

## 令和5年度入学試験問題

# 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、人間・環境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1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 学 科				○	○	○		○
	生 物 学 科				○		○	○	○
	情 報 科 学 科		○		○		○		○
生 活 科 学 部	食物栄養学科				○		○		○
	人間・環境科学科				○		○		○

2. この冊子の本文は34ページまである。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き用紙は持ち帰ること。

# 数 学 専 門 ①

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**  $n$  を 2 以上の整数として

$$f_n(x) = \int_0^x (\sin(nt) - \sin t) dt$$

とする。以下の問い合わせよ。

(1) 関数  $y = f_5(x)$   $\left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$  の増減を調べ、このグラフの概形をかけ。

ただし、グラフの凹凸と変曲点については調べなくてよい。

(2) 関数  $y = f_n(x)$  の  $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$  における最大値を  $M_n$  とおく。これを求めよ。

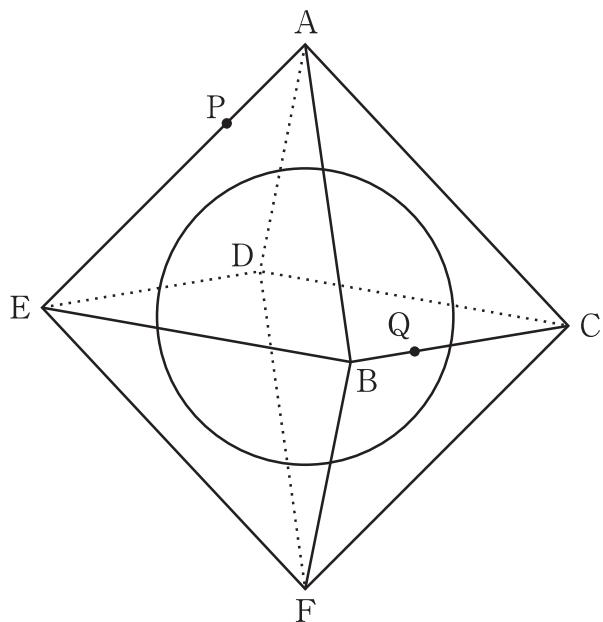
(3) (2) の  $M_n$  について、極限  $\lim_{n \rightarrow \infty} M_n$  を求めよ。

2

下の図のように 1 辺の長さが 1 の正八面体 ABCDEF とその 8 つの面に接する球 S があり、動点 P, Q は、それぞれ辺 AE, 辺 BC 上を  $AP = BQ = t$  を満たしながら動く。

$AP = BQ = t$  とし、 $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC}, \overrightarrow{AD}$  をそれぞれ  $\vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  として、以下の問い合わせに答えよ。

- (1) 球 S の半径を求めよ。
- (2)  $\overrightarrow{AP}, \overrightarrow{AQ}$  を、それぞれ  $t, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  を用いて表せ。
- (3) 線分 PQ が球 S と 1 点で接するときの  $t$  の値を求めよ。その接点を M とするとき、 $\overrightarrow{AM}$  を  $\vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  を用いて表せ。
- (4) M は(3)で与えた点とし、R は辺 AB 上の動点とする。 $|\overrightarrow{MR}| + |\overrightarrow{RF}|$  が最小となるときの点 R に対する  $\overrightarrow{AR}$  を  $\vec{b}$  を用いて表せ。



**3**

以下の問い合わせに答えよ。ただし、等号成立条件については答えなくてよい。

(1) 正の実数  $a_1, a_2$  に対して、不等式

$$\sqrt{a_1 a_2} \leqq \frac{a_1 + a_2}{2}$$

を示せ。

(2)  $a_1, a_2, a_3$  を正の実数とする。関数

$$f(x) = \left( \frac{x + a_1 + a_2}{3} \right)^3 - a_1 a_2 x$$

の  $x \geqq 0$  における増減を調べることで、不等式

$$\sqrt[3]{a_1 a_2 a_3} \leqq \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$

を示せ。

(3)  $n$  を自然数、 $a_1, a_2, \dots, a_n$  を正の実数とする。このとき、不等式

$$\sqrt[n]{a_1 a_2 \cdots a_n} \leqq \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}{n}$$

を示せ。

# 数 学 (B)

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**  $n$  を 2 以上の整数として

$$f_n(x) = \int_0^x (\sin(nt) - \sin t) dt$$

とする。以下の問い合わせよ。

(1) 関数  $y = f_5(x)$   $\left(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}\right)$  の増減を調べ、このグラフの概形をかけ。

ただし、グラフの凹凸と変曲点については調べなくてよい。

(2) 関数  $y = f_n(x)$  の  $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$  における最大値を  $M_n$  とおく。これを求めよ。

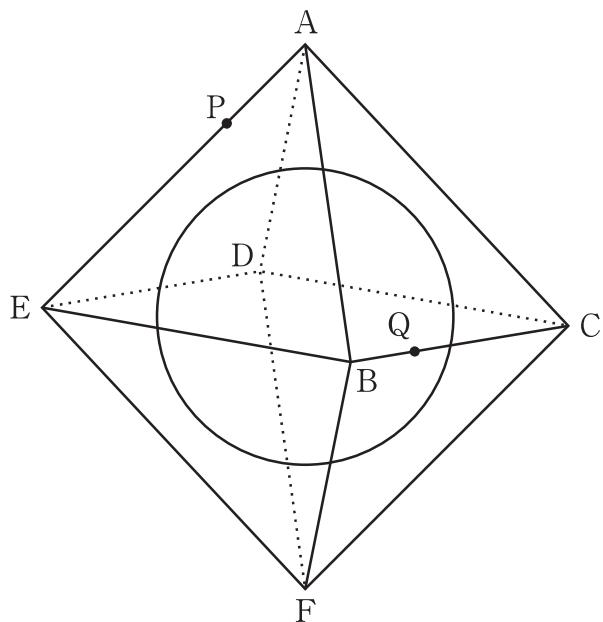
(3) (2) の  $M_n$  について、極限  $\lim_{n \rightarrow \infty} M_n$  を求めよ。

2

下の図のように 1 辺の長さが 1 の正八面体 ABCDEF とその 8 つの面に接する球 S があり、動点 P, Q は、それぞれ辺 AE, 辺 BC 上を  $AP = BQ = t$  を満たしながら動く。

$AP = BQ = t$  とし、 $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{AC}, \overrightarrow{AD}$  をそれぞれ  $\vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  として、以下の問い合わせに答えよ。

- (1) 球 S の半径を求めよ。
- (2)  $\overrightarrow{AP}, \overrightarrow{AQ}$  を、それぞれ  $t, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  を用いて表せ。
- (3) 線分 PQ が球 S と 1 点で接するときの  $t$  の値を求めよ。その接点を M とするとき、 $\overrightarrow{AM}$  を  $\vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  を用いて表せ。
- (4) M は(3)で与えた点とし、R は辺 AB 上の動点とする。 $|\overrightarrow{MR}| + |\overrightarrow{RF}|$  が最小となるときの点 R に対する  $\overrightarrow{AR}$  を  $\vec{b}$  を用いて表せ。



