



理 科

(120分)

環境科学部・工学部・人間文化学部

物理(1～9ページ) 化学(11～20ページ) 生物(21～34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。
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)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理、化学、生物のうちから2科目選択ください。
 - ・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題を解答ください。
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・問題を解答ください。
 - ・物理、化学、生物のうちから1科目選択ください。
 - ・物理を選択する場合、「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答ください。
 - ・化学を選択する場合、「化学問題Ⅰ」～「化学問題Ⅳ」の4題を解答ください。
 - ・生物を選択する場合、「生物問題Ⅰ」～「生物問題Ⅳ」の4題を解答ください。
5. 工学部(材料科学科)を受験する者は、次の科目・問題を解答ください。
 - ・物理、化学の2科目を選択ください。
 - ・物理は、「物理問題Ⅰ」、「物理問題Ⅱ」の2題を解答ください。
 - ・化学は、「化学問題Ⅰ」、「化学問題Ⅱ」の2題を解答ください。
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・問題を解答ください。
 - ・物理のみ解答ください。
 - ・「物理問題Ⅰ」～「物理問題Ⅳ」の4題を解答ください。

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。

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。
 - ・化学のみ解答しなさい。
 - ・「化学問題Ⅰ」～「化学問題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。
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、 に適した式を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に答えよ。なお、重力加速度の大きさは g [m/s²]、円周率は π とする。

図1(a)のように密度の一様な断面積 S [m²]、質量 M [kg] の円柱が、密度 ρ [kg/m³] の液体に浮かんで静止している。座標軸 x [m] は鉛直下向きを正とし、静止時の円柱の下面の位置を原点 ($x = 0$) とする。円柱は傾くことなく鉛直方向にのみ運動する。円柱はじゅうぶんに長く、円柱の上面が液面より下になることはない。また、円柱は液体からは浮力のみを受け、円柱が運動しても液面の乱れや高さの変化はないものとし、空気の抵抗も無視できるものとする。

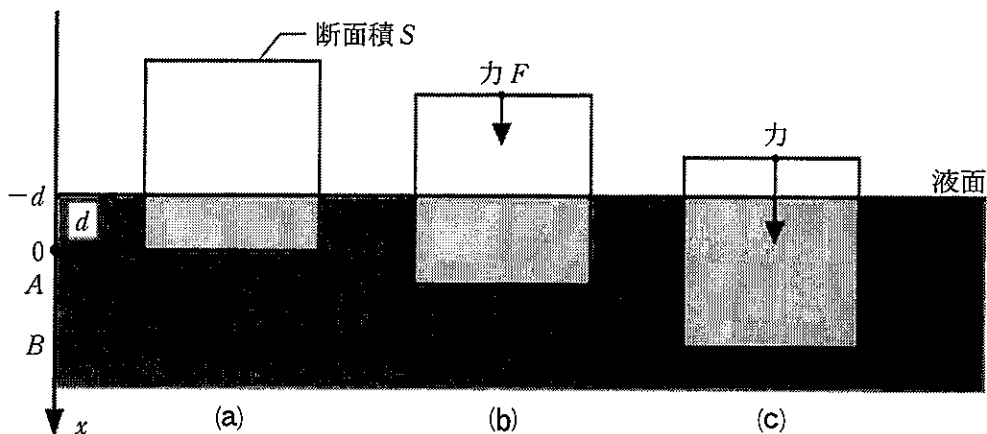


図 1

最初、円柱が静止して浮かんでいるとき、液面と円柱の下面の間の距離は d [m] であった(図1(a))。このとき、円柱にはたらく浮力の大きさは、円柱によって排除された液体の重さに等しいので、 g 、 S 、 ρ 、 d を用いて [N] と表せる。また、浮力は鉛直上向きにはたらくので、重力と浮力のつり合いは、

$$Mg - \text{} = 0$$

と表せる。したがって $d = \boxed{\text{イ}}$ [m] と表せる。

つぎに、円柱に鉛直下向きに力 F [N] を加えて静かに移動させ、円柱の下面が $x = A$ [m] ($0 < A \leq d$) となる位置で静止させた (図 1 (b))。 A は、円柱にはたらく力のつり合いから、 g , F , S , ρ を用いて $\boxed{\text{ウ}}$ と表せる。その後、時刻 $t = 0$ のときに、力 F を瞬時に取り去ると、円柱は運動を始めた。運動している円柱の下面の位置を x , 円柱の加速度を a [m/s²] とおけば、円柱の運動方程式は、

$$Ma = \boxed{\text{エ}} + Mg$$

と表せる。また、 $d = \boxed{\text{イ}}$ の関係を上式に代入すれば、

$$Ma = - \boxed{\text{オ}} x$$

となる。上式の右辺は復元力であるので、円柱の運動は、ばね定数が $\boxed{\text{オ}}$ [N/m] で質量が M のばね振り子の単振動と考えることができる。

問 1 この単振動の周期 T [s] を、 g , M , S , ρ を用いて表せ。また、円柱の下面の位置 x の変化を、 $t = 0$ から 1 周期分、解答欄に作図せよ。

再び、円柱が静止して浮かんでいる状態に戻した (図 1 (a))。その状態から、円柱に鉛直下向きに力を加えて静かに移動させ、円柱の下面が $x = B$ [m] ($B > d$) となる位置で静止させた (図 1 (c))。その後、力を瞬時に取り去ると円柱は運動を始め、やがて円柱の下面が液面より上に飛び出し、円柱の下面が液面から $4d$ の高さに達した直後に落下し始めた。

問 2 図 1 (c) の状態での円柱の力学的エネルギーは、ばね定数が $\boxed{\text{オ}}$, 伸びが $d + B$ のばねの弾性力による位置エネルギーと、重力による位置エネルギーの和と考えることができる。このときの円柱の力学的エネルギーを求めよ。ただし、重力による位置エネルギーの基準水平面は液面 ($x = -d$) とする。

問 3 B を、 d を用いて表せ。なお、この円柱の運動では、力学的エネルギー保存則が成り立つものとする。解答には導出過程も示すこと。

物理問題 II

次の文を読んで、 に適した式または数値を解答欄に記入せよ。また、問1～問4に答えよ。問2および問3には導出過程も示せ。なお、気体定数を R [J/(mol·K)] とする。

なめらかに動くことのできるピストンをもつシリンダーの内部に、1 mol の単原子分子理想気体が閉じ込められている。この気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m³] が、図1に示すように A→B→C→A の順に1サイクルの変化をする熱機関について考える。ここで、過程 A→B は定積変化、過程 B→C は等温変化、過程 C→A は定圧変化である。ただし、状態 A の体積は V_0 [m³]、圧力は p_0 [Pa]、状態 B の圧力は $4p_0$ [Pa] である。

まず、状態 A の温度は ア [K]、状態 B の温度は イ [K] と表すことができるので、過程 A→B における内部エネルギーの変化は ウ [J] である。また、過程 A→B において気体が外部にした仕事は エ [J] であるので、熱力学第1法則から過程 A→B において外部から気体に加えられた熱量は オ [J] と求めることができる。

