令 和 ８ 年 度

名古屋大学大学院情報学研究科
複雑系科学専攻
入学試験問題（専門）

令和７年８月６日

注意事項

１．試験開始の合図があるまでは、この問題冊子を開いてはならない。

２．試験終了まで退出できない。

３．外国人留学生の志願者は、日本語と日本語以外の１言語間の辞書１冊に限り使用してよい。電子辞書の持ち込みは認めない。

４．日本語または英語で解答すること。

５．問題冊子、解答用紙３枚、草稿用紙３枚が配布されていることを確認すること。

６．問題は数１、数２、物１、物２、物３、化１、化２、化３、化４、生１、生２、生３、地１、地２、情１、情２、情３、工１、工２の１９科目がある。このうち3科目を選択して解答すること。
なお、選択した科目名を解答用紙の指定欄に記入すること。

７．全ての解答用紙の所定の欄に受験番号を必ず記入すること。解答用紙に受験者の氏名を記入してはならない。

８．解答用紙に書ききれない場合は、裏面を使用してもよい。ただし、裏面を使用した場合は、その旨、解答用紙表面右下に明記すること。

９．解答用紙は試験終了後に３枚とも提出すること。

１０．問題冊子、草稿用紙は試験終了後に持ち帰ること。

数 1

[1] 以下の各問に答えよ。ただし，$i = \sqrt{-1}$ は虚数単位とし，$\overline{z}$ は z の複素共役とする。

1) 2次元複素ベクトル空間 $\mathbb{C}^2$ のベクトル $\boldsymbol{u} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, \boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}$ の内積を

$$(\boldsymbol{u}, \boldsymbol{v}) = u_1\overline{v_1} + u_2\overline{v_2}$$

と定義する。このとき

$$\boldsymbol{u} = \begin{pmatrix} 1+i \\ 2-i \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{v} = \begin{pmatrix} 2+3i \\ i \end{pmatrix}$$

の内積と $\boldsymbol{u}$ の大きさ（ノルム）を求めよ。

2) $[0, 2\pi]$ で定義された関数 $f(x), g(x)$ の内積を

$$(f, g) = \int_0^{2\pi} f(x)\overline{g(x)}dx$$

と定義する。このとき，$[0, 2\pi]$ で定義された関数列 $\left\{ \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{inx} \right\}_{n=0,\pm1,\pm2,\cdots}$ が正規直交系となることを示せ。また $[0, 2\pi]$ 上の関数 $f(x)$ が

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{inx}$$

と展開されたとき，c_n を決める式を求めよ。

[2] 3次元空間から平面への線形写像 $f : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^2$ が点 $\boldsymbol{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ を点 $\boldsymbol{w}_1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$ に，点 $\boldsymbol{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ を点 $\boldsymbol{w}_2 = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}$ に，点 $\boldsymbol{v}_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$ を点 $\boldsymbol{w}_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}$ にそれぞれ写すとき，f を表す行列を求めよ。

[3] n を正の整数として，すべての成分が 1 の $n \times n$ 正方行列の固有値をすべて求めよ。縮重している場合は縮重度（重複度）も答えよ。

数2

[1] m と n をともに正の整数として

$$f(m,n) = \frac{mn}{m^2+n^2}$$

と定める。以下の問に答えよ。

1) 順序の異なる二つの極限 $\lim_{m\to\infty}\lim_{n\to\infty} f(m,n)$ と $\lim_{n\to\infty}\lim_{m\to\infty} f(m,n)$ の値を求めよ。

2) $m=n$ のときの極限 $\lim_{n\to\infty} f(n,n)$ と $m=2n$ のときの極限 $\lim_{n\to\infty} f(2n,n)$ の値をそれぞれ求めよ。

3) 二重極限 $\lim_{m,n\to\infty} f(m,n)$ の値について考察しその結論を 40 字以内で簡潔に述べよ。なお数式はひとかたまりで 1 字と数える。

[2] 以下の定積分の値をすべて求めよ。

1)

$$I_1 = \int_0^1 \left(\int_0^x e^{x^2} dy \right) dx$$

2)

$$I_2 = \int_0^1 \left(\int_y^1 e^{x^2} dx \right) dy$$

[3] 定積分

$$I = \int_0^1 e^{x^2} dx$$

について，以下の問に答えよ。

1) e^{x^2} を x^4 の項までマクローリン展開せよ。

2) 上の x^4 の項までのマクローリン展開を用いて定積分 I の値を小数点以下一桁まで求めよ。なお明示的な誤差評価は不要とする。

[4] 以下の各微分方程式の一般解を求めよ。なお x は t の関数とし，x' や x'' は t に関する一階微分や二階微分を表すものとする。

1)

$$x'' - 2x' + x = 0$$

2)

$$x'' - 2x' + x = e^{2t}$$

3)

$$t^2x'' - tx' + x = t^2$$

（数 2 の問題はここで終わり）

物 1

あるロケットが，単位時間あたり一定の質量 ρ の燃料を燃焼し，ロケットに対して一定の速さ v で燃焼ガスを後方に噴射することにより加速している。ロケットは時刻 $t=0$ に運動を開始し，時刻 t におけるロケットの速度を $V(t)$ とする。時刻 $t=0$ におけるロケット全体（燃料を含む）の質量を M_0 とし，ロケット本体（燃料を除いた部分）の質量は M_b で不変とする。空気抵抗は無視できるものとし，ロケットの運動は直線上で行われると仮定する。また，ロケットの進行方向を正の向きとする。以下の問に答えよ。

[1] 外力は働かず，ロケットが水平運動する場合を考える。

1）ロケットが加速している間の全運動量は保存する。時刻 t における全運動量，および微小時間後の時刻 $t+dt$ における全運動量について，運動量保存則を書け。

2）ロケットが加速している間のロケットの速度 $V(t)$ を求めよ。$V(0)=0$ とする。また，$V(t+dt)=V(t)+dV$ とし，$dV\cdot dt\approx 0$ とせよ。

3）燃料をすべて燃焼し終えた直後のロケットの速度を求めよ。

[2] 次に，ロケットを地球の表面から鉛直上向きに打ち上げる場合を考える。ロケットは地球から万有引力を受けて運動し，時刻 t における地球の中心からの距離を $R(t)$ とする。また，地球の質量および半径をそれぞれ M_E，R_E とし，万有引力定数を G とする。そして，空気抵抗および地球の自転による影響は無視し，万有引力による位置エネルギーは，無限遠でゼロとなるように定義する。