# 物 理 (A)

- ・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** 図1のように、角度  $\theta$  の傾斜の付いた台の斜面に平行に  $x$  軸をとり、それと垂直方向に  $y$  軸をとる。斜面の下部には  $y$  軸方向に突き出した支え台がある。この支え台に質量  $m$  の物体 A を置いた（このときの物体 A の  $x$  座標をゼロとする）。物体 A には、自然長  $L$  のバネの下端を取り付け、さらにその上端には質量  $m$  の物体 B を取り付けた。ただし、物体の（ $x$  軸方向の）厚みとバネの重さは無視できるとし、バネは  $x$  軸の方向にしか伸び縮みしないとする。また、物体は斜面に沿って運動し、その際に、物体の側面と斜面の間にはたらく摩擦は無視する。重力加速度の大きさは  $g$  とする。

物体 B は、バネが自然長から（ $x$  軸方向に） $d$  だけ縮んだ位置でつりあった（ただし、以下では、 $L$  は  $d$  より十分に大きいとする）。物体 B を、バネが自然長から  $\frac{3d}{2}$  だけ縮む位置にまでもっていき、静かに手を離すと、物体 B は  $x$  軸方向に振動した。この振動の間、物体 A は支え台に接触したままだった。

- (1) 物体 B が斜面から受ける力の  $y$  成分の大きさを答えよ。
- (2) バネ定数を求めよ。なお、以下ではこの定数を  $k$  とし、 $k$  を使って答えてよい。
- (3) 物体 B の位置の  $x$  座標を  $x_B$  として物体 B が受ける  $x$  方向の力を求め、それを根拠に、物体 B の振動の周期を求めよ。
- (4) 手を離した後に生じた振動運動の間に、物体 A が支え台から受ける力の  $x$  成分の最大値と最小値を答えよ。

物体 B を、 バネが自然長から  $5d$  だけ縮む位置にまでもっていき、 静かに手を離すと、 しばらくして、 物体 A は、 支え台の面から離れた。

(5) 物体 A が支え台の面から離れるときのバネの伸びと、 そのときの物体 B の速さを求めよ。

(6) 物体 A が支え台の面から離れている間の物体 A と B の  $x$  方向の運動方程式をそれぞれ書け。ただし、任意の時刻での物体 A と B の位置の  $x$  座標をそれぞれ、  $x_A$  と  $x_B$  とし、 それらの加速度をそれぞれ、  $a_A$  と  $a_B$  とする。

(7) バネの長さの（自然長からの）変化量  $\Delta = x_B - x_A - L$  を考えると、 物体 A が支え台の面から離れている間、 この量は単振動した。この量  $\Delta$  の加速度が  $a_B - a_A$  になることを用いて、 この単振動の周期を求めよ。

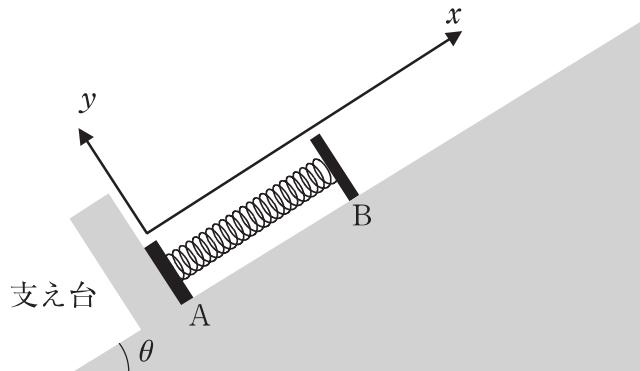


図 1

2

図1のように原点をOとするxyz座標系をとる。点S(0,0,h)にピンホール(針先であけた小さな穴)を設置し単色光源からの光を $x = L$ に配置したスクリーンに導く( $h$ は $L$ よりも十分に小さいとする)。スクリーン上の点P( $L, 0, 0$ )の付近の点Q( $L, 0, H$ )を考えよう。点Pと点Qの距離 $H$ は長さ $L$ よりも十分小さい任意の距離とする。点Qにおいては、点Sから直接到達する光と、平面鏡になっているOPの部分で一度反射してから到達する光とが干渉する(ただし、平面鏡はその反射面が $z$ 軸に垂直になるように設置されている)。この結果、光のスポット(広がりを持った明るい領域)が、スクリーン上に、 $z$ 軸方向に等間隔に並んだ(以下では、スポットの中心間隔を $D$ とする)。また、装置は空气中にあるとし、簡単のため空気の屈折率を1とする。以下では、光速を $c$ とし、鏡面反射では位相が $\pi$ 遅れるとする。

点Q( $L, 0, H$ )に直接到達する光と一度反射してから到達する光の光路差を $\Delta$ とする。また、時刻 $t$ に、それぞれの光の波が点Qにおいて、 $A\sin\omega t$ と $A\sin(\omega t - \delta - \pi)$ と表されるとする。ただし、 $A$ と $\omega$ は正の定数とし、 $\delta$ は0以上で $2\pi$ より小さい位相差(単位はラジアン)とする。

- (1) 点Qに到達する前述の二つの光を合成した光の波の振幅が $2A\cos\left(\frac{\pi + \delta}{2}\right)$ の絶対値とみなせることを説明せよ。

なお、 $\sin(2a) + \sin(2b) = 2\sin(a+b)\cos(a-b)$ を用いてよい。

- (2) 光の波長 $\lambda$ を $\omega$ と $c$ を用いて表せ。

- (3) 位相差 $\delta$ を波長 $\lambda$ と光路差 $\Delta$ を用いて表せ。

光路差 $\Delta$ は、幾何学的に考察して求めることもできるが、ここでは、そのような方法をとらずに求めてみよう。ただし、以下では、光路差 $\Delta$ は、長さの次元を持つ量であり、次元を持った物理量としては $h, H$ および $L$ にしか依存していないはずであることに注意しよう。つまり、 $k, \alpha, \beta, \gamma$ を無次元の定数として $\Delta = kh^\alpha H^\beta L^\gamma$ とかける。さらに、 $h, H$ および $L$ は、すべて長さの次元を持つ量であることから、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ が満たされる。

(4) スクリーンに光のスポットが等間隔に並ぶことから、 $\beta$ の値はいくつになるか。ただし、問(1)における振幅を根拠として説明せよ。

(5)  $h$ を2倍にすると、間隔 $D$ が半分になった。 $\alpha$ と $\gamma$ の値はいくつになるか、説明せよ。

(6) 以上の問い合わせることで、無次元の定数 $k$ を除いて光路差 $\Delta$ が定まった。さらに $k$ を実験によって決めるためには、どんな測定をしたらよいか答えよ。

