

令和 6 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  $\left. \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 19 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 20 \text{ ページから } 31 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 32 \text{ ページから } 50 \text{ ページ} \end{array} \right\}$  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 5 枚、生物 4 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〕 水平な床の上を  $x$  軸に沿って運動する小物体 P と Q について考える。この小物体同士の衝突は弾性衝突とする。これら 2 つの小物体は、伸びることのない長さ  $l$  のひもでつながれている。ひもが緩んでいるときには、ひもが小物体の運動を妨げることはないが、小物体間の距離が  $l$  になると、小物体の間にはひもを介して瞬間的な力(撃力)がはたらく。このとき、ひもが張る前後において 2 つの小物体には力学的エネルギー保存則および運動量保存則が成立するものとする。なお、ひもを介して力を及ぼしあうことは衝突とはよばない。また、小物体の大きさは無視できるほど小さく、ひもの質量は無視できる。断りがない限りは床と小物体の間の摩擦も無視できる。重力加速度の大きさは  $g$  である。速度の正の向きは  $x$  軸の正の向きとする。

I. 小物体 P の質量を  $m$ 、小物体 Q の質量を  $cm$  ( $c$  は正の定数) とする。図 1 のように、 $x = 0$  で静止している小物体 Q に小物体 P を速度  $v_1$  ( $v_1 > 0$ ) で衝突させた。ただし、この最初の衝突の時刻は  $t = 0$  である。

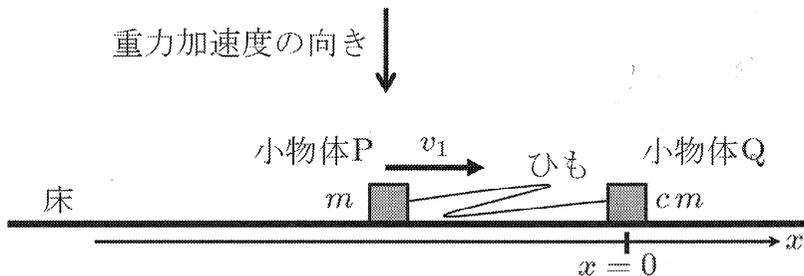


図 1

問 1 最初の衝突直後の小物体 P と Q の速度を、 $c$ 、 $v_1$ 、 $l$ 、 $g$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問 2 2 つの小物体は衝突後に離れていき、小物体間の距離が  $l$  となったところでひもが張った。この直後の小物体 P と Q の速度を、 $c$ 、 $v_1$ 、 $l$ 、 $g$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

- 問 3 ひもが張った後、しばらくして小物体 P と Q が再び衝突した。2 回目の衝突の時刻を、 $c, v_1, l, g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 4 時刻  $t$  ( $t > 0$ ) における小物体 P と Q の重心の位置を、 $c, v_1, l, g, t$  のうち必要なものを用いて表せ。

- II. 図2のように小物体PとQの質量がともに $M$ であり、小物体Qをばね定数 $k$ のばねに取り付けた装置を考える。ばねの右端は壁面に固定されており、ばねの左端は小物体Qと離れることはない。はじめ、小物体Qは $x = 0$ で静止しており、ばねは自然の長さである。その後、小物体Pを速度 $v_2$  ( $v_2 > 0$ )で小物体Qに向かって運動させ、時刻 $t = 0$ で1回目の衝突をさせた。小物体Qは衝突後、ばねの力を受けながら運動した。ただし、ばねは十分に長く、ばね定数も十分に大きいため、小物体Qは壁に当たることはないものとする。

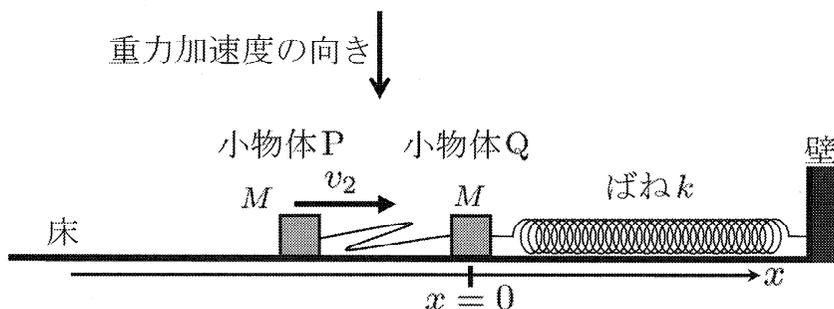


図 2

- 問 5 2回目の衝突が $x = 0$ で起こるためには、ひもの長さ $l$ が、ある $l_0$ より長い必要がある。また、 $l$ がこの $l_0$ より短いと、 $x = 0$ で2回目の衝突は起こらない。この $l_0$ を、 $M$ 、 $v_2$ 、 $k$ 、 $g$ のうち必要なものを用いて表せ。

$l$ がこの $l_0$ より長いという条件のもとで、2回目以降の衝突を考える。

- 問 6 2回目の衝突の時刻を、 $M$ 、 $v_2$ 、 $k$ 、 $l$ 、 $g$ のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 7  $2n+1$ 回目の衝突の時刻を、 $M$ 、 $v_2$ 、 $k$ 、 $l$ 、 $g$ 、 $n$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 $n$ は正の整数である。

III. 次に、II. で用いた装置に変更を加え、図3のように  $-\frac{3\ell}{4} \leq x \leq -\frac{\ell}{2}$  の領域 A のみにおいて小物体 P と床の間に摩擦力がはたらくようにした。領域 A における小物体 P と床の間の動摩擦係数を  $\mu$  とする。  $x = 0$  で静止している小物体 Q に小物体 P を速度  $v_3$  ( $v_3 > 0$ ) で衝突させたところ、小物体 P と Q は  $x = 0$  で 2 回目の衝突をした。その後、小物体 P と Q はさらに衝突を繰り返し、  $2N$  回目と  $2N + 1$  回目の衝突の間に小物体 P は領域 A の中心  $x = -\frac{5\ell}{8}$  で静止した。ただし、  $N$  は、ある正の整数である。小物体 P と Q が最初に衝突してから、小物体 P が領域 A で静止するまでの間、小物体 Q が領域 A に入ることはなかった。また、ばねは十分に長く、ばね定数も十分に大きいため、小物体 Q は壁に当たることはないものとする。

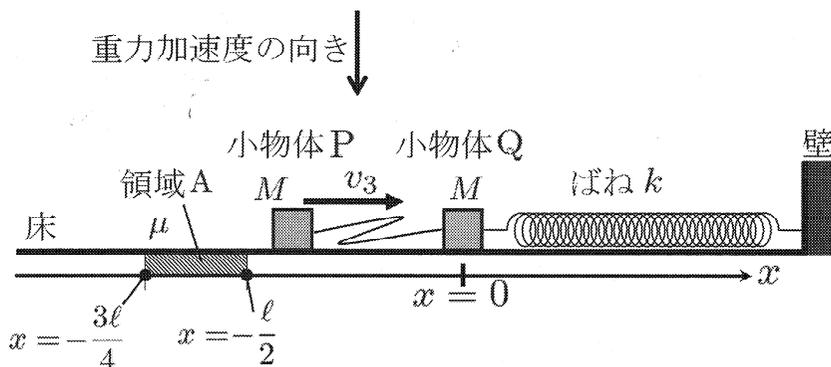


図 3

問 8 上記の運動を実現するには、動摩擦係数  $\mu$  がある値を取る必要がある。その取りうるすべての値を、  $M$ ,  $v_3$ ,  $k$ ,  $\ell$ ,  $g$ ,  $N$  のうち必要なものを用いて表せ。

[2] 磁場 (磁界) が導体棒に及ぼす影響を考える。水平面 ( $xy$  平面) 内に  $x$  軸と平行な 2 本の導体のレールが間隔  $d$  で設置されている。2 本のレール上には、質量  $m$  の導体棒が  $y$  軸と平行に置かれており、導体棒はレール上を  $x$  軸と平行な方向に摩擦なしに滑ることができる。ただし、レールは十分に長く、導体棒が運動してもレール上から外れることはない。以下の間では、レール、導体棒や導線の抵抗と太さは無視してよく、これらに流れる電流により生じる磁場、および、コイル以外の回路の自己インダクタンスも無視してよい。

I. ここでは、レール上の導体棒を P とよぶ。図 1 のように、 $x < 0$  の領域のレールの端部に、内部抵抗を無視できる起電力  $E$  の電池、抵抗値  $R$  の抵抗 1、自己インダクタンス  $L$  のコイル、および、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  を導線で接続した。さらに、 $x > 0$  の領域のレールの端部には、抵抗値  $R$  の抵抗 2 とスイッチ  $S_3$  を導線で接続した。 $x < 0$  の領域にのみ、鉛直上向き (紙面に垂直に裏から表へ向かう向き) の一様な磁場があり、その磁束密度の大きさは  $B$  である。

はじめに、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  を開いたままスイッチ  $S_3$  を閉じ、導体棒 P に外力を加え、 $x < 0$  の領域において  $x$  軸の正の向きに一定の速さ  $v$  で動かした。

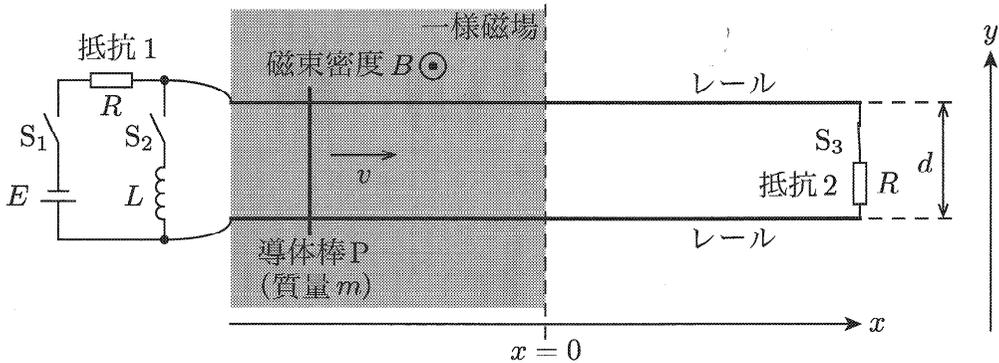


図 1

問 1 導体棒 P に発生する誘導起電力の大きさを求めよ。

問 2 導体棒 P に加えている外力の大きさを求めよ。

次に、図2のように、スイッチ  $S_3$  を閉じたまま導体棒  $P$  を  $x < 0$  の領域で  $x = 0$  から十分に離れた場所に静止させ、時刻  $t = 0$  にスイッチ  $S_1$  を閉じたところ、導体棒  $P$  が動き始めた。その後しばらくすると、導体棒  $P$  は  $x < 0$  の領域内で一定の速度に達した。

