

# 理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。  
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。  
ただし、試験途中には持ち出してはいけない。

## 問 題 目 次

物 理	1	～	6	ページ
化 学	7	～	15	ページ
生 物	16	～	30	ページ



# 物 理

## 物理の記述問題に関する注意

物理の記述問題では，記述内容の深さや脈絡の豊かさに加えて，それを筋道立てて他者に伝える姿勢を重視する。

1. 図1のように、滑らかにすべるピストンとシリンダーからなる断熱容器 A と B を、不活性な多孔質体を充填した細い断熱管を介してつないだ。容器 A には温度  $T_A$ 、圧力  $P_A$  の単原子分子理想気体を体積  $V_A$  だけ入れた。容器 A 内の圧力はおもり A によって一定の値  $P_A$  に保たれており、容器 B には気体を入れずに容積がゼロの状態始める。いま、容器 B 内の圧力  $P_B$  が  $P_A$  より低い一定の値になるようにおもり B を調節したところ、断熱管を通るゆっくりとした気体の流れが生じ、しばらくすると気体はすべて容器 B に移って、その温度は  $T_B$ 、体積は  $V_B$  となった。なお、気体にはたらく重力は無視する。また、単原子分子理想気体の比熱比  $\gamma$  は  $\frac{5}{3}$  である。

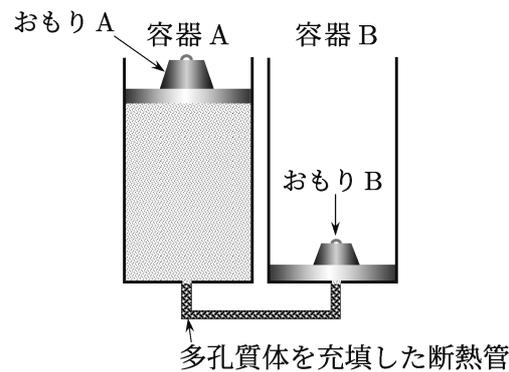


図 1

問 1. はじめに容器 A に入れた気体がすべて容器 B に移る過程において気体がされた仕事を、 $P_A, V_A, P_B, V_B$  を用いて表せ。なお、多孔質体を充填した細い断熱管内の気体の量は無視できるとする。

問 2. 気体とその周りとの間に熱の交換が全く起こらないならば、気体がされた仕事は気体の内部エネルギーの増加に等しい。この過程において、 $T_A = T_B$  となることを導け。

問 3. 問2におけるように熱の出入りのない変化は断熱変化と呼ばれる。問2において  $P_B V_B^\gamma$  は  $P_A V_A^\gamma$  の何倍となるか、 $P_A$  と  $P_B$  を用いて表せ。

問 4. 問 2 においては、気体の圧力は容器 A 内と容器 B 内で異なり、その圧力差によって引き起こされる気体の流れは不可逆である（ひとりでに逆向きに進むことはない）。他方、可逆な変化においては、圧力は気体全体にわたって一様である。分子数  $N$ 、温度  $T$ 、体積  $V$  の単原子分子からなる理想気体の体積が微小量  $\Delta V$  だけ断熱膨張するとき、圧力  $P$  にムラがなく気体全体にわたって一様なまゆるやかに変化するならば、気体の温度変化  $\Delta T$  と  $\Delta V$  との間に

$$\frac{3}{2}Nk\Delta T + P\Delta V = 0$$

の関係があることを説明し、このような断熱膨張では  $PV^\gamma$  が一定となることを導け。ここで  $k$  はボルツマン定数である。変化の微小量に関しては 1 次までを考え、それらの積は全てゼロと考えてよい。また、正の変数  $x$  が微小量  $\Delta x$  だけ変化するときの  $\log x$  の変化  $\Delta \log x$  は近似的に  $\frac{\Delta x}{x}$  で与えられることを使ってよい。ただし、 $\log$  は自然対数である。

問 5. 熱力学第 2 法則は、第 2 種永久機関（熱を吸収してはそのエネルギーを全て力学的仕事に変えるというサイクルを繰り返す熱機関）が存在しないことを主張するが、それに従えば、単原子分子からなる理想気体の  $PV^\gamma$  はいかなる断熱過程においても減少することはない。仮に単原子分子からなる理想気体の  $PV^\gamma$  が減少する断熱過程があったとすると、どのような第 2 種永久機関を作れることになるか、想像して考察せよ。必要であれば解答欄内に図を描いてもよい。

2. 物質粒子も光子も、粒子性と波動性をあわせもち、運動量の大きさ  $P$  と波長  $\lambda$  の間には、共通してプランク定数  $h$  を用いた  $P = \frac{h}{\lambda}$  の関係がある。また、光子のエネルギー  $E$  と振動数  $\nu$  の間には、 $E = h\nu$  の関係がある。この著しい事実が意味するところを、放射性粒子のガンマ線放出による質量変化を例にとって考察しよう。以下では真空中の光速を  $c$  とする。

問 1. ガンマ線光子 1 個分のエネルギーが  $E$  であるとき、そのガンマ線の波長とガンマ線光子 1 個がもつ運動量の大きさを、それぞれ  $E$  を用いて表せ。

問 2. はじめ無重力真空中に運動量ゼロで静止していた質量  $M$  の放射性粒子が、ガンマ線光子を 1 個放出して質量  $M - m$  の粒子に変わったとする。放出されたガンマ線光子の運動量の大きさを  $P$  として、ガンマ線光子放出におけるエネルギーの保存を表す式を書け。なお、粒子の運動は真空中の光速に比べて十分遅いとしてよい。また、その放射性粒子は 1 個のガンマ線光子以外には何も放出しないものとする。

問 3. ガンマ線を発する放射性粒子を大きな結晶に組み込むことによって、問 2 における  $M$  を事実上無限大とすることができる。このときに放出されるガンマ線光子 1 個分のエネルギーは  $mc^2$  となることを説明せよ。問 2 で得た関係式において  $cP < mc^2 \ll Mc^2$  であることを考慮するとよい。

問 4. 図2に示すように、無重力真空中で  $x$  軸上を移動できる台車上に、ガンマ線を発する放射性粒子を組み込んだ結晶を設置し、その結晶から  $x$  軸負の向きに問3のようにして放出されたガンマ線を、同じ台車上の後方  $\Delta x$  だけ離れた位置に設置した検出器で観測した。ここで台車は  $x$  軸正の向きに一定の加速度  $a$  で加速し続けていたとする。すると、ガンマ線が結晶から放出されてから検出器で観測されるまでの間に検出器の速度が変わり、わずかにドップラー効果が起こる。このときに検出器が観測するガンマ線光子1個分のエネルギーを、 $a, m, c$  および  $\Delta x$  の関数として導出せよ。なお、台車の速さは光速に比べて十分遅いとして  $a$  について2次以上の効果は無視し、ガンマ線が発生してから観測されるまでの時間は  $\frac{\Delta x}{c}$  で近似せよ。また、台車の運動はガンマ線の放出や吸収による影響を受けないものとする。

