

令和8年度入学試験問題（前期日程）

理 科

初等教育教員養成課程
理数教育プログラム（理科系科目）

中等教育教員養成課程
中等教育プログラム 理科専攻

物 理	1
化 学	7
生 物	1 5
地 学	2 5

注意事項

1. 解答は、すべて別紙解答紙の指定の箇所に記入すること。
2. 解答紙には、必ず受験番号を記入すること。

物 理

[1]

図 1 のように、一定の加速度 \vec{b} (加速度の大きさ $b = |\vec{b}|$) で動いている部屋の中で、水平な床面から仰角 α で質量 m の小球 (大きさは無視) を初速度 \vec{v}_0 (初速度の大きさ $v_0 = |\vec{v}_0|$) で投げ出した。加速度 \vec{b} と初速度 \vec{v}_0 は同一鉛直面内 (すなわち、図 1 の紙面内) にあるものとし、 \vec{b} と床面のなす角を θ とする。小球を投げ出した位置を原点 O (部屋の中に固定) として、床面に沿った水平面を x 軸にとり、鉛直上向き方向を y 軸にとる。また、小球を投げ上げた時刻を $t = 0$ とする。床面はなめらかで十分に長く、部屋の高さは十分に高いものとする。重力加速度 \vec{g} (重力加速度の大きさ $g = |\vec{g}|$) の向きは鉛直下向きとし、空気抵抗はないものとする。角度 α と θ はそれぞれ $0 < \alpha < \pi/2$ 、 $0 < \theta < \pi/2$ を満たすものとする。次の各問いでは、部屋の中にいる観測者から見たときの、小球が床面に衝突するまでの運動について考える。各問いに導出過程を含めて答えよ。なお、必要であれば以下の三角関数の公式 $\sin 2\beta = 2\sin\beta \cos\beta$ 、 $\cos 2\beta = \cos^2\beta - \sin^2\beta = 2\cos^2\beta - 1 = 1 - 2\sin^2\beta$ 、 $c \sin\beta + d \cos\beta = \sqrt{c^2 + d^2} \sin(\beta + \gamma)$ (ただし、 $\cos\gamma = c/\sqrt{c^2 + d^2}$ 、 $\sin\gamma = d/\sqrt{c^2 + d^2}$) を用いてよい。

- (問1) 小球にはたらく力の x 成分、 y 成分を求めよ。
- (問2) 時刻 t における小球の速度の x 成分、 y 成分を求めよ。
- (問3) 時刻 t における小球の位置の x 成分、 y 成分を求めよ。
- (問4) 小球が床面と衝突する時刻 t (ただし、 $t > 0$) を求めよ。
- (問5) 小球が床面と衝突する点の原点 O からの距離 L を求めよ。
- (問6) α を変数、 θ を定数としたとき、距離 L の最大値を求めよ。

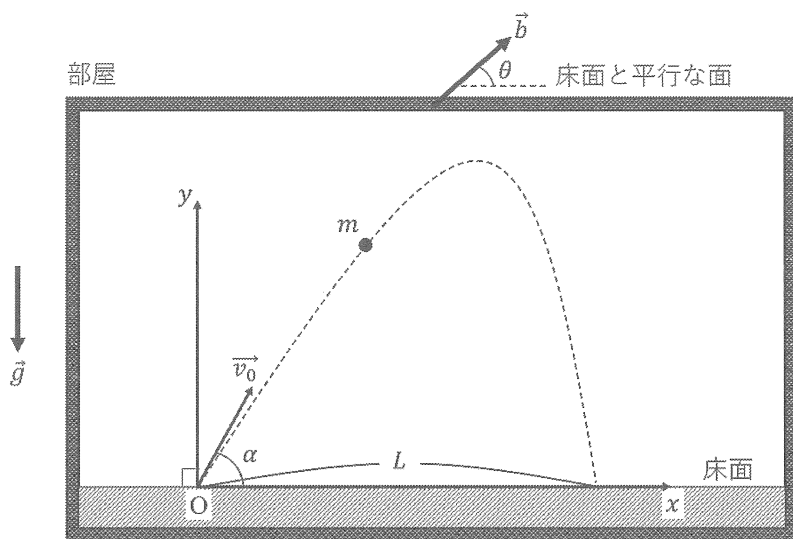


図 1

[2]

図 2 のように、半径 a の球形容器（容器の中心 O ）に理想気体が入っている場合の気体分子運動論を考える。分子はみな同じ質量 m 、速さ v をもち、図 2 のように内壁上に入射角 θ で完全弾性衝突を行い、分子同士は衝突しないものとする。また、容器の質量は十分に大きいため、分子の内壁への衝突によって O の位置が変わることはないものとする。次の各問いに導出過程を含めて答えよ。

- (問1) 分子 1 個が 1 回の衝突で内壁から受ける力積の大きさを求めよ。
- (問2) 単位時間に分子 1 個が内壁に衝突する回数を求めよ。
- (問3) 単位時間に分子 1 個が内壁に与える力の大きさを求めよ。
- (問4) 容器内の分子の総数を N とし、容器の体積を V としたとき、気体の圧力 P を N 、 V 、 m 、および v を用いて表せ。
- (問5) 上記の (問 4) の結果と理想気体の状態方程式 (気体定数を R 、アボガドロ定数を N_0 、温度を T とする) を比較したとき、分子 1 個の運動エネルギー $(mv^2)/2$ を R 、 N_0 、 V 、 T のうち必要なものを用いて表せ。また、この結果の物理的意味について答えよ。

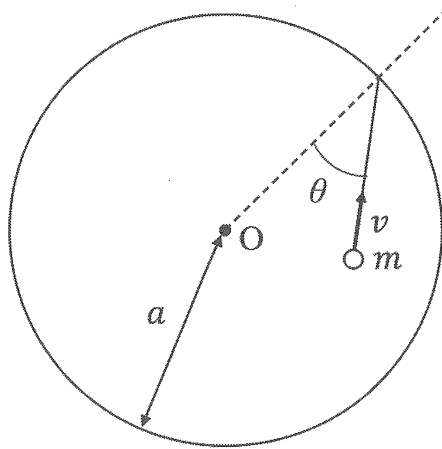


図 2

[3]

1897年、J. J. トムソンは、陰極線が電界や磁界で曲げられる様子を観測することで、陰極線が負の電荷であることを示した。また、陰極線粒子の比電荷 e/m を測定し、このことは電子の発見に大きく貢献した。ここではトムソンの実験に倣って、陰極線すなわち電子の比電荷を測定する方法を調べる。電子の電荷を $-e$ ($e > 0$)、質量を m とする。ただし、重力の影響は考えなくてよい。