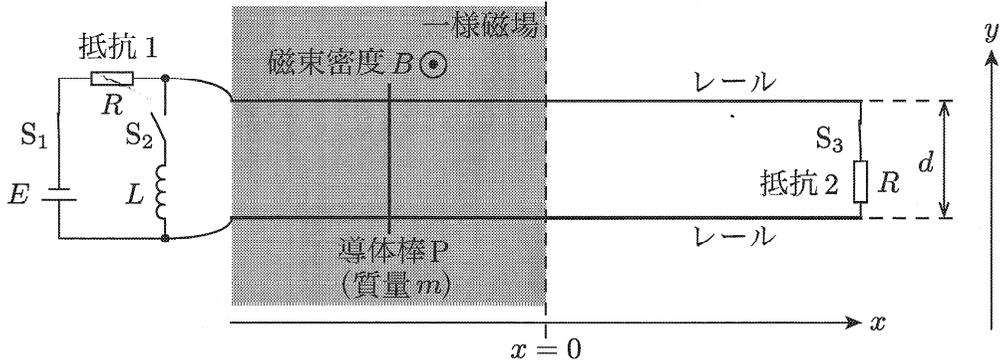


図2

問3 導体棒  $P$  の速度が一定になったときの速さを求めよ。

問4 スイッチ  $S_1$  を閉じてから導体棒  $P$  の速度が一定になるまでの間に、抵抗2に流れる電流  $I_R$  の時間変化を図示したものとして、最も適切なものを図3の(あ)から(け)の中から選んで記号で答えよ。ただし、抵抗2を流れる電流の正の向きは  $y$  軸の正の向きとする。

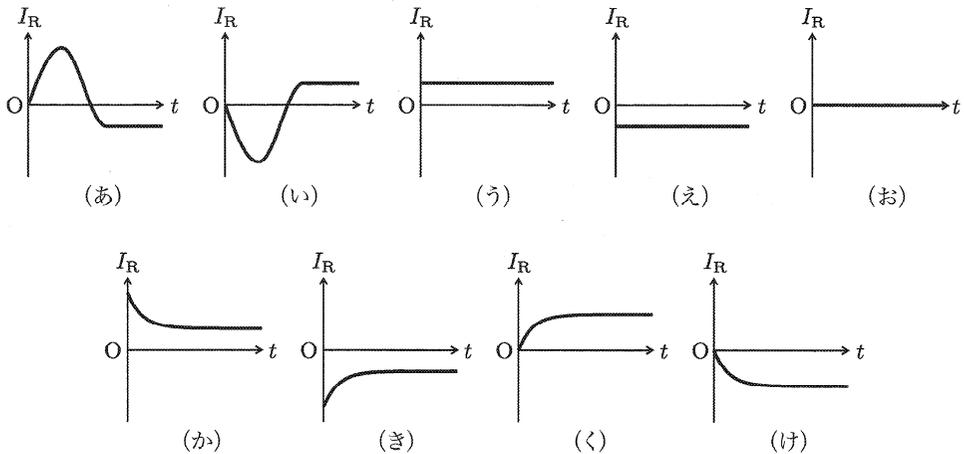


図3

次に、スイッチ  $S_1$  と  $S_3$  を開き、導体棒 P を  $x > 0$  の領域で静止させた。そして、図 4 に示すように、スイッチ  $S_2$  を閉じ、導体棒 P を時刻  $t = 0$  に  $x$  軸の負の向きへ速さ  $v$  で打ち出した。このあと、導体棒 P は時刻  $t = t_1$  ( $t_1 > 0$ ) に  $x = 0$  を通過して磁場のある領域へ入った。以下では、時刻  $t$  における導体棒 P の位置と導体棒 P に流れる電流を、それぞれ、 $x_P$ ,  $I_P$  とする。

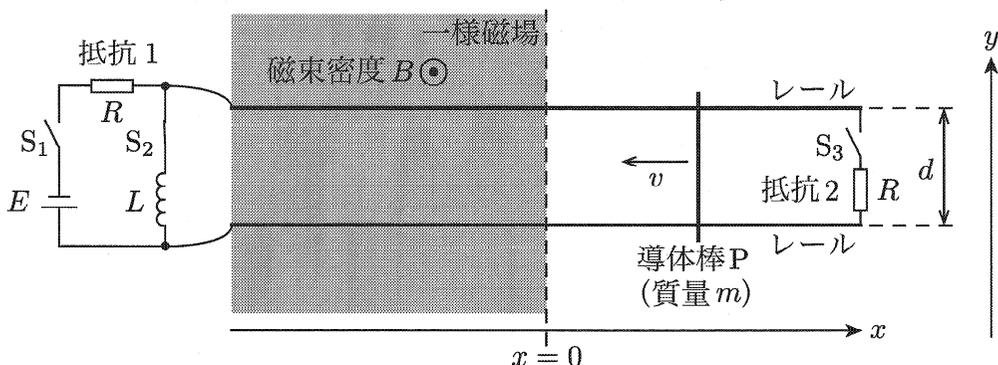


図 4

問 5  $I_P$  と  $x_P$  の関係について、以下の文章の空欄に入るべき式を解答欄に記入せよ。ただし、導体棒 P に作用する力の正の向きは  $x$  軸の正の向きとし、導体棒 P に流れる電流の正の向きは  $y$  軸の正の向きとする。

一般に、時刻  $t$  から微小な時間  $\Delta t$  だけ経過したときの電流と導体棒の位置は、変化量  $\Delta I_P$  と  $\Delta x_P$  を用いて、 $I_P + \Delta I_P$ ,  $x_P + \Delta x_P$  と表される。 $x_P < 0$  のとき、自己誘導によってコイルに生じる起電力と磁場の中を運動する導体棒 P に生じる誘導起電力がつりあうことから、

$$\frac{\Delta I_P}{\Delta t} = \boxed{\text{(a)}} \frac{\Delta x_P}{\Delta t} \quad (1)$$

の関係が得られる。導体棒 P が時刻  $t = t_1$  に  $x = 0$  を通過するときには  $I_P = 0$  であるため、式 (1) から、導体棒 P に流れる電流は  $I_P = \boxed{\text{(a)}} x_P$  となる。この電流が流れることにより導体棒 P には  $F = -\boxed{\text{(b)}} x_P$

の力がはたらく。この力は、ばね定数が (b) のばねによる復元力とみなすことができる。

問 6 導体棒 P に流れる電流  $I_P$  の時間変化を図示したものとして、最も適切なものを図 5 の (さ) から (て) の中から選んで記号で答えよ。ただし、導体棒 P に流れる電流の正の向きは  $y$  軸の正の向きとする。

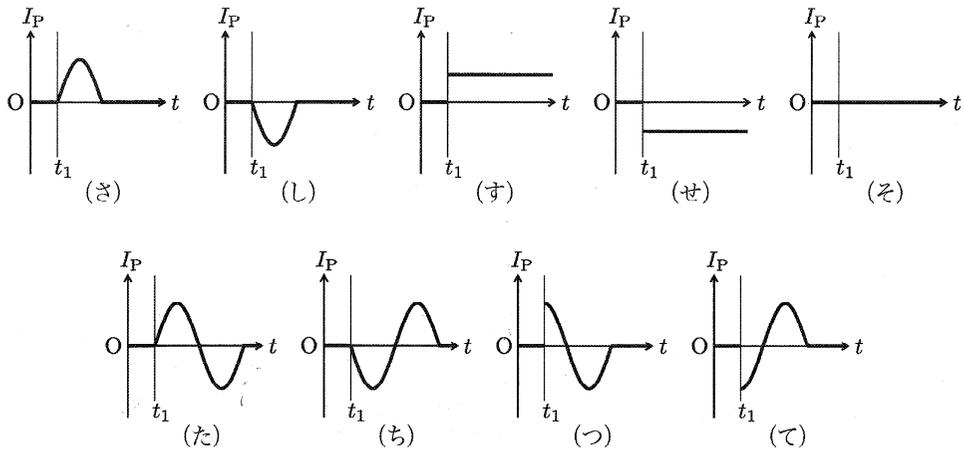


図 5

問 7 導体棒 P に流れる電流  $I_P$  の大きさの最大値を求めよ。

II. 次に、図6に示すように、2本のレールと導体棒を2組に増やし、それぞれを  $z$  座標の値が異なる水平面内に設置した。そして、互いのレールをスイッチ  $S_4, S_5$ 、抵抗値  $R_1, R_2, R_3$  をもつ抵抗と導線を用いて接続した。ここでは、上側にあるレール上の導体棒を P とし、下側のレール上にある導体棒を Q とよぶ。上下のレールと導体棒は、どちらも一様な磁場の中に置かれている。その磁束密度の大きさは  $B$  であり、磁場の向きは  $z$  軸の正の向きである。ただし、図6に記号 A で示したところでは2本の導線は接触していない。

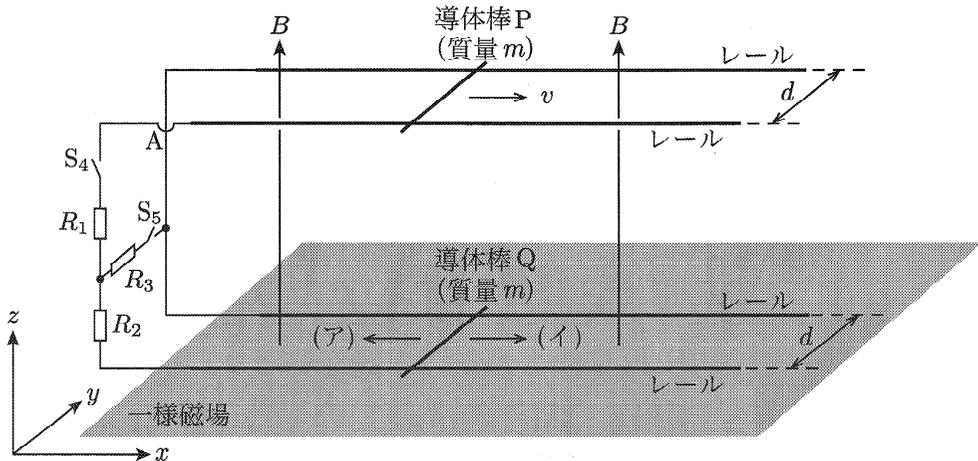


図 6

はじめに導体棒 P と Q を静止させ、スイッチ  $S_5$  を開いたままでスイッチ  $S_4$  を閉じた。その後、外力を加えて導体棒 P を  $x$  軸の正の向きに一定の速さ  $v$  で動かした。

- 問 8 導体棒 P を一定の速度で動かし始めた直後に導体棒 Q に作用する力の向きを、図6に示した (ア) または (イ) の記号で答えよ。また、その力の大きさを求めよ。
- 問 9 導体棒 P を一定の速度で動かし始めてからしばらくすると、導体棒 Q の速度は一定になった。このときの導体棒 Q の速さを求めよ。

問9において導体棒Qの速度が一定になった後に、スイッチ $S_4$ を閉じたまま  
でスイッチ $S_5$ も閉じた。スイッチ $S_5$ を閉じた後も、導体棒Pを $x$ 軸の正の向  
きに一定の速さ $v$ で動かし続けた。

問 10 スイッチ $S_5$ を閉じた直後に抵抗値 $R_3$ の抵抗に流れる電流の大きさを求  
めよ。

問 11 スイッチ $S_5$ を閉じてからしばらくすると、導体棒Qの速度は一定になっ  
た。このときの導体棒Qの速さを求めよ。

〔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. 図1に示すように、大気環境下で円筒容器XとYが水平な床に固定されている。容器XとYは細管とバルブ（コック）を介して内部がつながっている。容器X内のピストンは、断面積 $S$ の底面をもち、鉛直方向に摩擦なしで滑らかに動くことができる。また、ピストンの位置は固定することもできる。容器Xの中にはヒーターがあり、気体の温度を上げることができる。容器Y内の体積は $V_Y$ である。

