

理 科

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 出題分野、頁および選択方法は、下表のとおりです。

出題分野	頁	選 択 方 法
物 理	1～17	左の3分野のうちから2分野を選択し、 解答しなさい。
化 学	18～30	
生 物	31～54	

3. 試験開始後、頁の落丁・乱丁及び印刷不鮮明、解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。また、問題冊子に計算用紙が挟んであるのでメモや計算に用いて構いません。
4. 監督者の指示にしたがって解答用紙の該当欄に下記のようにそれぞれ正しく記入し、マークしなさい。

① 受験番号欄

受験番号を5ケタで記入し、さらにその下のマーク欄に該当する5ケタをマークしなさい。(例)受験番号 10025 番→

1	0	0	2	5
---	---	---	---	---

 と記入。

② 氏名欄 氏名・フリガナを記入しなさい。

③ 解答分野欄

解答する分野を二つ選択し、分野名の右にあるマーク欄にマークしなさい。

5. 受験番号および解答する分野が正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
6. 解答は、解答用紙の解答欄に黒鉛筆(H・F・HBに限る)で正確にマークしなさい。


例えば

15

 と表示された問題の正答として④を選んだ場合は、次の(例)のように解答番号15の解答欄の④を濃く完全にマークしなさい。薄いもの、不完全なものは解答したことにはなりません。

(例)

解答番号	解 答 欄									
15	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

7. 解答を修正する場合は、必ず「消しゴム」であとが残らないように完全に消しなさい。鉛筆の色や消しにくが残ったり、のような消し方などをした場合は、修正したことになりません。
8. すべて選べという指示のある問題を除き、それぞれの問題で指定された数よりも多くの解答をマークした場合は無解答とみなされます。
9. 問題冊子の余白等は、適宜利用してよい。
10. 試験終了後、問題冊子、解答用紙、計算用紙を机上に置き、試験監督者の指示に従いなさい。

物 理

解答にあたっての諸注意

1. 各設問の後に、解答番号、解答形式、単位が記されているので、その解答様式にしたがって解答すること。
2. 計算に用いる数値は、解答の有効数字の桁数より1桁多くしたものを使用すること。
3. 物理定数表・いくつかの無理数の近似値・三角関数表を物理の問題の末尾に添付したので、必要があれば参照すること。

第1問 次の文章を読み、下の問(問1～6)に答えよ。

真空中に半径 R [m] の絶縁体球があり、この球内に単位体積あたり電荷密度の大きさ ρ [C/m³] ($\rho > 0$) の負電荷が一様に分布している。図1に示すように、この球の中心を通り x 軸に沿って球を貫通する細い穴を開ける。穴の直径は R に比べ十分小さく、無視できるものとする。

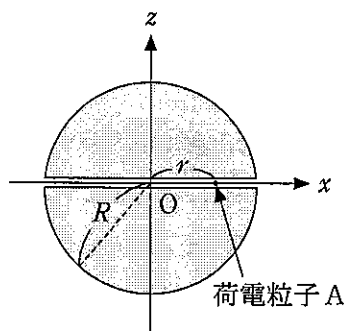


図1

球の中心を原点 O とする。この穴の中および球の外側での、原点 O から距離 r [m] の点における、絶縁体球全体の電荷による電場は、原点 O を中心とする半径 r [m] の球内に存在する全電荷が原点 O に集中していると考えたときに、この電荷が作る電場と等しいことが知られている。

電気量 q [C] ($q > 0$) の正電荷と質量 m [kg] をもち大きさの無視できる荷電粒子 A が、この穴の中および球の外側で運動する。ただし、この荷電粒子 A は絶縁体球とは絶縁されており、絶縁体球内の電荷分布は荷電粒子 A の運動に影響されないものとする。また重力および摩擦の影響は無視して良い。真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0 [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] とする。

問 1 荷電粒子 A が x 軸上の点 $x = r$ ($r < R$) にあるときに、荷電粒子 A が絶縁体球による電場から受ける力の大きさ F [N] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $F = \boxed{1}$ [N]

- | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ① $4\pi\rho qr$ | ② $4\pi\rho q^2 r$ | ③ $4\pi\rho qr^2$ | ④ $\frac{\pi k_0 \rho q}{r^2}$ |
| ⑤ $\frac{\pi k_0 \rho q^2}{r^2}$ | ⑥ $\frac{\pi k_0 \rho q^2}{r}$ | ⑦ $\frac{k_0 q^2}{r^2}$ | ⑧ $\frac{4\pi k_0 \rho qr}{3}$ |
| ⑨ $\frac{4\pi k_0 \rho q}{3r}$ | ⑩ $\frac{4\pi k_0 \rho q}{r^2}$ | ⑪ $\frac{4\pi k_0 \rho qr^2}{3}$ | ⑫ $\frac{4\pi k_0 \rho q}{3r^2}$ |
| ⑬ $8\pi\rho qr^2$ | ⑭ $\frac{8\pi k_0 \rho qr}{3}$ | ⑮ $\frac{8\pi k_0 \rho qr^2}{3}$ | ⑯ $\frac{8\pi k_0 \rho q}{3r^2}$ |

問 2 初めに x 軸上の点 $x = R$ に静止させていた荷電粒子 A が絶縁体球による電場から受ける力によって運動するとき、荷電粒子 A は元の点 $x = R$ に戻ってくるか。もし戻ってくる場合は往復に要する時間 t [s] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $t = \boxed{2}$ [s]

- | | | | |
|--|--|--|--|
| ① $\sqrt{\frac{4\pi^2 m}{k_0}}$ | ② $\sqrt{\frac{4\pi m}{3k_0 \rho q}}$ | ③ $\sqrt{\frac{4\pi^2 \rho q m}{k_0}}$ | ④ $\sqrt{\frac{4\pi^2 \rho q^2 m}{k_0}}$ |
| ⑤ $\sqrt{\frac{4\pi k_0 m}{\rho q}}$ | ⑥ $\sqrt{\frac{3\pi k_0 m}{\rho q}}$ | ⑦ $\sqrt{\frac{3\pi^2 m}{k_0 \rho q}}$ | ⑧ $\sqrt{\frac{3m \rho q^2}{k_0}}$ |
| ⑨ $\sqrt{\frac{3\pi m}{k_0 \rho q}}$ | ⑩ $\sqrt{\frac{3\pi m \rho q}{k_0}}$ | ⑪ $\sqrt{\frac{3\pi m}{k_0 \rho q^2}}$ | ⑫ $\sqrt{\frac{3\pi m}{2k_0 \rho q}}$ |
| ⑬ $\sqrt{\frac{4\pi^2 m}{k_0 \rho q}}$ | ⑭ $\sqrt{\frac{4\pi^2 k_0 m}{\rho q}}$ | ⑮ $\sqrt{\frac{4\pi \rho q m}{k_0}}$ | ⑯ 戻ってこない |

問 3 原点 O に静止している荷電粒子 A を, x 軸上の点 $x = r$ ($r < R$) にゆつくりと移動するのに要する仕事 W_1 [J] はどれだけか。最も適切なものを, 次のうちから一つ選べ。 $W_1 = \boxed{3}$ [J]

- | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| ① $\frac{2\pi k_0 \rho q r^2}{3}$ | ② $\frac{\rho q r^2}{4\pi k_0}$ | ③ $\frac{2\pi k_0 r^2}{3\rho q^2}$ | ④ $\frac{\rho q^2 r^2}{4\pi k_0}$ |
| ⑤ $\frac{3\pi k_0 r^2}{4\rho q^2}$ | ⑥ $2\pi k_0 \rho r^2$ | ⑦ $\frac{2\pi \rho q r^2}{3k_0}$ | ⑧ $\frac{2\pi k_0 \rho q^2 r^2}{3}$ |
| ⑨ $\frac{3k_0 \rho q^2}{4\pi}$ | ⑩ $\frac{2\pi k_0 \rho^2 q r}{3}$ | ⑪ $\frac{4\pi k_0 \rho q r^2}{3}$ | ⑫ $\frac{2\pi k_0 r}{3\rho q^2}$ |
| ⑬ $\frac{2\pi k_0 \rho q r}{3}$ | ⑭ $2\pi k_0 \rho q r^2$ | ⑮ $\frac{2\pi k_0 \rho q^2 r}{3}$ | ⑯ $\frac{2k_0 \rho q r^2}{3\pi}$ |

問 4 x 軸上の点 $x = R$ に静止させている荷電粒子 A を, x 軸上の点 $x = r$ ($r > R$) にゆつくりと移動するのに要する仕事 W_2 [J] はどれだけか。最も適切なものを, 次のうちから一つ選べ。 $W_2 = \boxed{4}$ [J]

- | | |
|--|--|
| ① $\frac{4\pi k_0 r R^2 \rho q (r - R)}{3r}$ | ② $\frac{4\pi k_0 R^2 \rho q (r - R)}{3r}$ |
| ③ $\frac{4\pi R^2 \rho q (r - R)}{3k_0 r}$ | ④ $\frac{4\pi R^2 (r - R)}{3r}$ |
| ⑤ $\frac{4\pi k_0 \rho q (r - R)}{3r}$ | ⑥ $\frac{3\rho q (r - R)}{4\pi k_0}$ |
| ⑦ $\frac{\rho q (r - R)}{4\pi k_0 r R}$ | ⑧ $\frac{k_0 \rho q (r - R)}{4\pi r R}$ |
| ⑨ $\frac{3\pi k_0 r \rho q (r - R)}{4R}$ | ⑩ $\frac{2\pi k_0 R \rho q (r - R)}{3r}$ |
| ⑪ $\frac{3\pi k_0 R \rho q (r - R)}{4r}$ | ⑫ $\frac{4\pi k_0 R \rho q (r - R)}{3r}$ |
| ⑬ $\frac{4\pi k_0 r^2 \rho q (r - R)}{3R}$ | ⑭ $\frac{2\pi k_0 R^2 \rho q (r - R)}{3r}$ |
| ⑮ $\frac{4\pi k_0 R^3 \rho q (r - R)}{3r}$ | ⑯ $\frac{\pi k_0 R^2 \rho q (r - R)}{3r}$ |

問 5 原点 O に静止している荷電粒子 A に、質量 M [kg] ($M \neq m$) で電荷をもたず大きさの無視できる粒子 B を速さ V_B [m/s] で弾性衝突させる。荷電粒子 A を無限遠方まで飛ばすために必要な粒子 B の速さ V_B [m/s] の最小値はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $V_B = \boxed{5}$ [m/s]

$$\textcircled{1} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R^2}{M}}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{M+m}{2m} \sqrt{\frac{\rho q R^2}{4\pi k_0 M}}$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{\rho q^2}{4\pi k_0 R^2}}$$

$$\textcircled{4} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R^2}{m}}$$

$$\textcircled{5} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{\rho q R^2}{4\pi k_0 m}}$$

$$\textcircled{6} \quad \frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R^2}{m}}$$

$$\textcircled{7} \quad \frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{\rho q R^2}{4\pi k_0 m}}$$

$$\textcircled{8} \quad \frac{2m}{M+m} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R^2}{M}}$$

$$\textcircled{9} \quad \frac{M+m}{2m} \sqrt{\frac{k_0 R^2}{4\pi M \rho q}}$$

$$\textcircled{10} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{\rho q^2}{4\pi k_0 M R^2}}$$

$$\textcircled{11} \quad \frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R}{m}}$$

$$\textcircled{12} \quad \frac{2m}{M+m} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R}{m}}$$

$$\textcircled{13} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{k_0 R^2}{4\pi M \rho q}}$$

$$\textcircled{14} \quad \frac{2M}{M+m} \sqrt{\frac{4\pi k_0 R^2}{\rho q m}}$$

$$\textcircled{15} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{4\pi k_0 R^2}{\rho q M m}}$$

$$\textcircled{16} \quad \frac{M+m}{2M} \sqrt{\frac{4\pi k_0 \rho q R^2}{M m}}$$

次に、絶縁体球がある空間に、図 2 に示すように、 z 軸の正の向き(紙面裏から表に向う向き)に磁束密度の大きさが B [T] ($B > 0$) の一様な磁場を加えた。 x 軸上の点 $x = r$ ($r > R$) にある荷電粒子 A に、ある速さ v_A [m/s] を与えると、荷電粒子 A は xy 平面内で原点 O を中心とする半径 r [m] の等速円運動を行った。

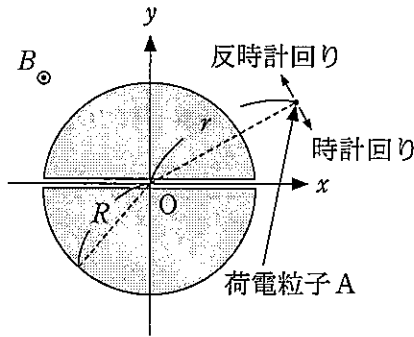


図 2

問 6 円運動が xy 平面内で反時計回りのときの円運動の周期 T_{CCW} [s] および、円運動が xy 平面内で時計回りのときの円運動の周期 T_{CW} [s] はそれぞれどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$T_{\text{CCW}} =$ [s], $T_{\text{CW}} =$ [s]

① $\frac{\pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} + q v_A B}$

② $\frac{2 \pi v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} - q v_A B}$

③ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} + q v_A B}$

④ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{3 r^3 \rho q}{4 \pi k_0 R^2} + q B}$

⑤ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} + v_A B}$

⑥ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{3 r^3 \rho q}{4 \pi k_0 R^2} + q v_A B}$

⑦ $\frac{\pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} - q v_A B}$

⑧ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{2 \pi R^2 \rho q k_0}{3 r^2} + v_A B}$

⑨ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{2 \pi R^2 \rho q k_0}{3 r^2} - q B}$

⑩ $\frac{2 \pi v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} + q v_A B}$

⑪ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} - q v_A B}$

⑫ $\frac{2 \pi m v_A^2}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} - q v_A B}$

⑬ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} - v_A B}$

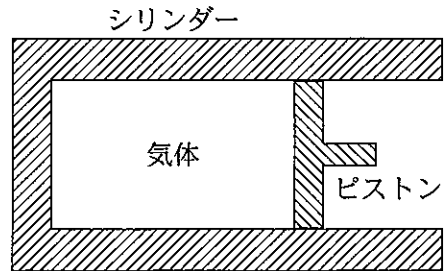
⑭ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{3 r^3 \rho q}{4 \pi k_0 R^2} - q v_A B}$

⑮ $\frac{2 \pi m v_A}{\frac{3 R^3 \rho q}{4 \pi k_0 r^2} - q B}$

⑯ $\frac{2 \pi m v_A^2}{\frac{4 \pi R^3 \rho q k_0}{3 r^2} + q v_A B}$

第2問 次の文章を読み、下の問(問1～4)に答えよ。

図のような、シリンダーとピストンからなる装置がある。シリンダー内の気体には熱を加えることができる。シリンダーおよびピストンは断熱材でできており、シリンダー内の気体との間の熱のやり取りは無視できるものとする。



図

単原子分子気体でなく、その物質も不明なある気体をこのシリンダー内に封じて、この気体の性質を調べることを考える。この気体は理想気体の状態方程式に従う。また、気体の内部エネルギー U [J] は気体の温度 T [K] に対して $U = CT$ という比例関係を満たす (C [J/K] は比例定数, $C > 0$)。

まず、気体の温度が $T_1 = 300$ K のときにピストンを固定し、この状態で気体に $Q = 2.40 \times 10^3$ J の熱量を与えた。気体の温度は $T_2 = 380$ K に上昇した。

問1 比例定数 C [J/K] の値はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $C = \boxed{8}$ J/K

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 3.0 | ② 6.3 | ③ 8.0 | ④ 10 |
| ⑤ 15 | ⑥ 24 | ⑦ 30 | ⑧ 45 |
| ⑨ 63 | ⑩ 80 | ⑪ 100 | ⑫ 150 |
| ⑬ 240 | ⑭ 300 | ⑮ 450 | ⑯ 630 |

次に、気体の圧力を一定値 $p_1 = 1.00 \times 10^5$ Pa に保ちながら、ピストンがなめらかに動くようにした。気体の温度が $T_1 = 300$ K のとき、体積は $V_1 = 5.40 \times 10^{-2}$ m³ であった。この状態の気体に熱量 $Q = 2.40 \times 10^3$ J を与えると気体はゆっくり膨張し、体積と温度はそれぞれ V_3 [m³]、 T_3 [K] になった。

問 2 気体の温度 T_3 [K] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $T_3 = \boxed{9}$ K

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 300 | ② 310 | ③ 320 | ④ 330 |
| ⑤ 340 | ⑥ 350 | ⑦ 360 | ⑧ 370 |
| ⑨ 380 | ⑩ 390 | ⑪ 400 | ⑫ 410 |
| ⑬ 420 | ⑭ 430 | ⑮ 440 | ⑯ 450 |

問 3 気体の体積 V_3 [m^3] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $V_3 = \boxed{10} \times 10^{-2} \text{m}^3$

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 5.5 | ② 5.7 | ③ 5.9 | ④ 6.1 |
| ⑤ 6.3 | ⑥ 6.5 | ⑦ 6.7 | ⑧ 6.9 |
| ⑨ 7.1 | ⑩ 7.3 | ⑪ 7.5 | ⑫ 7.7 |
| ⑬ 7.9 | ⑭ 8.1 | ⑮ 8.3 | ⑯ 8.5 |

問 4 この気体の定圧モル比熱 C_p [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] と定積モル比熱 C_v [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] の比 C_p/C_v の値はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$C_p/C_v = \boxed{11}$$

- | | | | |
|--------|--------|-------|-------|
| ① 0.63 | ② 0.81 | ③ 1.0 | ④ 1.1 |
| ⑤ 1.2 | ⑥ 1.3 | ⑦ 1.4 | ⑧ 1.5 |
| ⑨ 1.6 | ⑩ 1.7 | ⑪ 1.8 | ⑫ 1.9 |
| ⑬ 2.0 | ⑭ 2.2 | ⑮ 2.4 | ⑯ 2.6 |

第3問 次の文章を読み、下の問(問1～4)に答えよ。

静止している観測者に向かって、振動数 400 Hz の音を発する音源 A が、一定の速さ 60.0 m/s でまっすぐ進んでいる。この時の空気中の音速を 340 m/s とし、風は吹いていないものとする。

問1 音源 A が観測者の位置を通過する直前までに観測者が観測する音の波長 λ_1 [m] と、通過後に観測する音の波長 λ_2 [m] はそれぞれどれだけか。最も適切なものを、次のうちからそれぞれ一つ選べ。

$\lambda_1 =$ m, $\lambda_2 =$ m

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| ① 0.020 | ② 0.040 | ③ 0.060 | ④ 0.080 |
| ⑤ 0.10 | ⑥ 0.20 | ⑦ 0.30 | ⑧ 0.40 |
| ⑨ 0.50 | ⑩ 0.60 | ⑪ 0.70 | ⑫ 0.80 |
| ⑬ 0.90 | ⑭ 1.00 | ⑮ 1.10 | ⑯ 1.20 |

問2 問1と同じ状況で、静止している観測者の位置に振動数 400 Hz の音を発する音源 B を置いた。音源 A が一定の速さ 60.0 m/s で観測者に向かってまっすぐ進んでいるとき、観測者が観測する1秒間あたりのうなりの回数 n_1 [回/s] はどれだけか。最も近い数値を、次のうちから一つ選べ。

$n_1 =$ 回/s

- | | | | |
|------|------|-------|-------|
| ① 72 | ② 74 | ③ 76 | ④ 78 |
| ⑤ 80 | ⑥ 82 | ⑦ 84 | ⑧ 86 |
| ⑨ 88 | ⑩ 90 | ⑪ 92 | ⑫ 94 |
| ⑬ 96 | ⑭ 98 | ⑮ 100 | ⑯ 102 |

音源 A が一定の速さ 60.0 m/s で進んでいるのと同じ向きに、風が一定の速さ 10.0 m/s で吹きはじめた。この時、音源 A に向かって観測者が一定の速さ 5.00 m/s で走り出し、音源 A とすれ違ったのちも同じ向きに走り続けた。

問 3 音源 A が観測者とすれ違う直前までに観測者が観測する音の振動数 f_3 [Hz] と、すれ違ったのちに観測する音の振動数 f_4 [Hz] はそれぞれどれだけか。最も適切なものを、次のうちからそれぞれ一つ選べ。

$$f_3 = \boxed{15} \text{ Hz}, f_4 = \boxed{16} \text{ Hz}$$

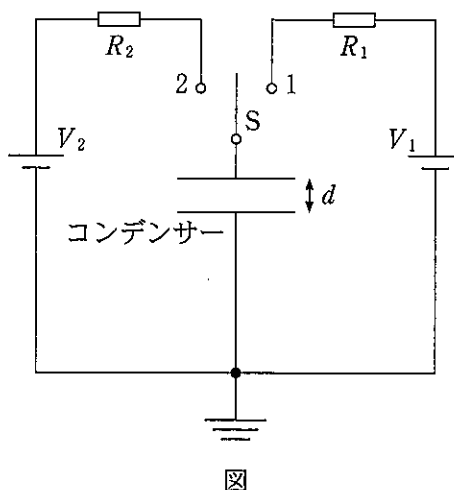
- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 333 | ② 337 | ③ 352 | ④ 375 |
| ⑤ 390 | ⑥ 427 | ⑦ 449 | ⑧ 461 |
| ⑨ 479 | ⑩ 490 | ⑪ 515 | ⑫ 577 |
| ⑬ 592 | ⑭ 631 | ⑮ 656 | ⑯ 679 |

問 4 問 3 と同じ状況で、観測者が音源 B を持って走っているとき、観測者が観測する 1 秒間あたりのうなりの回数 n_2 [回/s] は音源 A が観測者とすれ違う前後でどれだけ変化するか。 n_2 の変化の大きさとして最も近い数値を、次のうちから一つ選べ。 n_2 の変化の大きさ = $\boxed{17}$ 回/s

- | | | | |
|------|------|------|------|
| ① 1 | ② 3 | ③ 5 | ④ 7 |
| ⑤ 9 | ⑥ 11 | ⑦ 13 | ⑧ 15 |
| ⑨ 17 | ⑩ 19 | ⑪ 21 | ⑫ 23 |
| ⑬ 25 | ⑭ 27 | ⑮ 29 | ⑯ 31 |

第4問 次の文章を読み、下の問(問1～7)に答えよ。

図のような電圧 $V_1 = V$ [V]、 $V_2 = 2V$ [V]の2つの電源と、極板間距離 d [m]、電気容量 C [F]の平行板コンデンサー、抵抗値が R_1 [Ω]、 R_2 [Ω]の抵抗、スイッチ S を接続した回路がある。コンデンサーの極板間は真空である。また、回路は接地されている。



コンデンサーの極板間距離は可変であり、極板間距離を変化させるときは外力を加えるものとし、その操作は十分ゆっくりと行うこととする。

最初、スイッチ S は切られており、コンデンサーに蓄えられた電荷はゼロである。この回路を用いて、電圧 V_1 [V]の電源から、 V_2 [V]の電源に電荷を移動させるサイクルを考える。

まず、スイッチ S を1に入れ、十分な時間をおいてコンデンサーを充電した。この状態を(0)とする。その後、スイッチ S を切り、コンデンサーの極板間距離を d [m]から $3d$ [m]に広げた。この状態を(1)とする。

問1 状態(0)から状態(1)への過程で外力がした仕事の大きさ W_1 [J]はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $W_1 = \boxed{18}$ [J]

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV^2$ | ② $\frac{1}{2} CV^2$ | ③ $\frac{2}{3} CV^2$ | ④ $\frac{3}{4} CV^2$ |
| ⑤ $\frac{5}{6} CV^2$ | ⑥ CV^2 | ⑦ $\frac{7}{3} CV^2$ | ⑧ $\frac{1}{3} CV$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV^2$ | ⑩ $2 CV^2$ | ⑪ $\frac{2}{9} CV^2$ | ⑫ $\frac{3}{4} CV$ |
| ⑬ CV | ⑭ $\frac{7}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{2}{3} CV$ | ⑯ $\frac{1}{2} CV$ |

問 2 状態(1)から、スイッチ S を 2 に入れると、コンデンサーから電圧 V_2 [V] の電源に電荷が流入する。スイッチを入れてから十分な時間が経過した後の状態を(2)とする。状態(1)から状態(2)への過程で電源に流入した電荷の電気量 Q_1 [C] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$Q_1 = \boxed{19} \text{ [C]}$$

- | | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV$ | ② $\frac{1}{2} CV$ | ③ $\frac{2}{3} CV$ | ④ $\frac{3}{4} CV$ |
| ⑤ $\frac{5}{6} CV$ | ⑥ CV | ⑦ $\frac{4}{9} CV$ | ⑧ $\frac{3}{2} CV^2$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV$ | ⑩ $2 CV$ | ⑪ $\frac{1}{2} CV^2$ | ⑫ $\frac{5}{9} CV^2$ |
| ⑬ $\frac{5}{9} CV$ | ⑭ $\frac{4}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{5}{4} CV$ | ⑯ $\frac{1}{3} CV^2$ |

問 3 状態(2)から、スイッチ S を切り、極板間距離を $3d$ [m] から d [m] にゆっくりと戻した。この状態を(3)とする。状態(2)から状態(3)への過程で外力がした仕事の大きさ W_2 [J] はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $W_2 = \boxed{20}$ [J]

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV^2$ | ② $\frac{1}{2} CV^2$ | ③ $\frac{1}{3} CV$ | ④ $\frac{3}{4} CV^2$ |
| ⑤ $\frac{4}{9} CV$ | ⑥ CV^2 | ⑦ $\frac{3}{4} CV$ | ⑧ $\frac{4}{3} CV^2$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV^2$ | ⑩ $2 CV^2$ | ⑪ $\frac{2}{9} CV^2$ | ⑫ $\frac{4}{9} CV^2$ |
| ⑬ $\frac{5}{9} CV^2$ | ⑭ $\frac{7}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{4}{3} CV$ | ⑯ $\frac{1}{2} CV$ |

