

令和 8 年度
前期日程
理科問題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 19 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 20 \text{ ページから } 36 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 37 \text{ ページから } 58 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理3枚、化学4枚、生物4枚、白紙1枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子及び白紙は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

〔1〕ばねによって天井からつるされた小球の運動について考える。ただし、小球の大きさ、ばねの質量、および空気抵抗は無視できるものとする。また、ばねはフックの法則の成り立つ範囲で伸び縮みし、小球は天井にぶつかることはなかったものとする。重力加速度の大きさを g とする。

I. 図1のように、小球がばねによって天井からつるされていた。ここで、ばねの自然の長さは l_0 、ばね定数は α である。また、小球の質量は m である。

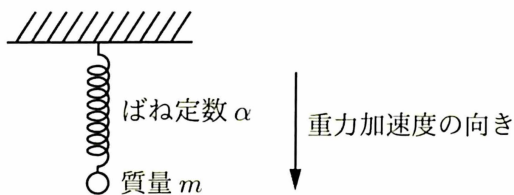


図 1

- 問 1 小球が運動せずに静止しているときのばねの長さ l を求めよ。
- 問 2 運動せずに静止していた小球を、鉛直下向きに引いてから静かにはなしたところ、小球は振幅 H の単振動を始めた。この単振動の周期 T_1 を求めよ。
- 問 3 問 2 の単振動において、小球が最も高い位置にあるときのばねの弾性力による位置エネルギーを U_1 、小球が最も低い位置にあるときのばねの弾性力による位置エネルギーを U_2 とする。 $\Delta U = U_2 - U_1$ を m 、 g 、 α 、 l_0 、 H から必要なものを用いて表せ。

II. これ以降、I. の小球は質量 m に加えて、電気量 q ($q > 0$) をもつものとする。図 2 のように、I. の状況に加えて、それぞれ電気量 $-Q$ ($Q > 0$) をもち、大きさの無視できる、粒子 A と粒子 B を固定した。ここで、鉛直上向きを正の向きとする x 軸をとり、天井から鉛直下向きに l_0 だけ離れている位置を $x = 0$ とする。粒子 A と粒子 B は、 $x = 0$ の水平線上にあり、かつ、ばねが天井に固定された点を通る鉛直方向の直線から、左右に距離 L だけ離れていた。

小球は水平方向には動かず、鉛直方向に運動をしていた。以降、小球の位置を x 座標で表す。クーロンの法則の比例定数を k とする。

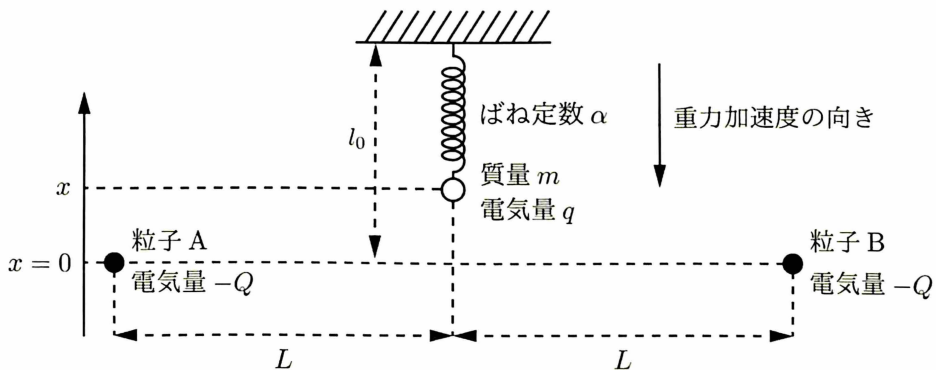


図 2

- 問 4 小球が位置 x にあるとき、小球が粒子 A および粒子 B から受ける静電気力の合力の x 成分 F_c を求めよ。ただし、 F_c の正の向きは、 x 軸の正の向きにとる。
- 問 5 以降の設定において、小球の位置を x とすると、小球は $|x|$ が L よりも十分に小さい範囲で運動していたものとする。小球が位置 x にあるとき、問 4 の結果を用いると、小球にはたらく全ての力の合力の x 成分は $F = -\beta(x-x_1)$ と書ける。 β , x_1 を α , l_0 , m , g , k , L , q , Q から必要なものを用いてそれぞれ表せ。ただし、 F の正の向きは、 x 軸の正の向きにとる。また、 L は $|x|$ より十分に大きいことから、 $L^2 + x^2 \simeq L^2$ と近似すること。

問 6 $Q = Q_1$ のときの小球の振動周期は、問 2 の単振動の周期 T_1 の $\frac{1}{2}$ 倍であった。また、 $Q = Q_2$ のときの小球の振動周期は、問 2 の単振動の周期 T_1 の $\frac{1}{4}$ 倍であった。このとき、 Q_2 を Q_1 を用いて表せ。

問 7 位置 $x = x_0$ ($x_0 > x_1$) まで鉛直上向きに小球を持ち上げた後、時刻 $t = t_0$ で静かにはなした。その後、小球がはじめて $x = x_1$ を通過する時刻を $t = t_1$ とする。時刻 $t = t_1$ における小球の速さ v を、2通りの方法で求めてみよう。以下の文章中の ~ に入るべき式を、それぞれの空欄中に与えられた文字のうち必要なものを用いて表せ。

【方法 1】問 5 より、小球の運動方程式は、ばね定数 β のばねからの弾性力のみを受けて単振動する小球の運動方程式と同じである。すると、この単振動におけるエネルギー保存則から、 $v = \text{$ と求められる。

【方法 2】ばね定数 α のばねの弾性力、重力、静電気力、それぞれについての位置エネルギーを計算し、エネルギー保存則に基づいて v を求めることもできる。まず、時刻 $t = t_0$ におけるばねの弾性力による位置エネルギーから、時刻 $t = t_1$ におけるばねの弾性力による位置エネルギーを引いて得られる差は である。次に、時刻 $t = t_0$ における重力による位置エネルギーから、時刻 $t = t_1$ における重力による位置エネルギーを引いて得られる差は である。そして、時刻 $t = t_0$ における小球にはたらく静電気力による位置エネルギーから、時刻 $t = t_1$ における小球にはたらく静電気力による位置エネルギーを引いて得られる差は である。ただし、ここでは、 L が $|x|$ より十分に大きいときに、 $\frac{1}{\sqrt{L^2 + x^2}} \doteq \frac{1}{L} - \frac{x^2}{2L^3}$ と近似できることを用いた。

以上より、時刻 $t = t_1$ における小球の運動エネルギーは + + である。これをもとに求めた速さ v は、【方法 1】で求めた v と一致する。

問 8 粒子 A と粒子 B の電気量を瞬間的に切り替えられるものとする。いま、位置 $x = x_0$ ($x_0 > x_1$) まで鉛直上向きに小球を持ち上げた後、時刻 $t = t_0$ で静かにはなした。その後、小球がはじめて $x = x_1$ を通過した瞬間に、粒子 A と粒子 B の電気量を $-Q$ から Q に切り替えた。それから小球は最下点に到達した後に上昇に転じ、ふたたび小球が $x = x_1$ を通過した瞬間に、粒子 A と粒子 B の電気量を Q から $-Q$ に切り替えた。小球の位置の時間変化を表すグラフとして最も適切なものを、図 3 の (あ) ~ (か) から 1 つ選んで記号で答えよ。

ただし、電気量を切り替える瞬間の前後において、小球の速度は同じであるものとする。また、粒子 A と粒子 B の電気量が Q のときと $-Q$ のとき、どちらについてもそれぞれ、小球の運動は単振動とみなせるものとする。

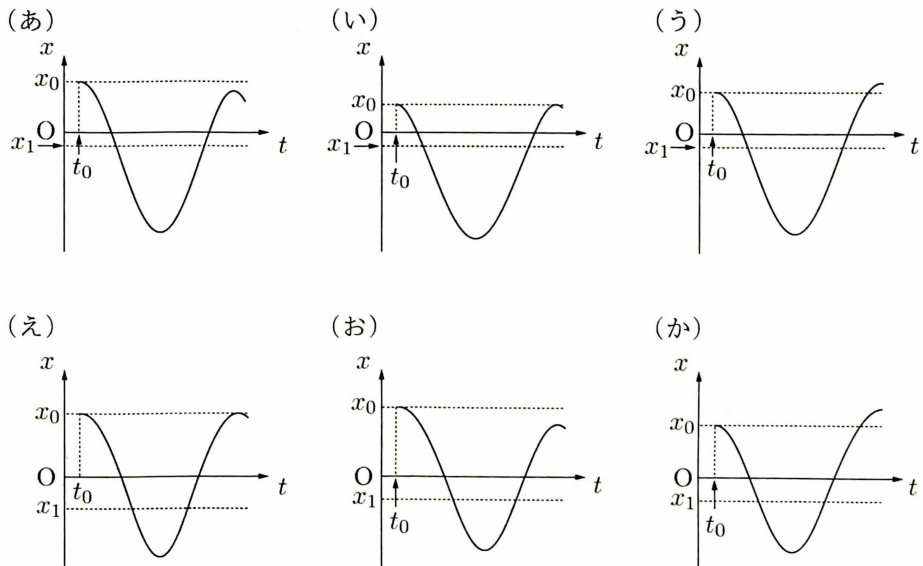


図 3

III. 図 4 のように、II. の状況に加えて、さらに電気量 q' ($q' > 0$) をもつ質量 m の小球を、自然の長さ l_0 、ばね定数 α の同じばねで、II. で考えた小球から鉛直方向につりさげた。そして 2 つの小球を鉛直下向きに引いて、静かにはなした。すると、2 つの小球が、小球間の距離を一定に保ちつつ、鉛直方向にそれぞれ単振動をする運動が実現された。この運動について考える。

ここで、II. と同様に、天井から鉛直下向きに l_0 だけ離れている位置を $x = 0$ とする。上側の小球の位置を x_{up} 、下側の小球の位置を x_{lw} とすると、小球は $|x_{\text{up}}|$ および $|x_{\text{lw}}|$ が L よりも十分に小さい範囲で運動したものとす。そのため、各小球の運動方程式において、問 5 と同様に $L^2 + x_{\text{up}}^2 \cong L^2$ および $L^2 + x_{\text{lw}}^2 \cong L^2$ と近似してよい。

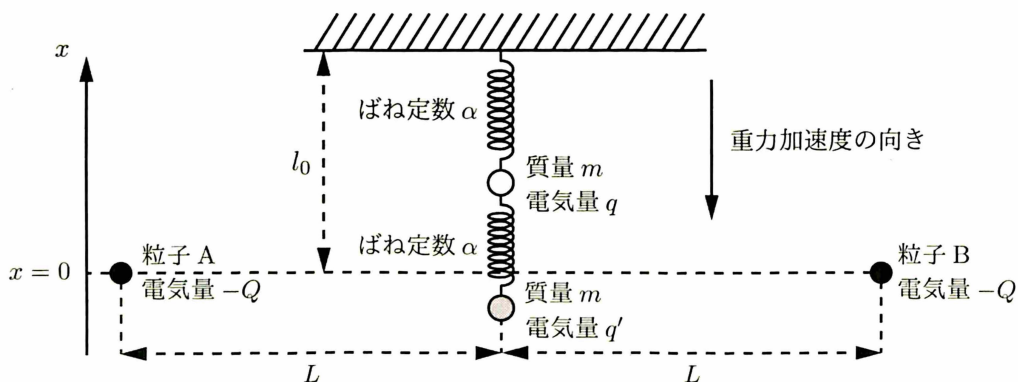


図 4

問 9 小球の振動周期 T_2 を m 、 α 、および問 5 の β のうち、必要なものを用いて表せ。

問 10 q' を α 、 k 、 q 、 Q 、 L を用いて表せ。

〔2〕 電流が流れている金属や半導体に磁場（磁界）をかけると、磁場に応じた電位差が生じる現象をホール効果とよぶ。このホール効果を利用して磁場を検知する磁場測定装置について考える。いま、図1に示す直方体の形をした半導体を考え、各辺に平行な x 軸、 y 軸、 z 軸を定める。半導体の x 軸方向の幅を L 、 y 軸方向の幅を d 、 z 軸方向の幅を h とする。半導体のキャリアとしてはたらく電子や正孔は、電荷をもつ粒子として振る舞うと考える。キャリア1個の電気量の大きさを q 、単位体積あたりのキャリアの数を n とする。

I. まず、磁場測定装置を構築するにあたり、半導体の基本特性を調査したい。図1に示すように、特性が既知の磁石で半導体を挟むことを考える。磁石間には、 z 軸に平行で、大きさ B_a の一様な磁束密度が生じている。半導体にはケイ素を用い、そこに不純物を添加してキャリアが正孔の p 型半導体、キャリアが電子の n 型半導体の2種類を用意し、いずれかを用いる。半導体側面に導線を接続し、 x 軸の正の向きに大きさ I の電流を流す。