まず、図3のように、陰極から出た電子は陽極までの間で加速されて陽極の穴から速さ v_0 で飛び出し、平行板電極（偏向板）CD間に入る。偏向板に電圧がかかっていなければ、電子は直進して蛍光面上の点Oにあたる。この直進方向を x 軸とする。図3のように蛍光面に y 軸をとると、偏向板は x 軸と y 軸に対してそれぞれ平行、垂直となる。偏向板の間隔は d 、長さは l である。いま、偏向板に電圧 V をかけると、極板間だけに様な電界ができ、電子が偏向板を通過するとき電界から力を受けてその軌跡は曲げられる。偏向板の端から蛍光面までの距離を L とする。次の各問いに導出過程を含めて答えよ。

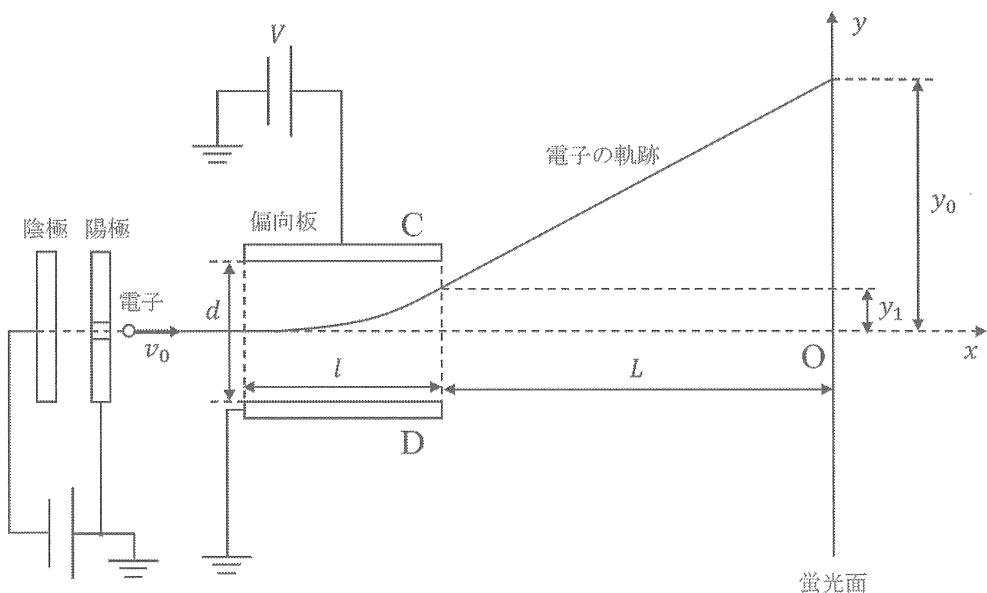


図 3

(問1) 電子が偏向板を出るときの電子の速さを求めよ。

(問2) 電子が偏向板を出るときの y 軸方向の変位 y_1 を求めよ。

(問3) 電子が蛍光面に達した時の y 軸方向の変位 y_0 を求めよ。

次に、図4のように、偏向板の電界が生じている部分（網掛け部分）のみに電界に対して垂直に磁束密度の大きさが B の磁界をかけた。CD間で電子に働くクーロン力とローレンツ力が釣り合うように電界と磁界の強さを調整すると、電子は偏向板を直進して通過し、その後蛍光面上の点 O ($y = 0$) にあたった。

(問4) 電界と磁界が生じている偏向板内部で電子が直進するには、図4の \otimes と \odot のどちらの向きに磁界をかければよいか答えよ。

(問5) 電子が偏向板内部を直進する条件から比電荷 e/m を求めよ。ただし、 V 、 B 、 d 、 l 、 L 、 y_0 を用いて表せ。

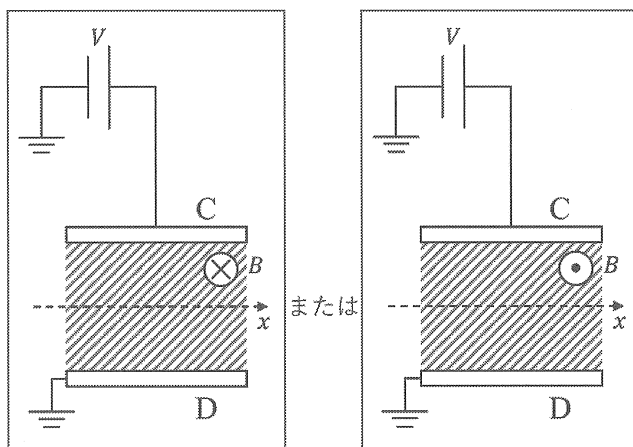


図4

[4]

振幅 A 、周期 T 、初期位相 α の正弦波が、ある媒質中を x 軸の正の向きに速さ v で進行している。このとき、 x 軸上の原点 O での媒質の変位 y は時刻 t の関数として $y = A \sin\{(2\pi t)/T + \alpha\}$ で表される。これを入射波として $x = L$ ($L > 0$) の位置で自由端反射、または、固定端反射させる。反射波は x 軸の負の向きに速さ v で進行するとし、また、反射による減衰は無視できるとする。次の各問いに導出過程を含めて答えよ。

(問1) 入射波の波長を v と T で表せ。

(問2) $x < L$ に関して、時刻 t 、位置 x における入射波の変位を t および x の関数として表せ。

(問3) $x < L$ に関して、自由端反射、固定端反射の2つの場合について、時刻 t 、位置 x における反射波の変位を t および x の関数として表せ。

(問4) 自由端反射、固定端反射の2つの場合について、入射波と反射波が重なりあつて波形の進行しない波、つまり定在波（定常波）ができることを、式を使って説明せよ。なお、必要であれば以下の式を用いてよい。

$$\sin \beta \pm \sin \gamma = 2 \sin\{(\beta \pm \gamma)/2\} \cos\{(\beta \mp \gamma)/2\}$$

(問5) 入射波の波長を λ として、 $L = (7\lambda)/4$ の場合を考える。自由端反射、固定端反射の2つの場合について、 $0 < x < L$ の範囲に含まれる節の位置をすべて求めよ。

