２０２５年１０月入学

２０２６年　４月入学

東京農工大学大学院
先進学際科学府
先進学際科学専攻修士課程

入学試験問題（基 礎）

１．解析学及び線形代数学　２．フーリエ及びラプラス変換
３．確率及び統計学　４．力学　５．電磁気学
６．情報基礎　７．物理化学　８．有機化学
９．無機化学　10．細胞生物学　11．生理・生化学
12．生態学　13．環境学

（注意事項）

１．以上１３題の中から任意の４題を選択し，解答すること．

２．解答は問題ごとに別々の解答用紙に記入すること．

３．受験番号と問題番号を解答用紙の所定欄に必ず記入すること．

1.　（解析学及び線形代数学）

下記の問いに答えよ．ただし，答えを導く過程も記すこと．

（1）次に示す x, y に関する連立微分方程式の一般解を求めよ．

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = 4y - 3x + e^{-t} \\ \dfrac{dy}{dt} = 2y - x + e^{-t} \end{cases}$$

（2）次に示す行列について下記の問いに答えよ．

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

（i）　固有値を求めよ．

（ii）　1 次独立な固有ベクトルを 3 個求めよ．

１．（解析学及び線形代数学）（解答例）

（１）

$\dfrac{dx}{dt}$ に関する式を y について解くと

$$y = \frac{x'}{4} + \frac{3x}{4} - \frac{e^{-t}}{4} \quad (3)$$

(3)式を t について微分すると

$$y' = \frac{x''}{4} + \frac{3x'}{4} + \frac{e^{-t}}{4} \quad (4)$$

(4)式を問題文の $\dfrac{dy}{dt}$ に関する式に代入すると

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

よって，一般解は

$$x = -\frac{e^{-t}}{2} + C_1 e^{-2t} + C_2 e^{t}$$

ただし，C_1, C_2 は定数である．

これを，(3)式に代入すると

$$y = -\frac{e^{-t}}{2} + \frac{1}{4} C_1 e^{-2t} + C_2 e^{t}$$

と求まる．

（２）

(i) 固有値を求める方程式

$$(1-\lambda)^3 + 2 - 3(1-\lambda) = -\lambda^3 + 3\lambda^2 = -\lambda^2(\lambda - 3) = 0$$

これを解いて

$\therefore \lambda = 3, 0$(重解)

(ii)固有値λに対する固有ベクトルを $V(\lambda)$ とする．

固有値が３のとき

$$\begin{pmatrix} -2 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$x_3 = t\ (t \neq 0)$ とおくと $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = t \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$ よって，$V(3) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$

固有値が 0 のとき

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

これは　$x_1 - x_2 + x_3 = 0$　なので，

$x_2 = s\ (s \neq 0),\quad x_3 = t(t \neq 0)$　　とおくと $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ よって，$V(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},\ \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

よって，

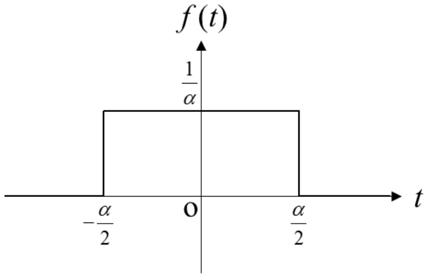
$V(3) = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$　$V(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},\ \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$　＊$V(0)$ は，$x_1 - x_2 + x_3 = 0$ を満たせばすべて正答となる．

2.（フーリエ及びラプラス変換）

下記の問いに答えよ．ただし，答えを導く過程も記すこと．

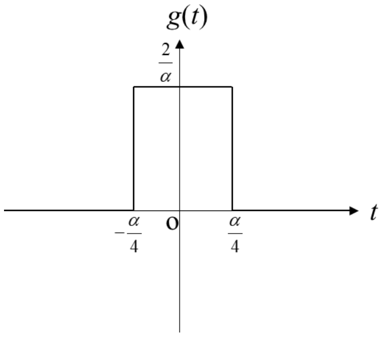
（１）矩形波のフーリエ変換について下記の問いに答えよ．

（i）　下図および次式に示す矩形波 $f(t)$のフーリエ変換 $F(\omega)$ を求めよ．αは正の定数である．答えには，複素表現を用いず，三角関数を用いて答えよ．



$$f(t)=\begin{cases}\dfrac{1}{\alpha} & \left(-\dfrac{\alpha}{2}\le t\le\dfrac{\alpha}{2}\right)\\ 0 & \left(t<-\dfrac{\alpha}{2},\ \dfrac{\alpha}{2}<t\right)\end{cases}$$

（ii）　下図および次式に示す矩形波 $g(t)$のフーリエ変換 $G(\omega)$を求めよ．αは正の定数である．



$$g(t)=\begin{cases}\dfrac{2}{\alpha} & \left(-\dfrac{\alpha}{4}\le t\le\dfrac{\alpha}{4}\right)\\ 0 & \left(t<-\dfrac{\alpha}{4},\ \dfrac{\alpha}{4}<t\right)\end{cases}$$

