

2020年度 入学試験問題

物理 化学 生物

物 理……………1～7ページ
 化 学……………9～21ページ
 生 物……………23～43ページ

注 意

(1) 受験者は以下の要領で解答すること。

| 学 部 | 学 科 | 解答する科目 | 解答用紙回収方法 |
|----------|---------------|-------------------------------|----------|
| 理工学部 | 機械システム工学科 | 物理を解答すること。 | A |
| | 電気工学科 | 物理・化学から1科目を選択し、 解答すること。 | B |
| | 電子工学科 | | |
| | 機械理工学科 | | |
| | インテリジェント情報工学科 | 物理・化学・生物から1科目を 選択し、解答すること。 | C |
| | 情報システムデザイン学科 | | |
| | 機能分子・生命化学科 | | |
| | 化学システム創成工学科 | | |
| | 環境システム学科 | | |
| 数理システム学科 | | | |

(2) 配付する解答用紙は、各科目2枚ずつ合計6枚がセットされた冊子体となっている。

- A. 試験開始前に化学、生物の解答用紙4枚を回収する。
- B. 試験開始前に生物の解答用紙2枚を回収し、試験開始30分後に、選択しなかった科目の解答用紙2枚を回収する。なお、回収後は科目の変更はできない。
- C. 試験開始30分後に、選択しなかった科目の解答用紙4枚を回収する。なお、回収後は科目の変更はできない。

(3) 解答用紙には、それぞれ受験番号の記入欄がある。

- 物 理……(一)の表面に2か所、(二)の表面に2か所、計4か所
- 化 学……(一)の表面に2か所、(一)の裏面に1か所、(二)の表面に2か所、計5か所
- 生 物……(一)の表面に2か所、(一)の裏面に1か所、(二)の表面に2か所、計5か所

各か所とも正確、明瞭に記入すること。

- (4) 解答用紙には、氏名の記入欄が各科目とも(一)、(二)の表面にそれぞれ1か所ある。合計2か所とも正確、明瞭に記入すること。
- (5) 解答はすべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- (6) 問題用紙の余白は計算に使用してもよい。
- (7) 問題用紙を切り離して使用してはならない。
- (8) 試験開始後、問題用紙に落丁・損傷がないか確認すること。
- (9) 試験終了後、問題用紙は各自持ち帰ること。

物 理

〔I〕 次の文中の空欄（ア）～（ケ）にあてはまる式または数値を解答用紙（一）の該当する欄に記入せよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

図1のように、幅 a 、高さ b 、質量 M の一様な直方体 P を水平面上に置いた。直方体 P と水平面の間には摩擦力がはたらく。図1のように、直方体 P の上端 A に軽くて伸び縮みしないひもを取り付けて、水平方向に引っ張ったところ、すべることなく傾き始めた。このとき、引く力の大きさ F は よりも大きい。つぎに、ひもを水平面からの高さが $\frac{b}{2}$ の位置にある点 B に付け替えて、 F よりも大きな力で水平方向に引っ張ったところ、傾くことなくすべり始めた。このことから、静止摩擦係数は よりも大きく よりも小さいことがわかる。

つぎに、図2のように、長さ L の軽く細い棒を直方体 P の鉛直面と棒がなす角が 45° になるように点 C に固定した。棒の先端には、大きさと質量が無視できる小滑車を取り付けられている。小滑車の D の位置にひもをかけて、ひもの一端を点 A に固定し、他端には質量 m のおもり Q をつり下げたところ、 P は傾くことなく静止した。このとき、 AD 間のひもは水平であり、棒が点 C において P から受ける抗力の大きさは である。また、棒がひもから受ける点 C のまわりの力のモーメントの大きさは である。

さらに、図3のように、ひもがたるまないように D を支点として DQ 間のひもを鉛直から角度 θ だけ傾け、その位置から静かに手を離れた。 Q が最初に鉛直方向の最下点の位置に到達したとき、 P はすべることなく傾き始めた。このことから Q の質量 m は よりも大きい。

最後に、図4のように、 P の上面に質量 $2m$ の小物体 R をおき、点 C' の位置に長さ L の軽い棒を角 $\angle AC'D$ が 45° となるように固定した。床から点 C' までの高さは x とする。棒の先端には、大きさと質量が無視できる小滑車を取り付けられている。小滑車の D の位置にひもをかけて、ひもが水平になるようにひもの一端を R に、他端には Q を取り付けた。ここで、 P と R の間の動摩擦係数を $\frac{1}{5}$ とする。はじめ、 R を点 A から $\frac{3a}{4}$ の位置におき、時刻 $t = 0$ で静かに手を離れたところ、 P は静止したままで R は P の上面をすべりはじめた。このことから、水平面と P との間の静止摩擦係数は よりも大きいことがわかる。 R が点 A から $\frac{a}{4}$ の位置に到達したとき、 P は傾き始めた。このときの時刻は である。また、 x を a, b, m, M を用いて表すと となる。

