

後

理

科

(120 分)

環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～8 ページ) 化学(9～23 ページ) 生物(25～37 ページ)

注意事項

1. 解答開始の合図があるまで、この問題冊子および解答冊子の中を見てはいけません。
2. 問題は物理 4 題、化学 4 題、生物 4 題ありますが、志望学部学科によって解答する科目・問題が異なるので注意しなさい。指定されていない科目・問題を解答しても採点しません。
3. 環境科学部(環境生態学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・物理、化学、生物のうちから 2 科目選択しなさい。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の 2 題を解答しなさい。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の 2 題を解答しなさい。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」、「生物問題Ⅱ」の 2 題を解答しなさい。
4. 環境科学部(生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・物理、化学、生物のうちから 1 科目選択しなさい。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答しなさい。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の 4 題を解答しなさい。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の 4 題を解答しなさい。
5. 工学部(材料科学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・物理、化学の 2 科目を選択しなさい。
 - ・物理は、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の 2 題を解答しなさい。
 - ・化学は、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の 2 題を解答しなさい。
6. 工学部(機械システム工学科・電子システム工学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・物理のみ解答しなさい。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の 4 題を解答しなさい。

この注意事項は、問題冊子の裏表紙にも続きます。問題冊子を裏返して必ず読みなさい。

7. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答しなさい。
 - ・物理、化学、生物のうちから1科目選択しなさい。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の4題を解答しなさい。
8. 解答開始後、選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に受験番号、氏名をはっきり記入しなさい。表紙にはこれら以外のことを書いてはいけません。選択しなかった科目の解答冊子は、試験終了20分前に回収します。
9. 解答は、すべて解答冊子の指定された箇所に記入しなさい。解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがあります。
10. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけません。解答のための下書き・計算などには、解答冊子の下書き用ページを使いなさい。
11. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。選択した科目の解答冊子を持ち帰ってはいけません。

物 理

物理問題 I

次の文を読んで、 [] に適した式または数値を、 { } には適した語句を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に導出過程を示して答えよ。なお、重力加速度の大きさを $g[m/s^2]$ とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

(1) 図1のように、水平な床の上に原点Oをとり、水平方向右向きにx軸、鉛直方向上向きにy軸をとる。質量が $m[kg]$ で大きさの無視できる物体を、時刻 $t = 0$ に水平方向と角度 $\theta[^{\circ}]$ をなす向きに初速度 $v_0[m/s]$ で原点Oから打ち上げて、物体が最初に床にぶつかるまでの現象について考える。時刻 $t[s]$ における物体の、 x 軸方向の加速度は [ア] $[m/s^2]$ 、速度は [イ] $[m/s]$ 、 x 座標は

$$x = \boxed{\text{ウ}} [m] \quad \text{式1}$$

であり、 y 軸方向の加速度は [エ] $[m/s^2]$ 、速度は [オ] $[m/s]$ 、 y 座標は

$$y = \boxed{\text{カ}} [m] \quad \text{式2}$$

である。式1と式2から t を消去すると、 $y = \boxed{\text{キ}} [m]$ が得られる。すなわち、物体を斜方投射したときの運動の軌道は $\boxed{\text{ク}}$ 次関数で表される。この $\boxed{\text{ク}}$ 次曲線を {ケ} 線といふ。

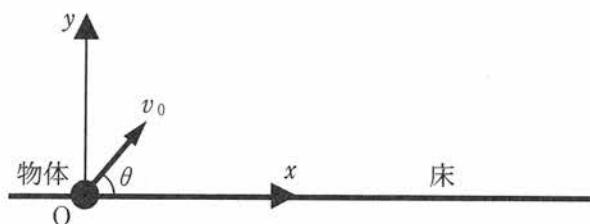


図1

問 1 物体を原点 O から打ち上げてから、床に最初にぶつかるまでの時間と、床に最初にぶつかる地点の x 座標を求めよ。

(2) 図 2 のように電車内の水平な床に原点 O を固定し、水平方向右向きに x 軸、鉛直方向上向きに y 軸をとる。電車は一定の加速度 a [m/s²] ($a > 0$) で水平方向右向きに移動している。時刻 $t = 0$ に、質量が m [kg] で大きさの無視できる物体を、車内の人から見て水平方向と角度 θ [°] をなす向きに、初速度 v_0 [m/s] で原点 O から打ち上げた場合の、物体が最初に床にぶつかるまでの現象について考える。ただし、物体は電車の天井や壁にぶつからないものとする。時刻 t [s] における、車内の人から見た物体の x 軸方向の加速度は コ [m/s²]、速度は サ [m/s]、 x 座標は シ [m] である。

問 2 物体を原点 O から打ち上げてから、床に最初にぶつかるまでの時間と、床に最初にぶつかる地点の x 座標を求めよ。

問 3 $\theta = 45^\circ$ 、 $a = g$ 、 $v_0 = 1$ m/s である場合に、車内の人人が見た物体が最高点に達するまでの物体の軌道の式を求め、さらに、最高点の値も記入して軌道を解答欄に図示せよ。

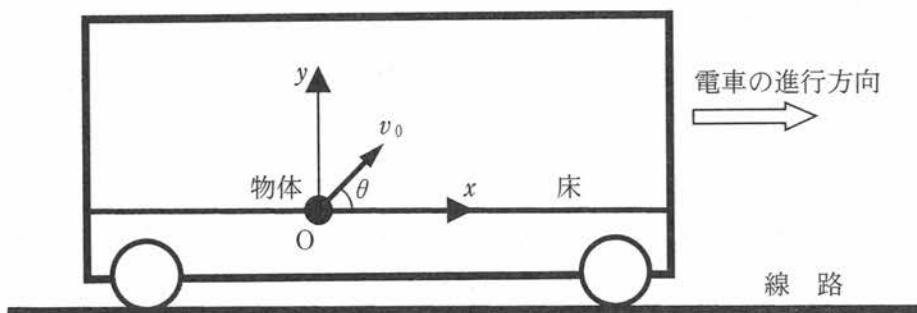


図 2

物理問題 II

次の文を読んで、□に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問6に有効数字2桁で単位をつけて答えよ。ただし、問2～問6は導出過程も示して答えよ。なお、気体は理想気体とし、気体定数を $R[J/(mol \cdot K)]$ とする。

(1) 図1のように、なめらかに動くピストンのついた断面積 $S[m^2]$ の円筒内に、圧力 $p[Pa]$ 、体積 $V[m^3]$ 、温度 $T[K]$ の気体が 1 mol 入っている。この状態における圧力、体積および温度の関係は状態方程式 $pV = \boxed{\text{ア}}$ によって与えられる。

この気体に熱量を与えると定圧で膨張し、温度が $\Delta T[K]$ 上昇し、ピストンが $\Delta L[m]$ 移動した。定圧で膨張しているとき、気体がピストンを押す力は

イ [N] であるので、定圧膨張によって気体が外部にした仕事は イ × ウ [J] である。定圧膨張による体積変化 $\Delta V[m^3]$ は

ス × エ [m^3] と表すことができるので、ガ ^(a) 外部にする仕事は ΔV を用いて、オ [J] とも表される。また、定圧膨張後の気体の状態方程式は

$p(V + \Delta V) = \boxed{\text{カ}}$ である。定圧膨張前と後の2つの状態方程式を用いて V と T を消去すると、

$R = \boxed{\text{キ}}$ を得る。この式と下線部(a)の結果から、

圧力を一定に保ったまま 1 mol の気体の温度を 1 K 上昇させたとき、気体が外部にする仕事は圧力を用いずに、

ク [J] によって与えられることがわかる。

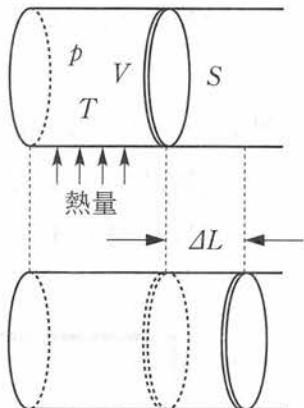


図1

(2) 30 °C の金属X(固体)100 g を断熱容器に入れて、毎分 400 J の熱量を発生するヒーターによって加熱したところ、金属Xの温度は上昇して、やがて融解した。断熱容器の熱容量とヒーターの熱容量は無視できるものとする。このときの加熱時間と金属Xの温度の関係は図2のようになった。ただし、ヒーターで発生した熱量はすべて金属Xに与えられた。