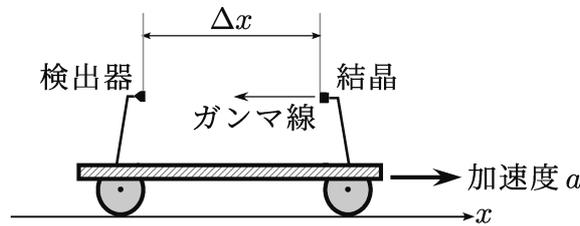


図 2

問 5. 問4の結果は、同じ質量減少分  $m$  に対応するエネルギーが、台車上の観測者にとっては、あたかも台車上の位置  $\Delta x$  によって変動するかのように見えることを意味する。そこでこれを台車上の観測者から見た位置エネルギーと解釈するならば、減少分の質量  $m$  はこの位置エネルギーからどのような力を受けることになるか。その向きと大きさを答えよ。

問 6. ニュートンの運動方程式  $\vec{F} = m\vec{a}$  は、質量  $m$  の物体の速度を変えようとするとき、加速度  $\vec{a}$  と質量  $m$  に比例した慣性力  $-\vec{F}$  で物体が速度変化に抵抗することを述べている。ここに、加速度は空間座標と時間の概念をもとにして（微分を用いて）定義されるが、力や質量はあらかじめ定義された概念ではなく、慣性力の由来も説明されない。これに対して、問1から問5までの結果は慣性力というものについて何を物語るか。考えるところを記せ。



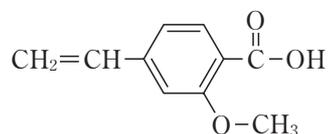
# 化 学

答えは、全て解答用紙に記入せよ。複数の解答が必要な場合には、解答の順序は問わない。数値を解答する場合の有効数字の桁数は、問題文に示す条件をよく読んで適切な桁数で解答すること。特別に指示がなければ、気体は全て理想気体とする。特別に指示がなければ、次の数値を用い、構造式は例にならって記せ。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, O = 16.0, Ca = 40.0, I = 127, Cs = 133

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

構造式の例：



1. 次の文Ⅰ～Ⅲを読み、以下の問いに答えよ。

Ⅰ. 原子は、原子核と電子から構成され、電子は原子核の周りの電子殻に存在する。例えば、 ${}_{12}\text{Mg}$  原子の最外殻電子は  殻に  個入っている。また、貴ガス(希ガス)とよばれる  族の原子の最外殻電子の数は、 の場合のみ2個であり、それ以外は  個である。

周期表の元素は、 と  に大別される。同族の元素どうしで価電子の数が等しく、かつ化学的性質が似ているのは  である。一方、同一周期の隣り合う元素どうしの化学的性質が似ているのは  であり、 を構成する族の数は、亜鉛や水銀が属する族を含めると  である。

多くの元素では、原子番号が同じで質量数が異なる同位体が存在する。表1に、マグネシウムの同位体とその相対質量の例を示す。質量数24のMg原子についてみると、その相対質量は23.985である。このことから、質量数24のMg原子の相対質量は、原子の相対質量の基準となる質量数12のC原子の質量(12(基準))を正確に2倍した値である24よりも0.015小さいことがわかる。

表1 マグネシウムの同位体と相対質量の例

同位体	相対質量
${}_{12}^{24}\text{Mg}$	23.985
${}_{12}^{25}\text{Mg}$	24.986
${}_{12}^{26}\text{Mg}$	25.983

問1 空欄  ～  に適する語句や数字を答えよ。ただし、空欄  はアルファベット1文字で、空欄  は  ${}_{12}\text{Mg}$  のような原子の表記法でそれぞれ答えよ。

問2 下線部①の理由として最も適するものを、以下から一つ選び記号で答えよ。

- (a)  ${}_{12}^{24}\text{Mg}$  の電子数が  ${}_{6}^{12}\text{C}$  の電子数の2倍ではないから
- (b)  ${}_{12}^{24}\text{Mg}$  と  ${}_{6}^{12}\text{C}$  では陽子と中性子の構成比が異なっているから
- (c) 陽子と中性子の相対質量が正確に1ではないから
- (d) 同位体の存在比がマグネシウムと炭素では異なっているから
- (e)  ${}_{12}^{24}\text{Mg}$  の原子核の質量が、 ${}_{6}^{12}\text{C}$  の原子核の質量の正確に2倍ではないから
- (f) 相対質量は基準に対する相対値であって、絶対質量ではないから
- (g) 質量数は正確には自然数ではないから

II. 放射性同位体は、原子核が不安定で、放射線とよばれる粒子や電磁波を放出する。放射性同位体として、 $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ をある割合で含むサンプルから出る放射線の量は、時間 $t = 0$ で $5.0 \times 10^5 \text{ Bq}$  (ベクレル、1秒間に起こる原子の壊変数)、 $t = 16$ 日で $3.5 \times 10^5 \text{ Bq}$ であった。このサンプルには $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ 以外の放射性同位体は含まれていない。また、放射性同位体の半減期について、 $^{131}\text{I}$ は8.0日、 $^{137}\text{Cs}$ は30年とする。

問 3  $t = 0$ のときのサンプルから出る放射線の量のうち、 $^{131}\text{I}$ から出る放射線の量の割合(%)を有効数字2桁で答えよ。

問 4 このサンプルから出る放射線の量が $1.0 \times 10^5 \text{ Bq}$ となる時間 $t$ を、有効数字2桁で、適切な単位とともに答えよ。必要であれば以下の値を計算に用いよ。

$$\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48, \log_{10} 5 = 0.70, \log_{10} 7 = 0.85$$

III. 水素には、水素 $^1\text{H}$ 、重水素 $^2\text{H}$ 、三重水素 $^3\text{H}$ の三つの同位体が存在する。現実の世界における、これらの同位体の存在比は、 $^1\text{H} : ^2\text{H} : ^3\text{H} = 99.9885 : 0.0115 : \text{ごく微量}$ である。現実世界には、 $^2\text{H}$ と酸素から構成される重水が存在し、その凝固点は $3.8^\circ\text{C}$ 、沸点は $101.4^\circ\text{C}$ である。ここで、水素の同位体の存在比が、 $^1\text{H} : ^2\text{H} : ^3\text{H} = 1 : 1 : \text{ごく微量}$ で一定である仮想の世界を考える。この仮想世界では、水素の同位体の存在比は異なるが、濃度、密度、アボガドロ定数、原子量などの定義は現実世界と変わらないとする。

問 5 この仮想世界を現実世界と比べた際に正しいと考えられるものを、以下から全て選び記号で答えよ。ただし、現実と仮想の両世界において、水とは各種の同位体が含まれる分子を示す。

- (a) 水素の原子量は異なる
- (b) 水の密度は異なる
- (c) 1 molの水に含まれる分子数は異なる
- (d) 仮想世界においても、化学平衡に関するルシャトリエの原理は成立する
- (e) 仮想世界では、ボイルの法則は成立しない
- (f) 仮想世界においても、ドルトンの分圧の法則は成立する
- (g) 気体定数の値は異なる
- (h) 同じ質量パーセント濃度で同じ質量のNaCl水溶液に含まれるNaClの物質量は同一である
- (i) 同じ質量モル濃度で同じ体積のNaCl水溶液に含まれるNaClの質量は同一である
- (j) 仮想世界では、ジエチルエーテルの水への溶解度は、エタノールの水への溶解度よりも大きい

