

数学・物理・化学・生物

注 意 事 項

試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけない。

1. 数学科、化学科、生物学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の◎印の問題、及び出願時に選択した問題（○印の科目から1科目）をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

物理学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の◎印の問題をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

情報科学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の出願時に選択した問題（○印の科目から2科目）をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

食物栄養学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の出願時に選択した問題（○印の科目から1科目）をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

人間環境工学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の出願時に選択した問題（○印の科目から2科目）をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

問題選択一覧表

(◎印：必須科目, ○印：選択科目)

学 科 名		数 学 専門 [Ⓐ]	数学 [Ⓑ]	物理 [Ⓐ]	物理 [Ⓑ]	化学 [Ⓐ]	化学 [Ⓑ]	生物 [Ⓐ]	生物 [Ⓑ]
理 学 部	数 学 科	◎			○		○		○
	物 理 学 科		◎	◎	◎				
	化 学 科				○	◎	◎		○
	生 物 学 科				○		○	◎	◎
	情 報 科 学 科		○		○		○		○
生活科学部	食物栄養学科				○		○		○
共創工学部	人間環境工学科		○		○		○		○

2. この冊子の本文は43ページまでである。印刷の不鮮明な部分、ページの脱落などがあった場合は申し出ること。
3. 答案用紙には、すべてに受験番号と氏名を記入すること。

記入例

受験 番号	1	2	3	4	5	氏名	大塚 茶織
----------	---	---	---	---	---	----	-------

4. この問題冊子及び下書用紙は持ち帰ること。

数 学 専 門 ㊤

解答は、それぞれ問題の番号に対応する答案用紙に書くこと.

1 関数 $f(x), g(x)$ を

$$f(x) = \log(1 + x^2), \quad g(x) = \frac{4x^2}{4 + x^2}$$

で定める. 以下の問いに答えよ.

- (1) $x \geq 0$ のとき, $f(x) \geq \frac{x^2}{1 + x^2}$ が成立することを示せ.
- (2) 方程式 $f(x) = g(x)$ を満たす正の実数解は, ただ 1 つ存在し, それが $2\sqrt{2} < x < 4\sqrt{5}$ の範囲にあることを示せ. ただし, 必要なら $1.098 < \log 3 < 1.099$ を用いてもよい.
- (3) 極限 $\lim_{h \rightarrow +0} \left\{ \frac{1}{h^3} \int_0^h \left(f(x) + \frac{2x^2}{1 + x^2} \right) dx \right\}$ を求めよ.

2 k を実数とし、直線 $y = x + k$ を l_k 、曲線 $y = x^3 - x$ を C とする。
以下の問いに答えよ。

- (1) l_k と C が接するような k の値と、そのときの l_k と C の共有点の x 座標をすべて求めよ。
- (2) l_k と C の共有点の個数を k の値によって分類せよ。
- (3) l_k と C の共有点の個数が 2 以上であるとし、共有点の x 座標の最大値を α 、最小値を β とする。 $\alpha - \beta$ が最大となるときの k の値、最小となるときの k の値をそれぞれ求めよ。

3 a, b を整数とし, x についての 2 次方程式 $x^2 + ax + b = 0$ の 2 つの解を α, β とする. 以下の問いに答えよ. ただし, n は自然数とする.

- (1) すべての自然数 n について, $\alpha^n + \beta^n$ は整数であることを示せ.
- (2) $a = -1, b = 1$ のとき, $\alpha^n + \beta^n$ を求めよ.
- (3) $a = 3, b = 1$ のとき, $\alpha^n + \beta^n$ を 5 で割った余りを求めよ.
- (4) n をすべての自然数の範囲で動かしたとき, $\alpha^n + \beta^n$ のとる値が有限個となったとする.
 - (i) $|b| \leq 1$ を示せ.
 - (ii) a と b の考えられる組み合わせ (a, b) をすべて求めよ.

数 学 ⑧

解答は、それぞれ問題の番号に対応する答案用紙に書くこと.

1 関数 $f(x), g(x)$ を

$$f(x) = \log(1 + x^2), \quad g(x) = \frac{4x^2}{4 + x^2}$$

で定める. 以下の問いに答えよ.

(1) $x \geq 0$ のとき, $f(x) \geq \frac{x^2}{1 + x^2}$ が成立することを示せ.

(2) 方程式 $f(x) = g(x)$ を満たす正の実数解は, ただ 1 つ存在し, それが $2\sqrt{2} < x < 4\sqrt{5}$ の範囲にあることを示せ. ただし, 必要なら $1.098 < \log 3 < 1.099$ を用いてもよい.

(3) 極限 $\lim_{h \rightarrow +0} \left\{ \frac{1}{h^3} \int_0^h \left(f(x) + \frac{2x^2}{1 + x^2} \right) dx \right\}$ を求めよ.

2 k を実数とし、直線 $y = x + k$ を l_k 、曲線 $y = x^3 - x$ を C とする。
以下の問いに答えよ。

- (1) l_k と C が接するような k の値と、そのときの l_k と C の共有点の x 座標をすべて求めよ。
- (2) l_k と C の共有点の個数を k の値によって分類せよ。
- (3) l_k と C の共有点の個数が 2 以上であるとし、共有点の x 座標の最大値を α 、最小値を β とする。 $\alpha - \beta$ が最大となるときの k の値、最小となるときの k の値をそれぞれ求めよ。

物 理 ㊤

- ・ 解答は答案用紙に書くこと。
- ・ 答案には、結果の式や数値のみでなく、導出方法も記述せよ。たとえ試験時間内に結果が完全に得られない場合でも、考え方の筋道や方針を記述せよ。

1

音速を v とする。ドップラー効果に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 静止した観測者に向かって、周波数 f の音を出す音源が速度 u で一直線に近づく。このとき観測者が聞く音の周波数 f' を f, v, u で表せ。

図1のように周波数 f の音を発する音源が、半径 r の円上を反時計回りに速度 V で回転している。観測者は円の外の x 軸上の点に静止しており、観測者と円の中心の距離を D とする。観測者と音源の大きさは無視できるとする。このとき観測者が聞く周波数は周期的に変動する。ただし、 V は音速 v に比べて十分小さいとする。

- (2) 観測者が聞く周波数の変動周期 T を求めよ。
- (3) 観測者が聞く周波数の最大値 f_{\max} と最小値 f_{\min} をそれぞれ求めよ。またそれぞれが音源から発せられた位置を、それぞれ図1上の点ア～クの中から最も近いものを選んで答えよ。
- (4) 観測者が円から x 軸上の十分遠い位置 ($D \gg r$) に移動したとする。このとき、音源の運動のうち円の中心と観測者を結ぶ線分方向の成分だけを考えればよく、それと垂直方向の成分は無視してよい。その近似の下で、静止した観測者が聞く音の周波数 f' を時間 t の関数として求めよ。ただし、 $t=0$ では音源が点アで発した音が聞こえたとする。

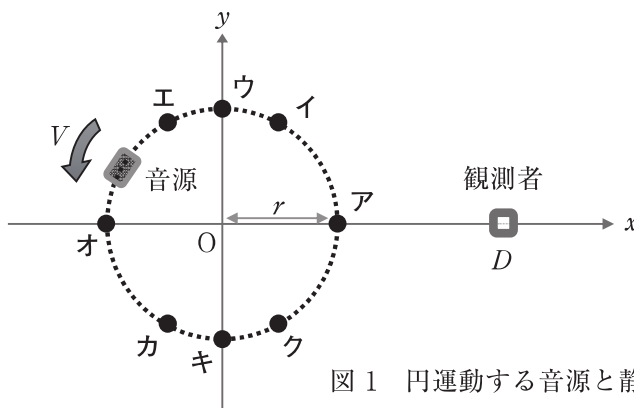


図1 円運動する音源と静止している観測者

次に光のドップラー効果を取り扱う。光源が観測者に近づく速度 u は光速 c に比べて十分小さいとする。このとき、光源が静止している場合の光の周波数 f と、観測者が見る光の周波数 f' の関係は、音のドップラー効果の式において音速 v を光速 c に置き換えたものとなる。図2のように xy 平面上を半径 R の円運動をしている遠い星 S から、 x 軸上に静止している観測者に届く光の周波数について考える。星 S が円運動しているときは、音と同様に観測される光の周波数も周期変動する。

(5) 星 S が速度 V で円運動しているとする。星からの光の周波数は周期変動しており、その最大値が f_+ 、最小値が f_- であった。それらと光速 c を用いて、星 S の速度 V を求めよ。

(6) 観測によって星 S の光の周波数の最大値と最小値、そして変動周期がそれぞれ

$$f_+ = 6.00001 \times 10^{14} \text{ Hz}, \quad f_- = 5.99999 \times 10^{14} \text{ Hz}, \quad T = 1.0 \times 10^7 \text{ s}$$

であると分かった。光速を $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ とする。このときの星 S の円運動の速度 V と半径 R を有効数字 1 桁で求めよ。