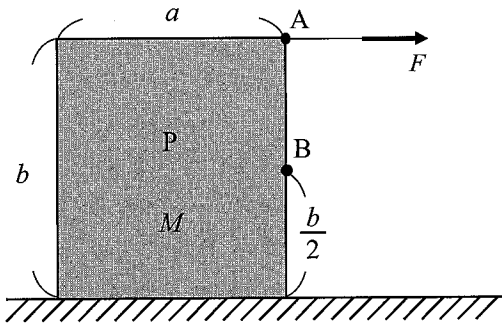


图 1

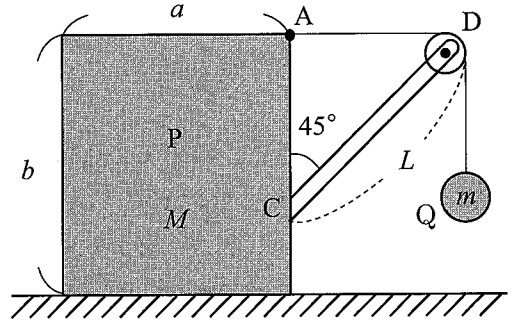


图 2

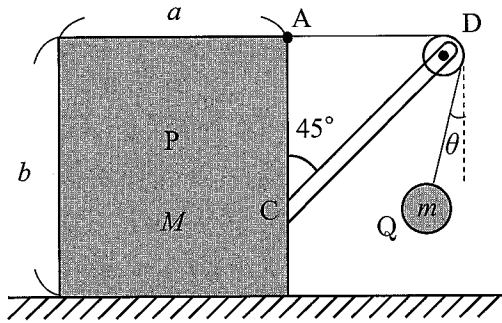


图 3

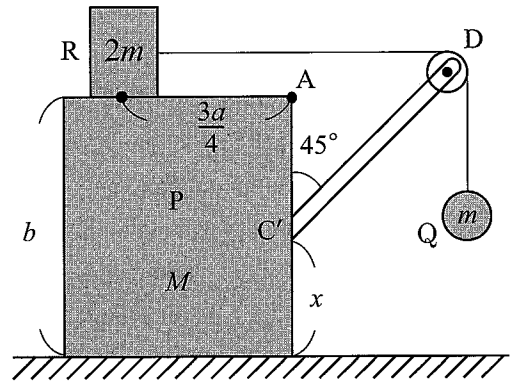


图 4

〔Ⅱ〕 次の文中の空欄（ア）～（ケ）にあてはまる式または数値を解答用紙（一）の該当する欄に記入せよ。

図1のように、電圧 E [V] の直流電源 E と、電気容量 C_1 [F], C_2 [F], C_3 [F] のコンデンサー C_1, C_2, C_3 , 抵抗値 R [Ω] の抵抗 R , 自己インダクタンス L [H] のコイル L と、スイッチ S_1, S_2, S_3 を接続する。はじめ、すべてのスイッチは開いており、すべてのコンデンサーに電荷は蓄えられていないものとする。

スイッチ S_1 を閉じて十分時間が経過した後の C_1 の極板間の電位差は (ア) [V] となる。このときの C_2 の極板間の電位差を V_2 [V] とすると、 C_2 に蓄えられる静電エネルギーは (イ) [J] である。

つぎに、スイッチ S_1 を開き、その後スイッチ S_2 を閉じた。 S_2 を閉じた直後に抵抗 R に流れる電流の大きさは (ウ) [A] である。また S_2 を閉じてから十分時間が経過した後の、コンデンサー C_2 の極板間の電位差は C_2, C_3, V_2 を用いて表すと、 (エ) [V] となる。 S_2 を閉じてから電流が流れなくなるまでの間に、抵抗 R で消費されるエネルギーは、 C_2, C_3, V_2 を用いて表すと、 (オ) [J] である。

再びスイッチ S_2 を開いた。 C_1 と C_2 がそれまでに蓄えていた電気量が保存していることを考えて、その後スイッチ S_1 を閉じて十分時間が経過した後の電気量を考えれば、 C_2 の極板間の電位差は $V_2' =$ (カ) [V] になる。

最後に、スイッチ S_1 を開いた後スイッチ S_3 を閉じたところ、コイル L には振動電流が流れた。 S_3 を閉じた直後に L に流れる電流の大きさは (キ) [A] である。振動電流の振動数は (ク) [Hz], 振動電流の振幅は、 V_2' を用いて、 (ケ) [A] と表される。

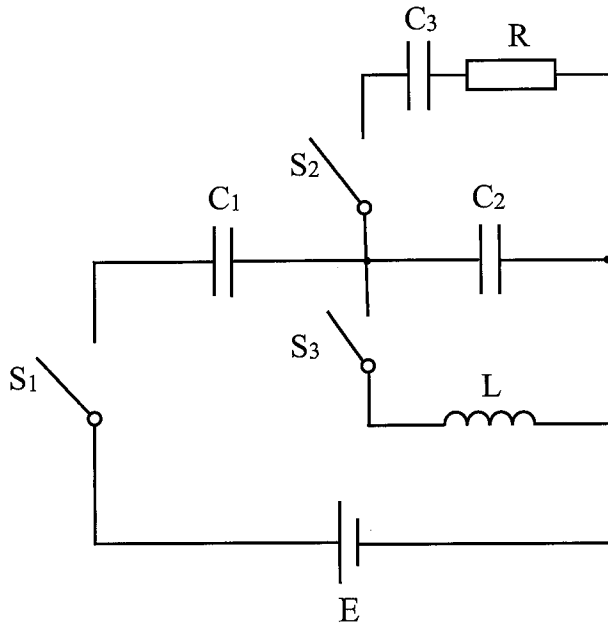


图 1

〔 III 〕 次の文中の空欄 (ア) ~ (カ) にあてはまる式または数値を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。また、解答図 (III-A) に適切なグラフの概形を描け。

図 1 のように、距離 d [m] 離れた 2 点 A, B に置かれた 2 つの音源 S_A, S_B が同じ振動数で球面波の音を発している。空気中の音速を V [m/s] とし、A から B に向かう向きを x 軸正の向きとする。また、AB 間の midpoint O で x 軸と垂直に交わるように y 軸をとる。以下では、マイクロフォンで音波の圧力変化を観測するとき、2 つの音源からのそれぞれの音波が、観測点において常に一定値 a の振幅をもつ正弦波となるように音源を調整した。また、音源における音波の反射は無視できるものとする。いま、 S_A と S_B が同位相で音波を発している。O から y 軸正の向きに距離 l [m] だけ離れた点 C に置かれたマイクロフォンを、 x 軸と平行に x 軸負の向きにゆっくり動かしながら観測したところ、音の大きさは一度極小となった後に、C から $\frac{d}{2}$ [m] 離れた点 D において極大となった。 S_A と S_B が発した音波は D において位相差 [rad] となり、振動数は d, l, V を用いて [Hz] と表される。