2. 次の文を読み、以下の問いに答えよ。

【実験1】 分子量 1000 以下の分子を通過させる膜でつくった袋に、植物性の多糖 A(注1)の水溶液およびタンパク質 B の水溶液を入れ、混ぜ合わせて口を閉じた後、その袋を水中に浸し、タンパク質 B が安定な条件で十分な時間放置した。放置後、袋の中に残った溶液の一部を試験管に移して少量のヨウ素溶液を加えても呈色しなかった。袋の外側の水は分液ろうとに移し、ヘキサン(密度  $0.66 \text{ g/cm}^3$ )を加えて十分に振り混ぜた後、上層(溶液 C)と下層(溶液 D)に分離するまで静置した。この操作で、袋の外側の水に含まれていた多糖 A に由来する物質は、溶液 C あるいは溶液 D のいずれか一方のみに存在するものとする。さらに、分離した溶液 C および溶液 D の溶媒を蒸発させ、いずれか一方の溶液から化合物 E を得た。

【実験2】 実験1下線部①の袋の中に残った溶液、リン酸水溶液、炭酸水溶液、ミリスチン酸( $\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{COOH}$ )、パルミチン酸( $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ )、リノレン酸( $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ )の混合物に十分な量の四塩化炭素(密度  $1.59 \text{ g/cm}^3$ )を加え、十分に振り混ぜた。凝固した物質を除いた後、残りの溶液を分液ろうとに移して静置し、上層と下層を分離した。これらの操作で、実験1下線部①の袋の中に残った溶液に含まれていた物質、リン酸、炭酸、脂肪酸は、それぞれ、凝固した物質、上層、下層のいずれか一つのみが存在するものとする。次に、上層に  $18 \text{ mol/L}$  の硫酸を少量( $0.61 \text{ mL}$ )を加え、溶媒が失われないように注意しながら、③ 気体が発生しなくなるまで長時間加熱して溶液 F を得た。溶液 F には、下線部③の気体が発生する原因となった物質は存在しないものとする。また、溶液 F に含まれる有機化合物を分析したところ、化合物 G のみが検出された。最後に、下層の溶媒を蒸発させ、混合物 H を得た。

(注1) 多糖 A はアミロース、アミロペクチン、グリコーゲン、セルロースのいずれかである。

問 1 多糖 A を構成する単糖、ヘキサン、四塩化炭素は、それぞれ極性分子あるいは無極性分子のどちらの性質をより強くもつか、解答欄の当てはまる方を丸で囲め。

問 2 下線部①について、以下の問いに答えよ。

(i) タンパク質 B の名前として最も適するものを、以下から一つ選び記号で答えよ。

- (a) マルターゼ
- (b) ペプシン
- (c) セルラーゼ
- (d) スクララーゼ
- (e) アミラーゼ

(ii) (i)の選択肢のように、生体内で触媒としてはたらくタンパク質を何というか答えよ。

(iii) タンパク質 B を 0.0112 g 溶かした水溶液 6.2 mL の浸透圧は 37℃ で 83.1 Pa であった。

タンパク質 B の分子量を答えよ。ただし、タンパク質 B は非電解質とする。

問 3 溶液 C および溶液 D それぞれの性質として最も適するものを、以下から一つ選び記号で答えよ。

- (a) ヨウ素溶液を加えると濃青色に呈色する
- (b) 塩基性にした後、ヨウ素と反応させると黄色物質が生成する
- (c) ニンヒドリン溶液を加えて加熱すると赤紫～青紫色になる
- (d) アンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱すると銀が生成する
- (e) 横から強い光を当てると、光の進路が明るく輝いて見える
- (f) (a)～(e)はいずれも該当しない

問 4 溶媒 I (5.20 g) に 0.171 g の化合物 E を溶解した溶液の凝固点降下度は、溶媒 I にヨウ化セシウムを溶解して 32.40 g とした溶液と同じであった。用いたヨウ化セシウムの質量 (g) を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、化合物 E は分子量 342 の非電解質であり、ヨウ化セシウムは、用いた溶媒中で完全に電離するものとする。

問 5 下線部②について、この物質は以下のいずれかより生じたものとする。最も適するものを、以下から一つ選び記号で答えよ。

- (a) 多糖 A
- (b) タンパク質 B
- (c) リン酸
- (d) 炭酸
- (e) ミリスチン酸
- (f) パルミチン酸
- (g) リノレン酸

問 6 溶液 F を中和するために、3.70 g の水酸化カルシウムが必要であった。

(i) 水酸化カルシウムは、水に炭化カルシウム ( $\text{CaC}_2$ ) を加えると生成する。この反応の化学反応式を答えよ。

(ii) (i) の反応で生成する気体の燃焼エンタルピーが  $-1301 \text{ kJ/mol}$  (燃焼熱  $+1301 \text{ kJ/mol}$ )、 $\text{CO}_2$  (気) および  $\text{H}_2\text{O}$  (液) の生成エンタルピーがそれぞれ  $-394 \text{ kJ/mol}$ 、 $-286 \text{ kJ/mol}$  (生成熱  $+394 \text{ kJ/mol}$ 、 $+286 \text{ kJ/mol}$ ) のとき、(i) の反応で生成する気体の生成エンタルピーあるいは生成熱 ( $\text{kJ/mol}$ ) を正負の符号とともに答え、解答の値が生成エンタルピーあるいは生成熱のいずれを示すか、解答欄の当てはまる方を丸で囲め。

(iii) 溶液 F に含まれていた、この中和反応に関係する酸性物質の物質名および物質量 ( $\text{mol}$ ) を答えよ。該当する物質が二つ以上ある場合、それぞれについて物質名と物質量 ( $\text{mol}$ ) を解答し、解答欄の使用しなかった箇所は空欄のままにせよ。

問 7 化合物 G の物質名を答えよ。

問 8 混合物 H を，触媒の存在下，水素と完全に反応させたところ，0.036 mol の水素が消費された。混合物 H のうち，水素と反応した反応物の物質名と物質量 (mol) を答えよ。反応物が二つ以上ある場合，それぞれについて物質名と物質量 (mol) を解答し，解答欄の使用しなかった箇所は空欄のままにせよ。



3. 次の文Ⅰ～Ⅲを読み、以下の問いに答えよ。

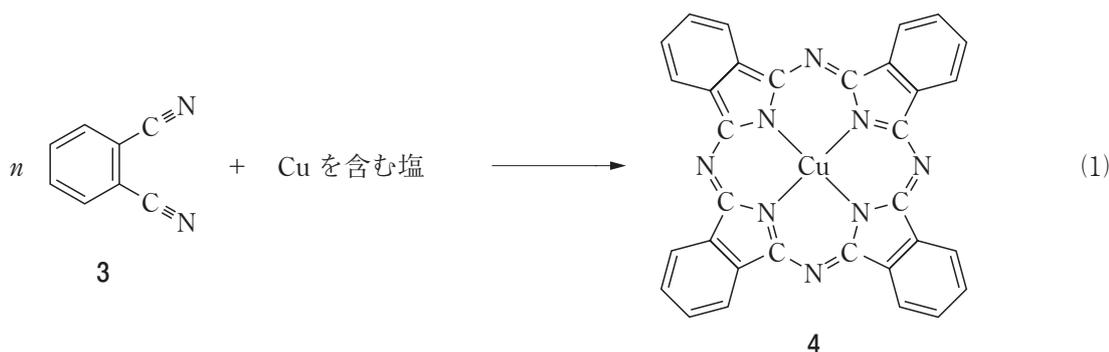
Ⅰ. 炭素原子と水素原子からなる、芳香族炭化水素の化合物 **1** は分子量が 118 であり、その構造に含まれる炭素原子間の結合はひずみをほとんどもたない。化合物 **1** は、触媒の存在下、水素と反応させても何も変化しないが、酸素で酸化することによりベンゼン環に 2 個のカルボキシ基が結合した化合物 **2** に変換される。ベンゼン環に 2 個のカルボキシ基が結合した化合物には 3 種類の構造異性体が考えられ、化合物 **2** は、そのうち、2 個のカルボキシ基が互いに **ア** 位に結合したもので **イ** とよばれる。**イ** の 2 個のカルボキシ基をエステル化した化合物は、柔軟性や弾性を与えるために合成樹脂に添加されることもある。