化 学

必要なら次の値を用いよ。

原子量は次のとおりとする。 H = 1.0、 He = 4.0、 Li = 6.9、 Be = 9.0、 B = 10.8、

C = 12.0、 N = 14.0、 O = 16.0、 F = 19.0、 Na = 23.0、 Cl = 35.5

〔 1 〕 原子番号が 1 から 9 までの元素について、以下の問いに答えよ。

(問 1) 原子半径が最も大きい元素を元素記号で答えよ。

(問 2) 第一イオン化エネルギーが (1) 最も小さい原子と (2) 最も大きい原子をそれぞれ元素記号で答えよ。

(問 3) 電子親和力が最も大きい原子を元素記号で答えよ。

(問 4) 以下の条件を満たす物質の化学式を答えよ。

- (a) 1 個の原子核と 2 個の電子からなる分子
- (b) 2 個の原子核と 2 個の電子からなる分子
- (c) 5 個の価電子をもつ原子からなる単体
- (d) 1 個の価電子をもつ原子と 6 個の価電子をもつ原子からなるモル質量 34.0 g/mol の分子
- (e) 1 個の電子をもつ原子と 6 個の電子をもつ原子からなるモル質量 28.0 g/mol の分子
- (f) 2 個の原子からなり 10 個の電子をもつモル質量 20.0 g/mol の分子
- (g) 3 個の原子からなり 10 個の電子をもつ分子
- (h) 4 個の価電子をもつ原子と 6 個の価電子をもつ原子からなるモル質量 44.0 g/mol の分子
- (i) 1 個の価電子をもつ原子と 5 個の価電子をもつ原子からなる分子

(問 5) (問 4) の(c)~(e)の単体・分子の電子式を答えよ。

(問 6) (問 4) の(g)~(i)の分子の形を答えよ。

(問 7) (問 4) の(a)~(i)の中から極性分子をすべて選び、記号で答えよ。

〔2〕以下の問いに答えよ。

(問 1) アンモニアは水に溶けると一部が電離し、次の電離平衡が成立する。



溶かしたアンモニアのモル濃度は c mol/L、アンモニアの電離度は α とする。
なお、アンモニアは弱塩基であり、本問の濃度条件では、 α は 1 に比べて著しく小さいので、電離していないアンモニアの濃度 $[\text{NH}_3]$ は、もとのアンモニアの濃度 c と等しい、すなわち、 $[\text{NH}_3] = c$ と仮定する。

(1) アンモニアの電離定数 K_b を平衡時の各成分のモル濃度 $[\text{NH}_3]$ 、

$[\text{NH}_4^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ を用いて表せ。

(2) K_b を c と α を用いて表せ。

(3) 平衡時の水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ を c と K_b を用いて表せ。

(4) 平衡時の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を、 c 、 K_b および水のイオン積 K_w を用いて表せ。

(5) 25°C で 0.1 mol/L アンモニア水の電離度と pH を求めよ。ただし、25°C でのアンモニアの電離定数は $K_b = 2.3 \times 10^{-5}$ mol/L、水のイオン積は $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ mol²/L² である。 $\sqrt{2.3} = 1.5$ 、 $\log_{10} 2.3 = 0.36$ とする。 α は有効数字 2 桁で答えよ。pH は小数第 1 位まで求めよ。

(問 2) 次の塩を水に溶かしたときに起こる電離反応の式を記せ。電離によって生じたイオンが加水分解する場合は、その加水分解反応の式もあわせて記せ。また、それぞれの水溶液は酸性・中性・塩基性のいずれになるか答えよ。

- (a) Na_2SO_4 (b) NaHSO_4 (c) NH_4Cl (d) CH_3COONa (e) NaHCO_3
(f) Na_2CO_3

〔3〕 次の文章を読み、問いに答えよ。

ある濃度のスクロース（ショ糖）水溶液を調製した。このスクロース水溶液の凝固点を測定すると、 -0.370°C であった。

- (問 1) このスクロース水溶液の質量モル濃度を求めよ。ただし、水のモル凝固点降下は $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ とし、有効数字 3 桁で記せ。
- (問 2) このスクロース水溶液の沸点は何 $^{\circ}\text{C}$ になるか。ただし、水のモル沸点上昇は $0.52 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$ とし、水の沸点は 100.00°C とする。小数第 2 位まで記せ。
- (問 3) このスクロース水溶液の 27.0°C における密度が $1.05 \text{ g} / \text{mL}$ であるとした場合、スクロース水溶液のモル濃度を有効数字 3 桁で記せ。
- (問 4) このスクロース水溶液の 27.0°C における浸透圧を、有効数字 3 桁で求めよ。ただし、この水溶液はファンツホッフの法則に従うとし、気体定数を $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ とする。
- (問 5) このスクロース水溶液と同じ浸透圧を有する塩化ナトリウム水溶液を、 200 mL 作りたい。そのためには、何 g の塩化ナトリウムが必要か、有効数字 3 桁で求めよ。塩化ナトリウムの電離度は 1 とする。

〔4〕 A、B、Cの3つの物質からなる固体混合物がある。この混合物に対して以下の実験を行った。

実験Ⅰ：この混合物に一定量の水を加えると、物質Aは水に非常に溶けやすく、完全に溶解し、さらにごく少量の物質Bが水に溶けた溶液が得られた。物質Cは水に溶けなかった。これをろ過することにより、水溶液と、溶け残った物質とに分離した。

実験Ⅱ：実験Ⅰで得られた水溶液を分液ろうとに移し、水溶液とほぼ同量のヘキサンを加えてよく振ると、物質Bは水溶液の層からヘキサンの層にほぼ完全に移動した。一方、物質Aはヘキサンの層へは移動せず、水溶液の層に残った。これによりヘキサンの層は紫色に呈色し、水溶液の層はほぼ無色となった。

実験Ⅲ：実験Ⅰで溶け残った固体に一定量のヘキサンを加えると、物質Bは完全に溶解し、紫色の溶液が生成した。一方、物質Cはヘキサンに全く溶けなかった。これをろ過し、物質Bを含むヘキサン溶液と物質Cを分離した。

得られたヘキサン溶液からヘキサンのみを蒸発させ、物質Bを得た。物質Bは黒紫色の固体で、単体であることがわかった。またBの固体を加熱すると、液体にはならず、直接気体へと変化する性質をもつことがわかった。

実験Ⅳ：希塩酸に対して、実験Ⅲにより分離した物質Cを、溶液をかき混ぜながら徐々に加えていくと、腐卵臭のする気体(α)が発生した。この気体は人体に対して有害である。気体(α)が発生しなくなった後、この溶液に $K_3[Fe(CN)_6]$ 水溶液を滴下すると、濃青色の沈殿を生じた。

実験 V：実験 II で得られた水溶液の層のみを分離し、この水溶液の pH を測定したところ酸性であった。この水溶液を 3 つに分け、それぞれを溶液 1、2、3 とした。