つぎに、過程 B→C における内部エネルギーの変化は カ [J] であり、状態 C の体積は キ [m³] である。

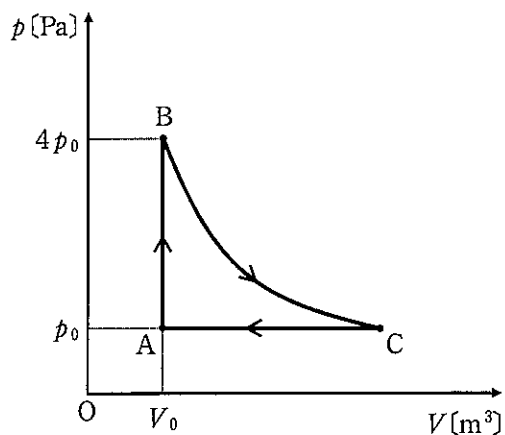



図1

さらに、過程 C→A における温度変化は $\boxed{\text{ク}}$ [K] であるので、このときの内部エネルギーの変化は $\boxed{\text{ケ}}$ [J] である。また、過程 C→A において気体が外部にした仕事は $\boxed{\text{コ}}$ [J]、外部から気体に加えられた熱量は $\boxed{\text{サ}}$ [J] と求めることができる。

A→B→C→A の 1 サイクルの間に、熱機関が外部にする仕事は近似的に $2.5 p_0 V_0$ [J] と表されることがわかっている。以下の問いでは必要に応じてこの値を用いてよい。

問 1 過程 B→C において気体が外部にした仕事は、 p - V グラフ上のある領域の面積に等しい。解答欄のグラフ上において、その領域に斜線() を記入せよ。また、過程 B→C において気体が外部にした仕事を p_0 、 V_0 を用いて表せ。

問 2 過程 B→C において外部から気体に加えられた熱量を p_0 、 V_0 を用いて表せ。

問 3 この熱機関の熱効率はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。

問 4 過程 B→C を、断熱変化の過程 B→D に変更し、状態 D の圧力は状態 C と同じ p_0 [Pa] とした。このとき、状態 C の温度 T_C [K] と、状態 D の温度 T_D [K] の大小関係として適切なものは、下記の選択肢の中のどれか。解答欄の適切なものを丸で囲め。また、そのような大小関係となる理由を、熱力学第 1 法則を用いて説明せよ。

温度の大小関係の選択肢 { $T_C < T_D$, $T_C = T_D$, $T_C > T_D$ }

物理問題 III

次の文を読んで、 に適した式または数値を解答欄に記入せよ。また、問1～問3に答えよ。ただし、問1および問2には導出過程も示せ。なお、真空の誘電率を ϵ_0 (F/m) とする。

図1に示すように、金属板でできた同じ大きさの極板A、Bからなる平行板コンデンサーがあり、極板間は真空となっている。極板の幅が L (m)、奥行きが D (m)、極板間隔が d (m) である。なお、 d は L と D に比べてじゅうぶんに小さく、極板間の電気力線は極板に対して垂直であると考えてよいものとする。図2に示すように、この平行板コンデンサー、起電力 V (V) の電池、抵抗値 R (Ω) の抵抗、およびスイッチを導線で接続した。最初、スイッチは開いており、コンデンサーに電荷は蓄えられていないものとする。なお、導線の電気抵抗と電池の内部抵抗は無視できるものとする。

スイッチを閉じた直後、抵抗に加わる電圧は ア (V)、コンデンサーの極板間の電位差は イ (V) であり、抵抗を流れる電流は ウ (A) である。スイッチを閉じてからじゅうぶんに時間が経過したとき、抵抗に加わる電圧は エ (V)、コンデンサーの極板間の電位差は オ (V) となり、抵抗を流れる電流は カ (A) となる。このとき、コンデンサーに蓄えられている電気量 Q_0 (C) と静電エネルギー U_0 (J) は、 ϵ_0 、 d 、 L 、 D 、 V を用いて、それぞれ $Q_0 =$ キ (C)、 $U_0 =$ ク (J) と求められる。

つぎに、スイッチを閉じた状態で、図3に示すように、コンデンサーの極板A、B間に、幅 L (m)、奥行き D (m)、厚さ d (m) で比誘電率が2の誘電体を、極板と重なるように極板の端から挿入していく。なお、極板と誘電体との間の摩擦はないものとする。極板と誘電体が重なる長さを x (m) ($0 \leq x \leq L$) とすると、そのときのコンデンサーの電気容量 C (F) は、極板の幅 x 、奥行き D 、極板間隔 d 、誘電率 ケ (F/m) のコンデンサー C_1 と、極板の幅 $L - x$ 、奥行き D 、極板間隔 d 、誘電率 ϵ_0 のコンデンサー C_2 を並列接続したときの合成容量と等しくなる。

問 1 誘電体を x だけ挿入してからじゅうぶんに時間が経過したときに、コンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U [J] を x , L , U_0 を用いて表せ。

つづいて、スイッチを閉じた状態で誘電体を完全に挿入し ($x = L$)、じゅうぶんに時間が経過した後、スイッチを開いた。このとき、コンデンサーの電気量 Q_1 [C] は、 ϵ_0 , d , L , D , V を用いて $Q_1 = \boxed{\text{コ}}$ [C] と表される。

問 2 その後、スイッチを開いた状態で誘電体をゆっくりと引き抜いていき、極板と誘電体が重なる長さが x となったとき、コンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U [J] を x , L , U_0 を用いて表せ。

問 3 問 1 のときの x と U の関係を示すグラフの概形を実線 (—) で解答欄に図示せよ。また、問 2 のときの x と U の関係を示すグラフの概形を破線 (---) で解答欄に図示せよ。ただし、それぞれのグラフについて、 $x = 0$, L における U の値を黒丸 (●) で示せ。

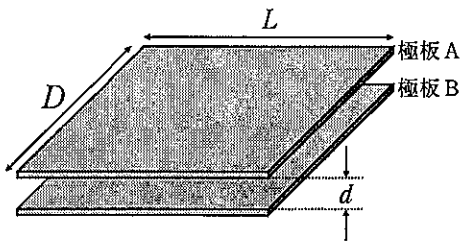


図 1

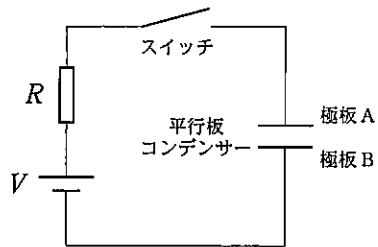


図 2

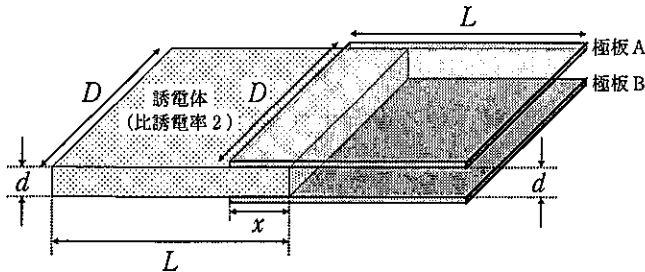


図 3

物理問題 IV

次の文を読んで、 に適した式を、 には適切な語句を語群から選び、解答欄に記入せよ。< >については解答欄の適するものを丸で囲め。また、問に答えよ。

- (1) 図1のように、屈折率 n_1 の媒質 I から屈折率 n_2 の媒質 II へ光が進む場合を考える。このとき、媒質 I での光の速さ v_1 [m/s] と媒質 II での光の速さ v_2 [m/s] は、真空中の光の速さ c [m/s] を用いて、それぞれ、 $v_1 =$, $v_2 =$ と表せる。したがって、屈折の法則から、媒質 I に対する媒質 II の相対屈折率 n_{12} は、 n_1 と n_2 を用いて、 $n_{12} =$ となる。また、このときの光の入射角を i 、屈折角を r とすると、 n_{12} は、 i と r を用いて、 とも表せる。