最初、細管のバルブは閉じられている。容器X内には $n$ モルの単原子分子の理想気体が入っており、容器Y内は真空となっている。また、ピストンに質量 $m$ のおもりがのせられている。

すべての容器、細管、バルブやピストンは断熱材料で作られている。また、ピストンの質量、細管の体積、ヒーターの体積およびヒーターの熱容量は無視できるものとする。気体定数を $R$ 、重力加速度の大きさを $g$ 、大気圧を $p_0$ として以下の間に答えよ。なお、単原子分子の理想気体のゆっくりとした断熱変化では、圧力 $p$ と体積 $V$ が「 $pV^\gamma = \text{一定}$ 」の関係を満たす。 $\gamma$ は比熱比とよばれる定数である。

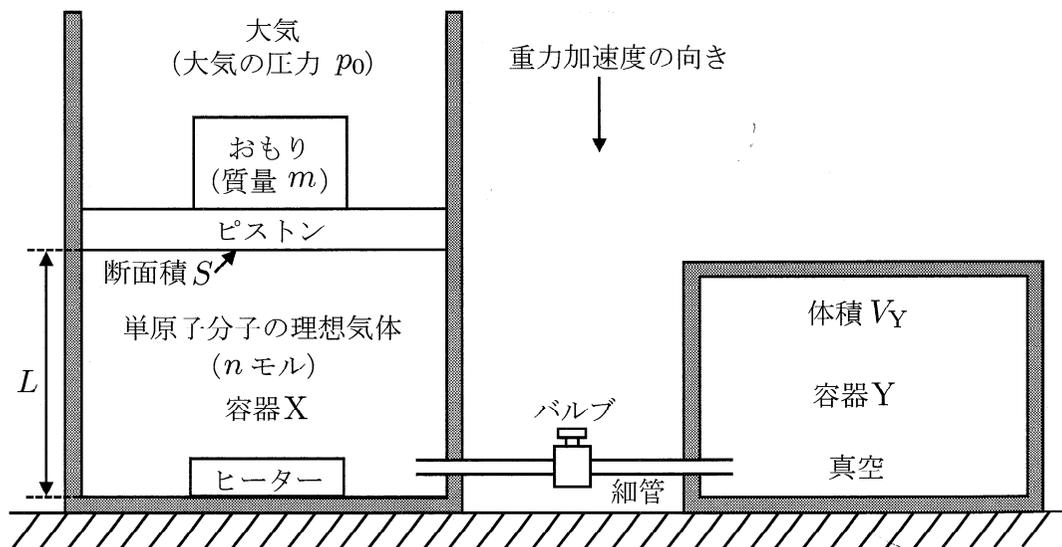


図1

- 問 1 はじめにピストンが自由に動ける状態にした。すると、ピストンは、図1のようにその底面が容器 X 内の底面から高さ  $L$  の位置で静止していた。このときの容器 X 内の気体の温度  $T_1$  を、 $p_0, m, g, S, L, n, R$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 2 問 1 の状態 (温度  $T_1$ ) から、ピストンの底面を高さ  $L$  の位置のまま固定し、バルブを開いた。すると、気体は容器 Y 内に広がるだけで容器の壁やピストンに対して仕事をせず、バルブを開いて十分に時間が経過した後に、容器 X 内と Y 内の気体の温度と圧力は等しくなった。このときの気体の温度  $T_2$  を、 $T_1, p_0, m, g, S, L, V_Y$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 3 問 2 の状態から、バルブを開いたままヒーターを用いて容器 X 内と Y 内の気体の温度を  $T_3$  まで上昇させて、ピストンの固定を外した。すると、ピストンの底面は高さ  $L$  の位置で変わらなかった。このときの気体の温度  $T_3$  を、 $p_0, m, g, S, L, V_Y, n, R$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 4 問 3 の状態から、バルブを再び閉じて、おもりをピストンからゆっくりと外した。すると、容器 X 内の気体において、ゆっくりとした断熱変化が起こり、ピストンの底面は高さ  $L + \Delta L$  の位置となった。このとき、 $\frac{\Delta L}{L}$  を、 $p_0, m, g, S, \gamma, n, R$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 5 以下の文章の  と  に入るべき式を、それぞれの  $\{ \}$  の中に与えられた文字のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 および問 4 の過程におけるエネルギーと仕事を求めてみよう。まず、問 3 の操作において、ヒーターによって容器 X 内と Y 内の気体を  $T_2$  から  $T_3$  まで温めたことによる内部エネルギー変化  $\Delta U$  は

$$\Delta U = \text{ (a) } \{ p_0, m, g, S, L, V_Y, n, R \}$$

となる。また、問 4 の断熱変化で気体がピストンに対して行った仕事  $W$  は

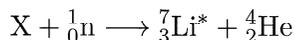
$$W = \text{ (b) } \{ p_0, m, g, S, L, \Delta L, V_Y \}$$

と表せる。

問 6 問 3 の状態から、バルブを開いたまま、おもりをピストンからゆっくりと外した。すると、容器 X 内と Y 内の気体において、ゆっくりとした断熱変化が起こり、ピストンの底面は高さ  $L + \Delta L'$  の位置となった。このとき、 $\Delta L'$  と問 4 で求めた  $\Delta L$  の比  $\frac{\Delta L'}{\Delta L}$  を、 $L$ 、 $S$ 、 $V_Y$  のうち必要なものを用いて表せ。

B. 中性子捕捉療法とは、がん細胞に取り込まれた原子核 X と中性子との核反応で生成される  $\alpha$  線 ( ${}^4_2\text{He}$  の原子核) によって、がん細胞を効率的に死滅させる放射線療法の一つである。

I. 静止している原子核 X に遅い中性子  ${}_0^1\text{n}$  を当てたところ、核反応



が起こり 2.31 MeV ( $= 2.31 \times 10^6$  eV) のエネルギーが生じた。そして、そのすべてのエネルギーが  ${}_3^7\text{Li}^*$  と  ${}_2^4\text{He}$  の原子核の運動エネルギーに変換された。ここで  ${}_3^7\text{Li}^*$  は  ${}_3^7\text{Li}$  の励起状態である。

問 7 原子核 X の質量数と原子番号を求めよ。

問 8 上記の核反応が起こり、 ${}_3^7\text{Li}^*$  と  ${}_2^4\text{He}$  が互いに十分に離れた後の  ${}_2^4\text{He}$  の運動エネルギーを、MeV を単位として有効数字 2 桁で求めよ。ただし、核反応の前後では運動量保存則が成り立つ。また、核反応前の中性子の運動量は無視できるものとする。必要であれば、表 1 の原子核の質量の文献値を用いてもよい。

表 1

原子核	質量 [u]
${}_0^1\text{n}$	1.0087
${}_2^4\text{He}$	4.0015
${}_3^7\text{Li}$	7.0144
${}_3^7\text{Li}^*$	7.0149

II. 最近の中性子捕捉療法では、サイクロトロンなどの加速器を用いる。そこでは、数十 MeV の運動エネルギーまで加速された陽子を、リチウムやベリリウムと核反応させることで、数 MeV 程度の運動エネルギーをもつ中性子を発生させる。その後、発生した中性子を減速材に入射し、治療に適した運動エネルギーまで減速させる。

問 9 室温 (27°C) で熱運動している中性子の集まりを単原子分子の理想気体とみなしたとき、中性子 1 個あたりの平均の運動エネルギーを、eV を単位として有効数字 2 桁で求めよ。必要であれば、ボルツマン定数  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K と電気素量  $e = 1.60 \times 10^{-19}$  C を用いてよい。

水を減速材として用いて中性子を減速させる場合、主に水に含まれる水素原子中の陽子との衝突により中性子は運動エネルギーを失う。この衝突を、中性子と静止した陽子との弾性衝突として考えよう。

問 10 図 1 のように、 $x$  軸の正の向きに運動する中性子が、静止している陽子に衝突した。その後、中性子は  $x$  軸の正の向きから角度  $\theta$  の方向へ散乱された。この散乱で中性子の運動エネルギーは  $E_1$  から  $E_2$  に減少した。このときの運動エネルギーの比  $\frac{E_2}{E_1}$  を  $\theta$  を用いて表せ。ただし、陽子と中性子は同じ質量をもつとみなしてよい。

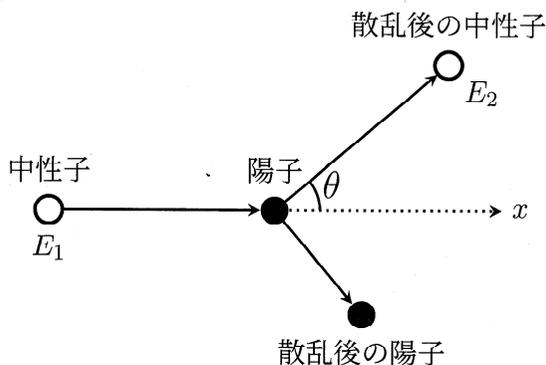


図 1

問 1 1 問 10 において、中性子の散乱が可能な方向に等確率で起こる場合、中性子の運動エネルギーは 1 回の衝突で平均  $\frac{1}{3}$  倍になる。以下では中性子は水中で陽子とのみ衝突し、1 回の衝突により運動エネルギーが  $\frac{1}{3}$  倍に減少すると単純化して考える。

$K_1$  の運動エネルギーをもつ中性子が陽子と  $N$  回衝突した結果、 $K_2$  の運動エネルギーまで減速した。このとき、 $N$  を  $K_1$  と  $K_2$  を用いて表せ。

また、10 MeV の運動エネルギーをもつ中性子を、問 9 で求めた平均の運動エネルギー以下まで減速するには、最低何回の衝突を起こす必要があるか求めよ。ただし、 $\log_{10} 3 = 0.477$  とする。必要であれば、図 2 の常用対数のグラフを用いてよい。

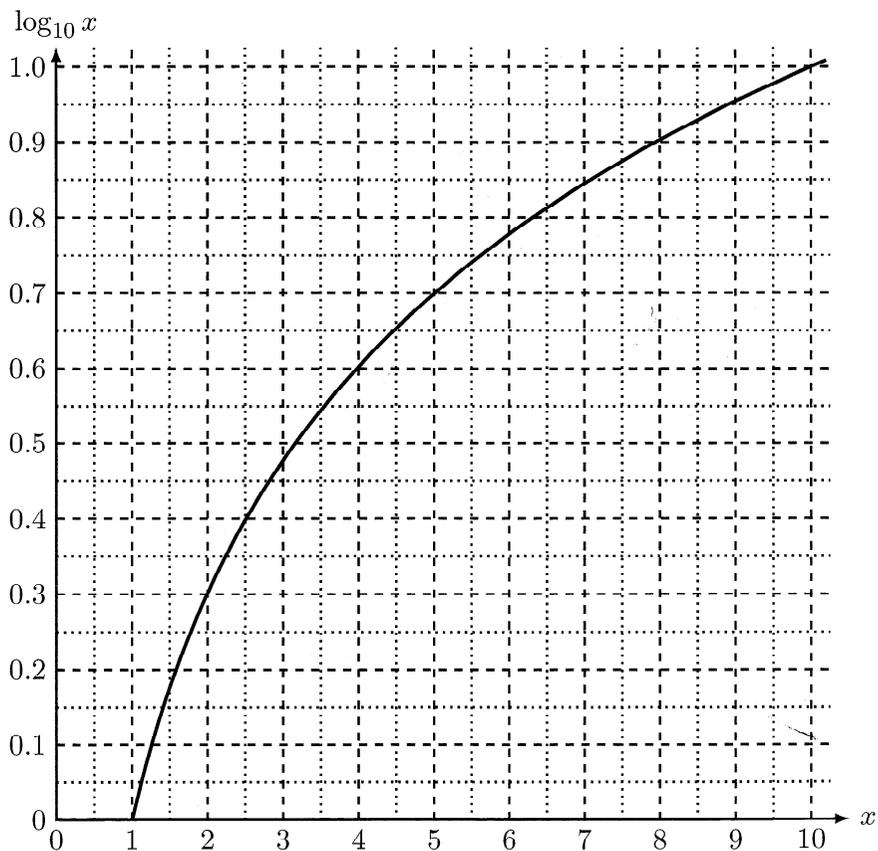


図 2

# 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

Nの原子量 = 14

Oの原子量 = 16

Caの原子量 = 40

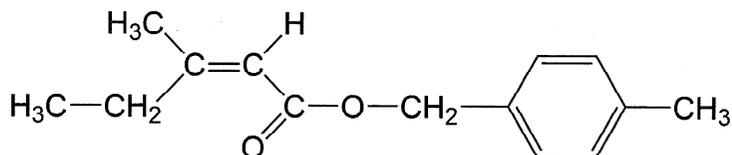
アボガドロ数  $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

