

# 令和 7 年度入学試験問題

## 理 科

### (注 意 事 項)

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。
3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。また、各科目の表紙に留意事項の記載がある場合は、その内容を参考に解答すること。

|         | 問 題 冊 子 | 解 答 紙   |     |
|---------|---------|---------|-----|
| 科 目     | ペ ー ジ   | 解答紙番号   | 枚 数 |
| 物理基礎・物理 | 1 ～ 18  | 32 ～ 34 | 3   |
| 化学基礎・化学 | 19 ～ 36 | 35 ～ 39 | 5   |
| 生物基礎・生物 | 37 ～ 66 | 40 ～ 44 | 5   |
| 地学基礎・地学 | 67 ～ 77 | 45 ～ 49 | 5   |

4. 各解答紙の 2 箇所を受験番号を記入すること。
5. 受験番号は、裏面の記入例にならって、マス目の中に丁寧に記入すること。
6. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。
7. 計算その他を試みる場合は、解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。
8. この教科は、2 科目 250 点満点 (1 科目 125 点満点) です。なお、医学部保健学科 (看護学専攻) については、2 科目 100 点満点に換算します。

### 受験番号の記入例

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| A | B | D | E | G | H | I | K | L | M | P | S | T | W | Z |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

# 問 題 訂 正

| 理科「化学基礎・化学」 |                  |                                      |
|-------------|------------------|--------------------------------------|
| 訂正          | 28 ページ [ 4 ] (3) |                                      |
|             | 誤                | 各化合物をニクロム酸カリウムと反応させると， …             |
|             | 正                | 各化合物をニクロム酸カリウム <u>水溶液</u> と反応させると， … |

# 問 題 訂 正

|             |                       |                                     |
|-------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 理科「地学基礎・地学」 |                       |                                     |
| 訂正 1        | 76 ページ [ 5 ] 問題文 2 行目 |                                     |
|             | 誤                     | …地表面の放射を〔 ア 〕 ことによる。                |
|             | 正                     | …地表面 <u>から</u> の放射を〔 ア 〕 ことによる。     |
| 訂正 2        | 76 ページ [ 5 ] 問題文 5 行目 |                                     |
|             | 誤                     | …地表面の放射の波長より〔 カ 〕 ことによる。            |
|             | 正                     | …地表面 <u>から</u> の放射の波長より〔 カ 〕 ことによる。 |

# 物 理 基 礎 · 物 理

〔1〕 次の文章を読み、問1～問2に答えよ。(45点)

図1のように伸び縮みしない2本の同じ長さ  $l$  の軽い糸の一端を天井の同じ点に固定し、糸の他端にいずれも大きさを無視できる質量  $3m$  の小球 A、質量  $2m$  の小球 B をそれぞれつるした。重力加速度の大きさを  $g$ 、向きを鉛直下向きとする。小球および糸の運動は同一の鉛直面内に限り、空気抵抗および糸の質量は無視できるものとする。

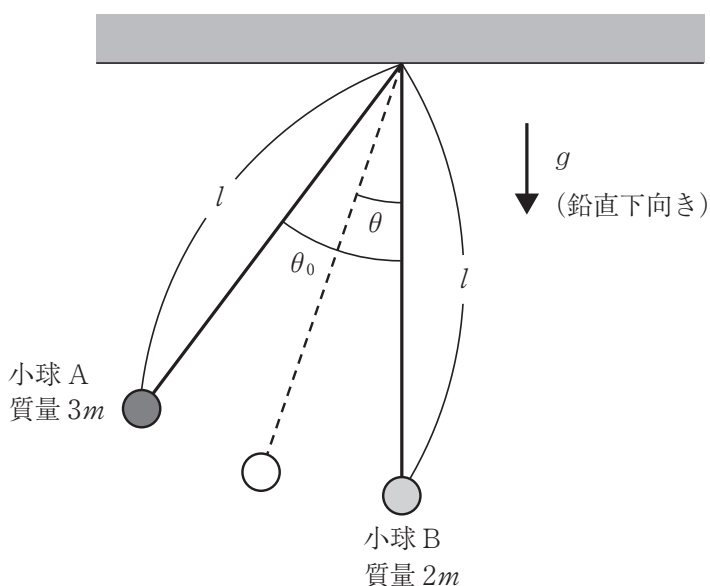


図1

問1. まず、図1のように小球 A を鉛直方向と糸のなす角度が  $\theta_0$   $\left(0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}\right)$  となるまで糸をたるませずに持ち上げた。その後、小球 A を支えている手を静かに離し、静止している小球 B と衝突させた。

- (1) 図1のように、小球同士が衝突する前に鉛直方向と糸のなす角度が  $\theta$   $(0 < \theta < \theta_0)$  となるとき、小球 A の速さを求めよ。

小球 A と小球 B は完全非弾性衝突 (反発係数は 0) をした。

- (2) 小球同士が衝突した直後の, 小球 A の速さを求めよ。
- (3) 小球同士の衝突前後での, 小球 A と小球 B の力学的エネルギーの和の減少量を求めよ。
- (4) 小球同士が衝突したのち, 小球 A が到達できる最高点の, 衝突点からの高さを求めよ。

次に，小球 A, B と質量は同じであるが，2 球の間の反発係数の異なる質量  $3m$  の小球 C，質量  $2m$  の小球 D を用意し，小球 A, B とそれぞれ取り替えた。小球 C および D の大きさは無視できるものとする。

**問 2.** 図 2 のように小球 C を糸をたるませずにわずかに持ち上げ，小球 C を支えている手を静かに離し，静止している小球 D と衝突させた。小球同士の衝突は非弾性衝突とし，反発係数を  $e$  ( $0 < e < 1$ ) とする。また，1 回目の衝突直前の小球 C の速さを  $v_0$  とする。小球 C, D の運動において，鉛直方向と小球をつるしている糸のなす角度はそれぞれ十分小さい。したがって，それぞれの小球は水平方向のみに運動し，振り子の等時性が成り立つと考えることができる。小球の速度は右向きを正とする。

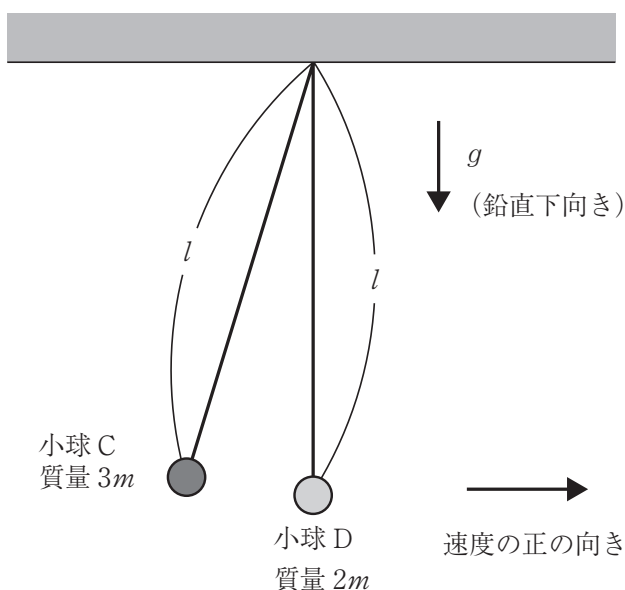


図 2

- (1) 1 回目に小球同士が衝突した直後の、小球 D に対する小球 C の相対速度を求めよ。
- (2) 1 回目の小球同士の衝突が起きてから、2 回目の小球同士の衝突が起きるまでの時間を求めよ。
- (3)  $n$  回目に小球同士が衝突した直後の、小球 C と小球 D の運動量の和を求めよ。ただし、 $n$  は自然数である。
- (4)  $n$  回目に小球同士が衝突した直後の、小球 D に対する小球 C の相対速度を求めよ。

小球が衝突を繰り返すと、衝突直後の小球 C の速さは、ある速さ  $v'$  に近づく。

- (5)  $v'$  を求めよ。

〔2〕 次の文章を読み、問1～問2に答えよ。(40点)

問 1. 図1のように、紙面上に  $xy$  平面、紙面に垂直に  $z$  軸をとり、紙面の裏から表への向きを  $z$  軸正の向きとする。 $x > x_1$  の範囲を領域  $V$  とし、領域  $V$  には  $y$  軸負の向きで大きさ  $E$  の一様電場と、 $z$  軸負の向きで磁束密度の大きさ  $B$  の一様磁場がかかっている。 $(x, y, z) = (x_1, 0, 0)$  の位置から電気量  $q$  ( $q > 0$ )、質量  $m$  の荷電粒子を、 $x$  軸正の向きに速さ  $v$  で  $xy$  平面上に射出する。このとき、荷電粒子は電場と磁場による力を受けて  $x$  軸上を移動した。荷電粒子は真空中を運動するものとし、領域  $V$  の外では電場および磁場はゼロである。また、重力の影響は無視する。以下の問いに答えよ。

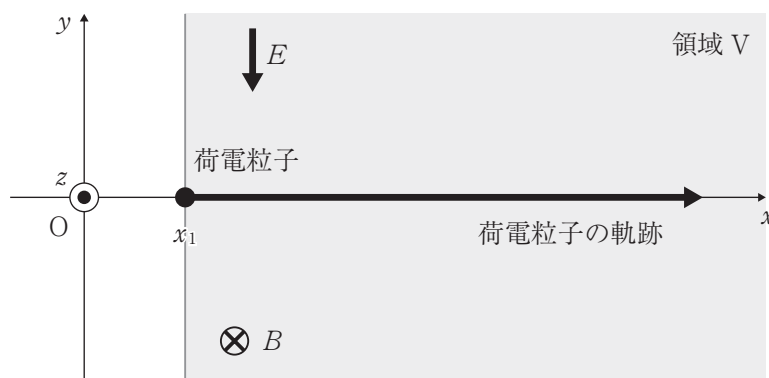


図 1

- (1) 領域  $V$  内で荷電粒子が電場から受ける力の大きさを、 $q$ ,  $m$ ,  $v$ ,  $x_1$ ,  $E$  のうち必要なものを用いて求めよ。
- (2) 領域  $V$  内の磁束密度の大きさ  $B$  を、 $q$ ,  $m$ ,  $v$ ,  $x_1$ ,  $E$  のうち必要なものを用いて求めよ。

図2のように、 $x < -x_1$ の範囲を領域W、 $-x_1 \leq x \leq x_1$ の範囲を領域Pとする。領域Vの一樣磁場は $z$ 軸負の向きで磁束密度の大きさ $B_V$ に変更し、電場をゼロにした。領域Wには $z$ 軸負の向きで磁束密度の大きさ $B_W$ の一樣磁場をかけ、領域Pには $x$ 軸負の向きで大きさ $E_P$ の一樣電場をかけた。荷電粒子を $(x, y, z) = (x_1, 0, 0)$ の位置から $x$ 軸正の向きに速さ $v$ で $xy$ 平面上に射出すると、荷電粒子は図2に太線で示されている軌跡を描いて射出点に戻った。以下の問いに答えよ。

- (3) 領域Vを出てから領域Wに入るまでの間に、領域Pで電場が荷電粒子にした仕事を、 $q, m, v, x_1, E_P$ のうち必要なものを用いて求めよ。
- (4) 一樣電場の大きさ $E_P$ を、 $q, m, v, x_1, B_V, B_W$ のうち必要なものを用いて表せ。

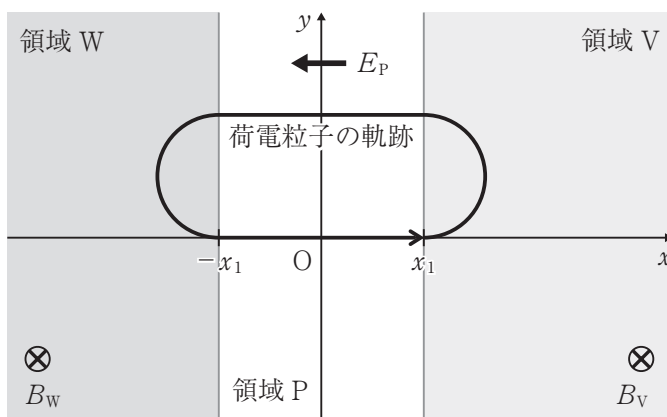


図2

- (5) 領域 V, P, W にあるすべての磁場と電場をゼロにしたのち, 図 3(a)のように領域 V にのみ  $x$  軸正の向きで磁束密度の大きさ  $B'$  の一様磁場をかけた。荷電粒子を  $(x, y, z) = (x_1, 0, 0)$  の位置から  $x$  軸正の向きとなす角  $\theta$   $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$  の方向へ速さ  $w$  で  $xy$  平面上に射出したところ, 荷電粒子の  $y$  座標は時刻  $t$  に対して図 3(b)のようになった。図 3(b)の振幅  $A$  と周期  $T$  として適切なものを, 以下の(a)~(h)からそれぞれ選べ。なお, 荷電粒子が射出された時刻を  $t = 0$  とする。

|                                  |                                   |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| (a) $\frac{mw \cos \theta}{qB'}$ | (b) $\frac{2mw \cos \theta}{qB'}$ | (c) $\frac{mw \sin \theta}{qB'}$ | (d) $\frac{2mw \sin \theta}{qB'}$ |
| (e) $\frac{\pi m}{2qB'}$         | (f) $\frac{\pi m}{qB'}$           | (g) $\frac{2\pi m}{qB'}$         | (h) $\frac{4\pi m}{qB'}$          |

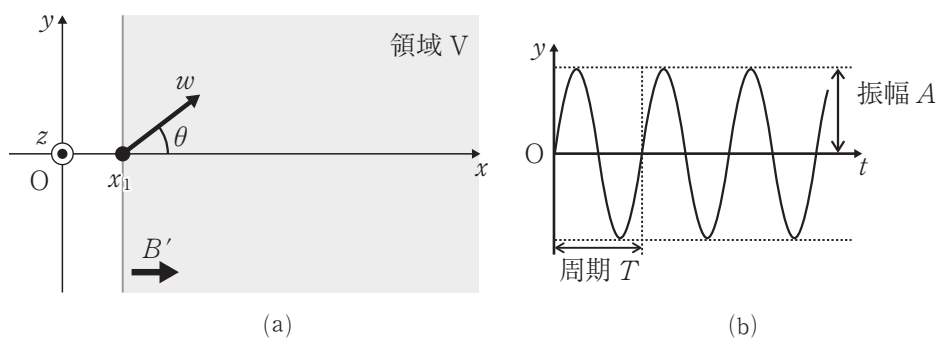


図 3

問 2. 図 4(a)のように，紙面上に  $xy$  平面，紙面に垂直に  $z$  軸をとり，紙面の裏から表への向きを  $z$  軸正の向きとする。 $z$  軸負の向きに磁束密度の大きさ  $B_1$  の磁場がかかっている。 $B_1$  は  $y$  座標によらず一定で， $x$  座標（ただし  $x \leq B_0/K$ ）に対しては図 4(b)のように  $B_1 = B_0 - Kx$  ( $B_0$  と  $K$  は正の定数) で与えられる。この磁場中に巻き数 1 の長方形のコイル ABCD を置き， $x$  軸正の向きに  $xy$  平面上を一定の速さ  $v_1$  で動かす。時刻  $t = 0$  でコイルの辺 AD は  $y$  軸上にあり，時刻  $t = t_0$  で辺 BC は磁場がゼロになる  $x = \frac{B_0}{K}$  に到達する。コイルの辺 AD の長さは  $a$ ，辺 AB の長さは  $b$ ，全体の抵抗は  $R$  である。ただし，コイルは変形することなく真空中を運動するものとし，コイルの導線の太さ，質量，および自己インダクタンスは無視する。以下の問いに答えよ。