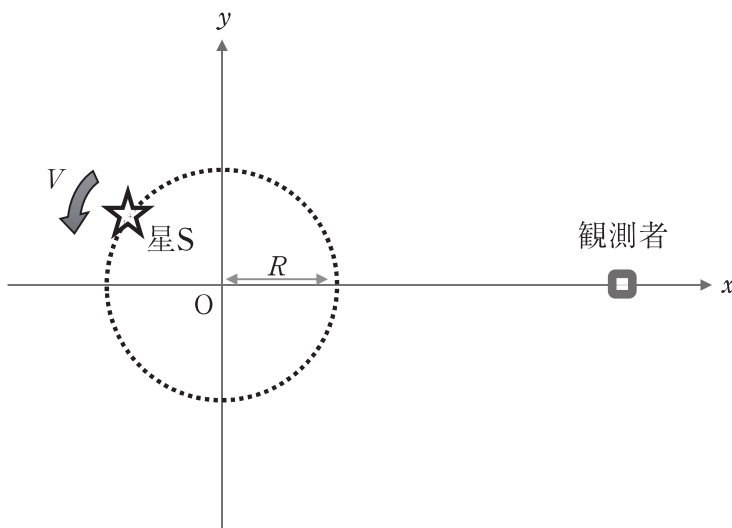


図2 円運動する星 S と静止している観測者

2

電界の様子を表すのに電気力線を用いることがある。電界の向きに垂直な面を貫く単位面積あたりの電気力線の本数をその場所の電界の強さと等しくなるように定めると、電気量 Q の正の電荷から真空中に出る電気力線の本数 N は $N = 4\pi k_0 Q$ で与えられる。ここで、 k_0 は真空中でのクーロンの法則の比例定数である。以下の問いに答えよ。なお、電荷が球殻や球の内部に一様に分布している場合、それによって生じる電界の向きは、球殻や球の中心から放射状に伸びた方向であり、球殻や球の表面に対して垂直である、としてよい。その場合、ここでは、中心から外に向かう向きを正とし、中心に向かう向きを負とする。また、この問題では、球殻は中空であり、厚さが無視できるものとする。

- (1) 電気量 Q の正の点電荷から距離 r 離れた位置で点電荷がつくる電界の強さを電気力線を用いて求めよ。
- (2) 半径 a の球殻を考える。球の中心には電気量 Q の正の点電荷があり、球殻には電気量 $-Q$ の負の電荷が一様に分布している。このとき、球の中心から距離 r 離れた位置での電界の強さと向きを $r < a$ と $r > a$ の場合に分けて答えよ。 $+Q$ の正電荷から出る電気力線の本数と $-Q$ の負電荷に入る電気力線の本数は等しい。
- (3) 問(2)の状態から球の中心の正電荷を取り除いた。このとき、球の中心から距離 r 離れた位置での電界の強さと向きを問(1)(2)の結果を利用して答えよ。
- (4) 半径 a と b の2つの球殻がある。 $b > a$ とし、これらの球の中心は一致しているとする。半径 a と b の球殻にはそれぞれ電気量 $-Q_a$ 、 $-Q_b$ の負の電荷が一様に分布している。このとき、球の中心から距離 r 離れた位置での電界の強さと向きを $r < a$ 、 $a < r < b$ 、 $r > b$ の場合に分けて答えよ。

- (5) 半径 a_1, a_2, \dots, a_M の M 個の球殻があり、それぞれの球殻には電気量 $-Q_1, -Q_2, \dots, -Q_M$ の負の電荷が一様に分布しているとする。これらの球の中心は一致しているとし、 $a_1 < a_2 < \dots < a_M$ とする。中心からの距離 r が $a_m < r < a_{m+1}$ の位置での電界の強さと向きを答えよ。 $m = 1, 2, \dots, M-1$ とする。
- (6) 半径 a の球の内部に電気量 $-Q$ の負の電荷が一様に分布している場合を考える。この球の中心と同心の半径 r の球の内側の電気量を求めよ。また球の中心から距離 r 離れた位置での電界の強さと向きを $r < a$ と $r > a$ の場合に分けて答えよ。
- (7) 問(6)の状態に、電気量 Q の正の点電荷を球の内部に加え、さらに、大きさ E_0 の一様な電界を外部から加えたところ正の点電荷は球の中心から距離 d だけ離れた位置で静止した。正の点電荷にはたらく力を考え、はたらく力の和がゼロになるとして d を求めよ。ここで、 $d < a$ とする。球の位置は変化せず、また、球内の負の電荷分布に変化はないものとする。

物 理 ⑧

- ・ 解答は答案用紙に書くこと。
- ・ 答案には、結果の式や数値のみでなく、導出方法も記述せよ。たとえ試験時間内に結果が完全に得られない場合でも、考え方の筋道や方針を記述せよ。

1 お茶大に通う理子さんは次の長期休みを国際宇宙ステーション (ISS) で過ごす予定である。しかし、ほぼ無重力の ISS でも日課の体重測定を続けられるかが気になっている。そこで地球上ではばねを使った実験を行い、そのばねを ISS に持ち込んで自身の体重測定に利用しようと考えた。ばねは軽く、自然長 L 、ばね定数 k とする。地球表面での重力加速度 g は既知とし、空気抵抗は無視できるとする。以下の問いに答えよ。

(1) 理子さんは地上ではばねを垂直につるし、下端に質量 m のおもりを取り付けて静止させた。このとき、ばねの伸び l を求めよ。

(2) この状態からおもりを少し下に引っ張ってから手を離すと、つり合いの位置を中心におもりは単振動した。この単振動の周期 T_1 を求めよ。

理子さんは ISS に同じばねを持っていき、ばねの片側を ISS の壁に、もう片側に自分を固定して壁に垂直に単振動させた。ISS 内ではばね以外の力は無視できるとし、ISS 全体の質量は極めて大きいとする。

(3) 理子さんの質量を M とするとき、単振動の周期 T_2 を求めよ。

(4) 測定の結果は $T_1 = 3\text{ s}$ 、 $T_2 = 21\text{ s}$ であった。地球で用いたおもりの質量は $m = 1\text{ kg}$ である。このとき理子さんの質量 M の値を求めよ。

- (5) 重力加速度がない環境では重さあるいは体重という概念は意味をなさない。
しかし、ここまで見た通り質量は測定できる。重さと質量の違いを簡潔に説明せよ。

無事地球に帰還した理子さんは、なぜ ISS では無重力に感じられたかが気になり以下の計算を試してみた。

- (6) 地球の半径を $R = 6 \times 10^6$ m, ISS が飛ぶ高度を $h = 1 \times 10^6$ m, 地表での重力加速度を $g = 10 \text{ m/s}^2$ とする。ISS の位置での重力加速度 g' を R , h , g を用いて表し、有効数字 1 桁で値も求めよ。
- (7) ISS は秒速 $v = 7 \text{ km/s}$ で地球のまわりを円運動しているとみなせる。
半径 $R + h$ の円運動の向心加速度 a の値を有効数字 1 桁で計算せよ。
- (8) 問(6)と問(7)の結果から ISS 内で宇宙飛行士が無重力と感じる理由を説明せよ。

2

理子さんは台湾で行われる伝統的な天燈（ランタン）祭りについて紹介する SNS を目にした。ランタンとは、不燃性の袋の開口部を下にして、燃料に点火し、袋内の気体を温めることで開口部を下にしたまま地上から浮上する気球のようなものを指す（図 1 参照）。熱や浮力に興味津々の理子さんは、ランタンがどのような原理で浮上するかについて考察した。

初めに、理子さんは、ランタンが周りの気体から受ける浮力について考えた。一般に、物体に働く浮力は、その物体と同じ体積の周囲の流体に作用する重力に等しく $F = d_v V g$ で与えられる。ここで、 $F[\text{N}]$ は浮力、 $d_v[\text{kg}/\text{m}^3]$ は周囲の流体の密度、 $V[\text{m}^3]$ は物体の体積、 $g[\text{m}/\text{s}^2]$ は重力加速度である。このことを踏まえ、以下の問いに答えよ。ただし、地球上の気体（空気）を理想気体として取り扱う。また、ランタン内部の気体の体積は $V_L[\text{m}^3]$ で一定、ランタン内部の気圧はその構造から外気圧と同じ、ランタン内部の気体の温度は均一、ランタンに使われている素材の体積は無視できるほど小さいと仮定する。気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$ とすること。

地上の外気圧が $p_0[\text{Pa}]$ 、外気温が $T_0[\text{K}]$ であった時、燃料に点火する前のランタン内部の気体の温度は外気温 T_0 と同じで、物質量が $n_0[\text{mol}]$ であった。

- (1) この時、ランタンにかかる浮力 $F_0[\text{N}]$ の大きさを n_0 を用いて表せ。また、その向きについても答えよ。ただし、気体のモル質量を $q_m[\text{kg}/\text{mol}]$ とすること。

次に、理子さんは、ランタンが地上から上昇し始める条件を求めることにした。この場合、(1)で答えた浮力以外に、ランタン内部の気体にかかる重力と燃料を含むランタン本体にかかる重力を考える必要がある。また、燃料に点火すると、ランタン内部の気体が温まることで物質量が減少し、ランタンにかかる力が変化することに注意が必要である。

(2) ランタン内部の物質量が n_1 [mol] のとき、ランタン本体にかかる合力 F_1 [N] を答えよ。ただし鉛直上向きを正にとること。また、ランタン本体の質量を M_L [kg] とし、燃料の燃焼における質量の変化は無いものとする。

