

令和7年度入学試験問題

理 科

	ページ
物 理.....	1～16
化 学.....	17～30
生 物.....	31～47
地 学.....	48～58

注 意 事 項

試験開始後、選択した科目の問題冊子及び解答用紙のページを確かめ、落丁、乱丁あるいは印刷が不鮮明なものがあれば新しいものと交換するので挙手すること。

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開かないこと。
2. 試験開始後は、すべての解答用紙に受験番号（2 か所）・氏名を記入すること。
3. 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。
4. 解答する数字、文字、記号等は明瞭に書くこと。
5. 解答用紙は持ち出さないこと。

物 理

1 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、質量 M [kg] の小球 A が軽くて伸び縮みしない糸で天井からつり下げられて静止している。質量 m [kg] の小球 B が速さ v [m/s] で水平に飛んできて、小球 A と衝突した。その後、小球 B は小球 A と一体化し、小物体 C となって、糸がゆるまない状態で最高点(高さ H [m]) に到達した。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。また、小物体 C が天井に衝突することはないものとする。

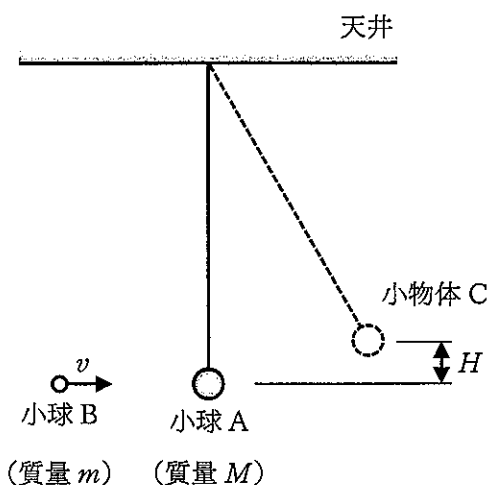


図 1

- (1) 衝突して一体化した際の小物体 C の速さ V [m/s] を, M , m , v , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 衝突時に小球 A が受けた力積の大きさ I [kg·m/s] を, M , m , v , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 衝突によって失われた力学的エネルギー E [J] を, M , m , v , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 最高点の高さ H [m] を, M , m , v , g のうち必要なものを用いて表せ。

Ⅱ 図2のように、大気に接している水槽に密度 ρ [kg/m³]の水を満し、内側の半径が r [m]の細い両端が開いているガラス管を鉛直方向に立てたところ、ガラス管内の水は壁面に沿って引っ張り上げられ、水面は h [m]だけ上昇した。ガラス管内の水面付近を拡大してみると、水面は凹面を形成して安定しており、拡大図に示すように、ガラス管と接触している水面は水平ではない。このとき、管内の水に対しては、水面とガラス管が接する線上(境界線上)において、鉛直上向きから外側に θ [rad] ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) 傾いた方向に力が作用している。この力の大きさは、境界線全体にわたって均等で、境界線の単位長さあたり S [N/m]である。なお、図中の矢印 S は、この力の向きを示している。この力によって、管内の水は鉛直上向きに引き上げられている。なお、大気圧は、水面の高さにかかわらず同じとして取り扱い、ここでは考えない。円周率は π 、重力加速度の大きさは g [m/s²]とする。また、 h よりも上部の水は微量であるので無視せよ。

- (5) 水槽の水面より上にある管内の水(水柱)の質量 m [kg]を、 ρ , r , h , S , θ , π , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (6) 水柱を壁面に沿って上向きに引っ張り上げる力 F [N]を、 ρ , r , θ , S , π , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (7) この水柱の重さと引っ張りあげる力のつりあいから、水柱の高さ h を、 ρ , r , θ , S , π , g のうち必要なものを用いて表せ。

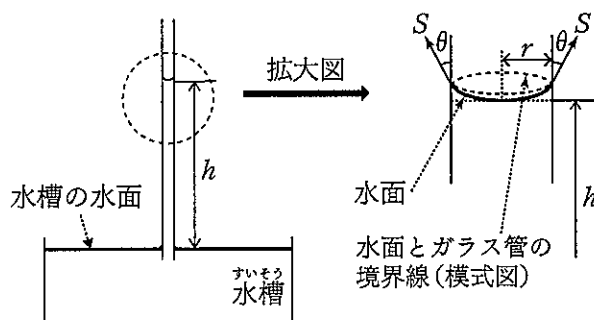


図2

今度は、図 3 (a)と図 3 (b)に示すように、内側の半径が R [m] の U 字型をしたガラス管内に長さ L [m] となるように水を入れた場合について考える。ここでは、水面は水平であるとし、管内の水を引き上げようとする力は考えなくて良い。最初に、片方の水面を加圧して左右の水面に X [m] の高低差をつけた後、加圧を止めた。すると、左右の管内にある水の重さの違いにより、水面は、水平を保ちつつ上下に単振動し、左右の高低差は最大 X となった。水の体積は、長さ L 、半径 R のまっすぐな管の容積と同じとする。

- (8) 振動の周期 T [s] を、 ρ , R , L , π , X , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) この単振動が持つ力学的エネルギー E [J] を、 ρ , R , L , π , X , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (10) 水面が振動するときの最大の速さ v [m/s] を、 ρ , R , L , π , X , g のうち必要なものを用いて表せ。

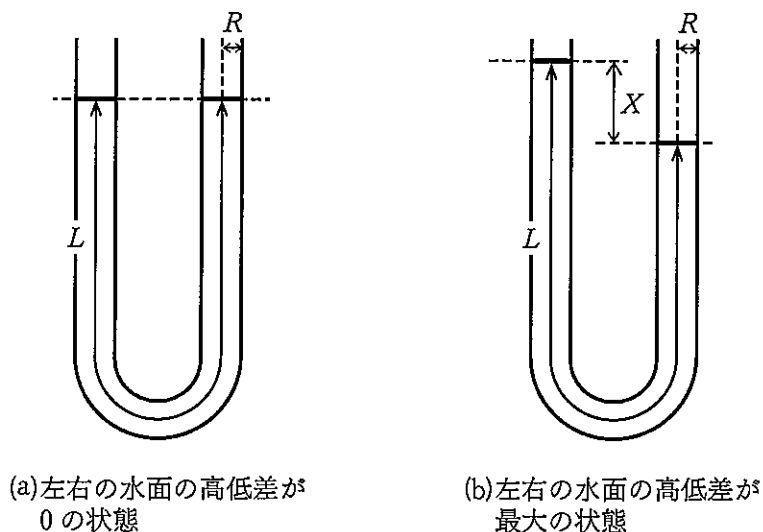


図 3

2 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1の回路にて、コンデンサー①とコンデンサー②の静電容量は、それぞれ、 C [F]、 $2C$ [F]である。抵抗①、抵抗②、および抵抗③の値は、それぞれ、 R [Ω]、 $2R$ [Ω]、 $3R$ [Ω]である。電池①と電池②の起電力は、それぞれ、 E [V]、 $2E$ [V]であり、電池には内部抵抗はないものとする。ダイオードは、順方向に電圧が加わったとき電流を流し、そのときの抵抗は0である。また、逆方向の電圧に対しては全く電流を流さないものとする。

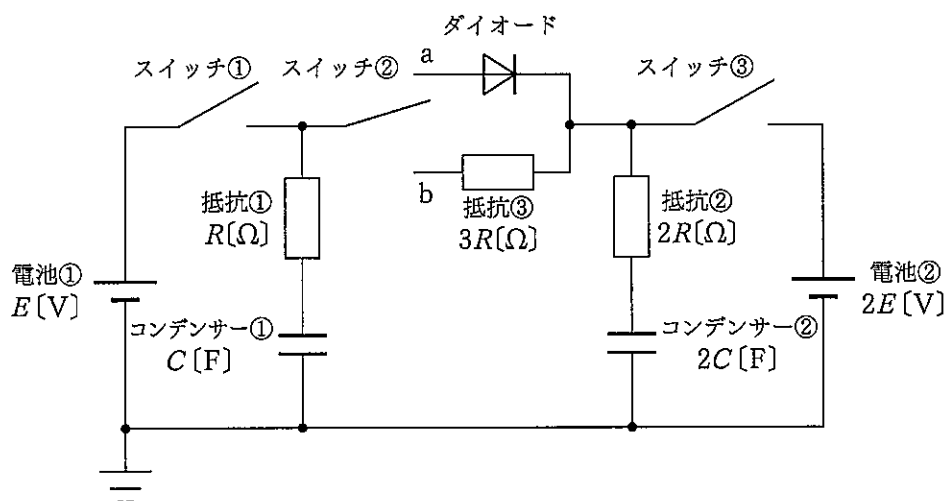


図1

最初、コンデンサー①とコンデンサー②の電気量は 0 であり、スイッチ①、スイッチ②、およびスイッチ③は開いた状態であった。

この回路について、以下の操作を行った。

- (ア) スwitch①を閉じて、十分時間が経過したあとのコンデンサー①の電気量を求めよ。
- (イ) (ア)に続いてスイッチ②を a 側に閉じたのち、時間が十分経過したときのコンデンサー①とコンデンサー②の電気量を、それぞれ求めよ。
- (ウ) (イ)に続いてスイッチ③を閉じたのち、十分時間が経過したときのコンデンサー①とコンデンサー②の電気量を、それぞれ求めよ。
- (エ) (ウ)に続いてスイッチ①とスイッチ③を開いた。その後、スイッチ②を b 側に閉じて十分時間が経過したときの、コンデンサー①とコンデンサー②のそれぞれの電気量、および抵抗③で発生したジュール熱を求めよ。

Ⅱ 図2の模式図のような、半径 r_1 [m]、コイルの断面積が S [m²]の円形コイル L_1 に電流 I_1 [A]が流れている。 I_1 は、図中の矢印 I_1 の向きを正とする。コイルは真空中に置かれており、真空の透磁率を μ_0 [H/m]とする。

(a) 円形コイル L_1 の中心点 O の磁束密度の大きさ B_1 [T]を、 r_1 、 I_1 、 μ_0 のうち必要なものを用いて表せ。

I_1 を0とした後、円形コイル L_1 を垂直に貫く一様な磁場(磁界)を与え、その磁束密度の大きさ B [T]を、時間 t [s]に対して図3の実線で示すように変化させた。

(b) この磁束密度の変化によって、図中の①～③の各区間に円形コイル L_1 に発生する誘導起電力の大きさ V_1 [V]、 V_2 [V]、 V_3 [V]を、数値または、 B_0 [T]、 S 、 a のうち必要なものを用いて表せ。ここで、 B_0 は、時刻 $t = 0$ における磁束密度の大きさである。

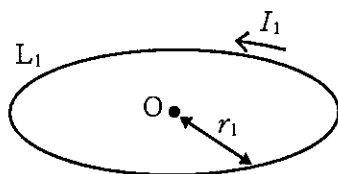


図2

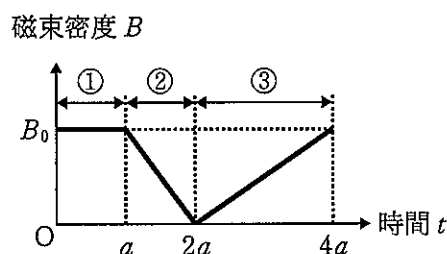


図3

図4の模式図のように、円形コイル L_1 の内側の同一平面上に、 r_1 より十分小さい半径 r_2 [m]の円形コイル L_2 を設置した。円形コイル L_1 に与えていた磁場を0とした後、再び I_1 の電流を流した。それぞれの円形コイルを流れる電流は、図中の矢印 I_1 、 I_2 の向きを正とする。磁束密度は、同一平面上にあるコイルの下側から上側に向かう向きを正とする。