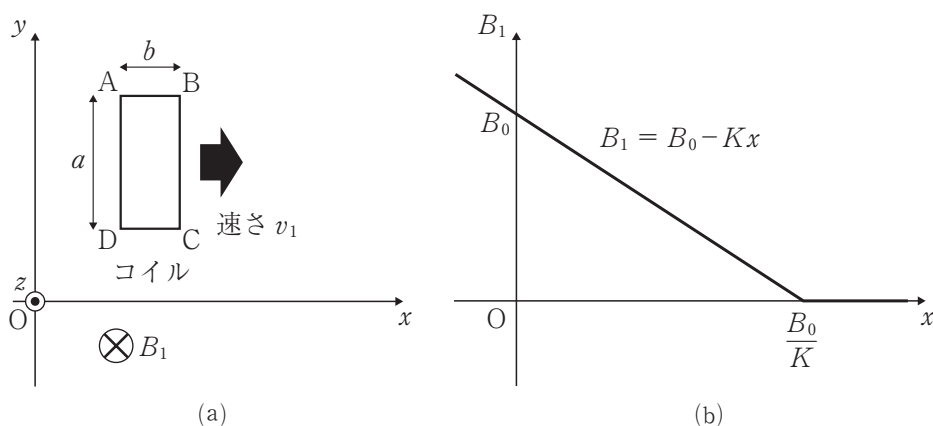


図 4

- (1) 時刻  $t = 0$  から時間  $\Delta t$  ( $0 < \Delta t < t_0$ ) が経過する間に，コイルを貫く磁束の大きさは  $Kv_1ab\Delta t$  だけ減少する。時刻  $t$  が  $0 < t < t_0$  の範囲にあるとき，コイルに生じる電流  $I$  の大きさを  $K$ ， $a$ ， $b$ ， $R$ ， $v_1$ ， $t$  のうち必要なものを用いて求めよ。

以下，コイルに流れる電流を  $I$  として問いに答えよ。

- (2) 時刻  $t$  が  $0 < t < t_0$  の範囲にあるとき，コイルを一定の速さ  $v_1$  で動かすために必要な力の大きさを， $I, K, a, b, R, t$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 時刻  $t = 0$  から  $t = t_0$  の間にコイルになされる仕事を， $I, K, R, t_0$  のうち必要なものを用いて表せ。

〔3〕 次の文章を読み、問1～問3に答えよ。(40点)

熱の一部を力学的な仕事に変換する装置を熱機関という。ある状態の気体がいくつかの異なる状態を経てもとの状態に戻る変化はサイクルと呼ばれる。

いま、物質質量  $n$  の単原子分子理想気体が状態 A から状態 B, 状態 C, 状態 D と変化し、もとの状態 A に戻るサイクルで動作する熱機関 I を考える。図 1 にこのサイクルの圧力－体積グラフを実線で示す。状態 A から状態 B, および状態 C から状態 D の過程は等温過程であり、状態 B から状態 C, および状態 D から状態 A の過程は断熱過程である。状態 A における圧力を  $p_A$ , 体積を  $V_A$ , 状態 A から状態 B における絶対温度を  $T_{AB}$ , 状態 C から状態 D における絶対温度を  $T_{CD}$  とする。気体定数を  $R$  とする。

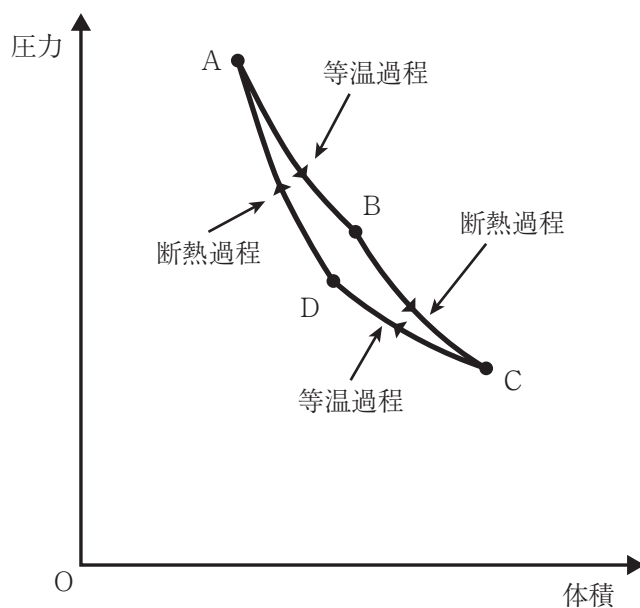


図 1

問 1. 状態 A から状態 B を経て状態 C に至る過程を考える。状態 B における体積を  $V_B$ 、状態 C における体積を  $V_C$  とする。

- (1) 状態 B における圧力を  $p_B$  とするとき、 $p_B$  を  $p_A$ ,  $V_A$ ,  $V_B$  を用いて表せ。
- (2) 状態 B における温度  $T_{AB}$  と、状態 C における温度  $T_{CD}$  の間の関係について述べた次の文章の (ア) ～ (エ) に入る語句や記号の組み合わせとして正しいものを、下表の ①～⑥から選び、番号で答えよ。

「状態 B から状態 C に至る断熱過程では、気体を得る熱量は (ア) であり、気体が外部にする仕事は (イ) であるから、内部エネルギーは (ウ) する。よって  $T_{AB}$  (エ)  $T_{CD}$  となる。」

|     | ①  | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑥  |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| (ア) | 正  | 正  | 正  | ゼロ | ゼロ | ゼロ |
| (イ) | 正  | 負  | 負  | 正  | 正  | 負  |
| (ウ) | 減少 | 減少 | 増加 | 減少 | 増加 | 増加 |
| (エ) | >  | <  | <  | >  | >  | <  |

- (3) この過程 (状態 A → 状態 B → 状態 C) における気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  を、 $n$ ,  $R$ ,  $T_{AB}$ ,  $T_{CD}$  を用いて表せ。ただし、内部エネルギーが増加する場合、 $\Delta U > 0$  であるとする。
- (4) 断熱過程では、圧力  $p$  と体積  $V$  との間には、単原子分子理想気体の比熱比を  $\frac{5}{3}$  として「 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ 」の関係が成り立つ。この関係式を用いて、 $V_C$  の  $V_B$  に対する比  $\frac{V_C}{V_B}$  を、 $T_{AB}$ ,  $T_{CD}$  を用いて表せ。

問 2. 熱機関 I は 1 サイクルにおいて外部から熱量  $Q_{\text{in}}$  ( $Q_{\text{in}} > 0$ ) を得て、外部に熱量  $Q_{\text{out}}$  ( $Q_{\text{out}} > 0$ ) を放出し、仕事をする。

(1) 以下の各過程において気体が外部にした仕事  $W$  を、それぞれ、 $n$ ,  $Q_{\text{in}}$ ,  $Q_{\text{out}}$ ,  $R$ ,  $T_{\text{AB}}$ ,  $T_{\text{CD}}$  のうち必要なものを用いて表せ。ただし、気体が外部に仕事をした場合は  $W > 0$ , 気体が外部から仕事をされた場合は  $W < 0$  とする。

- (ア) 状態 A から状態 B への過程において気体が外部にした仕事  $W_{\text{AB}}$
- (イ) 状態 B から状態 C への過程において気体が外部にした仕事  $W_{\text{BC}}$
- (ウ) 状態 C から状態 D への過程において気体が外部にした仕事  $W_{\text{CD}}$
- (エ) 状態 D から状態 A への過程において気体が外部にした仕事  $W_{\text{DA}}$

(2) 一般に、状態 1 から状態 2 への等温過程で物質質量  $n$  の理想気体が外部にする仕事  $W_{12}$  は、状態 1 における体積  $V_1$ , 状態 2 における体積  $V_2$ , 状態 1 から状態 2 における絶対温度  $T_{12}$  を用いて  $W_{12} = nRT_{12} \log_e \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$  と表すことができる。ただし  $\log_e$  は自然対数を表す。 $Q_{\text{in}}$  および  $Q_{\text{out}}$  を、それぞれ、 $n$ ,  $R$ ,  $T_{\text{AB}}$ ,  $T_{\text{CD}}$ ,  $V_{\text{A}}$ ,  $V_{\text{B}}$  のうち必要なものを用いて表せ。ここで、 $V_{\text{C}}$  および状態 D における体積  $V_{\text{D}}$  は用いないこと。

(3) 熱機関 I の熱効率を  $e_{\text{I}}$  とするとき、 $e_{\text{I}}$  を  $T_{\text{AB}}$ ,  $T_{\text{CD}}$  を用いて表せ。

(4) 図2に示すとおり、熱機関Ⅰにおける状態Bから状態Cへの断熱過程を、状態Bから状態Eへの等温過程と状態Eから状態Cへの定積過程に置きかえた熱機関Ⅱ（そのサイクルは、 $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ ）について考え、その熱効率を $e_{\text{II}}$ とする。さらに、熱機関Ⅱにおける状態Eから状態Cへの定積過程を、状態Eから状態Fへの断熱過程と状態Fから状態Cへの等温過程に置きかえた熱機関Ⅲ（そのサイクルは、 $A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ ）について考え、その熱効率を $e_{\text{III}}$ とする。 $e_{\text{I}}$ ,  $e_{\text{II}}$ ,  $e_{\text{III}}$ の関係として正しいものを次の①～⑨から選び、番号で答えよ。

- |                                                   |                                                   |                                                   |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ① $e_{\text{I}} < e_{\text{II}} < e_{\text{III}}$ | ② $e_{\text{I}} < e_{\text{II}} = e_{\text{III}}$ | ③ $e_{\text{I}} = e_{\text{II}} < e_{\text{III}}$ |
| ④ $e_{\text{II}} < e_{\text{III}} < e_{\text{I}}$ | ⑤ $e_{\text{II}} < e_{\text{III}} = e_{\text{I}}$ | ⑥ $e_{\text{II}} = e_{\text{III}} < e_{\text{I}}$ |
| ⑦ $e_{\text{III}} < e_{\text{I}} < e_{\text{II}}$ | ⑧ $e_{\text{III}} < e_{\text{I}} = e_{\text{II}}$ | ⑨ $e_{\text{III}} = e_{\text{I}} < e_{\text{II}}$ |

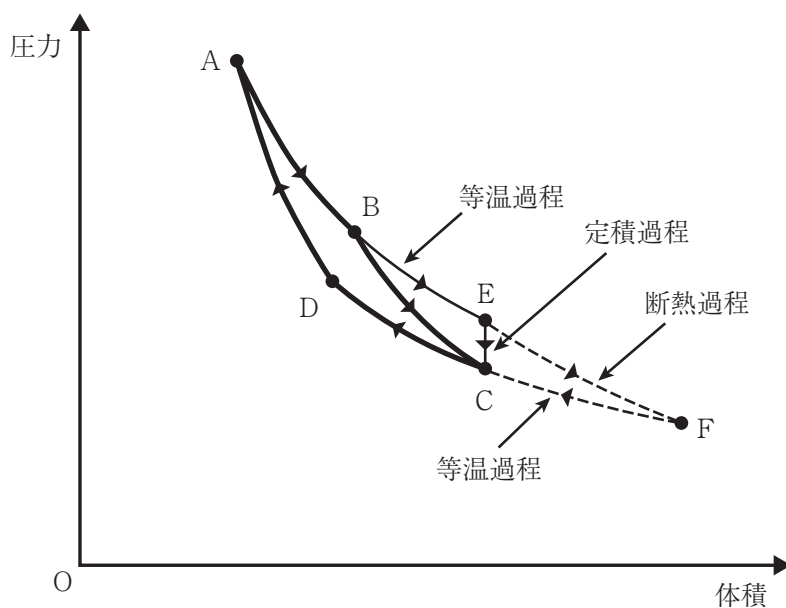


図2

問 3. 熱機関 I の単原子分子理想気体を、同じ物質質量  $n$  の二原子分子理想気体に置きかえた熱機関 IV を考える。熱機関 IV において状態 A から状態 B への過程は熱機関 I と同じであり、状態 C' と状態 D' を経て、状態 A へと戻る。状態 C' と状態 D' における温度は、熱機関 I の状態 C と状態 D における温度  $T_{CD}$  と同じである。圧力-体積グラフにおける熱機関 I と熱機関 IV のサイクルを比較する。

- (1) 状態 B から状態 C' の断熱過程において、圧力  $p$  と体積  $V$  との間には、二原子分子理想気体における比熱比を  $\frac{7}{5}$  として「 $pV^{\frac{7}{5}} = \text{一定}$ 」の関係が成り立つ。熱機関 I の状態 C における体積を  $V_C$ 、熱機関 IV の状態 C' における体積を  $V_{C'}$  とするとき、 $V_{C'}$  の  $V_C$  に対する比  $\frac{V_{C'}}{V_C}$  を、 $T_{AB}$ 、 $T_{CD}$  を用いて表せ。
- (2) 熱機関 IV において、状態 A から、状態 B、状態 C'、状態 D' と変化し、もとの状態 A に戻る圧力-体積グラフとして正しいものを図 3 の(a)~(f) から選び、記号で答えよ。なお、図 3 の破線は熱機関 I のサイクルを示している。

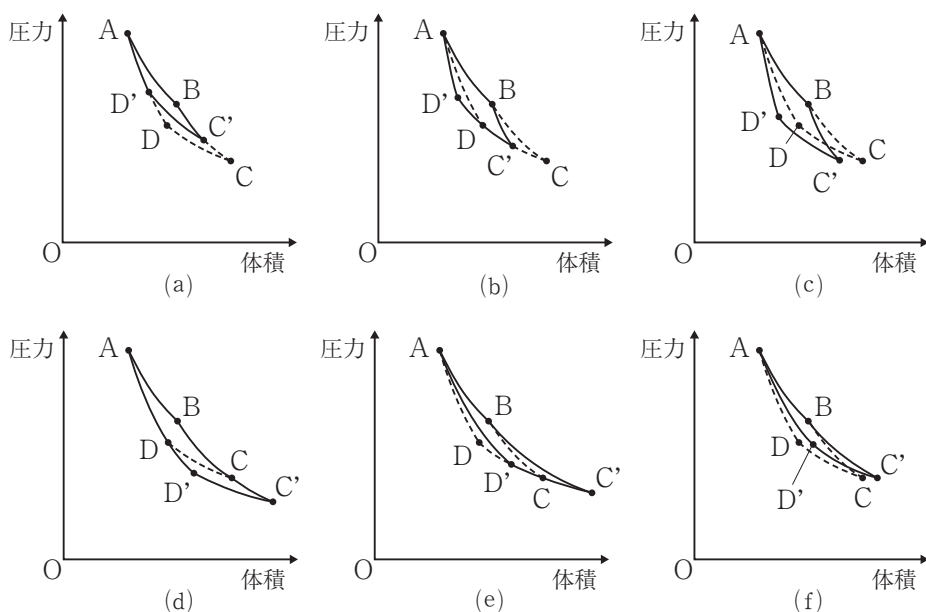


図 3





# 化 学 基 礎 ・ 化 学

必要な場合は、次の値を用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.4, \sqrt{3} = 1.7$$

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Cr = 52.0

ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

標準状態 (0℃,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) の理想気体のモル体積：22.4 L/mol

〔 1 〕 次の文章(1)と(2)を読み、問 1 ～問 6 に答えよ。(30 点)

(1) 金属は外部からの光を反射する〔 ア 〕や、たたいて薄く広げることがで  
きる〔 イ 〕などの性質をもっており、これらは金属中の〔 ウ 〕と関係し  
ている。金属結晶の構造の多くは〔 エ 〕,〔 オ 〕および六方最密構造の  
3つの結晶格子に分類される。ここで,〔 エ 〕と〔 オ 〕の2種類の格子  
について考える。単位格子の一辺の長さを $a$ ,原子半径を $r$ とし, $a$ と $r$ の関  
係を比較すると,〔 エ 〕では $a = [ \text{カ} ] r$ であるのに対し,〔 オ 〕で  
は $a = 2\sqrt{2}r$ となる。単位格子中の原子数と充<sup>じゅうてんりつ</sup>填率を比較すると,〔 エ 〕  
では原子数が〔 キ 〕,充填率が $\frac{\sqrt{3}\pi}{8} \times 100 [\%]$ であるのに対し,〔 オ 〕  
では原子数が4,充填率が〔 ク 〕 $\times 100 [\%]$ となる。

問 1. 文章(1)の空欄〔 ア 〕～〔 ク 〕に入る適切な語句または数値を以下の  
(A)～(X)のなかからひとつずつ選んで記号を記入せよ。

- (A)  $\frac{1}{4}\sqrt{3}$       (B)  $\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$       (C) 共有結合格子      (D)  $\frac{1}{3}\sqrt{2}$   
(E)  $\frac{\sqrt{2}\pi}{8}$       (F) 展性      (G) 価電子      (H) 金属光沢  
(I) 共有電子対      (J)  $4\sqrt{3}$       (K)  $\frac{\sqrt{3}\pi}{6}$       (L) イオン結晶格子  
(M) 体心立方格子      (N)  $\frac{4}{3}\sqrt{3}$       (O) 延性      (P)  $\frac{2}{3}\sqrt{3}$   
(Q) 6      (R) 自由電子      (S) 面心立方格子      (T)  $\sqrt{2}$   
(U) 分子結晶格子      (V) 発光      (W) 2      (X) 薄片化