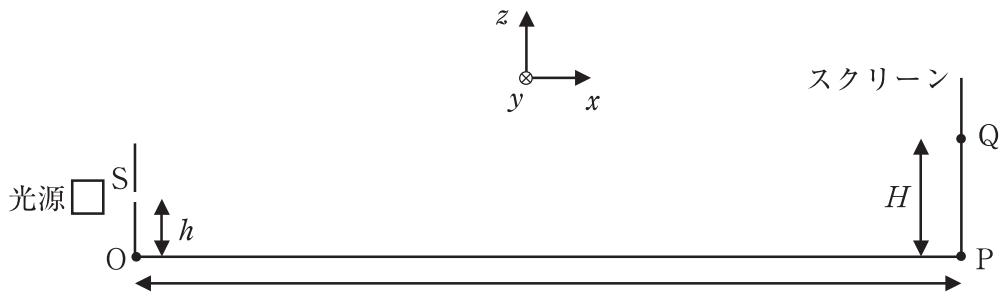


図 1

## 物 理 (B)

- ・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

容器内の気体に対して以下で説明する操作を行い、熱によって力学的な仕事を得る熱機関の動作について考える。

図1に示すように、容器の中に物質量  $n$  の单原子分子理想気体を入れ、ピストンで密閉させた。ピストンは容器内および外部の圧力に応じてなめらかに移動できるようになっている。容器の外部は大気で覆われており、大気圧を  $P_0$  とする。また、この容器には内部の気体と熱を取り取りするための装置 M が取り付けてあり、この装置がオンのときにはゆっくりと気体の熱を吸収したり、気体に熱を供給することができる。この装置がオフのときには容器の断熱性が保たれ、容器内の気体と大気との間の熱のやり取りは無視できるとしてよい。

断熱変化において気体の圧力  $P$  と体積  $V$  に関して  $PV^\gamma$  は一定であることを用いてよい。ただし、 $\gamma$  は 1 より大きい定数であり、気体定数を  $R$  とする。以下の設問に答えよ。

最初、容器に取り付けた装置 M はオフでピストンの位置は容器内の気体の体積が  $V_0$  となる位置で静止している。このときの状態を状態 A (図1) と呼ぶ。装置 M をオンにして気体からゆっくりと熱を吸収したところ、容器内の気体の体積は減少し、体積が  $V_1$  ( $V_1 < V_0$ ) になったところで、装置 M をオフにした。この状態を状態 B (図2) と呼ぶ。

- (1) 状態 A の温度  $T_A$  と状態 B の温度  $T_B$  をそれぞれ求めよ。

次に、ピストンをストッパー  $S_1$  で固定してから、装置 M をオンにして気体にゆっくりと熱量  $Q_1$  を供給した後で再び装置 M をオフにした。このときの状態を状態 C (図 3) と呼ぶ。

(2) 状態 C の温度  $T_C$  と圧力  $P_C$  をそれぞれ求めよ。

その後、装置 M をオフにしたまま気体の体積が  $V_0$  になるところでピストンが止まるようにストッパー  $S_2$  をセットしてからストッパー  $S_1$  を外したところ、気体の体積は  $V_0$  まで増加した。このときの状態を状態 D (図 4) と呼ぶ。

(3) 状態 D の温度  $T_D$  は  $T_C$  に比べて高いか低いか、理由とともに答えよ。

(4)  $T_D = T_A$  となるための  $Q_1$  を求めよ。

以下の設問では、 $Q_1$  を問(4)のように設定し、状態 D は状態 A と等しいものとして答えよ。

(5)  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow A$  の各過程において、気体が吸収する熱量をそれぞれ  $Q_{AB}$ ,  $Q_{BC}$ ,  $Q_{CA}$ 、気体が外部にする仕事をそれぞれ  $W_{AB}$ ,  $W_{BC}$ ,  $W_{CA}$  とする。これらを求めよ。答えに  $Q_1$  を用いてもよい。

(6)  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  という一連の状態変化を繰り返す熱機関の熱効率  $e = \frac{W}{Q_1}$  を求め、熱効率  $e$  が体積比  $\frac{V_0}{V_1}$  だけで決まることを示せ。ただし、 $W$  はこの熱機関が 1 サイクルの間に外部にする正味の仕事をある。

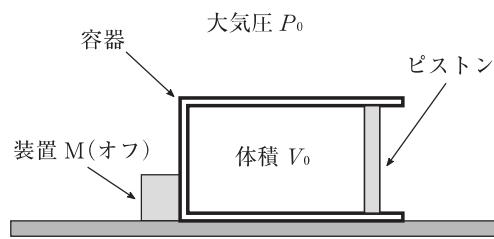


図1 状態A

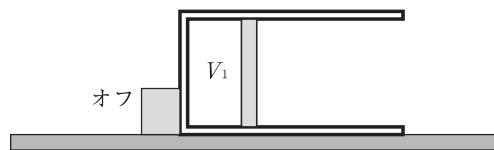


図2 状態B（状態Aから体積が $V_1$ になるまで熱を吸収した後）

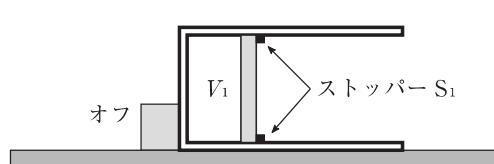


図3 状態C（状態Bから熱量 $Q_1$ を供給した後）

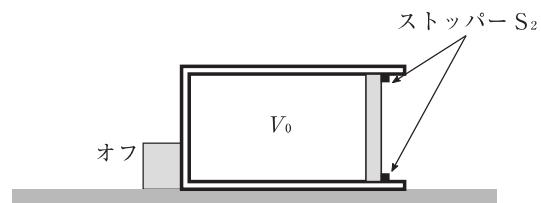


図4 状態D（状態Cから装置Mをオフにしたまま、ストッパーの位置を変えた）

**2**

正の電荷  $Q$  を持った質量  $M$  の質点（荷電粒子）が水平で滑らかな  $xy$  平面上を運動する場合を考える。図 1 のように、 $y > 0$  の領域では磁束密度の大きさが  $B$  の一様な磁場が存在する。磁場は  $xy$  平面に垂直に紙面の裏から表に向かっている。一方、 $y < 0$  の領域では  $y$  軸方向の正の向きに大きさ  $E$  の一様な電場  $\vec{E} = (0, E)$  が存在する。時刻  $t = 0$  に荷電粒子をこの平面上の点  $(0, -d)$  に置いた場合を考える。ただし、 $B$ 、 $E$ 、および  $d$  は正の定数とする。

- (1) 荷電粒子が最初に  $x$  軸を通過するまでの時間  $t_1$ 、 $x$  軸を通過する際の速さ  $v_1$ 、そのときの  $x$  座標の値  $x_1$  を求めよ。
- (2) 荷電粒子が最初に  $x$  軸を通過してから次に  $x$  軸を通過するまでの時間  $t_2$ 、 $x$  軸を通過する際の速さ  $v_2$ 、そのときの  $x$  座標の値  $x_2$  を求めよ。
- (3) 電場が存在する領域に入つてから荷電粒子が再び  $x$  軸を通過するまでに要する時間  $t_3$  を求めよ。
- (4) 荷電粒子が  $xy$  平面上で描く軌道の概略図を示せ。
- (5) 荷電粒子の速さが時間  $t$  と共にどのように変化するかを説明し、そのグラフの概形を示せ。

