

# 令和 8 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。

科 目	問 題 冊 子	解 答 紙	
	ペ ー ジ	解答紙番号	枚 数
物理基礎・物理	1 ～ 22	32 ～ 34	3
化学基礎・化学	23 ～ 42	35 ～ 39	5
生物基礎・生物	43 ～ 74	40 ～ 44	5
地学基礎・地学	75 ～ 83	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

# 解答紙の訂正

## [解答紙]

理科「物理基礎・物理」		
訂正	解答紙番号 <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">33</span> [2] 問1(2)	
	誤	電流 $I$
	正	電流

# 問題訂正

理科「化学基礎・化学」		
訂正 1	26 ページ [1] 問題文(2) 5 行目	
	誤	<u>気液平衡</u> の状態に
	正	<u>圧力が一定</u> の状態に
訂正 2	37 ページ [4] 問 3	
	誤	を用いて, この非局在化により
	正	を用いて, <u>ベンゼン</u> は非局在化により

# 物 理 基 礎 · 物 理

〔1〕 次の文章を読み，問1～問4に答えよ。(45点)

図1の①→②→③→④→⑤に示すように，斜面をカタンコトンと半回転ずつ転がりながら下っていく細長い玩具がある。この玩具を，図2に示すような，半円2つと長方形を組み合わせた板Aと，おもりBを組み合わせた物体(以下，カタンコトンと呼ぶ)とみなし，紙面に平行な鉛直平面内の運動を考えよう。

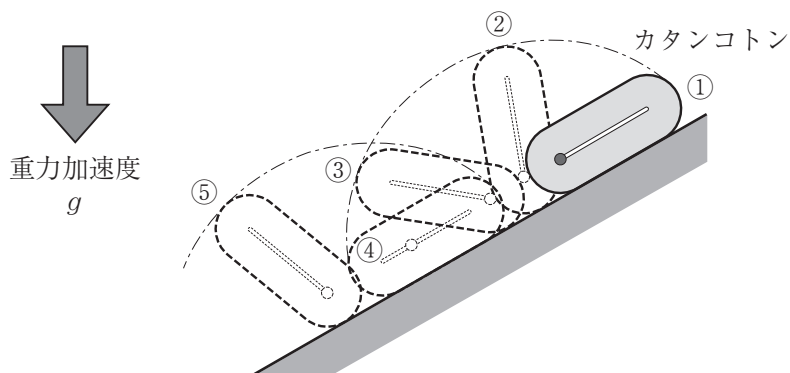


図1

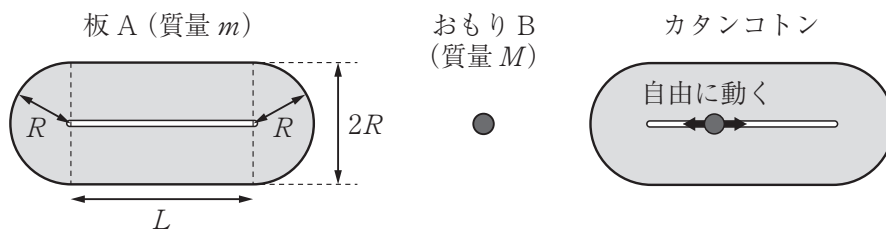


図2

板Aの半円部分の半径は $R$ である。長方形部分の幅は $2R$ ，長さは $L$ であり，2つの半円の中心を結ぶように，長さ $L$ の細い溝が切つてある。おもりBは，大きさを無視できる小物体で，板Aの溝の中を摩擦なく滑って移動し，板Aから離れることはない。板Aは密度が一樣な変形しない物体で，質量は $m$ である。おもりBの質量は $M$ であり，板Aの質量 $m$ より大きい( $M > m$ )。重力加速度の向きは鉛直下向き，大きさは $g$ とし，空気の抵抗は無視できるものとする。

問 1. まず、板 A やおもり B について、回転せずに滑る運動を考える。斜面と水平面がなす角を  $\theta$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) として、以下の問いに答えよ。

(1) 図 3(a) のように、あらい斜面に板 A を置くと、板 A は直線部分を斜面にぴたりと付けて静止した。斜面と板 A の間の静止摩擦係数を  $\mu_0$  とする。 $\theta$  を変化させると、ある角度で板 A が斜面上を滑り始めた。板 A が滑り出さないために  $\tan \theta (> 0)$  がとりうる値の範囲を、 $R, L, m, g, \theta, \mu_0$  のうち必要なものを用いて解答欄に不等式で表せ。ただし、 $\frac{L}{R}$  は十分大きく、板 A が滑らずに転がる条件は考えなくてよい。また、 $0 < \tan \theta$  は記載しなくてよい。

(1) の条件を満たす、ある角度  $\theta$  の斜面上で静止している板 A に対して、溝の右端におもり B を取り付け、そっと手を離すと、板 A は静止したままだったが、おもり B が、図 3(b) のように、溝の中を摩擦なく滑る運動を始めた。

(2) おもり B について、斜面にそって下向きの加速度はいくらか、 $R, L, M, g, \theta$  のうち必要なものを用いて表せ。

(3) 溝の右端で静止していたおもり B が、滑り始めてから溝の左端に到達するまでの時間を答えよ。

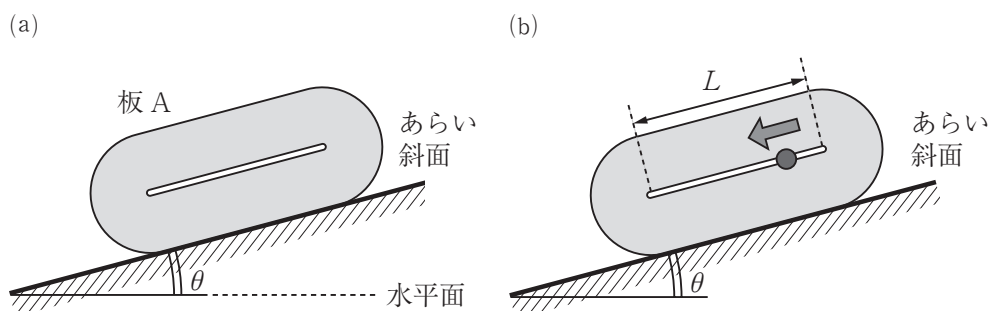


図 3

問 2. 次に、カタンコトンが水平な床の上で静止している状態について考える。  
おもり B は、図 4 のように、板 A の溝の左端で静止している。以下の問い  
に答えよ。

- (1) 水平な床の上にカタンコトンが静止しているとき、カタンコトンが床か  
ら受ける垂直抗力  $N$  を 1 点にはたらく力と考え、 $N$  の大きさを答えよ。
- (2) 板 A の溝の左端から床に下ろした垂線と、床の表面の交点を、点 O と  
する。(1) で考えた垂直抗力  $N$  の作用点と、点 O の間の距離を答えよ。
- (3) 垂直抗力  $N$  を、解答欄の図中に 1 本の矢印で示せ。この問題(3)でのみ、  
おもり B の質量  $M$  は、板 A の質量  $m$  の 3 倍 ( $M = 3m$ ) とする。また、  
矢印の始点は、(2) で求めた垂直抗力  $N$  の作用点とし、矢印の長さは自由  
とする。

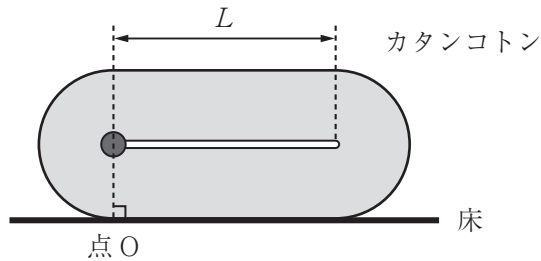


図 4

問 3. ここでは、あらい板に置いたカタンコトンが動き始める条件を考える。

- (1) あらい板を水平に置き、その上に、カタンコトンを図5のように  $\frac{1}{4}$  回転させ、そっと立てたところ、そのまま直立したが、少し傾けると、すぐに倒れてしまった。これは、板から測ったカタンコトンの重心の高さが、安定して直立できる最大の高さ  $X$  よりも、常に高くなるからである。この  $X$  を、 $R$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。

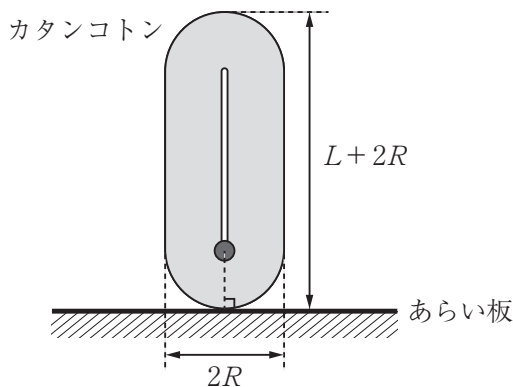


図 5

- (2) カタンコトンを、図6のように、あらい板の上に置き、板を少しずつ傾けていくと、水平面と板のなす角が、ある角度  $\theta_0$  に達したところで、カタンコトンが滑らずに転がり始めた。  $\tan \theta_0$  を、 $R$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $m$ ,  $g$  のうち必要なものを用いて表せ。ただし、カタンコトンが転がり始めたとき、おもり B は、板 A の溝の左端で静止していたものとする。

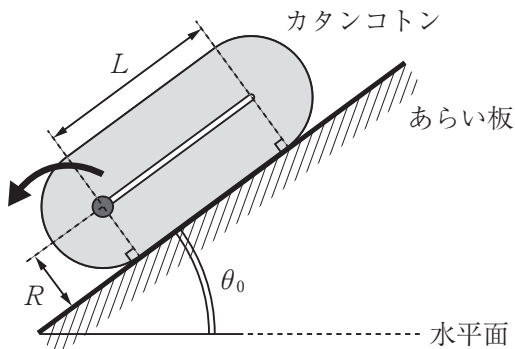


図 6

問 4. 最後に、カタンコトンが転がり続ける条件について考えよう。

問 1 で用いた斜面 ( $\theta < \theta_0$ ) に、カタンコトンを、図 7 のように、ある特定の角度  $\phi$  だけ傾けて、そっと置くと、そのまま滑らず静止し、半円上の点  $O'$  が斜面に接した状態で自立した。

- (1)  $\cos(\theta + \phi)$  を、 $R$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $\mu_0$  のうち必要なものを用いて表せ。

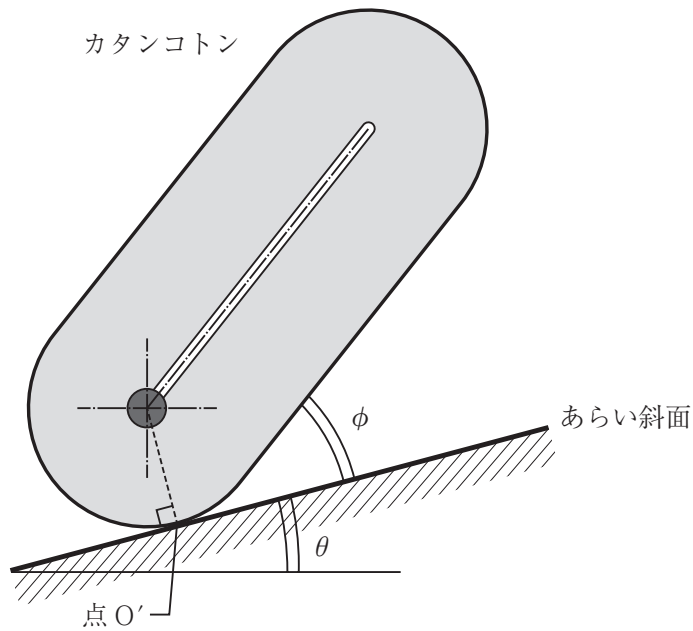


図 7

斜面に直線部分をぴたりとつけて静止しているカタンコトンに対し、図8(a)のように、おもりBを溝の中で右から左に滑らせると、おもりBが加速して板Aの溝の左端に衝突し、カタンコトンは、滑らずに転がる運動を開始した。

重力がカタンコトンを回転させる向きは、角度 $\phi$ を境に右回りから左回りに変化するので、カタンコトンが転がり続けるには角度 $\phi$ さえ越えられればよい。

(2) おもりBが板Aに与えたエネルギーが十分大きければ、カタンコトンは角度 $\phi$ を越えて転がり続けると考えられる。おもりBが溝の左端に到達した瞬間から、角度 $\phi$ に達したときまでの、カタンコトンの位置エネルギーの変化量を、増加を正として $R, L, M, m, g, \theta, \phi$ のうち必要なものを用いて表せ。

ただし、カタンコトンが転がり始めてから角度 $\phi$ に達する間、おもりBは板Aの溝の左端から動かず一体となって運動し、図8(b)に示すように、斜面に平行に距離 $R\phi$ 移動することを用いてよい。また、 $\cos(\theta + \phi)$ や $\sin(\theta + \phi)$ は、そのまま解答に用いてよい。



図8

〔2〕 次の文章を読み，問1～問2に答えよ。(40点)

問1. 図1に示すように，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。 $xy$ 平面内に，一辺の長さが $a$ の正方形の回路を形成するように導体線が配置されており，辺 $OA_1$ の一部に抵抗値 $R$ の抵抗が取り付けられている。導体線の抵抗および太さは無視できるものとする。また，回路を流れる電流が作る磁場の影響は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。

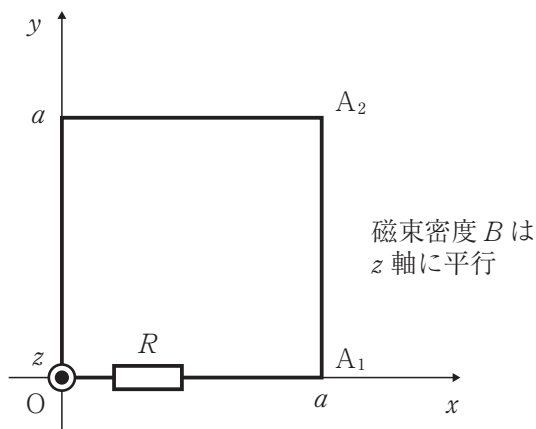


図1

図2に示すように、時間  $t$  とともに周期  $T$  で変化する磁束密度  $B$  の一様な磁場を  $z$  軸方向に回路全体に加えた。ここで、 $B > 0$  の時、磁場は  $z$  軸正の向きを向いているものとする。

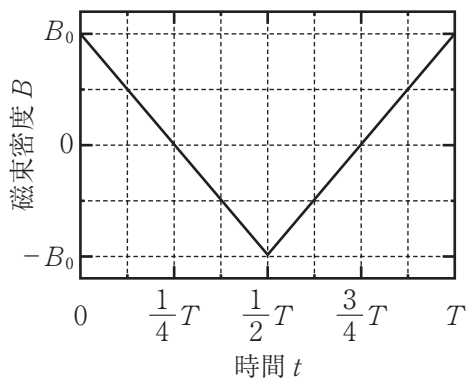


図2

- (1) 導体線の辺  $A_1A_2$  に流れる電流の最大値  $I_0$  を  $a$ ,  $B_0$ ,  $R$ ,  $T$  のうち必要なものを用いて答えよ。
- (2) 導体線の辺  $A_1A_2$  に流れる電流の時間変化を解答欄のグラフ中に実線で示せ。ただし、辺  $A_1A_2$  に流れる電流は  $y$  軸正の向きを正とする。
- (3) 導体線の辺  $A_1A_2$  に流れる電流が磁場から受ける力の  $x$  方向成分  $F_x$  の時間変化を解答欄のグラフ中に実線で示せ。なお、 $F_x$  の最大値を  $F_0$  とする。

次に、充電されていない静電容量  $C$  のコンデンサを図 3 に示すように回路に取り付け、図 2 に示す磁束密度  $B$  の一様な磁場を回路全体に加えた。コンデンサの左側電極に蓄えられる電荷  $Q$  は、最大値を  $Q_0$  とすると図 4 に示すように時間変化した。

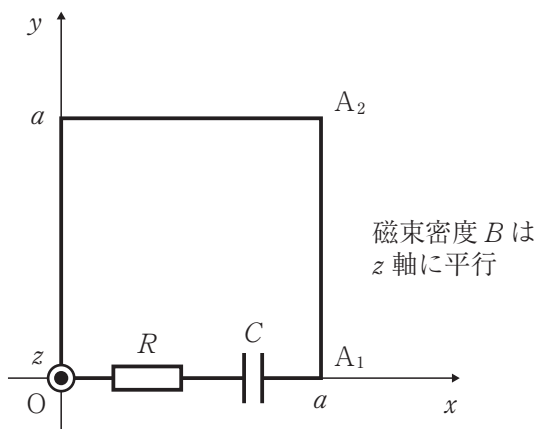


図 3

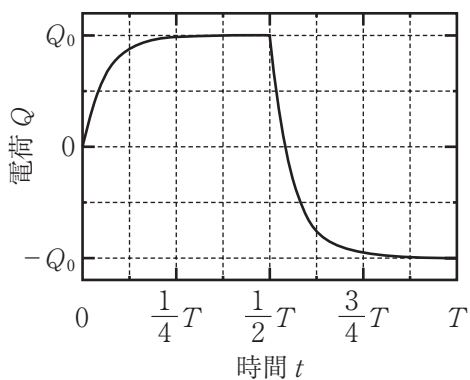


図 4

- (4) 回路中の抵抗を抵抗値  $2R$  のものにとりかえた場合、コンデンサの左側電極に蓄えられる電荷  $Q$  の時間変化として最も適当なものを、図 5 の(a)～(f)の中から一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

