



理 科

(120分)

環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～12 ページ) 化学(13～26 ページ) 生物(27～34 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。また、解答開始の合図があるまで、筆記用具を使用してはいけません。
2. 問題は物理4題、化学4題、生物2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ください。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・生物資源管理学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学、生物のうちから2科目選択してください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」、「生物問題Ⅱ」の2題を解答してください。
4. 工学部(材料化学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・物理、化学の2科目を選択してください。
 - ・物理は、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答してください。
 - ・化学は、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答してください。
5. 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・問題を解答してください。
 - ・物理のみ解答してください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答してください。
6. 人間文化学部(生活栄養学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答してください。
 - ・化学のみ解答してください。
 - ・「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答してください。

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。

物 理

物理問題 I

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問4に答えよ。問2と問4には導出過程も示せ。ただし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

- (1) 図1に示すように、じゅうぶんに長いベルトコンベアを、ベルト上面が水平になるように水平な地面の上に設置した。ベルト上面に物体1を置く。物体1の質量を m_1 [kg]、物体1とベルト上面との間の静摩擦係数を μ_1 、動摩擦係数を μ_1' とする。ベルトは紙面と平行な方向にのみ動き、ベルト上面にたわみはないものとする。物体1がベルト上面に静止している状態からベルト上面を加速度 a_1 [m/s²] で動かすと、物体1は紙面右向きに動いた。ベルト上面に置かれた物体1に生じることのできる最大摩擦力は ア [N] であるため、物体1がすべらずにベルト上面と同じ加速度で動くのは、 a_1 の大きさが イ [m/s²] 以下のときである。

ベルト上面を静止させた後、ベルト上面を加速度 a_2 [m/s²] で動かしたとき、物体1はベルト上面をすべりながら、紙面右向きに動いた。このときの物体1の地面に対する進行方向の加速度の大きさは、 ウ [m/s²] である。物体1の底面はベルト上面から離れることはない。

図2に示すように、地面に対してベルト上面を角度 θ_1 [rad] 傾くようにベルトコンベアを設置し、ベルト上面を右上向きに一定の速度で動かす。その上に物体1を静かに置くと物体1は地面に対して静止している状態でベルト上面をすべり続けた。

問1 下線部の状態において、物体1にはたらく重力、ベルト上面からの摩擦力、垂直抗力の大きさを、解答欄図中の枠内にそれぞれ記入せよ。

問2 動摩擦係数 μ_1' を求めよ。

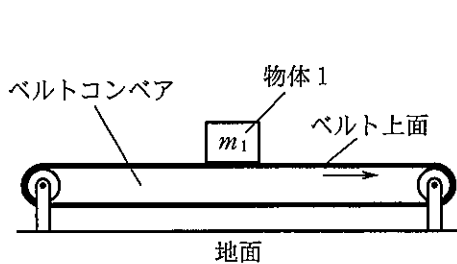


図 1

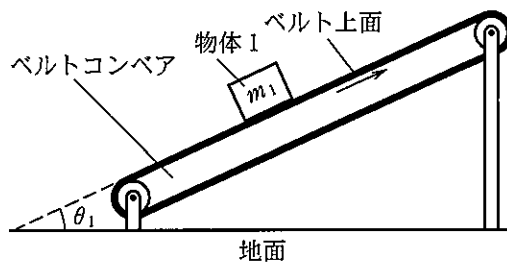


図 2

(2) 図 3 に示すように(1)で用いたベルトコンベアのベルト上面を、水平な地面に対して角度 θ_2 [rad] 傾けて設置し、ベルト上面を一定の速度で右上向きに動かす。質量の無視できるばね(自然長 L_0 [m]、ばね定数 k [N/m]) でつながった物体 1 と物体 2 をベルト上面に静かに置くと、両物体は、一定の長さ $L (> L_0)$ [m] の間隔を保ち、ベルト上面をすべりながら地面に対して静止している状態になった。ベルト上面にたわみはなく、物体 1 と物体 2 の底面はベルト上面から離れることはない。物体 1 は(1)で用いたものと同じであり、物体 2 の質量を m_2 [kg]、物体 2 とベルト上面との間の静止摩擦係数を μ_2 、動摩擦係数を μ_2' とする。

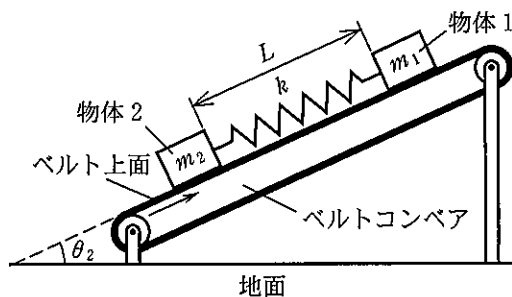


図 3

問 3 物体 1 と物体 2 にはたらく重力、ベルト上面からの垂直抗力と摩擦力、ばねからの力の向きと大きさを解答欄の図中に示せ。力の向きは矢印で、大きさは矢印の近くに式で、それぞれ示すこと。

問 4 動摩擦係数 μ_2' を求めよ。ただし、解答には m_1 、 m_2 、 θ_2 、 μ_1' を用いること。

物理問題 II

次の文章を読んで、 に適した式を、 $\{ \quad \}$ には適切な語句を解答欄に記入せよ。また、問1～問4に導出過程を示して答えよ。なお、円周率を π とし、地磁気の影響は無視できるものとする。

- (1) 図1に示すように、一辺の長さが a [m]の正三角形ABCを直交座標系の xy 平面に対して平行にとり、その重心を G_1 とする。じゅうぶんな長さをもつ直線状導線を、正三角形の各頂点を通るように z 軸に対して平行におく。これらの導線は真空中にあるものとし、太さは無視できるものとする。各導線に大きさ I [A]の電流を図1に示す向きに流したとき、真空の透磁率を μ_0 [N/A²]とすると、点Aを通る導線に流れる電流が点 G_1 につくる磁場の強さは ア $\{ \text{N/Wb} \}$ 、磁束密度の大きさは イ $\{ \text{T} \}$ となる。

問1 点A, B, Cを通る各導線に流れる電流によって、点 G_1 にできる合成磁場の強さを求めよ。また、合成磁場の向きを解答欄の図に、点 G_1 を始点とする矢印で記入せよ。

問2 点A, Bを通る各導線に流れる電流によってできる磁場が、点Cを通る導線の長さ L [m]の部分におよぼす合力の大きさを求めよ。また、合力の向きを解答欄の図に、点Cを始点とする矢印で記入せよ。

