

クラス		受験番号	
出席番号		氏 名	

2014年度

# 全統医進模試問題

## 理 科

2014年11月実施

( 2 科目 200点・150分 )  
( 1 科目 100点・75分 )

試験開始の合図があるまで、この「問題」冊子を開かず、下記の注意事項をよく読むこと。

### 注 意 事 項

1. この「問題」冊子は、43ページである（物理2～12ページ，化学14～27ページ，生物28～43ページ）。
2. 解答用紙（物理1枚，化学1枚，生物1枚）は問題冊子に挟み込まれているので抜き出して解答すること。
3. 本冊子に脱落や印刷不鮮明の箇所および解答用紙の汚れ等があれば試験監督者に申し出ること。
4. 試験開始の合図で解答用紙の下段の所定欄に **氏名**（漢字及びフリガナ），**在・卒高校名**，**クラス名**，**出席番号**，**受験番号**（受験票の発行を受けている場合のみ）を明確に記入すること。
5. 解答には、必ず黒色鉛筆を使用し、解答用紙の所定欄に記入すること。
6. 試験終了の合図で上記4.の事項を再度確認し、試験監督者の指示に従って解答用紙を提出すること。

河合塾



1461410114110000



物理の問題は次ページから始まる。

# 物 理

## 1 (配点 34点)

図1のように、長さ  $\ell$  の伸び縮みしない糸の一端 O を固定し、他端に質量  $m$  の小球 P を取り付け鉛直につるしたところ、P は最下点 A で静止した。そこで、P に水平方向右向きに大きさ  $v_0$  の初速度を与えると、P は鉛直面内で円運動をした。P の位置は OA と OP がなす角  $\theta$  で表し、 $\theta$  は反時計まわりを正とする。重力加速度の大きさを  $g$  とし、空気抵抗や糸の質量は無視できるものとする。以下の問に答えよ。

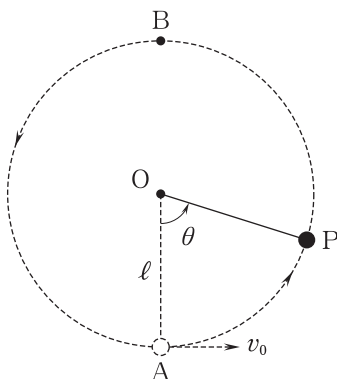


図1

問1 角  $\theta$  の位置での小球 P の速さと、糸の張力の大きさを求めよ。

問2 小球 P が円軌道を描いて一周するとき、軌道の最高点 B と最下点 A での速さはいくら以上でなくてはならないか。それぞれの最小値を求めよ。

図2のように、水平と角  $\phi$  ( $0^\circ < \phi < 90^\circ$ ) をなすなめらかな斜面をもつ台を水平面上に固定した。長さ  $\ell$  の糸の一端  $O$  を斜面に固定して、他端の小球  $P$  を斜面上での最下点  $A$  に静止させた。  $P$  に斜面と平行で水平方向に大きさ  $v_0$  の初速度を与えると、  $P$  は斜面上で円運動をした。

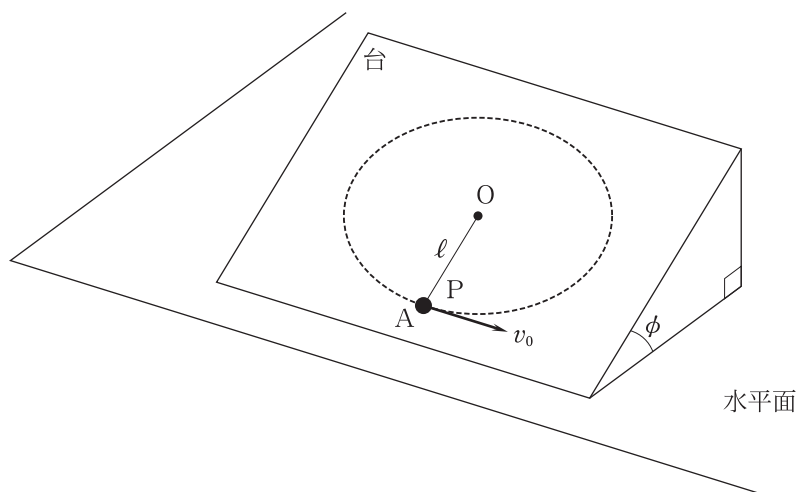


図2

問3 小球  $P$  が最下点  $A$  を通過するときの糸の張力の大きさを求めよ。

問4 小球  $P$  が円軌道を一周するためには、  $v_0$  はいくら以上でなくてはならないか。

その最小値を求めよ。

次に、台の固定を解き、台が静止している状態で小球 P を最下点 A に静止させた。そして、図 3 のように、台を底面と斜面の交線 CD の方向で C→D の向きに、大きさ  $\frac{1}{2\sqrt{3}}g$  の加速度で運動させた。以下では、 $\phi = 30^\circ$  として、台に対する P の運動を考える。

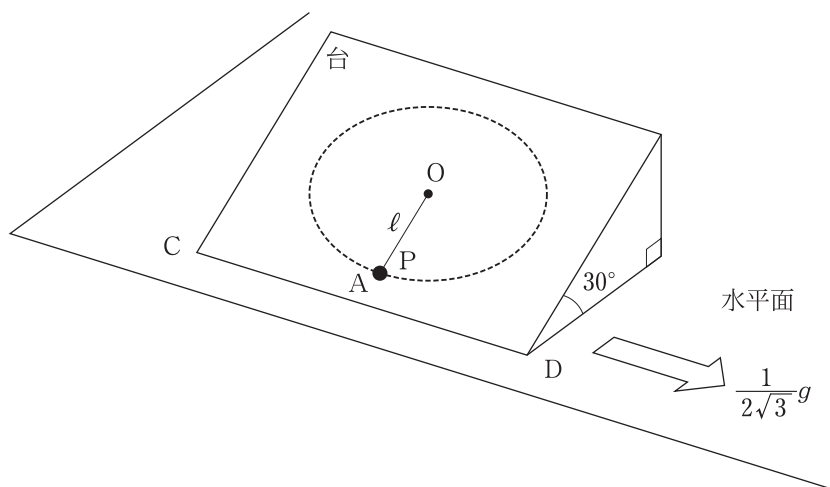


図 3

**問 5** 小球 P は、糸がぴんと張った状態のまま斜面上で振動した。その振動の範囲を、角  $\theta$  の範囲(不等式)で表せ。ただし、P の位置を表す  $\theta$  は、図 1 と同様に OA から反時計まわりを正として測るものとし、その範囲は  $-180^\circ < \theta < 180^\circ$  とする。

問6 台を図3の加速度で運動させておき、図4に示すように、小球Pに最下点Aで台に対して大きさ  $v_0$  の初速度を  $C \rightarrow D$  の向きに与える。このとき、小球Pが円軌道を描いて一周するためには、 $v_0$  はいくら以上でなくてはならないか。その最小値を求めよ。

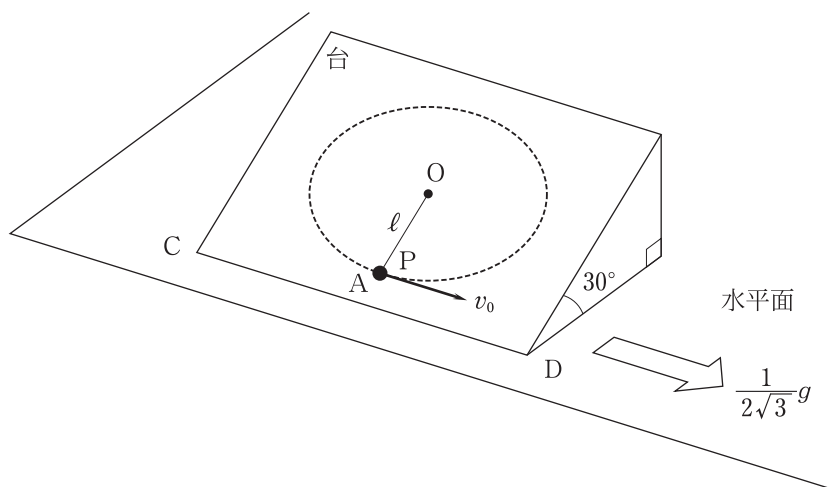
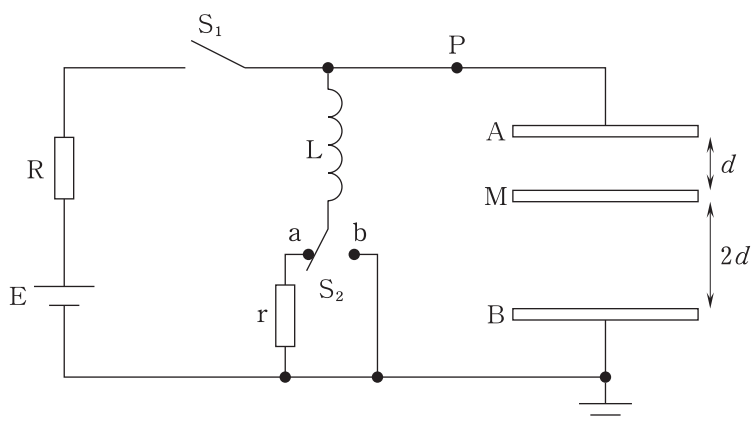