問 4 状態(3)からスイッチSを1に入れると、電圧 V_1 [V]の電源からコンデンサーに電荷が流入し、十分時間が経過した後、コンデンサーは状態(0)に戻る。状態(3)から状態(0)への過程でコンデンサーに流入した電荷の電気量 Q_2 [C]はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$Q_2 = \boxed{21} \text{ [C]}$$

- | | | | |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV$ | ② $\frac{1}{2} CV$ | ③ $\frac{2}{3} CV^2$ | ④ $\frac{3}{4} CV$ |
| ⑤ $\frac{5}{6} CV$ | ⑥ CV | ⑦ $\frac{4}{9} CV$ | ⑧ $\frac{3}{2} CV^2$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV$ | ⑩ $2 CV$ | ⑪ $\frac{1}{2} CV^2$ | ⑫ $\frac{2}{3} CV$ |
| ⑬ $\frac{5}{9} CV$ | ⑭ $\frac{4}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{5}{4} CV$ | ⑯ $\frac{1}{3} CV^2$ |

問 5 状態(0)から出発して状態(1), (2), (3)を経て状態(0)に戻る過程において、コンデンサーから電圧 V_2 [V]の電源へ移った電荷が持つエネルギー E_1 [J]と、電圧 V_1 [V]の電源からコンデンサーへ移った電荷が持つエネルギー E_2 [J]の差 $E_1 - E_2$ [J]はどれだけか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。 $E_1 - E_2 = \boxed{22}$ [J]

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{5}{2} CV^2$ | ② $\frac{1}{2} CV^2$ | ③ $\frac{2}{3} CV$ | ④ $\frac{3}{4} CV^2$ |
| ⑤ $\frac{5}{6} CV^2$ | ⑥ CV^2 | ⑦ $\frac{3}{4} CV$ | ⑧ $\frac{1}{3} CV$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV^2$ | ⑩ $2 CV^2$ | ⑪ $\frac{2}{3} CV^2$ | ⑫ $\frac{4}{9} CV^2$ |
| ⑬ $\frac{5}{6} CV$ | ⑭ $\frac{5}{2} CV$ | ⑮ $\frac{5}{4} CV^2$ | ⑯ $\frac{1}{3} CV^2$ |

問 6 状態(0)から出発して状態(1), (2), (3)を経て状態(0)に戻る過程において, コンデンサーの極板間距離を変化させるために外力がした仕事 $W_{0 \rightarrow 0}$ [J]はどれだけか。最も適切なものを, 次のうちから一つ選べ。

$$W_{0 \rightarrow 0} = \boxed{23} \text{ [J]}$$

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV^2$ | ② $\frac{2}{9} CV$ | ③ $\frac{2}{3} CV^2$ | ④ $\frac{4}{3} CV$ |
| ⑤ $\frac{5}{6} CV^2$ | ⑥ CV^2 | ⑦ $\frac{7}{9} CV$ | ⑧ $\frac{4}{3} CV^2$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV^2$ | ⑩ $\frac{3}{2} CV$ | ⑪ $\frac{2}{9} CV^2$ | ⑫ $\frac{4}{9} CV^2$ |
| ⑬ $\frac{5}{9} CV^2$ | ⑭ $\frac{7}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{4}{9} CV$ | ⑯ $\frac{1}{3} CV$ |

問 7 状態(0)から出発して状態(1), (2), (3)を経て状態(0)に戻る過程において, 抵抗値 R_1 [Ω], R_2 [Ω]の抵抗において消費されたエネルギーの合計 $E_{0 \rightarrow 0}$ [J]はどれだけか。最も適切なものを, 次のうちから一つ選べ。

$$E_{0 \rightarrow 0} = \boxed{24} \text{ [J]}$$

- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ① $\frac{1}{3} CV^2$ | ② $\frac{1}{2} CV^2$ | ③ $\frac{2}{3} CV^2$ | ④ $\frac{2}{9} CV$ |
| ⑤ $\frac{5}{9} CV$ | ⑥ CV^2 | ⑦ $\frac{4}{9} CV$ | ⑧ $\frac{1}{3} CV$ |
| ⑨ $\frac{3}{2} CV^2$ | ⑩ $2 CV^2$ | ⑪ $\frac{2}{9} CV^2$ | ⑫ $\frac{4}{9} CV^2$ |
| ⑬ $\frac{5}{9} CV^2$ | ⑭ $\frac{7}{9} CV^2$ | ⑮ $\frac{2}{3} CV$ | ⑯ $\frac{1}{2} CV$ |

第5問 次の文章を読み、下の問(問1～2)に答えよ。

放射性炭素は炭素の同位体の1つであり、その原子核 ^{14}C は6個の 25 と8個の 26 からなっている。 ^{14}C は、大気上層部において宇宙線から生成される 26 と大気中の 27 との核反応でほぼ一定の量がつくられている(この核反応では同時に1つの陽子も生成される)。 ^{14}C は大気中に一様に分布し、光合成によって植物に取り込まれ、さらに植物を食べた動物に取り込まれる。 ^{14}C は、半減期、約5730年で 28 崩壊を起こして 29 を放出し、30 に変わる。動物や植物が生きていて ^{14}C の取り込みが続けば生体内の ^{14}C はある平衡値に落ち着くことになる。しかしそれらの動物や植物が死ぬと、生体外からの ^{14}C の取り込みが止まるため、 ^{14}C は減る一方となる。したがって、木切れや骨片など生体に由来する試料に含まれる ^{14}C の量を測定すれば、元となった生物がいつ死んだかを知ることができる。これを用いたのが、放射性炭素年代測定法である。

問1 25 ～ 30 に入る語句のうち最も適切なものを、次のうちからそれぞれ一つ選べ。同じ選択肢を重複して選んでもよい。

25 26 27 28 29 30

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ① 電子 | ② 陽子 | ③ 中性子 | ④ 陽電子 |
| ⑤ π 中間子 | ⑥ α | ⑦ β | ⑧ γ |
| ⑨ ^1_1H | ⑩ ^1_0n | ⑪ ^3_2He | ⑫ ^4_2He |
| ⑬ $^{14}_7\text{N}$ | ⑭ $^{14}_6\text{C}$ | ⑮ $^{12}_6\text{C}$ | ⑯ $^{14}_6\text{C}$ |

遺跡 A から出土した焚き火跡の炭において測定された ^{14}C の放射能の強さは、作られたばかりの炭の 10.0 % であった。また、遺跡 B から出土した人骨片において測定された ^{14}C の放射能の強さは、21 世紀の人の骨片の 70.7 % であった。遺跡 C から出土した木片において測定された ^{14}C の放射能の強さは、現在生きている植物から採った木片の 36.8 % であった ($0.368 \approx \frac{1}{2.72}$)。遺跡 A の炭はおよそ 年前、遺跡 B の人骨片はおよそ 年前、遺跡 C の木片はおよそ 年前のものと推定される。

問 2 遺跡 A の炭、遺跡 B の人骨片、遺跡 C の木片はそれぞれおよそ何年前のものと推定されるか。最も近い数値を、次のうちからそれぞれ一つ選べ。必要ならば、無理数の近似値(物理の問題の末尾に添付)を参照せよ。

およそ 年前、およそ 年前、およそ 年前

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| ① 2000 | ② 2300 | ③ 2500 | ④ 2700 |
| ⑤ 2900 | ⑥ 3200 | ⑦ 5700 | ⑧ 7100 |
| ⑨ 7900 | ⑩ 8300 | ⑪ 8500 | ⑫ 9200 |
| ⑬ 18000 | ⑭ 19000 | ⑮ 21000 | ⑯ 23000 |

物理定数表

名 称	記 号	数 値	単 位
標準重力加速度	g	9.80665	m/s ²
万有引力定数	G	6.674×10^{-11}	N·m ² /kg ²
絶対零度		- 273.15	°C
熱の仕事当量	J	4.186	J/cal
気体定数	R	8.314	J/(mol·K)
標準大気圧(1気圧)	1 atm	1.01325×10^5	Pa
乾燥空気中の音の速さ (0°C)	V	331.5	m/s
乾燥空気の密度(0°C)	ρ	1.293	kg/m ³
真空中の光の速さ	c	2.99792458×10^8	m/s
真空中のクーロンの法則 の定数	k_0	8.988×10^9	N·m ² /C ²
真空の誘電率	ϵ_0	8.854×10^{-12}	F/m
真空の透磁率	μ_0	1.257×10^{-6}	N/A ²
電子の質量	m_e	9.109×10^{-31}	kg
電気素量	e	1.60×10^{-19}	C
電子の比電荷	e/m_e	1.759×10^{11}	C/kg
陽子の質量	m_p	1.673×10^{-27}	kg
中性子の質量	m_n	1.675×10^{-27}	kg
アボガドロ定数	N_A	6.022×10^{23}	mol ⁻¹
プランク定数	h	6.626×10^{-34}	J·s

無理数の近似値

名 称	記 号	数 値	名 称	記 号	数 値
円周率	π	3.14159	2の平方根	$\sqrt{2}$	1.4142
自然対数の底	e	2.71828	3の平方根	$\sqrt{3}$	1.7321
自然対数	$\log_e 2$	0.6931	5の平方根	$\sqrt{5}$	2.2361
	$\log_e 3$	1.0986			
	$\log_e 5$	1.6094			
常用対数	$\log_{10} 2$	0.3010			
	$\log_{10} 3$	0.4771			
	$\log_{10} 5$	0.6990			

三角関数表

角		正弦	余弦	正接	角		正弦	余弦	正接
度	ラジアン				度	ラジアン			
[°]	[rad]				[°]	[rad]			
0	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	45	0.7854	0.7071	0.7071	1.0000
1	0.0175	0.0175	0.9998	0.0175	46	0.8029	0.7193	0.6947	1.0355
2	0.0349	0.0349	0.9994	0.0349	47	0.8203	0.7314	0.6820	1.0724
3	0.0524	0.0523	0.9986	0.0524	48	0.8378	0.7431	0.6691	1.1106
4	0.0698	0.0698	0.9976	0.0699	49	0.8552	0.7547	0.6561	1.1504
5	0.0873	0.0872	0.9962	0.0875	50	0.8727	0.7660	0.6428	1.1918
6	0.1047	0.1045	0.9945	0.1051	51	0.8901	0.7771	0.6293	1.2349
7	0.1222	0.1219	0.9925	0.1228	52	0.9076	0.7880	0.6157	1.2799
8	0.1396	0.1392	0.9903	0.1405	53	0.9250	0.7986	0.6018	1.3270
9	0.1571	0.1564	0.9877	0.1584	54	0.9425	0.8090	0.5878	1.3764
10	0.1745	0.1736	0.9848	0.1763	55	0.9599	0.8192	0.5736	1.4281
11	0.1920	0.1908	0.9816	0.1944	56	0.9774	0.8290	0.5592	1.4826
12	0.2094	0.2079	0.9781	0.2126	57	0.9948	0.8387	0.5446	1.5399
13	0.2269	0.2250	0.9744	0.2309	58	1.0123	0.8480	0.5299	1.6003
14	0.2443	0.2419	0.9703	0.2493	59	1.0297	0.8572	0.5150	1.6643
15	0.2618	0.2588	0.9659	0.2679	60	1.0472	0.8660	0.5000	1.7321
16	0.2793	0.2756	0.9613	0.2867	61	1.0647	0.8746	0.4848	1.8040
17	0.2967	0.2924	0.9563	0.3057	62	1.0821	0.8829	0.4695	1.8807
18	0.3142	0.3090	0.9511	0.3249	63	1.0996	0.8910	0.4540	1.9626
19	0.3316	0.3256	0.9455	0.3443	64	1.1170	0.8988	0.4384	2.0503
20	0.3491	0.3420	0.9397	0.3640	65	1.1345	0.9063	0.4226	2.1445
21	0.3665	0.3584	0.9336	0.3839	66	1.1519	0.9135	0.4067	2.2460
22	0.3840	0.3746	0.9272	0.4040	67	1.1694	0.9205	0.3907	2.3559
23	0.4014	0.3907	0.9205	0.4245	68	1.1868	0.9272	0.3746	2.4751
24	0.4189	0.4067	0.9135	0.4452	69	1.2043	0.9336	0.3584	2.6051
25	0.4363	0.4226	0.9063	0.4663	70	1.2217	0.9397	0.3420	2.7475
26	0.4538	0.4384	0.8988	0.4877	71	1.2392	0.9455	0.3256	2.9042
27	0.4712	0.4540	0.8910	0.5095	72	1.2566	0.9511	0.3090	3.0777
28	0.4887	0.4695	0.8829	0.5317	73	1.2741	0.9563	0.2924	3.2709
29	0.5061	0.4848	0.8746	0.5543	74	1.2915	0.9613	0.2756	3.4874
30	0.5236	0.5000	0.8660	0.5774	75	1.3090	0.9659	0.2588	3.7321
31	0.5411	0.5150	0.8572	0.6009	76	1.3265	0.9703	0.2419	4.0108
32	0.5585	0.5299	0.8480	0.6249	77	1.3439	0.9744	0.2250	4.3315
33	0.5760	0.5446	0.8387	0.6494	78	1.3614	0.9781	0.2079	4.7046
34	0.5934	0.5592	0.8290	0.6745	79	1.3788	0.9816	0.1908	5.1446
35	0.6109	0.5736	0.8192	0.7002	80	1.3963	0.9848	0.1736	5.6713
36	0.6283	0.5878	0.8090	0.7265	81	1.4137	0.9877	0.1564	6.3138
37	0.6458	0.6018	0.7986	0.7536	82	1.4312	0.9903	0.1392	7.1154
38	0.6632	0.6157	0.7880	0.7813	83	1.4486	0.9925	0.1219	8.1443
39	0.6807	0.6293	0.7771	0.8098	84	1.4661	0.9945	0.1045	9.5144
40	0.6981	0.6428	0.7660	0.8391	85	1.4835	0.9962	0.0872	11.4301
41	0.7156	0.6561	0.7547	0.8693	86	1.5010	0.9976	0.0698	14.3007
42	0.7330	0.6691	0.7431	0.9004	87	1.5184	0.9986	0.0523	19.0811
43	0.7505	0.6820	0.7314	0.9325	88	1.5359	0.9994	0.0349	28.6363
44	0.7679	0.6947	0.7193	0.9657	89	1.5533	0.9998	0.0175	57.2900
45	0.7854	0.7071	0.7071	1.0000	90	1.5708	1.0000	0.0000	