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

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

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)

D	-	グ	ル	コ	-	ス	を	5	.	0	×	1	0	-	<sup>2</sup>	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9に答えよ。

イオン、原子、分子などの構成粒子が繰り返し規則正しく配列した固体を結晶といい、最小の繰り返し単位となる構造を単位格子という。

① イオン結晶では、陽イオンと陰イオンが静電的な引力(クーロン力)で結合し、交互に規則正しく立体的に配置している。イオン結晶の構造には、陽イオンと陰イオンの価数の違いや、イオン半径の比によっていくつかの種類が存在する (図1)。

③ 非金属元素である炭素の単体は、ダイヤモンド、黒鉛、フラーレン、カーボンナノチューブなど様々な物質が存在する。

この中でダイヤモンドは無色透明で極めて硬く、 結合の結晶であり、イオン結晶の  の全ての陽イオンと陰イオンを炭素原子に置き換えたものと同等の結晶構造をもつ。1つの炭素原子は  個の炭素原子と  結合しており、1つの単位格子に含まれる炭素原子の数は  個である。ダイヤモンドの単位格子の一边を0.357 nm とするとき、隣接した炭素原子間の  結合の距離は  nm である。

一方で黒鉛は黒色で柔らかく、炭素原子が正六角形の網目状に並んだ平面が積層した結晶構造をもつ。図2のように、黒鉛の単位格子の辺の長さを0.246 nm, 0.670 nm とするとき、隣接した炭素原子間の  結合の距離は  nm であり、密度は  g/cm<sup>3</sup> となる。

ダイヤモンドや黒鉛は、完全燃焼させると二酸化炭素になる。二酸化炭素を  $1.01 \times 10^5$  Pa のもとで  $-79^\circ\text{C}$  以下にすると、気体から固体に変化する。この固体はドライアイスと呼ばれ、 力により凝集した  結晶である。この結晶は面心立方格子のような配置であり、1つの単位格子に含まれる炭素原子の数は  個である。

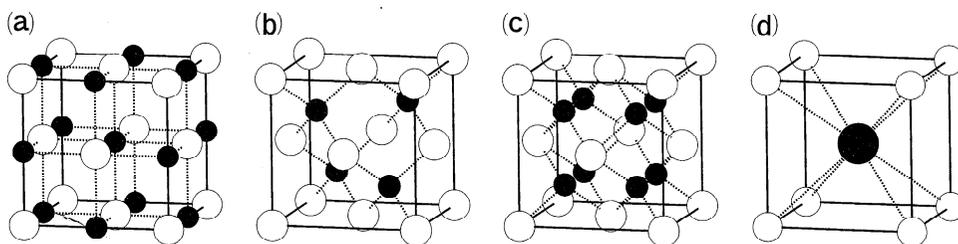


図 1

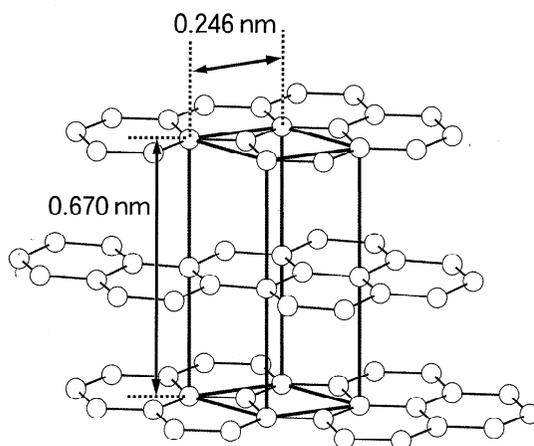


図 2

問 1 下線部①において，イオン結晶のハロゲン化ナトリウムは，単位格子内で同じイオンの配置になっている結晶構造をもつ。これらの融点は  $\text{NaF} > \text{NaCl} > \text{NaBr} > \text{NaI}$  の順に低くなる。この順で融点が低くなる理由を 70 字以内で記せ。

問 2 下線部②において，図 1 に示す(a)~(d)の構造をもつイオン結晶の物質名を次の語群から選んで書け。

語群：  $\left( \begin{array}{l} \text{塩化セシウム (CsCl), 酸化アルミニウム (Al}_2\text{O}_3), \\ \text{塩化ナトリウム (NaCl), 閃亜鉛鉱 (ZnS),} \\ \text{紅亜鉛鉱 (ZnO), 蛍石 (CaF}_2\text{)} \end{array} \right)$

問 3 下線部③において、同じ元素からなる単体で、性質が異なるものどうしを何というか。

問 4  ~  にあてはまる最も適切な語句，または数字を記入せよ。

問 5  にあてはまる構造を，図 1 の結晶構造(a)~(d)のいずれかから選び，記号で答えよ。

問 6  にあてはまる数値を有効数字 3 桁で求めよ。

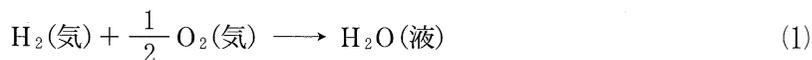
問 7  にあてはまる数値を有効数字 3 桁で求めよ。

問 8  にあてはまる数値を有効数字 3 桁で求めよ。解答欄には，計算過程も示せ。

問 9 ダイヤモンドのすべての結合を切断して炭素原子を生成するのに必要なエネルギーを結合の数で割ると，ダイヤモンドの C—C の平均結合エネルギー  $Q_1$  [J/mol] が求まる。ダイヤモンドの燃焼熱を  $Q_2$  J/mol，二酸化炭素の C=O の結合エネルギーを  $Q_3$  J/mol，酸素の O=O の結合エネルギーを  $Q_4$  J/mol とする。このとき  $Q_1$  を， $Q_2$ ， $Q_3$ ， $Q_4$  を用いて表せ。

〔2〕 以下の問1～問7に答えよ。

問1 水素と酸素は白金触媒が存在すると式(1)の反応により水を生成する。



この反応の反応熱は、25℃、 $1.01 \times 10^5$  Pa で +286 kJ/mol である。  
H—H、O=O、O—H の結合エネルギーをそれぞれ 436、497、463 kJ/mol として、 $\text{H}_2\text{O}$  の凝縮熱を有効数字2桁で求めよ。

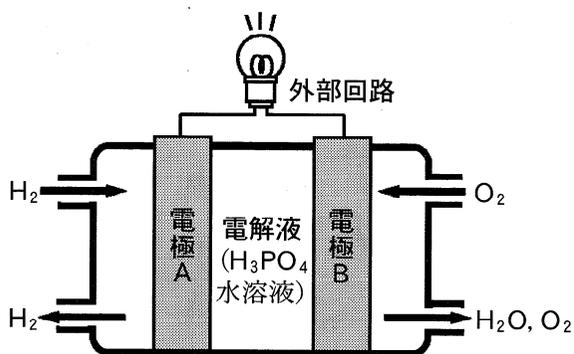
問2  $\text{H}_2\text{O}$  の凝縮熱に関する以下の文章の空欄  ～  にあてはまる最も適切な語句を下記の語群より選び、解答欄に記入せよ。

$\text{H}_2\text{O}$  の凝縮熱は  $\text{CH}_4$  や  $\text{H}_2\text{S}$  の凝縮熱に比べて  。これは、隣接する分子間で、水素原子と  の大きい酸素原子との間で  を形成するためである。 は  や  の構造形成における相互作用として重要である。

語群：  $\left( \begin{array}{l} \text{大きい, 小さい, 結合エネルギー, 配位数, 充填率,} \\ \text{電気陰性度, 水素結合, イオン結合, 共有結合, DNA,} \\ \text{ポリスチレン, ポリエチレン, セルロース, 硫黄,} \\ \text{酸化マグネシウム, 臭化カリウム} \end{array} \right)$

問3 燃料電池は式(1)の反応熱の一部を電気エネルギーに変換するものである。燃料電池にはいくつか種類が知られているが、ここでは図に示したリン酸型の燃料電池を考える。白金触媒を含む多孔質電極AとBの間に電解液を配置し、電極Aで水素を反応させ、電極Bで酸素を反応させると、電極Bで水が生成するとともに電極間に電圧が生じ、外部回路に電流が流れる。

電極AとBはそれぞれ正極と負極のいずれか、解答欄の適切なものを丸で囲め。また、電極AとBで起こる反応を電子 $e^-$ を含むイオン反応式で表せ。



問 4 図の電極 A と B の間に外部回路をつないで作動させたところ、電圧  $0.70 \text{ V}$  が生じ、外部回路に一定電流が流れ、25 分間で電極 B から水が  $1.44 \text{ g}$  生成した。外部回路を流れた電流  $[A]$  と仕事率  $[W]$  を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、水は液体状態でのみ生成したとする。解答欄には計算過程も記せ。

問 5 問 4 の条件下で、燃料電池により電流として取り出された仕事  $[J]$  を求めるとともに、それが式(1)の反応熱の何 % に相当するか、有効数字 2 桁で求めよ。この条件下で式(1)の反応熱は  $+286 \text{ kJ/mol}$  とする。解答欄には計算過程も記せ。

問 6 燃料電池に関する以下の文(1)~(5)のうち間違っているものをすべて選び、その番号を答えよ。

- (1) 燃料電池による発電時に発生する熱を暖房などに利用することで、エネルギー利用効率を発電だけの場合に比べ、数十%上げることができる。
- (2) 電解液に高濃度のアルカリ水溶液を用いた燃料電池では、酸素が反応する電極から水が生じる。
- (3) 燃料電池の実用上の問題の一つは、貴金属である白金触媒の利用によるコストの増加である。
- (4) 燃料電池で使われている白金触媒は、反応の活性化エネルギーを高め、電気エネルギーを速く取り出しやすくする。
- (5) 燃料電池の電極間の電解液の代わりとして、高分子膜も使われている。

問 7 家庭用の燃料電池などでは、熱化学方程式(2)を含む反応により、メタンと水から水素を発生させ、発電に用いる。



式(2)の反応に関して、反応が平衡状態にあるとき、一定圧力下で温度を上げると  $\text{H}_2$  濃度は増加するか減少するか、解答欄の適切なものを丸で囲め。また、その理由を 50 字以内で記せ。