- 溶液 1 に硝酸銀水溶液を滴下すると、白色沈殿 (X) が生成した。
- 溶液 2 に水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加えると、いったん白色沈殿 (Y) が生成したが、(ア)さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えると、白色沈殿 (Y) は溶解した。
- 溶液 3 にアンモニア水を徐々に加えると、溶液 2 の場合と同様の白色沈殿 (Y) が生成したが、(イ)さらにアンモニア水を加えると、白色沈殿 (Y) は溶解した。

実験 VI：実験 V により生成した溶液 3 に、実験 IV で得られた気体 (α) を充分に通じたところ、白色沈殿 (Z) が生成した。

以下の問いに答えよ。ただし上記実験では酸化還元反応は一切起こっていないと仮定する。

- (問 1) 実験 I から III のように、物質それぞれの溶媒に対する溶けやすさの違いを利用し、目的の物質だけを溶かして分離する方法を何というか。
- (問 2) 実験 II では、物質 B が水にはあまり溶けないが、ヘキサンには良く溶けるという性質を利用して分離を行った。このときヘキサンの代わりにエタノールを用いると、同様の分離を行うことができない。その理由を簡潔に答えよ。ただし物質 B はエタノールに良く溶けるものとする。
- (問 3) 実験 III により単離した物質 B は何か、化学式で答えよ。
- (問 4) 実験 III の下線部の変化を何というか。

- (問 5) 実験 V で得られた白色沈殿 (X) はアンモニア水に対して良く溶ける。
白色沈殿 (X) は何か。化学式で答えよ。
- (問 6) 実験 V で得られた白色沈殿 (Y) は何か。化学式で答えよ。
- (問 7) 実験 V の下線部、(ア) と (イ) のそれぞれの反応を化学反応式で示せ。
- (問 8) 実験 VI の下線部の反応を化学反応式で示せ。
- (問 9) 物質 A と C は何か、それぞれ化学式で記せ。

〔5〕 $C_6H_{12}O_2$ の分子式で表され、不斉炭素原子を1つ有し、構造が異なる5つのエステル A～E がある。A～E のそれぞれを加水分解して得られたカルボン酸とアルコールを調べたところ、A から得られたカルボン酸及び、B、C、D、E から得られたアルコールのみが不斉炭素原子を有していた。また、C、D、E から得られたカルボン酸は還元性を示した。一方、C から得られたアルコールを酸化すると不斉炭素原子をもつ生成物が得られたが、D、E から得られたアルコールを酸化すると不斉炭素原子をもたない生成物がそれぞれ得られた。さらに D、E から得られたアルコールをそれぞれ脱水後に触媒を用いて水素を付加させると、D から得られたアルコールからは直鎖状炭化水素 F が得られ、E から得られたアルコールからは枝分かれた炭化水素 G が得られた。

なお、脱水条件下では骨格転位（炭素骨格の変化）は起こらないものとする。また、鏡像異性体の数は数えないものとし、鏡像異性体を区別した構造まで書かなくて良い。

(問 1) エステル A～E の構造式を記せ。

(問 2) 炭化水素 F、G の構造式を記せ。

生 物

〔1〕以下の文章を読み、空欄（ア）～（セ）に入る適語を答えよ。ただし、同じ記号には同じ語句が入る。

物質には、細胞膜を透過しやすいものと透過しにくいものがある。細胞膜が特定の物質を選択的に透過させる性質は、（ア）と呼ばれる。物質は、一般的に濃度の高い方から低い方へ均一になるように移動する。このような現象を、（イ）という。細胞膜を介した輸送には、濃度勾配に基づく（イ）によって起こる（ウ）と、濃度勾配に逆らってエネルギーを消費して起こる（エ）がある。

細胞膜や他の生体膜に存在するタンパク質を、膜タンパク質という。膜タンパク質には様々な種類があり、細胞膜を貫通して物質の輸送を担うものが多く存在する。イオンは、一般的に、特定のイオンのみを選択的に透過させる膜タンパク質である（オ）を介して、濃度勾配に従って移動する。また、グルコースやアミノ酸などは、膜タンパク質である（カ）を介して、濃度勾配に従って移動する。（カ）は、グルコースやアミノ酸が結合すると、自身の構造を変化させ、結合した物質を通過させる。一方、濃度勾配に逆らって物質が輸送される場合もある。多くの動物細胞では、細胞内外でナトリウムイオンとカリウムイオンの濃度差を生じている。これを生じさせる働きを担う膜タンパク質（あるいは分子機構）のことを（キ）といい、その酵素名を（ク）という。（ク）は、（ケ）を分解し、取り出されたエネルギーを用いて、濃度勾配に逆らって、細胞内の（コ）を細胞外へ排出し、細胞外の（サ）を細胞内に取り込んでいる。

水は、主に（シ）とよばれる膜タンパク質を通して細胞膜を通過する。ヒトの赤血球を、蒸留水に入れると、（ス）する。しかし、ヒトの赤血球を、約0.9%（質量%）食塩水に入れると、正常な形が保たれる。このような、細胞と浸透圧が等しい（塩類濃度が等しい）食塩水のことを、（セ）という。

〔2〕以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

被子植物には、めしべの柱頭に、同じ個体の花粉が受粉して自家受精を行う植物と、別の個体の花粉が受粉して他家受精を行う植物が存在する。後者の中には、同じ個体の花粉が受粉しても花粉管の伸長が阻害されるものがある。この現象は、①めしべで特異的に発現する RNA 分解酵素が、花柱内を伸長中の花粉管に取り込まれ、リボソーム RNA を分解することにより生じる。

トレニアという植物を用いた研究によって、花粉管を胚珠へと導く誘引物質は、システインに富んだ低分子の分泌性タンパク質であることが明らかとなった。寒天培地上において、このタンパク質を含ませたゼラチン粒（直径 $40\mu\text{m}$ ）を、伸長中の花粉管の約 $50\mu\text{m}$ 斜め前方に置く（図1 a）。しばらくすると、花粉管はゼラチン粒の方向に誘引されて曲がる（図1 b）。