$y > 0$  の領域の磁場は前問までと同じであるが、 $y < 0$  の領域に一様な電場の代わりに  $x$  座標に依存する  $y$  軸方向の電場  $\vec{E} = (0, E + kx)$  が存在する場合を考え、時刻  $t = 0$  に荷電粒子を点  $(0, -d)$  に置く。ただし、 $E$ 、 $k$ 、および  $d$  は正の定数である。

- (6) 荷電粒子が  $xy$  平面上で描く軌道の概略図を示し、問(4)の軌道との違いを説明せよ。

(7) 荷電粒子が  $x$  軸を  $n$  回通過するまでに要する時間は、 $k = 0$  の場合と比較して長くなるか短くなるかを理由とともに説明せよ。ただし、 $n$  は 3 以上の整数とする。

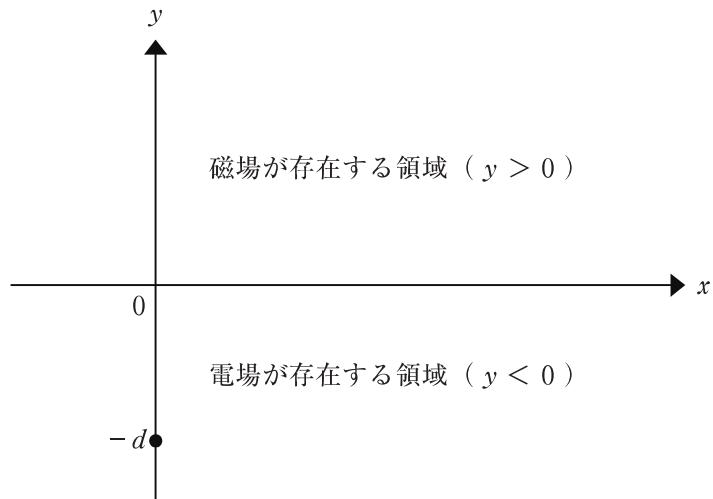


図 1

# 化 学 (A)

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

気体定数  $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

原子量 H 1.00 C 12.0 O 16.0 Cl 35.5 Ca 40.0

1

次の文章を読んで、下記の問い合わせに答えよ。

城郭や蔵など日本の伝統建築の壁材には漆喰(しっくい)がよく使われている。漆喰は消石灰(水酸化カルシウム)を主成分とし、これに糊材やスサ(纖維材)を混ぜて作られる。消石灰は、石灰石や貝殻(主成分は炭酸カルシウム)を強熱して  
(a)  
生石灰(酸化カルシウム)にし、水を加えることで得られる。  
(b)

漆喰は燃えにくい素材で作られているため耐火性があり、耐久性にも優れています。また、細かい穴が多数空いており、調湿効果、消臭・抗菌効果、触媒効果など様々な機能を有する。

**問1** 下線部(a), (b)に関して、①石灰石から生石灰への反応、②生石灰から消石灰への反応を、それぞれ化学反応式で記せ。

**問2** 下線部(b)に関して、生石灰 1 mol に水を加えて消石灰 1 mol になる反応は発熱反応であり、このときの反応熱は 65 kJ である。また、生石灰 1 mol に塩酸を加えて塩化カルシウム 1 mol になる反応も同じく発熱反応であり、このときの反応熱は 194 kJ である。消石灰 1 mol に塩酸を加えて塩化カルシウム 1 mol ができるとき、反応熱はいくらになるか。またこの反応は、発熱反応か吸熱反応かのどちらであるか。解答に至る過程も記すこと。

**問3** 生石灰は塩化ナトリウム型の結晶構造をしており、その融点は2572℃である。この温度は同じ結晶構造である塩化ナトリウムの801℃よりはるかに高い。この理由を記せ。

**問4** 消石灰に塩素を吸収させると、 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ が主成分であるさらし粉が生成する。さらし粉中には酸化数の異なる二種類の塩素が存在する。二種類の陰イオンの名称および各陰イオン中の塩素の酸化数を記せ。

**問5** 石灰水に塩酸を加えると、塩化カルシウム $\text{CaCl}_2$ が出来る。塩化カルシウムは融雪剤としてよく利用される。555gの塩化カルシウムを2000gの水に溶かしたときの凝固点は何℃か。有効数字3桁で答えよ。解答に至る過程も記すこと。ただし、水の凝固点は0℃、水のモル凝固点降下は1.85 K·kg/molとし、塩化カルシウムはすべて電離するものとする。

**問6** 下線部(c)に関して、漆喰を利用した壁は主成分の消石灰が長い年月をかけて大気中のある成分と化学反応し、年数が進むほど耐久性が高くなる。この化学反応式を書き、耐久性が高くなる理由を記せ。

**問7** 下線部(d)に関して、漆喰は部屋の温度が変わっても湿度を一定に保つ働きがある。ある漆喰壁が使用された $100\text{ m}^3$ の部屋について、部屋の温度を16.0℃から25.0℃に上げても湿度は60.0%のままであった。このとき、漆喰壁から放出された水蒸気は何gか。有効数字3桁で答えよ。解答に至る過程も記すこと。ただし、温度16.0℃、25.0℃のときの飽和水蒸気圧 $e$ (hPa)はそれぞれ18.2 hPa、31.7 hPaとし、温度 $t$ (℃)のときの飽和水蒸気量 $a$ (g/m<sup>3</sup>)は $a = 217 \times e / (t + 273.15)$ で与えられる。また、部屋からの空気の出入りはなく、水蒸気はすべて漆喰壁から放出されたものとする。

**問8** 下線部(e)に関して、漆喰はにおい物質や菌を化学分解することで消臭・抗菌効果を発揮する。この効果は消石灰のある化学的特徴による。この特徴を簡潔に記せ。

2

以下の文章を読み、問い合わせよ。

アルコールは同等な分子量のアルカンやエーテルに比べて より高い沸点をもつ。また、分子の構造も沸点に影響する。アルコールを適当な酸化剤で反応させると、第一級アルコールはアルデヒドになり、第二級アルコールは(ア)になるが、第三級アルコールは酸化されにくい。

複数のヒドロキシ基をもつ(イ)アルコールには单糖類も含まれ、中でもグルコース  $C_6H_{12}O_6$  は自然界に多量に存在する。グルコースの水溶液にアンモニア性硝酸銀水溶液を加えると銀が析出し、(ウ)液を加えると沈殿反応がおこるが、これはグルコース水溶液に(エ)性があるためである。

单糖が多数つながった構造の糖類を多糖という。それらのうち、 $\alpha$ -グルコースのみが縮合した構造の多糖には生物のエネルギー貯蔵体として重要なものがあり、動物細胞ではグリコーゲン、植物細胞ではデンプンとして細胞内に貯蔵される。また、植物細胞壁の主成分であるセルロースは $\beta$ -グルコースのみが縮合した多糖である。

