

令和3(2021)年度入学者選抜個別(第2次)学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で28ページあり、第1～3ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した2科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が2か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

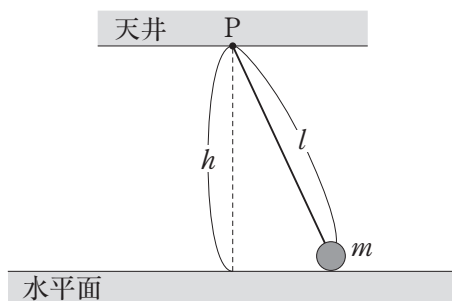
下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

物 理

(注) 医学科, 歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は全ての問題を解答せよ。

- 1 図のように, 摩擦の無い水平面と距離 h だけ離れた天井があり, 水平面上にある質量 m の小球が, 長さ $l (> h)$ の伸縮しない糸によって天井の点 P と結ばれている。糸にたるみの無い状態で小球に適切な初速度を与えると, 糸と鉛直線のなす角度を一定に保ったまま, 小球は水平面上において一定の速さ v で円運動をした。以下の問題に答えよ。ただし, 重力加速度を g とし, 糸の質量と小球の大きさは無視できる。解答は, 問題文の末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。



- (1) 小球の加速度の大きさを求めよ $[m, g, l, h, v]$ 。
- (2) 糸の張力を F_1 , 小球が水平面から受ける垂直抗力を F_2 で表す。小球の運動方程式を水平成分と鉛直成分に分けて記せ $[F_1, F_2, m, g, l, h, v]$ 。
- (3) F_1 および F_2 を求めよ $[m, g, l, h, v]$ 。
- (4) 速さ v がある値 v_1 よりも大きいと, 物体は水平面から離れる。 v_1 を求めよ $[m, g, l, h]$ 。
- (5) F_1 および F_2 の, 回転の速さ v に対する依存性をグラフに示せ。 F_1 は実線, F_2 は点線で示すこと。 v の範囲は $0 \leq v \leq v_1$ とする。

- (6) 水平面にわずかな動摩擦力がはたらく状況を考える。ただし動摩擦係数 μ はきわめて小さく、物体の円運動の速さは一定に保たれるものとする。動摩擦力の仕事率を p とするとき、 $|p|$ を最大にする物体の速さ v_2 を求めよ $[m, g, l, h, \mu]$ 。
- (7) 物体が水平面から離れ、水平面からの高さを $h/2$ に保ちつつ等速円運動している状況を考える。このときの物体の速さ v_3 を求めよ $[m, g, l, h]$ 。
- (8) (7)における等速円運動中に突然糸が切れ、物体は放物運動を始め、水平面上の点 Q に落下した。糸が切れてから、物体が点 Q に到達するまでの時間を求めよ $[m, g, l, h]$ 。
- (9) 点 P と点 Q の距離を求めよ $[m, g, l, h]$ 。

(注) 医学科の受験生は問1から問4(2)までを、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問1から問3(4)までを解答せよ。

2

問1 図1のように内部抵抗が無視できる電池，スイッチ，抵抗，平行板コンデンサーで構成された回路がある。このコンデンサーは極板間隔を変化させることができる。はじめスイッチは開いており，コンデンサーは帯電していない。ある時刻にスイッチを閉じると，しばらくして回路に電流が流れなくなりコンデンサーの充電が完了した。その後，操作1もしくは操作2を行った。以下の問いに答えよ。

操作1：スイッチを閉じたまま，極板間隔をゆっくり2倍にした。

操作2：スイッチを開け，次に極板間隔をゆっくり2倍にした。

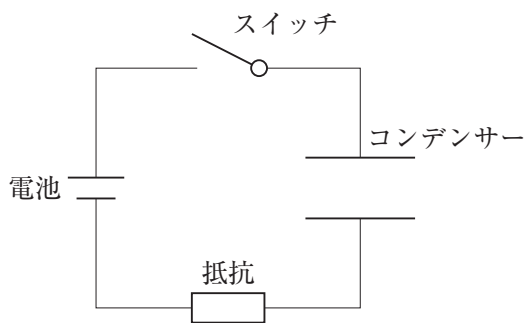


図1

- (1) 操作1を行った後，コンデンサーの電位差，電気量，電場の強さ，蓄えられている静電エネルギーは，操作1の直前と比較してそれぞれ何倍になるか。
- (2) 操作2を行った後，コンデンサーの電位差，電気量，電場の強さ，蓄えられている静電エネルギーは，操作2の直前と比較してそれぞれ何倍になるか。

問 2 極板 A, B の間隔が d の平行板コンデンサーがある。このコンデンサーと内部抵抗が無視でき起電力 V_0 の電池, 抵抗, スイッチを, 図 2(a) のように, 極板 B 側を接地して配線した。 x 軸を極板 A, B に垂直にとり, これが極板 B と交わる点を原点 O とする。はじめスイッチは開いており, コンデンサーは帯電していない。ある時刻にスイッチを閉じると, しばらくして回路に電流が流れなくなりコンデンサーの充電が完了した。その後, 操作 3 もしくは操作 4 を行った。以下の問いに答えよ。

操作 3 : スイッチを閉じたまま, 図 2(b) のように, コンデンサーの極板間に電極 A, B と同形で厚さ $d/2$ の帯電していない金属板を挿入した。

