

(平 30 前)

# 理 科

|          | ページ   |
|----------|-------|
| 物 理..... | 1～ 6  |
| 化 学..... | 7～14  |
| 生 物..... | 15～28 |
| 地 学..... | 29～36 |

- ・ ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

**注意** 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

|     |      |
|-----|------|
| 物 理 | 75 点 |
| 化 学 | 75 点 |
| 生 物 | 75 点 |
| 地 学 | 75 点 |

## 物 理

I 次の文章を読んで、問 1 ～ 4 に答えなさい。(配点 25 点)

図 1 のように、ばね定数が  $k$  のばねの右端を壁に固定し、左端に軽い糸を取り付け、滑らかに回る軽い滑車に通す。糸の端に質量が  $m$  の小球をつなぎ、滑らかで水平な床の上に置いたところ、床から離れることなく静止した。この状態で、滑車から小球まで鉛直に伸びる糸の長さは  $L$ 、ばねの自然長からの伸びは  $d$  であった。鉛直下方にはたらく重力加速度の大きさを  $g$  とする。ただし、滑車や小球の大きさは十分に小さいと仮定する。

問 1 小球が床から受ける垂直抗力の、大きさと方向を求めなさい。

問 2 床から離れないように小球を手で水平左向きにゆっくり移動させると、ばねの自然長からの伸びが  $D$  になった。ただし、バネの左端は滑車よりも右側にあるものとする。移動後の糸の張力を求めなさい。また、この移動の間に手が小球に行なった仕事を求めなさい。

問 3 問 2 の移動の後に、小球から静かに手をはなすと、小球は床から離れることなく水平右向きに動き始めた。小球が床から離れないために、質量  $m$  が満たす条件を求めなさい。また、手をはなした瞬間の小球の加速度を求めなさい。ただし、 $L > d$  が成立しているものとする。

問 4  $k = 30 \text{ N/m}$ ,  $m = 0.30 \text{ kg}$ ,  $L = 30 \text{ cm}$ ,  $d = 3.0 \text{ cm}$ ,  $D = 5.0 \text{ cm}$  である場合を考える。問 3 のように動き始めた小球が、滑車の真下を水平右向きに通過するときの速さを有効数字 2 桁で求めなさい。

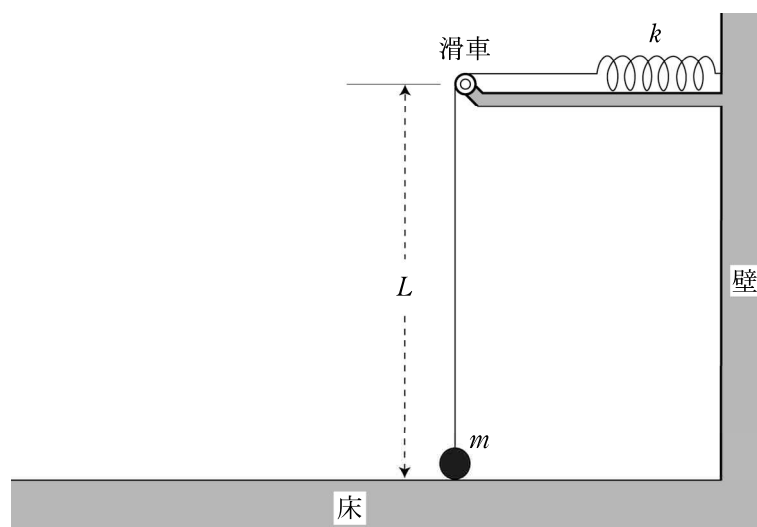


图 1

Ⅱ 図 1 に示すように、5 つのスイッチ  $S_1$  (2 個),  $S_2$  (2 個),  $S_3$  (1 個) を含む電気回路がある。2 箇所の  $S_1$  と 2 箇所の  $S_2$  はそれぞれ同時に開閉する。 $E$  は起電力  $E$  の電池,  $R$  は抵抗値  $R$  の抵抗,  $C_1$  と  $C_2$  はそれぞれ電気容量  $C$  と  $9C$  のコンデンサー, そして  $L$  は自己インダクタンス  $L$  のコイルである。はじめ, 全てのスイッチは開いており, 各コンデンサーには電荷が蓄えられていなかった。以下の問 1 ~ 4 に答えなさい。ただし, 電池, スイッチ, およびコイルの内部抵抗は無視できるものとする。(配点 30 点)

問 1  $S_2$  と  $S_3$  を開いた状態で  $S_1$  を閉じた。 $S_1$  を閉じた直後に  $R$  に流れる電流  $I$  を求めなさい。また, 十分に時間が経過した後の,  $C_2$  の極板間の電圧  $V$  および  $R$  に流れる電流  $I'$  を求めなさい。

問 2 問 1 の状態から  $S_1$  を開いた後に  $S_2$  を閉じた。十分に時間が経過した後の,  $C_2$  の極板間の電圧  $V'$  を求めなさい。また,  $C_2$  に蓄えられた静電エネルギー  $U$  を求めなさい。

問 3 問 2 の状態から  $S_2$  を開いた後に  $S_3$  を閉じると電気振動が起きた。 $L$  を流れる電流と時間の関係を示すグラフを描きなさい。また, 電流の大きさが初めて最大となる時刻  $t_{\max}$  と, その時の電流  $I_{\max}$  を求めなさい。ただし,  $S_3$  を閉じた瞬間を時刻  $t = 0$  とし, 図 1 の矢印の向きを電流の正の向きとする。

問 4 問 3 の状態で、 $L$  に電流が流れていない瞬間に  $S_3$  を開いた。その後、次の操作 1 と操作 2 を交互に繰り返した。

操作 1 :  $S_1$  を閉じ、十分に時間が経過した後に  $S_1$  を開く。

操作 2 :  $S_2$  を閉じ、十分に時間が経過した後に  $S_2$  を開く。

ここで、 $n$  回目の操作 1 で  $S_1$  を開く直前の  $C_2$  の極板間の電圧を  $V_n$ 、 $n$  回目の操作 2 で  $S_2$  を開く直前の  $C_2$  の極板間の電圧を  $V'_n$  とする。以下の(ア)~(ウ)に答えなさい。

(ア)  $V'_{n-1}$  と  $V_n$  が満たす関係式を表しなさい。ただし、左辺を  $V_n$  とすること。

(イ)  $V_n$  と  $V'_n$  が満たす関係式を表しなさい。ただし、左辺を  $V'_n$  とすること。

(ウ) 操作 1 と操作 2 を十分な回数繰り返した後の、 $C_2$  の極板間の電圧を求めなさい。

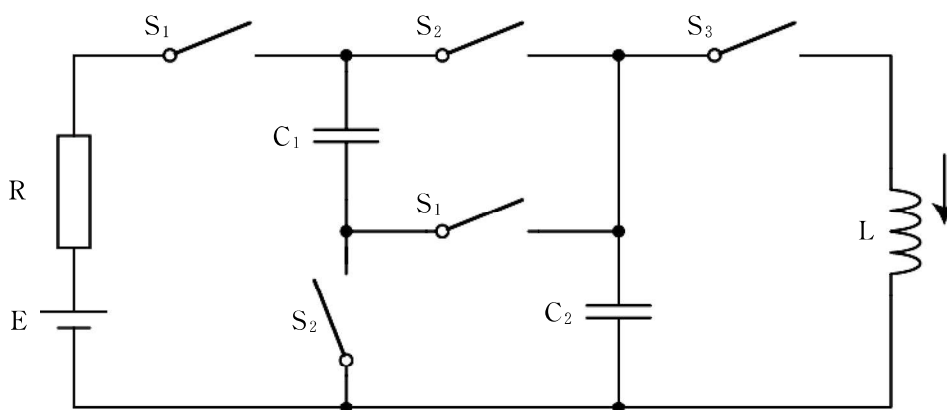


図 1

2 箇所の  $S_1$  と 2 箇所の  $S_2$  はそれぞれ同時に開閉する。

Ⅲ 次の文章(A)～(D)の、ア ～ セ にあてはまる最も適切な語、式、または数値を答えなさい。ただし、プランク定数を  $h$ 、光速を  $c$ 、電気素量を  $e$  とする。(配点 20 点)