(3) ランタン内部の物質量が n_2 [mol]、ランタン内部の気体の温度が T_2 [K] となったところでランタンがゆっくりと上昇を開始したとする。 T_2 を、 T_0 、 p_0 、 V_L 、 M_L 、 R 、 q_m 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

次に、理子さんは、 T_2 を具体的な数値で計算してみることにした。ランタン本体の質量 $M_L = 0.3$ kg、地上での外気圧 $p_0 = 1.0 \times 10^5$ Pa、ランタン内部の気体の体積 $V_L = 1.5$ m³、外気温 $T_0 = 300$ K、重力加速度 $g = 9.8$ m/s²、理想気体の気体定数 $R = 8.3$ J/(mol · K)、気体のモル質量 $q_m = 0.03$ kg/mol とした。

(4) T_2 を有効数字 2 桁で求めよ。

次に、理子さんは、上空でのランタンの状態について考察することにした。地上 500 m のところでランタンにかかる浮力と重力がつりあったと仮定した。また、この地点の外気温を $T_3 = 297$ K、上空でのランタン内部の気体の温度を $T_4 = 360$ K とした。

(5) 地上 500 m での外気圧 p_3 [Pa] を有効数字 2 桁で求めよ。

(6) この時のランタン内部の気体の密度 d_4 [kg/m³] を有効数字 2 桁で求めよ。

理子さんは、この考察の過程で、ランタンがゆっくりと上昇した場合に、外気の体積密度がある値になるとランタンにかかる力のつりあいが取れなくなる、つまり、ランタンの上昇には高さに絶対的な限界があることに気がついた。

(7) その理由を説明するとともに、その時の外気の密度 d_3 [kg/m³] を答えなさい。

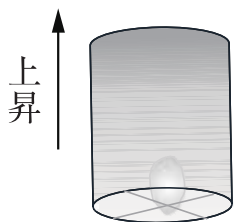


図1

天燈(ランタン)

大きな不燃性の袋の開口部を下に向け、そこに燃料をセットする。燃料に点火すると袋内部の気体の温度が上がり、浮力によって上昇する。

化 学 ①

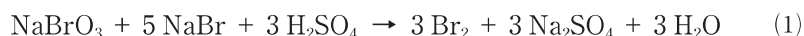
1. 解答は答案用紙の所定の欄に記入せよ。
2. 問題を解くにあたり，必要な場合には次の値を用いよ。

原子量 H 1.0 C 12.0 N 14.0 O 16.0 Br 79.9

標準状態 (0℃, 1.013 × 10⁵ Pa) における理想気体の体積 22.4 L/mol

1 次の文章を読み，下記の問いに答えよ。

臭素酸ナトリウム (NaBrO₃) の硫酸酸性水溶液に臭化ナトリウム水溶液を加えたところ，無色の溶液が徐々に黄褐色に変化した後，ゆっくりと溶液の色が薄くなっていった。この反応は，式(1)で表される。^(a)



また，式(1)の各反応物の濃度を表1のように①～⑦までそれぞれ変化させたところ，溶液混合直後の反応速度(初期反応速度)として表1に示した値が得られた。

表 1 溶液濃度と反応速度の関係

溶液	NaBrO ₃ [mol / L]	NaBr [mol / L]	H ₂ SO ₄ [mol / L]	初期反応速度 [mol / (L·s)]
①	25.0 × 10 ⁻³	12.5 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	2.5 × 10 ⁻⁴
②	25.0 × 10 ⁻³	10.0 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻⁴
③	25.0 × 10 ⁻³	7.5 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻⁴
④	25.0 × 10 ⁻³	5.0 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	A
⑤	20.0 × 10 ⁻³	12.5 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	2.0 × 10 ⁻⁴
⑥	15.0 × 10 ⁻³	12.5 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁻⁴
⑦	10.0 × 10 ⁻³	12.5 × 10 ⁻³	30.0 × 10 ⁻³	1.0 × 10 ⁻⁴

問 1 式(1)に現れるすべての臭素化合物における臭素原子の酸化数を例にならいうそれぞれ示せ。

H₂SO₄ 中の水素原子の場合の例 H₂SO₄ : +1

問 2 式(1)の反応における酸化剤，還元剤の化学式をそれぞれ示せ。

問 3 酸化剤，および還元剤のはたらきを示す反応式（半反応式）をそれぞれ示せ。式の作り方も簡潔に説明せよ。

問 4 式(1)の反応の反応速度について，表 1 の結果をもとに考える。以下の問いに答えよ。

- (i) 式(1)の反応の反応速度式を反応速度定数 k を用いて表せ。導出の過程も説明せよ。ただし，反応速度を v ，化合物 X のモル濃度を $[X]$ と表記せよ。
- (ii) 空欄

A

 に入る値を求めよ。
- (iii) 反応速度式の濃度依存性を実験的に調べるためには，一般に初期反応速度を用いる。その理由を述べよ。

問 5 下線部(a)で溶液の色が薄くなる理由は，生成した Br_2 が液面から蒸発することにより，溶液中の Br_2 の濃度が低下するためである。以下の問いに答えよ。

- (i) Br_2 の水に対する溶解度は， 25°C において水 1.0 L に対し 34 g である。 Br_2 の飽和水溶液のモル濃度を求めよ。ただし，溶解した Br_2 の体積，および反応は無視できるものとする。
- (ii) Br_2 の蒸発がないとして，表 1 の溶液④において反応終了時に生じる Br_2 のモル濃度を求めよ。ただし，反応に伴う溶液の体積変化，および溶解した Br_2 の反応は無視できるものとする。
- (iii) 飽和溶液よりも低い濃度の溶液から Br_2 が蒸発するのはなぜか。理由を述べよ。
- (iv) 式(1)の反応が平衡反応と仮定したとき， Br_2 の蒸発により平衡はどちらに移動するか。理由とともに答えよ。

問 6 反応溶液からの Br_2 の蒸発について、ヘンリーの法則をもとに考える。

ヘンリーの法則は、「溶液から溶質が蒸発する蒸気圧は溶質濃度に比例する」とも表現される。つまり、その比例定数（ヘンリー定数）を K_{Br_2} とおけば、ヘンリーの法則は式 (2) のように表される。

$$p_{\text{Br}_2} = K_{\text{Br}_2} x_{\text{Br}_2} \quad (2)$$

ここで、 p_{Br_2} は溶液から Br_2 が蒸発する蒸気圧、 x_{Br_2} は溶液における Br_2 のモル分率であり、式 (3) のように定義される。

$$x_{\text{Br}_2} \equiv \frac{n_{\text{Br}_2}}{\sum_X n_X} \quad (3)$$

ここで、 n_X は溶液に含まれる化合物 X の物質質量であり、 $\sum_X n_X$ は溶液中の全ての化合物の物質質量についての和を意味する。以下の問いに答えよ。

- (i) 希薄な水溶液を考えた場合、 $\sum_X n_X \doteq n_{\text{H}_2\text{O}}$ と近似できる。このことを用いて、 $x_{\text{Br}_2} \doteq \frac{[\text{Br}_2]}{[\text{H}_2\text{O}]}$ と近似されることを示せ。ここで、 $[\text{H}_2\text{O}]$ は 1 L 当たりの H_2O の物質質量を表す。
- (ii) 25 °C における $[\text{H}_2\text{O}]$ を求めよ。ただし、25 °C における H_2O の密度は 0.997 g/cm^3 とする。
- (iii) Br_2 の希薄水溶液におけるヘンリー定数は、25 °C において $K_{\text{Br}_2} = 8.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ である。式(1)の反応で生じる Br_2 がすべて溶解していると仮定し、溶液④の反応終了後の p_{Br_2} を求めよ。

2 次の文章を読み、下記の問いに答えよ。

油脂は、高級脂肪酸 ($R-COOH$) とグリセリン ($C_3H_8O_3$) が結合した構造をもつ。油脂には様々なものがあり、一般に、動物性の油脂は常温で固体のものが多く、植物性の油脂は液体のものが多。この違いは、油脂を構成する高級脂肪酸の割合が異なるために生じる。表 1 に、油脂について、構成する高級脂肪酸の割合とその融点を示す。以下、高級脂肪酸の表記は R 部分のみを示す。

表 1 油脂を構成する高級脂肪酸の組成と油脂の融点

この部分に記載されている文章については、著作権法上の問題から掲載することができませんので、ご了承願います。

(油脂化学便覧(日本油化学協会編)から改変して作成)

問 1 油脂に関する記述の (ア) ~ (カ) について適切な言葉を答えよ。

油脂の高級脂肪酸とグリセリンの (ア) 結合を、(イ) を加えて加熱することで切断すると、セッケンと副生成物が生じる。この加水分解反応を特に (ウ) という。一定質量の油脂の (ウ) に必要な (イ) の物質が多いほど、油脂の分子量が (エ) ことがわかる。

また、油脂の性質を表す指標として、(ウ) 値以外に (オ) 値がある。(オ) 値は、油脂 100 g に付加する (オ) の質量を、g 単位で表した数値のことを言い、油脂に含まれている (カ) 結合の数を知らる目安となる。

問 2 表 1 に示す 5 つの高級脂肪酸は、その構造的な特徴から大きく 2 つに分類される。分類の名称を示し、5 つの高級脂肪酸を分類せよ。

問3 亜麻(アマ)の種子から得られるアマニ油の融点は -17°C 以下である。次の a) ~ c)のうち、最も構成割合が大きいと考えられる高級脂肪酸を選び、理由とともに答えよ。