操作 4 : スイッチを開けた後, 図 2(b) のように, コンデンサーの極板間に電極 A, B と同形で厚さ $d/2$ の帯電していない金属板を挿入した。

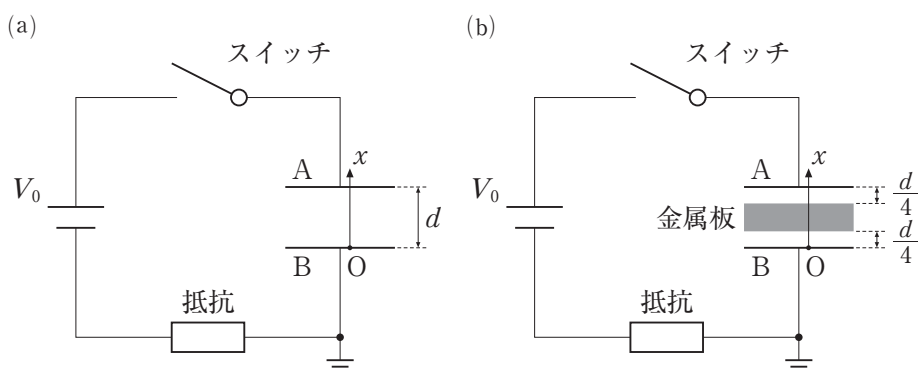


図 2

- (1) 操作 3 を行った後の, x 軸上の点における電位および電場を x の関数として $0 < x < d$ の範囲でグラフに示せ。なお, 電位の基準点は原点 O とし, 電場の正の向きは x 軸の正の向きと同じとする。
- (2) 操作 4 を行った後の, x 軸上の点における電位および電場を x の関数として $0 < x < d$ の範囲でグラフに示せ。

- 問 3 図3のように, xy 平面上の点 $C(-a, 0)$ に正の点電荷 q を, 点 $D(a, 0)$ に負の点電荷 $-q$ を固定した ($a > 0, q > 0$)。以下の問いに答えよ。クーロンの法則の比例定数は k とし, 電位の基準点は無限遠にとるものとする。解答は, 問題文末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

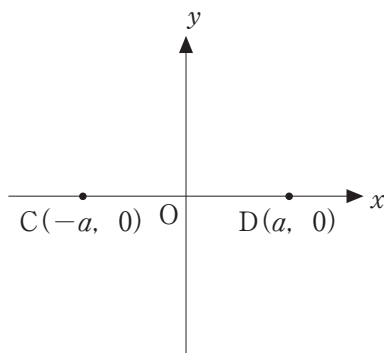


図 3

- (1) x 軸上の点 $(x, 0)$ における電位 $V(x)$ を求めよ。また, $V(x)$ の概形をグラフに示せ $[a, k, q, x]$ 。
- (2) y 軸上の点 $(0, y)$ における電場ベクトルを $\vec{E} = (E_x, E_y)$ とする。 E_x, E_y を求めよ $[a, k, q, x, y]$ 。
- (3) 原点から十分に離れた点 $P(x, y)$ における電位を求めよ。ただし, a に比べて原点から点 P までの距離 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ が十分に大きいため $\frac{a^2}{r^2}$ は無視し, さらに t の絶対値が 1 よりも十分に小さい場合に成立する近似式 $(1 + t)^\beta \doteq 1 + \beta t$ も使え $[a, k, q, x, y]$ 。

次に, 点 C に正の点電荷 q , 点 D に負の点電荷 $-q/2$ を固定した。以下の問いに答えよ。

- (4) xy 平面上で電位 0 の等電位線を表す式を求めよ。また, それはどのような図形を表すか説明せよ $[a, k, q, x, y]$ 。

問 4 電場に関する以下の問いに答えよ。クーロンの法則の比例定数は k である。解答は、問題文末尾にある [] 内の記号のうち必要なものを用いて表現すること。

- (1) 図 4 のように、電荷 Q が半径 R の球殻(薄皮状の物体)に一様に分布している ($Q > 0$)。球殻の厚さは無視できる。球殻の中心から r 離れた点の電場の大きさ $E(r)$ を求めよ [k, Q, r, R]。

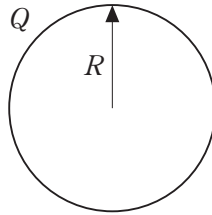


図 4

- (2) 図 5 のように、電荷 $-Q$ が半径 R の厚さが無視できる球殻に一様に分布し、球殻の内側には電荷 Q が一様に分布した半径 $R/2$ の球がある ($Q > 0$)。球殻と球の中心は一致している。球の中心から r 離れた点の電場の大きさ $E(r)$ を求め、 $0 < r < 2R$ の範囲でグラフに示せ [k, Q, r, R]。

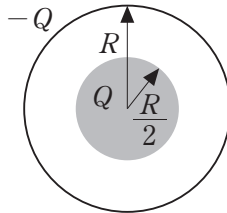


図 5

化 学

必要のある場合には次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0 Li = 6.9 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0

Na = 23.0 Cl = 35.5 K = 39.1 Ca = 40.1 V = 50.9

Fe = 55.8 Br = 79.9 I = 126.9

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{C/mol}$

対数： $\log_{10} 2 = 0.30$ $\log_{10} 3 = 0.48$ $\log_{10} 7 = 0.85$

$\log_e 10 = 2.30$ (e = 2.718)

数値を計算して答える場合は、結果のみではなく途中の計算式も書き、計算式には必ず簡単な説明文または式と式をつなぐ文をつけよ。

1 次の文を読み下の問に答えよ。

共有結合からなる単体や化合物は電子式もしくは構造式で表現される。共有結合からなる単体や化合物中の構成原子の最外殻電子について考察しよう。第1周期の水素の場合、最外殻電子は2個である。第2周期の炭素、窒素、酸素、フッ素は最外殻に共有、非共有を問わず、全部で8個の電子をもつが、このように最外殻電子の総数が8個になると安定な電子配置になることをオクテット則という。第3周期のケイ素、リン、硫黄、塩素もオクテット則に従って構造式を書くことになっているが、硫酸の構造式では、オクテット則に従わない構造式が見られる(表1-1)。