解答には次式に示すフーリエ変換の縮尺性を用いてもよい．

$$F[\tau g(\tau t)]=G\left(\frac{\omega}{\tau}\right)$$

＊ F []は[]内の関数にフーリエ変換を施すことを示す．また，τは正の定数である．

（２）下記のラプラス変換に関する問いに答えよ．

（i）　次の時間 t に関する関数$f(t)$についてラプラス変換を求めよ．ただし a は定数である．

$$f(t)=e^{at}$$

（ii）　(i)の答えを利用して，次の時間 t に関する関数 $g(t)$についてラプラス変換を求めよ．ただしωは定数である．

$$g(t)=\cos(\omega t)$$

2.（フーリエ及びラプラス変換）（解答例）

（１）

（i）

$$F(\omega)=\frac{1}{\alpha}\int_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}} e^{-j\omega t}dt=-\frac{1}{j\omega\alpha}\left[e^{-j\omega t}\right]_{-\frac{\alpha}{2}}^{\frac{\alpha}{2}}=-\frac{1}{j\omega\alpha}\left[e^{-j\frac{\omega\alpha}{2}}-e^{j\frac{\omega\alpha}{2}}\right]=\frac{2}{\omega\alpha}\sin\left(\frac{\omega\alpha}{2}\right)=\frac{\sin\left(\frac{\omega\alpha}{2}\right)}{\left(\frac{\omega\alpha}{2}\right)}$$

（ii）

題意より縮尺性を考えると(i)の答えのωに関する項をすべて2で割ればよいので下記となる.

$$G(\omega)=\frac{4}{\omega\alpha}\sin\left(\frac{\omega\alpha}{4}\right)=\frac{\sin\left(\frac{\omega\alpha}{4}\right)}{\left(\frac{\omega\alpha}{4}\right)}$$

（２）

（i）

$$\int_0^\infty e^{at}e^{-st}dt=\left[\frac{e^{-(s-a)t}}{-(s-a)}\right]_0^\infty=\frac{1}{s-a}$$

（ii）

$\cos(\omega t)=\frac{1}{2}\left(e^{i\omega t}+e^{-i\omega t}\right)$　よって(i)の結果で，$a\to j\omega$として左の式をラプラス変換すると

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{s-j\omega}+\frac{1}{s+j\omega}\right)=\frac{s}{s^2+\omega^2}$$

3.　（確率及び統計学）

二つの連続な確率変数X, Yの確率密度関数が

$$f_{X,Y}(x,y)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}+2xy & (0\leq x\leq 1, 0\leq y\leq 1)\\ 0 & (\text{その他の範囲})\end{cases}$$

で与えられているとする．以下の問いに答えよ．

(1) XとYの周辺確率密度関数をそれぞれ求めよ．

(2) XYの期待値を求めよ．

(3) $X=x$を与えたときの$Y=y$の条件付き確率密度関数を求めよ．

(4) $X=x$を与えたときのYの期待値と分散を求めよ．

3.　（確率及び統計学）（解答例）

（1）　$f_X(x) = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} f_{X,Y}(x,y)dy \ = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{1}{2} + 2xy\ dy = \frac{1}{2} + x$

$$f_Y(y) = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} f_{X,Y}(x,y)dx \ = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{1}{2} + 2xy\ dx = \frac{1}{2} + y$$

（2）　XYの期待値を$E[XY]$と表記する.

$$E[XY] = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} xy f_{X,Y}(x,y)dxdy$$

$$= \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{1}{2}xy + 2x^2y^2\ dxdy = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{1}{4}y + \frac{2}{3}y^2\ dy = \frac{25}{72}$$

（3）　$f_{Y|X}(y \mid x) = \frac{f_{X,Y}(x,y)}{f_X(x)} = \frac{1+4xy}{1+2x}$

（4）　$X = x$を与えたときのYの期待値を$E[Y \mid X = x]$と表記する.

$$E[Y \mid X = x] = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} y f_{Y|X}(y \mid x)dy = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{y + 4xy^2}{1 + 2x} dy = \frac{3 + 8x}{6 + 12x}$$

$X = x$を与えたときのYの分散を$V[Y \mid X = x]$と表記する.

$$V[Y \mid X = x] = E[Y^2 \mid X = x] - (E[Y \mid X = x])^2$$

$$= \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{1}} \frac{y^2 + 4xy^3}{1 + 2x} dy - \left(\frac{3 + 8x}{6 + 12x}\right)^2 = \frac{3 + 12x + 8x^2}{36(1 + 2x)^2}$$

４．（力学）

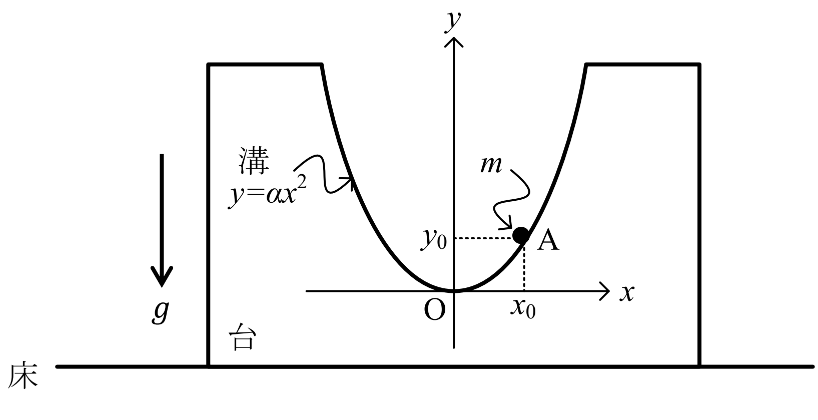
図のように, 床の上に固定された台を考える．台には放物線状の溝が加工されており, 溝の底を原点 O $(0, 0)$ として鉛直面内に xy 座標をとると, 放物線は $y=\alpha x^2$（α は正の実数）で表されるとする．質量 m の質点を，溝の底近傍の放物線上の点 A（x_0, y_0）に設置し，静かに手を離した場合の質点の運動を考える．ただし運動は鉛直面内に限られ，質点と放物線は常に接しているとする．放物線と質点との間の静止摩擦係数をμ，動摩擦係数をμ'とする．質点の大きさは無視できる．また重力加速度の大きさをgとする．以下の問いに答えよ．

（１）点 A における質点の位置エネルギ U を，原点を基準として求め，m, g, x_0, aから必要な記号を用いて表せ.