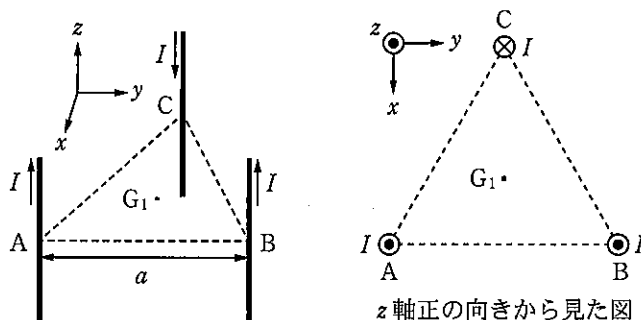


図1

(2) 図2に示すように、磁束密度の大きさが B_0 (T) で鉛直上向きの一様な磁場内に、両端を絶縁棒で固定した長さ b (m)、抵抗 R_0 (Ω) の導体棒 PS でできた支柱を水平方向に固定する。導体棒 PS の両端に、一辺の長さが b (m)、一辺の抵抗が R_0 (Ω)、全体の質量が m (kg) のコの字形導体 PQRS を接続し、導体棒とコの字形導体からなる正方形の回路を構成する。支柱とコの字形導体はじゅうぶん細い剛体とみなし、コの字形導体は導体棒と接続されたまま支柱を中心になめらかに回転でき、空気の抵抗は無視できるものとする。コの字形導体の辺 PQ の中点 E と辺 RS の中点 F の間に、内部抵抗を無視できる電圧 V (V) の電池を、質量と抵抗を無視できる導線で接続したところ、図2に示すように、コの字形導体は鉛直方向に対して角度 θ (rad) 傾いて静止した。導線はコの字形導体の運動に影響を与えないものとし、導線に流れる電流がつくる磁場は無視できるものとする。このとき、辺 QR に流れる電流は (A)、辺 QR が磁場から受ける力の大きさは (N) となり、この力による辺 PS のまわりの力のモーメントの大きさは (N·m) となる。

問3 $\tan \theta$ を求めよ。ただし、重力加速度の大きさを g (m/s²) とし、コの字形導体の重心を、導体棒 PS の中点から c (m) 離れた面 PQRS 上の点 G_2 とする。

コの字形導体が角度 θ で静止した状態で電池を静かに外すと、コの字形導体は運動を始め、最終的に角度 0 で静止した。この間、導体棒とコの字形導体には、
 { 力 } 電流が流れたことによるジュール熱が発生する。

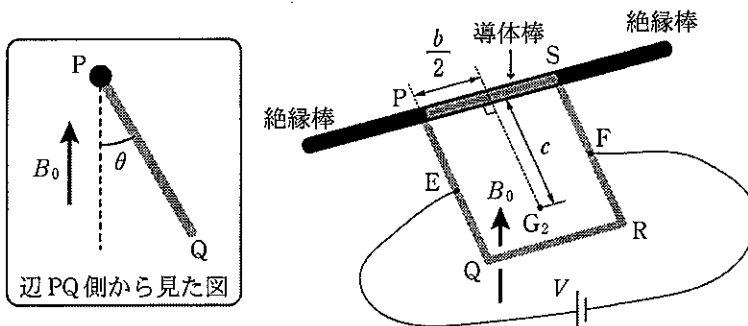


図2

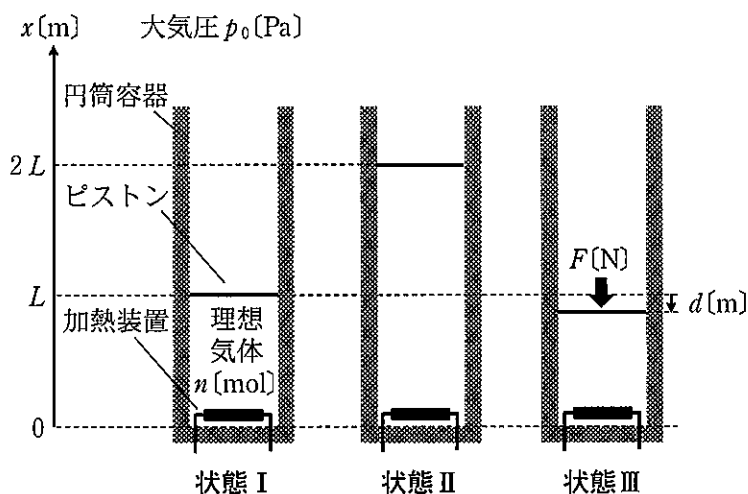
問 4 電池を外してからコの字形導体が静止するまでの間に発生したジュール熱を求めよ。なお、このとき磁場 B_0 がなければ、コの字形導体の重心の運動は、長さ c の軽い糸に取り付けられた質量 m の質点を角度 θ から放したときの単振り子の運動と同じである。すなわち、コの字形導体とこの単振り子の力学的エネルギーは同じである。

理科の試験問題は次に続く。

物理問題 III

次の文章を読んで、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1および問2に答えよ。なお、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

図に示すように、断面積 S [m²] のピストンをもつ円筒容器が床の上に鉛直に置かれている。このピストンおよび容器は熱を伝えない。ピストンはなめらかに動くことができ、その厚みと質量は無視できる。容器内には、大きさと熱容量の無視できる加熱装置が取り付けられている。鉛直上向きに x 軸をとり、容器の底面を原点 $x = 0$ とする。大気圧は p_0 [Pa] である。



図

- (1) 容器内に物質量 n [mol] の単原子分子理想気体をピストンで封入したとき、ピストンは $x = L$ [m] の位置で静止した(状態 I)。この状態 I における容器内の気体の圧力は ア [Pa]、温度は イ [K] である。
- (2) 状態 I から加熱装置をある時間だけ作動させたところ、ピストンがゆっくりと動いて $x = 2L$ [m] の位置で静止した(状態 II)。この状態 II における容器内の気体の温度は ウ [K] である。また、状態 I から状態 II に変化するまでの間の、