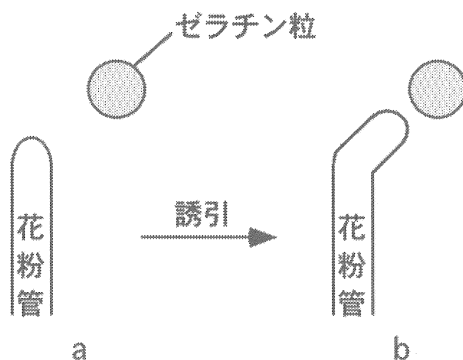


図1 花粉管の誘引実験

この実験系を用いて、以下の4通りの条件で、それぞれ50本の花粉管がゼラチン粒に誘引されるか否かを調べ、花粉管の誘引率(%)を求めた。

条件1 伸長中のトレニアの花粉管の斜め前方に、タンパク質を含まないゼラチン粒を置いた。

条件2 伸長中のトレニアの花粉管の斜め前方に、トレニアの誘引物質を含ませたゼラチン粒を置いた。

条件3 伸長中のトレニアの花粉管の斜め前方に、 95°C で5分間の熱処理を行っ

たトレニアの誘引物質を含ませたゼラチン粒を置いた。

条件4 伸長中のトレニア近縁種の花粉管の斜め前方に、トレニアの誘引物質を含ませたゼラチン粒を置いた。

なお、条件2の実験の前に、誘引物質の濃度を変えて予備実験を行い、花粉管の誘引率が最大となる濃度（最適濃度）を求めた上で、条件2～4の実験は最適濃度で行った。その結果を図2のグラフに示す。

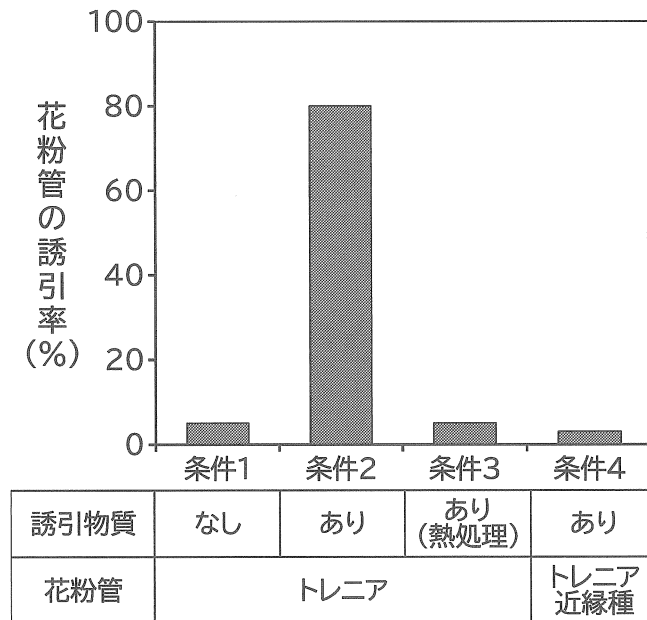


図2 様々な条件における花粉管の誘引率

(問1) 下線部①によって花粉管の伸長が阻害される理由を、60字以内で説明せよ。

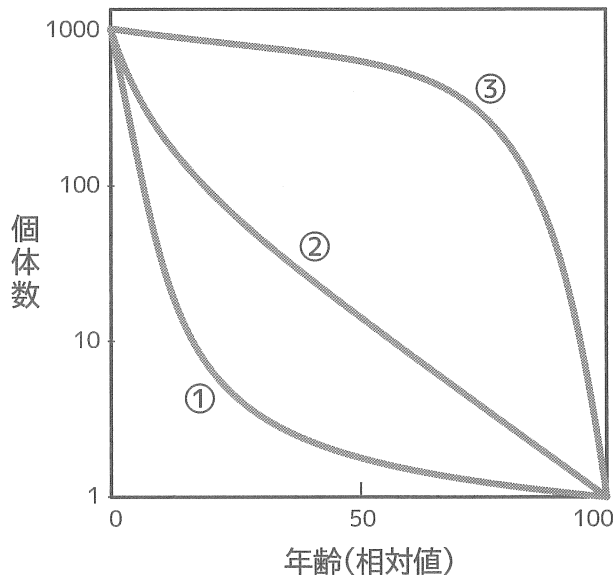
(問2) 条件1の実験を行う目的を40字以内で説明せよ。

(問3) 条件3における花粉管の誘引率が条件2に比べて低い理由を50字以内で説明せよ。

(問4) 条件2と条件4の結果の比較から、被子植物の生殖について考察されることを40字以内で記述せよ。

〔3〕以下の文章を読み、問1～問3に答えよ。

生まれた子の個体数が、年齢とともにどのように減少していくかをグラフに示したものを生存曲線という。下の図は、動物の生存曲線における代表的な3つの型①～③を示す。なお、縦軸（個体数）は対数目盛で示し、横軸（年齢）は、出生時を0、寿命を100とする相対値で表示している。



(問1) ①～③の生存曲線の型の名称として妥当なものを以下のA～Cの中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

A: 平均型 B: 早死型 C: 晩死型

(問2) ①～③の生存曲線を示す動物として妥当なものを以下のA～Cの中からそれぞれ選び、記号で答えよ。

A: アユ B: ウグイス C: ニホンザル

(問3) ①と③の生存曲線を示す動物の特徴を、それぞれ、生まれる子の数（産卵数・産子数）および親による子の保護の2つの観点から説明せよ。

〔4〕 文章A・B・Cを読み、設問に答えよ。

A 生物のゲノムに含まれる遺伝子が重複することを「遺伝子重複」という。遺伝子重複でできた2つの同じ遺伝子のうち、一方の遺伝子の塩基配列が突然変異等で変化するにより、その遺伝子が元の遺伝子と異なる新たな遺伝子となることがある。例えば、図1（ア）の系統樹で示される関係にある3種の生物A・B・Cにおいて、BとCの共通祖先（↑）で遺伝子1の遺伝子重複が起こり、その結果、新たに遺伝子2が生じた場合、BとCは塩基配列・機能がわずかに異なる2つの遺伝子（遺伝子1・遺伝子2）をもつことになり、生物A・B・Cにおける遺伝子1・2の系統関係を示す遺伝子系統樹は図1（イ）のようになる。このような、遺伝子重複を通じた新たな遺伝子の生成は、生物の適応進化において、非常に大きな役割を果たしたことが分かっている。

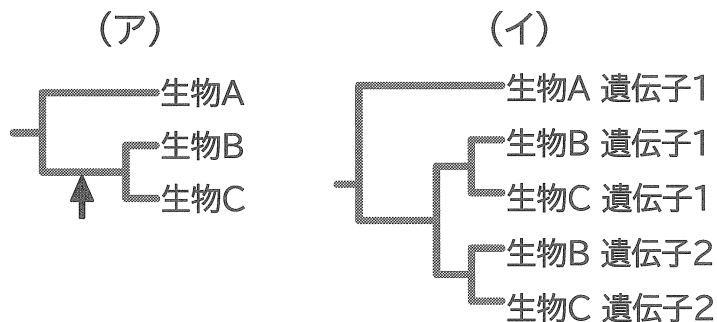


図1. (ア) 3種の生物A・B・Cの系統樹

(イ) B・Cの共通祖先（↑）における遺伝子1の遺伝子重複により
新たに遺伝子2が生じた場合の遺伝子系統樹

脊椎動物の①桿体細胞と錐体細胞にはオプシンと呼ばれるタンパク質が含まれ、光受容を担っている。オプシンには吸光特性が異なる複数の種類があり、そのうち1つは桿体細胞に存在して主に明暗の認識に関与し、それ以外は錐体細胞に存在して主に色覚に関与する。図2は、脊椎動物におけるオプシン遺伝子の進化の道筋を示している。初期の脊椎動物には、1つの遺伝子から遺伝子重複が4回繰り返されて生じた5