問 1 化合物 **1** の構造式を記せ。

問 2 空欄 **ア** に適する語句、および、空欄 **イ** に適する化合物名を答えよ。

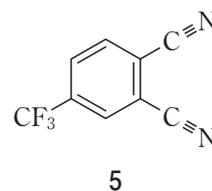
問 3 熱を加えると軟化し、冷却すると硬化する性質をもつ合成樹脂を何というか答えよ。

Ⅱ. フタロシアニンとよばれる一連の化合物は、大環状の芳香族化合物であり、その名前は、原料のフタロニトリル(化合物 **3**)と青色色素(シアン)に由来する。フタロシアニンは、様々な金属を内部に取り込むことができ、式(1)に合成例を示す銅フタロシアニン(化合物 **4**)は、インクをはじめとする着色顔料として用いられる。銅フタロシアニンは、対称性の高い化合物のため、それぞれ対称的な位置にある炭素原子どうしの間単結合と二重結合は、実際には全て等価であり、原子間の結合の長さや性質が等しい。同様に、それぞれ対称的な位置にある炭素原子と窒素原子の間の単結合と二重結合、および、窒素原子と銅原子の間の単結合も、それぞれ、全て等価である。

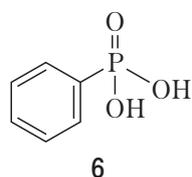


問 4 化合物 **4** は、複数個の化合物 **3** が環状に重合して、さらに内部に銅が取り込まれた構造と考えることができる。解答用紙の化合物 **4** の構造式の中に、化合物 **3** に由来する繰り返し単位を全て見つけ、繰り返し単位ごとに丸で囲め。

問 5 式(1)の化合物 **3** のかわりに、置換基をもつ化合物 **5** を用いても、化合物 **4** に類似の銅フタロシアニンを合成することができる。このときに生成する構造異性体の数を答えよ。



Ⅲ. 2価の酸であるフェニルホスホン酸  $C_6H_5PO_3H_2$  (化合物 **6**) は水溶液中で2段階に電離して平衡に達しており、1段階目、2段階目の電離定数をそれぞれ  $K_1$ 、 $K_2$  とする。ある温度  $T$  において、化合物 **6** の電離定数は、 $K_1 = 1.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 、 $K_2 = 4.00 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$  とする。



問 6 ある温度  $T$  において、化合物 **6** の水溶液の濃度が  $0.00500 \text{ mol/L}$  のとき、この水溶液の水素イオン濃度を有効数字2桁で答えよ。ただし、考え方や計算の過程を示すこと。1段階目に比べて2段階目の電離定数は著しく小さいので、1段階目の電離のみを考えればよい。必要であれば以下の値を計算に用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73, \sqrt{5} = 2.24, \sqrt{7} = 2.65$$

# 生 物

## 1. 糖代謝に関する各問いに答えよ。

食事により摂取されたデンプンは、唾液や  に含まれるアミラーゼや、小腸の消化酵素である  の働きによりグルコースに分解され、小腸で能動輸送により吸収される。吸収されたグルコースは、血流を介して全身の組織に送られる。組織に運ばれたグルコースは、細胞膜にあるグルコース輸送体により、 に従って細胞内に受動輸送される。細胞内に取り込まれたグルコースは、まず細胞質基質の酵素が働く反応過程である  によって段階的に分解され、ATP 産生のためのエネルギー源として使用される。食事により血糖値が上昇すると、すい臓のランゲルハンス島の B 細胞よりインスリンが分泌される。インスリンは、細胞膜のグルコース輸送体の数を増やすことで細胞内へのグルコースの取り込みを促進させるとともに、エネルギー源としてすぐに利用されなかった余剰なグルコースを、特定の細胞内に  として蓄える反応を促進する。さらに余剰なグルコースは脂肪に変換され、脂肪細胞に蓄えられる。

グルコースは分子量が小さいため、血液中のグルコースは腎臓の糸球体でろ過される。そのため、原尿のグルコース濃度は血しょう中のグルコース濃度と同じであるが、その後、グルコースは、細尿管では能動輸送により再吸収される。

問 1. ア～オの  に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 下線部(a)の特定の細胞をふたつあげよ。

問 3. 下線部(b)について，以下の問いに答えよ。

1) グルコースを点滴で血管内に投与することで血しょう中のグルコース濃度を変化させた。

表1は，血しょう中のグルコース濃度と尿中へのグルコース排出量(1分間の排出量として算出)の関係を調べた結果である。ただし，糸球体でろ過される血しょうの量は125 mL/分で一定とする。

血しょう中のグルコース濃度 (mg/100 mL)	尿中へのグルコース排出量 (mg/分)
100	0
200	0
300	5
400	128
500	251
600	375
700	503

表1

この結果から，細尿管でのグルコース再吸収速度の最大値として適切なものを①～⑤のなかより選び，番号で答えよ。

- ① 200 - 250 mg/分
- ② 250 - 300 mg/分
- ③ 300 - 350 mg/分
- ④ 350 - 400 mg/分
- ⑤ 400 - 450 mg/分

2) 細尿管では，グルコースを能動輸送で再吸収する。これに関して，受動輸送ではなく，能動輸送である利点を述べよ。

問 4. Aさんは会社の健康診断で尿中にグルコースが排出されていることがみつき、病院を受診した。Aさんの糖代謝を調べるため、前日夜より絶食した状態で起床後にグルコース溶液を飲んでもらい、血糖値と血中インスリン値を、時間を追って測定した。測定は、飲む直前と、飲んだ後30分毎に3時間まで行った。その結果について図1に血糖値、図2にインスリン値を実線で示す。Aさんは同様の検査を過去に受けたことがある。その時の検査結果を破線で示す。