- a) $\text{C}_{15}\text{H}_{31}$ b) $\text{C}_{17}\text{H}_{29}$ c) $\text{C}_{17}\text{H}_{35}$

問4 油脂に触媒を用いて水素を付加したものを硬化油という。

オリーブ油の成分を高級脂肪酸に分解したところ、脂肪酸の物質量の比が $\text{C}_{15}\text{H}_{31} : \text{C}_{17}\text{H}_{31} : \text{C}_{17}\text{H}_{33} = 1.0 : 1.0 : 8.0$ であった。このオリーブ油 1.0 g を完全に硬化する際に必要な水素ガスの標準状態での体積を有効数字2桁で求めよ。計算過程も記せ。ただし、水素ガスは理想気体として振る舞うと考えてよい。

問5 (ア)結合は、果実のような香りをもつ低分子化合物にも存在している。 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ の分子式を持つ化合物を考える。

(i) $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ の分子式を持つもののうち(ア)結合を持つものを構造式で全て答えよ。

(ii) (i)のうち、ある1つの化合物について加水分解した際、化合物AとBの混合物が得られた。AとBを適切な酸化剤で酸化し、その反応溶液に主に含まれている有機物を分析したところ、反応開始時には2種類であったものが、途中で3種類(AとBとC)となった。さらに酸化を続けると1種類(Aのみ)に収束した。この時、A、B、Cの構造式をそれぞれ答えよ。

(iii) (ii)のBをナトリウムと混合した時に起きる反応を化学反応式で答えよ。

問6 問5(ii)のBを濃硫酸と混合して加熱した。130 $^{\circ}\text{C}$ 近傍で加熱した場合と、160~170 $^{\circ}\text{C}$ で加熱した場合では、主な生成物が異なっていた。それぞれの温度での主な生成物の構造式を書け。

化 学 ⑧

1. 解答は答案用紙の所定の欄に記入せよ。
2. 問題を解くにあたり，必要な場合には次の値を用いよ。

原子量 H 1.0 C 12.0 N 14.0 O 16.0 Cl 35.5 Cs 133
 アボガドロ数 6.02×10^{23}

1 次のⅠおよびⅡの文章を読み，下記の問いに答えよ。

- I. 結晶とは，その構成要素である原子やイオン，分子などが規則正しく並んでいるものを指す。結晶に見られる最小の繰り返し構造のことを単位格子と呼ぶ。最密充填をとる構造のうち，**図 1** に示すものは（ア）格子と呼ばれる。（ア）格子の単位格子の中には（イ）個分の原子が含まれている。

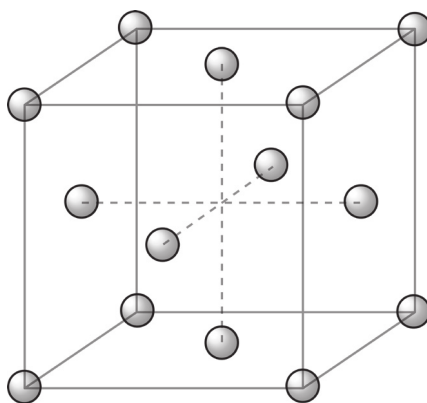


図 1

イオン結晶の中では，陽イオンと陰イオンが規則正しく並んでいる。陽イオンは陰イオンに囲まれており，このとき，一つのイオンに対する最近接のイオンの数を（ウ）という。^(a) **図 1** の格子をすべて陽イオンの配列として考えた場合，陰イオンの入る場所に^(b) 応じて異なる構造のイオン結晶の格子が得られる。

図 1 の格子が持つすき間には、正八面体の中心にできる空間（八面体間隙）と正四面体の中心にできる空間（四面体間隙）の 2 種類がある。八面体間隙は図 1 の単位格子の各辺の中点ならびに単位格子の中心付近に存在する空間であり、一方で、四面体間隙は単位格子を八等分した立方体の中心付近に存在する空間である。

問 1 文章中の空欄（ア）～（ウ）を埋めよ。

問 2 下線部(a)について、陽イオン同士が並ぶのではなく陽イオンは陰イオンに囲まれた状態をとる理由を説明せよ。

問 3 1 個の陽イオンに対し 2 個の陰イオンあるいは 3 個の陰イオンが近接する単純なモデルを考える。それぞれの場合に、陰イオンは陽イオンの周りにどのような配置で存在するのが安定か、図示して理由を説明せよ。なお、図には陽イオンを○、陰イオンを●で示すこと。

問 4 下線部(b)について考える。八面体間隙すべてに陰イオンが入った構造を結晶構造 A、四面体間隙すべてに陰イオンが入った構造を結晶構造 B とする。

(i) 結晶構造 A あるいは結晶構造 B となるように、陰イオンを答案用紙の格子中に●で書きこめ。また、それぞれの結晶構造を持つイオン化合物の例を一つずつ化学式で記せ。

(ii) 結晶構造 A と結晶構造 B の単位格子中には、それぞれ何個分の陰イオンが含まれているか答えよ。

(iii) 1 個の陽イオンに対し最近接となる陰イオンの数は、結晶構造 A と結晶構造 B でそれぞれ何個か答えよ。またこのような違いが生じる理由を説明せよ。

II. 塩化セシウム 2.00 g を 10.00 mL メスフラスコに加え，標線までヘキサンを注いだ。このとき，メスフラスコの中の様子を観察すると，塩化セシウムは溶けずに沈んでいた。中の混合物ごとメスフラスコの重量を天秤ではかったところ，22.59 g であった。

問 5 下線部 (c) について，塩化セシウムがヘキサンに溶けなかったのはなぜか理由を述べよ。

問 6 塩化セシウムの単位格子の結晶構造を図示せよ。陽イオンを○，陰イオンを●で示すこと。

問 7 単位格子の一辺の長さを a cm としたとき，塩化セシウムの密度を式で表せ。

問 8 II の実験で得られたデータを用い，塩化セシウムの密度を有効数字 2 桁で求めよ。途中経過も記せ。なお，ヘキサンの密度は 0.659 g/cm^3 ，乾燥した空の 10.00 mL メスフラスコの重量は 14.33 g とする。

問 9 問 8 で得た値をもとにして，塩化セシウムの単位格子の体積を有効数字 2 桁で求めよ。途中経過も記せ。

2 必須アミノ酸に関する以下の問いに答えよ。

次の数値を使ってよい。

$10^{0.1} = 1.26, 10^{0.2} = 1.58, 10^{0.3} = 2.00, 10^{0.4} = 2.51, 10^{0.5} = 3.16, 10^{0.6} = 3.98,$
 $10^{0.7} = 5.01, 10^{0.8} = 6.31, 10^{0.9} = 7.94$

問1 以下のアミノ酸に関する文章中の(ア)～(ウ)に入る語句を答えよ。

(ウ)については親水性または疎水性から選べ。

カルボキシ基が結合した炭素(α炭素)にアミノ基, (ア)原子, 側鎖Rが結合したものはα-アミノ酸と呼ばれる。主要なα-アミノ酸はα炭素を中心に4つの原子または原子団から成る四面体構造をとり, これらの原子または原子団が4つとも異なる場合は, (イ)異性体が存在する。

側鎖Rは各種アミノ酸の親水性または疎水性に影響する。複数のアミノ酸を含む試料溶液を分離する方法の一つとしてペーパークロマトグラフィーがある。フェニルアラニンとリシンの含まれる試料溶液を1-ブタノール・酢酸・水(4:1:5)を展開液として展開するとき, リシンに比べフェニルアラニンの方がより移動し易い。この実験結果は, より高い(ウ)を持つ化合物が移動し易いと説明できる。

問2 α-アミノ酸の電離について考える。例としてアラニンに関する以下の問いに答えよ。

アラニンは, 水溶液中では, 陽イオン, 双性イオン, 陰イオンの3つのイオンとして存在する。図1の(エ)～(キ)について, COOH, COO⁻, NH₂, NH₃⁺, H, H⁺ から選び, 化学式を完成させよ。

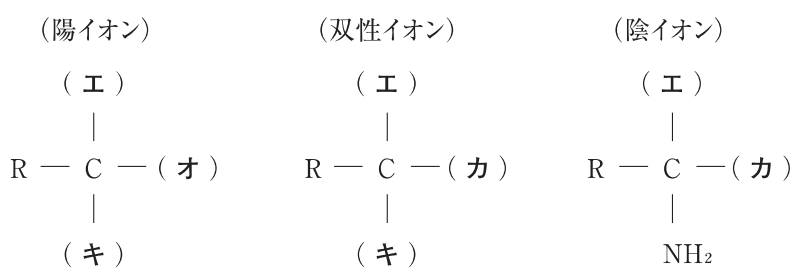
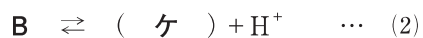
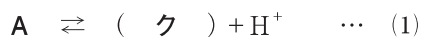


図1

問3 以下の(i), (ii)に答えよ。

- (i) 陽イオンと双性イオンと陰イオンの間では2つの電離平衡が成立している。陽イオンを **A**, 双性イオンを **B**, 陰イオンを **C** と記号で表したとき, 以下の2つの式の (ク) と (ケ) に入るイオンを, **A**, **B**, **C** から選び完成させよ。