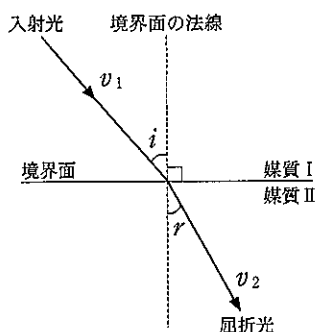


図 1

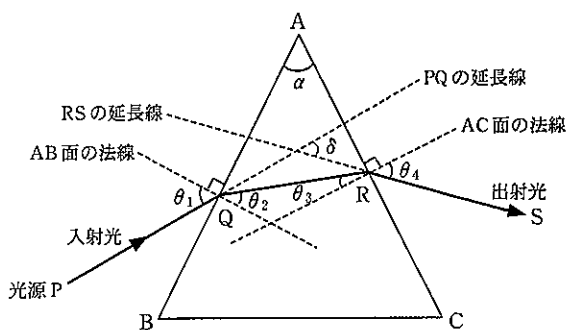


図 2

- (2) 白色光をプリズムに入射させると、光の波長(つまり色)によって屈折率が異なるため、プリズムを通過した白色光はいろいろな色に分かれる。この現象を光の といひ、波長ごとに分かれた光の色の模様を という。

図2のように空気中で、頂角 α ($0 < \alpha < 90^\circ$) の三角形 ABC を断面に持つガラス製プリズムに単色光を入射させる場合の光の経路を考える。光源 P から出た単色光はプリズムの AB 面上の点 Q から入射角 θ_1 ($\theta_1 > 0$) で入射され、AC 面上の点 R から屈折角 θ_4 で空気中へ出て、S の方向へ進む。ここで、入射光 PQ と出射光 RS のなす角(ふれ角)を δ 、空気の屈折率を 1、プリズムの屈折率を n ($n > 1$) とする。

プリズムのAB面での屈折角を θ_2 とすると、 $\sin \theta_2$ は、 n と θ_1 を用いて、 $\sin \theta_2 =$ と表せる。一方、AC面での入射角を θ_3 とすると、 $\sin \theta_4$ は、 n と θ_3 を用いて、 $\sin \theta_4 =$ と表せる。ここで、 θ_3 は、 $\theta_3 = \alpha - \theta_2$ と表すことができるため、 θ_4 と θ_2 の間には、 $\sin \theta_4 =$ の関係がある。また、ふれ角 δ は、 θ_4 、 θ_1 、 α を用いて、 $\delta =$ と表せる。一般に、可視光域におけるガラスや水の屈折率は、波長の短い光ほど大きいことが知られている。このため、紫色と赤色の単色光が図2の点Qから同じ入射角 θ_1 でプリズムに入射した場合、両者の屈折角とふれ角は次のような大小関係となる。AB面における紫色と赤色の単色光の屈折角 θ_2 をそれぞれ $\theta_{2紫}$ と $\theta_{2赤}$ とすると、両者の大小関係は<サ>： $\theta_{2紫} > \theta_{2赤}$ 、 $\theta_{2紫} = \theta_{2赤}$ 、 $\theta_{2紫} < \theta_{2赤}$ >となる。また、AC面における紫色と赤色の単色光の屈折角 θ_4 をそれぞれ $\theta_{4紫}$ と $\theta_{4赤}$ とすると、両者の大小関係は<シ>： $\theta_{4紫} > \theta_{4赤}$ 、 $\theta_{4紫} = \theta_{4赤}$ 、 $\theta_{4紫} < \theta_{4赤}$ >となる。したがって、紫色と赤色の単色光の δ をそれぞれ $\delta_{紫}$ と $\delta_{赤}$ とすると、 $\delta =$ の式から、両者の大小関係は<ス>： $\delta_{紫} > \delta_{赤}$ 、 $\delta_{紫} = \delta_{赤}$ 、 $\delta_{紫} < \delta_{赤}$ >となることがわかる。

語群

散乱
スペクトル
干渉
全反射
分散
偏光

問題は次のページに続く。

(3) 太陽光が大気中の水滴に入射することで生じる虹の形成について考える。なお、水滴(水)の屈折率は大気(空気)の屈折率より大きいものとする。

図3のように、光源Aから出て入射角 θ_1 ($\theta_1 > 0$)で点Bから水滴に入射し、屈折角 θ_2 で屈折した後、点Cで反射され、点Dから空気中に出て、Eの方向へ進む単色光の経路を考える。なお、水滴を中心Oの球とみなし、点B、C、D、Oは同一平面上にあり、光はこの平面上を進むものとする。また、入射光ABと出射光DEの延長線の交点をPとし、それらのなす角を ϕ とする。 ϕ は、 θ_1 と θ_2 を用いて、 $\phi = \boxed{\text{セ}}$ と表せる。よって、紫色と赤色の単色光が図3の点Bから同じ入射角 θ_1 で水滴に入射した場合、紫色と赤色の単色光の ϕ をそれぞれ $\phi_{紫}$ と $\phi_{赤}$ とすると、両者の大小関係は<ソ>： $\phi_{紫} > \phi_{赤}$ 、 $\phi_{紫} = \phi_{赤}$ 、 $\phi_{紫} < \phi_{赤}$ >となる。赤色の単色光の場合、入射光と観察者の目に入る出射光のなす角 ϕ が約 42° となる場合に、出射光の強さが最大となる。出射光の強さが最大となる角 ϕ は波長によって少しずつ異なるため、虹はいろいろな色に色づいて見える。

問 下線の場合における紫色の単色光の経路を、既に解答欄に図示されている赤色の単色光の経路ABCDEとの違いがわかるように解答欄の図中に実線で記入せよ。なお、紫色の単色光が水滴内で反射する点をC'、水滴から空気中に出ていく点および空気中に出てから光が向かう方向を、それぞれ、D'とE'として図中に記入せよ。

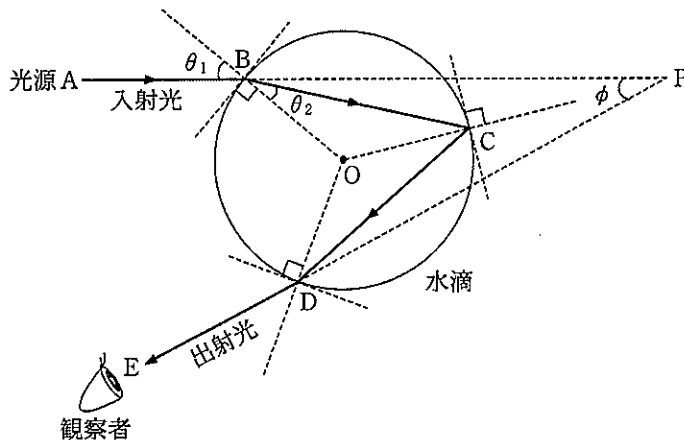


図3

理科の試験問題は次に続く。

化 学

化学問題 I

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 $H = 1.0$, $C = 12.0$, $N = 14.0$, $O = 16.0$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。また、標準状態における理想気体 1.00 mol の体積を 22.4 L とする。

理想気体の体積は、物質量、圧力、温度だけで決まり、物質の種類によらない。これに対し、実在気体の体積は物質の種類によって異なる。同一条件における実在気体の体積を V 、理想気体の体積を V_i とすると、それらの比の値 $Z = V/V_i$ は圧縮係数または圧縮率因子と呼ばれる。図1に理想気体と、実在気体であるメタン(CH_4)、アンモニア(NH_3)について、 27°C における圧縮係数 Z と圧力 P の関係の概略を示す。

天然ガスの主成分であるメタンは、 27°C では低圧から高圧まで気体であるため、そのままでは貯蔵が困難である。そのため、 -160°C 以下の低温で液体に保つ必要がある。一方、低温・高圧においてメタンと水を反応させて「メタンハイドレート」と呼ばれる固体を生成すれば、 -30°C 程度、 10 気圧以下でそのまま存在できる。メタンハイドレートは複数の水分子がメタン分子をかご状にとり囲み、さらにそれが規則正しく並んだ構造をもつ化合物である。この化合物は日本近辺の深海中に多く存在すると考えられており、エネルギー資源としての研究もすすめられている。