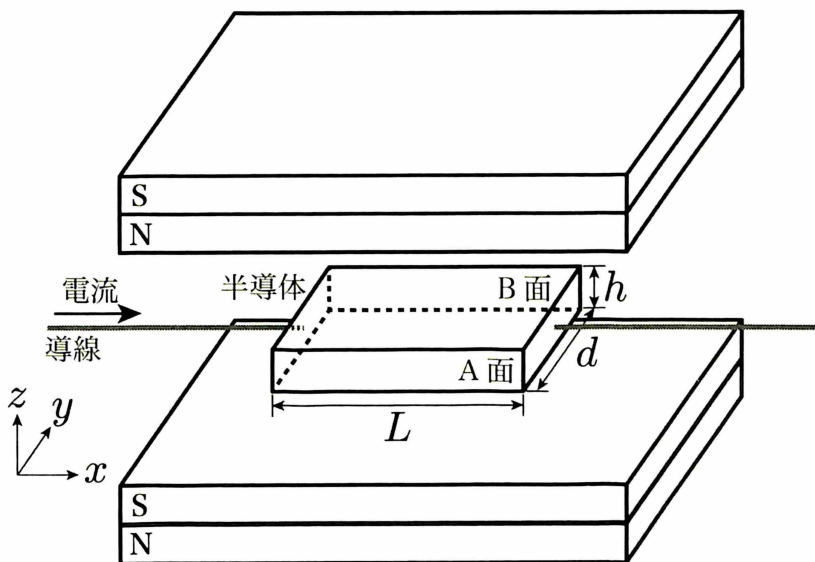


図1

問 1 ケイ素（原子番号 14）の結晶に、アルミニウム（原子番号 13）またはリン（原子番号 15）を微量添加した半導体を作製したところ、電流が流れやすくなった。このときの半導体の種類として適切なものを、以下の（あ）～（う）の中からそれぞれ 1 つ選んで記号で答えよ。

（あ） p 型半導体,（い） n 型半導体,（う） どちらでもない

問 2 次に、半導体中のキャリアの運動について考える。キャリアが受けるローレンツ力の大きさ F を、キャリアの速さ v , q , B_a の中から必要なものを用いて表せ。ただし、キャリアは磁場に垂直な平面内で運動しているものとする。

問 3 半導体中のキャリアは、ローレンツ力を受け A 面または B 面に蓄積され、A 面と B 面の間に電場が生じた。電流を流して十分に時間が経ったところ、この電場からキャリアが受ける力とローレンツ力が釣りあい、これ以上キャリアの蓄積が進まなくなった。この際の A 面と B 面の間に生じた電場の大きさ E を、 I , B_a , q , n , h , d の中から必要なものを用いて表せ。

問 4 半導体における単位体積あたりのキャリアの数 n を、既知の量と測定可能な物理量で推定したい。測定可能な物理量は、A 面と B 面の間に生じる電圧の大きさ V_{AB} , 半導体を流れる電流の大きさ I , 半導体の各軸方向の幅 h , d , L である。また、磁束密度の大きさは B_a で既知である。さらに、半導体中のキャリア 1 個の電気量の大きさ q は、既知の物理定数である電気素量と等しい。 n を、 V_{AB} , I , h , d , L , B_a , q の中から必要なものを用いて表せ。

問 5 最後に，使用した半導体が p 型半導体か n 型半導体かを調べたい。A 面の電位 V_A と B 面の電位 V_B の大小関係と，使用した半導体の組み合わせとして適切なものを，以下の (え) ~ (き) の中からすべて選んで記号で答えよ。

	A 面, B 面の電位	半導体の種類
(え)	$V_A > V_B$	n 型半導体
(お)	$V_A < V_B$	n 型半導体
(か)	$V_A > V_B$	p 型半導体
(き)	$V_A < V_B$	p 型半導体

II. 次に、I. で基本特性を明らかにした半導体のうち、p型半導体を用いた磁場測定回路を図2のように構築した。電源を半導体両端につなげ、大きさ V_E の電圧を加えた。半導体のA面、B面の間に生じる電位差は電圧計で測定した。なお、電圧計の内部抵抗は十分に大きく、回路への影響は無視できるものとする。また、電圧計のプラス端子を半導体のA面、マイナス端子をB面に接続した。図2で示す灰色面を半導体の正面とする。

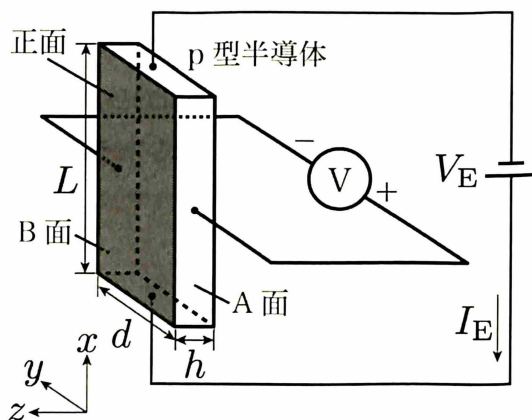


図 2

- 問 6 V_E を加えたことで半導体内に一樣な電場が生じた。この電場によって半導体中のキャリアが受ける力の大きさ F_E を、 V_E , q , L , h , d の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 7 電源電圧を加えた後、十分に時間が経ったときに、キャリアにはたらく抵抗力と F_E が釣りあい、キャリアは一定の速さ v で移動するようになった。この抵抗力の大きさ F_r は、比例定数 c を用いて、 $F_r = cv$ で表されるものとする。この状況における v を、 q , V_E , c , L , h , d の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 8 内部抵抗が無視できる電流計で測定したところ、電源を流れる電流の大きさは I_E であった。半導体の抵抗率 ρ を、 h , d , L , V_E , I_E の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 9 c を、 ρ , n , q の中から必要なものを用いて表せ。

III. 地球は北極付近をS極とし、南極付近をN極とする巨大な磁石とみなすことができ、この巨大磁石によって地磁気が生じている。図2で示した磁場測定回路を用いて、大阪における地磁気を測定することを考える。図3に示すように、磁場測定回路全体を箱に入れた磁場測定装置を、図2の x 軸の正の向きが鉛直上向きになるように保持した。このときの半導体正面の向き（半導体正面に垂直で、半導体の外側に向かう向き）を基準の向きとする。そして、半導体の中心を貫く鉛直方向の軸を回転軸として、上から見て反時計回りに、磁場測定装置を基準の向きに対して角度 θ だけ回転させた。その結果、半導体が地磁気を感知し、電圧計は角度 θ に応じて図3に示すような値を示した。ただし、A面とB面の間に生じる電位差には、キャリアが受けるローレンツ力のうち、図2の y 軸方向の成分のみが寄与するものとする。

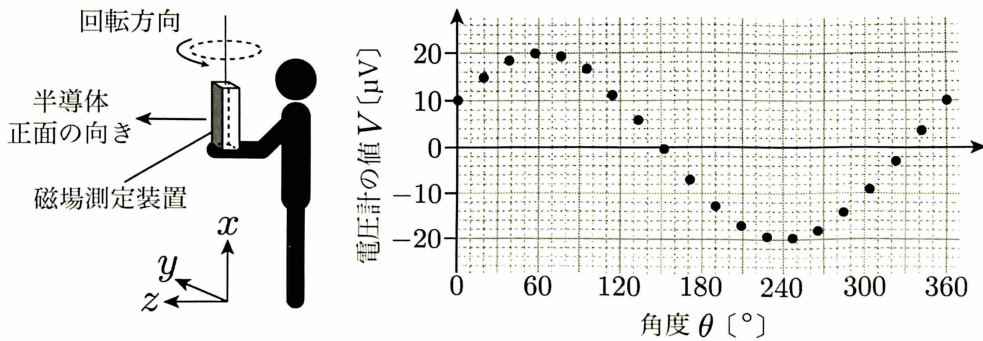


図 3

問 10 以下の文章の に入るべき適切な数値を (く) ~ (さ), に入るべき適切な数値を (し) ~ (て) の中からそれぞれ選んで記号で答えよ。

図3のグラフより、地球のS極がある方角は $\theta =$ であると推定される。この方角を磁北と呼ぶ。一方、地球の自転軸の通る北極点の方角(真北)は、磁北からずれていることが知られている。国土地理院によると、大阪の場合、磁北は真北に対して西に約 7° ずれていることが知られている。このことから、地球の自転軸を基準とした真北、真西、真南、真東の方角がわかる。このうち、真東の方角は、 $\theta =$ であると推定できる。

(a) の選択肢

(く) 60° , (け) 150° , (こ) 240° , (さ) 330°

(b) の選択肢

(し) 53° , (す) 67° , (せ) 143° , (そ) 157° , (た) 233° , (ち) 247° ,

(つ) 323° , (て) 337°

問 11 図3のグラフから推定される、地磁気の磁束密度の水平成分の大きさ B は何 T か、有効数字2桁で求めよ。ただし、半導体の抵抗率は $\rho = 2.00 \Omega \cdot \text{m}$, キャリア1個の電気量の大きさは $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, 単位体積あたりのキャリアの数は $n = 5.00 \times 10^{19} \text{ 個}/\text{m}^3$, 半導体の各軸方向の幅は $L = 1.00 \times 10^{-2} \text{ m}$, $d = 1.00 \times 10^{-2} \text{ m}$, $h = 3.00 \times 10^{-4} \text{ m}$, 電源電圧は $V_E = 10.0 \text{ V}$ とする。

〔3〕 以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 1モルの単原子分子理想気体（以下、気体とよぶ）の状態を、図1の圧力（ p ）－体積（ V ）グラフに示すようにA→B→C→Aの順にゆっくりと変化させた。A→Bは体積 $3V_0$ で一定の定積変化、B→Cは体積 $3V_0$ 、圧力 $4p_0$ の状態Bから体積 αV_0 、圧力 $2p_0$ の状態Cへの圧力-体積グラフ上での直線的な変化、C→Aは圧力 $2p_0$ で一定の定圧変化である。ここで、 α は定数であり、 $\alpha > 3$ とする。気体定数を R とする。

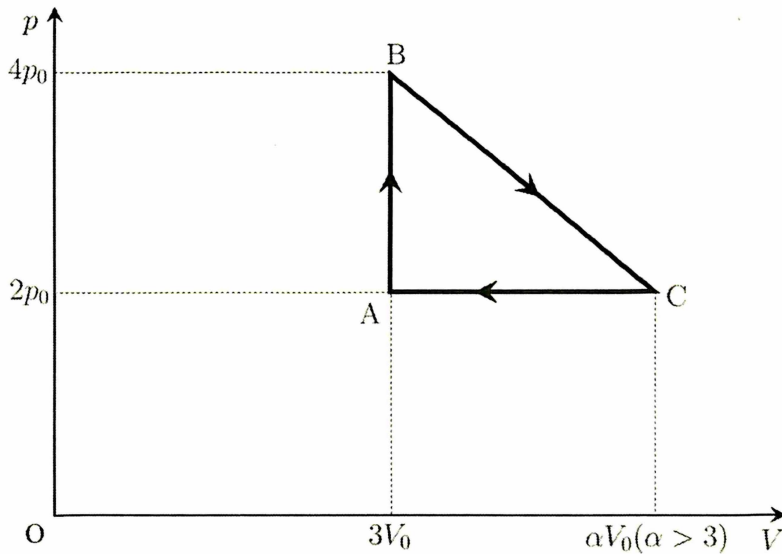


図 1

- 問 1 状態 A, B, C における気体のそれぞれの絶対温度 T_A , T_B , T_C を, p_0 , V_0 , α , R のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- 問 2 A → B の状態変化により気体が吸収した熱量 Q_{AB} と気体の内部エネルギーの変化 ΔU を, p_0 , V_0 , R のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問 3 図 1 の状態 B から状態 C にいたる変化の過程における気体の絶対温度 T を、気体の体積 V を用いて表すと、

$$T = \left(\boxed{\text{(a)}} \right) \times V^2 + \left(\boxed{\text{(b)}} \right) \times V$$

となる。以上の空欄 $\boxed{\text{(a)}}$ と $\boxed{\text{(b)}}$ に入るべき適切な数式を、 p_0 , V_0 , α , R のうち必要なものを用いてそれぞれの解答欄に記入せよ。

また、この絶対温度と体積の関係から、状態 C の体積 αV_0 の α が、ある値 x より小さい場合、状態 B から状態 C にいたる変化の過程で、つねに気体の絶対温度は低下する。逆に α が x より大きい場合、気体の絶対温度は上昇したのち低下する。この x の値を求めよ。

問 4 気体が断熱変化する場合には、図 2 の圧力 (p) - 体積 (V) グラフにおける断熱変化を示す曲線 (以下、断熱曲線とよぶ) に沿って気体の状態は変化する。この曲線上にある圧力 p_1 、体積 V_1 の状態 X における断熱曲線の接線の傾き c_1 は $c_1 = -\frac{5p_1}{3V_1}$ と求められる。