表1-1に記した分子はいずれも構成原子は電荷を帯びておらず電氣的に中性である。しかし、他の分子では構造式の特定の原子に正もしくは負の電荷の存在が認められることがある。この電荷を形式電荷という。分子は全体として電氣的に中性であるので、各原子の形式電荷の総和はゼロになる。ただし、イオンの場

合は、その総和はイオンの電荷に等しくなる。

表 1-1 化合物の化学式，電子式，構造式

	メタン	アンモニア	水	硫酸
化学式	CH ₄	NH ₃	H ₂ O	H ₂ SO ₄
電子式	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ \text{H} : \text{C} : \text{H} \\ \vdots \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \vdots \\ \text{H} : \text{N} : \text{H} \\ \vdots \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \vdots \\ \text{H} : \text{O} : \text{H} \\ \vdots \end{array}$	(X)
構造式	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	H-O-H	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{O}-\text{S}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$

分子内の各原子の形式電荷を求める方法を以下に示す。

- ・共有結合をつくっている原子には共有された電子の半分ずつを割り当てる。
- ・共有されない価電子は、それが含まれる原子の所有とする。
- ・その原子が電気的に中性の遊離状態で持っている価電子の数から分子中でその原子に割り当てられた価電子の数をひいて、形式電荷は求められる。

すなわち、

(形式電荷) = (中性状態における価電子の数) - (共有電子の数の半分 + 非共有電子の数)

で求められる。

例えば、水分子の酸素原子は、中性状態における価電子の数は6，共有電子の数は4，非共有電子の数は4であるので、形式電荷はゼロとなる。水素原子はいずれも、中性状態における価電子の数は(ア)，共有電子の数は(イ)，非共有電子の数は(ウ)であるので、形式電荷はゼロとなる。したがって、水分子全体の形式電荷の総和はゼロである。

溶媒としての水は、わずかながらオキソニウムイオンと水酸化物イオンを生じる。溶媒分子同士がH⁺の授受をしてイオン化することを自己解離という。



オキソニウムイオンの酸素原子の形式電荷は +1 である。オキソニウムイオンの +1 の電荷を酸素原子が形式的に帯びているということになる。

オゾン分子をオクテット則に従うように構造式を書くと、(a) $O=O-O$ もしくは (b) $O-O=O$ の 2 通りの書き方が可能である。(a) の構造式では、左側の酸素原子の形式電荷は (エ), 中央の酸素原子の形式電荷は (オ), 右側の酸素原子の形式電荷は (カ) である。しかし、オゾン分子の 2 個の末端酸素は等価であることが知られているので、実際の構造は (a) と (b) の共鳴構造を平均化した共鳴混成体であると考えられる。

共鳴構造の構造式がいくつか考えられる場合の記載方法については、正、負の形式電荷の間の距離の小さいものを優先させるという規則がある。また、形式電荷の絶対値が 1 よりも大きいもの、同符号の形式電荷がとなりあった原子上に存在するものはなるべく避けるべきである。構造式中の原子に形式電荷を記す場合は、+1 のときは +, -1 のときは - の符号をつけることが多い。形式電荷は、無機化合物、有機化合物のいずれの構造式にも見られるが、特に有機化学では反応中間体の形式電荷が反応機構を理解するうえで重要である。

問 1 表 1-1 の硫酸の電子式(X)を他の化合物にならって記せ。

問 2 空欄ア～カを埋めよ。

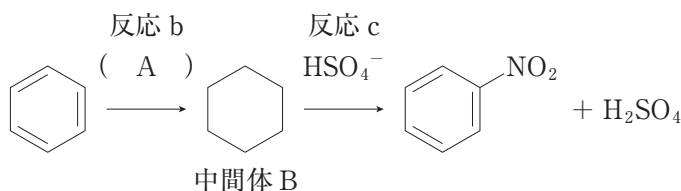
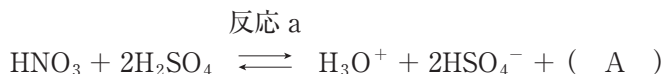
問 3 アジ化物イオン (N_3^-) の構造式はオクテット則を満たすものとして、二重結合 2 個で記すものと、単結合 1 個、三重結合 1 個で記すものが考えられる。それぞれの構造式を記し、それぞれの窒素原子の下に形式電荷をつけよ。

問 4 表 1-1 の硫酸の構造式について、S の最外殻電子がオクテット則を満たすようにすべて単結合で書いた場合、形式電荷についてどのような問題が生じるか。

問 5 自己解離は水だけに限らず，アンモニア，ギ酸，硫酸などの溶媒でも起こる。

- (1) アンモニア，硫酸について，それぞれ自己解離の平衡式を書き，生成したイオンの構造式を記せ。その際，形式電荷をもつ原子に + もしくは - を記せ。
- (2) ギ酸の自己解離において，ギ酸分子のうちギ酸イオン(HCOO^-)になっているものは何%か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし，ギ酸の自己解離定数は $[\text{HCOOH}_2^+][\text{HCOO}^-] = 6.4 \times 10^{-7}(\text{mol/L})^2$ (25℃) で与えられるものとし，ギ酸の密度は 1.22 g/mL とする。

問 6 ベンゼンのニトロ化では，混酸中でニトロニウムイオンが生じ(反応 a)，これがベンゼン環の炭素原子のうち 1 個と共有結合で結びつき，不安定な中間体である炭素陽イオンをつくる(反応 b)。次に，この中間体から硫酸水素イオンが，ニトロ基の結合した炭素原子上の水素原子 H を水素イオン H^+ として引き抜き，ニトロベンゼンが生じてベンゼン環構造が取り戻される(反応 c)。