(A) 光は粒子性と波動性の二重性を持ち、X 線は可視光よりも波長の短い電磁波である。波長が  $\lambda$  の X 線の粒子(光子)が持つエネルギーと運動量は、それぞれ ア および イ と表せる。例えば、波長が  $\lambda = 9.00 \times 10^{-10} \text{ m}$  の光子 1 個がもつエネルギーの値は、 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$  を使 う と、有効数字 3 桁で ウ eV と求められる。

(B) コンプトン効果には、X 線の粒子性が現れる。図 1 のように、静止している電子に波長が  $\lambda$  の X 線が衝突し、波長が  $\lambda'$  に変化して角度  $\theta$  の方向に散乱された。また、電子は角度  $\alpha$  の方向に速さ  $v$  で跳ね飛ばされた。電子の質量を  $m$  とすると、エネルギー保存則より、

$$\text{ア} = \text{エ}$$

が成立する。X 線が入射する方向と、それに垂直な方向について、運動量の成分を考えると、

$$\text{入射方向の成分：} \text{イ} = \text{オ} + mv \cos \alpha$$

$$\text{垂直方向の成分：} 0 = \text{カ} + mv \sin \alpha$$

が成立する。この時、 $\lambda' - \lambda$  が  $\lambda$  に比べて十分小さいとすれば、X 線の波長変化は、

$$\lambda' - \lambda = \text{キ} (1 - \cos \theta)$$

と近似できる。

(C) ウラン  $^{238}_{92}\text{U}$  は、 $\alpha$  崩壊をしてトリウムとなる。このトリウムの原子番号は  ク  で質量数は  ケ  である。またこのトリウムも  $\beta$  崩壊で  コ  を放出し、プロトアクチニウムとなる。その後も  $\alpha$  崩壊や  $\beta$  崩壊を繰り返し、いずれ鉛  $^{206}_{82}\text{Pb}$  となる。 $^{238}_{92}\text{U}$  が  $^{206}_{82}\text{Pb}$  になるまでに  $\alpha$  崩壊は  サ  回、 $\beta$  崩壊は  シ  回起こる。

(D) それ以上分解することができず、内部構造をもたないとされる基本粒子を  ス  と呼ぶ。物質を構成する  ス  は、 セ  とレプトンの2種類に分類でき、陽子や中性子は  セ  から構成される。また、力を媒介する粒子はゲージ粒子と総称されている。

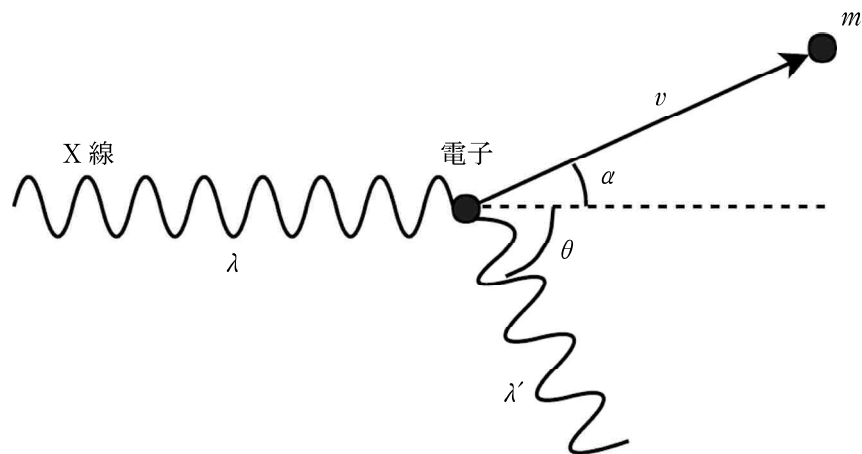


図 1

## 化 学

計算のために必要であれば、次の値を用いなさい。

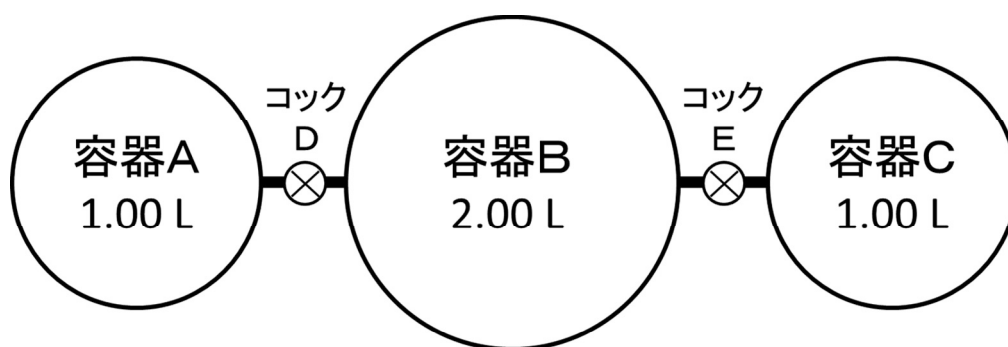
原子量：H 1.00 C 12.0 N 14.0 O 16.0 Na 23.0 Cl 35.5

Ar 40.0 K 39.1 Cr 52.0 Br 79.9 Ag 108 I 127

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

絶対零度： $-273 \text{ }^\circ\text{C}$

- I 次の文章を読んで、問1～5に答えなさい。ただし、温度による体積変化や容器以外の体積は無視でき、封入した物質および生成物は理想気体であるとする。(配点18点)



上の図のように容器A(1.00 L)と容器B(2.00 L)と容器C(1.00 L)は細い管とコックで連結され、コックDおよびコックEでそれぞれ区切られている。はじめにコックDとコックEをとともに閉じた状態で容器Aに酸素  $\text{O}_2$  を  $2.00 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、容器Bに一酸化窒素  $\text{NO}$  を  $1.00 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、容器Cにアルゴン  $\text{Ar}$  を  $4.00 \times 10^4 \text{ Pa}$  になるように入れた。次にコックDおよびコックEを同時に開けたところ、ゆっくりと反応が進行し、生成物として二酸化窒素  $\text{NO}_2$  を得た。このとき容器内のガスの組成はすべて均一になり、逆反応は進行せず、また二量体も生じなかった。また、操作はいずれも  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  の一定温度に保って行われた。

- 問 1  $\text{NO}_2$  が生成する化学反応の反応式を書きなさい。
- 問 2 コック D および E を開けた直後は反応が進行しないとすると、そのとき容器内の全圧は何 Pa になるか。有効数字 3 桁で答えなさい。
- 問 3 コック D および E を開け NO の反応率が 100% となり完全に NO がなくなった場合、全圧は何 Pa になるか。有効数字 3 桁で答えなさい。
- 問 4 NO の反応率が 100% になったとき、コック D および E を閉じて容器 B 内の気体の重量を測定した。反応後はコックを開ける前の容器 B 内の気体の重量に比べて何 g 重くなるか。有効数字 3 桁で答えなさい。
- 問 5 NO の反応率を横軸に、全圧を縦軸にとったときのグラフを作成しなさい。

Ⅱ 次の文章を読んで、問 1 ～ 5 に答えなさい。なお、 $\text{AgCl}$  の溶解度積  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.80 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$ 、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  の溶解度積  $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] = 4.00 \times 10^{-12} (\text{mol/L})^3$ 、 $\sqrt{1.80} = 1.34$  とする。(配点 19 点)

食品などに含まれる塩分濃度を測定する方法の一つに、沈殿滴定法があげられる。沈殿滴定とは、目的物質の沈殿反応を利用して定量する手法である。水溶液中の塩化物イオンを定量する沈殿滴定法の一つにモール法がある。塩化物イオンを含む水溶液中に硝酸銀  $\text{AgNO}_3$  水溶液を滴下していくと、塩化銀  $\text{AgCl}$  の沈殿が生成する。モール法では、指示薬としてクロム酸カリウム  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  水溶液を少量加えて滴定を行う。

