2026　早稲田大学　基幹・創造・先進理工学部　数学　解答例

[I]　(1)　$t = 2^x$ として，関数

$$g(t) = t^3 - \frac{15}{2}t^2 + \frac{63}{4}t - \frac{57}{8}$$

を考える。ただし，定義域は $t > 0$ とする。

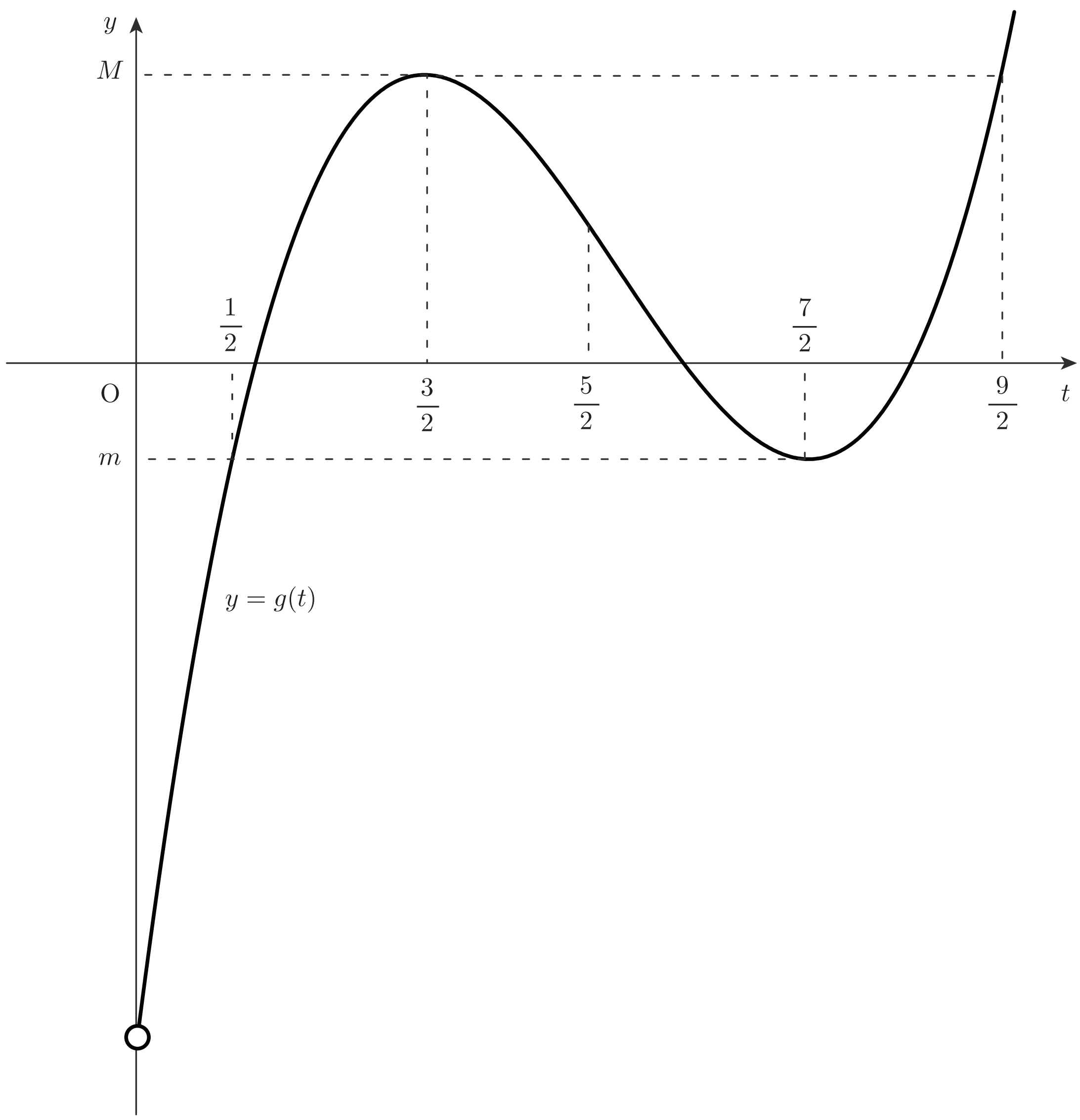
$$g'(t) = 3t^2 - 15t + \frac{63}{4} = \frac{3}{4}(2t-3)(2t-7)$$