問1 図1で、圧力が高い領域において、実在気体では Z が1より大きくなる理由を説明せよ。

問2 図1における Z の値について、圧力が低い領域においてメタンとアンモニアの Z の値が1より小さくなる理由を説明せよ。またアンモニアの Z の値がメタンの Z の値より小さくなる理由を説明せよ。

問 3 メタンハイドレートの化学式は $4\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (固) で表される (n は整数)。これと酸素が反応して完全に酸化(燃焼)すると、 H_2O (液) と CO_2 (気) だけが生成した。この反応熱を Q_1 とするとき、この燃焼反応を、 n を含んだ熱化学方程式で記せ。

問 4 CH_4 (気) の燃焼熱を Q_M とする。4 mol の CH_4 (気) と n mol の H_2O (液) から 4 mol のメタンを含むメタンハイドレート $4\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (固) が生成される反応の反応熱 Q_F を、 Q_M と問 3 における Q_1 を用いて表せ。導出過程も記せ。

問 5 ある一定の質量のメタンハイドレート ($4\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) を完全に燃焼させたところ、 CO_2 (気) と水が発生した。発生した CO_2 (気) の体積は標準状態においては 179.2 L であり、発生した水の質量は 1116 g であった。 n の値(整数)を求めよ。導出過程も記せ。

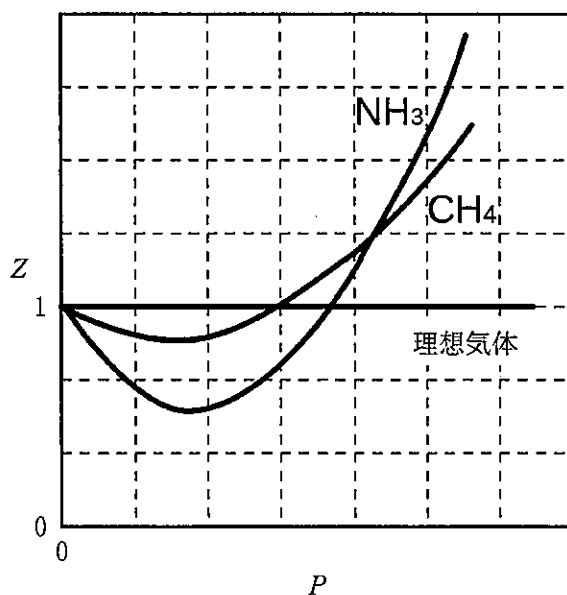


図 1 27°C におけるメタン、アンモニアおよび理想気体の圧縮係数 Z と圧力 P の関係の概略

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, 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。

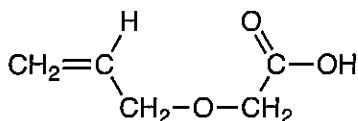


図1 構造式の例

高分子材料は身のまわりのさまざまなところで用いられている。合成ゴムもその一つであり、その原料となる化合物Aは、アルコールBとカルボン酸Cの反応によって得られる。Bは不斉炭素原子をもたず、分子式は $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ で表される。また、Cは吸水性高分子の主要原料であり、酸無水物Dの加水分解によって得られる。この加水分解反応では、1分子のDから2分子のCが生成する。Dは分子量が126であり、炭素、水素、酸素のみからなる。

Cを水中で水酸化ナトリウムと反応させたのち、架橋剤と呼ばれる化合物と組み合(a)わせて重合させ、乾燥させると吸水性高分子が得られる。吸水性高分子は三次元的な網目状構造をもち、水の中につけると、図2のように水を吸い込んで体積が大きくなる。

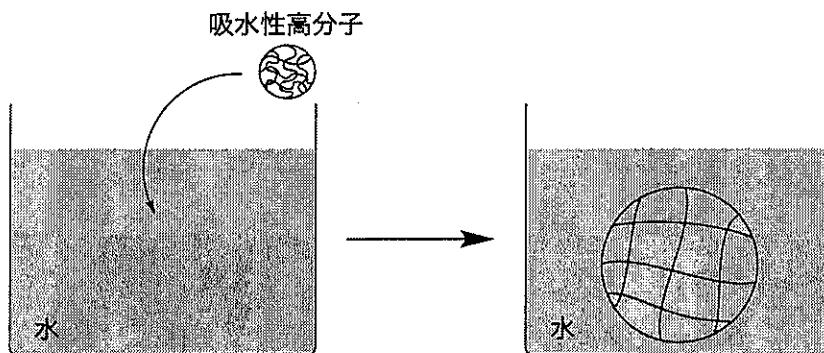


図2 吸水性高分子が水を吸う様子

この吸水性高分子が水を吸う様子は、以下のように単純化して考えることができる。『Cから得た吸水性高分子の内部は、表面を境として外部と隔てられ、その表面を通して水のみが出入りできる。吸水性高分子の内部には高分子、イオン、そして水が存在するのに対し、外部には水しか存在しない。この吸水性高分子の内外に含まれる物質の水に対する濃度の差に応じて浸透圧が生じる。これにより、水が浸透して高分子の網目が広がる。高分子の網目が広がると、ゴムと同じように元に戻ろうとする力も生じる。この力と浸透圧がつりあうところまで吸水性高分子の体積は増加することができる。』

問 1 $C_4H_{10}O$ のアルコールとして考えられる構造はいくつあるか数字で答えよ。鏡像異性体(光学異性体)は区別しないものとする。

問 2 アルコール B を酸化するとカルボン酸が得られた。B として考えられる構造式をすべて記せ。

問 3 25.2 mg の酸無水物 D を完全に燃焼させたところ、二酸化炭素が 52.8 mg と水が 10.8 mg 生じた。D の分子式を答えよ。導出過程も記せ。

問 4 カルボン酸 C の構造式を記せ。

問 5 n 個のカルボン酸 C を同じ物質量的水酸化ナトリウムと反応させたのち、重合させて得られる高分子の構造を記せ。なお、末端の構造は無視してよい。

問 6 下線部(a)の吸水性高分子を飽和食塩水の中につけると、純水の中につけたときよりも体積が小さくなる。この理由を説明せよ。

化学問題 III

次の文を読んで、問1～問3に答えよ。必要であれば、原子量として $O = 16.0$ を用いよ。解答の数値は有効数字2桁で示せ。

滋賀県は農地面積の90%以上が水田で、米の生産が非常に盛んな地域である。水田からは特に4月下旬から5月上旬にかけて、濁水と呼ばれるにごり水が周辺の河川へ多く流出する。この濁水は、にごりのもととなる粘土や有機物が沈殿せずに分散したコロイド溶液となっており、河川を通じて琵琶湖まで流れ込みやすく、水質汚濁に強く影響する。

河川や湖沼の水質汚濁の程度を評価する指標の一つに化学的酸素要求量(COD)がある。CODは水中の有機物の量を表す指標で、試料水に過マンガン酸カリウムなどの酸化剤を加えることで、有機物を化学的に酸化し、そのときに消費した酸化剤の量を酸素の消費量として換算した値であり、単位はmg/Lが用いられる。

問1 次の(ア)～(オ)のコロイドに関する記述のうち正しいものをすべて選び、記号で記せ。

- (ア) コロイド粒子の直径は 10^{-3} m 程度であるため、ろ紙を通過できない。
- (イ) コロイドが光を吸収することをチンダル現象という。
- (ウ) コロイド粒子のブラウン運動は、溶媒分子の熱運動による。
- (エ) 水に対する親和性が低いコロイドを特に保護コロイドという。
- (オ) コロイド粒子を分散させている物質を分散媒という。