〔3〕 以下の文章を読み、問1～問8に答えよ。

ベンゼン環上に1つだけ置換基を有する5つの芳香族化合物**A**～**E**を含むジエチルエーテル溶液から、各成分を分離する以下の実験を行った。

#### 実験(1)

芳香族化合物**A**～**E**を含むジエチルエーテル溶液を分液漏斗に取り、塩酸を加えてよく振り、静置すると、上層と下層の二層に分離した。下層のみを取り出し、この下層溶液に十分な量の水酸化ナトリウム水溶液を加えると、化合物**A**が遊離して得られた。<sup>①</sup>化合物**A**の成分元素を調べたところ、炭素、水素、窒素のみから成ることがわかった。また、その質量百分率はC 77.4 %、H 7.50 %、N 15.1 %であった。

#### 実験(2)

実験(1)の操作後、残った上層に、十分な量の炭酸水素ナトリウム水溶液を加えてよく振り、静置すると、再度二層に分離した。<sup>②</sup>下層のみを取り出し、この下層溶液に塩酸を加えると、化合物**B**が白色固体として遊離した。化合物**B**の成分元素を調べたところ、炭素、水素、酸素のみから成ることがわかった。また、122 mgの化合物**B**を元素分析装置で完全燃焼させたところ、二酸化炭素 308 mg と水 54.0 mg が得られた。

#### 実験(3)

実験(2)の操作後、残った上層に、水酸化ナトリウム水溶液を加えてよく振り、静置すると、二層に分離した。下層のみを取り出し、この下層溶液に塩酸を加えると、化合物**C**が油状となって浮かんだ。化合物**C**は塩化鉄(Ⅲ)水溶液と反応し、紫色を呈した。

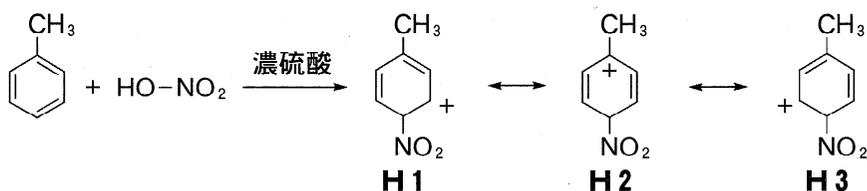
#### 実験(4)

実験(3)の操作後、上層から溶媒を蒸発させ、カラムクロマトグラフィーにより化合物**D**と化合物**E**を分離した。化合物**E**を銅線につけて炎に入れると、青緑色の炎色反応を示した。

- 問 1 化合物 **A**~**C** の構造式を書け。
- 問 2 下線部①において、ジエチルエーテル層は上層と下層のどちらか、解答欄の適切なものを丸で囲め。また、その理由を 30 字以内で簡潔に説明せよ。
- 問 3 下線部②において、炭酸水素ナトリウム水溶液に代えて水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合、下層には化合物 **B** の塩と化合物 **C** の塩が含まれる。ここにガス **F** を十分に吹きこんだ後、再度ジエチルエーテルを加えて、よく振ってから静置すると、上層には化合物 **C** が含まれ、下層には化合物 **B** の塩が残る。ガス **F** の化学式を書け。
- 問 4 化合物 **A** に希塩酸と亜硝酸ナトリウム水溶液を加え、これを化合物 **C** と水酸化ナトリウム水溶液の混合溶液に加えたところ、橙赤色の固体 **G** を生じた。化合物 **G** の構造式を書け。
- 問 5 ベンゼン環上に置換基を 1 つだけもつ化合物に対して、濃硝酸と濃硫酸の混合物を用いてニトロ化反応を行うと、主としてオルト・パラの位置がニトロ基で置換される場合(オルト・パラ配向性)と、主としてメタの位置がニトロ基で置換される場合(メタ配向性)がある。化合物 **B** と **C** のニトロ化反応を行ったときの、それぞれの配向性を答えよ。

問 6 問 5 で観測される配向性は、ベンゼン環上にあらかじめ存在する置換基の種類によって、ニトロ化のような置換反応の起こりやすい位置が変化することを意味している。オルト・パラ配向性を示すトルエンのニトロ化を例に、この理由を次のように考察した。

考察文：濃硝酸と濃硫酸から生じる  $\text{NO}_2^+$  がベンゼン環の炭素原子のうち、メチル基から見てパラの位置で共有結合により結びつくと、正電荷を帯びた中間体を与える。この中間体は、二重結合と正電荷が複数の炭素原子に広がっているため、**H1**、**H2**、**H3** のような複数の構造式として表現できる。これら **H1** ~ **H3** の関係を共鳴といい、両矢印 ( $\longleftrightarrow$ ) で表す。また、各構造式は共鳴構造式と呼ばれる。この中で、特に **H2** に注目すると、メチル基が結合した炭素が正電荷を帯びているが、メチル基は電子を与えることができる置換基のため、**H2** は大きく安定化されている。その結果、パラの位置でのニトロ化は促進される。一方で、メタの位置で置換する場合、このような安定化効果が得られないため、反応は促進されない。



この考察を基に、トルエンのオルト位でニトロ化が進行する際の、**H1** ~ **H3** に対応する共鳴構造式を書け。

問 7 化合物 **D** を分析したところ、分子量 118 の炭化水素であることがわかった。化合物 **D** として考えられる分子の構造式を全て書け。ただし、立体異性体が存在する場合は、それも区別して記せ。

問 8 質量分析計とは、分子をイオン化することで、化合物の分子量に関する情報を得ることができる機器であり、原子の同位体も区別することができる。化合物 **E** を質量分析計で分析したところ、同じ分子式をもつ質量数 112 と 114 の分子が 3 : 1 の比で存在していることがわかった。化合物 **E** の構造式を書け。つづいて、化合物 **E** に対して塩化鉄(Ⅲ)存在下で塩素を反応させると、二置換ベンゼン誘導体 **I** が得られた。**I** を質量分析計で分析したところ、同じ分子式をもつ質量数 146, 148, 150 の 3 つの分子が存在していることがわかった。この 3 つの分子の存在比を、最も簡単な整数比で答えよ。

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

アセチレン( $C_2H_2$ )は三重結合を有する化合物の中で最小の炭化水素であり、アルカンの熱分解で製造されるほか、炭化カルシウムに水を加えても発生する。<sup>①</sup> 一般に、アセチレンは反応性に富み、例えば2分子の臭素と速やかに反応して、化合物**A**を与える。また、硫酸水銀(II)触媒存在下では、水の付加も進行する。<sup>②</sup> 水が付加する反応では、不安定な化合物**B**を経由し、最終的に化合物**C**を与える。なお、化合物**B**と化合物**C**は構造異性体の関係にある。さらに、アセチレンを赤熱した鉄に触れさせると3分子重合が起こり、<sup>③</sup>化合物**D**になる。一方、アセチレンを過剰のアンモニア性硝酸銀水溶液に通じると、化合物**E**が白色固体として生じる。

問1 化合物**A**～**E**の構造式を書け。

問2 下線部①の反応式を書け。また、純度64.0%の炭化カルシウム5.00gと十分な量の水を反応させた時に発生するアセチレンは、理想気体とすると標準状態(0℃,  $1.01 \times 10^5$  Pa)で何Lに相当するか、有効数字2桁で答えよ。ただし、不純物は反応に関与しないものとする。解答欄には計算過程も記せ。

問3 下線部②において、アセチレンに代えてプロピン( $C_3H_4$ )を用いた場合、最終的に互いに構造異性体の関係にある2つの安定な化合物の混合物が得られる。この2つの化合物の構造式を書け。また、主生成物となる方の構造式を丸で囲め。

問4 下線部③において、用いる触媒によっては付加重合が進行し、高分子化合物であるポリアセチレンが得られる。ポリアセチレンに ア を少量加えると、金属に匹敵する イ 性を示すことが知られている。空欄 ア , イ にあてはまる適切な語句を記せ。

## 生物問題

(解答は全て生物解答用紙に記入すること)

### 【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、すべての文字を1つのマスに1つ記入すること。

〔1〕 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

真核生物において、アデニン(A)、グアニン(G)、チミン(T)、シトシン(C)で構成されるDNAの塩基配列情報は、mRNA前駆体に転写されたのち、 という加工過程を経る。その結果、エキソン領域の配列情報のみで構成されたmRNAが作られる。mRNAの配列はトリプレットとよばれる塩基3つの組で遺伝暗号の単位である を構成しており、 に対応するアミノ酸が順につながれて が合成される。従って、エキソン領域の塩基配列情報が異なると、 を構成するアミノ酸の組み合わせが変わり、その結果、 の構造や機能が変化することがある。一方、イントロン領域の塩基配列情報の変化は転写因子の結合などに影響することがあり、 の産生量などが変化することがある。生物集団において、ある特定部位の塩基が1塩基だけ個体ごとに異なる箇所があり、これらは とよばれる。 に代表される塩基配列の違いが、個体差をうむ大きな要因と考えられている。

サイトカインAの遺伝子の配列の一部を図1に示す。図1の中で $\frac{C}{T}$ として示した部位には があり、この部分の塩基はCまたはTのどちらかであることが知られている。個体はこの部分の塩基がCである遺伝子をふくむ染色体と、Tである遺伝子をふくむ染色体のいずれか2つの組み合わせであるため、CC、CT、TTの3種類の型(遺伝子型とよぶ)に分けることができる。そこで、特定の個体の遺伝子型がこのうちのどれかを調べ、サイトカインAの産生能との関連を調べた。

問 1 文中の空欄 ア ~ エ に適切な語句を入れよ。

```

CTTCTGGTAC CAGATCGCGC CCATCTAGGT TATTTCCGTG GGATACTGAG
ACACCCCCGG TCCAAGCCTC CCCTCCACCA CTGCGCCCTT CTCCCTGAGG
ACCTCAGCTT TCCCTCGAGG CCCTCCTACC TTTTGCCGGG AGACCCCCAG
CCCCTGCAGG GGCGGGGCCT CCCACCACA CCAGCCCTGT TCGCGCTCTC
GGCAGTGCCG GGGGGCGCCG CCTCCCCCAT GCCGCCCTCC GGGCTGCGGC
TGCTGCTCGCT GCTGCTACCG CTGCTGTGGC TACTGGTGCT GACGCCTGGC
CGGCCGGCCG ↓ CGGGACTATC CACCTGCAAG ACTATCGACA
    
```

図 1 (みやすいように 10 塩基ごとに区切って記載している)

問 2 図 1 の            で囲った 2 つの領域に特異的なプライマーを用いて、ゲノム DNA を PCR 法で増幅した。増幅された 309 塩基対の PCR 産物を精製したのち、制限酵素 X で処理したとき、処理後に生じるすべての PCR 産物の理論上の長さを、3 種類の遺伝子型それぞれについて PCR 産物の塩基対数で答えよ。制限酵素 X の切断条件は図 2 のとおりであり、この条件を満たした場合には、PCR 産物はこの部位で完全に切断されるものとする。M は「A または C」、K は「G または T」を表すが、異なる位置の M は必ずしも同じ塩基でなくてもよく、異なる位置の K もまた、必ずしも同じ塩基でなくてもよい。