であるから，$g(t)$ の増減表は次のようになる。

t	(0)	$\cdots$	$\frac{3}{2}$	$\cdots$	$\frac{7}{2}$	$\cdots$
$g'(t)$		$+$	0	$-$	0	$+$
$g(t)$		$\nearrow$	3	$\searrow$	-1	$\nearrow$

この表から，$g(t)$ は極大値 3，極小値 -1 をとる。$t = 2^x$ であるから，x が全実数の範囲で増加するとき，t は正の実数の範囲で増加する。すなわち，$f(x)$ の極大値は $g(t)$ の極大値，$f(x)$ の極小値は $g(t)$ の極小値であるから，$M = 3$，$m = -1$ である。

(2)　$g''(t) = 6t - 15$ であるから，$y = g(t)$ のグラフの変曲点の t 座標は $\frac{5}{2}$ である。さらに，$g\left(\frac{1}{2}\right) = m$，$g\left(\frac{9}{2}\right) = M$ となることに注意する。これらを踏まえて，$y = g(t)$ のグラフをかくと，次のようになる。

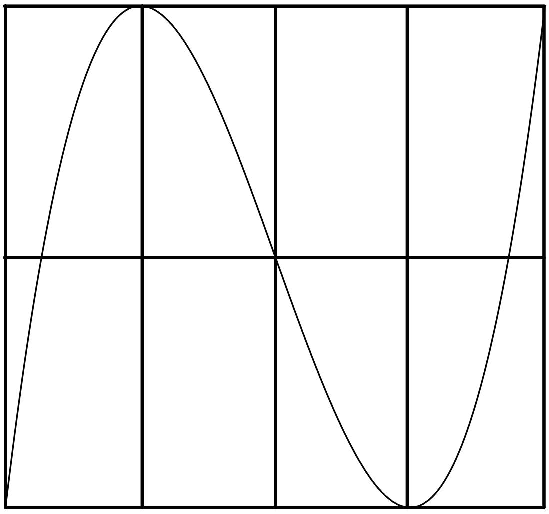


$a \leqq x \leqq b$ より $2^a \leqq t \leqq 2^b$ である。この範囲における最大値が M，最小値が m となるような a，b のうち，$b-a$ が最小になる a，b の値の候補と，それぞれの $b-a$ の値は次の表にまとめられる。

2^a	2^b	a	b	$b-a$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\log_2 \frac{1}{2}$	$\log_2 \frac{3}{2}$	$\log_2 3$
$\frac{3}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\log_2 \frac{3}{2}$	$\log_2 \frac{7}{2}$	$\log_2 \frac{7}{3}$
$\frac{7}{2}$	$\frac{9}{2}$	$\log_2 \frac{7}{2}$	$\log_2 \frac{9}{2}$	$\log_2 \frac{9}{7}$

ゆえに，$b-a$ の最小値は $\log_2 \dfrac{9}{7}$ であり，$(a,\ b) = (\log_2 7 - 1,\ \log_2 9 - 1)$ である。

((注))　極値をもつ 3 次関数のグラフは，次の図のように，8 個の合同な長方形に収まることを用いた。



[II] (1) $\sqrt{m-\sqrt{n}}+\sqrt{m+\sqrt{n}}=\dfrac{\sqrt{mn}}{k}$ の両辺を 2 乗すると

$$(m-\sqrt{n})+(m+\sqrt{n})+2\sqrt{m^2-n}=\frac{mn}{k^2}$$

$$m(n-2k^2)=2k^2\sqrt{m^2-n}\ \cdots\cdots①$$

が成り立つ。① の右辺は 0 以上であるから，左辺も 0 以上である。よって，$n \geqq 2k^2$ が示された。

① の両辺を 2 乗すると

$$m^2(n-2k^2)^2=4k^4(m^2-n)$$

$$m^2(n^2-4nk^2)=-4k^4n$$

$$m^2(4k^2-n)=4k^4\ \cdots\cdots②$$

が得られる。② の右辺は正であるから，左辺も正である。よって，$n<4k^2$ が示された。

(2) $n=4k^2-1$ として，② に代入すると $m=2k^2$ である。① より，$m^2 \geqq n$ でなければならないが，$n=4k^2-1$，$m=2k^2$ はこれを満たす。よって，それぞれの k に対して，自然数解は少なくとも 1 組存在する。