1）ロケットは初速度 $V(0)=0$ で上昇を開始し，加速を続けているものとする。ロケットが加速している間の加速度を求めよ。

2）時刻 $t=0$ にロケットが上昇を開始するための v の条件を求めよ。

3）燃料を燃焼している間は，ロケットの地球中心からの距離を $R(t)\approx R_E$ とみなす。燃料をすべて燃焼し終えた直後のロケットの速度を求めよ。

4）ロケットが無限遠まで到達するための v の条件を求めよ。

物 2

[1] すべての場所の透磁率は真空の透磁率 μ_0 に等しいとする。磁束密度 $\boldsymbol{B}$ と電流密度 $\boldsymbol{j}$ はアンペールの法則

$$\int_{\partial S} \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{r} = \mu_0 \int_S \boldsymbol{j} \cdot \boldsymbol{n} dS$$

を満たす。ただし S は任意の向き付けられた曲面であり，∂S は S の境界線であり，$\boldsymbol{n}$ は S の裏から表に貫く向きの単位法線ベクトルである。以下の問に答えよ。

1) 図 1 のように半径 $a\,(>0)$ の無限に長い円柱の内部に一様な電流密度（断面の単位面積あたりの電流）J の電流が円柱の軸と平行な方向に流れているとする。円柱の軸から距離 r 離れた点における磁束密度の大きさ $B(r)$ を求めよ。答えだけでなく，必要なら図を描いて，考え方を説明し，計算式も示せ。必要なら $0 \le r \le a$ の場合と $a < r$ の場合に分けて答えよ。ただし，$B(r)$ の値が定まらない点があればそこでは関数値は不定としてよい。

2) $0 \le r \le 4a$ の範囲の r に対して 1) で求めた関数 $B(r)$ のグラフを描け。

3) 図 1 の状況で磁束密度 $\boldsymbol{B}$ の向きと強弱がわかるようにベクトル場 $\boldsymbol{B}$ の概略図を描け。

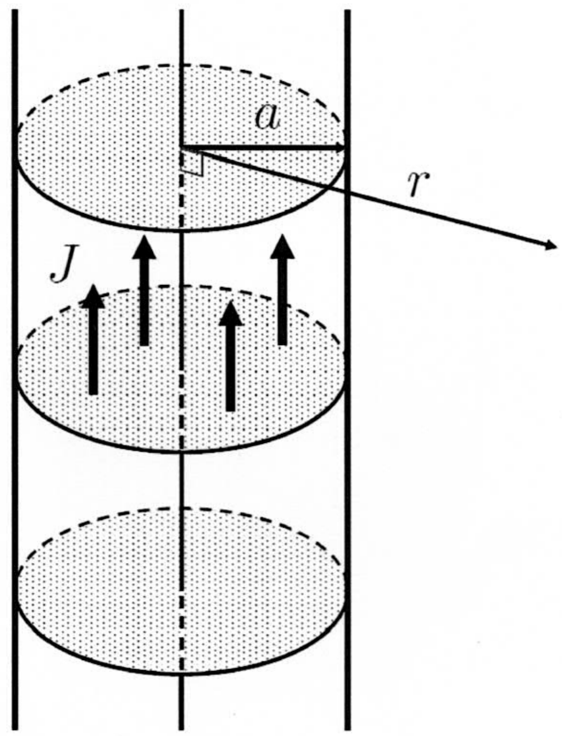


図 1. 半径 a の円柱内部を流れる一様な電流密度 J の電流

（物 2 の問題は次のページに続く）

(物 2 の問題の続き)

[2] (x, y) は 2 次元の直交座標であり，$A_x(x, y)$ と $A_y(x, y)$ は (x, y) の関数とする。2 次元のベクトルポテンシャル (A_x, A_y) に伴う磁束密度 B は

$$B = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}$$

で与えられる。一般に 2 つの演算子 $\hat{S}, \hat{T}$ の交換子は $[\hat{S}, \hat{T}] = \hat{S}\hat{T} - \hat{T}\hat{S}$ で定められる。量子力学では座標 (x, y) は位置の演算子 $(\hat{x}, \hat{y})$ で置き換えられ，これらと運動量の演算子 $(\hat{p}_x, \hat{p}_y)$ は正準交換関係

$$[\hat{x}, \hat{p}_x] = i\hbar\hat{1}, \qquad [\hat{y}, \hat{p}_y] = i\hbar\hat{1}$$

を満たす。ただし $i = \sqrt{-1}$ は虚数単位であり，プランク定数 h を 2π で割ったものを $\hbar = h/(2\pi)$ としている。$\hat{1}$ は恒等演算子である。その他に $[\hat{x}, \hat{y}] = 0$, $[\hat{x}, \hat{p}_y] = 0$, $[\hat{p}_x, \hat{p}_y] = 0$ などが成り立つ。$A_x(\hat{x}, \hat{y}) = \hat{A}_x$, $A_y(\hat{x}, \hat{y}) = \hat{A}_y$ と書く。e は定数とし，

$$\hat{\mathit{\Pi}}_x = \hat{p}_x - e\hat{A}_x, \qquad \hat{\mathit{\Pi}}_y = \hat{p}_y - e\hat{A}_y$$

とおく。以下の問に答えよ。

1）交換子 $[\hat{\mathit{\Pi}}_x, \hat{\mathit{\Pi}}_y]$ を求めよ。

2）磁束密度 B は定数であり，$eB > 0$ とする。このとき

$$\hat{C} = \frac{1}{\sqrt{2\hbar eB}}\left(\hat{\mathit{\Pi}}_x + i\hat{\mathit{\Pi}}_y\right), \qquad \hat{C}^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2\hbar eB}}\left(\hat{\mathit{\Pi}}_x - i\hat{\mathit{\Pi}}_y\right)$$

とおいて，交換子 $[\hat{C}, \hat{C}^\dagger]$ を求めよ。

3）質量 m (> 0)，電荷 e を持つ粒子が磁束密度 B の磁場中にある。この粒子のハミルトニアンは

$$\hat{H} = \frac{1}{2m}\left(\hat{\mathit{\Pi}}_x^2 + \hat{\mathit{\Pi}}_y^2\right)$$

で与えられる。$\hat{C}, \hat{C}^\dagger$ を用いて $\hat{H}$ を表せ。

4）$\hat{H}$ のすべての固有値を求めよ。ただし，質量 m，角振動数 ω (> 0) の調和振動子のハミルトニアン

$$\hat{H}_{\mathrm{osc}} = \frac{1}{2m}\hat{p}_x^2 + \frac{1}{2}m\omega^2\hat{x}^2$$