- (ii) 式(1)の平衡定数を K_1 , 式(2)の平衡定数を K_2 としたとき, 次の式(3)および式(4)の (コ) と (サ) を, モル濃度 ($[\text{A}]$, $[\text{B}]$, $[\text{C}]$, $[\text{H}^+]$) を用いて完成させよ。

$$K_1 = (\text{コ}) \quad \dots (3)$$

$$K_2 = (\text{サ}) \quad \dots (4)$$

問4 問3で定義した **A**, **B**, **C** のモル分率に関して, 以下の(iii)の (シ) ~ (チ) を埋め, (iv)に答えよ。

- (iii) **A**, **B**, **C** のモル分率はその水溶液の pH により変化する。**A** のモル分率は式(5)で表すことができ, その値の範囲は 0 ~ 1 となる。

$$\frac{[\text{A}]}{[\text{A}] + [\text{B}] + [\text{C}]} \quad \dots (5)$$

式(3)と式(4)を使い, **A**, **B** および **C** それぞれのモル分率を, 水素イオンのモル濃度 $[H^+]$, および平衡定数 K_1, K_2 で表すことができる。

$$\frac{[A]}{[A] + [B] + [C]} = \frac{(\text{シ})}{K_1[H^+] + K_1K_2 + (\text{ス})} \quad \dots (6)$$

$$\frac{[B]}{[A] + [B] + [C]} = \frac{(\text{セ})}{K_1[H^+] + K_1K_2 + (\text{ソ})} \quad \dots (7)$$

$$\frac{[C]}{[A] + [B] + [C]} = \frac{(\text{タ})}{K_1[H^+] + K_1K_2 + (\text{チ})} \quad \dots (8)$$

(iv) アラニン水溶液について, $K_1 = 10^{-2.3}$, $K_2 = 10^{-9.7}$ としたとき, 式(6), 式(7), 式(8)を用い, 等電点および, この等電点における, **A** のモル分率を, 有効数字2桁で求めよ。計算過程も示せ。さらに, この **A** のモル分率を用い, **B** のモル分率と **C** のモル分率を求めよ。

問5 電気泳動に関する次の問いに答えよ。

図2に示すように一定の pH の水溶液を染み込ませたろ紙に直流電圧を加えることにより電気泳動を行うことができる。

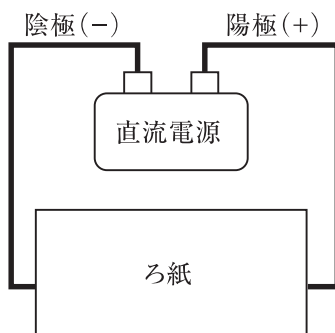


図2

電気泳動において電圧を加えると, 電氣的に中性の双性イオンは動くことはなく, 電荷を持つ陽イオンと陰イオンはその電荷に対して反対の極に向かい動く。

pH = 2.3 のアラニン水溶液中の, **A** のモル分率, **B** のモル分率, **C** のモル分率を,

有効数字2桁で求めよ。計算過程も示せ。ただし、 $K_1 = 10^{-2.3}$ 、 $K_2 = 10^{-9.7}$ とする。

pH = 2.3 のアラニン水溶液の電気泳動を行うとき、予想される結果を、**図3**の(a) ~ (e)から選択し、その理由を説明せよ。●はアミノ酸の位置を示す。

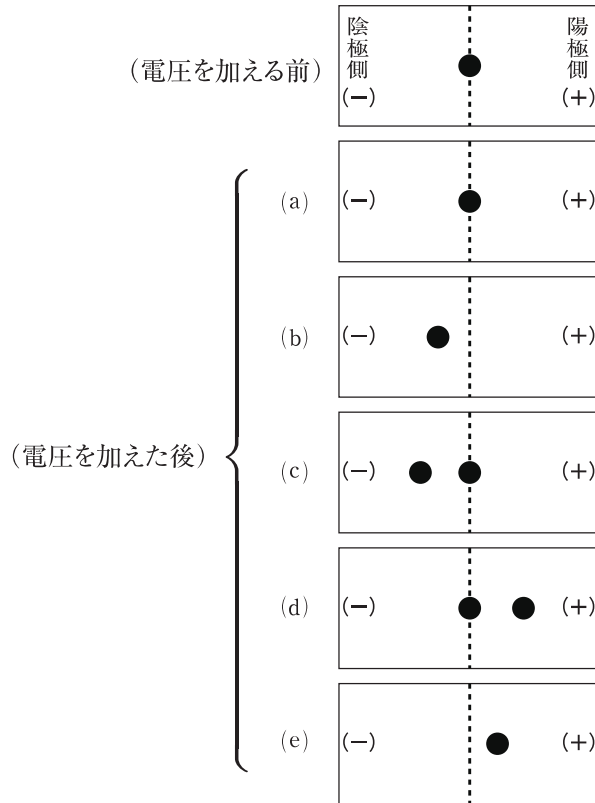


図3

生 物 ①

(解答は答案用紙の所定欄に記載せよ)

1 次の文を読み、問 1～5 に答えよ。

近年、豚などの他種の多能性幹細胞で作成した臓器をヒトに移植する技術の開発が進んでいることを知り、お茶の水良子さんは、異種間での交雑やキメラによって、発生にどのような影響があるかを調べようと考えた。そこで手始めに、魚類の種 D の卵と種 D の精子のかけ合わせ(母親×父親の順に D×D と記す)によって生じた胚の胞胚期に採取した細胞を生体染色し D×D の別の胞胚に移植した(図 1)。すると、その稚魚では、染色した細胞が体内に散在しているのが観察された(図 1 A, 表 1: 実験①)。種 D とは異なる種 K の卵と精子をかけた胚(K×K)で同様の実験を行った場合でも、同様の結果が得られた(表 1: 実験②)。しかし、D×D の胞胚から採取した細胞を生体染色し、K×K の胞胚に移植したキメラ胚を稚魚まで発生させた場合、染色した細胞が、稚魚の体内に局在しているのが観察された(図 1 B, 表 1: 実験③)。D×D 由来の細胞は異種である K×K 由来の胚の中では移動できないが、移植した細胞と移植された胚が同種であると、移植した細胞が移植先の胚内で移動できることから、良子さんは、「移植された細胞と移植先の胚(宿主)の細胞の母性因子が一致している場合、移植された細胞は予定運命に従って宿主の胚内を適切に移動できる。しかし母性因子が一致していない場合、適切な移動ができない」と仮説を立てた。

次に、発生過程における核ゲノムと細胞質の役割を明らかにするために、良子さんは、種 K の卵と種 D の精子をかけた K×D の胚を飼育し、稚魚の形態を調べた。すると、K×K の稚魚(表 2: 実験⑧)と同じ数の体節ができることが分かった(表 2: 実験⑨)。そこで、体節の数がどのようにして決まっているかを明らかにするために、細いガラス針で核を吸い上げて取り除いた種 K の卵の動物極側に、種 D の胞胚期の細胞核を移植した胚(NT)を作成した(図 2)ところ、

孵化まで正常に発生が進み、稚魚になった。そして、表2実験番号⑩の結果が得られた。

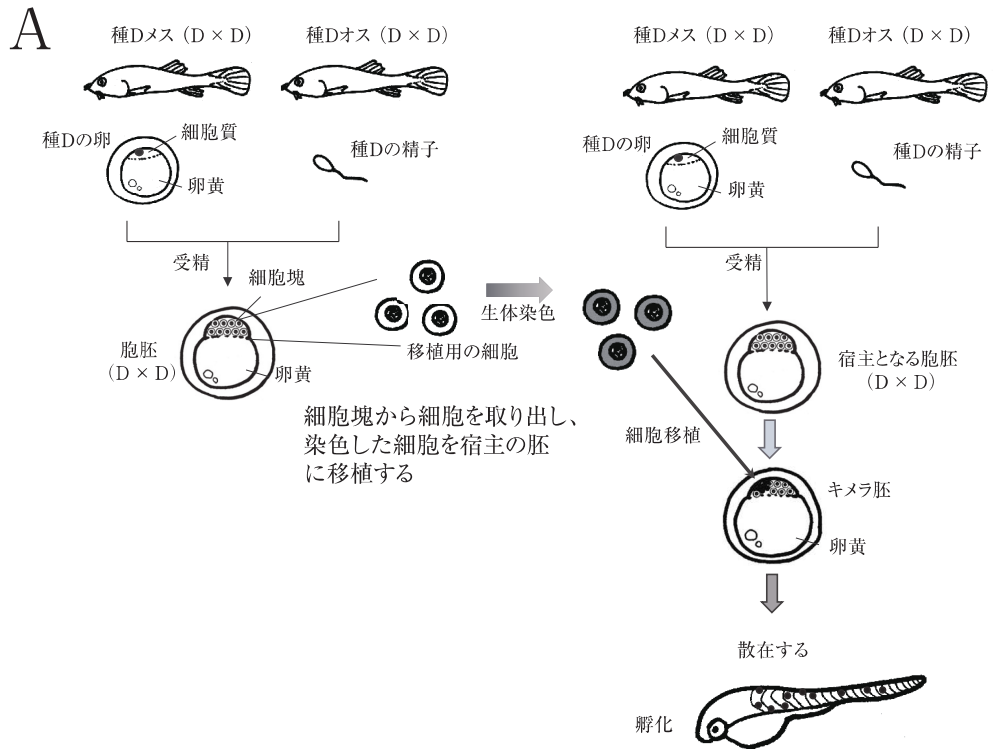


図1 胞胚期に移植した細胞の追跡

A 表1：実験①の実験方法と結果を示す模式図。

B 表1：実験③の実験結果を示す模式図。

表1 キメラ胚における移植した細胞の追跡

実験	実験方法		実験結果
	移植用の細胞が由来する胚の種類(母親×父親)	宿主の胚の種類(母親×父親)	
①	D × D	D × D	散在する
②	K × K	K × K	散在する
③	D × D	K × K	局在する
④	K × K	D × D	局在する
⑤	K × D	D × D	(イ)
⑥	K × D	K × K	(ロ)