- (1) 空欄 A のイオンの構造式を記せ。形式電荷がある場合は，その原子に + もしくは - を書き加えよ。
- (2) 中間体 B の構造式を完成せよ。ただし，形式電荷のある原子に + を記せ。
- (3) ベンゼンのニトロ化の反応では硫酸はどのような働きをしているか。

2 次の文を読み下の問に答えよ。

第4周期の遷移元素には我々の身近で使われる金属元素が多い。遷移元素の特徴として、同じ元素が複数の酸化数を取ることが多く、そのイオンや化合物の多くが有色であり、単体もしくは化合物が触媒として働くものも多いことが挙げられる。

8族に属する鉄は工業的に最も多く用いられる金属元素である。鉄は酸化数+2と+3の化合物がある。製鉄の原料となる鉄鉱石は酸化物であり、 Fe_2O_3 と Fe_3O_4 の二種類が知られている。製鉄ではこれら鉄鉱石とコークス(炭素)を溶鉱炉の上部から投入し、下部から熱風を送ることで、コークスの燃焼で生成した一酸化炭素が鉄鉱石を還元し、単体の鉄を得ている。^①こうして得られる鉄は銑鉄と呼ばれ、炭素を約4%含み、硬くてもろい。広く構造材料に用いられる鋼は銑鉄に含まれる炭素を2%以下に減らしたものを指す。鋼は強度のある材料であるが、湿った環境中ではしばしば「さび」を生じる。そのため家屋の外壁や自動車の車体など、屋外で使用される鋼では表面に をめっきした「トタン」^②が用いられる。さらにさびにくさが求められる用途では鉄に6族の を添加した「ステンレス鋼」が用いられる。 Fe_3O_4 は工業的に窒素と水素からアンモニアを製造する 法の触媒としても知られる。

7族の は+2、+4、+7など多様な酸化数の化合物をつくり、酸化数+4の酸化物は乾電池の正極や、触媒などに用いられる。

5族のバナジウムの酸化数は更に多様で、4種類の酸化数を取り得る。工業的なバナジウムの使用量は、鋼やチタンなどの合金に添加する金属成分としての用途が8割以上を占めるが、^③触媒や顔料・塗料としての用途にも用いられている。^④下線部^③で添加される単体のバナジウムは、酸化バナジウムにアルミニウム粉末を混合・加熱して製造される。このような反応は 反応と呼ばれる。下線部^④の触媒としてはバナジウムの酸化数が の酸化バナジウムが硫酸^⑤の製造過程や、キシレンからの の製造過程で用いられる。

近年、バナジウムの新たな用途として注目されている分野に二次電池がある。^⑥この電池は図2-1のように価数の異なるバナジウムイオンを含む水溶液を正

極，負極でそれぞれ循環させて充放電しており，バナジウムの還元(reduction)と酸化(oxidation)反応を用いることからレドックス(redox)フロー電池と呼ばれる。正極，負極の反応はそれぞれ式(1)，式(2)で示される。

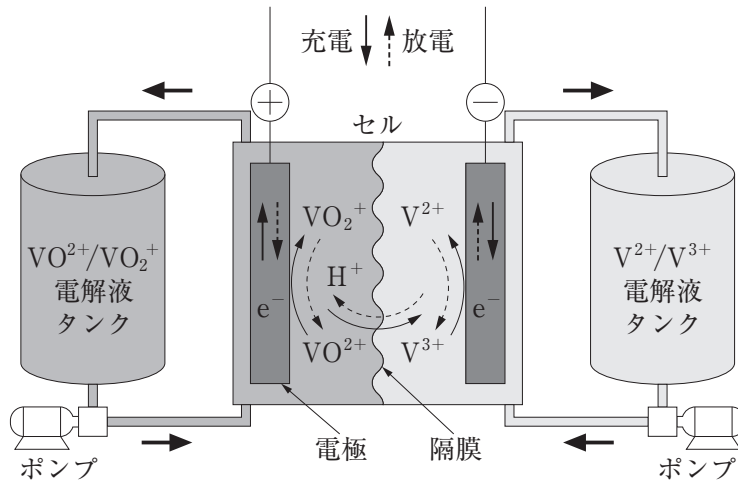
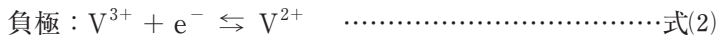
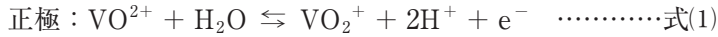


図 2-1 レドックスフロー電池の原理・構成

問 1 A～G の空欄に当てはまる元素記号もしくは語句を記せ。

問 2 下線部①の反応で鉄鉱石として Fe_2O_3 を用いた場合の反応式を記せ。また，1000 kg の Fe_2O_3 が完全に還元された場合に得られる鉄の質量を有効数字 2 桁で kg 単位で求めよ。但し，鉄中に含まれる炭素は考慮しなくて良い。

問 3 下線部②のトタンは屋外で使用されるため，しばしばめっき層に傷がついて，内部の鋼が露出する。その場合に鋼がさびから守られる仕組みをイオン化傾向に基づいて 60 字以内で説明せよ。

- 問 4 下線部⑤で触媒を使用する過程の反応式を記せ。全体の圧力を上げた場合に、この反応の平衡はどうか説明せよ。
- 問 5 下線部⑥のバナジウム水溶液を用いた二次電池は、鉛蓄電池と比較して、どのような利点があると考えられるか。80字以内で述べよ。
- 問 6 式(1)において、 VO^{2+} 、 VO_2^+ イオンにおけるバナジウムの酸化数はそれぞれいくらか。
- 問 7 正極に 1.0 mol/L の濃度の VO_2^+ 水溶液を 100 L 、負極に 1.0 mol/L の濃度の V^{2+} 水溶液を 100 L 用いた場合、式(1)および(2)の反応が完全に終了するものとして、最大何クーロンの電気量を取り出せるか。有効数字 2 桁で求めよ。