の固有値は $E_n = \hbar\omega(n + \frac{1}{2})$ $(n = 0, 1, 2, \cdots)$ であることを使ってよい。

(物 2 の問題はここで終わり)

物3

ある巨視的な系はエネルギー状態密度関数 $\rho(E)$ を持つとする。つまり微小なエネルギー幅 $\Delta E > 0$ に対してエネルギーの値が E と $E+\Delta E$ の間にある微視的状態の個数が $\rho(E)\Delta E$ に等しいとする。このような系が絶対温度 T の熱平衡状態にあるときの分配関数 Z は

$$Z(\beta) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\beta E} \rho(E)\, dE$$

で与えられる。ただし k_{B} をボルツマン定数として，$\beta = 1/(k_{\mathrm{B}}T)$ である。微視的状態が持つ最小のエネルギー値 E_0 と，最小エネルギー値の次に大きいエネルギー値 E_1 との間に 0 でない有限な差がある系をエネルギーギャップのある系という。エネルギーの平均値は

$$\langle E \rangle = \frac{1}{Z} \int_{-\infty}^{\infty} E\, e^{-\beta E} \rho(E)\, dE$$

で与えられ，この系の熱容量は

$$C = \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T}$$

で与えられる。以下の問に答えよ。

[1] 次の式が成り立つことを証明せよ。

$$\langle E \rangle = -\frac{1}{Z} \frac{\partial Z}{\partial \beta}$$

[2] α と ε を正の実数定数として，エネルギー状態密度関数が

$$\rho(E) = \begin{cases} \dfrac{1}{\varepsilon} \left(\dfrac{E}{\varepsilon} \right)^{\alpha} & (E \geq 0) \\ 0 & (E < 0) \end{cases}$$

で与えられる系について以下の問に答えよ。

1) この系の分配関数 $Z(\beta)$ を求めよ。ただし，ガンマ関数の定義式

$$\Gamma(\alpha+1) = \int_{0}^{\infty} e^{-t}\, t^{\alpha}\, dt$$

を使ってよい。

2) この系のエネルギー平均値 $\langle E \rangle$ を絶対温度 T の関数として求めよ。

3) この系の熱容量 C を求めよ。

（物 3 の問題は次のページに続く）

[3] ε を正の実数定数として，エネルギー状態密度関数が

$$\rho(E) = \sum_{n=0}^{\infty} \delta(E - \varepsilon n)$$

で与えられる系について考える。ただし $\delta(x)$ はディラックのデルタ関数で，任意の連続関数 $f(x)$ と任意の実数 a に対して

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x-a)\,dx = f(a)$$

が成り立つ。以下の問に答えよ。

1) この系の分配関数 $Z(\beta)$ を求めよ。

2) この系のエネルギー平均値 $\langle E \rangle$ を変数 β の関数として求めよ。

3) この系の熱容量 C を β の関数として求めよ。

4) $k = 0, 1, 2, \cdots$ に対して

$$\lim_{x\to\infty} x^k e^{-x}$$

はいくらか。また，その値になる理由も述べよ。

5) 変数 β を $\beta = 1/(k_{\mathrm{B}}T)$ により T で置き換えて，絶対温度 $T \to \infty$ とするときの C の極限値を求めよ。

6) $T \to 0$ とするときの C の極限値を求めよ。

7) 熱容量 C を T の関数とみなして，関数 $C(T)$ のグラフの概略図を描け。

[4] [2] と [3] で扱った系のうち，どちらがエネルギーギャップのある系か，理由もつけて答えよ。また，エネルギーギャップの有無は熱容量のどんな特徴に反映されるか説明せよ。

（物 3 の問題はここで終わり）

化 1

以下の問[1]および[2]に答えよ。

[1] 一次元の箱の中で量子力学に従って運動する電子に関する以下の問に答えよ。図1に示すように，電子の座標をxとしたとき，$0 \leq x \leq a$において，ポテンシャル$V(x)$は0，それ以外では$V(x) = \infty$とする。なお，電子の質量をm，電荷をe，プランク定数をhとする。

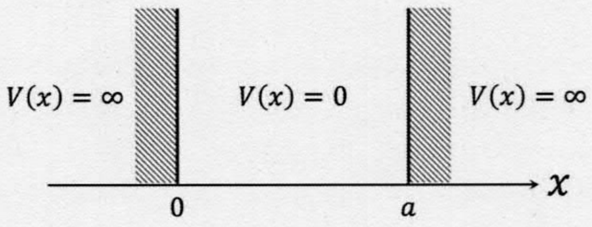


図 1. 一次元の箱の模式図

1） この電子の運動を定めるハミルトン演算子を答えよ。

2） このハミルトン演算子に対応するシュレーディンガー方程式の解として，Aを正の定数として以下の規格化された波動関数が得られた。

$$\begin{cases} \psi_n(x) = 0 & x \leq 0, x \geq a \\ \psi_n(x) = A \sin \dfrac{n\pi}{a} x & 0 < x < a \end{cases}$$

ここでnは正の整数である。 Aの値を求めよ。

3） このシュレーディンガー方程式の解となるエネルギー準位E_nを求めよ。

4） 電子が量子力学に従って運動する場合と古典力学に従うと仮定した場合で，最低エネルギー状態にどのような違いが生じると考えられるか，100 字程度で説明せよ。

[2] 図 2 に示すβ-カロテンは長い共役二重結合を持つ分子であり，π電子が分子の中で広がって運動することができる。この 11 個の共役二重結合が連なった長さをLとすると，そこに含まれるπ電子を長さLの 1 次元の箱の中の自由電子としてモデル化できる。このモデルに関して以下の問に答えよ。

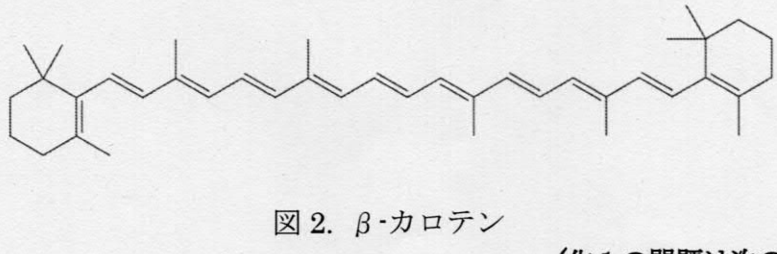


図 2. β-カロテン

（化 1 の問題は次のページに続く）

1）　β-カロテンの11個の共役二重結合に含まれるπ電子の数を答えよ。

2）　基底状態においてπ電子の占有するエネルギー準位はいくつか答えよ。

3）　このモデルにおいて，β-カロテンが波長λに最大波長の光吸収を示すとする。この吸収は最高占有軌道から最低非占有軌道への電子遷移に対応すると考えられる。このことから，共役二重結合の長さLを，吸収波長λ，プランク定数h，光速c，電子の質量mを用いて答えよ。