表2 胚の種類と、稚魚の体節の数との関係

実験	胚の種類	稚魚の体節の数
⑦	D × D	34
⑧	K × K	29
⑨	K × D	29
⑩	NT	29

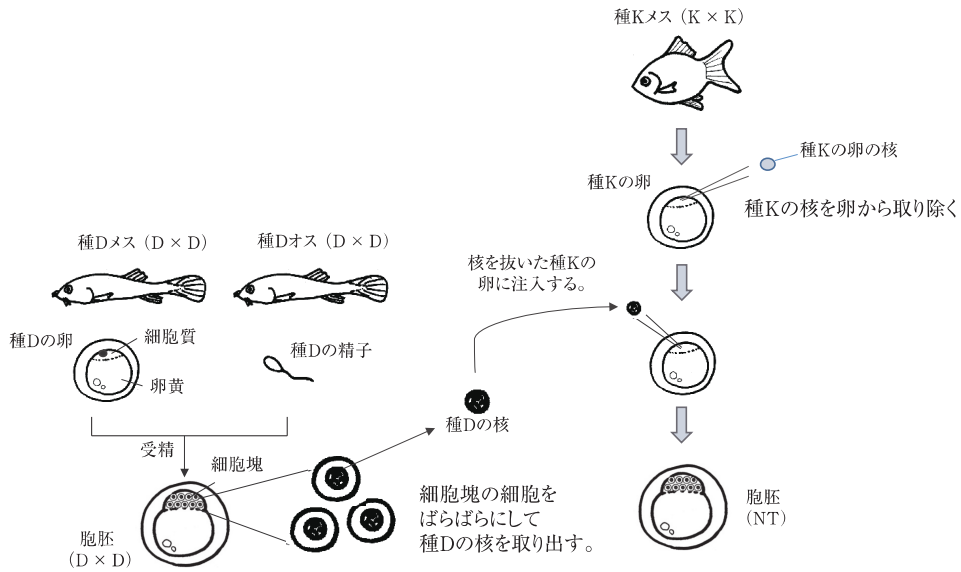


図2 NTの作成

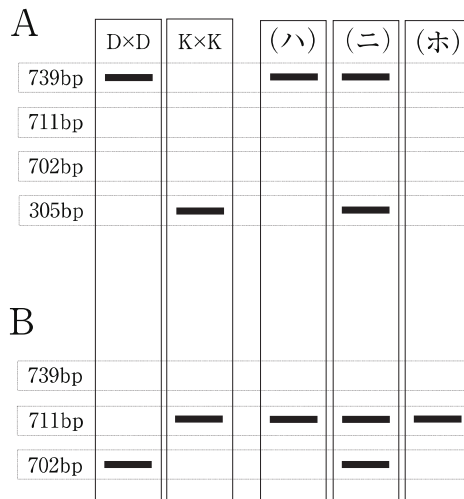


図3 D × D と K × K の遺伝型を確認するための PCR 産物の電気泳動パターン

A：核由来ゲノムに特異的な遺伝子の一部を増幅するプライマーセットを用いた PCR で得られるパターン。

B：ミトコンドリア DNA の一部を増幅するプライマーセットを用いた PCR で得られるパターン。(ハ)～(ホ)は、実験操作を行った胚に対する PCR 産物の電気泳動パターンを示す。

問1 表1の実験⑤および⑥は、 $K \times D$ の胞胚から採取した細胞を、 $D \times D$ の胞胚もしくは $K \times K$ の胞胚に移植した実験である。キメラ胚における移植された細胞の細胞移動について、良子さんの仮説が正しい場合に表1の(イ)および(ロ)に予想される結果を、「散在する」もしくは「局在する」から選びなさい。

問2 NTの作製には、小さな核を手作業で移植する操作を伴うため、技術的に難しく、いつも成功するとは限らない。そこで、操作が成功したことを確認するためにPCRによる検出を行った。図3は、各胚から得られたDNA中に含まれる、核ゲノムに特異的な遺伝子の一部や、ミトコンドリア由来のDNAの一部を、それぞれに特異的なプライマーのセットを用いてPCRで増幅した産物を、電気泳動して得られたパターンである。(ハ)は、予定通りの操作が完了し、NTが得られた場合の電気泳動パターンである。では、(ニ)や(ホ)のパターンが現れた場合、それぞれどのようなことが起こったために得られたと考えられるか、理由とともに述べよ。

問3 図2と表2に示される実験から、体節ができる仕組みについて、「体節の数は母性因子によって決定されている」と結論づけたいが、実験が不足している。追加すべき実験および対照実験と、なぜそれらの実験を行わなければならないかについて述べよ。

問4 図2で行われた実験は、図1で行われた実験と異なり、移植された核が由来する胚の時期と、移植先の細胞(未受精卵)の発生ステージが異なっている。それにもかかわらず、発生を正常に進行させたしくみとして考えられる仮説を述べよ。

問5 NTの胞胚から採取した細胞を生体染色し、 $D \times D$ の胞胚に移植した場合と $K \times K$ の胞胚に移植した場合について、予想される結果をそれぞれ理由とともに述べよ。

2 次の文を読み、問1～3に答えよ。

植物は、光の強さと波長を感知し、それに応じた発生、成長、運動を行う。これに関与しているのが光受容体とよばれるタンパク質群で、光受容体は光に応じて立体構造を変化させ、細胞内のシグナル伝達経路を活性化し、植物の生理応答を制御している。例えばフィトクロムは、赤色光と遠赤色光を受容し、発芽、茎伸長、花成などに関与することが知られている。

問1 被子植物アブラナ科シロイヌナズナの野生型と遺伝子Aの突然変異体を用いて、図1アの3条件で光照射処理をおこない、発芽率を調べた(図1イ)。

また、遺伝子Aの突然変異体、遺伝子Bの突然変異体、および、これら両遺伝子の二重突然変異体で、図1ア②の光照射処理後の発芽率を調べた(図2)。

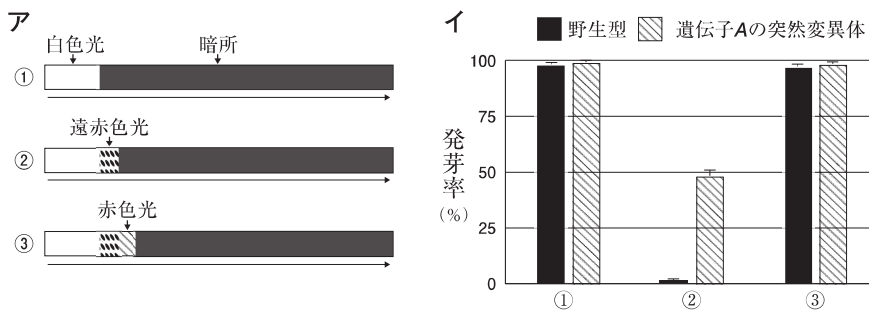


図1 各シロイヌナズナ株の光照射処理の違いによる発芽率

ア：実験で用いた光照射処理。①種子を1時間白色光で照射，②その後，遠赤色光を5分間照射，③さらに続けて赤色光を5分間照射，3条件とも照射後暗所に置き4日後に発芽率を記録した。

イ：アで示した各条件下での野生型と遺伝子Aの突然変異体の発芽率。

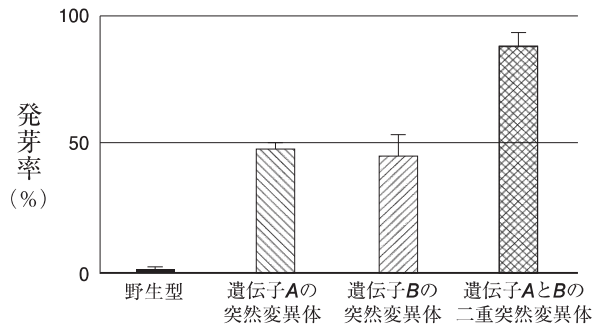


図2 各シロイヌナズナ株の図1ア②の光照射処理による発芽率

- (1) 野生型の実験結果から、赤色光と遠赤色光の照射によって発芽率が変化する理由を、フィトクロムの活性状態の変化に着目して説明せよ。
- (2) 遺伝子AとBがどのような機能を持ち、それらが失われたことによってどのようなことが生じて図1と図2の結果を示すことになったのかを推察して述べよ。