(キ) 円形コイル L_1 の中心の磁束密度 B の時間変化が、図 3 と同じとなるように、 I_1 を制御した。そのときの円形コイル L_2 に流れる誘導電流 I_2 [A] の時間変化として、最も適切なものを図 5 の①～④の中から一つ選べ。

(ク) 円形コイル L_2 を貫く磁束 Φ [Wb] を、 π , r_1 , r_2 , I_1 , μ_0 を用いて表せ。
 なお、 r_2 は r_1 より十分に小さく、円形コイル L_1 が円形コイル L_2 の内部に作る磁場は、一様であるとみなす。

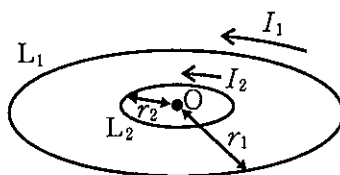


図 4

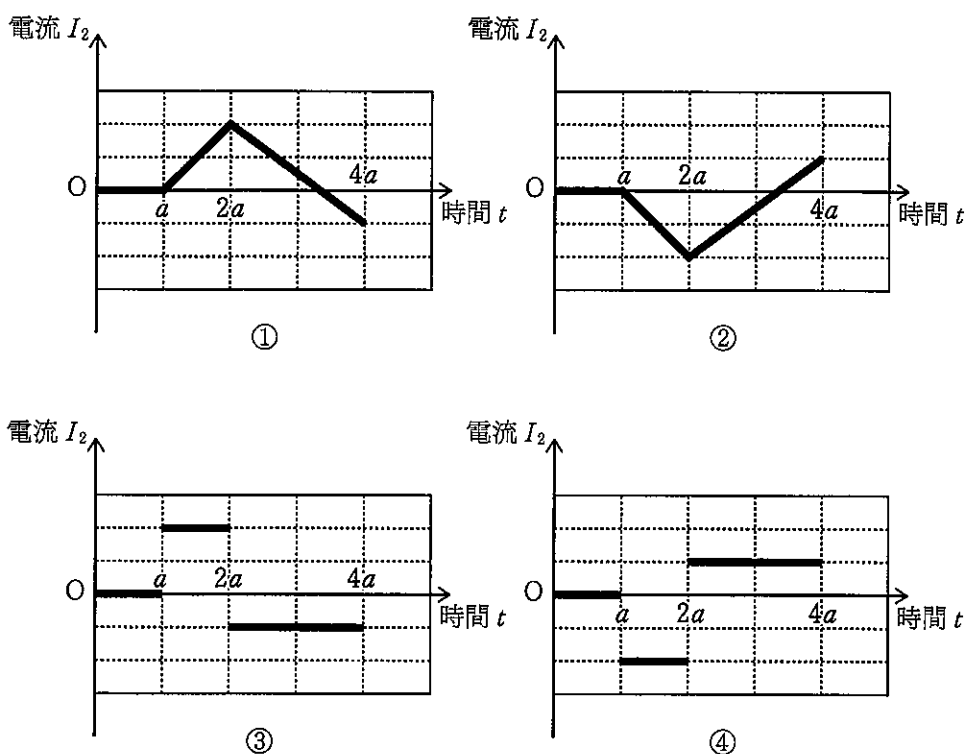


図 5

3

次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

- I 図1に示すような、水面を $\vec{v}$ の向きと速さで伝わる平面波を考える。波面と x 軸のなす角を θ [rad] ($0 < \theta < \frac{\pi}{4}$) とし、 x 軸上と y 軸上で隣り合う波面間の距離をそれぞれ、 a 、 b とする。

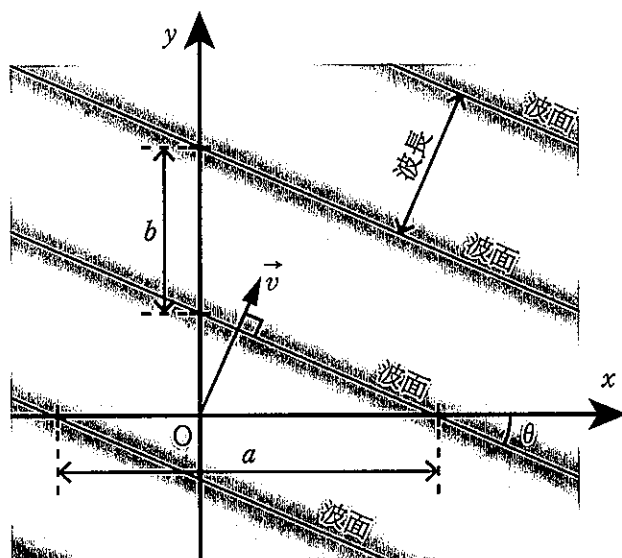


図1

- (a) 横軸に x 軸または y 軸をとり，縦軸に変位をとる。ある同一の時刻における x 軸と y 軸上の水面変位をそれぞれ実線と破線で表した，最も適切なグラフを図 2 の (ア)～(エ)の中から一つ選べ。

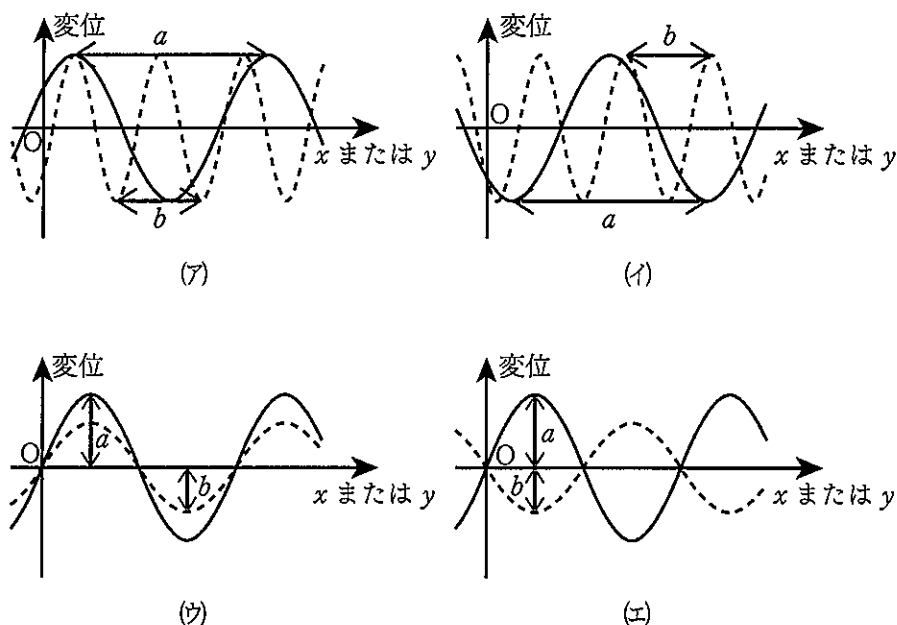


図 2

- (b) $\vec{v}$ と向きが同じベクトルを次の (ア)～(エ)の中から一つ選べ。

- (ア) $(1, \tan \theta)$ (イ) $(\tan \theta, 1)$ (ウ) $(\sin \theta, \cos \theta)$
 (エ) $(\cos \theta, \sin \theta)$

- (c) 波面が進行方向に移動する速さ $|\vec{v}|$ を v ，波面が x 軸と y 軸方向に進む速さをそれぞれ， c_x ， c_y とする。 v ， c_x ， c_y の大小関係として最も適切なものを，次の (ア)～(カ)の中から一つ選べ。さらに， v を c_x と c_y を用いて表せ。

- (ア) $v < c_x < c_y$ (イ) $v < c_y < c_x$ (ウ) $c_x < c_y < v$
 (エ) $c_y < c_x < v$ (オ) $c_x < v < c_y$ (カ) $c_y < v < c_x$

II 図3のように、空気中で、スリットの間隔が d の回折格子に、垂直に波長 λ の単色光の平行光線を当てたところ、回折格子から距離 L 離れたスクリーン上に鋭い明線が現れた。なお、スクリーンは回折格子と平行に設置しており、 L は d に比べてきわめて大きい。空気の屈折率を1とする。

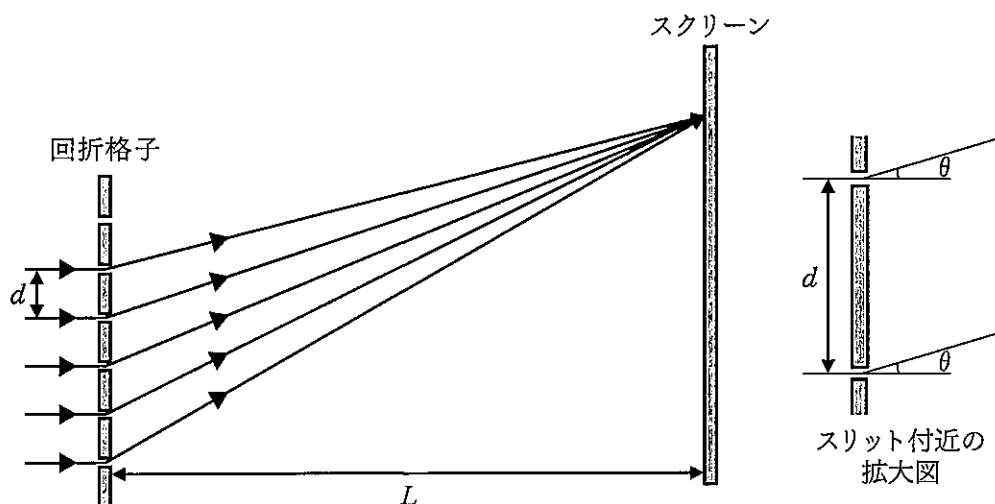


図 3

(d) 入射光と角 θ [rad] をなす向きに進む光線において、隣り合うスリット間の光路差を、 d , L , θ , λ のうち必要なものを用いて表せ。

(e) 入射光とスクリーン上の m 次の明線 ($m = 0, 1, 2, \dots$) に進む光線の方角の角 θ_m [rad] を、 m , d , L , λ のうち必要なものを用いて表せ。なお、 $\theta = 0$ のときの明線を 0 次の明線とする。ここでは、 θ は小さいとし、 $\sin \theta \simeq \theta$ と近似して考えよ。

次に、図4のように回折格子のスクリーン側の表面を屈折率 $n(>1)$ の薄い樹脂で覆い、回折格子に垂直に波長 λ の単色光の平行光線を当てた。なお、樹脂の表面は回折格子と平行である。

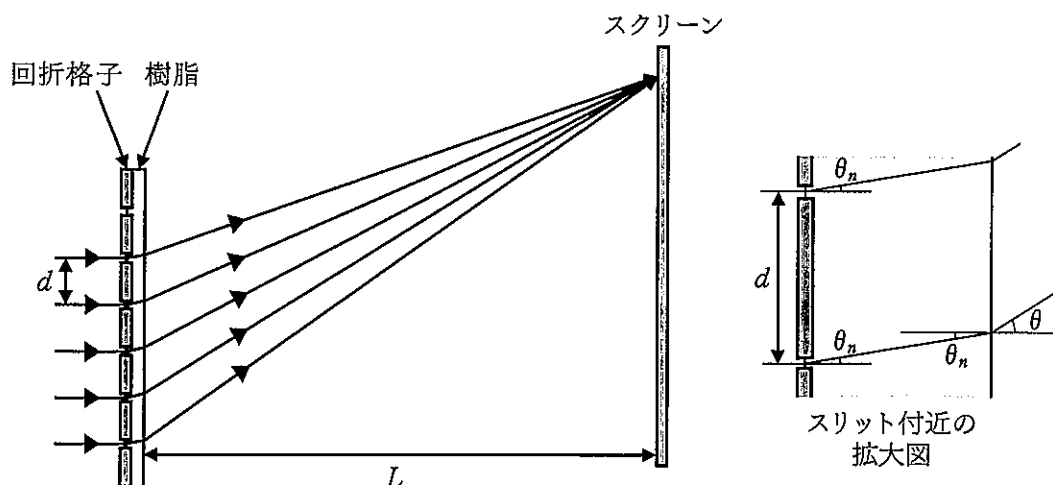


図4

- (f) 光線が樹脂から空気に進むとき、屈折によって進む向きが変わる。入射角 θ_n [rad]と屈折角 θ [rad]との関係を、 n , d , L , θ_n , θ , λ のうち必要なものを用いて表せ。
- (g) スクリーン上に m 次の明線($m = 0, 1, 2, \dots$)が生じる条件を、 m , n , d , L , θ , λ のうち必要なものを用いて表せ。なお、 $\theta_n = 0$ のときの明線を0次の明線とする。ただし、屈折の際には、光の位相は変化しない。
- (h) 樹脂中での回折光の角 θ_n が大きいと、回折光は樹脂から空気中には出て行かない。その理由を述べよ。

