}{\alpha}\right| = \frac{\sqrt{3^2 + (\sqrt{3})^2}}{3} = \frac{2\sqrt{3}}{3}$$

$$\text{よって} \quad \frac{\beta}{\alpha} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) = \frac{2\sqrt{3}}{3} \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right)$$

- (2) 1 (2) を参照

- (3)

$$\begin{aligned} \int_0^1 \log(x^2 + 1) dx &= \int_0^1 (x)' \log(x^2 + 1) dx \\ &= \left[x \log(x^2 + 1) \right]_0^1 - \int_0^1 x \cdot \frac{2x}{x^2 + 1} dx \\ &= \log 2 - 2 \int_0^1 \left(1 - \frac{1}{x^2 + 1} \right) dx \\ &= \log 2 - 2 + 2 \int_0^1 \frac{1}{x^2 + 1} dx \end{aligned}$$

$$x = \tan \theta \text{ とおくと} \quad \frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 1 \\ \hline \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

$$\int_0^1 \frac{1}{x^2 + 1} dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\tan^2 \theta + 1} \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{よって} \quad \int_0^1 \log(x^2 + 1) dx = \log 2 - 2 + 2 \cdot \frac{\pi}{4} = \log 2 + \frac{\pi}{2} - 2 \quad \blacksquare$$

- 6** (1) $C: y = x^2$ より $y' = 2x$ であるから, $x = -1$ のとき, $y' = -2$

C 上の点 $A(-1, 1)$ における接線 l の方程式は

$$y - 1 = -2(x + 1) \quad \text{すなわち} \quad y = -2x - 1$$

C 上の点 $A(-1, 1)$ における法線 l' の方程式は

$$y - 1 = \frac{1}{2}(x + 1) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{1}{2}x + \frac{3}{2}$$

- (2) $x = t$ のとき, $y' = 2t$

C 上の点 $P(t, t^2)$ における接線 m の方程式は

$$y - t^2 = 2t(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = 2tx - t^2$$

C 上の点 $P(t, t^2)$ における法線 m' の方程式は

$$y - t^2 = -\frac{1}{2t}(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = -\frac{1}{2t}x + t^2 + \frac{1}{2}$$

- (3) (1), (2) の結果から, l' , m' の交点 R の座標は, 連立方程式

$$\begin{cases} y = \frac{1}{2}x + \frac{3}{2} \\ y = -\frac{1}{2t}x + t^2 + \frac{1}{2} \end{cases}$$

を解くと

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}x + \frac{3}{2} &= -\frac{1}{2t}x + t^2 + \frac{1}{2} \\ \left(\frac{1}{t} + 1\right)x &= 2(t^2 - 1) \\ (t + 1)x &= 2t(t + 1)(t - 1) \end{aligned}$$

$t \neq -1$ であるから $x = 2t(t - 1)$

$$y = \frac{1}{2} \cdot 2t(t - 1) + \frac{3}{2} = t^2 - t + \frac{3}{2}$$

したがって $R\left(2t(t - 1), t^2 - t + \frac{3}{2}\right)$

$P \rightarrow A$ のとき, $t \rightarrow -1$ より $R_0\left(4, \frac{7}{2}\right)$

(4) D は中心 $R_0 \left(4, \frac{7}{2} \right)$, 半径 $R_0A = \sqrt{(4+1)^2 + \left(\frac{7}{2} - 1 \right)^2} = \frac{5\sqrt{5}}{2}$ の円

$$D : (x-4)^2 + \left(y - \frac{7}{2} \right)^2 = \frac{125}{4}$$

D と $C : y = x^2$ の方程式から y を消去すると

$$(x-4)^2 + \left(x^2 - \frac{7}{2} \right)^2 = \frac{125}{4}$$

整理すると $x^4 - 6x^2 - 8x - 3 = 0$ ゆえに $(x+1)^3(x-3) = 0$

したがって, 共有点の座標は $(-1, 1), (3, 9)$

B は A と異なる点であるから $B(3, 9)$

(5) AE は円 D の直径の両端であるから, $A(-1, 1)$, $R_0 \left(4, \frac{7}{2} \right)$ より $E(9, 6)$

$$AB = \sqrt{(3+1)^2 + (9-1)^2} = 4\sqrt{5},$$

$$BE = \sqrt{(9-3)^2 + (6-9)^2} = 3\sqrt{5},$$

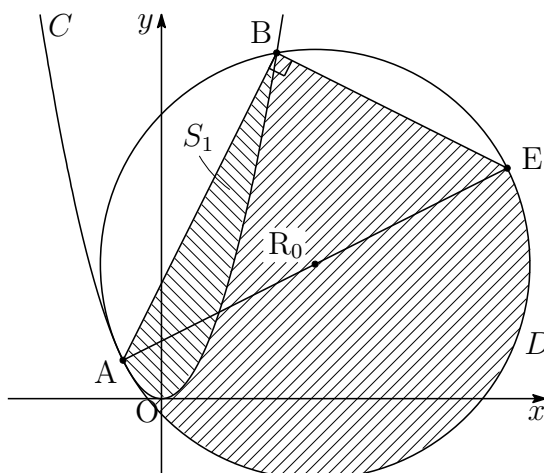
$$\triangle ABE = \frac{1}{2} \cdot 4\sqrt{5} \cdot 3\sqrt{5} = 30$$

C と直線 $AB : y = 2x + 3$ で囲まれた部分の面積を S_1 とすると

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{-1}^3 \{(2x+3) - x^2\} dx \\ &= - \int_{-1}^3 (x+1)(x-3) dx = - \left(-\frac{1}{6} \right) (3+1)^2 = \frac{32}{3} \end{aligned}$$

求める面積を S とすると

$$S = \triangle ABE + \frac{1}{2}\pi \left(\frac{5\sqrt{5}}{2} \right)^2 - S_1 = 30 + \frac{125}{8}\pi - \frac{32}{3} = \frac{125}{8}\pi + \frac{58}{3}$$



法線群の包絡線

一般に $C_1 : y = f(x)$ 上の 2 点 $P(t, f(t))$, $Q(u, f(u))$ における法線の方程式は ($u \neq t$), それぞれ

$$(x - t) + f'(t)(y - f(t)) = 0, \quad (x - u) + f'(u)(y - f(u)) = 0$$

であり, これから

$$x + f'(t)y = t + f'(t)f(t) \quad \cdots \textcircled{1}, \quad x + f'(u)y = u + f'(u)f(u) \quad \cdots \textcircled{2}$$

$\textcircled{2} - \textcircled{1}$ より

$$\begin{aligned} \{f'(u) - f'(t)\}y &= u - t + f'(u)f(u) - f'(t)f(t) \\ &= u - t + f'(u)\{f(u) - f(t)\} + f(t)\{f'(u) - f'(t)\} \end{aligned}$$

$u \neq t$ であるから, 両辺を $u - t$ で割ると

$$\frac{f'(u) - f'(t)}{u - t}y = 1 + f'(u) \cdot \frac{f(u) - f(t)}{u - t} + f(t) \cdot \frac{f'(u) - f'(t)}{u - t}$$

$u \rightarrow t$ とすると $f''(t)y = 1 + f'(t)^2 + f(t)f''(t)$

$f''(t) \neq 0$ のとき $y = f(t) + \frac{1 + f'(t)^2}{f''(t)}$

これを $\textcircled{1}$ に代入すると $x = t - \frac{f'(t)\{1 + f'(t)^2\}}{f''(t)}$

よって, t を変数として次の (x, y) が描く軌跡 (法線群の包絡線) が C_2 である.

$$x = t - \frac{f'(t)\{1 + f'(t)^2\}}{f''(t)}, \quad y = f(t) + \frac{1 + f'(t)^2}{f''(t)} \quad (*)$$

上で求めた (x, y) は P における曲率円 (接触円) の中心でもある. P における曲率円とは, 曲線上の 3 点 P, Q, R について, Q, R が曲線上を P に限りなく近づくときに占める極限の位置の円である. その中心を曲率中心という.

C_1 上の 3 点を $P(t, f(t))$, $Q(u, f(u))$, $R(v, f(v))$ とする ($t < u < v$). 3 点 P, Q, R を通る円を $(x - c_1)^2 + (y - c_2)^2 - r^2 = 0$ とすると

$$\begin{aligned} (t - c_1)^2 + \{f(t) - c_2\}^2 - r^2 &= 0 \\ (u - c_1)^2 + \{f(u) - c_2\}^2 - r^2 &= 0 \\ (v - c_1)^2 + \{f(v) - c_2\}^2 - r^2 &= 0 \end{aligned}$$

ここで, $g(s) = (s - c_1)^2 + \{f(s) - c_2\}^2 - r^2$ とおくと $g(t) = g(u) = g(v) = 0$

$g(t) = g(u)$ であるから, ロル (Rolle) の定理により

$$g'(t_1) = 0 \quad (t < t_1 < u)$$

を満たす t_1 が存在する. 同様に, $g(u) = g(v)$ であるから

$$g'(t_2) = 0 \quad (u < t_2 < v)$$

を満たす t_2 が存在する. $g'(t_1) = g'(t_2)$ であるから, さらにロルの定理を用いると

$$g''(t_3) = 0 \quad (t_1 < t_3 < t_2)$$

を満たす t_3 が存在する. Q, R が P に限りなく近づくと, $u \rightarrow t$, $v \rightarrow t$ となるから, 上の諸式において

$$g(t) = 0, \quad g'(t) = 0, \quad g''(t) = 0$$

$g'(s)$, $g''(s)$ は

$$\begin{aligned} g'(s) &= 2(s - c_1) + 2f'(s)\{f(s) - c_2\} \\ g''(s) &= 2 + 2f''(s)\{f(s) - c_2\} + 2\{f'(s)\}^2 \end{aligned}$$

$g'(t) = 0$, $g''(t) = 0$ であるから

$$(t - c_1) + f'(t)\{f(t) - c_2\} = 0, \quad 1 + f'(t)^2 + f''(t)\{f(t) - c_2\} = 0$$

上の第2式から $c_2 - f(t) = \frac{1 + f'(t)^2}{f''(t)}$

これを第1式に代入すると $c_1 - t = -\frac{f'(t)\{1 + f'(t)^2\}}{f''(t)}$

上の2式を $g(t) = 0$ に代入することにより, 曲率円の半径 r は

$$r^2 = \frac{\{1 + f'(t)^2\}^3}{\{f''(t)\}^2} \quad \text{ゆえに} \quad r = \frac{\{1 + f'(t)^2\}^{\frac{3}{2}}}{|f''(t)|}$$

よって, 曲線の P における曲率中心 (c_1, c_2) は

$$c_1 = t - \frac{f'(t)\{1 + f'(t)^2\}}{f''(t)}, \quad c_2 = f(t) + \frac{1 + f'(t)^2}{f''(t)} \quad (**)$$

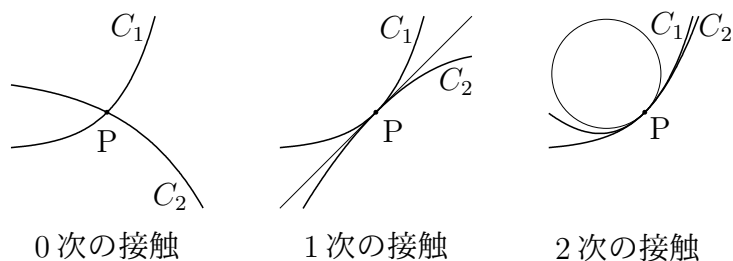
曲率中心 (c_1, c_2) の描く軌跡を縮閉線といい, (*), (**) から曲線の法線群の包絡線と一致することがわかる. また, 曲率円の半径は

$$\sqrt{(t - c_1)^2 + \{f(t) - c_2\}^2} = \frac{\{1 + f'(t)^2\}^{\frac{3}{2}}}{|f''(t)|}$$

n 次の接触

2 曲線 $C_1: y = f(x)$ と $C_2: y = g(x)$ の共有点 P の x 座標を α とする.

1. $f(\alpha) = g(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 0 次の接触をなすという.
2. $f(\alpha) = g(\alpha)$, $f'(\alpha) = g'(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 1 次の接触をなすとい
い, P における C_1 および C_2 の接線が一致する.
3. $f(\alpha) = g(\alpha)$, $f'(\alpha) = g'(\alpha)$, $f''(\alpha) = g''(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 2 次の
接触をなすといひ, P における C_1 および C_2 の接触円 (曲率円) が一致する.



一般に, $f^{(k)}(\alpha) = g^{(k)}(\alpha)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) が成り立つとき, C_1 と C_2 は点 P で n 次の接触をなすという.

本題において, D は C 上の点 A における接触円であり, C と D は点 A で 2 次の接触をなす. なお, C と D を連立させた方程式

$$(x+1)^3(x-3) = 0$$

から, C と D が 2 次の接触をなすことがわかる.

曲率と曲率半径

曲線の弧長 s に対する接線の向きの変化率を曲率といい、曲率 κ は、次式で定義される。

$$\kappa = \frac{d\theta}{ds}$$

点 (x, y) における接線が、 x 軸の正の向きとなす角を θ とすると

$$y' = \tan \theta$$

これを θ について、微分することにより

$$y'' \frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} = 1 + \tan^2 \theta = 1 + (y')^2 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{d\theta}{dx} = \frac{y''}{1 + (y')^2}$$

また、 $\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + (y')^2}$ であるから、 $\frac{dx}{ds} = \frac{1}{\sqrt{1 + (y')^2}}$ より

$$\kappa = \frac{d\theta}{ds} = \frac{d\theta}{dx} \cdot \frac{dx}{ds} = \frac{y''}{1 + (y')^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (y')^2}} = \frac{y''}{\{1 + (y')^2\}^{\frac{3}{2}}}$$

曲率 κ の逆数 $\frac{1}{\kappa}$ を曲率半径という。曲率円の半径は曲率半径の絶対値に等しい。
 $\kappa > 0$ すなわち $y'' > 0$ のとき下に凸、 $\kappa < 0$ すなわち $y'' < 0$ のとき上に凸である。

変曲点は曲率の符号が変わる点であり、頂点は曲率が極値をとる点である。



2008 年 長崎大学 6 番

放物線 $y = x^2$ 上に、 x 座標が t である点 $P(t)$ をとる。ただし、 $t \geq 0$ とする。 $h \neq 0$ とし、放物線の $P(t)$ における法線と、 $P(t+h)$ における法線を考える。 $h \rightarrow 0$ とするとき、この 2 法線の交点の x 座標の極限値を $u(t)$ 、 y 座標の極限値を $v(t)$ とする。さらに $(u(t), v(t))$ を点 $Q(t)$ とする。次の問いに答えよ。

- (1) $u(t)$ と $v(t)$ を求めよ。
- (2) $Q(t)$ が上の放物線上にあるとき、 t の値と $Q(t)$ の座標を求めよ。
- (3) 上の放物線、曲線 $x = u(t)$ 、 $y = v(t)$ 、および y 軸で囲まれた図形の面積を求めよ。

解答 (1) $y = x^2$ を微分すると $y' = 2x$

放物線上の点 (t, t^2) における法線の方程式は

$$1(x - t) + 2t(y - t^2) = 0 \quad \text{すなわち} \quad x + 2ty = t + 2t^3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$s \neq t$ とする。放物線上の点 (s, s^2) における法線の方程式は

$$x + 2sy = s + 2s^3 \quad \cdots \textcircled{2}$$

② - ① より

$$2(s - t)y = s - t + 2(s^3 - t^3) \quad \text{ゆえに} \quad y = s^2 + st + t^2 + \frac{1}{2}$$

これを ① に代入すると

$$x + 2t \left(s^2 + st + t^2 + \frac{1}{2} \right) = t + 2t^3 \quad \text{ゆえに} \quad x = -2st(s + t)$$

2 直線 ①, ② の交点の座標は $\left(-2st(s + t), s^2 + st + t^2 + \frac{1}{2} \right)$

この点を $s \rightarrow t$ とした極限の点が $(u(t), v(t))$ であるから

$$u(t) = \lim_{s \rightarrow t} \{-2st(s + t)\} = -4t^3$$

$$v(t) = \lim_{s \rightarrow t} \left(s^2 + st + t^2 + \frac{1}{2} \right) = 3t^2 + \frac{1}{2}$$

(2) $Q(t)$ が放物線 $y = x^2$ 上にあるから

$$3t^2 + \frac{1}{2} = (-4t^3)^2 \quad \text{整理すると} \quad 32t^6 - 6t^2 - 1 = 0$$

$$\text{ゆえに} \quad (2t^2 - 1)(4t^2 + 1)^2 = 0 \quad t \geq 0 \text{ に注意して} \quad t = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

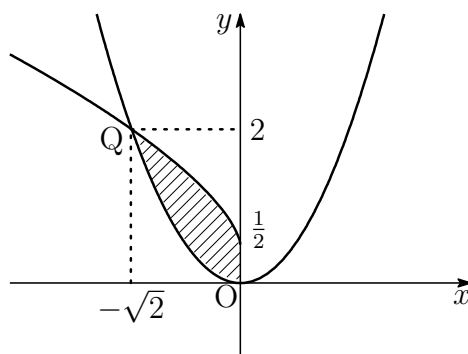
$$\text{よって} \quad Q(-\sqrt{2}, 2)$$

(3) (1) の結果から $x = -4t^3, y = 3t^2 + \frac{1}{2}$

ゆえに $2x = (-2t)^3, y = \frac{3}{4}(-2t)^2 + \frac{1}{2}$

上の2式から t を消去すると $y = \frac{3}{4}(2x)^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{2}$

求める面積は、下の図の斜線部分である。



この面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\sqrt{2}}^0 \left(\frac{3}{4}(2x)^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{2} - x^2 \right) dx \\ &= \left[\frac{9x(2x)^{\frac{2}{3}}}{20} + \frac{x}{2} - \frac{x^3}{3} \right]_{-\sqrt{2}}^0 = \frac{11}{15}\sqrt{2} \end{aligned}$$

解説 曲線 $y = \frac{3}{4}(2x)^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{2}$ を放物線 $y = x^2$ の法線群の包絡線という。

2009年 九大理系3番

曲線 $C_1: y = \frac{x^2}{2}$ の点 $P\left(a, \frac{a^2}{2}\right)$ における法線と点 $Q\left(b, \frac{b^2}{2}\right)$ における法線の交点を R とする。ただし、 $b \neq a$ とする。このとき、次の問いに答えよ。

- (1) b が a に限りなく近づくとき、 R はある点 A に限りなく近づく。 A の座標を a で表せ。
- (2) 点 P が曲線 C_1 上を動くとき、(1) で求めた点 A が描く軌跡を C_2 とする。曲線 C_1 と軌跡 C_2 の概形を描き、 C_1 と C_2 の交点の座標を求めよ。
- (3) 曲線 C_1 と軌跡 C_2 で囲まれた部分の面積を求めよ。

解答 (1) $y = \frac{x^2}{2}$ を微分すると $y' = x$

点 $A\left(a, \frac{a^2}{2}\right)$ における接線の方角ベクトルは $(1, a)$ であるから, A における法線の方程式は

$$1(x - a) + a\left(y - \frac{a^2}{2}\right) = 0 \quad \text{すなわち} \quad x + ay = a + \frac{a^3}{2} \quad \cdots \textcircled{1}$$

同様にして $B\left(b, \frac{b^2}{2}\right)$ における法線の方程式は $x + by = b + \frac{b^3}{2} \quad \cdots \textcircled{2}$

①, ② から x を消去すると

$$(b - a)y = b - a + \frac{b^3 - a^3}{2} \quad b \neq a \text{ より} \quad y = 1 + \frac{a^2 + ab + b^2}{2}$$

これを ① に代入すると

$$x + a\left(1 + \frac{a^2 + ab + b^2}{2}\right) = a + \frac{a^3}{2} \quad \text{ゆえに} \quad x = -\frac{ab(a + b)}{2}$$

したがって, R の座標は $\left(-\frac{ab(a + b)}{2}, 1 + \frac{a^2 + ab + b^2}{2}\right)$

よって, $b \rightarrow a$ による R の極限の点 A の座標は $\left(-a^3, 1 + \frac{3}{2}a^2\right)$

(2) (1) の結果から

$$x = -a^3, \quad y = 1 + \frac{3}{2}a^2$$

とおくと, 第 1 式から $a = -x^{\frac{1}{3}}$

これを第 2 式に代入すると $y = 1 + \frac{3}{2}x^{\frac{2}{3}}$

上式が C_2 の方程式であり, C_1, C_2 の方程式から y を消去すると

$$\frac{x^2}{2} = 1 + \frac{3}{2}x^{\frac{2}{3}} \quad \text{ゆえに} \quad x^2 - 3x^{\frac{2}{3}} - 2 = 0$$

$x^{\frac{1}{3}} = t \cdots \textcircled{3}$ とおくと $x = t^3 \cdots \textcircled{3}'$

$$t^6 - 3t^2 - 2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (t^2 + 1)^2(t^2 - 2) = 0$$

したがって $t = \pm\sqrt{2} \quad \textcircled{3}' \text{ より} \quad x = \pm 2\sqrt{2}$

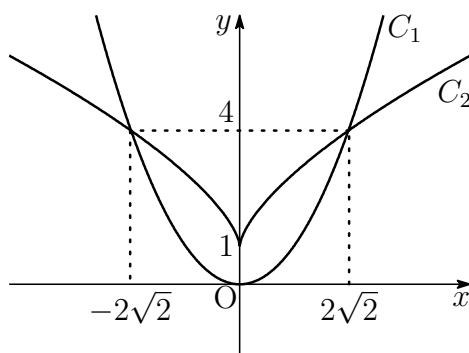
これを C_1 の方程式に代入して $y = 4$

よって, C_1 と C_2 の交点の座標は $(\pm 2\sqrt{2}, 4)$

$$C_2: y = 1 + \frac{3}{2}x^{\frac{2}{3}} \text{ について } y' = \frac{1}{\sqrt[3]{x}}, y'' = -\frac{1}{3x\sqrt[3]{x}}$$

ゆえに $y'' < 0$ したがって C_2 は上に凸の曲線である.

したがって, C_1, C_2 の概形は, 次のようになる.



補足

C_2 上の点 $P(0, 1)$ について, (1) の結果から

$$\overrightarrow{PA} = \left(-a^3, \frac{3}{2}a^2\right) = \frac{3}{2}a^2 \left(-\frac{2}{3}a, 1\right)$$

$a \rightarrow 0$ とすると, C_2 の尖点 $P(0, 1)$ における接線は, y 軸に平行な直線となる. 尖点 (cusp) は, 曲線上の可微分でない点であり, 接線が定まらないのが一般的である ($y = |x|$ の尖点 $(0, 0)$ など).

(3) C_1, C_2 は y 軸に関して対称であるから, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= 2 \int_0^{2\sqrt{2}} \left\{ \left(1 + \frac{3}{2}x^{\frac{2}{3}}\right) - \frac{x^2}{2} \right\} dx \\ &= 2 \left[x + \frac{9}{10}x^{\frac{5}{3}} - \frac{x^3}{6} \right]_0^{2\sqrt{2}} \\ &= \frac{88\sqrt{2}}{15} \end{aligned}$$

2017 年 九大後期 1 番

座標平面上の曲線 $C: y = \sqrt{x}$ ($x \geq 0$) を考える. C 上の異なる 2 点 $P(p, \sqrt{p})$, $Q(q, \sqrt{q})$ ($p > 0, q > 0$) における, それぞれの法線 ℓ_1, ℓ_2 を考える. 法線 ℓ_1 と ℓ_2 の交点を R とする. 以下の問いに答えよ.

(1) 点 R の座標を p と q で表せ.

(2) q が p に限りなく近づくとき, 線分 RP の長さの極限値を p で表せ.

解答 (1) $f(x) = \sqrt{x}$ とおくと $f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}}$

C 上の点 $P(p, \sqrt{p})$ における法線 ℓ_1 の方程式は, $-\frac{1}{f'(p)} = -2\sqrt{p}$ より
 $y - \sqrt{p} = -2\sqrt{p}(x - p)$ すなわち $y = -2\sqrt{p}x + (2p + 1)\sqrt{p} \cdots \textcircled{1}$

同様に, C 上の点 $Q(q, \sqrt{q})$ における法線 ℓ_2 の方程式は

$$y = -2\sqrt{q}x + (2q + 1)\sqrt{q} \cdots \textcircled{2}$$

①, ② から y を消去すると

$$\begin{aligned} 2(\sqrt{p} - \sqrt{q})x &= (2p + 1)\sqrt{p} - (2q + 1)\sqrt{q} \\ &= 2(p\sqrt{p} - q\sqrt{q}) + \sqrt{p} - \sqrt{q} \end{aligned}$$

2 点 P, Q は異なるので, $\sqrt{p} - \sqrt{q} \neq 0$ であるから

$$x = \frac{p\sqrt{p} - q\sqrt{q}}{\sqrt{p} - \sqrt{q}} + \frac{1}{2} = p + \sqrt{pq} + q + \frac{1}{2}$$

これを ① に代入すると

$$\begin{aligned} y &= -2\sqrt{p} \left(p + \sqrt{pq} + q + \frac{1}{2} \right) + (2p + 1)\sqrt{p} \\ &= (-2\sqrt{pq} - 2q)\sqrt{p} = -2\sqrt{pq}(\sqrt{p} + \sqrt{q}) \end{aligned}$$

よって, 点 R の座標は

$$\left(p + \sqrt{pq} + q + \frac{1}{2}, -2\sqrt{pq}(\sqrt{p} + \sqrt{q}) \right)$$

(2) q が p に限りなく近づいたとき, 点 R の極限の位置は, (1) の結果から

$$\left(3p + \frac{1}{2}, -4p\sqrt{p} \right)$$

このとき, RP の長さは

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(3p + \frac{1}{2} - p \right)^2 + (-4p\sqrt{p} - \sqrt{p})^2} \\ &= \sqrt{\left(2p + \frac{1}{2} \right)^2 + 4p \left(2p + \frac{1}{2} \right)^2} \\ &= \left(2p + \frac{1}{2} \right) \sqrt{1 + 4p} = \frac{1}{2}(1 + 4p)^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

2020 年 東大理系 6 番

以下の問いに答えよ.

- (1) A, α を実数とする. θ の方程式

$$A \sin 2\theta - \sin(\theta + \alpha) = 0$$

を考える. $A > 1$ のとき, この方程式は $0 \leq \theta < 2\pi$ の範囲に少なくとも 4 個の解をもつことを示せ.

- (2) 座標平面上の楕円

$$C: \frac{x^2}{2} + y^2 = 1$$

を考える. また, $0 < r < 1$ を満たす実数 r に対して, 不等式

$$2x^2 + y^2 < r^2$$

が表す領域を D とする. D 内のすべての点 P が以下の条件を満たすような実数 r ($0 < r < 1$) が存在することを示せ. また, そのような r の最大値を求めよ.

条件: C 上の点 Q で, Q における C の接線と直線 PQ が直交するようなものが少なくとも 4 個ある.

解答 (1) $f(\theta) = A \sin 2\theta - \sin(\theta + \alpha)$ とおくと, $A > 1$, $-1 \leq \sin(\theta + \alpha) \leq 1$ より

$$\begin{aligned} f\left(\frac{\pi}{4}\right) &= A - \sin\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) > 0, & f\left(\frac{3\pi}{4}\right) &= -A - \sin\left(\frac{3\pi}{4} + \alpha\right) < 0 \\ f\left(\frac{5\pi}{4}\right) &= A - \sin\left(\frac{5\pi}{4} + \alpha\right) > 0, & f\left(\frac{7\pi}{4}\right) &= -A - \sin\left(\frac{7\pi}{4} + \alpha\right) < 0 \end{aligned}$$

方程式 $f(\theta) = 0$ は区間 $\left(\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}\right)$, $\left(\frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}\right)$, $\left(\frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}\right)$ にそれぞれ少なくとも1つずつ解をもつ. また, $f(0) \leq 0$ のときは, $f(\theta) = 0$ は区間 $\left[0, \frac{\pi}{4}\right)$ に解をもち, $f(0) = f(2\pi) > 0$ のときは, $f(\theta) = 0$ は区間 $\left(\frac{7\pi}{4}, 2\pi\right)$ に少なくとも1つ解をもつ. よって, $f(\theta) = 0$ は, $0 \leq \theta < 2\pi$ において, 少なくとも4個解をもつ.

(2) $C: \frac{x^2}{2} + y^2 = 1$ より, $x = \sqrt{2} \cos \theta$, $y = \sin \theta$ とすると ($0 \leq \theta \leq 2\pi$)

$$\left(\frac{dx}{d\theta}, \frac{dy}{d\theta}\right) = (-\sqrt{2} \sin \theta, \cos \theta)$$

したがって, C 上の点 $(\sqrt{2} \cos \theta, \sin \theta)$ における法線の方程式は

$$(-\sqrt{2} \sin \theta)(x - \sqrt{2} \cos \theta) + (\cos \theta)(y - \sin \theta) = 0$$

すなわち $l: \sqrt{2}x \sin \theta - y \cos \theta = \sin \theta \cos \theta$

$D: 2x^2 + y^2 < r^2$ の点 $P\left(\frac{B \cos(-\beta)}{\sqrt{2}}, B \sin(-\beta)\right)$ が l 上の点であるとき ($0 \leq B < r$, $0 \leq \beta < 2\pi$)

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \left(\frac{B \cos \beta}{\sqrt{2}}\right) \sin \theta - (-B \sin \beta) \cos \theta &= \sin \theta \cos \theta \\ \sin 2\theta - 2B \sin(\theta + \beta) &= 0 \end{aligned} \tag{A1}$$

(i) $B = 0$ のとき, (A1) を満たす θ は $\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$

$P(0, 0)$ に対して, Q は $(\pm\sqrt{2}, 0)$, $(0, \pm 1)$ の4点存在する.

(ii) $B > 0$ のとき, (A1) より

$$\frac{1}{2B} \sin 2\theta - \sin(\theta + \beta) = 0$$

(1) の結果から, $\frac{1}{2B} > 1$, すなわち, $B < \frac{1}{2}$ となるように

$$0 < r \leq \frac{1}{2}$$

をとればよい.

$r > \frac{1}{2}$ であるとき, $B = \frac{1}{2}$, $\beta = \frac{\pi}{4}$ を (A1) に代入すると

$$\sin 2\theta - \sin\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) = 0$$

これから $2\theta = \theta + \frac{\pi}{4} + 2m\pi$, $\pi - \left(\theta + \frac{\pi}{4}\right) + 2n\pi$ (m, n は整数)

$0 \leq \theta < 2\pi$ に注意して解くと $\theta = \frac{\pi}{4}, \frac{11\pi}{12}, \frac{19\pi}{12}$

このとき, θ は 3 個であるから, 条件を満たす r の最大値は $r = \frac{1}{2}$

補足 $\beta = \frac{\pi}{4}$ 以外に, $\beta = \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$ としてもよい. 実際,

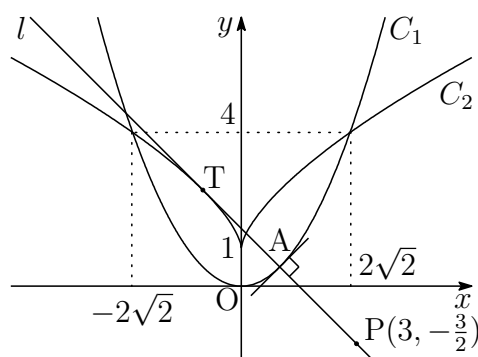
$$\beta = \frac{3\pi}{4} \text{ のとき } \theta = \frac{3\pi}{4}, \frac{\pi}{12}, \frac{17\pi}{12}$$

$$\beta = \frac{5\pi}{4} \text{ のとき } \theta = \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{12}, \frac{23\pi}{12}$$

$$\beta = \frac{7\pi}{4} \text{ のとき } \theta = \frac{7\pi}{4}, \frac{5\pi}{12}, \frac{13\pi}{12}$$

解説 本題は, 点 P から楕円 $C: \frac{x^2}{2} + y^2 = 1$ に引いた法線が 4 本引ける領域について考察する問題である. 楕円の法線群の包絡線について理解しておく, 本題の主旨が理解できる. 法線が引ける本数は, 包絡線に引ける接線の本数に等しい. 例えば, 放物線 $C_1: y = \frac{x^2}{2}$ の法線群の包絡線は $C_2: y = 1 + \frac{3}{2}x^{\frac{2}{3}}$ である¹³. y 軸上にない点 P をとると, C_2 の下側にある点 P からは C_1 に 1 本の法線, C_2 上の点 P から C_1 に 2 本の法線, C_2 の上側にある点 P からは C_1 に 3 本の法線が引ける. また, y 軸上の点からは C_1 に 1 本の法線が引ける.

$P(3, -\frac{3}{2})$ から包絡線 C_2 に引いた接線 $l: y = -x + \frac{5}{2}$ は第 2 象限の点 $T(-1, \frac{5}{2})$ で接し, l と C_1 の第 1 象限の交点は $A(1, \frac{1}{2})$ である. このとき C_1 の点 A における法線が l である. また, C_1 の A における接触円 (曲率円) の中心が T である.



¹³http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2009.pdf の [3] を参照.

別解 $C: \frac{x^2}{2} + y^2 = 1$ 上に点 $X(\sqrt{2}\cos\theta, \sin\theta)$ をとる ($0 \leq \theta \leq 2\pi$).

点 X の接方向は $(-\sqrt{2}\sin\theta, \cos\theta)$ であるから, C の点 X における法線は

$$(-\sqrt{2}\sin\theta)(x - \sqrt{2}\cos\theta) + (\cos\theta)(y - \sin\theta) = 0$$

すなわち $\sqrt{2}x\sin\theta - y\cos\theta = \sin\theta\cos\theta$

C 上に隣接 2 点 $A(\sqrt{2}\cos\alpha, \sin\alpha)$, $B(\sqrt{2}\cos\beta, \sin\beta)$ をとると ($\alpha \neq \beta$), A , B における法線は, それぞれ

$$\begin{cases} \sqrt{2}x\sin\alpha - y\cos\alpha = \sin\alpha\cos\alpha & \cdots \textcircled{1} \\ \sqrt{2}x\sin\beta - y\cos\beta = \sin\beta\cos\beta & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

$\textcircled{1} \times \cos\beta - \textcircled{2} \times \cos\alpha$ より (y を消去)

$$\sqrt{2}(\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta)x = \cos\alpha\cos\beta(\sin\alpha - \sin\beta)$$

これを解いて $x = \frac{\cos\alpha\cos\beta(\sin\beta - \sin\alpha)}{\sqrt{2}\sin(\beta - \alpha)} \quad \cdots (*)$

(*) において, $\beta \rightarrow \alpha$ とすると

$$\begin{aligned} \lim_{\beta \rightarrow \alpha} x &= \lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{\cos\alpha\cos\beta(\sin\beta - \sin\alpha)}{\sqrt{2}\sin(\beta - \alpha)} \\ &= \lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{\cos\alpha\cos\beta}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sin\beta - \sin\alpha}{\beta - \alpha} \cdot \frac{\beta - \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \end{aligned}$$

ここで, $\lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{\sin\beta - \sin\alpha}{\beta - \alpha}$ は $\sin x$ の $x = \alpha$ における微分係数 $\cos\alpha$,

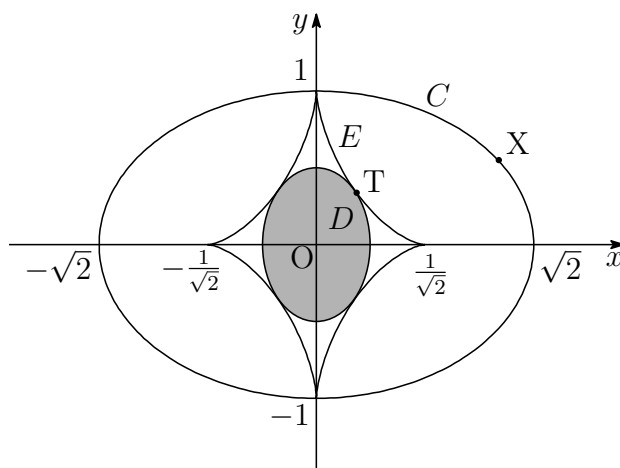
また, $\lim_{\beta \rightarrow \alpha} \frac{\beta - \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} = 1$ であるから

$$\lim_{\beta \rightarrow \alpha} x = \frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{2}} \quad \text{これを}\textcircled{1}\text{に代入すると} \quad \lim_{\beta \rightarrow \alpha} y = -\sin^3\alpha$$

点 A に対応する点 $\left(\frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{2}}, -\sin^3\alpha\right)$ が描く軌跡 E の方程式は

$$x = \frac{\cos^3\alpha}{\sqrt{2}}, \quad y = -\sin^3\alpha \quad \text{すなわち} \quad E: (\sqrt{2}x)^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} = 1$$

与えられた条件を満たす点 P は、 E の内部の点である (境界線を含まない).
 $\partial D: 2x^2 + y^2 = r^2$ とすると、求める r は ∂D と E が接するときである.
 この ∂D と E の第1象限における共有点を A とすると、 A におけるこれ
 らの接線は、共通接線である.



$$\partial D \text{ より } 4x + 2yy' = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y' = -\frac{2x}{y}$$

$$E \text{ より } \frac{2}{3}(\sqrt{2}x)^{-\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{2} + \frac{2}{3}y^{-\frac{1}{3}}y' = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y' = -\left(\frac{2y}{x}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{したがって} \quad -\frac{2x}{y} = -\left(\frac{2y}{x}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{第1象限の点であるから} \quad y = \sqrt{2}x$$

$$\text{これと } E \text{ の方程式を連立すると} \quad A\left(\frac{1}{4}, \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

点 A は ∂D の点であるから

$$2\left(\frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{4}\right)^2 = r^2 \quad \text{よって} \quad r = \frac{1}{2}$$

補足 E の内部 (境界を含まない) E' の点から E に引ける接線は4本ある¹⁴. 例えば、第1象限にある E' の点からは、 E に第1象限で接する l_1 , l'_1 の2本の接線、第2象限で接する l_2 、第4象限で接する l_4 がある. l_1 , l'_1 と C の第4象限の交点が、 C のそれぞれの点における法線である. l_2 と C の第3象限の交点が、 C の点における法線である. l_4 と C の第1象限の交点が、 C の点における法線である.

¹⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/temp/2020_04_19.pdf を参照

7 (1) $l = \widehat{AP} = 2\theta$

$P = B$ のとき, $l = 2 \cdot \frac{\pi}{2} = \pi$ であるから $D(\pi, 2)$

(2) $P(2 \cos \theta, 2 \sin \theta)$ より $E(2 \cos \theta, 0)$

$\overrightarrow{PQ}$ の向きは $\overrightarrow{OP}$ を $-\frac{\pi}{2}$ だけ回転させたもので, $PQ = \widehat{AP}$ であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OQ} &= \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PQ} \\ &= (2 \cos \theta, 2 \sin \theta) + 2\theta \left(\cos \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right), \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) \right) \\ &= (2 \cos \theta, 2 \sin \theta) + 2\theta (\sin \theta, -\cos \theta) \\ &= (2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta, 2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta)\end{aligned}$$

$Q(2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta, 2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta)$ であるから

$$F(2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta, 0)$$

(3)

$$\begin{aligned}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta \sin 2\theta \, d\theta &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta \left(-\frac{1}{2} \cos 2\theta \right)' \, d\theta \\ &= \left[\theta \left(-\frac{1}{2} \cos 2\theta \right) - 1 \left(-\frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi}{4}, \\ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta^2 \cos 2\theta \, d\theta &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta^2 \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta \right)' \, d\theta \\ &= \left[\theta^2 \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta \right) - 2\theta \left(-\frac{1}{4} \cos 2\theta \right) + 2 \left(-\frac{1}{8} \sin 2\theta \right) \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \\ &= -\frac{\pi}{4}\end{aligned}$$

補足 $f(x)$ の第 n 次導関数を $f^{(n)}(x)$ と表すように (n は自然数), ここで, n を 0 さらに負の整数まで拡張することにする. 実際にはこのような定義はないが, $f^{(-n)}(x)$ を $f(x)$ の第 n 次原始関数と定義すると

$$\begin{aligned}\int f(x)g'(x) \, dx &= f(x)g(x) - f^{(1)}(x)g^{(-1)}(x) + f^{(2)}(x)g^{(-2)}(x) \\ &\quad \cdots + (-1)^n f^{(n)}(x)g^{(-n)}(x) + (-1)^{n+1} \int f^{(n+1)}(x)g^{(-n)}(x) \, dx\end{aligned}$$

- (4) 点 D から x 軸に垂線 DH を引き、点 Q が描く曲線と x 軸および線分 DH で囲まれた部分の面積を S_1 とする.

$$x = f(\theta) = 2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta,$$

$$y = g(\theta) = 2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta$$

とおくと, $\frac{dx}{d\theta} = f'(\theta) = 2\theta \cos 2\theta$ より

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{f(0)}^{f(\frac{\pi}{2})} y \, dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} g(\theta) f'(\theta) \, d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} (2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta) \cdot 2\theta \cos \theta \, d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} (4\theta \sin \theta \cos \theta - 4\theta^2 \cos^2 \theta) \, d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} (2\theta \sin 2\theta - 2\theta^2 - 2\theta^2 \cos 2\theta) \, d\theta \\ &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta \sin 2\theta \, d\theta - 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \theta^2 \cos 2\theta - \frac{2}{3} \left[\theta^3 \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \\ &= 2 \cdot \frac{\pi}{4} - 2 \left(-\frac{\pi}{4} \right) - \frac{\pi^3}{12} = \pi - \frac{\pi^3}{12} \end{aligned}$$

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \text{長方形 OHDB} - \frac{1}{4}\pi - S_1 \\ &= \pi \cdot 2 - \frac{1}{4}\pi \cdot 2^2 - S_1 = 2\pi - \pi - \left(\pi - \frac{\pi^3}{12} \right) = \frac{\pi^3}{12} \end{aligned}$$

別解 $x = f(\theta) = 2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta$, $y = g(\theta) = 2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta$ とおくと

$$\begin{aligned} f(\theta)g'(\theta) - f'(\theta)g(\theta) &= (2 \cos \theta + 2\theta \sin \theta) \cdot 2\theta \sin \theta \\ &\quad - 2\theta \cos \theta (2 \sin \theta - 2\theta \cos \theta) \\ &= 4\theta^2 \end{aligned}$$

$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ において, OQ の描く図形の面積を S_2 とする.

ガウス・グリーンの定理により

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{f(\theta)g'(\theta) - f'(\theta)g(\theta)\} d\theta \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} 4\theta^2 d\theta = \frac{2}{3} \left[\theta^3 \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi^3}{12} \end{aligned}$$

求める面積 S は

$$\begin{aligned} S &= S_2 + \triangle ODB - \frac{1}{4}\square \\ &= \frac{\pi^3}{12} + \frac{1}{2}\pi \cdot 2 - \frac{1}{4}\pi \cdot 2^2 = \frac{\pi^3}{12} \end{aligned}$$

(5) $f'(\theta) = 2\theta \cos \theta$, $g'(\theta) = 2\theta \sin \theta$ より

$$\begin{aligned} L &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{f'(\theta)^2 + g'(\theta)^2} d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(2\theta \cos \theta)^2 + (2\theta \sin \theta)^2} d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2\theta d\theta = \left[\theta^2 \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi^2}{4} \end{aligned}$$

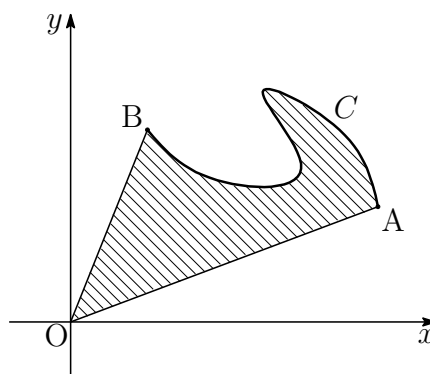
■

ガウス・グリーン の定理

ガウス・グリーン の定理

曲線 $C: x = f(t), y = g(t)$ ($\alpha \leq t \leq \beta$)
 について, $t = \alpha, \beta$ に対応する点をそれぞれ A, B とする. C と直線 OA, OB で
 囲まれた部分の面積を S とすると
 (OB の偏角 $>$ OA の偏角)

$$S = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$



証明 O を原点とする. C 上の 2 点 $P(f(t), g(t)), Q(f(t + \Delta t), g(t + \Delta t))$ をとり
 (OQ の偏角 $>$ OP の偏角), $\triangle OPQ$ の面積を ΔS とすると

$$\begin{aligned} 2\Delta S &= f(t)g(t + \Delta t) - f(t + \Delta t)g(t) \\ &= f(t)\{g(t + \Delta t) - g(t)\} - \{f(t + \Delta t) - f(t)\}g(t) \\ \frac{2\Delta S}{\Delta t} &= f(t) \cdot \frac{g(t + \Delta t) - g(t)}{\Delta t} - \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t} \cdot g(t) \end{aligned}$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \text{ とすると } 2 \frac{dS}{dt} = f(t)g'(t) - f'(t)g(t)$$

$t = \alpha, \beta$ に対応する点をそれぞれ A, B とする. C と直線 OA, OB で囲まれた部分の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$

証終

2025 年 九大後期 4 番

xy 平面上の曲線 C を，媒介変数 θ を用いて次のように定める．

$$x = -\cos \theta - \theta \sin \theta, \quad y = \sin \theta - \theta \cos \theta \quad (0 \leq \theta \leq \pi)$$

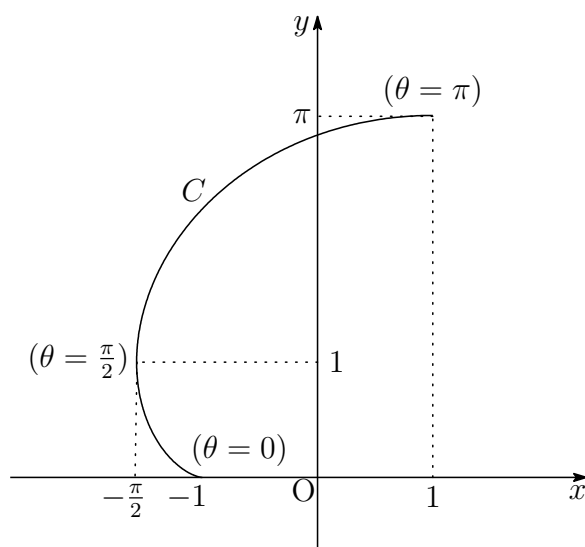
以下の問いに答えよ．

- (1) $\frac{dx}{d\theta}$ および $\frac{dy}{d\theta}$ を計算して θ に関する x, y の増減と極値を調べ，曲線 C の概形を図示せよ．ただし，曲線 C と y 軸に平行な直線が接するときの接点の座標も求めること．
- (2) $\theta = 0$ の位置から曲線 C 上を動く点 P を考える．点 P の軌跡の長さが $\frac{2}{9}\pi^2$ に達するときの θ を θ_1 と定める． θ_1 を求めよ．
- (3) (2) で定めた θ_1 に対応する点 P を点 P_1 とする．点 P_1 から y 軸に垂線を引くとき，この垂線，曲線 C ， x 軸， y 軸で囲まれる面積を求めよ．

解答 (1) $C : x = -\cos \theta - \theta \sin \theta, \quad y = \sin \theta - \theta \cos \theta \quad (0 \leq \theta \leq \pi)$ より

$$\frac{dx}{d\theta} = -\theta \cos \theta, \quad \frac{dy}{d\theta} = \theta \sin \theta$$

θ	0	...	$\frac{\pi}{2}$	...	π
$\frac{dx}{d\theta}$		-	0	+	
$\frac{dy}{d\theta}$		+	+	+	
$(\frac{dx}{d\theta}, \frac{dy}{d\theta})$		$\nwarrow$	$\uparrow$	$\nearrow$	
(x, y)	$(-1, 0)$	...	$(-\frac{\pi}{2}, 1)$	...	$(1, \pi)$



(2) $\theta = 0$ から $\theta = \theta_1$ までの C の弧長を l とすると ($0 \leq \theta_1 \leq \pi$)

$$\begin{aligned} l &= \int_0^{\theta_1} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} d\theta \\ &= \int_0^{\theta_1} \sqrt{(-\theta \cos \theta)^2 + (\theta \sin \theta)^2} d\theta \\ &= \int_0^{\theta_1} \theta d\theta = \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_0^{\theta_1} = \frac{\theta_1^2}{2} \end{aligned}$$

$$l = \frac{2}{9}\pi^2 \text{ のとき } \frac{\theta_1^2}{2} = \frac{2}{9}\pi^2 \quad \text{これを解いて } \theta_1 = \frac{2\pi}{3}$$

(3) (2) の結果から, P_1 の x 座標を x_1 とすると

$$\begin{aligned} x_1 &= -\cos \frac{2\pi}{3} - \frac{2\pi}{3} \sin \frac{2\pi}{3} \\ &= \frac{1}{2} - \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{2} - \frac{\pi}{\sqrt{3}} < 0 \end{aligned}$$

これと (1) の結果から, $0 \leq \theta \leq \frac{2\pi}{3}$ における C 上の x 座標は $x < 0$

$f(\theta) = \sin \theta - \theta \cos \theta$ とし, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{f(0)}^{f(\frac{2\pi}{3})} (-x) dy = \int_0^{\frac{2\pi}{3}} (\cos \theta + \theta \sin \theta) f'(\theta) d\theta \\ &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} (\cos \theta + \theta \sin \theta) \theta \sin \theta d\theta \\ &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} (\theta \sin \theta \cos \theta + \theta^2 \sin^2 \theta) d\theta \\ &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \left(\frac{\theta^2}{2} + \frac{\theta}{2} \sin 2\theta - \frac{\theta^2}{2} \cos 2\theta \right) d\theta \\ &= \left[\frac{\theta^3}{6} \right]_0^{\frac{2\pi}{3}} + \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \frac{\theta}{2} \left(-\frac{1}{2} \cos 2\theta \right)' d\theta + \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \left(-\frac{\theta^2}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta \right)' d\theta \\ &= \frac{4}{81}\pi^3 + \left[\frac{\theta}{2} \left(-\frac{1}{2} \cos 2\theta \right) - \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \right]_0^{\frac{2\pi}{3}} \\ &\quad + \left[\left(-\frac{\theta^2}{2} \right) \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta \right) - (-\theta) \left(-\frac{1}{4} \cos 2\theta \right) + (-1) \left(-\frac{1}{8} \sin 2\theta \right) \right]_0^{\frac{2\pi}{3}} \\ &= \frac{4}{81}\pi^3 + \left[\left(-\frac{\theta^2}{4} + \frac{1}{4} \right) \sin 2\theta - \frac{\theta}{2} \cos 2\theta \right]_0^{\frac{2\pi}{3}} \\ &= \frac{4}{81}\pi^3 + \frac{\sqrt{3}}{18}\pi^2 + \frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{8} \end{aligned}$$

別解 点 P_1 の座標は $\left(-\cos \frac{2\pi}{3} - \frac{2\pi}{3} \sin \frac{2\pi}{3}, \sin \frac{2\pi}{3} - \frac{2\pi}{3} \cos \frac{2\pi}{3}\right)$

すなわち $P_1 \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3}\pi, \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\pi}{3}\right)$

点 P_1 から y 軸に垂線 P_1H を引くと

$$\begin{aligned} \triangle OP_1H &= \frac{1}{2} \left| \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3}\pi\right) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\pi}{3}\right) \right| \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{3}}{3}\pi - \frac{1}{2}\right) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\pi}{3}\right) = \frac{\sqrt{3}}{18}\pi^2 + \frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{8} \end{aligned}$$

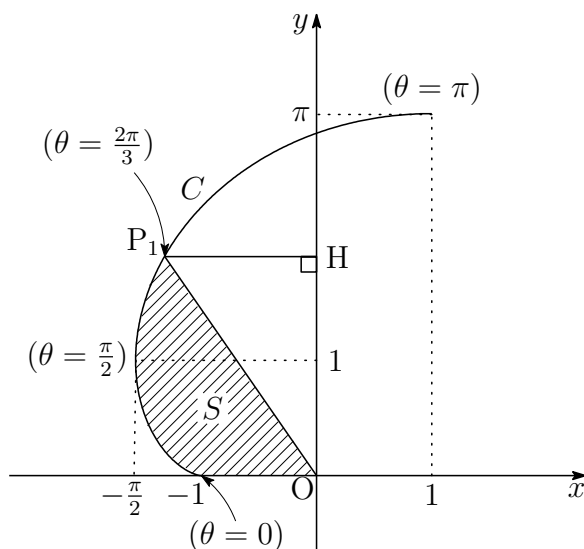
$C: x = -\cos \theta - \theta \sin \theta, \quad y = \sin \theta - \theta \cos \theta \quad (0 \leq \theta \leq \pi)$ より

$$\begin{aligned} x \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} y &= (-\cos \theta - \theta \sin \theta) \theta \sin \theta - (-\theta \cos \theta)(\sin \theta - \theta \cos \theta) \\ &= -\theta^2 \end{aligned}$$

下の図の斜線部分の面積を S とすると、ガウス・グリーンの定理により (積分区間は回転角の正の向きにとる)

$$S = \frac{1}{2} \int_{\frac{2\pi}{3}}^0 \left(x \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} y \right) d\theta = \frac{1}{2} \int_{\frac{2\pi}{3}}^0 (-\theta^2) d\theta = \left[-\frac{\theta^3}{6} \right]_{\frac{2\pi}{3}}^0 = \frac{4}{81}\pi^3$$

求める面積は $S + \triangle OP_1H = \frac{4}{81}\pi^3 + \frac{\sqrt{3}}{18}\pi^2 + \frac{\pi}{6} - \frac{\sqrt{3}}{8}$



8 (1) 2 (3) を参照

(2) 1 (2) を参照

(3) 5 (1) を参照

また, $\left| \frac{\beta}{\alpha} \right| = \frac{2}{\sqrt{3}}$ より $OA : OB = \sqrt{3} : 2$

$\angle AOB = \frac{\pi}{6}$ であるから $\angle OAB = \frac{\pi}{2}$ の直角三角形

(4) 4 (4) を参照



- 9 (1) 直線 AB の方程式は $y = -2x + 2$
したがって、求める領域は

$$x \geq 0, \quad y \geq 0, \quad y \leq -2x + 2$$

- (2) $P(t, 2-2t)$ より $Q(t, 0), R(0, 2-2t)$
 l_2 は点 $R(0, 2-2t)$ を通り, $\overrightarrow{RQ} = (t, 2t-2) \neq \vec{0}$ に平行な直線

$$(2t-2)x - t\{y - (2-2t)\} = 0$$

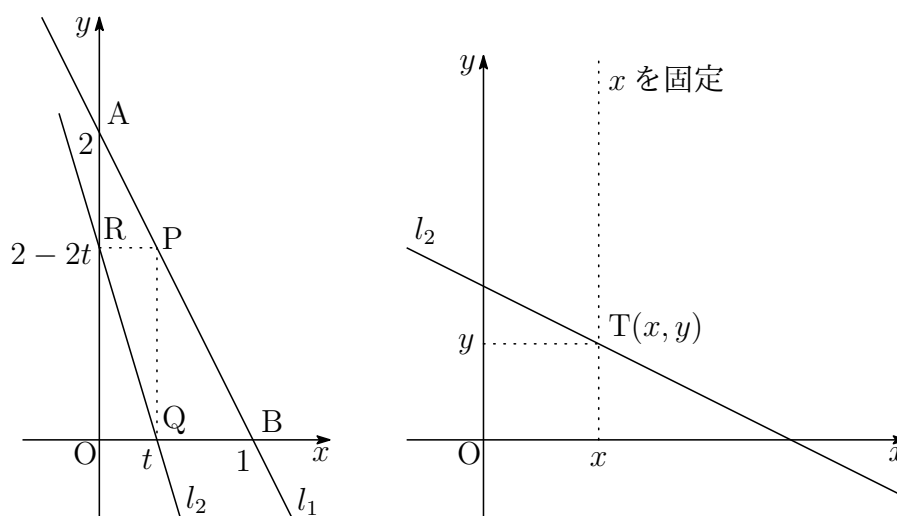
$$\text{すなわち} \quad (2t-2)x - ty + t(2-2t) = 0$$

これを t について整理すると

$$2t^2 + (-2x + y - 2)t + 2x = 0 \quad (*)$$

$2t^2 + at + b = 0$ と係数を比較すると

$$a = -2x + y - 2, \quad b = 2x$$



- (3) $x = \frac{1}{4}, y = \frac{1}{2}$ を (*) に代入すると

$$2t^2 - 2t + \frac{1}{2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(t - \frac{1}{2}\right)^2 = 0$$

$t = \frac{1}{2}$ は $0 \leq t \leq 1$ を満たすから、点 $\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right)$ は領域 F に含まれる.

(4) $0 < t < 1$ のとき, (*) を y について解くと

$$y = \left(2 - \frac{2}{t}\right)x + 2 - 2t \quad (**)$$

x を固定し, y を t の関数と考えると

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2x}{t^2} - 2 = \frac{2(x - t^2)}{t^2}$$

t	(0)	$\cdots$	$\sqrt{x}$	$\cdots$	(1)
$\frac{dy}{dt}$		+	0	-	
y		$\nearrow$	最大	$\searrow$	

したがって, y は $t = \sqrt{x}$ のとき, 最大値

$$\left(2 - \frac{2}{\sqrt{x}}\right)x + 2 - 2\sqrt{x} = 2(1 - \sqrt{x})^2$$

をとる. (**) より $\lim_{t \rightarrow 1-0} y = 0$ であるから

$$0 < y \leq 2(1 - \sqrt{x})^2$$

$t = 0$ のとき線分 QR は線分 OA, $t = 1$ のとき線分 QR は線分 OB である.

線分 OB は $y = 0$ ($0 \leq x \leq 1$) であるから, F の表す領域は

$$0 \leq y \leq 2(1 - \sqrt{x})^2$$

(5) (4) の結果から

$$S = \int_0^1 2(1 - \sqrt{x})^2 dx = \int_0^1 (2 - 4\sqrt{x} + 2x) dx = \left[2x - \frac{8}{3}x\sqrt{x} + x^2 \right]_0^1 = \frac{1}{3}$$

別解 $u = 1 - \sqrt{x}$ とおくと $x = (1 - u)^2$, $\frac{dx}{du} = -2(1 - u)$

x	$0 \rightarrow 1$
u	$1 \rightarrow 0$

求める面積は

$$\begin{aligned} S &= \int_0^1 2(1 - \sqrt{x})^2 dx = \int_1^0 2u^2 \{-2(1 - u)\} du = 4 \int_0^1 u^2(1 - u) du \\ &= 4 \cdot \frac{2!1!}{4!} (1 - 0)^4 = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

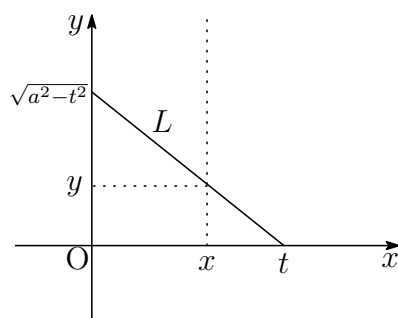
補足 $\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$

関連 アステロイドは、次の線分 L の接線群の包絡線である.

長さ a の線分 L の両端が x 軸上および y 軸上を動くとき、 L の包絡線 (L の通る領域と通らない領域の境界線) を求める.

右の図のように L が $x \geq 0, y \geq 0$ にあるとき、 L 上の点 (x, y) について

$$y = -\frac{\sqrt{a^2 - t^2}}{t}x + \sqrt{a^2 - t^2} \quad \dots (*)$$



が成立する. ここで、 x を固定し、 y を t の関数とすると

$$\frac{dy}{dt} = \frac{a^2}{t^2\sqrt{a^2 - t^2}}x - \frac{t}{\sqrt{a^2 - t^2}} = \frac{a^2x - t^3}{t^2\sqrt{a^2 - t^2}}$$

点 (x, y) が包絡線上にあるとき、 $\frac{dy}{dt} = 0$ であるから $t = a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{1}{3}}$

これを $(*)$ に代入すると

$$y = -x^{\frac{2}{3}}\sqrt{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}} + a^{\frac{2}{3}}\sqrt{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad y^2 &= x^{\frac{4}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) - 2a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{2}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) + a^{\frac{4}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) \\ &= a^2 - 3a^{\frac{4}{3}}x^{\frac{2}{3}} + 3a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{4}{3}} - x^2 \\ &= \left(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}\right)^3 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad x^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} = a^{\frac{2}{3}}$$

一般に、 L の両端が x 軸上および y 軸上を動くとき、上式は成立する.



積分公式

m, n を 0 以上の整数とする.

$$I(m, n) = \int_0^1 t^m (1-t)^n dt$$

とおくと, 部分積分法により

$$\begin{aligned} I(m, n) &= \frac{1}{m+1} \int_0^1 (t^{m+1})' (1-t)^n dt \\ &= \left[\frac{1}{m+1} t^{m+1} (1-t)^n \right]_0^1 + \frac{n}{m+1} \int_0^1 t^{m+1} (1-t)^{n-1} dt \\ &= \frac{n}{m+1} I(m+1, n-1) \\ &= \frac{n}{m+1} \cdot \frac{n-1}{m+2} \cdots \frac{1}{m+n} I(m+n, 0) \\ &= \frac{m!n!}{(m+n)!} \int_0^1 t^{m+n} dt = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} \end{aligned}$$

この結果を利用すると

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x-\alpha)^m (\beta-x)^n dx$$

について, $x = \alpha + (\beta - \alpha)t$ とおくと, $\frac{dx}{dt} = \beta - \alpha$

x	α	$\longrightarrow$	β
t	0	$\longrightarrow$	1

このとき $\int_{\alpha}^{\beta} (x-\alpha)^m (\beta-x)^n dx = (\beta-\alpha)^{m+n+1} \int_0^1 t^m (1-t)^n dt$

したがって, 次の積分公式が成立する.

積分公式

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x-\alpha)^m (\beta-x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta-\alpha)^{m+n+1}$$

接線群の包絡線

2011 年 阪大理系 2 番

実数 θ が動くとき, xy 平面上の動点 $P(0, \sin \theta)$ および $Q(8 \cos \theta, 0)$ を考える. θ が $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲を動くとき, 平面内で線分 PQ が通過する部分を D とする. D を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V を求めよ.

解答 2 点 $P(0, \sin \theta)$, $Q(8 \cos \theta, 0)$ を通る直線の方程式は $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$

$$\frac{x}{8 \cos \theta} + \frac{y}{\sin \theta} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad y = \sin \theta - \frac{x}{8} \tan \theta \quad \cdots \textcircled{1}$$

この直線上の x を固定し, y が極値をとる点では, $\frac{dy}{d\theta} = 0$ であるから

$$\frac{dy}{d\theta} = \cos \theta - \frac{x}{8 \cos^2 \theta} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = 8 \cos^3 \theta \quad \cdots \textcircled{2}$$

② を ① に代入すると

$$y = \sin \theta - \frac{8 \cos^3 \theta}{8} \tan \theta \quad \text{ゆえに} \quad y = \sin^3 \theta \quad \cdots \textcircled{3}$$

②, ③ より, 直線 PQ の包絡線は, $\theta = 0, \frac{\pi}{2}$ のときも成立することに注意して

$$(*) \begin{cases} x = 8 \cos^3 \theta \\ y = \sin^3 \theta \end{cases} \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

(*) から, θ を消去すると

$$y = \left\{1 - \left(\frac{x}{8}\right)^{\frac{2}{3}}\right\}^{\frac{3}{2}} \quad (0 \leq x \leq 8)$$

$$x = 8t \text{ とおくと} \quad \frac{dx}{dt} = 8 \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 8 \\ \hline t & 0 \rightarrow 1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^8 y^2 dx = \int_0^8 \left\{1 - \left(\frac{x}{8}\right)^{\frac{2}{3}}\right\}^3 dx = 8 \int_0^1 (1 - t^{\frac{2}{3}})^3 dt \\ &= 8 \int_0^1 (1 - 3t^{\frac{2}{3}} + 3t^{\frac{4}{3}} - t^2) dt \\ &= 8 \left[t - \frac{9}{5}t^{\frac{5}{3}} + \frac{9}{7}t^{\frac{7}{3}} - \frac{1}{3}t^3 \right]_0^1 = \frac{128}{105} \quad \text{よって} \quad V = \frac{128}{105}\pi \end{aligned}$$

別解 (*) より $\frac{dx}{d\theta} = -24 \cos^2 \theta \sin \theta$

x	$0 \rightarrow 8$
θ	$\frac{\pi}{2} \rightarrow 0$

$$\begin{aligned}
 \frac{V}{\pi} &= \int_0^8 y^2 dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \sin^6 \theta (-24 \cos^2 \theta \sin \theta) d\theta \\
 &= 24 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^7 \theta \cos^2 \theta d\theta \\
 &= 24 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta (1 - \cos^2 \theta)^3 \cos^2 \theta d\theta \\
 &= 24 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos^2 \theta - 3 \cos^4 \theta + 3 \cos^6 \theta - \cos^8 \theta) \sin \theta d\theta \\
 &= 24 \left[-\frac{1}{3} \cos^3 \theta + \frac{3}{5} \cos^5 \theta - \frac{3}{7} \cos^7 \theta + \frac{1}{9} \cos^9 \theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{128}{105}
 \end{aligned}$$

2014 年 名大理系 2 番

実数 t に対して 2 点 $P(t, t^2)$, $Q(t+1, (t+1)^2)$ を考える. t が $-1 \leq t \leq 0$ の範囲を動くとき, 線分 PQ が通過してできる図形を図示し, その面積を求めよ.

解答 2 点 $P(t, t^2)$, $Q(t+1, (t+1)^2)$ を通る直線は

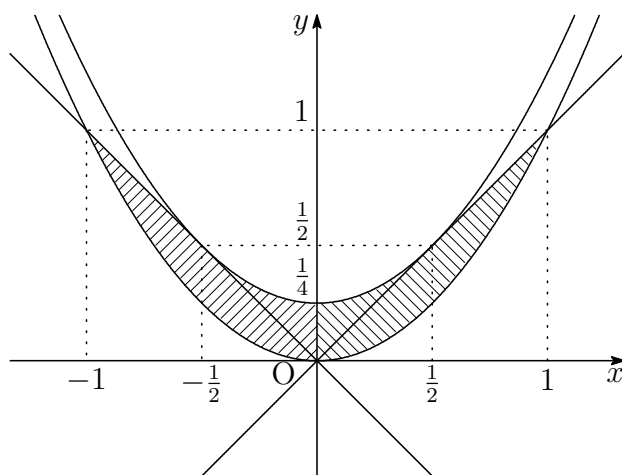
$$y - t^2 = \frac{(t+1)^2 - t^2}{(t+1) - t}(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = (2t+1)x - t^2 - t \quad \cdots \textcircled{1}$$

直線 ① の x を固定し, y が極値をとる点では, $\frac{dy}{dt} = 0$ であるから

$$\frac{dy}{dt} = 2x - 2t - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = t + \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から } t \text{ を消去すると} \quad y = x^2 + \frac{1}{4} \quad \cdots (*)$$

$-1 \leq t \leq 0$ のとき，線分 $P(t, t^2)$, $Q(t+1, (t+1)^2)$ が通過してできる図形は，(*) が直線 PQ の包絡線であることに注意すると，その領域は，下の図の斜線部分で，境界線を含む．



求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} \frac{S}{2} &= \int_0^1 (x - x^2) dx + \int_0^{\frac{1}{2}} \left\{ \left(x^2 + \frac{1}{4} \right) - x \right\} dx \\ &= \int_0^1 x(1 - x) dx + \int_0^{\frac{1}{2}} \left(x - \frac{1}{2} \right)^2 dx \\ &= \frac{1}{6} + \left[\frac{1}{3} \left(x - \frac{1}{2} \right)^3 \right]_0^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{6} + \frac{1}{24} = \frac{5}{24} \end{aligned}$$

よって $S = \frac{5}{12}$

2014 年 東大文系 3 番

座標平面の原点を O で表す．

線分 $y = \sqrt{3}x$ ($0 \leq x \leq 2$) 上の点 P と，線分 $y = -\sqrt{3}x$ ($-3 \leq x \leq 0$) 上の点 Q が，線分 OP と線分 OQ の長さの和が 6 となるように動く．このとき，線分 PQ の通過する領域を D とする．

- (1) s を $-3 \leq s \leq 2$ をみたす実数とするとき，点 (s, t) が D に入るような t の範囲を求めよ．
- (2) D を図示せよ．

解答 (1) $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(q, -\sqrt{3}q)$ とすると $(0 \leq p \leq 2, -2 \leq q \leq 0)$,

$$OP = 2p, \quad OQ = -2q$$

$OP + OQ = 6$ であるから $2p + (-2q) = 6$ ゆえに $q = p - 3$

したがって $0 \leq p \leq 2$, $-3 \leq p - 3 \leq 0$ すなわち $0 \leq p \leq 2$

2点 $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(p-3, -\sqrt{3}(p-3))$ を通る直線は

$$y - \sqrt{3}p = \frac{2p-3}{\sqrt{3}}(x-p)$$

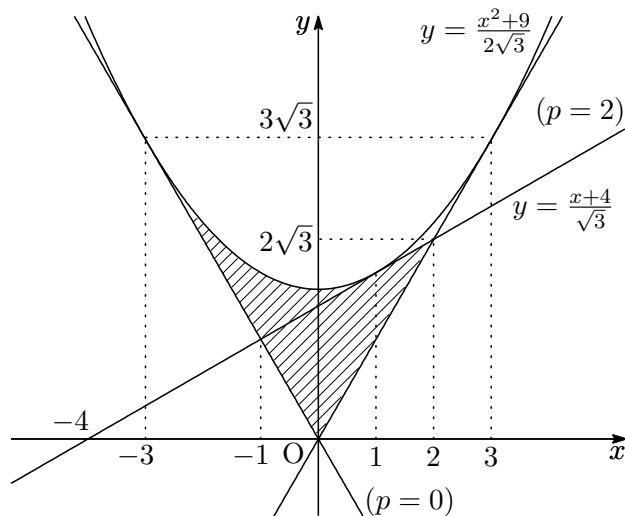
$$\text{すなわち } y = \frac{(2p-3)x - 2p^2 + 6p}{\sqrt{3}} \quad \dots \textcircled{1}$$

直線 $\textcircled{1}$ の x を固定し, y が極値をとる点では, $\frac{dy}{dp} = 0$ であるから

$$\frac{dy}{dp} = \frac{1}{\sqrt{3}}(2x - 4p + 6) = 0 \quad \text{ゆえに } x = 2p - 3 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から } p \text{ を消去すると } y = \frac{x^2 + 9}{2\sqrt{3}} \quad \dots (*)$$

D は, $0 \leq p \leq 2$ のとき, 2点 $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(p-3, -\sqrt{3}(p-3))$ を結ぶ線分 PQ (直線 $\textcircled{1}$) が通過する領域であるから, $(*)$ が直線 PQ の包絡線であることに注意すると, その領域は, 下の図の斜線部分で, 境界線を含む.



よって, $0 \leq s \leq 2$ をみたす点 (s, t) が D にあるとき

$$-3 \leq s \leq 0 \text{ のとき } -\sqrt{3}s \leq t \leq \frac{s^2 + 9}{2\sqrt{3}}$$

$$0 \leq s \leq 1 \text{ のとき } \sqrt{3}s \leq t \leq \frac{s^2 + 9}{2\sqrt{3}}$$

$$1 \leq s \leq 2 \text{ のとき } \sqrt{3}s \leq t \leq \frac{s+4}{\sqrt{3}}$$

(2) 領域 D は (1) で示した領域.

2014 年 東大理系 6 番

座標平面の原点を O で表す.

線分 $y = \sqrt{3}x$ ($0 \leq x \leq 2$) 上の点 P と, 線分 $y = -\sqrt{3}x$ ($-2 \leq x \leq 0$) 上の点 Q が, 線分 OP と線分 OQ の長さの和が 6 となるように動く. このとき, 線分 PQ の通過する領域を D とする.

- (1) s を $0 \leq s \leq 2$ をみたす実数とすると, 点 (s, t) が D に入るような t の範囲を求めよ.
- (2) D を図示せよ.

解答 (1) $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(q, -\sqrt{3}q)$ とすると ($0 \leq p \leq 2, -2 \leq q \leq 0$),

$$OP = 2p, \quad OQ = -2q$$

$$OP + OQ = 6 \text{ であるから } 2p + (-2q) = 6 \text{ ゆえに } q = p - 3$$

したがって $0 \leq p \leq 2, -2 \leq p - 3 \leq 0$ すなわち $1 \leq p \leq 2$
 2 点 $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(p - 3, -\sqrt{3}(p - 3))$ を通る直線は

$$y - \sqrt{3}p = \frac{2p - 3}{\sqrt{3}}(x - p)$$

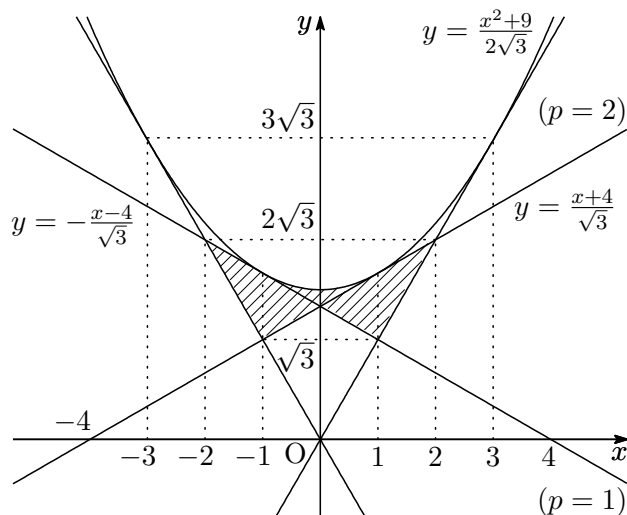
$$\text{すなわち } y = \frac{(2p - 3)x - 2p^2 + 6p}{\sqrt{3}} \quad \dots \textcircled{1}$$

直線 $\textcircled{1}$ の x を固定し, y が極値をとる点では, $\frac{dy}{dp} = 0$ であるから

$$\frac{dy}{dp} = \frac{1}{\sqrt{3}}(2x - 4p + 6) = 0 \text{ ゆえに } x = 2p - 3 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から } p \text{ を消去すると } y = \frac{x^2 + 9}{2\sqrt{3}} \quad \dots (*)$$

D は, $1 \leq p \leq 2$ のとき, 2 点 $P(p, \sqrt{3}p)$, $Q(p-3, -\sqrt{3}(p-3))$ を結ぶ線分 PQ (直線 ①) が通過する領域であるから, (*) が直線 PQ の包絡線であることに注意すると, その領域は, 下の図の斜線部分で, 境界線を含む.



よって, $0 \leq s \leq 2$ をみたす点 (s, t) が D にあるとき

$$\begin{aligned} 0 \leq s \leq 1 \text{ のとき } & -\frac{s-4}{\sqrt{3}} \leq t \leq \frac{s^2+9}{2\sqrt{3}} \\ 1 \leq s \leq 2 \text{ のとき } & \sqrt{3}s \leq t \leq \frac{s+4}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

(2) 領域 D は (1) で示した領域.

- 10** (1) $P(\cos \theta, \sin \theta, 0)$, $Q(\cos(\theta + \alpha), \sin(\theta + \alpha), 1)$ より

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{OR} &= \overrightarrow{OP} + \overrightarrow{PR} = \overrightarrow{OP} + t\overrightarrow{PQ} \\
 &= \overrightarrow{OP} + t(\overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP}) = (1-t)\overrightarrow{OP} + t\overrightarrow{OQ} \\
 &= (1-t)(\cos \theta, \sin \theta, 0) + t(\cos(\theta + \alpha), \sin(\theta + \alpha), 1) \\
 &= ((1-t)\cos \theta + t\cos(\theta + \alpha), (1-t)\sin \theta + t\sin(\theta + \alpha), t)
 \end{aligned}$$

したがって、点 $R(x, y, z)$ の座標は

$$\begin{aligned}
 x &= (1-t)\cos \theta + t\cos(\theta + \alpha), \\
 y &= (1-t)\sin \theta + t\sin(\theta + \alpha), \\
 z &= t
 \end{aligned}$$

- (2) d は点 $R(x, y, z)$ から z 軸上の点 $(0, 0, z)$ までの距離であるから、(1) の結果により

$$\begin{aligned}
 d^2 &= x^2 + y^2 \\
 &= \{(1-t)\cos \theta + t\cos(\theta + \alpha)\}^2 + \{(1-t)\sin \theta + t\sin(\theta + \alpha)\}^2 \\
 &= (1-t)^2 + t^2 + 2t(1-t)\{\cos(\theta + \alpha)\cos \theta + \sin(\theta + \alpha)\sin \theta\} \\
 &= 2t^2 - 2t + 1 + 2t(1-t)\cos \alpha \\
 &= 2(1 - \cos \alpha)^2 t^2 - 2(1 - \cos \alpha)t + 1 \\
 &= 2(1 - \cos \alpha) \left(t - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1 + \cos \alpha}{2} \tag{*}
 \end{aligned}$$

d^2 の最小値は、 $0 < d \leq \pi$ より、 $1 - \cos \alpha > 0$ であるから

$$t = \frac{1}{2} \text{ のとき, 最小値 } \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} = \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| = \cos \frac{\alpha}{2}$$

(3) (*) から, 曲面 (線織面) の方程式は

$$x^2 + y^2 = 2(1 - \cos \alpha) \left(z - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1 + \cos \alpha}{2} \quad (**)$$

したがって, 求める立体 F の体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 (x^2 + y^2) dz \\ &= \int_0^1 \left\{ 2(1 - \cos \alpha) \left(z - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right\} dz \\ &= \left[\frac{2}{3}(1 - \cos \alpha) \left(z - \frac{1}{2} \right)^3 + \frac{1 + \cos \alpha}{2} z \right]_0^1 \\ &= \frac{1}{6}(1 - \cos \alpha) + \frac{1 + \cos \alpha}{2} = \frac{2 + \cos \alpha}{3} \end{aligned}$$

よって
$$V = \frac{(2 + \cos \alpha)\pi}{3}$$

(4) V が最大となるのは, $\cos \alpha = 1$, すなわち, $\alpha = 0$ のとき, $V = \pi$
このとき, (**) より, F は円柱

$$x^2 + y^2 = 1, \quad 0 \leq z \leq 1$$

V が最小となるのは, $\cos \alpha = -1$, すなわち, $\alpha = \pi$ のとき, $V = \frac{\pi}{3}$
このとき, (**) より, F は円錐

$$x^2 + y^2 - 4 \left(z - \frac{1}{2} \right)^2 = 0, \quad 0 \leq z \leq 1$$

補足 円柱は楕円柱面に, 円錐は楕円錐面に分類される.

本題 (4) は, $0 < \alpha < \pi$ のとき, F は一葉双曲面になる.

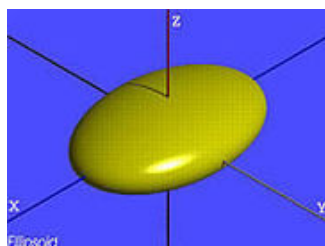
一般に, 直線が動いてできる曲面を線織面という. 平面, 円柱, 円錐は線織面の典型例であり, 一葉双曲面, 双曲放物面も線織面である.



2 次曲面の種類

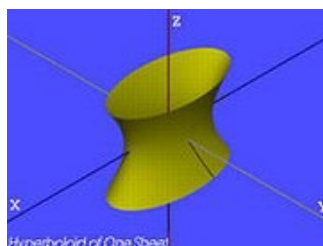
退化しない 2 次曲面は次の 9 通りである．下図において $\mu > 0$ とする．

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$



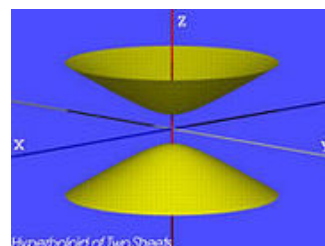
楕円面

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$



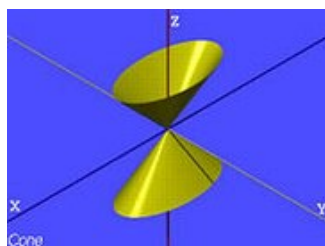
一葉双曲面

$$-\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$



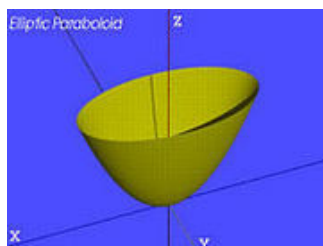
二葉双曲面

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$$



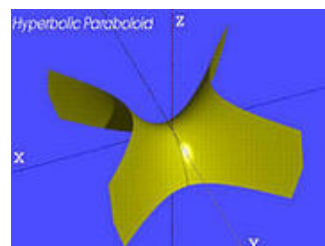
楕円錐面

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = \mu z$$



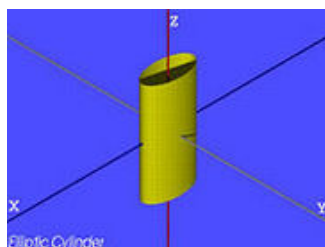
楕円放物面

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = \mu z$$



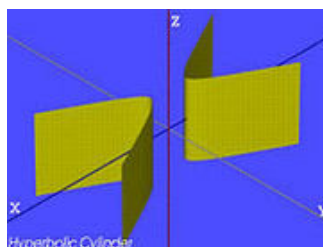
双曲放物面

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$



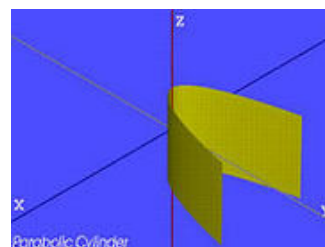
楕円柱面

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$



双曲柱面

$$x^2 = \mu y$$



放物柱面

$(x, y, z) = (a \cos \theta, b \sin \theta, 0) + t(-a \sin \theta, b \cos \theta, \pm c)$ とすると

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$$

$(x, y, z) = \left(as, 0, \frac{s^2}{\mu}\right) + t\left(a, \pm b, \frac{2s}{\mu}\right)$ とすると $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = \mu z$

2004年 北大理系4番

a, b を正の実数とする. 空間内の2点 $A(0, a, 0)$, $B(1, 0, b)$ を通る直線を ℓ とする. 直線 ℓ を x 軸のまわりに1回転して得られる図形を M とする.

- (1) x 座標の値が t であるような直線 ℓ 上の点 P の座標を求めよ.
- (2) 図形 M と xy 平面が交わって得られる図形の方程式を求めよ.
- (3) 図形 M と2つの平面 $x = 0$ と $x = 1$ で囲まれた立体の体積を求めよ.

解答 (1) 2点 $A(0, a, 0)$, $B(1, 0, b)$ を通る直線 ℓ の方程式は

$$x = \frac{y-a}{-a} = \frac{z}{b}$$

$x = t$ のとき, 点 P の座標は $(t, a - at, bt)$

- (2) ℓ の方程式から $y = a - ax$, $z = bx$

M は ℓ を x 軸まわりに1回転させたものであるから, M は

$$y^2 + z^2 = (a - ax)^2 + (bx)^2 \quad (*)$$

M と xy 平面が交わって得られる図形は, $z = 0$ を代入して

$$y^2 = (a - ax)^2 + bx^2$$

$$\text{よって} \quad y^2 = (a^2 + b^2)x^2 - 2a^2x + a^2$$

- (3) (2) の結果から, 求める体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^1 \{(a^2 + b^2)x^2 - 2a^2x + a^2\} dx \\ &= \pi \left[\frac{1}{3}(a^2 + b^2)x^3 - a^2x^2 + a^2x \right]_0^1 \\ &= \frac{\pi}{3}(a^2 + b^2) \end{aligned}$$

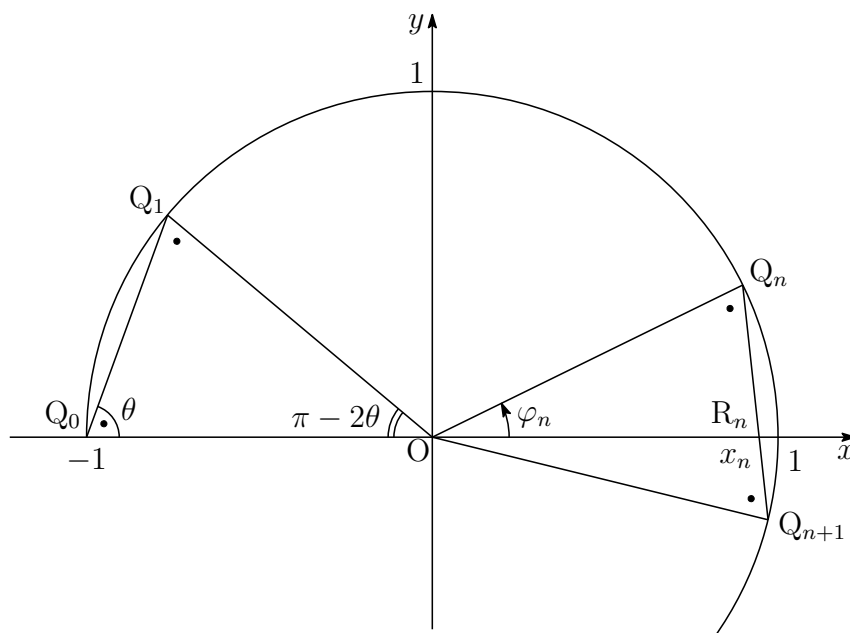
補足 (*) は一葉双曲面

$$-(a^2 + b^2) \left(x - \frac{a^2}{a^2 + b^2} \right)^2 + y^2 + z^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2}$$

であり, これと xy 平面との断面の図形が (2) で求めた双曲線である. 一葉双曲面は線織面である. 神戸のポートタワーが一葉双曲面で真っ直ぐな鉄筋の柱で支えられていることで有名である.

11 (1) 線分 OQ_n の偏角を φ_n とすると, $\angle Q_0OQ_1 = \pi - 2\theta$ より

$$\varphi_n = \pi - n(\pi - 2\theta) \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (*)$$



P が 1 回の反射で A に達するとき, $\varphi_2 = 0$ であるから, (*) より

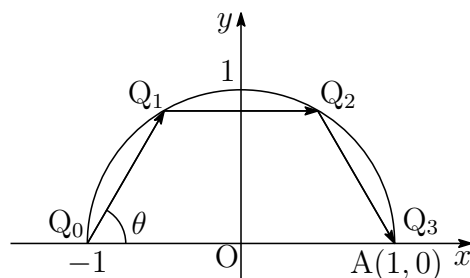
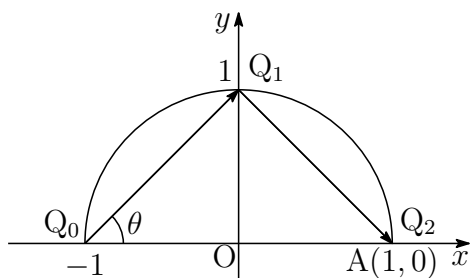
$$\pi - 2(\pi - 2\theta) = 0 \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{4}$$

P が 2 回の反射で A に達するとき, $\varphi_3 = 0$ であるから, (*) より

$$\pi - 3(\pi - 2\theta) = 0 \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{3}$$

1 回の反射 $\theta = \frac{\pi}{4}$

2 回の反射 $\theta = \frac{\pi}{3}$



$$(2) (*) \text{ より } \varphi_1 = 2\theta, \varphi_2 = 4\theta - \pi$$

P が 1 回の反射で x 軸に達するとき, $\varphi_2 \leq 0 < \varphi_1$ であるから

$$4\theta - \pi \leq 0 < 2\theta \quad \text{すなわち} \quad 0 < \theta \leq \frac{\pi}{4}$$

$$\angle \text{OR}_1\text{Q}_1 = \pi - (\varphi_1 + \theta) = \pi - (2\theta + \theta) = \pi - 3\theta$$

$\triangle \text{OR}_1\text{Q}_1$ に正弦定理を適用すると

$$\frac{x_1}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin(\pi - 3\theta)} \quad \text{ゆえに} \quad x_1 = \frac{\sin \theta}{\sin 3\theta}$$

$$\sin 3\theta = 3 \sin \theta - 4 \sin^3 \theta \text{ より } x_1 = \frac{1}{3 - 4 \sin^2 \theta}$$

$$0 < \theta \leq \frac{\pi}{4} \text{ より, } 0 < \sin \theta \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ であるから } \frac{1}{3} < x_1 \leq 1$$

$$(3) (*) \text{ より } \varphi_n = \pi - n(\pi - 2\theta), \varphi_{n+1} = \pi - (n+1)(\pi - 2\theta)$$

P が n 回の反射で x 軸に達するとき, $\varphi_{n+1} \leq 0 < \varphi_n$ であるから

$$\pi - (n+1)(\pi - 2\theta) \leq 0 < \pi - n(\pi - 2\theta)$$

$$\text{これを解いて} \quad \frac{n-1}{2n}\pi < \theta \leq \frac{n}{2(n+1)}\pi \quad (**)$$

$$\angle \text{OR}_n\text{Q}_n = \pi - \varphi_n - \theta = \pi - \{\pi - n(\pi - 2\theta)\} - \theta = n\pi - (2n+1)\theta$$

$\triangle \text{OR}_n\text{Q}_n$ に正弦定理を適用すると

$$\frac{x_n}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin\{n\pi - (2n+1)\theta\}}$$

$$\text{したがって} \quad x_n = \frac{\sin \theta}{\sin\{n\pi - (2n+1)\theta\}}$$

(4) 点 Q_n の y 座標を y_n とすると

$$\begin{aligned} y_n &= \sin \varphi_n \\ &= \sin\{\pi - n(\pi - 2\theta)\} \\ &= \sin\{2n\theta - (n-1)\pi\} \end{aligned}$$

$\triangle OR_n Q_n$ の面積 S_n は

$$\begin{aligned} S_n &= \frac{1}{2} x_n y_n = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin\{n\pi - (2n+1)\theta\}} \cdot \sin\{2n\theta - (n-1)\pi\} \\ &= \frac{\sin\{2n\theta - (n-1)\pi\} \sin \theta}{2 \sin\{n\pi - (2n+1)\theta\}} \end{aligned}$$

ここで, n は整数であるから

$$\begin{aligned} \sin\{2n\theta - (n-1)\pi\} &= \sin 2n\theta \cos(n-1)\pi - \cos 2n\theta \sin(n-1)\pi \\ &= (-1)^{n-1} \sin 2n\theta, \\ \sin\{n\pi - (2n+1)\theta\} &= \sin n\pi \cos(2n+1)\theta - \cos n\pi \sin(2n+1)\theta \\ &= -(-1)^n \sin(2n+1)\theta \\ &= (-1)^{n-1} \{\sin 2n\theta \cos \theta + \cos 2n\theta \sin \theta\} \end{aligned}$$

したがって

$$S_n = \frac{\sin 2n\theta \sin \theta}{2(\sin 2n\theta \cos \theta + \cos 2n\theta \sin \theta)} = \frac{\tan 2n\theta \tan \theta}{2(\tan 2n\theta + \tan \theta)}$$

φ_n は, (**) から

$$\varphi_n = 2n\theta - (n-1)\pi \leq 2n \cdot \frac{n}{2(n+1)}\pi - (n-1)\pi = \frac{\pi}{n+1}$$

$0 < \varphi_n \leq \frac{\pi}{n+1}$ および $\angle AOQ_n = \varphi_n$ を中心角とする扇形の面積と S_n の大小関係により

$$0 < S_n < \frac{1}{2} \varphi_n \leq \frac{\pi}{2(n+1)}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2(n+1)} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = 0$$



第 6 章 熊本大学

出題分野 (文系 理系 医学部)

文系 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	熊本大学 文系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量		1									
	データの分析		2									
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式					4						
	三角関数				2		1					
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	1・4	4	4	1	3	2	1・3	4	4	3	1・4
A	場合の数と確率		2	2	3	2		4	2	2	2	
	整数の性質		3									
	図形の性質											
B	数列	3	3	3	4	1	3	3	3	1	1	2
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル									3	4	
	空間のベクトル	2		1			4	2	1			3

数字は問題番号

6.1 2015年(文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 a を実数とする。曲線 $C_1: y = x^2$ 上の点 (a, a^2) における接線を l とする。曲線 C_2 を $y = x^2 - 1$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) l と C_2 とで囲まれた部分の面積を求めよ。
 (2) $a = \frac{1}{\sqrt{2}}$ とする。曲線 $C_3: y = -x^2 + 1$ と C_2 とで囲まれた部分は l によって2つの部分に分けられる。これらのうち、点 $\left(0, \frac{1}{2}\right)$ を含む部分の面積を求めよ。

- 2 座標空間内の3点 $A(1, 1, 1)$, $B(3, 0, 1)$, $C(1, 2, 0)$ を含む平面を H とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 $P(-3, 2, 2)$ は H 上の点であることを示せ。
 (2) 点 $Q(1, -3, -4)$ を通る直線が H と直交するとき、その交点の座標を求めよ。

- 3 $\triangle ABC$ において、 $\angle B$ と $\angle C$ は鋭角とする。点 A を通り辺 BC に直交する直線を引き、辺 BC との交点を X_1 とし、線分 AX_1 の長さを1とする。また、 $BX_1 = 1$, $CX_1 = 8$ とする。各 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して以下の操作を行う。

辺 BC 上の点 X_n を通り辺 AC に平行な直線を引き、辺 AB との交点を Y_n とする。また、点 Y_n を通り辺 BC に平行な直線を引き、辺 AC との交点を Z_n とする。点 Z_n を通り辺 BC に直交する直線を引き、辺 BC との交点を X_{n+1} とする。

線分 $Z_n X_{n+1}$ の長さを l_n とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) l_1 を求めよ。
 (2) l_{n+1} を l_n を用いて表せ。
 (3) 数列 $\{l_n\}$ の一般項を求めよ。

- 4 $f(x)$ は x の3次多項式とし、 x^3 の係数は1、定数項は0とする。2つの異なる実数 α, β に対して $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ が満たされているとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $f(\alpha), f(\beta)$ を α, β を用いて表せ。
 (2) 不等式 $\alpha < \beta < 3\alpha$ が成り立つとき、3次方程式 $f(x) = -1$ の実数解の個数を求めよ。

解答例

- 1 (1) $y = x^2$ を微分すると $y' = 2x$
 C_1 上の点 (a, a^2) における接線 l の方程式は

$$y - a^2 = 2a(x - a) \quad \text{すなわち} \quad y = 2ax - a^2$$

l と $C_2: y = x^2 - 1$ の共有点の x 座標は

$$2ax - a^2 = x^2 - 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = a \pm 1$$

求める面積は

$$\begin{aligned} \int_{a-1}^{a+1} \{(2ax - a^2) - (x^2 - 1)\} dx &= - \int_{a-1}^{a+1} (x - a + 1)(x - a - 1) dx \\ &= - \left(-\frac{1}{6}\right) \{(a+1) - (a-1)\}^3 = \frac{4}{3} \end{aligned}$$

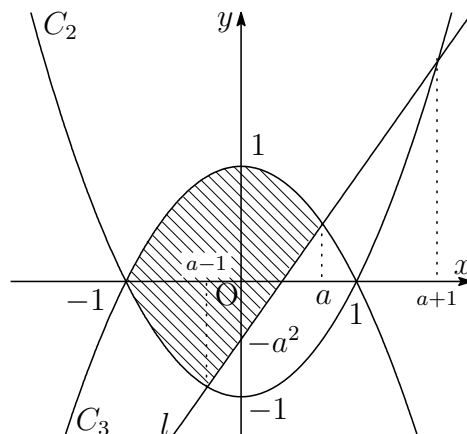
- (2) $a = \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき, l の方程式は

$$l: y = \sqrt{2}x - \frac{1}{2}$$

l と C_3 の共有点の x 座標は

$$\sqrt{2}x - \frac{1}{2} = -x^2 + 1$$

$$\text{ゆえに} \quad x = \frac{1}{\sqrt{2}} (= a), \quad -\frac{3}{\sqrt{2}}$$



$f(x) = -x^2 + 1$ とし, $f(x)$ の原始関数の 1 つを $F(x) = -\frac{1}{3}x^3 + x$ とする.

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= 2 \int_{-1}^{a-1} f(x) dx + \int_{a-1}^a \{f(x) - (2ax - a^2)\} dx \\ &= 2 \left[F(x) \right]_{-1}^{a-1} + \left[F(x) \right]_{a-1}^a + \left[-ax^2 + a^2x \right]_{a-1}^a \\ &= F(a) + F(a-1) - 2F(-1) - a^2 + a \\ &= -\frac{1}{3}a^3 + a - \frac{1}{3}(a-1)^3 + a - 1 - 2 \times \left(-\frac{2}{3}\right) - a^2 + a \\ &= -\frac{2}{3}a^3 + 2a + \frac{2}{3} \end{aligned}$$

$$\text{このとき, } a = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ であるから} \quad S = \frac{5\sqrt{2} + 4}{6}$$

■

- 2** (1) $A(1, 1, 1)$, $B(3, 0, 1)$, $C(1, 2, 0)$, $P(-3, 2, 2)$ から

$$\overrightarrow{AB} = (2, -1, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (0, 1, -1), \quad \overrightarrow{AP} = (-4, 1, 1)$$

$$\overrightarrow{AP} = \alpha \overrightarrow{AB} + \beta \overrightarrow{AC} \text{ とおくと } (\alpha, \beta \text{ は実数})$$

$$(-4, 1, 1) = \alpha(2, -1, 0) + \beta(0, 1, -1)$$

$$\text{したがって} \quad 2\alpha = -4, \quad -\alpha + \beta = 1, \quad -\beta = 1$$

$$\text{これを解いて} \quad \alpha = -2, \quad \beta = -1$$

$$\text{ゆえに } \overrightarrow{AP} = -2\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC} \quad \text{よって, 点 } P \text{ は平面 } H \text{ 上の点である.}$$

- (2) 平面 H を媒介変数 s, t を用いて表すと

$$\begin{aligned} (x, y, z) &= \overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AB} + t\overrightarrow{AC} \\ &= (1, 1, 1) + s(2, -1, 0) + t(0, 1, -1) \\ &= (1 + 2s, 1 - s + t, 1 - t) \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{AB} = (2, -1, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (0, 1, -1) \text{ に垂直なベクトルの 1 つを}$$

$$\vec{n} = (1, 2, 2)$$

とおく. Q を通り $\vec{n}$ に平行な直線を媒介変数 k を用いて表すと

$$\begin{aligned} (x, y, z) &= (1, -3, -4) + k(1, 2, 2) \\ &= (1 + k, -3 + 2k, -4 + 2k) \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

求める交点 (x, y, z) は, ①, ② から

$$\begin{aligned} x &= 1 + 2s = 1 + k \\ y &= 1 - s + t = -3 + 2k \\ z &= 1 - t = -4 + 2k \end{aligned}$$

$$\text{これを解いて} \quad s = 1, \quad t = 1, \quad k = 2, \quad x = 3, \quad y = 1, \quad z = 0$$

よって, 求める交点は **(3, 1, 0)** ■

- 3 (1) 座標平面上に点 $A(0, 1)$, $B(-1, 0)$, $C(8, 0)$, $X_n(x_n, 0)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) をとる. 直線 AB の方程式は

$$y = x + 1 \quad \dots \textcircled{1}$$

直線 AC の方程式は

$$y = -\frac{1}{8}x + 1 \quad \dots \textcircled{2}$$

直線 X_nY_n は点 $(x_n, 0)$ を通り, 傾き $-\frac{1}{8}$ の直線であるから

$$y = -\frac{1}{8}(x - x_n) \quad \dots \textcircled{3}$$

点 Y_n の y 座標 l_n は, ①, ③ を解いて $l_n = \frac{1 + x_n}{9} \quad \dots \textcircled{4}$

このとき, $x_1 = 0$ であるから $l_1 = \frac{1}{9}$

- (2) 点 Z_n の y 座標が l_n であるから, その x 座標は, ② より

$$l_n = -\frac{x}{8} + 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = 8(1 - l_n)$$

これが点 X_{n+1} の x 座標であるから $x_{n+1} = 8(1 - l_n)$

したがって, 上式および ④ から

$$l_{n+1} = \frac{1 + x_{n+1}}{9} = \frac{1 + 8(1 - l_n)}{9} = -\frac{8}{9}l_n + 1$$

- (3) (1), (2) の結果から $l_{n+1} = -\frac{8}{9}l_n + 1 \dots \textcircled{1}$, $l_1 = \frac{1}{9}$

ここで, 定数 c を

$$c = -\frac{8}{9}c + 1 \quad \dots \textcircled{2}$$

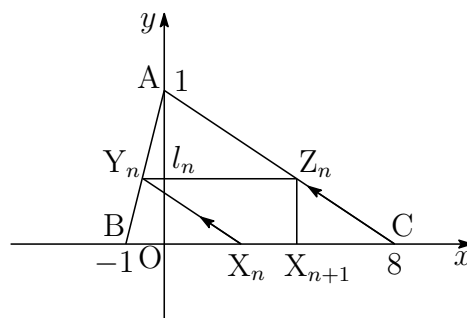
とおくと, ①, ② から

$$l_{n+1} - c = -\frac{8}{9}(l_n - c) \quad \text{ゆえに} \quad l_n - c = (l_1 - c) \left(-\frac{8}{9}\right)^{n-1}$$

$$\textcircled{2} \text{ を解いて } c = \frac{9}{17} \quad \text{また} \quad l_1 - c = \frac{1}{9} - \frac{9}{17} = -\frac{64}{153}$$

$$\text{よって} \quad l_n = \frac{9}{17} - \frac{64}{153} \left(-\frac{8}{9}\right)^{n-1} = \frac{9}{17} + \frac{8}{17} \left(-\frac{8}{9}\right)^n$$

■



- 4 (1) x の3次式 $f(x)$ の x^3 の係数が1, $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ であるから

$$f'(x) = 3(x - \alpha)(x - \beta) = 3x^2 - 3(\alpha + \beta)x + 3\alpha\beta$$

また, $f(x)$ の定数項は0であるから

$$f(x) = x^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)x^2 + 3\alpha\beta x$$

したがって

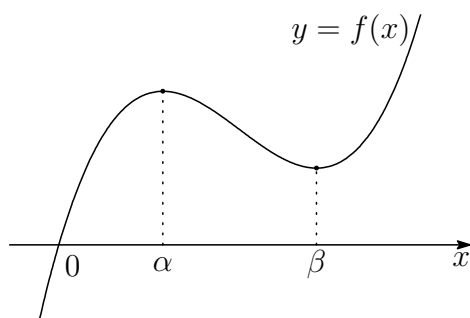
$$f(\alpha) = \alpha^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)\alpha^2 + 3\alpha^2\beta = \frac{\alpha^2(3\beta - \alpha)}{2}$$

$$f(\beta) = \beta^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)\beta^2 + 3\alpha\beta^2 = \frac{\beta^2(3\alpha - \beta)}{2}$$

- (2) $f(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	α	$\cdots$	β	$\cdots$
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	$\nearrow$	$f(\alpha)$	$\searrow$	$f(\beta)$	$\nearrow$

$\alpha < \beta < 3\alpha$ より, $0 < \alpha < \beta$, $3\alpha - \beta > 0$ であるから, $f(\beta) > 0$
 したがって, $y = f(x)$ のグラフの概形は, 次のようになる.



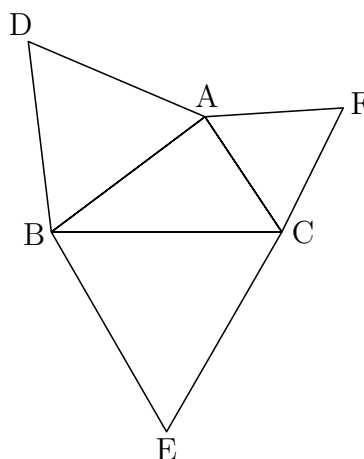
よって, $y = f(x)$ および $y = -1$ のグラフから, 3次方程式 $f(x) = -1$ の実数解の個数は1個. ■

6.2 2016 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 下図のように、 $\triangle ABC$ の外部に 3 点 D, E, F を $\triangle ABD, \triangle BCE, \triangle CAF$ がそれぞれ正三角形になるようにとる。 $\triangle ABC$ の面積を S , 3 辺の長さを $BC = a$, $CA = b$, $AB = c$ とおくと、以下の問いに答えよ。

- (1) $\angle BAC = \theta$ とおくと、 $\sin \theta$ を b, c, S を用いて、 $\cos \theta$ を a, b, c を用いて表せ。
- (2) DC^2 を a, b, c, S を用いて表し、 $DC^2 = EA^2 = FB^2$ が成り立つことを示せ。
- (3) 3 つの正三角形の面積の平均を T とおくと、 DC^2 を S と T を用いて表せ。



2 1 つのさいころを 3 回投げる。1 回目に出る目の数, 2 回目に出る目の数, 3 回目に出る目の数をそれぞれ X_1, X_2, X_3 とし、5 つの数

$$2, 5, 2 - X_1, 5 + X_2, X_3$$

からなるデータを考える。以下の問いに答えよ。

- (1) データの範囲が 7 以下である確率を求めよ。
- (2) X_3 がデータの中央値に等しい確率を求めよ。
- (3) X_3 がデータの平均値に等しい確率を求めよ。
- (4) データの中央値と平均値が一致するとき、 X_3 が中央値に等しい条件付き確率を求めよ。

3 自然数 a に対して

$$S(a) = \sum_{k=1}^a \frac{1}{\sqrt{k+1} + \sqrt{k}}$$

とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) $S(a)$ を求めよ。
- (2) $S(a)$ が整数となる自然数 a を小さい順に並べた数列を

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$$

とする。一般項 a_n を求めよ。

- (3) (2) の数列 $\{a_n\}$ について、 a_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) を 4 で割った余りは 0 か 3 であることを示せ。

- (4) (2) の数列 $\{a_n\}$ と自然数 N に対して和 $\sum_{n=1}^N \frac{1}{a_n}$ を求めよ。

4 2 次関数 $f(x)$ に対して

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt$$

とおく。 a を正の数とし、 $F(x)$ が $x = a$ と $x = -a$ で極値をとるとき、以下の問いに答えよ。

- (1) すべての x について $F(-x) = -F(x)$ が成り立つことを示せ。
- (2) $F(x) + F(a) = 0$ を満たす x をすべて求めよ。
- (3) 関数 $\frac{F(x)}{F'(0)}$ の極大値を求めよ。

解答例

1 (1) 面積の公式から $S = \frac{1}{2}bc \sin \theta$ ゆえに $\sin \theta = \frac{2S}{bc}$

余弦定理により $\cos \theta = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$

(2) $\triangle ACD$ に余弦定理を適用すると, (1) の結果により

$$\begin{aligned} DC^2 &= CA^2 + AD^2 - 2CA \cdot AD \cos(\theta + 60^\circ) \\ &= b^2 + c^2 - 2bc(\cos \theta \cos 60^\circ - \sin \theta \sin 60^\circ) \\ &= b^2 + c^2 - 2bc \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \cdot \frac{1}{2} - \frac{2S}{bc} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ &= \frac{1}{2}(a^2 + b^2 + c^2) + 2\sqrt{3}S \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

(*) は, a, b, c に関する対称式であるから $DC^2 = EA^2 = FB^2$

(3) $T = \frac{1}{3}(\triangle BCE + \triangle CAF + \triangle ABD)$ であるから

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2}a^2 \sin 60^\circ + \frac{1}{2}b^2 \sin 60^\circ + \frac{1}{2}c^2 \sin 60^\circ \right) \\ &= \frac{\sqrt{3}}{12}(a^2 + b^2 + c^2) \end{aligned}$$

ゆえに $a^2 + b^2 + c^2 = 4\sqrt{3}T$

これを (*) に代入すると

$$DC^2 = \frac{1}{2} \cdot 4\sqrt{3}T + 2\sqrt{3}S = 2\sqrt{3}(S + T)$$

■

2 (1) 5 つのデータの最大値と最小値はそれぞれ $5 + X_2, 2 - X_1$ であるから, データの範囲は

$$(5 + X_2) - (2 - X_1) = X_1 + X_2 + 3$$

これが 7 以下であるから

$$X_1 + X_2 + 3 \leq 7 \quad \text{ゆえに} \quad X_1 + X_2 \leq 4$$

これを満たす (X_1, X_2) の組は, 次の 6 通り.

$$(X_1, X_2) = (1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 1), (2, 2), (3, 1)$$

このとき, X_3 は, 1~6 の 6 通りであるから, 求める確率は

$$\frac{6 \times 6}{6^3} = \frac{1}{6}$$

(2) $2 - X_1 < 2 < 5 < 5 + X_2$ であるから, X_3 がデータの中央値であるとき

$$2 \leq X_3 \leq 5 \quad \text{これを満たす } X_3 \text{ は 4 通り}$$

このとき, X_1, X_2 は, ともに 1~6 の 6 通りであるから, 求める確率は

$$\frac{4 \times 6 \times 6}{6^3} = \frac{2}{3}$$

(3) 条件から
$$X_3 = \frac{2 + 5 + (2 - X_1) + (5 + X_2) + X_3}{5}$$

整理すると
$$4(X_3 - 3) = X_2 - X_1 + 2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

このとき, $1 \leq X_1 \leq 6, 1 \leq X_2 \leq 6$ であるから

$$-3 \leq X_2 - X_1 + 2 \leq 7 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② より, $X_2 - X_1 + 2 = 0, 4$ であるから

$$X_2 = X_1 - 2 \quad (X_1 = 3, 4, 5, 6) \text{ のとき } X_3 = 3$$

$$X_2 = X_1 + 2 \quad (X_1 = 1, 2, 3, 4) \text{ のとき } X_3 = 4$$

よって, 求める確率は
$$\frac{4 + 4}{6^3} = \frac{1}{27}$$

(4) $2 - X_1 < 2 < 5 < 5 + X_2$ より, 中央値は 2, 5, X_3 のいずれかである.

i) 中央値が 2 のとき

$$\frac{2 + 5 + (2 - X_1) + (5 + X_2) + X_3}{5} = 2 \quad \text{ゆえに } X_1 = X_2 + X_3 + 4$$

このとき $(X_1, X_2, X_3) = (6, 1, 1)$ の 1 通り

ii) 中央値が 5 のとき

$$\frac{2 + 5 + (2 - X_1) + (5 + X_2) + X_3}{5} = 5 \quad \text{ゆえに } X_1 + 11 = X_2 + X_3$$

このとき $(X_1, X_2, X_3) = (1, 6, 6)$ の 1 通り

iii) 中央値が X_3 のとき, (3) の結果より 8 通り

i)~iii) から, 求める条件付き確率は
$$\frac{\frac{8}{6^3}}{\frac{1+1+8}{6^3}} = \frac{4}{5}$$



$$\boxed{3} \quad (1) \quad \sum_{k=1}^a \frac{1}{\sqrt{k+1} + \sqrt{k}} = \sum_{k=1}^a (\sqrt{k+1} - \sqrt{k}) = \sqrt{a+1} - 1$$

(2) $S(a)$ が整数 $n \geq 1$ に等しいとき, (1) の結果から

$$\sqrt{a+1} - 1 = n \quad \text{ゆえに} \quad a = n(n+2)$$

よって, 求める数列の一般項は $a_n = n(n+2)$

(3) $n = 2m - 1$ のとき (m は整数)

$$\begin{aligned} a_n &= (2m-1)\{(2m-1)+2\} = (2m-1)(2m+1) \\ &= 4m^2 - 1 = 4(m^2 - 1) + 3 \end{aligned}$$

$n = 2m$ のとき (m は整数)

$$a_n = 2m(2m+2) = 4m(m+1)$$

よって, a_n を 4 で割った余りは 0 か 3 である.

(4) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \frac{1}{a_n} &= \sum_{n=1}^N \frac{1}{n(n+2)} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+2} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2} - \frac{1}{N+1} - \frac{1}{N+2} \right) \\ &= \frac{N(3N+5)}{4(N+1)(N+2)} \end{aligned}$$

■

4 (1) $F(x) = \int_0^x f(t) dt$ を x で微分すると $F'(x) = f(x)$

条件より, $F(x)$ は $x = \pm a$ で極値をとるから

$$F'(\pm a) = 0 \quad \text{すなわち} \quad f(\pm a) = 0$$

2次関数 $f(x)$ は, $x + a$, $x - a$ を因数にもつから, 定数 $k \neq 0$ を用いて

$$f(x) = k(x + a)(x - a) = k(x^2 - a^2)$$

とおける. したがって

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_0^x f(t) dt = \int_0^x k(t^2 - a^2) dt \\ &= k \left[\frac{t^3}{3} - a^2 t \right]_0^x = k \left(\frac{x^3}{3} - a^2 x \right) \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

$$\text{このとき} \quad F(-x) = k \left\{ \frac{(-x)^3}{3} - a^2(-x) \right\} = -k \left(\frac{x^3}{3} - a^2 x \right) = -F(x)$$

$$(2) (*) \text{ より } F(a) = -\frac{2}{3}ka^3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$F(x) + F(a) = 0 \text{ のとき } \quad k \left(\frac{x^3}{3} - a^2 x \right) - \frac{2}{3}ka^3 = 0$$

$k \neq 0$ であるから, これを整理すると

$$x^3 - 3a^2x - 2a^3 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x + a)^2(x - 2a) = 0$$

よって, 求める x は $\mathbf{x = -a, 2a}$

$$(3) F'(0) = f(0) \text{ より } F'(0) = -ka^2$$

$$g(x) = \frac{F(x)}{F'(0)} \text{ とおくと } g(x) = -\frac{F(x)}{ka^2}. \text{ これを微分すると}$$

$$g'(x) = -\frac{F'(x)}{ka^2} = -\frac{f(x)}{ka^2} = -\frac{k(x + a)(x - a)}{ka^2} = -\frac{1}{a^2}(x + a)(x - a)$$

このとき, $g(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	$-a$	$\cdots$	a	$\cdots$
$g'(x)$	$-$	0	$+$	0	$-$
$g(x)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, 求める極大値は, ①により

$$g(a) = -\frac{F(a)}{ka^2} = -\frac{-\frac{2}{3}ka^3}{ka^2} = \frac{2}{3}a$$



6.3 2017 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 原点を O とする座標空間内に 3 点 $A(2, 0, 0)$, $B(0, 4, 0)$, $C(0, 0, c)$ がある。ただし, $c > 0$ とする。 $\angle BAC = \theta$ とし, $\triangle ABC$ の面積を S とするとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) $\cos \theta$, $\sin \theta$ を c を用いて表せ。
- (2) 点 O を中心とする半径 1 の球面上の点を H とする。ベクトル $\overrightarrow{HA}$, $\overrightarrow{HB}$, $\overrightarrow{HC}$ がいずれもベクトル $\overrightarrow{OH}$ に垂直であるとき, c の値を求めよ。
- (3) (2) の条件のもとで, 面積 S を求めよ。

- 2 n は 5 以上の自然数とする。赤玉 3 個と白玉 7 個が入っている袋から玉を 1 個取り出し, 色を確認してからもとに戻すという試行を n 回行う。以下の問いに答えよ。

- (1) n 回目に 3 度目の赤玉が出る確率を求めよ。
- (2) 2 度以上連続することなく 3 度赤玉が出る確率を求めよ。
- (3) n 回目に 3 度目の赤玉が出たとき, 2 度以上連続することなく 3 度赤玉が出ている条件付き確率を求めよ。

- 3 $f(x) = x^2 + x$ とし, 数列 $\{a_n\}$ を次のように定める。

$a_1 = 8$ とする。 a_n ($n \geq 1$) に対して, 座標平面上の曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(a_n^2, f(a_n^2))$ における接線と直線 $y = x$ との交点の x 座標を a_{n+1} とする。ただし, a_n^2 は a_n の 2 乗を表す。

以下の問いに答えよ。

- (1) すべての自然数 n に対し, $a_n > 0$ が成り立つことを示せ。
 - (2) $b_n = \log_2 a_n$ とおくとき, b_{n+1} を b_n を用いて表せ。
 - (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- 4 t は 0 でない実数とする。座標平面上の曲線 $C_1: y = (x - t)^2 + 2t^3 - t^2$ と曲線 $C_2: y = 2x^3 - x^2$ について, 以下の問いに答えよ。
- (1) 曲線 C_1 と曲線 C_2 の共有点が 2 個になるような t を求めよ。

- (2) t を (1) で求めた値とし、曲線 C_1 と曲線 C_2 の共有点を A, B とする。ただし、点 A の x 座標は、点 B の x 座標より小さいとする。このとき、点 A, B における曲線 C_2 の接線 ℓ_A, ℓ_B と曲線 C_1 で囲まれた部分の面積を求めよ。

解答例

- 1** (1) $A(2, 0, 0)$, $B(0, 4, 0)$, $C(0, 0, c)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (-2, 4, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (-2, 0, c)$$

2つのベクトル $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ のなす角が θ であるから

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}|} = \frac{4}{2\sqrt{5}\sqrt{c^2+4}} = \frac{2}{\sqrt{5(c^2+4)}}$$

また, $\sin \theta > 0$ であるから

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - \frac{4}{5(c^2+4)}} = \sqrt{\frac{5c^2+16}{5(c^2+4)}}$$

- (2) $H(x, y, z)$ とおくと, H は原点 O を中心とする半径 1 の球面上の点であるから

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\overrightarrow{HA} = (2-x, -y, -z)$, $\overrightarrow{HB} = (-x, 4-y, -z)$, $\overrightarrow{HC} = (-x, -y, c-z)$ がいずれも $\overrightarrow{OH} = (x, y, z)$ に垂直であるから

$$(2-x)x - y^2 - z^2 = 0$$

$$-x^2 + (4-y)y - z^2 = 0$$

$$-x^2 - y^2 + (c-z)z = 0$$

① に注意してこれらを整理すると

$$2x = 1, \quad 4y = 1, \quad cz = 1$$

上の 3 式から, $x = \frac{1}{2}$, $y = \frac{1}{4}$, $z = \frac{1}{c}$ を ① に代入して

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \frac{1}{c^2} = 1$$

$c > 0$ に注意してこれを解くと $c = \frac{4}{\sqrt{11}}$

- (3) (1) の結果から

$$S = \frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}| \sin \theta = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{5} \cdot \sqrt{c^2+4} \times \sqrt{\frac{5c^2+16}{5(c^2+4)}} = \sqrt{5c^2+16}$$

これに (2) の結果を代入すると

$$S = \sqrt{5 \times \frac{16}{11} + 16} = \frac{16}{\sqrt{11}}$$



- 2** (1) $n-1$ 回目までに赤玉が2度出て、 n 回目に赤玉が出る確率であるから

$$\begin{aligned} {}_{n-1}C_2 \left(\frac{3}{10}\right)^2 \left(\frac{7}{10}\right)^{n-3} \times \frac{3}{10} &= \frac{(n-1)(n-2)}{2} \cdot \frac{3^2}{10^2} \cdot \frac{7^{n-3}}{10^{n-3}} \times \frac{3}{10} \\ &= \frac{27(n-1)(n-2) \cdot 7^{n-3}}{2 \cdot 10^n} \end{aligned}$$

- (2) n 回の試行で2度以上連続することなく赤玉が3度出る順の総数は、 $n-3$ 個の白玉を一行に並べ、赤玉をその間と両側を含めた $n-2$ 箇所から赤玉を配置する3箇所を選ぶ組合せの総数であるから、求める確率は

$$\begin{aligned} {}_{n-2}C_3 \left(\frac{3}{10}\right)^3 \left(\frac{7}{10}\right)^{n-3} &= \frac{(n-2)(n-3)(n-4)}{6} \cdot \frac{27}{10^3} \cdot \frac{7^{n-3}}{10^{n-3}} \\ &= \frac{9(n-2)(n-3)(n-4) \cdot 7^{n-3}}{2 \cdot 10^n} \end{aligned}$$

- (3) n 回目に3度目の赤玉が出る事象を A 、2度以上連続することなく3度赤玉が出る事象を B とすると、求める条件付き確率は

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

事象 $A \cap B$ は、 $n-1$ 回目まで赤玉が連続することなく2度出て、 n 回目に赤玉が出ることである。その総数は、(2) と同様に $n-3$ 個の白玉とその最後に赤玉1個を一行に並べ、白玉の間とその前を含めた $n-3$ 箇所から赤玉を配置する2箇所を選ぶ組合せの総数であるから、その確率は

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= {}_{n-3}C_2 \left(\frac{3}{10}\right)^2 \left(\frac{7}{10}\right)^{n-3} \times \frac{3}{10} \\ &= \frac{(n-3)(n-4)}{2} \cdot \frac{9}{10^2} \cdot \frac{7^{n-3}}{10^{n-3}} \times \frac{3}{10} \\ &= \frac{27(n-3)(n-4) \cdot 7^{n-3}}{2 \cdot 10^n} \end{aligned}$$

また、 $P(A)$ は、(1) で求めた確率であるから、求める条件付き確率は

$$\begin{aligned} P_A(B) &= \frac{27(n-3)(n-4) \cdot 7^{n-3}}{2 \cdot 10^n} \times \frac{2 \cdot 10^n}{27(n-1)(n-2) \cdot 7^{n-3}} \\ &= \frac{(n-3)(n-4)}{(n-1)(n-2)} \end{aligned}$$

■

- 3** (1) $f(x) = x^2 + x$ を微分すると $f'(x) = 2x + 1$

曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y - (t^2 + t) = (2t + 1)(x - t)$$

すなわち $y = (2t + 1)x - t^2$

これと直線 $y = x$ の方程式から y を消去すると

$$(2t + 1)x - t^2 = x \quad \text{ゆえに} \quad 2t \left(x - \frac{1}{2}t \right) = 0$$

$t = a_n^2$ とすると, $a_n > 0$ のとき, $t \neq 0$ であるから

$$x = \frac{1}{2}t \quad \text{すなわち} \quad a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n^2 > 0$$

$a_1 = 8 > 0$ により, すべての自然数 n に対して $a_n > 0$

- (2) $a_n > 0$ より ($n \geq 1$), $a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n^2$ の両辺を 2 を底とする対数をとると

$$\log_2 a_{n+1} = \log_2 \frac{1}{2}a_n^2 \quad \text{ゆえに} \quad \log_2 a_{n+1} = 2\log_2 a_n - 1$$

$$b_n = \log_2 a_n \text{ であるから} \quad b_{n+1} = 2b_n - 1$$

- (3) (2) の結果から $b_{n+1} - 1 = 2(b_n - 1)$

$$\text{また} \quad b_1 = \log_2 a_1 = \log_2 8 = 3$$

数列 $\{b_n - 1\}$ は, 初項が $b_1 - 1 = 2$, 公比 2 の等比数列であるから

$$b_n - 1 = 2 \cdot 2^{n-1} \quad \text{すなわち} \quad b_n = 2^n + 1$$

$$b_n = \log_2 a_n \text{ より, } a_n = 2^{b_n} \text{ であるから} \quad a_n = 2^{2^n + 1}$$



- 4 (1) C_1, C_2 の方程式から, y を消去すると

$$\begin{aligned} 2x^3 - x^2 &= (x-t)^2 + 2t^3 - t^2 \\ 2(x^3 - t^3) - 2x^2 + 2tx &= 0 \\ (x-t)(x^2 + tx + t^2) - x(x-t) &= 0 \\ (x-t)\{x^2 + (t-1)x + t^2\} &= 0 \quad \dots (*) \end{aligned}$$

2 曲線 C_1, C_2 の共有点が 2 個となるのは, $(*)$ から, 次の場合がある.

- (i) $x = t$ が方程式 $x^2 + (t-1)x + t^2 = 0$ の解であるとき

$$t^2 + (t-1)t + t^2 = 0 \quad \text{すなわち} \quad t(3t-1) = 0$$

ここで, $t \neq 0$ に注意して, $t = \frac{1}{3}$ を $(*)$ に代入すると

$$\left(x - \frac{1}{3}\right) \left(x^2 - \frac{2}{3}x + \frac{1}{9}\right) = 0 \quad \text{すなわち} \quad \left(x - \frac{1}{3}\right)^3 = 0$$

このとき, 方程式 $(*)$ が 3 重解をもち, 不適.

- (ii) 方程式 $x^2 + (t-1)x + t^2 = 0$ が重解をもつとき, 係数について

$$(t-1)^2 - 4t^2 = 0 \quad \text{すなわち} \quad (3t-1)(t+1) = 0$$

$t = \frac{1}{3}$ は (i) から, 不適であるから, $t = -1$ を方程式 $(*)$ に代入すると

$$(x+1)(x^2 - 2x + 1) = 0 \quad \text{すなわち} \quad (x+1)(x-1)^2 = 0$$

このとき, 2 曲線 C_1, C_2 の共有点の x 座標は $x = -1, 1$

- (i), (ii) より, 求める t の値は $t = -1$

- (2) (1) の結果から $C_1: y = (x+1)^2 - 3$, $C_2: y = 2x^3 - x^2$
 条件により $A(-1, -3)$, $B(1, 1)$

$y = 2x^3 - x^2$ を微分すると

$$y' = 6x^2 - 2x$$

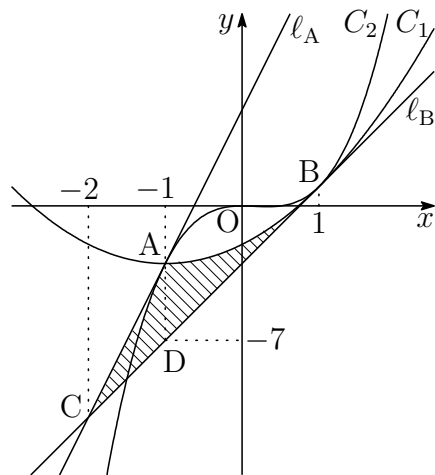
$x = -1$ のとき, $y' = 8$

$x = 1$ のとき, $y' = 4$

2 直線 ℓ_A , ℓ_B の方程式は

$$\begin{aligned} \ell_A: y - (-3) &= 8(x + 1) \\ y &= 8x + 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_B: y - 1 &= 4(x - 1) \\ y &= 4x - 3 \end{aligned}$$



2 直線 ℓ_A , ℓ_B の交点を C とすると, その x 座標は

$$8x + 5 = 4x - 3 \quad \text{これを解いて} \quad x = -2$$

ℓ_B 上の $x = -1$ における点を D とすると $D(-1, -7)$

求める面積は上の図の斜線部分で, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \triangle ACD + \int_{-1}^1 \{(x^2 + 2x - 2) - (4x - 3)\} dx \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \{-3 - (-7)\} + \int_{-1}^1 (x - 1)^2 dx \\ &= 2 + \left[\frac{1}{3}(x - 1)^3 \right]_{-1}^1 = \frac{14}{3} \end{aligned}$$



6.4 2018年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 p, q を整数とする。関数 $f(x) = x^3 - px^2 + (p^2 - 2p)x + q$ について、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ が極値をもつときの整数 p の値をすべて求めよ。
- (2) 方程式 $f(x) = 0$ が負の解1つと相異なる正の解2つをもつとき、整数 p, q の値を求めよ。

2 正三角形 ABC が半径1の円に内接しているとする。Pは点A, Bと異なる点で、A, Bを両端とし点Cを含まない弧の上を動くものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $\angle PBA = \theta$ とおくと、PA, PB, PCをそれぞれ θ を用いて表せ。また、 $PA + PB + PC$ の最大値を求めよ。
- (2) $PA^2 + PB^2 + PC^2$ を求めよ。

3 m, n を整数とする。 xy 平面上の4点 $(m, n), (m-1, n), (m-1, n-1), (m, n-1)$ を頂点にもつ正方形を $R_{(m,n)}$ と表す。初めに1辺の長さが1のさいころが $R_{(1,1)}$ に1の目を上に置かれている。1枚の硬貨を投げて表が出たらさいころを x 軸方向に +1 だけ転がして移し、裏が出たら y 軸方向に +1 だけ転がして移す。以下の問いに答えよ。ただし、さいころの向かい合う面の目の数の和は7であるとする。

- (1) 硬貨を5回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある確率を求めよ。
- (2) 硬貨を2回投げたあとにさいころの6の目が上にあるという条件の下で、硬貨を5回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある条件付き確率を求めよ。
- (3) 硬貨を5回投げたあとにさいころの1の目が上にある確率を求めよ。

4 初項が1である数列 $\{a_n\}$ に対して $S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とおく。 $\{S_n\}$ が

$$S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n \quad (n \geq 1)$$

をみたすとき、以下の問いに答えよ。

- (1) a_2, a_3 を求めよ。
- (2) $n \geq 2$ のとき、 a_{n+1} を a_n と n を用いて表せ。
- (3) $n \geq 2$ のとき、 a_n を n の式で表せ。

解答例

1 (1) $f(x) = x^3 - px^2 + (p^2 - 2p)x + q$ より $f'(x) = 3x^2 - 2px + p^2 - 2p$

$f'(x) = 0$ の判別式を D とすると, $D/4 > 0$ であるから

$$(-p)^2 - 3(p^2 - 2p) > 0 \quad \text{ゆえに} \quad p(p - 3) < 0$$

p は整数であるから $p = 1, 2$

(2) (1) の結果は, 方程式 $f(x) = 0$ が異なる 3 つの実数解をもつための必要条件である.

(i) $p = 1$ のとき, $f(x) = x^3 - x^2 - x + q$ より

$$f'(x) = 3x^2 - 2x - 1 = (x - 1)(3x + 1)$$

与えられた条件を満たすとき, $f(0) > 0$, $f(1) < 0$ であるから

$$q > 0, \quad q - 1 < 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < q < 1$$

q は整数であるから, これを満たす q は存在しない.

(ii) $p = 2$ のとき, $f(x) = x^3 - 2x^2 + q$ より

$$f'(x) = 3x^2 - 4x = x(3x - 4)$$

与えられた条件を満たすとき, $f(0) > 0$, $f\left(\frac{4}{3}\right) < 0$ であるから

$$q > 0, \quad q - \frac{32}{27} < 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < q < \frac{32}{27}$$

q は整数であるから $q = 1$

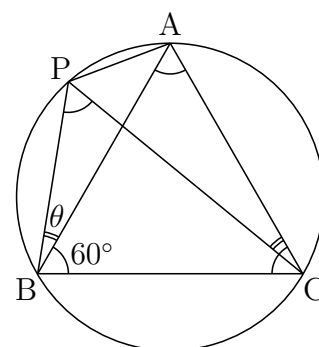
(i), (ii) より $p = 2, q = 1$ ■

- 2 (1) $\angle PBA = \theta$ より, 右の図から

$$\angle PBC = 60^\circ + \theta, \quad \angle PCB = 60^\circ - \theta$$

$\triangle PBA$, $\triangle PBC$ は半径 1 の円に内接しているから, 正弦定理により

$$\frac{PA}{\sin \theta} = 2 \cdot 1, \quad \frac{PB}{\sin(60^\circ - \theta)} = \frac{PC}{\sin(60^\circ + \theta)} = 2 \cdot 1$$



ゆえに $PA = 2 \sin \theta$

$$PB = 2 \sin(60^\circ - \theta), \quad PC = 2 \sin(60^\circ + \theta)$$

加法定理により $\sin(60^\circ - \theta) + \sin(60^\circ + \theta) = 2 \sin 60^\circ \cos \theta = \sqrt{3} \cos \theta$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad PA + PB + PC &= 2\{\sin \theta + \sin(60^\circ - \theta) + \sin(60^\circ + \theta)\} \\ &= 2(\sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta) \\ &= 4 \sin(\theta + 60^\circ) \end{aligned}$$

よって, $PA + PB + PC$ は, $\theta = 30^\circ$ のとき, 最大値 4 をとる.

- (2) $2 \sin^2 x = 1 - \cos 2x$ であるから

$$\begin{aligned} PA^2 + PB^2 + PC^2 &= 2\{2 \sin^2 \theta + 2 \sin^2(60^\circ - \theta) + 2 \sin^2(60^\circ + \theta)\} \\ &= 2\{3 - \cos 2\theta - \cos(120^\circ - 2\theta) - \cos(120^\circ + 2\theta)\} \\ &= 6 - 2\{\cos 2\theta + \cos(120^\circ - 2\theta) + \cos(120^\circ + 2\theta)\} \end{aligned}$$

ここで, 加法定理により

$$\cos(120^\circ - 2\theta) + \cos(120^\circ + 2\theta) = 2 \cos 120^\circ \cos 2\theta = -\cos 2\theta$$

上式より, $\cos 2\theta + \cos(120^\circ - 2\theta) + \cos(120^\circ + 2\theta) = 0$ であるから

$$PA^2 + PB^2 + PC^2 = 6$$

■

- 3** (1) さいころが $R_{(m,n)}$ から $R_{(m+i,n+j)}$ の位置に移る確率を $P_{(i,j)}$ とすると

$$P_{(i,j)} = {}_{i+j}C_i \left(\frac{1}{2}\right)^{i+j} = \frac{{}_{i+j}C_i}{2^{i+j}} \quad \cdots (*)$$

である (i, j は 0 以上の整数).

$R_{(1,1)}$ から $R_{(3,4)}$ に移る確率であるから, $(*)$ に $i = 2, j = 3$ を代入して

$$P_{(2,3)} = \frac{{}_5C_2}{2^5} = \frac{10}{32} = \frac{5}{16}$$

- (2) 事象 A, B を, 次のように定める

A : 硬貨を 2 回投げたあとにさいころの 6 の目が上にある.

B : 硬貨を 5 回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある.

$P(A)$ は, $R_{(1,1)}$ から $R_{(3,1)}$ または $R_{(1,3)}$ の位置に移る確率であるから, $(*)$ により

$$P(A) = P_{(2,0)} + P_{(0,2)} = \frac{{}_2C_2}{2^2} + \frac{{}_2C_0}{2^2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

$P(A \cap B)$ は, $R_{(1,1)}$ から $R_{(3,1)}$ または $R_{(1,3)}$ の位置を通過して, $R_{(3,4)}$ の位置に移る確率であるから

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P_{(2,0)}P_{(0,3)} + P_{(0,2)}P_{(2,1)} \\ &= \frac{{}_2C_2}{2^2} \cdot \frac{{}_3C_0}{2^3} + \frac{{}_2C_0}{2^2} \cdot \frac{{}_3C_2}{2^3} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{8} = \frac{1}{8} \end{aligned}$$

よって, 求める条件付き確率は

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\frac{1}{8}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{4}$$

- (3) 硬貨を5回投げたあとにさいころの1の目が上にあるとき、途中反転する(1の目が上から下, 下から上). 5回投げる中で反転は2度起き、さいころの1の目が下にくるのは硬貨を2回目または3回目に投げたあとである. さいころが2回で反転する事象を X とすると、 X が起きるのは、硬貨が「表表」または「裏裏」の順に出るときであるから、その確率は

$$P(X) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

さいころが3回で反転する事象を Y とすると、 Y が起きるのは、硬貨が「表裏表」または「裏表裏」の順に出るときであるから、その確率は

$$P(Y) = \left(\frac{1}{2}\right)^3 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{4}$$

求める確率は、 X, Y または Y, X の順に起こる確率であるから

$$P(X)P(Y) + P(Y)P(X) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$



4 (1) $S_1 = a_1 = 1, S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n \cdots (*)$

(*) に $n = 1, 2$ を代入すると

$$S_2 = 2S_1 + 1^2 + 2 \cdot 1 = 5$$

$$S_3 = 2S_2 + 2^2 + 2 \cdot 2 = 18$$

よって $a_2 = S_2 - S_1 = 5 - 1 = 4, \quad a_3 = S_3 - S_2 = 18 - 5 = 13$

(2) (*) より $S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n$
 $S_n = 2S_{n-1} + (n-1)^2 + 2(n-1)$

上の 2 式の辺々を引くと $a_{n+1} = 2a_n + 2n + 1$

(3) 1 次関数 $f(n) = pn + q$ が, すべての n について, 次式を満たすとき

$$f(n+1) = 2f(n) + 2n + 1 \cdots \textcircled{1}$$

したがって $p(n+1) + q = 2(pn + q) + 2n + 1$

整理すると $pn + p + q = (2p + 2)n + 2q + 1$

上式は, n に関する恒等式であるから

$$p = 2p + 2, \quad p + q = 2q + 1 \quad \text{これを解いて} \quad p = -2, \quad q = -3$$

ゆえに $f(n) = -2n - 3 \cdots \textcircled{2}$

(2) の結果と ① の辺々を引くと

$$a_{n+1} - f(n+1) = 2\{a_n - f(n)\}$$

$f(2) = -2 \cdot 2 - 3 = -7$ であるから, $a_2 - f(2) = 4 - (-7) = 11$ より

$$a_n - f(n) = 11 \cdot 2^{n-2} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 11 \cdot 2^{n-2} + f(n)$$

これに ② を代入して $a_n = 11 \cdot 2^{n-2} - 2n - 3 \quad (n \geq 2)$ ■

6.5 2019年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$ がある。

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = \frac{2}{a_n} + 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

以下の問いに答えよ。

- (1) 自然数 n に対して $a_n \neq 2$ を示せ。
- (2) $b_n = \frac{3}{a_n - 2} + 1$ とおくとき、数列 $\{b_n\}$ の一般項を求めよ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- (4) $a_n > \frac{5}{2}$ を満たす自然数 n を求めよ。

2 1個のさいころを投げて、出た目の数を a とする。 a が偶数のときは $b = \frac{1}{2}a$, a が奇数のときは $b = \frac{1}{2}(a + 3)$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $a > b$ となる確率を求めよ。
- (2) $\sin \frac{\pi}{5} > 0.5$ および $\cos \frac{\pi}{5} < 0.9$ を示せ。
- (3) $S = \cos \frac{\pi}{a} + \sin \frac{\pi}{b}$ とおく。 $a > b$ であるとき、 $S < 1.7$ となる条件付き確率を求めよ。

3 以下の問いに答えよ。

- (1) 実数 a, b に対して、 $f(x) = x^2 + ax + b$ とおく。 $y = f(x)$ は x 軸および直線 $y = 2x + 3$ に接しているとする。実数 a, b を求めよ。このとき、 $y = f(x)$, x 軸および直線 $y = 2x + 3$ で囲まれた部分の面積を求めよ。
- (2) 座標平面上の曲線 $C_1: y = x^2 + 2px - 2p$ および $C_2: y = x^3$ の共有点がちょうど2個になるような実数 p の値をすべて求めよ。

4 座標平面上の直線 ℓ を $y = ax - a - 2$, 直線 m を $y = bx + 3b$ とおく。直線 ℓ と直線 m は互いに直交しながら座標平面上を動くとする。ただし、 a, b は ℓ と m の条件を保ちながら実数値をとって変化するものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) 直線 ℓ と直線 m の交点 P の軌跡を求めよ。
- (2) 点 $A(1, -2)$, 点 $B(-3, 0)$ に対して、線分 AP および線分 BP の長さを a を用いて表せ。
- (3) $\triangle APB$ の面積が最大となるときの a の値を求めよ。

解答例

- 1 (1) $a_1 \neq 2$ であるから、第 $m+1$ 項で初めて $a_{m+1} = 2$ になると仮定すると、漸化式 $a_{n+1} = \frac{2}{a_n} + 1 \cdots (*)$ に $n = m$ を代入すると

$$2 = \frac{2}{a_m} + 1 \quad \text{すなわち} \quad a_m = 2$$

第 m 項ですでに $a_m = 2$ となり、矛盾を生じる.

よって、すべての自然数 n に対して $a_n \neq 2$

- (2) $b_n = \frac{3}{a_n - 2} + 1 \cdots (**)$ より $b_n = \frac{a_n + 1}{a_n - 2}$ これと $(*)$ により

$$\begin{aligned} a_{n+1} + 1 &= \frac{2}{a_n} + 2 = \frac{2(a_n + 1)}{a_n} \\ a_{n+1} - 2 &= \frac{2}{a_n} - 1 = \frac{-(a_n - 2)}{a_n} \end{aligned}$$

$$\text{上の 2 式から} \quad \frac{a_{n+1} + 1}{a_{n+1} - 2} = -2 \cdot \frac{a_n + 1}{a_n - 2} \quad \text{すなわち} \quad b_{n+1} = -2b_n$$

$\{b_n\}$ は初項 $b_1 = \frac{a_1 + 1}{a_1 - 2} = \frac{1 + 1}{1 - 2} = -2$ 、公比 -2 の等比数列であるから

$$b_n = b_1 \cdot (-2)^{n-1} = (-2)^n$$

補足 $\{a_n\}$ の特性方程式 $x = \frac{2}{x} + 1$ の解が $2, -1$ であるから、数列 $\left\{ \frac{a_n + 1}{a_n - 2} \right\}$ は等比数列である.

- (3) $(**)$ より $b_n - 1 = \frac{3}{a_n - 2}$ ゆえに $a_n - 2 = \frac{3}{b_n - 1}$

$$\text{上式および (2) の結果から} \quad a_n = \frac{3}{(-2)^n - 1} + 2$$

- (4) (3) の結果を $a_n > \frac{5}{2}$ に代入すると

$$\frac{3}{(-2)^n - 1} + 2 > \frac{5}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{3}{(-2)^n - 1} > \frac{1}{2} = \frac{3}{6}$$

したがって $0 < (-2)^n - 1 < 6$ ゆえに $1 < (-2)^n < 7$

これを満たす自然数 n は $n = 2$

分数漸化式

$p, q, r \neq 0, s$ を定数とする漸化式

$$a_{n+1} = \frac{pa_n + q}{ra_n + s} \quad \cdots (*)$$

の一般項について、以下に述べる.

$ps - qr = 0$ のとき、右辺は定数となるので、 $ps - qr \neq 0$ とする.

(*) の特性方程式

$$x = \frac{px + q}{rx + s} \quad \text{すなわち} \quad rx^2 + (s - p)x - q = 0 \quad \cdots (**)$$

の解を α, β とすると

$$\begin{aligned} a_{n+1} - \alpha &= \frac{pa_n + q}{ra_n + s} - \frac{p\alpha + q}{r\alpha + s} = \frac{(ps - qr)(a_n - \alpha)}{(r\alpha + s)(ra_n + s)} \quad \cdots (***) \\ a_{n+1} - \beta &= \frac{(ps - qr)(a_n - \beta)}{(r\beta + s)(ra_n + s)} \end{aligned}$$

i) $\alpha \neq \beta$ のとき、上の2式から

$$\frac{a_{n+1} - \beta}{a_{n+1} - \alpha} = \frac{r\alpha + s}{r\beta + s} \cdot \frac{a_n - \beta}{a_n - \alpha}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{a_n - \beta}{a_n - \alpha} = \frac{a_1 - \beta}{a_1 - \alpha} \left(\frac{r\alpha + s}{r\beta + s} \right)^{n-1}$$

上式から、 a_n が求まる.

ii) $\alpha = \beta$ のとき、(*) の係数の係数について

$$(s - p)^2 + 4rq = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (p + s)^2 = 4(ps - qr) \quad \cdots \textcircled{1}$$

また、 α は(**) の重解であるから

$$\alpha = \frac{p - s}{2r} \quad \text{ゆえに} \quad r\alpha + s = \frac{1}{2}(p + s) \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ②により、(***) は

$$\begin{aligned} a_{n+1} - \alpha &= \frac{(ps - qr)(a_n - \alpha)}{(r\alpha + s)\{r(a_n - \alpha) + r\alpha + s\}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(p + s)^2(a_n - \alpha)}{\frac{1}{2}(p + s)\{r(a_n - \alpha) + \frac{1}{2}(p + s)\}} \end{aligned}$$

逆数をとると
$$\frac{1}{a_{n+1} - \alpha} = \frac{1}{a_n - \alpha} + \frac{2r}{p + s}$$

このとき, 数列 $\left\{ \frac{1}{a_n - \alpha} \right\}$ は初項が $\frac{1}{a_1 - \alpha}$, 公差が $\frac{2r}{p + s}$ の等差数列であるから

$$\frac{1}{a_n - \alpha} = \frac{1}{a_1 - \alpha} + \frac{2r}{p + s}(n - 1)$$

これから, a_n が求まる.

例えば, 大分大学 2001 年の漸化式¹

$$a_1 = 3, \quad a_{n+1} = \frac{2a_n}{3a_n + 5}$$

の特性方程式 $x = \frac{2x}{3x + 5}$ の解が $0, -1$ であるから

$$a_{n+1} + 1 = \frac{5(a_n + 1)}{3a_n + 5}$$

したがって
$$\frac{a_{n+1}}{a_{n+1} + 1} = \frac{2}{5} \cdot \frac{a_n}{a_n + 1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a_n}{a_n + 1} = \frac{3}{4} \left(\frac{2}{5} \right)^{n-1}$$

よって
$$a_n = \frac{3 \cdot 2^{n-1}}{4 \cdot 5^{n-1} - 3 \cdot 2^{n-1}}$$

次に, 宮崎大学 2003 年の漸化式²

$$a_1 = \frac{q}{p} \quad (p > q > 0), \quad a_{n+1} = \frac{1}{2 - a_n} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

の特性方程式 $x = \frac{1}{2 - x}$, すなわち $x^2 - 2x + 1 = 0$ は重解 1 をもつから

$$\frac{1}{a_{n+1} - 1} = \frac{1}{a_n - 1} - 1$$

ゆえに
$$\frac{1}{a_n - 1} = \frac{1}{\frac{q}{p} - 1} - (n - 1) \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{(n - 1)p - (n - 2)q}{np - (n - 1)q}$$
 ■

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/oita/oita_2001.pdf [1]

²http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/miyazaki/miyazaki_2003.pdf [12]

- 2 (1) a に対する b の値は、次のようになる.

a	1	2	3	4	5	6
b	2	1	3	2	4	3

このとき, $a > b$ となるのは, 次の 4 通り

a	2	4	5	6
b	1	2	4	3

よって, 求める確率は $\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

$$(2) \sin \frac{\pi}{5} > \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2} \text{ より } \sin \frac{\pi}{5} > 0.5$$

$$\cos \frac{\pi}{5} < \cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\frac{3}{4}} < \sqrt{0.81} = 0.9 \quad \text{ゆえに} \quad \cos \frac{\pi}{5} < 0.9$$

$$(3) \cos \frac{\pi}{4} = \sin \frac{\pi}{4} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{0.5}, \quad \sqrt{0.49} < \sqrt{0.5} < \sqrt{0.64} \text{ より}$$

$$0.7 < \cos \frac{\pi}{4} = \sin \frac{\pi}{4} < 0.8$$

(2) および上の結果に注意すると, $a < b$ となる (a, b) について

$$(a, b) = (2, 1) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{2} + \sin \pi = 0 < 1.7$$

$$(a, b) = (4, 2) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{2} > 0.7 + 1 = 1.7$$

$$(a, b) = (5, 4) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{5} + \sin \frac{\pi}{4} < 0.9 + 0.8 = 1.7$$

$$(a, b) = (6, 3) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{6} + \sin \frac{\pi}{3} = \sqrt{3} > \sqrt{1.7^2} = 1.7$$

よって, 求める条件付き確率は $\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

補足 $a < b$ である事象を X , $S < 1.7$ である事象を Y とすると

$$P_X(Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(X)} = \frac{\frac{2}{6}}{\frac{4}{6}} = \frac{1}{2}$$

$$(a, b) = (1, 2) \text{ のとき } S = \cos \pi + \sin \frac{\pi}{2} = 0 < 1.7$$

$$(a, b) = (3, 3) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} < 1.7$$

$P(Y) = \frac{4}{6}$ より, $P_X(Y) \neq P(Y)$ であるから, X と Y は独立ではない. ■

- 3** (1) $y = x^2 + ax + b$ が x 軸に接するから、係数について

$$a^2 - 4b = 0 \quad \dots \textcircled{1}$$

$y = x^2 + ax + b$ と $y = 2x + 3$ から y を消去して整理すると

$$x^2 + (a - 2)x + b - 3 = 0$$

この方程式は重解をもつから

$$(a - 2)^2 - 4(b - 3) = 0 \quad \dots \textcircled{2}$$

①, ② を解いて $a = 4, b = 4$

3 点 $\left(-\frac{3}{2}, 0\right), (-1, 0), (-1, 1)$ を頂点する三角形の面積は $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{1}{4}$

よって、求める面積を S とすると³

$$\begin{aligned} S &= \int_{-2}^{-1} (x^2 + 4x + 4) dx - \frac{1}{4} \\ &= \int_{-2}^{-1} (x + 2)^2 dx - \frac{1}{4} = \left[\frac{1}{3} (x + 2)^3 \right]_{-2}^{-1} - \frac{1}{4} = \frac{1}{12} \end{aligned}$$

- (2) $y = x^2 + 2px - 2p$ と $y = x^3$ から y を消去すると

$$x^2 + 2px - 2p = x^3 \quad \text{ゆえに} \quad (x - 1)(x^2 - 2p) = 0 \quad \dots (*)$$

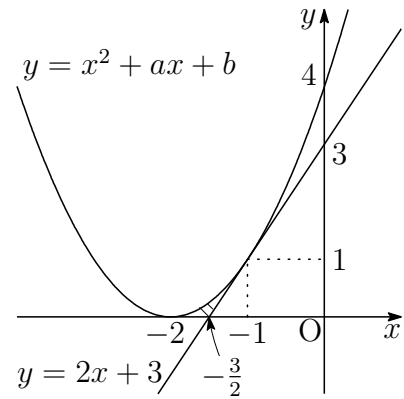
(i) $x^2 - 2p = 0$ が重解をもつとき $p = 0$

これを (*) に代入して $(x - 1)x^2 = 0$

(ii) $x^2 - 2p = 0$ が 1 を解にもつとき $1 - 2p = 0$ ゆえに $p = \frac{1}{2}$

これを (*) に代入して $(x + 1)(x - 1)^2 = 0$

(i), (ii) で得られた結果は条件を満たす. よって $p = 0, \frac{1}{2}$ ■



³<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-bun.2009.pdf> **4** の補足を参照.

- 4 (1) $\ell: y = ax - a - 2$ は $y + 2 = a(x - 1)$ より、点 $A(1, -2)$ を通り、傾き a の直線。

$m: y = bx + 3b$ は $y = b(x + 3)$ より、点 $B(-3, 0)$ を通り、傾き b の直線。

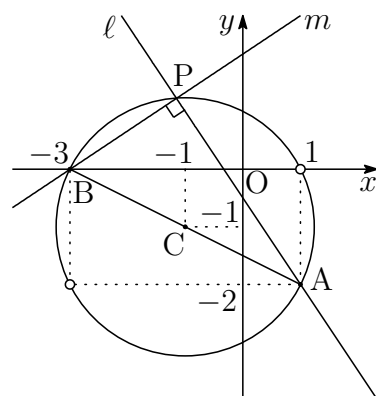
ℓ と m は直交するから、 ℓ と m の交点 P は、線分 AB を直径とする円周上を動く。

線分 AB の中点を C とすると $C(-1, -1)$

$$CA = \sqrt{(1+1)^2 + (-2+1)^2} = \sqrt{5}$$

求める点 P の軌跡は、2 直線 ℓ, m が x 軸と垂直ではないことに注意して

$$(x+1)^2 + (y+1)^2 = 5, \quad (x, y) \neq (1, 0), (-3, -2)$$



- (2) $\ell \perp m$ より、 $ab = -1$ であるから

$$\ell: ax - y - a - 2 = 0, \quad m: x + ay + 3 = 0$$

線分 AP の長さは、点 $A(1, -2)$ と直線 m の距離であるから

$$AP = \frac{|1 + a \cdot (-2) + 3|}{\sqrt{1^2 + a^2}} = \frac{2|a - 2|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

線分 BP の長さは、点 $B(-3, 0)$ と直線 ℓ の距離であるから

$$BP = \frac{|a \cdot (-3) + 0 - a - 2|}{\sqrt{a^2 + (-1)^2}} = \frac{2|2a + 1|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

- (3) $\triangle APB$ の面積が最大となるとき、 P は線分 AB の垂直二等分線上にあるから、 $AP = BP$ より

$$\frac{2|a - 2|}{\sqrt{a^2 + 1}} = \frac{2|2a + 1|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad \text{ゆえに} \quad |a - 2| = |2a + 1|$$

$$\text{これを解いて} \quad a = \frac{1}{3}, -3$$

別解 直線 AB の傾きは、その偏角を θ とすると $\tan \theta = -\frac{1}{2}$

$\triangle APB$ の面積が最大となるとき、 ℓ の傾き a は

$$a = \tan(\theta \pm 45^\circ) = \frac{\tan \theta \pm \tan 45^\circ}{1 \mp \tan \theta \tan 45^\circ} = \frac{-\frac{1}{2} \pm 1}{1 \pm \frac{1}{2}} = \frac{-1 \pm 2}{2 \pm 1} = \frac{1}{3}, -3$$



6.6 2020 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 a を定数とし, $y = (\sin \theta + a)(\cos \theta + a)$ とする。ただし, $0 \leq \theta < 2\pi$ とする。
以下の問いに答えよ。

- (1) $t = \sin \theta + \cos \theta$ とするとき, y を a と t を用いて表せ。
- (2) t のとりうる値の範囲を求めよ。
- (3) y の最大値と最小値を a を用いて表せ。

2 $a < b < c$ を満たす実数 a, c と整数 b に対し, $g(x) = (x - a)(x - b)(x - c)$ とする。また, $f(x) = g(x) - g'(x)$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $f(a) < 0, f(b) > 0, f(c) < 0$ となることを示せ。
- (2) $f(x) = (x + 1)(x^2 - 4x + 2)$ のとき, a, b, c の値を求めよ。
- (3) (2) で求めた a, b, c から定まる曲線 $y = g(x)$ と $y = f(x)$ で囲まれた部分の面積を求めよ。

3 xy 平面において, x, y がともに整数であるとき, 点 (x, y) を格子点とよぶ。 n を自然数とすると, 3 直線 $y = \frac{2}{3}x + \frac{n}{3}, y = x - n, x = n$ で囲まれた図形を D_n とする。また, D_n の周上および内部の格子点の個数を L_n とする。以下の問いに答えよ。

- (1) L_3 を求めよ。
- (2) k を 0 以上の整数とする。直線 $\ell: x = n + 3k$ が D_n と交わる時, D_n の周上および内部の格子点で ℓ 上にあるものの個数を n と k を用いて表せ。
- (3) L_n を n を用いて表せ。

4 k, s, t を実数とする。座標空間に原点 $O, A(1, -1, 1), B(0, 1, 1), C(-1, 0, k)$ の 4 点をとる。 $\overrightarrow{OD} = (1 - s)\overrightarrow{OA}$ で定まる点を $D, \overrightarrow{OE} = t\overrightarrow{OB} + (1 - t)\overrightarrow{OC}$ で定まる点を E とし, $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{DE}$ により定まる点を P とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 P の座標を k, s, t を用いて表せ。
- (2) 点 P が $0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1$ を満たしながら動くとき, 点 P が動いてできる平行四辺形を $P(k)$ とし, その面積を $S(k)$ とする。 k が実数全体を動くとき, $S(k)$ の最小値と, そのときの k の値を求めよ。
- (3) (2) で求めた k に対し, 平行四辺形 $P(k)$ を底面とし, 点 O を頂点とする四角錐の体積を求めよ。

解答例

- 1 (1) $y = (\sin \theta + a)(\cos \theta + a)$ より

$$y = \sin \theta \cos \theta + a(\sin \theta + \cos \theta) + a^2$$

$t = \sin \theta + \cos \theta$ の両辺を平方すると

$$t^2 = 1 + 2 \sin \theta \cos \theta \quad \text{ゆえに} \quad \sin \theta \cos \theta = \frac{t^2 - 1}{2}$$

$$\text{よって} \quad y = \frac{t^2 - 1}{2} + at + a^2 = \frac{t^2}{2} + at + a^2 - \frac{1}{2}$$

- (2) $t = \sin \theta + \cos \theta$ より $t = \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right)$

$$0 \leq \theta < 2\pi \text{ であるから} \quad -\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$$

- (3) $y = f(t)$ とおくと, (1) の結果から

$$f(t) = \frac{1}{2}(t+a)^2 + \frac{a^2-1}{2} \quad (-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2})$$

したがって, $y = f(t)$ は, 下に凸の放物線である.

軸は $t = -a$, 定義域 $-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$ の中央は $t = 0$

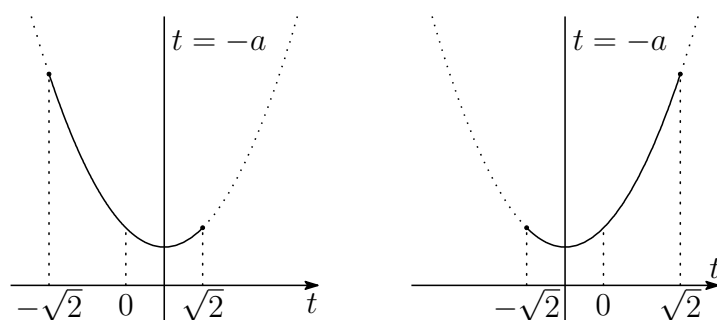
- (i) $0 < -a$ すなわち $a < 0$ のとき

$$\text{最大値 } f(-\sqrt{2}) = a^2 - \sqrt{2}a + \frac{1}{2}$$

- (ii) $-a \leq 0$ すなわち $a \geq 0$ のとき

$$\text{最大値 } f(\sqrt{2}) = a^2 + \sqrt{2}a + \frac{1}{2}$$

- (i) $0 < -a$ のとき ($a < 0$) (ii) $-a \leq 0$ のとき ($a \geq 0$)



2 次関数 (下に凸の放物線) の閉区間における最大値

定義域の中央が軸より左側にあるとき定義域の左端で最大値をとり,
定義域の中央が軸より右側にあるとき定義域の右端で最大値をとる.

最小値は、次の3つの場合に分けて求める.

(i) $\sqrt{2} < -a$ すなわち $a < -\sqrt{2}$ のとき

$$\text{最小値 } f(\sqrt{2}) = a^2 + \sqrt{2}a + \frac{1}{2}$$

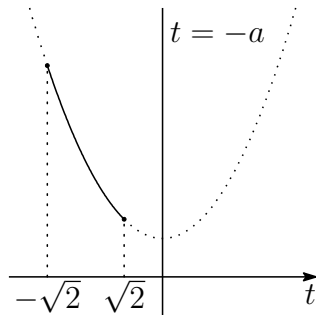
(ii) $-\sqrt{2} \leq -a \leq \sqrt{2}$ すなわち $-\sqrt{2} \leq a \leq \sqrt{2}$ のとき

$$\text{最小値 } f(-a) = \frac{a^2 - 1}{2}$$

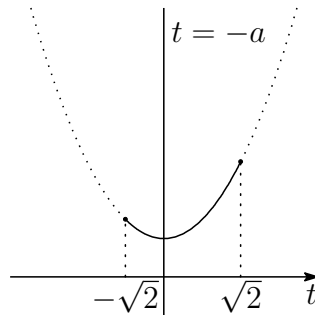
(iii) $-a < -\sqrt{2}$ すなわち $\sqrt{2} < a$ のとき

$$\text{最小値 } f(-\sqrt{2}) = a^2 - \sqrt{2}a + \frac{1}{2}$$

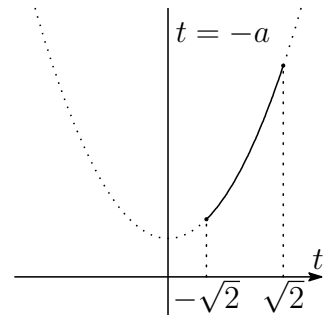
(i) $\sqrt{2} < -a$ のとき
($a < -\sqrt{2}$)



(ii) $-\sqrt{2} \leq -a \leq \sqrt{2}$ のとき
($-\sqrt{2} \leq a \leq \sqrt{2}$)



(iii) $-a < -\sqrt{2}$ のとき
($\sqrt{2} < a$)



2 (1) $g(x) = (x-a)(x-b)(x-c)$ より $g(a) = g(b) = g(c) = 0 \dots (*)$

$g(x) = x^3 - (a+b+c)x^2 + (ac+bc+ca)x - abc$ であるから

$$\begin{aligned} g'(x) &= 3x^2 - 2(a+b+c)x + ab+bc+ca \\ &= (x-a)(x-b) + (x-b)(x-c) + (x-c)(x-a) \end{aligned}$$

$a < b < c$ であるから

$$(**) \quad \begin{cases} g'(a) = (a-b)(a-c) > 0 \\ g'(b) = (b-c)(b-a) < 0 \\ g'(c) = (c-a)(c-b) > 0 \end{cases}$$

$f(x) = g(x) - g'(x)$ は, $(*)$, $(**)$ により

$$f(a) = g(a) - g'(a) < 0,$$

$$f(b) = g(b) - g'(b) > 0,$$

$$f(c) = g(c) - g'(c) < 0$$

(2) $p = a + b + c$, $q = ab + bc + ca$, $r = abc$ とおくと, (1) の結果から

$$g(x) = x^3 - px^2 + qx - r, \quad g'(x) = 3x^2 - 2px + q$$

$$\text{ゆえに} \quad g(x) - g'(x) = x^3 - (p+3)x^2 + (2p+q)x - q - r$$

$$\text{また} \quad f(x) = (x+1)(x-2-4x+2) = x^3 - 3x^2 - 2x + 2$$

$f(x) = g(x) - g'(x)$ であるから

$$x^3 - 3x^2 - 2x + 2 = x^3 - (p+3)x^2 + (2p+q)x - q - r$$

同じ次数の項の係数を比較すると

$$-3 = -(p+3), \quad -2 = 2p+q, \quad 2 = -q-r$$

$$\text{これを解いて} \quad p = 0, \quad q = -2, \quad r = 0$$

a, b, c を解とする 3 次方程式は, $t^3 - pt^2 + qt - r = 0$, すなわち

$$t^3 - 2t = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 0, \pm\sqrt{2}$$

$$a < b < c \text{ であるから} \quad \mathbf{a = -\sqrt{2}, \quad b = 0, \quad c = \sqrt{2}}$$

(3) $y = g(x)$, $y = f(x)$ の共有点の x 座標は, $f(x) - g(x) = -g'(x)$ より

$$f(x) - g(x) = 0 \quad \text{すなわち} \quad -g'(x) = -(3x^2 - 2) = 0$$

$$\text{これを解いて} \quad x = \pm\sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$-\sqrt{\frac{2}{3}} \leq x \leq \sqrt{\frac{2}{3}} \text{ において}$$

$$f(x) - g(x) = -g'(x) = -3x^2 + 2 \geq 0$$

よって, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\sqrt{\frac{2}{3}}}^{\sqrt{\frac{2}{3}}} \{f(x) - g(x)\} dx = \int_{-\sqrt{\frac{2}{3}}}^{\sqrt{\frac{2}{3}}} (-3x^2 + 2) dx \\ &= \left[-x^3 + 2x \right]_{-\sqrt{\frac{2}{3}}}^{\sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{8\sqrt{6}}{9} \end{aligned}$$



3 (1) $n = 3$ のとき, 3 直線

$$y = \frac{2}{3}x + 1, \quad y = x - 3, \quad x = 3$$

で囲まれた領域 D_3 で, 直線 $x = j$ 上の格子点の個数は ($3 \leq j \leq 12$)

$$\left[\frac{2}{3}j + 1 \right] - (j - 3) + 1 = \left[\frac{15 - j}{3} \right]$$

よって, 求める個数は ($[x]$ は x を超えない最大の整数を表す)

$$\begin{aligned} & \left[\frac{3}{3} \right] + \left[\frac{4}{3} \right] + \left[\frac{5}{3} \right] + \left[\frac{6}{3} \right] + \left[\frac{7}{3} \right] + \left[\frac{8}{3} \right] + \left[\frac{9}{3} \right] + \left[\frac{10}{3} \right] + \left[\frac{11}{3} \right] + \left[\frac{12}{3} \right] \\ &= \left(\left[\frac{3}{3} \right] + \left[\frac{4}{3} \right] + \left[\frac{5}{3} \right] \right) + \left(\left[\frac{6}{3} \right] + \left[\frac{7}{3} \right] + \left[\frac{8}{3} \right] \right) \\ & \quad + \left(\left[\frac{9}{3} \right] + \left[\frac{10}{3} \right] + \left[\frac{11}{3} \right] \right) + \left[\frac{12}{3} \right] \\ &= 3 + 6 + 9 + 4 = \mathbf{22} \end{aligned}$$

補足 次頁の定理を参照.

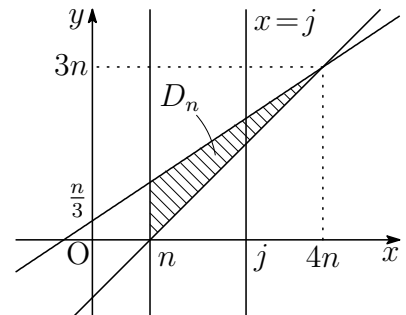
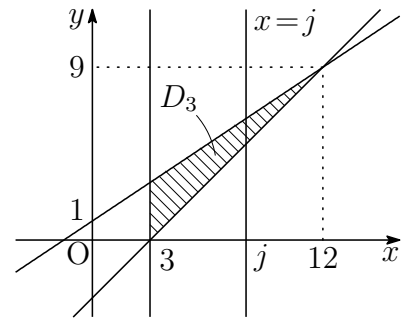
(2) 3 直線

$$y = \frac{2}{3}x + \frac{n}{3}, \quad y = x - n, \quad x = n$$

で囲まれた領域 D_n で, 直線 $x = j$ 上の格子点の個数を a_j とすると ($n \leq j \leq 4n$)

$$\begin{aligned} a_j &= \left[\frac{2}{3}j + \frac{n}{3} \right] - (j - n) + 1 \\ &= \left[\frac{4n - j}{3} \right] + 1 \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

$$\text{求める個数は} \quad a_{n+3k} = \left[\frac{4n - (n + 3k)}{3} \right] + 1 = \mathbf{n - k + 1}$$



$$(3) (*) \text{ より } a_{n+3k+1} = \left[\frac{4n - (n + 3k + 1)}{3} \right] + 1 = n - k$$

$$a_{n+3k+2} = \left[\frac{4n - (n + 3k + 2)}{3} \right] + 1 = n - k$$

上の2式および(2)の結果により

$$\begin{aligned} L_n &= \sum_{j=n}^{4n} a_j = \sum_{k=0}^{n-1} (a_{n+3k} + a_{n+3k+1} + a_{n+3k+2}) + a_{4n} \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} \{(n - k + 1) + (n - k) + (n - k)\} + 1 \\ &= \sum_{k=1}^n \{(k + 1) + k + k\} + 1 = \sum_{k=1}^n (3k + 1) + 1 \\ &= 3 \cdot \frac{1}{2} n(n + 1) + n + 1 = \frac{1}{2} (n + 1)(3n + 2) \end{aligned}$$

別解 (*) により

$$\begin{aligned} L_n &= \sum_{j=n}^{4n} a_j = \sum_{j=n}^{4n} \left(\left[\frac{4n - j}{3} \right] + 1 \right) = \sum_{j=n}^{4n} \left[\frac{4n - j}{3} \right] + \sum_{j=n}^{4n} 1 \\ &= \left(\left[\frac{1}{3} \right] + \left[\frac{2}{3} \right] + \left[\frac{3}{3} \right] \right) + \left(\left[\frac{4}{3} \right] + \left[\frac{5}{3} \right] + \left[\frac{6}{3} \right] \right) \\ &\quad + \cdots + \left(\left[\frac{3n - 2}{3} \right] + \left[\frac{3n - 1}{3} \right] + \left[\frac{3n}{3} \right] \right) + (3n + 1) \\ &= 1 + 4 + \cdots + (3n - 2) + (3n + 1) \\ &= \frac{1}{2} (n + 1) \{1 + (3n + 1)\} = \frac{1}{2} (n + 1)(3n + 2) \end{aligned}$$

定理 a, n を整数とすると, 次式が成立する.

$$(A) \quad \left[\frac{a}{n} \right] + \left[\frac{a+1}{n} \right] + \cdots + \left[\frac{a+n-1}{n} \right] = a$$

証明 連続する n 個の整数 $a, a+1, \dots, a+n-1$ 中で n の倍数を $a+q$ とする.

$q=0$ のとき (A) のすべての項が $\frac{a}{n}$ であるから, (A) の値は $\frac{a}{n} \cdot n = a$

$$q \neq 0 \text{ のとき } \left[\frac{a}{n} \right] = \left[\frac{a+1}{n} \right] = \cdots = \left[\frac{a+q-1}{n} \right] = \frac{a+q}{n} - 1,$$

$$\left[\frac{a+q}{n} \right] = \left[\frac{a+q+1}{n} \right] = \cdots = \left[\frac{a+n-1}{n} \right] = \frac{a+q}{n}$$

$$(A) \text{ の値は } \left(\frac{a+q}{n} - 1 \right) q + \frac{a+q}{n} (n - q) = a \quad \text{証終} \quad \blacksquare$$

- 4 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とおくと

$$\overrightarrow{OD} = (1-s)\vec{a}, \quad \overrightarrow{OE} = t\vec{b} + (1-t)\vec{c}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \overrightarrow{OP} &= \overrightarrow{DE} = \overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OD} \\ &= \{t\vec{b} + (1-t)\vec{c}\} - (1-s)\vec{a} \\ &= -\vec{a} + \vec{c} + s\vec{a} + t(\vec{b} - \vec{c}) \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

$-\vec{a} + \vec{c} = (-2, 1, k-1)$, $\vec{b} - \vec{c} = (1, 1, 1-k)$ であるから

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= (-2, 1, k-1) + s(1, -1, 1) + t(1, 1, 1-k) \\ &= (-2+s+t, 1-s+t, k-1+s+t(1-k)) \end{aligned}$$

よって $P(-2+s+t, 1-s+t, k-1+s+t(1-k))$

- (2) $\vec{d} = \vec{b} - \vec{c}$ とおくと, (*) において $0 \leq s \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$ より, $\overrightarrow{OP}$ の描く図形は, 2つのベクトル

$$\vec{a} = (1, -1, 1), \quad \vec{d} = (1, 1, 1-k)$$

によって張られる平行四辺形であるから, その面積 $S(k)$ は

$$S(k) = \sqrt{|\vec{a}|^2 |\vec{d}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{d})^2}$$

$$\begin{aligned} \text{このとき} \quad |\vec{a}|^2 &= 1^2 + (-1)^2 + 1^2 = 3 \\ |\vec{d}|^2 &= 1^2 + 1^2 + (1-k)^2 = k^2 - 2k + 3 \\ \vec{a} \cdot \vec{d} &= 1 \cdot 1 + (-1) \cdot 1 + 1(1-k) = 1-k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad S(k) &= \sqrt{3(k^2 - 2k + 3) - (1-k)^2} \\ &= \sqrt{2(k-1)^2 + 6} \end{aligned}$$

よって, $S(k)$ は, $k=1$ のとき, 最小値 $\sqrt{6}$ をとる.

別解 $\vec{a}$ と $\vec{d}$ のベクトル積 (外積) は $\vec{a} \times \vec{d} = (k-2, k, 2)$

$$\text{ゆえに} \quad S(k) = |\vec{a} \times \vec{d}| = \sqrt{(k-2)^2 + k^2 + 4} = \sqrt{2(k-1)^2 + 6}$$

注意 ベクトル積 (外積) は, 高校数学の範囲外であるが, 検算として利用できる. 2018 年度の熊大入試において, 四面体の体積についてベクトル積を用いた受験生の解答があったが, 間違いではなかったため, 減点されることはなかったそうである (熊大入試連絡会).

(3) $k=1$ より, 平行四辺形 $P(1)$ は, 次の2つのベクトルに平行である.

$$\vec{a} = (1, -1, 1), \quad \vec{d} = (1, 1, 0)$$

これらに垂直な単位ベクトルの1つは (外積と平行なベクトル)

$$\vec{e} = \frac{1}{\sqrt{6}}(-1, 1, 2)$$

(*) より, $P(1)$ 上の1点 $C(\vec{c})$ をもとに ($s=1, t=0$), 点 O から $P(1)$ を含む平面に垂線 OH を引くと, $\vec{c} = (-1, 0, 1)$ より

$$\begin{aligned} \vec{c} \cdot \vec{e} &= \frac{1}{\sqrt{6}} \{-1 \cdot (-1) + 0 \cdot 1 + 1 \cdot 2\} = \frac{3}{\sqrt{6}}, \\ OH &= |\vec{c} \cdot \vec{e}| = \frac{3}{\sqrt{6}} \end{aligned}$$

$$\text{求める四角錐の体積は } \frac{1}{3} S(1) \cdot OH = \frac{1}{3} \sqrt{6} \cdot \frac{3}{\sqrt{6}} = 1$$

補足 右の図において

$$\begin{aligned} \vec{c} \cdot \vec{e} &= |\vec{c}| |\vec{e}| \cos \theta = |\vec{c}| \cos \theta, \\ OH &= |\vec{c}| |\cos \theta| \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに } OH = |\vec{c} \cdot \vec{e}|$$

例えば, $P(1)$ 上の位置ベクトル $-\vec{a} + \vec{c} = (-2, 1, 0)$ でもよい.

$$(-\vec{a} + \vec{c}) \cdot \vec{e} = \frac{1}{\sqrt{6}} \{-2 \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 2\} = \frac{3}{\sqrt{6}}$$

別解 $\vec{f} = -\vec{a} + \vec{c}$ とおくと ($\vec{d} = \vec{b} - \vec{c}$), (*) は

$$\overrightarrow{OP} = \vec{f} + s\vec{a} + t\vec{d} \quad (0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1)$$

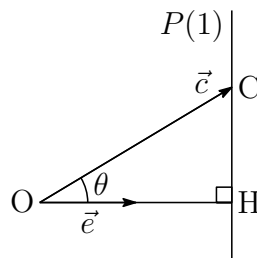
$P(1)$ の頂点を $P_0(\vec{f})$, $P_1(\vec{f} + \vec{a})$, $P_2(\vec{f} + \vec{d})$, $P_3(\vec{f} + \vec{a} + \vec{d})$ とおくと

$$\overrightarrow{P_0O} = -\vec{f}, \quad \overrightarrow{P_0P_1} = \vec{a}, \quad \overrightarrow{P_0P_2} = \vec{d}$$

四面体 $OP_0P_1P_2$ の体積 V は, $\vec{a} \times \vec{d} = (-1, 1, 2)$, $-\vec{f} = (2, -1, 0)$ より

$$V = \frac{1}{6} |(\vec{a} \times \vec{d}) \cdot (-\vec{f})| = \frac{1}{6} |(-1) \cdot 2 + 1 \cdot (-1) + 2 \cdot 0| = \frac{1}{2}$$

$$\text{よって, 求める体積は } 2V = 2 \times \frac{1}{2} = 1$$



ベクトル積

2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ が平行でないとき, ベクトル

$$(a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

は, $\vec{a}$ および $\vec{b}$ に直交する. このベクトルを, $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のベクトル積 (外積) という.

2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ のベクトル積は

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

であり, $\vec{b} \times \vec{a} = -\vec{a} \times \vec{b}$ が成り立つ. また, その大きさについて

$$\begin{aligned} |\vec{a} \times \vec{b}|^2 &= (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2 \\ &= (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)^2 \\ &= |\vec{a}|^2|\vec{b}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2 \end{aligned}$$

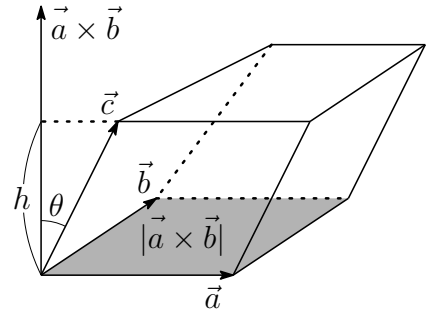
であるから, $\vec{a} \times \vec{b}$ の大きさは, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平行四辺形の面積に等しい.

$\vec{a} \times \vec{b}$ と $\vec{c}$ のなす角を θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) とすると

$$(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c} = |\vec{a} \times \vec{b}||\vec{c}| \cos \theta$$

両辺の絶対値をとると

$$|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |\vec{a} \times \vec{b}||\vec{c}| |\cos \theta|$$



$\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の張る平行六面体について, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平面を底面とすると, $|\vec{c}| \cos \theta$ は, その高さ h であるから, この平行六面体の体積 V_1 は

$$V_1 = |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$$

$\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{b}$, $\vec{OC} = \vec{c}$ とすると

四面体 OABC の体積 V は $V = \frac{1}{6} |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$

また, 対称性により, $|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |(\vec{b} \times \vec{c}) \cdot \vec{a}| = |(\vec{c} \times \vec{a}) \cdot \vec{b}|$ が成り立つ. ■

6.7 2021 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 2つの関数 $f(x) = \frac{3}{2}x^2 - 2x - 4$, $g(x) = \frac{1}{2}x^2 - x - 2$ について, 曲線 $y = f(x)$ と曲線 $y = g(x)$ の2つの交点の x 座標を a, b ($a > b$) とする。

- (1) a, b を求めよ。
 (2) 2つの曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ。
 (3) 実数 t は $t > |a|$ かつ $t > |b|$ を満たすとする。4つの不等式

$$x \geq a, \quad y \leq f(x), \quad y \geq g(x), \quad x \leq t$$

を満たす領域の面積を S_1 , また, 4つの不等式

$$x \leq b, \quad y \leq f(x), \quad y \geq g(x), \quad x \geq -t$$

を満たす領域の面積を S_2 とする。 S_1 と S_2 の和が (2) の S と等しいときの t の値を求めよ。

- 2 空間の点 O を通らない平面 α をとる。 α 上の3点 A, B, C は三角形をなすとし, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおく。直線 ℓ は媒介変数 t を用いて

$$\frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$$

と表されるとする。

- (1) ℓ は平面 α 上にあることを示せ。
 (2) ℓ と辺 AC の交点を X とする。 $\overrightarrow{OX}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ,
 (3) A, B の中点を D とし, $\overrightarrow{OE} = 2\overrightarrow{OD}$ となる点 E を考える。点 O と ℓ 上の点 Y を通る直線は2点 E, C を通る直線と交点をもつとし, その交点を F とする。このとき, $\overrightarrow{OF}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ。

- 3** 曲線 $C: y = x^3 - 2x^2 + x$ 上に点 $P_1(2, 2)$ がある。自然数 n ($n = 1, 2, 3, \dots$) に対して点 P_n から点 P_{n+1} を次のように定める。

点 P_n を接点とする C の接線を ℓ_n とし、 C と ℓ_n の共有点のうち、 P_n と異なるものを P_{n+1} とする。

点 P_n の x 座標を a_n とする。

- (1) P_2 の座標を求めよ。
- (2) 接線 ℓ_n の傾きおよび y 切片をそれぞれ a_n を用いて表せ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

- 4** a を $a > 1$ である実数とする。 x についての連立不等式

$$\begin{cases} x^3 + 2ax^2 - a^2x - 2a^3 < 0 \\ 3x^2 - x < 4a - 12ax \end{cases}$$

の解について考える。連立不等式の解のうち整数であるものの個数を $m(a)$ とする。

- (1) 連立不等式を解け。
- (2) $a > 2$ のとき、 $m(a)$ の最小値を求めよ。
- (3) $m(a) = 4$ となる a の値の範囲を求めよ。

解答例

- 1 (1) $f(x) = \frac{3}{2}x^2 - 2x - 4$, $g(x) = \frac{1}{2}x^2 - x - 2$ について, 2 曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ の共有点の x 座標は

$$\frac{3}{2}x^2 - 2x - 4 = \frac{1}{2}x^2 - x - 2 \quad \text{ゆえに} \quad (x+1)(x-2) = 0$$

よって, 2 つの共有点の x 座標は ($a > b$) $a = 2$, $b = -1$

- (2) $-1 \leq x \leq 2$ において

$$g(x) - f(x) = -(x^2 - x - 2) = -(x+1)(x-2) \geq 0$$

$$\text{よって} \quad S = \int_{-1}^2 \{g(x) - f(x)\} dx = \frac{1}{6} \{2 - (-1)\}^3 = \frac{9}{2}$$

- (3) (1) の結果から $t > |2|$ かつ $t > |-1|$ すなわち $t > 2$

$$S_1 = \int_2^t \{f(x) - g(x)\} dx, \quad S_2 = \int_{-t}^{-1} \{f(x) - g(x)\} dx$$

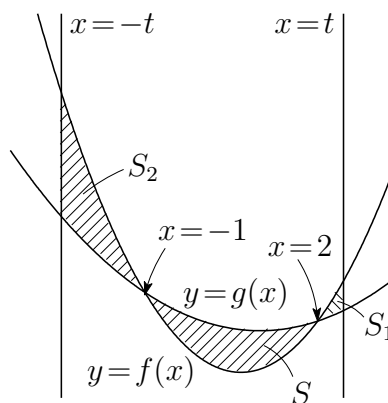
$$h(x) = f(x) - g(x) = x^2 - x - 2 \text{ とおくと}$$

$$-S = \int_{-1}^2 h(x) dx, \quad S_1 = \int_2^t h(x) dx, \quad S_2 = \int_{-t}^{-1} h(x) dx$$

$S_1 + S_2 = S$ より, $S_2 - S + S_1 = 0$ であるから

$$\begin{aligned} S_2 - S + S_1 &= \int_{-t}^{-1} h(x) dx + \int_{-1}^2 h(x) dx + \int_2^t h(x) dx \\ &= \int_{-t}^t h(x) dx = 2 \int_0^t (x^2 - 2) dx = 2 \left[\frac{x^3}{3} - 2x \right]_0^t \\ &= 2 \left(\frac{t^3}{3} - 2t \right) = \frac{2}{3} t(t^2 - 6) = 0 \end{aligned}$$

$t > 2$ に注意してこれを解くと $t = \sqrt{6}$ ■



2 (1) ℓ 上の点について

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}) \\ &= \frac{2t}{3}\vec{a} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{b} + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{c} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

このとき, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の係数の和は

$$\frac{2t}{3} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right) + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right) = 1$$

よって, ℓ は平面 α 上の点である.

(2) X は (*) の $\vec{b}$ の係数が 0 となる点であるから

$$\frac{1}{3} - \frac{t}{3} = 0 \quad \text{すなわち} \quad t = 1$$

に対応する点であるから $\overrightarrow{OX} = \frac{2\vec{a} + \vec{c}}{3}$

(3) ℓ 上の点 Y について, $\overrightarrow{OY} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{CY} &= \overrightarrow{OY} - \overrightarrow{OC} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}) - \vec{c} \\ &= \frac{1}{3}(\vec{b} - \vec{c}) + \frac{t}{3}\{2(\vec{a} - \vec{c}) - (\vec{b} - \vec{c})\} \\ &= \frac{1}{3}\overrightarrow{CB} + \frac{t}{3}(2\overrightarrow{CA} - \overrightarrow{CB}) = \frac{2t}{3}\overrightarrow{CA} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\overrightarrow{CB} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{CY}$ は $\overrightarrow{CD} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB})$ と平行であるから

$$\frac{2t}{3} = \frac{1}{3} - \frac{t}{3} \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{1}{3}$$

$$\overrightarrow{CY} = \frac{2}{9}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB}) = \frac{4}{9}\overrightarrow{CD} \quad \text{すなわち} \quad CY : YD = 4 : 5 \quad \cdots \textcircled{1}$$

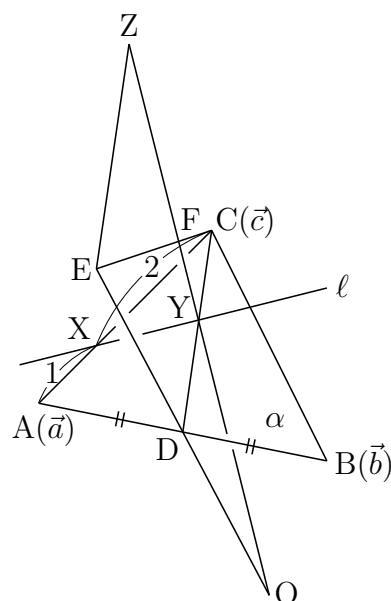
$\overrightarrow{OZ} = 2\overrightarrow{OY}$ となる点 Z をとると, 条件から

$$\triangle OYD \sim \triangle OZE, \quad YD : ZE = 1 : 2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② および $\triangle CYF \sim \triangle EZF$ より $CF : FE = CY : ZE = 2 : 5$

このとき, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\overrightarrow{OE} = 2\overrightarrow{OD} = \vec{a} + \vec{b}$ であるから

$$\overrightarrow{OF} = \frac{5\overrightarrow{OC} + 2\overrightarrow{OE}}{2+5} = \frac{5\vec{c} + 2(\vec{a} + \vec{b})}{7} = \frac{1}{7}(2\vec{a} + 2\vec{b} + 5\vec{c})$$



- 3 (1) $f(x) = x^3 - 2x^2 + x$ とおくと $f'(x) = 3x^2 - 4x + 1$

曲線 $C: y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線を ℓ とすると

$$y - (t^3 - 2t^2 + t) = (3t^2 - 4t + 1)(x - t)$$

整理すると $\ell: y = (3t^2 - 4t + 1)x - 2t^3 + 2t^2$

C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x^3 - 2x^2 + x = (3t^2 - 4t + 1)x - 2t^3 + 2t^2$$

整理すると $(x - t)^2(x + 2t - 2) = 0$ ゆえに $x = t, -2t + 2$

したがって、 C と ℓ の共有点で点 $(t, f(t))$ と異なる点は

$$(-2t + 2, f(-2t + 2)) \quad (*)$$

点 $P_1(2, f(2))$ のとき

$$P_2(-2, f(-2)) \quad \text{すなわち} \quad P_2(-2, -18)$$

- (2) ℓ_n は ℓ の方程式において、 $t = a_n$ とすればよいから

$$\ell_n: y = (3a_n^2 - 4a_n + 1)x - 2a_n^3 + 2a_n^2$$

よって、 ℓ_n の傾き $3a_n^2 - 4a_n + 1$, y 切片 $-2a_n^3 + 2a_n^2$

- (3) $P_1(2, 2)$ および $(*)$ から、 $a_1 = 2$

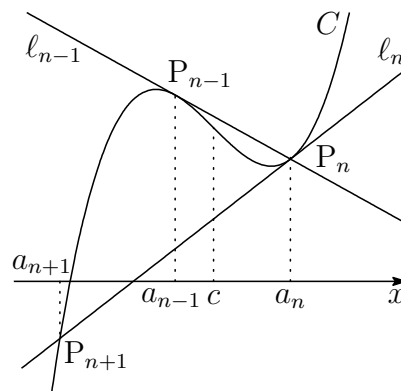
$$a_{n+1} = -2a_n + 2 \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} - \frac{2}{3} = -2 \left(a_n - \frac{2}{3} \right)$$

$$\text{したがって} \quad a_n - \frac{2}{3} = \left(a_1 - \frac{2}{3} \right) (-2)^{n-1} \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{4}{3}(-2)^{n-1} + \frac{2}{3}$$

補足 3次関数 $C: y = f(x)$ のグラフ上の点 $P_n(a_n, f(a_n))$ における接線 ℓ_n とする。 C と ℓ_n の共有点のうち、 P_n と異なるものを $P_{n+1}(a_{n+1}, f(a_{n+1}))$ とし、 C の変曲点の x 座標を c とすると

$$a_{n+1} - c = -2(a_n - c)$$

が成立する。



$$\boxed{4} \quad (1) \quad \begin{cases} x^3 + 2ax^2 - a^2x - 2a^3 < 0 \\ 3x^2 - x < 4a - 12ax \end{cases}$$

第1式から $(x+2a)(x+a)(x-a) < 0$

$a > 1$ に注意して $x < -2a, -a < x < a \quad \cdots \textcircled{1}$

第2式から $(x+4a)(3x-1) < 0$

$a > 1$ に注意して $-4a < x < \frac{1}{3} \quad \cdots \textcircled{2}$

①, ② の共通範囲を求めて

$$-4a < x < -2a, \quad -a < x < \frac{1}{3}$$

(2) $m(a)$ を

$$-\frac{1}{3} < x < a, \quad 2a < x < 4a$$

に含まれる整数の個数として求めてもよい. 集合 P, Q を

$$P = \{x \mid 0 \leq x < a, x \text{ は整数}\}$$

$$Q = \{x \mid 2a < x < 4a, x \text{ は整数}\}$$

とし, 集合 P, Q の要素の個数をそれぞれ $n(P), n(Q)$ とおくと

$$m(a) = n(P) + n(Q)$$

$[a]$ を a 以下の最大の整数とすると

$$(*) \quad n(P) = \begin{cases} [a] & (a \text{ が整数}) \\ [a] + 1 & (a \text{ が整数でない}) \end{cases}$$

$s = a - [a]$ とおくと, $a = [a] + s$ より

$$Q = \{x \mid 2[a] + 2s < x < 4[a] + 4s, x \text{ は整数}\}$$

(i) $s = 0$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 1 \leq x \leq 4[a] - 1, x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] - 1 - (2[a] + 1) + 1 = 2[a] - 1$$

(ii) $0 < s \leq \frac{1}{4}$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 1 \leq x \leq 4[a], x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] - (2[a] + 1) + 1 = 2[a]$$

(iii) $\frac{1}{4} < s < \frac{1}{2}$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 1 \leq x \leq 4[a] + 1, x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] + 1 - (2[a] + 1) + 1 = 2[a] + 1$$

(iv) $s = \frac{1}{2}$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 2 \leq x \leq 4[a] + 1, x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] + 1 - (2[a] + 2) + 1 = 2[a]$$

(v) $\frac{1}{2} < s \leq \frac{3}{4}$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 2 \leq x \leq 4[a] + 2, x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] + 2 - (2[a] + 2) + 1 = 2[a] + 1$$

(vi) $\frac{3}{4} < s < 1$ のとき

$$Q = \{x \mid 2[a] + 2 \leq x \leq 4[a] + 3, x \text{ は整数}\}$$

$$n(Q) = 4[a] + 3 - (2[a] + 2) + 1 = 2[a] + 2$$

(*) および (i)~(vi) から

$$(**) \quad m(a) = \begin{cases} 3[a] - 1 & (s = 0) \\ 3[a] + 1 & (0 < s \leq \frac{1}{4}, s = \frac{1}{2}) \\ 3[a] + 2 & (\frac{1}{4} < s < \frac{1}{2}, \frac{1}{2} < s \leq \frac{3}{4}) \\ 3[a] + 3 & (\frac{3}{4} < s < 1) \end{cases}$$

$a > 2$ より, $2 < a \leq \frac{9}{4}$, $a = \frac{5}{2}$ のとき, $m(a)$ は最小値 **7** をとる.

(3) $m(a) = 4$ となるのは, (**) より

$$3[a] + 1 = 4, \quad 0 < s \leq \frac{1}{4}, \quad s = \frac{1}{2} \quad \text{すなわち} \quad 1 < a \leq \frac{5}{4}, \quad a = \frac{3}{2}$$



6.8 2022 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 座標空間の 6 点

$$A(2, 0, 0), B(0, 3, 0), C(0, 0, 1) \\ D\left(3, -1, \frac{5}{6}\right), E\left(8, 4, -\frac{1}{3}\right), F\left(5, 3, \frac{1}{2}\right)$$

について、以下の問いに答えよ。

- (1) 3 点 A, B, C は一直線でないこと、および 3 点 D, E, F は一直線上にないことを示せ。
- (2) 3 点 A, B, C を通る平面と、3 点 D, E, F を通る平面の交わりとして得られる直線を ℓ とする。 ℓ 上の点を 1 つと、 ℓ と平行なベクトルを 1 つ求めよ。

2 袋の中に赤玉 2 個と白玉 2 個の合計 4 個の玉が入っている。A と B の 2 人で次のルールに従ってゲームをする。

- A, B の順で繰り返しプレイヤーになる。
- プレイヤーは袋から玉を同時に 2 個取り出す。取り出した玉の色が同じならば、プレイヤーの勝利とする。取り出した玉の色が異なるならば、それらを袋に戻してよくかき混ぜ、プレイヤーを交替する。
- A が勝利するか、A が勝利せずに A の後に B がプレイヤーになり、B が勝利するか、B が勝利せずにプレイヤーを交替することによって 1 巡が終了する。
- 勝者が決まるとゲームは終了する。

以下の問いに答えよ。

- (1) B が 1 巡目で勝者になる確率を求めよ。
- (2) N を自然数とし、 N 巡目以内に B が勝者になる確率を p_N とする。 $p_N > 0.396$ となる N の最小値を求めよ。ただし、 $\log_2 3 = 1.585$, $\log_2 5 = 2.322$ とする。
- (3) N を自然数とする。 N 巡目以内に勝者になる確率は、A と B のどちらが大きい。

3 数列 $\{a_n\}$ は漸化式

$$a_{n+2} = \frac{a_{n+1} + a_n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

を満たしているとする。 $a_1 < a_2$ のとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $n = 3, 4, 5, \dots$ に対して

$$a_1 < a_n < a_2$$

が成り立つことを示せ。

- (2) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して

$$b_n = a_{2n-1}, \quad c_n = a_{2n}$$

として数列 $\{b_n\}$, $\{c_n\}$ を定めると、

$$b_n < b_{n+1} < c_{n+1} < c_n$$

が $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して成り立つことを示せ。

4 座標平面上の曲線 $y = x^3 - 4x^2 - 4$ を C とする。曲線 C 上の点 $A(4, -4)$ を通り、傾きが k の直線を ℓ とする。曲線 C と直線 ℓ が点 A の他に相異なる 2 つの共有点 P , Q をもつとき、以下の問いに答えよ。

- (1) k のとりうる値の範囲を求めよ。
- (2) 点 P , Q における曲線 C の接線をそれぞれ ℓ_P , ℓ_Q とする。 k が (1) の範囲にあるとき、接線 ℓ_P と ℓ_Q の交点が描く曲線の方程式を求めよ。
- (3) (2) の曲線と x 軸によって囲まれる部分の面積を求めよ。

解答例

- 1 (1) $A(2, 0, 0)$, $B(0, 3, 0)$, $C(0, 0, 1)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (-2, 3, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (-2, 0, 1)$$

$\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ の x 成分が等しく, y 成分および z 成分が異なる.

したがって, 3 点 A , B , C は一直線上にない.

$$D\left(3, -1, \frac{5}{6}\right), \quad E\left(8, 4, -\frac{1}{3}\right), \quad F\left(5, 3, \frac{1}{2}\right) \text{ より}$$

$$\overrightarrow{DE} = \left(5, 5, -\frac{7}{6}\right), \quad \overrightarrow{DF} = \left(2, 4, -\frac{1}{3}\right)$$

$$\text{これから} \quad \frac{1}{5}\overrightarrow{DE} = \left(1, 1, -\frac{7}{30}\right), \quad \frac{1}{2}\overrightarrow{DF} = \left(1, 2, -\frac{1}{6}\right)$$

$\frac{1}{5}\overrightarrow{DE}$ と $\frac{1}{2}\overrightarrow{DF}$ の x 成分が等しく, y 成分および z 成分が異なる.

したがって, 3 点 D , E , F は一直線上にない.

- (2) $\overrightarrow{AB}$ および $\overrightarrow{AC}$ に垂直なベクトルの 1 つを $\vec{u} = (3, 2, 6)$ とし,
 $\overrightarrow{DE}$ および $\overrightarrow{DF}$ に垂直なベクトルの 1 つを $\vec{v} = (9, -2, 30)$ とする.
 平面 ABC 上の点 $P(x, y, z)$ について, $\vec{u} \cdot \overrightarrow{AP} = 0$ であるから

$$3(x-2) + 2y + 6z = 0 \quad \text{ゆえに} \quad 3x + 2y + 6z = 6 \quad \cdots \textcircled{1}$$

平面 DEF 上の点 $Q(x, y, z)$ について, $\vec{v} \cdot \overrightarrow{DQ} = 0$ であるから

$$9(x-3) - 2(y+1) + 30\left(z - \frac{5}{6}\right) = 0$$

$$\text{整理すると} \quad 9x - 2y + 30z = 54 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から } y \text{ を消去すると} \quad x = -3z + 5 \quad \cdots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{3} \text{ を } \textcircled{1} \text{ に代入すると} \quad z = \frac{2}{3}y + 3 \quad \cdots \textcircled{4}$$

$$y = 3t \text{ とおくと, } \textcircled{3}, \textcircled{4} \text{ より} \quad x = -6t - 4, \quad z = 2t + 3$$

$$\text{したがって} \quad \ell: (x, y, z) = (-4, 0, 3) + t(-6, 3, 2)$$

よって, ℓ は点 $(-4, 0, 3)$ を通り, ベクトル $(-6, 3, 2)$ に平行. ■

2 (1) 違う色の玉を取り出す確率は $\frac{{}_2C_1 \times {}_2C_1}{{}_4C_2} = \frac{2 \times 2}{6} = \frac{2}{3}$

同じ色の玉を取り出す確率は、上の余事象の確率であるから $1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$

よって、B が 1 巡目で勝者になる確率は $\frac{2}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$

(2) N 巡目で B が勝者になる確率は $\left\{ \left(\frac{2}{3} \right)^2 \right\}^{N-1} \times \frac{2}{9} = \frac{2}{9} \left(\frac{4}{9} \right)^{N-1}$

よって、 N 巡目以内に B が勝者になる確率 p_N は

$$p_N = \sum_{k=1}^N \frac{2}{9} \left(\frac{4}{9} \right)^{k-1} = \frac{2}{9} \times \frac{1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N}{1 - \frac{4}{9}} = \frac{2}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\}$$

$$p_N > 0.396 \text{ となるとき } \frac{2}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\} > 0.396$$

$$\left(\frac{4}{9} \right)^N < \frac{1}{100} \quad \text{ゆえに} \quad \left(\frac{3}{2} \right)^N > 10$$

上の第 2 式について 2 を底とする対数をとると

$$N(\log_2 3 - 1) > 1 + \log_2 5 \quad \text{ゆえに} \quad 0.585N > 3.322$$

$$\text{したがって } N > \frac{3322}{585} = 5.6 \dots \quad \text{よって } N \text{ の最小値は } 6$$

(3) N 巡目で A が勝者になる確率は $\frac{1}{3} \left\{ \left(\frac{2}{3} \right)^2 \right\}^{N-1} = \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9} \right)^{N-1}$

N 巡目以内に A が勝者になる確率を q_N とすると

$$q_N = \sum_{k=1}^N \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9} \right)^{k-1} = \frac{1}{3} \times \frac{1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N}{1 - \frac{4}{9}} = \frac{3}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\}$$

$$\text{したがって } q_N - p_N = \frac{1}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\} > 0$$

よって、求める確率は、A の方が大きい。 ■

3 (1) $a_{n+2} = \frac{a_{n+1} + a_n}{2}$ より

$$a_{n+2} + \frac{1}{2}a_{n+1} = a_{n+1} + \frac{1}{2}a_n, \quad a_{n+2} - a_{n+1} = -\frac{1}{2}(a_{n+1} - a_n)$$

したがって

$$a_{n+1} + \frac{1}{2}a_n = a_2 + \frac{1}{2}a_1, \quad a_{n+1} - a_n = (a_2 - a_1) \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

上の 2 式から, a_{n+1} を消去すると

$$a_n = \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} a_2 + \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} a_1 \quad (*)$$

$a_2 > a_1$ であるから, $n = 3, 4, 5, \dots$ に対して

$$a_n - a_1 = \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} (a_2 - a_1) > 0,$$

$$a_n - a_2 = \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{2}\right)^{n-1} \right\} (a_1 - a_2) < 0$$

よって $a_1 < a_n < a_2$ ($n = 3, 4, 5, \dots$)

(2) $b_n = a_{2n-1}$, $c_n = a_{2n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) は (*) により

$$b_n = \frac{2}{3} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{4}\right)^{n-1} \right\} a_2 + \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{4}\right)^{n-1} \right\} a_1,$$

$$c_n = \frac{2}{3} \left\{ 1 + 2 \left(\frac{1}{4}\right)^n \right\} a_2 + \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} - 2 \left(\frac{1}{4}\right)^n \right\} a_1$$

したがって

$$b_{n+1} - b_n = 2 \left(\frac{1}{4}\right)^n (a_2 - a_1) > 0,$$

$$c_n - c_{n+1} = \left(\frac{1}{4}\right)^n (a_2 - a_1) > 0,$$

$$c_{n+1} - b_{n+1} = \left(\frac{1}{4}\right)^n (a_2 - a_1) > 0$$

よって $b_n < b_{n+1} < c_{n+1} < c_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) ■

- 4 (1) $C: y = x^3 - 4x^2 - 4$ 上の点 $A(4, -4)$ を通り、傾き k の直線 ℓ の方程式は

$$y + 4 = k(x - 4) \quad \text{すなわち} \quad y = kx - 4k - 4$$

C と ℓ の方程式から、 y を消去して整理すると

$$x^3 - 4x^2 - kx + 4k = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x - 4)(x^2 - k) = 0$$

この方程式が異なる3つの実数解をもつから、 $k > 0$ に注意して

$$k > 0, \quad 4^2 - k \neq 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < k < 16, \quad 16 < k$$

- (2) (1) の結果から、2点 P, Q の x 座標をそれぞれ $-\sqrt{k}, \sqrt{k}$ とすると

$$P(-\sqrt{k}, -k\sqrt{k} - 4k - 4), \quad Q(\sqrt{k}, k\sqrt{k} - 4k - 4)$$

$$f(x) = x^3 - 4x^2 - 4 \text{ とおくと, } f'(x) = 3x^2 - 8x \text{ より}$$

$$f'(-\sqrt{k}) = 3k + 8\sqrt{k}, \quad f'(\sqrt{k}) = 3k - 8\sqrt{k}$$

したがって、2直線 ℓ_P, ℓ_Q の方程式は

$$\ell_P: y + k\sqrt{k} + 4k + 4 = (3k + 8\sqrt{k})x + (3k + 8\sqrt{k})\sqrt{k}$$

$$\ell_Q: y - k\sqrt{k} + 4k + 4 = (3k - 8\sqrt{k})x - (3k - 8\sqrt{k})\sqrt{k}$$

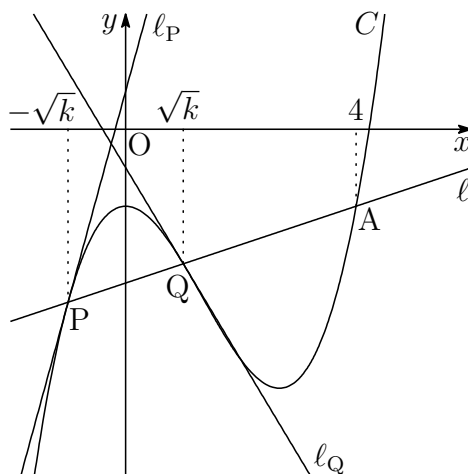
上の第1式から第2式を引くと

$$2k\sqrt{k} = 16\sqrt{k}x + 6k\sqrt{k} \quad \text{ゆえに} \quad x = -\frac{k}{4} \quad \dots \textcircled{1}$$

また、第1式と第2式の辺々を加えると

$$2y + 8k + 8 = 6kx + 16k \quad \text{ゆえに} \quad y = 3kx + 4k - 4$$

$$\textcircled{1} \text{ をこれに代入して } y = -\frac{3}{4}k^2 + 4k - 4 \quad \dots \textcircled{2}$$



① および (1) の結果から $x < -4, -4 < x < 0$

① から $k = -4x$. これを ② に代入すると

$$y = -\frac{3}{4}(-4x)^2 + 4(-4x) - 4 = -12x^2 - 16x - 4$$

よって, 求める曲線の方程式は

$$y = -12x^2 - 16x - 4 \quad (x < -4, -4 < x < 0)$$

(3) (2) の曲線と x 軸との共有点の x 座標は

$$-12x^2 - 16x - 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (3x + 1)(x + 1) = 0$$

これを解いて $x = -1, -\frac{1}{3}$

(2) の曲線と x 軸で囲まれた区間 $-1 \leq x \leq -\frac{1}{3}$ は (2) の結果を満たす.

したがって, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-1}^{-\frac{1}{3}} (-12x^2 - 16x - 4) dx \\ &= -12 \int_{-1}^{-\frac{1}{3}} (x + 1) \left(x + \frac{1}{3}\right) dx \\ &= -12 \left(-\frac{1}{6}\right) \left\{-\frac{1}{3} - (-1)\right\}^3 = \frac{16}{27} \end{aligned}$$



6.9 2023年(文系)

出題分野 1 2 3 4

1 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_1 = \frac{2}{3}, \quad 2(a_n - a_{n+1}) = (n+2)a_na_{n+1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により定める。以下の問いに答えよ。

- (1) a_2, a_3 を求めよ。
- (2) $a_n \neq 0$ を示せ。
- (3) $\frac{1}{a_{n+1}} - \frac{1}{a_n}$ を n の式で表せ。
- (4) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

2 n を 2 以上の自然数とする。1 個のさいころを n 回投げて、出た目の数の積をとる。積が 12 となる確率を p_n とする。以下の問いに答えよ。

- (1) p_2, p_3 を求めよ。
- (2) $n \geq 4$ のとき、 p_n を求めよ。
- (3) $n \geq 4$ とする。出た目の数の積が n 回目にはじめて 12 となる確率を求めよ。

- 3 原点を O とする座標平面上に 3 点 A, B, C がある。 $\overrightarrow{OA} = \vec{u}$, $\overrightarrow{AB} = \vec{v}$, $\overrightarrow{BC} = \vec{w}$ とおく。 $\vec{e}_1 = (1, 0)$, $\vec{e}_2 = (0, 1)$ とするとき、3 つのベクトル $\vec{u}$, $\vec{v}$, $\vec{w}$ は

$$\begin{cases} \vec{u} = -\vec{e}_1, \\ \vec{v} \cdot \vec{e}_1 = 4, & |\vec{v}| = 2\sqrt{5}, & \vec{v} \cdot \vec{e}_2 < 0, \\ \vec{w} \cdot \vec{e}_1 = 8, & |\vec{w}| = 8\sqrt{2}, & \vec{w} \cdot \vec{e}_2 > 0 \end{cases}$$

を満たすとする。ただし、 $|\vec{x}|$ はベクトル $\vec{x}$ の大きさを表し、 $\vec{x} \cdot \vec{y}$ は 2 つのベクトル $\vec{x}$ と $\vec{y}$ の内積を表す。以下の問いに答えよ。

- (1) 3 点 A, B, C の座標をそれぞれ求めよ。
 - (2) 3 点 A, B, C を通る円の方程式を求めよ。
 - (3) 3 点 A, B, C を通る円の中心を P とするとき、 $\triangle ABP$ の面積を求めよ。
- 4 k は正の実数とし、2 つの関数

$$f(x) = \frac{2}{3}x^3 + x^2 - 4x + \frac{7}{3}, \quad g(x) = x^2 + 4x + 4 + k$$

を考える。 xy 平面上の曲線 $y = f(x)$ を C_1 とし、放物線 $y = g(x)$ を C_2 とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 関数 $f(x) - g(x)$ の極値を k を用いて表せ。
- (2) C_1 と C_2 がちょうど 2 個の共有点をもつような k の値を求めよ。
- (3) k を (2) で求めた値とする。 C_1 と C_2 の 2 個の共有点を通る直線を ℓ とするとき、 C_2 と ℓ で囲まれた図形と $x \geq 0$ の表す領域の共通部分の面積を求めよ。

解答例

- 1 (1) (*) $2(a_n - a_{n+1}) = (n+2)a_na_{n+1}$
 (*) に $n = 1, 2$ を代入すると

$$2(a_1 - a_2) = 3a_1a_2, \quad 2(a_2 - a_3) = 4a_2a_3$$

$$a_1 = \frac{2}{3} \text{ を上の第1式に代入して } a_2 = \frac{1}{3}$$

これを第2式に代入すると

$$2\left(\frac{1}{3} - a_3\right) = 4 \cdot \frac{1}{3} a_3 \quad \text{ゆえに} \quad a_3 = \frac{1}{5}$$

- (2) (1)の結果に注意して, $k \geq 3$ に対して, $a_n \neq 0$ ($n = 1, 2, \dots, k$), $a_{k+1} = 0$ と仮定し, (*) に $n = k$ を代入すると, $a_k = 0$ となり, 矛盾. よって $a_n \neq 0$
 (3) (*) の両辺を $2a_na_{n+1}$ で割ると

$$\frac{1}{a_{n+1}} - \frac{1}{a_n} = \frac{n}{2} + 1$$

- (4) (3)の結果から, $n \geq 2$ のとき

$$\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{1}{a_{k+1}} - \frac{1}{a_k} \right) = \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{k}{2} + 1 \right)$$

$$\frac{1}{a_n} - \frac{1}{a_1} = \frac{1}{4}n(n-1) + n - 1$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから, $a_1 = \frac{2}{3}$ を代入して整理すると

$$\frac{1}{a_n} = \frac{1}{4}(n+1)(n+2)$$

よって
$$a_n = \frac{4}{(n+1)(n+2)}$$



- 2** (1) 2 回投げて出た目の数の積が 12 となるのは、出た目が $\{2, 6\}$, $\{3, 4\}$ であるから

$$p_2 = \frac{2!}{1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \times 2 = \frac{1}{9}$$

3 回投げて出た目の数の積が 12 となるのは、出た目が $\{1, 2, 6\}$, $\{1, 3, 4\}$, $\{2, 2, 3\}$ であるから

$$p_3 = \frac{3!}{1!1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 \times 2 + \frac{3!}{2!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{5}{72}$$

- (2) n 回の目の出方で、1 以外の目の出方は $\{2, 6\}$, $\{3, 4\}$, $\{2, 2, 3\}$ であるから

$$\begin{aligned} p_n &= \frac{n!}{1!1!(n-2)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n \times 2 + \frac{n!}{2!1!(n-3)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n \\ &= \frac{2n(n-1)}{6^n} + \frac{n(n-1)(n-2)}{2 \cdot 6^n} = \frac{n(n-1)(n+2)}{2 \cdot 6^n} \end{aligned}$$

- (3) $n-1$ 回目までの目の積が 12 で、 n 回目で 1 の目が出る確率は

$$p_{n-1} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{6} p_{n-1}$$

これと (2) の結果から、求める確率は

$$\begin{aligned} p_n - \frac{1}{6} p_{n-1} &= \frac{n(n-1)(n+2)}{2 \cdot 6^n} - \frac{1}{6} \cdot \frac{(n-1)(n-2)(n+1)}{2 \cdot 6^{n-1}} \\ &= \frac{(n-1)(3n+2)}{2 \cdot 6^n} \end{aligned}$$

■

3 (1) $\vec{e}_1, \vec{e}_2$ は基本ベクトルであるから

$$\vec{v} = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2, \quad \vec{w} = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2 \quad (*)$$

したがって

$$|\vec{v}|^2 = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1)^2 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2)^2, \quad |\vec{w}|^2 = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1)^2 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2)^2$$

$\vec{v} \cdot \vec{e}_1 = 4, |\vec{v}| = 2\sqrt{5}, \vec{w} \cdot \vec{e}_1 = 8, |\vec{w}| = 8\sqrt{2}$ を上の2式に代入すると

$$20 = 16 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2)^2, \quad 128 = 64 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2)^2$$

$\vec{v} \cdot \vec{e}_2 < 0, \vec{w} \cdot \vec{e}_2 > 0$ に注意して解くと $\vec{v} \cdot \vec{e}_2 = -2, \vec{w} \cdot \vec{e}_2 = 8$

条件およびこれらの結果を (*) に代入すると

$$\vec{v} = 4\vec{e}_1 - 2\vec{e}_2 = (4, -2), \quad \vec{w} = 8\vec{e}_1 + 8\vec{e}_2 = (8, 8)$$

$\vec{u} = -\vec{e}_1 = (-1, 0), \overrightarrow{OA} = \vec{u}, \overrightarrow{AB} = \vec{v}, \overrightarrow{BC} = \vec{w}$ より

$$\overrightarrow{OA} = (-1, 0), \quad \overrightarrow{AB} = (4, -2), \quad \overrightarrow{BC} = (8, 8)$$

したがって

$$\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = (-1, 0) + (4, -2) = (3, -2),$$

$$\overrightarrow{OC} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BC} = (3, -2) + (8, 8) = (11, 6)$$

以上の結果から **A(-1, 0), B(3, -2), C(11, 6)**

(2) 3 点 $A(-1, 0)$, $B(3, -2)$, $C(11, 6)$ を通る円の方程式を

$$x^2 + y^2 + px + qy + r = 0$$

とおくと

$$\begin{cases} (-1)^2 + 0^2 + p \cdot (-1) + q \cdot 0 + r = 0 \\ 3^2 + (-2)^2 + p \cdot 3 + q \cdot (-2) + r = 0 \\ 11^2 + 6^2 + p \cdot 11 + q \cdot 6 + r = 0 \end{cases}$$

整理すると

$$\begin{cases} -p + r + 1 = 0 \\ 3p - 2q + r + 13 = 0 \\ 11p + 6q + r + 157 = 0 \end{cases}$$

これを解いて $p = -8$, $q = -10$, $r = -9$

したがって、求める円の方程式は

$$x^2 + y^2 - 8x - 10y - 9 = 0 \quad \text{すなわち} \quad (x - 4)^2 + (y - 5)^2 = 50$$

(3) (2) の結果から $P(4, 5)$

$$\overrightarrow{AB} = (4, -2), \quad \overrightarrow{AP} = (5, 5)$$

$$\text{したがって} \quad \triangle ABP = \frac{1}{2} |4 \cdot 5 - (-2) \cdot 5| = 15$$



- 4 (1) $h(x) = f(x) - g(x)$ とおくと

$$h(x) = \frac{2}{3}x^3 - 8x - \frac{5}{3} - k$$

$$h'(x) = 2x^2 - 8 = 2(x+2)(x-2)$$

$h'(x) = 0$ とすると, $x = \pm 2$ であるから, $h(x)$ の増減表は次のようになる.

x	$\cdots$	-2	$\cdots$	2	$\cdots$
$h'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$h(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって $x = -2$ で極大値 $9 - k$, $x = 2$ で極小値 $-\frac{37}{3} - k$

- (2) $h(x) = 0$ が異なる 2 つの実数解をもつ, すなわち, $h(x)$ の極大値または極小値が 0 であるから

$$9 - k = 0 \quad \text{または} \quad -\frac{37}{3} - k = 0$$

$k > 0$ であるから $k = 9$

- (3) $h(x) = 0$ を解くと $\frac{2}{3}x^3 - 8x - \frac{32}{3} = 0$

$$x^3 - 12x - 16 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x+2)^2(x-4) = 0$$

これを解いて $x = -2, 4$

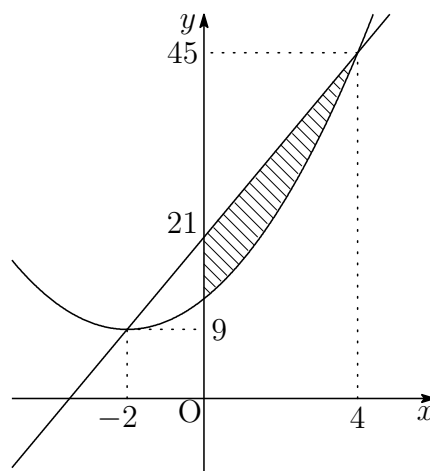
$$g(x) = x^2 + 4x + 13 \quad \text{より} \quad g(-2) = 9, \quad g(4) = 45$$

直線 ℓ は 2 点 $(-2, 9)$, $(4, 45)$ を通る直線であるから

$$y - 9 = \frac{45 - 9}{4 - (-2)}(x + 2) \quad \text{すなわち} \quad y = 6x + 21$$

求める面積は右の図の斜線部分で, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^4 \{(6x + 21) - (x^2 + 4x + 13)\} dx \\ &= \int_0^4 (-x^2 + 2x + 8) dx \\ &= \left[-\frac{x^3}{3} + x^2 + 8x \right]_0^4 = \frac{80}{3} \end{aligned}$$



6.10 2024 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 数列 $\{a_n\}$ は $0 < a_n < \frac{\pi}{2}$ かつ $\tan a_n = n$ を満たすとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $\cos^2 a_n$ を n の式で表せ。
- (2) $\tan(a_{n+1} - a_n)$ を n の式で表せ。
- (3) $\frac{\tan(a_{n+1} - a_n)}{\cos^2 a_n} > \frac{9}{10}$ を満たす n の最小値を求めよ。

2 1 個のさいころを 2 回投げるとき、1 回目に出る目を a 、2 回目に出る目を b とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $a + b$ が 3 の倍数になる確率を求めよ。
- (2) $a^2 + b^2$ が 4 の倍数になる確率を求めよ。
- (3) $a^3 + a^2b + ab^2 + b^3$ が 12 の倍数になる確率を求めよ。

3 a を実数とし、座標平面上の円 $x^2 + y^2 = 8$ を C_1 、放物線 $y = \frac{1}{4}x^2 + a$ を C_2 とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C_1 と C_2 の共有点の個数が4個のとき、 a のとりうる値の範囲を求めよ。
- (2) C_1 と C_2 の共有点の個数が2個であるような a の最小値を求め、そのときの共有点 P 、 Q の座標を求めよ。ただし、 P の x 座標は Q の x 座標より小さいとする。
- (3) a が (2) で求めた値であるとき、直線 PQ の下側で、 C_1 と C_2 によって囲まれた部分の面積を求めよ。

4 平面上に点 O を中心とする半径2の円 D がある。円 D の周上に異なる3点 A 、 B 、 C をとる。ただし、直線 AB 、 BC 、 CA は点 O を通らないとする。2点 A 、 B における円 D のそれぞれの接線の交点を P とする。同様に、2点 B 、 C における円 D のそれぞれの接線の交点を Q 、2点 C 、 A における円 D のそれぞれの接線の交点を R とする。 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$ 、 $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ 、 $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $\overrightarrow{OP} = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}(\vec{a} + \vec{b})$ が成り立つことを示せ。
- (2) $\vec{a} \cdot \vec{b} = -2\sqrt{3}$ のとき、線分 OP の長さを求めよ。
- (3) $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot \vec{c} = -2\sqrt{3}$ かつ $\vec{b} \cdot \vec{c} = 2$ のとき、 $\triangle PQR$ の面積を求めよ。

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \tan a_n = n \text{ より} \quad \cos^2 a_n = \frac{1}{1 + \tan^2 a_n} = \frac{1}{1 + n^2}$$

$$(2) \tan a_n = n \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \tan(a_{n+1} - a_n) &= \frac{\tan a_{n+1} - \tan a_n}{1 + \tan a_{n+1} \tan a_n} \\ &= \frac{(n+1) - n}{1 + (n+1)n} = \frac{1}{1 + n + n^2} \end{aligned}$$

$$(3) (1), (2) \text{ の結果から} \quad \frac{\tan(a_{n+1} - a_n)}{\cos^2 a_n} = \frac{1 + n^2}{1 + n + n^2}$$

$$\frac{\tan(a_{n+1} - a_n)}{\cos^2 a_n} > \frac{9}{10} \text{ のとき} \quad \frac{1 + n^2}{1 + n + n^2} > \frac{9}{10}$$

$$\text{したがって} \quad n(9 - n) < 1$$

n は自然数より, $n(9 - n)$ は整数であるから

$$n(9 - n) \leq 0 \quad \text{ゆえに} \quad 9 - n \leq 0$$

これを解いて $n \geq 9$ よって, 求める最小の n は $n = 9$



2 (1) 法3について

$$1 \equiv 1, \quad 2 \equiv 2, \quad 3 \equiv 0, \quad 4 \equiv 1, \quad 5 \equiv 2, \quad 6 \equiv 0 \pmod{3}$$

したがって, $a + b \equiv 0 \pmod{3}$ となる確率は

$$\frac{2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2}{6^2} = \frac{1}{3}$$

(2) 法4について

$$1^2 \equiv 1, \quad 2^2 \equiv 0, \quad 3^2 \equiv 1, \quad 4^2 \equiv 0, \quad 5^2 \equiv 1, \quad 6^2 \equiv 0 \pmod{4}$$

したがって, $a^2 + b^2 \equiv 0 \pmod{4}$ となる確率は

$$\frac{3^2}{6^2} = \frac{1}{4}$$

(3) $N = a^3 + a^2b + ab^2 + b^3 = (a + b)(a^2 + b^2)$ とおく.

$a^2 - a = a(a - 1)$ より, $a^2 \equiv a \pmod{2}$ であるから

$$a^2 + b^2 \equiv a + b \pmod{2}$$

上式から, $a + b \equiv 0 \pmod{2} \implies N \equiv 0 \pmod{4}$

法3について, $0^2 \equiv 0, \quad 1^2 \equiv 1, \quad 2^2 \equiv 1 \pmod{3}$ であるから

$$a^2 + b^2 \equiv 0 \implies a \equiv 0, \quad b \equiv 0 \implies a + b \equiv 0 \pmod{3}$$

したがって, N が12の倍数になる a, b の条件は, $a + b$ が2の倍数かつ3の倍数, すなわち, 6の倍数であり, 求める a, b の組は次の6組である.

$$(a, b) = (1, 5), (2, 4), (3, 3), (4, 2), (5, 1), (6, 6)$$

よって, 求める確率は $\frac{6}{6^2} = \frac{1}{6}$



3 (1) C_1 と C_2 が接する次の場合を考える.

(i) C_1 の半径が $2\sqrt{2}$ であるから, $a = -2\sqrt{2}$ とすると

$$C_1: x^2 + y^2 = 8, \quad C_2: y = \frac{1}{4}x^2 - 2\sqrt{2}$$

上の 2 式から x^2 を消去すると

$$y^2 - 8 + 4(y + 2\sqrt{2}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (y + 2\sqrt{2})(y - 2\sqrt{2} + 4) = 0$$

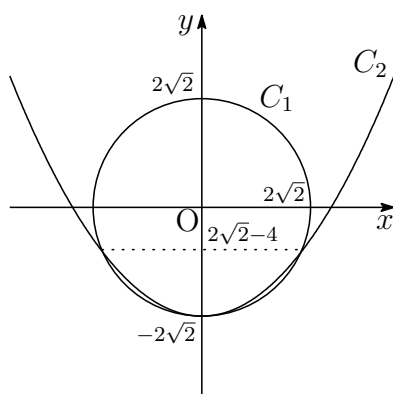
これらの共有点の y 座標 $-2\sqrt{2}$, $2\sqrt{2} - 4$ は $-2\sqrt{2} \leq y \leq 2\sqrt{2}$ を満たす. このとき, 左下の図のように C_1 , C_2 は 3 点を共有する.

(ii) $C_1: x^2 + y^2 = 8$ と $C_2: y = \frac{1}{4}x^2 + a$ の 2 式から, x^2 を消去すると

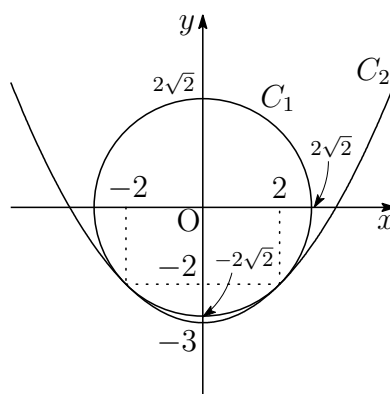
$$y^2 + 4y - 4a - 8 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (y + 2)^2 = 4a + 12$$

よって, $4a + 12 = 0$, すなわち, $a = -3$ のとき, 重解 $y = -2$ をもつ. このとき, 右下の図のように C_1 , C_2 は 2 点 $(\pm 2, -2)$ で接する.

(i) $a = -2\sqrt{2}$



(ii) $a = -3$



したがって, C_1 と C_2 の共有点が 4 個となる a の値の範囲は

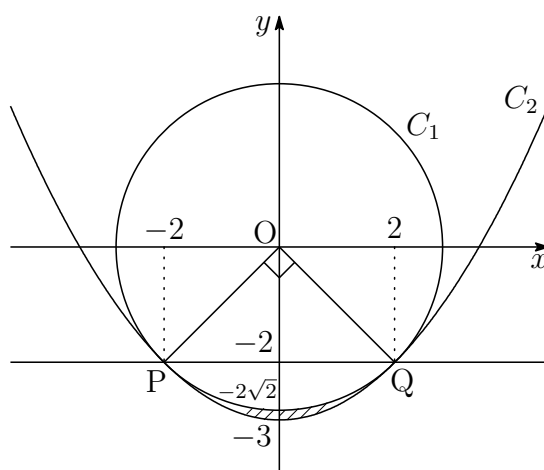
$$-3 < a < -2\sqrt{2}$$

(2) (1) の図 (ii) から分かるように, 求める a の最小値は $a = -3$

よって $P(-2, -2)$, $Q(2, -2)$

(3) 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{-2}^2 \left\{ -2 - \left(\frac{1}{4}x^2 - 3 \right) \right\} dx - \left\{ \frac{1}{4} \cdot \pi (2\sqrt{2})^2 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4 \right\} \\
 &= -\frac{1}{4} \int_{-2}^2 (x+2)(x-2) dx - (2\pi - 4) \\
 &= \frac{1}{24} (2+2)^3 - 2\pi + 4 = \frac{20}{3} - 2\pi
 \end{aligned}$$



補足 (i) のように C_1 と C_2 が放物線の頂点で接する場合と, (ii) のように頂点以外の点で接する場合がある. 本題の (ii) では, 円の中心から放物線までの距離 2 乗関数を考えてもよい.