図4

**2** (配点 33点)

起電力  $E$  の電池  $E$ ，抵抗値がそれぞれ  $R$ ， $r$  である抵抗  $R$ ， $r$ ，自己インダクタンス  $L$  のコイル  $L$ ，面積  $S$  で同形の 3 枚の薄い金属平板  $A$ ， $M$ ， $B$ ，およびスイッチ  $S_1$ ， $S_2$  を用いて，図のような回路を作った。金属平板は互いに平行に固定されていて， $AM$  間の距離は  $d$ ， $MB$  間の距離は  $2d$  である。はじめ， $S_1$  は開かれていて， $S_2$  は端子  $a$  に接続されている。また，3 枚の金属平板は帯電していない。抵抗  $R$ ， $r$  以外の抵抗，コイル  $L$  以外の自己インダクタンス，金属平板の端の電場(電界)の乱れは無視できるものとし，空気の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。また，接地点の電位を  $0$  とする。以下の問に答えよ。



- 問1**  $AB$  間を一つのコンデンサーとみなすとき，その電気容量  $C$  を求めよ。以下， $C$  を用いて答えよ。
- 問2** スイッチ  $S_1$  を閉じた直後に，抵抗  $R$  を流れる電流の大きさを求めよ。
- 問3** スイッチ  $S_1$  を閉じてから十分に時間が経過したとき，電池  $E$  を流れる電流の大きさを求めよ。また，このとき金属平板  $A$  に蓄えられている電荷  $Q$  を求めよ。



次に、スイッチ  $S_1$  を閉じたまま、金属平板  $M$  に外部から電荷  $3Q$  を与えた。ただし、 $Q$  は問 3 で求めた値である。

問 4 電荷  $3Q$  を与えて十分に時間が経過したときの、金属平板  $M$  の電位  $V_M$  を、 $Q$  を用いずに表せ。また、金属平板  $B$  の位置を原点とし、金属平板に垂直に  $B$  から  $A$  の向きに  $x$  軸をとるとき、縦軸を電位  $V$ 、横軸を  $x$  としたグラフを解答用紙に描け。ただし、解答用紙の点線は等間隔に引いてあるので、縦軸、横軸に値は記入しなくてよい。また、 $AM$  間の電場の強さ  $E_1$  と  $BM$  間の電場の強さ  $E_2$  の比  $\frac{E_1}{E_2}$  を数値で表せ。

3枚の金属平板の電荷を0にして、はじめの状態に戻し、スイッチ  $S_2$  を端子 b に接続した。次に、スイッチ  $S_1$  を閉じて十分に時間が経過したあと、 $S_1$  を開いたところ、コイル L と金属平板の間で電気振動が生じた。

**問5** スイッチ  $S_1$  を開いてから、コイル L を流れる電流がはじめて図の上向きに最大となるまでの時間を求めよ。

**問6** コイル L を流れる電流が図の上向きに最大となった瞬間に、スイッチ  $S_1$  を閉じた。閉じた直後に回路上の点 P を流れる電流の向きと大きさを求めよ。向きは「右」か「左」で記せ。

**問7** 問6のスイッチ  $S_1$  を閉じるタイミングを変える。電気振動が起きている間で、金属平板 B に蓄えられる電荷が正で最大になった瞬間に  $S_1$  を閉じる。閉じた直後に回路上の点 P を流れる電流の向きと大きさを求めよ。向きは「右」か「左」で記せ。

物理の問題は次のページに続く。

**3** (配点 33点)

図1のように、直線OP上を運動する音源Sが、点Pで静止している観測者に向かって一定の速さ $v$ で近づいている。Sが発する音の周期を $T$ 、OP間の距離を $L$ とし、Sが点Oを通過する瞬間を時刻 $t=0$ とする。はじめ、風は吹いておらず、その状態での空気中の音速を $V$ とする。以下の問に答えよ。ただし、Sが点Pに達するまでを考える。

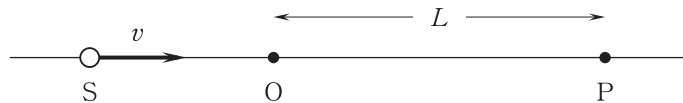


図1

**問1** 時刻 $t=0$ に点Oで音源Sから出された音の波面が、点Pに達する時刻 $t_1$ を求めよ。また、1周期後の時刻 $t=T$ にSから出された音の波面が、点Pに達する時刻 $t_2$ を求めよ。

**問2** 点Pの観測者が聞く音の周期 $T_1$ を求めよ。

**問3** 次の文章中の空欄に適する数式を入れよ。

図2のように、一定の速さ $w$ の風が直線OPと $\theta$ の角をなす向きに一様に吹いている場合を考える。風速 $w$ は音速 $V$ より十分小さい。

時刻 $t=0$ に点OでSから出された音の波面は円形に広がっていくが、その円の中心は風により速さ $w$ で流されていく。点Oで出された音の波面が点Pに達したときのように、図3のように表される。点O'は円形の波面の中心である。図3の時刻を $t=t_3$ とすると、 $OO' = \boxed{\text{(ア)}}$ 、 $O'P = \boxed{\text{(イ)}}$ と表されるから、 $\triangle OO'P$ における余弦定理より、

$$\left( \boxed{\text{(イ)}} \right)^2 = L^2 + \left( \boxed{\text{(ア)}} \right)^2 - 2L \times \boxed{\text{(ア)}} \times \cos \theta$$

が成り立つ。ここで  $w \ll V$ ， $OO' \ll L$  より， $\left( \boxed{\text{(ア)}} \right)^2$  の項を無視して，

$$\boxed{\text{(イ)}} = L \sqrt{1 - 2 \frac{\boxed{\text{(ア)}}}{L} \cos \theta}$$

と変形すれば， $|z| \ll 1$  のときに成り立つ近似式  $\sqrt{1+z} \doteq 1 + \frac{1}{2}z$  を用いて，

$$t_3 = \boxed{\text{(ウ)}}$$

と求まる。

同様に，S が点 O を通過した 1 周期後に S から出された音の波面が，点 P に達した時刻を  $t = t_4$  とすると， $t_4 = \boxed{\text{(エ)}}$  と表される。よって，点 P で観測される音の周期  $T_2$  は， $T_2 = \boxed{\text{(オ)}}$  と求められる。

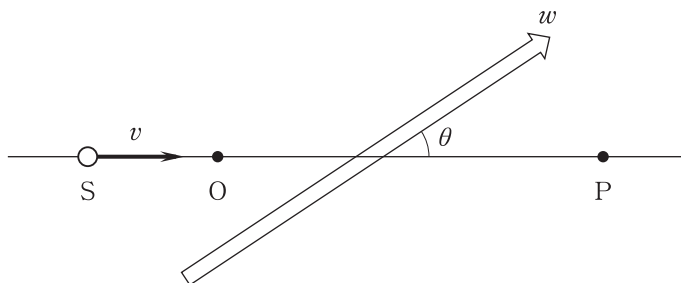


図 2

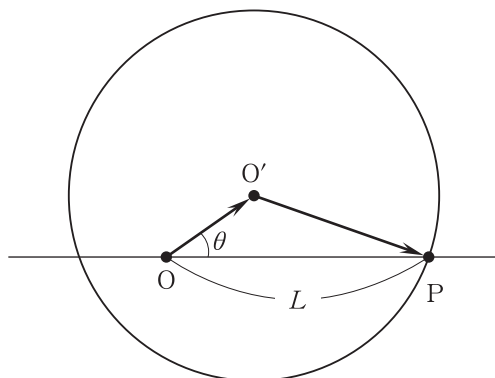


図 3

問4 図4のように，さらに周期  $T$  の音を出す別の音源  $S'$  が，直線  $OP$  上を点  $P$  の右側から点  $P$  に向かって一定の速さ  $v$  で近づいている場合を考える。このとき，点  $P$  の観測者が聞く  $S'$  からの音の周期  $T_3$  を求めよ。また，点  $P$  の観測者が聞くうなりの周期を， $T_2$ ， $T_3$  を用いて表せ。

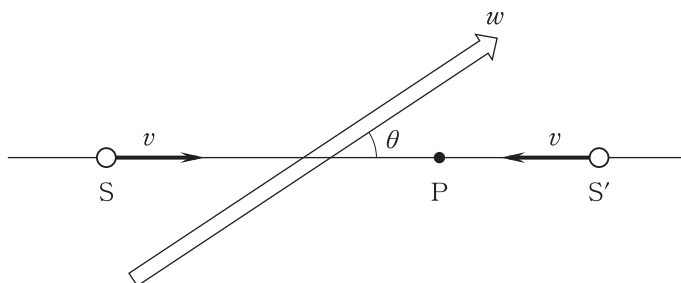


図4

化学の問題は次ページから始まる。

# 化 学

## 1 (配点 34点)

次の文を読み、問1～問4に答えよ。

地球上に存在するさまざまな金属元素のうち、鉄、銅、アルミニウムなどは、天然に広く分布し、生産量が多いことからベースメタルとよばれる。また、ベースメタル以外の金属のうち、特に希少な金属はレアメタルとよばれ、セシウム、リチウム、ルビジウム、チタン、コバルト、ニッケル、白金などがある。これらは、医療の分野でも利用されており、たとえば、白金は人工内耳に、チタンは人工歯根や人工関節に用いられている。さらに、3族に属する第4周期のスカンジウム Sc、第5周期のイットリウム Y、および、第6周期のランタノイドは希土類またはレアアースとよばれ、医療分野ではMRI(核磁気共鳴画像)検査の造影剤、手術用レーザーの光源などに用いられている。