化 学

(注意) 問題文中に指定がない場合、解答にあたって必要ならば、次の数値および条件を用いよ。

原子量：H = 1.01, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, F = 19.0,

Na = 23.0, S = 32.1, Cl = 35.5, K = 39.1, Br = 79.9,

Cs = 133

第1問 以下の問1～5の各群の①～⑤の中には、それぞれの問いの指示に該当するものが一つだけあるか、一つもないかのいずれかである。指示に該当するものが①～⑤の中に存在する場合は、①～⑤のうちから最も適切なもの一つを選べ。該当するものがない場合は⑥を選べ。

問 1

指示：誤りを含むもの

- ① 1.20 の有効数字は 3 桁である。
- ② 0.12 の有効数字は 3 桁である。
- ③ 1.20×10^2 の有効数字は 3 桁である。
- ④ 有効数字を考慮すると、 1.21×5.1 の計算値は 6.2 である。
- ⑤ 有効数字を考慮すると、 $1.20 + 3.451$ の計算値は 4.65 である。
- ⑥ (①～⑤のいずれも誤りを含まない。)

問 2 2

指示：誤りを含まないもの

- ① 正極と負極に二種類の金属板を用いる電池では，正極にイオン化傾向がより大きい金属，負極にイオン化傾向がより小さい金属を用いるほど，起電力が大きくなる。
- ② アルカリマンガン乾電池の方がマンガン乾電池よりも起電力が高い。
- ③ ダニエル電池の正極を銅から白金に取り替えても正極には銅が析出するが，正極を鉛に取り替えると正極には鉛が析出する。
- ④ 一次電池を別の電源の正極と負極に接続し，放電の場合とは逆の方向に電流を流すことにより，放電を続けることによって低下した起電力を回復させることができる。
- ⑤ 水素 H_2 と酸素 O_2 との酸化還元反応を用いる燃料電池では，発電に伴って水素は酸素の2倍の速さで質量が減少する。
- ⑥ (①～⑤のいずれも誤りを含む。)

問 3 3

指示：誤りを含まないもの

- ① 低級脂肪酸および高級脂肪酸は共に，水に溶けやすく，強い刺激臭をもつ白色の固体である。
- ② カルボン酸は同一分子内で水素結合を形成するため，液体あるいは固体状態においては二量体となって存在する。
- ③ 水に可溶性なカルボン酸やアルコールは，水中でわずかに電離するので，その水溶液は弱い塩基性を示す。
- ④ 水に可溶性なカルボン酸のナトリウム塩を塩酸と反応させると，エステルが遊離する。
- ⑤ ギ酸はホルムアルデヒドを酸化することでできる脂肪酸で，脂肪酸の中では最も酸性が弱い。
- ⑥ (①～⑤のいずれも誤りを含む。)

問 4

4

指示：誤りを含まないもの

- ① フェノール樹脂は、酸や塩基を触媒としてフェノールとホルムアルデヒドを付加縮合させてつくる合成樹脂である。触媒に酸を用いるときに生じる中間生成物はレゾール、塩基を用いるときに生じる中間生成物はノボラックという。
- ② アミノ樹脂は、アミノ基をもつ化合物とホルムアルデヒドを付加縮合させてつくる熱可塑性樹脂の総称である。
- ③ アルキド樹脂は、無水フタル酸などの多価カルボン酸とグリセリンなどの多価アルコールを縮合させてつくる熱可塑性樹脂の総称である。
- ④ ビニロンは、酢酸ビニルを付加重合させた後、水酸化ナトリウムでエステルを加水分解すると得られるポリビニルアルコールのことである。
- ⑤ 高密度ポリエチレンは低圧条件下、60℃前後で合成される合成高分子で、鎖の枝分かれが少なく結晶部分が多い。
- ⑥ (①～⑤のいずれも誤りを含む。)

問 5 5

指示：誤りを含まないもの

- ① ニトロセルロースは、セルロースに濃硫酸と濃硝酸の混合溶液を作用させて-OHを $-\text{NO}_2$ で置換した、セルロースのニトロ化合物である。
- ② セルロースに硫酸などの存在下で無水酢酸を作用させてトリアセチルセルロースとした後、エステルの一部を加水分解すると、ジアセチルセルロースができる。アセテート繊維は、ジアセチルセルロースのアセトン溶液を細孔から温かい空气中に押し出してセルロースに戻した繊維である。
- ③ ビスコースレーヨンは、セルロースをシュバイツァー試薬に溶かし、希硫酸中に細孔から押し出してセルロースに戻した繊維である。
- ④ キュプラは、セルロースに水酸化ナトリウム水溶液と二硫化炭素を作用させた後、薄い水酸化ナトリウム水溶液に溶かし、細孔から希硫酸中に押し出してセルロースに戻した繊維である。
- ⑤ セルロースは、多数の α -グルコースが1位と4位の炭素原子に結合した-OHで脱水縮合により結合(グリコシド結合)した直鎖状の高分子化合物である。
- ⑥ (①~⑤のいずれも誤りを含む。)

第2問 表1の番号1～6に示す化合物のイオン結晶は、それぞれNaCl型かCsCl型のいずれかの結晶構造をとる。この表を参考にして、NaCl型およびCsCl型の結晶に関連する以下の各問い(問1～6)に答えよ。この問題では、結晶中のイオンはすべて球とみなし、最も近いイオン同士は互いに接しているものとする。ただし、一方のイオンの半径が他方のそれに比べて小さすぎる場合は、大きい方のイオン同士が接し、その両者の中心同士を結ぶ線分の midpoint に、小さい方のイオンの中心が位置するものとする。なお、 $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{11} = 3.32$ とする。

表1 単位格子の一辺の長さ

番号	化合物	単位格子の一辺の長さ (pm)
1	NaF	462
2	NaCl	564
3	NaBr	596
4	CsF	594
5	CsCl	402
6	CsBr	421

問1 陽イオンのイオン半径が x 、陰イオンのイオン半径が $1.1x$ である CsCl 型の結晶の単位格子の一辺の長さを表す式として最も適切なものを、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

6

- ① $2.1x$ ② $4.2x$ ③ $2.1\sqrt{2}x$ ④ $4.2\sqrt{2}x$
 ⑤ $2.1\sqrt{3}x$ ⑥ $4.2\sqrt{3}x$ ⑦ $2.2x^2$ ⑧ $\frac{2.1}{\sqrt{2}}x$
 ⑨ $\frac{4.2}{\sqrt{2}}x$ ⑩ $\frac{2.1}{\sqrt{3}}x$ ⑪ $\frac{4.2}{\sqrt{3}}x$

問 2 ナトリウムイオンのイオン半径が 115 pm であるとき、臭化物イオンのイオン半径は何 pm か。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

pm

- ① 79 ② 82 ③ 95 ④ 116 ⑤ 124 ⑥ 131
 ⑦ 167 ⑧ 183 ⑨ 190 ⑩ 366 ⑪ 380

問 3 ナトリウムイオンのイオン半径が 115 pm であるとき、セシウムイオンのイオン半径は何 pm か。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

pm

- ① 39 ② 79 ③ 95 ④ 116 ⑤ 124 ⑥ 131
 ⑦ 145 ⑧ 167 ⑨ 181 ⑩ 245 ⑪ 362

問 4 表 1 の各結晶のうち、密度が最も小さい結晶はどれか。以下の①～⑥のうちから一つ選べ。

- ① NaF ② NaCl ③ NaBr ④ CsF ⑤ CsCl ⑥ CsBr

問 5 組成式 XI で表わされる、NaCl 型および CsCl 型のいずれの結晶構造もとりに得る塩(陽イオン X^+ とヨウ化物イオン I^- からなる塩)を仮想的に考える。陽イオン X の半径が 78 pm, 131 pm, および 191 pm のいずれかであるとき、考えられる 6 種類の単位格子の体積のうち、最小値は何 pm^3 となるか。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。ただし、ヨウ化物イオンのイオン半径は 196 pm とする。

$\times 10^7 \text{pm}^3$

- ① 2.1 ② 3.2 ③ 3.9 ④ 5.5 ⑤ 6.0 ⑥ 7.7
 ⑦ 17 ⑧ 28 ⑨ 33 ⑩ 57 ⑪ 77

問 6 次の各説明文のうち、誤りを含まないものを、以下の①～⑩のうちからすべてを選び、解答欄

11

 にそれらすべてをマークせよ。なお、この問題では、選択した正解選択肢の数に応じて得点を与え、選択した不正解選択肢の数に応じて減点する。ただし、選択した不正解選択肢の数が選択した正解選択肢の数を上回る場合は0点とする。

11

- ① 塩化ナトリウムの結晶では、単位格子に含まれる陽イオンの数は4個である。
- ② 塩化ナトリウムの結晶と臭化セシウムの結晶を比べると、単位格子の体積に占めるイオンの体積の割合(=充填率)は、塩化ナトリウムの方が大きい。
- ③ 表1と問2および問3の情報から、イオン半径の大きさの序列は、小さいものから順に $\text{Na}^+ < \text{Cl}^- < \text{Cs}^+$ である。
- ④ フッ化セシウムの結晶では、単位格子に含まれる陰イオンの数は4個である。
- ⑤ 臭化セシウムの結晶の単位格子の頂点をセシウムイオンが占めるとき、単位格子中でこの陽イオンから最も離れた位置にある陽イオンとの間の中心同士の距離は、セシウムイオンの直径と臭化物イオンの直径との和に等しい。
- ⑥ 臭化ナトリウムの結晶の単位格子の一辺の長さは、ナトリウムイオンの直径と臭化物イオンの直径との和の2倍に等しい。
- ⑦ 臭化ナトリウムの結晶の密度は、臭化セシウムのそれよりも大きい。
- ⑧ 塩化セシウムの結晶では、単位格子に含まれる陰イオンの数は4個である。
- ⑨ 塩化セシウムの結晶の密度は、臭化セシウムのそれよりも大きい。
- ⑩ 臭化ナトリウム1 molの結晶の体積は、臭化セシウム1 molの結晶の体積よりも大きい。
- ⑪ フッ化セシウムの結晶の密度は、塩化セシウムのそれよりも大きい。

第3問 スチレン(C_8H_8) 0.300 mol と *p*-ジビニルベンゼン($C_{10}H_{10}$) 0.100 mol を過不足なくすべて共重合させ、樹脂 A を得た。次に、この樹脂 A にアを反応させると、樹脂 A に含まれる、スチレンに由来するベンゼン環 1 個あたり、水素原子が最大 1 個スルホ基に置換され、陽イオン交換樹脂 B が 63.5 g 得られた。

この結果を踏まえ、以下の各問い(問 1 ~ 6)に答えよ。

問 1 アに該当する試薬は何か。最も適切なものを、以下の①~⑨のうちから一つ選べ。

12

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| ① 二酸化硫黄(SO_2) | ② 硫化水素(H_2S) |
| ③ 硫酸ナトリウム(Na_2SO_4) | ④ 硫酸水素ナトリウム($NaHSO_4$) |
| ⑤ 濃硫酸(H_2SO_4) | ⑥ 濃硝酸(HNO_3) |
| ⑦ 濃塩酸(HCl) | ⑧ 酢酸(CH_3COOH) |
| ⑨ 無水酢酸($(CH_3CO)_2O$) | |

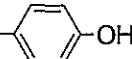
問 2 樹脂 A に含まれる、スチレンに由来するベンゼン環のうち、何% がスルホン化され、陽イオン交換樹脂 B ができたか。最も近い数値を、以下の①~⑩のうちから一つ選べ。

13 %

- | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ① 8.02 | ② 24.0 | ③ 40.5 | ④ 59.5 | ⑤ 63.4 | ⑥ 80.2 |
| ⑦ 84.7 | ⑧ 85.1 | ⑨ 91.4 | ⑩ 93.0 | ⑪ 99.8 | |

問 3 スチレンと *p*-ジビニルベンゼンの共重合体に含まれるベンゼン環にどのような官能基を導入すれば、陰イオン交換樹脂が得られるか。最も適切なものを、以下の①~⑩のうちから一つ選べ。