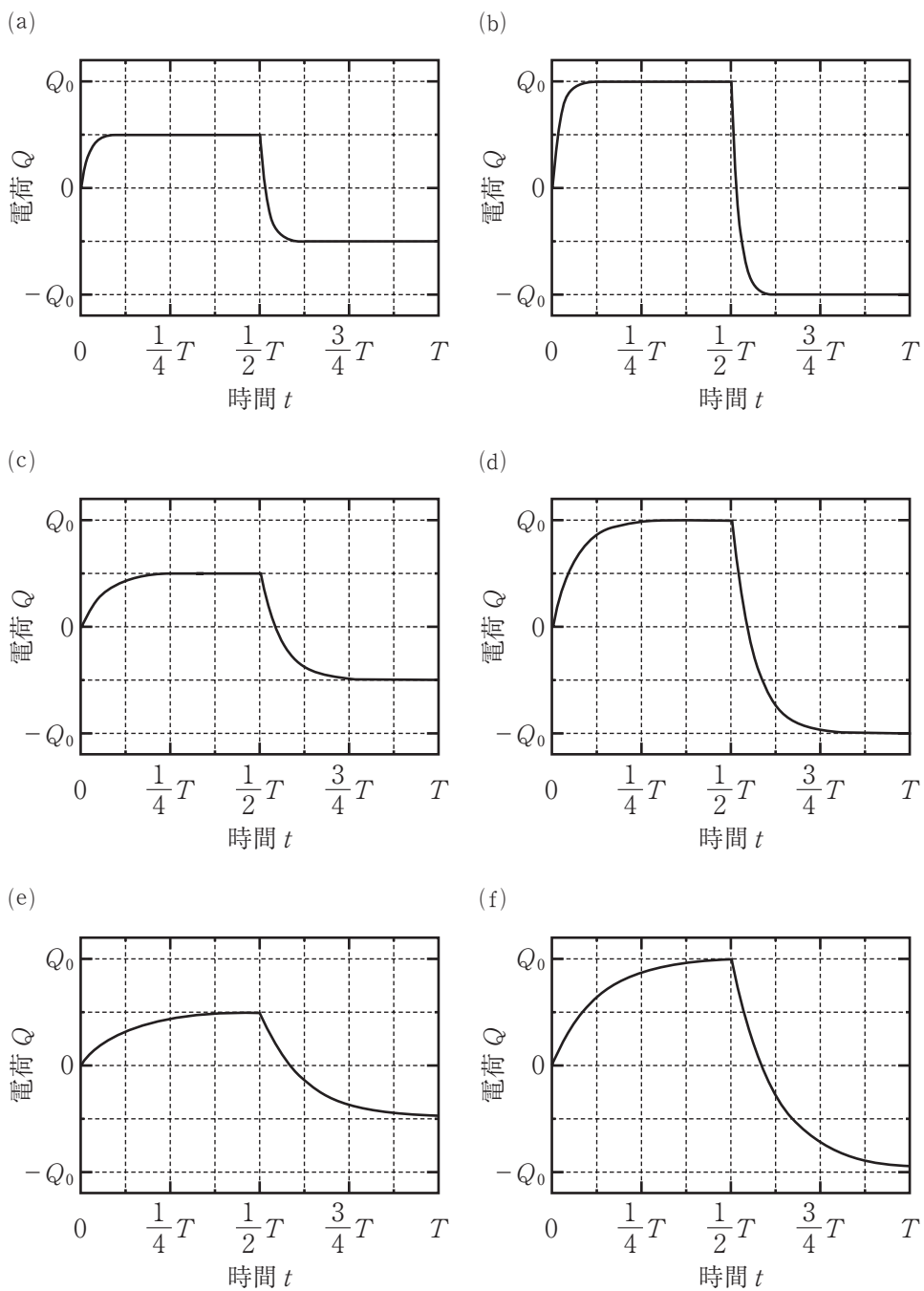


图 5

最後に、図3に示すように抵抗値  $R$  の抵抗と充電されていない静電容量  $C$  のコンデンサを接続した状態で磁束密度  $B = B_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$  の一様な磁場を繰り返し回路全体に加えた。磁場を加え始めてから十分に時間が経過した後、時間  $t = t_1$  から  $t = t_1 + T$  の間に抵抗に流れる電流  $I$  は、 $x$  軸正の向きを正とし最大値を  $I_1$  とすると、図6に示すように時間変化した。

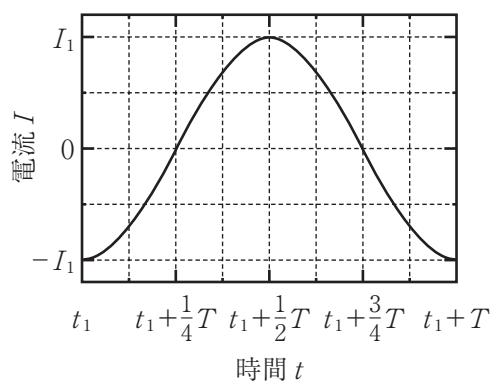


図6

- (5) コンデンサに加わる電圧  $V$  の時間変化として最も適当なものを、図7の(a)~(f)の中から一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。なお、電圧の最大値を  $V_1$  とし、電圧はコンデンサの左側電極が高電位、右側電極が低電位の場合を正とする。

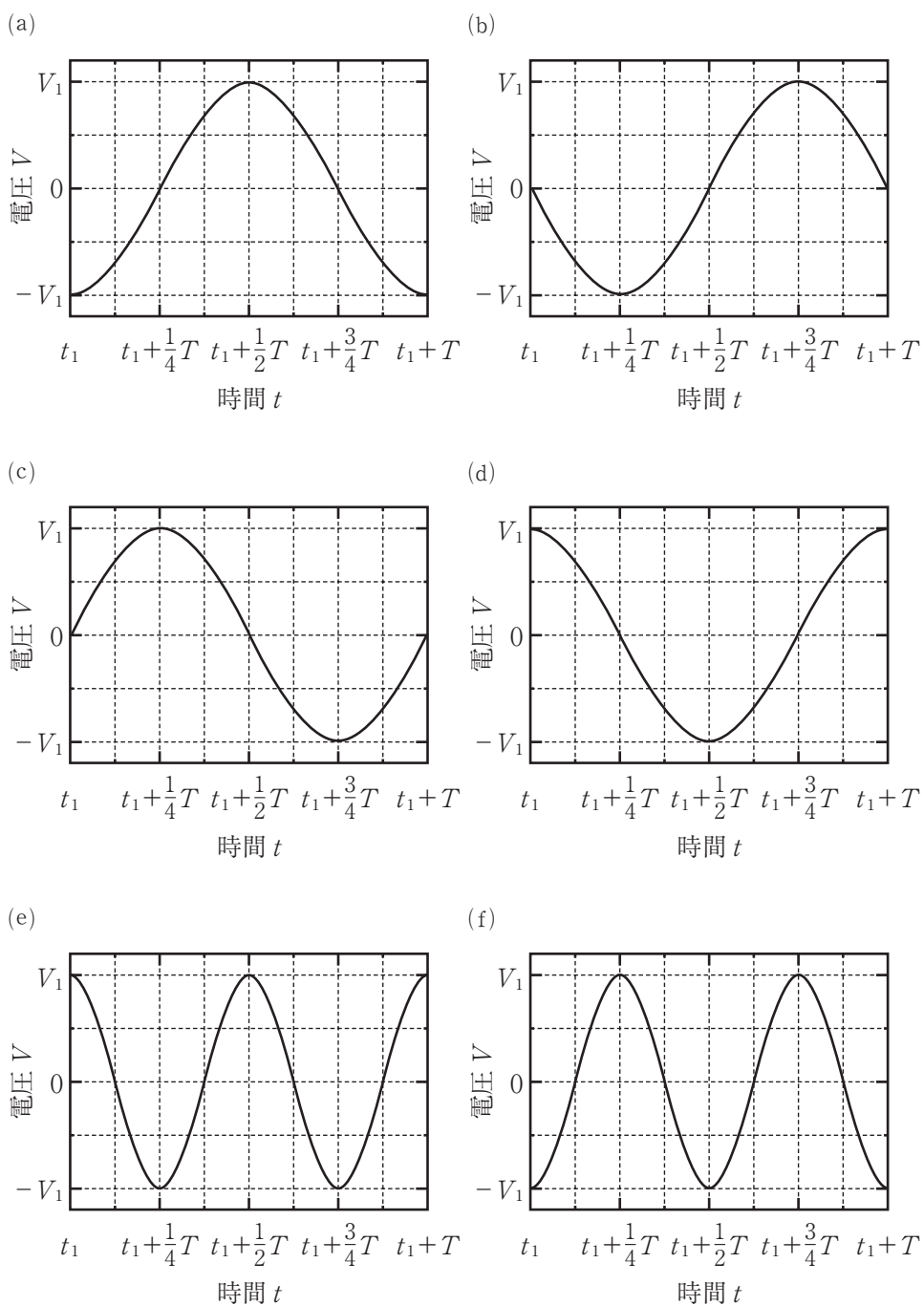


図 7

問 2. 以下の問いに答えよ。

抵抗値  $r$  および  $2r$  の抵抗とスイッチ  $S$  を使って図 8 のような回路を考える。導線の抵抗は無視できるものとする。

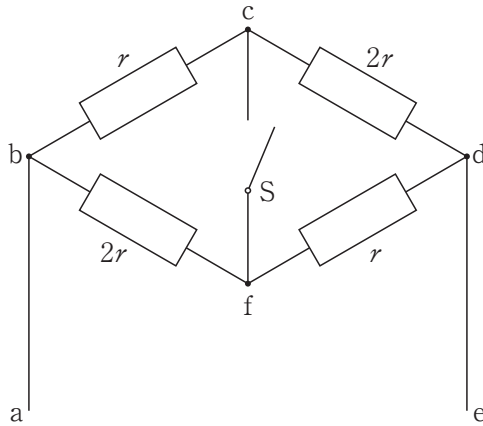


図 8

- (1) スイッチ  $S$  を開いたとき、および閉じたときの  $bd$  間の合成抵抗をそれぞれ求めよ。

次に図 9 のように、スイッチ  $S$  をとりのぞいて抵抗値  $R$  の抵抗を接続し、 $ae$  間に内部抵抗を無視できる起電力  $E$  の電池をつないだ。 $b$  から  $c$  へ、 $b$  から  $f$  へ、 $c$  から  $d$  へ流れる電流をそれぞれ  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  とする。

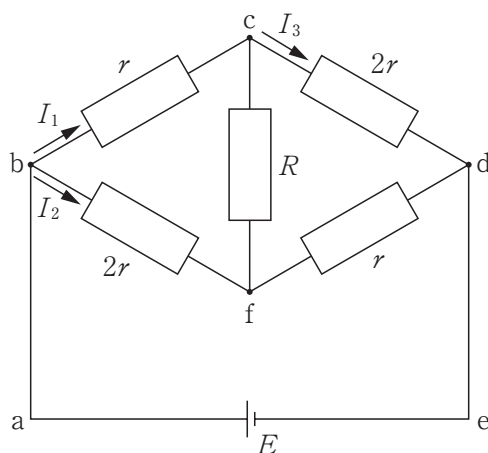


図 9

- (2) 閉回路 abcdea および abfdea について、キルヒホッフの第 2 法則 (電圧に関する法則) の式を、 $E$ 、 $r$ 、 $R$ 、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  の中から必要なものを用いてそれぞれ書け。
- (3) (2) の 2 つの式を用いて  $I_2$  と  $I_3$  の関係を求めよ。
- (4)  $I_1$  および  $I_2$  を、 $E$ 、 $r$ 、 $R$  を用いてそれぞれ表せ。
- (5)  $bd$  間の合成抵抗を、 $r$  および  $R$  を用いて表せ。
- (6) 抵抗値  $R$  の抵抗を可変抵抗にとりかえて、可変抵抗の抵抗値を  $r$  から  $r + \Delta r$  へ微小変化させたときの合成抵抗の変化を考える。 $\left| \frac{\Delta r}{r} \right| \ll 1$  とすると、可変抵抗の抵抗値が  $r + \Delta r$  のときの  $bd$  間の合成抵抗は、

$$\alpha r + \beta \Delta r$$

の式で近似できる。 $\alpha$  および  $\beta$  を求めよ。ここで、 $|x| \ll 1$  の  $x$  に対して成り立つ近似式  $\frac{1}{1+x} \doteq 1 - x$ 、および  $1 \pm x^2 \doteq 1$  を用いよ。

〔3〕 次の文章を読み、問1～問3に答えよ。(40点)

図1のように、真空中で点Oと点O'の2点を含む水平面上に平面鏡を置き、点Oの位置に、細いスリットSがある板を、点Oから距離L離れた点O'の位置に十分な高さをもつスクリーンを、水平面に対してそれぞれ垂直に立てた。板とスクリーンは平行であり、点Oと点O'を結ぶ線と垂直である。また、平面鏡は板とスクリーンの間にあるものとする。スリットの左側に光源を設置し、光源から出た光をスリットSに通すと、光が回折によって十分広がり、スクリーンに映った。スリットSから水平面までの距離を $d$ 、点Oから平面鏡の左端までの距離を $a$ 、平面鏡の幅を $b$ とし、スクリーン上にある点Pは、点O'から鉛直上方の高さ $x$ にあるものとする。板は十分に薄く厚さは無視でき、光が平面鏡で反射するとき、反射光の位相は $\pi$ だけ変化するものとする。また、 $d$ と $x$ は $L$ に比べて十分に小さく、 $|a| \ll 1$ のとき、以下の近似式を用いるものとする。

$$\sqrt{1+a} \doteq 1 + \frac{1}{2}a$$

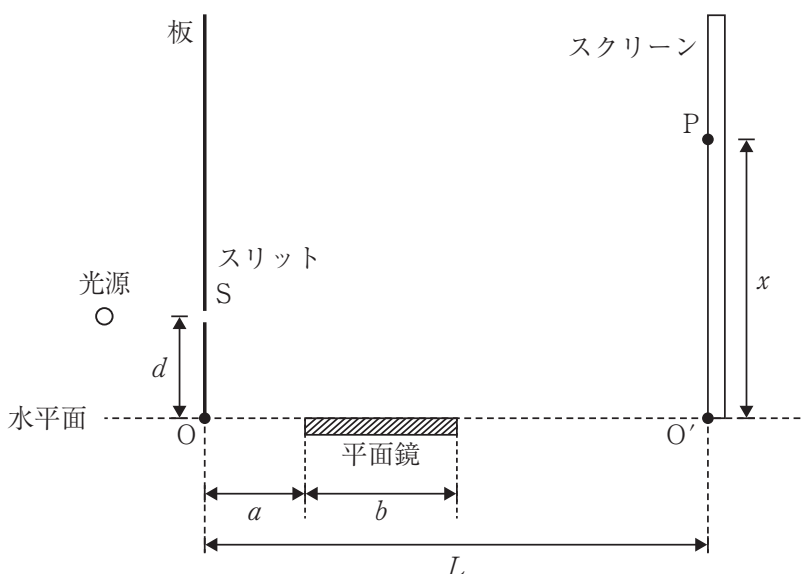


図1

**問 1.** 光源から位相のそろった波長  $\lambda$  の単色光が出ると、スクリーン上に明暗の縞模様が現れる。これは、スリットからスクリーンに直接到達する光と、平面鏡で反射して到達する光が干渉して形成される干渉縞である。以下の問いに答えよ。

- (1) スクリーンに映る干渉縞は、スクリーン面の一部にのみ現れる。干渉縞が現れる鉛直方向の範囲を、解答欄のスクリーンを示す四角枠内に斜線で塗りつぶして示せ。なお、この問題(1)でのみ、スリット、平面鏡、スクリーンの配置は解答欄のとおりとする。必要に応じて、光が進む経路を作図してもよい。
- (2) スクリーン上で干渉縞が現れる  $x$  の範囲を、 $\lambda$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $a$ ,  $b$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) スリットからスクリーンに直接到達する光の道のりを  $L_1$ 、平面鏡で反射して到達する光の道のりを  $L_2$  とする。与えられた近似式を用いて、 $L_2 - L_1$  を、 $\lambda$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $x$ ,  $a$ ,  $b$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (4)  $\lambda = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ ,  $d = 5.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ ,  $L = 2.0 \text{ m}$ ,  $a = 0.15 \text{ m}$ ,  $b = 0.25 \text{ m}$  とするとき、スクリーン上に形成される干渉縞のうち、点  $O'$  に最も近い明線の位置  $x[\text{m}]$  を有効数字 2 桁で求めよ。

問 2. 次の文中の空欄  ～  に入る正しい文章を、下記の選択肢(a)～(i)の中からそれぞれ一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。なお、同じ記号を複数回選んでもよい。

「図 1 で、光源から出る単色光を赤色から青色へ変えた場合、スクリーン上に形成される  。」

「図 2 に示すように、平面鏡をスクリーン方向へ平行に移動した場合、スクリーン上に形成される  。」

「平面鏡を図 1 の位置に戻し、図 3 に示すように、スリット S と光源を点 O から離れる方向へ、スクリーンの高さを越えない範囲で水平面に垂直に移動した場合、スクリーン上に形成される  。」