4

次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 水の密度を 1.0 g/cm^3 、水の比熱を $4.2 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ 、銅の比熱を $0.38 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ として、物質の状態と熱に関する以下の各問に答えよ。

(a) 温度 20.0°C の水 1.0 L を、 40.0°C まで上げるのに必要な熱量はいくらか。

(i) 質量 50.0 g の銅製の容器がある。この容器の熱容量を求めよ。

(5) 熱容量 70.0 J/K の容器に温度 40.0°C の水 0.20 L が入っている。この中に温度 85.0°C に温められた質量 100.0 g の銅塊を完全に水中に沈むように入れて、そのまましばらく置いたところ、水の温度は一定になった。このときの温度はいくらか。小数点第一位を四捨五入して整数値で答えよ。ただし、熱は、水、容器、銅塊の間だけで移動する。

物質には固体、液体、気体の3つの状態がある。これを物質の三態という。

図1は物質が様々な圧力および温度においてどのような状態であるかを示した状態図である。一定の圧力 p のもとでは、一般的に、温度の上昇とともに状態は固体、液体および気体へと順に転移していく。水の場合、固体(氷)が温められると液体(水)になり、さらに液体(水)が温められると気体(水蒸気)になる。

(え) 圧力鍋は、密封した容器の内部を大気圧より高い圧力に保つことによる様々な利点がある調理器具である。例えば、同じ火力のコンロで同じ食材を調理する場合には、普通の鍋を用いて調理するより圧力鍋を用いて調理する方が調理時間を短縮できる。その理由を、食材に直接触れている鍋内の水の沸点の変化に着目して説明せよ。

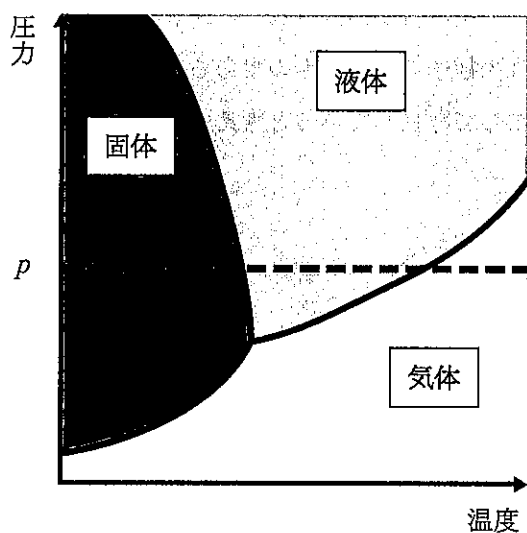


図1

Ⅱ 原子の構造を模式的に表すとき、原子核を中心として同心円状の円軌道上に電子がまわっているように表現する。これは1913年にニールス・ボーアが発表した原子モデルである。このモデルに帰着するまでには科学者達の多くの試行錯誤があった。原子モデルの変遷を振り返ってみよう。

J. J. トムソンが1904年に発表した原子模型はブドウパンモデルと呼ばれ、図2のように一様に広がった正電荷の球の中に負電荷をもつ微粒子が点在している。ただ、このモデルは α 線を用いた実験によって問題点が指摘されることとなった。

(お) 下線部について、 α 線の正体は何か。また電気素量を e としたとき、 α 線のもつ電荷量を e で表せ。解答には正または負の符号をつけること。

(か) トムソンのブドウパンモデルは、その後行われた α 線の散乱に関する実験結果によって不具合が指摘された。図3は金原子に α 線を入射した時に観測される散乱の様子を表したものである。この結果から、原子の正電荷はどのように分布して存在していると考えられるか。

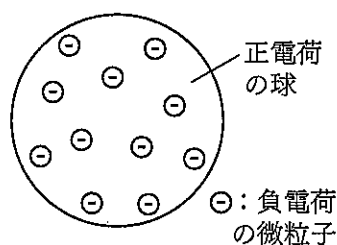


図2

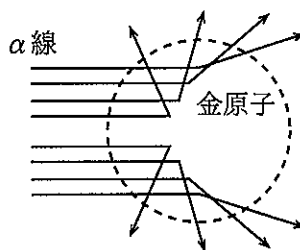


図3

その後、ラザフォードらは、原子核を中心に電子が一定の距離を周回しているモデルを発表した。次は、このモデルが抱える問題点について、水素原子を例に考えてみよう。

(き) 電子が水素原子核から受ける力 F を図示せよ。また原子核から電子までの距離を r 、電気素量を e 、クーロン定数を k として、その大きさを表せ。

(く) 電子の質量を m とする。電子が速さ v で原子核のまわりを等速円運動しているときの運動方程式を、 e 、 k 、 m 、 r 、 v を用いて表せ。

(け) 加速度運動する電子は電磁波をエネルギーとして放出しており、ラザフォードモデルが破綻する要因となっている。ラザフォードモデルの電子はどのような挙動を示すか説明せよ。

ラザフォードモデルに生じた矛盾を説明するため、ボーアは、電子が安定して円運動するための条件として以下の式を提唱し、現在の原子モデルの礎を築いた。

$$2\pi r = \frac{nh}{mv} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

ただし、 m は電子の質量、 v は電子の速さ、 r は電子の軌道半径、 h はプランク定数、 n は正の整数である。

(こ) ボーアが提唱した、この条件を何というか。

化 学

必要があれば、次の値を用いよ。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, S = 32, Cl = 35.5, Pb = 207。

1 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

ナトリウムは、周期表では第3周期、1族の元素で、原子核に **ア** 個の陽子を持ち、その周りを同数の電子がとりまいている。価電子の数は1個であり、1価の陽イオンになりやすい性質がある。ナトリウムイオンを含む水溶液を白金線の先につけてバーナーの外炎に入れると、炎の色がナトリウムに特有の黄色になる。

塩化ナトリウムは、海水中に多く含まれる成分として知られており、岩塩は塩化ナトリウムを主成分とする鉱物として知られている。塩化ナトリウムの結晶中の Na^+ と Cl^- は、**イ** 結合により図1のような単位格子を形成しており、1個の Na^+ に接している Cl^- は6個である。この数を **ウ** という。塩化ナトリウムの水溶液のうち、ある濃度のものは生理食塩水とよばれ、様々な分野で利用されている。

水酸化ナトリウムは、塩化ナトリウム水溶液の電気分解で製造される。固体の水酸化ナトリウムを空気中に放置すると、空気中の水分を吸収してその水に溶けていく。この現象を **エ** という。また、水酸化ナトリウムは、空気中の二酸化炭素を吸収して炭酸ナトリウムを生じる。炭酸ナトリウムの水溶液から炭酸ナトリウムの水和物を析出させると、無色透明の結晶が得られる。この結晶を空気中に放置すると、水和水の一部を失って炭酸ナトリウム一水和物になる。この現象を **オ** という。

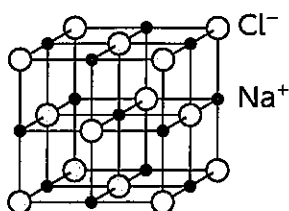


図1 塩化ナトリウムの単位格子

問 1

ア

 ～

オ

 に入る最も適切な語句，または数字を記せ。

問 2 下線部①の元素のうち，水素を除いたものの総称を答えよ。

問 3 下線部②のような現象(検出方法)を一般に何というか。

問 4 下線部③について，次の問いに答えよ。

- (1) ナトリウムの原子量を M_{Na} ，塩素の原子量を M_{Cl} ，アボガドロ定数を N_A [1/mol]，塩化ナトリウムの結晶の密度を d [g/cm³] とすると，この単位格子の体積 [cm³] はどのような式で表せるか。 M_{Na} ， M_{Cl} ， N_A ， d を用いて表せ。
- (2) この結晶はかたいが，強い力を加えると簡単に割れてしまう。このようなもろい性質を持つ理由について，45 字以内で述べよ。

問 5 下線部④の水溶液 1.0 L の中には塩化ナトリウムが 9.0 g 溶解しており，ヒトの体液とほぼ同じ浸透圧を示す。37 °C におけるこの水溶液の浸透圧は何 Pa か，有効数字 2 桁で示せ。気体定数は 8.3×10^3 Pa·L/(K·mol) とし，0 °C は 273 K とする。また，この水溶液は希薄溶液として扱ってよいものとし，塩化ナトリウムは完全に電離しているものとする。解答欄には計算過程を含めて記入せよ。

問 6 下線部⑤の反応が完結したとき，結晶の質量が 56.6 % 減少した。空気中に放置する前の結晶の化学式を答えよ。解答欄には計算過程を含めて記入せよ。

2

次の文章Ⅰおよび文章Ⅱを読み、問1～問7に答えよ。

(文章Ⅰ)

一定量の水を溶媒とする時、それに溶解する溶質の量には限界がある。その限界まで溶質を溶かした溶液を飽和水溶液という。飽和水溶液に更に溶質を加えると、見た目上は溶解も析出もおきていない状態になる。この状態を溶解 ア ^①という。温度と圧力が一定の条件の下で、電解質 A の飽和水溶液に対し、電解質 A を構成するいずれかのイオンと同じイオンを生じる電解質 B を加える。すると、電解質 A の溶解度や電離度が イ くなる方向に ア の状態が移動する。この現象を共通イオン効果という。硫化水素は空気より少し重く、腐卵臭のある無色・有毒の気体で、火山ガスや鉱泉に含まれる。実験室では、硫化水素は硫化鉄(Ⅱ)に希塩酸を加えると発生し、ウ 置換法により捕集する。硫化水素は水に可溶であり、常温・常圧(25℃, 1.013×10^5 Pa)で1 Lの水に対して0.10 molまで溶ける。硫化水素の飽和水溶液を調製する際、塩酸を加えると溶液中での硫化水素の電離は抑制される。 ^②

(文章Ⅱ)

硫化物イオンは様々な金属イオンと難溶性の塩を形成するため、金属イオンの分離 ^③において硫化水素を用いる沈殿反応は重要である。ここでは、あらかじめ pH(水素イオン指数)の値を調整した、ある一定の亜鉛イオン濃度の水溶液に対して硫化水素ガスを通じた際の様子を観察する。亜鉛イオンを含む塩基性水溶液を調製する過程では、少量のアンモニア水を加えると白色沈殿が生成し、さらに ^④アンモニア水を加えるとその沈殿が溶解する様子が確認された。この塩基性水溶液に硫化水素ガスを通じると、直ちに エ の沈殿が生成する様子が確認された。一方、塩酸を混ぜたある濃度の亜鉛イオンを含む酸性水溶液では、pH 3.0 よりも酸性側の条件になると、硫化水素ガスを飽和になるまで通じて ^⑤も沈殿の生成は確認されなかった。