ここで、図 2 の破線四角内に示される状態 X 付近の拡大図のように、体積膨張により微小体積 ΔV ($\Delta V > 0$) だけ異なり、ある圧力 p_Y をもつ状態 Y へ、状態 X から直線的に変化する場合を考える。 ΔV が限りなく 0 に近いとき、この 2 つの状態間を結ぶ線分 XY の傾き $b = \frac{p_Y - p_1}{\Delta V}$ が、 $b > c_1$ の場合には気体は熱を吸収し、 $b < c_1$ の場合には気体は熱を放出する。

この関係をふまえると、図 1 の状態 B から状態 C にいたる変化の過程において、つねに気体が熱を吸収しながら状態変化するためには、状態 C の体積 αV_0 の α がある値 y より大きい必要がある。逆に、 α が y より小さい場合、変化の過程で熱の放出を伴う。この y の値を求めよ。

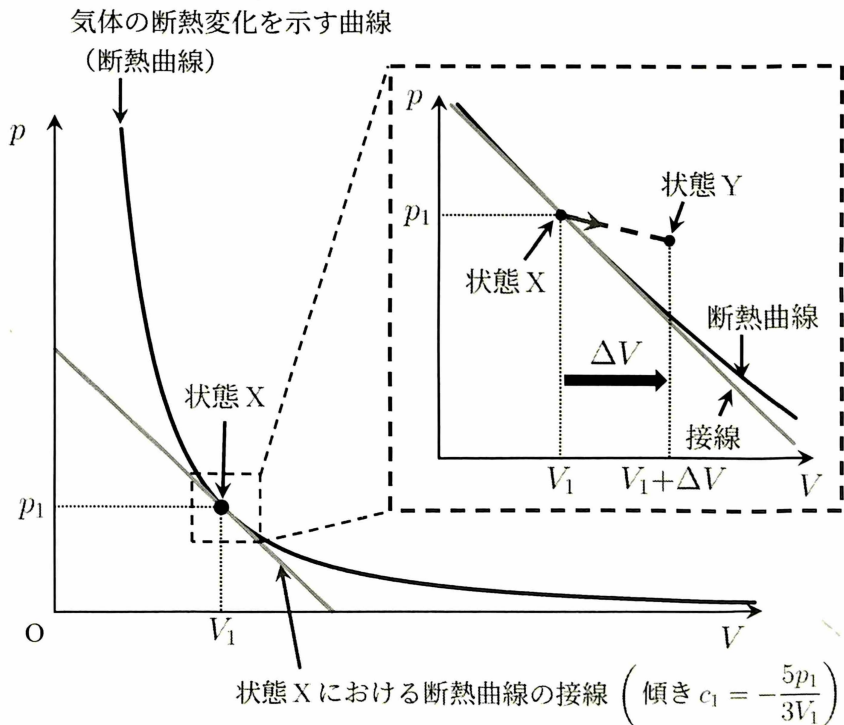


図 2

問 5 状態 C の体積を $10V_0$ とした場合、 $B \rightarrow C$ の状態変化で気体が吸収した熱量 Q_{BC} を、 p_0, V_0, R のうち必要なものを用いて表し、図 1 の $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ のサイクルで動作する熱機関の熱効率 e の値を求めよ。

B. 絶対屈折率（屈折率）が n ($n > 1$) で一定とみなせるガラスを用いて作ったレンズについて考える。

I. 図1にあるように、このレンズは、半径 R の球状のガラスを、その中心 C を通る直線 l に垂直な平面で切ったのち、直線 l からの距離がある値以上の部分を切り落としたものである。直線 l はレンズの光軸となる。

真空中において、図1のように、レンズの平らな面側から光軸に平行な光が入射し、レンズの曲がった面上の点 A で屈折して光軸上の点 F に到達した。いま、屈折光を表す直線 AF と光軸とのなす角を θ_1 ($0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$)、光軸と直線 AC のなす角を θ_2 ($0 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$)、点 A を通り光軸と垂直に交わる直線と光軸との交点を B とおく。

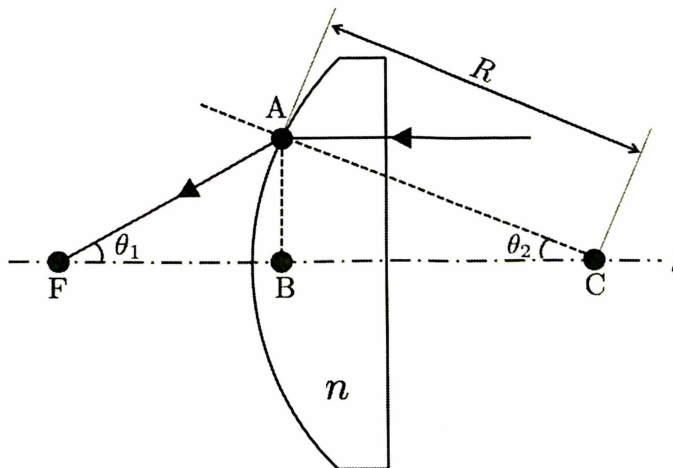


図 1

問 6 以下の ~ に入るべき適切な式を答えよ。

屈折の法則より、屈折率 n は、 θ_1, θ_2 を用いて $n = \text{$ と表される。AB 間の距離 L_{AB} を、 R, θ_2 を用いて表すと $L_{AB} = \text{$ となる。また L_{AB} は、FB 間の距離 L_{FB} , θ_1 を用いて $L_{AB} = \text{$ とも表される。これらの結果を組み合わせると、 R, θ_2, L_{FB} を用いて $\cos \theta_1 = \text{$, $\sin \theta_1 = \text{$ となる。したがって屈折率 n は、 L_{FB}, R, θ_2 を用いて $n = \text{$ と表される。

以降では、レンズの厚さは R に比べて十分に小さい（レンズが十分に薄い）ものとする。このとき $|\theta_1|, |\theta_2|$ は十分に小さい。

$|x|$ が十分に小さいとき $\sin x \cong x$, $\cos x \cong 1$, $\frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cong 1$ と近似できることを用いて、

$$n = 1 + \frac{R}{L_{FB}}$$

が示せる。この結果より $|\theta_1|, |\theta_2|$ が十分に小さいときには、光軸に平行に入射した光は屈折点 A の位置によらず同一の焦点 F に集まる。またレンズが十分に薄いときには、 L_{FB} はレンズの焦点距離 f とみなせるので、

$$f = \frac{R}{n-1}$$

が成り立つ。

II. 次に、絶対屈折率（屈折率） n_A ($1 < n_A < n$) の液体中において、I. で議論した十分に薄いレンズをつかって物体を観察する。図2にあるように、レンズ内部の光軸上のある点をOとおく。光軸にそって点Oから距離 a ($a > 0$) だけ離れたところに長さ h の物体を光軸に垂直に置く。

レンズを通る光は、レンズの平らな面と曲がった面でそれぞれ屈折しうるが、レンズが十分に薄いととして、図2の点Oを含む光軸に垂直な面のみで1回屈折するように簡略化して考えることとする。点Oを通る光は角度を変えずまっすぐ通り抜けるとみなしてよい。点Oと焦点の間の距離を焦点距離とみなしてよい。

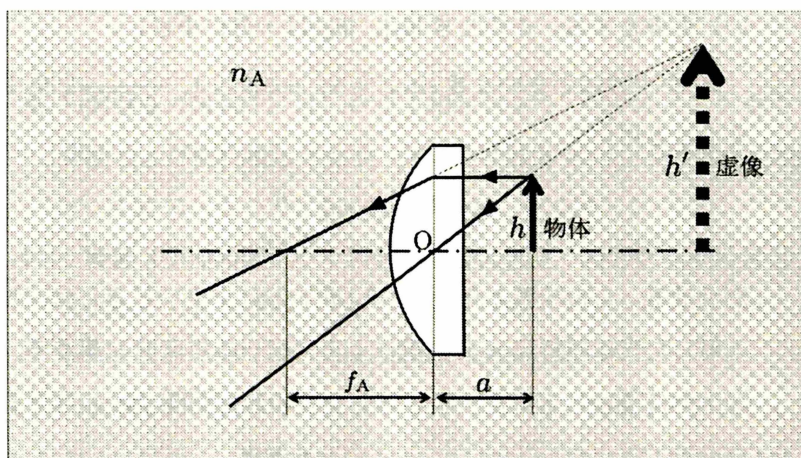


図 2

問 7 液体中でのレンズの焦点距離 f_A を、 n 、 n_A 、 R を用いて表せ。

問 8 $a < f_A$ のとき、図2のようにレンズを通して虚像が見えた。この虚像の長さ h' を、 h 、 f_A 、 a を用いて表せ。

化学問題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

H の原子量 = 1.0

C の原子量 = 12.0

N の原子量 = 14.0

O の原子量 = 16.0

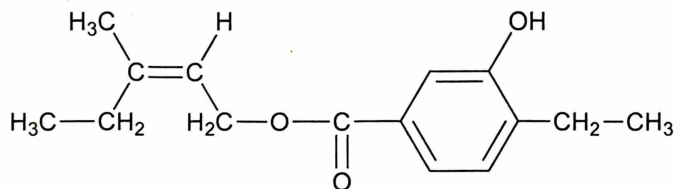
Ag の原子量 = 108

気体定数 $R = 8.3 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

$\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$

2. 特にことわらない限り、構造式は下の例にならって示すこと。

(例)



3. 体積の単位記号 L はリットルを表す。

4. 字数制限のある解答は、下の例にならって書くこと。

(例)

α	-	グ	ル	コ	ー	ス	を	,	5	.	0	×	1	0	-	²	g
/	L	の	N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。	

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

単体の鉄は、希硫酸中で **ア** を発生しながら溶解する。このとき得られた水溶液を濃縮すると、淡緑色の硫酸鉄(Ⅱ)七水和物の結晶が得られる。硫酸鉄(Ⅱ)の水溶液にヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムの水溶液を加えると **A** 色の沈殿が生じる。また、単体の鉄は濃硝酸を加えると **イ** となり溶解しない。一方、単体の銅は希硫酸には溶けないが、熱濃硫酸には溶けて硫酸銅(Ⅱ)を生じる。硫酸銅(Ⅱ)の水溶液を濃縮すると、硫酸銅(Ⅱ)五水和物の **B** 色の結晶が析出する。硫酸鉄(Ⅱ)水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液のそれぞれに少量のアンモニア水を加えると、いずれも沈殿を生じる。しかし、さらに過剰のアンモニア水を加えると、片方の沈殿は完全に溶解し、 **C** 色の水溶液となる。

問1 **ア** の空欄にあてはまる気体の物質名を答えよ。

問2 **イ** の空欄にあてはまる適切な語句を答えよ。

問3 **A** ~ **C** の空欄にあてはまる色の組合せとして最も適切なものを、(a)~(h)から選び、記号で答えよ。

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| (a) A : 濃青, B : 白, C : 赤紫 | (b) A : 濃青, B : 白, C : 深青 |
| (c) A : 濃青, B : 青, C : 赤紫 | (d) A : 濃青, B : 青, C : 深青 |
| (e) A : 赤褐, B : 白, C : 赤紫 | (f) A : 赤褐, B : 白, C : 深青 |
| (g) A : 赤褐, B : 青, C : 赤紫 | (h) A : 赤褐, B : 青, C : 深青 |

問4 下線部①の反応の化学反応式を示せ。

問5 下線部②で、沈殿が溶解する反応の化学反応式を示せ。

問 6 塩化銀は水に難溶なイオン結晶を形成している。

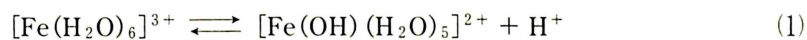
- (1) イオン結晶においては、格子エネルギーは、1 mol のイオン結晶のイオン結合を切断して、気体状態のばらばらのイオンにするのに必要なエネルギーと定義される。表1の値を用いてAgCl(固)の格子エネルギー[kJ/mol]を求めよ。解答欄には計算式も示せ。
- (2) AgCl(固)を水に溶かしてAg⁺ aq と Cl⁻ aq が生成するときの溶解エンタルピー[kJ/mol]を、表1の値を用いて求めよ。解答欄には計算式も示せ。

表 1

AgCl(固)の生成エンタルピー	-127 kJ/mol
Ag(固)の昇華エンタルピー	+284 kJ/mol
Ag(気)のイオン化エネルギー	+735 kJ/mol
Cl ₂ (気)の結合エネルギー	+243 kJ/mol
Cl(気)の電子親和力	+349 kJ/mol
Ag ⁺ (気)の水和エンタルピー*	-513 kJ/mol
Cl ⁻ (気)の水和エンタルピー*	-340 kJ/mol

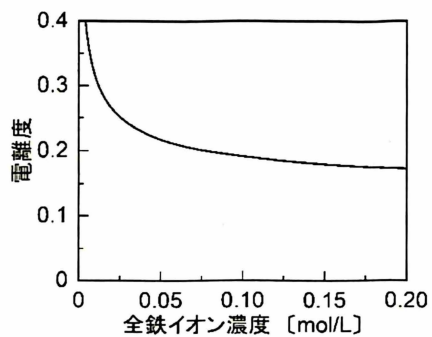
*水和エンタルピーとは気体状態のイオンが水和したときのエンタルピー変化である。

問 7 塩化鉄(Ⅲ)は水に溶解すると $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ を形成する。 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ は、水溶液中で式 1 に示す電離平衡の状態に達する。式 1 の電離平衡における $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ の電離定数は $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ とする。