つのオプシン遺伝子があり、5種類のオプシンが存在したと考えられる。そのうち1種類は明暗の認識に関与する明暗オプシンで、残る4種類は色覚に関与し、吸収する波長のピークに応じて、それぞれ、赤オプシン・緑オプシン・青オプシン・紫オプシンという。現在でも、魚類・両生類・ハ虫類・鳥類は、多くの種がこの5種類のオプシンを保持している。一方、②哺乳類では進化の初期に色覚に関連する2つのオプシン遺伝子を失った。現生の哺乳類の多くにおいてはオプシンが3種類、色覚に関しては赤と青の2種類しかなく、緑色は赤色と青色の中間色として認識される。しかし、③霊長類の狭鼻猿類^(*)では、遺伝子重複によってオプシンの種類が4つに増え、色覚、とりわけ赤と緑とを識別する能力が高まった。このように、オプシン遺伝子の進化は、遺伝子重複が、生物が環境の情報をきめ細かく感知することに大きく貢献したことを示す典型的な例の1つである。

*) 狭鼻猿類：霊長類のうち、オナガザル類（ニホンザルなど）・類人猿・ヒトを含む系統。

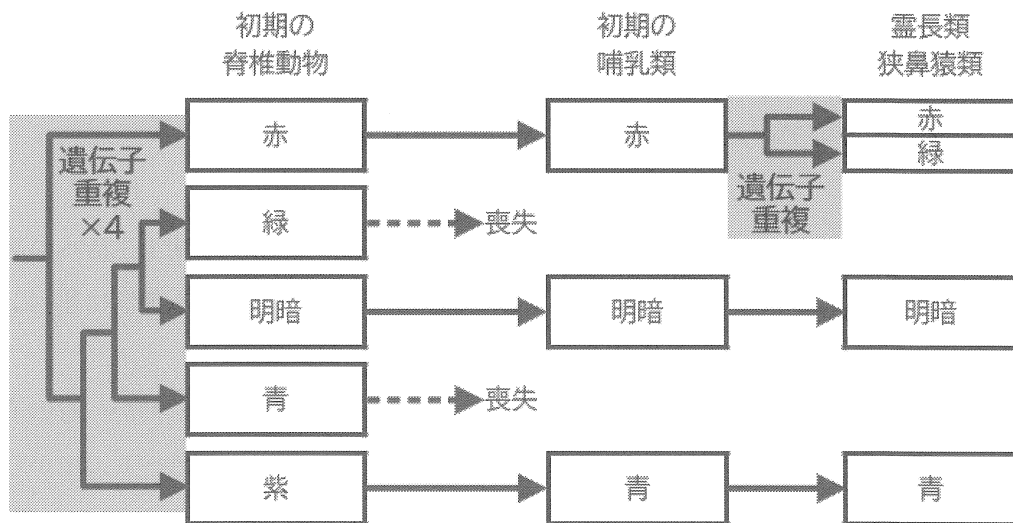


図2. 脊椎動物におけるオプシン遺伝子の進化の道筋（推定図）

(問1) 下線部①に関して、解答欄のヒトの眼球の断面図において、錐体細胞が集中的に分布する部分を黒く塗りつぶせ。

(問2) 表1は、哺乳類5種と鳥類3種について、習性(夜行性か昼行性か)と視細胞(桿体細胞と錐体細胞)に占める錐体細胞の割合を示している。表から読み取れる傾向を簡潔にまとめよ。