（２）点 A で手を離した後も質点が静止し続ける条件を求めよ．ただし，m, g, x_0, a, μから必要な記号を用い，左辺をμのみとした式で表すこと．

（３）手を離した後に即座に質点が動き出した場合，点 A から原点 O $(0, 0)$までの間に質点に対して摩擦力のなす仕事 W を求め，m, g, x_0, a, μ, μ'から必要な記号を用いて表せ. また解答の過程も記すこと. 解答の途中で必要な記号は適宜定義すること.

（４）質点が初めて原点を通過する場合に, そのときの速度ベクトル$\boldsymbol{v} = (v_x, v_y)$を求め，$m, g, x_0, a, \mu, \mu'$から必要な記号を用いて表せ.



図

４．（力学）（解答例）

（１）　$U = mgax_0^2$

（２）　$\mu \geq 2ax_0$

（３）　$W = -\mu' mgx_0$

（４）　$\boldsymbol{v} = \left(-\sqrt{2gax_0^2 - 2\mu' gx_0},\ 0\right)$

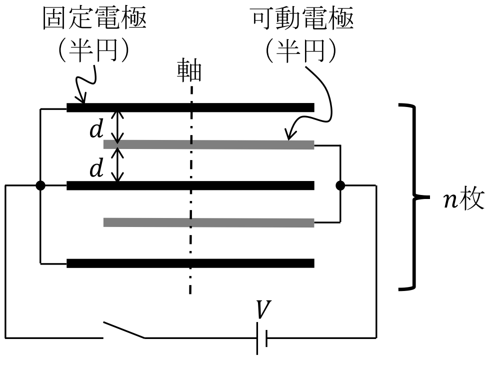
５．（電磁気学）

（１）　図１のように，半径 r の半円状の導体板を間隔 d を置いて n 枚並べた平行平板型コンデンサを考える．導体板は剛体とし，ひとつおきに固定電極・可動電極と並べて，それぞれ電気的に接続されている．可動電極は軸を中心に回転することができ，他の並進方向・回転方向には拘束されている．いま，固定電極と可動電極の重なり角度が θ [rad] $(0 < \theta < \pi)$となる場合を考える．下記の問いに答えよ．ただし θ はすべての固定電極・可動電極で同一とし，真空の誘電率をϵ_0とする．

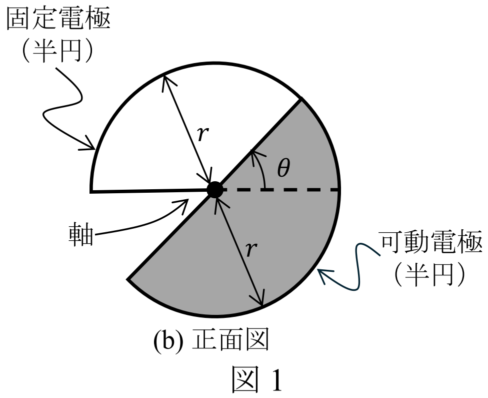
(i) 静電容量 C を求め，$r, d, n, \theta, \epsilon_0$から必要な記号を用いて表せ．ただし，固定電極と可動電極の重なり部分のみが静電容量に寄与するものとし, 重ならない部分および端部, 回転軸および各電極を接続する配線の影響は無視してよい.

(ii) スイッチを On にし，コンデンサに直流電圧 V を印加した場合を考える．可動電極と固定電極の重なり角度を θ に保った場合, コンデンサに蓄えられる電荷 Q および静電エネルギ U を，C, V から必要な記号を用いて表せ.

(iii) (ii)でコンデンサに電荷 Q が蓄えられた状態でスイッチを Off にした場合を考える．可動電極に加わる軸回りの力のモーメントの大きさ M と向きを求めよ．大きさ M は$\epsilon_0, n, d, r, Q, V, \theta$より必要な記号を用いて表せ．また向きは正面図の θ が増加する向きを正とし，正負で答えよ．重力の影響は無視してよい.



(a) 上面図



(b) 正面図

図 1

次のページに続く.

（2）図 2 のようにxyz座標系を定義する．x-y 面内に半径 r の円形のコイルを原点を中心として設置し，左右から磁石を近づけて磁束密度の大きさが B_0 の静磁場を与える場合を考える．電極 1 から 4 に向かって電流 I_0 を流す場合，以下の問いに答えよ．ただしコイルにつながる 1-2 間および 3-4 間の導線は y 軸にごく近接して配置されており，そのローレンツ力がコイルに働く y 軸まわりの力のモーメントに寄与しないものとする．また磁石はコイルに比べ十分に大きく，コイル周辺の静磁場の大きさと向きは一定とする．

(i) x 軸から角度 θ に位置する線素 ds に働く単位長さあたりのローレンツ力を 3 次元のベクトル $\mathbf{F}$ として求め，r, B_0, I_0, θから必要な記号を用いて表せ．