問1 次の(1)、(2)に答えよ。

- (1) スカンジウム Sc の原子番号は 21 である。Sc 原子の電子配置を例にならって記せ。

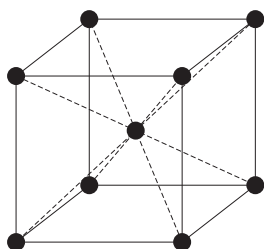
(例) Ar :  $K^2L^8M^8$

- (2) 下線部の3つの元素は、いずれも周期表の1族のアルカリ金属に属する。これら3つの元素の原子のうち、原子半径が最も大きいものの元素記号を記せ。

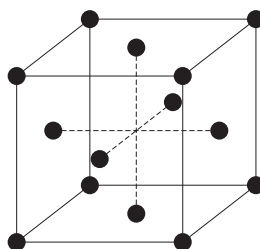
問2 多くの金属の結晶の単位格子は、次ページに示した体心立方格子または面心立方格子である。ある金属元素 X の結晶は、室温では面心立方格子である。金属 X の原子量を  $M$ 、原子半径を  $r$  [cm]、単位格子の一辺の長さを  $l$  [cm]、アボガドロ定数を  $N$  [/mol] として、以下の(1)～(3)に答えよ。ただし、結晶中において最近接の原子どうしは互いに接しているものとする。



体心立方格子



面心立方格子



- (1) 面心立方格子の単位格子の一辺の長さ  $l$  を,  $r$  を用いた式で表せ。ただし, 平方根は開平方せず, そのままの形で記せ。
- (2) 室温における金属  $X$  の結晶の密度  $[\text{g}/\text{cm}^3]$  を,  $l$ ,  $M$ ,  $N$  を用いた式で記せ。
- (3) 金属  $X$  の結晶を加熱すると, ある温度で結晶構造が変化し, 面心立方格子から体心立方格子に変化する。このとき, 結晶の体積は何%増加または減少するか。増加する場合は+, 減少する場合は-の符号を付けて, 四捨五入により有効数字2桁で記せ。ただし, 結晶構造が変化しても原子半径は変化しないものとする。必要ならば, 次の値を用いよ。 $\sqrt{2} = 1.41$ ,  $\sqrt{3} = 1.73$

**問3** 銅  $\text{Cu}$  は, 黄銅鉱(主成分  $\text{CuFeS}_2$ ) から得られる粗銅を電解精錬することにより得られる。いま, 陽極に粗銅 200 g, 陰極に純銅 50 g を用いて, 硫酸で酸性にした 1.000 mol/L の硫酸銅(Ⅱ)水溶液 500 mL を電解液として電気分解した。電気分解終了後, 陽極の質量は 99.40 g 減少し, 陰極の質量は 95.25 g 増加し, 水溶液中の銅(Ⅱ)イオンの濃度は 0.950 mol/L に減少していた。また, 陰極では銅だけが析出し, いずれの電極でも気体の発生は起こらなかった。ただし, 粗銅に含まれる不純物は, 亜鉛, ニッケル, 銀のみであるとし, 電気分解の際の水溶液の体積変化は無視できるものとする。以下の(1)~(4)に答えよ。ただし, 原子量は,  $\text{Ni} = 58.7$ ,  $\text{Cu} = 63.5$ ,  $\text{Zn} = 65.4$  とする。

- (1) 陽極で起こるすべての化学変化を, それぞれ電子  $e^-$  を含むイオン反応式で記せ。
- (2) この電気分解において流れた電子の物質量は何 mol か。四捨五入により有効数字3桁で記せ。

- (3) 用いた粗銅の純度は、質量パーセントで何%か。四捨五入により有効数字3桁で記せ。
- (4) 用いた粗銅中の亜鉛とニッケルの物質質量比は2:3であった。陽極の下に生じた沈殿の質量は何gか。四捨五入により有効数字2桁で記せ。

**問4** 銅(Ⅱ)イオン、鉄(Ⅱ)イオン、および亜鉛イオンを含む混合水溶液がある。この混合水溶液を3等分して3個のビーカー①～③に分け取り、ビーカー①の水溶液には操作(ア)を、ビーカー②の水溶液には操作(イ)を、ビーカー③の水溶液には操作(ウ)をそれぞれ行った。以下の(1)～(4)に答えよ。

操作(ア) 硫酸を加えて酸性とし、硫化水素を通じたところ、黒色沈殿が生じた。

黒色沈殿をろ別し、その黒色沈殿に希硝酸を加えると沈殿は溶解し、同時に硫黄が生成した。

操作(イ) 硫酸を加えて酸性とし、二クロム酸カリウム水溶液を加えて加熱した。

操作(ウ) (a)濃アンモニア水を十分に加えると沈殿が生じた。一昼夜、(b)室温で大気中に放置したところ、沈殿の色が変化していた。

- (1) 操作(ア)で生じた黒色沈殿の化学式を記せ。また、黒色沈殿が希硝酸に溶解したときの変化を化学反応式で記せ。
- (2) 操作(イ)で酸化されるイオンのイオン式を記せ。また、そのイオンと二クロム酸イオンとの反応をイオン反応式で記せ。
- (3) 操作(ウ)の下線部(a)において、上澄み液に含まれる無色の錯イオンのイオン式を記せ。
- (4) 操作(ウ)の下線部(b)において、沈殿に起こった変化を一つの化学反応式で記せ。

化学の問題は次のページに続く。

**2** (配点 33点)

次の **I**，**II** の問いに答えよ。ただし，**I 問 3** (1) 以外の答えの数値は，四捨五入により有効数字 2 桁で記せ。また，必要があれば次の値を用いよ。なお，以下では **X** のモル濃度を  $[X]$  と表す。

自然対数  $\log_e 2 = 0.693$

平方根  $\sqrt{2} = 1.41$ ， $\sqrt{3} = 1.73$ ， $\sqrt{5} = 2.24$

標準状態における気体 1 mol の占める体積 22.4 L

**I** 次の文を読み，**問 1** ～ **問 3** に答えよ。計算にあたって必要があれば，21 ページの方眼紙を利用してもよい。なお，文中の min は分を表している。

次の式 ① で表される化学反応において，反応開始後，ある時刻  $t$  からさらに  $\Delta t$  だけ時間が経過したとき，**A** のモル濃度が  $[A]$  から  $[A] + \Delta[A]$  に変化したとすると，この間の **A** の平均の減少速度  $\bar{v}_A$  は以下の式 ② で定義される。



$$\bar{v}_A = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} \quad \dots \text{②}$$

**問 1** 次の式 ③ で表される過酸化水素の分解反応において，0.100 mol/L の過酸化水素水 100 mL に触媒を加えて反応させたところ，反応が開始してから 3.0 min の間に，標準状態に換算して 24 mL の酸素が発生した。これについて以下の (1)，(2) に答えよ。



- (1) 反応が開始してから 3.0 min の間に分解した過酸化水素の物質量は何 mol か。
- (2) この間の過酸化水素の平均の減少速度  $\bar{v}_{\text{H}_2\text{O}_2}$  [mol/(L・min)] はいくらか。

式②において、 $\Delta t \rightarrow 0$ の極限をとることにより、反応が開始してからの経過時間  $t$  における反応速度(反応物 **A** の減少速度) $v$  を、次の式④で定義することができる。

$$v = -\frac{d[\mathbf{A}]}{dt} \quad \dots \textcircled{4}$$

化学反応の進む速さは、反応物の濃度、反応温度、触媒の添加などによって変化する。

式①の反応において、反応速度  $v$  が **A** のモル濃度  $[\mathbf{A}]$  に比例する場合、反応速度式( $v$  と  $[\mathbf{A}]$  の関係を表す式)は次の式⑤で表され、このような反応は一次反応とよばれる。

$$v = k[\mathbf{A}] \quad (k; \text{速度定数}) \quad \dots \textcircled{5}$$

式①の反応が一次反応である場合、式④と⑤より、**A** のモル濃度  $[\mathbf{A}]$  は時間  $t$  とともに次の式⑥に従って変化する。

$$[\mathbf{A}] = [\mathbf{A}]_0 e^{-kt} \quad \dots \textcircled{6}$$

ただし、 $[\mathbf{A}]_0$  は  $t=0$  における  $[\mathbf{A}]$  の値(初期値)である。

式⑥は、自然対数を用いて次の式⑥'のように表すことができる。

$$\log_e [\mathbf{A}] = -kt + \log_e [\mathbf{A}]_0 \quad \dots \textcircled{6}'$$