問 2. ある元素の結晶は温度を上げることによって体心立方格子から面心立方格  
子へ結晶格子が変化する。体心立方格子の単位格子の体積を1とするとき,  
面心立方格子の単位格子の体積を有効数字2桁で答えよ。ただし,原子半径  
 $r$ は温度に依存せず,各単位格子中の最も近接する原子は互いに接している  
と仮定する。

問 3. ある金属元素 **M** と **Z** を混ぜ合わせて結晶格子が体心立方格子となる合金をつくった。その単位格子は、各頂点に **M** 原子、中心に **Z** 原子が位置し、**M** と **Z** 原子は互いに接していると仮定する。**M** と **Z** の原子半径をそれぞれ  $r_{\text{M}}$  および  $r_{\text{Z}}$ 、原子量を  $A_{\text{M}}$  および  $A_{\text{Z}}$  とするとき、この合金の密度を求める計算式を以下の(A)~(J)のなかからひとつ選んで記号を記入せよ。ただし、アボガドロ定数は  $N_{\text{A}}$  とする。

- |                                                                                                |                                                                                               |                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (A) $\frac{3\sqrt{3}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{8N_{\text{A}}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$  | (B) $\frac{N_{\text{A}}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{2\sqrt{2}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$  | (C) $\frac{\sqrt{3}N_{\text{A}}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{2\sqrt{2}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$ |
| (D) $\frac{2N_{\text{A}}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{\sqrt{2}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$   | (E) $\frac{3\sqrt{3}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{2N_{\text{A}}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$ | (F) $\frac{3\sqrt{3}N_{\text{A}}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{8(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$        |
| (G) $\frac{3\sqrt{3}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{8N_{\text{A}}(r_{\text{M}}+2r_{\text{Z}})^3}$ | (H) $\frac{\sqrt{3}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{2N_{\text{A}}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$  | (I) $\frac{N_{\text{A}}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{\sqrt{2}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$          |
| (J) $\frac{\sqrt{2}(A_{\text{M}}+A_{\text{Z}})}{4N_{\text{A}}(r_{\text{M}}+r_{\text{Z}})^3}$   |                                                                                               |                                                                                                      |

- (2) 金属であっても直径  $1\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$  ( $\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ) 程度のナノ粒子となると、金属の塊とは違う特徴を示す。金属ナノ粒子の一例として、コロナウイルスの簡易検査キット(陽性判定の可視化)などに用いられている金ナノ粒子がある。金ナノ粒子の水中での振る舞いについて考える。

典型的な金ナノ粒子の合成法として、テトラクロリド金(Ⅲ)酸( $\text{HAuCl}_4$ )を液中で還元する方法がある。沸騰させた  $\text{HAuCl}_4$  水溶液をかき混ぜながら、三価カルボン酸の塩であるクエン酸三ナトリウムの水溶液を加えると、無色透明な溶液から金ナノ粒子に由来する赤色溶液へと変化する。反応後の溶液に光を当てると、光の通路が明るく輝いて見える。<sup>(a)</sup>

金は水と比べ密度が非常に高い( $19.3\text{ g/cm}^3$ )にもかかわらず、この方法で合成した金ナノ粒子は水溶液中において沈むことなく分散する。これは、重力による沈降と<sup>(b)</sup>つりあう作用が働いているためである。また、金ナノ粒子が電離したクエン酸に覆われ、電荷を帯びることによって互いに反発することも、金ナノ粒子の分散に大きく関わっている。このため、金ナノ粒子の分散性は、溶液条件や金ナノ粒子を覆う分子の影響を大きく受ける。<sup>(c)</sup>

問 4. 下線部(a)と同じ現象が見られるものを以下の(A)～(E)のなかからすべて選んで記号を記入せよ。

- (A) 硫酸銅(Ⅱ)水溶液      (B) スクロース水溶液      (C) 煙  
(D) デンブリン水溶液      (E) 塩化鉄(Ⅲ)水溶液

問 5. 下線部(b)に関する以下の文章の空欄〔ケ〕と〔コ〕に入る適切な語句を答えよ。

金ナノ粒子の水溶液に光を当てながら散乱光を顕微鏡で観察すると、粒子が不規則に運動する様子が見られる。これは、熱運動している〔ケ〕が金ナノ粒子に不規則に衝突するためである。このようにして起こる粒子の不規則な運動を〔コ〕運動という。

問 6. 下線部(c)に関して以下の問いに答えよ。

- (i) 金ナノ粒子の水溶液に電解質を添加すると、凝集させることができる。

本文中の方法によって合成された金ナノ粒子に対し、最も少ない物質質量で凝集させることができる化合物を以下から選んで**化学式**で答えよ。

|          |          |           |
|----------|----------|-----------|
| 炭酸ナトリウム  | 硝酸カリウム   | リン酸三ナトリウム |
| 硫酸アルミニウム | 塩化マグネシウム |           |

- (ii) 合成した金ナノ粒子の水溶液にチオール基 ( $-\text{SH}$ ) をもつ分子を加えると、チオール基と金との強い結合によって金ナノ粒子を覆う分子を置き換えることができる。この方法で、チオール基をもつアミノ酸であるシステインで覆われた金ナノ粒子を作製した。pH の異なる水溶液 **X** と水溶液 **Y** 中で金ナノ粒子の電気泳動を行ったところ、水溶液 **X** 中では陰極の方へ移動したが、水溶液 **Y** 中ではいずれの電極側にも移動しなかった。水溶液 **X** と水溶液 **Y** の pH として適切なものを以下の(A)~(C)のなかから選んで記号を記入せよ。ただし、金ナノ粒子の帯びる電荷は金ナノ粒子に結合したシステインのみで決まるものとし、その等電点は 6.0 とする (金ナノ粒子自体とチオール基の影響は無視する)。

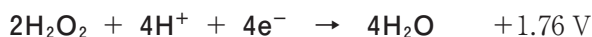
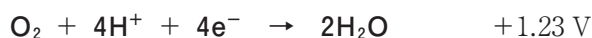
(A) pH 2.0      (B) pH 6.0      (C) pH 10.0

〔2〕 次の文章(1)と(2)を読み、問1～問5に答えよ。(25点)

(1) 燃料電池は、水素と酸素の反応を利用して化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる装置である。電極には多孔性の白金電極が用いられており、負極では水素の〔ア〕反応、正極では酸素の〔イ〕反応が進行し、放電によって水が生成する。一方、希硫酸の電気分解では、電気エネルギーを化学エネルギーに変換することができる。電極には白金電極が用いられ、陰極では水素イオンの〔イ〕反応、陽極では水の〔ア〕反応が進行し、燃料電池の放電時とは逆の反応が起きる。燃料電池の放電が自発的に進行するのに対し、希硫酸から水素と酸素が自発的に生成しないのは、この反応が〔ウ〕反応であるためである。

問 1. 文章(1)の空欄〔ア〕～〔ウ〕に入る適切な語句を答えよ。

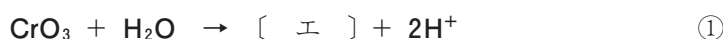
問 2. 燃料電池の理論的な起電力〔V〕を小数点以下2桁で答えよ。なお、各反応の標準電極電位の値は以下の通りである。



問 3. 希硫酸の電気分解の反応  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$  におけるエネルギー変化  $\Delta E[\text{J}]$  は、電気量  $Q[\text{C}]$  と各電極で起きる反応の標準電極電位の差  $\Delta V[\text{V}]$  の積から求めることができる。この反応のエネルギー変化  $[\text{kJ}]$  を有効数字3桁で答えよ。

- (2) クロムは空气中で不動態を作るため、鉄や銅製品のめっきに広く用いられている。クロムめっきは、酸化クロム水溶液を電気分解する電気めっき法によって作られている。酸化クロムを用いた電気めっき法では、陰極に鉄、陽極に白金を用い、酸化クロムを溶かした希硫酸をよくかき混ぜながら電気分解する。このとき、陰極ではクロムが析出し、気体も発生する。一方、陽極では気体が発生する。

問 4. 酸化クロム ( $\text{CrO}_3$ ) は以下の式①～⑤のように反応する。空欄〔エ〕～〔カ〕に入る適切な化学式を答えよ。



陰極



陽極



問 5. 陽極に流れた電気量のうち、 $\frac{3}{4}$  が気体の生成に消費されて標準状態 ( $0^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) において 20.2 L の気体が発生し、 $\frac{1}{4}$  が式⑤の反応に消費されたとする。また、陰極に流れた電気量のうち、 $\frac{1}{3}$  が気体の生成に消費され、 $\frac{1}{2}$  が式③の反応に消費され、 $\frac{1}{6}$  が式④の反応に消費されたとする。このとき、陰極で析出するクロムの質量 [g] を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、生成した気体は全て理想気体とみなし、希硫酸には溶けないとする。

〔3〕 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。(20点)

窒素、リン酸、カリウムは肥料の三大要素である。窒素は、空気から分離することによって得られ、資源としては無尽蔵に存在しているといえる。しかし、空気中の窒素をそのまま肥料として利用することはできない。窒素を生物が利用可能な窒素化合物に変換するプロセスを窒素固定という。マメ科植物は、その根に共生するバクテリアの働きによって窒素固定を行っている。また、雷による窒素固定も知られている。雷による空中放電によって、空気中の窒素と酸素が反応して、窒素酸化物が生成し、それが雨に溶けて地上に降り注ぎ、植物の栄養源となる。

一方、人類は工業的に窒素の窒素化合物への変換を行っている。ハーバー・ボッシュ法を用いて窒素と水素を反応させることでアンモニアを合成することができる。オストワルト法を用いるとアンモニアから硝酸が得られる。これらのアンモニアや硝酸を得るための一連の工業プロセスは20世紀初頭にドイツの化学者たちによって確立された。それにより、化学肥料の大量生産が可能となり、農業生産性が飛躍的に向上した。しかしながら、化学肥料の使用には環境への影響の観点から多くの課題が残されている。

問1. 下線部(a)に関して、リン酸肥料について述べた次の文章中の空欄〔ア〕と〔イ〕に入る適切な化学式を以下の(A)～(P)のなかからひとつずつ選んで記号を記入せよ。

リン鉱石は〔ア〕を主成分とし、水に不溶であるため、それをそのまま肥料として用いることはできない。そこで、それを硫酸と反応させて得られる〔イ〕と硫酸カルシウムの混合物である過リン酸石灰が肥料として用いられる。

- |                                        |                              |                                          |                                            |
|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| (A) $\text{P}_3\text{O}_4$             | (B) $\text{Ca}_3\text{P}_2$  | (C) $\text{Ca}(\text{HPO})_3$            | (D) $\text{Ca}_2\text{PO}_4$               |
| (E) $\text{Ca}_2\text{HPO}_3$          | (F) $\text{HPO}_2$           | (G) $\text{H}_3\text{PO}_4$              | (H) $\text{Ca}_3(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$ |
| (I) $\text{Ca}(\text{H}_3\text{PO})_2$ | (J) $\text{P}_2\text{O}_5$   | (K) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$         | (L) $\text{Ca}_3(\text{HPO}_2)_2$          |
| (M) $\text{Ca}_2\text{HPO}_4$          | (N) $\text{Ca}_2\text{PO}_3$ | (O) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ | (P) $\text{Ca}(\text{HP}_2\text{O})_2$     |

問 2. 下線部(b)に関して、主要なカリウム肥料として、塩化カリウムが知られている。これは、塩化カリウムと塩化ナトリウムの混合物であるシルビナイトという鉱物を熱水に溶解し、その飽和水溶液を冷却して析出させることで得られる。この溶解の過程について述べた次の文章中の空欄〔ウ〕～〔オ〕に入る適切な語句を答えよ。

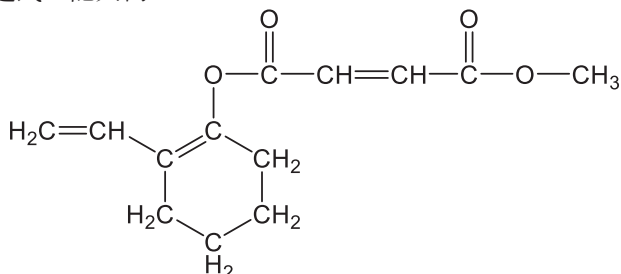
室温における塩化カリウムと塩化ナトリウムの〔ウ〕はそれぞれ  $+17.2 \text{ kJ/mol}$  および  $+3.88 \text{ kJ/mol}$  である。これは、これらの物質の溶解が、エネルギーの高い状態への変化であることを示しており、それは溶解を妨げる駆動力となる。しかし、溶解によって、構成粒子のイオンが規則正しく配列した状態から、水中に分散した状態へと変化することにより〔エ〕が大きな状態になろうとする駆動力が上回るため、溶解が自発的に進行する。粒子の〔エ〕の度合いは、〔オ〕と呼ばれる量で表される。〔オ〕の影響は、温度が高いほど大きくなる。

問 3. 下線部(c)に関して、刺激臭のある赤褐色の気体で、水に溶けやすい性質をもち、奇数個の電子を有する窒素酸化物の分子式およびその窒素酸化物における窒素原子の酸化数を答えよ。

問 4. 下線部(d)に関して、化学肥料の生産および使用における環境負荷軽減技術の開発が進められている。生産時の環境負荷軽減策として、再生可能エネルギーを利用した水の電気分解による水素の製造があげられる。ここで、 $5.0 \text{ A}$  の電流を  $1930 \text{ 秒}$  間流して、水を電気分解して得られた水素を用いて、ハーバー・ボッシュ法でアンモニアを合成したとする。そのアンモニアを用いて、オストワルト法で硝酸を合成した場合、理論上硝酸は最大何  $\text{g}$  得られるか、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、水、およびハーバー・ボッシュ法やオストワルト法で必要となる窒素や酸素は無尽蔵に供給されるものとする。

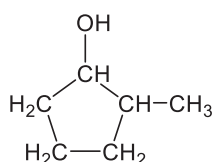
- 〔4〕 次の文章(1)～(6)を読み、問1～問5に答えよ。構造式を記入するときは、記入例にならって記せ。(25点)

構造式の記入例

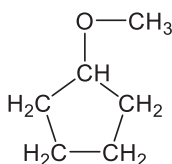


- (1) 分子式  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$  の化合物 **A**, **B**, **C** はそれぞれ単一の化合物であり、いずれも不斉炭素原子や、立体異性体が生じうる構造を含まない。
- (2) 各化合物をナトリウムの単体と反応させたところ、すべての化合物から気体の発生が見られた。
- (3) 各化合物を二クロム酸カリウムと反応させると、化合物 **A**, **C** からは酸化された生成物が得られたが、化合物 **B** は酸化されなかった。
- (4) 各化合物を白金触媒の存在下で水素と混合すると、化合物 **C** からは等モル量の水素が付加した化合物が生成したが、化合物 **A**, **B** は反応しなかった。
- (5) 化合物 **A**, **B**, **C** を適切な酸性条件で加熱したところ、化合物 **A** からは化合物 **D** が、化合物 **B** からは化合物 **E** が、化合物 **C** からは化合物 **F** が、それぞれ主な生成物として得られた。化合物 **D**, **E**, **F** は、いずれも炭素原子と水素原子のみからなる化合物である。なお、それぞれの反応条件において、分子間反応や、アルケンの異性化(二重結合の位置が異なる構造異性体に変化する反応)は起こらないものとする。
- (6) 化合物 **D** を酸性の過マンガン酸カリウム水溶液と完全に反応させると、〔ア〕が得られた。〔ア〕はナイロン 66 の原料である。

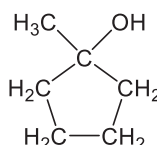
問 1. 化合物 **A**, **B**, **C** の構造式を下記の①～⑥から選んで番号で答えよ。