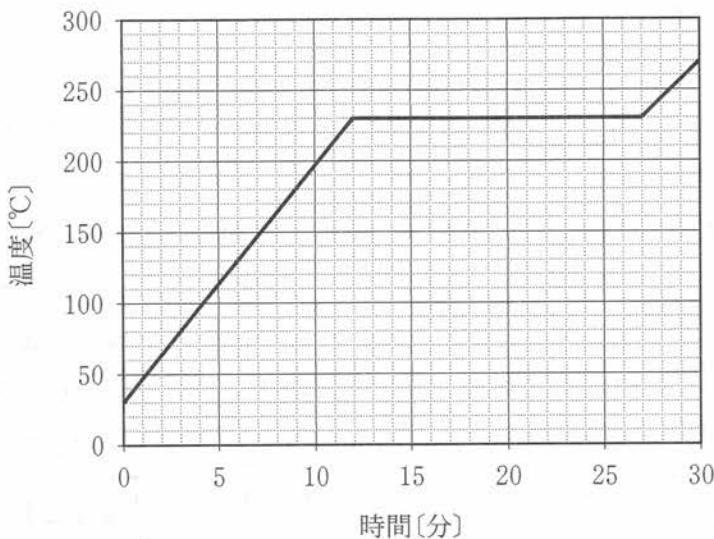


図 2

問 1 金属 X の融点は何°Cか。

問 2 30 °C の金属 X を加熱し始めてから金属 X が融けはじめるまでに、金属 X に与えられた熱量を求めよ。

問 3 金属 X が固体であるときの比熱を求めよ。ただし、比熱の単位には $J/(g \cdot K)$ を用いること。

問 4 単位質量を 1 g として、金属 X の単位質量あたりの融解熱を求めよ。

問 5 金属 X の質量を 500 g に増やして、同じ方法で温度 30 °C から加熱した場合に、金属 X が完全に融けるまでに何分かかるか。

問 6 質量 500 g、温度 30 °C の金属 X と、質量 100 g、温度 50 °C の水を断熱容器に入れて、金属 X を完全に水の中に沈めた。水の蒸発はなく、水面からの熱の出入りもないものとする。じゅうぶんに時間が経過したときの金属 X の温度 [°C] を求めよ。なお、水の比熱は $4.2 J/(g \cdot K)$ とする。

物理問題 III

次の文を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、間に答えよ。

(1) 図1のように、断面積 $A[m^2]$ 、1周の長さ $L[m]$ 、透磁率 $\mu[N/A^2]$ の環状の鉄心に、1次コイル(巻数 N_1)と2次コイル(巻数 N_2)を巻いた。スイッチSWを開いた状態で、1次コイルに電圧を加えたところ、 $I_1[A]$ の電流が流れた。このとき、1次コイルが発生する磁界(磁場)の強さ H は $H = \frac{N_1 I_1}{L} [A/m]$ となることが知られている。この関係と、鉄心中の磁束密度 $B[T]$ と磁界の強さ $H[A/m]$ の関係 $B = \boxed{\text{ア}}$ と、鉄心中の磁束 $\phi[Wb]$ と B の関係 $\phi = \boxed{\text{イ}}$ を用いると、1次コイルに電流 I_1 が流れた場合の、鉄心中の磁束 ϕ は N_1, N_2, I_1, A, L, μ の必要なものを用いて と表せる。したがって、時間 $\Delta t[s]$ の間に電流 I_1 が $\Delta I_1[A]$ だけ変化したときに、1次コイルに発生する誘導起電力 $V_1[V]$ は、 $N_1, N_2, \Delta t, \Delta I_1, A, L, \mu$ の必要なものを用いて と表せる。さらに、鉄心から外部に漏れる磁束はないとして、相互誘導によって2次コイルに発生する誘導起電力 $V_2[V]$ は $N_1, N_2, \Delta t, \Delta I_1, A, L, \mu$ の必要なものを用いて と表せる。一方、1次コイルと2次コイルの間の相互インダクタンスを $M[H]$ とするとき、 V_2 は $\Delta t, \Delta I_1, A, L, M, \mu$ の必要なものを用いて、 とも表せる。よって、 と から、 M は $N_1, N_2, \Delta t, \Delta I_1, A, L, \mu$ の必要なものを用いて と表せる。

問 1次コイルを流れる電流 I_1 が図2のように変化した。 $M = 4 [H]$ であるとき、時間 $t = 0 \sim 10 [s]$ における、2次コイルに発生する誘導起電力 V_2 の時間変化を解答欄に図示せよ。グラフ縦軸の目盛りの には、適切な数値を記入せよ。ただし、 I_1 は図1の矢印の方向を正とし、 V_2 は端子 d を基準とした端子 c の電圧とする。

1次コイルに交流電圧を加えた場合、1次コイルに流れる電流は周期的に変化するので、1次コイルと2次コイルに誘導起電力が連続的に発生する。この現象が変

圧器に利用される。1次コイルに発生する誘導起電力 V_1 と2次コイルに発生する誘導起電力 V_2 はそれぞれ **工** と **才** によって与えられるので、 V_1 と V_2 の実効値をそれぞれ V_{1e} と V_{2e} とすると、その比 $\frac{V_{1e}}{V_{2e}}$ は N_1 と N_2 を用いて $\frac{V_{1e}}{V_{2e}} = \boxed{\text{ク}}$ と表せる。

(2) 次に、SW を閉じて、1次コイルに交流電圧 V_1 [V]を加えたところ、2次コイルおよび抵抗 R [Ω]に電流 I_2 [A]が流れた。 I_2 が鉄心中に作る磁界の強さは $\frac{N_2 I_2}{L}$ [A/m]であるので、 I_2 により生じる磁束 Φ_2 [Wb]は、 N_1 , N_2 , I_2 , A , L , μ の必要なものを用いて **ケ** と表せる。ここで、キルヒホッフの法則を2次側回路に当てはめて、さらに、 V_1 と V_2 にも **ク** の関係が成立することに注意すると、 Φ_2 は V_1 , N_1 , N_2 , R , A , L , μ の必要なものを用いて **コ** と表せる。この Φ_2 は1次コイルから発生した Φ の変化を妨げるよう、2次コイルに I_2 が流れることにより生じる。また、 Φ_2 の変化を妨げるよう、1次コイルの電流は I'_1 増加し、 Φ_2 と同じ大きさの磁束が I'_1 により生じる。つまり、鉄心内の磁束は、 I_2 の有無によらず同じになる。以上の関係から、 I'_1 は V_1 , N_1 , N_2 , R , A , L , μ の必要なものを用いて **サ** と表せる。

理想的な変圧器では1次側電力と2次側電力が等しくなるので、**ク** に注意すると、「1次コイルに流れる電流の実効値 I_{1e} 」と「2次コイルに流れる電流の実効値 I_{2e} 」の比 $\frac{I_{1e}}{I_{2e}}$ は N_1 と N_2 を用いて **シ** と表せる。

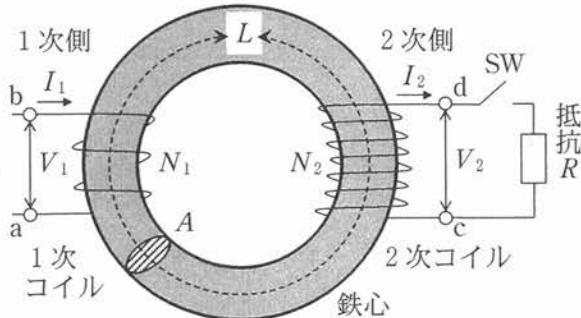


図 1

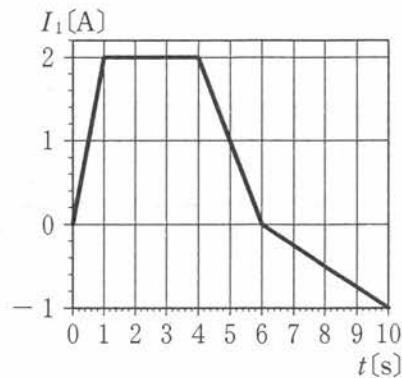


図 2

物理問題 IV

次の文を読んで [] に適した式を, { } には適した語句を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に答えよ。