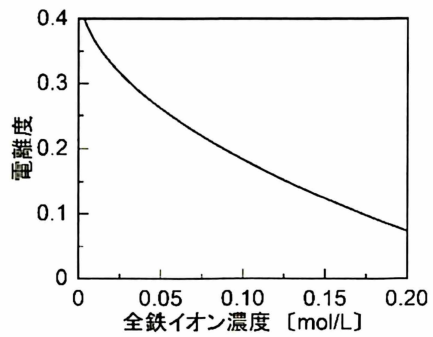


$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ と $[\text{Fe}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ のモル濃度の和を全鉄イオン濃度とする。全鉄イオン濃度と式 1 の反応における $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ の電離度の関係はどのようなになると予想されるか、最も適切なグラフを図 1 のグラフ(あ)～(か)より選び、その記号を解答欄に記入せよ。ただし、塩化鉄(Ⅲ)を水に溶かしたときには、塩化鉄(Ⅲ)はすべて溶解し、その水溶液中では式 1 の反応のみが起こるものとする。また、塩化物イオンは式 1 の反応にまったく関与しないものとする。

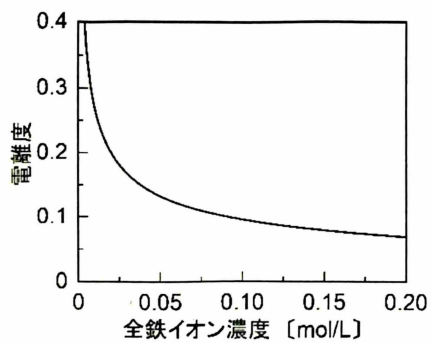
(あ)



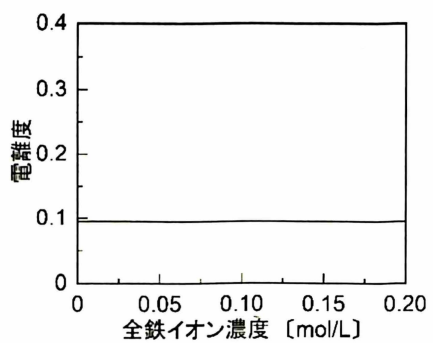
(い)



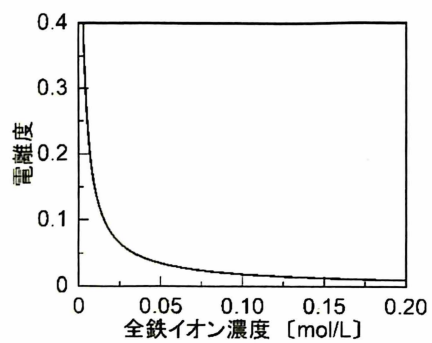
(う)



(え)



(お)



(か)

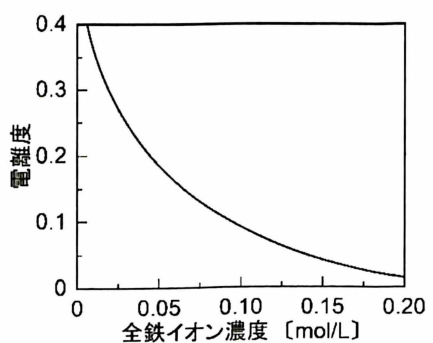


図 1

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。計算問題は有効数字2桁で答えよ。

【1】

反応の速度は、化学反応を理解するうえで重要な指標となる。気体分子 **A** と気体分子 **B** を 0.90×10^{-3} mol ずつ容積 1.0 L の容器 I 内で混合したところ、気体分子 **C** のみが生成した。一方、気体分子 **D** と気体分子 **E** を 1.00×10^{-3} mol ずつ容積 1.0 L の容器 II 内で混合したところ、気体分子 **F** のみが生成した。これらの気体の濃度の時間変化を測定すると、表1、表2に示す結果が得られた。容器 I、II とも恒温槽内に設置されて、温度は 300 K に保たれている。容器 I、II とも気体分子の導入前は真空であり、気体分子を容器に封入するのに要する時間は極めて短く、仮想的に、封入した瞬間から化学反応は開始したものとする。

表1 容器 I 内での各時間の気体分子 **A**, **B**, **C** のモル濃度 [mol/L]

時間[s]	A	B	C
0	0.90×10^{-3}	0.90×10^{-3}	0
1.0	ア	0.78×10^{-3}	0.06×10^{-3}
2.0	0.79×10^{-3}	イ	0.11×10^{-3}
3.0	0.75×10^{-3}	0.60×10^{-3}	ウ
1500	エ	0.00×10^{-3}	0.45×10^{-3}

表2 容器 II 内での各時間の気体分子 **D**, **E**, **F** のモル濃度 [mol/L]

時間[s]	D	E	F
0	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}	0
1.0	0.86×10^{-3}	0.86×10^{-3}	0.14×10^{-3}
2.0	0.76×10^{-3}	0.76×10^{-3}	0.24×10^{-3}
3.0	0.68×10^{-3}	0.68×10^{-3}	0.32×10^{-3}
1500	0.00×10^{-3}	0.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}

問 1 表 1 の空欄ア～エにあてはまるモル濃度を求めよ。

問 2 実験結果から容器 I, II 内で進行したと推定される反応の反応式を書け。

問 3 容器 II の反応で、気体分子 **D** の初期濃度を 2 倍にしたところ、反応開始直後の反応速度(初速度)が 2 倍になった。また、気体分子 **E** の初期濃度を 2 倍にしても、初速度が 2 倍になった。以上の結果をもとに、表 2 の 0 秒から 1.0 秒での平均反応速度と平均濃度を算出し、容器 II 内で進行した反応の反応速度定数を求めよ。答えの反応速度定数には単位も記せ。解答欄には計算過程も示せ。

問 4 反応速度定数 k と温度 T の関係は、多くの化学反応に関して、アレニウスの式

$$k = ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

にしたがうことが知られている。 e は定数で、約 2.7 である。 a , E_a , R は、それぞれ比例定数(頻度因子)、活性化エネルギー、気体定数である。

- (1) 容器 II の反応で、恒温槽の温度を 300 K から 310 K にして、気体分子 **D** の濃度の時間変化を測定したところ、反応速度定数が 2.7 倍になった。この反応の活性化エネルギーを求めよ。計算過程を示し、答えには単位も記せ。答えの算出にあたっては、 e は 2.7 とせよ。
- (2) 温度が 300 K から 310 K になっても、気体分子の衝突回数はおおよそ 2% しか増加しない。それにもかかわらず、温度上昇により反応速度定数が 2.7 倍にもなる理由を、分子の運動エネルギーの分布を考慮して 60 字以内で答えよ。

【Ⅱ】

分子 **G**, **H**, **J** をそれぞれ 1.00×10^{-3} mol ずつ、空の容器Ⅲに入れ、溶液の体積が 1.0 L になるように溶媒をそそぎ、溶液中でのそれぞれの分子の濃度の時間変化を測定したところ、表 3 に示す結果が得られた。容器の温度は 300 K に保たれている。溶媒を入れるのに要する時間は極めて短く、仮想的に、溶媒を満たした瞬間から化学反応は開始したものとする。なお、すべての分子は溶液中に溶解しており、溶媒は反応に関与せず、反応中の溶液の体積変化は無視できるものとする。また、分子 **G**, **H**, **J** 以外の分子は生じないものとする。

表 3 容器Ⅲ内での各時間の分子 **G**, **H**, **J** のモル濃度 [mol/L]

時間 [s]	G	H	J
0	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3}
1.0	0.78×10^{-3}	1.22×10^{-3}	0.78×10^{-3}
2.0	0.71×10^{-3}	1.29×10^{-3}	0.71×10^{-3}
5.0	0.68×10^{-3}	1.32×10^{-3}	0.68×10^{-3}
1500	0.68×10^{-3}	1.32×10^{-3}	0.68×10^{-3}

問 5 容器Ⅲ内で起こった可逆反応の反応式を記せ。ただし、分子 **G** を化学反応式の左辺に書け。

問 6 分子 **G**, **H**, **J** をそれぞれ 1.00×10^{-3} mol ずつ、空の容器Ⅲに入れたときの反応を、触媒存在下で行ったところ、分子 **G** が化学反応式の左辺にあるときの正反応の活性化エネルギーは 2 分の 1 になることがわかった。触媒の添加により、分子 **J** の濃度の時間変化はどのようになると予想されるか、最も適切なグラフを図 1 のグラフ(あ)～(く)より選び、その記号を解答欄に記入せよ。図中破線は触媒を添加しなかったときの分子 **J** の濃度の時間変化、実線は触媒を添加したときの分子 **J** の濃度の時間変化を表す。

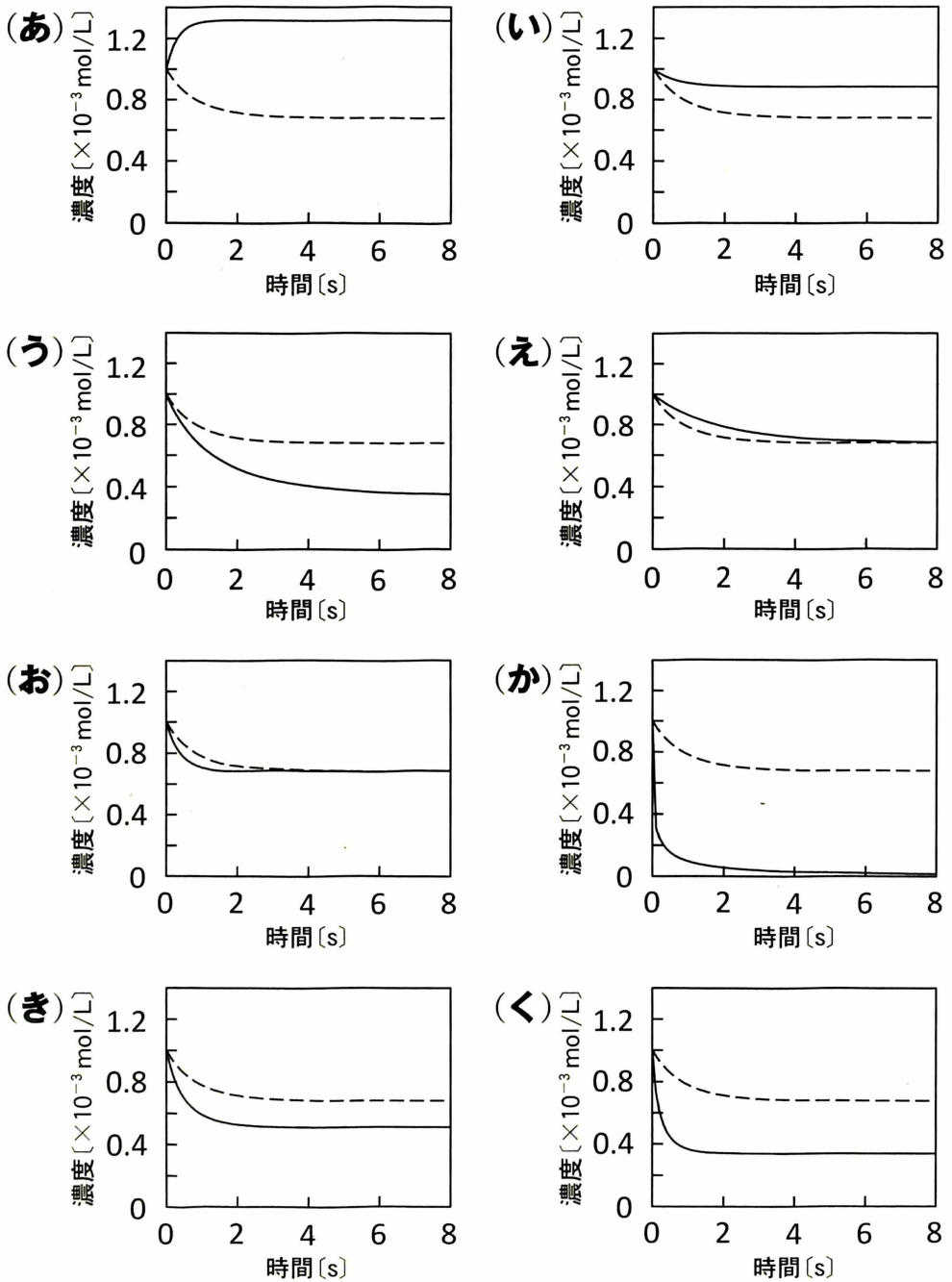


図1 分子 J の濃度の時間変化

問 7 分子 **G**, **H** だけを b mol ずつ, 空の容器Ⅲに入れ, 溶液の体積が 1.0 L になるように溶媒をそそぎ, 同様の手順で溶液中でのそれぞれの分子の濃度の時間変化を測定した。時間が十分に経過したのちの分子 **J** の濃度を求めよ。分子 **G** が化学反応式の左辺にあるときの平衡定数は a (mol/L)⁻¹ とする。得られた解を下記の選択肢 (1)~(8) から 1 つ選び, 解答欄に番号を記入せよ。導出過程も示せ。選択肢 (1)~(8) は単位を mol/L としたときの分子 **J** の濃度を表す。