問 1 下線部①の説明として正しいものを次の(あ)～(お)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (あ) 単位時間で、固体状態の溶質から溶出する粒子の数がゼロの状態
- (い) 単位時間で、溶液中から析出する粒子の数がゼロの状態
- (う) 単位時間で、固体状態の溶質から溶出する粒子の数と、溶液中から析出する粒子の数が等しい状態
- (え) 単位時間で、固体状態の溶質から溶出する粒子の数が、溶液中から析出する粒子の数より多い状態
- (お) 単位時間で、固体状態の溶質から溶出する粒子の数が、溶液中から析出する粒子の数より少ない状態

問 2 文章Ⅰの ア ～ ウ に入る最も適切な語句と、文章Ⅱの エ に入る最も適切な化合物を名称または化学式で答えよ。

問 3 下線部②の理由を 50 字程度で説明せよ。

問 4 下線部③に関して、次の(1)と(2)に答えよ。

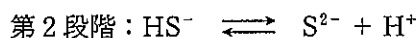
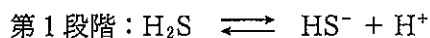
- (1) 硝酸銅と硝酸銀の両方を溶かした水溶液の金属イオンを分離する操作として、正しいものを次の(あ)～(お)から 1 つ選び、記号で答えよ。
 - (あ) 水酸化ナトリウム水溶液を加えてろ過し、ろ液に硫化水素ガスを通じる。
 - (い) 過剰のアンモニア水を加えてろ過し、ろ液に硫化水素ガスを通じる。
 - (う) 塩酸を加えてろ過し、ろ液に硫化水素ガスを通じる。
 - (え) 希硝酸を加えてろ過し、ろ液に硫化水素ガスを通じる。
 - (お) 何も加えずに硫化水素ガスを通じる。
- (2) (1)の分離過程で沈殿物として得られる 2 種類の化合物を名称または化学式で答えよ。

問 5 下線部④に関して、次の(1)と(2)に答えよ。

- (1) 白色沈殿として生成した化合物を名称または化学式で答えよ。
- (2) 白色沈殿の溶解に関わる錯イオンを名称または化学式で答えよ。

問 6 次の文章を読み、(1)と(2)に答えよ。

硫化水素の飽和水溶液は弱酸性であり、次の2段階の電離が関わる。

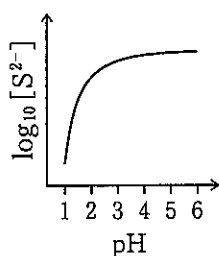


第1段階、第2段階の電離定数はそれぞれ K_1 、 K_2 とする。

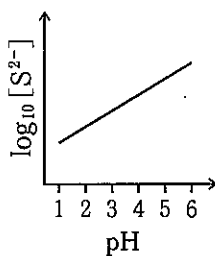
- (1) 上の2つの電離平衡の式を使い、硫化物イオン濃度 ($[\text{S}^{2-}]$) と水素イオン濃度 ($[\text{H}^+]$) の関係式を示せ。ただし、計算には次に示す値を用い、有効数字2桁で答えよ。

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0.10 \text{ mol/L}, K_1 = 9.5 \times 10^{-8} \text{ mol/L}, K_2 = 1.3 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$$

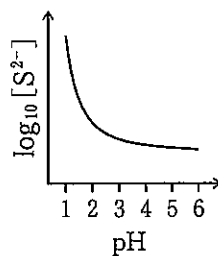
- (2) $[\text{S}^{2-}]$ の常用対数と pH の関係について、pH 1.0 ～ 6.0 の範囲で示したグラフの概形として正しいものを次の(あ)～(お)から1つ選び、記号で答えよ。



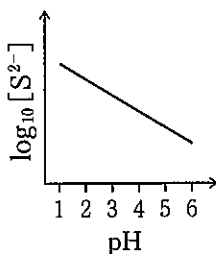
(あ)



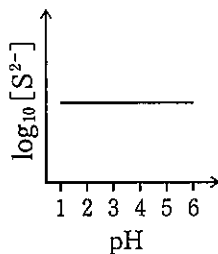
(い)



(う)



(え)



(お)

問 7 下線部⑤に関して、pH 3.0 で沈殿するようになる水溶液の亜鉛イオン濃度 ($[\text{Zn}^{2+}]$) を有効数字 2 桁で答えよ。解答欄には計算過程も含めて記入せよ。ただし、亜鉛イオンを含んだ酸性溶液では、硫化水素の電離平衡は問 6 と同じように成り立つとしてよい。また、沈殿した化合物の溶解度積 (K_{sp}) には次の値を用いよ。

$$K_{\text{sp}} = 2.2 \times 10^{-18} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

3 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

なお、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

電池は化学エネルギーを電気エネルギーに変換して利用しており、我々の生活にはなくてはならないものの1つである。異なる2種類の金属を導線で結んで電解質の水溶液に浸すと、イオン化傾向が大きい金属から小さい金属へ導線を伝わって電子の移動が起こり、電池ができる。

この時、2種類の金属を電池の電極と言い、**ア** 反応が起こって導線に向かって電子が流れ出る電極を負極、導線から電子が流れ込んで **イ** 反応が起こる電極を正極という。また、電極の間に生じる電圧の最大値を **ウ** という。

充電によって繰り返し使うことのできる電池を **エ** 電池(蓄電池)といい、充電できない電池のことを **オ** 電池という。

ダニエル電池(図1)は亜鉛板を入れた薄い硫酸亜鉛(Ⅱ)(ZnSO_4)水溶液と、銅板を入れた濃い硫酸銅(Ⅱ)(CuSO_4)水溶液を素焼き板で仕切り、亜鉛板と銅板を導線でつないだ電池である。

カ 電池として有名な鉛蓄電池は、鉛(Pb)と酸化鉛(Ⅳ)(PbO_2)を希硫酸に浸した構造をしており、自動車のバッテリーなどに使われている。日用品に使用されるリチウムイオン電池は、負極にリチウムを取り込んだ黒鉛系炭素材料を、正極にはコバルト(Ⅲ)酸リチウム(LiCoO_2)を、電解液には特殊な有機化合物にリチウム塩などを溶かしたものを用いる。

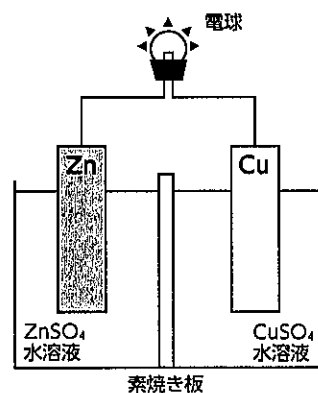


図1 ダニエル電池

近年では、水の電気分解と逆向きの反応を利用した燃料電池の開発が進められている。この電池では電解質にリン酸やイオン交換膜を用いたものなどがある。

②

問 1 文章中の ア ～ オ に入る適切な語句を答えよ。

問 2 ダニエル電池について、次の(1)と(2)に答えよ。

- (1) ダニエル電池の負極および正極で起こる変化を、電子 e^- を含むイオン反応式で書け。
- (2) 電池の素焼き板を取り除くと、図 1 の電球が徐々に消灯した。その理由の 1 つを亜鉛板の状態に着目し、「銅(Ⅱ)イオンが」に続けて 35 字程度で答えよ。

問 3 鉛蓄電池について、次の(1)と(2)に答えよ。

- (1) 鉛蓄電池の放電時に負極および正極で起こる変化を、電子 e^- を含むイオン反応式で書け。
- (2) 鉛蓄電池を 5.0 A の電流で 16 分 5 秒放電させた。この時流れた電子 e^- の物質量は何 mol か。また、負極では質量が何 g 変化するか、増減を含めて答えよ。なお、有効数字 2 桁で求め、解答欄には計算過程を含めて記入せよ。

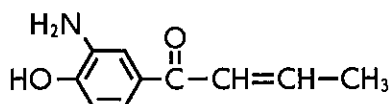
問 4 下線部①のリチウムイオン電池で用いられる黒鉛(グラファイト)は炭素の単体である。炭素の同素体は他に何があるか、その名称を 2つ答えよ。

問 5 下線部②のイオン交換膜とは、イオン交換樹脂を加工して陽イオンだけ、または陰イオンだけをそれぞれ選択的に透過させる膜のことをいう。

今、0.010 mol/L の塩化ナトリウム水溶液 10 mL を、陽イオン交換樹脂を詰めたカラムの上部から流し、純水で十分に洗い流したところ、すべてのナトリウムイオンが水素イオンと交換され、100 mL の流出液が得られた。この流出液の pH(水素イオン指数)を小数第 1 位まで求めよ。解答欄には計算過程も含めて記入せよ。

- 4 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。解答で構造式を示す場合には例にならって記せ。

(例)



化合物A～Hは、いずれもベンゼン環を含む芳香族化合物である。

炭素C、水素H、酸素Oからなる化合物A 10.8 mgを完全燃焼させたとき、二酸化炭素が30.8 mg、水が7.20 mg生成する。化合物Aの分子量は108である。

合成樹脂の原料であり、分子量が94である化合物Bは、水溶液中ではわずかに電離して、水溶液は ア 性を示す。化合物Bは、ナトリウムと反応すると化合物Cと水素が生じる。化合物AとBに塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると、化合物Aは青色を呈し、化合物Bは紫色を呈する。

分子量92の化合物Dは、揮発性のある無色の液体である。触媒を用いて化合物Dを酸化すると安息香酸が生成する。

さらし粉の水溶液に化合物E(分子量93)を入れると イ 色を呈す。化合物Eは水にわずかに溶け ウ 性を示す。化合物Eに無水酢酸を作用させると、かつては解熱剤として使用されていた エ が生成する。

化合物BとDに濃硫酸と濃硝酸の混合物(混酸)を加えて反応させると、それぞれ化合物F(分子量229)とG(分子量227)が生成する。どちらも異性体を持たず、化合物Fは淡黄色で融点123℃、化合物Gは淡黄色～黄褐色の針状結晶で融点が81℃である。

化合物Eの希塩酸溶液に冷やしながら亜硝酸ナトリウムを作用させると、化合物Hが生成する。化合物Hの水溶液に化合物Cの水溶液を加えると赤橙色の物質が生じる。

問 1 化合物 **A** の分子式を記せ。解答欄には計算過程を含めて記入せよ。

問 2 問 1 の分子式でベンゼン環をもつ構造異性体の数を答えよ。

問 3 文章中の **ア** ～ **エ** に入る最も適切な語句を次の(あ)～(さ)からそれぞれ1つ選び、記号で答えよ。なお、同じ語句を何度使用してもよい。

- | | | | |
|---------------|-----------|-------------|---------|
| (あ) 黒 | (い) 赤紫 | (う) 黄 | (え) 青 |
| (お) 強酸 | (か) 弱酸 | (き) 強塩基 | (く) 弱塩基 |
| (け) アセチルサリチル酸 | (こ) クレゾール | (さ) アセトアニリド | |

問 4 化合物 **C** ～ **F** の名称と構造式を記せ。

問 5 下線部について、反応の名称と化学反応式を示せ。なお、化学反応式は構造式を用いて記せ。

5 次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

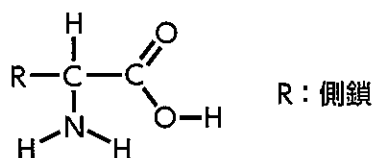


図1

α -アミノ酸は、図1に例示するように同一の炭素原子に **ア** 基とアミノ基が結合した構造をもつ。タンパク質は α -アミノ酸がペプチド結合により連なることで作られ、この α -アミノ酸の配列順序を **イ** 構造という。さらにタンパク質は α -ヘリックス構造や β -**ウ** 構造などの高次構造をつくる。一方、タンパク質を構成する α -アミノ酸は約20種類知られていて、体内で合成できない(あるいは合成しにくい) α -アミノ酸を **エ** アミノ酸という。ほぼすべての α -アミノ酸は **オ** 異性体とよばれる異性体が存在する。これは、**カ** とよばれる炭素原子をもち、4つの置換基が立体的に重ならない異性体が存在しうるからである。これらの異性体はD体とL体に区別され、天然のタンパク質はほとんどがL体から作られる。 α -アミノ酸は生活の中で様々に利用されており、例えばL体の^①グルタミン酸のナトリウム塩はうまみ調味料として知られる。一方、D体はうまみをほとんど感じさせないなどD体と^②L体では異性体間で性質の違いがある。