(1) により，$2k^2 \leqq n \leqq 4k^2-1$ であるから

$$1 \leqq 4k^2-n \leqq 2k^2$$

$$1 \leqq \sqrt{4k^2-n} \leqq \sqrt{2}k$$

である。再び ② に着目すると $4k^2-n$ は平方数である。つまり，$\sqrt{4k^2-n}$ は整数である。よって，$\sqrt{4k^2-n}$ の値は $\sqrt{2}k$ 未満の整数である。ゆえに，自然数解の個数も $\sqrt{2}k$ より小さいことが示された。

(3) $k=3$ を ② に代入すると

$$m^2(36-n)=18^2$$

であり，$36-n$ は平方数である。また，(1) により $18 \leqq n < 36$ であるから，
$0<36-n \leqq 18$ が成り立つ。ゆえに，$36-n$ の値の候補は

$$36-n=1,\ 4,\ 9,\ 16$$

である。しかし，$36-n=16$ のとき m が整数にならない。これを踏まえて，次の表がかける。

m^2	$36-n$	m	n
18^2	1	18	35
9^2	4	9	32
6^2	9	6	27

これらは $m^2 \geqq n$ も満たす。ゆえに

$$(m,\ n) = \underset{\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim}{(18,\ 35),\ (9,\ 32),\ (6,\ 27)}$$

である。

[III]　(1)　直線 ℓ 上の点 $(x,\ y,\ z)$ は

$$\ell: \quad x=0 \quad \text{かつ} \quad y+z=2 \quad \cdots\cdots①$$

を満たす。点 Q は 3 点 A, B, P が定める平面上にあるので，実数 $s,\ t$ を用いて

$$\overrightarrow{\mathrm{AQ}} = s\,\overrightarrow{\mathrm{AB}} + t\,\overrightarrow{\mathrm{AP}}$$

と表せる。したがって

$$\overrightarrow{\mathrm{OQ}} = \overrightarrow{\mathrm{OA}} + s\,\overrightarrow{\mathrm{AB}} + t\,\overrightarrow{\mathrm{AP}}$$

ここで $\overrightarrow{\mathrm{OA}}=(0,0,1)$, $\overrightarrow{\mathrm{AB}}=(1,1,-1)$, $\overrightarrow{\mathrm{AP}}=(a,0,-1)$ であるから

$$\overrightarrow{\mathrm{OQ}} = (0,0,1)+s(1,1,-1)+t(a,0,-1) = \bigl(s+at,\ s,\ -s-t+1\bigr)$$

と表せる。点 Q は直線 ℓ 上の点であるから①を満たすので

$$\begin{cases} s+at=0 \\ s+(-s-t+1)=2 \end{cases} \qquad \text{すなわち} \qquad \begin{cases} t=-1 \\ s=a \end{cases}$$

以上より，$\overrightarrow{\mathrm{OQ}} = \bigl(0,\ a,\ 2-a\bigr)$ となるから，$\mathrm{Q}\underline{\bigl(0,\ a,\ 2-a\bigr)}$ である。

(2)　まず，線分 AB と PQ が交わる条件を考える。AB 上の点 M，PQ 上の点 N は

$$\overrightarrow{\mathrm{AM}} = u\,\overrightarrow{\mathrm{AB}} \quad (0<u<1), \qquad \overrightarrow{\mathrm{PN}} = v\,\overrightarrow{\mathrm{PQ}} \quad (0<v<1)$$

と書ける。このとき

$$\overrightarrow{\mathrm{OM}} = \overrightarrow{\mathrm{OA}} + u\,\overrightarrow{\mathrm{AB}} = (0,0,1)+u(1,1,-1) = (u,\ u,\ 1-u) \quad \cdots②$$

$$\overrightarrow{\mathrm{ON}} = \overrightarrow{\mathrm{OP}} + v\,\overrightarrow{\mathrm{PQ}} = (a,0,0)+v(-a,a,2-a) = \bigl((1-v)a,\ va,\ (2-a)v\bigr) \quad \cdots③$$