問2 式⑥'より、式①の反応において、横軸に $t$ 、縦軸に $\log_e [\mathbf{A}]$ をとってグラフに表したとき、グラフが直線になれば、反応は一次反応であり、その直線の傾きの絶対値が速度定数 $k$ の値に等しいことがわかる。

問1とは異なる反応条件下で、式③の過酸化水素の分解反応を行わせ、反応が開始してからの経過時間と過酸化水素水のモル濃度の関係を調べた結果、次の表1のデータが得られた。これについて以下の(1)、(2)に答えよ。

表1

経過時間 $t$ [min]	0	3.0	6.0	9.0
過酸化水素水の濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ [mol/L]	0.500	0.319	0.203	0.130
$\log_e [\text{H}_2\text{O}_2]$	-0.693	-1.142	-1.594	-2.044

- (1) この条件下での過酸化水素の分解反応の速度定数 $k$  [/min]はいくらか。
- (2) 反応物の量が2分の1になるのに要する時間を半減期という。式③の反応の半減期 $t_{\frac{1}{2}}$ を速度定数 $k$ を用いた式で表せ。また、この条件下での過酸化水素の分解反応の半減期 $t_{\frac{1}{2}}$ は何 min か。

問3 式①の反応において、反応速度 $v$ が $\mathbf{A}$ のモル濃度 $[\mathbf{A}]$ の2乗に比例する場合、反応速度式は次の式⑦で表され、このような反応は二次反応とよばれる。

$$v = k [\mathbf{A}]^2 \quad (k; \text{速度定数}) \quad \dots \textcircled{7}$$

式①の反応が二次反応である場合、式④と⑦より、 $[\mathbf{A}]$ は時間 $t$ とともに次の式⑧にしたがって変化する。式⑧は式⑧'のように書き直すことができる。

$$[\mathbf{A}] = \frac{1}{kt + \frac{1}{[\mathbf{A}]_0}} \quad \dots \textcircled{8}$$

ただし、 $[\mathbf{A}]_0$ は $t=0$ における $[\mathbf{A}]$ の値(初期値)である。

$$\frac{1}{[\mathbf{A}]} = kt + \frac{1}{[\mathbf{A}]_0} \quad \dots \textcircled{8'}$$

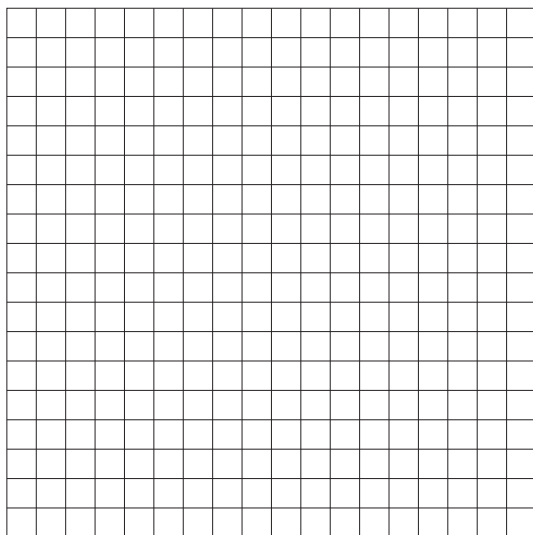
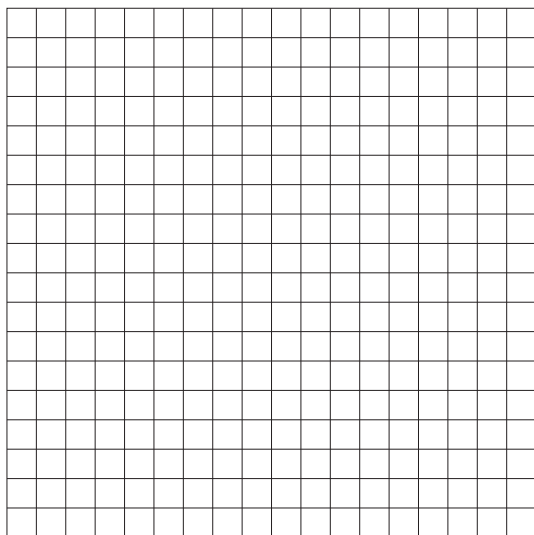
次の(1), (2)に答えよ。

- (1) 式①の反応が二次反応であることを確かめ、さらに、速度定数  $k$  を求めるにはどのようにすればよいか。式⑧'に基づいて簡単に説明せよ。
- (2) 次の式⑨で表される水溶液中でのシアン酸アンモニウム  $\text{NH}_4\text{OCN}$  の尿素への変化は二次反応であることが知られている。ある条件下で、式⑨の反応を行わせ、反応が開始してからの経過時間  $t$  とシアン酸アンモニウム水溶液のモル濃度  $[\text{NH}_4\text{OCN}]$  との関係を調べたところ、以下の表2のデータが得られた。この条件下での式⑨の反応の速度定数  $k$  [ $\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{min})$ ]はいくらか。



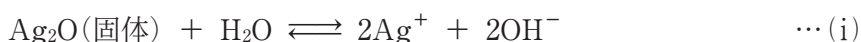
表2

経過時間 $t$ [min]	0	20	40	60
シアン酸アンモニウム水溶液の濃度 $[\text{NH}_4\text{OCN}]$ [mol/L]	0.400	0.270	0.204	0.164



Ⅱ 次の文を読み、問4～問6に答えよ。ただし、以下では温度は一定であるものとする。

酸化銀  $\text{Ag}_2\text{O}$  を水に加えるとわずかに溶け、次の式(i)の溶解平衡が成り立つ。  
 $\text{Ag}_2\text{O}$  が式(i)の平衡状態にあるとき、水溶液中の  $[\text{Ag}^+]$  と  $[\text{OH}^-]$  との間には、下の式(ii)の関係が成り立つ。ここで、 $K$  の値は温度が一定であれば一定になる。

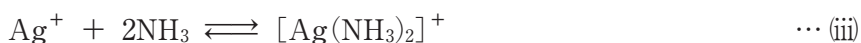


$$[\text{Ag}^+]^2[\text{OH}^-]^2 = K = 4.0 \times 10^{-16} \text{ (mol/L)}^4 \quad \cdots (\text{ii})$$

問4 水 1.0 L に溶ける酸化銀の物質質量[mol]の最大値はいくらか。

問5 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 1.0 L に溶ける酸化銀の物質質量[mol]の最大値はいくらか。

問6  $1.00 \times 10^{-3}$  mol/L の硝酸銀水溶液 1.00 L に濃アンモニア水を滴下していく。滴下量が少ないときは酸化銀の沈殿は生じないが、(a)ある量を超えると酸化銀の沈殿が生じ、さらに滴下を続けていくと、やがて(b)酸化銀の沈殿が消失する。このとき、次の式(iii)の平衡が成り立ち、この反応の平衡定数  $K_f$  は式(iv)で表される。



$$K_f = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2} = 5.0 \times 10^6 \text{ (L/mol)}^2 \quad \cdots (\text{iv})$$

(ここでは、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  のモル濃度を  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]$  と表すものとする。)

以下の(1)、(2)に答えよ。ただし、濃アンモニア水の滴下による溶液の体積変化は無視できるものとし、アンモニアの電離定数  $K_b$  は次のとおりである。

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

- (1) 下線部(a)で、酸化銀の沈殿が生じるのは、滴下したアンモニアの物質質量が何 mol より大きいときか。ただし、このとき、錯イオン  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  の濃度  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]$  は銀(I)イオンの濃度  $[\text{Ag}^+]$  に比べて非常に小さいとしてよい。

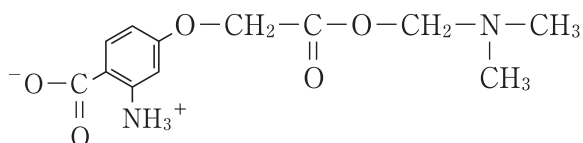


- (2) 下線部(b)で、酸化銀の沈殿がちょうどすべて消失したとき、水酸化物イオン濃度  $[\text{OH}^-]$  は  $1.51 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  であった。このとき、銀(I)イオンの濃度  $[\text{Ag}^+]$  は何  $\text{mol/L}$  か。また、このときまでに滴下したアンモニアの物質量は何  $\text{mol}$  か。

**3** (配点 33点)

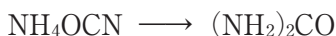
次の **I**，**II** の文を読み，問 1 ～ 問 11 に答えよ。ただし，断りのない限り，構造式は次の例にならって記せ。

[例]



**I** アミド化合物は，カルボン酸またはオキソ酸とアミン(またはアンモニア)が脱水縮合したかたちの化合物である。

炭酸のアミド化合物と考えることができる尿素  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  は，シアン酸アンモニウム  $\text{NH}_4\text{OCN}$  を加熱することにより得られる。この反応は，無機化合物からはじめて人工的に有機化合物を合成した例として有名である(1828 年 ウエーラー)。



(a) アセトアミド(示性式  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ )は酢酸アンモニウムの熱分解で得られる化合物であり，融点が  $81^\circ\text{C}$  の固体である。

(b) N-メチルアセトアミド(示性式  $\text{CH}_3\text{CONHCH}_3$ )は，アセトアミドとメチルアミン  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  の塩酸塩を加熱すると得られる化合物であり，融点が  $28^\circ\text{C}$  の固体である。