問1 下線部(a)について、その理由を記述せよ。

問2 下線部(b)について、分子式  $C_5H_{12}O$  のアルコールの構造異性体のうち、最も低い沸点をもつと考えられる異性体の構造式と名称を書け。

問3 下線部(c)について、エタノール  $C_2H_5OH$  からアセトアルデヒド  $CH_3CHO$  を合成する実験を考える。図1に装置を示す。

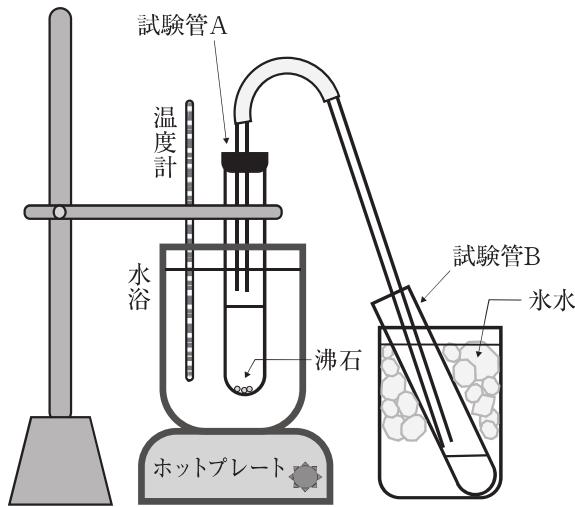


図1 エタノールからアセトアルデヒドを合成する装置

試験管Aにエタノール、二クロム酸カリウム  $K_2Cr_2O_7$  水溶液、希硫酸を入れて混合する。試験管Bには水を入れておく。ガラス管とゴム管を使って、試験管Aと試験管Bをつなぎ、試験管Aを水浴とホットプレートで加熱しながら反応を行う。試験管Bの中のガラス管の先端が水につかないように注意する。

- 1) エタノールからアセトアルデヒドを合成する反応式を書け。
- 2) この実験では試験管Aを加熱することで効率よくアセトアルデヒドを得ている。その理由を記述せよ。
- 3) 試験管Bに水を入れておく理由を記述せよ。
- 4) 波線部の注意が必要な理由を記述せよ。

問4 下線部(d)について、第三級アルコールが酸化されにくい理由を記述せよ。

問5 空欄(ア)～(エ)に適切な用語を答えよ。

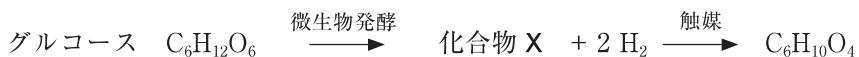
**問6** 下線部(e)について、グリコーゲン 1.0 g を水に溶かし、全量を 100 mL とした。この溶液の浸透圧  $\Pi$  を 27 ℃で測定したところ、10 Pa であった。この実験に用いたグリコーゲンの平均分子量  $M$  を求めよ。計算過程を書き、有効数字二桁で答えよ。

**問7** グリコーゲンはグルコースが  $\alpha$ -1,4-グリコシド結合と  $\alpha$ -1,6-グリコシド結合でつながった多糖である。非常に枝分かれの多い構造をもつ。ヒトの筋肉や肝臓の細胞内に蓄えられており、必要な時に多糖の末端から酵素による加水分解でグルコースが生成され、エネルギー源として使われる。以下の1), 2) それぞれについて、細胞にとっての利点を考え、記述せよ。

- 1) グルコースを多糖として蓄えること
- 2) グリコーゲンが枝分かれの多い構造をもつこと

**問8** 下線部(f)について、デンプン溶液に飽和濃度の硫酸アンモニウム水溶液を加えたところ、白く濁り、沈殿が生じた。この沈殿は何か。生じた理由も記述せよ。

**問9** 下線部(g)について、近年、セルロースを再生可能な生物資源(バイオマス)として活用し、セルロースから得たグルコースを有用な有機化合物に作りかえる取り組みが進められている。その一例として、グルコースから微生物による発酵で化合物Xを作り、その後に水素と反応させて分子式  $C_6H_{10}O_4$  の化合物に変換する試みがある。その過程を以下に示す。



化合物  $C_6H_{10}O_4$  はヘキサメチレンジアミンと混合して加熱すると、ナイロン 66 を合成することができる。

- 1) 化合物 X の構造式を書け。
- 2) 分子式  $C_6H_{10}O_4$  の化合物の名称を答えよ。
- 3) 化合物 X から  $C_6H_{10}O_4$  を合成する反応で用いる触媒として最も適切なものを、以下の〔 〕から 1 つを選べ。

〔 二酸化マンガン 硫酸 白金 水酸化ナトリウム 鉄 〕

## 化 学 (B)

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。

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

原子量	H 1.00	C 12.0	N 14.0	O 16.0	Na 23.0
	S 32.1	Fe 55.8	Cu 63.5	Ag 108	Au 197

気体定数  $R$   $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

標準状態の気体の 1 mol の体積 22.4 L

標準電極電位 Au + 1.52 V Ag + 0.799 V Cu + 0.340 V H<sub>2</sub> 0 V  
Ni - 0.257 V Fe - 0.440 V Zn - 0.763 V

1

以下の文章を読み、問い合わせに答えよ。

2種類の銅板を用いて次のように電気分解を行った。一方の電極には純銅板 10.0 g を、もう一方には不純物を含む粗銅板 10.0 g を接続した。粗銅板は、わずかな鉄と銀、金を含むことがわかっている。1.00 mol/L の硫酸銅水溶液 500 mL に両銅板を入れて、適切な電圧で一定の電流を 15 分間流したところ、純銅板の重さは増加し、粗銅板の近くには沈殿が観察された。  
(a)

さらに、電流を流し終わった後の硫酸銅水溶液を 3つに分け、銀、ニッケル、  
(b)  
(c)亜鉛の棒を、それぞれ挿入して金属樹を作成する実験を行った。

問 1 純銅板は、陽極、陰極のどちらに用いたと考えられるか。

問 2 陽極、陰極の銅板で起きるすべての反応を半反応式で示せ。

**問 3** 下線部(a)で、純銅板の重さが 0.635 g 増加していた。流した電流の値は何 A か。有効数字 2 桁で答えよ。途中の計算過程も示すこと。

**問 4** 下線部(b)の沈殿が 5.00 mg、粗銅板の重さの変化が 0.633 g であった。もともと粗銅板に含まれていた銅の割合は何 % (重量パーセント) か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、沈殿は、すべて粗銅板から出てきた純物質であり、この純物質は、粗銅板の中に均一に存在したものとする。また、途中の計算過程も示すこと。