- (1) {ア} の原理では、波面を {イ} 波と呼ばれる球面波を出す波源の集まりとみなし、これらの波源から出る {イ} 波に共通に接する面が次の瞬間の波面になるとする。ただし、水面を伝わる波のような場合は、波面を円形の波を出す波源の集まりとみなす。

図1のように、波の速さが異なる2つの媒質の境界面に、波面ABをもつ波が、入射角 i で媒質1から媒質2へ入射する場合を考える。境界面に達した波は順に円形の波を出す波源となり、媒質2に屈折波の波面をつくる。AD間の距離を L [m] とするとき、BD間の距離は [ウ] [m] と表され、媒質1での波の速さを v_1 [m/s] とすると、波面の一端Bが点Dに達するのにかかる時間は [エ] [s] となる。したがって、媒質2での波の速さを v_2 [m/s] とすると、BがDに達したとき、点Aから出た {イ} 波は半径 [オ] [m] の円形の波面(円O)を媒質2につくる。よって、BがDに達したとき、媒質2に進んだ屈折波の波面は図1のCDとなる。一方、屈折角を r とするとき、AC間の距離は r を用いると [カ] [m] と表されることから、波面の一端AがCに達するのにかかる時間

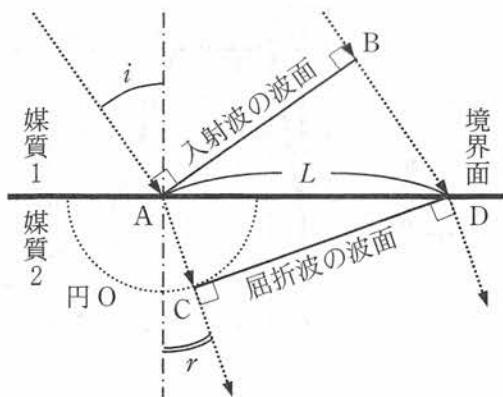


図1

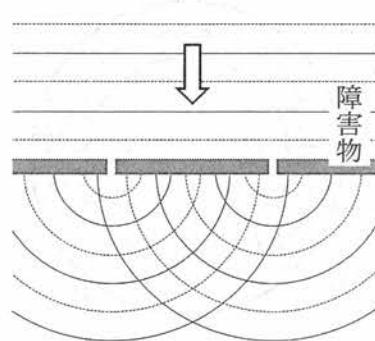


図2

は、 v_2 を用いて キ [s] と表される。以上より、角度 i と r を用いて、
 $\frac{\text{BD の距離}}{\text{AC の距離}} = \frac{1}{\tan i} = \frac{1}{\tan r}$ と表される。また、波面の一端 B が D に達するのにかかる時間と波面の一端 A が C に達するのにかかる時間は等しいことから、角度 i と r を用いて、 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{\tan i} = \frac{1}{\tan r}$ の関係が得られる。

問 1 媒質 2 を媒質 3 に変えたところ、媒質 3 での波の速さを v_3 [m/s] とすると $\frac{v_1}{v_3} = \frac{1}{2}$ であった。波面 AB をもつ波が、解答欄の図のように媒質 1 から媒質 3 へ入射した。波面 AB の一端 B が D に到達したときに、媒質 3 に進んだ屈折波の波面 CD を、図 1 にならって解答欄の図中に描け。ただし、BD の距離は 4 [m] であった。また、点 A を中心とし、半径 n [m] ($n = 1, 2, \dots, 10$) の半円が補助線として解答欄に描いてある。

(2) 波が障害物の後方にまわりこむ現象を波の {コ} という。波面が直線である水面波が直線状の障害物に垂直に入射して、その障害物にあるスリットを通り抜けるとき、スリットの幅に比べて波の波長が同程度以上になると、通り抜けた波の波面は円に近くなり障害物の後方に回り込みやすくなる。図 2 のように、2つの狭いスリットを有する直線状の障害物に、水面波が垂直に入射したところ、スリットを通り抜けた波の波面は円形になり、2つのスリットを通り抜けた波が互いに強め合ったり弱め合ったりする波の {サ} が見られた。この波の波長を λ [m] とするとき、両スリットの出口からの距離の差が λ と整数 m ($m \geq 0$) を用いて シ で表される点では波は強め合い、両スリットの出口からの距離の差が λ と整数 m ($m \geq 0$) を用いて ス で表される点では波は弱め合う。

問 2 解答欄の図は2つのスリットを通り抜けた波の、ある時刻の様子を示している。図の実線はある瞬間における山の波面、破線は谷の波面を表している。強め合う点を連ねた曲線を実線で、弱め合う点を連ねた曲線を破線で、解答欄の図中にすべて示せ。

化 学

化学問題 I

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。必要であれば、原子量としてH = 1.0, C = 12.0, O = 16.0を、気体定数として $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ を用いよ。また、気体はすべて理想気体とする。解答の数値は、特に指定がないかぎり有効数字2桁で示せ。また、解答の構造式は図1の例にならって記せ。

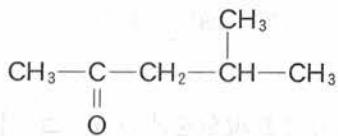


図1 構造式の例

片側が閉じた断面積 5.00 cm^2 のガラス管に水銀を満たし、気圧 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 気温 300 K において水銀溜め容器の中で図2に示すように倒立させた。このとき、ガラス管の上部に高さ l が 4.8 cm の空間が生じ、その中は真空であった。また、水銀溜め容器の液面を基準としたガラス管内の水銀柱の高さ h は 76.0 cm であった。

この水銀柱に化合物Aを注入する、以下の実験1および実験2を行った。なお、すべての実験において、物質どうしの溶解や混合および反応は起こらないとする。また、ガラス管内では、水銀以外の液体の体積と質量、および水銀の蒸気圧は無視できるほど小さいとする。

実験1 図2に示すように、 $6.00 \times 10^{-2} \text{ g}$ の化合物Aを注射器でガラス管内へ入れた。化合物Aは水銀と混じり合わず、また、水銀より密度が低いため、水銀柱内を上昇して上部の空間まで達し、すべてが蒸発した。このとき、水銀柱の高さ h は 60.8 cm となった。

実験 2 実験 1 に連続して化合物 A をさらに追加していくと、化合物 A の量が増えるとともに水銀柱の高さ h はさらに低下したが、ある注入量を超えると h は一定となった。

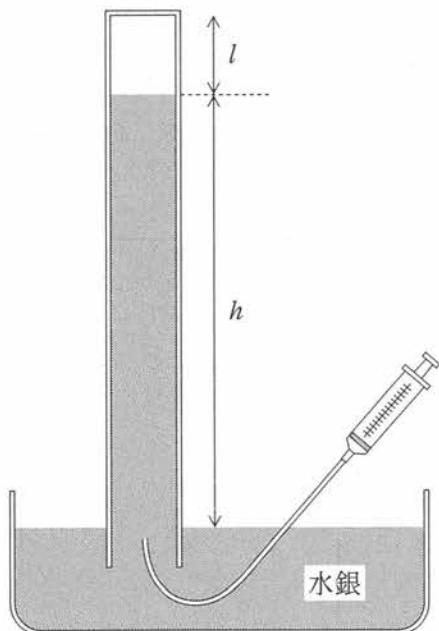


図 2 実験の模式図

問 1 実験 1 の結果から、次の i) ~ iii) に答えよ。

- i) 化合物 A を注入した後のガラス管内の空間の圧力を求めよ。導出過程も記せ。
- ii) 化合物 A の分子量を求めよ。導出過程も記せ。
- iii) 化合物 A は整数 n を使った分子式 $C_nH_{2n+2}O$ で書くことができる。 n の値を求めよ。

問 2 分子式 $C_nH_{2n+2}O$ で表されるいくつかの化合物の沸点を調べたところ、図3に示すように、沸点が高い化合物群Xと低い化合物群Yに分類することができた。次の i), ii)に答えよ。