線分 AB と 線分 PQ が交わるのは，$\mathrm{M}=\mathrm{N}$，すなわち $\overrightarrow{\mathrm{OM}} = \overrightarrow{\mathrm{ON}}$ のときである。つまり②，③をともに満たす実数 $u,\ v$ が $0<u<1,\ 0<v<1$ の範囲に存在する場合である。

$$\begin{cases} u=(1-v)a \\ u=va \\ 1-u=(2-a)v \end{cases}$$

であり，一番目と二番目の式より

$$(1-2v)a=0$$

が得られるので，$a=0$ または $v=\dfrac{1}{2}$ であることが必要である。

(i)　$a=0$ のとき

$$\mathrm{P}(0,0,0), \quad \mathrm{A}(0,0,1), \quad \mathrm{Q}(0,0,2)$$

はすべて z 軸上にあるので，四角形 APBQ はできない。

(ii) $v = \dfrac{1}{2}$ のとき

$$u = \frac{1}{2}a$$

であり，これは三番目の関係式

$$1 - u = (2 - a)v$$

を満たす。AB と PQ が交わるための条件 $0 < u < 1$ より

$$0 < \frac{a}{2} < 1 \quad \Longleftrightarrow \quad \underset{\sim\sim\sim\sim\sim}{0 < a < 2}$$

このとき，4 頂点 A，B，P，Q のうち任意の 3 点が同一直線上に並ぶことはなく，四角形 APBQ が成立する。

(3) (2) より，AB と PQ の交点を M とすると

$$\overrightarrow{\mathrm{PM}} = \frac{1}{2}\overrightarrow{\mathrm{PQ}}$$

より M は PQ の中点である。よって，点 P から直線 AB に下ろした垂線と点 Q から直線 AB に下ろした垂線の長さは等しい。したがって，三角形 ABP の面積と三角形 ABQ の面積は等しいので，四角形 APBQ の面積は三角形 ABP の面積の 2 倍である。ここで

$$\overrightarrow{\mathrm{AB}} \cdot \overrightarrow{\mathrm{AP}} = a + 1, \qquad |\overrightarrow{\mathrm{AB}}|^2 = 3, \qquad |\overrightarrow{\mathrm{AP}}|^2 = a^2 + 1$$

よって，四角形 APBQ の面積は

$$\begin{aligned} 2 \cdot \frac{1}{2}\sqrt{|\overrightarrow{\mathrm{AB}}|^2|\overrightarrow{\mathrm{AP}}|^2 - \left(\overrightarrow{\mathrm{AB}} \cdot \overrightarrow{\mathrm{AP}}\right)^2} &= \sqrt{3(a^2+1) - (a+1)^2} \\ &= \sqrt{2a^2 - 2a + 2} \\ &= \underset{\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim}{\sqrt{2(a^2 - a + 1)}} \end{aligned}$$

である。

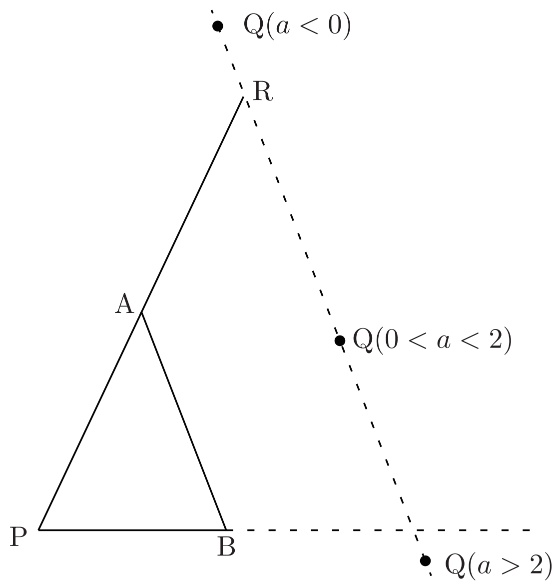
((注)) (2) は次のように図形的に考察することもできる。(1) により

$$\overrightarrow{\mathrm{AQ}} = a\overrightarrow{\mathrm{AB}} - \overrightarrow{\mathrm{AP}}$$