(ii) 円形コイル全体に働く y 軸まわりの力のモーメント M を求め，r, B_0, I_0, θから必要な記号を用いて表せ．

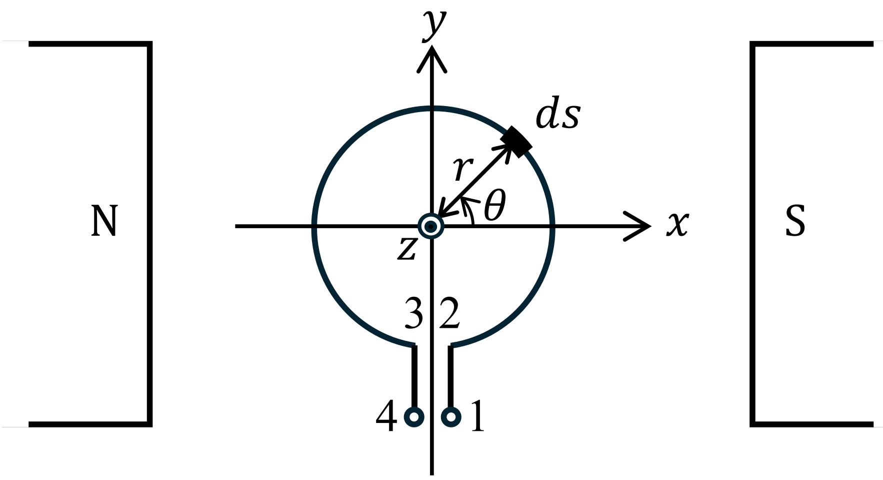


図 2

５．（電磁気学）（解答例）

（１）

(i) $C = \epsilon_0 (n-1) \frac{\theta r^2}{2d}$

(ii) $Q = CV,\ U = \frac{1}{2} CV^2$

(iii) $M = \frac{Q^2 d}{\epsilon_0 (n-1)\, r^2} \theta^{-2}$

モーメントの向きは正.

（２）

(i) $\mathbf{F} = (0, 0, -B_0 I_0 \cos\theta)$

(ii) $M = B_0 I_0 \pi r^2$

6.　（情報基礎）

(1) 二つの離散確率変数X, Yが以下の同時確率分布を持つとする.

	$Y = 0$	$Y = 1$
$X = 0$	1/5	3/10
$X = 1$	1/10	2/5

以下の問いに答えよ．ただし，分数は既約分数で表し，対数に関しては底を 2 とし，真数は素数になるまで簡略化せよ.

(i) Xのエントロピー$H(X)$を求めよ.

(ii) 結合エントロピー$H(X, Y)$を求めよ.

(iii) 相互情報量$I(X, Y)$を求めよ.

(2) 負数を 2 の補数で表すとき，以下の問いに答えよ.

(i) 8 ビット符号付き整数の 2 進数 1110 1101 を，10 進数で答えよ.

(ii) 10 進数 －103 を 8 ビット符号付き整数の 2 進数で答えよ.

6. （情報基礎）（解答例）

(1)

(i)　まず周辺分布を求める.

$$P(X=0)=0.2+0.3=\frac{1}{2},\quad P(X=1)=0.1+0.4=\frac{1}{2}$$

エントロピーの定義から

$$\begin{aligned}H(X)&=-\sum_x P(X=x)\log_2 P(X=x)\\&=-\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right)\\&=-2\cdot\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}=-\log_2\frac{1}{2}=\log_2 2=1\end{aligned}$$

(ii)　結合エントロピーの定義から

$$\begin{aligned}H(X,Y)&=-\sum_{x,y} P(x,y)\log_2 P(x,y)\\&=-\left(\frac{1}{5}\log_2\frac{1}{5}+\frac{3}{10}\log_2\frac{3}{10}+\frac{1}{10}\log_2\frac{1}{10}+\frac{2}{5}\log_2\frac{2}{5}\right)\end{aligned}$$

対数を整理すると

$$H(X,Y)=\log_2 5-\frac{3}{10}\log_2 3$$

(iii) 相互情報量は

$$I(X,Y)=H(X)+H(Y)-H(X,Y)$$

で計算できる.

(i)と同様にして$H(Y)$を計算すると

$$H(Y)=1+\log_2 5-\frac{3}{10}\log_2 3-\frac{7}{10}\log_2 7$$

(i), (ii)の結果から，相互情報量は

$$\begin{aligned}I(X,Y)&=H(X)+H(Y)-H(X,Y)\\&=2-\frac{7}{10}\log_2 7\end{aligned}$$

(2)　(i) -19 (ii) 1001 1001

7. （物理化学）

（１）容積可変の容器に入った温度 T_1，物質量 n のヘリウムを加熱した．以下の問いに答えよ．ただし，ヘリウムは理想気体とし，気体定数を R とする．

（i）ヘリウムの定容(定積)モル熱容量 C_V と定圧モル熱容量 C_p を R を用いてそれぞれ表せ．

（ii）定容(定積)過程にて，ヘリウムに熱エネルギーQ を与えたときの温度を，C_V，n，Q，T_1 を用いて表せ．

（iii）ヘリウムの代わりに窒素を用い，定圧過程で加熱して窒素の温度を T_1 から T_2 に変化させた場合，必要とする熱エネルギーを，n，R，T_1，T_2 を用いて表せ．ただし，気体(窒素)は理想気体とする．