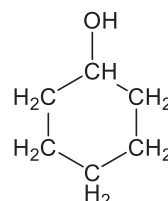
①



②



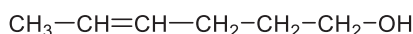
③



④



⑤



⑥

問 2. 文章(5)において、化合物 **B** からは主生成物である化合物 **E** のほかに、構造異性体の関係にある別の生成物が生じる可能性がある。化合物 **E**、および考えられるもう一方の生成物それぞれの構造式を答えよ。

問 3. 文章(6)の空欄〔ア〕にあてはまる化合物の名称を答えよ。

問 4. 2.00 g の化合物 **F** を酸性の過マンガン酸カリウム水溶液と完全に反応させると、気体の発生とともに化合物 **G** が生成した。化合物 **G** の構造式を答えよ。また、生じた気体の名称、およびその標準状態 (0℃,  $1.013 \times 10^5$  Pa) における体積 [L] を有効数字 3 桁で答えよ。

問 5. 直鎖状の炭素骨格をもつ化合物 **H**, **I** は、化合物 **A**, **B**, **C** と分子式が同じであるが、構造は問 1 の①～⑥のいずれとも異なる。また、次の(i)～(iii)のような化学的性質をもつ。化合物 **H** と **I** の構造式を答えよ。

- (i) いずれの化合物も、単体ナトリウムと反応させても気体を生じない。
- (ii) 塩基性の水溶液中でヨウ素と反応させると、化合物 **H** を加えた場合のみ黄色沈殿が生じる。
- (iii) アンモニア性硝酸銀水溶液中で加熱すると、化合物 **I** を加えた場合のみ銀の析出が見られる。

〔5〕 次の文章(1)と(2)を読み、問1～問5に答えよ。(25点)

(1) グルコースは、環状構造と鎖状構造の平衡状態にある(図1)。図1では、環状構造をいす形と呼ばれる形式で表記している。

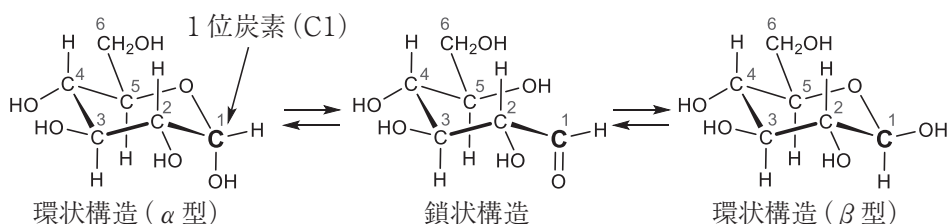


図1

鎖状構造に〔ア〕基があるため、グルコースの水溶液をフェーリング液と混合すると、〔イ〕を含む赤色沈殿を生じる。

環状構造の1位炭素(C1)は〔ア〕基をもたず、エーテル結合とヒドロキシ基からなる〔ウ〕構造をもつ。環状構造には、立体異性体の関係にあるα型とβ型がある。

グルコースは、水溶液中で反応条件Xにおくと、エンジオール中間体①となったあと、グルコースへ戻る反応と、グルコースの構造異性体である化合物②やグルコースの立体異性体である化合物③に変換される反応が起こり、それらの混合物となる(図2)。

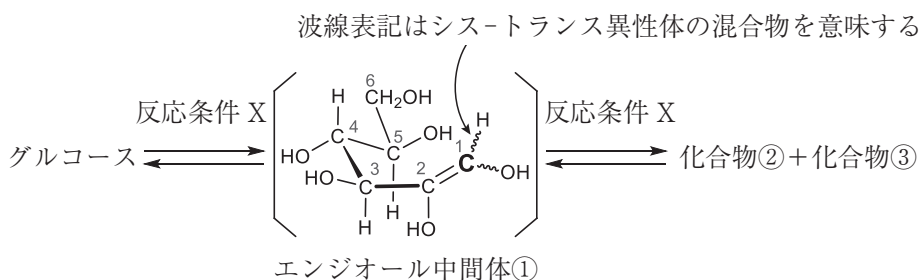


図2

問1. 文章(1)の空欄〔ア〕と〔ウ〕に入る適切な語句、空欄〔イ〕に入る適切な化学式を答えよ。

問 2. グルコースと、その C4 の立体異性体であるガラクトースの鎖状構造を、フィッシャー投影式で表記すると図 3 のようになる。これを参考に、化合物②と③のフィッシャー投影式を図 4 のように作成する。空欄(あ)～(く)に入る適切な部分構造を、(A)～(F)から選んで記号を記入せよ。なお、部分構造(A)～(F)は複数回使用してもよい。

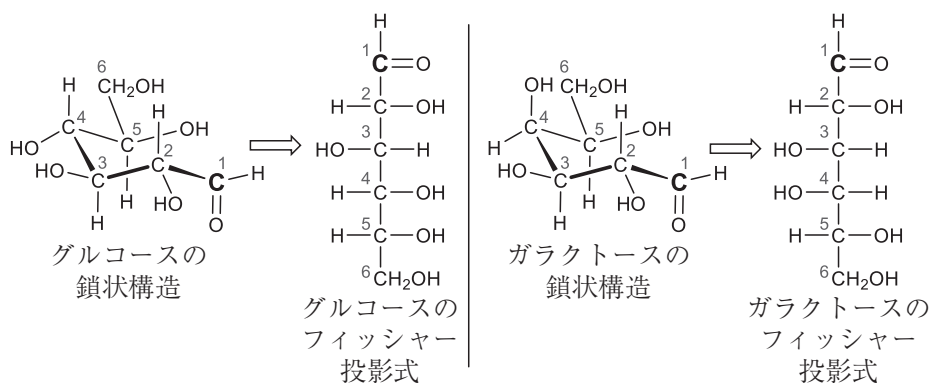


図 3

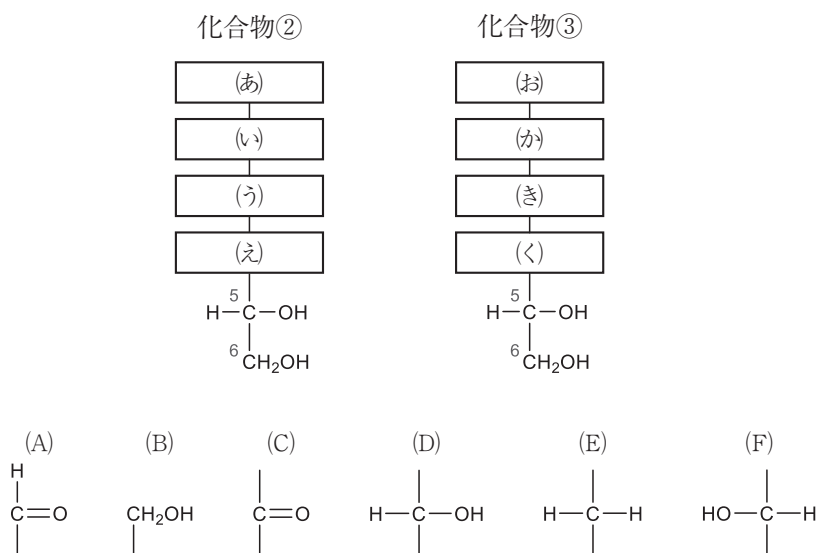


図 4

(2) 二糖類は、多糖の酵素による分解などによって生成するが、化学合成することも可能である。以下に、化学合成の一例を述べる。

グルコースのヒドロキシ基をひとつだけ残し、他のすべてのヒドロキシ基に「保護基」を結合させた化合物④と⑤を合成する(図5)。なお保護基とは、ヒドロキシ基に結合させると、理想的にはそのヒドロキシ基の性質が消失する置換基の一種である。ここでは、保護基が理想的に働くとする。化合物④は、C1に結合したヒドロキシ基だけ保護基と結合しておらず、 $\alpha$ 型と $\beta$ 型の環状構造の混合物である。本問題では、化合物④の鎖状構造は存在しないものとする。化合物⑤は、C4に結合したヒドロキシ基だけ保護基と結合していない。

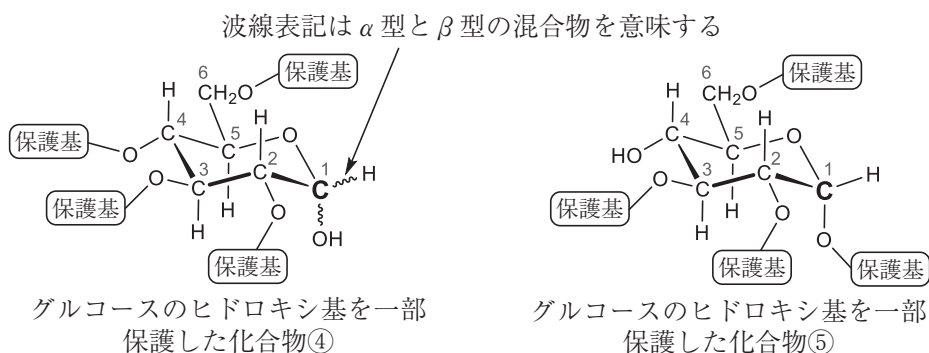


図5

化合物④を反応条件Zにおくと、炭素陽イオンをC1に有する中間体⑥が生成する(図6)。ここに化合物⑤を加えると、C4に結合した保護基をもたないヒドロキシ基の酸素原子が、水素イオンを失いながら、中間体⑥のC1と共有結合を形成する反応が進行する。これをグリコシル化反応と呼ぶ。その結果、化合物⑦とその立体異性体である化合物⑧が生成する。化合物⑦と化合物⑧にあるすべての保護基を適切な化学反応によって取り除くと、化合物⑦からは二糖である化合物⑨、化合物⑧からは二糖である化合物⑩がそれぞれ生成する。化合物⑩は、化合物⑨の立体異性体であり、甘みはほとんどなく、松葉に少量含まれることが知られている。

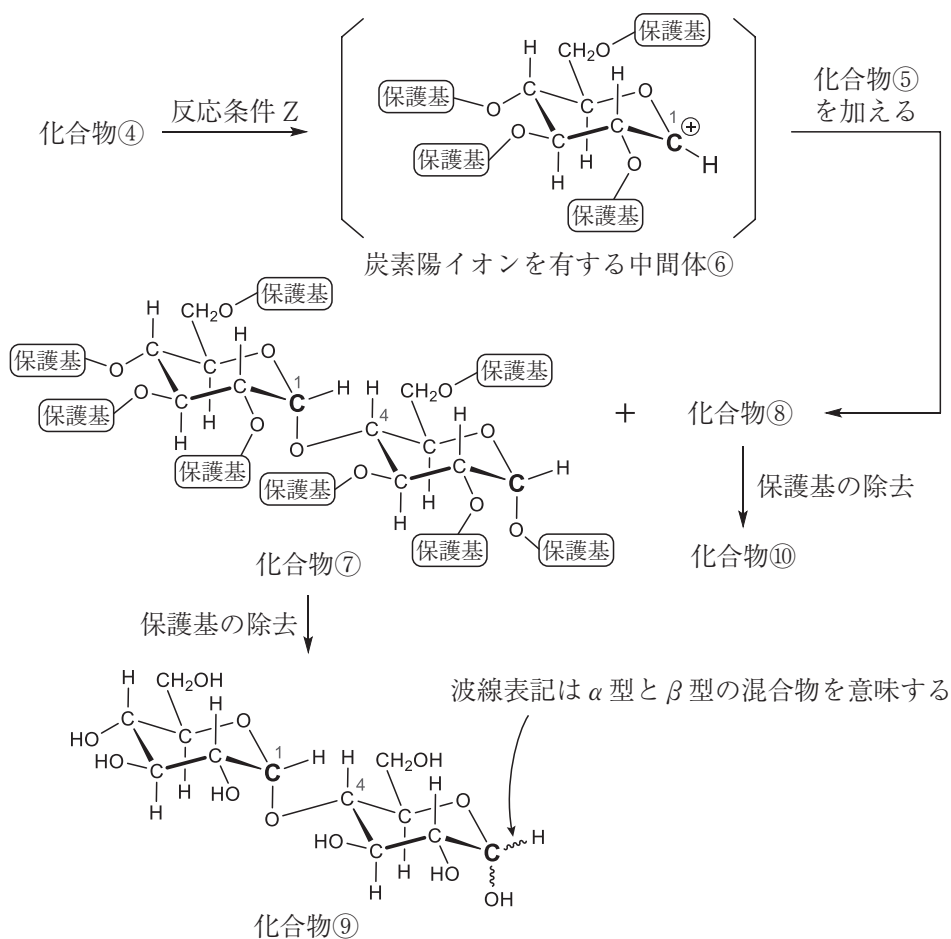


図 6

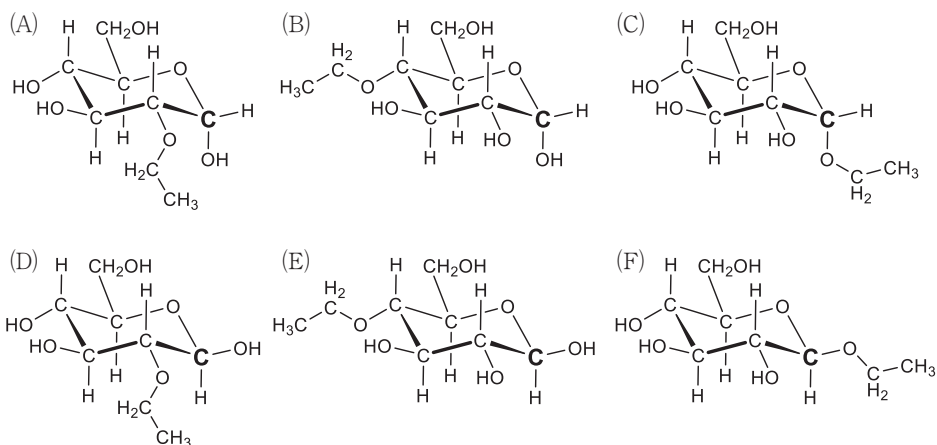
問 3. 化合物⑨の名称を答えよ。また、化合物⑨の説明として正しい記述を次の

(A)～(E)のなかから**すべて**選んで記号を記入せよ。

- (A) 水あめの主成分である。
- (B) サトウキビをアミラーゼで加水分解した際の主生成物である。
- (C) ふたつのグルコースが $\alpha$ -1,4-グリコシド結合で連結している。
- (D) 酸性水溶液で分解すると、 $\alpha$ 型のグルコースのみ生成する。
- (E) 哺乳類の乳汁の主成分である。

問 4. 本反応で化合物⑤を加える際に、誤って微量のエタノールを混入させた。

このとき、化合物⑨と化合物⑩のほかに生成する化合物として、適切なものを次の(A)～(F)のなかからすべて選んで記号を記入せよ。



問 5. 炭素陽イオンを有する中間体⑥に対して、化合物⑤ではなく化合物④を加え、還元性のない二糖を合成した。このとき、何種類の立体異性体が生成するかを、数字で答えよ。また、生じる立体異性体のうちのひとつは、甘味料や化粧品の保湿成分として利用されており、自然界にはキノコや昆虫の体液に含まれることが知られている。その化合物の名称を答えよ。





# 生 物 基 礎 · 生 物

〔1〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

近年、猛暑の影響でイネ種子の発芽遅延が問題になっている。発芽遅延の理由としては、植物ホルモンである〔ア〕が種子に蓄積し、種子が〔イ〕することが知られている。発芽後、苗は苗床で育苗される。苗を丈夫にするために、ロープや木材で苗の上部先端をなでる露払いとよばれる方法がある。植物ホルモンである〔ウ〕の作用によって、苗の茎葉の過度の伸長が抑えられ、茎が太くなる。細胞は、〔エ〕のはたらきで、細胞のセルロース繊維どうしの結びつきが弱まり、水が流入して成長する。接触・圧迫等で〔ウ〕が増加すると、その作用でセルロース繊維が頂端－基部軸方向に合成されるため、横方向の肥大成長が促進される。

発芽し、ある程度成長すると光合成を行うようになる。葉に光が当たると気孔が開き  $\text{CO}_2$  が取り込まれる。気孔の開口に有効な光は〔オ〕色光で、〔カ〕が光受容体としてこれを感知する。日中、強い日差しが照りつけると蒸散が活発になるが、根の吸水による水の供給が追いつかなければ、葉は乾燥状態に陥り、〔ア〕が合成され、気孔が閉じる。