このモール法を用いて市販のしょう油中の塩分濃度を定量した。ホールピペットを用いて市販のしょう油を水で 50 倍にうすめた水溶液(A 液)を 15.0 mL 量り取りコニカルビーカーに入れた。そこに  $2.85 \times 10^{-4} \text{ mol}$  の  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  を含む微量の水溶液を加えた。このとき溶液の色はうすい黄褐色であった。さらにビュレットを用いて  $5.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  の  $\text{AgNO}_3$  水溶液(B 液)を 1 滴滴下して、しばらくかくはんすると ① 色の不溶物のために溶液がうすくにごった。

ここで、この溶液がうすくにごった現象について以下のように考察した。仮に B 液 1 滴( $3.00 \times 10^{-2} \text{ mL}$  とする)を A 液 15.0 mL に加えた時に沈殿ができていなければ、コニカルビーカー中の溶液の  $\text{Ag}^+$  濃度は ② mol/L である。実際には溶液が不溶物のためににごったことから、A 液中の  $\text{Cl}^-$  濃度は少なくとも ③ mol/L 以上であったと考えられる。この場合、 $\text{K}_2\text{CrO}_4$  水溶液および滴下による溶液全体の体積変化を無視できるものとする。

さらに A 液に B 液を滴下しつづけるとにごりが増えていった。B 液を 13.5 mL 滴下したときにうすい暗赤色の  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  の沈殿が生成し、かくはんしても沈殿の色が変わらなかったため、これを終点とした。

この値をもとに  $\text{Cl}^-$  濃度を求めるため、次のように考察した。A 液 15.0 mL 中の  $\text{Cl}^-$  の物質量和  $\text{Ag}^+$  の全物質量が等しくなるように B 液を滴下したとき、コニカルビーカー中の  $\text{Cl}^-$  濃度は ④ mol/L,  $\text{Ag}^+$  濃度は ⑤ mol/L である。一方  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  の沈殿が生成するときの溶液中の  $\text{Ag}^+$  濃度は ⑥ mol/L と計算できる。このとき⑥の値は⑤の値より {大き・小}く、 $\text{AgCl}$  の沈殿生成がほぼ完了した後に暗赤色の  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  沈殿が生成されることがわかるため、滴定終点が判別できたと考えられる。

問 1 硝酸銀  $\text{AgNO}_3$  水溶液の性質について次のア～カのうち正しいものをすべて選択し、記号で答えなさい。

- ア. 白金板を入れると、表面に樹状結晶が生成する。
- イ. 硫化水素を通すと黒色の沈殿を生成する。
- ウ. 希塩酸を加えると白色の沈殿が生成するが、これを加熱するとおおよそ溶解する。
- エ. アンモニア水を少量加えると沈殿が生成するが、さらに加え続けると沈殿が溶解する。
- オ. ハロゲン化物イオンのカリウム塩を含む水溶液をそれぞれ加えると、いずれも沈殿を生成する。
- カ. 2 枚の白金板を電極にして電気分解すると、陽極からは主に気体が発生する。

問 2 ①には色の名前が入る。何色が答えなさい。

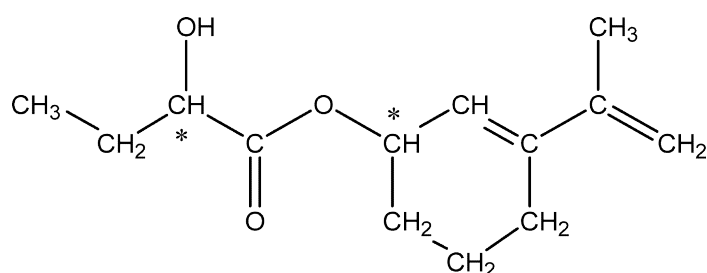
問 3 ②～⑥に入る数値を求め、有効数字 3 桁で答えなさい。

問 4 下線(a)に当てはまることばを{ }から選びなさい。

問 5 この市販のしょう油 15.0 mL 中に含まれる塩分の質量は何 g であったか。有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、 $\text{Cl}^-$  はすべて  $\text{NaCl}$  由来であるとする。

- Ⅲ 以下の文章は、 $C_5H_{10}O$  の分子式を持つ有機化合物の構造異性体に関する説明である。この文章を読んで、問 1 ～ 5 に答えなさい。なお、構造式は下記の例にならって書きなさい。(配点 19 点)

[構造式の記入例(\*印は不斉炭素原子を示す。)]



- ・環式化合物群(I)と鎖式化合物群(II)に大別できるが、不飽和度を考慮すると、複数の環および二重結合を持つことは不可能である。
- ・化合物群(I)は、脂環式化合物群(I-i)と環状エーテル化合物群(I-ii)に分類できる。
- ・化合物群(I-i)において可能な環員数は3～5だが、分子式を考慮すると、これらはエーテルまたは ア と考えられる。
- ・化合物群(I-i)に属する化合物 A は、4員環を持つエーテルである。
- ・環状エーテルである化合物群(I-ii)において可能な環員数は イ ～ ウ である。化合物群(I-ii)には、4員環を持ち、かつ不斉炭素原子を持たない化合物がいくつか存在する。<sup>(a)</sup>
- ・化合物群(II)は炭素—炭素二重結合を持つ化合物群(II-i)と、炭素—酸素二重結合を持つ化合物群(II-ii)に分類できる。
- ・化合物群(II-i)は化合物群(I-i)と同様に、エーテルまたは ア と考えられる。
- ・化合物群(II-i)に属する化合物 B と化合物 C は、双方とも不斉炭素原子を持つ。金属触媒による水素付加反応により二重結合を単結合へと還元すると、化合物 B では不斉炭素原子が消失するが、化合物 C では消失しない。また、化合物 B は金属ナトリウムと反応して水素を発生するが、化合物 C は水素を発生しない。

- ・化合物群(Ⅱ-ii)に属する化合物はカルボニル基を持ち， または  と考えられるが，不斉炭素原子を持つものは  である化合物 **D** のみである。

問 1  ～  にあてはまる最も適切な数字もしくは語句を書きなさい。なお， ，  ，  にあてはまる語句は下記の語群の中から選びなさい。

|       |       |       |     |
|-------|-------|-------|-----|
| カルボン酸 | アルデヒド | エステル  | アミド |
| アルコール | ケトン   | フェノール |     |

問 2 化合物 **A** の構造式を書きなさい。

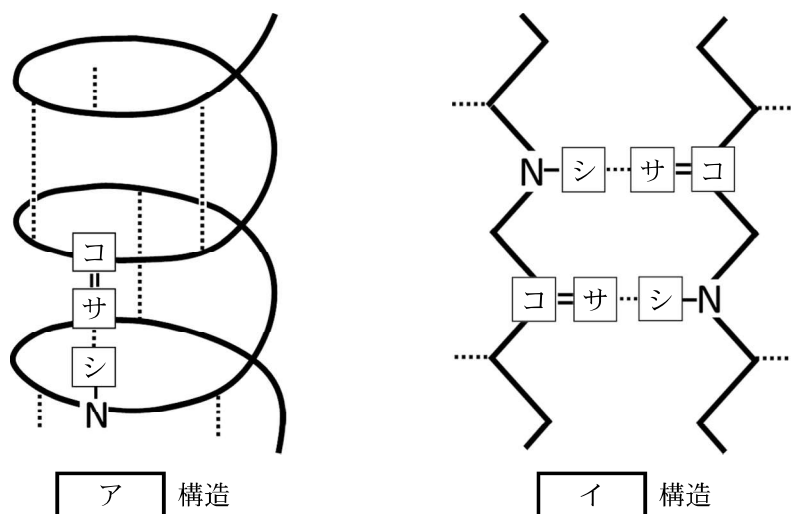
問 3 下線部(a)の記述に該当する全ての構造式を書きなさい。

問 4 化合物 **B** および化合物 **C** の構造式を書きなさい。不斉炭素原子には\*印を付けなさい。

問 5 化合物 **D** の構造式を書きなさい。不斉炭素原子には\*印を付けなさい。

IV 次の文章を読んで、問1～4に答えなさい。(配点19点)