**問 5** 粗銅板を白金板に交換して、問 3 と同じ値の電流を 15 分間流したところ気体が発生した。この気体の名称を答えよ。また、発生した気体の標準状態における体積は何 L か。有効数字 2 桁で答えよ。途中の計算過程も示すこと。

**問 6** 下線部(c)において、最も純度の高い銅が析出すると考えられるのは、どの金属棒を用いた場合か。理由とともに答えよ。

**問 7** 純銅板と下線部(c)の金属との組み合わせで電池を作る。最も高い起電力が得られるのは、どの金属を電極に用いた場合か。また、そのときの起電力は何 V か。有効数字 2 桁で答えよ。

**問 8** 問 7 において起電力が下がることを防ぎ、電池を長持ちさせるためには、素焼き板等で正極側と負極側を仕切り、それぞれ異なる電解質を用いた方が良い。この時、正極側、負極側それぞれについて、電極に用いる金属と電解質を答えよ。

**問 9** 問 8 で素焼き板により起電力の低下を防ぐことができる理由を答えよ。

**問 10** 問 8 の場合より電池を長持ちさせたい場合、電解質の濃度を変える方法がある。正極側、負極側それぞれについて、その方法を述べよ。

2

以下の文章を読み、問い合わせよ。

化合物 A は分子式 C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>2</sub> で、ベンゼン環を 1 つもつ化合物である。化合物 A はタンパク質を構成する α-アミノ酸の 1 種で、不斉炭素を 1 つ持ち、(ア) 体と(イ) 体という光学異性体が存在する。天然のタンパク質を加水分解して得られる α-アミノ酸は、光学異性体を持たないグリシンを除くと、すべて(ア) 体である。アミノ酸を脱水縮合して(ウ) 結合(ペプチド結合とも呼ばれる)を形成させることでペプチドが生成する。ペプチドは、構成するアミノ酸の立体構造に由来する異性体(立体異性体といふ)が存在する。たとえば、3 分子の化合物 A から成る鎖状のトリペプチドには(エ) 個の立体異性体が存在する。このトリペプチドの両末端に存在するアミノ基とカルボキシ基が脱水縮合して得られる環状のトリペプチドには(オ) 個の立体異性体が存在する。

タンパク質を濃硫酸中で加熱して完全に分解させたのちに、この液をアルカリ性にして発生した(カ) を濃度がわかっている硫酸水溶液に捕集することで、タンパク質中の窒素の割合を調べることができる。0.21 g のタンパク質 X を完全に分解させて発生した(カ) を 0.050 mol/L の硫酸 30 mL に捕集した。この溶液を 0.050 mol/L の水酸化ナトリウム溶液で中和滴定したところ、12 mL の水酸化ナトリウム溶液が必要であった。

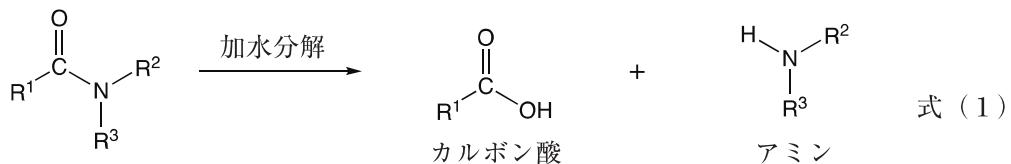
問 1 α-アミノ酸とはどのような構造を持つ化合物のことか、説明せよ。

問 2 化合物 A の名称を記せ。

問 3 空欄(ア)～(カ)に入る用語または数字を入れよ。

問 4 タンパク質 X 中の窒素の割合を有効数字 2 桁で求めよ。求める方法も示せ。

化合物 **B**, **C** はともに化合物 **A** の異性体であり、(ウ)結合とベンゼン環をもつ化合物である。化合物 **B** は塩化鉄(Ⅲ)で呈色しないが、化合物 **C** は呈色する。一般に、(ウ)結合をもつ化合物を加水分解するとカルボン酸とアミンを生成する(式(1))。化合物 **B** の加水分解によりカルボン酸 **D** と芳香族アミン **E** が得られ、化合物 **C** の加水分解では芳香族カルボン酸 **F** とアミン **G** が得られた。アミン **E** とカルボン酸 **F** の炭素数は同じであり、どちらもベンゼン環上の2つの官能基が隣接していた。アミン **E** はメチル基を持つ化合物で、元素分析を行ったところ、炭素 68.25 %, 水素 7.40 %, 窒素 11.35 % であった。また、アミン **G** の窒素原子に直接結合している水素原子は1つであった。



$\text{R}^1$ ,  $\text{R}^2$ ,  $\text{R}^3$  はそれぞれ水素原子、炭化水素または官能基を有する炭化水素を表す。

問5 アミン **E** の分子式を記せ。求める方法も示せ。

問6 化合物 **B** の構造式を記せ。

問7 カルボン酸 **F** の構造式を記せ。

問8 化合物 **C** の構造式を記せ。

# 生 物 (A)

(解答は答案用紙の所定欄に記載せよ)

- 1 次の文を読み、問1～4に答えよ。

シロイスナズナは、染色体数 $2n=10$ のアブラナ科のモデル植物である。シロイヌナズナでは、同一個体のめしべとおしべが受精（自家受精）することで次世代の種子をつくることができる。一方、シロイヌナズナの近縁種であるハクサンハタザオでは、おしべとめしべが同じ花の中に形成されるが、同一個体の花粉がめしべの柱頭に付着しても、花粉管が発芽しない、花粉管が伸長しないなどの理由により、同一個体のめしべとおしべでは受精ができない（自家不和合性）。(A)から減数分裂により(B)が形成され、不均等な分裂によって花粉管細胞と(C)に分かれて、成熟した花粉が形成される。

シロイヌナズナの遺伝子 $X$ は、第1染色体に存在し、細胞内のタンパク質輸送に関与する遺伝子である。遺伝子 $Y$ は細胞小器官の機能維持に関与し、第2染色体に存在する。遺伝子 $X$ 、遺伝子 $Y$ のそれぞれの遺伝子欠損シロイヌナズナ（遺伝子型 $xx$ および遺伝子型 $yy$ ）は、野生型と同様の表現型を示し異常は観察されなかった。そこで遺伝子 $X$ 、遺伝子 $Y$ の両遺伝子が欠損しているシロイヌナズナ（遺伝子型 $xxyy$ ）の作出を試みた。まず、遺伝子型 $xx$ と遺伝子型 $yy$ のシロイヌナズナを交配させ、遺伝子型 $XxYy$ の個体（ $F_1$ ）を作出した。 $F_1$ の自家受精によって得られた種子（ $F_2$ 種子）から生育した個体はすべて野生型と同じ表現型を示し、PCRにより遺伝子型を調べたところ、遺伝子型 $xxyy$ のシロイヌナズナは存在しなかった。次に、 $F_2$ の中から遺伝子型 $xxYy$ の個体を選んで生育させ、自家受精によって $F_3$ 種子を得た。得られた $F_3$ 種子のうち194粒を播種し、生育した植物の遺伝子型をPCRにより調べたところ、個体の遺伝子型の比率は、 $xxYY : xxYy : xxyy = 96 : 98 : 0$ であり、遺伝子 $X$ 、遺伝子 $Y$ の両遺伝子が欠損している個体 $xxyy$ は存在しなかった。そこで、野生型（ $XXYY$ ）のめしべ