気体の内部エネルギーの変化は $\boxed{\text{エ}}$ [J]、気体が外部からされた仕事は $\boxed{\text{オ}}$ [J]である。

問 1 気体が状態Ⅰから状態Ⅱに変化するまでの間に、加熱装置からくわえられた熱量を、熱力学第一法則を用いて求めよ。導出過程を示すこと。

(3) つぎに、気体を状態Ⅰにもどした後に、ピストンに鉛直下向きの力をくわえて $d(>0)$ [m]だけ押し下げて静止させた(状態Ⅲ)。この状態Ⅲでくわえられている力の大きさを F [N]として、 F と d の関係について考える。理想気体が断熱変化をするとき、その圧力 p と体積 V の間には、比熱比を γ として $pV^\gamma = \text{一定}$ という関係が成り立つ。状態Ⅰと状態Ⅲの間には、この関係が成り立つので、 p_0 、 S 、 L 、 F 、 d 、 γ を用いて、

$$p_0(SL)^\gamma = \boxed{\text{カ}} \quad \text{式 1}$$

という式が成り立つ。式 1 より、

$$F = \boxed{\text{キ}} \quad \text{式 2}$$

と求めることができる。ここで、 d が L に比べてじゅうぶん小さい($d \ll L$)場合について考える。 $y \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $(1-y)^{-\alpha} \approx 1 + \alpha y$ を用いて式 2 を変形すると、

$$F = \boxed{\text{ク}} \quad \text{式 3}$$

となる。式 3 より、 $d \ll L$ の場合の F は、ばね定数が $\boxed{\text{ケ}}$ [N/m]の軽いつまりまきばねを、自然長から d だけ縮めるのに必要な力の大きさと同じであることがわかる。

問 2 容器内の気体を状態Ⅰと同じ物質量、体積、および圧力の二原子分子理想気体に変えたのち、下線部と同じ操作を行って状態Ⅳとした。状態Ⅲと状態Ⅳでくわえられている力の大きさの大小関係として適切なものを選択肢から選び、解答欄の番号に○をつけよ。また、そのような大小関係になる理由を、式 3 を利用して説明せよ。ただし、二原子分子理想気体の定積モル比熱を $\frac{5}{2}R$ とする。

選択肢：①状態Ⅲの方が大きい ②状態Ⅳの方が大きい ③両者は等しい

物理問題 IV

次の文章を読んで、 に適した式を、 $\{ \quad \}$ には適切な語句を語群から選び、解答欄に記入せよ。また、問1と問2に答えよ。

一般に、音波は媒質の振動方向と波の伝わる方向が $\{ \text{ア} \}$ となる $\{ \text{イ} \}$ である。その速さ(音速)は媒質によって異なり、およそ $\{ \text{ウ} \} < \text{液体} < \{ \text{エ} \}$ の大小関係にある。これらの媒質中において、音波はさまざまな場面で利用される。例えば、水中にある物体を探索するソナーは、水中に音波を発射し、その物体からの反射波を受けて物体の位置や動きを調べることができる装置である。以下では、送受信器 T を有するソナーを使って湖を探索する場合を考える。なお、T は湖の水面に接した状態で静止している。また、湖水の動きは無視できるものとする。

(1) T から鉛直下方に発射された音波が、水平な湖底面で反射して T に戻るまでの時間を測定したところ、その時間は t [s] であった。湖水中の音速は一定であり、T から発射される音波の空気中における振動数と波長をそれぞれ f [Hz] と λ [m] とし、音波の空気に対する湖水の屈折率を $n (< 1)$ とする。このとき、湖水中におけるこの音波の波長は オ [m] と表せるので、その速さは カ [m/s] となる。よって、T から湖底までの距離は キ [m] であることがわかる。

(2) 図1のように表層と深層の2層からなる湖における音波の経路を考える。表層と深層における音速はそれぞれ v_1 [m/s] と v_2 [m/s] である。T から音波を鉛直下方から反時計回りに角度 θ_1 [°] 傾けて発射した。 $v_1 > v_2$ の場合、T からの音波は、表層と深層の境界面上の点 O に入射角 θ_1 で入射した後、屈折角 θ_2 [°] で屈折し、深層を進むことになる。

問1 下線部の入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の大小関係を「屈折の法則」を用いて示せ。

語群

同一、垂直、横波、定常波、縦波、回折波、固体、気体

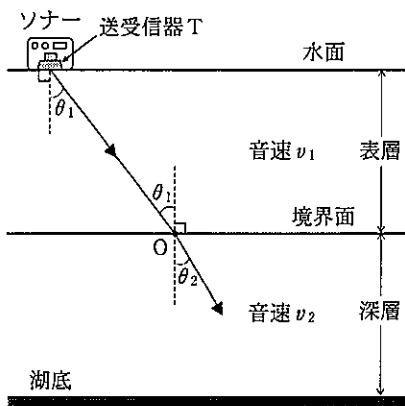


図 1

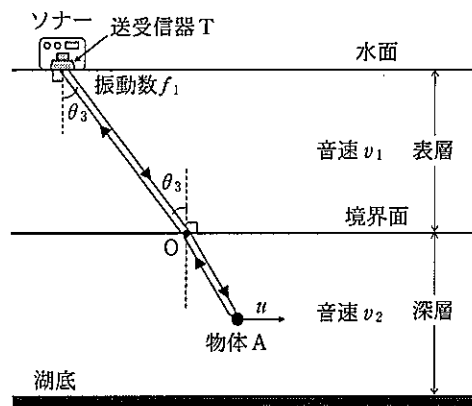


図 2

(3) 図 2 のように表層と深層の 2 層からなる湖において、T より紙面右側にある物体 A が深層を水平方向右向きに一定の速さ u [m/s] で移動している。この速さをドップラー効果を用いたソナーを使って求める。T から発射される音波の湖水中での振動数は f_1 [Hz]、表層と深層における音速はそれぞれ v_1 [m/s] と v_2 [m/s] である ($v_1 > v_2$)。なお、T と物体 A は同一の鉛直平面内にあり、物体 A の速さは音速と比べてじゅうぶん小さいものとする。また、T から発射された音波は、図 2 のように表層と深層の境界面上の点 O を通り物体 A で反射された後、同じ経路をたどって点 O を通り T に到達するものとみなす。

T から音波を鉛直下方から反時計回りに角度 θ_3 [°] 傾けて発射した。この音波は点 O に入射角 θ_3 で入射した後、屈折して物体 A に到達する。表層の湖水に対する深層の湖水の屈折率は v_1 と v_2 を用いて \square ク と表せるので、点 O と物体 A を結ぶ方向における物体 A の速度成分の大きさは u 、 v_1 、 v_2 、 θ_3 を用いて \square ケ [m/s] となる。ここで、音波の振動数は屈折の前後で変化しないため、点 O の位置に振動数 f_1 の音波を発射する静止した音源があるとみなすことができ、さらに、物体 A は \square ケ [m/s] の大きさで点 O から遠ざかっていると考えることができる。よって、物体 A で観測される音波の振動数 f_2 は u 、 v_1 、 θ_3 、 f_1 を用いて \square コ [Hz] と表せる。