14

- | | |
|---|-----------------|
| ① $-CH_2-N^+(CH_3)_3OH^-$ | ② $-COOH$ |
| ③ $-CH_2OH$ | ④ $-SO_3^-Na^+$ |
| ⑤ $-O^-Na^+$ | ⑥ $-COO^-Na^+$ |
| ⑦ $-CH_2-CH_2-COO^-$ | ⑧ $-NO_2$ |
| ⑨  | ⑩ $-CHO$ |

問 4 先端にコックを付けたガラス管(これをカラム C とする)に、陽イオン交換樹脂 B のうち、 x [g] を詰めた。次いで、100 mL の塩化ナトリウム水溶液 D をすべてこのカラムに通した。その後、カラム内を純水で十分に洗い、カラムから出てきた水溶液を 1 つの容器にまとめて E とした。そして、この E の $\frac{1}{5}$ をとり、これに 0.200 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を滴下したところ、滴下量 16.0 mL で中和点に達した。 x に最も近い数値を、以下の①~⑪のうちから一つ選べ。ただし、このカラムに詰められた陽イオン交換樹脂は、前記の合成で得た陽イオン交換樹脂 B に含まれるスルホ基と同じ割合のスルホ基をもち、 x [g] 中に含まれるスルホ基の H^+ はすべて、 Na^+ に交換されたものとする。

15 g

- ① 0.677 ② 0.844 ③ 1.69 ④ 2.11 ⑤ 2.53 ⑥ 3.39
 ⑦ 4.22 ⑧ 6.33 ⑨ 10.2 ⑩ 12.6 ⑪ 42.5

問 5 問 4 で得た E の $\frac{4}{5}$ を 0.200 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で完全に中和したのち、この水溶液から水をすべて蒸発させて、純粋な塩化ナトリウムの結晶を 9.36 g 得た。塩化ナトリウム水溶液 D の質量パーセント濃度は何%か。最も近い数値を、以下の①~⑪のうちから一つ選べ。ただし、塩化ナトリウム水溶液 D の密度を 1.08 g/cm^3 とする。

16 %

- ① 0.0876 ② 0.117 ③ 0.148 ④ 0.185 ⑤ 1.60 ⑥ 2.00
 ⑦ 8.67 ⑧ 9.36 ⑨ 10.8 ⑩ 11.7 ⑪ 12.5

問 6 問 4 で用いた、 x [g] の陽イオン交換樹脂 B に塩化ナトリウム水溶液 D を通した後の樹脂を、もとの状態に戻すには、カラム C に何を充分通じればよいか。最も適切なものを、以下の①~⑩のうちから一つ選べ。

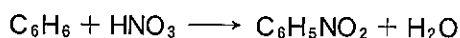
17

- ① エタノール ② クロロホルム ③ アセトン
 ④ ベンゼン ⑤ 酢酸エチル ⑥ アンモニア水
 ⑦ 水酸化ナトリウム水溶液 ⑧ 希塩酸
 ⑨ 石けん水 ⑩ 食塩水

第4問 ベンゼン C_6H_6 からアセトアニリド C_8H_9NO を合成する実験に関する以

下の各問い(問1～6)に答えよ。解答に当たっては次の密度の値を適宜利用せよ。
濃硝酸 (1.4 g/cm^3)，濃硫酸 (1.8 g/cm^3)，ベンゼン (0.88 g/cm^3)，ニトロベンゼン (1.2 g/cm^3)，ジエチルエーテル (0.71 g/cm^3)，水 (1.0 g/cm^3)，水酸化ナトリウム水溶液 (1.2 g/cm^3)，アニリン (1.0 g/cm^3)。なお，混酸の密度は反応の前後で変化しないものとする。

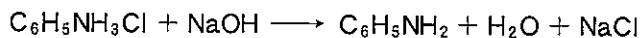
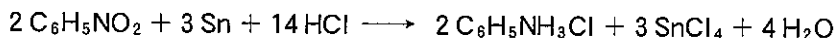
【実験1】 ベンゼンからニトロベンゼンの合成



丸底フラスコに濃硝酸を入れ，冷却した。そこへ濃硫酸を少しずつ加え，よく振り混ぜた。^Aこの混酸溶液にベンゼンをゆっくり加え，加熱して完全に反応させた。常温まで冷却した後に，分離した二層(上層^A，下層^イ)のうちの有機層のみを取り出した。^Bこれに充分な量の水を加えてよく振り混ぜた後，二層(上層^ウ，下層^エ)に分離したうちの有機層のみを取り出した。^C下線部Cの操作を複数回繰り返した。

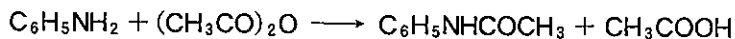
得られた有機層に塩化カルシウムを加え，ろ過後，蒸留して純粋なニトロベンゼンを得た。

【実験2】 ニトロベンゼンからアニリンの合成



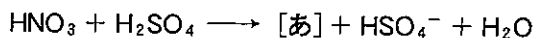
丸底フラスコにニトロベンゼン，スズおよび濃塩酸を順次加え，混合溶液を温めながらよく振り混ぜ，ニトロベンゼンの油滴がなくなるまで十分に反応させた。室温まで冷却した後に未反応のスズを取り除き，反応混合物にジエチルエーテルを加えると，二層に分離した。^D層を取り，そこへ充分な量の水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ加えた。この溶液にジエチルエーテルを加えて有機層を取り出す操作を複数回繰り返した。得られた有機層に塩化カルシウムを加え，ろ過後，蒸留して純粋なアニリンを得た。^E

【実験3】 アニリンからアセトアニリドの合成



酢酸中で無水酢酸にアニリンを加え、完全に反応させた。反応混合液を冷水に加えると、固体が析出した。ろ過で得た固体を熱水に溶かした後に冷却し、純粋なアセトアニリドの結晶を得た。

問1 下線部Aに関して、ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)を加えて加熱すると、ニトロベンゼンが生成する。ベンゼンと濃硝酸だけではこの反応は起こりにくい。濃硝酸に濃硫酸を作用させると以下の反応が起こり、生成した[あ]がベンゼンと反応することにより、ベンゼン環の水素原子がニトロ基に置換される。[あ]に当てはまる物質を表すものとして最も適切なものを、以下の①~⑪のうちから一つ選べ。



18

- | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| ① NO_2^{2+} | ② NO^{2+} | ③ N_2O^+ | ④ NO |
| ⑤ NO^+ | ⑥ NO_2^+ | ⑦ NO_2^- | ⑧ N_2O^{2+} |
| ⑨ N_2O_2^+ | ⑩ $\text{N}_2\text{O}_2^{2+}$ | ⑪ NO_2 | |

問2 下線部BとCに関して、層ア~エのうち、有機層を①~④のうちから二つ選び、解答欄 19 にそれらすべてをマークせよ。ただし、有機層(層アまたはイ)に含まれている混酸の量は少なく、水を加えた後の水層(層ウまたはエ)の密度は、水のそれに等しいものとする。

19

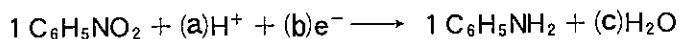
- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 上層ア | ② 下層イ | ③ 上層ウ | ④ 下層エ |
|-------|-------|-------|-------|

問3 下線部Dの分取する層才として最も適切なものを、以下の①~④のうちから一つ選べ。

20

- | | |
|-----------|-----------|
| ① 上層(有機層) | ② 下層(有機層) |
| ③ 上層(水層) | ④ 下層(水層) |

問 4 【実験 2】の反応式をもとに以下の式でニトロベンゼンの還元反応を表現するとき、空欄(a)(b)(c)に入る係数として最も適切な数値を、以下の①～⑨のうちから一つずつ選び、それぞれ指定された解答欄にマークせよ。同じ記号を繰り返し選んでも良い。ただし、問題の化学反応式では、係数が 1 である場合も省略せずに 1 と記すものとする。



(a) (b) (c)

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9

問 5 化学反応によって理論的に得られる目的生成物の物質量を a (mol)、実験によって実際に得られた目的生成物の物質量を b (mol) とするとき、その化学反応の収率 c [%] は下式で表される。

$$c = \frac{b}{a} \times 100 [\%]$$

例えば、ベンゼン 1.00 mol に混酸を反応させる実験によって、ニトロベンゼンが 0.75 mol 得られたとき、この化学反応の収率は 75 % である。

実験 1 の化学反応の収率が 70 %、実験 2 の化学反応の収率が 75 %、そして実験 3 の化学反応の収率が 92 % であるとき、アセトアニリドを 5 g 得るために最低限必要なベンゼンは何 g となるか。最も近い数値を、以下の①～⑨のうちから一つ選べ。

g

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9

問 6 下線部Eのアニリンをさらし粉水溶液によって検出する実験に関する以下の

①～⑧の記述のうち、最も適切なものを一つ選べ。

25

- ① アニリンと次亜塩素酸イオンがともに酸化されて、赤紫色を呈する。
- ② アニリンと次亜塩素酸イオンがともに酸化されて、黒色を呈する。
- ③ アニリンが酸化、次亜塩素酸イオンが還元されて、赤紫色を呈する。
- ④ アニリンが酸化、次亜塩素酸イオンが還元されて、黒色を呈する。
- ⑤ アニリンが還元、次亜塩素酸イオンが酸化されて、赤紫色を呈する。
- ⑥ アニリンが還元、次亜塩素酸イオンが酸化されて、黒色を呈する。
- ⑦ アニリンと次亜塩素酸イオンがともに還元されて、赤紫色を呈する。
- ⑧ アニリンと次亜塩素酸イオンがともに還元されて、黒色を呈する。

生 物

解答にあたっての注意

1. 複数の選択肢を選択して解答するときは、同じ解答欄に複数の選択肢をマークせよ。
2. 数値の解答をマークするときは、桁に満たない解答欄には0を選んでマークせよ。

第1問 問い(問1～6)に示す語句について、①～⑤のうちに正しいものが一つあるか、あるいは、誤っているものが一つあるかのどちらかである。①～⑤の正誤を判断し、正しい、あるいは、誤っているものとして最も適切なものを、①～⑤のうちから一つ選べ。なお、文章や図表がある問いは、その文章や図表も読みとって解答せよ。解答番号 ～

問1 骨格筋の構造と筋収縮

- ① 筋原繊維と呼ばれる多核の細長い細胞が束状に集まって構成されている。
- ② 明帯の中央にはZ膜があり、Z膜とZ膜の間をサルコメア(筋節)という。
- ③ Ca^{2+} と結合したトロポミオシンは立体構造を変化させ、アクチンフィラメントのミオシン結合部位を露出させる。
- ④ 筋収縮が起こると、明帯の長さは短くなり、暗帯の長さは長くなる。
- ⑤ 運動神経からの興奮が停止すると、放出された Ca^{2+} はT管内に取り込まれる。

問 2 真核生物の光合成 2

- ① 葉緑体のチラコイドで起こる光が直接関係する反応と、ストロマで起こる光が直接関係しない反応に分けられる。
- ② 光合成で発生する O_2 を構成する酸素原子の由来は、チラコイド膜に存在する反応系である光化学系 II で電子を失った H_2O である。
- ③ チラコイド膜には ATP 合成酵素が埋め込まれており、光エネルギーを利用して行われる ATP の合成を光リン酸化という。
- ④ カルビン回路では、細胞内に取り込まれた CO_2 はルビスコ (RubisCO) によってリブローズビスリン酸と結合する。
- ⑤ 6 分子の CO_2 がカルビン回路に取り込まれると、グリセルアルデヒドリン酸が 12 分子生成され、このうち 4 分子が糖などの合成に使われる。

問 3 花粉症とその発症のしくみ 3

- ① スギやブタクサなどの花粉の成分をアレルゲンとして起こるアレルギーである。
- ② 花粉の成分が異物として認識されると、形質細胞 (抗体産生細胞) がある種の抗体を産生する。
- ③ マスト細胞に付着したある種の抗体にアレルゲンが結合すると、その複合体はマスト細胞内に取り込まれる。
- ④ アレルゲンによって、マスト細胞内に貯蔵されていたヒスタミンが細胞外へ放出される。
- ⑤ ヒスタミンのはたらきによって、くしゃみや鼻水、目のかゆみなどのアレルギー症状が現れる。

問 4 膜輸送タンパク質 4

- ① イオンチャネルは、生体膜を貫通する膜タンパク質で、決まった種類のイオンを濃度勾配に逆らって通過させる。
- ② アクアポリンは、水分子を通過させる際に、水分子とは逆方向へ Na^+ を輸送する。
- ③ 担体(輸送体)は、輸送する物質は決まっておらず、物質が結合すると立体構造が変化し、結合した物質を輸送する。
- ④ ポンプは、ATPなどのエネルギーによって立体構造が変化し、濃度勾配に逆らって物質を輸送する。
- ⑤ ナトリウムポンプは、濃度勾配に逆らって Na^+ を細胞内に取り込み、 K^+ を細胞外に排出する。