（２）気体 A の表面 M への吸着と脱離は，以下の式のような平衡にある．なお，温度は一定とし，ラングミューア吸着モデルに従うものとする．

$$\mathrm{A(g) + M(表面) \rightleftharpoons A\text{-}M(表面)}$$

このとき，吸着速度 v_a は $k_a \times P \times (1-\theta)$，脱離速度 v_d は $k_d \times \theta$ で表される．ここで，P は気体 A の圧力，θ は表面 M 上の吸着サイトの被覆率，k_a と k_d はそれぞれ A の吸着と脱離の速度定数である．以下の問いに答えよ．

（i） 吸着速度に$(1-\theta)$の項がある理由，および脱離速度に θ の項がある理由をそれぞれ 50～70 字程度で説明せよ．

（ii） 平衡状態では吸着速度と脱離速度が等しくなる．この平衡状態における，被覆率 θ を，気体 A の圧力 P および吸着平衡定数 α（$\alpha = k_a/k_d$）で表せ．導出過程も示すこと．

7. （物理化学）（解答例）

（１）

(i)

ヘリウムは単原子分子なので,

定容モル熱容量は C_V=$\underline{(3/2)R}$

定圧モル熱容量は C_p=$\underline{(5/2)R}$

(ii)

加熱による温度変化は熱容量の定義から $\Delta T = Q/nC_V$. したがって，温度は $\underline{T_1+Q/nC_V}$

(iii)

窒素は直線の二原子分子のため，定圧モル熱容量は

C_p=(7/2)R となる.

したがって，熱エネルギーは

$Q = n(7/2)R\Delta T = \underline{n(7/2)R(T_2-T_1)}$

（２）

(i)

解答例：

気体分子は空いている M 表面にあるサイトにのみ吸着できる．したがって，吸着速度は空いている表面サイトの割合(1-θ)に比例するため.（64 字）

M 表面に吸着している気体分子のみが脱離する．したがって，脱離速度は吸着している表面サイトの割合 θ に比例するため.（54 字）

(ii)

平衡状態では，吸着速度 = 脱離速度となるので

$k_a \times P \times (1-\theta) = k_d \times \theta$

両辺を k_aで割ると，$k_a/k_d \times P \times (1-\theta) = \theta$

$\alpha = k_a/k_d$ を用いると，$\alpha \times P \times (1-\theta) = \theta$

展開すると，$\alpha P - \alpha P \times \theta = \theta$

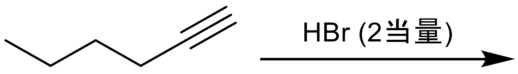
θ について整理すると，$\alpha P = \theta + \alpha P \times \theta = \theta(1 + \alpha P)$

したがって，$\underline{\theta=\alpha P/(1+\alpha P)}$

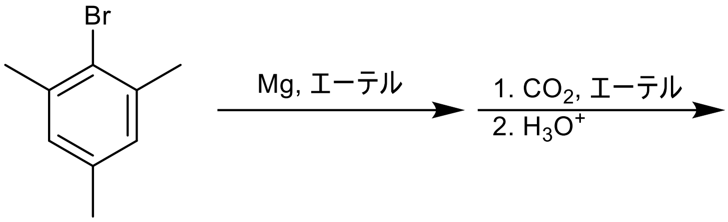
8.　（有機化学）

（１）次に示す反応の主な生成物の構造を書け．

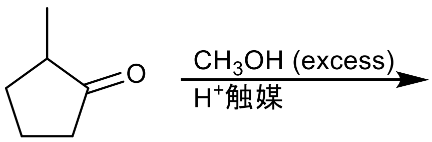
(i)



(ii)



(iii)



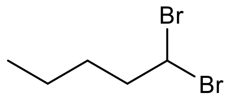
（２）次の各化合物を，S_N1 反応の反応性が高いものから低いものへと左から順に並べよ．またその理由を記せ.

$(CH_3)_3CCl$, $(CH_3)_3CBr$, $(CH_3)_3COH$

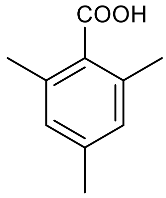
8. （有機化学）（解答例）

（１）

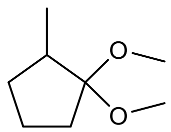
(i)



(ii)



(iii)



（２）

$(CH_3)_3CBr > (CH_3)_3CCl > (CH_3)_3COH$

解答例：S_N1 反応の反応性は、律速段階である脱離基の脱離のしやすさ（脱離能）に依存する。これらの化合物は全て同じカルボカチオンを生成するため、脱離能の差が反応性の差となる。脱離能は、脱離基がアニオンとして安定であるほど高くなる。これは、そのアニオンの共役酸が強い酸であるほど、アニオンが安定（弱い塩基）であることを意味する。各脱離基（Br^-, Cl^-, OH^-）の共役酸の酸性度は $HBr > HCl >> H_2O$ の順である。したがって、脱離能は $Br^- > Cl^- >> OH^-$ の順に高くなる。この脱離能の順序が、そのまま化合物の反応性の順序となる。

9. （無機化学）

水素電極とカロメル電極を組み合わせた以下の電池を使って，任意の水溶液の pH を測定することを考える．次の問（１）～（４）に答えよ．

$$\mathrm{Pt(s)} \mid \mathrm{H_2(g, 1\ atm)} \mid \mathrm{H^+(aq)} \parallel \mathrm{KCl(aq, 0.5\ M)} \mid \mathrm{Hg_2Cl_2(s)} \mid \mathrm{Hg(l)}$$