選択肢

$$(1) \frac{2ab + 1 + \sqrt{4ab + 1}}{2a}$$

$$(2) \frac{2ab + 1 - \sqrt{4ab + 1}}{2a}$$

$$(3) \frac{-a - b + \sqrt{a^2 + 6ab + b^2}}{2}$$

$$(4) \frac{-a - b - \sqrt{a^2 + 6ab + b^2}}{2}$$

$$(5) \frac{-ab - 1 + \sqrt{a^2b^2 + 6ab + 1}}{2a}$$

$$(6) \frac{-ab - 1 - \sqrt{a^2b^2 + 6ab + 1}}{2a}$$

$$(7) \frac{a + 2b + \sqrt{a^2 + 4ab}}{2}$$

$$(8) \frac{a + 2b - \sqrt{a^2 + 4ab}}{2}$$

〔3〕 以下の文章を読み，問1～問7に答えよ。

【1】

分子式 C_4H_n ($n = 6$ または 8) で表される炭化水素のうち，不飽和結合(二重結合または三重結合)を1つだけもつものは10種類ある。つぎの記述(a)～(f)は，それら10種の化合物 **A**～**J** に関して述べたものである。なお，化合物 **E** の構造式は図1に示したとおりである。

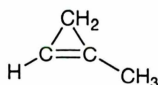
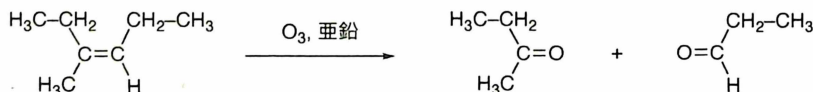


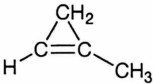
図1 化合物 **E** の構造式

- (a) 触媒存在下で十分な量の水素を反応させると不飽和結合への水素の付加反応が進行した。またこのとき，環構造をもつ化合物では環が開く反応も進行した。その結果，化合物 **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F** からは分子量が4.0だけ増加した鎖式炭化水素が生じ，化合物 **G**, **H**, **I**, **J** からは分子量が2.0だけ増加した鎖式炭化水素が生じた。
- (b) 化合物 **A** の不飽和結合に水1分子を付加させるとカルボニル化合物 **K** のみが生じ，化合物 **B** の不飽和結合に水1分子を付加させるとカルボニル化合物 **K** と **L** の混合物が生じた。
- (c) 不飽和結合に臭素1分子が付加したときに，不斉炭素原子をもたない化合物が生じるのは化合物 **A**, **B**, **F**, **J** のみである。
- (d) 不飽和結合に塩化水素1分子が付加したときに，不斉炭素原子をもつ化合物が生じる可能性がないのは化合物 **A**, **B**, **C**, **F**, **J** のみである。
- (e) 不飽和結合を形成する炭素原子に直接結合した水素原子1つを塩素原子に置換したときに，不斉炭素原子をもつ化合物が生じうるのは化合物 **D** のみである。
- (f) 1 mol の化合物 **G** と 1 mol の化合物 **H** それぞれをオゾン分解すると，それぞれから 2 mol のカルボニル化合物 **M** が生じた。

補足説明：オゾン分解とは，炭素原子間二重結合にオゾン O_3 を低温で反応させた後に亜鉛で還元すると，この二重結合が開裂してカルボニル化合物が得られる反応である。



以下は、化合物の構造を整理するための作業欄として使用してもよい。ただし、これらの欄に記入されたものは、採点の対象にはならない。

A	B	C	D
E 	F	G	H
I	J	K	L
M			

問 1 化合物 **A** と **B** の構造式を書け。また下の表 1 に示すように、化合物 **A** の融点は化合物 **B** の融点よりも高い。この理由を、分子の形に言及して 45 字以内で説明せよ。

表 1

化合物	融点
A	-32 °C
B	-126 °C

問 2 化合物 **K** と **L** の構造式を書け。

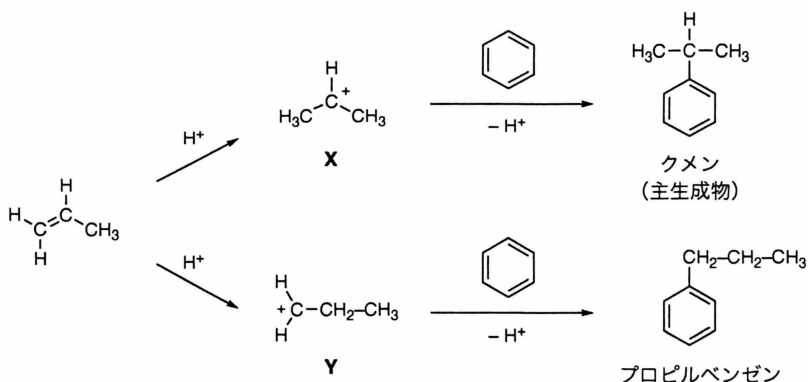
問 3 化合物 **D** の構造式を書け。

問 4 化合物 **A** ~ **J** それぞれについて、分子中の水素原子 1 つを塩素原子に置換することを考える。このとき、生じうる構造異性体の数が最も多いものは、化合物 **A** ~ **J** のうちどれか。該当する化合物を 1 つ選び、そのアルファベットを書け。たとえば、化合物 **E** から生じうる構造異性体の数は 3 である。

問 5 化合物 **C** の構造式を書け。また、化合物 **C** をオゾン分解して生じた有機化合物にアンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱したところ、銀が 10.8 g 析出した。用いた化合物 **C** の質量を求めよ。ただし、これらのオゾン分解ならびに銀が析出する反応は十分に進行し、これら以外の反応は起こらなかったものとする。

【II】

フェノールの工業的製造法であるクメン法では、まず^①酸触媒(H⁺)を用いてベンゼンとプロペンを反応させ、クメンを合成する。この反応では、H⁺とプロペンから炭素原子が正電荷をもった中間体が生じ、その正電荷をもった炭素原子とベンゼン環上の炭素原子が結合をつくる。中間体として2つの異性体 **X**、**Y** が考えられるが、正電荷をもった炭素原子に、より多くの炭化水素基が置換した異性体 **X** の方が安定であり、異性体 **Y** よりも多く生じる。そのため、異性体 **X** から生成するクメンが主に得られ(主生成物)、異性体 **Y** から生成するプロピルベンゼンはほとんど得られない。



^②クメンを酸素と反応させるとクメンヒドロペルオキシドが得られ、これを希硫酸と反応させるとフェノールが得られる。フェノールは、芳香族化合物 **N** に低温で希塩酸と亜硝酸ナトリウム水溶液を加え、その溶液を加熱することでも生じる。芳香族化合物 **N** は、ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合物を反応させて得られる芳香族化合物 **O** を、^③触媒を用いて水素で還元することで合成される。芳香族化合物 **N** と無水酢酸を反応させると芳香族化合物 **P** が得られる。

問 6 下線部①の反応は、プロペン以外のアルケンを用いた場合にも同様の反応機構で進行することが知られている。下線部①の反応で、プロペンの代わりに【I】で示した化合物 **J** を用いたときに主生成物として得られる芳香族化合物 **Q** の構造式を書け。

問 7 以下の記述のうち、誤っているものが2つある。それらの番号を書け。ただし、(6)において芳香族化合物の加水分解反応は起こらないものとする。

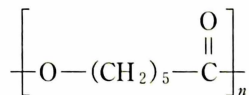
- (1) フェノールと芳香族化合物 **N** は、分子中の電子の総数が等しい。
- (2) 下線部②の反応で、酸素の代わりに過マンガン酸カリウム水溶液を用いて加熱し、十分に反応を行った後に塩酸を加えると、安息香酸が得られる。
- (3) 下線部③の反応で、1 mol の芳香族化合物 **O** から1 mol の芳香族化合物 **N** を得るのに必要な水素は2 mol である。
- (4) ベンゼンと臭素からプロモベンゼンを合成する反応では鉄触媒を用いるが、フェノールと臭素から2,4,6-トリプロモフェノールを合成する反応は触媒がなくても進行する。
- (5) フェノール、芳香族化合物 **N**、**O**、**P** それぞれに対して水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を加えて加熱すると、ヨードホルムを生じるのは芳香族化合物 **P** のみである。
- (6) フェノール、芳香族化合物 **N**、**O**、**P** それぞれに対して炭酸水素ナトリウム水溶液を加えても、いずれも塩を作らない。

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

資源枯渇や地球環境汚染への対策において、化学は重要な役割を担っている。近年、化石資源に代わり、植物などの再生可能資源の利用が注目されている。動植物由来の油脂は、グリセリンと脂肪酸から得られるエステルである。油脂を構成する脂肪酸には、炭素数が12～26の高級脂肪酸が多い。水酸化ナトリウム存在下、油脂と過剰量のメタノールを反応させると、エステルである脂肪酸メチルが生成する。このようにして得られたエステルは、バイオディーゼル燃料として用いられている。一方、油脂を加水分解すると高級脂肪酸が得られ、この高級脂肪酸を触媒の存在下で水素と十分に反応させると、直鎖状アルカンが得られる。このアルカンは、再生可能資源由来の航空燃料として用いられている。

廃プラスチックを化学的に分解し、もとの単量体や他の有用化合物に変換する技術は、ケミカルリサイクルと呼ばれる。一般に、ポリエステル合成は二価カルボン酸と二価アルコールの **ア** 重合や、環状エステルの **イ** 重合により行われる。一方、ポリエステルは触媒存在下で過剰量のアルコールや水により分解できる。たとえば、ポリエチレンテレフタレート(PET)は、水酸化ナトリウムの存在下、過剰量のメタノールと十分に反応させると、テレフタル酸ジメチルとエチレングリコールに分解される。また、最近では酵素を用いた廃プラスチックのリサイクルへの期待も高まっている。ある加水分解酵素により、PETは小分子化合物まで分解される。生体内の多くの酵素は35～40℃で働くが、近年開発されたPET分解用の酵素の中には、70℃を超える温度でも変性せずに活性を維持できるものがある。

ポリ(ε-カプロラクトン)は生分解性プラスチックとして知られ、



の構造で表されるポリエステルである。ポリ(ε-カプロラクトン)を、触媒存在下で過剰量の水を用いて分解すると、環状構造を含まない単量体である化合物 **A** と、少量の環状化合物 **B** が得られる。このとき、化合物 **B** は炭素数6の環状エステルであり、化合物 **A** から生成する。化合物 **A** と **B** は、それぞれ **ア** 重合および **イ** 重合により、再びポリ(ε-カプロラクトン)になるため、プラスチックのケミカルリサイクルが可能となる。

問 1 ア , イ にあてはまる最も適切な語句を書け。

問 2 下線部①について、グリセリンと 3 分子のリノレン酸 ($C_{17}H_{29}COOH$) からなる油脂と、メタノールを十分に反応させたところ、油脂中のエステル結合は全て反応し、リノレン酸メチルが得られた。この反応の化学反応式を、構造式を用いて示せ。なお、リノレン酸由来の炭化水素基は $C_{17}H_{29}$ または $-C_{17}H_{29}$ と表記せよ。

問 3 下線部②の反応で、リノレン酸 (分子量 278) を用いた場合に得られた生成物を分析したところ、リノレン酸よりも炭素数が 1 つ少ない直鎖状アルカンとメタン、水のみが得られた。この反応の化学反応式を示せ。ただし、リノレン酸は $C_{17}H_{29}COOH$ と表記し、直鎖状アルカンは、たとえばブタンの場合には C_4H_{10} のように表記せよ。

また、下線部②にしたがい、 1.4×10^2 g のリノレン酸が完全に反応するために必要な水素の物質量を、有効数字 2 桁で求めよ。

問 4 下線部③において、メタノールの代わりにエチレングリコールを用いた PET のケミカルリサイクルも行われている。PET と過剰量のエチレングリコールとの反応で得られる、ベンゼン環を含む分解生成物の構造式を書け。

問 5 下線部④において、PET 分解用の酵素には、一般的な酵素の最適温度よりも高い温度で働くことが求められている。その理由を、この酵素の基質となる PET の熱可塑性を考慮して、60 字以内で説明せよ。