続いて、物体 A で反射した音波(反射波)は点 O に向かって進む。ここで、 $|x| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $\frac{(1-x)}{(1+x)} \doteq 1 - 2x$ を用いると、物体 A から

点 O に到達した反射波の振動数 f_3 は u , v_1 , θ_3 , f_1 を用いて [Hz] と表せる。点 O に到達した反射波は振動数が変化することなく屈折し, T に到達する。このとき, f_1 と f_3 との差 $\Delta f = f_1 - f_3$ は [Hz] となる。よって, 物体 A の速さ u は, $u = \Delta f \cdot$ [m/s] となる。

問 2 角度 θ_3 が 30° のときに物体 A からの反射波を観測したところ, f_1 と f_3 との差 $\Delta f = 1.00 \times 10^2$ Hz が得られた。このときの物体 A の速さ u (m/s) を有効数字 2 桁で求めよ。なお, 振動数 f_1 を 5.00×10^4 Hz, 音速 v_1 を 1.50×10^3 m/s とする。

理科の試験問題は次に続く。

化 学

化学問題 I

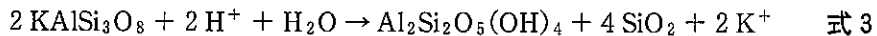
次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。気体はすべて理想気体とし、標準状態における1.00 molの気体の体積を22.4 Lとする。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

大気中には微量の CO_2 が含まれており、これが水に溶解すると式1のようにその一部が H^+ と HCO_3^- に電離する。平衡状態において水に溶解している CO_2 のモル濃度を $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ 、 H^+ のモル濃度を $[\text{H}^+]$ 、 HCO_3^- のモル濃度を $[\text{HCO}_3^-]$ とすると、式1の電離定数 K_a は式2で表すことができる。 HCO_3^- の一部はさらに電離することもあるが、微量であるため、この電離は無視することとする。



$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2(\text{aq})]} \quad \text{式2}$$

CO_2 は土壌中の空気にも含まれており、これが土壌に含まれる水(土壌水)に式1のように溶解・電離したのち土壌中の鉱物に接触すると、鉱物の化学変化が起こる。例えばカリ長石(KAlSi_3O_8)と呼ばれる鉱物は式3に示す反応により、カオリナイト($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)と呼ばれる鉱物へと変化する。



土壌中で式1とともに、式3のような鉱物の化学変化が同時に起こると式1の HCO_3^- 生成反応は進みやすい。土壌中で生成された HCO_3^- は、そのまま土壌中にとどまることもあれば、土壌から雨水に流され河川を経て海まで流されることも多い。一般的に海水中のpHは土壌水や河川水よりも高いため、海まで流された HCO_3^- の大部分は CO_2 に戻らずに、 HCO_3^- として海に貯留される。以上のことより近年、大気中の CO_2 削減のために、人為的に土壌中の鉱物の化学変化を促進することで CO_2 を HCO_3^- とし、海に貯留する技術が注目されている。

問 1 下線部(a)に関する次の文章を読んで i), ii) に答えよ。

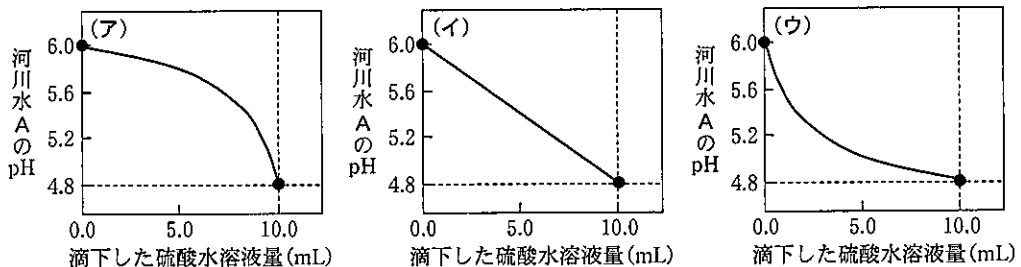
CO₂を低温で固体にしたものを **あ** と呼ぶ。 **あ** と同様に多数の分子が規則正しく配列してできた結晶を分子結晶と呼ぶ。分子結晶中では **い** によって分子がお互いを引き付けあっている。

i) **あ** , **い** にあてはまる適切な語を答えよ。

ii) 分子結晶を形成する物質のうち、常温・常圧で昇華しやすい物質を **あ** 以外に一つ答えよ。

問 2 下線部(b)について、河川水中の HCO₃⁻ 濃度を知る方法として硫酸を用いた滴定法がある。この手法では採取した河川水の pH が 4.8 となるまで硫酸水溶液を河川水に滴下し、滴下した硫酸水溶液量から HCO₃⁻ 濃度を算出する。HCO₃⁻ を含む河川水に H⁺ が加わると式 1 の平衡が左に進み、pH が 4.8 の条件では河川水に含まれるすべての HCO₃⁻ が CO₂ へと変化する。いま、pH が 6.0 である河川水 A 50.0 mL に、1.00 × 10⁻³ mol/L の硫酸水溶液を 10.0 mL 滴下したところ、河川水 A の pH が 4.8 となった。以下の i) ~ iii) に答えよ。なお、10^{0.2} = 1.58 とする。

i) 滴下した硫酸水溶液量と、河川水の pH の関係を表した図として最も適切なものを(ア)~(ウ)から一つ選び、記号で記せ。また、そのような関係になると考えられる理由について式 1 を用いて説明せよ。



ii) pH 6.0 の河川水 A 50.0 mL と、硫酸水溶液滴下後の pH 4.8 の河川水 A 60.0 mL に含まれる H⁺ の物質量 [mol] をそれぞれ求めよ。

iii) 河川水 A の HCO₃⁻ 濃度 [mol/L] を求めよ。導出過程も記せ。ただし、河川水 A には、HCO₃⁻ 以外に硫酸と反応する物質は含まれていなかったものとする。

問 3 下線部(c)の理由について、下記の語をすべて用いて説明せよ。



問 4 下線部(d)について、海水が pH 8.0 で式 1 の平衡状態にあるとすると、海水中の $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ に対する $[\text{HCO}_3^-]$ の比率 $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2(\text{aq})]}$ を求めよ。導出過程も記せ。ただし、式 2 における電離定数 K_a を $4.45 \times 10^{-7} (\text{mol/L})$ とする。