ダニやカの忌避物質である *N,N*-ジエチルトルアミド(分子式  $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{NO}$ )を加水分解すると，酸性の化合物 **A** と第二級アミンである化合物 **B**(分子式  $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ )が得られる。**A** はベンゼンのメタ二置換体である。**A** の位置異性体である化合物 **A'** を過マンガン酸カリウムを用いて酸化すると化合物 **C** が得られ，**C** とエチレングリコールを縮合重合させると，繊維や飲料用容器などに用いられているポリエチレンテレフタレート(PET)が得られる。

分子内に多数のアミド結合をもつ高分子化合物を(c) ポリアミドといい，繊維などとして広く用いられている。

問1 下線部(a), (b)の変化をそれぞれ化学反応式で記せ。ただし、有機化合物は示性式または構造式で記せ(分子式は不可)。

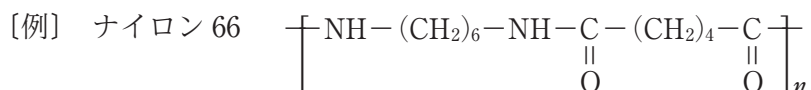
問2 化合物 A の分子式を記せ。

問3 化合物 C の構造式を記せ。

問4 アミンには、① 第一級アミン  $R-NH_2$ ，② 第二級アミン  $R-NH-R'$ ，③ 第三級アミン  $R-N(R'')-R'$  の3種類がある。分子式  $C_4H_{11}N$  のアミンについて、①～③のそれぞれに分類される構造異性体の数を記せ。

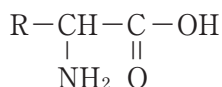
問5 *N,N*-ジエチルトルアミドの構造式を記せ。

問6 下線部(c)について、以下の(1)，(2)に答えよ。ただし、高分子化合物の構造式は次の例にならって記せ。



- (1) カプロラクタムからナイロン 6 が生成するときの重合形式を何というか。
- (2) 化合物 C と *p*-フェニレンジアミン(*p*-ジアミノベンゼン)から得られるポリアミドはアラミド繊維の一つであり、強度が非常に大きいため防弾チョッキなどに用いられる。このアラミド繊維の構造式を記せ。

Ⅱ タンパク質を構成する  $\alpha$ -アミノ酸は約 20 種類あり、プロリン以外の  $\alpha$ -アミノ酸は次のような構造をもち、R=H である ア 以外の  $\alpha$ -アミノ酸には不斉炭素原子が存在する。



アラニンは R=CH<sub>3</sub> であり、R の部分にカルボキシ基やアミノ基をもつ  $\alpha$ -アミノ酸も存在する。

$\alpha$ -アミノ酸は、結晶中やその水溶液中では、カルボキシ基からアミノ基へ H<sup>+</sup> が移動して、主に双性イオンとして存在するが、酸性水溶液では主に陽イオン、塩基性では主に陰イオンというように、溶液の pH によってその状態や組成が変化する。

タンパク質は、多数の  $\alpha$ -アミノ酸がアミド結合の一種であるペプチド結合でつながってできた高分子化合物である。

タンパク質を構成する  $\alpha$ -アミノ酸の配列順序を一次構造という。多くのタンパク質のポリペプチド鎖では、ペプチド結合どうしの間の イ 結合によって安定化されたらせん状の構造 ( $\alpha$ -ヘリックス) やジグザグ状の構造 ( $\beta$ -シート) が存在し、これを二次構造という。タンパク質はさらに、イ 結合のほか 2 つのシステインの -SH 基の間で形成される -S-S- 結合 (ウ 結合とよばれる) やイオン結合などによって複雑に折りたたまれた一定の立体構造をとっている。

問 7 ア ~ ウ に最も適切な化合物名または語を記せ。

問 8 pH 2 の酸性水溶液中で、アラニンは主にどのような形で存在するか。その構造式を記せ。

問 9 水溶液中において、 $\alpha$ -アミノ酸のイオンのもつ電荷の総和が 0 になる pH を何というか。

問10  $\alpha$ -アミノ酸の一つであるプロリン(分子式  $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ )は、第二級アミンであり、N 原子を含む 5 個の原子が環状構造(五員環)を形成しており、pH 6.3 の水溶液中において、電荷の総和が 0 になる。これらを考慮して、プロリンの構造式を記せ。

問11 アラニン 2 分子とグルタミン酸 1 分子の合計 3 分子が 2 つのアミド結合によって鎖状につながった化合物(分子式  $\text{C}_{11}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_6$ )には、立体異性体を区別すると何種類考えられるか。

# 生 物

**1** 遺伝子と植物の環境応答に関する次の文章 **A・B** を読み、下の各問に答えよ。

(配点 25点)

**A** 真核生物の DNA は **1** に巻きついてヌクレオソーム構造を形成しており、染色体の部位によっては、ヌクレオソームが複雑に折りたたまれて **2** 繊維をつくっている。このような状態となった部位では転写が起こらないため、遺伝子が転写されるには、遺伝子とその近くを含む DNA 領域の **2** 繊維がある程度ほどけた状態になる必要がある。

遺伝子には、転写開始部位の近くに、転写の開始を決定する **3** と呼ばれる DNA 領域が存在する。真核生物の核内には転写の開始を助ける **4** と呼ばれるタンパク質があり、**4** は **5** と呼ばれる酵素と複合体を形成し、この複合体が **3** に結合することで転写が開始される。

また、DNA には遺伝子の転写調節に関わる特定の塩基配列が存在し、これを含む DNA の領域は調節領域と呼ばれる。調節領域に結合して遺伝子の転写を調節するタンパク質を調節タンパク質と呼び、調節タンパク質をコードする遺伝子を調節遺伝子と呼ぶ。

**問 1** 文章中の **1** ～ **5** に入る最も適当な語を記せ。

**問 2** シロイヌナズナの突然変異株の研究などから、花の形成には異なる染色体上に存在する 3 種類の調節遺伝子 (*A*, *B*, *C*) が関係していることが明らかとなった。シロイヌナズナの花は、図 1 左に示した同心円状の 4 つの領域 (領域 1 ～ 4) からなり、*A*, *B*, *C* の各遺伝子は、図 1 右に示した領域でそれぞれ発現している。

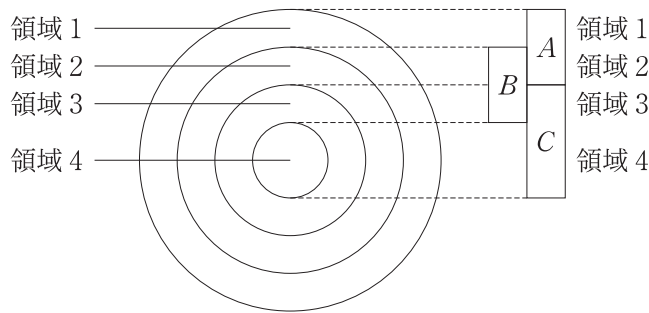


図 1

調節遺伝子  $A$ ,  $B$ ,  $C$  について、以下のことが知られている。図 1 を参考にして、下の(1)~(3)に答えよ。

$A$  遺伝子のみが発現する領域では、がくが形成される。

$A$  遺伝子と  $B$  遺伝子の両方が発現する領域では、花卉が形成される。

$B$  遺伝子と  $C$  遺伝子の両方が発現する領域では、おしべが形成される。

$C$  遺伝子のみが発現する領域では、めしべが形成される。

$A$  遺伝子のはたらかなくなると、 $C$  遺伝子がすべての領域で発現するようになり、 $C$  遺伝子のはたらかなくなると、 $A$  遺伝子がすべての領域で発現するようになる。

- (1)  $B$  遺伝子がすべての領域で発現するようになった変異株では、どのような形状の花が生じるか。領域 1 から領域 4 の順に(がく, 花卉, おしべ, めしべ)のように答えよ。
- (2)  $C$  遺伝子のはたらかなくなった変異株ではどのような形状の花が生じるか。(1)と同様に答えよ。
- (3)  $A$ ,  $B$ ,  $C$  の各遺伝子について、その機能が完全に失われた対立遺伝子をそれぞれ  $a$ ,  $b$ ,  $c$  とし、 $A$ ,  $B$ ,  $C$  の各遺伝子は  $a$ ,  $b$ ,  $c$  の各遺伝子に対してそれぞれ優性であるものとする。遺伝子型が  $AabbCc$  である個体のめしべに、遺伝子型が  $aaBbCc$  である個体の花粉を受粉させて多数の個体を得た。これらの個体のうち、自家受精により次代を残すことができる個体の割合(%)を答えよ。

**B** a シロイヌナズナは長日植物であり、同一の長日条件下で栽培した場合、高温条件で栽培した個体の方が低温条件で栽培した個体よりも、花芽が形成される時期が早くなることが知られている。この栽培時の温度条件の違いによる花芽形成の時期の違いには、遺伝子 *F* にコードされたタンパク質 *Fβ* と *Fδ*、および遺伝子 *S* にコードされたタンパク質 *S* が関係している。**b** 遺伝子 *F* には 9 つのエキソンがあり、遺伝子 *F* から合成されるタンパク質には、第 2 エキソンと第 8 エキソンが除去された mRNA の翻訳産物である *Fβ* や、第 3 エキソンと第 8 エキソンが除去された mRNA の翻訳産物である *Fδ* などがある。これについて、次の**実験 1・実験 2**を行った。