C_1 の中心 O から C_2 上の点 $R\left(t, \frac{1}{4}t^2 + a\right)$ までの距離 OR について

$$f(t) = OR^2 = t^2 + \left(\frac{1}{4}t^2 + a\right)^2$$

とおく. このとき, (i) の結果に注意して, $a < -2\sqrt{2}$ とする.

$$\begin{aligned}
 f(t) &= t^2 + \left(\frac{1}{4}t^2 + a\right)^2 = \frac{1}{16}t^4 + \left(\frac{a}{2} + 1\right)t^2 + a^2 \\
 &= \frac{1}{16}\{t^2 + 4(a+2)\}^2 - 4a - 4
 \end{aligned}$$

C_1 と C_2 が接するとき, $f(t)$ の最小値が 8 であるから

$$-4a - 4 = 8 \quad \text{ゆえに} \quad a = -3$$

$f(t) = (t^2 - 4)^2 + 8$ より, 接点の x 座標は ± 2



- 4 (1) $|\vec{a}| = |\vec{b}| = 2$, $0 < \angle AOB < \pi$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \angle AOB$ より

$$-4 < \vec{a} \cdot \vec{b} < 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\vec{p} = \overrightarrow{OP}$ とおくと, $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AP} = 0$, $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{BP} = 0$ であるから

$$\vec{a} \cdot (\vec{p} - \vec{a}) = 0, \quad \vec{b} \cdot (\vec{p} - \vec{b}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{p} = 4, \quad \vec{b} \cdot \vec{p} = 4$$

$\vec{a}$, $\vec{b}$ は, 1 次独立であるから, $\vec{p} = x\vec{a} + y\vec{b}$ とすると (x, y は実数)

$$\begin{cases} \vec{a} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b}) = 4 \\ \vec{b} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b}) = 4 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} 4x + (\vec{a} \cdot \vec{b})y = 4 \\ (\vec{a} \cdot \vec{b})x + 4y = 4 \end{cases}$$

① に注意してこれを解くと $x = y = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}$

よって, $\overrightarrow{OP} = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}(\vec{a} + \vec{b})$ が成立する.

- (2) $|\vec{a} + \vec{b}|^2 = 2(4 + \vec{a} \cdot \vec{b})$ であるから, (1) の結果から

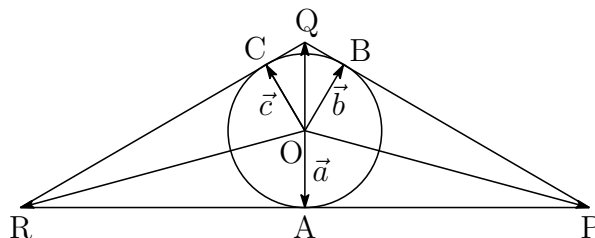
$$\overrightarrow{OP} = \frac{8}{|\vec{a} + \vec{b}|} \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b}}{|\vec{a} + \vec{b}|}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad OP &= \frac{8}{|\vec{a} + \vec{b}|} = \frac{8}{\sqrt{8 + 2\vec{a} \cdot \vec{b}}} = \frac{8}{\sqrt{8 - 4\sqrt{3}}} \\ &= \frac{8}{\sqrt{6} - \sqrt{2}} = 2(\sqrt{6} + \sqrt{2}) \end{aligned}$$

別解 $\cos \angle AOB = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \frac{-2\sqrt{3}}{2 \cdot 2} = -\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \angle AOB = 150^\circ$

$\angle AOP = 75^\circ$ であるから

$$OP = \frac{OA}{\cos 75^\circ} = 2 \times \frac{4}{\sqrt{6} - \sqrt{2}} = 2(\sqrt{6} + \sqrt{2})$$



(3) 与えられた条件より, $\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{-2\sqrt{3}}{2 \cdot 2} = -\frac{\sqrt{3}}{2}$ であるから

$$\angle AOB = \angle AOC = 150^\circ \quad \text{ゆえに} \quad \angle QPR = \angle QRP = 30^\circ$$

(2) と同様に
$$\text{OQ} = \frac{8}{\sqrt{8 + 2\vec{b} \cdot \vec{c}}} = \frac{8}{\sqrt{8 + 2 \cdot 2}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$$

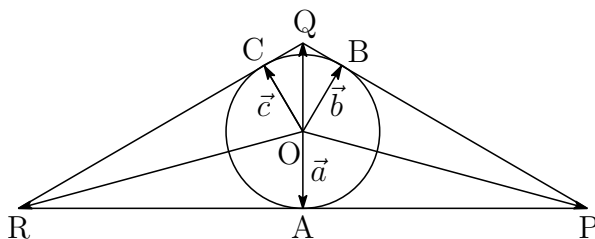
$\triangle QRP$ は, $PQ = RQ$ の二等辺三角形であるから

$$AQ = OA + OQ = 2 + \frac{4}{\sqrt{3}},$$

$$PR = 2AP = 2\sqrt{3}AQ$$

よって、求める面積は

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\text{PR}\cdot\text{AQ} &= \frac{1}{2}(2\sqrt{3}\text{AQ})\cdot\text{AQ} = \sqrt{3}\text{AQ}^2 \\ &= \sqrt{3}\left(2 + \frac{4}{\sqrt{3}}\right)^2 = \mathbf{16} + \frac{\mathbf{28}}{\sqrt{3}}\end{aligned}$$



補足 $\cos \angle \text{BOC} = \frac{\vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{b}| |\vec{c}|} = \frac{2}{2 \cdot 2} = \frac{1}{2}$ より, $\angle \text{BOC} = 60^\circ$

$\angle BOQ = 30^\circ$ であるから

$$OQ = \frac{OB}{\cos 30^\circ} = 2 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$$



6.11 2025 年 (文系)

出題分野 1 2 3 4

1 n を正の整数とする。放物線 $y = x^2 + 2x + 1$ を C とし、直線 $y = (2n + 3)x$ を ℓ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C と ℓ の共有点の個数は 2 個であることを示せ。
- (2) C と ℓ の共有点の x 座標を α, β とする。ただし $\alpha < \beta$ とする。 $C, x = \alpha, x = \beta, x$ 軸で囲まれた図形の面積を S とする。 $\frac{S}{\beta - \alpha}$ を n を用いて表せ。
- (3) (2) で求めた数を a_n とする。 $m \geq 1$ のとき、 $\sum_{n=1}^m a_n$ を求めよ。

2 座標平面上で x 座標と y 座標がともに整数である点を格子点という。格子点上を次の規則に従って動く点 P を考える。

1. 最初に点 P は原点 O にある。
2. ある時刻で点 P が格子点 (x, y) にあるとき、その 1 秒後には $(x+1, y)$ または $(x, y+1)$ へ動く。

格子点上に $A(m, 0), B(m, n)$ を取る。ただし、 m, n は正の整数である。最初から k 秒後に端点 A, B を含む線分 AB 上に点 P が初めて達するまでの P の動き方の総数を a_k とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $m = 3, n = 4$ のとき、 a_7 を求めよ。
- (2) $m \leq k \leq m + n$ に対して a_k を求めよ。
- (3) 等式 $\sum_{k=m}^{m+n} a_k = {}_{m+n}C_m$ が成り立つことを示せ。

3 xyz 空間内の平面 α は 2 点 $A(-1, 3, 1)$, $B(1, 5, 0)$ を通り x 軸と交わるものとする。 α と x 軸との交点を C とする。原点 O から平面 α に下した垂線 OH の長さは 3 とする。ただし、点 H の x 座標, y 座標, z 座標はいずれも整数とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 H の座標を求めよ。
- (2) 点 C の座標を求めよ。
- (3) $\triangle ABC$ の面積を求めよ。
- (4) 四面体 $OABC$ の体積を求めよ。

4 関数 $y = |x^2 - (a+1)x + a|$ のグラフを C とし, 直線 $y = x - a$ を ℓ とする。ただし, $a \leq 1$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C と ℓ の共有点の x 座標を求めよ。
- (2) C と ℓ で囲まれる図形の面積 $S(a)$ を求めよ。
- (3) (2) で求めた $S(a)$ の最小値を求めよ。

解答例

- 1 (1) $C: y = x^2 + 2x + 1$ と $\ell: y = (2n+3)x$ の方程式から y を消去すると

$$x^2 + 2x + 1 = (2n+3)x \quad \text{整理すると} \quad x^2 - (2n+1)x + 1 = 0 \quad \cdots (*)$$

(*) の係数について, n が正の整数であるから

$$D = (2n+1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 1 = (2n+3)(2n-1) > 0$$

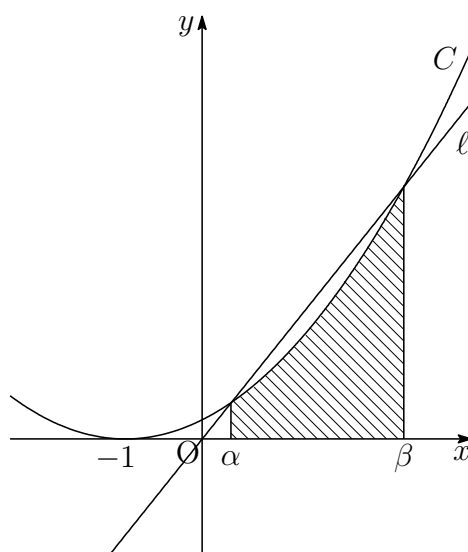
よって, C と ℓ の共有点の個数は 2 個である.

- (2) α, β は, 2 次方程式 (*) の解であるから, 解と係数の関係により

$$\alpha + \beta = 2n+1, \quad \alpha\beta = 1$$

S は右の図の斜線部分の面積であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} (x^2 + 2x + 1) dx \\ &= \left[\frac{x^3}{3} + x^2 + 1 \right]_{\alpha}^{\beta} \\ &= \frac{\beta^3 - \alpha^3}{3} + (\beta^2 - \alpha^2) + \beta - \alpha \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \frac{S}{\beta - \alpha} &= \frac{1}{3}(\alpha^2 + \alpha\beta + \beta^2) + \alpha + \beta + 1 \\ &= \frac{1}{3}\{(\alpha + \beta)^2 - \alpha\beta\} + \alpha + \beta + 1 \\ &= \frac{1}{3}\{(2n+1)^2 - 1\} + (2n+1) + 1 \\ &= \frac{2}{3}(2n^2 + 5n + 3) \end{aligned}$$

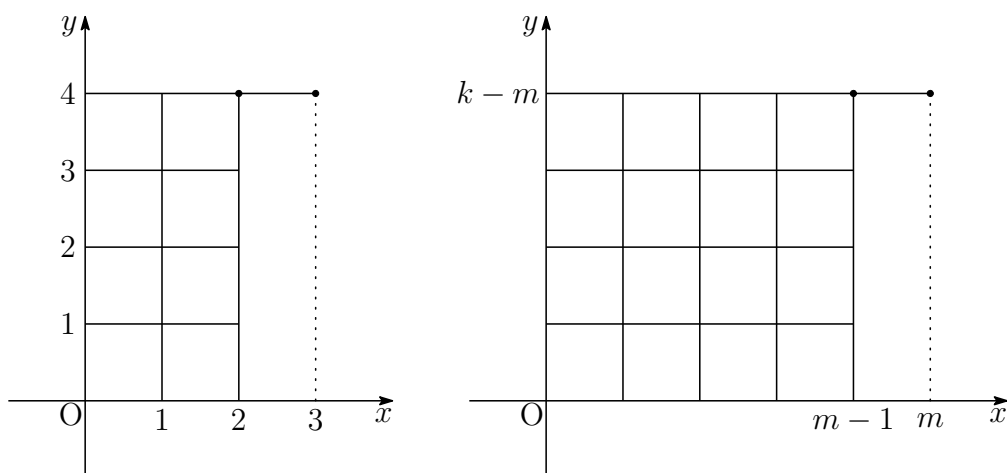
- (3) $a_n = \frac{2}{3}(2n^2 + 5n + 3)$ であるから

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^m a_n &= \frac{2}{3} \sum_{n=1}^m (2n^2 + 5n + 3) \\ &= \frac{2}{3} \left\{ 2 \cdot \frac{1}{6} m(m+1)(2m+1) + 5 \cdot \frac{1}{2} m(m+1) + 3m \right\} \\ &= \frac{2}{3} \cdot \frac{m}{6} \{ 2(m+1)(2m+1) + 15(m+1) + 18 \} \\ &= \frac{m}{9} (4m^2 + 21m + 35) \end{aligned}$$



- 2 (1) a_7 は点 $(2, 4)$ を経由して点 $(3, 4)$ に至る場合の数であるから

$$a_7 = \frac{(2+4)!}{2!4!} \cdot 1 = 15$$



- (2) a_k は点 $(m-1, k-m)$ を経由して点 $(m, k-m)$ に至る場合の数であるから

$$a_k = \frac{\{(m-1) + (k-m)\}!}{(m-1)!(k-m)!} \cdot 1 = \frac{(k-1)!}{(m-1)!(k-m)!} = {}_{k-1}C_{m-1}$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \sum_{k=m}^{m+n} a_k &= \sum_{k=m}^{m+n} {}_{k-1}C_{m-1} \\ &= {}_{m-1}C_{m-1} + \sum_{k=m+1}^{m+n} {}_{k-1}C_{m-1} \\ &= 1 + \sum_{k=m+1}^{m+n} ({}_kC_m - {}_{k-1}C_m) \\ &= 1 + ({}_{m+n}C_m - {}_mC_m) \\ &= {}_{m+n}C_m \end{aligned}$$

■

- 3 (1) $|\vec{OH}|^2 = 9$, $\vec{AH} \perp \vec{OH}$, $\vec{BH} \perp \vec{OH}$ より, $\vec{AH} \cdot \vec{OH} = 0$, $\vec{BH} \cdot \vec{OH} = 0$ であるから

$$(\vec{OH} - \vec{OA}) \cdot \vec{OH} = 0, \quad (\vec{OH} - \vec{OB}) \cdot \vec{OH} = 0$$

$$\text{したがって} \quad \vec{OA} \cdot \vec{OH} = 9, \quad \vec{OB} \cdot \vec{OH} = 9$$

$$H(p, q, r) \text{ とすると } -p + 3q + r = 9, \quad p + 5q = 9$$

$$\text{上の 2 式から} \quad p = 9 - 5q, \quad r = 18 - 8q \quad (*)$$

$$|\vec{OH}|^2 = 9 \text{ より, } p^2 + q^2 + r^2 = 9 \text{ であるから}$$

$$(9 - 5q)^2 + q^2 + (18 - 8q)^2 = 9$$

$$\text{整理すると } 5q^2 - 21q + 22 = 0 \quad \text{ゆえに } (q - 2)(5q - 11) = 0$$

$$H \text{ の座標は整数であるから } q = 2$$

$$\text{これを } (*) \text{ に代入して } p = -1, r = 2 \quad \text{よって } H(-1, 2, 2)$$

- (2) $A(-1, 3, 1)$, $B(1, 5, 0)$, $H(-1, 2, 2)$ より

$$\vec{AB} = (2, 2, -1), \quad \vec{AH} = (0, -1, 1)$$

$$\text{したがって} \quad \vec{AB} \times \vec{AH} = (1, -2, -2)$$

平面 α は点 $A(-1, 3, 1)$ を通り, 法線ベクトルが $\vec{n} = (1, -2, -2)$ の平面であるから

$$1 \cdot (x + 1) - 2(y - 3) - 2(z - 1) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x - 2y - 2z + 9 = 0$$

$$x \text{ 軸上では } y = 0, z = 0 \text{ であるから } x = -9 \quad \text{よって } C(-9, 0, 0)$$

- (3) $\vec{AB} = (2, 2, -1)$, $\vec{AC} = (-8, -3, -1)$ より

$$\begin{aligned} \triangle ABC &= \frac{1}{2} \sqrt{|\vec{AB}|^2 |\vec{AC}|^2 - (\vec{AB} \cdot \vec{AC})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{9 \cdot 74 - (-21)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{225} = \frac{15}{2} \end{aligned}$$

別解 $\vec{AB} \times \vec{AC} = (-5, 10, 10) = 5(-1, 2, 2)$ であるから

$$\triangle ABC = \frac{1}{2} |\vec{AB} \times \vec{AC}| = \frac{1}{2} \cdot 5 \sqrt{(-1)^2 + 2^2 + 2^2} = \frac{15}{2}$$

- (4) 求める体積を V とすると

$$V = \frac{1}{3} \cdot \triangle ABC \cdot OH = \frac{1}{3} \cdot \frac{15}{2} \cdot 3 = \frac{15}{2}$$

別解 $\vec{OA} \times \vec{OB} = (-5, 1, -8)$, $\vec{OC} = (-9, 0, 0)$ より

$$V = \frac{1}{6} |(\vec{OA} \times \vec{OB}) \cdot \vec{OC}| = \frac{1}{6} |45| = \frac{15}{2}$$



外積 (ベクトル積)

2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ が平行でないとき, ベクトル

$$(a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

は, $\vec{a}$ および $\vec{b}$ に直交する. このベクトルを, $\vec{a}$ と $\vec{b}$ の外積 (ベクトル積) と言い, $\vec{a} \times \vec{b}$ で表し (内積をスカラー積とも言う), その成分は

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

であるから, $\vec{b} \times \vec{a} = -\vec{a} \times \vec{b}$ が成り立つ. また, その大きさについて

$$\begin{aligned} |\vec{a} \times \vec{b}|^2 &= (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2 \\ &= (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)^2 \\ &= |\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2 \end{aligned}$$

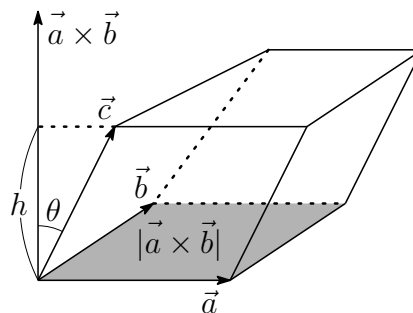
であるから, $\vec{a} \times \vec{b}$ の大きさは, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平行四辺形の面積に等しい.

$\vec{a} \times \vec{b}$ と $\vec{c}$ のなす角を θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) とすると

$$(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c} = |\vec{a} \times \vec{b}| |\vec{c}| \cos \theta$$

絶対値をとると

$$|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |\vec{a} \times \vec{b}| |\vec{c}| |\cos \theta|$$



$\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の張る平行六面体について, $\vec{a}$, $\vec{b}$ の張る平面を底面とすると, $|\vec{c}| \cos \theta$ は, その高さ h であるから, この平行六面体の体積 V_1 は

$$V_1 = |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$$

$\vec{OA} = \vec{a}$, $\vec{OB} = \vec{b}$, $\vec{OC} = \vec{c}$ とすると

四面体 OABC の体積 V は $V = \frac{1}{6} |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|$

また, 対称性により, $|(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}| = |(\vec{b} \times \vec{c}) \cdot \vec{a}| = |(\vec{c} \times \vec{a}) \cdot \vec{b}|$ が成り立つ.

4 (1) $a \leq 1$ であるから

$$\begin{aligned} y &= |x^2 - (a+1)x + a| = |(x-a)(x-1)| \\ &= \begin{cases} (x-a)(x-1) & (x \leq a, 1 \leq x) \\ -(x-a)(x-1) & (1 \leq x \leq a) \end{cases} \end{aligned}$$

C と ℓ の共有点の x 座標は、方程式

$$|(x-a)(x-1)| = x-a$$

の解であり、その解は $x \geq a$ の範囲にあるから

$$(*) \quad (x-a)(|x-1|-1) = 0$$

(i) $a \leq 0$ のとき、 $(*)$ を解いて $x = a, 0, 2$

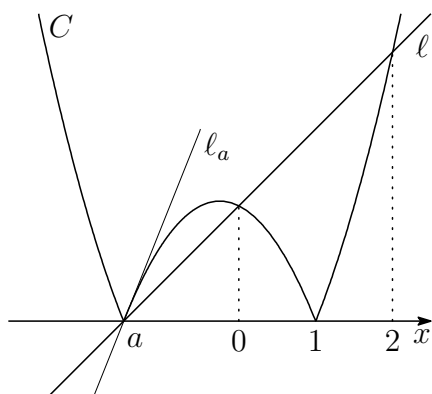
(ii) $0 < a \leq 1$ のとき、 $(*)$ を解いて $x = a, 2$

よって $a \leq 0$ のとき $x = a, 0, 2$

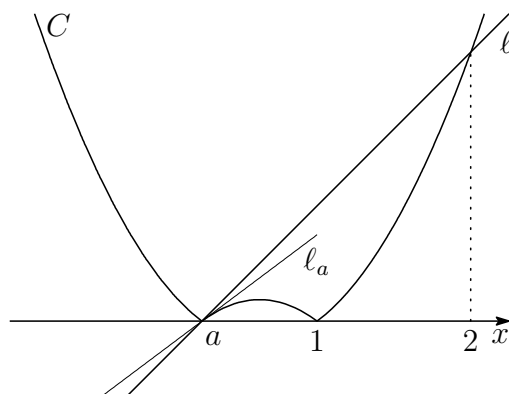
$0 < a \leq 1$ のとき $x = a, 2$

補足 ℓ の傾きが 1 である． $y = -(x-a)(x-1)$ の点 $(a, 0)$ における接線を ℓ_a とすると $y' = -2x + (a+1)$ より、 ℓ_a の傾きは $-2a + (a+1) = 1-a$

(i) $a \leq 0$



(ii) $0 < a \leq 1$



(2) 下の図の斜線部分の面積を S_1, S_2, S_3, S_4 とする.

(i) $a \leq 0$ のとき

$$S_1 = \frac{1}{6}(1-a)^3, \quad S_2 = \frac{1}{6}(0-a)^3, \quad S_1 + (S_1 - S_2) + S_3 = \frac{1}{6}(2-a)^3$$

上の3式から

$$\begin{aligned} S_2 + S_3 &= \frac{1}{6}(2-a)^3 - 2S_1 + 2S_2 \\ &= \frac{1}{6}\{(2-a)^3 - 2(1-a)^3 + 2(0-a)^3\} \\ &= \frac{1}{6}(-a^3 - 6a + 6) \end{aligned}$$

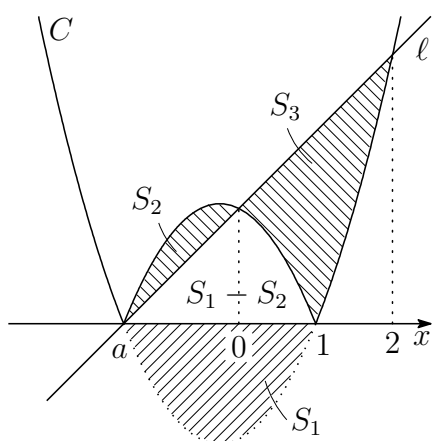
(ii) $0 < a \leq 1$ のとき

$$S_1 = \frac{1}{6}(1-a)^3, \quad 2S_1 + S_4 = \frac{1}{6}(2-a)^3$$

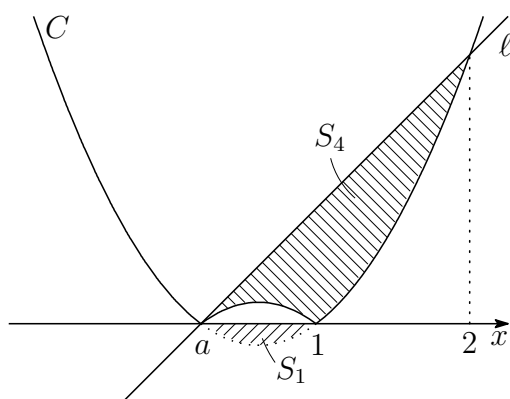
上の2式から

$$\begin{aligned} S_4 &= \frac{1}{6}(2-a)^3 - 2S_1 \\ &= \frac{1}{6}\{(2-a)^3 - 2(1-a)^3\} \\ &= \frac{1}{6}(a^3 - 6a + 6) \end{aligned}$$

(i) $a \leq 0$



(ii) $0 < a \leq 1$



したがって

$$S(a) = \begin{cases} \frac{1}{6}(-a^3 - 6a + 6) & (a \leq 0) \\ \frac{1}{6}(a^3 - 6a + 6) & (0 < a \leq 1) \end{cases}$$

(3) (2) の結果から

$$S'(a) = \begin{cases} \frac{1}{2}(-a^2 - 2) & (a < 0) \\ \frac{1}{2}(a^2 - 2) & (0 < a < 1) \end{cases}$$

$a < 0$, $0 < a < 1$ のとき, $S'(a) < 0$ であるから, $S(a)$ は単調減少.

よって, 最小値 $S(1) = \frac{1}{6}$



理系 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	熊本大学 理系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式								3			
	三角関数										3	
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法	1						2				2
III	関数											
	極限	4							4			
	微分法とその応用		4	3								
	積分法	4			3・4			4		4		4
	積分法の応用		4	3		3・4	3				1	
A	場合の数と確率					2			2	2		3
	整数の性質		2				1					
	図形の性質											
B	数列	3・4	2	4	2	1		2		1	4	1
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル										2	
	空間のベクトル	2	1	1	1			1	1			
	複素数平面		3	2			2	3		3		
	式と曲線						4					

数字は問題番号

6.12 2015 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 $f(x)$ は x の 3 次多項式とし, x^3 の係数は 1, 定数項は 0 とする。2 つの異なる実数 α, β に対して $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ が満たされているとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $f(\alpha), f(\beta)$ を α, β を用いて表せ。
- (2) 不等式 $\alpha < \beta < 3\alpha$ が成り立つとき, 3 次方程式 $f(x) = -1$ の実数解の個数を求めよ。

2 p, q, r を実数とする。空間内の 3 点 $A(1, p, 0), B(q, 1, 1), C(-1, -1, r)$ が一直線上にあるとき, 以下の問いに答えよ。ただし, O を原点とする。

- (1) p は 1 でも -1 でもないことを示せ。
- (2) q, r を p を用いて表せ。
- (3) p', q', r' を実数とし, 空間内の 3 点を $A'(1, p', 0), B'(q', 1, 1), C'(-1, -1, r')$ とする。ベクトル $\overrightarrow{OA'}, \overrightarrow{OB'}, \overrightarrow{OC'}$ がいずれもベクトル $\overrightarrow{AB}$ に垂直であるとき, p', q', r' を p を用いて表せ。
- (4) (3) における 3 点 A', B', C' は一直線上にないことを示せ。

3 $\triangle ABC$ において, $\angle B$ と $\angle C$ は鋭角とする。点 A を通り辺 BC に直交する直線を引き, 辺 BC との交点を X_1 とし, 線分 AX_1 の長さを 1 とする。また, $BX_1 = 1, CX_1 = 8$ とする。各 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して以下の操作を行う。

辺 BC 上の点 X_n を通り辺 AC に平行な直線を引き, 辺 AB との交点を Y_n とする。また, 点 Y_n を通り辺 BC に平行な直線を引き, 辺 AC との交点を Z_n とする。点 Z_n を通り辺 BC に直交する直線を引き, 辺 BC との交点を X_{n+1} とする。

線分 $Z_n X_{n+1}$ の長さを l_n とするとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) l_1 を求めよ。
- (2) l_{n+1} を l_n を用いて表せ。
- (3) $l_n > \frac{1}{2}$ となる最小の奇数 n を求めよ。必要ならば, $3.169 < \log_2 9 < 3.17$ を用いてもよい。

4 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_n = \int_0^{n\pi} e^{-x} |\sin x| dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

と定めるとき，以下の問いに答えよ。

- (1) $a_{n+1} - a_n$ を求めよ。
- (2) $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ。

解答例

- 1** (1) x の 3 次式 $f(x)$ の x^3 の係数が 1, $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ であるから

$$f'(x) = 3(x - \alpha)(x - \beta) = 3x^2 - 3(\alpha + \beta)x + 3\alpha\beta$$

また, $f(x)$ の定数項は 0 であるから

$$f(x) = x^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)x^2 + 3\alpha\beta x$$

したがって

$$f(\alpha) = \alpha^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)\alpha^2 + 3\alpha^2\beta = \frac{\alpha^2(3\beta - \alpha)}{2}$$

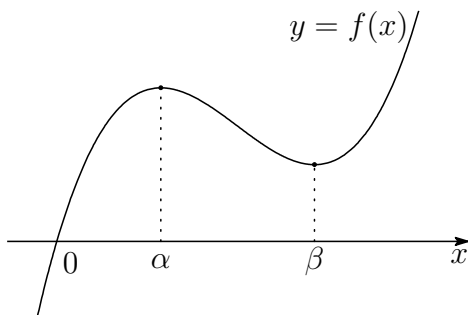
$$f(\beta) = \beta^3 - \frac{3}{2}(\alpha + \beta)\beta^2 + 3\alpha\beta^2 = \frac{\beta^2(3\alpha - \beta)}{2}$$

- (2) $f(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	α	$\cdots$	β	$\cdots$
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	$\nearrow$	$f(\alpha)$	$\searrow$	$f(\beta)$	$\nearrow$

$\alpha < \beta < 3\alpha$ より, $0 < \alpha < \beta$, $3\alpha - \beta > 0$ であるから, $f(\beta) > 0$

したがって, $y = f(x)$ のグラフの概形は, 次のようになる.



よって, $y = f(x)$ および $y = -1$ のグラフから, 3 次方程式 $f(x) = -1$ の実数解の個数は 1 個.

解説

3次式 $f(x)$ の x^3 の係数を a とし, $f'(\alpha) = f'(\beta) = 0$ を満たすとする ($\alpha < \beta$)

$$\begin{aligned} f'(x) &= 3a(x - \alpha)(x - \beta) = 3a\{x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta\} \\ f''(x) &= 3a\{2x - (\alpha + \beta)\} \\ f'''(x) &= 6a \end{aligned}$$

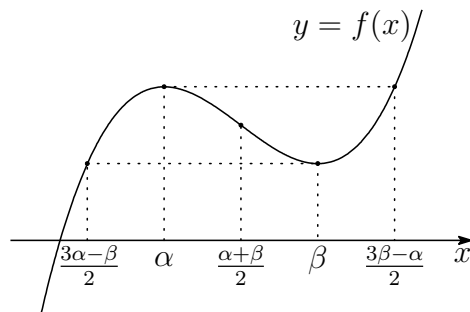
$f(x)$ を $x = \alpha$ を極として, テイラー展開⁴を行うと

$$f(x) = f(\alpha) + f'(\alpha)(x - \alpha) + \frac{1}{2!}f''(\alpha)(x - \alpha)^2 + \frac{1}{3!}f'''(\alpha)(x - \alpha)^3$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad f(x) - f(\alpha) &= \frac{3a}{2}(\alpha - \beta)(x - \alpha)^2 + a(x - \alpha)^3 \\ &= a(x - \alpha)^2 \left(x - \frac{3\beta - \alpha}{2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{同様に} \quad f(x) - f(\beta) = a(x - \beta)^2 \left(x - \frac{3\alpha - \beta}{2} \right)$$

$a > 0$ のとき, $y = f(x)$ のグラフは次のようになる.



とくに, 数列 $\frac{3\alpha - \beta}{2}, \alpha, \frac{\alpha + \beta}{2}, \beta, \frac{3\beta - \alpha}{2}$ は, 等差数列をなす.

本題において, $f(0) = 0$, $\alpha < \beta < 3\alpha$ より, $0 < \frac{3\alpha - \beta}{2}$ であるから

$$f\left(\frac{3\alpha - \beta}{2}\right) > 0$$

よって, $y = f(x)$ および $y = -1$ のグラフから, 3次方程式 $f(x) = -1$ の実数解の個数は1個. ■

⁴ <http://kumamoto.s12.xrea.com/chie/taylor.pdf> を参照.

- 2** (1) $A(1, p, 0)$, $B(q, 1, 1)$, $C(-1, -1, r)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (q-1, 1-p, 1), \quad \overrightarrow{AC} = (-2, -1-p, r)$$

$\overrightarrow{AB} // \overrightarrow{AC}$ であるから, これらの z 成分に注目すると

$$\overrightarrow{AC} = r\overrightarrow{AB} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} -2 = r(q-1) & \cdots \textcircled{1} \\ -1-p = r(1-p) & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} \text{ より } r \neq 0 \quad \cdots \textcircled{3}$$

$p=1$ は, $\textcircled{2}$ を満たさない.

$p=-1$ を $\textcircled{2}$ に代入すると, $r=0$ となり, $\textcircled{3}$ に反する.

よって $p \neq \pm 1$

- (2) $\overrightarrow{AB} // \overrightarrow{AC}$ であるから, これらの x 成分, y 成分により

$$(q-1)(-1-p) - (1-p) \cdot (-2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad q = \frac{3-p}{p+1}$$

$\overrightarrow{BA} // \overrightarrow{BC}$ であるから, これらの y 成分, z 成分により

$$(p-1)(r-1) - (-1)(-2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad r = \frac{p+1}{p-1}$$

- (3) (2) の結果より, $A(1, p, 0)$, $B\left(\frac{3-p}{p+1}, 1, 1\right)$ であるから

$$(p+1)\overrightarrow{AB} = (2-2p, 1-p^2, 1+p)$$

$\overrightarrow{OA'} = (1, p', 0)$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$2-2p+p'(1-p^2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad p' = -\frac{2}{p+1}$$

$\overrightarrow{OB'} = (q', 1, 1)$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$q'(2-2p) + 1-p^2 + 1+p = 0 \quad \text{ゆえに} \quad q' = -\frac{(p+1)(p-2)}{2(p-1)}$$

$\overrightarrow{OC'} = (-1, -1', r')$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$-(2-2p) - (1-p^2) + r'(1+p) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad r' = -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1}$$

$$\begin{aligned}
 (4) \text{ (3) の結果から } & A' \left(1, -\frac{2}{p+1}, 0 \right), \\
 & B' \left(-\frac{(p+1)(p-2)}{2(p-1)}, 1, 1 \right), \\
 & C' \left(-1, -1, -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{したがって } \overrightarrow{A'B'} &= \left(\frac{-p^2 - p + 4}{2(p-1)}, \frac{p+3}{p+1}, 1 \right) \\
 \overrightarrow{A'C'} &= \left(-2, \frac{-p+1}{p+1}, -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1} \right) \\
 \overrightarrow{A'B'} // \overrightarrow{A'C'} &\text{ であるとき, これらの } x \text{ 成分, } y \text{ 成分から}
 \end{aligned}$$

$$\frac{-p^2 - p + 4}{2(p-1)} \cdot \frac{-p+1}{p+1} - \frac{p+3}{p+1} \cdot (-2) = 0$$

$$\text{整理すると } p^2 + 5p + 8 = 0 \quad \cdots (*)$$

この方程式の判別式を D とすると

$$D = 5^2 - 4 \cdot 1 \cdot 8 = -7 < 0$$

したがって, 方程式 $(*)$ は実数解をもたない.

よって, 3点 A' , B' , C' は一直線上にない. ■

- 3 (1) 座標平面上に点 $A(0, 1)$, $B(-1, 0)$, $C(8, 0)$, $X_n(x_n, 0)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) をとる. 直線 AB の方程式は

$$y = x + 1 \quad \dots \textcircled{1}$$

直線 AC の方程式は

$$y = -\frac{1}{8}x + 1 \quad \dots \textcircled{2}$$

直線 X_nY_n は点 $(x_n, 0)$ を通り, 傾き $-\frac{1}{8}$ の直線であるから

$$y = -\frac{1}{8}(x - x_n) \quad \dots \textcircled{3}$$

点 Y_n の y 座標 l_n は, ①, ③ を解いて $l_n = \frac{1 + x_n}{9} \quad \dots \textcircled{4}$

このとき, $x_1 = 0$ であるから $l_1 = \frac{1}{9}$

- (2) 点 Z_n の y 座標が l_n であるから, その x 座標は, ② より

$$l_n = -\frac{x}{8} + 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = 8(1 - l_n)$$

これが点 X_{n+1} の x 座標であるから $x_{n+1} = 8(1 - l_n)$

したがって, 上式および ④ から

$$l_{n+1} = \frac{1 + x_{n+1}}{9} = \frac{1 + 8(1 - l_n)}{9} = -\frac{8}{9}l_n + 1$$

- (3) (1), (2) の結果から $l_{n+1} = -\frac{8}{9}l_n + 1$, $l_1 = \frac{1}{9}$

この漸化式から $l_n = \frac{9}{17} + \frac{8}{17} \left(-\frac{8}{9}\right)^n$

$$l_n > \frac{1}{2} \text{ のとき } \frac{9}{17} + \frac{8}{17} \left(-\frac{8}{9}\right)^n > \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \left(-\frac{8}{9}\right)^n > -\frac{1}{16}$$

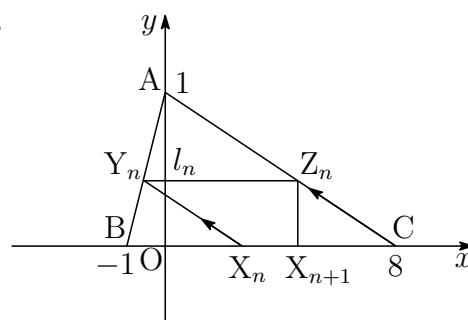
$$n \text{ は奇数であるから } (-1)^n \left(\frac{8}{9}\right)^n > -\frac{1}{16} \quad \text{ゆえに} \quad \left(\frac{8}{9}\right)^n < \frac{1}{16}$$

$$\text{したがって} \quad n > \frac{4}{\log_2 9 - 3}$$

このとき, $3.169 < \log_2 9 < 3.17$ より

$$23.5 \dots = \frac{4}{3.17 - 3} < \frac{4}{\log_2 9 - 3} < \frac{4}{3.169 - 3} = 23.6 \dots$$

よって, 求める最小の奇数 n は $n = 25$



$$\begin{aligned}
 \boxed{4} \quad (1) \quad a_{n+1} - a_n &= \int_0^{(n+1)\pi} e^{-x} |\sin x| dx - \int_0^{n\pi} e^{-x} |\sin x| dx \\
 &= \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} e^{-x} |\sin x| dx
 \end{aligned}$$

$$t = x - n\pi \text{ とおくと } \frac{dx}{dt} = 1, \quad \begin{array}{c|c} x & n\pi \longrightarrow (n+1)\pi \\ \hline t & 0 \longrightarrow \pi \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 a_{n+1} - a_n &= \int_0^{\pi} e^{-(n\pi+t)} |\sin(t+n\pi)| dt \\
 &= e^{-n\pi} \int_0^{\pi} e^{-t} \sin t dt = e^{-n\pi} a_1 \\
 &= e^{-n\pi} \left[-\frac{e^{-t}}{2} (\sin t + \cos t) \right]_0^{\pi} = \frac{e^{-\pi} + 1}{2} e^{-n\pi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad a_1 &= \int_0^{\pi} e^{-x} |\sin x| dx = \int_0^{\pi} e^{-x} \sin x dx \\
 &= -\frac{1}{2} \left[e^{-x} (\sin x + \cos x) \right]_0^{\pi} = \frac{e^{-\pi} + 1}{2}
 \end{aligned}$$

上式および (1) の結果より, $a_{n+1} - a_n = e^{-n\pi} a_1$ であるから, $n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) &= a_1 \sum_{k=1}^{n-1} e^{-k\pi} \\
 a_n &= a_1 \sum_{k=0}^{n-1} e^{-k\pi} = a_1 \times \frac{1 - e^{-n\pi}}{1 - e^{-\pi}} \\
 &= \frac{e^{-\pi} + 1}{2} \times \frac{1 - e^{-n\pi}}{1 - e^{-\pi}} = \frac{(1 + e^{-\pi})(1 - e^{-n\pi})}{2(1 - e^{-\pi})}
 \end{aligned}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから

$$a_n = \frac{(1 + e^{-\pi})(1 - e^{-n\pi})}{2(1 - e^{-\pi})}$$

$$(3) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} e^{-n\pi} = 0 \text{ であるから}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \frac{1 + e^{-\pi}}{2(1 - e^{-\pi})}$$



6.13 2016 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 1 辺の長さ 1 の正四面体 OABC を考える。 $0 < s < \frac{1}{2}$ に対し OA を $s : (1-s)$ に内分する点を P とし, $0 < t < 1$ に対し OC を $t : (1-t)$ に内分する点を Q とする。 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおくとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) $\overrightarrow{PB}$, $\overrightarrow{PQ}$ をそれぞれ $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, s , t を用いて表せ。
- (2) $\angle BPQ = 90^\circ$ であるとき, t を s を用いて表せ。
- (3) (2) の条件の下で, t の最大値とそのときの s の値を求めよ。
- (4) (3) で求めた s , t に対して, PQ^2 を求めよ。

- 2 自然数 a に対して

$$S(a) = \sum_{k=1}^a \frac{1}{\sqrt{k+1} + \sqrt{k}}$$

とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) 和 $S(a)$ を求めよ。
- (2) $S(a)$ が整数となる自然数 a を小さい順に並べた数列を

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$$

とする。一般項 a_n を求めよ。

- (3) (2) の数列 $\{a_n\}$ について, a_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) を 4 で割った余りは 0 か 3 であることを示せ。

- (4) (2) の数列 $\{a_n\}$ と自然数 N に対して和 $\sum_{n=1}^N \frac{1}{a_n}$ を求めよ。

- 3** $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ を満たす θ に対して, $\alpha = 2(\cos \theta + i \sin \theta)$ とする。ただし, i は虚数単位である。 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して

$$z_n = \alpha^n - 2\alpha^{n-1}$$

とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) $\theta = \frac{\pi}{3}$ とするとき, z_n を極形式で表せ。
- (2) $\theta = \frac{\pi}{3}$ とするとき, $\sum_{k=1}^n |z_k| > 500$ となる最小の n を求めよ。
- (3) z_{1000} が実数となるような θ の値の個数を求めよ。

- 4** $x \geq 1$ で定義された関数

$$f(x) = \frac{\log x}{x^2}$$

について, 以下の問いに答えよ。

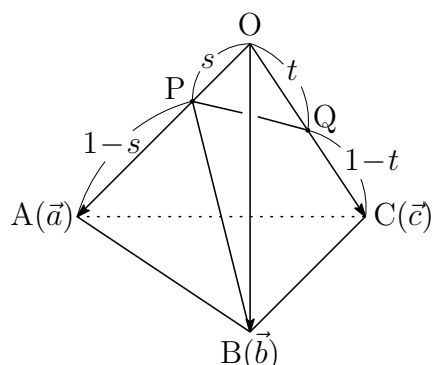
- (1) $x \geq 1$ における $f(x)$ の最大値とそのときの x の値を求めよ。
- (2) (1) で求めた x の値を a とする。曲線 $y = f(x)$ と 2 直線 $y = 0$, $x = a$ で囲まれた図形を D とする。 D の面積を求めよ。
- (3) (2) の図形 D を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。

解答例

1 (1) $\overrightarrow{OP} = s\vec{a}$, $\overrightarrow{OQ} = t\vec{c}$ であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PB} &= \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OP} \\ &= \vec{b} - s\vec{a}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PQ} &= \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} \\ &= t\vec{c} - s\vec{a}\end{aligned}$$



(2) $\angle BPQ = 90^\circ$ のとき, $\overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PQ} = 0$ であるから, (1) の結果から

$$(\vec{b} - s\vec{a}) \cdot (t\vec{c} - s\vec{a}) = 0 \quad \text{整理すると} \quad t\vec{b} \cdot \vec{c} - s\vec{a} \cdot \vec{b} - st\vec{c} \cdot \vec{a} + s^2|\vec{a}|^2 = 0$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = 1 \cdot 1 \cos 60^\circ = \frac{1}{2}, \quad |\vec{a}| = 1 \quad \text{であるから}$$

$$\frac{1}{2}t - \frac{1}{2}s - \frac{1}{2}st + s^2 \cdot 1^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (1-s)t = s(1-2s)$$

$$\text{このとき, } 0 < s < \frac{1}{2} \text{ に注意して} \quad t = \frac{s(1-2s)}{1-s}$$

(3) (2) の結果から

$$t = \frac{s(1-2s)}{1-s} = 2s + 1 - \frac{1}{1-s} = 3 - \left\{ 2(1-s) + \frac{1}{1-s} \right\} \quad \dots \textcircled{1}$$

$0 < s < \frac{1}{2}$ より $1-s > 0$ であるから, 相加平均・相乗平均の関係により

$$2(1-s) + \frac{1}{1-s} \geq 2\sqrt{2(1-s) \cdot \frac{1}{1-s}} = 2\sqrt{2} \quad \dots \textcircled{2}$$

上式で等号が成立するとき, $0 < s < \frac{1}{2}$ に注意して

$$2(1-s) = \frac{1}{1-s} \quad \text{すなわち} \quad s = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{2}$$

このとき, ①, ② より t の最大値は $3 - 2\sqrt{2}$

(4) (1), (3) の結果から

$$\begin{aligned}
 PQ^2 &= |\overrightarrow{PQ}|^2 = |t\vec{c} - s\vec{a}|^2 = t^2|\vec{c}|^2 - 2st\vec{c}\cdot\vec{a} + s^2|\vec{a}|^2 \\
 &= s^2 - st + t^2 \\
 &= \left(\frac{2-\sqrt{2}}{2}\right)^2 - \frac{2-\sqrt{2}}{2}(3-2\sqrt{2}) + (3-2\sqrt{2})^2 \\
 &= \frac{27-19\sqrt{2}}{2}
 \end{aligned}$$

■

2 (1) $\sum_{k=1}^a \frac{1}{\sqrt{k+1} + \sqrt{k}} = \sum_{k=1}^a (\sqrt{k+1} - \sqrt{k}) = \sqrt{a+1} - 1$

(2) $S(a)$ が整数 $n \geq 1$ に等しいとき, (1) の結果から

$$\sqrt{a+1} - 1 = n \quad \text{ゆえに} \quad a = n(n+2)$$

よって, 求める数列の一般項は $a_n = n(n+2)$

(3) $n = 2m - 1$ のとき (m は整数)

$$\begin{aligned}
 a_n &= (2m-1)\{(2m-1)+2\} = (2m-1)(2m+1) \\
 &= 4m^2 - 1 = 4(m^2 - 1) + 3
 \end{aligned}$$

$n = 2m$ のとき (m は整数)

$$a_n = 2m(2m+2) = 4m(m+1)$$

よって, a_n を 4 で割った余りは 0 か 3 である.

(4) (2) の結果から

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^N \frac{1}{a_n} &= \sum_{n=1}^N \frac{1}{n(n+2)} \\
 &= \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+2} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2} - \frac{1}{N+1} - \frac{1}{N+2} \right) \\
 &= \frac{N(3N+5)}{4(N+1)(N+2)}
 \end{aligned}$$

■

3 (1) $\alpha = 2(\cos \theta + i \sin \theta)$ より

$$\begin{aligned} z_n &= \alpha^n - 2\alpha^{n-1} = \{2(\cos \theta + i \sin \theta)\}^n - 2\{2(\cos \theta + i \sin \theta)\}^{n-1} \\ &= 2^n(\cos n\theta + i \sin n\theta) - 2^n\{\cos(n-1)\theta + i \sin(n-1)\theta\} \\ &= 2^n\{\cos n\theta - \cos(n-1)\theta\} + 2^n i\{\sin n\theta - \sin(n-1)\theta\} \\ &= -2^{n+1} \sin \frac{2n-1}{2}\theta \sin \frac{\theta}{2} + 2^{n+1} i \cos \frac{2n-1}{2}\theta \sin \frac{\theta}{2} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

$\theta = \frac{\pi}{3}$ であるから

$$\begin{aligned} z_n &= -2^{n+1} \sin \frac{2n-1}{6}\pi \sin \frac{\pi}{6} + 2^{n+1} i \cos \frac{2n-1}{6}\pi \sin \frac{\pi}{6} \\ &= -2^n \sin \left(\frac{n+1}{3}\pi - \frac{\pi}{2} \right) + 2^n i \cos \left(\frac{n+1}{3}\pi - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

補足 $z_n = -2^n \sin \frac{2n-1}{6}\pi + 2^n i \cos \frac{2n-1}{6}\pi = 2^n i \left(\cos \frac{2n-1}{6}\pi + i \sin \frac{2n-1}{6}\pi \right)$

$$\begin{aligned} &= 2^n \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) \left(\cos \frac{2n-1}{6}\pi + i \sin \frac{2n-1}{6}\pi \right) \\ &= 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

別解 $z_n = \alpha^n - 2\alpha^{n-1} = \alpha^{n-1}(\alpha - 2) \quad \cdots \textcircled{1}$

$$\begin{aligned} \alpha - 2 &= 2(\cos \theta + i \sin \theta) - 2 = 2(\cos \theta - 1 + i \sin \theta) \\ &= 4 \left(-\sin^2 \frac{\theta}{2} + i \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \right) = 4i \sin \frac{\theta}{2} \left(i \sin \frac{\theta}{2} + \cos \frac{\theta}{2} \right) \\ &= 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) \left(\cos \frac{\theta}{2} + i \sin \frac{\theta}{2} \right) \\ &= 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{\theta + \pi}{2} \right) \end{aligned}$$

上式および $\textcircled{1}$ から

$$\begin{aligned} z_n &= 2^{n-1} \{\cos(n-1)\theta + i \sin(n-1)\theta\} \cdot 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{\theta + \pi}{2} \right) \\ &= 2^{n+1} \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{(2n-1)\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{(2n-1)\theta + \pi}{2} \right) \end{aligned}$$

これに $\theta = \frac{\pi}{3}$ を代入すると $z_n = 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right)$

(2) (1) の結果より, $|z_k| = 2^k$ であるから

$$\sum_{k=1}^n |z_k| = \sum_{k=1}^n 2^k = \frac{2(2^n - 1)}{2 - 1} = 2(2^n - 1)$$

$$\sum_{k=1}^n |z_k| > 500 \text{ のとき } 2(2^n - 1) > 500 \text{ ゆえに } 2^n > 251$$

これを満たす最小の整数 n は **8**

(3) (*) より $z_{1000} = -2^{1001} \sin \frac{1999}{2} \theta \sin \frac{\theta}{2} + 2^{1001} i \cos \frac{1999}{2} \theta \sin \frac{\theta}{2}$
 z_{1000} が実数であるとき, 自然数 j を用いて

$$\frac{1999}{2} \theta = \frac{2j-1}{2} \pi \text{ ゆえに } \theta = \frac{2j-1}{1999} \pi$$

このとき, $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ であるから $1 \leq j \leq 500$

よって, 求める θ の個数は **500** (個) ■

4 (1) $f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ を微分すると

$$f'(x) = (\log x)' \frac{1}{x^2} + \log x \left(\frac{1}{x^2} \right)' = \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x^2} + \log x \left(-\frac{2}{x^3} \right) = \frac{1 - 2 \log x}{x^3}$$

$$f'(x) = 0 \text{ とすると } x = \sqrt{e}$$

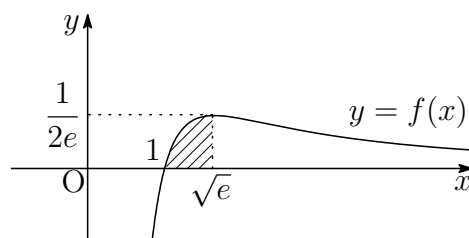
$f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ ($x \geq 1$) の増減表は、次のようになる.

x	1	...	$\sqrt{e}$	...
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$	0	↗	極大	↘

よって、求める最大値は $f(\sqrt{e}) = \frac{1}{2e}$

(2) 求める面積を S とすると、(1) の結果から

$$\begin{aligned} S &= \int_1^{\sqrt{e}} \frac{\log x}{x^2} dx = - \int_1^{\sqrt{e}} \left(\frac{1}{x} \right)' \log x dx \\ &= - \left[\frac{1}{x} \log x \right]_1^{\sqrt{e}} + \int_1^{\sqrt{e}} \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x} dx \\ &= - \left[\frac{1}{x} (\log x + 1) \right]_1^{\sqrt{e}} = 1 - \frac{3}{2\sqrt{e}} \end{aligned}$$



(3) 求める立体の体積を V とすると

$$V = 2\pi \int_1^{\sqrt{e}} x \cdot \frac{\log x}{x^2} dx = 2\pi \int_1^{\sqrt{e}} (\log x)(\log x)' dx = \pi \left[(\log x)^2 \right]_1^{\sqrt{e}} = \frac{\pi}{4}$$

バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき、 $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$



6.14 2017年(理系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 原点を O とする座標空間内に 3 点 $A(a, 0, 0)$, $B(0, b, 0)$, $C(0, 0, c)$ がある。ただし, $a > 0$, $b > 0$, $c > 0$ とする。 $\angle BAC = \theta$ とし, $\triangle ABC$ の面積を S とするとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) $\cos \theta$, $\sin \theta$ を a , b , c を用いて表せ。
- (2) 点 O を中心とする半径 1 の球面上の点を H とする。ベクトル $\overrightarrow{HA}$, $\overrightarrow{HB}$, $\overrightarrow{HC}$ がいずれもベクトル $\overrightarrow{OH}$ に垂直であるとき,

$$\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} = 1$$

が成り立つことを示せ。

- (3) (2) の条件のもとで $a = 3$ としたとき, 面積 S の最小値とそのときの b , c の値を求めよ。
- 2 $s > 0$, $t > 0$ とする。原点を O とする複素数平面において, $\alpha = 2 - i$, $\beta = s + ti$ を表す点をそれぞれ A , B とする。さらに, 点 C を直線 OB に関して点 A と反対側にとり, $\triangle OBC$ が正三角形になるようにする。点 C を表す複素数を z とするとき, 以下の問いに答えよ。
- (1) z を s , t を用いて表せ。
- (2) α , β が等式 $4\alpha^2 + \beta^2 - 2\alpha\beta = 0$ を満たすとき, β と z をそれぞれ求めよ。
- (3) (2) で求めた β と z に対して, 直線 AC と直線 OB の交点を D とし, $\angle CDB = \theta$ とする。このとき, $\cos \theta$ の値を求めよ。

- 3 関数 $f(x) = \log_2 x - x + 1$ ($x > 0$) について, 以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ の極値を求めよ。
- (2) 方程式 $f(x) = 0$ の解をすべて求めよ。なお, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = -\infty$ を用いてもよい。
- (3) 座標平面上の曲線 $y = f(x)$ と x 軸で囲まれた部分の面積を求めよ。

4 $f(x) = x^2 + x$ とし, j は自然数とする。数列 $\{a_n\}$ を次のように定める。

$a_1 = 2$ とする。 a_n ($n \geq 1$) に対して, 座標平面上の曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(a_n^j, f(a_n^j))$ における接線と直線 $y = x$ との交点の x 座標を a_{n+1} とする。ただし, a_n^j は a_n の j 乗を表す。

以下の問いに答えよ。

- (1) すべての自然数 n に対し, $a_n > 0$ が成り立つことを示せ。
- (2) $b_n = \log_2 a_n$ とおくとき, b_{n+1} を b_n を用いて表せ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

解答例

- 1** (1) $A(a, 0, 0)$, $B(0, b, 0)$, $C(0, 0, c)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (-a, b, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (-a, 0, c)$$

2つのベクトル $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ のなす角が θ であるから

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}|} = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + b^2} \sqrt{a^2 + c^2}} = \frac{a^2}{\sqrt{(a^2 + b^2)(a^2 + c^2)}}$$

また, $\sin \theta > 0$ であるから

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{1 - \frac{a^4}{(a^2 + b^2)(a^2 + c^2)}} = \sqrt{\frac{a^2 b^2 + b^2 c^2 + c^2 a^2}{(a^2 + b^2)(a^2 + c^2)}}$$

- (2) $H(x, y, z)$ とおくと, H は原点 O を中心とする半径 1 の球面上の点であるから

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad \cdots (*)$$

$\overrightarrow{HA} = (a - x, -y, -z)$, $\overrightarrow{HB} = (-x, b - y, -z)$, $\overrightarrow{HC} = (-x, -y, c - z)$ がいずれも $\overrightarrow{OH} = (x, y, z)$ に垂直であるから

$$(a - x)x - y^2 - z^2 = 0$$

$$-x^2 + (b - y)y - z^2 = 0$$

$$-x^2 - y^2 + (c - z)z = 0$$

(*) に注意してこれらを整理すると $ax = 1$, $by = 1$, $cz = 1$

上の3式から, $x = \frac{1}{a}$, $y = \frac{1}{b}$, $z = \frac{1}{c}$ を(*) に代入して $\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} = 1$

- (3) (1) の結果から $S = \frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}| \sin \theta$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \sqrt{a^2 + c^2} \times \sqrt{\frac{a^2 b^2 + b^2 c^2 + c^2 a^2}{(a^2 + b^2)(a^2 + c^2)}} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{a^2 b^2 + b^2 c^2 + c^2 a^2} \end{aligned}$$

上式および(2)の結果により

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 b^2 c^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right)} = \frac{1}{2} abc \quad \cdots (**)$$

$a = 3$ を (2) の結果と (**) に代入すると

$$\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} = \frac{8}{9} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$S = \frac{3}{2}bc$$

2 数 $\frac{1}{b^2}, \frac{1}{c^2} > 0$ について相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{8}{9} = \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \geq 2\sqrt{\frac{1}{b^2} \cdot \frac{1}{c^2}} = \frac{2}{bc} \quad \text{すなわち} \quad bc \geq \frac{9}{4}$$

$$\text{したがって} \quad S = \frac{3}{2}bc \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{9}{4} = \frac{27}{8}$$

上式において、等号が成立するのは、 $\frac{1}{b^2} = \frac{1}{c^2}$ のときであるから、 $\textcircled{1}$ より

$b = c = \frac{3}{2}$ のとき、 S は最小値 $\frac{27}{8}$ をとる.

補足 b^2 と c^2 の相乗平均・調和平均の関係により

$$\sqrt{b^2 \cdot c^2} \geq \frac{2}{\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}} \quad (\text{等号が成立するのは } b = c \text{ のとき})$$

これに $\frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} = \frac{8}{9}$ を代入すると $bc \geq \frac{9}{4}$

解説 n 個の正数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ の相加平均 A , 相乗平均 G , 調和平均 H は

$$A = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

$$G = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$$

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \cdots + \frac{1}{x_n} \right)$$

$A \geq G$ が成り立つから⁵, n 個の整数 $\frac{1}{x_1}, \frac{1}{x_2}, \dots, \frac{1}{x_n}$ の相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \cdots + \frac{1}{x_n} \right) \geq \sqrt[n]{\frac{1}{x_1} \cdot \frac{1}{x_2} \cdots \frac{1}{x_n}} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{H} \geq \frac{1}{G}$$

したがって $A \geq G \geq H$

なお、等号が成立するのは、 $x_1 = x_2 = \cdots = x_n$ のときに限る. ■

⁵http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2002.pdf [3] を参照

- 2 (1) 点 C は直線 OB に関して点 A と反対側にあり, $\triangle OBC$ が正三角形であるから

$$\begin{aligned} z &= \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) \beta = \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) (s + ti) \\ &= \frac{s - \sqrt{3}t}{2} + \frac{\sqrt{3}s + t}{2}i \end{aligned}$$

(2) $4\alpha^2 + \beta^2 - 2\alpha\beta = 0$ より $\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 - 2 \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) + 4 = 0$

2 点 A, B の位置関係に注意してこれを解くと

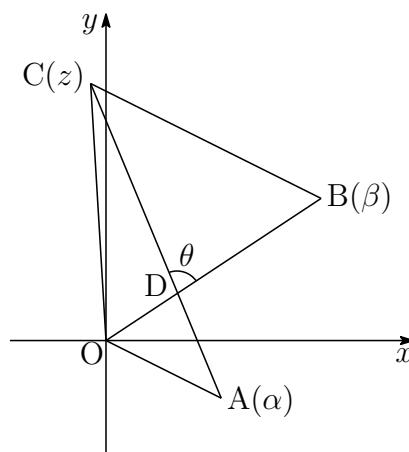
$$\frac{\beta}{\alpha} = 1 + \sqrt{3}i = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$w = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}$ とおくと, $\frac{\beta}{\alpha} = 2w$, $\frac{z}{\beta} = w$ より

$$\begin{aligned} \beta &= 2w\alpha = (1 + \sqrt{3}i)(2 - i) = 2 + \sqrt{3} + (-1 + 2\sqrt{3})i \\ z &= 2w^2\alpha = (-1 + \sqrt{3}i)(2 - i) = -2 + \sqrt{3} + (1 + 2\sqrt{3})i \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{z - \alpha}{\beta} &= \frac{2w^2\alpha - \alpha}{2w\alpha} \\ &= \frac{2w^2 - 1}{2w} = \frac{1}{2} \left(2w - \frac{1}{w} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left\{ 2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) - \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) \right\} \\ &= \frac{1}{4}(1 + 3\sqrt{3}i) \end{aligned}$$



上の図から, $\theta = \arg \frac{z - \alpha}{\beta}$ であるから

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (3\sqrt{3})^2}} = \frac{1}{2\sqrt{7}} = \frac{\sqrt{7}}{14}$$

■

- 3** (1) $f(x) = \log_2 x - x + 1$ を微分すると

$$f'(x) = \frac{1}{x \log 2} - 1 = \frac{1}{\log 2} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{\log_2 e} \right)$$

したがって、 $f(x)$ の増減表は

x	(0)	$\cdots$	$\log_2 e$	$\cdots$
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$

$$\text{極大値 } f(\log_2 e) = \log_2(\log_2 e) - \log_2 e + 1 = \log_2 \left(\frac{2 \log_2 e}{e} \right)$$

- (2) (1) で示した増減表により、 $f(x) = 0$ の解の個数は高々 2 個.

$$f(1) = 0, \quad f(2) = 0$$

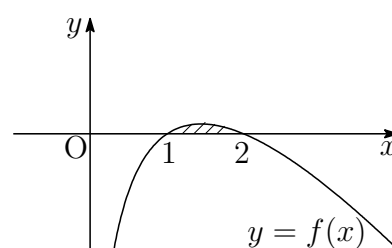
よって、求める解は $x = 1, 2$

補足 $\log_2 x - x + 1 = 0$ の解は、 $y = \log_2 x$ と $y = x - 1$ の交点の x 座標.

凸関数のグラフと直線の共有点は高々 2 個.

- (3) (1),(2) の結果から、求める面積は、右の図の斜線部分で、その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_1^2 \left(\frac{\log x}{\log 2} - x + 1 \right) dx \\ &= \left[\frac{x(\log x - 1)}{\log 2} - \frac{1}{2}(x - 1)^2 \right]_1^2 \\ &= \frac{3}{2} - \frac{1}{\log 2} \end{aligned}$$



■

- 4 (1) $f(x) = x^2 + x$ を微分すると $f'(x) = 2x + 1$

曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y - (t^2 + t) = (2t + 1)(x - t)$$

すなわち $y = (2t + 1)x - t^2$

これと直線 $y = x$ の方程式から y を消去すると

$$(2t + 1)x - t^2 = x \quad \text{ゆえに} \quad 2t \left(x - \frac{1}{2}t \right) = 0$$

$t = a_n^j$ とすると, $a_n > 0$ のとき, $t \neq 0$ であるから

$$x = \frac{1}{2}t \quad \text{すなわち} \quad a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n^j > 0$$

$a_1 = 2 > 0$ により, すべての自然数 n に対して $a_n > 0$

- (2) $a_n > 0$ より ($n \geq 1$), $a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n^j$ の両辺を 2 を底とする対数をとると

$$\log_2 a_{n+1} = \log_2 \frac{1}{2}a_n^j \quad \text{ゆえに} \quad \log_2 a_{n+1} = j \log_2 a_n - 1$$

$$b_n = \log_2 a_n \cdots \textcircled{1} \text{ であるから} \quad b_{n+1} = j b_n - 1$$

- (3) $b_1 = \log_2 a_1 = \log_2 2 = 1$, $\textcircled{1}$ から $a_n = 2^{b_n} \cdots \textcircled{2}$

(i) $j = 1$ のとき, (2) の結果から $b_{n+1} = b_n - 1$

数列 $\{b_n\}$ は, 初項 1, 公差 -1 の等差数列であるから

$$b_n = 1 + (-1)(n - 1) \quad \text{すなわち} \quad b_n = 2 - n$$

$\textcircled{2}$ から $a_n = 2^{2-n}$

(ii) $j \geq 2$ のとき, (2) の結果から $b_{n+1} - \frac{1}{j-1} = j \left(b_n - \frac{1}{j-1} \right)$

数列 $\left\{ b_n - \frac{1}{j-1} \right\}$ は, 初項 $b_1 - \frac{1}{j-1}$, 公比 j の等比数列であるから

$$b_n - \frac{1}{j-1} = \left(b_1 - \frac{1}{j-1} \right) j^{n-1} \quad \text{すなわち} \quad b_n = \frac{(j-2)j^{n-1} + 1}{j-1}$$

$\textcircled{2}$ から $a_n = 2^{\frac{(j-2)j^{n-1} + 1}{j-1}}$ ■

6.15 2018 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 t を実数とする。空間の 4 点 $A(1, 5, 0)$, $B(4, 2, 0)$, $C(t, 2t, t-1)$, $D(1, 6, 1)$ について, $\angle BAC$ が直角であるとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) t の値を求めよ。
- (2) D から A, B, C を通る平面に垂線を下ろし, A, B, C を通る平面との交点を H とする。 $\overrightarrow{HD}$ を求めよ。
- (3) 四面体 $ABCD$ の体積を求めよ。

- 2 初項が 1 である数列 $\{a_n\}$ に対して $S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とおく。 $\{S_n\}$ が

$$S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n \quad (n \geq 1)$$

をみたすとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) a_2, a_3 を求めよ。
- (2) $n \geq 2$ のとき, a_{n+1} を a_n と n を用いて表せ。
- (3) $n \geq 2$ のとき, a_n を n の式で表せ。

- 3 n を 2 以上の自然数とする。区間 $[0, 1]$ を n 等分して, その両端と分点を順に $0 = x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = 1$ とする。関数 $f(x) = ax^2 + bx + c$ ($a > 0, b \geq 0, c > 0$) に対して, 区間 $[x_{k-1}, x_k]$ を底辺とし, 高さが $f(x_k)$ である長方形の面積を L_k とする。ただし, $k = 1, 2, \dots, n$ である。すべての n に対して $L_1 + L_n = \frac{10}{n} + \frac{8}{n^3}$ であるとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) a, b, c を求めよ。
- (2) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n kL_k$ を求めよ。
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n k^2 L_k$ を求めよ。

- 4 $-3 \leq x \leq 0$ に対して, $F(x) = \int_x^{x+3} \sqrt{3t^2 + t^3} dt$ とおく。以下の問いに答えよ。

- (1) $-3 < x < 0$ に対して, $F'(x) = 0$ の解を求めよ。
- (2) $F(x)$ の最小値を求めよ。

解答例

- 1** (1) $A(1, 5, 0)$, $B(4, 2, 0)$, $C(t, 2t, t-1)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (t-1, 2t-5, t-1)$$

$\angle BAC = 90^\circ$ のとき, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 0$ であるから

$$3(t-1) - 3(2t-5) + 0(t-1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 4$$

- (2) (1) の結果から $\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0)$, $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$

$$\overrightarrow{AD} = (1, 6, 1) - (1, 5, 0) = (0, 1, 1)$$

$\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ に垂直なベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = (1, 1, -2)$$

とおくと, $\overrightarrow{HD} = k\vec{n}$ であるから (k は実数), $\overrightarrow{AD} = \overrightarrow{AH} + \overrightarrow{HD}$ より

$$\overrightarrow{AD} = \overrightarrow{AH} + k\vec{n}$$

$$\vec{n} \perp \overrightarrow{AH} \text{ であるから} \quad \vec{n} \cdot \overrightarrow{AD} = k|\vec{n}|^2$$

$$\text{したがって} \quad -1 = 6k \quad \text{ゆえに} \quad k = -\frac{1}{6}$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{HD} = -\frac{1}{6}\vec{n} = \left(-\frac{1}{6}, -\frac{1}{6}, \frac{1}{3}\right)$$

別解 (1) の結果から $\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0)$, $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$

$$\vec{e}_1 = \frac{\overrightarrow{AB}}{|\overrightarrow{AB}|}, \quad \vec{e}_2 = \frac{\overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AC}|} \text{ とおくと, } \vec{e}_1 \perp \vec{e}_2 \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{HD} &= \overrightarrow{AD} - (\overrightarrow{AD} \cdot \vec{e}_1)\vec{e}_1 - (\overrightarrow{AD} \cdot \vec{e}_2)\vec{e}_2 \\ &= \overrightarrow{AD} - \frac{(\overrightarrow{AD} \cdot \overrightarrow{AB})}{|\overrightarrow{AB}|^2} \overrightarrow{AB} - \frac{(\overrightarrow{AD} \cdot \overrightarrow{AC})}{|\overrightarrow{AC}|^2} \overrightarrow{AC} \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{AD} = (1, 6, 1) - (1, 5, 0) = (0, 1, 1) \text{ より } \overrightarrow{AD} \cdot \overrightarrow{AB} = -3, \quad \overrightarrow{AD} \cdot \overrightarrow{AC} = 6$$

また, $|\overrightarrow{AB}|^2 = 18$, $|\overrightarrow{AC}|^2 = 27$ であるから

$$\overrightarrow{HD} = (0, 1, 1) + \frac{1}{6}(3, -3, 0) - \frac{2}{9}(3, 3, 3) = \left(-\frac{1}{6}, -\frac{1}{6}, \frac{1}{3}\right)$$

(3) よって、求める四面体 ABCD の体積は

$$\begin{aligned}\frac{1}{3}\triangle ABC \cdot |\overrightarrow{HD}| &= \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}| |\overrightarrow{HD}| \\ &= \frac{1}{6} \cdot 3\sqrt{2} \cdot 3\sqrt{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{3}{2}\end{aligned}$$

別解 D から平面 ABC に下ろした垂線の長さを h , $\vec{e} = \frac{\vec{n}}{|\vec{n}|}$ とおくと

$$h = |\overrightarrow{AD} \cdot \vec{e}| = \frac{1}{\sqrt{6}}$$

よって、求める四面体 ABCD の体積は

$$\frac{1}{3}\triangle ABC \cdot h = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}| h = \frac{3}{2}$$

補足 2つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ が平行でないとき、
ベクトル

$$(a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

は、 $\vec{a}$ および $\vec{b}$ に直交する。このベクトルを、 $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のベクトル積と言い、 $\vec{a} \times \vec{b}$ で表す⁶。本題において、 $\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0)$, $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$ より

$$\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC} = (-9, -9, 18)$$

四面体 ABCD の体積を V とすると

$$V = \frac{1}{6} |(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{AD}|$$

であるから、 $\overrightarrow{AD} = (0, 1, 1)$ より

$$V = \frac{1}{6} |9| = \frac{3}{2}$$

ベクトル積 (外積) は高校数学の範囲外であるが、検算として利用できる。



⁶<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-ri-2004.pdf> (p.10 を参照)

2 (1) $S_1 = a_1 = 1, S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n \cdots (*)$

(*) に $n = 1, 2$ を代入すると

$$S_2 = 2S_1 + 1^2 + 2 \cdot 1 = 5$$

$$S_3 = 2S_2 + 2^2 + 2 \cdot 2 = 18$$

よって $a_2 = S_2 - S_1 = 5 - 1 = 4, \quad a_3 = S_3 - S_2 = 18 - 5 = 13$

(2) (*) より $S_{n+1} = 2S_n + n^2 + 2n$
 $S_n = 2S_{n-1} + (n-1)^2 + 2(n-1)$

上の2式の辺々を引くと $a_{n+1} = 2a_n + 2n + 1$

(3) 1次関数 $f(n) = pn + q$ が, すべての n について, 次式を満たすとき

$$f(n+1) = 2f(n) + 2n + 1 \cdots \textcircled{1}$$

したがって $p(n+1) + q = 2(pn + q) + 2n + 1$

整理すると $pn + p + q = (2p + 2)n + 2q + 1$

上式は, n に関する恒等式であるから

$$p = 2p + 2, \quad p + q = 2q + 1 \quad \text{これを解いて} \quad p = -2, \quad q = -3$$

ゆえに $f(n) = -2n - 3 \cdots \textcircled{2}$

(2) の結果と ① の辺々を引くと

$$a_{n+1} - f(n+1) = 2\{a_n - f(n)\}$$

$f(2) = -2 \cdot 2 - 3 = -7$ であるから, $a_2 - f(2) = 4 - (-7) = 11$ より

$$a_n - f(n) = 11 \cdot 2^{n-2} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 11 \cdot 2^{n-2} + f(n)$$

これに ② を代入して $a_n = 11 \cdot 2^{n-2} - 2n - 3 \quad (n \geq 2)$ ■

- 3** (1) $f(x) = ax^2 + bx + c$, $x_k = \frac{k}{n}$, $L_k = \frac{1}{n}f(x_k)$ より

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{1}{n}f\left(\frac{1}{n}\right) = \frac{1}{n}\left\{a\left(\frac{1}{n}\right)^2 + b\left(\frac{1}{n}\right) + c\right\} \\ &= \frac{1}{n}\left(\frac{a}{n^2} + \frac{b}{n} + c\right), \\ L_n &= \frac{1}{n}f(1) = \frac{1}{n}(a + b + c) \end{aligned}$$

したがって $L_1 + L_n = \frac{1}{n}\left(\frac{a}{n^2} + \frac{b}{n} + a + b + 2c\right)$

条件式から $L_1 + L_n = \frac{1}{n}\left(\frac{8}{n^2} + 10\right)$

上の 2 式から $a = 8$, $b = 0$, $a + b + 2c = 10$ ゆえに $c = 1$

(2) $kL_k = k \cdot \frac{1}{n}f\left(\frac{k}{n}\right) = \frac{k}{n}f\left(\frac{k}{n}\right) \quad \cdots (*)$

(1) の結果より, $f(x) = 8x^2 + 1$ であるから

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n kL_k &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{k}{n} f\left(\frac{k}{n}\right) = \int_0^1 xf(x) dx \\ &= \int_0^1 x(8x^2 + 1) dx = \left[2x^4 + \frac{x^2}{2} \right]_0^1 = \frac{5}{2} \end{aligned}$$

(3) (*) に $\frac{k}{n}$ を掛けると $\frac{k^2}{n}L_k = \left(\frac{k}{n}\right)^2 f\left(\frac{k}{n}\right)$

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n k^2 L_k &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{k^2}{n} L_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{k}{n}\right)^2 f\left(\frac{k}{n}\right) \\ &= \int_0^1 x^2 f(x) dx = \int_0^1 x^2(8x^2 + 1) dx \\ &= \left[\frac{8}{5}x^5 + \frac{x^3}{3} \right]_0^1 = \frac{29}{15} \end{aligned}$$



4 (1) $f(t) = \sqrt{3t^2 + t^3}$ とおくと, $F(x) = \int_x^{x+3} f(t) dt$ より $(-3 \leq x \leq 0)$

$$\begin{aligned} F'(x) &= f(x+3) - f(x) = \frac{\{f(x+3)\}^2 - \{f(x)\}^2}{f(x+3) + f(x)} \\ &= \frac{3(x+3)^2 + (x+3)^3 - (3x^2 + x^3)}{f(x+3) + f(x)} = \frac{9(x+3)(x+2)}{f(x+3) + f(x)} \end{aligned}$$

よって, $-3 < x < 0$ における $F'(x) = 0$ の解は $x = -2$

(2) (1) で求めた $F'(x)$ により, $F(x)$ の増減表は次のようになる.

x	-3	$\cdots$	-2	$\cdots$	0
$F'(x)$		$-$	0	$+$	
$F(x)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

$f(x) = |x|\sqrt{x+3}$, $-3 \leq x \leq 0$ に注意して, $F(x)$ を求める.

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_x^0 f(t) dt + \int_0^{x+3} f(t) dt \\ &= \int_0^x t\sqrt{t+3} dt + \int_0^{x+3} t\sqrt{t+3} dt \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{まず} \quad \int_0^x t\sqrt{t+3} dt &= \int_0^x \{(t+3)^{\frac{3}{2}} - 3\sqrt{t+3}\} dt \\ &= \left[\frac{2}{5}(t+3)^{\frac{5}{2}} - 2(t+3)^{\frac{3}{2}} \right]_0^x \\ &= \left[\frac{2}{5}(t-2)(t+3)^{\frac{3}{2}} \right]_0^x \\ &= \frac{2}{5}(x-2)(x+3)^{\frac{3}{2}} + \frac{12}{5}\sqrt{3} \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② より

$$F(x) = \frac{2}{5}\{(x-2)(x+3)^{\frac{3}{2}} + (x+1)(x+6)^{\frac{3}{2}}\} + \frac{24}{5}\sqrt{3}$$

増減表から, 求める最小値は

$$F(-2) = \frac{2}{5}(-4 - 4^{\frac{3}{2}}) + \frac{24}{5}\sqrt{3} = \frac{24}{5}(\sqrt{3} - 1)$$



6.16 2019 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$ がある。

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = \frac{2}{a_n} + 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

以下の問いに答えよ。

- (1) 自然数 n に対して $a_n \neq 2$ を示せ。
- (2) $b_n = \frac{3}{a_n - 2} + 1$ とおくとき、数列 $\{b_n\}$ の一般項を求めよ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- (4) $a_n > \frac{5}{2}$ を満たす自然数 n を求めよ。

2 1 個のさいころを投げて、出た目の数を a とする。 a が偶数のときは $b = \frac{1}{2}a$, a が奇数のときは $b = \frac{1}{2}(a + 3)$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $a > b$ となる確率を求めよ。
- (2) $\sin \frac{\pi}{5} > 0.5$ および $\cos \frac{\pi}{5} < 0.9$ を示せ。
- (3) $S = \cos \frac{\pi}{a} + \sin \frac{\pi}{b}$ とおく。 $a > b$ であるとき、 $S < 1.7$ となる条件付き確率を求めよ。

3 座標平面上の曲線 $C_1: y = x^2 + 2ax - 2a + 1$ および $C_2: y = x^3 + 1$ を考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 C_1 と曲線 C_2 の共有点がちょうど 2 個になるような実数 a の値を求めよ。ただし、 $a \neq 0$ とする。
- (2) (1) で求めた a に対し、曲線 C_1 と曲線 C_2 で囲まれた部分を x 軸の周りに回転してできる立体の体積を求めよ。

4 座標平面上の曲線 $y = x \sin 3x + 3x^2$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) を C とする。曲線 C の接線で原点を通るものを ℓ とし、その接点の x 座標を a とする。ただし、 $0 < a < \frac{\pi}{2}$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) a の値を求めよ。
- (2) 曲線 C と直線 ℓ の共有点の座標をすべて求めよ。
- (3) 曲線 C と直線 ℓ で囲まれた部分の面積を求めよ。

解答例

- 1 (1) $a_1 \neq 2$ であるから、第 $m+1$ 項で初めて $a_{m+1} = 2$ になると仮定すると、漸化式 $a_{n+1} = \frac{2}{a_n} + 1 \cdots (*)$ に $n = m$ を代入すると

$$2 = \frac{2}{a_m} + 1 \quad \text{すなわち} \quad a_m = 2$$

第 m 項ですでに $a_m = 2$ となり、矛盾を生じる.

よって、すべての自然数 n に対して $a_n \neq 2$

- (2) $b_n = \frac{3}{a_n - 2} + 1 \cdots (**)$ より $b_n = \frac{a_n + 1}{a_n - 2}$ これと $(*)$ により

$$\begin{aligned} a_{n+1} + 1 &= \frac{2}{a_n} + 2 = \frac{2(a_n + 1)}{a_n} \\ a_{n+1} - 2 &= \frac{2}{a_n} - 1 = \frac{-(a_n - 2)}{a_n} \end{aligned}$$

上の2式から $\frac{a_{n+1} + 1}{a_{n+1} - 2} = -2 \cdot \frac{a_n + 1}{a_n - 2}$ すなわち $b_{n+1} = -2b_n$

$\{b_n\}$ は初項 $b_1 = \frac{a_1 + 1}{a_1 - 2} = \frac{1 + 1}{1 - 2} = -2$ 、公比 -2 の等比数列であるから

$$b_n = b_1 \cdot (-2)^{n-1} = (-2)^n$$

補足 $\{a_n\}$ の特性方程式 $x = \frac{2}{x} + 1$ の解が $2, -1$ であるから、数列 $\left\{ \frac{a_n + 1}{a_n - 2} \right\}$ は等比数列である.

- (3) $(**)$ より $b_n - 1 = \frac{3}{a_n - 2}$ ゆえに $a_n - 2 = \frac{3}{b_n - 1}$

上式および (2) の結果から $a_n = \frac{3}{(-2)^n - 1} + 2$

- (4) (3) の結果を $a_n > \frac{5}{2}$ に代入すると

$$\frac{3}{(-2)^n - 1} + 2 > \frac{5}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{3}{(-2)^n - 1} > \frac{1}{2} = \frac{3}{6}$$

したがって $0 < (-2)^n - 1 < 6$ ゆえに $1 < (-2)^n < 7$

これを満たす自然数 n は $n = 2$

分数漸化式

$p, q, r \neq 0, s$ を定数とする漸化式

$$a_{n+1} = \frac{pa_n + q}{ra_n + s} \quad \cdots (*)$$

の一般項について、以下に述べる.

$ps - qr = 0$ のとき、右辺は定数となるので、 $ps - qr \neq 0$ とする.

(*) の特性方程式

$$x = \frac{px + q}{rx + s} \quad \text{すなわち} \quad rx^2 + (s - p)x - q = 0 \quad \cdots (**)$$

の解を α, β とすると

$$\begin{aligned} a_{n+1} - \alpha &= \frac{pa_n + q}{ra_n + s} - \frac{p\alpha + q}{r\alpha + s} = \frac{(ps - qr)(a_n - \alpha)}{(r\alpha + s)(ra_n + s)} \quad \cdots (***) \\ a_{n+1} - \beta &= \frac{(ps - qr)(a_n - \beta)}{(r\beta + s)(ra_n + s)} \end{aligned}$$

i) $\alpha \neq \beta$ のとき、上の 2 式から

$$\frac{a_{n+1} - \beta}{a_{n+1} - \alpha} = \frac{r\alpha + s}{r\beta + s} \cdot \frac{a_n - \beta}{a_n - \alpha}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{a_n - \beta}{a_n - \alpha} = \frac{a_1 - \beta}{a_1 - \alpha} \left(\frac{r\alpha + s}{r\beta + s} \right)^{n-1}$$

上式から、 a_n が求まる.

ii) $\alpha = \beta$ のとき、(*) の係数の係数について

$$(s - p)^2 + 4rq = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (p + s)^2 = 4(ps - qr) \quad \cdots \textcircled{1}$$

また、 α は (**) の重解であるから

$$\alpha = \frac{p - s}{2r} \quad \text{ゆえに} \quad r\alpha + s = \frac{1}{2}(p + s) \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② により、(***) は

$$\begin{aligned} a_{n+1} - \alpha &= \frac{(ps - qr)(a_n - \alpha)}{(r\alpha + s)\{r(a_n - \alpha) + r\alpha + s\}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}(p + s)^2(a_n - \alpha)}{\frac{1}{2}(p + s)\{r(a_n - \alpha) + \frac{1}{2}(p + s)\}} \end{aligned}$$

逆数をとると
$$\frac{1}{a_{n+1} - \alpha} = \frac{1}{a_n - \alpha} + \frac{2r}{p + s}$$

このとき、数列 $\left\{ \frac{1}{a_n - \alpha} \right\}$ は初項が $\frac{1}{a_1 - \alpha}$ 、公差が $\frac{2r}{p + s}$ の等差数列であるから

$$\frac{1}{a_n - \alpha} = \frac{1}{a_1 - \alpha} + \frac{2r}{p + s}(n - 1)$$

これから、 a_n が求まる.

例えば、大分大学 2001 年の漸化式⁷

$$a_1 = 3, \quad a_{n+1} = \frac{2a_n}{3a_n + 5}$$

の特性方程式 $x = \frac{2x}{3x + 5}$ の解が $0, -1$ であるから

$$a_{n+1} + 1 = \frac{5(a_n + 1)}{3a_n + 5}$$

したがって
$$\frac{a_{n+1}}{a_{n+1} + 1} = \frac{2}{5} \cdot \frac{a_n}{a_n + 1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a_n}{a_n + 1} = \frac{3}{4} \left(\frac{2}{5} \right)^{n-1}$$

よって
$$a_n = \frac{3 \cdot 2^{n-1}}{4 \cdot 5^{n-1} - 3 \cdot 2^{n-1}}$$

次に、宮崎大学 2003 年の漸化式⁸

$$a_1 = \frac{q}{p} \quad (p > q > 0), \quad a_{n+1} = \frac{1}{2 - a_n} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

の特性方程式 $x = \frac{1}{2 - x}$, すなわち $x^2 - 2x + 1 = 0$ は重解 1 をもつから

$$\frac{1}{a_{n+1} - 1} = \frac{1}{a_n - 1} - 1$$

ゆえに
$$\frac{1}{a_n - 1} = \frac{1}{\frac{q}{p} - 1} - (n - 1) \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{(n - 1)p - (n - 2)q}{np - (n - 1)q}$$

■

⁷http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/oita/oita_2001.pdf [1]

⁸http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/miyazaki/miyazaki_2003.pdf [12]

- 2 (1) a に対する b の値は、次のようになる.

a	1	2	3	4	5	6
b	2	1	3	2	4	3

このとき, $a > b$ となるのは, 次の 4 通り

a	2	4	5	6
b	1	2	4	3

よって, 求める確率は $\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

$$(2) \sin \frac{\pi}{5} > \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2} \text{ より } \sin \frac{\pi}{5} > 0.5$$

$$\cos \frac{\pi}{5} < \cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\frac{3}{4}} < \sqrt{0.81} = 0.9 \quad \text{ゆえに} \quad \cos \frac{\pi}{5} < 0.9$$

$$(3) \cos \frac{\pi}{4} = \sin \frac{\pi}{4} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{0.5}, \quad \sqrt{0.49} < \sqrt{0.5} < \sqrt{0.64} \text{ より}$$

$$0.7 < \cos \frac{\pi}{4} = \sin \frac{\pi}{4} < 0.8$$

(2) および上の結果に注意すると, $a < b$ となる (a, b) について

$$(a, b) = (2, 1) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{2} + \sin \pi = 0 < 1.7$$

$$(a, b) = (4, 2) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{2} > 0.7 + 1 = 1.7$$

$$(a, b) = (5, 4) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{5} + \sin \frac{\pi}{4} < 0.9 + 0.8 = 1.7$$

$$(a, b) = (6, 3) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{6} + \sin \frac{\pi}{3} = \sqrt{3} > \sqrt{1.7^2} = 1.7$$

よって, 求める条件付き確率は $\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

補足 $a < b$ である事象を X , $S < 1.7$ である事象を Y とすると

$$P_X(Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(X)} = \frac{\frac{2}{6}}{\frac{4}{6}} = \frac{1}{2}$$

$$(a, b) = (1, 2) \text{ のとき } S = \cos \pi + \sin \frac{\pi}{2} = 0 < 1.7$$

$$(a, b) = (3, 3) \text{ のとき } S = \cos \frac{\pi}{3} + \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} < 1.7$$

$P(Y) = \frac{4}{6}$ より, $P_X(Y) \neq P(Y)$ であるから, X と Y は独立ではない. ■

- 3 (1) $C_1: y = x^2 + 2ax - 2a + 1$ と $C_2: y = x^3 + 1$ から y を消去すると

$$x^3 + 1 = x^2 + 2ax - 2a + 1 \quad \text{ゆえに} \quad (x-1)(x^2 - 2a) = 0 \quad \cdots (*)$$

C_1 と C_2 の共有点がちょうど2個のとき, 方程式(*)の実数解は2個ある.
 $a \neq 0$ より, $x^2 - 2a = 0$ は重解をもたないから, 方程式 $x^2 - 2a = 0$ は
 $x = 1$ を解にもつ. したがって

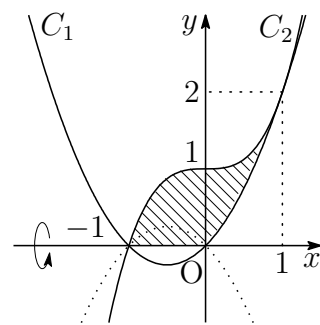
$$1^2 - 2a = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{1}{2}$$

これを(*)に代入すると $(x-1)^2(x+1) = 0$

これは, 条件を満たすから $a = \frac{1}{2}$

- (2) (1)の結果から $C_1: y = x^2 + x$

$$\begin{aligned} & |x^3 + 1|^2 - |x^2 + x|^2 \\ &= (x^3 + 1)^2 - (x^2 + x)^2 \\ &= (x^3 + x^2 + x + 1)(x^3 - x^2 - x + 1) \\ &= (x+1)^2(x-1)^2(x^2+1) \geq 0 \end{aligned}$$



したがって $|x^3 + 1| \geq |x^2 + x|$

求める回転体の体積は, 右の図の斜線部分を x 軸のまわりに1回転させたものであるから, その体積を V とすると

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_{-1}^1 (x^3 + 1)^2 dx - \int_0^1 (x^2 + x)^2 dx \\ &= \int_{-1}^1 (x^6 + 2x^3 + 1) dx - \int_0^1 (x^4 + 2x^3 + x^2) dx \\ &= 2 \int_0^1 (x^6 + 1) dx - \int_0^1 (x^4 + 2x^3 + x^2) dx \\ &= \int_0^1 (2x^6 - x^4 - 2x^3 - x^2 + 2) dx \\ &= \left[\frac{2}{7}x^7 - \frac{1}{5}x^5 - \frac{1}{2}x^4 - \frac{1}{3}x^3 + 2x \right]_0^1 = \frac{263}{210} \end{aligned}$$

よって $V = \frac{263}{210}\pi$

■

- 4 (1) $y = x \sin 3x + 3x^2$ を微分すると $y' = \sin 3x + 3x \cos 3x + 6x$
 C 上の x 座標が a である点における接線の方程式は

$$y - (a \sin 3a + 3a^2) = (\sin 3a + 3a \cos 3a + 6a)(x - a)$$

$$\text{すなわち} \quad y = (\sin 3a + 3a \cos 3a + 6a)x - 3a^2(1 + \cos 3a) \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{これが原点を通るから} \quad -3a^2(1 + \cos 3a) = 0$$

$$0 < a < \frac{\pi}{2} \text{ より, } 0 < 3a < \frac{3}{2}\pi \text{ であるから}$$

$$3a = \pi \quad \text{よって} \quad a = \frac{\pi}{3}$$

- (2) (1) の結果を $\textcircled{1}$ に代入することにより $\ell: y = \pi x$
 C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x \sin 3x + 3x^2 = \pi x \quad \text{すなわち} \quad x(\pi - \sin 3x - 3x) = 0 \quad \cdots (*)$$

$$f(x) = \pi - \sin 3x - 3x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right) \text{ とおくと}$$

$$f'(x) = -3 \cos 3x - 3 = -3(1 + \cos 3x) \leq 0$$

したがって, $f(x)$ は単調減少であり,

$$f(0) = \pi > 0, \quad f\left(\frac{\pi}{3}\right) = 0, \quad f\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1 - \frac{\pi}{2} < 0$$

であるから, 方程式 $(*)$ の解は $x = 0, \frac{\pi}{3}$

よって, 求める共有点の座標は $(0, 0), \left(\frac{\pi}{3}, \frac{\pi^2}{3}\right)$

- (3) (2) の結果から, $0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}$ において, $x(\pi - \sin 3x - 3x) \geq 0$ であるから,
 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} x(\pi - \sin 3x - 3x) dx \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{3}} x \left(\frac{\pi}{3} - x\right) dx - \int_0^{\frac{\pi}{3}} x \sin 3x dx \\ &= \frac{3}{6} \left(\frac{\pi}{3}\right)^3 + \left[\frac{x}{3} \cos 3x - \frac{1}{9} \sin 3x \right]_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{\pi^3}{54} - \frac{\pi}{9} \end{aligned}$$



6.17 2020 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 以下の問いに答えよ。

- (1) x が自然数のとき, x^2 を 5 で割ったときの余りは 0, 1, 4 のいずれかであることを示せ。
- (2) 自然数 x, y, z が $x^2 + 5y = 2z^2$ を満たすとき, x, y, z はすべて 5 の倍数であることを示せ。
- (3) $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす自然数 x, y, z の組は存在しないことを示せ。

2 α, β を複素数とし, 複素数平面上の点 $O(0), A(\alpha), B(\beta), C(|\alpha|^2), D(\bar{\alpha}\beta)$ を考える. 3 点 O, A, B は三角形をなすとする. また, 複素数 z に対し, $\text{Im}(z)$ によって z の虚部を表すことにする. 以下の問いに答えよ。

- (1) $\triangle OAB$ の面積を S_1 , $\triangle OCD$ の面積を S_2 とするとき, $\frac{S_2}{S_1}$ を求めよ。
- (2) $\triangle OAB$ の面積 S_1 は $\frac{1}{2}|\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$ で与えられることを示せ。
- (3) 実数 a, b に対し, 複素数 z を $z = a + bi$ で定める. $1 \leq a \leq 2, 1 \leq b \leq 3$ のとき, 3 点 $O(0), P(z), Q\left(\frac{1}{z}\right)$ を頂点とする $\triangle OPQ$ の面積の最大値と最小値を求めよ。

3 $0 < t < \frac{\pi}{2}$ のとき, 曲線 $y = \frac{1}{\cos^2 x}$ ($0 \leq x < \frac{\pi}{2}$), x 軸, y 軸および直線 $x = t$ で囲まれた図形を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を $V(t)$ とする. 以下の問いに答えよ。

- (1) $0 < a < b < \frac{\pi}{2}$ のとき,

$$\pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 a} \leq V(b) - V(a) \leq \pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 b}$$

を示せ。

- (2) (1) の不等式を用いて, $\frac{d}{dt}V(t) = 2\pi t \frac{1}{\cos^2 t}$ を示せ。

- (3) $V\left(\frac{\pi}{3}\right)$ を求めよ。

4 正の実数 t に対し、座標平面上の 2 点 $F(t, 0)$, $F'(3t, 0)$ からの距離の和が $2\sqrt{2}t$ であるような点 P の軌跡を C とする。直線 $y = x - 1$ を ℓ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C と ℓ が相異なる 2 つの共有点をもつような t の範囲を求めよ。
- (2) t が (1) で求めた範囲を動くとき、 C と ℓ の 2 つの共有点および原点 O を頂点とする三角形の面積の最大値を求めよ。

解答例

1 (1) 法5について

$x \equiv 0$ のとき	$x^2 \equiv 0$	$(\text{mod } 5)$
$x \equiv 1$ のとき	$x^2 \equiv 1$	$(\text{mod } 5)$
$x \equiv 2$ のとき	$x^2 \equiv 4$	$(\text{mod } 5)$
$x \equiv 3$ のとき	$x^2 \equiv 9 \equiv 4$	$(\text{mod } 5)$
$x \equiv 4$ のとき	$x^2 \equiv 16 \equiv 1$	$(\text{mod } 5)$

よって、題意は成立する.

(2) $x^2 + 5y = 2z^2$ より, 法5について

$$(*) \quad x^2 \equiv 2z^2 \pmod{5}$$

(1) の結果から, $(*)$ の左辺は法5について, 0, 1, 4 のいずれかに等しい. 一方, 右辺は 0, 2, $8 \equiv 3 \pmod{5}$ のいずれかに等しい.

したがって, $x^2 \equiv 0, 2z^2 \equiv 0 \pmod{5}$, すなわち, $x \equiv z \equiv 0 \pmod{5}$
 $x = 5x', z = 5z' (x', z' \text{ は整数})$ を $x^2 + 5y = 2z^2$ に代入すると

$$(5x')^2 + 5y = 2(5z')^2 \quad \text{ゆえに} \quad y = 5(2z'^2 - x'^2)$$

$y \equiv 0 \pmod{5}$ であるから, x, y, z はすべて5の倍数である.

(3) $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす自然数 x, y, z が存在し, これら3数の最大公約数が1であるものを仮定する.

$x^2 + 5y^2 = 2z^2$ より, 法5について

$$(*) \quad x^2 \equiv 2z^2 \pmod{5}$$

(1) の結果から, $(*)$ の左辺は法5について, 0, 1, 4 のいずれかに等しい. 一方, 右辺は 0, 2, $8 \equiv 3 \pmod{5}$ のいずれかに等しい.

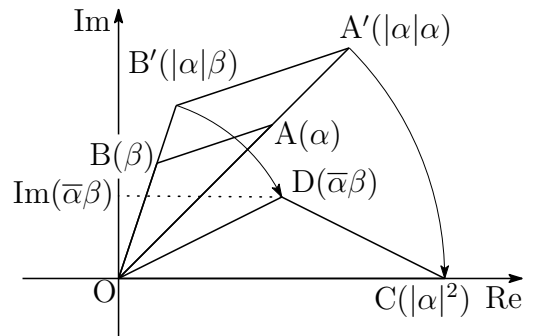
したがって, $x^2 \equiv 0, 2z^2 \equiv 0 \pmod{5}$, すなわち, $x \equiv z \equiv 0 \pmod{5}$
 $x = 5x', z = 5z' (x', z' \text{ は整数})$ を $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ に代入すると

$$(5x')^2 + 5y^2 = 2(5z')^2 \quad \text{ゆえに} \quad y^2 = 5(2z'^2 - x'^2)$$

$y^2 \equiv 0 \pmod{5}$ より, $y \equiv 0 \pmod{5}$ であるから, x, y, z が5を共通因数にもつことになり, 仮定に反する. よって, 題意は証明された. ■

- 2 (1) 2点 $C(|\alpha|^2)$, $D(\bar{\alpha}\beta)$ は, それぞれ2点 $A(\alpha)$, $B(\beta)$ を原点を中心に $|\alpha|$ 倍の相似拡大, さらに原点を中心に $\arg \bar{\alpha}$ だけ回転 ($\times \frac{\bar{\alpha}}{|\alpha|}$) したものであるから

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\triangle OCD}{\triangle OAB} = |\alpha|^2$$



- (2) $\triangle OCD$ の底辺を $|\alpha|^2$, 高さを $|\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$ とみると $S_2 = \frac{1}{2}|\alpha|^2|\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$

$$(1) \text{の結果から } S_1 = \frac{1}{|\alpha|^2} S_2 \quad \text{よって} \quad S_1 = \frac{1}{|\alpha|^2} \cdot \frac{1}{2} |\alpha|^2 |\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)| = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$$

別解 $\theta = \angle \alpha 0 \beta$ とすると $\cos \theta + i \sin \theta = \frac{\frac{\beta}{|\beta|}}{\frac{\alpha}{|\alpha|}} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\beta}{\alpha} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\bar{\alpha}\beta}{\alpha\bar{\alpha}} = \frac{\bar{\alpha}\beta}{|\alpha||\beta|}$

$$\sin \theta = \frac{\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)}{|\alpha||\beta|} \quad \text{であるから} \quad S_1 = \frac{1}{2} |\alpha||\beta| |\sin \theta| = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$$

- (3) (2) の結果から, 3点 $O(0)$, $P(z)$, $Q\left(\frac{1}{z}\right)$ を頂点とする三角形の面積は

$$\triangle OPQ = \frac{1}{2} \left| \operatorname{Im} \left(\bar{z} \cdot \frac{1}{z} \right) \right| = \frac{1}{2} \left| \operatorname{Im} \left(\frac{\bar{z}}{z} \right) \right|$$

$z = a + bi$ ($1 \leq a \leq 2$, $1 \leq b \leq 3$) であるから

$$\begin{aligned} \frac{\bar{z}}{z} &= \frac{a - bi}{a + bi} = \frac{(a - bi)^2}{a^2 + b^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2} - \frac{2ab}{a^2 + b^2}i, \\ \frac{1}{2} \left| \operatorname{Im} \left(\frac{\bar{z}}{z} \right) \right| &= \frac{1}{2} \left| -\frac{2ab}{a^2 + b^2} \right| = \frac{ab}{a^2 + b^2} = \frac{\frac{b}{a}}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \end{aligned}$$

$$\frac{b}{a} = u, \quad \triangle OPQ = S(u) \quad \text{とおくと} \quad S(u) = \frac{u}{1 + u^2} \quad \left(\frac{1}{2} \leq u \leq 3 \right)$$

ゆえに $S'(u) = \frac{1 - u^2}{(1 + u^2)^2}$

u	$\frac{1}{2}$	$\cdots$	1	$\cdots$	3
$S'(u)$		+	0	-	
$S(u)$	$\frac{2}{5}$	$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$	$\frac{3}{10}$

よって 最大値 $\frac{1}{2}$, 最小値 $\frac{3}{10}$

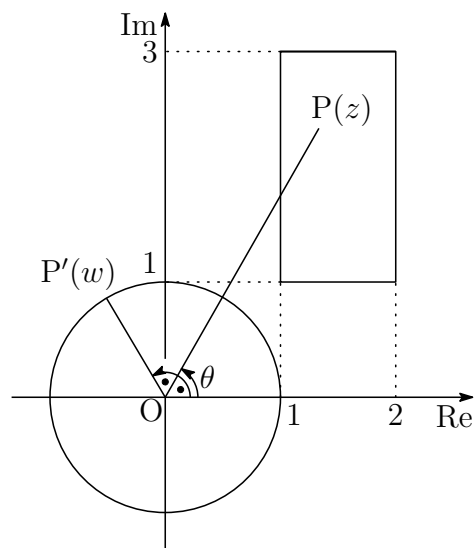
別解 $\operatorname{Im}\left(\frac{\bar{z}}{z}\right) = -\operatorname{Im}\left(\frac{z}{\bar{z}}\right)$ であるから

$$\triangle OPQ = \frac{1}{2} \left| \operatorname{Im}\left(\frac{z}{\bar{z}}\right) \right|$$

$\theta = \arg(z)$, $w = \frac{z}{\bar{z}}$ とすると

$$w = \left| \frac{z}{\bar{z}} \right| = \frac{|z|}{|\bar{z}|} = 1,$$

$$\begin{aligned} \arg(w) &= \arg\left(\frac{z}{\bar{z}}\right) \\ &= \arg(z) - \arg(\bar{z}) \\ &= \theta - (-\theta) = 2\theta \end{aligned}$$



点 $P'(w)$ は、点 $P(z)$ から単位円周上の点 P' への写像で、その偏角について

$$\arg(w) = 2\arg(z)$$

が成立する. $z = a + bi$ ($1 \leq a \leq 2$, $1 \leq b \leq 3$) より, $\theta = \arg(z)$ のとり得る値の範囲を $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とすると, 上の図から

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{2}, \quad \tan \theta_2 = 3 \quad \left(0 < \theta_1 < \frac{\pi}{4} < \theta_2 < \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{したがって} \quad \triangle OPQ = \frac{1}{2} \sin 2\theta \quad \cdots (*)$$

$$\text{このとき} \quad \sin 2\theta_1 = \frac{2 \tan \theta_1}{1 + \tan^2 \theta_1} = \frac{4}{5}, \quad \sin 2\theta_2 = \frac{2 \tan \theta_2}{1 + \tan^2 \theta_2} = \frac{3}{5}$$

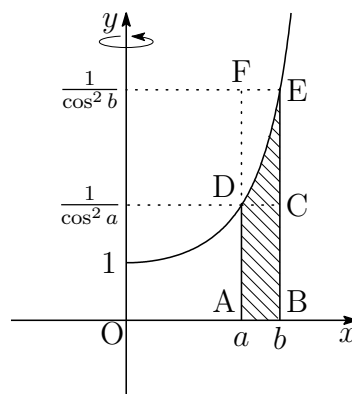
(*) より, $\triangle OPQ$ は, $\theta = \frac{\pi}{4}$ のとき, 最大値 $\frac{1}{2}$,

$\theta = \theta_2$ のとき, 最小値 $\frac{3}{10}$ ■

- 3 (1) 曲線 $y = \frac{1}{\cos^2 x}$ ($0 \leq x < \frac{\pi}{2}$) が x 軸と区間 $a \leq x \leq b$ において囲まれた斜線部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積は

$$V(b) - V(a)$$

右の図の長方形 ABCD, 長方形 ABEF を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積をそれぞれ V_1, V_2 とすると



$$V_1 = \pi b^2 \cdot \frac{1}{\cos^2 a} - \pi a^2 \cdot \frac{1}{\cos^2 a} = \pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 a}$$

$$V_2 = \pi b^2 \cdot \frac{1}{\cos^2 b} - \pi a^2 \cdot \frac{1}{\cos^2 b} = \pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 b}$$

$V_1 \leq V(b) - V(a) \leq V_2$ であるから

$$\pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 a} \leq V(b) - V(a) \leq \pi(b^2 - a^2) \frac{1}{\cos^2 b}$$

- (2) (1) の結果から, $0 < a < b < \frac{\pi}{2}$ に注意して

$$\pi(b+a) \frac{1}{\cos^2 a} \leq \frac{V(b) - V(a)}{b-a} \leq \pi(b+a) \frac{1}{\cos^2 b} \quad \cdots (*)$$

$0 < t < \frac{\pi}{2}$, $0 < u < \frac{\pi}{2}$ に対して, (*) より

$0 < t < u < \frac{\pi}{2}$ のとき

$$\pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 t} \leq \frac{V(u) - V(t)}{u-t} \leq \pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 u} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$0 < u < t < \frac{\pi}{2}$ のとき

$$\pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 u} \leq \frac{V(u) - V(t)}{u-t} \leq \pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 t} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\lim_{u \rightarrow t} \pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 u} = 2\pi t \frac{1}{\cos^2 t} \quad \cdots \textcircled{3}, \quad \lim_{u \rightarrow t} \pi(u+t) \frac{1}{\cos^2 t} = 2\pi t \frac{1}{\cos^2 t} \quad \cdots \textcircled{4}$$

①~④ から, $\frac{d}{dt} V(t) = \lim_{u \rightarrow t} \frac{f(u) - f(t)}{u-t}$ は, はさみうちの原理により

$$\frac{d}{dt} V(t) = 2\pi t \frac{1}{\cos^2 t}$$

(3) (2)の結果を利用すると

$$\begin{aligned} V\left(\frac{\pi}{3}\right) &= 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{x}{\cos^2 x} dx = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{3}} x(\tan x)' dx \\ &= 2\pi \left[x \tan x + \log \cos x \right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= 2\pi \left(\frac{\pi}{\sqrt{3}} - \log 2 \right) \end{aligned}$$

バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき, $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$

補足 バウムクーヘン型求積法は, 教科書では扱っていないが, 問題集・参考書では重要公式として扱われている. 熊大ではバウムクーヘン型求積法を用いる出題が目立ち, 近年だけでも 2014 年 (理系), 2016 年 (理系・医医) で出題されている. 2016 年では理系・医医の共通問題として出題され, 理系の 5 割, 医医の 7 割の受験生がバウムクーヘン型求積法を用いて解答したそうである (熊大入試連絡会). 本題 (3) は多くの受験生が, (1), (2) の出来と関係なく独立して解答できたものと予想される. 勿論, 教科書にない公式 (バウムクーヘン型求積法) であるからということで減点されることはなかったそうである. 熊大は発展的な解法に対しても寛大である. 2018 年の空間のベクトルで四面体の体積をベクトル積 (外積) を用いた解答についても間違っていなかったため, 正解として減点されることはなかったそうである (熊大入試連絡会). 2020 年文系でも外積を用いることができる問題が出題された. 2020 年文系 4 番の解答にベクトル積 (外積) に関する解説を行っている. ■

- 4 (1) 2点 $F(t, 0)$, $F'(3t, 0)$ からの距離の和が一定である点 P の描く軌跡 C は楕円で, その中心は $(2t, 0)$ である. 楕円 C の直軸の長さを $2a$, 短軸の長さを $2b$ とすると ($a > b > 0$)

$$2a = 2\sqrt{2}t, \quad \sqrt{a^2 - b^2} = \frac{1}{2}FF' = t$$

$$\text{これを解いて } a = \sqrt{2}t, \quad b = t$$

$$\text{したがって, 楕円 } C \text{ の方程式は } \frac{(x-2t)^2}{2t^2} + \frac{y^2}{t^2} = 1$$

これと直線 $\ell: y = x - 1$ の方程式から y を消去すると

$$\frac{(x-2t)^2}{2t^2} + \frac{(x-1)^2}{t^2} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 3x^2 - 4(t+1)x + 2(t^2+1) = 0 \quad \cdots (*)$$

C と ℓ が相異なる 2 つの共有点をもつとき, $(*)$ の係数について

$$D/4 = \{-2(t+1)\}^2 - 3 \cdot 2(t^2+1) = -2(t^2 - 4t + 1) > 0$$

$$\text{これを解いて } 2 - \sqrt{3} < t < 2 + \sqrt{3}$$

- (2) 2 次方程式 $(*)$ の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$)

$$\begin{aligned} \beta - \alpha &= \frac{2(t+1) + \sqrt{D/4}}{3} - \frac{2(t+1) - \sqrt{D/4}}{3} \\ &= \frac{2\sqrt{D/4}}{3} = \frac{2}{3}\sqrt{-2(t^2 - 4t + 1)} \end{aligned}$$

C と ℓ の 2 つの交点 $A(\alpha, \alpha - 1)$, $B(\beta, \beta - 1)$ を結ぶ線分の長さは

$$AB = \sqrt{2}(\beta - \alpha) = \frac{2\sqrt{2}}{3}\sqrt{-2(t^2 - 4t + 1)}$$

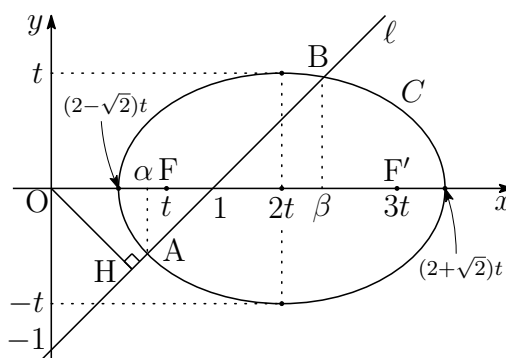
原点 O から直線 $\ell: x - y - 1 = 0$ に垂線 OH を引くと

$$OH = \frac{|-1|}{\sqrt{1^2 + (-1)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$\triangle OAB$ の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2}AB \cdot OH = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} \sqrt{-2(t^2 - 4t + 1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{-2(t^2 - 4t + 1)} = \frac{1}{3} \sqrt{-2(t-2)^2 + 6} \end{aligned}$$

(1) の結果に注意して, $t = 2$ のとき, 最大値 $\frac{\sqrt{6}}{3}$ をとる. ■



6.18 2021 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

- 1 空間の点 O を通らない平面 α をとる。 α 上の 3 点 A, B, C は三角形をなすとし, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおく。直線 ℓ は媒介変数 t を用いて

$$\frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$$

と表されたとする。

- (1) ℓ は平面 α 上にあることを示せ。
 - (2) $\triangle ABC$ の各辺と直線 ℓ との交点の個数をそれぞれ求めよ。また, 交点がある場合, 各交点 X について, $\overrightarrow{OX}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いてそれぞれ表せ。
 - (3) A, B の中点を D とし, $\overrightarrow{OE} = 2\overrightarrow{OD}$ となる点 E を考える。点 O と ℓ 上の点 Y を通る直線は 2 点 E, C を通る直線と交点をもつとし, その交点を F とする。このとき, $\overrightarrow{OF}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ。
- 2 曲線 $C: y = x^3 - 2x^2 + x$ 上に点 $P_1(2, 2)$ がある。自然数 n ($n = 1, 2, 3, \dots$) に対して点 P_n から点 P_{n+1} を次のように定める。

点 P_n を接点とする C の接線を ℓ_n とし, C と ℓ_n の共有点のうち, P_n と異なるものを P_{n+1} とする。

点 P_n の x 座標を a_n とする。

- (1) P_2 の座標を求めよ。
- (2) 接線 ℓ_n の傾きおよび y 切片をそれぞれ a_n を用いて表せ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

3 複素数 w は実部, 虚部ともに正であるとする。相異なる複素数 α, β, γ は

$$\{(w+2)\alpha\}^2 + (w\beta)^2 - (2\gamma)^2 = 4(w+2)\alpha^2 + 2w^2\alpha\beta - 8\alpha\gamma$$

を満たすとする。 α, β, γ を表す複素数平面上の点をそれぞれ A, B, C とする。

- (1) $\left(\frac{\gamma-\alpha}{\beta-\alpha}\right)^2$ を w を用いて表せ。
- (2) $\triangle ABC$ が正三角形であるときの w の値を求めよ。
- (3) $\triangle ABC$ が正三角形であるとする。 $w = \alpha$ かつ $\triangle ABC$ の重心が点 $\frac{w^2}{2}$ であるとき, β と γ の値を求めよ。

4 次の問いに答えよ。

- (1) $0 \leq x \leq \pi$ のとき, $\sin x = \sin 2x$ の解を求めよ。
- (2) $\int_0^{2\pi} |\sin x - \sin 2x| dx$ を求めよ。
- (3) n を正の整数とするととき, 定積分 $\int_0^{2\pi} |\sin nx - \sin 2nx| dx$ を求めよ。
- (4) c を正の数とするととき, $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^c |\sin nx - \sin 2nx| dx$ を求めよ。

解答例

- 1 (1) ℓ 上の点 X について

$$\overrightarrow{OX} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}) = \frac{2t}{3}\vec{a} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{b} + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{c}$$

このとき, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の係数の和は

$$\frac{2t}{3} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right) + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right) = 1$$

よって, ℓ は平面 α 上の点である.

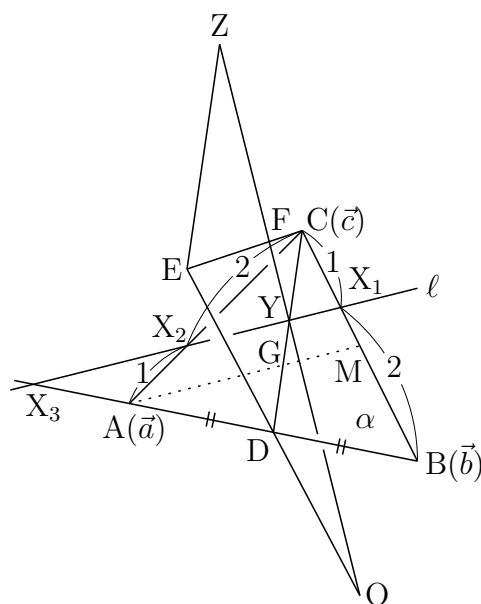
- (2) $\overrightarrow{OX}$ の $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の係数が 0 となる点をそれぞれ X_1 , X_2 , X_3 とすると

$$\overrightarrow{OX_1} = \frac{\vec{b} + 2\vec{c}}{3},$$

$$\overrightarrow{OX_2} = \frac{2\vec{a} + \vec{c}}{3},$$

$$\overrightarrow{OX_3} = \frac{4\vec{a} - \vec{b}}{3}$$

直線 ℓ と $\triangle ABC$ の各辺との交点の個数について, 辺 BC 上は X_1 の 1 個, 辺 CA 上は X_2 の 1 個, 辺 AB 上は 0 個.



- (3) Y は CD 上の点であるから $\overrightarrow{CY} = s\overrightarrow{CD} = \frac{s}{2}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB})$ (s は実数)

$$\overrightarrow{CA} = \frac{3}{2}\overrightarrow{CX_2}, \quad \overrightarrow{CB} = 3\overrightarrow{CX_1} \text{ を代入すると } \overrightarrow{CY} = \frac{3s}{4}\overrightarrow{CX_2} + \frac{3s}{2}\overrightarrow{CX_1}$$

$$Y \text{ は直線 } X_1X_2 \text{ 上の点であるから } \frac{3s}{4} + \frac{3s}{2} = 1$$

$$\text{これを解いて } s = \frac{4}{9} \quad \text{すなわち } CY : YD = 4 : 5 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\overrightarrow{OZ} = 2\overrightarrow{OY}$ となる点 Z をとると, 条件から

$$\triangle OYD \sim \triangle OZE, \quad YD : ZE = 1 : 2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② および $\triangle CYF \sim \triangle EZF$ より $CF : FE = CY : ZE = 2 : 5$

このとき, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\overrightarrow{OE} = 2\overrightarrow{OD} = \vec{a} + \vec{b}$ であるから

$$\overrightarrow{OF} = \frac{5\overrightarrow{OC} + 2\overrightarrow{OE}}{2+5} = \frac{5\vec{c} + 2(\vec{a} + \vec{b})}{7} = \frac{1}{7}(2\vec{a} + 2\vec{b} + 5\vec{c})$$

別解 X_3 は線分 AB を $1:4$ に外分する点, D は AB の中点であるから

$$X_3A : AB = 1 : 3 \quad \text{ゆえに} \quad X_3A : AD = 2 : 3$$

$\triangle CAD$ と直線 ℓ について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{CX_2}{X_2A} \cdot \frac{AX_3}{X_3D} \cdot \frac{DY}{YC} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{DY}{YC} = 1$$

したがって $CY : YD = 4 : 5$ (以下同様)

別解 ℓ 上の点 Y について, $\overrightarrow{OY} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{CY} &= \overrightarrow{OY} - \overrightarrow{OC} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}) - \vec{c} \\ &= \frac{1}{3}(\vec{b} - \vec{c}) + \frac{t}{3}\{2(\vec{a} - \vec{c}) - (\vec{b} - \vec{c})\} \\ &= \frac{1}{3}\overrightarrow{CB} + \frac{t}{3}(2\overrightarrow{CA} - \overrightarrow{CB}) = \frac{2t}{3}\overrightarrow{CA} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\overrightarrow{CB} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{CY}$ は $\overrightarrow{CD} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB})$ と平行であるから

$$\frac{2t}{3} = \frac{1}{3} - \frac{t}{3} \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{1}{3}$$

$$\overrightarrow{CY} = \frac{2}{9}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB}) = \frac{4}{9}\overrightarrow{CD} \quad \text{すなわち} \quad CY : YD = 4 : 5 \quad (\text{以下同様})$$

補足 直線 ℓ について

$$\overrightarrow{OX} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$$

BC の中点を M とすると, この直線 ℓ の方向ベクトル $2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}$ は

$$2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c} = -\{(\vec{b} - \vec{a}) + (\vec{c} - \vec{a})\} = -(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) = -2\overrightarrow{AM}$$

したがって, ℓ は中線 AM と平行である.

2つの中線 AM と CD の交点 G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$CG : GD = 2 : 1$$

$\ell \parallel AM$ であるから $CY : YG = CX_2 : X_2A = 2 : 1$

$$CD : CY = 1 : \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 9 : 4 \quad \text{ゆえに} \quad CY : YD = 4 : 5$$



2 (1) $f(x) = x^3 - 2x^2 + x$ とおくと $f'(x) = 3x^2 - 4x + 1$

曲線 $C: y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線を ℓ とすると

$$y - (t^3 - 2t^2 + t) = (3t^2 - 4t + 1)(x - t)$$

整理すると $\ell: y = (3t^2 - 4t + 1)x - 2t^3 + 2t^2$

C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x^3 - 2x^2 + x = (3t^2 - 4t + 1)x - 2t^3 + 2t^2$$

整理すると $(x - t)^2(x + 2t - 2) = 0$ ゆえに $x = t, -2t + 2$

したがって、 C と ℓ の共有点で点 $(t, f(t))$ と異なる点は

$$(-2t + 2, f(-2t + 2)) \quad (*)$$

点 $P_1(2, f(2))$ のとき

$$P_2(-2, f(-2)) \quad \text{すなわち} \quad P_2(-2, -18)$$

(2) ℓ_n は ℓ の方程式において、 $t = a_n$ とすればよいから

$$\ell_n: y = (3a_n^2 - 4a_n + 1)x - 2a_n^3 + 2a_n^2$$

よって、 ℓ_n の傾き $3a_n^2 - 4a_n + 1$, y 切片 $-2a_n^3 + 2a_n^2$

(3) $P_1(2, 2)$ および $(*)$ から、 $a_1 = 2$

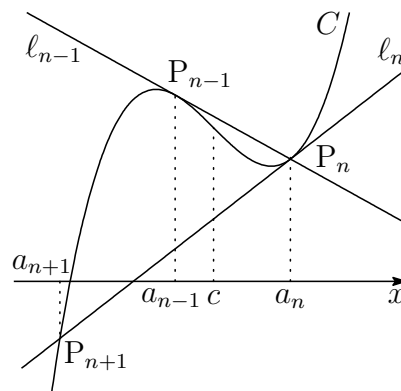
$$a_{n+1} = -2a_n + 2 \quad \text{ゆえに} \quad a_{n+1} - \frac{2}{3} = -2 \left(a_n - \frac{2}{3} \right)$$

$$\text{したがって} \quad a_n - \frac{2}{3} = \left(a_1 - \frac{2}{3} \right) (-2)^{n-1} \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{4}{3}(-2)^{n-1} + \frac{2}{3}$$

補足 3次関数 $C: y = f(x)$ のグラフ上の点 $P_n(a_n, f(a_n))$ における接線 ℓ_n とする。 C と ℓ_n の共有点のうち、 P_n と異なるものを $P_{n+1}(a_{n+1}, f(a_{n+1}))$ とし、 C の変曲点の x 座標を c とすると

$$a_{n+1} - c = -2(a_n - c)$$

が成立する。



$$\boxed{3} \quad (1) \quad \{(w+2)\alpha\}^2 + (w\beta)^2 - (2\gamma)^2 = 4(w+2)\alpha^2 + 2w^2\alpha\beta - 8\alpha\gamma$$

これを w について整理すると

$$\begin{aligned} w^2(\alpha^2 - 2\alpha\beta + \beta^2) &= 4(\gamma^2 - 2\gamma\alpha + \alpha^2) \\ w^2(\beta - \alpha)^2 &= 4(\gamma - \alpha)^2 \end{aligned}$$

α, β, γ は相異なる複素数であるから

$$\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right)^2 = \frac{w^2}{4}$$

$$(2) \quad (1) \text{ の結果から } \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = \pm \frac{w}{2}$$

w の実部, 虚部はともに正であるから $0 < \arg w < \frac{\pi}{2}$

$$(i) \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = \frac{w}{2} \text{ のとき } \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \arg\left(\frac{w}{2}\right) = \arg w$$

$$0 < \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) < \frac{\pi}{2}$$

$$(ii) \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = -\frac{w}{2} \text{ のとき } \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \arg\left(-\frac{w}{2}\right) = \arg w + \pi$$

$$\pi < \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) < \frac{3}{2}\pi$$

$\triangle ABC$ が正三角形であるとき

$$\left|\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right| = 1 \quad \text{かつ} \quad \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \frac{\pi}{3}, \frac{5}{3}\pi$$

$\arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \frac{5}{3}\pi$ は, (i), (ii) とともに満たさない.

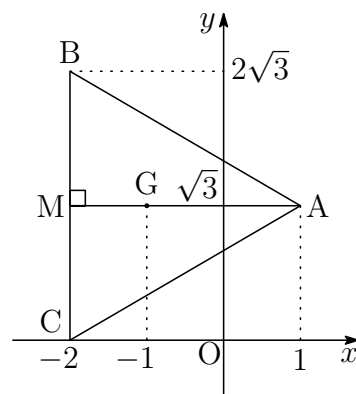
$\arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \frac{\pi}{3}$ は (i) を満たし, このとき

$$\left|\frac{w}{2}\right| = \left|\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right| = 1 \quad \text{かつ} \quad \arg\left(\frac{w}{2}\right) = \arg\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right) = \frac{\pi}{3}$$

したがって $(*) \quad \frac{w}{2} = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \quad \text{よって} \quad w = 1 + \sqrt{3}i$

(3) (*) より

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 2 \cdot \frac{w}{2} = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) \\
 &= 1 + \sqrt{3}i \\
 \frac{w^2}{2} &= 2 \left(\frac{w}{2} \right)^2 = 2 \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right) \\
 &= -1 + \sqrt{3}i
 \end{aligned}$$

BC の中点を M とすると $M(-2 + \sqrt{3}i)$ AM = 3 より $BM = CM = \sqrt{3}$ よって $\beta = -2 + 2\sqrt{3}i, \gamma = -2$ 4 (1) $\sin x = \sin 2x$ より

$$\sin x = 2 \sin x \cos x \quad \text{ゆえに} \quad \sin x(1 - 2 \cos x) = 0$$

$$0 \leq x \leq \pi \text{ のとき, これを解くと } x = 0, \frac{\pi}{3}, \pi$$

(2) $f(x) = \sin x - \sin 2x$ とし, $I = \int_0^\pi |f(x)| dx$ とおくと

$$I = \int_0^{2\pi} |f(x)| dx = \int_0^\pi |f(x)| dx + \int_\pi^{2\pi} |f(x)| dx$$

 $\int_\pi^{2\pi} |f(x)| dx$ について, $x = 2\pi - u$ とおくと

$$\frac{dx}{du} = -1 \quad \begin{array}{c|c} x & \pi \longrightarrow 2\pi \\ \hline u & \pi \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 f(2\pi - x) &= \sin(2\pi - x) - \sin 2(2\pi - x) \\
 &= -\sin x + \sin 2x = -f(x)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_\pi^{2\pi} |f(x)| dx &= \int_\pi^0 |f(2\pi - u)| (-1) du \\
 &= \int_0^\pi |f(u)| du = \int_0^\pi |f(x)| dx
 \end{aligned}$$

したがって

$$I = 2 \int_0^\pi |f(x)| dx$$

$$f(x) = \sin x(1 - 2 \cos x) \text{ より } |f(x)| = \begin{cases} -f(x) & (0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}) \\ f(x) & (\frac{\pi}{3} \leq x \leq \pi) \end{cases}$$

$f(x)$ の原始関数の 1 つを $F(x) = -\cos x + \frac{1}{2} \cos 2x$ とおくと

$$\begin{aligned} \frac{I}{2} &= -\int_0^{\frac{\pi}{3}} f(x) dx + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} f(x) dx = -\left[F(x) \right]_0^{\frac{\pi}{3}} + \left[F(x) \right]_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} \\ &= F(0) - 2F\left(\frac{\pi}{3}\right) + F(\pi) = -\frac{1}{2} - 2\left(-\frac{3}{4}\right) + \frac{3}{2} = \frac{5}{2} \end{aligned}$$

$$\text{よって } I = 2 \times \frac{5}{2} = 5$$

$$(3) \quad I_n = \int_0^{2\pi} |\sin nx - \sin 2nx| dx \text{ とおく.}$$

$$t = nx \text{ とすると } \frac{dt}{dx} = n \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 2\pi \\ \hline t & 0 \longrightarrow 2n\pi \end{array}$$

$$I_n = \int_0^{2n\pi} |\sin t - \sin 2t| \frac{1}{n} dt = \frac{1}{n} \int_0^{2n\pi} |\sin x - \sin 2x| dx \quad (*)$$

$f(x)$ は周期 2π の周期関数であるから, (2) の結果を用いて

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{1}{n} \int_0^{2n\pi} |f(x)| dx = \frac{1}{n} \cdot n \int_0^{2\pi} |f(x)| dx \\ &= \int_0^{2\pi} |f(x)| dx = I = 5 \end{aligned}$$

$$(4) \quad J_n = \int_0^c |\sin nx - \sin 2nx| \text{ とおく.}$$

$$t = nx \text{ とすると } \frac{dt}{dx} = n \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow c \\ \hline t & 0 \longrightarrow nc \end{array}$$

$$J_n = \int_0^{nc} |\sin t - \sin 2t| \frac{1}{n} dt = \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(t)| dt = \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(x)| dx$$

$\frac{nc}{2\pi}$ 以下の最大の整数を N とすると

$$(**) \quad N \leq \frac{nc}{2\pi} < N+1 \quad \text{ゆえに} \quad 2N\pi \leq nc < 2(N+1)\pi$$

$$(*) \text{ および (2) の結果により, } I_N = \frac{1}{N} \int_0^{2N\pi} |f(x)| dx = 5 \text{ であるから}$$

$$\int_0^{2N\pi} |f(x)| dx = 5N$$

したがって

$$\frac{1}{n} \int_0^{2N\pi} |f(x)| dx \leq \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(x)| dx < \frac{1}{n} \int_0^{2(N+1)\pi} |f(x)| dx$$

$$\frac{1}{n} \cdot 5N \leq J_n < \frac{1}{n} \cdot 5(N+1)$$

$$(**) \text{ より } \frac{nc}{2\pi} - 1 < N, \quad N+1 \leq \frac{nc}{2\pi} + 1 \text{ であるから}$$

$$\frac{5}{n} \left(\frac{nc}{2\pi} - 1 \right) < J_n < \frac{5}{n} \left(\frac{nc}{2\pi} + 1 \right)$$

$$\frac{5c}{2\pi} - \frac{5}{n} < J_n < \frac{5c}{2\pi} + \frac{5}{n}$$

$$\text{このとき } \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{5c}{2\pi} - \frac{5}{n} \right) = \frac{5c}{2\pi}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{5c}{2\pi} + \frac{5}{n} \right) = \frac{5c}{2\pi}$$

$$\text{よって, はさみうちの原理により } \lim_{n \rightarrow \infty} J_n = \frac{5c}{2\pi}$$



6.19 2022 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 a を実数とし、座標空間の点 $P_1(a, 0, 0)$, $P_2(a+1, 0, 0)$, $Q(0, 1, 0)$, $R(0, 0, 3)$ を考える。 G_1 , G_2 をそれぞれ $\triangle P_1QR$, $\triangle P_2QR$ の重心とする。以下の問いに答えよ。

- (1) P_1 , P_2 を通る直線と、 G_1 , G_2 を通る直線は平行であることを示せ。
- (2) 四角形 $P_1P_2G_2G_1$ の面積を求めよ。
- (3) 四角形 $P_1P_2G_2G_1$ を底面とする四角錐 $Q-P_1P_2G_2G_1$ の体積を求めよ。

2 袋の中に赤玉 2 個と白玉 2 個の合計 4 個の玉が入っている。A と B の 2 人で次のルールに従ってゲームをする。

- A, B の順で繰り返しプレイヤーになる。
- プレイヤーは袋から玉を同時に 2 個取り出す。取り出した玉の色が同じならば、プレイヤーの勝利とする。取り出した玉の色が異なるならば、それを袋に戻してよくかき混ぜ、プレイヤーを交替する。
- A が勝利するか、A が勝利せずに A の後に B がプレイヤーになり、B が勝利するか、B が勝利せずにプレイヤーを交替することによって 1 巡が終了する。
- 勝者が決まるとゲームは終了する。

以下の問いに答えよ。

- (1) B が 1 巡目で勝者になる確率を求めよ。
- (2) N を自然数とし、 N 巡目以内に B が勝者になる確率を p_N とする。 $p_N > 0.396$ となる N の最小値を求めよ。ただし、 $\log_2 3 = 1.585$, $\log_2 5 = 2.322$ とする。
- (3) N を自然数とする。 N 巡目以内に勝者になる確率は、A と B のどちらが大きい。

3 x, y を実数とし, $f(p) = p^2 + xp + y$ とおく。このとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) p の2次方程式 $f(p) = 0$ が実数解を持つような点 (x, y) 全体の集合を D とおく。 D を xy 平面上に図示せよ。
- (2) p の2次方程式 $f(p) = 0$ は実数解を持つとする。 $f(p) = 0$ の実数解がすべて1以下で, 少なくとも1つの実数解は0以上となるような点 (x, y) 全体の集合を E とおく。 E を xy 平面上に図示せよ。
- (3) 点 (x, y) が (2) の集合 E 全体を動くとき, $x^2 + y^2 - 4y + 4$ の最小値を求めよ。

4 関数 $f(x) = \sqrt{1 + \sin^2 \frac{\pi x}{2}}$ について, 以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ ($0 \leq x \leq 1$) の最小値と最大値を求めよ。
- (2) $0 \leq x \leq 1$ において, $\sqrt{2}x \leq f(x) \leq \sqrt{2}$ となることを示せ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_n = \int_0^1 \{f(x)\}^n dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める。 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$ の値を求めよ。ただし, $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(n+1)}{n} = 0$ を用いてよい。

解答例

1 (1) $P_1(a, 0, 0)$, $P_2(a+1, 0, 0)$ より $\overrightarrow{P_1P_2} = (1, 0, 0)$

$Q(0, 1, 0)$, $R(0, 0, 3)$. $\triangle P_1QR$, $\triangle P_2QR$ のそれぞれの重心 G_1 , G_2 は

$$G_1\left(\frac{a}{3}, \frac{1}{3}, 1\right), \quad G_2\left(\frac{a+1}{3}, \frac{1}{3}, 1\right) \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{G_1G_2} = \left(\frac{1}{3}, 0, 0\right)$$

したがって $\overrightarrow{G_1G_2} = \frac{1}{3}\overrightarrow{P_1P_2}$

よって, P_1 , P_2 を通る直線と, G_1 , G_2 を通る直線は平行である.

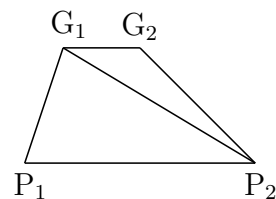
(2) $\overrightarrow{P_1P_2} = (1, 0, 0)$, $\overrightarrow{P_1G_1} = \left(-\frac{2a}{3}, \frac{1}{3}, 1\right)$ より

$$|\overrightarrow{P_1P_2}|^2 = 1, \quad |\overrightarrow{P_1G_1}|^2 = \frac{4a^2}{9} + \frac{10}{9}, \quad \overrightarrow{P_1P_2} \cdot \overrightarrow{P_1G_1} = -\frac{2a}{3}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \triangle P_1P_2G_1 &= \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{P_1P_2}|^2 |\overrightarrow{P_1G_1}|^2 - (\overrightarrow{P_1P_2} \cdot \overrightarrow{P_1G_1})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{1 \left(\frac{4a^2}{9} + \frac{10}{9} \right) - \left(-\frac{2a}{3} \right)^2} = \frac{\sqrt{10}}{6} \end{aligned}$$

求める四角形 $P_1P_2G_2G_1$ の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \triangle P_1P_2G_1 + \triangle G_1G_2P_2 \\ &= \triangle P_1P_2G_1 + \frac{1}{3} \triangle P_1P_2G_1 \\ &= \frac{4}{3} \triangle P_1P_2G_1 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{10}}{6} = \frac{2\sqrt{10}}{9} \end{aligned}$$



(3) $\overrightarrow{P_1R} = (-a, 0, 3)$. $\overrightarrow{P_1P_2}$ および $\overrightarrow{P_1G_1}$ に垂直な単位ベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{10}}(0, -3, 1)$$

とする. 点 R から四角形 $P_1P_2G_1G_2$ に引いた垂線の長さ h は

$$h = |\overrightarrow{P_1R} \cdot \vec{n}| = \frac{3}{\sqrt{10}}$$

よって, 求める立体の体積を V とすると

$$V = \frac{1}{3}Sh = \frac{1}{3} \cdot \frac{2\sqrt{10}}{9} \cdot \frac{3}{\sqrt{10}} = \frac{2}{9}$$

■

2 (1) 違う色の玉を取り出す確率は $\frac{{}_2C_1 \times {}_2C_1}{{}_4C_2} = \frac{2 \times 2}{6} = \frac{2}{3}$

同じ色の玉を取り出す確率は、上の余事象の確率であるから $1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$

よって、B が 1 巡目で勝者になる確率は $\frac{2}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{9}$

(2) N 巡目で B が勝者になる確率は $\left\{ \left(\frac{2}{3} \right)^2 \right\}^{N-1} \times \frac{2}{9} = \frac{2}{9} \left(\frac{4}{9} \right)^{N-1}$

よって、 N 巡目以内に B が勝者になる確率 p_N は

$$p_N = \sum_{k=1}^N \frac{2}{9} \left(\frac{4}{9} \right)^{k-1} = \frac{2}{9} \times \frac{1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N}{1 - \frac{4}{9}} = \frac{2}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\}$$

$$p_N > 0.396 \text{ となるとき } \frac{2}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\} > 0.396$$

$$\left(\frac{4}{9} \right)^N < \frac{1}{100} \quad \text{ゆえに} \quad \left(\frac{3}{2} \right)^N > 10$$

上の第 2 式について 2 を底とする対数をとると

$$N(\log_2 3 - 1) > 1 + \log_2 5 \quad \text{ゆえに} \quad 0.585N > 3.322$$

$$\text{したがって } N > \frac{3322}{585} = 5.6 \dots \quad \text{よって } N \text{ の最小値は } 6$$

(3) N 巡目で A が勝者になる確率は $\frac{1}{3} \left\{ \left(\frac{2}{3} \right)^2 \right\}^{N-1} = \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9} \right)^{N-1}$

N 巡目以内に A が勝者になる確率を q_N とすると

$$q_N = \sum_{k=1}^N \frac{1}{3} \left(\frac{4}{9} \right)^{k-1} = \frac{1}{3} \times \frac{1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N}{1 - \frac{4}{9}} = \frac{3}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\}$$

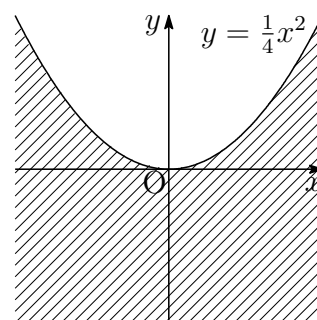
$$\text{したがって} \quad q_N - p_N = \frac{1}{5} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{9} \right)^N \right\} > 0$$

よって、求める確率は、A の方が大きい。 ■

- 3 (1) $f(p) = p^2 + xp + y$ について, $f(p) = 0$ が実数解を持つから係数について

$$x^2 - 4y \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad y \leq \frac{1}{4}x^2$$

よって, $D: y \leq \frac{1}{4}x^2$ の表す領域は, 右の図の斜線部分で境界線を含む.



$$(2) f(p) = \left(p + \frac{x}{2}\right)^2 + y - \frac{x^2}{4}$$

[1] $f(p) = 0$ の 2 つの解がともに $0 \leq p \leq 1$ にあるとき,

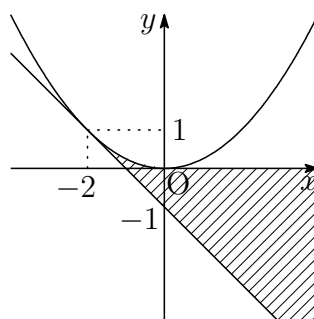
$$0 \leq -\frac{x}{2} \leq 1, \quad y - \frac{x^2}{4} \leq 0, \quad f(0) \geq 0, \quad f(1) \geq 0 \text{ より}$$

$$-2 \leq x \leq 0, \quad y \leq \frac{x^2}{4}, \quad y \geq 0, \quad y \geq -x - 1$$

[2] $f(p) = 0$ の 1 つの解が $p \leq 0$, 他の 1 つの解が $0 \leq p \leq 1$ にあるとき, $f(0) \leq 0, f(1) \geq 0$ より

$$y \leq 0, \quad y \geq -x - 1$$

E の表す領域は, [1] または [2] を満たす領域で境界線を含む.



- (3) $f(x, y) = x^2 + y^2 - 4y + 4$ とおくと, $f(x, y) = x^2 + (y - 2)^2$ は点 (x, y) と点 $(0, 2)$ の距離の 2 乗である. これを最小にする E 上の点は

$$y = \frac{1}{4}x^2 \quad (-2 \leq x \leq 0)$$

にあるから, $-2 \leq x \leq 0$ における次式の最小値を求めればよい.

$$f\left(x, \frac{1}{4}x^2\right) = x^2 + \left(\frac{1}{4}x^2 - 2\right)^2 = \frac{1}{16}x^4 + 4$$

よって, 求める最小値は $f(0, 0) = 4$ ■

- 4 (1) $f(x)$ ($0 \leq x \leq 1$) は単調増加であるから

$$\text{最小値 } f(0) = 1, \quad \text{最大値 } f(1) = \sqrt{2}$$

- (2) $g(x) = \sin \frac{\pi x}{2}$ とおく ($0 \leq x \leq 1$).

$y = g(x)$ は上に凸であり, 曲線 $y = g(x)$ は, 2 点 $(0, 0)$, $(1, 1)$ を結ぶ線分

$$y = x \quad (0 \leq x \leq 1)$$

の下側になら

$$g(x) \geq x \geq 0 \quad (0 \leq x \leq 1)$$

が成り立つ. したがって, $0 \leq x \leq 1$ において

$$\begin{aligned} f(x)^2 - 2x^2 &= 1 + \sin^2 \frac{\pi x}{2} - 2x^2 \\ &= 1 - x^2 + g(x)^2 - x^2 \geq 0 \end{aligned}$$

$$f(x) > 0 \text{ であるから } f(x) \geq \sqrt{2}x \quad (0 \leq x \leq 1)$$

$$\text{上式および (1) の結果から } \sqrt{2}x \leq f(x) \leq \sqrt{2} \quad (0 \leq x \leq 1)$$

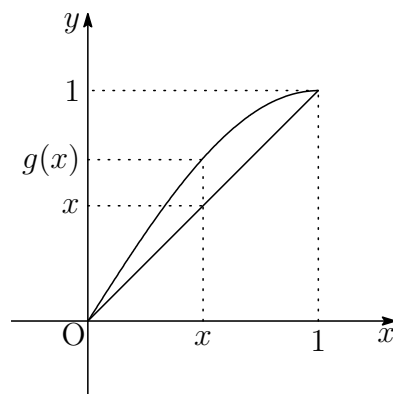
- (3) (2) の結果から

$$\int_0^1 (\sqrt{2}x)^n dx \leq \int_0^1 \{f(x)\}^n dx \leq \int_0^1 (\sqrt{2})^n dx$$

$$\text{したがって } \frac{(\sqrt{2})^n}{n+1} \leq a_n \leq (\sqrt{2})^n \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[n]{n+1}} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \sqrt{2} \quad \cdots (*)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log \sqrt[n]{n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(n+1)}{n} = 0 \text{ より } \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n+1} = 1 \quad \cdots (**)$$

$$(*), (**) \text{ から, はさみうちの原理により } \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} = \sqrt{2} \quad \blacksquare$$



6.20 2023 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_1 = \frac{1}{8}, \quad (4n^2 - 1)(a_n - a_{n+1}) = 8(n^2 - 1)a_n a_{n+1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により定める。以下の問いに答えよ。

- (1) a_2, a_3 を求めよ。
- (2) $a_n \neq 0$ を示せ。
- (3) $\frac{1}{a_{n+1}} - \frac{1}{a_n}$ を n の式で表せ。
- (4) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

2 n を 2 以上の自然数とする。1 個のさいころを n 回投げて、出た目の数の積をとる。積が 12 となる確率を p_n とする。以下の問いに答えよ。

- (1) p_2, p_3 を求めよ。
- (2) $n \geq 4$ のとき、 p_n を求めよ。
- (3) $n \geq 4$ とする。出た目の数の積が n 回目にはじめて 12 となる確率を求めよ。

3 α, β を複素数とし、複素数平面上の3点 $O(0)$, $A(\alpha)$, $B(\beta)$ が三角形をなすとする. 点 A を点 O を中心として $\frac{\pi}{3}$ だけ回転した点を P , 点 O を点 B を中心として $\frac{\pi}{3}$ だけ回転した点を Q , 点 B を点 A を中心として $\frac{\pi}{3}$ だけ回転した点を R とする. $\triangle POA$, $\triangle QBO$, $\triangle RAB$ の重心をそれぞれ G , H , I とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 3点 P , Q , R を表す複素数のそれぞれを α, β を用いて表せ.
- (2) 3点 G , H , I を表す複素数のそれぞれを α, β を用いて表せ.
- (3) 3点 G , H , I が三角形をなすとき, $\triangle GHI$ が正三角形かどうか判定せよ.

4 t は正の実数とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x) = 2tx^2e^{-tx^2}$ の極値を求めよ.
- (2) 定積分 $\int_1^{\sqrt{t}} 4tx(1 - tx^2)e^{-tx^2} \log x \, dx$ の値を t を用いて表せ.
- (3) (2) で求めた値を $g(t)$ とおく. $1 < t < 4$ のとき, 不等式

$$g(t) > (t^{\frac{5}{2}} - t^2 + 1)e^{-t^2} - e^{-t}$$

が成り立つことを示せ.

解答例

- 1** (1) (*) $(4n^2 - 1)(a_n - a_{n+1}) = 8(n^2 - 1)a_n a_{n+1}$
 (*) に $n = 1, 2$ を代入すると

$$3(a_1 - a_2) = 0, \quad 15(a_2 - a_3) = 24a_2 a_3$$

$$a_1 = \frac{1}{8} \text{ を上の第1式に代入して } a_2 = \frac{1}{8}$$

これを第2式に代入すると

$$15\left(\frac{1}{8} - a_3\right) = 24 \cdot \frac{1}{8} a_3 \quad \text{ゆえに} \quad a_3 = \frac{5}{48}$$

- (2) (1) の結果に注意して, $k \geq 3$ に対して, $a_n \neq 0$ ($n = 1, 2, \dots, k$), $a_{k+1} = 0$ と仮定し, (*) に $n = k$ を代入すると

$$(4k^2 - 1)a_k = 0$$

$$4k^2 - 1 \neq 0 \text{ より, } a_k = 0 \text{ となり, 矛盾. よって } a_n \neq 0$$

- (3) (*) の両辺を $(4n^2 - 1)a_n a_{n+1}$ で割ると

$$\frac{1}{a_{n+1}} - \frac{1}{a_n} = \frac{8(n^2 - 1)}{4n^2 - 1}$$

- (4) (3) の結果から $\frac{1}{a_{n+1}} - \frac{1}{a_n} = 2 - 3\left(\frac{1}{2n-1} - \frac{1}{2n+1}\right)$
 $n \geq 2$ のとき

$$\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{1}{a_{k+1}} - \frac{1}{a_k} \right) = \sum_{k=1}^{n-1} \left\{ 2 - 3 \left(\frac{1}{2k-1} - \frac{1}{2k+1} \right) \right\}$$

$$\frac{1}{a_n} - \frac{1}{a_1} = 2(n-1) - 3 \left(1 - \frac{1}{2n-1} \right)$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから, $a_1 = \frac{1}{8}$ を代入して整理すると

$$\frac{1}{a_n} = 2n + 3 + \frac{3}{2n-1} = \frac{(2n+3)(2n-1) + 3}{2n-1} = \frac{4n(n+1)}{2n-1}$$

よって
$$a_n = \frac{2n-1}{4n(n+1)}$$

■

- 2** (1) 2回投げて出た目の数の積が12となるのは, 出た目が $\{2, 6\}$, $\{3, 4\}$ であるから

$$p_2 = \frac{2!}{1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \times 2 = \frac{1}{9}$$

3回投げて出た目の数の積が12となるのは, 出た目が $\{1, 2, 6\}$, $\{1, 3, 4\}$, $\{2, 2, 3\}$ であるから

$$p_3 = \frac{3!}{1!1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 \times 2 + \frac{3!}{2!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{5}{72}$$

- (2) n 回の目の出方で, 1以外の目の出方は $\{2, 6\}$, $\{3, 4\}$, $\{2, 2, 3\}$ であるから

$$\begin{aligned} p_n &= \frac{n!}{1!1!(n-2)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n \times 2 + \frac{n!}{2!1!(n-3)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n \\ &= \frac{2n(n-1)}{6^n} + \frac{n(n-1)(n-2)}{2 \cdot 6^n} = \frac{n(n-1)(n+2)}{2 \cdot 6^n} \end{aligned}$$

- (3) $n-1$ 回目までの目の積が12で, n 回目で1の目が出る確率は

$$p_{n-1} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{6} p_{n-1}$$

これと(2)の結果から, 求める確率は

$$\begin{aligned} p_n - \frac{1}{6} p_{n-1} &= \frac{n(n-1)(n+2)}{2 \cdot 6^n} - \frac{1}{6} \cdot \frac{(n-1)(n-2)(n+1)}{2 \cdot 6^{n-1}} \\ &= \frac{(n-1)(3n+2)}{2 \cdot 6^n} \end{aligned}$$

■

- 3** (1) $w = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}$, $P(z_p)$, $Q(z_q)$, $R(z_r)$ とおくと, 条件から

$$\frac{z_p - 0}{\alpha - 0} = w, \quad \frac{z_q - \beta}{0 - \beta} = w, \quad \frac{z_r - \alpha}{\beta - \alpha} = w$$

ゆえに $z_p = w\alpha$, $z_q = (1-w)\beta$, $z_r = (1-w)\alpha + w\beta$

$$w = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \text{ より}$$

$$P\left(\frac{1 + \sqrt{3}i}{2}\alpha\right), Q\left(\frac{1 - \sqrt{3}i}{2}\beta\right), R\left(\frac{1 - \sqrt{3}i}{2}\alpha + \frac{1 + \sqrt{3}i}{2}\beta\right)$$

(2) $G(z_1)$, $H(z_2)$, $I(z_3)$ とおくと、条件から

$$(*) \begin{cases} z_1 = \frac{1}{3}(w\alpha + 0 + \alpha) = \frac{1+w}{3}\alpha \\ z_2 = \frac{1}{3}\{(1-w)\beta + \beta + 0\} = \frac{2-w}{3}\beta \\ z_3 = \frac{1}{3}\{(1-w)\alpha + w\beta + \alpha + \beta\} = \frac{2-w}{3}\alpha + \frac{1+w}{3}\beta \end{cases}$$

$$w = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \text{ より}$$

$$G\left(\frac{3 + \sqrt{3}i}{6}\alpha\right), H\left(\frac{3 - \sqrt{3}i}{6}\beta\right), I\left(\frac{3 - \sqrt{3}i}{6}\alpha + \frac{3 + \sqrt{3}i}{6}\beta\right)$$

(3) (*) より

$$\begin{aligned} z_2 - z_1 &= \frac{1}{3}\{-(1+w)\alpha + (2-w)\beta\} \\ z_3 - z_1 &= \frac{1}{3}\{(1-2w)\alpha + (1+w)\beta\} \end{aligned}$$

ここで、 $w^3 = -1$ より ($w \neq -1$), $(w+1)(w^2 - w + 1) = 0$ であるから

$$w^2 - w + 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad w^2 = w - 1 \quad \dots \textcircled{1}$$

① に注意して

$$\begin{aligned} w(z_2 - z_1) &= \frac{1}{3}\{-(w + w^2)\alpha + (2w - w^2)\beta\} \\ &= \frac{1}{3}\{-(w + w - 1)\alpha + (2w - w + 1)\beta\} \quad (**) \\ &= \frac{1}{3}\{(1 - 2w)\alpha + (1 + w)\beta\} = z_3 - z_1 \end{aligned}$$

(**) について、 $z_2 - z_1 = 0$ のとき $-(1+w)\alpha + (2-w)\beta = 0$

このとき、① により $\beta = \frac{1+w}{2-w}\alpha = \frac{2w-w^2}{2-w}\alpha = w\alpha$

したがって、 $\beta = \frac{1+\sqrt{3}i}{2}\alpha$ のとき、3点 G , H , I は一致する.

よって $\beta \neq \frac{1+\sqrt{3}i}{2}\alpha$ のとき、 $\triangle GHI$ は正三角形である.

$\beta = \frac{1+\sqrt{3}i}{2}\alpha$ のとき、 $\triangle GHI$ は正三角形でない. ■

- 4 (1) $f(x) = 2tx^2e^{-tx^2}$ を微分すると

$$\begin{aligned} f'(x) &= 2t\{2xe^{-tx^2} + x^2 \cdot (-2tx)e^{-tx^2}\} \\ &= 4tx(1 - tx^2)e^{-tx^2} \end{aligned} \quad (*)$$

$$f'(x) = 0 \text{ とすると, } t > 0 \text{ より } x = 0, \pm \frac{1}{\sqrt{t}}$$

したがって, $f(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	$-\frac{1}{\sqrt{t}}$	$\cdots$	0	$\cdots$	$\frac{1}{\sqrt{t}}$	$\cdots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$	0	$\cdots$
$f(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, $x = \pm \frac{1}{\sqrt{t}}$ のとき, 極大値 $\frac{2}{e}$, $x = 0$ のとき, 極小値 0

- (2) (*) より

$$\begin{aligned} \text{与式} &= \int_1^{\sqrt{t}} f'(x) \log x \, dx = \left[f(x) \log x \right]_1^{\sqrt{t}} - \int_1^{\sqrt{t}} f(x) \cdot \frac{1}{x} \, dx \\ &= f(\sqrt{t}) \log \sqrt{t} - \int_1^{\sqrt{t}} 2txe^{-tx^2} \, dx = 2t^2 e^{-t^2} \log \sqrt{t} + \left[e^{-tx^2} \right]_1^{\sqrt{t}} \\ &= (t^2 \log t + 1)e^{-t^2} - e^{-t} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から $g(t) = (t^2 \log t + 1)e^{-t^2} - e^{-t}$

$$h(t) = (t^{\frac{5}{2}} - t^2 + 1)e^{-t^2} - e^{-t} \text{ とおくと}$$

$$\begin{aligned} g(t) - h(t) &= (t^2 \log t - t^{\frac{5}{2}} + t^2)e^{-t^2} \\ &= t^2(\log t - \sqrt{t} + 1)e^{-t^2} \end{aligned}$$

$$\varphi(t) = \log t - \sqrt{t} + 1 \text{ とおくと } (1 \leq t \leq 4)$$

$$\varphi'(t) = \frac{1}{t} - \frac{1}{2\sqrt{t}} = \frac{2 - \sqrt{t}}{2t}$$

$$\varphi(1) = 0, \quad 1 < t < 4 \text{ において, } \varphi'(t) > 0 \text{ であるから}$$

$$1 < t < 4 \text{ において } \varphi(t) > 0$$

$$1 < t < 4 \text{ において, } g(t) - h(t) = t^2 e^{-t^2} \varphi(t) > 0 \text{ であるから}$$

$$1 < t < 4 \text{ において } g(t) > (t^{\frac{5}{2}} - t^2 + 1)e^{-t^2} - e^{-t} \quad \blacksquare$$

6.21 2024 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 e を自然対数の底とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 $y = e^x$ 上の点 (a, e^a) における接線の方程式を求めよ。
- (2) (1) で求めた接線の傾きを p , y 切片を q とする。 q を p の式で表せ。
- (3) (2) で求めた p の式を $f(p)$ とする。曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(1, f(1))$ における接線 ℓ_1 および点 $(e, f(e))$ における接線 ℓ_2 の方程式を求めよ。
- (4) (3) で求めた 2 本の接線 ℓ_1, ℓ_2 および曲線 $y = f(x)$ によって囲まれた部分の面積を求めよ。

2 平面上に点 O を中心とする半径 2 の円 D がある。円 D の周上に異なる 3 点 A, B, C をとる。ただし、直線 AB, BC, CA は点 O を通らないとする。2 点 A, B における円 D のそれぞれの接線の交点を P とする。同様に、2 点 B, C における円 D のそれぞれの接線の交点を Q , 2 点 C, A における円 D のそれぞれの接線の交点を R とする。 $\vec{OA} = \vec{a}, \vec{OB} = \vec{b}, \vec{OC} = \vec{c}$ とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $\vec{OP} = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}(\vec{a} + \vec{b})$ が成り立つことを示せ。
- (2) $\vec{a} \cdot \vec{b} = -2\sqrt{3}$ のとき、線分 OP の長さを求めよ。
- (3) $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot \vec{c} = -2\sqrt{3}$ かつ $\vec{b} \cdot \vec{c} = 2$ のとき、 $\triangle PQR$ の面積を求めよ。

- 3** $0 < \theta < \frac{\pi}{3}$ とする。 $AB = 1$, $\angle BAC = 3\theta$ である $\triangle ABC$ について, 辺 BC の中点を D としたとき, $\angle BAD = 2\theta$ が成り立つとする。以下の問いに答えよ。

- (1) $AC = 2 \cos \theta$ であることを示せ。
- (2) BC を $\cos \theta$ を用いて表せ。
- (3) BC の最大値とそのときの θ の値を求めよ。

- 4** 実数からなる数列 $\{a_n\}$ は $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して

$$a_{n+1} = \begin{cases} 3^{n-1} & (a_n < 1 \text{ のとき}) \\ \log_3 a_n & (a_n \geq 1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

を満たすとする。以下の問いに答えよ。

- (1) 2 以上の自然数 n に対して $a_n \geq 0$ であることを示せ。
- (2) $a_4 + a_5 = 1$ のとき, a_3, a_4, a_5 を求めよ。
- (3) $a_4 + a_5 = 1$ のとき, a_1 のとりうる値の範囲の最大値と最小値をそれぞれ M_1, m_1 とし, a_2 のとりうる値の範囲の最大値と最小値をそれぞれ M_2, m_2 とする。このとき, $m_1 + m_2 + \log_3 M_1 M_2$ の値を求めよ。

解答例

- 1** (1) $y = e^x$ を微分すると $y' = e^x$
したがって、曲線 $y = e^x$ 上の点 (a, e^a) における接線の方程式は
- $$y - e^a = e^a(x - a) \quad \text{すなわち} \quad y = e^a x + e^a(1 - a)$$
- (2) (1) の結果から $p = e^a, q = e^a(1 - a)$
 $e^a = p, a = \log p$ より $q = p(1 - \log p)$
- (3) (2) の結果から $f(x) = x(1 - \log x)$ これを微分すると $f'(x) = -\log x$
 $y = f(x)$ 上の点 $(a, f(a))$ における接線の方程式は
- $$y - a(1 - \log a) = -(x - a) \log a \quad \text{ゆえに} \quad y = -x \log a + a$$
- ℓ_1, ℓ_2 は、上式の a にそれぞれ $1, e$ を代入したものであるから

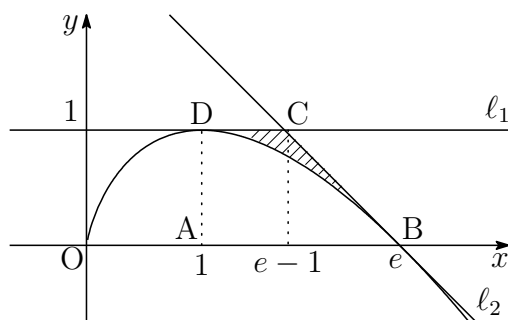
$$\ell_1 : y = 1, \quad \ell_2 : y = -x + e$$

- (4) $f''(x) = -\frac{1}{x} < 0$ から、 ℓ_1, ℓ_2 は曲線 $y = f(x)$ の上側にある。ここで

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= \int x(1 - \log x) dx = \int \left(\frac{x^2}{2}\right)' (1 - \log x) dx \\ &= \frac{x^2}{2}(1 - \log x) - \int \frac{x^2}{2} \left(-\frac{1}{x}\right) dx \\ &= x^2 \left(\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \log x\right) + C \quad (C \text{ は積分定数}) \end{aligned}$$

求める面積を S とすると、下の図から

$$\begin{aligned} S &= \text{台形 ABCD} - \int_1^e f(x) dx \\ &= \frac{1}{2}\{(e-2) + (e-1)\} - \left[x^2 \left(\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \log x\right) \right]_1^e \\ &= -\frac{1}{4}(e^2 - 4e + 3) \end{aligned}$$



- 2 (1) $|\vec{a}| = |\vec{b}| = 2$, $0 < \angle AOB < \pi$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \angle AOB$ より

$$-4 < \vec{a} \cdot \vec{b} < 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\vec{p} = \overrightarrow{OP}$ とおくと, $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{AP} = 0$, $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{BP} = 0$ であるから

$$\vec{a} \cdot (\vec{p} - \vec{a}) = 0, \quad \vec{b} \cdot (\vec{p} - \vec{b}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot \vec{p} = 4, \quad \vec{b} \cdot \vec{p} = 4$$

$\vec{a}$, $\vec{b}$ は, 1次独立であるから, $\vec{p} = x\vec{a} + y\vec{b}$ とすると (x, y は実数)

$$\begin{cases} \vec{a} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b}) = 4 \\ \vec{b} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b}) = 4 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} 4x + (\vec{a} \cdot \vec{b})y = 4 \\ (\vec{a} \cdot \vec{b})x + 4y = 4 \end{cases}$$

① に注意してこれを解くと $x = y = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}$

よって, $\overrightarrow{OP} = \frac{4}{4 + \vec{a} \cdot \vec{b}}(\vec{a} + \vec{b})$ が成立する.

- (2) $|\vec{a} + \vec{b}|^2 = 2(4 + \vec{a} \cdot \vec{b})$ であるから, (1) の結果から

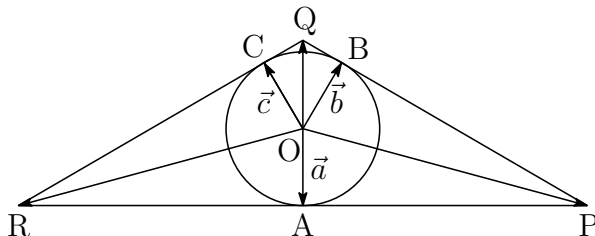
$$\overrightarrow{OP} = \frac{8}{|\vec{a} + \vec{b}|} \cdot \frac{\vec{a} + \vec{b}}{|\vec{a} + \vec{b}|}$$

したがって $OP = \frac{8}{|\vec{a} + \vec{b}|} = \frac{8}{\sqrt{8 + 2\vec{a} \cdot \vec{b}}} = \frac{8}{\sqrt{8 - 4\sqrt{3}}}$
 $= \frac{8}{\sqrt{6} - \sqrt{2}} = 2(\sqrt{6} + \sqrt{2})$

別解 $\cos \angle AOB = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \frac{-2\sqrt{3}}{2 \cdot 2} = -\frac{\sqrt{3}}{2}$ ゆえに $\angle AOB = 150^\circ$

$\angle AOP = 75^\circ$ であるから

$$OP = \frac{OA}{\cos 75^\circ} = 2 \times \frac{4}{\sqrt{6} - \sqrt{2}} = 2(\sqrt{6} + \sqrt{2})$$



(3) 与えられた条件より, $\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{\vec{a} \cdot \vec{c}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{-2\sqrt{3}}{2 \cdot 2} = -\frac{\sqrt{3}}{2}$ であるから

$$\angle AOB = \angle AOC = 150^\circ \quad \text{ゆえに} \quad \angle QPR = \angle QRP = 30^\circ$$

$$(2) \text{ と同様に} \quad OQ = \frac{8}{\sqrt{8 + 2\vec{b} \cdot \vec{c}}} = \frac{8}{\sqrt{8 + 2 \cdot 2}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$$

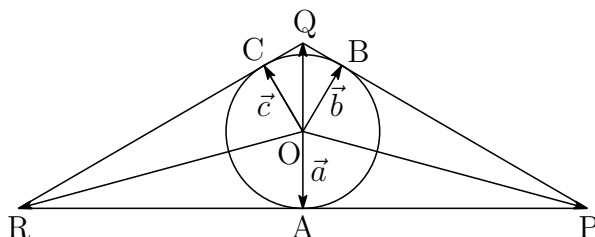
$\triangle QRP$ は, $PQ = RQ$ の二等辺三角形であるから

$$AQ = OA + OQ = 2 + \frac{4}{\sqrt{3}},$$

$$PR = 2AP = 2\sqrt{3}AQ$$

よって, 求める面積は

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} PR \cdot AQ &= \frac{1}{2} \cdot AQ \cdot 2\sqrt{3}AQ = \sqrt{3}AQ^2 \\ &= \sqrt{3} \left(2 + \frac{4}{\sqrt{3}} \right)^2 = 16 + \frac{28}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$



補足 $\cos \angle BOC = \frac{\vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{b}| |\vec{c}|} = \frac{2}{2 \cdot 2} = \frac{1}{2}$ より, $\angle BOC = 60^\circ$

$\angle BOQ = 30^\circ$ であるから

$$OQ = \frac{OB}{\cos 30^\circ} = 2 \times \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$$



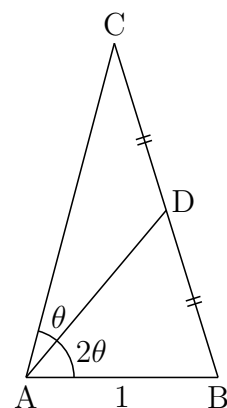
- 3** (1) $BD = CD$ より, $\triangle ABD = \triangle ACD$ であるから

$$\frac{1}{2}AB \cdot AD \sin 2\theta = \frac{1}{2}AC \cdot AD \sin \theta$$

したがって $AB \sin 2\theta = AC \sin \theta$

$AB = 1$ より

$$AC = \frac{AB \sin 2\theta}{\sin \theta} = 2 \cos \theta$$



- (2) $\triangle ABC$ に余弦定理を適用すると

$$\begin{aligned} BC^2 &= AB^2 + AC^2 - 2AB \cdot AC \cos 3\theta \\ &= 1^2 + (2 \cos \theta)^2 - 2 \cdot 1 \cdot 2 \cos \theta \cdot (4 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \\ &= -16 \cos^4 \theta + 16 \cos^2 \theta + 1 \end{aligned}$$

よって $BC = \sqrt{-16 \cos^4 \theta + 16 \cos^2 \theta + 1}$

- (3) (2) の結果から

$$BC^2 = -16 \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right)^2 + 5$$

$0 < \theta < \frac{\pi}{3}$ に注意して

$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$ すなわち $\theta = \frac{\pi}{4}$ のとき, 最大値 $\sqrt{5}$



- 4 (1) $a_m < 0$ となる $m \geq 2$ が存在すると仮定すると

$$a_m = \log_3 a_{m-1} < 0 \quad \text{ゆえに} \quad a_{m-1} < 1$$

したがって, $a_m = 3^{m-2} > 0$ となり, 矛盾を生じる.

よって, 2 以上の自然数 n に対して $a_n \geq 0$ である.

- (2) (1) の結論から $a_4 \geq 0, a_5 \geq 0$

$a_4 + a_5 = 1$ であるから

$$a_4 = 1 - a_5 \geq 0, \quad a_5 = 1 - a_4 \geq 0$$

したがって $0 \leq a_4 \leq 1, \quad 0 \leq a_5 \leq 1 \quad \dots (*)$

$a_4 < 1$ とすると, $a_5 = 3^3$ となり, $(*)$ に反する.

したがって $a_4 = 1, \quad a_5 = \log a_4 = 0$

$a_3 < 1$ とすると, $a_4 = 3^2 = 9$ となり, 不適.

$a_3 \geq 1$ であるから $a_4 = \log_3 a_3 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad a_3 = 3$

よって $a_3 = 3, a_4 = 1, a_5 = 0$

- (3) $0 \leq a_2 < 1$ のとき, $a_3 = 3^1 = 3$ となり, (2) の結果を満たす.

$a_2 \geq 1$ のとき, $a_3 = \log_3 a_2 = 3 \quad \text{ゆえに} \quad a_2 = 27$

したがって, a_2 の取り得る値の範囲は

$$0 \leq a_2 < 1, \quad a_2 = 27 \tag{A}$$

$a_1 < 1$ とすると, $a_2 = 3^0 = 1$ となり, (A) に反するので, 不適.

$a_1 \geq 1$ とすると, $a_2 = \log_3 a_1$ より

$$0 \leq \log_3 a_1 < 1, \quad \log_3 a_1 = 27$$

したがって, a_1 の取り得る値の範囲は

$$1 \leq a_1 < 3, \quad a_1 = 3^{27} \tag{B}$$

(A), (B) より $m_1 = 1, M_1 = 3^{27}, m_2 = 0, M_2 = 27$

よって $m_1 + m_2 + \log_3 M_1 M_2 = 1 + 0 + \log_3 3^{27} \cdot 27 = 31$ ■

6.22 2025 年 (理系)

出題分野 1 2 3 4

1 次のように定められた複素数の数列 $\{z_n\}$ を考える。

$$z_1 = 1, \quad z_{n+1} = (1+i)z_n + (2+i)\overline{z_n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

ただし、 i は虚数単位であり、 $\overline{z_n}$ は z_n と共役な複素数である。以下の問いに答えよ。

- (1) $\alpha_n = z_n + \overline{z_n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) とおくとき、数列 $\{\alpha_n\}$ の一般項を求めよ。
- (2) $\beta_n = (2-i)z_n - (2+i)\overline{z_n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) とおくとき、数列 $\{\beta_n\}$ の一般項を求めよ。
- (3) 数列 $\{z_n\}$ の一般項を求めよ。

2 放物線 $y = x^2$ を C とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 $(0, -4)$ を通り C に接する直線のうち、傾きが正のものを ℓ_1 、負のものを ℓ_2 とする。 C 、 ℓ_1 、 ℓ_2 で囲まれる部分の面積を求めよ。
- (2) $a > 0$ 、 $b < 0$ とし、直線 $\ell: y = ax + b$ は C の接線であるとする。 C 、 x 軸、 ℓ で囲まれる部分の面積が (1) で求めた面積に等しいとする。 a 、 b を求めよ。
- (3) 点 (p, q) に対し、 (p, q) を通る 2 つの直線 m_1 、 m_2 が C の異なる接線であり、 C 、 m_1 、 m_2 で囲まれる部分の面積が (1) で求めた面積に等しいとする。このような (p, q) の軌跡を求めよ。

3 実数 $a > 0$ に対し、座標平面の点の集合 X_a を

$$X_a = \left\{ (m, n) \mid m, n \text{ は } m^2 a + \frac{n^2}{a} \leq 25 \text{ を満たす正の整数} \right\}$$

で定める。以下の問いに答えよ。

- (1) X_1 の要素の個数を求めよ。
- (2) 正の整数 m に対し、点 $(m, 1)$ はどのような $a > 0$ に対しても X_a に含まれないとする。このような m の最小値を求めよ。
- (3) 座標平面の点の集合 X を

$$X = \{ (m, n) \mid \text{ある } a > 0 \text{ に対し } (m, n) \in X_a \text{ となる} \}$$

で定める。 X の要素の個数を求めよ。

4 以下の問いに答えよ。

- (1) $x > 0$ のとき、不等式 $\log(x+3) < x + \log 3$ を証明せよ。
- (2) n を 2 以上の整数とすると、不等式

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n} < 1 + \log n$$

を証明せよ。

- (3) 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_1 = 4, \quad a_{n+1} = \left(3 + \frac{1}{n+1} \right) a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により定める。 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$ の値を求めよ。ただし、 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log n}{n} = 0$ を用いてよい。

解答例

- 1** (1) (*) $z_{n+1} = (1+i)z_n + (2+i)\overline{z_n}$ より ($n = 1, 2, 3, \dots$)

$$z_{n+1} = (1+i)z_n + (2+i)\overline{z_n}$$

$$\overline{z_{n+1}} = (1-i)\overline{z_n} + (2-i)z_n$$

上の2式の辺々を加えると

$$z_{n+1} + \overline{z_{n+1}} = 3(z_n + \overline{z_n}) \quad \text{すなわち} \quad \alpha_{n+1} = 3\alpha_n$$

$$\alpha_1 = z_1 + \overline{z_1} = 1 + 1 = 2 \text{ および上の第2式から } \alpha_n = 2 \cdot 3^{n-1}$$

$$(2) (*) \text{ より } \quad (2-i)z_{n+1} = (2-i)\{(1+i)z_n + (2+i)\overline{z_n}\} \\ = (3+i)z_n + 5\overline{z_n}$$

$$\text{上式から } (2+i)\overline{z_{n+1}} = (3-i)\overline{z_n} + 5z_n$$

上の第1式から第2式を引くと

$$(2-i)z_{n+1} - (2+i)\overline{z_{n+1}} = -\{(2-i)z_n - (2+i)\overline{z_n}\}$$

$$\text{すなわち } \beta_{n+1} = -\beta_n$$

$$\beta_1 = (2-i)z_1 - (2+i)\overline{z_1} = (2-i) \cdot 1 - (2+i) \cdot 1 = -2i$$

$$\text{したがって } \beta_n = -2i \cdot (-1)^{n-1}$$

- (3) $\alpha_n = z_n + \overline{z_n}$, $\beta_n = (2-i)z_n - (2+i)\overline{z_n}$ より, $\overline{z_n}$ を消去すると

$$(2+i)\alpha_n + \beta_n = (2+i)(z_n + \overline{z_n}) + \{(2-i)z_n - (2+i)\overline{z_n}\} \\ = 4z_n$$

(1), (2) の結果から

$$z_n = \frac{1}{4}\{(2+i)\alpha_n + \beta_n\} \\ = \frac{1}{4}\{(2+i) \cdot 2 \cdot 3^{n-1} - 2i \cdot (-1)^{n-1}\} \\ = 3^{n-1} + \frac{3^{n-1} - (-1)^{n-1}}{2}i$$



2 (1) $y = x^2$ より $y' = 2x$

C 上の点 (t, t^2) における接線の方程式は

$$y - t^2 = 2t(x - t)$$

すなわち $y = 2tx - t^2 \dots (*)$

これが点 $(0, -4)$ を通るとき

$$-4 = 2t \cdot 0 - t^2 \quad \text{ゆえに} \quad t = \pm 2$$

ℓ_1, ℓ_2 の傾きがそれぞれ正, 負であるから, $(*)$ にそれぞれ $t = 2, -2$ を代入して

$$\ell_1: y = 4x - 4, \quad \ell_2: y = -4x - 4$$

ℓ_1 と ℓ_2 は y 軸に関して対称であり, C も y 軸に関して対称であるから, 求める面積を S_1 とすると

$$\begin{aligned} \frac{S_1}{2} &= \int_0^2 \{x^2 - (4x - 4)\} dx \\ &= \int_0^2 (x - 2)^2 dx = \frac{1}{3} \left[(x - 2)^3 \right]_0^2 = \frac{8}{3} \end{aligned}$$

よって, 求める面積は $S_1 = \frac{16}{3}$

(2) $(*)$ の x 軸との交点の x 座標は $(t > 0)$

$$2tx - t^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{t}{2}$$

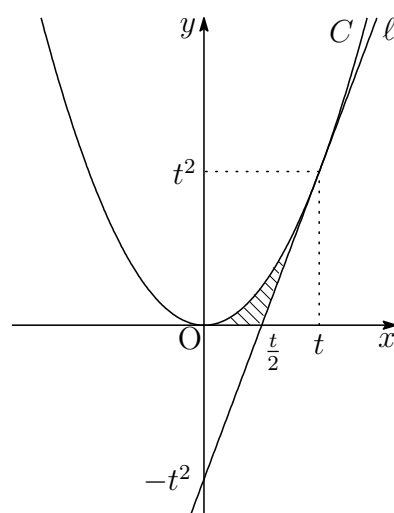
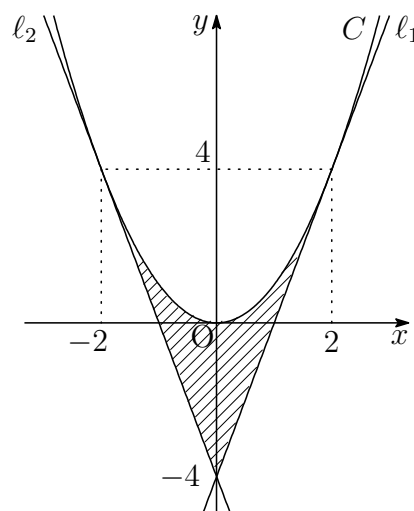
C, x 軸, ℓ で囲まれる部分の面積を S_2 とすると

$$\begin{aligned} S_2 &= \int_0^t x^2 dx - \frac{1}{2} \left(t - \frac{t}{2} \right) \cdot t^2 \\ &= \frac{1}{3} t^3 - \frac{1}{4} t^3 = \frac{1}{12} t^3 \end{aligned}$$

$S_2 = S_1$ であるから

$$\frac{1}{12} t^3 = \frac{16}{3} \quad \text{ゆえに} \quad t = 4$$

$(*)$ に $t = 4$ を代入して $y = 8x - 16$ よって $a = 8, b = -16$



- (3) $C: x^2 = 4 \cdot \frac{1}{4}y$ であるから、点 $P(p, q)$ を極とする C の極線 ℓ は

$$px = 2 \cdot \frac{1}{4}(y + q) \quad \text{すなわち} \quad y = 2px - q$$

$C: y = x^2$ と極線 $y = 2px - q$ の共有点の x 座標を α, β とすると、 α, β は、2 次方程式

$$x^2 = 2px - q \quad \text{すなわち} \quad x^2 - 2px + q = 0$$

の解であるから、解と係数の関係から

$$\alpha + \beta = 2p, \quad \alpha\beta = q \quad (**)$$

C 上の 2 点 $(\alpha, \alpha^2), (\beta, \beta^2)$ における接線をそれぞれ m_1, m_2 とすると、(*) より

$$m_1: y = 2\alpha x - \alpha^2, \quad m_2: y = 2\beta x - \beta^2$$

m_1 と m_2 の交点の x 座標は $(\alpha \neq \beta)$

$$2\alpha x - \alpha^2 = 2\beta x - \beta^2 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{\alpha + \beta}{2}$$

C, m_1, m_2 で囲まれた部分の面積を S_3 とすると

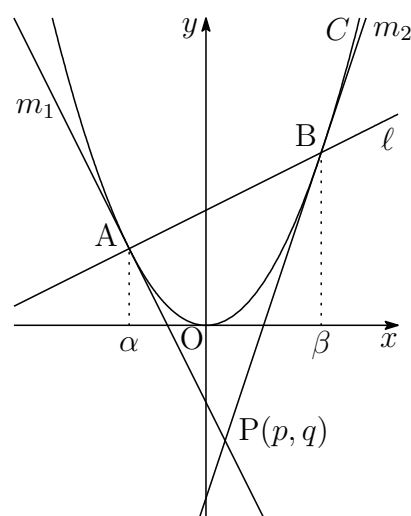
$$\begin{aligned} S_3 &= \int_{\alpha}^{\frac{\alpha+\beta}{2}} \{x^2 - (2\alpha x - \alpha^2)\} dx + \int_{\frac{\alpha+\beta}{2}}^{\beta} \{x^2 - (2\beta x - \beta^2)\} dx \\ &= \int_{\alpha}^{\frac{\alpha+\beta}{2}} (x - \alpha)^2 dx + \int_{\frac{\alpha+\beta}{2}}^{\beta} (x - \beta)^2 dx \\ &= \frac{1}{3} \left[(x - \alpha)^3 \right]_{\alpha}^{\frac{\alpha+\beta}{2}} + \frac{1}{3} \left[(x - \beta)^3 \right]_{\frac{\alpha+\beta}{2}}^{\beta} = \frac{1}{12}(\beta - \alpha)^3 \end{aligned}$$

$$S_3 = S_1 \text{ であるから } \frac{1}{12}(\beta - \alpha)^3 = \frac{16}{3} \quad \text{ゆえに} \quad \beta - \alpha = 4$$

$$(**) \text{ より } \beta - \alpha = \sqrt{(\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta} = \sqrt{(2p)^2 - 4q} = 2\sqrt{p^2 - q}$$

$$\text{したがって } 2\sqrt{p^2 - q} = 4 \quad \text{すなわち} \quad q = p^2 - 4$$

$$\text{よって、求める軌跡の方程式は} \quad y = x^2 - 4$$



極線の方程式

2 次曲線に対して, $P(x_1, y_1)$ から 2 本の接線を引けるとし, その接点を A, B とおく. 直線 AB を極 P に対する極線という.

- 楕円 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ の極線の方程式は $\frac{x_1x}{a^2} + \frac{y_1y}{b^2} = 1$
- 双曲線 $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ の極線の方程式は $\frac{x_1x}{a^2} - \frac{y_1y}{b^2} = 1$
- 放物線 $x^2 = 4py$ の極線の方程式は $x_1x = 2p(y + y_1)$
- 放物線 $y^2 = 4px$ の極線の方程式は $y_1y = 2p(x + x_1)$

注意 2 次曲線上の点 (x_1, y_1) における接線の方程式と一致している.

円の極線

円 $C: x^2 + y^2 = r^2$ の外部の点 $P(a, b)$ から C に引いた 2 本の接線の接点を $M(x_1, y_1)$, $N(x_2, y_2)$ とする. 2 本の接線

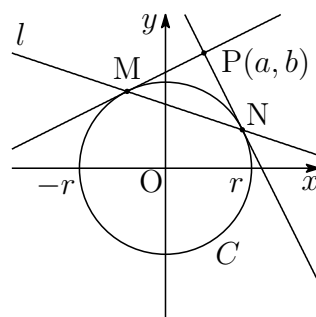
$$x_1x + y_1y = r^2, \quad x_2x + y_2y = r^2$$

は点 $P(a, b)$ を通るから

$$ax_1 + by_1 = r^2, \quad ax_2 + by_2 = r^2$$

上の 2 式から直線 $l: ax + by = r^2$ は 2 点 M, N を通る.

このとき, l を P を極とする C の極線という.

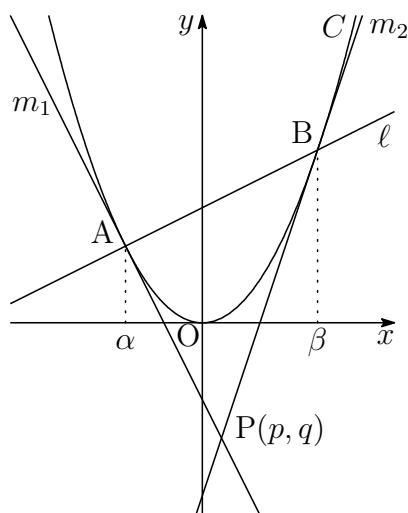


補足 C の極 (p, q) に対する極線 $\ell: y = 2px - q$, すなわち, $y = (\alpha + \beta)x - \alpha\beta$ と C で囲まれた部分の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} \{(\alpha + \beta)x - \alpha\beta - x^2\} dx \\ &= - \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx = \frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 \end{aligned}$$

(3) の結果から $S_3 = \frac{1}{2}S$

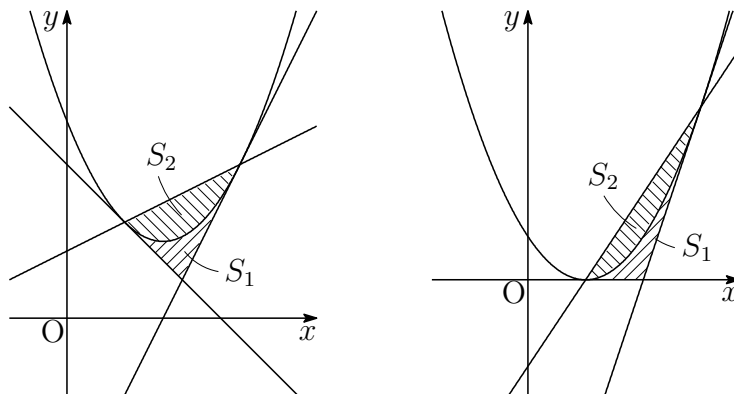
また, (**) の第1式から $p = \frac{\alpha + \beta}{2}$



放物線と放物線の2本の接線で囲まれた図形の面積 S_1 と, その2つの接点を結ぶ直線と放物線で囲まれた図形の面積 S_2 の比は,

$$S_1 : S_2 = 1 : 2$$

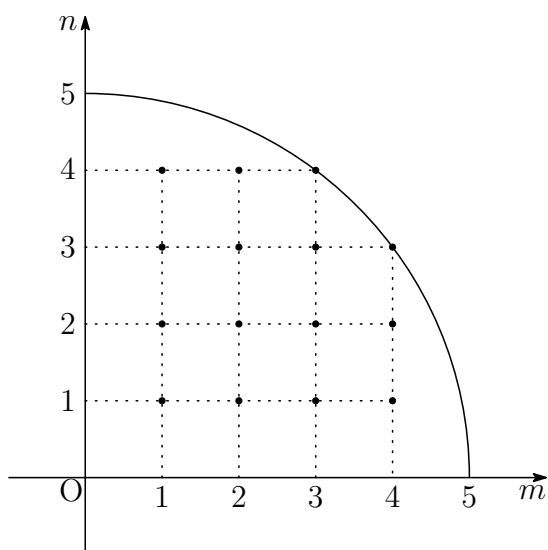
2本の接線の交点の x 座標は, 2つの接点の中点の x 座標と等しい.



- 3** (1) $X_1 = \{(m, n) \mid m, n \text{ は } m^2 + n^2 \leq 25 \text{ を満たす正の整数}\}$ であるから,
 $m = 1, 2, 3, 4$ の場合について調べればよい.

- $m = 1, 2, 3$ のとき, $n = 1, 2, 3, 4$
- $m = 4$ のとき, $n = 1, 2, 3$

よって $3 \times 4 + 3 = 15$ 個



- (2) 点 $(m, 1)$ はどのような $a > 0$ に対しても X_a に含まれないから

$$(*) \quad m^2 a + \frac{1}{a} > 25$$

$m > 0$, $a > 0$ であるから, 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$m^2 a + \frac{1}{a} = 2\sqrt{m^2 a \cdot \frac{1}{a}} = 2m$$

これから, $(*)$ の左辺の最小値 $2m$ であるから (m は自然数)

$$2m > 25$$

これを満たす最小の整数 m は **13**

(3) $m > 0, n > 0, a > 0$ であるから、相加平均・相乗平均の大小関係により

$$25 \geq m^2 a + \frac{n^2}{a} \geq 2\sqrt{m^2 a \cdot \frac{n^2}{a}} = 2mn$$

m, n は正の整数であるから

$$mn \leq 12$$

m は 12 以下の正の整数であるから

- $m = 1$ のとき, $n = 1, 2, \dots, 12$
- $m = 2$ のとき, $n = 1, 2, \dots, 6$
- $m = 3$ のとき, $n = 1, 2, 3, 4$
- $m = 4$ のとき, $n = 1, 2, 3$
- $m = 5, 6$ のとき, $n = 1, 2$
- $m = 7, 8, 9, 10, 11, 12$ のとき, $n = 1$

よって、求める個数は

$$12 + 6 + 4 + 3 + 2 \times 2 + 6 = 35 \text{ (個)}$$



$$\begin{aligned} \boxed{4} \quad (1) \quad x > 0 \text{ のとき} \quad \log(x+3) - \log 3 &= \left[\log t \right]_3^{x+3} = \int_3^{x+3} \frac{dt}{t} \\ &< \int_3^{x+3} \frac{dt}{3} = \left[\frac{t}{3} \right]_3^{x+3} = \frac{x}{3} < x \end{aligned}$$

よって $x > 0$ のとき $\log(x+3) < x + \log 3$

$$(2) \quad k \leq x < k+1 \text{ のとき, } \frac{1}{k+1} < \frac{1}{x} \text{ であるから}$$

$$\frac{1}{k+1} = \int_k^{k+1} \frac{dx}{k+1} < \int_k^{k+1} \frac{dx}{x} = \left[\log x \right]_k^{k+1} = \log(k+1) - \log k$$

$$n \geq 2 \text{ であるから} \quad \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{k+1} < \sum_{k=1}^{n-1} \{\log(k+1) - \log k\} = \log n$$

$$1 + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{k+1} < 1 + \log n \quad \text{すなわち} \quad 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n} < 1 + \log n$$

$$(3) \quad a_1 = 4, \quad a_{n+1} = \left(3 + \frac{1}{n+1} \right) a_n \text{ であるから, } a_n > 0 \text{ に注意して}$$

$$(*) \quad \frac{a_{n+1}}{a_n} = 3 + \frac{1}{n+1} \quad \text{ゆえに} \quad \prod_{k=1}^{n-1} \frac{a_{k+1}}{a_k} = \prod_{k=1}^{n-1} \left(3 + \frac{1}{k+1} \right) > \prod_{k=1}^{n-1} 3 = 3^{n-1}$$

$$\frac{a_n}{a_1} > 3^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n > a_1 \cdot 3^{n-1} > 3^n \quad \text{すなわち} \quad \sqrt[n]{a_n} > 3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$(1) \text{ の結論により} \quad \log \frac{a_{n+1}}{a_n} = \log \left(3 + \frac{1}{n+1} \right) < \frac{1}{n+1} + \log 3$$

$$\text{したがって} \quad \sum_{k=1}^{n-1} \log \frac{a_{k+1}}{a_k} < \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{1}{k+1} + \log 3 \right) < \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{k} + (n-1) \log 3$$

$$(2) \text{ の結論を利用すると} \quad \log a_n - \log a_1 < 1 + \log(n-1) + (n-1) \log 3$$

$$a_1 = 4 \text{ より} \quad \frac{1}{n} \log a_n < \frac{1 + \log 4}{n} + \frac{\log(n-1)}{n} + \left(1 - \frac{1}{n} \right) \log 3$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log \sqrt[n]{a_n} < \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1 + \log 4}{n} + \frac{\log(n-1)}{n} + \left(1 - \frac{1}{n} \right) \log 3 \right\} = \log 3$$

$$\text{したがって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} < 3 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ から, はさみうちの原理により} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} = 3$$

補足 $g(x) = 2\sqrt{x} - \log x$ とすると $g'(x) = \frac{1}{\sqrt{x}} - \frac{1}{x} = \frac{\sqrt{x} - 1}{x}$
 $g(1) = 2$, $x > 1$ において $g'(x) > 0$ であるから

$$x > 1 \text{ において } g(x) > g(1) = 2 > 0 \quad \text{ゆえに} \quad 2\sqrt{x} > \log x$$

$$x > 1 \text{ のとき} \quad 0 < \frac{\log x}{x} < \frac{2\sqrt{x}}{x} = \frac{2}{\sqrt{x}}$$

$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{\sqrt{x}} = 0$ であるから, はさうみちの原理により

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log x}{x} = 0$$



医学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	熊本大学 医学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量	1										
	データの分析											
II	式と証明								4			
	複素数と方程式											
	図形と方程式					2						
	三角関数			1							2	
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限	4		4					2			
	微分法とその応用	1	2・4	3								
	積分法	4	4		4			4			1・3	4
	積分法の応用		2	3		1・3	1・4	3		3		3
A	場合の数と確率				2	4				1	1	
	整数の性質						3				4	
	図形の性質											
B	数列	3・4							3			
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル		1							2・4		1
	空間のベクトル	2			1			1	1			
	複素数平面		3	2	3		2	2				2
	式と曲線											

数字は問題番号

6.23 2015 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 $\triangle ABC$ の 3 辺の長さを $BC = a$, $AC = b$, $AB = c$ とし, 条件

$$a + b + c = 1, \quad 9ab = 1$$

が成り立つとする. 以下の問いに答えよ。

- (1) a の値の範囲を求めよ。
- (2) $\theta = \angle C$ とするとき, $\cos \theta$ の値の範囲を求めよ。

2 p, q, r を実数とする。空間内の 3 点 $A(1, p, 0)$, $B(q, 1, 1)$, $C(-1, -1, r)$ が一直線上にあるとき, 以下の問いに答えよ。ただし, O を原点とする。

- (1) p は 1 でも -1 でもないことを示せ。
- (2) q, r を p を用いて表せ。
- (3) p', q', r' を実数とし, 空間内の 3 点を $A'(1, p', 0)$, $B'(q', 1, 1)$, $C'(-1, -1, r')$ とする。ベクトル $\overrightarrow{OA'}$, $\overrightarrow{OB'}$, $\overrightarrow{OC'}$ がいずれもベクトル $\overrightarrow{AB}$ に垂直であるとき, p', q', r' を p を用いて表せ。
- (4) (3) における 3 点 A', B', C' は一直線上にないことを示せ。

- 3 a と b を正の実数とする。△ABC において、 $\angle B$ と $\angle C$ は鋭角とする。点 A を通り辺 BC に直交する直線を引き、辺 BC との交点を X_1 とし、線分 AX_1 の長さを 1 とする。また、 $BX_1 = a$, $CX_1 = b$ とする。各 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して以下の操作を行う。

辺 BC 上の点 X_n を通り辺 AC に平行な直線を引き、辺 AB との交点を Y_n とする。また、点 Y_n を通り辺 BC に平行な直線を引き、辺 AC との交点を Z_n とする。点 Z_n を通り辺 BC に直交する直線を引き、辺 BC との交点を X_{n+1} とする。

線分 $Z_n X_{n+1}$ の長さを l_n とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) l_1 を a , b を用いて表せ。
 - (2) l_{n+1} を l_n , a , b を用いて表せ。
 - (3) $b = 8a$ のとき、 $l_n > \frac{1}{2}$ となる最小の奇数 n を求めよ。必要ならば、 $3.169 < \log_2 9 < 3.17$ を用いてもよい。
- 4 r を正の実数とする。数列 $\{a_n\}$ を

$$a_n = \int_0^{n\pi} e^{-rx} |\sin x| dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

と定めるとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $a_{n+1} - a_n$ を求めよ。
- (2) $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を r を用いて表せ。
- (4) (3) で求めた r の式を $f(r)$ とおく。 $\lim_{r \rightarrow +0} rf(r)$ を求めよ。

解答例

1 (1) 三角形の成立条件により

$$a + b > c, \quad b + c > a, \quad c + a > b$$

$a + b + c = 1$ より, $c = 1 - a - b$ を上の3式に代入すると

$$a + b > 1 - a - b, \quad b + (1 - a - b) > a, \quad (1 - a - b) + a > b$$

$$\text{したがって} \quad a + b > \frac{1}{2}, \quad a < \frac{1}{2}, \quad b < \frac{1}{2}$$

$9ab = 1$ より, $b = \frac{1}{9a}$ であるから

$$a + \frac{1}{9a} > \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{1}, \quad a < \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{2}, \quad \frac{1}{9a} < \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{3}$$

ここで, $a > 0$ であるから, 相加・相乗平均の関係により

$$a + \frac{1}{9a} \geq 2\sqrt{a \cdot \frac{1}{9a}} = \frac{2}{3}$$

ゆえに, $a > 0$ について, $\textcircled{1}$ は成立する.

$$\textcircled{3} \text{ を解くと } a > \frac{2}{9} \quad \text{よって, これと } \textcircled{2} \text{ から } \quad \frac{2}{9} < a < \frac{1}{2}$$

(2) 余弦定理により $\cos \theta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$

$c = 1 - a - b$, $ab = \frac{1}{9}$, $b = \frac{1}{9a}$ であるから

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \frac{a^2 + b^2 - (1 - a - b)^2}{2ab} = \frac{2a + 2b - 2ab - 1}{2ab} \\ &= \frac{2a + 2b - 2 \cdot \frac{1}{9} - 1}{2 \cdot \frac{1}{9}} = 9(a + b) - \frac{11}{2} \\ &= 9 \left(a + \frac{1}{9a} \right) - \frac{11}{2} = 9a + \frac{1}{a} - \frac{11}{2} \end{aligned}$$

ここで, $f(a) = 9a + \frac{1}{a} - \frac{11}{2}$ $\left(\frac{2}{9} < a < \frac{1}{2} \right)$ とおくと

$$\begin{aligned} f'(a) &= 9 - \frac{1}{a^2} \\ &= \frac{(3a + 1)(3a - 1)}{a^2} \end{aligned}$$

a	$\left(\frac{2}{9}\right)$	$\cdots$	$\frac{1}{3}$	$\cdots$	$\left(\frac{1}{2}\right)$
$f'(a)$		$-$	0	$+$	
$f(a)$	(1)	$\searrow$	$\frac{1}{2}$	$\nearrow$	(1)

$$\text{よって} \quad \frac{1}{2} \leq \cos \theta < 1$$



- 2** (1) $A(1, p, 0)$, $B(q, 1, 1)$, $C(-1, -1, r)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (q-1, 1-p, 1), \quad \overrightarrow{AC} = (-2, -1-p, r)$$

$\overrightarrow{AB} // \overrightarrow{AC}$ であるから, これらの z 成分に注目すると

$$\overrightarrow{AC} = r\overrightarrow{AB} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} -2 = r(q-1) & \cdots \textcircled{1} \\ -1-p = r(1-p) & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} \text{ より } r \neq 0 \quad \cdots \textcircled{3}$$

$p = 1$ は, $\textcircled{2}$ を満たさない.

$p = -1$ を $\textcircled{2}$ に代入すると, $r = 0$ となり, $\textcircled{3}$ に反する.

よって $p \neq \pm 1$

- (2) $\overrightarrow{AB} // \overrightarrow{AC}$ であるから, これらの x 成分, y 成分により

$$(q-1)(-1-p) - (1-p) \cdot (-2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad q = \frac{3-p}{p+1}$$

$\overrightarrow{BA} // \overrightarrow{BC}$ であるから, これらの y 成分, z 成分により

$$(p-1)(r-1) - (-1)(-2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad r = \frac{p+1}{p-1}$$

- (3) (2) の結果より, $A(1, p, 0)$, $B\left(\frac{3-p}{p+1}, 1, 1\right)$ であるから

$$(p+1)\overrightarrow{AB} = (2-2p, 1-p^2, 1+p)$$

$\overrightarrow{OA'} = (1, p', 0)$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$2-2p+p'(1-p^2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad p' = -\frac{2}{p+1}$$

$\overrightarrow{OB'} = (q', 1, 1)$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$q'(2-2p) + 1-p^2 + 1+p = 0 \quad \text{ゆえに} \quad q' = -\frac{(p+1)(p-2)}{2(p-1)}$$

$\overrightarrow{OC'} = (-1, -1', r')$ は $\overrightarrow{AB}$ と垂直なので

$$-(2-2p) - (1-p^2) + r'(1+p) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad r' = -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1}$$

$$\begin{aligned}
 (4) \text{ (3) の結果から } & A' \left(1, -\frac{2}{p+1}, 0 \right), \\
 & B' \left(-\frac{(p+1)(p-2)}{2(p-1)}, 1, 1 \right), \\
 & C' \left(-1, -1, -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{したがって } \overrightarrow{A'B'} &= \left(\frac{-p^2-p+4}{2(p-1)}, \frac{p+3}{p+1}, 1 \right) \\
 \overrightarrow{A'C'} &= \left(-2, \frac{-p+1}{p+1}, -\frac{(p+3)(p-1)}{p+1} \right) \\
 \overrightarrow{A'B'} // \overrightarrow{A'C'} &\text{ であるとき, これらの } x \text{ 成分, } y \text{ 成分から}
 \end{aligned}$$

$$\frac{-p^2-p+4}{2(p-1)} \cdot \frac{-p+1}{p+1} - \frac{p+3}{p+1} \cdot (-2) = 0$$

$$\text{整理すると } p^2 + 5p + 8 = 0 \quad \cdots (*)$$

この方程式の判別式を D とすると

$$D = 5^2 - 4 \cdot 1 \cdot 8 = -7 < 0$$

したがって, 方程式 $(*)$ は実数解をもたない.

よって, 3点 A' , B' , C' は一直線上にない. ■

- 3 (1) 座標平面上に点 $A(0, 1)$, $B(-a, 0)$, $C(b, 0)$, $X_n(x_n, 0)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) をとる. 直線 AB の方程式は

$$y = \frac{1}{a}x + 1 \quad \dots \textcircled{1}$$

直線 AC の方程式は

$$y = -\frac{1}{b}x + 1 \quad \dots \textcircled{2}$$

直線 X_nY_n は点 $(x_n, 0)$ を通り, 傾き $-\frac{1}{b}$ の直線であるから

$$y = -\frac{1}{b}(x - x_n) \quad \dots \textcircled{3}$$

点 Y_n の y 座標 l_n は, ①, ③ を解いて $l_n = \frac{a + x_n}{a + b} \quad \dots \textcircled{4}$

このとき, $x_1 = 0$ であるから $l_1 = \frac{a}{a + b}$

- (2) 点 Z_n の y 座標が l_n であるから, その x 座標は, ② より

$$l_n = -\frac{x}{b} + 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = b(1 - l_n)$$

これが点 X_{n+1} の x 座標であるから $x_{n+1} = b(1 - l_n)$

したがって, 上式および ④ から

$$l_{n+1} = \frac{a + x_{n+1}}{a + b} = \frac{a + b(1 - l_n)}{a + b} = -\frac{b}{a + b}l_n + 1$$

- (3) $b = 8a$ のとき, (1), (2) の結果から $l_{n+1} = -\frac{8}{9}l_n + 1$, $l_1 = \frac{1}{9}$

この漸化式から $l_n = \frac{9}{17} + \frac{8}{17} \left(-\frac{8}{9}\right)^n$

$l_n > \frac{1}{2}$ のとき $\frac{9}{17} + \frac{8}{17} \left(-\frac{8}{9}\right)^n > \frac{1}{2}$ ゆえに $\left(-\frac{8}{9}\right)^n > -\frac{1}{16}$

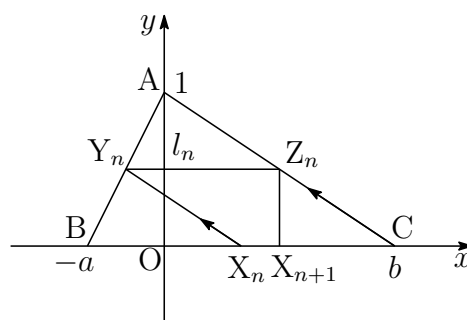
n は奇数であるから $(-1)^n \left(\frac{8}{9}\right)^n > -\frac{1}{16}$ ゆえに $\left(\frac{8}{9}\right)^n < \frac{1}{16}$

したがって $n > \frac{4}{\log_2 9 - 3}$

このとき, $3.169 < \log_2 9 < 3.17$ より

$$23.5 \dots = \frac{4}{3.17 - 3} < \frac{4}{\log_2 9 - 3} < \frac{4}{3.169 - 3} = 23.6 \dots$$

よって, 求める最小の奇数 n は $n = 25$



$$\begin{aligned} \text{[4]} \quad (1) \quad a_{n+1} - a_n &= \int_0^{(n+1)\pi} e^{-rx} |\sin x| dx - \int_0^{n\pi} e^{-rx} |\sin x| dx \\ &= \int_{n\pi}^{(n+1)\pi} e^{-rx} |\sin x| dx \end{aligned}$$

$$t = x - n\pi \text{ とおくと } \frac{dx}{dt} = 1, \quad \begin{array}{c|c} x & n\pi \longrightarrow (n+1)\pi \\ \hline t & 0 \longrightarrow \pi \end{array}$$

$$\begin{aligned} a_{n+1} - a_n &= \int_0^\pi e^{-r(n\pi+t)} |\sin(t+n\pi)| dt \\ &= e^{-rn\pi} \int_0^\pi e^{-rt} \sin t dt = e^{-rn\pi} a_1 \\ &= e^{-rn\pi} \left[-\frac{e^{-rt}}{r^2+1} (r \sin t + \cos t) \right]_0^\pi = \frac{e^{-r\pi} + 1}{r^2+1} e^{-nr\pi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad a_1 &= \int_0^\pi e^{-rx} |\sin x| dx = \int_0^\pi e^{-rx} \sin x dx \\ &= -\frac{1}{r^2+1} \left[e^{-rx} (r \sin x + \cos x) \right]_0^\pi = \frac{e^{-r\pi} + 1}{r^2+1} \end{aligned}$$

上式および (1) の結果より, $a_{n+1} - a_n = e^{-n\pi} a_1$ であるから, $n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) &= a_1 \sum_{k=1}^{n-1} e^{-rk\pi} \\ a_n &= a_1 \sum_{k=0}^{n-1} e^{-rk\pi} = a_1 \times \frac{1 - e^{-rn\pi}}{1 - e^{-r\pi}} \\ &= \frac{e^{-r\pi} + 1}{r^2+1} \times \frac{1 - e^{-rn\pi}}{1 - e^{-r\pi}} = \frac{(1 + e^{-r\pi})(1 - e^{-rn\pi})}{(1 + r^2)(1 - e^{-r\pi})} \end{aligned}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから

$$a_n = \frac{(1 + e^{-r\pi})(1 - e^{-rn\pi})}{(1 + r^2)(1 - e^{-r\pi})}$$

(3) $r > 0$ より, $\lim_{n \rightarrow \infty} e^{-rn\pi} = 0$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \frac{1 + e^{-r\pi}}{(1 + r^2)(1 - e^{-r\pi})}$$

(4) $rf(r) = \frac{r(1 + e^{-r\pi})}{(1 + r^2)(1 - e^{-r\pi})} = \frac{1 + e^{-r\pi}}{(1 + r^2)\pi} \times \frac{-r\pi}{e^{-r\pi} - 1}$ であるから

$$\lim_{r \rightarrow +0} rf(r) = \frac{1+1}{\pi} \times 1 = \frac{2}{\pi}$$

■

6.24 2016 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 $\triangle ABC$ と, A を通り BC に平行な直線 l を考える。 k を正の数とし, 直線 l 上に点 P を $\overrightarrow{AP} = k\overrightarrow{BC}$ となるようにとる。また直線 l 上に点 Q を, 線分 PB と線分 QC が 1 点で交わるようにとる。その交点を R とする。 $\overrightarrow{AB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{AC} = \vec{c}$ とおき, また m を $\overrightarrow{AQ} = m\overrightarrow{AP}$ により定める。以下の問いに答えよ。

- (1) $\overrightarrow{AR}$ を $\vec{b}$, $\vec{c}$, k , m を用いて表せ。
- (2) $|\vec{b}| = 1$, $|\vec{c}| = 2$, $\cos \angle BAC = \frac{3}{4}$, $m = -1$ とする。 $\overrightarrow{BR}$ と $\overrightarrow{CR}$ が直交するとき, k の値を求めよ。

- 2 $x \geq 1$ で定義された関数

$$f(x) = \frac{\log x}{x^2}$$

について, 以下の問いに答えよ。

- (1) $x \geq 1$ における $f(x)$ の最大値とそのときの x の値を求めよ。
- (2) (1) で求めた x の値を a とする。曲線 $y = f(x)$ と 2 直線 $y = 0$, $x = a$ で囲まれた図形を D とする。 D の面積を求めよ。
- (3) (2) の図形 D を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。
- 3 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ を満たす θ に対して, $\alpha = 2(\cos \theta + i \sin \theta)$ とする。ただし, i は虚数単位である。 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して

$$z_n = \alpha^n - 2\alpha^{n-1}$$

とおく。以下の問いに答えよ。

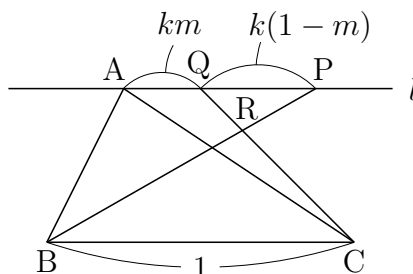
- (1) $\theta = \frac{\pi}{3}$ とするとき, z_n を極形式で表せ。
- (2) $\theta = \frac{\pi}{3}$ とするとき, $\sum_{k=1}^n |z_k| > 500$ となる最小の n を求めよ。
- (3) z_{1000} が実数となるような θ の値の個数を求めよ。

4 a, b を実数とし、曲線 $C: y = x^3 - 3ax^2 + bx$ を考える。 C の接線の傾きの最小値が -3 であるとき、以下の問いに答えよ。

- (1) b を a を用いて表せ。
- (2) C が x 軸の正の部分、負の部分とそれぞれ1点で交わるとする。このとき a の値の範囲を求めよ。
- (3) a が (2) で求めた範囲にあるとき、 C と x 軸で囲まれた図形の面積の最小値を求め、そのときの a の値を求めよ。

解答例

- 1 (1) $BC : AP = 1 : k$, $AP : PQ = 1 : 1 - m$ より $BC : PQ = 1 : k(1 - m)$
 $\triangle RBC \sim \triangle RPQ$ より $BR : PR = 1 : k(1 - m)$



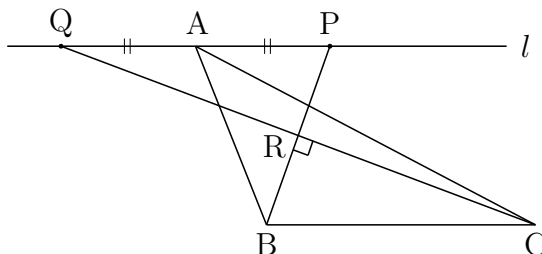
$\overrightarrow{AP} = k\overrightarrow{BC} = k(\vec{c} - \vec{b})$ であるから

$$\overrightarrow{AR} = \frac{k(1-m)\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AP}}{1 + k(1-m)} = \frac{k(1-m)\vec{b} + k(\vec{c} - \vec{b})}{1 + k(1-m)} = \frac{-km\vec{b} + k\vec{c}}{1 + k(1-m)}$$

- (2) $m = -1$ より, $\overrightarrow{AQ} = -\overrightarrow{AP} = -k(\vec{c} - \vec{b})$ であるから

$$\overrightarrow{BP} = \overrightarrow{AP} - \overrightarrow{AB} = k(\vec{c} - \vec{b}) - \vec{b} = -(k+1)\vec{b} + k\vec{c}$$

$$\overrightarrow{CQ} = \overrightarrow{AQ} - \overrightarrow{AC} = -k(\vec{c} - \vec{b}) - \vec{c} = k\vec{b} - (k+1)\vec{c}$$



$\overrightarrow{BR} \perp \overrightarrow{CR}$ のとき, $\overrightarrow{BP} \perp \overrightarrow{CQ}$ より $\overrightarrow{BP} \cdot \overrightarrow{CQ} = 0$ であるから

$$\{-(k+1)\vec{b} + k\vec{c}\} \cdot \{k\vec{b} - (k+1)\vec{c}\} = 0$$

$$-k(k+1)|\vec{b}|^2 + \{k^2 + (k+1)^2\}\vec{b} \cdot \vec{c} - k(k+1)|\vec{c}|^2 = 0$$

$|\vec{b}| = 1$, $|\vec{c}| = 2$, $\vec{b} \cdot \vec{c} = |\vec{b}||\vec{c}| \cos \angle BAC = 1 \cdot 2 \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{2}$ であるから

$$-k(k+1) \cdot 1^2 + \{k^2 + (k+1)^2\} \cdot \frac{3}{2} - k(k+1) \cdot 2^2 = 0$$

整理すると $4k^2 + 4k - 3 = 0$ ゆえに $(2k-1)(2k+3) = 0$

$k > 0$ であるから $k = \frac{1}{2}$

■

2 (1) $f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ を微分すると

$$f'(x) = (\log x)' \frac{1}{x^2} + \log x \left(\frac{1}{x^2} \right)' = \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x^2} + \log x \left(-\frac{2}{x^3} \right) = \frac{1 - 2 \log x}{x^3}$$

$$f'(x) = 0 \text{ とすると } x = \sqrt{e}$$

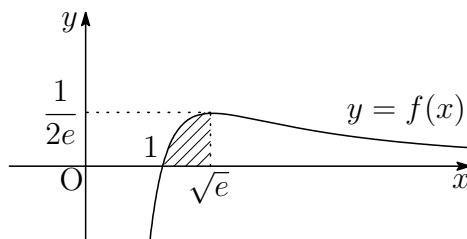
$f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ ($x \geq 1$) の増減表は、次のようになる.

x	1	...	$\sqrt{e}$	...
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$	0	↗	極大	↘

よって、求める最大値は $f(\sqrt{e}) = \frac{1}{2e}$

(2) 求める面積を S とすると、(1) の結果から

$$\begin{aligned} S &= \int_1^{\sqrt{e}} \frac{\log x}{x^2} dx = - \int_1^{\sqrt{e}} \left(\frac{1}{x} \right)' \log x dx \\ &= - \left[\frac{1}{x} \log x \right]_1^{\sqrt{e}} + \int_1^{\sqrt{e}} \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x} dx \\ &= - \left[\frac{1}{x} (\log x + 1) \right]_1^{\sqrt{e}} = 1 - \frac{3}{2\sqrt{e}} \end{aligned}$$



(3) 求める立体の体積を V とすると

$$V = 2\pi \int_1^{\sqrt{e}} x \cdot \frac{\log x}{x^2} dx = 2\pi \int_1^{\sqrt{e}} (\log x)(\log x)' dx = \pi \left[(\log x)^2 \right]_1^{\sqrt{e}} = \frac{\pi}{4}$$

—— バウムクーヘン型求積法 ——

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき、 $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$

3 (1) $\alpha = 2(\cos \theta + i \sin \theta)$ より

$$\begin{aligned} z_n &= \alpha^n - 2\alpha^{n-1} = \{2(\cos \theta + i \sin \theta)\}^n - 2\{2(\cos \theta + i \sin \theta)\}^{n-1} \\ &= 2^n(\cos n\theta + i \sin n\theta) - 2^n\{\cos(n-1)\theta + i \sin(n-1)\theta\} \\ &= 2^n\{\cos n\theta - \cos(n-1)\theta\} + 2^n i\{\sin n\theta - \sin(n-1)\theta\} \\ &= -2^{n+1} \sin \frac{2n-1}{2}\theta \sin \frac{\theta}{2} + 2^{n+1} i \cos \frac{2n-1}{2}\theta \sin \frac{\theta}{2} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

$\theta = \frac{\pi}{3}$ であるから

$$\begin{aligned} z_n &= -2^{n+1} \sin \frac{2n-1}{6}\pi \sin \frac{\pi}{6} + 2^{n+1} i \cos \frac{2n-1}{6}\pi \sin \frac{\pi}{6} \\ &= -2^n \sin \left(\frac{n+1}{3}\pi - \frac{\pi}{2} \right) + 2^n i \cos \left(\frac{n+1}{3}\pi - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

補足 $z_n = -2^n \sin \frac{2n-1}{6}\pi + 2^n i \cos \frac{2n-1}{6}\pi = 2^n i \left(\cos \frac{2n-1}{6}\pi + i \sin \frac{2n-1}{6}\pi \right)$

$$\begin{aligned} &= 2^n \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) \left(\cos \frac{2n-1}{6}\pi + i \sin \frac{2n-1}{6}\pi \right) \\ &= 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

別解 $z_n = \alpha^n - 2\alpha^{n-1} = \alpha^{n-1}(\alpha - 2) \quad \cdots \textcircled{1}$

$$\begin{aligned} \alpha - 2 &= 2(\cos \theta + i \sin \theta) - 2 = 2(\cos \theta - 1 + i \sin \theta) \\ &= 4 \left(-\sin^2 \frac{\theta}{2} + i \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \right) = 4i \sin \frac{\theta}{2} \left(i \sin \frac{\theta}{2} + \cos \frac{\theta}{2} \right) \\ &= 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) \left(\cos \frac{\theta}{2} + i \sin \frac{\theta}{2} \right) \\ &= 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{\theta + \pi}{2} \right) \end{aligned}$$

上式および $\textcircled{1}$ から

$$\begin{aligned} z_n &= 2^{n-1} \{\cos(n-1)\theta + i \sin(n-1)\theta\} \cdot 4 \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{\theta + \pi}{2} \right) \\ &= 2^{n+1} \sin \frac{\theta}{2} \left(\cos \frac{(2n-1)\theta + \pi}{2} + i \sin \frac{(2n-1)\theta + \pi}{2} \right) \end{aligned}$$

これに $\theta = \frac{\pi}{3}$ を代入すると $z_n = 2^n \left(\cos \frac{n+1}{3}\pi + i \sin \frac{n+1}{3}\pi \right)$

(2) (1)の結果より, $|z_k| = 2^k$ であるから

$$\sum_{k=1}^n |z_k| = \sum_{k=1}^n 2^k = \frac{2(2^n - 1)}{2 - 1} = 2(2^n - 1)$$

$$\sum_{k=1}^n |z_k| > 500 \text{ のとき } 2(2^n - 1) > 500 \text{ ゆえに } 2^n > 251$$

これを満たす最小の整数 n は **8**

(3) (*) より $z_{1000} = -2^{1001} \sin \frac{1999}{2} \theta \sin \frac{\theta}{2} + 2^{1001} i \cos \frac{1999}{2} \theta \sin \frac{\theta}{2}$
 z_{1000} が実数であるとき, 自然数 j を用いて

$$\frac{1999}{2} \theta = \frac{2j-1}{2} \pi \text{ ゆえに } \theta = \frac{2j-1}{1999} \pi$$

このとき, $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ であるから $1 \leq j \leq 500$

よって, 求める θ の個数は **500** (個) ■

4 (1) $y = x^3 - 3ax^2 + bx$ を微分すると

$$y' = 3x^2 - 6ax + b = 3(x-a)^2 - 3a^2 + b$$

y' の最小値が -3 であるから

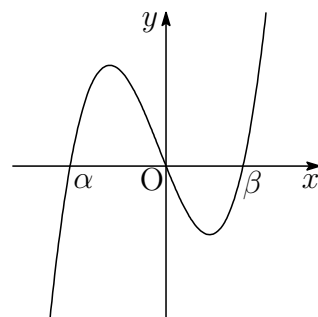
$$-3a^2 + b = -3 \text{ よって } b = 3a^2 - 3$$

(2) $y = x(x^2 - 3ax + b)$ より, このグラフの x 軸の負の部分, 正の部分で交わる点の x 座標をそれぞれ α, β とすると ($\alpha < 0 < \beta$), α, β は 2 次方程式 $x^2 - 3ax + b = 0$ の解であるから, 解と係数の関係により

$$\alpha + \beta = 3a, \quad \alpha\beta = b \quad \dots (*)$$

このとき, $b < 0$ であるから, (1) の結果から

$$3a^2 - 3 < 0 \text{ よって } -1 < a < 1$$



(3) (*) から, $y = x^3 - (\alpha + \beta)x^2 + \alpha\beta x$. 図形の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^0 \{x^3 - (\alpha + \beta)x^2 + \alpha\beta x\} dx - \int_0^{\beta} \{x^3 - (\alpha + \beta)x^2 + \alpha\beta x\} dx \\ &= \left[\frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{3}(\alpha + \beta)x^3 + \frac{1}{2}\alpha\beta x^2 \right]_{\alpha}^0 - \left[\frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{3}(\alpha + \beta)x^3 + \frac{1}{2}\alpha\beta x^2 \right]_0^{\beta} \\ &= \frac{1}{12}(\alpha^4 + \beta^4) - \frac{1}{6}\alpha\beta(\alpha^2 + \beta^2) \end{aligned}$$

ここで, (1) の結果および (*) に注意して

$$\begin{aligned} \alpha\beta &= b = 3a^2 - 3 \\ \alpha^2 + \beta^2 &= (\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta = (3a)^2 - 2(3a^2 - 3) = 3a^2 + 6 \\ \alpha^4 + \beta^4 &= (\alpha^2 + \beta^2)^2 - 2(\alpha\beta)^2 \\ &= (3a^2 + 6)^2 - 2(3a^2 - 3)^2 = -9a^4 + 72a^2 + 18 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{12}(-9a^4 + 72a^2 + 18) - \frac{1}{6}(3a^2 - 3)(3a^2 + 6) \\ &= -\frac{9}{4}a^4 + \frac{9}{2}a^2 + \frac{9}{2} \\ \frac{dS}{da} &= -9a^3 + 9a = -9a(a + 1)(a - 1) \end{aligned}$$

S の増減表は次のようになる.

a	-1	...	0	...	1
$\frac{dS}{da}$		-	0	+	
S		$\searrow$	極小 $\frac{9}{2}$	$\nearrow$	

$a = 0$ のとき, S は最小値 $\frac{9}{2}$ をとる. ■

6.25 2017年(医学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 半径1の円に外接する $\triangle ABC$ について、 $\angle CAB = 2x$, $\angle ABC = 2y$, $\angle BCA = 2z$ とする。 $\triangle ABC$ の面積を S とすると、以下の問いに答えよ。

(1) $S = \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan z}$ が成り立つことを示せ。

(2) $z = \frac{\pi}{6}$ のとき、 S の最小値とそのときの x, y を求めよ。

- 2 $s > 0, t > 0$ とする。複素数平面上の $\alpha = -i$, $\beta = 2 - 2i$, $\gamma = s + ti$ を表す点をそれぞれA, B, Cとする。さらに、点Dを直線ACに関して点Bと反対側にとり、 $\triangle ACD$ が正三角形になるようにする。点Dを表す複素数を z とすると、以下の問いに答えよ。

(1) z を s, t を用いて表せ。

(2) α, β, γ が等式 $4(\beta - \alpha)^2 + (\gamma - \alpha)^2 - 2(\beta - \alpha)(\gamma - \alpha) = 0$ を満たすとき、 γ と z をそれぞれ求めよ。

(3) (2)で求めた γ と z に対して、直線ACと直線BDの交点をFとし、 $\angle DFC = \theta$ とする。このとき、 $\cos \theta$ の値を求めよ。

- 3 $f(x) = \frac{(x-1)(x-2)}{x^2}$ ($x > 0$)とする。座標平面上の曲線 $y = f(x)$ を C とし、点 $P(t, f(t))$ ($t > 0$)における曲線 C の接線を ℓ とする。以下の問いに答えよ。

(1) 接線 ℓ と曲線 C が点P以外に共有点をもたないような t の最大値を求めよ。

(2) (1)で求めた t の値を a とする。実数 k に対し、直線 $\ell_k: y = k(x-a) + f(a)$ と曲線 C の共有点の個数を求めよ。

(3) (2)の直線 ℓ_k と曲線 C の共有点が2個のとき、それら共有点の x 座標のうち小さい方の値が $\frac{1}{3}$ となるような k を求め、そのときの曲線 C と直線 ℓ_k で囲まれた部分の面積を求めよ。

- 4 n は 2 以上の自然数とする。1 から $2n$ までの自然数の順列 $a_1, a_2, \dots, a_{2n}$ に対して、分数の和

$$\frac{a_1}{a_{n+1}} + \frac{a_2}{a_{n+2}} + \dots + \frac{a_n}{a_{2n}} \quad \dots (*)$$

を考える。1 から $2n$ までの自然数のすべての順列に対して $(*)$ がとり得る値の最大値を S_n とする。以下の問いに答えよ。

- (1) S_2 を求めよ。
- (2) S_n を与える順列 $a_1, a_2, \dots, a_{2n}$ の例を 1 つ挙げ、その理由を述べよ。
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n \log n}$ を求めよ。

解答例

- 1 (1) 右の図のように $\triangle ABC$ の内心を I とし、この内接円と 3 辺 BC , CA , AB との接点をそれぞれ D , E , F とする. $\triangle AEI$ について

$$\tan x = \frac{EI}{AE} \quad \text{ゆえに} \quad AE = \frac{1}{\tan x}$$

$AE = AF$ であるから

$$\triangle AEI = \triangle AFI = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\tan x} \cdot 1 = \frac{1}{2 \tan x}$$

$$\text{同様に} \quad \triangle BDI = \triangle BFI = \frac{1}{2 \tan y}, \quad \triangle CDI = \triangle CEI = \frac{1}{2 \tan z}$$

S はこれらの三角形の面積の和であるから

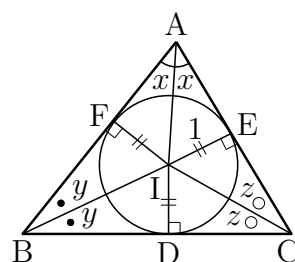
$$S = 2 \left(\frac{1}{2 \tan x} + \frac{1}{2 \tan y} + \frac{1}{2 \tan z} \right) = \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan z}$$

- (2) $2x + 2y + 2z = \pi$ より, $z = \frac{\pi}{6}$ のとき, $x + y = \frac{\pi}{3} \cdots \textcircled{1}$ であるから

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan \frac{\pi}{6}} = \frac{\cos x}{\sin x} + \frac{\cos y}{\sin y} + \sqrt{3} \\ &= \frac{\cos x \sin y + \sin x \cos y}{\sin x \sin y} + \sqrt{3} = \frac{2 \sin(x+y)}{\cos(x-y) - \cos(x+y)} + \sqrt{3} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{\cos(x-y) - \frac{1}{2}} + \sqrt{3} \end{aligned}$$

- $\textcircled{1}$ より, $0 < x, y < \frac{\pi}{3}$ であるから

$$S \text{ は } x = y = \frac{\pi}{6} \text{ のとき, 最小値 } 3\sqrt{3}$$



補足 $x, y, z > 0$, $x + y + z = \frac{\pi}{2}$ のとき,

$$S = \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan z}$$

の最小値を求める.