問 5 底に小さな穴の空いた箱に、カリ長石を含む土壌 B を入れ、水を加えたところ、底の穴から 0.100 mol/L の HCO_3^- を含む水が 2.00 L 流出した。この土壌 B 中の空気から HCO_3^- として除去された CO_2 の標準状態における体積 (L) を求めよ。導出過程も記せ。ただし、流出した水に含まれる HCO_3^- は、すべて土壌中の空気に含まれる CO_2 が土壌水へ溶解・電離することにより生成したものである。

理科の試験問題は次に続く。

化学問題 II

次の文章を読んで、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。

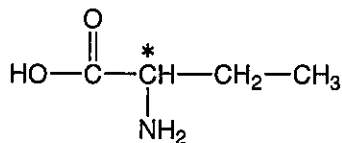


図1 構造式の例

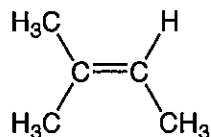


図2 2-メチル-2-ブテン

過マンガン酸カリウム ($KMnO_4$) は酸化剤として知られている。この $KMnO_4$ による反応は酸素を含む化合物をアルケンから得るために有用である。

酸性の条件でアルケンに $KMnO_4$ を作用させると、炭素と炭素の間の二重結合を切断しカルボニル基をもつ別の化合物にすることができる。たとえば、2-ブテンに $KMnO_4$ を作用させると酢酸が得られる。またシクロヘキセンに作用させるとナイロン66の原料である **ア** が得られる。2-メチル-2-ブテン(図2)に作用させた場合は酢酸と **イ** が得られる。

一方、塩基性の条件でアルケンに $KMnO_4$ をおだやかに反応させると二重結合が単結合になり、ヒドロキシ基が結合した二価アルコールが得られる。この二つのヒドロキシ基との結合が生じる反応は、アルケンが形作る平面構造の同じ側から起こる(図3)。

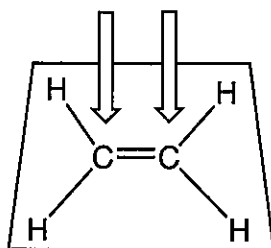


図3 アルケンが形作る平面の同じ側

問 1 ナイロン 66 は ア と二価アミン(ジアミン)とを縮合重合させて得ることができる。この反応に用いる ア とジアミンについて化合物の名称と構造式をそれぞれ記せ。

問 2 重合度 n のナイロン 66 の分子量を、 n を用いて表せ。ただし末端の構造は無視せよ。ここで重合度とは繰り返し単位の数とする。

問 3 質量 33.9 g のナイロン 66 を完全に加水分解するのに必要な水の質量を有効数字 2 桁で求め、単位とともに記せ。導出過程も記せ。ただし重合度 n はじゅうぶんに大きいものとし、末端の構造は無視せよ。

問 4 イ に適した化合物名を記せ。

問 5 1-ブテン、2-ブテンに塩基性条件で KMnO_4 をおだやかに作用させて、二価アルコール(ジオール)を得た。それぞれから得られた生成物の構造式を記せ。また、不斉炭素原子には*をつけよ。

問 6 シクロヘキセンに塩基性条件で KMnO_4 をおだやかに作用させて得られる二価アルコール(ジオール)の構造を、二つのヒドロキシ基の位置関係がわかるように記せ。解答の構造式は図 4 の例にならって記せ。なお位置関係を立体的に明示する必要のない炭素-炭素結合や炭素-水素結合などはくさび形で書かなくてよい。

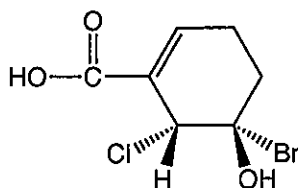


図 4 立体構造を示す構造式の例

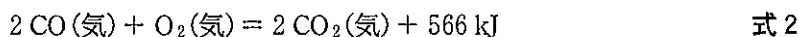
(実線のくさび形は紙面より手前に結合が存在していることを示しており、破線のくさび形は紙面より奥に結合が存在していることを示している。)

化学問題 III

次の文章を読んで、問1～問5に答えよ。必要であれば、原子量として $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$ を用いよ。気体はすべて理想気体とする。

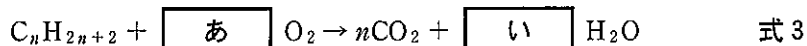
天然ガスはメタンやエタン等の炭素数の少ないアルカンを主成分とする化石燃料である。他の化石燃料と比較して燃焼時の窒素酸化物や硫黄酸化物の排出量が少なく、環境負荷が低いという特徴から、火力発電の燃料等に利用されている。

天然ガスを燃焼させて動力源とする自動車の排気ガス中には、燃焼せずに残った少量のメタンが含まれる。メタンは二酸化炭素の約25倍の温室効果をもつとも言われており、環境に放出する前に取り除くことが求められる。そのための技術の一つに、ある種の触媒を使い、炎を出さずにメタンを燃焼させる触媒燃焼と呼ばれる方法がある。この反応では、メタンと酸素の反応により一酸化炭素と水が生じ(式1)、生成した一酸化炭素がさらに酸素と反応することにより二酸化炭素となる(式2)。



この触媒のはたらきを調べるために、容積が8.00 Lで温度を自由に変えられる密閉反応容器を用いて実験を行った。触媒を入れた反応容器内に、 n_0 [mol]のメタンおよびメタンの100倍の物質質量($100 n_0$ [mol])の酸素を入れた。この混合気体の反応前の圧力(全圧)は、温度300 Kにおいて $6.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。次に、反応容器内の温度を800 Kにすると、触媒燃焼による反応が始まった。触媒の体積は無視できるものとする。

問 1 下線部(a)について、アルカン(C_nH_{2n+2})が完全燃焼するときの化学反応式は、式 3 のように表される。 あ , い にあてはまる適切な式を記せ。



問 2 下線部(b)について、火力発電には炭素を主成分とする石炭等の燃料もよく用いられる。表 1 は、炭素(黒鉛)および枝分かれや環状構造をもたないアルカンの燃焼熱をまとめたものである。これらの物質を完全燃焼させ、同じ熱量を得ようとするとき、二酸化炭素の発生量が最も少ないものを一つ選び、表中の物質名で記せ。選んだ理由も記せ。