と  $F_2$  ( $xxYy$ ) の花粉を用いて人工交配させ、種子を得た。得られた種子のうち  
102 粒を播種し、生育した植物の遺伝子型を PCR により調べたところ、個体の遺  
伝子型の比率は、 $XxYY : XxYy = 102 : 0$  であった。また、 $F_2$  ( $xxYy$ ) のめしべ  
と野生型 ( $XXYY$ ) の花粉を用いた人工交配もおこなった。この人工交配で得  
られた種子のうち 100 粒を播種し、生育した植物の遺伝子型を PCR により調べ  
たところ、生育した個体の遺伝子型の比率は、 $XxYY : XxYy = 49 : 51$  であった。

問 1 下線部(ア)と(イ)について、生殖における利点と不利な点を答えよ。

問 2 下線部(ウ)について、( A ) ~ ( C )に当てはまる名称を答えよ。

問 3 下線部(エ)について、通常のメンデル遺伝の法則に従うと仮定した場合、  
 $xxyy$  のシロイヌナズナが出現すると期待される頻度 (%) を答えよ。

問 4 下線部(オ)、(カ)および(キ)の実験結果から、遺伝子型  $xxyy$  の植物が生育しない  
理由を、下記の語をすべて用いて説明せよ。同じ語を 2 回以上用いててもよい。  
語群

[配偶体、胚、花粉、胚珠、致死]

2

次の文を読み、問1～5に答えよ。

アゲハチョウの一種であるナミアゲハの雌は、ミカンの葉に産卵するが、キャベツやセリなどの葉には産卵しないことに、良子さんは気づいていた。ナミアゲハはどのようにミカンを検知して産卵するのだろうか？良子さんはこの謎の解明をテーマとして取り上げ、課題研究することにした。

ナミアゲハはミカンだけでなくサンショウの葉にも産卵し、サンショウの葉は香りが良く料理にも使われることを良子さんは知っていた。さらに良子さんは、ミカンの葉をちぎってみたところ、強い匂いがすることに気づいていたので、アゲハは嗅覚によって産卵すべき植物を選んでいるのかもしれない、と推察した。一方、良子さんは植物観察も好きで、木の全体的な様子や葉の色や形からミカンの木とほかの種類の植物を見分けることができた。そのため、アゲハも視覚によって産卵すべき植物を選んでいる可能性もある、と良子さんは考えた。

そこで良子さんは、まず、ミカンの木に飛来して産卵するナミアゲハをじっくりと観察したところ、アゲハは

- 1) 木の周りを飛び回る
- 2) 葉にとまる
- 3) 前足で葉をたたく
- 4) 腹部をまげて葉に産卵する

の行動パターンをとることを見出した。

課題研究では、仮説を設定することが重要であると授業で習ったので、良子さんは

[仮説1] 「アゲハは嗅覚によって産卵に適した植物を選ぶ」

[仮説2] 「アゲハは視覚によって産卵に適した植物を選ぶ」

を立ててみた。そこで準備段階として、良子さんは以下の2つの実験を行った。

[実験1] 野外で産卵しているメスのアゲハを5匹採集して、飛翔できる大きさの虫かごに、1匹ずつ入れた。その中に、ミカンの葉を入れ3時間飼育したと

ころ、産卵数はそれぞれ0, 3, 6, 15, 42（個）であった。産卵したアゲハは、すべて葉にとまり、前足で葉をたたいた後、葉に産卵した。なおアゲハは、一か所ではなく何枚かの葉に卵を次々に産み付け、数日間で200個程度産卵することが知られている。

**[実験2]** 文献調査したところ、植物の匂い成分はメタノールで抽出できることが記載されていた。そこで、メタノールに浸したミカンの葉を乳鉢で破碎して得られた抽出物を、白色の「ろ紙」に滴下してメタノールは揮発させた。このろ紙は抽出物を含有しているので、「抽出物含有ろ紙」と呼ぶ。

さらに実験2で作成した「抽出物含有ろ紙」を用いて、仮説1か2のどちらが確からしいかを明らかにするために、良子さんは産卵しているメスのナミアゲハを新たに採集して、実験3を行った。

**[実験3]** 実験1で使用した空の虫かごに、実験2で作成した「抽出物含有ろ紙」を入れてアゲハの行動を観察した。

実験3を実施すると、以下の結果1～4が得られる可能性がある。

結果1 アゲハは、抽出物含有ろ紙にとまらず、ろ紙に産卵しない

結果2 アゲハは、抽出物含有ろ紙にとまり、前足でろ紙をたたかず、ろ紙に産卵する

結果3 アゲハは、抽出物含有ろ紙にとまり、前足でろ紙をたたくが、ろ紙に産卵しない

結果4 アゲハは、抽出物含有ろ紙にとまり、前足でろ紙をたたき、ろ紙に産卵する

問1 結果1の場合には、仮説1が否定されると考えたくなるが、実験3だけでは否定されると結論するために不十分である。すなわち実験1から、採集してきたメスの中に、すでに卵を生み尽くしていた個体がいる可能性も示唆される。そこで、結果1の場合に、卵巣内にまだ産卵可能な卵が残っていることも確かめたい。どのような実験を追加すればよいか述べよ。

問2 結果4の場合には、仮説1が支持されると考えたくなるが、実験3だけでは支持されると結論するために不十分である。あなたなら、どのような実験を追加するか、理由をつけて1つ述べよ。

問3 実際に実験を行なったところ、結果4が得られ、追加した実験結果も加えることで、（仮説1）〔アゲハは嗅覚によって産卵に適した植物を選ぶ〕が正しいと結論付けた。では、アゲハはどこでミカンの匂いを感じしているのだろうか。良子さんは、前足に匂いを判定するセンサーがあるのではないかと、考えた。足を切り取れば、足のセンサーを失うことになるので、チョウは匂いを検出できなくなり、産卵できなくなるのではないか。そこで後ろ足から順に1本ずつ足を切り取りながら、実験を行う可能性を考えてみた。この実験の欠陥（問題点）と、それを回避するための新たな実験計画について、あなたの考えを述べよ。

問4 もしも実験3で、結果2が得られたときには、どのようにナミアゲハはミカンの葉を産卵場所として認識しているか、あなたの考えを述べよ。

問5 野外観察で、アゲハは産卵前に、産卵に適した木の周りを飛び回ることから、仮説2の可能性もあると良子さんは考えた。もしかすると仮説1も2も支持されて、視覚と嗅覚の両方を使ってアゲハは産卵するのかもしれない。プラスチックでできたミカンの木にそっくりな置物が観葉植物店で売られていたので、良子さんは研究に役立つかもしれないと思い買ってきました。あなたなら、ミカンの木に似ている置物をどのように利用して、仮説の検証をするか、考え方を述べよ。

## 生 物 (B)

(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。

DNAポリメラーゼは、4種類のデオキシリボスクレオシド三リン酸を材料として、プライマーの末端にヌクレオチドを付加する。4種類のデオキシリボスクレオシド三リン酸の略称はdATP, dGTP, dCTP, dTTPで、4種類をまとめてdNTPsと略称する。RNAポリメラーゼは4種類のリボスクレオシド三リン酸（略称はATP, GTP, CTP, UTP）を材料としてヌクレオチドを付加する。DNAとRNAのどちらにおいても、ヌクレオチド同士の結合は、5'番号をつ  
けられている炭素に結合しているリン酸基と3'番号をつけられている炭素に結合  
している水酸基(OH)との間で生じる。デオキシリボスクレオシド三リン酸の分子構造の模式図を図1に示す。