4）　ビタミンAはβ-カロテンの酸化的切断で得られる化合物であり，共役二重結合は5つでこの長さはβ-カロテンの半分程度だと考えられる。上記のβ-カロテンと同様のモデルを用いて考えたとき，ビタミンAの最高占有軌道から最低非占有軌道への電子遷移に対応する吸収波長は，β-カロテンと比べてどのようになるか，説明せよ。

（化１の問題はここで終わり）

化 2

以下の問[１]および[２]に答えよ。

[１] 次の文章を読んで，以下の 1）および 2）に答えよ。

温度一定のもと，２つの素反応からなる次のような逐次反応を考える。

$$\mathrm{A} \xrightarrow{k_1} \mathrm{B} \xrightarrow{k_2} \mathrm{C} \tag{1}$$

ここで，k_1とk_2は反応速度定数である。物質A，B，C の濃度を[A]，[B]，[C]で表すと，それぞれの反応速度式は

$$\frac{\mathrm{d[A]}}{\mathrm{d}t} = (\quad ア \quad) \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d[B]}}{\mathrm{d}t} = (\quad イ \quad) \tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{d[C]}}{\mathrm{d}t} = (\quad ウ \quad) \tag{4}$$

である。物質Aの初期濃度は$[\mathrm{A}]_0$，物質BとCの初期濃度は 0 であるとして式（2）から（4）を解くと，時刻tにおける[A]，[B]，[C]は

$$[\mathrm{A}] = (\quad エ \quad) \tag{5}$$

$$[\mathrm{B}] = (\quad オ \quad) \tag{6}$$

$$[\mathrm{C}] = (\quad カ \quad) \tag{7}$$

となる。式（6）を用いて[B]が最大となる時刻t_{max}と，その最大値$[\mathrm{B}]_{\mathrm{max}}$を計算すると

$$t_{\mathrm{max}} = (\quad キ \quad) \tag{8}$$

$$[\mathrm{B}]_{\mathrm{max}} = (\quad ク \quad) \tag{9}$$

となる。式（9）によると，$k_1/k_2 \to 0$のときに$[\mathrm{B}]_{\mathrm{max}} \to 0$となる。したがって，$k_2 \gg k_1$ならば，反応の全期間で[B]は小さく，ほとんど変化しないとみなせる。よって

$$\frac{\mathrm{d[B]}}{\mathrm{d}t} \approx 0 \tag{10}$$

と近似できる。これを $\boxed{(あ)}$ 近似と呼ぶ。式（10）の近似の下で式（2）から（4）を解くと，時刻tにおける[A]，[B]，[C]は

$$[\mathrm{A}] = (\quad エ \quad) \tag{11}$$

$$[\mathrm{B}] = (\quad ケ \quad) \tag{12}$$

$$[\mathrm{C}] = (\quad コ \quad) \tag{13}$$

となる。式（13）は，最終生成物である物質Cの生成量が，式（1）の２つの素反応のうち，一方の反応速度だけで決まることを示している。このような，反応全体の速度を決定する素反応を反応（1）の $\boxed{(い)}$ と呼ぶ。

（化 2 の問題は次のページに続く）

1) (ア) から (コ) に当てはまる最も適切な式を答えよ。
2) (あ) と (い) に当てはまる最も適切な語句を答えよ。

[2] 次の文章を読んで，以下の 1) から 3) に答えよ。

質量mの単原子分子からなる古典理想気体を考える。この系が絶対温度Tで熱平衡状態にあるとき，各分子が持つ速度の大きさvは，以下の Maxwell-Boltzmann 分布に従うことが知られている。

$$f(v) = Av^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_\mathrm{B}T}\right) \quad (v \geq 0) \tag{14}$$

ここでk_Bは Boltzmann 定数，Aは規格化定数であり，vに依存しない。

1) Aを求めよ。ただし，以下の公式を用いてもよい。

$$\int_0^\infty x^2 e^{-\alpha x^2} \mathrm{d}x = \frac{1}{4}\left(\frac{\pi}{\alpha^3}\right)^{1/2} \tag{15}$$

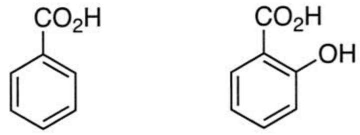
2) $f(v)$を最大にするvの値v_mpと，$f(v_\mathrm{mp})$を求めよ。
3) 縦軸を$f(v)$，横軸をvとして，3 つの絶対温度$T_1 < T_2 < T_3$における$f(v)$の概形を描け。

(化 2 の問題はここで終わり)

化３

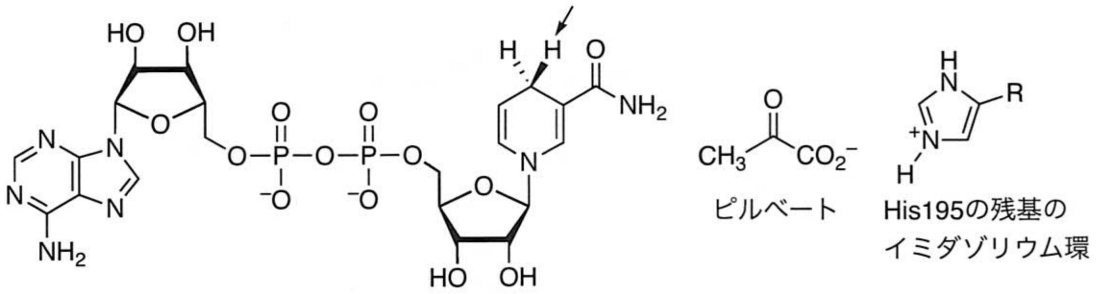
以下の問[１]から[４]に答えよ。

[１] 下記に，安息香酸とサリチル酸の水中での pK_a を示した。サリチル酸の pK_a は安息香酸の pK_a よりも低くなるが，その理由を説明せよ。



	安息香酸	サリチル酸
pK_a (H_2O)	4.2	3.0

[２] 生体内でのピルベート（ピルビン酸の共役塩基）の還元について，以下の問に答えよ。



ピルベートは激しく活動している筋肉中で，乳酸脱水素酵素によって($\boxed{\text{あ}}$)-ラクテートへと変換される。この時，NADH の水素のうち，矢印で図示した水素がヒドリド源となって上記のように記載したピルベートのカルボニル基の炭素を紙面の上側から攻撃するとともに，His195 の残基のイミダゾリウム環からプロトンが供給される。そして，NADH は NAD^+へと変換される。