問 2 下線部(a)について、この濁水を U 字管に入れ直流電圧をかけると、分散しているコロイド粒子は陽極側へ移動した。次の i), ii) に答えよ。

i) 分散しているコロイド粒子は、正・負どちらに帯電しているかを記せ。

ii) 分散しているコロイド粒子を最も凝析させやすいと考えられるのは、次のうちのどれか。(あ)~(お)から最も適切なものを選び、記号で記せ。なお、溶解させる塩の物質量はすべて同じとする。

(あ) KNO_3 (い) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (う) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ (え) NaCl (お) Na_2SO_4

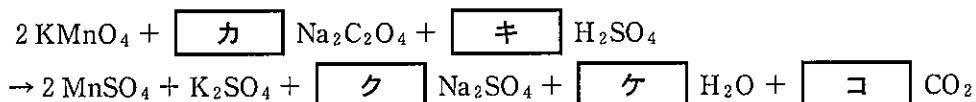
問 3 下線部(b)について、ある河川から試料水(濁水)を採水し、以下の操作 1 ~ 3 を順に行うことで COD を求めた。i) ~ vi) に答えよ。

操作 1 試料水 100 mL をビーカーに入れ、硫酸を加え酸性にした。これに、 2.00×10^{-3} mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を 10.0 mL 加え、沸騰水の中でビーカーごと 30 分間加熱した。このとき、過マンガン酸カリウムは試料水中の有機物との反応にのみ使われた。加熱後のビーカー内の溶液は、未反応の過マンガン酸カリウムが残っているため赤紫色を呈していた。

操作 2 操作 1 のビーカーを沸騰水から取り出し、 5.00×10^{-3} mol/L のシュウ酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)水溶液を 10.0 mL 加え、残った過マンガン酸カリウムとよく反応させた。このとき、シュウ酸ナトリウムによって過マンガン酸カリウムが完全に反応し、ビーカー内の溶液の赤紫色は消えた。

操作3 操作2で赤紫色が消えたビーカー内の溶液を50~60℃に保ち、溶液内に残ったシュウ酸ナトリウムに対し 2.00×10^{-3} mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液で滴定を行なったところ、終点までに8.00 mLを要した。

i) 硫酸酸性下における過マンガン酸カリウムとシュウ酸ナトリウムの化学反応式は以下のとおりである。 ~ に適切な数字を入れて、化学反応式を完成させよ。

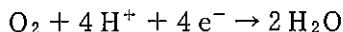


ii) 操作2のあとで未反応のまま残ったシュウ酸ナトリウムの物質量を求めよ。計算過程も記せ。

iii) 操作1のあとで残った過マンガン酸カリウムの物質量を求めよ。計算過程も記せ。

iv) 操作1において、試料水中の有機物と反応した過マンガン酸カリウムの物質量を求めよ。計算過程も記せ。

v) 過マンガン酸カリウム1.00 molは酸化剤として酸素(O_2)何mgに相当するか求めよ。計算過程も記せ。なお、酸素の還元は電子 e^- を含む次のイオン反応式で表される。



vi) 試料水のCOD[mg/L]を求めよ。計算過程も記せ。

理科の試験問題は次に続く。

化学問題 IV

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 $H = 1.0$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $Na = 23.0$, $I = 127$ を用いよ。解答の数値は特に指定のない限り有効数字3桁で示せ。また、標準状態における理想気体 1.00 mol の体積を 22.4 L とする。

油脂は動植物に含まれている脂肪酸のエステルであり、常温で液体の油と固体の脂に分類される。油脂1分子あたりの炭素原子間の二重結合の数を知る目安がヨウ素価である。炭素原子間の二重結合をもたない脂肪酸である 脂肪酸が多い油脂は、炭素原子間の二重結合をもつ脂肪酸である 脂肪酸が多い油脂と比較して融点が 。油脂に水酸化ナトリウムや水酸化カリウムの水溶液を加えて加水分解することを と呼び、反応後に三価アルコールである化合物 と脂肪酸の塩を生じる。この脂肪酸の塩のうち、高級脂肪酸の塩がセッケンであり、セッケンの水溶液は弱い塩基性を示す。 また硬水はカルシウムやマグネシウムなどの二価イオンを多く含むため、硬水中でセッケンを使用するとセッケンの洗浄力が低下する。

問1 ～ に適切な語句、 に適切な化合物名を記せ。

問2 1分子と1種類の高級脂肪酸3分子から構成される油脂の一般式を、図1にならって記せ。ただし、高級脂肪酸の炭化水素基を R で表せ。

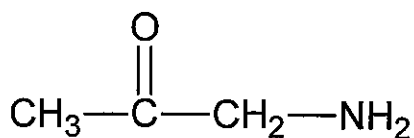


図1 一般式の例

問 3 下線部(a)について、セッケンの水溶液が弱い塩基性となる理由を、反応式を用いて説明せよ。なお、セッケンの分子の炭化水素基を R で表せ。

問 4 下線部(b)について、硬水中でセッケンの洗浄力が低下する理由を説明せよ。

問 5 分子量が 884 の油脂 X が 22.10 g ある。この油脂 X に水素を完全に付加した。以下の i), ii) に答えよ。なお、油脂 X は問 2 で示すように、 1 分子と 1 種類の高級脂肪酸 3 分子から構成される油脂である。また油脂 X を構成する脂肪酸の炭素原子間の結合のうち、一つのみが二重結合であり、ほかはすべて単結合である。

i) このように水素を完全に付加した油脂の総称を記せ。

ii) 油脂 X に付加した水素の標準状態における体積を記せ。計算過程も記せ。
なお、水素は理想気体とする。

問 6 油脂 Y は構成する脂肪酸として脂肪酸 Z のみをもつ。以下の i), ii) に答えよ。なお、油脂 Y は問 2 で示すように、 1 分子と高級脂肪酸 3 分子から構成される油脂である。また 1 分子の脂肪酸 Z の炭素原子間の結合のうち、 m 個のみが二重結合であり、ほかはすべて単結合である。

i) 油脂 Y 73.17 g を完全に加水分解するために、水酸化ナトリウムの無水物(無水塩)が 10.00 g 必要であった。油脂 Y の分子量を求めよ。計算過程も記せ。

ii) 油脂 Y のヨウ素価を求める目的で、油脂 Y 87.80 g に必要十分以上の量のヨウ素を反応させた。このときヨウ素は 152.40 g 反応した。1 分子の脂肪酸 Z に含まれる炭素原子間の二重結合の数 m を整数値で記せ。計算過程も記せ。

生 物

生物問題 I

次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

ある場所にすむすべての生物と、そのまわりの非生物的環境をひとまとまりにとらえたものを生態系という。この生態系内で、非生物的環境が生物にさまざまな影響を及ぼすことを **ア** といい、一方で生物が生活することによって非生物的環境に影響を及ぼすことを **イ** という。生態系内の生物は、光合成を行う植物などの **ウ**， **ウ** の有機物を直接・間接に取り込んで栄養源にする **エ**，さらに **ウ**， **エ** の枯死体・遺体・排出物などの有機物を分解する分解者に分けられ、これらにより系内での食物連鎖や炭素などの物質の循環が成立する。
(a)