1) 図1から、今回の検査では過去に行った検査とくらべて、血糖値の値と時間変化にどのような違いがあるか述べよ。

2) 図2をふまえ、Aさんの血糖値が、過去とくらべて今回、図1のように変化した理由を考察せよ。

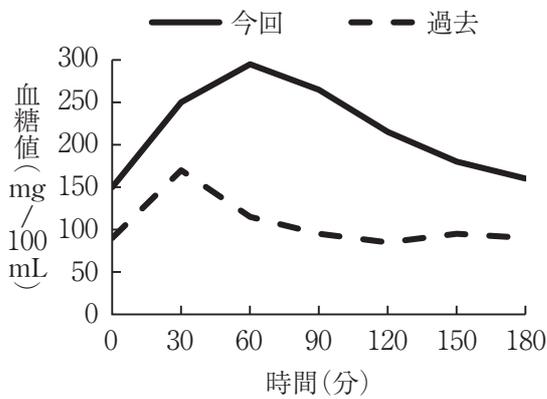


図1

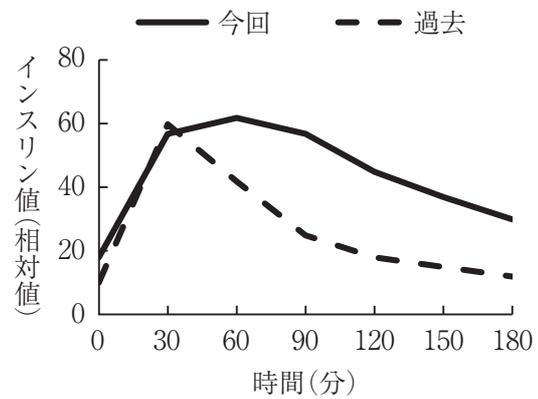


図2



2. 光合成に関する各問いに答えよ。

I. 原始の地球では、高温、高圧、放電などによりつくられた有機物がもとになり生物が誕生したとされる。最初に現れた生物は海のなかの有機物を消費して生きていたが、やがて一部の細菌に光合成色素ができ、独自に有機物をつくるようになった。これらの光合成細菌の光合成色素はバクテリオクロロフィルであった。その後、バクテリオクロロフィルとは構造の異なるクロロフィルをもつ光合成生物が現れ、その後の生物の生息域の変化・拡大をもたらした。

また、植物や藻類の光合成の場となる葉緑体はシアノバクテリアが初期の真核生物に共生したことを起源とし、その共生は生物進化の過程で1回だけ生じたと考えられている。

表1は代表的な光合成生物について、葉緑体の膜(葉緑体包膜)の数と葉緑体に含まれる光合成色素の種類をまとめたものであり、図1は光合成色素の吸収スペクトルを示す。

		光合成細菌	シアノバクテリア	紅藻類	ケイ藻類	ミドリムシ	褐藻類	緑藻類	種子植物
葉緑体包膜の数				2	4	3	4	2	2
クロロフィル	a		○	○	○	○	○	○	○
	b					○		○	○
	c				○		○		
バクテリオクロロフィル		○							
カロテノイド	$\beta$ -カロテン	○	○	○	○	○	○	○	○
フィコビルリン	フィコシアニン		○	○					
	フィコエリトリン		○	○					

表1

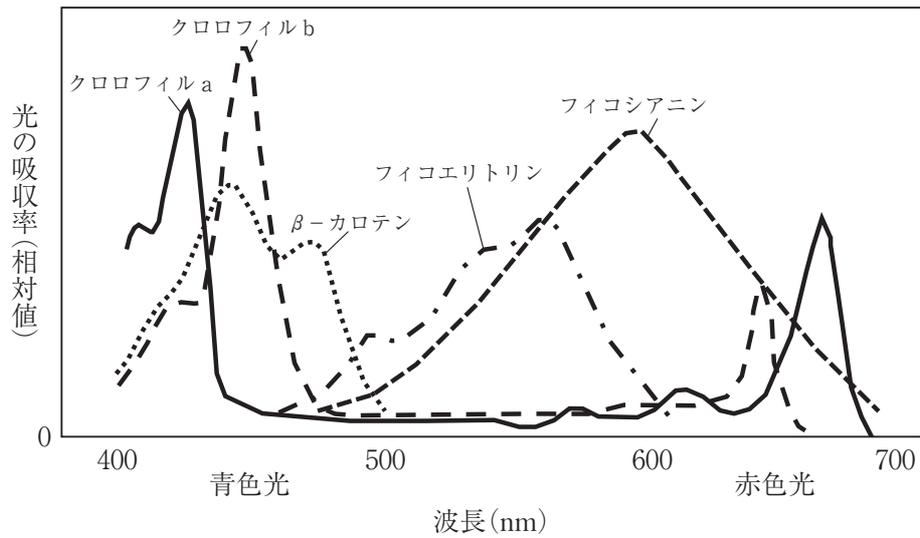


図1

問 1. 下線部について、クロロフィルをもつ光合成生物がどのように生物の生息域の変化・拡大をもたらしたか、説明せよ。

問 2. 陸上植物と代表的な藻類の系統を表した図2について、以下の問いに答えよ。

- 1) 緑藻類、褐藻類、紅藻類は空欄あ～うのどこに入るか、表1から考え、記号で答えよ。
- 2) シアノバクテリアが初期の真核生物に共生し、葉緑体となった時期を図2の①～⑨から選び、解答欄 i に番号で答え、その理由を解答欄 ii に答えよ。

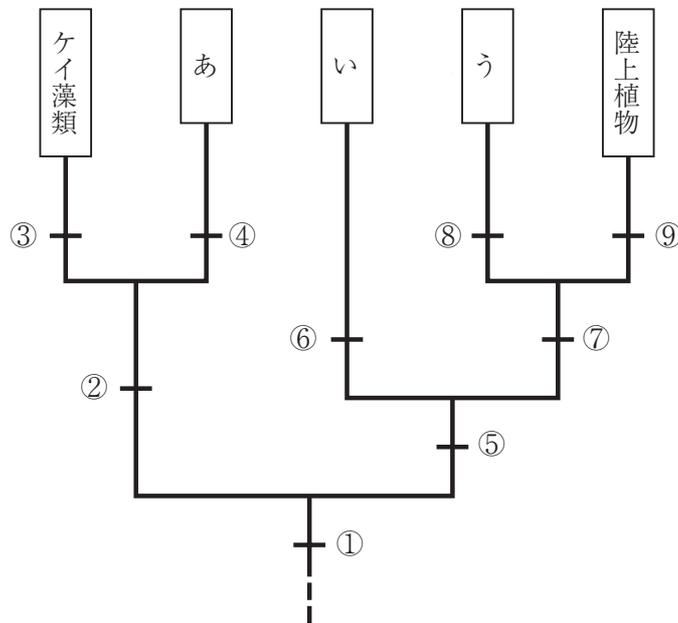


図2

問 3. ある緑藻と紅藻の作用スペクトルと吸収スペクトルを図3に、水深と光強度の関係を図4に示した。以下の問いに答えよ。

- 1) 図3のアとイはそれぞれ緑藻と紅藻のいずれかを示している。紅藻を示しているのはどちらか、記号で答えよ。
- 2) 陸上植物と異なり、藻類は種によって含まれる光合成色素に多様性がある。藻類がこのような多様性をもつ理由について、図表を参考にして考えを述べよ。用語として緑藻と紅藻を用いること。