**実験 1** シロイヌナズナの野生株を、長日条件下(16 時間明期, 8 時間暗期)におき、異なる温度条件(16℃, 23℃, 27℃)で栽培して *Fβ* と *Fδ* の mRNA の存在量を調べた。この結果を図 2 に示す。

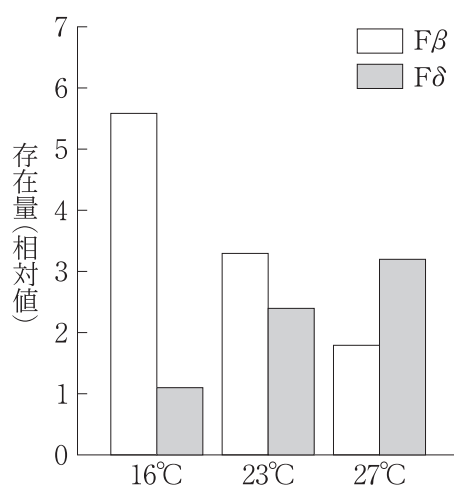


図 2

**実験 2** シロイヌナズナのプロリゲン(花成ホルモン)の遺伝子(*FT* 遺伝子)の調節領域への *Fβ*, *Fδ*, *S* の結合について調べたところ、*Fβ*, *Fδ*, *S* はいずれも単独では調節領域に結合しなかった。また、*Fβ* と *Fδ* はそれぞれ *S* と複合体を形成し、2 種類の複合体のうち、*Fβ*-*S* 複合体は調節領域に結合したが、*Fδ*-*S* 複合体は調節領域に結合しなかった。



問3 下線部 a について、次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) 植物の花芽形成のように、生物が明暗周期に対して反応する性質を何と呼ぶか。
- (2) 次のア~クの植物から、(i)長日植物、(ii)短日植物、(iii)中性植物をそれぞれ2つずつ選び、記号で答えよ。

ア	アブラナ	イ	エンドウ	ウ	オナモミ	エ	コスモス
オ	スギナ	カ	ゼニゴケ	キ	トマト	ク	ハウレンソウ

- (3) 花芽形成は、日長だけでなく、温度の影響を受ける場合がある。通常、秋まきコムギの種子を春にまくと発芽し成長するが、花芽は形成されない。ところが、秋まきコムギの種子を発芽させた後に低温処理を行うと、春にまいても開花結実するようになる。このように、一定期間、低温にさらされることによって花芽形成が促進される現象を何と呼ぶか。

問4 下線部 b について、次の(1)・(2)に答えよ。

- (1) 異なるエキソンが組み合わされることによって、1つの遺伝子から塩基配列の異なる複数の mRNA がつくられることを何と呼ぶか。
- (2) *F* 遺伝子の転写によって生じた mRNA 前駆体からつくられる mRNA は理論上何種類あるか、(1)を考慮して答えよ。ただし、9つのエキソンのうち、第1エキソンと第9エキソンは除去されず、また、mRNA にイントロンは1つも残らないものとする。

問5 実験1と実験2について、次の(1)・(2)に答えよ。

- (1) シロイヌナズナを長日条件下で栽培した場合に、高温条件下で栽培した個体の方が低温条件下で栽培した個体よりも花芽が形成される時期が早くなる理由を120字以内で説明せよ。ただし、 $F\beta$ 、 $F\delta$ 、 $FT$  はそれぞれ1文字、 $F\beta$ -S、 $F\delta$ -S はそれぞれ2文字とする。
- (2) シロイヌナズナの野生株、*F* 遺伝子がはたらかなくなった変異株(*F* 変異株)、*S* 遺伝子がはたらかなくなった変異株(*S* 変異株)を、16℃の長日条件下で栽培した場合、(i) *F* 変異株と(ii) *S* 変異株の花芽が形成される時期はそれぞれどのようなと考えられるか。次のア~ウから1つずつ選び、記号で答えよ。  
ア 野生株よりも早くなる。  
イ 野生株とほぼ同じである。  
ウ 野生株よりも遅くなる。

**2** 神経に関する次の文章 **A・B** を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

**A** 神経組織は、ニューロンと呼ばれる神経細胞と 1 細胞からなり、1 細胞には髄鞘を形成する 2 細胞などがある。ニューロンは、核のある 3 と、そこから長く伸びた突起である軸索と、枝分かれした短い突起である 4 からなる。ニューロンに閾値以上の刺激を与えると、刺激部位では細胞膜内外の電位が瞬間的に逆転し、すぐにもとに戻る。この一連の電位変化を a 活動電位 と呼び、このような活動電位の発生を興奮と呼ぶ。ニューロンに生じた興奮は軸索を b 伝導 する。

イカの巨大軸索を取り出して放射性ナトリウムイオン( $^{24}\text{Na}^+$ )を含む人工海水中に置き、軸索内の  $^{24}\text{Na}^+$  濃度の経時変化を測定したところ、図1の結果が得られた。図中の矢印ア、ウ、オでは、軸索に5分間刺激を与えて1秒間に50回の頻度で活動電位を発生させた。また、矢印イでは、ミトコンドリアにおける生体膜の水素イオン( $\text{H}^+$ )の透過性を高める薬剤であるDNPを与え、矢印エではDNPを除去した。

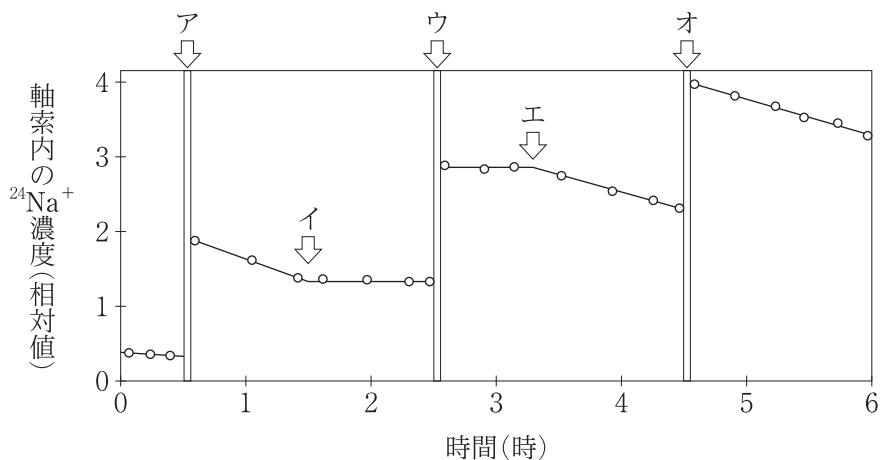


図1

問1 文章中の 1 ～ 4 に入る最も適当な語を記せ。

問2 下線部 a について、ニューロンの軸索における活動電位の最大値として最も適当なものを、次のア～カから1つ選び、記号で答えよ。

ア 1 mV    イ 10 mV    ウ 100 mV    エ 1 V    オ 10 V    カ 100 V

問3 下線部 b について、興奮の伝導に関する記述として適当なものを、次のア～オから2つ選び、記号で答えよ。

ア 興奮部では、細胞内の電位が細胞外に対して負になっている。

イ 興奮部と隣接する静止部との間で活動電流が流れる。

ウ 興奮が終わった直後の部位は不応期になり、刺激が加えられても興奮しない。

エ 無髄神経繊維では、軸索が細いほど伝導速度が大きい。

オ 髄鞘は電気を通しやすいため、有髄神経繊維では跳躍伝導が起こる。

問4 図1について、次の(1)～(3)に答えよ。

(1) 矢印ア、ウ、オのところで軸索内の  $^{24}\text{Na}^+$  濃度が上昇する理由を、40字以内で述べよ。

(2) 矢印アから矢印イの間で、軸索内の  $^{24}\text{Na}^+$  濃度が徐々に低下していく理由として最も適当なものを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。

ア ナトリウムポンプによって軸索内から能動的に  $\text{Na}^+$  が排出される。

イ ナトリウムポンプによって軸索内から受動的に  $\text{Na}^+$  が流出する。

ウ ナトリウムチャネルによって軸索内から能動的に  $\text{Na}^+$  が排出される。

エ ナトリウムチャネルによって軸索内から受動的に  $\text{Na}^+$  が流出する。

(3) 矢印イで軸索内の  $^{24}\text{Na}^+$  濃度の低下が停止する理由を、DNP の作用にもとづいて60字以内で述べよ。

B 骨格筋には筋の伸長によって刺激を受ける受容器である 5 が存在する。ふくらはぎにあるヒラメ筋の 5 からは、感覚ニューロンが脊髄へ向かって伸びており、また、脊髄からヒラメ筋へは運動ニューロンが伸びている。この感覚ニューロンと運動ニューロンは脊髄内で直接シナプスを形成しており、感覚ニューロンから運動ニューロンへ興奮が伝達されると、運動ニューロンで興奮が生じる。