問 5 細胞内での DNA 複製 5

- ① DNA の二重らせんがほどけ、半保存的複製によってそれぞれの鎖に相補的なヌクレオチド鎖が合成される。
- ② 開始の起点となる領域を複製起点(複製開始点)といい、原核生物の DNA には複製起点が 1 か所存在する。
- ③ 鋳型鎖に対して相補的な短い DNA (プライマー)が新生ヌクレオチド鎖の伸長の起点となる。
- ④ 二重らせんがほどけていく方向に連続的に伸長していくヌクレオチド鎖をリーディング鎖という。
- ⑤ ラギング鎖では、岡崎フラグメントが合成され、その後、DNA リガーゼによってつなぎ合わされる。

問 6 マイクロサテライト多型による親子鑑定 6

真核生物の DNA には短い塩基配列が繰り返されている領域が複数存在し、この反復配列をマイクロサテライトという。マイクロサテライトの繰り返し数には個体差がある。

親マウス(雄：a~d, 雌：e~h)およびそれらの交配によって得られた子(i~k)から DNA を抽出し、異なる染色体上にある遺伝子座に存在するマイクロサテライトを含む領域(領域アおよびイ)をそれぞれ PCR で増幅し、増幅された DNA 断片の長さを電気泳動で調べた。領域アおよびイの PCR の増幅範囲を図 1 に、電気泳動の泳動像を図 2 に示す。ただし、領域アおよびイでは染色体の乗換えや突然変異は起こらないものとする。

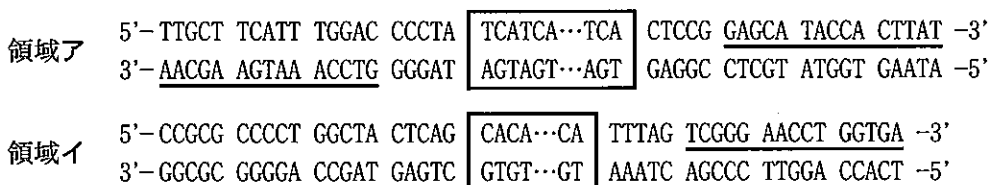


図 1

注) 下線部はプライマーが結合する塩基配列、四角で囲まれた塩基配列はマイクロサテライトを示し、その中の…は省略した塩基配列の繰り返しを示す。

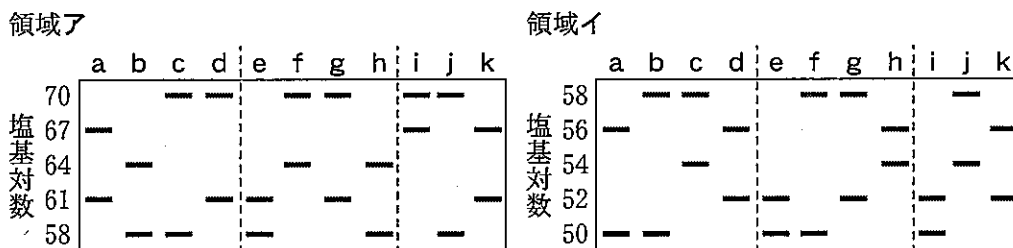


図 2

- ① b の領域アにおける TCA の 3 塩基の繰り返し回数は 6 回と 8 回である。
- ② d と h の子の領域イの泳動像のパターンは全部で 4 通り考えられる。
- ③ i の両親だと考えられるのは a と g の組み合わせのみである。
- ④ j の父親だと考えられるのは c のみである。
- ⑤ k の母親だと考えられるのは g のみである。

第2問 次の文章 I ~ IV を読み、以後の問い(問 1 ~ 13)に答えよ。ただし、遺伝子を表す語はイタリック体(例: *abc*, *De-1*, *FGHI* など)で、タンパク質を表す語はローマン体(例: *Abc*, *De-1*, *FGHI* など)で表記して区別する。なお、すべて小文字で表記された遺伝子のタンパク質を表すときは 1 文字目を大文字で表記する。また、“XY 個体”や“XY マウス”などの語にある XY などの表記は、その個体がもつ性染色体の組み合わせを示す。解答番号

7

 ~

20

I 動物の性決定機構は、どの動物でも同じというわけではなく多様である。よく知られている機構には、性染色体による性決定(遺伝的性決定)があり、大別すると雄ヘテロ型(XY 型と X^AO 型)と雌ヘテロ型(ZW 型と Z^AO 型)がある。

形成されたばかりのヒトの未分化生殖腺は、卵巣にも精巣にも分化することが可能であり、XY 個体では、Y 染色体上の SRY が発現することによって未分化生殖腺は精巣に分化する。 SRY は未分化生殖腺細胞の核内に存在し、_____ ^C はたらきをもつ。SRY の影響下で SOX 9 が発現し、精巣の分化に必要な一連の反応が開始され、脂溶性のステロイドホルモンであるアンドロゲンが合成される。 ^D 一方、XX 個体では、SRY の影響を受けないため、卵巣の分化に必要な一連の反応が開始され、アンドロゲンをエストロゲンに変換する酵素であるアロマターゼが発現し、エストロゲンが合成される。

未分化生殖腺とは別の場所で形成される始原生殖細胞もまた、卵をつくることも精子をつくることもできる。始原生殖細胞は、発生のある時期に未分化生殖腺へと移動を開始し、未分化生殖腺の性が決定するとそれにしたがって卵原細胞あるいは精原細胞となり、卵あるいは精子をつくるようになる。 ^E

問 1 下線部Aに関連して、遺伝的性決定が行われるある動物の体細胞の染色体を模式的に図1に示す。図1(ii)で性染色体として適切なものを、次の①～⑩のうちからすべて選べ。

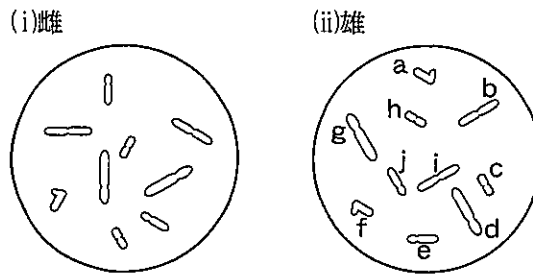


図 1

- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① a | ② b | ③ c | ④ d | ⑤ e |
| ⑥ f | ⑦ g | ⑧ h | ⑨ i | ⑩ j |

問 2 問1の動物の性決定機構として最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① XY型 | ② XO型 | ③ ZW型 | ④ ZO型 |
|-------|-------|-------|-------|

問 3 下線部Bに関連して、*SRY* が未分化生殖腺を精巢に分化させる精巢決定遺伝子であることを確かめるため、ヒトと同じ性決定機構をもつマウスを用いた実験が行われた。この目的に適した実験とその結果として最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、マウスの *SRY* 相同遺伝子は *Sry* と表記する。また、*Sry* に緑色蛍光タンパク質をコードする *GFP* をつなげた人工遺伝子は *Sry-GFP* と表記する。なお、この実験では、他の遺伝子の発現に影響しない第6染色体の KI 遺伝子座に各遺伝子を挿入したノックインマウスを用い、挿入した遺伝子は、母マウスにこれらの遺伝子の発現を誘導する薬剤を投与すると、胎児マウスの未分化生殖腺のみで発現するものとする。

9

- ① 両方の染色体の KI 遺伝子座に *Sry* をもつ XX マウスの生殖腺を観察したところ、未分化生殖腺は卵巣に分化していた。
- ② 一方の染色体の KI 遺伝子座のみに *Sry* をもつ XX マウスの生殖腺を観察したところ、本来卵巣に分化するはずの未分化生殖腺が精巢に分化していた。
- ③ 一方の染色体の KI 遺伝子座のみに *Sry* をもつ XY マウスの生殖腺を観察したところ、本来精巢に分化するはずの未分化生殖腺が卵巣に分化していた。
- ④ 両方の染色体の KI 遺伝子座に *Sry-GFP* をもつ XX マウスの未分化生殖腺細胞を観察したところ、野生型の XY マウスの細胞よりも強い GFP の蛍光が観察された。
- ⑤ 一方の染色体の KI 遺伝子座のみに *Sry-GFP* をもつマウスの未分化生殖腺細胞を観察したところ、XY マウスの細胞のみで GFP の蛍光が観察された。
- ⑥ 一方の染色体の KI 遺伝子座のみに *Sry-GFP* をもつマウスの未分化生殖腺細胞を観察したところ、XY マウスの細胞で XX マウスの細胞よりも強い GFP の蛍光が観察された。

問 4 下線部Cにあてはまるものとして最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 10

- ① 酵素として未分化生殖腺で精巣の分化を促進するホルモンを合成する
- ② ホルモンとして未分化生殖腺を刺激して精巣への分化を促進する
- ③ 細胞膜の受容体として未分化生殖腺で精巣の分化を促進する情報を伝達する
- ④ 核内の受容体として未分化生殖腺で精巣の分化を促進する情報を伝達する
- ⑤ 調節タンパク質として未分化生殖腺で精巣の分化に必要な遺伝子の発現を活性化する
- ⑥ シャペロンとして未分化生殖腺で精巣の分化を促進する細胞質のタンパク質を正しい立体構造に折りたたむ

問 5 生殖腺の他に下線部Dを分泌する内分泌腺として適切なものを、次の①～⑥のうちからすべて選べ。 11

- ① 副甲状腺
- ② 副腎皮質
- ③ 副腎髄質
- ④ 脳下垂体前葉
- ⑤ 脳下垂体後葉
- ⑥ すい臓ランゲルハンス島

問 6 下線部Eに関連して、核相が複相(2n)の細胞として適切なものを、次の①～⑧のうちからすべて選べ。 12

- ① 始原生殖細胞
- ② 卵
- ③ 精細胞
- ④ 精原細胞
- ⑤ 第一極体
- ⑥ 第二極体
- ⑦ 一次精母細胞
- ⑧ 二次卵母細胞

II ショウジョウバエの性は、一見するとXY型の遺伝的性決定で決まるようにみえるが、正常ではX染色体を2本もつ個体が雌になり、1本もつ個体が雄になる。ショウジョウバエの性決定遺伝子 *Sxl* はX染色体に存在し、Y染色体には性決定に関わる遺伝子が存在しない。発生初期に *Sxl* の発現を促進する調節タンパク質は複数あり、そのうち、X染色体にコードされるものはまとめてXSEと呼ばれている。XX初期胚ではXSEの総量が十分な量に達し、*Sxl* の初期胚型プロモーターからの転写が活性化され、初期胚型 *Sxl* が合成される(図2(ii))。一方、XY初期胚では十分な量のXSEが合成されず、初期胚型 *Sxl* は合成されない。

発生後期になると、X染色体の数にかかわらず、*Sxl* の後期胚型プロモーターからの転写が活性化される。後期胚型 *Sxl* mRNA 前駆体に初期胚型 *Sxl* が結合すると、mRNA 前駆体は雌特異的のスプライシングを受け、機能する雌型 *Sxl* に翻訳される(図2(ii))。雌型 *Sxl* は、初期胚型 *Sxl* と同様のはたらきをもち、雌型 *Sxl* の発現を維持する。さらに、X染色体の数にかかわらず発現する *tra* mRNA 前駆体に雌型 *Sxl* が結合すると、*tra* mRNA 前駆体は雌特異的のスプライシングを受け、機能する雌型 *Tra* に翻訳される(図2(iii))。

Dsx は雌雄両方で機能するが、性特異的のスプライシングを受ける(図2(iv))。*dsx* mRNA 前駆体に *Tra 2* と雌型 *Tra* がともに作用すると雌型 *Dsx* に、雌型 *Tra* がなければ雄型 *Dsx* に翻訳される。*Tra 2* は雌雄両方で発現していて、雌型 *Tra* と複合体を形成した時のみ機能する。雌型 *Dsx* は他の因子と結合して雌特異的遺伝子群の転写を活性化し、雄特異的遺伝子群を抑制する。一方、雄型 *Dsx* は別の因子と結合して雄特異的遺伝子群の転写を活性化し、雌特異的遺伝子群を抑制する。

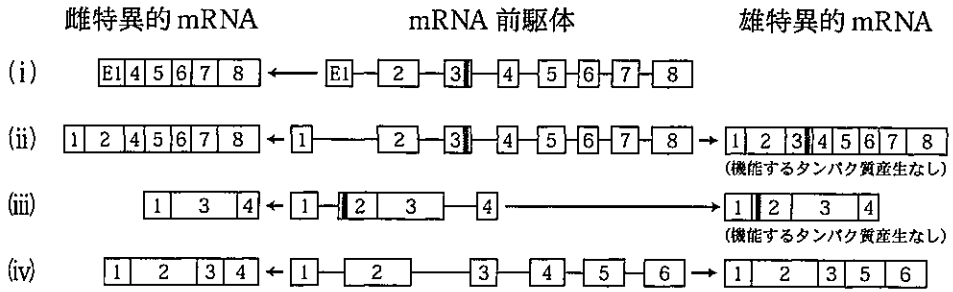


図 2

注) 四角はエキソン，直線はイントロンを示し，(i)と(ii)のエキソン 3 および(iii)のエキソン 2 は途中で終止コドン(■)を含んでいる。(i)と(ii)の mRNA 前駆体は同じ遺伝子の転写産物であるが，エキソン E1 は初期胚型プロモーターからのみ転写され，エキソン 1 は後期胚型プロモーターからのみ転写される。

問 7 雌型 Sxl と雄型 Dsx がはたらく場所として最も適切なものを，次の①～⑥のうちからそれぞれ一つ選べ。なお，同じ記号を選択してもよい。

雌型 Sxl : , 雄型 Dsx :