植物の成長がすすみ、温度や日長などの条件がそろうと花芽形成が始まる。都市近郊の水田では、農地を照らす屋外照明により、出穂の遅れが問題になっている。花芽形成には、花成ホルモンとよばれるタンパク質(フロリゲン)が関与している。

問 1. 文章中の〔ア〕～〔カ〕に入る適切な語句を答えなさい。

問 2. 下線部①に関連して、日長の変化に対する花芽形成の反応は植物の種類によって異なる。1 日の暗期の長さと花芽形成までの日数を調べると、図 1 に示すように a, b, c の 3 つのパターンに分けられる。以下の問いに答えなさい。

(1) a, b, c の中で短日植物を示したグラフを選びなさい。

(2) 短日植物において、花芽形成に必要な最短の暗期の長さを何というか答えなさい。

(3) a, b, c が花芽形成し、かつ花芽形成までに要する日数が、 $a < b < c$  となるのは、日照時間を何時間にしたときか、最も適切な番号を次の①～⑤の中から選びなさい。

- ① 9 時間              ② 10 時間              ③ 11 時間  
④ 13 時間            ⑤ 14 時間

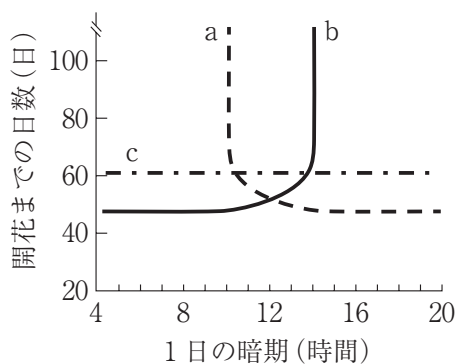


図 1

問 3. 下線部②に関連して、暗期における光照射によって花芽形成が阻害される現象を何というか答えなさい。また、これが引き起こされる原因について以下の用語をすべて用いて 30 字以内で説明しなさい。

|             |
|-------------|
| Pfr 型, Pr 型 |
|-------------|

問 4. 下線部③に関連して、あるイネの品種からフロリゲンと塩基配列のよく似た遺伝子 X がみつかった。以下の実験を行った結果、遺伝子 X はフロリゲンと同等の特性をもつことが判明した。次の(1)～(4)の問いに答えなさい。

- (1) 遺伝子 X の発現が花芽形成に及ぼす影響を調べるために、遺伝子 X の発現量を増やすか、逆に減らすようにした形質転換体を作製し、これを花芽形成が誘導される適切な日長で栽培して、開花までの日数を測定した。なお、ここでは、非形質転換体を野生型、遺伝子 X の発現量を増やした形質転換体を過剰型、逆に減らした形質転換体を抑制型とよぶ。それぞれの形質転換体はどのような反応を示したか。得られた結果として最もふさわしいものを図 2 の(a)～(d)から選びなさい。

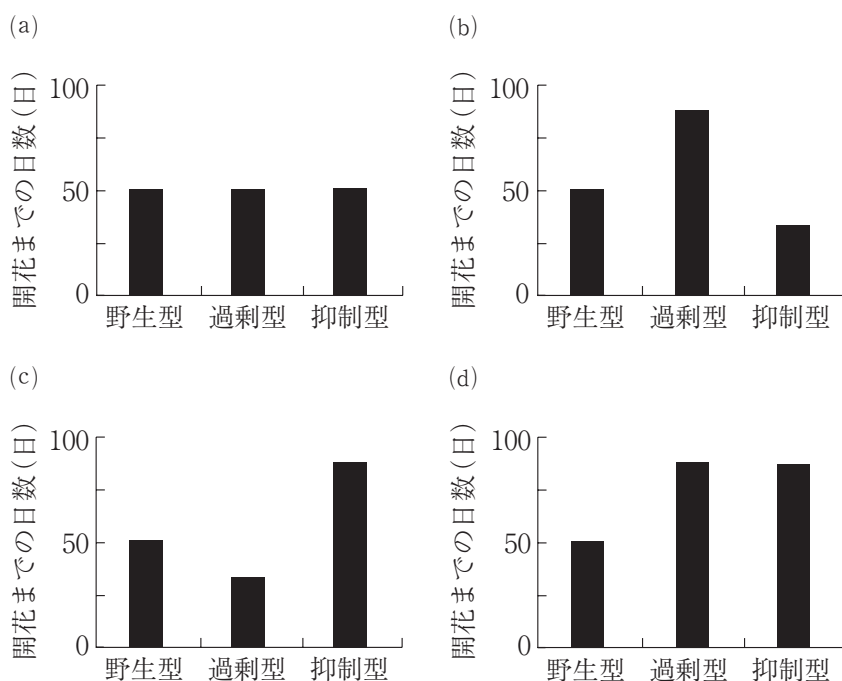


図 2

- (2) 前問(1)で用いた野生型の根、茎、葉、茎頂における遺伝子 X の発現量 (mRNA の存在量) を調べたところ、葉でのみ mRNA が検出された。野生型を異なる日長条件下で栽培したときに、遺伝子 X の mRNA 発現量として観察された結果として最もふさわしいものを図 3 の(a)~(d)から選びなさい。

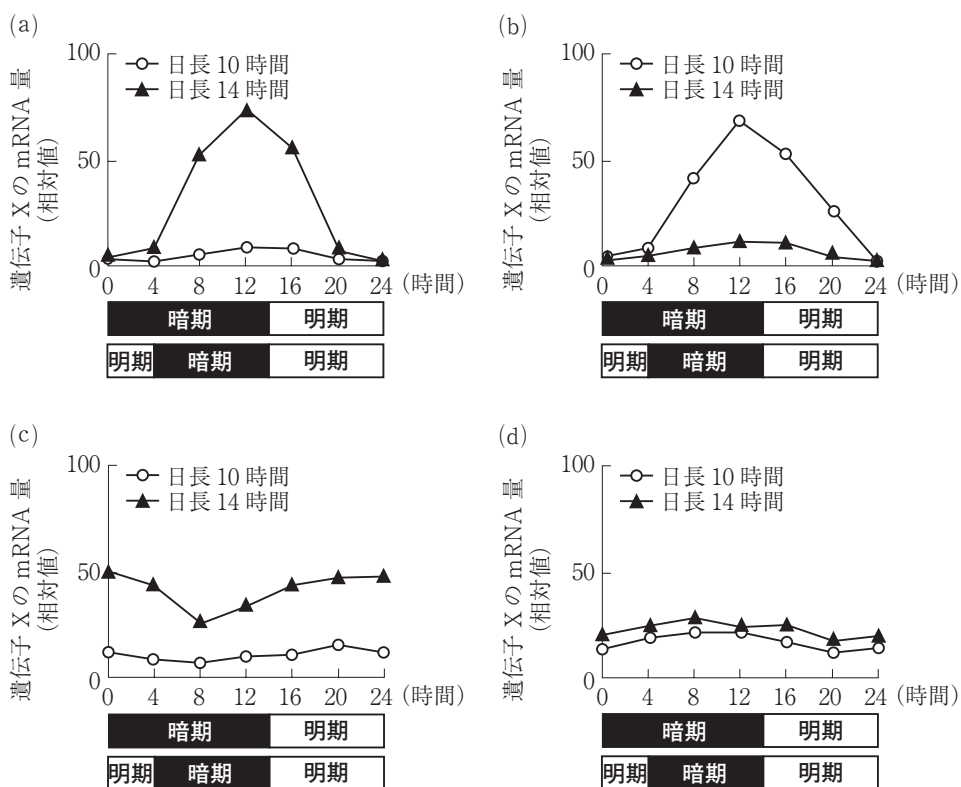


図 3

- (3) 遺伝子 X がコードするタンパク質の存在部位を検出するため、遺伝子を組換えた形質転換体を作製した。葉を図 4 で示した切断部位で切り出し、その横断面を観察した。遺伝子 X の発現部位 (■) を示す図として最もふさわしいものを図 4 の(a)~(d)から選びなさい。

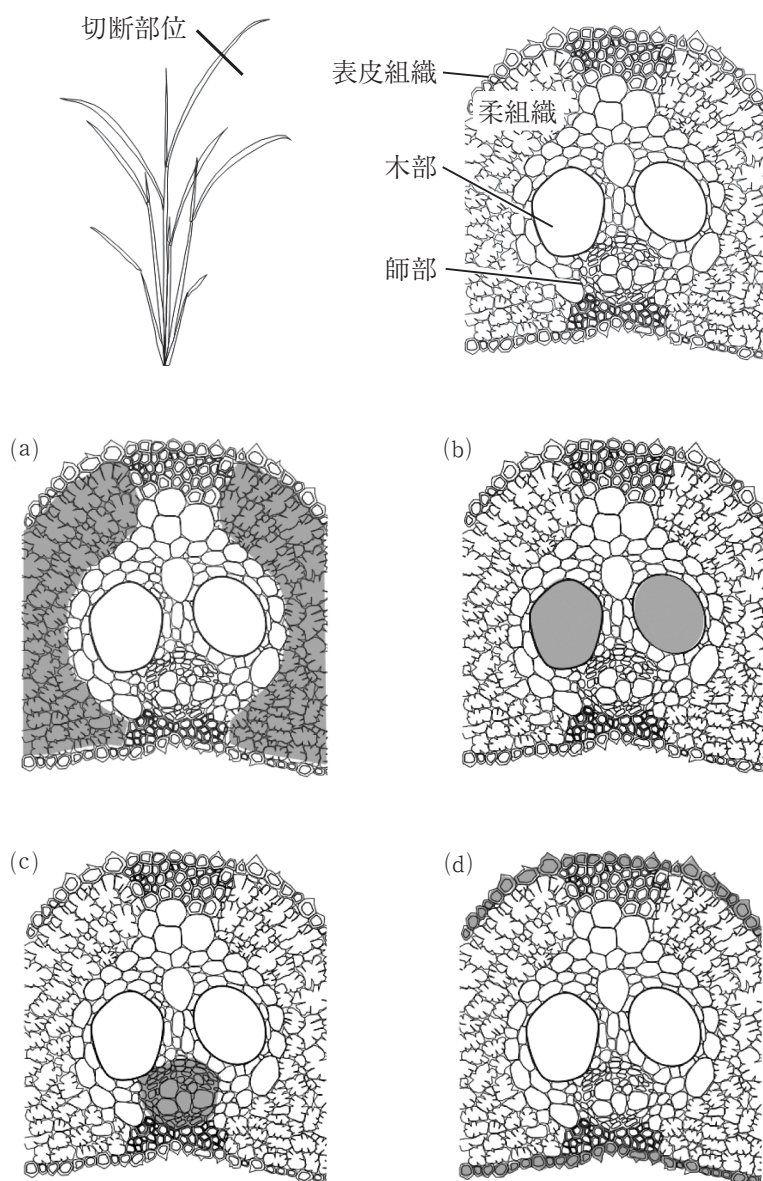


図 4

- (4) 前問(3)で作製した形質転換体を用いて、花芽形成が誘導される茎頂付近を観察したところ、遺伝子 X の mRNA は検出されなかったが、遺伝子 X がコードするタンパク質は検出された。茎頂を図 5 で示した切断部位で切り出し、その縦断面を観察した。その断面の模式図を図 5 に示した。遺伝子 X がコードするタンパク質の検出部位 (■) を示す図として最もふさわしいものを図 5 の(a)~(d)から選りなさい。

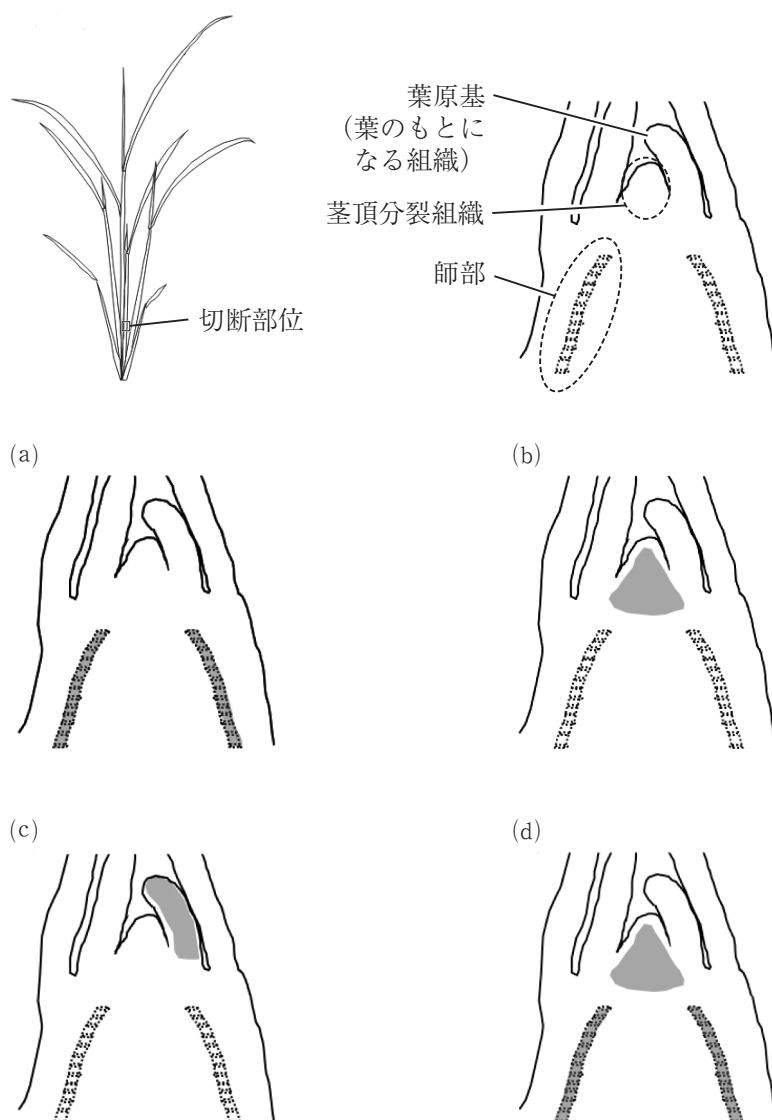


図 5

〔2〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

ヒトの眼は光を受容する直径約 25 mm の球状の器官である。眼に入った光は、〔ア〕と水晶体で屈折し、〔イ〕の上に像を結ぶ。〔イ〕に到達する光の量は虹彩が伸び縮みし、瞳孔の大きさが変わることによって調節される。また、水晶体の厚みを変化させることで、遠くのものや近くのものを見るのが可能となる。<sup>①</sup> ヒトの〔イ〕には2種類の視細胞が存在しており、色の識別に関与する〔ウ〕細胞と、うす暗い場所で働き、明暗に反応する〔エ〕細胞が知られており、〔オ〕という視物質の役割が重要となる。これらの視細胞によって受容した光の情報は、介在神経を介して視神経細胞を興奮させる。左右の眼球から出た視神経は〔カ〕といわれる部分で一部交差して、大脳にある視覚野に伝えられ、そこで視覚が生じる。

神経細胞を伝わる情報は、細胞体や軸索で発生する電気的な信号である。神経軸索の末端は、他の神経細胞や効果器と狭い隙間を隔てて接続しており、この部分をシナプスとよぶ。シナプス前細胞に興奮が伝わると、神経伝達物質が放出され、<sup>②</sup>これを受容したシナプス後細胞で膜電位が変化することで興奮が伝わる。例えば骨格筋では運動神経終末が筋細胞と直接シナプスを形成し、運動神経終末から神経伝達物質としてアセチルコリンが放出されることで、筋細胞に活動電位が生じ、筋収縮が起きる。<sup>③</sup>

問 1. 文章中の〔ア〕～〔カ〕に入る適切な語句を答えなさい。

問 2. 下線部①に関して、近くを見る際の眼のしくみの説明について、空欄〔キ〕～〔ケ〕に入る正しい語句を選び、解答用紙に丸をつけてそれぞれ答えなさい。

毛様筋が〔キ〕し、チン小帯が〔ク〕、水晶体が〔ケ〕なる。

問 3. 下線部②に関して、赤色光を照射することにより神経細胞で活動電位を誘発可能な受容体 R、あるいは青色光を照射することにより活動電位を誘発可能な受容体 B を用いて以下の実験を行った。受容体 R あるいは受容体 B を発現させることが可能なウイルスを、ラットの脳領域 X に存在するシナプス前細胞 N1 ～ N3 に直接投与しスライス標本を作製した(図 1)。シナプス前細胞 N1 ～ N3 には受容体 R あるいは受容体 B のいずれかが発現するとし、以下の条件の下で種々の電気生理学的実験を行った結果、図 2 の I ～ IV のような応答が観察された。