- i) 化合物Aは単体のナトリウムと反応しなかった。化合物Aにはいくつかの構造が考えられる。そのうち一つの構造式を記せ。
- ii) 同じ n の値の化合物を比較したとき、Yに含まれる化合物に比べてXに含まれる化合物の沸点が高い理由を簡潔に説明せよ。

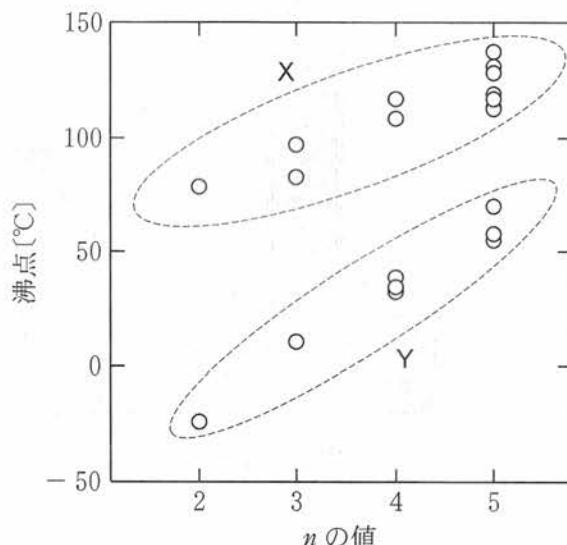


図3 化合物 $C_nH_{2n+2}O$ の沸点と n の関係

問 3 図4は化合物Aの蒸気圧曲線である。実験2において下線部(a)のようになる理由を簡潔に説明せよ。

問 4 図 4 を参考にし、実験 2において水銀柱の高さが一定となったときの、水銀柱の高さ h [cm] を求めよ。導出過程も記せ。

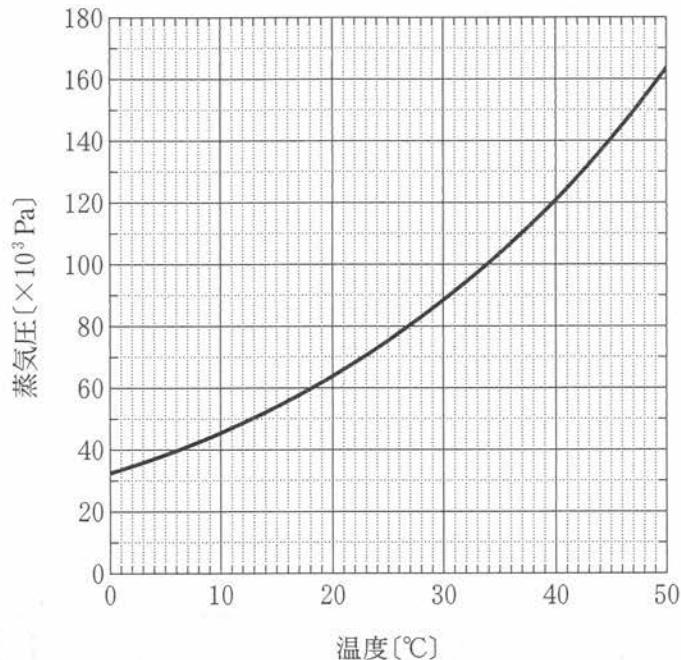


図 4 化合物 A の蒸気圧曲線

化学問題 II

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。必要であれば、原子量としてH = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0を用いよ。解答の構造式は図1の例にならって記せ。

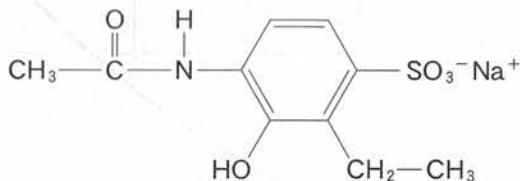


図1 構造式の例

ベンゼンの水素原子を他の原子や原子団で置換した芳香族化合物は、香料や色素の原料として活躍している。ベンゼン環を一つもち、分子式がC₇H₈Oで表される化合物には、五つの構造異性体が存在する。これらのうち、アは香料の原料として用いられており、単体のナトリウムと反応して水素を発生するが、塩化鉄(III)水溶液で呈色しない。

合成染料の原料として用いられるアニリンは、実験室ではベンゼンから次の手順1～手順3で合成できる。

手順1 ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合物を加えて約60℃で反応させると、ニトロベンゼンが生成する。

手順2 ニトロベンゼンにスズと濃塩酸を加えて反応させる。

手順3 手順2で得られた生成物に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、アニリンが生成する。

アニリンを塩酸に溶かして、氷冷しながら亜硝酸ナトリウム水溶液を加えると、イが生成する。イとナトリウムフェノキシドの水溶液を反応させるとウと呼ばれる反応が起こり、橙赤色のエが得られる。

問 1 ベンゼンの構造はケクレが提案した図2の環状の構造式Aで表されるが、略記法BやCで表されることもある。略記法Cは、ベンゼンのどのような構造的特徴を示しているか述べよ。

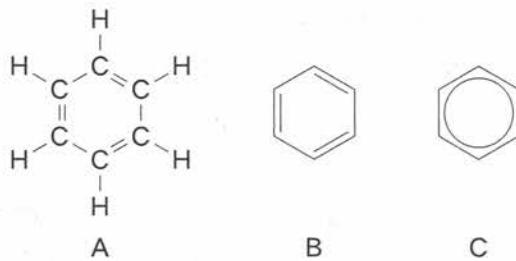


図2 ベンゼンの構造式と略記法

問 2 下線部(a)について、以下の i) ~ iii)に答えよ。

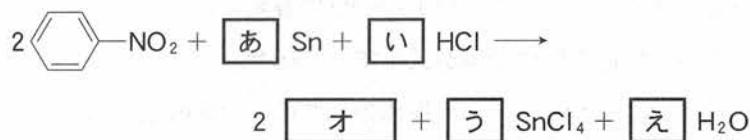
- i) 五つの構造異性体の構造式をすべて記せ。
- ii) 適切な酸化剤で五つの異性体のうちの一つを酸化すると、サリチル酸が生じた。サリチル酸に関する記述として誤りを含むものを、次の①~⑤からすべて選び、番号で記せ。
- ① 塩化鉄(III)水溶液に加えると呈色する。
 - ② メタノールと少量の濃硫酸を加えて反応させると、サリチル酸メチルが生じる。
 - ③ 無水酢酸と濃硫酸を加えて反応させると、アセチルサリチル酸が生じる。
 - ④ フェーリング液を加えて加熱すると、赤色沈殿が生じる。
 - ⑤ 炭酸水素ナトリウム水溶液に溶ける。
- iii) サリチル酸の工業的合成では、ナトリウムフェノキシドと二酸化炭素を高温・高圧下で反応させ、この反応で生じたサリチル酸ナトリウムに希硫酸を加えて、サリチル酸を遊離させている。希硫酸を加えることでサリチル酸が遊離する理由を簡潔に記せ。

問 3 ア にあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。

問 4 ウにあてはまる適切な反応の名称を記せ。また、イ、エにあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。

問 5 下線部(b)について、156 g のベンゼンからニトロベンゼンが 226 g 得られたときのニトロベンゼンの収率を、有効数字 2 桁で求めよ。計算過程も記せ。なお、化学反応における収率とは、出発物質の質量から理論上見積もられる目的物質の質量に対して、得られた目的物質の質量を百分率[%]で表したものである。

問 6 下線部(c)の反応は、以下の化学反応式で表される。オにあてはまる最も適切な化合物の構造式を記せ。また、あ～えに係数としてあてはまる適切な整数値を記せ。



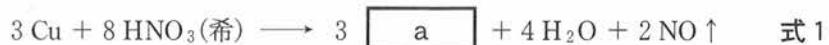
理科の試験問題は次に続く。

□□□□□□□□□□

化学問題 III

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。必要であれば、原子量として Cu = 63.6, フラーデー定数として $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