- ① 核 ② 細胞質基質 ③ 粗面小胞体
④ 細胞膜 ⑤ ゴルジ体 ⑥ ミトコンドリア

問 8 XX 個体が雄の表現型になると考えられる突然変異として適切なものを，次の①～⑦のうちからすべて選べ。ただし，④を除く突然変異はスプライシングに影響を与えないものとする。また，どの変異体も雌雄の判別ができるまで発生するものとする。

- ① XSE を過剰発現する突然変異
② Sxl の初期胚型プロモーターから転写ができない突然変異
③ Sxl のエキソン 3 の終止コドンが終止コドンではなくなる突然変異
④ tra のエキソン 2 をスプライシングで除去することができない突然変異
⑤ Tra 2 の機能が失われる突然変異
⑥ dsx のエキソン 2 に生じたアミノ酸配列が変化しない突然変異
⑦ dsx のエキソン 5 に終止コドンが出現する突然変異

Ⅲ 多くの動物において、個体の性は性染色体の構成だけでなく、環境要因によっても決定される。大部分のカメ、すべてのワニ、一部のトカゲなどの爬虫類では、受精後の卵がふ化するまでの温度(ふ卵温度)が性を決定する温度依存的性決定がみられる。

オーストラリアに生息するアゴヒゲトカゲの一種は、遺伝的性決定に加えて、温度依存的性決定も行う。ZW 雌と ZZ 雄の交配で得られた卵を複数のふ卵温度条件でふ化させ、子の性別の表現型を調査した2つの研究の結果を合わせて図3に示す。図4には、ZW 雌と ZZ 雄の交配で得られた卵に加え、表現型が雌となった(性転換した)ZZ 雌と ZZ 雄の交配で得られた卵を複数のふ卵温度条件でふ化させ、子の性別の表現型を調査した結果を示す。

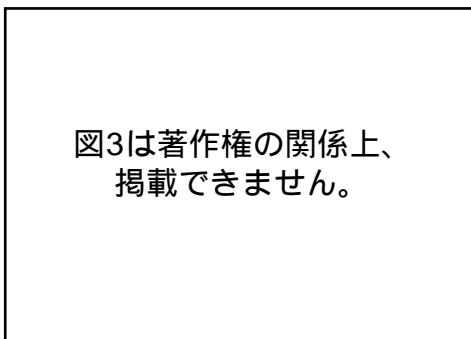


図 3

○：2007年のZW雌とZZ雄の子

●：2015年のZW雌とZZ雄の子

実線：回帰曲線(統計的なデータ解析で得られた横軸の変数に対する縦軸の予測値を表す曲線)

注) ●のデータはふ卵期間中のふ卵器内の平均温度でプロットされているため、ふ卵器の設定温度(ふ卵温度)から少しずれている。

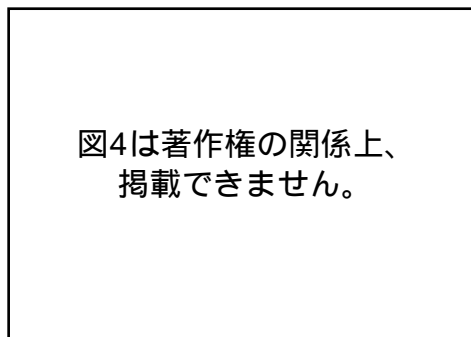


図 4

●：ZW雌とZZ雄の子のうちのZZ個体

□：ZZ雌とZZ雄の子

実線：回帰曲線

破線：データ範囲外の予想される回帰曲線

注) 各データは図1●同様、ふ卵器の設定温度から少しずれている。統計的に性転換が50%の子に起こる温度は、ZW雌由来の子のうちのZZ個体で34.7℃、ZZ雌由来の子で33.5℃であった。なお、すべての子は有性生殖で生まれ、かつ、すべてのZZ個体はW染色体をもっていない。

問 9 下線部 F が含まれる分類群として適切なものを、次の①～⑤のうちからすべて選べ。

- ① 三胚葉動物 ② 脊索動物 ③ 冠輪動物
④ 旧口動物 ⑤ 脱皮動物

問10 図3と図4から考えられることとして不適切なものを、次の①～⑧のうちから二つ選べ。

- ① ふ卵温度が 26℃～30℃の間では、遺伝的性決定により雌雄が決定されている。
- ② ZW 雌由来の子では、ふ卵温度が 32℃を超えると、温度依存的性決定が観察されはじめる。
- ③ 性が遺伝的性決定のみで決まるとすると、22℃～36℃のどのふ卵温度でも性比はほぼ一定で 1 : 1 となる。
- ④ ふ卵温度が 34℃では、遺伝的に雌の子のおよそ半数が雄になる。
- ⑤ ZZ 雌由来の子は、ふ卵温度が 28℃ではすべてが雄となり、33℃では性転換して雌になる個体の割合が増加する。
- ⑥ ZZ 雌由来の子は、ZW 雌由来の子のうちの ZZ 個体よりもより低い温度で性転換を起こす。
- ⑦ ZZ 雌由来の子の性は、W 染色体が失われるため、遺伝的性決定によってのみ決まる。
- ⑧ 性転換における温度感受性は個体群内で変異し、遺伝する可能性がある。

問11 オーストラリアにおける野外調査で、捕獲した雌の中に、2003年には6.7%、2004年には13.6%、2011年には22.2%のZZ雌が見つかった。この事例を引き起こした原因と推測される現象により、日本でもそれが主要な原因となって起こる事例として適切なものを、次の①～⑦のうちからすべて選べ。 18

- ① 海面が低下する。
- ② スダジイやアラカシの分布が北上する。
- ③ サンゴが白化現象で死滅する。
- ④ カエデやブナの落葉時期が早くなる。
- ⑤ オオクチバスの個体数が増加する。
- ⑥ アブラナが花をつける時期が遅くなる。
- ⑦ シラビソやコメツガが標高の低い地域へ進出する。

IV 温度依存的性決定の分子メカニズムの解析は、アメリカやメキシコに生息するアカミミガメで進んでいる。実験では、ふ卵温度 26℃ を雄になる温度、32℃ を雌になる温度として用い、それぞれのふ卵温度では、すべての子が雄または雌になる。また、温度依存的性決定が行われる期間(温度感受期)は、胚発生段階(St.)15~20の間で、St.26でふ化する。アカミミガメの温度依存的性決定には *Dmrt 1* が関わっている。卵を 26℃ でふ卵すると、St.17 胚の未分化生殖腺細胞の核で *Dmrt 1* の発現がみられ、これが *Sox 9* の発現を促進し、St.25 では *Sox 9* の高い発現がみられる。一方、32℃ でふ卵すると、*Dmrt 1* の発現は抑制され、St.25 では *Cyp 19 a 1* (アロマターゼをコード) の高い発現がみられる。

Dmrt 1 の発現を制御する調節タンパク質の候補として、*Kdm 6 b* が見つかった。*Dmrt 1* の発現は、転写調節領域のヒストンにメチル基が結合することによってクロマチンが凝縮しているため、抑制されている。そこで、*Kdm 6 b* とヒストンのメチル化との関係について以下の実験を行った。

【実験 1】 異なるふ卵温度条件下で、*Kdm 6 b* の St.16~19 胚の未分化生殖腺における発現量の変化を調べた(図 5)。

【実験 2】 卵内に、*Kdm 6 b* の産生を阻害する異なる塩基配列をもつ 2 種類の shRNA (#1, #2) をそれぞれ導入し、26℃ でふ卵した St.25 胚の生殖腺の表現型(表 1)と St.15~19 胚の未分化生殖腺における *Dmrt 1* の発現量の変化(図 6)を調べた。この方法は RNA 干渉法(RNAi)と呼ばれ、目的の遺伝子と同じ塩基配列をもつ短い 2 本鎖 RNA (shRNA) を用いて mRNA を分解したり翻訳を阻害したりして、遺伝子発現を減少(ノックダウン)させる方法である。

【実験 3】 *Dmrt 1* の転写調節領域に結合した *Kdm 6 b* とメチル化ヒストンの結合量を各種条件の St.15 胚の未分化生殖腺で調べた(図 7)。この方法は ChIP-qPCR 法と呼ばれる。まず、転写調節領域に結合したタンパク質が解離しないように固定して DNA を断片化する。次に、そのタンパク質の特異抗体を用いて結合した DNA 断片を分離し、PCR 法で定量化する。これによって、転写調節領域に結合したタンパク質を解析する方法である。

【実験1】

図5は著作権の関係上、
掲載できません。

- : 26 °C
 - : 26 °C から St.16 で 32 °C へ変更
 - : 32 °C
 - : 32 °C から St.16 で 26 °C へ変更
- 注) 32 °C の St.16 の発現量を 1 とした。

図 5

【実験2】

表 1

処理	個体数	精巣	卵巢
26 °C	31	31	0
26 °C, RNAi #1*	45	6	39
26 °C, RNAi #2**	56	11	45

m 1.0

- 注) * : #1 の塩基配列の shRNA を導入
 ** : #2 の塩基配列の shRNA を導入

図6は著作権の関係上、
掲載できません。

- : 26 °C
 - : 26 °C, RNAi #1
 - ▣ : 26 °C, RNAi #2
- 注) 26 °C の St.18 の発現量を 1 とした。

図 6

【実験3】

図7は著作権の関係上、
掲載できません。

- : 26 °C
 - : 32 °C
 - ▣ : 26 °C, RNAi #1 (実験 2 と同じ)
- 注) 抗 Kdm 6 b 抗体では 26 °C の結合量を, 抗メチル化ヒストン抗体と抗ヒストン抗体では 26 °C, RNAi #1 の結合量をそれぞれ 1 とした。なお, 対照抗体では相互作用はほとんど確認できなかった。

図7

問12 実験結果から考えられることとして適切なものを、次の①～⑥のうちから二つ選べ。 19

- ① 温度感受期にふ卵温度を 32℃ から 26℃ に変えると、*Kdm 6 b* の発現が促進されて雄になる。
- ② 温度感受期にふ卵温度を 26℃ から 32℃ に変えると、*Dmrt 1* の発現が抑制されて雄になる。
- ③ 32℃ でふ卵している胚で *Kdm 6 b* をノックダウンすると、*Dmrt 1* の発現が促進されて雄になる。
- ④ 26℃ でふ卵している胚で *Kdm 6 b* をノックダウンすると、*Dmrt 1* の発現が抑制されて雌になる。
- ⑤ 32℃ でふ卵している胚で *Kdm 6 b* をノックダウンし、*Sox 9* を強制発現させると雌になる。
- ⑥ 26℃ でふ卵している胚で *Kdm 6 b* を強制発現させると、*Cyp 19 a 1* の発現が促進されて雌になる。

問13 実験結果から考えられる *Dmrt 1* の転写調節領域における *Kdm 6 b* のはたらきとして最も適切なものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 20

- ① 26℃ では、DNA をメチル化して *Dmrt 1* の発現を促進する。
- ② 32℃ では、DNA をメチル化して *Dmrt 1* の発現を抑制する。
- ③ 26℃ では、DNA を脱メチル化して *Dmrt 1* の発現を促進する。
- ④ 32℃ では、DNA を脱メチル化して *Dmrt 1* の発現を抑制する。
- ⑤ 26℃ では、ヒストンをメチル化して *Dmrt 1* の発現を促進する。
- ⑥ 32℃ では、ヒストンをメチル化して *Dmrt 1* の発現を抑制する。
- ⑦ 26℃ では、ヒストンを脱メチル化して *Dmrt 1* の発現を促進する。
- ⑧ 32℃ では、ヒストンを脱メチル化して *Dmrt 1* の発現を抑制する。

第3問 次の文章を読み、以後の問い(問1～6)に答えよ。解答番号 21 ～

27

受容器には、刺激の種類ごとに決まった感覚細胞(受容細胞)があり、特定の刺激だけに敏感に反応する。感覚細胞ではそれぞれの適刺激が受容体を刺激することにより、^A感覚細胞のもつイオンチャンネルが活性化されたり、細胞の内側でつくられる別の化学物質の濃度が増減したりして、刺激の強さに応じた膜電位の変化(受容器電位)が生じる。

視覚の受容器は眼の網膜で、適刺激は光である。ヒトなどの脊椎動物は、光受容細胞としてはたらく2種類の視細胞、^{かん}桿体細胞と^B錐体細胞が1層に並んだ網膜をもっている。視細胞には多数の膜が積み重なった構造があり、その膜に光をとらえる視物質(視色素)が大量に組み込まれている。桿体細胞の視物質はロドプシンで、Gタンパク質と呼ばれるタンパク質とともにたらく受容体(Gタンパク質共役型受容体)であるオプシンにレチナールが結合したものである。光を吸収すると、レチナールの構造が変化してロドプシンから解離する。一方、暗所ではレチナールが元の構造に戻り、オプシンと再び結合してロドプシンが再構成される。光を吸収したロドプシンは、Gタンパク質を活性化し、それが情報伝達物質であるcGMPを分解する酵素を活性化するので、細胞内のcGMP濃度が低下する。その結果、暗時に開いていた細胞膜のcGMPによって開口するNa⁺チャンネルが閉じ、膜電位がマイナスに傾く過分極の状態になる。すると桿体細胞からの神経伝達物質の放出が減少する。