なお、図 1 の配列のうち、常にこの制限酵素で切断されるのは、図 1 に矢印(↓)で示した 1 箇所である。

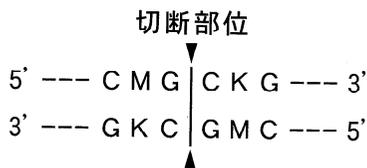


図 2

問 3 図 1 に示す **エ** によるアミノ酸の変化を調べた。表 1 に示す RNA 遺伝暗号表を用いて、この部分の塩基が C のときと T のときに最終的に翻訳されるアミノ酸をそれぞれ答えよ。答えるアミノ酸は変化するもののみでよい。なお、開始 **イ** は図 1 中に下線で示している。

表 1 RNA 遺伝暗号表

<b>イ</b>	アミノ酸	<b>イ</b>	アミノ酸	<b>イ</b>	アミノ酸	<b>イ</b>	アミノ酸
UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止	UGA	終止
UUG		UCG		UAG		UGG	トリプトファン
CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA		CCA		CAA	グルタミン	CGA	
CUG		CCG		CAG		CGG	
AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	リジン	AGA	アルギニン
AUG	メチオニン・開始	ACG		AAG		AGG	
GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

U：ウラシル，C：シトシン，A：アデニン，G：グアニン

問 4 図 3 は、一定条件で刺激された培養細胞が産生したサイトカイン A を、培養上清中の濃度として刺激後の時系列で表したものである。●が遺伝子型 CC をもつ細胞、○が遺伝子型 TT をもつ細胞であるとき、遺伝子型がサイトカイン A の産生能にもたらす影響を 70 字以内で述べよ。ただし、■は無刺激下でも常にサイトカイン A を産生する細胞で同様の実験を行った結果を示している。培養上清中のサイトカイン A の安定性には遺伝子型による違いはないものとする。

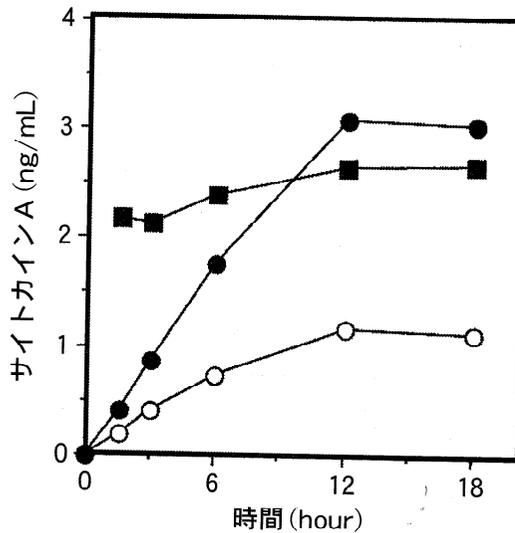


図 3

問 5 今回実験対象となった エ が存在する配列はアミノ酸に翻訳されるため、エキソン領域と考えられる。このようなアミノ酸の変化はサイトカイン A の構造的な変化をもたらす一方で、mRNA 転写量やアミノ酸への翻訳量には基本的には影響しない。それにもかかわらず、サイトカイン A の産生量が変化した理由を 100 字以内で考察せよ。なお、図 4 に示すように、サイトカイン A はまず mRNA から前駆体に翻訳されたのち細胞質内を輸送され、細胞膜貫通部とともに細胞膜上に発現したのちに細胞膜外部部分が切断されて培養液中に溶出するものとし、問 4 の実験で細胞膜上に発現したサイトカイン A の発現量の変化を図 5 に示す。図 5 では、●が遺伝子型 CC をもつ細胞、○が遺伝子型 TT をもつ細胞での発現量の変化を示している。

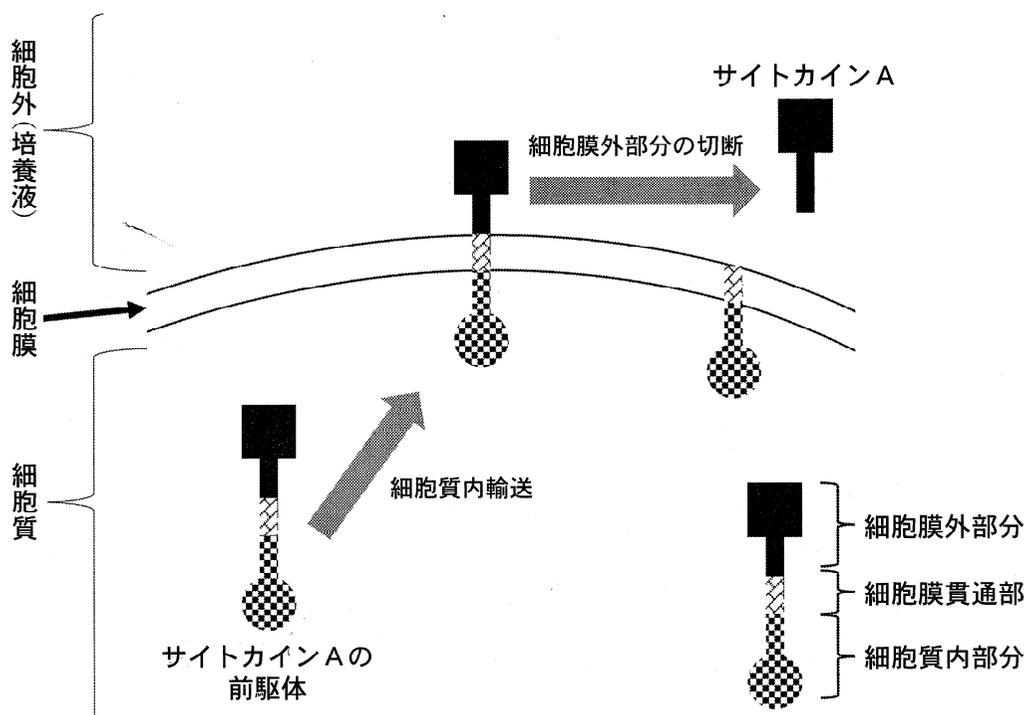


図4

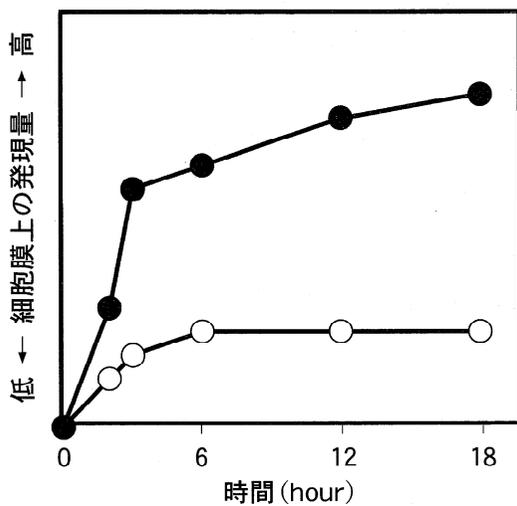


図5

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

ほ乳類の内耳に含まれるうずまき管(蝸牛)は、聴覚を司る末梢器官である。うずまき管の中にある基底膜の上には、聴細胞である **ア** が数多く分布している。この名は、聴細胞が **イ** を、多数、有していることに由来する。音が、外耳、中耳を経て、内耳のうずまき管に伝わると、その中を満たす細胞外液であるリンパ液が振動し、それに伴い基底膜も振動する。この際、 **イ** は、 **ウ** と触れ合っているため、揺れることになる。その結果、 **ア** は機械的な刺激を感知する。音の信号は、さらに神経線維を介して脳へと伝えられる。脳には、音源の方向を判断するために、左右の耳から聞こえる音の強さの違いや **エ** を解析するしくみが備わっている。

(a) **ア** は機械的な刺激を感知する。音の信号は、さらに神経線維を介して脳へと伝えられる。脳には、音源の方向を判断するために、左右の耳から聞こえる音の強さの違いや **エ** を解析するしくみが備わっている。

(b) 内耳には、2つの平衡感覚器も備わっている。そのうち、 **オ** は体の回転(回転加速度)を感知する。

問1 文章中の空欄 **ア** ~ **オ** に当てはまる適切な語句を答えよ。  
ただし、 **イ** は、細胞の構造物の名称である。

問2 下線部(a)に関連して、聴細胞である **ア** は、機械的な刺激を感知すると、電氣的に興奮し、いわゆる受容器電位を発生する。

(1) 受容器電位の発生にとって、最も重要な膜タンパク質の一般名称を答えよ。

(2) 受容器電位が発生すると、 **ア** からは神経伝達物質が放出される。受容器電位の発生から神経伝達物質の放出までの過程を、100字以内で述べよ。解答では、 **ア** は聴細胞と記せ。

問 3 下線部(b)に関連して、頭の小さい動物は、音の強さの違いを同定するために、超音波などの高い周波数の音を用いる傾向が強い。その理由を説明した以下の文章の空欄①～③に当てはまる語句の最も適切な組み合わせをA～Fから1つ選び、記号で答えよ。なお、回折とは、進行する音の波が障害物の影の部分に回り込んで伝わる現象をいう。

高い周波数の音は、波長が ① ため、小さな頭でも ② 。従って、音源に遠い方の耳に到達する音は ③ ，左右の耳で音の強さに差がつきやすくなる。

[選択肢]

- A. ① 長い — ② 回折しやすい — ③ 強まり
- B. ① 長い — ② 反射しやすい — ③ 弱まり
- C. ① 長い — ② 吸収しやすい — ③ 弱まり
- D. ① 短い — ② 回折しやすい — ③ 強まり
- E. ① 短い — ② 回折しやすい — ③ 弱まり
- F. ① 短い — ② 反射しやすい — ③ 弱まり

問 4 2つの平衡感覚器にも、うずまき管の ア に類似した感覚細胞が分布している。体の傾き(直線加速度)は、 オ とは異なる平衡感覚器で感知される。この器官において、感覚細胞は、 イ を使って体の傾きを感じる。その仕組みと機序を、100字以内で簡潔に述べよ。解答では、 イ を構造物と記せ。

【B】

*Odorrana tormota* という学名のカエルは、鳴き声と聴覚を使って求愛とその受容を行うことが知られている。具体的には、繁殖期のメスが鳴くと、そのメスの方へとオスが近づいていく。産卵直前のメスのカエルの鳴き声を録音し、解析した結果を図(a)に示す。なお、このカエルは、雌雄ともに急流の小川とその周辺で繁殖し、生息する。図(b)は、生息地の環境音の記録である。図(a)と(b)は、鳴き声と環境音に含まれている周波数成分を分離した結果を表しており、信号の白色の濃さはそれぞれの周波数成分の強さに相当する。これらの計測結果に関連した以下の問いに答えよ。

## 著作権処理中のため、公開できません。

- 問 5 (1) メスのカエルの鳴き声は、図(a)からわかるように、20 kHz を超える超音波を含んだ広い周波数成分から構成されている。図(b)に示した分析結果を踏まえ、メスが広い周波数帯域の鳴き声を使う理由を 40 字以内で述べよ。
- (2) この雌雄のカエルが、視覚や嗅覚を使わずとも、鳴き声と聴覚により求愛とその受容ができることを 1 種類の実験で証明するためには、どのような実験が適切か。予想される結果と共に、100 字以内で簡潔に述べよ。なお、実験では、録音したメスの鳴き声を忠実に再生する機器(アンプやスピーカー)と捕獲したオスのカエルを使用するが、オスへの特別な処置は行わないものとする。