ただし，電位は全て標準水素電極（SHE）を基準とする．必要であれば，気体定数 $R = 8.314\ \mathrm{J\ K^{-1}\ mol^{-1}}$，ファラデー定数 $F = 9.65\times10^4\ \mathrm{C\ mol^{-1}}$ を用いよ．また，このカロメル電極の標準電極電位は 0.298 V とする．

（１）正極および負極の電池反応の半反応式をそれぞれ示せ．

（２）この電池の起電力を電池内に存在するイオンの活量 $a(\mathrm{Cl^-})$, $a(\mathrm{H^+})$およびこの電池の標準電極電位を用いて表せ. なお, 電池の起電力を E, 温度を T, 標準電極電位を E°とする．

（３）298 K において 0.5 M の KCl 水溶液の平均活量が 0.365 であるとして，0.5 M カロメル電極の電極電位を求めよ．ただし，ln 0.365 = －1.01 とする．

（４）この電池を用いて任意の水溶液の起電力を測定したところ，298 K において 0.466 V の起電力を示した．この水溶液の pH を求めよ．
ただし，ln10 = 2.303 とする．

9. （無機化学）（解答例）

(1)

正極(反応式)：$Hg_2Cl_2(s) + 2e^- \rightarrow 2Hg(l) + 2Cl^-(aq)$

負極(反応式)：$H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$

(2)

$$E = E^\ominus - \frac{RT}{2F}\ln(a^2(\mathrm{H^+})a^2(\mathrm{Cl^-})) = E^\ominus - \frac{RT}{F}\ln(a(\mathrm{H^+})・a(\mathrm{Cl^-}))$$

(3)

カロメル電極の電極電位は，$E_c = E_c^\ominus - \frac{RT}{F}\ln a(\mathrm{Cl^-})$ で表されるから，

$E_c = 0.298 - \frac{8.314\times298}{9.65\times10^4}(-1.01) = 0.3239$　　<u>0.324 V</u>

(4)

水素電極の標準電極電位は$E_\mathrm{H}^\ominus = 0$ であるから，水素電極の電極電位は$E_\mathrm{H} = \frac{RT}{F}\ln a(\mathrm{H^+})$

と表される。したがって，水素電極とカロメル電極を組み合わせた電池の起電力は，

$E = E_c - E_\mathrm{H} = E_c^\ominus - \frac{RT}{F}\ln a(\mathrm{Cl^-}) - \frac{RT}{F}\ln a(\mathrm{H^+})$となる。

(3)および測定された起電力から$E = E_c - E_\mathrm{H} = 0.3239 - \frac{RT}{F}\ln a(\mathrm{H^+}) = 0.466$

$\mathrm{pH} = -\log a(\mathrm{H^+}) = \frac{(0.466-0.3239)\times9.65\times10^4}{2.303\times8.314\times298} = 2.403 = 2.40$

10. **（細胞生物学）**

（１）次の文章を読んで，（ⅰ)～(ⅲ)の問いに答えよ．

真核細胞では，DNA を含む構造が複数存在している．核においては，DNA はヒストンなどのタンパク質と結合して（ A ）と呼ばれる構造を形成しており，この構造が複数集まって染色体を構成する．また，核以外にも DNA を含むオルガネラとして，ミトコンドリアや（ B ）が知られているが，これらの①オルガネラ DNA は，原核生物の DNA に類似した特徴を持つ．細胞質には，タンパク質や脂質を合成する役割をもつ（ C ）など，DNA を含まないオルガネラも存在し，細胞の恒常性維持に重要な働きを担っている．

（ⅰ）空欄（ A ）～（ C ）に当てはまる最も適切な語句をそれぞれ答えよ．

（ⅱ） 下線部①に関連して，ミトコンドリア DNA と核 DNA は異なる特徴を持つ．両者の違いについて，以下の点を対比して簡潔に説明せよ．
【遺伝子の構造，細胞周期，DNA の形態】

（ⅲ）核 DNA に由来し，細胞質で合成されたタンパク質の一部は，ミトコンドリア内で機能するために輸送される．この一連の仕組みについて，以下の語句をすべて用いて説明せよ．
【シグナル配列，受容体タンパク質，シャペロン】

（２）次の（ⅰ)～(ⅲ)の用語について，それぞれ 50 字以内で説明せよ．

（ⅰ）ラギング鎖

（ⅱ）カスパーゼ

（ⅲ）ゲル電気泳動

10.（細胞生物学）（解答例）

（１）次の文章を読んで，（ｉ）〜（iii）の問いに答えよ．

真核細胞では，DNA を含む構造が複数存在している．核においては，DNA はヒストンなどのタンパク質と結合して（ A ）と呼ばれる構造を形成しており，この構造が複数集まって染色体を構成する．また，核以外にも DNA を含むオルガネラとして，ミトコンドリアや（ B ）が知られているが，これらの①オルガネラ DNA は，原核生物の DNA に類似した特徴を持つ．細胞質には，タンパク質や脂質を合成する役割をもつ（ C ）など，DNA を含まないオルガネラも存在し，細胞の恒常性維持に重要な働きを担っている．

（ｉ）空欄（ A ）〜（ C ）に当てはまる最も適切な語句をそれぞれ答えよ．

（A） クロマチン（ヌクレオソーム、染色質でも可） （B） 葉緑体（クロロプラストでも可） （C）小胞体

（ⅱ） 下線部①に関連して，ミトコンドリア DNA と核 DNA は異なる特徴を持つ．両者の違いについて，以下の点を対比して簡潔に説明せよ．

【遺伝子の構造，細胞周期，DNA の形態】

ミトコンドリア DNA は**イントロン**をほとんど含まず，**細胞周期に関係なく**複製され，**環状構造**を持つ．一方，核 DNA は**イントロンを多く含み**，**S 期に複製**され，**線状構造**を持つ．