銅は、単体で金属光沢を示し、金属の中でも熱伝導、電気伝導、展性、延性に富む。また銅は、青銅(スズとの合金)や真ちゅう(亜鉛との合金)などさまざまな合金の原料となる。純銅およびこれらの合金は、電線など電気材料、料理器具、熱交換器などに用いられる。銅は塩酸や希硫酸とは反応しないが、式1に示すように酸化力の強い酸(希硝酸など)と反応し、よく溶ける。



銅を空气中 $800^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ で加熱すると黒色の ア を生成するが、 1000°C 以上で加熱すると赤色の イ を生成する。 ア を希硫酸に溶かすと硫酸銅(II)水溶液になる。硫酸銅(II)水溶液に少量のアンモニア水を加えると水酸化銅(II)の青白色沈殿を生じる。この沈殿に過剰のアンモニア水を加えると、式2の反応により深青色の水溶液が得られる。



銅は黄銅鉱など鉱物として産出される。溶鉱炉で黄銅鉱を加熱しながら鉄の大部分や硫黄分を除くと粗銅が得られる。電気分解を用いて粗銅から高純度の銅を得る操作を銅の電解精錬という。この操作では、電極として粗銅板を ウ 極、純銅板を エ 極に用いる。この操作で硫酸銅(II)水溶液を電気分解すると、
ウ 極では銅イオンが溶け出し、
エ 極では純銅が析出する。また、粗銅に含まれている鉄、ニッケル、亜鉛などの金属の不純物は、イオンとなって水溶液中に溶け出しが、電極には析出しない。一方、不純物としての金、銀などはイオンにならずに単体のまま電極の下に沈殿する。この沈殿を オ という。

問 1 ア, イ にあてはまる適切な物質を化学式で記せ。また、
ウ ~ オ にあてはまる最も適切な語句を記せ。

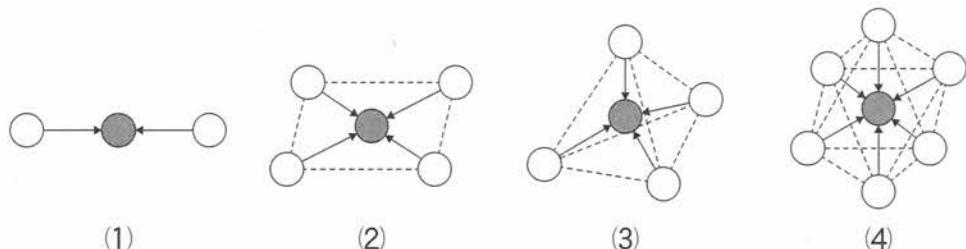
問 2 下線部(A)について、陽極と陰極に白金電極を用いて硫酸銅(II)水溶液に対して電流 0.500 A を 20.0 分間流して電気分解を行った。次の i), ii) に答えよ。

- i) 陽極と陰極で起こる反応を電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。ただし、この二つの反応式中の電子 e^- の係数が等しくなるように記せ。
ii) エ 極で析出する銅の質量を求めよ。導出過程も記せ。

問 3 下線部(B)の原因について 120 字以内で記せ。

問 4 式 1 と式 2 において、a, b にあてはまる適切な物質を化学式で記せ。

問 5 式 2 の反応では、銅イオンにアンモニア分子が配位結合した錯イオンが生成する。このときの錯イオンの構造を下の(1)~(4)から一つ選択し、番号で記せ。



● : 金属イオン, ○ : 配位子, → : 配位結合

問 6 2.00×10^{-12} mol/L の 銅 イ オ ン Cu^{2+} を 含 む 水 溶 液 500 mL に 2.00×10^{-12} mol/L の 硫 化 物 イ オ ン S^{2-} を 含 む 水 溶 液 500 mL を 加 え, 混 合 し た。また, 2.00×10^{-12} mol/L の 亜 鉛 イ オ ン Zn^{2+} を 含 む 水 溶 液 500 mL に 2.00×10^{-12} mol/L の 硫 化 物 イ オ ン S^{2-} を 含 む 水 溶 液 500 mL を 加 え, 混 合 し た。このとき硫化銅(II) CuS , 硫化亜鉛 ZnS の沈殿は生成するかしないか。解答 欄 中 正 し い も の を そ れぞれ 丸で囲み, そ の 理 由 を 説 明 せ よ。た だ し, CuS , ZnS の 溶 解 度 積 は, そ れぞれ $K_{\text{sp}(\text{CuS})} = [\text{Cu}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = 6.3 \times 10^{-36} (\text{mol/L})^2$, $K_{\text{sp}(\text{ZnS})} = [\text{Zn}^{2+}] [\text{S}^{2-}] = 4.0 \times 10^{-22} (\text{mol/L})^2$ と す る。

理科の試験問題は次に続く。

◇M2(140—28)

化学問題 IV

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。必要であれば、原子量としてH = 1.0, C = 12.0, O = 16.0, K = 39.0を用いよ。また、気体はすべて理想気体とし、標準状態における1.00 molの気体の体積を22.4 Lとする。

脂質には、グリセリンのヒドロキシ基に脂肪酸が ア 化により結合した油脂がある。油脂は動物の体内や植物の種子などに広く分布している。油脂を構成する脂肪酸として不飽和脂肪酸を含む油脂は常温でも液体であることが多い。不飽和脂肪酸
^(a) に水素を付加し、常温で液体のものを固体へと変化させた油脂を イ と呼ぶ。また、油脂に水酸化カリウムを加えて加熱すると、けん化と呼ばれる反応が起こり、
^(b) グリセリンと脂肪酸のカリウム塩が生成する。このような脂肪酸のカリウム塩も脂肪酸のナトリウム塩と同様にセッケンと呼ばれる。セッケンの分子は水溶液中で、ある濃度以上になると、多数集まって ウ と呼ばれるコロイド粒子
^(c) を形成し、水溶液はコロイド溶液の性質を示す。

問1 ア ~ ウ に当てはまる最適な語句を記せ。

問 2 下線部(a)について、以下の i) ~ iii)に答えよ。

- i) イ を原料とする食品の例を一つ挙げよ。
- ii) 分子量 886 の油脂 A に水素の付加を行ったところ、油脂 44.3 mg に付加した水素の量は、標準状態において 2.24 mL であった。このとき 1 分子の油脂 A に存在する炭素原子間の二重結合の数を整数値で答えよ。計算過程も記せ。
- iii) 水素の付加により、油脂の分子内の二重結合が単結合になり、さまざまな特性が変化する。このような特性の違いは、アルカンとアルケンの特性の違いと同様に考えられるものも多い。アルカンとアルケンに関する記述として正しいものを、次の(ア)~(エ)からすべて選び、記号で記せ。
- (ア) アルカンは暗所で塩素の単体と混合すると置換反応を起こす。
- (イ) アルケンに臭素を吹き込むと付加反応が起きる。
- (ウ) 炭素数が 4 以上のアルケンには、シス-トランス異性体が必ず存在する。
- (エ) 炭素数が 4 以上のアルカンでは、同じ炭素数のアルケンより構造異性体の数が多い。

問 3 下線部(b)について、以下の i), ii)に答えよ。

- i) ある油脂 B の分子量は M であった。質量 1 g の油脂 B を完全にけん化するために必要な水酸化カリウムの質量 [g] を、 M を用いた式で答えよ。計算過程も記せ。
- ii) 次の文章の ① , ② にあてはまる適切な語句の組み合わせを次の(ア)~(エ)から一つ選び、記号で記せ。

油脂 1 g をけん化するために必要な水酸化カリウムの質量 [mg] の数値をけん化価という。けん化価の高い油脂ほど、分子量は ① なるため、油脂を構成する脂肪酸の炭素鎖が ② 脂肪酸がグリセリンに結合していることがわかる。

- (ア) ① 大きく ② 長い
- (イ) ① 大きく ② 短い
- (ウ) ① 小さく ② 長い
- (エ) ① 小さく ② 短い

問 4 下線部(c)について、以下の i), ii)に答えよ。

- i) コロイド粒子の性質として、正しくない記述を次の(ア)~(エ)から一つ選び、記号で記せ。
- (ア) 半透膜を通過する。
- (イ) 水中でチンダル現象が観察される。
- (ウ) ブラウン運動をする。
- (エ) 電気泳動が観察される。
- ii) セッケンは硬水の中で使用すると、泡立ちが悪くなる。その理由を述べよ。