繊維には絹や綿などの天然繊維と、主に石油から人工的に作られる合成繊維がある。天然繊維には、植物繊維と動物繊維がある。動物繊維の主成分であるタンパク質は、主に下図に示す2つの立体構造をとる。



らせん状を示す ア 構造では分子内で、ジグザク状を示す イ 構造では分子間で ウ がそれぞれ形成される。ア や イ のような部分的な立体構造をタンパク質の エ という。一方、日本で初めて開発された合成繊維として有名なビニロンは優れた強度をもつ材料である。ビニロンは次のように生成される。酢酸ビニルを オ 重合させて得られるポリ酢酸ビニルを水酸化ナトリウム水溶液で カ すると、水溶性高分子であるポリビニルアルコール<sup>(a)</sup>が得られる。このポリビニルアルコールのヒドロキシ基を部分的に<sup>(b)</sup>キ すると水に不溶のビニロンができる。その分子間にはヒドロキシ基が残っているため、タンパク質と同様に ウ が形成され、高い強度をもつ。また、ポリアクリロニトリルを主成分とし、羊毛に似た感触を示す合成繊維をアクリル繊維といい、アクリロニトリルを ク 重合して得られる。ポリアクリロニトリルを窒素のような不活性な気体中で熱分解すると導電性を有し、軽くて強じんな ケ が得られる。

問 1  ~  にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

問 2 図の  ~  に入る元素を元素記号で答えなさい。

問 3 下線(a)に示すポリビニルアルコールの分子量を  $6.60 \times 10^4$  とすると、このポリビニルアルコール 1 分子中にヒドロキシ基は何個存在するか。整数で答えなさい。

問 4 下線(b)において、すべてのヒドロキシ基のうち 40.0% が反応するとき、質量は何% 増加するか。有効数字 3 桁で答えなさい。

## 生 物

I 次の文章を読んで、問 1 ～ 4 に答えなさい。(配点 19 点)

ある生物がもつすべての遺伝情報をゲノムという。これまで、大腸菌からヒトに至るまで、数多くの生物のゲノムが解読された。ある種の生物のゲノム全体の塩基配列を決定する作業はゲノムプロジェクトと呼ばれる。

ヒトでは、全塩基の配列が 2003 年に解読され、ヒトゲノムには約 30 億の塩基対が含まれており、その中に約 20,500 個の遺伝子があると推定されている。同じ種の個体間で、ゲノム上の同じ位置の塩基配列について、異なる配列が存在することを  という。また、 のうち個体間で見られる一塩基単位での塩基配列の違いを  という。遺伝子のアミノ酸を指定する部分に  がある場合、生物の形質の個体間差に関係する場合がある。これは、 置換や  が新たに生じる置換により、タンパク質の機能が変化あるいは消失したためである。

DNA の塩基配列は、DNA シークエンサーという解析装置を用いて決定している。この解析方法の一つが、フレデリック・サンガーによって開発されたジデオキシ法である。ジデオキシ法での塩基配列の決定は、DNA の一本鎖を鋳型として、それに対応する相補的な DNA 鎖を合成する反応を通じて行う。

反応液には、解析する DNA、プライマー、酵素<sup>(A)</sup>、DNA 合成の材料となる通常の 4 種のヌクレオチドのほかに、4 種の特殊なヌクレオチド<sup>(B)</sup>を加え、DNA 合成反応を起こす。特殊なヌクレオチドは、伸長中の DNA 鎖に取り込まれた時点で DNA 合成を止める作用がある。これにより、様々な長さの DNA 断片が合成される。そして、1 塩基の長さの差を分離できる電気泳動装置により、DNA 鎖長に従って DNA 断片を分離し、取り込まれた特殊なヌクレオチドの種類を読み取ることで、鋳型となった元の DNA の配列を決定する。

さらに、近年、新たな原理に基づく高性能のシーケンサーが登場し、大量の DNA の塩基配列を短期間で決定できる革新的な技術が開発された。これにより、個人のゲノムを検査することで、その人に適したオーダーメイド医療<sup>(C)</sup>への応用が始められている。

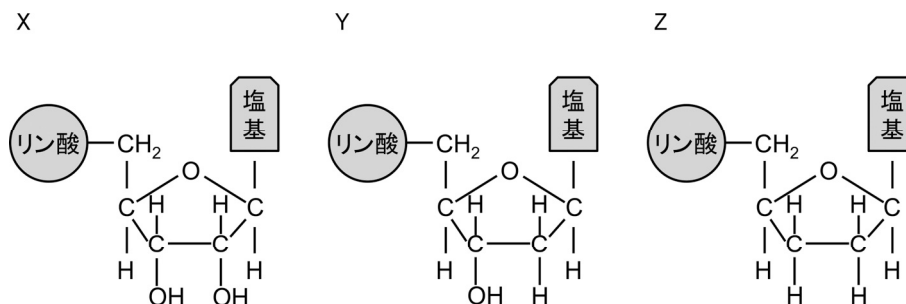
問 1 空欄 ア ～ エ にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

問 2 「ゲノム」と「遺伝子」の関係について 50 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

問 3 ジデオキシ法による塩基配列の決定に関する以下の(1)～(3)に答えなさい。

(1) 下線部(A)について酵素の名称を答えなさい。

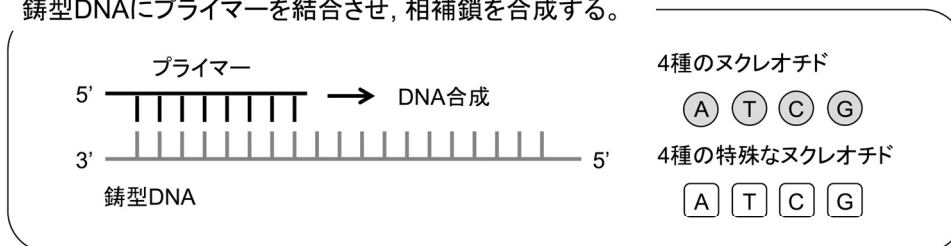
(2) 下線部(B)の特殊なヌクレオチドの構造式として正しいものを以下の X～Zの中から選び、その記号を答えなさい。



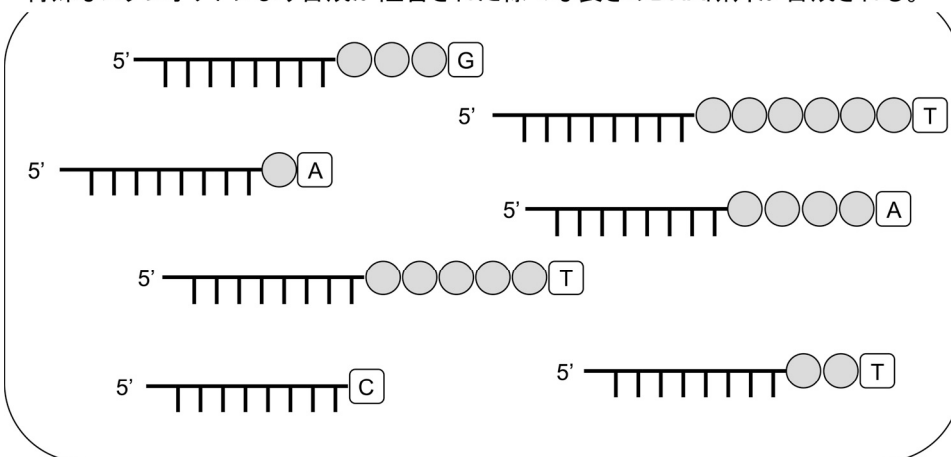
(3) 次ページの図 1 はジデオキシ法による塩基配列決定の例である。この実験において、プライマーに続く相補鎖の塩基配列を解読し、5' 側の塩基から順に解答欄に記入しなさい。

問 4 下線部(C)のオーダーメイド医療について 60 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