問 6 下線部⑤において、化合物 **A** から **B** が生成する反応の化学反応式を、化合物 **A** と **B** の構造式を用いて示せ。

生物問題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問6に答えよ。

【A】

免疫は病原体などを認識して除去することで、からだを守るしくみである。免疫応答の際にリンパ球が特異的に認識する物質を抗原といい、その多くはタンパク質である。免疫は自己を攻撃しないように厳密に制御されている。自己の成分を強く認識するリンパ球は、その成熟過程で排除されたり、その活性化や増殖が制御性T細胞によって抑えられたりする。こうした制御がはたらかないと、自己に対する攻撃が起きる。^①

免疫応答が非自己の成分に対して過敏に起きることも避けなければならない。例えば、食物アレルギーが起きる時は、IgEという特殊な抗体がつくられる。^② IgE抗体が表面に付着したマスト細胞(肥満細胞)は、抗原と結合すると活性化し、ヒスタミンを分泌する。その結果、^{くち}口の中のかゆみや^は腫れ、^{げり}下痢などの症状が現れる。しかし、食物に含まれる成分によって制御性T細胞が分化誘導されると、消化管やリンパ節で制御性T細胞がヘルパーT細胞の活性化や増殖を抑え、食物アレルギーの発症や重症化を防ぐ。^③

問 1 下線部①の疾患を何とよぶか答えよ。

問 2 下線部②について、生^{なま}で食べるとアレルギーが起きる食物であっても、加熱調理をすれば、食べてもアレルギーが起きないことがある。その理由について、以下の3つの語句をすべて用いて2行以内で説明せよ。

語句：加熱，タンパク質，認識

問 3 下線部③について、ヘルパーT細胞の活性化や増殖が起きると、アレルギーの発症や重症化が誘導される場合がある。その理由について、以下の3つの語句をすべて用いて2行以内で説明せよ。

語句：IgE抗体，B細胞，活性化

【B】

マウスをA群、B群、C群に分けて、**実験1**を行った(図1)。その後、各群のマウスをそれぞれ2つの集団に分けて、**実験2**と**実験3**を別々に行った。以下の実験で抗原として用いるタンパク質Xは、マウスの餌に含まれていない。また、実験に使用したマウスは過去にタンパク質Xを投与されたこともない。

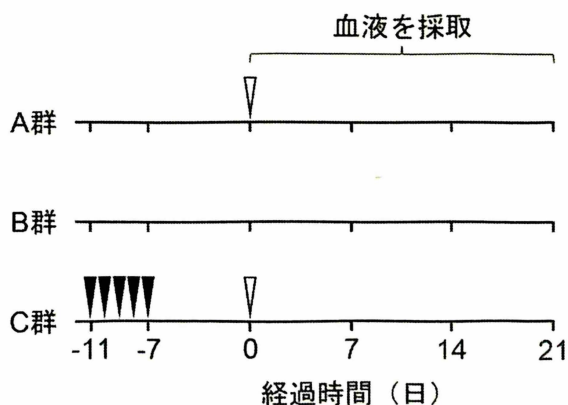
【実験1】

A群：タンパク質Xをアルミニウムアジュバントとともにマウスの腹部に注射した。この日を0日目とし、その後21日目までマウスを飼育した。なお、アルミニウムアジュバントは、同時に投与した抗原を認識するリンパ球の活性化を誘導し、IgE抗体の産生を促す。

B群：タンパク質Xとアルミニウムアジュバントを注射せず、21日目までマウスを飼育した。

C群：はじめに、タンパク質Xを1日1回経口投与する処置を5日間行った。最終投与の7日後、A群と同様にタンパク質Xをアルミニウムアジュバントとともにマウスの腹部に注射した。この日を0日目とし、その後21日目までマウスを飼育した。

0日目の腹部注射前と、その後21日目までの間、各群のマウスから血液を経時的に採取し、タンパク質Xに特異的なIgE抗体の濃度を測定した。



▽ タンパク質Xとアルミニウムアジュバントの腹部注射

▼ タンパク質Xの経口投与

図1 実験1の概要

【実験 2】

実験 1を終えた翌日から、A 群、B 群、C 群それぞれのマウスにタンパク質 X を数日間、1 日 1 回経口投与し、食物アレルギーの症状の 1 つである下痢を起こすか観察したところ、以下の結果を得た。

A 群：すべてのマウスが下痢を起こした。

B 群：下痢を起こしたマウスは見られなかった。

C 群：一部のマウスだけが軽い下痢を起こした。

【実験 3】

実験 1を終えた翌日に、A 群、B 群、C 群それぞれのマウスのリンパ節から採取した T 細胞集団と樹状細胞を混合し、タンパク質 X を含む培養液中、あるいは含まない培養液中で培養して、T 細胞集団に含まれるヘルパー T 細胞の増殖を解析したところ、以下の結果を得た。ただし、いずれの培養条件でも、樹状細胞を混合しなかった場合は、ヘルパー T 細胞はほとんど増殖しなかった。また、T 細胞集団はさまざまな種類の T 細胞を含む。

A 群：タンパク質 X を含む培養液中ではヘルパー T 細胞が活発に増殖した。それに比べて、タンパク質 X を含まない培養液中ではヘルパー T 細胞はほとんど増殖しなかった。

B 群：培養液中のタンパク質 X の有無にかかわらず、ヘルパー T 細胞はほとんど増殖しなかった。

C 群：タンパク質 X を含む培養液中ではヘルパー T 細胞がわずかに増殖した。それに比べて、タンパク質 X を含まない培養液中ではヘルパー T 細胞はほとんど増殖しなかった。

問 4 実験 2 の結果をふまえて、実験 1 で測定したタンパク質 X に特異的な IgE 抗体の血中濃度の経時変化を示すグラフとして、最も適切であると考えられるものを、図 2 の(あ)～(か)から 1 つ選び、記号で答えよ。

A群 ——
 B群 - - -
 C群 ·····

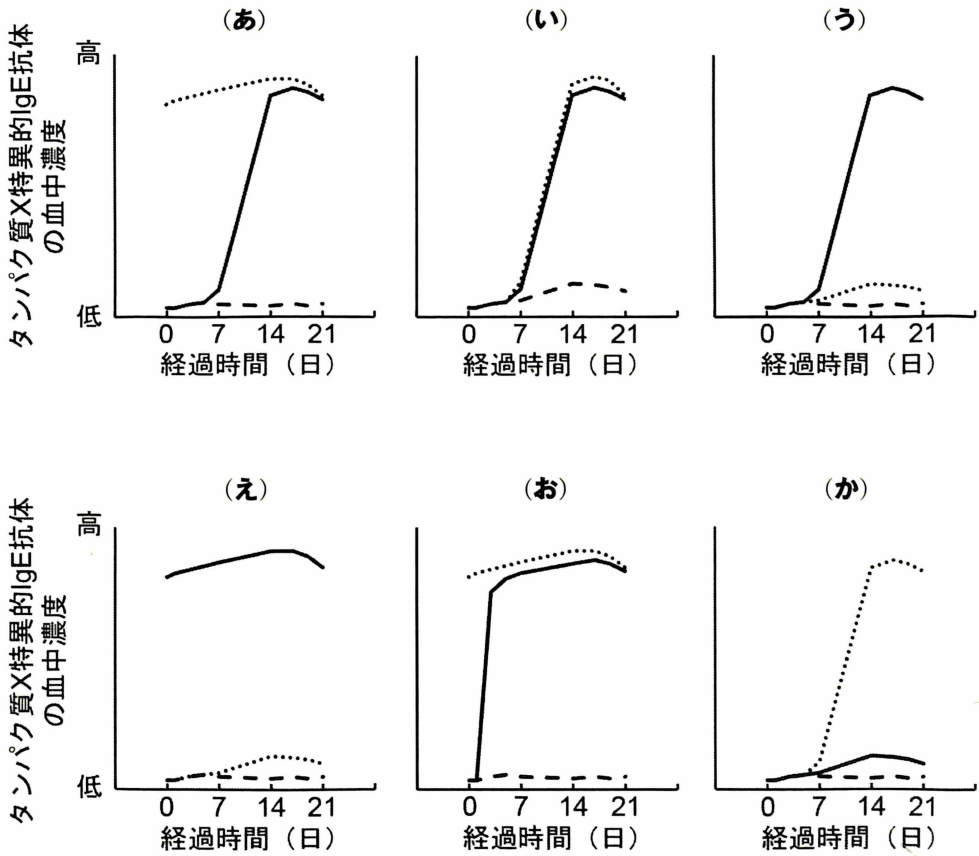


図 2

問 5 **実験 1** を終えた翌日に、A 群のマウスのリンパ節から採取した T 細胞集団と樹状細胞を、以下の(あ)～(え)の条件で培養する(図 3)。**実験 3** の結果をふまえて、T 細胞集団に含まれるヘルパー T 細胞が最も活発に増殖すると思われる条件を(あ)～(え)から 1 つ選び、記号で答えよ。また、そのように考えた理由を、3 行以内で説明せよ。

培養条件(あ)～(え)の説明

- (あ) タンパク質 X を含む培養液中で樹状細胞を培養する。その後、樹状細胞を回収し、T 細胞集団と混ぜてタンパク質 X を含まない培養液中で培養する。
- (い) タンパク質 X を含む培養液中で樹状細胞を培養する。その後、タンパク質 X を含む培養液を回収し、その培養液中で T 細胞集団を培養する。
- (う) タンパク質 X を含む培養液中で T 細胞集団を培養する。その後、T 細胞集団を回収し、樹状細胞と混ぜてタンパク質 X を含まない培養液中で培養する。
- (え) タンパク質 X を含まない培養液中で樹状細胞と T 細胞集団を混ぜて培養する。その後、T 細胞集団を回収し、タンパク質 X を含む培養液中で培養する。

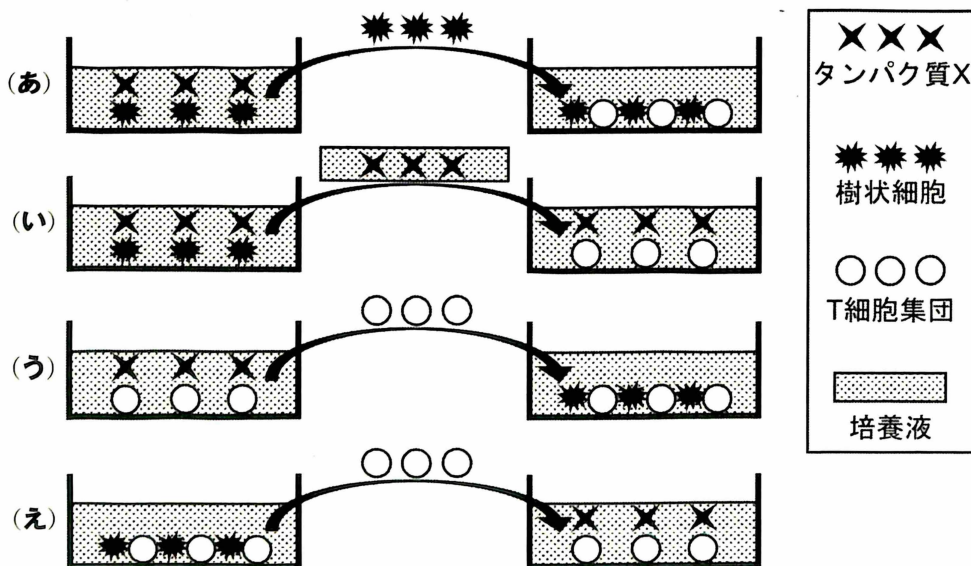


図 3 培養条件の模式図

問 6 **実験 1**～**実験 3**の結果から、C 群のマウスでは**実験 1**でタンパク質 X を経口投与したことで、タンパク質 X に特異的な制御性 T 細胞が分化誘導されたと考えられる。この仮説が正しい場合に得られる実験結果として適切なものを、以下の選択肢(あ)～(え)から 2 つ選び、記号で答えよ。なお、各細胞はマウスのリンパ節から採取して用いる。また、別個体のマウスから採取した細胞は見分けて解析できるが、混合または移入しても拒絶反応は起こらないものとする。

- (あ) **実験 3**の開始時点の C 群の T 細胞集団を、同じ時点の A 群の T 細胞集団および樹状細胞と混ぜ、タンパク質 X を含む培養液中で培養すると、A 群のヘルパー T 細胞はわずかにしか増殖しない。
- (い) **実験 3**の開始時点の C 群の T 細胞集団を、同じ時点の B 群の T 細胞集団および樹状細胞と混ぜ、タンパク質 X を含む培養液中で培養すると、B 群のヘルパー T 細胞は活発に増殖する。
- (う) **実験 3**の開始時点の B 群の T 細胞集団を、**実験 1**を終えた C 群のマウスに移植し、**実験 2**を行うと、すべてのマウスが下痢を起こす。
- (え) **実験 1**で腹部注射する直前の C 群の T 細胞集団を、未処置のマウスに移植する。その後、A 群と同じ条件で**実験 1**と**実験 2**を行うと、一部のマウスだけ軽い下痢を起こす。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