3 次の文を読み下の問に答えよ。

新型コロナウイルスが猛威を振るう現在、感染から身を守る手段として、滅菌や消毒は重要である。滅菌とは、全ての微生物を死滅させる方法のことであり、例えば、オゾンやエチレンオキサイドを用いたガス滅菌法がある。エチレンオキサイドは、微生物のタンパク質やDNAをアルキル化(注1)して変性させ死滅させるため、熱に弱いゴム製品や医療器具の滅菌などに使われる。

一方で消毒とは、ヒトに対して病原性のある微生物を死滅させる、あるいは病原性を低下させるための方法である。水道水の消毒(殺菌)ではハロゲンである塩素が使われるが、これは塩素分子を水に加えると生成される次亜塩素酸の強い酸化力を利用している。その一方で、塩素を微量の有機物を含む水に注入すると、トリハロメタン類が発生し、これが発ガン性などの有害性を持つことが判明し、塩素殺菌による危険性が問題となっている。また、消毒は、滅菌できない大きなものや、繰り返し使う検査機器、あるいはヒトに対しても行われる。ホルムアルデヒドを約37%含んだ水溶液である(①)は、アルデヒド基によるタンパク質やDNAのアルキル化作用をもち、光学機器類や、手術室の消毒に使用される。70~90%エタノールや30~70%イソプロパノールなどのアルコール系消毒液は、微生物のタンパク質を変性・凝集させる効果があり、手指の消毒に使われる。より強い変性作用を持つフェノールやクレゾールは、数%に希釈した溶液が、皮膚消毒など医療用消毒薬として使用されている。

(注1) 芳香族化合物の芳香環の水素原子をメチル基、エチル基などのアルキル基で置換する反応をアルキル化という。

問1 下線部(A)に関して、エチレンオキサイドは原子同士が単結合のみで結合しており、その分子式は C_2H_4O である。その構造式を記せ。

問 2 下線部(A)に関して、エチレンオキサイドガスは人体にも毒性が強いため、使用後は速やかに無毒化する必要がある。これには、

- (1) 完全燃焼する方法
- (2) 水と反応させてエチレングリコール(1,2-エタンジオール)にする方法がある。(1)と(2)の反応式をそれぞれ記せ。

問 3 下線部(B)に関して、トリハロメタン類は、 CHX_3 (X:ハロゲン原子)と表される分子で、代表的なものとしてクロロホルム CHCl_3 が挙げられる。

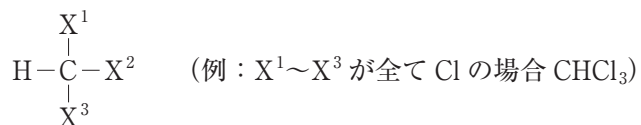


図 3-1 トリハロメタン類

- (1) 分子内の $\text{X}^1 \sim \text{X}^3$ が Cl, Br, I のいずれかである場合、トリハロメタン類の構造異性体は、クロロホルムも含めて全部で何種類あるか。
- (2) この構造異性体のうち、光学異性体を持つものの構造式を、図 3-1 にならって全て記せ。

問 4 下線部(C)に関して、(①)は何か。

問 5 下線部(C)に関して、ホルムアルデヒドの性質について、正しく述べられているものをアからカの中から全て選べ。

- ア. ナトリウムを加えると、水素が発生する。
- イ. ヨウ素と水酸化ナトリウムを加えると、ヨードホルムを生じる。
- ウ. アンモニア性硝酸銀溶液に加えて加熱すると、銀が析出する。
- エ. 酸化すると、酢酸を生じる。
- オ. 水溶液中では弱塩基性を示す。
- カ. フェーリング液とともに加熱すると、酸化銅(I)が沈殿する。

問 6 下線部(D)に関して、クレゾール(*o*-, *m*-, *p*- 混合物)は、化学合成で生産する場合には、図 3-2 に示したようにフェノールの合成法として知られる (②)法と類似した反応経路で合成される。ここでは単純化のため、プロペンによってトルエンのパラ位のみがアルキル化されることとする。

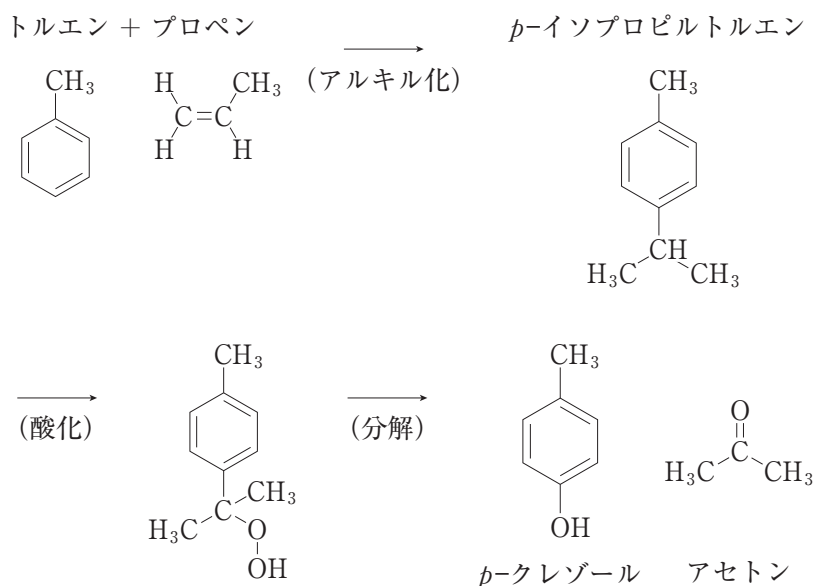


図 3-2 *p*-クレゾールの合成法

- (1) (②)は何か。
- (2) この反応では *p*-クレゾールが生成する以外に、副反応として、アルキル化によって *p*-イソプロピルトルエンが生成された後、ベンゼン環に直接結合しているメチル基が酸化・分解される反応が一部起こり、化合物(E)及び化合物(F)を生じる。化合物(E)は塩化鉄(Ⅲ)で呈色される分子量 136 の分子であり、 1.00×10^{-3} mol の化合物(E)を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 396 mg と水 108 mg が生成した。(E)、(F)の構造式を図 3-2 にならって記せ。その導出過程も記せ。