つぎに、マイクロフォンを点 D から y 軸と平行に y 軸負の向きに向かってゆっくり動かしたところ、音の大きさは一度極小となった後に、点 E において極大となり、さらに動かし続けたところ、再び極小となった後に、点 A において極大となった。以上のことから、 d は l を用いて $d =$ [m] と表せ、AE 間の距離は l の 倍となる。マイクロフォンを A から y 軸と平行に y 軸正の向きにゆっくり動かし続けた場合に、観測される音波の振幅の変化の概形を解答図 (III-A) に描け。

最後に、マイクロフォンを点 A に戻し、音源 S_B が音波を発するときの位相を音源 S_A に対して $\frac{\pi}{2}$ だけ遅らせた。A において観測される音波の振幅は、2 つの音源が同位相で音波を発したときの振幅の 倍となる。マイクロフォンを再び A から y 軸と平行に y 軸正の向きにゆっくり動かしたところ、点 F においてはじめて音の大きさは極大になった。このとき AF 間の距離は l の 倍となる。

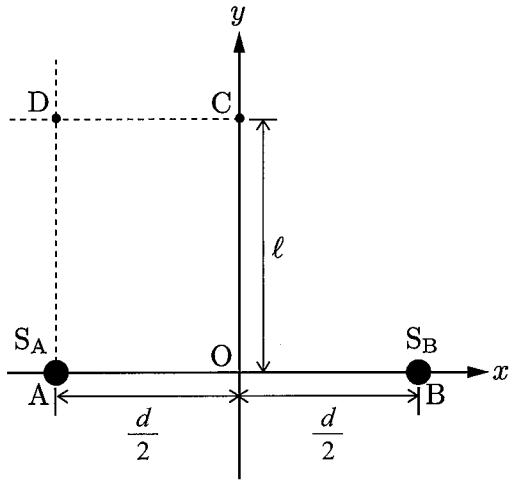


图 1

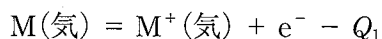
化 学

[注意]

原子量は、 $H = 1.00$, $C = 12.0$, $O = 16.0$, $Cu = 63.6$ とし、アボガドロ定数は $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ 、ファラデー定数は $9.6 \times 10^4 \text{C}/\text{mol}$ とする。必要ならば $\sqrt{2} = 1.4$, $\sqrt{3} = 1.7$ を用いよ。

[I] 次の文を読み、問い(1)～(7)の答えを、解答用紙(一)の[I]の該当する欄に記入せよ。

原子の最外殻から1個の電子を取り去り、1価の陽イオンにするために必要な最小のエネルギーを、原子の(あ)という。1 molの原子Mの(あ)を Q_1 [kJ] とすると、気体状態の原子Mがイオン化されて M^+ イオンになる反応を、次のように熱化学方程式で表すことができる。



原子が1個の電子を受け取り、1価の陰イオンになるときに放出するエネルギーを、原子の(い)という。1 molの原子Xの(い)を Q_2 [kJ] とすると、気体状態の原子Xがイオン化されて X^- イオンになる反応の熱化学方程式は、

$$\boxed{\hspace{10em} \text{①} \hspace{10em}}$$

となる。したがって、 $\boxed{\text{②}}$ の値が大きいほど、原子MからXに電子が移動しやすい。このようなMとXの組み合わせである塩化ナトリウム NaCl では、イオン結合によって Na^+ イオンと Cl^- イオンが規則的に配列している。このような結晶をイオン結晶という。

Cl 原子は最外殻に7個の価電子をもち、そのうちの1個が(う)電子である。2個の Cl 原子が互いに(う)電子を共有して結合し、塩素分子 Cl_2 となる。このような結合を共有結合という。 N 原子は(え)個の価電子のうち3個が(う)電子であるので、窒素分子 N_2 ではこれらを互いに共有して三重結合がつくられる。 N_2 分子間に働く(お)は弱いので、 N_2 の融点 (-210°C) や沸点 (-196°C) は低い。(お)のような分子間力が働いて分子が規則正しく配列し、固体となったものを分子結晶という。一方、共有結合が物質全体にわたり、原子が規則配列した固体を

共有結合の結晶という。

塩化水素分子 HCl における H と Cl の結合も共有結合とみなしてよいが、それぞれの原子の電子を引きよせる度合いに差があるので、分子に極性が生じる。この電子を引きよせる度合いを数値で表したものを (か) という。

(あ) の小さい元素の単体は一般に金属である。金属結晶内では、原子から放出された電子が特定の原子にとどまらず、結晶中を移動する。この電子を (き) 電子と呼ぶ。金属結晶における結合は金属結合と呼ばれ、結晶中のすべての原子に (き) 電子が共有された結合とみなすこともできる。金箔やアルミホイルのように金属を薄い膜にできるのは、(き) 電子の働きによって延性や展性が大きくなるためである。

黒鉛は、 C 原子が3個の価電子を使って隣接する3個の他の C 原子と結合する共有結合の結晶であり、平面層状構造（六角網目状構造）をつくる。ただし、平面構造どうしは互いに弱い分子間力でつながるので、黒鉛ははがれやすく、比較的やわらかい。さらに各 C 原子に残った価電子は、平面構造の中で (き) 電子の性質をもつので、黒鉛は電気をよく通す。