鋳型DNAにプライマーを結合させ、相補鎖を合成する。



特殊なヌクレオチドにより合成が阻害された様々な長さのDNA断片が合成される。



電気泳動

DNA断片の長さによって分離し、DNAの配列を決定する。

図 1

Ⅱ 次の文章を読んで、問 1 ～ 6 に答えなさい。(配点 19 点)

細胞は細胞膜によって外界から隔てられている。真核細胞内に存在する細胞小器官の多くもまた膜で仕切られており、その内側は外側とは異なる環境が保たれている。細胞膜や細胞小器官を構成する膜を生体膜といい、基本的な構造は同じである。生体膜はリン脂質の二重層とタンパク質から構成されている。脂質層はイオンや親水性の分子を透過させにくい性質をもっているが、これらの透過しにくい分子の多くは、生体膜に存在するタンパク質を介して膜を通過する。<sup>(A)</sup>例えば、細胞内に必要とされる物質のうち、最も多く存在する水分子は細胞膜の脂質層部分を透過しにくいため、アと呼ばれる膜タンパク質を通して細胞の内外に浸透することが知られている。

動物細胞の細胞膜に存在するナトリウムポンプは、ATPのイ反応に<sup>(B)</sup>よって取り出されるエネルギーを利用してナトリウムイオンを細胞外へ排出するとともに、ウイオンを細胞内に取り込む。一方、細胞膜には<sup>(C)</sup>ウイオンを自由に通過させるチャネルタンパク質も存在する。そのため、取り込まれたウイオンは細胞外へ自由に出て行くことができる。その結果、細胞の外側を基準にすると、細胞の内側の電位(膜電位)は約  $-90 \sim -60$  mV の値となる。<sup>(D)</sup>

生体膜を隔てた分子の輸送と、それによって形成される物質濃度の差は、細胞小器官の機能においても重要である。動物細胞でのエネルギー産生を担う細胞小器官<sup>(E)</sup>であるエでは、生体膜をはさんだオイオンの濃度勾配を利用してATPの合成が行われる。

問 1 空欄 ア ～ オ にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部(A)のように、生体膜がもつ、特定の物質だけを透過させる性質を何というか、答えなさい。

問 3 下線部(B)の現象は物質の濃度勾配に逆らって起こり、下線部(C)の現象は物質の濃度勾配にしたがって起こると考えられる。このような物質移動の様式を何というか、最も適切な語句を(B)と(C)の解答欄にそれぞれ漢字4字で答えなさい。

問 4 休止状態の神経細胞(ニューロン)において、下線部(D)は静止電位とよばれる。一方、刺激を受けたニューロンでは活動電位が発生することで、興奮の伝導をおこなっている。活動電位が生じる仕組みを、それに関わるイオンとタンパク質の名称を挙げて、140字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

問 5 下線部(E)の細胞小器官で合成されたATPが、ナトリウムポンプの駆動エネルギーとして利用されるためには、生体膜を何回通過する必要があるか、数字で答えなさい。

問 6 次ページの図1は、ある細胞の外液に、細胞膜の透過性が高い物質Pと、透過性が低い物質Qを添加したときの、細胞の体積の変化を観察した結果を示したものである。図1を見て、以下の(1)および(2)に答えなさい。

(1) Pを添加した場合の90秒後まで、Qを添加した場合の180秒後までは、いずれも細胞の体積が減少している。このとき、それぞれの細胞膜ではどのような物質の通過があったと考えられるか、その方向性も含め、40字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

(2) Pを添加した場合、90秒後以降では再び細胞の体積が増加し、やがて元の体積に戻っていった。このとき、細胞膜ではどのような物質の通過があったと考えられるか、60字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

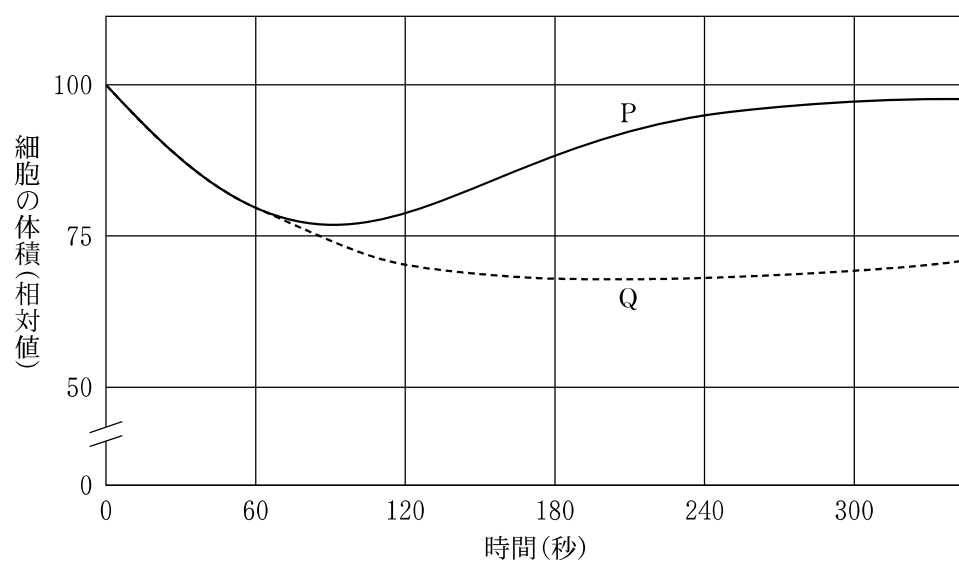


図 1

Ⅲ 次の文章を読んで、問 1 ～ 5 に答えなさい。(配点 19 点)

アメフラシ(図 1 A)は背中の水管から海水を出し入れしてえら呼吸をしており、水管に接触刺激を与えるとえらを引っ込める<sup>(A)</sup>反射<sup>(B)</sup>を示す。水管への接触刺激を繰り返すと、えらを引っ込める頻度が減少し、ついには引っ込めなくなる<sup>(C)</sup>。一方、尾部<sup>(D)</sup>への強い刺激を与えると、その後、通常は反射を示さないような弱い水管への接触刺激に対しても、えらを引っ込めるようになる。これらの行動変化は、反射に関わる神経回路(図 1 B)の一部でシナプスの伝達効率が変化することにより生じる。

このように、経験によって行動が変化することを学習<sup>(E)</sup>といい、そのメカニズムはアメフラシやショウジョウバエなどのモデル動物を用いて、詳しく調べられている。

問 1 下線部(A)は、アメフラシのえらの筋肉が収縮することで起こる筋肉運動である。ヒトの骨格筋において、筋肉の収縮に必要な ATP の生成過程のうち、呼吸、解糖系以外の反応系を 50 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

問 2 下線部(B)について、ヒトは屈筋反射や瞳孔反射などの反射を示すことが知られている。これらの反射の反射中枢はそれぞれどこか、答えなさい。

問 3 下線部(C)について、このような現象を何というか、答えなさい。

問 4 下線部Dの現象が起こるしくみを説明した次の文章を読み、以下の(1)～(3)に答えなさい。

アメフラシ尾部への強い刺激の結果、 に興奮が伝わると、 において一時的に膜電位の下がりにくい状態が引き起こされる。すると、水管への接触刺激により  に活動電位が伝搬した際の  イオンの細胞内への流入が増加し、その結果、シナプス間隙への神経伝達物質の放出量が増加する。

(1) 空欄  ,  に該当する神経終末として最も適切なものを、図 1 B の(ア)～(エ)からそれぞれ選び、その記号を答えなさい。

(2) 空欄  に入る物質名を答えなさい。

(3) この現象は通常 1 時間程度で元にもどるが、尾部への強い刺激を繰り返し与えていると、やがて数週間保持されるようになる。この時、上記のしくみの他にどのようなことが起きているか推論し、40 字以内で説明しなさい。ただし、句読点も字数に含める。