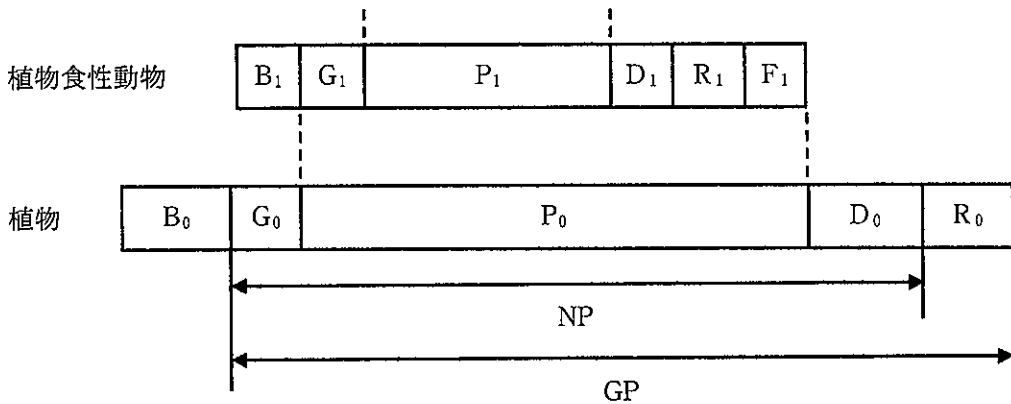


図1 生態系における栄養段階ごとの有機物の収支

ただし、動物食性動物は省略してある。B: 現存量, G: 成長量, P: 被食量, D: 枯死・死滅量, R: 呼吸量, F: 不消化排出量, GP: 総生産量, NP: 純生産量

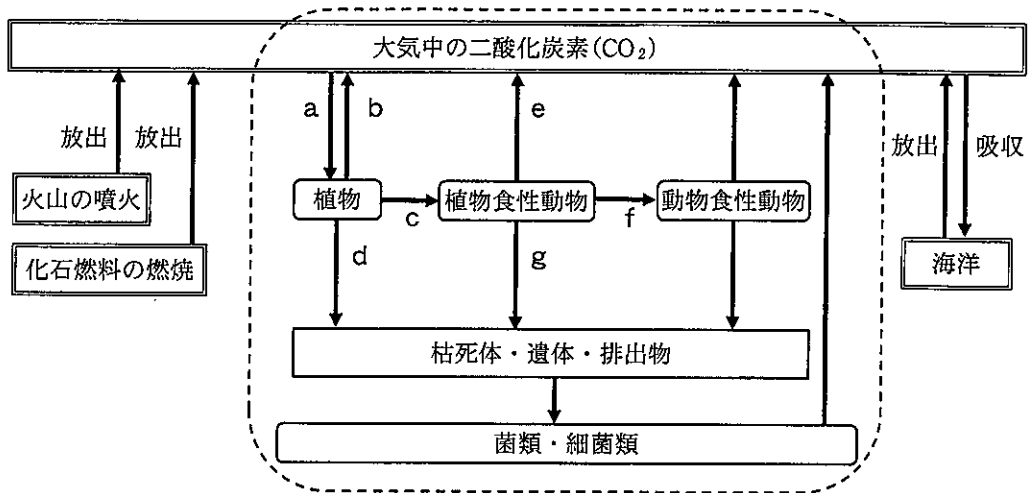


図2 地球および生態系(破線内)における炭素の循環

問1 ~ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)に関して、図1は各栄養段階における有機物の収支を示している。また、図2は地球および生態系における炭素循環の概要を示している。図2中のa~gそれぞれにあてはまるものを、図1中のGP, NP, B₀, G₀, P₀, D₀, R₀, B₁, G₁, P₁, D₁, R₁, F₁のうちから選んで記せ。

問3 陸上生態系のうち森林生態系は、他の生態系に比べて現存量や生産量が多く、炭素循環の規模が大きい。ここで、ある森林生態系において、植物の総生産量が10 t/(ha・年)、呼吸量が5 t/(ha・年)、枯死・落下量が3 t/(ha・年)、分解者の呼吸量が1 t/(ha・年)であるとする。このときの植物の純生産量、成長量、および森林生態系全体が一年間に蓄積する炭素量(炭素蓄積量)をそれぞれ求めよ。計算過程も示せ。なお、森林生態系では、一般に動物による植物の被食量や動物の死滅量は植物の枯死・落下量に比べて圧倒的に少なく、ここでは無視できるものとする。

問 4 一般に、森林の植生は、林齢(森林の年齢)が若いうちは炭素吸収・固定能力が高いが、老齢になるとその能力は落ち、年間の炭素吸収・固定量がほぼゼロになる場合があることも知られている。この理由について、適切な用語を用いて句読点も含め 60 字以内で説明せよ。

問 5 次の文章を読み、 と に適切な語句を入れよ。

大気中の二酸化炭素やメタン、 などの物質は、地表から放射される赤外線を吸収し、その一部を地表に再放射して地表付近の気温を上昇させる。これを大気による という。近年、 のはたらきをもつこれらの物質の多くで、大気中濃度が上昇してきた。このことが地球温暖化の主な原因と考えられている。

問 6 近年の大気中の二酸化炭素濃度の上昇は、主に化石燃料の燃焼が原因と考えられている。この化石燃料と薪や木炭などの木質燃料の炭素循環における特徴の違いについて、句読点も含め 130 字以内で説明せよ。

問 7 大気中の二酸化炭素の濃度上昇を抑制するために、今後地球上の森林を管理する上で、どのような点に注意する必要があると考えられるか。「純生産量」「面積」「伐採」の用語を用いて、句読点も含め 80 字以内で述べよ。

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7に答えよ。

20世紀後半から、バイオテクノロジーの技術は著しく発展してきた。例えば、PCR法(ポリメラーゼ連鎖反応法)を用いることで、わずかな鋳型DNAをもとに、同一のDNAを多量に複製することができる。^(a) PCRで増幅されたDNAは電気泳動することで、バンドとして検出することができる。DNAは負(-)に帯電するため、電気泳動を行うとゲルの中を 極から 極に向かって移動する。このとき、ゲルの細かい網目構造の中を DNAほどゆっくり移動し、 DNAほど速く移動するため、DNA断片を分離することができる。DNAマーカーと比較すれば、調べたいDNA断片の大きさ(単位はbp、塩基対と同じ意味)を推定することもできる。また、制限酵素と呼ばれる酵素は、DNAの特定の塩基配列を認識してその部分を切断する。^(b) DNAが制限酵素によって切断されたことも電気泳動によって確かめることができる。こうした技術を用いることで、本来は目に見えないDNA配列の違いを実験室内で検出することも可能である。

ここでは、酵母(学名 *Saccharomyces cerevisiae*)の突然変異体のDNA配列を調べてみよう。酵母は世界中で古くからパンや酒造りに利用されてきた菌類である。正常な酵母(野生型の酵母)に突然変異を起こさせ、アルコール発酵がうまくできない突然変異体二株(変異体①および変異体②)を得た。これらの突然変異体では、アルコール発酵に重要な役割を持つ遺伝子Xに突然変異が起きているのではないかと仮説を立てた。そこで、遺伝子Xにどのような突然変異が起こっているかを調べるために、野生型、変異体①、変異体②から、それぞれのDNAを抽出し、次の【実験1】～【実験5】を行った。ただし、この実験で用いた酵母は一倍体(n)であり、二倍体($2n$)のように対立遺伝子の存在を考慮する必要はない。

- 【実験1】 プライマー A と C を用いて PCR を行ない，電気泳動した。
- 【実験2】 プライマー B と C を用いて PCR を行ない，電気泳動した。
- 【実験3】 【実験1】で PCR により増幅したそれぞれの DNA 断片に対して，制限酵素 *EcoR* I で切断し，電気泳動した。
- 【実験4】 【実験1】で PCR により増幅したそれぞれの DNA 断片に対して，制限酵素 *Bam*H I で切断し，電気泳動した。
- 【実験5】 【実験1】で PCR により増幅したそれぞれの DNA 断片に対して，制限酵素 *Sal* I で切断し，電気泳動した。