一方、窒化ホウ素 BN も B 原子が隣接する3個の N 原子と結合し、 B と N が交互に並んで平面層状構造を形成するものがある。 B と N を区別しなければ黒鉛と同様の平面層状構造である。結晶構造がよく似ているため、 BN もはがれやすく、やわらかいが、ほとんど電気を通さず白色であるなど、黒鉛と異なった性質を示すことが知られている。

(1) 文中の (あ) ~ (き) に最も適する語句または数字を答えよ。

(2) 空欄①にあてはまる熱化学方程式を答えよ。

(3) 空欄②にあてはまる式として最も適切なものを次から選び、記号で答えよ。

(a) $Q_1 + Q_2$ (b) $Q_1 - Q_2$

(c) $-Q_1 + Q_2$ (d) $-Q_1 - Q_2$

- (4) 次の固体は (a) イオン結晶, (b) 分子結晶, (c) 共有結合の結晶のいずれに分類されるか, その記号を答えよ。ただし, (a) ~ (c) のいずれにも該当しない場合は解答欄に×を記入せよ。

① ケイ素 ② 氷 ③ 黄銅 ④ 酸化マグネシウム

- (5) 次の分子のうち, 極性分子をすべて選び, 記号で答えよ。

(a) 二酸化炭素 (b) 硫化水素 (c) アンモニア

(d) ベンゼン (e) フマル酸

- (6) 面積が 1.0 cm^2 の2枚の平板状の白金電極を用い, 一定の電流値 I [A] で硫酸酸性の硫酸銅(II)水溶液を時間 t [s] だけ電解し, 金属銅の薄い膜をつくった。なお, 実験に用いた Pt 電極の片面は電気を通さない絶縁材で覆われており, 電気を通すもう一方の面にのみ, 均一な厚みで面積 1.0 cm^2 の Cu 膜を析出させた。このとき得られた Cu 膜は, 図1に示した金属銅の結晶 (面心立方格子) 内の原子層 (図1の灰色の面) にちょうど平行であった。Cu の単位格子の1辺の長さを a [cm], Cu, O および H 原子のモル質量をそれぞれ M_1 [g/mol], M_2 [g/mol], M_3 [g/mol] とし, Pt 電極の厚み, 発生した気体の溶解, 水の蒸発は無視して, 次の問い (ア) ~ (エ) に答えよ。

(ア) 陽極で起こる反応のイオン反応式を記せ。

(イ) 硫酸銅(II)水溶液の重量減少 m [g] を I , t を含む式で表せ。ただし, M_1 , M_2 , M_3 のうち必要なもののみを用い, ファラデー定数は F [C/mol] とせよ。

(ウ) 金属銅の密度 d [g/cm³] を, a および M_1 を含む式で表せ。ただし, アボガドロ定数は N_A [/mol] とせよ。

(エ) $I = 0.10 \text{ A}$, $t = 1.0 \times 10^2 \text{ s}$ のとき, 得られた Cu 膜は何層の原子層が重なったものであるか, 有効数字2桁で求めよ。ただし, $a = 3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$ である。

- (7) 次の文章は、本文の下線部に示した **BN** の性質について考察したものである。空欄③に入る適切な内容を **20** 字程度で記せ。ただし、(か), (き) は本文中の語句と同じである。

[考察]

C と比べて **B** の価電子は1つ少なく、**N** は1つ多いため、同原子数あたりの価電子数は、黒鉛と **BN** で同じである。したがって、黒鉛と同様の共有結合で平面層状構造を形成し、残った価電子の数も同じである。しかし、**B** と比べて **N** の (か) が大きく、残った価電子が ③ ため、(き) 電子の性質を示さない。したがって、**BN** は電気を通しにくい。さらに、**BN** が白色であるのは、残った価電子がこのような状態になると、光を吸収しにくくなるためと考えられる。

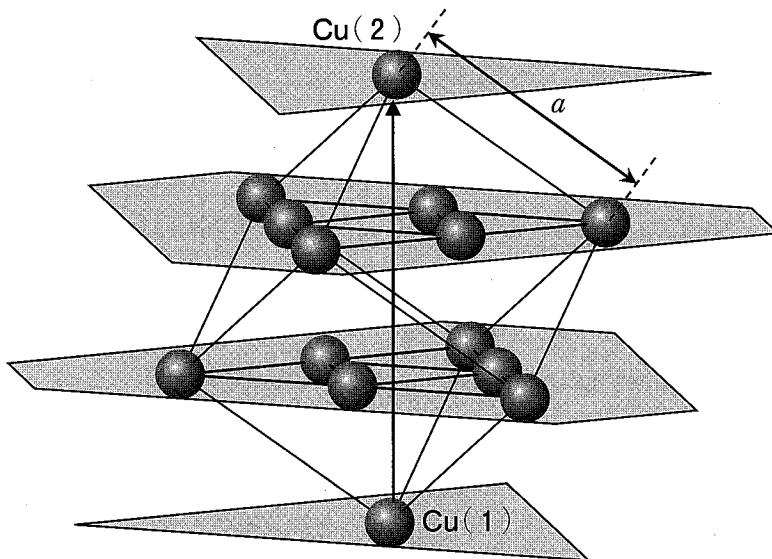


図1 金属銅の面心立方格子と原子層（灰色）の模式図

図中の2つの銅原子 **Cu(1)**、**Cu(2)** を結ぶ方向と各原子層は垂直であり、原子層間の間隔は一定である。

(50点)

〔Ⅱ〕 次の文を読み、問い（１）～（５）の答えを、解答用紙（一）の〔Ⅱ〕の該当する欄に記入せよ。なお気体は理想気体として考えよ。

水と水蒸気が共存して気液平衡にあるときの水蒸気の圧力を、水の飽和蒸気圧という。飽和蒸気圧はほかの気体が共存しても変わらない。図１に水、エタノールおよびジメチルエーテルの蒸気圧曲線を示した。なおエタノールとジメチルエーテルは（ア）異性体の関係にある。飽和蒸気圧は温度が高いほど大きくなるが、これは液体中で大きな運動エネルギーをもつ分子の割合が増えるためである。飽和蒸気圧が大気圧と等しくなったときに沸騰がおこる。水やエタノールは、分子間に水素結合が形成されるため、同程度の分子量の炭化水素に比べ沸点が（イ）い。