問 5 二重下線部について、以下の i), ii)に答えよ。

- i) 動物や植物は呼吸により酸素を取り入れ、油脂と酸素を反応させることでエネルギーを取り出し、最終的に発生する二酸化炭素と水を体外に排出している。この反応は、油脂が完全燃焼するときと同じ反応式で表される。ある油脂C 1分子を構成する三つの脂肪酸がステアリン酸($C_{18}H_{36}O_2$)であるとき、油脂Cが完全燃焼する反応を化学反応式で示せ。導出過程も示せ。
- ii) 動物や植物は油脂の他にグルコースもエネルギー源として利用する。式1のように r を定義すると、 r は油脂とグルコースでは異なる。そのため、動物や植物において、呼吸により放出した二酸化炭素と吸収した酸素の体積比から、エネルギー源としての油脂とグルコースの利用割合が推定される。油脂Cとグルコースを比較し、 r はどちらが高くなるか答えよ。導出過程も記せ。

$$r = \frac{\text{完全燃焼で発生する二酸化炭素の分子数}}{\text{完全燃焼に必要な酸素の分子数}} \quad \text{式1}$$

理科の試験問題は次に続く。

生物

生物問題 I

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。

近年、地球大気中の二酸化炭素(CO_2)濃度は上昇の一途をたどっている。図1は日本のある観測点における大気中 CO_2 濃度の経年変化を示している。 CO_2 濃度は、1年周期の季節変動を繰り返しながら、全体として上昇傾向を示している。この CO_2 やメタンなどの **ア** ガスの濃度上昇により、地球の温暖化がもたらされることが危惧されている。

大気中 CO_2 濃度は、図2に示すような、地球規模の炭素循環の中での放出と吸収のバランスにより決まる。すなわち、陸域や海洋など水域の各種生態系における炭素循環や火山活動、さらに化石燃料の燃焼などの人間活動における CO_2 放出と吸収のバランスが大気中 CO_2 濃度を決定している。 CO_2 濃度の上昇は、全体としての CO_2 放出量の増大によりもたらされている。

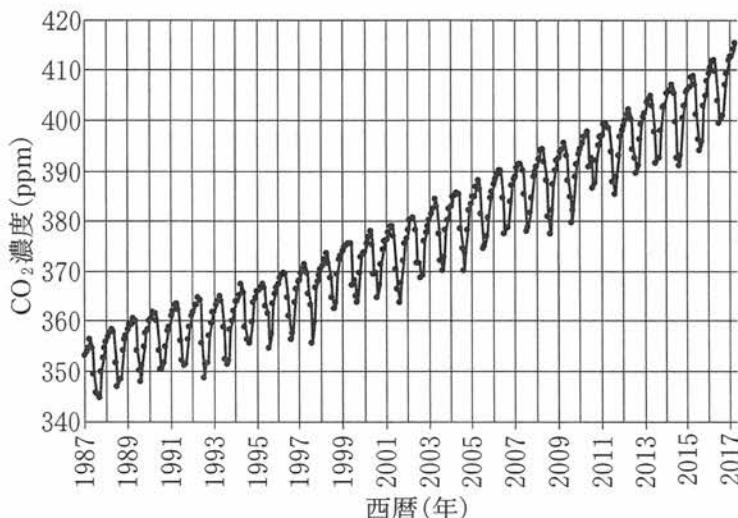


図1 大気中二酸化炭素(CO_2)濃度の経年変化。気象庁のデータより作図

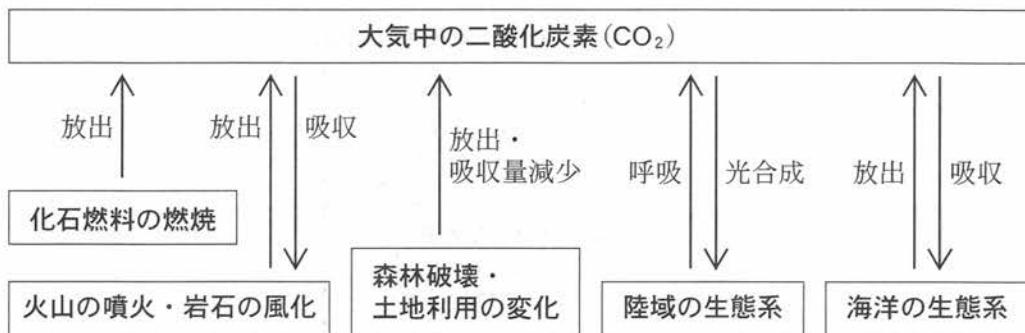


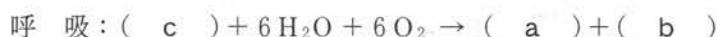
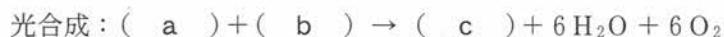
図2 地球規模の炭素循環の概略

問1 アに適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)に関して、この季節変動パターンとそれが生じる理由について、句読点も含めて60字以内で説明せよ。ただし、「 CO_2 」は2文字分とする。

問3 下線部(b)に関して、代表例を二つあげよ。

問4 各種生態系における植物の光合成と呼吸について、以下の化学反応式中の(a)～(c)に適切な数字と化学式を入れよ。



問5 地球規模の炭素循環の中で、森林は重要な役割を果たしている。ところで、個々の森林においても炭素循環が次のページの図3のように成立している。この森林が CO_2 の有効な吸収源となるためにはどのような条件が必要か。以下の(d)～(g)に適切な語句を入れて式を完成した後、この条件について句読点も含めて100字以内で説明せよ。

$$\text{総生産量} = \text{ (d) } + \text{ (e) }$$

$$\text{成長量} = \text{ (d) } - \text{ (f) } - \text{ (g) }$$

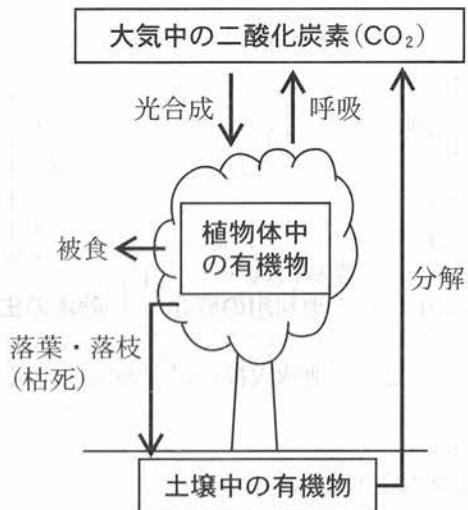


図3 森林の炭素循環の模式図

問6 ある土地に人が苗木を植え、育てて、適当な時期に収穫(伐採)するというように栽培・管理されている森林を人工林といふ。人工林では、大気中のCO₂が効率よく吸収されるような森林管理を行うことができる。図4は、植林して約50年が経過したスギ人工林で、間伐(ある程度の大きさに育った苗木を間引くこと)を実施した場合(間伐林)としなかった場合(無間伐林)での森林の成長量の推移を示している。このことについて、以下の(1)と(2)に答えよ。

- (1) 次の文章は、図4の間伐林と無間伐林の成長量の推移について説明したものである。 [イ] ~ [オ] に入る適切な語句を下の語群から選んで答えよ。ただし、各語句は何度用いててもよい。

間伐が実施された後、間伐林では成長量が「間伐後1~5年」にやや増大し、その後は [イ] する。一方、同じ期間の無間伐林では、初めのうち成長量は大きいが、その後は [ウ] する。こうして「間伐後16~21年」の成長量は、間伐林では [エ] になっているのに対して、無間伐林では [オ] になっている。

(語群)

急激に増大、急激に減少、緩やかに減少、最も大きい値、比較的大きい値、ゼロに近い値

(2) 間伐をした場合としなかった場合で比較すると、(1)のような間伐後の成長量だけでなく、植林してから収穫(伐採)までの、間伐分も含めた全期間合計の成長量で見ても、間伐した場合のほうが成長量は大きいことがわかっている。これらのことから、大気中 CO₂ 濃度の上昇を抑制するための人工林管理・利用のあり方はどのようにあるのが望ましいと考えられるか。「間伐」「燃焼」「CO₂」の語句を用い、句読点を含めて 80 字以内で説明せよ。ただし、「CO₂」は 2 文字分とする。