平衡覚の受容器は内耳の前庭と半規管で、体の傾きと回転がそれぞれ適刺激となる。半規管は前庭につながる半円状の管で、3個の半規管が互いに直交する面に配置されている。各半規管の一方の基部には膨らんだ部分があり、その内部に感覚毛をもった有毛細胞がある。感覚毛は1本の長い動毛と規則的に配列する50～100本の不動毛からなり、それぞれの先端は連結されている。不動毛の先端近くには、不動毛の屈曲で開閉するチャンネルがある。このチャンネルは静止状態でも多少の確率で開いているが、不動毛が動毛側に屈曲したときにより高い確率で開くようになり、動毛と反対側へ屈曲したときには閉じていく。チャンネルは陽イオンを通すため、

チャンネルの開口によって膜電位がプラスに傾く脱分極の状態になる。有毛細胞は、^C静止電位においても神経伝達物質を放出しており、膜電位のわずかな変化に応じてその放出量が増加する。

嗅覚の受容器は鼻の嗅上皮で、空気中の化学物質が適刺激である。感覚細胞は嗅細胞と呼ばれるニューロンで、鼻腔側に突出した多数の嗅繊毛(嗅小毛)をもつ。嗅覚受容体は、視覚の受容体と同様に G タンパク質共役型受容体であり、ヒトでは約 400 種程度が存在する。1 種の受容体はいくつかの種類の匂い分子と結合でき、1 種の匂い分子は複数の受容体と結合することがある。嗅繊毛にある嗅覚受容体が匂い分子と結合すると、活性化した G タンパク質が情報伝達物質である cAMP を産生する酵素を活性化するので、細胞内の cAMP 濃度が上昇する。cAMP 濃度の上昇はイオンチャンネルを開口させ、その結果、嗅細胞は活動電位を発生する。

問 1 下線部 A に関連して、視覚における光受容に関する記述として最も適切なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 21

- ① 細胞膜上の受容体タンパク質が適刺激である光を受容する。
- ② 光を受容したレチナールはタンパク質から離れ、酵素によって分解される。
- ③ 視細胞の層は色素細胞の層より強膜側に存在することで、光を効率よく受容できる。
- ④ 桿体細胞における cGMP の濃度の変化は嗅細胞の cAMP の濃度の変化と同様に、細胞内の情報伝達に利用される。
- ⑤ 暗順応は、不足していた桿体細胞のロドプシンが、新たにタンパク質合成で増加することで生じる。

問 2 ヒトの下線部Bには青錐体細胞，緑錐体細胞，赤錐体細胞の3種類がある。

それぞれがもっている視物質により最もよく吸収する光の波長が違い(図1)，吸収率に応じて，各錐体細胞の反応の強さは変化する。3種類の細胞がそれぞれどのくらいの強さで反応しているかによって，ヒトは様々な色を感じている。図1から読み取れること，考えられることとして誤っているものを，次の①～⑥のうちから二つ選べ。 22

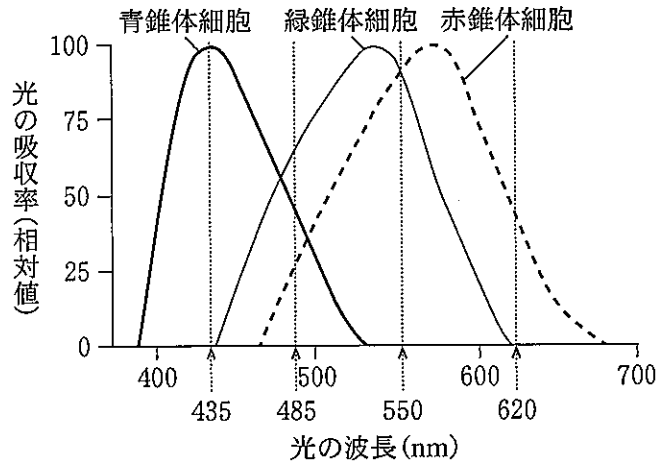


図 1

注) 点線と点線の矢印は単色光の波長の位置を示す。

- ① 青錐体細胞，緑錐体細胞，赤錐体細胞のすべてが刺激されないと白く感じる。
- ② 435 nm の単色光に対して，緑錐体細胞と赤錐体細胞は反応しない。
- ③ 485 nm の単色光に対する反応は，緑錐体細胞が最も強く，赤錐体細胞が最も弱い。
- ④ 550 nm の単色光に対する反応は，緑錐体細胞と赤錐体細胞で同程度である。
- ⑤ 550 nm の単色光を認識できないときは，青錐体細胞の機能が欠損している可能性がある。
- ⑥ 435～620 nm までの色を明瞭に区別できないときは，緑錐体細胞の機能が欠損している可能性がある。

問 3 視細胞からの情報は、視神経を通り、視床で中継され、大脳の見覚中枢に伝えられる(図2)。その際、視野の右側からの情報は左側へ、左側からの情報は右側へ伝えられる。また、左右の情報の伝わり方と同様に、視野の下側からの情報は上縁へ、上側からの情報は下縁へ伝えられる。図2のaあるいはbで神経が損傷を受けたときの視野の欠損部位として最も適切なものを、次の①~⑩のうちからそれぞれ一つ選べ。ただし、選択肢は視野全体を表した模式図で、黒色は損傷によって見えなくなる領域を示す。

a: , b:

- 視野
- | | 左眼 | 右眼 |
|---|----|----|
| ① | ○ | ● |
| ② | ● | ○ |
| ③ | ◐ | ◑ |
| ④ | ◑ | ◐ |
| ⑤ | ◐ | ◑ |
| ⑥ | ◑ | ◐ |
| ⑦ | ◑ | ◑ |
| ⑧ | ◐ | ◐ |
| ⑨ | ◑ | ◑ |
| ⑩ | ◐ | ◐ |

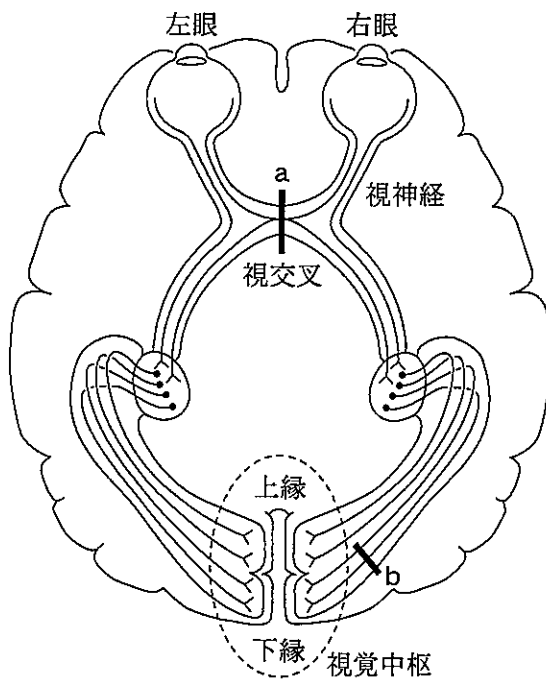


図2

問 4 下線部Cに関連して、有毛細胞の模式図を図3に示す。図3の有毛細胞の動毛方向に頭部が回転し始めると、半規管内のリンパ液は慣性で取り残されて頭部の回転方向と **ア** 方向に移動し、感覚毛は **イ** 方向に屈曲する。すると有毛細胞とシナプスを形成する感覚ニューロンの活動電位が生じる頻度は **ウ** する。ア～ウにあてはまる語の組み合わせとして最も適切なものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 **25**

- | | ア | イ | ウ |
|---|---|-----|----|
| ① | 同 | 動毛 | 増加 |
| ② | 同 | 動毛 | 減少 |
| ③ | 同 | 不動毛 | 増加 |
| ④ | 同 | 不動毛 | 減少 |
| ⑤ | 逆 | 動毛 | 増加 |
| ⑥ | 逆 | 動毛 | 減少 |
| ⑦ | 逆 | 不動毛 | 増加 |
| ⑧ | 逆 | 不動毛 | 減少 |

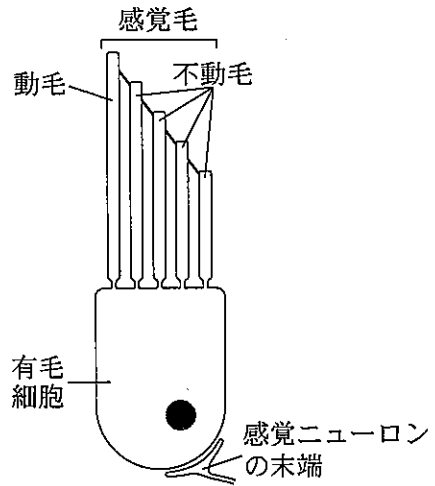


図 3

問 5 ヒトは普段、頭部の回転に応じて眼球を回転させ、背景に対して視線の向きを一定に保つことによって網膜上の像を安定させている。この反射的な眼球運動について、水平方向のそれに関わるニューロンの回路と筋肉を図4に模式的に示す。頭部が右に回転した場合に収縮する筋肉へ情報を伝える図4中のニューロンとして適切なものを、次の①～⑩のうちからすべて選べ。ただし、半規管基部での有毛細胞の向きは決まっていて、左右の回転を検知する水平半規管では前庭に近い方が動毛側になっている。なお、図4中のすべてのシナプスは興奮性である。

26

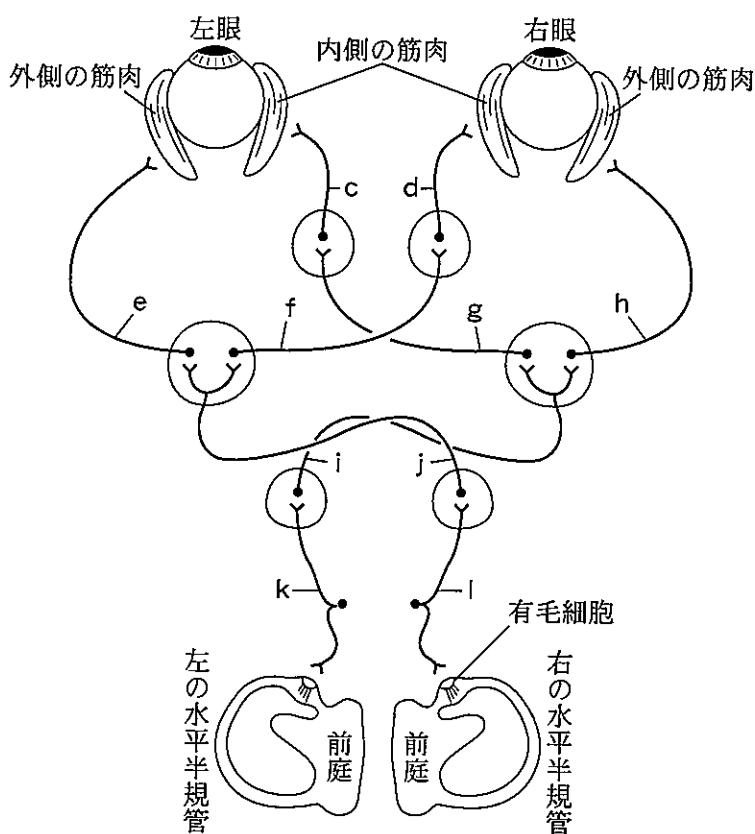


図4

- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① c | ② d | ③ e | ④ f | ⑤ g |
| ⑥ h | ⑦ i | ⑧ j | ⑨ k | ⑩ l |

問 6 霊長類の共通祖先は、樹上生活を行い、果実を主食としていたと考えられている。霊長類で餌の獲得に重要な役割を果たす色覚のタイプと嗅覚受容体遺伝子の数を調べ、系統樹と対応させた(図5)。図5から読み取れること、考えられることとして正しいものを、次の①~⑥のうちから二つ選べ。ただし、三色型色覚のものは3種類の、二色型は2種類の、単色型は1種類の錐体細胞をもち、混合型の雌は3種類もつものと2種類もつものがある、雄は2種類しかもたない。

27

図5は著作権の関係上、
掲載できません。

図5

注) 系統樹の枝上の四角の中の数字は、それぞれの祖先種がもっていた嗅覚受容体遺伝子の推定数を示す。また、系統樹の枝先の数字は、それぞれがもつ嗅覚受容体遺伝子の数を示す。

- ① 霊長類では、嗅覚受容体遺伝子の数が減少傾向にあるものは、錐体細胞の種類が少ない。
- ② 曲鼻猿類の嗅覚受容体遺伝子の数が、減少から増加傾向に転じたのは約5千万年前である。
- ③ 直鼻猿類の嗅覚受容体遺伝子の数が減少したのは、三色型色覚を獲得したためである。
- ④ 狭鼻猿類は、広鼻猿類との共通祖先から別れた後、三色型の色覚を獲得した。
- ⑤ 類人猿類は、錐体細胞の数を増加させ、約2千万年前から嗅覚受容体遺伝子の数を減らした。
- ⑥ コロブス類は、果実よりも葉を多く食べるように適応し、嗅覚受容体遺伝子の数が減少した。