ピストンのついたシリンダー（容積可変のシリンダー）の内部が窒素で満たされ、温度が 60°C 、圧力が 100 kPa に保たれている（図２）。ここに少量の水を入れ、同じ温度と圧力に保ったところ、水の一部が蒸発し気液平衡に達した。水の体積は気体の体積に比べて無視できるとして考えると、水の注入直後から水が気液平衡に達するまで、シリンダーの容積は（ウ）くなり、水が気液平衡に達したときの水蒸気分圧は図１から（エ） kPa 、窒素分圧は（オ） kPa となる。これとは別に 60°C 、 100 kPa の窒素の入った密閉された容器に水を注入した（図３）。図３の容器において系の温度は 60°C に保たれ、容器の容積は一定である。この容器で水が気液平衡に達したときの水蒸気分圧は（カ） kPa 、窒素分圧は（キ） kPa となる。

湿度は空気中の水蒸気の割合を表す用語で、相対湿度はある温度における空気中の水蒸気分圧をその温度の水の飽和蒸気圧で割ったものの百分率で表される。例えば 60°C の空気中の水蒸気分圧が（ク） kPa であるとき相対湿度 20.0% となる。（ク） kPa が相対湿度 100% である温度は（ケ） $^{\circ}\text{C}$ である。

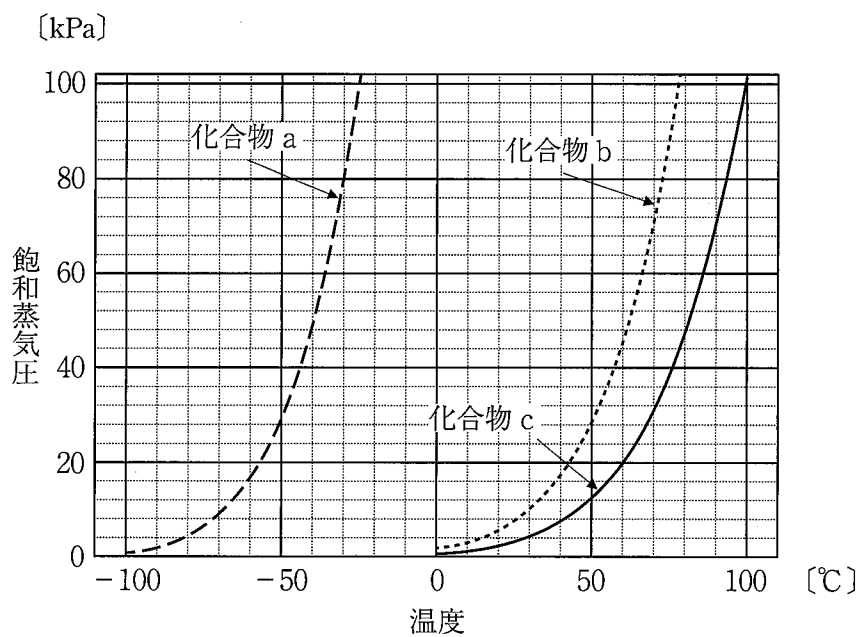


図1 蒸気圧曲線

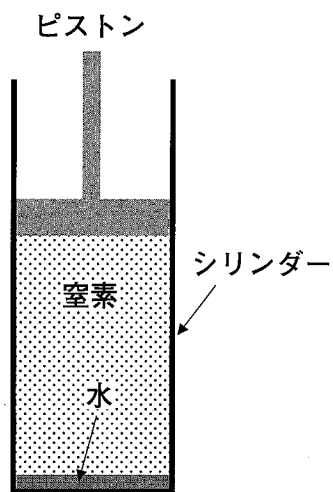


図2 容積可変のシリンダー

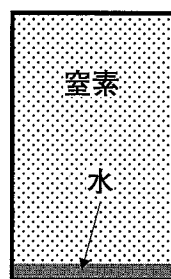


図3 容積一定の容器

- (1) 図1中の化合物 a, b, c の化合物名を記せ。
- (2) 文中の空欄 (ア) ~ (ケ) に当てはまる最も適切な語句および数値を記せ。なお数値で解答する場合は整数で答えよ。ピストンの重さ、容器中の液体の水の体積は無視でき、窒素の液体の水への溶解も無視できるものとする。また、全圧にかかわらず水の飽和蒸気圧は一定と見なすことができるものとする。
- (3) 下線部において容器中で水が気液平衡に達するまでに、液体の水の質量が 0.900 g 減少した。このときの窒素の量を標準状態での体積 [L] として有効数字2桁で求めよ。標準状態における気体 1.00 mol の体積は 22.4 L であり、容器中の液体の水の体積は無視できるものとする。
- (4) エタノールに関して次の問いに答えよ。
- (i) エチレンへの水の付加によってエタノールが生成する反応を化学反応式で示せ。ただし有機化合物は示性式で示すこと。
- (ii) 酵母によるアルコール発酵によって 1 mol のグルコース ($C_6H_{12}O_6$) からエタノールと二酸化炭素が理論的にそれぞれ何 mol 生成するか。ただしエタノールと二酸化炭素以外の化合物は生成しないものとする。
- (iii) 57.5 mL のエタノールと 42.5 mL の水を混合したところ、この混合溶液の体積は 100 mL よりも少なく、密度は 0.920 g/mL であった。純粋なエタノールおよび水の密度をそれぞれ 0.800 g/mL および 1.00 g/mL として、この混合溶液の体積 [mL] を有効数字3桁で求めよ。また混合溶液中のエタノールのモル濃度 [mol/L] を有効数字3桁で求めよ。ただし混合過程で温度変化はなかったものとする。