陸上植物は、環境の変化に応じて柔軟にその形態を変えるしくみを発達させてきた。例えば、エンドウでは、頂芽でつくられたオーキシンは茎の基部の方へ輸送される。これにより、植物ホルモンであるサイトカイニンの生合成が阻害されることで、側芽の成長が抑制される。このため、エンドウの頂芽を切除すると、サイトカイニンが側芽に作用するようになることで1週間後には側芽が成長する。ただし、エンドウの頂芽を切除した場合でも、切り口にオーキシンを塗れば、側芽の成長は抑制される。

問1 下線部について、頂芽によって側芽の成長が抑制される現象を何とよぶか、漢字4文字で答えよ。

【実験1】

植物ホルモンが側芽の成長に与える影響を明らかにするために、エンドウを用いて、頂芽を切除していない個体と切除した個体を用意し、さまざまな実験操作を行った。その後、1週間育成した後に、エンドウの側芽を観察した。

問2 **実験1**に関して、実験操作と結果の組み合わせとして正しいと考えられるものを、以下の選択肢(あ)～(え)から2つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 頂芽を切除していないエンドウの側芽にサイトカイニンを塗ったところ、塗らなかった場合と比べて側芽の成長は促進された。
- (い) 頂芽を切除したエンドウの側芽にサイトカイニン生合成阻害剤を塗ったところ、塗らなかった場合と比べて側芽の成長は促進された。
- (う) 頂芽を切除したエンドウの切り口にオーキシンを塗った。さらに側芽にサイトカイニンを塗ったところ、サイトカイニンを塗らなかった場合と比べて側芽の成長は促進された。
- (え) 頂芽を切除したエンドウの切り口にオーキシンを塗った。さらに側芽にサイトカイニン生合成阻害剤を塗ったところ、サイトカイニン生合成阻害剤を塗らなかった場合と比べて側芽の成長は促進された。

【実験 2】

近年、モデル植物のシロイヌナズナを用いた研究から、オーキシンやサイトカイニンに加え、植物ホルモン X が側芽の成長の調節にはたらくことがわかった。植物ホルモン X は、受容体 Y と結合することで、側芽の成長を調節する。このしくみをさらに詳しく調べるため、シロイヌナズナの野生型および受容体 Y が欠失した変異体 y を用いて接ぎ木実験を行った(図 1)。シロイヌナズナを中央部で切断し、^{だいぎ}台木と^{ほぎ}穂木に分け、それらを組み合わせた個体(接ぎ木した個体)を作製した。接ぎ木した個体を 1 か月育成した後、穂木側の側芽を観察した結果を表 1 に示す。ただし、受容体 Y をコードする遺伝子 Y からつくられる mRNA とタンパク質は台木と穂木の間を移動しないこととする。

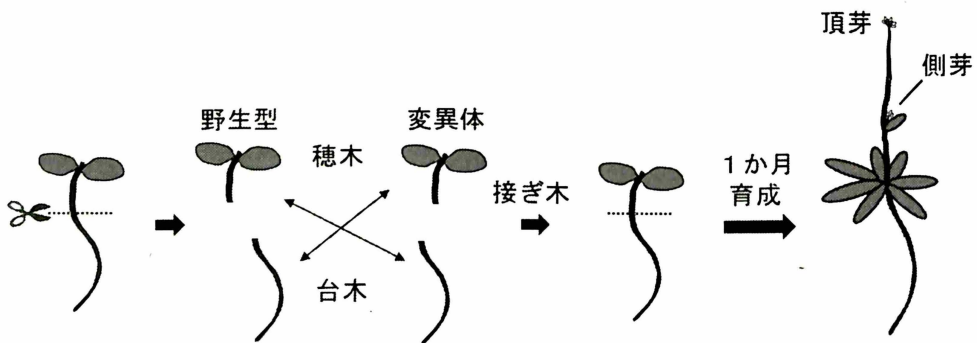


図 1 シロイヌナズナを用いた接ぎ木実験

表1 実験2の結果

		穂木	
		野生型	変異体 y
台木	野生型	－	＋
	変異体 y	－	＋

(＋：側芽は成長した，－：側芽は成長しなかった)

問3 実験2の結果(表1)から考えられる最も適切な結論を、以下の選択肢(あ)～(え)から1つ選び、記号で答えよ。また、その選択肢を選んだ根拠となる主な実験結果を2行以内で説明せよ。

- (あ) 植物ホルモンXは台木側で受容体Yを活性化し、側芽の成長を抑制する。
- (い) 植物ホルモンXは穂木側で受容体Yを活性化し、側芽の成長を抑制する。
- (う) 植物ホルモンXは台木側で受容体Yを活性化し、側芽の成長を促進する。
- (え) 植物ホルモンXは穂木側で受容体Yを活性化し、側芽の成長を促進する。

【実験3】

植物ホルモンXは、図2に示すように前駆体から複数の酵素によって段階的につくられる。まず、遺伝子Aがコードする酵素Aにより前駆体から中間体1がつくられ、次に遺伝子Bがコードする酵素Bにより中間体1から中間体2がつくられる。最後に、遺伝子Cがコードする酵素Cにより中間体2から植物ホルモンXがつくられる。



図2 植物ホルモンXがつくられる過程

植物ホルモンXがつくられる過程をさらに詳しく調べるため、シロイヌナズナの野生型および酵素A、B、Cそれぞれが欠失した変異体a、b、cを用いて、接ぎ木実験を行った。台木と穂木をさまざまな組み合わせで接ぎ木した個体を1か月育成した後、穂木側の側芽を観察した結果を表2に示す。ただし、遺伝子A、B、CからつくられるmRNAと酵素A、B、Cは台木と穂木の間を移動しないこととする。

表2 実験3の結果

		穂木			
		野生型	変異体 a	変異体 b	変異体 c
台木	野生型	-	-	-	+
	変異体 a	+	+	+	+
	変異体 b	-	-	+	(ii)
	変異体 c	-	(i)	-	+

(+ : 側芽は成長した, - : 側芽は成長しなかった)

問 4 変異体 a を用いた**実験 3**の結果(表 2)から、 で前駆体から中間体 1 がつくられることが側芽の成長の調節に必要だと考えられる。一方、変異体 c を用いた**実験 3**の結果(表 2)から、 で中間体 2 から植物ホルモン X がつくられることが側芽の成長の調節に必要だと考えられる。

空欄 と に当てはまる適切な語句を、以下の選択肢(あ)と(い)からそれぞれ 1 つ選び、記号で答えよ。

(あ) 台木側

(い) 穂木側

問 5 **実験 3**で、台木に変異体 b を、穂木に変異体 a を用いて接ぎ木したところ、側芽は成長しなかった(表 2)。これは、 から へと が移動したためだと考えられる。

空欄 ~ に当てはまる適切な語句を、以下の選択肢(あ)~(か)からそれぞれ 1 つ選び、記号で答えよ。

(あ) 台木側

(い) 穂木側

(う) 前駆体

(え) 中間体 1

(お) 中間体 2

(か) 植物ホルモン X

問 6 **実験 3**の結果(表 2)から、中間体の移動に関する考察として適切なものを、以下の選択肢(あ)~(え)から 1 つ選び、記号で答えよ。

(あ) 中間体 1 は台木と穂木の間を移動できるが、中間体 2 は移動できない。

(い) 中間体 2 は台木と穂木の間を移動できるが、中間体 1 は移動できない。

(う) 中間体 1 と中間体 2 のどちらも台木と穂木の間を移動できる。

(え) 中間体 1 と中間体 2 のどちらも台木と穂木の間を移動できない。

問 7 表 2 の(i)と(ii)の実験結果はどのようになると考えられるか、それぞれ「+」か「-」で答えよ。

〔3〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問6に答えよ。

【A】

動物は、体液の状態を感知し、内分泌系と自律神経系を介した情報伝達により体液の状態を調節して恒常性を維持している。このようにして、血液中のグルコースや無機塩類の濃度は一定の範囲内に保たれている。情報伝達を担う物質には、内分泌細胞が血液中に分泌するホルモンや、神経細胞がシナプス間隙に分泌する神経伝達物質がある。一般的に、内分泌系のホルモンを介した情報伝達に比べて、シナプスにおける神経伝達物質を介した情報伝達の方が、速度は(速く・遅く)^①、その作用の持続時間は(長い・短い)^②。

問1 ホルモンに関する記述として適切なものを、以下の選択肢(あ)～(お)から2つ選び、記号で答えよ。

- (あ) ホルモンは排出管を経て血液中に分泌される。
- (い) 脳下垂体前葉にある神経分泌細胞はホルモンを分泌する。
- (う) ホルモンの中には、細胞膜を通過できるものがある。
- (え) ホルモンの中には、腎臓に作用して体液の量を調節するものがある。
- (お) 血液中のグルコース濃度を上げる作用をもつホルモンより、下げる作用をもつホルモンの方が種類が多い。

問2 下線部①と②について適切な語句を選び、丸で囲め。

問3 シナプスでは、一度、情報伝達に使われた神経伝達物質が、次の情報伝達に備えて取り除かれるしくみがある。そのしくみを2つ挙げて、それぞれを1行で答えよ。

【B】

カルシウムイオン(Ca^{2+})は、筋肉の収縮や神経の興奮伝達などの生命活動に重要であり、これらが正常に機能するために、血液中の Ca^{2+} 濃度を一定の範囲内に保つしくみがある。例えば、血液中の Ca^{2+} 濃度が低下すると、副甲状腺からパラトルモンというホルモンが分泌され、 Ca^{2+} 濃度が元の状態に戻るよう調節される。血液中の Ca^{2+} 濃度の維持に重要なパラトルモンがはたらくしくみを調べるため、**実験1**と**実験2**を行った。

【実験1】

パラトルモンが作用する器官や細胞を調べるために、放射性同位体で標識した微量のパラトルモンを、実験動物の血管内に注入して全身を循環させた。一定時間後に放射性同位体が存在する器官を調べたところ、骨と腎臓に検出された。骨についてさらに詳しく調べたところ、骨の表面にある骨芽細胞と破骨細胞のうち、骨芽細胞の細胞膜にのみ放射性同位体が検出された。

次に、実験動物から採取した骨芽細胞と破骨細胞を別々に培養した。培養液にパラトルモンを添加したところ、骨芽細胞内のcAMP(環状AMP)の濃度は上昇したが、破骨細胞内のcAMP濃度は変化しなかった。骨芽細胞内のcAMP濃度は、血液中の Ca^{2+} 濃度の調節に関与すると考えられている。

問4 下線部③について、放射性同位体は骨芽細胞の細胞膜に検出されたが、破骨細胞には検出されなかった。その理由を、以下の3つの語句をすべて用いて2行以内で説明せよ。

語句：骨芽細胞、破骨細胞、受容体

問5 下線部④について、パラトルモンが骨芽細胞内のcAMP濃度を上昇させるしくみを、以下の3つの語句をすべて用いて3行以内で説明せよ。なお、cAMPはcAMP合成酵素によりつくられる。

語句：活性化、細胞内、細胞外

【実験2】

骨には、血液中の Ca^{2+} を取り込んで貯蔵する役割と、部分的に分解(骨破壊)されることで血液中に Ca^{2+} を供給する役割がある。このような骨を介した血液中の Ca^{2+} 濃度の調節において、パラトルモンは重要な役割を担っている。以下の実験により、パラトルモンが骨破壊に与える影響を調べた。

実験動物から、骨芽細胞、破骨細胞、骨片(細胞を除去した骨の破片)を採取し、図1の上段に示すA～Dの条件で培養した。パラトルモンを含まない培養液と含む培養液で24時間培養した後、骨破壊の程度を測定し、図1の下段に示す結果を得た。

条件A～Dの説明

- A：骨芽細胞のみを骨片上で培養した。
- B：破骨細胞のみを骨片上で培養した。
- C：骨芽細胞と破骨細胞が接触するようにして、骨片上で培養した。
- D：骨芽細胞と破骨細胞が接触しないように、細胞以外の物質を通す小さな孔^{あな}をもつフィルターで骨芽細胞と破骨細胞を仕切って、骨片上で培養した。

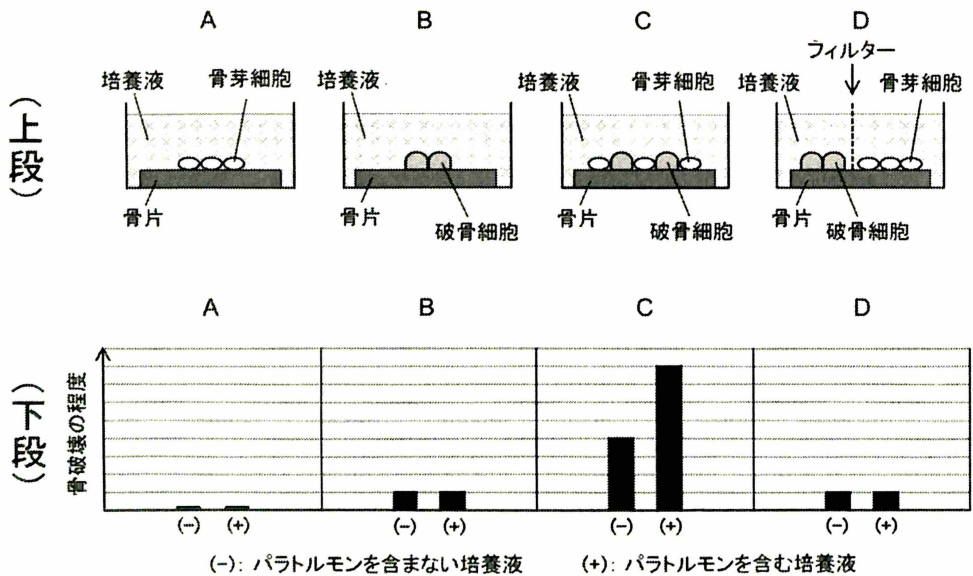


図1 パラトルモンが骨破壊に与える影響を調べた実験(上段)と結果(下段)