（iii）核 DNA に由来し，細胞質で合成されたタンパク質の一部は，ミトコンドリア内で機能するために輸送される．この一連の仕組みについて，以下の語句をすべて用いて説明せよ．

【シグナル配列，受容体タンパク質，シャペロン】

核で合成されたタンパク質は，翻訳後に**立体構造をほどいた**状態でミトコンドリアへ輸送される．**シグナル配列がミトコンドリア膜上の受容体タンパク質に認識**され，内部に取り込まれた後，**シャペロンによって再び正しい立体構造**に折りたたまれる．

（２）次の（ｉ）〜（iii）の用語について，それぞれ 50 字以内で説明せよ．

（ｉ）ラギング鎖

DNA 複製時，**岡崎フラグメント**として断続的に合成される，**DNA 鎖全体の伸長方向とは逆向き**の DNA 鎖．

（ⅱ）カスパーゼ

アポトーシスを誘導するプロテアーゼ群で，標的タンパク質を切断し細胞死を進行させる．

（iii）ゲル電気泳動

電場を用いて，DNA やタンパク質などの分子を**サイズや電荷に応じて分離**す

る手法.

11. **（生理・生化学）**

（１）次の文章を読んで，（ｉ）～（iii）の問いに答えよ．

真核生物の細胞内では, 不要あるいは異常なタンパク質が①選択的に分解される仕組みが存在する．その中心となるのが（ A ）と呼ばれる大型複合体であり，ATP を用いて標的タンパク質を構造変化させたうえで分解する．この標的タンパク質には, 特定の小さなタンパク質である（ B ）が段階的に結合し, 分解対象としての“目印”となる．例えば，細胞周期を制御する（ C ）の精密な量的調節にもこの分子機構が関与している．

（ｉ）空欄（A）～（C）に入る最も適当な語句を答えよ．

（ii）（ B ）の標的タンパク質への付加に関与する三つの酵素群（E1，E2，E3）それぞれの役割を簡潔に説明せよ．

（iii）下線部①の分解機構と, 細胞内のもう一つの主要な分解機構であるリソソームによる分解とを比較し，それぞれが細胞機能の制御において果たす役割とそれらの意義について説明せよ．

（２）次の（ｉ）～（iii）の用語について，それぞれ 50 字以内で説明せよ．

（ｉ）ゲノムインプリンティング

（ii）ウェスタンブロット法

（iii）フィードバック阻害

11. **（生理・生化学）（解答例）**

（１）次の文章を読んで，（ｉ）～（iii）の問いに答えよ．

真核生物の細胞内では, 不要あるいは異常なタンパク質が①選択的に分解される仕組みが存在する．その中心となるのが（ A ）と呼ばれる大型複合体であり，ATP を用いて標的タンパク質を構造変化させたうえで分解する．この標的タンパク質には, 特定の小さなタンパク質である（ B ）が段階的に結合し, 分解対象としての"目印"となる．例えば，細胞周期を制御する（ C ）の精密な量的調節にもこの分子機構が関与している．

（ｉ）空欄（A）～（C）に入る最も適当な語句を答えよ．

（A）プロテアソーム（B）ユビキチン（C）サイクリン

（ii）（ B ）の標的タンパク質への付加に関与する三つの酵素群（E1，E2，E3）それぞれの役割を簡潔に説明せよ．

E1：ATP を利用して**活性化**したユビキチンを E1 自身に結合させる．

E2：E1 からユビキチンを受け取り標的タンパク質まで**輸送**する．

E3：標的タンパク質を特異的に認識し，ユビキチンを**標的タンパク質に結合**させる．

（iii）下線部①の分解機構と, 細胞内のもう一つの主要な分解機構であるリソソームによる分解とを比較し，それぞれが細胞機能の制御において果たす役割とそれらの意義について説明せよ．

プロテアソームは短寿命かつ機能的に重要なタンパク質を**選択的**かつ迅速に分解し，細胞周期やシグナル伝達などの**精密な制御**を可能にする．一方，リソソームは主に長寿命タンパク質や細胞小器官を**非選択的**に分解し，**恒常性維持**に寄与する．

（２）次の（ｉ）～（iii）の用語について，それぞれ 50 字以内で説明せよ

（ｉ）ゲノムインプリンティング

いずれかの親由来のゲノム DNA のみがメチル化されることで，片方の対立遺伝子のみが発現する現象

（ii）ウェスタンブロット法

電気泳動後に膜へ転写し，特異的抗体を用いて目的タンパク質を検出する方法

（iii）フィードバック阻害

代謝経路の産物が、代謝経路の酵素活性を抑えることで反応全体を調節する機構

12. **（生態学）**

次の文章を読み，（１）～（５）の問いに答えよ．

陸上群集の一次生産力(1)に大きく影響する要因は，気温，水，二酸化炭素，（　A　），（　B　）の５つであるのに対し，水生群集の一次生産力を制限する要因は，（　A　）と（　B　）の２つであることが多い．一般に，広葉樹林を流れる河川の川底の藻類による一次生産力は，春に比べて夏に（　C　）くなる．一方，一次生産力を制限する（　B　）の中で欠乏しやすい元素は，（　D　）と（　E　）であるが，外洋では（　F　）も欠乏しやすい場合がある．