- (5) ジメチルエーテルに関して次の問いに答えよ。ただし必要があれば表1の生成熱および燃焼熱を用いよ。
- (i) メタノールの脱水縮合によってジメチルエーテルが生成する反応を化学反応式で示せ。ただし有機化合物は示性式で示すこと。
- (ii) ジメチルエーテル(気)の生成熱 [kJ/mol] を整数値で求めよ。
- (iii) ジメチルエーテル(気)10.0 molを燃焼したところ、すべてのジメチルエーテルが反応し、二酸化炭素(気)と一酸化炭素(気)がモル比で9 : 1の割合で生じた。このときに消費した酸素の物質量 [mol] および生じる反応熱 [kJ] をそれぞれ有効数字2桁で求めよ。

表1 生成熱と燃焼熱

| | | |
|--------------|-------------|------|
| 生成熱 [kJ/mol] | 水(液) | 286 |
| | 二酸化炭素(気) | 394 |
| | 一酸化炭素(気) | 111 |
| 燃焼熱 [kJ/mol] | ジメチルエーテル(気) | 1462 |

(50点)

〔Ⅲ〕 次の文を読み、問い（１）～（１０）の答えを、解答用紙（二）の〔Ⅲ〕の該当する欄に記入せよ。

デンプンは植物中で光合成によって作られ、デンプン粒として貯蔵される。1800年代の初めには、酸を触媒としてデンプンを加水分解すると、単糖であるグルコースが得られることが分かっていた。デンプン粒は、その分子が比較的規則正しく並んだ固い粒子として存在し、冷水にはほとんど溶けない。しかし、温水に浸けておくと、一部が溶け出し、ねばねばとした糊状になる（糊化）。温水に溶けた成分は、アミロースであり、温水に不溶な成分は、アミロペクチンである。すなわち、温水を加えた状態では、アミロースは、（あ）の状態に、アミロペクチンは、（い）の状態にある。糊化したデンプンは、温度を下げると糊化とは逆の現象が起り、不透明で硬い状態になる（老化）。デンプンのアミロースとアミロペクチンの比は、植物の種類や生育環境によって変化する。アミロースの比率によって糊化や老化は影響を受け、a)アミロースを多く含むデンプンほど老化の状態に速く進む。

デンプンに温水を加えるとコロイドになることは知られていたが、デンプンが高分子化合物であることがわかるまでには、様々な議論があった。イギリスのハースは、1920年ごろデンプンの分子量が比較的小さいことを発表した。グルコースを図1のように書くのは、ハースの提案したハース式になっている。ドイツのベルグマンは、アミロースをピリジン中で無水酢酸と反応させ、トリアセチルアミロースを合成した。b)得られた化合物の凝固点降下の実験から、アミロースの分子量を推定したが、正しい分子量を求めることはできなかった。当時、セルロースやデンプンのc)結晶の単位格子の大きさは小さく高分子ではないと主張されたが、この主張も誤りであることが分かった。一方、ドイツのシュタウディングーは、アミロースの水溶液の粘度の研究から、アミロースは高分子化合物であり（う）コロイドであると主張した。ゴムやセルロースでもコロイドの種類について同じような論争があった。

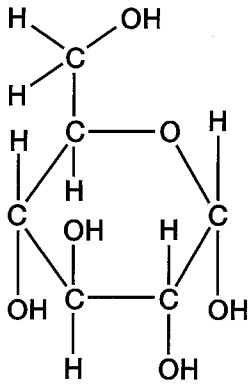


図1 α -グルコースの構造式

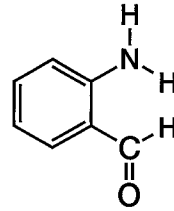


図2 構造式の例

- (1) 文中の空欄 (あ) ~ (う) にあてはまる最も適切な語句を、次の語群から選び答えよ。

語群：ゲル 原子 焼結 浸透 ゾル 転化
 分子 風解 分極 変性 臨界点

- (2) 下線部 a) について、アミロースを多く含むデンプンが老化の状態に速く進む理由として正しいものを次の文の中から1つ選び記号で答えよ。

- (A) アミロースは枝分かれした構造を含むので低温にすると立体網目構造が発達するため
 (B) アミロースは直鎖状構造をもつので低温にすると分子が並びやすいため
 (C) アミロースはカルボキシ基を多く含むので低温にすると水素結合をつくりやすいため
 (D) アミロースはアミロペクチンよりも酸化分解が進みやすいため

(3) 下線部 b) のベルグマンの実験について、次の問い (i) ~ (iii) に答えよ。

(i) ベルグマンは合成して得られたトリアセチルアミロース 0.0214 g をフェノール 14.0 g に溶解すると、凝固点が 0.037 K 降下することを見出した。この実験から、分子量はいくらであると推定したか。有効数字 2 桁で求めよ。ただし、フェノールのモル凝固点降下は 7.40 K kg/mol である。

(ii) 実験で求めた分子量が正しいとすると、アミロース 1 分子にはいくつのグルコース単位が含まれているか。整数で答えよ。

(iii) この実験で求めたグルコース単位の数に基づけば、アミロースのコロイドはどのようなコロイドと考えられるか。コロイドの種類を答えよ。

(4) 下線部 c) について、分子の大きさと結晶の単位格子の大きさに関する次の文章の空欄 (ア), (イ) に最も適する語句を答えよ。

(ア) については、結晶の種類を答えること。

低分子の結晶は、1つあるいは、複数の分子が単位格子の中に含まれる (ア) であり、1つの分子の体積よりも単位格子の体積の方が (イ)。一方、高分子の結晶では、1つの分子が複数の単位格子にわたって結晶となるので、単位格子の体積と1つの分子の体積 (もしくは分子量) とは無関係である。