生 物

1

生物の最小単位は細胞である。細胞を構成している物質は多くの生物で共通しており、その中で最も多く含まれているのが水であり、動物細胞では質量比で通常約 70 % を占めている。そしてタンパク質などの^{a)}有機物が約 25 %、無機塩類その他が約 5 % である。タンパク質は多数のアミノ酸がペプチド結合で鎖状に連なった高分子化合物である。ヒトでは^{b)}タンパク質を構成するアミノ酸は 20 種類で、そのうちの 9 種類が^{c)}必須アミノ酸と呼ばれている。

タンパク質は^{d)}酵素、ホルモン、受容体、防御タンパク質、輸送タンパク質、収縮性タンパク質、構造タンパク質などに分類され、多様な機能を持つ。輸送タンパク質とは、様々な生体分子を運ぶ役割を担うタンパク質である。血液中に含まれ物質運搬に関わるタンパク質（ヘモグロビンなど）と、細胞膜に存在して細胞内外に特定の物質を輸送する膜タンパク質がある。後者には^{e)}チャネル、担体、ポンプなどがある。収縮性タンパク質とは主に筋細胞の収縮を担うタンパク質であり、^{f)}細胞骨格の構成タンパク質の 1 つのアクチンやモータータンパク質の 1 つのミオシンのほか、トロポニンやトロポミオシンなどがある。構造タンパク質とは、細胞、組織、器官に物理的強度をもたせるのに必要なタンパク質で、繊維性タンパク質であるコラーゲンやエラスチンの他に、^{g)}細胞間結合に関わる細胞接着分子のカドヘリンなども含まれる。

カドヘリンは 1980 年代に日本の竹市雅俊らによって発見、命名された。関連する先行研究として 1955 年にアメリカのホルト・フレーターによるイモリの細胞を使った興味深い実験がある。それは、^{h)}イモリ胚の異なる 2 つの組織（予定表皮と神経板）の細胞を生きたままばらばらにしてから混ぜたところ、両者は混ざり合って細胞集塊を作るが、やがて同じ種類の細胞が集まり組織を再構築したというものだった。この結果は細胞と細胞を接着させる何らかの「細胞接着分子」が存在することを示唆している。細胞接着分子にはカルシウムイオンが必要なものと必要でないものがあることがわかっていたが、竹市らが発見した分子は前者

であったため、1984年に「カドヘリン (cadherin)」(「calcium イオンがあると働く接着 (adherence) 分子」の意) と命名された。そして竹市らは1987年にはカドヘリンの cDNA のクローニングに成功した。その後の研究でカドヘリンには共通のアミノ酸配列を持つ複数のタイプがあることが分かり、現在では100種類以上のカドヘリンが存在すると考えられている。カドヘリンは、向かい合う細胞の間で同じ種類のカドヘリン分子同士が結合することによって細胞同士を接着させている。一方でカドヘリンは、細胞質側では細胞骨格と結びついている。

ヒトの体は約37兆個、約200種類の細胞で構成されている。最初は1つの受精卵から始まり、細胞分裂を繰り返して様々な細胞に分化する。このような細胞が規則的に集まって組織が作られる過程でカドヘリンが重要な働きをしている。

i) カドヘリンの研究は、このように発生学において注目されているが、近年では、神経回路の形成におけるカドヘリンの役割など神経科学的にも医学的にも注目されている。

問題 1 下線部 a) ~ i) に関連した次の問題に答えよ。

a) 動物細胞と大腸菌において、タンパク質の次に割合(質量比)が高い有機物はどれか、下記の中からそれぞれ1つ選んで答えよ。

核酸 脂質 ビタミン 炭水化物

b)

1) タンパク質を構成するアミノ酸のうち硫黄を含むものをすべて答えよ。

2) 次のアミノ酸の中でタンパク質を構成するポリペプチドに含まれないものをすべて選べ。

GABA グルタミン酸 プロリン オルニチン タウリン
アラニン

c) 必須アミノ酸はなぜ必須と呼ばれているのか、その理由を答えよ。

- d) 酵素におけるアロステリック効果とはどのようなものか答えよ。
- e) イオンチャネルの開閉を制御する要因の1つにチャネルタンパク質のリン酸化があるが、その他の要因にはどのようなものがあるか、2つ答えよ。
- f) 細胞骨格の1つである微小管は、細胞分裂の時に染色体上のある部分に結合し、紡錘体を形成する。ある部分の名称を答えよ。また紡錘体の形成が始まるのは体細胞分裂の何期か答えよ。
- g) 細胞間結合の1つである固定結合のうち、カドヘリンが関与するものには接着結合とデスモソームがある。両者についてカドヘリンなどの接着タンパク質が細胞質側で結合する細胞骨格をそれぞれ答えよ。
- h) なぜこのような結果になったのか説明せよ。
- i) カドヘリン遺伝子 (cDNA) を組み込んだベクターをヒトの白血球由来の細胞株 (K562) に導入し、その細胞を培養して細胞集塊を形成させ、細胞接着がみられるかどうかを調べた。次の問題に答えよ。
- 1) K562 を用いた理由を答えよ。
 - 2) 外来の遺伝子を組み込んだベクターを細胞内に導入するにはどのような方法があるか、大腸菌と植物細胞に導入する方法をそれぞれ1つ答えよ。
 - 3) 細胞接着にカドヘリンが必要であることを証明するには、どのような実験を行い、どのような結果が得られればよいと考えられるか、以下の用語をすべて用いて答えよ。なお、用語は複数回使用してよい。
K562 ベクター カドヘリン抗体 カドヘリン遺伝子
カルシウムイオン