問 1 文章中の ア ～ カ に入る最も適切な語句を記せ。

問 2 下線部①のグルタミン酸の構造式を図 1 にならって示せ。なお、グルタミン酸の分子式は $C_5H_9NO_4$ である。

問 3 下線部②について、異性体間で違いの見られる事柄について最も適切なものを次の(あ)～(お)から 1 つ選べ。

- | | |
|--------------|--------------|
| (あ) 分子量 | (い) 融点 |
| (う) 水に対する溶解度 | (え) 酸に対する反応性 |
| (お) 光に対する性質 | |

問 4 食品添加物として用いられるポリリシンは、 α -アミノ酸の 1 つであるリシン(図 2) がペプチド結合により直鎖状に重合している。リシンが 30 分子重合している場合、その分子量を計算せよ。解答欄には計算過程を含めて記入せよ。なお、リシンの分子量は 146 とする。

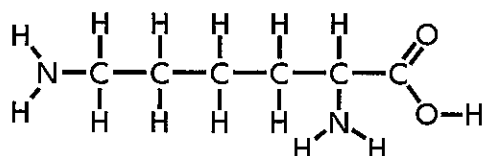


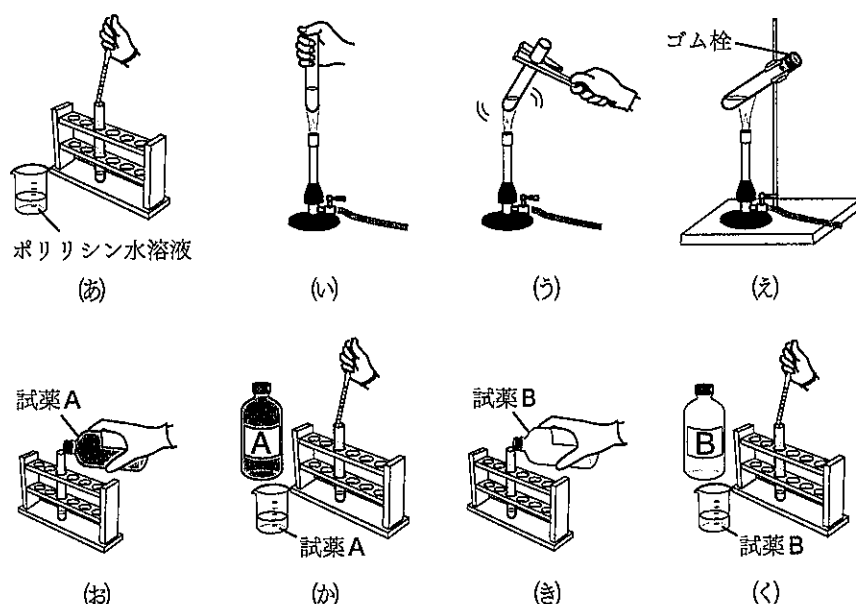
図 2

問 5 問 4 で示したポリリシン水溶液のキサントプロテイン反応について調べる実験を行う。一般にキサントプロテイン反応の実験に使う最初の試薬を「試薬 A」, 次に用いる試薬を「試薬 B」として、それぞれの試薬を(あ)～(け)から 1 つずつ選べ。

- | | | |
|------------|------------|-----------|
| (あ) 濃塩酸 | (い) 濃硫酸 | (う) 濃硝酸 |
| (え) 酢酸鉛(Ⅱ) | (お) 硫酸銅(Ⅱ) | (か) 炭酸水 |
| (き) アンモニア水 | (く) エタノール | (け) メタノール |

問 6 防護メガネや白衣，手袋などを準備して，問 5 での実験を行った。安全な実験操作を示す最も適切な図を(あ)～(く)から 4 つ選び，手順に従って並べよ。
また，操作の説明文を(a)～(h)から 4 つ選び，手順に従って並べよ。なお，図中では沸騰石は省かれており，液量などはそれ以前の操作を反映した量が描かれてはいない。

操作を示す図



説明文

- (a) 試験管にポリリシン水溶液を入れる。
- (b) 沸騰石を入れ，ガスバーナーで加熱する。
- (c) 沸騰石を入れ，密栓してガスバーナーで加熱する。
- (d) 加熱後，試薬 A を加える。
- (e) 試薬 A を加える。
- (f) 加熱後，ポリリシン水溶液を加える。
- (g) 冷却ののち，試薬 B を加える。
- (h) 加熱後ただちに，試薬 B を加える。

問 7 問 6 で行った実験の結果として最も適切な結果はどれか，次の(あ)～(お)から 1 つ選べ。

- | | |
|----------------|--------------|
| (あ) 呈色反応は示さない。 | (い) 赤紫色を呈する。 |
| (う) 橙黄色を呈する。 | (え) 青紫色を呈する。 |
| (お) 黒色の沈殿が生じる。 | |

生 物

1 次の文章Ⅰ、Ⅱを読み、問1～問6に答えよ。

(文章Ⅰ)

動物の発生とは卵と精子が受精してできる受精卵から個体が形成される過程のことである。大部分の動物では成長すると雄の精巣では精子が、雌の卵巣では卵がつくられるが、これら配偶子の元となる 1 は発生初期に出現し、生殖巣(精巣あるいは卵巣)へと移動する。1 は、まず 2 により、雄では一次精母細胞になり、その後は減数分裂によって二次精母細胞を経て精子が形成される。一方雌では一次卵母細胞となり、その後は二次卵母細胞を経て最終的に卵が形成される。減数分裂の過程では倍加した 3 どうしが平行に並んで 4 し、二価染色体になる。最終的には2回の分裂により母細胞と遺伝的に異なる単相(n)の娘細胞が 5 個できる。減数分裂には配偶子の遺伝的多様性を高める2つのメカニズムが存在する。^①精子形成では1個の一次精母細胞から 5 個の精細胞がつくられるが、卵形成では1個の一次卵母細胞からは1個の卵細胞しかつくられず、残りは分裂の過程で 6 となって消失する。

哺乳類や両生類の受精後の初期発生過程では、受精卵は卵割を繰り返し、桑実胚、胞胚となる。さらに発生が進むと、胚表面の特定部分の細胞が胚の内側に向かって入り込む 7 が起こり、その時期の胚を 8 という。8 では、全体を包むように外胚葉、内部に位置する内胚葉およびその中間に位置する中胚葉の3つの胚葉が形成される。^②その後、胚の中の細胞は周囲にはたらきかけて細胞分化を引き起こす。器官が形成される過程では組織間でシグナル分子の受け渡しが起こり、複雑な三次元構造ができていく。例えば、四肢の形成過程では^し肢芽の先端部にある外胚葉性頂堤が^が線維芽細胞増殖因子(FGF)というタンパク質を分泌して、増殖が盛んな間葉系細胞集団の未分化域を維持しながら肢芽が伸長する。同時にヒトやマウスの外胚葉性頂堤では、アヒルのみずか

きにあたる部分の細胞が 9 を起こすことで5つの領域に分離され、手指・足趾が形成される。また指の前後軸のパターン形成は、肢芽の後縁に極性化活性帯(ZPA)という領域から分泌されるシグナル分子によって制御されており、どの指が形成されるかがプログラムされている。^③

問 1 文章中の 1 ～ 9 にあてはまる最も適当な語句を記せ。

問 2 下線部①について、遺伝的多様性を高める、減数分裂時に特有の2つのメカニズムとは何か、それぞれ60字以内で説明せよ。

問 3 下線部②について、中胚葉由来の組織はどれか、以下の(ア)～(コ)から正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 骨格筋 (イ) 消化管上皮 (ウ) 真皮 (エ) 神経系
(オ) 心臓 (カ) 四肢の骨 (キ) 肝臓 (ク) 口腔粘膜上皮
(ケ) 表皮 (コ) 肺

問 4 下線部③について、以下の問に答えよ。

(1) 極性化活性帯(ZPA)で分泌される、あるタンパク質(シグナル分子)によって指の位置が決定すると考えられている。そのタンパク質は何か、その名称を記せ。

(2) もともと ZPA は肢芽の後縁にあるが、実験的に肢芽の前縁に別個体の ZPA を移植することでどのようなことが起こると予想されるか。以下の(ア)～(エ)から正しいものを1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 指が各領域に分離しなくなる。
(イ) 正常な指と鏡像対称となるように、もう一組の指が形成される。
(ウ) 指の数は変わらないが、それぞれ約2倍の長さの指が形成される。
(エ) 特に変化は起こらない。

(文章Ⅱ)

キイロショウジョウバエ成虫の正常個体は1対の翅^{はね}しかもたないが、ホックス^④
(Hox) 遺伝子群に属する の変異体では、後胸が中胸に置き換わり、
結果として2対の翅を生じる。一方で、頭部、前胸部、中胸部の構造を指定する
 の変異体では、触角が肢^{あし}に置き換わる。

問 5 文章中の および にあてはまる最も適当な語句を以下の(ア)～(オ)から選び、それぞれ記号で答えよ。

- | | |
|-------------------|----------------------|
| (ア) アンテナペディア遺伝子 | (イ) ギャップ遺伝子 |
| (ウ) ペアルール遺伝子 | (エ) (ウルトラ)バイソラックス遺伝子 |
| (オ) セグメントポラリティ遺伝子 | |

問 6 下線部④について、Hox 遺伝子群のある遺伝子の欠損で生じたような、
体の一部の特徴が体の別の部分の特徴に置き換わる現象を何と呼ぶか、その
名称を記せ。

2 次の文章Ⅰ、Ⅱを読み、問1～問8に答えよ。

(文章Ⅰ)

多細胞生物において、自己複製能力をもち、特定の条件下で様々な種類の細胞に分化できる能力をもつ未分化の細胞を [1] という。[1] は骨髄など生体内に存在するが、発生初期の胚から人工的に作製した [1] にES細胞がある。ES細胞は様々な組織の細胞に分化することができる [2] を維持している。

一方、ヒトの皮膚などの体細胞に4種類の遺伝子を導入することで、分化した細胞を未分化な状態に戻し、[2] をもつ細胞に変換した [1] にiPS細胞がある。iPS細胞は様々な細胞に分化させてヒトに移植するなど、再生医療への応用が期待されている^①。また、病気を再現した細胞に分化させて、病態の解析や新薬の開発にも利用されている。

ゲノム編集は、任意のゲノムの塩基配列を削除、挿入、置換する技術である。現在、細菌由来の [3] というDNA分解酵素を用いた技術が主流となっており、標的DNAに相補的なガイドRNAとともに [3] を細胞に導入することで、標的とする配列をもつDNAが切断される。切断箇所は修復されるが、^②一定の確率で塩基配列に欠失や挿入が起こり、フレームシフトが起こることで、遺伝子産物の機能が損なわれる。この技術を用いて作製され特定の遺伝子が破壊されたマウスを [4] マウスという。また、ゲノム編集では、[A] の光を吸収して [B] の蛍光を発するタンパク質であるGFPなどの遺伝子を^③挿入することも可能である。