選択肢

- (a) 隣り合う明線の間隔は「増加し」、干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (b) 隣り合う明線の間隔は「増加し」、干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (c) 隣り合う明線の間隔は「増加し」、干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」
- (d) 隣り合う明線の間隔は「減少し」、干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (e) 隣り合う明線の間隔は「減少し」、干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (f) 隣り合う明線の間隔は「減少し」、干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」
- (g) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」、干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (h) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」、干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (i) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」、干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」

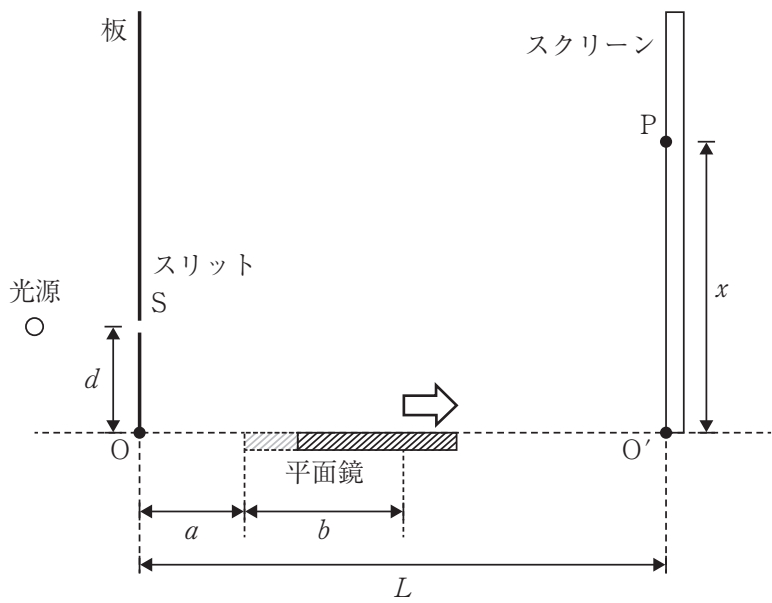


図 2

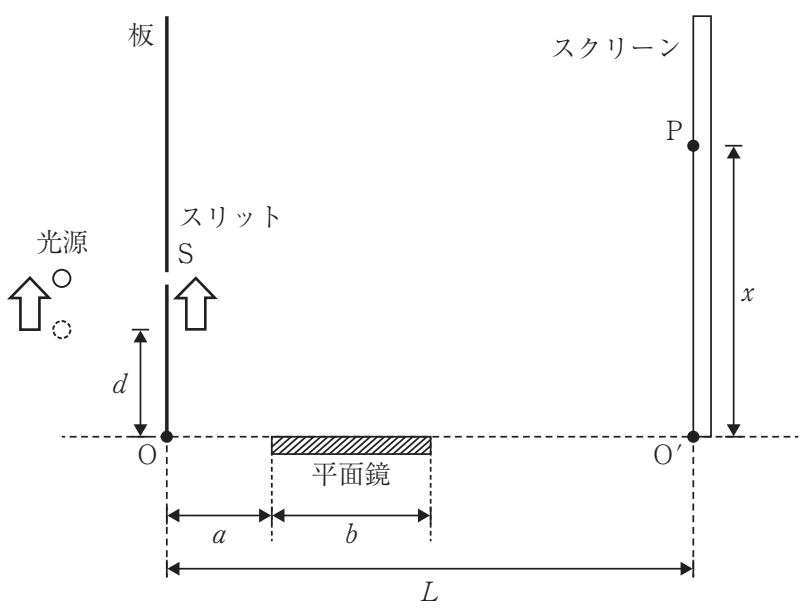


図 3

問 3. 図4のように、水平面上の点Oから水平方向に距離 $L'$ 離れた点O''の位置にスクリーンを、水平面に対して垂直に立てた。水平面より上には絶対屈折率 $n_1$ の透明な物質1を、水平面より下には絶対屈折率 $n_2$ の透明な物質2を挿入した。点Oの上方には、レーザー光を発生する装置を設置した。スクリーン上にある点P'は、点O''から鉛直上方の高さ $2h$ にあるものとする。レーザー光は、点Oの鉛直上方の高さ $h$ の位置から、点O、点O''、点P'の3点を含む平面内を進むものとする。以下の問いに答えよ。

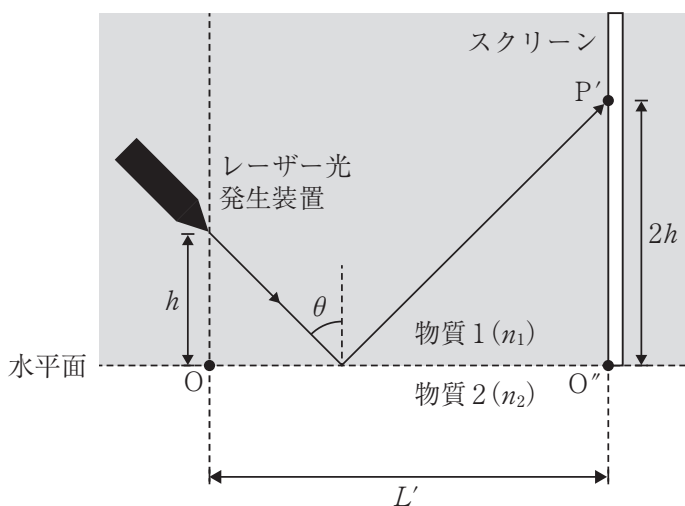


図4

- (1) レーザー光が物質1と物質2の境界面へ入射する場合を考える。入射角がある角度 $\theta$ をこえると、レーザー光はすべて反射される。この現象を全反射といい、このときの入射角 $\theta$ を臨界角という。屈折の法則を用いて、臨界角 $\theta$ と絶対屈折率 $n_1$ ,  $n_2$ の関係式を求めよ。
- (2) レーザー光が臨界角 $\theta$ で物質1と物質2の境界面に入射したとき、境界面で反射した光が点P'に現れた。このとき、点Oから点O''までの距離 $L'$ を、 $h$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ のうち必要なものを用いて表せ。





# 化学基礎・化学

必要な場合は、次の値を用いよ。

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

F = 19.0, Si = 28.1, Cl = 35.5, Ca = 40.1

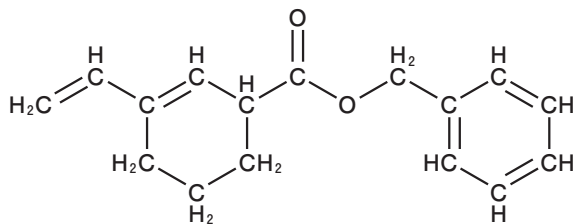
$\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$ ,  $\log_{10}5 = 0.70$

気体定数： $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

温度： $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

構造式を記入するときは、記入例にならって答えよ。

構造式の記入例



〔1〕 次の文章(1)～(3)を読み、問1～問7に答えよ。ただし、図に示したグラフの縦軸、横軸の間隔は一定ではない。(25点)

(1)  $1.0 \times 10^5$  Paにおける水の沸点は  $100^\circ\text{C}$ 、ベンゼンの沸点は  $80^\circ\text{C}$ 、ヘキサンの沸点は  $69^\circ\text{C}$ である。水は分子量が小さいにもかかわらず、沸点が他の液体に比べ高い。その理由は分子間に〔ア〕が存在するためである。図1は水の状態図である。3本の曲線の交点Mは〔イ〕である。N点は〔ウ〕であり、それより温度と圧力を高くしていくと液体と気体の区別がつかなくなる。水に塩化ナトリウムを溶かすと図1中の固体と液体、および、液体と気体の状態を分ける曲線は図Xのように変化する。

乾燥野菜などのインスタント食品製造時には、水の蒸発にともなう食品の劣化を避けるために凍結乾燥を行うことがある。工業的な凍結乾燥では、まず食品全体を凍らせ、圧力を〔エ〕した後、熱を加えながら食品の水分を〔オ〕させる。

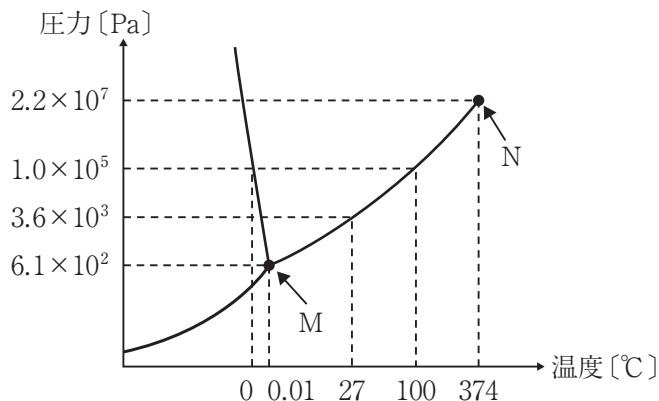
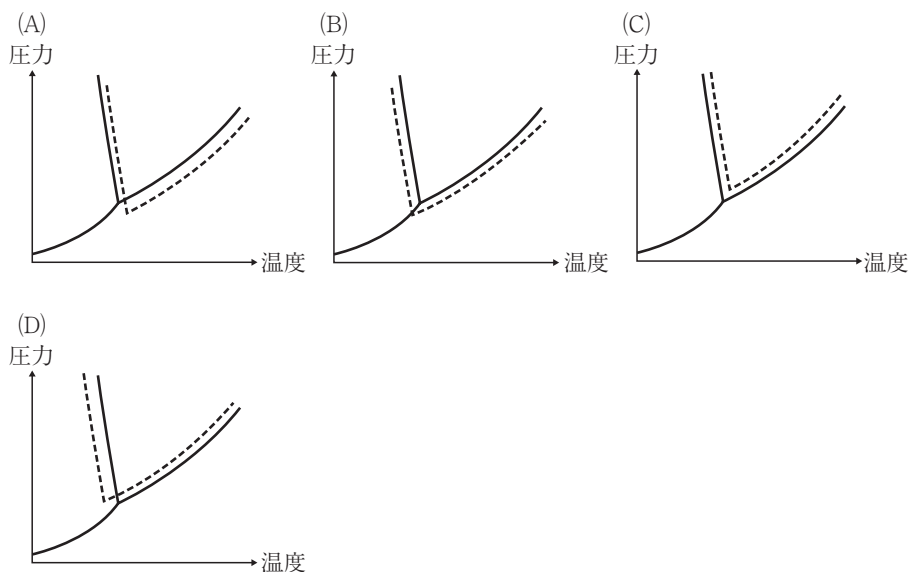


図1

問1. 〔ア〕～〔ウ〕に入る最も適切な語句を以下の(A)～(I)のなかからひとつずつ選んで記号で答えよ。

- (A) 軟化点    (B) 三重点    (C) 融点    (D) 沸点    (E) 凝固点
- (F) 臨界点    (G) ファンデルワールス力    (H) 水素結合
- (I) 共有結合

問 2. 下線部(a)の図 X として最も適切なものを以下の(A)~(D)のなかからひとつ選んで記号で答えよ。水の状態図(実線)に、塩化ナトリウム水溶液の固体と液体、および、液体と気体の状態を分ける曲線を点線で追加している。



問 3. [ エ ] に当てはまる最も適切な語句を以下の(A)~(E)のなかからひとつ選んで記号で答えよ。ただし、水以外の物質の影響は無視できるとする。

- (A)  $2.2 \times 10^7$  Pa より高く
- (B)  $1.0 \times 10^5$  Pa より高く
- (C)  $1.0 \times 10^5$  Pa より低く
- (D)  $6.1 \times 10^2$  Pa より高く
- (E)  $6.1 \times 10^2$  Pa より低く

問 4. [ オ ] に入る適切な状態変化について正しいものを以下の(A)~(E)のなかからひとつ選んで記号で答えよ。

- (A) 蒸発
- (B) 融解
- (C) 昇華
- (D) 凝華
- (E) 凝固

- (2) 図2のように容積が10 Lの密閉容器 I, II を用意した。容器 I には  $1.0 \times 10^{-2}$  mol の水を入れたビーカーが置いてある。容器 II には水溶液 P (1.0 mol の水に不揮発性の物質 **Z** を  $8.0 \times 10^{-2}$  mol 溶かしたもの) と水溶液 Q (1.0 mol の水に **Z** を  $2.0 \times 10^{-2}$  mol 溶かしたもの) を入れたビーカーが置いてある。容器 I, II の温度を 27 °C に保ち, 気液平衡の状態になるまで放置した。
- ただし, 気体は理想気体として扱えるものとする。また, 容器内には上記の物質のみが存在し, 液体およびビーカーの体積は無視できるものとする。

**問 5.** 容器 I 内の圧力 [Pa] を求め, 有効数字 2 桁で答えよ。

**問 6.** 容器 II ではビーカー間で水が移動し, 気液平衡の状態となった。容器 II 内の圧力 [Pa] を求め, 有効数字 2 桁で答えよ。ただし, 物質 **Z** は電離せず, 水溶液の蒸気圧は溶媒のモル分率に比例するとし (ラウールの法則), 気体の水の物質量は液体の水の物質量に比べて十分小さいものとする。

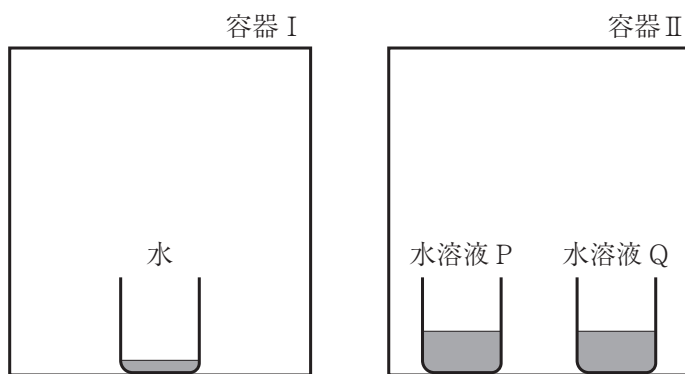


图 2

(3) 図3に示す密閉容器Ⅲを用意した。容器Ⅲにはコックとポンプが接続されている。容器Ⅲに27℃の水を入れたビーカーを置き、容器内の圧力が $1.0 \times 10^5$  Paになるまで貴ガスを追加した。時刻0にコックを開けて容器をポンプでゆっくり排気した。時刻 $t_1$ に水の一部が沸騰し始めた。さらに排気すると時刻 $t_2$ に水の一部が氷となり、時刻 $t_3$ に水はすべて氷となった。その後も排気を続けると、時刻 $t_4$ に容器の圧力は $4.0 \times 10^2$  Paになり、ビーカーには氷が残った。

容器Ⅲ，ビーカーと外部の間に熱のやりとりはないとし，貴ガスは水に溶けず，水の過冷却は起こらないとする。なお，圧力および温度の変化は緩やかでそれにとまなう水の状態変化は状態図にしたがうものとする。

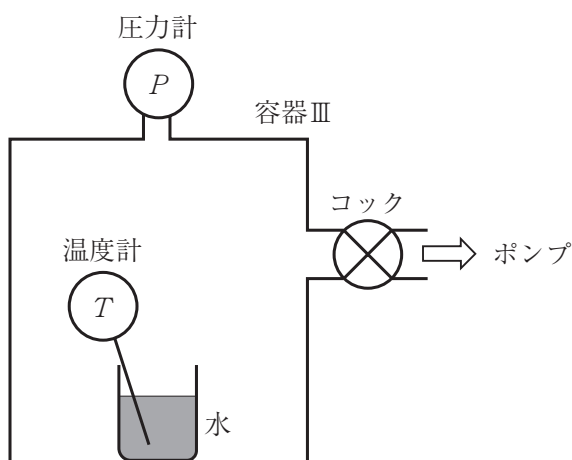
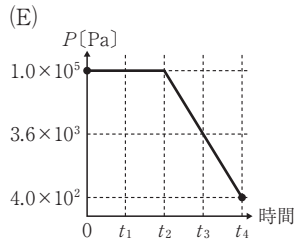
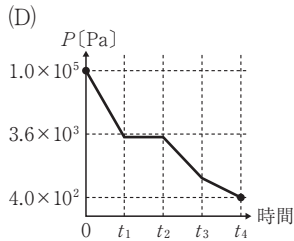
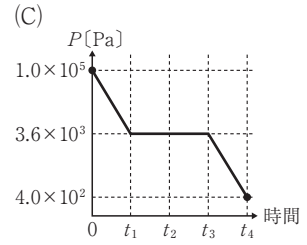
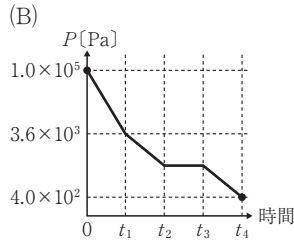
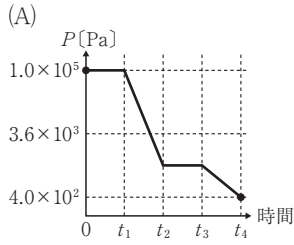


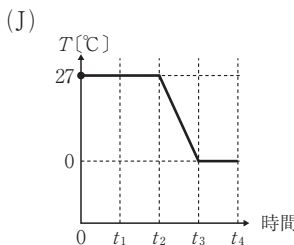
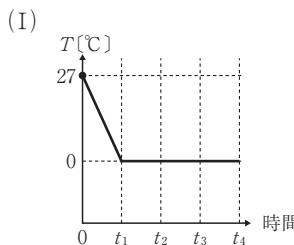
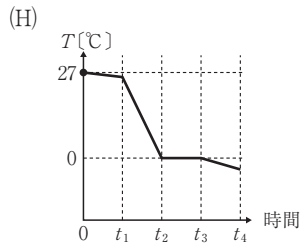
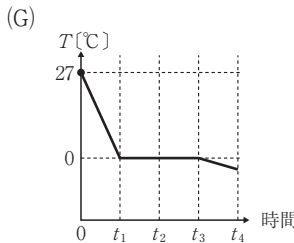
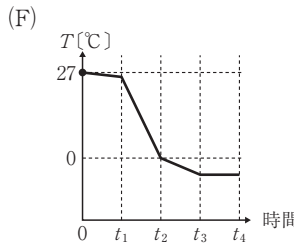
図3