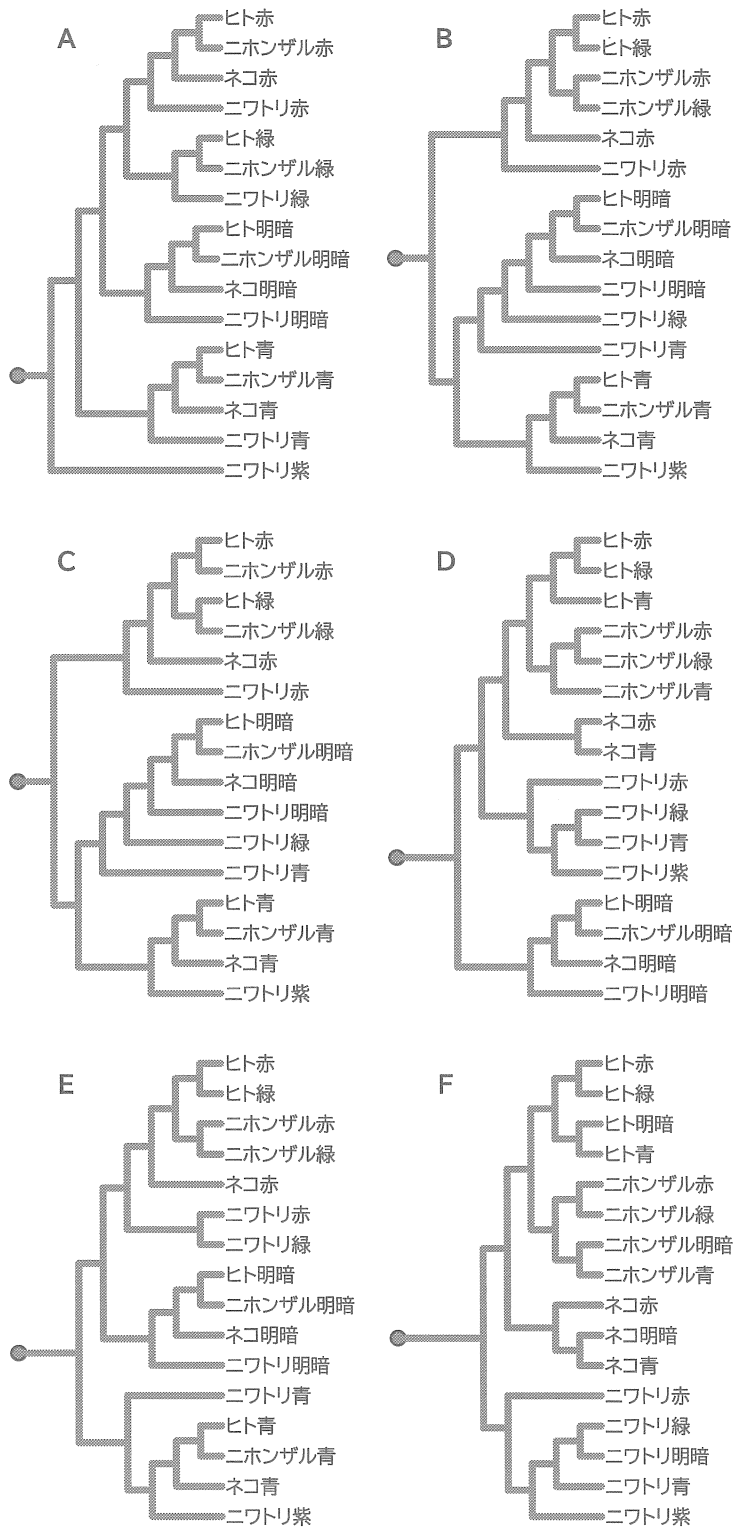
表1. 哺乳類5種・鳥類3種における習性と錐体細胞の割合

		習性	錐体細胞の割合
哺乳類	マウス	夜行性	3%
	キクガシラコウモリ		2.5%
	ヒト	昼行性	5%
	モルモット		8~17%
	ブタ		10~20%
鳥類	フクロウ	夜行性	9%
	コマツグミ	昼行性	76%
	ハト		70%

(問3) 下線部②が起こった理由としては「初期の哺乳類が夜行性であったため」という説明が有力視されている。問2を踏まえて、夜行性であることによって色覚に関与するオプシンの種類が減少した理由を考察せよ。

(問4) 下線部③に関して、霊長類の共通祖先では、進化の過程で、樹上生活への適応と考えられる複数の特徴が出現した。それらの特徴のうち2つを簡潔に述べよ。

(問5) ヒト・ニホンザル・ネコ・ニワトリのオプシン遺伝子の塩基配列から遺伝子の系統樹を推定したとき、最も可能性が高いものを次のページのA~Fの中から1つ選び、記号で答えよ。なお、系統樹では、ヒトの赤オプシン遺伝子は「ヒト赤」のように、略して表示している。



B トウガラシ（ナス科）は中南米原産の植物で、果実を野菜として食べたり、香辛料として使ったりするために、世界中で栽培されている。トウガラシの果実（図3）は鮮やかな赤色で、非水溶性の辛味物質カプサイシンを含む。トウガラシの原産地には、果実を丸呑みにして糞とともに種子を排泄する鳥類と、果肉と種子を咀嚼する哺乳類（ネズミなど）が生息しているが、原産地で継続観察したところ、④果実のほぼ全てが鳥によって丸呑みされていた。

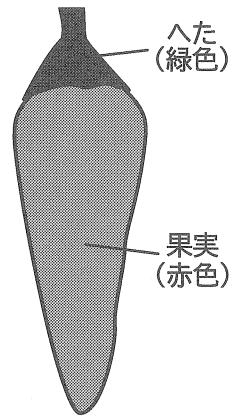


図3. トウガラシの果実

（問6） 下線部④は、トウガラシの繁殖に利益をもたらすと考えられる。どのような利益かを考察せよ。

C ラットを用いた研究によって、カプサイシンの受容体タンパク質が発見され、TRPV1と命名された。TRPV1は感覚神経や中枢神経の細胞膜を貫通する膜タンパク質である。その後の研究によって、TRPV1は、脊椎動物全般において高温（哺乳類の場合は43℃以上）に対して反応する温度受容体タンパク質であること、そして、ツパイやウサギなどの例外を除く多くの哺乳類においては高温とカプサイシンの両方に反応することが明らかになった（表2）。

表2. 高温およびカプサイシンに対する脊椎動物のTRPV1の反応

TRPV1	刺激の種類	
	高温	カプサイシン
哺乳類TRPV1	+	+
鳥類TRPV1	+	-
ハ虫類TRPV1	+	不明
両生類TRPV1	+	-
魚類TRPV1	+	-

「+」は強い反応、「-」は無反応または微弱な反応を示す。

刺激に対して TRPV1 が反応すると、ひりひりとした痛みに似た感覚を引き起こす。舌が感じる辛味もその1つである。ヒトがカプサイシンを大量に摂取すると、舌で辛味を感じた後に、全身の感覚神経からの情報に基づいて体温調節中枢が「深部体温が上昇した」と錯覚し、自律神経系を通じて、⑤深部体温を下げるための様々なしくみが働く。

(問7) 「辛味は味ではない」としばしば言われる。カプサイシンによる辛味が味でない理由を、文章B・Cと味覚器の定義・特徴を踏まえて説明せよ。

(問8) 下線部⑤のうち、交感神経を通じて働くしくみを2つ挙げよ。

(問9) 文章A・B・Cを踏まえ、文章Bにおける下線部④の結果をもたらした要因として考えられることを2つ挙げよ。

地 学

〔1〕

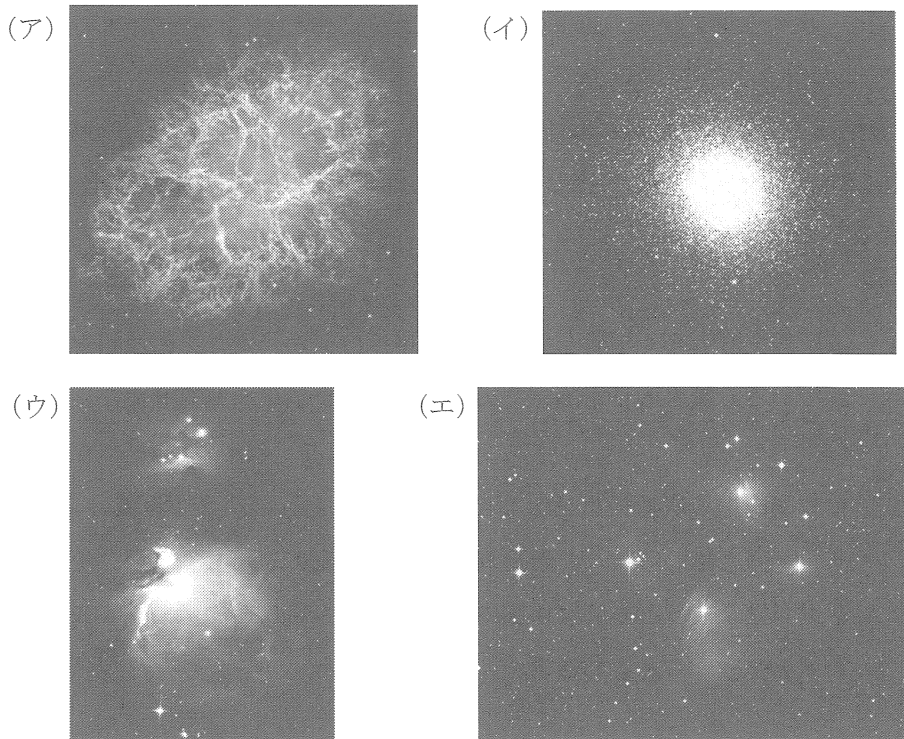
以下の文章は、宮沢賢治『銀河鉄道の夜』の一節であり、「先生」が主人公のジョバンニ達に銀河の授業をしている場面である。これを読んで、後の問いに答えよ。