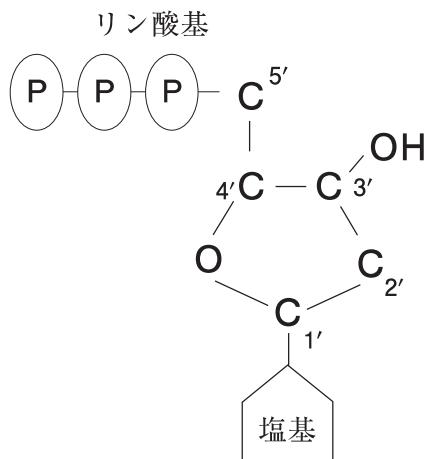


図1 デオキシリボスクレオシド三リン酸の分子構造の模式図

海底熱水鉱床などの高温環境に生息するアーキアのDNAポリメラーゼは高温ではたらくことから、耐熱性DNAポリメラーゼと呼ばれ、PCRに用いられる。

プラスミドの一部分を PCR で増幅する実験を計画した。まず、全長 4361 塩基対の長さの環状プラスミドを一箇所だけ切断できる制限酵素で切断して鋳型 DNA を調製した。次に、増幅したい領域に対してプライマーを設計することにした。図 2 に切断したプラスミドの塩基配列を示してある。

5'- AGCTTAATGCGTAGTTATCACAGTAAATTGCTAACGCAGTCAGGCACCGTGTATGA  
ACTAACAATGCGCTCATCGTCATCCTCGGCACCGTCACCCTGGATGCTGTAGGCATAG  
省略  
GCCGCCCTATACCTTGTCTGCCTCCCCGCGTTGCGTCGCGGTGCATGGAGCCGGGCCACC  
TCGACCTGAATGGAAGCCGGCGCACCTCGCTAACGGATTACCAACTCCAAGAATTGGAG  
省略  
GCGTATACACGAGGCCCTTCGTCTCAAGAATTCTCATGTTGACAGCTTATCATCGATA -3'

図 2 切断したプラスミド DNA の全塩基配列  
(途中を省略しつつ、二本鎖 DNA の片側の鎖の塩基配列のみを示す)

問 1 下線部(ア)に関して、DNA ポリメラーゼは一方向にしかスクレオチドを付加できない。どの方向にスクレオチドが付加されて DNA が伸長していくのか答えよ。またなぜその方向にしかスクレオチドが付加されていかないのか理由を述べよ。

問 2 図 2 の網かけで示された 1191 塩基対の部分を増幅するための 2 つのプライマー (20 塩基) を作成することとした。その塩基配列を示せ。なお解答欄には DNA の伸長が進む側の末端の 8 塩基を示せ。

解答例： ( …… [A] [G] [C] [T] [A] [G] [C] [T] ) → DNA の伸長が進む方向

問 3 PCR に用いられるプライマーは、20 塩基前後の長さにすることが一般的である。その長さが都合がよいと考えられる理由を述べよ。

問4 鑄型 DNA と問2で設計したプライマーと dNTPs と耐熱性 DNA ポリメラーゼをチューブに入れて PCR 装置にセットし, 94°C 30秒, 55°C 30秒, 72°C 180秒の条件を1サイクルとして PCR の反応をおこなうとする。なおプライマーの分子の数は鑄型 DNA の分子の数の1万倍を用いる。以下の①, ②の場合において何種類の DNA 二本鎖が存在するか述べて、図示せよ。図示においては図3に示す DNA プラスミドの模式図を用いよ。また図中の全ての DNA 鎮の模式図に5'末端を示す(5')および3'末端を示す(3')を併せて標記せよ。

- ① PCR を1サイクルおこなった場合。
- ② PCR を2サイクルおこなった場合。

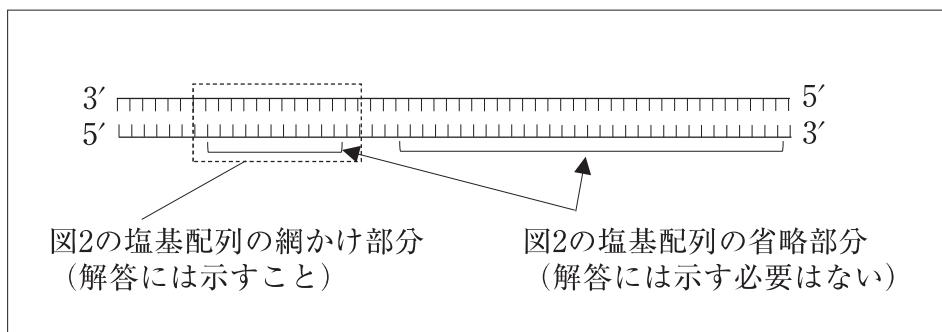


図3 図2に示したDNAプラスミドの模式図  
(図2には示していない相補的なDNA鎖も併せて示している)

問5 染色体 DNA の複製においては、2本鎖 DNA が1本鎖にほどかれ、まず相補的な短い RNA が合成され、それをプライマーとして DNA 鎮が伸長されていく。DNA ポリメラーゼはヌクレオチドを付加することしかできず、最初の1個の相補的なヌクレオチドを置くことができないが、RNA ポリメラーゼはそれができる。どのような進化的理由でこの違いが生じたと考えられるか、推察して述べよ。

2

次の文を読み、問1～4に答えよ。

クロメという海藻の葉状部分を切り取って重量を計り、その表面をかきとつて海藻の重量あたりのバクテリアの密度を調べた。いっぽう、クロメの葉状部分をバフンウニに食べさせ、1日後に腸から消化途中のクロメを取り出して、そこに含まれるバクテリアを調べた。その結果、消化途中のクロメでは、重量あたりのバクテリアの数がバフンウニに食べられる前に比べて約1万倍であった。

しかも、アガロースを分解するバクテリアの数の割合が約5%から約50%に変化していた。アガロースは寒天の主成分で、セルロースとともに海藻の細胞壁の主要な成分の多糖である。バフンウニはアガロースを分解する酵素をもっていないことは別に確かめた。また、クロメを小さく刻んで容器の海水中に放置したところ、1週間経過したところで急速に溶けた。

問1 下線部(ア)の、バクテリアの密度を調べるためにには、どのような実験をしたらよいか、簡潔に述べよ。

問2 下線部(イ)について、増えたバクテリアの由来として考えられる可能性を2つ挙げ、それらを検証する実験計画を述べよ。

問3 下線部(ウ)について、アガロースを分解するバクテリアの占める割合が高くなった原因を確かめるには、どのような実験をおこなったらよいか、その実験でどのような結果が得られたらどのような結論が導かれるか、簡潔に述べよ。

問4 バクテリアの種を識別するとともにそれらの類縁関係を推定するには、何を調べて明らかにしたらよいか、簡潔に述べよ。