問 7. 時刻 0 から  $t_4$  までにおける圧力計の値  $P$  の変化を表すグラフの概形として最も適切なものを以下の(A)~(E)のなかから、温度計の値  $T$  の変化を表すグラフの概形として最も適切なものを以下の(F)~(J)のなかから、それぞれひとつ選んで記号で答えよ。

圧力  $P$  の変化

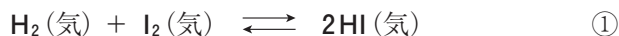


温度  $T$  の変化

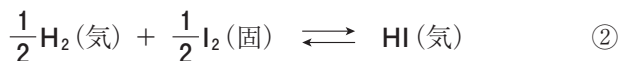


〔2〕 次の文章(1)と(2)を読み、問1～問5に答えよ。(25点)

- (1) 固体のヨウ素は昇華性を有し、大気圧下で加熱すると紫色の気体となる。固体のヨウ素 1 mol が気体に変化する時のエンタルピー変化であるヨウ素の昇華エンタルピーは+62.4 kJ/molである。気体となったヨウ素を水素と混合して加熱すると、以下の式①の反応によりヨウ化水素が生じる。



- 問 1. ヨウ化水素の生成エンタルピーは、ヨウ化水素 1 mol が気体の水素と固体のヨウ素から生じる式②の反応から定義され、その値は+26.5 kJ/molである。



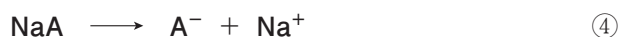
このとき、式①の正反応の反応エンタルピー [kJ/mol] の値を正負の記号とともに有効数字 2 桁で答えよ。

- 問 2. 式①の反応には、固体の白金が触媒として作用する。これに関連した記述として、以下の(A)～(E)から正しいものをすべて選んで記号で答えよ。

- (A) 白金の存在により、反応エンタルピーがより小さい経路で式①の反応が進むようになる。
- (B) 白金の存在により、大きな運動エネルギーを持つ気体分子の割合が増え、衝突する分子が遷移状態になりやすくなる。
- (C) 白金は式①の反応に対して不均一系触媒(不均一触媒)として作用する。
- (D) 白金の存在により、式①の反応が平衡状態に到達するまでの時間が短くなる。
- (E) 白金の存在により、より多くの気体分子が反応するようになり、平衡状態でのヨウ化水素の濃度が増加する。

(2) 1価の弱酸 **HA** の水溶液を、**NaOH** 水溶液で中和滴定する実験を考える。

**NaOH** によって **HA** が中和されて徐々に **NaA** に置き換わることから、中和点より滴下量が少ない場合、**HA** と **NaA** が混合した緩衝液となる。**HA** および **NaA** はそれぞれ以下の式のように電離する。



ここで式④のように **NaA** はほぼ完全に電離するため、緩衝液中には **A<sup>-</sup>** が大量に存在する。従って、緩衝液中では式③の平衡は左に偏っており、電離している **HA** はわずかである。つまり **HA** が  $C_a$  [mol/L]、**NaA** が  $C_s$  [mol/L] となるように混合した緩衝液については、 $[\text{HA}] \doteq C_a$ 、 $[\text{A}^-] \doteq C_s$  と近似できる。

上記をふまえ、0.10 mol/L の **HA** 水溶液 100 mL を 0.20 mol/L の **NaOH** 水溶液で滴定する実験を行った。ただし、**HA** の電離定数  $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$  mol/L、水のイオン積  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$  mol<sup>2</sup>/L<sup>2</sup> とする。

問 3. 滴定を開始する前の **HA** 水溶液の pH を有効数字 2 桁で答えよ。

問 4. **NaOH** 水溶液を 30 mL 滴下した後の水溶液の pH を有効数字 2 桁で答えよ。

問 5. **NaOH** 水溶液を 50 mL 滴下した後の水溶液の pH を有効数字 2 桁で答えよ。

〔3〕 次の文章(1)～(3)を読み、問1～問4に答えよ。(25点)

(1) アルカリ土類金属は2族に属する価電子数2の元素である。代表的なアルカリ土類金属であるマグネシウムやカルシウムの化合物は、薬剤や生体材料等、身近に利用されている。

問1. アルカリ土類金属およびその化合物に関する記述として正しいものを、以下の(A)～(D)のなかからすべて選んで記号で答えよ。

- (A) マグネシウムを空气中で強熱すると激しく燃焼し、酸化物となる。
- (B) 酸化カルシウムは、室温では水と反応しない。
- (C) 硫酸バリウムは水に溶けにくく、X線造影剤に利用される安定な物質である。
- (D) ストロンチウムはカルシウムより反応性が低く、灯油中で保存する安定な物質である。

- (2) 陽イオンと陰イオンのイオン結合によってできる結晶をイオン結晶という。  
代表的なイオン結晶の結晶構造は **NaCl** 型、**CsCl** 型である。塩化アンモニウムは 184 °C 以上で **NaCl** 型構造、室温で **CsCl** 型構造として存在する化合物であり、肥料や工業薬品など、幅広い分野で利用されている。

**問 2.** 塩化アンモニウムが **NaCl** 型構造と **CsCl** 型構造で存在する際の密度 [g/cm<sup>3</sup>] を示す計算式を、以下の(A)~(K)のなかからそれぞれひとつ選んで記号で答えよ。ただし、アンモニウムイオンは球として取り扱う。また、**NaCl** 型構造と **CsCl** 型構造それぞれにおける単位格子の体積は 0.278 nm<sup>3</sup> と 0.0577 nm<sup>3</sup> とし、アボガドロ定数は  $N_A$  とする。

(A)  $\frac{3.57 \times 10^{24}}{N_A}$                       (B)  $\frac{9.10 \times 10^{23}}{N_A}$

(C)  $\frac{7.70 \times 10^{23}}{N_A}$                       (D)  $\frac{7.41 \times 10^{23}}{N_A}$

(E)  $\frac{1.85 \times 10^{23}}{N_A}$                       (F)  $\frac{3.64 \times 10^{24}}{N_A}$

(G)  $\frac{3.71 \times 10^{24}}{N_A}$                       (H)  $\frac{9.27 \times 10^{23}}{N_A}$

(I)  $\frac{1.89 \times 10^{23}}{N_A}$                       (J)  $\frac{7.55 \times 10^{23}}{N_A}$

(K)  $\frac{8.93 \times 10^{23}}{N_A}$

- (3) ハロゲンは17族に属する価電子数7の元素である。ハロゲンの化合物は医療、産業などの分野で利用されている。例えばヨウ素化合物は、消毒液やうがい薬などの医薬品として我々の生活を支えている。またフッ化水素はフッ素の化合物であり、その水溶液であるフッ化水素酸は半導体製造に不可欠なエッチング剤として利用されている。

問 3. 下線部(a)に関して、湿ったヨウ化カリウムデンプン紙にオゾンを接触させると、青紫色(青色)に変色する。この現象を利用することによりオゾンの検出が可能である。このときに起こる変化の一部は、以下の化学反応式により表される。この化学反応式における空欄〔ア〕～〔ウ〕に入る化学式を、係数を含めてそれぞれ順不同で答えよ。なお係数が1の場合は省略せよ。

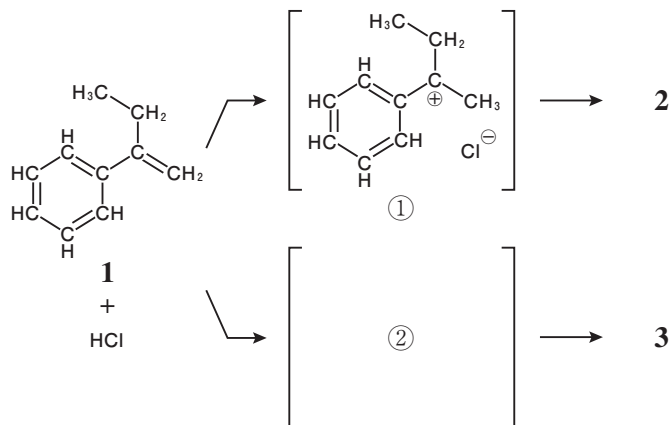


問 4. 下線部(b)に関して、フッ化水素酸は石英( $\text{SiO}_2$ )を溶かしてヘキサフルオロケイ酸を生成することが知られている。ここでフッ化カルシウムと濃硫酸を反応させてフッ化水素を発生させた。さらに得られたフッ化水素の水溶液と石英を反応させたところ、36.0 gの水が生成した。このとき、反応に使われたフッ化カルシウムの質量[g]を、小数点以下を四捨五入し整数で答えよ。ただし、フッ化カルシウムおよび発生したフッ化水素はすべて反応したとする。



〔4〕 次の文章(1)～(3)を読み、問1～問6に答えよ。構造式を答える際には、表紙にある記入例にならって答えよ。(25点)

(1) 下図のように、化合物**1**に濃塩酸を作用させたところ、塩化水素が付加した化合物**2**と**3**がそれぞれ生じた。この反応の主生成物は**2**であった。

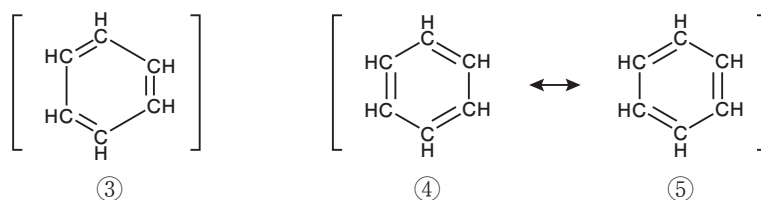


この反応の機構は以下のように考えられる。まず、化合物**1**のベンゼン環の外にある炭素-炭素二重結合が、濃塩酸に含まれる水素イオン  $\text{H}^+$  と反応し、炭素陽イオンを含む中間体①もしくは②が生じる。炭素陽イオンは多くの場合、その炭素に連結する水素原子が少ないほど安定であるため、中間体①は中間体②に比べ安定だと考えられる。この中間体①の炭素陽イオンの位置で塩化物イオンが反応することで、化合物**2**が主生成物として生じる。このような、炭素-炭素二重結合へのハロゲン化水素などの付加の位置に関わる経験則を〔ア〕の法則と呼ぶ。すなわちこの法則は、反応の中間に生じる炭素陽イオンの安定性で説明できる。

問1. 化合物**2**の構造式、および中間体②の塩化物イオン以外の構造式を答えよ。

問2. 文章中の〔ア〕にあてはまる適切な語句を答えよ。

(2) 化合物の安定性は、電子の非局在化によっても説明できる。たとえば、ベンゼンの炭素-炭素二重結合は③のように特定の原子間に固定されておらず、6個の炭素原子間に均等に分布していると考えられている。その構造は下図の④と⑤を重ね合わせたようなものであり、結合を構成する電子が特定の二重結合に局在していない。これを電子の非局在化とよぶ。このように電子が非局在化<sup>(b)</sup>すると、一般にその構造は安定化することが知られている。ここで④、⑤のような構造式を共鳴構造式とよび、両者を矢印( $\leftrightarrow$ )でつなぐものとする。



**問 3.** 下線部(b)に関し、以下の条件(i), (ii)を用いて、この非局在化によりどの程度安定化したのか、そのエネルギーの絶対値 [kJ/mol] を整数で答えよ。

- (i) ベンゼンに水素を付加させてシクロヘキサンを得る反応の反応エンタルピー  $\Delta H$  を  $-210$  kJ/mol とする。
- (ii) ③の構造式に示す3つの非局在化していない炭素-炭素二重結合のひとつに水素を付加させる反応の反応エンタルピー  $\Delta H$  を  $-120$  kJ/mol とする。



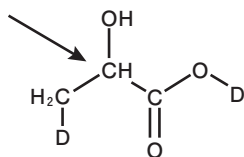
問 4. アルコール **4** および **5** の構造式を答えよ。

問 5. イソプレンおよびアルコール **4**, **5** の説明として 誤った記述 を次の(A)~(D)から ひとつ 選んで記号で答えよ。

- (A) 天然ゴムの主成分はポリイソプレンである。このため天然ゴムを乾留することでイソプレンを得ることができる。
- (B) アルコール **4** は硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液とは反応せず、これらを混合しても元の赤紫色は消失しなかった。
- (C) アルコール **5** に臭素水溶液を少量滴下したところ、その赤褐色が消失し、無色の溶液が得られた。
- (D) 希硫酸の代わりに濃硫酸を用いて同様の反応を行うと、アルコール **4**, **5** はほとんど得られなかった。

問 6. 希硫酸に含まれる水素原子がすべて重水素原子 **D** に置換された試薬を文章(3)と同様にイソプレンと反応させたところ、アルコール **4** の水素原子のうちふたつが重水素原子に置換された化合物が得られた。この化合物の構造式を答えよ。また、この化合物が鏡像異性体を有する場合、以下の例にならって不斉炭素原子を矢印で示せ。

構造式と矢印の記入例



〔5〕 以下の文章(1)と(2)を読み，問1～問7に答えよ。構造式を答える際には，表紙にある記入例にならって答えよ。(25点)

(1) アミノ酸は分子内に〔ア〕基と〔イ〕基を両方もつ化合物である。  
〔ア〕基と〔イ〕基が同一の炭素原子に結合したものを $\alpha$ -アミノ酸という。タンパク質を構成する $\alpha$ -アミノ酸は約20種類存在する。そのなかで，ヒトが体内で合成できない，または合成しにくいために外部から摂取する必要のある $\alpha$ -アミノ酸は，〔ウ〕と呼ばれている。

問1. 空欄〔ア〕～〔ウ〕に適切な語句を答えよ。なお，〔ア〕と〔イ〕の解答は順不同とする。

問2. アミノ酸には $\alpha$ -アミノ酸以外にも $\beta$ -アミノ酸が存在する。 $\beta$ -アミノ酸の例として， $\beta$ -アラニンの構造式を答えよ。ただし，ここではイオン化は考慮しない。

問3. 2分子のグリシンがジペプチドを形成するとき減少する分子量を，小数点以下第1位まで答えよ。

問4. グリシンの等電点は約6.0である。pH 1.0の水溶液に溶解させたとき最も多く存在するグリシンの構造を，イオン化を考慮した構造式を用いて答えよ。

問5. システインを含むタンパク質の水溶液に，水酸化ナトリウムを加えて熱し，酢酸鉛(Ⅱ)を加えると黒色沈殿を生じた。その黒色沈殿の化合物名を答えよ。

(2) タンパク質やペプチドの精製には様々なクロマトグラフィーが用いられている。イオン交換クロマトグラフィーはイオン交換樹脂を円筒容器(カラム)に充填し、その中に試料を入れたのち、適切な溶媒を流すことで目的成分を分離する方法である。イオン交換樹脂として最もよく用いられているものは〔エ〕と〔オ〕の共重合体を母体として作られた合成高分子である。

合成高分子には他にもビニロンがある。ビニロンを合成する際には、まず〔カ〕(分子量 86.0)の付加重合によって〔キ〕(繰り返し単位の式量 86.0)を合成する。これを水酸化ナトリウムなどの塩基を用いてけん化することにより〔ク〕(繰り返し単位の式量 44.0)を合成する。これを紡糸、乾燥後ホルムアルデヒド(分子量 30.0)を用いてアセタール化することによってビニロンは合成される。

**問 6.** 空欄〔エ〕～〔ク〕に適切な語句を答えよ。なお、〔エ〕と〔オ〕の解答は順不同とする。

**問 7.** ビニロンの合成において〔キ〕を十分量の水酸化ナトリウムを用いて完全にけん化させたのち、アセタール化を行ったところヒドロキシ基の 35%がアセタール化されたビニロン 50.0 gを得た。合成に用いた〔キ〕の質量[g]を小数点以下第1位まで求めよ。なお、ビニロンのアセタール化された繰り返し単位の式量は 100.0 である。



# 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)

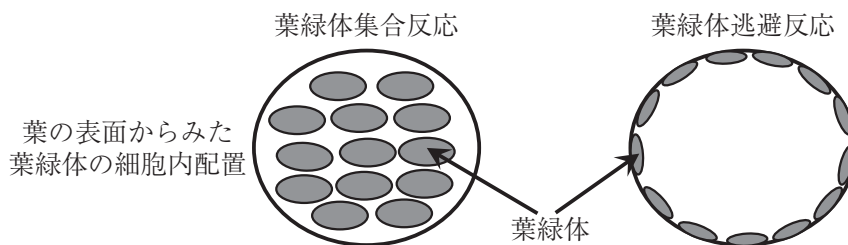
植物の多くは、光合成によって、二酸化炭素と水から有機物を合成し、独立栄養的に成長している<sup>①</sup>。光合成は、光をエネルギー源として駆動されるため、植物にとって光は不可欠である。しかし、光合成によって利用できる強さを超える光を受けると、葉緑体が損傷し、その結果、光合成活性は著しく低下する。

自然界において、太陽の移動や他の植物の陰などによって、光の強さ(光強度)は常に変化している。しかし、植物は固着性の生物であり、自ら生育環境を選んで移動することはできない。そのため、植物は周囲の光環境を鋭敏に感知し、それに応じて最適な光合成を営むために、多様な光応答を誘導する。