$z = \theta$ (θ は定数) に対し, S が最小となるときの x, y の値は

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan \theta} = \frac{\cos x}{\sin x} + \frac{\cos y}{\sin y} + \frac{1}{\tan \theta} \\ &= \frac{\cos x \sin y + \sin x \cos y}{\sin x \sin y} + \frac{1}{\tan \theta} \\ &= \frac{2 \sin(x+y)}{\cos(x-y) - \cos(x+y)} + \frac{1}{\tan \theta} \end{aligned}$$

$0 \leq |x-y| < x+y = \frac{\pi}{2} - \theta$ に注意すると, S が最小となるのは, $y = x$, $z = \frac{\pi}{2} - 2x > 0$ のときであるから

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan\left(\frac{\pi}{2} - 2x\right)} \quad \left(0 < x < \frac{\pi}{4}\right) \\ &= \frac{2}{\tan x} + \tan 2x = \frac{2}{\tan x} + \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x} \end{aligned}$$

ここで, $t = \tan x$, $f(t) = \frac{2}{t} + \frac{2t}{1-t^2}$ ($0 < t < 1$) とおくと

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{2}{t} - \frac{1}{t+1} - \frac{1}{t-1} \\ f'(t) &= -\frac{2}{t^2} + \frac{1}{(t+1)^2} + \frac{1}{(t-1)^2} = \frac{2(3t^2-1)}{t^2(t+1)^2(t-1)^2} \end{aligned}$$

したがって, $f(t)$ の増減表は

t	(0)	$\dots$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\dots$	(1)
$f'(t)$		$-$	0	$+$	
$f(t)$		$\searrow$	極小 $3\sqrt{3}$	$\nearrow$	

S が最小となるのは, $\tan x = \frac{1}{\sqrt{3}}$, すなわち, $x = y = z = \frac{\pi}{6}$ のとき, 最小値 $3\sqrt{3}$ をとる.

発展 $x, y, z > 0, x + y + z = \frac{\pi}{2}$ のとき,

$$S = \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan z}$$

の最小値を求める.

束縛条件を平面

$$P: x + y + z = \frac{\pi}{2} \quad (x, y, z > 0)$$

とし, P 上の正則な平面曲線

$$\begin{aligned} C(t) &= (x, y, z) \\ &= (x(t), y(t), z(t)) \end{aligned}$$

が $t = t_0$ で極値をとり, その点 A を

$$(\alpha, \beta, \gamma) = (x(t_0), y(t_0), z(t_0))$$

とする. $C(t)$ は P 上にあるから, $x + y + z = \frac{\pi}{2}$ を t で微分すると

$$\frac{dx}{dt} + \frac{dy}{dt} + \frac{dz}{dt} = 0, \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{d^2z}{dt^2} = 0 \quad \cdots (*)$$

上の第1式から

$$(1, 1, 1) \cdot \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) = 0 \quad \cdots (**)$$

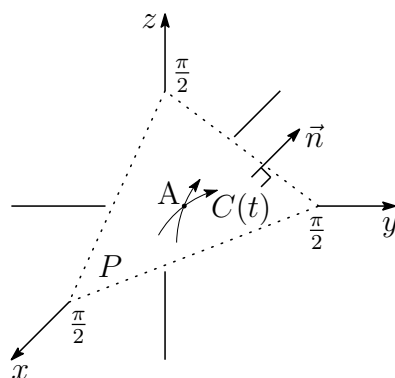
$C(t)$ の接方向は, 常に P の法ベクトル $\vec{n} = (1, 1, 1)$ に垂直である.

$C(t)$ 上の点 (x, y, z) について, S は t の関数であるから

$$f(t) = \frac{1}{\tan x} + \frac{1}{\tan y} + \frac{1}{\tan z}$$

とおくと

$$\begin{aligned} f'(t) &= -\frac{1}{\sin^2 x} \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{1}{\sin^2 y} \cdot \frac{dy}{dt} - \frac{1}{\sin^2 z} \cdot \frac{dz}{dt}, \\ f''(t) &= \frac{2 \cos x}{\sin^3 x} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{2 \cos y}{\sin^3 y} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \frac{2 \cos z}{\sin^3 z} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \\ &\quad - \frac{1}{\sin^2 x} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{1}{\sin^2 y} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} - \frac{1}{\sin^2 z} \cdot \frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned}$$



$t = t_0$ で S が極値をとるための必要条件は, $f'(t_0) = 0$ であるから

$$-\frac{1}{\sin^2 \alpha} \frac{dx}{dt} - \frac{1}{\sin^2 \beta} \frac{dy}{dt} - \frac{1}{\sin^2 \gamma} \frac{dz}{dt} = 0$$

$$\left(-\frac{1}{\sin^2 \alpha}, -\frac{1}{\sin^2 \beta}, -\frac{1}{\sin^2 \gamma} \right) \cdot \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) = 0$$

A を通る $C(t)$ の任意の接方向に対して上式が成り立つので, (**) より

$$\left(-\frac{1}{\sin^2 \alpha}, -\frac{1}{\sin^2 \beta}, -\frac{1}{\sin^2 \gamma} \right) \parallel (1, 1, 1)$$

$0 < \alpha, \beta, \gamma < \frac{\pi}{2}$ であるから

$$\sin \alpha = \sin \beta = \sin \gamma \quad \text{すなわち} \quad \alpha = \beta = \gamma = \frac{\pi}{6}$$

このとき, $C(t)$ は正則であるから $\left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right) \neq \vec{0}$

また, (*) の第 2 式に注意して

$$f''(t_0) = 8\sqrt{3} \left\{ \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right\} - 4 \left(\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{d^2z}{dt^2} \right)$$

$$= 8\sqrt{3} \left\{ \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \right\} > 0$$

$f'(t_0) = 0$, $f''(t_0) > 0$ より, $f(t)$ は極小値 $f(t_0)$ をとる.

よって, 点 A $\left(\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6} \right)$ で S は極小値, すなわち, 最小値 $3\sqrt{3}$ をとる. ■

- 2 (1) 点 D は直線 AC に関して点 B と反対側にあり, $\triangle ACD$ が正三角形であるから

$$\begin{aligned} z &= \alpha + \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) (\gamma - \alpha) = -i + \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) \{s + (t+1)i\} \\ &= \frac{s - \sqrt{3}(t+1)}{2} + \frac{\sqrt{3}s + t - 1}{2}i \end{aligned}$$

- (2) $4(\beta - \alpha)^2 + (\gamma - \alpha)^2 - 2(\beta - \alpha)(\gamma - \alpha) = 0$ より

$$\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right)^2 - 2 \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) + 4 = 0$$

2 点 A, B の位置関係に注意してこれを解くと

$$\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = 1 + \sqrt{3}i = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)$$

$$w = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \text{ とおくと, } \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = 2w, \quad \frac{z - \alpha}{\gamma - \alpha} = w \text{ より}$$

$$\gamma - \alpha = 2w(\beta - \alpha) = (1 + \sqrt{3}i)(2 - i) = 2 + \sqrt{3} + (-1 + 2\sqrt{3})i$$

$$z - \alpha = 2w^2(\beta - \alpha) = (-1 + \sqrt{3}i)(2 - i) = -2 + \sqrt{3} + (1 + 2\sqrt{3})i$$

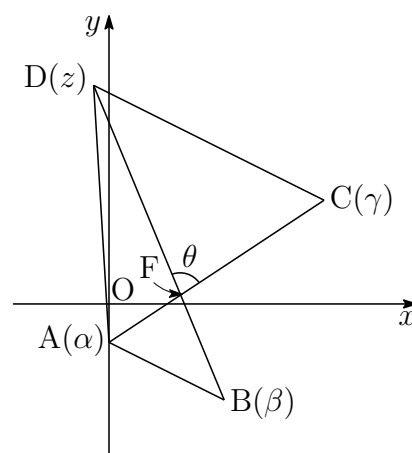
$$\begin{aligned} \alpha &= -i \text{ より} & \gamma &= 2 + \sqrt{3} + (-1 + 2\sqrt{3})i \\ z &= -2 + \sqrt{3} + 2\sqrt{3}i \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \frac{z - \beta}{\gamma - \alpha} &= \frac{z - \alpha - (\beta - \alpha)}{\gamma - \alpha} \\ &= \frac{2w^2(\beta - \alpha) - (\beta - \alpha)}{2w(\beta - \alpha)} \\ &= \frac{2w^2 - 1}{2w} = \frac{1}{2} \left(2w - \frac{1}{w} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left\{ 2 \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) - \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) \right\} \\ &= \frac{1}{4}(1 + 3\sqrt{3}i) \end{aligned}$$

上の図から, $\theta = \arg \frac{z - \beta}{\gamma - \alpha}$ であるから

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (3\sqrt{3})^2}} = \frac{1}{2\sqrt{7}} = \frac{\sqrt{7}}{14}$$



■

3 (1) $f(x) = \frac{(x-1)(x-2)}{x^2} = 1 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^2}$ より

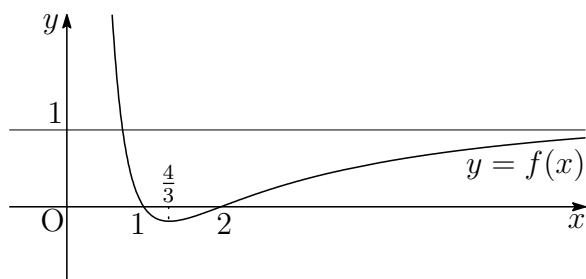
$$f'(x) = \frac{3}{x^2} - \frac{4}{x^3} = \frac{3x-4}{x^3},$$

$$f''(x) = -\frac{6}{x^3} + \frac{12}{x^4} = -\frac{6(x-2)}{x^4},$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1$$

$f(x)$ の増減表 ($x > 0$) および $y = f(x)$ のグラフは、次のようになる.

x	(0)	...	$\frac{4}{3}$	...	2	...
$f'(x)$		-	0	+	+	+
$f''(x)$		+	+	+	0	-
$f(x)$		$\searrow$	極小 $-\frac{1}{8}$	$\nearrow$	変曲点 0	$\nearrow$



曲線 $C: y = f(x)$ 上の点 $P(t, f(t))$ ($t > 0$) における接線 ℓ が点 P 以外に
共有点をもたない t の値は

$$0 < t \leq \frac{4}{3}, \quad t = 2$$

よって、求める t の最大値は $t = 2$

別解 $f(x) = \frac{(x-1)(x-2)}{x^2} = 1 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^2}$ より, $f'(x) = \frac{3}{x^2} - \frac{4}{x^3}$ であるから

$$\begin{aligned}
 & f(x) - \{f'(t)(x-t) + f(t)\} \\
 &= 1 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^2} - \left(\frac{3}{t^2} - \frac{4}{t^3}\right)(x-t) - \left(1 - \frac{3}{t} + \frac{2}{t^2}\right) \\
 &= -3 \left\{ \frac{1}{x} - \frac{1}{t} + \frac{1}{t^2}(x-t) \right\} + 2 \left\{ \frac{1}{x^2} - \frac{1}{t^2} + \frac{2}{t^3}(x-t) \right\} \\
 &= -3 \left\{ -\frac{x-t}{xt} + \frac{1}{t^2}(x-t) \right\} + 2 \left\{ -\frac{(x^2-t^2)}{x^2t^2} + \frac{2}{t^3}(x-t) \right\} \\
 &= -3(x-t) \left(-\frac{1}{xt} + \frac{1}{t^2} \right) + 2(x-t) \left(-\frac{x+t}{x^2t^2} + \frac{2}{t^3} \right) \\
 &= -3(x-t) \cdot \frac{-t+x}{xt^2} + 2(x-t) \cdot \frac{-t(x+t) + 2x^2}{x^2t^3} \\
 &= -3(x-t)^2 \cdot \frac{1}{xt^2} + 2(x-t) \cdot \frac{(x-t)(2x+t)}{x^2t^3} \\
 &= (x-t)^2 \left\{ -\frac{3}{xt^2} + \frac{2(2x+t)}{x^2t^3} \right\} = \frac{(x-t)^2 \{(-3t+4)x + 2t\}}{x^2t^3}
 \end{aligned}$$

方程式 $f(x) - \{f'(t)(x-t) + f(t)\} = 0$ の解 $x > 0$ が 1 個であるのは

$$\begin{aligned}
 -3t+4 \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad 0 < t \leq \frac{4}{3} \text{ のとき} \quad x=t \text{ の 1 個} \\
 \frac{2t}{3t-4} = t \quad \text{すなわち} \quad t=2 \text{ のとき} \quad x=2 \text{ の 1 個}
 \end{aligned}$$

よって, 求める t の最大値は $t=2$

補足 $y=f(x)$ と $y=f'(t)(x-t)+f(t)$ は, $x=t$ で 1 次の接触をなす. $f(x)$ は有理関数であるから, $f(x) - \{f'(t)(x-t) + f(t)\}$ は $(x-t)^2$ を因数にもつ. 別解では関数 $h_0(x)=1$, $h_1(x)=\frac{1}{x}$, $h_2(x)=\frac{1}{x^2}$ を考え,

$$h_i(x) - \{h'_i(t)(x-t) + h_i(t)\}$$

は $(x-t)^2$ を因数にもつことに注意し ($i=1, 2$),

$$f(x) = h_0(x) - 3h_1(x) + 2h_2(x)$$

として計算した.

- (2) (1) の結果から, 変曲点 $(2, 0)$ における接線の傾きは $f'(2) = \frac{1}{4}$
直線 $l_k: y = k(x-2)$ と曲線 C の共有点の個数は, (1) のグラフから

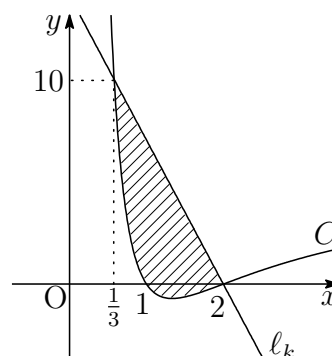
$$\begin{aligned}
 k \leq 0 \text{ のとき} & \quad 2 \text{ 個} \\
 0 < k < \frac{1}{4} \text{ のとき} & \quad 3 \text{ 個} \\
 \frac{1}{4} \leq k \text{ のとき} & \quad 1 \text{ 個}
 \end{aligned}$$

$$(3) f\left(\frac{1}{3}\right) = 10$$

k は 2 点 $\left(\frac{1}{3}, 10\right), (2, 0)$ を結ぶ直線の傾きであるから

$$k = \frac{0 - 10}{2 - \frac{1}{3}} = -6$$

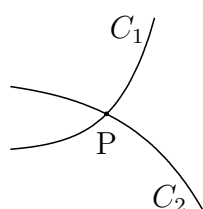
求める面積は、右の図の斜線部分で、その面積を S とすると



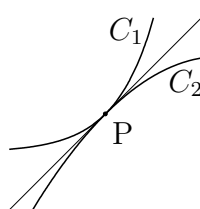
$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{1}{3}}^2 \left\{ -6(x-2) - \left(1 - \frac{3}{x} + \frac{2}{x^2} \right) \right\} dx \\ &= \left[-3(x-2)^2 - x + 3 \log x + \frac{2}{x} \right]_{\frac{1}{3}}^2 = \frac{5}{3} + 3 \log 6 \end{aligned}$$

解説 2 曲線 $C_1: y = f(x)$ と $C_2: y = g(x)$ の共有点 P の x 座標を α とする.

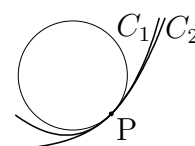
1. $f(\alpha) = g(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 0 次の接触をなすという.
2. $f(\alpha) = g(\alpha), f'(\alpha) = g'(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 1 次の接触をなすという, P における C_1 および C_2 の接線が一致する.
3. $f(\alpha) = g(\alpha), f'(\alpha) = g'(\alpha), f''(\alpha) = g''(\alpha)$ であるとき, C_1 と C_2 は P で 2 次の接触をなすという, P における C_1 および C_2 の接触円 (曲率円)⁹ が一致する.



0 次の接触



1 次の接触



2 次の接触

一般に, $f^{(k)}(\alpha) = g^{(k)}(\alpha)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) が成り立つとき, C_1 と C_2 は P で n 次の接触をなすという.

準備 ライプニッツの公式 (Leibniz formula)

$$\{f(x)g(x)\}^{(n)} = \sum_{k=0}^n {}_n C_k f^{(n-k)}(x) g^{(k)}(x)$$

証明は, 数学的帰納法により示すことができる.

⁹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2009.pdf [3] 解説を参照.

補題 2つの有理関数 $f(x)$, $g(x)$ が $x = \alpha$ で1次の接触をなすとき, 有理関数 $\varphi_1(x)$ を用いて

$$f(x) - g(x) = (x - \alpha)\varphi_1(x)$$

これを微分して $f'(x) - g'(x) = \varphi_1(x) + (x - \alpha)\varphi_1'(x)$

$f'(\alpha) = g'(\alpha)$ であるから, 有理関数 $\varphi_2(x)$ を用いて

$$\varphi_1(x) + (x - \alpha)\varphi_1'(x) = (x - \alpha)\varphi_2(x)$$

ゆえに $\varphi_1(x) = (x - \alpha)\{\varphi_2(x) - \varphi_1'(x)\}$

したがって $f(x) - g(x) = (x - \alpha)^2\{\varphi_2(x) - \varphi_1'(x)\}$

よって, $f(x) - g(x)$ は $(x - \alpha)^2$ を因数にもつ.

定理

2つの有理関数 $f(x)$, $g(x)$ が $x = \alpha$ で n 次の接触をなすとき, $f(x) - g(x)$ は $(x - \alpha)^{n+1}$ を因数にもつ.

証明 $n = 0$ のとき, 明らか. $n = 1$ のとき, 補題により示された.

n 次の接触をなすとき, $0 \leq k \leq n$ について, k 次の接触をなす.

$n = k$ のとき成り立つと仮定すると, 有理関数 $\varphi(x)$ を用いて

$$f(x) - g(x) = (x - \alpha)^{k+1}\varphi(x)$$

と表せる. ライプニッツの公式を用いてこれを $k + 1$ 回微分すると

$$f^{(k+1)}(x) - g^{(k+1)}(x) = (k+1)!\varphi(x) + \sum_{j=1}^{k+1} {}_{k+1}C_j \{(x - \alpha)^{k+1}\}^{(k+1-j)} \varphi^{(j)}(x)$$

$f^{(k+1)}(\alpha) = g^{(k+1)}(\alpha)$ であるから, 上式は $x - \alpha$ を因数にもつ.

また, $1 \leq j \leq k + 1$ のとき $\{(x - \alpha)^{k+1}\}^{(k+1-j)}$ は $x - \alpha$ を因数にもつので, $\varphi(x)$ は有理関数 $\phi(x)$ を用いて

$$\varphi(x) = (x - \alpha)\phi(x)$$

したがって, $n = k + 1$ のとき, 次式が成り立つ.

$$f(x) - g(x) = (x - \alpha)^{k+2}\phi(x)$$

このとき, $f(x) - g(x)$ は $(x - \alpha)^{k+2}$ を因数にもつ.

よって, 数学的帰納法により, 定理は示された. ■

- 4 (1) S_2 は分母が 1 と 2 の組合せについて調べればよいので

$$\frac{4}{1} + \frac{3}{2} = \frac{11}{2}, \quad \frac{3}{1} + \frac{4}{2} = 5 \quad \text{よって} \quad S_2 = \frac{11}{2}$$

- (2) 1 から $2n$ までの自然数を分母と分子にもつ分数で最大のものは $\frac{2n}{1}$
 2 から $2n-1$ までの自然数を分母と分子にもつ分数で最大のものは $\frac{2n-1}{2}$
 順次この法則によりできる分数の和

$$\frac{2n}{1} + \frac{2n-1}{2} + \cdots + \frac{n+1}{n}$$

が S_n である. この法則に従わない部分

$$\frac{c}{a} + \frac{d}{b} \quad (a < b < c < d)$$

をもつ S_n が存在すると仮定すると

$$\left(\frac{d}{a} + \frac{c}{b}\right) - \left(\frac{c}{a} + \frac{d}{b}\right) = \frac{(b-a)(d-c)}{ab} > 0$$

すなわち
$$\frac{c}{a} + \frac{d}{b} < \frac{d}{a} + \frac{c}{b}$$

これは, S_n であることに反する. よって

$$S_n = \frac{2n}{1} + \frac{2n-1}{2} + \cdots + \frac{n+1}{n}$$

となり, 求める順列の例の 1 つは

$$a_1 = 2n, a_2 = 2n-1, \dots, a_n = n+1, \\ a_{n+1} = 1, a_{n+2} = 2, \dots, a_{2n} = n$$

- (3) (2) の結果から, $S_n = \sum_{k=1}^n \frac{2n+1-k}{k}$ であるから

$$\begin{aligned} \frac{S_n}{n \log n} &= \frac{1}{n \log n} \sum_{k=1}^n \frac{2n+1-k}{k} \\ &= \frac{1}{n \log n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{2n+1}{k} - 1 \right) \\ &= \frac{1}{\log n} \left(-1 + \frac{2n+1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \right) \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

ここで、自然数 k について、 $\frac{1}{k} > \int_k^{k+1} \frac{dx}{x}$ であるから

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} > \sum_{k=1}^n \int_k^{k+1} \frac{dx}{x} = \int_1^{n+1} \frac{dx}{x} = \log(n+1) > \log n$$

次に、2 以上の自然数 k について、 $\frac{1}{k} < \int_{k-1}^k \frac{dx}{x}$ であるから

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = 1 + \sum_{k=2}^n \frac{1}{k} < 1 + \sum_{k=2}^n \int_{k-1}^k \frac{dx}{x} = 1 + \int_1^n \frac{dx}{x} = \log n + 1$$

上の 2 式から $\log n < \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} < \log n + 1 \quad \dots \textcircled{2}$

①, ② から

$$\begin{aligned} \frac{1}{\log n} \left(-1 + \frac{2n+1}{n} \log n \right) &< \frac{S_n}{n \log n} < \frac{1}{\log n} \left\{ -1 + \frac{2n+1}{n} (\log n + 1) \right\} \\ -\frac{1}{\log n} + 2 + \frac{1}{n} &< \frac{S_n}{n \log n} < -\frac{1}{\log n} + \left(2 + \frac{1}{n} \right) \left(1 + \frac{1}{\log n} \right) \end{aligned}$$

はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n \log n} = 2$$

補足 ② はオイラーの定数 γ に関係している.

$$\gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \log n \right) \doteq 0.5772156649 \dots$$

は無理数であるかどうかさえ分かっていない. ■

6.26 2018 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 t を実数とする。空間の 4 点 $A(1, 5, 0)$, $B(4, 2, 0)$, $C(t, 2t, t-1)$, $D(1, 6, 1)$ について、以下の問いに答えよ。

- (1) $\triangle ABC$ が直角三角形になる t の値をすべて求めよ。
- (2) A, B, C, D が同一平面上にあるような t の値を求めよ。
- (3) $\angle BAC$ が直角のとき、四面体 $ABCD$ の体積を求めよ。

2 m, n を整数とする。 xy 平面上の 4 点 (m, n) , $(m-1, n)$, $(m-1, n-1)$, $(m, n-1)$ を頂点にもつ正方形を $R_{(m,n)}$ と表す。初めに 1 辺の長さが 1 のさいころが $R_{(1,1)}$ に 1 の目を上に置かれている。1 枚の硬貨を投げて表が出たらさいころを x 軸方向に +1 だけ転がして移し、裏が出たら y 軸方向に +1 だけ転がして移す。以下の問いに答えよ。ただし、さいころの向かい合う面の目の数の和は 7 であるとする。

- (1) 硬貨を 5 回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある確率を求めよ。
- (2) 硬貨を 2 回投げたあとにさいころの 6 の目が上にあるという条件の下で、硬貨を 5 回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある条件付き確率を求めよ。
- (3) 硬貨を 5 回投げたとき、初めから 5 回目の移動までにさいころの 6 通りの目がすべて上に現れる確率を求めよ。

3 複素数平面上で $|z+i| - |z-i| = 1$ をみたす点 z の全体を H とおく。以下の問いに答えよ。ただし、複素数の偏角 θ の範囲は $0 \leq \theta < 2\pi$ とする。

- (1) H の点 z に対して、 z の偏角 θ_1 のとりうる値の範囲を求めよ。
- (2) H の点 z に対して $w = \frac{1}{z}$ とする。 w の絶対値 r_2 と偏角 θ_2 のとりうる値の範囲をそれぞれ求めよ。

4 関数 $f(x) = \sqrt{3x^2 + x^3}$ ($x \geq -3$) について、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ の極大値を求めよ。
- (2) $-3 \leq x \leq 0$ とするとき、 $F(x) = \int_x^{x+3} f(t) dt$ の最大値と最小値を求めよ。

解答例

- 1** (1) A(1, 5, 0), B(4, 2, 0), C(t, 2t, t-1) より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AB} &= (3, -3, 0), \quad \overrightarrow{AC} = (t-1, 2t-5, t-1), \\ \overrightarrow{BC} &= (t-4, 2t-2, t-1)\end{aligned}$$

- (i) $\angle BAC = 90^\circ$ のとき, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 0$ であるから

$$3(t-1) - 3(2t-5) + 0(t-1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 4$$

- (ii) $\angle ABC = 90^\circ$ のとき, $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{BC} = 0$ であるから

$$3(t-4) - 3(2t-2) + 0(t-1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = -2$$

- (iii) $\angle ACB = 90^\circ$ のとき, $\overrightarrow{AC} \cdot \overrightarrow{BC} = 0$ であるから

$$(t-1)(t-4) + (2t-5)(2t-2) + (t-1)^2 = 0$$

$$\text{整理すると} \quad 2t^2 - 7t + 5 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 1, \frac{5}{2}$$

- (i)~(iii) から $t = 4, -2, 1, \frac{5}{2}$

- (2) $\vec{b} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AB}$, $\vec{d} = \overrightarrow{AD}$ とおくと $\vec{b} = (1, -1, 0)$, $\vec{d} = (0, 1, 1)$

A, B, C, D が同一平面上にあるとき, 定数 x, y を用いて

$$\overrightarrow{AC} = x\vec{b} + y\vec{d}$$

$$\begin{aligned}\text{ゆえに} \quad (t-1, 2t-5, t-1) &= x(1, -1, 0) + y(0, 1, 1) \\ &= (x, -x+y, y)\end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad (*) \quad \begin{cases} t-1 = x \\ 2t-5 = -x+y \\ t-1 = y \end{cases}$$

(*) の第1, 第3式から $x = y$ これを第2式に代入すると

$$2t-5 = 0 \quad \text{よって} \quad t = \frac{5}{2}$$

別解 $\vec{b}, \vec{d}$ に垂直なベクトルの1つは $\vec{n} = (1, 1, -1)$

$\vec{n} \perp \overrightarrow{AC}$ であるから, $\vec{n} \cdot \overrightarrow{AC} = 0$ より

$$1(t-1) + 1(2t-5) - 1(t-1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{5}{2}$$

- (3) (1)(i) より, $t = 4$ であるから $C(4, 8, 3)$ ゆえに $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$
 $\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0)$ と $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$ に垂直な単位ベクトルの 1 つを

$$\vec{e} = \frac{1}{\sqrt{6}}(1, 1, -2)$$

とおく. $\overrightarrow{AD} = (0, 1, 1)$ であるから, D から平面 ABC に下ろした垂線の長さを h とすると

$$h = |\overrightarrow{AD} \cdot \vec{e}| = \frac{1}{\sqrt{6}}$$

よって, 求める四面体 ABCD の体積は

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \triangle ABC \cdot h &= \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}| h \\ &= \frac{1}{6} \cdot 3\sqrt{2} \cdot 3\sqrt{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{3}{2} \end{aligned}$$

補足 2 つのベクトル $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$, $\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ が平行でないとき, ベクトル

$$(a_2b_3 - a_3b_2, a_3b_1 - a_1b_3, a_1b_2 - a_2b_1)$$

は, $\vec{a}$ および $\vec{b}$ に直交する. このベクトルを, $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のベクトル積と言い, $\vec{a} \times \vec{b}$ で表す¹⁰. 本題において, $\overrightarrow{AB} = (3, -3, 0)$, $\overrightarrow{AC} = (3, 3, 3)$ より

$$\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC} = (-9, -9, 18)$$

四面体 ABCD の体積を V とすると

$$V = \frac{1}{6} |(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{AD}|$$

であるから, $\overrightarrow{AD} = (0, 1, 1)$ より

$$V = \frac{1}{6} |9| = \frac{3}{2}$$

ベクトル積 (外積) は高校数学の範囲外であるが, 検算として利用できる. ■

¹⁰<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-ri.2004.pdf> (p.10 を参照)

- 2 (1) さいころが $R_{(m,n)}$ から $R_{(m+i,n+j)}$ の位置に移る確率を $P_{(i,j)}$ とすると

$$P_{(i,j)} = {}_{i+j}C_i \left(\frac{1}{2}\right)^{i+j} = \frac{{}_{i+j}C_i}{2^{i+j}} \quad \cdots (*)$$

である (i, j は 0 以上の整数).

$R_{(1,1)}$ から $R_{(3,4)}$ に移る確率であるから, $(*)$ に $i = 2, j = 3$ を代入して

$$P_{(2,3)} = \frac{{}_5C_2}{2^5} = \frac{10}{32} = \frac{5}{16}$$

- (2) 事象 A, B を, 次のように定める

A : 硬貨を 2 回投げたあとにさいころの 6 の目が上にある.

B : 硬貨を 5 回投げたあとにさいころが $R_{(3,4)}$ の位置にある.

$P(A)$ は, $R_{(1,1)}$ から $R_{(3,1)}$ または $R_{(1,3)}$ の位置に移る確率であるから, $(*)$ により

$$P(A) = P_{(2,0)} + P_{(0,2)} = \frac{{}_2C_2}{2^2} + \frac{{}_2C_0}{2^2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$$

$P(A \cap B)$ は, $R_{(1,1)}$ から $R_{(3,1)}$ または $R_{(1,3)}$ の位置を通過して, $R_{(3,4)}$ の位置に移る確率であるから

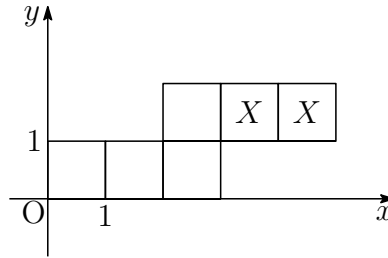
$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P_{(2,0)}P_{(0,3)} + P_{(0,2)}P_{(2,1)} \\ &= \frac{{}_2C_2}{2^2} \cdot \frac{{}_3C_0}{2^3} + \frac{{}_2C_0}{2^2} \cdot \frac{{}_3C_2}{2^3} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{8} = \frac{1}{8} \end{aligned}$$

よって, 求める条件付き確率は

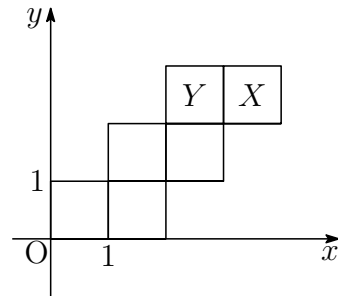
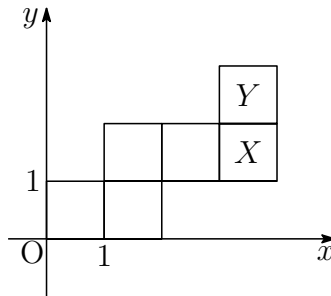
$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\frac{1}{8}}{\frac{1}{2}} = \frac{1}{4}$$

- (3) 1 枚の硬貨を投げて表, 裏が出る事象をそれぞれ X , Y とする. 5 回目の移動までにさいころの 6 通りの目がすべて出るには, 最初の 3 回目までに X と Y が少なくとも 1 回ずつ起こる. 最初の 3 回で 1 回目が X であるのは, 次の (i)~(iii) である.

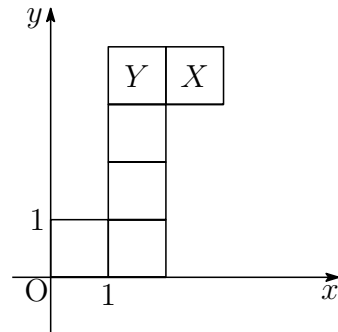
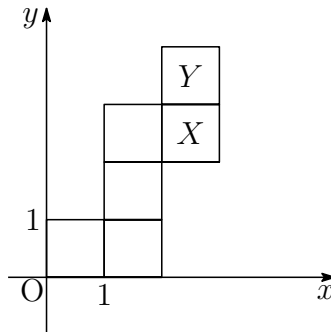
- (i) 最初の 3 回が X , X , Y の順に起こるとき, さいころの展開図により, 4, 5 回目は X , X の順に起こる.



- (ii) 最初の 3 回が X , Y , X の順に起こるとき, さいころの展開図により, 4, 5 回目は X , Y または Y , X の順に起こる.



- (iii) 最初の 3 回が X , Y , Y の順に起こるとき, さいころの展開図により, 4, 5 回目は X , Y または Y , X の順に起こる.



(i)~(iii) より, 1 回目が X であるのは, 5 通りである. また, 1 回目が Y であるのは, (i)~(iii) の展開図を直線 $y = x$ に関して対称移動したものであるから, 5 通りである. このとき, X , Y が起こる確率はともに $\frac{1}{2}$ であるから, 求める確率は

$$(5 + 5) \left(\frac{1}{2} \right)^5 = \frac{5}{16}$$



3 (1) $z = x + yi$ とおき (x, y は実数), これを $|z + i| - |z - i| = 1$ に代入すると

$$\begin{aligned} |x + (y + 1)i| - |x + (y - 1)i| &= 1 \\ \sqrt{x^2 + (y + 1)^2} &= \sqrt{x^2 + (y - 1)^2} + 1 \end{aligned}$$

両辺を 2 乗すると

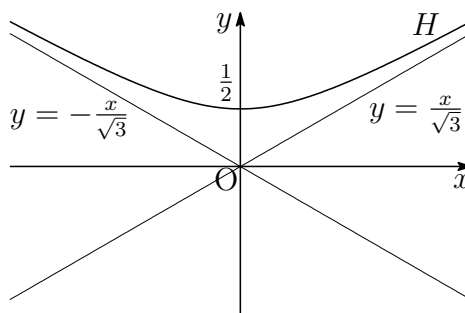
$$\begin{aligned} x^2 + (y + 1)^2 &= x^2 + (y - 1)^2 + 2\sqrt{x^2 + (y - 1)^2} + 1 \\ 4y - 1 &= 2\sqrt{x^2 + (y - 1)^2} \end{aligned}$$

上式から $4y - 1 \geq 0$ であり, 再び両辺を 2 乗すると

$$\begin{aligned} (4y - 1)^2 &= 4\{x^2 + (y - 1)^2\} \\ -4x^2 + 12y^2 &= 3 \end{aligned}$$

ゆえに
$$-\frac{x^2}{\frac{3}{4}} + \frac{y^2}{\frac{1}{4}} = 1 \quad \left(y \geq \frac{1}{2}\right)$$

したがって, H の概形は次のようになる.



上の概形から, z の偏角 θ_1 のとりうる値の範囲は $\frac{\pi}{6} < \theta_1 < \frac{5}{6}\pi$

補足 与えられた方程式から, H は双曲線で, 焦点は y 軸上の 2 点 $(0, \pm 1)$ で, 2 頂点が $\left(0, \pm \frac{1}{2}\right)$ であるから, 離心率 $e = 2$ より, $-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ とおくと ¹¹

$$b = \frac{1}{2}, \quad \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{b} = 2 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

なお, 楕円 (ellipse), 放物線 (parabola), 双曲線 (hyperbola).

¹¹http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_jou_2010.pdf (p.11 を参照)

(2) (1) で求めた概形から $|z| \geq \frac{1}{2}$, $r_2 = \frac{1}{|z|}$ であるから $0 < r_2 \leq 2$

また, $\theta_2 = -\arg z$ であるから, $0 \leq \theta < 2\pi$ に注意して

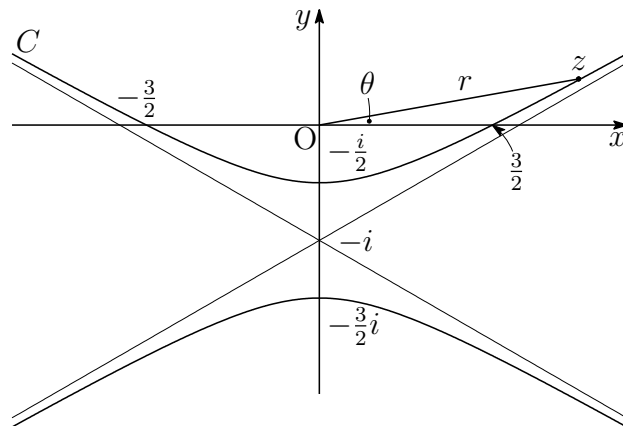
$$-\frac{5}{6}\pi + 2\pi < \theta_2 < -\frac{\pi}{6} + 2\pi \quad \text{すなわち} \quad \frac{7}{6}\pi < \theta_2 < \frac{11}{6}\pi$$

解説 2 次曲線の極方程式の極は 2 次曲線の焦点であるから, 2 次曲線の焦点を複素数平面の原点とする出題もある¹².

例えば, $|z + 2i| - |z| = \pm 1$ に対し, $r = |z|$, $\theta = \arg z$ とおくと, 前ページで調べたように, 離心率 $e = 2$ および点 $\left(\frac{1}{2}, -\frac{\pi}{2}\right)$ を通ることから

$$C: r = \frac{\frac{3}{2}}{1 - 2\sin\theta} \quad \cdots (*)$$

となる. C を $0 \leq \theta < 2\pi$ で考えると, $1 - 2\sin\theta = 0$, すなわち, $\theta = \frac{\pi}{6}, \frac{5}{6}\pi$ のとき, 漸近線と平行となり, これに対応する C 上の点は存在しない. なお, $\theta = \frac{\pi}{6} - 0$ のとき, C は第 1 象限の無限遠点あり, $\theta = \frac{\pi}{6} + 0$ のとき, C は第 3 象限の無限遠点にある. また, $\theta = \frac{5}{6}\pi - 0$ のとき, C は第 4 象限の無限遠点にあり, $\theta = \frac{5}{6}\pi + 0$ のとき, C は第 2 象限の無限遠点にある.



(*) から, C を複素数平面上の点 z を

$$z = x + yi = r(\cos\theta + i\sin\theta) = \frac{3(\cos\theta + i\sin\theta)}{2(1 - 2\sin\theta)}$$

と表すことができる. ■

¹²http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_kou.2002.pdf [3]

4 (1) $f(x) = \sqrt{3x^2 + x^3}$ ($x \geq -3$) より $f'(x) = \frac{3x(x+2)}{2\sqrt{3x^2 + x^3}}$

したがって $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	-3	...	-2	...	0	...
$f'(x)$		+	0	-		+
$f(x)$	0	↗	極大 2	↘	極小 0	↗

増減表から, 求める極大値は $f(-2) = 2$

(2) $F(x) = \int_x^{x+3} f(t) dt$ より ($-3 \leq x \leq 0$)

$$\begin{aligned} F'(x) &= f(x+3) - f(x) = \frac{\{f(x+3)\}^2 - \{f(x)\}^2}{f(x+3) + f(x)} \\ &= \frac{3(x+3)^2 + (x+3)^3 - (3x^2 + x^3)}{f(x+3) + f(x)} = \frac{9(x+3)(x+2)}{f(x+3) + f(x)} \end{aligned}$$

$f(x) = |x|\sqrt{x+3}$ であるから, $F(x)$ の増減表は次のようになる.

x	-3	...	-2	...	0
$F'(x)$		-	0	+	
$F(x)$		↘	極小	↗	

$-3 \leq x \leq 0$ に注意して, $F(x)$ を求める.

$$\begin{aligned} F(x) &= \int_x^0 f(t) dt + \int_0^{x+3} f(t) dt \\ &= \int_0^x t\sqrt{t+3} dt + \int_0^{x+3} t\sqrt{t+3} dt \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{まず} \quad \int_0^x t\sqrt{t+3} dt &= \int_0^x \{(t+3)^{\frac{3}{2}} - 3\sqrt{t+3}\} dt \\ &= \left[\frac{2}{5}(t+3)^{\frac{5}{2}} - 2(t+3)^{\frac{3}{2}} \right]_0^x \\ &= \left[\frac{2}{5}(t-2)(t+3)^{\frac{3}{2}} \right]_0^x \\ &= \frac{2}{5}(x-2)(x+3)^{\frac{3}{2}} + \frac{12}{5}\sqrt{3} \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② より

$$F(x) = \frac{2}{5} \{ (x-2)(x+3)^{\frac{3}{2}} + (x+1)(x+6)^{\frac{3}{2}} \} + \frac{24}{5} \sqrt{3}$$

増減表の x の値から

$$F(-3) = \frac{2}{5} (-2 \cdot 3^{\frac{3}{2}}) + \frac{24}{5} \sqrt{3} = \frac{12}{5} \sqrt{3}$$

$$F(-2) = \frac{2}{5} (-4 - 4^{\frac{3}{2}}) + \frac{24}{5} \sqrt{3} = \frac{24}{5} (\sqrt{3} - 1)$$

$$F(0) = \frac{2}{5} (-2 \cdot 3^{\frac{3}{2}} + 6^{\frac{3}{2}}) + \frac{24}{5} \sqrt{3} = \frac{12}{5} (\sqrt{3} + \sqrt{6})$$

よって 最大値 $F(0) = \frac{12}{5} (\sqrt{3} + \sqrt{6})$,

最小値 $F(-2) = \frac{24}{5} (\sqrt{3} - 1)$



6.27 2019年(医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 座標平面上の曲線 $C_1: y = x^2 + 2ax - 2a + 1$ および $C_2: y = x^3 + 1$ を考える。
以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 C_1 と曲線 C_2 の共有点がちょうど2個になるような実数 a の値を求めよ。ただし、 $a \neq 0$ とする。
- (2) (1) で求めた a に対し、曲線 C_1 と曲線 C_2 で囲まれた部分を x 軸の周りに回転してできる立体の体積を求めよ。

2 座標平面上の直線 ℓ を $y = ax - a - 2$ 、直線 m を $y = bx + 3b$ とおく。直線 ℓ と直線 m は互いに直交しながら座標平面上を動くとする。ただし、 a, b は ℓ と m の条件を保ちながら実数値をとって変化するものとする。以下の問いに答えよ。

- (1) 直線 ℓ と直線 m の交点 P の軌跡を求めよ。
- (2) 点 $A(1, -2)$ 、点 $B(-3, 0)$ に対して、線分 AP および線分 BP の長さを a を用いて表せ。
- (3) $\triangle APB$ の面積が最大となるときの a の値を求めよ。

3 座標平面上の曲線 $y = x \sin 3x + 3x^2$ ($0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$) を C とする。曲線 C の接線で原点を通るものを ℓ とし、その接点の x 座標を a とする。ただし、 $0 < a < \frac{\pi}{2}$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) a の値を求めよ。
- (2) 曲線 C と直線 ℓ の共有点の座標をすべて求めよ。
- (3) 曲線 C と直線 ℓ で囲まれた部分の面積を求めよ。

4 赤球と白球の2色の球を用いて行うゲームがあり、手元にある球全体に対する赤球の比率が p であるとき、確率 p^2 でゲームに勝つものとする。 n を2以上の整数とし、赤球、白球ともに n 個入っている箱から n 個の球を取り出してゲームを行った。以下の問いに答えよ。

- (1) k を0以上 n 以下の整数とする。取り出した n 個の球のうち赤球が k 個となる確率は $\frac{({}_nC_k)^2}{2^n C_n}$ となることを示せ。
- (2) k を1以上 n 以下の整数とする。取り出した n 個の球のうち赤球が k 個となり、さらにゲームに勝つ確率は $\frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{({}_{n-1}C_{k-1})^2}{2^{n-2} C_{n-1}}$ であることを示せ。
- (3) ゲームに勝つ確率は $\frac{n}{2(2n-1)}$ であることを示せ。

解答例

- 1** (1) $C_1: y = x^2 + 2ax - 2a + 1$ と $C_2: y = x^3 + 1$ から y を消去すると

$$x^3 + 1 = x^2 + 2ax - 2a + 1 \quad \text{ゆえに} \quad (x-1)(x^2 - 2a) = 0 \quad \cdots (*)$$

C_1 と C_2 の共有点がちょうど2個のとき、方程式 $(*)$ の実数解は2個ある。
 $a \neq 0$ より、 $x^2 - 2a = 0$ は重解をもたないから、方程式 $x^2 - 2a = 0$ は
 $x = 1$ を解にもつ。したがって

$$1^2 - 2a = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{1}{2}$$

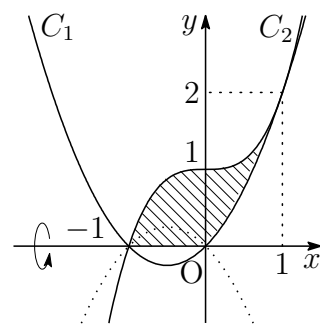
これを $(*)$ に代入すると $(x-1)^2(x+1) = 0$

これは、条件を満たすから $a = \frac{1}{2}$

- (2) (1) の結果から $C_1: y = x^2 + x$

$$\begin{aligned} & |x^3 + 1|^2 - |x^2 + x|^2 \\ &= (x^3 + 1)^2 - (x^2 + x)^2 \\ &= (x^3 + x^2 + x + 1)(x^3 - x^2 - x + 1) \\ &= (x+1)^2(x-1)^2(x^2+1) \geq 0 \end{aligned}$$

したがって $|x^3 + 1| \geq |x^2 + x|$



求める回転体の体積は、右の図の斜線部分を x 軸のまわりに1回転させたものであるから、その体積を V とすると

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_{-1}^1 (x^3 + 1)^2 dx - \int_0^1 (x^2 + x)^2 dx \\ &= \int_{-1}^1 (x^6 + 2x^3 + 1) dx - \int_0^1 (x^4 + 2x^3 + x^2) dx \\ &= 2 \int_0^1 (x^6 + 1) dx - \int_0^1 (x^4 + 2x^3 + x^2) dx \\ &= \int_0^1 (2x^6 - x^4 - 2x^3 - x^2 + 2) dx \\ &= \left[\frac{2}{7}x^7 - \frac{1}{5}x^5 - \frac{1}{2}x^4 - \frac{1}{3}x^3 + 2x \right]_0^1 = \frac{263}{210} \end{aligned}$$

よって $V = \frac{263}{210}\pi$

■

- 2 (1) $\ell: y = ax - a - 2$ は $y + 2 = a(x - 1)$ より、
点 $A(1, -2)$ を通り、傾き a の直線。

$m: y = bx + 3b$ は $y = b(x + 3)$ より、点 $B(-3, 0)$ を通り、傾き b の直線。

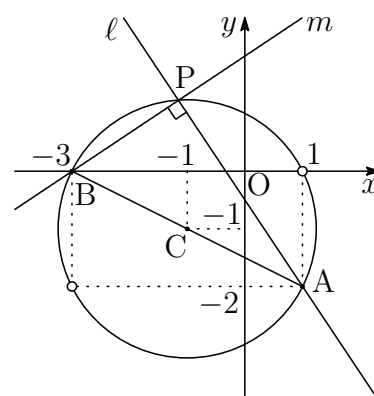
ℓ と m は直交するから、 ℓ と m の交点 P は、
線分 AB を直径とする円周上を動く。

線分 AB の中点を C とすると $C(-1, -1)$

$$CA = \sqrt{(1+1)^2 + (-2+1)^2} = \sqrt{5}$$

求める点 P の軌跡は、2 直線 ℓ, m が x 軸と垂直ではないことに注意して

$$(x+1)^2 + (y+1)^2 = 5, \quad (x, y) \neq (1, 0), (-3, -2)$$



- (2) $\ell \perp m$ より、 $ab = -1$ であるから

$$\ell: ax - y - a - 2 = 0, \quad m: x + ay + 3 = 0$$

線分 AP の長さは、点 $A(1, -2)$ と直線 m の距離であるから

$$AP = \frac{|1 + a \cdot (-2) + 3|}{\sqrt{1^2 + a^2}} = \frac{2|a - 2|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

線分 BP の長さは、点 $B(-3, 0)$ と直線 ℓ の距離であるから

$$BP = \frac{|a \cdot (-3) + 0 - a - 2|}{\sqrt{a^2 + (-1)^2}} = \frac{2|2a + 1|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

- (3) $\triangle APB$ の面積が最大となるとき、 P は線分 AB の垂直二等分線上にあるから、 $AP = BP$ より

$$\frac{2|a - 2|}{\sqrt{a^2 + 1}} = \frac{2|2a + 1|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad \text{ゆえに} \quad |a - 2| = |2a + 1|$$

これを解いて $a = \frac{1}{3}, -3$

別解 直線 AB の傾きは、その偏角を θ とすると $\tan \theta = -\frac{1}{2}$

$\triangle APB$ の面積が最大となるとき、 ℓ の傾き a は

$$a = \tan(\theta \pm 45^\circ) = \frac{\tan \theta \pm \tan 45^\circ}{1 \mp \tan \theta \tan 45^\circ} = \frac{-\frac{1}{2} \pm 1}{1 \pm \frac{1}{2}} = \frac{-1 \pm 2}{2 \pm 1} = \frac{1}{3}, -3$$

■

- 3** (1) $y = x \sin 3x + 3x^2$ を微分すると $y' = \sin 3x + 3x \cos 3x + 6x$
 C 上の x 座標が a である点における接線の方程式は

$$y - (a \sin 3a + 3a^2) = (\sin 3a + 3a \cos 3a + 6a)(x - a)$$

すなわち $y = (\sin 3a + 3a \cos 3a + 6a)x - 3a^2(1 + \cos 3a) \quad \cdots \textcircled{1}$

これが原点を通るから $-3a^2(1 + \cos 3a) = 0$

$0 < a < \frac{\pi}{2}$ より, $0 < 3a < \frac{3}{2}\pi$ であるから

$$3a = \pi \quad \text{よって} \quad a = \frac{\pi}{3}$$

- (2) (1) の結果を $\textcircled{1}$ に代入することにより $\ell: y = \pi x$
 C と ℓ の共有点の x 座標は

$$x \sin 3x + 3x^2 = \pi x \quad \text{すなわち} \quad x(\pi - \sin 3x - 3x) = 0 \quad \cdots (*)$$

$$f(x) = \pi - \sin 3x - 3x \quad \left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right) \text{ とおくと}$$

$$f'(x) = -3 \cos 3x - 3 = -3(1 + \cos 3x) \leq 0$$

したがって, $f(x)$ は単調減少であり,

$$f(0) = \pi > 0, \quad f\left(\frac{\pi}{3}\right) = 0, \quad f\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1 - \frac{\pi}{2} < 0$$

であるから, 方程式 $(*)$ の解は $x = 0, \frac{\pi}{3}$

よって, 求める共有点の座標は $(0, 0), \left(\frac{\pi}{3}, \frac{\pi^2}{3}\right)$

- (3) (2) の結果から, $0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}$ において, $x(\pi - \sin 3x - 3x) \geq 0$ であるから,
 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} x(\pi - \sin 3x - 3x) dx \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{3}} x \left(\frac{\pi}{3} - x\right) dx - \int_0^{\frac{\pi}{3}} x \sin 3x dx \\ &= \frac{3}{6} \left(\frac{\pi}{3}\right)^3 + \left[\frac{x}{3} \cos 3x - \frac{1}{9} \sin 3x \right]_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{\pi^3}{54} - \frac{\pi}{9} \end{aligned}$$



- 4 (1) $2n$ 個の球から n 個取り出すとき, n 個の赤球から k 個取り出し, n 個の白球から $n - k$ 個取り出す確率であるから

$$\frac{{}_nC_k \cdot {}_nC_{n-k}}{{}_n2C_n} = \frac{({}_nC_k)^2}{{}_n2C_n}$$

- (2) 取り出した n 個の球のうち赤球が k 個取り出されるとき, 勝つ確率は $\left(\frac{k}{n}\right)^2$ であるから, (1) の結果により

$$\frac{({}_nC_k)^2}{{}_n2C_n} \left(\frac{k}{n}\right)^2 = \frac{1}{{}_n2C_n} \left(\frac{k}{n} \cdot {}_nC_k\right)^2 \quad \dots (*)$$

がゲームに勝つ確率である. ここで

$$\begin{aligned} {}_nC_k &= \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{n}{k} \cdot \frac{(n-1)!}{(k-1)!(n-k)!} = \frac{n}{k} \cdot {}_{n-1}C_{k-1} \\ {}_n2C_n &= \frac{(2n)!}{n!n!} = \frac{2n(2n-1)}{n^2} \cdot \frac{(2n-2)!}{(n-1)!(n-1)!} = \frac{2(2n-1)}{n} \cdot {}_{2n-2}C_{n-1} \end{aligned}$$

上の 2 式をそれぞれ変形すると

$$\frac{k}{n} \cdot {}_nC_k = {}_{n-1}C_{k-1}, \quad \frac{1}{{}_n2C_n} = \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{1}{{}_{2n-2}C_{n-1}}$$

これらを (*) に代入することにより

$$(*) = \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{1}{{}_{2n-2}C_{n-1}} ({}_{n-1}C_{k-1})^2 = \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{({}_{n-1}C_{k-1})^2}{{}_{2n-2}C_{n-1}}$$

- (3) $n \geq 2$ および $k \geq 1$ の整数について,

$$(1+x)^{n-1}(1+x)^{n-1} = (1+x)^{2n-2}$$

上式の両辺の x^{n-1} の係数を比較することにより

$$\sum_{k=1}^n {}_{n-1}C_{k-1} \cdot {}_{n-1}C_{n-k} = {}_{2n-2}C_{n-1}$$

すなわち
$$\sum_{k=1}^n ({}_{n-1}C_{k-1})^2 = {}_{2n-2}C_{n-1}$$

これと (2) の結果により, ゲームに勝つ確率は

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{({}_{n-1}C_{k-1})^2}{{}_{2n-2}C_{n-1}} &= \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{1}{{}_{2n-2}C_{n-1}} \sum_{k=1}^{n-1} ({}_{n-1}C_{k-1})^2 \\ &= \frac{n}{2(2n-1)} \cdot \frac{{}_{2n-2}C_{n-1}}{{}_{2n-2}C_{n-1}} = \frac{n}{2(2n-1)} \end{aligned}$$

■

6.28 2020 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 xy 平面上において, 媒介変数 t $\left(0 \leq t \leq \frac{2}{3}\pi\right)$ によって

$$\begin{cases} x = \sin t \\ y = 1 - \cos 3t \end{cases}$$

と表される曲線を C とする。以下の問いに答えよ。

- (1) C 上の点で x 座標が最大になる点 P と y 座標が最大になる点 Q の座標をそれぞれ求めよ。
- (2) C 上の点 $\left(\frac{1}{2}, 1\right)$ における接線の方程式を求めよ。
- (3) C と x 軸で囲まれた図形の面積を求めよ。

2 α, β を複素数とし, 複素数平面上の点 $O(0), A(\alpha), B(\beta), C(|\alpha|^2), D(\bar{\alpha}\beta)$ を考える。3 点 O, A, B は三角形をなすとする。また, 複素数 z に対し, $\text{Im}(z)$ によって z の虚部を表すことにする。以下の問いに答えよ。

- (1) $\triangle OAB$ の面積を S_1 , $\triangle OCD$ の面積を S_2 とするとき, $\frac{S_2}{S_1}$ を求めよ。
- (2) $\triangle OAB$ の面積 S_1 は $\frac{1}{2}|\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$ で与えられることを示せ。
- (3) 実数 a, b に対し, 複素数 z を $z = a + bi$ で定める。 $1 \leq a \leq 2, 1 \leq b \leq 3$ のとき, 3 点 $O(0), P(z), Q\left(\frac{1}{z}\right)$ を頂点とする $\triangle OPQ$ の面積の最大値と最小値を求めよ。

3 以下の問いに答えよ。

- (1) x が自然数のとき, x^2 を 5 で割ったときの余りは 0, 1, 4 のいずれかであることを示せ。
- (2) $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす自然数 x, y, z の組は存在しないことを示せ。

- 4 xy 平面において, x, y がともに整数であるとき, 点 (x, y) を格子点とよぶ。2 以上の整数 n に対し,

$$0 < x < n, \quad 1 < 2^y < \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$$

をみたす格子点 (x, y) の個数を $P(n)$ で表す。以下の問いに答えよ。

- (1) 不等式

$$\sum_{k=1}^{n-1} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n} \right) - 1 \right\} \leq P(n) < \sum_{k=1}^{n-1} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n} \right)$$

を示せ。

- (2) 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P(n)}{n^2}$ を求めよ。

- (3) (2) で求めた極限値を L とする。不等式

$$L - \frac{P(n)}{n^2} > \frac{1}{2n}$$

を示せ。

解答例

- 1 (1) $x = f(t) = \sin t$, $y = g(t) = 1 - \cos 3t$ とおくと $\left(0 \leq t \leq \frac{2}{3}\pi\right)$

$$f'(t) = \cos t, \quad g'(t) = 3 \sin 3t$$

t	0	...	$\frac{\pi}{2}$	...	$\frac{2}{3}\pi$	t	0	...	$\frac{\pi}{3}$	...	$\frac{2}{3}\pi$
$f'(t)$		+	0	-		$g'(t)$		+	0	-	
$f(t)$	0	$\nearrow$	1	$\searrow$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$g(t)$	0	$\nearrow$	2	$\searrow$	0

上の増減表から 点 P は $\left(f\left(\frac{\pi}{2}\right), g\left(\frac{\pi}{2}\right)\right)$ すなわち $(1, 1)$

点 Q は $\left(f\left(\frac{\pi}{3}\right), g\left(\frac{\pi}{3}\right)\right)$ すなわち $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, 2\right)$

- (2) C の点 $\left(\frac{1}{2}, 1\right)$, すなわち, 点 $\left(f\left(\frac{\pi}{6}\right), g\left(\frac{\pi}{6}\right)\right)$ における接線の傾きは

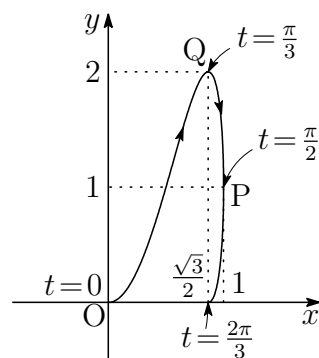
$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{g'\left(\frac{\pi}{6}\right)}{f'\left(\frac{\pi}{6}\right)} = \frac{3}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 2\sqrt{3}$$

求める接線は, 点 $\left(\frac{1}{2}, 1\right)$ を通り, 傾き $2\sqrt{3}$ の直線の方程式であるから

$$y - 1 = 2\sqrt{3} \left(x - \frac{1}{2}\right) \quad \text{すなわち} \quad y = 2\sqrt{3}x - \sqrt{3} + 1$$

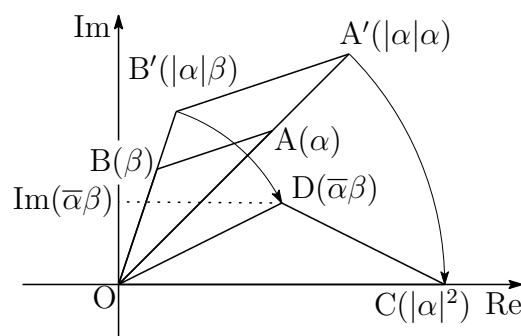
- (3) 求める面積を S とすると, (1) の結果に注意して

$$\begin{aligned} S &= \int_{f(0)}^{f\left(\frac{\pi}{2}\right)} y \, dx - \int_{f\left(\frac{2}{3}\pi\right)}^{f\left(\frac{\pi}{2}\right)} y \, dx \\ &= \int_{f(0)}^{f\left(\frac{2}{3}\pi\right)} y \, dx = \int_0^{\frac{2\pi}{3}} g(t) f'(t) \, dt \\ &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} (1 - \cos 3t) \cos t \, dt \\ &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \left(\cos t - \frac{1}{2} \cos 4t - \frac{1}{2} \cos 2t \right) dt \\ &= \left[\sin t - \frac{1}{8} \sin 4t - \frac{1}{4} \sin 2t \right]_0^{\frac{2}{3}\pi} = \frac{9}{16} \sqrt{3} \end{aligned}$$



- 2 (1) 2点 $C(|\alpha|^2)$, $D(\bar{\alpha}\beta)$ は, それぞれ2点 $A(\alpha)$, $B(\beta)$ を原点を中心に $|\alpha|$ 倍の相似拡大, さらに原点を中心に $\arg \bar{\alpha}$ だけ回転 ($\times \frac{\bar{\alpha}}{|\alpha|}$) したものであるから

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\triangle OCD}{\triangle OAB} = |\alpha|^2$$



- (2) $\triangle OCD$ の底辺を $|\alpha|^2$, 高さを $|\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$ とみると $S_2 = \frac{1}{2}|\alpha|^2|\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$

$$(1) \text{の結果から } S_1 = \frac{1}{|\alpha|^2} S_2 \quad \text{よって} \quad S_1 = \frac{1}{|\alpha|^2} \cdot \frac{1}{2} |\alpha|^2 |\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)| = \frac{1}{2} |\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$$

別解 $\theta = \angle \alpha 0 \beta$ とすると $\cos \theta + i \sin \theta = \frac{\frac{\beta}{|\beta|}}{\frac{\alpha}{|\alpha|}} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\beta}{\alpha} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\bar{\alpha}\beta}{\alpha\bar{\alpha}} = \frac{\bar{\alpha}\beta}{|\alpha||\beta|}$

$$\sin \theta = \frac{\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)}{|\alpha||\beta|} \quad \text{であるから} \quad S_1 = \frac{1}{2} |\alpha||\beta| |\sin \theta| = \frac{1}{2} |\text{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$$

- (3) (2) の結果から, 3点 $O(0)$, $P(z)$, $Q\left(\frac{1}{z}\right)$ を頂点とする三角形の面積は

$$\triangle OPQ = \frac{1}{2} \left| \text{Im} \left(\bar{z} \cdot \frac{1}{z} \right) \right| = \frac{1}{2} \left| \text{Im} \left(\frac{\bar{z}}{z} \right) \right|$$

$z = a + bi$ ($1 \leq a \leq 2$, $1 \leq b \leq 3$) であるから

$$\begin{aligned} \frac{\bar{z}}{z} &= \frac{a - bi}{a + bi} = \frac{(a - bi)^2}{a^2 + b^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2} - \frac{2ab}{a^2 + b^2}i, \\ \frac{1}{2} \left| \text{Im} \left(\frac{\bar{z}}{z} \right) \right| &= \frac{1}{2} \left| -\frac{2ab}{a^2 + b^2} \right| = \frac{ab}{a^2 + b^2} = \frac{\frac{b}{a}}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \end{aligned}$$

$$\frac{b}{a} = u, \quad \triangle OPQ = S(u) \quad \text{とおくと} \quad S(u) = \frac{u}{1 + u^2} \quad \left(\frac{1}{2} \leq u \leq 3 \right)$$

ゆえに $S'(u) = \frac{1 - u^2}{(1 + u^2)^2}$

u	$\frac{1}{2}$	$\cdots$	1	$\cdots$	3
$S'(u)$		+	0	-	
$S(u)$	$\frac{2}{5}$	$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$	$\frac{3}{10}$

よって 最大値 $\frac{1}{2}$, 最小値 $\frac{3}{10}$

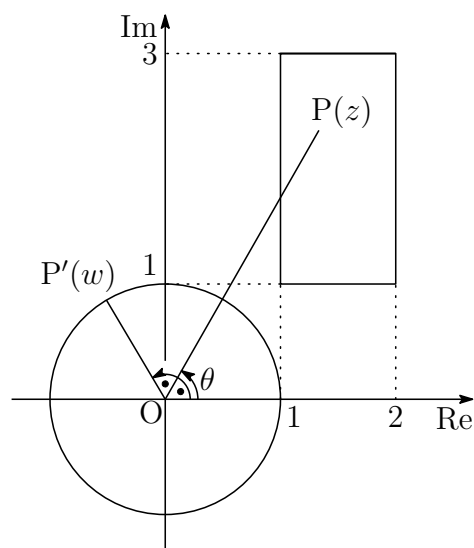
別解 $\operatorname{Im}\left(\frac{\bar{z}}{z}\right) = -\operatorname{Im}\left(\frac{z}{\bar{z}}\right)$ であるから

$$\triangle OPQ = \frac{1}{2} \left| \operatorname{Im}\left(\frac{z}{\bar{z}}\right) \right|$$

$\theta = \arg(z)$, $w = \frac{z}{\bar{z}}$ とすると

$$w = \left| \frac{z}{\bar{z}} \right| = \frac{|z|}{|\bar{z}|} = 1,$$

$$\begin{aligned} \arg(w) &= \arg\left(\frac{z}{\bar{z}}\right) \\ &= \arg(z) - \arg(\bar{z}) \\ &= \theta - (-\theta) = 2\theta \end{aligned}$$



点 $P'(w)$ は、点 $P(z)$ から単位円周上の点 P' への写像で、その偏角について

$$\arg(w) = 2\arg(z)$$

が成立する． $z = a + bi$ ($1 \leq a \leq 2$, $1 \leq b \leq 3$) より、 $\theta = \arg(z)$ のとり得る値の範囲を $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2$ とすると、上の図から

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{2}, \quad \tan \theta_2 = 3 \quad \left(0 < \theta_1 < \frac{\pi}{4} < \theta_2 < \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{したがって} \quad \triangle OPQ = \frac{1}{2} \sin 2\theta \quad \cdots (*)$$

$$\text{このとき} \quad \sin 2\theta_1 = \frac{2 \tan \theta_1}{1 + \tan^2 \theta_1} = \frac{4}{5}, \quad \sin 2\theta_2 = \frac{2 \tan \theta_2}{1 + \tan^2 \theta_2} = \frac{3}{5}$$

(*) より、 $\triangle OPQ$ は、 $\theta = \frac{\pi}{4}$ のとき、最大値 $\frac{1}{2}$,

$\theta = \theta_2$ のとき、最小値 $\frac{3}{10}$ ■

3 (1) 法 5 について

$$\begin{array}{lll}
x \equiv 0 \text{ のとき} & x^2 \equiv 0 & (\text{mod } 5) \\
x \equiv 1 \text{ のとき} & x^2 \equiv 1 & (\text{mod } 5) \\
x \equiv 2 \text{ のとき} & x^2 \equiv 4 & (\text{mod } 5) \\
x \equiv 3 \text{ のとき} & x^2 \equiv 9 \equiv 4 & (\text{mod } 5) \\
x \equiv 4 \text{ のとき} & x^2 \equiv 16 \equiv 1 & (\text{mod } 5)
\end{array}$$

よって、題意は成立する.

(2) $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ より, 法 5 について

$$(*) \quad x^2 \equiv 2z^2 \pmod{5}$$

(1) の結果から, $(*)$ の左辺は法 5 について, 0, 1, 4 のいずれかに等しい. 一方, 右辺は 0, 2, $8 \equiv 3 \pmod{5}$ のいずれかに等しい.

したがって, $x^2 \equiv 0, 2z^2 \equiv 0 \pmod{5}$, すなわち, $x \equiv z \equiv 0 \pmod{5}$
 $x = 5x', z = 5z'$ (x', z' は整数) を $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ に代入すると

$$(5x')^2 + 5y^2 = 2(5z')^2 \quad \text{ゆえに} \quad y^2 = 5(2z'^2 - x'^2)$$

$y^2 \equiv 0$ より, $y \equiv 0 \pmod{5}$ であるから, $y = 5y'$ (y' は整数) とおける.

このとき, $x = 5x', y = 5y', z = 5z'$ より, $x' < x, y' < y, z' < z$
 $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす (x, y, z) の組が存在するとき,

$$(x', y', z') \quad (x' < x, y' < y, z' < z)$$

が存在し, 無限に小さい数の組が存在することになり (無限降下), このことは自然数が下に有限であることに反する. よって, $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす自然数 x, y, z の組は存在しない.

別解 $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ を満たす自然数 x, y, z が存在し, これら 3 数の最大公約数が 1 であるものを仮定する.

$x^2 + 5y^2 = 2z^2$ より, 法 5 について

$$(*) \quad x^2 \equiv 2z^2 \pmod{5}$$

(1) の結果から, $(*)$ の左辺は法 5 について, 0, 1, 4 のいずれかに等しい. 一方, 右辺は 0, 2, $8 \equiv 3 \pmod{5}$ のいずれかに等しい.

したがって, $x^2 \equiv 0, 2z^2 \equiv 0 \pmod{5}$, すなわち, $x \equiv z \equiv 0 \pmod{5}$
 $x = 5x', z = 5z'$ (x', z' は整数) を $x^2 + 5y^2 = 2z^2$ に代入すると

$$(5x')^2 + 5y^2 = 2(5z')^2 \quad \text{ゆえに} \quad y^2 = 5(2z'^2 - x'^2)$$

$y^2 \equiv 0 \pmod{5}$ より, $y \equiv 0 \pmod{5}$ であるから, x, y, z が 5 を共通因数にもつことになり, 仮定に反する. よって, 題意は証明された. ■

4 (1) $1 < 2^y < \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$ より $0 < y < n \log_2 \left(1 + \frac{x}{n}\right)$

$U = \{1, 2, \dots, n-1\}$ とし, U の部分集合 A, B を

$$A = \left\{ k \mid n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \text{ は整数である, } k \in U \right\}$$

$$B = \left\{ k \mid n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \text{ は整数でない, } k \in U \right\}$$

とすると ($[a]$ は a を超えない最大の整数)

$$P(n) = \sum_{k \in A} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - 1 \right\} + \sum_{k \in B} \left[n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \right]$$

したがって

$$\begin{aligned} P(n) &< \sum_{k \in A} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) + \sum_{k \in B} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right), \\ P(n) &\geq \sum_{k \in A} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - 1 \right\} + \sum_{k \in B} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - 1 \right\} \cdots \textcircled{1} \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - 1 \right\} \end{aligned}$$

が成立する ($\textcircled{1}$ は $B = \phi$ のとき等号). 上の 2 式から

$$\sum_{k=1}^{n-1} \left\{ n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - 1 \right\} \leq P(n) < \sum_{k=1}^{n-1} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right)$$

(2) (1) の結果から

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) - \frac{n-1}{n^2} \leq \frac{P(n)}{n^2} < \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \quad \cdots (*)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n-1}{n^2} = 0,$$

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) &= \int_0^1 \log_2(1+x) dx \\ &= \frac{1}{\log 2} \left[(1+x) \log(1+x) - x \right]_0^1 = 2 - \frac{1}{\log 2} \end{aligned}$$

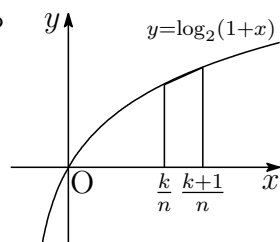
(*) にはさみうちの原理を適用すると $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P(n)}{n^2} = 2 - \frac{1}{\log 2}$

$$(3) (1) \text{の結果から} \quad P(n) < \sum_{k=1}^{n-1} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) = \sum_{k=0}^{n-1} n \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right)$$

$$\frac{P(n)}{n^2} < \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \quad \cdots \textcircled{2}$$

(2) の結果および $y = \log_2(1+x)$ が上に凸であるから

$$\begin{aligned} L &= \int_0^1 \log_2(1+x) dx = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} \log_2(1+x) dx \\ &> \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) + \log_2 \left(1 + \frac{k+1}{n}\right) \right\} \end{aligned}$$



上式および $\textcircled{2}$ から

$$\begin{aligned} L - \frac{P(n)}{n^2} &> \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) + \log_2 \left(1 + \frac{k+1}{n}\right) \right\} \\ &\quad - \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \\ &= \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{k+1}{n}\right) - \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) \right\} \\ &= \frac{1}{2n} (\log_2 2 - \log_2 1) = \frac{1}{2n} \end{aligned}$$

解説 $a \leq x \leq b$ において、関数 $f(x)$ が $f''(x) < 0$ であるとき

$$g(x) = f(x) - \frac{f(b) - f(a)}{b - a}(x - a) - f(a)$$

とおくと、 $g(a) = g(b) = 0$ であるから、平均値の定理 (ロルの定理) により

$$g'(c) = 0 \quad (a < c < b)$$

を満たす c が存在する. このとき、 $g''(x) = f''(x) < 0$ であるから、 $g'(x)$ は単調減少により、 c は唯一存在する. したがって、 $g(x)$ の増減表は

x	a	$\cdots$	c	$\cdots$	b
$g'(x)$		+	0	-	
$g(x)$	0	$\nearrow$	極大	$\searrow$	0

$a \leq x \leq b$ において、 $g(x) \geq 0$ が成立する. なお、等号は、 $x = a, b$ のときに限る.

よって, $a < x < b$ において, 関数 $f(x)$ が $f''(x) < 0$ のとき

$$f(x) \geq f(a) + \frac{f(b) - f(a)}{b - a}(x - a)$$

が成立する. なお, 等号は, $x = a, b$ のときに限る.

$f(x) = \log_2(1 + x)$ とおくと, $f''(x) < 0$ より, $\frac{k}{n} < x < \frac{k+1}{n}$ において

$$f(x) > f\left(\frac{k}{n}\right) + n \left\{ f\left(\frac{k+1}{n}\right) - f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} \left(x - \frac{k}{n}\right)$$

これから

$$\begin{aligned} L &= \int_0^1 f(x) dx = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} f(x) dx \\ &> \sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} dx \\ &\quad + n \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ f\left(\frac{k+1}{n}\right) - f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} \left(x - \frac{k}{n}\right) dx \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) + n \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ f\left(\frac{k+1}{n}\right) - f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} \left[\frac{1}{2} \left(x - \frac{k}{n}\right)^2 \right]_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) + \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ f\left(\frac{k+1}{n}\right) - f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) + \frac{f(1) - f(0)}{2n} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \log_2 \left(1 + \frac{k}{n}\right) + \frac{1}{2n} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \text{ より } L > \frac{P(n)}{n^2} + \frac{1}{2n} \quad \text{よって} \quad L - \frac{P(n)}{n^2} > \frac{1}{2n}$$



6.29 2021 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 空間の点 O を通らない平面 α をとる。 α 上の 3 点 A, B, C は三角形をなすとし, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおく。 k を 1 より大きい定数とする。直線 ℓ は媒介変数 t を用いて

$$\frac{k}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{tk}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$$

と表せるとする。 ℓ 上を点 X が動くとき, 2 点 O, X を通る直線と平面 α の交点 Y の軌跡を m とする。

- (1) $\triangle ABC$ の各辺と m との交点の個数をそれぞれ求めよ。また, 交点がある場合, 各交点 Z について, $\overrightarrow{OZ}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いてそれぞれ表せ。
- (2) A, B の中点を D とする。 ℓ を含み α に平行な平面を β とし, O, D を通る直線と平面 β の交点を E とする。点 O と m 上の点 Y を通る直線は 2 点 E, C を通る直線と交点をもつとし, その交点を F とする。このとき, $\overrightarrow{OF}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ および k を用いて表せ。
- 2 複素数 w は実部, 虚部ともに正であるとする。相異なる複素数 α, β, γ は

$$\{(w+2)\alpha\}^2 + (w\beta)^2 - (2\gamma)^2 = 4(w+2)\alpha^2 + 2w^2\alpha\beta - 8\alpha\gamma$$

を満たすとする。 α, β, γ を表す複素数平面上の点をそれぞれ A, B, C とする。

- (1) $\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}$ の偏角 θ ($0 \leq \theta < 2\pi$) のとりうる範囲を求めよ。
- (2) $\triangle ABC$ が正三角形であるときの w の値を求めよ。
- (3) $\triangle ABC$ が正三角形であるとする。 $w = \alpha$ かつ $\triangle ABC$ の重心が点 $\frac{w^2}{2}$ であるとき, β と γ の値を求めよ。

3 媒介変数 t を用いて表された曲線

$$C : x = \frac{1}{2}(e^t + e^{-t}), \quad y = \frac{1}{2}(e^t - e^{-t})$$

を考える。

- (1) 点 M の座標を $(0, 1)$ とする。曲線 C 上の点 P に対して、 MP を最小にする t の値 t_0 を求めよ。
- (2) (1) の t_0 に対する曲線 C 上の点を Q とする。 Q における C の接線を ℓ とするとき、曲線 C と接線 ℓ および x 軸で囲まれた部分 D の面積を求めよ。
- (3) (2) の D を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ。

4 次の問いに答えよ。

- (1) n を正の整数とするとき、定積分 $\int_0^{2\pi} |\sin nx - \sin 2nx| dx$ を求めよ。
- (2) c を正の数とするとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^c |\sin nx - \sin 2nx| dx$ を求めよ。

解答例

- 1 (1) ℓ 上の点 X について, $k \neq 0$ より

$$\begin{aligned}\frac{1}{k}\overrightarrow{OX} &= \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}) \\ &= \frac{2t}{3}\vec{a} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{b} + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{c}\end{aligned}$$

このとき, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の係数の和は

$$\frac{2t}{3} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right) + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right) = 1$$

これから, $\frac{1}{k}\overrightarrow{OX}$ は α 上の点であり,

$$\overrightarrow{OY} = \frac{2t}{3}\vec{a} + \left(\frac{1}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{b} + \left(\frac{2}{3} - \frac{t}{3}\right)\vec{c}$$

$\overrightarrow{OY}$ の $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ の係数が 0 となる点をそれぞれ Z_1 , Z_2 , Z_3 とすると

$$\overrightarrow{OZ_1} = \frac{\vec{b} + 2\vec{c}}{3}, \quad \overrightarrow{OZ_2} = \frac{2\vec{a} + \vec{c}}{3}, \quad \overrightarrow{OZ_3} = \frac{4\vec{a} - \vec{b}}{3}$$

直線 m と $\triangle ABC$ の各辺との交点の個数について, 辺 BC 上は Z_1 の 1 個, 辺 CA 上は Z_2 の 1 個, 辺 AB 上は 0 個.

- (2) Y は CD 上の点であるから $\overrightarrow{CY} = s\overrightarrow{CD} = \frac{s}{2}(\overrightarrow{CA} + \overrightarrow{CB})$ (s は実数)

$$\overrightarrow{CA} = \frac{3}{2}\overrightarrow{CZ_2}, \quad \overrightarrow{CB} = 3\overrightarrow{CZ_1} \text{ を代入すると } \overrightarrow{CY} = \frac{3s}{4}\overrightarrow{CZ_2} + \frac{3s}{2}\overrightarrow{CZ_1}$$

$$Y \text{ は直線 } Z_1Z_2 \text{ 上の点であるから } \frac{3s}{4} + \frac{3s}{2} = 1$$

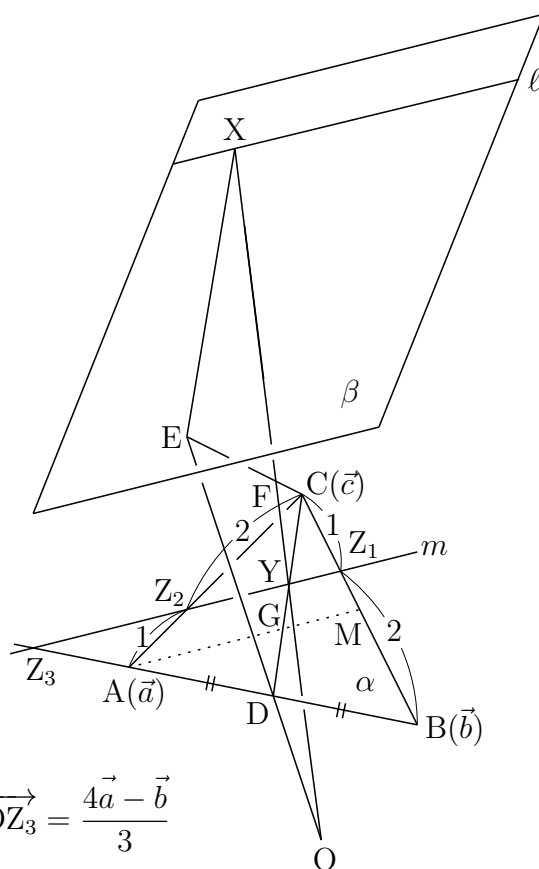
$$\text{これを解いて } s = \frac{4}{9} \quad \text{すなわち } CY : YD = 4 : 5 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{条件から } \triangle OYD \sim \triangle OXE \quad (1) \text{ の結果から } YD : XE = 1 : k \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ および } \triangle CYF \sim \triangle EXF \text{ より } CF : FE = CY : XE = 4 : 5k$$

このとき, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$, $\overrightarrow{OE} = k\overrightarrow{OD} = \frac{k}{2}(\vec{a} + \vec{b})$ であるから

$$\overrightarrow{OF} = \frac{5k\overrightarrow{OC} + 4\overrightarrow{OE}}{4 + 5k} = \frac{5k\vec{c} + 4 \cdot \frac{k}{2}(\vec{a} + \vec{b})}{4 + 5k} = \frac{k}{5k + 4}(2\vec{a} + 2\vec{b} + 5\vec{c})$$



別解 Z_3 は線分 AB を $1:4$ に外分する点, D は AB の中点であるから

$$Z_3A : AB = 1 : 3 \quad \text{ゆえに} \quad Z_3A : AD = 2 : 3$$

$\triangle CAD$ と直線 m について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{CZ_2}{Z_2A} \cdot \frac{AZ_3}{Z_3D} \cdot \frac{DY}{YC} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{DY}{YC} = 1$$

したがって $CY : YD = 4 : 5$ (以下同様)

補足 直線 m について

$$\overrightarrow{OY} = \frac{1}{k} \overrightarrow{OX} = \frac{1}{3}(\vec{b} + 2\vec{c}) + \frac{t}{3}(2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c})$$

BC の中点を M とすると, この直線の方法ベクトル $2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}$ は

$$2\vec{a} - \vec{b} - \vec{c} = -\{(\vec{b} - \vec{a}) + (\vec{c} - \vec{a})\} = -(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) = -2\overrightarrow{AM}$$

したがって, m は中線 AM と平行である.

2つの中線 AM と CD の交点 G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$CG : GD = 2 : 1$$

$m \parallel AM$ であるから $CY : YG = CZ_2 : Z_2A = 2 : 1$

$$CD : CY = 1 : \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 9 : 4 \quad \text{ゆえに} \quad CY : YD = 4 : 5$$

■

2 (1) $\{(w+2)\alpha\}^2 + (w\beta)^2 - (2\gamma)^2 = 4(w+2)\alpha^2 + 2w^2\alpha\beta - 8\alpha\gamma$

これを w について整理すると

$$\begin{aligned} w^2(\alpha^2 - 2\alpha\beta + \beta^2) &= 4(\gamma^2 - 2\gamma\alpha + \alpha^2) \\ w^2(\beta - \alpha)^2 &= 4(\gamma - \alpha)^2 \end{aligned}$$

α, β, γ は相異なる複素数であるから

$$\left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}\right)^2 = \frac{w^2}{4} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = \pm \frac{w}{2}$$

w の実部, 虚部はともに正であるから $0 < \arg w < \frac{\pi}{2}$

$$(i) \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = \frac{w}{2} \text{ のとき } \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \arg \left(\frac{w}{2} \right) = \arg w$$

$$0 < \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) < \frac{\pi}{2}$$

$$(ii) \quad \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} = -\frac{w}{2} \text{ のとき } \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \arg \left(-\frac{w}{2} \right) = \arg w + \pi$$

$$\pi < \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) < \frac{3}{2}\pi$$

$\theta = \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right)$ であるから $(0 \leq \theta < 2\pi)$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{2}, \quad \pi < \theta < \frac{3}{2}\pi$$

(2) $\triangle ABC$ が正三角形であるとき

$$\left| \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right| = 1 \quad \text{かつ} \quad \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \frac{\pi}{3}, \frac{5}{3}\pi$$

$\arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \frac{5}{3}\pi$ は, (i), (ii) とともに満たさない.

$\arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \frac{\pi}{3}$ は (i) を満たし, このとき

$$\left| \frac{w}{2} \right| = \left| \frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right| = 1 \quad \text{かつ} \quad \arg \left(\frac{w}{2} \right) = \arg \left(\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha} \right) = \frac{\pi}{3}$$

したがって $(*) \quad \frac{w}{2} = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}$ よって $w = 1 + \sqrt{3}i$

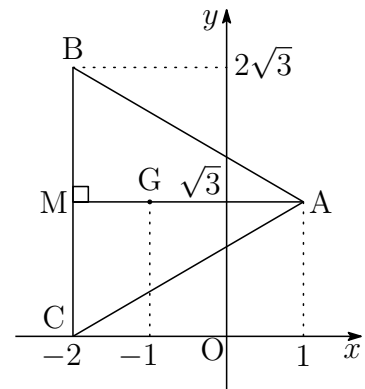
(3) $(*)$ より

$$\begin{aligned} \alpha &= 2 \cdot \frac{w}{2} = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) \\ &= 1 + \sqrt{3}i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{w^2}{2} &= 2 \left(\frac{w}{2} \right)^2 = 2 \left(\cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3} \right) \\ &= -1 + \sqrt{3}i \end{aligned}$$

BC の中点を M とすると $M(-2 + \sqrt{3}i)$

AM = 3 より $BM = CM = \sqrt{3}$ よって $\beta = -2 + 2\sqrt{3}i, \gamma = -2$



3 (1) 媒介変数 t を用いて表された曲線

$$C: x = \frac{1}{2}(e^t + e^{-t}), \quad y = \frac{1}{2}(e^t - e^{-t}) \quad (*)$$

は, (**) $x = \sqrt{y^2 + 1}$ である. C 上の点 $P(x, y)$ と $M(0, 1)$ の距離は

$$MP^2 = x^2 + (y - 1)^2 = y^2 + 1 + (y - 1)^2 = 2 \left(y - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{3}{2}$$

MP が最小となるとき, $y = \frac{1}{2}$ であるから

$$\frac{1}{2}(e^t - e^{-t}) = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad e^{2t} - e^t - 1 = 0$$

$$e^t > 0 \text{ に注意して } e^t = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad \text{よって} \quad t_0 = \log \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

$$(2) \quad y = \frac{1}{2} \text{ を (**) を代入して } Q\left(\frac{\sqrt{5}}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

$x^2 - y^2 = 1$ であるから

$$2x - 2yy' = 0 \quad \text{ゆえに} \quad yy' = x$$

C 上の点 Q における接線 ℓ の傾きは

$$\frac{1}{2}y' = \frac{\sqrt{5}}{2} \quad \text{ゆえに} \quad y' = \sqrt{5}$$

したがって, ℓ の方程式は

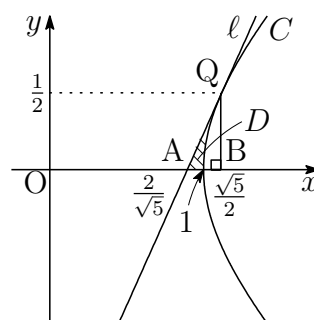
$$y - \frac{1}{2} = \sqrt{5} \left(x - \frac{\sqrt{5}}{2} \right) \quad \text{すなわち} \quad y = \sqrt{5}x - 2$$

ℓ と x 軸の交点を A とする. Q から x 軸に垂線 QB を引くと

$$\triangle QAB = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{5}}{2} - \frac{2}{\sqrt{5}} \right) \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{5}}{40}$$

$$(*) \text{ の定積分 } \int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} y dx \text{ について } \frac{1}{2}(e^{t_0} + e^{-t_0}) = \frac{\sqrt{5}}{2}, \quad \frac{1}{2}(e^{t_0} - e^{-t_0}) = \frac{1}{2}$$

$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2}(e^t - e^{-t})$	x	$1 \longrightarrow \frac{\sqrt{5}}{2}$
	t	$0 \longrightarrow t_0$



$$\begin{aligned}
\int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} y \, dx &= \frac{1}{4} \int_0^{t_0} (e^t - e^{-t})^2 \, dt = \frac{1}{4} \int_0^{t_0} (e^{2t} - 2 + e^{-2t}) \, dt \\
&= \frac{1}{4} \left[\frac{1}{2} e^{2t} - 2t - \frac{1}{2} e^{-2t} \right]_0^{t_0} \\
&= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} (e^{t_0} + e^{-t_0}) \cdot \frac{1}{2} (e^{t_0} - e^{-t_0}) - \frac{1}{2} t_0 \\
&= \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = \frac{\sqrt{5}}{8} - \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{5}}{2}
\end{aligned}$$

したがって、領域 D の面積を S とすると

$$\begin{aligned}
S &= \triangle QAB - \int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} y \, dx \\
&= \frac{\sqrt{5}}{40} - \left(\frac{\sqrt{5}}{8} - \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right) \\
&= \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{5}}{2} - \frac{\sqrt{5}}{10}
\end{aligned}$$

別解 $\sqrt{x^2 - 1}$ の積分 (一般には, $\sqrt{x^2 + A}$ の積分)¹³

$$\begin{aligned}
(x\sqrt{x^2 - 1})' &= \sqrt{x^2 - 1} + x \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 - 1}} = 2\sqrt{x^2 - 1} + \frac{1}{\sqrt{x^2 - 1}} \\
\{\log(x + \sqrt{x^2 - 1})\}' &= \frac{1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 - 1}}}{x + \sqrt{x^2 - 1}} = \frac{1}{\sqrt{x^2 - 1}}
\end{aligned}$$

上の第1式から第2式の辺々を引くと

$$\{x\sqrt{x^2 - 1} - \log(x + \sqrt{x^2 - 1})\}' = 2\sqrt{x^2 - 1}$$

したがって $\int \sqrt{x^2 - 1} \, dx = \frac{1}{2} \{x\sqrt{x^2 - 1} - \log(x + \sqrt{x^2 - 1})\} + C$

$$\begin{aligned}
\int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} y \, dx &= \int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} \sqrt{x^2 - 1} \, dx \\
&= \frac{1}{2} \left[x\sqrt{x^2 - 1} - \log(x + \sqrt{x^2 - 1}) \right]_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} \\
&= \frac{\sqrt{5}}{8} - \frac{1}{2} \log \frac{\sqrt{5} + 1}{2} \quad (\text{以下同様})
\end{aligned}$$

¹³http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_kiseki_ri.pdf (p.162 (物理ページ p.167))

- (3) 曲線 $C: x = \sqrt{y^2 + 1}$ と x 軸, y 軸, 直線 $y = \frac{1}{2}$ で囲まれた部分を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を V_1 とすると

$$V_1 = \pi \int_0^{\frac{1}{2}} x^2 dy = \pi \int_0^{\frac{1}{2}} (y^2 + 1) dx = \pi \left[\frac{y^3}{3} + y \right]_0^{\frac{1}{2}} = \frac{13}{24}\pi$$

ℓ と x 軸, y 軸, 直線 $y = \frac{1}{2}$ で囲まれた部分を y 軸の周りに 1 回転させてできる円錐台の体積を V_2 とすると

$$V_2 = \frac{\pi}{3} \left\{ \left(\frac{2}{\sqrt{5}} \right)^2 + \frac{2}{\sqrt{5}} \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} + \left(\frac{\sqrt{5}}{2} \right)^2 \right\} \frac{1}{2} = \frac{61}{120}\pi$$

求める回転体の体積を V とすると

$$V = \frac{13}{24}\pi - \frac{61}{120}\pi = \frac{\pi}{30}$$

補足 上面の半径 a , 底面の半径 b , 高さ h の円錐台の体積は¹⁴

$$\frac{\pi}{3}(a^2 + ab + b^2)h$$

別解 $\triangle QAB$ を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を V_3 とすると

$$V_3 = \pi \left(\frac{\sqrt{5}}{2} \right)^2 \frac{1}{2} - V_2 = \frac{5}{8}\pi - \frac{61}{120}\pi = \frac{7}{60}\pi$$

曲線 $C: y = \sqrt{x^2 - 1}$ と x 軸, 直線 $x = \frac{\sqrt{5}}{2}$ で囲まれた部分を y 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を V_4 とすると, バウムクーヘン型の求積法により¹⁵

$$V_4 = 2\pi \int_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} x\sqrt{x^2 - 1} dx = \frac{2\pi}{3} \left[(x^2 - 1)^{\frac{3}{2}} \right]_1^{\frac{\sqrt{5}}{2}} = \frac{\pi}{12}$$

$$\text{よって} \quad V = V_3 - V_4 = \frac{7}{60}\pi - \frac{\pi}{12} = \frac{\pi}{30}$$

補足 $\triangle QAB$ の重心の x 座標は $\frac{1}{3} \left(1 \cdot \frac{2}{\sqrt{5}} + 2 \cdot \frac{\sqrt{5}}{2} \right) = \frac{7\sqrt{5}}{15}$

V_3 は, パップス=ギュルダンの定理により¹⁶

$$V_3 = 2\pi \cdot \frac{7\sqrt{5}}{15} \cdot \triangle QAB = 2\pi \cdot \frac{7\sqrt{5}}{15} \cdot \frac{\sqrt{5}}{40} = \frac{7}{60}\pi$$

¹⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kyukou/kyukou_2019.pdf (p.4)

¹⁵http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/kumadai_i_2016.pdf [2]

¹⁶http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2012.pdf [1]

4 (1) $I_n = \int_0^{2\pi} |\sin nx - \sin 2nx| dx$ とおく.

$$t = nx \text{ とすると } \frac{dt}{dx} = n \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 2\pi \\ \hline t & 0 \longrightarrow 2n\pi \end{array}$$

$$I_n = \int_0^{2n\pi} |\sin t - \sin 2t| \frac{1}{n} dt = \frac{1}{n} \int_0^{2n\pi} |\sin x - \sin 2x| dx \quad (*)$$

ここで, $f(x) = \sin x - \sin 2x$ とし, $f(x)$ の原始関数の 1 つを $F(x) = -\cos x + \frac{1}{2} \cos 2x$ とおく.

$$f(x + 2\pi) = \sin(x + 2\pi) - \sin 2(x + 2\pi) = f(x),$$

$$f(2\pi - x) = \sin(2\pi - x) - \sin 2(2\pi - x) = -\sin x + \sin 2x = -f(x)$$

$f(x)$ は周期 2π の周期関数で, $|f(2\pi - x)| = |f(x)|$ であるから

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{1}{n} \int_0^{2n\pi} |f(x)| dx = \frac{1}{n} \cdot n \int_0^{2\pi} |f(x)| dx = \int_0^{2\pi} |f(x)| dx \\ &= \int_0^{\pi} |f(x)| dx + \int_{\pi}^{2\pi} |f(x)| dx \end{aligned}$$

$$\int_{\pi}^{2\pi} |f(x)| dx \text{ について, } x = 2\pi - u \text{ とおくと } \frac{dx}{du} = -1 \quad \begin{array}{c|c} x & \pi \longrightarrow 2\pi \\ \hline u & \pi \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$\int_{\pi}^{2\pi} |f(x)| dx = \int_{\pi}^0 |f(2\pi - u)| (-1) du = \int_0^{\pi} |f(u)| du = \int_0^{\pi} |f(x)| dx$$

$$\text{したがって} \quad I_n = 2 \int_0^{\pi} |f(x)| dx$$

$$f(x) = \sin x(1 - 2\cos x) \text{ より } |f(x)| = \begin{cases} -f(x) & (0 \leq x \leq \frac{\pi}{3}) \\ f(x) & (\frac{\pi}{3} \leq x \leq \pi) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_n}{2} &= -\int_0^{\frac{\pi}{3}} f(x) dx + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} f(x) dx = -\left[F(x) \right]_0^{\frac{\pi}{3}} + \left[F(x) \right]_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} \\ &= F(0) - 2F\left(\frac{\pi}{3}\right) + F(\pi) = -\frac{1}{2} - 2\left(-\frac{3}{4}\right) + \frac{3}{2} = \frac{5}{2} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad I_n = 2 \times \frac{5}{2} = 5$$

$$(2) J_n = \int_0^c |\sin nx - \sin 2nx| \text{ とおく.}$$

$$t = nx \text{ とすると } \frac{dt}{dx} = n \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow c \\ \hline t & 0 \longrightarrow nc \end{array}$$

$$J_n = \int_0^{nc} |\sin t - \sin 2t| \frac{1}{n} dt = \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(t)| dt = \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(x)| dx$$

$\frac{nc}{2\pi}$ 以下の最大の整数を N とすると

$$(**) \quad N \leq \frac{nc}{2\pi} < N+1 \quad \text{ゆえに} \quad 2N\pi \leq nc < 2(N+1)\pi$$

$$(*) \text{ および (1) の結果により, } I_N = \frac{1}{N} \int_0^{2N\pi} |f(x)| dx = 5 \text{ であるから}$$

$$\int_0^{2N\pi} |f(x)| dx = 5N$$

したがって

$$\frac{1}{n} \int_0^{2N\pi} |f(x)| dx \leq \frac{1}{n} \int_0^{nc} |f(x)| dx < \frac{1}{n} \int_0^{2(N+1)\pi} |f(x)| dx$$

$$\frac{1}{n} \cdot 5N \leq J_n < \frac{1}{n} \cdot 5(N+1)$$

$$(**) \text{ より } \frac{nc}{2\pi} - 1 < N, \quad N+1 \leq \frac{nc}{2\pi} + 1 \text{ であるから}$$

$$\frac{5}{n} \left(\frac{nc}{2\pi} - 1 \right) < J_n < \frac{5}{n} \left(\frac{nc}{2\pi} + 1 \right)$$

$$\frac{5c}{2\pi} - \frac{5}{n} < J_n < \frac{5c}{2\pi} + \frac{5}{n}$$

$$\text{このとき} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{5c}{2\pi} - \frac{5}{n} \right) = \frac{5c}{2\pi}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{5c}{2\pi} + \frac{5}{n} \right) = \frac{5c}{2\pi}$$

$$\text{よって, はさみうちの原理により} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} J_n = \frac{5c}{2\pi}$$



6.30 2022 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 a を実数とし、座標空間の点 $P_1(a, 0, 0)$, $P_2(a+1, 0, 0)$, $Q(0, 1, 0)$, $R(0, 0, 3)$ を考える。 G_1 , G_2 をそれぞれ $\triangle P_1QR$, $\triangle P_2QR$ の重心とする。以下の問いに答えよ。

- (1) P_1 , P_2 を通る直線と、 G_1 , G_2 を通る直線は平行であることを示せ。
- (2) 四角形 $P_1P_2G_2G_1$ の面積を求めよ。
- (3) 四角形 $P_1P_2G_2G_1$ を底面とする四角錐 $Q-P_1P_2G_2G_1$ の体積を求めよ。

2 関数 $f(x) = \sqrt{1 + \sin^2 \frac{\pi x}{2}}$ について、以下の問いに答えよ。

- (1) $f(x)$ ($0 \leq x \leq 1$) の最大値を求めよ。
- (2) $0 \leq x \leq 1$ において、 $f(x) \geq \sqrt{2}x$ となることを示せ。
- (3) 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_n = \int_0^1 \{f(x)\}^n dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める。 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$ の値を求めよ。ただし、 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(n+1)}{n} = 0$ を用いてよい。

3 p を正の実数とする。曲線 $y = \sin x$ ($x > 0$) の接線で点 $(-p, 0)$ を通るものをすべて考え、それらの接点の x 座標を小さい方から順に $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ とする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して、 $\tan a_n = a_n + p$ が成り立つことを示せ。
- (2) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して、 $a_{n+1} - a_n > \pi$ が成り立つことを示せ。
- (3) $a_1 = \frac{\pi}{3}$ のとき、 $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して、 $\tan a_{n+1} > n\pi + \sqrt{3}$ が成り立つことを示せ。

4 以下の問いに答えよ。

- (1) $m \leq n$ であって、 $mn + 2 = {}_{m+n}C_m$ を満たす正の整数の組 (m, n) を1つ求めよ。
- (2) $m \leq n$ であって、 $mn + 2 = {}_{m+n}C_m$ を満たす正の整数の組 (m, n) は、(1) で求めた組に限ることを示せ。

解答例

1 (1) $P_1(a, 0, 0)$, $P_2(a+1, 0, 0)$ より $\overrightarrow{P_1P_2} = (1, 0, 0)$

$\triangle P_1QR$, $\triangle P_2QR$ のそれぞれの重心 G_1 , G_2 は

$$G_1\left(\frac{a}{3}, \frac{1}{3}, 1\right), \quad G_2\left(\frac{a+1}{3}, \frac{1}{3}, 1\right) \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{G_1G_2} = \left(\frac{1}{3}, 0, 0\right)$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{G_1G_2} = \frac{1}{3}\overrightarrow{P_1P_2}$$

よって, P_1 , P_2 を通る直線と, G_1 , G_2 を通る直線は平行である.

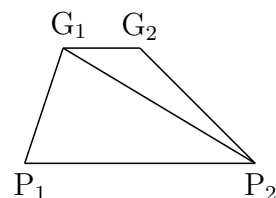
(2) $\overrightarrow{P_1P_2} = (1, 0, 0)$, $\overrightarrow{P_1G_1} = \left(-\frac{2a}{3}, \frac{1}{3}, 1\right)$ より

$$|\overrightarrow{P_1P_2}|^2 = 1, \quad |\overrightarrow{P_1G_1}|^2 = \frac{4a^2}{9} + \frac{10}{9}, \quad \overrightarrow{P_1P_2} \cdot \overrightarrow{P_1G_1} = -\frac{2a}{3}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \triangle P_1P_2G_1 &= \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{P_1P_2}|^2 |\overrightarrow{P_1G_1}|^2 - (\overrightarrow{P_1P_2} \cdot \overrightarrow{P_1G_1})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{1 \left(\frac{4a^2}{9} + \frac{10}{9} \right) - \left(-\frac{2a}{3} \right)^2} = \frac{\sqrt{10}}{6} \end{aligned}$$

求める四角形 $P_1P_2G_2G_1$ の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \triangle P_1P_2G_1 + \triangle G_1G_2P_2 \\ &= \triangle P_1P_2G_1 + \frac{1}{3} \triangle P_1P_2G_1 \\ &= \frac{4}{3} \triangle P_1P_2G_1 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{10}}{6} = \frac{2\sqrt{10}}{9} \end{aligned}$$



(3) $\overrightarrow{P_1Q} = (-a, 1, 0)$. $\overrightarrow{P_1P_2}$ および $\overrightarrow{P_1G_1}$ に垂直な単位ベクトルの 1 つを

$$\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{10}}(0, -3, 1)$$

とする. 点 R から四角形 $P_1P_2G_1G_2$ に引いた垂線の長さ h は

$$h = |\overrightarrow{P_1Q} \cdot \vec{n}| = \frac{3}{\sqrt{10}}$$

よって, 求める立体の体積を V とすると

$$V = \frac{1}{3}Sh = \frac{1}{3} \cdot \frac{2\sqrt{10}}{9} \cdot \frac{3}{\sqrt{10}} = \frac{2}{9}$$

■

2 (1) $f(x)$ ($0 \leq x \leq 1$) は単調増加であるから、最大値は $f(1) = \sqrt{2}$

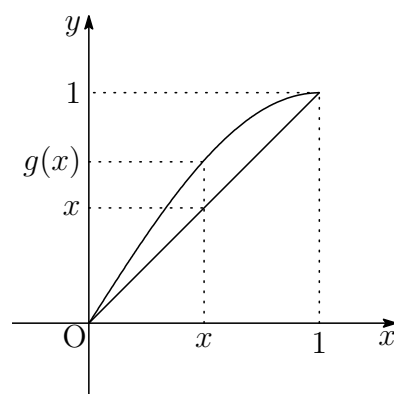
(2) $g(x) = \sin \frac{\pi x}{2}$ とおく ($0 \leq x \leq 1$).

曲線 $y = g(x)$ は上に凸であり、2点 $(0, 0)$, $(1, 1)$ を結ぶ線分

$$y = x \quad (0 \leq x \leq 1)$$

の下側になくから

$$g(x) \geq x \geq 0 \quad (0 \leq x \leq 1)$$



が成り立つ。したがって、 $0 \leq x \leq 1$ において

$$\begin{aligned} f(x)^2 - 2x^2 &= 1 + \sin^2 \frac{\pi x}{2} - 2x^2 \\ &= 1 - x^2 + g(x)^2 - x^2 \geq 0 \end{aligned}$$

$f(x) > 0$ であるから $f(x) \geq \sqrt{2}x$ ($0 \leq x \leq 1$)

(3) (1), (2) の結果から $\sqrt{2}x \leq f(x) \leq \sqrt{2}$ ($0 \leq x \leq 1$)

$$\int_0^1 (\sqrt{2}x)^n dx \leq \int_0^1 \{f(x)\}^n dx \leq \int_0^1 (\sqrt{2})^n dx$$

$$\text{したがって} \quad \frac{(\sqrt{2})^n}{n+1} \leq a_n \leq (\sqrt{2})^n \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[n]{n+1}} \leq \sqrt[n]{a_n} \leq \sqrt{2} \quad \cdots (*)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log \sqrt[n]{n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\log(n+1)}{n} = 0 \quad \text{より} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n+1} = 1 \quad \cdots (**)$$

(*), (**) から、はさみうちの原理により $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} = \sqrt{2}$ ■

3 (1) $y = \sin x$ を微分すると $y' = \cos x$

曲線 $y = \sin x$ 上の点 $(a_n, \sin a_n)$ における接線の方程式は

$$y - \sin a_n = (x - a_n) \cos a_n$$

これが点 $(-p, 0)$ を通るから, $\cos a_n \neq 0$ に注意して

$$-\sin a_n = (-p - a_n) \cos a_n \quad \text{よって} \quad \tan a_n = a_n + p$$

(2) $f(x) = \tan x - x$ とおくと $f'(x) = \frac{1}{\cos^2 x} - 1 = \tan^2 x \geq 0$
 a_n は方程式 $f(x) = p$ の解である ($p > 0$). $f(x)$ は単調増加であり,

$$f((n-1)\pi) = -(n-1) \leq 0, \quad \lim_{x \rightarrow \frac{2n-1}{2}\pi - 0} f(x) = \infty$$

であるから, 开区間 $I_n = \left((n-1)\pi, \frac{2n-1}{2}\pi \right)$ に方程式 $f(x) = p$ の解 a_n が唯一存在する. $a_n \in I_n, a_{n+1} \in I_{n+1}$ より

$$a_{n+1} - a_n > 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$f(a_n) = f(a_{n+1})$ であるから

$$\tan a_n - a_n = \tan a_{n+1} - a_{n+1} \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② より $\tan a_{n+1} - \tan a_n = a_{n+1} - a_n > 0$

$\tan a_n = \tan(a_n + \pi)$ であるから

$$\tan(a_n + \pi) < \tan a_{n+1}$$

このとき, $a_n + \pi \in I_{n+1}, a_{n+1} \in I_{n+1}$ に注意して

$$a_n + \pi < a_{n+1} \quad \text{よって} \quad a_{n+1} - a_n > \pi$$

(3) ② から, $a_{n+1} - a_n = \tan a_{n+1} - \tan a_n$. これを (2) の結果に代入すると

$$\tan a_{n+1} - \tan a_n > \pi$$

したがって $\sum_{k=1}^n (\tan a_{k+1} - \tan a_k) > \sum_{k=1}^n \pi$

$$a_1 = \frac{\pi}{3} \text{ より } \tan a_{n+1} - \tan \frac{\pi}{3} > n\pi \quad \text{よって} \quad \tan a_{n+1} > n\pi + \sqrt{3} \quad \blacksquare$$

4 (1) $f(m, n) = {}_{m+n}C_m - mn - 2$ ($m \leq n$) とおくと

$$f(1, n) = (1+n) - 1 \cdot n - 2 = -1$$

$$f(2, n) = \frac{1}{2}(n+2)(n+1) - 2n - 2 = \frac{1}{2}(n+1)(n-2)$$

$f(m, n) = 0$ を満たす正の整数の組 (m, n) を1つ求めればよいから

$$(m, n) = (2, 2)$$

(2) 正の整数 $l = 2, 3, \dots, m-1$ について

$$\begin{aligned} {}_{m+n}C_{l+1} - {}_{m+n}C_l &= \frac{(m+n)!}{(l+1)!(m+n-l-1)!} - {}_{m+n}C_m \\ &= \frac{m+n-l}{l+1} \cdot {}_{m+n}C_m - {}_{m+n}C_m \\ &= \frac{m+n-2l-1}{l+1} \cdot {}_{m+n}C_m \\ &= \frac{n-m+2(m-1-l)+1}{l+1} \cdot {}_{m+n}C_m > 0 \end{aligned}$$

ゆえに ${}_{m+n}C_2 < {}_{m+n}C_3 < \dots < {}_{m+n}C_{m-1} < {}_{m+n}C_m$

したがって, $2 \leq m \leq n$ を満たす整数 m, n について次式が成立する.

$${}_{m+n}C_m - {}_{m+n}C_2 \geq 0 \quad (*)$$

ただし, 上式について等号が成立するとき, $m = 2$ である.

$$f(m, n) = {}_{m+n}C_m - {}_{m+n}C_2 + {}_{m+n}C_2 - mn - 2$$

とすると, $2 \leq m \leq n$ であるから

$$\begin{aligned} {}_{m+n}C_2 - mn - 2 &= \frac{1}{2}(m+n)(m+n-1) - mn - 2 \\ &= \frac{1}{2}(m+1)(m-2) + \frac{1}{2}(n+1)(n-2) \geq 0 \quad (**) \end{aligned}$$

が成立する. ただし, 等号が成立するとき, $m = n = 2$ である.

(*), (**) から, $f(m, n) = 0$ となるのは, (1) の結果に限る.

別解 1 (1) で $1 \leq m \leq 2$ のとき, $(m, n) = (2, 2)$ がただ 1 つの解である.

$m \geq 3$ のとき, (m, n) の解が存在しないことを示せばよい.

$$m \geq 3 \text{ のとき} \quad {}_{m+n}C_2 < {}_{m+n}C_3 < \cdots < {}_{m+n}C_m$$

$$\text{また} \quad {}_{m+n}C_2 - (mn + 2) = \frac{1}{2}\{n(n-1) + m(m-1) - 4\}$$

$$n \geq m \geq 3 \text{ より} \quad n(n-1) \geq m(m-1) \geq 3 \cdot 2 > 4$$

$$\text{よって} \quad {}_{m+n}C_2 > mn + 2$$

別解 2 与えられた等式から

$$g(m, n) = \frac{{}_{m+n}C_m}{mn + 2} = \frac{(m+n)!}{m!n!(mn+2)}$$

とおく. (1) の結果から $g(m, n) = 1$ を満たす整数 m, n ($2 \leq m \leq n$) を求めればよい.

$$\begin{aligned} \frac{g(m, n+1)}{g(m, n)} - 1 &= \frac{(m+n+1)(mn+2)}{(n+1)(mn+m+2)} - 1 \\ &= \frac{\{(n+1)+m\}(mn+2)}{(n+1)\{(mn+2)+m\}} - 1 \\ &= \frac{m(mn+2) - m(n+1)}{(n+1)\{(mn+2)+m\}} \\ &= \frac{m\{(m-1)n+1\}}{(n+1)\{(mn+2)+m\}} > 0 \end{aligned}$$

$g(m, n+1) > g(m, n)$ であるから, m を固定すると, $g(m, n)$ は n について単調増加. また, $g(m, n)$ は m, n の対称式であるから, 同様に n を固定すると, $g(m, n)$ は m について単調増加. したがって

$$g(m, n) \geq g(2, 2) = 1$$

が成立する. ただし, 等号が成立するとき, $m = n = 2$ である.

よって, 求める正の整数の組 (m, n) は (1) の結果に限る. ■

6.31 2023 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 n を 3 以上の自然数とする. 1 個のさいころを n 回投げて, 出た目の数の積をとる. 積が 60 となる確率を p_n とする. 以下の問いに答えよ。

- (1) p_3 を求めよ。
- (2) $n \geq 4$ のとき, p_n を求めよ。
- (3) $n \geq 4$ とする. 出た目の数の積が n 回目にはじめて 60 となる確率を求めよ。

- 2 原点を O とする座標平面上に 3 点 A, B, C がある。 $\overrightarrow{OA} = \vec{u}$, $\overrightarrow{AB} = \vec{v}$, $\overrightarrow{BC} = \vec{w}$ とおく。 $\vec{e}_1 = (1, 0)$, $\vec{e}_2 = (0, 1)$ とするとき, 3 つのベクトル $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}$ は

$$\begin{cases} \vec{u} = -\vec{e}_1, \\ \vec{v} \cdot \vec{e}_1 = 4, & |\vec{v}| = 2\sqrt{5}, & \vec{v} \cdot \vec{e}_2 < 0, \\ \vec{w} \cdot \vec{e}_1 = 8, & |\vec{w}| = 8\sqrt{2}, & \vec{w} \cdot \vec{e}_2 > 0 \end{cases}$$

を満たすとする。ただし, $|\vec{x}|$ はベクトル $\vec{x}$ の大きさを表し, $\vec{x} \cdot \vec{y}$ は 2 つのベクトル $\vec{x}$ と $\vec{y}$ の内積を表す。以下の問いに答えよ。

- (1) 3 点 A, B, C の座標をそれぞれ求めよ。
- (2) 3 点 A, B, C を通る円の方程式を求めよ。
- (3) 3 点 A, B, C を通る円の中心を P とするとき, $\triangle ABC$ の面積と $\triangle ABP$ の面積の比を求めよ。

3 xy 平面上に点 $P(\cos \theta, \sin \theta)$ をとり, θ が $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲を動くとする. 点 A は y 軸上の点で, y 座標が負であり, $AP = 2$ を満たす. 点 Q は $\overrightarrow{AQ} = 4\overrightarrow{AP}$ を満たす点とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 点 Q の座標を θ を用いて表せ.
- (2) 点 Q の x 座標の最大値と最小値および y 座標の最大値と最小値をそれぞれ求めよ.
- (3) 点 Q の軌跡と y 軸で囲まれた図形の面積を求めよ.

4 平面上の 2 つの円が直交するとは, 2 つの円が 2 点で交わり, 各交点において 2 つの円の接線が互いに直交することである. 以下の問いに答えよ.

- (1) C_1, C_2 は半径がそれぞれ r_1, r_2 の円とする. C_1 の中心と C_2 の中心の間の距離を d とする. C_1 と C_2 が直交するための必要十分条件を d, r_1, r_2 の関係式で表せ.
- (2) p, r_1, r_2 は $p > r_1 + r_2, r_1 > 0, r_2 > 0$ を満たす実数とする. 座標平面上において, 原点 O を中心とする半径 r_1 の円を C_1 , 点 $(p, 0)$ を中心とする半径 r_2 の円を C_2 とする. C_1 と C_2 のいずれにも直交する円の中心の軌跡を求めよ.
- (3) 互いに外部にある 3 つの円の中心が一直線上にないとき, それら 3 つの円のいずれにも直交する円がただ 1 つ存在することを示せ.

解答例

- 1** (1) 3回の目の出方が $\{2, 5, 6\}$, $\{3, 4, 5\}$ であるから

$$p_3 = \frac{3!}{1!1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 \times 2 = \frac{1}{18}$$

- (2) n 回の目の出方で、1以外の目の出方は $\{2, 2, 3, 5\}$, $\{2, 5, 6\}$, $\{3, 4, 5\}$ であるから

$$\begin{aligned} p_n &= \frac{n!}{2!1!1!(n-4)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n + \frac{n!}{1!1!1!(n-3)!} \left(\frac{1}{6}\right)^n \times 2 \\ &= \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{2 \cdot 6^n} + \frac{2n(n-1)(n-2)}{6^n} \\ &= \frac{n(n-1)(n-2)\{(n-3)+4\}}{2 \cdot 6^n} \\ &= \frac{(n+1)n(n-1)(n-2)}{2 \cdot 6^n} \end{aligned}$$

- (3) $n-1$ 回目までの目の積が60で、 n 回目で1の目が出る確率は

$$p_{n-1} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{6} p_{n-1}$$

これと(2)の結果から、求める確率は

$$\begin{aligned} p_n - \frac{1}{6} p_{n-1} &= \frac{(n+1)n(n-1)(n-2)}{2 \cdot 6^n} - \frac{1}{6} \cdot \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{2 \cdot 6^{n-1}} \\ &= \frac{n(n-1)(n-2)\{(n+1)-(n-3)\}}{2 \cdot 6^n} \\ &= \frac{2n(n-1)(n-2)}{6^n} \end{aligned}$$

■

2 (1) $\vec{e}_1, \vec{e}_2$ は基本ベクトルであるから

$$\vec{v} = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2, \quad \vec{w} = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1) \vec{e}_1 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2) \vec{e}_2 \quad (*)$$

したがって

$$|\vec{v}|^2 = (\vec{v} \cdot \vec{e}_1)^2 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2)^2, \quad |\vec{w}|^2 = (\vec{w} \cdot \vec{e}_1)^2 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2)^2$$

$\vec{v} \cdot \vec{e}_1 = 4, |\vec{v}| = 2\sqrt{5}, \vec{w} \cdot \vec{e}_1 = 8, |\vec{w}| = 8\sqrt{2}$ を上の 2 式に代入すると

$$20 = 16 + (\vec{v} \cdot \vec{e}_2)^2, \quad 128 = 64 + (\vec{w} \cdot \vec{e}_2)^2$$

$\vec{v} \cdot \vec{e}_2 < 0, \vec{w} \cdot \vec{e}_2 > 0$ に注意して解くと $\vec{v} \cdot \vec{e}_2 = -2, \vec{w} \cdot \vec{e}_2 = 8$

条件およびこれらの結果を (*) に代入すると

$$\vec{v} = 4\vec{e}_1 - 2\vec{e}_2 = (4, -2), \quad \vec{w} = 8\vec{e}_1 + 8\vec{e}_2 = (8, 8)$$

$\vec{u} = -\vec{e}_1 = (-1, 0), \overrightarrow{OA} = \vec{u}, \overrightarrow{AB} = \vec{v}, \overrightarrow{BC} = \vec{w}$ より

$$\overrightarrow{OA} = (-1, 0), \quad \overrightarrow{AB} = (4, -2), \quad \overrightarrow{BC} = (8, 8)$$

したがって

$$\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = (-1, 0) + (4, -2) = (3, -2),$$

$$\overrightarrow{OC} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BC} = (3, -2) + (8, 8) = (11, 6)$$

以上の結果から **A(-1, 0), B(3, -2), C(11, 6)**

(2) 3点 A(-1, 0), B(3, -2), C(11, 6) を通る円の方程式を

$$x^2 + y^2 + px + qy + r = 0$$

とおくと

$$\begin{cases} (-1)^2 + 0^2 + p \cdot (-1) + q \cdot 0 + r = 0 \\ 3^2 + (-2)^2 + p \cdot 3 + q \cdot (-2) + r = 0 \\ 11^2 + 6^2 + p \cdot 11 + q \cdot 6 + r = 0 \end{cases}$$

整理すると

$$\begin{cases} -p + r + 1 = 0 \\ 3p - 2q + r + 13 = 0 \\ 11p + 6q + r + 157 = 0 \end{cases}$$

これを解いて $p = -8, q = -10, r = -9$

したがって、求める円の方程式は

$$x^2 + y^2 - 8x - 10y - 9 = 0 \quad \text{すなわち} \quad (x - 4)^2 + (y - 5)^2 = 50$$

(3) (2) の結果から P(4, 5)

$$\overrightarrow{AB} = (4, -2), \quad \overrightarrow{AC} = (12, 6), \quad \overrightarrow{AP} = (5, 5)$$

したがって

$$\triangle ABC = \frac{1}{2} |4 \cdot 6 - (-2) \cdot 12| = 24, \quad \triangle ABP = \frac{1}{2} |4 \cdot 5 - (-2) \cdot 5| = 15$$

よって $\triangle ABC : \triangle ABP = 24 : 15 = 8 : 5$ ■

3 (1) $\triangle OAP$ に余弦定理を適用すると

$$AP^2 = OP^2 + OA^2 - 2OP \cdot OA \cos \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right)$$

$OP = 1$, $AP = 2$ であるから

$$2^2 = 1^2 + OA^2 + 2 \cdot 1 \cdot OA \sin \theta$$

整理すると

$$OA^2 + 2OA \sin \theta - 3 = 0$$

$OA > 0$ に注意してこれを解くと $OA = -\sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + 3}$

点 A の y 座標は負であるから $A(0, \sin \theta - \sqrt{\sin^2 \theta + 3})$

$\overrightarrow{AQ} = 4\overrightarrow{AP}$ より $\overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OA} = 4(\overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OA})$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= -3\overrightarrow{OA} + 4\overrightarrow{OP} \\ &= -3(0, \sin \theta - \sqrt{\sin^2 \theta + 3}) + 4(\cos \theta, \sin \theta) \\ &= (4 \cos \theta, \sin \theta + 3\sqrt{\sin^2 \theta + 3}) \end{aligned}$$

よって $Q(4 \cos \theta, \sin \theta + 3\sqrt{\sin^2 \theta + 3})$

(2) 点 Q の座標を $(f(\theta), g(\theta))$ とすると $\left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$, (1) の結果から

$$f(\theta) = 4 \cos \theta, \quad g(\theta) = \sin \theta + 3\sqrt{\sin^2 \theta + 3}$$

Q の x 座標は, $\theta = 0$ のとき最大値 4, $\theta = \pm \frac{\pi}{2}$ のとき最小値 0

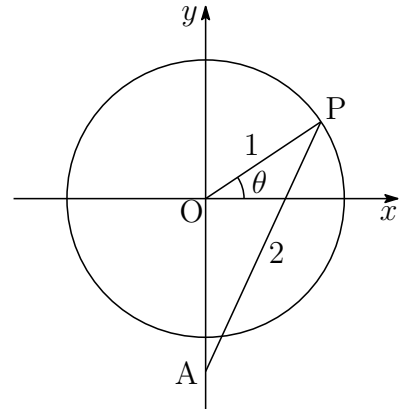
$g(\theta)$ を微分すると

$$\begin{aligned} g'(\theta) &= \cos \theta + \frac{3 \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta + 3}} \\ &= \frac{\cos \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta + 3}} (\sqrt{\sin^2 \theta + 3} + 3 \sin \theta) \end{aligned}$$

$g'(\theta) = 0$ とすると $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$

$$3 \sin \theta = -\sqrt{\sin^2 \theta + 3}$$

$\sin \theta < 0$ に注意して $\sin \theta = -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$



$\sin \alpha = -\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$ とおくと $\left(-\frac{\pi}{2} < \alpha < 0\right)$, $g(\theta)$ の増減表は

θ	$-\frac{\pi}{2}$	$\cdots$	α	$\cdots$	$\frac{\pi}{2}$
$g'(\theta)$		$-$	0	$+$	
$g(\theta)$	5	$\searrow$	$2\sqrt{6}$	$\nearrow$	7

Q の y 座標は, $\theta = \frac{\pi}{2}$ のとき最大値 **7**, $\theta = \alpha$ のとき最小値 $2\sqrt{6}$

(3) $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 0$ および $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ における Q の軌跡をそれぞれ C_1 , C_2 とする. $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ のとき

$$x_1 = f(\theta), \quad y_1 = g(\theta), \quad x_2 = f(-\theta), \quad y_2 = g(-\theta)$$

とおくと

$$x_1 = x_2, \quad y_1 - y_2 = 2 \sin \theta \geq 0$$

C_1 は C_2 の上側にあるから, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{f(\frac{\pi}{2})}^{f(0)} (y_1 - y_2) dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 2 \sin \theta (4 \cos \theta)' d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} 8 \sin^2 \theta d\theta = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos 2\theta) d\theta \\ &= 4 \left[\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \mathbf{2\pi} \end{aligned}$$

別解 ガウス・グリーンの定理により ¹⁷

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \{f(\theta)g'(\theta) - f'(\theta)g(\theta)\} d\theta \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left\{ 4 \cos \theta \left(\cos \theta + \frac{3 \sin \theta \cos \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta + 3}} \right) + 4 \sin \theta \left(\sin \theta + 3\sqrt{\sin^2 \theta + 3} \right) \right\} d\theta \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left(4 + \frac{48 \sin \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta + 3}} \right) d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{2}} 4 d\theta = \mathbf{2\pi} \end{aligned}$$

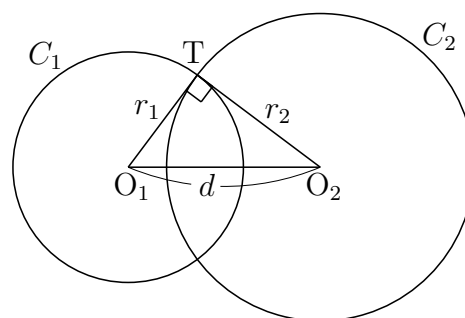
■

¹⁷http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2022.pdf 5

- 4 (1) C_1, C_2 の中心をそれぞれ O_1, O_2 とし, C_1 と C_2 が直交する点を T とすると, 右の図から

$$O_1T^2 + O_2T^2 = O_1O_2^2$$

$$\text{よって} \quad r_1^2 + r_2^2 = d^2$$



- (2) 点 $(p, 0)$ を P とし, C_1, C_2 の両方に直交する円の中心を X , 半径を R とすると, (1) の結論から

$$r_1^2 + R^2 = |\vec{OX}|^2, \quad r_2^2 + R^2 = |\vec{PX}|^2 \quad (*)$$

$$\text{上の 2 式から} \quad r_1^2 - r_2^2 = |\vec{OX}|^2 - |\vec{PX}|^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

① の右辺を計算すると

$$\begin{aligned} |\vec{OX}|^2 - |\vec{PX}|^2 &= |\vec{OX}|^2 - |\vec{OX} - \vec{OP}|^2 \\ &= 2\vec{OP} \cdot \vec{OX} - |\vec{OP}|^2 = 2\vec{OP} \cdot \vec{OX} - p^2 \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② より

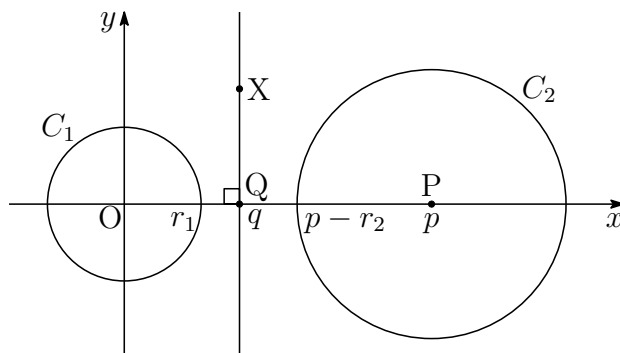
$$2\vec{OP} \cdot \vec{OX} - p^2 = r_1^2 - r_2^2 \quad \text{ゆえに} \quad \vec{OP} \cdot \vec{OX} = \frac{p^2 + r_1^2 - r_2^2}{2}$$

$$q = \frac{p^2 + r_1^2 - r_2^2}{2p} \quad \dots \textcircled{3} \text{ とし, 点 } Q \text{ の座標を } (q, 0) \text{ とおくと}$$

$$\vec{OP} \cdot \vec{OX} = \vec{OP} \cdot \vec{OQ} \quad \text{すなわち} \quad \vec{OP} \cdot \vec{QX} = 0$$

よって, 中心 X の軌跡は, 点 Q を通り直線 OP に垂直な直線である.

また, (*) より, 半径 R は, X から C_1, C_2 に引いた接線の接点と X との距離である.



(3) 前ページの図において, ③ および $p > r_1 + r_2$ から

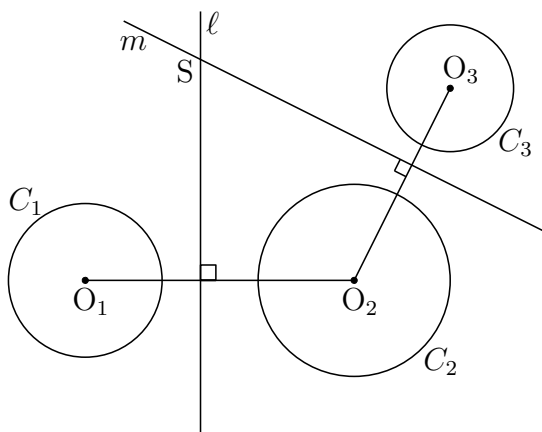
$$\begin{aligned}
 q - r_1 &= \frac{p^2 + r_1^2 - r_2^2}{2p} - r_1 = \frac{(p - r_1)^2 - r_2^2}{2p} \\
 &= \frac{(p - r_1 + r_2)(p - r_1 - r_2)}{2p} > 0, \\
 (p - r_2) - q &= p - r_2 - \frac{p^2 + r_1^2 - r_2^2}{2p} = \frac{(p - r_2)^2 - r_1^2}{2p} \\
 &= \frac{(p + r_1 - r_2)(p - r_1 - r_2)}{2p} > 0
 \end{aligned}$$

したがって, (2) で求めた点 Q は, C_1, C_2 の外部の点である.

互いに外部にある3つの円を C_1, C_2, C_3 とし, それらの円の中心を O_1, O_2, O_3 とすると, 次が成立する.

- C_1, C_2 の両方に直交する円の中心の描く軌跡を ℓ とすると, ℓ は線分 O_1O_2 と垂直で, C_1 と C_2 の外部にある.
- C_2, C_3 の両方に直交する円の中心の描く軌跡を m とすると, m は線分 O_2O_3 と垂直で, C_2 と C_3 の外部にある.

3点 O_1, O_2, O_3 は同一直線上にないから, ℓ と m は1点で交わり, この交点を S とすると, S から C_1, C_2, C_3 に引いた接線の接点で直交する.



別解 (2) 点 $(p, 0)$ を P とし, C_1, C_2 の両方に直交する円の中心を X , 半径を R とすると, (1) の結論から

$$r_1^2 + R^2 = |\overrightarrow{OX}|^2, \quad r_2^2 + R^2 = |\overrightarrow{PX}|^2 \quad (*)$$

上の 2 式から $r_1^2 - r_2^2 = |\overrightarrow{OX}|^2 - |\overrightarrow{PX}|^2$

ここで, 直線 OP 上に点 $T(t, 0)$ をとると, 上式から

$$\begin{aligned} r_1^2 - r_2^2 &= |\overrightarrow{OT} + \overrightarrow{TX}|^2 - |\overrightarrow{PT} + \overrightarrow{TX}|^2 \\ &= |\overrightarrow{OT}|^2 - |\overrightarrow{PT}|^2 + 2\overrightarrow{OT} \cdot \overrightarrow{TX} - 2\overrightarrow{PT} \cdot \overrightarrow{TX} \\ &= |\overrightarrow{OT}|^2 - |\overrightarrow{OT} - \overrightarrow{OP}|^2 + 2(\overrightarrow{OT} - \overrightarrow{PT}) \cdot \overrightarrow{TX} \\ &= 2\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{OT} - |\overrightarrow{OP}|^2 + 2\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{TX} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad -2\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{TX} &= 2\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{OT} - |\overrightarrow{OP}|^2 - r_1^2 + r_2^2 \\ &= 2pt - p^2 - r_1^2 + r_2^2 \end{aligned}$$

$f(t) = 2pt - p^2 - r_1^2 + r_2^2$ とすると ($p > r_1 + r_2, r_1 > 0, r_2 > 0$)

$$\begin{aligned} f(r_1) &= 2pr_1 - p^2 - r_1^2 + r_2^2 \\ &= r_2^2 - (p - r_1)^2 = (r_2 + p - r_1)(r_2 - p + r_1) < 0 \\ f(p - r_2) &= 2p(p - r_2) - p^2 - r_1^2 + r_2^2 \\ &= p^2 - 2pr_2 + r_2^2 - r_1^2 = (p - r_2 + r_1)(p - r_2 - r_1) > 0 \end{aligned}$$

$f(t)$ は単調増加であるから, $f(t) = 0$ の解を q とすると $r_1 < q < p - r_2$ したがって, $Q(q, 0)$ とすると $\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{QX} = 0$

よって, 中心 X の軌跡は, 点 Q を通り直線 OP に垂直な直線である. このとき, Q は C_1 と C_2 の外部の点である. また, (*) より, 半径 R は, X から C_1, C_2 に引いた接線の接点と X との距離である.

(3) 互いに外部にある 3 つの円を C_1, C_2, C_3 とし, それらの円の中心を O_1, O_2, O_3 とすると, (2) の結論から次が成立する.

- C_1, C_2 の両方に直交する円の中心の描く軌跡を ℓ とすると, ℓ は線分 O_1O_2 と垂直で, C_1 と C_2 の外部にある.
- C_2, C_3 の両方に直交する円の中心の描く軌跡を m とすると, m は線分 O_2O_3 と垂直で, C_2 と C_3 の外部にある.

3 点 O_1, O_2, O_3 は同一直線上にないから, ℓ と m は 1 点で交わり, この交点を S とすると, S から C_1, C_2, C_3 に引いた接線の接点で直交する. ■

6.32 2024年(医学部)

出題分野 1 2 3 4

- 1 n 個の袋 $A_1, A_2, \dots, A_n$ がある。 $A_k (1 \leq k \leq n)$ の中には白玉が k 個, 黒玉が $n - k$ 個入っている。次の(操作)を考える。

(操作)

(操作 1) n 個の袋から無作為に 1 つの袋を選び, それを A とおく。(操作 2) 次の試行を s 回繰り返す。袋 A から無作為に玉を 1 個取り出し, 玉の色を調べてから取り出した玉を袋 A に戻す。

以下の問いに答えよ。

- (1) $s = 2$ とする。(操作)を行うとき, 白玉がちょうど 1 回取り出される確率を n を用いて表せ。
 - (2) $s = 100$ とする。(操作 1)を行った結果, $A = A_k$ であった。このとき, (操作 2)で白玉がちょうど t 回取り出される条件付き確率を $p(t)$ とする。 $n = 3k$ が成り立つとき, $p(t)$ を最大にする t の値を求めよ。
 - (3) $s = 10$ とする。(操作)を行うとき, 白玉がちょうど 3 回取り出される確率を q_n とする。このとき, $\lim_{n \rightarrow \infty} q_n$ を求めよ。
- 2 $0 < \theta < \frac{\pi}{3}$ とする。 $AB = 1$, $\angle BAC = 3\theta$ である $\triangle ABC$ について, 辺 BC の中点を D としたとき, $\angle BAD = 2\theta$ が成り立つとする。以下の問いに答えよ。
- (1) $AC = 2 \cos \theta$ であることを示せ。
 - (2) BC を $\cos \theta$ を用いて表せ。
 - (3) BC の最大値とそのときの θ の値を求めよ。

3 k を実数とし, $f(x) = \sin^2 x - \cos x - 1 + k$ とおく。曲線 $y = f(x)$ $\left(0 \leq x \leq \frac{3\pi}{2}\right)$ を C とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 曲線 C と x 軸の共有点の個数が k の値によってどのように変わるか調べよ。
- (2) 曲線 C と x 軸の共有点があるような k に対し, $g(k)$ を

$$g(k) = \int_{p_1}^{p_2} f(x) \sin x \, dx$$

と定める。ただし, p_1, p_2 はそれぞれ, 曲線 C と x 軸の共有点の x 座標のうち 1 番小さいもの, 2 番目に小さいものとする。 $g(k)$ の最大値と最小値を求めよ。

4 m を自然数とする。以下の問いに答えよ。

- (1) $k^2 - \ell^2 = 3^m$ を満たす自然数の組 (k, ℓ) の個数を m を用いて表せ。
- (2) $\sqrt{x(x+3^m)}$ が整数となるような自然数 x で 3 の倍数でないものを m を用いて表せ。
- (3) $\sqrt{x(x+3^m)}$ が整数となるような自然数 x の個数を m を用いて表せ。

解答例

- 1** (1) 袋 A_k から白玉，黒玉が取り出される確率は，それぞれ $\frac{k}{n}$ ， $1 - \frac{k}{n}$ である ($k = 1, 2, \dots, n$)．求める確率は，2回の試行で白玉が1回，黒玉が1回取り出される確率であるから

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n {}_2C_1 \cdot \frac{k}{n} \cdot \left(1 - \frac{k}{n}\right) &= \frac{2}{n^2} \sum_{k=1}^n \left(k - \frac{1}{n} \cdot k^2\right) \\ &= \frac{2}{n^2} \left\{ \frac{1}{2} n(n+1) - \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{6} n(n+1)(2n+1) \right\} \\ &= \frac{(n+1)(n-1)}{3n^2} \end{aligned}$$

- (2) $A = A_k$ のとき， s 回の試行で白玉がちょうど t 回取り出される確率 $p(t)$ は

$$p(t) = {}_sC_t \left(\frac{k}{n}\right)^t \left(1 - \frac{k}{n}\right)^{s-t} \quad (*)$$

上式に $s = 100$ ， $n = 3k$ を代入すると

$$p(t) = {}_{100}C_t \left(\frac{1}{3}\right)^t \left(\frac{2}{3}\right)^{100-t} = \frac{100!}{t!(100-t)!} \left(\frac{2}{3}\right)^{100} \left(\frac{1}{2}\right)^t$$

$$\begin{aligned} \text{これから} \quad \frac{p(t+1)}{p(t)} - 1 &= \frac{t!(100-t)!}{(t+1)!(99-t)!} \cdot \frac{1}{2} - 1 \\ &= \frac{100-t}{2(t+1)} - 1 = \frac{98-3t}{2(t+1)} \end{aligned}$$

ゆえに $p(0) < p(1) < \dots < p(32) < p(33) > p(34) > \dots > p(100)$

よって，求める t の値は $t = 33$

- (3) (*) に $s = 10$ ， $t = 3$ を代入した $p(3)$ を利用して

$$q_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p(3) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n {}_{10}C_3 \left(\frac{k}{n}\right)^3 \left(1 - \frac{k}{n}\right)^7$$

したがって ¹⁸

$$\lim_{n \rightarrow \infty} q_n = {}_{10}C_3 \int_0^1 x^3 (1-x)^7 dx = {}_{10}C_3 \frac{3!7!}{11!} (1-0)^{11} = \frac{1}{11}$$

■

¹⁸<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> 1

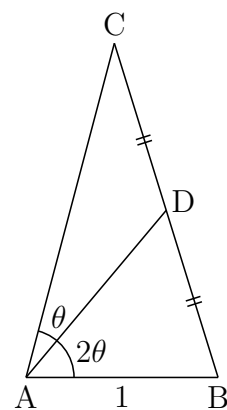
- 2 (1) $BD = CD$ より, $\triangle ABD = \triangle ACD$ であるから

$$\frac{1}{2}AB \cdot AD \sin 2\theta = \frac{1}{2}AC \cdot AD \sin \theta$$

$$\text{したがって} \quad AB \sin 2\theta = AC \sin \theta$$

$$AB = 1 \text{ より}$$

$$AC = \frac{AB \sin 2\theta}{\sin \theta} = 2 \cos \theta$$



- (2) $\triangle ABC$ に余弦定理を適用すると

$$\begin{aligned} BC^2 &= AB^2 + AC^2 - 2AB \cdot AC \cos 3\theta \\ &= 1^2 + (2 \cos \theta)^2 - 2 \cdot 1 \cdot 2 \cos \theta \cdot (4 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta) \\ &= -16 \cos^4 \theta + 16 \cos^2 \theta + 1 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad BC = \sqrt{-16 \cos^4 \theta + 16 \cos^2 \theta + 1}$$

- (3) (2) の結果から

$$BC^2 = -16 \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right)^2 + 5$$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{3} \text{ に注意して}$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{4} \text{ のとき, 最大値 } \sqrt{5}$$



- 3** (1) $f(x) = \sin^2 x - \cos x - 1 + k \quad \left(0 \leq x \leq \frac{3\pi}{2}\right)$ より

$$\begin{aligned} f(x) &= -\cos^2 x - \cos x + k \\ &= -\left(\cos x + \frac{1}{2}\right)^2 + k + \frac{1}{4} \end{aligned}$$

(*) $t = \cos x$ とし $(-1 \leq t \leq 1)$, 関数

$$\varphi(t) = -t^2 - t + k = -\left(t + \frac{1}{2}\right)^2 + k + \frac{1}{4}$$

とすると

t	-1	$\cdots$	$-\frac{1}{2}$	$\cdots$	0	$\cdots$	1
$\varphi(t)$	k	$\nearrow$	$k + \frac{1}{4}$	$\searrow$	k	$\searrow$	$k - 2$

$f(x) = 0$ が解をもつのは, $k - 2 \leq 0 \leq k + \frac{1}{4}$ のときである.

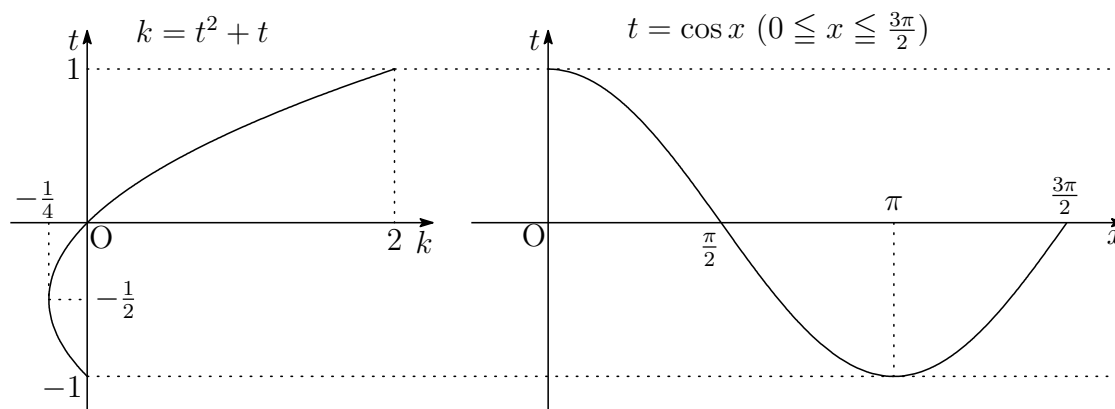
$0 \leq x \leq \frac{3\pi}{2}$ より, t $(-1 \leq t \leq 1)$ の値に対する (*) を満たす x の個数は

$t = -1$ のとき 1 個, $-1 < t \leq 0$ のとき 2 個, $0 < t \leq 1$ のとき 1 個

したがって

$0 < k - 2$ のとき	0 個
$k - 2 \leq 0 < k$ のとき	1 個
$k = 0$ のとき	3 個
$k < 0 < k + \frac{1}{4}$ のとき	4 個
$k + \frac{1}{4} = 0$ のとき	2 個
$k + \frac{1}{4} < 0$ のとき	0 個

よって	$2 < k$ のとき	0 個
	$0 < k \leq 2$ のとき	1 個
	$k = 0$ のとき	3 個
	$-\frac{1}{4} < k < 0$ のとき	4 個
	$k = -\frac{1}{4}$ のとき	2 個
	$k < -\frac{1}{4}$ のとき	0 個



(2) (1) の結果から, $f(x) = 0$ の解の個数が 2 個以上であるとき

$$-\frac{1}{4} \leq k \leq 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$f(x) = \varphi(t)$, $t = \cos x$ より, $\alpha = \cos p_1$, $\beta = \cos p_2$ とおくと

$$\varphi(\alpha) = \varphi(\beta) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \varphi(t) = -(t - \alpha)(t - \beta)$$

(*) より, $\frac{dt}{dx} = -\sin x$ であるから

$$\begin{aligned} g(k) &= \int_{p_1}^{p_2} f(x) \sin x \, dx = - \int_{\alpha}^{\beta} \varphi(t) \, dt \\ &= \int_{\alpha}^{\beta} (t - \alpha)(t - \beta) \, dt = -\frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 = \frac{1}{6}(\alpha - \beta)^3 \end{aligned}$$

$\varphi(t) = 0$ の解と係数の関係により $\alpha + \beta = -1$, $\alpha\beta = -k \quad \cdots \textcircled{2}$

$$(\alpha - \beta)^2 = (\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta = 1 + 4k$$

①, ② より, $\alpha = \cos p_1 \leq 0$, $\beta = \cos p_2 \leq 0$ であるから, t に対する x の値に注意すると

$$\frac{\pi}{2} \leq p_1 < p_2 \leq \pi \quad \text{ゆえに} \quad \cos p_2 \leq \cos p_1 \quad \left(\text{等号は } k = -\frac{1}{4} \text{ のとき} \right)$$

$$\alpha - \beta \geq 0 \text{ であるから } \alpha - \beta = \sqrt{1 + 4k} \quad \text{ゆえに} \quad g(k) = \frac{1}{6}(1 + 4k)^{\frac{3}{2}}$$

$$\textcircled{1} \text{ より } \quad \text{最大値 } g(0) = \frac{1}{6}, \text{ 最小値 } g\left(-\frac{1}{4}\right) = 0 \quad \blacksquare$$

4 (1) $k^2 - \ell^2 = 3^m$ より $(k + \ell)(k - \ell) = 3^m$

$k + \ell > k - \ell$ より, 自然数 m_1, m_2 を用いて

$$k + \ell = 3^{m_1}, \quad k - \ell = 3^{m_2} \quad (m_1 + m_2 = m, m_1 > m_2 \geq 0)$$

とすると, $3^{m_1} \equiv 1, 3^{m_2} \equiv 1 \pmod{2}$ に注意して

$$k = \frac{3^{m_1} + 3^{m_2}}{2}, \quad \ell = \frac{3^{m_1} - 3^{m_2}}{2} \quad (*)$$

$0 \leq m_2 \leq \left[\frac{m-1}{2}\right]$ であるから, 求める自然数 (k, ℓ) の組の個数は

$$\left[\frac{m-1}{2}\right] + 1 = \left[\frac{m+1}{2}\right]$$

- (2) 2つの整数 a, b の最大公約数を $\gcd(a, b)$ とする. x は3の倍数でないから, ユークリッドの互除法により

$$\gcd(x, x + 3^m) = \gcd(x, 3^m) = 1$$

x が3の倍数でないとき, x と $x + 3^m$ は互いに素である.

$\sqrt{x(x + 3^m)}$ が整数であるとき, 整数 k, ℓ を用いて

$$x + 3^m = k^2, \quad x = \ell^2 \quad \text{ゆえに} \quad (k + \ell)(k - \ell) = 3^m$$

したがって, $(*)$ を得る. このとき, $x = \ell^2$ より, ℓ は3の倍数でないから

$$(m_1, m_2) = (m, 0), (0, m) \quad \text{よって} \quad x = \left(\frac{3^m - 1}{2}\right)^2$$

- (3) x が 3^m を約数にもつとき, $x = 3^m A$ とおくと ($A > 0$ は整数)

$$\sqrt{x(x + 3^m)} = \sqrt{3^m A(3^m A + 3^m)} = 3^m \sqrt{A} \sqrt{A + 1}$$

$\gcd(A, A + 1) = \gcd(A, 1) = 1$ より, 上式が整数のとき, $\sqrt{A}, \sqrt{A + 1}$ は整数であるから, 次式より, これを満たす整数 x は存在しない.

$$1 = (\sqrt{A + 1})^2 - (\sqrt{A})^2 = (\sqrt{A + 1} + \sqrt{A})(\sqrt{A + 1} - \sqrt{A})$$

$x = 3^j B_j$ ($B_j > 0$ は 3 で割り切れない) とすると ($j = 0, 1, \dots, m-1$)

$$\sqrt{x(x+3^m)} = \sqrt{3^j B_j (3^j B_j + 3^m)} = 3^j \sqrt{B_j (B_j + 3^{m-j})}$$

このとき, $\sqrt{B_j (B_j + 3^{m-j})}$ は整数であるから, (2) の結論より

$$B_j = \left(\frac{3^{m-j} - 1}{2} \right)^2 \quad \text{すなわち} \quad x = 3^j B_j \quad (j = 0, 1, \dots, m-1)$$

よって, 求める x の個数は $\mathbf{m}$ (個)



6.33 2025 年 (医学部)

出題分野 1 2 3 4

1 平面上の4点 A, B, C, D について, $|\overrightarrow{AB}| = p > 0$, $|\overrightarrow{AD}| = q$, $\angle DAB = \theta$ ($0 < \theta < \pi$) とする。以下の問に答えよ。

(1) 不等式 $|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{BC}|^2 + |\overrightarrow{CD}|^2 + |\overrightarrow{DA}|^2 \geq |\overrightarrow{AC}|^2 + |\overrightarrow{BD}|^2$ を証明せよ。

(2) (1) で等号が成り立つとき, 四角形 ABCD の面積を p, q, θ を用いて表せ。

2 α を 0 ではない複素数とする。 $z = \frac{\sqrt{6}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i$ とおき, $\beta = z\alpha$, $\gamma = z^2\alpha$ とおく。 $0, \alpha, \beta, \gamma$ はそれぞれ複素数平面上の点 O, A, B, C を表すとする。ただし, i は虚数単位である。以下の問いに答えよ。

(1) $\angle BOC$ を求めよ。

(2) 複素数 δ に対し, δ が表す複素数平面上の点を D とするとき, 線分 BD の垂直二等分線は A, C を通るとする。このような δ を α を用いて表せ。

(3) $0 < \theta < \pi$ とする。点 D を, 点 C を中心に θ だけ回転した点が B であるとする。このとき $\sin \theta$ を求めよ。

- 3** xyz 空間において, 5 点 $A(3, 0, 0)$, $B(0, 3, 0)$, $C(0, -3, 0)$, $D(3, 0, 3)$, $P(0, 0, 1)$ をとる。点 P を通り x 軸に平行な直線を ℓ とする。四面体 $ABCD$ を ℓ の周りに 1 回転させるとき, この四面体が通過する体積 V を求めよ。ただし, 四面体は内部も含むとする。

- 4** 実数 $p > 1$ と正の整数 n に対して

$$S_n = \sum_{k=1}^n k^p$$

とおく。

- (1) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n^{p+1}}$ を求めよ。
 (2) $0 \leq \alpha < \beta$ とする。点 (α, α^p) における $y = x^p$ の接線の方程式を求めよ。
 また, 不等式

$$\frac{1}{2}(\beta - \alpha)\{2\alpha^p + p(\beta - \alpha)\alpha^{p-1}\} \leq \int_{\alpha}^{\beta} x^p \leq \frac{1}{2}(\beta - \alpha)(\beta^p + \alpha^p)$$

を証明せよ。

- (3) (1) で求めた値を c とおく。 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_p - cn^{p+1}}{n^p}$ を求めよ。

解答例

1 (1) 不等式

$$|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{BC}|^2 + |\overrightarrow{CD}|^2 + |\overrightarrow{DA}|^2 - |\overrightarrow{AC}|^2 - |\overrightarrow{BD}|^2 \geq 0 \quad (*)$$

を示せばよい. $\overrightarrow{AB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{AC} = \vec{c}$, $\overrightarrow{AD} = \vec{d}$ とおくと

$$\begin{aligned} (*) \text{の左辺} &= |\vec{b}|^2 + |\vec{c} - \vec{b}|^2 + |\vec{d} - \vec{c}|^2 + |-\vec{d}|^2 - |\vec{c}|^2 - |\vec{d} - \vec{b}|^2 \\ &= |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 + |\vec{d}|^2 - 2\vec{b} \cdot \vec{c} - 2\vec{c} \cdot \vec{d} + 2\vec{b} \cdot \vec{d} \\ &= |\vec{b} - \vec{c} + \vec{d}|^2 \geq 0 \end{aligned}$$

別解 不等式

$$|\overrightarrow{BC}|^2 + |\overrightarrow{CD}|^2 - |\overrightarrow{AC}|^2 \geq |\overrightarrow{BD}|^2 - |\overrightarrow{AB}|^2 - |\overrightarrow{DA}|^2 \quad (**)$$

を示せばよい.

$$\begin{aligned} (**) \text{の右辺} &= |\overrightarrow{AD} - \overrightarrow{AB}|^2 - |\overrightarrow{AB}|^2 - |\overrightarrow{DA}|^2 \\ &= -2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD}, \\ (**) \text{の左辺} &= |\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AD} - \overrightarrow{AC}|^2 - |\overrightarrow{AC}|^2 \\ &= |\overrightarrow{AC}|^2 - 2(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD}) \cdot \overrightarrow{AC} + |\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AD}|^2 \\ &= |\overrightarrow{AC}|^2 - 2(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD}) \cdot \overrightarrow{AC} + |\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD}|^2 - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD} \\ &= |\overrightarrow{AC} - (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD})|^2 - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AD} \\ &\geq (**) \text{の右辺} \end{aligned}$$

等号が成立するとき

$$\overrightarrow{AC} - (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD}) = \vec{0} \quad \text{すなわち} \quad \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AD}$$

(2) (1) で等号が成り立つとき

$$\vec{b} - \vec{c} + \vec{d} = \vec{0} \quad \text{すなわち} \quad \vec{c} = \vec{b} + \vec{d}$$

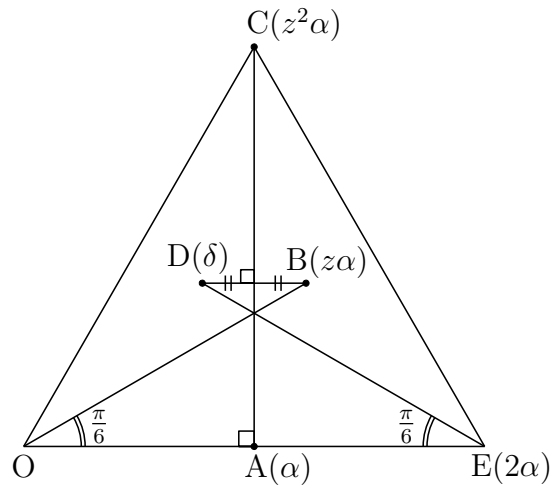
このとき四角形 ABCD は平行四辺形であり, その面積は $pq \sin \theta$ ■

2 (1) $z = \frac{\sqrt{6}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i = \sqrt{2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i \right) = \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{6} + i \sin \frac{\pi}{6} \right)$

$$\angle \beta 0 \gamma = \arg \frac{\gamma - 0}{\beta - 0} = \arg \frac{z^2 \alpha}{z \alpha} = \arg z = \frac{\pi}{6} \text{ より } \angle \mathbf{BOC} = \frac{\pi}{6}$$

(2) $E(2\alpha)$ とすると, ED は EA を $\sqrt{2}$ 倍に拡大し, E を中心に $-\frac{\pi}{6}$ だけ回転したものであるから

$$\delta = 2\alpha + \bar{z}(-\alpha) = (2 - \bar{z})\alpha = \left(2 - \frac{\sqrt{6}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i \right) \alpha$$



(3) $BC = CD$ に注意して

$$\begin{aligned} \cos \theta + i \sin \theta &= \frac{\beta - \gamma}{\delta - \gamma} = \frac{z\alpha - z^2\alpha}{(2 - \bar{z})\alpha - z^2\alpha} = \frac{z - z^2}{2 - \bar{z} - z^2} \\ &= \frac{\frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}i}{2} - (1 + \sqrt{3}i)}{2 - \frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}i}{2} - (1 + \sqrt{3}i)} = \frac{(\sqrt{6} - 2) + (\sqrt{2} - 2\sqrt{3})i}{(2 - \sqrt{6}) + (\sqrt{2} - 2\sqrt{3})i} \\ &= -\frac{(\sqrt{6} - 2) - (2\sqrt{3} - \sqrt{2})i}{(\sqrt{6} - 2) + (2\sqrt{3} - \sqrt{2})i} = -\frac{\{(\sqrt{6} - 2) - (2\sqrt{3} - \sqrt{2})i\}^2}{(\sqrt{6} - 2)^2 + (2\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{2(\sqrt{6} - 2)(2\sqrt{3} - \sqrt{2})}{(\sqrt{6} - 2)^2 + (2\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = \frac{4(4\sqrt{2} - 3\sqrt{3})}{8(3 - \sqrt{6})} \\ &= \frac{(4\sqrt{2} - 3\sqrt{3})(3 + \sqrt{6})}{2(3 - \sqrt{6})(3 + \sqrt{6})} = \frac{3\sqrt{2} - \sqrt{3}}{6} \end{aligned}$$

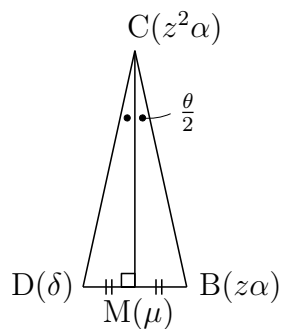
別解 BD の中点を $M(\mu)$ とすると, $z = \frac{\sqrt{6}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i$ より

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\beta + \delta}{2} = \frac{z\alpha + (2 - \bar{z})\alpha}{2} = \left(1 + \frac{z - \bar{z}}{2}\right)\alpha, \\ \mu - \gamma &= \left(1 + \frac{z - \bar{z}}{2}\right)\alpha - z^2\alpha = \left(1 + \frac{z - \bar{z}}{2} - z^2\right)\alpha = \frac{\sqrt{2} - 2\sqrt{3}}{2}\alpha i \\ \beta - \mu &= z\alpha - \left(1 + \frac{z - \bar{z}}{2}\right)\alpha = \left(-1 + \frac{z + \bar{z}}{2}\right)\alpha = \frac{\sqrt{6} - 2}{2}\alpha,\end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned}\tan \frac{\theta}{2} &= \frac{MB}{CM} = \frac{|\beta - \mu|}{|\mu - \gamma|} = \frac{\left|\frac{\sqrt{6} - 2}{2}\alpha\right|}{\left|\frac{\sqrt{2} - 2\sqrt{3}}{2}\alpha i\right|} = \frac{\sqrt{6} - 2}{2\sqrt{3} - \sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2} - \sqrt{3}}{5}, \\ \frac{1}{\tan \frac{\theta}{2}} &= \frac{5}{2\sqrt{2} - \sqrt{3}} = 2\sqrt{2} + \sqrt{3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{よって} \quad \sin \theta &= \frac{2}{\tan \frac{\theta}{2} + \frac{1}{\tan \frac{\theta}{2}}} = \frac{2}{\frac{2\sqrt{2} - \sqrt{3}}{5} + 2\sqrt{2} + \sqrt{3}} \\ &= \frac{5}{2(3\sqrt{2} + \sqrt{3})} = \frac{3\sqrt{2} - \sqrt{3}}{6}\end{aligned}$$



■

- 3 四面体を平面 $x = t$ ($0 \leq t \leq 3$) による断面である長方形 $QRR'Q'$ を下の図のようにとると, zx 平面に関して Q と Q' , R と R' は対称であるから

$$TQ = TQ', \quad TR = TR'$$

また ℓ と平面 $x = t$ との交点を T すると

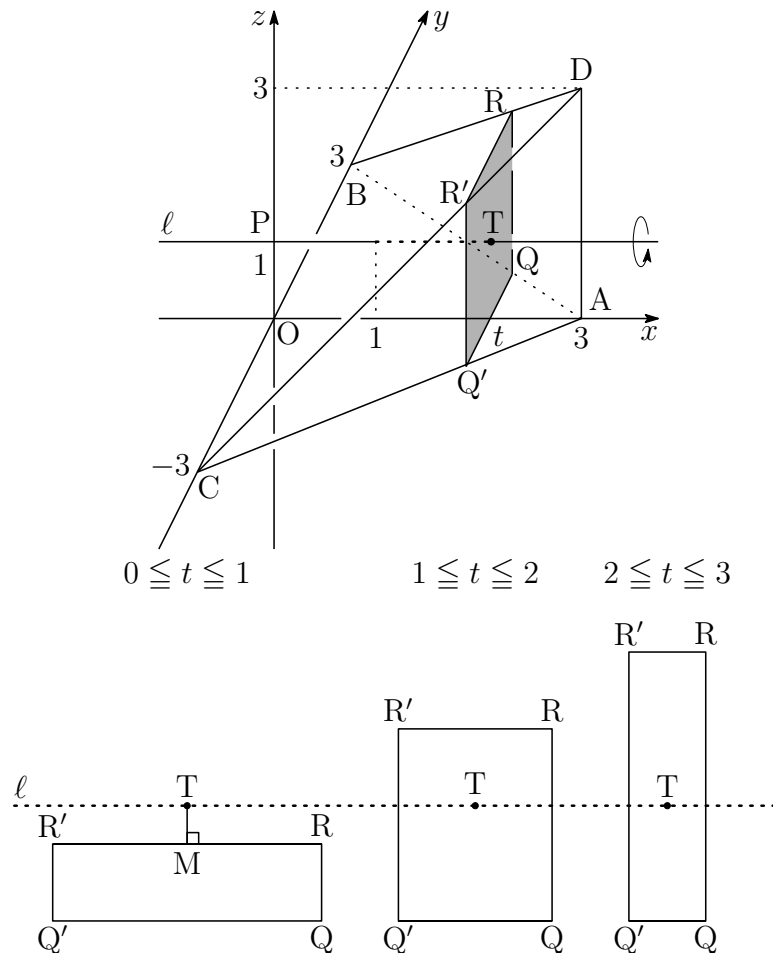
$$Q(t, 3-t, 0), \quad R(t, 3-t, t), \quad T(t, 0, 1)$$

ℓ と四面体が共有点をもつのは, $1 \leq t \leq 3$ のときであり, $0 \leq t \leq 1$ のとき, T から RR' に垂線 TM を引くと

$$TM = 1 - t$$

$0 \leq t \leq 2$ のとき $TQ \geq TR$, $2 \leq t \leq 3$ のとき $TQ \leq TR$ であるから, 求める体積を V とすると

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 (TQ^2 - TM^2) dt + \int_1^2 TQ^2 dt + \int_2^3 TR^2 dt \\ &= - \int_0^1 TM^2 dt + \int_0^2 TQ^2 dt + \int_2^3 TR^2 dt \end{aligned} \quad (*)$$



$TQ^2 = (3-t)^2 + 1$, $TR^2 = (3-t)^2 + (1-t)^2$ であるから, (*) より

$$\begin{aligned}\frac{V}{\pi} &= -\int_0^1 (t-1)^2 dt + \int_0^2 \{(t-3)^2 + 1\} dt + \int_2^3 \{(t-3)^2 + (t-1)^2\} dt \\ &= -\left[\frac{1}{3}(t-1)^3\right]_0^1 + \left[\frac{1}{3}(t-3)^3 + t\right]_0^2 + \left[\frac{1}{3}(t-3)^3 + \frac{1}{3}(t-1)^3\right]_2^3 \\ &= 13\end{aligned}$$

よって $V = 13\pi$ ■

4 (1) $S_n = \sum_{k=1}^n k^p$ より

$$\begin{aligned}\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_n}{n^{p+1}} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{k}{n}\right)^p \\ &= \int_0^1 x^p dx = \left[\frac{x^{p+1}}{p+1}\right]_0^1 = \frac{1}{p+1}\end{aligned}$$

(2) $y = x^p$ を微分すると $y' = px^{p-1}$

$y = x^p$ 上の点 (α, α^p) における接線の方程式は

$$y = p\alpha^{p-1}(x - \alpha) + \alpha^p$$

この接線と直線 $x = \beta$ の交点 C の y 座標を y_β とすると

$$y_\beta = p\alpha^{p-1}(\beta - \alpha) + \alpha^p$$

$y'' = p(p-1)x^{p-2}$ であるから, 区間 $\alpha < x < \beta$ において ($0 \leq \alpha$)

$$y'' > 0$$

このとき

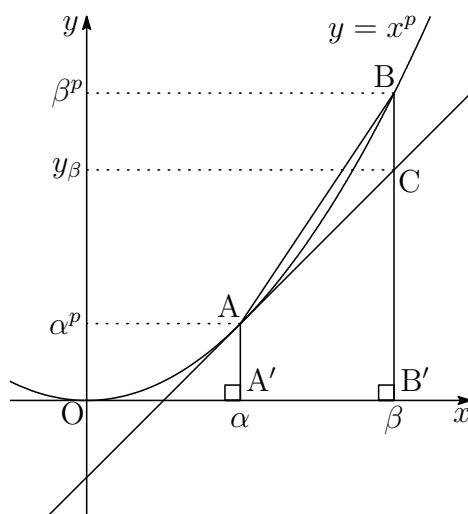
$$\begin{aligned}
 \text{四角形 AA'B'C} &= \frac{1}{2}(\beta - \alpha)(\alpha^p + y_\beta) \\
 &= \frac{1}{2}(\beta - \alpha)\{\alpha^p + p\alpha^{p-1}(\beta - \alpha) + \alpha^p\} \\
 &= \frac{1}{2}(\beta - \alpha)\{2\alpha^p + p(\beta - \alpha)\alpha^{p-1}\}, \\
 \text{四角形 AA'B'B} &= \frac{1}{2}(\beta - \alpha)(\alpha^p + \beta^p)
 \end{aligned}$$

$y = x^p$ は下に凸であるから、次が成立する.

$$\text{四角形 AA'B'C} \leq \int_{\alpha}^{\beta} x^p dx \leq \text{四角形 AA'B'B}$$

したがって

$$\frac{1}{2}(\beta - \alpha)\{2\alpha^p + p(\beta - \alpha)\alpha^{p-1}\} \leq \int_{\alpha}^{\beta} x^p dx \leq \frac{1}{2}(\beta - \alpha)(\beta^p + \alpha^p)$$



(3) (2) の結論に $\alpha = k - 1$, $\beta = k$ を代入すると

$$\frac{1}{2}\{2(k-1)^p + p(k-1)^{p-1}\} \leq \int_{k-1}^k x^p dx \leq \frac{1}{2}\{k^p + (k-1)^p\}$$

$k = 1, 2, \dots, n$ について, 上式の辺々を加えると

$$S_p - n^p + \frac{p}{2}(S_{p-1} - n^{p-1}) \leq \frac{n^{p+1}}{p+1} \leq S_p - \frac{n^p}{2}$$

(1) の結果より, $\frac{1}{p+1} = c$ であるから

$$\begin{aligned} S_p - n^p + \frac{p}{2}(S_{p-1} - n^{p-1}) &\leq cn^{p+1} \leq S_p - \frac{n^p}{2} \\ \frac{n^p}{2} &\leq S_p - cn^{p+1} \leq n^p - \frac{p}{2}(S_{p-1} - n^{p-1}) \end{aligned}$$

したがって

$$\frac{1}{2} \leq \frac{S_p - cn^{p+1}}{n^p} \leq 1 - \frac{p}{2} \cdot \frac{S_{p-1}}{n^p} + \frac{p}{2n} \quad (*)$$

ここで, (1) の結果から $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{S_{p-1}}{n^p} = \frac{1}{p}$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{p}{2} \cdot \frac{S_{p-1}}{n^p} + \frac{p}{2n} \right) = 1 - \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{p} + 0 = \frac{1}{2}$$

はさみうちの原理を (*) に適用すると

$$\frac{S_p - cn^{p+1}}{n^p} = \frac{1}{2}$$

補足 $S_n = \sum_{k=1}^n k^p$ は, n の $p+1$ 次式で, 最高次の係数は $\frac{1}{p+1}$, n^p の係数は $\frac{1}{2}$.
次の p.17 を参照.

http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/oita/oita_2014.pdf



第 7 章 大分大学

出題分野

(理工学部 経済学部 教育学部 医学部)

理工学部 出題分野 (2015-2025) 100 分

◀	大分大学 理工学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明			2								
	複素数と方程式											
	図形と方程式	1										1
	三角関数				2			2				
	指数関数と対数関数				1	1						
	微分法と積分法	3	2		2				3	3	2	
III	関数											
	極限								4			4
	微分法とその応用		4	4								
	積分法											
	積分法の応用		4		4	3	4	4		4	4	
A	場合の数と確率		3						2		3	3
	整数の性質											
	図形の性質					2	1			1		
B	数列			3		4	3	1		2	1	
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	2	1				2	3				2
	空間のベクトル			1	3				1			
	複素数平面											
	式と曲線	4										

数字は問題番号

経済学部 出題分野 (2015-2025) 80 分

◀	大分大学 経済学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量				5							
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式	1										1
	三角関数				2			2				
	指数関数と対数関数				1	1						
	微分法と積分法	3	2	5	2	5	5	5	3	3	2	
A	場合の数と確率		3						2		3	3
	整数の性質											
	図形の性質			6		2	1			1		
B	数列	5	5	3		4		1		2	1	5
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	2	1				2					
	空間のベクトル			1	3				1			

2019 年度までは 4 題 (100 分), 2020 年度以降は 3 題 (80 分)

教育学部 出題分野 (2015-2025) 80 分

◀	大分大学 教育学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式										5	6
	2 次関数										5	
	図形と計量				5						5	6
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											6
	図形と方程式	1										1
	三角関数				2			2				6
	指数関数と対数関数				1						5	6
	微分法と積分法	3	2	5	2	5	5	5	3	3	2	
A	場合の数と確率		3						2		3	
	整数の性質											
	図形の性質					2	1			1		
B	数列			3		4		1		2		5
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	2	1				2					
	空間のベクトル			1					1			

数字は問題番号

医学部 出題分野 (2015-2025) 80 分

◀	大分大学 医学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式											1
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限		6・7		6	6			5			4
	微分法とその応用						6					
	積分法	8				8						
	積分法の応用	6	8	9	8			6	6	7	4	
A	場合の数と確率				7		8	8	7	6	3	
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列						7				1	
	確率分布と統計			7								
C	平面上のベクトル							7				2
	空間のベクトル					7				5		
	複素数平面	7		8								
	式と曲線											

数字は問題番号

7.1 2015 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [3] [5] 数I・II・A・B (100 分)
- 教育福祉科学部 [1] [2] [3] 数I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数I・II・III・A・B (80 分)

[1] a を実数とする. 円 $x^2 + y^2 - 4x - 8y + 15 = 0$ と直線 $y = ax + 1$ が異なる 2 点 A, B で交わっている.

- (1) a の値の範囲を求めなさい.
- (2) 弦 AB の長さが最大になるときの a の値を求めなさい.
- (3) 弦 AB の長さが 2 になるときの a の値を求めなさい.

[2] $\triangle ABC$ において, 辺 AB を 2 : 1 に内分する点を P, 辺 AC を 1 : 2 に内分する点を Q とし, 辺 BC 上に点 R があるとする.

- (1) 線分 PQ の中点を M とし, 点 A, M, R が一直線上にあるとき, $BR : RC$ を求めなさい.
- (2) $\triangle ABC$ の重心 G と $\triangle PRQ$ の重心 H が一致するとき, $BR : RC$ を求めなさい.
- (3) 直線 AR, BQ, CP が一点で交わる時, $BR : RC$ を求めなさい.

[3] k を実数とする. 関数 $y = |x(x - 1)|$ のグラフと直線 $y = kx$ が異なる 3 点を共有している. これらで囲まれた 2 つの部分の面積の和を S とする.

- (1) k の値の範囲を求めなさい.
- (2) S を k の式で表しなさい.
- (3) S が最小になるときの k の値を求めなさい.

4 曲線 $C: 4x^2 + 9y^2 = 36$ ($x > 0$) 上の点 $P\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, y_1\right)$ が第1象限にある. 点 P における曲線 C の接線を ℓ とする.

- (1) y_1 の値を求めなさい.
- (2) 接線 ℓ の方程式を求めなさい.
- (3) 接線 ℓ と x 軸との交点の x 座標を求めなさい.
- (4) 曲線 C , 接線 ℓ , x 軸で囲まれた部分の面積 S を求めなさい.

5 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和 S_n が

$$S_n = n^4 + 6n^3 + 11n^2 + 6n$$

で表されるとする.

- (1) 数列 $\{a_n\}$ の一般項が $a_n = 4n(n+1)(n+2)$ であることを示しなさい.
- (2) $b_n = \frac{1}{a_n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) によって定まる数列 $\{b_n\}$ の初項から第 n 項までの和 T_n を n の式で表しなさい.

- 6 方程式 $y^2 = x^6(1 - x^2)$ が表す図形で囲まれた面積を求めなさい.
- 7 方程式 $x^4 + x^2 + 1 = 0$ の解で, 実部と虚部がともに正のものを x_1 , 実部が負で虚部が正のものを x_2 , 実部と虚部がともに負のものを x_3 , 実部が正で虚部が負のものを x_4 とする.
- (1) この方程式を解きなさい.
 - (2) x_1^k ($k = 1, 2, \dots, 6$) を計算しなさい.
 - (3) 与方程式の解 x_i と自然数 n に対して, $x_i^{4n} + x_i^{2n} + 1$ ($i = 1, 2, 3, 4$) を求めなさい.
- 8 正の実数 p_i, q_i ($i = 1, 2, \dots, n$) が $\sum_{i=1}^n p_i = \sum_{i=1}^n q_i = 1$ を満たすとき, 次の問いに答えなさい.
- (1) 不等式 $\log x \leq x - 1$ が成り立つことを証明しなさい.
 - (2) 不等式 $\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \geq \sum_{i=1}^n p_i \log q_i$ が成り立つことを証明しなさい.
 - (3) $F = \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$ の最小値を求めなさい.
 - (4) 正の実数 a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) に対して, $G = \sum_{i=1}^n a_i \log a_i$ の最小値を求めなさい.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad x^2 + y^2 - 4x - 8y + 15 = 0 \text{ より } (x-2)^2 + (y-4)^2 = 5 \quad \cdots (*)$$

円 (*) の中心 (2, 4) から直線 $ax - y + 1 = 0$ までの距離 d は

$$d = \frac{|a \cdot 2 - 4 + 1|}{\sqrt{a^2 + (-1)^2}} = \frac{|2a - 3|}{\sqrt{a^2 + 1}} \quad \cdots \textcircled{1}$$

また、円 (*) の半径 r は $r = \sqrt{5}$

円と直線が異なる2点で交わる時、 $d < r$ であるから

$$\frac{|2a - 3|}{\sqrt{a^2 + 1}} < \sqrt{5} \quad \text{整理すると} \quad a^2 + 12a - 4 > 0$$

これを解いて $a < -6 - 2\sqrt{10}, -6 + 2\sqrt{10} < a$

(2) 直線 $y = ax + 1$ が円の中心 (2, 4) を通るときであるから

$$4 = a \cdot 2 + 1 \quad \text{これを解いて} \quad a = \frac{3}{2}$$

(3) $d^2 + \left(\frac{AB}{2}\right)^2 = r^2$ であるから

$$d^2 + 1^2 = (\sqrt{5})^2 \quad \text{ゆえに} \quad d = 2$$

これを ① に代入すると

$$\frac{|2a - 3|}{\sqrt{a^2 + 1}} = 2 \quad \text{よって} \quad a = \frac{5}{12}$$



- 2 (1) M は線分 PQ の中点であるから

$$\overrightarrow{AM} = \frac{1}{2}\overrightarrow{AP} + \frac{1}{2}\overrightarrow{AQ}$$

$$\text{条件から } \overrightarrow{AP} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB}, \quad \overrightarrow{AQ} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AC}$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{AM} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{6}\overrightarrow{AC}$$

点 A, M, R が一直線上にあるから, 実数 k を用いて

$$\overrightarrow{AR} = k\overrightarrow{AM} \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{AR} = \frac{1}{3}k\overrightarrow{AB} + \frac{1}{6}k\overrightarrow{AC}$$

R は直線 BC 上の点であるから

$$\frac{1}{3}k + \frac{1}{6}k = 1 \quad \text{これを解いて} \quad k = 2$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{AR} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AC} \quad \text{よって} \quad \mathbf{BR : RC = 1 : 2}$$

- (2) G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$\overrightarrow{AG} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AC}$$

H は $\triangle PQR$ の重心であるから

$$\overrightarrow{AH} = \frac{1}{3}(\overrightarrow{AP} + \overrightarrow{AQ} + \overrightarrow{AR})$$

これに $\overrightarrow{AP} = \frac{2}{3}\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AQ} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AC}$ を代入すると

$$\overrightarrow{AH} = \frac{1}{3}\left(\frac{2}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AC} + \overrightarrow{AR}\right) = \frac{2}{9}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{9}\overrightarrow{AC} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AR}$$

このとき, $\overrightarrow{AG} = \overrightarrow{AH}$ であるから

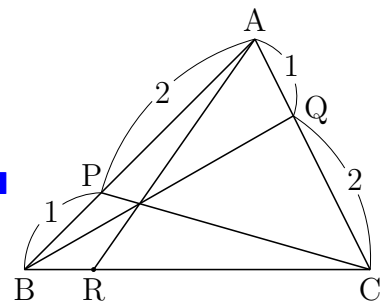
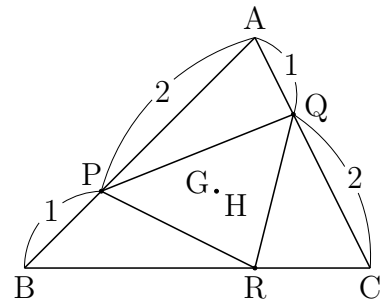
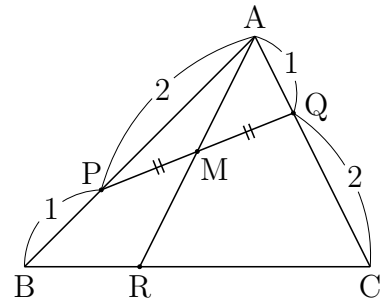
$$\frac{1}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AC} = \frac{2}{9}\overrightarrow{AB} + \frac{1}{9}\overrightarrow{AC} + \frac{1}{3}\overrightarrow{AR}$$

$$\text{ゆえに } \overrightarrow{AR} = \frac{1}{3}\overrightarrow{AB} + \frac{2}{3}\overrightarrow{AC} \quad \text{よって} \quad \mathbf{BR : RC = 2 : 1}$$

- (3) チェバの定理により $\frac{AP}{PB} \cdot \frac{BR}{RC} \cdot \frac{CQ}{QA} = 1$

$$\text{したがって } \frac{2}{1} \cdot \frac{BR}{RC} \cdot \frac{2}{1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{BR}{RC} = \frac{1}{4}$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{BR : RC = 1 : 4}$$



$$\text{[3]} \quad (1) \quad |x(x-1)| = \begin{cases} x^2 - x & (x \leq 0, 1 \leq x) \\ -x^2 + x & (0 \leq x \leq 1) \end{cases}$$

したがって

$$y = |x(x-1)| \quad \cdots (*)$$

のグラフは、右の図のようになる.

$$y = -x^2 + x \text{ を微分すると } y' = -2x + 1$$

$$y = -x^2 + x \text{ の } x = 0 \text{ における接線の傾きは } y' = 1$$

(*) グラフと直線 $y = kx$ が異なる 3 つの共有点をもつ k の値の範囲は

$$0 < k < 1$$

(2) (*) のグラフと直線 $y = kx$ の共有点の x 座標は

$$x \leq 0, 1 \leq x \text{ のとき } x(x-1) = kx \text{ これを解いて } x = 1+k$$

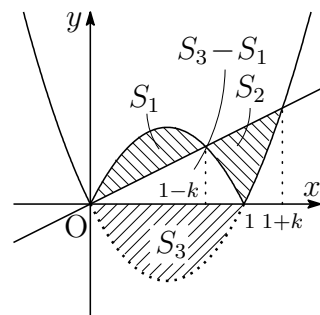
$$0 \leq x \leq 1 \text{ のとき } -x(x-1) = kx \text{ これを解いて } x = 1-k$$

右の図について、求める面積 S は

$$S = S_1 + S_2, \quad S_1 = \frac{1}{6}(1-k)^3, \quad S_3 = \frac{1}{6},$$

$$S_3 + (S_3 - S_1) + S_2 = \frac{1}{6}(1+k)^3 \text{ より}$$

$$\begin{aligned} S = S_1 + S_2 &= \frac{1}{6}(1+k)^3 + 2S_1 - 2S_3 \\ &= \frac{1}{6}(1+k)^3 + 2 \times \frac{1}{6}(1-k)^3 - 2 \times \frac{1}{6} \\ &= \frac{1}{6}(-k^3 + 9k^2 - 3k + 1) \end{aligned}$$



$$(3) \quad (2) \text{ の結果から } \frac{dS}{dk} = -\frac{1}{2}(k^2 - 6k + 1) \quad \frac{dS}{dk} = 0 \text{ とすると } k = 3 \pm 2\sqrt{2}$$

$$\text{ここで } 0 < 3 - 2\sqrt{2} = \frac{1}{3 + 2\sqrt{2}} < 1 < 3 + 2\sqrt{2}$$

したがって、 $0 \leq k \leq 1$ における S の増減表は、次のようになる.

k	0	...	$3 - 2\sqrt{2}$	...	1
$\frac{dS}{dk}$		-	0	+	
S		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

よって、求める k の値は $k = 3 - 2\sqrt{2}$



- 4 (1) $P\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, y_1\right)$ は $C: 4x^2 + 9y^2 = 36$ 上の点であるから

$$4\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)^2 + y_1^2 = 36 \quad \text{ゆえに} \quad y_1^2 = 1$$

P は第 1 象限にあるから, $y_1 > 0$ に注意して $y_1 = 1$

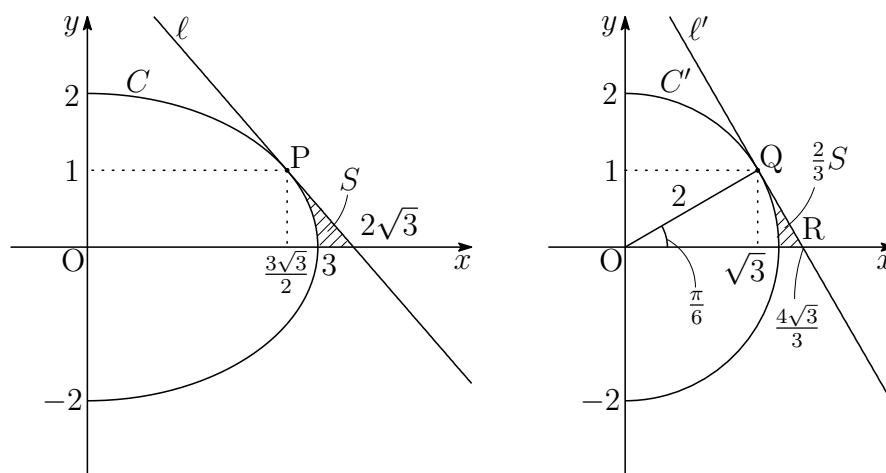
- (2) (1) の結果から, $P\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, 1\right)$ における C の接線 ℓ は

$$4 \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2}x + 9 \cdot 1y = 36 \quad \text{よって} \quad 2\sqrt{3}x + 3y = 12$$

- (3) (2) で求めた ℓ の方程式に $y = 0$ を代入すると

$$2\sqrt{3}x = 12 \quad \text{よって, 求める } x \text{ 座標は} \quad x = 2\sqrt{3}$$

- (4) 曲線 C および接線 ℓ を y 軸をもとに x 軸方向に $\frac{2}{3}$ だけ縮小したものを, それぞれ C' , ℓ' とすると, C' , ℓ' , x 軸で囲まれた図形の面積は $\frac{2}{3}S$ である.



したがって, 右上の図から

$$\begin{aligned} \frac{2}{3}S &= \triangle OQR - \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot \frac{\pi}{6} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{4\sqrt{3}}{3} \cdot 1 - \frac{\pi}{3} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad S = \sqrt{3} - \frac{\pi}{2}$$

■

5 (1) $S_n = n^4 + 6n^3 + 11n^2 + 6n$ より $S_n = n(n+1)(n+2)(n+3)$

$n = 1$ のとき $a_1 = S_1 = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$

$n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} a_n &= S_n - S_{n-1} \\ &= n(n+1)(n+2)(n+3) - (n-1)n(n+1)(n+2) \\ &= n(n+1)(n+2)\{(n+3) - (n-1)\} \\ &= 4n(n+1)(n+2) \end{aligned}$$

上式は、 $n = 1$ のときも成り立つ。

よって、数列 $\{a_n\}$ の一般項は $a_n = 4n(n+1)(n+2)$

(2) (1) の結果から $b_k = \frac{1}{a_k} = \frac{1}{4k(k+1)(k+2)}$

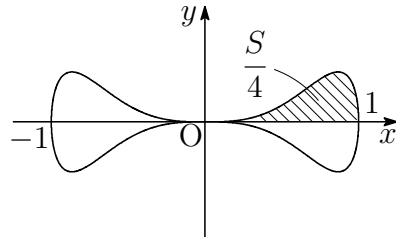
$$\begin{aligned} T_n &= \sum_{k=1}^n b_k = \sum_{k=1}^n \frac{1}{4k(k+1)(k+2)} \\ &= \frac{1}{8} \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{1}{k(k+1)} - \frac{1}{(k+1)(k+2)} \right\} \\ &= \frac{1}{8} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{(n+1)(n+2)} \right\} \\ &= \frac{n(n+3)}{16(n+1)(n+2)} \end{aligned}$$



- 6 曲線 $y^2 = x^6(1-x^2)$ は、 x 軸および y 軸に関して対称である． $x \geq 0, y \geq 0$ において

$$y = x^3\sqrt{1-x^2}$$

よって、求める面積を S とすると



$$\begin{aligned} \frac{S}{4} &= \int_0^1 x^3\sqrt{1-x^2} dx \\ &= \int_0^1 \{-x(1-x^2) + x\}\sqrt{1-x^2} dx \\ &= \int_0^1 \{-x(1-x^2)^{\frac{3}{2}} + x(1-x^2)^{\frac{1}{2}}\} dx \\ &= \left[\frac{1}{5}(1-x^2)^{\frac{5}{2}} - \frac{1}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}} \right]_0^1 = \frac{2}{15} \end{aligned}$$

よって $S = \frac{8}{15}$

■

- 7 (1) 方程式 $x^6 = 1 \cdots \textcircled{1}$ の解は

$$x = \cos \frac{j}{3}\pi + i \sin \frac{j}{3}\pi \quad (j = 0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

方程式 $\textcircled{1}$ から

$$(x^2 - 1)(x^4 + x^2 + 1) = 0$$

方程式 $x^4 + x^2 + 1 = 0$ の解は $x \neq \pm 1$ であるから、この方程式の解は

$$x = \cos \frac{j}{3}\pi + i \sin \frac{j}{3}\pi \quad (j = 1, 2, 4, 5) \quad \cdots (*)$$

条件から $x_1 = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$

$$x_2 = \cos \frac{2}{3}\pi + i \sin \frac{2}{3}\pi = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$x_3 = \cos \frac{4}{3}\pi + i \sin \frac{4}{3}\pi = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$x_4 = \cos \frac{5}{3}\pi + i \sin \frac{5}{3}\pi = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

(2) (1)の結果から

$$x_1^k = \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)^k = \cos \frac{k}{3}\pi + i \sin \frac{k}{3}\pi$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad x_1 &= \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \\ x_1^2 &= \cos \frac{2}{3}\pi + i \sin \frac{2}{3}\pi = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \\ x_1^3 &= \cos \pi + i \sin \pi = -1 \\ x_1^4 &= \cos \frac{4}{3}\pi + i \sin \frac{4}{3}\pi = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \\ x_1^5 &= \cos \frac{5}{3}\pi + i \sin \frac{5}{3}\pi = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \\ x_1^6 &= \cos 2\pi + i \sin 2\pi = 1 \end{aligned}$$

(3) (*) から, 方程式 $x^4 + x^2 + 1 = 0$ の解について, $x^6 = 1$ に注意して

$$\begin{aligned} x^{4n} &= (x^6)^n x^{-2n} = \left(\cos \frac{j}{3}\pi + i \sin \frac{j}{3}\pi \right)^{-2n} = \cos \frac{2nj}{3}\pi - i \sin \frac{2nj}{3}\pi \\ x^{2n} &= \left(\cos \frac{j}{3}\pi + i \sin \frac{j}{3}\pi \right)^{2n} = \cos \frac{2nj}{3}\pi + i \sin \frac{2nj}{3}\pi \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad x^{4n} + x^{2n} + 1 = 2 \cos \frac{2nj}{3}\pi + 1$$

このとき, $j = 1, 2, 4, 5$ であるから ($2 = 3 - 1, 4 = 3 + 1, 5 = 6 - 1$)

$$x^{4n} + x^{2n} + 1 = 2 \cos \frac{2n}{3}\pi + 1$$

$$\text{すなわち} \quad x_i^{4n} + x_i^{2n} + 1 = 2 \cos \frac{2n}{3}\pi + 1 \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

$$\text{よって} \quad x_i^{4n} + x_i^{2n} + 1 = \begin{cases} 3 & (n \equiv 0 \pmod{3} \text{ のとき}) \\ 0 & (n \not\equiv 0 \pmod{3} \text{ のとき}) \end{cases} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$



- 8 (1) $f(x) = x - 1 - \log x$ とおくと $f'(x) = 1 - \frac{1}{x}$

$f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$		$-$	0	$+$
$f(x)$		$\searrow$	0	$\nearrow$

したがって $f(x) \geq 0$ すなわち $x - 1 - \log x \geq 0$

よって $\log x \leq x - 1$

- (2) (ギブスの不等式 (Gibbs' inequality))

(1) の結果から

$$\sum_{i=1}^n p_i \log \frac{q_i}{p_i} \leq \sum_{i=1}^n p_i \left(\frac{q_i}{p_i} - 1 \right) = \sum_{i=1}^n (q_i - p_i) = 0$$

よって
$$\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \geq \sum_{i=1}^n p_i \log q_i \quad \cdots \textcircled{1}$$

また, ① の等号が成立するのは,

$$\frac{q_i}{p_i} = 1 \quad \text{すなわち} \quad p_i = q_i \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

- (3) $c = \sum_{i=1}^n p_i q_i$ とおくと

$$\sum_{i=1}^n p_i \log q_i - \log c = \sum_{i=1}^n p_i \log \frac{q_i}{c} \leq \sum_{i=1}^n p_i \left(\frac{q_i}{c} - 1 \right) = 0$$

したがって
$$\log c \geq \sum_{i=1}^n p_i \log q_i \quad \cdots \textcircled{2}$$

また, ② の等号が成立するのは

$$\frac{q_i}{c} = 1 \quad \text{すなわち} \quad q_i = c = \frac{1}{n} \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

①, ② から
$$\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \geq \sum_{i=1}^n p_i \log \frac{1}{n} = \log \frac{1}{n} \geq \sum_{i=1}^n p_i \log q_i$$

よって, F は, $p_i = \frac{1}{n}$ ($i = 1, 2, \cdots, n$) のとき, 最小値 $\log \frac{1}{n}$ をとる.

(4) $A = \sum_{i=1}^n a_i$, $p_i = \frac{a_i}{A}$ とおくと, (3) の結果から

$$\begin{aligned} G &= \sum_{i=1}^n a_i \log a_i = \sum_{i=1}^n A p_i \log A p_i \\ &= A \sum_{i=1}^n p_i (\log A + \log p_i) \\ &= A \log A + A \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \\ &\geq A \log A + A \log \frac{1}{n} = A \log \frac{A}{n} \end{aligned}$$

よって $G \geq A \log \frac{A}{n} \quad \dots (*)$

(3) の結果から, (*) で等号が成立するのは, $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ のとき.

ここで, $g(x) = x \log x$ とおくと $g'(x) = 1 + \log x$

$g(x)$ の増減表は, 次のようになる.

x	(0)	$\dots$	$\frac{1}{e}$	$\dots$
$g'(x)$		$-$	0	$+$
$g(x)$		$\searrow$	$-\frac{1}{e}$	$\nearrow$

したがって

$$\begin{aligned} A \log \frac{A}{n} &= n \times \frac{A}{n} \log \frac{A}{n} \\ &= n \times g\left(\frac{A}{n}\right) \geq n \times g\left(\frac{1}{e}\right) = -\frac{n}{e} \end{aligned}$$

よって $A \log \frac{A}{n} \geq -\frac{n}{e} \quad \dots (**)$

(**) で等号が成立するのは, $\frac{A}{n} = \frac{1}{e}$ のとき.

(*), (**) から $G \geq A \log \frac{A}{n} \geq -\frac{n}{e}$

とくに, $G = -\frac{n}{e}$ となるのは, $a_1 = a_2 = \dots = a_n$, $\frac{A}{n} = \frac{1}{e}$ より

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n = \frac{1}{e}$$

のときである. よって, 求める G の最小値は $-\frac{n}{e}$

別解 (4) で用いた $g(x)$ により

$$G = \sum_{i=1}^n a_i \log a_i = \sum_{i=1}^n g(a_i) \geq \sum_{i=1}^n g\left(\frac{1}{e}\right) = -\frac{n}{e}$$

よって
$$G \geq -\frac{n}{e}$$

上式において, 等号が成立するのは

$$a_1 = a_2 = \cdots = a_n = \frac{1}{e}$$

のときである. よって, 求める G の最小値は $-\frac{n}{e}$ ■

7.2 2016年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (100分)
- 経済学部 [1] [2] [3] [5] 数I・II・A・B (100分)
- 教育学部 [1] [2] [3] 数I・II・A・B (80分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数I・II・III・A・B (80分)

[1] 大きさ1のベクトル $\vec{a}$ と、 $\vec{0}$ でないベクトル $\vec{b}$ のなす角を θ とする.

- (1) $|3\vec{a} + t\vec{b}|$ が最小となるような実数 t の値を $|\vec{b}|$, θ を用いて表しなさい.
- (2) $|3\vec{a} + t\vec{b}|$ は $t = -\frac{1}{2}$ のとき最小値 $2\sqrt{2}$ をとる. $|\vec{b}|$ および $\cos \theta$ の値を求めなさい.

[2] a を0でない実数とする. 2つの放物線 $y = x^2$, $y = -x^2 + 2ax + \frac{1}{2a^2}$ がある.

- (1) 2つの放物線は異なる2点で交わることを示しなさい.
- (2) 2つの放物線の交点の x 座標を α , β ($\alpha < \beta$) とするとき, $\beta - \alpha$ を a の式で表しなさい.
- (3) 2つの放物線で囲まれた部分の面積 S を a の式で表しなさい.
- (4) (3)で定めた面積 S の最小値を求めなさい.

[3] AとBの2つの箱がある. 箱Aには, 赤玉が1個, 青玉が4個, 黄玉が5個入っている. 箱Bには, 当たりくじが3本, はずれくじが7本入っている.

箱Aから玉を1つ取り出し, それが赤玉のときは箱Bからくじを5本, 青玉のときは3本, 黄玉のときは2本引くとする.

- (1) 青玉を取り出し, 当たりくじを少なくとも1本引く確率を求めなさい.
- (2) 当たりくじを少なくとも1本引く確率を求めなさい.
- (3) 当たりくじをちょうど1本引く確率を求めなさい.

4 2つの曲線 $y = x + 2 \cos x \left(\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{3}{2}\pi \right)$ と $y = x - 2 \cos x \left(\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{3}{2}\pi \right)$ をつないでできる曲線を C とする.

- (1) 曲線 C の概形を図示しなさい.
- (2) k を実数とする. 曲線 C と直線 $y = k$ が異なる2点で交わるための k の値の範囲を求めなさい.
- (3) 曲線 C で囲まれた部分を x 軸のまわりに1回転してできる立体の体積を求めなさい.

5 初項3の数列 $\{a_n\}$ がある. $b_n = a_{n+1} - 3a_n$ とするとき, 数列 $\{b_n\}$ は初項6, 公比3の等比数列である.

- (1) $c_n = \frac{a_n}{3^n}$ とするとき, $c_{n+1} - c_n$ を求めなさい.
- (2) a_n を n の式で表しなさい.
- (3) $S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とするとき, S_n を n の式で表しなさい.

- 6** 0でない実数 r が $|r| < 1$ のとき、以下の問いに答えなさい。ただし、自然数 n に対して $\lim_{n \rightarrow \infty} nr^n = 0$, $\lim_{n \rightarrow \infty} n(n-1)r^n = 0$ である。

(1) $R_n = \sum_{k=0}^n r^k$ と $S_n = \sum_{k=0}^n kr^{k-1}$ を求めなさい。

(2) $T_n = \sum_{k=0}^n k(k-1)r^{k-2}$ を求めなさい。

(3) $\sum_{k=0}^{\infty} k^2 r^k$ を求めなさい。

- 7** 自然数 n に対して関数 $y = 2nx - x^2$ のグラフと x 軸で囲まれた領域 (境界を含む) R_n を考える。以下の問いに答えなさい。

(1) 領域 R_n に含まれる格子点 (x 座標と y 座標がともに整数である点) の数 S_n を求めなさい。

(2) 点 $A(0, 0)$, $B(2n, 0)$, および関数 y の頂点を結ぶ線分で囲まれた領域 (境界を含む) に含まれる格子点の数 T_n を求めなさい。

(3) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_n}{S_n}$ を求めなさい。

- 8** 中心が原点 O で半径が a の定円 C_1 上を、半径 $\frac{a}{4}$ の円 C_2 が内接しながらすべることなく回転する。円 C_2 上の点 P は最初に点 $A(a, 0)$ にあるとする。円 C_2 の中心を B とするとき、以下の問いに答えなさい。

(1) $\angle AOB = \theta$ とする。 $\overrightarrow{BP}$ を a, θ で表しなさい。

(2) $\overrightarrow{OP}$ を a, θ で表しなさい。

(3) $0 \leq \theta \leq 2\pi$ のとき、動点 P が移動する距離を求めなさい。

解答例

- 1** (1) $|\vec{a}| = 1$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \theta = |\vec{b}| \cos \theta$ であるから

$$\begin{aligned} |3\vec{a} + t\vec{b}|^2 &= 9|\vec{a}|^2 + 6t\vec{a} \cdot \vec{b} + t^2|\vec{b}|^2 \\ &= |\vec{b}|^2 t^2 + 6t|\vec{b}| \cos \theta + 9 \\ &= |\vec{b}|^2 \left(t + \frac{3 \cos \theta}{|\vec{b}|} \right)^2 - 9 \cos^2 \theta + 9 \end{aligned}$$

$|3\vec{a} + t\vec{b}|^2$ が最小のとき, $|3\vec{a} + t\vec{b}|$ は最小となる.

よって, $t = -\frac{3 \cos \theta}{|\vec{b}|}$ のとき, $|3\vec{a} + t\vec{b}|$ は最小となる.

- (2) $|3\vec{a} + t\vec{b}|$ が $t = -\frac{1}{2}$ のとき, 最小値 $2\sqrt{2}$ をとるから, (1) の結果より

$$-\frac{3 \cos \theta}{|\vec{b}|} = -\frac{1}{2}, \quad -9 \cos^2 \theta + 9 = (2\sqrt{2})^2$$

ゆえに $|\vec{b}| = 6 \cos \theta > 0$, $9 \cos^2 \theta = 1$ よって $\cos \theta = \frac{1}{3}$, $|\vec{b}| = 2$

■

- 2** (1) 2つの放物線 $y = x^2$, $y = -x^2 + 2ax + \frac{1}{2a^2}$ の共有点の x 座標は

$$x^2 = -x^2 + 2ax + \frac{1}{2a^2} \quad \text{ゆえに} \quad 2x^2 - 2ax - \frac{1}{2a^2} = 0 \quad \cdots (*)$$

方程式(*)の判別式を D とすると

$$D/4 = (-a)^2 - 2 \cdot \left(-\frac{1}{2a^2} \right) = a^2 + \frac{1}{a^2} > 0$$

よって, 2つの放物線は, 異なる2点で交わる.

- (2) 方程式(*)の解と係数の関係により $\alpha + \beta = a$, $\alpha\beta = -\frac{1}{4a^2}$ $\cdots (**)$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad (\beta - \alpha)^2 &= (\alpha + \beta)^2 - 4\alpha\beta \\ &= a^2 - 4 \left(-\frac{1}{4a^2} \right) = a^2 + \frac{1}{a^2} \end{aligned}$$

$$\alpha < \beta \text{ より, } \beta - \alpha > 0 \text{ であるから} \quad \beta - \alpha = \sqrt{a^2 + \frac{1}{a^2}}$$

(3) (*), (**) より

$$\begin{aligned} 2x^2 - 2ax - \frac{1}{2a^2} &= 2 \left(x^2 - ax - \frac{1}{4a^2} \right) \\ &= 2 \{ x^2 - (\alpha + \beta)x + \alpha\beta \} \\ &= 2(x - \alpha)(x - \beta) \end{aligned}$$

$\alpha \leq x \leq \beta$ において, $y = -x^2 + 2ax + \frac{1}{2a^2}$ は $y = x^2$ の上側にあるから

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^{\beta} \left\{ \left(-x^2 + 2ax + \frac{1}{2a^2} \right) - x^2 \right\} dx \\ &= - \int_{\alpha}^{\beta} \left(2x^2 - 2ax - \frac{1}{2a^2} \right) dx \\ &= -2 \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx = -2 \left\{ -\frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 \right\} \\ &= \frac{1}{3}(\beta - \alpha)^3 = \frac{1}{3} \left(a^2 + \frac{1}{a^2} \right)^{\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

(4) 相加平均・相乗平均の関係により

$$a^2 + \frac{1}{a^2} \geq 2\sqrt{a^2 \cdot \frac{1}{a^2}} = 2$$

上式において等号が成立するのは $a^2 = \frac{1}{a^2}$ すなわち $a = \pm 1$

$$\text{したがって} \quad S = \frac{1}{3} \left(a^2 + \frac{1}{a^2} \right)^{\frac{3}{2}} \geq \frac{1}{3} \cdot 2^{\frac{3}{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

よって $a = \pm 1$ のとき, S は最小値 $\frac{2\sqrt{2}}{3}$ をとる. ■

3 (1) 箱 A から青玉を取り出す確率は $\frac{4}{10} = \frac{2}{5}$

箱 B からくじ 3 本引くとき、少なくとも当たりくじを 1 本引く確率は

$$1 - \frac{{}_7C_3}{{}_{10}C_3} = \frac{17}{24}$$

よって、求める確率は $\frac{2}{5} \times \frac{17}{24} = \frac{17}{60}$

- (2) (1) と同様に、箱 A から赤玉を取り出し、箱 B から少なくとも当たりくじを 1 本引く確率は

$$\frac{1}{10} \left(1 - \frac{{}_7C_5}{{}_{10}C_5} \right) = \frac{11}{120}$$

また、箱 A から黄玉を取り出し、箱 B から少なくとも当たりくじを 1 本引く確率は

$$\frac{5}{10} \left(1 - \frac{{}_7C_2}{{}_{10}C_2} \right) = \frac{4}{15}$$

よって、求める確率は、これと (1) の結果により

$$\frac{11}{120} + \frac{17}{60} + \frac{4}{15} = \frac{77}{120}$$

- (3) 箱 A から赤玉を取り出し、箱 B から当たりくじを 1 本引く確率は

$$\frac{1}{10} \times \frac{{}_3C_1 \times {}_7C_4}{{}_{10}C_5} = \frac{1}{24}$$

箱 A から青玉を取り出し、箱 B から当たりくじを 1 本引く確率は

$$\frac{4}{10} \times \frac{{}_3C_1 \times {}_7C_2}{{}_{10}C_3} = \frac{21}{100}$$

箱 A から黄玉を取り出し、箱 B から当たりくじを 1 本引く確率は

$$\frac{5}{10} \times \frac{{}_3C_1 \times {}_7C_1}{{}_{10}C_2} = \frac{7}{30}$$

よって、求める確率は $\frac{1}{24} + \frac{21}{100} + \frac{7}{30} = \frac{97}{200}$ ■

- 4 (1) 2つの曲線を次のようにおく.

$$C_1: y = x + 2\cos x \quad \left(\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{3\pi}{2}\right)$$

$$C_2: y = x - 2\cos x \quad \left(\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{3\pi}{2}\right)$$

C_1 について $y' = 1 - 2\sin x$, $y'' = -2\cos x \geq 0$

x	$\frac{\pi}{2}$	$\dots$	$\frac{5\pi}{6}$	$\dots$	$\frac{3\pi}{2}$
y'		$-$	0	$+$	
y	$\frac{\pi}{2}$	$\searrow$	極小	$\nearrow$	$\frac{3\pi}{2}$

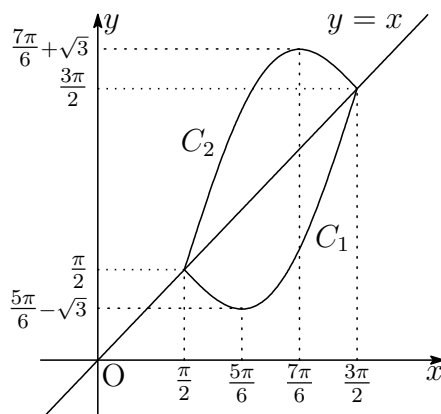
$x = \frac{5\pi}{6}$ で極小値 $\frac{5\pi}{6} - \sqrt{3}$ をとる. 下に凸.

また, C_2 について $y' = 1 + 2\sin x$, $y'' = 2\cos x \leq 0$

x	$\frac{\pi}{2}$	$\dots$	$\frac{7\pi}{6}$	$\dots$	$\frac{3\pi}{2}$
y'		$+$	0	$-$	
y	$\frac{\pi}{2}$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	$\frac{3\pi}{2}$

$x = \frac{7\pi}{6}$ で極大値 $\frac{7\pi}{6} + \sqrt{3}$ をとる. 上に凸.

以上の結果から, グラフの概形は次のようになる.



- (2) C の概形から, $y = k$ が異なる 2 点で交わるための k の値の範囲は

$$\frac{5\pi}{6} - \sqrt{3} < k < \frac{7\pi}{6} + \sqrt{3}$$

- (3) $\frac{5\pi}{6} - \sqrt{3} > 0$ であるから, 求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} \{(x - 2\cos x)^2 - (x + 2\cos x)^2\} dx \\ &= 8\pi \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3}{2}\pi} (-x \cos x) dx \\ &= 8\pi \left[-x \sin x - \cos x \right]_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} = 16\pi^2 \end{aligned}$$

補足 C_1 と C_2 で囲まれ部分の面積 S は $S = 8$

C_1 と C_2 は点 (π, π) に関して対称で, この図形の重心である.

したがって, x 軸から重心までの距離 h は $h = \pi$

よって, 求める回転体の体積 V は, パップス・ギュルダンの定理¹により

$$V = 2\pi h S = 2\pi \cdot \pi \cdot 8 = 16\pi^2$$

■

- 5** (1) $\{b_n\}$ は初項 6, 公比 3 の等比数列であるから

$$b_n = 6 \cdot 3^{n-1} = 2 \cdot 3^n$$

$b_n = a_{n+1} - 3a_n$ に上の結果を代入すると

$$2 \cdot 3^n = a_{n+1} - 3a_n \quad \text{ゆえに} \quad \frac{a_{n+1}}{3^{n+1}} - \frac{a_n}{3^n} = \frac{2}{3}$$

$$c_n = \frac{a_n}{3^n} \text{ であるから} \quad c_{n+1} - c_n = \frac{2}{3}$$

- (2) $c_1 = \frac{a_1}{3} = \frac{3}{3} = 1$, および (1) の結果から, $\{c_n\}$ は初項 1, 公差 $\frac{2}{3}$ の等差数列であるから

$$c_n = 1 + \frac{2}{3}(n-1) = \frac{1}{3}(2n+1)$$

$$c_n = \frac{a_n}{3^n} \text{ より, } a_n = 3^n c_n \text{ であるから}$$

$$a_n = 3^n \cdot \frac{1}{3}(2n+1) = (2n+1) \cdot 3^{n-1}$$

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2012.pdf の **1** を参照.

(3) $b_n = 6 \cdot 3^{n-1}$ および $b_n = a_{n+1} - 3a_n$ より

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^n 6 \cdot 3^{k-1} &= \sum_{k=1}^n (a_{k+1} - 3a_k) \\ 3(3^n - 1) &= \sum_{k=1}^n a_{k+1} - 3 \sum_{k=1}^n a_k \quad \cdots (*)\end{aligned}$$

このとき、条件および (2) の結果から

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^n a_k &= S_n, \\ \sum_{k=1}^n a_{k+1} &= S_n + a_{n+1} - a_1 \\ &= S_n + (2n+3) \cdot 3^n - 3\end{aligned}$$

上の 2 式を (*) に代入すると

$$3(3^n - 1) = \{S_n + (2n+3) \cdot 3^n - 3\} - 3S_n$$

これを S_n について解くと $S_n = n \cdot 3^n$ ■

6 (1) $(1-r) \sum_{k=0}^n r^k = 1 - r^{n+1}$ より, $|r| < 1$ のとき

$$R_n = \sum_{k=0}^n r^k = \frac{1 - r^{n+1}}{1 - r}$$

次に, S_n について

$$S_n = \sum_{k=0}^n k r^{k-1} \quad \cdots \textcircled{1}, \quad S_n = \sum_{k=1}^{n+1} (k-1) r^{k-2} \quad \cdots \textcircled{2}$$

とおくと, $\textcircled{1} - \textcircled{2} \times r$ より ($r \neq 1$)

$$\begin{aligned}S_n - rS_n &= \sum_{k=0}^n k r^{k-1} - r \sum_{k=1}^{n+1} (k-1) r^{k-2} \\ (1-r)S_n &= -nr^n + \sum_{k=1}^n \{k r^{k-1} - r(k-1) r^{k-2}\} \\ &= -nr^n + \sum_{k=1}^n r^{k-1} = -nr^n + \frac{1 - r^n}{1 - r}\end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad S_n = -\frac{nr^n}{1-r} + \frac{1-r^n}{(1-r)^2}$$

(2) T_n について

$$T_n = \sum_{k=0}^n k(k-1)r^{k-2} \quad \dots \textcircled{3}, \quad T_n = \sum_{k=1}^{n+1} (k-1)(k-2)r^{k-3} \quad \dots \textcircled{4}$$

とおくと, $\textcircled{3} - \textcircled{4} \times r$ より, $\textcircled{2}$ に注意して ($r \neq 1$)

$$\begin{aligned} T_n - rT_n &= \sum_{k=0}^n k(k-1)r^{k-2} - r \sum_{k=1}^{n+1} (k-1)(k-2)r^{k-3} \\ (1-r)T_n &= -n(n-1)r^{n-1} + 2 \sum_{k=1}^n (k-1)r^{k-2} \\ &= -n(n-1)r^{n-1} - 2nr^{n-1} + 2 \sum_{k=1}^{n+1} (k-1)r^{k-2} \\ &= -n(n+1)r^{n-1} + 2S_n \\ &= -n(n+1)r^{n-1} - \frac{2nr^n}{1-r} + \frac{2(1-r^n)}{(1-r)^2} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad T_n = -\frac{n(n+1)r^{n-1}}{1-r} - \frac{2nr^n}{(1-r)^2} + \frac{2(1-r^n)}{(1-r)^3}$$

(3) $|r| < 1$ のとき, $\lim_{n \rightarrow \infty} nr^n = 0$, $\lim_{n \rightarrow \infty} n(n-1)r^n = 0$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n(n+1)r^{n-1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n-1)r^n + 2nr^n}{r} = 0$$

上の諸式により

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} S_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ -\frac{nr^n}{1-r} + \frac{1-r^n}{(1-r)^2} \right\} = \frac{1}{(1-r)^2} \\ \lim_{n \rightarrow \infty} T_n &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ -\frac{n(n+1)r^{n-1}}{1-r} - \frac{2nr^n}{(1-r)^2} + \frac{2(1-r^n)}{(1-r)^3} \right\} = \frac{2}{(1-r)^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \sum_{k=0}^{\infty} k^2 r^k &= r^2 \sum_{k=0}^{\infty} k(k-1)r^{k-2} + r \sum_{k=0}^{\infty} kr^{k-1} \\ &= r^2 \times \frac{2}{(1-r)^3} + r \times \frac{1}{(1-r)^2} = \frac{r(1+r)}{(1-r)^3} \end{aligned}$$

別解 $f(r) = \sum_{k=0}^{\infty} r^k = \frac{1}{1-r}$ とおくと ($0 < |r| < 1$)

$$f'(r) = \sum_{k=0}^{\infty} k r^{k-1} = \frac{1}{(1-r)^2}, \quad f''(r) = \sum_{k=0}^{\infty} k(k-1) r^{k-2} = \frac{2}{(1-r)^3}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{\infty} k^2 r^k &= \sum_{k=0}^{\infty} \{k(k-1) + k\} r^k \\ &= r^2 \sum_{k=0}^{\infty} k(k-1) r^{k-2} + r \sum_{k=0}^{\infty} k r^{k-1} \\ &= r^2 f''(r) + r f'(r) = \frac{2r^2}{(1-r)^3} + \frac{r}{(1-r)^2} = \frac{r(1+r)}{(1-r)^3} \end{aligned}$$

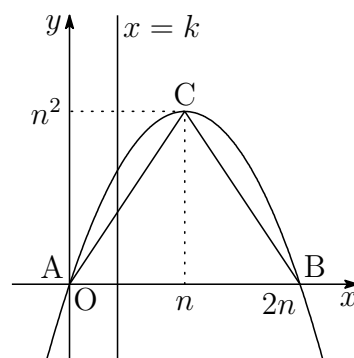
■

- 7 (1) 関数 $y = 2nx - x^2 = -(x-n)^2 + n^2$ のグラフの頂点を C とすると $C(n, n^2)$

R_n に含まれる直線 $x = k$ (k は整数) 上の格子点の個数は,

$$-(k-n)^2 + n^2 + 1$$

グラフは直線 $x = n$ に関して対称であるから



$$\begin{aligned} S_n &= 2 \sum_{k=0}^{n-1} \{-(k-n)^2 + n^2 + 1\} + n^2 + 1 \\ &= 2 \sum_{k=1}^n (-k^2 + n^2 + 1) + n^2 + 1 \\ &= 2 \left\{ -\frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) + n(n^2+1) \right\} + n^2 + 1 \\ &= \frac{4}{3}n^3 + \frac{5}{3}n + 1 \end{aligned}$$

- (2) 直線 AC の傾きは n であるから, (1) と同様に直線 $x = k$ (k は整数) 上の格子点の個数は, $nk + 1$ であるから

$$\begin{aligned}
 T_n &= 2 \sum_{k=0}^{n-1} (nk + 1) + n^2 + 1 \\
 &= 2 \sum_{k=1}^n \{n(k-1) + 1\} + n^2 + 1 \\
 &= 2 \sum_{k=1}^n (nk - n + 1) + n^2 + 1 \\
 &= 2 \left\{ n \times \frac{1}{2}n(n+1) + (-n+1)n \right\} + n^2 + 1 \\
 &= n^3 + 2n + 1
 \end{aligned}$$

- (3) (1), (2) の結果から

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_n}{S_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^3 + 2n + 1}{\frac{4}{3}n^3 + \frac{5}{3}n + 1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 + \frac{2}{n^2} + \frac{1}{n^3}}{\frac{4}{3} + \frac{5}{3n^2} + \frac{1}{n^3}} = \frac{3}{4}$$

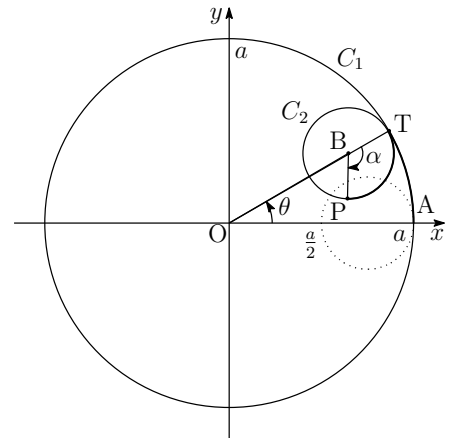
■

- 8 (1) C_1 と C_2 の接点を T, $\alpha = \angle PBT$ とする. C_1 および C_2 上の弧について, $\widehat{AT} = \widehat{PT}$ であるから

$$a\theta = \frac{a}{4} \times \alpha \quad \text{ゆえに} \quad \alpha = 4\theta$$

BT の x 軸のなす角が θ であるから

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{BP} &= \frac{a}{4}(\cos(\theta - \alpha), \sin(\theta - \alpha)) \\
 &= \frac{a}{4}(\cos(-3\theta), \sin(-3\theta)) \\
 &= \frac{a}{4}(\cos 3\theta, -\sin 3\theta)
 \end{aligned}$$



$$(2) \quad OB = OT - BT = a - \frac{a}{4} = \frac{3}{4}a, \quad \angle AOB = \theta \text{ であるから}$$

$$\overrightarrow{OB} = \frac{3}{4}a(\cos \theta, \sin \theta)$$

上式および (1) の結果から

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BP} \\ &= \frac{3}{4}a(\cos \theta, \sin \theta) + \frac{a}{4}(\cos 3\theta, -\sin 3\theta) \\ &= \frac{a}{4}(3\cos \theta + \cos 3\theta, 3\sin \theta - \sin 3\theta) \end{aligned}$$

$$(3) \quad \overrightarrow{OP} = (x, y) \text{ とおくと, (2) の結果から}$$

$$\frac{dx}{d\theta} = -\frac{3}{4}a(\sin \theta + \sin 3\theta), \quad \frac{dy}{d\theta} = \frac{3}{4}a(\cos \theta - \cos 3\theta)$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2 &= \frac{9}{8}a^2(1 - \cos 3\theta \cos \theta + \sin 3\theta \sin \theta) \\ &= \frac{9}{8}a^2(1 - \cos 4\theta) = \frac{9}{4}a^2 \sin^2 2\theta \end{aligned}$$

求める距離を s とすると, $\frac{3}{2}a|\sin 2\theta|$ の周期が $\frac{\pi}{2}$ であることに注意して

$$\begin{aligned} s &= \int_0^{2\pi} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{3}{2}a|\sin 2\theta| d\theta \\ &= 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{3}{2}a \sin 2\theta d\theta = \left[-3a \cos 2\theta\right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 6a \end{aligned}$$

解説 (2) の結果は,

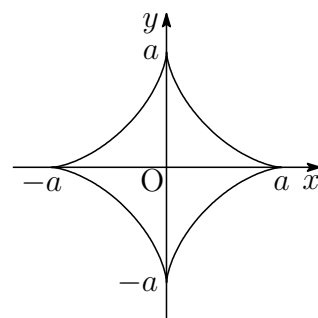
$$\overrightarrow{OP} = a(\cos^3 \theta, \sin^3 \theta)$$

となり, その軌跡はアストロイドである.

$\overrightarrow{OP} = (x, y)$ とおくと

$$\begin{aligned} \left(\frac{dx}{d\theta}, \frac{dy}{d\theta}\right) &= a(-3\cos^2 \theta \sin \theta, 3\sin^2 \theta \cos \theta) \\ &= 3a \sin \theta \cos \theta(-\cos \theta, \sin \theta) \\ &= \frac{3}{2}a \sin 2\theta(-\cos \theta, \sin \theta) \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} = \frac{3}{2}a|\sin 2\theta|$$

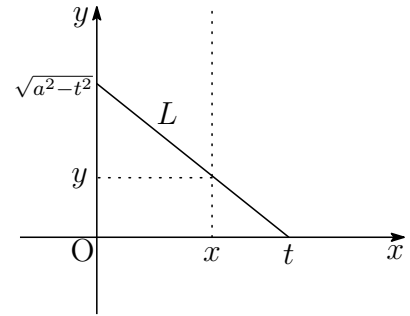


アストロイド (astroid) の x 軸および y 軸に関する対称性により

$$\begin{aligned} s &= 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} d\theta \\ &= 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{3}{2} a \sin 2\theta d\theta = 3a \left[-\cos 2\theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 6a \end{aligned}$$

補足 長さ a の線分 L の両端が x 軸上および y 軸上を動くとき, L の包絡線 (L の通る領域と通らない領域の境界線) を求める.
右の図のように L が $x \geq 0, y \geq 0$ にあるとき, L 上の点 (x, y) について

$$y = -\frac{\sqrt{a^2 - t^2}}{t}x + \sqrt{a^2 - t^2} \quad \dots (*)$$



が成立する. ここで, x を固定し, y を t の関数とすると

$$\frac{dy}{dt} = \frac{a^2}{t^2\sqrt{a^2 - t^2}}x - \frac{t}{\sqrt{a^2 - t^2}} = \frac{a^2x - t^3}{t^2\sqrt{a^2 - t^2}}$$

点 (x, y) が包絡線上にあるとき, $\frac{dy}{dt} = 0$ であるから $t = a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{1}{3}}$
これを $(*)$ に代入すると

$$y = -x^{\frac{2}{3}}\sqrt{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}} + a^{\frac{2}{3}}\sqrt{a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad y^2 &= x^{\frac{4}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) - 2a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{2}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) + a^{\frac{4}{3}}(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}) \\ &= a^2 - 3a^{\frac{4}{3}}x^{\frac{2}{3}} + 3a^{\frac{2}{3}}x^{\frac{4}{3}} - x^2 \\ &= \left(a^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{2}{3}}\right)^3 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad x^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} = a^{\frac{2}{3}}$$

一般に, L の両端が x 軸上および y 軸上を動くとき, 上式は成立する. ■

7.3 2017年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (100分)
- 経済学部 [1] [3] [5] [6] 数I・II・A・B (100分)
- 教育学部 [1] [3] [5] 数I・II・A・B (80分)
- 医学部 [7] [8] [9] 数I・II・III・A・B (80分)

[1] 1辺の長さが1の正四面体PABCにおいて、辺PA, BC, PB, ACの中点をそれぞれK, L, M, Nとする. 線分KL, MNの中点をそれぞれQ, Rとし, $\triangle ABC$ の重心をGとする. また, $\overrightarrow{PA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{PB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{PC} = \vec{c}$ とおく.

- (1) $\overrightarrow{PQ}$, $\overrightarrow{PR}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表し, 点QとRが一致することを示しなさい.
- (2) 3点P, Q, Gが同一直線上にあることを示しなさい. また, $PQ : QG$ を求めなさい.
- (3) $PG \perp AB$ を示しなさい.

[2] a, b を1より大きい定数とし, $\log_{ab} x + \log_{ab} y = 2$ とする.

- (1) xy を a, b の式で表しなさい.
- (2) $ax + by$ の最小値を a, b の式で表しなさい.
- (3) $(ax - 1)^2 + (by - 1)^2$ の最小値を a, b の式で表しなさい.

[3] $a_1 = 3$, $\sum_{k=1}^{n+1} a_k = 4a_n + 1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) で定められる数列 $\{a_n\}$ がある.

- (1) n を2以上の自然数とするとき, a_{n+1} を a_n, a_{n-1} で表しなさい.
- (2) $a_{n+1} - 2a_n$ を n の式で表しなさい.
- (3) a_n を n の式で表しなさい.

[4] $f(x) = 2 - e^{-\frac{x^2}{2}}$ とする.

- (1) 関数 $y = f(x)$ の増減, グラフの凹凸を調べ, 極値, 変曲点を求めなさい. また, そのグラフをかきなさい.
- (2) k を定数とする. 方程式 $f(x) = k$ の異なる実数解の個数を求めなさい.
- (3) すべての実数 x に対して, 不等式 $f(x) \leq 1 + \frac{1}{2}x^2$ が成り立つことを示しなさい.

- 5 $0 \leq t \leq 1$ とし，関数 $f(x) = x^2 - 4|x - 1|$ に対して，

$$S(t) = \int_t^{2t} f(x) dx$$

とする．

- (1) $y = f(x)$ のグラフをかきなさい．
 - (2) $S(t)$ を求めなさい．
 - (3) $S(t)$ の最大値と最小値を求めなさい．
- 6 $\triangle ABC$ において $AB = 5$ ， $AC = 3$ とし $\angle A$ の二等分線と辺 BC との交点を P とする．頂点 C から直線 AP に下ろした垂線と，直線 AP ， AB との交点をそれぞれ D ， E とする．
- (1) 線分 BE の長さを求めなさい．
 - (2) 辺 BC の中点を M とするとき，線分 MD の長さを求めなさい．
 - (3) $AD : DP$ を求めなさい．

7 同じ大きさと重さの白石と黒石がそれぞれ m 個と n 個ある．これらの石から k 個を無作為に抽出し，その中の白石の数を X とする．ただし m, n, k は自然数で $1 \leq k < m, 1 \leq k < n$ である．以下の問いに答えなさい．

- (1) 整数 i に対して $X = i$ の確率 $p(i, k | m, n)$ を求めなさい．ただし，組合せの記号 ${}_nC_r$ を用いて結果を表現しなさい．
- (2) $m = 4, n = 6, k = 3$ のときの X の期待値を求めなさい．
- (3) 一般の m, n, k に対して X の期待値を求めなさい．

8 複素数 $x = 1 - \sqrt{3}i$ について以下の問いに答えなさい．ただし， i は虚数単位とする．

- (1) $x = 1 - \sqrt{3}i$ を解とする実数係数の 2 次方程式を作りなさい．
- (2) x^n ($n = 1, 2, \dots$) を求めなさい．
- (3) 自然数 m に対して $\sum_{k=1}^{3m} (-2)^{-k} x^k$ を求めなさい．

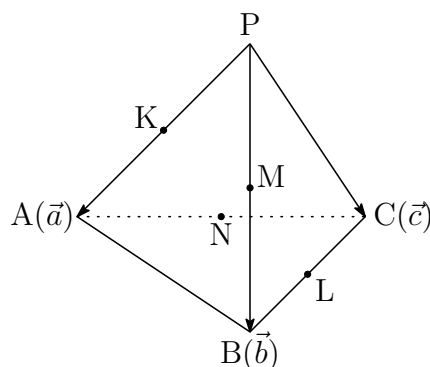
9 放物線 $y = -x^2$ と $y = x^2 - 2x$ のそれぞれの上を動く点を P と Q とする．現在時刻 $t = 0$ で $P = (0, 0)$, $Q = (1, -1)$ にあり，それぞれの放物線上を速さ 1 で P は x 座標が増加する方向に， Q は x 座標が減少する方向に動く．以下の問いに答えなさい．

- (1) 点 $P = (x, -x^2)$ とするとき， Q の座標を求めなさい．
- (2) 動点 P と Q の距離の 2 乗の最小値とそのときの P の座標を求めなさい．
- (3) 関数 $g(x) = \frac{1}{2} \log(x + \sqrt{x^2 + 1}) + \frac{1}{2} x \sqrt{x^2 + 1}$ を x で微分しなさい．
- (4) 動点 P と Q の距離の 2 乗が最小となる時刻 t を求めなさい．ただし，(2) の P の x 座標を a として，求める時刻を表現してもよい．

解答例

- 1** (1) 4点 K, L, M, N は、辺 PA, BC, PB, AC の中点であるから、右の図から

$$\begin{aligned}\overrightarrow{PK} &= \frac{1}{2}\vec{a}, & \overrightarrow{PL} &= \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}), \\ \overrightarrow{PM} &= \frac{1}{2}\vec{b}, & \overrightarrow{PN} &= \frac{1}{2}(\vec{c} + \vec{a})\end{aligned}$$



2点 Q, R は線分 KL, MN の中点であるから, 上の諸式より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{PQ}} &= \frac{1}{2}(\overrightarrow{\text{PK}} + \overrightarrow{\text{PL}}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{2}(\vec{b} + \vec{c}) \right\} = \frac{1}{4}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}), \\ \overrightarrow{\text{PR}} &= \frac{1}{2}(\overrightarrow{\text{PM}} + \overrightarrow{\text{PN}}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}(\vec{c} + \vec{a}) \right\} = \frac{1}{4}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c})\end{aligned}$$

上の2式から，点QとRは一致する.