表 1 炭素(黒鉛)およびアルカンの燃焼熱

物質名	炭素(黒鉛)(固)	メタン(気)	エタン(気)	プロパン(気)	ブタン(気)
燃焼熱 [kJ/mol]	394	891	1560	2220	2879

問 3 式 1 の熱化学方程式における反応熱 Q を求めよ。導出過程も記せ。解答の数値は整数値で示せ。ただし、メタン、一酸化炭素、二酸化炭素、水の生成熱としては表 2 に示す値を用いよ。

表 2 各物質の生成熱

物質名	メタン(気)	一酸化炭素(気)	二酸化炭素(気)	水(液)
生成熱 [kJ/mol]	75	111	394	286

問 4 図 1 は、下線部(c)で温度を 800 K にした後の反応過程における各物質の物質量の時間変化である。以下の i), ii) に答えよ。

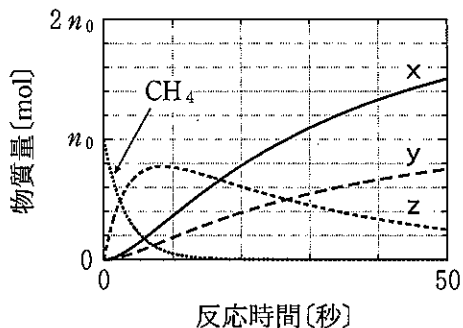


図 1 反応過程における物質量の時間変化

i) 図 1 は、メタンおよび三つの物質 x, y, z について示している。x, y, z が示す物質を化学式で記せ。

ii) 式 1 の反応の速度定数 k_1 のみが 4 倍となる触媒、および式 2 の反応の速度定数 k_2 のみが 4 倍となる触媒を使って同様の実験を行ったところ、容器内の物質量の変化の様子はそれぞれ図 2 のようになった。触媒を変える前の式 1, 式 2 の反応速度をそれぞれ v_1 と v_2 とするとき、 v_1 と v_2 の大小関係として最も適切なものを(A)~(C)から一つ選び、記号で答えよ。選んだ理由も記せ。

(A) v_1 の方が大きい (B) v_1 と v_2 は同じ程度 (C) v_2 の方が大きい

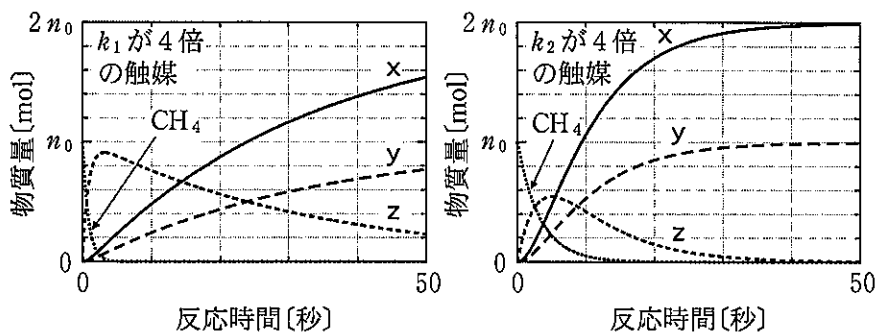
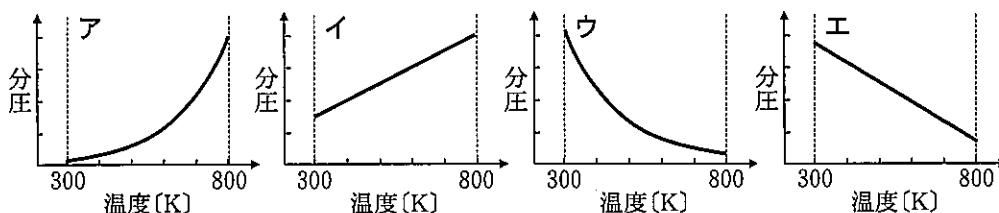


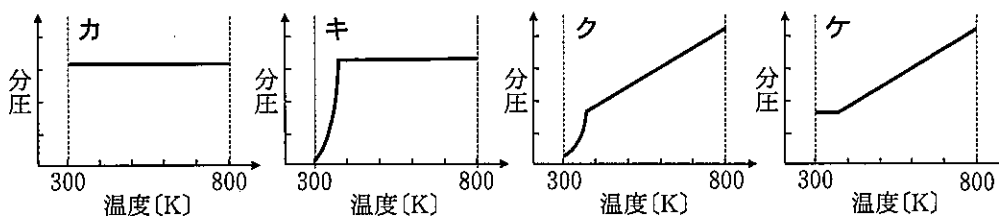
図 2 触媒の種類を変えたときの物質量の時間変化

問 5 すべてのメタンが完全に燃焼した後、容器内には二酸化炭素と水蒸気および反応せずに残った酸素が存在した。容器内の温度を、平衡状態を保ちながら 800 K から 300 K まで下げたところ、反応容器内に液体の水が生成した。このときの容器内の分圧の変化の模式図として最も適切なものを、二酸化炭素については下記のア～エから、水蒸気については下記のカ～ケからそれぞれ一つずつ選び、記号で記せ。ただし、生成した液体の水の体積と水への気体の溶解は無視できるものとする。

二酸化炭素の分圧



水蒸気の水蒸気分圧



化学問題 IV

次の文章を読んで、問1～問7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。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

タンパク質は、 α -アミノ酸が多数結合したものであり、炭水化物や脂質とともに^(a)三大栄養素と呼ばれ、生命維持には欠かすことのできない物質である。そのため食品から摂取するタンパク質の質量を把握することは、人間の健康維持のために非常に重要である。食品中のタンパク質含有量は、タンパク質中に成分元素として一定量含まれる窒素の含有量から算出する。ケルダール法と呼ばれるこの測定法では、まず、硫酸中で食品を加熱して反応させ、^(b)タンパク質中の窒素を硫酸アンモニウムに変化させる。次に、この硫酸アンモニウムからアンモニアを発生させ、その生成量からタンパク質の含有量を算出する。

生体内でおこる化学反応は、体温程度の温度で速やかに進行するのが特徴である。このことは、酵素と呼ばれるタンパク質が触媒のはたらきを担っていることに由来する。酵素の特徴として、活性が高くなる温度や pH が決まっていること、決まった基質にしか反応しない性質(基質特異性)^(c)をもつことなどが知られている。あるタンパク質を酵素により加水分解したところ、A、B、C、Dの4種類のアミノ酸によって構成されるペプチドXが得られた。さらに詳しく解析すると、アミノ酸Aはアルギニンであることがわかった。また残りの3種類は図1のアミノ酸一覧のどれかであることもわかった。そこでこのペプチドXを用いて以下の実験1、2を行った。