光応答の一つとして、植物は光強度に応じて葉緑体の細胞内の配置を動的に変化させる。植物の葉に強光が当たると、葉緑体は光が直接当たらない細胞の縁へ移動するため、葉における光の吸収量が低下する(図1右:葉緑体逃避反応)。その結果、植物は過剰な光による害を回避できる。逆に、弱光では、葉緑体が光を受けやすい位置(細胞上面)に移動し、光の吸収量が増加する(図1左:葉緑体集合反応)。その結果、弱光の下で、植物の光合成効率は向上する。このような光強度に応じて葉緑体が細胞内を移動する現象は、葉緑体光定位運動と呼ばれ、植物特有の青色光受容体であるフォトトロピン<sup>②</sup>によって誘導される。

以上のように、植物は光を、光合成のエネルギー源として利用するだけでなく、周囲の光環境を知るための情報源としても利用し、生育地に適応している。

④



細胞1つあたりの葉緑体の局在を示す。

図1

問 1. 下線部①に関連する次の問いに答えなさい。

- (1) 葉緑体に豊富に含まれ、主に青色と赤色の光を吸収する光合成色素を答えなさい。
- (2) 地球上に最も多量に存在するとされる酵素で、カルビン(カルビン・ベンソン)回路において、細胞内に取り込まれた二酸化炭素を基質とする反応を触媒する酵素の名前を答えなさい。

問 2. 下線部②に関連する次の問いに答えなさい。

- (1) シロイヌナズナの通常の植物(野生型)の葉に、弱光および強光をそれぞれ照射し、葉緑体集合反応と葉緑体逃避反応を誘導した。その際、葉における光の吸収程度の指標として、波長ごとの吸光度を測定した結果を図2に示す。

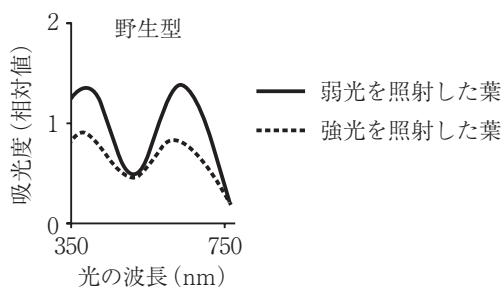


図 2

同様の実験を、フォトトロピンを完全に欠く変異体(変異体 X)を用いて行った場合、変異体 X の葉の吸光度を表すグラフとして最も適切なものを図3の(a)~(d)の中から1つ選びなさい。ただし、光強度に依存した葉における吸光度の変化は、葉緑体の細胞内の配置のみに依存するものとする。

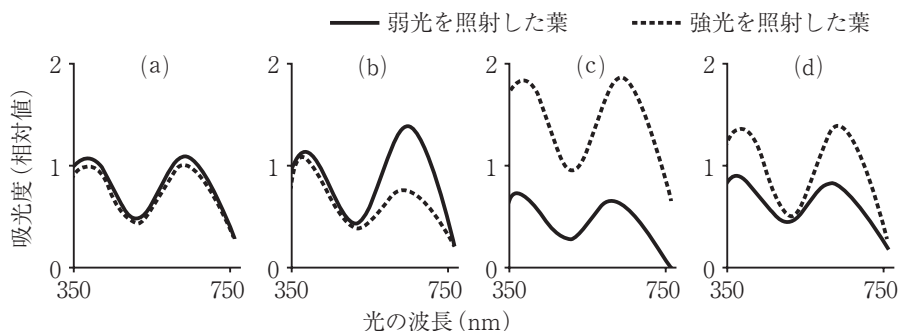


図 3

(2) 図4の黒実線は、シロイヌナズナの野生型の葉における光強度と光合成活性の関係を示したものである。

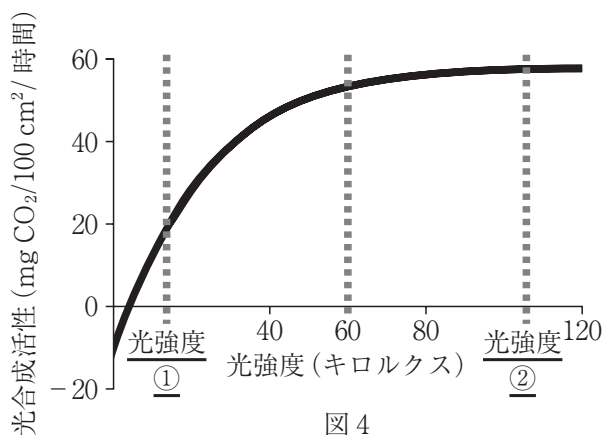


図4

図5に示すように、シロイヌナズナの野生型の葉における葉緑体の細胞内局在は、図4の光強度①では葉緑体集合反応と葉緑体逃避反応の中間のような局在を示し、図4の光強度②では葉緑体逃避反応の局在を示す。一方で、葉緑体逃避反応を完全に欠く変異体(変異体Y)は、光強度に関係なく常に葉緑体集合反応の局在を示す。また、葉緑体集合反応を完全に欠く変異体(変異体Z)は、光強度に関係なく常に葉緑体逃避反応の局在を示す。

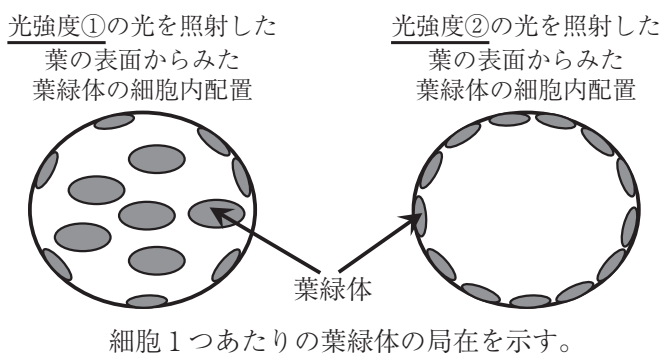


図5

葉緑体が損傷を受けずに光合成に利用できる最大の光強度は、60 キロルクスであるとする。このとき、図4の光強度①と光強度②において、変異体Yおよび変異体Zは、野生型と比べて光合成活性がどのように変化すると考えられるか、表1の(a)~(f)の中から正しいものを1つずつ選びなさい。なお、細胞内に含まれる葉緑体数は、全て同一のものとする。

表1

	<u>光強度①</u>	<u>光強度②</u>
(a)	高い	低い
(b)	高い	高い
(c)	同程度	高い
(d)	同程度	低い
(e)	低い	同程度
(f)	低い	高い

**問 3.** 下線部③に関連する次の問いに答えなさい。

- (1) 光屈性は、フォトトロピンによる青色光の感知と、植物ホルモンの先端から基底部へ一定の方向性をもった移動によって誘導される。光屈性に関与する植物ホルモンを答えなさい。また、この植物ホルモンのような移動様式を何というか答えなさい。
- (2) フォトトロピンは、光屈性、葉緑体集合反応、および葉緑体逃避反応を誘導する。これら以外にフォトトロピンが誘導する応答を、(a)~(d)の中から1つ選びなさい。
  - (a) 葉の展開
  - (b) 葉の老化の促進
  - (c) 気孔の閉鎖
  - (d) 重力屈性
- (3) 植物の光受容体の中で、花芽形成の制御に関与する青色光受容体を1つ答えなさい。

問 4. 下線部④に関連して、植物は周囲の光環境に応じて、茎の伸長成長を制御する。一般的に、赤色光下での茎の伸長成長制御には、フィトクロムタンパク質が関与する。そこで、全長のフィトクロムタンパク質のどの部分が、茎の伸長成長制御に重要なかを調べるために、シロイヌナズナを用いて以下の実験を行った。

実験1：図6に示すように、全長のフィトクロムタンパク質(全長)、およびフィトクロムタンパク質をアミノ末端側(N末)とカルボキシル末端側(C末)に分けたタンパク質に、緑色蛍光タンパク質(GFP)を融合させた(全長-GFP, N末-GFP, C末-GFP)。これらのタンパク質をコードする遺伝子を、フィトクロム変異体(フィトクロムタンパク質を完全に欠く変異体)に、それぞれ遺伝子導入し、遺伝子組換え植物(形質転換体)を作出した。また、作出した3つの形質転換体は、いずれも融合したタンパク質を適切に発現しており、フィトクロムタンパク質の発現量は、野生型(通常の植物)と同等であることを確認した。

次に、野生型、フィトクロム変異体、上記で作出した3つの形質転換体(全長-GFP形質転換体、N末-GFP形質転換体、C末-GFP形質転換体)の種子を播種し、種子の発芽を誘導後、暗所、もしくは赤色光のみを照射する条件(赤色光条件)で4日間生育させた。図7に、4日間生育させた植物体(芽生え)の胚軸(子葉と根の間の茎に相当する部分)の長さを測定した結果を示す。なお、実験で使用する植物を文中に波線で示した。



図6

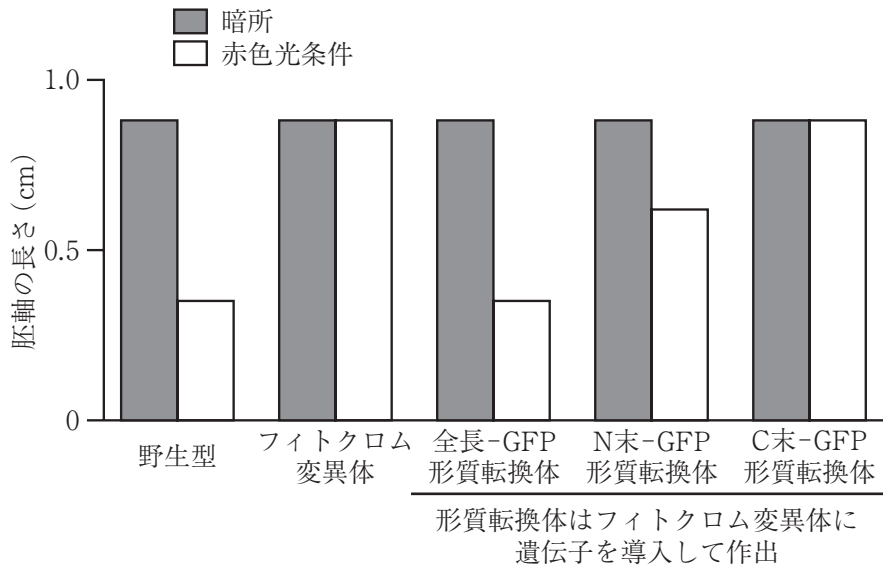








図7

(1) 図7の結果の解釈として、フィトクロムタンパク質のN末側は、植物の胚軸の伸長成長をどのように制御しているかについて、暗所と赤色光条件に分けて、(a)~(c)の中からそれぞれ適切なものを1つ選びなさい。なお、解答には同じ記号を選んでもかまわない。また、GFPタンパク質単独、あるいはGFPとフィトクロムタンパク質との融合は、フィトクロムタンパク質の機能に一切影響を与えないものとする。

- (a) 伸長の促進
- (b) 伸長の抑制
- (c) 制御に関与しない

実験2：暗所と赤色光条件で生育させた3つの形質転換体について、芽生えの胚軸の細胞のGFP蛍光を、蛍光顕微鏡を用いて観察した。その結果、全長のフィトクロムタンパク質は、暗所では細胞質に、赤色光条件では核に局在していた(図8)。一方、いずれの光条件においても、N末側のみのフィトクロムタンパク質は細胞質と核の両方に、C末側のみのフィトクロムタンパク質は核のみに局在することが分かった(図8)。

形質転換体の種類	暗所で生育させた芽生えの胚軸の細胞	赤色光条件で生育させた芽生えの胚軸の細胞
全長-GFP形質転換体		
N末-GFP形質転換体		
C末-GFP形質転換体		

GFPの蛍光がみられた場所をグレーで示す。

図8

そこで、図9で示すように、N末-GFPの断片に、タンパク質の局在場所を細胞質のみに限定できるアミノ酸配列(NES)、もしくは核のみに限定できるアミノ酸配列(NLS)を付加した2つの形質転換体(N末-GFP-NES形質転換体、N末-GFP-NLS形質転換体)を新たに作出した。なお、作出した2つの形質転換体は、いずれも融合したタンパク質を適切に発現しており、フィトクロムタンパク質の発現量は、野生型と同等であることを確認した。



図9

実験1と同様に、野生型、フィトクロム変異体、実験1で作出した全長-GFP形質転換体、新たに作出した2つの形質転換体の種子を播種し、種子の発芽を誘導後、暗所、もしくは赤色光条件で4日間生育させた。図10に、芽生えの胚軸の長さを測定した結果を示す。また、実験で使用する植物を文中に波線で示した。

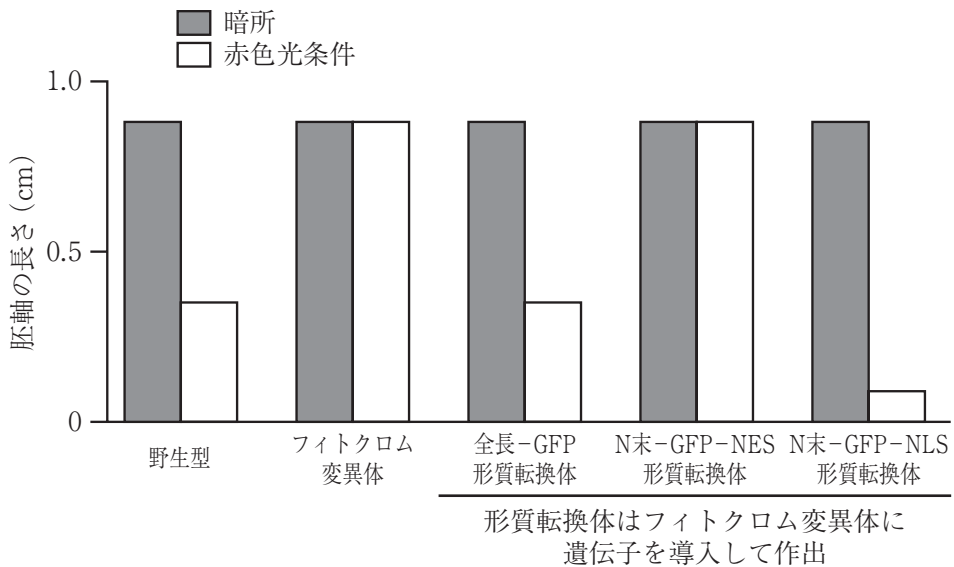


図10

- (2) 図10より、赤色光条件において、N末-GFP-NES形質転換体 (N末側のフィトクロムタンパク質が細胞質のみに局在する形質転換体)の胚軸の長さは、フィトクロム変異体と同程度であったのに対して、N末-GFP-NLS形質転換体 (N末側のフィトクロムタンパク質が核のみに局在する形質転換体)の胚軸の長さは、野生型および全長-GFP形質転換体に比べ、著しく短くなることが分かった。この理由を、実験1および実験2の結果に基づき、フィトクロムタンパク質のC末側の機能の観点から60字以内で説明しなさい。なお、NESおよびNLSのアミノ酸配列の単独発現は、胚軸の伸長成長に一切影響を与えないものとする。

〔2〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25点)

ヒトは、環境の変化に適応するため、多様な仕組みを進化させてきた。例えば視覚系では、周囲の光環境の変化に応じて網膜の感度が動的に調節される。明るい場所から暗い場所へ移動した後、網膜の光感度が徐々に上昇していく過程は〔ア〕と呼ばれる。一方で、ヒトの網膜には構造的な限界があるため、それを補う仕組みがある。<sup>①</sup>

身体活動が活発になると、自律神経系の1つである〔イ〕神経系が優位となる。このとき急増するエネルギー需要は、〔イ〕神経系に応答して副腎髄質から分泌される〔ウ〕やすい臓から分泌されるホルモンによる血糖調節、<sup>②</sup>さらに赤血球のヘモグロビンの質的・量的変化<sup>③</sup>など複数の仕組みにより支えられる。

免疫システムもまた体内環境を守る重要な要素として発達してきた。このシステムは、マクロファージなどが異物を即座に排除する〔エ〕免疫と、T細胞やB細胞が特定の異物を記憶して応答する〔オ〕免疫に大別され、後者ではB細胞が産生する〔カ〕が抗原を特異的に認識する。こうした免疫応答は全身に拡がり、体温、代謝、さらには行動様式までも変化させる。

このように、ヒトの環境適応は、神経系、代謝系、免疫系などの多様な調節機構により実現される。

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に関して、ヒトの網膜には視細胞のない盲斑があるが、通常はその視野の欠損に気づかない。こうした網膜の構造的な限界とそれを補う仕組みについて、2つの印(●と+)が記載された図1を用いた実験を行い、次の結果を得た。



図 1

- ・ 右眼のみ(左眼を覆う)で●を注視しながら図 1 を右眼に近づけたり遠ざけたりすると、ある距離で＋が消失した。
- ・ 左眼のみ(右眼を覆う)で＋を注視しながら図 1 を左眼に近づけたり遠ざけたりすると、ある距離で●が消失した。
- ・ 両眼で観察した場合は、どちらの印を注視しても、図 1 との距離にかかわらず両方の印が常に見えた。

上記の実験結果について、以下の文章中の〔キ〕と〔ク〕に入る適切な語句の組み合わせを、(a)~(d)から 1 つ選びなさい。

右眼の網膜において盲斑が存在するのは、注視している物体が投影される領域の〔キ〕側の領域である。片眼のみで見た場合には視野の欠損を認識できるが、両眼で見た場合には視野の欠損を認識できない。これは左右の眼の視野が重なっているうえ、脳の左右の視覚野が〔ク〕して欠損した情報を補うためである。