- (2) 点 G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$\overrightarrow{PG} = \frac{1}{3}(\overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}) = \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \quad \dots \textcircled{1}$$

上式および (1) の結果から $\overrightarrow{PQ} = \frac{3}{4}\overrightarrow{PG}$

よって、3点 P, Q, G は同一直線上にある. また $PQ : QG = 3 : 1$

- (3) $\overrightarrow{AB} = \vec{b} - \vec{a}$ であるから、これと①より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{PG}} \cdot \overrightarrow{\text{AB}} &= \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \cdot (\vec{b} - \vec{a}) \\ &= \frac{1}{3}(|\vec{b}|^2 - |\vec{a}|^2 + \vec{b} \cdot \vec{c} - \vec{c} \cdot \vec{a}) \quad \dots \textcircled{2}\end{aligned}$$

このとき, $|\vec{a}| = |\vec{b}| = 1$, $\vec{b} \cdot \vec{c} = |\vec{b}||\vec{c}| \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$, $\vec{c} \cdot \vec{a} = |\vec{c}||\vec{a}| \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$

これらを ② に代入すると $\overrightarrow{PG} \cdot \overrightarrow{AB} = 0$ よって $\mathbf{PG} \perp \mathbf{AB}$

2 (1) $\log_{ab} x + \log_{ab} y = 2 \cdots \textcircled{1}$ より $\log_{ab} xy = 2$

よって $xy = (ab)^2 = a^2 b^2$

- (2) $\textcircled{1}$ の真数により, $x, y > 0$. また, $a, b > 1$ であるから $ax > 0, by > 0$ したがって, 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$ax + by \geq 2\sqrt{ax \cdot by} = 2\sqrt{abxy}$$

これに $\textcircled{1}$ の結果を代入すると $ax + by \geq 2ab\sqrt{ab} \cdots \textcircled{2}$

- $\textcircled{2}$ において, 等号が成立するのは, $ax = by$ のときで, $k > 0$ を用いて

$$\frac{x}{b} = \frac{y}{a} = k \quad \text{ゆえに} \quad x = bk, \quad y = ak$$

とおき, (1) の結果に代入すると $ak \cdot bk = a^2 b^2$ ゆえに $k = \sqrt{ab}$

よって $ax + by$ は, $x = b\sqrt{ab}, y = a\sqrt{ab}$ のとき,
最小値 $2ab\sqrt{ab}$ をとる.

- (3) $\vec{u} = (1, 1), \vec{v} = (ax - 1, by - 1)$ とおくと, $|\vec{u}|^2 |\vec{v}|^2 \geq (\vec{u} \cdot \vec{v})^2$ であるから

$$(1^2 + 1^2) \{ (ax - 1)^2 + (by - 1)^2 \} \geq \{ 1(ax - 1) + 1(by - 1) \}^2$$

したがって $(ax - 1)^2 + (by - 1)^2 \geq \frac{1}{2}(ax + by - 2)^2 \cdots \textcircled{3}$

- $\textcircled{3}$ において, 等号が成立するのは, $\vec{u} // \vec{v}$ のときで,

$$ax - 1 = by - 1 \quad \text{ゆえに} \quad ax = by$$

(2) と同様の議論により $x = b\sqrt{ab}, y = a\sqrt{ab}$

- $\textcircled{2}, \textcircled{3}$ により, $a, b > 1$ であるから $2ab\sqrt{ab} - 2 > 0$ に注意して

$$(ax - 1)^2 + (by - 1)^2 \geq \frac{1}{2}(2ab\sqrt{ab} - 2)^2 = 2(ab\sqrt{ab} - 1)^2$$

よって $(ax - 1)^2 + (by - 1)^2$ は, $x = b\sqrt{ab}, y = a\sqrt{ab}$ のとき,
最小値 $2(ab\sqrt{ab} - 1)^2$ をとる.



3 (1) (*) $\sum_{k=1}^{n+1} a_k = 4a_n + 1$ ($n = 1, 2, 3$) より

$$\begin{aligned} n \geq 2 \text{ のとき} \quad a_{n+1} &= \sum_{k=1}^{n+1} a_k - \sum_{k=1}^n a_k \\ &= (4a_n + 1) - (4a_{n-1} + 1) \\ &= 4a_n - 4a_{n-1} \end{aligned}$$

(2) $n = 1$ を (*) に代入すると

$$a_1 + a_2 = 4a_1 + 1 \quad \text{ゆえに} \quad a_2 = 3a_1 + 1 = 3 \cdot 3 + 1 = 10$$

$$(1) \text{ の結果から} \quad a_{n+1} - 2a_n = 2(a_n - 2a_{n-1}) \quad (n \geq 2)$$

したがって、数列 $\{a_{n+1} - 2a_n\}$ は、初項が $a_2 - 2a_1$ 、公比が 2 の等比数列であるから

$$a_{n+1} - 2a_n = (a_2 - 2a_1) \cdot 2^{n-1} = (10 - 2 \cdot 3) \cdot 2^{n-1} = 2^{n+1}$$

$$(3) (2) \text{ の結果から} \quad \frac{a_{n+1}}{2^{n+1}} - \frac{a_n}{2^n} = 1$$

したがって、数列 $\left\{\frac{a_n}{2^n}\right\}$ は初項が $\frac{a_1}{2}$ 、公差が 1 の等差数列であるから

$$\frac{a_n}{2^n} = \frac{a_1}{2} + (n-1) \cdot 1 = \frac{3}{2} + n - 1 = \frac{2n+1}{2}$$

$$\text{よって} \quad a_n = (2n+1) \cdot 2^{n-1}$$

■

4 (1) $f(x) = 2 - e^{-\frac{x^2}{2}}$ より

$$f'(x) = xe^{-\frac{x^2}{2}}$$

$$f''(x) = e^{-\frac{x^2}{2}} - x^2 e^{-\frac{x^2}{2}} = (1+x)(1-x)e^{-\frac{x^2}{2}}$$

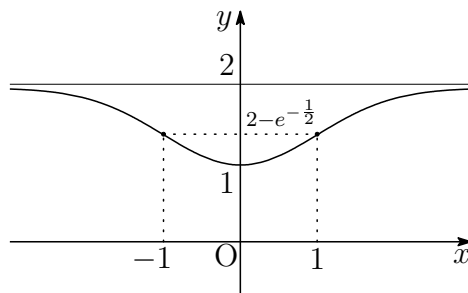
$f(x)$ の増減表は、次のようになる。

x	$\cdots$	-1	$\cdots$	0	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$	$-$	$-$	$-$	0	$+$	$+$	$+$
$f''(x)$	$-$	0	$+$	$+$	$+$	0	$-$
$f(x)$	$\searrow$	変曲点 $2 - e^{-\frac{1}{2}}$	$\searrow$	極小 1	$\nearrow$	変曲点 $2 - e^{-\frac{1}{2}}$	$\nearrow$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 2$$

よって、極小値 $f(0) = 1$ 、変曲点 $(\pm 1, 2 - e^{-\frac{1}{2}})$

グラフの概形は次のようになる.



- (2) 方程式 $f(x) = k$ の異なる実数解の個数は, $y = f(x)$ と直線 $y = k$ の共有点の個数であるから, (1) の結果より

$$\begin{aligned} k < 1, 2 \leq k \text{ のとき} & \quad 0 \text{ 個,} \\ k = 1 \text{ のとき} & \quad 1 \text{ 個,} \\ 1 < k < 2 \text{ のとき} & \quad 2 \text{ 個} \end{aligned}$$

- (3) $g(x) = 1 + \frac{1}{2}x^2 - f(x)$ とおくと

$$\begin{aligned} g(0) &= 1 - f(0) = 1 - 1 = 0, \\ g'(x) &= x - f'(x) = x - xe^{-\frac{1}{2}x^2} = x(1 - e^{-\frac{1}{2}x^2}) \end{aligned}$$

$x > 0$ のとき, $g'(x) > 0$ であるから, $g(0) = 0$ より

$$g(x) \geq 0 \quad (x \geq 0)$$

これから, $x \leq 0$ のとき, $g(-x) \geq 0$ となり, $g(x) = g(-x)$ であるから

$$g(x) \geq 0 \quad (x \leq 0)$$

よって, すべての実数 x に対して

$$g(x) \geq 0 \quad \text{すなわち} \quad f(x) \leq 1 + \frac{1}{2}x^2$$

解説 凸関数 $y = e^x$ 上の点 $(0, 1)$ における接線の方程式は $y = x + 1$ したがって, すべての実数 x に対して

$$e^x \geq x + 1 \quad \text{ゆえに} \quad 2 - e^x \leq 1 - x$$

$$x \text{ を } -\frac{x^2}{2} \text{ に置き換えることにより} \quad 2 - e^{-\frac{x^2}{2}} \leq 1 + \frac{1}{2}x^2$$

■

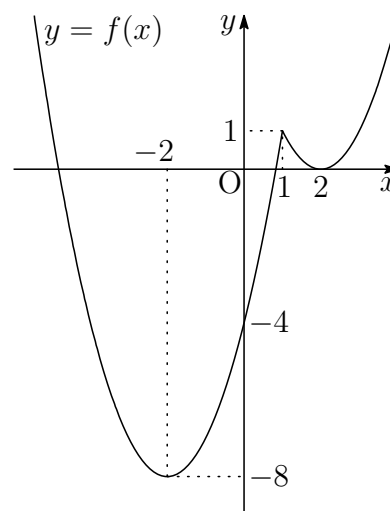
5 (1) $y = x^2 - 4|x - 1|$

(i) $x \geq 1$ のとき, $|x - 1| = x - 1$ より

$$\begin{aligned} y &= x^2 - 4(x - 1) \\ &= x^2 - 4x + 4 \\ &= (x - 2)^2 \end{aligned}$$

(ii) $x < 1$ のとき, $|x - 1| = -x + 1$ より

$$\begin{aligned} y &= x^2 - 4(-x + 1) \\ &= x^2 + 4x - 4 \\ &= (x + 2)^2 - 8 \end{aligned}$$



したがって, $y = f(x)$ のグラフは, 右の図のようになる.

(2) $S(t) = \int_t^{2t} f(x) dx$ ($0 \leq t \leq 1$) より

(i) $0 \leq t \leq \frac{1}{2}$ のとき

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_t^{2t} (x^2 + 4x - 4) dx \\ &= \left[\frac{x^3}{3} + 2x^2 - 4x \right]_t^{2t} = \frac{7}{3}t^3 + 6t^2 - 4t \end{aligned}$$

(ii) $\frac{1}{2} < t \leq 1$ のとき, (i) の結果に注意して

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_t^1 (x^2 + 4x - 4) dx + \int_1^{2t} (x^2 - 4x + 4) dx \\ &= \int_t^1 (x^2 + 4x - 4) dx + \int_1^{2t} \{(x^2 + 4x - 4) + (-8x + 8)\} dx \\ &= \int_t^{2t} (x^2 + 4x - 4) dx + \int_1^{2t} (-8x + 8) dx \\ &= \frac{7}{3}t^3 + 6t^2 - 4t + \left[-4x^2 + 8x \right]_1^{2t} = \frac{7}{3}t^3 - 10t^2 + 12t - 4 \end{aligned}$$

$$(i), (ii) \text{ より } S(t) = \begin{cases} \frac{7}{3}t^3 + 6t^2 - 4t & \left(0 \leq t \leq \frac{1}{2} \right) \\ \frac{7}{3}t^3 - 10t^2 + 12t - 4 & \left(\frac{1}{2} < t \leq 1 \right) \end{cases}$$

(3) (2) の結果から

$$0 < t < \frac{1}{2} \text{ のとき } S'(t) = 7t^2 + 12t - 4 = (7t - 2)(t + 2)$$

$$\frac{1}{2} < t < 1 \text{ のとき } S'(t) = 7t^2 - 20t + 12 = (7t - 6)(t - 2)$$

したがって、 $0 \leq t \leq 1$ における $S(t)$ の増減表は

t	0	...	$\frac{2}{7}$	...	$\frac{1}{2}$	...	$\frac{6}{7}$	...	1
$S'(t)$		-	0	+		+	0	-	
$S(t)$	0	$\searrow$	極小 $-\frac{88}{147}$	$\nearrow$	$-\frac{5}{24}$	$\nearrow$	極大 $\frac{20}{49}$	$\searrow$	$\frac{1}{3}$

$$\text{よって 最大値 } S\left(\frac{6}{7}\right) = \frac{20}{49}, \text{ 最小値 } S\left(\frac{2}{7}\right) = -\frac{88}{147}$$

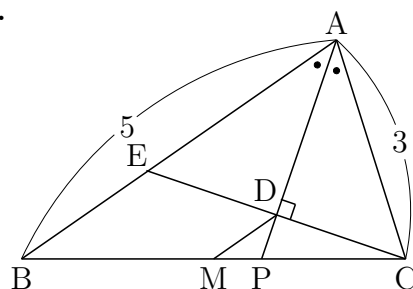
6 (1) $\triangle ACD$ と $\triangle AED$ において、 AD は共通.

$$\text{条件より } \angle CAD = \angle EAD$$

$$AD \perp CD \text{ より } \angle ADC = \angle ADE$$

$$\text{したがって } \triangle ACD \equiv \triangle AED$$

$$\begin{aligned} AC = AE = 3 \text{ より } BE &= AB - AE \\ &= 5 - 3 = 2 \end{aligned}$$

(2) 2点 M , D はそれぞれ CB , CE の中点であるから、中点連結定理により

$$MD = \frac{1}{2}BE = \frac{1}{2} \cdot 2 = 1$$

(3) AP は $\angle A$ の二等分線であるから $BP : PC = AB : AC = 5 : 3$ $\triangle APB$ と直線 CE にメネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AD}{DP} \cdot \frac{PC}{CB} \cdot \frac{BE}{EA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AD}{DP} \cdot \frac{3}{8} \cdot \frac{2}{3} = 1$$

$$\text{よって } AD : DP = 4 : 1$$

- 7 (1) 白玉 m 個と黒玉 n 個から k 個取り出すとき、白玉を i 個、黒玉を $k-i$ 個取り出す確率であるから

$$p(i, k | m, n) = \frac{m C_i \cdot n C_{k-i}}{m+n C_k}$$

- (2) $m=4, n=6, k=3$ のとき、(1) の結果を利用することにより、 X の期待値 (確率変数 X の平均) は

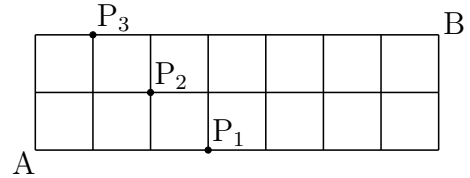
$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{i=1}^3 i \cdot \frac{{}_4C_i \cdot {}_6C_{3-i}}{{}_{10}C_3} \\ &= \frac{1}{{}_{10}C_3} (1 \cdot {}_4C_1 \cdot {}_6C_2 + 2 \cdot {}_4C_2 \cdot {}_6C_1 + 3 \cdot {}_4C_3 \cdot {}_6C_0) \\ &= \frac{1}{120} (1 \cdot 4 \cdot 15 + 2 \cdot 6 \cdot 6 + 3 \cdot 4 \cdot 1) = \frac{144}{120} = \frac{6}{5} \end{aligned}$$

別解 $i \cdot {}_4C_i = 4 \cdot {}_3C_{i-1}$ であるから ($i=1, 2, 3$)

$$E(X) = \sum_{i=1}^3 i \cdot \frac{{}_4C_i \cdot {}_6C_{3-i}}{{}_{10}C_3} = \frac{4}{{}_{10}C_3} \sum_{i=1}^3 {}_3C_{i-1} \cdot {}_6C_{3-i}$$

${}_3C_{i-1} \cdot {}_6C_{3-i}$ は、下図の地点 A から地点 P_i を通って地点 B へ行く道順の総数に等しいから ($i=1, 2, 3$), 次式が成り立つ.

$$\sum_{i=1}^3 {}_3C_{i-1} \cdot {}_6C_{3-i} = {}_9C_2$$



$$\text{よって } E(X) = \frac{4}{{}_{10}C_3} \times {}_9C_2 = \frac{4}{120} \times 36 = \frac{6}{5}$$

- (3) $1 \leq i \leq k$ のとき、 $i \cdot {}_mC_i = m \cdot {}_{m-1}C_{i-1}$ であるから、(1) の結果より

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{i=1}^k i \cdot \frac{{}_mC_i \cdot {}_nC_{k-i}}{m+n C_k} = \frac{m}{m+n C_k} \sum_{i=1}^k {}_{m-1}C_{i-1} \cdot {}_nC_{k-i} \\ &= \frac{m}{m+n C_k} \times {}_{m+n-1}C_{k-1} \\ &= \frac{m \cdot k! (m+n-k)!}{(m+n)!} \times \frac{(m+n-1)!}{(k-1)! (m+n-k)!} \\ &= \frac{mk}{m+n} \end{aligned}$$



- 8 (1) $1 + \sqrt{3}i$ と $1 - \sqrt{3}i$ を解にもつ 2 次方程式は

$$x^2 - \{(1 + \sqrt{3}i) + (1 - \sqrt{3}i)\}x + (1 + \sqrt{3}i)(1 - \sqrt{3}i) = 0$$

よって $x^2 - 2x + 4 = 0$

(2) $x = 1 - \sqrt{3}i = 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3} \right)$ より

$$x^n = 2^n \left(\cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3} \right)^n = 2^n \left(\cos \frac{n\pi}{3} - i \sin \frac{n\pi}{3} \right)$$

(3) $t = (-2)^{-1}x$ とおくと, (1) の結果から, $t^2 + t + 1 = 0$ であるから

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{3m} (-2)^{-k} x^k &= \sum_{k=1}^{3m} t^k = \sum_{j=0}^{m-1} (t^{3j+1} + t^{3j+2} + t^{3j+3}) \\ &= \sum_{j=0}^{m-1} t^{3j+1} (1 + t + t^2) = 0 \end{aligned}$$

別解 $t = (-2)^{-1}x$ とおくと $t = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i = \cos \frac{2\pi}{3} + i \sin \frac{2\pi}{3}$

したがって $t^{3m} = \cos 2m\pi + i \sin 2m\pi = 1$

よって $\sum_{k=1}^{3m} (-2)^{-k} x^k = \sum_{k=1}^{3m} t^k = \frac{t(t^{3m} - 1)}{t - 1} = 0$ ■

- 9 (1) 放物線 $y = -x^2$ と $y = x^2 - 2x$ は点 $A\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right)$ に関して対称であり, 現在時刻 $t = 0$ で, $P = (0, 0)$ と $Q = (1, -1)$ は, 点 A に関して対称である. このとき, 動点 P, Q は, 点 A に関して対称であるから

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= 2\overrightarrow{OA} - \overrightarrow{OP} \\ &= 2\left(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\right) - (x, -x^2) \\ &= (1 - x, x^2 - 1) \end{aligned}$$

よって $Q = (1 - x, x^2 - 1)$

(2) $P(x, -x^2)$, $Q(1-x, x^2-1)$ より, $f(x) = PQ^2$ とおくと

$$f(x) = (1-2x)^2 + (2x^2-1)^2 = 4x^4 - 4x + 2$$

$$f'(x) = 16x^3 - 4 = 4(4x^3 - 1)$$

$$f'(x) = 0 \text{ の解を } a \text{ とすると } a = \frac{1}{\sqrt[3]{4}}$$

したがって, $f(x)$ の増減表は

x	$\cdots$	a	$\cdots$
$f'(x)$	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって, 求める最小値は

$$\begin{aligned} f(a) &= 4a^4 - 4a + 2 = 4a^3 \cdot a - 4a + 2 \\ &= 4 \cdot \frac{1}{4}a - 4a + 2 = -3a + 2 = -\frac{3}{\sqrt[3]{4}} + 2 \end{aligned}$$

そのときの P の座標は

$$(a, -a^2) \quad \text{すなわち} \quad \left(\frac{1}{\sqrt[3]{4}}, -\frac{1}{2\sqrt[3]{2}} \right)$$

(3) $g(x) = \frac{1}{2} \log(x + \sqrt{x^2 + 1}) + \frac{1}{2}x\sqrt{x^2 + 1}$ より

$$\begin{aligned} g'(x) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}}}{x + \sqrt{x^2 + 1}} + \frac{1}{2} \sqrt{x^2 + 1} + \frac{1}{2}x \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}} \\ &= \frac{1}{2\sqrt{x^2 + 1}} + \frac{1}{2} \sqrt{x^2 + 1} + \frac{x^2}{2\sqrt{x^2 + 1}} \\ &= \frac{1 + x^2}{2\sqrt{x^2 + 1}} + \frac{1}{2} \sqrt{x^2 + 1} = \sqrt{x^2 + 1} \end{aligned}$$

(4) 放物線 $y = -x^2$ 上の原点から $(a, -a^2)$ までの弧長が t に等しいから

$$\begin{aligned} t &= \int_0^a \sqrt{1 + y'^2} dx = \int_0^a \sqrt{1 + (-2x)^2} dx \\ &= \int_0^a \sqrt{4x^2 + 1} dx = \int_0^a g'(2x) dx \\ &= \left[\frac{1}{2} g(2x) \right]_0^a = \frac{1}{2} \{g(2a) - g(0)\} \\ &= \frac{1}{4} \log(2a + \sqrt{4a^2 + 1}) + \frac{1}{2} a \sqrt{4a^2 + 1} \end{aligned}$$



7.4 2018年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (100分)
- 経済学部 [1] [2] [3] [5] 数I・II・A・B (100分)
- 教育学部 [1] [2] [5] 数I・II・A・B (80分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数I・II・III・A・B (80分)

[1] a を定数, x を実数とし,

$$y = 9^x + \frac{1}{9^x} - 4a \left(3^x + \frac{1}{3^x} \right)$$

とする. $t = 3^x + \frac{1}{3^x}$ とおく.

- (1) t のとり得る値の範囲を求めなさい.
- (2) y を t の式で表しなさい.
- (3) y の最小値とそのときの x の値を, a を用いてそれぞれ表しなさい.

[2] $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$ とし,

$$f(\theta) = \sin 3\theta - \cos 3\theta - 3 \sin 2\theta + 3(\sin \theta + \cos \theta)$$

とする.

- (1) $t = \sin \theta + \cos \theta$ とするとき, t のとり得る値の範囲を求めなさい.
- (2) (1) のとき, $f(\theta)$ を t を用いて表しなさい.
- (3) 方程式 $f(\theta) = k$ が異なる3つの実数解をもつとき, 定数 k の値の範囲を求めなさい.

[3] p, q, u, v を正の実数とする. 空間に5点 $O(0, 0, 0)$, $P(p, 0, 0)$, $Q(0, q, 0)$, R, S がある. $\overrightarrow{OR}$ と $\overrightarrow{OS}$ はともに $\vec{n} = (-u, -v, 1)$ に垂直で, $\overrightarrow{PR}$ と $\overrightarrow{QS}$ はともに $\vec{e} = (0, 0, 1)$ に平行である. $\overrightarrow{OR}$ と $\overrightarrow{OS}$ のなす角を θ とする.

- (1) 2点 R, S の座標を p, q, u, v を用いて表しなさい.
- (2) $\cos \theta$ の値を u, v を用いて表しなさい.
- (3) $\triangle OPQ$ と $\triangle ORS$ の面積の比を u, v を用いて表しなさい.

4 $x > 0$ とし,

$$f(x) = \log x, \quad g(x) = \log x^2$$

とする.

- (1) a を正の定数とする. 曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(a, \log a)$ における接線の方程式を求めなさい.
- (2) 2 つの曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ の両方に接する直線 ℓ の方程式を求めなさい.
- (3) 2 つの曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ および (2) で求めた直線 ℓ で囲まれた部分の面積を求めなさい.

5 $AB = 8$, $AC = 5$, $\angle BAC = 60^\circ$ の $\triangle ABC$ がある.

- (1) 点 P が $\triangle ABC$ の内心であるとき, $\angle BPC$ の大きさを求めなさい.
- (2) 点 P が $\triangle ABC$ の外心であるとき, 線分 BP の長さを求めなさい.
- (3) 点 P が $\triangle ABC$ の重心であるとき, $\triangle PBC$ の面積を求めなさい.

- 6 次の初項と漸化式で決まる数列 $\{a_n\}$ について、以下の問いに答えなさい.

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = 1 + \frac{1}{a_n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (1) 一般項 a_n を求めなさい.
- (2) 数列 $\{a_n\}$ の極限を調べなさい.

- 7 5枚の硬貨を表を上にして横一列に並べる. 1個のサイコロを投げて出た目が k ($k = 1, 2, 3, 4, 5$) のとき、左から k 番目の硬貨の表裏を入れ替え、6の目が出たら何もしない. この操作を続けて行うとき、以下の問いに答えなさい. ただし、サイコロの目はいずれも同様な確からしきで出るとする.

- (1) サイコロを n 回投げた時点で裏になっている硬貨が n 枚である確率を求めなさい. ただし、 n は5以下の正の整数とする.
- (2) サイコロを4回投げた時点で硬貨がすべて表である確率を求めなさい.
- (3) サイコロを4回投げた時点で裏になっている硬貨が t 枚である確率を $P(t)$ とする. このとき、 $\sum_{t=1}^4 tP(t)$ の値を求めなさい.

- 8 原点 $O(0, 0)$ と点 $A(0, 2)$ を直径の両端とする円 C がある. 円 C の周上を動く点 Q と原点 O を通る直線を l とし、点 A における円 C の接線を m とし、 l と m の交点を R とする. そして、点 R と x 座標が等しく、かつ点 Q と y 座標が等しい点を P とする. ただし、点 Q は原点 O とは異なるとする. このとき以下の問いに答えなさい.

- (1) 点 P の軌跡の方程式を求め、 $y = f(x)$ の形で表しなさい.
- (2) 上の (1) で得られた $y = f(x)$ について増減や凹凸を調べ、概形を描きなさい.
- (3) 曲線 $y = f(x)$, x 軸, 直線 $x = -2$ および直線 $x = 2\sqrt{3}$ で囲まれた図形の面積を求めなさい.

解答例

- 1** (1) 相加・相乗平均の大小関係により

$$t = 3^x + \frac{1}{3^x} \geq 2\sqrt{3^x \cdot \frac{1}{3^x}} \quad \text{よって} \quad t \geq 2$$

なお、等号が成立するのは $3^x = \frac{1}{3^x}$ すなわち $x = 0$

$$\begin{aligned} (2) \quad y &= 9^x + \frac{1}{9^x} - 4a \left(3^x + \frac{1}{3^x} \right) \\ &= \left(3^x + \frac{1}{3^x} \right)^2 - 2 - 4a \left(3^x + \frac{1}{3^x} \right) = t^2 - 4at - 2 \end{aligned}$$

$$(3) \quad (1), (2) \text{ の結果から } y = t^2 - 4at - 2 = (t - 2a)^2 - 4a^2 - 2 \quad (t \geq 2)$$

(i) $2a < 2$, すなわち, $a < 1$ のとき

$$t = 2 \text{ で最小値 } 2 - 8a$$

このとき, (1) の結果から $x = 0$

(ii) $2 \leq 2a$, すなわち, $1 \leq a$ のとき

$$t = 2a \text{ で最小値 } -4a^2 - 2$$

$$\text{このとき } 3^x + \frac{1}{3^x} = 2a \quad \text{ゆえに} \quad (3^x)^2 - 2a \cdot 3^x + 1 = 0$$

$$\text{これを解いて } 3^x = a \pm \sqrt{a^2 - 1} \quad \text{ゆえに} \quad x = \log_3(a \pm \sqrt{a^2 - 1})$$



2 (1) $t = \sin \theta + \cos \theta = \sqrt{2} \sin \left(\theta + \frac{\pi}{4} \right), -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$ より $-1 \leq t \leq \sqrt{2}$

(2) $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta = (\sin \theta + \cos \theta)^2 - 1 = t^2 - 1 \quad \dots \textcircled{1}$

$\sin 3\theta + \sin \theta = 2 \sin 2\theta \cos \theta, \cos 3\theta - \cos \theta = -2 \sin 2\theta \sin \theta$ より

$$\sin 3\theta = 2 \sin 2\theta \cos \theta - \sin \theta,$$

$$\cos 3\theta = -2 \sin 2\theta \sin \theta + \cos \theta$$

ゆえに $\sin 3\theta - \cos 3\theta = (\sin \theta + \cos \theta)(2 \sin 2\theta - 1)$
 $= t\{2(t^2 - 1) - 1\} = 2t^3 - 3t \quad \dots \textcircled{2}$

①, ② より $f(\theta) = \sin 3\theta - \cos 3\theta - 3 \sin 2\theta + 3(\sin \theta + \cos \theta)$
 $= 2t^3 - 3t - 3(t^2 - 1) + 3t = 2t^3 - 3t^2 + 3$

別解 $\sin 3\theta = 3 \sin \theta - 4 \sin^3 \theta, \cos 3\theta = 4 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta$ より

$$\begin{aligned} \sin 3\theta - \cos 3\theta &= 3(\sin \theta + \cos \theta) - 4(\sin^3 \theta + \cos^3 \theta) \\ &= (\sin \theta + \cos \theta)\{3 - 4(1 - \sin \theta \cos \theta)\} \\ &= (\sin \theta + \cos \theta)(2 \sin 2\theta - 1) \\ &= t\{2(t^2 - 1) - 1\} = 2t^3 - 3t \end{aligned}$$

(3) $g(t) = 2t^3 - 3t^2 + 3 \quad (-1 \leq t \leq \sqrt{2})$ とおくと

$$g'(t) = 6t^2 - 6t = 6t(t - 1)$$

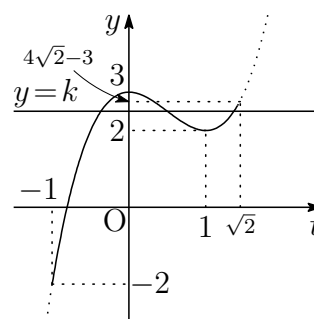
$g(t)$ の増減は次のようになる.

t	-1	...	0	...	1	...	$\sqrt{2}$
$g'(t)$		+	0	-	0	+	
$g(t)$	-2	↗	3	↘	2	↗	$4\sqrt{2} - 3$

$y = g(t)$ のグラフは, 右の図のようになる.

$f(\theta) = k$ が異なる 3 つの実数解をもつとき, $y = g(t)$ のグラフと直線 $y = k$ が異なる 3 つの共有点をもつときであるから

$$2 < k \leq 4\sqrt{2} - 3$$



- 3** (1) $\overrightarrow{PR} = s\vec{e}$, $\overrightarrow{QS} = t\vec{e}$ とおくと (s, t は実数)

$$\overrightarrow{OR} = \overrightarrow{OP} + s\vec{e} = (p, 0, 0) + s(0, 0, 1) = (p, 0, s)$$

$$\overrightarrow{OS} = \overrightarrow{OQ} + t\vec{e} = (0, q, 0) + t(0, 0, 1) = (0, q, t)$$

$\overrightarrow{OR}$ と $\overrightarrow{OS}$ はともに $\vec{n} = (-u, -v, 1)$ に垂直であるから

$$p \cdot (-u) + s \cdot 1 = 0, \quad q \cdot (-v) + t \cdot 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad s = pu, \quad t = qv$$

$$\text{ゆえに} \quad \overrightarrow{OR} = (p, 0, pu), \quad \overrightarrow{OS} = (0, q, qv)$$

$$\text{よって} \quad R(p, 0, pu), \quad S(0, q, qv)$$

- (2) (1) の結果から $\overrightarrow{OR} = p(1, 0, u)$, $\overrightarrow{OS} = q(0, 1, v)$

$p > 0, q > 0$ より, $\overrightarrow{OR}$ と $\overrightarrow{OS}$ のなす角 θ は, 2 つのベクトル

$$\vec{r} = \frac{1}{p}\overrightarrow{OR} = (1, 0, u), \quad \vec{s} = \frac{1}{q}\overrightarrow{OS} = (0, 1, v)$$

のなす角であるから

$$\cos \theta = \frac{\vec{r} \cdot \vec{s}}{|\vec{r}| |\vec{s}|} = \frac{uv}{\sqrt{1+u^2} \sqrt{1+v^2}} = \frac{uv}{\sqrt{(1+u^2)(1+v^2)}}$$

- (3) $O(0, 0, 0)$, $P(p, 0, 0)$, $Q(0, q, 0)$ を頂点とする $\triangle OPQ$ の面積は $\frac{1}{2}pq$

$$\overrightarrow{OR} = p\vec{r}, \quad \overrightarrow{OS} = q\vec{s} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \triangle ORS &= \frac{1}{2}pq \sqrt{|\vec{r}|^2 |\vec{s}|^2 - (\vec{r} \cdot \vec{s})^2} \\ &= \frac{1}{2}pq \sqrt{(1+u^2)(1+v^2) - (uv)^2} \\ &= \frac{1}{2}pq \sqrt{1+u^2+v^2} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \triangle OPQ : \triangle ORS = 1 : \sqrt{1+u^2+v^2}$$



- 4 (1) $f(x) = \log x$ より $f'(x) = \frac{1}{x}$
 $y = f(x)$ 上の点 $(a, f(a))$ における接線の方程式は

$$y - \log a = \frac{1}{a}(x - a) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{x}{a} + \log a - 1$$

- (2) $g(x) = \log x^2$ より $g'(x) = \frac{2}{x}$
 $y = g(x)$ 上の点 $(b, g(b))$ における接線の方程式は

$$y - \log b^2 = \frac{2}{b}(x - b)$$

$$\text{すなわち} \quad y = \frac{2x}{b} + 2\log b - 2$$

これと (1) で求めた接線が一致するとき

$$\frac{1}{a} = \frac{2}{b}, \quad \log a - 1 = 2\log b - 2$$

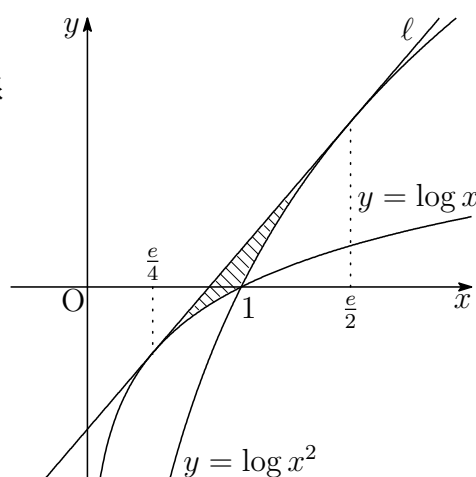
上の第1式から $b = 2a$ これを第2式に代入して整理すると

$$2\log 2a - \log a = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \log 4a = 1 \quad \text{すなわち} \quad a = \frac{e}{4}$$

$$a = \frac{e}{4} \text{ を (1) の結果に代入して } y = \frac{4x}{e} - \log 4$$

- (3) $b = 2a = \frac{e}{2}$, 求める面積は上の図の斜線部分で, その面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{e}{4}}^{\frac{e}{2}} \left(\frac{4x}{e} - \log 4 \right) dx - \int_{\frac{e}{4}}^1 \log x \, dx - \int_1^{\frac{e}{2}} \log x^2 \, dx \\ &= \left[\frac{2x^2}{e} - x \log 4 \right]_{\frac{e}{4}}^{\frac{e}{2}} - \left[x(\log x - 1) \right]_{\frac{e}{4}}^1 - \left[2x(\log x - 1) \right]_1^{\frac{e}{2}} \\ &= \frac{3}{8}e - 1 \end{aligned}$$



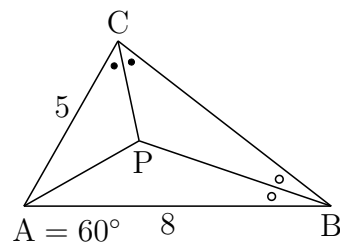
■

- 5 (1) PA, PB, PC はそれぞれ $\angle A$, $\angle B$, $\angle C$ の二等分線であるから, $B = 2\beta$, $C = 2\gamma$ とおくと

$$2\beta + 2\gamma = 180^\circ - A = 120^\circ$$

$$\text{ゆえに} \quad \beta + \gamma = 60^\circ$$

$$\text{よって} \quad \angle BPC = 180^\circ - (\beta + \gamma) = 120^\circ$$



- (2) 余弦定理により

$$BC^2 = 5^2 + 8^2 - 2 \cdot 5 \cdot 8 \cos 60^\circ = 49 \quad \text{よって} \quad BC = 7$$

BP は $\triangle ABC$ の外接円の半径であるから, 正弦定理により

$$2BP = \frac{BC}{\sin A} = \frac{7}{\sin 60^\circ}$$

$$\text{よって} \quad BP = \frac{7}{2 \sin 60^\circ} = \frac{7}{\sqrt{3}} = \frac{7}{3}\sqrt{3}$$

$$(3) \triangle ABC = \frac{1}{2} CA \cdot AB \sin A = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 8 \sin 60^\circ = 10\sqrt{3}$$

辺 BC の中点を M とすると, P は AM を 2 : 1 に内分する点であるから

$$\triangle PBC = \frac{1}{3} \triangle ABC = \frac{10}{3}\sqrt{3}$$



6 (1) 特性方程式 $x = 1 + \frac{1}{x}$, すなわち, $x^2 - x - 1 = 0$

の2つの解を $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, $\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$ とおくと

$$a_{n+1} = 1 + \frac{1}{a_n}, \quad \alpha = 1 + \frac{1}{\alpha}$$

上の2式から $a_{n+1} - \alpha = \frac{1}{a_n} - \frac{1}{\alpha} = -\frac{a_n - \alpha}{\alpha a_n} \quad \dots \textcircled{1}$

同様に $a_{n+1} - \beta = -\frac{a_n - \beta}{\beta a_n} \quad \dots \textcircled{2}$

$\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$ から $\frac{a_{n+1} - \alpha}{a_{n+1} - \beta} = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{a_n - \alpha}{a_n - \beta}$ ゆえに $\frac{a_n - \alpha}{a_n - \beta} = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{n-1} \frac{1 - \alpha}{1 - \beta}$

$\alpha + \beta = 1$ より $\frac{a_n - \alpha}{a_n - \beta} = \frac{\beta^n}{\alpha^n}$ したがって $a_n = \frac{\alpha^{n+1} - \beta^{n+1}}{\alpha^n - \beta^n} \quad \dots (*)$

よって $a_n = \frac{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^{n+1} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^{n+1}}{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n} = \frac{(1+\sqrt{5})^{n+1} - (1-\sqrt{5})^{n+1}}{2\{(1+\sqrt{5})^n - (1-\sqrt{5})^n\}}$

(2) (*) より $a_n = \frac{\alpha - \beta \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^n}{1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^n}$

$\left|\frac{\beta}{\alpha}\right| = \frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1} < 1$ であるから $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ ■

- 7 (1) n 回投げたとき、5 以下の異なる目が n 回出る確率であるから

$$\frac{{}_5P_n}{6^n}$$

- (2) 4 回投げたとき、硬貨がすべて表であるのは、次の (i)~(iii) の場合である.

(i) 6 の目が 4 回出るとき $\cdots$ 6666 の 1 通り

(ii) 6 の目が 2 回出るとき (A は 5 以下の正の整数)

$$\{A, A, 6, 6\} \cdots {}_5C_1 \cdot \frac{4!}{2!2!} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ (通り)}$$

(iii) 6 の目が出ないとき (A, B は 5 以下の異なる正の整数)

$$\{A, A, B, B\} \cdots {}_5C_2 \cdot \frac{4!}{2!2!} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ (通り)}$$

$$\{A, A, A, A\} \cdots {}_5C_1 = 5 \text{ (通り)}$$

(i)~(iii) より、求める確率は

$$(1 + 30 + 65) \left(\frac{1}{6}\right)^4 = \frac{96}{1296} = \frac{2}{27}$$

- (3) 4 回投げた時点で裏になっている枚数と確率について、次のようになる.

(a) 裏になっている硬貨が 1 枚のとき (A, B は 5 以下の異なる正の整数)

$$\{A, 6, 6, 6\} \cdots {}_5C_1 \cdot \frac{4!}{3!} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ (通り)}$$

$$\{A, A, B, 6\} \cdots {}_5P_2 \cdot \frac{4!}{2!} = 20 \cdot 12 = 240 \text{ (通り)}$$

$$\{A, A, A, 6\} \cdots {}_5C_1 \cdot \frac{4!}{3!} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ (通り)}$$

$$\text{よって } (20 + 240 + 20) \left(\frac{1}{6}\right)^4 = \frac{280}{1296}$$

(b) 裏になっている硬貨が 2 枚のとき (A, B, C は 5 以下の異なる正の整数)

$$\{A, B, 6, 6\} \cdots {}_5C_2 \cdot \frac{4!}{2!} = 10 \cdot 12 = 120 \text{ (通り)}$$

$$\{A, A, B, C\} \cdots {}_5 \cdot {}_4C_2 \cdot \frac{4!}{2!} = 5 \cdot 6 \cdot 12 = 360 \text{ (通り)}$$

$$\{A, A, A, B\} \cdots {}_5P_2 \cdot \frac{4!}{3!} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ (通り)}$$

$$\text{よって } (120 + 360 + 80) \left(\frac{1}{6}\right)^4 = \frac{560}{1296}$$

(c) 裏になっている硬貨が3枚のとき (A,B,C は5以下の異なる正の整数)

$$\{A, B, C, 6\} \cdots {}_5C_3 \cdot 4! = 10 \cdot 24 = 240 \text{ (通り)}$$

$$\text{よって } 240 \left(\frac{1}{6}\right)^4 = \frac{240}{1296}$$

(d) 裏になっている硬貨が4枚のとき (A,B,C,D は5以下の異なる正の整数)

$$\{A, B, C, D\} \cdots {}_5C_4 \cdot 4! = 5 \cdot 24 = 120 \text{ (通り)}$$

$$\text{よって } 120 \left(\frac{1}{6}\right)^4 = \frac{120}{1296}$$

(a)~(d) から, 求める値は

$$\sum_{t=1}^4 tP(t) = 1 \cdot \frac{280}{1296} + 2 \cdot \frac{560}{1296} + 3 \cdot \frac{240}{1296} + 4 \cdot \frac{120}{1296} = \frac{2600}{1296} = \frac{325}{162}$$

注意 (3) は確率変数 t の平均 (期待値) を求める問題.

$$\sum_{t=0}^4 P(t) = 1$$

上式を満たすことを確認して計算する必要がある.

t	0	1	2	3	4	計
$P(t)$	$\frac{96}{1296}$	$\frac{280}{1296}$	$\frac{560}{1296}$	$\frac{240}{1296}$	$\frac{120}{1296}$	1



- 8 (1) l と x 軸の正の向きとなす角を θ とすると
 $(0 < \theta < \pi)$, 右の図から

$$OQ = 2 \sin \theta, \quad OR = \frac{2}{\sin \theta}$$

したがって, $P(x, y)$ の座標は

$$x = OR \cos \theta = \frac{2 \cos \theta}{\sin \theta},$$

$$y = OQ \sin \theta = 2 \sin^2 \theta$$

上の 2 式から

$$2 \sin^2 \theta = \frac{2 \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta} = \frac{8}{4 + \left(\frac{2 \cos \theta}{\sin \theta}\right)^2} \quad \text{よって} \quad y = \frac{8}{4 + x^2}$$

$$(2) f(x) = \frac{8}{4 + x^2} \quad \text{より}$$

$$f'(x) = \frac{-16x}{(4 + x^2)^2}$$

$$f''(x) = \frac{-16(4 + x^2)^2 - (-16x) \cdot 2(4 + x^2) \cdot 2x}{(4 + x^2)^4} = \frac{16(3x^2 - 4)}{(4 + x^2)^3}$$

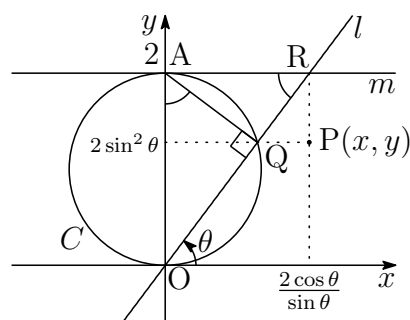
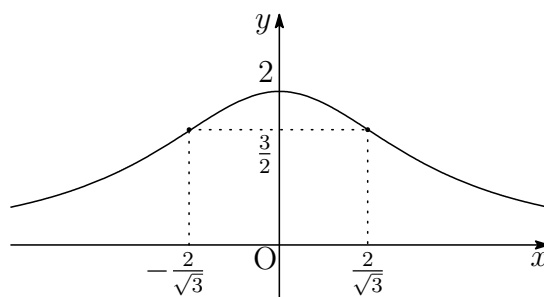
$y = f(x)$ の増減・凹凸は次のようになる.

x	...	$-\frac{2}{\sqrt{3}}$	...	0	...	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	...
$f'(x)$	+	+	+	0	-	-	-
$f''(x)$	+	0	-	-	-	0	+
$f(x)$	$\nearrow$	$\frac{3}{2}$	$\nearrow$	2	$\searrow$	$\frac{3}{2}$	$\searrow$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$$

よって 極大値 $f(0) = 2$, 変曲点 $\left(\pm \frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{3}{2}\right)$

また, グラフの概形は次のようになる.



(3) (1)の結果から，求める面積を S とすると

$$S = \int_{-2}^{2\sqrt{3}} \frac{8}{4+x^2} dx$$

$$x = 2 \tan \theta \text{ とおくと } \frac{dx}{d\theta} = \frac{2}{\cos^2 \theta} \quad \begin{array}{c|c} x & -2 \longrightarrow 2\sqrt{3} \\ \hline \theta & -\frac{\pi}{4} \longrightarrow \frac{\pi}{3} \end{array}$$

$$\text{よって } S = \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{8}{4 + (2 \tan \theta)^2} \cdot \frac{2}{\cos^2 \theta} d\theta = \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} 4 d\theta = \left[4\theta \right]_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} = \frac{7}{3}\pi \quad \blacksquare$$

7.5 2019 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [4] [5] 数 I・II・A・B (100 分)
- 教育学部 [2] [4] [5] 数 I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (80 分)

[1] a を 1 でない正の定数, x, y を $5^x = 2^y = a$ を満たす実数とする.

- (1) $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{2}$ とするとき, a の値を求めなさい.
- (2) $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = b$ とするとき, a^b の値を求めなさい.
- (3) $\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = 2$ とするとき, a の値を求めなさい.

[2] $\triangle ABC$ において, 点 A から辺 BC に垂線 AH を下ろす. 線分 AH を直径とする円 O と辺 AB, AC の交点をそれぞれ D, E とし, 円 O の半径を 1, $BH = 1$, $CE = 3$ とする.

- (1) 線分 DB の長さを求めなさい.
- (2) 線分 HC と線分 CA の長さをそれぞれ求めなさい.
- (3) $\angle EDH$ の大きさを求めなさい.

[3] 曲線 $C_1: y = -\frac{1}{x} (x > 0)$, 曲線 $C_2: y = -\frac{1}{x} (x < 0)$, 直線 $\ell: y = -x$, 点 $P\left(2, -\frac{1}{2}\right)$ とし, 点 Q は C_2 上を動くとする.

- (1) 曲線 C_1 と 2 つの直線 ℓ , $x = 2$ で囲まれた部分の面積 S_1 を求めなさい.
- (2) 線分 PQ の長さが最小になる点 Q の x 座標を a とするとき, a の値を求めなさい.
- (3) (2) で求めた a について, 曲線 C_2 と 2 つの直線 ℓ , $x = a$ で囲まれた部分の面積 S_2 を求めなさい.

- 4 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ がある.

$$a_1 = 3, b_1 = 1$$

$$2a_{n+1} = 5a_n + b_n + 2^{n+1} + 4 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$2b_{n+1} = a_n + 5b_n - 2^{n+1} + 4 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (1) $c_n = a_n + b_n$ によって定められる数列 $\{c_n\}$ の一般項 c_n を n の式で表しなさい.
- (2) $d_n = a_n - b_n$ によって定められる数列 $\{d_n\}$ の一般項 d_n を n の式で表しなさい.
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項 a_n を n の式で表しなさい.
- (4) 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和を S_n とする. S_n を n の式で表しなさい.

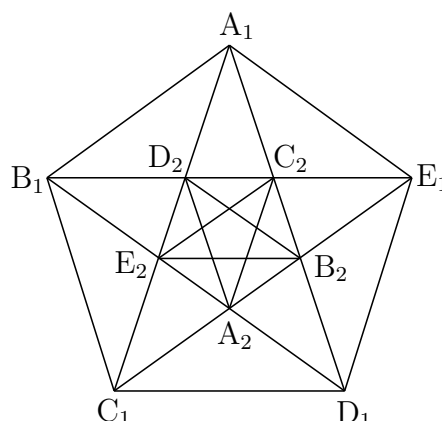
- 5 $t \geq 1$ とし,

$$f(t) = \int_0^1 |(x+t)(x-t+1)| dx$$

とする.

- (1) $f(3)$ の値を求めなさい.
- (2) $f(t)$ を t を用いて表しなさい.
- (3) $f(t)$ の最小値とそのときの t の値を求めなさい.

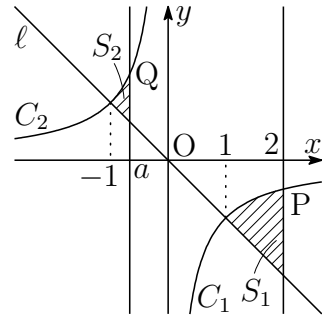
- 6 一辺の長さが a の正五角形 $A_1B_1C_1D_1E_1$ がある．対角線を結んで，内部に正五角形 $A_2B_2C_2D_2E_2$ を図のように作る．さらに正五角形 $A_2B_2C_2D_2E_2$ の対角線を結んで，内部に正五角形 $A_3B_3C_3D_3E_3$ を作る．この操作を繰り返し，正五角形 $A_kB_kC_kD_kE_k$ の内部に正五角形 $A_{k+1}B_{k+1}C_{k+1}D_{k+1}E_{k+1}$ を作るとき，以下の問いに答えなさい．



- (1) 正五角形 $A_1B_1C_1D_1E_1$ の対角線 B_1E_1 の長さを求めなさい．
 - (2) 正五角形 $A_kB_kC_kD_kE_k$ の一辺の長さを l_k とする．無限級数 $\sum_{k=1}^{\infty} l_k$ の収束，発散について調べ，収束するならば和を求めなさい．
- 7 三角形 ABC を底面とする四面体 $OABC$ において， $OA = BC = 3$ ， $OB = CA = \sqrt{13}$ ， $OC = AB = 4$ とし，外接球面 (4 頂点 O, A, B, C のすべてを通る一つの球面) の中心を P とする．このとき，ベクトル $\overrightarrow{OP}$ を $\overrightarrow{OP} = x\overrightarrow{OA} + y\overrightarrow{OB} + z\overrightarrow{OC}$ の形で表しなさい．ただし， x, y, z は実数とする．
- 8 微分可能な x の関数 $f(x), g(x)$ について以下の問いに答えなさい．
- (1) $f(x)$ とその導関数 $f'(x)$ について， $f'(x) - f(x) = 0$ が任意の実数 x に対して成り立つとき，関数 $f(x) \cdot e^{-x}$ は定数関数であることを示しなさい．ただし， e は自然対数の底とする．
 - (2) $g(x)$ とその導関数 $g'(x)$ について， $g'(x) - g(x) = x^2$ が任意の実数 x に対して成り立ち，さらに $g(0) = 0$ とする．このとき， $x > 0$ においてつねに $g(x) > 0$ となることを示しなさい．

3 (1) S_1 は右の図の斜線部分の面積であるから

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_1^2 \left\{ -\frac{1}{x} - (-x) \right\} dx \\ &= \left[\frac{x^2}{2} - \log x \right]_1^2 \\ &= \frac{3}{2} - \log 2 \end{aligned}$$



(2) C_2 上の点を $Q\left(t, -\frac{1}{t}\right)$ とし ($t < 0$), $g(t) = PQ^2$ とおくと

$$\begin{aligned} g(t) &= (t-2)^2 + \left(-\frac{1}{t} + \frac{1}{2}\right)^2 \\ g'(t) &= 2(t-2) + 2\left(-\frac{1}{t} + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{1}{t^2} = 2(t-2) + \frac{t-2}{t} \cdot \frac{1}{t^2} \\ &= (t-2) \left(2 + \frac{1}{t^3}\right) = \frac{(t-2)(2t^3+1)}{t^3} \end{aligned}$$

t	$\cdots$	$-\frac{1}{\sqrt[3]{2}}$	$\cdots$	(0)
$g'(t)$	$-$	0	$+$	
$g(t)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$	

$t = -\frac{1}{\sqrt[3]{2}}$ のとき, $g(t)$ は最小, すなわち, PQ は最小であるから $a = -\frac{1}{\sqrt[3]{2}}$

解説 $C: y = f(x)$ 上の点 $Q(t, f(t))$ と点 $P(x_0, y_0)$ を $g(t) = PQ^2$ とおくと

$$\begin{aligned} g(t) &= (t-x_0)^2 + (f(t)-y_0)^2, \\ g'(t) &= 2(t-x_0) + 2(f(t)-y_0)f'(t) \end{aligned}$$

C 上の点 Q における接ベクトルを $\vec{v} = (1, f'(t))$ とすると, $g'(t) = 2\vec{PQ} \cdot \vec{v}$. $g'(t) = 0$ のとき, $\vec{PQ} \perp \vec{v}$ となるから, 直線 PQ は Q における法線である. したがって, C 上の点 Q の法線で点 P を通るものとして求めてもよい.

(3) $-1 < a$ に注意して

$$\begin{aligned} S_2 &= \int_{-1}^a \left\{ -\frac{1}{x} - (-x) \right\} dx = \left[\frac{x^2}{2} - \log|x| \right]_{-1}^a \\ &= \frac{1}{2}(a^2 - 1) - \log|a| = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{4}} - 1 \right) - \log 2^{-\frac{1}{3}} \\ &= \frac{\sqrt[3]{2}}{4} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \log 2 \end{aligned}$$

■

4 (1) $a_1 = 3, b_1 = 1$

$$(*) \begin{cases} 2a_{n+1} = 5a_n + b_n + 2^{n+1} + 4 & (n = 1, 2, 3, \dots) \\ 2b_{n+1} = a_n + 5b_n - 2^{n+1} + 4 & (n = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

(*) の第1式と第2式の辺々を加えて整理すると

$$a_{n+1} + b_{n+1} = 3(a_n + b_n) + 4$$

$$c_n = a_n + b_n \text{ より } c_{n+1} = 3c_n + 4 \quad \text{ゆえに} \quad c_{n+1} + 2 = 3(c_n + 2)$$

$\{c_n + 2\}$ は、初項 $c_1 + 2 = (a_1 + b_1) + 2 = 6$ 、公比3の等比数列であるから

$$c_n + 2 = 6 \cdot 3^{n-1} \quad \text{よって} \quad c_n = 2 \cdot 3^n - 2$$

(2) (*) の第1式と第2式の辺々の差をとり、整理すると

$$a_{n+1} - b_{n+1} = 2(a_n - b_n) + 2^{n+1}$$

$$d_n = a_n - b_n \text{ より } d_{n+1} = 2d_n + 2^{n+1} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{d_{n+1}}{2^{n+1}} = \frac{d_n}{2^n} + 1$$

$\left\{\frac{d_n}{2^n}\right\}$ は初項 $\frac{d_1}{2} = \frac{a_1 - b_1}{2} = 1$ 、公差1の等差数列であるから

$$\frac{d_n}{2^n} = 1 + (n-1) \cdot 1 \quad \text{よって} \quad d_n = n \cdot 2^n$$

(3) (1), (2) の結果から $a_n + b_n = 2 \cdot 3^n - 2$

$$a_n - b_n = n \cdot 2^n$$

上の2式から、 b_n を消去して整理すると $a_n = n \cdot 2^{n-1} + 3^n - 1$

(4) (3) の結果から $S_n = \sum_{k=1}^n (k \cdot 2^{k-1} + 3^k - 1)$, $T_n = \sum_{k=1}^n k \cdot 2^{k-1}$ とおくと

$$T_n = 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 2^2 + \dots + n \cdot 2^{n-1}$$

$$2T_n = 1 \cdot 2 + 2 \cdot 2^2 + \dots + (n-1) \cdot 2^{n-1} + n \cdot 2^n$$

$$\begin{aligned} \text{ゆえに} \quad -T_n &= 1 + 2 + 2^2 + \dots + 2^{n-1} - n \cdot 2^n = \frac{2^n - 1}{2 - 1} - n \cdot 2^n \\ &= -(n-1)2^n - 1 \end{aligned}$$

$$T_n = (n-1) \cdot 2^n + 1 \text{ により}$$

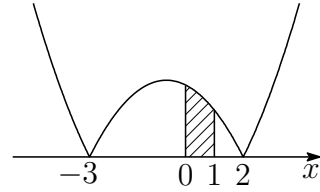
$$\begin{aligned} S_n &= T_n + \sum_{k=1}^n (3^k - 1) = (n-1) \cdot 2^n + 1 + \frac{3(3^n - 1)}{3 - 1} - n \\ &= (n-1) \cdot 2^n + \frac{3^{n+1}}{2} - n - \frac{1}{2} \end{aligned}$$

■

5 $f(t) = \int_0^1 |(x+t)(x-t+1)| dx \quad \cdots (*)$

(1) $(*)$ に $t = 3$ を代入して

$$\begin{aligned} f(3) &= \int_0^1 |(x+3)(x-2)| dx \\ &= \int_0^1 \{-(x+3)(x-2)\} dx \\ &= \left[-\frac{x^3}{3} - \frac{x^2}{2} + 6x \right]_0^1 = \frac{31}{6} \end{aligned}$$



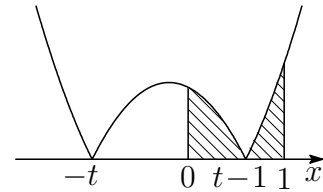
(2) $g(x) = (x+t)(x-t+1) = x^2 + x - t(t-1)$ とおき, その原始関数の 1 つを

$$G(x) = \frac{x^3}{3} + \frac{x^2}{2} - t(t-1)x \quad \cdots (**)$$

とおく. $t \geq 1$ より, $-t < 0 \leq t-1$ に注意して

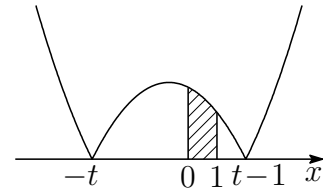
(i) $t-1 \leq 1$, すなわち, $1 \leq t \leq 2$ のとき

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_0^1 |g(x)| dx \\ &= -\int_0^{t-1} g(x) dx + \int_{t-1}^1 g(x) dx \\ &= G(1) + G(0) - 2G(t-1) \end{aligned}$$



(ii) $1 \leq t-1$, すなわち, $2 \leq t$ のとき

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_0^1 |g(x)| dx \\ &= -\int_0^1 g(x) dx = G(0) - G(1) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} (**) \text{ より } \quad G(0) &= 0, \quad G(1) = -t^2 + t + \frac{5}{6}, \\ G(t-1) &= \frac{1}{3}(t-1)^3 + \frac{1}{2}(t-1)^2 - t(t-1)^2 \\ &= -\frac{2}{3}t^3 + \frac{3}{2}t^2 - t + \frac{1}{6} \end{aligned}$$

上式および (i), (ii) の結果から

$$f(t) = \begin{cases} \frac{4}{3}t^3 - 4t^2 + 3t + \frac{1}{2} & (1 \leq t \leq 2) \\ t^2 - t - \frac{5}{6} & (2 \leq t) \end{cases}$$

(3) (2) の結果から

$$f'(t) = \begin{cases} (2t-1)(2t-3) & (1 < t \leq 2) \\ 2t-1 & (2 \leq t) \end{cases}$$

t	1	...	$\frac{3}{2}$	...	2	...
$f'(t)$		-	0	+		+
$f(t)$	$\frac{5}{6}$	$\searrow$	$\frac{1}{2}$	$\nearrow$	$\frac{7}{6}$	$\nearrow$

よって 最小値 $f\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2}$

- 6** (1) 正五角形 $A_1B_1C_1D_1E_1$ は、円に内接し、それぞれの辺に対する円周角が 36° であることに注意して

$$B_1D_2 = A_1D_2 = A_1C_2 = C_2E_1 = x$$

とおくと、 $B_1A_1 = B_1C_2 = a$ より

$$C_2D_2 = B_1C_2 - B_1D_2 = a - x$$

$\triangle B_1C_2A_1 \sim \triangle A_1D_2C_2$ より

$$a : x = x : a - x \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + ax - a^2 = 0$$

$x > 0$ に注意して、これを解くと $x = \frac{\sqrt{5}-1}{2}a$

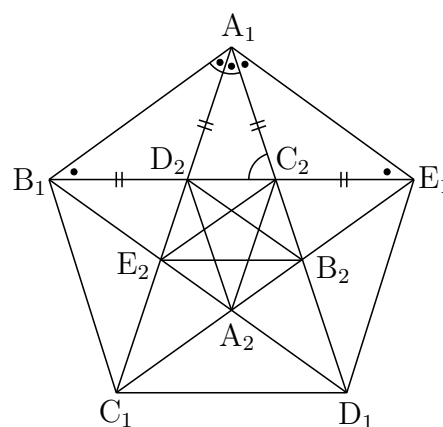
$$\text{よって} \quad B_1E_1 = B_1C_2 + C_2E_1 = a + \frac{\sqrt{5}-1}{2}a = \frac{\sqrt{5}+1}{2}a$$

$$(2) \quad C_2D_2 = a - x = a - \frac{\sqrt{5}-1}{2}a = \frac{3-\sqrt{5}}{2}a \quad \text{ゆえに} \quad \frac{C_2D_2}{C_1D_1} = \frac{3-\sqrt{5}}{2}$$

したがって、数列 $\{l_k\}$ は初項 a 、公比 $\frac{3-\sqrt{5}}{2}$ の等比数列である。

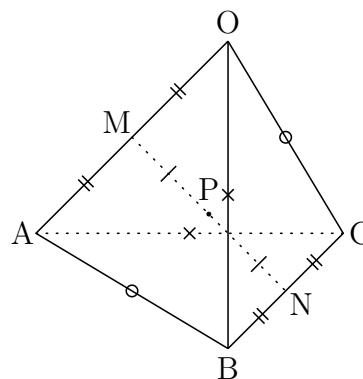
$\left| \frac{3-\sqrt{5}}{2} \right| < 1$ より、次の無限級数は収束し、その和は

$$\sum_{k=1}^{\infty} l_k = \frac{a}{1 - \frac{3-\sqrt{5}}{2}} = \frac{\sqrt{5}+1}{2}a$$



7 2 辺 OA, BC の中点をそれぞれ M, N とすると

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{MN} &= \overrightarrow{MO} + \overrightarrow{ON} \\
 &= -\frac{1}{2}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}(\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \\
 &= \frac{1}{2}(-\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \quad \cdots \textcircled{1} \\
 \overrightarrow{MN} &= \overrightarrow{MA} + \overrightarrow{AN} \\
 &= \frac{1}{2}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2}(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \\
 &= \frac{1}{2}(\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \quad \cdots \textcircled{2}
 \end{aligned}$$



①, ② の辺々を加えて 2 倍すると

$$4\overrightarrow{MN} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}$$

したがって

$$\begin{aligned}
 4\overrightarrow{MN} \cdot \overrightarrow{BC} &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{BC} \\
 &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \cdot \overrightarrow{BC} + (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{BC} \\
 &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \cdot (\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OB}) + (\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \cdot (\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}) \\
 &= |\overrightarrow{OC}|^2 - |\overrightarrow{OB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 - |\overrightarrow{AB}|^2,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4\overrightarrow{MN} \cdot \overrightarrow{OA} &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{OA} \\
 &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{AB}) \cdot \overrightarrow{OA} + (\overrightarrow{OC} + \overrightarrow{AC}) \cdot \overrightarrow{OA} \\
 &= (\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{AB}) \cdot (\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{AB}) + (\overrightarrow{OC} + \overrightarrow{AC}) \cdot (\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{AC}) \\
 &= |\overrightarrow{OB}|^2 - |\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{OC}|^2 - |\overrightarrow{AC}|^2
 \end{aligned}$$

$|\overrightarrow{OC}| = |\overrightarrow{AB}|$, $|\overrightarrow{OB}| = |\overrightarrow{AC}|$ であるから

$$\overrightarrow{MN} \cdot \overrightarrow{BC} = 0, \quad \overrightarrow{MN} \cdot \overrightarrow{OA} = 0 \quad \text{すなわち} \quad MN \perp BC, \quad MN \perp OA$$

OA = BC より, 線分 MN の中点を P とすると $PO = PA = PB = PC$

したがって, 点 P は 4 点 O, A, B, C を通る球の中心である.

$$\begin{aligned}
 \text{よって} \quad \overrightarrow{OP} &= \frac{1}{2}\overrightarrow{OM} + \frac{1}{2}\overrightarrow{ON} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}(\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) \\
 &= \frac{1}{4}\overrightarrow{OA} + \frac{1}{4}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{4}\overrightarrow{OC}
 \end{aligned}$$



- 8 (1) $f'(x) - f(x) = 0$ より, $f'(x) \cdot e^{-x} - f(x) \cdot e^{-x} = 0$ であるから

$$f'(x) \cdot e^{-x} + f(x)(e^{-x})' = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \{f(x) \cdot e^{-x}\}' = 0$$

上の第2式を積分すると

$$f(x) \cdot e^{-x} = C \quad (C \text{ は定数})$$

- (2) $g'(x) - g(x) = x^2$ より, $g'(x) \cdot e^{-x} - g(x) \cdot e^{-x} = x^2 e^{-x}$ であるから

$$g'(x) \cdot e^{-x} + g(x)(e^{-x})' = x^2 e^{-x} \quad \text{ゆえに} \quad \{g(x) \cdot e^{-x}\}' = x^2 e^{-x}$$

上の第2式を積分すると

$$\begin{aligned} g(x) \cdot e^{-x} &= \int x^2 \cdot e^{-x} dx \\ &= -(x^2 + 2x + 2)e^{-x} + C_1 \quad (C_1 \text{ は積分定数}) \end{aligned}$$

$$g(0) = 0 \text{ より } -2 + C_1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad C_1 = 2$$

$$\text{したがって} \quad g(x) = 2e^x - 2 - 2x - x^2,$$

$$g'(x) = 2e^x - 2 - 2x,$$

$$g''(x) = 2(e^x - 1)$$

上式より, $x > 0$ において, $g''(x) > 0$ であるから, $g'(x)$ は単調増加で

$$x > 0 \text{ において } g'(x) > g'(0) = 0$$

さらに, $x > 0$ において, $g'(x) > 0$ であるから, $g(x)$ は単調増加で

$$x > 0 \text{ において } g(x) > g(0) = 0$$



7.6 2020 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [5] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育学部 [1] [2] [5] 数 I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (80 分)

[1] $\triangle ABC$ において $AB = 3$, $BC = 1$, $\angle B = 90^\circ$ とする. $\angle B$ の二等分線と辺 AC の交点を D とし, 3 点 A , B , D を通る円と直線 BC の交点のうち点 B と異なる点を E とする. また, 直線 AB と直線 DE の交点を F とする.

- (1) 線分 AD の長さを求めなさい.
- (2) 線分 BE の長さを求めなさい.
- (3) 線分 AF の長さを求めなさい.

[2] $\triangle OAB$ において, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とし, $\vec{a}$, $\vec{b}$ は

$$|\vec{a}| = 1, \quad |\vec{b}| = 2, \quad |\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{7}$$

を満たすとする. s , t , k は

$$s \geq 0, \quad t \geq 0, \quad s + t = k$$

を満たす実数とし, 点 P は

$$\overrightarrow{OP} = (s - 2t)\vec{a} + (s + t)\vec{b}$$

を満たしながら動くとする.

- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ と $|-2\vec{a} + \vec{b}|$ の値を求めなさい.
- (2) $k = 1$ のとき, 点 P の存在範囲を求めなさい.
- (3) $1 \leq k \leq 2$ のとき, 点 P の存在範囲を求めなさい.
- (4) $1 \leq k \leq 2$ のとき, 点 P の存在範囲の面積を求めなさい.

3 数列 $\{a_n\}$ の初項から第 n 項までの和 S_n は

$$S_n = (n+3) \left(\frac{1}{3}a_n - 2 \right)$$

を満たすとする.

- (1) a_1 を求めなさい.
- (2) a_{n+1} を a_n , n を用いて表しなさい.
- (3) 一般項 a_n を n を用いて表しなさい.

4 関数 $f(x)$ は等式

$$f(x) = \sin x + 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) \cos t \, dt - \frac{3}{2}$$

を満たし, 関数 $g(x)$ は

$$g(x) = - \int_0^x (x-t) \cos t \, dt + 1$$

とする.

- (1) 関数 $f(x)$ を求めなさい.
- (2) 関数 $g(x)$ の導関数を求めなさい.
- (3) $-\pi \leq x \leq \pi$ において, 2つの曲線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ で囲まれた部分の面積を求めなさい.

5 2つの放物線 $C_1: y = x^2 - 4x + 1$, $C_2: y = x^2 + 2x - 5$ の両方に接する直線を ℓ とする.

- (1) 2つの放物線 C_1 , C_2 の交点の座標を求めなさい.
- (2) 直線 ℓ の方程式を求めなさい.
- (3) 2つの放物線 C_1 , C_2 と直線 ℓ で囲まれた部分の面積を求めなさい.

- 6** n を任意の正の整数とし、2つの関数 $f(x)$, $g(x)$ はともに n 回微分可能な関数とする。このとき以下の問いに答えなさい。

- (1) 積 $f(x)g(x)$ の第 4 次導関数 $\frac{d^4}{dx^4}\{f(x)g(x)\}$ を求めなさい。
- (2) 積 $f(x)g(x)$ の第 n 次導関数 $\frac{d^n}{dx^n}\{f(x)g(x)\}$ における $f^{(n-r)}(x)g^{(r)}(x)$ の係数を類推し、その類推が正しいことを数学的帰納法を用いて証明しなさい。ただし、 r は負でない n 以下の整数とし、 $f^{(0)}(x) = f(x)$, $g^{(0)}(x) = g(x)$ とする。
- (3) 関数 $h(x) = x^3e^x$ の第 n 次導関数 $h^{(n)}(x)$ を求めなさい。ただし、 e は自然対数の底であり、 $n \geq 4$ とする。

- 7** 階段を上るとき、一度に上ることができる段数は 1 段または 2 段のみであるとする。このとき以下の問いに答えなさい。

- (1) ちょうど 10 段上る方法は全部で何通りあるか答えなさい。
- (2) n を正の整数とする。ちょうど n 段上る方法は全部で何通りあるか答えなさい。

- 8** 座標平面上に動点 P があり、次のルールに従って移動するものとする。

ルール：サイコロ 1 個を振って、1, 2, 3 の目が出たら $(x, y) \rightarrow (x+1, y)$ のように移動し、4, 5 の目が出たら $(x, y) \rightarrow (x, y+1)$ のように移動するが、6 の目が出たら移動しない。

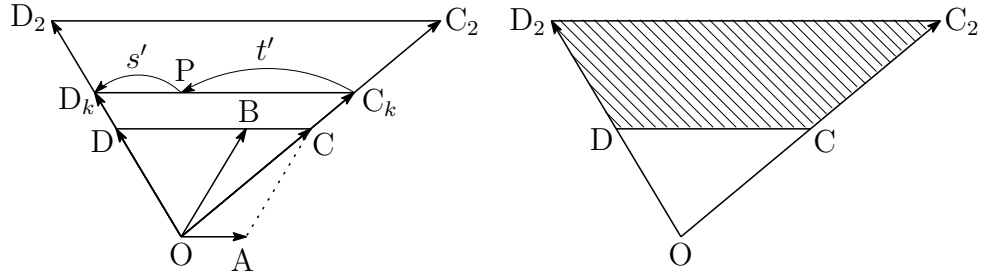
はじめ点 P は原点 $(0, 0)$ にあるとして以下の問いに答えなさい。ただし、サイコロの目はどれも同様な確からしさで出るものとする。

- (1) 1 個のサイコロを 5 回振った時点で、点 P の座標が $(3, 2)$ である確率を求めなさい。
- (2) 1 個のサイコロを 5 回振った時点で、点 P の座標が $(2, 2)$ である確率を求めなさい。
- (3) k は正の整数であり、 m, n は負でない整数とする。1 個のサイコロを k 回振った時点で、点 P の座標が (m, n) である確率を $p_k(m, n)$ とする。和 $\sum_{m=0}^{k-1} p_k(m, k-m-1)$ を、 k を用いて表しなさい。

- (3) (*)において, $s = ks'$, $t = kt'$, $\overrightarrow{OC_k} = k\overrightarrow{OC}$, $\overrightarrow{OD_k} = k\overrightarrow{OD}$ とおく
 $(s' \geq 0, t' \geq 0, s' + t' = 1)$. なお, 点 C_1, D_1 はそれぞれ C, D である.

$$\overrightarrow{OP} = ks'\overrightarrow{OC} + kt'\overrightarrow{OD} = s'\overrightarrow{OC_k} + t'\overrightarrow{OD_k}$$

点 P は線分 C_kD_k を $t' : s'$ に内分する点である. $1 \leq k \leq 2$ より, P の存在する範囲は, 図の斜線部分の台形 CC_2D_2D の内部および境界線である.



$$(4) \cos \angle AOB = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| |\vec{b}|} = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \angle AOB = \frac{\pi}{3}$$

$$\triangle OAB = \frac{1}{2} OA \cdot OB \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\overrightarrow{OC} = \vec{a} + \vec{b}, \quad \overrightarrow{OD} = -2\vec{a} + \vec{b} \quad \text{より} \quad \overrightarrow{DC} = 3\vec{a} = 3\overrightarrow{OA}$$

$$\text{したがって} \quad \triangle OCD = 3\triangle OAB = 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{よって, 求める面積は} \quad (2^2 - 1)\triangle OCD = 3 \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2} = \frac{9\sqrt{3}}{2}$$



$$\boxed{3} \quad (1) \quad S_n = (n+3) \left(\frac{1}{3}a_n - 2 \right) \quad \cdots (*)$$

(*) に $n = 1$ を代入すると, $S_1 = a_1$ であるから, (*) より

$$a_1 = 4 \left(\frac{1}{3}a_1 - 2 \right) \quad \text{これを解いて} \quad a_1 = 24$$

(2) $a_{n+1} = S_{n+1} - S_n$ であるから

$$a_{n+1} = (n+4) \left(\frac{1}{3}a_{n+1} - 2 \right) - (n+3) \left(\frac{1}{3}a_n - 2 \right)$$

$$\text{したがって} \quad a_{n+1} = \frac{(n+3)a_n}{n+1} + \frac{6}{n+1}$$

(3) (2) の結果の両辺を $(n+2)(n+3)$ で割ると

$$\frac{a_{n+1}}{(n+2)(n+3)} = \frac{a_n}{(n+1)(n+2)} + \frac{3(n+3) - 3(n+1)}{(n+1)(n+2)(n+3)}$$

$$\text{整理すると} \quad \frac{a_{n+1} + 3}{(n+2)(n+3)} = \frac{a_n + 3}{(n+1)(n+2)}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{a_n + 3}{(n+1)(n+2)} = \frac{24 + 3}{2 \cdot 3}$$

$$\text{よって} \quad a_n = \frac{9}{2}(n+1)(n+2) - 3 = \frac{3}{2}(3n^2 + 9n + 4) \quad \blacksquare$$

$$\boxed{4} \quad (1) \quad f(x) = \sin x + 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) \cos t \, dt - \frac{3}{2} \quad \cdots (*)$$

$$k = \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(t) \cos t \, dt \text{ とおくと, } f(x) = \sin x + 3k - \frac{3}{2} \cdots \textcircled{1} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} k &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\sin t + 3k - \frac{3}{2} \right) \cos t \, dt \\ &= \left[\frac{1}{2} \sin^2 t + \left(3k - \frac{3}{2} \right) \sin t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 3k - 1 \end{aligned}$$

$$\text{したがって } k = \frac{1}{2} \text{ これを } \textcircled{1} \text{ に代入して } \mathbf{f(x) = \sin x}$$

$$(2) \quad g(x) = - \int_0^x (x-t) \cos t \, dt + 1 \quad \cdots (**)$$

$$(**) \text{ より, } g(x) = -x \int_0^x \cos t \, dt + \int_0^x t \cos t \, dt + 1 \text{ を微分すると}$$

$$\begin{aligned} g'(x) &= - \int_0^x \cos t \, dt - x \cos x + x \cos x \\ &= - \left[\sin t \right]_0^x = -\mathbf{\sin x} \end{aligned}$$

$$(3) \quad (2) \text{ の結果を積分すると } g(x) = \cos x + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

$$(**) \text{ より, } g(0) = 1 \text{ であるから}$$

$$1 + C = 1 \quad \text{ゆえに } C = 0 \quad \text{したがって } g(x) = \cos x$$

$$\text{ここで } g(x) - f(x) = \cos x - \sin x = \sqrt{2} \cos \left(x + \frac{\pi}{4} \right)$$

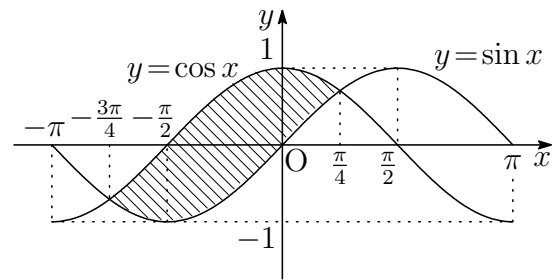
$$-\pi \leq x \leq \pi \text{ における } y = g(x) \text{ と}$$

$$y = f(x) \text{ の共有点の } x \text{ 座標は}$$

$$x = -\frac{3\pi}{4}, \frac{\pi}{4}$$

$$\text{区間 } -\frac{3\pi}{4} \leq x \leq \frac{\pi}{4} \text{ において}$$

$$g(x) - f(x) \geq 0$$



$$\text{求める面積は } \int_{-\frac{3\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} \sqrt{2} \cos \left(x + \frac{\pi}{4} \right) dx = \left[\sqrt{2} \sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) \right]_{-\frac{3\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} = \mathbf{2\sqrt{2}}$$



- 5 (1) $C_1: y = x^2 - 4x + 1$, $C_2: y = x^2 + 2x - 5$ から y を消去すると

$$x^2 - 4x + 1 = x^2 + 2x - 5 \quad \text{ゆえに} \quad x = 1 \quad \text{交点は} \quad (1, -2)$$

- (2) ℓ の方程式を $y = ax + b$ とする.

C_1 と ℓ から y を消去すると

$$x^2 - 4x + 1 = ax + b$$

$$\text{ゆえに} \quad x^2 - (a+4)x - b + 1 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

C_2 と ℓ から y を消去すると

$$x^2 + 2x - 5 = ax + b$$

$$\text{ゆえに} \quad x^2 + (2-a)x - b - 5 = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ② の方程式はともに重解をもつから, それぞれの係数について

$$(a+4)^2 - 4(-b+1) = 0, \quad (2-a)^2 - 4(-b-5) = 0$$

上の2式をそれぞれ整理すると

$$\begin{cases} a^2 + 8a + 4b + 12 = 0 \\ a^2 - 4a + 4b + 24 = 0 \end{cases} \quad \text{これを解いて} \quad a = 1, \quad b = -\frac{21}{4} \quad \cdots (*)$$

よって, 直線 ℓ の方程式は $y = x - \frac{21}{4}$

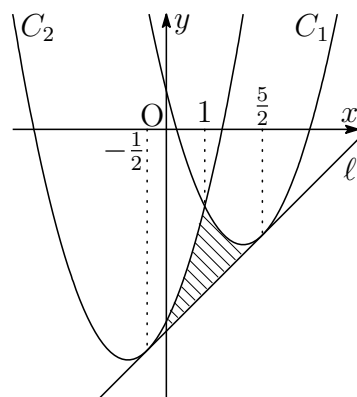
- (3) (*) を ①, ② に代入すると

$$x^2 - 5x + \frac{25}{4} = \left(x - \frac{5}{2}\right)^2 = 0, \quad x^2 + x + \frac{1}{4} = \left(x + \frac{1}{2}\right)^2 = 0$$

C_1 , C_2 と直線 ℓ の接点の x 座標は, それぞれ $x = \frac{5}{2}, -\frac{1}{2}$

よって, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\frac{1}{2}}^1 \left\{ x^2 + 2x - 5 - \left(x - \frac{21}{4}\right) \right\} dx + \int_1^{\frac{5}{2}} \left\{ x^2 - 4x + 1 - \left(x - \frac{21}{4}\right) \right\} dx \\ &= \int_{-\frac{1}{2}}^1 \left(x + \frac{1}{2}\right)^2 dx + \int_1^{\frac{5}{2}} \left(x - \frac{5}{2}\right)^2 dx \\ &= \left[\frac{1}{3} \left(x + \frac{1}{2}\right)^3 \right]_{-\frac{1}{2}}^1 + \left[\frac{1}{3} \left(x - \frac{5}{2}\right)^3 \right]_1^{\frac{5}{2}} = \frac{9}{4} \end{aligned}$$



$$\boxed{6} \quad (1) \quad \frac{d}{dx}\{f(x)g(x)\} = f^{(1)}(x)g^{(0)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(1)}(x) \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dx^2}\{f(x)g(x)\} &= \frac{d}{dx}\{f^{(1)}(x)g^{(0)}(x)\} + \frac{d}{dx}\{f^{(0)}(x)g^{(1)}(x)\} \\ &= f^{(2)}(x)g^{(0)}(x) + f^{(1)}(x)g^{(1)}(x) \\ &\quad + f^{(1)}(x)g^{(1)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(2)}(x) \\ &= f^{(2)}(x)g^{(0)}(x) + 2f^{(1)}(x)g^{(1)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(2)}(x) \\ \frac{d^3}{dx^3}\{f(x)g(x)\} &= \frac{d}{dx}\{f^{(2)}(x)g^{(0)}(x)\} + 2\frac{d}{dx}\{f^{(1)}(x)g^{(1)}(x)\} + \frac{d}{dx}\{f^{(0)}(x)g^{(2)}(x)\} \\ &= f^{(3)}(x)g^{(0)}(x) + f^{(2)}(x)g^{(1)}(x) \\ &\quad + 2\{f^{(2)}(x)g^{(1)}(x) + f^{(1)}(x)g^{(2)}(x)\} \\ &\quad + f^{(1)}(x)g^{(2)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(3)}(x) \\ &= f^{(3)}(x)g^{(0)}(x) + 3f^{(2)}(x)g^{(1)}(x) \\ &\quad + 3f^{(1)}(x)g^{(2)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(3)}(x) \\ \frac{d^4}{dx^4}\{f(x)g(x)\} &= \frac{d}{dx}\{f^{(3)}(x)g^{(0)}(x)\} + 3\frac{d}{dx}\{f^{(2)}(x)g^{(1)}(x)\} \\ &\quad + 3\frac{d}{dx}\{f^{(1)}(x)g^{(2)}(x)\} + \frac{d}{dx}\{f^{(0)}(x)g^{(3)}(x)\} \\ &= f^{(4)}(x)g^{(0)}(x) + f^{(3)}(x)g^{(1)}(x) \\ &\quad + 3\{f^{(3)}(x)g^{(1)}(x) + f^{(2)}(x)g^{(2)}(x)\} \\ &\quad + 3\{f^{(2)}(x)g^{(2)}(x) + f^{(1)}(x)g^{(3)}(x)\} \\ &\quad + f^{(1)}(x)g^{(3)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(4)}(x) \\ &= \mathbf{f^{(4)}(x)g^{(0)}(x) + 4f^{(3)}(x)g^{(1)}(x) + 6f^{(2)}(x)g^{(2)}(x)} \\ &\quad + \mathbf{4f^{(1)}(x)g^{(3)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(4)}(x)} \end{aligned}$$

$$(2) \quad \frac{d^n}{dx^n}\{f(x)g(x)\} \text{ における } f^{(n-r)}(x)g^{(r)}(x) \text{ の係数を } {}_nC_r \text{ であると推定すると}$$

$$\frac{d^n}{dx^n}\{f(x)g(x)\} = \sum_{r=0}^n {}_nC_r f^{(n-r)}(x)g^{(r)}(x) \quad \cdots (*)$$

$$[1] \quad \textcircled{1} \text{ から } \frac{d}{dx}\{f(x)g(x)\} = {}_1C_0 f^{(1)}(x)g^{(0)}(x) + {}_1C_1 f^{(0)}(x)g^{(1)}(x)$$

したがって, $n=1$ のとき, $(*)$ は成立する.

[2] $n = k$ のとき, $(*)$ が成立すると仮定すると

$$\frac{d^k}{dx^k} \{f(x)g(x)\} = \sum_{r=0}^k {}_k C_r f^{(k-r)}(x) g^{(r)}(x)$$

これを微分すると

$$\begin{aligned} \frac{d^{k+1}}{dx^{k+1}} \{f(x)g(x)\} &= \sum_{r=0}^k {}_k C_r \{f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) + f^{(k-r)}(x)g^{(r+1)}(x)\} \\ &= \sum_{r=0}^k {}_k C_r f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \\ &\quad + \sum_{r=0}^k {}_k C_r f^{(k-r)}(x)g^{(r+1)}(x) \\ &= f^{(k+1)}(x)g^{(0)}(x) + \sum_{r=1}^k {}_k C_r f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \\ &\quad + \sum_{r=0}^{k-1} {}_k C_r f^{(k-r)}(x)g^{(r+1)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(k+1)}(x) \\ &= f^{(k+1)}(x)g^{(0)}(x) + \sum_{r=1}^k {}_k C_r f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \\ &\quad + \sum_{r=1}^k {}_k C_{r-1} f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) + f^{(0)}(x)g^{(k+1)}(x) \\ &= {}_{k+1}C_0 f^{(k+1)}(x)g^{(0)}(x) \\ &\quad + \sum_{r=1}^k ({}_k C_r + {}_k C_{r-1}) f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \\ &\quad + {}_{k+1}C_{k+1} f^{(0)}(x)g^{(k+1)}(x) \\ &= {}_{k+1}C_0 f^{(k+1)}(x)g^{(0)}(x) \\ &\quad + \sum_{r=1}^k {}_{k+1}C_r f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \\ &\quad + {}_{k+1}C_{k+1} f^{(0)}(x)g^{(k+1)}(x) \\ &= \sum_{r=0}^{k+1} {}_{k+1}C_r f^{(k+1-r)}(x)g^{(r)}(x) \end{aligned}$$

したがって, $n = k + 1$ のときも $(*)$ が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について $(*)$ が成立する.

(3) $h(x) = x^3 e^x = e^x x^3$ について, (2) の結果を適用すると ($n \geq 4$)

$$\begin{aligned}
 h^{(n)}(x) &= \sum_{r=0}^n {}_n C_r (e^x)^{(n-r)} (x^3)^{(r)} \\
 &= \sum_{r=0}^3 {}_n C_r (e^x)^{(n-r)} (x^3)^{(r)} + \sum_{r=4}^n {}_n C_r (e^x)^{(n-r)} (x^3)^{(r)} \\
 &= \sum_{r=0}^3 {}_n C_r (e^x)^{(n-r)} (x^3)^{(r)} \\
 &= {}_n C_0 e^x \cdot x^3 + {}_n C_1 e^x \cdot 3x^2 + {}_n C_2 e^x \cdot 6x + {}_n C_3 e^x \cdot 6 \\
 &= e^x \{x^3 + 3nx^2 + 3n(n-1)x + n(n-1)(n-2)\}
 \end{aligned}$$

補足 (2) の結果は, ライブニッツ (Leibniz) の公式と呼ばれている. ■

7 (1) 与えられた規則により, n 段の階段を上る方法を a_n 通りとすると

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 2, \quad a_{n+2} = a_{n+1} + a_n \quad \cdots (*)$$

が成立する. これから, 順次

$$\begin{aligned}
 a_3 &= a_2 + a_1 = 2 + 1 = 3, \\
 a_4 &= a_3 + a_2 = 3 + 2 = 5, \\
 a_5 &= a_4 + a_3 = 5 + 3 = 8, \\
 a_6 &= a_5 + a_4 = 8 + 5 = 13, \\
 a_7 &= a_6 + a_5 = 13 + 8 = 21, \\
 a_8 &= a_7 + a_6 = 21 + 13 = 34, \\
 a_9 &= a_8 + a_7 = 34 + 21 = 55, \\
 a_{10} &= a_9 + a_8 = 55 + 34 = 89
 \end{aligned}$$

よって 89 通り

(2) (1) より, 特性方程式

$$x^2 = x + 1 \quad \text{すなわち} \quad x^2 - x - 1 = 0 \quad \cdots (**)$$

の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$) $\alpha + \beta = 1, \alpha\beta = -1$

$$a_{n+2} - (\alpha + \beta)a_{n+1} + \alpha\beta a_n = 0$$

$$\text{したがって} \quad a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \beta(a_{n+1} - \alpha a_n)$$

(*) から $a_0 = 1$ であるから

$$a_{n+1} - \alpha a_n = \beta^n(a_1 - \alpha a_0) = \beta^n(1 - \alpha) = \beta^{n+1}$$

$$a_{n+1} - \beta a_n = \alpha^n(a_1 - \beta a_0) = \alpha^n(1 - \beta) = \alpha^{n+1}$$

$$\text{上の2式から} \quad (\beta - \alpha)a_n = \beta^{n+1} - \alpha^{n+1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = \frac{\beta^{n+1} - \alpha^{n+1}}{\beta - \alpha}$$

$$\text{方程式 } (**) \text{ の解は } x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2} \quad \text{ゆえに} \quad \alpha = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}, \quad \beta = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

よって, 階段をちょうど n 段上る方法は

$$\frac{1}{\sqrt{5}} \left\{ \left(\frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} \right\}$$

■

8 (1) 1, 2, 3 の目が 3 回, 4, 5 の目が 2 回出る確率であるから

$$\frac{5!}{3!2!} \left(\frac{3}{6} \right)^3 \left(\frac{2}{6} \right)^2 = \frac{5}{36}$$

(2) 1, 2, 3 の目が 2 回, 4, 5 の目が 2 回, 6 の目が 1 回出る確率であるから

$$\frac{5!}{2!2!1!} \left(\frac{3}{6} \right)^2 \left(\frac{2}{6} \right)^2 \cdot \frac{1}{6} = \frac{5}{36}$$

- (3) $p_k(m, k - m - 1)$ は, 1, 2, 3 の目が m 回, 4, 5 の目が $k - m - 1$ 回, 6 の目が 1 回出る確率であるから

$$\begin{aligned} p_k(m, k - m - 1) &= \frac{k!}{m!(k - m - 1)!1!} \left(\frac{3}{6}\right)^m \left(\frac{2}{6}\right)^{k-m-1} \frac{1}{6} \\ &= \frac{k}{6} \cdot \frac{(k-1)!}{m!(k-m-1)!} \left(\frac{3}{6}\right)^m \left(\frac{2}{6}\right)^{k-m-1} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sum_{m=0}^{k-1} p_k(m, k - m - 1) &= \frac{k}{6} \sum_{m=0}^{k-1} \frac{(k-1)!}{m!(k-m-1)!} \left(\frac{3}{6}\right)^m \left(\frac{2}{6}\right)^{k-m-1} \\ &= \frac{k}{6} \left(\frac{3}{6} + \frac{2}{6}\right)^{k-1} = \frac{k}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} \end{aligned}$$

■

7.7 2021 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [5] 数I・II・A・B (80 分)
- 教育学部 [1] [2] [5] 数I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [6] [7] [8] 数I・II・III・A・B (80 分)

[1] n を自然数とし, $a_n = \log_{10} \left(1 + \frac{3}{n} \right)$ とする.

(1) a_1, a_2 を $\log_{10} 2$ を用いて表しなさい.

(2) $S_n = a_1 + a_2 + \cdots + a_n$ とおく. 10^{S_n} を n を用いて表しなさい.

[2] $0 \leq \alpha \leq \theta \leq \pi$ とし,

$$\cos \alpha = \frac{1}{4}, \quad x = \sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta$$

とする.

(1) $\sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right)$ の値を求めなさい.

(2) x のとり得る値の範囲を求めなさい.

(3) 関数

$$y = 2\sqrt{3} \sin \theta \cos \theta + 2 \cos^2 \theta - \sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta + 3$$

の最小値を求めなさい.

[3] 三角形 OAB に対し, 辺 OA を 3:2 に外分する点 C, 辺 OB を 4:3 に外分する点を D, 辺 AB の中点を M とおく. s, t を実数とし,

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}$$

とする.

(1) 等式 $3\overrightarrow{OP} + 4\overrightarrow{CP} + 5\overrightarrow{DP} = \vec{0}$ が成り立つとき, s, t の値を求めなさい.

(2) 点 P が直線 OM と直線 CD の交点であるとき, s, t の値を求めなさい.

(3) 点 P が三角形 OCM の内部および周上を動くとき, 点 (s, t) の存在範囲を st 平面上に図示しなさい.

- 4 曲線 $C: \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ($x \geq 0, y \geq 0$) が 2 点 $A(\sqrt{6}, 6k)$, $B(3, 3\sqrt{2}k)$ を通る. ただし, $a > 0, b > 0, k > 0$ とする.

- (1) a の値を求め, b を k を用いて表しなさい.
- (2) 原点 O と点 A を通る直線 ℓ_1 , 曲線 C , および x 軸で囲まれた図形の面積を k を用いて表しなさい.
- (3) 原点 O と点 B を通る直線 ℓ_2 , 曲線 C , および x 軸で囲まれた図形を, x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を k を用いて表しなさい.

- 5 関数 $f(x)$ は等式

$$f(x) = x|x-1| - 3x^2 \int_0^2 f(t) dt$$

を満たす.

- (1) 定積分 $\int_0^1 x|x-1| dx$ の値を求めなさい.
- (2) $a = \int_0^2 f(t) dt$ とする. a の値を求めなさい.
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = x$ で囲まれた図形の面積を求めなさい.

- 6 以下の問いに答えよ.

- (1) 座標平面上の点 (x, y) を原点の周りに $\frac{\pi}{4}$ だけ回転して得られる点の座標を (x', y') とする. x', y' を x, y を用いて表しなさい.
- (2) 双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ を原点の周りに $\frac{\pi}{4}$ だけ回転して得られる図形の方程式を求めなさい.
- (3) 双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ 上に点 $A(a, \sqrt{a^2 - 1})$ ($a > 1$) をとる. 原点 $O(0, 0)$ と結んだ線分 OA と双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ 及び x 軸で囲まれた図形の面積 S が

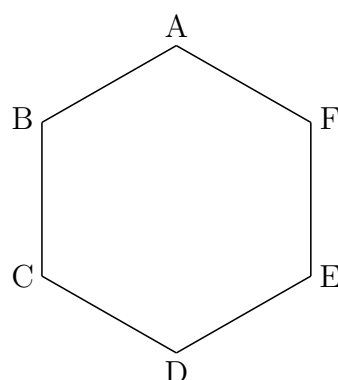
$$S = \frac{1}{2} \log(a + \sqrt{a^2 - 1})$$

と表されることを示しなさい.

- 7 $\triangle ABC$ において $\angle CAB$ の二等分線に 2 つの頂点 B, C から垂線を引き、二等分線との交点をそれぞれ H, H' とする. $\overrightarrow{AB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{AC} = \vec{c}$ とする. このとき以下の問いに答えなさい.

- (1) ベクトル $\frac{1}{|\vec{c}|}\vec{c}$ の大きさは 1 であることを示しなさい.
- (2) ベクトル $\overrightarrow{BH} + \overrightarrow{CH'}$ を $\vec{b}, \vec{c}$ を用いて表しなさい.
- (3) $\overrightarrow{BH} + \overrightarrow{CH'} = \vec{0}$ であるとき, $\triangle ABC$ はどのような三角形になるか. その形状を答えなさい.

- 8 図のような正六角形 $ABCDEF$ と動点 P があり, 点 P は最初頂点 A の位置にある. サイコロを振って, 1, 2, 3 の目が出れば時計回りに隣の頂点へ移動し, 4, 5 の目が出れば反時計回りに隣の頂点に移動する. そして, 6 の目が出たときはその位置にとどまる. このとき以下の問いに答えなさい.



- (1) サイコロを 3 回振った時点で点 P が頂点 D の位置にある確率を求めなさい.
- (2) サイコロを 4 回振った時点で点 P が頂点 E の位置にある確率を求めなさい.
- (3) サイコロを 6 回振った時点で点 P が頂点 A の位置にある確率を求めなさい.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad a_n = \log_{10} \left(1 + \frac{3}{n} \right) \text{ より}$$

$$a_1 = \log_{10} 4 = 2 \log_{10} 2$$

$$a_2 = \log_{10} \frac{5}{2} = \log_{10} \frac{10}{4} = 1 - \log_{10} 4 = 1 - 2 \log_{10} 2$$

$$(2) \quad a_n = \log_{10} \frac{n+3}{n} = \log_{10}(n+3) - \log_{10} n \text{ より}$$

(i) $n \geq 3$ のとき

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n a_k = \sum_{k=1}^n \{ \log_{10}(k+3) - \log_{10} k \} \\ &= \log_{10}(n+3) + \log_{10}(n+2) + \log_{10}(n+1) \\ &\quad - \log_{10} 1 - \log_{10} 2 - \log_{10} 3 \\ &= \log_{10} \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{6} \quad \dots (*) \end{aligned}$$

(ii) $n = 1, 2$ のとき, (1) の結果から

$$S_1 = a_1 = \log_{10} 4$$

$$S_2 = a_1 + a_2 = \log_{10} 4 + (1 - \log_{10} 4) = 1$$

このときも, (*) は成立する.

すべての自然数 n について (*) は成立するから

$$10^{S_n} = \frac{(n+1)(n+2)(n+3)}{6}$$



- 2** (1) $\cos \alpha = \frac{1}{4}$ ($0 \leq \alpha \leq \pi$) より, $\sin \alpha \geq 0$ であるから

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{15}}{4}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) &= \sin \alpha \cos \frac{\pi}{3} + \cos \alpha \sin \frac{\pi}{3} \\ &= \frac{\sqrt{15}}{4} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{8} \end{aligned}$$

- (2) $x = \sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta$ より $x = 2 \sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right)$

$$0 \leq \alpha \leq \theta \leq \pi \text{ より } \alpha + \frac{\pi}{3} \leq \theta + \frac{\pi}{3} \leq \frac{4}{3}\pi$$

$$\begin{aligned} \text{ここで} \quad \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) &= \cos \alpha \cos \frac{\pi}{3} - \sin \alpha \sin \frac{\pi}{3} \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{15}}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1 - 3\sqrt{5}}{8} < 0 \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad \frac{\pi}{2} < \alpha + \frac{\pi}{3} \leq \theta + \frac{\pi}{3} \leq \frac{4}{3}\pi$$

$$\text{したがって} \quad 2 \sin \frac{4}{3}\pi \leq 2 \sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \leq 2 \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$\text{よって} \quad -\sqrt{3} \leq x \leq \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{4}$$

- (3) $x = \sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta$ の両辺を平方すると

$$x^2 = (\sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta)^2 = 2\sqrt{3} \sin \theta \cos \theta + 2 \cos^2 \theta + 1$$

したがって

$$\begin{aligned} y &= 2\sqrt{3} \sin \theta \cos \theta + 2 \cos^2 \theta - \sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta + 3 \\ &= (2\sqrt{3} \sin \theta \cos \theta + 2 \cos^2 \theta + 1) - (\sin \theta + \sqrt{3} \cos \theta) + 2 \\ &= x^2 - x + 2 \\ &= \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{7}{4} \end{aligned}$$

$$-\sqrt{3} < \frac{1}{2} < \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{4} \text{ より, 求める } y \text{ の最小値は } \frac{7}{4}$$

■

3 (1) $3\vec{OP} + 4\vec{CP} + 5\vec{DP} = \vec{0}$ より

$$3\vec{OP} + 4(\vec{OP} - \vec{OC}) + 5(\vec{OP} - \vec{OD}) = \vec{0}$$

$$\vec{OP} \text{ について解くと } \vec{OP} = \frac{1}{3}\vec{OC} + \frac{5}{12}\vec{OD}$$

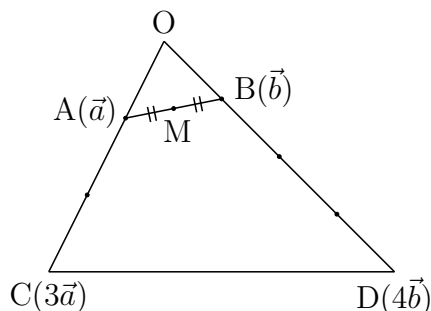
$$\vec{OA} = \vec{a}, \vec{OB} = \vec{b} \text{ とおくと}$$

$$\vec{OP} = s\vec{a} + t\vec{b}, \vec{OC} = 3\vec{a}, \vec{OD} = 4\vec{b}$$

$$\text{したがって } s\vec{a} + t\vec{b} = \vec{a} + \frac{5}{3}\vec{b}$$

$\vec{a}, \vec{b}$ は 1 次独立であるから

$$s = 1, t = \frac{5}{3}$$



(2) $\vec{OM} = \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b})$ と $\vec{OP} = s\vec{a} + t\vec{b}$ は平行であるから $s = t \dots \textcircled{1}$

$$\vec{a} = \frac{1}{3}\vec{OC}, \vec{b} = \frac{1}{4}\vec{OD} \text{ であるから } \vec{OP} = \frac{s}{3}\vec{OC} + \frac{t}{4}\vec{OD}$$

$$\text{このとき, P は CD 上の点であるから } \frac{s}{3} + \frac{t}{4} = 1 \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ を解いて } s = t = \frac{12}{7}$$

(3) $\vec{MO} = -\frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b})$, $\vec{MC} = \vec{OC} - \vec{OM} = 3\vec{a} - \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b}) = \frac{5}{2}\vec{a} - \frac{1}{2}\vec{b}$

$$\text{上の 2 式から } \vec{a} = -\frac{1}{3}\vec{MO} + \frac{1}{3}\vec{MC}, \vec{b} = -\frac{5}{3}\vec{MO} - \frac{1}{3}\vec{MC}$$

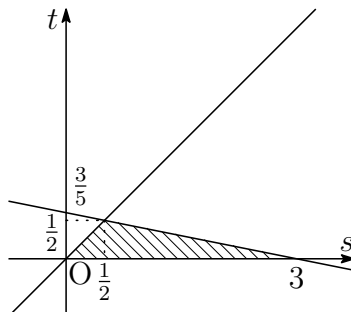
$$\begin{aligned} \vec{MP} &= \vec{OP} - \vec{OM} = s\vec{a} + t\vec{b} - \frac{1}{2}(\vec{a} + \vec{b}) \\ &= \left(s - \frac{1}{2}\right)\vec{a} + \left(t - \frac{1}{2}\right)\vec{b} \\ &= \left(s - \frac{1}{2}\right)\left(-\frac{1}{3}\vec{MO} + \frac{1}{3}\vec{MC}\right) + \left(t - \frac{1}{2}\right)\left(-\frac{5}{3}\vec{MO} - \frac{1}{3}\vec{MC}\right) \\ &= \left(-\frac{1}{3}s - \frac{5}{3}t + 1\right)\vec{MO} + \left(\frac{1}{3}s - \frac{1}{3}t\right)\vec{MC} \end{aligned}$$

P が三角形 OCM の内部および周上を動くとき

$$\begin{aligned} -\frac{1}{3}s - \frac{5}{3}t + 1 &\geq 0, \quad \frac{1}{3}s - \frac{1}{3}t \geq 0, \\ \left(-\frac{1}{3}s - \frac{5}{3}t + 1\right) + \left(\frac{1}{3}s - \frac{1}{3}t\right) &\leq 1 \end{aligned}$$

それぞれ整理すると $t \leq -\frac{1}{5}s + \frac{3}{5}$, $t \leq s$, $t \geq 0$

よって, 点 (s, t) の領域は, 下の図の斜線部分で境界線を含む.

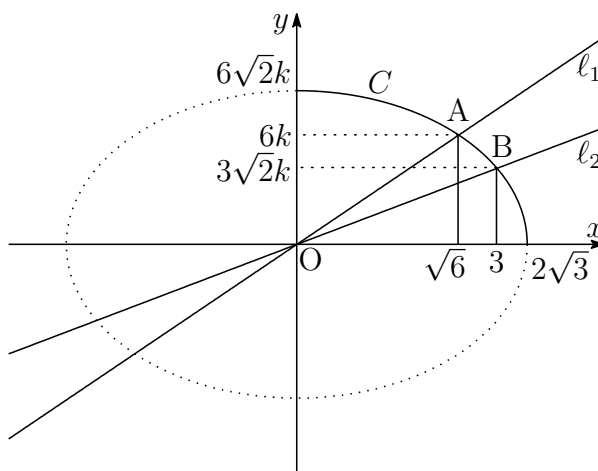


- 4 (1) 2点 $A(\sqrt{6}, 6k)$, $B(3, 3\sqrt{2}k)$ は曲線 $C: \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ ($x \geq 0, y \geq 0$) 上の点であるから ($a > 0, b > 0, k > 0$)

$$\frac{6}{a^2} + \frac{36k^2}{b^2} = 1, \quad \frac{9}{a^2} + \frac{18k^2}{b^2} = 1$$

上の2式から $a^2 = 12$, $b^2 = 72k^2$ よって $a = 2\sqrt{3}$, $b = 6\sqrt{2}k$

- (2) (1)の結果から $\frac{x^2}{12} + \frac{y^2}{72k^2} = 1$ ゆえに $y = \sqrt{6}k\sqrt{12 - x^2}$



求める面積を S とすると

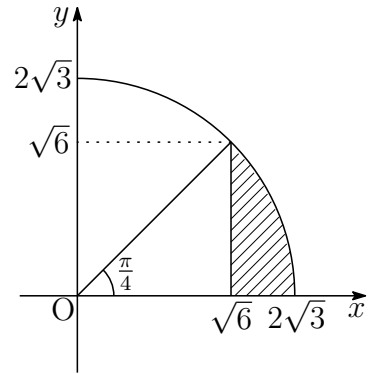
$$S = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{6} \cdot 6k + \sqrt{6}k \int_{\sqrt{6}}^{2\sqrt{3}} \sqrt{12 - x^2} dx$$

$\int_{\sqrt{6}}^{2\sqrt{3}} \sqrt{12-x^2} dx$ は右の図の斜線部分の面積に等しいから

$$\begin{aligned} \int_{\sqrt{6}}^{2\sqrt{3}} \sqrt{12-x^2} dx &= \frac{1}{2}(2\sqrt{3})^2 \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\sqrt{6})^2 \\ &= \frac{3}{2}\pi - 3 \end{aligned}$$

よって、求める面積は

$$S = 3\sqrt{6}k + \sqrt{6}k \left(\frac{3}{2}\pi - 3 \right) = \frac{3}{2}\sqrt{6}k\pi$$



(3) 求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3}\pi(3\sqrt{2}k)^2 \cdot 3 + \pi \int_3^{2\sqrt{3}} (\sqrt{6}k\sqrt{12-x^2})^2 dx \\ &= 18k^2\pi + 6k^2\pi \int_3^{2\sqrt{3}} (12-x^2) dx \\ &= 18k^2\pi + 6k^2\pi \left[12x - \frac{x^3}{3} \right]_3^{2\sqrt{3}} = 48(2\sqrt{3}-3)k^2\pi \end{aligned}$$

補足 C, ℓ_1, ℓ_2 を x 軸を元に, y 軸方向に $\frac{1}{\sqrt{6}k}$ 倍に拡大したものを, それぞれ C', ℓ'_1, ℓ'_2 とすると

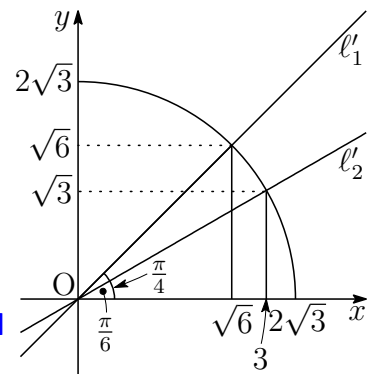
$$C' : x^2 + y^2 = 12 \quad (x \geq 0, y \geq 0) \quad \ell'_1 : y = x, \quad \ell'_2 : y = \frac{1}{\sqrt{3}}x$$

ℓ'_1, ℓ'_2 の偏角はそれぞれ $\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{6}$ である (これらの偏角がいわゆる有名角となるように作問されているため, 本題の面積や回転体の体積を高校数学の範囲で求めることができる). ℓ'_1, C' および x 軸で囲まれた図形の面積を S' とし, ℓ'_2, C' および x 軸で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を V' とすると

$$S' = \frac{1}{2}(2\sqrt{3})^2 \frac{\pi}{4} = \frac{3}{2}\pi$$

$$\begin{aligned} V' &= \frac{1}{3}\pi(\sqrt{3})^2 \cdot 3 + \pi \int_3^{2\sqrt{3}} (12-x^2) dx \\ &= 8\pi(2\sqrt{3}-3) \end{aligned}$$

$$\text{よって } S = \sqrt{6}kS', \quad V = (\sqrt{6}k)^2V'$$



- 5 (1) $0 \leq x \leq 1$ において, $|x-1| = 1-x$ であるから

$$\int_0^1 x|x-1| dx = \int_0^1 x(1-x) dx = \frac{1}{6}(1-0)^3 = \frac{1}{6}$$

- (2) $a = \int_0^2 f(t) dt$ より, $f(x) = x|x-1| - 3ax^2$ であるから

$$\begin{aligned} a &= \int_0^2 f(t) dt = \int_0^1 t|t-1| dt + \int_1^2 t|t-1| dt - \int_0^2 3at^2 dt \\ &= \int_0^1 t(1-t) dt + \int_1^2 (t^2-t) dt - a \left[t^3 \right]_0^2 \\ &= \frac{1}{6} + \left[\frac{1}{3}t^3 - \frac{1}{2}t^2 \right]_1^2 - 8a \\ &= 1 - 8a \end{aligned}$$

これを解いて $a = \frac{1}{9}$

- (3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} f(x) &= x|x-1| - \frac{1}{3}x^2 \\ &= \begin{cases} x - \frac{4}{3}x^2 & (0 \leq x \leq 1) \\ \frac{2}{3}x^2 - x & (x \leq 0, 1 \leq x) \end{cases} \end{aligned}$$

$0 \leq x \leq 1$ のとき, $y = f(x)$ と $y = x$ の共有点の x 座標は

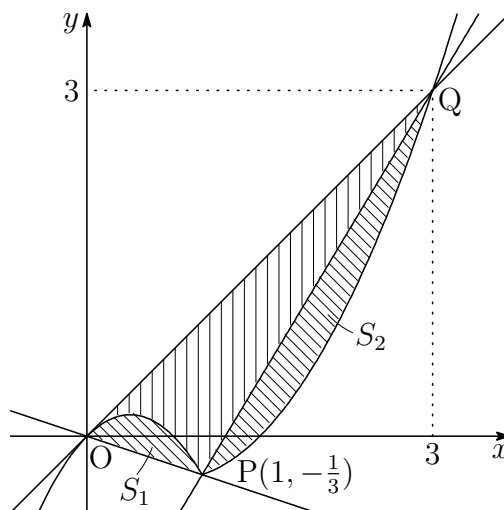
$$x - \frac{4}{3}x^2 = x \quad \text{ゆえに} \quad x = 0$$

$x \leq 0, 1 \leq x$ のとき, $y = f(x)$ と $y = x$ の共有点の x 座標は

$$\frac{2}{3}x^2 - x = x \quad \text{ゆえに} \quad x = 0, 3$$

右の図のように, 2点 $P\left(1, -\frac{1}{3}\right)$, $Q(3, 3)$ をとり, 曲線 $y = f(x)$ と直線 OP で囲まれた部分の面積を S_1 とし, 曲線 $y = f(x)$ と直線 PQ で囲まれた部分の面積を S_2 とすると, 求める図形の面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \triangle OPQ - S_1 + S_2 \\ &= \frac{1}{2} \left| 1 \cdot 3 - \left(-\frac{1}{3}\right) \cdot 3 \right| - \frac{1}{6} \cdot \frac{4}{3} (1-0)^3 + \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{3} (3-1)^3 = \frac{8}{3} \end{aligned}$$



- 6** (1) 複素数平面上の点 $x + yi$ を原点 O を中心に $\frac{\pi}{4}$ だけ回転させた点を $x' + y'i$ とすると

$$\begin{aligned} x' + y'i &= (x + yi) \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}}(x + yi)(1 + i) = \frac{x - y}{\sqrt{2}} + \frac{x + y}{\sqrt{2}}i \end{aligned}$$

よって $x' = \frac{x - y}{\sqrt{2}}, \quad y' = \frac{x + y}{\sqrt{2}}$

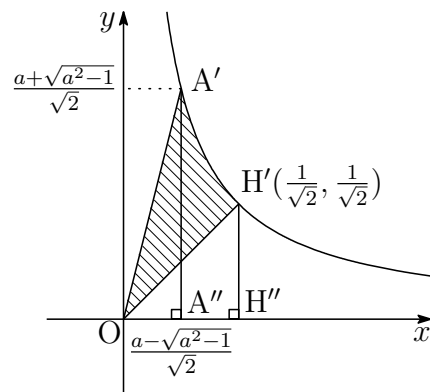
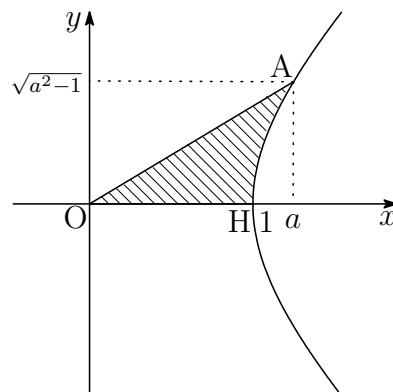
(2) (1) の結果から $x'y' = \frac{x - y}{\sqrt{2}} \cdot \frac{x + y}{\sqrt{2}} = \frac{x^2 - y^2}{2} = \frac{1}{2}$ よって $xy = \frac{1}{2}$

- (3) $A(a, \sqrt{a^2 - 1})$, $H(1, 0)$ とし, これらを原点を中心に $\frac{\pi}{4}$ だけ回転した点をそれぞれ A' , H' とすると, (1) の結果により

$$A' \left(\frac{a - \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}}, \frac{a + \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}} \right), \quad H' \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

曲線 $y = \frac{1}{2x}$ の点 A' , H' から x 軸にそれぞれ垂線 $A'A''$, $H'H''$ を引くと, 求める面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \triangle OA'A'' + \int_{\frac{a - \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}}}^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{1}{2x} dx - \triangle OH'H'' \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{a - \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{a + \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2} \left[\log x \right]_{\frac{a - \sqrt{a^2 - 1}}{\sqrt{2}}}^{\frac{1}{\sqrt{2}}} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2 \\ &= \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \log \frac{1}{a - \sqrt{a^2 - 1}} - \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \log(a + \sqrt{a^2 - 1}) \end{aligned}$$



別解 (回転せずに求める)

$$S = \frac{1}{2}a\sqrt{a^2-1} - \int_1^a \sqrt{x^2-1} dx$$

$$I = \int_1^a \sqrt{x^2-1} dx \text{ とおくと}$$

$$\begin{aligned} I &= \int_1^a (x)' \sqrt{x^2-1} dx = \left[x\sqrt{x^2-1} \right]_1^a - \int_1^a x \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2-1}} dx \\ &= a\sqrt{a^2-1} - \int_1^a \frac{(x^2-1)+1}{\sqrt{x^2-1}} dx \\ &= a\sqrt{a^2-1} - \int_1^a \sqrt{x^2-1} dx - \int_1^a \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} dx \\ &= a\sqrt{a^2-1} - I - \left[\log(x + \sqrt{x^2-1}) \right]_1^a \\ &= a\sqrt{a^2-1} - I - \log(a + \sqrt{a^2-1}) \end{aligned}$$

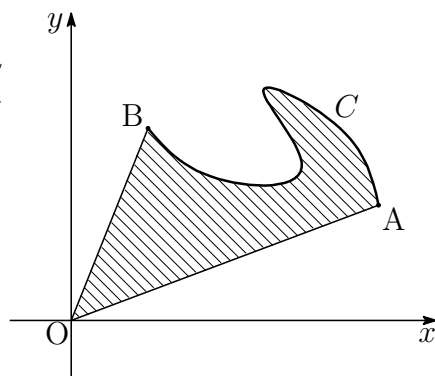
$$\text{ゆえに} \quad I = \frac{1}{2}a\sqrt{a^2-1} - \frac{1}{2}\log(a + \sqrt{a^2-1})$$

$$\text{よって} \quad S = \frac{1}{2}\log(a + \sqrt{a^2-1})$$

ガウス・グリーンの定理

曲線 $C: x = f(t), y = g(t) (\alpha \leq t \leq \beta)$ について, $t = \alpha, \beta$ に対応する点をそれぞれ A, B とする. C と直線 OA, OB で囲まれた部分の面積を S とすると (OB の偏角 $>$ OA の偏角)

$$S = \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\beta} \{f(t)g'(t) - f'(t)g(t)\} dt$$



別解 $xy = \frac{1}{2}$ を $x = f(t) = \frac{1}{2t}, y = g(t) = t$ とすると

$$f(t)g'(t) - f'(t)g(t) = \frac{1}{2t} \cdot 1 - \left(-\frac{1}{2t^2}\right)t = \frac{1}{t}$$

$$S = \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^{\frac{a+\sqrt{a^2-1}}{\sqrt{2}}} \frac{1}{t} dt = \frac{1}{2} \left[\log t \right]_{\frac{1}{\sqrt{2}}}^{\frac{a+\sqrt{a^2-1}}{\sqrt{2}}} = \frac{1}{2} \log(a + \sqrt{a^2-1})$$

7 (1) $\vec{d} = \frac{1}{|\vec{c}|}\vec{c}$ とおくと

$$|\vec{d}|^2 = \vec{d} \cdot \vec{d} = \left(\frac{1}{|\vec{c}|}\vec{c} \right) \cdot \left(\frac{1}{|\vec{c}|}\vec{c} \right) = \frac{\vec{c} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|^2} = \frac{|\vec{c}|^2}{|\vec{c}|^2} = 1$$

したがって $|\vec{d}| = 1$ よって ベクトル $\frac{1}{|\vec{c}|}\vec{c}$ の大きさは 1

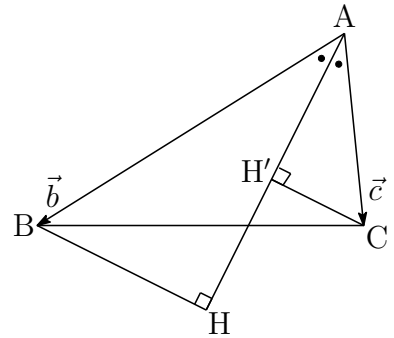
(2) 角 A の二等分線の方方向ベクトルを

$$\vec{v} = \frac{\vec{b}}{|\vec{b}|} + \frac{\vec{c}}{|\vec{c}|}$$

とおくと

$$|\vec{v}|^2 = \left| \frac{\vec{b}}{|\vec{b}|} + \frac{\vec{c}}{|\vec{c}|} \right|^2 = 2 \left(1 + \frac{\vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{b}||\vec{c}|} \right)$$

$$\vec{e} = \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \text{ とおくと } \overrightarrow{HB} = \vec{b} - (\vec{b} \cdot \vec{e})\vec{e}, \quad \overrightarrow{H'C} = \vec{c} - (\vec{c} \cdot \vec{e})\vec{e}$$



$$\overrightarrow{BH} + \overrightarrow{CH'} = ((\vec{b} + \vec{c}) \cdot \vec{e})\vec{e} - \vec{b} - \vec{c} = \frac{1}{|\vec{v}|^2}((\vec{b} + \vec{c}) \cdot \vec{v})\vec{v} - \vec{b} - \vec{c}$$

$$\begin{aligned} \text{このとき } (\vec{b} + \vec{c}) \cdot \vec{v} &= (\vec{b} + \vec{c}) \cdot \left(\frac{\vec{b}}{|\vec{b}|} + \frac{\vec{c}}{|\vec{c}|} \right) = |\vec{b}| + |\vec{c}| + \frac{(\vec{b} \cdot \vec{c})}{|\vec{b}||\vec{c}|}(|\vec{b}| + |\vec{c}|) \\ &= \left(1 + \frac{\vec{b} \cdot \vec{c}}{|\vec{b}||\vec{c}|} \right) (|\vec{b}| + |\vec{c}|) = \frac{1}{2}|\vec{v}|^2(|\vec{b}| + |\vec{c}|) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって } \overrightarrow{BH} + \overrightarrow{CH'} &= \frac{1}{2}(|\vec{b}| + |\vec{c}|)\vec{v} - \vec{b} - \vec{c} \\ &= \frac{1}{2}(|\vec{b}| + |\vec{c}|) \left(\frac{\vec{b}}{|\vec{b}|} + \frac{\vec{c}}{|\vec{c}|} \right) - \vec{b} - \vec{c} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{|\vec{c}|}{|\vec{b}|} - 1 \right) \vec{b} + \frac{1}{2} \left(\frac{|\vec{b}|}{|\vec{c}|} - 1 \right) \vec{c} \end{aligned}$$

(3) $\overrightarrow{BH} + \overrightarrow{CH'} = \vec{0}$ のとき, $\vec{b}$, $\vec{c}$ は 1 次独立であるから, (2) の結果から

$$\frac{|\vec{c}|}{|\vec{b}|} - 1 = 0, \quad \frac{|\vec{b}|}{|\vec{c}|} - 1 = 0 \quad \text{すなわち} \quad |\vec{b}| = |\vec{c}|$$

よって $\triangle ABC$ は $AB = AC$ の二等辺三角形



- 8 (1) サイコロを振って 1, 2, 3 の目が出る事象を X , 4, 5 の目が出る事象を Y , 6 の目が出る事象を Z とすると, それぞれの事象が起きる確率は

$$P(X) = \frac{3}{6}, \quad P(Y) = \frac{2}{6}, \quad P(Z) = \frac{1}{6}$$

求める確率は, 3 回とも X または 3 回とも Y が起こる確率であるから

$$\left(\frac{3}{6}\right)^3 + \left(\frac{2}{6}\right)^3 = \frac{35}{216}$$

- (2) サイコロを 4 回振って点 P が頂点 E にあるのは, 4 回の事象が

$$\{X, X, X, Y\}, \quad \{X, X, Z, Z\}, \quad \{Y, Y, Y, Y\}$$

のときであるから, 求める確率は

$$\frac{4!}{3!1!} \left(\frac{3}{6}\right)^3 \frac{2}{6} + \frac{4!}{2!2!} \left(\frac{3}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 + \left(\frac{2}{6}\right)^4 = \frac{143}{648}$$

- (3) サイコロを 6 回振って点 P が頂点 A にあるのは, 6 回の事象が

$$\{X, X, X, X, X, X\}, \quad \{Y, Y, Y, Y, Y, Y\}, \quad \{Z, Z, Z, Z, Z, Z\}, \\ \{X, X, X, Y, Y, Y\}, \quad \{X, X, Y, Y, Z, Z\}, \quad \{X, Y, Z, Z, Z, Z\}$$

のときであるから, 求める確率は

$$\begin{aligned} & \left(\frac{3}{6}\right)^6 + \left(\frac{2}{6}\right)^6 + \left(\frac{1}{6}\right)^6 + \frac{6!}{3!3!} \left(\frac{3}{6}\right)^3 \left(\frac{2}{6}\right)^3 \\ & + \frac{6!}{2!2!2!} \left(\frac{3}{6}\right)^2 \left(\frac{2}{6}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^2 + \frac{6!}{1!1!4!} \cdot \frac{3}{6} \cdot \frac{2}{6} \left(\frac{1}{6}\right)^4 \\ & = \frac{8534}{6^6} = \frac{4267}{23328} \end{aligned}$$



7.8 2022 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [3] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育学部 [1] [2] [3] 数 I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [5] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (80 分)

[1] 四面体 OABC は

$$|\overrightarrow{OA}| = |\overrightarrow{OB}| = \sqrt{29}, \quad |\overrightarrow{OC}| = \sqrt{11}, \quad |\overrightarrow{AB}| = 2\sqrt{2}, \quad |\overrightarrow{AC}| = \sqrt{26}, \quad \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 8$$

を満たす. t を実数とし,

$$\overrightarrow{AP} = t\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}$$

とする.

- (1) 内積 $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}$, $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OC}$, $\overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA}$ をそれぞれ求めなさい.
- (2) $|\overrightarrow{OP}|$ の最小値とそのときの实数 t の値を求めなさい.
- (3) (2) の点 P に対して, $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{AC}$ をそれぞれ示しなさい.
- (4) 四面体 OABC の体積を求めなさい.

[2] 1 と書かれたカード, 2 と書かれたカードが 1 枚ずつ 1 つの袋に入っている. この袋から 1 枚のカードを取り出し, 1 つのサイコロを 2 回投げる. 取り出したカードに書かれた数を a , 1 回目サイコロの出た目の数を b , 2 回目のサイコロの出た目の数を c とする.

- (1) 2 次方程式 $ax^2 - bx + c = 0$ が異なる 2 つの実数解をもつ確率を求めなさい.
- (2) 2 次方程式 $ax^2 - bx + c = 0$ が異なる 2 つの整数の解をもつ確率を求めなさい.

3 a, b を 0 でない定数とし,

$$f(x) = (x + a)(x - 3a), \quad g(x) = b(x - 3a)$$

とする. 3 次関数 $F(x)$ は $F(0) = 0$ と $F'(x) = f(x)$ を満たし, 2 次関数 $G(x)$ は $G'(x) = g(x)$ を満たす. ただし, 放物線 $y = G(x)$ の頂点 (x_0, y_0) に対して, 関数 $F(x)$ は $x = x_0$ で極値 y_0 をとるものとする.

- (1) 関数 $F(x)$ を求めなさい.
- (2) 関数 $G(x)$ を求めなさい.
- (3) 2 つの曲線 $y = F(x)$ と $y = G(x)$ の共有点が 1 個となるとき, b を a を用いて表しなさい.

4 自然数 k に対して

$$a_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(k^2 + 1)\pi}{4} \right|^n$$

とする. また自然数 m に対して

$$b_m = \sum_{k=1}^m a_k$$

とする.

- (1) a_1, a_2 を求めなさい.
- (2) $a_k = 0$ となる k と $a_k = 1$ となる k をそれぞれ求めなさい.
- (3) $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{b_{2m+1}}{m}$ を求めなさい.

5 関数 $f(x) = \log \frac{e^x}{x}$ を用いて, $a_1 = 2$, $a_{n+1} = f(a_n)$ によって数列 $\{a_n\}$ が与えられている. ただし, 対数は自然対数である. 以下の問に答えなさい.

- (1) $1 \leq x \leq 2$ のとき, $0 \leq f(x) - 1 \leq \frac{1}{2}(x - 1)$ が成立することを示しなさい.
- (2) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めなさい.
- (3) $b_1 = a_1$, $b_{n+1} = a_{n+1}b_n$ によって与えられる数列 $\{b_n\}$ の極限を求めなさい.

6 $a > 0$, $b > 0$, $a \neq b$ とする. また, 2つの楕円 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, $\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$ の第1象限における交点を通り, y 軸に平行な直線の方程式を $x = c$ とする. 領域 $D_1: \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \leq 1$, $0 \leq x \leq c$, $0 \leq y$ の面積を S_1 , 領域 $D_2: \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} \leq 1$, $0 \leq x \leq c$, $0 \leq y$ の面積を S_2 とする. 以下の問に答えなさい.

- (1) c を a , b を用いて表しなさい.
- (2) $S_1 + S_2$ を a , b を用いて表しなさい.

7 正四面体 ABCD の頂点 A から出発して, 辺を伝って歩き始める. 最初の頂点 A では, その頂点につながる3本の辺のうち1本を確率 $\frac{1}{3}$ で選んで次の頂点に向かって歩く. また, どれかの頂点に達したときに, その頂点につながる3本の辺のうち1本を確率 $\frac{1}{3}$ で選んで次の頂点に向かって歩く. n を自然数, Q を頂点 A, B, C, D のどれかとするとき, $P_n(Q)$ で, n 本の辺を伝ったあと頂点 Q に達する確率を表す. 以下の問に答えなさい.

- (1) $P_1(A)$, $P_1(B)$, $P_1(C)$, $P_1(D)$ を求めなさい.
- (2) $P_2(A)$, $P_2(B)$ を求めなさい.
- (3) 数列 $\{P_n(A)\}$ の一般項を求め, その極限を求めなさい.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad |\overrightarrow{AB}|^2 = |\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}|^2 \text{ より } |\overrightarrow{AB}|^2 = |\overrightarrow{OB}|^2 - 2\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} + |\overrightarrow{OA}|^2$$

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = \frac{1}{2}(|\overrightarrow{OA}|^2 + |\overrightarrow{OB}|^2 - |\overrightarrow{AB}|^2) = \frac{1}{2}(29 + 29 - 8) = \mathbf{25}$$

$$|\overrightarrow{BC}|^2 = |\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}|^2 = |\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 8 + 26 - 2 \cdot 8 = 18$$

$$\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OC} = \frac{1}{2}(|\overrightarrow{OB}|^2 + |\overrightarrow{OC}|^2 - |\overrightarrow{BC}|^2) = \frac{1}{2}(29 + 11 - 18) = \mathbf{11},$$

$$\overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA} = \frac{1}{2}(|\overrightarrow{OC}|^2 + |\overrightarrow{OA}|^2 - |\overrightarrow{AC}|^2) = \frac{1}{2}(11 + 29 - 26) = \mathbf{7}$$

$$(2) \quad \overrightarrow{AP} = t\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC} \text{ より } \overrightarrow{OP} = t\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{OC}$$

(1) の結果を用いると

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{OC} &= (\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}) \cdot \overrightarrow{OC} \\ &= \overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA} = 11 - 7 = 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } |\overrightarrow{OP}|^2 &= t^2|\overrightarrow{AB}|^2 + 2t\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{OC} + |\overrightarrow{OC}|^2 \\ &= 8t^2 + 8t + 11 = 8\left(t + \frac{1}{2}\right)^2 + 9 \end{aligned}$$

よって $t = -\frac{1}{2}$ のとき, $|\overrightarrow{OP}|$ は最小値 $\mathbf{3}$ をとる.

$$(3) \quad \overrightarrow{OP} = -\frac{1}{2}\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{OC} \text{ であるから}$$

$$\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{AB} = -\frac{1}{2}|\overrightarrow{AB}|^2 + \overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{OC} = -\frac{1}{2} \cdot 8 + 4 = 0$$

$$\text{ここで } \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{AC} = \overrightarrow{OC} \cdot (\overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OA}) = |\overrightarrow{OC}|^2 - \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{OA} = 11 - 7 = 4$$

$$\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{AC} = -\frac{1}{2}\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{AC} = -\frac{1}{2} \cdot 8 + 4 = 0$$

よって $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{OP} \perp \overrightarrow{AC}$

$$(4) \quad \triangle ABC = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{8 \cdot 26 - 8^2} = 6$$

P は平面 ABC 上の点で $\overrightarrow{OP}$ は平面 ABC に垂直であるから, 求める体積は

$$\frac{1}{3} \triangle ABC |\overrightarrow{OP}| = \frac{1}{3} \cdot 6 \cdot 3 = \mathbf{6}$$



2 (1) 2次方程式 $ax^2 - bx + c = 0$ が異なる 2 つの実数解をもつとき $b^2 - 4ac > 0$

(i) $a = 1$ のとき, $c < \frac{b^2}{4}$ より, 次の 17 通り.

$b \leq 2$ のとき c はなし

$b = 3$ のとき $c = 1, 2$

$b = 4$ のとき $c = 1, 2, 3$

$b = 5, 6$ のとき $c = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

(ii) $a = 2$ のとき, $c < \frac{b^2}{8}$ より, 次の 9 通り

$b \leq 2$ のとき c はなし

$b = 3, 4$ のとき $c = 1$

$b = 5$ のとき $c = 1, 2, 3$

$b = 6$ のとき $c = 1, 2, 3, 4$

よって, 求める確率は $\frac{17+9}{2 \cdot 6^2} = \frac{13}{36}$

(2) 異なる 2 つの整数の解をもつとき, 因数分解に着目する.

(i) $a = 1$ のとき, $x^2 - bx + c = 0$ より

$c = 1$ のとき b はなし $c = 4$ のとき $b = 5$

$c = 2$ のとき $b = 3$ $c = 5$ のとき $b = 6$

$c = 3$ のとき $b = 4$ $c = 6$ のとき $b = 5$

(ii) $a = 2$ のとき, 2 つの整数解を α, β とすると, 解と係数の関係から

$$\alpha + \beta = \frac{b}{2}, \quad \alpha\beta = \frac{c}{2} \quad \text{ゆえに} \quad b = 2(\alpha + \beta), \quad c = 2\alpha\beta$$

b, c はともに偶数であるから, $b' = \frac{b}{2}, c' = \frac{c}{2}$ として

$$x^2 - b'x + c' = 0 \quad (b', c' = 1, 2, 3)$$

この方程式が異なる整数を解にもつ b', c' を求めればよい.

$c' = 1$ のとき b' はなし

$c' = 2$ のとき $b' = 3$

$c' = 3$ のとき b' はなし

(i), (ii) より, 求める確率は $\frac{5+1}{2 \cdot 6^2} = \frac{1}{12}$ ■

- 3** (1) $F'(x) = (x+a)(x-3a) = x^2 - 2ax - 3a^2$, $F(0) = 0$ より

$$F(x) = \frac{1}{3}x^3 - ax^2 - 3a^2x$$

- (2) $G'(x) = b(x-3a)$, 放物線 $y = G(x)$ の頂点が (x_0, y_0) より

$$G(x) = \frac{b}{2}(x-3a)^2 + y_0, \quad x_0 = 3a$$

$y_0 = F(3a)$ であるから

$$y_0 = \frac{1}{3}(3a)^3 - a(3a)^2 - 3a^2 \cdot 3a = -9a^3$$

よって $G(x) = \frac{b}{2}(x-3a)^2 - 9a^3$

- (3) (1), (2) の結果から

$$\begin{aligned} F(x) - G(x) &= \frac{1}{3}x^3 - ax^2 - 3a^2x - \left\{ \frac{b}{2}(x-3a)^2 - 9a^3 \right\} \\ &= \frac{1}{3}x^3 - \left(a + \frac{b}{2} \right) x^2 - (3a^2 - 3ab)x + 9a^3 - \frac{9}{2}a^2b \\ &= \frac{1}{3}(x-3a)^2 \left(x + 3a - \frac{3}{2}b \right) \end{aligned}$$

$F(x) - G(x) = 0$ の解が 1 個であるから $3a = -3a + \frac{3}{2}b$ よって $b = 4a$

別解 $x_0 = 3a$, $F(3a) = y_0$ に注目すると

$$\begin{aligned} F'(x) &= (x+a)(x-3a) = \{(x-3a) + 4a\}(x-3a) \\ &= (x-3a)^2 + 4a(x-3a) \end{aligned}$$

したがって $F(x) = \frac{1}{3}(x-3a)^3 + 2a(x-3a)^2 + y_0$

これと $G(x) = \frac{b}{2}(x-3a)^2 + y_0$ について, $F(x) = G(x)$ とすると

$$\begin{aligned} \frac{1}{3}(x-3a)^3 + 2a(x-3a)^2 + y_0 &= \frac{b}{2}(x-3a)^2 + y_0 \\ (x-3a)^2 \left\{ (x-3a) + 6a - \frac{3b}{2} \right\} &= 0 \\ (x-3a)^2 \left(x + 3a - \frac{3b}{2} \right) &= 0 \end{aligned}$$

解が 1 個であるから $3a = -3a + \frac{3b}{2}$ よって $b = 4a$ ■

4 (1) $a_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(k^2 + 1)\pi}{4} \right|^n$ より

$$a_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(1^2 + 1)\pi}{4} \right|^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{\pi}{2} \right|^n = 1,$$

$$a_2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(2^2 + 1)\pi}{4} \right|^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{5\pi}{4} \right|^n = 0$$

(2) j を自然数とする.

$$a_{2j-1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(2j-1)^2 + 1}{4} \pi \right|^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \left(j^2 - j + \frac{1}{2} \right) \pi \right|^n = 1,$$

$$a_{2j} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \frac{(2j)^2 + 1}{4} \pi \right|^n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \sin \left(j^2 + \frac{1}{4} \right) \pi \right|^n = 0$$

よって, $a_k = 0$ となる k は偶数, $a_k = 1$ となる k は奇数.

(3) (2) の結果から $b_{2m+1} = \sum_{k=1}^{2m+1} a_k = m + 1$

よって $\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{b_{2m+1}}{m} = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{m+1}{m} = \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{m} \right) = 1$ ■

$$\boxed{5} \quad (1) \quad f(x) = \log \frac{e^x}{x} = x - \log x \text{ より } f'(x) = 1 - \frac{1}{x}, \quad f''(x) = \frac{1}{x^2}$$

$1 \leq x \leq 2$ のとき, $f(x)$, $f'(x)$ は単調増加である. 平均値の定理により

$$\frac{f(x) - f(1)}{x - 1} = f'(c) \quad (1 < c < x)$$

を満たす c が存在する. $f(1) = 1$ および $f'(c) \leq f'(2) = \frac{1}{2}$ より

$$\frac{f(x) - 1}{x - 1} \leq \frac{1}{2} \quad (\text{A})$$

$f(1) = 1$ で, $1 \leq x \leq 2$ において, $f(x)$ は単調増加であるから

$$f(1) \leq f(x) \quad \text{ゆえに} \quad 0 \leq f(x) - 1 \quad (\text{B})$$

(A), (B) より, $1 \leq x \leq 2$ のとき, 次式が成立する.

$$0 \leq f(x) - 1 \leq \frac{1}{2}(x - 1) \quad (*)$$

(2) すべての自然数 n について, 次が成立することを数学的帰納法で示す.

$$1 < a_{n+1} < a_n \quad (**)$$

[1] $n = 1$ のとき, $a_1 = 2$, $a_2 = 2 - \log 2$

$$1 < 1 + (1 - \log 2) = a_2 < 2 \quad \text{ゆえに} \quad 1 < a_2 < a_1$$

よって, $n = 1$ のとき, (**) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (**) が成立する, すなわち, $1 < a_{k+1} < a_k$ であると仮定すると, $f(x)$ は単調増加であるから

$$f(1) < f(a_{k+1}) < f(a_k) \quad \text{ゆえに} \quad 1 < a_{k+2} < a_{k+1}$$

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (**) が成立する. (証終)

(**) より, すべての自然数 n について $1 < a_n \leq 2$ が成立するから, これを (*) に適用すると

$$0 \leq a_{n+1} - 1 \leq \frac{1}{2}(a_n - 1) \quad \text{ゆえに} \quad 0 \leq a_n - 1 \leq \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n - 1) = 0 \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$$

別解 すべての自然数 n について、次が成立することを数学的帰納法で示す.

$$1 \leq a_n \leq 2 \quad (\#)$$

[1] $n = 1$ のとき, $a_1 = 2$ より, 明らかに $(\#)$ は成立する.

[2] $n = k$ のとき, $(\#)$ が成立する, すなわち, $1 \leq a_k \leq 2$ であると仮定すると, $(*)$ から

$$0 \leq a_{k+1} - 1 \leq \frac{1}{2}(a_k - 1) \leq \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad 1 \leq a_{k+1} \leq \frac{3}{2} \leq 2$$

[1], [2] より, すべての自然数 n について, $(\#)$ が成立する. (証終)

再度, $(\#)$ を $(*)$ に適用すると

$$0 \leq a_{n+1} - 1 \leq \frac{1}{2}(a_n - 1) \quad \text{ゆえに} \quad 0 \leq a_n - 1 \leq \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n - 1) = 0 \quad \text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$$

$$(3) \text{ 漸化式より } \frac{b_{n+1}}{b_n} = a_{n+1} \quad \text{ゆえに} \quad \prod_{k=1}^{n-1} \frac{b_{k+1}}{b_k} = \prod_{k=1}^{n-1} a_{k+1} \quad (n \geq 2)$$

$$\frac{b_n}{b_1} = \prod_{k=1}^{n-1} a_{k+1} \quad b_1 = a_1 \text{ より } b_n = \prod_{k=1}^n a_k \quad (***)$$

$$\text{漸化式より } a_{n+1} = f(a_n) = a_n - \log a_n$$

$$\log a_n = a_n - a_{n+1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = e^{a_n - a_{n+1}}$$

したがって

$$\prod_{k=1}^n a_k = \prod_{k=1}^n e^{a_k - a_{k+1}} = e^{2 - a_{n+1}}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$ であるから, 上式および $(***)$ から

$$\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \prod_{k=1}^n a_k = e^{2-1} = e$$



6 (1) $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$ より

$$\frac{b^2 x^2}{a^2} + y^2 = b^2, \quad \frac{a^2 x^2}{b^2} + y^2 = a^2 \quad (*)$$

上の2式の辺々の差をとると $\left(\frac{b^2}{a^2} - \frac{a^2}{b^2}\right)x^2 = b^2 - a^2$

$$\frac{(b^2 - a^2)(b^2 + a^2)}{a^2 b^2} x^2 = b^2 - a^2$$

$b^2 - a^2 \neq 0$ であるから $x^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2}$ これを(*)の第1式に代入すると

$$\frac{b^4}{a^2 + b^2} + y^2 = b^2 \quad \text{ゆえに} \quad y^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2}$$

第1象限における交点 $\left(\frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)$ から $c = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$

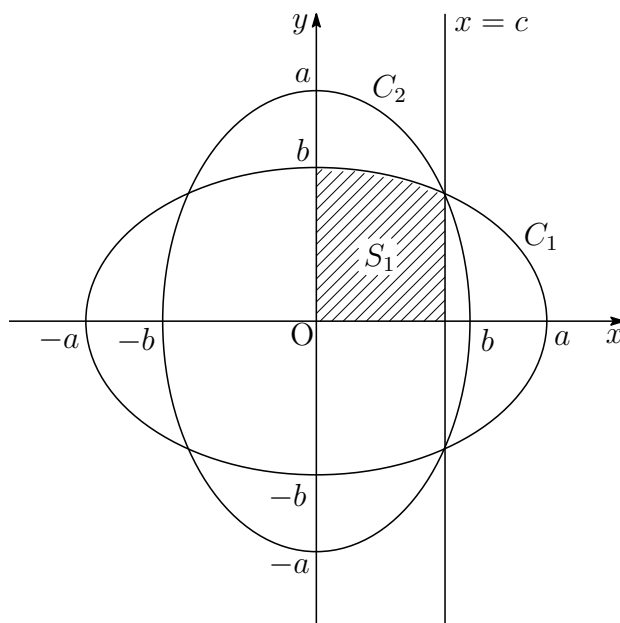
(2) 2つの楕円を

$$C_1(\theta) = (a \cos \theta, b \sin \theta), \quad C_2(\theta) = (b \cos \theta, a \sin \theta)$$

とおく. (1) で求めた交点 (c, c) が, $C_1(\alpha)$ および $C_2(\beta)$ であるとき

$$c = a \cos \alpha = b \sin \alpha = b \cos \beta = a \sin \beta \quad \left(0 < \alpha, \beta < \frac{\pi}{2}\right)$$

ゆえに $\sin \alpha = \cos \beta, \quad \cos \alpha = \sin \beta$ すなわち $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2} \quad \cdots \textcircled{1}$



したがって

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \int_{a \cos \frac{\pi}{2}}^{a \cos \alpha} y \, dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha} y \frac{dx}{d\theta} d\theta \\
 &= \int_{\frac{\pi}{2}}^{\alpha} b \sin \theta (-a \sin \theta) d\theta = ab \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \theta d\theta \\
 &= \frac{1}{2} ab \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos 2\theta) d\theta = \frac{1}{2} ab \left[\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right]_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \\
 &= \frac{1}{2} ab \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + \frac{1}{4} ab \sin 2\alpha
 \end{aligned}$$

ここで $\frac{1}{4} ab \sin 2\alpha = \frac{1}{2} ab \sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} (a \cos \alpha)(b \sin \alpha) = \frac{1}{2} c^2$

$$S_1 = \frac{1}{2} ab \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + \frac{1}{2} c^2$$

同様にして

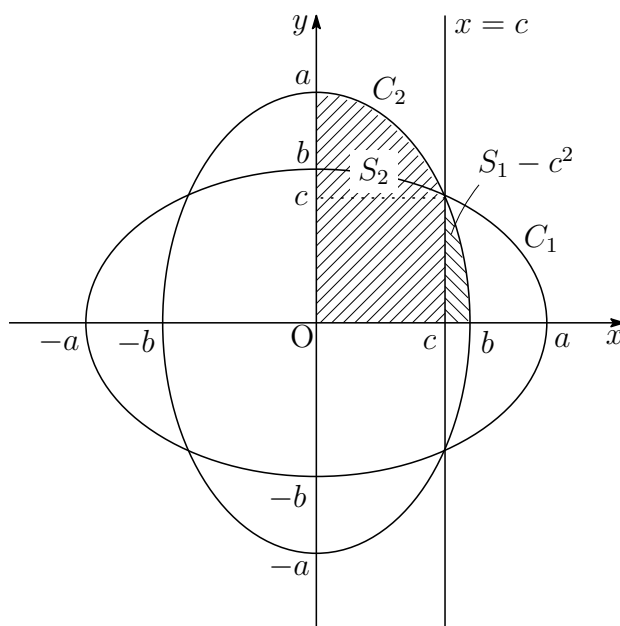
$$S_2 = \frac{1}{2} ab \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) + \frac{1}{2} c^2$$

① および (1) の結果により

$$S_1 + S_2 = \frac{1}{2} ab \{ \pi - (\alpha + \beta) \} + c^2 = \frac{\pi ab}{4} + \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2}$$

補足 C_1 と C_2 は直線 $y = x$ に関して対称であるから、前頁の S_1 から下の図の面積 $S_1 - c^2$ と S_2 の面積の和を利用すると

$$(S_1 - c^2) + S_2 = \frac{\pi ab}{4} \quad \text{ゆえに} \quad S_1 + S_2 = \frac{\pi ab}{4} + c^2$$



別解 原点 O と交点 (c, c) を結ぶ線分と y 軸および C_1 で囲まれた部分の面積を T_1 とすると, ガウス・グリーンの定理²により

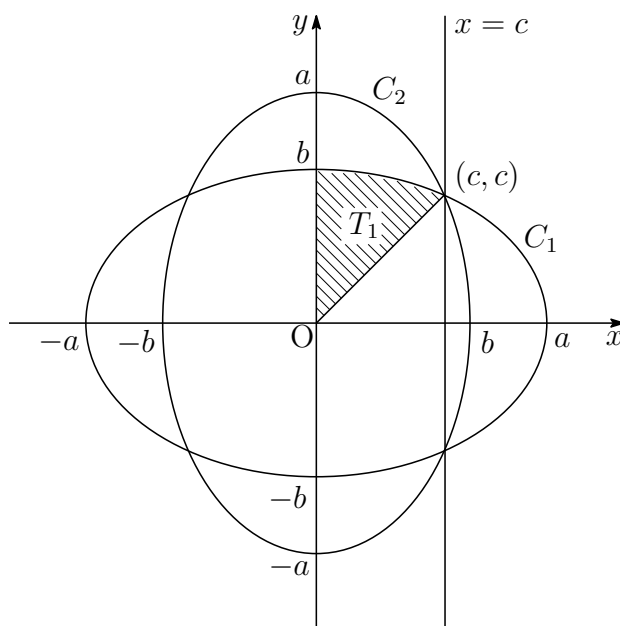
$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2} \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \{a \cos \theta (b \sin \theta)' - (a \cos \theta)' b \sin \theta\} d\theta \\ &= \frac{1}{2} ab \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{2}} d\theta = \frac{1}{2} ab \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \end{aligned}$$

同様に, 原点 O と交点 (c, c) を結ぶ線分と y 軸および C_2 で囲まれた部分の面積を T_2 とすると

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{1}{2} \int_{\beta}^{\frac{\pi}{2}} \{b \cos \theta (a \sin \theta)' - (b \cos \theta)' a \sin \theta\} d\theta \\ &= \frac{1}{2} ab \int_{\beta}^{\frac{\pi}{2}} d\theta = \frac{1}{2} ab \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) \end{aligned}$$

$S_1 = T_1 + \frac{1}{2}c^2$, $S_2 = T_2 + \frac{1}{2}c^2$ であるから, ① および (1) の結果により

$$S_1 + S_2 = \frac{1}{2} ab \{ \pi - (\alpha + \beta) \} + c^2 = \frac{\pi ab}{4} + \frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2}$$



■

²http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/oita/oita_2021.pdf (p.11 を参照).

7 (1) 条件から $P_1(A) = 0$, $P_1(B) = \frac{1}{3}$, $P_1(C) = \frac{1}{3}$, $P_1(D) = \frac{1}{3}$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} P_2(A) &= \frac{1}{3}\{P_1(B) + P_1(C) + P_1(D)\} \\ &= \frac{1}{3}\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{3}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2(B) &= \frac{1}{3}\{P_1(A) + P_1(C) + P_1(D)\} \\ &= \frac{1}{3}\left(0 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) = \frac{2}{9} \end{aligned}$$

(3) $P_n(A) + P_n(B) + P_n(C) + P_n(D) = 1$ に注意して

$$\begin{aligned} P_{n+1}(A) &= \frac{1}{3}\{P_n(B) + P_n(C) + P_n(D)\} \\ &= \frac{1}{3}\{1 - P_n(A)\} \end{aligned}$$

$$\text{したがって } P_{n+1}(A) - \frac{1}{4} = -\frac{1}{3}\left\{P_n(A) - \frac{1}{4}\right\}$$

$$P_n(A) - \frac{1}{4} = \left\{P_1(A) - \frac{1}{4}\right\} \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1}$$

$$P_1(A) = 0 \text{ より } P_n(A) = \frac{1}{4} \left\{1 - \left(-\frac{1}{3}\right)^{n-1}\right\}$$

$$\text{よって } \lim_{n \rightarrow \infty} P_n(A) = \frac{1}{4}$$



7.9 2023 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [3] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育学部 [1] [2] [3] 数 I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [5] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (80 分)

[1] 直角三角形 ABC において $AB = 5$, $BC = 12$, $CA = 13$ とする. $\angle A$ の二等分線と辺 BC の交点を D とする.

- (1) 線分 AD の長さを求めなさい.
- (2) $\angle A$ の二等分線と $\triangle ABC$ の外接円の交点のうち, 点 A と異なる点を E とする. 線分 DE の長さを求めなさい.
- (3) $\triangle ABC$ の外接円の中心を O とし, 線分 BO と線分 AD の交点を P とする. $AP : PD$ を求めなさい.
- (4) $\triangle ABC$ の内接円の中心を I とする. $AI : ID$ を求めなさい.

[2] 等比数列 $\{a_n\}$ は $a_2 = 3$, $a_5 = 24$ を満たし, $S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とする. また, 数列 $\{b_n\}$ は,

$$\sum_{k=1}^n b_k = \frac{3}{2}b_n + S_n$$

を満たすとする.

- (1) 一般項 a_n と S_n を n を用いてそれぞれ表しなさい.
- (2) b_1 の値を求めなさい.
- (3) b_{n+1} を b_n , n を用いて表しなさい.
- (4) 一般項 b_n を n を用いて表しなさい.

3 $0 \leq k \leq 2$ とし,

$$S(k) = \int_k^{k+1} |x^2 - 2x| dx$$

とする.

- (1) 関数 $y = |x^2 - 2x|$ のグラフを描きなさい.
- (2) $0 \leq k \leq 1$ のとき, $S(k)$ を k を用いて表しなさい.
- (3) $0 \leq k \leq 1$ のとき, $S(k)$ の最大値とそのときの k の値を求めなさい.
- (4) $1 \leq k \leq 2$ のとき, $S(k)$ を k を用いて表しなさい.
- (5) $1 \leq k \leq 2$ のとき, $S(k)$ が最小となる k の値を求めなさい.

4 曲線 C を媒介変数 θ を用いて

$$\begin{cases} x = 3 \cos \theta \\ y = \sin 2\theta \end{cases} \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

と表す.

- (1) 曲線 C 上の点で, y 座標の値が最大となる点の座標 (x, y) を求めなさい.
また, 曲線 C 上の点で, y 座標の値が最小となる座標 (x, y) をすべて求めなさい.
- (2) 曲線 C と x 軸で囲まれた図形の面積 S を求めなさい.
- (3) 曲線 C と x 軸で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転してできる回転体の体積 V を求めなさい.

5 xyz -空間内の2点 $P(-1, 1, -4)$ と $Q(1, 2, -2)$ を通る直線 l と、原点 O を中心とする半径 r の球面 S_r が与えられている。以下の問に答えなさい。

- (1) 球面 S_r と直線 l が2点で交わるための r の条件を求めなさい。
- (2) 球面 S_r と直線 l が2点 A, B で交わるとき、ベクトル $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ の内積 $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}$ を r を用いて表しなさい。
- (3) (2) のとき、三角形 OAB の面積を r を用いて表しなさい。

6 n を自然数とする。5個の赤玉と n 個の白玉が入った袋がある。袋から玉を取り出し、取り出した玉は袋に戻さない。袋から1個ずつ玉を取り出していくとき、6回目が赤玉で袋の中の赤玉がなくなる確率を $p(n)$ とする。以下の問に答えなさい。

- (1) $p(n)$ を二項係数を用いて表しなさい。
- (2) $p(n) = A \left(\frac{1}{{}_{n+4}C_4} - \frac{1}{{}_{n+5}C_4} \right)$ となる定数 A を求めなさい。
- (3) $S_n = p(1) + p(2) + \cdots + p(n)$ とおくとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ を求めなさい。

7 xyz -空間内の2点 $A(1, 1, -1)$ と $B(-3, 1, 3)$ を結ぶ線分 AB を z 軸を中心に回転させてできる回転面を S とする。以下の問に答えなさい。

- (1) S と yz -平面との交わりを y と z の方程式で表し、 yz -平面に図示しなさい。
- (2) 2つの平面 $z = 3$ 及び $z = -1$ と S で囲まれる立体の体積を求めなさい。

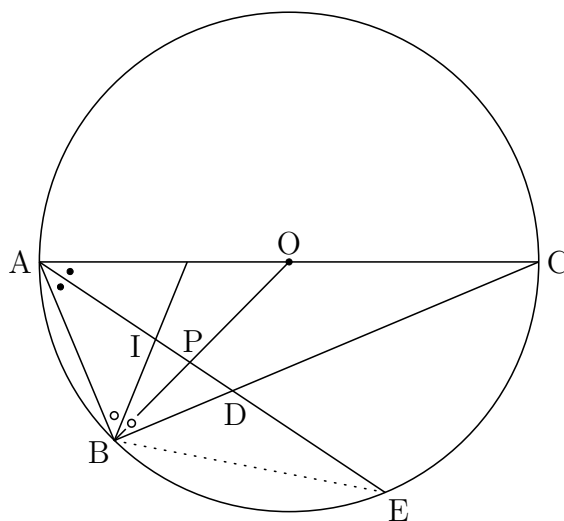
解答例

1 (1) AD は $\angle A$ の二等分線であるから $BD : DC = AB : AC = 5 : 13$

したがって $BD = \frac{5}{5+13}BC = \frac{5}{18} \cdot 12 = \frac{10}{3}$

$\angle ABC = 90^\circ$ であるから、三平方の定理により

$$AD = \sqrt{AB^2 + BD^2} = \sqrt{5^2 + \left(\frac{10}{3}\right)^2} = \frac{5}{3}\sqrt{13}$$



$$\begin{aligned} \text{別解 } AD^2 &= AB \cdot AC - BD \cdot DC = AB \cdot AC - \frac{AB}{AB+AC} BC \cdot \frac{AC}{AB+AC} BC \\ &= AB \cdot AC \left\{ 1 - \left(\frac{BC}{AB+AC} \right)^2 \right\} \\ &= 5 \cdot 13 \left\{ 1 - \left(\frac{12}{5+13} \right)^2 \right\} = \left(\frac{5}{3} \right)^2 \cdot 13 \end{aligned}$$

補足 $\triangle ABE \sim \triangle ADC$ より $AB : AE = AD : AC$

$$AB \cdot AC = AD \cdot AE = AD(AD + DE) = AD^2 + AD \cdot DE$$

方べきの定理により、 $AD \cdot DE = BD \cdot DC$ であるから

$$AB \cdot AC = AD^2 + BD \cdot DC \quad \text{よって} \quad AD^2 = AB \cdot AC - BD \cdot DC$$

(2) 方べきの定理により, $AD \cdot DE = BD \cdot DC$ であるから

$$\frac{5\sqrt{13}}{3}DE = \frac{10}{3} \left(12 - \frac{10}{3}\right) \quad \text{よって} \quad \mathbf{DE = \frac{4\sqrt{13}}{3}}$$

(3) $\triangle ADC$ と直線 BO について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AP}{PD} \cdot \frac{DB}{BC} \cdot \frac{CO}{OA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AP}{PD} \cdot \frac{5}{18} \cdot \frac{1}{1} = 1$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{AP : PD = 18 : 5}$$

(4) BI は $\angle B$ の二等分線であるから

$$AI : ID = BA : BD = 5 : \frac{10}{3} = \mathbf{3 : 2}$$



- 2** (1) 等比数列 $\{a_n\}$ の初項を a , 公比を r とすると

$$a_2 = ar = 3, \quad a_5 = ar^4 = 24 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{3}{2}, \quad r = 2$$

$$\text{よって} \quad a_n = \frac{3}{2} \cdot 2^{n-1}, \quad S_n = \frac{a(r^n - 1)}{r - 1} = \frac{3}{2}(2^n - 1)$$

$$(2) (*) \quad \sum_{k=1}^n b_k = \frac{3}{2}b_n + S_n$$

$$(*) \text{ に } n = 1 \text{ を代入すると, } S_1 = a_1 = \frac{3}{2} \text{ より}$$

$$b_1 = \frac{3}{2}b_1 + \frac{3}{2} \quad \text{これを解いて} \quad b_1 = -3$$

$$(3) (*) \text{ より} \quad \sum_{k=1}^{n+1} b_k = \frac{3}{2}b_{n+1} + S_{n+1}$$

$$\text{これと } (*) \text{ の辺々の差をとると, } S_{n+1} - S_n = a_{n+1} = \frac{3}{2} \cdot 2^n \text{ に注意して}$$

$$b_{n+1} = \frac{3}{2}(b_{n+1} - b_n) + \frac{3}{2} \cdot 2^n \quad \text{よって} \quad b_{n+1} = 3b_n - 3 \cdot 2^n$$

$$(4) (3) \text{ の結果から} \quad \frac{b_{n+1}}{3^{n+1}} - \frac{b_n}{3^n} = -\left(\frac{2}{3}\right)^n$$

$$n > 1 \text{ のとき} \quad \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{b_{k+1}}{3^{k+1}} - \frac{b_k}{3^k} \right) = -\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{2}{3} \right)^k$$

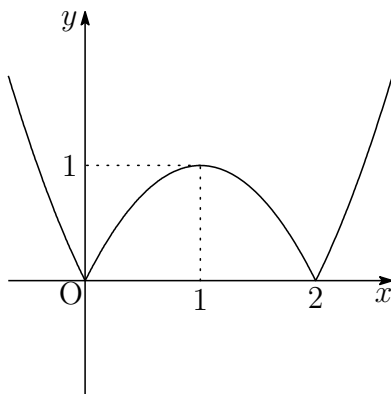
$$\frac{b_n}{3^n} - \frac{b_1}{3} = -2 \left\{ 1 - \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1} \right\}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立し, これに $b_1 = -3$ を代入すると

$$\frac{b_n}{3^n} = 2 \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1} - 3 \quad \text{よって} \quad b_n = 3(2^n - 3^n)$$



3 (1) $y = |x^2 - 2x| = \begin{cases} x^2 - 2x & (x \leq 0, 2 \leq x) \\ -x^2 + 2x & (0 \leq x \leq 2) \end{cases}$



(2) $0 \leq k \leq 1$ のとき, (1) のグラフから

$$\begin{aligned} S(k) &= \int_k^{k+1} |x^2 - 2x| dx = \int_k^{k+1} (-x^2 + 2x) dx \\ &= \left[-\frac{x^3}{3} + x^2 \right]_k^{k+1} = -k^2 + k + \frac{2}{3} \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から, $0 \leq k \leq 1$ のとき $S(k) = -\left(k - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{11}{12}$

よって, $S(k)$ は, $k = \frac{1}{2}$ のとき, 最大値 $\frac{11}{12}$ をとる.

(4) $1 \leq k \leq 2$ のとき, (1) のグラフから

$$\begin{aligned} S(k) &= \int_k^{k+1} |x^2 - 2x| dx = \int_k^2 (-x^2 + 2x) dx + \int_2^{k+1} (x^2 - 2x) dx \\ &= \left[-\frac{x^3}{3} + x^2 \right]_k^2 + \left[\frac{x^3}{3} - x^2 \right]_2^{k+1} = \frac{2}{3}k^3 - k^2 - k + 2 \end{aligned}$$

(5) (4) の結果から $S'(k) = 2k^2 - 2k - 1$

k	1	...	$\frac{1+\sqrt{3}}{2}$	...	2
$S'(k)$		-	0	+	
$S(k)$		$\searrow$	最小	$\nearrow$	

よって, 求める k の値は $k = \frac{1 + \sqrt{3}}{2}$

■

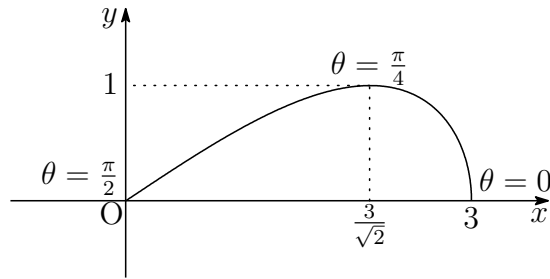
4 (1) C 上の点 (x, y) が

$$x = 3 \cos \theta, \quad y = \sin 2\theta \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

で与えられるから $0 \leq y \leq 1$

y が最大となるとき $\theta = \frac{\pi}{4}$ すなわち $\left(\frac{3}{\sqrt{2}}, 1\right)$

y が最小となるとき $\theta = 0, \frac{\pi}{2}$ すなわち $(3, 0), (0, 0)$



(2) $x = f(\theta) = 3 \cos \theta$ とおくと, $\frac{dx}{d\theta} = f'(\theta) = -3 \sin \theta$

$$\begin{aligned} S &= \int_{f(\frac{\pi}{2})}^{f(0)} y \, dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \sin 2\theta (-3 \sin \theta) \, d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} 6 \sin^2 \theta \cos \theta \, d\theta = 2 \left[\sin^3 \theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 2 \end{aligned}$$

(3) 求める回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_{f(\frac{\pi}{2})}^{f(0)} y^2 \, dx = \pi \int_{\frac{\pi}{2}}^0 \sin^2 2\theta (-3 \sin \theta) \, d\theta \\ &= 12\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 \theta \cos^2 \theta \, d\theta \\ &= 12\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos^2 \theta - \cos^4 \theta) \sin \theta \, d\theta \\ &= 12\pi \left[-\frac{1}{3} \cos^3 \theta + \frac{1}{5} \cos^5 \theta \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{8}{5} \pi \end{aligned}$$

■

- 5 (1) $P(-1, 1, -4)$, $Q(1, 2, -2)$ より $\overrightarrow{PQ} = (2, 1, 2)$

したがって、直線 l の方程式は

$$\frac{x+1}{2} = \frac{y-1}{1} = \frac{z+4}{2} = t \quad (t \text{ は媒介変数}) \quad (*)$$

原点を通り、直線 l に垂直な平面 S の方程式は

$$S: 2x + y + 2z = 0$$

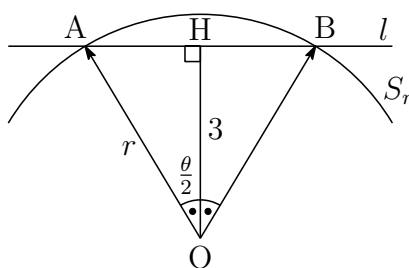
(*) より $x = 2t - 1$, $y = t + 1$, $z = 2t - 4$

これらを S の方程式に代入すると

$$2(2t - 1) + t + 1 + 2(2t - 4) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = 1$$

したがって、 S と直線 l の交点を H とすると $H(1, 2, -2)$

よって、 r の条件は、 $r > OH$ より $r > 3$



- (2) ベクトル $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ のなす角を θ とすると

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{3}{r} \quad \text{ゆえに} \quad \cos \theta = 2 \cos^2 \frac{\theta}{2} - 1 = \frac{18}{r^2} - 1$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = |\overrightarrow{OA}| |\overrightarrow{OB}| \cos \theta = r \cdot r \left(\frac{18}{r^2} - 1 \right) = 18 - r^2$$

- (3) $AB = 2AH = 2\sqrt{r^2 - 3^2} = 2\sqrt{r^2 - 9}$

$$\text{よって} \quad \triangle OAB = \frac{1}{2} AB \cdot OH = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{r^2 - 9} \cdot 3 = 3\sqrt{r^2 - 9}$$

■

- 6** (1) 5 個の赤玉と n 個の白玉を一列に並べ、1 番目から 6 番目をそれぞれ 1 回目から 6 回目に取り出した玉と考えると、6 番目が赤玉、7 番目から $n+5$ 番目はすべて白玉で、1 番目から 5 番目までに赤玉 4 個と白玉 1 個が並ぶ。よって、求める確率 $p(n)$ は

$$p(n) = \frac{{}_5C_1}{{}_{n+5}C_5} = \frac{5}{{}_{n+5}C_5}$$

- (2) 次式を計算すると

$$\begin{aligned} \frac{1}{{}_{n+4}C_4} - \frac{1}{{}_{n+5}C_4} &= \frac{4!}{(n+4)(n+3)(n+2)(n+1)} \\ &\quad - \frac{4!}{(n+5)(n+4)(n+3)(n+2)} \\ &= \frac{4!}{(n+4)(n+3)(n+2)} \left(\frac{1}{n+1} - \frac{1}{n+5} \right) \\ &= \frac{4!}{(n+4)(n+3)(n+2)} \times \frac{4}{(n+1)(n+5)} \\ &= \frac{4}{25} \times \frac{5!}{(n+5)(n+4)(n+3)(n+2)(n+1)} \\ &= \frac{4}{25} \times \frac{5}{{}_{n+5}C_5} = \frac{4}{25} p(n) \end{aligned}$$

したがって
$$p(n) = \frac{25}{4} \left(\frac{1}{{}_{n+4}C_4} - \frac{1}{{}_{n+5}C_4} \right)$$

よって
$$A = \frac{25}{4}$$

- (3) (2) の結果を利用すると

$$\begin{aligned} S_n &= \sum_{k=1}^n p(k) = \frac{25}{4} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{{}_{k+4}C_4} - \frac{1}{{}_{k+5}C_4} \right) \\ &= \frac{25}{4} \left(\frac{1}{{}_5C_4} - \frac{1}{{}_{n+5}C_4} \right) \end{aligned}$$

よって
$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{25}{4} \cdot \frac{1}{{}_5C_4} = \frac{5}{4}$$



- 7 (1) $A(1, 1, -1)$, $B(-3, 1, 3)$ より $\overrightarrow{AB} = 4(-1, 0, 1)$
直線 AB の方程式は

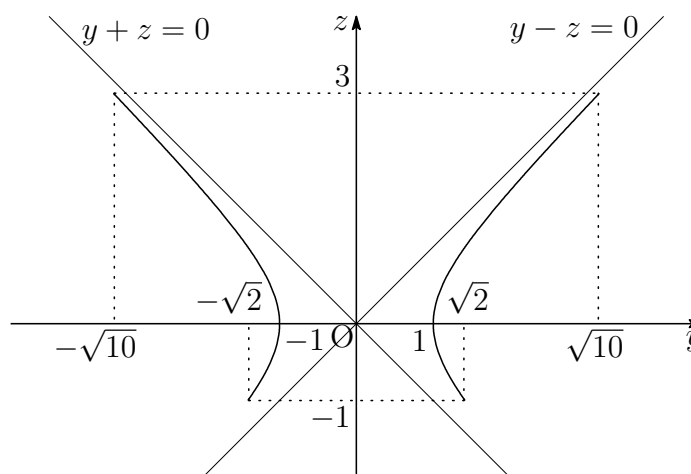
$$x = 1 - t, \quad y = 1, \quad z = -1 + t \quad (t \text{ は媒介変数})$$

S の方程式は $x^2 + y^2 = (1 - t)^2 + 1^2$, $z = -1 + t$

ゆえに $x^2 + y^2 = z^2 + 1$ すなわち $S: x^2 + y^2 - z^2 = 1$

これに $x = 0$ を代入すると $y^2 - z^2 = 1$

よって, S の yz -平面との交わりは, 次のようになる.



補足 S は一葉双曲面 (線織面) である. 神戸のポートタワーは一葉双曲面で真っ直ぐな鉄筋の柱で支えられていることで有名である.

- (2) S の方程式から, 求めるから回転体の体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_{-1}^3 (x^2 + y^2) dz = \int_{-1}^3 (z^2 + 1) dz \\ &= \left[\frac{z^3}{3} + z \right]_{-1}^3 = \frac{40}{3} \end{aligned}$$

よって $V = \frac{40}{3}\pi$



7.10 2024 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (100 分)
- 経済学部 [1] [2] [3] 数 I・II・A・B (80 分)
- 教育学部 [2] [3] [5] 数 I・II・A・B (80 分)
- 医学部 [1] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (80 分)

[1] 数列 $\{a_n\}$ は, $a_1 = 2$, $a_{n+1} - 2a_n = 0$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を満たし, $S_n = \sum_{k=1}^n a_k$ とする.

- (1) 一般項 a_n を n を用いて表しなさい.
- (2) $S_n^2 + 4S_n + 4 = 2^{10}$ を満たす n の値を求めなさい.
- (3) $\sum_{k=1}^n S_k = 2S_n - 10$ を満たす n の値を求めなさい.

[2] n を 2 以上の自然数とする. 2 つの曲線

$$C_1: y = (x-1)^2, \quad C_2: y = \frac{1}{n}x^2$$

について, C_1 と C_2 で囲まれた図形の面積を S_n とする.

- (1) 実数 α, β について, $A = \beta - \alpha$ とおく. 次の定積分を A を用いて表しなさい.

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx$$

- (2) S_n を n を用いて表しなさい.
- (3) 不等式 $\left| n\sqrt{n} S_n - \frac{4}{3} \right| < \frac{1}{3}$ を満たす最小の自然数 n を求めなさい.

3 サイコロが2個あり、ひとつは3面が赤く、3面が黒く塗られており、もうひとつは2面が赤く、4面が黒く塗られている．これら2個のサイコロを使って次のゲームを行う．なお、2個のサイコロを同時に1回投げることを「試行」と呼ぶことにする．

- 試行を最大3回繰り返す．ただし、1回目または2回目の試行で2個とも赤い面が出れば、以降の試行は行わずゲームを終了する．
- 各試行で出た赤い面の個数の合計をゲームの得点とする．

- (1) 1回の試行で赤い面がちょうど1個出る確率を求めなさい．
- (2) 2回以下の試行でゲームが終了する確率を求めなさい．
- (3) 起こり得るゲームの得点とその確率をすべて求めなさい．

4 xy 平面の曲線

$$C : x = 3 \cos^3 \theta, \quad y = 3 \sin^3 \theta \quad \left(0 < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$$

上の点 P における接線と、 x 軸、 y 軸との交点をそれぞれ Q , R とする．

- (1) 点 P の座標を $(3 \cos^3 \theta, 3 \sin^3 \theta)$ とするとき、2点 Q , R の座標を θ を用いてそれぞれ表しなさい．
- (2) 点 P が C 上を動くとき、線分 QR を $1 : 2$ に内分する点 S の軌跡を求め、図示しなさい．
- (3) (2) で得られた軌跡と x 軸、 y 軸で囲まれた図形を、 y 軸のまわりに1回転してできる回転体の体積を求めなさい．
- (4) 曲線 C の $\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$ に対応する部分の長さを求めなさい．

5 以下の各問いに答えなさい.

(1) $0 \leq x \leq 3$ における 2 次関数 $y = x^2 - 2x + c$ の最大値が 1 であるとき, 定数 c の値を求めなさい.

(2) $\triangle ABC$ において

$$\frac{\sin A}{5} = \frac{\sin B}{7} = \frac{\sin C}{8}$$

が成り立つとき, $\cos B$ の値を求めなさい.

(3) $x + \frac{1}{x} = 1 + \sqrt{2}$ のとき, $x^2 + \frac{1}{x^2}$ と $x^3 + \frac{1}{x^3}$ の値をそれぞれ求めなさい.

(4) $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$ のとき, 方程式

$$\sqrt{3} \sin x + \cos x = \sqrt{3}$$

を解きなさい.

(5) $\log_{10} 2 = 0.3010$ とするとき, 5^{10} の桁数を求めなさい.

解答例

1 (1) $a_1 = 2, a_{n+1} = 2a_n$ より $a_n = 2 \cdot 2^{n-1} = 2^n$

(2) (1) の結果から

$$S_n = \sum_{k=1}^n a_k = \sum_{k=1}^n 2^k = \frac{2(2^n - 1)}{2 - 1} = 2^{n+1} - 2 \quad (*)$$

$$S_n^2 + 4S_n + 4 = 2^{10} \text{ より } (S_n + 2)^2 = 2^{10}$$

$$S_n + 2 = 2^{n+1} > 0 \text{ に注意して } 2^{n+1} = 2^5 \text{ よって } n = 4$$

(3) (*) を $\sum_{k=1}^n S_k = 2S_n - 10$ に代入すると

$$\sum_{k=1}^n (2^{k+1} - 2) = 2(2^{n+1} - 2) - 10$$

$$\text{したがって} \quad \frac{2^2(2^n - 1)}{2 - 1} - 2n = 2^2(2^n - 1) - 10$$

$$\text{整理すると} \quad -2n = -10 \text{ よって } n = 5$$



2 (1) $A = \beta - \alpha$

$$\begin{aligned}
 \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx &= \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)\{(x - \alpha) - (\beta - \alpha)\} dx \\
 &= \int_{\alpha}^{\beta} \{(x - \alpha)^2 - (\beta - \alpha)(x - \alpha)\} dx \\
 &= \left[\frac{1}{3}(x - \alpha)^3 - \frac{1}{2}(\beta - \alpha)(x - \alpha)^2 \right]_{\alpha}^{\beta} \\
 &= \frac{1}{3}(\beta - \alpha)^3 - \frac{1}{2}(\beta - \alpha)^3 \\
 &= -\frac{1}{6}(\beta - \alpha)^3 = -\frac{1}{6}A^3
 \end{aligned}$$

(2) C_1, C_2 の方程式から

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{n}x^2 - (x - 1)^2 &= -\frac{1}{n}\{n(x - 1)^2 - x^2\} \\
 &= -\frac{1}{n}\{(n - 1)x^2 - 2nx + n\}
 \end{aligned}$$

2 次方程式 $(n - 1)x^2 - 2nx + n = 0$ の解を α, β とすると ($\alpha < \beta$)

$$\alpha = \frac{n - \sqrt{n}}{n - 1}, \quad \beta = \frac{n + \sqrt{n}}{n - 1} \quad \text{ゆえに} \quad \beta - \alpha = \frac{2\sqrt{n}}{n - 1}$$

$(n - 1)x^2 - 2nx + n = (n - 1)(x - \alpha)(x - \beta)$ であるから

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{n}x^2 - (x - 1)^2 &= -\frac{1}{n}\{n(x - 1)^2 - x^2\} \\
 &= -\frac{n - 1}{n}(x - \alpha)(x - \beta)
 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned}
 S_n &= \int_{\alpha}^{\beta} \left\{ \frac{1}{n}x^2 - (x - 1)^2 \right\} dx \\
 &= -\frac{n - 1}{n} \int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)(x - \beta) dx \\
 &= \frac{n - 1}{6n}(\beta - \alpha)^3 = \frac{n - 1}{6n} \left(\frac{2\sqrt{n}}{n - 1} \right)^3 = \frac{4\sqrt{n}}{3(n - 1)^2}
 \end{aligned}$$

(3) (2) の結果を $\left| n\sqrt{n} S_n - \frac{4}{3} \right| < \frac{1}{3}$ に代入すると

$$\left| \frac{4n^2}{3(n-1)^2} - \frac{4}{3} \right| < \frac{1}{3}$$

$$\frac{n}{n-1} > 1 \text{ であるから } \frac{4n^2}{3(n-1)^2} - \frac{4}{3} < \frac{1}{3}$$

$$\frac{n^2}{(n-1)^2} < \frac{5}{4} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{n}{n-1} < \frac{\sqrt{5}}{2}$$

$$n \geq 2 \text{ であるから } 2n < \sqrt{5}(n-1)$$

$$(\sqrt{5}-2)n > \sqrt{5} \quad \text{ゆえに} \quad n > 5 + 2\sqrt{5} = 5 + \sqrt{20}$$

上式を満たす最小の自然数 n は $n = 5 + 5 = 10$ ■

- 3** (1) 3面が赤, 3面が黒く塗られているサイコロを P, 2面が赤, 4面が黒く塗られているサイコロを Q とし, P, Q の赤い面が出る確率をそれぞれ p, q とすると

$$p = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}, \quad q = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

1回の試行で赤い面がちょうど1回出る確率は

$$p(1-q) + (1-p)q = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$$

- (2) 1回目で終了する確率は pq

2回目で終了する確率は $(1-pq) \cdot pq$

2回以下の試行で終了する確率は, $pq = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$ より

$$pq + (1-pq)pq = pq(2-pq) = \frac{1}{6} \left(2 - \frac{1}{6} \right) = \frac{11}{36}$$

- (3) 1回の試行で得点が 0, 1, 2 である確率をそれぞれ α, β, γ とすると

$$\alpha = (1-p)(1-q) = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{3}, \quad \gamma = pq = \frac{1}{6},$$

$$\beta = 1 - (\alpha + \gamma) = \frac{1}{2}$$

ゲームの得点が 0 点となる確率は $\alpha^3 = \left(\frac{1}{3} \right)^3 = \frac{1}{27}$

ゲームの得点が 1 点となる確率は

$$\alpha\alpha\beta + \alpha\beta\alpha + \beta\alpha\alpha = 3\alpha^2\beta = 3 \left(\frac{1}{3} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$$

ゲームの得点が 2 点となる確率は

$$\begin{aligned} & \gamma + \alpha\gamma + \alpha\alpha\gamma + \alpha\beta\beta + \beta\alpha\beta + \beta\beta\alpha \\ &= \gamma(1 + \alpha + \alpha^2) + 3\alpha\beta^2 \\ &= \frac{1}{6} \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{9} \right) + 3 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} = \frac{53}{108} \end{aligned}$$

ゲームの得点が 3 点となる確率は

$$\begin{aligned} & \beta\gamma + \alpha\beta\gamma + \beta\alpha\gamma + \beta\beta\beta = \beta\gamma(1 + 2\alpha) + \beta^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} \left(1 + 2 \cdot \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{8} = \frac{19}{72} \end{aligned}$$

ゲームの得点が 4 点となる確率は $\beta\beta\gamma = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{24}$ ■

- 4 (1) $x = 3 \cos^3 \theta$, $y = 3 \sin^3 \theta$ より

$$\frac{dx}{d\theta} = -9 \cos^2 \theta \sin \theta, \quad \frac{dy}{d\theta} = 9 \sin^2 \theta \cos \theta \quad (*)$$

したがって $\left(\frac{dx}{d\theta}, \frac{dy}{d\theta}\right) = 9 \sin \theta \cos \theta (-\cos \theta, \sin \theta)$

$\vec{v} = (-\cos \theta, \sin \theta)$ とし, C 上の $P(3 \cos^3 \theta, 3 \sin^3 \theta)$ における接線を ℓ とする. ℓ 上の $T(x, y)$ について, $\vec{v} // \vec{PT}$ であるから

$$(x - 3 \cos^3 \theta) \sin \theta + (y - 3 \sin^3 \theta) \cos \theta = 0$$

$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ より, $\sin \theta \neq 0$, $\cos \theta \neq 0$ に注意して整理すると

$$x \sin \theta + y \cos \theta = 3 \sin \theta \cos \theta \quad \text{ゆえに} \quad \ell: \frac{x}{3 \cos \theta} + \frac{y}{3 \sin \theta} = 1$$

よって $Q(3 \cos \theta, 0)$, $R(0, 3 \sin \theta)$

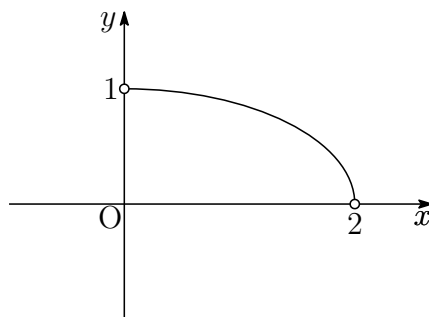
- (2) 線分 QR を $1:2$ 内分する点 S は

$$\vec{OS} = \frac{2\vec{OQ} + \vec{OR}}{3} = (2 \cos \theta, \sin \theta)$$

$x = 2 \cos \theta$, $y = \sin \theta$ とすると $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$

$$\frac{x^2}{4} + y^2 = 1 \quad (x > 0, y > 0)$$

よって, 点 S の軌跡は楕円 $\frac{x^2}{4} + y^2 = 1$ の第1象限の部分を表す.



(2) で求めた方程式から $x^2 = 4(1 - y^2)$ ($0 \leq y \leq 1$)

よって、求める回転体の体積を V とすると

$$\frac{V}{\pi} = 4 \int_0^1 (1 - y^2) dy = 4 \left[y - \frac{y^3}{3} \right]_0^1 = \frac{8}{3}$$

よって $V = \frac{8}{3}\pi$

(3) (*) から ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} &= 9\sqrt{\sin^2 \theta \cos^2 \theta (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta)} \\ &= 9 \sin \theta \cos \theta = \frac{9}{2} \sin 2\theta \end{aligned}$$

よって、求める曲線の部分の長さは

$$\begin{aligned} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2} d\theta &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} \frac{9}{2} \sin 2\theta d\theta \\ &= -\frac{9}{4} \left[\cos 2\theta \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{4}} = \frac{9}{8} \end{aligned}$$



- 5** (1) $y = (x-1)^2 + c - 1$ より $(0 \leq x \leq 3)$, $x = 3$ で最大値 1 をとるから

$$c + 3 = 1 \quad \text{よって} \quad c = -2$$

- (2) $a = BC$, $b = CA$, $c = AB$ とすると, 正弦定理より

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$\text{等式} \frac{\sin A}{5} = \frac{\sin B}{7} = \frac{\sin C}{8} \text{ より } a : b : c = 5 : 7 : 8$$

定数 k を用いて, $a = 5k$, $b = 7k$, $c = 8k$ を余弦定理に代入すると

$$\cos B = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca} = \frac{(8k)^2 + (5k)^2 - (7k)^2}{2 \cdot 8k \cdot 5k} = \frac{1}{2}$$

- (3) $x + \frac{1}{x} = 1 + \sqrt{2}$ より

$$\begin{aligned} x^2 + \frac{1}{x^2} &= \left(x + \frac{1}{x}\right)^2 - 2 \\ &= (1 + \sqrt{2})^2 - 2 = 1 + 2\sqrt{2}, \\ x^3 + \frac{1}{x^3} &= \left(x + \frac{1}{x}\right) \left(x^2 + \frac{1}{x^2} - 1\right) \\ &= (1 + \sqrt{2}) \left\{ (1 + 2\sqrt{2}) - 1 \right\} \\ &= (1 + \sqrt{2}) \cdot 2\sqrt{2} = 4 + 2\sqrt{2} \end{aligned}$$

- (4) $\sqrt{3} \sin x + \cos x = \sqrt{3}$ より $\left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$

$$2 \sin \left(x + \frac{\pi}{6}\right) = \sqrt{3} \quad \text{ゆえに} \quad \sin \left(x + \frac{\pi}{6}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{\pi}{6} \leq x + \frac{\pi}{6} < \frac{2}{3}\pi \text{ より } x + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{3} \quad \text{よって} \quad x = \frac{\pi}{6}$$

- (5) $\log_{10} 5 = 1 - \log_{10} 2 = 1 - 0.3010 = 0.6990$ より

$$\log_{10} 5^{10} = 10 \log_{10} 5 = 10 \times 0.6990 = 6.990$$

$6 < \log_{10} 5^{10} < 7$ であるから $10^6 < 5^{10} < 10^7$ よって 5^{10} は 7桁 ■

7.11 2025 年

- 理工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B・C (100 分)
- 経済学部 [1] [3] [5] 数 I・II・A・B・C (80 分)
- 教育学部 [1] [5] [6] 数 I・II・A・B・C (80 分)
- 医学部 [1] [2] [4] 数 I・II・III・A・B・C (80 分)

[1] 正の数 x, y は、次の不等式を満たすとする.

$$(\log_2 x)^2 + (\log_2 y)^2 \leq \log_2 \frac{y^2}{2\sqrt{2}x^2} \quad \cdots (*)$$

- (1) $X = \log_2 x, Y = \log_2 y$ とおくとき、不等式 (*) を X と Y で表しなさい.
- (2) (1) で求めた不等式の表す領域を XY 平面に図示しなさい.
- (3) xy の最小値と、そのときの x と y の値を求めなさい.

[2] 三角形 ABC は $|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 = 5|\overrightarrow{BC}|^2$ を満たす. 3 点 L, M, N をそれぞれ BC, AC, AB の中点とし、 $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ のなす角を θ とする.

- (1) $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = s(|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2)$ を満たす定数 s の値を求めなさい.
- (2) 内積 $\overrightarrow{BM} \cdot \overrightarrow{CN}$ の値を求めなさい.
- (3) $|\overrightarrow{AL}|^2 = t(|\overrightarrow{BM}|^2 + |\overrightarrow{CN}|^2)$ を満たす定数 t の値を求めなさい.
- (4) $|\overrightarrow{AB}| = |\overrightarrow{AC}|$ となるときの $\cos \theta$ の値を求めなさい.

- 3** AさんとBさんは赤, 青, 黄, 緑の4枚のカードが入っている箱をそれぞれ持っている. AさんとBさんは同時に1枚ずつ各自の箱からカードを無作為に出すゲームを行い, 同じ色が出たらゲームを終了する. ただし, 1度出したカードは箱に戻さない. Aさんが k 枚, Bさんが k 枚カードを出した時点でゲームが終了する確率を P_k とする. ここで, $k = 1, 2, 3$ である.

- (1) 確率 P_1 を求めなさい.
- (2) 確率 P_2 を求めなさい.
- (3) 確率 P_3 を求めなさい.

- 4** 自然数 n, k に対し, $a_k(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{i}{n}\right)^k$ とおく.

- (1) $a_2(25)$ を求めなさい.
- (2) $\sum_{k=1}^3 a_k(5)$ を求めなさい.
- (3) $b_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_k(n)}{n}$ とおく. b_k を k を用いて表しなさい.
- (4) (3)で求めた b_k について, $\sum_{k=1}^{\infty} b_k b_{k+1}$ を求めなさい.

5 数列 $\{a_n\}$ は, $a_1 = 1$, $a_{n+1} = \{2 + (-1)^n\}a_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を満たし,

$$S_n = \sum_{k=1}^n a_k \text{ とする.}$$

- (1) a_{2n} を a_{2n-1} を用いて表しなさい.
- (2) $n \geq 2$ のとき, a_{2n} を a_{2n-2} を用いて表しなさい.
- (3) S_n を n を用いて表しなさい.

6 以下の各問に答えなさい.

- (1) 不等式 $100 + 15(n - 6) \leq 18n$ を満たす最小の自然数 n を求めなさい.
- (2) $\triangle ABC$ において, $AB = 5$, $BC = 6$, $CA = 7$ であるとき, $\triangle ABC$ の面積を求めなさい.
- (3) 1 の 3 乗根のうち, 虚数であるものの 1 つを ω とするとき, $\omega^5 + \omega^4 + 3$ の値を求めなさい.
- (4) 2 直線 $y = 5x$, $y = \frac{2}{3}x$ のなす角 θ を求めなさい. ただし, $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ とする.
- (5) 不等式 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^x \leq 3^{2x+1}$ を解きなさい.

解答例

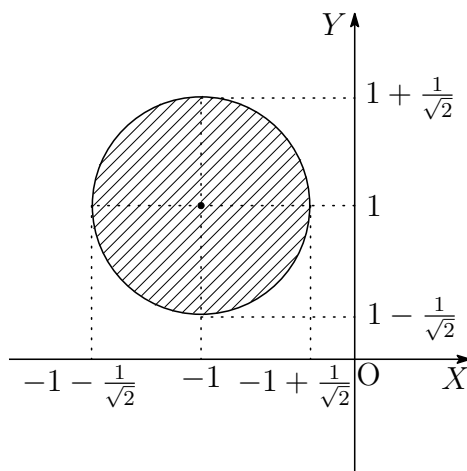
1 (1) (*) より

$$(\log_2 x)^2 + (\log_2 y)^2 \leq -2 \log_2 x + 2 \log_2 y - \frac{3}{2}$$

$X = \log_2 x$, $Y = \log_2 y$ とおくと

$$X^2 + Y^2 \leq -2X + 2Y - \frac{3}{2} \quad \text{よって} \quad (X+1)^2 + (Y-1)^2 \leq \frac{1}{2}$$

(2) (1) の結果から, (*) の表す領域は, 下の図の斜線部分で境界線を含む.



(3) $(ac + bd)^2 + (ad - bc)^2 = (a^2 + b^2)(c^2 + d^2)$ であるから, これに

$$a = 1, b = 1, c = X + 1, d = Y - 1$$

を代入すると, (1) の結果から

$$(X+Y)^2 + (Y-X-2)^2 = 2\{(X+1)^2 + (Y-1)^2\} \leq 1$$

したがって $-1 \leq X+Y \leq 1$

$\log_2 xy = \log_2 x + \log_2 y = X + Y$ より, xy が最小となるのは, $X + Y$ が最小となるときであるから

$$X + Y = -1, Y - X - 2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad (X, Y) = \left(-\frac{3}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

$$\text{ゆえに} \quad \log_2 x = -\frac{3}{2}, \log_2 y = \frac{1}{2} \quad \text{すなわち} \quad (x, y) = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}, \sqrt{2}\right)$$

$$\text{よって} \quad x = \frac{1}{2\sqrt{2}}, y = \sqrt{2} \text{ のとき, 最小値 } \frac{1}{2}$$

別解 $\log_2 xy = \log_2 x + \log_2 y = X + Y$ より, xy が最小となるのは, $X + Y$ が最小となるときであるから

$$X + Y = k$$

とおき, 直線 $X + Y - k = 0$ が (2) で示した領域と共有点をもつ k の値の範囲を求める.

$$\frac{|-1 + 1 - k|}{\sqrt{1^2 + 1^2}} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{ゆえに} \quad -1 \leq k \leq 1$$

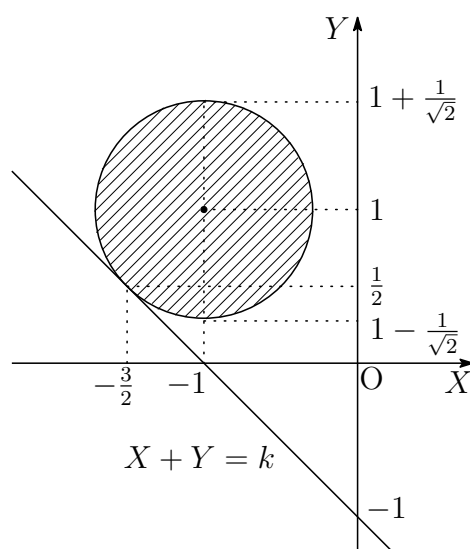
$X + Y = -1$ のとき

$$X + Y = -1, \quad (X + 1)^2 + (Y - 1)^2 = \frac{1}{2}$$

これを解いて $(X, Y) = \left(-\frac{3}{2}, \frac{1}{2}\right)$

ゆえに $\log_2 x = -\frac{3}{2}, \log_2 y = \frac{1}{2}$ すなわち $(x, y) = \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}, \sqrt{2}\right)$

よって $x = \frac{1}{2\sqrt{2}}, y = \sqrt{2}$ のとき, 最小値 $\frac{1}{2}$



2 (1) $|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 = 5|\overrightarrow{BC}|^2$ より $|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 = 5|\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}|^2$

整理すると $5\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = 2|\overrightarrow{AB}|^2 + 2|\overrightarrow{AC}|^2$

したがって $\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = \frac{2}{5} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2)$ よって $s = \frac{2}{5}$

(2) $\overrightarrow{AM} = \frac{1}{2}\overrightarrow{AC}$, $\overrightarrow{AN} = \frac{1}{2}\overrightarrow{AB}$ であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{BM} &= \overrightarrow{AM} - \overrightarrow{AB} = \frac{1}{2}\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB} \\ \overrightarrow{CN} &= \overrightarrow{AN} - \overrightarrow{AC} = \frac{1}{2}\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}\end{aligned}\quad (*)$$

(1) の結果から

$$\begin{aligned}\overrightarrow{BM} \cdot \overrightarrow{CN} &= \left(\frac{1}{2}\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}\right) \\ &= -\frac{1}{2} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) + \frac{5}{4}\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \\ &= -\frac{1}{2} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) + \frac{5}{4} \cdot \frac{2}{5} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) = 0\end{aligned}$$

(3) $\overrightarrow{AL} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC})$ および (*) から

$$\begin{aligned}|\overrightarrow{AL}|^2 &= \frac{1}{4}|\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}|^2 = \frac{1}{4}(|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) + \frac{1}{2}\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \\ &= \frac{1}{4}(|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) = \frac{9}{20} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) \\ |\overrightarrow{BM}|^2 + |\overrightarrow{CN}|^2 &= \left|\frac{1}{2}\overrightarrow{AC} - \overrightarrow{AB}\right|^2 + \left|\frac{1}{2}\overrightarrow{AB} - \overrightarrow{AC}\right|^2 \\ &= \frac{5}{4} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) - 2\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \\ &= \frac{5}{4} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) - 2 \cdot \frac{2}{5} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) = \frac{9}{20} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2)\end{aligned}$$

上の2式から $|\overrightarrow{AL}|^2 = |\overrightarrow{BM}|^2 + |\overrightarrow{CN}|^2$ よって $t = 1$

(4) $|\overrightarrow{AB}| = |\overrightarrow{AC}|$ より, (1) の結果から

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = \frac{2}{5} (|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2) = \frac{4}{5} |\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}|$$

よって $\cos \theta = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{AC}|} = \frac{4}{5}$ ■

3 A さんが1回目から4回目までに取り出したカードの色を①から④とする.

(1) AさんとBさんが取り出したカードが同じ色である場合は4通り.

$$\text{したがって} \quad P_1 = 4 \times \left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

(2) Aさんの2回の取り出し方の総数は ${}_4P_2$ (通り)

Bさんの1回目の取り出し方は, ③ または ④ の2通り

$$\text{したがって} \quad P_2 = {}_4P_2 \cdot 2 \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{3}\right)^2 = \frac{1}{6}$$

(3) Aさんの3回の取り出し方の総数は ${}_4P_3$ (通り)

Bさんの1回目, 2回目の取り出し方は, 次の3通り

②①, ②④, ④①

$$\text{したがって} \quad P_3 = {}_4P_3 \cdot 3 \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{8}$$

補足 (P_4 を求める)

Aさんの4回の取り出し方の総数は $4!$ (通り)

Bさんの1回目, 2回目, 3回目の取り出し方は, 次の2通り

②③①, ③①②

$$\text{したがって} \quad P_4 = 4! \cdot 2 \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times 1\right)^2 = \frac{1}{12}$$

(4回とも同じ色のカードが出ない確率 P)

Aさんの4回の取り出し方の総数は $4!$ (通り)

Bさんの1回目から4回目の取り出し方は, 次の9通り ($M_4 = 9$)³

②①④③, ②③④①, ②④①③,
③①④②, ③④①②, ③④②①,
④①②③, ④③①②, ④③②①

$$\text{したがって} \quad P = 4! \cdot 9 \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times 1\right)^2 = \frac{3}{8}$$

■

³ <http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai.ri.1999.pdf> (p.15)

4 (1)

$$a_2(25) = \sum_{i=1}^{25} \left(\frac{i}{25}\right)^2 = \frac{1}{25^2} \sum_{i=1}^{25} i^2 = \frac{1}{25^2} \cdot \frac{1}{6} \cdot 25 \cdot 26 \cdot 51 = \frac{221}{25}$$

(2)

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^3 a_k(5) &= a_1(5) + a_2(5) + a_3(5) \\ &= \sum_{i=1}^5 \frac{i}{5} + \sum_{i=1}^5 \left(\frac{i}{5}\right)^2 + \sum_{i=1}^5 \left(\frac{i}{5}\right)^3 \\ &= \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 i + \frac{1}{5^2} \sum_{i=1}^5 i^2 + \frac{1}{5^3} \sum_{i=1}^5 i^3 \\ &= \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 6 + \frac{1}{5^2} \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 6 \cdot 11 + \frac{1}{5^3} \cdot \frac{1}{4} \cdot 5^2 \cdot 6^2 \\ &= 3 + \frac{11}{5} + \frac{9}{5} = 7 \end{aligned}$$

(3)

$$\begin{aligned} b_k &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_k(n)}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{i}{n}\right)^k \\ &= \int_0^1 x^k dx = \left[\frac{x^{k+1}}{k+1} \right]_0^1 = \frac{1}{k+1} \end{aligned}$$

(4)

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{\infty} b_k b_{k+1} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k+1} \cdot \frac{1}{k+2} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{k+1} - \frac{1}{k+2} \right) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n+2} \right) = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

■

5 (1) (*) $a_{n+1} = \{2 + (-1)^n\}a_n$ より

$$a_{2n} = \{2 + (-1)^{2n-1}\}a_{2n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_{2n} = a_{2n-1}$$

(2) (*) より, $n \geq 2$ のとき

$$a_{2n-1} = \{1 + (-1)^{2n-2}\}a_{2n-2} = 3a_{2n-2}$$

上式を (1) の結果に代入すると $a_{2n} = 3a_{2n-2}$

(3) (1) の結果に $n = 1$ を代入すると $a_2 = a_1 = 1$

(2) の結果から $a_{2n} = a_2 \cdot 3^{n-1} = 3^{n-1} \quad \dots \textcircled{1}$

(1) の結果を利用すると

$$\begin{aligned} S_{2n} &= \sum_{k=1}^n (a_{2k-1} + a_{2k}) = \sum_{k=1}^n (a_{2k} + a_{2k}) \\ &= 2 \sum_{k=1}^n a_{2k} = 2 \sum_{k=1}^n 3^{k-1} = 2 \cdot \frac{3^n - 1}{3 - 1} = 3^n - 1 \quad \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

(1) の結果および ① から $a_{2n+1} = a_{2n+2} = 3^n$

$$S_{2n+1} = S_{2n} + a_{2n+1} = 3^n - 1 + 3^n = 2 \cdot 3^n - 1 \quad \dots \textcircled{3}$$

②, ③ から

$$S_n = \begin{cases} 3^{\frac{n}{2}} - 1 & (n \text{ が偶数}) \\ 2 \cdot 3^{\frac{n-1}{2}} - 1 & (n \text{ が奇数}) \end{cases}$$



- 6 (1) $100 + 15(n - 6) \leq 18n$ を解くと $n \geq \frac{10}{3}$
これを満たす最小の自然数 n は $n = 4$

- (2) $a = BC = 6$, $b = CA = 7$, $c = AB = 5$ とおくと

$$s = \frac{1}{2}(a + b + c) = \frac{1}{2}(6 + 7 + 5) = 9$$

求める面積を S とすると, ヘロンの公式により

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \\ &= \sqrt{9(9-6)(9-7)(9-5)} = 6\sqrt{6} \end{aligned}$$

- (3) ω は 1 の 3 乗根であるから $\omega^3 = 1 \quad \dots \textcircled{1}$

$$(\omega - 1)(\omega^2 + \omega + 1) = 0$$

ω 虚数であるから, $\omega - 1 \neq 0$ より $\omega^2 + \omega + 1 = 0 \quad \dots \textcircled{2}$

$$\begin{aligned} \textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より } \quad \omega^5 + \omega^4 + 3 &= \omega^3(\omega^2 + \omega) + 3 \\ &= \omega^2 + \omega + 3 \\ &= (\omega^2 + \omega + 1) + 2 = 2 \end{aligned}$$

- (4) 2 直線 $y = 5x$, $y = \frac{2}{3}x$ の偏角 (x 軸の正の向きとなす角) をそれぞれ α , β とすると $\left(\frac{\pi}{2} > \alpha > \beta > 0\right)$

$$\tan \alpha = 5, \quad \tan \beta = \frac{2}{3}, \quad \theta = \alpha - \beta$$

したがって

$$\tan \theta = \tan(\alpha - \beta) = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 + \tan \alpha \tan \beta} = \frac{5 - \frac{2}{3}}{1 + 5 \cdot \frac{2}{3}} = 1$$

$$\text{よって } \theta = \frac{\pi}{4}$$

- (5) $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^x \leq 3^{2x+1}$ より $3^{-\frac{x}{2}} \leq 3^{2x+1}$

底 3 は 1 より大きいから $-\frac{x}{2} \leq 2x + 1$ これを解いて $x \geq -\frac{2}{5}$ ■

第 8 章 宮崎大学

出題分野

(工学部 医学部 教育理系 教育文系 農学部)

工学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	宮崎大学 工学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式				2				5	5	4	
	三角関数	4										
	指数関数と対数関数		3									4
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限							1				1
	微分法とその応用	1	1	1・2	1・5	1・2	1・2	1・5	1	1・2	1	1・2
	積分法	1	1	1	1	1	1・2		1	1	1	1
	積分法の応用			2	5	2		1	2		5	
A	場合の数と確率	3	4		4		5	2	4	4	3	5
	整数の性質					5		2				
	図形の性質											
B	数列						4	4				
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	2										3
	空間のベクトル			3	3	3	3	3	3	3	2	
	複素数平面			4		4		1				
	式と曲線		2									

数字は問題番号

医学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	宮崎大学 医学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
II	式と証明											
	複素数と方程式					9						
	図形と方程式				2			6		5		
	三角関数	4				6	8	6			7	
	指数関数と対数関数		3						6			4
	微分法と積分法											
III	関数											
	極限							8				
	微分法とその応用					8		7				
	積分法								8	7		7
	積分法の応用	6	6	7		8	9	9			10	6
A	場合の数と確率	7	4	8	4	7	10		9	4	9	5
	整数の性質			5				9			6	
	図形の性質											
B	数列	5		6					7	6		
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	2	5		6・7		6					3
	空間のベクトル			6・7		3		3	3	3	8	
	複素数平面						7	9				
	式と曲線		2									

数字は問題番号

教育学部理系 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	宮崎大学 教育理系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式			9				10				
	三角関数					11	8			10*	7	
	指数関数と対数関数								6			
	微分法と積分法									9		11*
III	関数											
	極限							1・8				10*
	微分法とその応用	1	1	2	5	2	1	1			1*	10*
	積分法	1	1・9				1				1*	10*
	積分法の応用					2		1	2*			
A	場合の数と確率	3	4			10			9*	4	3	9
	整数の性質		8	10	9	5	11		10	8		
	図形の性質		7						11			
B	数列	10	8				4	4	7*		11*	8
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				7							3
	空間のベクトル	8		3	3						2	
	複素数平面							1		11*		12*
	式と曲線											

数字は問題番号 (* から 1 題選択)

教育学部文系 出題分野 (2015-2025) 90 分

◀	宮崎大学 教育文系	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											13
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式								5	5	12	13
	三角関数								12			
	指数関数と対数関数										12	13
	微分法と積分法	12	11	12	10	12	12	11	12	9	13	14
A	場合の数と確率		10	11		10		11			3	13
	整数の性質				9	5	11	11	12	12	12	
	図形の性質	11	7					12				
B	数列	10							7			
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				7							3*
	空間のベクトル			3			3	3				
	複素数平面											12*
	式と曲線											

数字は問題番号 (* から 1 題選択)

農学部 出題分野 (2015-2025) 90 分

◀	宮崎大学 農学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											13
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式								5	5	12	13
	三角関数								12			
	指数関数と対数関数										12	13
	微分法と積分法	12	11	12	10	12	12	11	12	9	13	14
A	場合の数と確率		10	11		10		11			3	13
	整数の性質				9	5	11	11	12	12	12	
	図形の性質	11	7					12				
B	数列	10							7			
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル				7							3*
	空間のベクトル			3			3	3				
	複素数平面											12*
	式と曲線											

数字は問題番号 (* から 1 題選択)

8.1 2015 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [2] [4] [5] [6] [7] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化 (中学数学) 学部 [1] [3] [8] [9] [10] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化 (中学 [社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム) 学部・農学部 [10] [11] [12] 数 I・II・A・B (90 分)

[1] 次の各問に答えよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 次の関数を微分せよ.

(a) $y = \sin(\cos x)$

(b) $y = \frac{e^{2x}}{x+1}$

(2) 次の定積分の値を求めよ.

(a) $\int_0^{\pi} |\sin x \cos x| dx$

(b) $\int_0^{\frac{1}{2}} \frac{x^3 + 2x^2 - 3}{x^2 - 1} dx$

(c) $\int_0^1 \left(\frac{1}{\sqrt{4-x^2}} + \sqrt{\frac{3}{4-3x^2}} \right) dx$

(d) $\int_1^2 x^3 \log x dx$

[2] 平面上に 3 点 O , A , B があり, $OA = 2$, $OB = 3$, $\angle AOB = \frac{\pi}{3}$ とする. 点 A から直線 OB に垂線を下ろし, 直線 OB との交点を H とする. また, 点 B から直線 OA に垂線を下ろし, 直線 OA との交点を I とする. 直線 AH と直線 BI の交点を P とし, $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ とするとき, 次の各問に答えよ.

(1) $\overrightarrow{OH}$ を, $\vec{b}$ を用いて表せ.

(2) $\overrightarrow{OP}$ を, $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.

(3) 線分 OP の長さを求めよ.

3 座標平面上に点 P があり、次のルールにより、点 P は移動する.

a, b, c の文字がそれぞれ 1 つずつ書かれた球 3 個が入った袋から、1 個取り出してそこに書かれている文字を読み、その文字が

a のとき、点 P は x 軸の正の方向へ 1 だけ移動し、

b のとき、点 P は x 軸の負の方向へ 1 だけ移動し、

c のとき、点 P は y 軸の正の方向へ 1 だけ移動する.

最初、点 P は原点 O にあるものとする. この試行を、取り出した球を元に戻しながら、5 回続けて行う. 例えば、これによって得られた 5 個の文字が順に $b \rightarrow a \rightarrow c \rightarrow c \rightarrow a$ であるとすれば、上のルールにより、点 P の位置の座標は、

$$(0, 0) \rightarrow (-1, 0) \rightarrow (0, 0) \rightarrow (0, 1) \rightarrow (0, 2) \rightarrow (1, 2)$$

と変化する.

このとき、次の各問に答えよ.

- (1) y 軸上で点 P の移動が終了する場合、終了したときの位置の座標をすべて求めよ.
- (2) 点 P の移動が終了する位置の相異なる座標の個数を求めよ.
- (3) 点 P の移動が終了する位置の座標 (x, y) が $|x| \leq 1, 1 \leq y \leq 2$ となる確率を求めよ.

4 $a \geq 0, b \geq 0$ とする. このとき、変数 x の関数

$$f(x) = \cos 2x \cos x + 2a \sin 2x - 2 \cos 2x - 8a \sin x \\ - (b+1) \cos x + 2(b+1)$$

について、次の各問に答えよ.

- (1) $X = \sin x, Y = \cos x$ とおくとき、

$$f(x) = (Y - \boxed{\text{ア}})(-\boxed{\text{イ}}X^2 + \boxed{\text{ウ}}X - b)$$

と表せる. ア, イ, ウに入る数、または a, b を用いた文字式を求めよ.

- (2) 方程式 $f(x) = 0$ が $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲内に少なくとも 1 つの解をもつようなすべての a, b を座標平面上の点 (a, b) として図示せよ.

5 数列 $\{a_n\}$ は

$$\sqrt[3]{3} a_{n+2}^3 = a_n^4, \quad a_n > 0 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

を満たしている. $a_1 = 1$, $a_2 = 2$ のとき, a_{2k-1} (k は自然数) を, k を用いて表せ.

6 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}$ を満たす θ について, $r(\theta) = \sqrt{2 \cos 2\theta}$ とするとき, 座標平面上で円 $x^2 + y^2 = \{r(\theta)\}^2$ と直線 $y = (\tan \theta)x$ は 2 つの交点をもつ. そのうち, x 座標が正であるものを P とし, P の x 座標を $f(\theta)$, y 座標を $g(\theta)$ とする. θ を $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}$ の範囲で動かしたときの点 P の軌跡を C とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $f(\theta)$, $g(\theta)$ を求めよ.
- (2) $g(\theta)$ の最大値を求めよ.
- (3) 曲線 C と x 軸, 直線 $x = f\left(\frac{\pi}{6}\right)$ で囲まれた部分の面積を求めよ.

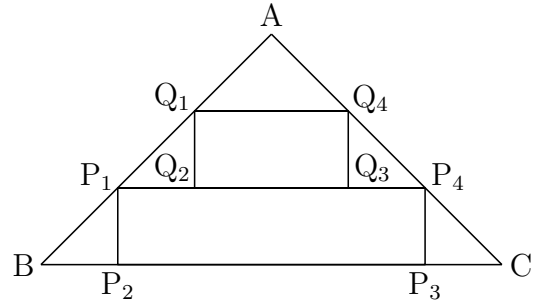
7 n を 2 以上の自然数とする. 1 つの袋に 1 から n までの数を 1 つずつ書いた n 個の球と, 数 0 を書いた 2 個の球が入っている. これら $(n+2)$ 個の球が入っている袋から, 元に戻すことなく, 1 個ずつ 3 回球を取り出し, その 3 個に書かれている数を取り出した順に a , b , c とする. 事象 $a + b \leq c$ の起こる確率を $P(n)$ とするとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $P(3)$ を求めよ.
- (2) n を偶数とするとき, $P(n)$ を, n を用いて表せ.

8 四面体 $OABC$ の 3 辺 OA , AB , BC 上に, それぞれ点 P , Q , R がある. $OP = PA$, $AQ = 2QB$ とし, 点 R は点 B とは異なるものとする. $\triangle PQR$ の重心を H とするとき, 次の各問に答えよ. ただし, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とする.

- (1) $\overrightarrow{OH}$ を, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\overrightarrow{OR}$ を用いて表せ.
- (2) $\triangle ABC$ の重心を G とする. 3 点 O , G , H が同一直線上にあるとき, $\overrightarrow{OR}$ を $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ.

- 9 右図の $\triangle ABC$ は $\angle A = 90^\circ$ で $AB = 1$ の直角二等辺三角形である．この $\triangle ABC$ の中に右図のように長方形 $P_1P_2P_3P_4$ と長方形 $Q_1Q_2Q_3Q_4$ をおき，頂点 P_1 と Q_1 が線分 AB 上に，頂点 P_4 と Q_4 が線分 AC 上にあるようにする．さらに，頂点 P_2 と P_3 がともに線分 BC 上に，頂点 Q_2 と Q_3 がともに線分 P_1P_4 上にあるようにする． $x = BP_2$ ， $y = P_1Q_2$ とするとき，次の各問に答えよ．



- (1) 長方形 $P_1P_2P_3P_4$ の面積と長方形 $Q_1Q_2Q_3Q_4$ の面積の和を， x と y を用いて表せ．
- (2) x の値を固定して y の値を変化させるとき，長方形 $P_1P_2P_3P_4$ の面積と長方形 $Q_1Q_2Q_3Q_4$ の面積の和の最大値を $S(x)$ とおく．このとき， $S(x)$ を， x を用いて表せ．
- (3) x の値を変化させるとき，(2) で求めた $S(x)$ の最大値を求めよ．

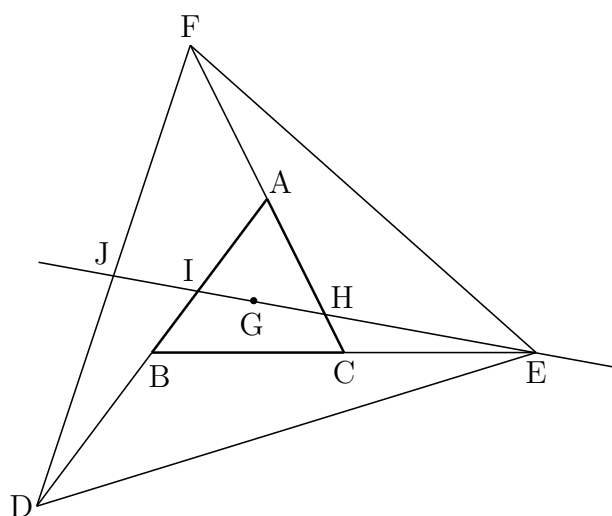
- 10 初項 $a_1 = 0$ と漸化式

$$a_{n+1} = (1-r)r^{n-1} + r^2a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって与えられる数列 $\{a_n\}$ について，次の各問に答えよ．ただし， $r \neq 0$ ， $r \neq 1$ とする．

- (1) a_2 ， a_3 ， a_4 を， r を用いてそれぞれ表せ．
- (2) 第 n 項 a_n を推測して，それが正しいことを，数学的帰納法を用いて証明せよ．
- (3) $\sum_{k=1}^n a_k$ を計算し， r ， n を用いて表せ．

- 11** 右図の $\triangle ABC$ において、辺 AB 上の延長上に $AB = BD$ となる点 D がある．同様に、辺 BC の延長上に $BC = CE$ となる点 E が、辺 CA の延長上に $CA = AF$ となる点 F がそれぞれある． $\triangle ABC$ の重心を G とし、直線 GE と線分 AC , AB , FD との交点をそれぞれ H , I , J とする．このとき、次の比を求めよ．



- (1) $CH : HA$
- (2) $BI : IA$
- (3) $DJ : JF$

- 12** 曲線 $C : y = |x^2 - 6x|$ と直線 $\ell : y = kx$ (k は実数) について、次の各問に答えよ．

- (1) 曲線 C を座標平面上に図示せよ．
- (2) 曲線 C と直線 ℓ が異なる 3 つの共有点をもつような k の値の範囲を求めよ．
- (3) (2) のとき、曲線 C と直線 ℓ で囲まれた 2 つの部分の面積の和が最小になるような k の値を求めよ．

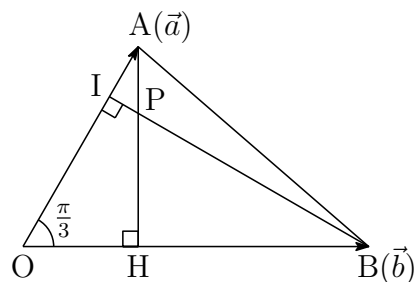
解答例

- 1 (1) (a) $t = \cos x$ とおくと, $y = \sin t$ より $\frac{dy}{dt} = \cos t$, $\frac{dt}{dx} = -\sin x$
 よって $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \frac{dt}{dx} = \cos t \cdot (-\sin x) = -\cos(\cos x) \cdot \sin x$
- (b) $\frac{dy}{dx} = \frac{2e^{2x}(x+1) - e^{2x} \cdot 1}{(x+1)^2} = \frac{(2x+1)e^{2x}}{(x+1)^2}$
- (2) (a) $\sin x \cos x = \frac{1}{2} \sin 2x$
 $\left| \frac{1}{2} \sin 2 \left(x + \frac{\pi}{2} \right) \right| = \left| \frac{1}{2} \sin 2x \right|$ であるから, $\left| \frac{1}{2} \sin 2x \right|$ の周期は $\frac{\pi}{2}$
 よって $\int_0^{\pi} |\sin x \cos x| dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2x dx = \left[-\frac{1}{2} \cos 2x \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = 1$
- (b) $\int_0^{\frac{1}{2}} \frac{x^3 + 2x^2 - 3}{x^2 - 1} dx = \int_0^{\frac{1}{2}} \left(x + 2 + \frac{1}{x+1} \right) dx$
 $= \left[\frac{1}{2} x^2 + 2x + \log(x+1) \right]_0^{\frac{1}{2}} = \frac{9}{8} + \log \frac{3}{2}$
- (c) $\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{4-x^2}} dx$ で $x = 2 \sin \theta$ とおくと $\begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 1 \\ \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{6} \end{array} \quad \frac{dx}{d\theta} = 2 \cos \theta$
 したがって $\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{4-x^2}} dx = \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{1}{\sqrt{4-4\sin^2 \theta}} \cdot 2 \cos \theta d\theta$
 $= \int_0^{\frac{\pi}{6}} d\theta = \left[\theta \right]_0^{\frac{\pi}{6}} = \frac{\pi}{6}$
 $\int_0^1 \sqrt{\frac{3}{4-3x^2}} dx$ で $x = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \theta$ とおくと $\begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 1 \\ \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{3} \end{array} \quad \frac{dx}{d\theta} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cos \theta$
 したがって $\int_0^1 \sqrt{\frac{3}{4-3x^2}} dx = \int_0^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{\frac{3}{4-4\sin^2 \theta}} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cos \theta d\theta$
 $= \int_0^{\frac{\pi}{3}} d\theta = \left[\theta \right]_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{\pi}{3}$
 よって $\int_0^1 \left(\frac{1}{\sqrt{4-x^2}} + \sqrt{\frac{3}{4-3x^2}} \right) dx = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2}$
- (d) $\int_1^2 x^3 \log x dx = \int_1^2 \left(\frac{x^4}{4} \right)' \log x dx = \left[\frac{x^4}{4} \log x \right]_1^2 - \int_1^2 \frac{x^4}{4} \cdot \frac{1}{x} dx$
 $= 4 \log 2 - \left[\frac{x^4}{16} \right]_1^2 = 4 \log 2 - \frac{15}{16}$ ■

2 (1) $OH = OA \cos \frac{\pi}{3} = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1$

ゆえに $\frac{OH}{OB} = \frac{1}{3}$

よって $\overrightarrow{OH} = \frac{1}{3}\vec{b}$



(2) (1) と同様にして $OI = OB \cos \frac{\pi}{3} = 3 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$

ゆえに $\frac{OI}{OA} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ よって $\overrightarrow{OI} = \frac{3}{4}\vec{a}$

上式および (1) の結果から $\vec{a} = \frac{4}{3}\overrightarrow{OI}$, $\vec{b} = 3\overrightarrow{OH}$

ここで, $\overrightarrow{OP} = x\vec{a} + y\vec{b}$ とおくと

$$\overrightarrow{OP} = x\overrightarrow{OA} + 3y\overrightarrow{OH}, \quad \overrightarrow{OP} = \frac{4}{3}x\overrightarrow{OI} + y\overrightarrow{OB}$$

P は 2 直線 AH, IB 上の点であるから

$$x + 3y = 1, \quad \frac{4}{3}x + y = 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{2}{3}, \quad y = \frac{1}{9}$$

よって $\overrightarrow{OP} = \frac{2}{3}\vec{a} + \frac{1}{9}\vec{b}$

(3) $|\vec{a}| = 2$, $|\vec{b}| = 3$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \frac{\pi}{3} = 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} = 3$ より, (2) の結果から

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{OP}|^2 &= \left| \frac{2}{3}\vec{a} + \frac{1}{9}\vec{b} \right|^2 \\ &= \frac{4}{9}|\vec{a}|^2 + \frac{4}{27}\vec{a} \cdot \vec{b} + \frac{1}{81}|\vec{b}|^2 \\ &= \frac{16}{9} + \frac{4}{9} + \frac{1}{9} = \frac{21}{9} \end{aligned}$$

よって $OP = |\overrightarrow{OP}| = \frac{\sqrt{21}}{3}$ ■

- 3 (1) a, b, c の文字が書かれた球を取り出した個数をそれぞれ k_a, k_b, k_c とすると, y 軸上で点 P の移動が終了する場合, $k_a = k_b, k_a + k_b + k_c = 5$ より

$$k_a = k_b = 0 \text{ のとき } k_c = 5$$

$$k_a = k_b = 1 \text{ のとき } k_c = 3$$

$$k_a = k_b = 2 \text{ のとき } k_c = 1$$

よって, 求める点 P の座標は $(0, 5), (0, 3), (0, 1)$

- (2) 点 P の移動が終了する位置の座標を (x, y) とすると

$$x = k_a - k_b, \quad y = 5 - (k_a + k_b) \quad (0 \leq k_a + k_b \leq 5)$$

ここで, $j = k_a, k = k_a + k_b$ とおくと $(0 \leq j \leq k, 0 \leq k \leq 5), k_b = k - j$ であるから

$$x = j - (k - j) = 2j - k, \quad y = 5 - k \quad \cdots (*)$$

直線 $y = 5 - k$ 上に, 点 (x, y) は, $0 \leq j \leq k$ の $k + 1$ 個.