問 1 文章中の 1 ～ 4 にあてはまる最も適当な語句を記せ。

問 2 文章中の A および B にあてはまる最も適当な色を以下の
(ア)～(オ)から選び、それぞれ記号で答えよ。

(ア) 青 (イ) 緑 (ウ) 黄 (エ) オレンジ (オ) 赤

問 3 下線部①について、iPS 細胞を再生医療に用いる場合、ES 細胞と比べて
有利な点を 40 字以内で述べよ。

問 4 下線部②について、ガイド RNA は通常、20 個ほどの塩基配列を認識するものを用いる。20 塩基を認識するガイド RNA が偶然一致する確率はいくつになるか。 $\left(\frac{1}{10}\right)^n$ で示したとき、 n にあてはまる数字を整数で記せ。なお、この生物のもつゲノム DNA 中の塩基の比率は等しく、20 塩基が完全に一致したときに結合するものとする。 $2^{10} \approx 10^3$ の近似を用いて計算せよ。

問 5 下線部③について、GFP をオワンクラゲより発見し、2008 年にノーベル化学賞を受賞したのは誰か。以下の(ア)～(オ)から 1 つ選び、記号で答えよ。

(ア) 大隅良典 (イ) 大村智 (ウ) 下村脩
(エ) 本庶佑 (オ) 山中伸弥

(文章Ⅱ)

ある疾患の原因となる可能性のある遺伝子変異を患者の遺伝子に見つけた。これを確認するため、患者由来の iPS 細胞を用いて病態を再現することにした。さらにこの iPS 細胞の遺伝子変異をゲノム編集により健常者と同じ塩基配列に改変し、改変前と比較することにした。

また、単離した iPS 細胞からゲノム DNA を採取し、その対象とする遺伝子の一部を PCR 法により増幅した。増幅した PCR 産物の塩基配列を図 1 に示す。次に、^④ゲノム編集により、60 番目の塩基 A を G に置換することで、変異を修正した。この修正を確認するため、制限酵素 *Nsi* I (認識配列：ATGCAT) を用いて、PCR 産物を処理した結果、産物は 2 つに切断された。この他にも認識配列の異なる各種制限酵素処理した PCR 産物をアガロース電気泳動法により分子量^⑤に従って分離し、蛍光色素を用いて検出した。その結果、図 2 の泳動結果となった。

```
1      5' CAGCTATGAC CATGATTACG CCAAGCTATT TAGGTGACAC 3'
41     5' TATAGAATAC TCAAGCTATA CATCCAACGC GTTGGGAGCT 3'
81     5' CTCCCATATG GTCGACCTGC AGGCGGCCGC ACTAGTGATA 3'
121    5' TCCCGCGGCC ATGGCGGCCG GGAGCATGCG ACGTCGGGCC 3'
161    5' CAATTCGCCC 3'
```

図 1 PCR 法により増幅した塩基配列

問 6 下線部④について、PCR 法では3つのステップにより DNAを増幅し、その3つのステップを繰り返すことで大量に増幅する。このステップと温度の関係について正しい組み合わせを以下の(ア)～(カ)から1つ選び、記号で答えよ。

記号	第1ステップ	第2ステップ	第3ステップ
	変性	アニーリング	伸長
(ア)	95℃	72℃	60℃
(イ)	95℃	60℃	72℃
(ウ)	72℃	95℃	60℃
(エ)	72℃	60℃	95℃
(オ)	60℃	95℃	72℃
(カ)	60℃	72℃	95℃

問 7 下線部⑤について、以下の問に答えよ。

- (1) PCR 産物はアガロースゲルの中を陰・陽どちらの極に向かって移動するか、陰または陽で答えよ。また、その理由について 30 字以内で述べよ。
- (2) 制限酵素 *Nsi*I で処理することにより得られた泳動結果はどれか、レーン 1～5 から1つ選び、数字で答えよ。ただし、切断部位は認識配列に含まれるものとする。

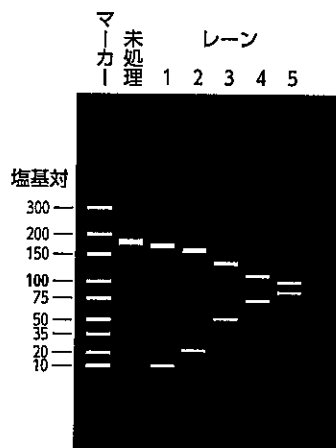


図2 各種制限酵素で処理した PCR 産物の電気泳動結果

問 8 ゲノム編集により塩基が置換された結果、アミノ酸は何から何へ変化したか。改変前と改変後のアミノ酸を表1のコドン表から選び、記せ。ただし、翻訳は図1の最初の開始コドンから始まるものとする。

表1 コドン表

		2					
		U	C	A	G		
1	U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U	3
		フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	C	
		ロイシン	セリン	終止	終止	A	
		ロイシン	セリン	終止	トリプトファン	G	
	C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U	
		ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	C	
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	A	
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	G	
	A	イソロイシン	スレオニン	アスパラギン	セリン	U	
		イソロイシン	スレオニン	アスパラギン	セリン	C	
		イソロイシン	スレオニン	リシン	アルギニン	A	
		メチオニン(開始)	スレオニン	リシン	アルギニン	G	
	G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	U	
		バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	C	
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	A	
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	G	

3 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

生物の進化には、種の形成に至らないような [1] と、新しい種が形成されるような [2] が存在する。このとき、[1] は厳密には生物集団内のある遺伝子座における対立遺伝子頻度の変化と定義づけることができる。そのため、生物の進化を考える場合には、ある1種で構成された生物集団がもつ遺伝子の集合全体である [3] における、ある遺伝子座の対立遺伝子頻度に注目する必要がある。この対立遺伝子頻度は普通、容易に変化するが、ハーディ・ワインベルグ平衡にある生物集団では、その対立遺伝子頻度は時間とともに変化しない。この平衡が成り立つには、以下の5つの条件すべてを満たす必要がある。

- (1) 集団内の個体数が無限大である。
- (2) 集団内の個体は任意交配を行う。
- (3) 他の集団との間で個体の移出入が生じない。
- (4) [4] が生じない。
- (5) 集団内の個体間で生存確率や繁殖能力に差がない。
②

生物における [4] は、そのほとんどが生じても生物の生存に影響しない。このような考え方を中立説と呼ぶ。また、[4] は、特定のDNA塩基配列においては一定の時間間隔で生じることから分子時計という考えが生まれ、生物がたどってきた進化の道筋を推定するために用いられている。このとき、DNA塩基配列に見られる進化を [5] と呼び、それらの違いから生物間の進化の道筋を推測して樹状にかかれたものを分子系統樹と呼ぶ。
③

問1 文章中の [1] ～ [5] にあてはまる最も適当な語句を記せ。

問2 下線部①について、ハーディ・ワインベルグ平衡が成り立つある二倍体生物集団において対立遺伝子Aとaの頻度をそれぞれ0.4と0.6とする。この生物集団から500個体ランダムに選んだ場合の各遺伝子型の個体数を求めよ。

問 3 下線部②について、この条件は生物の環境に対する適応を導く自然選択が生じないことを仮定している。自然選択に関して、以下の問に答えよ。

- (1) クジャクの雄の尾羽は、雌が配偶相手を選ぶときの指標になっている。
このような配偶相手のえり好みや異性をめぐる競争によって特徴が進化する仕組みを何と呼ぶか。最も適当なものを以下の(ア)～(カ)から 1 つ選び、記号で答えよ。

(ア) 共進化 (イ) 適応放散 (ウ) 工業暗化
(エ) 性選択 (オ) 種分化 (カ) 性的対立

- (2) 自然選択説を提唱したダーウィンは、アリやハチなどの協力行動を営む生物の進化に頭を悩ませていた。これは、アリのような社会性昆虫において協力行動を行う個体が自身の子を残さないためである。このような社会性昆虫において協力行動がなぜ進化したと考えられているか 75 字以内で説明せよ。解答の際には、ヒトと同様な二倍体生物と、雄が染色体を雌の半数しかもたないアリのような半倍数性の生物の血縁度の相違点に注目すること。

問 4 下線部③について以下の問に答えよ。

(1) DNA の塩基配列以外にも生物の特徴をもとに系統樹をかく場合がある。

これは、近縁な生物ほど共通祖先に由来する基本構造が同様の器官をもつと期待されるからである。このような器官を何と呼ぶか記せ。

(2) 表 1 は、ある生物 5 種の特定の遺伝子における塩基配列の差異を記したものである。この表 1 をもとに分子系統樹(図 1)を得た。このとき、

X にあてはまる種をアルファベットで答えよ。

(3) 図 1 において共通祖先から種 C とその他の種が分岐した年代を 1,200 万年とした場合、図 1 中の●で示されている分岐は何万年前に生じたと推定できるか計算式とともに答えよ。なお、分子系統樹を作成するのに用いた遺伝子の進化速度は一定であるとする。

表 1 互いに異なる塩基数

	種 A	種 B	種 C	種 D	種 E
種 A	—	—	—	—	—
種 B	10	—	—	—	—
種 C	15	15	—	—	—
種 D	10	3	15	—	—
種 E	5	10	15	10	—

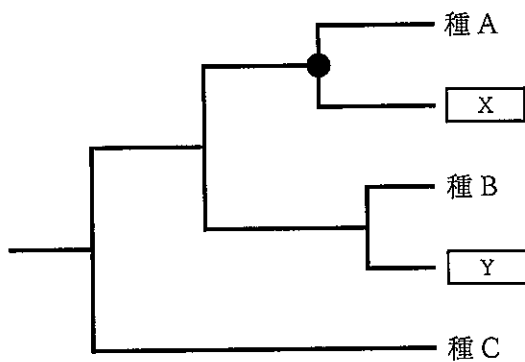


図 1 表 1 をもとに作成した分子系統樹

4

次の文章を読み、問1～問8に答えよ。

生態系において生産者が一定期間内に光合成によって生産した有機物の総量を総生産量といい、総生産量から生産者の呼吸で消費した有機物量(呼吸量)を差し引いたものを純生産量^①という。また、ある時点での一定空間内に存在する生物量を現存量という。地球上における生産者の純生産量や現存量は均一でなく、それらの様子は生態系ごとに異なる。

陸上の生態系では、年降水量と年平均気温が純生産量に影響を与える。気候に対応して多様なバイオームが存在し、森林では単位面積あたりの純生産量は熱帯多雨林で大きく、^②照葉樹林や夏緑樹林からなる温帯林、針葉樹林からなる亜寒帯林へと小さくなる。また、森林以外では単位面積あたりの純生産量は^③湿原で大きく、Aの順で小さくなる。森林はサバンナのような草原よりも単位面積あたりの純生産量は^④やや大きい程度であるが、単位面積あたりの現存量はとても大きい。なお、陸地全体における生産者の現存量は地球全体の99%を超えるが、純生産量は地球全体の約60%となっている。

海洋の生態系では、^⑤様々な浮遊性藻類からなる植物プランクトンが主要な生産者となっていて、生産者の現存量に対する純生産量は陸上生態系よりも著しく大きい。光が十分に届く表層では、植物プランクトンの増殖に必要な^⑥栄養塩類が不足しやすいために、純生産量は栄養塩類の量に大きく依存している場合が多い。単位面積あたりの純生産量は海域によって異なり、^⑦沿岸域や湧昇域で大きくなる。外洋域では、単位面積あたりの純生産量は小さいものの、面積が広いために海洋全体の純生産量の約80%となっている。

問 1 下線部①について、生態系における物質の動きを考えた場合、生産者の純生産量と等しいものを以下の(ア)～(カ)からすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 生産者の枯死量 + 生産者の成長量 + 一次消費者の摂食量
- (イ) 生産者の枯死量 + 生産者の成長量 + 一次消費者の同化量
- (ウ) 生産者の枯死量 + 生産者の成長量 + 生産者の被食量
- (エ) 生産者の枯死量 + 一次消費者の現存量 + 一次消費者の摂食量
- (オ) 生産者の枯死量 + 一次消費者の現存量 + 一次消費者の同化量
- (カ) 生産者の枯死量 + 一次消費者の現存量 + 生産者の被食量