- (a) キ：鼻 ク：連携
- (b) キ：耳 ク：連携
- (c) キ：鼻 ク：独立
- (d) キ：耳 ク：独立

問 3. 下線部②の具体例として、成人健常者にブドウ糖溶液を飲んでもらい、その後の血糖値と、血糖調節を担うすい臓の主要なホルモンであるホルモン A およびホルモン B の血中濃度を測定した。その結果を図 2 に示す。次の問いに答えなさい。

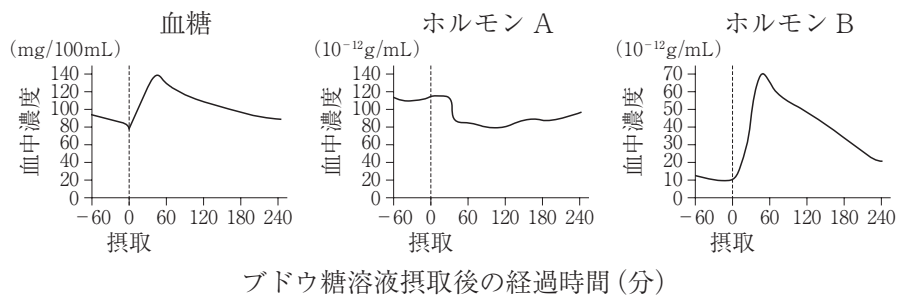


図 2

- (1) すい臓の主要なホルモン A とホルモン B の名称をそれぞれ答えなさい。
- (2) ホルモン B の働きとして、以下の文章中の〔ケ〕と〔コ〕に入る適切な語句の組み合わせを、(a)~(f)から 1 つ選びなさい。

ホルモン B は肝臓でグリコーゲンの〔ケ〕を促進し、血液中へのグルコースの放出〔コ〕。

- (a) ケ：合成 コ：を促進する
- (b) ケ：分解 コ：を促進する
- (c) ケ：合成 コ：は変化させない
- (d) ケ：分解 コ：は変化させない
- (e) ケ：合成 コ：を抑制する
- (f) ケ：分解 コ：を抑制する

(3) 身体活動が活発になり、筋肉がエネルギー源として体内のブドウ糖を利用する際には、ホルモン A の分泌量はどのように変化すると考えられるか。適切なものを、(a)～(c)から選びなさい。

- (a) 増加する      (b) 変化しない      (c) 減少する

問 4. 下線部③に関して、ヒトは、体がおかれている生理的環境変化に応じて、短期的にはヘモグロビンの質を、長期的にはヘモグロビンの量も変化させて環境に適応する。この現象に関して、以下の問いに答えなさい。

(1) 短期的な環境適応の例として、運動時のヘモグロビンの酸素運搬機能の調節が挙げられる。運動によって筋肉における酸素を使ったエネルギー産生が高まると、二酸化炭素濃度の上昇と pH の低下が起こる。これらの変化は、筋肉内の血管を通過する赤血球のヘモグロビンの酸素結合力に影響を与え、酸素解離曲線は平常時(実線)から運動時(破線)へ右方に移動する(図 3)。なお、酸素解離曲線は、酸素分圧に応じたヘモグロビンの酸素結合率(飽和度)を示す。

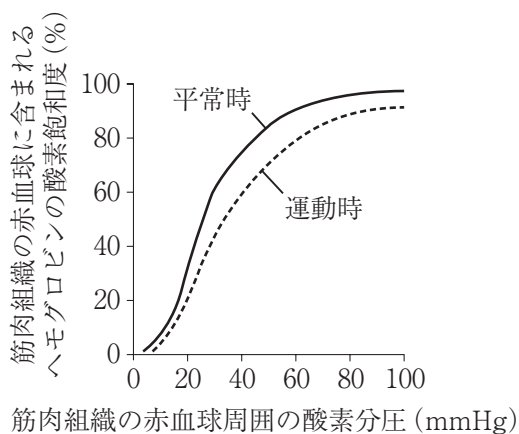


図 3

運動時におけるヘモグロビンの質的变化(図 3)の意義について、同じ酸素分圧での平常時と運動時のヘモグロビンの酸素飽和度に着目して 60 字以内で述べなさい。

- (2) 長期的な環境適応の例として、高地順応におけるヘモグロビン量の増加や酸素飽和度の調整による酸素運搬能力の向上が挙げられる。表1は、平地滞在時と高地順応後に測定した血液のデータである。平地滞在時に比べて、高地順応後の筋肉への酸素供給量は血液1.0 mLあたり何 mL増加したか。有効数字2桁で答えなさい。ただし、ヘモグロビン1.0 gは1.4 mLの酸素と結合するものとする。

表1

	平地滞在時	高地順応後
血液中のヘモグロビン濃度 (g/mL)	0.15	0.18
肺胞での酸素飽和度 (%)	100	95
筋肉での酸素飽和度 (%)	70	50

- (3) ヒトでは赤血球は一定の寿命(平均120日)で入れ替わり、常に産生と分解が釣り合うように調節されている。体重60 kgの成人健常者の平地滞在時の血液1.0 Lあたりの赤血球数は $5.0 \times 10^{12}$ 個、血液の密度は1.0 kg/L、体重に対する血液の質量比は8.0%とする。この成人が平地滞在時と数年間の高地順応後に測定したヘモグロビン濃度が表1の通りであったとき、以下の文章中の〔サ〕と〔シ〕に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。ただし、赤血球1個あたりに含まれるヘモグロビン量は一定であり、ヘモグロビン濃度の増加比がそのまま赤血球数の増加比に反映されるものとする。また、ヘモグロビン濃度と赤血球数以外は平地滞在時と高地順応後で変化しないものと仮定する。

平地滞在時において1日あたりに産生される赤血球数は〔サ〕個である。高地順応後には、平地滞在時の産生量に比べて1日あたり〔シ〕個の赤血球が増加していると見積もられる。



〔3〕 以下の問いに答えなさい。(25点)

問 1. 減数分裂は配偶子を生み出すことで有性生殖を可能にする重要な細胞分裂様式である。減数分裂のもう一つの重要な側面は、生じる配偶子をもつ遺伝情報の多様性を生み出すことにある。減数分裂が配偶子ごとの遺伝情報の違いを生み出す仕組みは、主として減数〔ア〕分裂〔イ〕期において、対合した〔ウ〕染色体間で起こる〔エ〕と呼ばれる染色体の部分的な交換に基づいている。〔エ〕の結果、〔ウ〕染色体間での遺伝情報の入れ替わり、すなわち〔オ〕<sup>①</sup>が起こる。その後、生み出された配偶子は受精を経て次世代を形成する。

(1) 文章中の〔ア〕～〔オ〕に入る適切な語句を答えなさい。

(2) 下線部①に関連して次の問いに答えなさい。

ショウジョウバエの常染色体上に、正常体色を司る対立遺伝子 A および黒体色を司る対立遺伝子 a、そして正常眼色を司る対立遺伝子 B および紫眼色を司る対立遺伝子 b があつたとする。これらの遺伝子座間において〔オ〕の現象が一回の減数分裂過程で 10% の確率で生じるとする。遺伝子型が AaBb であるオス・メスを交配した場合、次世代の個体が示す表現型の出現頻度について最も適切なものを表 1 の①～④から選びなさい。なお上記の A および B に対し、a および b はそれぞれ潜性であり、これらの遺伝子座は同一染色体上に存在し、各対立遺伝子は図 1 のように存在するとする。また、〔オ〕はオス・メスのショウジョウバエで等しく起こるものとする。



太線は染色体を、文字は対立遺伝子を表す。

図 1

表 1

	表現型の出現頻度 (%)			
	正常体色 正常眼色	正常体色 紫眼色	黒体色 正常眼色	黒体色 紫眼色
①	70	5	5	20
②	66	2	2	30
③	60	10	10	20
④	60	5	5	30

問 2. 卵は発生に必要な様々な物質を細胞質中に蓄えた大きな細胞である。ショウジョウバエの前後軸の形成においては、卵内にあらかじめ蓄積する mRNA やタンパク質などの分子 (母性因子, 母性効果遺伝子に由来する分子) の偏りをもった分布が重要な役割をもつ。このような分子のうち卵前方に局在するビコイド mRNA は、受精後に翻訳されタンパク質となり胚の前方部を形づくる。一方、卵後方に蓄積するナノス mRNA は、受精後に翻訳されタンパク質となり胚の後方部 (腹部) を形づくる。ビコイド mRNA とナノス mRNA の卵への蓄積は、ショウジョウバエ卵巣中における卵を作り出す過程 (卵形成過程) において生じる。

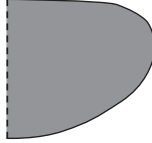
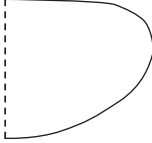
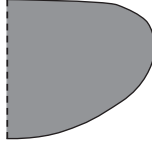
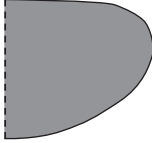
(1) 下線部①に関して、次の問いに答えなさい。

ビコイド遺伝子について、正常な働きをもつタンパク質をコードする対立遺伝子を M, 機能を欠いたタンパク質をコードする対立遺伝子を m とした場合、前方部の形成不全が起こる胚となる受精卵を生み出すオス・メスショウジョウバエの遺伝子型の組み合わせとして適切なものを次の(a)~(i)から全て選びなさい。なお、m は M に対し潜性であるとする。

- (a) オス : MM   メス : MM   (b) オス : Mm   メス : MM  
(c) オス : mm   メス : MM   (d) オス : MM   メス : Mm  
(e) オス : Mm   メス : Mm   (f) オス : mm   メス : Mm  
(g) オス : MM   メス : mm   (h) オス : Mm   メス : mm  
(i) オス : mm   メス : mm

(2) 下線部②に関連して、次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

ナノスタンパク質を欠く受精卵に由来する胚は、胚の後方部(腹部)の形成が起きなくなる表現型を示す。また、ナノスタンパク質を欠く受精卵では、ハンチバック遺伝子に由来する分子(ハンチバック mRNA, ハンチバックタンパク質)の量が、正常な胚に比べて図2のように変化する。

	ハンチバック mRNA	ハンチバックタンパク質
正常な受精卵		
ナノスタンパク質を欠く受精卵		

図は受精卵の後方を表す。白色は分子の蓄積がないことを、灰色は分子が蓄積していることを示す。

図2

(i) 『ナノスタンパク質を欠く受精卵に由来する胚で、胚の後方部(腹部)の形成が起きなくなる原因が、図2に示したハンチバックタンパク質の量の変化に起因するという仮説』を証明したい。この仮説を証明するために、ナノスタンパク質を欠く受精卵に対し行う操作として適切なものを、次の①～③から1つ選びなさい。

- ① ナノス mRNAを増やす。
- ② ハンチバック mRNAを増やす。
- ③ ハンチバック mRNAを減らす。

(ii) 前問(i)の操作を行った受精卵に由来する胚がどのような表現型を示せば仮説が正しいと証明できるかを40字以内で答えなさい。

(3) 図2に示す結果に基づき、ナノスタンパク質がハンチバック mRNAに対し、どのように作用するかを40字以内で述べなさい。

**問 3.** 以下の文章中の〔カ〕～〔ケ〕に入る適切な語句を答えなさい。

ショウジョウバエの胚の前後軸が指定された後、複数の調節遺伝子が前後軸に沿って異なった場所で発現するようになる。発現する調節遺伝子の組み合わせにより、さらに別のグループの遺伝子が働いて、胚は前後軸に沿った節(体節)が並んだ状態を形づくる。前後軸に沿った体節をつくる遺伝子を総称して〔カ〕遺伝子という。〔カ〕遺伝子には発現が始まる時期などによって3つのグループがあり、例えば前後軸が指定された後、初めに発現することで胚の大まかな区画化を行う〔キ〕遺伝子群などがある。一連の〔カ〕遺伝子の働きにより形成されたそれぞれの体節が、その後の発生において成体のどの部位になるかは、〔ク〕遺伝子と呼ばれる調節遺伝子の働きによって決まる。〔ク〕遺伝子に由来するタンパク質は、それぞれ非常によく似かよった〔ケ〕と呼ばれるアミノ酸配列をもつことが特徴である。〔ク〕遺伝子は、ショウジョウバエに限らずほとんど全ての動物のゲノムに存在し、動物の形づくりに働いている。

〔4〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25点)

細胞増殖を促進するタンパク質である上皮成長因子(EGF)は、正常状態では上皮成長因子受容体(EGFR)に結合し、細胞の成長や増殖を調節する。しかし、EGFR 遺伝子に変異が起こると細胞増殖の制御ができず、無秩序に細胞が増殖し、がんが発生しやすくなることが知られている。このEGFRの性質を調べるために、実験1～4を行った。

実験1：ヒト肺がん細胞からRNAを抽出し、RNAを用いて相補的なDNAを合成した。得られたDNAを鋳型にしてポリメラーゼ連鎖反応(PCR)を行ってEGFR 遺伝子を増幅した。

問 1. 下線部①のようにRNAからDNAを合成する反応の名称を答えなさい。

問 2. 以下の文章中の〔ア〕～〔ウ〕に入る適切な語句を答えなさい。

DNAを構成するアデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)は、A-T間では〔ア〕本、G-C間では〔イ〕本の〔ウ〕結合を形成して、二重らせん構造を維持する。

問 3. 図1の点線の内側は、遺伝子を増幅する過程の1サイクル目のPCRの温度条件を示す。図中の①、②の過程で起こる反応をそれぞれ30字以内で答えなさい。矢印は時間の経過を示す。

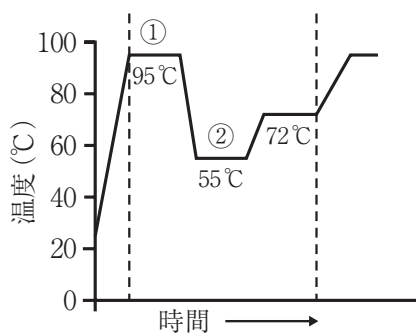


図1

実験2：実験1で得られたPCR産物の遺伝子配列を確認したところ、正常なEGFRと比較して、858番のロイシン(L)がアルギニン(R)に変異していた。肺がんでは、この変異以外に790番のチロシン(T)のメチオニン(M)への変異も多く検出されている。そこで、790番と858番の2つのアミノ酸に変異を有するEGFR遺伝子を作製することにした。これ以降、正常なEGFRと各アミノ酸変異をT790M、L858Rと表記し、それぞれに対応する遺伝子をEGFR(正常型)、EGFR(L858R)、EGFR(T790M/L858R)と称する。なお、ヒトEGFRは1,210個のアミノ酸からなる。

実験1で得られたEGFR(L858R)遺伝子を用いて、図2に示す方法でEGFR(T790M/L858R)遺伝子を作製するために、フォワード1(F1)プライマーとリバース1(R1)プライマー、フォワード2(F2)プライマーとリバース2(R2)プライマーを設計した。

- ・1回目のPCRでは、F1プライマーとR1プライマーを使用し、1塩基から2,391塩基までを増幅した。
- ・2回目のPCRでは、F2プライマーとR2プライマーを使用し、2,349塩基から必要箇所までを増幅した。
- ・3回目のPCRでは、1回目と2回目のPCR産物を混合して鋳型とし、F1プライマーとR2プライマーを使用し、EGFR(T790M/L858R)遺伝子を作製した。

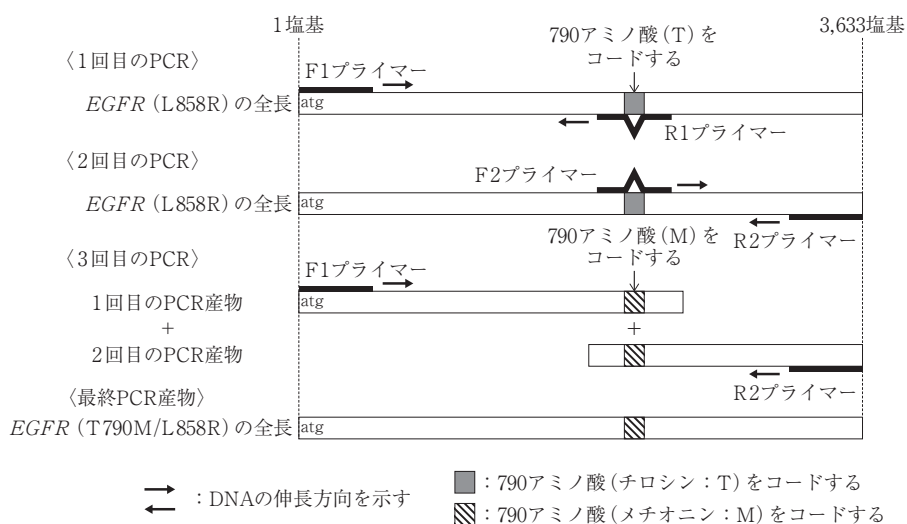


図2

問 4. R1 プライマーの設計には、図 3 に示す EGFR (L858R) の 786 番 (バリン：V) から 797 番 (システイン：C) のアミノ酸配列 (上段) と、それらのアミノ酸をコードする塩基配列 (下段) の 2,356 番 (g) から 2,391 番 (c) までの配列情報を用いた。