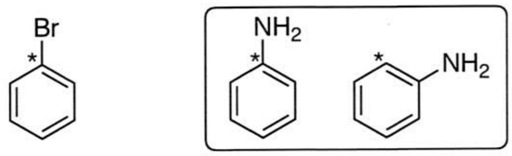
１）この酵素反応で得られるラクテート（乳酸の共役塩基）の構造を，立体を明記して書け。

２）$\boxed{\text{あ}}$ に当てはまる絶対立体配置を，*R* または *S* で記せ。

３）NAD^+の構造を書け。

（化３の問題は次のページに続く）

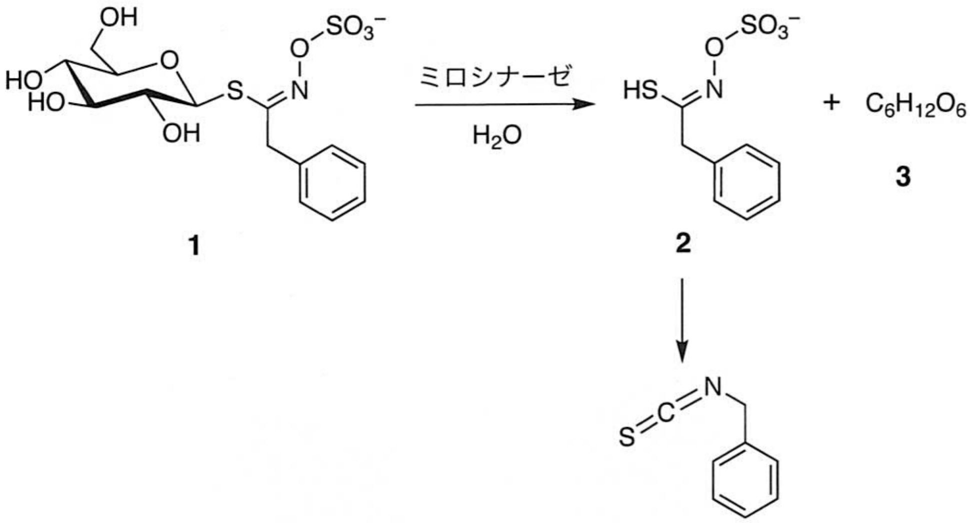
[3] 1 位を放射性 ^{14}C で標識したブロモベンゼンを，液体アンモニア中でカリウムアミド KNH_2 と反応させると，下図の四角で囲んだ 2 種類のアニリンが 1:1 の比率で得られた。この現象を，構造式を用い，電子の流れを矢印で示すことで説明せよ。



ブロモベンゼン　　　アニリン

(* は，放射性 ^{14}C を示す。)

[4] アブラナ科の植物であるコショウソウ（*Lepidium sativum*）の苗や葉などの組織には，グリコシノレート **1** とその分解酵素ミロシナーゼが含まれている。これらはコショウソウの各組織で別々に貯蔵されているが，組織が傷つけられて互いに接触すると，グリコシノレート **1** がアグリコン **2** と化合物 **3** に分解する。アグリコン **2** はさらに分解を受ける。その主な分解生成物として，ベンジル基の転位を伴って得られるイソチオシアン酸ベンジル **(4)** が知られている。下記の問に答えよ。



4

1）化合物 **3** は水溶液中で主に環状構造をとり，その環状構造には 2 つの異性体が存在する。それらの異性体の構造を書け。

2）アグリコン **2** からイソチオシアン酸ベンジル **(4)** が生成する機構を書け。その際，構造式を用い，電子の流れを矢印で示せ。

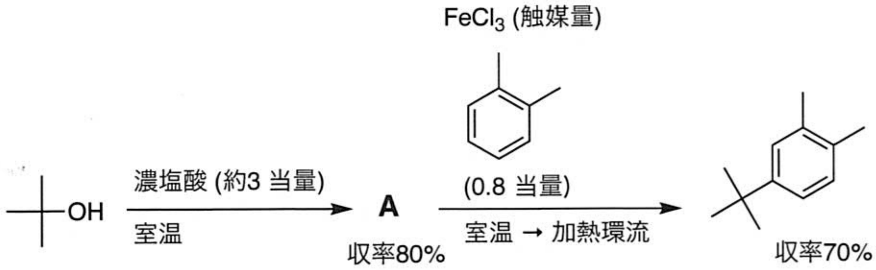
3）微生物や昆虫を含む様々な生物に対してグリコシノレート **1** は毒性を示さないが，イソチオシアン酸ベンジル **(4)** は毒性を示すことが知られている。コショウソウがグリコシノレート **1** とミロシナーゼを有する生物学的な意義を 100 文字以内で述べよ。

(化 3 の問題はここで終わり)