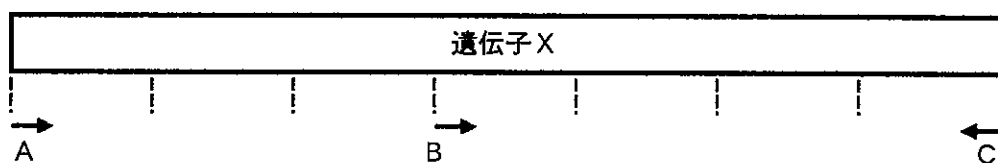


図1 遺伝子 X とプライマー (A~C) の位置

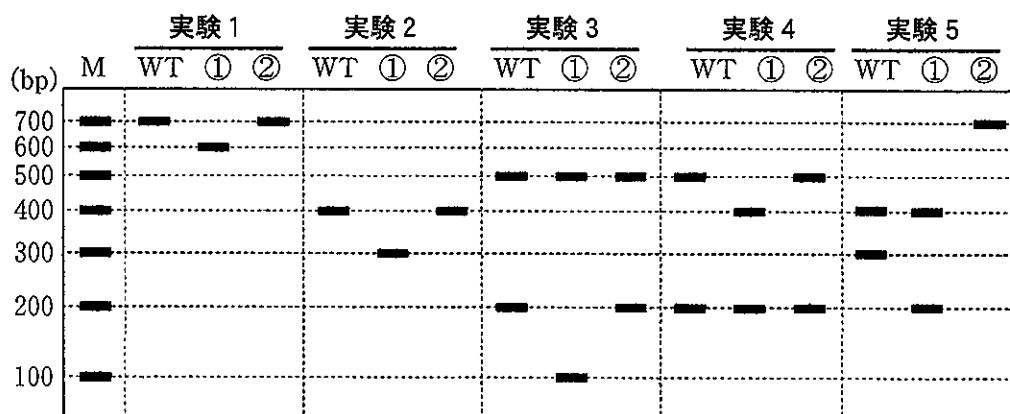


図2 実験1～5における電気泳動の結果

(M : DNA 分子量マーカー，WT : 野生型，① : 変異体①，② : 変異体②)

問 1 ア ~ エ に入る適切な語句の組み合わせを、下記の(A)~(D)の中から一つ選び記号で答えよ。

- | | | | |
|---------|-----|------|------|
| (A) ア + | イ - | ウ 長い | エ 短い |
| (B) ア + | イ - | ウ 短い | エ 長い |
| (C) ア - | イ + | ウ 長い | エ 短い |
| (D) ア - | イ + | ウ 短い | エ 長い |

問 2 下線部(a)について、PCR 法では約 95 °C で二本鎖 DNA を一本鎖に解離させ、約 60 °C でプライマーを結合させ、約 70 °C で新生鎖を合成させる。これを 30 回繰り返す PCR を理想的な条件で行った場合、同一の DNA は何倍程度に増幅されるか。下記の(A)~(E)の中から最も近いものを一つ選び記号で答えよ。また、その計算過程を説明せよ。

- | | | |
|----------------|-------------------|----------------|
| (A) 約 10^3 倍 | (B) 約 10^5 倍 | (C) 約 10^7 倍 |
| (D) 約 10^9 倍 | (E) 約 10^{11} 倍 | |

問 3 下線部(b)について、*Pme* I という制限酵素は、特定の 8 塩基対を識別して、破線の位置で切断する(図 3)。DNA の塩基配列がランダムであると仮定すると、約 460 万塩基対からなる大腸菌の DNA を *Pme* I で切断したとき、いくつの断片が生じると考えられるか。下記の(A)~(E)の中から一つ選び記号で答えよ。

- | | | |
|--------------|---------------|--------------|
| (A) 約 70 個 | (B) 約 280 個 | (C) 約 1120 個 |
| (D) 約 4500 個 | (E) 約 18000 個 | |



図 3 *Pme* I の 8 塩基対 (bp) の認識配列

問 4 【実験 1】と【実験 2】の結果のみから考えると、変異体①では遺伝子 X にどのような突然変異が起きていると推測できるか。図 4 の記入例を参考にして、突然変異が起きている部位を図に示し、そのように判断した理由を答えよ。

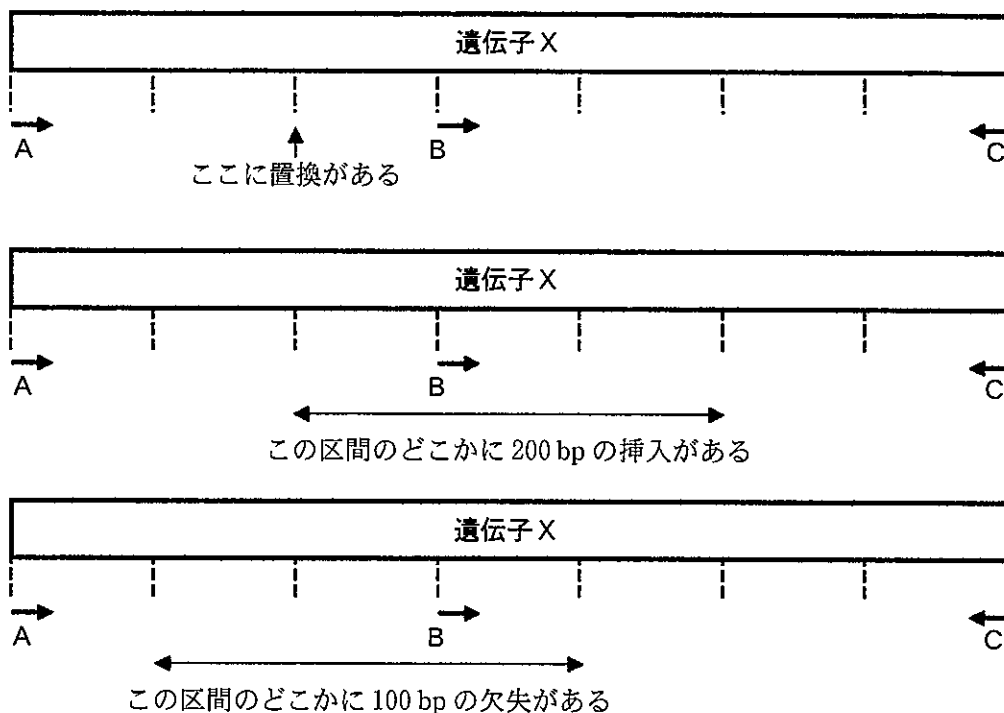


図 4 突然変異の記入例

問 5 【実験 1】から【実験 5】のすべての結果から考えると、野生型の遺伝子 X の中で制限酵素 *EcoR* I, *BamH* I, *Sal* I で切断される箇所はそれぞれどこであると推定できるか。図 5 の記入例を参考にして、切断箇所を記入せよ。

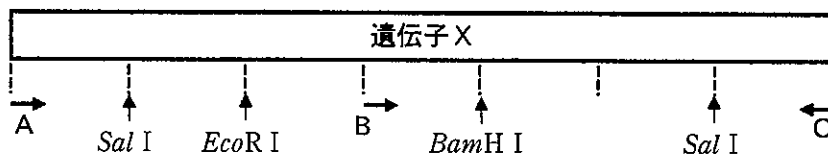


図 5 制限酵素名の記入例

問 6 【実験 1】から【実験 5】のすべての結果から考えると，変異体①では遺伝子 X にどのような突然変異が起きていると推測できるか。図 4 の記入例を参考にし，突然変異が起きている部位を図に示し，そのように判断した理由を答えよ。