ただし、このスライス標本にはシナプス前細胞 N1 ～ N3 およびシナプス後細胞 1 つのみが存在すると仮定し、各単一シナプス前細胞は活動電位を生じた際に、興奮性または抑制性のいずれかの神経伝達物質を放出するものとする。また、シナプス後細胞には、興奮性および抑制性の神経伝達物質を受容することが可能な受容体が発現している。

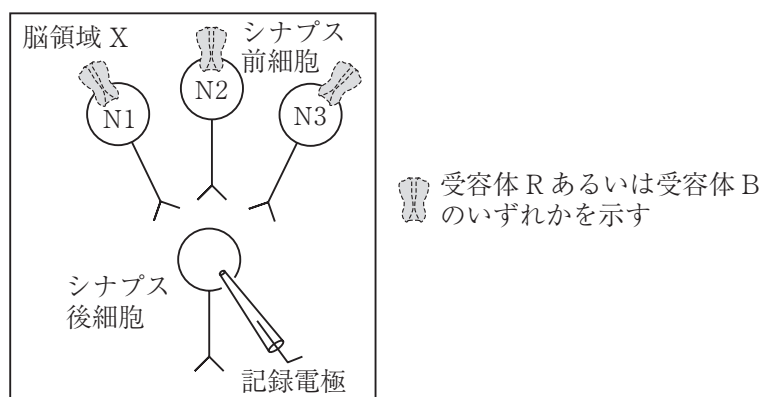


図 1

- ・ 各電気刺激の強度は同様で、シナプス前細胞で活動電位を誘発する。
- ・ 各単一シナプス前細胞は光刺激によっても活動電位を生じ、シナプス後細胞では電気刺激の際と同様の応答を示す。
- ・ 単一シナプス前細胞刺激でシナプス後細胞の電位は閾値を超えることはない。

- ・ 各単一シナプス前細胞が刺激を受けた際のシナプス後細胞の電位変化量（静止電位からの正あるいは負方向への変化）は同程度とする。
- ・ 赤色光および青色光を照射すると、シナプス前細胞 N1 ～ N3 に均一に照射される。

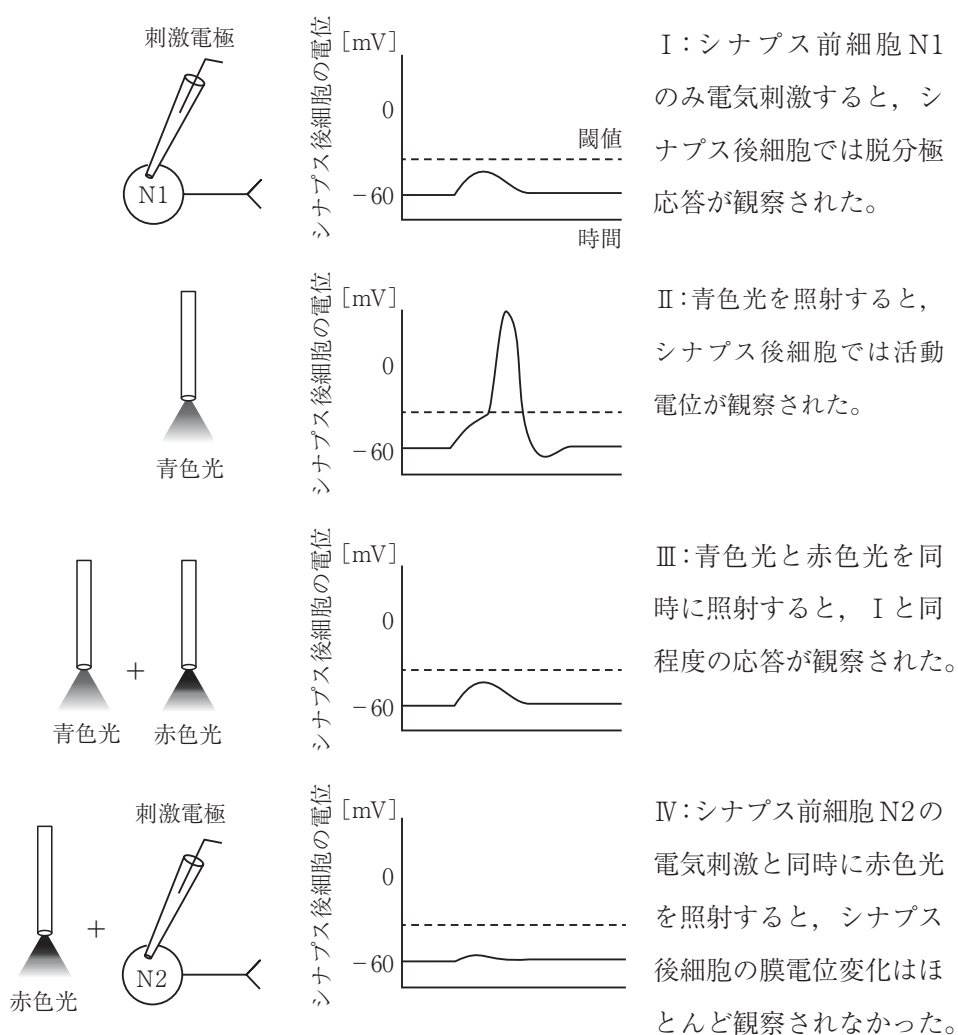


図 2

- (1) シナプス前細胞 N1 ～ N3 は興奮性あるいは抑制性神経のいずれであるか、また受容体 R あるいは B のいずれが発現しているかについて解答用紙に丸をつけてそれぞれ答えなさい。
- (2) シナプス前細胞 N3 を電気刺激した際のシナプス後細胞での反応について、以下の語句のうち適切なものを使用して 40 字以内で説明しなさい。

|                                                             |
|-------------------------------------------------------------|
| $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ , 脱分極, 過分極 |
|-------------------------------------------------------------|

**問 4.** 下線部③について、ラットを用いた筋収縮に関する実験を行った。下腿三頭筋(骨格筋)の下部を露出させ、アキレス腱に糸を結び、負荷をかけた際の張力を記録装置にて計測記録することで筋収縮を測定可能とした。このとき、坐骨神経(運動神経)および下腿三頭筋をそれぞれ電気刺激すると筋収縮が起きることが確認された。ただし、ラットの坐骨神経を露出し、中枢端(脊髄側)を糸で縛っているため、脊髄反射による応答は見られないものとする。

そこで、ある物質 A をラットに静脈内投与した際に、坐骨神経および下腿三頭筋のいずれを刺激した際も筋収縮は抑制された。このとき、物質 A の特徴について以下の説明(a)～(d)から正しいものを 1 つ選びなさい。ただし、物質 A の標的は 1 か所とする。

- (a) 物質 A は、筋繊維上に発現するアセチルコリンの受容体を遮断する。
- (b) 物質 A は、シナプス間隙に存在するアセチルコリンの分解を促進する。
- (c) 物質 A は、筋小胞体からの  $\text{Ca}^{2+}$  の遊離を抑制する。
- (d) 物質 A は、運動神経終末の電位依存性  $\text{Ca}^{2+}$  チャンネルを阻害する。

〔3〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

問 1. 雌雄に関係なく動物の配偶子の元となるのは〔ア〕である。脊椎動物の場合、〔ア〕は胚発生の早い時期に出現し、体細胞分裂によって増殖しながら、生殖巣へと移動する。雄では精巣にて精原細胞となったあと、〔イ〕分裂を始める。〔イ〕分裂を始めた細胞を一次精母細胞、1 度目の分裂を終えた細胞を二次精母細胞という。精子形成では、1 個の一次精母細胞から〔ウ〕個の精細胞ができる。

- (1) 文章中の〔ア〕～〔ウ〕に入る適切な語句、数字を答えなさい。
- (2) ヒト体細胞の核相は  $2n$  である。以下の(a)～(d)の組み合わせのうち、それぞれの細胞の核相を正しく示した組み合わせを選びなさい。
- (a) 一次精母細胞： $n$       二次精母細胞： $2n$
- (b) 一次精母細胞： $2n$       二次精母細胞： $2n$
- (c) 一次精母細胞： $2n$       二次精母細胞： $n$
- (d) 一次精母細胞： $n$       二次精母細胞： $n$
- (3) 以下の文章(a)～(e)は、ウニの受精中に起こる一部の過程を示している。各過程が起きる順番を時系列にしたがって正しく並べなさい。
- (a) 卵細胞の表層粒がエキソサイトーシスを起こす。
- (b) 精子の先端が伸び、鞭毛の動きが活発化して卵の細胞膜に接する。
- (c) 卵黄膜は細胞膜から離れて受精膜となる。
- (d) 精子の先体の中身がゼリー層に向かって放出される。
- (e) 精子と卵の細胞膜が融合する。

問 2. 組織や器官は、それぞれ異なる種類の細胞で構成されており、細胞の選別にはカドヘリンという細胞膜貫通型の接着タンパクが関わっている。脊椎動物胚において、将来の脳や脊髄となる神経板と表皮外胚葉はともに外胚葉に由来する。神経板は〔エ〕-カドヘリン、表皮は〔オ〕-カドヘリンを発現することで、それぞれの細胞種が接着し細胞の選別が起こる(図1)。神経板からできる神経管の背側領域からは〔カ〕細胞が遊出するが、〔カ〕細胞では〔エ〕-カドヘリンの発現が低下する(図1)。

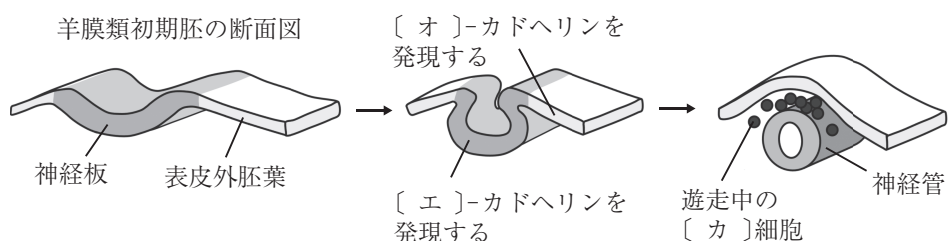
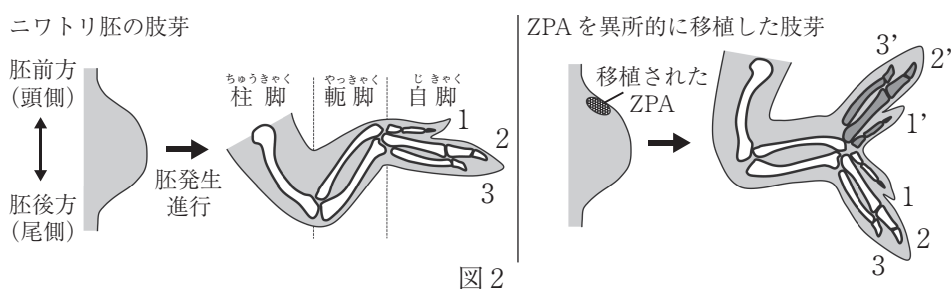


図 1

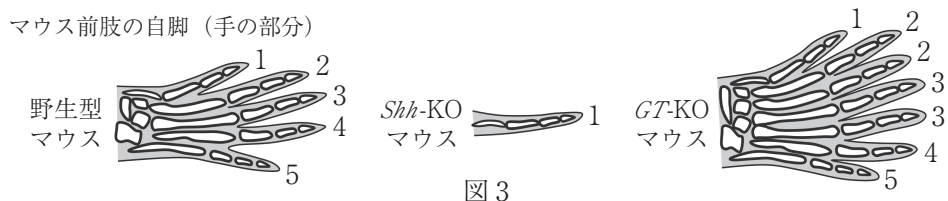
- (1) 文章中および図 1 中の〔エ〕～〔カ〕に入る適切な語句を答えなさい。
- (2) 以下の文章(a)～(f)のうち、カドヘリンの特性を適切に説明している文章を 3 つ選びなさい。
  - (a) カドヘリンの細胞内ドメインは、連結タンパク質を介して細胞骨格のアクチンフィラメントと間接的に連結している。
  - (b) カドヘリンの細胞内ドメインは、細胞骨格のアクチンフィラメントと直接連結している。
  - (c) 異なった種類のカドヘリンどうしの結合の方が、同じ種類のカドヘリンどうしの結合よりも親和性が高い。
  - (d) 同じ種類のカドヘリンどうしの結合の方が、異なった種類のカドヘリンどうしの結合よりも親和性が高い。
  - (e) ナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) がカドヘリンどうしの結合に必要である。
  - (f) カルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) がカドヘリンどうしの結合に必要である。

**問 3.** 発生生物学研究室に所属する大学院生のWさんは、脊椎動物の四肢(手足)形成に関する研究を行っている。脊椎動物四肢の大部分は中胚葉組織のうち、側板中胚葉と呼ばれる領域の一部に由来する。四肢の形成パターンや指の数は、四肢原基である肢芽内の極性化活性帯(ZPA)から分泌されるソニックヘッジホッグ(Shh)タンパク質により規定されると考えられている。Wさんは以下の3つの実験を通して、このZPAから分泌されるShhタンパク質の四肢形成における役割を調べた。なお、いずれも実験手技に不備はないものとする。

実験1：Wさんは、Shhタンパク質を分泌するZPAが指のパターニングに関してどのような役割をもつか調べるため、ニワトリ胚肢芽から採取したZPAを他の胚の肢芽に、本来の場所とは異なる箇所へと移植した(図2の右半分参照)。その結果、本来の自脚(ヒトであれば手に相当する部分)に加え、もう1つの自脚が作られた。



実験2：Wさんは、CRISPR/Cas9法を用いてZPAから分泌されるShhタンパク質をコードする遺伝子を欠損したノックアウト(KO)マウスを作製した(*Shh*-KO)。また、Shhタンパク質が伝達する細胞内シグナルとの関係が予想される、転写調節因子GTをコードする遺伝子領域を欠損したKOマウスも作製した(*GT*-KO)。*Shh*遺伝子のKOマウスでは1番目の指のみが形成され、*GT*遺伝子のKOマウスでは2番目と3番目の指が重複した(図3)。



実験3：Wさんは、Shhとヘビの四肢欠損の関係を調べるため、まず、ニシキヘビ胚側板中胚葉におけるShhのmRNAとタンパク質の検出を試みた。しかしながら、マウスやニワトリとは違い、ニシキヘビではいずれも検出されなかった。また、*Shh* mRNAの転写を阻害する因子や、mRNAの分解を促進する因子も検出されなかった。一方で、脊索などの他の組織では、ニシキヘビ胚でも、ShhのmRNAとタンパク質が検出された。加えて、ニシキヘビ胚の全細胞がもつ*Shh*遺伝子の配列には、Shhタンパク質の機能を損なう変異などの問題は見当たらなかった。

- (1) 実験1の結果を考慮し、以下の図4の(a)～(c)から本来のZPAの場所を示した図を選びなさい。また、ZPAから分泌されるShhタンパク質の濃度勾配と、図2の指の種類(第1指、第2指、第3指)との関係について、60字以内で説明しなさい。

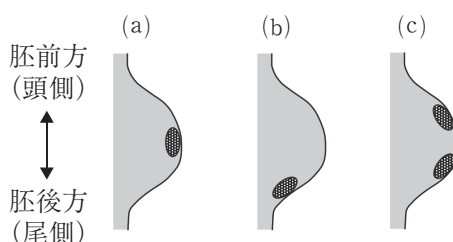


図4

- (2) 実験2の結果を適切に考察した文章を、以下の(a)～(e)から2つ選びなさい。
- (a) Shhタンパク質は肢芽細胞の増殖と生存に必要な因子である。
  - (b) Shhタンパク質はマウスでは第1指から第5指まで、すべての指形成に必要である。
  - (c) GTは細胞外でShhタンパク質と結合し、その働きを抑制する。
  - (d) GTはShhタンパク質の作用が胚前方に拡大することを抑制する。
  - (e) GTはShhタンパク質の作用が胚前方に拡大することを促進する。