であり，$-\overrightarrow{\mathrm{AP}} = \overrightarrow{\mathrm{AR}}$ により，点 R を定義すると

$$\overrightarrow{\mathrm{AQ}} = a\overrightarrow{\mathrm{AB}} + \overrightarrow{\mathrm{AR}}$$

である。よって，次の図がかける。



[IV]　(1)　$a(2n+1)=a(2n)+1$ などを用いて，具体的に計算すると次の表になる。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a(n)$	2	7	8	22	23	25	26	67	68

よって，$a(7)=26$，$a(9)=68$ である。

(2)　$a(2^n)=c_n$ とおく。$c_1=a(2)=7$ であり

$$a(2^{n+1})=3a(2^n)+1$$

$$c_{n+1}=3c_n+1$$

$$c_{n+1}+\frac{1}{2}=3\left(c_n+\frac{1}{2}\right)$$

$$c_n+\frac{1}{2}=3^{n-1}\left(7+\frac{1}{2}\right)$$

$$c_n=\frac{5\cdot 3^n-1}{2}$$

$$a(2^n)=\frac{5\cdot 3^n-1}{2}$$

である。さらに，$a(2^n+1)=a(2^n)+1$ より

$$\begin{aligned}a(2^n+1)=&\frac{5\cdot 3^n+1}{2}\\=&\frac{(2+3)\cdot 3^n+1}{2}\\=&3^n+\frac{3^{n+1}+1}{2}\end{aligned}$$

と変形できる。一方

$$\sum_{k=0}^{n}3^k=\frac{3^{n+1}-1}{2}$$

であるから，$n\geqq 2$ のとき

$$a(2^n+1)=3^n+\left(1+\sum_{k=0}^{n}3^k\right)=2\cdot 3^n+2\cdot 3^0+\sum_{k=1}^{n-1}3^k$$

である。ゆえに，$b_0=b_n=2$ であり

$$b_j=1\quad(j=1,\ 2,\ \cdots,\ n-1)$$

である。これは $n=1$ のときも矛盾しない。

(3)　各自然数 j に対して，$S_j=a(2^{j-1})+\cdots+a(2^j-1)$ と定義する。まず

$$S_1=a(1)=2$$

である。さらに，$j \geqq 2$ のとき

$$\begin{aligned}
S_j &= \sum_{k=2^{j-1}}^{2^j-1} a(k) \\
&= \sum_{k=2^{j-2}}^{2^{j-1}-1} \{a(2k)+a(2k+1)\} \\
&= \sum_{k=2^{j-2}}^{2^{j-1}-1} (3a(k)+1+3a(k)+2) \\
&= \sum_{k=2^{j-2}}^{2^{j-1}-1} (6a(k)+3) \\
&=6\sum_{k=2^{j-2}}^{2^{j-1}-1} a(k)+3\cdot 2^{j-2} \\
&=6S_{j-1}+3\cdot 2^{j-2}
\end{aligned}$$

が成り立つ。両辺を 2^j で割ると

$$\frac{S_j}{2^j}=3\cdot\frac{S_{j-1}}{2^{j-1}}+\frac{3}{4}$$

$$\frac{S_j}{2^j}+\frac{3}{8}=3\left(\frac{S_{j-1}}{2^{j-1}}+\frac{3}{8}\right)$$

$$\frac{S_j}{2^j}+\frac{3}{8}=3^{j-1}\left(\frac{S_1}{2^1}+\frac{3}{8}\right)$$

$$S_j=\frac{11}{4}\cdot 6^{j-1}-\frac{3}{4}\cdot 2^{j-1}$$

である。ゆえに

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^{2^n-1} a(k) &= \sum_{j=1}^{n} S_j \\
&= \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{11}{4}\cdot 6^{j-1}-\frac{3}{4}\cdot 2^{j-1}\right) \\
&= \frac{11}{4}\cdot\frac{6^n-1}{5}-\frac{3}{4}\cdot(2^n-1) \\
&= \underset{\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim\sim}{\frac{11\cdot 6^n-15\cdot 2^n+4}{20}}
\end{aligned}$$