2

皮膚は表皮、真皮、皮下組織の3層から成る。表皮においてはケラチノサイト^{a)}が、真皮においては繊維芽細胞^{b)}が主要な構成細胞である。真皮の下の皮下組織には脂肪細胞が存在する。加えて、^①皮膚の付属器として、^{c)}外分泌腺である汗腺や皮脂腺といった器官も存在する。

恒温動物では皮膚が外界の温度変化を感知し、感覚神経を介して、間脳の視床下部^{d)}に存在する体温調節中枢へ伝達する。健康な人の場合、外界の温度が急に下がると、視床下部が交感神経を興奮させ皮膚^{e)}に働いて熱の放散量を抑える。さらに熱産生量を増加させるために、交感神経は副腎髄質を刺激し、アドレナリンの分泌を促進する。アドレナリンは、心臓の拍出量（左心室から体循環に対して1分間に拍出される血液量）や血糖値を上昇させる。これらの速い応答に加えて低温状態が長く続くと、^{g)}内分泌系を介した別の機構が活性化され、発熱量を増大させる。

風邪などの感染症にかかると発熱するが、これは生体防御機構の1つであると考えられている。この場合、単球などの免疫細胞からインターロイキンという物質の放出が促進され、インターロイキンは視床下部の体温調節中枢に作用して、体内での熱生産が増大し^{h)}高体温となる。

問題 1 下線部 a) ~ h) に関連した次の問題に答えよ。

- a) ケラチノサイトには Toll 様受容体 (TLR) が存在する。TLR の働きを答えよ。
- b) iPS 細胞は、培養した繊維芽細胞に転写を調節するタンパク質 (転写調節因子) に翻訳される 4 種類の遺伝子を導入して作られた。この 4 種類の遺伝子は iPS 細胞を作るうえでどのような働きをもつか答えよ。
- c) 外分泌腺と内分泌腺の構造の違いを答えよ。
- d) 進化の過程で恒温性を獲得することにより、どのような点が有利となったと考えられるか、2つ答えよ。

e) 外界の温度が下がると、寒気を感じるとともに身体が震える。身体が震える理由を推測し答えよ。

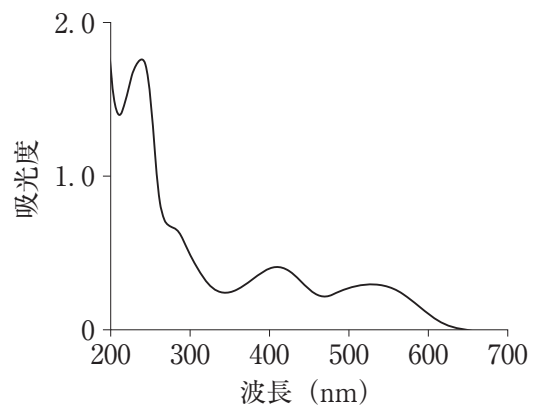
f) 熱の放散を抑えるために皮膚で起こる応答を2つ答えよ。

g) 内分泌系とは一般に何か、答えよ。

h) マウスから得たマクロファージを培養した。このとき培養温度を37℃（平常体温域である）から38.5℃まで上昇させると、マクロファージの機能が高まった。この現象から、細菌（バクテリア）などの病原体の感染によって体温が上昇することには生体防御上、どのような利点があると推測されるか答えよ。

問題2 下線部①に関連した次の問題に答えよ。

カバの皮膚には、汗腺や皮脂腺といった付属器は存在しないが、粘液を分泌する腺が存在し、粘液は体表を覆う。この粘液は分泌直後では無色であるが、分泌後1分から2分で赤色に変化する。右のグラフは、粘液から単離した赤色色素の



溶液に様々な波長の光を照射したときの吸光度を示す。吸光度とは、物質に特定の波長の光を照射したときに、その光を吸収する割合を示し、吸光度が大きいほどその波長の光をより吸収していることを意味する。グラフを参考にして、カバの体表が赤色の粘液で覆われることの利点を答えよ。

最近、恐竜の卵に関する研究が活気づいている。これまで発見された恐竜の卵は、いずれも硬い殻を持っていた。恐竜の子孫だと考えられている鳥類^{a)}の卵^{b)}と同じである。卵の殻には炭酸カルシウムの層が含まれているため、硬くて丈夫であり、親鳥が卵の上に乗って抱卵しても壊れることはない。しかし、体重が2トンを越えるような恐竜となれば話は別である。白亜紀に生息したオビイラプトロサウルス類は、卵の破損を回避するために興味深い方法をとっていたようだ。一方、夏でも平均気温が19℃付近であったと推測されている寒冷地のシベリアに生息していたハドロサウルス類は、どうやら抱卵していなかったようだ。おそらく産卵後、土の中に放置していたのではないかと考えられている。また最近になって、モンゴルのゴビ砂漠とアルゼンチンの高地で、「やわらかい殻の卵」を持つと思われる恐竜の化石が見つかった。切片にして顕微鏡で調べてみると、約0.3mmの薄い膜で覆われているだけで、一般的な恐竜の卵に見られる炭酸カルシウム層の構造は見られなかった。