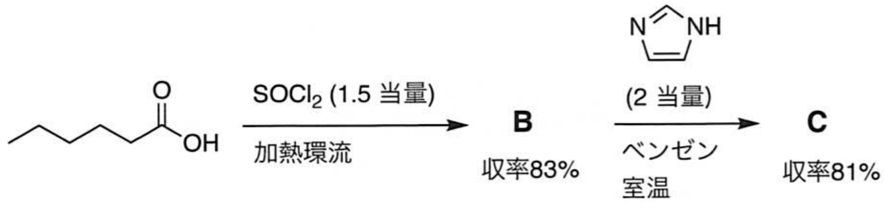
化４

以下に記載の反応式１）から４）の反応機構について説明せよ。反応機構を解答する際には，構造式を用い，電子の流れを矢印で示せ。

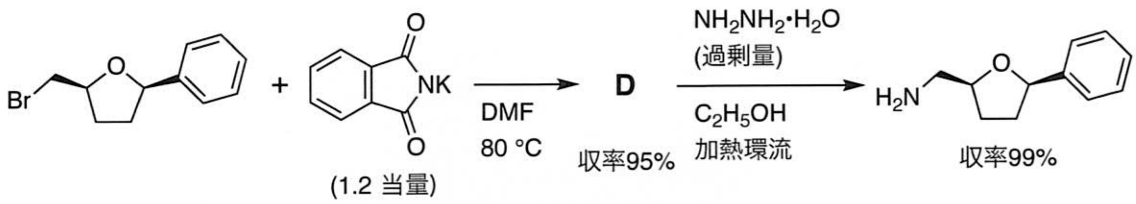
１）



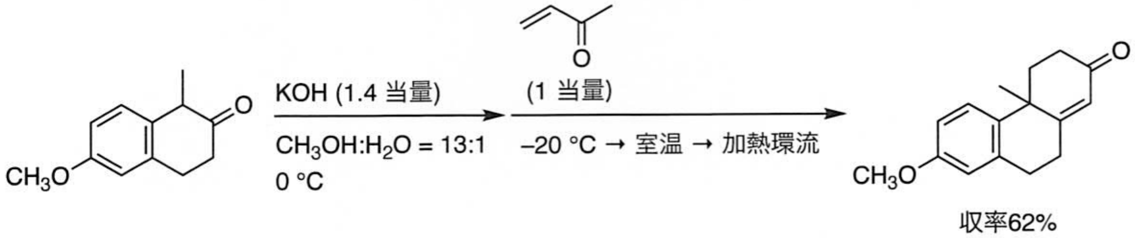
２）



３）



４）



生１

次の文を読み，各問に答えよ。

転写が始まってからmRNAがたどる過程には，細菌と真核生物の間に顕著な違いがある。細菌では，mRNA は真核生物でみられるような加工を受けず，また，細胞内に（ア）がないので転写と翻訳はどちらも（イ）で並行して行われる。さらに細菌では，（ウ）と呼ばれるゲノム上で隣り合う複数の（エ）が１本のmRNAへとまとめて転写される。(A) それらの（エ）は同一のmRNA上で別々に翻訳され，互いに異なるタンパク質になる。一方で真核生物のmRNAは，通常，機能的タンパク質の設計図として単一の（エ）を持ち，また転写開始後にRNA（オ）と呼ばれる加工を受ける。このRNA（オ）には，(B) RNAキャップ形成，(C) ポリアデニル化，（カ）の３つがある。これらのRNA（オ）に必要な因子の一部は，転写開始後に起こるRNAポリメラーゼの（キ）の（ク）化が目印となり，この（キ）に結合する。新生mRNAがRNAポリメラーゼから出てくると，それらの因子は（キ）からmRNAに移行し，それぞれが担当するRNA（オ）を行う。転写を終え，RNA（オ）が完了した真核生物の(D) 成熟mRNAは（イ）へと運び出され，翻訳が始まる。

1） 文中の（ア）～（ク）に次の語群から適切な語を選んで入れよ。
［細胞膜，細胞質，核，小胞体，オペロン，シャペロン，ヒストン，コード領域，非コード領域，プロモーター，プロセシング，スプライシング，頭部，中央部，尾部，メチル，リン酸，アセチル］

2） 下線（A）を，翻訳が始まる塩基配列が決まる仕組みに留意し，１５０～２００字程度で説明せよ。図を用いてもよい。

3） 下線（B）と下線（C）をそれぞれ３０～４０字程度で説明せよ。

4） （カ）はどのように行われるのか，次の語群の語を用いて２００～３００字程度で説明せよ。図を用いてもよい。
［投げ縄構造，イントロン，エキソン，核内低分子リボ核タンパク質（snRNP)］

5） 細菌と真核生物のmRNAの３'末端の場所を決める仕組みは異なる。２つの仕組みの違いを１００字以内で説明せよ。

6） 下線(D)の仕組みを次の語群の語を用いて２００～３００字程度で説明せよ。図を用いてもよい。
［キャップ結合タンパク質，ポリＡ尾部結合タンパク質，エキソン接合部複合体，成熟mRNA，核質，細胞質，核膜孔複合体，翻訳開始因子，開始tRNA，開始コドン，リボソーム小サブユニット，リボソーム大サブユニット］

生２

以下の (a) ～ (d) の実験方法から２つを選び，それぞれについて各問に答えよ。
必要に応じて図を用いてもよい。

(a) ノーザンブロット法
(b) ポリメラーゼ連鎖反応（PCR）法
(c) CRISPR 系によるゲノム編集
(d) 酵母２ハイブリッド法

［１］実験の目的を２０～４０字程度で説明せよ。

［２］実験の原理を２００～３００字程度で説明せよ。

［３］実験の手順を３００～４００字程度で説明せよ。

生３

[１] 生命が獲得した主要な代謝系に，光合成と呼吸がある。ここで言う光合成とはシアノバクテリアや植物が行う光合成，呼吸とは好気呼吸を指す。

１）光合成は光エネルギーを利用した反応である。呼吸では ATP が生産される。それ以外の反応の前後に現れる物質を下記の語群より選択し，化学反応を説明せよ。数量については省略をしてよい。

語群）二酸化炭素，グルコース，水，ADP，AMP，リン酸，酸素，酸化アルミニウム，オゾン，クロロフィル，紫外線，赤外線

２）光合成は当時の多くの生命に危機をもたらしたが，呼吸の開発によって危機は回避され，多大な恩恵がもたらされたと考えられている。地球と生命の歴史上どういうことが起きたのかを説明せよ。

[２] 呼吸のいくつかの工程はミトコンドリアで行われる。

１）ミトコンドリアは好気性細菌がホスト細胞と共生したと考えられている。その証拠を理由を付して２つ述べよ。

２）ミトコンドリアで ATP 合成を担うタンパク質複合体に F_1ATPase がある。F_1ATPase にはαサブユニットとβサブユニットがあり，これら２種類のタンパク質は細菌，古細菌，真核生物が分岐する以前に共通祖先から分岐して進化した，ホモロガスなタンパク質である。従って，系統解析に利用されることがある。大腸菌，メタン菌，ヒトの F_1ATPase のαサブユニットとβサブユニットをそれぞれ，大α，大β，メα，メβ，ヒα，ヒβと略記する。

（ア）大αと大β（メαとメβ，ヒαとヒβも同様），大αとメα（やヒα）はホモロガスなタンパク質であるが，前者と後者では分岐の仕方が異なる。それぞれのグループの名称と分岐の仕方を説明せよ。

（イ）大α，大β，メα，メβ，ヒα，ヒβについて有根系統樹を描け。トポロジーを採点するので進化距離は問わない。

地１

大気圏の構造について，以下の問に答えよ。

[１] 大気の温度は水平方向よりも垂直方向に変化が大きい。そこで，温度の変化に応じて，大気を垂直方向にいくつかの層（圏）に分類している。以下にこれらの層（圏）の名前を列挙してあるので，これらを地表から上層へ向かって順に並べよ。
熱圏，対流圏，中間圏，成層圏