〔3〕 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

生物の多様性を考えるとき、ア・生態系・種の3つの視点が重要とされている。イ世紀に、ウによって執筆された書籍『種の起源(起原と記載されることもある)』は、エという進化の考え方を広く一般にまで浸透させることとなった。現在では、進化は、エによる適応進化と、多くの突然変異は中立的であり、偶然による遺伝子頻度の変化によって進化するというオによって説明されている。

ある地域で生活する同種の生物の集団は個体群とよばれ、個体群中の個体数の増加を個体群の成長とよぶ。食物や生活空間など、生存と繁殖に必要な資源に制限が無ければ、個体群は際限なく成長することになる。ある生物が、どのような資源をどの程度、どのように利用するかなど、生態系の中で占める位置のことをカとよび、似た姿、似た生活様式を示す生物は、生息地域が異なっても似た位置を占めることが多い。ある種が単独で分布する場合のこの位置のことを<sup>①</sup>キとよび、他種とクした場合に種間競争などによって変化したものはケとよばれる。<sup>②</sup>

問1 文中の空欄 ア ～ ケ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線①に関連した図 1 は、閉鎖的なある地域に生息する哺乳類 A の個体群調査に基づいて作成されたグラフで、1976 年から 1995 年(横軸)にかけて定期的に計測された年間平均個体数(縦軸)を示している。この地域における哺乳類 A は、餌 I と餌 II のみを摂食できるものとし、餌 I は哺乳類 A の嗜好(好まれる)植物であって生命活動の維持にも適当であるが、1990 年までにこの地域から消失している。餌 II は哺乳類 A にとって有毒物質をわずかにふくむ不嗜好(好まれない)植物であり、1990 年以降も十分に残存している。図中の矢印は餌 I と餌 II の存在が確認できた期間を示している。1988 年以降、ある効果によってこの個体群の死亡率は一時的に増加したが、哺乳類 A は餌 I が尽きた後でも死滅しなかった。その理由として何が推測されるか、効果の名称もふくめて 40 字以内で説明せよ。

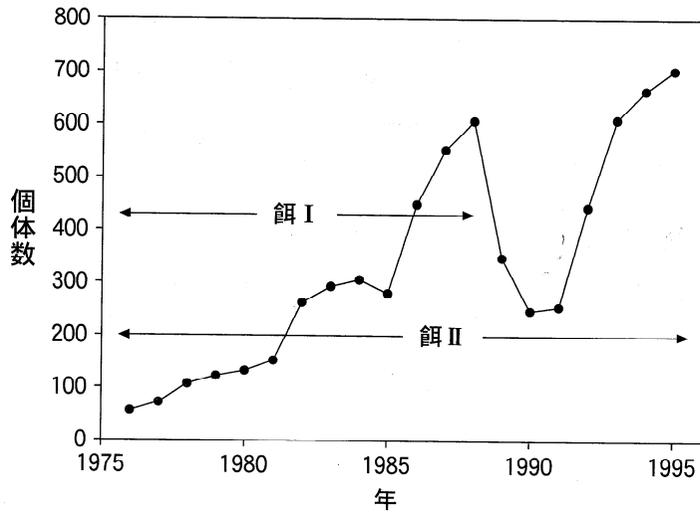


図 1

問 3 下線②に関連した図 2-1, 図 2-2 は, 2 種の個体群間における典型的な 2 つの種間相互作用を説明する模式図である。実線と破線は異なる個体群を表し, 図 2-1 の A と B は 2 種の個体群の餌のサイズに対する利用頻度についての 2 つのパターンを示している。いずれのサイズの餌も, 2 種の個体群を同時には維持できない量であるものとする。

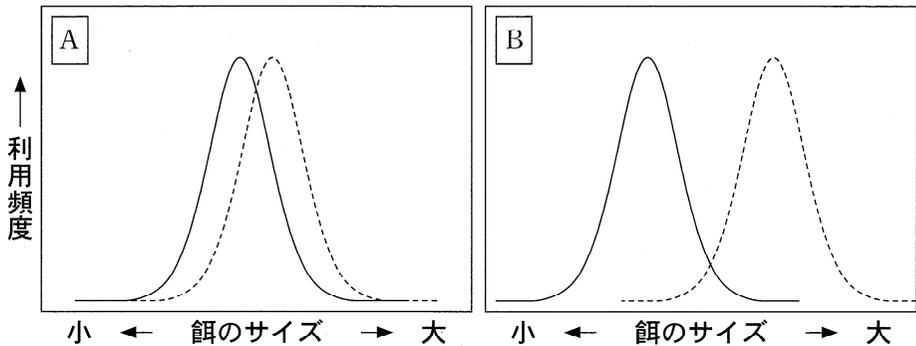


図 2-1

(1) 図 2-2 の C と D は, 図 2-1 の A, B いずれかのパターンでの種間相互作用の結果における個体群密度の時間経過を示している。A と B それぞれのパターンについて, 適切な個体群密度の時間経過を示すと考えられるグラフは, C, D のいずれと推察できるか, 記号を答えよ。

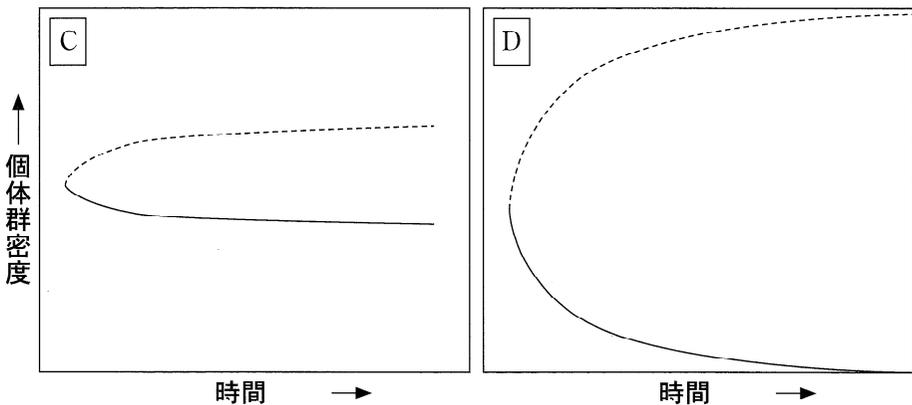


図 2-2

(2) (1)で推察したそれぞれのパターンで個体群密度の時間経過が異なる理由を, 餌のサイズ, 種間相互作用およびその結果に着目して 3 行以内で説明せよ。

問 4 図 3 は、下線②に関連して、珊瑚の生態系に代表されるようなかく乱規模の違いによる個体数への影響を示す概念図である。横軸には時間、縦軸には生態系内における自然増加能力や競争能力の異なる種 6 種の個体数を示している。かく乱規模は、生態系に及ぼす影響の程度や発生周期によって大まかに大、中、小に分類される。図 3 の(a)および(b)のかく乱は、1 回の発生で各個体群の個体数をおよそ半減させる程度で繰り返されており、(a)のかく乱の発生周期は(b)よりも短い。(c)のかく乱は、その発生頻度も少なく、生態系の自然推移に影響を及ぼさないものとする。また、個体群が潜在的にもっている自然増加率のことを内的自然増加率とよぶが、種間競争などによって影響を受けた個体群は、内的自然増加率のとおりには増加しないことも多い。

- (1) 6 種の個体群間で最もよく  が成立しているのは、(a)、(b)、(c) のどれか。解答欄に記号を答えよ。
- (2) (1)で選択しなかった 2 つのかく乱規模で  が成立しにくいそれぞれの理由について、かく乱規模の大きさと自然増加率などに着目し、あわせて 3 行以内で説明せよ。

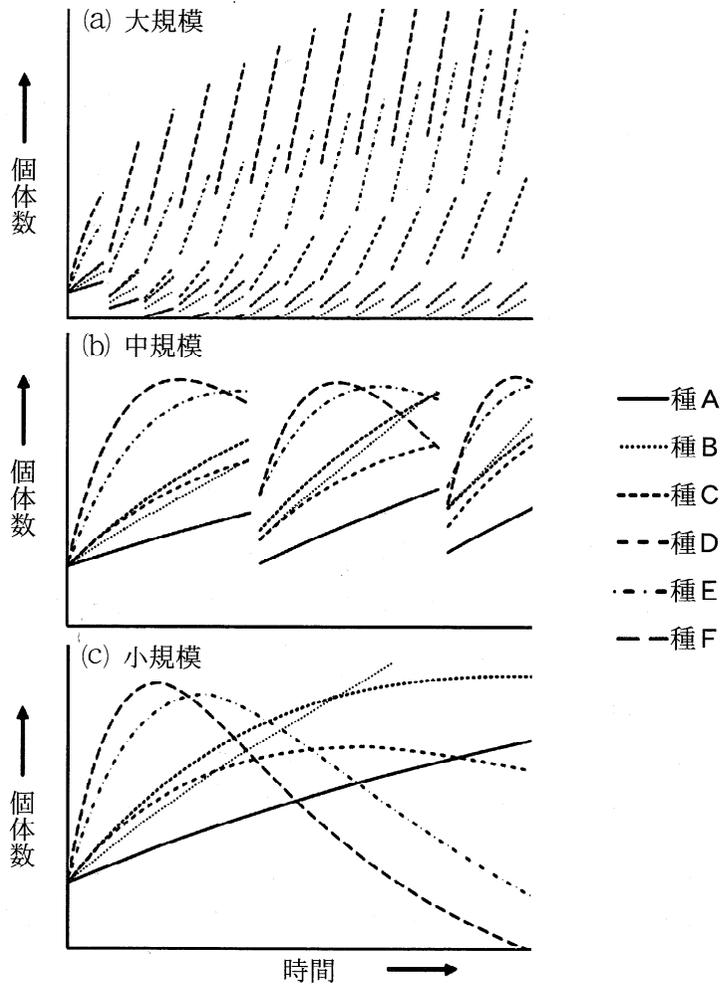


図 3

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

個体間の行動の1つであるオスとメスの関わり方にはさまざまな形態がある。A君はその中でも、特定の相手との間に強固に起こる「雌雄間のきずな形成」のしくみに興味をもち、2つの種のハタネズミを用いて以下の実験を行った。いずれの実験にも成熟した雌雄の個体を用いた。

【実験1】

ハタネズミ属の異なる種であるハタネズミP種とハタネズミM種のオスとメスを準備した。同種のハタネズミの雌雄1匹ずつを1つの飼育箱内で24時間同居させた。同居終了直後に、オスのメスに対する選好性を以下の方法で測定した(選好性試験)。3つの小部屋に区切られた飼育箱を準備し(図1)、その左右の小部屋それぞれに、同居させていたメス(同居メス)または同種だが同居させていないメス(非同居メス)を入れ、オスは中央の小部屋に入れた。メスは入れられた小部屋から出られない。オスは3つの小部屋を自由に移動でき、3時間の観察時間をいずれかの小部屋で過ごす。選好性試験では3時間の中で、左右いずれかの小部屋に入り、その中のメスに寄り添って過ごした時間(接触時間)をきずな形成の強さの指標として計測した。図2はそれぞれの種の5組の個体を用いて行った実験の平均値を示す。