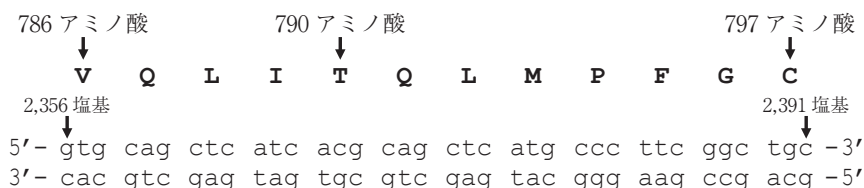


図 3

R1 プライマーの設計で正しいのは(ア)~(エ)のどれか選びなさい。

- (ア) 5'- gtg cag ctc atc acg cag ctc atg ccc ttc ggc tgc -3'
- (イ) 5'- gtg cag ctc atc atg cag ctc atg ccc ttc ggc tgc -3'
- (ウ) 5'- gca gcc gaa ggg cat gag ctg cgt gat gag ctg cac -3'
- (エ) 5'- gca gcc gaa ggg cat gag ctg cat gat gag ctg cac -3'

問 5. R2 プライマーの設計には、図 4 に示す EGFR (L858R) の 1,199 番 (アルギニン：R) から 1,210 番 (アラニン：A) のアミノ酸配列 (上段) と、それらのアミノ酸をコードする塩基配列 (下段) の 3,595 番 (a) から終始コドン (\*) の 3,633 番 (a) までの配列情報を用いた。なお、R2 プライマーを用いて作製する EGFR (T790M/L858R) 遺伝子は、読み枠を合わせて 3' 末端側に蛍光タンパク質の遺伝子配列を直接融合させてプラスミドを作製する。

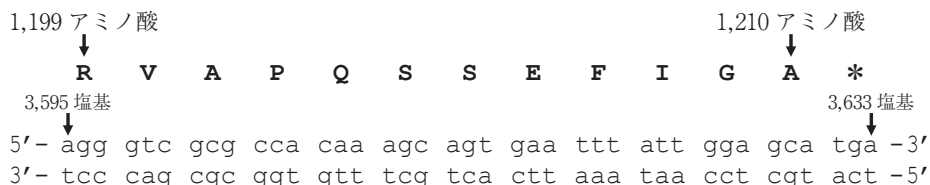


図 4

R2 プライマーの設計で正しいのは(ア)~(エ)のどれか選びなさい。

- (ア) 5'- agt acg agg tta ttt aag tga cga aac acc gcg ctg -3'
- (イ) 5'- acg agg tta ttt aag tga cga aac acc gcg ctg gga -3'
- (ウ) 5'- tgc tcc aat aaa ttc act gct ttg tgg cgc gac cct -3'
- (エ) 5'- tca tgc tcc aat aaa ttc act gct ttg tgg cgc gac -3'

実験3：プラスミドを細胞株に導入し、任意のタンパク質を細胞に過剰発現させることで目的のタンパク質の機能を評価できる。機能評価では、プラスミドが導入されなかった細胞は解析しないため、プラスミドが導入される細胞の割合（導入率）は重要である。このシステムを用いるために、蛍光タンパク質を発現するプラスミドを用いてプラスミド導入試薬A～Dのうち最適な導入試薬を検討した。表1に、試薬処理前と試薬処理48時間後の全細胞数と蛍光タンパク質発現細胞数の計測結果を示す。

表1

	試薬処理前	試薬処理48時間後	
	全細胞数	全細胞数	蛍光タンパク質発現細胞数
試薬A	$1.0 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^3$
試薬B	$1.0 \times 10^5$	$5.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^2$
試薬C	$1.0 \times 10^5$	$1.8 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5$
試薬D	$1.0 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$8.7 \times 10^4$

**問6.** 細胞へのプラスミドの導入率が最も高いのは、試薬A～Dのどれか1つ答えなさい。ただし、使用したプラスミドと試薬の濃度は全て同じである。細胞に導入されたプラスミドは細胞内で全て蛍光タンパク質を発現することとする。このプラスミド自体は細胞の生存・増殖には影響しないものとする。

実験4：次に、EGFR(正常型) 遺伝子と実験2で作製したEGFR(T790M/L858R) 遺伝子の3'末端側に蛍光タンパク質の遺伝子配列を直接融合させたプラスミドを作製した。これらを使って、新規抗がん剤の探索のために、EGFR(T790M/L858R)を発現させた細胞の細胞増殖率を強く抑制する薬剤を見つけることにした。各プラスミドをヒト肺がん由来の細胞に実験3で選んだ試薬を用いて導入し、過剰発現させた。その細胞に、抗がん剤の候補化合物X、Y、Zを各濃度(0.001～10 μM)で処理し、48時間後に蛍光タンパク質発現細胞数を測定した。比較対象として候補化合物と等量の溶媒のみを処理した未処理群を作製し、未処理群の蛍光タンパク質発現細胞数を100%としてそれぞれの蛍光タンパク質発現細胞の割合を算出した。EGFR(正常型) 遺伝子を導入した細胞の結果を図5左、EGFR(T790M/L858R) 遺伝子を導入した細胞の結果を図5右に示す。ただし、各群において使用した細胞数は同じで、プラスミドは全群において同じ割合で細胞に導入され、細胞に導入されたプラスミドは全て蛍光タンパク質を発現するものとする。

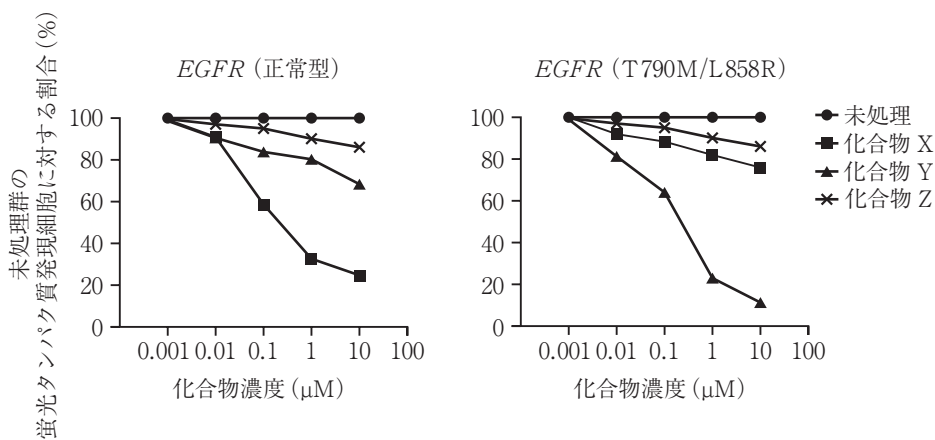


図5

問 7. ヒト肺がん由来の細胞を使用した実験4の結果を適切に考察しているのはどれか。(ア)～(カ)から2つ選びなさい。なお、化合物による抗がん作用とは、細胞増殖を抑制し細胞死を誘導することとする。

(ア) 化合物 X は、EGFR (正常型) を発現させた細胞に対して抗がん作用を示すが、EGFR (T790M/L858R) を発現させた細胞に対してはそのような効果は小さい。

(イ) 化合物 X は、EGFR (正常型) あるいは EGFR (T790M/L858R) を発現させたどちらの細胞においても、投与濃度を下げると抗がん作用を示す。

(ウ) EGFR (T790M/L858R) を発現させた細胞に化合物 Y を処理した場合、50% の細胞が生存する濃度は  $0.01 \mu\text{M}$  である。

(エ) 化合物 Y は、EGFR (正常型) を発現させた細胞と比較して、EGFR (T790M/L858R) を発現させた細胞に対して、強い抗がん作用をもつことから、抗がん剤候補化合物として適している。

(オ) 化合物 Z は、EGFR (正常型) あるいは EGFR (T790M/L858R) を発現させたどちらの細胞においても、細胞増殖を促進する。

(カ) 化合物 Z は、EGFR (T790M/L858R) を発現させた細胞に対して、化合物 Y より強い抗がん作用を示す。

〔5〕 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25点)

問 1. 生物を対象とした分類学は、18世紀中頃、スウェーデンの生物学者〔ア〕によって体系化された。〔ア〕は生物に二名法に基づいた世界共通の名前である〔イ〕を付けることを提唱した。この方法の導入により、生物の名前や分類に統一性が生まれ、研究成果を広く共有できるようになった。現在では、生物間の系統関係を調べた結果を踏まえ、生物は階層的に分類・整理されている。特に、界より上位の分類階級はドメインと呼ばれ、3つのグループから構成されている。

- (1) 文章中の〔ア〕,〔イ〕に入る適切な語句を答えなさい。
- (2) 下線部①に関して、ドメインを構成する3つのグループを全て答えなさい。

問 2. ダーウィンは調査船ビーグル号に乗り、約5年の歳月をかけて南米やアフリカなどを訪問した。帰国後、1859年に「種の起源」を出版し、観察した動植物を紹介するとともに、進化の原動力として自然選択を提唱した。自然選択とは、環境に適応した形質をもつ個体が生き残りやすく、その特徴が次世代に受け継がれる仕組みである。

自然選択の存在を明らかにするために、これまでに様々な調査が行われてきた。例えば、生命表は発育段階ごとの生存数や死亡数をまとめたもので、<sup>①</sup>どの発育段階で自然選択が強く働いているかを示すことができる。生存曲線は生命表をもとに生存個体数の推移をグラフ化したものであり、<sup>②</sup>生物の生存曲線には代表的に3つの型が知られている。

- (1) 下線部①に関して、生物 P の生命表を調査したところ、表 1 の結果が得られた。表 1 の(a)~(d)にあてはまる数字を答えなさい。

表 1

相対的な齢	生物 P の生存個体数*	生物 P の死亡個体数**	生物 P の期間内の死亡率 (%)
0 - 20	1000	200	20.0
20 - 40	(a)	(b)	25.0
40 - 60	(c)	210	(d)
60 - 80	390	195	50.0
80 - 100	195	194	99.5
100	1	1	100.0

\* 各期間の開始時に生存している個体数

\*\* 各期間内に死亡した個体数

- (2) 下線部②に関して、生物 Q, R の生命表を調査したところ、表 2 の結果が得られた。また、生存曲線は図 1 のようになった。生物 Q と R に該当するものを、(a)~(d)の中からそれぞれ 1 つ選びなさい。

- (a) イワシ
- (b) シジュウカラ
- (c) ヒト
- (d) ミツバチ

表 2

相対的な齢	生物 Q の生存個体数*	生物 R の生存個体数*
0 - 20	1000	1000
20 - 40	200	10
40 - 60	50	5
60 - 80	15	3
80 - 100	4	2
100	1	1

\* 各期間の開始時に生存している個体数

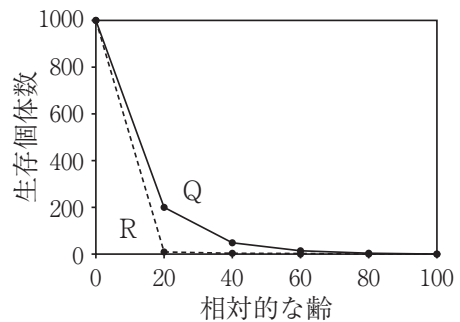


図 1

問 3. 生物の進化のうち、集団内での遺伝的構成が変化し、それに伴って、種内の形質などが変化することがある。こうした現象を小進化と呼ぶ。虫こぶを形成するミバエにおいては、生物間相互作用による小進化が報告されている。虫こぶとは、昆虫が植物に何らかの刺激を与え、植物組織を異常に肥大させるなどして形成された構造のことである。

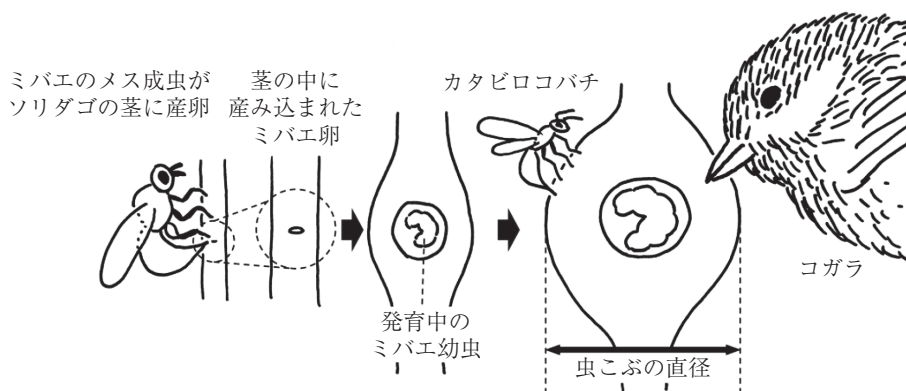


図 2

ミバエは草原環境から森林環境まで広く生息しており、キク科のソリダゴという植物にのみ虫こぶを形成することが分かっている。ミバエの生活史は図2のとおりである。メス成虫はソリダゴの茎に卵を産み込む。産み込まれた卵はほどなくしてふ化する。ふ化した幼虫は、組織肥大を誘導する物質をソリダゴの茎に注入する。これにより虫こぶの形成が始まり、幼虫を覆うように茎が肥大化し、球形の虫こぶとなる。虫こぶは幼虫の成長とともに肥大化し成熟する。成熟した虫こぶの直径には多様性があり、直径 12 mm 程度の小さい虫こぶから、直径 22 mm 程度の大きい虫こぶもみられる。ミバエ幼虫は虫こぶの内側の植物組織をエサとして成長し、やがてサナギとなる。羽化した成虫は、虫こぶの壁をかみ破り植物体外へ飛び立つ。

ミバエには 2 種の天敵がいる。1 つは、草原環境と森林環境の両方に生息するカタビロコバチという寄生蜂である。カタビロコバチは虫こぶの外から産卵管を差し込み、中にあるミバエ幼虫に自らの卵を産み付け寄生する。寄生されたミバエは死亡する。もう 1 つは、森林環境のみに生息するコガラという野鳥である。コガラはくちばしで虫こぶに穴をあけ、中にあるミバエ幼虫を捕食する。

草原環境と森林環境において、虫こぶの直径ごとに、生き残ったミバエの割合、カタビロコバチに寄生されたミバエの割合、コガラに捕食されたミバエの割合を調査したところ、図3の結果が得られた。

なお、ミバエの死亡要因はカタビロコバチによる寄生とコガラによる捕食のみとする。また、大きい虫こぶを作るミバエと小さい虫こぶを作るミバエでは、羽化時期や発育期間などの生態的な特徴は同じとする。

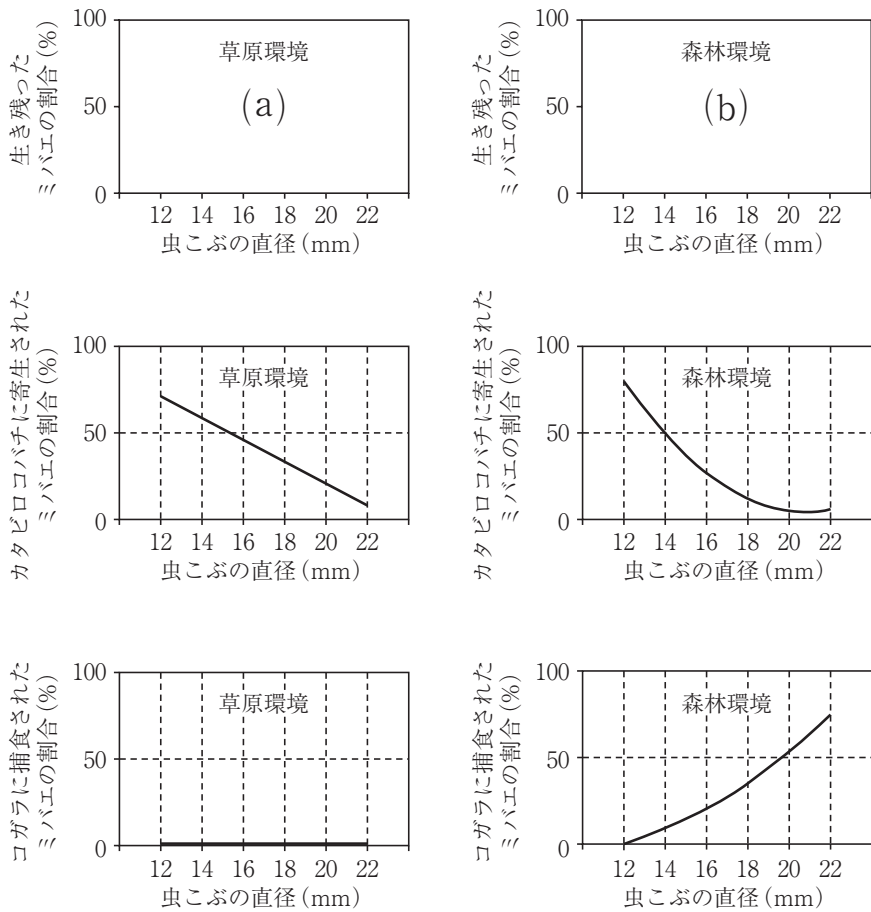
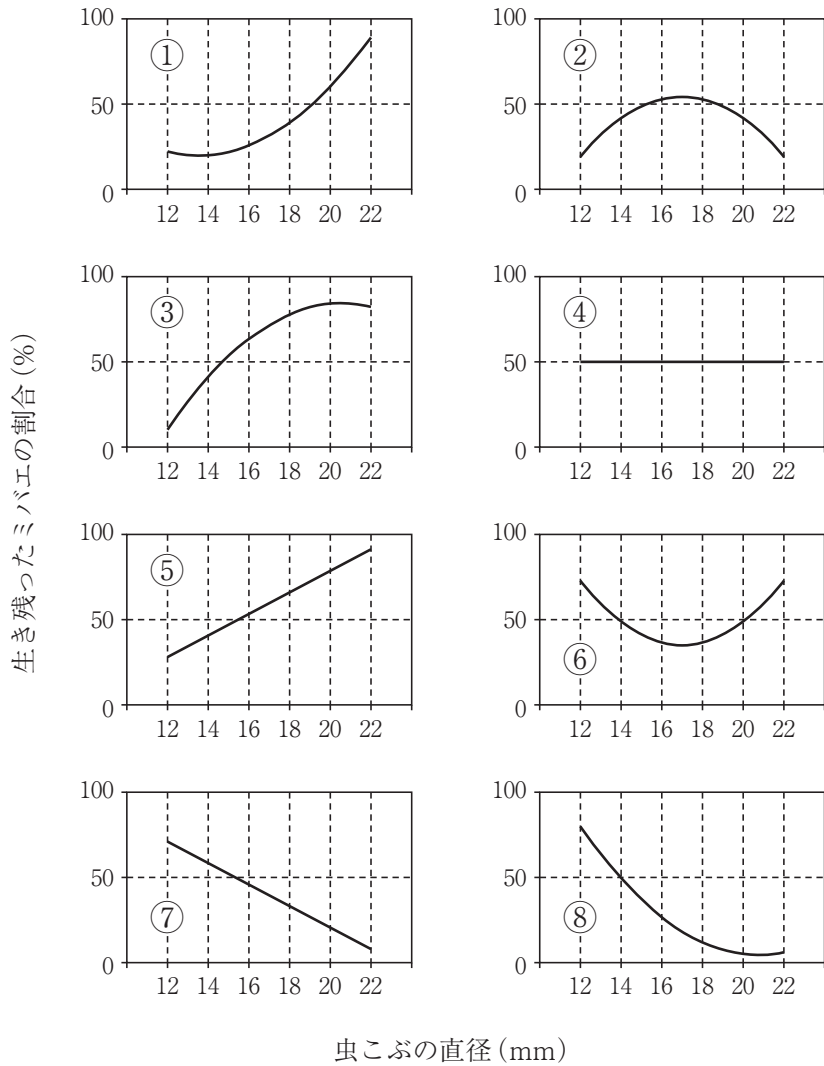