よって, 求める座標の個数は

$$\sum_{k=0}^5 (k+1) = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 7 = 21$$

- (3) $1 \leq y \leq 2$ より, $k = 3, 4$ であるから

$$k = 3 \text{ のとき } x = 2j - 3, \quad k = 4 \text{ のとき } x = 2j - 4$$

また, $|x| \leq 1$ であるから $(k, j) = (3, 1), (3, 2), (4, 2)$

$k_a = j, k_b = k - j, k_c = 5 - k$ であるから, 上の (k, j) に対して

$$(k_a, k_b, k_c) = (1, 2, 2), (2, 1, 2), (2, 2, 1)$$

これらの場合の数は $\frac{5!}{1!2!2!} \times 3 = 90$

よって, 求める確率は $\frac{90}{3^5} = \frac{10}{27}$ ■

4 (1) $a, b+1$ に着目して整理すると

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \cos 2x(\cos x - 2) + 2a(\sin 2x - 4\sin x) - (b+1)(\cos x - 2) \\
 &= \cos 2x(\cos x - 2) + 4a\sin x(\cos x - 2) - (b+1)(\cos x - 2) \\
 &= (\cos x - 2)\{\cos 2x + 4a\sin x - (b+1)\} \\
 &= (\cos x - 2)(-2\sin^2 x + 4a\sin x - b) \\
 &= (Y - 2)(-2X^2 + 4aX - b)
 \end{aligned}$$

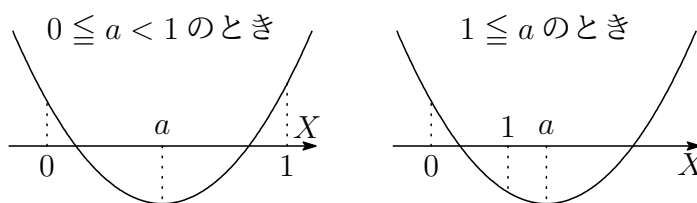
(2) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ より, $0 \leq X \leq 1$, $0 \leq Y \leq 1$
 $Y - 2 \neq 0$ であるから, $f(x) = 0$ を満たすとき

$$-2X^2 + 4aX - b = 0 \quad \text{すなわち} \quad 2X^2 - 4aX + b = 0$$

ここで, $G(X) = 2X^2 - 4aX + b$ とおくと

$$G(X) = 2(X - a)^2 - 2a^2 + b$$

方程式 $G(X) = 0$ が $0 \leq X \leq 1$ の範囲内に少なくとも 1 つの解をもてばよいから, $G(0) = b \geq 0$ に注意して, 次の場合に分けて考える.



(i) $0 \leq a < 1$ のとき, $G(a) \leq 0$ より

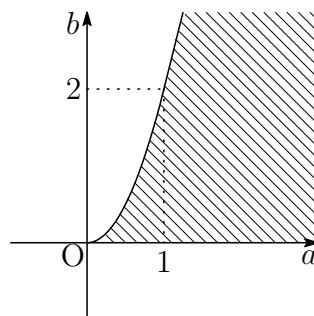
$$-2a^2 + b \leq 0 \quad \text{すなわち} \quad b \leq 2a^2$$

(ii) $1 \leq a$ のとき, $G(1) \leq 0$ より

$$2 - 4a + b \leq 0 \quad \text{すなわち} \quad b \leq 4a - 2$$

よって $0 \leq b \leq 2a^2$ ($0 \leq a < 1$)
 $0 \leq b \leq 4a - 2$ ($1 \leq a$)

点 (a, b) の表す領域は, 右の図の斜線部分で, 境界線を含む.



5 $a_n > 0$ であるから, $\sqrt[3]{3}a_{n+2}^3 = a_n^4$ の両辺を 3 を底とする対数をとると

$$\frac{1}{3} + 3 \log_3 a_{n+2} = 4 \log_3 a_n$$

$n = 2k - 1$ (k は自然数) とおくと

$$\frac{1}{3} + 3 \log_3 a_{2k+1} = 4 \log_3 a_{2k-1}$$

さらに, $b_k = \log_3 a_{2k-1} \cdots$ ① とおくと (k は自然数)

$$b_1 = \log_3 a_1 = 0, \quad \frac{1}{3} + 3b_{k+1} = 4b_k$$

したがって $b_{k+1} - \frac{1}{3} = \frac{4}{3} \left(b_k - \frac{1}{3} \right)$

数列 $\left\{ b_k - \frac{1}{3} \right\}$ は, 初項 $-\frac{1}{3}$, 公比 $\frac{4}{3}$ の等比数列であるから

$$b_k - \frac{1}{3} = -\frac{1}{3} \left(\frac{4}{3} \right)^{k-1} \quad \text{ゆえに} \quad b_k = \frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{3} \right)^{k-1} \right\}$$

① から $\log_3 a_{2k-1} = \frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{3} \right)^{k-1} \right\}$ よって $a_{2k-1} = 3^{\frac{1}{3} \left\{ 1 - \left(\frac{4}{3} \right)^{k-1} \right\}}$ ■

6 (1) $f(\theta) = x = r(\theta) \cos \theta = \sqrt{2 \cos 2\theta} \cos \theta$

$$g(\theta) = y = r(\theta) \sin \theta = \sqrt{2 \cos 2\theta} \sin \theta$$

(2) (1) の結果から

$$\{g(\theta)\}^2 = 2 \cos 2\theta \sin^2 \theta = 2(1 - 2 \sin^2 \theta) \sin^2 \theta$$

$$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6} \text{ より, } t = \sin^2 \theta, \quad h(t) = \{g(\theta)\}^2 \text{ とおくと}$$

$$h(t) = 2(1 - 2t)t = -4 \left(t - \frac{1}{4}\right)^2 + \frac{1}{4} \quad \left(0 \leq t \leq \frac{1}{4}\right)$$

$$\text{したがって, } h(t) \text{ の最大値は } h\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}$$

$g(\theta) \geq 0$ であるから, $h(t)$ が最大るとき, $g(\theta)$ は最大となる.

よって, $g(\theta)$ の最大値は

$$t = \frac{1}{4} \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{6} \text{ のとき, 最大値 } \frac{1}{2}$$

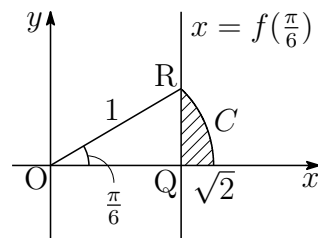
(3) $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき $r\left(\frac{\pi}{6}\right) = \sqrt{2 \cos \frac{\pi}{3}} = 1$

右の図において

$$OR = r\left(\frac{\pi}{6}\right) = 1$$

$$OQ = OR \cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$RQ = OR \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2}$$



求める面積を S とすると, 図の斜線部分であるから

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \{r(\theta)\}^2 d\theta - \triangle ORQ \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{6}} 2 \cos 2\theta d\theta - \frac{1}{2} OQ \cdot RQ \\ &= \frac{1}{2} \left[\sin 2\theta \right]_0^{\frac{\pi}{6}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{3}}{8} \end{aligned}$$

■

- 7** (1) $n = 3$ のとき, $0, 0, 1, 2, 3$ の数が書かれた 5 個の球を, 数 0 が書かれた 2 個の球を $0_1, 0_2$ と区別する.

$0_1, 0_2, 1, 2, 3$ の 5 つから 3 つとる a, b, c の順列の総数は

$${}_5P_3 = 5 \cdot 4 \cdot 3 = 60 \text{ (通り)}$$

$a + b \leq c$ となる (a, b) の組は c の値により, 次の場合に分けられる.

- (i) $c = 1$ のとき, $0_1, 0_2$ の 2 つを並べる順列の総数であるから

$$2! = 2 \cdot 1 = 2 \text{ (通り)}$$

- (ii) $c = 2$ のとき, $0_1, 0_2, 1$ の 3 つから 2 つとる順列の総数であるから

$${}_3P_2 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ (通り)}$$

- (iii) $c = 3$ のとき, $0_1, 0_2, 1, 2$ の 4 つから 2 つとる順列の総数であるから

$${}_4P_2 = 4 \cdot 3 = 12 \text{ (通り)}$$

よって
$$P(3) = \frac{2 + 6 + 12}{60} = \frac{1}{3}$$

- (2) (iv) $a + b = c \cdots \textcircled{1}$ を満たすのは $c \geq 3, a \neq 0, b \neq 0$ のときである.
 c が奇数のとき, $\textcircled{1}$ を満たす (a, b) の組数は下に示した $c - 1$ (組)

$$(a, b) = (1, c - 1), (2, c - 2), \dots, (c - 1, 1)$$

c が偶数のとき, $a \neq b$ により, $\textcircled{1}$ を満たす (a, b) の組数は $c - 2$ (組)

したがって, $\textcircled{1}$ を満たす (a, b) の組数は

$$c - 1 - \frac{1 + (-1)^c}{2} = c - \frac{3}{2} + \frac{1}{2}(-1)^{c-1} \quad (c \geq 3)$$

- (v) a, b の少なくとも 1 つが 0 で $a + b \leq c$ ($c \geq 3$) を満たす (a, b) の組数は, $0_1, 0_2, 1, 2, \dots, c - 1$ の $c + 1$ 個から 2 個とる順列の総数から $1, 2, \dots, c - 1$ の $c - 1$ 個から 2 個とる順列の総数を引いたものであるから

$${}_{c+1}P_2 - {}_{c-1}P_2 = (c + 1)c - (c - 1)(c - 2) = 4c - 2$$

$a + b \leq c \cdots \textcircled{2}$ を満たす c の値は $c \geq 1$

c の値に対して $\textcircled{2}$ を満たす (a, b) の組の総数を $f(c)$ とする.

$c \geq 3$ のとき, (iv), (v) から

$$\begin{aligned} f(c) &= \sum_{k=3}^c \left\{ k - \frac{3}{2} + \frac{1}{2}(-1)^{k-1} \right\} + 4c - 2 \\ &= \frac{1}{2}(c-2)(3+c) - \frac{3}{2}(c-2) + \frac{1}{2} \times \frac{1 - (-1)^{c-2}}{1 - (-1)} + 4c - 2 \\ &= \frac{1}{2}c^2 + 3c - \frac{7}{4} + \frac{1}{4}(-1)^{c-1} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

(i), (ii) から $f(1) = 2, f(2) = 6$

上の結果から, $c = 1, 2$ のときも $(*)$ は成立するから

$$\begin{aligned} \sum_{c=1}^n f(c) &= \sum_{c=1}^n \left\{ \frac{1}{2}c^2 + 3c - \frac{7}{4} + \frac{1}{4}(-1)^{c-1} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} n(n+1)(2n+1) + 3 \cdot \frac{1}{2} n(n+1) - \frac{7}{4}n + \frac{1}{4} \cdot \frac{1 - (-1)^n}{1 - (-1)} \\ &= \frac{1}{12} n(2n^2 + 21n - 2) + \frac{1}{8} \{1 - (-1)^n\} \end{aligned}$$

$$n \text{ が偶数のとき} \quad \sum_{c=1}^n f(c) = \frac{1}{12} n(2n^2 + 21n - 2)$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad P(n) &= \frac{1}{n+2P_3} \sum_{c=1}^n f(c) \\ &= \frac{1}{(n+2)(n+1)n} \times \frac{1}{12} n(2n^2 + 21n - 2) \\ &= \frac{2n^2 + 21n - 2}{12(n+1)(n+2)} \end{aligned}$$

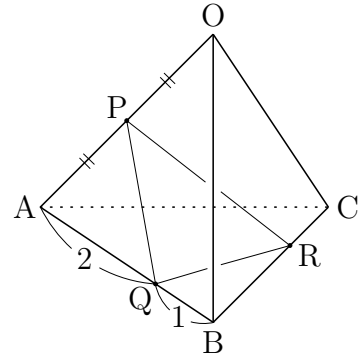


- 8 (1) 条件から, P は線分 OA の中点, Q は線分 AB を 2:1 に内分する点であるから

$$\overrightarrow{OP} = \frac{1}{2}\vec{a}, \quad \overrightarrow{OQ} = \frac{\vec{a} + 2\vec{b}}{3}$$

よって, $\triangle PQR$ の重心 H の位置ベクトルは

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= \frac{1}{3} (\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{OQ} + \overrightarrow{OR}) \\ &= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2}\vec{a} + \frac{\vec{a} + 2\vec{b}}{3} + \overrightarrow{OR} \right) \\ &= \frac{5}{18}\vec{a} + \frac{2}{9}\vec{b} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OR} \end{aligned}$$



- (2) (1) の結果から $\overrightarrow{OH} = \frac{5}{18}\overrightarrow{OA} + \frac{2}{9}\overrightarrow{OB} + \frac{1}{3}\overrightarrow{OR}$

O, G, H は同一直線上にあるから, 実数 k を用いて

$$\overrightarrow{OG} = \frac{5}{18}k\overrightarrow{OA} + \frac{2}{9}k\overrightarrow{OB} + \frac{1}{3}k\overrightarrow{OR} \quad \dots \textcircled{1}$$

G は平面 ABR 上の点であるから

$$\frac{5}{18}k + \frac{2}{9}k + \frac{1}{3}k = 1 \quad \text{すなわち} \quad k = \frac{6}{5}$$

これを ① に代入すると

$$\overrightarrow{OG} = \frac{1}{3}\vec{a} + \frac{4}{15}\vec{b} + \frac{2}{5}\overrightarrow{OR}$$

また, G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$\overrightarrow{OG} = \frac{1}{3}\vec{a} + \frac{1}{3}\vec{b} + \frac{1}{3}\vec{c}$$

上の 2 式から
$$\frac{1}{3}\vec{a} + \frac{4}{15}\vec{b} + \frac{2}{5}\overrightarrow{OR} = \frac{1}{3}\vec{a} + \frac{1}{3}\vec{b} + \frac{1}{3}\vec{c}$$

よって

$$\overrightarrow{OR} = \frac{1}{6}\vec{b} + \frac{5}{6}\vec{c}$$



- 9 (1) $Q_1Q_2 = 2z$ とし, 求める面積を S とすると

$$S = \triangle ABC - x^2 - y^2 - z^2 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$2x + 2y + 2z = BC = \sqrt{2} \text{ であるから}$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{2}} - (x + y) \quad \cdots \textcircled{2}$$

② を ① に代入すると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} - x^2 - y^2 - \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} - (x + y) \right\}^2 \\ &= \frac{1}{2} - x^2 - y^2 - \left\{ \frac{1}{2} - \sqrt{2}(x + y) + (x + y)^2 \right\} \\ &= -2x^2 - 2xy - 2y^2 + \sqrt{2}x + \sqrt{2}y \end{aligned}$$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} S &= -2y^2 + (\sqrt{2} - 2x)y - 2x^2 + \sqrt{2}x \\ &= -2 \left(y^2 - \frac{\sqrt{2} - 2x}{2}y \right) - 2x^2 + \sqrt{2}x \\ &= -2 \left(y - \frac{\sqrt{2} - 2x}{4} \right)^2 + 2 \left(\frac{\sqrt{2} - 2x}{4} \right)^2 - 2x^2 + \sqrt{2}x \\ &= -2 \left(y - \frac{\sqrt{2} - 2x}{4} \right)^2 - \frac{3}{2}x^2 + \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{1}{4} \end{aligned}$$

$$y = \frac{\sqrt{2} - 2x}{4} \text{ のとき, } S \text{ は最大値 } -\frac{3}{2}x^2 + \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{1}{4} \text{ をとる.}$$

$$\text{よって} \quad S(x) = -\frac{3}{2}x^2 + \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{1}{4}$$

$$(3) (2) \text{ の結果から } S(x) = -\frac{3}{2} \left(x - \frac{\sqrt{2}}{6} \right)^2 + \frac{1}{3} \quad \left(0 < x < \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$\text{よって, } S(x) \text{ は, } x = \frac{\sqrt{2}}{6} \text{ のとき, 最大値 } \frac{1}{3} \text{ をとる.}$$

補足 (1) の結果は, x, y の対称式であるから, S が最大値をとるとき $x = y$

$$\text{このとき} \quad S = -6x^2 + 2\sqrt{2}x = -6 \left(x - \frac{\sqrt{2}}{6} \right)^2 + \frac{1}{3}$$

$$\text{よって, } S \text{ は } x = y = \frac{\sqrt{2}}{6} \text{ のとき最大値 } \frac{1}{3} \text{ をとる.}$$



10 (1) $a_1 = 0, a_{n+1} = (1-r)r^{n-1} + r^2 a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$

上の漸化式に順次, $n = 1, 2, 3$ を代入すると

$$\begin{aligned} a_2 &= (1-r)1 + r^2 a_1 = 1-r + r^2 \cdot 0 = 1-r \\ a_3 &= (1-r)r + r^2 a_2 = r-r^2 + r^2(1-r) = r-r^3 \\ a_4 &= (1-r)r^2 + r^2 a_3 = r^2-r^3 + r^2(r-r^3) = r^2-r^5 \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から, 第 n 項 a_n を

$$a_n = r^{n-2} - r^{2n-3} \quad \dots (*)$$

と推測する.

[1] $n = 1$ のとき, $a_1 = r^{-1} - r^{-1} = 0$ であり, $(*)$ が成り立つ.

[2] $n = k$ のとき, $(*)$ が成り立つ, すなわち

$$a_k = r^{k-2} - r^{2k-3}$$

であると仮定すると

$$a_{k+1} = (1-r)r^{k-1} + r^2(r^{k-2} - r^{2k-3}) = r^{k-1} - r^{2k-1}$$

となり, $n = k+1$ のときも $(*)$ が成り立つ.

[1], [2] から, すべての自然数 n について, $(*)$ が成り立つ.

(3) (2) の結果から
$$\sum_{k=1}^n a_k = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^n \{r^{k-1} - (r^2)^{k-1}\}$$

(i) $r \neq -1$ のとき

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n a_k &= \frac{1}{r} \sum_{k=1}^n \{r^{k-1} - (r^2)^{k-1}\} \\ &= \frac{1}{r} \left(\frac{r^n - 1}{r - 1} - \frac{r^{2n} - 1}{r^2 - 1} \right) = \frac{1}{r} \left\{ \frac{r^n - 1}{r - 1} - \frac{(r^n + 1)(r^n - 1)}{(r + 1)(r - 1)} \right\} \\ &= \frac{r^n - 1}{r(r + 1)(r - 1)} \{(r + 1) - (r^n + 1)\} = -\frac{(r^n - 1)(r^{n-1} - 1)}{(r + 1)(r - 1)} \end{aligned}$$

(ii) $r = -1$ のとき

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n a_k &= -\sum_{k=1}^n \{(-1)^{k-1} - 1\} \\ &= -\left\{ \frac{1 - (-1)^n}{1 - (-1)} - n \right\} = \frac{(-1)^n - 1}{2} + n \end{aligned}$$

補足 与えられた漸化式から

$$\begin{aligned} a_{n+1} - r^2 a_n &= (1-r)r^{n-1} \\ \frac{a_{n+1}}{r^{2n+2}} - \frac{a_n}{r^{2n}} &= \frac{1-r}{r^4} (r^{-1})^{n-1} \end{aligned}$$

$n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{a_{k+1}}{r^{2k+2}} - \frac{a_k}{r^{2k}} \right) &= \frac{1-r}{r^4} \sum_{k=1}^{n-1} (-1)^{k-1} \\ \frac{a_n}{r^{2n}} &= \frac{1-r}{r^4} \times \frac{1 - (r^{-1})^{n-1}}{1 - r^{-1}} = -\frac{1 - r^{-n+1}}{r^3} \end{aligned}$$

よって $a_n = r^{n-2} - r^{2n-3}$

$a_1 = 0$ であるから, 上式は $n = 1$ のときも成り立つ.

したがって, 一般項 a_n は $a_n = r^{n-2} - r^{2n-3}$ ■

- 11** (1) B, C の中点を M とし, 直線 GE を ℓ とする.

$\triangle AMC$ と ℓ について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AG}{GM} \cdot \frac{ME}{EC} \cdot \frac{CH}{HA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{2}{1} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{CH}{HA} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{CH}{HA} = \frac{1}{3} \quad \text{よって} \quad \mathbf{CH : HA = 1 : 3}$$

- (2) $\triangle ABC$ と ℓ について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AI}{IB} \cdot \frac{BE}{EC} \cdot \frac{CH}{HA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AI}{IB} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{1}{3} = 1$$

$$\text{したがって} \quad \frac{AI}{IB} = \frac{3}{2} \quad \text{よって} \quad \mathbf{BI : IA = 2 : 3}$$

- (3) (1),(2) の結果から

$$AI : ID = 3 : 2 + 5 = 3 : 7, \quad FH : HA = 4 + 3 : 3 = 7 : 3$$

$\triangle ADF$ と ℓ について, メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AI}{ID} \cdot \frac{DJ}{JF} \cdot \frac{FH}{HA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{3}{7} \cdot \frac{DJ}{JF} \cdot \frac{7}{3} = 1$$

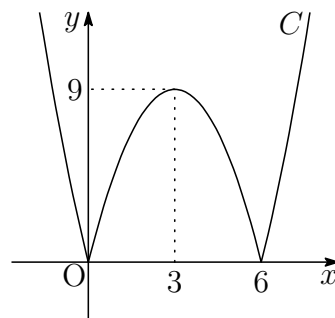
$$\text{したがって} \quad \frac{DJ}{JF} = 1 \quad \text{よって} \quad \mathbf{DJ : JF = 1 : 1} \quad \blacksquare$$

12 (1) $|x^2 - 6x| = \begin{cases} (x-3)^2 - 9 & (x \leq 0, 6 \leq x) \\ -(x-3)^2 + 9 & (0 \leq x \leq 6) \end{cases}$

したがって

$$C: y = |x^2 - 6x|$$

のグラフは、右の図のようになる.



(2) $y = -x^2 + 6x$ を微分すると $y' = -2x + 6$

$y = -x^2 + 6x$ の $x = 0$ における接線の傾きは $y' = 6$

(1) のグラフから、 C と ℓ が異なる 3 つの共有点をもつ k の値の範囲は

$$0 < k < 6$$

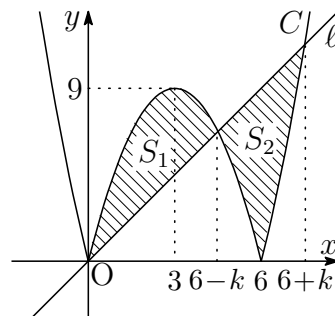
(3) C と ℓ の共有点の x 座標は

$x \leq 0, 6 \leq x$ のとき,

$$x^2 - 6x = kx \quad \text{よって} \quad x = 0, 6 + k$$

$0 \leq x \leq 6$ のとき,

$$-x^2 + 6x = kx \quad \text{よって} \quad x = 0, 6 - k$$



$0 \leq x \leq 6 - k$ の範囲で C と ℓ で囲まれた部分の面積を S_1 とすると

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{6-k} \{-x^2 + 6x - kx\} dx \\ &= -\int_0^{6-k} x(x - 6 + k) dx = \frac{1}{6}(6 - k)^3 \end{aligned}$$

$f(x) = x(x - 6)$ とし、この原始関数を $F(x)$ とする.

$6 - k \leq x \leq 6 + k$ の範囲で C と ℓ で囲まれた部分の面積を S_2 とすると

$$\begin{aligned} S_2 &= \int_{6-k}^{6+k} \{kx - |f(x)|\} dx \\ &= \left[\frac{1}{2}kx^2 \right]_{6-k}^{6+k} + \int_{6-k}^6 f(x) dx - \int_6^{6+k} f(x) dx \\ &= 12k^2 - F(6 - k) - F(6 + k) + 2F(6) \end{aligned}$$

C と ℓ で囲まれた 2 つの部分の面積の和を $S(k)$ とすると,

$S(k) = S_1 + S_2$ より

$$S(k) = \frac{1}{6}(6-k)^3 + 12k^2 - F(6-k) - F(6+k) + 2F(6)$$

これを k について微分すると

$$\begin{aligned} S'(k) &= -\frac{1}{2}(6-k)^2 + 24k + f(6-k) - f(6+k) \\ &= -\frac{1}{2}(6-k)^2 + 24k + (k^2 - 6k) - (k^2 + 6k) \\ &= -\frac{1}{2}(k^2 - 36k + 36) \end{aligned}$$

$S'(k) = 0$ とすると $k = 6(3 \pm 2\sqrt{2})$

ここで $0 < 6(3 - 2\sqrt{2}) = \frac{6}{3 + 2\sqrt{2}} < 6 < 6(3 + 2\sqrt{2})$

したがって, $0 \leq k \leq 6$ における $S(k)$ の増減表は, 次のようになる.

k	0	...	$6(3 - 2\sqrt{2})$	...	6
$S'(k)$		-	0	+	
$S(k)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

よって, 求める k の値は $k = 6(3 - 2\sqrt{2})$

補足 右の図から

$$S_3 + (S_3 - S_1) + S_2 = \frac{1}{6}(6+k)^3$$

したがって

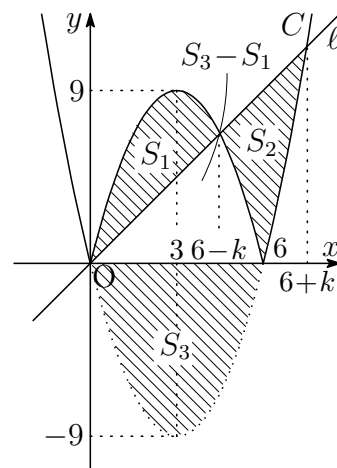
$$S(k) = S_1 + S_2 = \frac{1}{6}(6+k)^3 + 2S_1 - 2S_3$$

このとき

$$S_1 = \frac{1}{6}(6-k)^3, \quad S_3 = \frac{1}{6} \cdot 6^3 = 36$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad S(k) &= \frac{1}{6}(6+k)^3 + 2 \times \frac{1}{6}(6-k)^3 - 2 \times 36 \\ &= \frac{1}{6}(6+k)^3 + \frac{1}{3}(6-k)^3 - 72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{これを微分すると} \quad S'(k) &= \frac{1}{2}(6+k)^2 - (6-k)^2 \\ &= -\frac{1}{2}(k^2 - 36k + 36) \end{aligned}$$



■

8.2 2016 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [2] [3] [4] [5] [6] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化 (中学数学) 学部 [1] [4] [7] [8] [9] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化 (中学 [社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム) 学部・農学部 [7] [10] [11] 数 I・II・A・B (90 分)

1 次の各問に答えよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 次の関数を微分せよ.

(a) $y = \frac{x}{1 + e^{\frac{1}{x}}}$

(b) $y = \log \sqrt{\frac{\sqrt{1+x^2}+x}{\sqrt{1+x^2}-x}}$

(2) 次の定積分の値を求めよ.

(a) $\int_0^2 |e^x - 2| dx$

(b) $\int_0^{\frac{\pi}{3}} x \sin^2(2x) dx$

(c) $\int_1^e \frac{\sqrt{1+\log x}}{x} dx$

(d) $\int_2^4 \frac{2x^3 + x^2 - 2x + 2}{x^4 + x^2 - 2} dx$

2 複素数 z の方程式 $z^3 + i = z^2 + iz$ (i は虚数単位) の 3 つの解を, その偏角 θ (ただし, $0 \leq \theta < 2\pi$) の小さい順に α, β, γ とする. 複素数平面上で, α, β, γ を表す点をそれぞれ A, B, C とし, 直線 AC に関して B と対称な点を D, 直線 AB に関して C と対称な点を E とする. このとき, 次の各問に答えよ.

(1) α, β, γ を $x + yi$ (x, y は実数) の形でそれぞれ表せ.

(2) $\triangle ABC$ の面積を求めよ.

(3) 複素数平面上で, 3 点 A, D, E を通る円周上のどの複素数 z も,
 $z\bar{z} + sz + t\bar{z} + u = 0$ を満たすような複素数の定数 s, t, u を求めよ.

3 $y > 0$ とするとき、不等式

$$y^{\frac{2}{x}} + y^{-\frac{2}{x}} - 6(y^{\frac{1}{x}} + y^{-\frac{1}{x}}) + 10 \leq 0$$

について、次の各問に答えよ.

- (1) $X = y^{\frac{1}{x}} + y^{-\frac{1}{x}}$ とするとき、この不等式を、 X を用いて表せ.
- (2) この不等式を満たす点 (x, y) の全体が表す図形を座標平面上に図示せよ.

4 A と B は、赤球 2 個と白球 1 個が入った袋をそれぞれ 1 つずつ持っている. 次のような試行を考える.

A と B が、それぞれ自分の持っている袋の中から無作為に球を 1 つ選び、色を見てからもとの袋に戻す.

上の試行を n ($n \geq 2$) 回繰り返したとき、 n 回の試行の中で A と B が取り出した球の色が一致することが少なくとも 1 回起こるが続けては起こらない確率を P_n とする. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 1 回の試行で、A と B が取り出した球の色が一致する確率を求めよ.
- (2) P_2, P_3 を求めよ.
- (3) $n \geq 4$ のとき,

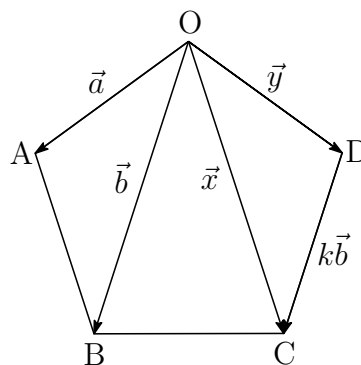
$$P_n = \frac{4}{9}P_{n-1} + \frac{20}{81}P_{n-2} + \frac{5 \cdot 4^{n-1}}{9^n}$$

が成り立つことを示せ.

5 一辺の長さ 1 の正五角形 OABCD について、OB と DC は平行である.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OA} &= \vec{a}, \quad \overrightarrow{OB} = \vec{b}, \quad \overrightarrow{OC} = \vec{x}, \\ \overrightarrow{OD} &= \vec{y}, \quad \overrightarrow{DC} = k\vec{b} \quad (k \text{ は実数}) \end{aligned}$$

とするとき、次の各問に答えよ.



- (1) k の値を求め、 $\vec{x}, \vec{y}$ を、 $\vec{a}$ と $\vec{b}$ を用いてそれぞれ表せ.
- (2) $\vec{a}$ と $\vec{b}$ のなす角を θ とするとき、 $\cos \theta$ の値を求めよ.
- (3) $\vec{a}$ と $\vec{x}$ の内積を求めよ.

- 6** $k > 0$, $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ とする. 座標平面上の原点 O , 点 $A(0, 1)$ に対し, 第一象限の点 P を, $\angle AOP = \theta$ を満たすように円 $D: x^2 + y^2 = 1$ 上にとり, 直線 OP と直線 $x = k\theta$ との交点を Q とする. θ を $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の範囲で動かすときの点 Q の軌跡を曲線 $y = f(x)$ とし, 関数 $y = g(x) = \frac{f(x)}{x}$ で定める曲線を C とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $r(\theta) = OQ$ とするとき, $\lim_{\theta \rightarrow +0} r(\theta)$ の値を求めよ.
- (2) 点 Q がつねに円 D の内部にあるための k の条件を求めよ.
- (3) 関数 $g(x)$ の増減と凹凸を調べ, 曲線 C の概形をかけ.
- (4) 曲線 C と x 軸および 2 直線 $x = \frac{\pi}{4}k$, $x = \frac{\pi}{3}k$ とで囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積を, k を用いて表せ.

- 7** $\triangle ABC$ において, $\angle C = 90^\circ$, $AB : AC = 5 : 4$ とする. 辺 BC の点 C 側の延長上に, $CA = CD$ となる点 D をとる. 辺 AB の中点を E とし, 点 B から直線 AD に下した垂線を BF とするとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $EF = EC$ を示せ.
- (2) 面積比 $\triangle ABC : \triangle CEF$ を求めよ.

- 8** 2 以上の自然数 n と自然数 a について, 和

$$1 \cdot (1 + a) + 2 \cdot (2 + a) + \cdots + (n - 1) \{ (n - 1) + a \}$$

を S とおく. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 6 と n が互いに素であるとき, すべての自然数 a に対して, S は n で割り切れることを示せ.
- (2) n を 6 で割った余りが 2 であるとき, すべての奇数 a に対して, S は n で割り切れることを示せ.
- (3) n を 6 で割った余りが 3 であるとき, すべての自然数 a に対して, S を n で割った余りを, n を用いて表せ. ただし, 求める余りは, 0 以上 $n - 1$ 以下の範囲で求めよ.

9 $r > 0$ とするとき、関数 $f_n(x)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を

$$f_1(x) = e^{-rx},$$

$$f_{n+1}(x) = nre^{-(n+1)rx} \int_0^x f_n(t)e^{(n+1)rt} dt \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって定める. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 関数 $f_2(x)$, $f_3(x)$ を求めよ.
- (2) 関数 $f_n(x)$ を推測し、その推測が正しいことを、数学的帰納法を用いて証明せよ.
- (3) $n \geq 3$, $x > 0$ のとき、関数 $f_n(x)$ の極値を求めよ.

10 A と B は、赤球 2 個と白球 1 個が入った袋をそれぞれ 1 つずつ持っている. 次のような試行を考える.

A と B が、それぞれ自分の持っている袋の中から無作為に球を 1 つ選び、色を見てからもとの袋に戻す.

このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 1 回の試行で、A と B が取り出した球の色が一致する確率を求めよ.
- (2) 上の試行を 3 回繰り返したとき、3 回の試行の中で A と B が取り出した球の色が一致することが少なくとも 1 回起こるが続けては起こらない確率を求めよ.
- (3) 上の試行を 4 回繰り返したとき、4 回の試行の中のどこかで、A と B が取り出した球の色が一致することが 2 回続けて起こり、かつ 3 回以上続けて起こらない確率を求めよ.

11 関数 $f(x) = -\frac{1}{2}x^2 + 2|x+1| + 1$ に対し、座標平面上の曲線 $y = f(x)$ を C とする. 点 $P(t, f(t))$ ($t > -1$) における曲線 C の接線に垂直で、点 P を通る直線を ℓ とする. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 直線 ℓ の方程式を、 t を用いて表せ.
- (2) 直線 ℓ が点 $(-1, f(-1))$ を通るとき、 t の中で最も小さいものを求めよ.
- (3) (2) で求めた t が定める直線 ℓ と曲線 C によって囲まれる部分の面積を求めよ.

解答例

$$\begin{aligned} \text{[1]} \quad (1) \quad (a) \quad y' &= \frac{(x)' \left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right) - x \left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right)'}{\left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right)^2} = \frac{1 \left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right) - x \left(-\frac{1}{x^2} e^{\frac{1}{x}}\right)'}{\left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right)^2} \\ &= \frac{1 + e^{\frac{1}{x}} + \frac{1}{x} e^{\frac{1}{x}}}{\left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right)^2} = \frac{x + (x+1)e^{\frac{1}{x}}}{x \left(1 + e^{\frac{1}{x}}\right)^2} \end{aligned}$$

$$(b) \quad y = \log \sqrt{\frac{\sqrt{1+x^2}+x}{\sqrt{1+x^2}-x}} = \log(\sqrt{1+x^2}+x) \text{ より}$$

$$y' = \frac{(\sqrt{1+x^2}+x)'}{\sqrt{1+x^2}+x} = \frac{\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}+1}{\sqrt{1+x^2}+x} = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad (a) \quad \int_0^2 |x^2 - 2| dx &= -\int_0^{\log 2} (e^x - 2) dx + \int_{\log 2}^2 (e^x - 2) dx \\ &= -\left[e^x - 2x\right]_0^{\log 2} + \left[e^x - 2x\right]_{\log 2}^2 \\ &= (e^0 - 2 \cdot 0) + (e^2 - 2 \cdot 2) - 2(e^{\log 2} - 2 \log 2) \\ &= e^2 + 4 \log 2 - 7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \quad \int_0^{\frac{\pi}{3}} x \sin^2(2x) dx &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{1}{2}x - \frac{1}{2}x \cos 4x\right) dx \\ &= \left[\frac{1}{4}x^2 - \frac{1}{8}x \sin 4x - \frac{1}{32} \cos 4x\right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= \frac{1}{36}\pi^2 + \frac{\sqrt{3}}{48}\pi + \frac{3}{64} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (c) \quad \int_1^e \frac{\sqrt{1+\log x}}{x} dx &= \int_1^e (1+\log x)^{\frac{1}{2}} (1+\log x)' dx \\ &= \left[\frac{2}{3}(1+\log x)^{\frac{3}{2}}\right]_1^e = \frac{2}{3}(2\sqrt{2}-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (d) \quad \int_2^4 \frac{2x^3 + x^2 - 2x + 2}{x^4 + x^2 - 2} dx &= \int_2^4 \frac{2x(x^2-1) + (x^2+2)}{(x^2-1)(x^2+2)} dx \\ &= \int_2^4 \left(\frac{2x}{x^2+2} + \frac{1}{x^2-1}\right) dx \\ &= \left[\log(x^2+2) + \frac{1}{2} \log \frac{x-1}{x+1}\right]_2^4 \\ &= 2 \log 3 - \frac{1}{2} \log 5 \end{aligned}$$

■

- 2 (1) $z^3 + i = z^2 + iz$ より $(z-1)(z^2-i) = 0$ ゆえに $z = 1, z^2 = i$
 $i = \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}$ であるから, $z^2 = i$ について $z = \cos \theta + i \sin \theta$ とすると

$$2\theta = \frac{\pi}{2} + 2n\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad \text{ゆえに} \quad \theta = \frac{\pi}{4} + n\pi$$

$$0 \leq \theta < 2\pi \text{ より} \quad \theta = \frac{\pi}{4}, \frac{5}{4}\pi$$

よって, 偏角に注意すると

$$\alpha = \cos 0 + i \sin 0 = 1$$

$$\beta = \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i$$

$$\gamma = \cos \frac{5}{4}\pi + i \sin \frac{5}{4}\pi = -\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}}i$$

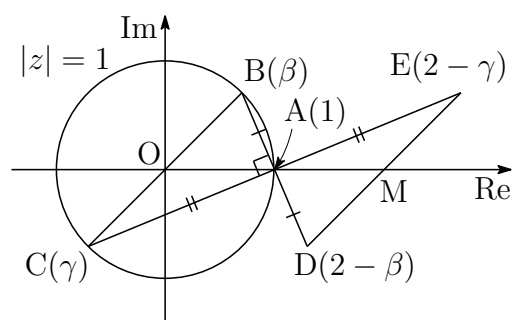
- (2) (1) の結果から

$$\angle AOB = \frac{\pi}{4}, \quad \angle COA = \frac{3}{4}\pi$$

$$|\alpha| = |\beta| = |\gamma| = 1 \text{ であるから}$$

$$\triangle AOB = \frac{1}{2} \cdot 1^2 \sin \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

$$\triangle COA = \frac{1}{2} \cdot 1^2 \sin \frac{3}{4}\pi = \frac{\sqrt{2}}{4}$$



$$\text{よって} \quad \triangle ABC = \triangle AOB + \triangle COA = \frac{\sqrt{2}}{4} + \frac{\sqrt{2}}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

- (3) 3点 A, B, C を通る円は, BC を直径とする円であるから $AB \perp AC$
したがって, A に関して D, E はそれぞれ B, C と対称であるから

$$D(2-\beta), \quad E(2-\gamma)$$

このとき, $\angle DAE = \frac{\pi}{2}$ であるから, 3点 A, D, E を通る円は, DE を直径とする円である. DE の中点 (中心) を M とすると, $\beta + \gamma = 0$ であるから, $M(2)$. また, 円の半径 AM は $2 - 1 = 1$.

したがって, この円の方程式は $|z-2| = 1$ となり, $|z-2|^2 = 1$ より

$$(z-2)(\bar{z}-2) = 1 \quad \text{整理すると} \quad z\bar{z} - 2z - 2\bar{z} + 3 = 0$$

$$\text{よって} \quad s = -2, \quad t = -2, \quad u = 3$$



3 (1) $y^{\frac{2}{x}} + y^{-\frac{2}{x}} = \left(y^{\frac{1}{x}} + y^{-\frac{1}{x}}\right)^2 - 2$ であるから、与えられた不等式は

$$\left(y^{\frac{1}{x}} + y^{-\frac{1}{x}}\right)^2 - 6\left(y^{\frac{1}{x}} + y^{-\frac{1}{x}}\right) + 8 \leq 0 \quad \text{よって} \quad X^2 - 6X + 8 \leq 0$$

(2) (1) の結果から $(X-2)(X-4) \leq 0$ ゆえに $2 \leq X \leq 4$

ここで、 $t = y^{\frac{1}{x}}$ とおくと ($t > 0$), $X = t + \frac{1}{t}$ であるから

$$2 \leq t + \frac{1}{t} \leq 4$$

$t > 0$ であるから

$$t^2 - 2t + 1 \geq 0 \quad \text{かつ} \quad t^2 - 4t + 1 \leq 0$$

上の第1式から $(t-1)^2 \geq 0$, 第2式から $2 - \sqrt{3} \leq t \leq 2 + \sqrt{3}$

これらを同時に満たす t の値の範囲は $2 - \sqrt{3} \leq t \leq 2 + \sqrt{3}$

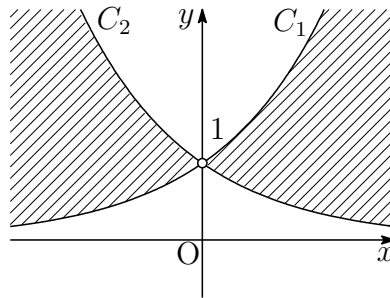
したがって $2 - \sqrt{3} \leq y^{\frac{1}{x}} \leq 2 + \sqrt{3}$

このとき、 $y > 0$ および $x \neq 0$ であることに注意して

$$x > 0 \text{ のとき} \quad (2 - \sqrt{3})^x \leq y \leq (2 + \sqrt{3})^x$$

$$x < 0 \text{ のとき} \quad (2 + \sqrt{3})^x \leq y \leq (2 - \sqrt{3})^x$$

2 曲線を $C_1: y = (2 + \sqrt{3})^x$, $C_2: y = (2 - \sqrt{3})^x$ とおくと、点 (x, y) が表す領域は、点 $(0, 1)$ を除く図の斜線部分である。ただし境界線を含む。



注意 $0 < a < b$ とし、2つの関数 $f(x) = a^x$, $g(x) = b^x$ のグラフを考えると、次の大小関係が理解しやすい。

$$x > 0 \text{ のとき} \quad f(x) < g(x), \quad x < 0 \text{ のとき} \quad f(x) > g(x)$$



- 4 (1) A, B が赤球で一致する確率は $\frac{2}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{4}{9}$
 A, B が白球で一致する確率は $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$
 これらの事象は互いに排反であるから $\frac{4}{9} + \frac{1}{9} = \frac{5}{9}$

- (2) A, B が取り出す球の色が一致する確率を p , 一致しない確率を q とすると

$$p = \frac{5}{9}, \quad q = 1 - p = \frac{4}{9}$$

よって $P_2 = pq + qp = 2pq$

$$= 2 \times \frac{5}{9} \times \frac{4}{9} = \frac{40}{81}$$

$$P_3 = pqp + pqq + qpq + qqp = pq(p + 3q)$$

$$= \frac{5}{9} \times \frac{4}{9} \left(\frac{5}{9} + 3 \times \frac{4}{9} \right) = \frac{340}{729}$$

- (3) A と B が n 回の試行の中で取り出す球の色が一致することが少なくとも 1 回起こるが続けては起こらない事象は, 次の i) ~ iii) の和事象である. このとき, i), ii), iii) は互いに排反である.

i) A と B が 1 回目に取り出す球の色が一致せず, 2 回目から n 回目にかけて, 一致することが少なくとも 1 回起こるが続けては起こらない.

ii) A と B が 1 回目に取り出す球の色が一致し, 2 回目に一致せず, 3 回目から n 回目にかけて, 一致することが少なくとも 1 回起こるが続けては起こらない.

iii) A と B が 1 回目に取り出す球の色が一致し, 2 回目から n 回目にかけて一致しない.

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad P_n &= \frac{4}{9}P_{n-1} + \frac{5}{9} \times \frac{4}{9}P_{n-2} + \frac{5}{9} \times \left(\frac{4}{9}\right)^{n-1} \\ &= \frac{4}{9}P_{n-1} + \frac{20}{81}P_{n-2} + \frac{5 \cdot 4^{n-1}}{9^n} \end{aligned}$$



- 5 (1) $t = OB = OC = BD$ とし, OC と BD の交点を E とすると, $BC = BE = 1$ より

$$CE = DE = t - 1$$

$\triangle OBC \sim \triangle BCE$ より $OB : BC = BC : CE$ であるから

$$t : 1 = 1 : t - 1$$

したがって $t^2 - t - 1 = 0 \dots \textcircled{1}$

$t > 0$ に注意して, これを解くと $t = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}$

$$\text{よって } k = \frac{CD}{OB} = \frac{1}{t} = \frac{\sqrt{5} - 1}{2}$$

$$\begin{aligned} \vec{x} &= t\vec{AB} = t(\vec{b} - \vec{a}) = \frac{\sqrt{5} + 1}{2}(\vec{b} - \vec{a}) \\ \vec{y} &= \vec{OC} + \vec{CD} = \vec{x} - k\vec{b} = t(\vec{b} - \vec{a}) - k\vec{b} = -t\vec{a} + (t - k)\vec{b} \\ &= -\frac{\sqrt{5} + 1}{2}\vec{a} + \left(\frac{\sqrt{5} + 1}{2} - \frac{\sqrt{5} - 1}{2}\right)\vec{b} = -\frac{\sqrt{5} + 1}{2}\vec{a} + \vec{b} \end{aligned}$$

- (2) $\triangle OAB$ に余弦定理を適用すると

$$\cos \theta = \frac{OA^2 + OB^2 - AB^2}{2OA \cdot OB} = \frac{1^2 + t^2 - 1^2}{2 \cdot 1 \cdot t} = \frac{t}{2} = \frac{\sqrt{5} + 1}{4}$$

- (3) $|\vec{b}| = t$, $\cos \theta = \frac{t}{2}$, および $\textcircled{1}$ に注意して

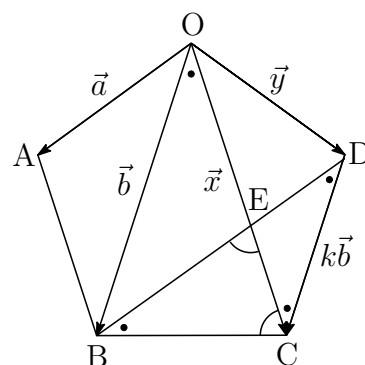
$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta = 1 \cdot t \cdot \frac{t}{2} = \frac{1}{2} t^2 = \frac{1}{2} (t + 1)$$

$$\text{よって } \vec{a} \cdot \vec{x} = \vec{a} \cdot t(\vec{b} - \vec{a}) = t(\vec{a} \cdot \vec{b} - |\vec{a}|^2)$$

$$= t \left\{ \frac{1}{2} (t + 1) - 1^2 \right\} = \frac{1}{2} (t^2 - t) = \frac{1}{2}$$

$$\text{別解 } \cos 2\theta = 2 \cos^2 \theta - 1 = 2 \left(\frac{t}{2} \right)^2 - 1 = \frac{1}{2} t^2 - 1 = \frac{1}{2} (t + 1) - 1 = \frac{1}{2} (t - 1)$$

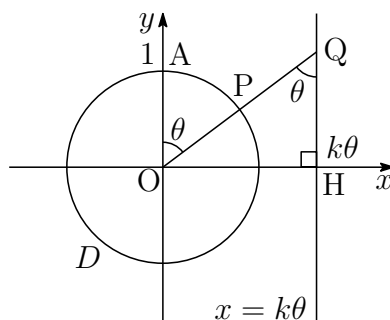
$$\text{よって } \vec{a} \cdot \vec{x} = |\vec{a}| |\vec{x}| \cos 2\theta = 1 \cdot t \cdot \frac{1}{2} (t - 1) = \frac{1}{2} (t^2 - t) = \frac{1}{2}$$



- 6 (1) 直線 $x = k\theta$ と x 軸との交点を H とすると、 $\triangle OQH$ について、 $OQ \sin \theta = OH$ であるから

$$r(\theta) \sin \theta = k\theta \quad \text{ゆえに} \quad r(\theta) = \frac{k\theta}{\sin \theta}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{\theta \rightarrow +0} r(\theta) = \lim_{\theta \rightarrow +0} k \cdot \frac{\theta}{\sin \theta} = k$$



- (2) $r(\theta) = \frac{k\theta}{\sin \theta}$ を微分すると

$$r'(\theta) = \frac{k(\sin \theta - \theta \cos \theta)}{\sin^2 \theta} = \frac{k(\tan \theta - \theta) \cos \theta}{\sin^2 \theta}$$

ここで、 $h(\theta) = \tan \theta - \theta$ とすると

$$h'(\theta) = \frac{1}{\cos^2 \theta} - 1 = \tan^2 \theta$$

上式から、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ のとき、 $h'(\theta) > 0$ であるから

$$h(\theta) > h(0) \quad \text{すなわち} \quad h(\theta) > 0$$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{2} \text{ のとき} \quad r'(\theta) = \frac{kh(\theta) \cos \theta}{\sin^2 \theta} > 0$$

$r(\theta) = \frac{k\theta}{\sin \theta}$ は単調増加であるから、点 Q がつねに D の内部にあるとき

$$\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2} - 0} r(\theta) < 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\pi}{2}k < 1$$

このとき、 $k > 0$ に注意して $0 < k < \frac{2}{\pi}$

- (3) (1) の図から、点 $Q(x, y)$ は

$$x = k\theta, \quad y = r(\theta) \cos \theta = \frac{k\theta}{\sin \theta} \cdot \cos \theta = \frac{k\theta}{\tan \theta}$$

$$\text{上の 2 式から } \theta \text{ を消去すると} \quad y = \frac{x}{\tan \frac{x}{k}} \quad \text{ゆえに} \quad f(x) = \frac{x}{\tan \frac{x}{k}}$$

$$\text{したがって} \quad g(x) = \frac{f(x)}{x} = \frac{1}{\tan \frac{x}{k}}$$

$g(x) = \left(\tan \frac{x}{k}\right)^{-1}$ を微分すると

$$g'(x) = -\left(\tan \frac{x}{k}\right)^{-2} \left(\tan \frac{x}{k}\right)' = -\frac{\cos^2 \frac{x}{k}}{\sin^2 \frac{x}{k}} \cdot \frac{\frac{1}{k}}{\cos^2 \frac{x}{k}} = -\frac{1}{k \sin^2 \frac{x}{k}}$$

$g'(x) = -\frac{1}{k} \left(\sin \frac{x}{k}\right)^{-2}$ を微分すると

$$g''(x) = \frac{2}{k} \left(\sin \frac{x}{k}\right)^{-3} \left(\sin \frac{x}{k}\right)' = \frac{2}{k} \cdot \frac{1}{\sin^3 \frac{x}{k}} \cdot \frac{1}{k} \cos \frac{x}{k} = \frac{2}{k^2} \cdot \frac{\cos \frac{x}{k}}{\sin^3 \frac{x}{k}}$$

このとき, $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ および $x = k\theta$ から

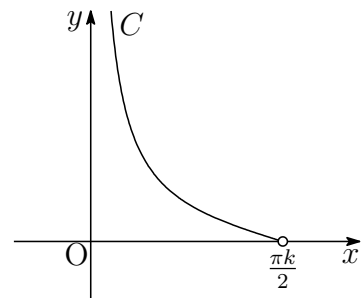
$$0 < x < \frac{\pi}{2}k$$

この範囲において $g'(x) < 0$, $g''(x) > 0$

ゆえに, $g(x)$ は単調減少で, 下に凸である.

また $\lim_{x \rightarrow +0} g(x) = \infty$, $\lim_{x \rightarrow \frac{\pi k}{2} - 0} g(x) = 0$

よって, 曲線 C のグラフの概形は右の図のようになる.



(4) 求める立体の体積を V とすると $V = \pi \int_{\frac{\pi}{4}k}^{\frac{\pi}{3}k} \frac{1}{\tan^2 \frac{x}{k}} dx$

$$x = k\theta \text{ より } \frac{dx}{d\theta} = k \quad \begin{array}{c|c} x & \frac{\pi}{4}k \longrightarrow \frac{\pi}{3}k \\ \hline \theta & \frac{\pi}{4} \longrightarrow \frac{\pi}{3} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{よって } V &= \pi \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{k}{\tan^2 \theta} d\theta = \pi k \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{1}{\sin^2 \theta} - 1 \right) d\theta \\ &= \pi k \left[-\frac{1}{\tan \theta} - \theta \right]_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} = \pi k \left(1 - \frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\pi}{12} \right) \end{aligned}$$

■

- 7 (1) $\angle AFB = \angle ACB = 90^\circ$ であるから、2点F, Cは、ABを直径とする円周上にある。このとき、Eはこの円の中心であるから

$$EF = EC$$

- (2) $\angle C = 90^\circ$, $AB : AC = 5 : 4$ より

$$\begin{aligned} AB : AC : BC &= 5 : 4 : \sqrt{5^2 - 4^2} \\ &= 5 : 4 : 3 \end{aligned}$$

条件から、 $k > 0$ とし

$$AB = 5k, \quad BC = 3k, \quad AC = CD = 4k, \quad AD = 4\sqrt{2}k$$

とおく。△ABDの面積により

$$\frac{1}{2}BD \cdot AC = \frac{1}{2}AD \cdot BF \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{2}7k \cdot 4k = \frac{1}{2} \cdot 4\sqrt{2}k \cdot BF$$

$$\text{これから} \quad BF = \frac{7\sqrt{2}}{2}k, \quad AF = \sqrt{AB^2 - BF^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}k$$

$$\text{ゆえに} \quad AF : FD = 1 : 7 \quad \text{また} \quad AE : EB = 1 : 1, \quad BC : CD = 3 : 4$$

△ABDの面積を S とすると

$$\triangle ABC = \frac{3}{7}S$$

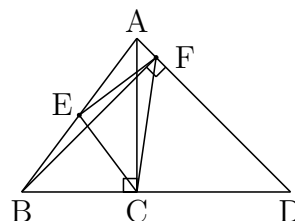
$$\triangle AEF = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{8}S = \frac{1}{16}S$$

$$\triangle BCE = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{7}S = \frac{3}{14}S$$

$$\triangle CDF = \frac{4}{7} \cdot \frac{7}{8}S = \frac{1}{2}S$$

$$\text{したがって} \quad \triangle CEF = S - \frac{1}{16}S - \frac{3}{14}S - \frac{1}{2}S = \frac{25}{112}S$$

$$\text{よって} \quad \triangle ABC : \triangle CEF = \frac{3}{7}S : \frac{25}{112}S = 48 : 25$$

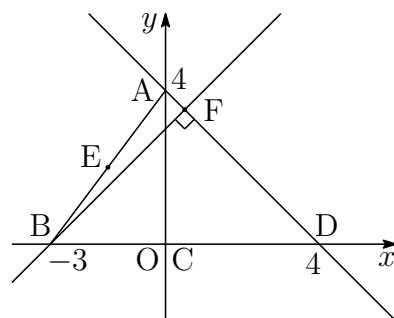


別解 $\angle C = 90^\circ$, $AB : AC = 5 : 4$ より

$$\begin{aligned} AB : AC : BC &= 5 : 4 : \sqrt{5^2 - 4^2} \\ &= 5 : 4 : 3 \end{aligned}$$

C を原点とし, 条件から

$$A(0, 4), B(-3, 0), D(4, 0)$$



とおき, 求める三角形の面積比を示してもよい.

$$E \text{ は } AB \text{ の中点であるから } E\left(-\frac{3}{2}, 2\right)$$

$$\text{直線 } AD \text{ の方程式は } y = -x + 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{直線 } BF \text{ の方程式は } y = x + 3 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ を解いて } F\left(\frac{1}{2}, \frac{7}{2}\right)$$

$$\text{したがって } \triangle ABC = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 4 = 6$$

$$\triangle CEF = \frac{1}{2} \left| -\frac{3}{2} \cdot \frac{7}{2} - 2 \cdot \frac{1}{2} \right| = \frac{25}{8}$$

$$\text{よって } \triangle ABC : \triangle CEF = 6 : \frac{25}{8} = 48 : 25$$



$$\begin{aligned}
 \boxed{8} \quad (1) \quad S &= \sum_{k=1}^{n-1} k(k+a) = \sum_{k=1}^{n-1} (k^2 + ak) \\
 &= \frac{1}{6}n(n-1)(2n-1) + \frac{1}{2}an(n-1) \\
 &= \frac{1}{6}n(n-1)(2n-1+3a) \quad \cdots (*)
 \end{aligned}$$

$$(*) \text{ より } S = n \times \frac{(n-1)(2n-1+3a)}{6} \quad \cdots \textcircled{1}$$

S は整数であるから、 6 と n が互いに素であるとき

$$(n-1)(2n-1+3a)$$

は 6 で割り切れる。よって、 $\textcircled{1}$ により、 S は n で割り切れる。

(2) $(*)$ より

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{6}n(n-1)\{2(n-2)+3(a+1)\} \\
 &= n(n-1) \left(\frac{n-2}{3} + \frac{a+1}{2} \right) \quad \cdots \textcircled{2}
 \end{aligned}$$

条件から、 $n-2$ は 6 で割り切れ、 $a+1$ は偶数であるから

$$\frac{n-2}{3} + \frac{a+1}{2}$$

は整数である。よって、 $\textcircled{2}$ により、 S は n で割り切れる。

(3) $(*)$ より

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{1}{6}n\{(n-3)+2\}\{2(n-3)+3a+5\} \\
 &= \frac{1}{6}n\{2(n-3)^2+3(a+3)(n-3)+6(a+1)+4\} \\
 &= n \left\{ \frac{(n-3)^2}{3} + \frac{(a+3)(n-3)}{2} + a+1 \right\} + \frac{2}{3}n \quad \cdots \textcircled{3}
 \end{aligned}$$

条件から、 $n-3$ は 6 で割り切れ、 a は自然数であるから

$$\frac{(n-3)^2}{3} + \frac{(a+3)(n-3)}{2} + a+1$$

は整数である。このことと S が整数であることから、 $\frac{2}{3}n$ は整数である。

$0 \leq \frac{2}{3}n < n$ および $\textcircled{3}$ により、 S を n で割った余りは $\frac{2}{3}n$ ■

9 (1) 与えられた関数列により

$$\begin{aligned}
 f_2(x) &= re^{-2rx} \int_0^x f_1(t)e^{2rt} dt = re^{-2rx} \int_0^x e^{rt} dt \\
 &= e^{-2rx} \left[e^{rt} \right]_0^x = e^{-2rx}(e^{rx} - 1) \\
 f_3(x) &= 2re^{-3rx} \int_0^x f_2(t)e^{3rt} dt = 2re^{-3rx} \int_0^x (e^{2rt} - e^{rt}) dt \\
 &= e^{-3rx} \left[e^{2rt} - 2e^{rt} \right]_0^x = e^{-3rx}(e^{2rx} - 2e^{rx} + 1) \\
 &= e^{-3rx}(e^{rx} - 1)^2
 \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から

$$f_n(x) = e^{-nrx}(e^{rx} - 1)^{n-1} \quad \dots (A)$$

と推測する.

$$[1] \quad n = 1 \text{ のとき } f_1(x) = e^{-rx}(e^{rx} - 1)^0 = e^{-rx}$$

よって, $n = 1$ のとき, (A) が成り立つ.

$$[2] \quad n = k \text{ のとき (A) が成り立つ, すなわち}$$

$$f_k(x) = e^{-krx}(e^{rx} - 1)^{k-1}$$

であると仮定すると

$$\begin{aligned}
 f_{k+1}(x) &= kre^{-(k+1)rx} \int_0^x f_k(t)e^{(k+1)rt} dt \\
 &= kre^{-(k+1)rx} \int_0^x (e^{rx} - 1)^{k-1} e^{rt} dt \\
 &= e^{-(k+1)rx} \int_0^x k(e^{rt} - 1)^{k-1} (e^{rt} - 1)' dt \\
 &= e^{-(k+1)rx} \left[(e^{rt} - 1)^k \right]_0^x = e^{-(k+1)rx}(e^{rx} - 1)^k
 \end{aligned}$$

よって, $n = k + 1$ のときも (A) が成り立つ.

[1], [2] から, すべての自然数 n について (A) が成り立つ.

(3) $f_n(x) = e^{-nr x}(e^{rx} - 1)^{n-1}$ ($n \geq 3$) を微分すると

$$\begin{aligned} f'_n(x) &= -nre^{-nr x}(e^{rx} - 1)^{n-1} + e^{-nr x} \cdot (n-1)(e^{rx} - 1)^{n-2} \cdot re^{rx} \\ &= re^{-nr x}(e^{rx} - 1)^{n-2} \{-n(e^{rx} - 1) + (n-1)e^{rx}\} \\ &= re^{-nr x}(e^{rx} - 1)^{n-2}(n - e^{rx}) \end{aligned}$$

$x > 0$ のとき, $f'_n(x) = 0$ とすると

$$n - e^{rx} = 0 \quad \text{すなわち} \quad x = \frac{1}{r} \log n$$

したがって, $f_n(x)$ の増減表は

x	(0)	$\cdots$	$\frac{1}{r} \log n$	$\cdots$
$f'_n(x)$		+	0	-
$f_n(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって, $x = \frac{1}{r} \log n$ で極大値 $\frac{(n-1)^{n-1}}{n^n}$ をとる. ■

10 (1) A, B が赤球で一致する確率は $\frac{2}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{4}{9}$

A, B が白球で一致する確率は $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$

これらの事象は互いに排反であるから $\frac{4}{9} + \frac{1}{9} = \frac{5}{9}$

(2) A, B が取り出す球の色が一致する確率を p , 一致しない確率を q とすると

$$p = \frac{5}{9}, \quad q = 1 - p = \frac{4}{9}$$

よって $pqp + pqq + qpq + qqp = pq(p + 3q)$

$$= \frac{5}{9} \times \frac{4}{9} \left(\frac{5}{9} + 3 \times \frac{4}{9} \right) = \frac{340}{729}$$

(3) 求める確率は

$$\begin{aligned} & ppqp + ppqq + qpqq + qpqp + qpqp + qpqp \\ &= 2p^3q + 3p^2q^2 = p^2q(2p + 3q) \\ &= \left(\frac{5}{9} \right)^2 \times \frac{4}{9} \times \left(2 \times \frac{5}{9} + 3 \times \frac{4}{9} \right) = \frac{2200}{6561} \end{aligned}$$
■

11 (1) $x \geq -1$ のとき $f(x) = -\frac{1}{2}x^2 + 2x + 3$, $f'(x) = -x + 2$

ℓ の方程式は ($t > -1$), $t \neq 2$ のとき $y - f(t) = -\frac{1}{f'(t)}(x - t)$

ゆえに $y - \left(-\frac{1}{2}t^2 + 2t + 3\right) = -\frac{1}{-t + 2}(x - t)$

よって $t \neq 2$ のとき $y = \frac{1}{t - 2}(x - t) - \frac{1}{2}t^2 + 2t + 3$

$t = 2$ のとき $x = 2$

(2) $f(-1) = \frac{1}{2}$ であるから, ℓ が $\left(-1, \frac{1}{2}\right)$ を通るとき

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{t - 2}(-1 - t) - \frac{1}{2}t^2 + 2t + 3$$

整理すると $t^3 - 6t^2 + 5t + 12 = 0$ ゆえに $(t + 1)(t - 3)(t - 4) = 0$

これを満たす t の中で ($t > -1$), 最小の t の値は $t = 3$

(3) $t = 3$ を (1) の結果に代入すると $\ell: y = x + \frac{3}{2}$

$C: y = -\frac{1}{2}x^2 + 2|x + 1| + 1$ は

$$x \leq -1 \text{ のとき } y = -\frac{1}{2}x^2 - 2x - 1$$

$$x \geq -1 \text{ のとき } y = -\frac{1}{2}x^2 + 2x + 3$$

ℓ と C の共有点の x 座標は

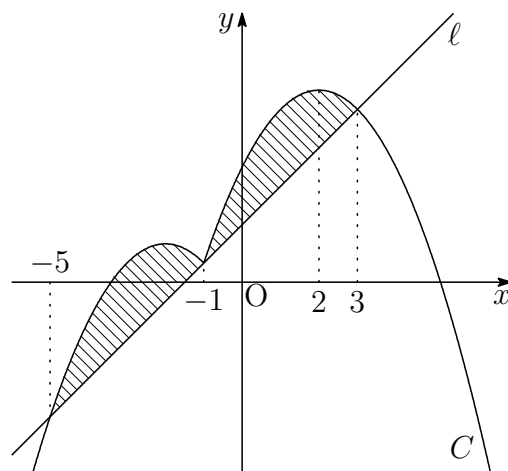
$x \leq -1$ のとき

$$-\frac{1}{2}x^2 - 2x - 1 = x + \frac{3}{2} \quad \text{これを解いて } x = -5, -1$$

$x \geq -1$ のとき

$$-\frac{1}{2}x^2 + 2x + 3 = x + \frac{3}{2} \quad \text{これを解いて } x = -1, 3$$

ℓ と C で囲まれた部分は、下の図の斜線部分である。



したがって、求める面積を S とすると

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{-5}^{-1} \left\{ \left(-\frac{1}{2}x^2 - 2x - 1 \right) - \left(x + \frac{3}{2} \right) \right\} dx \\
 &\quad + \int_{-1}^3 \left\{ \left(-\frac{1}{2}x^2 + 2x + 3 \right) - \left(x + \frac{3}{2} \right) \right\} dx \\
 &= -\frac{1}{2} \int_{-5}^{-1} (x+5)(x+1) dx - \frac{1}{2} \int_{-1}^3 (x+1)(x-3) dx \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} \{ -1 - (-5) \}^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6} \{ 3 - (-1) \}^3 = \frac{32}{3}
 \end{aligned}$$

■

8.3 2017 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [5] [6] [7] [8] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化 (中学数学) 学部 [2] [3] [9] [10] 数 I・II・III・A・B (90 分)
- 教育文化 (中学 [社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム) 学部・農学部 [3] [11] [12] 数 I・II・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ。ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す。

(1) 関数 $f(x) = xe^{-x^2}$ の導関数は, $f'(x) = e^{-x^2}(\text{あ})$ である。

(2) 関数 $f(x) = \sqrt{1 + \sin^2 x}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\text{い}}{\sqrt{1 + \sin^2 x}}$ である。

(3) 関数 $f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = -\frac{\text{う}}{x} + C$ である。
ただし, C は積分定数とする。

(4) 定積分 $\int_0^2 x\sqrt{2-x} dx$ の値は え である。

(5) 定積分 $\int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \left(3x + \frac{\pi}{6} \right) dx$ の値は $\frac{\text{お}}{12}$ である。

- 2 関数 $f(x) = \frac{x^2}{1+x^2}$ について、座標平面上の曲線 $y = f(x)$ を C とするとき、次の各問に答えよ。

(1) 次の空間を適切な数または数式で埋めよ。

極限值 $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x)$ は である。 $f(x)$ の導関数は $f'(x) = \frac{\text{イ}}{(1+x^2)^2}$

であり、第2次導関数は $f''(x) = \frac{\text{ウ}}{(1+x^2)^3}$ である。曲線 C には変曲点が2つあり、2つの変曲点のうち x 座標の値が大きいの方の変曲点を P とすると、 P の座標は (,) である。また、点 P における曲線 C の接線の方程式を $y = ax + b$ (a, b は定数) とすると、 a の値は , b の値は である。

(2) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、および変曲点を調べて、曲線 C の概形をかけ。

(3) 曲線 C と x 軸および直線 $x = 1$ によって囲まれた部分の面積を求めよ。

- 3 点 O を原点とする座標空間において、3点 $A(1, 0, 0)$, $B(0, 1, 0)$, $C(0, 0, 2)$ をとる。 O から3点 A, B, C を含む平面に下ろした垂線の足を H とする。球面 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ を S とし、 O から H にのぼした半直線と球面 S との交点を P とする。このとき、次の各問に答えよ。

(1) $\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{AC}$ を成分で表せ。

(2) H の座標を求めよ。

(3) P の座標および線分 HP の長さを求めよ。

- 4 次の各問に答えよ。ただし、 i は虚数単位とする。

(1) 等式 $z^2 = i$ を満たす複素数 z は2つある。それらを $x + yi$ (x, y は実数) の形で表せ。

(2) 等式 $w^2 - 2iw = 1 + i$ を満たす複素数 w は2つあり、それらを α, β とする。ただし、 α の実部は β の実部より大きいとする。 α, β を $x + yi$ (x, y は実数) の形で表せ。

(3) 複素数平面上で、原点を O とし、(2) で求めた α, β が表す点をそれぞれ A, B とするとき、三角形 OAB の面積を求めよ。

- 5** 数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ を, $a_n = 86n + 3$, $b_n = 65n + 4$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) で定義する. このとき, 次の各問に答えよ.

(1) 次の ①～③ を満たす 0 または正の整数 a , b , c を求めよ.

$$86 = 65 \times 1 + a \quad \dots \textcircled{1}$$

$$65 = a \times 3 + b \quad \dots \textcircled{2}$$

$$a = b \times 10 + c \quad \dots \textcircled{3}$$

(2) $a_k = b_\ell$ を満たす自然数 k , ℓ の組のうち, 1 組を求めよ.

(3) $a_k = b_\ell$ を満たす自然数 k , ℓ の組は無数にあり, それらを

$$(k, \ell) = (k_1, \ell_1), (k_2, \ell_2), (k_3, \ell_3), \dots$$

とする. ただし, $k_1 < k_2 < k_3 < \dots$ とする. 数列 $\{c_n\}$ を $c_n = a_{k_n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) で定義するとき, $c_n \geq 10^5$ を満たす最小の自然数 n を求めよ.

- 6** 座標平面において, x 座標と y 座標がともに整数である点を格子点という. n を自然数とし, 連立不等式

$$\begin{cases} x \geq y^2 \\ x + y \leq n(n+1) \end{cases}$$

の表す領域を D_n とする. また, D_n に含まれる格子点の個数を a_n とする. このとき, 次の各問に答えよ.

(1) 領域 D_2 を座標平面上に図示し, a_2 を求めよ.

(2) 直線 $x + y = n(n+1)$ 上にあり, D_n に含まれる格子点の個数を求めよ.

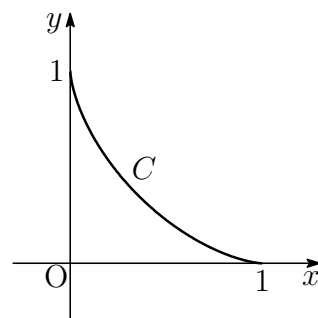
(3) $a_{n+1} - a_n$ を, n を用いて表せ.

(4) a_n を, n を用いて表せ.

7 媒介変数 t を用いて

$$x = \cos^3 t, \quad y = \sin^3 t \quad \left(0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

で表される曲線を C とする. C の概形は右の図のようになる. このとき, 次の各問に答えよ.



- (1) 曲線 C 上の点 $A\left(\frac{1}{8}, \frac{3\sqrt{3}}{8}\right)$ における C の法線の方程式を求めよ.
- (2) 曲線 C の長さを求めよ.
- (3) 曲線 C と x 軸および y 軸で囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

8 最大 2 回のじゃんけんから成るゲームを, 次のルール A, B, C に従って n 人 ($n \geq 3$) で行う.

- A n 人で 1 回目のじゃんけんをして 1 人の勝者が決まったら, 2 回目のじゃんけんは行わず, そこでゲームを終了する.
- B n 人で 1 回目のじゃんけんをして 2 人以上 $n-1$ 人以下の勝者が決まったら, 勝ち残った者だけで 2 回目のじゃんけんをし, ゲームを終了する.
- C n 人で 1 回目のじゃんけんをして誰も勝たなかったら, 全員で 2 回目のじゃんけんをし, ゲームを終了する.

n 人で 1 回目のじゃんけんをして k 人 ($1 \leq k \leq n-1$) が勝つ確率を P_k とする. ただし, 各人はじゃんけんでグー, チョキ, パーをどれも確率 $\frac{1}{3}$ で出すものとする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) P_1 を求めよ.
- (2) $2 \leq k \leq n-1$ のとき, P_k を求めよ.
- (3) 1 回目のじゃんけんで誰も勝たない確率を求めよ.
- (4) 1 人の勝者が決まってゲームが終了する確率を求めよ.

9 連立不等式

$$\begin{cases} y \geq x^2 - 2x + 1 \\ y \leq -x^2 + 4x + 1 \end{cases}$$

の表す領域を D とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) D を座標平面上に図示せよ.
- (2) a を実数とする. 点 (x, y) が D を動くとき, $-ax + y$ の最大値を $f(a)$ とする. $f(a)$ を求めよ.
- (3) (2) で求めた $f(a)$ に対し, 関数 $b = f(a)$ のグラフをかけ.

10 整式 $P(x) = x^4 + 2x^3 - 2x - 1$ について, 次の各問に答えよ.

- (1) $P(x)$ を因数分解せよ. さらに, $x > 1$ のとき, $P(x) > 0$ であることを示せ.
- (2) 自然数 m に対し, $m(m+1)^3$ は偶数であることを証明せよ.
- (3) 次の条件 (*) を満たす自然数 k の中で, 最も大きいものを求めよ.
(*) 3 以上のすべての奇数 x について, $P(x)$ は k の倍数である.

11 表と裏の区別があるカード 6 枚が入っている.

そのうちの 3 枚には表に 1, 裏に 0 が書かれ,
 その 3 枚以外の 2 枚には表に -1 , 裏に 0 が書かれ,
 残り 1 枚には表に 0, 裏に 1 が書かれている.

この袋から無作為に 1 枚取り出して書かれている数字を見てから袋にもどす操作を 4 回繰り返す. 取り出した 4 回それぞれのカードの, 表に書かれた数の和を X , カードの裏に書かれた数の和を Y とする. ただし, 袋からカードを取り出すとき, どのカードも同じ確率で取り出されるものとする. このとき, 次の各問いに答えよ.

- (1) $X + Y = 4$ である確率を求めよ.
- (2) $X + Y$ の値が奇数である確率を求めよ.
- (3) $X + Y \leq 2$ である確率を求めよ.

12 座標平面上に 2 つの放物線 $C_1: y = x^2$, $C_2: y = 4(x-1)^2$ がある. $t \leq \frac{2}{3}$ を満たす実数 t に対し, 座標平面上において次の 2 つの条件を満たす部分の面積を $S(t)$ とする.

$$(a) \quad t \leq x \leq t+1$$

$$(b) \quad x^2 \leq y \leq 4(x-1)^2 \quad \text{または} \quad 4(x-1)^2 \leq y \leq x^2$$

このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 放物線 C_1 , C_2 の交点の x 座標 α , β (ただし, $\alpha < \beta$) を求めよ.
- (2) $t \leq -\frac{1}{3}$ のとき, $S(t)$ を, t を用いて表せ. さらに, 関数 $S(t)$ は $t \leq -\frac{1}{3}$ において減少することを示せ.
- (3) $-\frac{1}{3} \leq t \leq \frac{2}{3}$ のとき, $S(t)$ を, t を用いて表せ. さらに, 関数 $S(t)$ $\left(-\frac{1}{3} \leq t \leq \frac{2}{3}\right)$ が最小となる t の値を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad f(x) = xe^{-x^2} \text{ より } f'(x) = e^{-x^2} + x \cdot (-2x)e^{-x^2} = (1 - 2x^2)e^{-x^2}$$

$$(\text{あ}) \quad 1 - 2x^2$$

$$(2) \quad f(x) = \sqrt{1 + \sin^2 x} = (1 + \sin^2 x)^{\frac{1}{2}} \text{ より}$$

$$f'(x) = \frac{1}{2}(1 + \sin^2 x)^{-\frac{1}{2}} \cdot 2 \sin x \cos x = \frac{\sin x \cos x}{\sqrt{1 + \sin^2 x}}$$

$$(\text{い}) \quad \sin x \cos x$$

$$(3) \quad f(x) = \frac{\log x}{x^2} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= - \int \left(\frac{1}{x} \right)' \log x dx = -\frac{1}{x} \cdot \log x + \int \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x} dx \\ &= -\frac{\log x}{x} - \frac{1}{x} + C = -\frac{\log x + 1}{x} + C \end{aligned}$$

$$(\text{ۆ}) \quad \log x + 1$$

$$\begin{aligned} (4) \quad \int_0^2 x\sqrt{2-x} dx &= \int_0^2 \{2 - (2-x)\}\sqrt{2-x} dx \\ &= \int_0^2 \{2(2-x)^{\frac{1}{2}} - (2-x)^{\frac{3}{2}}\} dx \\ &= \left[-\frac{4}{3}(2-x)^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{5}(2-x)^{\frac{5}{2}} \right]_0^2 \\ &= \frac{8}{3}\sqrt{2} - \frac{8}{5}\sqrt{2} = \frac{16}{15}\sqrt{2} \end{aligned}$$

$$(\text{え}) \quad \frac{16}{15}\sqrt{2}$$

$$\begin{aligned} (5) \quad \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \left(3x + \frac{\pi}{6} \right) dx &= \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{1}{2} \cos \left(6x + \frac{\pi}{3} \right) + \frac{1}{2} \right\} dx \\ &= \left[\frac{1}{12} \sin \left(6x + \frac{\pi}{3} \right) + \frac{1}{2} x \right]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \\ &= -\frac{\sqrt{3}}{12} + \frac{\pi}{12} = \frac{\pi - \sqrt{3}}{12} \end{aligned}$$

$$(\text{お}) \quad \pi - \sqrt{3}$$



2 (1) $f(x) = \frac{x^2}{1+x^2}$ より $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{1}{\frac{1}{x^2} + 1} = 1$
 $f(x) = \frac{(1+x^2) - 1}{1+x^2} = 1 - \frac{1}{1+x^2}$ より $f'(x) = \frac{2x}{(1+x^2)^2}$
 $f'(x) = 2x(1+x^2)^{-2}$ であるから

$$\begin{aligned} f''(x) &= 2(1+x^2)^{-2} + 2x \cdot (-2)(1+x^2)^{-3} \cdot 2x \\ &= \frac{2(1+x^2) - 8x^2}{(1+x^2)^3} = \frac{2-6x^2}{(1+x^2)^3} \end{aligned}$$

$f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	...	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	...	0	...	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	...
$f'(x)$	-	-	-	0	+	+	+
$f''(x)$	-	0	+	+	+	0	-
$f(x)$	$\searrow$	変曲点 $\frac{1}{4}$	$\searrow$	極小 0	$\nearrow$	変曲点 $\frac{1}{4}$	$\nearrow$

x 座標が大きい方の変曲点 P の座標は $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{4}\right)$

$f'\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{3\sqrt{3}}{8}$ であるから, 点 P のおける曲線 C の接線の方程式は

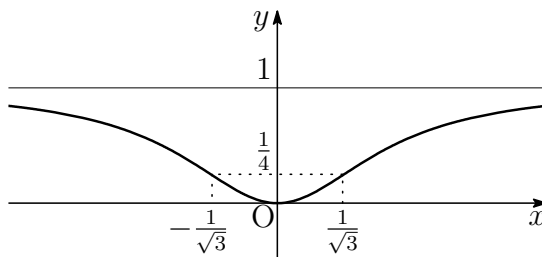
$$y - \frac{1}{4} = \frac{3\sqrt{3}}{8} \left(x - \frac{1}{\sqrt{3}}\right) \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{3\sqrt{3}}{8}x - \frac{1}{8}$$

(ア) 1 (イ) $2x$ (ウ) $2-6x^2$ (エ) $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (オ) $\frac{1}{4}$ (カ) $\frac{3\sqrt{3}}{8}$ (キ) $-\frac{1}{8}$

注意 変曲点は, $f''(x)$ の符号が変化する点であり, 増減表等で示す必要がある.
 $f''(x) = 0$ は, 変曲点であるため必要条件であるが, 十分条件ではない.

(2) $f(x)$ の増減および凹凸は (1) の増減表のとおり.

極小値 $f(0) = 0$, 変曲点 $\left(\pm\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{4}\right)$



(3) 求める面積を S とすると

$$S = \int_0^1 \frac{x^2}{1+x^2} dx = \int_0^1 \left(1 - \frac{1}{1+x^2}\right) dx = 1 - \int_0^1 \frac{dx}{1+x^2}$$

$$x = \tan \theta \text{ とおくと } \frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 1 \\ \hline \theta & 0 \longrightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

$$\text{ゆえに } \int_0^1 \frac{dx}{1+x^2} = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{1+\tan^2 \theta} \cdot \frac{d\theta}{\cos^2 \theta} = \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{よって } S = 1 - \frac{\pi}{4}$$

■

3 (1) $A(1, 0, 0)$, $B(0, 1, 0)$, $C(0, 0, 2)$ より

$$\overrightarrow{AB} = (0, 1, 0) - (1, 0, 0) = (-1, 1, 0),$$

$$\overrightarrow{AC} = (0, 0, 2) - (1, 0, 0) = (-1, 0, 2)$$

(2) $\overrightarrow{AB}$ および $\overrightarrow{AC}$ に垂直なベクトルの 1 つを $\vec{n} = (2, 2, 1)$ とおくと

$$\vec{n} \cdot \overrightarrow{AH} = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\overrightarrow{OH} // \vec{n}$ であるから, 実数 s を用いて

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= s(2, 2, 1) \quad \text{ゆえに} \quad \overrightarrow{AH} = \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{OA} \\ &= (2s - 1, 2s, s) \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

② を ① に代入すると

$$(2, 2, 1) \cdot (2s - 1, 2s, s) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad s = \frac{2}{9}$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{OH} = \frac{2}{9}(2, 2, 1) = \left(\frac{4}{9}, \frac{4}{9}, \frac{2}{9}\right) \quad \text{よって} \quad H\left(\frac{4}{9}, \frac{4}{9}, \frac{2}{9}\right)$$

(3) P は半直線 OH 上にあるから, (2) の結果から $\overrightarrow{OP} = t\vec{n} \quad (t > 0)$

また, P は球面 $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ 上にあるから, $|\overrightarrow{OP}| = 1$ より

$$1 = |t|\sqrt{2^2 + 2^2 + 1^2} \quad \text{ゆえに} \quad 1 = 3|t| \quad t > 0 \text{ より} \quad t = \frac{1}{3}$$

$$\text{したがって } \overrightarrow{OP} = \frac{1}{3}(2, 2, 1) = \left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right) \quad \text{よって} \quad P\left(\frac{2}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right)$$

$$\text{また} \quad \overrightarrow{HP} = \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OH} = \frac{1}{3}\vec{n} - \frac{2}{9}\vec{n} = \frac{1}{9}\vec{n}$$

$$\text{よって} \quad HP = |\overrightarrow{HP}| = \frac{1}{9}|\vec{n}| = \frac{1}{9} \cdot 3 = \frac{1}{3}$$

■

4 (1) 方程式の解 z の極形式を $z = r(\cos \theta + i \sin \theta)$ … ①

$$\text{とすると} \quad z^2 = r^2(\cos 2\theta + i \sin 2\theta)$$

$$i \text{ を極形式で表すと } i = \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}$$

$$\text{よって} \quad r^2(\cos 2\theta + i \sin 2\theta) = \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}$$

両辺の絶対値と偏角を比較すると

$$r^2 = 1, \quad 2\theta = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \quad (k \text{ は整数})$$

$$r > 0 \text{ であるから } r = 1 \quad \dots \text{ ②} \quad \text{また } \theta = \frac{\pi}{4} + k\pi$$

$$0 \leq \theta < 2\pi \text{ の範囲で考えると, } k = 0, 1 \text{ であるから } \theta = \frac{\pi}{4}, \frac{5}{4}\pi \quad \dots \text{ ③}$$

$$\text{②, ③ を ① に代入すると } z = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \pm \frac{1}{\sqrt{2}}i \quad (\text{複号同順})$$

$$(2) \quad w^2 - 2iw = 1 + i \text{ より } (w - i)^2 = i$$

$$(1) \text{ の結果を利用して } w - i = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i, \quad -\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}}i$$

$$\text{したがって } w = \frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)i, \quad -\frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)i$$

α の実部は β の実部より大きいから

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)i, \quad \beta = -\frac{1}{\sqrt{2}} + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)i$$

$$(3) \quad (1) \text{ の解の 1 つを } z_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i \text{ とおくと } \alpha = i + z_1, \quad \beta = i - z_1$$

$$\triangle OAB \text{ の面積を } S \text{ とすると } S = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)|$$

$$\bar{\alpha}\beta = (-i + \bar{z}_1)(i - z_1) = 1 - |z_1|^2 + (z_1 + \bar{z}_1)i = \sqrt{2}i$$

$$\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta) = \sqrt{2} \text{ より } S = \frac{1}{2} |\sqrt{2}| = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\text{解説 } \theta = \angle \alpha 0 \beta \text{ とすると } \cos \theta + i \sin \theta = \frac{\frac{\beta}{|\beta|}}{\frac{\alpha}{|\alpha|}} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\beta}{\alpha} = \frac{|\alpha|}{|\beta|} \cdot \frac{\bar{\alpha}\beta}{\alpha\bar{\alpha}} = \frac{\bar{\alpha}\beta}{|\alpha||\beta|}$$

$$\sin \theta = \frac{\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)}{|\alpha||\beta|} \text{ であるから } S = \frac{1}{2} |\alpha||\beta| \sin \theta = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}(\bar{\alpha}\beta)| \quad \blacksquare$$

5 (1) ①, ②, ③ を解いて $a = 21, b = 2, c = 1$

(2) $a_k = b_\ell$ より

$$86k + 3 = 65\ell + 4 \quad \text{ゆえに} \quad 86k - 65\ell = 1 \quad (\text{A})$$

①~③ および (1) の結果から

$$\begin{cases} 21 = 86 - 65 & \cdots \textcircled{1}' \\ 2 = 65 - 21 \times 3 & \cdots \textcircled{2}' \\ 21 - 10 \times 2 = 1 & \cdots \textcircled{3}' \end{cases}$$

③' を ②' に代入すると

$$21 - 10 \times (65 - 21 \times 3) = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 21 \times 31 - 65 \times 10 = 1$$

上の第 2 式に ①' を代入すると

$$(86 - 65) \times 31 - 65 \times 10 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 86 \times 31 - 65 \times 41 = 1 \quad (\text{B})$$

(A), (B) から $k = 35, \ell = 41$

別解 ①, ②, ③ から

$$\begin{aligned} 86 &= 65 + a = (3a + b) + a = 4a + b \\ &= 4(10b + c) + b = 41b + 4c, \\ 65 &= 3a + b = 3(10b + c) + b \\ &= 31b + 3c \end{aligned}$$

$a_k = b_\ell$ のとき, $86k + 3 = 65\ell + 4$ であるから, 上の 2 式より

$$\begin{aligned} (41b + 4c)k + 3 &= (31b + 3c)\ell + 4 \\ b(41k - 31\ell) + c(4k - 3\ell) &= 1 \end{aligned}$$

$b = 2, c = 1$ であるから

$$2(41k - 31\ell) + (4k - 3\ell) = 1 \quad \cdots (*)$$

41 と 31 は互いに素であるから

$$41k - 31\ell = 1$$

を満たす整数 k, ℓ が存在するので, (*) より, 整数 m を用いて

$$\begin{cases} 41k - 31\ell = -m \\ 4k - 3\ell = 1 + 2m \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} k = 65m + 31 \\ \ell = 86m + 41 \end{cases} \quad \cdots (**)$$

よって, 求める自然数 k, ℓ の組の 1 つは $k = 31, \ell = 41$

(3) (A), (B) から $86(k-31) = 65(\ell-41)$

上式は 86 および 65 の倍数であるから (86 と 65 は互いに素)

$$86(k-31) = 65(\ell-41) = 86 \cdot 65m \quad (m \text{ は整数})$$

したがって $k = 65m + 31, \ell = 86m + 41$

(**) を満たす自然数 (k, ℓ) の組

$$(k_1, \ell_1), (k_2, \ell_2), (k_3, \ell_3), \dots \quad (k_1 < k_2 < k_3 < \dots)$$

について, 数列 $\{k_n\}$ は, 初項が 31, 公差が 65 の等差数列であるから

$$k_n = 31 + 65(n-1) = 65n - 34$$

したがって $c_n = a_{k_n} = 86k_n + 3$
 $= 86(65n - 34) + 3 = 5590n - 2921$

$$c_n \geq 10^5 \text{ のとき } 5590n - 2921 \geq 10^5 \quad \text{ゆえに} \quad n \geq \frac{102921}{5590} = 18.4 \dots$$

よって, 求める最小の自然数 n は **19** ■

6 (1) D_2 は, 連立不等式

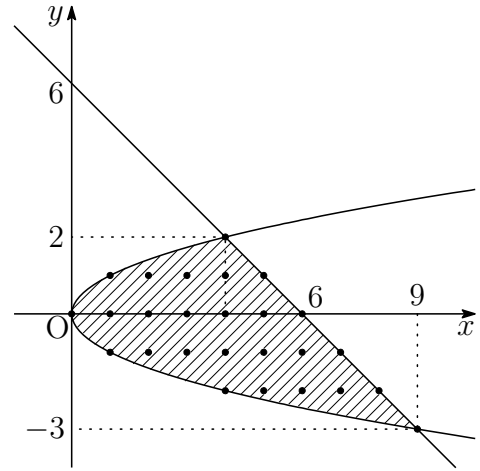
$$\begin{cases} x \geq y^2 \\ x + y \leq 6 \end{cases}$$

の表す領域で (境界線を含む), 右の図の斜線部分である.

D_2 内の格子点 (x, y) の個数は

$$\begin{array}{lll} y = -3 \text{ のとき} & x = 9 & \text{の 1 個} \\ y = -2 \text{ のとき} & 4 \leq x \leq 8 & \text{の 5 個} \\ y = -1 \text{ のとき} & 1 \leq x \leq 7 & \text{の 7 個} \\ y = 0 \text{ のとき} & 0 \leq x \leq 6 & \text{の 7 個} \\ y = 1 \text{ のとき} & 1 \leq x \leq 5 & \text{の 5 個} \\ y = 2 \text{ のとき} & x = 4 & \text{の 1 個} \end{array}$$

$$\text{よって} \quad a_2 = 1 + 5 + 7 + 7 + 5 + 1 = 26$$



別解 $c = 0, 1$ のとき, 直線 $x + y = c$ 上の格子点の個数は 2 個

$c = 2, 3, 4, 5$ のとき, 直線 $x + y = c$ 上の格子点の個数は 4 個

直線 $x + y = 6$ 上の格子点の個数は 6 個

$$\text{よって} \quad a_2 = 2 \times 2 + 4 \times 4 + 6 = 26$$

(2) $x + y = n(n+1) \cdots$ ① と $x = y^2 \cdots$ ② から x を消去すると

$$y^2 + y = n(n+1) \quad \text{ゆえに} \quad (y-n)(y+n+1) = 0$$

直線 ① と放物線 ② の共有点の y 座標は $y = -n-1, n$

$$\text{よって, 求める格子点の個数は} \quad n - (-n-1) + 1 = 2n + 2$$

(3) (2) の結果から, $n(n+1) + 1 \leq c \leq (n+1)(n+2) - 1$ のとき (c は整数),

$$\text{直線 } x + y = c \text{ 上の格子点の個数は} \quad 2n + 2$$

$$\text{直線 } x + y = (n+1)(n+2) \text{ 上の格子点の個数は} \quad 2n + 4$$

$$\{(n+1)(n+2) - 1\} - \{n(n+1) + 1\} + 1 = 2n + 1 \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} a_{n+1} - a_n &= (2n+1)(2n+2) + (2n+4) \\ &= 4n^2 + 8n + 6 \end{aligned}$$

(4) (1) の図から, $a_1 = 8$.

$$\begin{aligned}
 n \geq 2 \text{ のとき } a_n &= a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) = 8 + \sum_{k=1}^{n-1} \{4(k+1)^2 + 2\} \\
 &= 2 + \sum_{k=1}^n (4k^2 + 2) = 2 + 4 \cdot \frac{1}{6} n(n+1)(2n+1) + 2n \\
 &= \frac{4}{3} n^3 + 2n^2 + \frac{8}{3} n + 2
 \end{aligned}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから

$$a_n = \frac{4}{3} n^3 + 2n^2 + \frac{8}{3} n + 2$$

別解 直線 $y = k$ (k は定数) と直線 ①, 放物線 ② との交点の x 座標は, それぞれ

$$x = n(n+1) - k, \quad x = k^2$$

ゆえに, D_n に含まれる直線 $y = k$ ($-n-1 \leq k \leq n$) 上の格子点の個数は

$$\{n(n+1) - k\} - k^2 + 1 = n^2 + n + 1 - k^2 - k$$

したがって

$$\begin{aligned}
 a_n &= \sum_{k=-n-1}^n (n^2 + n + 1 - k^2 - k) = 1 + \sum_{k=-n}^n (n^2 + n + 1 - k^2 - k) \\
 &= 1 + (2n+1)(n^2 + n + 1) + \sum_{k=-n}^n (-k^2 - k) \\
 &= 2n^3 + 3n^2 + 3n + 2 + \sum_{k=1}^n \{-k^2 - k - (-k)^2 - (-k)\} \\
 &= 2n^3 + 3n^2 + 3n + 2 - 2 \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{4}{3} n^3 + 2n^2 + \frac{8}{3} n + 2
 \end{aligned}$$



- 7 (1) 点 $A\left(\frac{1}{8}, \frac{3\sqrt{3}}{8}\right)$ は, C の $t = \frac{\pi}{3}$ に対する点である.

$$\frac{dx}{dt} = -3\cos^2 t \sin t, \quad \frac{dy}{dt} = 3\sin^2 t \cos t \quad \cdots (*)$$

したがって $\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = -\tan t$ ゆえに $t = \frac{\pi}{3}$ のとき $\frac{dy}{dx} = -\sqrt{3}$

よって, 点 A における C の法線の方程式は

$$1\left(x - \frac{1}{8}\right) - \sqrt{3}\left(y - \frac{3\sqrt{3}}{8}\right) = 0 \quad \text{すなわち} \quad x - \sqrt{3}y + 1 = 0$$

- (2) 曲線 C の弧長を s とすると, $(*)$ により

$$\begin{aligned} s &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(-3\cos^2 t \sin t)^2 + (3\sin^2 t \cos t)^2} dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} 3\sin t \cos t dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{3}{2} \sin 2t dt = \left[-\frac{3}{4} \cos 2t\right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{3}{2} \end{aligned}$$

- (3) $x = \cos^3 t$ より
- | | |
|-----|-------------------------------|
| x | $0 \rightarrow 1$ |
| t | $\frac{\pi}{2} \rightarrow 0$ |

求める立体の体積を V とすると, $(*)$ により

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 y^2 dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 (\sin^3 t)^2 (-3\cos^2 t \sin t) dt \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin^7 t - \sin^9 t) dt \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

ここで, n を自然数とし, $J_n = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n t dt$ とおくと

$$\begin{aligned} J_n &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n t dt = - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n-1} t (\cos t)' dt \\ &= - \left[\sin^{n-1} t \cos t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin^{n-1} t)' \cos t dt \\ &= (n-1) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n-2} t \cos^2 t dt = (n-1) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n-2} t (1 - \sin^2 t) dt \\ &= (n-1)J_{n-2} - (n-1)J_n \end{aligned}$$

したがって¹ $J_n = \frac{n-1}{n} J_{n-2} \quad \cdots \textcircled{2}$

①, ② より
$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= 3(J_7 - J_9) = 3\left(J_7 - \frac{8}{9}J_7\right) = \frac{1}{3}J_7 = \frac{1}{3} \cdot \frac{6}{7} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{2}{3} J_1 \\ &= \frac{16}{105} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin t \, dt = \frac{16}{105} \left[-\cos t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{16}{105} \end{aligned}$$

よって $V = \frac{16}{105} \pi$

別解 求める立体の体積を V とすると, $(*)$ により

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_0^1 y^2 \, dx = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 (\sin^3 t)^2 (-3 \cos^2 t \sin t) \, dt \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin^2 t)^3 \cos^2 t \sin t \, dt \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos^2 t)^3 \cos^2 t \sin t \, dt \\ &= 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\cos^2 t - 3 \cos^4 t + 3 \cos^6 t - \cos^8 t) \sin t \, dt \\ &= 3 \left[-\frac{1}{3} \cos^3 t + \frac{3}{5} \cos^5 t - \frac{3}{7} \cos^7 t + \frac{1}{9} \cos^9 t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} \\ &= 3 \left(\frac{1}{3} - \frac{3}{5} + \frac{3}{7} - \frac{1}{9} \right) = \frac{16}{105} \end{aligned}$$

■

8 (1) n 人でじゃんけんをする場合の総数は 3^n 通り

勝者 1 人の選び方は ${}_nC_1$ 通りで, その勝者はグー, チョキ, パーの 3 通りの勝ち方があるから

$$P_1 = \frac{{}_nC_1 \times 3}{3^n} = \frac{n}{3^{n-1}}$$

(2) 勝者 k 人の選び方は ${}_nC_k$ 通りで ($2 \leq k \leq n-1$), その勝者はグー, チョキ, パーの 3 通りの勝ち方があるから

$$P_k = \frac{{}_nC_k \times 3}{3^n} = \frac{n \mathbf{C}_k}{3^{n-1}}$$

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/nagasaki/nagasaki_2016_kouki.pdf 2 を参照

- (3) (2) の結果から, 求める確率は, $\sum_{k=1}^{n-1} P_k$ の余事象の確率であるから, 求める確率を P_0 とすると

$$\begin{aligned} P_0 &= 1 - \sum_{k=1}^{n-1} P_k = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{{}_n C_k}{3^{n-1}} \\ &= 1 - \frac{1}{3^{n-1}} \left(\sum_{k=0}^n {}_n C_k - 2 \right) = 1 - \frac{2^n - 2}{3^{n-1}} \end{aligned}$$

- (4) (2) の結果から, j 人で 1 回のじゃんけんをして k 人の勝者が決まる確率を P_k^j とすると ($0 < k < j \leq n$)

$$P_k^j = \frac{{}_j C_k}{3^{j-1}}$$

求める確率を P とすると

$$P = P_1^n + \sum_{j=2}^{n-1} P_j^n P_1^j + P_0 P_1^n$$

このとき
$$\begin{aligned} P_j^n P_1^j &= \frac{{}_n C_j}{3^{n-1}} \cdot \frac{{}_j C_1}{3^{j-1}} = \frac{1}{3^{n-1} \cdot 3^{j-1}} \cdot \frac{n!}{j!(n-j)!} \cdot j \\ &= \frac{n}{3^{n-1} \cdot 3^{j-1}} \cdot \frac{(n-1)!}{(j-1)!(n-j)!} = \frac{n}{3^{n-1}} \cdot \frac{{}_{n-1} C_{j-1}}{3^{j-1}} \end{aligned}$$

したがって

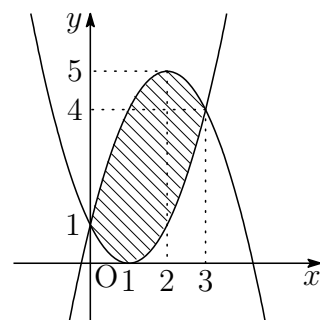
$$\begin{aligned} P &= (1 + P_0) P_1^n + \sum_{j=2}^{n-1} P_j^n P_1^j \\ &= \left(2 - \frac{2^n - 2}{3^{n-1}} \right) \frac{n}{3^{n-1}} + \frac{n}{3^{n-1}} \sum_{j=2}^{n-1} \frac{{}_{n-1} C_{j-1}}{3^{j-1}} \\ &= \left(2 - \frac{2^n - 2}{3^{n-1}} \right) \frac{n}{3^{n-1}} + \frac{n}{3^{n-1}} \left(\sum_{j=1}^n \frac{{}_{n-1} C_{j-1}}{3^{j-1}} - 1 - \frac{1}{3^{n-1}} \right) \\ &= \left(2 - \frac{2^n - 2}{3^{n-1}} \right) \frac{n}{3^{n-1}} + \frac{n}{3^{n-1}} \left\{ \left(1 + \frac{1}{3} \right)^{n-1} - 1 - \frac{1}{3^{n-1}} \right\} \\ &= \frac{n}{3^{n-1}} \left(1 + \frac{1}{3^{n-1}} - \frac{2^n}{3^{n-1}} + \frac{4^{n-1}}{3^{n-1}} \right) \\ &= \frac{n}{9^{n-1}} (1 - 2^n + 3^{n-1} + 4^{n-1}) \end{aligned}$$

■

- 9 (1) 与えられた連立不等式から

$$\begin{cases} y \geq (x-1)^2 \\ y \leq -(x-2)^2 + 5 \end{cases}$$

したがって、領域 D は、右の図の斜線部分で、境界線を含む。



- (2) $k = -ax + y$ とおくと、 $y = ax + k$ であるから、 k が最大となる D の点 (x, y) は $y = -(x-2)^2 + 5 \cdots \textcircled{1}$ 上にある ($0 \leq x \leq 3$).

① より、 $y' = -2(x-2)$ であるから

$$x = 0 \text{ のとき } y' = 4, \quad x = 3 \text{ のとき } y' = -2$$

- (i) $-2 < a < 4$ のとき、 $-2(x-2) = a$ より、点 $\left(2 - \frac{a}{2}, -\frac{a^2}{4} + 5\right)$ で k は最大となり、最大値は

$$k = -a\left(2 - \frac{a}{2}\right) - \frac{a^2}{4} + 5 = \frac{a^2}{4} - 2a + 5 = \frac{1}{4}(a-4)^2 + 1$$

- (ii) $a \leq -2$ のとき、点 $(3, 4)$ で k は最大となり、最大値は

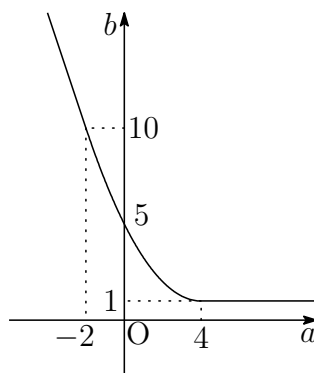
$$k = -a \cdot 3 + 4 = -3a + 4$$

- (iii) $4 \leq a$ のとき、点 $(0, 1)$ で k は最大となり、最大値は

$$k = -a \cdot 0 + 1 = 1$$

$$(i) \sim (iii) \text{ より } f(a) = \begin{cases} -3a + 4 & (a \leq -2) \\ \frac{1}{4}(a-4)^2 + 1 & (-2 < a < 4) \\ 1 & (4 \leq a) \end{cases}$$

- (3) (2) の結果から、関数 $b = f(a)$ のグラフは下の図のようになる。



10 (1) $P(x) = x^4 + 2x^3 - 2x - 1$
 $= (x^2 + 1)(x^2 - 1) + 2x(x^2 - 1)$
 $= (x^2 - 1)(x^2 + 1 + 2x)$
 $= (x + 1)(x - 1)(x + 1)^2 = (x - 1)(x + 1)^3$
 $x > 1$ のとき, $x - 1 > 0$, $x + 1 > 0$ であるから $P(x) > 0$

(2) $m(m + 1)^3 = m(m + 1) \cdot (m + 1)^2$
 m は自然数より, 連続する 2 数の積 $m(m + 1)$ は, 偶数である.
よって, $m(m + 1)^3$ は偶数である.

(3) 3 以上の奇数 x は, 自然数 n を用いて, $x = 2n + 1$ とおけるから

$$P(x) = (2n + 1 - 1)(2n + 1 + 1)^3 = 16n(n + 1)^3$$

$$= 16n(n + 1) \cdot (n + 1)^2$$

$n(n + 1)$ は, 連続する 2 数の積であるから, $P(x)$ は, 16×2 の倍数.
したがって, $P(x)$ は 32 の倍数. よって, 求める最大の k の値は **32** ■

11 (1)

カード	①	②	③	④	⑤	⑥
表	1	1	1	-1	-1	0
裏	0	0	0	0	0	1

$X + Y = 4$ となるのは, 上に示した ①～⑥ のカードの中で 4 回とも,
④, ⑤ 以外のカードが出る確率であるから

$$\left(\frac{4}{6}\right)^4 = \frac{16}{81}$$

(2) $X + Y$ は奇数回目には奇数, 偶数回目には偶数となる.

4 回目には, $X + Y$ は偶数であるから, 求める確率は **0**

(3) $X + Y \leq 2$ である確率は, (1) の余事象の確率であるから

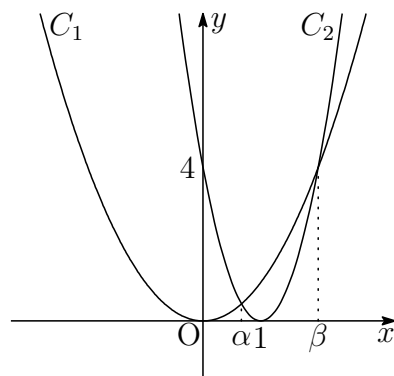
$$1 - \frac{16}{81} = \frac{65}{81}$$

■

- 12** (1) $C_1: y = x^2$, $C_2: y = 4(x-1)^2$ の方程式から y を消去すると

$$\begin{aligned} 4(x-1)^2 &= x^2 \\ 2(x-1) &= \pm x \\ x &= \frac{2}{3}, 2 \end{aligned}$$

$$\alpha < \beta \text{ より } \alpha = \frac{2}{3}, \beta = 2$$



- (2) $t \leq -\frac{1}{3}$ のとき, $t+1 \leq \alpha$ であるから, (1) の図から

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_t^{t+1} \{4(x-1)^2 - x^2\} dx = \left[\frac{4}{3}(x-1)^3 - \frac{1}{3}x^3 \right]_t^{t+1} \\ &= \frac{4}{3}\{t^3 - (t-1)^3\} - \frac{1}{3}\{(t+1)^3 - t^3\} = 3t^2 - 5t + 1 \end{aligned}$$

$$S(t) = 3\left(t - \frac{5}{6}\right)^2 - \frac{13}{12} \text{ であるから, } t \leq -\frac{1}{3} \text{ において減少する.}$$

- (3) $-\frac{1}{3} \leq t \leq \frac{2}{3}$ のとき, $t \leq \alpha \leq t+1 < \beta$ であるから, (1) の図から

$$\begin{aligned} S(t) &= \int_t^{\frac{2}{3}} \{4(x-1)^2 - x^2\} dx + \int_{\frac{2}{3}}^{t+1} \{x^2 - 4(x-1)^2\} dx \\ &= \left[\frac{4}{3}(x-1)^3 - \frac{1}{3}x^3 \right]_t^{\frac{2}{3}} + \left[\frac{1}{3}x^3 - \frac{4}{3}(x-1)^3 \right]_{\frac{2}{3}}^{t+1} \\ &= -2t^3 + 5t^2 - 3t + \frac{37}{27} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } S'(t) &= -6t^2 + 10t - 3 \\ &= -6\left(t - \frac{5-\sqrt{7}}{6}\right)\left(t - \frac{5+\sqrt{7}}{6}\right) \end{aligned}$$

$-\frac{1}{3} \leq t \leq \frac{2}{3}$ のとき, $S(t)$ の増減表は

t	$-\frac{1}{3}$	$\dots$	$\frac{5-\sqrt{7}}{6}$	$\dots$	$\frac{2}{3}$
$S'(t)$		$-$	0	$+$	
$S(t)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

このとき, $S(t)$ を最小にする t の値は $t = \frac{5-\sqrt{7}}{6}$ ■

8.4 2018 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 医学部 [2] [4] [6] [7] [8] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [3] [5] [7] [9] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [7] [9] [10] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ.

(1) 関数 $f(x) = x\sqrt{1+x^2}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{\sqrt{1+x^2}}$ である.

(2) 関数 $f(x) = \frac{x}{\tan x}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{い}}}{\sin^2 x}$ である.

(3) 関数 $f(x) = \frac{x^3}{x^2-4}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \frac{x^2}{2} + \boxed{\text{う}} + C$ である. ただし, C は積分定数とする.

(4) 定積分 $\int_{-1}^1 \frac{x}{e^x} dx$ の値は $\boxed{\text{え}}$ である.

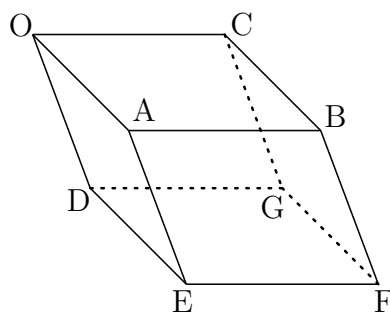
(5) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{1+\sin x} dx$ の値は $\boxed{\text{お}}$ である.

[2] s, t を, $s > 0, t > 0, s^2 + t^2 < 1$ を満たす実数とし, 座標平面において, 中心が点 $P(s, t)$, 半径が 1 の円を C とする. C と x 軸との交点を K, M とし, C と y 軸との交点を L, N とする. ただし, K の x 座標は M の x 座標より大きく, L の y 座標は N の y 座標より大きいとする. 四角形 $KLMN$ の面積を S とするとき, 次の各問に答えよ.

(1) 面積 S を, s, t を用いて表せ.

(2) 点 P が直線 $y = -x + 1$ 上を動くとき, 面積 S の最大値を求めよ.

- 3 右図の平行六面体 $OABC-DEFG$ において、すべての面は1辺の長さが1のひし形とし、 $\angle AOC = \angle AOD = \angle COD = 60^\circ$ とする。線分 BE を $3:2$ に内分する点を P とし、 $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{d} = \overrightarrow{OD}$ とするとき、次の各問に答えよ。



- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{c}$, $\vec{c} \cdot \vec{d}$, $\vec{d} \cdot \vec{a}$ の値を求めよ。
 - (2) $\overrightarrow{OP}$ を, $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ。
 - (3) 線分 BG を $t:(1-t)$ ($0 < t < 1$) に内分する点を Q とする。 $0 < t < 1$ を満たす t について、線分 PQ の長さを最小にする t の値と、そのときの線分 PQ の長さを求めよ。
- 4 2つの袋 A, B のそれぞれに、赤玉1個と白玉2個の合計3個が入っている。次のような試行を考える。

袋 A から無作為に玉を1個取り出し、
 袋 B から無作為に玉を1個取り出す。
 次に、上で袋 A から取り出した玉を袋 B に入れ、
 上で袋 B から取り出した玉を袋 A に入れる。

この試行を n 回 ($n \geq 1$) 行った後、袋 A の中を確認する。例えば、 $n = 2$ の場合、1回目の試行で、袋 A から白玉、袋 B から赤玉を取り出し、2回目の試行で、袋 A から白玉、袋 B から白玉を取り出したとすると、その結果、袋 A には赤玉が2個、白玉が1個入っている。

n 回の試行の後で、

袋 A に赤玉1個と白玉2個が入っている確率を P_n ,
 袋 A に赤玉2個と白玉1個が入っている確率を Q_n ,
 袋 A に赤玉が入っていない確率を R_n

とする。ただし、どの玉も同じ確率で取り出されるとする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) P_1 , Q_1 , R_1 を求めよ。
- (2) P_2 を求めよ。
- (3) P_{n+1} を, P_n を用いて表せ。
- (4) P_n を求めよ。

5 関数 $f(x) = x \log x$ ($x > 0$) および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ $\left(\frac{1}{e^2} \leq x \leq e\right)$ について、次の各問に答えよ.

- (1) 第 1 次導関数 $f'(x)$, 第 2 次導関数 $f''(x)$ を求めよ.
- (2) $\frac{1}{e^2} \leq x \leq e$ において、関数 $f(x)$ の増減, 極値, 曲線 C の凹凸, および変曲点を調べて, C の概形をかけ.
- (3) 曲線 C と x 軸および 2 直線 $x = \frac{1}{e^2}$, $x = e$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

6 点 O を原点とする座標平面において、点 P は中心が O , 半径が 1 の円の周上を動き、点 Q は 4 点 $A(2, 0)$, $B(0, 2)$, $C(-2, 0)$, $D(0, -2)$ を頂点とする四角形の周上を動くとする. ただし, P, Q は $PQ = 2$ を満たすように動くとする. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 内積 $\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{OQ}$ の最大値と最小値を求めよ.
- (2) 直線 PQ と点 O の距離の最大値と最小値を求めよ.

7 平面上の三角形 ABC で、3 辺の長さが $AB = 10$, $BC = 6$, $CA = 8$ であるものについて、外心を O , 内心を I とし、 O から I へのばした半直線と外接円との交点を M , I から O へのばした半直線と外接円との交点を N とする. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 三角形 ABC の外接円の半径 R と内接円の半径 r を求めよ.
- (2) 線分 OI の長さを求めよ.
- (3) 線分 IM , IN の長さを求めよ.
- (4) 点 I を通る各直線 ℓ に対し、 ℓ が三角形 ABC の外接円によって切り取られる線分の長さを d とする. このとき、 d の最小値を求めよ.

8 関数 $f(x) = \frac{1}{\cos^3 x}$ $\left(-\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2}\right)$ および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の増減, 極値, 曲線 C の凹凸, および変曲点を調べて, C の概形をかけ.
- (2) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx$ の値を求めよ.
- (3) 曲線 C と x 軸, y 軸および直線 $x = \frac{\pi}{3}$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

9 次の各問に答えよ.

- (1) 十進法で表された整数 147 を, 五進法と八進法で表せ.
- (2) 五進法により 2 桁で表された正の整数で, 八進法で表すと 2 桁となるものを考える. このとき, 八進法で表したときの各位の数の並びが五進法で表されたときの各位の数の並びと逆順にはならないことを示せ.
- (3) 五進法により 3 桁で表された正の整数で, 八進法で表すと 3 桁となるものを考える. このとき, 八進法で表したときの各位の数の並びが五進法で表されたときの各位の数の並びと逆順になるものをすべて求め, 十進法で表せ.

10 関数 $f(x) = x^2 - 3x + 2$ および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について, 次の各問に答えよ.

- (1) P を曲線 C 上の点とし, P の x 座標を t とするとき, P における C の接線の方程式を, t を用いて表せ.
- (2) 点 $(2, -1)$ から曲線 C に異なる 2 本の接線が引ける. それぞれの接線の方程式と接点の座標を求めよ.
- (3) 曲線 C と, (2) で求めた 2 本の接線によって囲まれた部分の面積 S を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad f(x) = x\sqrt{1+x^2} \text{ より } f'(x) = \sqrt{1+x^2} + x \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} = \frac{1+2x^2}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$(\text{あ}) \quad 1 + 2x^2$$

$$(2) \quad f(x) = \frac{x}{\tan x} = x \cot x \text{ より}$$

$$f'(x) = \cot x + x \left(-\frac{1}{\sin^2 x} \right) = \frac{\sin x \cos x - x}{\sin^2 x}$$

$$(\text{い}) \quad \sin x \cos x - x$$

$$(3) \quad f(x) = \frac{x^3}{x^2-4} = x + \frac{4x}{x^2-4} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= \int \left(x + \frac{4x}{x^2-4} \right) dx \\ &= \frac{x^2}{2} + 2 \log |x^2-4| + C \end{aligned}$$

$$(\text{う}) \quad 2 \log |x^2-4|$$

$$(4) \quad \int_{-1}^1 \frac{x}{e^x} dx = \int_{-1}^1 x e^{-x} dx = \left[-e^{-x}(x+1) \right]_{-1}^1 = -\frac{2}{e}$$

$$(\text{え}) \quad -\frac{2}{e}$$

$$(5) \quad 1 + \sin x = 1 + 2 \sin \frac{x}{2} \cos \frac{x}{2} = \left(\sin \frac{x}{2} + \cos \frac{x}{2} \right)^2$$

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{3} \text{ において, } \sin \frac{x}{2} + \cos \frac{x}{2} > 0 \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \sqrt{1 + \sin x} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\sin \frac{x}{2} + \cos \frac{x}{2} \right) dx \\ &= \left[-2 \cos \frac{x}{2} + 2 \sin \frac{x}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= 3 - \sqrt{3} \end{aligned}$$

$$(\text{お}) \quad 3 - \sqrt{3}$$



2 (1) C の方程式は $(x-s)^2 + (y-t)^2 = 1 \quad \dots (*)$

(*) に $y = 0$ を代入すると

$$(x-s)^2 + t^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad x = s \pm \sqrt{1-t^2}$$

したがって $MK = 2\sqrt{1-t^2}$

また, (*) に $x = 0$ を代入すると

$$s^2 + (y-t)^2 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad y = t \pm \sqrt{1-s^2}$$

したがって $NL = 2\sqrt{1-s^2}$

$$\text{よって} \quad S = \frac{1}{2}MK \cdot NL = \frac{1}{2} \cdot 2\sqrt{1-t^2} \cdot 2\sqrt{1-s^2} = 2\sqrt{(1-s^2)(1-t^2)}$$

(2) 点 $P(s, t)$ が直線 $y = -x + 1$ 上を動くから $s + t = 1$

上式および (1) の結果から

$$\begin{aligned} S &= 2\sqrt{1-(s^2+t^2)} + s^2t^2 = 2\sqrt{1-(s+t)^2 + 2st + s^2t^2} \\ &= 2\sqrt{s^2t^2 + 2st} = 2\sqrt{(st+1)^2 - 1} \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

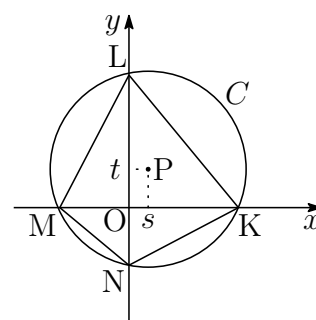
$s+t=1$, $s>0$, $t>0$ であるから, 相加・相乗平均の大小関係により

$$1 = s+t \geq 2\sqrt{st} \quad \text{ゆえに} \quad 0 < st \leq \frac{1}{4} \quad \dots \textcircled{2}$$

上式において, 等号が成立するのは $s=t=\frac{1}{2}$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より} \quad 0 < S \leq \frac{3}{2}$$

よって, $s=t=\frac{1}{2}$ のとき, S は最大値 $\frac{3}{2}$ をとる. ■



3 (1) $\vec{a} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{d} = \vec{d} \cdot \vec{a} = 1 \cdot 1 \cos 60^\circ = \frac{1}{2}$

(2) $\overrightarrow{OP} = \frac{2\overrightarrow{OB} + 3\overrightarrow{OE}}{3+2} = \frac{2(\vec{a} + \vec{c}) + 3(\vec{a} + \vec{d})}{5} = \vec{a} + \frac{2}{5}\vec{c} + \frac{3}{5}\vec{d}$

(3) $\begin{aligned} \overrightarrow{OQ} &= (1-t)\overrightarrow{OB} + t\overrightarrow{OG} \\ &= (1-t)(\vec{a} + \vec{c}) + t(\vec{c} + \vec{d}) = t(\vec{d} - \vec{a}) + \vec{a} + \vec{c} \end{aligned}$

これと (2) の結果から

$$\begin{aligned} \overrightarrow{PQ} &= \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = t(\vec{d} - \vec{a}) + \frac{3}{5}(\vec{c} - \vec{d}), \\ |\overrightarrow{PQ}|^2 &= t^2|\vec{d} - \vec{a}|^2 + \frac{6}{5}t(\vec{d} - \vec{a}) \cdot (\vec{c} - \vec{d}) + \frac{9}{25}|\vec{c} - \vec{d}|^2 \end{aligned}$$

ここで, $|\vec{a}| = |\vec{c}| = |\vec{d}| = 1$ および (1) の結果から

$$\begin{aligned} |\vec{d} - \vec{a}|^2 &= |\vec{d}|^2 - 2\vec{d} \cdot \vec{a} + |\vec{a}|^2 = 1 \\ |\vec{c} - \vec{d}|^2 &= |\vec{c}|^2 - 2\vec{c} \cdot \vec{d} + |\vec{d}|^2 = 1 \\ (\vec{d} - \vec{a}) \cdot (\vec{c} - \vec{d}) &= \vec{c} \cdot \vec{d} - |\vec{d}|^2 - \vec{a} \cdot \vec{c} + \vec{a} \cdot \vec{d} = -\frac{1}{2} \end{aligned}$$

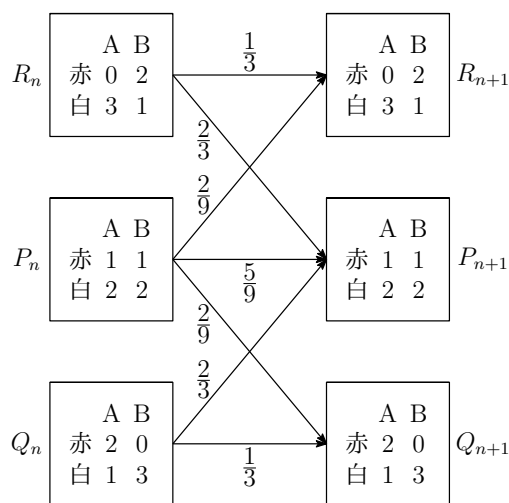
これらの結果を利用すると

$$|\overrightarrow{PQ}|^2 = t^2 - \frac{3}{5}t + \frac{9}{25} = \left(t - \frac{3}{10}\right)^2 + \frac{27}{100}$$

よって, PQ の長さは, $t = \frac{3}{10}$ のとき, 最小値 $\frac{3\sqrt{3}}{10}$ をとる. ■

- 4 (1) 確率 P_{n+1} , Q_{n+1} , R_{n+1} は, 確率 P_n , Q_n , R_n を用いた次の確率漸化式によって定まる.

$$(*) \begin{cases} P_{n+1} = \frac{5}{9}P_n + \frac{2}{3}Q_n + \frac{2}{3}R_n \\ Q_{n+1} = \frac{2}{9}P_n + \frac{1}{3}Q_n \\ R_{n+1} = \frac{2}{9}P_n + \frac{1}{3}R_n \end{cases}$$



初めに2つの袋A, Bのそれぞれに, 赤玉1個と白玉2個の合計3個が入っているから, $P_0 = 1$, $Q_0 = R_0 = 0$ より

$$P_1 = \frac{5}{9}, \quad Q_1 = \frac{2}{9}, \quad R_1 = \frac{2}{9}$$

- (2) (1)の結果および(*)の第1式により

$$P_2 = \frac{5}{9}P_1 + \frac{2}{3}Q_1 + \frac{2}{3}R_1 = \frac{5}{9} \cdot \frac{5}{9} + \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{9} + \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{9} = \frac{49}{81}$$

- (3) $P_n + Q_n + R_n = 1$ および(*)の第1式から, Q_n , R_n を消去すると

$$P_{n+1} = \frac{5}{9}P_n + \frac{2}{3}(Q_n + R_n) = \frac{5}{9}P_n + \frac{2}{3}(1 - P_n) = -\frac{1}{9}P_n + \frac{2}{3}$$

- (4) (3)の結果から $P_{n+1} - \frac{3}{5} = -\frac{1}{9}\left(P_n - \frac{3}{5}\right)$

$$\text{ゆえに } P_n - \frac{3}{5} = \left(P_1 - \frac{3}{5}\right) \left(-\frac{1}{9}\right)^{n-1} \quad \text{よって } P_n = \frac{3}{5} + \frac{2}{5} \left(-\frac{1}{9}\right)^n$$

補足 (*)の第2・3式から $Q_{n+1} - R_{n+1} = \frac{1}{3}(Q_n - R_n)$

$$Q_1 = R_1 = \frac{2}{9} \text{ であるから } Q_n = R_n$$

$$\text{よって } Q_n = R_n = \frac{1}{2}(1 - P_n) = \frac{1}{5} - \frac{1}{5} \left(-\frac{1}{9}\right)^n$$

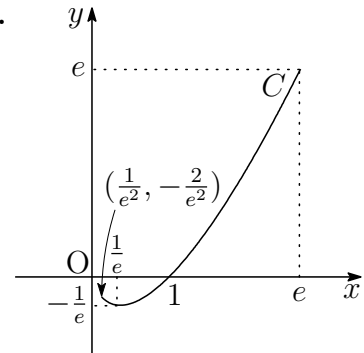


5 (1) $f(x) = x \log x$ より $f'(x) = \log x + 1$, $f''(x) = \frac{1}{x}$

(2) (1) の結果から, 増減および凹凸は次のようになる.

x	$\frac{1}{e^2}$	$\cdots$	$\frac{1}{e}$	$\cdots$	e
$f'(x)$		$-$	0	$+$	
$f''(x)$		$+$	$+$	$+$	
$f(x)$	$-\frac{2}{e^2}$	$\searrow$	$-\frac{1}{e}$	$\nearrow$	e

極小値 $f\left(\frac{1}{e}\right) = -\frac{1}{e}$, 変曲点なし



(3) $f(x) = x \log x$ の原始関数の 1 つを $F(x) = \frac{x^2}{4}(2 \log x - 1)$ とおくと

$$F\left(\frac{1}{e^2}\right) = -\frac{5}{4e^4}, \quad F(1) = -\frac{1}{4}, \quad F(e) = \frac{e^2}{4}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad S &= -\int_{\frac{1}{e^2}}^1 f(x) dx + \int_1^e f(x) dx \\ &= -\left[F(x)\right]_{\frac{1}{e^2}}^1 + \left[F(x)\right]_1^e \\ &= F\left(\frac{1}{e^2}\right) - 2F(1) + F(e) = -\frac{5}{4e^4} + \frac{1}{2} + \frac{e^2}{4} \end{aligned}$$

■

$$\begin{aligned} \text{[6]} \quad (1) \quad |\vec{PQ}|^2 &= |\vec{OQ} - \vec{OP}|^2 \\ &= |\vec{OQ}|^2 - 2\vec{OP} \cdot \vec{OQ} + |\vec{OP}|^2 \end{aligned}$$

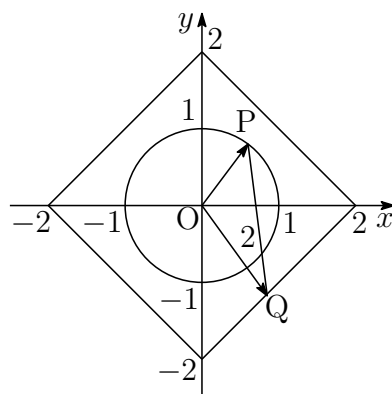
$$|\vec{OP}| = 1, \quad |\vec{PQ}| = 2 \text{ より}$$

$$2^2 = |\vec{OQ}|^2 - 2\vec{OP} \cdot \vec{OQ} + 1^2$$

$$\text{ゆえに } \vec{OP} \cdot \vec{OQ} = \frac{1}{2}(|\vec{OQ}|^2 - 3)$$

$$\sqrt{2} \leq |\vec{OQ}| \leq 2 \text{ であるから}$$

$$-\frac{1}{2} \leq \vec{OP} \cdot \vec{OQ} \leq \frac{1}{2} \quad \text{よって} \quad \text{最大値 } \frac{1}{2}, \quad \text{最小値 } -\frac{1}{2}$$



(2) 直線 PQ に垂線 OH を引くと、H は直線 PQ 上の点であるから

$$\vec{OH} = \vec{OP} + t\vec{PQ} \quad (t \text{ は実数})$$

$$\vec{PQ} \perp \vec{OH} \text{ であるから, } \vec{PQ} \cdot \vec{OH} = 0 \text{ より}$$

$$\vec{PQ} \cdot (\vec{OP} + t\vec{PQ}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = -\frac{\vec{OP} \cdot \vec{PQ}}{|\vec{PQ}|^2}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad |\vec{OH}|^2 &= |\vec{OP}|^2 + 2t\vec{OP} \cdot \vec{PQ} + t^2|\vec{PQ}|^2 \\ &= |\vec{OP}|^2 - \frac{2(\vec{OP} \cdot \vec{PQ})^2}{|\vec{PQ}|^2} + \frac{(\vec{OP} \cdot \vec{PQ})^2}{|\vec{PQ}|^2} \\ &= \frac{|\vec{OP}|^2|\vec{PQ}|^2 - (\vec{OP} \cdot \vec{PQ})^2}{|\vec{PQ}|^2} = 1 - \frac{1}{4}(\vec{OP} \cdot \vec{PQ})^2 \end{aligned}$$

$$\text{このとき} \quad \vec{OP} \cdot \vec{PQ} = \vec{OP} \cdot (\vec{OQ} - \vec{OP}) = \vec{OP} \cdot \vec{OQ} - |\vec{OP}|^2 = \vec{OP} \cdot \vec{OQ} - 1$$

$$\text{ゆえに} \quad -\frac{3}{2} \leq \vec{OP} \cdot \vec{PQ} \leq -\frac{1}{2} \quad \text{したがって} \quad \frac{7}{16} \leq |\vec{OH}|^2 \leq \frac{15}{16}$$

$$\text{よって, 求める最大値は } \frac{\sqrt{15}}{4}, \quad \text{最小値は } \frac{\sqrt{7}}{4}$$

補足 点 A から直線 $\vec{OP} + t\vec{v}$ に引いた垂線の長さは (t は媒介変数)

$$\frac{\sqrt{|\vec{v}|^2|\vec{AP}|^2 - (\vec{v} \cdot \vec{AP})^2}}{|\vec{v}|}$$



- 7 (1) $BC^2 + CA^2 = AB^2$ であるから

$$\angle BCA = 90^\circ$$

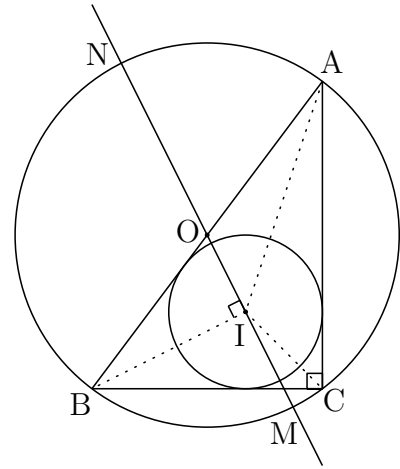
AB は $\triangle ABC$ の外接円の直径であるから

$$R = \frac{1}{2}AB = 5$$

$\triangle IBC + \triangle ICA + \triangle IAB = \triangle ABC$ より

$$\frac{1}{2} \cdot 6r + \frac{1}{2} \cdot 8r + \frac{1}{2} \cdot 10r = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 8$$

これを解いて $r = 2$



- (2) $\vec{CB} = 6\vec{e}$, $\vec{CA} = 8\vec{f}$ となる直交する単位ベクトル $\vec{e}$, $\vec{f}$ を用いると

$$\vec{CI} = 2\vec{e} + 2\vec{f},$$

$$\vec{CO} = \frac{1}{2}(\vec{CB} + \vec{CA}) = 3\vec{e} + 4\vec{f},$$

$$\vec{OI} = \vec{CI} - \vec{CO} = (2\vec{e} + 2\vec{f}) - (3\vec{e} + 4\vec{f}) = -\vec{e} - 2\vec{f}$$

したがって $|\vec{OI}|^2 = |\vec{e}|^2 + 4|\vec{f}|^2 = 5$ よって $OI = \sqrt{5}$

- (3) $IM = OM - OI = 5 - \sqrt{5}$, $IN = ON + OI = 5 + \sqrt{5}$

- (4) 求める最小値は $2\sqrt{R^2 - r^2} = 2\sqrt{5^2 - (\sqrt{5})^2} = 4\sqrt{5}$

別解 $\vec{IB} = \vec{CB} - \vec{CI} = 6\vec{e} - (2\vec{e} + 2\vec{f}) = 4\vec{e} - 2\vec{f}$ より

$$\vec{OI} \cdot \vec{IB} = (-\vec{e} - 2\vec{f}) \cdot (4\vec{e} - 2\vec{f}) = 0$$

$OI \perp IB$ より, d の最小値は

$$2|\vec{IB}| = 2\sqrt{4^2 + (-2)^2} = 4\sqrt{5}$$



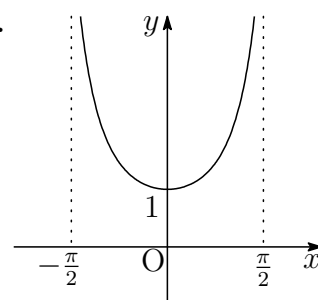
8 (1) $f(x) = \frac{1}{\cos^3 x} = (\cos x)^{-3}$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= -3(\cos x)^{-4}(-\sin x) = 3\sin x(\cos x)^{-4} = \frac{3\sin x}{\cos^4 x} \\ f''(x) &= 3\cos x(\cos x)^{-4} + 3\sin x \cdot (-4)(\cos x)^{-5}(-\sin x) \\ &= 3(\cos x)^{-3} + 12\sin^2 x(\cos x)^{-5} = \frac{3(1 + 3\sin^2 x)}{\cos^5 x} \end{aligned}$$

$f(x)$ の増減, 極値, C の凹凸は, 次のようになる.

x	$(-\frac{\pi}{2})$	$\cdots$	0	$\cdots$	$(\frac{\pi}{2})$
$f'(x)$		$-$	0	$+$	
$f''(x)$		$+$	$+$	$+$	
$f(x)$		$\searrow$	1	$\nearrow$	

$$\lim_{x \rightarrow -\frac{\pi}{2}+0} f(x) = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{2}-0} f(x) = \infty$$



よって 極小値 $f(0) = 1$, 変曲点はない.

$$\begin{aligned} (2) \quad \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{\cos x}{\cos^2 x} dx = \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{\cos x}{1 - \sin^2 x} dx \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{\cos x}{\sin x + 1} - \frac{\cos x}{\sin x - 1} \right) dx = \frac{1}{2} \left[\log \left| \frac{\sin x + 1}{\sin x - 1} \right| \right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= \frac{1}{2} \log \frac{2 + \sqrt{3}}{2 - \sqrt{3}} = \log(2 + \sqrt{3}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{(\sin x)'}{\cos^2 x} dx = \left[\frac{\sin x}{\cos^2 x} \right]_0^{\frac{\pi}{3}} - \int_0^{\frac{\pi}{3}} \sin x \cdot \frac{2\sin x}{\cos^3 x} dx \\ &= 2\sqrt{3} + 2 \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx - 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\cos^3 x} dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad S &= \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos^3 x} dx = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{\cos x} dx + \sqrt{3} \\ &= \frac{1}{2} \log(2 + \sqrt{3}) + \sqrt{3} \end{aligned}$$

■

9 (1)
$$\begin{array}{r|l} 5 & 147 \\ \hline 5 & 29 \cdots 2 \\ \hline 5 & 5 \cdots 4 \\ \hline & 1 \cdots 0 \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 8 & 147 \\ \hline 8 & 18 \cdots 3 \\ \hline & 2 \cdots 2 \end{array}$$

よって $147 = 1042_{(5)} = 223_{(8)}$

- (2) 2桁の五進数 $\boxed{a}\boxed{b}_{(5)}$ の位の順序を逆にした2桁の八進数 $\boxed{b}\boxed{a}_{(8)}$ が等しいと仮定すると (a, b は4以下の自然数)

$$5a + b = 8b + a \quad \text{ゆえに} \quad 4a = 7b$$

上の第2式は7の倍数であるが、 $4a$ は7の倍数ではない。

よって、条件をみたす a, b は存在しない。

- (3) 3桁の五進数 $\boxed{a}\boxed{b}\boxed{c}_{(5)}$ の位の順序を逆にした3桁の八進数 $\boxed{c}\boxed{b}\boxed{a}_{(8)}$ が等しいとき ($a, c = 1, 2, 3, 4, b = 0, 1, 2, 3, 4$)

$$5^2a + 5b + c = 8^2c + 8b + a \quad \text{整理すると} \quad 8a = b + 21c$$

したがって
$$a - b = 7(3c - a)$$

上式は7の倍数であるから、 $-3 \leq a - b \leq 4$ に注意すると

$$a - b = 0, \quad 3c - a = 0 \quad \text{すなわち} \quad a = b = 3c$$

これを満たす a, b, c の組は $a = b = 3, c = 1$

よって $331_{(5)} = 133_{(8)} = 91$



10 (1) $f(x) = x^2 - 3x + 2$ より $f'(x) = 2x - 3$

C 上の点 $P(t, t^2 - 3t + 2)$ における接線の方程式は

$$y - (t^2 - 3t + 2) = (2t - 3)(x - t)$$

すなわち $y = (2t - 3)x - t^2 + 2$

(2) (1) で求めた接線が点 $(2, -1)$ を通るとき

$$-1 = (2t - 3) \cdot 2 - t^2 + 2 \quad \text{整理すると} \quad t^2 - 4t + 3 = 0$$

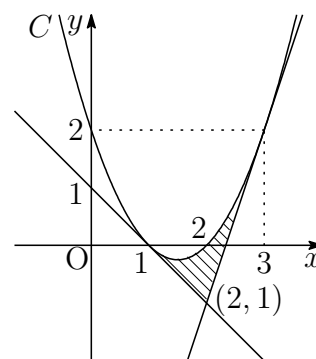
これを解いて $t = 1, 3$

よって, (1) の結果から

$$\begin{cases} \text{接点 (1, 0)} \\ \text{接線 } y = -x + 1 \end{cases} \quad \begin{cases} \text{接点 (3, 2)} \\ \text{接線 } y = 3x - 7 \end{cases}$$

(3) 右の図から, 求める面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \int_1^2 \{(x^2 - 3x + 2) - (-x + 1)\} dx \\ &\quad + \int_2^3 \{(x^2 - 3x + 2) - (-3x + 7)\} dx \\ &= \int_1^2 (x - 1)^2 dx + \int_2^3 (x - 3)^2 dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x - 1)^3 \right]_1^2 + \left[\frac{1}{3}(x - 3)^3 \right]_2^3 = \frac{2}{3} \end{aligned}$$



補足 2つの接点 $(1, 0)$, $(3, 2)$ を通る直線 $y = x - 1$ と $C: y = x^2 - 3x + 2$ で囲まれた部分の面積は $2S$ となる². 実際

$$\int_1^3 \{x - 1 - (x^2 - 3x + 2)\} dx = - \int_1^3 (x - 1)(x - 3) dx = \frac{4}{3}$$

■

²http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_bun.2009.pdf (p.6 を参照)

8.5 2019 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [6] [7] [8] [9] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [2] [5] [10] [11] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [5] [10] [12] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 関数 $f(x) = \frac{x}{\sqrt{4+3x^2}}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{(4+3x^2)^{\frac{3}{2}}}$ である.

(2) 関数 $f(x) = \sin x \tan x$ の導関数は, $f'(x) = \boxed{\text{い}} \left(1 + \frac{1}{\cos^2 x}\right)$ である.

(3) 関数 $f(x) = \frac{1}{x^2 + 4x + 3}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \boxed{\text{う}} + C$ である.
ただし, C は積分定数とする.

(4) 定積分 $\int_0^1 \log(x+1) dx$ の値は $\boxed{\text{え}}$ である.

(5) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(5x) \cos(2x) dx$ の値は $\boxed{\text{お}}$ である.

[2] 関数 $f(x) = xe^{-\frac{x^2}{2}}$ および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について, 次の各問に答えよ.

- (1) 第1次導関数 $f'(x)$, 第2次導関数 $f''(x)$ を求めよ.
- (2) 関数 $f(x)$ の増減, 極値, 曲線 C の凹凸, および変曲点を調べて, C の概形をかけ. ただし, $\lim_{x \rightarrow \infty} xe^{-\frac{x^2}{2}} = 0$, $\lim_{x \rightarrow -\infty} xe^{-\frac{x^2}{2}} = 0$ が成り立つことは既知としてよい.
- (3) 正の実数 t に対し, 曲線 C , x 軸, および直線 $x = t$ で囲まれた部分の面積 S を, t を用いて表せ.

- 3** 四面体 $OABC$ において, $OA = OB = OC = 1$, $\angle AOB = \angle BOC = 60^\circ$, $\angle COA = 90^\circ$ とし, OB を $3:1$ に内分する点を D とする. $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とするとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$, $\vec{b} \cdot \vec{c}$, $\vec{c} \cdot \vec{a}$ の値を求めよ.
- (2) 線分 DA , DC の長さを求めよ.
- (3) 三角形 ACD の面積を求めよ.
- (4) 点 O から 3 点 A , C , D を含む平面に下ろした垂線の足を H とするとき, $\overrightarrow{OH}$ を, $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ.

- 4** 3 つの複素数 α , β , γ は $|\alpha| = 1$, $|\beta| = 4$, $|\gamma| = 5$, $\arg \alpha = \frac{\pi}{3}$, $\arg \beta = \frac{4}{3}\pi$, $\arg \gamma = \frac{5}{3}\pi$ を満たすとする. 複素数平面上で, α , β , γ が表す点をそれぞれ A , B , C とするとき, 次の各問に答えよ. ただし, i は虚数単位とする.

- (1) α , β , γ を $x + yi$ (x, y は実数) の形でそれぞれ表し, 複素数平面上に点 A , B , C を図示せよ.
- (2) 線分 AB の長さを求めよ.
- (3) 三角形 ABC の面積を求めよ.
- (4) 三角形 ABC の外接円の中心を表す複素数を求めよ.

- 5** a を自然数とする. 自然数 n に対し, $b_n = n(n^2 + a)$ とする. このとき, 命題

(*) すべての自然数 n に対し, b_n は 6 の倍数である

について, 次の各問に答えよ.

- (1) $a = 5$ のとき, 命題 (*) が真であることを示せ.
- (2) 命題 (*) が真であるような a の値をすべて求めよ.

- 6** 連立不等式

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq 2\pi & \dots \textcircled{1} \\ 0 \leq y \leq 2\pi & \dots \textcircled{2} \\ \cos x \cos y + \sin x \cos y \geq \sin x \sin y - \cos x \sin y + 1 & \dots \textcircled{3} \end{cases}$$

の表す領域を座標平面上に図示せよ.

- 7 重ねた n 枚のカードを上から順に以下の方法を組み合わせて過不足なくすべて取ることを考える.

A : 1 度にちょうど 1 枚取る

B : 1 度にちょうど 2 枚取る

C : 1 度にちょうど 3 枚取る

重ねた n 枚のカードを過不足なくすべて取る場合の数を a_n とする.

例えば, $n = 4$ のとき, 1 回目に方法 A, 2 回目に方法 A, 3 回目に方法 B で 4 枚を過不足なくすべて取ることを AAB と表すことにすれば, 4 枚のカードを過不足なくすべて取る仕方は

AAAA, AAB, ABA, BAA, AC, CA, BB

の 7 通りである. よって, $a_4 = 7$ である.

このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) a_1, a_2, a_3 を求めよ.
 - (2) $n \geq 4$ のとき, a_n を, $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}$ を用いて表せ.
 - (3) a_{10} を求めよ.
 - (4) 「方法 C を 2 回以上続けて用いることはできない」という制約を付け加えるとき, 重ねた 10 枚のカードを過不足なくすべて取る場合の数を求めよ.
- 8 k を定数とする. $-2 \leq x \leq 2$ で定義される関数 $f(x) = k + x + \sqrt{4 - x^2}$ について, 座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ を考える. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 曲線 C と x 軸が共有点をもつように, k のとりうる値の範囲を求めよ.
- (2) 連立不等式

$$\begin{cases} -2 \leq x \leq 2 \\ 0 \leq y \leq |f(x)| \end{cases}$$

の表す領域を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積 V を, k を用いて表せ.

- (3) (1) の k の値の範囲で, (2) の体積 V が最小となる k の値と, そのときの V の値を求めよ.

- 9** x についての整式 $P(x)$ は、 $(x+1)^2$ で割ると $-x+4$ 余り、 $(x-1)^2$ で割ると $2x+5$ 余るとする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) $P(x)$ を $(x+1)(x-1)$ で割ったときの余りを求めよ。
- (2) $P(x)$ を $(x+1)(x-1)^2$ で割ったときの余りを求めよ。
- (3) $P(x)$ を $(x+1)^2(x-1)^2$ で割ったときの余りを求めよ。

- 10** 0 から 9 までの数字が 1 つずつ書かれた 10 枚のカード

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

が 1 つの袋に入っている。1 枚のカードを袋から取り出し、カードに書かれている数字を確認し、元に戻すという試行を 3 回行う。

- 1 回目の試行で確認したカードの数字を X ,
- 2 回目の試行で確認したカードの数字を Y ,
- 3 回目の試行で確認したカードの数字を Z

とする。ただし、どのカードも同じ確率で取り出されたとする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) $X+Y+Z=0$ となる確率を求めよ。
- (2) $X=3$ かつ $X+Y+Z=9$ となる確率を求めよ。
- (3) $X+Y+Z=9$ となる確率を求めよ。
- (4) $X+Y+Z=12$ となる確率を求めよ。

- 11** $0 \leq x \leq 2\pi$ に対して、 $y = \sin 2x + \sqrt{6}(\sin x + \cos x)$ とする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) $\sin x + \cos x$ のとりうる値の範囲を求めよ。
- (2) $t = \sin x + \cos x$ とし、 y を、 t を用いて表せ。
- (3) y の最大値および最小値と、それらを与える x の値をすべて求めよ。

12 a, b, c を実数とし, $a > 0$ とする. 関数 $f(x) = x^2 + 1$, $g(x) = -ax^2 + bx + c$ に対し, 座標平面上の放物線 $y = f(x)$, $y = g(x)$ をそれぞれ C_1 , C_2 とする. C_1 上の点 $P(1, 2)$ における C_1 の接線を ℓ とする. C_2 は P を通り, ℓ は P における C_2 の接線でもある. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 接線 ℓ の方程式を求めよ.
- (2) 放物線 C_2 の頂点の座標を, a を用いて表せ.
- (3) 放物線 C_1 , 接線 ℓ , および y 軸で囲まれる部分の面積を S_1 とし, 放物線 C_2 , ℓ , および C_2 の軸で囲まれる部分の面積を S_2 とする. $S_2 = 2S_1$ であるとき, a の値を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad f(x) = \frac{x}{\sqrt{4+3x^2}} \text{ より}$$

$$f'(x) = \frac{1 \cdot \sqrt{4+3x^2} - x \cdot \frac{3x}{\sqrt{4+3x^2}}}{4+3x^2} = \frac{(4+3x^2) - 3x^2}{(4+3x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{4}{(4+3x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

(あ) 4

$$(2) \quad f(x) = \sin x \tan x \text{ より}$$

$$f'(x) = \cos x \tan x + \sin x \cdot \frac{1}{\cos^2 x} = \sin x + \frac{\sin x}{\cos^2 x} = \sin x \left(1 + \frac{1}{\cos^2 x} \right)$$

(い) $\sin x$

$$(3) \quad f(x) = \frac{1}{x^2+4x+3} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{x+1} - \frac{1}{x+3} \right) \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= \frac{1}{2} \int \left(\frac{1}{x+1} - \frac{1}{x+3} \right) dx \\ &= \frac{1}{2} \{ \log |x+1| - \log |x+3| \} + C = \frac{1}{2} \log \left| \frac{x+1}{x+3} \right| + C \end{aligned}$$

$$(\text{う}) \quad \frac{1}{2} \log \left| \frac{x+1}{x+3} \right|$$

$$\begin{aligned} (4) \quad \int_0^1 \log(x+1) dx &= \int_0^1 (x+1)' \log(x+1) dx \\ &= \left[(x+1) \log(x+1) \right]_0^1 - \int_0^1 (x+1) \cdot \frac{1}{x+1} dx \\ &= 2 \log 2 - 1 \end{aligned}$$

(え) $2 \log 2 - 1$

$$\begin{aligned} (5) \quad \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 5x \cos 2x dx &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\sin 7x + \sin 3x) dx \\ &= \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{7} \cos 7x - \frac{1}{3} \cos 3x \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{5}{21} \end{aligned}$$

$$(\text{お}) \quad \frac{5}{21}$$

■

2 (1) $f(x) = xe^{-\frac{x^2}{2}}$ より

$$f'(x) = 1 \cdot e^{-\frac{x^2}{2}} + x \cdot (-x)e^{-\frac{x^2}{2}} = (1 - x^2)e^{-\frac{x^2}{2}},$$

$$f''(x) = -2xe^{-\frac{x^2}{2}} + (1 - x^2) \cdot (-x)e^{-\frac{x^2}{2}} = (x^3 - 3x)e^{-\frac{x^2}{2}}$$

(2) (1) の結果から

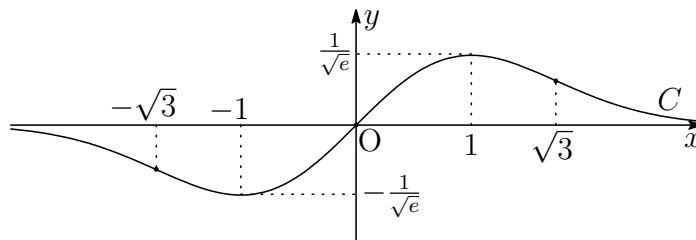
$$f'(x) = 0 \text{ の解は } x = \pm 1, \quad f''(x) = 0 \text{ の解は } x = 0, \pm \sqrt{3}$$

増減および曲線 C の凹凸は次のようになる.

x	...	$-\sqrt{3}$	...	-1	...	0	...	1	...	$\sqrt{3}$	...
$f'(x)$	-	-	-	0	+	+	+	0	-	-	-
$f''(x)$	-	0	+	+	+	0	-	-	-	0	+
$f(x)$	$\searrow$	変曲点	$\searrow$	極小	$\nearrow$	変曲点	$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$

$$\text{極大値 } f(1) = \frac{1}{\sqrt{e}}, \quad \text{極小値 } f(-1) = -\frac{1}{\sqrt{e}}$$

変曲点 $(0, 0)$, $(\pm\sqrt{3}, \pm\sqrt{3}e^{-\frac{3}{2}})$ (複号同順)



注意 $f'(\alpha) = 0$ であっても, $x = \alpha$ の前後で $f'(x)$ の符号が変わらないとき, $f(\alpha)$ は極値ではない. 同様に, $f''(\beta) = 0$ であって, $x = \beta$ の前後で $f''(x)$ の符号が変わらないとき, 点 $(\beta, f(\beta))$ は変曲点ではない. $C: y = xe^{-\frac{x^2}{2}}$ は原点对称であることから, 増減表を $x \geq 0$ の範囲で示して C の概形をかき, これを元に $x \leq 0$ の部分の概形をかくことができるが, C の原点が変曲点であること, すなわち, 原点の前後で $f''(x)$ の符号が変わることに注意して増減表を示している.

(3) 求める面積 S は, (2) で求めたグラフに注意して

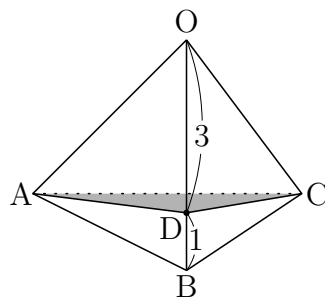
$$S = \int_0^t xe^{-\frac{x^2}{2}} dx = \left[-e^{-\frac{x^2}{2}} \right]_0^t = 1 - e^{-\frac{t^2}{2}}$$

■

$$\boxed{3} \quad (1) \quad \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos 60^\circ = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\vec{b} \cdot \vec{c} = |\vec{b}| |\vec{c}| \cos 60^\circ = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\vec{c} \cdot \vec{a} = |\vec{c}| |\vec{a}| \cos 90^\circ = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$$



$$(2) \quad \overrightarrow{OD} = \frac{3}{4}\vec{b} \text{ であるから, (1) の結果により}$$

$$|\overrightarrow{DA}|^2 = \left| \vec{a} - \frac{3}{4}\vec{b} \right|^2 = |\vec{a}|^2 - \frac{3}{2}\vec{a} \cdot \vec{b} + \frac{9}{16}|\vec{b}|^2 = 1^2 - \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{9}{16} \cdot 1^2 = \frac{13}{16},$$

$$|\overrightarrow{DC}|^2 = \left| \vec{c} - \frac{3}{4}\vec{b} \right|^2 = |\vec{c}|^2 - \frac{3}{2}\vec{b} \cdot \vec{c} + \frac{9}{16}|\vec{b}|^2 = 1^2 - \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{9}{16} \cdot 1^2 = \frac{13}{16}$$

$$\text{よって} \quad DA = DC = \frac{\sqrt{13}}{4}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \overrightarrow{DA} \cdot \overrightarrow{DC} &= \left(\vec{a} - \frac{3}{4}\vec{b} \right) \cdot \left(\vec{c} - \frac{3}{4}\vec{b} \right) = \vec{c} \cdot \vec{a} - \frac{3}{4}\vec{a} \cdot \vec{b} - \frac{3}{4}\vec{b} \cdot \vec{c} + \frac{9}{16}|\vec{b}|^2 \\ &= 0 - \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{2} - \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{2} + \frac{9}{16} \cdot 1^2 = -\frac{3}{16} \end{aligned}$$

$\triangle ACD$ の面積を S とすると, 上式および (2) の計算により

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{DA}|^2 |\overrightarrow{DC}|^2 - (\overrightarrow{DA} \cdot \overrightarrow{DC})^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{13}{16} \cdot \frac{13}{16} - \left(-\frac{3}{16} \right)^2} = \frac{\sqrt{10}}{8}$$

$$(4) \quad \overrightarrow{OH} = x\vec{a} + y\vec{b} + z\vec{c} \text{ とおくと, H は平面 ACD 上の点であるから}$$

$$\overrightarrow{OH} = x\overrightarrow{OA} + \frac{4}{3}y\overrightarrow{OD} + z\overrightarrow{OC} \quad \text{ゆえに} \quad x + \frac{4}{3}y + z = 1 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\overrightarrow{AC} \perp \overrightarrow{OH}, \quad \overrightarrow{AD} \perp \overrightarrow{OH} \quad \text{より} \quad (\vec{c} - \vec{a}) \cdot \overrightarrow{OH} = 0, \quad \left(\frac{3}{4}\vec{b} - \vec{a} \right) \cdot \overrightarrow{OH} = 0$$

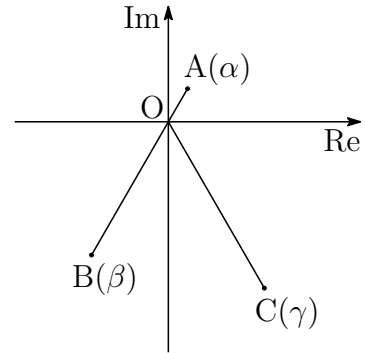
$$\text{上の 2 式から} \quad \vec{a} \cdot \overrightarrow{OH} = \frac{3}{4}\vec{b} \cdot \overrightarrow{OH} = \vec{c} \cdot \overrightarrow{OH}$$

$$\text{ゆえに} \quad \vec{a} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b} + z\vec{c}) = \frac{3}{4}\vec{b} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b} + z\vec{c}) = \vec{c} \cdot (x\vec{a} + y\vec{b} + z\vec{c})$$

$$\text{すなわち} \quad x + \frac{1}{2}y = \frac{3}{8}x + \frac{3}{4}y + \frac{3}{8}z = \frac{1}{2}y + z \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ を解いて} \quad x = y = z = \frac{3}{10} \quad \text{よって} \quad \overrightarrow{OH} = \frac{3}{10}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \quad \blacksquare$$

4 (1) $\alpha = |\alpha|(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3})$
 $= 1 \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i,$
 $\beta = |\beta|(\cos \frac{4\pi}{3} + i \sin \frac{4\pi}{3})$
 $= 4 \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = -2 - 2\sqrt{3}i,$
 $\gamma = |\gamma|(\cos \frac{5\pi}{3} + i \sin \frac{5\pi}{3})$
 $= 5 \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i \right) = \frac{5}{2} - \frac{5\sqrt{3}}{2}i$



(2) $\arg \beta - \arg \alpha = \frac{4}{3}\pi - \frac{\pi}{3} = \pi$, $|\alpha| = 1$, $|\beta| = 4$ より, $\beta = -4\alpha$ であるから

$$AB = |\beta - \alpha| = |-4\alpha - \alpha| = |-5\alpha| = 5|\alpha| = 5$$

(3) $\arg \gamma - \arg \beta = \frac{5}{3}\pi - \frac{4}{3}\pi = \frac{\pi}{3}$

点 C から直線 AB に下ろした垂線の長さは $|\gamma| \sin \frac{\pi}{3} = 5 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{5\sqrt{3}}{2}$

これと (2) の結果から $\triangle ABC = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot \frac{5\sqrt{3}}{2} = \frac{25\sqrt{3}}{4}$

別解 $\beta - \alpha = -\frac{5}{2}(1 + \sqrt{3}i)$, $\gamma - \alpha = 2 - 3\sqrt{3}i$ より ³

$$(\beta - \alpha)(\overline{\gamma - \alpha}) = -\frac{5}{2}(1 + \sqrt{3}i)(2 + 3\sqrt{3}i)$$

よって $S = \frac{1}{2} |\operatorname{Im}(\beta - \alpha)(\overline{\gamma - \alpha})| = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 5\sqrt{3} = \frac{25\sqrt{3}}{4}$

(4) $\frac{\alpha + \beta}{2} = -\frac{3}{4} - \frac{3\sqrt{3}}{4}i$, $\frac{\alpha + \gamma}{2} = \frac{3}{2} - \sqrt{3}i$

$$(\beta - \alpha)i = \frac{5}{2}(\sqrt{3} - i), (\gamma - \alpha)i = 3\sqrt{3} + 2i$$

線分 AB, AC の垂直二等分線の交点であるから (t, u は実数)

$$-\frac{3}{4} - \frac{3\sqrt{3}}{4}i + t(\sqrt{3} - i) = \frac{3}{2} - \sqrt{3}i + u(3\sqrt{3} + 2i),$$

$$-\frac{3}{4} + \sqrt{3}t + \left(-\frac{3\sqrt{3}}{4} - t\right)i = \frac{3}{2} + 3\sqrt{3}u + (-\sqrt{3} + 2u)i$$

上の第 2 式から $t = \frac{9\sqrt{3}}{20}$, $u = -\frac{\sqrt{3}}{10}$ よって第 1 式により $\frac{3}{5} - \frac{6\sqrt{3}}{5}i$

³<http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/miyazaki/miyazaki.2017.pdf> [4] を参照

$$\begin{aligned} \text{[5]} \quad (1) \quad a=5 \text{ のとき} \quad b_n &= n(n^2+5) = n(n^2-1) + 6n \\ &= (n-1)n(n+1) + 6n \end{aligned}$$

連続する3整数の積は6の倍数であるから、上式より、命題(*)は真である.

$$(2) \quad b_n = n(n^2+a) = n(n^2-1+a+1) = (n-1)n(n+1) + (a+1)n$$

a, n は自然数であるから

$$b_n = (n-1)n(n+1) + (a+1)n \equiv (a+1)n \pmod{6}$$

すべての自然数 n に対して、 $b_n \equiv 0 \pmod{6}$ のとき、上式から

$$a+1 \equiv 0 \pmod{6}$$

a は自然数であることに注意して

$$a+1=6k \quad \text{よって} \quad a=6k-1 \quad (k \text{ は自然数})$$

■

$$\begin{aligned} \text{[6]} \quad (3) \quad & \text{より} \quad (\sin x \cos y + \cos x \sin y) + (\cos x \cos y - \sin x \sin y) \geq 1 \\ & \sin(x+y) + \cos(x+y) \geq 1 \quad \text{ゆえに} \quad \sin\left(x+y+\frac{\pi}{4}\right) \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

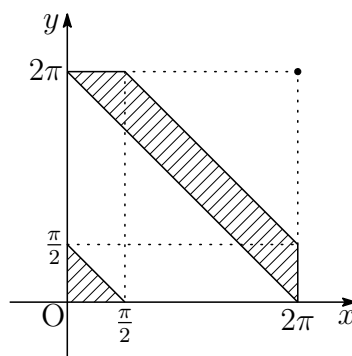
$$\text{①, ② より} \quad \frac{\pi}{4} \leq x+y+\frac{\pi}{4} \leq \frac{\pi}{4} + 4\pi$$

この範囲において、(*)を解くと

$$\begin{cases} \frac{\pi}{4} \leq x+y+\frac{\pi}{4} \leq \frac{3}{4}\pi \\ \frac{\pi}{4} + 2\pi \leq x+y+\frac{\pi}{4} \leq \frac{3}{4}\pi + 2\pi \\ \frac{\pi}{4} + 4\pi = x+y+\frac{\pi}{4} \end{cases}$$

①, ②, 上の不等式より、求める領域は

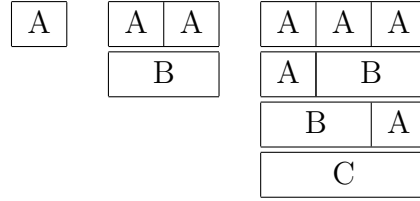
$$(**) \quad \begin{cases} 0 \leq x \leq 2\pi \\ 0 \leq y \leq 2\pi \\ 0 \leq x+y \leq \frac{\pi}{2} \\ 2\pi \leq x+y \leq \frac{\pi}{2} + 2\pi \\ x=y=2\pi \end{cases}$$



(**) の表す領域は、図の斜線部分および点 $(2\pi, 2\pi)$ で、境界線を含む.

■

7 (1) $a_1 = 1, a_2 = 2, a_3 = 4$



- (2) (i) 1回目が方法 A のとき, 残り $n-1$ 枚をすべて取る a_{n-1} 通り.
(ii) 1回目が方法 B のとき, 残り $n-2$ 枚をすべて取る a_{n-2} 通り.
(iii) 1回目が方法 C のとき, 残り $n-3$ 枚をすべて取る a_{n-3} 通り.
したがって, (i)~(iii) より $a_n = a_{n-1} + a_{n-2} + a_{n-3}$

(3) (1), (2) の結果から

$$a_4 = a_3 + a_2 + a_1 = 4 + 2 + 1 = 7$$

$$a_5 = a_4 + a_3 + a_2 = 7 + 4 + 2 = 13$$

$$a_6 = a_5 + a_4 + a_3 = 13 + 7 + 4 = 24$$

$$a_7 = a_6 + a_5 + a_4 = 24 + 13 + 7 = 44$$

$$a_8 = a_7 + a_6 + a_5 = 44 + 24 + 13 = 81$$

$$a_9 = a_8 + a_7 + a_6 = 81 + 44 + 24 = 149$$

$$a_{10} = a_9 + a_8 + a_7 = 149 + 81 + 44 = \mathbf{274}$$

(4) 方法 A と方法 B だけで重ねた n 枚のカードを過不足なくすべて取る場合の数を b_n とすると

$$b_1 = 1, b_2 = 2, b_n = b_{n-1} + b_{n-2} \quad (n \geq 3) \quad \text{ゆえに} \quad b_3 = 3, b_4 = 5$$

(i) 方法 C を 2 回だけ, それを続けて用いる場合の数は

$$b_4 + b_1b_3 + b_2b_2 + b_3b_1 + b_4 = 5 + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 1 + 5 = 20 \text{ 通り}$$

$CCb_4, b_1CCb_3, b_2CCb_2, b_3CCb_1, b_4CC$

(ii) 方法 C を 3 回, それを 2 回以上続けて用いる場合は, 次の 4 通り.

$$CCCA, CCAC, CACC, ACCC$$

よって, 求める場合の数は $274 - (20 + 4) = \mathbf{250}$ (通り) ■

8 (1) $f(x) = k + x + \sqrt{4 - x^2} \ (-2 \leq x \leq 2)$ より $f'(x) = 1 - \frac{x}{\sqrt{4 - x^2}}$

$f'(x) = 0$ とすると $x = \sqrt{4 - x^2}$ これを解いて $x = \sqrt{2}$

x	-2	...	$\sqrt{2}$	...	2
$f'(x)$		+	0	-	
$f(x)$	$k - 2$	$\nearrow$	$k + 2\sqrt{2}$	$\searrow$	$k + 2$

ゆえに、最大値 $f(\sqrt{2}) = k + 2\sqrt{2}$ 、最小値 $f(-2) = k - 2$

曲線 $C: y = f(x)$ と x 軸が共有点をもつとき

$$k - 2 \leq 0 \leq k + 2\sqrt{2} \quad \text{よって} \quad -2\sqrt{2} \leq k \leq 2$$

別解 $\ell: y = x + k$, $S: y = -\sqrt{4 - x^2}$ とおくと

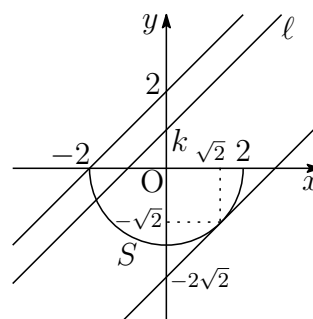
$C: y = f(x)$ と x 軸が共有点をもつ.

$$\iff f(x) = 0 \text{ が解をもつ.}$$

$$\iff x + k = -\sqrt{4 - x^2} \text{ が解をもつ.}$$

$$\iff \ell \text{ と } S \text{ が共有点をもつ.}$$

$$\iff -2\sqrt{2} \leq k \leq 2$$



(2) 求める立体の体積 V は

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_{-2}^2 (k + x + \sqrt{4 - x^2})^2 dx \\ &= \int_{-2}^2 \{(k^2 + 2kx + x^2) + 2(k + x)\sqrt{4 - x^2} + (4 - x^2)\} dx \\ &= \int_{-2}^2 \{(k^2 + 4 + 2k\sqrt{4 - x^2}) + 2kx + 2x\sqrt{4 - x^2}\} dx \\ &= 2 \int_0^2 (k^2 + 4) dx + 4k \int_0^2 \sqrt{4 - x^2} dx \\ &= 2 \left[(k^2 + 4)x \right]_0^2 + 4k \cdot \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 4(k^2 + k\pi + 4) \end{aligned}$$

よって $V = 4\pi(k^2 + k\pi + 4)$

(3) (2) の結果から $V = 4\pi \left(k + \frac{\pi}{2}\right)^2 + \pi(16 - \pi^2)$

$k = -\frac{\pi}{2}$ は (1) で求めた値の範囲にある.

よって、 V は、 $k = -\frac{\pi}{2}$ のとき、最小値 $\pi(16 - \pi^2)$ をとる. ■

- 9 (1) $P(x)$ を $(x+1)^2$, $(x-1)^2$ で割ったときの商をそれぞれ $Q_1(x)$, $Q_2(x)$ とすると、条件から

$$(*) \begin{cases} P(x) = (x+1)^2 Q_1(x) - x + 4 \\ P(x) = (x-1)^2 Q_2(x) + 2x + 5 \end{cases}$$

$P(x)$ を $(x+1)(x-1)$ で割ったときの商を $Q_3(x)$, 余りを $mx+n$ とおくと

$$P(x) = (x+1)(x-1)Q_3(x) + mx + n$$

上式に $x = -1, 1$ を代入すると $P(-1) = -m + n$, $P(1) = m + n$

(*) から, $P(-1) = 5$, $P(1) = 7$ であるから

$$-m + n = 5, \quad m + n = 7 \quad \text{これを解いて} \quad m = 1, \quad n = 6$$

よって, 求める余りは $x + 6$

- (2) $P(x)$ を $(x-1)^2$ で割った余りが $2x+5$ であるから, $P(x)$ を $(x+1)(x-1)^2$ で割った商を $Q_4(x)$, 余りを $p(x-1)^2 + 2x + 5$ とおくと

$$\begin{aligned} P(x) &= (x+1)(x-1)^2 Q_4(x) + p(x-1)^2 + 2x + 5 \\ &= (x+1)(x-1)\{(x-1)Q_4(x) + p\} + (-2p+2)x + (2p+5) \end{aligned}$$

上の第2式と(1)の結果から $-2p+2=1$, $2p+5=6$ ゆえに $p = \frac{1}{2}$

よって, 求める余りは $\frac{1}{2}(x-1)^2 + 2x + 5 = \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2}$

別解 $P(-1) = 5$ を上の第1式に代入すると $4p+3=5$ ゆえに $p = \frac{1}{2}$

- (3) (2)の結果から, $P(x)$ を $(x+1)^2(x-1)^2$ で割った商を $Q_5(x)$,

余りを $q(x+1)(x-1)^2 + \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2}$ とおくと

$$\begin{aligned} P(x) &= (x+1)^2(x-1)^2 Q_5(x) + q(x+1)(x-1)^2 + \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2} \\ &= (x+1)^2(x-1)^2 Q_5(x) + q(x+1)\{(x+1)(x-3) + 4\} + \frac{1}{2}(x+1)^2 + 5 \\ &= (x+1)^2 \left\{ (x-1)^2 Q_5(x) + q(x-3) + \frac{1}{2} \right\} + 4qx + 4q + 5 \end{aligned}$$

$P(x)$ を $(x+1)^2$ で割った余りが $-x+4$ であるから

$$4q = -1, \quad 4q + 5 = 4 \quad \text{ゆえに} \quad q = -\frac{1}{4}$$

よって, 求める余りは

$$-\frac{1}{4}(x+1)(x-1)^2 + \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2} = -\frac{1}{4}x^3 + \frac{3}{4}x^2 + \frac{5}{4}x + \frac{21}{4}$$

別解 (*) の第1式を微分すると

$$P'(x) = 2(x+1)Q_1(x) + (x+1)^2 Q_1'(x) - 1 \quad \text{ゆえに} \quad P'(-1) = -1$$

前ページで示した等式

$$P(x) = (x+1)^2(x-1)^2 Q_5(x) + q(x+1)(x-1)^2 + \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2}$$

を微分すると

$$P'(x) = \{(x+1)^2(x-1)^2 Q_5(x)\}' + q\{(x-1)^2 + 2(x+1)(x-1)\} + x + 1$$

$$\text{ゆえに} \quad P'(-1) = 4q \quad \text{よって} \quad p = -\frac{1}{4}$$

解説 (*) より $P(-1) = 5$, $P(1) = 7$, $P'(-1) = -1$, $P'(1) = 2$

$P(x)$ を $(x+1)^2(x-1)^2$ で割ったときの商を $Q(x)$, 余りを ax^3+bx^2+cx+d とすると

$$P(x) = (x+1)^2(x-1)^2 Q(x) + ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$P'(x) = \{(x+1)^2(x-1)^2 Q(x)\}' + 3ax^2 + 2bx + c$$

上の2式に $x = -1, 1$ を代入して

$$-a + b - c + d = 5, \quad a + b + c + d = 7$$

$$3a - 2b + c = -1, \quad 3a + 2b + c = 2$$

$$\text{これを解いて} \quad a = -\frac{1}{4}, \quad b = \frac{3}{4}, \quad c = \frac{5}{4}, \quad d = \frac{21}{4}$$

$$P(x) = (x+1)^2(x-1)^2 Q(x) - \frac{1}{4}x^3 + \frac{3}{4}x^2 + \frac{5}{4}x + \frac{21}{4}$$

$$\text{ここで, } R(x) = -\frac{1}{4}x^3 + \frac{3}{4}x^2 + \frac{5}{4}x + \frac{21}{4} \text{ とおく.}$$

$R(x)$ をそれぞれ $(x+1)(x-1)$, $(x+1)(x-1)^2$ で割ることにより

$$R(x) = (x+1)(x-1) \left(-\frac{1}{4}x + \frac{3}{4} \right) + x + 6,$$

$$R(x) = (x+1)(x-1)^2 \cdot \left(-\frac{1}{4} \right) + \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2}$$

よって, $P(x)$ を $(x+1)(x-1)$, $(x+1)(x-1)^2$ で割った余りは, それぞれ

$$x + 6, \quad \frac{1}{2}x^2 + x + \frac{11}{2}$$



10 (1) $X + Y + Z = 0$ のとき, $X = Y = Z = 0$ より $\left(\frac{1}{10}\right)^3 = \frac{1}{1000}$

(2) $X = 3$ かつ $X + Y + Z = 9$ のとき, $Y + Z = 6$ より, 次の 7 通り

Y	0	1	2	3	4	5	6
Z	6	5	4	3	2	1	0

よって, 求める確率は $\left(\frac{1}{10}\right)^3 \times 7 = \frac{7}{1000}$

(3) $X + Y + Z = 9$ より

$X = k$ のとき ($k = 0, 1, \dots, 9$), 次の $10 - k$ 通り

Y	0	1	$\dots$	$8 - k$	$9 - k$
Z	$9 - k$	$8 - k$	$\dots$	1	0

よって, 求める確率は

$$\left(\frac{1}{10}\right)^3 \sum_{k=0}^9 (10 - k) = \frac{1}{1000} \sum_{k=1}^{10} k = \frac{55}{1000} = \frac{11}{200}$$

(4) $X + Y + Z = 12$ より

(i) $X = k$ のとき ($k = 0, 1, 2$), 次の $7 + k$ 通り

Y	$3 - k$	$\dots$	9
Z	9	$\dots$	$3 - k$

(ii) $X = k$ のとき ($k = 3, 4, \dots, 9$), 次の $13 - k$ 通り

Y	0	$\dots$	$12 - k$
Z	$12 - k$	$\dots$	0

(i) と (ii) の場合の総数は

$$\sum_{k=0}^2 (7 + k) + \sum_{k=3}^9 (13 - k) = \frac{1}{2} \cdot 3(7 + 9) + \frac{1}{2} \cdot 7(10 + 4) = 73$$

よって, 求める確率は $\left(\frac{1}{10}\right)^3 \times 73 = \frac{73}{1000}$ ■

11 (1) $\sin x + \cos x = \sqrt{2} \sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right)$ ($0 \leq x \leq 2\pi$) より

$$-\sqrt{2} \leq \sin x + \cos x \leq \sqrt{2}$$

(2) $t = \sin x + \cos x$ より

$$t^2 = 1 + 2 \sin x \cos x = 1 + \sin 2x \quad \text{ゆえに} \quad \sin 2x = t^2 - 1$$

よって $y = (t^2 - 1) + \sqrt{6}t = t^2 + \sqrt{6}t - 1$

(3) (1), (2) の結果から $y = \left(t + \frac{\sqrt{6}}{2} \right)^2 - \frac{5}{2}$ ($-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$)

$t = \sqrt{2}$ のとき, 最大値 $1 + 2\sqrt{3}$ をとり,

$t = -\frac{\sqrt{6}}{2}$ のとき, 最小値 $-\frac{5}{2}$ をとる.

$t = \sqrt{2}$ のとき, $\sqrt{2} \sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) = \sqrt{2}$ より

$$\sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) = 1 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{\pi}{4}$$

$t = -\frac{\sqrt{6}}{2}$ のとき, $\sqrt{2} \sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) = -\frac{\sqrt{6}}{2}$ より

$$\sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{13}{12}\pi, \frac{17}{12}\pi$$

よって $x = \frac{\pi}{4}$ のとき 最大値 $1 + 2\sqrt{3}$,

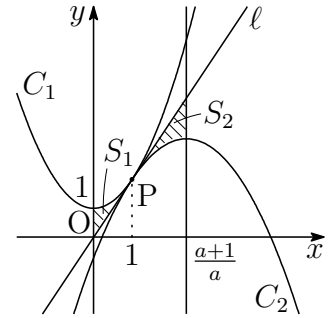
$x = \frac{13}{12}\pi, \frac{17}{12}\pi$ のとき 最小値 $-\frac{5}{2}$



12 (1) $f(x) = x^2 + 1$ を微分すると $f'(x) = 2x$

$f'(1) = 2$ より, C 上の点 $P(1, 2)$ における接線 ℓ の方程式は

$$y - 2 = 2(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = 2x$$



(2) $g(x) = -ax^2 + bx + c$ より, $g'(x) = -2ax + b$
条件から, $g(1) = 2$, $g'(1) = 2$ であるから

$$-a + b + c = 2, \quad -2a + b = 2 \quad \text{ゆえに} \quad b = 2a + 2, \quad c = -a$$

したがって, C_2 の方程式は

$$y = -ax^2 + (2a + 2)x - a = -a \left(x - \frac{a+1}{a} \right)^2 + \frac{2a+1}{a}$$

よって, C_2 の頂点の座標は $\left(\frac{a+1}{a}, \frac{2a+1}{a} \right)$

(3) (1), (2) の結果から

$$S_1 = \int_0^1 \{(x^2 + 1) - 2x\} dx = \int_0^1 (x - 1)^2 dx = \left[\frac{1}{3}(x - 1)^3 \right]_0^1 = \frac{1}{3},$$

$$\begin{aligned} S_2 &= \int_1^{\frac{a+1}{a}} \{2x - (-ax^2 + (2a+2)x - a)\} dx \\ &= a \int_1^{\frac{a+1}{a}} (x - 1)^2 dx = a \left[\frac{1}{3}(x - 1)^3 \right]_1^{\frac{a+1}{a}} = \frac{1}{3a^2} \end{aligned}$$

$$S_2 = 2S_1 \text{ より, } \frac{1}{3a^2} = 2 \cdot \frac{1}{3} \text{ であるから } a^2 = \frac{1}{2}$$

$$\text{よって, } a > 0 \text{ に注意して } a = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \blacksquare$$

8.6 2020 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数I・II・III・A・B (120 分)
- 医学部 [6] [7] [8] [9] [10] 数I・II・III・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [1] [4] [8] [11] 数I・II・III・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [3] [11] [12] 数I・II・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 関数 $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{(e^x + e^{-x})^2}$ である.

(2) 関数 $f(x) = \log \sqrt{x^2 + 1}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{い}}}{x^2 + 1}$ である.

(3) x の関数 y が, t を媒介変数として,

$$\begin{cases} x = t - \sin t \\ y = 1 - \cos t \end{cases}$$

で表されているとき, 導関数 $\frac{dy}{dx}$ を t の関数として表すと, $\frac{dy}{dx} = \boxed{\text{う}}$ である.

(4) 関数 $f(x) = \frac{x}{\sqrt{x+2} - \sqrt{2}}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \boxed{\text{え}} + C$ である. ただし, C は積分定数とする.

(5) 定積分 $\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2-x^2}} dx$ の値は $\boxed{\text{お}}$ である.

(6) 定積分 $\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (3x+2) \sin x dx$ の値は $\boxed{\text{か}}$ である.

- 2 関数 $f(x) = \frac{x^3}{(x-1)^2}$ ($x > 1$) および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ.

(1) 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ.

$f(x)$ の導関数は $f'(x) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{(x-1)^3}$ であり、第 2 次導関数は

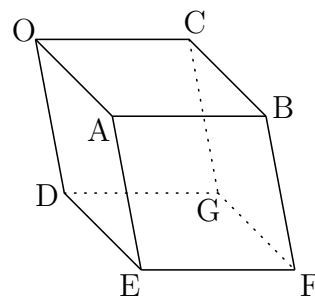
$f''(x) = \frac{\boxed{\text{い}}}{(x-1)^4}$ である. また、 $\lim_{x \rightarrow \infty} \{f(x) - x\} = \boxed{\text{う}}$ である.

$x \rightarrow \infty$ のとき、曲線 C は直線 $y = \boxed{\text{え}}$ に限りなく近づく.

(2) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、変曲点、および漸近線を調べて、曲線 C の概形をかけ.

(3) 曲線 C と x 軸および 2 直線 $x = 2$, $x = 3$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

- 3 右図の平行六面体 OABC-DEFG において、辺 BC の中点を P、線分 AP の中点を Q、線分 FQ の中点を R とし、直線 OR が 3 点 A, C, G を通る平面と交わる点を S とする. $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{d} = \overrightarrow{OD}$ とするとき、次の各問に答えよ.



(1) $\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$, $\overrightarrow{OR}$ のそれぞれを, $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ を用いて表せ.

(2) 2 つの線分 OS と SR の比 OS : SR を求めよ.

- 4 次の各問に答えよ.

(1) 数学的帰納法を用いて、自然数 n に対する次の等式を証明せよ.

$$\sum_{k=1}^n k^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$$

(2) 自然数の列を、次のような群に分ける. ただし、第 n 群には n 個の数が入るものとする.

1 | 2, 3 | 4, 5, 6 | ...
第 1 群 第 2 群 第 3 群

第 n 群の最初の数 a_n とするとき、 $\sum_{k=1}^n a_k$ を、 n を用いて表せ.

- 5 n を 3 以上の自然数とする. 1 から n までの背番号が 1 つずつ付けられた n 人の大人と 1 から n までの背番号が 1 つずつ付けられた n 人の子どもがいる.

例えば, $n = 3$ の場合には,

背番号が 1 である大人と子どもが 1 人ずつ,

背番号が 2 である大人と子どもが 1 人ずつ,

背番号が 3 である大人と子どもが 1 人ずつ

いる.

この $2n$ 人が次の (A) と (B) の両方を満たすように手をつないで輪をつくる.

(A) 大人と子どもが交互に並ぶ

(B) 背番号が等しい人どうしは手をつながない

このような並び方の総数を $T(n)$ で表すとき, 次の各問に答えよ.

(1) $T(3)$ を求めよ.

(2) $T(4)$ を求めよ.

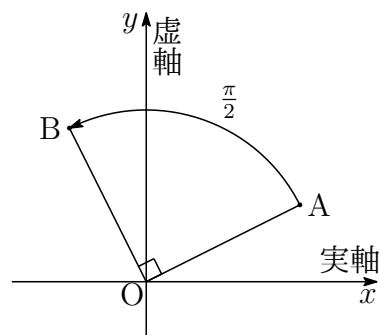
(3) $T(5)$ を求めよ.

- 6 鋭角三角形 OAB における $\angle O$ の二等分線と辺 AB との交点を D , A から辺 OB に下ろした垂線の足を E , 線分 OD と線分 AE との交点を H とする. $OA = x$, $OB = 1$, $\angle AOB = \theta$ とし, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$ とするとき,

$$\overrightarrow{OH} = s\vec{a} + t\vec{b}$$

となるような s, t のそれぞれを, x, θ を用いて表せ.

- 7 s, t を正の実数とする. i は虚数単位とする. 複素数平面上で, 複素数 1 の表す点を P とし, $\alpha = s + ti$ の表す点を A とする. 原点 O を中心として点 A を $\frac{\pi}{2}$ だけ回転した点を B とし, 点 P を中心として点 B を $-\frac{\pi}{2}$ だけ回転した点を C とする. 2 点 B, C の表す複素数をそれぞれ β, γ とするとき, 次の各問に答えよ.



- (1) β, γ のそれぞれを, α を用いて表せ.
- (2) 点 C が直線 PA 上にあるとき, α を, s を用いて表せ.
- (3) $\triangle ACB$ の外接円の中心を表す複素数を w とする. 点 C が直線 PA 上にあるとき, w を, s を用いて表せ.

- 8 $\triangle ABC$ における $\angle A$ の二等分線と辺 BC との交点を D とし、 A から D へのばした半直線と $\triangle ABC$ の外接円との交点を E とする。 $\angle BAD$ の大きさを θ とし、 $BE = 3$, $\cos 2\theta = \frac{2}{3}$ とする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) 線分 BC の長さを求めよ。
- (2) $\triangle BEC$ の面積を求めよ。
- (3) $AD : DE = 4 : 1$ のとき、線分 AB , AC の長さを求めよ。ただし、 $AB > AC$ とする。

- 9 原点を O とする座標平面上に 2 つの曲線

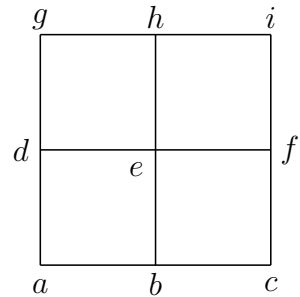
$$C_1 : \frac{x^2}{9} + y^2 = 1 \ (y \geq 0), \quad C_2 : \frac{x^2}{6} - \frac{y^2}{2} = 1 \ (x > 0)$$

がある。 C_1 と y 軸との交点を E , C_2 と x 軸との交点を F とする。また、 C_1 と C_2 は 1 点で交わる。その交点を G とする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) 点 G の座標を求めよ。
- (2) 関数 $f(x) = x\sqrt{x^2 - 6} - 6 \log |x + \sqrt{x^2 - 6}|$ の導関数を求めよ。ただし、 $\log x$ は x の自然対数を表す。
- (3) 2 つの曲線 C_1 , C_2 および 2 つの線分 OE , OF で囲まれた部分の面積 S を求めよ。

- 10 A と B は右図のような格子状の道を以下のように移動するゲームを行う。

- A と B は、このゲームにおいて a から i までの 9 つの点のいずれかにいる。
- 最初 A は点 a に、また B は点 i にいる。
- A と B は同時に出発し、1 秒後に隣の点へ移動する。
- 1 回目の移動では、 A と B のそれぞれは隣の点へ確率 $\frac{1}{2}$ で移動する。
- 2 回目以降の移動では、 A と B のそれぞれは 1 秒前に自分がいた点以外の点へ等しい確率で移動する。ただし、移動できる点が 1 つの場合には、その点へ確率 1 で移動する。
- A と B がはち合せする (すなわち、 A と B が同時に同じ点に到達する) と、このゲームは終了する。



例えば、 A が出発から 1 秒後に点 b に、2 秒後に点 e にいて、 B が出発から 1 秒後に点 f に、2 秒後に点 e にいたら、出発から 2 秒後に A と B は点 e ではち合せし、ゲームは終了する。出発から 4 秒以内でゲームが終了する確率を求めよ。

11 整式 $P(x) = x^3 + 15x^2 + 71x + 105$ について、次の各問に答えよ.

(1) $P(x)$ を因数分解せよ.

(2) 以下のような自然数 k のうち、最も大きいものを求めよ.

k は、すべての正の奇数 a について次の条件 (*) を満たす.

(*) $P(a)$ は k の倍数である.

12 k を定数とする. 座標平面上に2つの放物線 $C_1: y = -x^2 + 3x + 5$, $C_2: y = 2x^2 + 3x + k$ がある. C_1 と C_2 の交点は2つあり、それらの x 座標を α , β とする. ただし, $\alpha < 1 < \beta$ とする. このとき、次の各問に答えよ.

(1) k を, β を用いて表せ.

(2) k のとりうる値の範囲を求めよ.

(3) 区間 $1 \leq x \leq \beta$ において、放物線 C_1 , C_2 および直線 $x = 1$ で囲まれた部分の面積 S を, β を用いて表せ.

(4) (3) の面積 S が5となるような k の値を求めよ.

解答例

1 (1) $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{(e^x - e^{-x})'(e^x + e^{-x}) - (e^x - e^{-x})(e^x + e^{-x})'}{(e^x + e^{-x})^2} \\ &= \frac{(e^x + e^{-x})^2 - (e^x - e^{-x})^2}{(e^x + e^{-x})^2} = \frac{4}{(e^x + e^{-x})^2} \end{aligned}$$

(あ) 4

(2) $f(x) = \log \sqrt{x^2 + 1} = \frac{1}{2} \log(x^2 + 1)$ より

$$f'(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{(x^2 + 1)'}{x^2 + 1} = \frac{x}{x^2 + 1}$$

(い) x

(3) $\begin{cases} x = t - \sin t \\ y = 1 - \cos t \end{cases}$ ゆえに $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{\sin t}{1 - \cos t}$

(う) $\frac{\sin t}{1 - \cos t}$

(4) $f(x) = \frac{x}{\sqrt{x+2} - \sqrt{2}} = \frac{x(\sqrt{x+2} + \sqrt{2})}{(\sqrt{x+2} + \sqrt{2})(\sqrt{x+2} - \sqrt{2})}$
 $= \sqrt{x+2} + \sqrt{2}$

よって $\int f(x) dx = \int (\sqrt{x+2} + \sqrt{2}) dx = \frac{2}{3}(x+2)^{\frac{3}{2}} + \sqrt{2}x + C$

(え) $\frac{2}{3}(x+2)^{\frac{3}{2}} + \sqrt{2}x$

(5) $\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2-x^2}} dx$ について, $x = \sqrt{2} \sin \theta$ とおくと

x	$0 \rightarrow 1$
θ	$0 \rightarrow \frac{\pi}{4}$

$$\sqrt{2-x^2} = \sqrt{2} \cos \theta, \quad \frac{dx}{d\theta} = \sqrt{2} \cos \theta$$

よって $\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2-x^2}} dx = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\sqrt{2} \cos \theta} \cdot \sqrt{2} \cos \theta d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{4}$

(お) $\frac{\pi}{4}$

(6) $\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (3x+2) \sin x dx = \left[-(3x+2) \cos x + 3 \sin x \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = 6$

(か) 6



- 2 (1) $x^3 = \{(x-1) + 1\}^3 = (x-1)^3 + 3(x-1)^2 + 3(x-1) + 1$ より

$$f(x) = \frac{x^3}{(x-1)^2} = (x-1) + 3 + \frac{3}{x-1} + \frac{1}{(x-1)^2}$$

$$f'(x) = 1 - \frac{3}{(x-1)^2} - \frac{2}{(x-1)^3} = \frac{x^2(x-3)}{(x-1)^3}$$

$$f''(x) = \frac{6}{(x-1)^3} + \frac{6}{(x-1)^4} = \frac{6x}{(x-1)^4}$$

上の第1式から

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \{f(x) - x\} = \lim_{x \rightarrow \infty} \left\{ 2 + \frac{3}{x-1} + \frac{1}{(x-1)^2} \right\} = 2$$

したがって $\lim_{x \rightarrow \infty} \{f(x) - (x+2)\} = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$

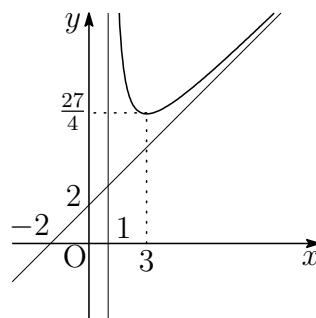
よって、曲線 $C: y = f(x)$ は直線 $y = x + 2$ に限りなく近づく。

(あ) $x^2(x-3)$ (い) $6x$ (う) 2 (え) $x+2$

- (2) 関数 $f(x)$ の $x > 1$ における増減表は

x	(1)	$\cdots$	3	$\cdots$
$f'(x)$		$-$	0	$+$
$f''(x)$		$+$	$+$	$+$
$f(x)$		$\searrow$	$\frac{27}{4}$	$\nearrow$

増減表より、極小値 $f(3) = \frac{27}{4}$



変曲点はない。また、 $\lim_{x \rightarrow 1+0} f(x) = \infty$ および $\textcircled{1}$ より、 $y = f(x)$ ($x > 1$) のグラフは右の図のようになる。

- (3) 求める面積 S は

$$S = \int_2^3 f(x) dx = \int_2^3 \left\{ (x-1) + 3 + \frac{3}{x-1} + \frac{1}{(x-1)^2} \right\} dx$$

$$= \int_2^3 \left\{ x + 2 + \frac{3}{x-1} + \frac{1}{(x-1)^2} \right\} dx$$

$$= \left[\frac{1}{2}x^2 + 2x + 3 \log(x-1) - \frac{1}{x-1} \right]_2^3 = 5 + 3 \log 2$$

■

3 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{d} = \overrightarrow{OD}$ より

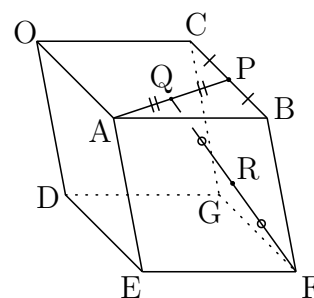
$$\overrightarrow{OB} = \vec{a} + \vec{c}, \quad \overrightarrow{OF} = \vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$$

したがって

$$\overrightarrow{OP} = \frac{\overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}}{2} = \frac{(\vec{a} + \vec{c}) + \vec{c}}{2} = \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{c},$$

$$\overrightarrow{OQ} = \frac{\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OP}}{2} = \frac{1}{2} \left\{ \vec{a} + \left(\frac{1}{2}\vec{a} + \vec{c} \right) \right\} = \frac{3}{4}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c},$$

$$\begin{aligned}\vec{OR} &= \frac{\vec{OF} + \vec{OQ}}{2} = \frac{1}{2} \left\{ (\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}) + \left(\frac{3}{4}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c} \right) \right\} \\ &= \frac{7}{8}\vec{a} + \frac{3}{4}\vec{c} + \frac{1}{2}\vec{d}\end{aligned}$$



(2) $\vec{g} = \overrightarrow{OG}$ とおくと, $\vec{g} = \vec{c} + \vec{d}$ より, $\vec{d} = \vec{g} - \vec{c}$ を (1) の結果に代入すると

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{OR}} &= \frac{7}{8}\vec{a} + \frac{3}{4}\vec{c} + \frac{1}{2}(\vec{g} - \vec{c}) = \frac{7}{8}\vec{a} + \frac{1}{4}\vec{c} + \frac{1}{2}\vec{g} \\ &= \frac{7\vec{a} + 2\vec{c} + 4\vec{g}}{8} = \frac{13}{8} \cdot \frac{7\vec{a} + 2\vec{c} + 4\vec{g}}{13}\end{aligned}$$

直線 OR と平面 ACG の交点 S の位置ベクトルは

$$\overrightarrow{\text{OS}} = \frac{7\vec{a} + 2\vec{c} + 4\vec{g}}{13}$$

したがって $\overrightarrow{\text{OR}} = \frac{13}{8}\overrightarrow{\text{OS}}$ よって $\text{OS} : \text{SR} = 8 : 5$



$$\boxed{4} \quad (1) \quad \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) \quad \cdots (A)$$

[1] $n = 1$ のとき

$$\text{左辺} = 1^2 = 1, \quad \text{右辺} = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot (1+1)(2 \cdot 1 + 1) = 1$$

よって, $n = 1$ のとき, (A) が成り立つ.

[2] $n = j$ のとき (A) が成り立つ, すなわち

$$\sum_{k=1}^j k^2 = \frac{1}{6}j(j+1)(2j+1)$$

であると仮定すると, $n = j+1$ のときの (A) の左辺は

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{j+1} k^2 &= \sum_{k=1}^j k^2 + (j+1)^2 = \frac{1}{6}j(j+1)(2j+1) + (j+1)^2 \\ &= \frac{1}{6}(j+1)(j+2)(2j+3) \\ &= \frac{1}{6}(j+1)\{(j+1)+1\}\{2(j+1)+1\} \end{aligned}$$

これは, $n = j+1$ のときの (A) の右辺に等しい.

よって, $n = j+1$ のときも (A) が成り立つ.

[1], [2] から, すべての自然数 n について (A) が成り立つ.

(2) $n \geq 2$ のとき

$$a_n = \sum_{k=1}^{n-1} k + 1 = \frac{1}{2}n(n-1) + 1 = \frac{1}{2}n^2 - \frac{1}{2}n + 1 \quad \cdots (*)$$

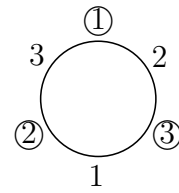
$a_1 = 1$ であるから, $n \geq 1$ について, (*) が成立する. よって

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n a_k &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{2}k^2 - \frac{1}{2}k + 1 \right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1) - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}n(n+1) + n \\ &= \frac{1}{6}n(n^2 + 5) \end{aligned}$$



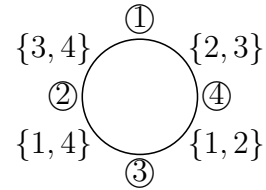
- 5 (1) 大人 3 人 (①, ②, ③) を先に配置し, 条件 (A), (B) を満たすように子ども 3 人 (1, 2, 3) を配置する. まず大人 3 人の並び方は $2!$ 通りあり, そのときの大人の並び方に対し, 子ども 3 人の並び方は 1 通りであるから

$$T(3) = 2! \times 1 = 2$$



- (2) 大人 4 人 (①, ②, ③, ④) を先に配置し, 条件 (A), (B) を満たすように子ども 4 人 (1, 2, 3, 4) を配置する. まず大人 4 人の並び方は $3!$ 通りあり, そのときの大人の並び方に対し, 子ども 4 人の並び方は 2 通りであるから

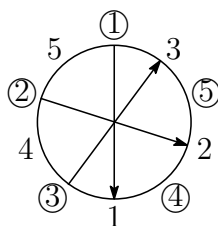
$$T(4) = 3! \times 2 = 12$$



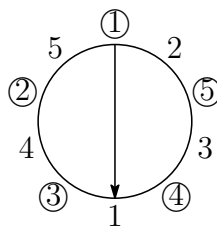
補足 例えば, ①② の間を 3 とすれば, 「④① の間は $2 \rightarrow ③$ ④ の間は $1 \rightarrow ②$ ③ の間は 4」の 1 通りが決定する.

- (3) 大人 5 人 (①, ②, ③, ④, ⑤) を先に配置し, 条件 (A), (B) を満たすように子ども 5 人 (1, 2, 3, 4, 5) を配置する. ここでは同じ番号の大人と子どもを親子とよぶことにする. まず大人 5 人の並び方は $4!$ 通りあり, 大人が反時計周りに ①～⑤ の順に並んでいるものを考える. このときの大人の並び方に対し, 親子が正面 (真正面) に向き合う組の個数について場合分けを行う.

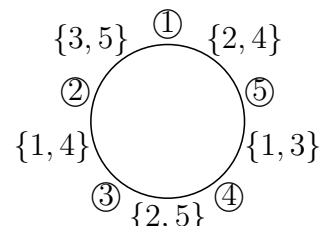
- (i) 親子 5 組が正面に向き合うとき 1 (通り)
- (ii) 親子 3 組が正面に向き合うとき, $\{123, 234, 345, 451, 512\}$ の親子が正面に向き合うときの 5 通り.
- (iii) 親子 1 組が正面に向き合うとき $1 \times 5 = 5$ (通り)
- (iv) 親子 0 組が正面に向き合うとき 2 (通り)



3 組が正面



1 組が正面



0 組が正面

また, 親子 5 組, 親子 3 組が正面に向き合っている中の 1 組だけをそれぞれ解消し, 親子 4 組, 親子 2 組が正面に向き合わせることはできない.

よって $T(5) = 4! \times (1 + 5 + 5 + 2) = 24 \times 13 = 312$ ■

6 線分 OD は $\angle O$ の二等分線であるから

$$AD : DB = OA : OB = x : 1$$

$$\text{したがって} \quad \overrightarrow{OD} = \frac{\vec{a} + x\vec{b}}{x+1} \quad \dots (*)$$

$$OE = x \cos \theta \text{ より } \overrightarrow{OE} = (x \cos \theta) \vec{b}$$

$$\vec{a} = \overrightarrow{OA}, \quad x\vec{b} = \frac{1}{\cos \theta} \overrightarrow{OE} \text{ を } (*) \text{ に代入すると}$$

$$\overrightarrow{OD} = \frac{1}{x+1} \left(\overrightarrow{OA} + \frac{1}{\cos \theta} \overrightarrow{OE} \right) = \frac{1 + \cos \theta}{(x+1) \cos \theta} \cdot \frac{(\cos \theta) \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OE}}{1 + \cos \theta}$$

H は線分 AE 上の点であることに注目して

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= \frac{(\cos \theta) \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OE}}{1 + \cos \theta} = \frac{(\cos \theta) \vec{a} + (x \cos \theta) \vec{b}}{1 + \cos \theta} \\ &= \frac{\cos \theta}{1 + \cos \theta} \vec{a} + \frac{x \cos \theta}{1 + \cos \theta} \vec{b} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad s = \frac{\cos \theta}{1 + \cos \theta}, \quad t = \frac{x \cos \theta}{1 + \cos \theta}$$

別解 $\triangle OBD$ および直線 AE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{OH}{HD} \cdot \frac{DA}{AB} \cdot \frac{BE}{EO} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{OH}{HD} \cdot \frac{x}{1+x} \cdot \frac{1-x \cos \theta}{x \cos \theta} = 1$$

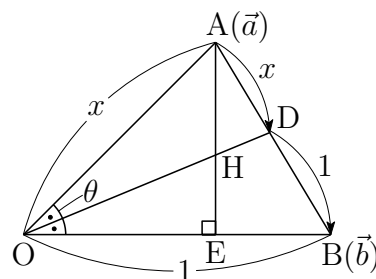
$$\text{したがって} \quad OH : HD = (1+x) \cos \theta : 1 - x \cos \theta$$

$$\text{これから} \quad OH : OD = (1+x) \cos \theta : 1 + \cos \theta$$

$$\overrightarrow{OH} = \frac{OH}{OD} \overrightarrow{OD} \text{ であるから, } (*) \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OH} &= \frac{(1+x) \cos \theta}{1 + \cos \theta} \cdot \frac{\vec{a} + x\vec{b}}{x+1} \\ &= \frac{\cos \theta}{1 + \cos \theta} \vec{a} + \frac{x \cos \theta}{1 + \cos \theta} \vec{b} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad s = \frac{\cos \theta}{1 + \cos \theta}, \quad t = \frac{x \cos \theta}{1 + \cos \theta}$$



- 7 (1) 点 $B(\beta)$ は点 $A(\alpha)$ を原点を中心 $\frac{\pi}{2}$ だけ回転させたものであるから

$$\beta = \alpha \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) = \alpha i$$

点 $C(\gamma)$ は点 $P(1)$ を中心に点 $B(\alpha i)$ を $-\frac{\pi}{2}$ だけ回転させたものであるから

$$\frac{\gamma - 1}{\alpha i - 1} = \cos \left(-\frac{\pi}{2} \right) + i \sin \left(-\frac{\pi}{2} \right) = -i$$

$$\text{よって} \quad \gamma = 1 - i(\alpha i - 1) = 1 + \alpha + i$$

- (2) $\alpha = s + ti$ (s, t は正の実数) であるから $\alpha \neq 1$

$C(\gamma)$ が直線 PA 上にあるとき、次の値は実数である.

$$\begin{aligned} \frac{\gamma - 1}{\alpha - 1} &= \frac{(1 + \alpha + i) - 1}{\alpha - 1} = \frac{(\alpha + i)(\bar{\alpha} - 1)}{(\alpha - 1)(\bar{\alpha} - 1)} \\ &= \frac{|\alpha|^2 - \alpha + \bar{\alpha}i - i}{|\alpha - 1|^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{このとき} \quad -\alpha + \bar{\alpha}i - i &= -(s + ti) + (s - ti)i - i \\ &= (-s + t) + (s - t - 1)i \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

上の 2 式から、 $\textcircled{1}$ は実数であるから

$$s - t - 1 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = s - 1 \quad \text{よって} \quad \alpha = s + (s - 1)i$$

- (3) (1) の結果から、 $\alpha = s + (s - 1)i$ より

$$\begin{aligned} \beta &= \alpha i = \{s + (s - 1)i\}i = 1 - s + si, \\ \gamma &= 1 + \alpha + i = 1 + \{s + (s - 1)i\} + i \\ &= s + 1 + si \end{aligned}$$

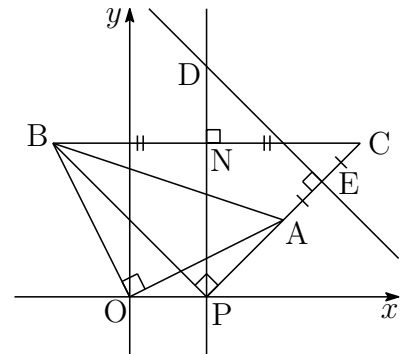
線分 BC の中点を N とすると $N(1 + si)$

$\gamma - \beta = 2s$ より、 BC は x 軸と平行である.

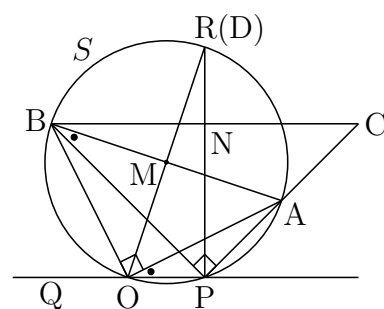
線分 AC の中点を E とすると $E \left(s + \frac{1}{2} + \left(s - \frac{1}{2} \right) i \right)$

$\gamma - \alpha = 1 + i$ より、 AC の偏角は $\frac{\pi}{4}$

$\triangle PDE$ は直角二等辺三角形であるから、 D は P の実部に等しく、 E の虚部の 2 倍に等しい. よって $D(1 + (2s - 1)i)$



別解 $\angle AOB = \angle APB = \frac{\pi}{2}$ より, 2点 O, P は AB を直径の両端する円 S 上にある. S の中心を M とし, 直線 OM と S の交点で O でない点を R とする. 円周角の定理により, $\angle AOP = \angle ABP = \theta$ とし, 直線 OP の O に関して P と反対側に点 Q をとる. $\triangle OAB, \triangle PCB$ は直角二等辺三角形であるから



$$\begin{aligned}\angle BOQ &= \pi - (\angle AOB + \angle AOP) \\ &= \pi - \left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) = \frac{\pi}{2} - \theta, \\ \angle OBC &= \angle ABO + \angle CBP - \angle ABP \\ &= \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} - \theta = \frac{\pi}{2} - \theta\end{aligned}$$

上の2式から $OP \parallel BC$, OR は S の直径であるから $\angle OPR = \frac{\pi}{2}$

PR と BC の交点を N とすると $PN \perp BC$

ゆえに $\triangle PNB \equiv \triangle PNC$ また $\triangle OMA \equiv \triangle OMB$

したがって, 直線 OR は線分 AB の垂直二等分線, 直線 PR は線分 BC の垂直二等分線である. これから, 点 R は $\triangle ABC$ の外心, すなわち, 求める点 D である. $M\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$ であるから, $D(\alpha + \beta)$.

$\alpha = s + (s - 1)i$, $\beta = 1 - s + si$ より

$$D(1 + (2s - 1)i)$$

■

- 8 (1) $\cos 2\theta = \frac{2}{3} > 0$ より, $0 < 2\theta < \frac{\pi}{2}$ に注意して

$$\cos 2\theta = 2\cos^2 \theta - 1 = \frac{2}{3} \quad \text{ゆえに} \quad \cos \theta = \sqrt{\frac{5}{6}}, \quad \sin \theta = \frac{1}{\sqrt{6}}$$

$$\sin^2 2\theta = 1 - \cos^2 2\theta = 1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2 \quad \text{ゆえに} \quad \sin 2\theta = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

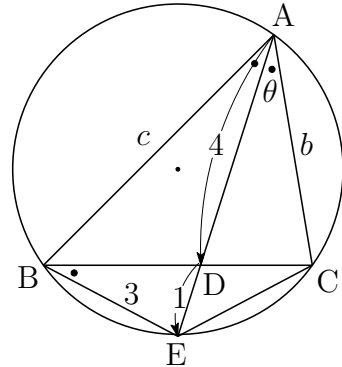
$\triangle ABC$ の外接円の半径を R とし, $\triangle ABC$,
 $\triangle ABE$ に正弦定理を適用すると

$$\frac{BC}{\sin 2\theta} = 2R, \quad \frac{BE}{\sin \theta} = 2R$$

上の 2 式から

$$\frac{BC}{\sin 2\theta} = \frac{BE}{\sin \theta}$$

$$\text{したがって} \quad BC = \frac{BE \sin 2\theta}{\sin \theta} = 2BE \cos \theta = 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{5}{6}} = \sqrt{30}$$



- (2) 円周角の定理により $\angle EBC = \angle EAC = \theta$

$$\text{よって} \quad \triangle BEC = \frac{1}{2} BE \cdot BC \sin \theta = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot \sqrt{30} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{3}{2} \sqrt{5}$$

- (3) $AD : DE = 4 : 1$ であるから $\triangle ABC : \triangle BEC = 4 : 1$

$$\text{したがって} \quad \triangle ABC = 4\triangle BEC = 4 \cdot \frac{3}{2} \sqrt{5} = 6\sqrt{5}$$

$$b = CA, \quad c = AB \text{ とすると} \quad \triangle ABC = \frac{1}{2} bc \sin 2\theta = \frac{1}{2} bc \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} = \frac{\sqrt{5}}{6} bc$$

$$\text{上の 2 式から} \quad \frac{\sqrt{5}}{6} bc = 6\sqrt{5} \quad \text{ゆえに} \quad bc = 36 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\triangle ABC \text{ に余弦定理を適用すると} \quad BC^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos 2\theta$$

$$\text{したがって} \quad (\sqrt{30})^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot 36 \cdot \frac{2}{3} \quad \text{ゆえに} \quad b^2 + c^2 = 78 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より, } b^2, c^2 \text{ を解とする 2 次方程式は } t^2 - 78t + 36^2 = 0$$

$$\text{これを解いて} \quad t = 39 \pm \sqrt{39^2 - 36^2} = 39 \pm 15 = 54, 24$$

$$AB > AC \text{ であるから} \quad AB = \sqrt{54} = 3\sqrt{6}, \quad AC = \sqrt{24} = 2\sqrt{6}$$

補足 本題の計算結果から, $\triangle ABC$ は $C = \frac{\pi}{2}$ の直角三角形. ■

9 (1) $C_1: \frac{x^2}{9} + y^2 = 1 \ (y \geq 0), \ C_2: \frac{x^2}{6} - \frac{y^2}{2} = 1 \ (x > 0)$

上の2式を連立して解くと $x^2 = \frac{27}{4}, \ y^2 = \frac{1}{4}$

$x > 0, \ y \geq 0$ に注意して $G\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$

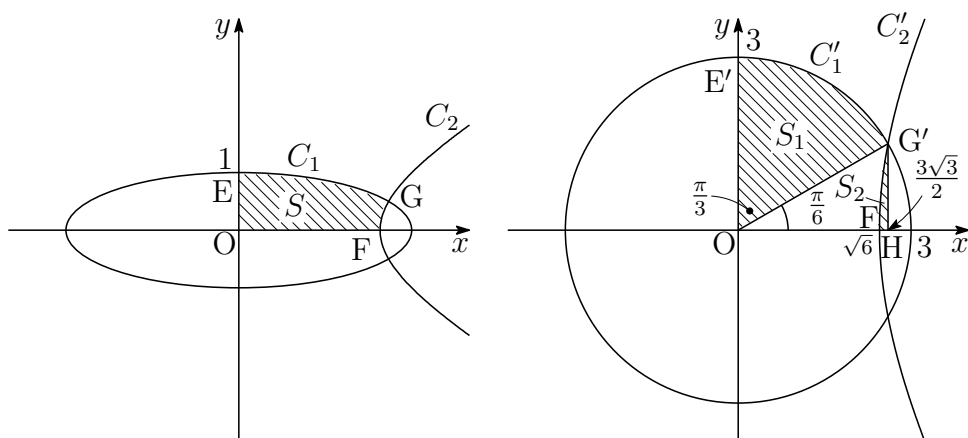
(2) $f(x) = x\sqrt{x^2-6} - 6\log|x + \sqrt{x^2-6}|$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \sqrt{x^2-6} + x \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2-6}} - 6 \cdot \frac{1 + \frac{x}{\sqrt{x^2-6}}}{x + \sqrt{x^2-6}} \\ &= \sqrt{x^2-6} + \frac{x^2}{\sqrt{x^2-6}} - \frac{6}{\sqrt{x^2-6}} = 2\sqrt{x^2-6} \end{aligned}$$

(3) $x \geq 0, \ y \geq 0$ において C_1, C_2 を x 軸を元に y 軸方向に3倍に拡大したものをそれぞれ C'_1, C'_2 とすると

$$C'_1: \frac{x^2}{9} + \left(\frac{y}{3}\right)^2 = 1 \quad \text{すなわち} \quad x^2 + y^2 = 9 \ (x \geq 0, \ y \geq 0)$$

$$C'_2: \frac{x^2}{6} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{3}\right)^2 = 1 \quad \text{すなわち} \quad y = \sqrt{3}\sqrt{x^2-6} \ (x \geq 0)$$



このとき, G の移る点を $G'\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, \frac{3}{2}\right)$ とすると, OG' の偏角は $\frac{\pi}{6}$

上の図の斜線部分の面積を S_1, S_2 とすると $S_1 = \frac{1}{2} \cdot 3^2 \cdot \frac{\pi}{3} = \frac{3}{2}\pi$

$$\begin{aligned} S_2 &= \sqrt{3} \int_{\sqrt{6}}^{\frac{3\sqrt{3}}{2}} \sqrt{x^2-6} \, dx = \frac{\sqrt{3}}{2} \int_{\sqrt{6}}^{\frac{3\sqrt{3}}{2}} f'(x) \, dx = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[f(x) \right]_{\sqrt{6}}^{\frac{3\sqrt{3}}{2}} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \left[x\sqrt{x^2-6} - 6\log|x + \sqrt{x^2-6}| \right]_{\sqrt{6}}^{\frac{3\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{9}{4} - 3\log 2 \right) \end{aligned}$$

G' から x 軸に垂線 $G'H$ を引くと $\triangle OG'H = \frac{1}{2} \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9\sqrt{3}}{8}$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad 3S &= S_1 + \triangle OG'H - S_2 \\ &= \frac{3}{2}\pi + \frac{9\sqrt{3}}{8} - \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{9}{4} - 3\log 2 \right) \\ &= 3 \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \log 2 \right) \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad S = \frac{\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \log 2 \quad \blacksquare$$

10 点 $x(x = a, b, \dots, i)$ において t (t は 2 以上の整数) 秒後にゲームが終了する確率を $x(t)$ とおく. t が偶数のとき, A, B は $\{a, c, e, g, i\}$ のいずれかに位置し, t が奇数のとき, A, B は $\{b, d, f, h\}$ のいずれかに位置する. 対称性により

$$a(t) = i(t), \quad b(t) = d(t) = f(t) = g(t), \quad c(t) = e(t)$$

が成立する.

(i) $t = 2$ で終了するとき, 点 c, e, g について

$c(2)$ は $A : a \rightarrow b \rightarrow c, B : i \rightarrow f \rightarrow c$ と移動する確率.

$e(2)$ は $A : a \begin{array}{c} \nearrow b \\ \searrow d \end{array} \rightarrow e, B : i \begin{array}{c} \nearrow f \\ \searrow h \end{array} \rightarrow e$ と移動する確率.

$$c(2) = g(2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$$

$$e(2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = \frac{1}{4}$$

(ii) $t = 3$ で終了するとき, b, d, f, h について

$b(3)$ は $A : a \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow b, B : i \rightarrow f \rightarrow c \rightarrow b$ と移動する確率.

$$b(3) = d(3) = f(3) = h(3) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{1}{48}$$

(iii) $t = 4$ で終了するとき, 点 a, c, e, g, i について

$a(4)$ は, 次のように移動する確率

$$A : a \rightarrow b \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow a, B : i \rightarrow f \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$$

$$\text{または } A : a \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow a, B : i \rightarrow h \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow a$$

$e(4)$ は, 次のように移動する確率

$$A : a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow f \rightarrow e, B : i \rightarrow h \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow e$$

$$\text{または } A : a \rightarrow d \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow e, B : i \rightarrow f \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow e$$

なお, $t = 4$ ではじめて A と B が点 c, g ではち合せすることはない.

$$a(4) = i(4) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \times 2 = \frac{1}{96}$$

$$e(4) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \times 2 = \frac{1}{32}$$

$$c(4) = g(4) = 0$$

(i)~(iii) より, 求める確率は

$$\frac{1}{16} \times 2 + \frac{1}{4} + \frac{1}{48} \times 4 + \frac{1}{96} \times 2 + \frac{1}{32} = \frac{49}{96}$$

■

- [11]** (1) $P(x) = x^3 + 15x^2 + 71x + 105$ より, $P(-3) = 0$ であるから, $P(x)$ は $x + 3$ を因数にもつことに注意して

$$\begin{aligned} P(x) &= (x + 3)(x^2 + 12x + 35) \\ &= (x + 3)(x + 5)(x + 7) \end{aligned}$$

- (2) 正の奇数 a を $a = 2n - 1$ とおくと (n は自然数), (1) の結果から

$$\begin{aligned} P(a) &= P(2n - 1) \\ &= \{(2n - 1) + 3\}\{(2n - 1) + 5\}\{(2n - 1) + 7\} \\ &= (2n + 2)(2n + 4)(2n + 6) \\ &= 8(n + 1)(n + 2)(n + 3) \end{aligned}$$

連続する3整数 $n + 1, n + 2, n + 3$ の中には2の倍数, 3の倍数が少なくとも1つあるから, $P(a)$ は, $8 \cdot 2 \cdot 3$, すなわち, **48** の倍数である. ■

12 (1) $C_1: y = -x^2 + 3x + 5$, $C_2: y = 2x^2 + 3x + k$ の共有点の x 座標は

$$-x^2 + 3x + 5 = 2x^2 + 3x + k \quad \text{整理すると} \quad 3x^2 + k - 5 = 0$$

β は, この方程式の解であるから

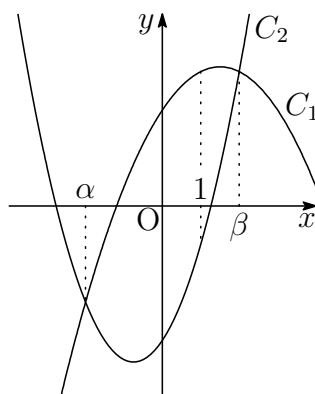
$$3\beta^2 + k - 5 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad k = 5 - 3\beta^2$$

(2) $\beta > 1$ であるから, (1) の結果より

$$k < 5 - 3 \cdot 1^2 \quad \text{ゆえに} \quad k < 2$$

(3) $C_1: y = -x^2 + 3x + 5$, $C_2: y = 2x^2 + 3x + 5 - 3\beta^2$ より

$$\begin{aligned} S &= \int_1^\beta \{(-x^2 + 3x + 5) - (2x^2 + 3x + 5 - 3\beta^2)\} dx \\ &= \int_1^\beta (-3x^2 + 3\beta^2) dx = \left[-x^3 + 3\beta^2 x \right]_1^\beta \\ &= 2\beta^3 - 3\beta^2 + 1 \end{aligned}$$



(4) $S = 5$ であるから, これを (3) の結果に代入して

$$2\beta^3 - 3\beta^2 + 1 = 5 \quad \text{ゆえに} \quad (\beta - 2)(2\beta^2 + \beta + 2) = 0$$

$\beta > 1$ に注意して $\beta = 2$ これを (1) の結果に代入して $k = -7$ ■

8.7 2021 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [6] [7] [8] [9] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [1] [4] [8] [10] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [3] [11] [12] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (90 分)

[1] 次の各問に答えよ.

(1) (必答)

次の空欄 [あ] ~ [お] を適切な数または数式で埋めよ.

(a) 関数 $f(x) = (x+1)\sqrt{2x+3}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{[あ]}{\sqrt{2x+3}}$ である.

(b) 関数 $f(x) = \frac{x}{\sin^2 x}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{[い]}{\sin^3 x}$ である.

(c) a, b を正の定数とし, $\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{ax^2 + bx + 3} - 2x) = 2 \cdots \textcircled{1}$ が成り立つとする. このとき, 次の手順で a, b の値を求める.

まず, a, b の値によらず,

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{ax^2 + bx + 3} + 2x}{x^2} = [う]$$

が成り立つ. さらに, $\textcircled{1}$ より, $\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{ax^2 + bx + 3} - 2x)$ が有限な値であるから,

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(ax^2 + bx + 3) - 4x^2}{x^2} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{ax^2 + bx + 3} + 2x}{x^2} \cdot \lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{ax^2 + bx + 3} - 2x)$$

も成り立つ. したがって, $a = [え]$ が得られる.

このとき, $\textcircled{1}$ より, $b = [お]$ も得られる.

(2) [A], [B] のいずれか一方を選択し、解答せよ.

[A](選択)

次の空欄 ア キ を適切な整数で埋めよ. ただし, i は虚数単位とする.

$$w = \cos \frac{2\pi}{7} + i \sin \frac{2\pi}{7} \text{ とし,}$$

$$\alpha = w + w^2 + w^4, \quad \beta = w^3 + w^5 + w^6$$

とする. このとき, $w^7 =$ ア より,

$$\alpha + \beta = \text{ イ}, \quad \alpha\beta = \text{ ウ}$$

となるので,

$$\alpha = \frac{\text{ エ} + \sqrt{\text{ オ}} i}{2}, \quad \beta = \frac{\text{ カ} - \sqrt{\text{ キ}} i}{2}$$

が得られる.

[B](選択)

関数 $f(x) = \log x$ および座標平面上の曲線 $y = f(x)$ について, 次の空欄 サ ソ を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

曲線 $y = f(x)$ と x 軸および直線 $x = \sqrt{3}$ で囲まれた部分の面積の値は サ である.

曲線 $y = f(x)$ ($1 \leq x \leq \sqrt{3}$) の長さ L は,

$$L = \int_1^{\sqrt{3}} \ell(x) dx, \quad \ell(x) = \sqrt{1 + \{f'(x)\}^2} = \sqrt{\frac{x^2 + 1}{\text{ シ}}}$$

により求めることができる. $\sqrt{x^2 + 1} = t$ とおくと, L は, t だけで表される数式 $g(t) =$ ス を用いて,

$$L = \int_{\sqrt{2}}^2 g(t) dt$$

と表される. ここで, 不定積分 $\int g(t) dt$ を求めると,

$$\int g(t) dt = \text{ セ} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

となる. よって,

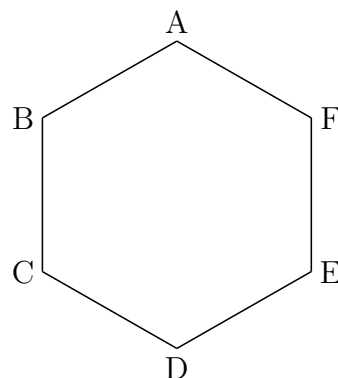
$$L = 2 - \sqrt{2} + \frac{1}{2} \log \frac{\text{ ソ}}{3}$$

である.

- 2** (1) 等式 $3x + 4y = 42$ を満たす正の整数 x, y の組をすべて求めよ. ただし, 解答用紙には, 答を導く過程は記入せず, 求めた x, y の組 (x, y) だけを記入すること.

- (2) 次の空欄 ~ を適切な数で埋めよ.

正六角形 $ABCDEF$ の 6 個の頂点のうち 3 点を結んでできる三角形は全部で 個である. そのうち, 直角三角形は 個であり, 3つの内角のうち少なくとも 1つが 30° である三角形は 個である.



- 3** p, q を実数とする. 点 O を原点とする座標空間において, 4 点

$$A(1, 1, 0), \quad B(0, 2, 0), \quad C(0, 0, 6), \quad D(p, q, 1)$$

をとる. 3 点 A, B, C を含む平面を α とし, $\angle AOD$ の大きさを θ とし, $\triangle AOD$ の面積を S とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $\cos \theta$ を, p と q を用いて表せ.
- (2) 面積 S を, p と q を用いて表せ.
- (3) 点 D が平面 α 上を動くとき, 面積 S の最小値を求めよ.

- 4** 数列 $\{a_n\}$ を,

$$\begin{cases} a_1 = 5 \\ a_{n+1} = 9a_n - 16 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

で定めるとき, 数列 $\{a_n\}$ について次の各問に答えよ.

- (1) 第 n 項 a_n を求めよ.
- (2) 数列 $\{b_n\}$ を,

$$b_n = 2 + 2^{2n+1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. すべての自然数 n に対し, $b_n - a_n$ は 5 の倍数であることを, 数学的帰納法を用いて証明せよ.

5 関数 $f(x) = \frac{\log x}{x^3}$ ($x > 0$) および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ。ただし、 $\log x$ は x の自然対数を表す。

- (1) 第1次導関数 $f'(x)$ 、第2次導関数 $f''(x)$ を求めよ。
- (2) $\lim_{x \rightarrow +0} f(x)$ は、次の3通りのいずれかである。

$\lim_{x \rightarrow +0} f(x)$ は有限な値である

$\lim_{x \rightarrow +0} f(x) = \infty$

$\lim_{x \rightarrow +0} f(x) = -\infty$

この3通りのいずれであるのか、答えよ。ただし、有限な値であるときは、その値も求めよ。

- (3) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、および変曲点を調べて、曲線 C の概形をかけ。ただし、 $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log x}{x^3} = 0$ であることは、既知としてよい。

6 a, b を実数とする。このとき、変数 x の関数

$$f(x) = \sin 2x + a(\sin x + \cos x) + b$$

について、次の各問に答えよ。

- (1) $t = \sin x + \cos x$ とおくとき、 $f(x)$ を、 t を用いて表せ。
- (2) x の方程式 $f(x) = 0$ が少なくとも1つの実数解を持つようなすべての a, b を座標平面上の点 (a, b) として図示せよ。

7 関数 $f(x) = \frac{x^2}{\sqrt{x^2 + 6x + 10}}$ および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ。

- (1) 極限值 $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x}$ を求めよ。
- (2) (1) で求めた極限値を a とするとき、極限值 $\lim_{x \rightarrow \infty} \{f(x) - ax\}$ を求めよ。
- (3) 関数 $f(x)$ の増減と極値、および曲線 C の漸近線を調べて、曲線 C の概形をかけ。

8 A, B, C, D の4人がそれぞれ袋を持っている.

A の袋には, 3枚の札 $\boxed{B}$, $\boxed{C}$, $\boxed{D}$ が入っている.

B の袋には, 3枚の札 $\boxed{A}$, $\boxed{C}$, $\boxed{D}$ が入っている.

C の袋には, 2枚の札 $\boxed{A}$, $\boxed{B}$ が入っている.

D の袋には, 2枚の札 $\boxed{A}$, $\boxed{B}$ が入っている.

この4人の間で, 1個の玉の受け渡しを次のように行う.

(※) はじめに, A が玉を持っている.

A は自分の袋から無作為に1枚の札を取り出し, その札に書かれた人へ玉を手渡し, 取り出した札を自分の袋へもどす. 以降, 「玉を手渡された人は自分の袋から無作為に1枚の札を取り出し, その札に書かれた人へ玉を手渡し, 取り出した札を自分の袋へもどす」ことをくり返す, ただし, A が袋から札を取り出すとき, どの札も同じ確率で取り出されるものとする. B, C, D が袋から札を取り出すときも同様とする.

(※) の状態から始めて, 玉の受け渡しが n 回 ($n \geq 1$) 行われたとき,

A, B, C, D が玉を持っている確率をそれぞれ A_n, B_n, C_n, D_n

とする. また, (※) の状態において, A, B, C, D が玉を持っている確率をそれぞれ A_0, B_0, C_0, D_0 とする. すなわち $A_0 = 1, B_0 = 0, C_0 = 0, D_0 = 0$ である. このとき, 次の各問に答えよ. なお, すべての n について $C_n = D_n$ であることは, 用いてよい.