図2に示すように、ヒトの膝関節の後部(膝窩部<sup>しつかぶ</sup>)に装着した刺激電極で感覚神経 S (感覚ニューロンの束)と運動神経 M(運動ニューロンの束)に電気刺激を与え、ふくらはぎに装着した記録電極でヒラメ筋の電位変化を記録したところ、与える刺激の強さを、刺激強度1、刺激強度2、刺激強度3と大きくしていくにしたがって、記録電極で図3に示すような電位変化が記録された。

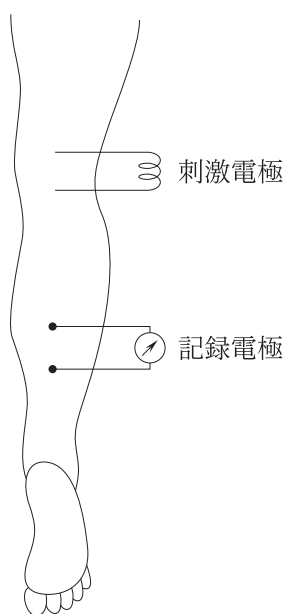


図2

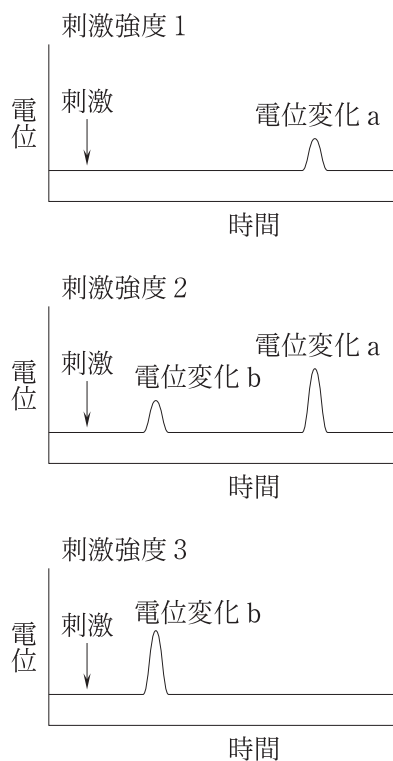


図3

問5 文章中の 5 に入る最も適当な語を記せ。

問6 図3に関する記述として適当なものを、次のア～オから2つ選び、記号で答えよ。

ア 電位変化aは電気刺激によって感覚神経Sに生じた興奮に由来し、電位変化bは電気刺激によって運動神経Mに生じた興奮に由来する。

イ 電位変化aは電気刺激によって運動神経Mに生じた興奮に由来し、電位変化bは電気刺激によって感覚神経Sに生じた興奮に由来する。

ウ 電気刺激によって興奮が生じる際の閾値は、感覚神経Sの方が運動神経Mよりも高い。

エ 電気刺激によって興奮が生じる際の閾値は、感覚神経Sの方が運動神経Mよりも低い。

オ 電気刺激によって興奮が生じる際の閾値は、感覚神経Sと運動神経Mで同じである。

問7 図3において、刺激強度2の電気刺激を与えてから電位変化bと電位変化aが記録されるまでの時間がそれぞれ4ミリ秒と20ミリ秒であったとして、運動ニューロンの伝導速度(m/秒)を求め、小数第1位を四捨五入して整数で答えよ。ただし、刺激電極が装着された部位から脊髄にあるシナプスまでは、感覚ニューロンも運動ニューロンも70cmであるとする。また、感覚ニューロンの伝導速度は100m/秒、シナプスでの伝達に要する時間は0.5ミリ秒であるとする。

問8 図3において、刺激強度3の電気刺激を与えたときに電位変化aがみられなくなった理由を90字以内で述べよ。

**3** 免疫に関する次の文章を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

ヒトのからだには、外界から侵入するさまざまな異物を排除するしくみが備わっており、このしくみを免疫と呼ぶ。免疫は、生まれつき備わっている自然免疫と、生後に獲得する a 獲得免疫 に大別される。獲得免疫には、抗体によって抗原を排除する体液性免疫と、リンパ球が直接抗原を排除する免疫である b 細胞性免疫 がある。

このうち体液性免疫は、以下のようなしくみで起こる。細菌やウイルスなどが体内に侵入すると、これらは 1 細胞やマクロファージに取り込まれて処理され、その一部が細胞の表面に提示される。提示された抗原は 2 で成熟したヘルパー T 細胞によって認識され、ヘルパー T 細胞は B 細胞を活性化する。活性化された B 細胞は 3 細胞に分化し、抗原と反応する抗体を産生する。

近年、抗体のある種の疾病に対する治療薬として利用する試みが広がっている。抗体は 4 と呼ばれるタンパク質であり、1 個の B 細胞は 1 種類の抗体のみを産生する。このため、薬剤に利用する単一の抗体のみを多量に得るには、寿命があり短期間しか生存できない 1 個の B 細胞(実際には 3 細胞に分化している)を増殖させる必要がある。そこで、この B 細胞とがん細胞の一種であるミエローマ細胞を細胞融合し、抗体を産生し永続的に培養できる細胞(この細胞をハイブリドーマと呼ぶ)を作成する手法が用いられる。しかし、このとき細胞融合しないままの細胞も多く残り、また c 細胞融合により生じる細胞もハイブリドーマだけではないので、目的とするハイブリドーマのみを選択する必要がある。

B 細胞など多くの細胞は、DNA を構成する塩基を合成する経路として、デノボ経路とサルベージ経路と呼ばれる 2 つの経路をもっている。細胞は、通常の培養液中ではデノボ経路によって塩基を合成するが、培養液に物質 H や物質 T が存在する場合には、これらの物質からサルベージ経路によって塩基を合成できる。このサルベージ経路には HGPRT と呼ばれる酵素が関与している。そこで、HGPRT が欠損しているミエローマ細胞を用い、物質 H、物質 T とともにデノボ経路を阻害する物質 A を含む d HAT 培養液を用いて十分に長い時間培養することで、目的とするハイブリドーマのみを選択できる。

抗体を治療薬として利用するには、はじめにマウスなどで動物実験を行い、その効果

や副作用を調べる必要がある。例えば、がんの治療に抗体を用いる場合、体内でヒトの正常な細胞を分化させたマウスや、ヒトのがん細胞が生着したマウスを用いた動物実験を行うことで、治療効果などをより正確に推定することができる。しかし、通常のマウスでは、ヒトの細胞はマウスの免疫系によって排除されるため、このような実験は困難であった。近年、体内でヒトの e 血球を分化させたりヒトのがん細胞を定着させたり することができる免疫不全のマウスが作成され、動物実験に利用されている。

このようにして開発されたがんの治療薬として用いられる抗体には、がん細胞の増殖を促す物質に結合してこれを不活性化するものや、f がん細胞の表面に特異的に発現するタンパク質を認識して結合することで、マクロファージの食作用によるがん細胞の排除を促すものなどがある。後者については、マクロファージの細胞膜上には抗体の定常部の先端と結合する受容体が存在し、この受容体に抗体の定常部が結合することで、マクロファージによる食作用が促進されるしくみが利用されている。

問1 文章中の 1 ～ 4 に入る最も適当な語を記せ。

問2 下線部 a について、自然免疫ではみられず獲得免疫でみられる特徴を、2つ簡潔に述べよ。

問3 下線部 b について、おもに細胞性免疫によって起こる反応として適当なものを、次のア～カから3つ選び、記号で答えよ。

- ア 輸血の際の ABO 式血液型不適合
- イ 移植皮膚の生着を妨げる拒絶反応
- ウ ウイルスに感染した細胞の破壊
- エ スギ花粉による花粉症
- オ ワクチン接種によるインフルエンザの予防
- カ ツベルクリン反応

問4 下線部 c について、細胞融合により 2 つの細胞が融合するとした場合、ハイブリドーマ以外にどのような細胞が生じているか。考えられるものをすべて答えよ。

問5 下線部 d について、HAT 培養液中で長期間培養することでハイブリドーマのみが選択される理由について、塩基を合成する経路に言及して 100 字以内で述べよ。ただし、問4で解答した細胞については言及しなくてよい。

問6 下線部 e について、次の(1)・(2)に答えよ。

- (1) 血球のもとになる細胞の名称を答えよ。
- (2) ヒトの成体において、(1)の細胞がおもに存在する部位の名称を答えよ。

問7 下線部 f について、図1は抗体の模式図である。次の(1)・(2)に答えよ。

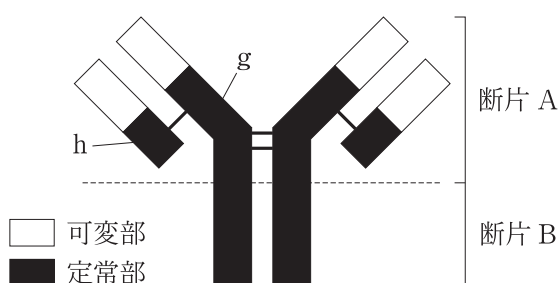


図1

- (1) 図1の g および h のポリペプチド鎖の名称をそれぞれ答えよ。
- (2) 下線部 f の作用を示す抗体をペプシンで処理すると、図1の破線の部分で切断されて断片 A と断片 B が生じる。ヒトのがん細胞を定着させた免疫不全のマウスに、ペプシン処理を行っていないこの抗体を注射するとヒトのがん細胞の増殖が抑制されたが、同様のマウスに断片 A と断片 B を同量混ぜて注射しても、がん細胞の増殖抑制はみられなかった。この理由を 80 字以内で述べよ。ただし、この免疫不全のマウスではマクロファージは正常に分化しているものとする。