(5) デンプンをアミラーゼを触媒として加水分解すると、二糖であるマルトースが得られる。マルトースの構造式を図 1 にならって α 型の構造で示せ。

(6) デンプンを加水分解して得られる、マルトース以外の二糖の構造式を図 1 にならって α 型の構造で示せ。

- (7) グルコースとフェーリング液との反応をイオン反応式で示せ。フェーリング液の銅イオンは、 Cu^{2+} で表されるものとせよ。有機化合物は構造式で示すこと。
- (8) セルロースは水には溶けないが、触媒を用いて次亜塩素酸ナトリウムと反応させると、 $-\text{CH}_2\text{OH}$ の部分が $-\text{COOH}$ に酸化される反応がおこり、水に溶けるようになる。この反応に関連して、次の問い(i) ~ (iii) に答えよ。有機化合物は示性式で示すこと。
- (i) 次亜塩素酸ナトリウムの酸化剤としての反応を電子を用いたイオン反応式で示せ。
- (ii) エタノールが酢酸に酸化される反応を電子を用いたイオン反応式で示せ。
- (iii) 次亜塩素酸ナトリウムとエタノールとの反応で酢酸が生成する化学反応式を示せ。
- (9) リンゴ酸 (分子式 $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$) は、カルボキシ基を2つ、ヒドロキシ基を1つ、不斉炭素原子を1つもつ。リンゴ酸の構造式を図2の構造式の例にならって答えよ。
- (10) リンゴ酸について述べた次の文で正しいものをすべて選び、記号で答えよ。
- (A) 水溶液は酸性を示す
- (B) ヒドロキシ基をアミノ基に置換すると α -アミノ酸になる
- (C) 双性イオンになる
- (D) 無水マレイン酸と水との反応で作ることができる

(50点)

生 物

〔I〕 次の文章を読み、問い（1）～（7）の答えを解答用紙（一）の〔I〕の該当する欄に記入せよ。

窒素は生命活動の維持に不可欠の元素である。窒素は窒素ガスのほか、無機化合物や有機化合物として存在し、生態系の中を循環している。

植物は、（あ）を通じて土壤中の窒素を吸収する。植物が吸収するのは無機窒素化合物であるが、土壤中に含まれる窒素のほとんどは有機化合物として存在する。^(A)有機窒素化合物を無機窒素化合物に変換するはたらきは、土壤中の生物が担っている。

無機窒素化合物は、土壤中で（い）イオン、（う）イオン、（え）イオンとして存在する。（い）イオンは（お）のはたらきにより（う）イオンに変化するが、（う）イオンは（か）のはたらきにより（え）イオンに速やかに変化する。これら^(B)一連の無機窒素化合物の変換プロセスは（き）とよばれる。

窒素は、植物に吸収されると^(C)植物体内で有機化合物に変換されたのち、エネルギーの通貨とよばれるATP、^(D)遺伝情報を担うDNA、タンパク質などに（く）され、生命活動の維持に不可欠なはたらきを担う。このため、^(E)植物の光合成による物質の生産量は、植物が利用可能な窒素の量により制限されることが知られている。植物を食物として利用する動物も同様に、植物に由来する窒素化合物を（く）することで生活を営んでいる。

（1）本文中の空欄（あ）～（く）にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群から一つ選び、解答欄に記入せよ。

（語群）

同化、硝酸菌、アンモニア、葉、異化、亜硝酸菌、亜硝酸、硫酸、塩酸、茎、アンモニウム、消化、硝化、硝酸、根

(2) 下線部 (A) に関して、このはたらきを担う生物の総称を答えよ。

(3) 下線部 (B) に関して、このプロセスを担う微生物について述べた次の文章の空欄 (け) ~ (さ) にあてはまるもっとも適切な語句の組み合わせを、表1の選択肢 (ア) ~ (ク) から一つ選び、記号で答えよ。

この微生物は、(け) を行う (こ) 生物であり、ホイタッカーの五界説では (さ) に属する。

表1 選択肢

| | (け) | (こ) | (さ) |
|-----|------|------|-------|
| (ア) | 光合成 | 独立栄養 | 菌界 |
| (イ) | 光合成 | 独立栄養 | 原核生物界 |
| (ウ) | 光合成 | 従属栄養 | 菌界 |
| (エ) | 光合成 | 従属栄養 | 原核生物界 |
| (オ) | 化学合成 | 独立栄養 | 菌界 |
| (カ) | 化学合成 | 独立栄養 | 原核生物界 |
| (キ) | 化学合成 | 従属栄養 | 菌界 |
| (ク) | 化学合成 | 従属栄養 | 原核生物界 |

(4) 下線部 (C) に関して、無機窒素化合物が有機窒素化合物に変換される植物体内の器官の名称を一つ答えよ。また、無機窒素化合物から最初に合成される有機窒素化合物の名称と、それに関与する酵素の名称を答えよ。

(5) 下線部 (D) の物質に関して、次の問い①～②を読み、適切な語句を以下の語群 (ア) ～ (ス) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

① DNAの構成単位であるヌクレオチドは、三つの構成要素からなる。それらを記号で答えよ。その三つの構成要素のなかで、窒素を含むものをすべて記号で答えよ。

② タンパク質の構成単位となる物質の名称を記号で答えよ。その物質は一つの炭素原子に水素原子と三つの構成要素が結合した共通の構造をもつ。その三つの構成要素をすべて記号で答えよ。

(語群)