[２] 上記の各層について，層内の垂直方向の温度変化をそれぞれ３０文字程度で説明せよ。

[３] 以下に列挙した事物は，それぞれどの層（圏）で最もよく現れるか。オゾン層－〇〇圏のように組み合わせで答えよ。
オゾン層，雷，オーロラ，台風

[４] オゾン層とは何か，そしてオゾン層が地球環境で果たす役割について２００文字程度で説明せよ。

[５] 温度や気圧の変化に比べて，大気の垂直方向の組成の変化は大きくない。大気の組成（大気を構成する気体分子または原子の種類と割合）は，地表からどの層（圏）までほぼ一定であるか答えよ。またその事実を示す簡便な指標とその変化の概要を１５０文字程度で答えよ。

地２

リモートセンシングについて，以下の問に答えよ。

[１] リモートセンシングのデータを評価する指標として解像度がある。解像度には様々な種類があるが，このうち空間解像度と時間解像度について，それぞれ１５０文字程度で説明せよ。

[２] リモートセンシングに用いられる衛星の軌道には様々な種類があるが，このうち極軌道と赤道軌道について，それぞれ１５０文字程度で説明せよ。

[３] リモートセンシングに用いられる衛星の代表例として，気象衛星と地球観測衛星がある。これらの衛星の目的について，解像度と軌道の関係に留意して，それぞれ２００文字程度で説明せよ。

情 1

以下の C 言語の問に答えよ。

[1] 次のプログラム実行時の標準出力への出力結果を示せ。

```
#include <stdio.h>
int main(void)
{
    int x1=0x0f0f, x2=8765, x3=07456;
    printf("%x %d %x %d %x %d\n", x2, x1+x2, x1^x2, x3>>3, x1|x3, x2&x3);
    return 0;
}
```

[2] 文字列に特定の文字が含まれる個数を求めて表示するプログラムを作成した。下線部を適切に埋めよ。

```
#include <stdio.h>

int count(___(1)___)
{
    int i=0, c=0;
    while (___(2)___) {
        if(s[i]==w) c++;
        ___(3)___;
    }
    ___(4)___;
}

int main(void)
{
    char s[]="Graduate School of Informatics", w='a';
    printf("%d\n", count(s, w));
    return 0;
}
```

```
標準出力結果例：

3
```

[3] 入力された自然数 n ($n \geq 2$) を素数判定するプログラムを作成した。自然数 n が素数の場合は'y'，素数でない場合は'n' を表示する。下線部を適切に埋めよ。

```
#include <stdio.h>

char check(int n)
{
    int i;
    char ___(1)___ ;
    for( ___(2)___ ; i<n/2+1; i++ )
        if( ___(3)___ ) id='n';
    ___(4)___ ;
}

int main(void)
{
    int n;
    scanf("%d", &n);
    printf("%c\n", check(n));
    return 0;
}
```

```
標準入出力結果例：

9
n
```

[4] 入力された２つの自然数 n1 と n2 について，n1 以上で n2 以下の素数の最大値と最小値を求めるプログラムを作成した。ただし，$1 \leq$ n1 $<$ n2 であって，n1 以上で n2 以下の間に素数が１つは存在するものとする。このプログラムでは問［3］で作成した関数 check を用いる。下線部を適切に埋めよ。

```
#include <stdio.h>

int maxmin(int n1, int n2, ___(1)___){
    if( ___(2)___ ){
        if( ___(3)___ ){
            if( *min > n1 ) *min=n1;
            if( *max < n1 ) *max=n1;
        }
        return maxmin( ___(4)___ );
    }else{
        return 0;
    }
}

int main(void)
{
    int n1, n2, max, min;
    scanf("%d", &n1);
    scanf("%d", &n2);
    max=n1;
    min=n2;
    maxmin(n1, n2, &max, &min);
    printf(" %d\n %d\n", max, min);
    return 0;
}
```

```
標準入出力結果例：

4
10
   7
   5
```

情 2

表 1 は, 2 者が 2 種類の手 (A または B) のいずれかを同時に出すゲームを行ったとき, それぞれが得る得点を表している。
次の問に答えなさい。

[1] 表 1 のような状況は, 一方の手が協力行動, 他方が裏切り行動に対応した,「社会的ジレンマ」を表していると考えられる。手 A, B がそれぞれどちらの行動か述べた上で, どのような社会的ジレンマか, 各手が表す特徴を示しつつ社会における具体例を用いて説明せよ。

表 1

相手 (→) 自分 (↓)	手A	手B
手A	(4, 4)	(0, 5)
手B	(5, 0)	(1, 1)

各値は（自分の得る得点，相手の得る得点）

[2] 表 1 のゲームを 2 者間で繰り返し行う「繰り返しゲーム」を考える。繰り返しゲームにおける戦略を次のように定義する。戦略 X : 常に手 A をとる。戦略 Y : 常に手 B をとる。戦略 Z : 初回は手 A, 以降は前回に相手が出した手をとる。この時, 戦略 X, Y, Z が, 各 5 回からなる繰り返しゲームを, 自分自身との繰り返しゲームも含む総当たりで行った。このとき, 繰り返しゲームの組み合わせごとに, 各戦略が得る平均得点を示せ。なお, 表 2 に示す形式で答えること。

表 2

相手 (→) 自分 (↓)	戦略X	戦略Y	戦略Z
戦略X			
戦略Y			
戦略Z			

各値は自分が相手と繰り返しゲームを行って得る平均得点

[3] 戦略 Z は「しっぺ返し」戦略と呼ばれ, 様々な種類の戦略が存在する中, 十分長い回数行う繰り返しゲームの総当たり戦において優秀な成績を示したことが知られている。また, この戦略の特徴として, 善良, 報復的, 寛容, 明快であることが挙げられている。これらの特徴や問[2]での振る舞いを踏まえて, この戦略が優秀な成績を収めた理由を推測して簡潔に述べよ。

[4] 戦略 W は「成功継続・失敗転換」型の戦略であり，初回は手 A をとり，以降は前回相手と自身がともに手 A，もしくは，ともに手 B の場合に手 A をとり，それ以外は手 B をとるものとする。ここで，3 種類の戦略 Y，Z，W が集団中を占める構成比の時間変化を次のように定義する。