問 6 **実験 1** と **実験 2** の結果から考えられる結論として最も適切なものを、以下の選択肢 **(あ)** ~ **(お)** から 2 つ選び、記号で答えよ。

- (あ) パラトルモンは破骨細胞に作用して、骨芽細胞による骨破壊を抑制する。
- (い) パラトルモンは骨芽細胞に作用して、破骨細胞による骨破壊を抑制する。
- (う) パラトルモンを含まない培養液中でも、破骨細胞と骨芽細胞が接触すると、接触しない場合に比べて骨破壊が促進される。
- (え) 骨芽細胞が分泌した培養液中の物質は、パラトルモンによる骨破壊の促進に十分である。
- (お) 破骨細胞と骨芽細胞が接触する場合のみ、パラトルモンは骨破壊を促進する。

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

ゲノムの特定の部位を任意に改変する技術を **ア** という。そのうち、CRISPR-Cas 9 技術では、DNA 切断酵素 Cas 9 と、標的となるゲノム DNA 上の特定部位の塩基配列と相補的な配列を含む RNA (ガイド RNA)^① を用いる。細胞内で Cas 9 とガイド RNA は複合体を形成し、標的の DNA 配列を認識して切断する。切断された DNA は細胞の修復機構によって再結合される(図1)。

その結果、DNA が元通りに修復される場合と、さまざまな長さの DNA の欠失や挿入が生じる場合がある。CRISPR-Cas 9 技術では、このような DNA の変異(突然変異)を導入することで、特定の遺伝子のはたらきを変化させたり、失わせたりすることができる。

問1 文中の空欄 **ア** に当てはまる適切な語句を答えよ。

問2 下線部①について、ガイド RNA が相補的に結合する DNA の長さは約 20 塩基である。特定の 20 塩基対の DNA 配列は、約 30 億塩基対のヒトゲノム上に何か所存在すると思われるか。以下の選択肢(あ)～(う)から最も適切なものを1つ選び、記号で答えよ。また、その理由を2行以内で説明せよ。ただし、ヒトゲノムの塩基配列はランダム配列(A, T, G, Cが無作為に並んだ配列)であるとする。

- (あ) 1000 か所以上
- (い) 10～100 か所
- (う) 1 か所以下

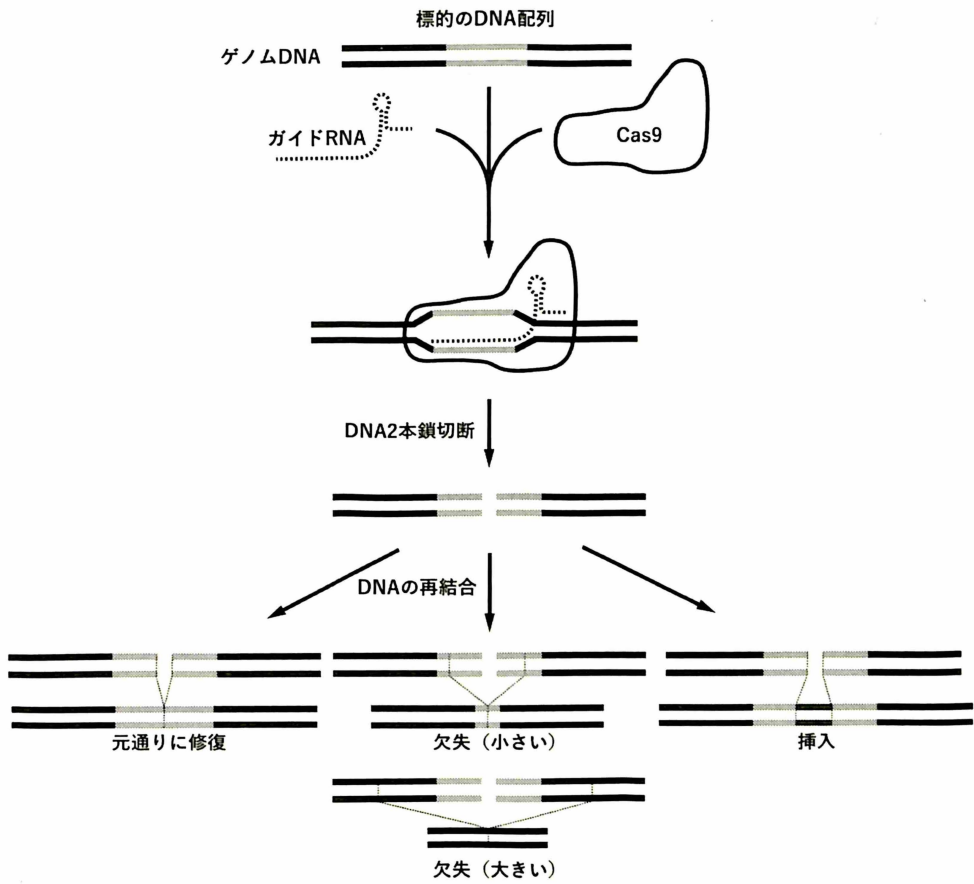


図1 CRISPR-Cas 9 技術を用いた DNA の切断と修復

【実験 1】

常染色体上の遺伝子 X がコードするタンパク質 X の機能を明らかにするために、CRISPR-Cas 9 技術を用いて遺伝子 X のノックアウトマウスの作製を試みた。遺伝子 X 内に存在する制限酵素 EcoRI の認識配列の中で DNA 切断が起こるように、ガイド RNA を設計した(図 2)。ガイド RNA と Cas 9 を野生型マウスの複数の受精卵に導入した。これらの受精卵から発生した 5 匹のマウス(マウス 1 ~ 5)と、野生型マウス(マウス 6)について、以下の解析を行った。

マウス 1 ~ 6 の細胞からゲノム DNA を抽出した。ガイド RNA の認識配列が存在していたゲノム領域を PCR で増幅するために、プライマー P1, P2 とプライマー P3, P4 の 2 対を用意した(図 2)。これらのプライマーを用いてマウスのゲノム DNA を鋳型に PCR を行い、得られた PCR 産物を電気泳動により解析した(図 3 a, b)。さらに、プライマー P1, P2 を用いて得られた PCR 産物は、EcoRI による切断を試みた(EcoRI 処理)後にも電気泳動を行った(図 3 c)。なお、EcoRI 認識配列は遺伝子 X 内に 1 か所のみ存在する。マウス 1 ~ 5 の遺伝子 X 内で DNA の欠失や挿入が生じた場合、EcoRI 認識配列は失われたが、プライマー P3, P4 がアニーリングする部位は失われなかった。

問 3 図 3 の結果から、プライマー P1, P2 を用いて得られた PCR 産物に EcoRI 認識配列が存在するのはマウス 1 ~ 6 のうち、どのマウスのゲノム DNA を鋳型に用いた場合か。該当するマウスの番号をすべて答えよ。

問 4 図 3 の結果から、マウス 1 ~ 5 の各個体もつ 2 つの遺伝子 X の組み合わせ(遺伝子型)として正しいと考えられるものを、以下の(あ)~(う)からそれぞれ 2 つずつ選び、解答用紙の例(マウス 6)にならって、記号で答えよ。ただし、個々のマウスを構成するすべての細胞は同じ遺伝子型とする。

- (あ) 野生型の遺伝子 X
- (い) 変異型の遺伝子 X (数塩基対の欠失や挿入)
- (う) 変異型の遺伝子 X (500 塩基対以上の大きな欠失)

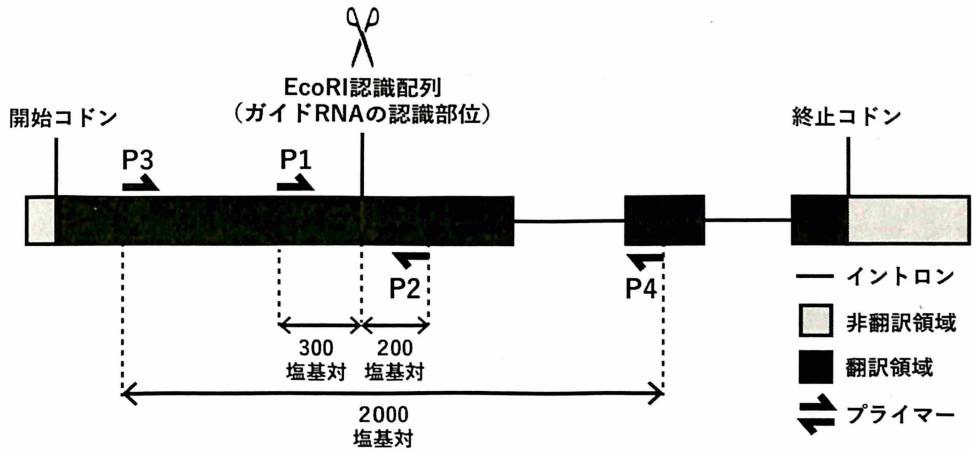


図2 遺伝子 X とプライマーのアニーリング部位の模式図

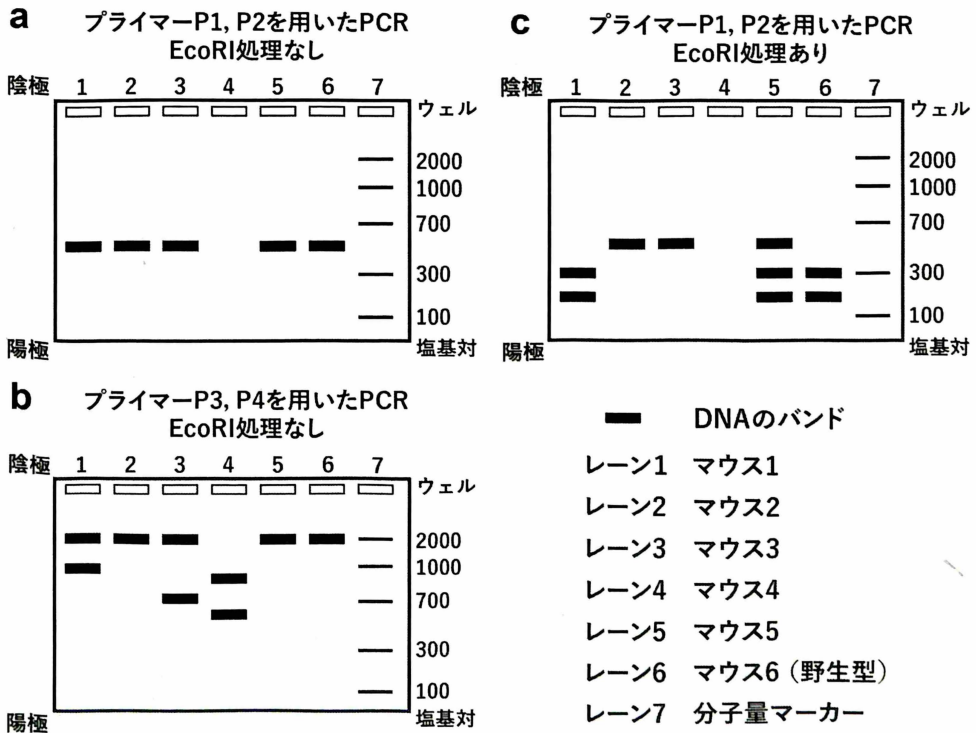


図3 PCR産物の電気泳動の結果

【実験 2】

実験 1 で得られたマウスを調べたところ、野生株マウスと異なり、マウス 2、4 は生後しばらくすると死亡した。また、マウス 2、4 ではタンパク質 X の機能が失われていた。このことから、タンパク質 X はマウスの生存に必須の役割をもつと考えられる。一方、野生型マウスと同様、マウス 1、3、5 は長らく生存した。マウス 3 については、野生型タンパク質 X とほぼ同じ分子量の変異型タンパク質 X を発現していることがわかった。

問 5 マウス 3 がもつ 2 つの遺伝子 X のうち、(1)下線部②の変異型タンパク質 X をコードする遺伝子 X に生じた DNA の変異について具体例を 1 つ考えて、1 行で答えよ。また、(2)その変異によってタンパク質 X に生じた一次構造の変化と、その変化によるタンパク質 X の立体構造や機能への影響を 2 行以内で説明せよ。