生物の問題は次のページに続く。

**4** タンパク質の合成と輸送に関する次の文章を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

タンパク質は、多数のアミノ酸がアミノ基と 1 基の間でペプチド結合を形成してつながり、さらにこれが折りたたまれて <sup>a</sup> 立体構造をとったものである。タンパク質が立体構造を形成する際には、2 と総称されるタンパク質がポリペプチドの折りたたみを補助する。

細胞内でのタンパク質の合成と輸送の過程は、タンパク質がはたらく場所によって異なるが、合成されるタンパク質が細胞のどこに輸送されるかは、タンパク質のアミノ酸配列によって決定される。この輸送される部位を示す荷札の役割をするアミノ酸配列を「シグナル配列」と呼ぶ。例えば、核ではたらくタンパク質は、3 で認識されるシグナル配列をもち、細胞質基質の遊離したリボソームで合成されてから、3 を通って核内へと輸送される。

一方、<sup>b</sup> 細胞外に分泌されるタンパク質の場合は、細胞質基質の遊離リボソームでポリペプチドの合成が始まるが、ポリペプチドの末端のシグナル配列により、ポリペプチドを合成しているリボソームとともに小胞体表面に結合する。その後、図1に示すように、ポリペプチドは伸長を続けながら、末端から小胞体内部に取り込まれた後に小胞体内腔で立体構造を形成する。タンパク質の合成が完了すると、小胞体内腔のタンパク質は輸送小胞を介して 4 に輸送される。タンパク質は 4 では糖鎖の付加などの修飾を受け、分泌小胞を介して細胞外へ分泌される。

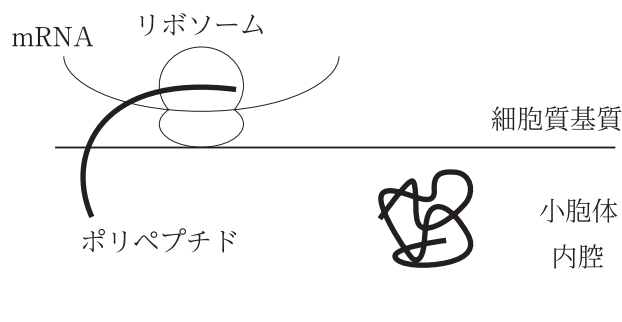


図1

細胞外に分泌されるタンパク質 P の輸送について調べるために、次の**実験 1 ～ 4**を行った。

**実験 1** リボソームなどのタンパク質合成に必要なすべての成分と、放射性同位体で標識されたアミノ酸を含む調整液を用意した。ここに、分泌タンパク質であるタンパク質 P のアミノ酸配列を指定する mRNA を加え、ポリペプチドを合成した(これを試料①とする)。

**実験 2** 細胞をすりつぶして遠心分離し、小胞体膜からなる膜小胞を含む画分(ミクロソーム)を得た。ミクロソームを加えた調整液に、タンパク質 P の mRNA を加え、ポリペプチドを合成した(これを試料②とする)。また、試料②が入った試験管にタンパク質分解酵素を加えてしばらくおいたもの(これを試料③とする)と、生体膜の構造を破壊する界面活性剤で処理した後にタンパク質分解酵素を加えてしばらくおいたもの(これを試料④とする)を用意した。

**実験 3** 試料①が入った試験管にミクロソームを加えた(ポリペプチドを合成する反応が終了した後にミクロソームを加えてしばらくおいた)もの(これを試料⑤とする)と、試料⑤が入った試験管にタンパク質分解酵素を加えてしばらくおいたもの(これを試料⑥とする)を用意した。

試料①～⑥から、膜小胞内のポリペプチドを含めて、反応液中のすべてのポリペプチドを取り出し、これを電気泳動で展開した後に放射性同位体で標識されたポリペプチドを検出したところ、図 2 の結果が得られた。

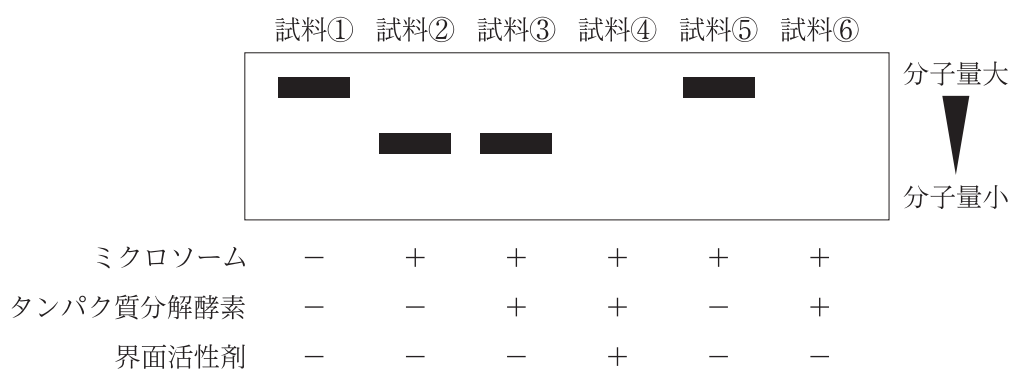


図 2

**実験 4** タンパク質 P のアミノ末端(タンパク質合成の際にはじめに合成される側の末端)から 70 番目のアミノ酸までを指定する mRNA, アミノ末端から 110 番目のアミノ酸までを指定する mRNA, アミノ末端から 150 番目のアミノ酸までを指定する mRNA を用意した。ミクロソームを加えた調整液に, これらの mRNA をそれぞれ加えてポリペプチドを合成した(これらを順に試料⑦, ⑧, ⑨とする)。

試料⑦～⑨について, 反応液すべて(全体), および膜小胞内と膜小胞に付着したりリボソームのみ(膜画分)からそれぞれポリペプチドを取り出し, これを電気泳動で展開した後に標識されたポリペプチドを検出したところ, 図 3 の結果が得られた。

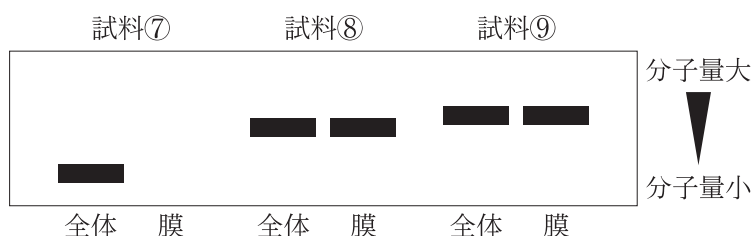


図 3

問 1 文章中の 1 ～ 4 に入る最も適当な語を記せ。

問 2 下線部 a に関して, 次の(1)～(3)に答えよ。

- (1) タンパク質の二次構造の例を 2 つ答えよ。
- (2) タンパク質が立体構造を形成する上で重要な結合のうち, ポリペプチドに含まれるアミノ酸のシステイン残基間で形成される結合の名称を答えよ。
- (3) タンパク質には酵素としてはたらくものがある。酵素が基質特異性をもつ理由を, タンパク質の立体構造に着目して 40 字以内で説明せよ。

問 3 下線部 b に関して, 脊椎動物で細胞外に分泌されるタンパク質として適当なものを, 次のア～カから 2 つ選び, 記号で答えよ。

- |         |          |             |
|---------|----------|-------------|
| ア インスリン | イ チューブリン | ウ コハク酸脱水素酵素 |
| エ ミオシン  | オ アミラーゼ  | カ ヘモグロビン    |

**問 4** 図 2 から判断して、次の(1)と(2)について{ }内の記述 A と B のうち正しいものをそれぞれ選び、記号で答えよ。また、その根拠となる試料の組み合わせとして最も適当なものを、下のア～ケから 1 つずつ選び、記号で答えよ。

(1) ポリペプチドの末端のシグナル配列は、{A：ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれても残っている。B：ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれると分解される。}

(2) ポリペプチドは、{A：立体構造を形成すると膜小胞に入れない。B：立体構造を形成しても膜小胞に取り込まれる。}

- |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| ア 試料①と試料② | イ 試料①と試料③ | ウ 試料①と試料⑤ |
| エ 試料②と試料③ | オ 試料②と試料④ | カ 試料②と試料⑥ |
| キ 試料③と試料④ | ク 試料③と試料⑤ | ケ 試料③と試料⑥ |

**問 5** 図 2 の試料④において電気泳動のバンドが検出されない理由を、50 字以内で述べよ。

**問 6 実験 4** に加えてある追加実験を行うことで、タンパク質 P のアミノ末端から 70 番目～110 番目のアミノ酸配列はポリペプチドが小胞体膜に結合するために必要であり、110 番目～150 番目のアミノ酸配列はポリペプチドが小胞体内に取り込まれるために必要であることが判明した。図 3 で使用している試料のうち必要なものを使って、最も適切な追加実験の手順と結果を、あわせて 80 字以内で説明せよ。