各時刻で繰り返しゲームの総当たり戦を実施する。各繰り返しゲームは 3%の確率で意図した手と逆の手が出るノイズありの設定を用いて十分な回数繰り返す。集団中の戦略 p が戦略 q との対戦で得る得点を『(戦略 p と q の繰り返しゲームで戦略 p が得る平均得点) × (戦略 p の構成比) × (戦略 q の構成比)』として定義し，各戦略の次の時刻の構成比は各戦略が自分自身との繰り返しゲームを含む総当たり戦で得る総得点に比例して決まるとする。

この定義に基づく試行（初期集団では同構成比）の結果，図 1 のような構成比の変化が観察された。図中の戦略（i）と戦略（ii）がそれぞれ戦略 Z と W のどちらに対応するか答え，判断理由を同じ戦略間でのノイズありの繰り返しゲームに注目して説明せよ。

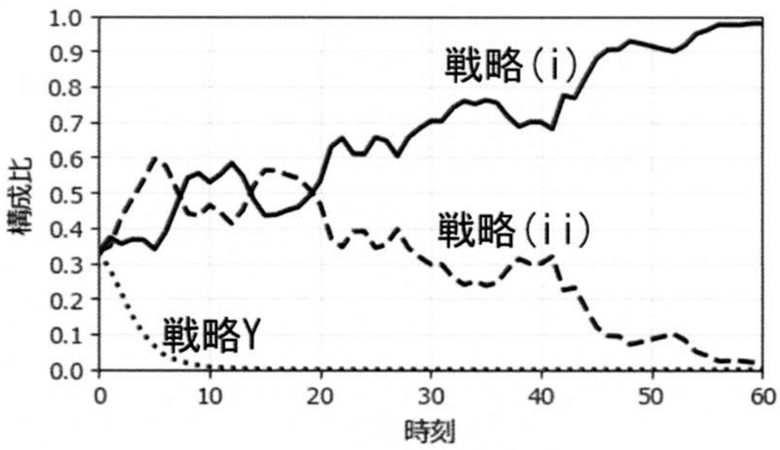


図 1

情 3

[1] 10 個のデータからなる以下の配列 a について，バブルソート法を用いて昇順にソートするときの置換結果（パスごとの配列の状態）を全て記せ。
a:18, 21, 13, 15, 22, 17, 26, 20, 10, 29

[2] 要素をランダムな順序で挿入して構築した二分探索木について以下の問いに答えよ。

1） 要素集合{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}に対して，7!通りの挿入順を考えた時，木の平均探索コスト（ノード深さの平均）を求める計算手順を以下の例を参考に示せ（例 1：〜〜を構築。2：〜〜を計算。3：〜〜を求める）。

2） 全通りの内，平均探索コストが最小となる挿入順を一つ示し，その時の二分探索木を示せ。

3） 探索したい要素が等確率でない場合，平均探索コストを最小化する二分探索木を再構成するため手法を説明せよ。

[3] 次の重み付き有向グラフを考える（ノード数：6，ノード：A，B，C，D，E，F）。各辺の重みは，A → B（2），A → C（5），B → C（1），B → D（2），C → D（3），C → E（1），D → F（1），E → F（2）とする。ここで（ ）内の数字はこの辺の重みを示す。例えば，A → B（2）は A から B への有向辺を示し，2 はこの辺の重みである。以下の問いに答えよ。

1） ダイクストラ法に基づいて始点 A から各ノードに至る最短経路を求める手順を示し，各ノードに至る最短距離を全て求めよ。また，重み付き有向グラフを示せ。

2） ダイクストラ法が負の重みを含む辺を持つグラフに適用できない理由を説明せよ。

工1

[1] van der Waals 状態方程式を示し，理想気体の状態方程式との違いを説明せよ。

[2] カルノーサイクルは, 2 つの等温過程と 2 つの断熱過程からなる理想的な熱機関である。このサイクルの熱効率を示し，実在の熱機関がこの効率を達成できるかどうかを可逆性，エントロピー変化の関係を用いて説明せよ。

工２

［1］図１のように，密度ρ_aの液体 a と密度ρ_bの液体 b が鉛直方向に分離して層を成し，その境界を挟んで円筒体（断面積A，高さh_0，密度ρ_0）が静止している。ただし，$\rho_a < \rho_0 < \rho_b$であり，円筒体の中心線は鉛直である。また，液体 a の厚さをh_1，$h_1 > h_0$とし，重力加速度をgとする。以下の問に答えなさい。

1）円筒体に作用する浮力を求めよ。

2）円筒底面から境界までの高さh_2を求めよ。

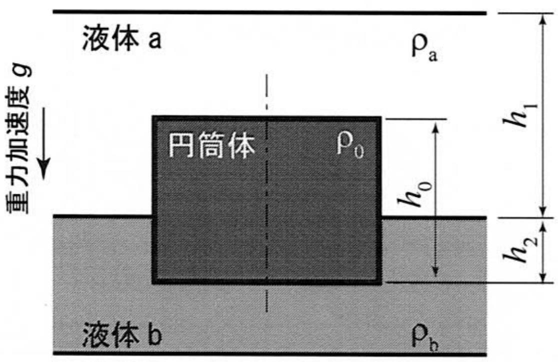


図１

［2］図２のように，水が貯められたタンクの底部の小孔から，水が大気中に流出している。ただし，水深をh，小孔の断面積をA_0とし，小孔における流れのエネルギー損失，水流と空気の摩擦，および表面張力はないものとする。また，hの時間変化は無視できるものとし，重力加速度をgとする。以下の問に答えなさい。

1）小孔とタンク水面の間に成り立つ Bernoulli 式を求めよ。

2）小孔における水の速度を求めよ。

3）小孔から鉛直下向きにxだけ離れた位置における，水流の断面積$A(x)$を求めよ。

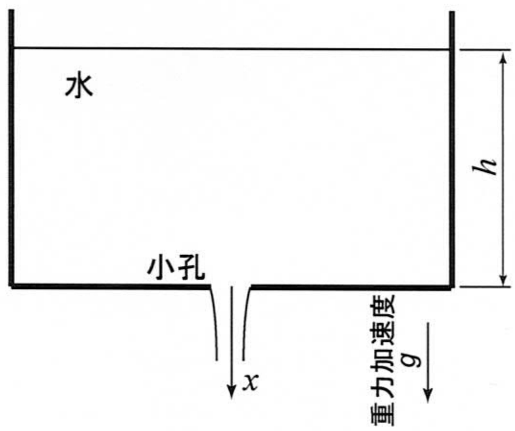


図２