である。

((注))　(2) では，$a(2^n)$ を 3 進法表示することにより，解くこともできる。

$a(1)=2_{(3)}$，$a(2^1)=21_{(3)}$，$a(2^2)=211_{(3)}$ である。帰納的に

$$a(2^n)=211\cdots 11_{(3)}\quad (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

であることが示せる。ただし，この数は $(n+1)$ 桁であり，最高位の数字以外は 1 である。よって

$$a(2^n+1) = 211\cdots12_{(3)} \quad (n=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

が得られる。各 b_j は各位の数字を表している。

[V]　(1)　$f(x) = x\log x$ について，定義域は $x > 0$ である。

$$f'(x) = 1\cdot\log x + x\cdot\frac{1}{x} = \log x + 1$$

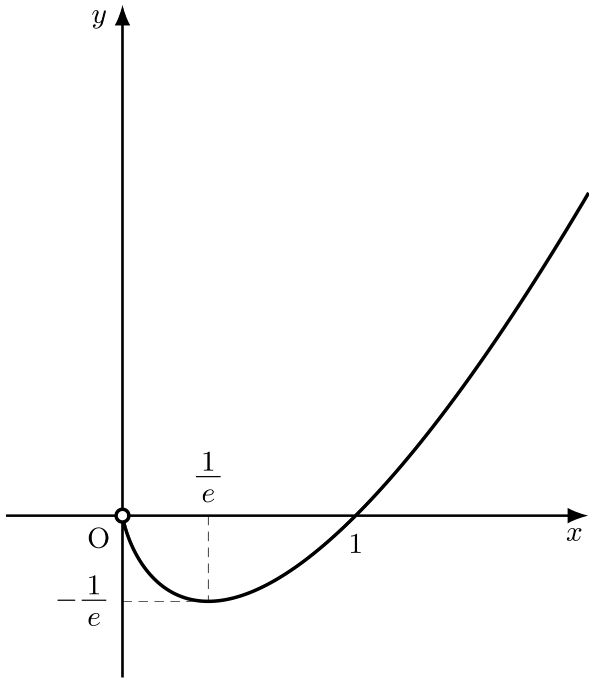
$f'(x) = 0$ とすると $\log x = -1$ より $x = \dfrac{1}{e}$ である。したがって，関数 $y = f(x)$ の増減表は以下の通りである。

x	(0)	$\cdots$	$\frac{1}{e}$	$\cdots$
$f'(x)$		$-$	0	$+$
$f(x)$	(0)	$\searrow$	$-\frac{1}{e}$	$\nearrow$

また，$\displaystyle\lim_{x\to+0} x\log x = 0$ より

$$\lim_{x\to+0} f(x) = 0, \quad \lim_{x\to\infty} f(x) = \infty$$

であるから，グラフの概形は次のようになる。



(2)　曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = g(x)$ の共有点の個数は，方程式 $f(x) - g(x) = 0$ の異なる実数解の個数に等しい。ここで

$$h(x) = f(x) - g(x) = x\log x - ax + 1 \quad (x > 0)$$

とおく。方程式 $h(x) = 0$ の異なる実数解の個数は，曲線 $y = h(x)$ と x 軸の共有点の個数に等しい。

$$h'(x) = \log x + 1 - a$$

$h'(x) = 0$ となるのは，$\log x = a - 1$ より $x = e^{a-1}$ のときである。よって $h(x)$ の増減表は次のようになる。

x	(0)	$\cdots$	e^{a-1}	$\cdots$
$h'(x)$		$-$	0	$+$
$h(x)$	(1)	$\searrow$	極小	$\nearrow$

ここで、$\displaystyle\lim_{x\to+0} x\log x = 0$ であるから

$$\lim_{x\to+0} h(x) = \lim_{x\to+0}(x\log x - ax + 1) = 1$$

$$\lim_{x\to\infty} h(x) = \lim_{x\to\infty} x\left(\log x - a + \frac{1}{x}\right) = \infty$$

である。$h(x)$ の最小値（極小値）を $m(a)$ とすると

$$\begin{aligned} m(a) = h\left(e^{a-1}\right) &= e^{a-1}\log\left(e^{a-1}\right) - ae^{a-1} + 1 \\ &= e^{a-1}(a-1) - ae^{a-1} + 1 \\ &= -e^{a-1} + 1 \end{aligned}$$