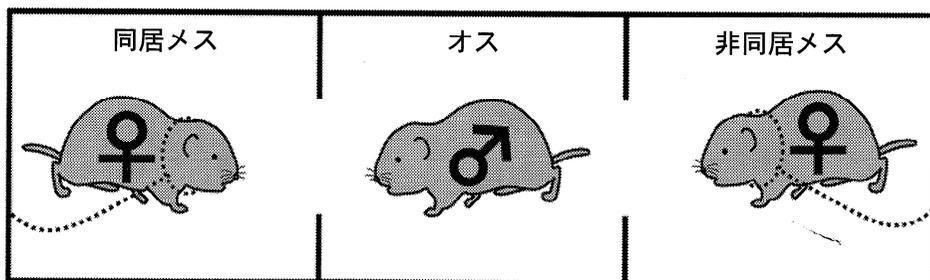


図1

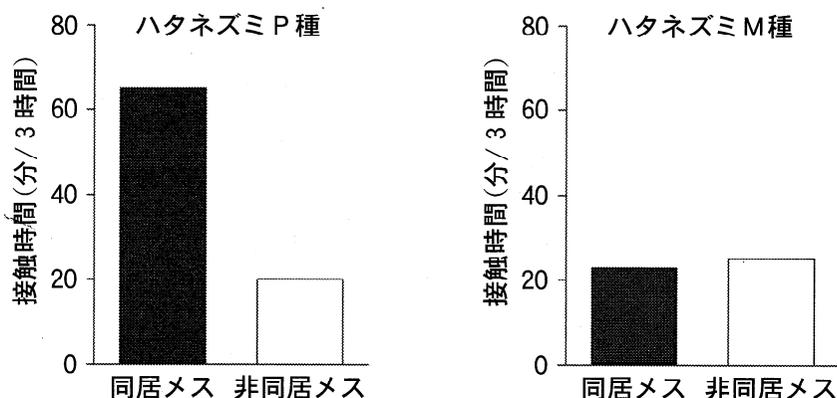


図 2

【実験 2】

ハタネズミ P 種のオスとメスを準備し、実験 1 と同様に雌雄を 1 匹ずつ 1 つの飼育箱内で同居させた。ただし、実験 2 では同居時間を 6 時間とした。脳内神経系で神経伝達物質として機能することが知られている物質 B に着目し、同居中に、オス 5 匹には物質 B をふくむ溶液を、別のオス 5 匹には対照群としてその溶媒(生理食塩水)のみを、皮下に埋め込んだポンプを利用して連続的に脳内へ投与した。投与した物質は脳全体に作用したものとする。同居期間の終了直後に、実験 1 と同様にオスのメスに対する選好性試験を行った。図 3 は各条件につき 5 組を用いて行った実験の平均値を示す。

【実験 3】

ハタネズミ P 種のオスとメスを準備し、実験 1 と同様に雌雄を 1 匹ずつ 1 つの飼育箱内で 24 時間同居させた。この実験では、同居中に、オス 5 匹には物質 B の受容体阻害剤をふくむ溶液を、別のオス 5 匹には対照群としてその溶媒(生理食塩水)のみを、皮下に埋め込んだポンプを利用して連続的に脳内へ投与した。投与した物質は脳全体に作用するが、受容体阻害以外の作用はないものとする。同居期間の終了直後に、実験 1 と同様にオスのメスに対する選好性試験を行った。図 4 は各条件につき 5 組を用いて行った実験の平均値を示す。

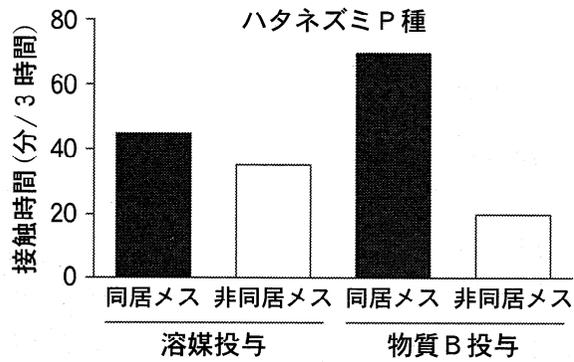


図 3

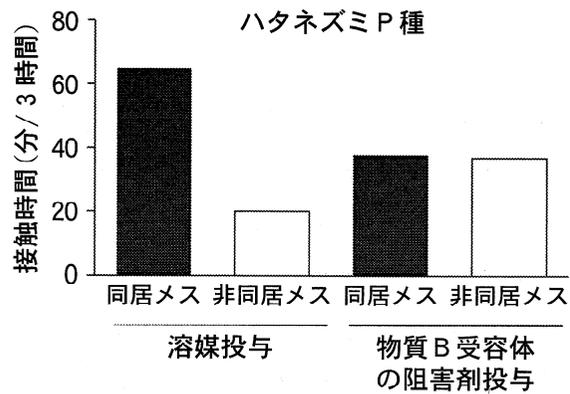


図 4

【実験 4】

ハタネズミ M 種のオスとメスを準備した。実験 1 と同様に、雌雄を 1 匹ずつ 1 つの飼育箱内で 24 時間同居させた。同居中に、実験 2 と同様に、オス 5 匹には物質 B をふくむ溶液を、別のオス 5 匹には対照群としてその溶媒(生理食塩水)のみを、皮下に埋め込んだポンプを利用して連続的に脳内へ投与した。投与した物質は脳全体に作用したものとする。同居期間の終了直後に、実験 1 と同様にオスのメスに対する選好性試験を行った。図 5 は各条件につき 5 組を用いて行った実験の平均値を示す。

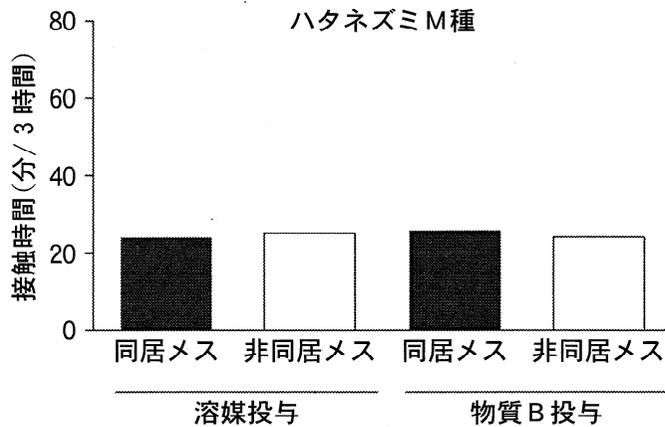


図 5

【実験 5】

ハタネズミ P 種とハタネズミ M 種のオスを用いて、きずな形成にかかわる脳領域 V における物質 B の含有量とその受容体遺伝子の発現量を調べた。ただし、物質 B の含有量は刺激に応じた分泌量と正の相関を示すものとする。その結果、物質 B の含有量には 2 種のハタネズミ間で違いはなかった。

A 君は実験 1 から実験 5 までの結果をふまえて、雌雄間のきずな形成に対する物質 B の作用を決定づける実験として、実験 6 を考えた。

【実験 6】

神経細胞でのみ活性化されるプロモーターの下流に、物質 B の受容体遺伝子をつないだ外来遺伝子を作製する。いずれかの種のオスのハタネズミについて、その脳領域 V に、作製した外来遺伝子を導入するものとししないものを準備する。外来遺伝子を十分量発現させるために数日間おいた後、実験 1 と同様に雌雄を 1 匹ずつ 1 つの飼育箱内で 24 時間同居させ、その直後にオスのメスに対する選好性試験を行う。

問 1 実験 1 の結果より、ハタネズミ P 種とハタネズミ M 種それぞれの、雌雄間きずな形成の特徴について述べた文章で、最も適したものを次の選択肢 A～Dの中から選べ。

[選択肢]

- A. 24 時間の同居により、ハタネズミ P 種、M 種ともに雌雄間のきずなは形成されない。
- B. 24 時間の同居により、ハタネズミ P 種、M 種ともに同程度の雌雄間のきずなが形成される。
- C. 24 時間の同居により、ハタネズミ M 種では雌雄間のきずなが形成されるが、ハタネズミ P 種では形成されない。
- D. 24 時間の同居により、ハタネズミ P 種では雌雄間のきずなが形成されるが、ハタネズミ M 種では形成されない。

問 2 実験 1 から実験 4 までの結果をふまえ、実験 5 の物質 B 受容体遺伝子の発現量の結果がどのようなものであったかを 40 字以内で述べよ。

問 3 実験 1 から実験 5 までの結果から、ハタネズミ P 種とハタネズミ M 種の雌雄間きずな形成の違いとそのメカニズムについて結論づけられることを 150 字以内で述べよ。

問 4 実験 6 では、いずれの種のハタネズミに外来遺伝子を導入すると、この実験の目的に合うかを答えよ。また、実験 6 の結果はどのようになると予想されるか。外来遺伝子を導入したオス(遺伝子導入)と外来遺伝子を導入しないオス(遺伝子非導入)の、メスへの選好性試験の予想される結果を図 6 のグラフ A～F より 1 つ選べ。

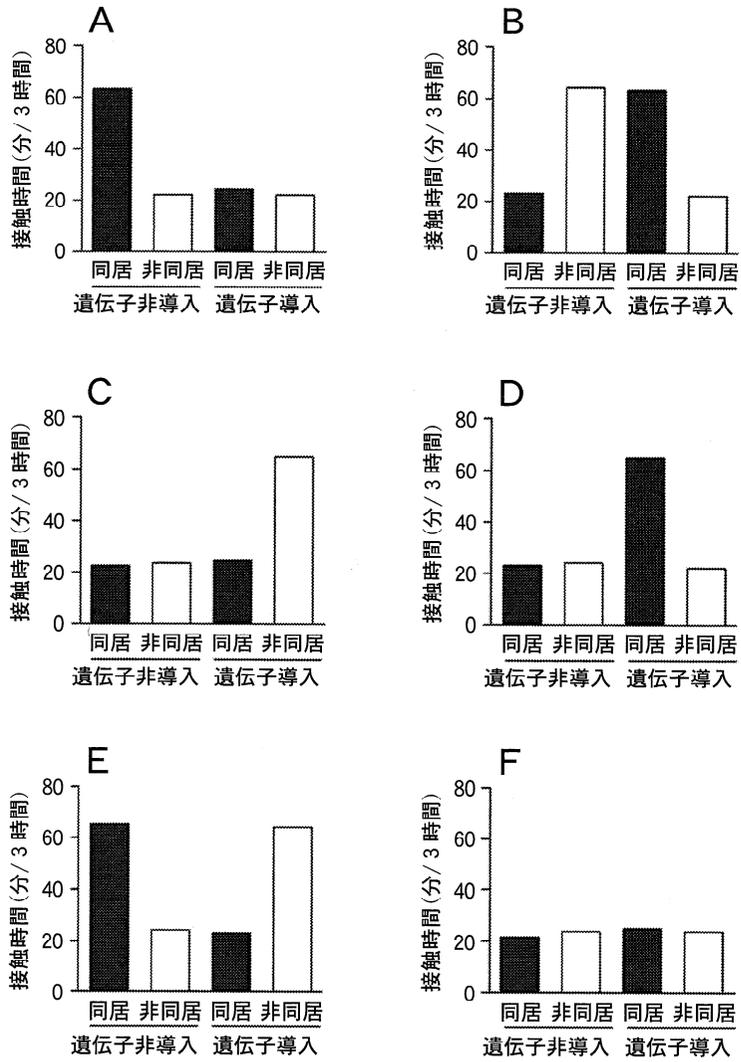


図 6