問2 陸上植物が他の植物の陰に入ったときに茎を長く伸ばすという避陰反応も、フィトクロムが関与している。植物個体が他の植物の陰に入ったことをどのように感知するのか説明せよ。また、野外において避陰反応が植物個体にもたらす利点を推察して述べよ。

問3 シロイヌナズナでは、隣接する個体の葉が重なるほど近くに生育させた場合に、血縁か非血縁かによって展開する葉の配置が異なることが報告されている。同じ系統の実生を一行に並べて育てた場合（血縁条件）と、異なる系統の実生を交互に一行に並べて育てた場合（非血縁条件）で、各個体について「隣接個体から離れる方向に伸びた葉の数」と「隣接個体に向かう方向に伸びた葉の数」を数え、その比（葉の配置比）を算出した（図3）。例えば、隣から離れる方向に伸びた葉が9枚で隣に向かう方向に伸びた葉が6枚である場合は葉の配置比1.5であり、葉の配置比1の場合は葉の向きがランダムに配置されたことを意味する。また、血縁条件と非血縁条件下では茎の長さや葉の成長量に違いはなく、血縁条件は非血縁条件に比べて種子生産量が多くなった。

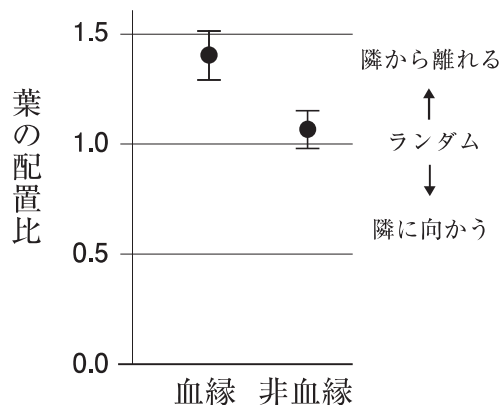


図3 血縁関係による葉の配列比

- (1) 上述のような血縁・非血縁を植物はどのようなしくみで識別しているのか、仮説を1つ挙げ、それを検証する実験方法を示せ。
- (2) 上述のような血縁・非血縁を植物が識別して異なる反応を示す形質について、そのような形質をもつ個体がどのようなしくみで集団内に広まるか、自然選択の観点から述べよ。

生 物 ②

(解答は答案用紙の所定欄に記載せよ)

1 次の文を読み、問 1～6 に答えよ。

水分子は極性をもち、その中の水素原子は電氣的に正 (+) にかたよっており、酸素原子は負 (-) にかたよっている。そのため、水分子どうしが接近すると、水素原子と酸素原子が引き合い、水素原子と水素原子、あるいは酸素原子と酸素原子は反発する。タンパク質の水溶液は、タンパク質分子の表面全体が水分子によって取り囲まれた状態にある。タンパク質分子の中心に、水分子が入りこむことはほとんどない。タンパク質が機能を発現するためには、水に取り囲まれた状態でのタンパク質の立体構造が重要である。タンパク質水溶液の温度を上げていくと、熱エネルギーによって水分子の分子運動が激しくなり、タンパク質分子そのものの振動も激しくなる。

タンパク質のうち、化学反応を触媒する酵素には最適温度と最適 pH がある。最適 pH は酵素の種類によって酸性から塩基性 (アルカリ性) までさまざまである。タンパク質を構成するアミノ酸には、酸性アミノ酸、塩基性アミノ酸、疎水性アミノ酸などがあり、タンパク質の立体構造の形成に影響を与える。酸性アミノ酸は側鎖にカルボキシ基があるため酸性を示し、塩基性アミノ酸は側鎖にアミノ基があるため塩基性を示す。カルボキシ基とアミノ基は pH によって図 1 に示す平衡状態にある。

地球上にはさまざまな温度と pH の環境があり、それぞれの環境に適応した生物が生息している。pH 1～5.5 の酸性環境に生息するバクテリアは好酸性バクテリアと呼ばれ、環境中の高濃度の水素イオンを利用するとともに、高濃度の水素イオンによる細胞への悪影響を防ぐしくみを有している。pH 8～11 の塩基性環境に生息するバクテリアは好塩基性バクテリアと呼ばれ、環境中の低濃度の水素イオンを取り込むしくみや、水素イオンの代わりに他の陽イオンを利用するしくみによって生命活動を維持している。



図1 異なる pH 環境におけるタンパク質のアミノ基とカルボキシ基の変化
 カルボキシ基は中性や塩基性環境で負の電荷をおびる。アミノ基は中性や酸性環境で正の電荷をおびる。

問1 水溶液中で球状の立体構造を形成するタンパク質において、立体構造の中心部分をコアとよび、溶媒と接触する部分を表面とよぶ。タンパク質の立体構造において疎水性アミノ酸は、コアと表面のどちらにより多く存在する傾向にあるかを、理由とともに述べよ。

問2 好酸性細菌が細胞外に分泌して環境中の有機物を分解する酵素は、酸性条件では活性を示すが、中性条件では活性をほとんど示さない。図1にもとづき、好酸性細菌の酵素が中性条件で失活するしくみについて記述せよ。

問3 ヘリコバクター・ピロリは、酸性環境であるヒトの胃粘膜に感染する細菌であり、胃炎や潰瘍（かいよう）を引き起こすといわれている。ところが、この細菌が利用する酵素の多くは、中性環境で高い活性をもち、酸性環境では活性がきわめて低い。酸性条件においてこれらの酵素がはたらくために、ヘリコバクター・ピロリは図2に示す化学反応を触媒するウレアーゼを多く産生する。ヒトの胃液に少量存在する尿素をウレアーゼが分解することで、この細菌が胃の中において増殖できるしくみを説明せよ。

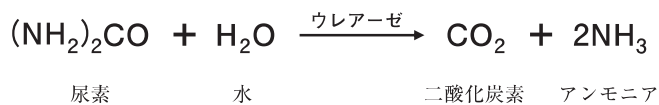


図2 ウレアーゼによって触媒される反応

問4 ある好塩基性バクテリアの ATP (アデノシン三リン酸) 合成酵素を調べたところ、水素イオンではなく、ナトリウムイオンを用いていることが明らかになった。水素イオンでは不都合な理由を述べよ。

問5 高温環境に生育する、あるバクテリアの細胞膜を調べたところ、常温環境のバクテリアとは大きく異なっていることが明らかになった。常温環境のバクテリアでは、図3左のようにふたつの細胞膜構成分子の疎水部が向き合い、親水部が水と接した構造をしているが、このバクテリアでは、図3右のように、常温環境のバクテリアではふたつの分子になっている部分が共有結合でひとつながりになっている。この特徴が高温環境に適している理由を述べよ。

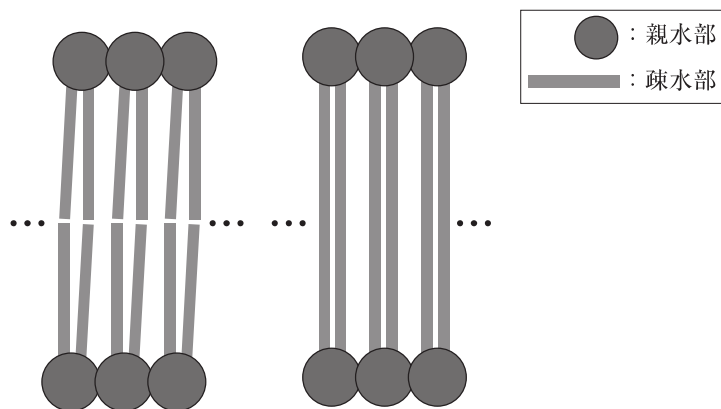


図3 常温細菌(左)と、ある好熱菌(右)の細胞膜を構成する分子の模式図

問6 強い酸性や塩基性、または高温の環境は、バクテリアにとって生息が非常に難しいように見えるにもかかわらず、そのような環境にのみ生息するバクテリアが存在する。このような極端な環境に生息する適応的意義を述べよ。

2 次の文を読み、問 1～4 に答えよ。

センチュウ (*C. elegans*) は透明で体長 1 ミリほどの小さな線形動物であり、水中や湿った環境で体をくねらせながら動き回っている。この動きを作り出す筋肉は表皮の内側の背側と腹側に位置し、頭尾方向に並んだ筋細胞からなる。これらの筋細胞には、興奮性運動ニューロンと抑制性運動ニューロンがそれぞれ神経筋接合部を形成している (図 1)。運動ニューロンの細胞体は腹側のみに存在する。

興奮性運動ニューロンが放出するアセチルコリンは筋を収縮させ、抑制性運動ニューロンが放出する GABA は筋を弛緩させる。たとえば、興奮性運動ニューロンが腹側の筋と抑制性運動ニューロンに興奮性入力を送ると、腹側の筋を収縮させると同時に、抑制性運動ニューロンを興奮させる。その結果、背側の筋が弛緩するという連動した制御がおこなわれている (図 1)。

これらの運動ニューロンの回路には、リズムを生み出す中枢パターン発生器による制御があり、興奮と抑制の信号が体の前方から後方へと順に伝わっていく。その結果、背側と腹側の筋肉が交互に収縮と弛緩を繰り返し、波のように全身へ広がることで、センチュウ特有のくねくねとした運動が生み出される。