問 2 下線部②について、以下の問に答えよ。

(1) 熱帯多雨林の説明として、適当なものを以下の(ア)～(オ)からすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 地球温暖化により分布域が徐々に広がり、それに伴い地球全体の純生産量に占める割合が増加している。
- (イ) 年平均気温が 25℃以上で、年降水量が 2,500 mm 以上の高温多湿の低緯度域に広く分布している。
- (ウ) 落葉や落枝が多いので、温帯林や亜寒帯林よりも土壌が発達し、土壌中の有機物の量は多い。
- (エ) 階層構造が温帯林や亜寒帯林よりも発達し、林冠から林床に向かって高木層、亜高木層、草本層、低木層の順で階層構造が見られる。
- (オ) フタバガキのなかまや、樹木に巻き付いて成長するつる植物、樹木などに固着して生活する着生植物などが見られる。

- (2) 日本の照葉樹林や夏緑樹林，針葉樹林で見られる樹種の組み合わせとして，最も適当なものを以下の(ア)～(オ)から1つ選び，記号で答えよ。

記号	照葉樹林	夏緑樹林	針葉樹林
(ア)	アダン	タブノキ	ブナ
(イ)	タブノキ	ブナ	エゾマツ
(ウ)	アコウ	スダジイ	コメツガ
(エ)	スダジイ	コメツガ	ハイマツ
(オ)	クヌギ	アラカシ	ミズナラ

問 3 下線部③について，以下の問に答えよ。

- (1) 湿原などで生育し，根は水底の土中にあるが，植物体の大部分が水上にある植物を何と呼ぶか，名称を記せ。
- (2) 湖沼などからはじまり，湿原，草原へと植生が変化することを何と呼ぶか，名称を記せ。
- (3) (2)の変化の順番として最も適当なものを以下の(ア)～(カ)から1つ選び，記号で答えよ。

- (ア) スイレン → クロモ → ヨシ → スゲ類
- (イ) スイレン → ヨシ → クロモ → スゲ類
- (ウ) クロモ → スイレン → ヨシ → スゲ類
- (エ) クロモ → ヨシ → スイレン → スゲ類
- (オ) ヨシ → クロモ → スイレン → スゲ類
- (カ) ヨシ → スイレン → クロモ → スゲ類

問 4 文章中の A にあてはまる順番として最も適当なものを以下の(ア)～(エ)から1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) サバンナ → ステップ → ツンドラ → 砂漠
- (イ) ステップ → サバンナ → ツンドラ → 砂漠
- (ウ) サバンナ → ステップ → 砂漠 → ツンドラ
- (エ) ステップ → サバンナ → 砂漠 → ツンドラ

問 5 下線部④の理由について、85 字以内で説明せよ。

問 6 下線部⑤について、以下の問に答えよ。

- (1) 海洋生態系の主要生産者である植物プランクトンとして適当なものを以下の(ア)～(オ)からすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 褐藻類 (イ) ツボカビ類 (ウ) ケイ藻類
- (エ) 渦鞭毛藻類 (オ) 紅藻類

- (2) 海洋における生産者の現存量と純生産量の関係として、最も適当な範囲を図1の(ア)～(ク)から1つ選び、記号で答えよ。

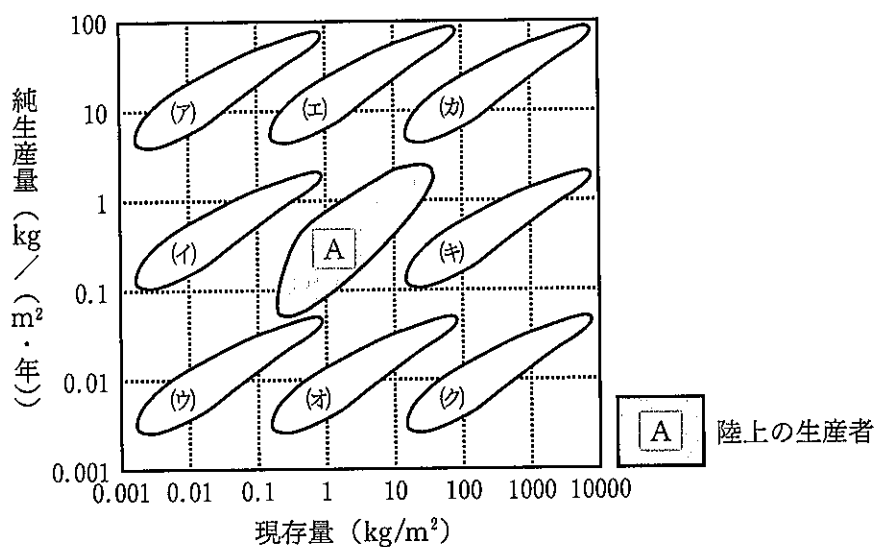


図1 現存量と純生産量の関係

- 問7 下線部⑥について、栄養塩類として最も適当なものを、以下の(ア)～(カ)から1つ選び、記号で答えよ。

- | | |
|--------------|---------------|
| (ア) 硝酸イオン | (イ) 硫酸イオン |
| (ウ) ナトリウムイオン | (エ) カリウムイオン |
| (オ) カルシウムイオン | (カ) マグネシウムイオン |

問 8 下線部⑦について、以下の問に答えよ。

- (1) 単位面積あたりの純生産量が、沿岸域や湧昇域で大きくなる理由について、55字以内で説明せよ。
- (2) 海洋の沿岸域の説明として、最も適当なものを以下の(ア)～(オ)から1つ選び、記号で答えよ。
- (ア) 植物プランクトンが多いために光合成量が多く、補償深度は外洋域よりも深くなる。
- (イ) プランクトンが異常に増殖したときに、それらの遺体の分解に大量の酸素が消費されるため、水中の酸素が欠乏する場合がある。
- (ウ) オオクチバスが分布する海域では、もともと生息していた在来的小型魚類が減少し、種多様性が減少する場合がある。
- (エ) ジャイアントケルプが多数生育する海域では、キーストーン種であるウニを人間が捕獲すると、ジャイアントケルプは大幅に減少する。
- (オ) アオコの発生が様々な海域で報告され、その毒素や水質の汚濁により魚介類の生活がむずかしくなっている。

地 学

1 次の文章を読み、下の各問に答えよ。

地球表層の水は、気体、液体、固体と状態を変えながら、大気の運動などによって別の場所に輸送され、地球上を循環している。海や陸の表面から水が蒸発する際、水蒸気はそこから熱を奪っていく。その水蒸気が大気中で凝結して雲粒になる際、熱を放出する。

地球表層の水の大部分は、液体として海洋に存在している。海洋以外の水は主に陸域に存在し陸水という。陸水は、河川水、地下水、氷床・氷河、湖沼水などからなる。陸水の大部分は **ア** で、次に **イ** が多い。

海洋では蒸発量が降水量を上回っている。これは蒸発した水が水蒸気や雲として陸上に運ばれ、降水となって陸地に達し、やがて海に戻っていくからである。地球表層で水が滞留する時間は、大気で **X** 日程度であり、海洋表層で 100 年程度、海洋深層で 1000 年程度である。

問 1 下線部①に関連して、水の状態変化を示した図 1 について、**A** に入る適切な語を答えよ。

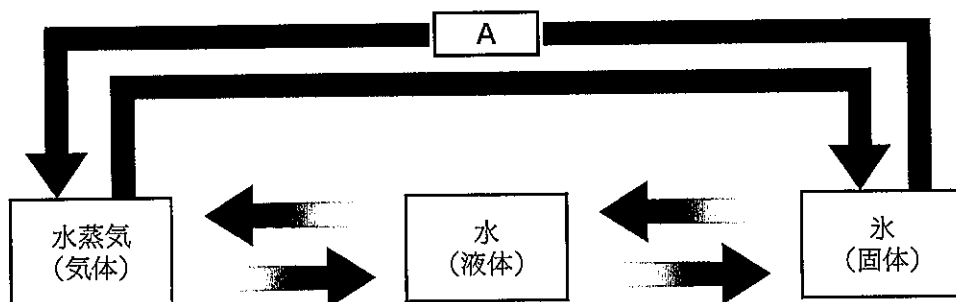


図 1 水の状態変化

問 2 下線部②に関連して、物質の状態が変化するときに必要な熱を総称して何とよぶか、適切な語を答えよ。

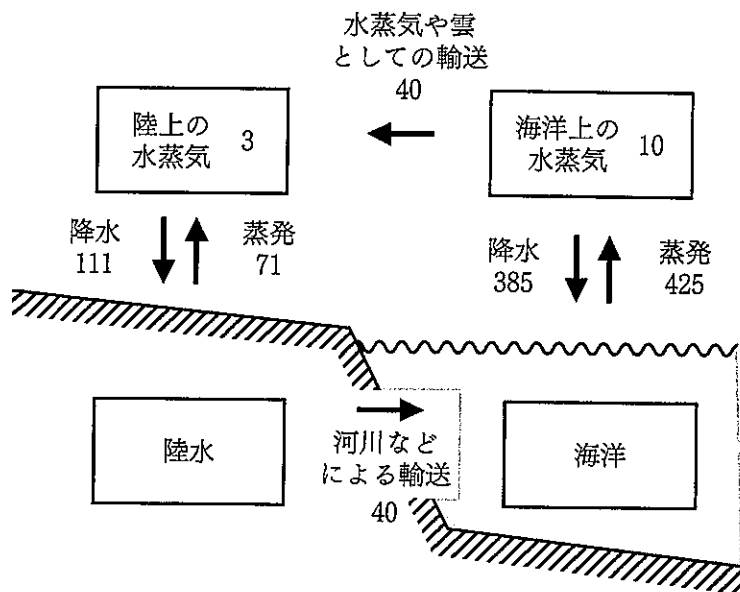
問 3 下線部③に関連して、地球上の水に占める海水の割合について最も適切なものを、次のa～dのうちから一つ選び、記号で答えよ。

- a 53 % b 74 % c 86 % d 97 %

問 4 文中の **ア** と **イ** に入る語句として適切なものを、それぞれ次のa～dのうちから一つ選び、記号で答えよ。

- a 河川水 b 地下水 c 氷床・氷河 d 湖沼水

問 5 **X** に入る適切な整数を、図2を参考にして求めよ。解答欄には計算過程も示せ。

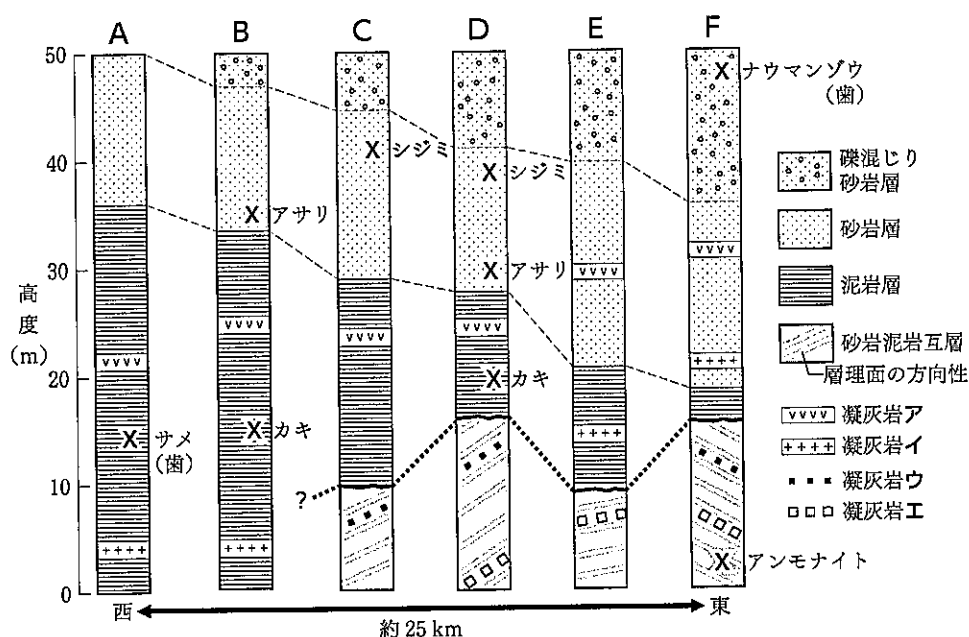


□ は貯蔵場所を示し、数値は貯蔵量を示す（単位 10^{15} kg）。

→ は貯蔵場所間の流れを表し、数値は流量を示す（単位 10^{15} kg/年）。

図2 地球表層の水の輸送量の模式図

- 2 次の文章は、高校地学部の子休みの活動で、近隣県の地質調査を行った部員グループの調査記録の一部である。この文章を読んで、下の各問に答えよ。



2024年8月XX日

今週調査したルートは地層がとてもよく露出していて、貴重な記録がたくさん取れた。東西25kmのルートに沿う6つの露頭A～Fの観察記録をそれぞれ簡略化した地質柱状図としてまとめ、上図のように並べてみた。露頭A～Fはほぼ直線上に位置しており、しかも観察した露頭がいずれも南向きだったことから、これらの地質柱状図は、調査地域の東西断面をおおよそ表していると思えばよいだろう。