実験1 ペプチドXの水溶液に濃硝酸を加えて加熱したのち、アンモニア水を加えると水溶液が橙黄色を呈した。

実験2 ペプチドXの水溶液に水酸化ナトリウムを加えて加熱したのち、酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を加えると黒色の沈殿が生じた。

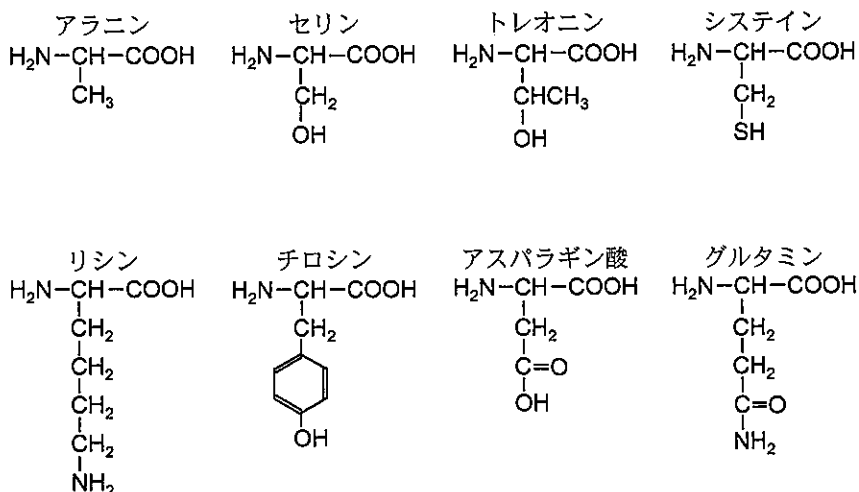


図1 アミノ酸一覧

問1 下線部(a)について、タンパク質の構造に関する次の文章の ア ~ ウ にあてはまる最も適切な語を記せ。

タンパク質を構成するポリペプチド鎖のアミノ酸配列順序は一次構造と呼ばれる。ポリペプチド鎖は、ペプチド結合の部分で ア 結合することにより、規則的に繰り返される α -ヘリックスや イ と呼ばれる二次構造を形成する。ポリペプチド鎖はさらに複雑に折れ曲がり、イオン結合や共有結合である ウ 結合などで三次構造を形成する。さらに三次構造をとったタンパク質がいくつか集合して複合体をつることがある。このような構造を四次構造とよび、一部のタンパク質はこの状態で特定の生理機能を発揮する。

問2 下線部(b)の測定法を用いて、ある食品1.00gを分析したところ、アンモニアの生成量は 6.20×10^{-2} gであった。この食品1.00gに含まれるタンパク質の質量を求めよ。導出過程も記せ。ただし、タンパク質中に成分元素として含まれる窒素の質量パーセント濃度は16.0%であり、これらの窒素はすべてアンモニアに変換されたものとする。

問 3 アミノ酸 B はその分子内に二つの不斉炭素原子を持つことが明らかとなった。アミノ酸 B として適切なアミノ酸を図 1 から一つ選び、その名称を記せ。

問 4 実験 1 の結果はアミノ酸 C によるものであった。このときアミノ酸 C として適切なアミノ酸を図 1 から一つ選び、その名称を記せ。またこの反応の名称を記せ。

問 5 実験 2 の結果はアミノ酸 D によるものであった。このときアミノ酸 D として適切なアミノ酸を図 1 から一つ選び、その名称を記せ。また、このとき生じる黒色沈殿の原因である物質の化学式を記せ。

問 6 下線部(c)の基質特異性が現れる理由を、立体構造の観点から簡潔に記せ。

問 7 あるアミノ酸 Y は水溶液中で図 2 に示すような 2 段階の電離平衡を示す。電離定数が $K_1 = 5.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 、 $K_2 = 2.00 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$ であるとき、以下の i), ii) に答えよ。

i) 図 2 の 工 にあてはまる構造式を記せ。

ii) 等電点とは、平衡状態に達した溶液中のアミノ酸 Y の電荷の総和が 0 になった時の pH の値である。アミノ酸 Y の等電点を求めよ。導出過程も記せ。

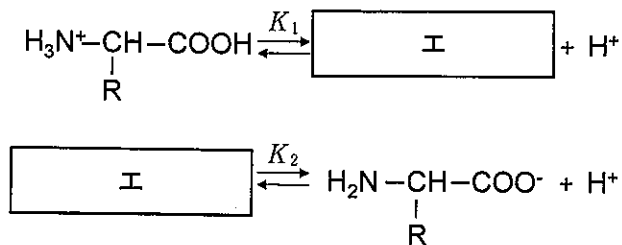


図 2 アミノ酸 Y の電離平衡 (R : 電離しない置換基)

理科の試験問題は次に続く。

生 物

生物問題 I

次の文章を読み、問 1～問 6 に答えよ。

ブタの肝臓片(カタラーゼを多く含む)を使った酵素反応に関する以下の実験を行った。

【材料】

新鮮なブタの肝臓片(米粒大)，3% 過酸化水素水(質量%)，酸化マンガン(IV)，10% 塩酸(質量%)，蒸留水

【方法】

A から E の 5 本の試験管を用意し、以下の処理を施した。A と B と C には十分にすり潰したブタの肝臓片を入れた後、A と B には蒸留水を、C には 10% 塩酸をそれぞれ 1 mL 加えてよくかき混ぜた。一方、D と E には少量の酸化マンガン(IV)と共に蒸留水 1 mL を加えてよくかき混ぜた。さらに、B と E は 70℃ 以上に加熱したお湯に 10 分間浸した後、室温まで冷却した。準備ができれば、すべての試験管に 3% 過酸化水素水 5 mL を流し入れ、反応を観察した。

【結果】

A と D と E の試験管では気体の発生が観察されたが、B と C の試験管では同様の反応はみられなかった。

問 1 この実験の目的は何か。以下の(あ)～(お)から適切なものを一つ選べ。

- (あ) カタラーゼのはたらきとそれに対するブタ肝臓片の影響を調べる。
- (い) カタラーゼのはたらきとそれに対する加熱と酸の影響を調べる。
- (う) 酸化マンガンののはたらきとそれに対する加熱とブタ肝臓片の影響を調べる。
- (え) 酸化マンガンののはたらきとそれに対するカタラーゼの影響を調べる。
- (お) 過酸化水素水のはたらきとそれに対する加熱と酸の影響を調べる。