- (1) $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ を求めよ.
- (2) n が自然数のとき, A_n を, B_{n-1} と C_{n-1} を用いて表せ. また, B_n を, C_{n-1} と A_{n-1} を用いて表せ. さらに, C_n を, A_{n-1} と B_{n-1} を用いて表せ.
- (3) n が0または正の整数のとき, A_n を, n を用いて表せ.
- (4) $\lim_{n \rightarrow \infty} A_n$ を求めよ.

9 次の各問に答えよ.

(1) (必答)

次の あ ～ し を適切な整数で埋めよ.

$3x^2 + 10xy + 8y^2 + 8x + 10y - 3$ を因数分解すると,

$$3x^2 + 10xy + 8y^2 + 8x + 10y - 3 = (x + ay + b)(3x + cy + d)$$

となる. このとき, 定数 a, b, c, d の値は

$$a = \text{ あ }, \quad b = \text{ い }, \quad c = \text{ う }, \quad d = \text{ え }$$

である.

これを用いて, 等式

$$3x^2 + 10xy + 8y^2 + 8x + 10y + 9 = 0$$

を満たす整数 x, y の組 (x, y) を求めると, そのような組 (x, y) は 4 つあることがわかり, それらを x の値が小さい方から順に並べると,

$$(\text{ お }, \text{ か }), \quad (\text{ き }, \text{ く }), \quad (\text{ け }, \text{ こ }), \quad (\text{ さ }, \text{ し })$$

となる.

(2) [A], [B] のいずれか一方を選択し, 解答せよ.

[A](選択)

次の空欄 ア ～ エ を適切な数で埋めよ. ただし, i は虚数単位とする.

複素数

$$z_1 = 2 + 2\sqrt{3}i, \quad z_2 = 5 + 5\sqrt{3}i, \quad z_3 = 5 - 4\sqrt{3} + (4 + 5\sqrt{3})i$$

および $\alpha = 1 + \sqrt{2}i$ に対し, $\alpha z_1, \alpha z_2, \alpha z_3$ で表される複素数平面上の点をそれぞれ P_1, P_2, P_3 とする.

このとき, $\frac{z_3}{1 + \sqrt{3}i} = x + yi$ (x, y は実数) となる x, y の値は $x =$

ア , $y =$ イ である. また, $|\alpha| =$ ウ である. さらに, $\triangle P_1 P_2 P_3$ の面積は エ である.

[B](選択)

次の空欄 カ シ を適切な数または数式で埋めよ. ただし, カ は x だけを用いて表された数式, キ は y だけを用いて表された数式, サ と シ は整数で埋めよ. また, $\log x$ は x の自然対数を表す.

曲線 $y = \log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2}$ ($x \geq 2$) の概形は右図のようになる.

$y = \log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2}$ のとき,

$$(2e^y - x)^2 = \text{カ}$$

であり,

$$x = \text{キ}$$

である.

曲線 $y = \log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2}$ と x 軸および直線 $x = 4$ とで囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積を V とする. 体積 V は,

$$V = \int_2^4 \text{ク} dx$$

により求めることができる. $\log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} = t$ とおくと, V は, t だけで表される数式 $f(t) = \text{ケ}$ と $a = \log(2 + \sqrt{3})$ を用いて,

$$V = \int_0^a f(t) dt$$

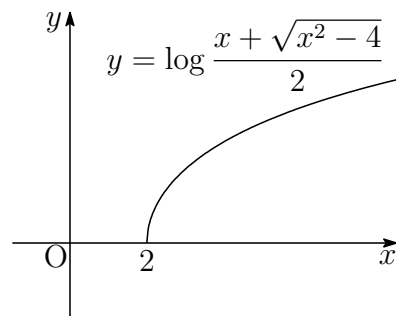
と表される. ここで, 0 でない定数 k に対し, 関数 $t^2 e^{kt}$ の不定積分は

$$\int t^2 e^{kt} dt = \frac{e^{kt}}{k^3} (\text{コ}) + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

である. よって,

$$V = 4\pi \left(a^2 - \sqrt{\text{サ}} a + \text{シ} \right)$$

である.



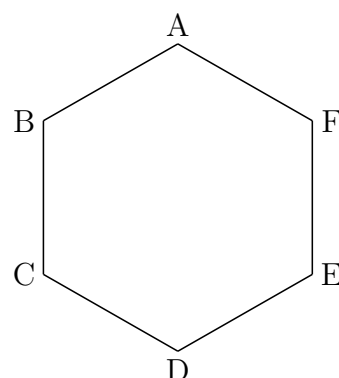
- 10 $r > 0$ とする. 点 O を原点とする座標平面において, 中心が O , 半径が r の円を C とする. 傾きが $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ であり, かつ C と第 1 象限で接する直線を ℓ とし, ℓ と C との接点を A とする. また, 点 $B(r, 0)$ を通り, かつ x 軸に垂直な直線と ℓ との交点を D とし, 線分 OD と C との交点を E とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 直線 ℓ の方程式を求めよ.
- (2) $\triangle OAD$ の面積を, r を用いて表せ.
- (3) $\triangle OAE$ の面積を, r を用いて表せ.
- (4) (2) および (3) の結果を用いて, $3 < \pi < 3.5$ を示せ. ただし, $\sqrt{3} < 1.74$ を用いてよい.

- 11 (1) 等式 $3x + 4y = 42$ を満たす正の整数 x, y の組をすべて求めよ. ただし, 解答用紙には, 答を導く過程は記入せず, 求めた x, y の組 (x, y) だけを記入すること.

- (2) 次の空欄 あ ~ う を適切な数で埋めよ.

正六角形 $ABCDEF$ の 6 個の頂点のうち 3 点を結んでできる三角形は全部で あ 個である. そのうち, 直角三角形は い 個であり, 3 つの内角のうち少なくとも 1 つが 30° である三角形は う 個である.



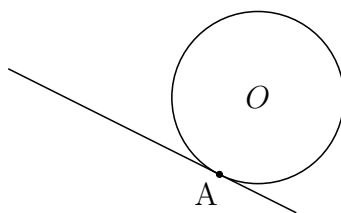
- (3) 次の空欄 か ~ さ を適切な数で埋めよ.

座標平面上の 2 つの放物線 $C_1: y = x^2 - 3x$ と $C_2: y = -x^2 + 5x + 24$ は, 2 つの交点を持つ. その 2 交点の x 座標 α, β ($\alpha < \beta$) は, $\alpha =$ か , $\beta =$ き である. 2 曲線 C_1 と C_2 で囲まれる部分の面積を S とする. S は,

$$S = \int_{\alpha}^{\beta} \left(\text{<} x^2 + \text{け} x + \text{コ} \right) dx$$

により求めることができ, $S =$ さ である.

12 円 O の周上の点 A において円 O の接線を引く.



その接線上に A と異なる点 B をとる. B から円 O に 2 点で交わるように直線 ℓ を引き, その 2 点のうち B に近い方を C , B から遠い方を D とする. ただし, 直線 ℓ は, $\angle ACD < 90^\circ$ を満たすように引く. また, 点 B から直線 AC と直線 AD に下ろした垂線の足をそれぞれ E , F とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $\angle BFE = \angle ADC$ を示せ.
- (2) $BD \perp EF$ を示せ.

解答例

1 (1) (a) $f(x) = (x+1)\sqrt{2x+3}$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \sqrt{2x+3} + (x+1) \cdot \frac{1}{\sqrt{2x+3}} \\ &= \frac{2x+3 + (x+1)}{\sqrt{2x+3}} = \frac{3x+4}{\sqrt{2x+3}} \end{aligned}$$

(あ) $3x+4$

(b) $f(x) = \frac{x}{\sin^2 x} = x(\sin x)^{-2}$ より

$$f'(x) = (\sin x)^{-2} + x \cdot (-2)(\sin x)^{-3} \cos x = \frac{\sin x - 2x \cos x}{\sin^3 x}$$

(い) $\sin x - 2x \cos x$

(c) a, b の値によらず ($a, b > 0$),

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{ax^2 + bx + 3} + 2x}{x^2} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{a + \frac{b}{x} + \frac{3}{x^2}} + 2}{x} = 0$$

が成り立つ. $\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{ax^2 + bx + 3} - 2x) = 2 \cdots \textcircled{1}$ であるから

$$\begin{aligned} &\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(ax^2 + bx + 3) - 4x^2}{x^2} \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{ax^2 + bx + 3} + 2x}{x^2} \cdot \lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{ax^2 + bx + 3} - 2x) = 0 \end{aligned}$$

したがって, $a = 4$ が得られる.

このとき, $\textcircled{1}$ より

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{4x^2 + bx + 3} - 2x) &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(4x^2 + bx + 3) - (2x)^2}{\sqrt{4x^2 + bx + 3} + 2x} \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{bx + 3}{\sqrt{4x^2 + bx + 3} + 2x} \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{b + \frac{3}{x}}{\sqrt{4 + \frac{b}{x} + \frac{3}{x^2}} + 2} = \frac{b}{4} = 2 \end{aligned}$$

よって $b = 8$

(う) 0 (え) 4 (お) 8

(2) [A]

$$w = \cos \frac{2\pi}{7} + i \sin \frac{2\pi}{7},$$

$$\alpha = w + w^2 + w^4, \quad \beta = w^3 + w^5 + w^6$$

このとき, $w^7 = 1$ より $(1-w)(1+w+w^2+w^3+w^4+w^5+w^6) = 0$

$$1 + w + w^2 + w^3 + w^4 + w^5 + w^6 = 0$$

したがって

$$\alpha + \beta = w + w^2 + w^3 + w^4 + w^5 + w^6 = -1$$

$$\begin{aligned} \alpha\beta &= (w + w^2 + w^4)(w^3 + w^5 + w^6) \\ &= 3 + w + w^2 + w^3 + w^4 + w^5 + w^6 = 2 \end{aligned}$$

α, β を解とする 2 次方程式は $x^2 + x + 2 = 0$

これを解いて $x = \frac{-1 \pm \sqrt{7}i}{2}$

(ア) 1 (イ) -1 (ウ) 2 (エ) -1 (オ) 7 (カ) -1 (キ) 7

[B]

曲線 $y = \log x$ と x 軸および直線 $x = \sqrt{3}$ で囲まれた部分の面積は

$$\int_1^{\sqrt{3}} \log x \, dx = \left[x(\log x - 1) \right]_1^{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \log 3 - \sqrt{3} + 1$$

曲線 $y = \log x$ ($1 \leq x \leq \sqrt{3}$) の長さ L は

$$L = \int_1^{\sqrt{3}} \ell(x) \, dx, \quad \ell(x) = \sqrt{1 + \{f'(x)\}^2} = \sqrt{\frac{x^2 + 1}{x^2}}$$

により求めることができる. $\sqrt{x^2 + 1} = t$ とおくと

$$x^2 = t^2 - 1, \quad \ell(x) = \frac{t}{x} = \frac{t}{\sqrt{t^2 - 1}}$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}} = \frac{\sqrt{t^2 - 1}}{t} \quad \begin{array}{c|c} x & 1 \rightarrow \sqrt{3} \\ \hline t & \sqrt{2} \rightarrow 2 \end{array}$$

$$\ell(x) \, dx = \frac{t}{\sqrt{t^2 - 1}} \cdot \frac{t}{\sqrt{t^2 - 1}} \, dt = \frac{t^2}{t^2 - 1} \, dt$$

L は, t だけで表される数式 $g(t) = \frac{t^2}{t^2 - 1}$ を用いて

$$L = \int_{\sqrt{2}}^2 g(t) \, dt$$

と表される. ここで, 不定積分 $\int g(t) \, dt$ を求めると,

$$\int \frac{t^2}{t^2 - 1} \, dt = \int \left(1 + \frac{1}{t^2 - 1} \right) \, dt = t + \frac{1}{2} \log \left| \frac{t - 1}{t + 1} \right| + C$$

$$\text{よって } L = \left[t + \frac{1}{2} \log \left| \frac{t - 1}{t + 1} \right| \right]_{\sqrt{2}}^2 = 2 - \sqrt{2} + \frac{1}{2} \log \frac{3 + 2\sqrt{2}}{3}$$

$$\text{(サ)} \frac{\sqrt{3}}{2} \log 3 - \sqrt{3} + 1 \quad \text{(シ)} x^2 \quad \text{(ス)} \frac{t^2}{t^2 - 1} \quad \text{(セ)} t + \frac{1}{2} \log \left| \frac{t - 1}{t + 1} \right|$$

$$\text{(ソ)} 3 + 2\sqrt{2} \quad \blacksquare$$

- 2 (1) $3x + 4y = 42$ より $4y = 3(14 - x)$
 $14 - x = 4k$ とおくと (k は整数) $x = 14 - 4k$, $y = 3k$
 x, y は正の整数であるから $k = 1, 2, 3$
 よって $(x, y) = (10, 3), (6, 6), (2, 9)$

- (2) 三角形の総数は ${}_6C_3 = 20$ (個)
 直角三角形の総数は、斜辺を AD, BE, CF とするときそれぞれ 4 個ずつ
 できるから

$$3 \times 4 = 12 \text{ (個)}$$

30° の角をもたない三角形は、正三角形 ACE および正三角形 BDF の 2 個である。よって、3 つの内角のうち少なくとも 1 つが 30° である三角形は

$$20 - 2 = 18 \text{ (個)}$$

補足 正六角形は円に内接し、それぞれの辺に対する円周角は 30° である。 30° でない円周角は、三角形が正六角形の辺と共有しない、すなわち、正三角形のときに限る。

(あ) 20 (い) 12 (う) 18



- 3** (1) $\vec{OA} = (1, 1, 0)$, $\vec{OD} = (p, q, 1)$, $\theta = \angle AOD$ より $(0 \leq \theta \leq \pi)$

$$\cos \theta = \frac{\vec{OA} \cdot \vec{OD}}{|\vec{OA}| |\vec{OD}|} = \frac{p+q}{\sqrt{2}\sqrt{p^2+q^2+1}} = \frac{p+q}{\sqrt{2(p^2+q^2+1)}}$$

- (2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta &= 1 - \cos^2 \theta = 1 - \left(\frac{p+q}{\sqrt{2(p^2+q^2+1)}} \right)^2 \\ &= \frac{2(p^2+q^2+1) - (p+q)^2}{2(p^2+q^2+1)} = \frac{(p-q)^2 + 2}{|\vec{OA}|^2 |\vec{OD}|^2} \end{aligned}$$

$$\sin \theta > 0 \text{ より } \sin \theta = \frac{\sqrt{(p-q)^2 + 2}}{|\vec{OA}| |\vec{OD}|}$$

$$\text{よって } S = \frac{1}{2} |\vec{OA}| |\vec{OD}| \sin \theta = \frac{1}{2} \sqrt{(p-q)^2 + 2}$$

- (3) 点 $D(p, q, 1)$ が平面 ABC 上の点であるから

$$\vec{OD} = \alpha \vec{OA} + \beta \vec{OB} + \gamma \vec{OC}, \quad \alpha + \beta + \gamma = 1$$

したがって

$$\begin{aligned} (p, q, 1) &= \alpha(1, 1, 0) + \beta(0, 2, 0) + \gamma(0, 0, 6) \\ &= (\alpha, \alpha + 2\beta, 6\gamma) \end{aligned}$$

成分を比較して $p = \alpha$, $q = \alpha + 2\beta$, $1 = 6\gamma$

したがって $\alpha = p$, $\beta = \frac{q-p}{2}$, $\gamma = \frac{1}{6}$

$\alpha + \beta + \gamma = 1$ に代入すると

$$p + \frac{q-p}{2} + \frac{1}{6} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad q = \frac{5}{3} - p \quad \cdots \textcircled{1}$$

① を (2) の結果に代入すると

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{\left(2p - \frac{5}{3}\right)^2 + 2}$$

上式および ① から, $p = q = \frac{5}{6}$ のとき, S は最小値 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ をとる. ■

4 (1) $a_{n+1} = 9a_n - 16$ より $a_{n+1} - 2 = 9(a_n - 2)$

数列 $\{a_n - 2\}$ は初項 $a_1 - 2 = 3$, 公比 9 の等比数列であるから

$$a_n - 2 = 3 \cdot 9^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = 2 + 3 \cdot 9^{n-1}$$

(2) $b_n = 2 + 2^{2n+1}$ および (1) の結果から $b_n - a_n = 2^{2n+1} - 3 \cdot 9^{n-1}$

(*) $b_n - a_n = 2^{2n+1} - 3 \cdot 9^{n-1}$ は 5 の倍数である.

[1] $n = 1$ のとき $b_1 - a_1 = 2^3 - 3 \cdot 1 = 5$

このとき, (*) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (*) が成立すると仮定し

$$b_k - a_k = 2^{2k+1} - 3 \cdot 9^{k-1} = 5N \quad (N \text{ は整数})$$

とおくと

$$\begin{aligned} b_{k+1} - a_{k+1} &= 2^{2k+3} - 3 \cdot 9^k = 4 \cdot 2^{2k+1} - 3 \cdot 9^k \\ &= 4(5N + 3 \cdot 9^{k-1}) - 27 \cdot 9^{k-1} \\ &= 5(4N - 3 \cdot 9^{k-1}) \end{aligned}$$

よって, $n = k + 1$ のときも, (*) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (*) は成立する.

補足 法 5 について

$$\begin{aligned} 2^{2n+1} - 3 \cdot 9^{n-1} &= 2 \cdot 4^n - 3 \cdot 9^{n-1} \\ &\equiv 2(-1)^n - 3(-1)^{n-1} \\ &\equiv -2(-1)^{n-1} - 3(-1)^{n-1} \\ &\equiv -5(-1)^{n-1} \equiv 0 \pmod{5} \end{aligned}$$



5 (1) $f(x) = x^{-3} \log x$ より

$$f'(x) = -3x^{-4} \log x + x^{-3} \cdot \frac{1}{x} = x^{-4}(-3 \log x + 1)$$

$$\begin{aligned} f''(x) &= -4x^{-5}(-3 \log x + 1) + x^{-4} \left(-\frac{3}{x} \right) \\ &= x^{-5}(12 \log x - 7) \end{aligned}$$

よって $f'(x) = \frac{1 - 3 \log x}{x^4}, \quad f''(x) = \frac{12 \log x - 7}{x^5}$

(2) $\lim_{x \rightarrow +0} \frac{1}{x^3} = \infty, \quad \lim_{x \rightarrow +0} \log x = -\infty$ より

$$\lim_{x \rightarrow +0} f(x) = \lim_{x \rightarrow +0} \frac{1}{x^3} \cdot \log x = -\infty$$

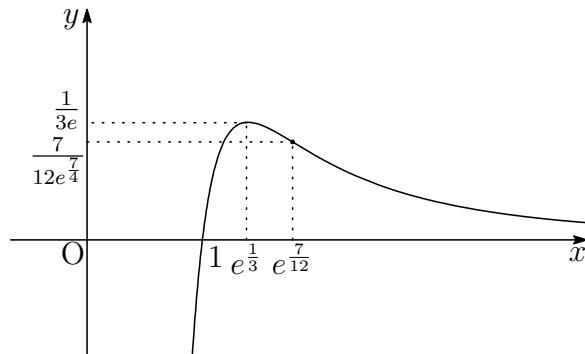
(3) (1) の結果から, $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	$\dots$	$e^{\frac{1}{3}}$	$\dots$	$e^{\frac{7}{12}}$	$\dots$
$f'(x)$		+	0	-	-	-
$f''(x)$		-	-	-	0	+
$f(x)$		$\nearrow$	$\frac{1}{3e}$	$\searrow$	$\frac{7}{12e^{\frac{7}{4}}}$	$\searrow$

また $\lim_{x \rightarrow +0} f(x) = -\infty, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$

$x = e^{\frac{1}{3}}$ で極大値 $\frac{1}{3e}$, 変曲点 $\left(e^{\frac{7}{12}}, \frac{7}{12e^{\frac{7}{4}}} \right)$

よって, $y = f(x)$ のグラフの概形は次のようになる.



6 (1) (*) $t = \sin x + \cos x$ の両辺を平方すると

$$t^2 = 1 + 2 \sin x \cos x \quad \text{ゆえに} \quad \sin 2x = t^2 - 1$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad f(x) &= \sin 2x + a(\sin x + \cos x) + b \\ &= t^2 + at + b - 1 \end{aligned}$$

(2) (*) より $t = \sqrt{2}\sin(x + \frac{\pi}{4})$ ゆえに $-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$

$g(t) = t^2 + at + b - 1$ とおくと $(-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2})$

$$g(t) = \left(t + \frac{a}{2}\right)^2 - \frac{a^2}{4} + b - 1$$

(i) $-\frac{a}{2} < -\sqrt{2}$, すなわち, $a > 2\sqrt{2}$ のとき

$$g(-\sqrt{2}) = -\sqrt{2}a + b + 1 \leq 0, \quad g(\sqrt{2}) = \sqrt{2}a + b + 1 \geq 0$$

したがって $-\sqrt{2}a - 1 \leq b \leq \sqrt{2}a - 1$

(ii) $-\sqrt{2} \leq -\frac{a}{2} \leq 0$, すなわち, $0 \leq a \leq 2\sqrt{2}$ のとき

$$g\left(-\frac{a}{2}\right) = -\frac{a^2}{4} + b - 1 \leq 0, \quad g(\sqrt{2}) = \sqrt{2}a + b + 1 \geq 0$$

したがって $-\sqrt{2}a - 1 \leq b \leq \frac{a^2}{4} + 1$

(iii) $0 \leq -\frac{a}{2} \leq \sqrt{2}$, すなわち, $-2\sqrt{2} \leq a \leq 0$ のとき

$$g\left(-\frac{a}{2}\right) = -\frac{a^2}{4} + b - 1 \leq 0, \quad g(-\sqrt{2}) = -\sqrt{2}a + b + 1 \geq 0$$

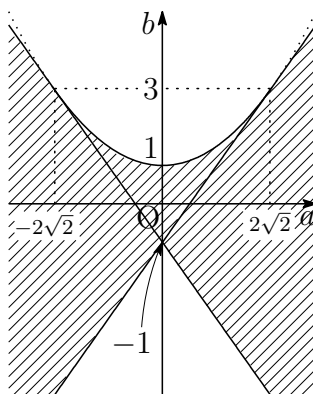
したがって $\sqrt{2}a - 1 \leq b \leq \frac{a^2}{4} + 1$

(iv) $\sqrt{2} < -\frac{a}{2}$, すなわち, $a < -2\sqrt{2}$ のとき

$$g(-\sqrt{2}) = -\sqrt{2}a + b + 1 \geq 0, \quad g(\sqrt{2}) = \sqrt{2}a + b + 1 \leq 0$$

したがって $\sqrt{2}a - 1 \leq b \leq -\sqrt{2}a - 1$

(i)~(iv) より, 求める領域は下の図の斜線部分で境界線を含む. ■



7 (1) $f(x) = \frac{x^2}{\sqrt{x^2 + 6x + 10}}$ より

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{\sqrt{x^2 + 6x + 10}} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{6}{x} + \frac{10}{x^2}}} = 1$$

(2) (1) の結果から, $g(x) = \frac{f(x)}{x}$ とおくと $\lim_{x \rightarrow \infty} g(x) = 1$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} \{f(x) - x\} &= \lim_{x \rightarrow \infty} x\{g(x) - 1\} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{g(x) + 1} \{g(x)^2 - 1\} \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{g(x) + 1} \left(\frac{x^2}{x^2 + 6x + 10} - 1 \right) \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{g(x) + 1} \cdot \frac{-6x^2 - 10x}{x^2 + 6x + 10} \\ &= \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{g(x) + 1} \cdot \frac{-6 - \frac{10}{x}}{1 + \frac{6}{x} + \frac{10}{x^2}} \\ &= \frac{1}{1 + 1} \cdot \frac{-6}{1} = -3 \end{aligned}$$

(3) $f(x) = \frac{x^2}{\sqrt{x^2 + 6x + 10}}$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{2x\sqrt{x^2 + 6x + 10} - x^2 \cdot \frac{x + 3}{\sqrt{x^2 + 6x + 10}}}{x^2 + 6x + 10} \\ &= \frac{x(x + 4)(x + 5)}{\{(x + 3)^2 + 1\}^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

$\lim_{x \rightarrow -\infty} g(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{f(x)}{x} = -1$ であるから, (2) と同様に

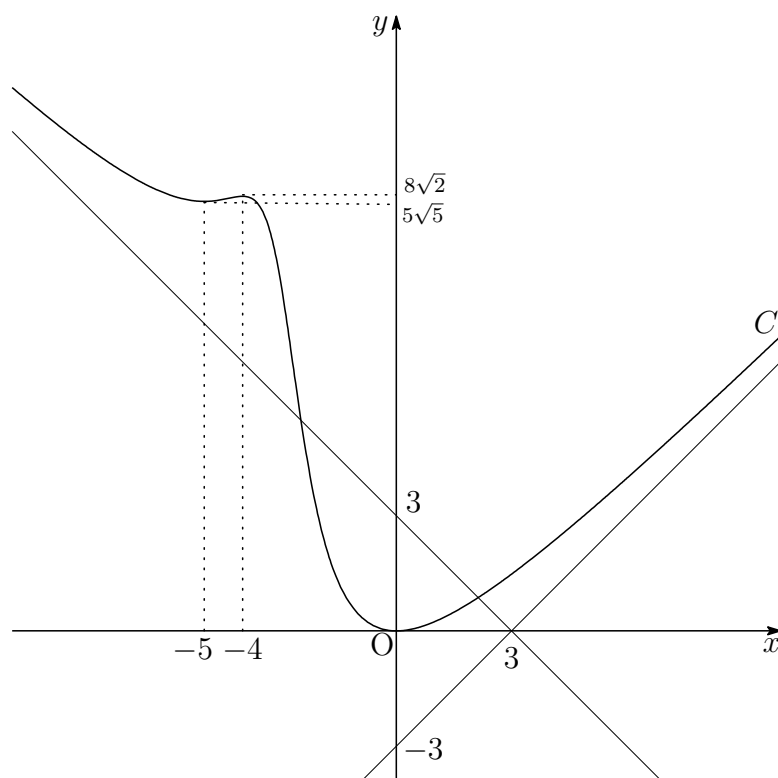
$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow -\infty} \{f(x) + x\} &= \lim_{x \rightarrow -\infty} x\{g(x) + 1\} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x}{g(x) - 1} \{g(x)^2 - 1\} \\ &= \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x}{g(x) - 1} \left(\frac{x^2}{x^2 + 6x + 10} - 1 \right) \\ &= \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{1}{g(x) - 1} \cdot \frac{-6x^2 - 10x}{x^2 + 6x + 10} \\ &= \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{1}{g(x) - 1} \cdot \frac{-6 - \frac{10}{x}}{1 + \frac{6}{x} + \frac{10}{x^2}} \\ &= \frac{1}{-1 - 1} \cdot \frac{-6}{1} = 3 \end{aligned}$$

したがって, $f(x)$ の増減表は

x	...	-5	...	-4	...	0	...
$f'(x)$	-	0	+	0	-	0	+
$f(x)$	$\searrow$	$5\sqrt{5}$	$\nearrow$	$8\sqrt{2}$	$\searrow$	0	$\nearrow$

極大値 $8\sqrt{2}$ ($x = -4$), 極小値 $5\sqrt{5}$ ($x = -5$), 0 ($x = 0$)

$C : y = f(x)$ の漸近線は $y = x - 3$, $y = -x + 3$



- 8 (1) 条件から，次の確率漸化式が成立する．

$$A_0 = 1, B_0 = 0, C_0 = 0, D_0 = 0$$

$$A_n = \frac{1}{3}B_{n-1} + \frac{1}{2}C_{n-1} + \frac{1}{2}D_{n-1}$$

$$B_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + \frac{1}{2}C_{n-1} + \frac{1}{2}D_{n-1}$$

$$C_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + \frac{1}{3}B_{n-1}$$

$$D_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + \frac{1}{3}B_{n-1}$$

確率漸化式に $n = 1$ を代入すると

$$A_1 = 0, B_1 = C_1 = D_1 = \frac{1}{3}$$

さらに $n = 2$ を代入すると

$$A_2 = \frac{1}{3}B_1 + \frac{1}{2}C_1 + \frac{1}{2}D_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{4}{9}$$

$$B_2 = \frac{1}{3}A_1 + \frac{1}{2}C_1 + \frac{1}{2}D_1 = \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

$$C_2 = \frac{1}{3}A_1 + \frac{1}{3}B_1 = \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$$

- (2) 確率漸化式より $C_n = D_n$ であるから

$$A_n = \frac{1}{3}B_{n-1} + C_{n-1}$$

$$B_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + C_{n-1}$$

$$C_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + \frac{1}{3}B_{n-1}$$

- (3) $A_n + B_n + C_n + D_n = 1$ に注意すると，(1) の漸化式から

$$\begin{aligned} A_n + B_n &= \frac{1}{3}(A_{n-1} + B_{n-1}) + (C_{n-1} + D_{n-1}) \\ &= \frac{1}{3}(A_{n-1} + B_{n-1}) + (1 - A_{n-1} - B_{n-1}) \\ &= -\frac{2}{3}(A_{n-1} + B_{n-1}) + 1 \end{aligned} \quad (*)$$

$$A_n - B_n = -\frac{1}{3}(A_{n-1} - B_{n-1}) \quad (**)$$

$$(*) \text{ より } A_n + B_n - \frac{3}{5} = -\frac{2}{3} \left(A_{n-1} + B_{n-1} - \frac{3}{5} \right)$$

$$A_n + B_n - \frac{3}{5} = \left(A_0 + B_0 - \frac{3}{5} \right) \left(-\frac{2}{3} \right)^n = \frac{2}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n$$

$$\text{したがって } A_n + B_n = \frac{2}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n + \frac{3}{5} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$(**) \text{ より } A_n - B_n = (A_0 - B_0) \left(-\frac{1}{3} \right)^n = \left(-\frac{1}{3} \right)^n \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より } A_n = \frac{1}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{3} \right)^n + \frac{3}{10}$$

別解 $A_n + B_n + C_n + D_n = 1$, $C_n = D_n$ より $A_n + B_n = 1 - 2C_n$

(2) の結果から $C_n = \frac{1}{3}A_{n-1} + \frac{1}{3}B_{n-1}$ であるから

$$C_n = \frac{1}{3}(A_{n-1} + B_{n-1}) = \frac{1}{3}(1 - 2C_{n-1})$$

$$\text{これから } C_n - \frac{1}{5} = -\frac{2}{3} \left(C_{n-1} - \frac{1}{5} \right)$$

$$C_n - \frac{1}{5} = \left(C_0 - \frac{1}{5} \right) \left(-\frac{2}{3} \right)^n \quad \text{ゆえに } C_n = \frac{1}{5} - \frac{1}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n$$

$$\text{したがって } A_n + B_n = 1 - 2C_n = \frac{2}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n + \frac{3}{5}$$

$$\text{上式と } \textcircled{2} \text{ から } A_n = \frac{1}{5} \left(-\frac{2}{3} \right)^n + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{3} \right)^n + \frac{3}{10}$$

(4) (3) の結果において, $\left| -\frac{2}{3} \right| < 1$, $\left| -\frac{1}{3} \right| < 1$ であるから

$$\lim_{n \rightarrow \infty} A_n = \frac{3}{10}$$



9 (1) $3x^2 + 10xy + 8y^2 = (x + 2y)(3x + 4y)$ であるから

$$3x^2 + 10xy + 8y^2 + 8x + 10y - 3 = (x + 2y + 3)(3x + 4y - 1)$$

$$\begin{array}{rcl} x + 2y & \times & 3 \longrightarrow 9x + 12y \\ 3x + 4y & \times & -1 \longrightarrow -x - 2y \\ & & \hline & & 8x + 10y \end{array}$$

上式と $(x + ay + b)(3x + cy + d)$ の係数を比較して

$$a = 2, b = 3, c = 4, d = -1$$

等式 $3x^2 + 10xy + 8y^2 + 8x + 10y + 9 = 0$ より

$$(x + 2y + 3)(3x + 4y - 1) = -12$$

$M = x + 2y + 3$, $N = 3x + 4y - 1$ とおくと, x, y が整数のとき, M, N は整数で, $MN = -12$ である. このとき

$$x = -2M + N + 7, \quad y = \frac{3M - N}{2} - 5 = M - 5 + \frac{M - N}{2}$$

上の第2式から, M, N の偶奇は一致し, 積 MN が偶数であることから, M, N はともに偶数で, M, N の組は, 次の4組である.

$$(M, N) = (\pm 2, \mp 6), (\pm 6, \mp 2) \quad (\text{複号同順})$$

順次代入すると

$$(x, y) = (-3, 1), (17, -11), (-7, 5), (21, -15)$$

これらの x, y の組 (x, y) を x の値が小さい順に並べると

$$(-7, 5), (-3, 1), (17, -11), (21, -15)$$

(あ) 2 (い) 3 (う) 4 (え) -1 (お) -7 (か) 5

(き) -3 (く) 1 (け) 17 (こ) -11 (さ) 21 (し) -15

(2) [A]

$$\frac{z_3}{1 + \sqrt{3}i} = \frac{5 - 4\sqrt{3} + (4 + 5\sqrt{3})i}{1 + \sqrt{3}i} = \frac{(5 + 4i)(1 + \sqrt{3}i)}{1 + \sqrt{3}i} = 5 + 4i$$

$$\alpha = 1 + \sqrt{2}i \text{ より } |\alpha| = \sqrt{1^2 + (\sqrt{2})^2} = \sqrt{3}$$

$$\frac{z_1}{1 + \sqrt{3}i} = 2, \quad \frac{z_2}{1 + \sqrt{3}i} = 5, \quad \frac{z_3}{1 + \sqrt{3}i} = 5 + 4i \text{ より}$$

3点 2, 5, $5 + 4i$ を頂点とする三角形の面積は

$$\frac{1}{2}(5 - 2) \cdot 4 = 6$$

3点 $\alpha z_1, \alpha z_2, \alpha z_3$ を頂点とする三角形と 3点 2, 5, $5 + 4i$ を頂点とする三角形は相似であるから, 求める三角形の面積は $(\alpha = 1 + \sqrt{2}i)$

$$6|1 + \sqrt{3}i|^2|\alpha|^2 = 6 \cdot 4 \cdot 3 = \mathbf{72}$$

別解 $w = (\alpha z_2 - \alpha z_1)(\overline{\alpha z_3 - \alpha z_1})$ とすると ⁴

$$\begin{aligned} w &= |\alpha|^2(z_2 - z_1)(\overline{z_3 - z_1}) \\ &= 3(3 + 3\sqrt{3}i)\{3 - 4\sqrt{3} - (4 + 3\sqrt{3})i\} \end{aligned}$$

$$\operatorname{Im}(w) = 3\{3\sqrt{3}(3 - 4\sqrt{3}) - 3(4 + 3\sqrt{3})\} = -144$$

$$\text{よって } \triangle P_1 P_2 P_3 = \frac{1}{2}|\operatorname{Im}(w)| = \mathbf{72}$$

(ア) 5 (イ) 4 (ウ) $\sqrt{3}$ (エ) 72

⁴<http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/miyazaki/miyazaki.2017.pdf> [4] を参照

[B]

$$y = \log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} \quad (x \geq 2) \text{ より } e^y = \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$2e^y - x = \sqrt{x^2 - 4} \quad \text{ゆえに} \quad (2e^y - x)^2 = x^2 - 4$$

$$\textcircled{1} \text{ より } e^{-y} = \frac{2}{x + \sqrt{x^2 - 4}} = \frac{x - \sqrt{x^2 - 4}}{2} \quad \dots \textcircled{1}'$$

$\textcircled{1}$ と $\textcircled{1}'$ の辺々を加えると $x = e^y + e^{-y}$

曲線 $y = \log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2}$ と x 軸および直線 $x = 4$ とで囲まれた図形を x 軸のまわりに 1 回転させてできる立体の体積 V は

$$V = \int_2^4 \pi \left(\log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} \right)^2 dx$$

$$\log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} = t \text{ とおくと } x = e^t + e^{-t}$$

$$\frac{dx}{dt} = e^t - e^{-t} \quad \begin{array}{c|c} x & 2 \longrightarrow 4 \\ \hline t & 0 \longrightarrow \log(2 + \sqrt{3}) \end{array}$$

$a = \log(2 + \sqrt{3})$ を用いて

$$V = \int_0^a \pi t^2 (e^t - e^{-t}) dt$$

ここで、0でない定数 k に対し、関数 $t^2 e^{kt}$ の不定積分は

$$\begin{aligned}\int t^2 e^{kt} dt &= \frac{e^{kt}}{k} \left\{ t^2 - \frac{(t^2)'}{k} + \frac{(t^2)''}{k^2} \right\} + C \\ &= \frac{e^{kt}}{k^3} (k^2 t^2 - 2kt + 2) + C\end{aligned}$$

これに $k = \pm 1$ をそれぞれ代入すると

$$\begin{aligned}\int t^2 e^t dt &= e^t (t^2 - 2t + 2) + C \\ \int t^2 e^{-t} dt &= -e^{-t} (t^2 + 2t + 2) + C\end{aligned}$$

したがって

$$\int t^2 (e^t - e^{-t}) dt = (t^2 + 2)(e^t + e^{-t}) - 2t(e^t - e^{-t}) + C$$

$$e^a = 2 + \sqrt{3}, \quad e^{-a} = 2 - \sqrt{3} \text{ より}$$

$$e^a + e^{-a} = 4, \quad e^a - e^{-a} = 2\sqrt{3}$$

に注意して

$$\begin{aligned}V &= \pi \left[(t^2 + 2)(e^t + e^{-t}) - 2t(e^t - e^{-t}) \right]_0^a \\ &= \pi \left\{ 4(a^2 + 2) - 4\sqrt{3}a - 2 \cdot 2 \right\} \\ &= 4\pi (a^2 - \sqrt{3}a + 1)\end{aligned}$$

$$(カ) \ x^2 - 4 \quad (キ) \ e^y + e^{-y} \quad (ク) \ \pi \left(\log \frac{x + \sqrt{x^2 - 4}}{2} \right)$$

$$(ケ) \ \pi t^2 (e^t - e^{-t}) \quad (コ) \ k^2 t^2 - 2kt + 2 \quad (サ) \ 3 \quad (シ) \ 1$$

補足 次の積分公式が利用している⁵.

$$\int e^{px+q} f(x) dx = \frac{e^{px+q}}{p} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} - \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C$$

■

⁵<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-math.2015-kouki.pdf> (p.7)

10 (1) 傾き $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ の直線 ℓ の偏角は $-\frac{\pi}{6}$

直線 OA の偏角は $-\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{3}$

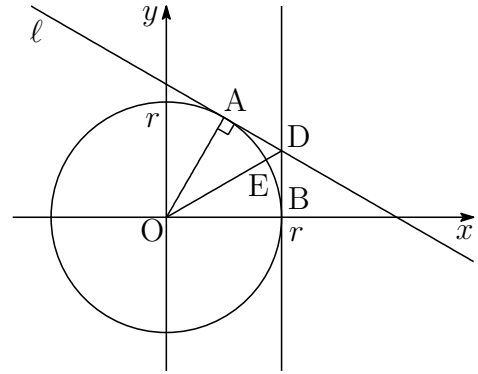
したがって、点 A の座標は

$$\left(r \cos \frac{\pi}{3}, r \sin \frac{\pi}{3}\right)$$

すなわち $A\left(\frac{r}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}r\right)$

したがって、 ℓ の方程式は

$$\frac{r}{2}x + \frac{\sqrt{3}}{2}ry = r^2 \quad \text{すなわち} \quad x + \sqrt{3}y - 2r = 0$$



(2) 直線 ℓ と直線 $x = r$ の交点の y 座標は

$$r + \sqrt{3}y - 2r = 0 \quad \text{ゆえに} \quad y = \frac{r}{\sqrt{3}} \quad \text{したがって} \quad D\left(r, r \tan \frac{\pi}{6}\right)$$

直線 OD の偏角が $\frac{\pi}{6}$ より、 $\angle BOD = \angle AOD$

$\triangle OAD$ と $\triangle OBD$ について、 $OA = OB$ 、 OD は共通であるから

$$\triangle OAD \equiv \triangle OBD$$

$$\text{したがって} \quad \triangle OAD = \triangle OBD = \frac{1}{2}r \cdot r \tan \frac{\pi}{6} = \frac{r^2}{2\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{6}r^2$$

別解 直線 OA、OD の偏角から $\angle AOD = \frac{\pi}{6}$

$$\text{よって} \quad \triangle OAD = \frac{1}{2}OA \cdot AD = \frac{1}{2}r \cdot \frac{r}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{6}r^2$$

$$(3) \quad \triangle OAE = \frac{1}{2}OA \cdot OE \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2} \cdot r \cdot r \cdot \frac{1}{2} = \frac{r^2}{4}$$

(4) 扇形 OAE の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2}r^2 \cdot \frac{\pi}{6} = \frac{r^2\pi}{12}$$

$\triangle OAE < S < \triangle OAD$ より

$$\frac{r^2}{4} < \frac{r^2\pi}{12} < \frac{\sqrt{3}}{6}r^2 \quad \text{ゆえに} \quad 3 < \pi < 2\sqrt{3}$$

$2\sqrt{3} < 2 \times 1.74 = 3.48 < 3.5$ であるから $3 < \pi < 3.5$ ■

11 (1) 2 (1) を参照

(2) 2 (2) を参照

(3) $(-x^2 + 5x + 24) - (x^2 - 3x) = -2x^2 + 8x + 24 = -2(x + 2)(x - 6)$ より,
 $C_1: y = x^2 - 3x$ と $C_2: y = -x^2 + 5x + 24$ の共有点の x 座標は

$$x = -2, 6$$

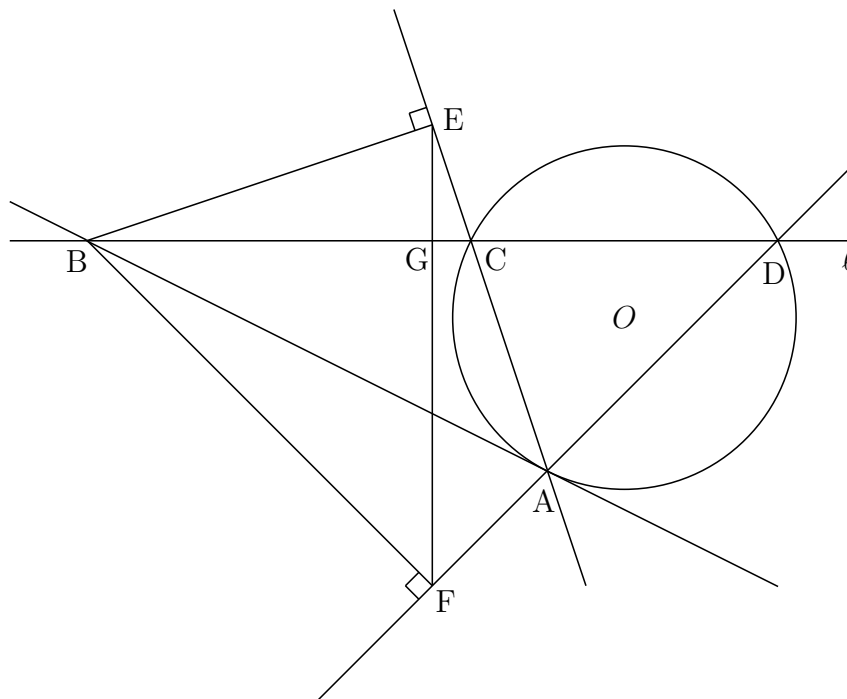
2 曲線 C_1 と C_2 で囲まれる部分の面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \int_{-2}^6 (-2x^2 + 8x + 24) dx \\ &= -2 \int_{-2}^6 (x + 2)(x - 6) dx \\ &= \frac{2}{6} \{6 - (-2)\}^3 = \frac{512}{3} \end{aligned}$$

(か) -2 (き) 6 (く) -2 (け) 8 (こ) 24 (さ) $\frac{512}{3}$ ■

12 (1) 接弦定理により $\angle ADC = \angle BAE$

四角形 BFAE は AB を直径の両端とする円に内接するから、円周角の定理により $\angle BFE = \angle BAE$ よって $\angle BFE = \angle ADC$



(2) BD と EF の交点を G とし、 $\triangle GFD$ について

$$\angle BGF = \angle GFD + \angle GDF$$

(1) の結果より、 $\angle GDF = \angle BFG$ であるから

$$\angle BGF = \angle GFD + \angle BFG = \angle BFD = 90^\circ$$

よって $BD \perp EF$



8.8 2022 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [6] [7] [8] [9] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [6] [10] [11] 必答, [2] [7] [9] から1問選択.
数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [5] [7] (1)(2)(3) [12] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 関数 $f(x) = x(\log x)^2$ の導関数は, $f'(x) = \left(\boxed{\text{あ}} \right) \log x$ である.

(2) 関数 $f(x) = \frac{\tan x}{x^2}$ の導関数は, $f'(x) = \frac{\boxed{\text{い}}}{x^3 \cos^2 x}$ である.

(3) 関数 $f(x) = \frac{x^3 - 1}{(x-1)(x-2)}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \boxed{\text{う}} + C$ である. ただし, C は積分定数とする.

(4) 関数 $f(x) = e^{\sqrt{x}}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \boxed{\text{え}} + C$ である. ただし, C は積分定数とする.

(5) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{12}} \sin^2 x \cos^2 x dx$ の値は, $\boxed{\text{お}}$ である.

- 2** 関数 $f(x) = x\sqrt{3-x}$ および座標平面上の原点 O を通る曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ。

(1) 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ。

- $f(x)$ の導関数は、 $f'(x) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{2\sqrt{3-x}}$ である。
- $f(x)$ の第2次導関数は、 $f''(x) = \frac{\boxed{\text{い}}}{4(3-x)\sqrt{3-x}}$ である。
- O における C の接線を ℓ とし、 ℓ の方程式を $y = kx$ (k は定数) とすると、 k の値は $\boxed{\text{う}}$ である。

(2) $\lim_{x \rightarrow 3-0} f'(x)$ は、次のいずれかである。

$\lim_{x \rightarrow 3-0} f'(x)$ は有限な値である

$\lim_{x \rightarrow 3-0} f'(x) = \infty$

$\lim_{x \rightarrow 3-0} f'(x) = -\infty$

この3通りのいずれであるかを答えよ。ただし、有限な値であるときは、その値も求めよ。

- (3) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、および変曲点を調べて、曲線 C の概形をかけ。
- (4) 曲線 C と直線 ℓ および直線 $x = 3$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ。

- 3** 1 辺の長さが 1 の正四面体 $OABC$ と点 P が

$$3\overrightarrow{OP} + 8\overrightarrow{AP} + 7\overrightarrow{BP} + \overrightarrow{CP} = \vec{0}$$

を満たしているとする。直線 OP と平面 ABC の交点を Q とする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ として、 $\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$ のそれぞれを、 $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ。
- (2) $\triangle ABQ$ の面積を求めよ。
- (3) $\triangle ABC$ の重心を G とするとき、 $\overrightarrow{OG}$ と平面 ABC が垂直であることを示せ。
- (4) 四面体 $PABQ$ の体積を求めよ。

4 次の文章中の空欄を適当な数で埋めよ.

A, B, C という 3 つの袋がある. どの袋の中にも赤玉 2 個と白玉 1 個が入っている. この状態から始めて, 3 つの袋の間で次のような 3 回の玉の移動を考える.

1 回目は, A から玉を 1 個取り出し, B へ入れる. 1 回目の玉の移動が終わったときの B の中の赤玉の個数を N_1 とする.

続けて, 2 回目は, B から玉を 1 個取り出し, C へ入れる. 2 回目の玉の移動が終わったときの C の中の赤玉の個数を N_2 とする.

続けて, 3 回目は, C から玉を 1 個取り出し, A へ入れる. 3 回目の玉の移動が終わったときの A の中の赤玉の個数を N_3 とする.

ただし, 袋 A から玉が取り出されるとき, どの玉も同じ確率で取り出されるものとする. 袋 B, C から玉が取り出されるときも同様とする.

$N_1 = 2$ となる確率は であり, $N_1 = 3$ となる確率は である.

「1 回目に赤玉が移動して 2 回目に白玉が移動する」確率は である. 一方, 「1 回目に白玉が移動して 2 回目に白玉が移動する」確率は である. よって, $N_2 = 2$ となる確率は である.

1 回目の移動が終わったときの, A の中の赤玉の個数に注意すると, $N_3 = 1$ となる確率は であり, $N_3 = 3$ となる確率は である. また, $N_3 = 2$ となる確率は である.

5 座標平面上に円 $C: x^2 + y^2 = 1$ と点 $A\left(0, \frac{1}{2}\right)$ がある. A を通る傾き t の直線と C との 2 つの交点を $Q_1(x_1, y_1)$, $Q_2(x_2, y_2)$ とする. ただし, $x_1 < x_2$ とする. また, C の Q_1 における接線を ℓ_1 , Q_2 における接線を ℓ_2 とする. ℓ_1 と ℓ_2 は交わり, その交点を $P(X, Y)$ とする. このとき, 次の各問に答えよ.

(1) $x_2 - x_1$ と $y_2 - y_1$ を, それぞれ t を用いて表せ.

(2) $X = -2t$ であることを示せ.

(3) t がすべての実数値をとって変化するとき, 点 P の軌跡を求めよ.

6 x を実数とすると, 次の不等式を満たす x の値の範囲を求めよ.

$$8^x + 8^{-x} - (4^x + 4^{-x}) - 11 \geq 0$$

- 7 2つの数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ を, $a_1 = \frac{1}{2}$, $b_1 = 2$, および

$$\begin{cases} a_{n+1} = a_n + b_n \\ b_{n+1} = 2a_n + 1 \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) a_2 , b_2 , a_3 , b_3 を求めよ.
 (2) 次の式を満たす定数 p , q , r の組を 2 組求めよ.

$$a_{n+1} + pb_{n+1} + q = r(a_n + pb_n + q) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (3) $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ について, それぞれの第 n 項 a_n , b_n を求めよ.
 (4) 2つの数列 $\{c_n\}$, $\{d_n\}$ を, $c_1 = \sqrt{2}$, $d_1 = 4$, および

$$\begin{cases} c_{n+1} = c_n d_n \\ d_{n+1} = 2c_n^2 \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. $\{c_n\}$, $\{d_n\}$ の第 n 項 c_n , d_n について, $c_n^2 d_n$ を求めよ.

- 8 微分可能な関数 $f(x)$, $g(x)$ が, $g(0) = 1$, および

$$f(x) = g(x) + 3 \int_0^x e^{t-x} f(t) dt$$

を満たしているとする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $f'(x) = 2f(x) + h(x)$ を満たす関数 $h(x)$ を, $g(x)$ と $g'(x)$ を用いて表せ.
 (2) $e^{-2x} f(x)$ の導関数を, $g(x)$, $g'(x)$ および e^{-2x} を用いて表せ.
 (3) $e^{-2x} f(x)$ が定数関数のとき, $e^x g(x)$ も定数関数であることを示せ. また, このときの $g(x)$ および $f(x)$ を求めよ.
 (4) $g(x) = x^2 + 1$ のとき, $f(x)$ を求めよ.

- 9** 袋の中に、1 から 10 までの数が 1 つずつ書かれた 10 枚の札が入っている．これをはじめの状態とする．袋から無作為に 1 枚の札を取り出し、取り出した札は袋の中に戻さないという操作を、はじめの状態から続けて n 回行う． n 回のうち、 k 回目 ($k = 1, 2, \dots, n$) の操作で取り出された札に書かれた数を X_k とする．このとき、次の各問に答えよ．

- (1) $n = 6$ のとき、 $X_1, X_2, \dots, X_6$ の組 $(X_1, X_2, \dots, X_6)$ で、 $X_1 = 1, X_2 = 2$ かつ次の (*) を満たす例を 1 つ挙げよ．

(*) すべての i, j ($i \neq j$) に対して $X_i + X_j \neq 10$

- (2) $n = 7$ のとき、次の (**) が必ず成り立つことを示せ．

(**) $X_i + X_j = 10$ を満たす i, j ($i \neq j$) が存在する

- (3) $n = 3$ のとき、3 回目の操作ではじめて (2) の (**) が成り立つ確率を求めよ．
 (4) $n = 4$ のとき、4 回目の操作ではじめて (2) の (**) が成り立つ確率を求めよ．

- 10** 次の各問に答えよ．

- (1) 整数 p を 5 以上の素数とする．このとき、 $p + 2$ が素数ならば、 $p + 1$ は 6 の倍数であることを示せ．
 (2) ある素数を 2 進法で表したとき、すべての位の数字が 1 である k 桁の数 $\overbrace{11 \cdots 1}^{k \text{ 個}}$ になったとする．このとき、 k は素数であることを示せ．ただし必要ならば自然数 m に対して、

$$X^m - 1 = (X - 1)(X^{m-1} + X^{m-2} + \cdots + X + 1)$$

が成り立つことを用いよ．

- 11** 平面上に、長さ 2 の線分 AB を直径とする円 O_1 があり、その中心を M とする. AB を $t : (1 - t)$ に内分する点を C とし、C を通る AB の垂線と O_1 の円周との交点の 1 つを D とする. ただし、 $0 < t < 1$ とする. また、3 点 B, C, D を通る円を O_2 とし、その中心を N とする. さらに、3 点 D, M, N を通る円を O_3 とし、その中心を P とする. このとき、次の各問に答えよ.

- (1) 線分 CD の長さを t を用いて表せ.
- (2) 2 つの円 O_2 と O_3 の面積が等しくなるときの t の値を求めよ.
- (3) $\triangle MNP$ の面積が最大となるときの t の値を求めよ.
- (4) 4 点 B, M, P, N が同一円周上にあるときの t の値を求めよ.

- 12** 次の各問に答えよ.

- (1) 次の等式がすべての実数 α, β に対して成り立つことを示せ.

$$\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + \sin^2(\alpha + \beta) = 2 - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta)$$

- (2) 整数 p を 5 以上の素数とする. このとき、 $p + 2$ が素数ならば、 $p + 1$ は 6 の倍数であることを示せ.
- (3) 座標平面上の 3 つの曲線

$$C_1 : y = x^2 - 4x + 2$$

$$C_2 : y = -x^2$$

$$C_3 : y = -x^2 + 8x - 16$$

で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

- 1** (1) $f(x) = x(\log x)^2$ を微分すると

$$f'(x) = (\log x)^2 + x \cdot 2(\log x) \frac{1}{x} = (\log x + 2) \log x$$

(あ) $\log x + 2$

- (2) $f(x) = \frac{\tan x}{x^2} = x^{-2} \tan x$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= -2x^{-3} \tan x + x^{-2} \cdot \frac{1}{\cos^2 x} \\ &= \frac{-2 \sin x \cos x + x}{x^3 \cos^2 x} = \frac{x - \sin 2x}{x^3 \cos^2 x} \end{aligned}$$

(い) $x - \sin 2x$

- (3) $f(x) = \frac{x^3 - 1}{(x-1)(x-2)} = \frac{x^2 + x + 1}{x-2} = x + 3 + \frac{7}{x-2}$ より

$$\int f(x) dx = \frac{x^2}{2} + 3x + 7 \log |x-2| + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

(う) $\frac{x^2}{2} + 3x + 7 \log |x-2|$

- (4) $f(x) = e^{\sqrt{x}}$ について, $u = \sqrt{x}$ とおくと, $x = u^2$ より $\frac{dx}{du} = 2u$

$$\begin{aligned} \int f(x) dx &= \int e^u \frac{dx}{du} du = 2 \int e^u u du \\ &= 2e^u(u-1) + C = 2e^{\sqrt{x}}(\sqrt{x}-1) + C \end{aligned}$$

(え) $2e^{\sqrt{x}}(\sqrt{x}-1)$

- (5) $\sin^2 x \cos^2 x = \frac{1}{4} \sin^2 2x = \frac{1}{8} (1 - \cos 4x)$ より

$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{\pi}{12}} \sin^2 x \cos^2 x dx &= \frac{1}{8} \int_0^{\frac{\pi}{12}} (1 - \cos 4x) dx = \frac{1}{8} \left[x - \frac{1}{4} \sin 4x \right]_0^{\frac{\pi}{12}} \\ &= \frac{1}{8} \left(\frac{\pi}{12} - \frac{1}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{\pi}{96} - \frac{\sqrt{3}}{64} \end{aligned}$$

(お) $\frac{\pi}{96} - \frac{\sqrt{3}}{64}$



2 (1) $f(x) = x\sqrt{3-x}$ より

$$\begin{aligned} f'(x) &= \sqrt{3-x} + x \cdot \frac{-1}{2\sqrt{3-x}} = \frac{2(3-x) - x}{2\sqrt{3-x}} = \frac{3(2-x)}{2\sqrt{3-x}}, \\ f''(x) &= \frac{3}{2} \cdot \frac{(-1)\sqrt{3-x} - (2-x) \cdot \frac{-1}{2\sqrt{3-x}}}{3-x} \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{-2(3-x) + (2-x)}{(3-x)\sqrt{3-x}} = \frac{3(x-4)}{4(3-x)\sqrt{3-x}} \end{aligned}$$

C の O における接線の傾き k は $k = f'(0) = \sqrt{3}$

(あ) $3(2-x)$ (い) $3(x-4)$ (う) $\sqrt{3}$

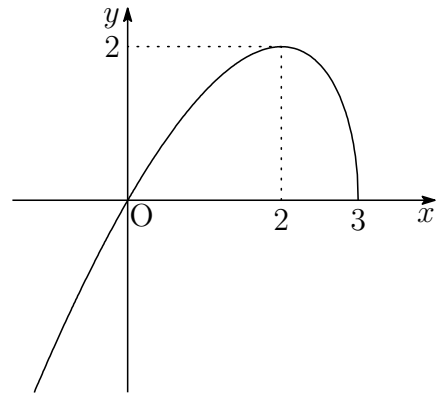
(2) (1) の結果から $\lim_{x \rightarrow 3-0} f'(x) = -\infty$

(3) $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	$\cdots$	2	$\cdots$	3
$f'(x)$	+	0	-	
$f''(x)$	-	-	-	
$f(x)$	$\nearrow$	極大 2	$\searrow$	

変曲点はなし.

$C: y = f(x)$ の概形は右の図のとおり.



(4) $f(x) = x\sqrt{3-x} = \{(x-3)+3\}\sqrt{3-x} = -(3-x)^{\frac{3}{2}} + 3(3-x)^{\frac{1}{2}}$ より

$$\begin{aligned} \int_0^3 f(x) dx &= \int_0^3 \{-(3-x)^{\frac{3}{2}} + 3(3-x)^{\frac{1}{2}}\} dx \\ &= \left[\frac{2}{5}(3-x)^{\frac{5}{2}} - 2(3-x)^{\frac{3}{2}} \right]_0^3 = \frac{12}{5}\sqrt{3} \end{aligned}$$

$l: y = \sqrt{3}x$ は, $x = 3$ のとき, $y = 3\sqrt{3}$

$$\text{よって} \quad S = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3\sqrt{3} - \frac{12}{5}\sqrt{3} = \frac{21}{10}\sqrt{3}$$

■

3 (1) $3\vec{OP} + 8\vec{AP} + 7\vec{BP} + \vec{CP} = \vec{0}$ より

$$3\vec{OP} + 8(\vec{OP} - \vec{OA}) + 7(\vec{OP} - \vec{OB}) + \vec{OP} - \vec{OC} = \vec{0}$$

したがって

$$\vec{OP} = \frac{8\vec{OA} + 7\vec{OB} + \vec{OC}}{19} = \frac{16}{19} \cdot \frac{8\vec{OA} + 7\vec{OB} + \vec{OC}}{16}$$

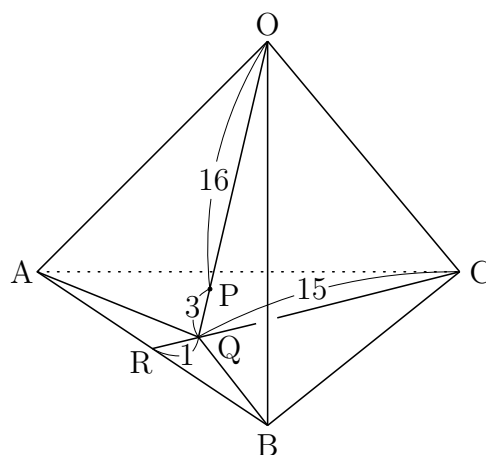
よって $\vec{OP} = \frac{8\vec{a} + 7\vec{b} + \vec{c}}{19}$, $\vec{OQ} = \frac{8\vec{a} + 7\vec{b} + \vec{c}}{16}$

(2) 2直線 CQ と AB の交点を R とすると

$$\begin{aligned}\vec{CQ} &= \vec{OQ} - \vec{OC} = \frac{8\vec{CA} + 7\vec{CB}}{16} \\ &= \frac{15}{16} \cdot \frac{8\vec{CA} + 7\vec{CB}}{15} = \frac{15}{16} \vec{CR}\end{aligned}$$

Q は線分 CR を 15 : 1 に内分するから

$$\begin{aligned}\triangle ABQ &= \frac{1}{16} \triangle ABC \\ &= \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1^2 \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{64}\end{aligned}$$



補足 R は線分 AB を 7 : 8 に内分する点である.

(3) $|\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| = 1$, $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} = 1 \cdot 1 \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$

$$\begin{aligned}3\vec{OG} \cdot \vec{AB} &= (\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \cdot (\vec{b} - \vec{a}) = (\vec{a} + \vec{b}) \cdot (\vec{b} - \vec{a}) + \vec{c} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) \\ &= |\vec{b}|^2 - |\vec{a}|^2 + \vec{b} \cdot \vec{c} - \vec{c} \cdot \vec{a} = 0,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}3\vec{OG} \cdot \vec{AC} &= (\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \cdot (\vec{c} - \vec{a}) = (\vec{a} + \vec{c}) \cdot (\vec{c} - \vec{a}) + \vec{b} \cdot (\vec{c} - \vec{a}) \\ &= |\vec{c}|^2 - |\vec{a}|^2 + \vec{b} \cdot \vec{c} - \vec{a} \cdot \vec{b} = 0\end{aligned}$$

$\vec{OG} \perp \vec{AB}$, $\vec{OG} \perp \vec{AC}$ より, $\vec{OG}$ と平面 ABC は垂直である.

(4) $|\vec{OG}| = \frac{1}{3} |\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}|$

$$= \frac{1}{3} \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + |\vec{c}|^2 + 2(\vec{a} \cdot \vec{b} + \vec{b} \cdot \vec{c} + \vec{c} \cdot \vec{a})} = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

求める体積は $\frac{1}{16} \cdot \frac{3}{19} \times \frac{1}{3} \triangle ABC |\vec{OG}| = \frac{1}{16} \cdot \frac{3}{19} \times \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} = \frac{\sqrt{2}}{1216}$ ■

- 4 ● $N_1 = 2$ となる確率は, 1 回目に白玉を取り出す確率であるから $\frac{1}{3}$
 $N_1 = 3$ となる確率は, 1 回目に赤玉を取り出す確率であるから $\frac{2}{3}$
- 1 回目に赤玉が移動して 2 回目に白玉が移動する確率は $\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{6}$
 1 回目に白玉が移動して 2 回目に白玉が移動する確率は $\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{4} = \frac{1}{6}$
 よって, $N_2 = 2$ となる確率は $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3}$
- $N_3 = 1$ となるは, 次の色の玉が移動する場合である.
 (1 回目, 2 回目, 3 回目)=(赤玉, 赤玉, 白玉), (赤玉, 白玉, 白玉)
 よって, その確率は $\frac{2}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} + \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{4} = \frac{5}{24}$
 $N_3 = 3$ となるは, 次の色の玉が移動する場合である.
 (1 回目, 2 回目, 3 回目)=(白玉, 赤玉, 赤玉), (白玉, 白玉, 赤玉)
 よって, その確率は $\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{4} \cdot \frac{3}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{4} \cdot \frac{2}{4} = \frac{5}{24}$
 $N_3 = 2$ となる確率は, $N_3 = 1$ と $N_3 = 3$ の余事象の確率であるから

$$1 - \left(\frac{5}{24} + \frac{5}{24} \right) = \frac{7}{12}$$

(あ) $\frac{1}{3}$ (い) $\frac{2}{3}$ (う) $\frac{1}{6}$ (え) $\frac{1}{6}$ (お) $\frac{1}{3}$ (か) $\frac{5}{24}$ (き) $\frac{5}{24}$ (く) $\frac{7}{12}$ ■

- 5 (1) 点 $A\left(0, \frac{1}{2}\right)$ を通り、傾き t の直線は

$$y = tx + \frac{1}{2} \quad (*)$$

この直線と $C: x^2 + y^2 = 1$ の方程式から y を消去して整理すると

$$(t^2 + 1)x^2 + tx - \frac{3}{4} = 0$$

$$\text{これを解くと } x = \frac{-t \pm \sqrt{4t^2 + 3}}{2(t^2 + 1)}$$

この方程式の解が x_1, x_2 であるから ($x_1 < x_2$)

$$x_2 - x_1 = \frac{-t + \sqrt{4t^2 + 3}}{2(t^2 + 1)} - \frac{-t - \sqrt{4t^2 + 3}}{2(t^2 + 1)} = \frac{\sqrt{4t^2 + 3}}{t^2 + 1}$$

$y_1 = tx_1 + \frac{1}{2}, y_2 = tx_2 + \frac{1}{2}$ であるから

$$y_2 - y_1 = t(x_2 - x_1) = \frac{t\sqrt{4t^2 + 3}}{t^2 + 1}$$

- (2) 2点 Q_1, Q_2 を通る直線は点 $P(X, Y)$ を極とする極線

$$Xx + Yy = 1$$

である. (*) より, これが $-2tx + 2y = 1$ に一致するから

$$X = -2t, \quad Y = 2 \quad (**)$$

- (3) (**) より, $P(-2t, 2)$ であるから, 点 P の軌跡は $y = 2$ ■

円 $C: x^2 + y^2 = r^2$ の外部の点 $P(a, b)$ から C に引いた2本の接線の接点を $M(x_1, y_1), N(x_2, y_2)$ とする. 2本の接線

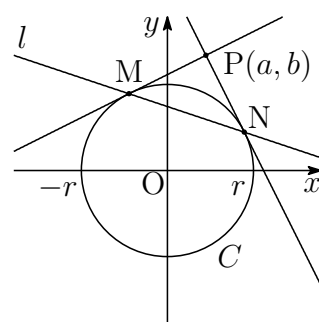
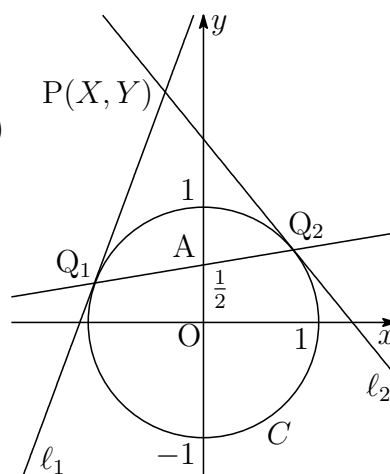
$$x_1x + y_1y = r^2, \quad x_2x + y_2y = r^2$$

は点 $P(a, b)$ を通るから

$$ax_1 + by_1 = r^2, \quad ax_2 + by_2 = r^2$$

上の2式から直線 $l: ax + by = r^2$ は2点 M, N を通る.

このとき, l を P を極とする C の極線という.



6 $t = 2^x + 2^{-x}$ とおくと $t \geq 2\sqrt{2^x \cdot 2^{-x}} = 2 \quad \dots \textcircled{1}$

$$8^x + 8^{-x} = (2^x + 2^{-x})^3 - 3(2^x + 2^{-x}) = t^3 - 3t,$$

$$4^x + 4^{-x} = (2^x + 2^{-x})^2 - 2 = t^2 - 2$$

このとき、不等式 $8^x + 8^{-x} - (4^x + 4^{-x}) - 11 \geq 0$ は

$$t^3 - 3t - (t^2 - 2) - 11 \geq 0 \quad \text{ゆえに} \quad (t-3)(t^2 + 2t + 3) \geq 0$$

$$t^2 + 2t + 3 = (t+1)^2 + 2 > 0 \text{ および } \textcircled{1} \text{ に注意して } t \geq 3$$

$$2^x + 2^{-x} \geq 3 \quad \text{ゆえに} \quad (2^x)^2 - 3 \cdot 2^x + 1 \geq 0$$

$$\text{したがって} \quad 2^x \leq \frac{3 - \sqrt{5}}{2}, \quad \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \leq 2^x$$

$$\text{よって} \quad x \leq \log_2 \frac{3 - \sqrt{5}}{2}, \quad \log_2 \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \leq x \quad \blacksquare$$

7 (1) $a_1 = \frac{1}{2}, \quad b_1 = 2$ および

$$(*) \quad \begin{cases} a_{n+1} = a_n + b_n \\ b_{n+1} = 2a_n + 1 \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定められた漸化式に $n = 1, 2$ を順次代入すると

$$\begin{aligned} a_2 &= a_1 + b_1 = \frac{1}{2} + 2 = \frac{5}{2}, & b_2 &= 2a_1 + 1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2, \\ a_3 &= a_2 + b_2 = \frac{5}{2} + 2 = \frac{9}{2}, & b_3 &= 2a_2 + 1 = 2 \cdot \frac{5}{2} + 1 = 6 \end{aligned}$$

(2) 与えられた等式

$$a_{n+1} + pb_{n+1} + q = r(a_n + pb_n + q) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

の左辺に (*) を代入すると

$$(1 + 2p)a_n + b_n + p + q = ra_n + rpb_n + rq$$

係数および定数項を比較すると

$$\begin{cases} 1 + 2p = r & \cdots \textcircled{1} \\ 1 = rp & \cdots \textcircled{2} \\ p + q = rq & \cdots \textcircled{3} \end{cases}$$

①, ② から, r を消去すると

$$1 = (1 + 2p)p \quad \text{ゆえに} \quad (p + 1)(2p - 1) = 0$$

① より $p = -1$ のとき $r = -1$, $p = \frac{1}{2}$ のとき $r = 2$

これらを ③ に代入して $(p, q, r) = \left(-1, \frac{1}{2}, -1\right), \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 2\right)$

(3) (2) の結果から

$$(**) \begin{cases} a_{n+1} - b_{n+1} + \frac{1}{2} = -\left(a_n - b_n + \frac{1}{2}\right) \\ a_{n+1} + \frac{1}{2}b_{n+1} + \frac{1}{2} = 2\left(a_n + \frac{1}{2}b_n + \frac{1}{2}\right) \end{cases}$$

したがって

$$\begin{aligned} a_n - b_n + \frac{1}{2} &= \left(a_1 - b_1 + \frac{1}{2}\right)(-1)^{n-1} \\ &= \left(\frac{1}{2} - 2 + \frac{1}{2}\right)(-1)^n, \\ a_n + \frac{1}{2}b_n + \frac{1}{2} &= \left(a_1 + \frac{1}{2}b_1 + \frac{1}{2}\right) \cdot 2^{n-1} \\ &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2}\right) \cdot 2^{n-1} = 2^n \end{aligned}$$

上の 2 式から

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2^{n+1}}{3} + \frac{(-1)^n}{3} - \frac{1}{2} \\ b_n &= \frac{2^{n+1}}{3} - \frac{2(-1)^n}{3} \end{aligned}$$

(4) $c_1 = \sqrt{2}$, $d_1 = 4$ および

$$\begin{cases} c_{n+1} = c_n d_n \\ d_{n+1} = 2c_n^2 \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定められた数列は, すべての n について, $c_n > 0$, $d_n > 0$ であることに注意して, 2 式の両辺を 2 を底とする対数をとると

$$\log_2 c_{n+1} = \log_2 c_n + \log_2 d_n, \quad \log_2 d_{n+1} = 2 \log_2 c_n + 1$$

$$\text{また } a_1 = \log_2 c_1 = \frac{1}{2}, \quad b_1 = \log_2 d_1 = 2$$

これから, $\log_2 c_n$, $\log_2 d_n$ が, それぞれ a_n , b_n と一致するから

$$\begin{aligned} \log_2 c_n^2 d_n &= 2 \log_2 c_n + \log_2 d_n \\ &= 2a_n + b_n \\ &= 2 \left\{ \frac{2^{n+1}}{3} + \frac{(-1)^n}{3} - \frac{1}{2} \right\} + \left\{ \frac{2^{n+1}}{3} - \frac{2(-1)^n}{3} \right\} \\ &= 2^{n+1} - 1 \end{aligned}$$

$$\text{よって } c_n^2 d_n = 2^{2^{n+1}-1}$$

■

8 (1) $f(x) = g(x) + 3 \int_0^x e^{t-x} f(t) dt$ より

$$f(x) = g(x) + 3e^{-x} \int_0^x e^t f(t) dt \quad (*)$$

これを微分すると

$$f'(x) = g'(x) - 3e^{-x} \int_0^x e^t f(t) dt + 3f(x) \quad (**)$$

(*) と (**) の辺々を加えて整理すると

$$f'(x) = 2f(x) + g'(x) \quad (\text{A})$$

これが $f'(x) = 2f(x) + h(x)$ と一致するから

$$h(x) = g(x) + g'(x)$$

(2) $e^{-2x} f(x)$ を微分し, (A) を代入すると

$$\begin{aligned} \{e^{-2x} f(x)\}' &= -2e^{-2x} f(x) + e^{-2x} f'(x) \\ &= -2e^{-2x} f(x) + e^{-2x} \{2f(x) + g(x) + g'(x)\} \\ &= e^{-2x} \{g(x) + g'(x)\} \end{aligned}$$

(3) $e^{-2x}f(x)$ が定数関数のとき, (2) の結果は 0 であるから

$$g(x) + g'(x) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad e^x g(x) + e^x g'(x) = 0$$

$\{e^x g(x)\}' = 0$ であるから, 定数 C_1 を用いて

$$e^x g(x) = C_1 \quad \text{ゆえに} \quad g(x) = C_1 e^{-x}$$

$g(0) = 1$ であるから $C_1 = 1$ よって $g(x) = e^{-x}$

$e^{-2x}f(x)$ が定数関数であるから, 定数 C_2 を用いて

$$e^{-2x}f(x) = C_2 \quad \text{ゆえに} \quad f(x) = C_2 e^{2x}$$

(*) に $x = 0$ を代入すると $f(0) = g(0) = 1$ ゆえに $C_2 = 1$

よって $f(x) = e^{2x}$

(4) (A) に $g(x) = x^2 + 1$ を代入することにより

$$f'(x) - 2f(x) = (x+1)^2 \quad \text{ゆえに} \quad \{e^{-2x}f(x)\}' = e^{-2x}(x+1)^2$$

積分定数 C を用いて

$$\begin{aligned} e^{-2x}f(x) &= \int e^{-2x}(x+1)^2 dx \\ &= -\frac{1}{2}e^{-2x} \left\{ (x+1)^2 + \frac{\{(x+1)^2\}'}{2} + \frac{\{(x+1)^2\}''}{2^2} \right\} + C \\ &= -\frac{1}{2}e^{-2x} \left(x^2 + 3x + \frac{5}{2} \right) + C \end{aligned}$$

したがって $f(x) = -\frac{x^2}{2} - \frac{3}{2}x - \frac{5}{4} + Ce^{2x}$

$f(0) = 1$ であるから $f(x) = -\frac{x^2}{2} - \frac{3}{2}x - \frac{5}{4} + \frac{9}{4}e^{2x}$

補足 ここでは, 次の積分公式を利用している⁶.

$$\begin{aligned} \int e^{px} f(x) dx &= \frac{e^{px}}{p} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} - \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C \\ \int e^{-px} f(x) dx &= -\frac{e^{-px}}{p} \left\{ f(x) + \frac{f'(x)}{p} + \frac{f''(x)}{p^2} + \frac{f'''(x)}{p^3} + \cdots \right\} + C \end{aligned}$$

⁶<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-math.2015-kouki.pdf> (p.7 を参照)

- 9 (1) $(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6) = (1, 2, 3, 4, 5, 10)$

補足 $A_1 = \{1, 9\}, A_2 = \{2, 8\}, A_3 = \{3, 7\}, A_4 = \{4, 6\}, A_5 = \{5\}, A_6 = \{10\}$ とすると, A_k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) から 1 つずつ取り出す場合である. 残りの A_3, A_4 から 1 つずつ選ぶ場合であるから, 全部で $2^2 = 4$ 通りある.

- (2) $A_1 = \{1, 9\}, A_2 = \{2, 8\}, A_3 = \{3, 7\}, A_4 = \{4, 6\}, A_5 = \{5\}, A_6 = \{10\}$ とする. 1 から 10 の 10 枚の札から 7 枚取り出すとき, A_1, A_2, A_3, A_4 の 4 組の同じ組から 2 枚取り出されるものが少なくとも 1 組存在する. したがって, $(**)$ が成立する.

- (3) $(**)$ を満たす組合せは A_1, A_2, A_3, A_4 の 4 通りある. A_k ($k = 1, 2, 3, 4$) の要素 2 枚とそれ以外の 8 枚から 1 枚選んだ 3 枚について, A_k の要素が必ず 3 回目に並ぶ場合が $2 \cdot 2! = 4$ 通りある. よって, 求める確率は

$$\frac{4 \cdot 8 \cdot 4}{{}_{10}P_3} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 4}{10 \cdot 9 \cdot 8} = \frac{8}{45}$$

- (4) $(**)$ を満たす組合せは A_1, A_2, A_3, A_4 の 4 通りある. A_k ($k = 1, 2, 3, 4$) の要素 2 枚とそれ以外の 8 枚から 2 枚選ぶとき, A_j ($j \neq k$) から 2 枚選ぶ場合を除いた

$${}_8C_2 - 3 = \frac{8 \cdot 7}{2 \cdot 1} - 3 = 25 \text{ (通り)}$$

これら 4 枚について, A_k の要素が必ず 4 回目に並ぶ場合が $2 \cdot 3! = 12$ 通りある. よって, 求める確率は

$$\frac{4 \cdot 25 \cdot 12}{{}_{10}P_4} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 12}{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7} = \frac{5}{21}$$



10 (1) p は5以上の素数であるから、 p は奇数、すなわち、 $p+1$ は偶数。

2数 $p, p+2$ ($p \geq 5$) が素数であるから、 p と $p+2$ はともに3で割り切れない。このとき、連続する3整数 $p, p+1, p+2$ のうち1つが3の倍数、すなわち、 $p+1$ が3の倍数である。ゆえに、 $p+1$ は偶数かつ3の倍数。よって、 $p+1$ は6の倍数である。

補足 $p \geq 5$ とする双子素数 $(p, p+2)$ について、その間の $p+1$ が6の倍数になることは、次からも分かる。5以上の整数を

$$6n-1, 6n, 6n+1, 6n+2, 6n+3, 6n+4 \quad (n=1, 2, \dots)$$

とおくと、 $6n, 6n+2 = 2(3n+1), 6n+3 = 3(2n+1), 6n+4 = 2(3n+2)$ であるから、2整数

$$(p, p+2) = (6n-1, 6n+1)$$

が双子素数であるための必要条件である。

よって、 $(p, p+2)$ が双子素数のとき、 $p+1 = 6n$ は6の倍数である。

一般に、5以上の整数 N について、 $N \equiv \pm 1 \pmod{6}$ は N が素数であるための必要条件である。エラトステネスの^{ふるい}篩(素数判定)で数字を書き並べるとき、1列に6個ずつ数字を並べると、素数の配列が分かりやすい。双子素数は無数に存在するかという問題、いわゆる「双子素数の予想」や「双子素数の問題」は、いまだに数学上の未解決問題である。無数に存在するだろうと、多くの数論学者が予想している。

(2) すべての位の数字が1である k 桁の数 $\overbrace{11 \cdots 1}^{k \text{ 個}}$ を N とすると

$$N = 2^{k-1} + 2^{k-2} + \cdots + 2 + 1 = 2^k - 1$$

k が素数でない、すなわち、 $k = pq$ (p, q は2以上の整数) とすると

$$N = 2^{pq} - 1 = (2^p)^q - 1 = (2^p - 1)\{2^{p(q-1)} + 2^{p(q-2)} + \cdots + 2^p + 1\}$$

このとき、 $2^p - 1 \geq 3$ 、 $2^{p(q-1)} + 2^{p(q-2)} + \cdots + 2^p + 1 \geq 2^p + 1 \geq 5$

したがって k が素数でない $\implies N$ は素数ではない

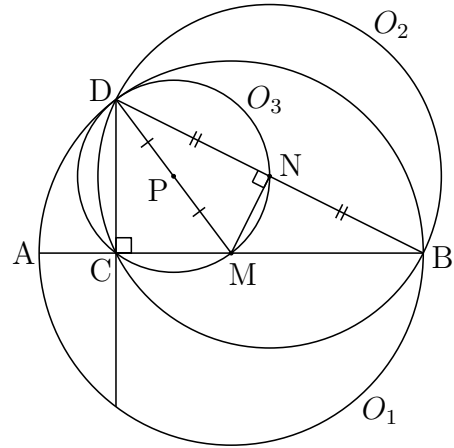
よって N が素数 $\implies k$ は素数 ■

- 11** (1) C は線分 AB を $t : (1-t)$ に内分する点であるから ($0 < t < 1$)

$$AC = 2t \quad \text{ゆえに} \quad CM = |1 - 2t|$$

したがって

$$\begin{aligned} CD &= \sqrt{MD^2 - CM^2} \\ &= \sqrt{1^2 - (1 - 2t)^2} \\ &= 2\sqrt{t(1-t)} \end{aligned}$$



- (2) $\angle BCD = 90^\circ$ であるから, O_2 は BD を直径とする円.

$BC = AB - AC = 2 - 2t$ および (1) の結果から, O_2 の半径を R_2 とすると

$$(2R_2)^2 = BC^2 + CD^2 \quad \text{ゆえに} \quad R_2^2 = (1-t)^2 + t(1-t) = 1-t$$

$$\text{したがって} \quad R_2 = \sqrt{1-t}$$

N は BD の中点で $\triangle BMN \equiv \triangle DMN$ より $\angle MND = 90^\circ$

O_3 は DM を直径とする円で, その半径を R_3 とすると $R_3 = \frac{1}{2}$

$$R_2 = R_3 \text{ より } \sqrt{1-t} = \frac{1}{2} \quad \text{これを解いて} \quad t = \frac{3}{4}$$

- (3) 直角三角形 MND において, $MD = 1$, $DN = R_2 = \sqrt{1-t}$ より

$$MN = \sqrt{MD^2 - DN^2} = \sqrt{t}$$

$$\text{したがって} \quad \triangle MNP = \frac{1}{2} \triangle MND = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} MN \cdot DN = \frac{1}{4} \sqrt{t(1-t)}$$

$$0 < t < 1 \text{ において } t(1-t) = -\left(t - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} \leq \frac{1}{4}$$

$$\text{よって, } \triangle MNP \text{ の面積が最大となるとき } t = \frac{1}{2}$$

- (4) 4点 B, M, P, N が同一円周上にあるから, 方べきの定理により

$$DP \cdot DM = DN \cdot DB$$

$$DP = \frac{1}{2}, \quad DM = 1, \quad DN = R_2, \quad DB = 2R_2 \text{ を代入して}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 1 = 2R_2^2 \quad \text{ゆえに} \quad R_2^2 = \frac{1}{4}$$

$$\text{したがって} \quad 1-t = \frac{1}{4} \quad \text{よって} \quad t = \frac{3}{4}$$



12 (1) 与えられた等式

$$\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta + \sin^2(\alpha + \beta) = 2 - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta)$$

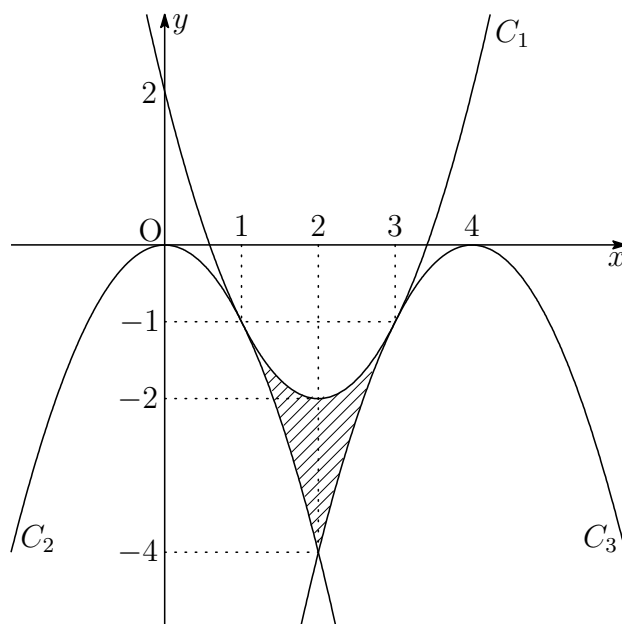
の左辺を変形すると

$$\begin{aligned} (\text{左辺}) &= \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha) + \frac{1}{2}(1 - \cos 2\beta) + 1 - \cos^2(\alpha + \beta) \\ &= 2 - \frac{1}{2}(\cos 2\alpha + \cos 2\beta) - \cos^2(\alpha + \beta) \\ &= 2 - \cos(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta) - \cos^2(\alpha + \beta) \\ &= 2 - \{\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)\} \cos(\alpha + \beta) \\ &= 2 - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta) = (\text{右辺}) \end{aligned}$$

(2) **10** (1) を参照.

(3) 下の図の斜線部分は、直線 $x = 2$ に関して対称であるから、求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= 2 \int_1^2 \{x^2 - 4x + 2 - (-x^2)\} dx = 4 \int_1^2 (x - 1)^2 dx \\ &= \frac{4}{3} \left[(x - 1)^3 \right]_1^2 = \frac{4}{3} \end{aligned}$$



8.9 2023 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 医学部 [3] [4] [5] [6] [7] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 教育文化(中学数学)学部 [4] [8] [9] 必答, [10] [11] から 1 問選択.
数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (90 分)
- 教育文化(中学[社会, 理科, 技術, 家庭], 初等教育, 特別支援, 社会システム)学部・農学部 [5] [9] [12] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (90 分)

[1] 次の空欄を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 関数 $f(x) = \cos \sqrt{x+1}$ の導関数は, $f'(x) =$ [あ] である.

(2) 関数 $f(x) = \frac{x^2}{\log x}$ の導関数は, $f'(x) =$ [い] である.

(3) 関数 $f(x) = \frac{x}{\sqrt{2x+1}}$ の不定積分は, $\int f(x) dx =$ [う] $+ C$ である.
ただし, C は積分定数とする.

(4) 関数 $f(x) = \frac{\sin x}{1 - \cos^2 x}$ の不定積分は, $\int f(x) dx = \frac{1}{2} \log$ [え] $+ C$ である. ただし, C は積分定数とする.

(5) 定積分 $\int_{-2}^0 \log(x+3) dx$ の値は, [お] である.

[2] 関数 $f(x) = \frac{x}{1+x^2}$ および座標平面上の原点 O を通る曲線 $C: y = f(x)$ について, 次の各問に答えよ.

- (1) $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ および第 2 次導関数 $f''(x)$ を求めよ.
- (2) 直線 $y = ax$ が曲線 C に O で接するときの定数 a の値を求めよ. また, このとき, $x > 0$ において, $ax > f(x)$ が成り立つことを示せ.
- (3) 関数 $f(x)$ の増減, 極値, 曲線 C の凹凸, 変曲点および漸近線を調べて, 曲線 C の概形をかけ.
- (4) (2) で求めた a の値に対し, 曲線 C と直線 $y = ax$ および直線 $x = \sqrt{3}$ で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

- 3** 空間に四面体 $OABC$ があり, $OA = \frac{1}{\sqrt{3}}$, $OB = 2$, $OC = \sqrt{2}$, $\angle AOB = 60^\circ$, $\angle BOC = \angle COA = 45^\circ$ とする. 点 B から直線 OA におろした垂線の足を D とし, 点 C から平面 OAB におろした垂線の足を E とする. また, 点 F を, $\overrightarrow{OF} = \overrightarrow{DB}$ となるように定める. このとき, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{f} = \overrightarrow{OF}$ として, 次の各問に答えよ.

- (1) $\vec{a} \cdot \vec{b}$, $\vec{b} \cdot \vec{c}$, $\vec{c} \cdot \vec{a}$ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) $\overrightarrow{DB}$ を, $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ. また, $|\overrightarrow{DB}|$ の値も求めよ.
- (3) $\overrightarrow{CE}$ を, $\vec{a}$, $\vec{c}$, $\vec{f}$ を用いて表せ.
- (4) 四面体 $OACF$ の体積を求めよ.

- 4** 表に A , 裏に B と書かれたコインがある. このコインを n 回投げる試行を行い, A が出た回数と同じ枚数のイヌの絵はがき, B が出た回数と同じ枚数のネコの絵はがきを貰えるとする. 例えば, $n = 3$ のとき, ABA と出たら, イヌの絵はがきを 2 枚, ネコの絵はがきを 1 枚貰える. このとき, 次の各問に答えよ. ただし, 使用するコインは, 表, 裏がそれぞれ $\frac{1}{2}$ の確率で出るものとする.

- (1) $n = 3$ のとき, イヌの絵はがきを 2 枚以上貰える確率を求めよ.
- (2) $n = 3$ のとき, イヌとネコのどちらかの絵はがきも貰える確率を求めよ.
- (3) $n \geq 3$ のとき, A が連続して 3 回以上出たら, 貰えるイヌやネコの絵はがきに追加してウシの絵はがきも貰えることにする. $n = 6$ のとき, イヌ, ネコ, ウシのいずれの絵はがきも貰える確率を求めよ.

- 5** 座標平面上に 2 点 $A(-1, 0)$, $B(1, 0)$ がある. また, 点 $P(x, y)$ が $x > 1$, $y > 0$ を満たしながら座標平面上を動くとする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $\tan \frac{\pi}{12}$ の値を求めよ.
- (2) $\tan \angle APB$ を, x と y を用いて表せ.
- (3) 点 P が $x > 1$, $y > 0$, $\angle APB \leq \frac{\pi}{12}$ を満たしながらくまなく動くとき, 点 P の動きうる領域を座標平面上に図示せよ.

- 6 自然数 $k = 1, 2, 3, \dots$ と $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して, $\theta_k(n)$ を, $\theta_k(n) = \left(1 - \frac{k}{n}\right) \frac{\pi}{2}$ で定め, 座標平面上の円 C_n と直線 $L_{k,n}$ をそれぞれ,

$$C_k : x^2 + y^2 = \frac{1}{n^2}, \quad L_{k,n} : x \sin \theta_k(n) - y \cos \theta_k(n) = 0$$

とする. C_n と $L_{k,n}$ との 2 つの交点のうち, x 座標が大きい方の交点の x 座標を $x_k(n)$ とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $n \geq k$ のときの $x_k(n)$ を求めよ.
 (2) 次の空欄に当てはまる数または数式を求めよ.

自然数 m に対して, $A_t(m)$ ($t = 0, 1, 2, \dots$) を,

$$A_t(m) = \sum_{k=1}^m x_k(k+t)$$

とし, B_N ($N = 1, 2, 3, \dots$) を,

$$B_N = \sum_{t=0}^{N-1} A_t(N-t)$$

とする. このとき, $A_1(1) = \frac{\boxed{\text{あ}}}{4}$, $A_2(1) = \frac{\boxed{\text{い}}}{6}$ となる.

また, $B_2 - B_1 = \frac{\boxed{\text{う}}}{4}$, $B_3 - B_2 = \frac{\boxed{\text{え}}}{6}$ となる.

さらに, $N = 2, 3, 4, \dots$ に対して,

$$B_N - B_{N-1} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \boxed{\text{お}}$$

となる.

- (3) (2) で定めた B_N ($N = 1, 2, 3, \dots$) について, $\lim_{N \rightarrow \infty} (B_N - B_{N-1})$ の値を求めよ.

7 次の各問に答えよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

- (1) $a > 1$ を満たす定数 a と, 区間 $\frac{1}{a} \leq x \leq a$ において連続な関数 $f(x)$ に対して, 等式

$$\int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f\left(\frac{1}{x}\right)}{1+x^2} dx$$

が成り立つことを示せ.

- (2) 定積分 $I = \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{1+x}{x(1+x^2)} dx$ の値を求めよ.
- (3) 関数 $g(x) = \frac{\log x}{1+x^2}$ は, 区間 $0 < x \leq \sqrt{e}$ においてつねに増加することを示せ.
- (4) (3) の関数 $g(x)$ に対して, $y = g(x)$ ($x > 0$) のグラフを C とする. 曲線 C と x 軸および直線 $x = \frac{1}{\sqrt{e}}$ で囲まれた部分の面積を S_1 とし, 曲線 C と x 軸および直線 $x = \sqrt{e}$ で囲まれた部分の面積を S_2 とする. このとき, S_1 と S_2 は等しいことを示せ.

8 次の各問に答えよ.

(1) $a = 2023$, $b = 1742$ とする. このとき,

$$\frac{1}{ab} = \frac{m}{a} + \frac{n}{b}$$

となる整数の組 (m, n) で, $1 \leq n \leq 2000$ を満たすものをすべて求めよ.

(2) p を 3 以上の素数とする. このとき

$$(p-1)! \times \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{p-1}\right)$$

は p の倍数であることを示せ.

9 座標平面上に放物線 $C_1: y = x^2 - 6x + 2$, $C_2: y = -x^2 + 10x - 22$ がある. このとき, 次の各問に答えよ.

(1) C_1 と C_2 の交点の座標を求めよ.

(2) P を C_1 上の点とし, P の x 座標を t とするとき, P における C_1 の接線 ℓ の方程式を, t を用いて表せ.

(3) (2) の ℓ が C_1 と C_2 の交点を通る直線に平行なとき, ℓ と C_2 の交点の x 座標を求めよ.

(4) (3) のとき, C_1 と ℓ および 2 直線 $x = 2$, $x = 6$ で囲まれた 2 つの部分の面積の和を求めよ.

10 関数 $f(x) = \sqrt{3}\sin x + \cos(ax)$ について、次の各問に答えよ.

- (1) $a = 1$ のとき, $0 \leq x \leq 2\pi$ における $y = f(x)$ のグラフをかけ. また, $f(x)$ の最大値と最小値を求めよ.
- (2) $a = \pi$ のとき, $f(x)$ は周期関数でないことを示せ. ただし, π は無理数であることを用いてよい.

11 複素数平面上の原点 O を中心とする半径 1 の円周を C とする. C 上に異なる 2 点 $P_1(z_1)$, $P_2(z_2)$ をとり, C 上にない 1 点 $P_3(z_3)$ をとる. さらに,

$$w_1 = \frac{1}{z_1}, \quad w_2 = \frac{1}{z_2}, \quad w_3 = \frac{1}{z_3}$$

とおき, 複素数 w_1, w_2, w_3 と対応する点をそれぞれ Q_1, Q_2, Q_3 とする. また, i を虚数単位とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $z_1 = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2}$, $z_2 = \frac{-\sqrt{3} + i}{2}$, $z_3 = \frac{z_1 + z_2}{2}$ のとき, w_1, w_2, w_3 をそれぞれ $a + bi$ (a, b は実数) の形で求めよ.
- (2) $\angle P_1OP_2$ が直角であるとき, P_3 が線分 P_1P_2 上にあれば, $\angle Q_1Q_3Q_2$ も直角であることを示せ.

12 次の各問に答えよ.

- (1) 方程式 $a^2 = b^2 + 15$ を満たす自然数の組 (a, b) をすべて求めよ.
- (2) k を定数とする. 連立方程式

$$(*) \begin{cases} x^2 - 4y + k = 0 \\ y^2 - 2x + k + 18 = 0 \end{cases}$$

が自然数解 $x = x_0, y = y_0$ をもつとき, 自然数の組 (x_0, y_0) および k の値を求めよ.

- (3) (2) で求めた k に対し, 連立方程式 $(*)$ の (x_0, y_0) 以外の解をすべて求めよ.

解答例

1 (1) $f(x) = \cos \sqrt{x+1}$ を微分すると

$$f'(x) = -(\sqrt{x+1})' \sin \sqrt{x+1} = -\frac{\sin \sqrt{x+1}}{2\sqrt{x+1}}$$

(あ) $-\frac{\sin \sqrt{x+1}}{2\sqrt{x+1}}$

(2) $f(x) = \frac{x^2}{\log x}$ を微分すると

$$f'(x) = \frac{(x^2)' \log x - x^2 (\log x)'}{(\log x)^2} = \frac{2x \log x - x^2 \cdot \frac{1}{x}}{(\log x)^2} = \frac{x(2 \log x - 1)}{(\log x)^2}$$

(い) $\frac{x(2 \log x - 1)}{(\log x)^2}$

(3) $f(x) = \frac{x}{\sqrt{2x+1}} = \frac{1}{2} \sqrt{2x+1} - \frac{1}{2\sqrt{2x+1}}$ より

$$\int f(x) dx = \frac{1}{6} (2x+1)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2} (2x+1)^{\frac{1}{2}} + C = \frac{1}{3} (x-1) \sqrt{2x+1} + C$$

(う) $\frac{1}{3} (x-1) \sqrt{2x+1}$

(4) $f(x) = \frac{\sin x}{1 - \cos^2 x} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin x}{1 - \cos x} + \frac{\sin x}{1 + \cos x} \right)$ より

$$\int f(x) dx = \frac{1}{2} \{ \log(1 - \cos x) - \log(1 + \cos x) \} + C = \frac{1}{2} \log \frac{1 - \cos x}{1 + \cos x} + C$$

(え) $\frac{1}{2} \log \frac{1 - \cos x}{1 + \cos x}$

(5) $\int_{-2}^0 \log(x+3) dx = \left[(x+3) \log(x+3) - x \right]_{-2}^0 = 3 \log 3 - 2$

(お) $3 \log 3 - 2$



2 (1) $f(x) = \frac{x}{1+x^2}$ より

$$f'(x) = \frac{1 \cdot (1+x^2) - x \cdot 2x}{(1+x^2)^2} = \frac{1-x^2}{(1+x^2)^2}$$

$$f''(x) = \frac{-2x \cdot (1+x^2)^2 - (1-x^2) \cdot 2 \cdot 2x(1+x^2)}{(1+x^2)^4} = \frac{2x(x^2-3)}{(1+x^2)^3}$$

(2) $a = f'(0)$ より $a = 1$

$$x > 0 \text{ のとき } ax - f(x) = x - \frac{x}{1+x^2} = \frac{x^3}{1+x^2} > 0$$

$$\text{よって, } x > 0 \text{ において } ax > f(x)$$

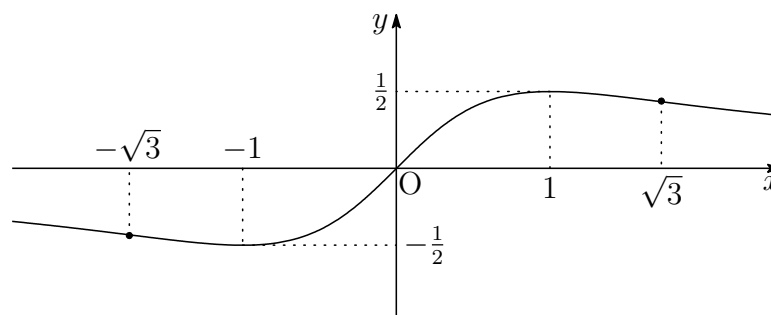
(3) $f(x)$ の増減やグラフの凹凸は、次の表のようになる.

x	...	$-\sqrt{3}$	...	-1	...	0	...	1	...	$\sqrt{3}$	...
$f'(x)$	-	-	-	0	+	+	+	0	-	-	-
$f''(x)$	-	0	+	+	+	0	-	-	-	0	+
$f(x)$	$\searrow$	変曲点	$\searrow$	極小	$\nearrow$	変曲点	$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \text{漸近線は } x \text{ 軸}$$

$$\text{極大値 } f(1) = \frac{1}{2}, \quad \text{極小値 } f(-1) = -\frac{1}{2}$$

$$\text{変曲点は } (0, 0), \left(\pm\sqrt{3}, \pm\frac{\sqrt{3}}{4} \right) \quad (\text{複号同順})$$



(4) 求める面積 S は

$$S = \int_0^{\sqrt{3}} \left(x - \frac{x}{1+x^2} \right) dx = \left[\frac{x^2}{2} - \frac{1}{2} \log(1+x^2) \right]_0^{\sqrt{3}} = \frac{3}{2} - \log 2$$

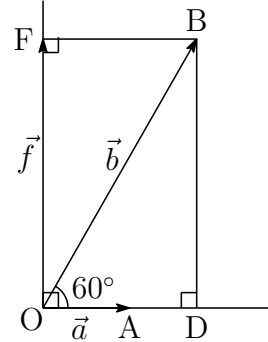
■

$$\begin{aligned} \text{[3]} \quad (1) \quad \vec{a} \cdot \vec{b} &= |\vec{a}| |\vec{b}| \cos 60^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \vec{b} \cdot \vec{c} &= |\vec{b}| |\vec{c}| \cos 45^\circ = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 2 \\ \vec{c} \cdot \vec{a} &= |\vec{c}| |\vec{a}| \cos 45^\circ = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$(2) \quad |\vec{a}| = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \vec{b} \cdot \vec{a} = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OD} &= \frac{(\vec{b} \cdot \vec{a})}{|\vec{a}|^2} \vec{a} = \sqrt{3} \vec{a}, \\ \overrightarrow{DB} &= \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OD} = \vec{b} - \sqrt{3} \vec{a} \end{aligned}$$

$$\text{また} \quad |\overrightarrow{DB}| = OB \sin 60^\circ = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}$$



$$\begin{aligned} (3) \quad \vec{f} &= \overrightarrow{OF} = \overrightarrow{DB} = \vec{b} - \sqrt{3} \vec{a}, \quad |\vec{f}| = |\overrightarrow{DB}| = \sqrt{3} \\ \vec{c} \cdot \vec{f} &= \vec{c} \cdot (\vec{b} - \sqrt{3} \vec{a}) = \vec{b} \cdot \vec{c} - \sqrt{3} \vec{c} \cdot \vec{a} = 2 - \sqrt{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 1 \text{ より} \end{aligned}$$

$$\overrightarrow{OE} = \frac{(\vec{c} \cdot \vec{a})}{|\vec{a}|^2} \vec{a} + \frac{(\vec{c} \cdot \vec{f})}{|\vec{f}|^2} \vec{f} = \sqrt{3} \vec{a} + \frac{1}{3} \vec{f}$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{CE} = \overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OC} = \sqrt{3} \vec{a} + \frac{1}{3} \vec{f} - \vec{c}$$

$$(4) \quad \vec{a} \perp \vec{f} \text{ および } \angle OEC = 90^\circ \text{ に注意すると}$$

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{OE}|^2 &= 3|\vec{a}|^2 + \frac{1}{9}|\vec{f}|^2 = 3 \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{9} \cdot 3 = \frac{4}{3}, \\ |\overrightarrow{CE}|^2 &= |\overrightarrow{OC}|^2 - |\overrightarrow{OE}|^2 = 2 - \frac{4}{3} = \frac{2}{3}, \\ \triangle OAF &= \frac{1}{2} OA \cdot OF = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{3} = \frac{1}{2}, \quad |\overrightarrow{CE}| = \sqrt{\frac{2}{3}} \end{aligned}$$

$$\text{求める体積を } V \text{ とすると} \quad V = \frac{1}{3} \triangle OAF |\overrightarrow{CE}| = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{\sqrt{6}}{18}$$



- 4 (1) 3回のうち、Aが2回または3回出る確率であるから

$${}_3C_2 \left(\frac{1}{2}\right)^3 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{2}$$

- (2) 3回のうち、Aが3回またはBが3回出る確率は

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{4}$$

求める確率はこの余事象の確率であるから

$$1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

- (3) (i) Aが連続して丁度3回出る場合の数は(*はAまたはBを表す)

$$2^2 + 2 + 2 + 2^2 = 12 \text{ (通り)}$$

3	B	*	*
B	3	B	*
*	B	3	B
*	*	B	3

- (ii) Aが連続して丁度4回出る場合の数は

$$2 + 1 + 2 = 5 \text{ (通り)}$$

4	B	*
B	4	B
*	B	4

- (iii) Aが連続して丁度5回出る場合の数は

$$1 + 1 = 2 \text{ (通り)}$$

5	B
B	5

(i)~(iii) より、求める確率は $\frac{12 + 5 + 2}{2^6} = \frac{19}{64}$



$$\boxed{5} \quad (1) \quad \tan \frac{\pi}{12} = \tan \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{4} \right) = \frac{\tan \frac{\pi}{3} - \tan \frac{\pi}{4}}{1 + \tan \frac{\pi}{3} \tan \frac{\pi}{4}} = \frac{\sqrt{3} - 1}{1 + \sqrt{3} \cdot 1} = 2 - \sqrt{3}$$

(2) 直線 AP, BP の偏角をそれぞれ α, β とすると $\left(0 < \alpha < \beta < \frac{\pi}{2}\right)$

$$\tan \alpha = \frac{y - 0}{x - (-1)} = \frac{y}{x + 1}, \quad \tan \beta = \frac{y - 0}{x - 1} = \frac{y}{x - 1},$$

$$\begin{aligned} \tan \angle APB &= \tan(\beta - \alpha) = \frac{\tan \beta - \tan \alpha}{1 + \tan \beta \tan \alpha} \\ &= \frac{\frac{y}{x - 1} - \frac{y}{x + 1}}{1 + \frac{y}{x - 1} \cdot \frac{y}{x + 1}} = \frac{2y}{x^2 + y^2 - 1} \end{aligned}$$

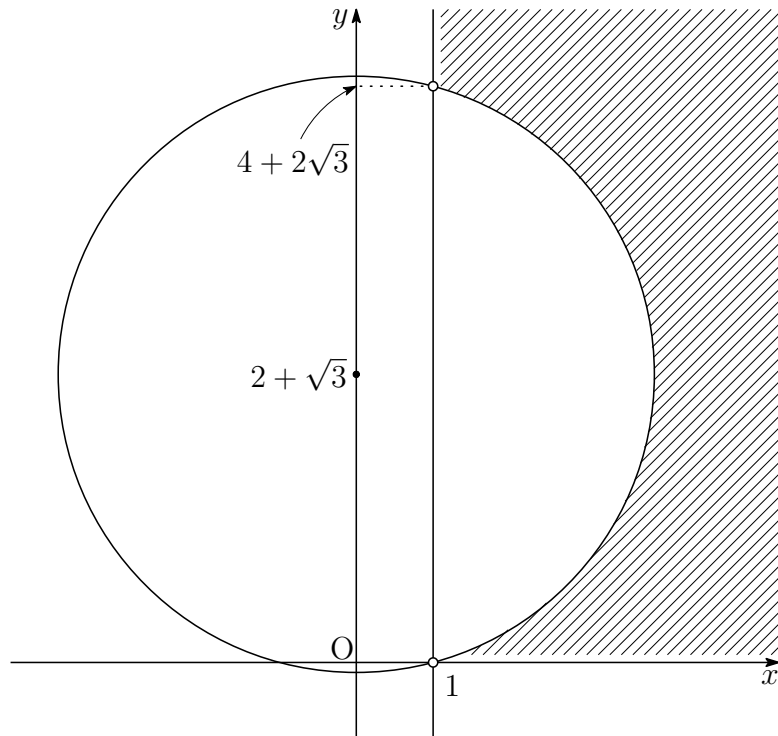
(3) $0 < \angle APB \leq \frac{\pi}{12}$ であるから, $\tan \angle APB \leq \tan \frac{\pi}{12}$ より

$$0 < \frac{2y}{x^2 + y^2 - 1} \leq 2 - \sqrt{3}$$

$$x > 1, y > 0 \text{ より } x^2 + y^2 - 1 \geq 2(2 + \sqrt{3})y$$

$$x > 1, y > 0, x^2 + (y - 2 - \sqrt{3})^2 \geq (\sqrt{6} + \sqrt{2})^2$$

求める領域は, 下の図の斜線部分で, 境界は円周上は含むが, 直線 $x = 1$, x 軸, $\circ$ は含まない.



- 6** (1) 等式 $\{x \sin \theta_k(n) - y \cos \theta_k(n)\}^2 + \{x \cos \theta_k(n) + y \sin \theta_k(n)\}^2 = x^2 + y^2$ に C_n および $L_{k,n}$ の方程式を代入すると

$$x \cos \theta_k(n) + y \sin \theta_k(n) = \pm \frac{1}{n}$$

上式と $L_{k,n} : x \sin \theta_k(n) - y \cos \theta_k(n) = 0$ から

$$x = \pm \frac{1}{n} \cos \theta_k(n) = \pm \frac{1}{n} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \frac{k\pi}{2n} \right) = \pm \frac{1}{n} \sin \frac{k\pi}{2n}$$

$$1 \leq k \leq n \text{ より } \quad \mathbf{x}_k(n) = \frac{1}{n} \sin \frac{k\pi}{2n}$$

- (2) $A_t(m) = \sum_{k=1}^m x_k(k+t)$ に (1) の結果を適用すると

$$A_t(1) = x_1(1+t) = \frac{1}{1+t} \sin \frac{\pi}{2(1+t)}$$

$$\text{よって } A_1(1) = \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{4}, \quad A_2(1) = \frac{1}{3} \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{6}$$

$$\begin{aligned} B_N &= \sum_{t=0}^{N-1} A_t(N-k) = \sum_{t=0}^{N-1} \sum_{k=1}^{N-t} x_k(k+t) \\ &= \sum_{t=0}^{N-2} \sum_{k=1}^{N-t} x_k(k+t) + x_1(N) \\ &= \sum_{t=0}^{N-2} \left\{ \sum_{k=1}^{N-1-t} x_k(k+t) + x_{N-t}(N) \right\} + x_1(N) \\ &= \sum_{t=0}^{N-2} \sum_{k=1}^{N-1-t} x_k(k+t) + \sum_{t=0}^{N-2} x_{N-t}(N) + x_1(N) \\ &= B_{N-1} + \sum_{t=1}^N x_t(N) \end{aligned}$$

$$N = 2, 3, 4, \dots \text{ に対して } B_N - B_{N-1} = \sum_{k=1}^N x_k(N) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sin \frac{k\pi}{2N}$$

$$B_2 - B_1 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 \sin \frac{k\pi}{4} = \frac{2 + \sqrt{2}}{4}, \quad B_3 - B_2 = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \sin \frac{k\pi}{6} = \frac{3 + \sqrt{3}}{6}$$

$$(3) \lim_{N \rightarrow \infty} (B_N - B_{N-1}) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sin \frac{k\pi}{2N} = \int_0^1 \sin \frac{\pi x}{2} dx = \frac{2}{\pi} \quad \blacksquare$$

7 (1) $x = \frac{1}{t}$ とおくと $\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{t^2}$

x	$\frac{1}{a} \longrightarrow a$
t	$a \longrightarrow \frac{1}{a}$

$$\begin{aligned} \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx &= \int_a^{\frac{1}{a}} \frac{f\left(\frac{1}{t}\right)}{1+\left(\frac{1}{t}\right)^2} \left(-\frac{1}{t^2}\right) dt \\ &= - \int_a^{\frac{1}{a}} \frac{f\left(\frac{1}{t}\right)}{1+t^2} dt = \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f\left(\frac{1}{x}\right)}{1+x^2} dx \end{aligned}$$

(2) $f(x) = \frac{1+x}{x}$ とすると, $f\left(\frac{1}{x}\right) = 1+x$ であるから, (1) の結論より

$$\begin{aligned} I &= \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{1+x}{x(1+x^2)} dx = \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{1+x}{1+x^2} dx \\ &= \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{1}{1+x^2} dx + \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{x}{1+x^2} dx \end{aligned}$$

ここで, $x = \tan \theta$ とおくと, $\frac{dx}{1+x^2} = d\theta$

x	$\frac{1}{\sqrt{3}} \longrightarrow \sqrt{3}$
t	$\frac{\pi}{6} \longrightarrow \frac{\pi}{3}$

$$\begin{aligned} I &= \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} d\theta + \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} \frac{(1+x^2)'}{1+x^2} dx \\ &= \left[\theta \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}} + \frac{1}{2} \left[\log(1+x^2) \right]_{\frac{1}{\sqrt{3}}}^{\sqrt{3}} = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \log 3 \end{aligned}$$

(3) $g(x) = \frac{\log x}{1+x^2}$ を微分すると

$$g'(x) = \frac{\frac{1}{x} \cdot (1+x^2) - (\log x) \cdot 2x}{(1+x^2)^2} = \frac{x \left(\frac{1}{x^2} + 1 - 2 \log x \right)}{(1+x^2)^2}$$

$$h(x) = \frac{1}{x^2} + 1 - 2 \log x \text{ とすると } g'(x) = \frac{xh(x)}{(1+x^2)^2}$$

$$h'(x) = -\frac{2}{x^3} - \frac{2}{x} < 0, \quad h(\sqrt{e}) = \frac{1}{e}$$

$h(x)$ は単調減少であるから, 区間 $0 < x \leq \sqrt{e}$ において

$$h(x) \geq h(\sqrt{e}) = \frac{1}{e} > 0 \quad \text{すなわち} \quad g'(x) > 0$$

よって, 区間 $0 < x \leq \sqrt{e}$ において, $g(x)$ はつねに増加する.

(4) $a = \sqrt{e}$, $f(x) = \log x$ とおくと

$$S_1 = - \int_{\frac{1}{a}}^1 \frac{f(x)}{1+x^2} dx, \quad S_2 = \int_1^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx,$$

$$-S_1 + S_2 = \int_{\frac{1}{a}}^1 \frac{f(x)}{1+x^2} dx + \int_1^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx \quad (*)$$

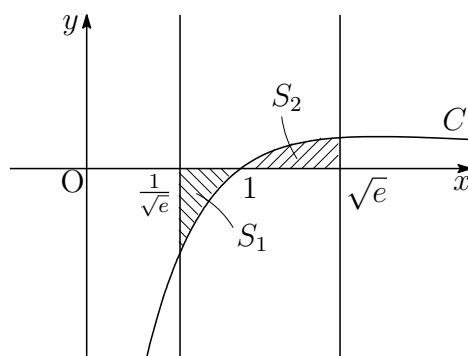
$$f(x) = -f\left(\frac{1}{x}\right) \text{ であるから } \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = - \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f\left(\frac{1}{x}\right)}{1+x^2} dx$$

$$(1) \text{ の結論から } \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f\left(\frac{1}{x}\right)}{1+x^2} dx$$

上の2式の辺々を加えると

$$2 \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \int_{\frac{1}{a}}^a \frac{f(x)}{1+x^2} dx = 0$$

$$(*) \text{ より } -S_1 + S_2 = 0 \quad \text{よって} \quad S_1 = S_2$$



8 (1) ユークリッドの互除法により

$$\begin{array}{r} 5 \quad 6 \quad 1 \\ 56 \overline{) 281 \, 1742 \, 2023} \\ \underline{280 \, 1686 \, 1742} \\ 1 \quad 56 \quad 281 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5 \quad 6 \quad 1 \\ d \overline{) \, c \,) \, b \,) \, a} \\ \hline 1 \quad d \quad c \end{array}$$

$c = 281$, $d = 56$ とおくと

$$\begin{cases} a = b + c \\ b = 6c + d \\ c = 5d + 1 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad (*) \quad \begin{cases} c = a - b \\ d = b - 6c \\ 1 = c - 5d \end{cases}$$

(*) の 3 式から c , d を消去すると

$$1 = c - 5(b - 6c) = -5b + 31c = -5b + 31(a - b) = 31a - 36b$$

$$\text{したがって} \quad \frac{1}{ab} = \frac{31a - 36b}{ab} = \frac{-36}{a} + \frac{31}{b} = \frac{m}{a} + \frac{n}{b}$$

$$\frac{m+36}{a} = \frac{31-n}{b} \quad \text{ゆえに} \quad b(m+36) = a(31-n)$$

a , b は互いに素であるから, 整数 k を用いて

$$\begin{cases} m+36 = ak \\ 31-n = bk \end{cases} \quad \text{すなわち} \quad \begin{cases} m = -36 + 2023k \\ n = 31 - 1742k \end{cases}$$

$1 \leq n \leq 2000$ を満たす整数 k は $k = 0, -1$

よって, 求める整数の組 (m, n) は

$$(m, n) = (-36, 31), (-2059, 1773)$$

(2) p は 3 以上の素数 (奇素数) であるから, $\frac{p-1}{2}$ は整数より

$$\begin{aligned} & (p-1)! \times \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{p-1}\right) \\ &= (p-1)! \sum_{k=1}^{\frac{p-1}{2}} \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{p-k}\right) = p \sum_{k=1}^{\frac{p-1}{2}} \frac{(p-1)!}{k(p-k)} \end{aligned} \quad (*)$$

$(p-1)!$ は k , $p-k$ を因数にもつから, $\frac{(p-1)!}{k(p-k)}$ は整数である.

よって, (*) は p の倍数である. ■

- 9 (1) $C_1: y = x^2 - 6x + 2$, $C_2: y = -x^2 + 10x - 22$ から y を消去すると

$$x^2 - 6x + 2 = -x^2 + 10x - 22 \quad \text{ゆえに} \quad (x-2)(x-6) = 0$$

$$x = 2 \text{ のとき } y = -6, \quad x = 6 \text{ のとき } y = 2 \quad \text{よって} \quad (2, -6), (6, 2)$$

- (2) $f(x) = x^2 - 6x + 2$ とおくと $f'(x) = 2x - 6$

$C_1: y = f(x)$ 上の点 $P(t, f(t))$ における接線 ℓ の方程式は

$$y - f(t) = f'(t)(x - t) \quad \text{ゆえに} \quad y - (t^2 - 6t + 2) = (2t - 6)(x - t)$$

$$\text{よって} \quad \ell: y = (2t - 6)x - t^2 + 2$$

- (3) (1) で求めた 2 点を通る直線が ℓ と平行であるから

$$f'(t) = \frac{2 - (-6)}{6 - 2} \quad \text{ゆえに} \quad 2t - 6 = 2 \quad \text{すなわち} \quad t = 4$$

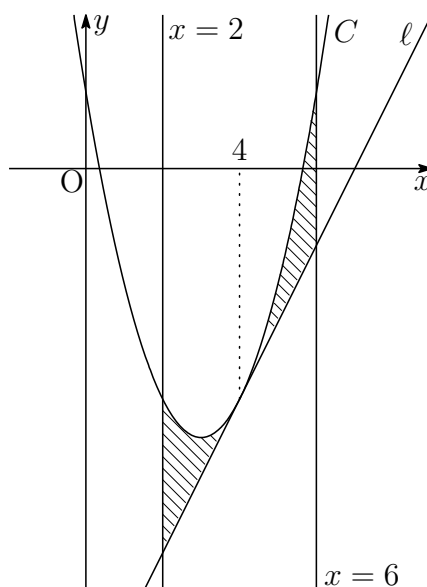
このとき, ℓ の方程式は $\ell: y = 2x - 14$

ℓ と C_2 の方程式から y を消去すると

$$2x - 14 = -x^2 + 10x - 22 \quad \text{これを解いて} \quad x = 4 \pm 2\sqrt{2}$$

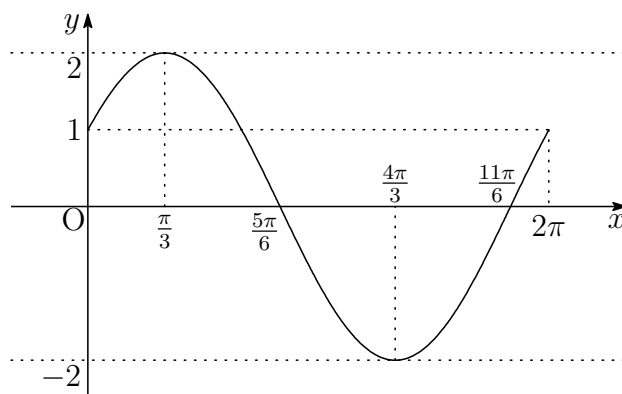
- (4) 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_2^6 \{(x^2 - 6x + 2) - (2x - 14)\} dx \\ &= \int_2^6 (x - 4)^2 dx = \left[\frac{1}{3}(x - 4)^3 \right]_2^6 = \frac{16}{3} \end{aligned}$$



10 (1) $a = 1$ のとき $f(x) = \sqrt{3} \sin x + \cos x = 2 \sin \left(x + \frac{\pi}{6} \right)$

よって 最大値 $f\left(\frac{\pi}{3}\right) = 2$, 最小値 $f\left(\frac{4\pi}{3}\right) = -2$



(2) $a = \pi$ のとき $f(x) = \sqrt{3} \sin x + \cos \pi x$

$f(x)$ の周期を T とすると, $f(T) = f(-T) = f(0)$ より

$$\sqrt{3} \sin T + \cos \pi T = -\sqrt{3} \sin T + \cos \pi T = 1$$

したがって $\sin T = 0$, $\cos \pi T = 1$

上の第1式から, T は π の整数倍, 第2式から, πT は 2π の整数倍, すなわち, T は 2 の倍数. π は無理数であるから, これらを同時に満たす T は存在しない. ■

$$\boxed{11} \quad (1) \quad z_1 = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} = \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}$$

$$z_2 = \frac{-\sqrt{3} + i}{2} = \cos \frac{5\pi}{6} + i \sin \frac{5\pi}{6}$$

$$z_1 = \cos \alpha + i \sin \alpha, \quad z_2 = \cos \beta + i \sin \beta \text{ のとき}$$

$$z_3 = \frac{z_1 + z_2}{2} = \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \left(\cos \frac{\alpha - \beta}{2} + i \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

$$\text{したがって} \quad z_3 = \frac{z_1 + z_2}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\cos \frac{7\pi}{12} + i \sin \frac{7\pi}{12} \right)$$

$$w_1 = \frac{1}{z_1}, \quad w_2 = \frac{1}{z_2}, \quad w_3 = \frac{1}{z_3} \text{ より}$$

$$w_1 = \cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

$$w_2 = \cos \frac{5\pi}{6} - i \sin \frac{5\pi}{6} = -\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i$$

$$w_3 = \sqrt{2} \left(\cos \frac{7\pi}{12} - i \sin \frac{7\pi}{12} \right) = -\frac{\sqrt{3}-1}{2} - \frac{\sqrt{3}+1}{2}i$$

$$(2) \quad \angle P_1 O P_2 \text{ が直角であるから, } \frac{z_2}{z_1} \text{ は純虚数}$$

$$P_3 \text{ が線分 } P_1 P_2 \text{ 上にあるから, } \frac{z_1 - z_3}{z_2 - z_3} \text{ は実数}$$

$$\frac{w_1 - w_3}{w_2 - w_3} = \frac{\frac{1}{z_1} - \frac{1}{z_3}}{\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_3}} = \frac{z_1 - z_3}{z_2 - z_3} \cdot \frac{z_2}{z_1}$$

$$\text{したがって, } \frac{w_1 - w_3}{w_2 - w_3} \text{ は純虚数. よって, } \angle Q_1 Q_3 Q_2 \text{ は直角である.}$$

別解 P_1, P_2 の中点を $M(c)$ とし ($|c| = \frac{1}{\sqrt{2}}$), $P_1(c + ci)$, $P_2(c - ci)$ とする. 線分 $P_1 P_2$ 上の点 P_3 を $z(\theta) = c + ci \tan \theta$ とし ($-\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$), $w(\theta) = \frac{1}{z(\theta)}$ と対応する点を Q_3 とする.

$$\begin{aligned} w(\theta) &= \frac{1}{c + ci \tan \theta} = \frac{\cos \theta}{c(\cos \theta + i \sin \theta)} \\ &= \frac{1}{c} \cos \theta (\cos \theta - i \sin \theta) = \frac{1}{2c} + \frac{1}{2c}(\cos 2\theta - \sin 2\theta) \end{aligned}$$

Q_3 は $Q_1(w(\frac{\pi}{4}))$, $Q_2(w(-\frac{\pi}{4}))$ を直径の両端とする半円上にある. よって, $\angle Q_1 Q_3 Q_2$ は直角である. ■

12 (1) $a^2 - b^2 = 15$ であるから $(a+b)(a-b) = 15$

a, b は自然数より $a+b > a-b > 0$

$$(a+b, a-b) = (15, 1), (5, 3)$$

よって $(a, b) = (8, 7), (4, 1)$

(2) (*) の 2 式の辺々の差をとると $x^2 - y^2 + 2x - 4y - 18 = 0$

$$(x+1)^2 - (y+2)^2 = 15$$

x, y は自然数であるから, $y+2 \geq 3$ および (1) の結果に注意して

$$(x+1, y+2) = (8, 7) \quad \text{すなわち} \quad (x_0, y_0) = (7, 5)$$

これを (*) の第 1 式に代入すると

$$7^2 - 4 \cdot 5 + k = 0 \quad \text{ゆえに} \quad k = -29$$

(3) $k = -29$ を (*) に代入すると

$$(**) \begin{cases} x^2 - 4y - 29 = 0 \\ y^2 - 2x - 11 = 0 \end{cases}$$

(**) の第 2 式から $x = \frac{1}{2}(y^2 - 11) \quad \dots \textcircled{1}$

① を (**) の第 1 式に代入すると

$$\frac{1}{4}(y^2 - 11)^2 - 4y - 29 = 0 \quad \text{整理すると} \quad y^4 - 22y^2 - 16y + 5 = 0$$

(2) の結果から, 上式は $y - 5$ を因数にもつことに注意して

$$(y-5)(y^3 + 5y^2 + 3y - 1) = 0$$

$$(y-5)(y+1)(y^2 + 4y - 1) = 0$$

これを解いて $y = 5, -1, -2 \pm \sqrt{5}$

それぞれ ① に代入すると $x = 7, -5, -1 \mp 2\sqrt{5}$

よって, (x_0, y_0) 以外の解は

$$(x, y) = (-5, -1), (-1 \mp 2\sqrt{5}, -2 \pm \sqrt{5}) \quad (\text{複号同順})$$



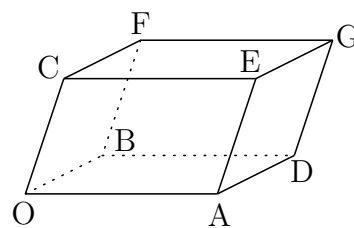
8.10 2024年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数I・II・III・A・B (120分)
- 医学部 [6] [7] [8] [9] [10] 数I・II・III・A・B (120分)
- 教育(小主免理系・中主免理系)学部 [2] [3] [7] 必答,
[1] (計算過程も記述) [11] から1問選択. 数I・II・III・A・B (90分)
- 教育(小主免理系・中主免理系を除く)学部・農学部 [3] [12] [13]
数I・II・A・B (90分)

[1] 次の空欄 [あ] ～ [お] を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

- (1) 関数 $f(x) = x \sin(1-x)$ の導関数は, $f'(x) =$ [あ] である.
- (2) 関数 $f(x) = e^{\frac{x}{1+x}}$ の導関数は, $f'(x) =$ [い] である.
- (3) 関数 $f(x) = x\sqrt{1+x^2}$ の不定積分は, $\int f(x) dx =$ [う] $+ C$ である. ただし, C は積分定数とする.
- (4) 関数 $f(x) = x^2 \log x$ の不定積分は, $\int f(x) dx =$ [え] $+ C$ である. ただし, C は積分定数とする.
- (5) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{3}} \cos^2 \frac{x}{4} dx$ の値は, [お] である.

[2] 右図のように, 3組の向かい合った面がそれぞれ平行である六面体を平行六面体という. 座標空間の4点 $O(0, 0, 0)$, $A(4, -2, 6)$, $B(2, -6, 4)$, $C(7, -1, -5)$ に対して, 四角形 $OADB$, $OAEC$, $OBFC$, $CEGF$ がすべて平行四辺形となるように, 4点 D , E , F , G をとる. 立体 $OADB-CEGF$ は平行六面体となる. このとき, 次の各問に答えよ.



- (1) $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}$, $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OC}$, $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OC}$ の値をそれぞれ求めよ.
- (2) $\overrightarrow{OD}$, $\overrightarrow{OE}$, $\overrightarrow{OF}$, $\overrightarrow{OG}$ をそれぞれ成分表示せよ.
- (3) 平行六面体 $OADB-CEGF$ の体積を求めよ.

3 A と B の 2 人が、赤玉 3 個、白玉 9 個の合計 12 個の玉が入った袋から、次のようにして、最大 6 回玉を取り出すゲームを行う。

- 1 回目は A が 1 個、2 回目は B が 1 個、3 回目は A が 2 個、4 回目は B が 2 個、5 回目は A が 3 個、6 回目は B が 3 個、袋から玉を取り出す。ただし、複数個の玉を取り出すときは、同時に取り出すとする。
- A と B のどちらかが赤玉を取り出したならば、その時点でゲームを終了する。

このとき、次の各問に答えよ。

- (1) 毎回、取り出した玉を戻すとする。このとき、3 回目で A が赤玉を取り出してゲームが終了する確率を求めよ。
- (2) 毎回、取り出した玉を袋に戻さないとする。このとき、A が赤玉を取り出してゲームが終了する確率を求めよ。

4 座標平面上に 2 点 $A(4, 1)$, $B(8, 4)$ と、円 $x^2 + y^2 = 1$ 上を動く点 P がある。 $\triangle ABP$ の重心を G とするとき、次の各問に答えよ。

- (1) 点 G の軌跡を求めよ。
- (2) $\triangle ABG$ の面積の最小値を求めよ。

5 関数 $f(x) = \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1}$ および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ。

- (1) $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ および第 2 次導関数 $f''(x)$ を求めよ。
- (2) $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$ を求めよ。
- (3) $f(x) \leq 0$ となる x の値の範囲を $a \leq x \leq b$ とするとき、 a と b の値を求めよ。さらに、定積分 $I = \int_a^b \frac{1}{x^2 + 1} dx$ の値を、 $x = \tan \theta$ とおくことにより求めよ。
- (4) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、変曲点および漸近線を調べて、曲線 C の概形をかけ。
- (5) 曲線 C と x 軸で囲まれた部分の面積 S を求めよ。

6 a, b, c を整数とし,

$$P = a + b + c$$

$$Q = a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca$$

$$R = a^3 + b^3 + c^3 - 3abc$$

とおく. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) P が 3 の倍数ならば, Q は 3 の倍数となることを示せ.
- (2) Q が 3 の倍数ならば, P は 3 の倍数となることを示せ.
- (3) R が 3 の倍数ならば, R は 9 の倍数でもあることを示せ.

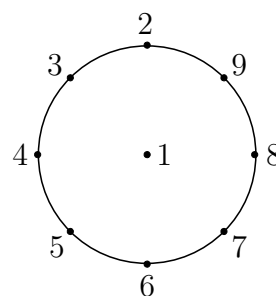
7 $0 \leq \theta < \pi$ とする. $t = \cos \theta$ とするとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $\cos 4\theta$ を t の式で表せ.
- (2) $\cos 4\theta = \cos \theta$ を満たすような t の値をすべて求めよ.
- (3) $\sin^2 \frac{2}{5}\pi + \sin^2 \frac{4}{5}\pi$ の値を求めよ.

8 1 辺の長さが 1 の正四面体 OABC において, $\triangle ABC$ の重心を G, 線分 BC を 1:3 に内分する点を D とする. また, 直線 AB 上にあり, $\overrightarrow{GD} \perp \overrightarrow{GE}$ を満たす点を E とする. このとき, $\vec{b} = \overrightarrow{AB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{AC}$ として, 次の各問に答えよ.

- (1) $\overrightarrow{AG}$ を $\vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{GD}, \overrightarrow{GE}$ のそれぞれを, $\vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ. また, $|\overrightarrow{GD}|, |\overrightarrow{GE}|$ の値をそれぞれ求めよ.
- (3) $\overrightarrow{OG} \cdot \vec{b}$ と $\overrightarrow{OG} \cdot \vec{c}$ の値をそれぞれ求めよ.
- (4) P を平面 ABC 上の点とする. また, 点 P は, 直線 GD で平面 ABC を 2 つに分けたときに, 点 E と同じ側にあるとする. $\triangle DGP$ の面積が 1 のとき, $\overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{GE}$ の値を求めよ.

- 9 平面上に固定された円があり、円周上に点が8つ、円周を8等分するようにとられている。さらに、右図のように、番号1は円の中心を表し、番号2～9はそれぞれ、円周上の点を表すとする。1から9までの番号が1つずつ書かれた9枚のカードがあり、A, B, Cの3人が、司会者のもとで次のゲームを行う。



司会者は、9枚のカードから無作為に3枚をとってAに渡し、続いて、残り6枚のカードから無作為に3枚をとってBに渡し、続いて、残った3枚のカードをCに渡す。Aは、受け取ったカードに書かれた番号が表す3点のうちのどの2点も線分で結ぶ。BもCも、Aと同じことを行う。このようにして、3人それぞれが図形を作る。

このとき、次の各問に答えよ。

- (1) Aの作る図形が三角形でない確率を求めよ。
- (2) 3人の作る図形がいずれも三角形である確率を求めよ。
- (3) このゲームを4回行ったとき、次の6つの条件①～⑥がすべて満たされるとする。ただし、 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{9}$ はそれぞれ、1～9の番号が書かれたカードを表す。
 - ① ある回で誰かに線分で結ばれたことのある2点は、他のどの回においても誰にも結ばれない
 - ② Aの作る図形は4回とも三角形ではない
 - ③ 1回目に、Bは $\boxed{3}$ を受け取る
 - ④ 2回目に、Bは $\boxed{2}$ と $\boxed{4}$ を、Cは $\boxed{5}$ と $\boxed{6}$ を受け取る
 - ⑤ 3回目に、Bは $\boxed{2}$ と $\boxed{3}$ を、Cは $\boxed{6}$ と $\boxed{7}$ を受け取る
 - ⑥ 4回目に、Cは $\boxed{2}$ と $\boxed{8}$ を受け取る

このとき、A, B, Cのそれぞれが各回でどの番号のカードを受け取ったかを答えよ。ただし、例えば、ある回でAが $\boxed{1}$, $\boxed{2}$, $\boxed{3}$, Bが $\boxed{4}$, $\boxed{5}$, $\boxed{6}$, Cが $\boxed{7}$, $\boxed{8}$, $\boxed{9}$ を受け取ったときは、

A			B			C		
$\boxed{1}$	$\boxed{2}$	$\boxed{3}$	$\boxed{4}$	$\boxed{5}$	$\boxed{6}$	$\boxed{7}$	$\boxed{8}$	$\boxed{9}$

のように解答欄に記すとし、解答欄において番号の書かれていない部分のみを埋めよ。なお、受け取ったカードの組み合わせが正しければ、その番号の並び順は問わない。

10 関数 $f(x) = \frac{1}{2} \log \frac{1+x}{1-x}$ ($-1 < x < 1$) および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について、次の各問に答えよ。ただし、 $\log x$ は x の自然対数を表す。

- (1) $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ および第2次導関数 $f''(x)$ を求めよ。
- (2) $\lim_{x \rightarrow -1+0} f(x)$ および $\lim_{x \rightarrow 1-0} f(x)$ を求めよ。
- (3) 関数 $f(x)$ の増減、極値、曲線 C の凹凸、変曲点および漸近線を調べて、曲線 C の概形をかけ。
- (4) 関係式 $y = f(x)$ について、 x を y の式で表せ。また、 $\frac{d}{dy} \left(\frac{1}{e^y + e^{-y}} \right)$ を求めよ。
- (5) 曲線 C と x 軸、直線 $x = 1$ および直線 $y = \alpha$ ($\alpha > 0$) で囲まれた部分を y 軸のまわりに1回転させてできる立体の体積を $V(\alpha)$ とする。このとき、 $V(\alpha)$ および $\lim_{\alpha \rightarrow \infty} V(\alpha)$ を求めよ。

11 $\{a_n\}$ と $\{b_n\}$ を

$$(2 + \sqrt{3})^n = a_n + \sqrt{3}b_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

を満たす自然数の数列とする。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) すべての自然数 n に対して、 $(2 - \sqrt{3})^n = a_n - \sqrt{3}b_n$ が成り立つことを示せ。
- (2) 数列 $\{c_n\}$ を $c_n = \frac{a_n}{b_n} - \sqrt{3}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) により定める。このとき、すべての自然数 n に対して、 $c_n > c_{n+1}$ が成り立つことを示せ。

12 次の各問に答えよ.

- (1) a, b, c を整数とする. $a+b+c$ が 3 の倍数ならば, $a^2+b^2+c^2-ab-bc-ca$ は 3 の倍数となることを示せ.
- (2) x についての方程式 $(\log_2 x)(\log_{32} x) + \log_4 x + \frac{3}{10} = 0$ を解け.
- (3) 座標平面上に 2 点 $A(4, 1)$, $B(8, 4)$ と, 円 $x^2 + y^2 = 1$ 上を動く点 P がある. このとき, $\triangle ABP$ の重心 G の軌跡を求めよ.

13 座標平面上に放物線 $C_1: y = \frac{1}{2}x^2$ がある. また, C_1 上の点 $A\left(\sqrt{3}, \frac{3}{2}\right)$ における C_1 の接線を l とする. さらに, 点 A において l と接し, 点 $B(\sqrt{3}, 0)$ を通る円を C_2 とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 直線 l の方程式を求めよ.
- (2) 円 C_2 の中心 D の座標を求めよ.
- (3) 曲線 C_1 , C_2 および x 軸で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

解答例

- 1 (1) $f(x) = x \sin(1-x)$ を微分すると

$$\begin{aligned} f'(x) &= (x)' \sin(1-x) + x \{\sin(1-x)\}' \\ &= \sin(1-x) - x \cos(1-x) \end{aligned}$$

(あ) $\sin(1-x) - x \cos(1-x)$

- (2) $f(x) = e^{\frac{x}{1+x}}$ を微分すると

$$f'(x) = e^{\frac{x}{1+x}} \left(\frac{x}{1+x} \right)' = e^{\frac{x}{1+x}} \cdot \frac{(x)'(1+x) - x(1+x)'}{(1+x)^2} = \frac{e^{\frac{x}{1+x}}}{(1+x)^2}$$

(い) $\frac{e^{\frac{x}{1+x}}}{(1+x)^2}$

- (3) $\{(1+x^2)^{\frac{3}{2}}\}' = \frac{3}{2}(1+x^2)^{\frac{1}{2}}(1+x^2)' = 3x\sqrt{1+x^2} = 3f(x)$ より

$$\int f(x) dx = \frac{1}{3}(1+x^2)^{\frac{3}{2}} + C$$

(う) $\frac{1}{3}(1+x^2)^{\frac{3}{2}}$

- (4) $(x^3 \log x)' = 3x^2 \log x + x^3 \cdot \frac{1}{x} = 3x^2 \log x + x^2$ より

$$3f(x) = 3x^2 \log x = (x^3 \log x)' - x^2 = \left(x^3 \log x - \frac{x^3}{3} \right)'$$

よって $\int f(x) dx = \frac{x^3}{3} \log x - \frac{x^3}{9} + C$

(え) $\frac{x^3}{3} \log x - \frac{x^3}{9}$

- (5) $\int_0^{\frac{\pi}{3}} \cos^2 \frac{x}{4} dx = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left(1 + \cos \frac{x}{2} \right) dx$

$$= \frac{1}{2} \left[x + 2 \sin \frac{x}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2}$$

(お) $\frac{\pi}{6} + \frac{1}{2}$



- 2 (1) $\overrightarrow{OA} = (4, -2, 6)$, $\overrightarrow{OB} = (2, -6, 4)$, $\overrightarrow{OC} = (7, -1, -5)$ より

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB} = 4 \cdot 2 + (-2) \cdot (-6) + 6 \cdot 4 = 44$$

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OC} = 4 \cdot 7 + (-2) \cdot (-1) + 6 \cdot (-5) = 0$$

$$\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OC} = 2 \cdot 7 + (-6) \cdot (-1) + 4 \cdot (-5) = 0$$

- (2) 立体 OADB-CEGF は平行六面体であるから

$$\overrightarrow{OD} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} = (4, -2, 6) + (2, -6, 4) = (6, -8, 10)$$

$$\overrightarrow{OE} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OC} = (4, -2, 6) + (7, -1, -5) = (11, -3, 1)$$

$$\overrightarrow{OF} = \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC} = (2, -6, 4) + (7, -1, -5) = (9, -7, -1)$$

$$\overrightarrow{OG} = \overrightarrow{OD} + \overrightarrow{DG} = (6, -8, 10) + (7, -1, -5) = (13, -9, 5)$$

- (3) $|\overrightarrow{OA}|^2$, $|\overrightarrow{OB}|^2$, $|\overrightarrow{OC}|^2$ をそれぞれ求めると

$$|\overrightarrow{OA}|^2 = 4^2 + (-2)^2 + 6^2 = 56,$$

$$|\overrightarrow{OB}|^2 = 2^2 + (-6)^2 + 4^2 = 56$$

$$|\overrightarrow{OC}|^2 = 7^2 + (-1)^2 + (-5)^2 = 75$$

平行四辺形 OADB の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{|\overrightarrow{OA}|^2 |\overrightarrow{OB}|^2 - (\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB})^2} \\ &= \sqrt{56 \cdot 56 - 44^2} = \sqrt{(56 + 44)(56 - 44)} \\ &= \sqrt{100 \cdot 12} = 20\sqrt{3} \end{aligned}$$

- (1) の結果より, $OA \perp OC$, $OB \perp OC$ であるから, 求める体積は

$$S|\overrightarrow{OC}| = 20\sqrt{3} \cdot 5\sqrt{3} = 300$$

別解 求める体積を V とすると, $\overrightarrow{OA} \times \overrightarrow{OB} = (28, -4, -20)$ より

$$V = |(\overrightarrow{OA} \times \overrightarrow{OB}) \cdot \overrightarrow{OC}| = 300$$

補足 $V = |(\overrightarrow{OA} \times \overrightarrow{OB}) \cdot \overrightarrow{OC}| = |(\overrightarrow{OB} \times \overrightarrow{OC}) \cdot \overrightarrow{OA}| = |(\overrightarrow{OC} \times \overrightarrow{OA}) \cdot \overrightarrow{OB}|$ ■

- 3** (1) 1回目, 2回目がともに白玉を取り出し, 3回目に赤玉を取り出す確率であるから

$$\frac{9}{12} \times \frac{9}{12} \times \left(1 - \frac{{}_9C_2}{{}_{12}C_2}\right) = \frac{45}{176}$$

- (2) Aが赤玉を取り出してゲームが終了するのは1回目, 3回目, 5回目である.

- (i) 1回目に終了する確率は

$$\frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

- (ii) 3回目に終了する確率は

$$\frac{9}{12} \times \frac{8}{11} \times \left(1 - \frac{{}_7C_2}{{}_{10}C_2}\right) = \frac{16}{55}$$

- (iii) 5回目に終了する確率は

$$\frac{9}{12} \times \frac{8}{11} \times \frac{{}_7C_2}{{}_{10}C_2} \times \frac{{}_5C_2}{{}_8C_2} \times \left(1 - \frac{{}_3C_3}{{}_6C_3}\right) = \frac{19}{220}$$

- (i)~(iii) は互いに排反であるから

$$\frac{1}{4} + \frac{16}{55} + \frac{19}{220} = \frac{69}{110}$$



- 4 (1) 円 $x^2 + y^2 = 1$ 上の点 P の座標を $(\cos \theta, \sin \theta)$ とする.

A(4, 1), B(8, 4) より, $\triangle ABP$ の重心 G(x, y) は

$$x = \frac{4 + 8 + \cos \theta}{3}, \quad y = \frac{1 + 4 + \sin \theta}{3}$$

$x - 4 = \frac{\cos \theta}{3}, y - \frac{5}{3} = \frac{\sin \theta}{3}$ より, 点 G の軌跡の方程式は

$$(x - 4)^2 + \left(y - \frac{5}{3}\right)^2 = \frac{1}{9}$$

よって G の軌跡は中心 $\left(4, \frac{5}{3}\right)$, 半径 $\frac{1}{3}$ の円

- (2) 2 点 A(4, 1), B(8, 4) を通る直線の方程式は

$$y - 1 = \frac{4 - 1}{8 - 4}(x - 4) \quad \text{すなわち} \quad 3x - 4y - 8 = 0$$

点 $\left(4, \frac{5}{3}\right)$ から直線 AB までの距離を d とすると

$$d = \frac{\left|3 \cdot 4 - 4 \cdot \frac{5}{3} - 8\right|}{\sqrt{3^2 + (-4)^2}} = \frac{8}{15}$$

AB = $\sqrt{(8 - 4)^2 + (4 - 1)^2} = 5$ より, $\triangle ABG$ の面積の最小値は

$$\frac{1}{2}AB \left(d - \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{2} \cdot 5 \left(\frac{8}{15} - \frac{1}{3}\right) = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{2}$$

■

- 5 (1) $f(x) = \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} = 1 - \frac{2}{x^2 + 1} = 1 - 2(x^2 + 1)^{-1}$ より

$$f'(x) = 4x(x^2 + 1)^{-2} = \frac{4x}{(x^2 + 1)^2}$$

$$\begin{aligned} f''(x) &= 4(x^2 + 1)^{-2} + 4x \cdot (-4x)(x^2 + 1)^{-3} \\ &= \frac{4(x^2 + 1) - 16x^2}{(x^2 + 1)^3} = \frac{4(1 - 3x^2)}{(x^2 + 1)^3} \end{aligned}$$

- (2) $f(x) = 1 - \frac{2}{x^2 + 1}$ より $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 1$

$$(3) f(x) = \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} = \frac{(x+1)(x-1)}{x^2 + 1} \leq 0 \quad \text{これを解いて} \quad -1 \leq x \leq 1$$

よって $a = -1, b = 1$

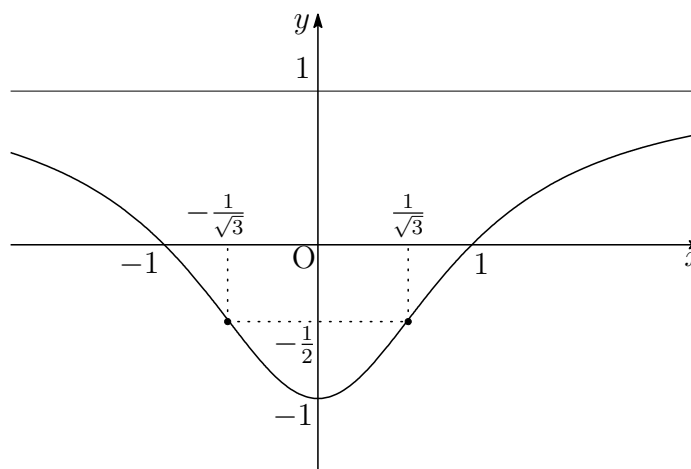
$$x = \tan \theta \text{ より } (-1 \leq x \leq 1) \quad \frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \quad \begin{array}{c|c} x & -1 \longrightarrow 1 \\ \hline \theta & -\frac{\pi}{4} \longrightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

$$I = \int_{-1}^1 \frac{1}{x^2 + 1} dx = \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\tan^2 \theta + 1} \cdot \frac{d\theta}{\cos^2 \theta} = \int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{2}$$

(4) (1), (2) の結果から

x	$\cdots$	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\cdots$	0	$\cdots$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\cdots$
$f'(x)$	$-$	$-$	$-$	0	$+$	$+$	$+$
$f''(x)$	$-$	0	$+$	$+$	$+$	0	$-$
$f(x)$	$\searrow$	変曲点	$\searrow$	極小	$\nearrow$	変曲点	$\nearrow$

極小値 $f(0) = -1$, 変曲点 $\left(\pm \frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{2}\right)$, 漸近線 $y = 1$



(5) (3) の結果を利用すると

$$\begin{aligned} S &= - \int_{-1}^1 f(x) dx = \int_{-1}^1 \left(\frac{2}{x^2 + 1} - 1 \right) dx \\ &= 2I - \int_{-1}^1 dx = \pi - 2 \end{aligned}$$



6 (1)

$$\begin{aligned} Q &= a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca \\ &= (a + b + c)^2 - 3(ab + bc + ca) \\ &= P^2 - 3(ab + bc + ca) \end{aligned}$$

上式から

$$P \text{ が } 3 \text{ の倍数} \implies Q \text{ は } 3 \text{ の倍数} \quad (\text{A})$$

P が 3 の倍数のとき, Q は 3 の倍数である.

(2) $P^2 = Q + 3(ab + bc + ca)$ より, Q が 3 の倍数のとき, P^2 は 3 の倍数であるから, P は 3 を因数にもつ. したがって

$$Q \text{ が } 3 \text{ の倍数} \implies P \text{ は } 3 \text{ の倍数} \quad (\text{B})$$

(3)

$$\begin{aligned} R &= a^3 + b^3 + c^3 - 3abc \\ &= (a + b + c)(a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca) \\ &= PQ \end{aligned} \quad (*)$$

R が 3 の倍数ならば, (*) より, P または Q が 3 の倍数.

このとき, (A), (B) より, P , Q はともに 3 の倍数である.

よって, R が 3 の倍数ならば, R は 9 の倍数である. ■

7 (1) $t = \cos \theta$ より

$$\begin{aligned}\cos 4\theta &= 2\cos^2 2\theta - 1 = 2(2\cos^2 \theta - 1)^2 - 1 \\ &= 2(4\cos^4 \theta - 4\cos^2 \theta + 1) - 1 \\ &= 8\cos^4 \theta - 8\cos^2 \theta + 1 = \mathbf{8t^4 - 8t^2 + 1}\end{aligned}$$

(2) $\cos 4\theta = \cos \theta$ に (1) の結果を代入すると

$$8t^4 - 8t^2 + 1 = t \quad \text{ゆえに} \quad (t-1)(2t+1)(4t^2+2t-1) = 0 \quad (*)$$

よって $t = 1, -\frac{1}{2}, \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{4}$

(3) $\frac{2}{5}\pi = \theta$ とおくと, $5\theta = 2\pi$ より, $\cos 4\theta = \cos(2\pi - \theta) = \cos \theta$

$0 < \cos \theta < 1$ より, (2) の結果から, $\cos \theta = t$ とおくと

$$t = \frac{\sqrt{5}-1}{4}, \quad 4t^2 + 2t - 1 = 0$$

$$\begin{aligned}\sin^2 \theta + \sin^2 2\theta &= \sin^2 \theta(1 + 4\cos^2 \theta) = (1-t^2)(1+4t^2) \\ &= \left(1 - \frac{1-2t}{4}\right)(2-2t) \\ &= \frac{1}{2}(3+2t)(1-t) = \frac{1}{2}(3-t-2t^2) \\ &= \frac{1}{2}\left(3-t - \frac{1-2t}{2}\right) = \frac{5}{4}\end{aligned}$$

■

8 (1) G は $\triangle ABC$ の重心であるから

$$\overrightarrow{AG} = \frac{1}{3}(\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{AC}) = \frac{1}{3}(\vec{b} + \vec{c})$$

(2) $\triangle ABC$ は、1 辺の長さが 1 の正三角形であるから

$$|\vec{b}| = |\vec{c}| = 1, \quad \vec{b} \cdot \vec{c} = |\vec{b}| |\vec{c}| \cos \frac{\pi}{3} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

D は線分 BC を $1:3$ に内分する点であるから

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\text{AD}} &= \frac{1}{4}(3\overrightarrow{\text{AB}} + \overrightarrow{\text{AC}}) = \frac{1}{4}(3\vec{b} + \vec{c}) \\ \overrightarrow{\text{GD}} &= \overrightarrow{\text{AD}} - \overrightarrow{\text{AG}} = \frac{1}{4}(3\vec{b} + \vec{c}) - \frac{1}{3}(\vec{b} + \vec{c}) = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{12}}(\mathbf{5}\vec{b} - \vec{c})\end{aligned}$$

Eは線分 AB 上にあるから、 $\overrightarrow{AE} = k\vec{a}$ とすると (k は実数)

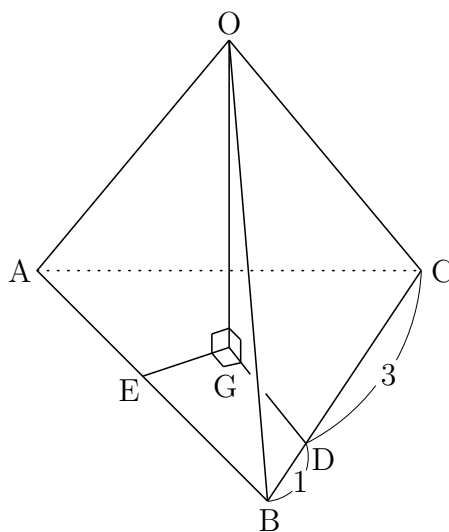
$$\overrightarrow{\text{GE}} = \overrightarrow{\text{AE}} - \overrightarrow{\text{AG}} = k\vec{b} - \frac{1}{3}(\vec{b} + \vec{c}) = \frac{1}{3}\{(3k - 1)\vec{b} - \vec{c}\}$$

$\overrightarrow{GD} \perp \overrightarrow{GE}$ より, $\overrightarrow{GD} \cdot \overrightarrow{GE} = 0$ であるから

$$\begin{aligned} (5\vec{b} - \vec{c}) \cdot \{(3k-1)\vec{b} - \vec{c}\} &= 5(3k-1)|\vec{b}|^2 - (3k+4)\vec{b} \cdot \vec{c} + |\vec{c}|^2 \\ &= 5(3k-1) - \frac{1}{2}(3k+4) + 1 \\ &= \frac{3}{2}(9k-4) = 0 \end{aligned}$$

これを解いて $k = \frac{4}{9}$ すなわち $\overrightarrow{\text{AE}} = \frac{4}{9}\overrightarrow{b}$

したがって $\overrightarrow{\text{GE}} = \overrightarrow{\text{AE}} - \overrightarrow{\text{AG}} = \frac{4}{9}\vec{b} - \frac{1}{3}(\vec{b} + \vec{c}) = \frac{1}{9}(\vec{b} - 3\vec{c})$



$$\overrightarrow{GD} = \frac{1}{12}(5\vec{b} - \vec{c}), \quad \overrightarrow{GE} = \frac{1}{9}(\vec{b} - 3\vec{c}) \text{ より}$$

$$\begin{aligned} |5\vec{b} - \vec{c}|^2 &= 25|\vec{b}|^2 - 10\vec{b} \cdot \vec{c} + |\vec{c}|^2 \\ &= 25 \cdot 1^2 - 10 \cdot \frac{1}{2} + 1^2 = 21, \\ |\vec{b} - 3\vec{c}|^2 &= |\vec{b}|^2 - 6\vec{b} \cdot \vec{c} + 9|\vec{c}|^2 \\ &= 1^2 - 6 \cdot \frac{1}{2} + 9 \cdot 1^2 = 7 \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad |\overrightarrow{GD}| = \frac{\sqrt{21}}{12}, \quad |\overrightarrow{GE}| = \frac{\sqrt{7}}{9}$$

- (3) $\triangle ABC$ は正三角形であるから, $\triangle ABC$ の重心と外心は一致する.
 O から平面 ABC に垂線 OH を引くと, $\triangle OAH \equiv \triangle OBH \equiv \triangle OCH$ であるから, $AH = BH = CH$ より, H は $\triangle ABC$ の外心である.
 G と H は一致するから

$$\overrightarrow{OG} \perp \vec{b}, \quad \overrightarrow{OG} \perp \vec{c} \quad \text{よって} \quad \overrightarrow{OG} \cdot \vec{b} = \overrightarrow{OG} \cdot \vec{c} = 0$$

- (4) 点 P から直線 GE に垂線 PQ を引くと

$$\triangle DGP = \triangle DGQ = \frac{1}{2} |\overrightarrow{GD}| |\overrightarrow{GQ}| = 1 \quad \text{ゆえに} \quad |\overrightarrow{GQ}| = \frac{2}{|\overrightarrow{GD}|}$$

$\overrightarrow{GQ}$ と $\overrightarrow{GE}$ は同じ向きのベクトルであることに注意して

$$\overrightarrow{GQ} = |\overrightarrow{GQ}| \cdot \frac{\overrightarrow{GE}}{|\overrightarrow{GE}|} = \frac{2}{|\overrightarrow{GD}|} \cdot \frac{\overrightarrow{GE}}{|\overrightarrow{GE}|}$$

$\overrightarrow{QP}$ と $\overrightarrow{GD}$ は平行であるから, 実数 ξ を用いて $\overrightarrow{QP} = \xi \overrightarrow{GD}$

上の諸式から

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OG} + \overrightarrow{GQ} + \overrightarrow{QP} = \overrightarrow{OG} + \frac{2}{|\overrightarrow{GD}|} \cdot \frac{\overrightarrow{GE}}{|\overrightarrow{GE}|} + \xi \overrightarrow{GD}$$

$\overrightarrow{OG} \perp \overrightarrow{GE}$, $\overrightarrow{GD} \perp \overrightarrow{GE}$ より

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} \cdot \overrightarrow{GE} &= \left(\overrightarrow{OG} + \frac{2}{|\overrightarrow{GD}|} \cdot \frac{\overrightarrow{GE}}{|\overrightarrow{GE}|} + \xi \overrightarrow{GD} \right) \cdot \overrightarrow{GE} = \frac{2|\overrightarrow{GE}|}{|\overrightarrow{GD}|} \\ &= 2 \cdot \frac{\sqrt{7}}{9} \bigg/ \frac{\sqrt{21}}{12} = \frac{8}{3\sqrt{3}} = \frac{8\sqrt{3}}{9} \end{aligned}$$



- 9 (1) A の作る図形が三角形でないのは $\boxed{1}$ を含む 3 点が一直線上にある

$$\boxed{1 \mid 2 \mid 6} \quad \boxed{1 \mid 3 \mid 7} \quad \boxed{1 \mid 4 \mid 8} \quad \boxed{1 \mid 5 \mid 9} \quad (*)$$

の 4 通りである． よって，求める確率は

$$\frac{4}{{}_9C_3} = \frac{4}{3 \cdot 4 \cdot 7} = \frac{1}{21}$$

- (2) $\boxed{1}$ を含まない図形は三角形である．したがって， $\boxed{1}$ を含む人の図形が三角形であればよい． $\boxed{1}$ を含む A, B, C それぞれ場合において， (1) で求めた三角形でない確率が等しいことに注意して

$$1 - \frac{1}{21} \times 3 = \frac{6}{7}$$

- (3) 条件②から、Aの作る4回の図形は、(*)で示した4つの場合が1回ずつ起こる。(*)を順に

$$\alpha \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 6 \\ \hline \end{array} \quad \beta \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 3 & 7 \\ \hline \end{array} \quad \gamma \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 8 \\ \hline \end{array} \quad \delta \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 5 & 9 \\ \hline \end{array}$$

とすると、B、Cの条件により、Aについて

	B	C	A						
1回目	<table><tr><td>3</td><td></td><td></td></tr></table>	3			<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				β 以外
3									
2回目	<table><tr><td>2</td><td>4</td><td></td></tr></table>	2	4		<table><tr><td>5</td><td>6</td><td></td></tr></table>	5	6		α, γ, δ 以外
2	4								
5	6								
3回目	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td></td></tr></table>	2	3		<table><tr><td>6</td><td>7</td><td></td></tr></table>	6	7		α, β 以外
2	3								
6	7								
4回目	<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table><tr><td>2</td><td>8</td><td></td></tr></table>	2	8		α, γ 以外
2	8								

Aは2回目に β 、1回目に α 、3回目に γ 、4回目に δ の順に決定する。

	A	B	C	残り									
1回目	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr></table>	1	2	6	<table><tr><td>3</td><td></td><td></td></tr></table>	3			<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				(4, 5, 7, 8, 9)
1	2	6											
3													
2回目	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>7</td></tr></table>	1	3	7	<table><tr><td>2</td><td>4</td><td></td></tr></table>	2	4		<table><tr><td>5</td><td>6</td><td></td></tr></table>	5	6		(8, 9)
1	3	7											
2	4												
5	6												
3回目	<table><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr></table>	1	4	8	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td></td></tr></table>	2	3		<table><tr><td>6</td><td>7</td><td></td></tr></table>	6	7		(5, 9)
1	4	8											
2	3												
6	7												
4回目	<table><tr><td>1</td><td>5</td><td>9</td></tr></table>	1	5	9	<table><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>				<table><tr><td>2</td><td>8</td><td></td></tr></table>	2	8		(3, 4, 6, 7)
1	5	9											
2	8												

- 2回目のBは9より、2回目のCは8
- 3回目のBは5より、3回目のCは9
- 4回目のCは7より、4回目のBは3, 4, 6
- 1回目のBは8, 9より、1回目のCは4, 5, 7

よって

	A	B	C									
1回目	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr></table>	1	2	6	<table><tr><td>3</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>	3	8	9	<table><tr><td>4</td><td>5</td><td>7</td></tr></table>	4	5	7
1	2	6										
3	8	9										
4	5	7										
2回目	<table><tr><td>1</td><td>3</td><td>7</td></tr></table>	1	3	7	<table><tr><td>2</td><td>4</td><td>9</td></tr></table>	2	4	9	<table><tr><td>5</td><td>6</td><td>8</td></tr></table>	5	6	8
1	3	7										
2	4	9										
5	6	8										
3回目	<table><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr></table>	1	4	8	<table><tr><td>2</td><td>3</td><td>5</td></tr></table>	2	3	5	<table><tr><td>6</td><td>7</td><td>9</td></tr></table>	6	7	9
1	4	8										
2	3	5										
6	7	9										
4回目	<table><tr><td>1</td><td>5</td><td>9</td></tr></table>	1	5	9	<table><tr><td>3</td><td>4</td><td>6</td></tr></table>	3	4	6	<table><tr><td>2</td><td>7</td><td>8</td></tr></table>	2	7	8
1	5	9										
3	4	6										
2	7	8										



10 (1) $f(x) = \frac{1}{2} \log \frac{1+x}{1-x} = \frac{1}{2} \log(1+x) - \frac{1}{2} \log(1-x)$ より $(-1 < x < 1)$

$$f'(x) = \frac{1}{2(1+x)} + \frac{1}{2(1-x)} = \frac{1}{(1+x)(1-x)}$$

$$f''(x) = -\frac{1}{2(1+x)^2} + \frac{1}{2(1-x)^2} = \frac{2x}{(1+x)^2(1-x)^2}$$

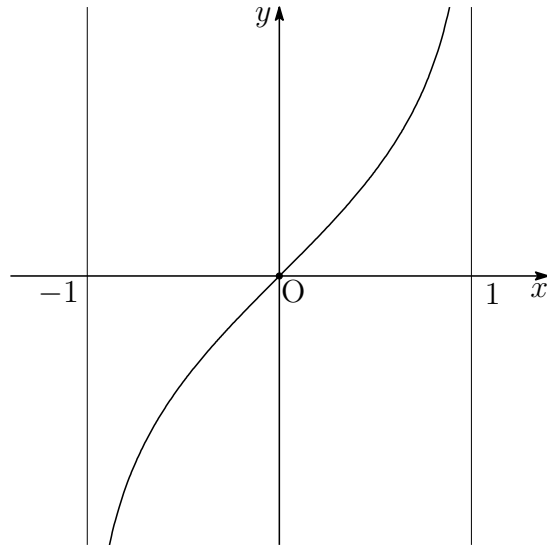
(2) $x \rightarrow -1+0$ のとき $\frac{1+x}{1-x} \rightarrow +0$ より $\lim_{x \rightarrow -1+0} f(x) = -\infty$

$x \rightarrow 1-0$ のとき $\frac{1+x}{1-x} \rightarrow \infty$ より $\lim_{x \rightarrow 1-0} f(x) = \infty$

(3) (1), (2) から, $f(x)$ の増減および凹凸は

x	(-1)	$\cdots$	0	$\cdots$	(1)
$f'(x)$		+	+	+	
$f''(x)$		-	0	+	
$f(x)$		$\nearrow$	変曲点	$\nearrow$	

よって 変曲点 $(0, 0)$, グラフの概形は次のようになる.



$$(4) \quad y = \frac{1}{2} \log \frac{1+x}{1-x} \text{ より } 2y = \log \frac{1+x}{1-x}$$

$$e^{2y} = \frac{1+x}{1-x} \quad \text{よって} \quad x = \frac{e^{2y} - 1}{e^{2y} + 1} = \frac{e^y - e^{-y}}{e^y + e^{-y}}$$

また

$$\frac{d}{dy} \left(\frac{1}{e^y + e^{-y}} \right) = -\frac{(e^y + e^{-y})'}{(e^y + e^{-y})^2} = -\frac{e^y - e^{-y}}{(e^y + e^{-y})^2}$$

(5) (4) の結果から

$$1 - x^2 = 1 - \left(\frac{e^y - e^{-y}}{e^y + e^{-y}} \right)^2 = \frac{4}{(e^y + e^{-y})^2} = \frac{4e^{2y}}{(e^{2y} + 1)^2}$$

したがって

$$\begin{aligned} V(\alpha) &= \pi \int_0^\alpha (1 - x^2) dy = \pi \int_0^\alpha \frac{4e^{2y}}{(e^{2y} + 1)^2} dy \\ &= \pi \left[-\frac{2}{e^{2y} + 1} \right]_0^\alpha = \pi \left(1 - \frac{2}{e^{2\alpha} + 1} \right) \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{\alpha \rightarrow \infty} V(\alpha) = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \pi \left(1 - \frac{2}{e^{2\alpha} + 1} \right) = \pi$$



11 (1) $(2 + \sqrt{3})^n = a_n + \sqrt{3}b_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) より (a_n, b_n は自然数)

$$\begin{aligned} a_1 &= 1, \quad b_1 = 1, \\ (2 + \sqrt{3})^{n+1} &= (2 + \sqrt{3})(a_n + \sqrt{3}b_n) \\ &= (2a_n + 3b_n) + (a_n + 2b_n)\sqrt{3} \end{aligned}$$

したがって $a_{n+1} = 2a_n + 3b_n, \quad b_{n+1} = a_n + 2b_n$

$(2 - \sqrt{3})^n = x_n - \sqrt{3}y_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) とすると (x_n, y_n は整数)

$$\begin{aligned} x_1 &= 1, \quad y_1 = 1, \\ (2 - \sqrt{3})^{n+1} &= (2 - \sqrt{3})(x_n - \sqrt{3}y_n) \\ &= (2x_n + 3y_n) - (x_n + 2y_n)\sqrt{3} \end{aligned}$$

したがって $x_{n+1} = 2x_n + 3y_n, \quad y_{n+1} = x_n + 2y_n$

以上の結果から, $x_n = a_n, y_n = b_n$ であるから, すべての自然数 n に対して

$$(2 - \sqrt{3})^n = a_n - \sqrt{3}b_n$$

が成り立つ.

(2) $c_n = \frac{a_n}{b_n} - \sqrt{3} = \frac{a_n - \sqrt{3}b_n}{b_n}$ より ($n = 1, 2, 3, \dots$)

$$\begin{aligned} \frac{c_{n+1}}{c_n} &= \frac{a_{n+1} - \sqrt{3}b_{n+1}}{b_{n+1}} \bigg/ \frac{a_n - \sqrt{3}b_n}{b_n} \\ &= \frac{a_{n+1} - \sqrt{3}b_{n+1}}{a_n - \sqrt{3}b_n} \cdot \frac{b_n}{b_{n+1}} \\ &= (2 - \sqrt{3}) \cdot \frac{b_n}{a_n + 2b_n} \\ &< (2 - \sqrt{3}) \cdot \frac{b_n}{2b_n} = 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} < 1 \end{aligned}$$

$c_n > 0$ より, すべての自然数 n に対して, 次式が成立する.

$$\frac{c_{n+1}}{c_n} < 1 \quad \text{よって} \quad c_n > c_{n+1}$$

■

$$\boxed{12} \quad (1) \quad a^2 + b^2 + c^2 - ab - bc - ca = (a + b + c)^2 - 3(ab + bc + ca)$$

上式から、 $a + b + c$ は3の倍数 (a, b, c は整数) より、題意は成立する.

$$(2) \quad (\log_2 x)(\log_{32} x) + \log_4 x + \frac{3}{10} = 0$$

$$t = \log_2 x \text{ とおくと, } \log_{32} x = \frac{\log_2 x}{\log_2 32} = \frac{t}{5}, \quad \log_4 x = \frac{\log_2 x}{\log_2 4} = \frac{t}{2} \text{ より}$$

$$t \cdot \frac{t}{5} + \frac{t}{2} + \frac{3}{10} = 0 \quad \text{整理すると} \quad 2t^2 + 5t + 3 = 0$$

$$\text{したがって} \quad (t+1)(2t+3) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = -1, -\frac{3}{2}$$

$$x = 2^t \text{ より } x = 2^{-1}, 2^{-\frac{3}{2}} \quad \text{よって} \quad x = \frac{1}{2}, \frac{\sqrt{2}}{4}$$

$$(3) \quad \boxed{4} \text{ (1) を参照.}$$



13 (1) $y = \frac{1}{2}x^2$ を微分すると $y' = x$

l は点 $A\left(\sqrt{3}, \frac{3}{2}\right)$ を通り、傾き $\sqrt{3}$ の直線であるから

$$y - \frac{3}{2} = \sqrt{3}(x - \sqrt{3}) \quad \text{すなわち} \quad y = \sqrt{3}x - \frac{3}{2}$$

(2) 点 $A\left(\sqrt{3}, \frac{3}{2}\right)$ を通り、 l に垂直な直線を m とすると

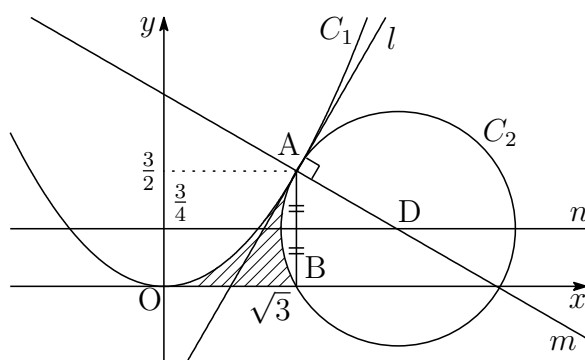
$$y - \frac{3}{2} = -\frac{1}{\sqrt{3}}(x - \sqrt{3}) \quad \text{すなわち} \quad m: y = -\frac{x}{\sqrt{3}} + \frac{5}{2}$$

2 点 $A\left(\sqrt{3}, \frac{3}{2}\right)$, $B(\sqrt{3}, 0)$ を結ぶ線分 AB の垂直二等分線を n とすると

$$n: y = \frac{3}{4}$$

m と n の方程式から、 y を消去すると

$$-\frac{x}{\sqrt{3}} + \frac{5}{2} = \frac{3}{4} \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{7\sqrt{3}}{4} \quad \text{よって} \quad D\left(\frac{7\sqrt{3}}{4}, \frac{3}{4}\right)$$



(3) m の傾き $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ より、 $\triangle ABD$ は 1 辺の長さが $\frac{3}{2}$ の正三角形であるから

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\sqrt{3}} \frac{1}{2}x^2 dx - \frac{1}{2} \left(\frac{3}{2}\right)^2 \left(\frac{\pi}{3} - \sin \frac{\pi}{3}\right) \\ &= \left[\frac{x^3}{6}\right]_0^{\sqrt{3}} - \frac{9}{8} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{17\sqrt{3}}{16} - \frac{3}{8}\pi \end{aligned}$$



8.11 2025 年

- 工学部 [1] [2] [3] [4] [5] 数I・II・III・A・B・C (120 分)
- 医学部 [3] [4] [5] [6] [7] 数I・II・III・A・B・C (120 分)
- 教育 (小主免理系・中主免理系) 学部 [3] [8] [9] 必答,
[10] [11] [12] から 1 問選択. 数I・II・III・A・B・C (90 分)
- 教育 (小主免理系・中主免理系を除く) 学部・農学部 [13] [14] 必答,
[3] [12] から 1 問選択. 数I・II・A・B・C (90 分)

[1] 次の空欄 [あ] ～ [か] を適切な数または数式で埋めよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

(1) 極限 $\lim_{x \rightarrow 0} \left\{ \frac{1}{x} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{x+3} \right) \right\}$ の値は, [あ] である.

(2) 関数 $f(x) = \frac{e^x}{x}$ の導関数は, $f'(x) =$ [い] である.

(3) 関数 $f(x) = \log(1 + \sin x)$ の導関数は, $f'(x) =$ [う] である.

(4) 不定積分 $I = \int x \sin \frac{x}{2} \cos \frac{x}{2} dx$ を求める. 三角関数の 2 倍角の公式

$$\sin 2\theta = \text{[え]} \sin \theta \cos \theta$$

を用いて計算すると, $I =$ [お] $+ C$ となる. ただし, C は積分定数とする.

(5) 定積分 $\int_0^1 2x^3 \sqrt{x^2 + 1} dx$ の値は, [か] である.

[2] 関数 $f(x) = \frac{x}{(1+x)^2}$ ($x > -1$) および座標平面上の曲線 $C: y = f(x)$ について, 次の各問に答えよ.

(1) $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ および第 2 次導関数 $f''(x)$ を求めよ.

(2) 極限 $\lim_{x \rightarrow -1+0} f(x)$ および $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ を求めよ.

(3) 関数 $f(x)$ の増減, 極値, 曲線 C の凹凸, 変曲点および漸近線を調べて, 曲線 C の概形をかけ.

(4) 曲線 C と x 軸および直線 $x = 1$ で囲まれた部分の面積 S の値を求めよ.

- 3 平面上の点 O を中心とする半径 1 の円の周を T とする. T 上の 3 点 A, B, C を,

$$4\overrightarrow{AB} + 5\overrightarrow{AC} = 12\overrightarrow{AO}$$

を満たすようにとる. また, 直線 OC と直線 AB の交点を P とし, 直線 OC と T の交点で C と異なるものを Q とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $\overrightarrow{OC}$ を, $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OB}$ の値を求めよ.
- (3) 点 R が円周 T 上を動くとき, $\triangle PQR$ の面積 S の最大値を求めよ. また, S が最大となるときの $\overrightarrow{OR}$ を, $\overrightarrow{OA}$ と $\overrightarrow{OB}$ を用いて表せ.

- 4 実数 x, y, z についての連立方程式

$$(*) \begin{cases} y + z = (x + z)e^{-x} \\ x + z = (y + z)e^{-y} \end{cases}$$

を考える. 次の各問に答えよ.

- (1) $x = y$ かつ $z = 1$ のとき, $(*)$ を満たす x をすべて求めよ.
- (2) $e^x + e^{-x} = 4$ を満たす x をすべて求めよ.
- (3) $x \neq y$ のとき, $(*)$ および $e^x + e^{-x} = 4$ を満たす x, y, z の組をすべて求めよ.

- 5 1 から m までの自然数が 1 つずつ書かれた m 枚のカードがある.

例: $m = 5$ の場合 1 2 3 4 5

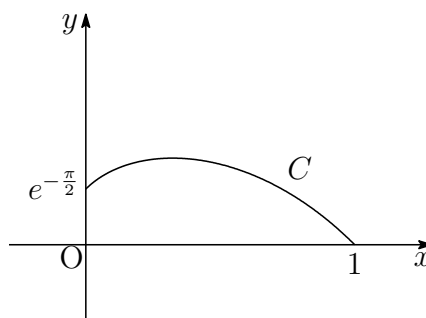
m 枚のカードの中から無作為に 1 枚取り出し, 書かれた数を確認した後に元に戻すという操作を n 回繰り返す. k 回目 ($k = 1, 2, \dots, n$) に取り出したカードに書かれている数を N_k ($1 \leq N_k \leq m$) とする. ただし, どのカードの取り出され方も, 同様に確からしいとする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $m = 2, n = 2$ のとき, $N_1 < N_2$ となる確率を求めよ.
- (2) $m = 3, n = 3$ のとき, $N_1 \times N_2 < N_3$ となる確率を求めよ.
- (3) $m = 5, n = 4$ のとき, $N_1 \times N_2 < N_3 \times N_4$ となる確率を求めよ.

6 θ を媒介変数として, 媒介変数表示

$$\begin{cases} x = e^{-\theta} \cos \theta \\ y = e^{-\theta} \sin \theta \end{cases} \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right)$$

の表す曲線を C とする. C の概形は右図のようになる. 曲線 C 上に点 A を, A における C の接線が x 軸と平行となるようにとる. このとき, 次の各問に答えよ.



(1) 点 A の座標を求めよ.

(2) $I = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \sin t \, dt$, $J = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \cos t \, dt$ とするとき

$$J - I = e^{-\frac{\pi}{2}}$$

が成り立つことを示せ.

(3) 曲線 C と x 軸および直線 OA で囲まれる部分の面積 S の値を求めよ.

7 次の各問に答えよ.

(1) すべての自然数 n に対して,

$${}_{n+1}C_k = {}_nC_k + {}_nC_{k-1} \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

が成り立つことを示せ.

(2) すべての自然数 n に対して,

$$\sum_{k=0}^{n+1} (-1)^k {}_{n+1}C_k = 0$$

が成り立つことを示せ.

(3) すべての自然数 n に対して,

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} = \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k+1}}{k} {}_nC_k$$

が成り立つことを示せ.

8 数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$, $\{c_n\}$ は, $a_1 = 1$, $b_1 = 2$, $c_1 = p$ および

$$\begin{cases} a_{n+1} = c_n \\ b_{n+1} = -b_n - 2c_n \\ c_{n+1} = a_n + b_n + c_n \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

を満たしているとする. ただし, p は 0 でない実数とする. また, $f_n(x)$ を

$$f_n(x) = a_n x^2 + b_n x + c_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) 2 次方程式 $f_2(x) = 0$ が重解をもつような p の値を求めよ.
- (2) 2 次方程式 $f_{2025}(x) = 0$ が重解をもつような p の値を求めよ.
- (3) p が (2) で求めた値のとき, 2 次方程式 $f_{2025}(x) = 0$ の解を求めよ.

9 1 枚のコインを 1 回だけ投げ, 表が出たら 1 点, 裏が出たら -1 点を獲得するゲームを行う. このゲームを繰り返し行ったときに獲得した点数の合計を考える. ただし, コインの表と裏が出る確率は, それぞれ $\frac{1}{2}$ とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) ゲームを 5 回行ったとき, 獲得した点数の合計が 3 点となる確率を求めよ.
- (2) ゲームを 6 回行ったとき, 獲得した点数の合計が 2 点以上となる確率を求めよ.
- (3) 次のルールを設ける
 - (i) 獲得した点数の合計が 3 点となるまでゲームを繰り返し行う. ただし, ゲームを 8 回行った時点で, 次のゲームは行わないとする.
 - (ii) 獲得した点数の合計が 3 点となった時点で, 次のゲームは行わないとする.

このとき, 7 回以上ゲームが行われる確率を求めよ.

10 次の各問に答えよ. ただし, $\log x$ は x の自然対数を表す.

- (1) 極限 $\lim_{x \rightarrow 0} \left\{ \frac{1}{x} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{x+3} \right) \right\}$ の値を求めよ.
- (2) 関数 $f(x) = \frac{e^x}{x}$ の導関数を求めよ.
- (3) 関数 $f(x) = \log(1 + \sin x)$ の導関数を求めよ.
- (4) 不定積分 $\int x^2 e^{-\frac{1}{2}x} dx$ を求めよ.
- (5) 定積分 $\int_0^1 2x^3 \sqrt{x^2 + 1} dx$ の値を求めよ.

11 座標平面上に 2 つの曲線

$$C_1 : y = x^2 + m^2 \quad (m > 0)$$

$$C_2 : y = x^2$$

がある. 曲線 C_2 上の点 $P(t, t^2)$ から C_1 に引いた 2 本の接線における 2 つの接点を, それぞれ $A(\alpha, \alpha^2 + m^2)$, $B(\beta, \beta^2 + m^2)$ ($\alpha < \beta$) とおく. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) α, β のそれぞれを, t と m を用いて表せ.
- (2) 曲線 C_1 と直線 AP および直線 $x = t$ で囲まれた部分の面積を S_1 , 曲線 C_1 と直線 BP および直線 $x = t$ で囲まれた部分の面積を S_2 とする. $S_1 = S_2$ となることを示せ.

12 複素数平面上の点 z に対して, 点 w を $w = \frac{5z - \bar{z} + 6i}{2}$ により定める. ただし, $\bar{z}$ は z と共役な複素数とし, i は虚数単位とする. このとき, 次の各問に答えよ.

- (1) $z = \frac{\sqrt{3} + i}{2}$ であるとき, w が表す複素数を $a + bi$ (a, b は実数) の形で表せ.
- (2) z を w と $\bar{w}$ を用いて表せ. ただし, $\bar{w}$ は w と共役な複素数とする.
- (3) 点 z が原点 O を中心とする半径 1 の円の周上を動くとき, 点 w が複素数平面上で描く図形の概形をかけ.

13 次の各問に答えよ.

- (1) 不等式 $|x + 3| \geq |x - 2|$ を解け.
- (2) 座標平面上において, x 軸と y 軸および直線 $3x + 4y = 60$ でつくられる三角形に内接する円の方程式を求めよ.
- (3) 1 枚のコインを 1 回だけ投げ, 表が出たら 1 点, 裏が出たら -1 点を獲得するゲームを行う. このゲームを 5 回行ったとき, 獲得した点数の合計が 3 点となる確率を求めよ. ただし, コインの表と裏が出る確率は, それぞれ $\frac{1}{2}$ とする.
- (4) 関数

$$f(x) = \left(\log_{\frac{1}{3}} \frac{x}{9} \right) \left(\log_{\frac{1}{3}} \frac{9}{x} \right) + \log_{\frac{1}{3}} \frac{x^2}{81}$$

の $\frac{1}{3} \leq x \leq 9$ における最大値, 最小値, およびそのときの x の値をそれぞれ求めよ.

14 座標平面上の曲線 $C: y = |x^2 + 4x + 3|$ と直線 $l: y = x + k$ (k は実数) について, 次の各問に答えよ.

- (1) 曲線 C を図示せよ.
- (2) 曲線 C と直線 l が異なる 3 つの共有点をもつような k の値は 2 つある. これら 2 つの k の値を求めよ.
- (3) k を (2) で求めた値の小さい方とする. このとき, 曲線 C と直線 l で囲まれた部分の面積 S を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \lim_{x \rightarrow 0} \left\{ \frac{1}{x} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{x+3} \right) \right\} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{3(x+3)} = \frac{1}{9}$$

$$(あ) \frac{1}{9}$$

$$(2) f(x) = \frac{e^x}{x} \text{ より } f'(x) = \frac{e^x x - e^x \cdot 1}{x^2} = \frac{e^x(x-1)}{x^2}$$

$$(い) \frac{e^x(x-1)}{x^2}$$

$$(3) f(x) = \log(1 + \sin x) \text{ より } f'(x) = \frac{\cos x}{1 + \sin x}$$

$$(う) \frac{\cos x}{1 + \sin x}$$

$$(4) \sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta \text{ より}$$

$$\begin{aligned} I &= \int x \sin \frac{x}{2} \cos \frac{x}{2} dx = \int \frac{x}{2} \sin x dx = \int \frac{x}{2} (-\cos x)' dx \\ &= \frac{x}{2} (-\cos x) - \frac{1}{2} (-\sin x) + C = \frac{1}{2} (-x \cos x + \sin x) + C \end{aligned}$$

$$(え) \quad 2 \quad (お) \quad \frac{1}{2} (-x \cos x + \sin x) + C$$

補足 $f(x)$ の第 n 次導関数を $f^{(n)}(x)$ と表すように (n は自然数), ここで, n を 0 さらに負の整数まで拡張することにする. 実際にはこのような定義はないが, $f^{(-n)}(x)$ を $f(x)$ の第 n 次原始関数と定義する. 上の積分について, 部分積分法を繰り返すと

$$\begin{aligned} \int f(x) g'(x) dx &= f(x) g(x) - f^{(1)}(x) g^{(-1)}(x) + f^{(2)}(x) g^{(-2)}(x) \\ &\quad \cdots + (-1)^n f^{(n)}(x) g^{(-n)}(x) + (-1)^{n+1} \int f^{(n+1)}(x) g^{(-n)}(x) dx \end{aligned}$$

$$(5) 2x^3 = 2x(x^2 + 1) - 2x \text{ より}$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 2x^3 \sqrt{x^2 + 1} dx &= \int_0^1 \{2x(x^2 + 1)^{\frac{3}{2}} - 2x \sqrt{x^2 + 1}\} dx \\ &= \left[\frac{2}{5} (x^2 + 1)^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{3} (x^2 + 1)^{\frac{3}{2}} \right]_0^1 = \frac{4}{15} (\sqrt{2} + 1) \end{aligned}$$

$$(か) \frac{4}{15} (\sqrt{2} + 1)$$



2 (1) $f(x) = \frac{x}{(1+x)^2} = \frac{1}{1+x} - \frac{1}{(1+x)^2}$ より

$$f'(x) = -\frac{1}{(1+x)^2} + \frac{2}{(1+x)^3} = \frac{1-x}{(1+x)^3}$$

$$f''(x) = \frac{2}{(1+x)^3} - \frac{6}{(1+x)^4} = \frac{2(x-2)}{(1+x)^3}$$

(2) $\lim_{x \rightarrow -1+0} f(x) = \lim_{x \rightarrow -1+0} \frac{x}{(1+x)^2} = -\infty,$

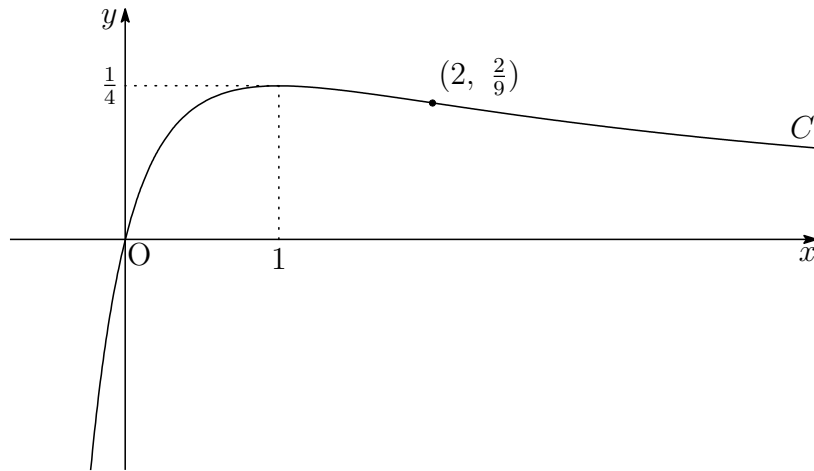
$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{1+2x+x^2} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{x}+2+x} = 0$$

(3) (1), (2) の結果から

x	(-1)	$\cdots$	1	$\cdots$	2	$\cdots$
$f'(x)$		$+$	0	$-$	$-$	$-$
$f''(x)$		$-$	$-$	$-$	0	$+$
$f(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	変曲点	$\searrow$

よって 極大値 $f(1) = \frac{1}{4}$, 変曲点 $\left(2, \frac{2}{9}\right)$,

漸近線 $x = -1, y = 0$



(4) 求める面積 S は, (3) で求めたグラフにより

$$\begin{aligned} S &= \int_0^1 f(x) dx = \int_0^1 \left\{ \frac{1}{1+x} - \frac{1}{(1+x)^2} \right\} dx \\ &= \left[\log(1+x) + \frac{1}{1+x} \right]_0^1 = \log 2 - \frac{1}{2} \end{aligned}$$

■

3 (1) $4\vec{AB} + 5\vec{AC} = 12\vec{AO}$ より $4(\vec{OB} - \vec{OA}) + 5(\vec{OC} - \vec{OA}) = -12\vec{OA}$

よって $\vec{OC} = -\frac{3}{5}\vec{OA} - \frac{4}{5}\vec{OB}$

(2) (1) の結果から $|\vec{OC}|^2 = \left| -\frac{3}{5}\vec{OA} - \frac{4}{5}\vec{OB} \right|^2$
 $= \frac{9}{25}|\vec{OA}|^2 + \frac{16}{25}|\vec{OB}|^2 + \frac{24}{25}\vec{OA} \cdot \vec{OB}$

$|\vec{OA}| = |\vec{OB}| = |\vec{OC}| = 1$ であるから

$1^2 = \frac{9}{25} \cdot 1^2 + \frac{16}{25} \cdot 1^2 + \frac{24}{25}\vec{OA} \cdot \vec{OB}$ よって $\vec{OA} \cdot \vec{OB} = 0$

(3) (1) の結果から, $\vec{OC} = -\frac{7}{5} \cdot \frac{3\vec{OA} + 4\vec{OB}}{7}$ より $\vec{OP} = \frac{3\vec{OA} + 4\vec{OB}}{7}$

$\vec{OC} // \vec{OQ}$, $|\vec{OC}| = |\vec{OQ}|$, $C \neq Q$ より $\vec{OQ} = -\vec{OC} = \frac{3\vec{OA} + 4\vec{OB}}{5}$

$\vec{OP} = \frac{5}{7}\vec{OQ}$ より $\vec{PQ} = \vec{OQ} - \vec{OP} = \frac{2}{7}\vec{OQ}$ ゆえに $|\vec{PQ}| = \frac{2}{7}$

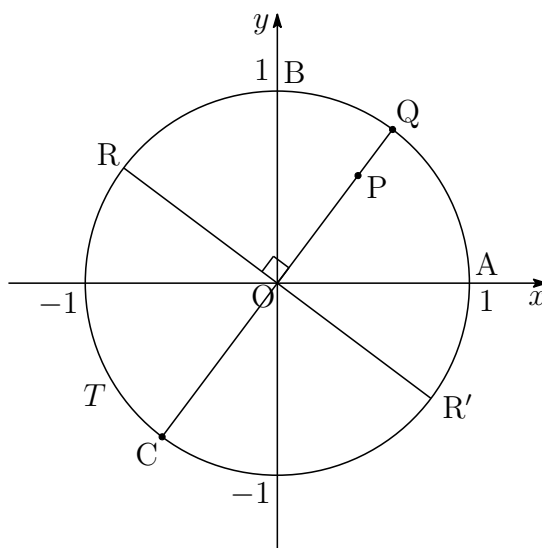
(2) の結果から, A, B をそれぞれ座標平面上の A(1, 0), B(0, 1) とすると

$$\vec{OQ} = \frac{3\vec{OA} + 4\vec{OB}}{5} = \left(\frac{3}{5}, \frac{4}{5} \right)$$

T 上の点 R について, $\triangle PQR$ の面積 S が最大となるときの, $OR \perp OQ$ より

$$\vec{OR} = \pm \left(-\frac{4}{5}, \frac{3}{5} \right) = \pm \left(-\frac{4}{5}\vec{OA} + \frac{3}{5}\vec{OB} \right)$$

このとき $S = \frac{1}{2}PQ \cdot OR = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{7} \cdot 1 = \frac{1}{7}$



- 4 (1) $y = x$, $z = 1$ を代入すると, (*) の 2 式はともに $x + 1 = (x + 1)e^{-x}$

$$(x + 1)(e^{-x} - 1) = 0 \quad \text{よって} \quad x = -1, 0$$

- (2) $e^x + e^{-x} = 4$ について, $t = e^x$ とおくと ($t > 0$)

$$t + \frac{1}{t} = 4 \quad \text{よって} \quad t^2 - 4t + 1 = 0$$

$$t > 0 \text{ に注意して解くと } t = 2 \pm \sqrt{3} \quad \text{よって} \quad x = \log(2 \pm \sqrt{3})$$

- (3) $x + z = 0$ とすると, (*) の第 1 式より, $y + z = 0$

このとき, $-z = x = y$ となり, $x \neq y$ に反するから $x + z \neq 0$

さらに, $x + z \neq 0$ より $y + z \neq 0$

(*) の 2 式の辺々を掛けると

$$(y + z)(x + z) = (x + z)(y + z)e^{-x-y}$$

$$(y + z)(x + z) \neq 0 \text{ であるから } e^{-x-y} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad y = -x \quad \dots \textcircled{1}$$

$$y = -x \text{ を (*) の第 1 式に代入すると } -x + z = (x + z)e^{-x}$$

(2) の結果から, $e^{-x} \neq 1$ に注意して

$$(1 - e^{-x})z = x(1 + e^{-x}) \quad \text{ゆえに} \quad z = \frac{x(e^x + 1)}{e^x - 1} \quad (**)$$

(2) の結果から $\alpha = \log(2 + \sqrt{3})$, $\beta = \log(2 - \sqrt{3})$ とおくと

$$\beta = -\alpha \quad \dots \textcircled{2}$$

$$x = \alpha \text{ を (**) に代入すると } z = \frac{\alpha(2 + \sqrt{3} + 1)}{2 + \sqrt{3} - 1} = \sqrt{3}\alpha$$

$$x = \beta \text{ を (**) に代入すると } z = \frac{\beta(2 - \sqrt{3} + 1)}{2 - \sqrt{3} - 1} = -\sqrt{3}\beta = \sqrt{3}\alpha$$

$$\text{上の 2 式から} \quad z = \sqrt{3}\alpha \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{1} \sim \textcircled{3} \text{ より} \quad (x, y, z) = (\pm\alpha, \mp\alpha, \sqrt{3}\alpha) \quad (\text{複号同順})$$

$$\text{よって} \quad \begin{cases} x = \pm \log(2 + \sqrt{3}) \\ y = \mp \log(2 + \sqrt{3}) \\ z = \sqrt{3} \log(2 + \sqrt{3}) \end{cases} \quad (\text{複号同順})$$



5 (1) $N_1 < N_2$, すなわち, $N_1 = 1, N_2 = 2$ より $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$

(2) $N_1 \times N_2 < N_3$ より

$$(N_1, N_2, N_3) = (1, 1, 2), (1, 1, 3), (1, 2, 3), (2, 1, 3)$$

よって $\frac{4}{3^3} = \frac{4}{27}$

(3) $p = \left(\frac{1}{5}\right)^2 = \frac{1}{25}$ とおくと

$N_1 \times N_2$	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	20	25
$P(N_1 \times N_2)$	p	$2p$	$2p$	$3p$	$2p$	$2p$	$2p$	p	$2p$	$2p$	$2p$	p	$2p$	p

上の表から

$$P(N_1 \times N_2 = N_3 \times N_4) = 4p^2 + 9(2p)^2 + (3p)^2 = 49p^2$$

$$P(N_1 \times N_2 < N_3 \times N_4) = P(N_1 \times N_2 > N_3 \times N_4) \text{ であるから}$$

$$2P(N_1 \times N_2 < N_3 \times N_4) + 49p^2 = 1$$

$$\begin{aligned} 2P(N_1 \times N_2 < N_3 \times N_4) &= 1 - 49p^2 = (1 + 7p)(1 - 7p) \\ &= \left(1 + \frac{7}{25}\right) \left(1 - \frac{7}{25}\right) \\ &= \frac{32}{25} \times \frac{18}{25} \end{aligned}$$

よって $P(N_1 \times N_2 < N_3 \times N_4) = \frac{288}{625}$ ■

6 (1) $y = e^{-\theta} \sin \theta$ より

$$\begin{aligned}\frac{dy}{d\theta} &= -e^{-\theta} \sin \theta + e^{-\theta} \cos \theta \\ &= -e^{-\theta}(\sin \theta - \cos \theta) \\ &= -\sqrt{2}e^{-\theta} \sin\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)\end{aligned}$$

$$\frac{dy}{d\theta} = 0 \text{ を解いて } \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right) \quad \theta = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{したがって } \mathbf{A} \left(\frac{1}{\sqrt{2}}e^{-\frac{\pi}{4}}, \frac{1}{\sqrt{2}}e^{-\frac{\pi}{4}} \right)$$

$$(2) \quad I = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \sin t \, dt, \quad J = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \cos t \, dt \text{ より}$$

$$\begin{aligned}J - I &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \cos t \, dt - \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-t} \sin t \, dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} (-e^{-t} \sin t + e^{-t} \cos t) \, dt \\ &= \left[e^{-t} \sin t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = e^{-\frac{\pi}{2}}\end{aligned}$$

$$(3) \quad r^2 = x^2 + y^2 = e^{-2\theta} \text{ より}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{4}} r^2 \, d\theta = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{4}} e^{-2\theta} \, d\theta \\ &= -\frac{1}{4} \left[e^{-2\theta} \right]_0^{\frac{\pi}{4}} = \frac{1}{4} (1 - e^{-\frac{\pi}{2}})\end{aligned}$$

■

7 (1)

$$\begin{aligned}
 {}_nC_k + {}_nC_{k-1} &= \frac{n!}{k!(n-k)!} + \frac{n!}{(k-1)!(n-k+1)!} \\
 &= n! \left\{ \frac{1}{k!(n-k)!} + \frac{1}{(k-1)!(n-k+1)!} \right\} \\
 &= n! \left\{ \frac{n-k+1}{k!(n-k+1)!} + \frac{k}{k!(n-k+1)!} \right\} \\
 &= \frac{(n+1)!}{k!(n+1-k)!} = {}_{n+1}C_k
 \end{aligned}$$

(2) $\sum_{k=0}^{n+1} {}_nC_k x^k = (1+x)^{n+1}$ であるから, これに $x = -1$ を代入すると

$$\sum_{k=0}^{n+1} {}_nC_k (-1)^k = 0$$

(3) $f(x) = 1 + x + x^2 + \cdots + x^{n-1}$ とすると

$$\begin{aligned}
 f(x) &= \begin{cases} \frac{1-x^n}{1-x} & (x \neq 1) \\ n & (x = 1) \end{cases} \\
 \int_0^1 f(x) dx &= 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n}
 \end{aligned}$$

$t = 1 - x$, $g(t) = f(x)$ とすると, $t = 1 - x \neq 0$ のとき

$$\begin{aligned}
 g(t) &= \frac{1 - (1-t)^n}{t} = \frac{1}{t} \left\{ 1 - \sum_{k=0}^n {}_nC_k (-t)^k \right\} \\
 &= \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} {}_nC_k t^{k-1}
 \end{aligned}$$

$$g(t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} {}_n C_k t^{k-1} & (t \neq 0) \\ n & (t = 0) \end{cases} \quad \frac{dx}{dt} = -1 \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \longrightarrow 1 \\ \hline t & 1 \longrightarrow 0 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 f(x) dx &= \int_1^0 g(t) (-dt) = \int_0^1 g(t) dt \\ &= \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} {}_n C_k \int_0^1 t^{k-1} dt \\ &= \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} {}_n C_k \left[\frac{t^k}{k} \right]_0^1 \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k+1}}{k} {}_n C_k \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n} = \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k+1}}{k} {}_n C_k$$

補足 $h(x) = x^n$ とすると, $h'(x) = nx^{n-1}$ より

$$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{h(x) - h(1)}{x - 1} = h'(1) = n$$

$\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = f(1)$ であるから, $f(x)$ は $x = 1$ で連続である.

同様に, $g(t)$ は, $t = 0$ で連続である. ■

8 (1) 与えられた漸化式より

$$\begin{aligned}a_2 &= c_1 = p, \\b_2 &= -b_1 - 2c_1 = -2 - 2p = -2(p+1), \\c_2 &= a_1 + b_1 + c_1 = 1 + 2 + p = p+3\end{aligned}$$

したがって $f_2(x) = px^2 - 2(p+1)x + (p+3)$

$f_2(x) = 0$ が重解をもつから、係数について

$$D/4 = (p+1)^2 - p(p+3) = 1 - p = 0 \quad \text{よって} \quad p = 1$$

(2) 与えられた漸化式より

$$\begin{aligned}b_{n+1}^2 - 4a_{n+1}c_{n+1} &= (-b_n - 2c_n)^2 - 4c_n(a_n + b_n + c_n) \\&= b_n^2 - 4a_nc_n\end{aligned}$$

したがって $b_n^2 - 4a_nc_n = b_1^2 - 4a_1c_1 = 2^2 - 4 \cdot 1 \cdot p = 4(1-p)$

すべての自然数 n について、 $f_n(x) = 0$ の漸化式 D は

$$D = 4(1-p)$$

$f_{2025}(x) = 0$ が重解をもつとき

$$4(1-p) = 0 \quad \text{よって} \quad p = 1$$

(3) $p = 1$ のとき、与えられた漸化式より

$$\begin{aligned}(a_1, b_1, c_1) &= (1, 2, 1) \\(a_2, b_2, c_2) &= (1, -4, 4) \\(a_3, b_3, c_3) &= (4, -4, 1) \\(a_4, b_4, c_4) &= (1, 2, 1)\end{aligned}$$

これより、 $(a_{2025}, b_{2025}, c_{2025}) = (a_3, b_3, c_3)$ であるから

$$f_{2025}(x) = 4x^2 - 4x + 1 = (2x - 1)^2$$

よって、 $f_{2025}(x) = 0$ の解は $x = \frac{1}{2}$



- 9** (1) 1 枚のコインを投げ、表が出る事象を A , 裏が出る事象を B とする.
5 回の試行で表が 4 回, 裏が 1 回出る確率であるから

$$\frac{5!}{4!1!}P(A)^4P(B) = 5 \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{5}{32}$$

- (2) 6 回の試行で表が 4 回以上出る確率であるから

$$\begin{aligned} & \frac{6!}{4!2!}P(A)^4P(B)^2 + \frac{6!}{5!1!}P(A)^5P(B) + P(A)^6 \\ &= (15 + 6 + 1) \left(\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{22}{64} = \frac{11}{32} \end{aligned}$$

- (3) 3 回でゲームが終了する確率 p_3 は

$$p_3 = P(A)^3 = \frac{1}{8}$$

5 回でゲームが終了する確率 p_5 は

$$p_5 = \frac{5!}{4!1!}P(A)^4P(B) - p_3 \cdot \frac{2!}{1!1!}P(A)P(B) = \frac{5}{32} - \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{32}$$

求める確率は, これらの余事象の確率であるから

$$1 - (p_3 + p_5) = 1 - \left(\frac{1}{8} + \frac{3}{32}\right) = \frac{25}{32}$$

■

10 (1) **1** (1) を参照.

(2) **1** (2) を参照.

(3) **1** (3) を参照.

(4)

$$\begin{aligned}\int x^2 e^{-\frac{1}{2}x} dx &= \int x^2 (-2e^{-\frac{1}{2}x})' dx \\&= x^2(-2e^{-\frac{1}{2}x}) - 2x \cdot 4e^{-\frac{1}{2}x} + 2(-8e^{-\frac{1}{2}x}) + C \\&= (-2x^2 - 8x - 16)e^{-\frac{1}{2}x} + C \\&= -2(x^2 + 4x + 8)e^{-\frac{1}{2}x} + C \quad (C \text{ は積分定数})\end{aligned}$$

(5) **1** (5) を参照.



11 (1) $C_1: y = x^2 + m^2$ より $y' = 2x$

C_1 上の点 $A(\alpha, \alpha^2 + m^2)$ における接線 l_A の方程式は

$$y = 2\alpha(x - \alpha) + \alpha^2 + m^2 \quad \text{すなわち} \quad y = 2\alpha x - \alpha^2 + m^2$$

同様に, C_1 上の点 $A(\beta, \beta^2 + m^2)$ における接線 l_B の方程式は

$$y = 2\beta x - \beta^2 + m^2$$

l_A と l_B の方程式から y を消去すると ($\alpha \neq \beta$)

$$2\alpha x - \alpha^2 + m^2 = 2\beta x - \beta^2 + m^2 \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{\alpha + \beta}{2}$$

これを l_A の方程式に代入すると

$$y = 2\alpha \cdot \frac{\alpha + \beta}{2} - \alpha^2 + m^2 = \alpha\beta + m^2$$

l_A と l_B の交点 $\left(\frac{\alpha + \beta}{2}, \alpha\beta + m^2\right)$ が点 $A(t, t^2)$ であるから

$$t = \frac{\alpha + \beta}{2}, \quad t^2 = \alpha\beta + m^2$$

したがって $\alpha + \beta = 2t, \quad \alpha\beta = t^2 - m^2$

α, β を解とする 2 次方程式は

$$x^2 - 2tx + t^2 - m^2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = t \pm m$$

$\alpha < \beta$ より ($m > 0$) $\alpha = t - m, \beta = t + m$

(2) $t = \frac{\alpha + \beta}{2}$ より

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{\alpha}^t \{x^2 + m^2 - (2\alpha x - \alpha^2 + m^2)\} dx = \int_{\alpha}^t (x - \alpha)^2 dx \\ &= \frac{1}{3} \left[(x - \alpha)^3 \right]_{\alpha}^t = \frac{1}{3} (t - \alpha)^3 = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha + \beta}{2} - \alpha \right)^3 = \frac{1}{24} (\beta - \alpha)^3, \\ S_2 &= \int_t^{\beta} \{x^2 + m^2 - (2\beta x - \beta^2 + m^2)\} dx = \int_t^{\beta} (x - \beta)^2 dx \\ &= \frac{1}{3} \left[(x - \beta)^3 \right]_t^{\beta} = \frac{1}{3} (\beta - t)^3 = \frac{1}{3} \left(\beta - \frac{\alpha + \beta}{2} \right)^3 = \frac{1}{24} (\beta - \alpha)^3 \end{aligned}$$

よって $S_1 = S_2$ ■

$$\boxed{12} \quad (1) \quad z = \frac{\sqrt{3}+i}{2} \text{ より } \bar{z} = \frac{\sqrt{3}-i}{2}$$

$$w = \frac{5z - \bar{z} + 6i}{2} = \frac{1}{2} \left(5 \cdot \frac{\sqrt{3}+i}{2} - \frac{\sqrt{3}-i}{2} + 6i \right) = \sqrt{3} + \frac{9}{2}i$$

$$(2) \quad w = \frac{5z - \bar{z} + 6i}{2} \text{ より } \bar{w} = \frac{5\bar{z} - z - 6i}{2}$$

上の2式から $\bar{z}$ を消去すると $5w + \bar{w} = 12z + 12i$

$$\text{よって } z = \frac{5w + \bar{w} - 12i}{12}$$

$$(3) \quad (2) \text{ の結果から } \frac{3(w + \bar{w}) + 2(w - \bar{w} - 6i)}{12} = z$$

$$\frac{w + \bar{w}}{4} + \frac{w - \bar{w} - 6i}{6} = z$$

点 z は原点 O を中心とする半径1の円の周上を動くから

$$z = \cos \theta + i \sin \theta \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$$

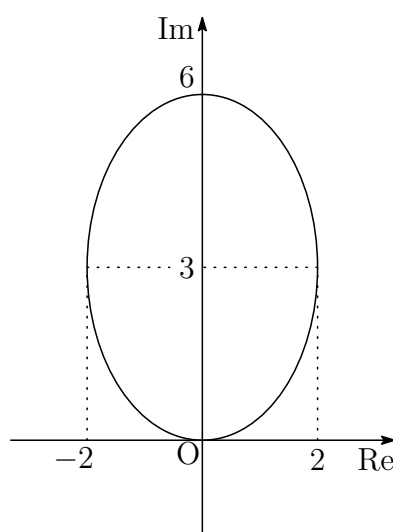
とおくと

$$\frac{w + \bar{w}}{4} = \cos \theta, \quad \frac{w - \bar{w} - 6i}{6} = i \sin \theta$$

$$\text{したがって } w + \bar{w} = 4 \cos \theta, \quad w - \bar{w} = 6i \sin \theta + 6i$$

$$\text{よって } w = 2 \cos \theta + 3i \sin \theta + 3i \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$$

複素数平面上で点 w の描く図形は、次の楕円である。



13 (1) $|x+3| \geq |x-2|$ より $|x+3|^2 \geq |x-2|^2$

$$(x+3)^2 \geq (x-2)^2 \quad \text{これを解いて} \quad x \geq -\frac{1}{2}$$

- (2) 円の半径を r とすると, その中心 (r, r) から直線 $3x+4y-60=0$ までの距離が r であるから

$$r = \frac{|3r+4r-60|}{\sqrt{3^2+4^2}}$$

このとき, 点 (r, r) は直線 $3x+4y-60=0$ の下側にあるから

$$3r+4r-60 < 0$$

したがって $r = \frac{60-7r}{5}$ これを解いて $r = 5$

求める円は中心 $(5, 5)$, 半径 5 であるから

$$(x-5)^2 + (y-5)^2 = 25$$

- (3) **9** (1) を参照

(4) $f(x) = \left(\log_{\frac{1}{3}} \frac{x}{9}\right) \left(\log_{\frac{1}{3}} \frac{9}{x}\right) + \log_{\frac{1}{3}} \frac{x^2}{81} \quad \left(\frac{1}{3} \leq x \leq 9\right)$ より

$$f(x) = \left(\log_{\frac{1}{3}} x - \log_{\frac{1}{3}} 9\right) \left(\log_{\frac{1}{3}} 9 - \log_{\frac{1}{3}} x\right) + 2 \log_{\frac{1}{3}} x - \log_{\frac{1}{3}} 81$$

$$t = \log_{\frac{1}{3}} x \quad \left(\frac{1}{3} \leq x \leq 9\right), \quad g(t) = f(x) \text{ とおくと}$$

$$\begin{aligned} g(t) &= (t+2)(-2-t) + 2t + 4 \\ &= -t^2 - 2t \\ &= -(t+1)^2 + 1 \quad (-2 \leq t \leq 1) \end{aligned}$$

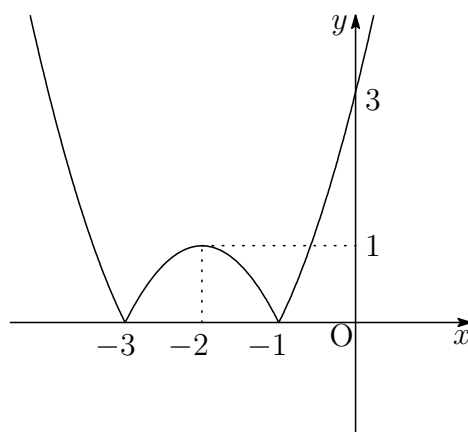
よって $t = -1$, すなわち, $x = 3$ のとき, 最大値 1

$$t = 1, \text{ すなわち, } x = \frac{1}{3} \text{ のとき, 最小値 } -3$$



14 (1) $y = |x^2 + 4x + 3|$ より

$$y = \begin{cases} x^2 + 4x + 3 & (x \leq -3, -1 \leq x) \\ -x^2 - 4x - 3 & (-3 \leq x \leq -1) \end{cases}$$



(2) C と l が異なる 3 つの共有点をもつのは、次の 2 つの場合である.

(i) $l: y = x + k$ が点 $(-3, 0)$ を通るとき

$$0 = -3 + k \quad \text{すなわち} \quad k = 3$$

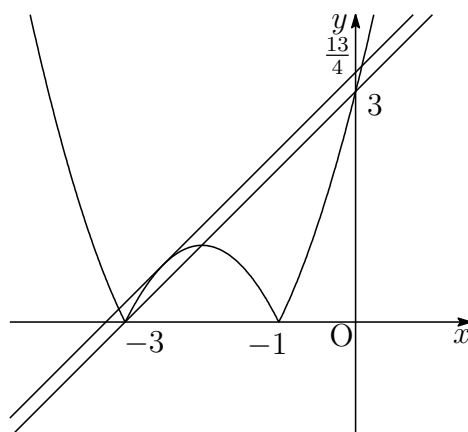
(ii) $l: y = x + k$ が放物線 $y = -x^2 - 4x - 3$ と接するとき, y を消去して

$$x + k = -x^2 - 4x - 3 \quad \text{整理すると} \quad x^2 + 5x + k + 3 = 0$$

このとき, 上の第 2 式の係数について

$$5^2 - 4(k + 3) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad k = \frac{13}{4}$$

よって $k = 3, \frac{13}{4}$



(3) 求める面積は，下の図の $S_1 + S_2$ である．

$$S_1 = \frac{1}{6}\{-2 - (-3)\}^3 = \frac{1}{6}$$

$y = x^2 + 4x + 3$ と x 軸で囲まれた部分の面積を S_3 とすると

$$S_3 = \frac{1}{6}\{-1 - (-3)\}^3 = \frac{4}{3}$$

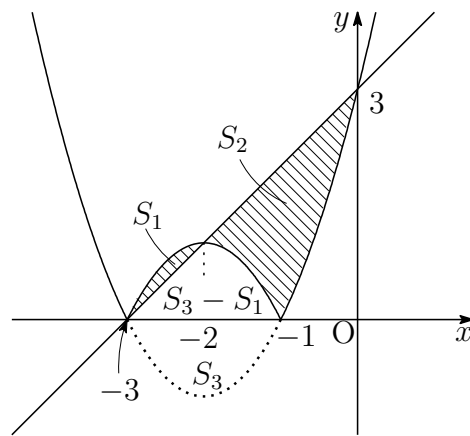
$$S_3 + (S_3 - S_1) + S_2 = \frac{1}{6}\{0 - (-3)\}^3 = \frac{9}{2} \text{ であるから}$$

$$2S_3 - S_1 + S_2 = \frac{9}{2}$$

これに $S_1 = \frac{1}{6}$, $S_3 = \frac{4}{3}$ を代入すると

$$2 \cdot \frac{4}{3} - \frac{1}{6} + S_2 = \frac{9}{2} \quad \text{ゆえに} \quad S_2 = 2$$

$$\text{よって} \quad S_1 + S_2 = \frac{1}{6} + 2 = \frac{13}{6}$$



第 9 章 鹿児島大学

出題分野 1. 理系 A… 理 [数物地] ・ 工 ・ 医 [医]
 2. 理系 B… 理 [生] ・ 医 [理] ・ 歯 ・ 農 ・ 水
 3. 教育学部

理系 A 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	鹿児島大学 理系 A	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	図形と計量								1			
	集合と命題											1
II	式と証明			1				1				1
	複素数と方程式		2			2		1		1	1	
	図形と方程式		1	1	2	1				2		
	三角関数			2	1		1	1			2	1
	指数関数と対数関数	2							2		1	2
	微分法と積分法	2					6	2			2	
III	関数											
	極限				6							
	微分法とその応用				6		6		7			
	積分法								6			
A	積分法の応用	6	6		6	7	7	6		6		7
	場合の数と確率	1				1・5*	1・2		1	1	1	5*
	整数の性質	1	1		1	1	1		1			
B	図形の性質	1	1		1					1		
	数列	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*
C	確率分布と統計	5*	5*	5*	5*		5*	5*	5*	5*	5*	
	平面上のベクトル	4*			4*		4*	4*				
	空間のベクトル		4*	4*		4*			4*	4*	4*	4*
	複素数平面	7	7	7	7	6		7		7	7	6
	式と曲線			6			6				6	

数字は問題番号 (* から 1 題選択)

理系 B 出題分野 (2015-2025) 90 分

◀	鹿児島大学 理系 B	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	図形と計量								1			
	集合と命題											1
II	式と証明			1				1				1
	複素数と方程式					2		1		1	1	
	図形と方程式		1	1	2	1				2		
	三角関数			2	1		1	1			2	1
	指数関数と対数関数	2	2						2		1	2
	微分法と積分法	2	2	1	2			2			2	
A	場合の数と確率	1				1・5*	1・2	1	1	1	1	5*
	整数の性質	1	1		1	1	1		1			
	図形の性質	1	1		1					1		
B	数列	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*	3*
	確率分布と統計	5*	5*	5*	5*		5*	5*	5*	5*	5*	
C	平面上のベクトル	4*			4*		4*	4*				
	空間のベクトル		4*	4*		4*			4*	4*	4*	4*

数字は問題番号 (* から 1 題選択)

教育学部 出題分野 (2015-2025) 120 分

◀	鹿児島大学 教育学部	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	図形と計量								1			
	集合と命題											1
II	式と証明			1				1				1
	複素数と方程式		2 [#]			2 [#]		1		1	1	
	図形と方程式		1	1	2 [#]	1				2 [#]		
	三角関数			2 [#]	1		1	1			2 [#]	1
	指数関数と対数関数	8							2 [#]		1	2 [#]
	微分法と積分法	9 [#]		1	2 [#]			2 [#]	2 [#]			
III	関数											
	極限											
	微分法とその応用											
	積分法		2 [#]									
	積分法の応用	10 [#]		8 [#]	8 [#]	8 [#]	8 [#]	8 [#]		8 [#]	8 [#]	8 [#]
A	場合の数と確率	1				1・5 [*]	1・2 [#]		1	1	1	5 [*]
	整数の性質	1	1		1	1	1		1			
	図形の性質	1	1		1					1		
B	数列	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]	3 [*]
	確率分布と統計	5 [*]	5 [*]	5 [*]	5 [*]		5 [*]	5 [*]	5 [*]	5 [*]	5 [*]	
C	平面上のベクトル	4 [*]			4 [*]		4 [*]	4 [*]				
	空間のベクトル		4 [*]	4 [*]		4 [*]			4 [*]	4 [*]	4 [*]	4 [*]
	複素数平面											
	式と曲線											

数字は問題番号 (*, #からそれぞれ 1 題選択)

9.1 2015 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B(120分)
- 理 [生命化], 医 [理学療法]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数Ⅰ・Ⅱ・A・B(90分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] [8] 必答, [3] [4] [5] から1問選択, [9] [10] から1問選択.
数Ⅰ・Ⅱ・A・Bまたは数Ⅰ・Ⅲ・A・B(90分)

[1] 次の各問いに答えよ.

- (1) SATTUN という 6 文字を並べかえて得られる順列のうち, 最初が子音文字になるものの総数を求めよ.
- (2) 半径 r の円 O' が半径 $2r$ の円 O に点 P で内接し, さらに円 O' は円 O の弦 AB に点 Q で接している. 線分 PQ の延長が円 O と交わる点を M とする. $\angle PQB = 60^\circ$ のとき, 線分 QM の長さを求めよ.
- (3) 1 次不定方程式

$$37x + 32y = 1$$

の整数解を 1 組求めよ.

[2] 次の各問いに答えよ.

- (1) 0 でない実数 a, b, c, d が $3^a = 5^b = 7^c = 105^d$ を満たすとき,

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} = \frac{1}{d}$$

が成り立つことを示せ.

- (2) 関数 $f(x) = -3mx + 2n$ と関数 $g(x) = 6x^2 - 2nx - m$ について

$$S = \int_0^2 f(x) dx, \quad T = \int_0^2 g(x) dx$$

とおく. ただし, $m \geq 0, n \geq 0$ とする. このとき, 次の各問いに答えよ.

- (a) S と T を m と n を用いて表せ.
- (b) $S \geq 0, T \geq 0$ のとき, $m + n$ が最大となるような m と n を求めよ.

- 3** 数列 $\{a_n\}$ は $a_1 = 0$, $a_{n+1} - a_n = \frac{n\{1 + (-1)^{n+1}\}}{2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) により定まるものとして、次の各問いに答えよ.

(1) a_2, a_3, a_4, a_5 をそれぞれ求めよ.

(2) 数列 $\{b_n\}, \{c_n\}$ を

$$b_n = a_{2n-1}, \quad c_n = a_{2n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定めるとき、一般項 b_n, c_n を求めよ.

(3) $\sum_{n=1}^{50} (-1)^n a_n$ を求めよ.

- 4** 平面上に三角形 ABC と点 O があり、 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ とおくとき

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} \neq 0$$

を満たしていると仮定する. 辺 BC の中点を M, 線分 OB の中点を N とし, 三角形 OBC の外心を P とする. このとき、次の各問いに答えよ.

(1) $M \neq P$ のとき、線分 MP と線分 OA は平行であることを示せ.

(2) $\overrightarrow{MP} = t\vec{a}$ において、 $\overrightarrow{OP}$ と $\overrightarrow{NP}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ および実数 t を用いて表せ.

(3) $\overrightarrow{OP}$ と $\overrightarrow{NP}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ を用いて表せ.

- 5** 整数 n ($n \geq 4$) に対し、2 枚のコインを同時に投げる試行を繰り返し、2 枚とも表が出るか、または n 回繰り返した時点で試行を終了するときの試行の回数を X_n とする. 確率変数 X_n について、次の各問いに答えよ.

(1) $n - 1$ 以下の自然数 k に対して、確率 $P(X_n = k)$ を求めよ. また、確率 $P(X_n > 3)$ を求めよ.

(2) 確率 $P(X_n = n)$ を n を用いて表せ.

(3) X_n の平均を E_n とかくとき、 $E_{n+1} - E_n$ を求めよ.