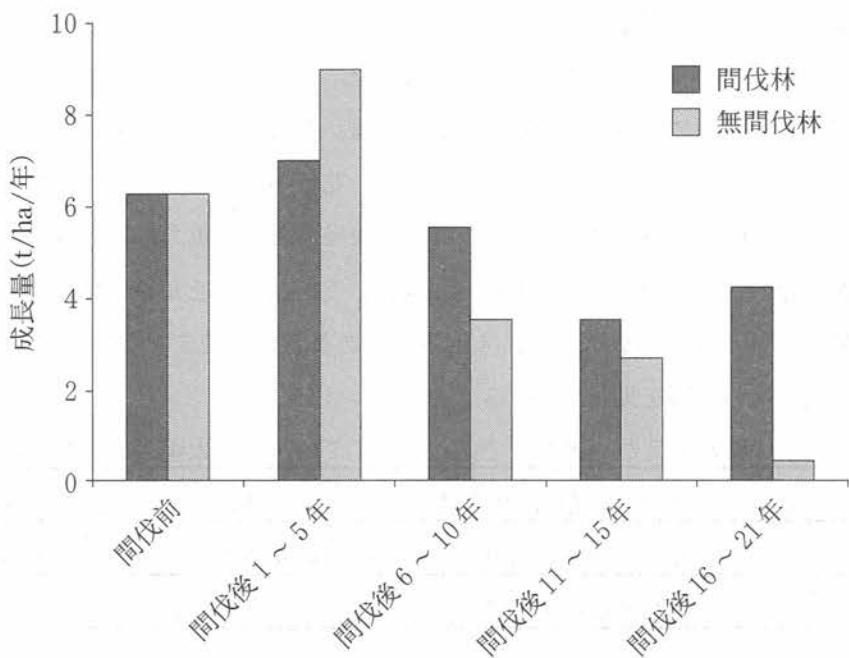


図4 間伐林と無間伐林における間伐前後の森林成長量。
細田ほか(2005)より作成

生物問題 II

次の文を読んで、問1～問4に答えよ。

古代ギリシアの哲学者であるアリストテレスは、ミツバチが単独で花にやってきた少し後に、群れをなして花にやってくることを観察し、ミツバチが何らかの方法で花の場所を同じ巣のメンバーに伝えるのではないかと推測した。この推測は1910年代に、ドイツの生物学者カール・フォン・フリッシュによって検証された。フリッシュは、ミツバチの巣の周辺に人為的に花を設置して、その花を訪れたミツバチが巣に戻ってからどのような行動をするかを観察した。フリッシュの観察によると、巣からある程度遠い場所にある花を訪れたミツバチは、巣に戻ると8の字ダンスとよばれる特徴的なダンスをする。そして、ミツバチは、花が遠いほどゆっくりと8の字ダンスを行うこと(図1)、および8の字ダンスの中央線の方向と重力の反対方向がなす角度が、花の方向と太陽の方向がなす角度に等しいこと(図2)を発見した。そして、ダンスの周囲にいるミツバチは、ダンスから花のある方向と花までの距離の情報を読み取って花のある場所を集団で訪れることがわかった。

さらに、太陽が見えない曇り空であっても、ミツバチは太陽の方向を正確に認知できることから、ミツバチが偏光(振動方向が規則的な光波)を利用していることもわかった。
(a) フリッシュは、巣から飛び立って花へ到着するまでに消費したエネルギー量
(b) にもとづいて、ミツバチが花までの距離を推定するという仮説を立てた。

問 1 図 1 は、ミツバチが訪れた花から巣までの距離と、そのミツバチが巣に戻ってから行った 8 の字ダンスの 15 秒あたりの回転数との関係を示す。以下の①から⑤について、図 1 および前述の文章から判断し、正しいものについては○を、正しくないかあるいは判断できないものについては×を解答欄に記入せよ。

- ① 巣から花までの距離が 0 ~ 1000 m のときと 2000 ~ 3000 m のときを比べると、2000 ~ 3000 m のときのほうが 15 秒あたりのダンス回転数の情報としての精度は低い。
- ② 巣から花までの距離と 15 秒あたりのダンス回転数の積はほぼ一定である。
- ③ 巣から花までの距離が 8000 m のときに、15 秒あたりのダンス回転数はほぼ 0 になると予想される。
- ④ ダンスは光のない巣の内部で行われるので、ミツバチがダンスの回転数を巣から花までの距離の情報として利用することはありえない。
- ⑤ 花の種類によって 15 秒あたりのダンス回転数は異なる。

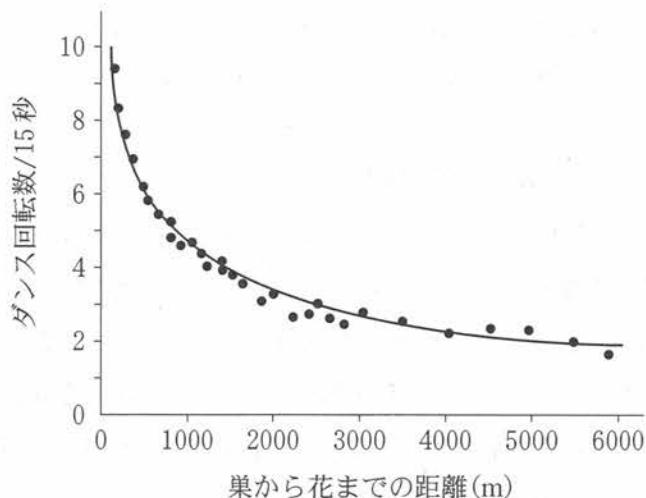


図 1 花を訪れたミツバチが巣に戻ってから行った 8 の字ダンスの 15 秒あたりの回転数と巣から花までの距離の関係。なお、図中の点は実測値を、曲線は近似曲線をそれぞれ示す。

問 2 図2は、8の字ダンスの中央線の方向と重力の反対方向がなす角度 α が、花の方向と太陽の方向がなす角度 α に等しいことを示す。花の方向と太陽の方向がなす角度をミツバチに 3α と誤認させ、かつそのミツバチを低温にさらして15秒あたりのダンス回転数を8回から4回に半減させることに成功したと仮定する。このとき、このミツバチのダンスから情報を得たミツバチは、どこに花があると判断するだろうか。図1と図2にもとづいて、巣からみた花の方角とおよその距離を解答欄に図示し、そのように考えられる理由を、句読点も含めて150字以内で述べよ。



図2 花の方向と太陽の方向がなす角度は、8の字ダンスの中央線の方向と重力の反対方向がなす角度に等しい。

問 3 ハトは、下線部(a)と同様の能力をもち、晴れた日には太陽を手がかりに、曇りの日には偏光を手がかりにして、これと体内時計を組み合わせることで正確に定位する(方角を知る)ことができる。これに対して、夜間に渡りをする鳥は、太陽光が全くなくても別の手がかりと体内時計を組み合わせることで正確に定位できる。夜間に定位するために利用可能な手がかりを、晴天時および曇天時でそれぞれ一つ挙げ、利用可能な理由についてそれぞれ50字以内で説明せよ。ただし、晴天時と曇天時で同じ手がかりを書かないこと。

問 4 下線部(b)に示したフリッシュの仮説を以下の方法で検証した。鉢植えの花を二つ用意し、巣から花までの距離を 200 m に保ったうえで、一方の花は巣よりも 50 m 高い場所に置き、もう一方の花は巣と同じ高さに置いた。そして、それぞれの花を訪れたミツバチが巣に戻ってから行った 8 の字ダンスの 15 秒あたりの回転数を調べた。この実験から予測される結果を 2 通り述べ、それぞれの結果を予測した理由と、それぞれの結果がフリッシュの仮説を肯定するか否定するかを解答欄に記入せよ。

生物問題 III

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。

生物の遺伝情報は DNA の塩基配列として核内に保存されていて、その遺伝情報に
(a)したがって細胞質でタンパク質が合成される。通常、遺伝子の情報は RNA に転写され、タンパク質に翻訳される。タンパク質の合成に関与している RNA には、
mRNA, tRNA, ア の 3 種類が存在する。そのうち、タンパク質のアミノ酸配列を指定している RNA は mRNA である。
(b)