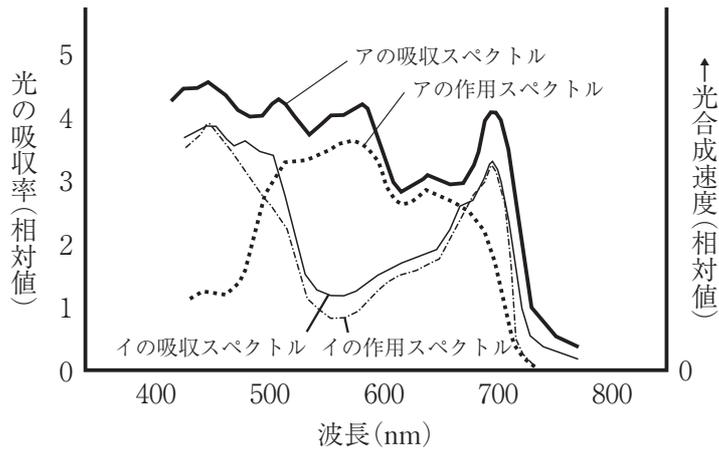


図 3

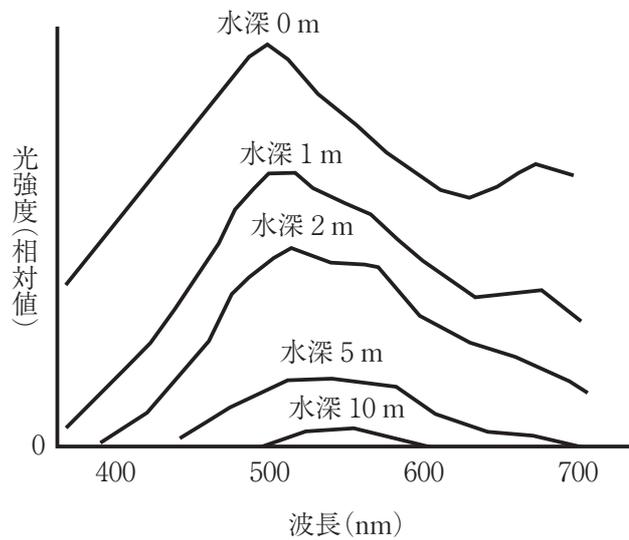
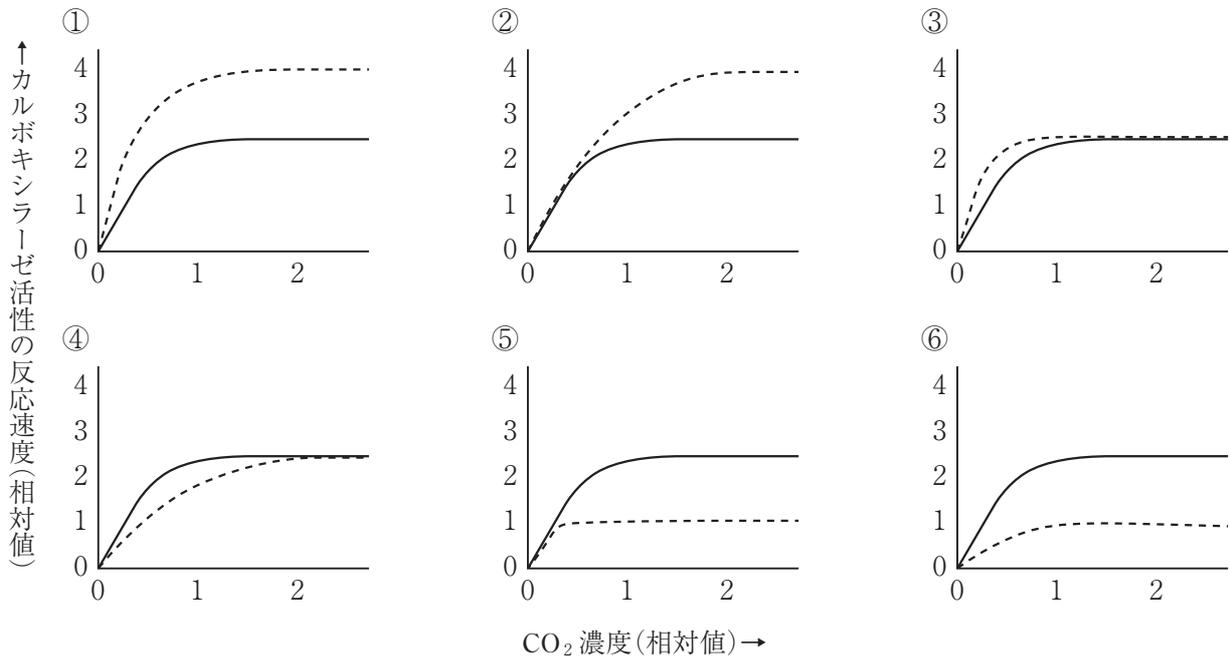


図 4

II. 光合成のカルビン回路で働く酵素のルビスコは、1分子の二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )と  分子の  $\text{C}_5$  化合物のリブロース1,5-ビスリン酸(RuBP)から、 分子の  $\text{C}_3$  化合物のホスホグリセリン酸(PGA)を合成する反応を触媒する。同時にルビスコは、酸素( $\text{O}_2$ )と RuBP から PGA とホスホグリコール酸を合成する反応も触媒する。このように、ルビスコは  $\text{CO}_2$  を基質に用いて炭素を固定するカルボキシラーゼと、 $\text{O}_2$  を基質に用いて酸化を行うオキシゲナーゼの2種類の酵素活性をもつ。 $\text{CO}_2$  と  $\text{O}_2$  は拮抗しながらルビスコの活性部位に入るため、どちらの反応が行われるかは、ルビスコ周辺の  $\text{CO}_2$  濃度と  $\text{O}_2$  濃度に依存する。

問 4. アとイの  に入る数字を答えよ。

問 5. 下のグラフの実線(反応曲線)は、ある  $\text{O}_2$  濃度下での  $\text{CO}_2$  濃度に対するルビスコのカルボキシラーゼ活性の理論的な反応速度を示している。 $\text{O}_2$  濃度をもとの濃度よりも高い特定の濃度にしたときに、この反応曲線はどのように変化するか、最も適切な変化後の反応曲線(破線)が描かれているグラフを下の①～⑥より選び、番号で答えよ。また、そのように変化するしくみを説明せよ。それぞれのグラフの横軸は  $\text{CO}_2$  濃度の相対値、縦軸はカルボキシラーゼ活性の反応速度の相対値を示す。



### 3. 動物の行動に関する各問いに答えよ。

動物は、環境からの刺激に対してさまざまな行動を示す。これら動物の行動は、 的行動と習得的行動に分けることができる。

的行動は、遺伝的に決められた固定的な神経回路によって生じる。 的行動を引き起こすきっかけになる外界からの刺激を 刺激という。引き起こされる行動のパターンのうち、リズムカルな運動パターンを生じさせる神経回路は 発生器と呼ばれており、歩行運動などの際に働いている。

これに対して、習得的行動では、受容した刺激に応じて行動をつかさどる神経回路が可塑的<sup>かそ</sup>に変化し、結果的に刺激に対する行動が変化する。この変化を学習という。また、2種類の刺激を結びつける学習は連合学習という。

線虫は線形動物の一種であり、体長1 mmほどの細長い糸状の形状をしている。線虫はさまざまな分子に対する走性(走化性)を示すことが知られている。たとえば、アルコールの一種であるプロパノールには近づいていく走化性(正の走化性)を示し、塩酸希釈液には逆の負の走化性を示す。このことを利用して、線虫の学習について調べるため以下の手順で実験を行った(図1参照)。

手順1：

200匹の線虫を、飼育に用いる寒天培地から底面が網でできたコップ(以後、網コップという)のなかに移した。網コップの底面は液体を通すが線虫は通さない。次に、この網コップを蒸留水につけてなかの線虫を水洗いした。

手順2：

線虫が入った網コップを、表1に示した4種類の溶液のいずれかに1秒間浸した(以後、この操作をトレーニング、用いる溶液をトレーニング溶液という)。その後、網コップをすみやかに蒸留水につけてなかの線虫を水洗いした。時間をあけず以上の手順を10回連続して繰り返した。なお、トレーニング溶液④を作製する際にはプロパノールと塩酸液を混合するが、この際にプロパノールの変化等の化学反応は生じないとする。