6 関数 $f(x) = xe^{-x}$ について、次の各問いに答えよ。ただし、 e は自然対数の底であり、 $x > 0$ とする。

- (1) $f(x)$ の極値を求めよ。また、曲線 $y = f(x)$ の凹凸を調べ、その概形を描け。ただし、 $\lim_{x \rightarrow +\infty} xe^{-x} = 0$ を用いてよい。
- (2) $t > 0$ とするとき、曲線 $y = f(x)$ と x 軸、および直線 $x = t$ で囲まれる部分の面積 $g(t)$ を求めよ。
- (3) $t > 0$ とするとき、曲線 $y = f(x)$ と x 軸、および二つの直線 $x = t$ と $x = t + 1$ で囲まれる部分の面積 $h(t)$ が最大となるような t の値を求めよ。

7 次の各問いに答えよ。ただし、 i は虚数単位とする。

- (1) 方程式 $z^4 = -1$ を解け。
- (2) α を方程式 $z^4 = -1$ の解の一つとする。複素数平面に点 β があって $|z - \beta| = \sqrt{2}|z - \alpha|$ を満たす点 z 全体が原点を中心とする円 C を描くとき、複素数 β を α で表せ。
- (3) 点 z が (2) の円 C 上を動くとき、点 i と z を結ぶ線分の midpoint w はどのような図形を描くか。

8 0 でない実数 a, b, c, d が $3^a = 5^b = 7^c = 105^d$ を満たすとき、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} = \frac{1}{d}$$

が成り立つことを示せ。

9 関数 $f(x) = -3mx + 2n$ と関数 $g(x) = 6x^2 - 2nx - m$ について

$$S = \int_0^2 f(x) dx, \quad T = \int_0^2 g(x) dx$$

とおく。ただし、 $m \geq 0, n \geq 0$ とする。このとき、次の各問いに答えよ。

- (1) S と T を m と n を用いて表せ。
- (2) $S \geq 0, T \geq 0$ のとき、 $m + n$ が最大となるような m と n を求めよ。

10 関数 $f(x) = xe^{-x}$ について、次の問いに答えよ。ただし、 e は自然対数の底であり、 $x > 0$ とする。

- (1) $f(x)$ の極値を求めよ。また、曲線 $y = f(x)$ の凹凸を調べ、その概形を描け。ただし、 $\lim_{x \rightarrow \infty} xe^{-x} = 0$ を用いてよい。
- (2) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸、および直線 $x = 1$ で囲まれる部分の面積を求めよ。

解答例

- 1 (1) 最初の文字が S または N のとき, ともに $\frac{5!}{2!}$ (通り)

最初の文字が T のとき $5!$ (通り)

よって, 求める総数は $\frac{5!}{2!} \times 2 + 5! = 240$ (通り)

- (2) Q は弦 AB と円 O' の接点であるから

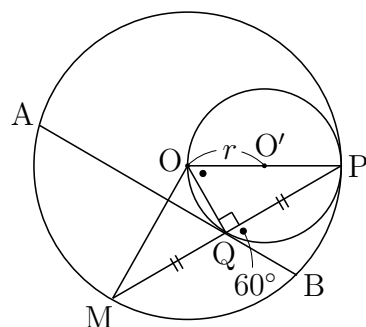
$$\angle POQ = \angle PQB = 60^\circ$$

弦 OP は, 円 O' の直径であるから

$$\angle OQP = 90^\circ$$

$\triangle OMQ \equiv \triangle OPQ$ であるから

$$QM = PQ = OP \sin 60^\circ = 2r \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}r$$



- (3) $37x + 32y = 1 \cdots (*)$ より, $37 \equiv 5, 32 \equiv 0 \pmod{32}$ であるから

$$5x \equiv 1 \pmod{32} \quad \text{ゆえに} \quad 13 \cdot 5x \equiv 13 \pmod{32}$$

すなわち $x \equiv 13 \pmod{32}$ これを満たす整数 x の 1 つは 13

(*) より, $5x + 32(x + y) = 1$ であるから

$$5 \times 13 + 32(13 + y) = 1 \quad \text{ゆえに} \quad 64 + 32(13 + y) = 0$$

これを解いて $y = -15$ よって $(x, y) = (13, -15)$

別解 ユークリッドの互除法により

$$\begin{array}{r} 2 \quad 6 \quad 1 \\ 2) 5) 32) 37 \\ \underline{4 \quad 30 \quad 32} \\ 1 \quad 2 \quad 5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \quad 6 \quad 1 \\ d) \quad c \quad) \quad b \quad) \quad a \\ \hline 1 \quad d \quad c \end{array}$$

$a = 37, b = 32, c = 5, d = 2$ とおくと

$$\begin{cases} a = b + c \\ b = 6c + d \\ c = 2d + 1 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad (*) \quad \begin{cases} c = a - b \\ d = b - 6c \\ 1 = c - 2d \end{cases}$$

(*) の 3 式から c, d を消去すると

$$1 = c - 2(b - 6c) = -2b + 13c = -2b + 13(a - b) = 13a - 15b$$

したがって $37 \cdot 13 + 32 \cdot (-15) = 1$ よって $(x, y) = (13, -15)$ ■

2 (1) $3^a = 5^b = 7^c = 105^d = M$ とおく.

a, b, c は 0 でない実数であるから, M は 1 でない正数.

$$\text{したがって} \quad a = \log_3 M = \frac{1}{\log_M 3} \quad \text{ゆえに} \quad \log_M 3 = \frac{1}{a}$$

$$b = \log_5 M = \frac{1}{\log_M 5} \quad \text{ゆえに} \quad \log_M 5 = \frac{1}{b}$$

$$c = \log_7 M = \frac{1}{\log_M 7} \quad \text{ゆえに} \quad \log_M 7 = \frac{1}{c}$$

$$d = \log_{105} M = \frac{1}{\log_M 105} \quad \text{ゆえに} \quad \log_M 105 = \frac{1}{d}$$

$$\log_M 3 + \log_M 5 + \log_M 7 = \log_M 105 \quad \text{であるから} \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} = \frac{1}{d}$$

$$(2) \quad (a) \quad S = \int_0^2 (-3mx + 2n) dx = \left[-\frac{3}{2}mx^2 + 2nx \right]_0^2 = -6m + 4n$$

$$T = \int_0^2 (6x^2 - 2nx - m) dx = \left[2x^3 - nx^2 - mx \right]_0^2 = -2m - 4n + 16$$

(b) (a) の結果から

$$m = 2 - \frac{1}{8}S - \frac{1}{8}T, \quad n = 3 + \frac{1}{16}S - \frac{3}{16}T$$

$$\text{したがって} \quad m + n = 5 - \frac{1}{16}S - \frac{5}{16}T$$

$S \geq 0, T \geq 0$ のとき, $m + n$ が最大となるのは, 上の諸式より

$$S = T = 0 \quad \text{すなわち} \quad m = 2, n = 3$$



3 (1) $a_1 = 0, a_{n+1} - a_n = \frac{n\{1 + (-1)^{n+1}\}}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad \cdots (*)$

(*) に $n = 1, 2, 3, 4$ を代入すると

$$a_2 - a_1 = 1, \quad a_3 - a_2 = 0, \quad a_4 - a_3 = 3, \quad a_5 - a_4 = 0$$

$$a_1 = 0 \text{ であるから} \quad \mathbf{a_2 = 1, a_3 = 1, a_4 = 4, a_5 = 4}$$

(2) (*) の n をそれぞれ, $2n, 2n+1$ に置き換えると

$$\begin{aligned} a_{2n+1} - a_{2n} &= \frac{2n\{1 + (-1)^{2n+1}\}}{2} = 0 \\ a_{2n+2} - a_{2n+1} &= \frac{(2n+1)\{1 + (-1)^{2n+2}\}}{2} = 2n+1 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad \begin{cases} b_{n+1} - c_n = 0 & \cdots \textcircled{1} \\ c_{n+1} - b_{n+1} = 2n+1 & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

上の 2 式から b_{n+1} を消去すると $c_{n+1} - c_n = 2n+1$

$$n \geq 2 \text{ のとき} \quad \sum_{k=1}^{n-1} (c_{k+1} - c_k) = \sum_{k=1}^{n-1} (2k+1)$$

$$\text{したがって} \quad c_n - c_1 = 2 \cdot \frac{1}{2} n(n-1) + n - 1 = n^2 - 1$$

$$c_1 = a_2 = 1 \text{ であるから} \quad c_n = n^2$$

上式は, $n = 1$ のときも成り立つ.

$$\textcircled{1} \text{ から, } n \geq 2 \text{ のとき} \quad b_n = c_{n-1} = (n-1)^2$$

$b_1 = a_1 = 0$ であるから, 上式は, $n = 1$ のときも成り立つ.

$$\text{よって, 求める一般項は} \quad \mathbf{b_n = (n-1)^2, c_n = n^2}$$

(3) (2) の結果から

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{50} (-1)^n a_n &= \sum_{k=1}^{25} \{(-1)^{2k-1} a_{2k-1} + (-1)^{2k} a_{2k}\} \\ &= \sum_{k=1}^{25} (-b_k + c_k) = \sum_{k=1}^{25} \{-(k-1)^2 + k^2\} \\ &= \sum_{k=1}^{25} (2k-1) = 25^2 = \mathbf{625} \end{aligned}$$



4 (1) $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a}$ より

$$\vec{a} \cdot (\vec{c} - \vec{b}) = \vec{b} \cdot (\vec{a} - \vec{c}) = \vec{c} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) = 0$$

すなわち

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{BC} = \overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{CA} = \overrightarrow{OC} \cdot \overrightarrow{AB} = 0$$

したがって、O は $\triangle ABC$ の垂心である.

これから $OA \perp BC \quad \dots \textcircled{1}$

また、P は $\triangle OBC$ の外心であるから、P は線分 BC の垂直二等分線上にある. したがって $MP \perp BC \quad \dots \textcircled{2}$

①, ② から $MP \parallel OA$

$$(2) \overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{MP} = \frac{\vec{b} + \vec{c}}{2} + t\vec{a} = t\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}$$

$$\overrightarrow{NP} = \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{ON} = \left(t\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c} \right) - \frac{1}{2}\vec{b} = t\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c}$$

(3) N は外接円の弦 OB の中点であるから $\overrightarrow{OB} \perp \overrightarrow{NP}$

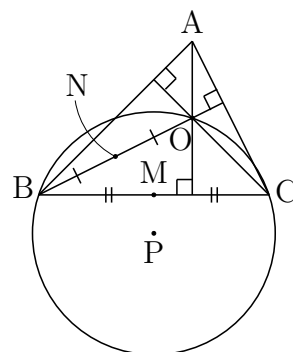
したがって、 $\overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{NP} = 0$ より

$$\vec{b} \cdot \left(t\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c} \right) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t\vec{a} \cdot \vec{b} = -\frac{1}{2}\vec{b} \cdot \vec{c}$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} \neq 0 \quad \text{であるから} \quad t = -\frac{1}{2}$$

これを (2) の結果に代入すると

$$\overrightarrow{OP} = -\frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c}, \quad \overrightarrow{NP} = -\frac{1}{2}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c}$$



5 (1) $k \leq n-1$ のとき,

$P(X_n = k)$ は, k 回目で初めて 2 枚とも表が出る確率であるから

$$P(X_n = k) = \left\{ 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right\}^{k-1} \times \left(\frac{1}{2} \right)^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{k-1}$$

また, $P(X_n > 3)$ は, 上式により

$$\begin{aligned} P(X_n > 3) &= 1 - P(X_n \leq 3) \\ &= 1 - \sum_{k=1}^3 P(X_n = k) = 1 - \sum_{k=1}^3 \frac{1}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{k-1} \\ &= 1 - \frac{1}{4} \times \frac{1 - \left(\frac{3}{4} \right)^3}{1 - \frac{3}{4}} = \left(\frac{3}{4} \right)^3 = \frac{27}{64} \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から

$$\begin{aligned} P(X_n = n) &= 1 - P(X_n \leq n-1) \\ &= 1 - \sum_{k=1}^{n-1} P(X_n = k) = 1 - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{k-1} \\ &= 1 - \frac{1}{4} \times \frac{1 - \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1}}{1 - \frac{3}{4}} = \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1} \end{aligned}$$

(3) (1), (2) の結果から

$$\begin{aligned} E_n &= \sum_{k=1}^{n-1} k P(X_n = k) + n P(X_n = n) \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} \frac{k}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{k-1} + n \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1} \end{aligned}$$

上式の n を $n+1$ に置き換えると

$$E_{n+1} = \sum_{k=1}^n \frac{k}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{k-1} + (n+1) \left(\frac{3}{4} \right)^n$$

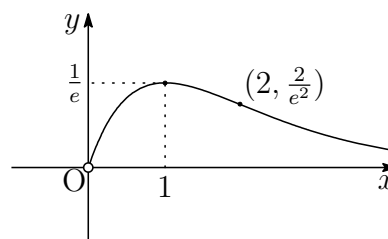
上の 2 式から

$$\begin{aligned} E_{n+1} - E_n &= \frac{n}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1} + (n+1) \left(\frac{3}{4} \right)^n - n \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1} \\ &= \left(\frac{3}{4} \right)^{n-1} \left\{ \frac{n}{4} + \frac{3}{4}(n+1) - n \right\} = \left(\frac{3}{4} \right)^n \end{aligned}$$

■

- 6 (1) $f(x) = xe^{-x}$ より $f'(x) = (1-x)e^{-x}$, $f''(x) = (x-2)e^{-x}$
したがって, $f(x)$ の増減表は次のようになる.

x	(0)	...	1	...	2	...
$f'(x)$		+	0	-	-	-
$f''(x)$		-	-	-	0	+
$f(x)$	(0)	↗	$\frac{1}{e}$	↘	$\frac{2}{e^2}$	↘



また, $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0$ より, グラフの概形は右上の図のようになる.

よって, 極大値は $f(1) = \frac{1}{e}$

- (2) (1) のグラフから

$$\begin{aligned} g(t) &= \int_0^t f(x) dx = \int_0^t xe^{-x} dx \\ &= \left[-(x+1)e^{-x} \right]_0^t = 1 - (t+1)e^{-t} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から $h(t) = g(t+1) - g(t)$

$g'(t) = f(t)$ に注意して, $h(t)$ を微分すると

$$\begin{aligned} h'(t) &= g'(t+1) - g'(t) = f(t+1) - f(t) \\ &= (t+1)e^{-t-1} - te^{-t} = e^{-t-1}\{(t+1) - et\} \\ &= e^{-t-1}\{1 - (e-1)t\} \end{aligned}$$

$t > 0$ における $h(t)$ の増減表は次のようになる.

t	(0)	...	$\frac{1}{e-1}$	...
$h'(t)$		+	0	-
$h(t)$		↗	極大	↘

よって, $h(t)$ が最大となる t の値は $t = \frac{1}{e-1}$ ■

7 (1) 方程式の解 z の極形式を $z = r(\cos \theta + i \sin \theta)$ $\cdots$ ①

$$\text{とすると} \quad z^4 = r^4(\cos 4\theta + i \sin 4\theta)$$

$$-1 \text{ を極形式で表すと } -1 = \cos \pi + i \sin \pi$$

$$\text{よって} \quad r^4(\cos 4\theta + i \sin 4\theta) = \cos \pi + i \sin \pi$$

両辺の絶対値と偏角を比較すると

$$r^4 = 1, \quad 4\theta = \pi + 2k\pi \quad (k \text{ は整数})$$

$$r > 0 \text{ であるから} \quad r = 1 \quad \cdots \text{②}$$

$$\text{また} \quad \theta = \frac{\pi}{4} + \frac{k\pi}{2}$$

$0 \leq \theta < 2\pi$ の範囲で考えると, $k = 0, 1, 2, 3$ であるから

$$\theta = \frac{\pi}{4}, \frac{3}{4}\pi, \frac{5}{4}\pi, \frac{7}{4}\pi \quad \cdots \text{③}$$

②, ③ を ① に代入すると, 求める解は

$$z = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \pm \frac{1}{\sqrt{2}}i \quad (\text{複号任意})$$

(2) $|z - \beta| = \sqrt{2}|z - \alpha|$ の両辺を 2 乗することにより

$$\begin{aligned} |z - \beta|^2 &= 2|z - \alpha|^2 \\ (z - \beta)(\bar{z} - \bar{\beta}) &= 2(z - \alpha)(\bar{z} - \bar{\alpha}) \end{aligned}$$

両辺を展開して整理すると

$$\begin{aligned} z\bar{z} - (2\bar{\alpha} - \bar{\beta})z - (2\alpha - \beta)\bar{z} &= -2\alpha\bar{\alpha} + \beta\bar{\beta} \\ \{z - (2\alpha - \beta)\}\{\bar{z} - (2\bar{\alpha} - \bar{\beta})\} &= 2(\alpha - \beta)(\bar{\alpha} - \bar{\beta}) \\ |z - (2\alpha - \beta)|^2 &= 2|\alpha - \beta|^2 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad |z - (2\alpha - \beta)| = \sqrt{2}|\alpha - \beta| \quad \cdots (*)$$

このとき, 点 z 全体が原点を中心とする円であるから

$$2\alpha - \beta = 0 \quad \text{よって} \quad \beta = 2\alpha$$

(3) $\beta = 2\alpha$ を (*) に代入すると $|z| = \sqrt{2}|\alpha| \quad \cdots \textcircled{4}$

また, α は $z^4 = -1$ の解であるから

$$\alpha^4 = -1 \quad \text{ゆえに} \quad |\alpha^4| = |-1|$$

したがって $|\alpha|^4 = 1$ すなわち $|\alpha| = 1$

これを ④ に代入すると $|z| = \sqrt{2} \quad \cdots \textcircled{5}$

w は i と z の中点であるから

$$w = \frac{i+z}{2} \quad \text{ゆえに} \quad z = 2w - i$$

これを ⑤ に代入すると

$$|2w - i| = \sqrt{2} \quad \text{ゆえに} \quad \left| w - \frac{i}{2} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

よって, 点 w は, 点 $\frac{i}{2}$ を中心とする半径 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ の円を描く. ■

8 2 (1) と同じ ■

9 2 (2) と同じ ■

10 (1) 6 (1) と同じ

(2) 求める面積を S とすると

$$S = \int_0^1 x e^{-x} dx = \left[-(x+1)e^{-x} \right]_0^1 = 1 - \frac{2}{e}$$

■

9.2 2016 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

1 次の各問いに答えよ.

- (1) $\triangle ABC$ において $\angle A$ の二等分線と辺 BC との交点を D とする. $AB = 6$, $BC = 5$, $BD = 3$ のとき, 辺 AC の長さを求めよ.
- (2) 自然数 n が 6 と互いに素であるとき, $n^2 - 1$ が 6 で割り切れることを示せ.
- (3) xy 平面で次の不等式で表される領域を図示せよ.

$$|x| \leq y \leq 1 - |x|$$

2 次の各問いに答えよ.

- (1) 整式 $P(x)$ を 0 でない整式 $Q(x)$ で割った余りを $R(x)$ とおく. 方程式 $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解は方程式 $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解であることを示せ. また逆に方程式 $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解は方程式 $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解であることを示せ.
- (2) 整式 $P(x)$, $Q(x)$ を

$$P(x) = x^4 + 2x^3 + x^2 - 1, \quad Q(x) = x^3 + 2x^2 - 1$$

とおく. 方程式 $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解をすべて求めよ.

- 3 数列 $\{a_n\}$ を $a_1 = a_2 = 1$, $a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) によって定める.
また α を $\alpha = 1 + \frac{1}{\alpha}$ を満たす正の実数とする. 次の各問いに答えよ.

- (1) 数列 $\{b_n\}$ を $b_n = \frac{a_{n+1}}{a_n}$ で定める. b_{n+1} を b_n を用いて表せ.
- (2) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して $b_n \geq 1$ となることを示せ.
- (3) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して $|b_{n+1} - \alpha| \leq \frac{1}{\alpha} |b_n - \alpha|$ となることを示せ.
- (4) $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して $|b_n - \alpha| \leq \frac{1}{\alpha^n}$ となることを示せ.

- 4 四面体 OABC を考える. 辺 OA を 1 : 1 に内分する点を P とする. また辺 OB を 2 : 1 に内分する点を Q として, 辺 OC を 3 : 1 に内分する点を R とする. さらに三角形 ABC の重心を G とする. 3 点 P, Q, R を通る平面と線分 OG の交点を K とする. 線分 OK と KG の長さの比を求めよ.

- 5 次の各問いに答えよ.

- (1) 1 個のさいころを 10 回投げるとき, 1 または 2 の目が出る回数 X の期待値 $E(X)$ と標準偏差 $\sigma(X)$ を求めよ.
- (2) 確率変数 X の確率密度関数が $f(x) = \frac{2}{25}x$ ($0 \leq x \leq 5$) で与えられているとき, X の期待値 $E(X)$ と分散 $V(X)$ を求めよ.
- (3) 2 つの事象 A, B について, A と B が独立なら $\bar{A}$ と B も独立であることを示せ. ただし $\bar{A}$ は A の余事象を表す.

- 6 関数 $f(x) = (\log x)^2 - \log x$ ($x > 0$) を考える. 次の各問いに答えよ.

- (1) $f(x) = 0$ を満たす x をすべて求めよ.
- (2) 導関数 $f'(x)$ および 2 次導関数 $f''(x)$ をそれぞれ求めよ. また関数 $y = f(x)$ のグラフの概形を描け. ただし関数 $y = f(x)$ の増減, 凹凸, 極限 $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ を明示すること.
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.

7 次の各問いに答えよ.

(1) 複素数 z, w について, 次の関係が成立することを示せ. ただし複素数 α に対し, $\bar{\alpha}$ は α と共役な複素数を表す.

(a) $\overline{z+w} = \bar{z} + \bar{w}$

(b) $\overline{zw} = \bar{z}\bar{w}$

(2) 方程式 $z^2 - z + 1 = 0$ の 2 つの解を α, β とする. 次の各問いに答えよ.

(a) α, β を求めよ. さらにそれらを極形式で表せ.

(b) $\alpha^{100} + \beta^{100}$ を求めよ.

8 関数 $f(x) = \cos x - 1 + \frac{x^2}{2}$ について, 次の各問いに答えよ.

(1) 導関数 $f'(x)$ および 2 次導関数 $f''(x)$ をそれぞれ求めよ.

(2) $x \geq 0$ において $f'(x) \geq 0$ および $f(x) \geq 0$ が成り立つことを示せ.

(3) $f(x)$ の定積分を利用して $\sin 1 \geq \frac{5}{6}$ を示せ.

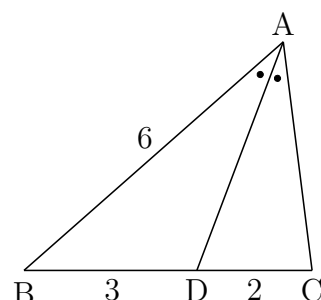
解答例

- 1 (1) $BC = 5$, $BD = 3$ より

$$DC = BC - BD = 5 - 3 = 2$$

AD は $\angle A$ の二等分線であるから,
 $AB : AC = AD : DC$ より

$$6 : AC = 3 : 2 \quad \text{ゆえに} \quad AC = 4$$

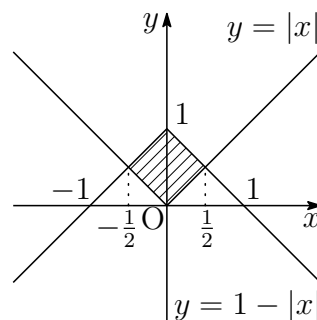


- (2) 連続する3数 $n-1$, n , $n+1$ の中には, 必ず偶数と3の倍数がある.
 n が6と互いに素であるから, n は偶数でなく, 3の倍数でもない.
したがって, $(n-1)(n+1)$ は偶数であり, かつ3の倍数である.
よって $n^2 - 1 = (n-1)(n+1)$ は6で割り切れる.

補足 このとき, n は奇数であるから, $n-1$, $n+1$ はともに偶数である.
実際は, $n^2 - 1$ は12で割り切れる.

- (3) $x \geq 0$ のとき $x \leq y \leq 1-x$
 $x < 0$ のとき $-x \leq y \leq 1+x$

よって, 求める領域は, 右の図の斜線部分で,
境界線を含む.



- 2 (1) $P(x)$ を $Q(x)$ で割ったときの商を $S(x)$ とすると

$$P(x) = Q(x)S(x) + R(x) \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$R(x) = P(x) - Q(x)S(x) \quad \cdots \textcircled{2}$$

② より, $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解は, $R(x) = 0$ の解である.

① より, $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解は, $P(x) = 0$ の解である.

よって, 上の1番目の結論から

$P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解は, $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解である.

また, 上の2番目の結論から

$Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解は, $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解である.

(2) $P(x)$ を $Q(x)$ で割ることにより $P(x) = xQ(x) + x^2 + x - 1$

$P(x)$ を $Q(x)$ で割った余りを $R(x)$ とすると $R(x) = x^2 + x - 1$

$Q(x)$ を $R(x)$ で割ることにより $Q(x) = R(x)(x+1)$

(1) の結果から, $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解であることと $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解であることは同値である. したがって, $P(x) = 0$ と $Q(x) = 0$ の共通解は, $Q(x) = 0$ と $R(x) = 0$ の共通解であるから

$$x^2 + x - 1 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

■

3 (1) $a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$, $b_n = \frac{a_{n+1}}{a_n}$ より

$$b_{n+1} = \frac{a_{n+2}}{a_{n+1}} = \frac{a_{n+1} + a_n}{a_{n+1}} = 1 + \frac{a_n}{a_{n+1}} = 1 + \frac{1}{b_n}$$

(2) $a_1 = a_2 = 1$, $b_1 = \frac{a_2}{a_1} = 1$

(1) で求めた $\{b_n\}$ の漸化式を

$$b_{n+1} = 1 + \frac{1}{b_n} \quad \cdots (*)$$

とすると, $b_1 = 1$ および $(*)$ から $b_n > 0$

さらに, $(*)$ から, $n = 2, 3, 4, \dots$ に対して $b_n > 1$

よって, $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して $b_n \geq 1$

(3) $(*)$ および $\alpha = 1 + \frac{1}{\alpha} \cdots \textcircled{1}$ に注意して

$$b_{n+1} - \alpha = 1 - \alpha + \frac{1}{b_n} = \frac{1}{b_n} - \frac{1}{\alpha}$$

したがって, (2) の結果により

$$|b_{n+1} - \alpha| = \left| \frac{1}{b_n} - \frac{1}{\alpha} \right| = \frac{1}{\alpha b_n} |b_n - \alpha| \leq \frac{1}{\alpha} |b_n - \alpha|$$

(4) (3) の結果および $\textcircled{1}$ に注意して ($\alpha > 0$)

$$|b_n - \alpha| \leq \frac{1}{\alpha^{n-1}} |b_1 - \alpha| = \frac{1}{\alpha^{n-1}} |1 - \alpha| = \frac{1}{\alpha^{n-1}} \left| -\frac{1}{\alpha} \right| = \frac{1}{\alpha^n}$$

■

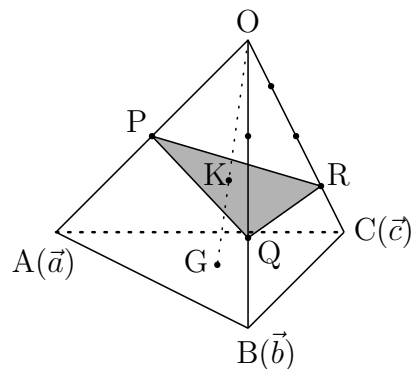
4 K は OG 上の点であるから、実数 k を用いて

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OK} &= k\overrightarrow{OG} = \frac{k}{3}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) \\ &= \frac{k}{3}\left(2\overrightarrow{OP} + \frac{3}{2}\overrightarrow{OQ} + \frac{4}{3}\overrightarrow{OR}\right) \\ &= \frac{2k}{3}\overrightarrow{OP} + \frac{k}{2}\overrightarrow{OQ} + \frac{4k}{9}\overrightarrow{OR}\end{aligned}$$

また、K は平面 PQR 上の点であるから

$$\frac{2k}{3} + \frac{k}{2} + \frac{4k}{9} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad k = \frac{18}{29}$$

よって $OK : KG = 18 : 11$



5 (1) 1 個のさいころをなげて 1 または 2 の目が出る確率は $\frac{2}{6} = \frac{1}{3}$

確率変数 X は、二項分布 $B\left(10, \frac{1}{3}\right)$ に従うから

$$E(X) = 10 \cdot \frac{1}{3} = \frac{10}{3}, \quad \sigma(X) = \sqrt{10 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3}} = \frac{2\sqrt{5}}{3}$$

$$(2) E(X) = \int_0^5 x f(x) dx = \int_0^5 \frac{2}{25} x^2 dx = \left[\frac{2}{75} x^3 \right]_0^5 = \frac{10}{3}$$

$$\begin{aligned}V(X) &= \int_0^5 x^2 f(x) dx - \{E(X)\}^2 = \int_0^5 \frac{2}{25} x^3 dx - \left(\frac{10}{3}\right)^2 \\ &= \left[\frac{1}{50} x^4 \right]_0^5 - \frac{100}{9} = \frac{25}{18}\end{aligned}$$

(3) A と B が独立であるとき

$$P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

が成立するから

$$\begin{aligned}P(\overline{A} \cap B) &= P(B) - P(A \cap B) \\ &= P(B) - P(A)P(B) \\ &= \{1 - P(A)\}P(B) = P(\overline{A})P(B)\end{aligned}$$

よって、 $\overline{A}$ と B は独立である。

補足 条件付き確率

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}, \quad P_B(A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

について, A と B が独立であるとは

$$P_A(B) = P(B) \quad \text{および} \quad P_B(A) = P(A)$$

が成り立つことである. また, A と B が独立であるとき

$$\begin{aligned} P_B(\bar{A}) &= \frac{P(\bar{A} \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B) - P(A \cap B)}{P(B)} \\ &= \frac{P(B) - P(A)P(B)}{P(B)} = 1 - P(A) = P(\bar{A}) \\ P_{\bar{A}}(B) &= \frac{P(\bar{A} \cap B)}{P(\bar{A})} = \frac{P(B) - P(A \cap B)}{1 - P(A)} \\ &= \frac{P(B) - P(A)P(B)}{1 - P(A)} = P(B) \end{aligned}$$

したがって, A と B が独立のとき, $\bar{A}$ と B は独立である.

同様に, A と B が独立のとき, A と $\bar{B}$ は独立である.

A と B が独立のとき, $\bar{A}$ と $\bar{B}$ は独立である.

最後の定理は, 次のように示してもよい.

$$\begin{aligned} P(\bar{A} \cap \bar{B}) &= P(\overline{A \cup B}) \\ &= 1 - P(A \cup B) \\ &= 1 - \{P(A) + P(B) - P(A \cap B)\} \\ &= 1 - P(A) - P(B) + P(A)P(B) \\ &= \{1 - P(A)\}\{1 - P(B)\} \\ &= P(\bar{A})P(\bar{B}) \end{aligned}$$



- 6 (1) $f(x) = (\log x)^2 - \log x$ より, $f(x) = 0$ のとき

$$\log x(\log x - 1) = 0 \quad \text{これを解いて} \quad x = 1, e$$

$$(2) \quad f'(x) = 2(\log x) \frac{1}{x} - \frac{1}{x} = \frac{2 \log x - 1}{x}$$

$$f''(x) = \frac{\frac{2}{x} \cdot x - (2 \log x - 1) \cdot 1}{x^2} = \frac{3 - 2 \log x}{x^2}$$

$$f'(x) = 0 \text{ のとき } x = e^{\frac{1}{2}}, \quad f''(x) = 0 \text{ のとき } x = e^{\frac{3}{2}}$$

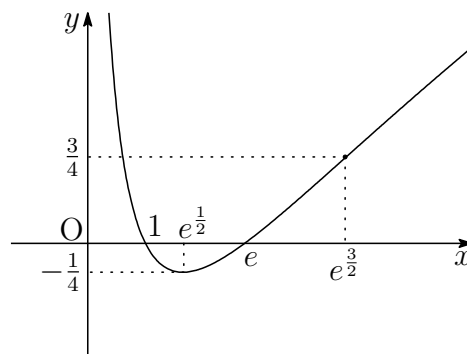
よって, $f(x)$ の増減やグラフの凹凸は, 次の表のようになる.

x	(0)	$\cdots$	$e^{\frac{1}{2}}$	$\cdots$	$e^{\frac{3}{2}}$	$\cdots$
$f'(x)$		−	0	+	+	+
$f''(x)$		+	+	+	0	−
$f(x)$		↘	極小 $-\frac{1}{4}$	↗	変曲点 $\frac{3}{4}$	↗

$$\text{また} \quad \lim_{x \rightarrow +0} f(x) = \lim_{x \rightarrow +0} \left\{ \left(\log x - \frac{1}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \right\} = \infty$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \infty} \left\{ \left(\log x - \frac{1}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \right\} = \infty$$

以上から, この関数のグラフの概形は, 下の図のようになる.



- (3) 求める面積を S とすると, グラフの概形から

$$\begin{aligned} S &= - \int_1^e \{ (\log x)^2 - \log x \} dx \\ &= - \left[x(\log x)^2 - 3x \log x + 3x \right]_1^e = 3 - e \end{aligned}$$

■

7 (1) $z = x_1 + y_1i$, $w = x_2 + y_2i$ とおくと

(a) $z + w = (x_1 + x_2) + (y_1 + y_2)i$ であるから

$$\begin{aligned}\overline{z + w} &= (x_1 + x_2) - (y_1 + y_2)i \\ &= (x_1 - y_1i) + (x_2 - y_2i) \\ &= \bar{z} + \bar{w}\end{aligned}$$

(b) $zw = (x_1 + y_1i)(x_2 + y_2i) = (x_1x_2 - y_1y_2) + (x_1y_2 + x_2y_1)i$ より

$$\overline{zw} = (x_1x_2 - y_1y_2) - (x_1y_2 + x_2y_1)i \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\bar{z} = x_1 - y_1i$, $\bar{w} = x_2 - y_2i$ より

$$\begin{aligned}\bar{z}\bar{w} &= (x_1 - y_1i)(x_2 - y_2i) \\ &= (x_1x_2 - y_1y_2) - (x_1y_2 + x_2y_1)i \quad \cdots \textcircled{2}\end{aligned}$$

①, ② より $\overline{zw} = \bar{z}\bar{w}$

(2) $z^2 - z + 1 = 0$ を解いて $z = \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$

(a) よって, 求める α , β は

$$\begin{aligned}\frac{1 + \sqrt{3}i}{2} &= \cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}, \\ \frac{1 - \sqrt{3}i}{2} &= \cos \frac{5\pi}{3} + i \sin \frac{5\pi}{3}\end{aligned}$$

(b) $\cos \frac{5\pi}{3} + i \sin \frac{5\pi}{3} = \cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3}$ であるから

$$\begin{aligned}\alpha^{100} + \beta^{100} &= \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right)^{100} + \left(\cos \frac{\pi}{3} - i \sin \frac{\pi}{3} \right)^{100} \\ &= \left(\cos \frac{100}{3}\pi + i \sin \frac{100}{3}\pi \right) + \left(\cos \frac{100}{3}\pi - i \sin \frac{100}{3}\pi \right) \\ &= 2 \cos \frac{100}{3}\pi = 2 \cos \left(32\pi + \frac{4\pi}{3} \right) = 2 \times \left(-\frac{1}{2} \right) = -1\end{aligned}$$



8 (1) $f(x) = \cos x - 1 + \frac{x^2}{2}$ より

$$f'(x) = -\sin x + x, \quad f''(x) = -\cos x + 1$$

(2) $x \geq 0$ のとき, $f''(x) \geq 0$, $f'(0) = 0$ であるから

$$x \geq 0 \text{ のとき } f'(x) \geq f'(0) \text{ すなわち } f'(x) \geq 0$$

ゆえに, $x \geq 0$ のとき, $f'(x) \geq 0$, $f(0) = 0$ であるから

$$x \geq 0 \text{ のとき } f(x) \geq f(0) \text{ すなわち } f(x) \geq 0$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \int_0^1 f(x) dx &= \int_0^1 \left(\cos x - 1 + \frac{x^2}{2} \right) dx \\ &= \left[\sin x - x + \frac{x^3}{6} \right]_0^1 = \sin 1 - \frac{5}{6} \end{aligned}$$

(2) の結果から, $x \geq 0$ のとき, $f(x) \geq 0$ であるから

$$\int_0^1 f(x) dx \geq 0$$

$$\text{したがって } \sin 1 - \frac{5}{6} \geq 0 \quad \text{よって} \quad \sin 1 \geq \frac{5}{6}$$



9.3 2017 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

1 次の各問いに答えよ.

(1) 関数 $f(x) = |x - 1| - 2$ について, 次の各問いに答えよ.

(a) $y = f(x)$ のグラフを描け.

(b) $|f(x)| > 1$ となる x の範囲を求めよ.

(2) 実数 α は $\sqrt{2} < \alpha$ を満たすとする. $\sqrt{2} < \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\alpha} < \alpha$ を示せ.

(3) 次の等式を満たす関数 $f(x)$ を求めよ.

$$f(x) = 2x^2 - 3 \int_{-1}^0 xf(t) dt - \int_0^1 f(t) dt$$

2 関数 $y = \cos 2\theta - a \sin \theta + 2$ ($0 \leq \theta < 2\pi$) について, 次の各問いに答えよ. ただし, a は正の定数とする.

(1) $t = \sin \theta$ とするとき, y を t を用いて表せ.

(2) y の最大値 M と最小値 m を, それぞれ a を用いて表せ. また, そのときの t の値も求めよ.

3 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ がある.

$$\begin{aligned} a_1 &= 2, \quad b_1 = 1, \\ a_{n+1} &= 2a_n + 3b_n - 2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \\ b_{n+1} &= a_n + 4b_n + 2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \end{aligned}$$

次の各問いに答えよ.

- (1) $c_n = a_n - b_n$ によって定められる数列 $\{c_n\}$ の一般項を求めよ.
- (2) $d_n = a_n + 3b_n$ によって定められる数列 $\{d_n\}$ の一般項を求めよ.
- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.

4 一辺の長さが1の立方体 $OABC - DEFG$ において, 線分 BF を $2:1$ に内分する点を P , 線分 EF の中点を Q とする. また, 線分 OF と平面 PQG の交点を R とする. 次の各問いに答えよ.

- (1) ベクトル $\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$ を, $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$, $\vec{d} = \overrightarrow{OD}$ を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{OR} = s\overrightarrow{OF}$ を満たす実数 s を求めよ.
- (3) $\triangle PQG$ の重心を S とするとき, 線分 RS の長さを求めよ.

5 1枚のコイン投げを $2n$ 回行う. この $2n$ 回のコイン投げで, 表が出る合計回数を X とする. ただし, コインの表と裏の出る確率は等しいとする. 次の各問いに答えよ. ※ n は自然数とする

- (1) X の期待値と標準偏差をそれぞれ求めよ.
- (2) $\frac{P(X = k+1)}{P(X = k)}$ を求めよ. ただし, $k = 0, 1, 2, \dots, 2n-1$ とする.
- (3) $P(X = k)$ を最大にする k の値を求めよ.
- (4) $n = 200$ とする, 試行回数が大きいとき, X の確率分布は正規分布で近似できることが知られており, 試行回数 400 はこのような近似が成り立つのに十分大きいとみなせる. このことを利用して, X の値が

$$190 \leq X \leq 210$$

となる確率の近似値を求めよ. ただし, 標準正規分布に従う確率変数 Z に対する $P(Z > 1)$ の近似値としては 0.159 を用いよ.

6 O を原点とする座標平面において、 C_1 を曲線 $\frac{x^2}{3^2} + y^2 = 1$ 、 C_2 を直線 $y = 2$ とする．点 P は第 1 象限にある C_1 上のある点とし、点 P における C_1 の接線を ℓ 、この接線 ℓ と C_2 との交点を Q とおく．次の各問いに答えよ．

- (1) 点 P の座標を $P(3 \cos \theta, \sin \theta)$ と表すとき、接線 ℓ の方程式、および点 Q の座標を θ を用いて求めよ．
- (2) $\triangle POQ$ の面積を最小にする点 P の座標、および接線 ℓ の方程式を求めよ．
- (3) (2) のとき、曲線 C_1 で囲まれた図形と $\triangle POQ$ との共通部分の面積を求めよ．

7 O を原点とする複素数平面において、4 点 O, A, B, C が、時計の針の回転と逆の向きに正方形をなすとする．複素数 z, w を表す点 $P(z), Q(w)$ が、点 A, B, C のいずれかに一致しているとき、次の各問いに答えよ．

- (1) z, w が条件 $0 < \arg\left(\frac{w}{z}\right) \leq \frac{\pi}{2}$ を満たすとする．このとき、点 P, Q は点 A, B, C のいずれに一致しうるか、条件を満たす P, Q の組をすべて求めよ．
- (2) z, w が (1) の条件に加え、さらに $w = z^2$ を満たすとする．このとき、(1) で求めた P, Q のそれぞれの組に対して、複素数 z の値を求め、対応する正方形 OABC を複素数平面上に図示せよ．

8 曲線 $y = e^{-2x}$ を考える．この曲線上の点 (t, e^{-2t}) における接線 ℓ が点 $\left(-\frac{1}{2}, 0\right)$ を通るとき、次の各問いに答えよ．ただし、 e は自然対数の底とする．

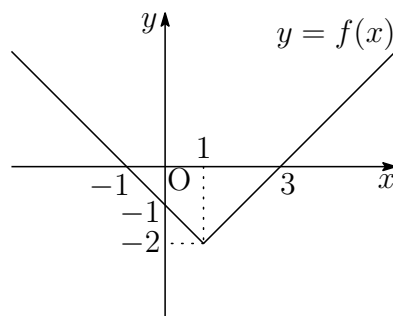
- (1) t の値と接線 ℓ の方程式を求めよ．
- (2) 曲線 $y = e^{-2x}$ と接線、 x 軸、および y 軸で囲まれた図形の面積を求めよ．

解答例

- 1 (1) (a) $f(x) = |x - 1| - 2$ より

$$f(x) = \begin{cases} x - 3 & (x \geq 1) \\ -x - 1 & (x < 1) \end{cases}$$

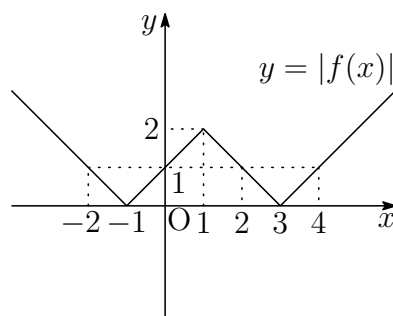
したがって, $y = f(x)$ のグラフは,
右の図のようになる.



- (b) (a) の結果から, $y = |f(x)|$ のグラフは,
右の図のようになる.

よって, $|f(x)| > 1$ となる x の範囲は

$$x < -2, 0 < x < 2, 4 < x$$



- (2) 実数 α は $\sqrt{2} < \alpha$ を満たすから

$$\frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\alpha} - \sqrt{2} = \frac{1}{2\alpha}(\alpha^2 - 2\sqrt{2}\alpha + 2) = \frac{1}{2\alpha}(\alpha - \sqrt{2})^2 > 0,$$

$$\alpha - \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\alpha}\right) = \frac{1}{2\alpha}(\alpha^2 - 2) = \frac{1}{2\alpha}(\alpha + \sqrt{2})(\alpha - \sqrt{2}) > 0$$

$$\text{よって} \quad \sqrt{2} < \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{\alpha} < \alpha$$

- (3) $A = \int_{-1}^0 f(t) dt$, $B = \int_0^1 f(t) dt$ とおくと, $f(x) = 2x^2 - 3Ax - B$ より

$$\begin{aligned} A &= \int_{-1}^0 (2t^2 - 3At - B) dt = \left[\frac{2}{3}t^3 - \frac{3}{2}At^2 - Bt \right]_{-1}^0 \\ &= \frac{2}{3} + \frac{3}{2}A - B, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \int_0^1 (2t^2 - 3At - B) dt = \left[\frac{2}{3}t^3 - \frac{3}{2}At^2 - Bt \right]_0^1 \\ &= \frac{2}{3} - \frac{3}{2}A - B \end{aligned}$$

$$\text{整理すると} \quad -\frac{1}{2}A + B = \frac{2}{3}, \quad \frac{3}{2}A + 2B = \frac{2}{3}$$

$$\text{ゆえに} \quad A = -\frac{4}{15}, \quad B = \frac{8}{15} \quad \text{よって} \quad f(x) = 2x^2 + \frac{4}{5}x - \frac{8}{15} \quad \blacksquare$$

$$\begin{aligned} \text{2 (1)} \quad y &= \cos 2\theta - a \sin \theta + 2 = (1 - 2 \sin^2 \theta) - a \sin \theta + 2 \\ &= -2 \sin^2 \theta - a \sin \theta + 3 \end{aligned}$$

$$t = \sin \theta \text{ より } \quad y = -2t^2 - at + 3$$

$$(2) \text{ (1) の結果から } \quad y = -2 \left(t + \frac{a}{4} \right)^2 + \frac{a^2}{8} + 3$$

$$0 \leq \theta < 2\pi \text{ より, } -1 \leq t \leq 1 \text{ であるから}$$

$$f(t) = -2 \left(t + \frac{a}{4} \right)^2 + \frac{a^2}{8} + 3 \quad (-1 \leq t \leq 1)$$

とおく. $f(t)$ の最大値は軸の方程式 $x = -\frac{a}{4}$ および $a > 0$ に注意して

$$(i) \quad -1 \leq -\frac{a}{4} < 0, \text{ すなわち, } 0 < a \leq 4 \text{ のとき}$$

$$M = f\left(-\frac{a}{4}\right) = \frac{a^2}{8} + 3$$

$$(ii) \quad -\frac{a}{4} < -1, \text{ すなわち, } a > 4 \text{ のとき}$$

$$M = f(-1) = a + 1$$

$f(t)$ の最小値は, 定義域の中央 $\frac{-1+1}{2} = 0$ に対して, $-\frac{a}{4} < 0$ より

$$m = f(1) = -a + 1$$

$$\text{よって} \quad 0 < a \leq 4 \text{ のとき, } t = -\frac{a}{4} \text{ で, } M = \frac{a^2}{8} + 3$$

$$a > 4 \text{ のとき, } t = -1 \text{ で, } M = a + 1$$

$$t = 1 \text{ で, } m = -a + 1$$

補足 上に凸の2次関数の最小値は, 定義域の中央が放物線の軸より右側にあるときは, 定義域の右端で最小値をとり, 定義域の中央が放物線の軸より左側にあるときは, 定義域の左端で最小値をとる. ■

$$\begin{aligned}
 \text{[3]} \quad (1) \quad & a_1 = 2, \quad b_1 = 1, \\
 & a_{n+1} = 2a_n + 3b_n - 2 \quad \cdots \text{①} \quad (n = 1, 2, 3, \cdots) \\
 & b_{n+1} = a_n + 4b_n + 2 \quad \cdots \text{②} \quad (n = 1, 2, 3, \cdots)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{①, ② から} \quad a_{n+1} - b_{n+1} &= (2a_n + 3b_n - 2) - (a_n + 4b_n + 2) \\
 &= a_n - b_n - 4
 \end{aligned}$$

$$\text{すなわち} \quad c_{n+1} = c_n - 4 \quad \text{また} \quad c_1 = a_1 - b_1 = 2 - 1 = 1$$

したがって、数列 $\{c_n\}$ は、初項が 1、公差が -4 の等差数列である。

$$\text{よって} \quad c_n = 1 + (n-1) \cdot (-4) = -4n + 5$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \text{①, ② から} \quad a_{n+1} + 3b_{n+1} &= (2a_n + 3b_n - 2) + 3(a_n + 4b_n + 2) \\
 &= 5(a_n + 3b_n) + 4
 \end{aligned}$$

$$\text{すなわち} \quad d_{n+1} + 1 = 5(d_n + 1) \quad \text{また} \quad d_1 + 1 = a_1 + 3b_1 + 1 = 2 + 3 \cdot 1 + 1 = 6$$

したがって、数列 $\{d_n + 1\}$ は、初項が 6、公比が 5 の等比数列である。

$$\text{ゆえに} \quad d_n + 1 = 6 \cdot 5^{n-1} \quad \text{よって} \quad d_n = 6 \cdot 5^{n-1} - 1$$

(3) (1), (2) の結果から

$$a_n - b_n = -4n + 5, \quad a_n + 3b_n = 6 \cdot 5^{n-1} - 1$$

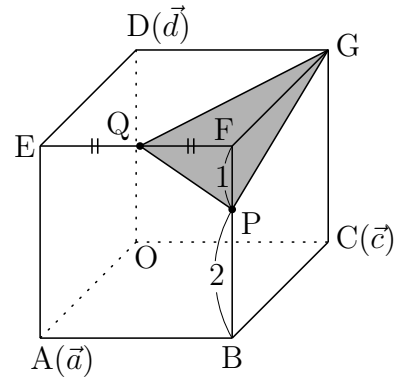
$$\text{上の 2 式から, } b_n \text{ を消去すると} \quad a_n = \frac{3}{2} \cdot 5^{n-1} - 3n + \frac{7}{2}$$



4 (1) 右の図から

$$\overrightarrow{OP} = \vec{a} + \vec{c} + \frac{2}{3}\vec{d} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\overrightarrow{OQ} = \vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c} + \vec{d} \quad \dots \textcircled{2}$$



(2) また $\overrightarrow{OG} = \vec{c} + \vec{d} \quad \dots \textcircled{3}$

$\overrightarrow{OP}$, $\overrightarrow{OQ}$, $\overrightarrow{OG}$ は, 1 次独立であるから, $\overrightarrow{OF}$ を実数 x , y , z を用いて

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OF} &= x\overrightarrow{OP} + y\overrightarrow{OQ} + z\overrightarrow{OG} \\ &= x\left(\vec{a} + \vec{c} + \frac{2}{3}\vec{d}\right) + y\left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c} + \vec{d}\right) + z(\vec{c} + \vec{d}) \\ &= (x+y)\vec{a} + \left(x + \frac{1}{2}y + z\right)\vec{c} + \left(\frac{2}{3}x + y + z\right)\vec{d} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{OF} = \vec{a} + \vec{c} + \vec{d}$ であるから

$$x + y = 1, \quad x + \frac{1}{2}y + z = 1, \quad \frac{2}{3}x + y + z = 1$$

これを解いて $x = \frac{3}{5}, \quad y = \frac{2}{5}, \quad z = \frac{1}{5}$

したがって $\overrightarrow{OF} = \frac{3}{5}\overrightarrow{OP} + \frac{2}{5}\overrightarrow{OQ} + \frac{1}{5}\overrightarrow{OG}$

$\overrightarrow{OR} = s\overrightarrow{OF}$ により $\overrightarrow{OR} = \frac{3s}{5}\overrightarrow{OP} + \frac{2s}{5}\overrightarrow{OQ} + \frac{s}{5}\overrightarrow{OG}$

このとき, R は平面 PQG 上の点であるから

$$\frac{3s}{5} + \frac{2s}{5} + \frac{s}{5} = 1 \quad \text{これを解いて} \quad s = \frac{5}{6}$$

(3) (2) の結果から $\overrightarrow{OR} = \frac{5}{6}\overrightarrow{OF} = \frac{5}{6}(\vec{a} + \vec{c} + \vec{d})$

①～③により, $\triangle PQG$ の重心 S は

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OS} &= \frac{1}{3}(\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{OQ} + \overrightarrow{OG}) \\ &= \frac{1}{3}\left\{\left(\vec{a} + \vec{c} + \frac{2}{3}\vec{d}\right) + \left(\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{c} + \vec{d}\right) + (\vec{c} + \vec{d})\right\} \\ &= \frac{2}{3}\vec{a} + \frac{5}{6}\vec{c} + \frac{8}{9}\vec{d}\end{aligned}$$

したがって $\overrightarrow{RS} = \overrightarrow{OS} - \overrightarrow{OR}$

$$\begin{aligned}&= \left(\frac{2}{3}\vec{a} + \frac{5}{6}\vec{c} + \frac{8}{9}\vec{d}\right) - \frac{5}{6}(\vec{a} + \vec{c} + \vec{d}) \\ &= -\frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{18}\vec{d} = \frac{1}{18}(-3\vec{a} + \vec{d})\end{aligned}$$

$|\vec{a}| = |\vec{d}| = 1$, $\vec{a} \perp \vec{d}$ より $\vec{a} \cdot \vec{d} = 0$ であるから

$$|-3\vec{a} + \vec{d}|^2 = 9|\vec{a}|^2 - 6\vec{a} \cdot \vec{d} + |\vec{d}|^2 = 10$$

したがって $|-3\vec{a} + \vec{d}| = \sqrt{10}$

よって $RS = |\overrightarrow{RS}| = \frac{1}{18}|-3\vec{a} + \vec{d}| = \frac{\sqrt{10}}{18}$



- 5** (1) コインの表と裏の出る確率はともに $\frac{1}{2}$

確率変数 X は二項分布 $B\left(2n, \frac{1}{2}\right)$ に従う.

よって, 期待値 $E(X)$ と標準偏差 σ は

$$E(X) = 2n \cdot \frac{1}{2} = n, \quad \sigma = \sqrt{2n \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{n}{2}}$$

- (2) $P(X = k) = {}_{2n}C_k \left(\frac{1}{2}\right)^{2n}$, $P(X = k + 1) = {}_{2n}C_{k+1} \left(\frac{1}{2}\right)^{2n}$ より

$$\begin{aligned} \frac{P(X = k + 1)}{P(X = k)} &= \frac{{}_{2n}C_{k+1}}{{}_{2n}C_k} = \frac{(2n)!}{(k+1)!(2n-k-1)!} \cdot \frac{k!(2n-k)!}{(2n)!} \\ &= \frac{2n-k}{k+1} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から $\frac{P(X = k + 1)}{P(X = k)} - 1 = \frac{2n - 2k - 1}{k + 1}$

$$\text{したがって} \quad 0 \leq k \leq n-1 \text{ のとき} \quad \frac{P(X = k + 1)}{P(X = k)} > 1$$

$$n \leq k \leq 2n \text{ のとき} \quad \frac{P(X = k + 1)}{P(X = k)} < 1$$

よって, $P(X = k)$ を最大にする k の値は n

- (4) $n = 200$ のとき, 確率変数 X は二項分布 $B\left(400, \frac{1}{2}\right)$ に従う.

$B\left(400, \frac{1}{2}\right)$ は, 正規分布 $N(200, 100)$ で近似されるから

$$Z = \frac{X - 200}{\sqrt{100}}$$

とおくと, 確率変数 Z は正規分布 $N(0, 1)$ に従う.

$$\begin{aligned} P(190 \leq X \leq 210) &= P\left(-1 \leq \frac{X - 200}{10} \leq 1\right) \\ &= P(-1 \leq Z \leq 1) \\ &= 2P(0 \leq Z \leq 1) \\ &= 2\{0.5 - P(Z > 1)\} \\ &= 2(0.5 - 0.159) = \mathbf{0.682} \end{aligned}$$



- 6 (1) $C_1: \frac{x^2}{3^2} + y^2 = 1$ 上の点 $P(3\cos\theta, \sin\theta)$ における接線 ℓ の方程式は

$$\frac{(3\cos\theta)x}{3^2} + (\sin\theta)y = 1$$

すなわち $\frac{x\cos\theta}{3} + y\sin\theta = 1$

上式に $y = 2$ を代入すると

$$\frac{x\cos\theta}{3} + 2\sin\theta = 1 \quad \text{ゆえに} \quad x = \frac{3(1-2\sin\theta)}{\cos\theta}$$

よって、点 Q の座標は $\left(\frac{3(1-2\sin\theta)}{\cos\theta}, 2\right)$

- (2) 3点 $O, P(3\cos\theta, \sin\theta), Q\left(\frac{3(1-2\sin\theta)}{\cos\theta}, 2\right)$ を頂点とする三角形の面積を $f(\theta)$ とすると $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$

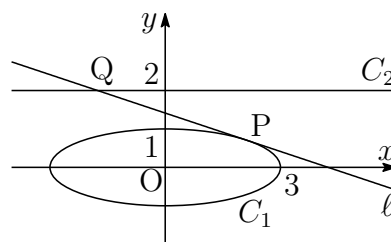
$$\begin{aligned} f(\theta) &= \frac{1}{2} \left| 3\cos\theta \cdot 2 - \sin\theta \cdot \frac{3(1-2\sin\theta)}{\cos\theta} \right| \\ &= \frac{3}{2\cos\theta} (2 - \sin\theta) = \frac{3}{2} \left(\frac{2}{\cos\theta} - \tan\theta \right) \end{aligned}$$

したがって $f'(\theta) = \frac{3}{2} \left(\frac{2\sin\theta}{\cos^2\theta} - \frac{1}{\cos^2\theta} \right) = \frac{3(2\sin\theta - 1)}{2\cos^2\theta}$

θ	(0)	$\dots$	$\frac{\pi}{6}$	$\dots$	$\left(\frac{\pi}{2}\right)$
$f'(\theta)$		$-$	0	$+$	
$f(\theta)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

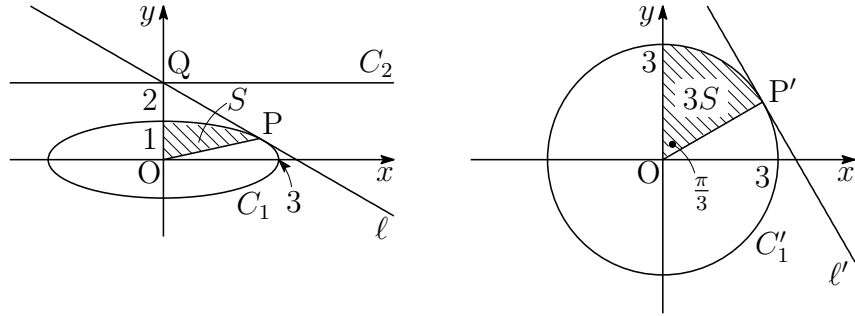
$\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき、 $f(\theta)$ は最小となるから、このとき $P\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$

また、 ℓ は (1) の結果から $\frac{x}{2\sqrt{3}} + \frac{y}{2} = 1$



(3) $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき, $P\left(3\cos\frac{\pi}{6}, \sin\frac{\pi}{6}\right)$, $Q(0, 2)$.

求める面積を S とし, C_1 および OP を x 軸を元に y 軸方向に 3 倍に拡大したものをそれぞれ C'_1 , OP' とすると, $P'\left(3\cos\frac{\pi}{6}, 3\sin\frac{\pi}{6}\right)$.



OP' と y 軸の正の向きのなす角は $\frac{\pi}{3}$ であるから

$$3S = \frac{1}{2} \cdot 3^2 \cdot \frac{\pi}{3} \quad \text{よって} \quad S = \frac{\pi}{2}$$

■

7 (1) 複素数平面上の 3 点 A , B , C の座標をそれぞれ α , β , γ とすると

$$|\alpha| = \frac{|\beta|}{\sqrt{2}} = |\gamma|, \quad \arg\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) = \arg\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) = \frac{\pi}{4} \quad \cdots (*)$$

上の第 2 式および $\arg\left(\frac{\gamma}{\alpha}\right) = \frac{\pi}{2}$ より, $0 < \arg\left(\frac{w}{z}\right) \leq \frac{\pi}{2}$ を満たす点 $P(z)$, $Q(w)$ の組は, 次の 3 組.

$$(P, Q) = (A, B), (B, C), (A, C)$$

(2) (i) $z = \alpha$, $w = \beta$ のとき, $\beta = \alpha^2$ より, $\alpha = \frac{\beta}{\alpha}$ であるから

$$|\alpha| = \frac{|\beta|}{|\alpha|} = \sqrt{2}, \quad \arg \alpha = \arg\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) = \frac{\pi}{4}$$

$$(*) \text{ により } |\beta| = 2, \arg \beta = \frac{\pi}{2}, \quad |\gamma| = \sqrt{2}, \arg \gamma = \frac{3}{4}\pi$$

(ii) $z = \beta$, $w = \gamma$ のとき, $\gamma = \beta^2$ より, $\beta = \frac{\gamma}{\beta}$ であるから

$$|\beta| = \frac{|\gamma|}{|\beta|} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \arg \beta = \arg\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) = \frac{\pi}{4}$$

$$(*) \text{ により } |\alpha| = \frac{1}{2}, \arg \alpha = 0, \quad |\gamma| = \frac{1}{2}, \arg \gamma = \frac{\pi}{2}$$

(iii) $z = \alpha$, $w = \gamma$ のとき, $\gamma = \alpha^2$ より, $\alpha = \frac{\gamma}{\alpha}$ であるから

$$|\alpha| = \frac{|\gamma|}{|\alpha|} = 1, \quad \arg \alpha = \arg \left(\frac{\gamma}{\alpha} \right) = \frac{\pi}{2}$$

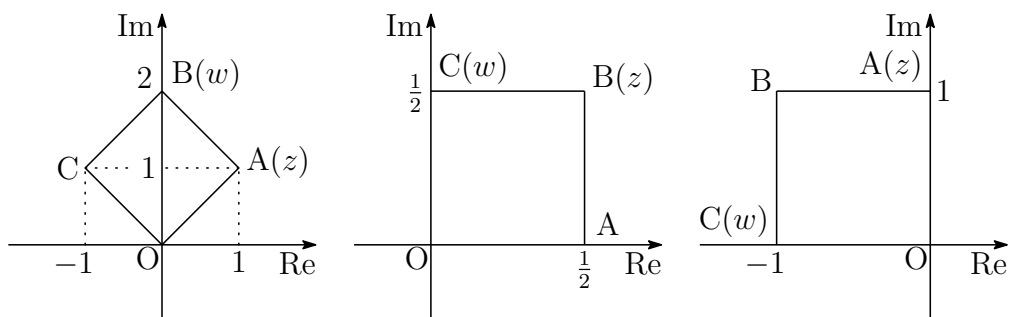
(*) により $|\beta| = \sqrt{2}$, $\arg \beta = \frac{3}{4}\pi$, $|\gamma| = 1$, $\arg \gamma = \pi$

(i)~(iii) の結果から

$z = 1 + i$ のとき $A(1 + i)$, $B(2i)$, $C(-1 + i)$

$z = \frac{1+i}{2}$ のとき $A\left(\frac{1}{2}\right)$, $B\left(\frac{1+i}{2}\right)$, $C\left(\frac{i}{2}\right)$

$z = i$ のとき $A(i)$, $B(-1 + i)$, $C(-1)$



■

8 (1) $y = e^{-2x}$ を微分すると $y = -2e^{-2x}$

曲線 $y = e^{-2x}$ 上の点 (t, e^{-2t}) における接線 ℓ の方程式は

$$y - e^{-2t} = -2e^{-2t}(x - t) \quad \text{すなわち} \quad y = e^{-2t}(-2x + 2t + 1) \quad \cdots \textcircled{1}$$

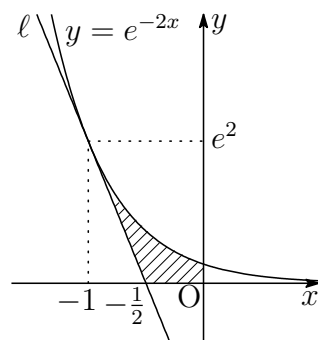
ℓ は, 点 $\left(-\frac{1}{2}, 0\right)$ を通るから

$$0 = e^{-2t}(2t + 2) \quad \text{これを解いて} \quad t = -1$$

求める ℓ の方程式は, これを $\textcircled{1}$ に代入して $y = -e^2(2x + 1)$

(2) 求める面積を S とすると, 右の図から

$$\begin{aligned} S &= \int_{-1}^0 e^{-2x} dx - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot e^2 \\ &= \left[-\frac{1}{2} e^{-2x} \right]_{-1}^0 - \frac{1}{4} e^2 \\ &= \frac{1}{4} e^2 - \frac{1}{2} \end{aligned}$$



■

9.4 2018 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

[1] 次の各問いに答えよ.

- (1) $AB = 2$, $BC = 1$, $CA = \sqrt{3}$ のとき, 三角形 ABC の内接円の半径 r を求めよ.
- (2) $\sin^2 x - \sin^2 y = \sin(x+y)\sin(x-y)$ を示せ.
- (3) p を素数とすると, $1 \leq k \leq p-1$ を満たす自然数 k に対して, 二項係数 ${}_pC_k$ は p の倍数であることを示せ.

[2] 曲線 $y = x^2$ と直線 $y = 4$ の交点を A, B とする. 点 P が曲線 $y = x^2$ 上を $-2 < x < 2$ の範囲で動くとする. このとき, 次の各問いに答えよ.

- (1) 三角形 ABP の重心 G の軌跡を求めよ.
- (2) (1) で求めた軌跡と直線 $y = 4$ で囲まれた部分の面積を求めよ.

3 数列 $\{a_n\}$ が自然数 $n = 1, 2, \dots$ に対して関係式

$$a_{n+2} - 5a_{n+1} + 6a_n = 0 \quad \dots (*)$$

を満たすとき、「数列 $\{a_n\}$ は漸化式 $(*)$ を満たす」という。このとき、次の各問に答えよ。

- (1) 初項と公比がともに $r (\neq 0)$ である等比数列で漸化式 $(*)$ を満たす数列 $\{b_n\}$, $\{c_n\}$ の一般項をそれぞれ求めよ。ただし, $b_1 > c_1$ とする。
- (2) 二つの数列 $\{d_n\}$, $\{e_n\}$ がともに漸化式 $(*)$ を満たすとき, 二つの実数 k , l に対して $f_n = kd_n + le_n$ で定められる数列 $\{f_n\}$ も漸化式 $(*)$ を満たすことを示せ。
- (3) (1) で得られた数列 $\{b_n\}$, $\{c_n\}$ と二つの実数 k , l に対して, $a_n = kb_n + lc_n$ とおくと $a_1 = 21$, $a_2 = 57$ を満たす数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

4 三角形 ABC とその内部に点 O があり, 正の実数 k , l に対して

$$\overrightarrow{OA} + k\overrightarrow{OB} + l\overrightarrow{OC} = \vec{0}$$

を満たしていると仮定する。さらに直線 OA と辺 BC, 直線 OB と辺 CA, 直線 OC と辺 AB の交点をそれぞれ D, E, F とする。このとき, 次の各問に答えよ。

- (1) $\overrightarrow{OD} = x\overrightarrow{OA}$ とおくと x を k , l を用いて表せ。さらに $\frac{OD}{AD}$ を k , l を用いて表せ。
- (2) $\overrightarrow{OE} = y\overrightarrow{OB}$ とおくと y を k , l を用いて表せ。さらに $\frac{OE}{BE}$ を k , l を用いて表せ。
- (3) $\frac{OD}{AD} + \frac{OE}{BE} + \frac{OF}{CF} = 1$ を示せ。

5 1 個のサイコロを投げ, 1 の目が出るまでこれを繰り返し行う。ただし, このサイコロ投げを繰り返す最大の回数は N 回とし ($N \geq 2$), N 回まで繰り返して 1 の目が出なければ, 終了する。このサイコロ投げにおける繰り返し回数を X とする。このとき, 次の各問に答えよ。

- (1) 確率 $P(X = k)$ を, $k < N$ と $k = N$ の場合に分けて求めよ。
- (2) X の期待値を求めよ。

- 6** 関数 $f(x) = \frac{\log(x+1)}{x+1}$ について、次の各問いに答えよ。ただし、 $x \geq 0$ とする。また、 $\log(x+1)$ は $x+1$ の自然対数を表す。

(1) 自然対数の底 e に対して、 $t \geq 0$ のとき $e^t > \frac{t^2}{2}$ が成立することを用いて

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log(x+1)}{x+1} = 0$$

を示せ。

- (2) $f(x)$ の増減、極値、グラフの凹凸および変曲点を調べて、そのグラフをかけ。
- (3) 自然数 $n = 1, 2, \dots$ に対して正の数 a_n を、曲線 $y = f(x)$ と直線 $x = a_n$ および x 軸で囲まれた部分の面積が n^2 に等しくなるように定める。この a_n を求めよ。
- (4) (3) で定まる数列 $\{a_n\}$ に対して、 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n}$ を求めよ。

- 7** 複素数平面上の点 z が $|4 - 3i - iz| = 2$ を満たすとする。このとき、次の各問いに答えよ。ただし、 i は虚数単位とする。

- (1) 点 z の全体が表す図形を求めよ。
- (2) $|z|$ の最大値と最小値を求めよ。
- (3) $w = \frac{1}{z+1+4i}$ とする。点 w の全体が表す図形を求めよ。さらに、 $|w|$ の最小値を与える w を求めよ。ただし、 $z \neq -1 - 4i$ とする。

- 8** 平面上で二つの曲線 $y = \sin x$ と $y = \cos 2x$ を考える。このとき、次の各問いに答えよ。

- (1) $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲で $y = \sin x$ と $y = \cos 2x$ の共有点を求めよ。
- (2) 二つの曲線 $y = \sin x$, $y = \cos 2x$ と二つの直線 $x = 0$, $x = \frac{\pi}{2}$ で囲まれる部分の面積を求めよ。

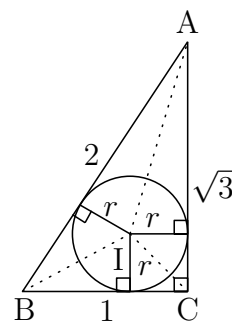
解答例

- 1 (1) $\triangle ABC$ の内心を I とすると

$$\triangle IBC + \triangle ICA + \triangle IAB = \triangle ABC$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot r + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} r + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot r &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \sqrt{3} \\ (1 + \sqrt{3} + 2)r &= \sqrt{3} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad r = \frac{\sqrt{3}}{3 + \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3} - 1}{2}$$



$$\begin{aligned} (2) \quad \sin(x+y) \sin(x-y) &= (\sin x \cos y + \cos x \sin y)(\sin x \cos y - \cos x \sin y) \\ &= \sin^2 x \cos^2 y - \cos^2 x \sin^2 y \\ &= \sin^2 x (1 - \sin^2 y) - (1 - \sin^2 x) \sin^2 y \\ &= \sin^2 x - \sin^2 y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{別解} \quad \sin^2 x - \sin^2 y &= (\sin x + \sin y)(\sin x - \sin y) \\ &= 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2} \cdot 2 \cos \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2} \\ &= 2 \sin \frac{x+y}{2} \cos \frac{x+y}{2} \cdot 2 \sin \frac{x-y}{2} \cos \frac{x-y}{2} \\ &= \sin(x+y) \sin(x-y) \end{aligned}$$

$$(3) \quad {}_p C_k = \frac{p!}{k!(p-k)!} = \frac{p}{k} \cdot \frac{(p-1)!}{(k-1)!(p-k)!} = \frac{p}{k} \times {}_{p-1} C_{k-1}$$

素数 p は整数 k ($1 \leq k \leq p-1$) で割り切れない.

よって, ${}_p C_k$ は p の倍数である. ■

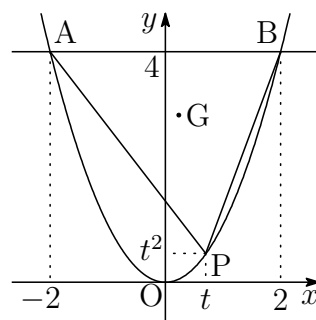
- 2 (1) $A(-2, 4)$, $B(2, 4)$, $P(t, t^2)$, $G(x, y)$ とおく.
 G は三角形 ABP の重心であるから

$$x = \frac{-2 + 2 + t}{3}, \quad y = \frac{4 + 4 + t^2}{3}$$

$$\text{ゆえに} \quad t = 3x, \quad t^2 = 3y - 8, \quad (-2 < t < 2)$$

上の 2 式から t を消去すると

$$y = 3x^2 + \frac{8}{3} \quad \left(-\frac{2}{3} < x < \frac{2}{3} \right)$$

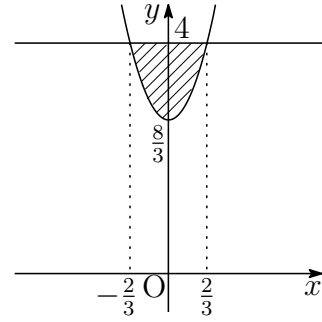


(2) (1) の軌跡と直線 $y = 4$ の交点の x 座標は

$$3x^2 + \frac{8}{3} = 4 \quad \text{これを解いて} \quad x = \pm \frac{2}{3}$$

右の図から求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-\frac{2}{3}}^{\frac{2}{3}} \left\{ 4 - \left(3x^2 + \frac{8}{3} \right) \right\} dx \\ &= -3 \int_{-\frac{2}{3}}^{\frac{2}{3}} \left(x + \frac{2}{3} \right) \left(x - \frac{2}{3} \right) dx \\ &= \frac{3}{6} \left(\frac{2}{3} + \frac{2}{3} \right)^3 = \frac{32}{27} \end{aligned}$$



- 3** (1) 初項と公比がともに $r (\neq 0)$ である等比数列の一般項は r^n
これを (*) に代入すると

$$r^{n+2} - 5r^{n+1} + 6r^n = 0 \quad \text{ゆえに} \quad r^2 - 5r + 6 = 0$$

したがって $r = 2, 3$ よって $b_n = 3^n, c_n = 2^n$

(2) 漸化式 (*) を満たす数列 $\{d_n\}, \{e_n\}$ によって, 数列 $\{f_n\}$ が関係式

$$f_n = kd_n + le_n$$

で定められるから (k, l は定数)

$$\begin{aligned} f_{n+2} - 5f_{n+1} + 6f_n &= (kd_{n+2} + le_{n+2}) - 5(kd_{n+1} + le_{n+1}) + 6(kd_n + le_n) \\ &= k(d_{n+2} - 5d_{n+1} + 6d_n) + l(e_{n+2} - 5e_{n+1} + 6e_n) \\ &= k \cdot 0 + l \cdot 0 = 0 \end{aligned}$$

よって, $\{f_n\}$ も漸化式 (*) を満たす.

(3) (1) の結果から $a_n = k \cdot 3^n + l \cdot 2^n$

$a_1 = 21, a_2 = 57$ であるから

$$\begin{cases} 3k + 2l = 21 \\ 9k + 4l = 57 \end{cases} \quad \text{これを解いて} \quad k = 5, l = 3$$

よって, 求める一般項は $a_n = 5 \cdot 3^n + 3 \cdot 2^n$

$$\boxed{4} \quad (1) \quad \vec{OA} + k\vec{OB} + l\vec{OC} = \vec{0} \quad \dots (*)$$

$$(*) \text{ より } \frac{k\vec{OB} + l\vec{OC}}{l+k} = -\frac{1}{k+l}\vec{OA}$$

$$\text{ゆえに } \vec{OD} = -\frac{1}{k+l}\vec{OA} \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\text{よって } x = -\frac{1}{k+l}$$

$$\textcircled{1} \text{ より } \vec{OD} = -\frac{1}{k+l}(\vec{OD} + \vec{DA}) \quad \text{ゆえに } (k+l+1)\vec{OD} = \vec{AD}$$

$$\text{よって } \frac{OD}{AD} = \frac{1}{k+l+1}$$

$$(2) \quad (*) \text{ より } \frac{l\vec{OC} + \vec{OA}}{1+l} = -\frac{k}{l+1}\vec{OB} \quad \text{ゆえに } \vec{OE} = -\frac{k}{l+1}\vec{OB} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\text{よって } y = -\frac{k}{l+1}$$

$$\textcircled{2} \text{ より } \vec{OE} = -\frac{k}{l+1}(\vec{OE} + \vec{EB}) \quad \text{ゆえに } (k+l+1)\vec{OE} = k\vec{BE}$$

$$\text{よって } \frac{OE}{BE} = \frac{k}{k+l+1}$$

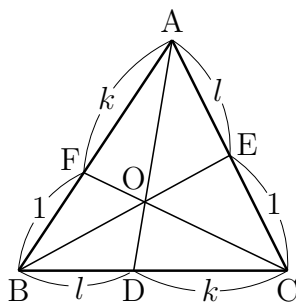
$$(3) \quad (*) \text{ より } \frac{\vec{OA} + k\vec{OB}}{k+1} = -\frac{l}{k+1}\vec{OC} \quad \text{ゆえに } \vec{OF} = -\frac{l}{k+1}\vec{OC} \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{3} \text{ より } \vec{OF} = -\frac{l}{k+1}(\vec{OF} + \vec{FC}) \quad \text{ゆえに } (k+l+1)\vec{OF} = l\vec{CF}$$

$$\text{よって } \frac{OF}{CF} = \frac{l}{k+l+1}$$

したがって、上式および(1), (2)の結果から

$$\frac{OD}{AD} + \frac{OE}{BE} + \frac{OF}{CF} = \frac{1}{k+l+1} + \frac{k}{k+l+1} + \frac{l}{k+l+1} = 1$$



■

- 5** (1) (i) $1 < k < N$ のとき, $k-1$ 回まで 1 以外の目, k 回目に 1 の目が出る確率であるから

$$P(X = k) = \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1}$$

1 回目に 1 の目が出る確率は $\frac{1}{6}$ であるから, $k=1$ のときも成立する.

$$\text{よって, } k < N \text{ のとき } P(X = k) = \frac{1}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1}$$

- (ii) $k = N$ のとき, $N-1$ 回目まで 1 以外の目が出る確率であるから

$$P(X = N) = \left(\frac{5}{6}\right)^{N-1}$$

- (2) $r = \frac{5}{6}$ とし, 求める期待値を $E(X)$ とおくと

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{k=1}^{N-1} k \cdot P(X = k) + N \cdot P(X = N) \\ &= \sum_{k=1}^{N-1} k \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} + N \left(\frac{5}{6}\right)^{N-1} \\ &= \frac{1}{6} \sum_{k=1}^N k \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} + N \left(\frac{5}{6}\right)^N = \frac{1}{6} \sum_{k=1}^N k r^{k-1} + N r^N \end{aligned}$$

$$\text{ここで, } S = \sum_{k=1}^N k r^{k-1} \text{ とおくと } E(X) = \frac{1}{6} S + N r^N \quad \dots (*)$$

$$\begin{aligned} S - rS &= \sum_{k=1}^N k r^{k-1} - \sum_{k=1}^N k r^k = \sum_{k=1}^N k r^{k-1} - \sum_{k=2}^{N+1} (k-1) r^{k-1} \\ (1-r)S &= \sum_{k=1}^N r^{k-1} - N r^N = \frac{1-r^N}{1-r} - N r^N \\ \frac{1}{6}S &= 6(1-r^N) - N r^N \end{aligned}$$

$$\text{これを } (*) \text{ に代入すると } E(X) = 6(1-r^N) = 6 \left\{ 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^N \right\} \quad \blacksquare$$

6 (1) $t > 0$ のとき, $e^t > \frac{t^2}{2}$ であるから $0 < \frac{t}{e^t} < \frac{2}{t}$

$t = \log(x+1)$ とおくと ($x > 0$), $t > 0$ であるから, 上式により

$$0 < \frac{\log(x+1)}{x+1} < \frac{2}{\log(x+1)}$$

$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2}{\log(x+1)} = 0$ であるから, はさみうちの原理により

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log(x+1)}{x+1} = 0$$

(2) $f(x) = \frac{\log(x+1)}{x+1}$ より

$$f'(x) = \frac{\frac{1}{x+1} \cdot (x+1) - \log(x+1) \cdot 1}{(x+1)^2} = \frac{1 - \log(x+1)}{(x+1)^2}$$

$$\begin{aligned} f''(x) &= \frac{-\frac{1}{x+1} \cdot (x+1)^2 - \{1 - \log(x+1)\} \cdot 2(x+1)}{(x+1)^4} \\ &= \frac{-1 - 2\{1 - \log(x+1)\}}{(x+1)^3} = \frac{2\log(x+1) - 3}{(x+1)^3} \end{aligned}$$

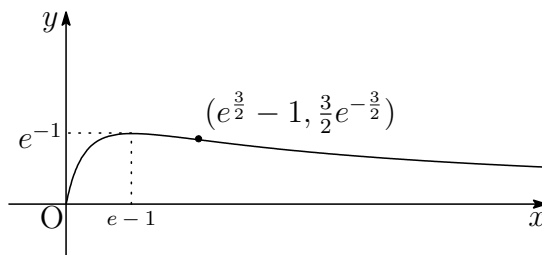
したがって, $f(x)$ の増減および凹凸は次のようになる.

x	0	...	$e-1$	...	$e^{\frac{3}{2}}-1$	...
$f'(x)$		+	0	-	-	-
$f''(x)$		-	-	-	0	+
$f(x)$	0	$\nearrow$	e^{-1}	$\searrow$	$\frac{3}{2}e^{-\frac{3}{2}}$	$\searrow$

また, (1) の結果から $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$

よって 極大値 $f(e-1) = e^{-1}$, 変曲点 $\left(e^{\frac{3}{2}}-1, \frac{3}{2}e^{-\frac{3}{2}}\right)$

グラフの概形は, 下の図のようになる.



(3) 曲線 $y = f(x)$ と直線 $x = a_n$ および x 軸で囲まれた部分の面積は

$$\int_0^{a_n} \frac{\log(x+1)}{x+1} dx = \frac{1}{2} \left[\{\log(x+1)\}^2 \right]_0^{a_n} = \frac{1}{2} \{\log(a_n+1)\}^2$$

この面積が n^2 であるから ($a_n > 0$)

$$\frac{1}{2} \{\log(a_n+1)\}^2 = n^2 \quad \text{これを解いて} \quad a_n = e^{\sqrt{2}n} - 1$$

(4) (3) の結果を利用して

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{e^{\sqrt{2}(n+1)} - 1}{e^{\sqrt{2}n} - 1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{e^{\sqrt{2}} - e^{-\sqrt{2}n}}{1 - e^{-\sqrt{2}n}} = e^{\sqrt{2}}$$

■

7 (1) $|4 - 3i - iz| = 2$ より

$$|i||4 - 3i - iz| = 2 \quad \text{ゆえに} \quad |z + 3 + 4i| = 2 \quad \cdots (*)$$

よって、点 z の表す図形は 中心 $-3 - 4i$ 、半径 2 の円

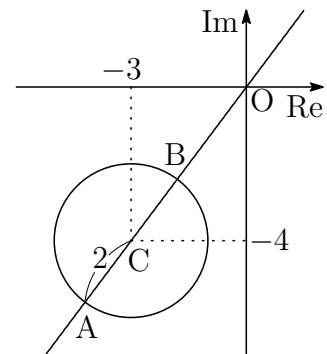
(2) (1) で求めた円の中心を C とし、右の図のように直線 OC と円の交点を A, B とすると

$$OC = |-3 - 4i| = \sqrt{(-3)^2 + (-4)^2} = 5$$

円の半径は 2 であるから

$$|z| \text{ の最大値は } OA = OC + 2 = 7$$

$$|z| \text{ の最小値は } OB = OC - 2 = 3$$



(3) $z \neq -1 - 4i$ より、 $w = \frac{1}{z+1+4i}$ ($\neq 0$) であるから

$$z = \frac{1}{w} - 1 - 4i$$

これを (*) に代入すると

$$\left| \frac{1}{w} + 2 \right| = 2 \quad \text{ゆえに} \quad |2w + 1| = 2|w| \quad \text{すなわち} \quad |w| = \left| w + \frac{1}{2} \right|$$

よって、 w は 2 点 $0, -\frac{1}{2}$ を結ぶ垂直二等分線、すなわち、 $w = -\frac{1}{4}$

また、 $|w|$ は点 $-\frac{1}{4}$ で最小値 $\frac{1}{4}$ をとる。

解説 1 次分数変換 (メビウス変換)

$$w = \frac{1}{z + 1 + 4i}$$

は、まず、点 z を $-1 - 4i$ だけ平行移動し、さらに反転 $\frac{1}{z}$ を行っている。
 このとき、平行移動後の円 $|z + 2| = 2$ は原点を通るため、反転を行うと直線に変換される。逆に、直線は反転により円に変換される。

本題の直線 $w = -\frac{1}{4}$ 上の点

$$w = -\frac{1}{4}(1 + i \tan \theta) \quad \left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$$

を反転させると

$$\begin{aligned} \frac{1}{w} &= -\frac{4}{1 + i \tan \theta} = -\frac{4 \cos \theta}{\cos \theta + i \sin \theta} = -4 \cos \theta (\cos \theta - i \sin \theta) \\ &= -2(2 \cos^2 \theta - 2i \sin \theta \cos \theta) = -2(\cos 2\theta + 1 - i \sin 2\theta) \\ &= -2 - 2(\cos 2\theta - i \sin 2\theta) \\ &= -2 + 2\{\cos(\pi - 2\theta) + i \sin(\pi - 2\theta)\} \quad \left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

これは、点 -2 を中心とする半径 2 の円を表す。

なお、原点を通らない円 $|z - a| = r$ は、反転により円に変換される。 ■

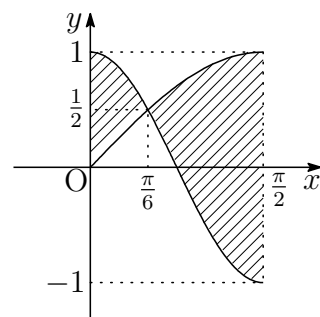
- 8 (1) $y = \sin x$ と $y = \cos 2x$ から、 y を消去すると

$$\sin x = \cos 2x \quad \text{ゆえに} \quad \sin x = 1 - 2 \sin^2 x$$

$$\text{したがって} \quad (\sin x + 1)(2 \sin x - 1) = 0$$

$$0 \leq x \leq \frac{\pi}{2} \text{ に注意して、これを解くと } x = \frac{\pi}{6}$$

$$\text{よって、求める交点の座標は} \quad \left(\frac{\pi}{6}, \frac{1}{2}\right)$$



- (2) 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\pi/6} (\cos 2x - \sin x) dx + \int_{\pi/6}^{\pi/2} (\sin x - \cos 2x) dx \\ &= \left[\frac{1}{2} \sin 2x + \cos x \right]_0^{\pi/6} + \left[-\cos x - \frac{1}{2} \sin 2x \right]_{\pi/6}^{\pi/2} = \frac{3}{2} \sqrt{3} - 1 \end{aligned}$$

■

9.5 2019 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

1 次の各問いに答えよ.

- (1) 平面上で 2 点 $A(3, 1)$, $B(1, 4)$ から等距離にある点全体のなす直線 l の方程式を求めよ. さらに, 点 $P(2, 2)$ は, 直線 l が分ける 2 つの領域のうち, 点 A のある領域, 点 B のある領域のどちらに属するかを調べよ.
- (2) 有限集合 X の要素の個数を $n(X)$ で表すことにする. 全体集合 U は有限集合で $n(U) = 100$ とし, A, B は U の部分集合で $n(A) = 30$, $n(B) = 80$ とする. $n(A \cap B)$ のとり得る値の最大値および最小値を求めよ.
- (3) 方程式 $5x + 8y = 139$ を満たす正の整数の組 (x, y) をすべて求めよ.

2 実数 α, β に対して, 整式

$$f(x) = x^4 + 2\alpha x^3 + (\alpha^2 - \beta^2 + 2)x^2 + 2\alpha x + 1$$

を考える.

- (1) $y = x + \frac{1}{x}$ とおく. このとき $\frac{1}{x^2}f(x)$ を y の整式で表せ.
- (2) $(\alpha, \beta) = \left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}\right)$ のとき, 方程式 $f(x) = 0$ の解をすべて求めよ.
- (3) 方程式 $f(x) = 0$ がちょうど 1 つの解をもつような (α, β) をすべて求めよ.

3 実数 p に対して, 数列 $\{a_n\}$ は

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = pa_n + 3n^2 + 3n \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad \dots (*)$$

を満たす.

- (1) $p = 1$ のとき, $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.
- (2) p が 1 でないとき, 漸化式 $(*)$ は実数 α, β, γ を用いて

$$a_{n+1} + \alpha(n+1)^2 + \beta(n+1) + \gamma = p(a_n + \alpha n^2 + \beta n + \gamma)$$

とかき表せる. α, β, γ を p を用いて表せ.

- (3) $p = 2$ のとき, $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.

4 xyz 空間上に, 点 $A(1, 0, 0)$, 点 $B(-1, b, b)$, 球 $S: x^2 + (y-1)^2 + z^2 = 1$ がある. ただし, b は実数とする. 原点を O とする.

- (1) 直線 AB 上の点 P を, 実数 t を用いて $\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{AB}$ と表すとき, 点 P の座標を b, t を用いて表せ.
- (2) 直線 AB が球 S と共有点をもつような b の値の範囲を求めよ.
- (3) 球 S の中心を C とする. b が (2) の値の範囲を動くとき, 三角形 ABC の面積 T の最大値と最小値を求めよ.

5 1 から 10 までの数字が 1 つずつ書かれた 10 枚のカードがある. この中から 1 枚のカードを無作為に取り出し, 書かれた数を記録してもとに戻す. この試行を n 回行い, i 回目に取り出したカードに書かれた数を X_i とする. さらに, それらの n 個の数 $X_1, X_2, \dots, X_n$ を小さい順に並べかえたものを $X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(n)}$ とする.

- (1) 確率 $P(X_{(n)} \leq 8)$ を求めよ.
- (2) 確率 $P(X_{(n)} = 8)$ を求めよ.
- (3) n を 2 以上とするとき, $X_{(2)}$ が 6 以上となる確率が $\frac{1}{2}$ 未満となる最小の試行回数 n を求めよ.

6 0 でない複素数 z に対して, $w = x + yi$ を $w = z^2 + \frac{\bar{z}}{z}$ とする. ただし, x と y は実数, i は虚数単位とし, $\bar{z}$ は z と共役な複素数とする.

- (1) 0 でない複素数 z について, z の絶対値を r , 偏角を θ とするとき, z , $\frac{1}{z}$, $\bar{z}$ を, それぞれ r , θ を用いて極形式で表せ.
- (2) 複素数平面上で点 z が原点を中心とする半径 1 の円の周上を動くとき, 点 w が描く図形を求めよ.
- (3) $r > 1$ とする. 複素数平面上で点 z が原点を中心とする半径 r の円の周上を動くとき, 点 w が描く曲線 C の方程式を x , y を用いて表せ.
- (4) $r > 1$ とする. (3) の曲線 C で囲まれた部分の面積を r を用いて表せ.

7 関数 $f(x) = \log(1+x)$ ($x \geq 0$) を考える. xy 平面上の $y = f(x)$ のグラフを y 軸のまわりで一回転させてできる形の容器がある. はじめ空である容器に, 時刻 t における水の量が vt になるように, 単位時間あたり v の一定の割合で水を静かに注ぐ. ただし, v は正の定数とし, 容器は回転軸 (y 軸) が水平面に垂直で, y 軸の正の側を上向きにして固定されている.

- (1) xy 平面で $y = f(x)$ の増減と凹凸を調べてグラフをかけ.
- (2) 水面の高さが h になったときの, 容器内の水の量 V を h を用いて表せ.
- (3) 水面の高さが $h = \log 2$ になったときの, 水面の高さの変化率 $\frac{dh}{dt}$ を求めよ.

8 曲線 $y = e^x$ の接線で, 原点を通るものを l とする.

- (1) 接線 l の方程式を求めよ.
- (2) 曲線 $y = e^x$, 接線 l および直線 $y = x + 1$ で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

- 1 (1) 平面上の点を $X(x, y)$ とする. $A(3, 1)$, $B(1, 4)$ より

$$\begin{aligned} BX^2 - AX^2 &= \{(x-1)^2 + (y-4)^2\} - \{(x-3)^2 + (y-1)^2\} \\ &= 4x - 6y + 7 \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

l は $AX = BX$ を満たす点 X の軌跡の方程式であるから

$$l: 4x - 6y + 7 = 0$$

(*) により $BP^2 - AP^2 = 4 \cdot 2 - 6 \cdot 2 + 7 = 3 > 0$ ゆえに $BP > AP$ によって, 点 P は点 A のある領域に属する.

別解 $AP = \sqrt{2}$, $BP = \sqrt{5}$ より $AP < BP$

よって, 点 P は点 A のある領域に属する.

- (2) $n(A \cap B) = x$ とおくと, 右の表から

$$\begin{cases} x \geq 0 \\ 30 - x \geq 0 \\ 80 - x \geq 0 \\ x - 10 \geq 0 \end{cases}$$

	B	$\overline{B}$	合計
A	x	$30 - x$	30
$\overline{A}$	$80 - x$	$x - 10$	70
合計	80	20	100

これを解いて $10 \leq x \leq 30$ よって $10 \leq n(A \cap B) \leq 30$

- (3) $5x + 8y = 139 \cdots (*)$ より, $5 \equiv 0$, $8 \equiv 3$, $139 \equiv 4 \pmod{5}$ であるから

$$3y \equiv 4 \pmod{5} \quad \text{ゆえに} \quad 2 \cdot 3y \equiv 2 \cdot 4 \pmod{5} \quad \text{すなわち} \quad y \equiv 3 \pmod{5}$$

$y = 3 + 5k$ (k は整数) $\cdots$ ① を (*) に代入すると

$$5x + 8(3 + 5k) = 139 \quad \text{ゆえに} \quad x = 23 - 8k \quad \cdots \text{②}$$

x, y は正の整数であるから, ①, ② より

$$\begin{cases} 23 - 8k > 0 \\ 3 + 5k > 0 \end{cases} \quad \text{これを満たす整数 } k \text{ は } k = 0, 1, 2$$

よって $(x, y) = (23, 3), (15, 8), (7, 13)$ ■

2 (1) $f(x) = x^4 + 2\alpha x^3 + (\alpha^2 - \beta^2 + 2)x^2 + 2\alpha x + 1$ より

$$\begin{aligned}\frac{1}{x^2}f(x) &= x^2 + 2 + \frac{1}{x^2} + 2\alpha\left(x + \frac{1}{x}\right) + \alpha^2 - \beta^2 \\ &= \left(x + \frac{1}{x}\right)^2 + 2\alpha\left(x + \frac{1}{x}\right) + \alpha^2 - \beta^2 \\ &= \mathbf{y^2 + 2\alpha y + \alpha^2 - \beta^2}\end{aligned}$$

(2) (1) の結果から $\frac{1}{x^2}f(x) = (y + \alpha + \beta)(y + \alpha - \beta) \quad \cdots (*)$

これに $(\alpha, \beta) = \left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}\right)$ を代入すると

$$\frac{1}{x^2}f(x) = (y + 2)(y - 1) = \left(x + \frac{1}{x} + 2\right)\left(x + \frac{1}{x} - 1\right)$$

$$\begin{aligned}\text{したがって} \quad f(x) &= (x^2 + 2x + 1)(x^2 - x + 1) \\ &= (x + 1)^2(x^2 - x + 1)\end{aligned}$$

よって、方程式 $f(x) = 0$ の解は $\mathbf{x = -1}$ (2 重解), $\frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}$

(3) $f(x) = 0$ のとき, (*) より

$$y = -\alpha \pm \beta \quad \text{すなわち} \quad x + \frac{1}{x} = -\alpha \pm \beta \quad \cdots (**)$$

ここで, $x + \frac{1}{x} = k$ とおくと (k は定数) $x^2 - kx + 1 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$

$\textcircled{1}$ が重解をもつとき, 係数について

$$(-k)^2 - 4 \cdot 1 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad k = \pm 2, \quad \text{重解} \quad \frac{k}{2}$$

$k = 2$ (重解 1) のとき, (**) より

$$-\alpha + \beta = -\alpha - \beta = 2 \quad \text{ゆえに} \quad (\alpha, \beta) = (-2, 0)$$

$k = -2$ (重解 -1) のとき, (**) より

$$-\alpha + \beta = -\alpha - \beta = -2 \quad \text{ゆえに} \quad (\alpha, \beta) = (2, 0)$$

よって, $f(x) = 0$ がちょうど 1 つの解をもつとき $\mathbf{(\alpha, \beta) = (\pm 2, 0)}$ ■

- 3** (1) $p = 1$ より, $a_1 = 1$, $a_{n+1} - a_n = 3n^2 + 3n$ であるから, $n \geq 2$ のとき

$$\begin{aligned} a_n &= a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) = 1 + \sum_{k=1}^{n-1} (3k^2 + 3k) \\ &= 1 + 3 \cdot \frac{1}{6} n(n-1)(2n-1) + 3 \cdot \frac{1}{2} n(n-1) \\ &= n^3 - n + 1 \end{aligned}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから $a_n = n^3 - n + 1$

別解 $a_{n+1} - a_n = 3n(n+1) = \{(n+2) - (n-1)\}n(n+1)$ より

$$\begin{aligned} a_{n+1} - a_n &= n(n+1)(n+2) - (n-1)n(n+1) \\ a_{n+1} - n(n+1)(n+2) &= a_n - (n-1)n(n+1) \end{aligned}$$

したがって $a_n - (n-1)n(n+1) = a_1 - (1-1) \cdot 1 \cdot (1+1)$

よって $a_n = n^3 - n + 1$

- (2) (*) より $a_{n+1} - pa_n = 3n^2 + 3n \quad \cdots \textcircled{1}$

与えられた漸化式

$$a_{n+1} + \alpha(n+1)^2 + \beta(n+1) + \gamma = p(a_n + \alpha n^2 + \beta n + \gamma) \quad \cdots (**)$$

を変形すると

$$\begin{aligned} a_{n+1} - pa_n &= (p-1)\alpha n^2 + \{(p-1)\beta - 2\alpha\}n \\ &\quad + \{(p-1)\gamma - \alpha - \beta\} \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①, ② の右辺の同じ次数の項の係数を比較して

$$(p-1)\alpha = 3, \quad (p-1)\beta - 2\alpha = 3, \quad (p-1)\gamma - \alpha - \beta = 0$$

$$p \neq 1 \text{ に注意して } \alpha = \frac{3}{p-1}, \quad \beta = \frac{3(p+1)}{(p-1)^2}, \quad \gamma = \frac{6p}{(p-1)^3}$$

- (3) (2) の結果に $p = 2$ を代入すると $\alpha = 3, \beta = 9, \gamma = 12$

$$b_n = a_n + 3n^2 + 9n + 12 \text{ とおくと } b_1 = 25 \quad (**) \text{ より } b_{n+1} = 2b_n$$

$\{b_n\}$ は初項 25, 公比 2 の等比数列であるから $b_n = 25 \cdot 2^{n-1}$

したがって $a_n + 3n^2 + 9n + 12 = 25 \cdot 2^{n-1}$

よって $a_n = 25 \cdot 2^{n-1} - 3n^2 - 9n - 12$ ■

- 4 (1) 原点 O , $A(1, 0, 0)$, $B(-1, b, b)$ より, $\overrightarrow{AB} = (-2, b, b)$ であるから

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{AB} = (1, 0, 0) + t(-2, b, b) = (1 - 2t, bt, bt)$$

よって $P(1 - 2t, bt, bt)$

- (2) (1) で求めた点 P の座標を球 $S: x^2 + (y - 1)^2 + z^2 = 1$ に代入すると

$$(1 - 2t)^2 + (bt - 1)^2 + (bt)^2 = 1$$

$$2(b^2 + 2)t^2 - 2(b + 2)t + 1 = 0$$

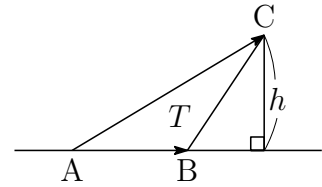
このとき, t に関する 2 次方程式が実数解をもつから, 判別式 D について

$$D/4 = (b + 2)^2 - 2(b^2 + 2) \cdot 1 = -b^2 + 4b \geq 0$$

したがって $b(b - 4) \leq 0$ これを解いて $0 \leq b \leq 4$

別解 $\overrightarrow{AB} = (-2, b, b)$, $\overrightarrow{AC} = (-1, 1, 0)$ より,
 $\triangle ABC$ の面積 T は

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \sqrt{|\overrightarrow{AB}|^2 |\overrightarrow{AC}|^2 - (\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC})^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{(2b^2 + 4) \cdot 2 - (2 + b)^2} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{3b^2 - 4b + 4} \quad \cdots (*) \end{aligned}$$



C から直線 AB に下ろした垂線の長さを h とすると

$$\frac{1}{2} |\overrightarrow{AB}| h = T \quad \text{ゆえに} \quad h = \frac{2T}{|\overrightarrow{AB}|} = \frac{\sqrt{3b^2 - 4b + 4}}{\sqrt{2b^2 + 4}}$$

このとき, $h \leq 1$ であるから $\sqrt{\frac{3b^2 - 4b + 4}{2b^2 + 4}} \leq 1$

したがって $3b^2 - 4b + 4 \leq 2b^2 + 4$ これを解いて $0 \leq b \leq 4$

- (3) $3b^2 - 4b + 4 = 3\left(b - \frac{2}{3}\right)^2 + \frac{8}{3}$ であるから, $(*)$ および (2) の結果より,

T は, $b = 4$ のとき最大値 3 , $b = \frac{2}{3}$ のとき最小値 $\frac{\sqrt{6}}{3}$ をとる. ■

- 5 (1) $P(X_{(n)} \leq 8)$ は n 回とも 8 以下の数字のカードを取り出す確率であるから

$$P(X_{(n)} \leq 8) = \left(\frac{8}{10}\right)^n = \left(\frac{4}{5}\right)^n$$

- (2) n 回とも 7 以下の数字のカードを取り出す確率は

$$P(X_{(n)} \leq 7) = \left(\frac{7}{10}\right)^n$$

これと (1) の結果から、求める確率は

$$\begin{aligned} P(X_{(n)} = 8) &= P(X_{(n)} \leq 8) - P(X_{(n)} \leq 7) \\ &= \left(\frac{8}{10}\right)^n - \left(\frac{7}{10}\right)^n = \frac{8^n - 7^n}{10^n} \end{aligned}$$

- (3) $X_{(2)}$ が 6 以上となるのは、 n 回の試行で、5 以下のカードを取り出す回数が 1 回以下の場合で、その確率は

$${}_nC_1 \left(\frac{1}{2}\right)^n + \left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{n+1}{2^n}$$

この確率が $\frac{1}{2}$ 未満となるとき

$$\frac{n+1}{2^n} < \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad 2^{n-1} - n - 1 > 0$$

$f(n) = 2^{n-1} - n - 1$ とおくと、 $f(n) > 0$ をみたす最小の整数 n ($n \geq 2$) を求めればよい.

$$f(2) = -1, \quad f(3) = 0, \quad f(4) = 3 > 0 \quad \text{よって} \quad n = 4$$



6 (1) $z = r(\cos \theta + i \sin \theta),$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{r(\cos \theta + i \sin \theta)} = \frac{1}{r} \{\cos(-\theta) + i \sin(-\theta)\},$$

$$\bar{z} = r(\cos \theta - i \sin \theta) = r\{\cos(-\theta) + i \sin(-\theta)\}$$

(2) (1) の結果により

$$\begin{aligned} w = z^2 + \frac{\bar{z}}{z} &= r^2(\cos \theta + i \sin \theta)^2 + \{\cos(-\theta) + i \sin(-\theta)\}^2 \\ &= r^2(\cos 2\theta + i \sin 2\theta) + \cos(-2\theta) + i \sin(-2\theta) \\ &= (r^2 + 1) \cos 2\theta + (r^2 - 1)i \sin 2\theta \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

z が原点を中心とする半径 1 の円の周上を動くから, $r = 1$ より

$$w = 2 \cos 2\theta \quad \text{ゆえに} \quad -2 \leq w \leq 2$$

よって, 点 w は 2 点 $2, -2$ を両端とする線分を描く.

(3) (*) より $x = (r^2 + 1) \cos 2\theta, \quad y = (r^2 - 1) \sin 2\theta$

$$r > 1 \text{ に注意して } \cos 2\theta = \frac{x}{r^2 + 1}, \quad \sin 2\theta = \frac{y}{r^2 - 1}$$

$$\text{したがって} \quad C: \frac{x^2}{(r^2 + 1)^2} + \frac{y^2}{(r^2 - 1)^2} = 1$$

(4) (3) の結果より, C は原点を中心とする長軸の長さ $2(r^2 + 1)$, 短軸の長さ $2(r^2 - 1)$ の楕円であるから, その面積は

$$\pi(r^2 + 1)(r^2 - 1) = \pi(r^4 - 1)$$



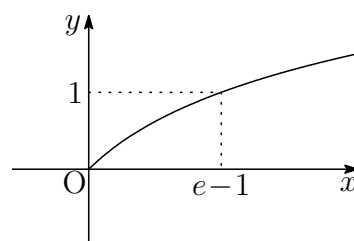
7 (1) $f(x) = \log(1+x)$ ($x \geq 0$) より,

$x > 0$ において

$$f'(x) = \frac{1}{1+x} > 0,$$

$$f''(x) = -\frac{1}{(1+x)^2} < 0$$

x	0	...
$f'(x)$		+
$f''(x)$		-
$f(x)$	0	↗



(2) $y = \log(1+x)$ より, $x = e^y - 1$ であるから

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^h x^2 dy = \pi \int_0^h (e^y - 1)^2 dy \quad \cdots (*) \\ &= \pi \int_0^h (e^{2y} - 2e^y + 1) dy \\ &= \pi \left[\frac{e^{2y}}{2} - 2e^y + y \right]_0^h = \pi \left(\frac{e^{2h}}{2} - 2e^h + h + \frac{3}{2} \right) \end{aligned}$$

(3) $V = vt$ より $\frac{dV}{dt} = v$, $(*)$ より $\frac{dV}{dh} = \pi(e^h - 1)^2$,

これらを $\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dh} \cdot \frac{dh}{dt}$ に代入すると $v = \pi(e^h - 1)^2 \frac{dh}{dt} \quad \cdots (**)$

$h = \log 2$ のとき, $e^h = 2$ を $(**)$ に代入すると

$$v = \pi(2 - 1)^2 \frac{dh}{dt} \quad \text{よって} \quad \frac{dh}{dt} = \frac{v}{\pi}$$

■

8 (1) $y = e^x$ より $y' = e^x$

曲線 $y = e^x$ 上の点 (t, e^t) における接線の方程式は

$$y - e^t = e^t(x - t) \quad \text{ゆえに} \quad y = e^t(x - t + 1) \quad \cdots (*)$$

これが原点を通るとき $0 = e^t(-t + 1)$ ゆえに $t = 1$

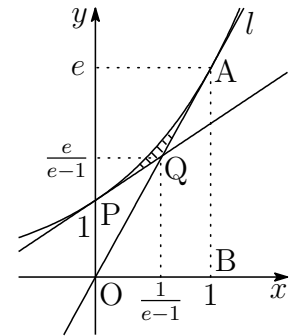
$t = 1$ を $(*)$ に代入することにより, l の方程式は $y = ex$

- (2) (1) で求めた接点を $A(1, e)$ とし, $B(1, 0)$ とおく.
直線 $y = x + 1$ は, $(*)$ により, 点 $(0, 1)$ における接線で, その接点を P とする.

$l: y = ex$ と直線 $y = x + 1$ の交点を Q とすると

$$Q\left(\frac{1}{e-1}, \frac{e}{e-1}\right)$$

求める面積は右の図の斜線部分で, その面積を S とすると



$$\begin{aligned} S &= \int_0^1 e^x dx - \triangle OAB - \triangle OPQ \\ &= \left[e^x \right]_0^1 - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot e - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{e-1} \\ &= \frac{e}{2} - \frac{1}{2(e-1)} - 1 \end{aligned}$$

■

9.6 2020年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・III・A・B(120分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・A・B(90分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育]学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から1問選択, [2] [8] から1問選択. 数I・II・A・Bまたは数I・III・A・B(90分)

[1] 次の問いに答えよ.

- (1) a, b は自然数で, $p = a^2 - a + 2ab + b^2 - b$ とする. p が素数となるような a, b をすべて求めよ.
- (2) $-\pi \leq x < \pi$ のとき, 方程式 $\sqrt{2} \sin x - 1 = \sqrt{6} \cos x + 1$ を解け.
- (3) n を自然数とする. 1 から $2n$ までの数字が1つずつ書かれた $2n$ 枚のカードがある. この中から1枚のカードを等確率で選ぶ試行において, 選ばれたカードに書かれた数が偶数であることがわかっているとき, その数が n 以下である確率を求めよ.

[2] t を正の実数とする. 実数全体の集合の, 2つの部分集合 A, B を次のように定める.

$$A = \{a \mid \text{すべての実数 } x \text{ に対して } x^2 + (a+1)x + 2a > 0 \text{ が成り立つ}\}$$

$$B = \{b \mid bx^2 + tx + (b+t) < 0 \text{ を満たす実数 } x \text{ が存在する}\}$$

- (1) 集合 A に属する実数 a の範囲を求めよ.
- (2) 集合 B に属する実数 b の範囲を, t を用いて表せ.
- (3) $A \cap B$ が空集合でないような t の範囲を求めよ.

3 数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ を, 初項 $a_1 = 0$, $b_1 = 1$, および次の漸化式で定める.

$$\begin{cases} a_{n+1} = a_n + \sqrt{3}b_n \\ b_{n+1} = -\sqrt{3}a_n + b_n \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (1) $a_2, a_3, a_4, b_2, b_3, b_4$ を求めよ.
- (2) すべての自然数 n に対して, $a_{n+3} = -8a_n$, $b_{n+3} = -8b_n$ が成り立つことを示せ.
- (3) $\sum_{n=1}^9 a_n$ を求めよ.
- (4) 次で定まる T の値を求めよ.

$$T = \frac{1}{\sqrt{3}}b_{2020} + \sum_{n=1}^{2020} a_n$$

4 鋭角三角形 OAB の頂点 A から辺 OB に下ろした垂線と辺 OB の交点を D, 頂点 B から辺 OA に下ろした垂線と辺 OA の交点を E とする. また, AD と BE の交点を H とする. $OA = 1$, $OB = k$ とし, $\angle OAD = \theta$ とする.

- (1) OD と OE を k, θ を用いて表せ.
- (2) $\overrightarrow{OH}$ を $k, \theta, \overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}$ を用いて表せ.
- (3) H が三角形 OAB の重心 G と一致するとき, k, θ を求めよ.

5 1 個のさいころを 3 回投げる.

- (1) 3 回とも偶数の目が出る事象を A , 出る目の数がすべて異なる事象を B とする. このとき, A と B は独立であるか, 独立でないか, 答えよ.
- (2) 出る目の数の和を X とし, $Y = 2X$ とおく. 確率変数 Y の期待値 $E(Y)$ と分散 $V(Y)$ を求めよ.
- (3) 出る目の数の最大値を Z_1 , 最小値を Z_2 とする. このとき, $Z_1 = 5$ かつ $Z_2 = 2$ となる確率 $P(Z_1 = 5, Z_2 = 2)$ を求めよ.

- 6 xy 平面上で双曲線 H と放物線 C が、次の方程式で与えられている。

$$H: x^2 - y^2 = 1, \quad C: y = \frac{a}{2}x^2 + b \quad (\text{ただし, } a, b \text{ は実数, } a > 0)$$

H と C は、第1象限においてただ一つの共有点 P をもち、点 P で共通の接線 l_1 をもつとする。このとき、 H と C が第2象限にただ一つもつ共有点を Q とし、 H と C が点 Q でもつ共通の接線を l_2 とする。

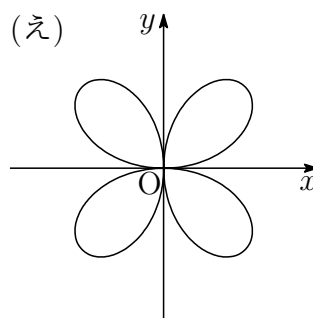
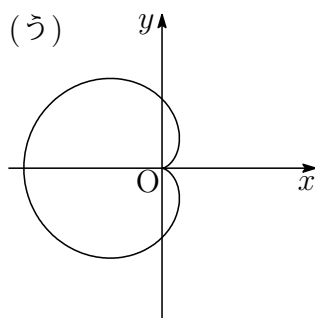
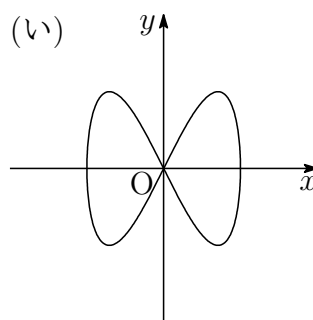
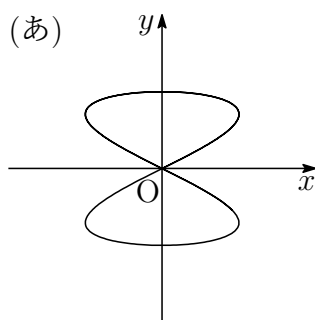
- (1) 点 P の座標 (s, t) と b を、 a を用いて表せ。
- (2) 接線 l_1 の方程式を、 a を用いて表せ。
- (3) 放物線 C と接線 l_1, l_2 で囲まれた部分の面積 S を、 a を用いて表せ。
- (4) a が正の実数を動くとき、面積 S の最小値を求めよ。

- 7 xy 平面上を運動する点 P の描く曲線 C が、時刻関数 t によって

$$x = \sin t, \quad y = \sin 2t \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$$

と媒介変数表示されているとする。

- (1) 点 P の速度ベクトル $\vec{v}$ を、 t を用いて表せ。
- (2) t が動くとき、点 P の速さ $|\vec{v}|$ の最小値を求めよ。ただし、最小値をとる時の t の値は求めなくてよい。
- (3) x, y で表した曲線 C の方程式を求め、そのグラフの概形を下の図(あ)～(え)の中からひとつ選べ。
- (4) 曲線 C で囲まれた部分の面積を求めよ。



8 $f(x) = \log x$ ($x > 0$) とする. xy 平面において, 曲線 $y = f(x)$ の接線で原点を通るものを $y = g(x)$ とする.

(1) $f'(x) = \frac{1}{x}$ となることを, 導関数の定義を用いて示せ.

ただし, $e = \lim_{k \rightarrow 0} (1 + k)^{\frac{1}{k}}$ とする.

(2) $g(x)$ を求めよ.

(3) $y = f(x)$, $y = g(x)$ と x 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.

(4) (3) の部分を y 軸のまわりで回転させてできる立体の体積を求めよ.

解答例

- 1 (1) $p = a^2 - a + 2ab + b^2 - b$ より

$$p = (a+b)^2 - (a+b) = (a+b)(a+b-1)$$

a, b は自然数より, $a+b, a+b-1$ は整数である. これらの積が素数 p であるから, $1 \leq a+b-1 < a+b$ より, 次の (*) を満たせばよい.

$$a+b-1=1 \quad \text{かつ} \quad a+b=p \quad \cdots (*)$$

$a+b=2$ ($a \geq 1, b \geq 1$), すなわち, $a=b=1$ は (*) を満たす.

$$\text{よって} \quad \mathbf{a=b=1}$$

- (2) $\sqrt{2} \sin x - 1 = \sqrt{6} \cos x + 1$ より $\sqrt{2} \sin x - \sqrt{6} \cos x = 2$
 $\sqrt{(\sqrt{2})^2 + (-\sqrt{6})^2} = 2\sqrt{2}$ より, 上の第2式の両辺を $2\sqrt{2}$ で割ると

$$\frac{1}{2} \sin x - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos x = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{ゆえに} \quad \sin \left(x - \frac{\pi}{3} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$-\pi \leq x < \pi$ より, $-\pi - \frac{\pi}{3} \leq x - \frac{\pi}{3} < \pi - \frac{\pi}{3}$ であるから

$$x - \frac{\pi}{3} = -\pi - \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4} \quad \text{よって} \quad \mathbf{x = -\frac{11}{12}\pi, \frac{7}{12}\pi}$$

- (3) 選ばれたカードが, 偶数である事象を A , n 以下である事象を B とする.

$$P(A) = \frac{n}{2n} = \frac{1}{2}, \quad P(A \cap B) = \frac{\left[\frac{n}{2} \right]}{2n}$$

であるから ($[x]$ は, x を超えない最大の整数), 求める確率は

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{\left[\frac{n}{2} \right]}{2n} \cdot 2 = \frac{1}{n} \left[\frac{n}{2} \right]$$

n が偶数のとき $\left[\frac{n}{2} \right] = \frac{n}{2}$, n が奇数のとき $\left[\frac{n}{2} \right] = \frac{n-1}{2}$ であるから

$$P_A(B) = \begin{cases} \frac{1}{2} & (n \text{ が偶数}) \\ \frac{n-1}{2n} & (n \text{ が奇数}) \end{cases}$$



- 2** (1) すべての実数 x に対して, $x^2 + (a+1)x + 2a > 0$ を満たすから, 係数について

$$(a+1)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 2a < 0 \quad \text{ゆえに} \quad a^2 - 6a + 1 < 0$$

$$\text{これを解いて} \quad 3 - 2\sqrt{2} < a < 3 + 2\sqrt{2}$$

- (2) $bx^2 + tx + (b+t) < 0 \cdots (*)$ を満たす実数 x が存在するとき, b について次の場合分けを行う.

(i) $b < 0$ のとき, $(*)$ の 2 次の係数が負であるから, 条件を満たす.

(ii) $b = 0$ のとき, $(*)$ より

$$tx + t < 0 \quad (t > 0) \quad \text{ゆえに} \quad x < -1$$

したがって, $(*)$ を満たす.

(iii) $b > 0$ のとき, $(*)$ の係数について

$$t^2 - 4b(b+t) > 0 \quad \text{整理すると} \quad 4b^2 + 4tb - t^2 < 0$$

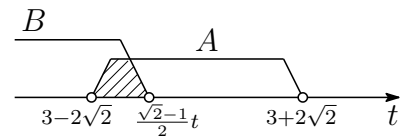
$$t > 0 \text{ に注意してこれを解くと} \quad \frac{-1 - \sqrt{2}}{2}t < b < \frac{-1 + \sqrt{2}}{2}t$$

$$b > 0 \text{ であるから} \quad 0 < b < \frac{-1 + \sqrt{2}}{2}t$$

$$(i) \sim (iii) \text{ より, } b \text{ の値の範囲は} \quad b < \frac{\sqrt{2} - 1}{2}t$$

- (3) $A \cap B \neq \phi$ のとき, (1), (2) の結果から

$$3 - 2\sqrt{2} < \frac{\sqrt{2} - 1}{2}t$$



$$\text{これを解いて} \quad t > 2(\sqrt{2} - 1)$$



3 (1) 与えられた漸化式

$$a_1 = 0, \quad b_1 = 1, \quad \begin{cases} a_{n+1} = a_n + \sqrt{3}b_n \\ b_{n+1} = -\sqrt{3}a_n + b_n \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により

$$\begin{aligned} a_2 &= a_1 + \sqrt{3}b_1 & b_2 &= -\sqrt{3}a_1 + b_1 \\ &= 0 + \sqrt{3} \cdot 1 = \sqrt{3}, & &= -\sqrt{3} \cdot 0 + 1 = 1, \\ a_3 &= a_2 + \sqrt{3}b_2 & b_3 &= -\sqrt{3}a_2 + b_2 \\ &= \sqrt{3} + \sqrt{3} \cdot 1 = 2\sqrt{3}, & &= -\sqrt{3}\sqrt{3} + 1 = -2, \\ a_4 &= a_3 + \sqrt{3}b_3 & b_4 &= -\sqrt{3}a_3 + b_3 \\ &= 2\sqrt{3} + \sqrt{3} \cdot (-2) = 0, & &= -\sqrt{3} \cdot 2\sqrt{3} + (-2) = -8 \end{aligned}$$

(2) 与えられた漸化式より

$$\begin{aligned} a_{n+3} &= a_{n+2} + \sqrt{3}b_{n+2} \\ &= (a_{n+1} + \sqrt{3}b_{n+1}) + \sqrt{3}(-\sqrt{3}a_{n+1} + b_{n+1}) \\ &= -2a_{n+1} + 2\sqrt{3}b_{n+1} \\ &= -2(a_n + \sqrt{3}b_n) + 2\sqrt{3}(-\sqrt{3}a_n + b_n) = -8a_n, \\ b_{n+3} &= -\sqrt{3}a_{n+2} + b_{n+2} \\ &= -\sqrt{3}(a_{n+1} + \sqrt{3}b_{n+1}) + (-\sqrt{3}a_{n+1} + b_{n+1}) \\ &= -2\sqrt{3}a_{n+1} - 2b_{n+1} \\ &= -2\sqrt{3}(a_n + \sqrt{3}b_n) - 2(-\sqrt{3}a_n + b_n) = -8b_n \end{aligned}$$

(3) (2) の結果により

$$\begin{aligned} a_4 &= -8a_1, & a_5 &= -8a_2, & a_6 &= -8a_3 \\ a_7 &= -8a_4 = 64a_1, & a_8 &= -8a_5 = 64a_2, & a_9 &= -8a_6 = 64a_3 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^9 a_n &= (a_1 + a_4 + a_7) + (a_2 + a_5 + a_8) + (a_3 + a_6 + a_9) \\ &= (a_1 - 8a_1 + 64a_1) + (a_2 - 8a_2 + 64a_2) + (a_3 - 8a_3 + 64a_3) \\ &= 57(a_1 + a_2 + a_3) = 57(0 + \sqrt{3} + 2\sqrt{3}) = 171\sqrt{3} \end{aligned}$$

(4) (2) の結果から, $2020 = 673 \cdot 3 + 1$ に注意して

$$b_{2020} = b_1 \cdot (-8)^{673} = (-8)^{673}$$

$S_k = a_{3k-2} + a_{3k-1} + a_{3k}$ とおくと (k は自然数)

$$\begin{aligned} S_{k+1} &= a_{3k+1} + a_{3k+2} + a_{3k+3} \\ &= -8a_{3k-2} - 8a_{3k-1} - 8a_{3k} = -8S_k \end{aligned}$$

数列 $\{S_k\}$ は, 初項 $S_1 = a_1 + a_2 + a_3 = 3\sqrt{3}$, 公比 -8 の等比数列である.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{2020} a_n &= \sum_{k=1}^{673} S_k + a_{2020} \\ &= \frac{3\sqrt{3}\{1 - (-8)^{673}\}}{1 - (-8)} + a_1 \cdot (-8)^{673} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \{1 - (-8)^{673}\} + 0 \cdot (-8)^{673} = \frac{1}{\sqrt{3}} \{1 - (-8)^{673}\} \end{aligned}$$

$$\text{よって } T = \frac{1}{\sqrt{3}} b_{2020} + \sum_{n=1}^{2020} a_n = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (-8)^{673} + \frac{1}{\sqrt{3}} \{1 - (-8)^{673}\} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

補足 $z_n = b_n + a_n i$ とおくと

$$\begin{aligned} z_{n+1} &= b_{n+1} + a_{n+1}i = b_n - \sqrt{3}a_n + i(\sqrt{3}b_n + a_n) \\ &= (1 + \sqrt{3}i)(b_n + a_n i) = (1 + \sqrt{3}i)z_n \\ &= 2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) z_n \end{aligned}$$

$$z_1 = 1 \text{ であるから } z_n = 2^{n-1} \left(\cos \frac{n-1}{3}\pi + i \sin \frac{n-1}{3}\pi \right)$$

$$\text{したがって } b_n = 2^{n-1} \cos \frac{n-1}{3}\pi, \quad a_n = 2^{n-1} \sin \frac{n-1}{3}\pi$$

$w = 1 + \sqrt{3}i$ とすると, $\{z_n\}$ は初項 1, 公比 w の等比数列であるから

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n z_k &= \frac{w^n - 1}{w - 1} = \frac{2^n (\cos \frac{n\pi}{3} + i \sin \frac{n\pi}{3}) - 1}{\sqrt{3}i} \\ &= \frac{2^n}{\sqrt{3}} \sin \frac{n\pi}{3} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 - 2^n \cos \frac{n\pi}{3} \right) i \end{aligned}$$

$$\text{よって } \sum_{k=1}^n b_k = \frac{2^n}{\sqrt{3}} \sin \frac{n\pi}{3}, \quad \sum_{k=1}^n a_k = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 - 2^n \cos \frac{n\pi}{3} \right)$$

解説 数列

$$\begin{cases} x_{n+1} = ax_n - by_n \\ y_{n+1} = bx_n + ay_n \end{cases} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

について $r = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\cos \theta = \frac{a}{r}$, $\sin \theta = \frac{b}{r}$ とする.

$z_n = x_n + y_n i$ とおくと

$$\begin{aligned} z_{n+1} &= x_{n+1} + y_{n+1}i = ax_n - by_n + i(bx_n + ay_n) \\ &= (a + bi)(x_n + y_n i) = r(\cos \theta + i \sin \theta)z_n \end{aligned}$$

したがって $z_n = r^n (\cos n\theta + i \sin n\theta) z_0$

よって $x_n + y_n i = r^n (\cos n\theta + i \sin n\theta) (x_0 + y_0 i)$

$$\text{発展 } \begin{pmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} \quad \text{より}$$

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = r^n \begin{pmatrix} \cos n\theta & -\sin n\theta \\ \sin n\theta & \cos n\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$$

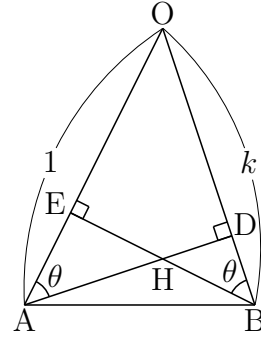


4 (1) $\triangle OAD \sim \triangle OBE$ であるから

$$\angle OAD = \angle OBE$$

$$\text{よって } OD = OA \sin \theta = \sin \theta$$

$$OE = OB \sin \theta = k \sin \theta$$



(2) (1) の結果から

$$OE = k \sin \theta = (k \sin \theta) \cdot 1 = (k \sin \theta) OA,$$

$$OD = \sin \theta = \frac{\sin \theta}{k} \cdot k = \frac{\sin \theta}{k} OB$$

$$\overrightarrow{OE} = (k \sin \theta) \overrightarrow{OA}, \quad \overrightarrow{OD} = \frac{\sin \theta}{k} \overrightarrow{OB} \text{ であるから}$$

$$\overrightarrow{OA} = \frac{1}{k \sin \theta} \overrightarrow{OE}, \quad \overrightarrow{OB} = \frac{k}{\sin \theta} \overrightarrow{OD}$$

$$\overrightarrow{OH} = x \overrightarrow{OA} + y \overrightarrow{OB} \text{ とおくと } (x, y \text{ は実数})$$

$$\overrightarrow{OH} = x \overrightarrow{OA} + \frac{ky}{\sin \theta} \overrightarrow{OD} = \frac{x}{k \sin \theta} \overrightarrow{OE} + y \overrightarrow{OB}$$

H は直線 AD および直線 BE 上の点であるから

$$x + \frac{ky}{\sin \theta} = 1, \quad \frac{x}{k \sin \theta} + y = 1 \quad \cdots (*)$$

$$\text{上の 2 式から } x \sin \theta + ky = \sin \theta \quad \cdots \textcircled{1} \quad (\text{第 1 式} \times \sin \theta)$$

$$x \sin \theta + ky \sin^2 \theta = k \sin^2 \theta \quad \cdots \textcircled{2} \quad (\text{第 2 式} \times k \sin^2 \theta)$$

① - ② より

$$ky(1 - \sin^2 \theta) = (1 - k \sin \theta) \sin \theta \quad \text{ゆえに } y = \frac{(1 - k \sin \theta) \sin \theta}{k \cos^2 \theta}$$

$$\text{これを } (*) \text{ の第 1 式に代入すると } x + \frac{1 - k \sin \theta}{\cos^2 \theta} = 1$$

$$\text{ゆえに } x = \frac{\cos^2 \theta - 1 + k \sin \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{(k - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta}$$

$$\text{よって } \overrightarrow{OH} = \frac{(k - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta} \overrightarrow{OA} + \frac{(1 - k \sin \theta) \sin \theta}{k \cos^2 \theta} \overrightarrow{OB}$$

別解 $\triangle OAD$ と直線 BE について、メネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AH}{HD} \cdot \frac{DB}{BO} \cdot \frac{OE}{EA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AH}{HD} \cdot \frac{k - \sin \theta}{k} \cdot \frac{k \sin \theta}{1 - k \sin \theta} = 1$$

したがって $AH : HD : AD = 1 - k \sin \theta : (k - \sin \theta) \sin \theta : \cos^2 \theta$

$$\overrightarrow{OH} = \frac{(k - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta} \overrightarrow{OA} + \frac{1 - k \sin \theta}{\cos^2 \theta} \overrightarrow{OD}$$

$$\overrightarrow{OD} = \frac{\sin \theta}{k} \overrightarrow{OB} \quad \text{より} \quad \overrightarrow{OH} = \frac{(k - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta} \overrightarrow{OA} + \frac{(1 - k \sin \theta) \sin \theta}{k \cos^2 \theta} \overrightarrow{OB}$$

(3) H が $\triangle OAB$ の重心であるから

$$\frac{(k - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{(1 - k \sin \theta) \sin \theta}{k \cos^2 \theta} = \frac{1}{3} \quad \cdots (*)$$

したがって $k - \sin \theta = \frac{1 - k \sin \theta}{k}$ ゆえに $k^2 = 1$ すなわち $k = 1$

$$\frac{(1 - \sin \theta) \sin \theta}{\cos^2 \theta} = \frac{1}{3} \quad \text{ゆえに} \quad \frac{\sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1}{3}$$

これを解いて $\sin \theta = \frac{1}{2}$ 条件により θ は鋭角であるから $\theta = \frac{\pi}{6}$ ■

5 (1) $P(A) = \left(\frac{3}{6}\right)^3 = \frac{1}{8}$, $P(B) = \frac{6}{6} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{4}{6} = \frac{5}{9}$, $P(A \cap B) = \frac{3}{6} \cdot \frac{2}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$

したがって $P(A)P(B) = \frac{1}{8} \cdot \frac{5}{9} = \frac{5}{72}$ ゆえに $P(A \cap B) \neq P(A)P(B)$

よって、事象 A, B は独立ではない。

補足 事象 A, B が独立であるとは、 A が起きたときの B が起きる確率、すなわち、条件付き確率 $P_A(B)$ (大学等では $P(B|A)$ と表記することが多い) が、 A に関係なく $P(B)$ に等しいことである。

$$B \text{ が } A \text{ と独立} \iff P_A(B) = P(B)$$

また、 A が B と独立であるとは、 $P_B(A) = P(A)$ が成立することであるが、これら2式の成立については、同値関係にある。実際、

$$\frac{P(A \cap B)}{P(A)} = P(B) \iff \frac{P(B \cap A)}{P(B)} = P(A)$$

このとき、 $P(A \cap B) = P(A)P(B)$ が成立する。したがって、 A, B が独立であることを示すには、次のどれか1つを示せばよい。

$$P_A(B) = P(B) \iff P_B(A) = P(A) \iff P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

本題では、 $P(A \cap B) \neq P(A)P(B)$ により、事象 A, B は独立ではない。

(2) k 回目に出た目を X_k とすると ($k = 1, 2, 3$)

X_k	1	2	3	4	5	6	計
X_k^2	1	4	9	16	25	36	
$P(X_k)$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	1

$$E(X_k) = 1 \cdot \frac{1}{6} + 2 \cdot \frac{1}{6} + 3 \cdot \frac{1}{6} + 4 \cdot \frac{1}{6} + 5 \cdot \frac{1}{6} + 6 \cdot \frac{1}{6} = \frac{7}{2}$$

$$E(X_k^2) = 1 \cdot \frac{1}{6} + 4 \cdot \frac{1}{6} + 9 \cdot \frac{1}{6} + 16 \cdot \frac{1}{6} + 25 \cdot \frac{1}{6} + 36 \cdot \frac{1}{6} = \frac{91}{6}$$

$$V(X_k) = E(X_k^2) - E(X_k)^2 = \frac{91}{6} - \left(\frac{7}{2}\right)^2 = \frac{35}{12}$$

$X = X_1 + X_2 + X_3$ より

$$E(X) = E(X_1 + X_2 + X_3)$$

$$= E(X_1) + E(X_2) + E(X_3) = \frac{7}{2} \times 3 = \frac{21}{2}$$

$$V(X) = V(X_1 + X_2 + X_3)$$

$$= V(X_1) + V(X_2) + V(X_3) = \frac{35}{12} \times 3 = \frac{35}{4}$$

$Y = 2X$ より

$$E(Y) = E(2X) = 2E(X) = 2 \times \frac{21}{2} = \mathbf{21}$$

$$V(Y) = V(2X) = 2^2 V(X) = 4 \times \frac{35}{4} = \mathbf{35}$$

(3) $Z_1 = 5$ かつ $Z_2 = 2$ となる目の組合せは

$$\{2, 2, 5\}, \{2, 3, 5\}, \{2, 4, 5\}, \{2, 5, 5\}$$

である.

(i) $\{2, 2, 5\}, \{2, 5, 5\}$ である確率は, ともに

$$\frac{3!}{2!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{1}{72}$$

(ii) $\{2, 3, 5\}, \{2, 4, 5\}$ である確率は, ともに

$$\frac{3!}{1!1!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{1}{36}$$

よって, 求める確率は $\frac{1}{72} \times 2 + \frac{1}{36} \times 2 = \frac{1}{12}$

■

- 6 (1) $H: x^2 - y^2 = 1$, $C: y = \frac{a}{2}x^2 + b$ ($a > 0$)
 点 $P(s, t)$ は H および C 上の点であるから

$$(*) \quad s^2 - t^2 = 1, \quad t = \frac{a}{2}s^2 + b$$

H 上の点 $P(s, t)$ における接線 l_1 は

$$sx - ty = 1 \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{s}{t}x - \frac{1}{t}$$

C を x で微分すると $y' = ax$

l_1 は第1象限の点 $P(s, t)$ における C および H の共通接線であるから

$$\frac{s}{t} = as \quad \text{ゆえに} \quad t = \frac{1}{a}$$

これを $(*)$ の第1式に代入すると, $a > 0$, $s > 0$ に注意して

$$s^2 - \frac{1}{a^2} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad s = \frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a}$$

したがって $P\left(\frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a}, \frac{1}{a}\right)$ 上の2式を $(*)$ の第2式に代入すると

$$\frac{1}{a} = \frac{a}{2} \left(\frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a} \right)^2 + b \quad \text{よって} \quad b = \frac{1 - a^2}{2a}$$

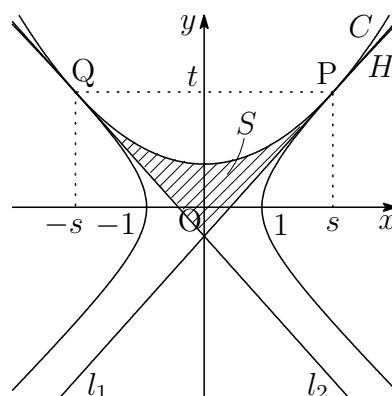
- (2) (1) で求めた s, t を l_1 の方程式に代入すると

$$y = \sqrt{a^2 + 1}x - a$$

- (3) (1) の結果から C の方程式は $y = \frac{a}{2}x^2 + \frac{1 - a^2}{2a}$

H, C は, y 軸に関して対称であるから, 第2象限の H と C の接点 Q および共通接線 l_2 は, それぞれ, y 軸に関して P および l_1 と対称であるから

$$\begin{aligned} S &= 2 \int_0^s \left\{ \frac{a}{2}x^2 + \frac{1 - a^2}{2a} - (\sqrt{a^2 + 1}x - a) \right\} dx \\ &= a \int_0^s \left(x^2 - 2\frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a}x + \frac{a^2 + 1}{a^2} \right) dx \\ &= a \int_0^s \left(x - \frac{\sqrt{a^2 + 1}}{a} \right)^2 dx = a \int_0^s (x - s)^2 dx \\ &= a \left[\frac{1}{3}(x - s)^3 \right]_0^s = \frac{as^3}{3} = \frac{(a^2 + 1)^{\frac{3}{2}}}{3a^2} \end{aligned}$$



補足 一般に、放物線 C 上の 2 点 P, Q の x 座標をそれぞれ α, β とすると、 C 上の 2 点 P, Q におけるそれぞれの接線 l_1, l_2 の交点の x 座標は、 $\frac{\alpha+\beta}{2}$ である。また、 C, l_1, l_2 で囲まれた部分の面積が S であるとき、 C と直線 PQ で囲まれた部分の面積は $2S$ である¹。

本題において、 C の x^2 の係数および 2 点 P, Q の座標から、1/6 公式を用いて、次のように求めることもできる。

$$S = \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} \cdot \frac{a}{2} \left\{ \frac{\sqrt{a^2+1}}{a} - \left(-\frac{\sqrt{a^2+1}}{a} \right) \right\}^3 = \frac{(a^2+1)^{\frac{3}{2}}}{3a^2}$$

(4) (3) の結果から、 $u = a^2$ とおくと $S = \frac{(u+1)^{\frac{3}{2}}}{3u}$

$f(u) = \frac{(u+1)^{\frac{3}{2}}}{3u}$ ($u > 0$) とすると

$$f'(u) = \frac{1}{3} \cdot \frac{\frac{3}{2}\sqrt{u+1} \cdot u - (u+1)^{\frac{3}{2}} \cdot 1}{u^2} = \frac{(u-2)\sqrt{u+1}}{6u^2}$$

u	(0)	...	2	...
$f'(u)$		-	0	+
$f(u)$		↘	極小	↗

よって、求める最小値は $f(2) = \frac{(2+1)^{\frac{3}{2}}}{3 \cdot 2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

別解 $S = \frac{(a^2+1)^{\frac{3}{2}}}{3a^2} = \frac{1}{3} \left(\frac{a^2+1}{a^{\frac{4}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{3} \left(a^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{a^{\frac{4}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}}$

$a > 0$ であるから、相加平均・相乗平均の大小関係により

$$a^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{a^{\frac{4}{3}}} = \frac{a^{\frac{2}{3}}}{2} + \frac{a^{\frac{2}{3}}}{2} + \frac{1}{a^{\frac{4}{3}}} \geq 3 \sqrt[3]{\frac{a^{\frac{2}{3}}}{2} \cdot \frac{a^{\frac{2}{3}}}{2} \cdot \frac{1}{a^{\frac{4}{3}}}} = \frac{3}{2^{\frac{2}{3}}}$$

したがって $S \geq \frac{1}{3} \left(\frac{3}{2^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ よって 最小値 $\frac{\sqrt{3}}{2}$

上式において、等号が成立するとき $\frac{a^{\frac{2}{3}}}{2} = \frac{1}{a^{\frac{4}{3}}}$ すなわち $a = \sqrt{2}$ ■

¹http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_bun.2009.pdf (p.6 の補足)

- 7 (1) $x = \sin t, y = \sin 2t$ ($0 \leq t \leq 2\pi$) より

$$\vec{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right) = (\cos t, 2\cos 2t)$$

- (2) $\vec{v} = (\cos t, 2(2\cos^2 t - 1))$ であるから, $u = \cos^2 t$ とおくと ($0 \leq u \leq 1$)

$$\begin{aligned} |\vec{v}|^2 &= \cos^2 t + 4(2\cos^2 t - 1)^2 = u + 4(2u - 1)^2 \\ &= 16u^2 - 15u + 4 = 16 \left(u - \frac{15}{32} \right)^2 + \frac{31}{64} \end{aligned}$$

よって, $u = \frac{15}{32}$ のとき, $|v|$ は最小値 $\frac{\sqrt{31}}{8}$ をとる.

- (3) $f(t) = \sin t, g(t) = \sin 2t$ とおくと ($0 \leq t \leq 2\pi$)

$$f(2\pi - t) = -f(t), \quad g(2\pi - t) = -g(t)$$

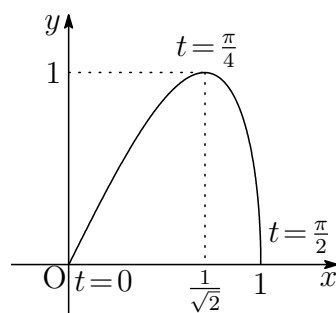
上式から, 点 P が $0 \leq t \leq \pi$ で描く曲線と $\pi \leq t \leq 2\pi$ で描く曲線は原点対称である. さらに

$$f(\pi - t) = f(t), \quad g(\pi - t) = -g(t)$$

であるから, 点 P の $0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}$ で描く曲線と $\frac{\pi}{2} \leq t \leq \pi$ で描く曲線は y 軸対称である. これから, 点 P の描く曲線 C は x 軸に対しても対称である. そこで, $0 \leq t \leq \frac{\pi}{2}$ における C の概形を調べる.

$$\frac{dx}{dt} = f'(t) = \cos t, \quad \frac{dy}{dt} = g'(t) = 2\cos 2t$$

t	0	...	$\frac{\pi}{4}$	...	$\frac{\pi}{2}$
$\frac{dx}{dt}$		+	+	+	
$\frac{dy}{dt}$		+	0	-	
$\vec{v}$		$\nearrow$	$\rightarrow$	$\searrow$	
(x, y)	(0, 0)		$(\frac{1}{\sqrt{2}}, 1)$		(1, 0)



したがって, C の描く図形は, (い) である.

C は, x 軸および y 軸に関して対称であるから,

$$y^2 = (\sin 2t)^2 = (2\sin t \cos t)^2 = 4\sin^2 t(1 - \sin^2 t) = 4x^2(1 - x^2)$$

よって, C の方程式は $y^2 = 4x^2(1 - x^2)$

補足 第1象限において $f'(t) > 0$ より, x は単調増加であることや, 点 $(1, 0)$ を通ることから, (い) であることは明らか.

解説 必要があれば，曲線 C の凹凸なども調べることができる．

本問では， $0 < t < \frac{\pi}{2}$ において， $\frac{dx}{dt} = f'(t) \neq 0$ であるから， $\frac{dy}{dx}$ や $\frac{d^2y}{dx^2}$ も求めることができる．

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{g'(t)}{f'(t)} = \frac{2 \cos 2t}{\cos t}$$

これをさらに x について微分すると

$$\begin{aligned} \frac{d^2y}{dx^2} &= \frac{d}{dx} \left(\frac{g'(t)}{f'(t)} \right) = \left\{ \frac{d}{dt} \left(\frac{g'(t)}{f'(t)} \right) \right\} \frac{dt}{dx} \\ &= \frac{g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t)}{f'(t)^2} \cdot \frac{1}{\frac{dx}{dt}} \\ &= \frac{g''(t)f'(t) - g'(t)f''(t)}{f'(t)^3} \\ &= \frac{-4 \sin 2t \cos t - 2 \cos 2t(-\sin t)}{\cos^3 t} \\ &= -\frac{2 \sin t(2 \cos^2 t + 1)}{\cos^3 t} \end{aligned}$$

曲線 C は， $0 < t < \frac{\pi}{2}$ ，すなわち，第 1 象限において，上に凸である．

(4) (1) で求めた対称性により，求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} \frac{S}{4} &= \int_{f(0)}^{f(\frac{\pi}{2})} y \, dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} g(t) f'(t) \, dt \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2t \cos t \, dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \sin t \cos^2 t \, dt \\ &= \left[-\frac{2}{3} \cos^3 t \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{2}{3} \end{aligned}$$

よって $S = \frac{8}{3}$



- 8 (1) 関数 $f(x) = \log x$ について、導関数の定義を適用すると

$$\begin{aligned} f'(x) &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\log(x+h) - \log x}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h} \log \left(1 + \frac{h}{x} \right) \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{x} \cdot \frac{x}{h} \log \left(1 + \frac{h}{x} \right) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{x} \log \left(1 + \frac{h}{x} \right)^{\frac{x}{h}} = \frac{1}{x} \log e = \frac{1}{x} \end{aligned}$$

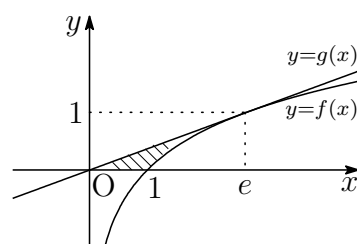
- (2) $y = f(x)$ 上の点 $(t, \log t)$ における接線は

$$y - \log t = \frac{1}{t}(x - t) \quad \cdots \textcircled{1}$$

これが原点を通るから

$$-\log t = -1 \quad \text{ゆえに} \quad t = e$$

これを $\textcircled{1}$ に代入して整理すると $y = \frac{x}{e}$ よって $g(x) = \frac{x}{e}$



- (3) 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \cdot e \cdot 1 - \int_1^e \log x \, dx \\ &= \frac{e}{2} - \left[x(\log x - 1) \right]_1^e = \frac{e}{2} - 1 \end{aligned}$$

- (4) $f^{-1}(y) = e^y$ であるから、求める体積を V とすると

$$V = \pi \int_0^1 (e^y)^2 \, dy - \frac{1}{3} \cdot \pi e^2 \cdot 1 = \pi \left[\frac{e^{2y}}{2} \right]_0^1 - \frac{\pi e^2}{3} = \frac{\pi(e^2 - 3)}{6}$$

別解

$$\begin{aligned} \frac{V}{2\pi} &= \int_0^e xg(x) \, dx - \int_1^e xf(x) \, dx = \int_0^e \frac{x^2}{e} \, dx - \int_1^e x \log x \, dx \\ &= \left[\frac{x^3}{3e} \right]_0^e - \left[\frac{x^2}{2} \log x - \frac{x^2}{4} \right]_1^e = \frac{e^2 - 3}{12} \end{aligned}$$

よって $S = \frac{\pi(e^2 - 3)}{6}$

バウムクーヘン型求積法

$a \leq x \leq b$ の範囲で $f(x) \geq 0$ のとき、 $y = f(x)$ のグラフと x 軸および 2 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた部分を y 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積 V は

$$V = 2\pi \int_a^b xf(x) \, dx$$

9.7 2021 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

1 次の各問いに答えよ.

- (1) p, q を実数とする. 2 次方程式 $x^2 + px + q = 0$ が異なる解 α, β をもつとき, $\frac{\alpha^4 - \beta^4}{\alpha - \beta}$ を p, q を用いて表せ.
- (2) 斜辺の長さが一定の直角三角形のうち, 面積が最大のものは, 直角二等辺三角形であることを示せ.
- (3) $\sin 1, \sin 2, \sin 3, \cos 1$ という 4 つの数値を小さい方から順に並べよ. ただし, 1, 2, 3 は, それぞれ 1 ラジアン, 2 ラジアン, 3 ラジアンを表す.

2 $0 < a < 1$ とする. このとき, 次の関数 $f(x)$ を考える.

$$f(x) = x^3 + 3(\log_{\frac{1}{4}} \sqrt{a} + \log_{\frac{1}{8}} 4)x^2 - 4(\log_{\frac{1}{4}} a)x - 4(\log_{\frac{1}{4}} \sqrt{a})^3$$

- (1) $b = \log_{\frac{1}{4}} a$ とおく. 関数 $f(x)$ を, 対数が現れない形で, b を用いて表せ.
- (2) $f'(x) = 0$ となる x を求めよ.
- (3) $f(x)$ の極大値が $\frac{9}{2}$ であるとする. このとき, a の値を求めよ.

3 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$ がある.

$$a_1 = 2, \quad (n+1)a_{n+1} = (n+3)a_n + 2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- (1) $b_n = \frac{a_n}{(n+2)(n+1)}$ とするとき, $b_{n+1} - b_n$ を n を用いて表せ.
 (2) 次の等式が k についての恒等式となるように, 定数 p の値を定めよ.

$$\frac{1}{(k+3)(k+2)(k+1)} = \frac{1}{p} \left\{ \frac{1}{(k+2)(k+1)} - \frac{1}{(k+3)(k+2)} \right\}$$

- (3) 数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.

4 平面上の三角形 ABC は $\angle BAC = 60^\circ$ の三角形で, $AB = 5$, $AC = 8$ とする.
 $\angle BAC$ の二等分線と辺 BC の交点を D とし, $\angle ABC$ の二等分線と辺 AC の交点を E とする.

- (1) 辺 BC の長さを求めよ.
 (2) $\overrightarrow{AD}$, $\overrightarrow{BE}$ を $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ を用いて表せ.
 (3) 線分 AD と線分 BE の交点を I とするとき, $\overrightarrow{AI}$ を $\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{AC}$ を用いて表せ.

5 1, 2, 3, 4, 5, 6 の数字が 1 つずつ記入された 6 枚のカードを袋の中に入れる.
 この袋の中から 2 枚のカードを同時に抜き出し, それらのカードの数の大きい方を X , 小さい方を Y とする.

- (1) 確率変数 X の期待値 $E(X)$ を求めよ.
 (2) 確率変数 X と Y は互いに独立であるか, 独立でないか, 答えよ.
 (3) 確率変数 XY の期待値 $E(XY)$ を求めよ.

6 実数全体で微分可能な関数 $f(x)$ が

$$f(x) = e^{-x} \left(\frac{1}{2}x^2 + \int_0^x e^t f(t) dt \right)$$

を満たすとする. ただし, e は自然対数の底とし, 以下では, $\lim_{x \rightarrow \infty} x e^{-x} = 0$ を用いてよいものとする.

- (1) $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ を求めよ. また, $f(x)$ を求めよ.
 (2) $f(x)$ の増減, 極値, グラフの凹凸および変曲点を調べて, グラフの概形をかけ.
 (3) $a > 0$ とする. 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = 1$, $x = 0$ および $x = a$ で囲まれた部分の面積 $S(a)$ を求めよ. また, $\lim_{a \rightarrow \infty} S(a)$ を求めよ.

- 7 α は複素数, A は実数で $|\alpha|^2 - A > 0$ を満たすものとする. 複素数 z に関する方程式

$$|z|^2 + \bar{\alpha}z + \alpha\bar{z} + A = 0$$

を (★) とする. ただし, $\bar{\alpha}$, $\bar{z}$ はそれぞれ α , z の共役複素数とする.

- (1) (★) は円を表す方程式であることを示せ. また, この円の中心および半径を α と A を用いて表せ.
- (2) 複素数平面上の 0 でない異なる 2 点 z_1, z_2 が $z_1\bar{z}_2 - \bar{z}_1z_2 = 0$ を満たすならば, 3 点 $0, z_1, z_2$ は同一直線上にあることを示せ. ただし, $\bar{z}_1, \bar{z}_2$ はそれぞれ z_1, z_2 の共役複素数とする.
- (3) 複素数平面上の異なる 3 点 $0, z_1, z_2$ は同一直線上にないものとする. 3 点 $0, z_1, z_2$ を通る円が (★) で表されるとき, A の値を求め, さらに α を z_1 と z_2 を用いて表せ.

- 8 曲線 $y = \tan x$ $\left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$ を C とする.

また, C 上の点 $P\left(\frac{\pi}{3}, \sqrt{3}\right)$ における法線を n とする.

- (1) 法線 n の方程式を求めよ.
- (2) 曲線 C , 法線 n および y 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

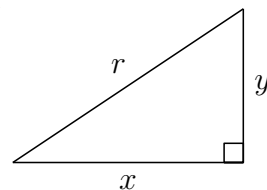
- 1 (1) 2次方程式 $x^2 + px + q = 0$ の解 α, β ($\alpha \neq \beta$) と係数の関係により

$$\alpha + \beta = -p, \quad \alpha\beta = q$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad \frac{\alpha^4 - \beta^4}{\alpha - \beta} &= \frac{(\alpha^2 - \beta^2)(\alpha^2 + \beta^2)}{\alpha - \beta} \\ &= (\alpha + \beta)\{(\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta\} \\ &= -p\{(-p)^2 - 2q\} = -p^3 + 2pq \end{aligned}$$

- (2) 直角をはさむ2辺の長さを x, y , 斜辺を r とすると

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}xy &= \frac{1}{4}\{x^2 + y^2 - (x - y)^2\} \\ &= \frac{1}{4}r^2 - \frac{1}{4}(x - y)^2 \end{aligned}$$



r は定数であるから, 三角形の面積 $\frac{1}{2}xy$ は, $x = y$ のとき最大となる.

よって, 斜辺の長さが一定の直角三角形のうち, 面積が最大のものは, 直角二等辺三角形である.

- (3) $\sin 2 = \sin(\pi - 2)$, $\sin 3 = \sin(\pi - 3)$, $\cos 1 = \sin\left(\frac{\pi}{2} - 1\right)$ について

$$\begin{aligned} \pi - 3 &> 0, \quad \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) - (\pi - 3) = \frac{4 - \pi}{2} > 0, \\ 1 - \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) &= \frac{4 - \pi}{2} > 0, \quad (\pi - 2) - 1 = \pi - 3 > 0, \\ \frac{\pi}{2} - (\pi - 2) &= \frac{4 - \pi}{2} > 0 \end{aligned}$$

$$\text{ゆえに} \quad 0 < \pi - 3 < \frac{\pi}{2} - 1 < 1 < \pi - 2 < \frac{\pi}{2}$$

$$\text{したがって} \quad \sin(\pi - 3) < \sin\left(\frac{\pi}{2} - 1\right) < \sin 1 < \sin(\pi - 2)$$

$$\text{よって} \quad \sin 3 < \cos 1 < \sin 1 < \sin 2$$



2 (1) $f(x) = x^3 + 3(\log_{\frac{1}{4}} \sqrt{a} + \log_{\frac{1}{8}} 4)x^2 - 4(\log_{\frac{1}{4}} a)x - 4(\log_{\frac{1}{4}} \sqrt{a})^3$

$$b = \log_{\frac{1}{4}} a \text{ より } \log_{\frac{1}{4}} \sqrt{a} = \frac{b}{2}, \log_{\frac{1}{8}} 4 = \frac{\log_2 4}{\log_2 \frac{1}{8}} = \frac{2}{-3}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって } f(x) &= x^3 + 3\left(\frac{b}{2} - \frac{2}{3}\right)x^2 - 4bx - 4\left(\frac{b}{2}\right)^3 \\ &= x^3 + \left(\frac{3}{2}b - 2\right)x^2 - 4bx - \frac{b^3}{2} \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から $f'(x) = 3x^2 + (3b - 4)x - 4b$
 $= (3x - 4)(x + b)$

$$f'(x) = 0 \text{ を解くと } x = \frac{4}{3}, -b$$

(3) $0 < a < 1$ より, $b = \log_{\frac{1}{4}} a > 0$ であるから

x	$\dots$	$-b$	$\dots$	$\frac{4}{3}$	$\dots$
$f'(x)$	$+$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$

$$\text{極大値が } \frac{9}{2} \text{ であるから } f(-b) = 2b^2 = \frac{9}{2}$$

$$b > 0 \text{ に注意して } b = \frac{3}{2} \quad \text{これを } b = \log_{\frac{1}{4}} a \text{ に代入して}$$

$$\log_{\frac{1}{4}} a = \frac{3}{2} \quad \text{ゆえに } a = \left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{8}$$



- 3** (1) 与えられた漸化式から $(n+1)a_{n+1} - (n+3)a_n = 2$

上式の両辺を $(n+3)(n+2)(n+1)$ で割ると

$$\frac{a_{n+1}}{(n+3)(n+2)} - \frac{a_n}{(n+2)(n+1)} = \frac{2}{(n+3)(n+2)(n+1)}$$

$$b_n = \frac{a_n}{(n+2)(n+1)} \text{ より } b_{n+1} - b_n = \frac{2}{(n+3)(n+2)(n+1)}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad \frac{1}{(k+3)(k+2)(k+1)} &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{(k+3) - (k+1)}{(k+3)(k+2)(k+1)} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{(k+2)(k+1)} - \frac{1}{(k+3)(k+2)} \right\} \end{aligned}$$

よって $p = 2$

- (3) (2) の結果から

$$\frac{2}{(k+3)(k+2)(k+1)} = \frac{1}{(k+2)(k+1)} - \frac{1}{(k+3)(k+2)}$$

上式と (1) の結果により

$$b_{k+1} - b_k = \frac{1}{(k+2)(k+1)} - \frac{1}{(k+3)(k+2)}$$

$$b_1 = \frac{a_1}{3 \cdot 2} = \frac{2}{3 \cdot 2} = \frac{1}{3} \text{ により, } n > 1 \text{ のとき}$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} (b_{k+1} - b_k) = \sum_{k=1}^{n-1} \left\{ \frac{1}{(k+2)(k+1)} - \frac{1}{(k+3)(k+2)} \right\}$$

$$\text{ゆえに } b_n - \frac{1}{3} = \frac{1}{6} - \frac{1}{(n+2)(n+1)}$$

$$b_n = \frac{n(n+3)}{2(n+2)(n+1)}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから

$$\frac{a_n}{(n+2)(n+1)} = \frac{n(n+3)}{2(n+2)(n+1)} \quad \text{よって} \quad a_n = \frac{n(n+3)}{2}$$



- 4 (1) $b = 8$, $c = 5$, $A = 60^\circ$ を余弦定理に適用すると

$$\begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cos A \\ &= 8^2 + 5^2 - 2 \cdot 8 \cdot 5 \cos 60^\circ = 49 \end{aligned}$$

$a = BC > 0$ であるから $BC = 7$

- (2) AD は $\angle BAC$ を二等分線であるから

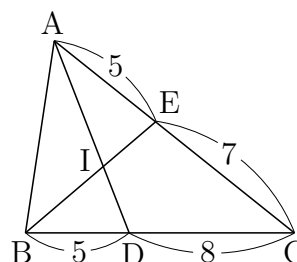
$$BD : DC = 5 : 8$$

$$\text{よって } \overrightarrow{AD} = \frac{8}{13} \overrightarrow{AB} + \frac{5}{13} \overrightarrow{AC}$$

BE は $\angle ABC$ の二等分線であるから

$$AE : EC = 5 : 7$$

$$\text{よって } \overrightarrow{BE} = \overrightarrow{BA} + \overrightarrow{AE} = -\overrightarrow{AB} + \frac{5}{12} \overrightarrow{AC}$$



- (3) $\triangle ADC$ と直線 BE についてメネラウスの定理を適用すると

$$\frac{AI}{ID} \cdot \frac{DB}{BC} \cdot \frac{CE}{EA} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{AI}{ID} \cdot \frac{5}{13} \cdot \frac{7}{5} = 1$$

したがって $AI : ID = 13 : 7$

$$\text{よって } \overrightarrow{AI} = \frac{13}{20} \overrightarrow{AD} = \frac{13}{20} \cdot \frac{8\overrightarrow{AB} + 5\overrightarrow{AC}}{13} = \frac{2}{5} \overrightarrow{AB} + \frac{1}{4} \overrightarrow{AC}$$

■

- 5 (1) $P(X = k) = \frac{k-1}{{}_6C_2} = \frac{k-1}{15}$ ($1 \leq k \leq 6$) より, 求める期待値は

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{k=1}^6 kP(X = k) = \frac{1}{15} \sum_{k=1}^6 k(k-1) \\ &= \frac{1}{45} \sum_{k=1}^6 \{(k-1)k(k+1) - (k-2)(k-1)k\} = \frac{5 \cdot 6 \cdot 7}{45} = \frac{14}{3} \end{aligned}$$

- (2) $P(Y = j) = \frac{6-j}{15}$, $P(X = k, Y = j) = \begin{cases} \frac{1}{15} & (k > j) \\ 0 & (k \leq j) \end{cases}$ ($1 \leq j, k \leq 6$)
 $1 < k \leq j < 6$ とすると

$$P(X = k)P(Y = j) > 0, \quad P(X = k, Y = j) = 0$$

$$\text{ゆえに } P(X = k)P(Y = j) \neq P(X = k, Y = j)$$

よって 確率変数 X と Y は互いに独立ではない.

- (3) 確率変数 XY の期待値は

$$\begin{aligned} E(XY) &= \sum_{1 \leq j, k \leq 6} P(X = k, Y = j)jk = \sum_{1 \leq j < k \leq 6} \frac{1}{15}jk \\ &= \frac{1}{15} \cdot \frac{1}{2} \{(1+2+\cdots+6)^2 - (1^2+2^2+\cdots+6^2)\} \\ &= \frac{1}{30}(21^2 - 91) = \frac{35}{3} \end{aligned}$$

■

6 (1) (*) $f(x) = \frac{1}{2}x^2e^{-x} + e^{-x} \int_0^x e^t f(t) dt$ を微分すると

$$f'(x) = xe^{-x} - \frac{1}{2}x^2e^{-x} - e^{-x} \int_0^x e^t f(t) dt + f(x)$$

(*) を上式に代入して整理すると $f'(x) = xe^{-x}$

(*) に $x = 0$ を代入すると $f(0) = 0$

$$f(x) = \int f'(x) dx = \int xe^{-x} dx = -(x+1)e^{-x} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

したがって $f(0) = -1 + C = 0$ すなわち $C = 1$

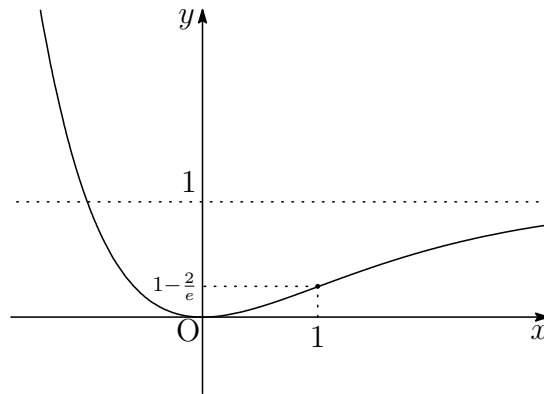
よって $f(x) = -(x+1)e^{-x} + 1$

(2) $f'(x)$ を微分して $f''(x) = (1-x)e^{-x}$

x	$\cdots$	0	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$	$-$	0	$+$	$+$	$+$
$f''(x)$	$+$	$+$	$+$	0	$-$
$f(x)$	$\searrow$	0	$\nearrow$	$1 - \frac{2}{e}$	$\nearrow$

したがって 極小値 $f(0) = 0$, 変曲点 $\left(1, 1 - \frac{2}{e}\right)$

(**) $\lim_{x \rightarrow -\infty} xe^{-x} = 0$ より $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \infty$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1$



$$\begin{aligned} (3) \text{ よって } S(a) &= \int_0^a \{1 - f(x)\} dx = \int_0^a (x+1)e^{-x} dx \\ &= - \left[(x+2)e^{-x} \right]_0^a = 2 - (a+2)e^{-a} \end{aligned}$$

また, (**) より $\lim_{a \rightarrow \infty} S(a) = 2$



- 7** (1) $|z|^2 + \bar{\alpha}z + \alpha\bar{z} + A = 0$ より (A は実数)

$$|z + \alpha|^2 = |\alpha|^2 - A$$

よって, 中心 $-\alpha$, 半径 $\sqrt{|\alpha|^2 - A}$ の円を表す.

- (2) $z_1 \neq 0, z_2 \neq 0, z_1 \neq z_2$ のとき

3 点 $0, z_1, z_2$ が同一直線上にある

$$\iff z_2 = kz_1 \text{ (} k \text{ は実数)} \iff \frac{z_2}{z_1} = \frac{\bar{z}_2}{\bar{z}_1} = k \text{ (} k \text{ は実数)}$$

$$\iff \frac{z_2}{z_1} = \frac{\bar{z}_2}{\bar{z}_1} \iff z_1\bar{z}_2 - \bar{z}_1z_2 = 0$$

- (3) 点 0 は (★) 上の点であるから $A = 0$

z_1, z_2 は (★) 上の点であるから

$$|z_1|^2 + \bar{\alpha}z_1 + \alpha\bar{z}_1 = 0, \quad |z_2|^2 + \bar{\alpha}z_2 + \alpha\bar{z}_2 = 0$$

上の 2 式から $\bar{\alpha}$ を消去すると

$$|z_1|^2z_2 - |z_2|^2z_1 - \alpha(z_1\bar{z}_2 - \bar{z}_1z_2) = 0$$

このとき, (2) の結論より, $z_1\bar{z}_2 - \bar{z}_1z_2 \neq 0$ であるから

$$\alpha = \frac{|z_1|^2z_2 - |z_2|^2z_1}{z_1\bar{z}_2 - \bar{z}_1z_2}$$



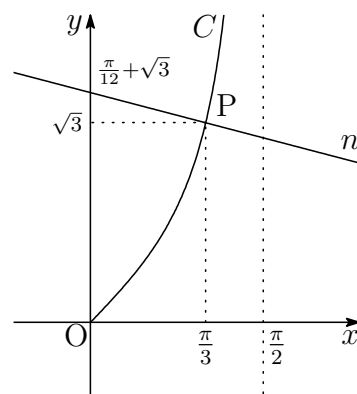
8 (1) $f(x) = \tan x$ とおくと $f'(x) = \frac{1}{\cos^2 x}$

$$f'\left(\frac{\pi}{3}\right) = 4$$

$C : y = f(x)$ 上の点 $P\left(\frac{\pi}{3}, \sqrt{3}\right)$ における
法線 n の方程式は

$$y - \sqrt{3} = -\frac{1}{4}\left(x - \frac{\pi}{3}\right)$$

よって $y = -\frac{1}{4}x + \frac{\pi}{12} + \sqrt{3}$



(2) 求める部分の面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{3} \left\{ \left(\frac{\pi}{12} + \sqrt{3} \right) + \sqrt{3} \right\} - \int_0^{\frac{\pi}{3}} \tan x \, dx \\ &= \frac{\pi}{6} \left(\frac{\pi}{12} + 2\sqrt{3} \right) + \left[\log \cos x \right]_0^{\frac{\pi}{3}} \\ &= \frac{\pi^2}{72} + \frac{\pi}{\sqrt{3}} - \log 2 \end{aligned}$$

■

9.8 2022 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・III・A・B(120分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・A・B(90分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から1問選択, [2] [8] から1問選択. 数I・II・A・Bまたは数I・III・A・B(90分)

1 次の各問いに答えよ.

- (1) $AB = 5$, $BC = 9$, $CA = 6$ である三角形 ABC を考える. 頂点 A から辺 BC に下ろした垂線 AH の長さを求めよ.
- (2) $ab = 4a - b$ を満たす正の整数 a , b の組をすべて求めよ.
- (3) 正 $2n$ 角形 $A_1A_2 \cdots A_{2n-1}A_{2n}$ の異なる3つの頂点を結んで三角形を作る. このような三角形の作り方は何通りあるか. なお, 頂点が異なれば異なる三角形であるとする. またこのような三角形を任意に選ぶとき, それが直角三角形となる確率 p を求めよ. ただし, $n \geq 2$ とする.

2 次の各問いに答えよ.

- (1) a , b , c が1でない正の実数のとき, 次の等式が成立することを証明せよ.

$$\log_a b = \frac{\log_c b}{\log_c a}$$

- (2) $s = \log_{10} 2$, $t = \log_{10} 3$ とするとき, $\log_{30} 600$ を s と t を用いて表せ.
- (3) 次の関数の最大値と最小値を求めよ. またそのときの x の値を求めよ.

$$y = 2(\log_5 x)^2 - \log_5 x^8 + 6 \quad (1 \leq x \leq 125)$$

3 各項が正となる数列 $\{a_n\}$ が

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 2, \quad a_{n+1}a_{n-1} = a_n^2 + 1 \quad (n \geq 2)$$

を満たすとする.

- (1) a_3, a_4, a_5 を求めよ.
- (2) c を実数とする. 3 以上のすべての自然数 n に対して

$$(a_{n+1} + ca_n + a_{n-1})a_{n-1} = a_n(a_n + ca_{n-1} + a_{n-2})$$

が成り立つことを証明せよ.

- (3) 3 以上のすべての自然数 n に対して

$$a_n - 3a_{n-1} + a_{n-2} = 0$$

が成り立つことを証明せよ.

4 平行六面体 OAFB-CEGD を考える. t を正の実数とし, 辺 OC を $1:t$ に内分する点を M とする. また三角形 ABM と直線 OG の交点を P とする. さらに

$$\overrightarrow{OA} = \vec{a}, \quad \overrightarrow{OB} = \vec{b}, \quad \overrightarrow{OC} = \vec{c}$$

とする.

- (1) $\overrightarrow{OP}$ を $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, t$ を用いて表せ.
- (2) 四面体 OABE の体積を V_1 とし, 四面体 OABP の体積を V_2 とするとき, これらの比 $V_1 : V_2$ を求めよ.
- (3) 三角形 OAB の重心を Q とする. 直線 FC と直線 QP が平行になるとき, t の値を求めよ.

5 大小 2 個のサイコロを同時に投げる. 大きいサイコロの出る目を十の位, 小さいサイコロの出る目を一の位としてできる 2 桁の数を X とし, 小さいサイコロの出る目を十の位, 大きいサイコロの出る目を一の位としてできる 2 桁の数を Y とする.

- (1) 確率 $P(X - Y > 0)$ を求めよ.
- (2) 確率変数 X の期待値 $E(X)$ と分散 $V(X)$ を求めよ.
- (3) 確率変数 $X - Y$ の標準偏差 $\sigma(X - Y)$ を求めよ.

6 次の各問いに答えよ.

(1) 次の関数の導関数を求めよ.

$$y = \log|x + \sqrt{x^2 + 1}|$$

(2) $a > 0$ のとき, 次の不等式が成立することを示せ.

$$\int_0^a \frac{1}{1+x^2} dx < \int_0^a \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} dx$$

(3) 次の不等式が成立することを示せ.

$$\frac{\pi}{4} < \log(1 + \sqrt{2})$$

7 曲線 C の媒介変数表示が

$$x = \cos^3 t, \quad y = 3 \sin^3 t \quad \left(0 < t < \frac{\pi}{2}\right)$$

で与えられているとする. また曲線 C 上の点 $P(\cos^3 t, 3 \sin^3 t)$ における接線を ℓ とする. さらに原点を中心とする半径 r の円が直線 ℓ と接しているとする.

(1) 直線 ℓ の方程式は

$$y = -3(\tan t)x + 3 \sin t$$

と表されることを示せ.

(2) $\alpha = \cos^2 t$ とするとき, r^2 は

$$r^2 = \frac{9\alpha(\alpha - 1)}{8\alpha - 9}$$

と表されることを示せ.

(3) $0 < t < \frac{\pi}{2}$ における r の最大値を求めよ. またそのときの t の値を求めよ.

8 曲線 $y = \sqrt{x}$ ($x > 0$) を C とする. C の接線で点 $(0, 1)$ を通るものを ℓ とする. また C の法線で傾きが -2 のものを n とする.

(1) 直線 ℓ の方程式を求めよ.

(2) 直線 n の方程式を求めよ.

(3) 曲線 C , 直線 ℓ および直線 n で囲まれた部分の面積を求めよ.

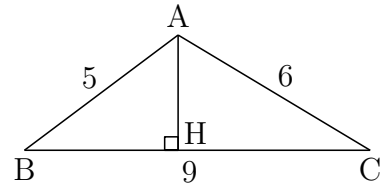
解答例

- 1 (1) 余弦定理を $\triangle ABC$ に適用すると

$$\cos B = \frac{5^2 + 9^2 - 6^2}{2 \cdot 5 \cdot 9} = \frac{7}{9}$$

$$\text{ゆえに } \sin B = \sqrt{1 - \left(\frac{7}{9}\right)^2} = \frac{4\sqrt{2}}{9}$$

$$\text{よって } AH = AB \sin B = 5 \cdot \frac{4\sqrt{2}}{9} = \frac{20\sqrt{2}}{9}$$



別解 $a = 9$, $b = 6$, $c = 5$ であるから, $s = \frac{a+b+c}{2} = 10$, $\triangle ABC$ の面積を S とすると, ヘロンの公式より

$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} = \sqrt{10(10-9)(10-6)(10-5)} = 10\sqrt{2}$$

$$S = \frac{1}{2}BC \cdot AH \text{ より } \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot AH = 10\sqrt{2} \text{ よって } AH = \frac{20\sqrt{2}}{9}$$

- (2) $ab = 4a - b$ より $(a+1)(b-4) = -4$

a, b は正の整数であるから, $a+1 \geq 2$, $b-4 \geq -3$ に注意して

$$\begin{cases} a+1=2 \\ b-4=-2 \end{cases} \quad \text{または} \quad \begin{cases} a+1=4 \\ b-4=-1 \end{cases}$$

よって $(a, b) = (1, 2), (3, 3)$

- (3) $2n$ 個の頂点から異なる 3 つの頂点を結んでできる三角形の総数は

$${}_{2n}C_3 = \frac{2n(2n-1)(2n-2)}{3!} = \frac{2n(2n-1)(n-1)}{3} \quad (\text{個})$$

円周角が 90° となるのは, 弦が直径であるときに限る. 直径のとり方が $\frac{2n}{2}$ 通りあり, その円周角のとり方が直径の両端を除く $2n-2$ 個ある. したがって, 直角三角形の総数は

$$\frac{2n}{2}(2n-2) = 2n(n-1) \quad (\text{個})$$

よって, 求める確率は $2n(n-1) \div \frac{2n(2n-1)(n-1)}{3} = \frac{3}{2n-1}$ ■

2 (1) 対数の定義から $b = a^p \iff p = \log_a b$

$$q = \log_c a \text{ とすると } a = c^q \text{ ゆえに } b = a^p = c^{pq}$$

したがって、対数の定義により $pq = \log_c b$ (条件から $pq \neq 0$)

$$\log_a b \log_c a = \log_c b \quad \text{よって} \quad \log_a b = \frac{\log_c b}{\log_c a}$$

(2) (1) で示した等式を用いて

$$\begin{aligned} \log_{30} 600 &= \frac{\log_{10} 600}{\log_{10} 30} = \frac{\log_{10}(2 \cdot 3 \cdot 10^2)}{\log_{10}(3 \cdot 10)} \\ &= \frac{\log_{10} 2 + \log_{10} 3 + 2}{\log_{10} 3 + 1} = \frac{s + t + 2}{t + 1} \end{aligned}$$

(3) 与えられた関数

$$y = 2(\log_5 x)^2 - \log_5 x^8 + 6 \quad (1 \leq x \leq 125)$$

$$\text{について, } t = \log_5 x \text{ とおくと } y = 2t^2 - 8t + 6 \quad (0 \leq t \leq 3)$$

$$y = 2(t - 2)^2 - 2$$

よって $t = 0$, すなわち, $x = 1$ のとき最大値 6

$t = 2$, すなわち, $x = 25$ のとき最小値 -2

補足 $p = \log_a b$ より, $b = a^p$ の両辺を c を底とする対数をとると

$$\begin{aligned} \log_c b &= \log_c a^p \\ &= p \log_c a \end{aligned}$$

の式変形を別途証明 (省略) した上で, 次に続く.

$$p = \frac{\log_c b}{\log_c a} \quad \text{よって} \quad \log_a b = \frac{\log_c b}{\log_c a} \quad (\text{証終})$$

$$\text{さらに, } p \text{ の底 } a \text{ を } c, d \text{ に変換すると } \frac{\log_c b}{\log_c a} = \frac{\log_d b}{\log_d a}$$

$$\log_c a \log_d b = \log_d a \log_c b$$

これらの積は底 (真数) について互換性が成立する.

$$\text{例えば} \quad \log_3 8 \log_2 9 = \log_2 8 \log_3 9 = 3 \cdot 2 = 6$$



3 (1) $a_{n+1}a_{n-1} = a_n^2 + 1 > 0$ より, すべての自然数 n で, $a_n \neq 0$ であるから ²

$$a_{n+1} = \frac{a_n^2 + 1}{a_{n-1}} \quad (n \geq 2)$$

$a_1 = 1, a_2 = 2$ であるから, $n = 2, 3, 4$ を上式に順次代入すると

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{a_2^2 + 1}{a_1} = \frac{2^2 + 1}{1} = \mathbf{5}, \\ a_4 &= \frac{a_3^2 + 1}{a_2} = \frac{5^2 + 1}{2} = \mathbf{13}, \\ a_5 &= \frac{a_4^2 + 1}{a_3} = \frac{13^2 + 1}{5} = \mathbf{34} \end{aligned}$$

(2) $a_{n+1}a_{n-1} = a_n^2 + 1$ より $(a_{n-1})^2 = a_n a_{n-2} - 1$

$$\begin{aligned} (a_{n+1} + ca_n + a_{n-1})a_{n-1} &= a_{n+1}a_{n-1} + ca_n a_{n-1} + a_{n-1}^2 \\ &= (a_n^2 + 1) + ca_n a_{n-1} + (a_n a_{n-2} - 1) \\ &= a_n(a_n + ca_{n-1} + a_{n-2}) \end{aligned}$$

(3) すべての n について, $a_n \neq 0$ であるから, (2) の結果より

$$\frac{a_{n+1} + ca_n + a_{n-1}}{a_n} = \frac{a_n + ca_{n-1} + a_{n-2}}{a_{n-1}}$$

$$\text{したがって} \quad \frac{a_n + ca_{n-1} + a_{n-2}}{a_{n-1}} = \frac{a_3 + ca_2 + a_1}{a_2}$$

$c = -3$ のとき, $a_3 + ca_2 + a_1 = 5 - 3 \cdot 2 + 1 = 0$ より

$$a_n - 3a_{n-1} + a_{n-2} = 0$$

補足 フィボナッチ数列 $\{f_n\}$ の特性方程式 $x^2 - x - 1 = 0$ の解を α, β とすると

$$f_n - (\alpha + \beta)f_{n-1} + \alpha\beta f_{n-2} = 0$$

$$f_1 = 1, f_2 = 1 \text{ であるから} \quad f_n = \frac{\beta^n - \alpha^n}{\beta - \alpha}$$

$\alpha + \beta = 1, \alpha\beta = -1$ より, $\alpha^2 + \beta^2 = 3, \alpha^2\beta^2 = 1$ であるから

$$a_n - (\alpha^2 + \beta^2)a_{n-1} + \alpha^2\beta^2 a_{n-2} = 0$$

$$a_1 = 1, a_2 = 2 \text{ より} \quad a_n = \frac{\beta^{2n-1} - \alpha^{2n-1}}{\beta - \alpha} = f_{2n-1}$$

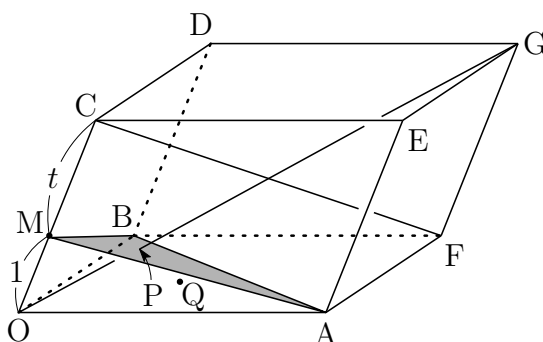
■

²<http://kumamoto.s12.xrea.com/N/Tdai/Tdai.ri.2015.pdf> **4** を参照.

4 (1) $\vec{OG} = \vec{OA} + \vec{OB} + \vec{OC}$, $\vec{OC} = (1+t)\vec{OM}$ より

$$\begin{aligned}\vec{OG} &= \vec{OA} + \vec{OB} + (1+t)\vec{OM} \\ &= (3+t) \cdot \frac{\vec{OA} + \vec{OB} + (1+t)\vec{OM}}{1+1+(1+t)} = (3+t)\vec{OP}\end{aligned}$$

よって $\vec{OP} = \frac{\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}}{3+t}$



(2) 四面体 OABE の体積と四面体 OAGB の体積は等しいから, (1) の結果より

$$V_1 : V_2 = 3 + t : 1$$

(3) $\vec{OQ} = \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b})$, $\vec{OF} = \vec{a} + \vec{b}$, $\vec{OC} = \vec{c}$ および (1) の結果から

$$\begin{aligned}\vec{FC} &= \vec{OC} - \vec{OF} = \vec{c} - (\vec{a} + \vec{b}) = -\vec{a} - \vec{b} + \vec{c}, \\ \vec{QP} &= \vec{OP} - \vec{OQ} = \frac{1}{3+t}(\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}) - \frac{1}{3}(\vec{a} + \vec{b}) \\ &= \frac{1}{3+t} \left(-\frac{t}{3}\vec{a} - \frac{t}{3}\vec{b} + \vec{c} \right)\end{aligned}$$

$\vec{FC} // \vec{QP}$ であるから $-\frac{t}{3} = -1$ よって $t = 3$



- 5 (1) 大きいサイコロ, 小さいサイコロの目をそれぞれ, A, B とすると

$$X = 10A + B, \quad Y = 10B + A \quad (A, B = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

$X - Y = 9(A - B)$ より, $X - Y = 0$ のとき, $A = B$ であるから

$$P(X - Y = 0) = P(A = B) = \frac{6}{6^2} = \frac{1}{6}$$

$$P(X - Y > 0) + P(X - Y = 0) + P(X - Y < 0) = 1,$$

$P(X - Y > 0) = P(X - Y < 0)$ であるから

$$P(X - Y > 0) = \frac{1}{2}\{1 - P(X - Y = 0)\} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{6}\right) = \frac{5}{12}$$

- (2) $E(A) = E(B)$, $V(A) = V(B)$ により (A, B は独立変数)

$$E(X) = E(10A + B) = 10E(A) + E(B) = 11E(A),$$

$$V(X) = V(10A + B) = 10^2V(A) + V(B) = 101V(A)$$

このとき $E(A) = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 7 = \frac{7}{2},$

$$V(A) = E(A^2) - E(A)^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} \cdot 6 \cdot 7 \cdot 13 - \left(\frac{7}{2}\right)^2 = \frac{35}{12}$$

よって $E(X) = 11 \cdot \frac{7}{2} = \frac{77}{2}, \quad V(X) = 101 \cdot \frac{35}{12} = \frac{3535}{12}$

- (3) (2) の $V(A), V(B)$ を用いると

$$V(A - B) = V(A + (-B)) = V(A) + V(-B)$$

$$= V(A) + (-1)^2 V(B) = 2V(A) = 2 \cdot \frac{35}{12} = \frac{35}{6},$$

$$V(X - Y) = V(9(A - B)) = 9^2 V(A - B) = 9^2 \cdot \frac{35}{6}$$

よって $\sigma(X - Y) = \sqrt{V(X - Y)} = 9\sqrt{\frac{35}{6}} = \frac{3}{2}\sqrt{210}$

補足 A, B は独立変数であるから $V(A - B) = V(A) + V(B)$

X, Y は独立変数ではないから $V(X - Y) \neq V(X) + V(Y)$ ■

6 (1) $y = \log |x + \sqrt{x^2 + 1}|$ を微分すると

$$y' = \frac{1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + 1}}}{x + \sqrt{x^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{x^2 + 1}}$$

(2) $x \neq 0$ のとき $\frac{1}{1+x^2} < \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$

したがって, $a > 0$ のとき, 次式が成立する.

$$\int_0^a \frac{1}{1+x^2} dx < \int_0^a \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} dx \quad (*)$$

(3) $a = 1$ を (*) に代入すると

$$\int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx < \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} dx \quad (**)$$

(**) の左辺について, $x = \tan \theta$ とおくと $\frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta}$

x	$0 \rightarrow 1$
θ	$0 \rightarrow \frac{\pi}{4}$

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{1+\tan^2 \theta} \frac{dx}{d\theta} d\theta \\ &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{1+\tan^2 \theta} \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta = \frac{\pi}{4} \end{aligned}$$

(**) の右辺について, (1) の結果を用いると

$$\int_0^1 \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} dx = \left[\log |x + \sqrt{x^2 + 1}| \right]_0^1 = \log(1 + \sqrt{2})$$

以上の結果を (**) に代入すると

$$\frac{\pi}{4} < \log(1 + \sqrt{2})$$



- 7** (1) $C : x = \cos^3 t, y = 3 \sin^3 t \left(0 < t < \frac{\pi}{2}\right)$ より

$$\frac{dx}{dt} = -3 \sin t \cos^2 t, \quad \frac{dy}{dt} = 9 \sin^2 t \cos t$$

このとき, $0 < \sin t < 1, 0 < \cos t < 1$ に注意して

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \bigg/ \frac{dx}{dt} = \frac{9 \sin^2 t \cos t}{-3 \sin t \cos^2 t} = -\frac{3 \sin t}{\cos t} = -3 \tan t$$

したがって, C 上の点 $P(\cos^3 t, 3 \sin^3 t)$ における接線 ℓ の方程式は

$$y - 3 \sin^3 t = -3(\tan t)(x - \cos^3 t)$$

したがって $y = -(3 \tan t)x + 3 \sin t(\sin^2 t + \cos^2 t)$

よって $y = -3(\tan t)x + 3 \sin t$

- (2) r は $\ell : 3(\tan t)x + y - 3 \sin t = 0$ と原点の距離 r により $r = \frac{|-3 \sin t|}{\sqrt{9 \tan^2 t + 1}}$

$\alpha = \cos^2 t$ とすると

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{9 \sin^2 t}{9 \tan^2 t + 1} = \frac{9(1 - \cos^2 t)}{9 \left(\frac{1}{\cos^2 t} - 1 \right) + 1} = \frac{9(1 - \alpha)}{9 \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right) + 1} \\ &= \frac{9\alpha(1 - \alpha)}{9(1 - \alpha) + \alpha} = \frac{9\alpha(\alpha - 1)}{8\alpha - 9} \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から ³

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{(8\alpha - 9) \left(\frac{9}{8}\alpha + \frac{9}{64} \right) + \frac{81}{64}}{8\alpha - 9} = \frac{9}{8}\alpha + \frac{9}{64} + \frac{81}{64} \cdot \frac{1}{8\alpha - 9} \\ &= \frac{9}{64}(8\alpha - 9 + 9) + \frac{9}{64} + \frac{81}{64} \cdot \frac{1}{8\alpha - 9} = \frac{45}{32} - \frac{9}{64} \left(9 - 8\alpha + \frac{9}{9 - 8\alpha} \right) \end{aligned}$$

$9 - 8\alpha > 0$ であるから ($0 < \alpha < 1$), 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$9 - 8\alpha + \frac{9}{9 - 8\alpha} \geq 2\sqrt{(9 - 8\alpha) \cdot \frac{9}{9 - 8\alpha}} = 6 \quad \text{ゆえに} \quad r^2 \leq \frac{9}{16}$$

上式で等号が成立するとき $9 - 8\alpha = \frac{9}{9 - 8\alpha}$ すなわち $\alpha = \frac{3}{4}$

$\cos^2 t = \frac{3}{4} \left(0 < t < \frac{\pi}{2}\right)$ より, $t = \frac{\pi}{6}$ のとき, r は最大値 $\frac{3}{4}$ をとる. ■

³<http://kumamoto.s12.xrea.com/kyusuu/kagoshima/kagoshima.2004.pdf> [3] を参照.

- 8 (1) $f(x) = \sqrt{x}$ とおくと, $f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}}$. C 上の点 $(t, f(t))$ における接線は

$$y - \sqrt{t} = \frac{1}{2\sqrt{t}}(x - t) \quad \text{ゆえに} \quad y = \frac{x}{2\sqrt{t}} + \frac{\sqrt{t}}{2} \quad (*)$$

これが点 $(0, 1)$ を通るから $1 = \frac{\sqrt{t}}{2}$ これを解いて $t = 4$

ℓ は, $t = 4$ を $(*)$ に代入して $y = \frac{x}{4} + 1$

- (2) C 上の点 $(a, f(a))$ における法線 n の傾きが -2 であるとき

$$-2f'(a) = -1 \quad \text{ゆえに} \quad f'(a) = \frac{1}{2\sqrt{a}} = \frac{1}{2} \quad \text{これを解いて} \quad a = 1$$

したがって, 法線 n は点 $(1, 1)$ を通り, 傾き -2 の直線であるから

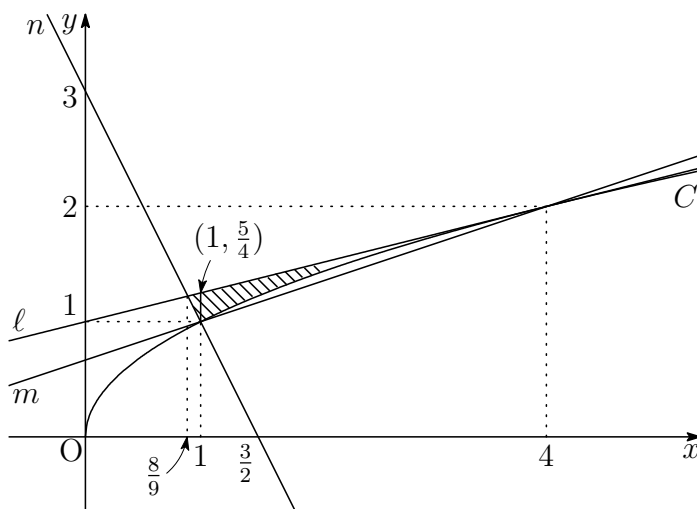
$$y - 1 = -2(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = -2x + 3$$

- (3) 2点 $(1, 1)$, $(4, 2)$ を通る直線を m とすると $m: y = \frac{1}{3}x + \frac{2}{3}$
3直線 ℓ , m , n で囲まれた三角形の面積を S_1 とすると

$$S_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{5}{4} - 1 \right) \left(4 - \frac{8}{9} \right) = \frac{7}{18}$$

$C: x = y^2 (y \geq 0)$ と $m: x = 3y - 2$ で囲まれた部分の面積を S_2 とすると

$$S_2 = \int_1^2 \{(3y - 2) - y^2\} dy = \int_1^2 (y - 1)(2 - y) dy = \frac{1}{6}(2 - 1)^3 = \frac{1}{6}$$



よって, 求める面積は $S_1 - S_2 = \frac{7}{18} - \frac{1}{6} = \frac{2}{9}$

9.9 2023 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B または数 I・III・A・B(90 分)

[1] 次の各問いに答えよ.

- (1) 3 辺の長さがそれぞれ 2, 4, $2\sqrt{5}$ である三角形に内接する円の面積を求めよ.
- (2) $\theta = \sqrt{5} + \sqrt{7}$ とする. 有理数を係数とする 4 次の整式 $f(x)$ のうち, $f(\theta) = 0$ を満たし 4 次の項の係数が 1 となるものを 1 つ答えよ.
- (3) 1 個のサイコロを 3 回投げるとき, 出る目の和が 7 以上である確率を求めよ.

[2] 座標平面上の 2 点 $A(0, 0)$, $B(0, 5k)$ および放物線

$$C: y = \frac{1}{3}x^2 + \frac{3}{4}$$

を考える. ただし, k は正の定数とする.

- (1) 点 P が A , B からの距離の比が $3:2$ の点をすべて動くとき, P の軌跡を求めよ.
- (2) (1) の軌跡と放物線 C の共有点の個数がちょうど 2 になるような k の値の範囲を求めよ.

3 自然数 n に対して, a_n, b_n を

$$\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n = a_n + b_n\sqrt{5}$$

を満たす有理数とする. ただし, 4つの有理数 a, b, c, d が

$$a + b\sqrt{5} = c + d\sqrt{5}$$

を満たせば $a = c$ かつ $b = d$ が成り立つので, a_n, b_n は各自然数 n に対し 1 通りに定まることに注意する.

- (1) n が 3 の倍数であるとき, a_n, b_n がともに整数となることを示せ.
- (2) 自然数 n が 3 の倍数であるとき, a_n, b_n のどちらか一方が偶数で他方が奇数となることを示せ.
- (3) a_n, b_n がともに整数となるのは n が 3 の倍数のときに限ることを示せ.

4 空間に異なる 4 点 P, A, B, C があり, 次の条件が満たされているとする.

- 三角形 PAB は 1 辺の長さが 1 の正三角形である.
- 線分 PA と線分 PC は正六角形の隣り合う 2 辺である. この正六角形を α とおく.
- 線分 PB と線分 PC は α とは異なる正六角形の隣り合う 2 辺である. この正六角形を β とおく.

- (1) 内積 $\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PB}$, $\overrightarrow{PA} \cdot \overrightarrow{PC}$, および $\overrightarrow{PB} \cdot \overrightarrow{PC}$ を求めよ.

さらに次の条件を満たすような異なる 3 点 H, Q, R を考える.

- H は線分 PA 上にある.
- Q は 3 点 P, A, B によって定まる平面を直線 PA で 2 分割した領域の B を含む側にあり, 線分 HQ は長さ 1 で PA に垂直である.
- R は正六角形 α の内部にあり, 線分 HR は長さ 1 で PA に垂直である.

- (2) $\overrightarrow{HQ}$ と $\overrightarrow{HR}$ を $\overrightarrow{PA}$, $\overrightarrow{PB}$, $\overrightarrow{PC}$ を用いてあらわせ.
- (3) $\overrightarrow{HQ}$ と $\overrightarrow{HR}$ のなす角を θ とするとき $\cos \theta$ を求めよ.

- 5 袋に赤玉 4 個と白玉 2 個が入っている. 無作為に玉を 1 個取り出して, それが赤玉であれば白玉と, 白玉であれば赤玉と取り換えて袋に戻すという操作を考える. この操作を 2 回繰り返したあと袋にある赤玉の数を X とし, 一方, 3 回繰り返したあと袋にある白玉の数を Y とする.

- (1) 確率 $P(X = 4)$ を求めよ.
- (2) 確率変数 X の期待値 $E(X)$ と分散 $V(X)$ を求めよ.
- (3) 確率変数 Y の期待値 $E(Y)$ を求めよ.

- 6 $x > 0$ で定義された曲線

$$C: y = (\log x)^2$$

を考える.

- (1) a を正の実数とするとき, 点 $P(a, (\log a)^2)$ における曲線 C の接線 L の方程式を求めよ.
- (2) $a > 1$ のとき, 接線 L と x 軸の交点の x 座標が最大となる場合の a の値 a_0 を求めよ.
- (3) a の値が (2) の a_0 に等しいとき, 直線 L の $y \geq 0$ の部分と曲線 C と x 軸で囲まれた部分を, x 軸の周りに 1 回転させてできる図形の体積を求めよ.

- 7 次の問いに答えよ. ただし, i は虚数単位とする.

- (1) z_1, z_2 を異なる 2 つの複素数とするとき, $\frac{1+iz_1}{z_1+i} \neq \frac{1+iz_2}{z_2+i}$ となることを示せ. ただし, $z_1 \neq -i, z_2 \neq -i$ とする.
- (2) w を i 以外の複素数とするとき, $\frac{1+iz}{z+i} = w$ かつ $z \neq -i$ を満たす複素数 z が存在することを示せ.
- (3) $-i$ 以外の複素数 z について, z の虚部が b となることと, $w = \frac{1+iz}{z+i}$ が $\left|w - \frac{i}{2}\right| = \frac{1}{2}$ を満たすことが同値になるように実数 b を定めよ.

- 8 実数全体で定義された関数 $f(x) = 2^x - 1$ を考える.

- (1) 関数 $y = f(x)$ の逆関数 $y = f^{-1}(x)$ を求めよ. またその定義域を求めよ.
- (2) 2 つの曲線 $y = f(x)$ と $y = f^{-1}(x)$ の共有点の座標をすべて求めよ.
- (3) 2 つの曲線 $y = f(x)$ と $y = f^{-1}(x)$ で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

- 1 (1) $2^2 + 4^2 = (2\sqrt{5})^2$ より直角三角形である. 直角を挟む2辺の長さが2, 4であるから, 三角形の面積を S とすると

$$S = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4 = 4$$

$$s = \frac{1}{2}(2 + 4 + 2\sqrt{5}) = 3 + \sqrt{5}, \text{ 内接円の半径を } r \text{ とすると, } S = rs \text{ より}$$

$$4 = r(3 + \sqrt{5}) \quad \text{ゆえに} \quad r = \frac{4}{3 + \sqrt{5}} = 3 - \sqrt{5}$$

よって, 求める内接円の面積は

$$\pi r^2 = \pi(3 - \sqrt{5})^2 = 2(7 - 3\sqrt{5})\pi$$

- (2) $\theta = \sqrt{5} + \sqrt{7}$ の両辺を平方すると

$$\theta^2 = 12 + 2\sqrt{35} \quad \text{ゆえに} \quad \theta^2 - 12 = 2\sqrt{35}$$

上の第2式をさらに平方すると

$$(\theta^2 - 12)^2 = (2\sqrt{35})^2 \quad \text{整理すると} \quad \theta^4 - 24\theta^2 + 4 = 0$$

よって, 条件を満たす4次式 $f(x)$ は $f(x) = x^4 - 24x^2 + 4$

- (3) 起こりうる場合の総数は 6^3 (通り)

出た目の和が6以下の場合の数は ${}_6C_3 = 20$ (通り)

これは, 下の図のように○と|が交互に6個並んだ6個のしきり(|)から, 3個のしきりを選び, それらのしきりによって区切られた○の個数を左から順に, 1回目から3回目に出た目の数と考える.

$$\bigcirc \bigcirc | \bigcirc | \bigcirc | \bigcirc | \bigcirc |$$

したがって, 出た目の和が6以下である確率は $\frac{20}{6^3} = \frac{5}{54}$

求める確率は, この余事象の確率であるから $1 - \frac{5}{54} = \frac{49}{54}$

補足 出た目の和が6となる場合の数は ${}_5C_2 = 10$ (通り)

6個の○とその間の5個のしきり(|)から, 2個のしきりを選び, それらのしきりによって区切られた○の個数を左から順に, 1回目から3回目に出た目の数と考える. ■

- 2 (1) 点 P の座標を (x, y) とする. P に関する条件は $AP : BP = 3 : 2$
 これより $2AP = 3BP$ すなわち $4AP^2 = 9BP^2$

$$AP^2 = x^2 + y^2, \quad BP^2 = x^2 + (y - 5k)^2$$

$$\text{を代入すると } 4(x^2 + y^2) = 9\{x^2 + (y - 5k)^2\}$$

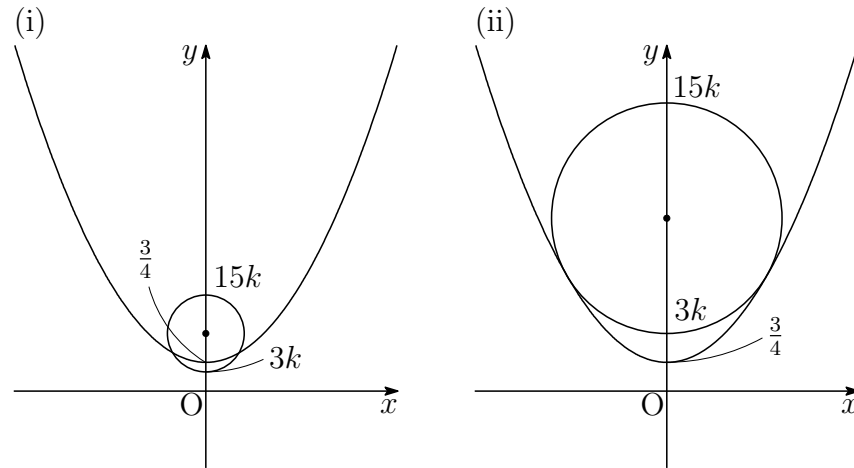
$$\text{整理すると } x^2 + y^2 - 18ky + 45k^2 = 0$$

$$\text{すなわち } x^2 + (y - 9k)^2 = 36k^2$$

よって, 点 P の軌跡は 中心 $(0, 9k)$, 半径 $6k$ の円

補足 点 P の軌跡は, $A(0, 0)$, $B(0, 5k)$ を $3 : 2$ にそれぞれ内分および外分する 2 点 $(0, 3k)$, $(0, 15k)$ を直径の両端とする円である.

- (2) (1) の軌跡と放物線 $C : y = \frac{1}{3}x^2 + \frac{3}{4}$ の共有点がちょうど 2 となるのは, 下の図のように (i), (ii) の場合がある.



(i) $3k < \frac{3}{4} < 15k$, すなわち, $\frac{1}{20} < k < \frac{1}{4}$

- (ii) (1) の軌跡と C が接するとき, (1) と C の方程式から x を消去すると

$$3y - \frac{9}{4} + (y - 9k)^2 = 36k^2$$

$$\text{整理すると } y^2 - 3(6k - 1)y + 45k^2 - \frac{9}{4} = 0 \quad \dots (*)$$

$$\begin{aligned} (*) \text{ の判別式 } D \text{ は } D &= 9(6k - 1)^2 - 4\left(45k^2 - \frac{9}{4}\right) \\ &= 18(8k^2 - 6k + 1) = 18(2k - 1)(4k - 1) \end{aligned}$$

$$\text{このとき, } 3k > \frac{3}{4} \text{ に注意して, } D = 0 \text{ を解くと } k = \frac{1}{2}$$

(i), (ii) より $\frac{1}{20} < k < \frac{1}{4}, k = \frac{1}{2}$



3 (1) $\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^3 = 2 + \sqrt{5}$ であるから、与えられた漸化式により

$$\begin{aligned} a_{n+3} + b_{n+3}\sqrt{5} &= (2 + \sqrt{5})(a_n + b_n\sqrt{5}) \\ &= (2a_n + 5b_n) + (a_n + 2b_n)\sqrt{5} \end{aligned}$$

ゆえに $a_3 = 2, b_3 = 1, a_{n+3} = 2a_n + 5b_n, b_{n+3} = a_n + 2b_n$ (*)

(*) より、題意は成立する.

(2) (*) より $a_{n+3} + b_{n+3} = 2(a_n + 3b_n) + a_n + b_n$
 n が 3 の倍数のとき、 $a_{n+3}, b_{n+3}, a_n, b_n$ は整数であるから、 $a_{n+3} + b_{n+3}$
と $a_n + b_n$ の偶奇が一致する. $a_3 + b_3$ は奇数であるから、題意は成立する.

(3) $\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^1 = \frac{1}{2} + \frac{5}{2}\sqrt{5}, \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^2 = \frac{3}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{5}$ より

$$a_1 = \frac{1}{2}, b_1 = \frac{5}{2}, a_2 = \frac{3}{2}, b_2 = \frac{1}{2} \quad (\#)$$

(*) より $a_n = -2a_{n+3} + 5b_{n+3}, b_n = a_{n+3} - 2b_{n+3}$ (**)

a_N, b_N がともに整数となる $N \not\equiv 0 \pmod{3}$ が存在すると仮定すると、(*)
および (**) から、 $k \equiv N \pmod{3}$ について、 a_k, b_k は整数となる.

これは (#) に反する.

よって、 $k \not\equiv 0 \pmod{3}$ のとき、 a_k, b_k がともに整数となることはない.

したがって、このことと (1) の結論から、 a_n, b_n がともに整数となるのは
 n が 3 の倍数のときに限る. ■

4 (1) 与えられた条件から

$$\vec{PA} \cdot \vec{PB} = |\vec{PA}| |\vec{PB}| \cos \frac{\pi}{3} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\vec{PA} \cdot \vec{PC} = |\vec{PA}| |\vec{PC}| \cos \frac{2}{3}\pi = 1 \cdot 1 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{2}$$

$$\vec{PB} \cdot \vec{PC} = |\vec{PB}| |\vec{PC}| \cos \frac{2}{3}\pi = 1 \cdot 1 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) = -\frac{1}{2}$$

(2) 点 P を座標空間の原点 O とし, 平面 α を xy 平面とし, $A(0, 1, 0)$, $B(b_1, b_2, b_3)$, $C\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, -\frac{1}{2}, 0\right)$ とおき ($b_3 > 0$), (1) の結果の第 1・第 3 式および $|\vec{PC}|^2 = 1$ に適用すると

$$b_2 = \frac{1}{2}, \quad \frac{\sqrt{3}}{2}b_1 - \frac{1}{2}b_2 = -\frac{1}{2}, \quad b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1$$

ゆえに $b_1 = -\frac{1}{2\sqrt{3}}, b_3 = \sqrt{\frac{2}{3}}$ すなわち $B\left(-\frac{1}{2\sqrt{3}}, \frac{1}{2}, \sqrt{\frac{2}{3}}\right)$

B から y 軸に垂線 BM を下ろすと, $\vec{HQ}$ は $\vec{MB}$ と同じ向きの単位ベクトルであるから

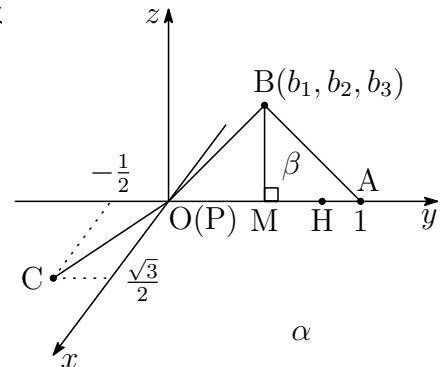
$$\begin{aligned} \vec{HQ} &= \frac{1}{|\vec{MB}|} \vec{MB} = \frac{2}{\sqrt{3}} (\vec{PB} - \vec{PM}) \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\vec{PB} - \frac{1}{2} \vec{PA} \right) \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}} \vec{PB} - \frac{1}{\sqrt{3}} \vec{PA} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \vec{PA} + \vec{PC} = \frac{\sqrt{3}}{2} (1, 0, 0) = \frac{\sqrt{3}}{2} \vec{HR} \text{ より } \vec{HR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \vec{PA} + \frac{2}{\sqrt{3}} \vec{PC}$$

$$(3) M\left(0, \frac{1}{2}, 0\right), \vec{HQ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \vec{MB} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(-\frac{1}{2\sqrt{3}}, 0, \sqrt{\frac{2}{3}}\right) = \left(-\frac{1}{3}, 0, \frac{2\sqrt{2}}{3}\right),$$

$$\vec{HR} = (1, 0, 0), \vec{HQ} \cdot \vec{HR} = |\vec{HQ}| |\vec{HR}| \cos \theta \text{ より}$$

$$\cos \theta = -\frac{1}{3}$$



■

- 5 (1) n 回繰り返した後の袋の中にある赤玉の個数が N である確率を $p_n(N)$ とすると

$$p_1(3) = \frac{4}{6}, p_1(5) = \frac{2}{6}$$

$$p_2(2) = p_1(3) \cdot \frac{3}{6} = \frac{12}{36}$$

$$p_2(4) = p_1(3) \cdot \frac{3}{6} + p_1(5) \cdot \frac{5}{6} = \frac{22}{36}$$

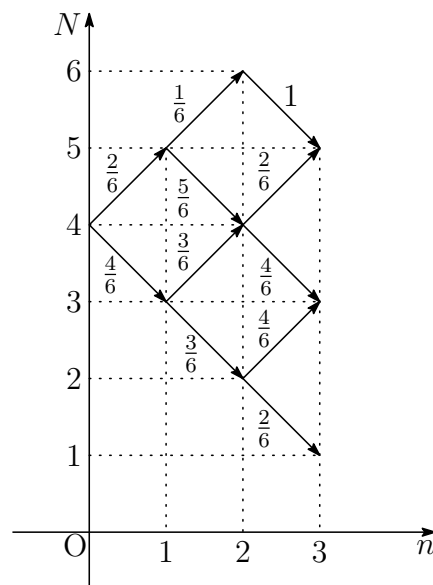
$$p_2(6) = p_1(5) \cdot \frac{1}{6} = \frac{2}{36}$$

$$p_3(1) = p_2(2) \cdot \frac{2}{6} = \frac{24}{216}$$

$$p_3(3) = p_2(2) \cdot \frac{4}{6} + p_2(4) \cdot \frac{4}{6} = \frac{136}{216}$$

$$p_3(5) = p_2(4) \cdot \frac{2}{6} + p_2(6) \cdot 1 = \frac{56}{216}$$

$$P(X=4) = p_2(4) \text{ であるから } P(X=4) = \frac{22}{36} = \frac{11}{18}$$



- (2) $P(X=N) = p_2(N)$ であるから ($N=2, 4, 6$)

X	2	4	6	計
P	$\frac{6}{18}$	$\frac{11}{18}$	$\frac{1}{18}$	1

$$\text{したがって } E(X) = 2 \cdot \frac{6}{18} + 4 \cdot \frac{11}{18} + 6 \cdot \frac{1}{18} = \frac{31}{9}$$

$$\begin{aligned} V(X) &= E(X^2) - E(X)^2 \\ &= 2^2 \cdot \frac{6}{18} + 4^2 \cdot \frac{11}{18} + 6^2 \cdot \frac{1}{18} - \left(\frac{31}{9}\right)^2 = \frac{101}{81} \end{aligned}$$

- (3) $E(Y=N) = p_3(6-N)$ であるから ($N=1, 3, 5$)

Y	1	3	5	計
P	$\frac{7}{27}$	$\frac{17}{27}$	$\frac{3}{27}$	1

$$\text{したがって } E(Y) = 1 \cdot \frac{7}{27} + 3 \cdot \frac{17}{27} + 5 \cdot \frac{3}{27} = \frac{73}{27}$$



6 (1) $C: y = (\log x)^2$ より $y' = \frac{2 \log x}{x}$

C 上の点 $(a, (\log a)^2)$ における接線の方程式は

$$y - (\log a)^2 = \frac{2 \log a}{a}(x - a)$$

よって $L: y = \frac{2x \log a}{a} - 2 \log a + (\log a)^2$

(2) L と x 軸の交点の x 座標は, (1) の結果に $y = 0$ を代入すると ($a > 1$)

$$x = -\frac{1}{2}a \log a + a \quad \text{ゆえに} \quad \frac{dx}{da} = \frac{1}{2}(1 - \log a)$$

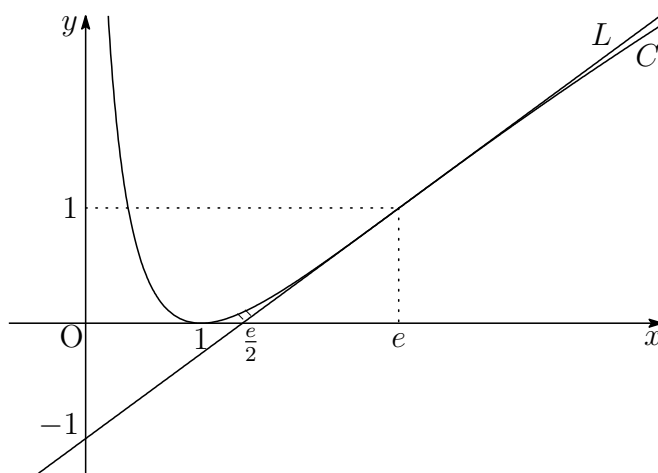
a	(1)	$\cdots$	e	$\cdots$
$\frac{dx}{da}$		+	0	-
x		$\nearrow$	$\frac{e}{2}$	$\searrow$

よって, x 座標が最大となる a の値 a_0 は $a_0 = e$

(3) $a_0 = e$ のとき $L: y = \frac{2x}{e} - 1$

求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_1^e \{(\log x)^2\}^2 dx - \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 1^2 \left(e - \frac{e}{2}\right) \\ &= \pi \int_1^e (\log x)^4 dx - \frac{\pi e}{6} \end{aligned}$$



補足 C 上の点 $(e, 1)$ は変曲点.

$$t = \log x \text{ とおくと, } x = e^t \text{ より } \frac{dx}{dt} = e^t \quad \begin{array}{c|c} x & 1 \longrightarrow e \\ \hline t & 0 \longrightarrow 1 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \int_1^e (\log x)^4 dx &= \int_0^1 t^4 e^t dt = \left[(t^4 - 4t^3 + 12t^2 - 24t + 24)e^t \right]_0^1 \\ &= 9e - 24 \end{aligned}$$

$$\text{よって } V = \pi(9e - 24) - \frac{\pi e}{6} = \pi \left(\frac{53}{6}e - 24 \right)$$

解説 $f(x)$ を何回でも微分可能な関数とし

$$\varphi_k(x) = \frac{1}{k} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{k} + \frac{f''(x)}{k^2} - \frac{f'''(x)}{k^3} + \cdots \right\}$$

とおくと

$$\begin{aligned} \varphi'_k(x) &= \frac{1}{k} \left\{ f'(x) - \frac{f''(x)}{k} + \frac{f'''(x)}{k^2} - \cdots \right\} \\ &= - \left\{ -\frac{f'(x)}{k} + \frac{f''(x)}{k^2} - \frac{f'''(x)}{k^3} + \cdots \right\} \\ &= f(x) - \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{k} + \frac{f''(x)}{k^2} - \frac{f'''(x)}{k^3} + \cdots \right\} \\ &= f(x) - k\varphi_k(x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって } \{\varphi_k(x)e^{kx}\}' &= \varphi'_k(x)e^{kx} + k\varphi_k(x)e^{kx} \\ &= \{f(x) - k\varphi_k(x)\}e^{kx} + k\varphi_k(x)e^{kx} \\ &= f(x)e^{kx} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \int f(x)e^{kx} dx &= \varphi_k(x)e^{kx} + C \quad (C \text{ は積分定数}) \\ &= \frac{1}{k} \left\{ f(x) - \frac{f'(x)}{k} + \frac{f''(x)}{k^2} - \frac{f'''(x)}{k^3} + \cdots \right\} e^{kx} + C \end{aligned}$$

とくに, $k = \pm 1$ のとき

$$\begin{aligned} \int f(x)e^x dx &= \{f(x) - f'(x) + f''(x) - f'''(x) + \cdots\}e^x + C \\ \int f(x)e^{-x} dx &= -\{f(x) + f'(x) + f''(x) + f'''(x) + \cdots\}e^{-x} + C \end{aligned}$$

発展 前ページの結論から, $f(x)$ が何回でも微分可能であるとき

$$\int f(x)e^{kx} dx = -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{(-k)^{n+1}} e^{kx} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

k を ki に置き換えると

$$\int f(x)e^{kxi} dx = -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{(-ki)^{n+1}} e^{kxi} + C \quad (*)$$

このとき $e^{kxi} = \cos kx + i \sin kx$,

$$\begin{aligned} \frac{1}{(-ki)^{n+1}} &= \frac{i^{n+1}}{k^{n+1}} = \frac{1}{k^{n+1}} \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right)^{n+1} \\ &= \frac{1}{k^{n+1}} \left(\cos \frac{n+1}{2} \pi + i \sin \frac{n+1}{2} \pi \right) \end{aligned}$$

(*) の実部を比較すると

$$\begin{aligned} \int f(x) \cos kx dx &= -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{k^{n+1}} \cos \left(kx + \frac{n+1}{2} \pi \right) + C \\ &= \frac{1}{k} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{k^n} \sin \left(kx + \frac{n}{2} \pi \right) + C \end{aligned}$$

同様に, (*) の虚部を比較すると

$$\begin{aligned} \int f(x) \sin kx dx &= -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{k^{n+1}} \sin \left(kx + \frac{n+1}{2} \pi \right) + C \\ &= -\frac{1}{k} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x)}{k^n} \cos \left(kx + \frac{n}{2} \pi \right) + C \end{aligned}$$

注意 $\sin \left(\theta + \frac{n}{2} \pi \right)$, $\cos \left(\theta + \frac{n}{2} \pi \right)$ は, $\sin \theta \rightarrow \cos \theta \rightarrow -\sin \theta \rightarrow -\cos \theta \rightarrow \sin \theta$ の順に巡回するから, 例えば次のように計算する.

$$\begin{aligned} \int x^4 \cos 2x dx &= \frac{1}{2} \left\{ x^4 \sin 2x + \frac{4x^3}{2} \cos 2x + \frac{12x^2}{2^2} (-\sin 2x) \right. \\ &\quad \left. + \frac{24x}{2^3} (-\cos 2x) + \frac{24}{2^4} \sin 2x \right\} + C \\ &= \left(\frac{x^4}{2} - \frac{3}{2} x^2 + \frac{3}{4} \right) \sin 2x + \left(x^3 - \frac{3}{2} x \right) \cos 2x + C \end{aligned}$$

■

7 (1) $z_1 \neq z_2, z_1 \neq -i, z_2 \neq -i$ のとき

$$\frac{1+iz_1}{z_1+i} - \frac{1+iz_2}{z_2+i} = \frac{2(z_1-z_2)}{(z_1+i)(z_2+i)} \neq 0$$

このとき, $\frac{1+iz_1}{z_1+i} \neq \frac{1+iz_2}{z_2+i}$ となる.

$$(2) \frac{1+iz}{z+i} = w \ (w \neq -i) \text{ より } 1+iz = w(z+i)$$

$$(w-i)z = 1-iw \quad \text{ゆえに} \quad z = \frac{1-iw}{w-i}$$

よって, 与えられた条件を満たす z が存在する.

$$(3) w = \frac{1+iz}{z+i} \text{ が } \left| w - \frac{i}{2} \right| = \frac{1}{2} \text{ を満たすとき } \left| \frac{1+iz}{z+i} - \frac{i}{2} \right| = \frac{1}{2}$$

$$\left| \frac{iz+3}{2(z+i)} \right| = \frac{1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad |z-3i| = |z+i|$$

z は 2 点 $3i, -i$ を結ぶ垂直に二等分線, すなわち, z は虚部が 1 の複素数である. よって **$b=1$**

解説 $f_1(z) = z+i, f_2(z) = \frac{1}{z}, f_3(z) = 2z$ とおくと, これは順に, 平行移動, 反転, 拡大 (回転) を表す (拡大・回転は, c を複素数として cz で表される). これらの合成変換をモビウス変換という⁴.

本題の $w = \frac{1+iz}{z+i} = \frac{2}{z+i} + i$ は, $w = f_1 \circ f_3 \circ f_2 \circ f_1(z)$ で与えられる.

z の虚部が b であるとき, $z = (b+1)\tan\theta + bi$ とおくと $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$

$$\begin{aligned} w &= \frac{2}{(b+1)(\tan\theta+i)} + i = \frac{2\cos\theta}{(b+1)(\sin\theta+i\cos\theta)} + i \\ &= \frac{2}{b+1} \cos\theta(\sin\theta-i\cos\theta) + i = \frac{1}{b+1}(\sin 2\theta - i\cos 2\theta) + \frac{b}{b+1}i \end{aligned}$$

$$2\theta = \varphi + \frac{\pi}{2} \text{ とおくと } \left(-\frac{3}{2}\pi < \varphi < \frac{\pi}{2}\right)$$

$$w = \frac{1}{b+1}(\cos\varphi + i\sin\varphi) + \frac{b}{b+1}i$$

$w \ (w \neq i)$ は中心 $\frac{i}{2}$, 半径 $\frac{1}{2}$ の円であるから **$b=1$** ■

⁴http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri.2019.pdf **5** の解説を参照.

- 8 (1) $f(x) = 2^x - 1$ のとき, $y = f(x)$ を x について解くと

$$y = 2^x - 1 \quad \text{ゆえに} \quad x = \log_2(y + 1)$$

したがって $f^{-1}(x) = \log_2(x + 1) \quad (x > -1)$

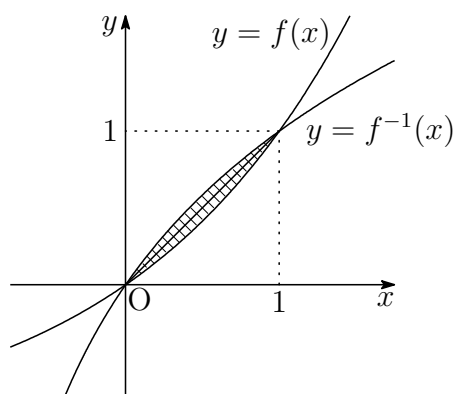
- (2) $y = f(x)$ と $y = f^{-1}(x)$ の共有点は, 直線 $y = x$ 上にある.

$y = f(x)$ は下に凸の曲線であるから, 直線 $y = x$ との共有点は高々2個である. $f(0) = 0$, $f(1) = 1$ より, 求める共有点は $(0, 0)$, $(1, 1)$

- (3) 求める面積を S とすると

$$\frac{S}{2} = \frac{1}{2} \cdot 1^2 - \int_0^1 (2^x - 1) dx = \frac{1}{2} - \left[\frac{2^x}{\log 2} - x \right]_0^1 = \frac{3}{2} - \frac{1}{\log 2}$$

よって $S = 3 - \frac{2}{\log 2}$



9.10 2024年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・III・A・B(120分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から1問選択. 数I・II・A・B(90分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育]学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から1問選択, [2] [8] から1問選択. 数I・II・A・Bまたは数I・III・A・B(90分)

[1] 次の各問いに答えよ.

- (1) 4個のさいころを同時に投げるとき, ちょうど3個のさいころの出る目が同じになる確率を求めよ.
- (2) 次の不等式を解け.

$$|x^2 + 6x - 1| \leq 7 - x$$

- (3) 次の数の大小関係を調べ, 小さい順に並べよ. ただし, $3.1 < \pi < 3.2$ を用いてよい.

$$\frac{1}{2}, \quad \log_{11} \pi, \quad \sqrt[4]{\frac{1}{8}}$$

[2] 次の関数を考える.

$$y = 4 \sin^3 \theta - 4 \cos^3 \theta + 3\sqrt{2} \sin \theta \cos \theta \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$$

また, $x = \sin \theta - \cos \theta$ とする.

- (1) x のとりうる値の範囲を求めよ.
- (2) y を x の関数で表せ.
- (3) y の最大値と最小値を求めよ. また, そのときの θ の値を求めよ.

3 $c \geq 3$ である実数 c に対して、 x の 2 次方程式

$$x^2 - 2(c+1)x + c^2 - 2c + 9 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

を考える.

(1) 2 次方程式 $\textcircled{1}$ は、 c より大きい実数解と c より小さい実数解をもつことを示せ.

(1) の結果を用いて、次のように数列 $\{a_n\}$ を定める. $a_1 = 3$ とする. $c = a_1$ のときの方程式 $\textcircled{1}$ の実数解のうち、 a_1 より大きい方を a_2 とおく. 次に $a_2 > 3$ が成り立つことに注意して、 $c = a_2$ のときの方程式 $\textcircled{1}$ の実数解のうち、 a_2 より大きい方を a_3 とおく. これを繰り返す. すなわち、 $3 = a_1 < a_2 < \cdots < a_{n-1} < a_n$ が成り立ち、2 次方程式

$$x^2 - 2(a_n + 1)x + a_n^2 - 2a_n + 9 = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

の実数解のうち、大きい方が a_{n+1} である.

(2) $n \geq 2$ とする. 2 次方程式 $\textcircled{2}$ の実数解のうち、小さい方は a_{n-1} であることを示せ.

(3) 数列 $\{a_n\}$ が次の漸化式を満たすことを示せ.

$$a_{n+1} = 2a_n - a_{n-1} + 2 \quad (n = 2, 3, \cdots)$$

(4) 数列 $\{b_n\}$ を

$$b_n = a_{n+1} - a_n \quad (n = 1, 2, \cdots)$$

と定めるとき、数列 $\{b_n\}$ と数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ.

4 座標空間において、点 $A(2, 0, 4)$ 、点 $B(3, -2, 5)$ を通る直線を l 、点 $C(3, 2, 2)$ 、点 $D(4, 3, 0)$ を通る直線を m とする.

(1) 2 つのベクトル $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{CD}$ のなす角を、 0° と 180° の間の範囲で答えよ.

(2) 直線 l 、 m が交わるか交わらないか調べよ.

(3) 直線 l 、 m の両方と交わり、両方と直交する直線を n とする. n と l の交点、および n と m の交点を求めよ.

- 5 袋の中に $-1, 0, 1$ が書かれたカードがそれぞれ 1 枚, 1 枚, m 枚ずつ入っている. ただし, m は自然数である. この袋の中から無作為に 2 枚同時に取り出す. 取り出されたカードに書かれた数字をそれぞれ X, Y とする. ただし, $X \leq Y$ とする.

- (1) $m = 2$ のとき, 確率 $P(X \geq 0)$ を求めよ.
- (2) $m = 9$ のとき, 確率 $P(Y = 1)$ を求めよ.
- (3) XY の期待値 $E(XY)$ が正となるような m のうち, 最小のものを求めよ.

- 6 座標平面上で, 放物線 C が次の方程式で与えられている.

$$C: 4x - 4y^2 - 3 = 0$$

原点 O から放物線 C に引いた接線で, 傾きが正のものを l とする. また, 直線 l と放物線 C との共有点を A とする.

- (1) 直線 l の方程式, および A の座標を求めよ.
- (2) 直線 l と点 A で接する円で, 放物線 C との共有点が 2 個であるものを求めよ.
- (3) 放物線 C , 直線 l および x 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.

- 7 n を自然数とし, 次の整式を考える.

$$f(x) = x^{6n} + x^{3n} - 2,$$

$$g(x) = x^2 + x + 1, \quad h(x) = x^2 - x + 1$$

- (1) 方程式 $g(x) = 0$ の解は $x^3 - 1 = 0$ を満たし, 方程式 $h(x) = 0$ の解は $x^3 + 1 = 0$ を満たすことを示せ.

ここで, $f(x)$ を 2 次式で割ると, 商が $(6n - 2)$ 次式, 余りが 1 次以下の整式になることに注意すると

$$f(x) = g(x)q(x) + r(x), \quad q(x) \text{ は } (6n - 2) \text{ 次式,}$$

$$r(x) \text{ は 1 次以下の整式}$$

と書ける.

- (2) $r(x) = 0$, つまり $f(x)$ は $g(x)$ で割り切れることを示せ.
- (3) $f(x)$ が $h(x)$ で割り切れるならば, n は偶数であることを示せ.
- (4) $n = 1$ のとき, 方程式 $f(x) = 0$ のすべての虚数解を極形式で答えよ.

8 関数 $f(x) = \frac{e^x}{e^x + 1}$ を考える. ただし, e は自然対数の底とする.

- (1) 関数 $y = f(x)$ のグラフの概形をかけ. ただし, 凹凸は調べなくてよい.
- (2) 曲線 $y = f(x)$, 直線 $x = \log 2$, x 軸, y 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.
- (3) (2) で定めた部分を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

解答例

- 1 (1) 4個のさいころのうち, 3個の同じ目を A , 残りの1個の目を B とする ($A \neq B$). A, B の選び方が ${}_6P_2$ 通りあるから, 求める確率は

$${}_6P_2 \times \frac{4!}{3!1!} \left(\frac{1}{6}\right)^4 = 6 \cdot 5 \times 4 \times \frac{1}{6^4} = \frac{5}{54}$$

- (2) $|x^2 + 6x - 1| \leq 7 - x$ より

$$-(7 - x) \leq x^2 + 6x - 1 \leq 7 - x$$

したがって

$$\begin{cases} x^2 + 7x - 8 \leq 0 \\ x^2 + 5x + 6 \geq 0 \end{cases} \quad \text{ゆえに} \quad \begin{cases} -8 \leq x \leq 1 \\ x \leq -3, -2 \leq x \end{cases}$$

よって $-8 \leq x \leq -3, -2 \leq x \leq 1$

補足 $|X| = \max(X, -X)$ であるから, 不等式 $|X| \leq Y$ について

$$X \leq Y \quad \text{かつ} \quad -X \leq Y \quad \text{すなわち} \quad -Y \leq X \leq Y$$

- (3) $3.1 < \pi < 3.2$ より $9.61 < \pi^2 < 10.24 < 11$

$$\pi < \sqrt{11} \text{ であるから } \log_{11} \pi < \log_{11} \sqrt{11} = \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{また } \sqrt[4]{\frac{1}{8}} = \sqrt[4]{\left(\frac{1}{2}\right)^3} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{4}} > \frac{1}{2} \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より } \log_{11} \pi < \frac{1}{2} < \sqrt[4]{\frac{1}{8}} \quad \blacksquare$$

2 (1) $x = \sin \theta - \cos \theta = \sqrt{2} \sin \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right) \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$

$$-\frac{\pi}{4} \leq \theta - \frac{\pi}{4} < \frac{7}{4}\pi \text{ であるから } -\sqrt{2} \leq x \leq \sqrt{2}$$

(2) $x^2 = (\sin \theta - \cos \theta)^2 = 1 - 2 \sin \theta \cos \theta$ より $\sin \theta \cos \theta = \frac{1 - x^2}{2}$

$$\begin{aligned} y &= 4 \sin^3 \theta - 4 \cos^3 \theta + 3\sqrt{2} \sin \theta \cos \theta \\ &= 4(\sin \theta - \cos \theta)(1 + \sin \theta \cos \theta) + 3\sqrt{2} \sin \theta \cos \theta \\ &= 4x \left(1 + \frac{1 - x^2}{2} \right) + 3\sqrt{2} \cdot \frac{1 - x^2}{2} \\ &= -2x^3 - \frac{3\sqrt{2}}{2}x^2 + 6x + \frac{3\sqrt{2}}{2} \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から

$$y' = -6x^2 - 3\sqrt{2}x + 6 = -3(x + \sqrt{2})(2x - \sqrt{2})$$

したがって、 y の増減表は次のようになる。

x	$-\sqrt{2}$	$\dots$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\dots$	$\sqrt{2}$
y'		$+$	0	$-$	
y	$-\frac{7\sqrt{2}}{2}$	$\nearrow$	$\frac{13\sqrt{2}}{4}$	$\searrow$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$

$$x = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ のとき } \sqrt{2} \sin \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ すなわち } \theta = \frac{5}{12}\pi, \frac{13}{12}\pi$$

$$x = -\sqrt{2} \text{ のとき } \sqrt{2} \sin \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right) = -\sqrt{2} \text{ すなわち } \theta = \frac{7}{4}\pi$$

よって $\theta = \frac{5}{12}\pi, \frac{13}{12}\pi$ のとき、最大値 $\frac{13}{4}\sqrt{2}$

$$\theta = \frac{7}{4}\pi \text{ のとき、最小値 } -\frac{7}{2}\sqrt{2}$$

■

- 3** (1) $f(x) = x^2 - 2(c+1)x + c^2 - 2c + 9$ とおくと ($c \geq 3$)

$$f(c) = -4c + 9 = -4(c-3) - 3 < 0$$

$f(x)$ の x^2 の係数が正であるから、 $f(x) = 0$ は、 c より大きい実数解と c より小さい実数解をもつ。

- (2) 2次方程式

$$x^2 - 2(a_n + 1)x + a_n^2 - 2a_n + 9 = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

の実数解のうち、大きい方が a_{n+1} であるから、2次方程式

$$x^2 - 2(a_{n-1} + 1)x + a_{n-1}^2 - 2a_{n-1} + 9 = 0 \quad (n \geq 2)$$

の解が a_n であるから

$$a_n^2 - 2(a_{n-1} + 1)a_n + a_{n-1}^2 - 2a_{n-1} + 9 = 0$$

上式を変形すると

$$a_{n-1}^2 - 2(a_n + 1)a_{n-1} + a_n^2 - 2a_n + 9 = 0 \quad \cdots \textcircled{3}$$

③ から、 a_{n-1} は2次方程式 ② の解である。

2次方程式 ② の2つの解 a_{n+1} , a_{n-1} は、(1) の結論から $a_{n-1} < a_n < a_{n+1}$

- (3) 2次方程式 ② の解と係数の関係により

$$a_{n+1} + a_{n-1} = 2(a_n + 1) \quad \text{よって} \quad a_{n+1} = 2a_n - a_{n-1} + 2$$

- (4) $a_1 = 3$ を ② に代入すると $x^2 - 8x + 12 = 0$

これを解いて $x = 2, 6$ ゆえに $a_2 = 6$

(3) の結果から $a_{n+1} - a_n = a_n - a_{n-1} + 2$

$b_n = a_{n+1} - a_n$ をこれに適用すると $b_n = b_{n-1} + 2$

数列 $\{b_n\}$ は初項 $b_1 = a_2 - a_1 = 6 - 3 = 3$ 、公差2の等差数列であるから

$$b_n = 3 + 2(n-1) = 2n + 1$$

$$n > 1 \text{ のとき } a_n = a_1 + \sum_{k=1}^{n-1} b_k = 3 + \sum_{k=1}^{n-1} (2k+1) = n^2 + 2$$

上式は $n = 1$ のときも成立するから $a_n = n^2 + 2$ ■

- 4 (1) A(2, 0, 4), B(3, -2, 5), C(3, 2, 2), D(4, 3, 0) より

$$\overrightarrow{AB} = (1, -2, 1), \quad \overrightarrow{CD} = (1, 1, -2) \quad (*)$$

$\overrightarrow{AB}$ と $\overrightarrow{CD}$ のなす角を θ とすると ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{CD}|} = \frac{1 \cdot 1 + (-2) \cdot 1 + 1 \cdot (-2)}{\sqrt{1^2 + (-2)^2 + 1^2} \sqrt{1^2 + 1^2 + (-2)^2}} = -\frac{1}{2}$$

したがって $\theta = 120^\circ$

- (2) (*) より $\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{CD} = 3(1, 1, 1)$

l 上の点 A(2, 0, 4), m 上の点 C(3, 2, 2) について $\overrightarrow{AC} = (1, 2, -2)$

$$(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{CD}) \cdot \overrightarrow{AC} = 3 \neq 0$$

したがって, 直線 l , m は交わらない.