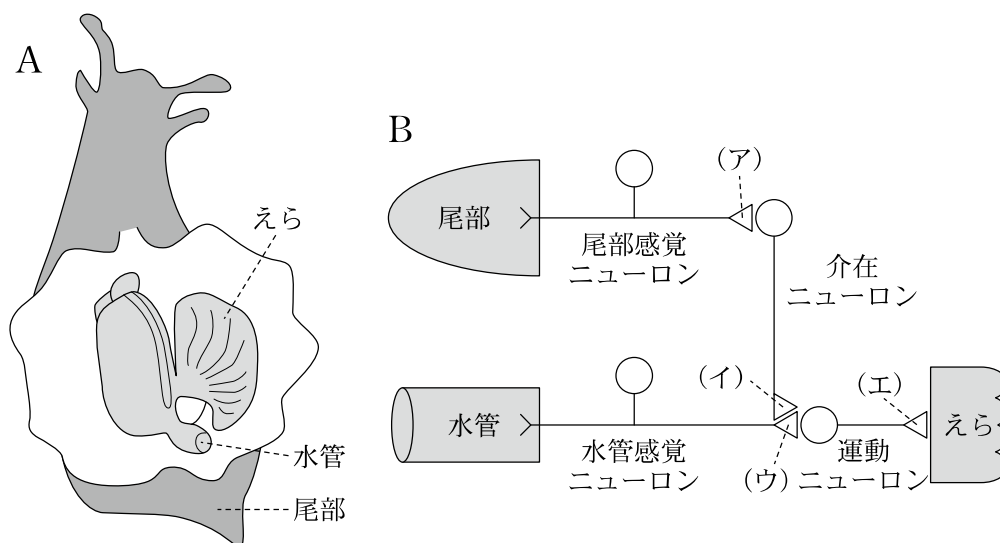


図 1

A : アメフラシの模式図

B : えら引っ込み反射に関わる神経回路

(ア) ~ (エ) はそれぞれ神経終末を示す

問5 下線部(E)について、ショウジョウバエの匂い学習能力を調べるために、2種類の匂い(P, Q)を使って実験を行った。野生型のショウジョウバエの集団に対して、無条件刺激のみを与える(匂いなし)、もしくはP, Q どちらか片方の匂いと無条件刺激を同時に与える条件づけの操作を行った後、T 字迷路(図2 A)を使って匂いP の側に移動した個体の割合を調べると、図B のような結果になった。次に、ある変異型系統X のショウジョウバエの集団を使って同様の実験を行うと、図2 C のような結果になった。これについて以下の(1)~(3)に答えなさい。ただし、系統X の遺伝子変異は個体の運動機能には影響を与えないものとする。

(1) 条件づけ前のショウジョウバエの匂いの好みとして適切なものをア~ウから一つ選び、その記号を答えなさい。

- ア 匂いP よりも匂いQ を好む
- イ 匂いQ よりも匂いP を好む
- ウ 匂いP と匂いQ を同程度好む

(2) 条件づけに用いた無条件刺激として適切なものをア~ウから一つ選び、その記号を答えなさい。

- ア 砂糖水(ショウジョウバエが好む刺激)
- イ 電気ショック(ショウジョウバエが嫌う刺激)
- ウ 水(ショウジョウバエが好きでも嫌いでもない刺激)

(3) 系統X の性質として可能性のあるものを、以下のア~カから全て選び、その記号を答えなさい。

- ア 匂いと無条件刺激の条件づけができない
- イ 匂いP は受容できるが匂いQ が受容できない
- ウ 匂いQ は受容できるが匂いP が受容できない
- エ 匂いP も匂いQ も受容できない
- オ 匂いP と匂いQ の区別ができない
- カ 無条件刺激の受容ができない

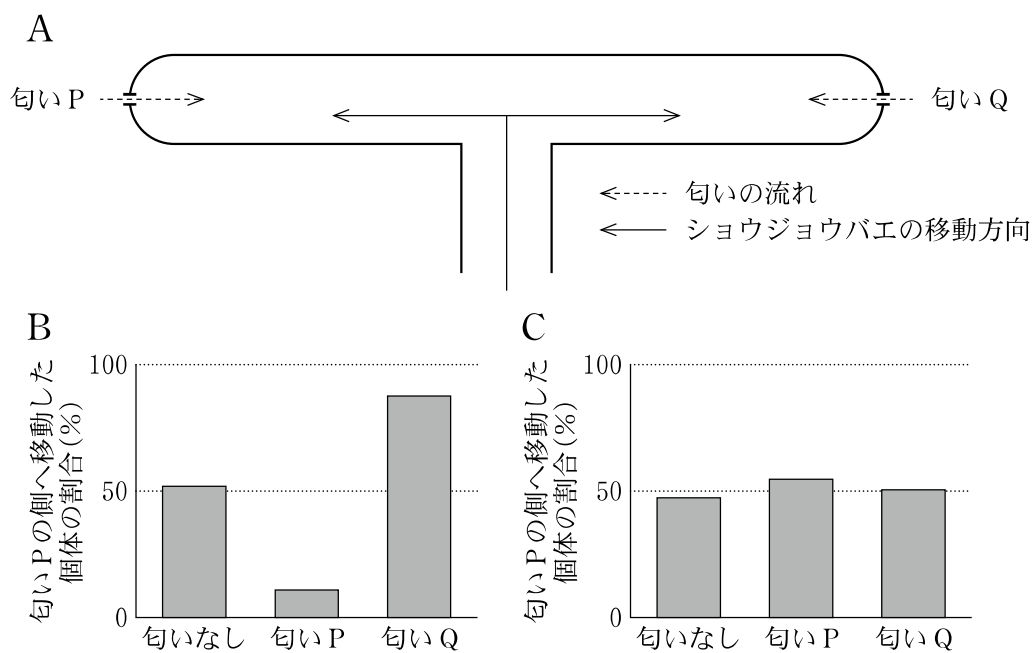


図 2

A : T 字迷路, B : 野生型の結果, C : 変異型系統 X の結果

グラフの横軸は条件づけの操作に用いた匂いの種類を示す

Ⅳ 次の文章を読んで、問 1 ～ 4 に答えなさい。(配点 18 点)

地球上には、これまで 180 万種以上の生物が発見されており、実際にはその何倍もの生物種が存在すると考えられる。これらの莫大な数の生物種は、かつて地球上に存在した唯一の祖先から、種分化が繰り返されることによって生じた。生物の種分化と多様化の歴史は、<sup>(A)</sup> [ア] によって表すことができる。全生物を対象とした [ア] には大きな三つの枝(ドメイン)があり、それぞれ [イ]、[ウ]、[エ] と呼ばれる。ヒトを含む [エ] は、[イ] とより近い関係にある。

現生の生物は、個体や個体群、種に応じて形態や生態、遺伝子の種類などが異なり、これらの違いによって地球上の生物多様性が形成されている。しかし、人間活動による様々な影響により、生物多様性は近年大きく減少しつつある。土地利用の改変により生息地が縮小すると、そこにすむ個体群に含まれる個体数が減少する。個体はそれぞれ異なる遺伝子を持つ可能性があるため、個体数の減少は [オ] 多様性の減少につながり、環境の変化に対する適応進化を困難にする。また、個体群における [オ] <sup>(B)</sup> 多様性が低下すると、近親交配 <sup>(C)</sup> の確率が高まる。これらの要因は、更なる個体数の減少をもたらし、個体群を絶滅へと向かわせる。この現象を、[カ] という。

問 1 空欄 [ア] ～ [カ] にあてはまる最も適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部(A)について、以下の①～⑥の中から五つを選び、地理的隔離による種分化が生じる順序を解答欄に記入しなさい。

- ① 気候変動により海水面が下降し陸地が拡大したため、分断されていた二つの地域が陸続きになった。
- ② 生物 a と生物 b は、互いに交配して繁殖した。
- ③ 気候変動により海水面が上昇し海水が浸入したため、分布していた地域が二つの地域に分断された。
- ④ ある生物 c が、ある地域に生息していた。
- ⑤ 生物 a と生物 b は、出会っても互いを交配相手として認識しなくなった。
- ⑥ 生物 c は海を越えて移動できないため、それぞれの地域で繁殖し独自の進化をとげ、生物 a と生物 b となった。