トレーニング溶液の番号	組成
①	蒸留水(pH 7)
②	1 %プロパノール水溶液(pH 7)
③	塩酸希釈液(pH 4)
④	1 %プロパノールを含む塩酸希釈液(pH 4)

表1

手順3：

手順2で処理した線虫を寒天培地上で10分間休ませた後、図2に示すような走化性測定用培地の中央にすべて置いた。走化性測定用培地の点Aには1%プロパノール水溶液を、点Iに蒸留水を一滴ずつ、線虫を置く直前に滴下した。その10分後、線虫が領域1と2のどちらに移動したかを観察した。

以上の手順での実験の結果、線虫はすべて図2に示した領域1か2のどちらかに移動した。次に、線虫がプロパノールにどの程度強く正の走化性を示したかを求めるため、以下に示す走化性指標を計算した。

$$\text{走化性指標} = \frac{(\text{領域1に移動した線虫の数}) - (\text{領域2に移動した線虫の数})}{(\text{線虫の総数})}$$

その結果を、図3のグラフに示す。なお、図3には、対照実験として手順1が終わってすぐに手順3を行った実験の結果をトレーニング溶液「無」として示す。

問1. ア～ウの  に入る適切な語句を答えよ。

問2. トレーニング溶液②でトレーニングした後、手順3において何匹の線虫が領域1に移動したか答えよ。

問3. 図3をみると、走化性指標はトレーニング溶液④を用いたトレーニングを行ったときのみ著しい違いがみられた。この結果から、2種類の物質が混ざっているトレーニング溶液④でトレーニングを行ったことにより連合学習が成立したと考えた。すなわち、「本来なら  エ の刺激の受容によって生じる走化性を、  オ の刺激を受容したときにも示すような個体が現れた」と実験結果を解釈した。なお、今回の学習は、線虫の自発的行動に関わる学習ではないため、  カ 条件付けではない。

1) 実験結果について、上の文章のエ～カの  に入る語句を答えよ。

2) 下線部の結果は、トレーニング溶液④に含まれるプロパノールに対する「慣れ」の学習で生じたのではないと考えられる。実験結果にもとづいてその理由を述べよ。

問 4. 実験の手順1を行う前から薬剤が入った培地上で線虫を飼育し，線虫の細胞での転写や翻訳を阻害した後に実験を行った。その結果，図3と同様の結果を得た。このことをふまえて，トレーニング溶液④でのトレーニングによりどのようなしくみで学習が生じたと考えられるか。次の考察1～3のなかから実験結果が説明できる可能性がもっとも高いと考えられるものをひとつ選び，番号で答えよ。また，それを選んだ理由と他を選ばなかった理由を述べよ。

考察1：走化性を決定する神経組織のなかから，細胞が分裂して新たな神経細胞が生じたので神経回路が変化して学習が生じた。

考察2：走化性を決定する神経組織のシナプスで，リン酸化などによる既存のタンパク質の活性が調節されて伝達効率が変わったので神経回路が変化して学習が生じた。

考察3：塩酸にはプロパノールの刺激を受容する受容体タンパク質を変性させる作用があり，塩酸を含む溶液④によるトレーニングの結果，既存の受容体がプロパノールの刺激を受容できなくなり，結果として異なる走化性を示す学習が生じた。

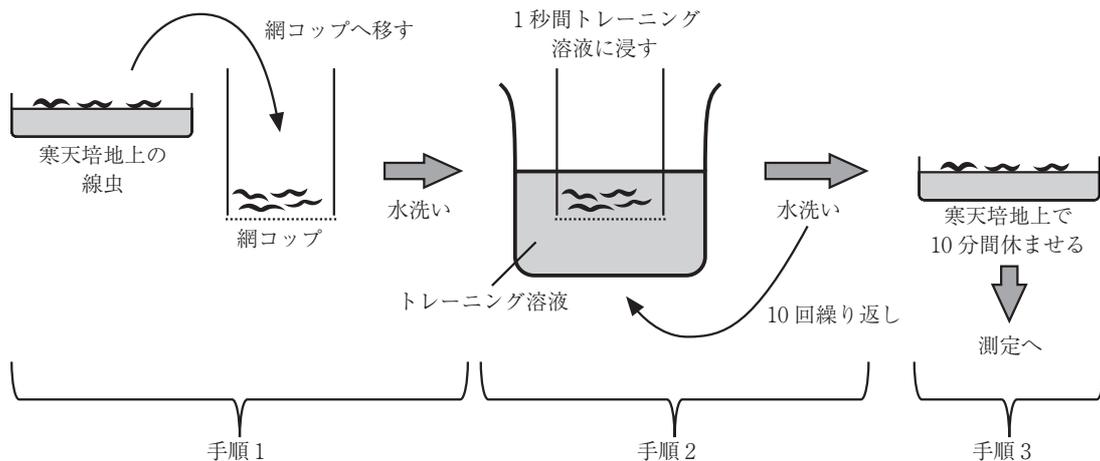
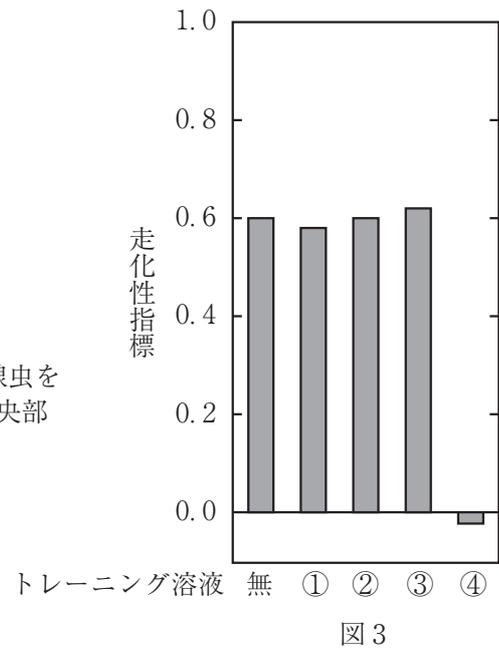
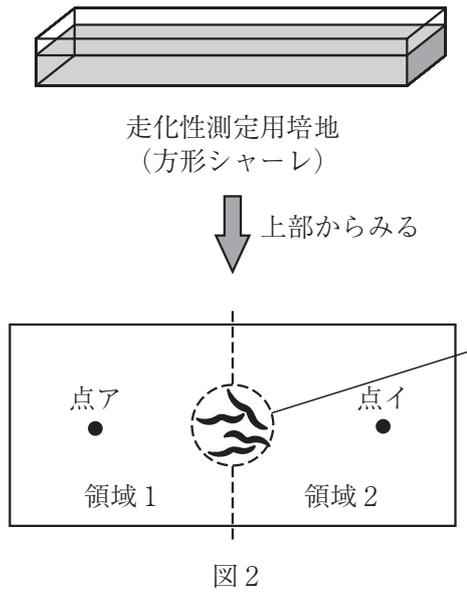


図1



4. 個体群に関する各問いに答えよ。

ある地域に生息する同じ種の個体のまとまりを個体群という。個体群における個体間にはさまざまな関係性がみられる。多数の個体が統一的な行動をとる動物の個体群を群れという。群れのなかで各個体が捕食者などを警戒する時間と個体間で争う時間は、群れの大きさにより変化し、最適な群れの大きさはそれらのバランスで決まってくる。また、特定の生物種は、個体や群れによる空間の占有を行い、その空間に同種他個体が侵入すると排除する行動を行う。この防衛される空間を縄張りという。縄張りの大きさは、個体が縄張りから得られる利益と維持に要する労力から決まってくる。