先生は中にたくさん(a)光る砂のつぶの入った大きな両面の凸^{とつ}レンズを指しました。

「天の川の形はちょうどこんななのです。このいちいちの光るつぶがみんな私どもの太陽と同じようにじぶんで光っている星だと考えます。私どもの(b)太陽がこのほぼ中ごろにあつて地球がそのすぐ近くにあるとします。みなさんは夜にこのまん中に立ってこのレンズの中を見まわすとしてごらんください。こっちの方はレンズが薄いのでわずかの光る粒^{すなわ}即ち星しか見えないのでしょうか。こっちやこっちの方はガラスが厚いので、光る粒即ち星がたくさん見えその遠いのはぼうっと白く見えるというこれがつまり今日の銀河の説なのです。そんなら(c)このレンズの大きさがどれ位あるかまたその中の(d)さまざまな星についてはもう時間ですからこの次の理科の時間にお話します。では今日はその銀河のお祭なのですからみなさんは外へでてよくそらをごらんください。ではここまでです。本やノートをおしまいなさい。」

(出典：宮沢賢治著『銀河鉄道の夜』 青空文庫版)

(問1) 下線部(a)に関して、天の川銀河の中には、「光る砂のつぶ」である恒星が局所的に集まってできた「星団」といわれる構造が存在する。次ページの写真のうち、星団を主に写した写真だといえるものを全て選び、選択肢のカタカナで答えよ。なお正答となる選択肢は一つ以上存在する(すなわち一つのみの可能性もあるし、複数存在する可能性もある)。



(出典は全て天文学辞典 <https://astro-dic.jp>)

(問2) 下線部(b)に関して、太陽でフレアと呼ばれる爆発現象が起こると我々の生活に影響が及ぶことがある。その例を一つ挙げ、内容を具体的に説明せよ。

(問3) 下線部(c)に関して、ここでいう「レンズの大きさ」、すなわち天の川銀河の円盤部分の半径としてもっとも適切な値を、下に示した選択肢の中から答えよ。

【選択肢】 5光年 50光年 500光年 5000光年 5万光年

(問4) 下線部(d)に関して、さまざまな星(恒星)を分類する方法の一つにヘルツシュプルング=ラッセル図(HR図)がある。ヘルツシュプルング=ラッセル図とはどのようなものか説明せよ。また、ヘルツシュプルング=ラッセル図を使うことで恒星をどのように分類することができるか説明せよ。図を使ってもかまわない。

〔2〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

地殻を構成する岩石の種類には様々なものがある。ある統計によると砂岩は1.7%、泥岩は4.2%、石灰岩は2.0%存在しており、これら以外の堆積岩は数値化されない程度の量しかない。

(問1) 石灰岩を最も多く消費している産業用途は何か。またこの原料として用いられている石灰岩の日本国内でのおおまかな自給率を解答せよ。

(問2) 日本国内の石灰岩体はサンゴ礁が元になったものが多いと考えられている。サンゴは大陸から離れた離島周辺の浅い海底に繁殖しやすい。そのようなサンゴが元となった石灰岩が国内の内陸部にみられるのはなぜか説明せよ。図などを使ってもかまわない。

(問3) 砂岩や泥岩などはそれぞれ砂や泥が堆積して出来る。砂や泥はどこでどのようにして生じると考えられるか、詳しく説明せよ。

〔3〕 以下の問いに答えよ。

(問1) 雲は発生する場所の違いによって上層雲、中層雲、下層雲の3種類に大別される。それぞれに属する雲の名前(十種雲形)のうち、知っているものを1つずつ記せ。なお、積乱雲および積雲は3種類のどれにも属さないものとする。

(問2) 以下の文章を読み、空欄に当てはまる語句を答えよ。

海面付近は比較的水温が高く、また深さによる温度変化が小さい。この層を(あ)層と呼ぶ。一方で、海洋の深部では水温が比較的低く、ここでも深さによる温度変化は小さい。この層を(い)層と呼ぶ。

(あ)層と(い)層の間には水温が急激に変化する層が存在する。この層を(う)層と呼ぶ。

(問3) 地表から1 km以上離れた上空において、風は基本的に等圧線に沿った方向に吹く。上空の空気塊が受ける力に着目して、そのような風が吹くメカニズムを説明せよ。図を使ってもかまわない。

(問4) 地震が起きた時、その震源を決定するために地震波が使われる。3つの観測点での地震波データを使った震源決定方法について、「初期微動継続時間(PS時間)」、「大森公式」を使って説明せよ。図を使ってもかまわない。

〔4〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

火山岩を観察すると、大きな鉱物の粒である〔 A 〕(X)とそのまわりを埋めるように存在する〔 B 〕が観察されることが一般的である。SiO₂を〔 C 〕%から52%含む苦鉄質なマグマが地下深部でかたまつた結果、等粒状組織をもつ岩石となった。この岩石名は〔 D 〕である。この岩石に含まれる主な無色鉱物は〔 E 〕で、有色鉱物としてはカンラン石や〔 F 〕が含まれる。カンラン石の化学式にはMg₂SiO₄であるものとFe₂SiO₄であるものが存在する。しかし自然界に存在するカンラン石はこの二つが溶け合ったかのようなものが普通であり、このような鉱物は一般的に〔 G 〕とよばれている。

(問1) 空欄AからGに入る最も適切な言葉・数値を解答欄に書きなさい。数値は整数で答えること。

(問2) 大きい鉱物が生じるためには、マグマの冷え方はどのようなものであったと考えられるか、適切な言葉で答えなさい。

(問3) 一般的に火山岩はマグマが地表に噴出するなどして、低温環境下で生じると言われている。この事と下線Xのできかたについて、矛盾なく説明しなさい。