- このルートで認められた地層は二種類に分けられるようだ。一つは、層理面が傾斜した固い砂岩泥岩互層である。この層がアンモナイトの化石を含むことは以前から知られており、今回の調査でも見つけることができた。地層の逆転は生じていないようである。もう一つは、ほぼ水平の地質構造を持つ、泥岩層、砂岩層、礫混じり砂岩層で、砂岩泥岩互層ほどには固結していない。これらの地層からは、サメの歯、カキ、アサリ、シジミなどの化石、さらに保存状態が良くないものの、
- ③

ナウマンゾウと推定される哺乳動物の臼歯なども見つけた。

複数の凝灰岩層ア～エとそれぞれの連続性から、露頭をまたいで同時断面を描くことができるだろう。一部の地層の新旧関係が分かるので、化石情報も参考にしたうえで、この地域における環境変遷をうかがい知ることができるに違いない。

問 1 下線部①に関する次の各問に答えよ。

(1) 地質構造の説明として最も適切なものを次から一つ選び、a～dの記号で答えよ。

- a 露頭C－D間に、大きな落差を持つ逆断層の存在が推定される。
- b 露頭D－F間に地溝の存在が推定される。
- c 露頭E付近に軸を持つ、向斜構造が推定される。
- d 露頭E－F間に軸を持つ、背斜構造が推定される。

(2) 砂岩泥岩互層とそれを覆う泥岩層との関係を漢字3文字で答えよ。

問 2 下線部②を裏付ける観察事項として、何に着目するのが適切だろうか。有効な視点を次から二つ選び、a～fの記号で答えよ。

- a 貝殻片や木片の混在
- b 級化成層
- c 砂岩部分における砂粒子の鉱物組成
- d 泥岩部分における有孔虫化石と放散虫化石の比率
- e 斜交葉理の形状
- f 礫の含有率

問 3 下線部③の観察事実が示す、この地域における環境変遷を50字以内で述べよ。

問 4 下線部④に関する意見として適切なものを次から二つ選び、a～eの記号で答えよ。

- a 凝灰岩アが最も新しく、凝灰岩工が最も古い。
- b 凝灰岩イと凝灰岩工の新旧関係は現時点での資料からは判断できない。
- c 露頭Cにおける凝灰岩ウは露頭Bにおける凝灰岩イよりも高度が高いことから、凝灰岩ウが凝灰岩イよりも新しい可能性を否定できない。
- d 露頭Fにおける凝灰岩アは露頭Aにおける凝灰岩イよりも確実に新しい。
- e 露頭C～Fにおける泥岩層と砂岩泥岩互層の境界を西方へたどっていけば、凝灰岩アとイの間のどこかを通るはずである。したがって、砂岩泥岩互層の一部は凝灰岩イよりも新しい。

問 5 凝灰岩アとイは砂岩層と泥岩層の境界(図中の破線)を横切っているように見える。このことは何を示しているだろうか。この地域全体の環境変遷と関連させて、150字以内で述べよ。

3 次の文章を読み、下の各問に答えよ。

青い恒星は赤い恒星より表面温度が **ア**。また、地球表面および地球大気からの放射は、主に **イ** である。これらは、^①ウィーンの変位則から理解できる。^②ウィーンの変位則とは、その表面温度 T に応じた電磁波を放射する物体において、その物体の表面から最も強く放射される光の波長を λ_m とすると、 λ_m と T の積は定数になるという法則のことである。ウィーンの変位則において、 $T = 1.0 \times 10^4 \text{ K}$ のとき、 $\lambda_m = 2.9 \times 10^{-7} \text{ m}$ である。

また、そのような放射は、シュテファン・ボルツマンの法則に従う。この法則によると、物体表面の単位面積から単位時間に放射される光のエネルギー E は

$$E = \sigma T^4$$

と表される。ここで、 σ はシュテファン・ボルツマン定数である。シュテファン・ボルツマンの法則を太陽黒点に用いると、太陽黒点の温度が周囲より **ウ** ため、単位面積から単位時間に放射される光のエネルギーが周囲よりも **エ** ことがわかる。また、この法則を、球形で表面温度が一樣な恒星の表面に用いると、恒星の光度と表面温度から恒星の半径を求めることができる。^③

問 1 ア と イ に入る語の組合せとして最も適切なものを、次の a～d のうちから一つ選べ。

	ア	イ
a	低い	赤外線
b	低い	紫外線
c	高い	赤外線
d	高い	紫外線

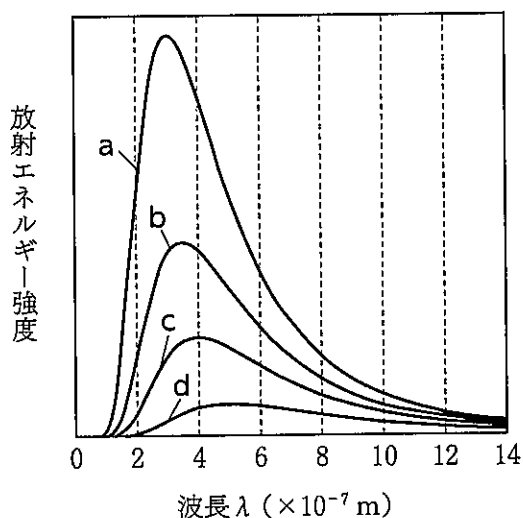
問 2 ウ と エ に入る語の組合せとして最も適切なものを、次の a～d のうちから一つ選べ。

	ウ	エ
a	低い	小さい
b	低い	大きい
c	高い	小さい
d	高い	大きい

問 3 下線部①に関連する次の文章中の オ に入る語を漢字 4 文字で答えよ。

太陽放射で暖められた地球表面からの放射の一部は、地球大気に含まれている水蒸気や二酸化炭素などに吸収されて地球大気を暖める。そして、暖められた地球大気から地球表面に向かう放射は、地球表面を暖める。これを オ という。同様のことは地球以外の惑星でも生じており、例えば、金星の表面温度は オ のために約 460℃に達している。

問 4 次の図は、温度を変えた時に、波長ごとにどれくらいの強度で光が放射されるかを表している。図の a～d はそれぞれ異なる温度からの放射に対応する。下線部②に関して、太陽の表面温度が 5800 K のとき、太陽放射を近似的に表すグラフとして最も適切なものを、図の a～d のうちから一つ選べ。



問 5 下線部③に関して、恒星の光度を L 、恒星の表面温度を T としたとき、恒星の半径 R を求める式を導け。式の導出過程も説明すること。

4 次の文章を読み、下の各問に答えよ。

地球内部の構造は、地震波の観測から知ることができる。横軸に震央から観測地点までの距離(震央距離)をとり、縦軸に地震が起きてから最初の P 波が観測地点に到着するまでの時間(走時)をとったグラフを走時曲線という。震源の浅い地震の走時曲線では、① 陸地では震央距離 150 ～ 300 km のあたりで折れ曲がりが生じる。これは、地下 30 ～ 60 km の深さに地震波速度が不連続に増加する境界面があるためで、この面を **ア** 不連続面という。地球内部の層構造区分では、この面より上は地殻、その下はマントルである。地表からこの不連続面までの深さは、標高が高いところほど深い。これは、標高が高いところでは地殻が厚く質量が大きいことから、地殻がマントル内に深く入り込んだところで、地殻が受ける **イ** と **ウ** がつり合うためである。このつり合いを **エ** という。なお、地殻は大陸地殻と海洋地殻に分けられ、このうち大陸地殻の上部は主に **オ**、下部は主に斑れい岩からできている。

次に、地球の中心付近までの構造は、遠地震の走時曲線(地球全域にわたる走時曲線)により調べることができる。その場合、震央距離には、震央と観測地点をそれぞれ地球の中心と直線で結んでできる 2 直線のなす角度を用いる。多くの遠地震の走時曲線を調べた結果、P 波の伝わり方について、震央距離が **X** ° ～ 143° に P 波の伝わらない部分(P 波の影)のあることが明らかになった。これは地表からの深さ約 2900 km に境界面があるためであり、地球内部の層構造区分では、この境界面より深い部分を **カ** という。さらに P 波の影に弱い P 波が伝わる地点があることから、地表からの深さ約 **Y** km の **カ** の内部に、③ 地震波の速度が急に变化する境界面があると考えられる。

問 1 文中の **ア** ～ **カ** に適切な語を入れよ。なお、イとウの解答は順不同とする。

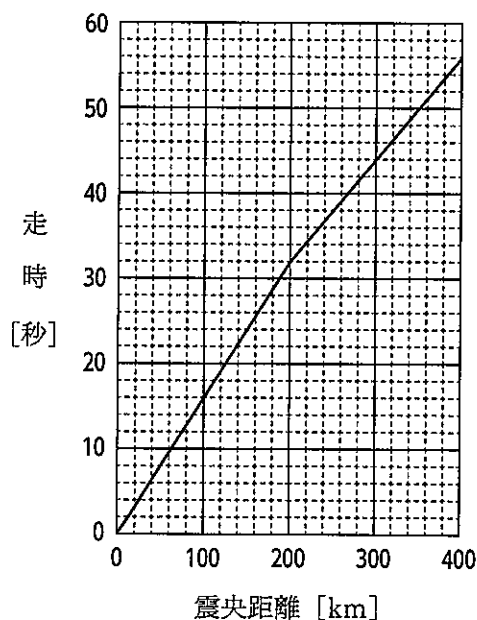
問 2 文中の **X** に入る数値として最も適切なものを、次の a～e から一つ選び記号で答えよ。

a 88 b 93 c 98 d 103 e 108

問 3 文中の **Y** に入る数値として最も適切なものを、次の a～e から一つ選び記号で答えよ。

a 4400 b 5100 c 5400 d 6100 e 6400

問 4 下線部①に関連して、下の図は震源の浅い地震で得られた走時曲線である。これをもとに、地殻およびマントルを伝わる P 波の速度をそれぞれ求めよ。なお、地殻の厚さは変化していないとする。解答用紙には計算式も記し、答えは小数第 2 位を四捨五入して小数第 1 位まで示せ。



問 5 下線部②に関して，この境界面を境にして P 波の速度はどのように変化しているか。30 字以内で述べよ。

問 6 下線部③に関して，地震波の速度が急に变化する理由となる，境界面の外側と内側の違いは何か。40 字以内で述べよ。