曲線 $y = h(x)$ と x 軸の共有点の個数は，$m(a)$ によって以下のように分類される。

(i)　$m(a) > 0$ すなわち $1 - e^{a-1} > 0$ のとき
$e^{a-1} < 1$ より $a - 1 < 0$ すなわち $a < 1$ である。このとき最小値が正であるから，すべての $x > 0$ において $h(x) > 0$ となり，共有点は 0 個。

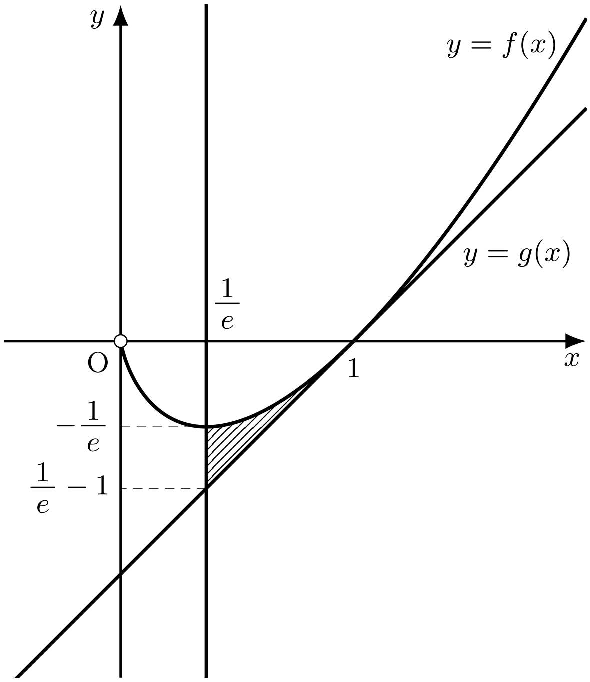
(ii)　$m(a) = 0$ すなわち $1 - e^{a-1} = 0$ のとき
$a = 1$ である。このとき最小値が 0 であり，$x = 1$ において 曲線 $y = h(x)$ は x 軸に接する。したがって，共有点は 1 個。

(iii)　$m(a) < 0$ すなわち $1 - e^{a-1} < 0$ のとき
$a > 1$ である。このとき最小値は負である。このとき，曲線 $y = h(x)$ の増減表より，共有点は 2 個。以上より，求める共有点の個数は

$$\begin{cases} a < 1 \text{ のとき}\quad 0 \text{ 個} \\ a = 1 \text{ のとき}\quad 1 \text{ 個} \\ a > 1 \text{ のとき}\quad 2 \text{ 個} \end{cases}$$

である。

(3)　曲線 $y = f(x)$ と直線 $y = g(x)$ の共有点の個数が 1 個のとき，(2) より $a = 1$ である。このとき $g(x) = x - 1$ であり，点 $(1, 0)$ において曲線 $y = f(x)$ に接する。また，$f''(x) = \dfrac{1}{x} > 0$ より曲線は接線の上側にあるから，次図の斜線部分の領域を y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積 V を求めればよい。



直線 $y=x-1$，x 軸，y 軸，直線 $y=\frac{1}{e}-1$ で囲まれた台形を y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積を V_1，直線 $x=\frac{1}{e}$，$y=-\frac{1}{e}$，$y=\frac{1}{e}-1$，y 軸で囲まれた長方形を y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積を V_2，曲線 $y=x\log x$ $\left(\frac{1}{e}\leqq x\leqq 1\right)$，直線 $y=-\frac{1}{e}$，x 軸，y 軸で囲まれた部分を y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積を V_3 とすると，求める立体の体積 V は

$$V=V_1-V_2-V_3 \quad \cdots\cdots①$$

である。以下では，各立体の体積を順番に計算していく。

まず，V_1 は直線 $x=y+1$ を区間 $\frac{1}{e}-1\leqq y\leqq 0$ で y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積であるから

$$\begin{aligned} V_1 &= \pi\int_{\frac{1}{e}-1}^{0}(y+1)^2\,dy \\ &= \pi\left[\frac{(y+1)^3}{3}\right]_{\frac{1}{e}-1}^{0} \\ &= \frac{\pi}{3}\left(1-\frac{1}{e^3}\right) \quad \cdots\cdots② \end{aligned}$$