（　D　）は土壌や岩石，河川や海(2)などの水中や堆積物(3)に存在するが，（　E　）は大気に存在する(4)割合が圧倒的に高い．（　F　）は酸素輸送や DNA 合成などの生物学的機能を支えるタンパク質や酵素の重要な成分である．

（１）空欄（　A　）～（　F　）に入る最も適切な語句をそれぞれ答えよ．

（２）下線部(1)は植物により生産されたバイオマスの総量のことを言う．二次生産力とは何か，次の語句を用いて説明せよ．【独立栄養生物，従属栄養生物，植食者，分解者】

（３）下線部(2)に関して，人間活動や農業活動に由来して水系での（　D　）の濃度が高まっている．これが原因で生じる海水における現象とそれに関係する生物群を各々１つ答えよ．

（４）下線部(3)に関して，堆積物は黒色を呈することが多い．この原因について説明せよ．

（５）下線部(4)に関して，大気中に存在する化合物名を３つ挙げ，さらにそれぞれの化学式と生成経路を答えよ．

12. **（生態学）（解答例）**

次の文章を読み，（1）～（5）の問いに答えよ.

陸上群集の一次生産力(1)に大きく影響する要因は，気温，水，二酸化炭素，（　A　），（　B　）の５つであるのに対し，水生群集の一次生産力を制限する要因は，（　A　）と（　B　）の２つであることが多い．一般に，広葉樹林を流れる河川の川底の藻類による一次生産力は，春に比べて夏に（　C　）くなる．一方，一次生産力を制限する（　B　）の中で欠乏しやすい元素は，（　D　）と（　E　）であるが，外洋では（　F　）も欠乏しやすい場合がある．

（　D　）は土壌や岩石，河川や海(2)などの水中や堆積物(3)に存在するが，（　E　）は大気に存在する(4)割合が圧倒的に高い．（　F　）は酸素輸送や DNA 合成などの生物学的機能を支えるタンパク質や酵素の重要な成分である．

（1）空欄（　A　）～（　F　）に入る最も適当な語句をそれぞれ答えよ.

（　A　）太陽光もしくは光　　（　B　）栄養塩類もしくは栄養塩
（　C　）低（小さ）　　　　　（　D　）リン
（　E　）窒素　　　　　　　　（　F　）鉄

（2）下線部(1)は植物により生産されたバイオマスの総量のことを言う．二次生産力とは何か次の語句を用いて説明せよ.【独立栄養生物，従属栄養生物，植食者，分解者】

植物などの独立栄養生物により生産された有機物を栄養源として、植食者や分解者などの従属栄養生物により生産された新たなバイオマスの総量のことである。

（3）下線部(2)に関して，人間活動や農業活動に由来して水系での（　D　）の濃度が高まっている．これが原因で生じる海水における現象とそれに関係する生物群を各々１つ答えよ.

現象：赤潮もしくは富栄養化
関連する生物群：微細藻類、植物プランクトン、シアノバクテリアなど

（４）下線部(3)に関して，堆積物は黒色を呈することが多い．この原因について説明せよ．

水中に含まれる硫酸イオンが鉄イオンやマンガンイオンと結合して不溶性で黒色の硫化物を形成するため．あるいは，有機物含量が高いため．

（５）下線部(4)に関して，大気中に存在する化合物名を３つ挙げ，さらにそれぞれの化学式と生成経路を答えよ．

・窒素（窒素分子、分子状窒素 N_2 も可）: 硝酸イオンあるいは亜硝酸イオンの脱窒による最終生成産物
・アンモニア NH_3：アミノ酸の分解産物
・亜酸化窒素（一酸化二窒素）N_2O：硝酸イオンあるいは亜硝酸イオンの脱窒の過程で生じる中間産物
・二酸化窒素 NO_2：石油や石炭の燃焼により発生
・一酸化窒素 NO：石油や石炭の燃焼による発生に加えて，微生物による脱窒過程で生成

１３．（環境学）

オゾン層に関する以下の問いに答えよ．

（１）オゾン層は，オゾンの生成反応や消失反応などを繰り返しながら存在している．このオゾン層の形成に関する主な化学反応をすべて示せ．

（２）フロンガスは，オゾン層破壊の原因物質として知られている．フロンガスとして CF_2Cl_2 を例に，オゾン層を破壊する主な触媒サイクル反応を示せ．

（３）N_2O は温室効果気体であると同時に，オゾン層破壊の原因物質であることがわかっている．N_2O がオゾン層を破壊する主な触媒サイクル反応を示せ．

１３．（環境学）（解答例）

（１）

・$O_2 + h\nu \rightarrow 2O$　　($O_2 \xrightarrow{h\nu} 2O$ も正解)

・$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$　　（M は無くても正解）

・$O_3 + h\nu \rightarrow O + O_2$　($O_3 \xrightarrow{h\nu} O + O_2$ も正解)

・$O + O_3 \rightarrow 2O_2$

（２）

・$CF_2Cl_2 + h\nu \rightarrow CF_2Cl + Cl$　($CF_2Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CF_2Cl + Cl$ も正解)

・$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$

・$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$

（３）

・$N_2O + O \rightarrow 2NO$

・$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

・$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$

*（２）と（３）について，リザーバーの化学反応の記述がある場合，その反応式の正誤は問わず，採点の対象外とする．