問 3 下線部(B)の過程の例として、以下の①～⑤の中で適切なものを全て選んで答えなさい。

- ① マラソンの選手が高地トレーニングを行った結果、低酸素環境における運動能力が上昇した。
- ② ミジンコの幼生を捕食者である魚の匂いを含む水で飼育したところ、発生にともなって捕食を避ける頭部のトゲが通常より伸長した。
- ③ マメゾウムシの個体群を、雌が複数の雄と交配する環境においてある期間世代交代させたところ、雌が単一の雄とだけ交配する環境で世代交代させたものに比べ、受精率を高める雄交尾器のトゲがより発達した。
- ④ 干ばつで食物の種子の種類と量が減り、固い種子ばかりが残った環境を生き延びたフィンチの子孫は、固い種子を割ることができる厚いくちばしを持っていた。
- ⑤ レバーを引くとエサがもらえる環境で飼育したマウスは、エサがもらえなくても頻繁にレバーを引くようになった。

問 4 下線部(C)について，近親交配が個体群に悪影響をおよぼすくみを，以下の語句を全て用いて 120 字以内で説明しなさい。ただし，句読点も字数に含める。

劣性の有害遺伝子    ヘテロ接合    ホモ接合    突然変異

## 地 学

I 以下は、地球の大規模構造および地表付近の地質構造に関する説明である。地球の大規模構造に関する文章(A)を読んで問1, 2に、地表付近の地質構造に関する文章(B)を読んで問3～6に答えなさい。(配点25点)

(A) 地球は半径6400 km, 平均密度 あ  $\text{kg/m}^3$  の惑星である。地球内部は地表より地球中心に向かって順に地殻, マントル, 外核, 内核の4層に分かれている。地殻の厚さはおおむね70 km 以下であり, マントルと外核, 外核と内核の境界はそれぞれ深さ2900 km, 5100 km のところにある。この4層の中で, 体積において最も大きな割合を占める層は ア である。地殻は大陸地殻と海洋地殻に大別され, 大陸地殻の上部は大部分が イ, 海洋地殻は玄武岩質岩石でできている。マントルは, 主として ウ や鉄を多く含むケイ酸塩鉱物よりなる。外核は鉄を主成分とした液体であり対流している。この対流は, エ の原因となっている。内核は鉄を主成分とした固体である。

問1 空欄 ア ～ エ にあてはまる適切な語句を答えなさい。

問2 地球表面の重力は, 地球の質量による万有引力と地球の自転により生じる遠心力の合力である。しかしながら, 遠心力は万有引力に比較してとても小さい。地球表面の重力が万有引力のみによるものであり, 地球が球であるとして, 空欄 あ にあてはまる数字を有効数字2桁で求めなさい。導出過程も説明しなさい。ただし, 地球表面の重力加速度は  $9.8 \text{ m/s}^2$ , 万有引力定数は  $6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$  とする。

(B) 地表付近の地質に関する詳細な構造は、地質調査を行うことによって推定できる。ここでは、ある島で行った地質調査の例を示す。図1はその島の地形図である。等高線は10 m 間隔で、外枠の目盛り間隔は50 m である。高度0 m の等高線は海岸線である。この調査でA～Eに示される地点の露頭を観察し、以下のことが明らかになった。

- ・ 露頭A, B, Eでは厚さ約5 cm の火山灰層があり、その上下に整合の関係で複数の砂岩層がある。地層面の走向・傾斜は走向N 90°E, 傾斜11°S である。露頭Aの砂岩層の中からピカリアの化石が発見される。
- ・ 露頭Cでは下部に厚さ約5 cm 火山灰層があり、その上下に整合の関係で複数の砂岩層がある。地層面の走向・傾斜は、露頭Aと同一である。また露頭の中ほどの高さのところに水平な不整合面がある。不整合面の直上は礫岩層で、その上に整合の関係にある砂岩層がある。
- ・ 露頭A, B, C, Eにみられる火山灰層は、いずれも火山ガラスの他に細粒の石英, 斜長石, カリ長石の結晶を含み、その特徴から同一の火山噴火により同時に堆積したものであると判断される。
- ・ 露頭Dでは走向・傾斜が露頭A, B, Cと同一の砂岩層があり、その中にサンゴの化石を含む石灰岩層がある。この石灰岩は石灰石を主成分とするが、他にかなりの量の石英や長石の砂を含んでいる。

問3 文章(B)の地質調査の記述に基づいて、答案用紙の地形図に火山灰層と不整合面の地表分布を、それぞれ太い実線(——)と波線(~~~~)でかきなさい。断層の存在が推定される場合、断層面は平面で走向N 45°W, 垂直傾斜であるとして、場所を推定して二重線(==)で書きなさい。全ての地層境界面は平面であるとする。作図に補助線を使用した場合は地形図上に残しなさい。なお、 $\tan 11^\circ = 0.2$  としてよい。(答案用紙の地形図は、図1に同じ。)

問4 露頭Aの砂岩層が堆積した可能性のある年代2つを「紀」の年代名で答えなさい。

問 5 露頭A, B, C, Eにみられる火山灰の元になったマグマの組成を持つ火山岩名を答えなさい。

問 6 露頭Dの石灰岩が堆積した環境と場所を推定し、その理由とともに答えなさい。

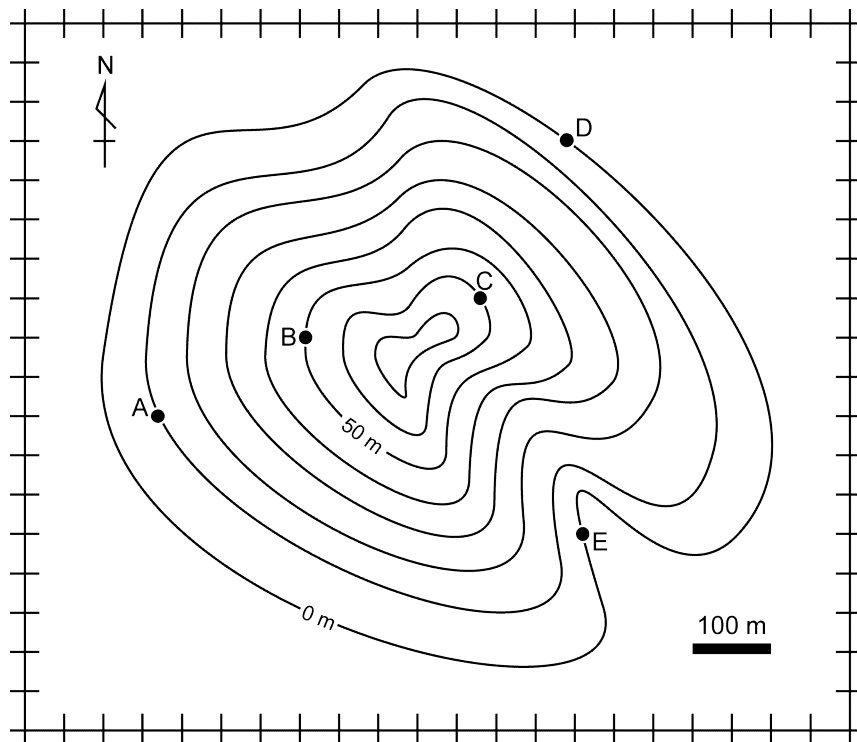


図 1

Ⅱ 次の文章を読んで、問 1 ～ 5 に答えなさい。(配点 25 点)

プレートテクトニクスは、種々の地学現象をプレートの生成や移動で統一的に理解しようとする考え方である。

地球の表面を移動するプレートの境界には、大規模な地形である海嶺や海溝が存在するだけでなく、地震や火山などの活動が起きている。海洋底が拡大する海嶺では  断層型地震が、海底が沈み込む海溝では  断層型地震が起こることが多い。また、プレートがすれ違う境界では、 断層が発達し、そこでは横ずれ断層型地震が(A)多く発生する。