図 3

図3の(a), (b)にあてはまるグラフを次の選択肢①～⑧の中から、それぞれ1つ選びなさい。また、草原環境と森林環境において、虫こぶの大きさにどのような自然選択が働いていると解釈できるか。理由とともに60字以内で説明しなさい。なお、同じ選択肢を複数回選んでもよい。





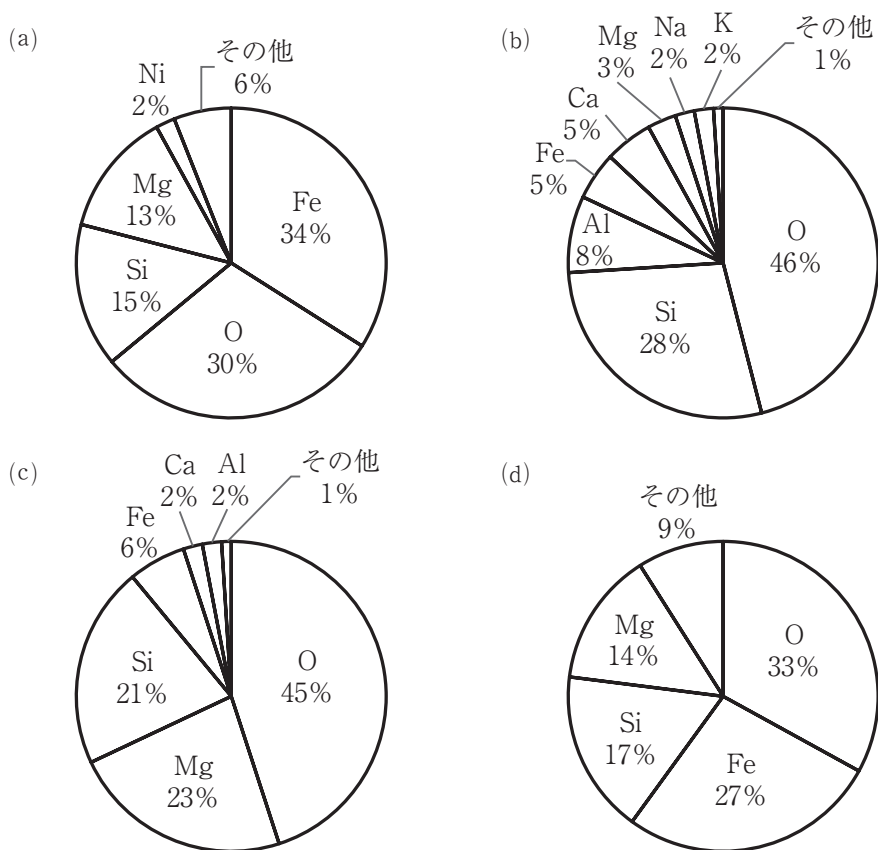


# 地 学 基 礎 · 地 学

〔1〕 次の文を読み、以下の問い(問1～問5)に答えよ。(30点)

地震波の伝わり方や速度分布から地球内部の構造や化学組成を調べることができ( A )。モホロビッチ不連続面(モホ面)から深さ約2900 kmまでの部分をマントル、約2900 kmから約5100 kmまでの部分を外核、約5100 kmより深い部分を内核という。モホ面から深さ約660 kmまでは上部マントルで主にかんらん岩からなり、以深は下部マントルである。S波が伝わらないことから、外核は液体であると考えられる( B )。外核のダイナモによって、地磁気が生成・維持されている( C )。内核は固体であり、地球の冷却により徐々に成長している( D )。

問1. 下線部(A)に関し、マントルを構成する物質の化学組成(重量比)として最も適切なものを次の(a)～(d)から選び、解答欄に記号を記せ。



問 2. 下線部(B)に関し、下部マントルを構成する鉱物の特徴について、上部マントルとの比較を交えて 60 字以内で説明せよ。(解答欄：60 マス)

問 3. 下線部(C)に関して、次の(a)~(d)の現象のうち、その原因が外核のダイナモであるものはどれか。最も適切なものを一つ選んで解答欄に記号を記せ。

- (a) デリンジャー現象                      (b) 地磁気の逆転  
(c) オーロラの出現                      (d) 偏角や水平分力の日変化

問 4. 下線部(D)に関して、地表における 2 地点 P, Q で地磁気を測定したところ、水平分力と伏角がそれぞれ地点 P で 8700 nT, 80°, 地点 Q で 31000 nT, 15°であった。鉛直分力は地点 P, Q のどちらが大きいか、計算に基づいて示せ。 $\tan 15^\circ = 0.27$ ,  $\tan 80^\circ = 5.7$  とし、解答欄には途中の計算も示すこと。

問 5. 下線部(E)に関して、外核と内核の組成が同じであるとして、下の文が正しいものになるように、〔ア〕, 〔イ〕に入る語句として最も適切なものをそれぞれの解答群から一つずつ選び、解答欄に記号を記せ。

地球深部には地球の誕生時に〔ア〕などによって発生した熱が残っている。地球深部の温度は深くなるほど高く、内核は外核よりも高温であるが、〔イ〕ため金属が融けず、固体となっている。

〈アの解答群〉

- (a) 放射性同位体の崩壊                      (b) 微惑星の衝突  
(c) マグマオーシャン                      (d) 温室効果

〈イの解答群〉

- (a) 圧力が高い                      (b) 圧力が低い  
(c) 熱流量が大きい                      (d) 熱流量が小さい

〔2〕 次の文を読み、以下の問い(問1～問5)に答えよ。(30点)

地質時代は生物の進化に基づいて区分されてきた。地球が誕生した約46億年前から5億3900～4200万年前までの時代を先カンブリア時代といい、生命の進化において極めて重要な出来事が起こった。<sup>(A)</sup>先カンブリア時代が終わると生物は一気に現在の姿に近いものに変化した。<sup>(B)</sup>図1は、5億3900～4200万年前から現在までの海生動物の科数の時代的变化を示しており、5回の大量絶滅を経験しながらも生物多様性は増加した。<sup>(C)</sup>先カンブリア時代より後の時代を〔ア〕と呼び、古生代、〔イ〕、新生代の三つの地質時代に区分される。

問1. 下線部(A)について先カンブリア時代に起こった出来事として適切なものを、次の(a)～(f)からすべて選び、解答欄に記号を記せ。

- (a) 真核生物の出現      (b) 多細胞生物の出現      (c) 陸上への生物進出  
 (d) 脊椎動物の出現      (e) 光合成生物の出現      (f) 原核生物の出現

問2. 〔ア〕, 〔イ〕に当てはまる地質時代を答えよ。

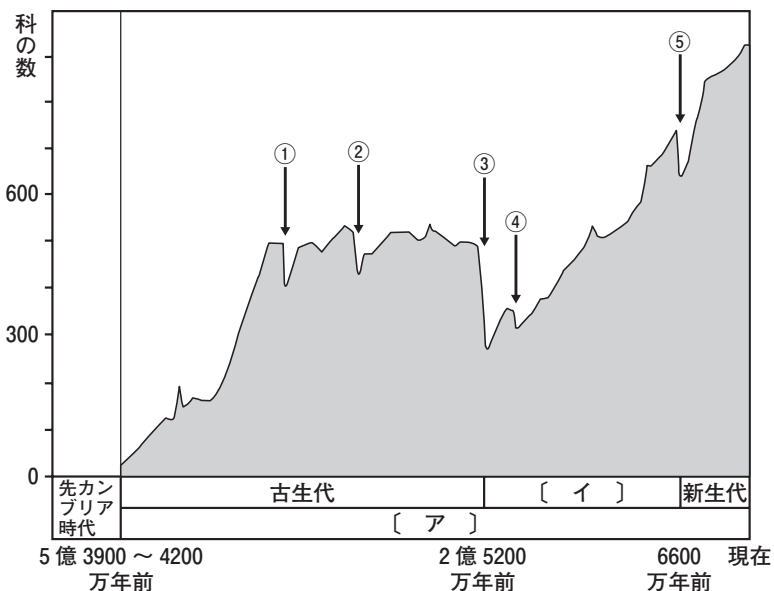


図1 海生動物の科数の時代的变化。①～⑤は5回の大量絶滅を示す。

**問 3.** 下線部(B)について、エディアカラ生物群(先カンブリア時代)とバージェス動物群(カンブリア紀)の体のつくりや形態の違いを100字以内で説明せよ。(解答欄：100マス)

**問 4.** 下線部(C)について、図1の大量絶滅③の原因としてもっとも適切なものを(a)~(d)から一つ選び、解答欄に記号を記せ。

- (a) 超大陸パンゲアが形成され、内陸の砂漠化が進んだ。
- (b) 超大陸パンゲアが分裂し、大規模な海進が起こった。
- (c) 大規模な火成活動や、海洋での極端な酸素欠乏が起こった。
- (d) 陸上に森林が発達し、大気中の二酸化炭素濃度が減少した。

**問 5.** 下線部(C)について、図1の大量絶滅⑤の原因は天体衝突によるものと考えられている。大量絶滅⑤の時に起こった天体衝突の地質学的証拠について、証拠を二つあげて、それぞれ60字以内で説明せよ。(解答欄：各60マス)

〔3〕 次の文を読み、以下の問い(問1～問6)に答えよ。(30点)

北半球中緯度の日本の上空では一般的に西風が吹いている。ところが、上空の気圧分布をみると、日本の南では気圧が高く、反対に北では気圧が低くなっている。〔ア〕を考えると、高压部から低压部に向かって南風が吹かなければならない。この矛盾を解消するために、大気にはたらく遠心力から考えることにする。

問題を単純にするために、単位質量の大気にはたらく遠心力を  $F$  とする。また、日本の上空で吹いている西風の風速を  $U$ 、地球を円盤に見立てたときの自転の角速度を  $\Omega$ 、回転半径を  $R$  とする。西風が吹いているということは、地球の自転速度  $R\Omega$  よりも速い速度で大気が回転していることを意味するので、回転しているその大気にはたらく遠心力は以下の式で表すことができる。

$$F = \frac{(R\Omega + U)^2}{R} \quad \dots \textcircled{1}$$

①を展開すると三つの項が得られる。三つの項のうち、風速に比例している項がコリオリの力(転向力)と考えてもよい。

日本の上空では、コリオリの力は風の向きに対して直角右向きにはたらくので、西風に対して南向きの力になり北風成分を生み出そうとする。一方、〔ア〕は北向きなので、南風成分を生み出そうとする。もし〔ア〕とコリオリの力がバランスしていれば、北風成分も南風成分も生じないので、等圧線に平行な西風が吹くことになる。このような風を〔イ〕という。つまり、冒頭の西風はおおむね〔イ〕の特徴をもっているといえる。

問 1. 文中の〔ア〕,〔イ〕に入る適切な語句を解答欄に記せ。

問 2. ①から得られるコリオリの力を解答欄に記せ。

- 問 3. 風速が同じであればコリオリの力の大きさは緯度によって異なるという特徴をもつが、①はそれを考慮していない。つまり、地球は円盤ではないので緯度補正が必要になる。緯度 $\phi$ におけるコリオリの力を解答欄に記せ。ただし、地球の自転の角速度は $\Omega$ を、風速は $U$ をそのまま用いるものとする。
- 問 4. 台風を中心付近では、反時計回りで非常に強い風が吹いている。地表摩擦が無視できる上空では、円形の等圧線と平行して風が吹いている。この風は〔イ〕とは区別される。両者の異なる点を60字以内で説明せよ。(解答欄：60マス)
- 問 5. 海洋においても、海水面の高低差により、〔イ〕と同じ原理の流れを考えることができる。この流れはエクマン吹送流とは区別される。両者の異なる点を100字以内で説明せよ。(解答欄：100マス)
- 問 6. 日本の南岸を流れる黒潮も海水面の高低差に起因している。また、黒潮から暖水渦が切り離されたり、親潮から冷水渦が切り離されることがある。一般的に暖水渦は時計回り、冷水渦は反時計回りに回転している。これらの特徴から、渦の周りの海水面と比べた暖水渦と冷水渦の中心付近の海水面の高低について100字以内で説明せよ。(解答欄：100マス)

〔4〕 次の文を読み、以下の問い(問1～問6)に答えよ。(35点)

宇宙の天体の距離を測定することは難しく、太陽近傍の恒星から遠方の銀河までの距離を一つの方法で測定することはできない。そのため、天体までの距離は、さまざまな方法によって測定、または推定される。太陽近傍の恒星については、年周視差を用いて距離を測定することができる。恒星の明るさは、等級で表すことができる。絶対等級を縦軸、表面温度(またはスペクトル型)を横軸にとつたHR図(ヘルツシュプルング・ラッセル図)上では、主系列星は左上から右下へ帯状に分布する。HR図を用いることで、年周視差の測定が困難な遠方の主系列星の距離を推定することができる。この手法を分光視差という。恒星の中で、周期的に膨張と収縮を繰り返し明るさが変化するものを〔ア〕という。遠方に存在する恒星の距離は、〔ア〕の周期光度関係を用いて導出することができる。遠方銀河でIa型超新星が出現した場合、その最大光度を用いて銀河までの距離を見積もることができる。〔イ〕が超新星爆発を起こすと、Ia型超新星として観測される。十分に遠方の銀河は、ハッブル・ルメートルの法則を用いて距離が推定される。このように、さまざまな手法を組み合わせることで、太陽近傍から遠方までの天体の距離を計測することが可能である。

問1. 文中の〔ア〕,〔イ〕に入る適切な語句を解答欄に記せ。

問2. 下線部(A)に関して、ある恒星の年周視差を計測したところ0.1"だった。このとき、この恒星までの距離を有効数字1桁で求めよ。単位はパーセクとすること。

問3. 下線部(B)に関して、星は5等級異なると明るさが100倍異なる。

(1) 等級が  $m_1$ ,  $m_2$  の星の明るさを  $L_1$ ,  $L_2$  とするとき、 $\log_{10}\left(\frac{L_1}{L_2}\right)$  を  $m_1$ ,  $m_2$  を用いて表せ。

(2) 1等星は5等星のおよそ40倍明るい。このことを用いて、1等星は10等星のおよそ何倍明るいかが答えよ。解答欄には途中の計算も示すこと。

- 問 4.** 下線部(C)に関して、天体までの距離  $d$ 、絶対等級  $M$ 、見かけの等級  $m$  の関係式を導出せよ。また、主系列星のスペクトル型と見かけの等級が分かっているとき、HR 図を用いて主系列星の距離を求める方法(分光視差)を説明せよ。なお、絶対等級は 10 パーセクの距離から見たときの恒星(天体)の等級として定義される。
- 問 5.** 下線部(D)に関して、Ia 型超新星の最大光度は絶対等級で  $-20$  等級であるとする。Ia 型超新星の見かけの最大光度が 10 等級であったとき、この超新星までの距離を求めよ。解答欄には途中の計算も示すこと。
- 問 6.** 下線部(E)に関して、ハッブル・ルメートルの法則が十分に成り立つほど遠方にある銀河の後退速度が  $3.0 \times 10^4$  km/s であったとき、この銀河までの距離をパーセクの単位で、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、ハッブル定数は 73 km/s/メガパーセクとする。解答欄には途中の計算も示すこと。