次に，V_2 は，底面の半径 $\frac{1}{e}$，高さ $\left(-\frac{1}{e}\right)-\left(\frac{1}{e}-1\right)=1-\frac{2}{e}$ の円柱の体積であるから

$$V_2=\pi\left(\frac{1}{e}\right)^2\left(1-\frac{2}{e}\right)=\pi\left(\frac{1}{e^2}-\frac{2}{e^3}\right) \quad \cdots\cdots③$$

最後に，V_3 は，置換積分を用いて計算する。$y=x\log x$ より $dy=(\log x+1)\,dx$ であ

り，$y=-\dfrac{1}{e}$ のとき，$x=\dfrac{1}{e}$，$y=0$ のとき，$x=1$ であるから

$$\begin{aligned}V_3&=\pi\int_{-\frac{1}{e}}^{0}x^2\,dy\\&=\pi\int_{\frac{1}{e}}^{1}x^2(\log x+1)\,dx\\&=\pi\int_{\frac{1}{e}}^{1}(x^2\log x+x^2)\,dx\end{aligned}$$

ここで

$$\int x^2\log x\ dx=\frac{1}{3}x^3\log x-\int\frac{1}{3}x^2\ dx=\frac{x^3}{3}\log x-\frac{x^3}{9}+C\ (C\text{ は積分定数})$$

となるから

$$\begin{aligned}V_3&=\pi\int_{\frac{1}{e}}^{1}(x^2\log x+x^2)\,dx\\&=\pi\left[\frac{x^3}{3}\log x-\frac{x^3}{9}+\frac{x^3}{3}\right]_{\frac{1}{e}}^{1}\\&=\pi\left[\frac{x^3}{3}\log x+\frac{2}{9}x^3\right]_{\frac{1}{e}}^{1}\\&=\pi\left\{\frac{2}{9}-\left(-\frac{1}{3e^3}+\frac{2}{9e^3}\right)\right\}\\&=\pi\left(\frac{2}{9}+\frac{1}{9e^3}\right)\quad\cdots\cdots④\end{aligned}$$

である。②〜④を①に代入することにより，求める体積は

$$\begin{aligned}V&=V_1-V_2-V_3\\&=\pi\left(\frac{1}{9}+\frac{14}{9e^3}-\frac{1}{e^2}\right)\end{aligned}$$

となる。

((注))1　(2) は $f''(x)=\dfrac{1}{x}>0$ を確かめた後，$y=f(x)$ のグラフの接線が点 $(0,-1)$ を通る条件を求めて，それを基に判断してもよい。

((注))2　曲線 $y=f(x)$ と直線 $y=g(x)$，および，直線 $x=\dfrac{1}{e}$ で囲まれた部分を y 軸の周りに 1 回転して得られる立体の体積を V として，バームクーヘン型の積分公式を用い

れば

$$\begin{aligned}
V &= 2\pi \int_{\frac{1}{e}}^{1} x\{f(x) - g(x)\}\,dx \\
&= 2\pi \int_{\frac{1}{e}}^{1} x\{x\log x - (x-1)\}\,dx \\
&= 2\pi \int_{\frac{1}{e}}^{1} (x^2\log x - x^2 + x)\,dx
\end{aligned}$$

を計算することによって求まる。ここで

$$\int x^2 \log x\ dx = \frac{1}{3}x^3 - \int \frac{1}{3}x^2\ dx = \frac{x^3}{3}\log x - \frac{x^3}{9} + C\ (C\ \text{は積分定数})$$

となるから

$$\begin{aligned}
V &= 2\pi \int_{\frac{1}{e}}^{1} (x^2\log x - x^2 + x)\,dx \\
&= 2\pi \left[\frac{x^3}{3}\log x - \frac{4}{9}x^3 + \frac{1}{2}x^2\right]_{\frac{1}{e}}^{1} \\
&= \pi\left(\frac{1}{9} + \frac{14}{9e^3} - \frac{1}{e^2}\right)
\end{aligned}$$

である。