問 7 【実験 1】から【実験 5】のすべての結果から考えると，変異体②では遺伝子 X にどのような突然変異が起きていると推測できるか。図 4 の記入例を参考にし，突然変異が起きている部位を図に示し，そのように判断した理由を答えよ。

理科の試験問題は次に続く。

生物問題 III

次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

外界からの刺激は受容器(感覚器)で受け取られ、電気信号として中枢神経系へ送られる。脳では刺激に応じた感覚が生じ、筋肉や腺などの効果器へと命令が送られる。神経系を構成する基本単位としてニューロン(神経細胞)があり、興奮は電気信号や化学信号として伝えられる。^(a)

ヒトの眼は刺激(光)を受け取り網膜上に像を写す。網膜には と の二種類の視細胞がある。 はうす暗い場所でよく働き、 は明るい場所で働き色の区別にも関与する。ヒトやサルなどの霊長類の には青、緑、赤の三種類が存在するが、イヌ、ネコ、ウシなど他の多くの哺乳類では二種類のみ存在する。一方、鳥類は青、緑、赤に加えて紫外線も感知することができる。

ヒトの耳には音を受容するだけでなくからだの傾きや回転を受容する働きもある。^(b) 内耳にはうずまき管にくわえて前庭と がある。前庭では感覚細胞の上に がのっておりからだが傾くと感覚毛が曲げられ、からだの傾きを受容する。 ではリンパ液の流れの変化からからだの回転を受容している。

^(c) ヒトの鼻や舌にはそれぞれ ・ と呼ばれる感覚細胞が存在している。 は空気中を拡散してくる化学物質を受け取って興奮し、 は水などに溶けた化学物質を受け取って興奮する。

問1 ～ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(a)について、一つのニューロンだけに着目した場合“全か無かの法則”が成り立つ。“全か無かの法則”とはどのようなものか、「刺激」「閾値」の用語を用いて句読点も含め60字以内で説明せよ。

問 3 下線部(b)について、音の高低はうずまき管にある基底膜で識別される。音の高低と基底膜の振動について正しい記述を(A)~(D)から一つ選び記号で答えよ。

- (A) 高音は低音よりもうずまき管の先端部(頂部)に近い基底膜を振動させやすい
- (B) 高音は低音よりもうずまき管の入り口(基部)に近い基底膜を振動させやすい
- (C) 高音も低音も基底膜をまんべんなく振動させるが、その強弱が異なる
- (D) 高音も低音もうずまき管の入り口(基部)に近い基底膜を振動させるが、音が大きくなるとうずまき管の先端部(頂部)に近い基底膜を振動させる

問 4 下線部(c)について、8種類のにおい物質あ~くとそれに結合するにおい受容体1~5の組み合わせは表1のようであった。表1から考えられる正しい記述を(A)~(D)から一つ選び記号で答えよ。

表1 におい物質とにおい受容体の結合状況

		におい受容体				
		1	2	3	4	5
におい物質	あ	○		○	○	
	い		○			○
	う	○	○		○	
	え		○	○		
	お			○	○	
	か				○	○
	き	○				○
	く			○		○

におい物質がにおい受容体に結合した場合を○とする

- (A) 受容体は複数の物質に結合するのではなく、一種類の物質に特異的に結合する
- (B) 複数の物質が一種類の受容体と結合することで、受容体の興奮は大きくなる
- (C) どの受容体も結合できる物質の数は同じである
- (D) 物質と受容体は複雑な組み合わせによって認識されるため、受容体の種類よりも多くの物質の種類を識別できる

生物問題 IV

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

植物の成育にとって光は重要な要素である。太陽光は、さまざまな波長の光を含む混合光であり、光環境は植物の成長反応に大きな影響を及ぼしている。

光合成は光エネルギーを利用して、二酸化炭素と水から糖などの有機物を合成する過程であり、葉緑体で行われる。葉緑体の **ア** 膜上には、光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱと呼ばれる二種類の反応系があり、数百個の光合成色素がタンパク質といっしょになって、色素タンパク質複合体を形成している。主要な光合成色素のうち、**イ** は、光の吸収や光化学系の反応中心として機能している。カロテンやキサントフィルなどの **ウ** は、青色光の吸収だけではなく、過剰な光エネルギーを熱エネルギーに変換して無害化する役割を担っていると考えられている。

光は光合成のエネルギーとしてだけではなく、植物の環境応答にとって重要な情報にもなっている。例えば、植物は **エ** と呼ばれる物質によって光環境を感知しており、そのうち赤色光と遠赤色光を受容するタンパク質を **オ** と呼ぶ。このタンパク質が関与する現象にはレタスの種子発芽が知られており、赤色光を受けたこのタンパク質が植物ホルモンである **カ** の合成を誘導し種子が発芽する。また、葉に光が当たり、孔辺細胞の **キ** が青色光を感知すると、孔辺細胞内にカリウムイオンが流入する結果、孔辺細胞の体積や膨圧が増加して、気孔が開くことも知られている。

生物が日長に対して反応する性質を **キ** といい、植物の中には、一日のうちの明暗条件の変化によって花芽を形成するものが存在する。そのような植物のうち、暗期が一定時間より長くなると花芽を形成するものを **ク** 植物、一定時間より短くなると花芽を形成するものを **ケ** 植物という。オナモミを用いた実験結果から、花芽形成を誘導する物質である **コ** が、日長を感知した葉で合成され、茎頂分裂組織に移動することで花芽の分化が促進されると、以前より考えられてきた。その後の生物学の進歩により、花芽形成が促進される日長条件下におくと、シロイヌナズナでは FT タンパク質、イネでは **サ** タンパク質が、それぞれ葉で合成されることが明らかとなり、現在では、これらのタンパク質が **コ** の実体であると考えられている。

問 1 ア ~ サ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(a)について、光合成色素の光の波長に対する特性の観点から、植物の葉が緑色に見える理由を、句読点も含め 50 字以内で説明せよ。なお、解答には「光合成色素」の語句を必ず使用すること。

問 3 下線部(b)について、水、温度が発芽にとって十分な条件である場合、植物が生い茂っている場所の地表面にレタスの種子を置くと、発芽はどのような影響を受けるか。句読点も含め 60 字以内で説明せよ。

問 4 下線部(c)について、次の問いに答えよ。

- (1) 孔辺細胞で青色光を感知するタンパク質の名称を答えよ。
- (2) 青色光を感知して、莖の伸長抑制に関与するタンパク質の名称を答えよ。

問 5 近年、天候や季節にかかわらず安定的な植物の生産を行うことができる植物工場が日本国内で注目されている。植物工場では様々な環境が調節され、人工光源を用いて屋内で植物の生産を行っている。このような植物工場に関して、次の問いに答えよ。

- (1) 人工光源として発光ダイオード(LED)が使用される場合、単色の赤色光源と単色の青色光源を混合して植物に光を照射することがある。二種類の光源のみを混合して光を照射し、植物を栽培する利点について、文章中の内容に基づいて二つ答えよ。
- (2) 植物工場では一般に明期を長くして、光合成が行える時間を長くすることで、植物の成育を促進している。このような条件で、実際にレタスが生産され、収穫物が販売されている。そこで、レタスの栽培と同じ、明期が長く常温の環境条件とした植物工場では、秋まきコムギを栽培したところ、葉が茂るばかりで、食用にするための種子を収穫できなかった。上記の条件で種子を収穫するためには、どのような工夫が必要か。句読点も含め 40 字以内で説明せよ。