恐竜の能力の中で重要なものは視覚であったと考えられている。例えば有名なティラノサウルスの眼は良く発達していたと推測されている。眼窩^か（眼球が入るくぼみ）^{e)}の位置が比較的顔の前面にあり、かなり大きいため視神経^{f)}も太かったと推測されている。色覚に関しては想像の域を出ないが、現在の爬虫類^{g)}や鳥類^{h)}と同様に様々な色が区別できたと考えられる。動物の視覚能力は、脊椎動物が誕生するよりはるか前に獲得されており、近紫外～青色の波長域に対する視覚が最初であったと言われている。やがて脊椎動物の祖先^{g)}が現れ、爬虫類、鳥類へと進化していく過程で、爬虫類や鳥類の中には錐体細胞が4種類ある4色型まで進化したものが現れたと考えられている。したがって、恐竜の中には4色型のものがいた可能性があり、恐竜がいた時代では、おそらくカラフルな世界が展開されていたと思われる。中生代に現れた哺乳類の多くは、夜行性の生活をしていたため、4種類あった錐体細胞のうち2種類が退化して失われ、一方で、暗い所で働く桿体細胞^{かん}の機能は発達したと考えられる。その後、恐竜の衰退に伴って霊長類の祖先の仲間の中に昼行性のものが現れ、その中には2色型から3色型に進化したものが現れたと考えられている。^①

一方、チョウやハチなどの昆虫も色覚が発達しており、3色型や4色型の色覚を持つものが多い。多くの昆虫の色覚が、ヒトの色覚と大きく異なっている点は、近紫外域の波長に対する錐体細胞を持っていることである。最近、恐竜の誕生前の4億2900万年前の三葉虫の化石^{h)}がきわめて良好な状態で見つかった。その眼を調べたところ、現代の昆虫や甲殻類の複眼と非常に良く似た構造をしていた。化石からは三葉虫の個眼は200個ほどしかなかったことから、おそらくモザイク状にしか見えない視覚を使って、オウムガイなどの捕食者から身を守っていたと考えられる。

問題1 下線部 a) ~ h) に関連した次の問題に答えよ。

- a) 鳥類における免疫は、主に2種類の器官が担当している（ここでは、X器官とY器官と呼ぶ）。それは、総排泄腔(肛門)の近くに存在するX器官と心臓の上に存在するY器官である。X器官を摘出すると、他の個体から移植された皮膚片は拒絶されるが、外から入ってきた病原体を直接排除することはできなくなった。一方、Y器官を摘出すると、他の個体から移植された皮膚片は生着した。X器官とY器官のそれぞれの働きを述べよ。
- b) 鳥類の卵割の様子を、4細胞期、8細胞期の順に、解答欄の卵の模式図の中に描け。
- c) オビイラプトロサウルス類は複数の卵を同時に温めるために、どのようなやり方で抱卵していたと考えられるか。解答欄に、図右上の卵の模式図を参考に8個の卵の配置を上から見た図で描け。ただし、恐竜の体が地面に接する領域の中心を「×」で示してある。
- d) 土に埋めた卵を太陽光で温める方法は、暖かい地方では使えるやり方であるが、当時のシベリアでは難しいと予想される。どのような状態の土に埋めれば温めることができると思うか、推測して述べよ。

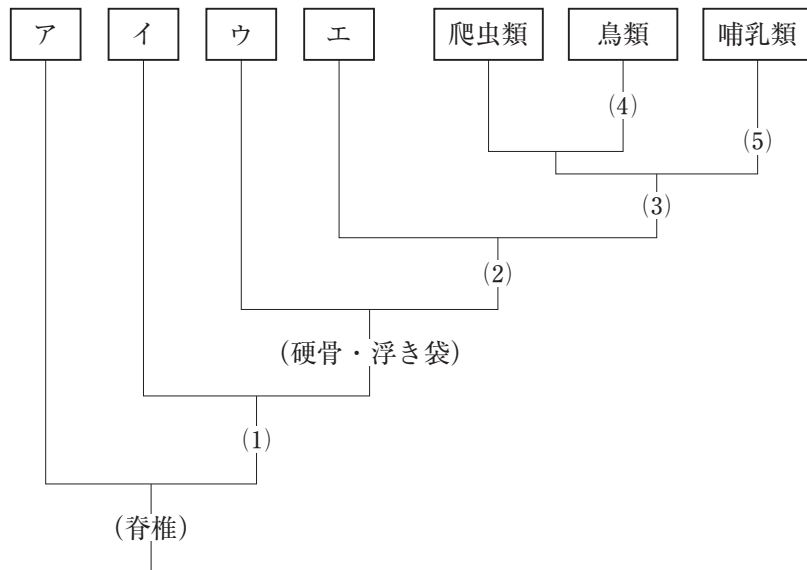
e) 眼窩の位置が比較的顔の前面にあるおかげで、どのような点が有利になったと思われるか、考えを述べよ。

f) 視神経は脳神経の1つであるが、ヒトの脳神経は何対あるか、答えよ。
 また、次の用語をすべて用いて、脊髄と脊髄神経との関係を説明せよ。
 なお、用語は複数回使用してもよい。

運動神経 感覚神経 背根 腹根 脊椎骨

g) 爬虫類、鳥類、哺乳類を含めた7種類の脊椎動物の名称を、下図のア～エに入れるとともに、それぞれを分類するための特徴を、下記の用語の中から選んで(1)～(5)に書き入れよ。

胎生 あご 羊膜 羽毛 四足



h) 三葉虫は示準化石の1つである。なぜ、示準化石になりえるのか、その理由を答えよ。

問題 2 下線部①について、次の問題に答えよ。

新世界ザルのオマキザルは、ヒトと同じ XX, XY の性染色体を持つ。常染色体上に青色オプシン遺伝子が存在し、X 染色体上の同じ遺伝子座に、赤色、緑色、黄色のいずれかのオプシン遺伝子が存在している。このオマキザルの集団としての色覚について述べよ。また、どうしてそうなるのか理由もあわせて答えよ。