問 2 B と C で気体が発生しなかった理由を 40 字以内で説明せよ。

問 3 この実験でみられる，酸化マンガン(IV)のようなはたらきをする物質のことを触媒と呼ぶが，この実験でDの処理が加えられた理由は何か。句読点を含めて40字以内で説明せよ。ただし，(IV)は一文字として数える。

問 4 この実験で，過酸化水素は基質と呼ばれる。気体の単位時間当たりの発生量は，カタラーゼの量が同じとき，基質の濃度を変えると，この濃度に依存して変化する。時間当たりの発生量から反応速度を計算し，基質濃度との関係を調べると図1のaの曲線のようになることがわかる。

(1) 基質濃度がある程度以上高くなると反応速度が一定の値に近づく理由について，句読点を含めて80字以内で説明せよ。

(2) 基質以外の物質が酵素に結合し，酵素反応の速度を低下させることがある。このような物質を阻害物質と呼び，競争的阻害と非競争的阻害が知られている。図1のbとcの曲線はこの阻害物質が含まれる場合の例を示したものである。bとcどちらの曲線が競争的阻害でどちらが非競争的阻害かを答え，それぞれの阻害作用について50字以内で説明せよ。

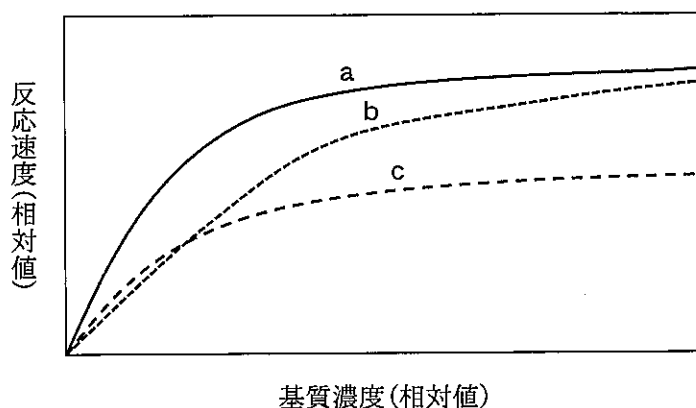


図1 酵素の反応速度と基質濃度の関係

問 5 私たちの体内にはカタラーゼの他にもさまざまな酵素が存在する。このような酵素を以下の(あ)~(き)の中から三つ選び記号で答えよ。

- (あ) メラニン (い) インテグリン (う) トリプシン (え) カドヘリン
(お) ペプシン (か) グアニン (き) アミラーゼ

問 6 A と D と E の試験管で発生した気体の名称と、それを確かめるための簡単な方法を答えよ。

理科の試験問題は次に続く。

生物問題 II

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

生物集団がもつ遺伝子の集合全体を **ア** と呼ぶ。**ア** について、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つとき、^(a) 遺伝子頻度は世代間で変化しない。しかし実際の集団では、これを妨げるさまざまな要因がはたらいっている。その一つは **イ** 変異をもたらす突然変異であり、染色体や ^(b) DNA の塩基配列が変化する。突然変異によって生じた形質の変異が、生存や繁殖に有利となる場合、^(c) 自然選択がはたらき集団内の遺伝子頻度が変化する。また生存や繁殖に有利でも不利でもない突然変異であったとしても、まったくの偶然により遺伝子頻度が変化する場合もあり、これを **ウ** と呼ぶ。

生息地が分断されて孤立化すると、他の集団からの個体の **エ** が制限され、集団が小さくなる。そのような集団では、**ウ** の影響が大きくなり、^(d) **イ** 多様性の低下が進行しやすい。

問 1 ア ~ エ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について、1000 個体で構成される単一種の植物集団を考える。この植物は有性生殖を行って種子のみで増殖する。集団内に存在する花色の遺伝子型は、赤色が遺伝子型 AA と遺伝子型 Aa, 白色が遺伝子型 aa である。各遺伝子型の個体数は、AA が 490 個体, Aa が 420 個体, aa が 90 個体であった。花色は一つの遺伝子によって決まっており、集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立っている。これについて、次の問いに答えよ。

- (1) この集団全体で、花色に対する対立遺伝子 A の頻度 p と対立遺伝子 a の頻度 q は、それぞれいくつになるか答えよ。ただし、 $p + q = 1$ とする。
- (2) この集団から種子を採取し、その中から無作為に S 個選んで開花まで育てた。 S 個体のうち、各遺伝子型の予測される個体数を p, q, S を用いて示せ。
- (3) (2)において $S = 3200$ のとき、赤色の個体数を答えよ。

問 3 下線部(b)について、次の問いに答えよ。

(1) この原因となる外的な環境要因を一つ挙げよ。

(2) この変化に関する説明として、 ~ に適切な語句を入れよ。

塩基配列の1塩基が別の塩基に されても、指定するアミノ酸が変化しない場合には形質に影響しない。しかしながら、指定するアミノ酸が変化したり、アミノ酸を指定していたコドンが コドンに置き換わると大きな影響が生じることがある。またヌクレオチドが もしくは することでフレームシフトが起こり、コドンの読み枠がずれてそれ以降のアミノ酸配列が大きく変わることがある。この場合も形質に影響をおよぼす可能性が高い。

問 4 下線部(c)について、生存に有利な突然変異をもつ個体が存在することで、集団を構成する個体が世代を経るにつれてどのように変化するか、句読点を含めて60字以内で説明せよ。

問 5 下線部(c)によるところが大きいと考えられるものを(あ)~(お)から二つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 一株から株分けした水草を流速の異なる水槽で栽培したところ、株間で葉の形態に変異が生じた。
- (い) ある島にくちばしの大きさと形に大きな変異のみられる鳥がいた。ある年に干ばつで小さい果実が少なくなった。その翌年に、くちばしの少し大きい子供の個体の割合が増えた。
- (う) 血液型が A 型の父親と B 型の母親から AB 型の子が生まれた。
- (え) ヘモグロビン α 鎖のアミノ酸配列中で異なるアミノ酸の数は、ヒトとイヌでは 24 であるのに対して、ヒトとサメでは 79 である。
- (お) 明色型か暗色型の体色を示すガでは、ほとんどの個体が明色型だった。しかし年々工業化が進行し、煙やすすが大気中に排出される工業地帯では暗色型の割合が高くなっていった。

問 6 下線部(d)において、交配相手が限られることで、集団内の個体の適応度が低下する可能性がある。その理由を、語群の語句をすべて用いて句読点を含めて 40 字以内で説明せよ。

語群：出生率，近親個体，近交弱勢

7. 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。
8. 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。
9. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけません。
10. 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。