- (3) n と l , n と m の交点をそれぞれ P, Q とする.

$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OA} + s\overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OC} + t\overrightarrow{CD}$ とおけるから

$$\overrightarrow{OP} = (2, 0, 4) + s(1, -2, 1) = (2 + s, -2s, 4 + s)$$

$$\overrightarrow{OQ} = (3, 2, 2) + t(1, 1, -2) = (3 + t, 2 + t, 2 - 2t)$$

$$\overrightarrow{PQ} = \overrightarrow{OQ} - \overrightarrow{OP} = (-s + t + 1, 2s + t + 2, -s - 2t - 2)$$

$(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{CD}) // \overrightarrow{PQ}$ であるから

$$-s + t + 1 = 2s + t + 2 = -s - 2t - 2$$

これを解いて $s = -\frac{1}{3}$, $t = -1$

したがって $P\left(\frac{5}{3}, \frac{2}{3}, \frac{11}{3}\right)$, $Q(2, 1, 4)$

よって n と l の交点は $\left(\frac{5}{3}, \frac{2}{3}, \frac{11}{3}\right)$

n と m の交点は $(2, 1, 4)$



- 5 (1) $m = 2$ より, $-1, 0, 1, 1$ の4枚のカードから2枚取り出すとき, $X \geq 0$ となるのは, $0, 1, 1$ の3枚のうち2枚を取り出す確率であるから

$$P(X \geq 0) = \frac{{}_3C_2}{{}_4C_2} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

- (2) $m = 9$ より, $-1, 0, \overbrace{1, \dots, 1}^{9 \text{ 枚}}$ の11枚のカードから2枚取り出すとき, $Y = 0$ となるのは, $-1, 0$ の2枚のうち2枚を取り出す確率で

$$P(Y = 0) = \frac{{}_2C_2}{{}_{11}C_2} = \frac{1}{55}$$

求める確率は, この余事象の確率であるから

$$P(Y = 1) = 1 - P(Y = 0) = 1 - \frac{1}{55} = \frac{54}{55}$$

- (3) $-1, 0, \overbrace{1, \dots, 1}^{m \text{ 枚}}$ の $m+2$ 枚のカードから2枚取り出すとき, XY が正となるのは, $m \geq 2$ であることが必要であるから

$$\begin{aligned} P(X = Y = 1) &= \frac{{}_mC_2}{{}_{m+2}C_2} = \frac{m(m-1)}{(m+2)(m+1)} \\ P(X = 0, Y = 1) &= \frac{1 \cdot {}_mC_1}{{}_{m+2}C_2} = \frac{2m}{(m+2)(m+1)} \\ P(X = -1, Y = 1) &= \frac{1 \cdot {}_mC_1}{{}_{m+2}C_2} = \frac{2m}{(m+2)(m+1)} \\ P(X = -1, Y = 0) &= \frac{1 \cdot 1}{{}_{m+2}C_2} = \frac{2}{(m+2)(m+1)} \end{aligned}$$

上の結果から, XY の確率分布表は次のようになる.

XY	-1	0	1	計
確率	$\frac{2m}{(m+2)(m+1)}$	$\frac{2m+2}{(m+2)(m+1)}$	$\frac{m(m-1)}{(m+2)(m+1)}$	1

したがって

$$\begin{aligned} E(XY) &= -1 \cdot \frac{2m}{(m+2)(m+1)} + 1 \cdot \frac{m(m-1)}{(m+2)(m+1)} \\ &= \frac{m(m-3)}{(m+2)(m+1)} \end{aligned}$$

よって, $E(XY) > 0$ となる最小の整数 m は $m = 4$ ■

6 (1) $C: 4x - 4y^2 - 3 = 0$ より $x = y^2 + \frac{3}{4}$ ゆえに $\frac{dx}{dy} = 2y$

逆関数定理により $\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}} = \frac{1}{2y}$

点 A の座標を $\left(a^2 + \frac{3}{4}, a\right)$ とおくと, 点 A における接線 l の方程式は,

その傾き $\frac{1}{2a}$ が正であることに注意して

$$l: y - a = \frac{1}{2a} \left\{ x - \left(a^2 + \frac{3}{4}\right) \right\} \quad (a > 0)$$

l は原点 O を通るから

$$-a = -\frac{1}{2a} \left(a^2 + \frac{3}{4}\right) \quad \text{ゆえに} \quad a^2 = \frac{3}{4}$$

$$a > 0 \text{ より, } a = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ であるから} \quad l: y = \frac{x}{\sqrt{3}}, \quad A \left(\frac{3}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

(2) C 上の点 $A \left(\frac{3}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$ における法線の方程式は

$$y - \frac{\sqrt{3}}{2} = -\sqrt{3} \left(x - \frac{3}{2} \right) \quad \text{すなわち} \quad y = -\sqrt{3}(x - 2)$$

この法線上に接する円の中心があるから, その中心を $T(t+2, -\sqrt{3}t)$ とし, C 上の点 $P\left(y^2 + \frac{3}{4}, y\right)$ とし, 次の関数を考える.

$$\begin{aligned} \varphi(y) &= TP^2 - TA^2 \\ &= \left(y^2 - t - \frac{5}{4}\right)^2 + (y + \sqrt{3}t)^2 - \left(t + \frac{1}{2}\right)^2 - \left(\sqrt{3}t + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 \\ &= \left(y^2 - \frac{3}{4}\right) \left(y^2 - 2t - \frac{7}{4}\right) + \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left(y + 2\sqrt{3}t + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\ &= \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left\{ \left(y + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left(y^2 - 2t - \frac{7}{4}\right) + \left(y + 2\sqrt{3}t + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right\} \\ &= \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left\{ \left(y + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left(y^2 - \frac{3}{4}\right) - 2t \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right\} \\ &= \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 \left\{ \left(y + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 - 2t \right\} \end{aligned}$$

$\varphi(y) = 0$ が異なる 2 つの解をもてばよいから

$$\left(y + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 - 2t = 0$$

が重解 $\left(y \neq \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ または $y = \frac{\sqrt{3}}{2}$ を解にもつときであるから

$$t = 0 \quad \text{または} \quad t = \frac{3}{2}$$

求める円の半径を r とすると

$$r^2 = \text{TA}^2 = \left(t + \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\sqrt{3}t + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2$$

中心 $T(t+2, -\sqrt{3}t)$ より, 求める円の方程式は

$$(x-2)^2 + y^2 = 1, \quad \left(x - \frac{7}{2}\right)^2 + \left(y + \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)^2 = 16$$

補足 $\frac{\sqrt{3}}{2} = a < s < t$ とし, C 上に 3 点

$$A\left(a^2 + \frac{3}{4}, a\right), S\left(s^2 + \frac{3}{4}, s\right), T\left(t^2 + \frac{3}{4}, t\right)$$

をとる. 3 点 A, S, T を通る円を考え, その中心を (p, q) , 半径を r とし, 関数

$$f(y) = \left(y^2 + \frac{3}{4} - p\right)^2 + (y - q)^2 - r^2$$

を考えると, 次式が成立する.

$$f(a) = f(s) = f(t) = 0 \quad (*)$$

$f(y)$ の第 1 次導関数および第 2 次導関数を求めると

$$\begin{aligned} f'(y) &= 4y \left(y^2 + \frac{3}{4} - p\right) + 2(y - q), \\ f''(y) &= 4 \left(y^2 + \frac{3}{4} - p\right) + 4y \cdot 2y + 2 \\ &= 12y^2 + 5 - 4p \end{aligned}$$

(*) にロルの定理を適用すると (ロルの定理は平均値の定理の一部)

$$f'(c_1) = f'(c_2) = 0 \quad (a < c_1 < s < c_2 < t)$$

を満たす c_1, c_2 が存在する. 上式にさらにロルの定理を適用すると

$$f''(c_3) = 0 \quad (c_1 < c_3 < c_2)$$

を満たす c_3 が存在する. ここで, $t \rightarrow a$ とすると, 次式が成立する.

$$f'(a) = 0, \quad f''(a) = 0$$

したがって

$$4a \left(a^2 + \frac{3}{4} - p \right) + 2(a - q) = 0, \quad 12a^2 + 5 - 4p = 0$$

これを解いて

$$p = 3a^2 + \frac{5}{4}, \quad q = -4a^3 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$f(a) = 0$ であるから

$$\left(a^2 + \frac{3}{4} - 3a^2 - \frac{5}{4} \right)^2 + (a + 4a^3) - r^2 = 0$$

整理すると

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{1}{4}(1 + 4a^2)^2 + a^2(1 + 4a^2)^2 \quad \cdots \textcircled{2} \\ &= \frac{1}{4}(1 + 4a^2)^3 \end{aligned}$$

これから, C 上の点 A における接触円 S_1 の中心および半径は

$$\text{中心} \left(3a^2 + \frac{5}{4}, -4a^3 \right), \quad \text{半径} \frac{1}{2}(1 + 4a^2)^{\frac{3}{2}}$$

補足 接触円 (曲率円) の中心を曲率中心といい, 半径を曲率半径という. また, 曲率中心は, C の A における法線上の点である. 点 A で接する円の半径が曲率半径よりも大きいとき, 円と C の共有点の個数は 3 個ある. また, 点 A で接する円の半径が曲率半径よりも小さいときは, 距離 2 乗関数を用いて確認する必要がある.

①, ②により, $f(y)$ は

$$\begin{aligned}
 f(y) &= \left(y^2 + \frac{3}{4} - 3a^2 - \frac{5}{4}\right)^2 + (y + 4a^3)^2 - \frac{1}{4}(1 + 4a^2)^2 - a^2(1 + 4a^2)^2 \\
 &= \left(y^2 - 3a^2 - \frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{2} + 2a^2\right)^2 + (y + 4a^3)^2 - (a + 4a^3)^2 \\
 &= (y^2 - a^2)(y^2 - 5a^2 - 1) + (y + 8a^3 + a)(y - a) \\
 &= (y - a)\{(y + a)(y^2 - 5a^2 - 1) + (y + 8a^3 + a)\} \\
 &= (y - a)(y^3 + ay^2 - 5a^2y + 3a^3) \\
 &= (y - a)^3(y + 3a)
 \end{aligned}$$

$f(y) = 0$ の解は2個であるから, S_1 は C と異なる2点を共有する. C の y 座標が $y < -3a$, $a < y$ のとき, C は S_1 の外部にあり, C の y 座標が $-3a < y < a$ のとき, C は S_1 の内部にある.

また, C の A における法線と x 軸の交点を B とすると $B(2, 0)$

C の x 軸に関する対称性から, B を中心とする半径 BA の円 S_2 も異なる接点を2個もつことが分かるが, これ以外に共有点を持たないことを距離2乗関数を使って示す必要がある.

$$BA^2 = \left(\frac{3}{2} - 2\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - 0\right)^2 = 1$$

C 上の点 $P\left(y^2 + \frac{3}{4}, y\right)$ をとり, 次の関数 $g(y)$ を考える.

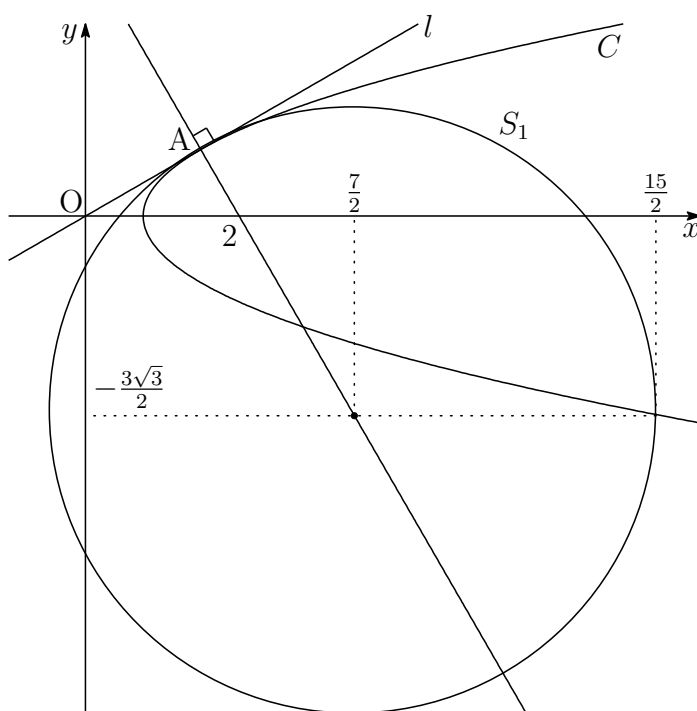
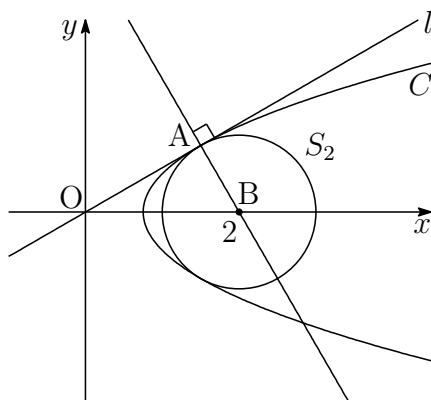
$$\begin{aligned}
 g(y) &= BP^2 - BA^2 = \left(y^2 + \frac{3}{4} - 2\right)^2 + y^2 - 1 \\
 &= \left(y^2 - \frac{5}{4}\right)^2 + y^2 - 1 = y^4 - \frac{3}{2}y^2 + \frac{9}{16} \\
 &= \left(y^2 - \frac{3}{4}\right)^2 = \left(y + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2
 \end{aligned}$$

$g(y) = 0$ の解は2個であるから, S_2 と C は異なる2点を共有する. よって, 求める円の方程式は

$$\left(x - \frac{7}{2}\right)^2 + \left(y + \frac{3\sqrt{3}}{2}\right)^2 = 16, \quad (x - 2)^2 + y^2 = 1$$

(3) $C : x = y^2 + \frac{3}{4}$, $l : x = \sqrt{3}y$ の方程式から, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left(y^2 + \frac{3}{4} - \sqrt{3}y \right) dy = \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left(y - \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 dy \\ &= \frac{1}{3} \left[\left(y - \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^3 \right]_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{8} \end{aligned}$$



- 7** (1) $g(x) = 0, h(x) = 0$ の解をそれぞれ α, β とすると

$$g(\alpha) = 0, \quad h(\beta) = 0$$

$x^3 - 1 = (x - 1)g(x), x^3 + 1 = (x + 1)h(x)$ であるから

$$\alpha^3 - 1 = (\alpha - 1)g(\alpha) = 0, \quad \beta^3 + 1 = (\beta + 1)h(\beta) = 0$$

よって、方程式 $g(x) = 0$ の解は $x^3 - 1 = 0$ を満たし、方程式 $h(x) = 0$ の解は $x^3 + 1 = 0$ を満たす.

- (2) (1) の結論から、 $\alpha^3 = 1$ であるから

$$\begin{aligned} f(\alpha) &= \alpha^{6n} + \alpha^{3n} - 2 \\ &= (\alpha^3)^{2n} + (\alpha^3)^n - 2 = 1^{2n} + 1^n - 2 = 0 \end{aligned}$$

因数定理により、 $f(x)$ は $g(x)$ を因数にもつ、すなわち、 $f(x)$ は $g(x)$ で割り切れる.

別解 $f(x)$ が $x^2 + x + 1$ を因数にもつことを示す.

$$\begin{aligned} x^{6n} + x^{3n} - 2 &= (x^{3n} + 2)(x^{3n} - 1) \\ &= (x^{3n} + 2)(x^3 - 1) \sum_{k=1}^n x^{3(k-1)} \\ &= (x^{3n} + 2)(x - 1)(x^2 + x + 1) \sum_{k=1}^n x^{3(k-1)} \end{aligned}$$

- (3) (1) の結論より、 $\beta^3 = -1$ であるから

$$\begin{aligned} f(\beta) &= \beta^{6n} + \beta^{3n} - 2 = (\beta^3)^{2n} + (\beta^3)^n - 2 \\ &= (-1)^{2n} + (-1)^n - 2 = (-1)^n - 1 \end{aligned}$$

上式より、 $f(\beta) = 0$ となるのは、 n が偶数のときであり、このとき、 $f(x)$ は $h(x)$ を因数にもつ.

(4) $n = 1$ のとき $f(x) = x^6 + x^3 - 2 = (x^3 + 2)(x^3 - 1)$

$f(x) = 0$ のとき $x^3 = -2$ または $x^3 = 1$

$f(x) = 0$ の解を次式で表す.

$$x = r(\cos \theta + i \sin \theta) \quad (r > 0, 0 \leq \theta < 2\pi)$$

(i) $x^3 = -2$ のとき, 方程式は

$$r^3(\cos 3\theta + i \sin 3\theta) = 2(\cos \pi + i \sin \pi)$$

両辺の絶対値と偏角を比較すると

$$r^3 = 2, \quad 3\theta = \pi + 2k\pi \quad (k \text{ は整数})$$

$$\text{したがって} \quad r = \sqrt[3]{2}, \quad \theta = \frac{2k+1}{3}\pi \quad (k = 0, 1, 2)$$

(ii) $x^3 = 1$ のとき, 方程式は

$$r^3(\cos 3\theta + i \sin 3\theta) = 1(\cos 0 + i \sin 0)$$

両辺の絶対値と偏角を比較すると

$$r^3 = 1, \quad 3\theta = 2k\pi \quad (k \text{ は整数})$$

$$\text{したがって} \quad r = 1, \quad \theta = \frac{2k}{3}\pi \quad (k = 0, 1, 2)$$

(i), (ii) から, $f(x) = 0$ のすべての虚数解を表記すると

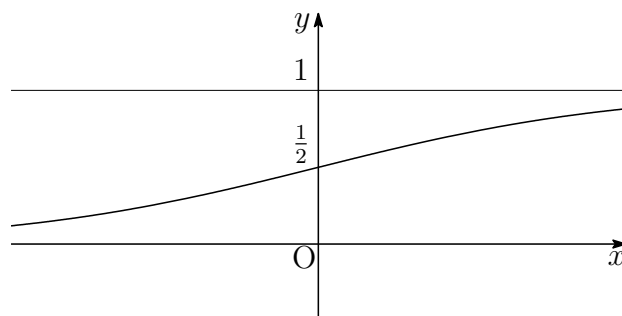
$$\begin{aligned} & \sqrt[3]{2} \left(\cos \frac{2k+1}{3}\pi + i \sin \frac{2k+1}{3}\pi \right) \quad (k = 0, 2), \\ & \cos \frac{2k}{3}\pi + i \sin \frac{2k}{3}\pi \quad (k = 1, 2) \end{aligned}$$



8 (1) $f(x) = 1 - \frac{1}{e^x + 1}$ より $f'(x) = \frac{e^x}{(e^x + 1)^2} > 0$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$$

$f(x)$ は単調増加で，グラフの概形は次のようになる．



(2) 求める面積を S とすると

$$S = \int_0^{\log 2} \frac{e^x}{e^x + 1} dx = \left[\log(e^x + 1) \right]_0^{\log 2} = \log \frac{3}{2}$$

(3) 求める回転体の体積を V とすると

$$\frac{V}{\pi} = \int_0^{\log 2} \left(\frac{e^x}{e^x + 1} \right)^2 dx$$

$$t = e^x + 1 \text{ とおくと } \frac{dt}{dx} = e^x = t - 1 \quad \begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow \log 2 \\ \hline t & 2 \rightarrow 3 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \frac{V}{\pi} &= \int_2^3 \left(\frac{t-1}{t} \right)^2 \frac{1}{t-1} dt = \int_2^3 \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t^2} \right) dt \\ &= \left[\log t + \frac{1}{t} \right]_2^3 = \log \frac{3}{2} - \frac{1}{6} \end{aligned}$$

よって $V = \pi \left(\log \frac{3}{2} - \frac{1}{6} \right)$



9.11 2025 年

- 理 [数理・物理・地環]・工・医 [医]・歯学部 [1] [2] [6] [7] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・III・A・B・C(120 分)
- 理 [生命化]・農・水産・共同獣医学部 [1] [2] 必答,
[3] [4] [5] から 1 問選択. 数 I・II・A・B・C(90 分)
- 教育 [数学・理科・技術・教育・心理・家政・国語・社会・英語・特別支援教育・健康教育] 学部 [1] 必答, [3] [4] [5] から 1 問選択, [2] [8] から 1 問選択. 数 I・II・A・B・C または数 I・III・A・B・C(90 分)

1 次の各問いに答えよ.

- $0 \leq \theta < 2\pi$ のとき, 不等式 $\cos 2\theta > \sin \theta$ を解け.
- x, y, z を正の実数とする.

$$\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z}\right)(x + y + z)$$

のとりうる値の最小値を求めよ. また, 最小値をとるときの x, y, z の条件を求めよ.

- 次の (ア), (イ) に当てはまるものを, 下の選択肢 (あ)~(え) のうちから一つずつ選び, その理由を説明せよ. ただし, 選択肢については, 同じものを繰り返し選んでもよい.

- 実数 a, b について, 「 $a + b = 2$ かつ $a - b = 0$ 」であることは,
「 $(a - 1)(b - 1) = 0$ 」であるための (ア).
 - 実数 a, b, c について, 「 $ax^2 + bx + c = 0$ を満たす実数 x が存在する」ことは, 「 $ax^2 + bx + c = 0$ が x についての恒等式である」ための (イ).
- 必要条件であるが十分条件ではない
 - 十分条件であるが必要条件ではない
 - 必要十分条件である
 - 必要条件でも十分条件でもない

2 次の各問いに答えよ.

(1) 次の方程式を解け.

$$3\log_8(3x+7) = 2\log_2(x+1)$$

(2) x に関する方程式

$$\log_8(3x+a-2) = \log_2(x-2)$$

が異なる実数解をちょうど2つもつとき, 実数 a の値の範囲を求めよ.

3 初項を $a_1 = 1$, $b_1 = 3$ とし, 次の条件によって定められる数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ を考える.

$$\begin{aligned} a_{n+1} &= (1 - 2 \cdot 3^{n-1})a_n + 3^{n-1}b_n & (n = 1, 2, 3, \dots) \\ b_{n+1} &= -4 \cdot 3^{n-1}a_n + (2 \cdot 3^{n-1} + 1)b_n & (n = 1, 2, 3, \dots) \end{aligned}$$

(1) 数列 $\{c_n\}$ を $c_n = -2a_n + b_n$ で定める. このとき, $c_{n+1} = c_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) が成り立つことを示せ.

(2) $d_n = a_{n+1} - a_n$ とおくとき, 数列 $\{d_n\}$ の一般項を求めよ.

(3) 数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ の一般項を求めよ.

4 座標空間において, 点 $(0, 0, 1)$ を中心とする半径1の球 S と, 点 $(0, 0, 2)$ を通り z 軸に垂直な平面 α と, 点 $F(0, 1, 0)$ がある.

(1) 点 A を球 S 上の点とする. 直線 FA と平面 α との交点を A' とする. A の z 座標が k であるとき, $\overrightarrow{FA'} = \frac{2}{k}\overrightarrow{FA}$ となることを示せ. ただし, $k \neq 0$ とする.

(2) 球 S 上に2点 $B\left(-\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right)$ と $C(1, 0, 1)$ をとる. 直線 FB と平面 α との交点を B' , 直線 FC と平面 α との交点を C' とする. B' , C' の座標を求めよ.

(3) 2点 B' , C' を(2)で定めた点とする. 点 P は平面 α 上を動き, $\overrightarrow{PB'}$ と $\overrightarrow{PC'}$ が垂直になるとき, 点 P の軌跡を求めよ. ただし, $\overrightarrow{PB'} \neq \vec{0}$, $\overrightarrow{PC'} \neq \vec{0}$ とする.

- 5 A と B があるゲームを繰り返し行い、先に 3 回勝った方を優勝とする. 第 1 ゲームでは A が先攻とし、それ以降は先攻と後攻を交互に入れかえてゲームを行う. 各ゲームでは引き分けはなく、必ず勝敗がつくとする. 各ゲームで A が B に勝つ確率は、A が先攻のとき $\frac{2}{3}$, 後攻のとき $\frac{1}{2}$ とする.

- (1) 第 3 ゲームで優勝が決まる確率を求めよ.
- (2) 第 5 ゲームで優勝が決まる確率を求めよ.
- (3) B が優勝する確率を求めよ.

- 6 3 つの複素数 $\alpha = 4 + 3i$, $\beta = x + i$, $\gamma = 8i$ および複素数平面上の対応する点 $A(\alpha)$, $B(\beta)$, $C(\gamma)$ を考える. ただし, x は実数で, i は虚数単位とする.

- (1) $\frac{\alpha}{\beta}$ が実数となるような x の値を求めよ.
- (2) 直線 AB と直線 AC が垂直に交わるような x の値を求めよ.
- (3) x が実数全体を動くとき, $\frac{\alpha}{\beta}$ の虚部の最大値および最小値を求めよ.

- 7 e を自然対数の底とし,

$$f(x) = \frac{e^x - 2e^{-2x}}{e^x + e^{-2x}}$$

とおく. 座標平面上の曲線 $y = f(x)$ を C とし, C 上の点 $\left(0, -\frac{1}{2}\right)$ における接線を l とする. また, l と直線 $y = 1$ の交点を $(a, 1)$ とする.

- (1) 接線 l の方程式と, a の値を求めよ.
- (2) (1) で求めた接線 l の方程式を $y = g(x)$ とおく. $x > 0$ のとき, $f(x) < g(x)$ であることを示せ.
- (3) 曲線 C , 接線 l および直線 $x = a$ で囲まれた部分の面積 S_1 を求めよ.
- (4) 実数 r は $r > a$ を満たすとする. 曲線 C , 直線 $y = 1$, $x = a$ および $x = r$ で囲まれた部分の面積を S_2 とする. (3) で定めた S_1 を用いて $S(r) = S_1 + S_2$ と定めるとき, $S(r)$ を求めよ. さらに, $\lim_{r \rightarrow \infty} S(r)$ を求めよ.

- 8 座標平面において, 曲線 $y = \frac{2}{x}$ ($x > 0$) を C とする. C の接線で点 $P(4, 0)$ を通るものを l とし, 曲線 C と直線 l の接点を Q とする.

- (1) 直線 l の方程式および点 Q の座標を求めよ.
- (2) 曲線 C , 直線 PQ および直線 $x = 4$ で囲まれた部分の面積を求めよ.
- (3) (2) で定めた部分を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

解答例

1 (1) $\cos 2\theta > \sin \theta$ より $1 - 2\sin^2 \theta > \sin \theta$

$$2\sin^2 \theta + \sin \theta - 1 < 0 \quad \text{ゆえに} \quad (\sin \theta + 1)(2\sin \theta - 1) < 0$$

$$-1 < \sin \theta < \frac{1}{2} \quad \text{であるから} \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$$

$$0 \leq \theta < \frac{\pi}{6}, \quad \frac{5}{6}\pi < \theta < \frac{3}{2}\pi, \quad \frac{3}{2}\pi < \theta < 2\pi$$

(2)

$$\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z}\right)(x + y + z) = 3 + \frac{y}{x} + \frac{x}{y} + \frac{z}{y} + \frac{y}{z} + \frac{x}{z} + \frac{z}{x}$$

x, y, z は正の実数であるから, 相加平均・相乗平均の大小関係により

$$\frac{y}{x} + \frac{x}{y} \geq 2\sqrt{\frac{y}{x} \cdot \frac{x}{y}} = 2$$

$$\frac{z}{y} + \frac{y}{z} \geq 2\sqrt{\frac{z}{y} \cdot \frac{y}{z}} = 2$$

$$\frac{x}{z} + \frac{z}{x} \geq 2\sqrt{\frac{x}{z} \cdot \frac{z}{x}} = 2$$

上の3式について等号が成立するのは, それぞれ $x = y, y = z, z = x$ のときである. したがって

$$\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z}\right)(x + y + z) \geq 3 + 2 + 2 + 2 = 9$$

上式において, 等号が成立するのは $x = y = z$ のときである.

よって, $x = y = z$ のとき最小値 9 をとる.

(3)

- 「 $a + b = 2$ かつ $a - b = 0$ 」 $\iff$ 「 $a = b = 1$ 」 $\implies$ 「 $(a - 1)(b - 1) = 0$ 」
したがって, 十分条件であるが必要条件ではない. (ア) (い)

- 「 $ax^2 + bx + c = 0$ が x についての恒等式である」 $\iff$ 「 $a = b = c = 0$ 」
 $\implies$ 「 $ax^2 + bx + c = 0$ を満たす実数 x が存在する」

反例として, 「 $a \neq 0, b \neq 0, c = 0$ 」のとき, 「 $ax^2 + bx + c = 0$ を満たす実数 0 が存在する」

したがって, 必要条件であるが十分条件ではない. (イ) (あ) ■

2 (1) 真数は正であるから

$$3x + 7 > 0 \text{ かつ } x + 1 > 0 \text{ すなわち } x > -1 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{与式を変形すると} \quad \log_2(3x + 7) = \log_2(x + 1)^2$$

$$3x + 7 = (x + 1)^2 \quad \text{ゆえに} \quad (x - 3)(x + 2) = 0$$

$$\textcircled{1} \text{ に注意してこれを解くと} \quad x = 3$$

(2) 真数は正であるから

$$3x + a - 2 > 0 \text{ かつ } x - 2 > 0 \quad \text{ゆえに} \quad x > 2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{与式を変形すると} \quad \log_2(3x + a - 3) = \log_2(x - 2)^3$$

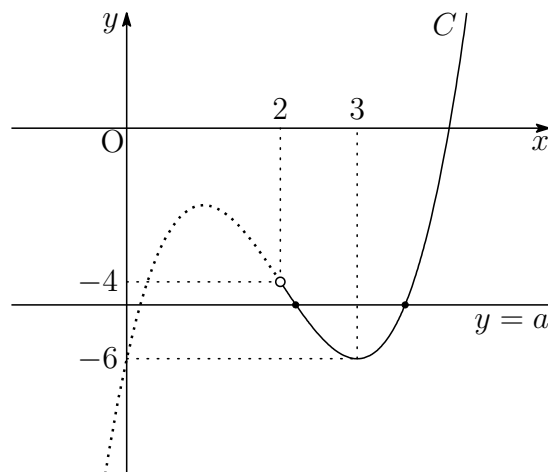
$$3x + a - 3 = (x - 2)^3 \quad \text{ゆえに} \quad a = x^3 - 6x^2 + 9x - 6 \quad (*)$$

方程式(*)の実数解は、直線 $y = a$ と曲線 $C: y = x^3 - 6x^2 + 9x - 6$ の共有点の x 座標である.

$y = x^3 - 6x^2 + 9x - 6$ を微分すると

$$y' = 3x^2 - 12x + 9 = 3(x - 1)(x - 3)$$

x	(2)	$\cdots$	3	$\cdots$
y'		$-$	0	$+$
y	(-4)	$\searrow$	-6	$\nearrow$



曲線 C と直線 $y = a$ が $x > 2$ において、共有点が2個あればよいから

$$-6 < a < -4$$



3 (1) $c_n = -2a_n + b_n$ より

$$\begin{aligned} c_{n+1} &= -2a_{n+1} + b_{n+1} \\ &= -2\{(1 - 2 \cdot 3^{n-1})a_n + 3^{n-1}b_n\} + \{-4 \cdot 3^{n-1}a_n + (2 \cdot 3^{n-1} + 1)b_n\} \\ &= -2a_n + b_n = c_n \end{aligned}$$

(2) (1) の結果から, $c_1 = -2a_1 + b_1 = -2 \cdot 1 + 3 = 1$, $c_{n+1} = c_n$ より

$$c_n = c_1 = 1 \quad (n = 1, 2, \dots)$$

$d_n = a_{n+1} - a_n$ より

$$\begin{aligned} d_n &= (1 - 2 \cdot 3^{n-1})a_n + 3^{n-1}b_n - a_n \\ &= 3^{n-1}(-2a_n + b_n) = 3^{n-1}c_n = 3^{n-1} \end{aligned}$$

よって $d_n = 3^{n-1}$

(3) (2) の結果から, $a_{n+1} - a_n = 3^{n-1}$

$$n \geq 2 \text{ のとき } \sum_{k=1}^{n-1} (a_{k+1} - a_k) = \sum_{k=1}^{n-1} 3^{k-1}$$

$$a_n - a_1 = \frac{3^{n-1} - 1}{3 - 1}$$

上式は, $n = 1$ のときも成立するから

$$a_n - 1 = \frac{3^{n-1} - 1}{2} \quad \text{ゆえに} \quad a_n = \frac{3^{n-1} + 1}{2}$$

$-2a_n + b_n = c_n = 1$ より

$$b_n = 2a_n + 1 = 2 \cdot \frac{3^{n-1} + 1}{2} + 1 = 3^{n-1} + 2$$

よって $b_n = 3^{n-1} + 2$ ■

- 4 (1) $A(a_1, a_2, k)$, $A'(a'_1, a'_2, 2)$ とおくと, $\overrightarrow{FA'}/\overrightarrow{FA}$ より, 実数 t を用いて

$$\overrightarrow{FA'} = t\overrightarrow{FA} \quad \text{ゆえに} \quad (a'_1, a'_2 - 1, 2) = t(a_1, a_2 - 1, k)$$

上の第 2 式の z 成分に注目すると $2 = tk$

$$k \neq 0 \text{ であるから, } t = \frac{2}{k} \text{ より } \overrightarrow{FA'} = \frac{2}{k}\overrightarrow{FA}$$

- (2) (1) の結論から, B, C の z 座標により $\overrightarrow{FB'} = 6\overrightarrow{FB}$, $\overrightarrow{FC'} = 2\overrightarrow{FC}$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OB'} &= \overrightarrow{OF} + 6\overrightarrow{FB} \\ &= (0, 1, 0) + 6\left(-\frac{1}{3}, -\frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right) = (-2, -1, 2), \\ \overrightarrow{OC'} &= \overrightarrow{OF} + 2\overrightarrow{FC} \\ &= (0, 1, 0) + 2(1, -1, 1) = (2, -1, 2) \end{aligned}$$

よって $B'(-2, -1, 2)$, $C'(2, -1, 2)$

- (3) 点 P は α 上の点であるから, $P(x, y, 2)$ とおくと

$$\overrightarrow{B'P} = (x+2, y+1, 0), \quad \overrightarrow{C'P} = (x-2, y+1, 0)$$

$\overrightarrow{B'P} \perp \overrightarrow{C'P}$ より, $\overrightarrow{B'P} \cdot \overrightarrow{C'P} = 0$ であるから

$$(x+2)(x-2) + (y+1)^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 + (y+1)^2 = 4$$

$\overrightarrow{B'P} \neq \vec{0}$, $\overrightarrow{C'P} \neq \vec{0}$ であるから

$$(x+2, y+1, 0) \neq \vec{0}, \quad (x-2, y+1, 0) \neq \vec{0}$$

したがって, 点 P の軌跡は

$$\text{円 } x^2 + (y+1)^2 = 4, \quad z = 2$$

ただし, 2 点 $(-2, -1, 2)$, $(2, -1, 2)$ を除く. ■

5 (1) A が3連勝する確率は $\frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} = \frac{4}{18}$

B が3連勝する確率は $\frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{18}$

よって、求める確率は $\frac{4}{18} + \frac{1}{18} = \frac{5}{18}$

- (2) 第1ゲームと第2ゲームの2試合でAが2勝, Aが1勝1敗, Bが2勝する確率をそれぞれ $P\{2, 0\}$, $P\{1, 1\}$, $P\{0, 2\}$ とすると

$$P\{2, 0\} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{3},$$

$$P\{1, 1\} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2},$$

$$P\{0, 2\} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{6}$$

第3ゲームと第4ゲームの2試合でAが2勝, Aが1勝1敗, Bが2勝する確率もそれぞれ $P\{2, 0\}$, $P\{1, 1\}$, $P\{0, 2\}$ である.

第5ゲームで優勝が決まる確率は, 第4ゲーム終了時点で2勝2敗となる確率であるから

$$\begin{aligned} & P\{2, 0\}P\{0, 2\} + P\{1, 1\}P\{1, 1\} + P\{0, 2\}P\{2, 0\} \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{1}{6} + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \times \frac{1}{3} = \frac{13}{36} \end{aligned}$$

- (3) (i) 第3ゲームでBが優勝する確率は

$$P\{0, 2\} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{18}$$

- (ii) 第4ゲームでBが優勝する確率は

$$\begin{aligned} & P\{1, 1\}P\{0, 2\} + P\{0, 2\} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} = \frac{5}{36} \end{aligned}$$

- (iii) 第5ゲームでBが優勝する確率は, (2) の結果から

$$\frac{13}{36} \times \frac{1}{3} = \frac{13}{108}$$

- (i)~(iii) より, 求める確率は

$$\frac{1}{18} + \frac{5}{36} + \frac{13}{108} = \frac{17}{54}$$



6 (1)

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{4+3i}{x+i} = \frac{(4+3i)(x-i)}{(x+i)(x-i)} = \frac{4x+3+(3x-4)i}{x^2+1} \quad (*)$$

上式が実数となるとき，実数 x は

$$3x-4=0 \quad \text{これを解いて} \quad x = \frac{4}{3}$$

(2)

$$\begin{aligned} \frac{\beta-\alpha}{\gamma-\alpha} &= \frac{(x+i)-(4+3i)}{8i-(4+3i)} = \frac{x-4-2i}{-4+5i} \\ &= \frac{(x-4-2i)(-4-5i)}{(-4+5i)(-4-5i)} = \frac{-4x+6+(-5x+28)i}{41} \end{aligned}$$

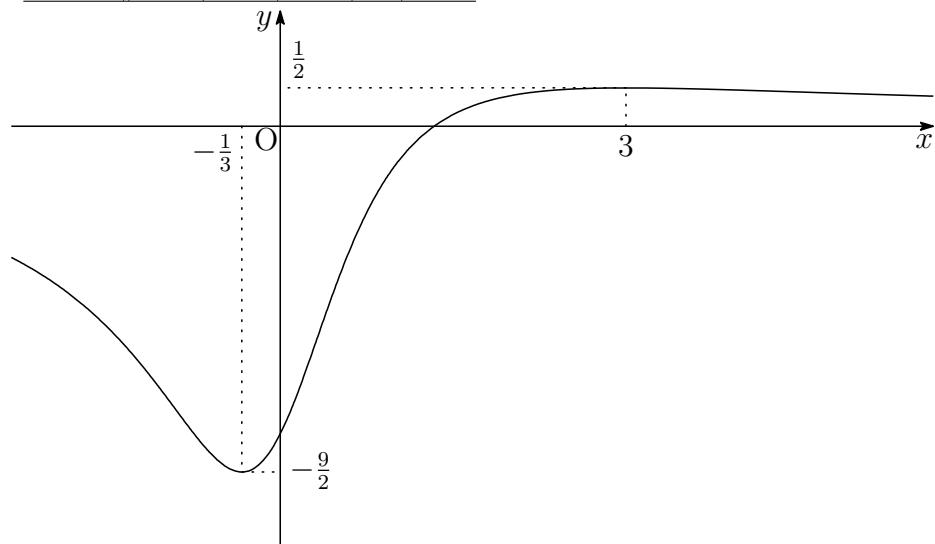
直線 AB と直線 AC が垂直に交わる時，上式は純虚数である．実数 x は

$$-4x+6=0 \quad \text{かつ} \quad -5x+28 \neq 0 \quad \text{すなわち} \quad x = \frac{3}{2}$$

$$(3) \quad (*) \text{ より, } f(x) = \operatorname{Im}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) = \frac{3x-4}{x^2+1} \text{ とおくと } f'(x) = \frac{-(3x+1)(x-3)}{(x^2+1)^2}$$

x	...	$-\frac{1}{3}$	...	3	...
$f'(x)$	-	0	+	0	-
$f(x)$	$\searrow$	$-\frac{9}{2}$	$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{3 - \frac{4}{x}}{x + \frac{1}{x}} = 0$$



$$\text{よって 最大値 } f(3) = \frac{1}{2}, \text{ 最小値 } f\left(-\frac{1}{3}\right) = -\frac{9}{2}$$

■

7 (1) $f(x) = \frac{e^x - 2e^{-2x}}{e^x + e^{-2x}} = \frac{e^{3x} - 2}{e^{3x} + 1} = 1 - \frac{3}{e^{3x} + 1}$ より $f'(x) = \frac{9e^{3x}}{(e^{3x} + 1)^2}$
 $f'(0) = \frac{9}{4}$ であるから、点 $\left(0, -\frac{1}{2}\right)$ における接線 l の方程式は

$$y = \frac{9}{4}x - \frac{1}{2}$$

l と直線 $y = 1$ の交点の x 座標 a は

$$\frac{9}{4}a - \frac{1}{2} = 1 \quad \text{これを解いて} \quad a = \frac{2}{3}$$

(2) $g(x) = f(0) + xf'(0)$ であるから、 $h(x) = g(x) - f(x)$ とおくと

$$h(x) = f(0) + xf'(0) - f(x)$$

$h(0) = 0$, $h'(x) = f'(0) - f'(x)$ より

$$h'(x) = \frac{9}{4} - \frac{9e^{3x}}{(e^{3x} + 1)^2} = \frac{9(e^{3x} - 1)^2}{4(e^{3x} + 1)^2} > 0$$

$h(x)$ は単調増加であるから、 $x > 0$ のとき、 $h(x) > h(0) = 0$

$x > 0$ のとき $g(x) - f(x) > 0$ すなわち $g(x) > f(x)$

(3) $f(x) = \frac{e^x - 2e^{-2x}}{e^x + e^{-2x}} = \frac{(e^x + e^{-2x})'}{e^x + e^{-2x}}$ に注意して

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{\frac{2}{3}} \left\{ \frac{9}{4}x - \frac{1}{2} - f(x) \right\} dx \\ &= \left[\frac{9}{8}x^2 - \frac{1}{2}x - \log(e^x + e^{-2x}) \right]_0^{\frac{2}{3}} \\ &= \frac{1}{6} - \log \frac{e^{\frac{2}{3}} + e^{-\frac{4}{3}}}{2} \\ &= \frac{3}{2} - \log \frac{e^2 + 1}{2} \end{aligned}$$

$$(4) \quad 1 - f(x) = 1 - \left(1 - \frac{3}{e^{3x} + 1}\right) = \frac{3}{e^{3x} + 1} > 0 \text{ より}$$

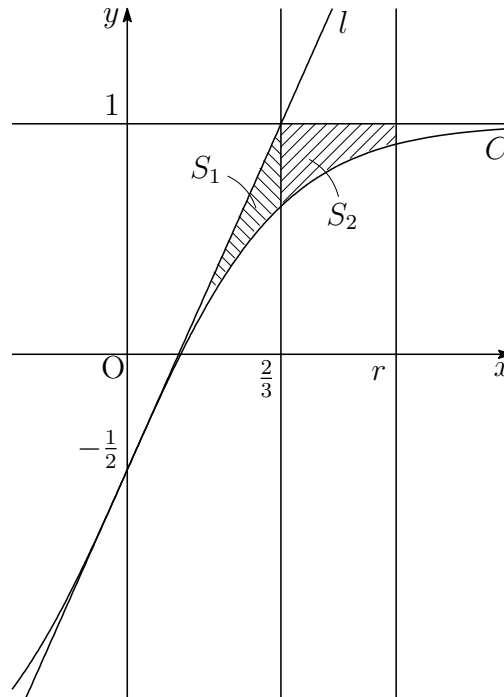
$$\begin{aligned} S_2 &= \int_{\frac{2}{3}}^r \{1 - f(x)\} dx = \left[x - \log(e^x + e^{-2x}) \right]_{\frac{2}{3}}^r \\ &= r - \frac{2}{3} - \log(e^r + e^{-2r}) + \log(e^{\frac{2}{3}} + e^{-\frac{4}{3}}) \\ &= r - \frac{2}{3} - \log e^r (1 + e^{-3r}) + \log e^{\frac{2}{3}} (1 + e^{-2}) \\ &= -\log(1 + e^{-3r}) + \log(1 + e^{-2}) \end{aligned}$$

上式および (3) の結果から

$$\begin{aligned} S(r) &= S_1 + S_2 \\ &= \frac{3}{2} - \log \frac{e^2 + 1}{2} - \log(1 + e^{-3r}) + \log(1 + e^{-2}) \\ &= \frac{3}{2} + \log \frac{2(1 + e^{-2})}{e^2 + 1} + \log(1 + e^{-3r}) \\ &= \log 2 - \frac{1}{2} + \log(1 + e^{-3r}) \end{aligned}$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} e^{-3r} = 0 \text{ であるから } \lim_{r \rightarrow \infty} S(r) = \log 2 - \frac{1}{2}$$

■



8 (1) $C: y = \frac{2}{x}$ より $y' = -\frac{2}{x^2}$

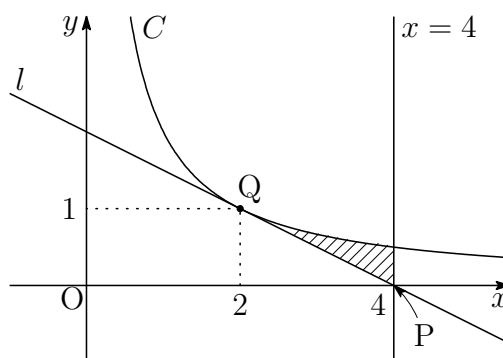
C 上の点 $\left(t, \frac{2}{t}\right)$ における接線の方程式は

$$y = -\frac{2}{t^2}(x-t) + \frac{2}{t} \quad \text{すなわち} \quad y = -\frac{2x}{t^2} + \frac{4}{t} \quad \cdots \textcircled{1}$$

これが点 $(4, 0)$ を通るとき ($t > 0$)

$$0 = -\frac{2 \cdot 4}{t^2} + \frac{4}{t} \quad \text{これを解いて} \quad t = 2$$

よって $Q(2, 1)$ ①より $l: y = -\frac{1}{2}x + 2$



(2) 求める面積を S とすると

$$S = \int_2^4 \frac{2}{x} dx - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1 = \left[2 \log x \right]_2^4 - 1 = 2 \log 2 - 1$$

(3) 求める回転体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_2^4 \left(\frac{2}{x} \right)^2 dx - \frac{1}{3} \pi \cdot 1^2 \cdot 2 \\ &= 4\pi \int_2^4 \frac{1}{x^2} dx - \frac{2}{3} \pi \\ &= 4\pi \left[-\frac{1}{x} \right]_2^4 - \frac{2}{3} \pi = \frac{\pi}{3} \end{aligned}$$

■

第 10 章 琉球大学

出題分野

(理・工・医・教[数] 農・教[学生])

理・工・医・教[数] 出題分野(2015-2025) 120 分

◀	琉大 理・工・医・教[数]	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											
	2 次関数											
	図形と計量											
	データの分析											
II	式と証明											
	複素数と方程式											
	図形と方程式											
	三角関数											
	指数関数と対数関数											
	微分法と積分法				1		1	1				
III	関数											
	極限		3					2				
	微分法とその応用	3		1	3		2			1・3	2	1
	積分法	1・2	2・3	1・2								2
	積分法の応用	2				1・2			1	2	1	
A	場合の数と確率	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	整数の性質											
	図形の性質											
B	数列				2	3	3・4		2		4	
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル											
	空間のベクトル								3			3
	複素数平面		1	3							3	
	式と曲線	4						3				

数字は問題番号

農・教[学生] 出題分野(2015-2025) 60分

◀	琉大 農・教[学生]	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	数と式											5
	2次関数											
	図形と計量											
	データの分析		5									
II	式と証明											
	複素数と方程式	5	5						5		5	5
	図形と方程式							5				
	三角関数					5	5		5			
	指数関数と対数関数	5			5		5	5	5			
	微分法と積分法	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6
A	場合の数と確率										5	
	整数の性質				5	5		5		5		
	図形の性質											
B	数列									5		
	確率分布と統計											
C	平面上のベクトル	5			5		5				5	
	空間のベクトル		5	6								

数字は問題番号

10.1 2015 年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])
学部 [5] [6] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (60 分)

[1] 次の問いに答えよ.

- (1) $F(x) = \int_x^{2x} e^t dt$ とするとき, $F(1)$ および $F'(x)$ を求めよ.
- (2) 関数 $f(x)$, $g(x)$ が,

$$\begin{cases} f(x) + \int_0^x g(t) dt = 2 \sin x - 3 \\ f'(x)g(x) = \cos^2 x \end{cases}$$

を満たすとき, $f(x)$, $g(x)$ を求めよ.

[2] 関数 $f(x) = |x|\sqrt{1-x^2}$ ($-1 \leq x \leq 1$) について, 次の問いに答えよ.

- (1) $f(x)$ の増減を調べ, 最大値, 最小値を求めよ.
- (2) 定積分 $\int_{-1}^1 f(x) dx$ を求めよ.

[3] 確率 p ($0 < p < 1$) で「当たり」が出るくじを繰り返して引く. 2 回目の「当たり」が出たときにこの試行を終える. $n \geq 2$ として, n 回目でこの試行を終える確率を p_n とする. 次の問いに答えよ.

- (1) p_2 , p_3 , p_4 を求めよ.
- (2) p_n を求めよ.
- (3) $N \geq 2$ として, $\sum_{k=2}^N p_k$ を求めよ.

[4] t を媒介変数として, $x = t + \frac{1}{t} + \frac{5}{2}$, $y = 2t - \frac{2}{t}$ で表される曲線を考える. 次の問いに答えよ.

- (1) t を消去して, x と y の関係式を求めよ.
- (2) a を定数とすると, 直線 $y = ax + 5$ とこの曲線との共有点の個数を調べよ.

5 次の問いに答えよ.

- (1) 3次方程式 $x^3 - ax - 6 = 0$ が $x = -1$ を解にもつとき, 定数 a の値と他の解を求めよ.
- (2) $\log_2 \frac{1}{6} + \log_2 \frac{3}{4}$ の値を求めよ.
- (3) 平面上に3点 $O(0, 0)$, $A(1, \sqrt{3})$, $P(\cos \theta, \sin \theta)$ をとる. $0 \leq \theta < 2\pi$ のとき, 内積 $\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OP}$ の最大値と, そのときの θ の値を求めよ.

6 頂点が点 $A(0, 4)$ で, 点 $B(2, 0)$ を通る放物線を考える. 次の問いに答えよ.

- (1) この放物線をグラフとする2次関数を求めよ.
- (2) この放物線上にあり, x 座標が $2a$ ($a > 0$) である点を C とする. この放物線と x 軸との交点で, 点 B と異なる点を D とする. 点 C における放物線の接線 l_1 と点 D における放物線の接線 l_2 との交点 E の座標を, a を使って表せ.
- (3) この放物線と直線 l_2 , および点 E を通り y 軸に平行な直線で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad F(x) = \int_x^{2x} e^t dt = \left[e^t \right]_x^{2x} = e^{2x} - e^x$$

$$\text{ゆえに} \quad F(1) = e^2 - e \quad \text{また} \quad F'(x) = 2e^{2x} - e^x$$

$$(2) \quad \begin{cases} f(x) + \int_0^x g(t) dt = 2 \sin x - 3 & \cdots \textcircled{1} \\ f'(x)g(x) = \cos^2 x & \cdots \textcircled{2} \end{cases}$$

① の両辺を微分すると

$$f'(x) + g(x) = 2 \cos x \quad \text{ゆえに} \quad f'(x) = 2 \cos x - g(x)$$

上の第 2 式を ② に代入すると

$$\{2 \cos x - g(x)\}g(x) = \cos^2 x \quad \text{整理すると} \quad \{g(x) - \cos x\}^2 = 0$$

よって $g(x) = \cos x$ これを ① に代入すると

$$\begin{aligned} f(x) + \int_0^x \cos t dt &= 2 \sin x - 3 \\ f(x) + \left[\sin t \right]_0^x &= 2 \sin x - 3 \end{aligned}$$

したがって $f(x) = \sin x - 3$ ■

2 (1) $f(x) = |x|\sqrt{1-x^2}$ について

$$f(-x) = |-x|\sqrt{1-(-x)^2} = |x|\sqrt{1-x^2} = f(x)$$

したがって、 $f(x)$ は偶関数である.

$x \geq 0$ において、 $f(x) = x\sqrt{1-x^2}$ であるから

$$f'(x) = \sqrt{1-x^2} + x \times \frac{-x}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{1-2x^2}{\sqrt{1-x^2}}$$

$f(x)$ の増減は、次のようになる.

x	-1	...	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	0	...	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	...	1
$f'(x)$		+	0	-		+	0	-	
$f(x)$	0	$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$	0	$\nearrow$	$\frac{1}{2}$	$\searrow$	0

よって $x = \pm \frac{1}{\sqrt{2}}$ のとき 最大値 $\frac{1}{2}$
 $x = 0, \pm 1$ のとき 最小値 0

(2) $f(x)$ は偶関数であるから

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 f(x) dx &= 2 \int_0^1 f(x) dx \\ &= 2 \int_0^1 x\sqrt{1-x^2} dx \\ &= \left[-\frac{2}{3}(1-x^2)^{\frac{3}{2}} \right]_0^1 = \frac{2}{3} \end{aligned}$$

■

3 (1) $q = 1 - p$ とおくと

$$p_2 = pp = \mathbf{p^2}$$

$$p_3 = (pq + qp)p = 2p^2q = \mathbf{2p^2(1 - p)}$$

$$p_4 = (pqq + qpq + qqp)p = 3p^2q^2 = \mathbf{3p^2(1 - p)^2}$$

(2) (1) と同様にして

$$p_n = {}_{n-1}C_1 pq^{n-2} \times p = (n-1)p^2q^{n-2} = \mathbf{(n-1)p^2(1-p)^{n-2}}$$

(3) $1 + \sum_{k=2}^N x^{k-1} = \frac{1-x^N}{1-x}$ の両辺を x で微分すると

$$\sum_{k=2}^N (k-1)x^{k-2} = \frac{-Nx^{N-1}(1-x) - (1-x^N)(-1)}{(1-x)^2}$$

$$\text{ゆえに} \quad \sum_{k=2}^N (k-1)(1-x)^2 x^{k-2} = 1 - x^{N-1}\{N(1-x) + x\}$$

上式に $x = 1 - p$ を代入すると

$$\sum_{k=2}^N (k-1)p^2(1-p)^{k-2} = 1 - (1-p)^{N-1}(Np + 1 - p)$$

(2) の結果から

$$\sum_{k=2}^N p_k = \mathbf{1 - (1-p)^{N-1}(Np + 1 - p)}$$



4 (1) $x = t + \frac{1}{t} + \frac{5}{2}, y = 2t - \frac{2}{t}$ から

$$2x + y = 4t + 5, \quad 2x - y = \frac{4}{t} + 5$$

上の2式から, t を消去すると

$$(2x + y - 5)(2x - y - 5) = 16 \quad \text{ゆえに} \quad (2x - 5)^2 - y^2 = 16 \quad \cdots (*)$$

よって
$$\frac{(x - \frac{5}{2})^2}{4} - \frac{y^2}{16} = 1$$

- (2) (1) で求めた曲線は, 双曲線 $\frac{x^2}{4} - \frac{y^2}{16} = 1$ を x 軸方向に $\frac{5}{2}$ だけ平行移動したもの. (*) から, この曲線の漸近線は $y = 2x - 5, y = -2x + 5$ (*) に $y = ax + 5$ を代入すると

$$(2x - 5)^2 - (ax + 5)^2 = 16$$

これを x について整理すると

$$(a^2 - 4)x^2 + 2(5a + 10)x + 16 = 0 \quad \cdots (**)$$

- (i) $a = 2$ のとき, $y = 2x + 5$ は, (*) の漸近線に平行となるので, 求める共有点の個数は1個.
 (ii) $a = -2$ のとき, $y = -2x + 5$ は, (*) の漸近線と一致するので, 求める共有点の個数は0個.
 (iii) $a \neq \pm 2$ のとき, (**) の判別式を D とすると

$$\begin{aligned} D &= (5a + 10)^2 - (a^2 - 4) \cdot 16 \\ &= 9a^2 + 100a + 164 = (a + 2)(9a + 82) \end{aligned}$$

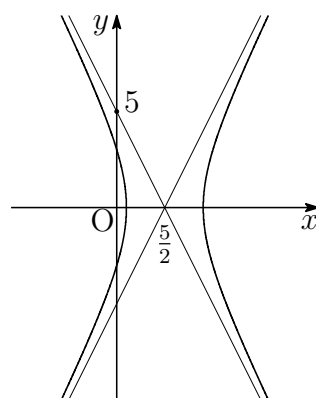
ゆえに $a < -\frac{82}{9}, -2 < a$ のとき 共有点の個数は2個

$a = -\frac{82}{9}$ のとき 共有点の個数は1個

$-\frac{82}{9} < a < -2$ のとき 共有点の個数は0個

(i)~(iii) から, 共有点の個数は

$$\left\{ \begin{array}{ll} a < -\frac{82}{9}, -2 < a < 2, 2 < a \text{ のとき} & 2 \text{ 個} \\ a = -\frac{82}{9}, 2 \text{ のとき} & 1 \text{ 個} \\ -\frac{82}{9} < a \leq -2 \text{ のとき} & 0 \text{ 個} \end{array} \right.$$



- 5** (1) $x^3 - ax - 6 = 0 \cdots (*)$ が $x = -1$ を解にもつから

$$(-1)^3 - a(-1) - 6 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = 7$$

これを $(*)$ に代入すると

$$x^3 - 7x - 6 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x+1)(x+2)(x-3) = 0$$

よって、求める他の解は $x = -2, 3$

$$(2) \log_2 \frac{1}{6} + \log_2 \frac{3}{4} = \log_2 \frac{1}{8} = \log_2 2^{-3} = -3$$

$$(3) \overrightarrow{OA} = (1, \sqrt{3}), \overrightarrow{OP} = (\cos \theta, \sin \theta) \text{ より}$$

$$\overrightarrow{OA} \cdot \overrightarrow{OP} = \cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta = 2 \sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right)$$

$0 \leq \theta < 2\pi$ より, $\frac{\pi}{6} \leq \theta + \frac{\pi}{6} < \frac{13}{6}\pi$ であるから

$$\theta + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{2} \quad \text{すなわち} \quad \theta = \frac{\pi}{3} \text{ のとき} \quad \text{最大値 } 2$$



- 6 (1) 点 A(0, 4) を頂点とする放物線を $y = kx^2 + 4$ とおく (k は定数).
これが点 B(2, 0) を通るから

$$k \cdot 2^2 + 4 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad k = -1$$

よって, 求める 2 次関数は $y = -x^2 + 4$

- (2) (1) の結果から $y = -(x+2)(x-2)$
放物線と x 軸との交点で点 B(2, 0) と異なる点 D の座標は (-2, 0)

$$y = -x^2 + 4 \text{ を微分すると } y' = -2x$$

放物線上の点 C(2a, -4a^2 + 4) における接線 l_1 の方程式は

$$y - (-4a^2 + 4) = -4a(x - 2a)$$

$$\text{すなわち} \quad y = -4ax + 4a^2 + 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

また, 放物線上の点 D(-2, 0) における接線 l_2 の方程式は, ① に $a = -1$ に代入して $y = 4x + 8 \quad \cdots \textcircled{2}$

①, ② から y を消去すると

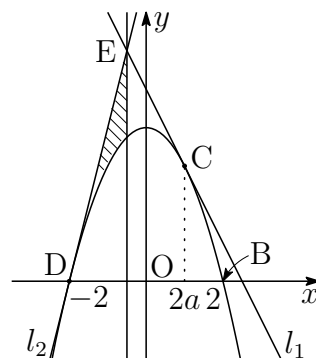
$$-4ax + 4a^2 + 4 = 4x + 8 \quad \text{ゆえに} \quad (a+1)x = a^2 - 1$$

$a > 0$ より, $a+1 \neq 0$ であるから $x = a-1$

これを ② に代入して $y = 4a+4$ よって, E の座標は $(a-1, 4a+4)$

- (3) 求める面積を S とすると, (2) の結果から

$$\begin{aligned} S &= \int_{-2}^{a-1} \{(4x+8) - (-x^2+4)\} dx \\ &= \int_{-2}^{a-1} (x+2)^2 dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x+2)^3 \right]_{-2}^{a-1} = \frac{1}{3}(a+1)^3 \end{aligned}$$



10.2 2016 年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])
学部 [5] [6] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (60 分)

[1] i を虚数単位とし, $z = \cos \frac{2\pi}{5} + i \sin \frac{2\pi}{5}$ とおく. 次の問いに答えよ.

- (1) z^5 および $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1$ の値を求めよ.
- (2) $t = z + \frac{1}{z}$ とおく. $t^2 + t$ の値を求めよ.
- (3) $\cos \frac{2\pi}{5}$ の値を求めよ.
- (4) 半径 1 の円に内接する正五角形の 1 辺の長さの 2 乗を求めよ.

[2] 定積分 $\int_a^{a+1} |e^x - 1| dx$ の値を $I(a)$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $-1 \leq a \leq 0$ のとき, $I(a)$ を a で表せ.
- (2) a が実数全体を動くとき, $I(a)$ を最小にするような a の値を求めよ.

[3] 次の問いに答えよ.

- (1) 自然数 n に対して $\int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x} dx$ を求めよ.
- (2) $x > 0$ のとき, 不等式 $x - \frac{x^2}{2} < \log(1+x) < x$ が成り立つことを示せ.
- (3) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x + \log(1+x)} dx$ を求めよ.

4 N を3以上の自然数とする.

1 から N までの数字が1つずつ書かれた N 枚のカードを袋に入れ, 「無作為に1枚カードを取り出し, そのカードを袋に戻さずに次のカードを取り出す」という作業を3枚のカードを取り出すまで繰り返す. 取り出された3枚のカードに書かれた数の最大値を X とする.

また, 1 から N までの数字が1つずつ書かれた N 枚のカードを袋に入れ, 「無作為に1枚カードを取り出してはそれに書かれた数を記録し, 袋に戻す」という作業を3回行い, 記録された数の最大値を Y とする.

n を N 以下の自然数とする. $X = n$ となる確率を p_n とし, $Y = n$ となる確率を q_n とする.

次の問いに答えよ.

(1) p_3, q_1, q_2, q_3 を求めよ.

(2) p_n と q_n を求めよ.

5 次の問いに答えよ.

(1) 整式 $P(x)$ は, $P\left(\frac{5}{3}\right) = \frac{8}{3}$ と $P\left(-\frac{7}{2}\right) = -\frac{5}{2}$ を満たす.

$P(x)$ を $6x^2 + 11x - 35$ で割った余りを求めよ.

(2) 座標空間内の3点 $A(3, 0, 0)$, $B(0, 3, 0)$, $C(1, s, t)$ を頂点とする三角形 ABC の重心を G , 原点を O とする. $OG \perp AG$, $OG \perp AB$ となるときの s と t の値を求めよ.

(3) 変数 x の値が x_1, x_2, x_3 のとき, その平均値を $\bar{x}$ とする. 分散 s^2 を

$$\frac{1}{3}\{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2\}$$

で定義するとき, $s^2 = \overline{x^2} - (\bar{x})^2$ となることを示せ. ただし $\overline{x^2}$ は x_1^2, x_2^2, x_3^2 の平均値を表す.

6 座標平面上の原点 O , $P\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$, $Q\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2}\right)$ の3点を通る放物線

$y = ax^2 + bx + c$ を C_1 とし, 原点 O を中心とする半径1の円を C_2 とする.

次の問いに答えよ.

(1) a, b, c の値を求めよ.

(2) 放物線 C_1 と線分 PQ で囲まれた図形の面積を求めよ.

(3) 放物線 C_1 と円 C_2 で囲まれた図形のうち, 放物線 C_1 の上側の部分の面積を求めよ.

解答例

1 (1) $z = \cos \frac{2\pi}{5} + i \sin \frac{2\pi}{5}$ より

$$z^5 = \left(\cos \frac{2\pi}{5} + i \sin \frac{2\pi}{5} \right)^5 = \cos 2\pi + i \sin 2\pi = 1$$

$$z^5 - 1 = 0 \text{ より } (z - 1)(z^4 + z^3 + z^2 + z + 1) = 0$$

$$z \neq 1 \text{ であるから } z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$$

(2) $z^4 + z^3 + z^2 + z + 1 = 0$ を $z^2 \neq 0$ で割ると

$$z^2 + z + 1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z^2} = 0 \quad \text{ゆえに} \quad \left(z + \frac{1}{z} \right)^2 + \left(z + \frac{1}{z} \right) = 1$$

$$t = z + \frac{1}{z} \text{ より } t^2 + t = 1$$

(3) $z = \cos \frac{2\pi}{5} + i \sin \frac{2\pi}{5}$, $\frac{1}{z} = \cos \frac{2\pi}{5} - i \sin \frac{2\pi}{5}$ であるから

$$t = z + \frac{1}{z} = 2 \cos \frac{2\pi}{5} \quad \text{ゆえに} \quad \cos \frac{2\pi}{5} = \frac{1}{2}t$$

上式より, $t > 0$ であることに注意して, $t^2 + t = 1$ を解くと

$$t = \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} \quad \text{よって} \quad \cos \frac{2\pi}{5} = \frac{1}{2}t = \frac{-1 + \sqrt{5}}{4}$$

(4) 正五角形の一辺の長さを x とすると, 中心角 $\frac{2\pi}{5}$, 等しい 2 辺の長さが 1 の二等辺三角形に余弦定理を適用すると

$$\begin{aligned} x^2 &= 1^2 + 1^2 - 2 \cdot 1 \cdot 1 \cos \frac{2\pi}{5} \\ &= 2 - 2 \cdot \frac{-1 + \sqrt{5}}{4} = \frac{5 - \sqrt{5}}{2} \end{aligned}$$



2 (1) $f(x) = |e^x - 1|$ とおくと

$$f(x) = \begin{cases} e^x - 1 & (x \geq 0) \\ -(e^x - 1) & (x < 0) \end{cases}$$

$-1 \leq a \leq 0$ のとき, $a \leq 0 \leq a+1$ であるから

$$\begin{aligned} I(a) &= \int_a^{a+1} f(x) dx = - \int_a^0 (e^x - 1) dx + \int_0^{a+1} (e^x - 1) dx \\ &= - \left[e^x - x \right]_a^0 + \left[e^x - x \right]_0^{a+1} \\ &= (e^a - a) + (e^{a+1} - a - 1) - 2 \cdot 1 \\ &= e^a + e^{a+1} - 2a - 3 \end{aligned}$$

(2) $a < -1$ のとき, $a < a+1 < 0$ であるから

$$\begin{aligned} I(a) &= \int_a^{a+1} f(x) dx = - \int_a^{a+1} (e^x - 1) dx \\ &= - \left[e^x - x \right]_a^{a+1} = e^a - e^{a+1} + 1 \end{aligned}$$

$0 < a$ のとき, $0 < a < a+1$ であるから

$$\begin{aligned} I(a) &= \int_a^{a+1} f(x) dx = \int_a^{a+1} (e^x - 1) dx \\ &= \left[e^x - x \right]_a^{a+1} = -e^a + e^{a+1} - 1 \end{aligned}$$

$a < -1$ のとき $I'(a) = e^a - e^{a+1} = e^a(1 - e) < 0$

$0 < a$ のとき $I'(a) = -e^a + e^{a+1} = e^a(e - 1) > 0$

$-1 \leq a \leq 0$ のとき $I'(a) = e^a + e^{a+1} - 2 = (e + 1) \left(e^a - \frac{2}{e+1} \right)$

ここで $\frac{2}{e+1} - \frac{1}{e} = \frac{e-1}{e(e+1)} > 0$, $1 - \frac{2}{e+1} = \frac{e-1}{e+1} > 0$

ゆえに $\frac{1}{e} < \frac{2}{e+1} < 1$ すなわち $-1 < \log \frac{2}{e+1} < 0$

したがって $-1 < a < \log \frac{2}{e+1}$ のとき $I'(a) < 0$

$\log \frac{2}{e+1} < a < 0$ のとき $I'(a) > 0$

よって, $I(a)$ を最小にする a の値は $a = \log \frac{2}{e+1}$ ■

3 (1) $\int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x} dx = \left[\log x \right]_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} = \log 2$

(2) $t > 0$ のとき

$$1 - \frac{1}{1+t} = \frac{t}{1+t} > 0 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{1+t} < 1$$

$$(1+t)(1-t) = 1-t^2 < 1 \quad \text{ゆえに} \quad 1-t < \frac{1}{1+t}$$

したがって, $t > 0$ のとき $1-t < \frac{1}{1+t} < 1$

$x > 0$ のとき $\int_0^x (1-t) dt < \int_0^x \frac{1}{1+t} dt < \int_0^x dt$

よって, $x > 0$ のとき $x - \frac{x^2}{2} < \log(1+x) < x$

(3) (2) の結果から, $x > 0$ のとき $\frac{x(4-x)}{2} < x + \log(1+x) < 2x$

とくに, $0 < x < 4$ のとき $\frac{1}{2x} < \frac{1}{x + \log(1+x)} < \frac{2}{x(4-x)}$

自然数 n について, $0 < \frac{1}{n} < \frac{2}{n} < 4$ であるから

$$\frac{1}{2} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x} dx < \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x + \log(1+x)} dx < \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{2}{x(4-x)} dx \quad \cdots (*)$$

(1) の結果に注意して

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x} dx &= \frac{1}{2} \log 2 \\ \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{2}{x(4-x)} dx &= \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x} dx - \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x-4} dx \\ &= \frac{1}{2} \log 2 - \frac{1}{2} \left[\log(4-x) \right]_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \\ &= \frac{1}{2} \log 2 + \frac{1}{2} \log \frac{4 - \frac{1}{n}}{4 - \frac{2}{n}} \end{aligned}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} \log \frac{4 - \frac{1}{n}}{4 - \frac{2}{n}} = 0$ であるから, (*) についてはさみうちの原理により

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{2}{n}} \frac{1}{x + \log(1+x)} dx = \frac{1}{2} \log 2$$



- 4 (1) p_3 は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (非復元抽出), 1, 2, 3 を取り出す確率であるから

$$p_3 = \frac{{}_3P_3}{{}_NP_3} = \frac{6}{N(N-1)(N-2)}$$

q_1 は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (復元抽出), すべて 1 だけの確率であるから

$$q_1 = \left(\frac{1}{N}\right)^3 = \frac{1}{N^3}$$

q_2 は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (復元抽出), すべて 2 以下の確率からすべて 1 だけの確率を引いた確率であるから

$$q_2 = \left(\frac{2}{N}\right)^3 - \left(\frac{1}{N}\right)^3 = \frac{7}{N^3}$$

q_3 は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (復元抽出), すべて 3 以下の確率からすべての 2 以下の確率を引いた確率であるから

$$q_3 = \left(\frac{3}{N}\right)^3 - \left(\frac{2}{N}\right)^3 = \frac{19}{N^3}$$

- (2) p_n は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (非復元抽出), 1 枚は n で, 残りの 2 枚が $n-1$ 以下の確率であるから

$$p_n = \frac{{}_{n-1}C_2 \times 3!}{{}_NP_3} = \frac{3(n-1)(n-2)}{N(N-1)(N-2)}$$

q_n は, N 枚のカードから 3 枚取り出したとき (復元抽出), すべて n 以下の確率からすべての $n-1$ 以下の確率を引いた確率であるから

$$q_n = \left(\frac{n}{N}\right)^3 - \left(\frac{n-1}{N}\right)^3 = \frac{3n^2 - 3n + 1}{N^3}$$

■

- 5 (1) $P(x)$ を $6x^2 + 11x - 35$ で割ったときの商を $Q(x)$, 余りを $ax + b$ とおくと

$$\begin{aligned} P(x) &= (6x^2 + 11x - 35)Q(x) + ax + b \\ &= (3x - 5)(2x + 7)Q(x) + ax + b \end{aligned}$$

$$P\left(\frac{5}{3}\right) = \frac{8}{3}, \quad P\left(-\frac{7}{2}\right) = -\frac{5}{2} \text{ であるから}$$

$$\frac{5}{3}a + b = \frac{8}{3}, \quad -\frac{7}{2}a + b = -\frac{5}{2}$$

これを解いて $a = b = 1$ よって, 求める余りは $x + 1$

- (2) $A(3, 0, 0)$, $B(0, 3, 0)$, $C(1, s, t)$ より

$$\overrightarrow{OG} = \frac{1}{3}(\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{OC}) = \left(\frac{4}{3}, \frac{s}{3} + 1, \frac{t}{3}\right)$$

$$\overrightarrow{AG} = \overrightarrow{OG} - \overrightarrow{OA} = \left(-\frac{5}{3}, \frac{s}{3} + 1, \frac{t}{3}\right)$$

$$\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA} = (-3, 3, 0)$$

$\overrightarrow{OG} \perp \overrightarrow{AG}$ より, $\overrightarrow{OG} \cdot \overrightarrow{AG} = 0$ であるから

$$-\frac{20}{9} + \left(\frac{s}{3} + 1\right)^2 + \left(\frac{t}{3}\right)^2 = 0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$\overrightarrow{OG} \perp \overrightarrow{AB}$ より, $\overrightarrow{OG} \cdot \overrightarrow{AB} = 0$ であるから

$$-4 + 3\left(\frac{s}{3} + 1\right) = 0 \quad \text{よって} \quad s = 1$$

$s = 1$ を $\textcircled{1}$ に代入すると

$$-\frac{20}{9} + \left(\frac{1}{3} + 1\right)^2 + \left(\frac{t}{3}\right)^2 = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = \pm 2$$

- (3) 分散 s^2 の定義により

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{3}\{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2\} \\ &= \frac{1}{3}\{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 2\bar{x}(x_1 + x_2 + x_3) + 3\bar{x}^2\} \end{aligned}$$

$\bar{x} = \frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3)$ より, $x_1 + x_2 + x_3 = 3\bar{x}$ であるから

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{3}\{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 2\bar{x} \cdot 3\bar{x} + 3\bar{x}^2\} \\ &= \frac{1}{3}(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2) - \bar{x}^2 \\ &= \overline{x^2} - \bar{x}^2 \end{aligned}$$



- 6 (1) C_1 は原点 O を通るから $c = 0$

2点 P, Q の y 座標が等しいので, C_1 の軸は, 線分 PQ の垂直二等分線であるから, C_1 は y 軸に関して対称な放物線である. したがって

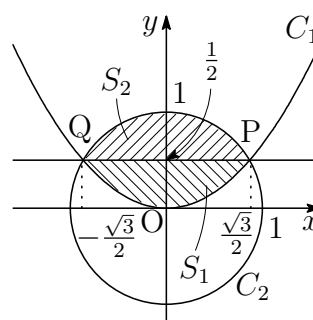
$$b = 0$$

さらに, $C_1: y = ax^2$ が点 P を通ることから

$$\frac{1}{2} = a \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 \quad \text{これを解いて} \quad a = \frac{2}{3}$$

- (2) 求める部分の面積を S_1 とすると

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}x^2 \right) dx \\ &= 2 \left[\frac{1}{2}x - \frac{2}{9}x^3 \right]_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \end{aligned}$$



- (3) C_2 と直線 PQ で囲まれた図形のうち, 線分 PQ の上側の部分の面積を S_2 とすると, $\angle POQ = \frac{2\pi}{3}$ であるから

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{1}{2} \cdot 1^2 \cdot \frac{2\pi}{3} - \triangle POQ \\ &= \frac{\pi}{3} - \frac{1}{2} \cdot 1^2 \sin \frac{2\pi}{3} = \frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \end{aligned}$$

求める面積を S とすると

$$S = S_1 + S_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} + \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) = \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{12}$$

■

10.3 2017 年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])
学部 [5] [6] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (60 分)

[1] 次の問いに答えよ.

- (1) 定積分 $\int_1^2 \left(1 - \frac{1}{x}\right) dx$ を求めよ.
- (2) $t > 0$ とする. 座標平面上の点 $P(\sqrt{t}, \log t)$ と直線 $y = x$ との距離が最小になる t の値とそのときの距離を求めよ.

[2] 次の問いに答えよ.

- (1) $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ のとき, 方程式 $2 \sin \theta = \sin 3\theta$ を満たす θ の値を求めよ.
- (2) 定積分 $\int_0^{\frac{\pi}{2}} |\sin 3\theta - 2 \sin \theta| d\theta$ を求めよ.

[3] z を複素数とする. $z + \frac{3}{z}$ が実数であり, $3 \leq z + \frac{3}{z} \leq 4$ となる z の動く範囲を複素数平面上に図示せよ.

[4] 袋の中に赤玉 4 個と白玉 6 個が入っている. A が玉を 2 個取り出し, 取り出した玉の色を確認して, もし 2 個とも赤玉なら赤玉 1 個を, それ以外の場合は白玉 1 個を袋に戻し, 次に B がその袋から玉を 2 個取り出す. 次の問いに答えよ.

- (1) A が白玉 2 個を取り出し, かつ B が赤玉 2 個を取り出す確率を求めよ.
- (2) B が赤玉 2 個を取り出す確率を求めよ.
- (3) B が取り出した玉が赤玉 2 個であったとき, A が取り出した玉が白玉 2 個である条件付き確率を求めよ.

[5] $0 \leq a \leq 1$ とし, $f(a) = \int_0^1 |x(a-x)| dx$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 定積分 $\int_0^1 x(1-x) dx$ を求めよ.
- (2) $f(a)$ を a の関数として表せ.
- (3) $f(a)$ の最大値と最小値を求めよ. また, そのときの a の値をそれぞれ求めよ.

6 a, b を正の実数とする. 座標空間における4点 $O(0, 0, 0)$, $A(a, 0, 0)$, $B(0, b, 0)$, $C(0, 0, 1)$ を頂点とする四面体 $OABC$ を考える. 次の問いに答えよ.

- (1) $\overrightarrow{CA}$ と $\overrightarrow{CB}$ の内積を求めよ.
- (2) $\cos \angle ACB$ と $\sin \angle ACB$ を a, b を用いて表せ.
- (3) 三角形 ABC の面積を a, b を用いて表せ.
- (4) 四面体 $OABC$ の体積が1であるとき, 三角形 ABC の面積の最小値とそのときの a と b の値を求めよ.

解答例

$$\boxed{1} \quad (1) \quad \int_1^2 \left(1 - \frac{1}{x}\right) dx = \left[x - \log x \right]_1^2 = 1 - \log 2$$

(2) 点 $P(\sqrt{t}, \log t)$ と直線 $y = x$ ($x - y = 0$) との距離を d とすると

$$d = \frac{|\sqrt{t} - \log t|}{\sqrt{1^2 + (-1)^2}} = \frac{|\sqrt{t} - \log t|}{\sqrt{2}}$$

$$f(t) = \sqrt{t} - \log t \text{ とおくと} \quad f'(t) = \frac{1}{2\sqrt{t}} - \frac{1}{t} = \frac{\sqrt{t} - 2}{2t}$$

$f(t)$ の増減表は

t	(0)	...	4	...
$f'(t)$		-	0	+
$f(t)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$

$f(4) = 2(1 - \log 2) > 0$ であるから, d は $t = 4$ のとき, 最小値

$$\frac{|f(4)|}{\sqrt{2}} = \frac{2(1 - \log 2)}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}(1 - \log 2)$$

をとる. ■

2 (1) $\sin 3\theta = 3\sin\theta - 4\sin^3\theta$ より

$$\begin{aligned} 2\sin\theta - \sin 3\theta &= 2\sin\theta - (3\sin\theta - 4\sin^3\theta) \\ &= \sin\theta(2\sin\theta + 1)(2\sin\theta - 1) \quad \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

① より, 方程式 $2\sin\theta = \sin 3\theta$ は

$$\sin\theta(2\sin\theta + 1)(2\sin\theta - 1) = 0$$

$$0 < \theta < \frac{\pi}{2} \text{ により, 求める方程式の解は } \theta = \frac{\pi}{6}$$

$$\begin{aligned} (2) \textcircled{1} \text{ より } \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6} \text{ のとき } \quad 2\sin\theta - \sin 3\theta &\leq 0 \\ \frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \text{ のとき } \quad 2\sin\theta - \sin 3\theta &\geq 0 \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} &\int_0^{\frac{\pi}{2}} |\sin 3\theta - 2\sin\theta| d\theta \\ &= -\int_0^{\frac{\pi}{6}} (2\sin\theta - \sin 3\theta) d\theta + \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} (2\sin\theta - \sin 3\theta) d\theta \\ &= -\left[-2\cos\theta + \frac{1}{3}\cos 3\theta\right]_0^{\frac{\pi}{6}} + \left[-2\cos\theta + \frac{1}{3}\cos 3\theta\right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \\ &= -2\left(-2\cos\frac{\pi}{6} + \frac{1}{3}\cos\frac{\pi}{2}\right) + \left(-2\cos 0 + \frac{1}{3}\cos 0\right) \\ &\quad + \left(-2\cos\frac{\pi}{2} + \frac{1}{3}\cos\frac{3}{2}\pi\right) \\ &= 2\sqrt{3} - \frac{5}{3} \end{aligned}$$

■

3 $z = x + yi = r(\cos \theta + i \sin \theta)$ とおくと (x, y は実数, $r > 0, 0 \leq \theta < 2\pi$)

$$\begin{aligned} z + \frac{3}{z} &= r(\cos \theta + i \sin \theta) + \frac{3}{r}(\cos \theta - i \sin \theta) \\ &= \left(r + \frac{3}{r}\right) \cos \theta + \left(r - \frac{3}{r}\right) i \sin \theta \quad \cdots (*) \end{aligned}$$

(*) が実数のとき, $\left(r - \frac{3}{r}\right) \sin \theta = 0$ である.

(i) $r - \frac{3}{r} = 0$ のとき, $r = \sqrt{3}$ より, $z + \frac{3}{z} = 2\sqrt{3} \cos \theta$ であるから

$$3 \leq 2\sqrt{3} \cos \theta \leq 4 \quad \text{すなわち} \quad \cos \theta \geq \frac{\sqrt{3}}{2}$$

また, $-\frac{1}{2} \leq \sin \theta \leq \frac{1}{2}$ であるから, $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ より

$$x^2 + y^2 = 3, \quad x \geq \frac{3}{2}, \quad -\frac{\sqrt{3}}{2} \leq y \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cdots (*)$$

(ii) $\sin \theta = 0$ のとき, z は実数であるから, $z = x$ より (x は実数),

$$3 \leq x + \frac{3}{x} \leq 4$$

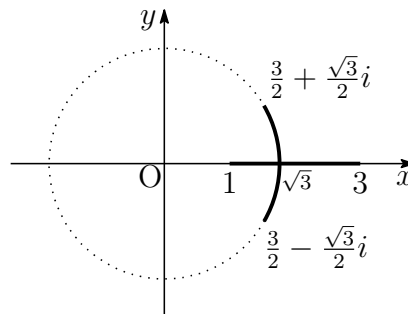
上式より, $x > 0$ であることに注意して

$$x^2 - 3x + 3 \geq 0, \quad x^2 - 4x + 3 \leq 0$$

$$\text{したがって} \quad \left(x - \frac{3}{2}\right)^2 + \frac{3}{4} \geq 0, \quad (x-1)(x-3) \leq 0$$

$$\text{よって} \quad 1 \leq x \leq 3, \quad y = 0 \quad \cdots (**)$$

(*), (**) より, z の動く範囲は



- 4 (1) A が赤玉 4 個と白玉 6 個の中から白玉 2 個を取り出し、次に B が赤玉 4 個と白玉 5 個の中から赤玉 2 個を取り出す確率であるから

$$\frac{{}_6C_2}{{}_{10}C_2} \times \frac{{}_4C_2}{{}_9C_2} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{18}$$

- (2) (i) A が赤玉 4 個と白玉 6 個の中から赤玉 1 個と白玉 1 個を取り出し、次に B が赤玉 3 個と白玉 6 個の中から赤玉 2 個を取り出す確率は

$$\frac{{}_4C_1 \cdot {}_6C_1}{{}_{10}C_2} \times \frac{{}_3C_2}{{}_9C_2} = \frac{8}{15} \times \frac{1}{12} = \frac{2}{45}$$

- (ii) A が赤玉 4 個と白玉 6 個の中から赤玉 2 個を取り出し、次に B が赤玉 3 個と白玉 6 個の中から赤玉 2 個を取り出す確率は

$$\frac{{}_4C_2}{{}_{10}C_2} \times \frac{{}_3C_2}{{}_9C_2} = \frac{2}{15} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{90}$$

- (1) の結果と (i),(ii) より、B が赤玉 2 個を取り出す確率は

$$\frac{1}{18} + \frac{2}{45} + \frac{1}{90} = \frac{5+4+1}{90} = \frac{1}{9}$$

- (3) (1),(2) の結果より、求める条件付き確率は

$$\frac{\frac{1}{18}}{\frac{1}{9}} = \frac{1}{2}$$



5 (1) $\int_0^1 x(1-x) dx = \frac{1}{6}(1-0)^3 = \frac{1}{6}$

(2) $0 \leq a \leq 1$ であるから

$$\begin{aligned} f(a) &= \int_0^1 |x(a-x)| dx \\ &= \int_0^a x(a-x) dx + \int_a^1 x(x-a) dx \\ &= \frac{1}{6}a^3 + \left[\frac{x^3}{3} - \frac{a}{2}x^2 \right]_a^1 = \frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a + \frac{1}{3} \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から $f'(a) = a^2 - \frac{1}{2} = \left(a + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(a - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$

$f(a)$ の増減表は

a	0	$\cdots$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\cdots$	1
$f'(a)$		$-$	0	$+$	
$f(a)$	$\frac{1}{3}$	$\searrow$	極小 $\frac{2-\sqrt{2}}{6}$	$\nearrow$	$\frac{1}{6}$

よって 最大値 $f(0) = \frac{1}{3}$, 最小値 $f\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{2-\sqrt{2}}{6}$ ■

6 (1) $A(a, 0, 0)$, $B(0, b, 0)$, $C(0, 0, 1)$ より

$$\overrightarrow{CA} = (a, 0, -1), \overrightarrow{CB} = (0, b, -1)$$

よって $\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CB} = a \cdot 0 + 0 \cdot b + (-1) \cdot (-1) = 1$

(2) $\cos \angle CAB = \frac{\overrightarrow{CA} \cdot \overrightarrow{CB}}{|\overrightarrow{CA}| |\overrightarrow{CB}|} = \frac{1}{\sqrt{a^2+1} \sqrt{b^2+1}} = \frac{1}{\sqrt{(a^2+1)(b^2+1)}}$

また $\sin \angle CAB = \sqrt{1 - \frac{1}{(a^2+1)(b^2+1)}} = \sqrt{\frac{a^2b^2 + a^2 + b^2}{(a^2+1)(b^2+1)}}$

(3) (2) の結果から

$$\sin \angle CAB = \frac{\sqrt{a^2b^2 + a^2 + b^2}}{\sqrt{a^2+1} \sqrt{b^2+1}} = \frac{\sqrt{a^2b^2 + a^2 + b^2}}{|\overrightarrow{CA}| |\overrightarrow{CB}|}$$

よって $\triangle ABC = \frac{1}{2} |\overrightarrow{CA}| |\overrightarrow{CB}| \sin \angle CAB = \frac{1}{2} \sqrt{a^2b^2 + a^2 + b^2}$

- (4) C から $\triangle OAB$ に下ろした垂線の長さが1であるから、四面体 OABC の体積から

$$\frac{1}{3}\triangle OAB \cdot 1 = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2}ab = 1 \quad \text{すなわち} \quad ab = 6$$

したがって、(3)の結果から

$$\begin{aligned} \triangle ABC &= \frac{1}{2}\sqrt{36 + a^2 + b^2} = \frac{1}{2}\sqrt{36 + (a - b)^2 + 2ab} \\ &= \frac{1}{2}\sqrt{48 + (a - b)^2} \end{aligned}$$

よって $a - b = 0$, すなわち, $a = b = \sqrt{6}$ のとき,
 $\triangle ABC$ は最小値 $2\sqrt{3}$ をとる.



10.4 2018 年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120 分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])
学部 [5] [6] 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (60 分)

[1] a を正の実数とする. 関数 $f(x) = -x^2 + 4x$ と $g(x) = 2|x - a|$ について, 次の問いに答えよ.

- (1) $y = f(x)$ のグラフと $y = g(x)$ のグラフの共有点が 1 点となるような a の値を求めよ.
- (2) (1) で求めた a の値のときに, $y = f(x)$ のグラフ, $y = g(x)$ のグラフおよび x 軸で囲まれた部分の面積を求めよ.
- (3) $y = f(x)$ のグラフと $y = g(x)$ のグラフが異なる 2 点で交わるような a の値の範囲と, 2 つの交点の x 座標を求めよ.

[2] $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して, $a_n = n^2 + n + 1$ とおく. さらに, 実数 x_n, y_n を

$$(a_1 + i)(a_2 + i)(a_3 + i) \cdots (a_n + i) = x_n + y_n i \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって定める. ただし i は虚数単位とする. 次の問いに答えよ.

- (1) x_2, y_2 および x_3, y_3 を求めよ.
- (2) 自然数 n に対して, $\frac{y_n}{x_n} = \frac{n}{n+2}$ が成り立つことを示せ.

[3] 関数 $y = e^{\sin x + \cos x}$ ($-\pi \leq x \leq \pi$) の増減, 極値, 凹凸を調べ, そのグラフをかけ.

[4] 2 つの箱 A, B があり, どちらの箱にも赤玉と白玉が 1 個ずつ入っている. それぞれの箱から, 無作為に玉を 1 個取り出し, 取り出した玉を交換して箱に戻す操作を繰り返す. n 回の操作の後, 箱 A, B のどちらにも赤玉, 白玉が 1 個ずつ入っている確率を p_n とする. 次の問いに答えよ.

- (1) p_1, p_2 を求めよ.
- (2) p_n を用いて p_{n+1} を表せ.
- (3) 自然数 n に対して, p_n を求めよ.

5 次の問いに答えよ.

- (1) 今日は日曜日で, 10 日後は水曜日である. 100 日後および 100 万日後はそれぞれ何曜日か, 理由とともに答えよ.
- (2) x の方程式 $\log_2(x-1) - \log_{\frac{1}{2}}(x-4) = 1$ を解け.
- (3) 三角形 OAB で, 辺 OA を $2:1$ に内分する点を L, 辺 OB の中点を M, 辺 AB を $2:3$ に内分する点を N とする. 線分 LM と ON の交点を P とする. $\vec{a} = \vec{OA}$, $\vec{b} = \vec{OB}$ とするとき, $\vec{ON}$ と $\vec{OP}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$ を用いて表せ.

6 関数 $f(x) = x|x-3|$ ($0 \leq x \leq 4$) について, 次の問いに答えよ.

- (1) $y = f(x)$ のグラフをかけ.
- (2) 微分係数 $f'(2)$ の値を求めよ.
- (3) 定積分 $\int_0^4 f(x) dx$ の値を求めよ.

解答例

- 1 (1) $a > 0$ より, $y = f(x)$ と $y = g(x)$ の共有点が 1 点となるのは, 2 次方程式

$$-x^2 + 4x = -2(x - a)$$

$$\text{すなわち } x^2 - 6x + 2a = 0$$

が重解をもつときであるから, 係数について

$$D/4 = (-3)^2 - 1 \cdot 2a = 0$$

$$\text{これを解いて } a = \frac{9}{2}$$

- (2) 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \left(\frac{9}{2} - 3 \right) \cdot 3 - \int_3^4 (-x^2 + 4x) dx \\ &= \frac{9}{4} - \left[-\frac{x^3}{3} + 2x^2 \right]_3^4 = \frac{7}{12} \end{aligned}$$

- (3) (1) の図から, $y = f(x)$ のグラフと $y = g(x)$ のグラフが異なる 2 点で交わるような a の値の範囲は

$$0 < a < \frac{9}{2}$$

また, そのときの交点の座標は

$$(i) \ 0 < a \leq 4 \text{ のとき } -x^2 + 4x = 2|x - a|$$

$$(x^2 - 6x + 2a)(x^2 - 2x - 2a) = 0$$

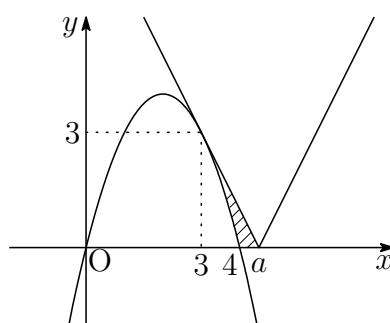
$0 < x \leq 4$ に注意して, これを解くと

$$x = 3 - \sqrt{9 - 2a}, \ 1 + \sqrt{1 + 2a}$$

- (ii) $4 < a < \frac{9}{2}$ のとき

$$-x^2 + 4x = -2x + 2a$$

$$\text{これを解くと } x = 3 \pm \sqrt{9 - 2a}$$



- 2** (1) $a_n = n^2 + n + 1$ より, $a_1 = 3, a_2 = 7, a_3 = 13$ であるから, 定義式より

$$\begin{aligned} x_2 + y_2 i &= (a_1 + i)(a_2 + i) = (3 + i)(7 + i) = 20 + 10i, \\ x_3 + y_3 i &= (a_1 + i)(a_2 + i)(a_3 + i) \\ &= (20 + 10i)(13 + i) = 250 + 150i \end{aligned}$$

よって $x_2 = 20, y_2 = 10, x_3 = 250, y_3 = 150$

(2)
$$\frac{y_n}{x_n} = \frac{n}{n+2} \quad \cdots (A)$$

[1] $n = 1$ のとき $x_1 + y_1 i = a_1 + i = 3 + i$

$x_1 = 3, y_1 = 1$ であるから, (A) は成立する.

[2] $n = k$ のとき, (A) が成立すると仮定すると

$$\begin{aligned} x_{k+1} + y_{k+1} i &= (a_{k+1} + i)(x_k + y_k i) \\ &= (a_{k+1} x_k - y_k) + (x_k + a_{k+1} y_k) i \end{aligned}$$

$x_{k+1} = a_{k+1} x_k - y_k, y_{k+1} = x_k + a_{k+1} y_k$ であるから

$$\begin{aligned} \frac{y_{k+1}}{x_{k+1}} &= \frac{x_k + a_{k+1} y_k}{a_{k+1} x_k - y_k} = \frac{1 + a_{k+1} \cdot \frac{y_k}{x_k}}{a_{k+1} - \frac{y_k}{x_k}} \\ &= \frac{1 + (k^2 + 3k + 3) \cdot \frac{k}{k+2}}{k^2 + 3k + 3 - \frac{k}{k+2}} = \frac{k+2 + (k^2 + 3k + 3)k}{(k+2)(k^2 + 3k + 3) - k} \\ &= \frac{k^3 + 3k^2 + 4k + 2}{k^3 + 5k^2 + 8k + 6} = \frac{(k+1)(k^2 + 2k + 2)}{(k+3)(k^2 + 2k + 2)} = \frac{k+1}{k+3} \end{aligned}$$

よって, $n = k+1$ のときも (A) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (A) は成立する. ■

3 $t = \sin x + \cos x = \sqrt{2} \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$, $t' = \frac{dt}{dx}$, $t'' = \frac{d^2t}{dx^2}$ とおくと, $y = e^t$ より

$$\frac{dy}{dx} = t'e^t, \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \{t'' + (t')^2\}e^t$$

このとき $t' = \sqrt{2} \cos\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$, $t'' = -\sqrt{2} \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$

したがって $t'' = -t$, $(t')^2 = 2 - t^2$

ゆえに $t'' + (t')^2 = -t + 2 - t^2 = -(t+2)(t-1)$ ($-\sqrt{2} \leq t \leq \sqrt{2}$)

$\frac{dy}{dx}$, $\frac{d^2y}{dx^2}$ の符号は, それぞれ t' , $-(t-1)$ の符号と一致する.

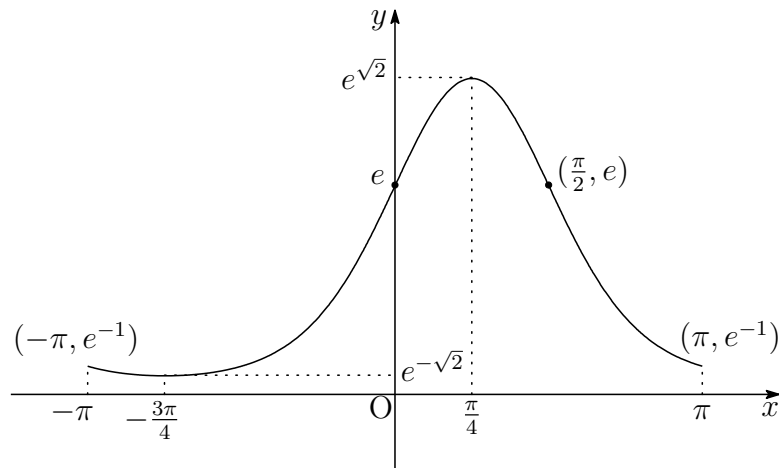
したがって, $y = e^{\sin x + \cos x}$ の増減・凹凸は次のようになる.

x	$-\pi$	$\cdots$	$-\frac{3\pi}{4}$	$\cdots$	0	$\cdots$	$\frac{\pi}{4}$	$\cdots$	$\frac{\pi}{2}$	$\cdots$	π
$\frac{dy}{dx}$		$-$	0	$+$	$+$	$+$	0	$-$	$-$	$-$	
$\frac{d^2y}{dx^2}$		$+$	$+$	$+$	0	$-$	$-$	$-$	0	$+$	
y	e^{-1}	$\searrow$	$e^{-\sqrt{2}}$	$\nearrow$	e	$\nearrow$	$e^{\sqrt{2}}$	$\searrow$	e	$\searrow$	e^{-1}

よって 極小値 $f\left(-\frac{3\pi}{4}\right) = e^{-\sqrt{2}}$, 極大値 $f\left(\frac{\pi}{4}\right) = e^{\sqrt{2}}$

変曲点は $(0, e)$, $\left(\frac{\pi}{2}, e\right)$

以上の結果から, グラフの概形は次のようになる.



補足 $t = \sin x + \cos x$ ($-\pi \leq x \leq \pi$) が $x = -\frac{3\pi}{4}$, $\frac{\pi}{4}$ でそれぞれ極小, 極大となるから,

$y = e^{\sin x + \cos x}$ も $x = -\frac{3\pi}{4}$, $\frac{\pi}{4}$ でそれぞれ極小値, 極大値をとる.

これを元にグラフの増減・凹凸を考えるとよい. ■

- 4 (1) 箱 A に違う色の玉が入っているとき, 1 回の操作の後, 箱 A に違う色の玉が入る確率は, A, B 両方の箱から同じ色の玉を交換する確率であるから

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

箱 A に違う色の玉が入っているとき, 1 回の操作の後, 箱 A に同じ色の玉が入る確率は, この余事象の確率であるから

$$1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

また, 箱 A に同じ色の玉が入っているとき, 1 回の操作の後には箱 A に違う色の玉が入る.

p_n は n 回の操作の後, 箱 A に違う色の玉が入っている確率と考えてもよい. また, n 回の操作の後, 箱 A に同じ色の玉が入っている確率を q_n とすると, 次の確率漸化式が成立する.

$$p_1 = \frac{1}{2}, \quad q_1 = \frac{1}{2}, \quad (*) \quad \begin{cases} p_{n+1} = \frac{1}{2}p_n + q_n \\ q_{n+1} = \frac{1}{2}p_n \end{cases}$$

$$\text{よって} \quad p_2 = \frac{1}{2}p_1 + q_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$$

- (2) $p_n + q_n = 1$ であるから, これと (*) の第 1 式から q_n を消去すると

$$p_{n+1} = \frac{1}{2}p_n + (1 - p_n) \quad \text{よって} \quad p_{n+1} = -\frac{1}{2}p_n + 1$$

- (3) (1), (2) の結果から $p_1 = \frac{1}{2}, \quad p_{n+1} = -\frac{1}{2}p_n + 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$

$$\text{したがって} \quad p_{n+1} - \frac{2}{3} = -\frac{1}{2} \left(p_n - \frac{2}{3} \right)$$

数列 $\left\{ p_n - \frac{2}{3} \right\}$ は, 初項 $p_1 - \frac{2}{3} = -\frac{1}{6}$, 公比 $-\frac{1}{2}$ の等比数列であるから

$$p_n - \frac{2}{3} = -\frac{1}{6} \left(-\frac{1}{2} \right)^{n-1} \quad \text{よって} \quad p_n = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \left(-\frac{1}{2} \right)^n$$

■

- 5 (1) 整数を 7 で割った余りと曜日を次のように対応できる.

0	1	2	3	4	5	6
日	月	火	水	木	金	土

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad 100 &\equiv 2 \pmod{7} \\ 100^3 &\equiv 2^3 \equiv 1 \pmod{7} \end{aligned}$$

よって, 100 日後は 火曜日, 100 万日後は 月曜日

- (2) 真数は正であるから

$$x - 1 > 0 \text{ かつ } x - 4 > 0 \quad \text{すなわち} \quad x > 4 \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$\log_{\frac{1}{2}}(x - 4) = \frac{\log_2(x - 4)}{\log_2 \frac{1}{2}} = -\log_2(x - 4) \text{ より, 与えられた方程式は}$$

$$\begin{aligned} \log_2(x - 1) + \log_2(x - 4) &= 1 \\ \log_2(x - 1)(x - 4) &= \log_2 2 \end{aligned}$$

$$\text{したがって} \quad (x - 1)(x - 4) = 2 \quad \text{ゆえに} \quad x^2 - 5x + 2 = 0$$

$$\textcircled{1} \text{ に注意して, これを解くと} \quad x = \frac{5 + \sqrt{17}}{2}$$

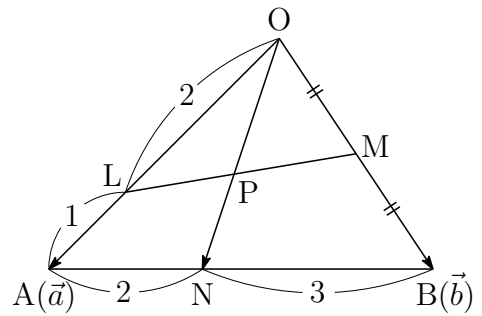
- (3) 点 N は辺 AB を 2 : 3 に内分する点であるから

$$\overrightarrow{ON} = \frac{3\vec{a} + 2\vec{b}}{5}$$

$$\vec{a} = \frac{3}{2}\overrightarrow{OL}, \vec{b} = 2\overrightarrow{OM} \text{ を上式に代入すると}$$

$$\begin{aligned} \overrightarrow{ON} &= \frac{3 \cdot \frac{3}{2}\overrightarrow{OL} + 2 \cdot 2\overrightarrow{OM}}{5} \\ &= \frac{17}{10} \cdot \frac{9\overrightarrow{OL} + 8\overrightarrow{OM}}{17} = \frac{17}{10}\overrightarrow{OP} \end{aligned}$$

$$\text{よって} \quad \overrightarrow{OP} = \frac{10}{17}\overrightarrow{ON} = \frac{10}{17} \cdot \frac{3\vec{a} + 2\vec{b}}{5} = \frac{6\vec{a} + 4\vec{b}}{17}$$

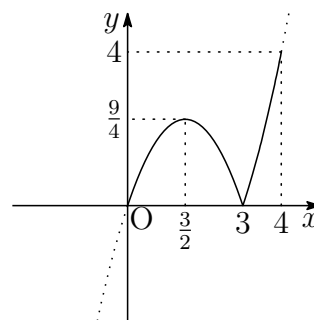


■

6 (1) $f(x) = x|x-3|$ ($0 \leq x \leq 4$) より

$$f(x) = \begin{cases} -x(x-3) & (0 \leq x \leq 3) \\ x(x-3) & (3 \leq x \leq 4) \end{cases}$$

$-x(x-3) = -\left(x - \frac{3}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}$ より, $y = f(x)$
のグラフは, 右の図のようになる.



(2) $0 \leq x \leq 3$ において, $f(x) = -x^2 + 3x$ より

$$f'(x) = -2x + 3 \quad \text{よって} \quad f'(2) = -1$$

(3) (1) で示したグラフから

$$\begin{aligned} \int_0^4 f(x) dx &= \int_0^3 (-x^2 + 3x) dx + \int_3^4 (x^2 - 3x) dx \\ &= \left[-\frac{x^3}{3} + \frac{3}{2}x^2 \right]_0^3 + \left[\frac{x^3}{3} - \frac{3}{2}x^2 \right]_3^4 = \frac{19}{3} \end{aligned}$$

■

10.5 2019 年

- 理・工・医・教育 [数学] 学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農・教育 (学校教育 [教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育 [自然環境科学]) 学部 [5] [6] 数 I・II・A・B (60 分)

[1] a と b は定数で, $a \neq 0$ かつ $b \neq 0$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x) = e^{ax} \sin(bx)$ と $g(x) = e^{ax} \cos(bx)$ について, $af(x) - bg(x)$ と $bf(x) + ag(x)$ を微分せよ.
- (2) 不定積分 $\int e^{ax} \sin(bx) dx$ と $\int e^{ax} \cos(bx) dx$ を求めよ.
- (3) 曲線 $y = e^{-x} \sin x$ ($0 \leq x \leq \pi$) と x 軸で囲まれた図形を, x 軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積を求めよ.

[2] 関数 $f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ ($x > 0$) とする. $f(x)$ の最大値を与える x を a とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 関数 $f(x)$ の増減を調べることにより, a の値および最大値 $f(a)$ を求めよ.
- (2) 曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線が原点 $(0, 0)$ を通るとき, その接線の方程式を求めよ.
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸および直線 $x = a$ で囲まれた図形の面積を求めよ.

3 数列 $\{a_n\}$ が

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 2, \quad a_{n+2} = \sqrt{\frac{a_n}{a_{n+1}}} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定められるとき、次の問いに答えよ.

- (1) $b_n = \log_2 a_n$ とする. b_{n+2} を b_{n+1} , b_n を用いて表せ.
 (2) (1) で求めた関係式を次のように表すとき、定数 p , q を求めよ.

$$\begin{cases} b_{n+2} - pb_{n+1} = q(b_{n+1} - pb_n) \\ b_{n+2} - qb_{n+1} = p(b_{n+1} - qb_n) \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

ただし、 $p \geq q$ とする.

- (3) (2) で求めた p , q を用いて数列 $\{c_n\}$, $\{d_n\}$ を次のように定める.

$$c_n = b_{n+1} - pb_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$d_n = b_{n+1} - qb_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

一般項 c_n , d_n をそれぞれ求めよ.

- (4) 一般項 b_n および極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_{2n}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} a_{2n+1}$ を求めよ.

4 箱の中に赤玉1個と白玉2個が入っている. この箱から玉を1個取り出し、玉の色を見た上で箱に戻すという試行を n 回繰り返す. 赤玉が連続して m 回以上出た確率を $P(n, m)$ とおく. ただし、 $n \geq m \geq 2$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $P(2, 2)$, $P(3, 2)$, $P(4, 2)$ を求めよ.
 (2) $P(m, m)$, $P(m+1, m)$, $P(m+2, m)$ を求めよ.
 (3) $n = m+1, m+2, m+3, \dots, 2m$ に対し $P(n, m) - P(n-1, m)$ を求めよ.
 (4) $P(2m, m)$ を求めよ.

5 次の問いに答えよ.

- (1) 不定方程式 $21x - 10y = 1$ の整数解で、 $0 \leq x \leq 1000$ を満たすものの個数を求めよ.
 (2) 任意の自然数 n に対して、 $n^5 - n$ は 30 で割り切れることを示せ.
 (3) $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$ のとき、方程式 $\cos(2\theta) + \sin \theta = 1$ を解け.

6 a は正の実数とする. $y = 2ax^2 - (5a - 1)x + 2a + 1$ で表される放物線を C とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 放物線 C は a の値によらず, 2 定点を通る. その 2 定点の座標をそれぞれ求めよ.
- (2) 放物線 C と放物線 $y = x(1 - x)$ がただ 1 つの共有点をもつとき, その共有点の座標と a の値を求めよ.
- (3) (1) で求めた 2 定点を通る直線と放物線 C で囲まれる部分の面積を S とする. S の値を a を用いて表せ.

解答例

1 (1) $f(x) = e^{ax} \sin bx$, $g(x) = e^{ax} \cos bx$ を微分すると

$$\begin{aligned} f'(x) &= ae^{ax} \sin bx + be^{ax} \cos bx = af(x) + bg(x) \\ g'(x) &= ae^{ax} \cos bx - be^{ax} \sin bx = -bf(x) + ag(x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{したがって} \quad af'(x) - bg'(x) &= (a^2 + b^2)f(x) \\ bf'(x) + ag'(x) &= (a^2 + b^2)g(x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{よって} \quad \{af(x) - bg(x)\}' &= (a^2 + b^2)e^{ax} \sin bx \\ \{bf(x) + ag(x)\}' &= (a^2 + b^2)e^{ax} \cos bx \end{aligned}$$

(2) (1) の結果を利用して (以下, C は積分定数とする)

$$\begin{aligned} \int e^{ax} \sin bx \, dx &= \frac{1}{a^2 + b^2} \{af(x) - bg(x)\} + C \\ &= \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} (a \sin bx - b \cos bx) + C, \\ \int e^{ax} \cos bx \, dx &= \frac{1}{a^2 + b^2} \{bf(x) + ag(x)\} + C \\ &= \frac{e^{ax}}{a^2 + b^2} (b \sin bx + a \cos bx) + C \end{aligned}$$

(3) 求める立体の体積を V とすると

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_0^\pi (e^{-x} \sin x)^2 \, dx = \pi \int_0^\pi e^{-2x} \sin^2 x \, dx \\ &= \frac{\pi}{2} \int_0^\pi e^{-2x} \, dx - \frac{\pi}{2} \int_0^\pi e^{-2x} \cos 2x \, dx \quad \cdots \textcircled{1} \end{aligned}$$

ここで, (2) の結果の第2式に $a = -2$, $b = 2$ を代入すると

$$\begin{aligned} \int e^{-2x} \cos 2x \, dx &= \frac{e^{-2x}}{(-2)^2 + 2^2} (2 \sin 2x - 2 \cos 2x) + C \\ &= \frac{e^{-2x}}{4} (\sin 2x - \cos 2x) + C \end{aligned}$$

上式を利用して, ① を計算すると

$$\begin{aligned} V &= -\frac{\pi}{4} \left[e^{-2x} \right]_0^\pi - \frac{\pi}{2} \left[\frac{e^{-2x}}{4} (\sin 2x - \cos 2x) \right]_0^\pi \\ &= \frac{\pi}{4} (1 - e^{-2\pi}) - \frac{\pi}{8} (1 - e^{-2\pi}) = \frac{\pi}{8} (1 - e^{-2\pi}) \end{aligned}$$



2 (1) $f(x) = \frac{\log x}{x^2}$ を微分すると $f'(x) = \frac{1 - 2 \log x}{x^3} \dots (*)$

右の増減表により

$a = \sqrt{e}$ のとき, 最大値 $\frac{1}{2e}$

x	(0)	$\dots$	$\sqrt{e}$	$\dots$
$f'(x)$		+	0	-
$f(x)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$

(2) (*) より, 曲線 $y = \frac{\log x}{x^2}$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y - \frac{\log t}{t^2} = \frac{1 - 2 \log t}{t^3}(x - t) \quad \text{ゆえに} \quad y = \frac{1 - 2 \log t}{t^3}x + \frac{3 \log t - 1}{t^2}$$

これが原点を通るから

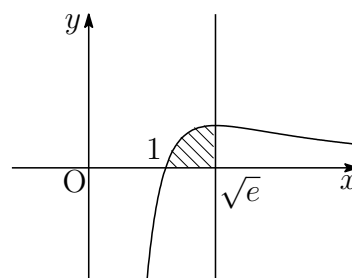
$$\frac{3 \log t - 1}{t^2} = 0 \quad \text{これを解いて} \quad t = e^{\frac{1}{3}}$$

よって, 求める接線の方程式は

$$y = \frac{1 - 2 \log e^{\frac{1}{3}}}{(e^{\frac{1}{3}})^3}x \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{x}{3e}$$

(3) 求める面積は, 右の図の斜線部分でその面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_1^{\sqrt{e}} \frac{\log x}{x^2} dx = - \int_1^{\sqrt{e}} \left(\frac{1}{x} \right)' \log x dx \\ &= - \left[\frac{\log x}{x} \right]_1^{\sqrt{e}} + \int_1^{\sqrt{e}} \frac{1}{x} \cdot \frac{1}{x} dx \\ &= - \left[\frac{\log x + 1}{x} \right]_1^{\sqrt{e}} = 1 - \frac{3}{2\sqrt{e}} \end{aligned}$$



■

$$\boxed{3} \quad (1) \quad a_1 = 1, \quad a_2 = 2, \quad a_{n+2} = \sqrt{\frac{a_n}{a_{n+1}}} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$\text{漸化式より} \quad \log_2 a_{n+2} = \log_2 \sqrt{\frac{a_n}{a_{n+1}}} = \frac{1}{2} \log_2 a_n - \frac{1}{2} \log_2 a_{n+1}$$

$$\text{よって} \quad b_{n+2} = -\frac{1}{2}b_{n+1} + \frac{1}{2}b_n$$

$$(2) \quad (*) \quad \begin{cases} b_{n+2} - pb_{n+1} = q(b_{n+1} - pb_n) \\ b_{n+2} - qb_{n+1} = p(b_{n+1} - qb_n) \end{cases}$$

$$(1) \text{の結果から} \quad b_{n+2} + \frac{1}{2}b_{n+1} - \frac{1}{2}b_n = 0$$

$$\text{関係式 } (*) \text{ から} \quad b_{n+2} - (p+q)b_{n+1} + pqb_n = 0$$

$$\text{上の2式から} \quad p+q = -\frac{1}{2}, \quad pq = -\frac{1}{2}$$

$$p, q \text{ を解とする2次方程式は} \quad x^2 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{2} = 0$$

$$p \geq q \text{ に注意してこれを解くと} \quad p = \frac{1}{2}, \quad q = -1$$

$$(3) \quad b_1 = \log_2 a_1 = \log_2 1 = 0, \quad b_2 = \log_2 a_2 = \log_2 2 = 1$$

$$(**) \quad \begin{cases} c_n = b_{n+1} - pb_n & (n = 1, 2, 3, \dots) \\ d_n = b_{n+1} - qb_n & (n = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

$$(*), (**) \text{ より} \quad c_{n+1} = qc_n, \quad d_{n+1} = pd_n, \quad c_1 = d_1 = 1$$

$$\text{よって} \quad c_n = c_1 \cdot q^{n-1} = (-1)^{n-1}, \quad d_n = d_1 \cdot p^{n-1} = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

$$(4) \quad (3) \text{の結果から} \quad b_{n+1} - \frac{1}{2}b_n = (-1)^{n-1}, \quad b_{n+1} + b_n = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1}$$

$$\text{上の2式から } b_{n+1} \text{ を消去すると} \quad b_n = \frac{2}{3} \left\{ \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} - (-1)^{n-1} \right\}$$

$$\text{ゆえに} \quad b_{2n} = \frac{2}{3} \left\{ \left(\frac{1}{2}\right)^{2n-1} + 1 \right\}, \quad b_{2n+1} = \frac{2}{3} \left\{ \left(\frac{1}{2}\right)^{2n} - 1 \right\}$$

$$\text{したがって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} b_{2n} = \frac{2}{3}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} b_{2n+1} = -\frac{2}{3}$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_{2n} = 2^{\frac{2}{3}}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_{2n+1} = 2^{-\frac{2}{3}} \quad \blacksquare$$

- 4 (1) 初めて連続して2回赤玉を取り出す事象を A_2 とする.

また,「*」は赤玉または白玉を表すこととする.

2回目で事象 A_2 が起こるのは「赤赤」の順に取り出す確率

$$P(2, 2) = \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$$

3回目で事象 A_2 が起こるのは「白赤赤」の順に取り出す確率

$$\frac{2}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{27}$$

4回目で事象 A_2 が起こるのは「*白赤赤」の順に取り出す確率

$$1 \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{2}{27}$$

$P(3, 2) = P(2, 2) + \frac{2}{27}$, $P(4, 2) = P(3, 2) + \frac{2}{27}$ であるから

$$P(2, 2) = \frac{1}{9}, \quad P(3, 2) = \frac{1}{9} + \frac{2}{27} = \frac{5}{27}, \quad P(4, 2) = \frac{5}{27} + \frac{2}{27} = \frac{7}{27}$$

- (2) 初めて連続して m 回赤玉を取り出す事象を A_m とする.

m 回目で事象 A_m が起こるのは「赤 $\cdots$ 赤」の順に取り出す確率

$$P(m, m) = \left(\frac{1}{3}\right)^m = \frac{1}{3^m}$$

$m+1$ 回目で事象 A_m が起こるのは「白 $\overbrace{\text{赤}\cdots\text{赤}}^{m\text{個}}$ 」の順に取り出す確率

$$\frac{2}{3} \times \left(\frac{1}{3}\right)^m = \frac{2}{3^{m+1}}$$

$m+2$ 回目で事象 A_m が起こるのは「*白 $\overbrace{\text{赤}\cdots\text{赤}}^{m\text{個}}$ 」の順に取り出す確率

$$\frac{2}{3} \times \left(\frac{1}{3}\right)^m = \frac{2}{3^{m+1}}$$

よって $P(m, m) = \frac{1}{3^m}$,

$$P(m+1, m) = P(m, m) + \frac{2}{3^{m+1}} = \frac{5}{3^{m+1}},$$

$$P(m+2, m) = P(m+1, m) + \frac{2}{3^{m+1}} = \frac{7}{3^{m+1}}$$

(3) n 回目で事象 A_m が起こるのは「 $\overbrace{*\cdots*}^{n-m-1\text{個}}$ 白 $\overbrace{\text{赤}\cdots\text{赤}}^{m\text{個}}$ 」の順に取り出す確率

$$P(n, m) - P(n-1, m) = \frac{2}{3} \times \left(\frac{1}{3}\right)^m = \frac{2}{3^{m+1}}$$

(4) (2), (3) の結果から

$$\sum_{n=m+1}^{2m} \{P(n, m) - P(n-1, m)\} = \sum_{n=m+1}^{2m} \frac{2}{3^{m+1}}$$

$$P(2m, m) - P(m, m) = \frac{2m}{3^{m+1}}$$

$$\text{よって} \quad P(2m, m) = P(m, m) + \frac{2m}{3^{m+1}} = \frac{2m+3}{3^{m+1}} \quad \blacksquare$$

5 (1) $21x - 10y = 1$ より, $21 \equiv 1, 10 \equiv 0 \pmod{10}$ であるから

$$x \equiv 1 \pmod{10}$$

$x = 1 + 10(n-1)$ とおくと (n は整数), $x = 10n - 9$ より

$$0 \leq 10n - 9 \leq 1000 \quad \text{ゆえに} \quad 9 \leq 10n \leq 1009$$

これを満たす整数 n は $n = 1, 2, 3, \dots, 100$

よって, 求める個数は **100** (個)

(2)
$$\begin{aligned} n^5 - n &= n(n^2 + 1)(n^2 - 1) \\ &= n\{(n^2 - 4) + 5\}(n^2 - 1) \\ &= (n-2)(n-1)n(n+1)(n+2) + 5(n-1)n(n+1) \end{aligned}$$

 $(n-2)(n-1)n(n+1)(n+2)$ は連続する 5 整数の積で 5! の倍数.
 $5(n-1)n(n+1)$ は $5 \cdot 3!$ の倍数. よって, $n^5 - n$ は 30 で割り切れる.

(3) $\cos(2\theta) + \sin \theta = 1$ より

$$1 - 2\sin^2 \theta + \sin \theta = 1 \quad \text{ゆえに} \quad \sin \theta(2\sin \theta - 1) = 0$$

$$\text{したがって} \quad \sin \theta = 0, \frac{1}{2}$$

$$0^\circ \leq \theta < 360^\circ \text{ に注意して} \quad \theta = 0^\circ, 30^\circ, 150^\circ, 180^\circ \quad \blacksquare$$

- 6** (1) 放物線 $C: y = 2ax^2 - (5a - 1)x + 2a + 1$ より

$$y = a(2x - 1)(x - 2) + x + 1$$

よって、 C は 2 定点 $\left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2}\right)$, $(2, 3)$ を通る.

- (2) 放物線 C と放物線 $y = x(1 - x) \cdots \textcircled{1}$ の方程式から y を消去すると

$$2ax^2 - (5a - 1)x + 2a + 1 = x(1 - x)$$

$$\text{整理すると} \quad (2a + 1)x^2 - 5ax + (2a + 1) = 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

方程式 $\textcircled{2}$ が重解をもつから、係数について

$$(-5a)^2 - 4(2a + 1)(2a + 1) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (9a + 2)(a - 2) = 0$$

$a > 0$ に注意してこれを解くと $a = 2$

これを $\textcircled{2}$ に代入して $5x^2 - 10x + 5 = 0$ ゆえに $x = 1$

これを $\textcircled{1}$ に代入して $y = 0$ よって、共有点の座標は $(1, 0)$

- (3) (1) で求めた 2 点を通る直線は $y = x + 1$

この直線と放物線 C で囲まれる部分の面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{1}{2}}^2 \{(x + 1) - (2ax^2 - (5a - 1)x + 2a + 1)\} dx \\ &= -2a \int_{\frac{1}{2}}^2 \left(x - \frac{1}{2}\right) (x - 2) dx \\ &= -\frac{2a}{6} \left(2 - \frac{1}{2}\right)^3 = \frac{9}{8}a \end{aligned}$$



10.6 2020年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])学部 [5] [6] 数I・II・A・B (60分)

[1] 関数 $y = x^3 + x - 1$ の表す曲線 C について、次の問いに答えよ。

- (1) C 上の点 $(t, t^3 + t - 1)$ における接線の方程式を、 t を用いて表せ。
- (2) 点 $(0, 1)$ を通る C の接線を ℓ とする。 ℓ の方程式と接点の座標を求めよ。
- (3) C と (2) で求めた ℓ で囲まれる部分の面積 S を求めよ。

[2] a を正の実数とする。 $x > 0$ において、曲線 $y = \log x$ と曲線 $y = \sqrt{ax}$ が共有点をもたないような a の値の範囲を求めよ。

[3] i を虚数単位とし、複素数 a_n を

$$a_1 = -1, \quad a_{n+1} = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} a_n + \sqrt{3}i \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって定める。また、複素数 b_n を

$$b_1 = 1, \quad b_{n+1} = a_n b_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって定める。このとき、次の問いに答えよ。

- (1) a_2, a_3, a_4 を求めよ。
 - (2) すべての正の整数 n について $a_{n+3} = a_n$ が成り立つことを、数学的帰納法を用いて証明せよ。
 - (3) b_n を求めよ。
- [4] 1 から 7 までの数を 1 つずつ書いた 7 個の玉が、袋の中に入っている。袋から玉を 1 個取り出し、書かれている数を記録して袋に戻す。この試行を n 回繰り返して得られる n 個の数の和が 4 の倍数となる確率を p_n とする。ただし、 n は正の整数とする。このとき、次の問いに答えよ。
- (1) p_1 と p_2 を求めよ。
 - (2) p_{n+1} を p_n の式で表せ。
 - (3) p_n を求めよ。

5 次の問いに答えよ.

- (1) $\cos 15^\circ$ の値を求めよ.
- (2) 6400^{50} は何桁の整数か. ただし, $\log_{10} 2 = 0.3010$ とする.
- (3) 平行四辺形 ABCD において, 辺 BC を 2 : 3 に内分する点を E とし, 対角線 BD と線分 AE の交点を P とする. $\vec{b} = \overrightarrow{AB}$, $\vec{d} = \overrightarrow{AD}$ と表すとき, $\overrightarrow{AP}$ を $\vec{b}$, $\vec{d}$ を用いて表せ.

6 実数 $a > 1$ に対して, $f(x) = x^2 + 2x - a^2 + 2a$ とおく. 次の問いに答えよ.

- (1) 2 次方程式 $f(x) = 0$ の解を a を用いて表せ.
- (2) 放物線 $y = f(x)$ と x 軸および直線 $x = a$ で囲まれた 2 つの部分の面積が等しいとき, $\int_{-a}^a f(x) dx = 0$ を示し, このときの a の値を求めよ.

解答例

1 (1) $C: y = x^3 + x - 1$ より $y' = 3x^2 + 1$

C 上の点 $(t, t^3 + t - 1)$ における接線の方程式は

$$y - (t^3 + t - 1) = (3t^2 + 1)(x - t)$$

よって $y = (3t^2 + 1)x - 2t^3 - 1$

(2) (1) で求めた接線が点 $(0, 1)$ を通るとき

$$1 = -2t^3 - 1 \quad \text{ゆえに} \quad (t+1)(t^2 - t + 1) = 0$$

t は実数であるから $t = -1$ これを (1) の結果に代入して

$$\text{接点 } (-1, -3), \text{ 接線 } \ell: y = 4x + 1$$

(3) C, ℓ の方程式より

$$4x + 1 - (x^3 + x - 2) = (x+1)^2(2-x) \quad \cdots (*)$$

C と ℓ の共有点の x 座標は $x = -1, 2$

(*) より, $-1 \leq x \leq 2$ において, $4x + 1 \geq x^3 + x - 2$ に注意して

$$S = \int_{-1}^2 (x+1)^2(2-x) dx = \frac{1}{12} \{2 - (-1)\}^4 = \frac{27}{4}$$

補足 積分公式¹

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m+n+1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$$

2 $f(x) = \sqrt{ax} - \log x$ とおくと $f'(x) = \frac{\sqrt{a}}{2\sqrt{x}} - \frac{1}{x} = \frac{\sqrt{ax} - 2}{2x}$

x	(0)	$\cdots$	$\frac{4}{a}$	$\cdots$
$f'(x)$		$-$	0	$+$
$f(x)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$

このとき極小値 $f\left(\frac{4}{a}\right) = 2 - \log \frac{4}{a} > 0$ であるから

$$2 > \log \frac{4}{a} \quad \text{ゆえに} \quad e^2 > \frac{4}{a} \quad \text{よって} \quad a > 4e^{-2}$$

¹<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> の **1** を参照.

3 (1) 与えられた漸化式から

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_1 + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}(-1) + \sqrt{3}i = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \\ a_3 &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_2 + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} \cdot \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} + \sqrt{3}i = -1 + \sqrt{3}i \\ a_4 &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_3 + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}(-1 + \sqrt{3}i) + \sqrt{3}i = -1 \end{aligned}$$

(2) すべての自然数 m について,

$$a_{3m+1} = a_1, a_{3m+2} = a_2, a_{3m+3} = a_3 \quad \cdots (A)$$

が成立する.

[1] (1) の結果より, $a_4 = a_1$. さらに, 与えられた漸化式より

$$\begin{aligned} a_5 &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_4 + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_1 + \sqrt{3}i = a_2 \\ a_6 &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_5 + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_2 + \sqrt{3}i = a_3 \end{aligned}$$

したがって, $m = 1$ のとき, (A) が成立する.

[2] $m = k$ のとき, (A) が成立する, すなわち

$$a_{3k+1} = a_1, a_{3k+2} = a_2, a_{3k+3} = a_3$$

が成立すると仮定すると, 漸化式および (1) の結果により

$$\begin{aligned} a_{3k+4} &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_{3k+3} + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_3 + \sqrt{3}i = a_4 = a_1, \\ a_{3k+5} &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_{3k+4} + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_1 + \sqrt{3}i = a_2, \\ a_{3k+6} &= \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_{3k+5} + \sqrt{3}i = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}a_2 + \sqrt{3}i = a_3 \end{aligned}$$

したがって, $m = k + 1$ のときも (A) が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 m について, (A) が成立する.

(A) が成立することから, すべての正の整数 n について, 次が成立する.

$$a_{n+3} = a_n \quad (n \text{ は正の整数})$$

(3) (1) の結果から

$$a_1 a_2 a_3 = (-1) \cdot \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \cdot (-1 + \sqrt{3}i) = 2$$

$b_{n+1} = a_n b_n$ より, $\frac{b_{n+1}}{b_n} = a_n$ であるから, これと (2) の結果より

$$\frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{b_3}{b_2} \cdot \frac{b_4}{b_3} = \frac{b_5}{b_4} \cdot \frac{b_6}{b_5} \cdot \frac{b_7}{b_6} = \cdots = \frac{b_{3m-1}}{b_{3m-2}} \cdot \frac{b_{3m}}{b_{3m-1}} \cdot \frac{b_{3m+1}}{b_{3m}} = a_1 a_2 a_3 = 2$$

これらの積をとると

$$\left(\frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{b_3}{b_2} \cdot \frac{b_4}{b_3} \right) \left(\frac{b_5}{b_4} \cdot \frac{b_6}{b_5} \cdot \frac{b_7}{b_6} \right) \cdots \left(\frac{b_{3m-1}}{b_{3m-2}} \cdot \frac{b_{3m}}{b_{3m-1}} \cdot \frac{b_{3m+1}}{b_{3m}} \right) = 2^m$$

$$\text{したがって } \frac{b_{3m+1}}{b_1} = 2^m \quad b_1 = 1 \text{ より } b_{3m+1} = 2^m \quad \cdots \textcircled{1}$$

① は, $m = 0$ のときも成立するから, 次が成立する.

$$(*) \quad b_{3m-2} = 2^{m-1} \quad (m \text{ は自然数})$$

(*) および漸化式 $b_{n+1} = a_n b_n$ により

$$\begin{aligned} b_{3m-1} &= a_{3m-2} b_{3m-2} = a_1 b_{3m-2} \\ &= -1 \cdot 2^{m-1} = -2^{m-1}, \\ b_{3m} &= a_{3m-1} b_{3m-1} = a_2 b_{3m-1} \\ &= \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \cdot (-2^{m-1}) = -(1 + \sqrt{3}i) 2^{m-2} \end{aligned}$$

$$\text{よって } b_n = \begin{cases} 2^{m-1} & (n = 3m - 2) \\ -2^{m-1} & (n = 3m - 1) \\ -(1 + \sqrt{3}i) 2^{m-2} & (n = 3m) \end{cases}$$



4 (1) $p_1 = \frac{1}{7}$

2回繰り返して得られる2個の数の和が4の倍数となるのは、次の13通り

1回目	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2回目	3	7	2	6	1	5	4	3	7	2	6	1	5

よって $p_2 = \frac{13}{7^2} = \frac{13}{49}$

(2) n 回繰り返して得られる n 個の数の和を4で割った余りが0, 1, 2, 3である確率をそれぞれ p_n, q_n, r_n, s_n とすると

$$\begin{aligned} p_{n+1} &= \frac{1}{7}p_n + \frac{2}{7}q_n + \frac{2}{7}r_n + \frac{2}{7}s_n \\ &= \frac{1}{7}p_n + \frac{2}{7}(q_n + r_n + s_n) \end{aligned}$$

$p_n + q_n + r_n + s_n = 1$ であるから

$$\begin{aligned} p_{n+1} &= \frac{1}{7}p_n + \frac{2}{7}(1 - p_n) \\ &= -\frac{1}{7}p_n + \frac{2}{7} \end{aligned}$$

(3) (2)の結果から $p_{n+1} - \frac{1}{4} = -\frac{1}{7}\left(p_n - \frac{1}{4}\right)$

数列 $\left\{p_n - \frac{1}{4}\right\}$ は、初項 $p_1 - \frac{1}{4}$, 公比 $-\frac{1}{7}$ の等比数列であるから

$$\begin{aligned} p_n - \frac{1}{4} &= \left(p_1 - \frac{1}{4}\right) \left(-\frac{1}{7}\right)^{n-1} \\ p_n &= -\frac{3}{28} \left(-\frac{1}{7}\right)^{n-1} + \frac{1}{4} \\ &= \frac{3}{4} \left(-\frac{1}{7}\right)^n + \frac{1}{4} \end{aligned}$$

■

5 (1) 加法定理により

$$\begin{aligned}\cos 15^\circ &= \cos(45^\circ - 30^\circ) \\ &= \cos 45^\circ \cos 30^\circ + \sin 45^\circ \sin 30^\circ \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{3} + 1}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4}\end{aligned}$$

$$(2) 6400^{50} = (2^6 \cdot 10^2)^{50} = 2^{300} \cdot 10^{100} \text{ より}$$

$$\begin{aligned}\log_{10} 6400^{50} &= \log_{10} 2^{300} \cdot 10^{100} \\ &= \log_{10} 2^{300} + \log_{10} 10^{100} = 300 \log_{10} 2 + 100 \\ &= 300 \times 0.3010 + 100 = 190.30\end{aligned}$$

$$190 < \log_{10} 6400^{50} < 191 \text{ であるから}$$

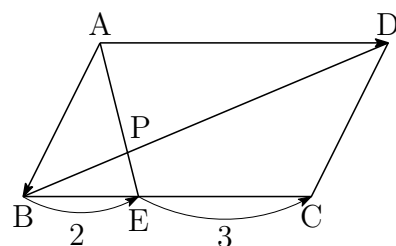
$$\log_{10} 10^{190} < \log_{10} 6400^{50} < \log_{10} 10^{191}$$

$$\text{したがって } 10^{190} < 6400^{50} < 10^{191} \text{ よって } \mathbf{191 \text{ 桁}}$$

(3) $BE : EC = 2 : 3$ より

$$\begin{aligned}\vec{AE} &= \vec{AB} + \frac{2}{5}\vec{BC} = \vec{b} + \frac{2}{5}\vec{d} \\ &= \frac{5\vec{b} + 2\vec{d}}{5} = \frac{7}{5} \cdot \frac{5\vec{b} + 2\vec{d}}{7}\end{aligned}$$

$$\text{よって } \vec{AP} = \frac{5\vec{b} + 2\vec{d}}{7}$$



- 6 (1) $f(x) = x^2 + 2x - a^2 + 2a$ について, $f(x) = 0$ とおくと

$$x^2 + 2x - a^2 + 2a = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (x+a)(x-a+2) = 0$$

$$\text{よって} \quad x = -a, a-2$$

- (2) (1) の結果から, 右の図の斜線部分の面積を

$$S_1 = - \int_{-a}^{a-2} f(x) dx$$

$$S_2 = \int_{a-2}^a f(x) dx$$

とおくと, $S_1 = S_2$ より

$$- \int_{-a}^{a-2} f(x) dx = \int_{a-2}^a f(x) dx \quad \text{ゆえに} \quad \int_{-a}^{a-2} f(x) dx + \int_{a-2}^a f(x) dx = 0$$

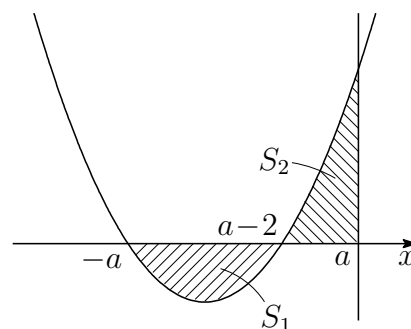
$$\text{よって} \quad \int_{-a}^a f(x) dx = 0 \quad \cdots (*)$$

$$\begin{aligned} (1) \text{ の結果から } f(x) &= (x+a)(x-a+2) \\ &= (x+a)\{(x+a) - 2(a-1)\} \\ &= (x+a)^2 - 2(a-1)(x+a) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \int_{-a}^a f(x) dx &= \int_{-a}^a \{(x+a)^2 - 2(a-1)(x+a)\} dx \\ &= \left[\frac{1}{3}(x+a)^3 - (a-1)(x+a)^2 \right]_{-a}^a \\ &= \frac{8}{3}a^3 - 4(a-1)a^2 \\ &= \frac{4}{3}a^2\{2a - 3(a-1)\} = \frac{4}{3}a^2(3-a) \end{aligned}$$

(*) であるから, $a > 1$ に注意して $a = 3$



10.7 2021年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])学部 [5] [6] 数I・II・A・B (60分)

[1] 関数 $f(x) = 2x^3 - 3x^2 - 6x + 7$ を考える. 次の問いに答えよ.

- (1) 方程式 $f(x) = 0$ を解け.
- (2) $f(x)$ が $x = \alpha, \beta$ (ただし $\alpha < \beta$) で極値をとるとき, α と β を求めよ (極値を求める必要はない).
- (3) 曲線 $y = f(x)$ と x 軸で囲まれる領域のうち, $\alpha \leq x \leq \beta$ を満たす部分の面積を求めよ.

[2] 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_1 = 1, \quad a_{n+1} = 2e^{-a_n} - 1 + a_n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

によって定める. 次の問いに答えよ. 次の問いに答えよ. ただし, $2 < e < 3$ であることは証明なしに用いてよい.

- (1) $f(x) = e^{-x} - 1 + x$ とする. $0 < x < 1$ のとき, 不等式

$$0 < f(x) < \frac{2}{3}x$$

が成り立つことを示せ.

- (2) $b_n = a_n - \log 2$ とする. すべての正の整数 n について $0 < b_n < 1$ となることを, 数学的帰納法を用いて証明せよ.
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ.

3 xy 平面上で、極方程式

$$r = \frac{1}{1 + \cos \theta}$$

により与えられる曲線 C を考える．次の問いに答えよ．

- (1) 曲線 C の概形を図示せよ．
- (2) $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ とし、曲線 C 上の、極座標が (r, θ) である点 P を考える．点 P における曲線 C の接線の傾きは $-\frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta}$ であることを示せ．
- (3) (2) の点 P から y 軸におろした垂線と y 軸との交点を H ，原点を O とする． $\angle OPH$ の二等分線と、点 P における曲線 C の接線は直交することを示せ．

4 袋 A には赤玉が 1 個と白玉が 2 個、袋 B には赤玉が 3 個と白玉が 2 個入っている．袋 B から玉を 2 個取り出して袋 A に入れ、よく混ぜてから、袋 A から玉を 1 個取り出して、色を見てから袋 A に戻す．さらに、よく混ぜてから、もう一度袋 A から玉を 1 個取り出す．このとき、次の問いに答えよ．

- (1) 袋 B に白玉がちょうど 1 個残っている確率を求めよ．
- (2) 袋 A から最初に取り出す玉が白玉である確率を求めよ．
- (3) 袋 A から二度とも白玉を取り出す確率を求めよ．

5 次の問いに答えよ．

- (1) 不等式 $(x^2 + y^2 - 2)(y - x^2) > 0$ の表す領域を図示せよ．
- (2) 15334 と 30381 の最大公約数を求めよ．
- (3) 方程式 $2^x - (\sqrt{2})^{x+1} - 4 = 0$ を解け．

6 関数 $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4$ について、次の問いに答えよ．

- (1) $y = f(x)$ の極値を調べ、そのグラフをかけ．
- (2) 曲線 $y = f(x)$ について、傾きが 9 で y 切片が正である接線の方程式を求めよ．
- (3) (2) で求めた接線と曲線 $y = f(x)$ によって囲まれる部分の面積を求めよ．

解答例

- 1 (1) (*) $f(x) = 2x^3 - 3x^2 - 6x + 7$ について, $f(1) = 0$ であるから, 因数定理により, $f(x)$ は $x - 1$ を因数にもち

$$f(x) = (x - 1)(2x^2 - x - 7)$$

したがって, $f(x) = 0$ の解は $x = 1, \frac{1 \pm \sqrt{57}}{4}$

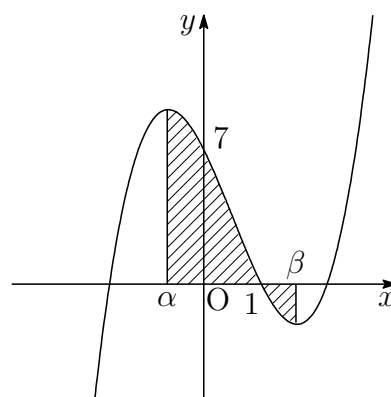
- (2) (*) を微分すると $f'(x) = 6x^2 - 6x - 6 = 6(x^2 - x - 1)$

$$f'(x) = 0 \text{ を解くと } x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$f'(x) = 6 \left(x - \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \right) \left(x - \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \right)$$

ゆえに, $f(x)$ は $x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$ で極値をとる.

$$\text{よって } \alpha = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}, \beta = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$



- (3) $f(x)$ の原始関数の 1 つを $F(x) = \frac{1}{2}x^4 - x^3 - 3x^2 + 7x$ とおく.

求める面積は上の図の斜線部分でその面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\alpha}^1 f(x) dx - \int_1^{\beta} f(x) dx = \left[F(x) \right]_{\alpha}^1 - \left[F(x) \right]_1^{\beta} \\ &= 2F(1) - \{F(\alpha) + F(\beta)\} \\ &= 2 \cdot \frac{7}{2} - \frac{1}{2}(\alpha^4 + \beta^4) + (\alpha^3 + \beta^3) + 3(\alpha^2 + \beta^2) - 7(\alpha + \beta) \end{aligned}$$

ここで, $\alpha + \beta = 1, \alpha\beta = -1$ より

$$\alpha^2 + \beta^2 = (\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta = 1^2 - 2 \cdot (-1) = 3$$

$$\alpha^3 + \beta^3 = (\alpha + \beta)^3 - 3\alpha\beta(\alpha + \beta) = 1^3 - 3 \cdot (-1) \cdot 1 = 4$$

$$\alpha^4 + \beta^4 = (\alpha^2 + \beta^2)^2 - 2(\alpha\beta)^2 = 3^2 - 2 \cdot 1^2 = 7$$

$$\text{よって } S = 7 - \frac{1}{2} \cdot 7 + 4 + 3 \cdot 3 - 7 \cdot 1 = \frac{19}{2}$$

■

2 (1) $f(x) = e^{-x} - 1 + x$ より $f'(x) = -e^{-x} + 1$

$0 < x < 1$ において, $f'(x) > 0$ であるから, $f(x)$ は単調増加

$$f(0) < f(x) \quad \text{すなわち} \quad 0 < f(x) \quad \cdots \textcircled{1}$$

次に, $g(x) = \frac{2}{3}x - f(x) = -e^{-x} - \frac{1}{3}x + 1$ とおくと

$$g'(x) = e^{-x} - \frac{1}{3}$$

$0 < x < 1$ において, $g'(x) > 0$ であるから, $g(x)$ は単調増加

$$g(0) < g(x) \quad \text{すなわち} \quad 0 < g(x) = \frac{2}{3}x - f(x) \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{ より, } 0 < x < 1 \text{ において } 0 < f(x) < \frac{2}{3}x \quad \cdots (*)$$

(2) $a_n = b_n + \log 2$ を $a_{n+1} = 2e^{-a_n} - 1 + a_n$ に代入すると

$$b_{n+1} + \log 2 = 2e^{-b_n - \log 2} - 1 + b_n + \log 2$$

整理すると $b_{n+1} = e^{-b_n} - 1 + b_n$ すなわち $b_{n+1} = f(b_n)$

$$b_1 = a_1 - \log 2 = 1 - \log 2 = \log \frac{e}{2} \quad \text{ゆえに} \quad 0 < b_1 < 1$$

$0 < b_k < 1$ と仮定すると, (1) の結果から

$$0 < f(b_k) < \frac{2}{3}b_k \quad \text{すなわち} \quad 0 < b_{k+1} < \frac{2}{3} < 1$$

$0 < b_1 < 1$ であるから, 数学的帰納法により, すべての自然数 n について

$$0 < b_n < 1$$

(3) (2) の結果を (*) に代入すると $0 < b_{n+1} < \frac{2}{3}b_n$

$$0 < b_n < b_1 \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} < \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$$

$$\text{よって} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} (b_n + \log 2) = \log 2$$



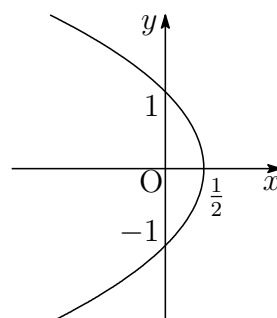
3 (1) $r = \frac{1}{1 + \cos \theta}$ より

$$r + r \cos \theta = 1 \quad \text{ゆえに} \quad r = 1 - x$$

両辺を平方すると

$$x^2 + y^2 = 1 - 2x + x^2$$

よって $x = -\frac{1}{2}y^2 + \frac{1}{2}$



(2) (1) の結果の両辺を x で微分すると $1 = -yy'$... ①

$y = r \sin \theta$ および $r = \frac{1}{1 + \cos \theta}$ から $y = \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta}$... ②

② を ① に代入すると $1 = -\frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta} y'$

$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ より, $\sin \theta \neq 0$ に注意して $y' = -\frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta}$

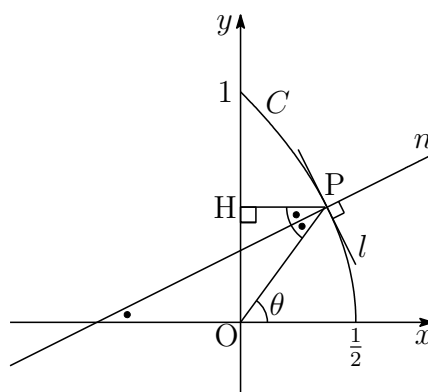
(3) C 上の点 P における接線 l の傾きは, (2) で求めた

$$-\frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta}$$

直線 OP の偏角が θ であるから, $\angle OPH$ の二等分線 n とすると, その偏角が $\frac{\theta}{2}$ であるから, n の傾きは

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} = \frac{2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}}{2 \cos^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{\sin \theta}{1 + \cos \theta}$$

求めた l と n の傾きの積が -1 であるから, これらの直線は直交する.



- 4 (1) 求める確率は、袋 B から赤玉 1 個と白玉 1 個を取り出す確率であるから

$$\frac{{}_3C_1 \cdot {}_2C_1}{{}_5C_2} = \frac{3 \cdot 2}{10} = \frac{3}{5}$$

- (2) (i) 袋 B から赤玉 2 個を取り出す確率を p とすると

$$p = \frac{{}_3C_2}{{}_5C_2} = \frac{3}{10}$$

このとき、袋 A には赤玉 3 個と白玉 2 個になるから、袋 A から 1 個玉を取り出したとき、白玉である確率は $\frac{2}{5}$

- (ii) (1) で求めた袋 B から赤玉 1 個と白玉 1 個を取り出す確率を q とする.

$$q = \frac{6}{10}$$

このとき、袋 A には赤玉 2 個と白玉 3 個になるから、袋 A から 1 個玉を取り出したとき、白玉である確率は $\frac{3}{5}$

- (iii) 袋 B から白玉 2 個を取り出す確率を r とすると

$$r = \frac{{}_2C_2}{{}_5C_2} = \frac{1}{10}$$

このとき、袋 A には赤玉 1 個と白玉 4 個になるから、袋 A から 1 個玉を取り出したとき、白玉である確率は $\frac{4}{5}$

よって、求める確率は

$$p \cdot \frac{2}{5} + q \cdot \frac{3}{5} + r \cdot \frac{4}{5} = \frac{3}{10} \cdot \frac{2}{5} + \frac{6}{10} \cdot \frac{3}{5} + \frac{1}{10} \cdot \frac{4}{5} = \frac{28}{50} = \frac{14}{25}$$

- (3) (2) と同様にして

$$\begin{aligned} p \left(\frac{2}{5} \right)^2 + q \left(\frac{3}{5} \right)^2 + r \left(\frac{4}{5} \right)^2 &= \frac{3}{10} \left(\frac{2}{5} \right)^2 + \frac{6}{10} \left(\frac{3}{5} \right)^2 + \frac{1}{10} \left(\frac{4}{5} \right)^2 \\ &= \frac{82}{250} = \frac{41}{125} \end{aligned}$$

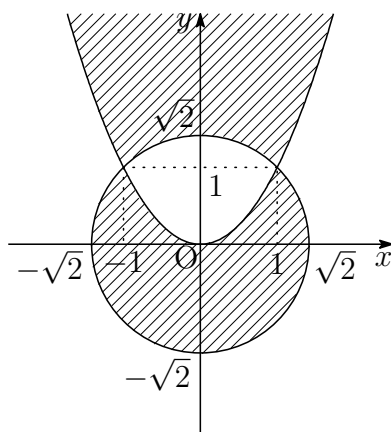


5 (1) $(x^2 + y^2 - 2)(y - x^2) > 0$ より

$$\begin{cases} x^2 + y^2 - 2 > 0 \\ y - x^2 > 0 \end{cases} \quad \text{または} \quad \begin{cases} x^2 + y^2 - 2 < 0 \\ y - x^2 < 0 \end{cases}$$

$$\text{すなわち} \quad \begin{cases} x^2 + y^2 > 2 \\ y > x^2 \end{cases} \quad \text{または} \quad \begin{cases} x^2 + y^2 < 2 \\ y < x^2 \end{cases}$$

よって、求める領域は、下の図の斜線部分で境界線を含まない。



(2) ユークリッドの互除法により

$$30381 = 15334 \times 1 + 15047$$

$$15334 = 15047 \times 1 + 287$$

$$15047 = 287 \times 52 + 123$$

$$287 = 123 \times 2 + 41$$

$$123 = 41 \times 3$$

よって、求める最大公約数は 41

(3) 方程式 $2^x - (\sqrt{2})^{x+1} - 4 = 0$ より $(\sqrt{2})^{2x} - \sqrt{2}(\sqrt{2})^x - 4 = 0$

$$t = (\sqrt{2})^x \text{ とおくと } (t > 0) \quad t^2 - \sqrt{2}t - 4 = 0$$

$$(t + \sqrt{2})(t - 2\sqrt{2}) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad t = 2\sqrt{2}$$

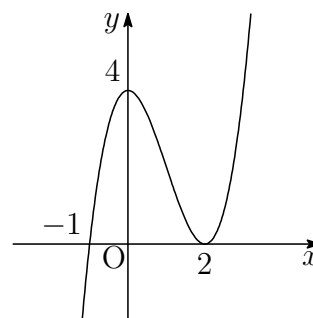
$$\text{したがって } (\sqrt{2})^x = (\sqrt{2})^3 \quad \text{よって} \quad x = 3$$

■

6 (1) $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4$ より

$$f'(x) = 3x^2 - 6x = 3x(x - 2)$$

x	...	0	...	2	...
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	↗	4	↘	0	↗



よって 極大値 $f(0) = 4$

極小値 $f(2) = 0$

(2) $f'(x) = 9$ より $3x^2 - 6x = 9$

$$(x + 1)(x - 3) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad x = -1, 3$$

(1) で求めたグラフから、接線の傾きが 9 で y 切片が正であるのは、点 $(-1, 0)$ を通る直線である。

$$y - 0 = 9(x + 1) \quad \text{ゆえに} \quad y = 9x + 9$$

(3) (2) で求めた接線と曲線 $y = f(x)$ のグラフの共有点の x 座標は

$$x^3 - 3x^2 + 4 = 9x + 9 \quad \text{ゆえに} \quad (x + 1)^2(5 - x) = 0$$

これを解いて $x = -1, 5$

よって、求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{-1}^5 \{9x + 9 - (x^3 - 3x^2 + 4)\} \\ &= \int_{-1}^5 (x + 1)^2(5 - x) dx \\ &= \frac{1}{12} \{5 - (-1)\}^4 = 108 \end{aligned}$$

補足 積分公式²

$$\int_{\alpha}^{\beta} (x - \alpha)^m (\beta - x)^n dx = \frac{m!n!}{(m + n + 1)!} (\beta - \alpha)^{m+n+1}$$

■

²<http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai-tech.2010.kouki.pdf> の [1] を参照.

10.8 2022年

- 理・工・医・教育[数学]学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B (120分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])学部 [5] [6] 数I・II・A・B (60分)

[1] $x > 0$ の範囲で, 関数 $f(x)$ を

$$f(x) = -\frac{1}{x^2} + \frac{2}{x}$$

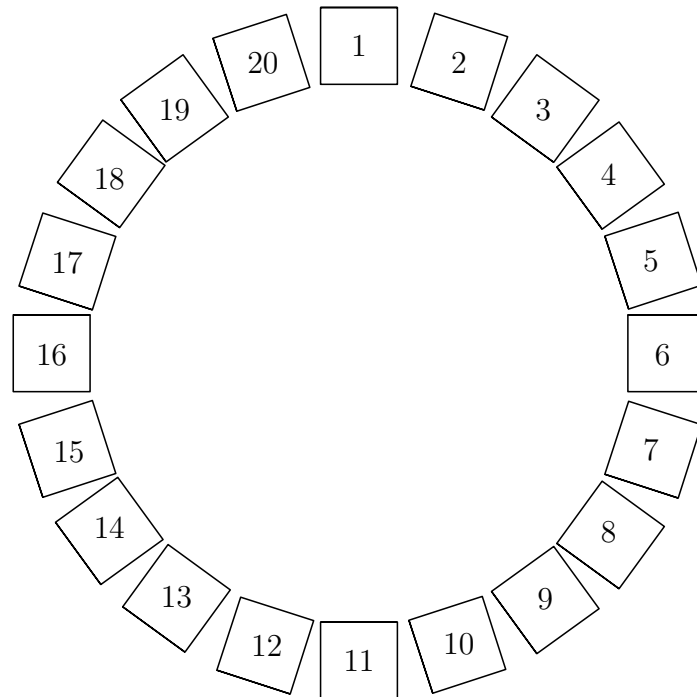
と定め, $y = f(x)$ で表される曲線を C とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $f(x)$ の極値を求めよ.
 - (2) 曲線 C の接線で, 点 $(0, 1)$ を通り, 傾きが負であるものを l とする. 直線 l の傾きを求めよ.
 - (3) 曲線 C と直線 l で囲まれた部分の面積を求めよ.
- [2] d と n を正の整数とする. 1 から n までの d 乗の和を $S_d(n) = 1^d + 2^d + \cdots + n^d$ とおく. 次の問いに答えよ.
- (1) すべての正の整数 n について, $S_3(n) = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$ が成り立つことを, 数学的帰納法を用いて証明せよ.
 - (2) 恒等式 $k^3(k+1)^3 - (k-1)^3k^3 = 6k^5 + 2k^3$ を利用して, $S_5(n)$ を求めよ.
 - (3) すべての正の整数 n について, $24S_7(n)$ は整数 $n^2(n+1)^2$ で割り切れることを示せ.
- [3] 一辺の長さが1の正四面体 $OABC$ において, 辺 OA を $2:1$ に内分する点を D , 辺 OB を $1:2$ に内分する点を E とする. 辺 OC 上に点 P をとり, 線分 OP の長さを t とおく. 次の問いに答えよ.

- (1) $\cos \angle EDP$ を t を用いて表せ.
- (2) 点 P が辺 OC 上を動くとき, $\cos \angle EDP$ の最大値と最小値を求めよ.

4 次の問いに答えよ.

- (1) 1 から 9 までの自然数の中から, $1 \leq a_1 < a_2 < a_3 \leq 9$ を満たすように 3 つの数を選び, それを (a_1, a_2, a_3) とする. このような 3 つの数 (a_1, a_2, a_3) の選び方のうち, $a_2 - a_1 \geq 3$ かつ $a_3 - a_2 \geq 3$ を満たすものは全部で何通りあるか.
- (2) 1 から 50 までの自然数の中から, $1 \leq a_1 < a_2 < a_3 \leq 50$ を満たすように 3 つの数を選び, それを (a_1, a_2, a_3) とする. このような 3 つの数 (a_1, a_2, a_3) の選び方のうち, $a_2 - a_1 \geq 10$ かつ $a_3 - a_2 \geq 10$ を満たすものは全部で何通りあるか.
- (3) 1 番から 20 番までの番号が書かれた座席が, 図のように円形に並んでいる. この中から, 2 つ以上の間隔を空けて 3 つの座席を選ぶ (例えば, 1 番を選んだときは 2 番, 3 番, 19 番, 20 番は選べない). このような 3 つの座席の選び方は全部で何通りあるか.



5 次の問いに答えよ.

- (1) $\tan \alpha = 5$ のとき $\sin 2\alpha$ を求めよ.
- (2) n を正の整数とする. n を二進法で表すと 2022 桁である. このとき, n を十進法で表すと何桁になるか. ただし $\log_{10} 2 = 0.3010$ とする.
- (3) a, b を実数とする. 整式 $f(x)$ と整式 $g(x)$ をそれぞれ

$$f(x) = x^4 + ax^2 - 2x + 3, \quad g(x) = x^2 + x + b$$

と定める. $f(x)$ が $g(x)$ で割り切れるような実数の組 (a, b) をすべて求めよ.

6 座標平面上の 2 つの放物線

$$C_1 : y = -x^2 + 2x, \quad C_2 : y = 2x^2 - 4x + 9$$

について, 次の問いに答えよ.

- (1) 放物線 C_1 と放物線 C_2 の両方に接する直線は 2 つ存在する. 放物線 C_1 と放物線 C_2 の両方に接する直線の方程式を 2 つとも求めよ.
- (2) (1) で求めた 2 つの直線および放物線 C_1 で囲まれた部分の面積を求めよ.

解答例

1 (1) $f(x) = -\frac{1}{x^2} + \frac{2}{x}$ より $f'(x) = \frac{2}{x^3} - \frac{2}{x^2} = \frac{2(1-x)}{x^3}$

したがって, $x > 0$ における $f(x)$ の増減表は

x	(0)	$\cdots$	1	$\cdots$
$f'(x)$		$+$	0	$-$
$f(x)$		$\nearrow$	1	$\searrow$

よって 極大値 $f(1) = 1$

(2) C 上の点 $\left(t, -\frac{1}{t^2} + \frac{2}{t}\right)$ における接線の方程式は

$$y = \left(\frac{2}{t^3} - \frac{2}{t^2}\right)(x - t) - \frac{1}{t^2} + \frac{2}{t}$$

これが点 $(0, 1)$ を通るから

$$1 = -\frac{2}{t^2} + \frac{2}{t} - \frac{1}{t^2} + \frac{2}{t} \quad \text{整理すると} \quad 1 = -\frac{3}{t^2} + \frac{4}{t}$$

したがって $t^2 - 4t + 3 = 0$ ゆえに $t = 1, 3$

$$f'(1) = 0, f'(3) = -\frac{4}{27} \text{ より, 求める } l \text{ の傾きは } -\frac{4}{27}$$

(3) l は点 $(0, 1)$ を通り, 傾き $-\frac{4}{27}$ の直線であるから $y = -\frac{4}{27}x + 1$

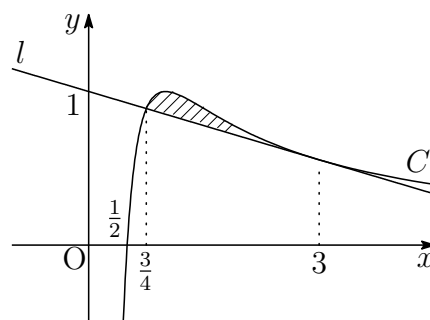
C と l の方程式から y を消去すると

$$-\frac{1}{x^2} + \frac{2}{x} = -\frac{4}{27}x + 1 \quad \text{整理すると} \quad 4x^3 - 27x^2 + 54x - 27 = 0$$

したがって $(x-3)^2(4x-3) = 0$ ゆえに $x = 3, \frac{3}{4}$

求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} S &= \int_{\frac{3}{4}}^3 \left(-\frac{1}{x^2} + \frac{2}{x} + \frac{4}{27}x - 1 \right) dx \\ &= \left[\frac{1}{x} + 2 \log x + \frac{2}{27}x^2 - x \right]_{\frac{3}{4}}^3 \\ &= 4 \log 2 - \frac{21}{8} \end{aligned}$$



■

2 (1) (A) $S_3(n) = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$

[1] $n=1$ のとき $S_3(1) = \frac{1^2(1+1)^2}{4} = 1^3$

よって, $n=1$ のとき, (A) は成立する.

[2] $n=k$ のとき, (A) が成立すると仮定すると $S_3(k) = \frac{k^2(k+1)^2}{4}$

$$\begin{aligned} S_3(k+1) &= S_3(k) + (k+1)^3 = \frac{k^2(k+1)^2}{4} + (k+1)^3 \\ &= \frac{(k+1)^2\{k^2 + 4(k+1)\}}{4} = \frac{(k+1)^2(k+2)^2}{4} \end{aligned}$$

よって, $n=k+1$ のときも (A) は成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について, (A) は成立する.

(2) $k^3(k+1)^3 - (k-1)^3k^3 = 6k^5 + 2k^3$ および $k^3 = S_3(k) - S_3(k-1)$ より

$$k^5 = \frac{1}{6}\{k^3(k+1)^3 - (k-1)^3k^3\} - \frac{1}{3}\{S_3(k) - S_3(k-1)\}$$

$$S_5(n) = \sum_{k=1}^n k^5 \text{ であるから}$$

$$\begin{aligned} S_5(n) &= \frac{1}{6} \sum_{k=1}^n \{k^3(k+1)^3 - (k-1)^3k^3\} - \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n \{S_3(k) - S_3(k-1)\} \\ &= \frac{1}{6}n^3(n+1)^3 - \frac{1}{3}S_3(n) = \frac{1}{6}n^3(n+1)^3 - \frac{1}{3} \cdot \frac{n^2(n+1)^2}{4} \\ &= \frac{1}{12}n^2(n+1)^2\{2n(n+1) - 1\} = \frac{1}{12}n^2(n+1)^2(2n^2 + 2n - 1) \end{aligned}$$

(3) $k^4(k+1)^4 - (k-1)^4k^4 = 8k^7 + 8k^5$ より

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \{k^4(k+1)^4 - (k-1)^4k^4\} &= 8 \sum_{k=1}^n k^7 + 8 \sum_{k=1}^n k^5 \\ n^4(n+1)^4 &= 8S_7(n) + 8S_5(n) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} 24S_7(n) &= 3n^4(n+1)^4 - 24S_5(n) \\ &= 3n^4(n+1)^4 - 2n^2(n+1)^2(2n^2 + 2n - 1) \\ &= n^2(n+1)^2\{3n^2(n+1)^2 - 2(2n^2 + 2n - 1)\} \end{aligned}$$

よって, $24S_7(n)$ は整数 $n^2(n+1)^2$ で割り切れる. ■

3 (1) $\vec{a} = \overrightarrow{OA}$, $\vec{b} = \overrightarrow{OB}$, $\vec{c} = \overrightarrow{OC}$ とおくと

$$\begin{aligned} |\vec{a}| = |\vec{b}| = |\vec{c}| &= 1, \\ \vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{c} = \vec{c} \cdot \vec{a} &= 1 \cdot 1 \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}, \\ \overrightarrow{OD} &= \frac{2}{3}\vec{a}, \quad \overrightarrow{OE} = \frac{1}{3}\vec{b}, \quad \overrightarrow{OP} = t\vec{c} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \overrightarrow{DE} &= \overrightarrow{OE} - \overrightarrow{OD} = \frac{1}{3}\vec{b} - \frac{2}{3}\vec{a}, \\ \overrightarrow{DP} &= \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OD} = t\vec{c} - \frac{2}{3}\vec{a} \end{aligned}$$

これから

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{DE}|^2 &= \frac{1}{9}|\vec{b}|^2 - \frac{4}{9}\vec{a} \cdot \vec{b} + \frac{4}{9}|\vec{a}|^2 = \frac{1}{9} - \frac{2}{9} + \frac{4}{9} = \frac{1}{3}, \\ |\overrightarrow{DP}|^2 &= t^2|\vec{c}|^2 - \frac{4}{3}t\vec{c} \cdot \vec{a} + \frac{4}{9}|\vec{a}|^2 = t^2 - \frac{2}{3}t + \frac{4}{9} \\ \overrightarrow{DE} \cdot \overrightarrow{DP} &= \frac{1}{3}t\vec{b} \cdot \vec{c} - \frac{2}{3}t\vec{c} \cdot \vec{a} - \frac{2}{9}\vec{a} \cdot \vec{b} + \frac{4}{9}|\vec{a}|^2 = -\frac{1}{6}t + \frac{1}{3} \end{aligned}$$

したがって

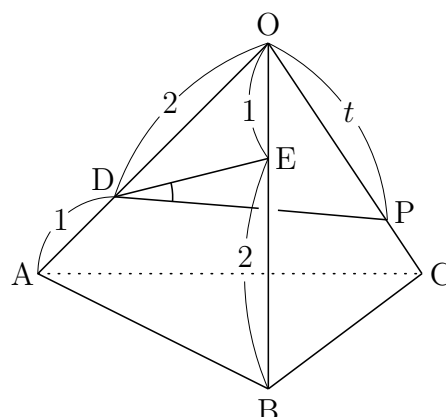
$$\cos \angle EDP = \frac{\overrightarrow{DE} \cdot \overrightarrow{DP}}{|\overrightarrow{DE}| |\overrightarrow{DP}|} = \frac{-\frac{1}{6}t + \frac{1}{3}}{\sqrt{\frac{1}{3}} \sqrt{t^2 - \frac{2}{3}t + \frac{4}{9}}} = \frac{\sqrt{3}(2-t)}{2\sqrt{9t^2 - 6t + 4}}$$

(2) $f(t) = \frac{\sqrt{3}(2-t)}{2\sqrt{9t^2 - 6t + 4}}$ ($0 \leq t \leq 1$) において, $f(t)$ を微分すると

$$\begin{aligned} f'(t) &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{(-1)\sqrt{9t^2 - 6t + 4} - (2-t) \cdot \frac{9t-3}{\sqrt{9t^2 - 6t + 4}}}{9t^2 - 6t + 4} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{-(9t^2 - 6t + 4) - (2-t)(9t-3)}{(9t^2 - 6t + 4)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2-15t}{(9t^2 - 6t + 4)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

t	0	...	$\frac{2}{15}$	...	1
$f'(t)$		+	0	-	
$f(t)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\nearrow$	$\frac{\sqrt{7}}{3}$	$\searrow$	$\frac{\sqrt{21}}{14}$

よって 最大値 $f\left(\frac{2}{15}\right) = \frac{\sqrt{7}}{3}$, 最小値 $f(1) = \frac{\sqrt{21}}{14}$ ■



- 4 (1) 5個の石を横1列に並べ、その中から3つ選び、選んだ3つの石を左から a_1, a_2, a_3 とする. このとき, a_1 と a_2 および a_2 と a_3 の間にそれぞれ石を2個ずつ追加する操作を考える. これら9個並んだ石の配置について, a_1, a_2, a_3 を左から数えた順番とすればよいから, 求める場合の総数は

$${}_5C_3 = 10 \text{ (通り)}$$

- (2) 32個の石を横1列に並べ、その中から3つ選び、選んだ3つの石を左から a_1, a_2, a_3 とする. このとき, a_1 と a_2 および a_2 と a_3 の間にそれぞれ石を9個ずつ追加する操作を考える. これら50個並んだ石の配置について, a_1, a_2, a_3 を左から数えた順番とすればよいから, 求める場合の総数は

$${}_{32}C_3 = 4960 \text{ (通り)}$$

- (3) 座席が横1列のとき, 条件を満たす場合の総数は(1)と同様にして

$${}_{16}C_3 = 560 \text{ (通り)}$$

座席が円形であるため, この中から $(a_1, a_3) = (1, 20), (1, 19), (2, 20)$ の場合を除けばよい.

$(a_1, a_3) = (1, 20)$ のとき $a_2 = 4, 5, \dots, 17$ の14通り

$(a_1, a_3) = (1, 19)$ のとき $a_2 = 4, 5, \dots, 16$ の13通り

$(a_1, a_3) = (2, 19)$ のとき $a_2 = 5, 6, \dots, 17$ の13通り

よって, 求める場合の総数は

$$560 - (14 + 13 + 13) = 520 \text{ (通り)}$$



$$\boxed{5} \quad (1) \quad 1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \text{ より } \cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \tan^2 \alpha} = \frac{1}{1 + 5^2} = \frac{1}{26}$$

$$\text{よって } \sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha = 2 \tan \alpha \cos^2 \alpha = 2 \cdot 5 \cdot \frac{1}{26} = \frac{5}{13}$$

(2) n は二進法で表すと 2022 桁であるから

$$2^{2021} \leq n < 2^{2022} \quad \text{ゆえに} \quad 2021 \log_{10} 2 \leq \log_{10} n < 2022 \log_{10} 2$$

$$2021 \log_{10} 2 = 608.321, \quad 2022 \log_{10} 2 = 608.622 \text{ より}$$

$$608 \leq \log_{10} n < 609 \quad \text{ゆえに} \quad 10^{608} \leq n < 10^{609}$$

よって n は **609** 桁

(3) $f(x)$ を $g(x)$ で割ると

$$f(x) = g(x)(x^2 - x + a - b + 1) + (2b - a - 3)x + 3 - b(a - b + 1)$$

$f(x)$ が $g(x)$ で割り切れるから

$$2b - a - 3 = 0, \quad 3 - b(a - b + 1) = 0 \quad (*)$$

上の第 1 式から $a = 2b - 3 \quad \dots \textcircled{1}$

$\textcircled{1}$ を $(*)$ の第 2 式に代入すると

$$3 - b(b - 2) = 0 \quad \text{ゆえに} \quad (b + 1)(b - 3) = 0$$

$\textcircled{1}$ より $b = -1$ のとき $a = -5$, $b = 3$ のとき $a = 3$

よって $(a, b) = (-5, -1), (3, 3)$ ■

- 6 (1) $C_1: y = -x^2 + 2x$ と $C_2: y = 2x^2 - 4x + 9$ の両方に接する直線を

$$l: y = ax + b$$

とする. C_1 と l , C_2 と l の方程式からそれぞれ y を消去して整理すると

$$x^2 + (a-2)x + b = 0, \quad 2x^2 - (a+4)x + 9 - b = 0$$

これらの2方程式はともに重解をもつから, 係数について

$$(a-2)^2 - 4b = 0, \quad (a+4)^2 - 8(9-b) = 0 \quad (*)$$

上の2式から b を消去して整理すると

$$a^2 - 16 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = \pm 4$$

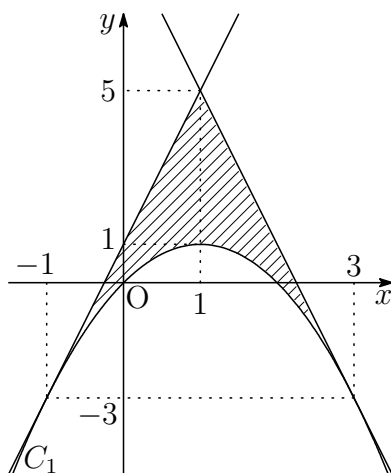
(*) の第1式から, $a = 4$ のとき $b = 1$, $a = -4$ のとき $b = 9$

よって, 求める2直線は $y = 4x + 1$, $y = -4x + 9$

- (2) (1) で求めた2直線および放物線 C_1 で囲まれた部分は, 下の図の斜線部分であり, 直線 $x = 1$ に関して対称であるから, 求める面積を S とすると

$$\begin{aligned} \frac{S}{2} &= \int_{-1}^1 \{4x + 1 - (-x^2 + 2x)\} dx \\ &= \int_{-1}^1 (x+1)^2 dx = \frac{1}{3} \left[(x+1)^3 \right]_{-1}^1 = \frac{8}{3} \end{aligned}$$

よって, 求める面積は $S = \frac{16}{3}$



10.9 2023 年

- 理・工・医・教育 [数学] 学部 [1] [2] [3] [4] 数 I・II・III・A・B (120 分)
- 農・教育 (学校教育 [教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育 [自然環境科学]) 学部 [5] [6] 数 I・II・A・B (60 分)

[1] $a > 0$ とする. 座標平面で関数 $y = \frac{1}{x^a}$ のグラフ上の点 $(1, 1)$ における接線が x 軸と交わる点を A, y 軸と交わる点を B とし, 原点を O とする. 三角形 OAB の面積を $S(a)$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $S(a)$ を求めよ.
- (2) $S(a)$ の最小値とそのときの a の値を求めよ.

[2] a を実数とし, $f(x) = xe^{-|x|}$, $g(x) = ax$ とおく. 次の問いに答えよ.

- (1) $f(x)$ の増減を調べ, $y = f(x)$ のグラフの概形をかけ.
ただし, $\lim_{x \rightarrow \infty} xe^{-x} = 0$ は証明なしに用いてよい.
- (2) $0 < a < 1$ のとき, 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = g(x)$ で囲まれた 2 つの部分の面積を和を求めよ.

[3] 空間内に 4 点 $O(0, 0, 0)$, $A(1, 0, 0)$, $B(0, 1, 0)$, $C(0, 0, 1)$ をとる. 時刻 $t = 0$ から $t = 1$ まで 3 点 P, Q, R は次のように動くものとする.

- $t = 0$ に 3 点は点 O を出発する.
- 動点 P は線分 OA 上を速さ 1 で点 A に向かって動く.
- 動点 Q は線分 OB 上を速さ $\frac{1}{2}$ で点 B に向かって動く.
- 動点 R は線分 OC 上を速さ 2 で動く. $t = \frac{1}{2}$ までは点 C へ向かって動き, $t = \frac{1}{2}$ 以後は点 C から点 O に向かって動く.

時刻 t における三角形 PQR の面積を $S(t)$ とする. 次の問いに答えよ.

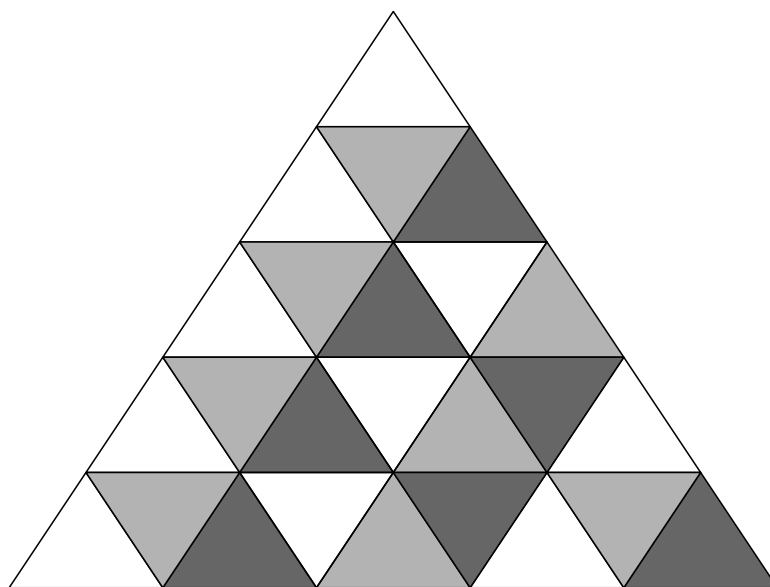
- (1) $S(t)$ を求めよ.
- (2) $S(t)$ を最大にする t の値を求めよ.

- 4 1個のさいころを6の目が2回出るまで投げ続ける. $k = 1, 2, 3, \dots$ に対して p_k を $k + 1$ 回目に2回目の6の目が出る確率とすると, 次の問いに答えよ.

- (1) p_k を求めよ.
- (2) p_k を最大にする k の値を求めよ.
- (3) $S_n = \sum_{k=1}^n p_k$ を求めよ.

- 5 次の問いに答えよ.

- (1) $2023x + 374y = 17$ を満たす整数 x, y の組を1つ求めよ.
- (2) 下図のように, 同じ大きさの正三角形を並べて大きい正三角形を構築し, 上から順番に1段目, 2段目, 3段目, $\dots$ と呼ぶことにして, 100段目まで並べる. さらに, 下図のように, 各段の小三角形を左から白色, 灰色, 黒色の順に繰り返し塗ることにする. このとき, 100段目までの小三角形の総数と100段目までの白色の小三角形の個数を求めよ.



- 6 $f(x) = x^3 + x^2$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $f(x)$ の増減, 極値を調べ, $y = f(x)$ のグラフの概形をかけ.
- (2) $0 < a < 1$ とする. 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = a^2(x + 1)$ によって囲まれた2つの部分の面積の和 $S(a)$ を求めよ.
- (3) $0 < a < 1$ の範囲で $S(a)$ を最小にする a の値を求めよ.

解答例

- 1** (1) $f(x) = \frac{1}{x^a} = x^{-a}$ を微分すると ($a > 0$) $f'(x) = -ax^{-a-1}$
 $f'(1) = -a$ より, 曲線 $y = f(x)$ 上の点 $(1, 1)$ における接線の方程式は

$$y - 1 = -a(x - 1) \quad \text{すなわち} \quad y = -ax + a + 1$$

この直線と x 軸との交点 A の x 座標は $x = \frac{a+1}{a}$, y 軸との交点 B の y 座標は $y = a + 1$ であるから

$$S(a) = \frac{1}{2} \cdot \frac{a+1}{a} \cdot (a+1) = \frac{(a+1)^2}{2a}$$

- (2) (1) の結果から

$$S(a) = \frac{1}{2} \left(\frac{a+1}{\sqrt{a}} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}} \right)^2$$

相加平均・相乗平均の大小関係により $\sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}} \geq 2 \quad \cdots \textcircled{1}$

①において, 等号が成立するとき

$$\sqrt{a} = \frac{1}{\sqrt{a}} \quad \text{すなわち} \quad a = 1$$

よって, $a = 1$ のとき, 最小値 $S(1) = 2$



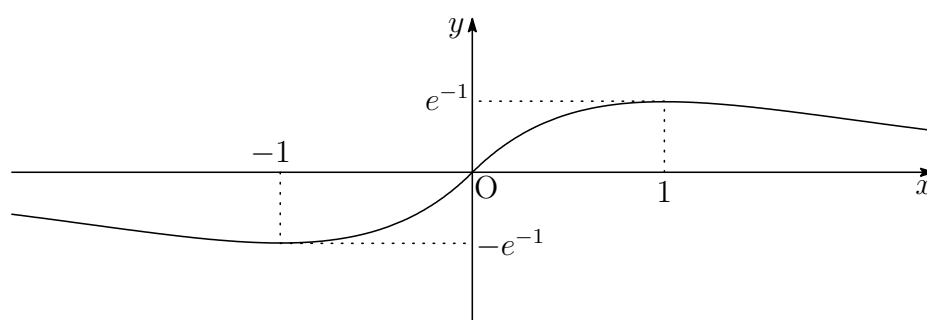
2 (1) $f(x) = x^{-|x|} = \begin{cases} xe^{-x} & (x \geq 0) \\ xe^x & (x \leq 0) \end{cases}$

$x \geq 0$ のとき $f'(x) = (xe^{-x})' = (1-x)e^{-x}$

$x \leq 0$ のとき $f'(x) = (xe^x)' = (1+x)e^x$

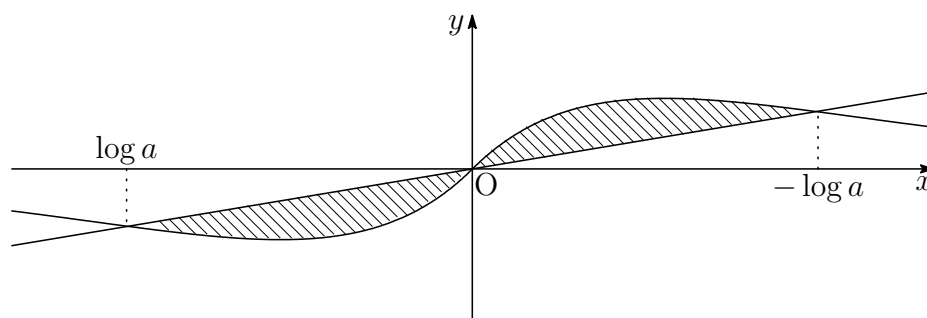
x	...	-1	...	1	...
$f'(x)$	-	0	+	0	-
$f(x)$	$\searrow$	極小 $-e^{-1}$	$\nearrow$	極大 e^{-1}	$\searrow$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$$



補足 $f(-x) = -f(x)$ であるから, $y = f(x)$ のグラフは, 原点对称.

- (2) $f(x) = ax$, すなわち, $xe^{-|x|} = ax$ を解くと $x = 0, \pm \log a$
 $0 < a < 1$ に注意すると, 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = g(x)$ で囲まれた部分
 は下の図の斜線部分である.



求める面積を S とすると, 原点に関する対称性に注意して

$$\begin{aligned} \frac{S}{2} &= \int_0^{-\log a} (xe^{-x} - ax) dx = \left[-(x+1)e^{-x} - \frac{a}{2}x^2 \right]_0^{-\log a} \\ &= a(\log a - 1) - \frac{a}{2}(\log a)^2 + 1 \end{aligned}$$

よって $S = 2a(\log a - 1) - a(\log a)^2 + 2$ ■

- 3** (1) 時刻 t における 3 点 P , Q , R の座標は $(0 \leq t \leq 1)$

$$P(t, 0, 0), \quad Q\left(0, \frac{t}{2}, 0\right), \quad R(0, 0, f(t))$$

$$\text{ただし } f(t) = 1 - |1 - 2t| = \begin{cases} 2t & (0 \leq t \leq \frac{1}{2}) \\ 2 - 2t & (\frac{1}{2} \leq t \leq 1) \end{cases}$$

$$\overrightarrow{PQ} = \left(-t, \frac{t}{2}, 0\right), \quad \overrightarrow{PR} = (-t, 0, f(t))$$

$$\begin{aligned} 4S(t)^2 &= |\overrightarrow{PQ}|^2 |\overrightarrow{PR}|^2 - (\overrightarrow{PQ} \cdot \overrightarrow{PR})^2 \\ &= \frac{5}{4}t^2\{t^2 + f(t)^2\} - (t^2)^2 = \frac{t^2}{4}\{t^2 + 5f(t)^2\} \\ &= \begin{cases} \frac{21}{4}t^4 & (0 \leq t \leq \frac{1}{2}) \\ \frac{1}{4}t^2(21t^2 - 40t + 20) & (\frac{1}{2} \leq t \leq 1) \end{cases} \end{aligned}$$

$$\text{よって } S(t) = \begin{cases} \frac{\sqrt{21}}{4}t^2 & \left(0 \leq t \leq \frac{1}{2}\right) \\ \frac{t}{4}\sqrt{21t^2 - 40t + 20} & \left(\frac{1}{2} \leq t \leq 1\right) \end{cases}$$

- (2) $f(t) = 16S(t)^2$ とおくと

$$f'(t) = \begin{cases} 84t^3 & (0 < t < \frac{1}{2}) \\ 84t^3 - 120t^2 + 40t & (\frac{1}{2} < t < 1) \end{cases}$$

$\frac{1}{2} \leq t \leq 1$ における $f(t)$ の増減表は次のようになる。

t	$\frac{1}{2}$	$\dots$	$\frac{15-\sqrt{15}}{21}$	$\dots$	$\frac{15+\sqrt{15}}{21}$	$\dots$	1
$f'(t)$		+	0	-	0	+	
$f(t)$		$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$	

$0 \leq t \leq \frac{1}{2}$ で $f(t)$ は単調増加であるから、上の増減表および

$$f\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{21}{16}, \quad f(1) = 1 \quad \text{ゆえに} \quad f(1) < f\left(\frac{1}{2}\right)$$

の大小関係から、 $f(t)$ は $t = \frac{15 - \sqrt{15}}{21}$ で最大となる。

よって、 $S(t)$ は $t = \frac{15 - \sqrt{15}}{21}$ で最大となる。 ■

- 4 (1) k 回目までに 6 が 1 回, それ以外が $k-1$ 回出た後, $k+1$ 回目に 6 が出る確率であるから

$$p_k = {}_kC_1 \left(\frac{1}{6}\right) \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} \times \frac{1}{6} = \frac{k}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1}$$

- (2) (1) の結果から

$$\frac{p_{k+1}}{p_k} = \frac{k+1}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^k \bigg/ \frac{k}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} = \frac{5(k+1)}{6k}$$

上式から $\frac{p_{k+1}}{p_k} - 1 = \frac{5-k}{6k}$

したがって $p_1 < p_2 < p_3 < p_4 < p_5 = p_6 > p_7 > \dots$

p_k が最大となるとき $k = 5, 6$

- (3) (1) の結果から

$$\begin{aligned} S_n &= \frac{1}{36} \sum_{k=1}^n k \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} = \frac{1}{36} + \frac{1}{36} \sum_{k=1}^{n-1} (k+1) \left(\frac{5}{6}\right)^k \\ \frac{5}{6} S_n &= \frac{1}{36} \sum_{k=1}^n k \left(\frac{5}{6}\right)^k = \frac{1}{36} \sum_{k=1}^{n-1} k \left(\frac{5}{6}\right)^k + \frac{n}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^n \end{aligned}$$

上の 2 式の辺々の差をとると

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} S_n &= \frac{1}{36} + \frac{1}{36} \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{5}{6}\right)^k - \frac{n}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^n \\ &= \frac{1}{36} \sum_{k=1}^n \left(\frac{5}{6}\right)^{k-1} - \frac{n}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^n \\ &= \frac{1}{36} \cdot \frac{1 - \left(\frac{5}{6}\right)^n}{1 - \frac{5}{6}} - \frac{n}{36} \left(\frac{5}{6}\right)^n \end{aligned}$$

よって $S_n = 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^n - \frac{n}{6} \left(\frac{5}{6}\right)^n$ ■

- 5 (1) $2023x + 374y = 17$ より $119x + 22y = 1$

ユークリッドの互除法により

$$\begin{array}{r} 2 \quad 2 \quad 5 \\ 4 \overline{) 9 \overline{) 22 \overline{) 119}} \\ 8 \quad 18 \quad 110 \\ \hline 1 \quad 4 \quad 9 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 2 \quad 2 \quad 5 \\ d \overline{) c \overline{) b \overline{) a}} \\ \hline 1 \quad d \quad c \end{array}$$

$a = 119, b = 22, c = 9, d = 4$ とおくと

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 5b + c \\ b = 2c + d \\ c = 2d + 1 \end{array} \right. \quad \text{ゆえに} \quad (*) \quad \left\{ \begin{array}{l} c = a - 5b \\ d = b - 2c \\ 1 = c - 2d \end{array} \right.$$

(*) の 3 式から c, d を消去すると

$$1 = c - 2(b - 2c) = -2b + 5c = -2b + 5(a - 5b) = 5a - 27b$$

したがって $119 \cdot 5 + 22 \cdot (-27) = 1$ よって $(x, y) = (5, -27)$

- (2) k 段目の小三角形の個数は $2k - 1$

したがって, 100 段目までの小三角形の総数は

$$\sum_{k=1}^{100} (2k - 1) = \sum_{k=1}^{100} \{k^2 - (k - 1)^2\} = 100^2 = 10000$$

k 段目の白色の小三角形の個数を a_k とすると

$$a_1 = 1, \quad a_2 = 1, \quad a_3 = 2, \quad a_{k+3} = a_k + 2$$

$k \geq 1$ とするとき

$$a_{3k-2} = a_1 + 2(k - 1) = 2k - 1$$

$$a_{3k-1} = a_2 + 2(k - 1) = 2k - 1$$

$$a_{3k} = a_3 + 2(k - 1) = 2k$$

したがって, 100 段目までの白色の小三角形の総数は

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{100} a_k &= \sum_{k=1}^{33} \{a_{3k-2} + a_{3k-1} + a_{3k}\} + a_{100} \\ &= \sum_{k=1}^{33} \{3(2k - 1) + 1\} + 67 = 3 \cdot 33^2 + 33 + 67 = 3367 \end{aligned}$$



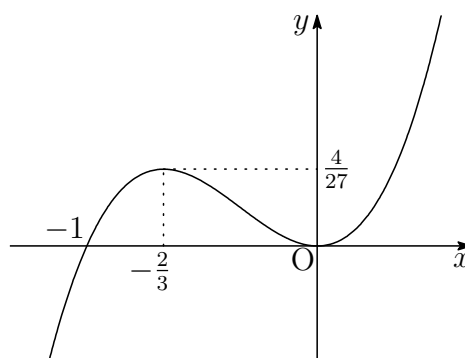
6 (1) $f(x) = x^3 + x^2$ より

$$f'(x) = 3x^2 + 2x = x(3x + 2)$$

$f(x)$ の増減は、次のようになる.

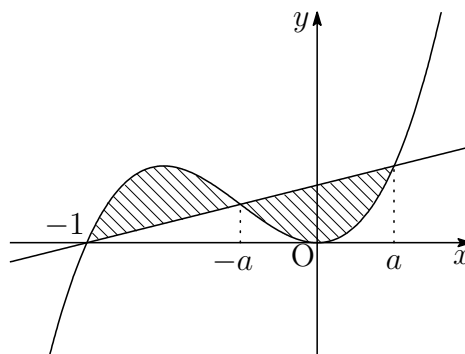
x	...	$-\frac{2}{3}$	...	0	...
$f'(x)$	+	0	-	0	+
$f(x)$	$\nearrow$	極大	$\searrow$	極小	$\nearrow$

したがって、極大値 $f\left(-\frac{2}{3}\right) = \frac{4}{27}$, 極小値 $f(0) = 0$



(2) 曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = a^2(x + 1)$ との共有点の x 座標は

$$x^3 + x^2 = a^2(x + 1) \quad \text{ゆえに} \quad (x + 1)(x + a)(x - a) = 0$$



$S(a)$ は上の図の斜線部分の面積であるから ($0 < a < 1$)

$$\begin{aligned}
 S(a) &= \int_{-1}^{-a} (x^3 + x^2 - a^2x - a^2) dx + \int_{-a}^a (a^2x + a^2 - x^3 - x^2) dx \\
 &= \left[\frac{x^4}{4} + \frac{x^3}{3} - \frac{a^2}{2}x^2 - a^2x \right]_{-1}^{-a} + \left[\frac{a^2}{2}x^2 + a^2x - \frac{x^4}{4} - \frac{x^3}{3} \right]_{-a}^a \\
 &= -\frac{1}{4}a^4 + 2a^3 - \frac{a^2}{2} + \frac{1}{12}
 \end{aligned}$$

- (3) (2) の結果から $S'(a) = -a^3 + 6a^2 - a = -a(a^2 - 6a + 1)$
 $0 < a < 1$ に注意して, $S'(a) = 0$ を解くと $a = 3 - 2\sqrt{2}$

a	(0)	$\dots$	$3 - 2\sqrt{2}$	$\dots$	(1)
$S'(a)$		$-$	0	$+$	
$S(a)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$	

よって, $a = 3 - 2\sqrt{2}$ で最小値をとる.



10.10 2024年

- 理・工・医・教育[数学]学部 ① ② ③ ④ 数Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・A・B (120分)
- 農・教育(学校教育[教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育[自然環境科学])学部 ⑤ ⑥ 数Ⅰ・Ⅱ・A・B (60分)

① a を正の実数とする. 曲線 $y = \log x$ の点 $(a, \log a)$ における接線を l_1 , 点 $(2a, \log 2a)$ における接線を l_2 とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 接線 l_1 の方程式を求めよ.
- (2) l_1 と l_2 の交点の座標を求めよ.
- (3) 曲線 $y = \log x$ と直線 l_1, l_2 で囲まれた図形の面積を $S(a)$ とする. $\frac{S(a)}{a}$ を求めよ.

② a を実数とし, $f(x) = x^2 - \frac{1}{x} + a$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 曲線 $y = f(x)$ の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式を求めよ.
- (2) 原点 O から曲線 $y = f(x)$ にちょうど2本の接線が引けるような a の値を求めよ.

③ z を複素数で $|z - 1| = \sqrt{2}$ を満たすものとし, $w = z + \frac{1}{z}$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $\left| \frac{1}{z} + 1 \right|^2 = 2$ であることを示せ.
- (2) $|w - 2||w + 2| = 4$ であることを示せ.

④ 白玉1個が入った袋Aと, 白玉2個と赤玉2個が入った袋Bがある. 袋Bから無作為に玉を1個取り出し, 袋Aに入っている玉と交換する. この試行を繰り返す. n 回試行を繰り返したあとに, 袋Aに入っている玉が白である確率を p_n とする. このとき, 次の問いに答えよ.

- (1) p_1 を求めよ.
- (2) p_{n+1} を p_n の式で表せ.
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n$ を求めよ.

5 次の問いに答えよ.

- (1) 2024 の正の約数の総和を求めよ.
- (2) 4 乗すると 1 となる複素数をすべて求めよ.
- (3) 大きさ 1 のベクトルが 2 つあり, そのなす角は 75° である. このとき, この 2 つのベクトルの内積と $\frac{1}{4}$ はどちらが大きいかわせよ.

6 xy 平面上で, 中心が点 $P(0, 2)$ で半径が 1 の円と, 放物線 $y = x^2 + a$ (a は定数) が, 異なる 2 点で接している. ただし, 円と放物線がある点で接するとは, その点における円の接線と放物線の接線が一致することであり, その点を接点という. 次の問いに答えよ.

- (1) a の値を求めよ.
- (2) 2 つの接点を A, B とする. ただし, A の x 座標は B の x 座標より小さいとする. 線分 PA, PB と放物線で囲まれた図形の面積を求めよ.

解答例

- 1 (1) $y = \log x$ を微分すると $y' = \frac{1}{x}$

曲線 $y = \log x$ 上の点 $(a, \log a)$ における接線 l_1 の方程式は

$$y = \frac{1}{a}(x - a) + \log a \quad \text{すなわち} \quad y = \frac{x}{a} - 1 + \log a$$

- (2) (1) の結果から, $y = \log x$ 上の点 $(2a, \log 2a)$ における接線 l_2 の方程式は

$$y = \frac{x}{2a} - 1 + \log 2a$$

l_1 と l_2 の2式から y を消去すると

$$\frac{x}{a} - 1 + \log a = \frac{x}{2a} - 1 + \log 2a \quad \text{ゆえに} \quad x = 2a \log 2$$

これを l_2 の方程式に代入すると $y = 2 \log 2 + \log a - 1$

よって, 交点の座標は $(2a \log 2, 2 \log 2 + \log a - 1)$

- (3) $x_0 = 2a \log 2$, $y_0 = 2 \log 2 + \log a - 1$ とおき, l_1 と l_2 の交点を $P(x_0, y_0)$, 曲線 $y = \log x$ 上の点を $Q(t, \log t)$ とおく ($a \leq t \leq 2a$). さらに

$$\overrightarrow{PQ} = (f(t), g(t))$$

とすると $f(t) = t - x_0$, $g(t) = \log t - y_0$

$$\begin{aligned} f(t)g'(t) - f'(t)g(t) &= (t - x_0)\frac{1}{t} - (\log t - y_0) \\ &= 1 + y_0 - \frac{x_0}{t} - \log t \end{aligned}$$

ガウス・グリーンの定理により³

$$\begin{aligned} S(a) &= \frac{1}{2} \int_a^{2a} \left(1 + y_0 - \frac{x_0}{t} - \log t \right) dt \\ &= \frac{1}{2} \left[(1 + y_0)t - x_0 \log t - t(\log t - 1) \right]_a^{2a} \\ &= \frac{1}{2} \{ (1 + y_0)a - x_0 \log 2 + a(1 - 2 \log 2 - \log a) \} \\ &= \frac{1}{2} \{ (2 \log 2 + \log a)a - 2a(\log 2)^2 + a(1 - 2 \log 2 - \log a) \} \\ &= a \left\{ \frac{1}{2} - (\log 2)^2 \right\} \end{aligned}$$

よって $\frac{S(a)}{a} = \frac{1}{2} - (\log 2)^2$ ■

³http://kumamoto.s12.xrea.com/nyusi/Qdai_ri_2022.pdf [5]

2 (1) $f(x) = x^2 - \frac{1}{x} + a$ より $f'(x) = 2x + \frac{1}{x^2}$

$y = f(x)$ 上の点 $(t, f(t))$ における接線の方程式は

$$y = \left(2t + \frac{1}{t^2}\right)(x - t) + t^2 - \frac{1}{t} + a$$

すなわち $y = \left(2t + \frac{1}{t^2}\right)x - t^2 - \frac{2}{t} + a$

(2) (1) で求めた直線が原点を通るから

$$-t^2 - \frac{2}{t} + a = 0 \quad \text{ゆえに} \quad a = t^2 + \frac{2}{t} \quad (*)$$

(*) の解が丁度 2 個存在すればよい. $g(t) = t^2 + \frac{2}{t}$ とおくと

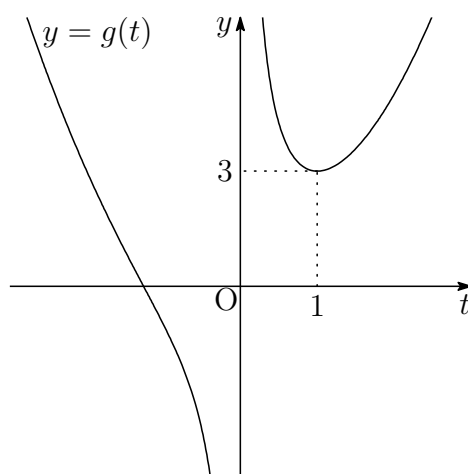
$$g'(t) = 2t - \frac{2}{t^2} = \frac{2(t^3 - 1)}{t^2}$$

$g(t)$ の増減表は

t	$\dots$	(0)	$\dots$	1	$\dots$
$g'(t)$	$-$		$-$	0	$+$
$g(t)$	$\searrow$		$\searrow$	3	$\nearrow$

$$\lim_{t \rightarrow +0} g(t) = \infty, \quad \lim_{t \rightarrow -0} g(t) = -\infty, \quad \lim_{t \rightarrow \pm\infty} g(t) = \infty$$

よって, 条件を満たす a の値は $a = 3$



3 (1) $|z-1| = \sqrt{2}$ より $|z-1|^2 = 2$

$$(z-1)(\bar{z}-1) = 2 \quad \text{ゆえに} \quad |z|^2 = 1+z+\bar{z}$$

したがって

$$\left| \frac{1}{z} + 1 \right|^2 = \frac{|1+z|^2}{|z|^2} = \frac{1+z+\bar{z}+|z|^2}{|z|^2} = \frac{|z|^2+|z|^2}{|z|^2} = 2$$

(2) $w = z + \frac{1}{z}$ より

$$\begin{aligned} |w-2||w+2| &= \left| z + \frac{1}{z} - 2 \right| \left| z + \frac{1}{z} + 2 \right| \\ &= \left| \frac{z^2 + 1 - 2z}{z} \right| \left| \frac{z^2 + 1 + 2z}{z} \right| \\ &= \left| \frac{(z-1)^2}{z} \right| \left| \frac{(z+1)^2}{z} \right| \\ &= \left| \frac{(z-1)^2(z+1)^2}{z^2} \right| \\ &= |z-1|^2 \left| \frac{z+1}{z} \right|^2 \\ &= |z-1|^2 \left| \frac{1}{z} + 1 \right|^2 = 2 \cdot 2 = 4 \end{aligned}$$



- 4 (1) 袋 B にある白玉 2 個, 赤玉 2 個から白玉 1 個を取り出す確率であるから

$$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

- (2) 袋 A に白玉が入っているとき, 袋 B(白玉 2 個, 赤玉 2 個) から白玉 1 個を取り出す確率が $\frac{1}{2}$ であり, 袋 A に赤玉が入っているとき, 袋 B(白玉 3 個, 赤玉 1 個) から白玉 1 個を取り出す確率が $\frac{3}{4}$ であるから, 次の確率漸化式が成立する.

$$p_{n+1} = \frac{1}{2}p_n + \frac{3}{4}(1 - p_n) \quad \text{すなわち} \quad p_{n+1} = -\frac{1}{4}p_n + \frac{3}{4}$$

- (3) (2) 結果から

$$p_{n+1} - \frac{3}{5} = -\frac{1}{4} \left(p_n - \frac{3}{5} \right)$$

$\left\{ p_n - \frac{3}{5} \right\}$ は, 初項 $p_1 - \frac{3}{5} = -\frac{1}{10}$, 公比 $-\frac{1}{4}$ の等比数列であるから

$$p_n - \frac{3}{5} = -\frac{1}{10} \left(-\frac{1}{4} \right)^{n-1} \quad \text{ゆえに} \quad p_n = \frac{3}{5} - \frac{1}{10} \left(-\frac{1}{4} \right)^{n-1}$$

よって $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n = \frac{3}{5}$ ■

- 5 (1) $2024 = 2^3 \times 11 \times 23$ であるから、約数の総和は

$$(1 + 2 + 2^2 + 2^3)(1 + 11)(1 + 23) = 15 \times 12 \times 24 = 4320$$

- (2) $x^4 = 1$ とすると $(x + 1)(x - 1)(x + i)(x - i) = 0$

よって $x = \pm 1, \pm i$

- (3) 2つのベクトルを $\vec{a}, \vec{b}$ とすると

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos 75^\circ = 1 \cdot 1 \cos 75^\circ = \frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{4}$$

ここで

$$(\sqrt{6} - \sqrt{2})^2 - 1^2 = 7 - 4\sqrt{3} = \frac{(7 - 4\sqrt{3})(7 + 4\sqrt{3})}{7 + 4\sqrt{3}} = \frac{1}{7 + 4\sqrt{3}} > 0$$

したがって $\sqrt{6} - \sqrt{2} > 1$ よって $\vec{a} \cdot \vec{b} = \frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{4} > \frac{1}{4}$ ■

- 6 (1) 放物線 $y = x^2 + a$ 上に点 $Q(t, t^2 + a)$ をとり、関数 $f(t) = PQ^2$ を考える.

$$\begin{aligned} f(t) &= t^2 + (t^2 + a - 2)^2 = t^4 + (2a - 3)t^2 + (a - 2)^2 \\ &= \left(t^2 + a - \frac{3}{2}\right)^2 - a + \frac{7}{4} \end{aligned} \quad (*)$$

$f(t)$ の最小値が 1^2 で、 $f(t) = 1^2$ となる t が丁度 2 つ存在すればよいから

$$-a + \frac{7}{4} = 1 \quad \text{ゆえに} \quad a = \frac{3}{4}$$

これを (*) に代入すると

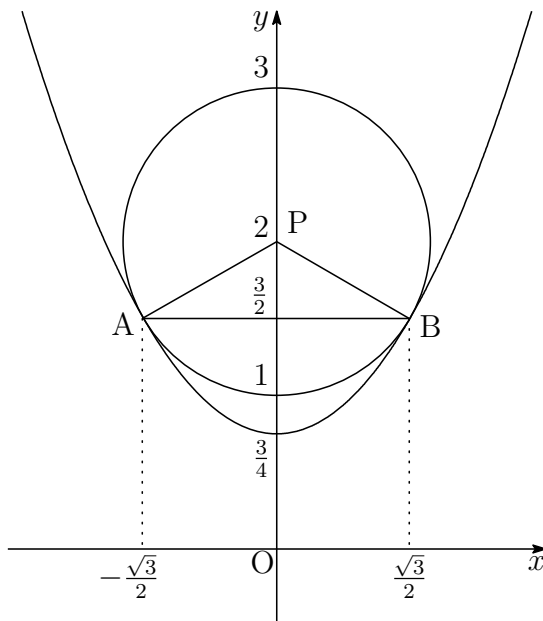
$$f(t) = \left(t^2 - \frac{3}{4}\right)^2 + 1$$

実際、 $f(t)$ は $t = \pm \frac{\sqrt{3}}{2}$ で最小値 1 をとる. よって $a = \frac{3}{4}$

- (2) $y = x^2 + \frac{3}{4}$ から、 $A\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{3}{2}\right)$, $B\left(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{3}{2}\right)$

求める面積を S とすると、下の図から

$$\begin{aligned} S &= \triangle PAB + \int_{-\frac{\sqrt{3}}{2}}^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left\{ \frac{3}{2} - \left(x^2 + \frac{3}{4}\right) \right\} dx \\ &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} - \int_{-\frac{\sqrt{3}}{2}}^{\frac{\sqrt{3}}{2}} \left(x - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \left(x + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) dx \\ &= \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{1}{6}(\sqrt{3})^3 = \frac{3\sqrt{3}}{4} \end{aligned}$$



10.11 2025年

- 理・工・医・教育 [数学] 学部 [1] [2] [3] [4] 数I・II・III・A・B・C (120分)
- 農・教育 (学校教育 [教育実践学・技術・特別支援], 生涯教育 [自然環境科学]) 学部 [5] [6] 数I・II・A・B・C (60分)

[1] n を自然数, $f_n(x) = 1 + \sum_{k=1}^n \frac{x^k}{k!}$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $f_2(x)$ の導関数を求めよ.
- (2) $x \geq 0$ のとき, 不等式 $e^x \geq f_1(x)$ を示せ.
- (3) $x \geq 0$ のとき, すべての自然数 $n \geq 1$ に対して不等式 $e^x \geq f_n(x)$ を示せ.
- (4) $0 \leq x \leq 1$ のとき, すべての自然数 $n \geq 1$ に対して不等式 $e^x \leq f_n(x) + \frac{x^n}{n!}$ を示せ.

[2] $a > 0$ として, $g(a) = \int_a^{a+1} (x - \log x) dx$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) 不定積分 $\int \log x dx$ を求めよ.
- (2) $g(a)$ を求めよ.
- (3) $g(a)$ の最小値とそのときの a の値を求めよ.

[3] 四面体 OABC の辺の長さを $OA = 3$, $OB = \sqrt{5}$, $OC = \sqrt{6}$, $AB = 2\sqrt{2}$ とする. $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$, $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$, $\overrightarrow{OC} = \vec{c}$ として, $\vec{a} \cdot \vec{c} = 3$, $\vec{b} \cdot \vec{c} = 3$ とする. 次の問いに答えよ.

- (1) $\vec{a}$ と $\vec{b}$ の内積 $\vec{a} \cdot \vec{b}$ を求めよ.
- (2) 点 O から平面 ABC に垂線を下ろしその交点を H とする. このとき, $\overrightarrow{OH}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ.
- (3) 点 A から平面 OBC に垂線を下ろしその交点を K とする. このとき, 直線 OH と直線 AK は交わることを示せ. また, その交点を M とするとき, $\overrightarrow{OM}$ を $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ を用いて表せ.

4 赤玉 3 個と白玉 3 個が入っている袋がある．まず 3 枚のコインを投げ，表が k 枚出たとき，この袋に赤玉を k^2 個追加し，次にその袋から玉を 2 個同時に取り出すという試行を行う．例えば，コイン投げで表が 2 枚，裏が 1 枚出たときは，赤玉 4 個を追加して，赤玉 7 個と白玉 3 個が入っている袋から玉を 2 個同時に取り出す．コイン投げで 3 枚とも裏が出たときは，赤玉の追加はなく，赤玉 3 個と白玉 3 個が入っている袋から玉を 2 個同時に取り出す．次の問いに答えよ．

- (1) コイン投げで 3 枚とも表でありかつ袋から取り出した玉が 2 個とも赤玉である確率を求めよ．
- (2) 袋から取り出した玉が 2 個とも赤玉である確率を求めよ．
- (3) 袋から取り出した玉が 2 個とも赤玉であったとき，コイン投げで 3 枚とも表であったという条件付き確率を求めよ．

5 次の問いに答えよ.

- (1) $\frac{1}{37}$ を小数で表したとき, 小数第 100 位の数字を求めよ. また $\frac{1}{37} + \frac{32}{33}$ を小数で表したとき, 小数第 100 位の数字を求めよ.
- (2) 21 の階乗 $21!$ を素因数分解せよ.
- (3) 多項式 $P(x)$ を $x^2 - 1$ で割ったときの余りが $2x$, $x^2 - x - 6$ で割ったときの余りが $3x + 2$ である. このとき, $P(x)$ を $x^2 - 4x + 3$ で割ったときの余りを求めよ.

6 関数 $f(x) = x^3 + ax^2 + bx + c$ を考える. 次の問いに答えよ.

- (1) $f(x)$ が $x = 1$ と $x = 2$ で極値をとるとき, a と b の値を求めよ.
- (2) a と b を (1) で求めた値とする. さらに曲線 $y = f(x)$ が直線 $y = 6x - 2$ に接するとき, c の値を求めよ.

解答例

1 (1) $f_2(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2}$ より $f'_2(x) = 1 + x$

(2) $x \geq 0$ のとき, $e^x - 1 \geq 0$ であるから

$$\int_0^x (e^t - 1) dt = \left[e^t - t \right]_0^x = e^x - 1 - x = e^x - f_1(x) \geq 0$$

したがって, $x \geq 0$ のとき $e^x \geq f_1(x)$

(3) $g_n(x) = e^x - f_n(x)$ とおくと (n は自然数)

$$x \geq 0 \text{ において } g_n(x) \geq 0 \quad (*)$$

[1] $n = 1$ のとき, (2) の結果より, $(*)$ が成立する.

[2] $n = k$ のとき, $(*)$ が成立すると仮定すると

$$g'_{k+1}(x) = e^x - f'_{k+1}(x) = e^x - f_k(x) = g_k(x) \geq 0$$

$$g_{k+1}(0) = 0 \text{ より, } x \geq 0 \text{ において } g_{k+1}(x) \geq 0$$

したがって, $n = k + 1$ のときも, $(*)$ が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について

$$x \geq 0 \text{ において } g_n(x) \geq 0 \text{ すなわち } e^x \geq f_n(x)$$

(4) $h_n(x) = f_n(x) + \frac{x^n}{n!} - e^x$ とおくと (n は自然数)

$$0 \leq x \leq 1 \text{ において } h_n(x) \geq 0 \quad (**)$$

[1] $n = 1$ のとき, $h_1(x) = 1 + 2x - e^x$ より $h'_1(x) = 2 - e^x$

x	0	$\cdots$	$\log 2$	$\cdots$	1
$h'_1(x)$		+	0	-	
$h_1(x)$	0	$\nearrow$	極大	$\searrow$	$3 - e$

したがって, $n = 1$ のとき, $(**)$ は成立する.

[2] $n = k$ のとき, $(**)$ が成立すると仮定すると

$$h'_{k+1}(x) = \left\{ f_{k+1}(x) + \frac{x^{k+1}}{(k+1)!} - e^x \right\}' = f_k(x) + \frac{x^k}{k!} - e^x = h_k(x) \geq 0$$

$$h_{k+1}(0) = 0 \text{ より, } 0 \leq x \leq 1 \text{ において } h_{k+1}(x) \geq 0$$

したがって, $n = k + 1$ のときも, $(**)$ が成立する.

[1], [2] より, すべての自然数 n について

$$0 \leq x \leq 1 \text{ において } h_n(x) \geq 0 \text{ すなわち } e^x \leq f_n(x) + \frac{x^n}{n!} \quad \blacksquare$$

2 (1)

$$\begin{aligned}
 \int \log x \, dx &= \int (x)' \log x \, dx \\
 &= x \log x - \int x \cdot \frac{1}{x} \, dx \\
 &= x \log x - x + C \quad (C \text{ は積分定数})
 \end{aligned}$$

(2) (1) の結果を利用すると

$$\begin{aligned}
 g(a) &= \int_a^{a+1} (x - \log x) \, dx = \left[\frac{x^2}{2} - x \log x + x \right]_a^{a+1} \\
 &= a + \frac{3}{2} - (a+1) \log(a+1) + a \log a
 \end{aligned}$$

(3) (2) の結果から

$$g'(a) = 1 - \log(a+1) + \log a = 1 - \log \frac{a+1}{a}$$

$$g'(a) = 0 \text{ とすると } a = \frac{1}{e-1}$$

a	(0)	$\cdots$	$\frac{1}{e-1}$	$\cdots$
$g'(a)$		$-$	0	$+$
$g(a)$		$\searrow$	極小	$\nearrow$

よって, $a = \frac{1}{e-1}$ のとき, 最小値

$$\begin{aligned}
 g\left(\frac{1}{e-1}\right) &= \frac{1}{e-1} + \frac{3}{2} - \frac{e}{e-1} \log \frac{e}{e-1} + \frac{1}{e-1} \log \frac{1}{e-1} \\
 &= \frac{1}{e-1} + \frac{3}{2} - \frac{e}{e-1} + \left(\frac{e}{e-1} - \frac{1}{e-1}\right) \log(e-1) \\
 &= \frac{1}{2} + \log(e-1)
 \end{aligned}$$

■

3 (1) $|\vec{a}| = 3, |\vec{b}| = \sqrt{5}, |\vec{b} - \vec{a}| = 2\sqrt{2}$ より $|\vec{b} - \vec{a}|^2 = 8$

$$|\vec{b}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + |\vec{a}|^2 = 8 \quad \text{ゆえに} \quad 5 - 2\vec{a} \cdot \vec{b} + 9 = 8$$

これを解いて $\vec{a} \cdot \vec{b} = 3$

(2) 実数 x, y を用いて, $\vec{OH} = \vec{OA} + x\vec{AB} + y\vec{AC}$ とおく.

$$\vec{OA} \cdot \vec{AB} = \vec{a} \cdot (\vec{b} - \vec{a}) = \vec{a} \cdot \vec{b} - |\vec{a}|^2 = 3 - 3^2 = -6,$$

$$\vec{OA} \cdot \vec{AC} = \vec{a} \cdot (\vec{c} - \vec{a}) = \vec{a} \cdot \vec{c} - |\vec{a}|^2 = 3 - 3^2 = -6,$$

$$|\vec{AB}|^2 = 8,$$

$$\begin{aligned} \vec{AB} \cdot \vec{AC} &= (\vec{b} - \vec{a}) \cdot (\vec{c} - \vec{a}) = \vec{b} \cdot \vec{c} - \vec{a} \cdot \vec{b} - \vec{a} \cdot \vec{c} + |\vec{a}|^2 \\ &= 3 - 3 - 3 + 3^2 = 6, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |\vec{AC}|^2 &= |\vec{c} - \vec{a}|^2 = |\vec{c}|^2 - 2\vec{a} \cdot \vec{c} + |\vec{a}|^2 \\ &= 6 - 3 \cdot 2 + 3^2 = 9 \end{aligned}$$

$\vec{OH} \perp \vec{AB}, \vec{OH} \perp \vec{AC}$ より

$$\vec{OH} \cdot \vec{AB} = \vec{OA} \cdot \vec{AB} + x|\vec{AB}|^2 + y\vec{AB} \cdot \vec{AC} = 0,$$

$$\vec{OH} \cdot \vec{AC} = \vec{OA} \cdot \vec{AC} + x\vec{AB} \cdot \vec{AC} + y|\vec{AC}|^2 = 0$$

ゆえに $-6 + 8x + 6y = 0, \quad -6 + 6x + 9y = 0$

これを解いて $x = \frac{1}{2}, y = \frac{1}{3}$

$$\begin{aligned} \vec{OH} &= \vec{OA} + \frac{1}{2}\vec{AB} + \frac{1}{3}\vec{AC} = \vec{a} + \frac{1}{2}(\vec{b} - \vec{a}) + \frac{1}{3}(\vec{c} - \vec{a}) \\ &= \frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{3}\vec{c} \end{aligned}$$

(3) 実数 m, n を用いて, $\overrightarrow{AK} = \overrightarrow{AO} + m\overrightarrow{OB} + n\overrightarrow{OC}$ とおくと

$$\overrightarrow{AK} = -\vec{a} + m\vec{b} + n\vec{c}$$

$\overrightarrow{AK} \perp \overrightarrow{OB}$, $\overrightarrow{AK} \perp \overrightarrow{OC}$ より

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AK} \cdot \overrightarrow{OB} &= (-\vec{a} + m\vec{b} + n\vec{c}) \cdot \vec{b} = -\vec{a} \cdot \vec{b} + m|\vec{b}|^2 + n\vec{b} \cdot \vec{c} \\ &= -3 + 5m + 3n = 0,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{AK} \cdot \overrightarrow{OC} &= (-\vec{a} + m\vec{b} + n\vec{c}) \cdot \vec{c} = -\vec{a} \cdot \vec{c} + m\vec{b} \cdot \vec{c} + n|\vec{c}|^2 \\ &= -3 + 3m + 6n = 0\end{aligned}$$

これを解いて $m = \frac{3}{7}$, $n = \frac{2}{7}$ ゆえに $\overrightarrow{AK} = -\vec{a} + \frac{3}{7}\vec{b} + \frac{2}{7}\vec{c}$

2直線 OH, AK の方程式を媒介変数 s, t を用いて表すと

$$\begin{aligned}s\overrightarrow{OH} &= s\left(\frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{3}\vec{c}\right) \\ &= \frac{s}{6}\vec{a} + \frac{s}{2}\vec{b} + \frac{s}{3}\vec{c}, \\ \overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{AK} &= \vec{a} + t\left(-\vec{a} + \frac{3}{7}\vec{b} + \frac{2}{7}\vec{c}\right) \\ &= (1-t)\vec{a} + \frac{3t}{7}\vec{b} + \frac{2t}{7}\vec{c}\end{aligned}$$

2直線 OH, AK の方程式について

$$\frac{s}{6} = 1-t, \quad \frac{s}{2} = \frac{3t}{7}, \quad \frac{s}{3} = \frac{2t}{7}$$

を解くと $s = \frac{3}{4}$, $t = \frac{7}{8}$

よって, 2直線 OH, AK の交点 M は

$$\overrightarrow{OM} = \frac{3}{4}\left(\frac{1}{6}\vec{a} + \frac{1}{2}\vec{b} + \frac{1}{3}\vec{c}\right) = \frac{1}{8}\vec{a} + \frac{3}{8}\vec{b} + \frac{1}{4}\vec{c}$$



- 4 コインを 3 枚投げて表が k 枚出る事象を A_k とし ($k = 0, 1, 2, 3$), 袋から取り出した玉が 2 個とも赤玉である事象を B とすると

$$P(A_k \cap B) = {}_3C_k \left(\frac{1}{2}\right)^3 \frac{{}_{3+k^2}C_2}{{}_6+k^2C_2} = \frac{{}_3C_k}{8} \cdot \frac{(3+k^2)(2+k^2)}{(6+k^2)(5+k^2)} \quad (*)$$

(1) (*) より

$$P(A_3 \cap B) = \frac{{}_3C_3}{8} \cdot \frac{12 \cdot 11}{15 \cdot 14} = \frac{11}{140}$$

(2) (*) より

$$\begin{aligned} P(B) &= \sum_{k=0}^3 P(A_k \cap B) \\ &= \frac{1}{8} \cdot \frac{3 \cdot 2}{6 \cdot 5} + \frac{3}{8} \cdot \frac{4 \cdot 3}{7 \cdot 6} + \frac{3}{8} \cdot \frac{7 \cdot 6}{10 \cdot 9} + \frac{11}{140} \\ &= \frac{1}{40} + \frac{3}{28} + \frac{7}{40} + \frac{11}{140} = \frac{27}{70} \end{aligned}$$

(3) (1), (2) の結果から

$$P_B(A_3) = \frac{P(A_3 \cap B)}{P(B)} = \frac{11}{140} \bigg/ \frac{27}{70} = \frac{11}{54}$$



- 5 (1) $\frac{1}{37} = 0.\dot{0}2\dot{7}$, $100 = 33 \times 3 + 1$ より, $\frac{1}{37}$ の小数第 100 位の数は **0**
 次に, $\frac{32}{33} = 0.\dot{9}\dot{6}$ であるから

$$\frac{1}{37} + \frac{32}{33} = 0.027027\cdots + 0.969696\cdots = 0.\dot{9}9672\dot{3}$$

$$100 = 16 \times 6 + 4 \text{ より, } \frac{1}{37} + \frac{32}{33} \text{ の小数第 100 位は } \mathbf{7}$$

- (2) 21 以下の素数は 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19 より

$$\left[\frac{21}{2} \right] + \left[\frac{21}{2^2} \right] + \left[\frac{21}{2^3} \right] + \left[\frac{21}{2^4} \right] = 10 + 5 + 2 + 1 = 18,$$

$$\left[\frac{21}{3} \right] + \left[\frac{21}{3^2} \right] = 7 + 2 = 9,$$

$$\left[\frac{21}{5} \right] = 4, \quad \left[\frac{21}{7} \right] = 3, \quad \left[\frac{21}{11} \right] = 1,$$

$$\left[\frac{21}{13} \right] = 1, \quad \left[\frac{21}{17} \right] = 1, \quad \left[\frac{21}{19} \right] = 1$$

$$\text{よって} \quad \mathbf{21! = 2^{18} \cdot 3^9 \cdot 5^4 \cdot 7^3 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19}$$

- (3) $P(x)$ を $x^2 - 4x + 3$ で割ったときの商を $Q(x)$, 余りを $ax + b$ とおくと

$$P(x) = (x - 1)(x - 3)Q(x) + ax + b$$

$$P(x) \text{ を } (x + 1)(x - 1) \text{ で割った余りが } 2x \text{ であるから } P(1) = 2$$

$$P(x) \text{ を } (x + 2)(x - 3) \text{ で割った余りが } 3x + 2 \text{ であるから } P(3) = 11$$

$$\text{したがって } a + b = 2, \quad 3a + b = 11 \quad \text{これを解いて } a = \frac{9}{2}, \quad b = -\frac{5}{2}$$

$$\text{よって, 求める余りは } \mathbf{\frac{9}{2}x - \frac{5}{2}} \quad \blacksquare$$

- 6** (1) $f(x) = x^3 + ax^2 + bx + c$ より $f'(x) = 3x^2 + 2ax + b$
 $f'(x) = 0$ の解が $x = 1, 2$ であるから, 解と係数の関係により

$$1 + 2 = -\frac{2a}{3}, \quad 1 \cdot 2 = \frac{b}{3} \quad \text{ゆえに} \quad a = -\frac{9}{2}, \quad b = 6$$

- (2) (1) の結果より, $f(x) = x^3 - \frac{9}{2}x^2 + 6x + c$ であるから

$$f'(x) = 3x^2 - 9x + 6$$

接点の x 座標は, $f'(x) = 6$ を解くと

$$3x^2 - 9x + 6 = 6 \quad \text{ゆえに} \quad x = 0, 3$$

接点は, 接線の方程式より $(0, -2), (3, 16)$

- $f(0) = -2$ のとき $c = -2$
- $f(3) = 16$ のとき $\frac{9}{2} + c = 16$ ゆえに $c = \frac{23}{2}$

よって $c = -2, \frac{23}{2}$