(3) 実験3の結果から、ニシキヘビ側板中胚葉で Shh の mRNA とタンパク質が検出されなかったのは、進化の過程で以下の(a)~(e)のいずれかに変化が生じたためだと考えられる。正しいものを1つ選びなさい。

- (a) Shhタンパク質の分解機構
- (b) Shhタンパク質の翻訳
- (c) *Shh* mRNA のスプライシング
- (d) *Shh* 遺伝子配列の複製機構
- (e) *Shh* 遺伝子の発現を制御する転写調節配列



〔4〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

飲酒により体内で発生するアセトアルデヒドを無毒化する酵素の一つとして、アルデヒド脱水素酵素 2 (ALDH2) があることはよく知られている。ALDH2 の酵素の性質を調べるために、実験 1, 2, 3 を行った。

実験 1：公共データベースを検索して、ヒト ALDH2 の遺伝子配列情報 (9,561 塩基対) と全長 517 個のアミノ酸配列情報を入手した。ALDH2 タンパク質をコードする領域は、51 ～ 53 番目の塩基 "atg" から 1602 ～ 1604 番目の塩基 "taa" までであった (図 1)。

まず *ALDH2* 遺伝子の翻訳領域を PCR 法で増幅して、GFP (緑色蛍光タンパク質) と融合できるベクターに、制限酵素 *EcoRI* と *SalI* を用いてクローニング (標的 DNA 配列をベクターに組み込む操作) した。発現ベクターの一部の模式図、ベクターの制限酵素部位と GFP (717 塩基対) のアミノ末端の塩基配列を図 2 に示す。なお、*EcoRI* と *SalI* の認識配列は、ベクター内にそれぞれ 1 か所しかなく、*ALDH2* 遺伝子にはない。

```
1
ga gac cct agc tct gct ctc ggt ccg ctc gct gtc cgc tag ccc gct gcg

51
atg ttg cgc gct gcc gcc cgc ttc ggg ccc cgc ctg ggc cgc cgc ctc ttg
(?) L R A A A R F G P R L G R R L L

102
tca gcc gcc gcc acc cag gcc gtg cct gcc ccc aac cag cag ccc gag gtc
S A A A T Q A V P A P N Q Q P E V

(153 番塩基から 1511 番塩基の配列とそれに対応するアミノ酸配列の記載省略)

1512
tcg ggg agt ggc cgg gag ttg ggc gag tac ggg ctg cag gca tac act gaa
S G S G R E L G E Y G L Q A Y T E

1563
gtg aaa act gtc aca gtc aaa gtg cct cag aag aac tca taa
V K T V T V K V P Q K N S -

1602
taa
```

図 1

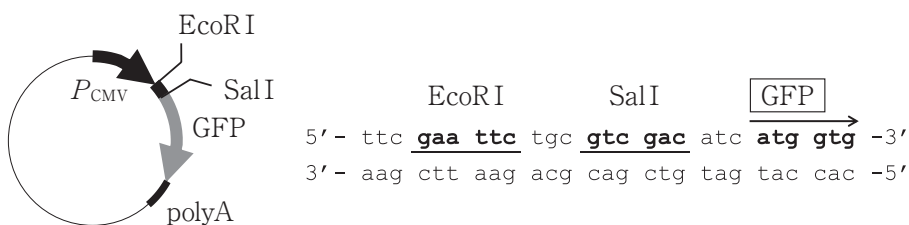


図 2

問 1. 次の問いに答えなさい。

- (1) 下線部①の atg (aug) がコードするアミノ酸をカタカナで答えなさい。
- (2) 下線部②の taa (uaa) は何とよばれるか答えなさい。

問 2. ALDH2 タンパク質を GFP 融合タンパク質として発現させるために、図 3 に示す R プライマーと F プライマーを設計した。次の問いに答えなさい。ただし、図中の矢印は DNA の伸長方向を示す。

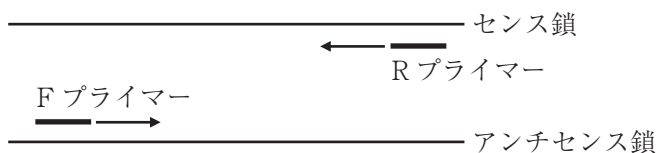


図 3

(1) R プライマーの設計で正しいのは(ア)~(エ)のどれか答えなさい。

- (ア) 5' - aa gtc gac act caa gaa gac tcc gtg -3'
- (イ) 5' - aa gtc gac aat act caa gaa gac tcc -3'
- (ウ) 5' - aa gtc gac tga gtt ctt ctg agg cac -3'
- (エ) 5' - aa gtc gac tta tga gtt ctt ctg agg -3'

(2) F プライマーの設計で正しいのは(ア)~(エ)のどれか答えなさい。

- (ア) 5' - aa gaa ttc atg ttg cgc gct gcc gcc -3'
- (イ) 5' - aa gaa ttc ttg cgc gct gcc gcc cgc -3'
- (ウ) 5' - aa gtc gac atg ttg cgc gct gcc gcc -3'
- (エ) 5' - aa gtc gac ttg cgc gct gcc gcc cgc -3'

問 3. 設計したプライマーを用いて増幅した PCR 産物を電気泳動すると，図 4 の(ア)～(オ)のどのバンドが観察できるか答えなさい。ただし，M は分子量マーカーを示す。

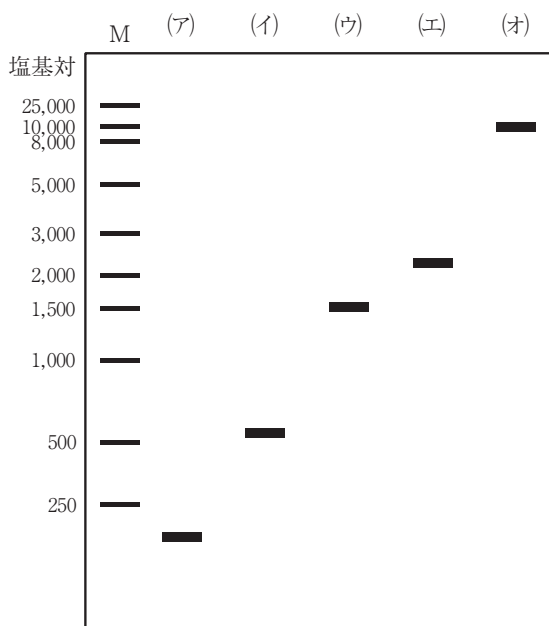


図 4

実験 2：ヒトの肝臓から樹立した培養細胞株 A と培養細胞株 B のそれぞれの全 mRNA を逆転写した相補的 DNA を鋳型にして，実験 1 のプライマーを用いて増幅した PCR 産物を図 2 のベクターにクローニングし，サンガー法で塩基配列を確認した。

その結果，細胞株 A では，1560 番目の塩基は "g" であり "gaa" のグルタミン酸 (E) <sup>③</sup> がコードされていた。細胞株 B では，1560 番目の塩基は "a" であり "aaa" のリシン (K) がコードされていた。

この細胞株 A から作製した "g" 型ベクターと細胞株 B から作製した "a" 型ベクターを，ALDH2 遺伝子を欠失させた細胞株 C に遺伝子導入して，ALDH2 タンパク質の酵素活性を調べた。その結果，"g" 型ベクターを遺伝子導入した細胞の酵素活性は高く，"a" 型ベクター <sup>④</sup> を遺伝子導入した細胞の酵素活性はほとんど検出できなかった。

問 4. 下線部③に関して、コードするアミノ酸が変わる変異を何というか答えなさい。

問 5. 下線部④に関して、"g" 型塩基と "a" 型塩基によって、なぜ酵素活性に違いが生じたのか。80 字以内で説明しなさい。ただし、ALDH2 タンパク質は、2 つの単量体が集まって二量体を形成して酵素活性をもつが、この時 "g" 型塩基がコードするグルタミン酸 (E) が重要である。

実験 3 : ALDH2 タンパク質 (517 個のアミノ酸、分子量は 56,000) のアミノ末端の 17 個のアミノ酸は、ミトコンドリア移行シグナルペプチドであり、翻訳後の前駆体 ALDH2 はミトコンドリアに移行して、このシグナルペプチドは切断されて成熟型 ALDH2 (500 個のアミノ酸) となり機能する。ヒトの *ALDH2* 遺伝子を欠失させた細胞株 C に、実験 2 の "g" 型ベクター<sup>⑤</sup>を遺伝子導入して GFP (238 個のアミノ酸、分子量 27,000) の蛍光を観察した。また、全細胞溶解液を処理してタンパク質を電気泳動し、細胞に発現させた単量体 ALDH2 タンパク質をその特異抗体を用いて検出した。<sup>⑥</sup>なお、この方法を用いると目的のタンパク質をその大きさによって検出できる。

問 6. 下線部⑤に関して、GFP の蛍光が最も強く観察できるのは、図 5 の(ア)～(オ)のどれか答えなさい。

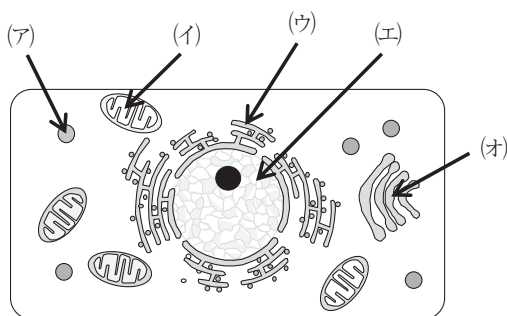


図 5

問 7. 下線部⑥に関して、この特異的抗体が ALDH2 タンパク質のカルボキシル末端の近傍のアミノ酸配列を認識できるとすると、図 6 の(ア)～(カ)のどのバンドが検出されるか答えなさい。ただし、M は分子量マーカーを示す。

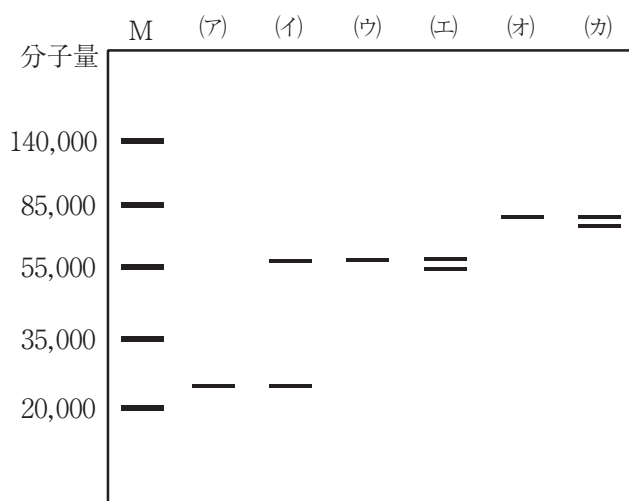


図 6



〔5〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

生物は、「細胞からなる」、「DNA をもつ」、「代謝を行う」、「自己複製能力をもつ」<sup>①</sup>などの特徴を有するため、現在の地球上の生物が共通の祖先から生じたと考えられる。特に、DNA 上の遺伝情報からタンパク質を合成するしくみがすべての生物ではほぼ共通しているという事実は、有力な証拠である。その遺伝情報とは塩基配列によって示されており、放射線や化学物質などの影響があると〔ア〕を起こす可能性が高まるが、単純な複製ミスなどによっても〔ア〕は起こる。その大部分は個体の生存に有利でも不利でもなく、〔イ〕によって集団内に広まっていくことがある。これを〔ウ〕という。

塩基配列の変化により、指定していたアミノ酸の種類や並び方に変化が起こると、つくられるタンパク質の種類や性質が変わる場合がある。進化が進む中で、アミノ酸の置換が累積していることも知られている。脊椎動物のもつヘモグロビンのアミノ酸配列を種間で比較すると、類縁関係の近い種ではわずかな違いしか見られない。一方、類縁関係の遠い種ではその違いは大きい。生物間のアミノ酸置換数とそれらの化石から推定される分岐年代を比較すると、分岐が古いほど、アミノ酸置換数が多くなる傾向がある。<sup>②</sup>このようなアミノ酸の置換は生物種に関係なく、タンパク質や遺伝子の種類ごとに一定の確率で変化することから、これらに生じる変化の速度の一定性を〔エ〕という。その置換率は、タンパク質や遺伝子の種類によって異なっている。

問 1. 文章中の〔ア〕～〔エ〕に入る適切な語句を記入しなさい。

問 2. 下線部①について、真核生物ではないものを(a)～(h)の中から 3 つ選びなさい。

- |          |         |             |           |
|----------|---------|-------------|-----------|
| (a) アメーバ | (b) イカ  | (c) コロナウイルス | (d) サルモネラ |
| (e) シイタケ | (f) スギナ | (g) ネンジュモ   | (h) ミズカビ  |

問 3. 下線部②はアミノ酸の置換に関する説明である。次の(1)～(3)の問いに答えなさい。

- (1) 表 1 は生物 5 種 (A～E) のあるタンパク質の 120 のアミノ酸座位の中で、異なるアミノ酸数を示している。図 1 はその生物群の分子系統樹を示している。

表 1

|   | A  | B  | C  | D  |
|---|----|----|----|----|
| B | 24 |    |    |    |
| C | 28 | 32 |    |    |
| D | 39 | 35 | 34 |    |
| E | 44 | 43 | 40 | 41 |

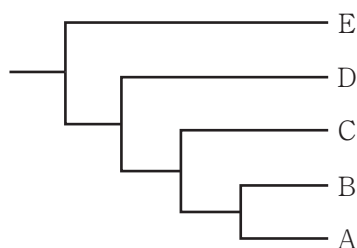


図 1

生物 A と B の共通の祖先が分岐した時期は、化石記録によると約 8,000 万年前と推定された。このタンパク質のアミノ酸座位 1 個に置換が起こる率は 1 年あたりどれくらいになるか、有効数字 2 桁で求めなさい。また、その置換率から生物 A と E の共通の祖先が分岐した時期は、何年前であると推定されるか、有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、このタンパク質の変異速度は常に一定であるとする。

(2) 生物の系統関係は形態や発生等の特徴を比較することでも推定できる。

表2はある生物Pと上記の生物5種(A～E)に関する形態的特徴を示している。○は特徴をもつこと、×は特徴をもたないことを示す。ただし、生物Pの特徴はすべて祖先状態である×とし、これらの進化は複数回生じないこととする。これらの情報を使って系統樹(形態系統樹)を推定した。適切な系統樹を図2の(I)～(IX)の中から1つ選びなさい。

表2

|   | 形質1 | 形質2 | 形質3 | 形質4 | 形質5 | 形質6 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| P | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   |
| A | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   |
| B | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   |
| C | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   |
| D | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   |
| E | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   |