通常、センチュウは筋活動を維持しているため、わずかに体全体が収縮した状態で動き回っているが、神経や筋の活動が抑えられると筋の緊張が失われ、体がまっすぐに伸びて動かなくなる。

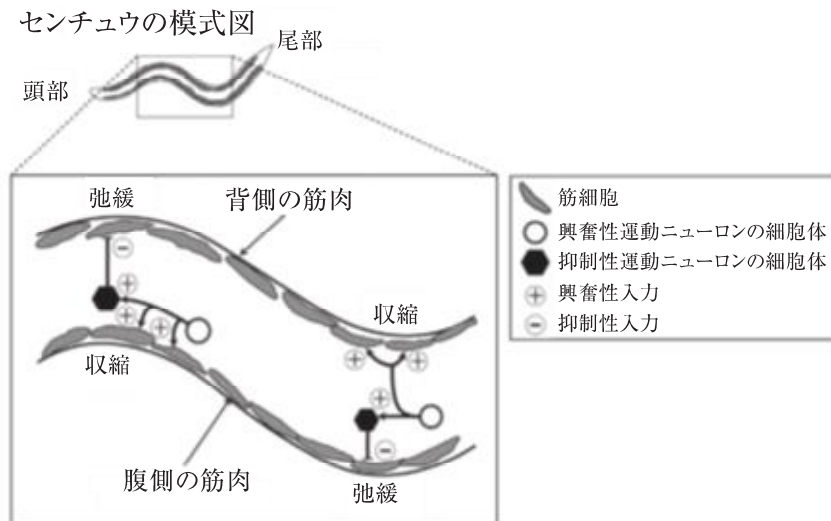


図1 センチュウの運動にかかわる筋と運動ニューロンの模式図

腹側が収縮し背側が弛緩する場合と、腹側が弛緩し背側が収縮する場合の筋肉と神経回路の一部を別々に模式的に示してある。

近年、このセンチウの運動回路を人為的に操作するため、光に応答する膜タンパク質を用いた研究がおこなわれている。それらの研究であつかわれている代表的な膜タンパク質が、チャンネルロドプシン (ChR) とハロロドプシン (HR) である。ChR は光を受けると開く陽イオンチャネルであり、 Na^+ や H^+ などを細胞内に流入させて膜電位を脱分極させる。いっぽう、HR は光によって作動するポンプとしてはたらき、 Cl^- が細胞内へ取り込まれることで膜電位が過分極となる。

これらの光応答性タンパク質を遺伝子工学の手法を用いてセンチウの運動ニューロンや筋細胞に導入すると、光を照射するだけで細胞の膜電位を人工的に変化させることができるようになる。

ChR と HR は、それぞれ異なる波長の光で活性化されることが知られている (図2)。ChR は青色の光で、HR は黄色の光で活性化する。図3は、細胞に HR を発現させ、黄色の光を照射した場合の膜電位応答を示している。

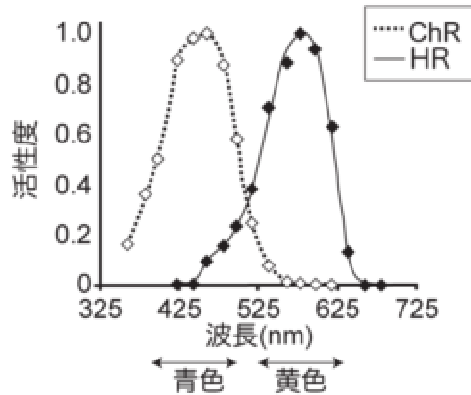


図2 ChR と HR の光活性特性

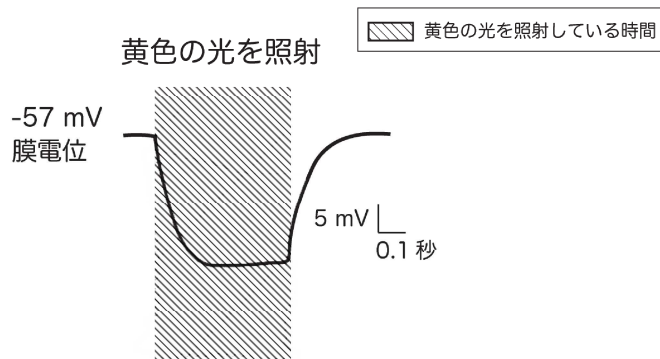


図3 細胞に HR を発現させた場合の膜電位応答

この性質を利用して、次のような実験をおこなった。

<実験1>

センチウの興奮性運動ニューロン特異的プロモーターあるいは筋特異的プロモーターを用いて HR 遺伝子を導入し、それぞれの細胞種選択的に発現させた。この遺伝子組換えセンチウを遊泳させ、黄色の光を1秒間照射したところ、センチウの動きは急速に停止し、同時に体長が伸びた。照射を止めると、体長や動きは速やかに元に戻った。このときの体長の変化を時間ごとに記録した結果を図4に示す。なお、体長はセンチウの頭端から尾端までを結ぶ曲線の長さとして測定した。

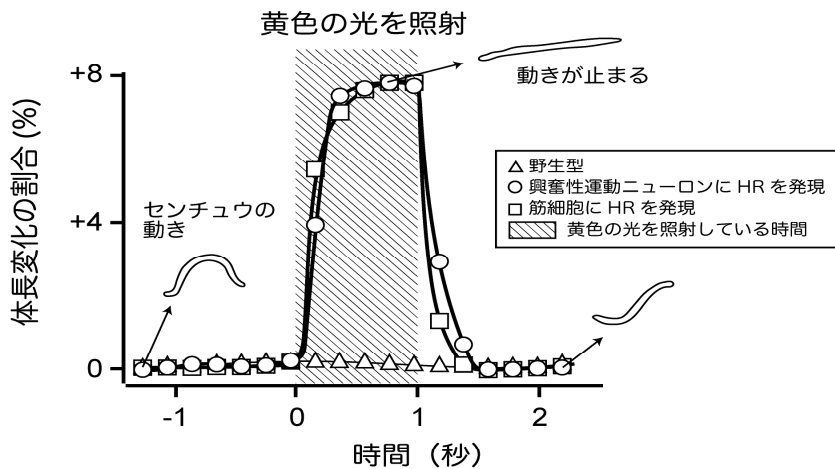


図4 HRを発現させた遊泳中のセンチュウに光を照射した場合の体長変化

<実験2>

さらに、興奮性運動ニューロンまたは筋細胞にChRとHRを同時に発現させた遺伝子組換えセンチュウを用いて実験をおこなった。青色の光を照射しながら、黄色の光を1秒間照射し、そのさいに起きる体長変化を1秒ごとに記録した結果を図5に示す。

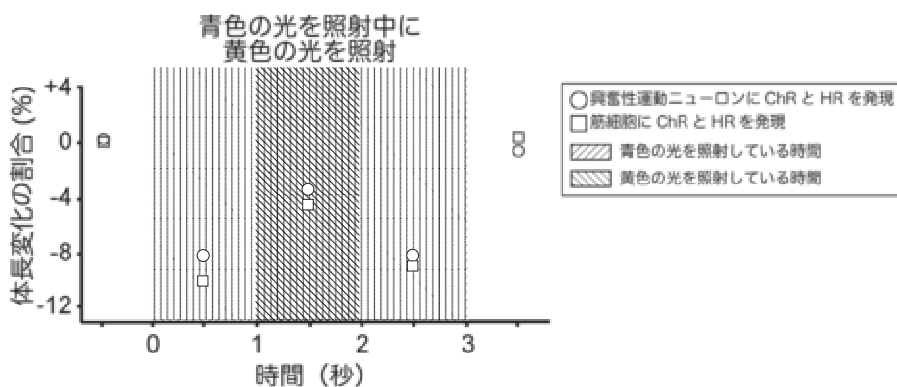


図5 ChRおよびHRを同時に発現させたセンチュウに光を照射した場合の体長変化

問 1 図 2 に示すように、ChR と HR はそれぞれ異なる波長の光で作動する。ChR と HR をニューロンなどの細胞に導入すると、その細胞の機能を調べる上でどのような利点があるか。脱分極と過分極の両方向の膜電位制御に触れて説明せよ。

問 2 図 4 のように、HR を興奮性運動ニューロンで作動させると体長が伸び、運動が停止する。このとき、筋細胞が収縮できなくなる理由を、膜電位とイオンの流れの観点から説明せよ。

問 3 図 5 では、光照射の前後でセンチウの体長を一定間隔ごとに測定している。もし筋細胞に ChR と HR を発現させたセンチウにおいて、青色の光と黄色の光を図の条件で照射した場合の体長変化を連続的に記録したら、どのような曲線になると予想されるか。図 4 の結果を踏まえ、光の ON と OFF に即した変化がわかるように図示し、そのように考えた根拠を述べよ。

問 4 図 1 に示す神経回路をもつセンチウを用いて、(A) ~ (C) の条件で実験を行った場合、それぞれのセンチウはどのような体長変化を示すと予想されるか。筋細胞の収縮と弛緩の観点から、その理由とともに説明せよ。

- (A) 興奮性運動ニューロンに ChR を発現させ、青色の光を照射した場合
- (B) 抑制性運動ニューロンに ChR を発現させ、青色の光を照射した場合
- (C) 抑制性運動ニューロンに HR を発現させ、黄色の光を照射した場合