プレートの実体は、 とよばれる硬く変形しにくい岩層である。この岩層は、 とよばれるやわらかく流動しやすい岩層の上を動いている。<sup>(B)</sup>プレートは地殻とマントル最上部を含んでおり、 との境界では、物質の組成ではなく、物理的性質が変化する。地殻は上部マントルよりも密度が小さいため、 上部マントル  の上に浮かんだ状態で重力的に安定している。この状態を  という。

問 1 空欄  ～  にあてはまる適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部(A)の横ずれ断層型地震について、以下の(1)、(2)に答えなさい。

- (1) この地震が起こる  断層は、海洋底の拡大に伴って生じた断裂帯の一部である。この断層の運動方向を答案用紙の図に矢印で示しなさい。図は、二つのプレート P1 と P2 の境界の一部を示したものである。
- (2) この地震の震央が地点 X である場合、地震による P 波初動が押しとなる領域を同図に図示しなさい。

問 3 プレートが生成する海嶺軸付近の海上で地磁気を測定すると、地磁気の強い所と弱い所が、海嶺軸対称に縞状に交互に並んでいる(磁気異常の縞模様)。図 1 は、海嶺軸付近の地磁気の強弱の分布を模式的に示したものである。以下の(1)、(2)に答えなさい。

- (1) 黒の帯部分は、白の帯部分よりも強いかわかりかを答えなさい。
- (2) その理由を、磁気異常の縞模様の成因説に基づいて述べなさい。

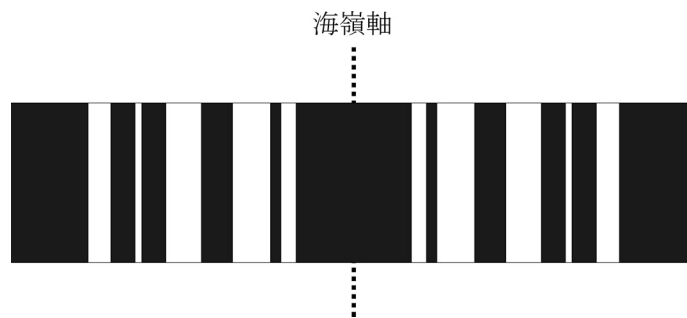


図 1

問 4 海洋底の年齢は、磁気異常の縞模様などを利用して調べることができる。海嶺軸で新たに形成された海洋底は、海嶺軸から離れる方向に移動していくが、その水深は、海嶺軸から離れた古い海洋底ほど深いことが分かっている。その理由を下線部(B)に関連づけて述べなさい。

問 5 地球の表面を球面とすると、プレートが地球の表面に沿って、板のような変形しない剛体として移動するならば、その運動は球の中心を通る軸まわりの回転運動となる。このとき、プレート内では、回転速度は一定である。図 2 において、二つのプレート P1 と P2 が相対運動をしている。点 R1 と R2 は、プレート境界の海嶺軸上にあり、回転運動の極からの角距離は、それぞれ  $30^\circ$  と  $60^\circ$  である。点 R1 付近における地磁気測定の結果から、海嶺軸から拡大方向に 100 km 離れた地点の海底年齢は、プレート P1 と P2 のいずれにおいても 600 万年前であることがわかった。プレート P1 と P2 の運動は、過去 600 万年間変化していないものとして、点 R2 におけるプレート P1 と P2 の相対運動の速さを求めなさい。計算式を示し、単位を cm/年として有効数字 2 桁で答えなさい。

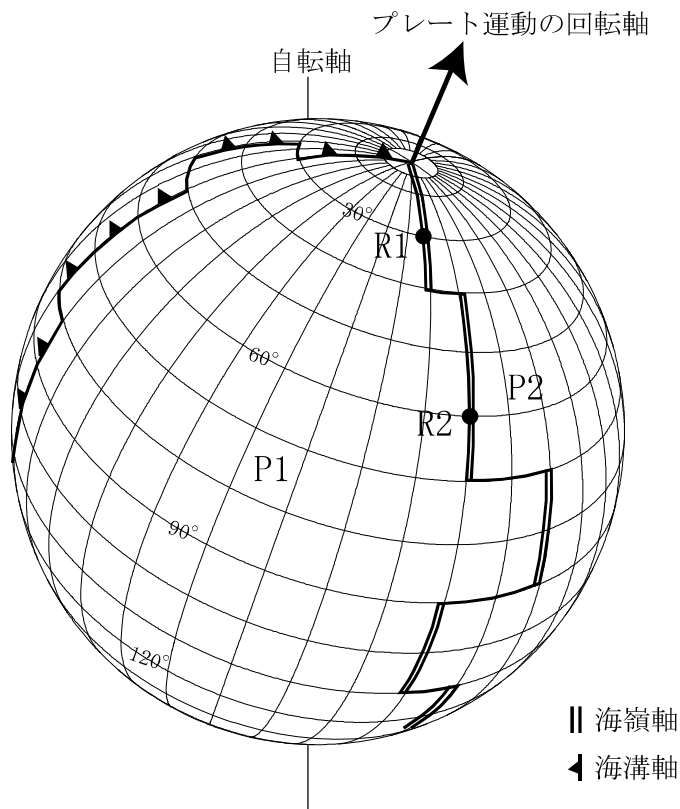


図 2

Ⅲ 次の文章を読んで、問 1 ～ 4 に答えなさい。(配点 25 点)

比較的近い恒星までの距離は、その恒星の年周視差を測定できれば求めることができる。最初に年周視差が測定された恒星ははくちょう座 61 番星で、年周視差は  $0.29''$  であった。このことから、はくちょう座 61 番星までの距離は  パーセク、すなわち、 光年であるとわかる。

近年、観測技術の進歩により、1 秒の 1 千分の 1 から 1 万分の 1 程度の極めて小さな年周視差の測定が可能になってきた。例えば、W 51 と呼ばれる天体は、電波望遠鏡での観測により年周視差が  $0.000185''$  と求められている。このことから、この天体までの距離は  キロパーセクであるとわかる。

地球の運動による年周視差の他に、連星系であれば、その軌道運動による年周視差から距離を求めることができる場合もある。例として銀河系の中心までの距離を考えよう。銀河系の中心には、太陽質量の 400 万倍の質量を持つブラックホールがあると考えられている。このブラックホールの周りには、多数の恒星が見つかっており、その中には軌道周期が 16 年と短いものもある。この星の観測から、銀河中心までの距離が正確に求められた。

我々の銀河系は中心にほぼ球形の 、その周りに広がった、渦巻をもつ円盤部、さらに外側までほぼ球状に広がる  からなる。しかし、これらの質量を合計しても、円盤部の星の回転速度につりあうだけの質量にはならないことがわかっている。これは、 が存在する証拠と考えられている。

問 1 空欄  ～  に入る数値を有効数字 2 桁で求めなさい。地球と太陽の距離は  $1.5 \times 10^8 \text{ km}$  であり、1 光年は  $9.5 \times 10^{12} \text{ km}$  である。

問 2 下線部(A)に関連して、以下の(1)～(3)に答えなさい。

- (1) もしも太陽と地球の距離と同じだけ銀河中心のブラックホールから離れて円運動をしている恒星があったら、その公転速度は何 km/s になるか、計算式を示して有効数字 2 桁で答えなさい。地球の公転速度は 30 km/s である。
- (2) この星が円運動をしているとして、ケプラーの第 3 法則から公転軌道の半径と公転速度を計算式を示して答えなさい。
- (3) この星の軌道半径は地球からの観測では  $0.12''$  となった。銀河中心までの距離を計算式を示して答えなさい。

問 3 同じく下線部(A)について、観測から、この星は B 型星であり、太陽の 15 倍程度の質量をもつと考えられている。この星の明るさが太陽光度の何倍かを計算式を示して答えなさい。

問 4 空欄  ～  に入る適切な語句を下から選んで答えなさい。

|        |          |         |     |     |
|--------|----------|---------|-----|-----|
| 球状星団   | 散開星団     | バルジ     | ハロー | 銀河群 |
| ダークマター | ダークエネルギー | ブラックホール |     |     |