異なる種の個体群間でもさまざまな関係性が存在し、食物や生活空間などの共通する資源をめぐる種間競争がおこる場合がある。また、食う食われるという捕食-被食の相互関係もある。この関係においては被食者の個体数が一方的に減少するのではなく、捕食者と被食者の個体数が相互に関係しながら周期的に変化する。そのほかにも、異種個体群間にはさまざまな相互作用が形成される。

問 1. 下線部①に関して、群れの大きさと各個体が警戒する時間と個体間で争う時間は図1のように表され、ふたつの曲線の交点が最適な群れの大きさになる。ここで、群れが大きくなるときは、個体数、占有面積は増加し、個体群密度も高くなるとする。

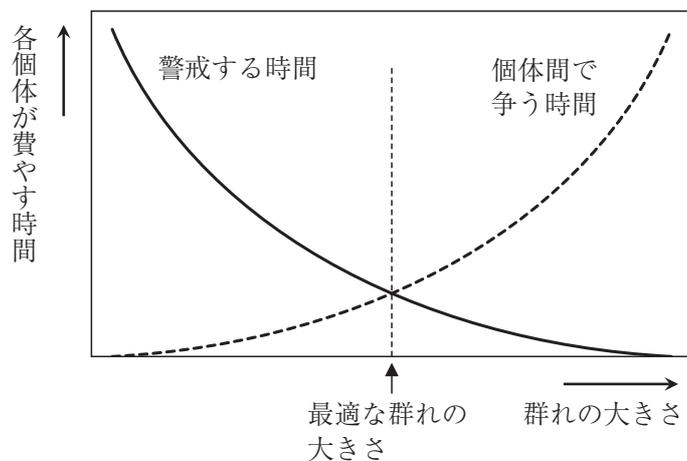


図1

- 1) 図1のグラフに「各個体が採食に費やせる時間」を表す曲線を追加するとどのようになるか。解答欄のグラフに記入せよ。
- 2) ある群れにおいて、その生物の捕食者の数が増加したとき、最適な群れの大きさはもとの最適な群れの大きさとくらべてどのようになるか。a～dから適切なものを選び、記号で答えよ。
  - a. 小さくなる
  - b. 大きくなる
  - c. 変わらない
  - d. 小さくなる場合と大きくなる場合がある

問 2. 下線部②に関して、縄張りの大きさと縄張りから得られる利益、および維持に要する労力の関係は図2で表される。

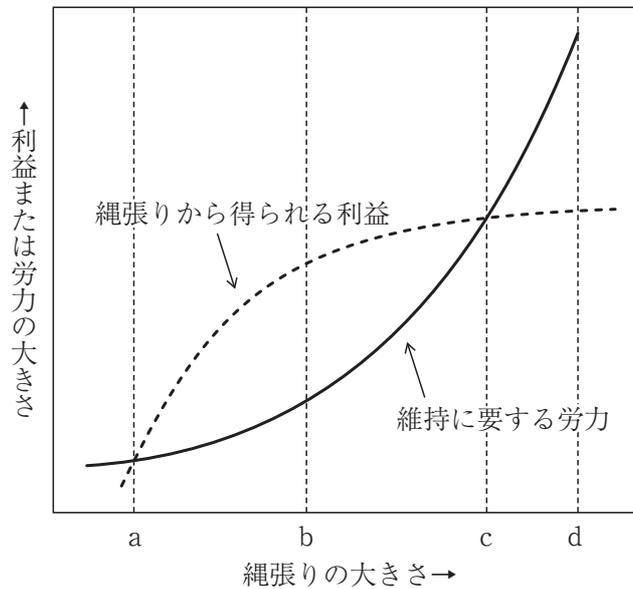


図2

- 1) 最適な縄張りの大きさはグラフのa～dのどの位置になるか。記号で答えよ。
- 2) 生物種Aはつがい縄張りを作る性質をもつ。ある空間において、この生物種Aの縄張りに関して図2の関係性が成り立っている。この空間で生物種Aの個体群密度が増加した場合、図2のグラフはどのように変化するか。解答欄のグラフに何がどのように変化するかわかるように記入せよ。変化について説明文を書き込んでもよい。

問 3. 下線部③に関して、捕食者と被食者の個体数は理論的には図3の楕円の矢印で示す順で周期的に変化する。図中のXとYには捕食者か被食者のどちらかが入る。図中のア～エには「増加」または「減少」のどちらかが入る。ア～エにはどちらが入るか答えよ。

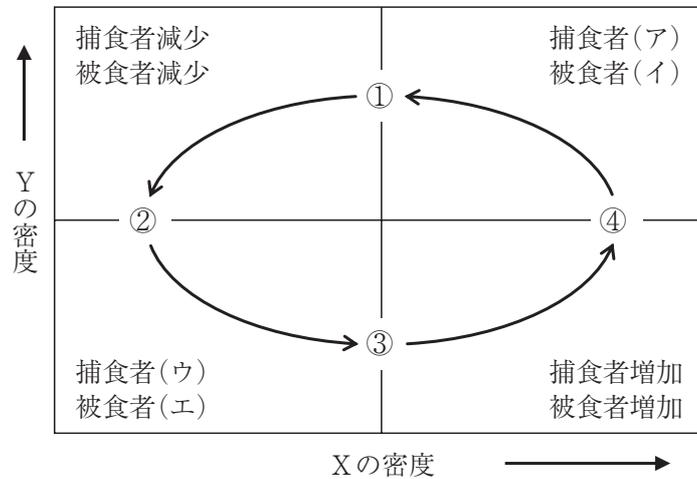


図3

問 4. 地勢的に分断化され地理的隔離が生じた地域に、捕食者としてオオカミが、被食者としてウサギがいた。ある年に病気によりオオカミが激減したため、ウサギの個体数が増加した。その後もオオカミの個体数は減少したままであったが、ウサギの個体数は際限なく増え続けたわけではなく、ある一定数で安定した。なお、オオカミはこの地域の食物網で最上位の生物種であり、この地域のウサギの捕食者はオオカミしかおらず、他の捕食者の流入はなかった。

- 1) 個体群の成長において、ある環境下に存在できる最大の個体数をなんというか。
- 2) ウサギの個体数が増えなくなった理由を、「種内競争」と「生活環境」の語句を用いて説明せよ。
- 3) この地域のオオカミは病気のまん延が終息しても個体数の減少は止まらず、最終的に絶滅してしまった。分断化された地域の個体群において、個体数が減少して絶滅に向かう要因は複数あるが、遺伝的多様性の観点から絶滅に向かう理由を説明せよ。

問 5. 下線部④に関連する以下の文章を読み、アとイの  に入る適切な語句を答えよ。

陸上植物の根には菌根菌と呼ばれる菌類が生息している場合がある。土壌中のリン濃度が低い時、菌根菌は土壌中のリンを吸収して植物に渡し、植物からは炭水化物を受け取っている。このような両者の種間関係は  ア  である。しかし、土壌中のリン濃度が高くなると、植物は菌根菌を介さずに自らリンを吸収できるようになるが、菌根菌は植物から炭水化物を受け取り続けている。この時の両者の種間関係は  イ  になる。