核内で合成された mRNA は イ を通って細胞質へ移動し、リボソームと結合する。tRNA は mRNA のコドンが指定するアミノ酸を翻訳の場であるリボソームへ運ぶはたらきをもっている。tRNA には mRNA のコドンと相補的に結合する
ウ と呼ばれる塩基配列があり、ウ の塩基配列の違いにより運ぶアミノ酸の種類が決まっている。mRNA とリボソームが結合した後、リボソームは mRNA 上を移動していき、AUG 配列(開始コドン)をリボソームが認識すると、
エ というアミノ酸をつけた tRNA が結合する。tRNA により運ばれてきたアミノ酸は次々とペプチド結合し、リボソームの移動とともにポリペプチド鎖が伸長されタンパク質が合成される。
(d)

問 1 ア ~ エ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について、エキソン領域の一つの塩基が別の塩基に入れ替わっても、合成されるタンパク質のアミノ酸配列には変化がなく、正常な機能を示す場合がある。このような現象がおこる理由を、句読点を含めて 40 字以内で説明せよ。

問 3 下線部(b)について、真核生物での遺伝子発現の調節において、プロモーターと結合し、転写を開始するために必要なタンパク質を二つ答えよ。

問 4 下線部(c)について、UAA, UAG, UGA はアミノ酸を指定しない。これらのコドンの役割を説明せよ。

問 5 下線部(d)について、ヒトのタンパク質を大腸菌に生産させる実験を行う場合、ヒトのゲノム DNA 上に存在するある遺伝子の全塩基配列をそのままベクターに組み込んで大腸菌に取り込ませても、目的とするタンパク質を生産させることは一般的にできない。

- (1) 上述の方法では大腸菌内でヒトのタンパク質が生産されない理由を、真核生物と原核生物の遺伝子の構造の違いをふまえて、句読点を含めて 50 字以内で説明せよ。
- (2) ヒトのタンパク質を大腸菌内で生産させるためには、上述の方法をどのように変更すればよいか。句読点を含めて 50 字以内で説明せよ。

生物問題 IV

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。

多細胞生物は体外環境の変化に対して、体内環境を一定に保つしくみをもっている。^(a)体内環境の維持に大きく貢献しているのは体液と呼ばれる液体である。ヒトの体液は、細胞内液と細胞外液に大別することができ、細胞外液は血液、組織液およびリンパ液からなる。血液は液体成分である血しょうと、有形成分である赤血球、白血球、血小板から構成されている。^(b)

体内の各組織への酸素の運搬は、体内環境を保つために重要である。ヒトの赤血球は、酸素の運搬に欠かせない細胞であり、中央がくぼんだ円盤状の形をしている。酸素は、血しょう1Lあたり数mLしか溶けないが、動脈血には血しょうの数十倍の酸素が含まれている。これは、赤血球の内部に存在するヘモグロビンと呼ばれるタンパク質が、酸素と強く結合する性質をもっているからである。肺の組織のように酸素濃度^(c)が高く、二酸化炭素濃度の低い組織では、ヘモグロビンの多くは酸素と結合する。一方、酸素濃度が低く、二酸化炭素濃度の高い組織では、ヘモグロビンは結合してい
た酸素を放出する。この性質によって、体内の各組織へ効率よく酸素が運搬される。筋肉にはヘモグロビンに似たミオグロビンと呼ばれるタンパク質が存在する。ミオグロビンはヘモグロビンよりも酸素との親和性が高く、特に水生哺乳類の筋肉に多い。

血液は心臓のポンプ作用によって、全身へ送り出されている。健康な体重70kgの成人では、安静時に毎分約5Lの血液が心臓の左心室から送り出される。^(d)ヒトの循環系は、動脈と静脈が毛細血管によってつながっており、血液を一定の方向に効率よく流すことに役立っている。^(e)

問1 下線部(a)について、このしくみを何というか答えよ。

問 2 下線部(b)について、健康なヒトの血液 1 mm^3 中に含まれる赤血球、白血球、血小板の数を以下から選んで、それぞれ記号で答えよ。

- (A) 400 万～600 万個
- (B) 10 万～40 万個
- (C) 4000～10000 個
- (D) 400～1000 個

問 3 下線部(c)について、ヘモグロビンが酸素と結合する性質を表す曲線を酸素解離曲線と呼ぶ。図 1 に、ヘモグロビンおよびミオグロビンの酸素解離曲線を示した。

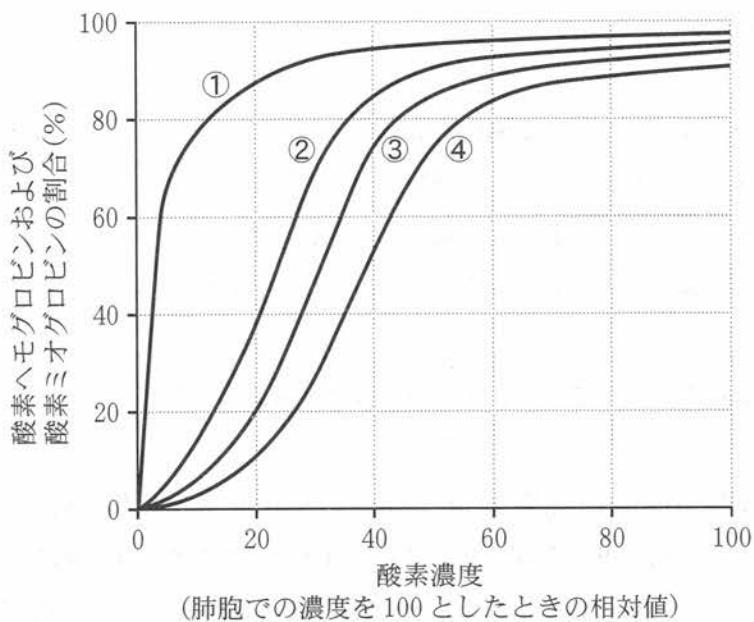


図 1 ヘモグロビンおよびミオグロビンの酸素解離曲線

- (1) 曲線③は安静時における健康な成人のヘモグロビンの酸素解離曲線である。健康な成人が安静時に肺胞での酸素ヘモグロビンの割合が 94 % であった場合、酸素濃度 20 の組織では全体の何%のヘモグロビンが酸素を放出するか答えよ。

- (2) 曲線①は安静時における健康な成人のミオグロビンの酸素解離曲線である。曲線①と曲線③が大きく異なることによって、筋肉の機能にどのような利点があるか、簡潔に述べよ。
- (3) 激しい運動中のヘモグロビンの酸素解離曲線は②と④のうちいずれか、番号で答えよ。また、そのような変化を引き起こす要因を一つ答えよ。
- (4) ヒトの胎児は胎盤で母体の血液から酸素を受け取っている。また、胎児のヘモグロビンは母体のヘモグロビンと異なる性質をもっている。母体のヘモグロビンの酸素解離曲線が③の場合、胎児のヘモグロビンの酸素解離曲線は②と④のうちいずれか、番号で答えよ。また、その理由を句読点も含めて 100 字以内で述べよ。

問 4 下線部(d)について、心臓の左心室から送り出された血液が全身を循環する経路を以下の(A)～(G)から選び、記号を正しい順にならべよ。

- (A) 肺動脈 (B) 大静脈 (C) 大動脈 (D) 右心室
(E) 肺静脈 (F) 左心房 (G) 右心房

問 5 下線部(e)について、このような血管系を何というか答えよ。

問 6 ヒトは常に血液を循環させることによって、必要な酸素を体内の各組織に供給している。血液中から各組織に供給された酸素の量が、1分間あたり 286 mg であった場合、以下の条件をもとに肺動脈血の酸素濃度(単位: mg/L)を求めよ。解答の数値は小数点以下を四捨五入し、整数で表せ。

[条件]

1 分間の心臓の拍動数: 65 回

1 回の拍動により心臓から送り出される血液量: 80 mL

肺静脈血の酸素濃度: 250 mg/L