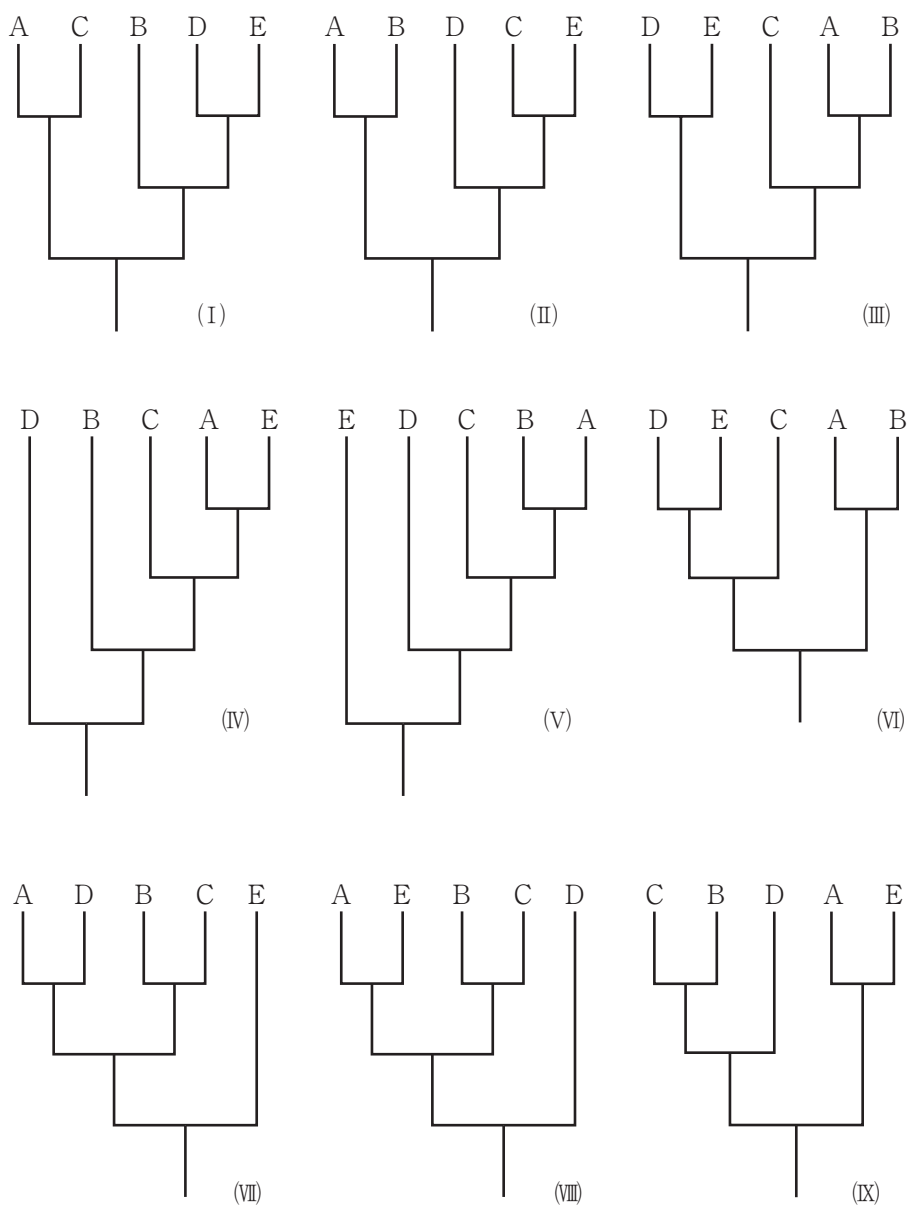


图 2

- (3) 推定された形態系統樹と分子系統樹(図1)との比較を行い、形質4, 5, 6の進化について議論した。次の説明文(a)~(f)の中から適切な記述をすべて選びなさい。なお、系統樹上で形質の進化を議論する場合、その変化数を最小にする仮説を用いる。
- (a) 分子系統樹(図1)が正しいと仮定すると、形質4は生物A~Eの共通の祖先で獲得され、その後生物AとBの共通の祖先で失われたものである。
  - (b) 形態系統樹が正しいと仮定すると、形質4は生物A~Eの共通の祖先で獲得され、その後生物AとBの共通の祖先で失われたものである。
  - (c) 分子系統樹(図1)が正しいと仮定すると、形質5は生物AとBの共通の祖先で獲得され、その後生物Bで失われたものである。
  - (d) 形態系統樹が正しいと仮定すると、形質5は生物AとBの共通の祖先で獲得され、その後生物Bで失われたものである。
  - (e) 分子系統樹(図1)が正しいと仮定すると、形質6は生物DとEで独立に獲得されたか、あるいは生物A~Eの共通の祖先で獲得され、その後生物A, BとCの共通の祖先で失われたものである。
  - (f) 形態系統樹が正しいと仮定すると、形質6は生物DとEの共通の祖先に由来するものである。





# 地 学 基 礎 ・ 地 学

〔1〕 地球と太陽のエネルギーに関する次の文を読み、以下の問い(問1～問5)に答えよ。(20点)

地球の内部は地表よりも高温で、地殻の最浅部を除く大部分では主に〔ア〕によって地球内部から地表に向かってエネルギー(熱)<sup>(A)</sup>が流出している。その熱の源の一つは、地球ができた時の熱が蓄えられたものであり、もう一つは、現在も岩石にも含まれる〔イ〕、ウラン、トリウムなどの放射性同位体の〔ウ〕である。

一方、太陽の内部は地球に比べてきわめて高温で、太陽表面から宇宙空間に向かって主に放射によってエネルギーが輸送されている。そのエネルギーの源は、主に太陽中心部で起きている〔エ〕の〔オ〕である。

問 1. 〔ア〕に当てはまる最も適切な語を、次の(a)～(d)から一つ選んで、解答欄に記号を記せ。

- (a) 放射      (b) 固体の対流      (c) 熱伝導      (d) 火山噴火

問 2. 〔イ〕と〔エ〕に当てはまる最も適切な元素名をそれぞれ一つずつ解答欄に記せ。

問 3. 〔ウ〕と〔オ〕に当てはまる最も適切な語を、次の(a)～(d)から一つずつ選んで、解答欄に記号を記せ。

- (a) 核融合      (b) 酸化      (c) 潜熱      (d) 崩壊(壊変)

問 4. 下線部(A)に関連して、地震も地球内部に蓄積されたエネルギーが解放される過程の一つである。マグニチュード8の地震のエネルギーはマグニチュード7の地震のエネルギーの約何倍か。最も近い数字を、次の(a)～(f)から一つ選んで、解答欄に記号を記せ。

- (a) 3      (b) 10      (c) 30      (d) 100      (e) 300      (f) 1000

**問 5.** 下線部(B)に関連して，太陽定数を  $1.37 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ ，太陽－地球間の距離を  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ，太陽の半径を  $7.0 \times 10^8 \text{ m}$  として，太陽表面の  $1 \text{ m}^2$  から 1 秒間に放射されるエネルギーを有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には計算過程も示すこと。

〔2〕 岩石サイクルについての次の文を読み、以下の問い(問1～問6)に答えよ。

(35点)

地球表層を構成する岩石は、マグマが冷却し鉱物やガラスに変化した火成岩、砕屑物や生物の遺骸が堆積し固結した堆積岩、堆積岩や火成岩が地球内部の熱や圧力の影響を受けて再結晶した変成岩の3種類に分類される。これらの岩石は地球内部で融けてマグマになったのち火成岩になったり、地表で風化・侵食されて砕屑物になったのち堆積岩になったりする。

ある地域の礫岩には、礫として花こう岩、砂岩、片麻岩、泥岩、玄武岩、チャート、ホルンフェルスが含まれていた。これは火成岩、堆積岩、変成岩が最終的に礫岩という堆積岩になる岩石サイクルの一例である。

問 1. 下線部(A)に関して、ケイ酸塩鉱物の化学組成は鉱物を構成する  $\text{SiO}_4$  四面体の結合の規則性を反映している。たとえば、石英は  $\text{SiO}_4$  四面体のすべての頂点の酸素が隣の四面体と共有されるので、化学組成は  $\text{SiO}_2$  となる。化学組成が  $\text{MgSiO}_3$  である輝石の  $\text{SiO}_4$  四面体の結合の規則性を、石英の例にならって 35 字程度で解答欄に記述せよ。(解答欄は 40 マス。1 マス = 1 文字とし、英数字、句読点も 1 文字として数える。)

問 2. 輝石は結晶構造の規則性を保ったまま、 $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{2+}$  が置換して化学組成が  $\text{MgSiO}_3$  から  $\text{FeSiO}_3$  まで連続的に変化する固溶体である。 $\text{Mg}^{2+}$  や  $\text{Fe}^{2+}$  のように同一の鉱物の中に入れ替わることのできるイオンの 2 つの特徴を 25 字程度で解答欄に記述せよ。(解答欄は 30 マス。1 マス = 1 文字とし、英数字、句読点も 1 文字として数える。)

問 3. 下線部(B)に関して、火成岩は化学組成と組織に基づいて分類される。ある火成岩は  $\text{SiO}_2$  を 50 % (質量 %) 含み、等粒状組織を示す。この火成岩の岩石名を解答欄(1)に記し、この火成岩に含まれる斜長石の化学組成の特徴を解答欄(2)に記述せよ。

**問 4.** 下線部(C)に関して、化石は堆積年代や堆積環境だけでなく、生物進化の重要な情報を持っている。原生代末と古生代初頭の生物の違いの説明として最も適切な文を、次の(a)～(d)から一つ選んで、解答欄に記号を記せ。

- (a) 原生代末のエディアカラ生物群は殻などの硬組織を持ち、古生代初頭のバージェス動物群は硬組織を持たない。
- (b) 原生代末のエディアカラ生物群は殻などの硬組織を持たず、古生代初頭のバージェス動物群は硬組織を持つ。
- (c) 原生代末のバージェス動物群は殻などの硬組織を持ち、古生代初頭のエディアカラ生物群は硬組織を持たない。
- (d) 原生代末のバージェス動物群は殻などの硬組織を持たず、古生代初頭のエディアカラ生物群は硬組織を持つ。

**問 5.** 下線部(D)に関して、変成作用の温度圧力条件は、化学組成が同じで安定な温度圧力が異なる鉱物を用いて推定することができる。このような鉱物の関係を何というか解答欄(1)に記せ。また、この関係にある2種の鉱物名を解答欄(2)に記せ。

**問 6.** 下線部(E)に関して、この7種の岩石のうち、火成岩と変成岩をすべてあげ、それぞれ解答欄に記せ。

- 〔3〕 水は地球表層で水蒸気(雲を含む)、海水、および陸水の間を循環している。それぞれの貯蔵量と移動量を図1に簡略化して示した。図中の各貯蔵体間の矢印についた数字は貯蔵体間の移動量(単位  $10^{15}$  kg/年)を表す。図1を参考にして、以下の問い(問1～問6)に答えよ。(30点)

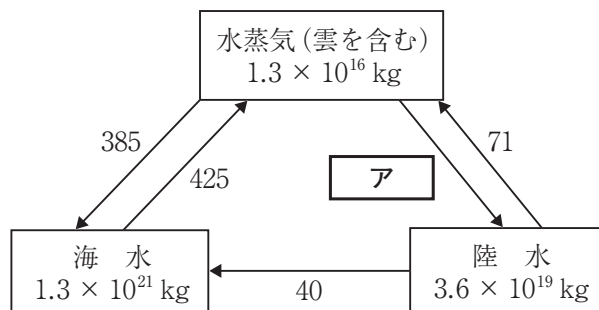


図1 地球表層での水循環の簡略図

- 問1. 水の循環が全体としてつりあっているとして、**ア**の移動量を表す数字を解答欄に記せ。
- 問2. 貯蔵量を移動量で除したものが滞留時間である。水蒸気(雲を含む)、海水、陸水それぞれの滞留時間が大きい順に並べて解答欄に記せ。
- 問3. 河川水以外の主な陸水を2つ解答欄に記せ。
- 問4. 水は多くの化学物質を溶解する。海水中の最も存在度の割合が高い陽イオンはナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )、陰イオンは塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )である。2番目に多い陽イオンおよび陰イオンをそれぞれ解答欄に記せ。
- 問5.  $\text{Na}^+$ の海水中の平均濃度は  $10.6 \text{ g/kg}$  であり、河川水中の平均濃度は  $0.0058 \text{ g/kg}$  である。海水中の  $\text{Na}^+$  は河川水からもたらされるとして、海水中の  $\text{Na}^+$  の滞留時間を有効数字2桁で計算し、年の単位で求めよ。解答欄には計算過程も示すこと。

**問 6.** 大気中の二酸化炭素は水に溶解する。溶解した二酸化炭素が堆積物として固定される過程を説明せよ。

- 〔4〕 図1は北半球中緯度の海洋上の東西およそ5000 km、南北およそ2000 kmの範囲を示しており、ある時刻に黒丸の地点で観測した海面気圧(単位はhPa)を、それぞれの黒丸のすぐ右上に記している。以下の問い(問1、問2)に答えよ。(15点)

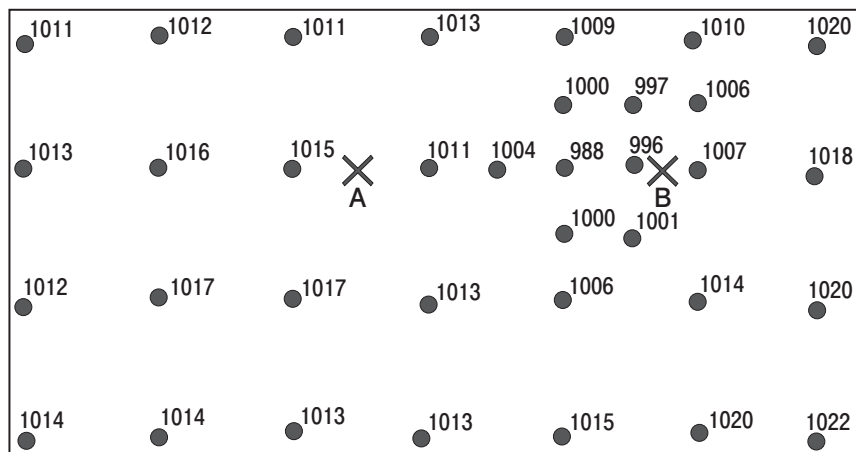


図1

- 問1. 図1の気圧の観測値をもとにして、5 hPa 毎の等圧線を描け。ただし、等圧線の気圧値は5 hPa の倍数とする。等圧線は解答欄の図に描くこと。
- 問2. 図1の中の地点Aと地点Bでは風速はどちらが大きいと考えられるか、解答欄の地点A、地点Bのいずれかを丸で囲め。また、その理由を表1の枠内のすべての語句を用いて90字程度で解答欄に記せ。(解答欄は110マス。1マス=1文字とし、英数字、句読点も1文字として数える。)ただし、地点Aと地点Bの緯度は同じであり、摩擦力は考えなくてよい。

表1

|                                              |
|----------------------------------------------|
| 気圧傾度力, 転向力, 比例,<br>つりあい(「つりあう」「つりあって」などでもよい) |
|----------------------------------------------|



- 〔5〕 地球大気の温室効果と地球温暖化に関する次の文を読み、以下の問い(問1, 問2)に答えよ。(25点)

地上の平均気温は約 288 K であり、地球の放射平衡温度よりも高い。これは大気が太陽放射に比べて地表面の放射を〔ア〕ことによる。このような違いが生じる理由は第一に〔イ〕や〔ウ〕を代表とする大気中の温室効果ガスが可視光に比べて赤外線を〔エ〕こと、第二に太陽表面の温度と地表面の温度を比べると太陽表面の温度が〔オ〕ため、太陽放射の波長が地表面の放射の波長より〔カ〕ことによる。近年、人間活動による温室効果ガスの放出の結果として地上気温や海洋の温度は上昇しつつあり、たとえば、海面から深さ<sup>(A)</sup>2000 m までの全地球の海水の温度を平均すると、西暦 2000 年からの 20 年間で 0.08 K 上昇したと見積もられている。

問 1. 〔ア〕から〔カ〕に当てはまる最も適切な語句を、次の(a)～(n)からそれぞれ一つずつ選んで解答欄に記号を記せ。同じ語句を 2 回以上選んでもよい。

- |            |           |            |
|------------|-----------|------------|
| (a) 通しやすい  | (b) 通しにくい | (c) 反射しやすい |
| (d) 反射しにくい | (e) 低い    | (f) 高い     |
| (g) 短い     | (h) 長い    | (i) 酸素     |
| (j) 窒素     | (k) フロン   | (ℓ) オゾン    |
| (m) 二酸化炭素  | (n) 水蒸気   |            |

**問 2.** 下線部(A)に関して，以下の問い(1)および(2)に答えよ。ただし，1 年を  $3.2 \times 10^7$  s，地球の表面積 ( $S_E$ ) を  $5.1 \times 10^{14}$  m<sup>2</sup>，海水の密度 ( $\rho_W$ ) を  $1.0 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>，海水の比熱 ( $c_W$ ) を  $4.0 \times 10^3$  J/(kg・K) とせよ。なお，薄い球殻の体積は，球の表面積と球殻の厚さの積として計算してよい。

- (1) この 20 年間に海面から深さ 2000 m までの全地球の海水に蓄えられたと考えられる熱量の総計  $Q$  [J] を有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には計算過程も示すこと。ただし，簡単のために地球の全表面が海で覆われているとせよ。
- (2) このような海水温の変化のために必要とされる地表面 1 m<sup>2</sup> あたりの 1 秒あたりの加熱量  $F$  [W/m<sup>2</sup>] を，この 20 年間で平均した地球の全表面の平均値として有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には計算過程も示すこと。