(ア) リボース

(イ) メチル基

(ウ) 硫酸

(エ) アミノ酸

(オ) アミノ基

(カ) 糖鎖

(キ) 側鎖

(ク) デオキシリボース

(ケ) 塩基

(コ) リン酸

(サ) リン脂質

(シ) クエン酸

(ス) カルボキシ基

(6) 下線部 (E) の現象は、溶岩流の跡地や氷河の後退域といった土壤がまったくない裸地で顕著に認められる。それに関する次の問い①～③に答えよ。

① これらのような裸地から始まる遷移は何とよばれるか、その名称を答えよ。

② 鹿児島県の桜島や伊豆諸島の三宅島では、これまで複数回にわたる噴火の記録が残っており、形成された年代の異なる溶岩流の跡地がモザイク状に分布している。これらの跡地では、形成された年代の違いにより、草原、森林、低木林、荒原がみられる。土壤中の窒素量が多いと考えられる順に、この4タイプの植生を並べよ。また、4タイプの植生間で、土壤中の窒素量になぜこのような違いが生じたと考えられるか、句読点を含め60字以内で述べよ。

③ これら4タイプの植生間にみられる土壤中の窒素量の違いが、植物の生産量に影響していることを実際に確かめたい。どのような実験を組めばよいと考えられるか、句読点を含め70字以内で述べよ。

(7) 動物が利用可能な窒素源として正しいものを以下の選択肢 (ア) ～ (ウ) から一つ選び、記号で答えよ。

(ア) 無機窒素化合物のみ

(イ) 有機窒素化合物のみ

(ウ) 無機窒素化合物と有機窒素化合物

(50点)

〔Ⅱ〕 次の文章を読み、問い（１）～（６）の答えを解答用紙（一）の〔Ⅱ〕の該当する欄に記入せよ。

真核細胞は細胞膜によって外界と仕切られており、細胞内には膜構造をもつ細胞小器官が存在している。細胞膜や細胞小器官を構成する膜は生体膜と呼ばれており、基本的に同じ構造を有している。生体膜は（ a ）の二重層からなり、そこにさまざまな膜タンパク質が配置されている。水分子やアミノ酸・糖などのように極性のある物質や、イオンのように電荷をもった物質は生体膜を通過しにくいですが、これらの物質は生体膜に存在する輸送タンパク質を介して生体膜を通過することができる。このように、生体膜がもつ特定の物質を透過させる性質を（ b ）という。

生体膜を介した物質の移動は、（ B ）エネルギーを使わないチャネルや担体、エネルギーを使うポンプなどの輸送タンパク質によって行われる。チャネルや担体で行われる物質輸送は濃度勾配に従うことから、（ c ）と呼ばれる。これに対し、ポンプによる物質輸送は濃度勾配に逆らって起こることから、（ d ）と呼ばれる。

細胞膜や輸送タンパク質を通過できないタンパク質などの大きな分子は、細胞膜の陥入や細胞内小胞が細胞膜と融合することによって輸送される。細胞膜の陥入による物質の取り込みは、（ e ）と呼ばれ、細胞内小胞が細胞膜と融合し、内部のホルモンなどの物質を細胞外へ放出する現象は、（ f ）と呼ばれる。一方、細胞内で生じた不要なタンパク質や細胞小器官を処理する場合、これらの物質は（ a ）からなる二重膜で包まれ、小胞が形成される。この小胞が（ g ）と融合することによって内容物が分解され、生じたアミノ酸等は再利用される。この現象は（ h ）と呼ばれる。

（１）本文中の空欄（ a ）～（ h ）にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。

- (2) 本文中の空欄 (a) にあてはまるものは、相反する性質をもつ2つの部分から構成されている。この2つの性質を示す語句を答えよ。また、この2つの部分がどのように配置されて生体膜が形成されるのかを、句読点を含めて60字以内で述べよ。
- (3) 下線部 (A) に関して述べた次の文章を読み、問い①と②に答えよ。

生体膜に配置されている膜タンパク質は、膜の上を比較的自由に動くことができる。このような生体膜の構造モデルを (イ) モデルという。膜タンパク質が生体膜上を水平移動する現象は、側方拡散と呼ばれている。膜タンパク質の側方拡散の様子を観察するために、図1に示すように以下の実験を行った。蛍光標識した膜タンパク質 X を細胞膜に発現させた細胞を用意する。この細胞の限定された領域 (図1では a と表示してある) に一過的に強いレーザー光を当てその領域の蛍光を退色させ、その後の領域 a の蛍光強度を測定する。その場合、図1 A に示すように、経時的に蛍光強度が回復する様子が観察される。これは、領域 a 外から退色していない蛍光標識膜タンパク質 X が領域 a に側方拡散によって流入してくるためである。次に、X の代わりに、同じ蛍光物質で標識した膜タンパク質 Y を用いて同様の実験を行ったところ、図1 A に示すように、領域 a の蛍光強度は膜タンパク質 X の場合とは異なる経時的变化を示した。この結果から、膜タンパク質 X の側方拡散の速度は膜タンパク質 Y に比べて (ロ) ことがわかる。

次に、上記実験と同じ蛍光標識膜タンパク質 X あるいは Y を用いて、レーザー照射の条件を変えて同様の実験を行った。この実験では、領域 a に連続してレーザー光を照射し続けた。図1 B には、その時の領域 a の蛍光強度の変化の様子を示している。この時、領域 a とは異なった領域 b における蛍光強度の変化の様子を観察した。この実験で得られた結果からも、各膜タンパク質の側方拡散の速度を比較することができる。

- ① 文章中の空欄（イ）と（ロ）にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。
- ② 文章中に述べられている領域bにおける蛍光強度の変化の様子を、膜タンパク質XならびにYについて、解答用紙のそれぞれのグラフに示せ。ただし、一度退色した蛍光標識タンパク質の蛍光は測定期間中には回復しないものとする。

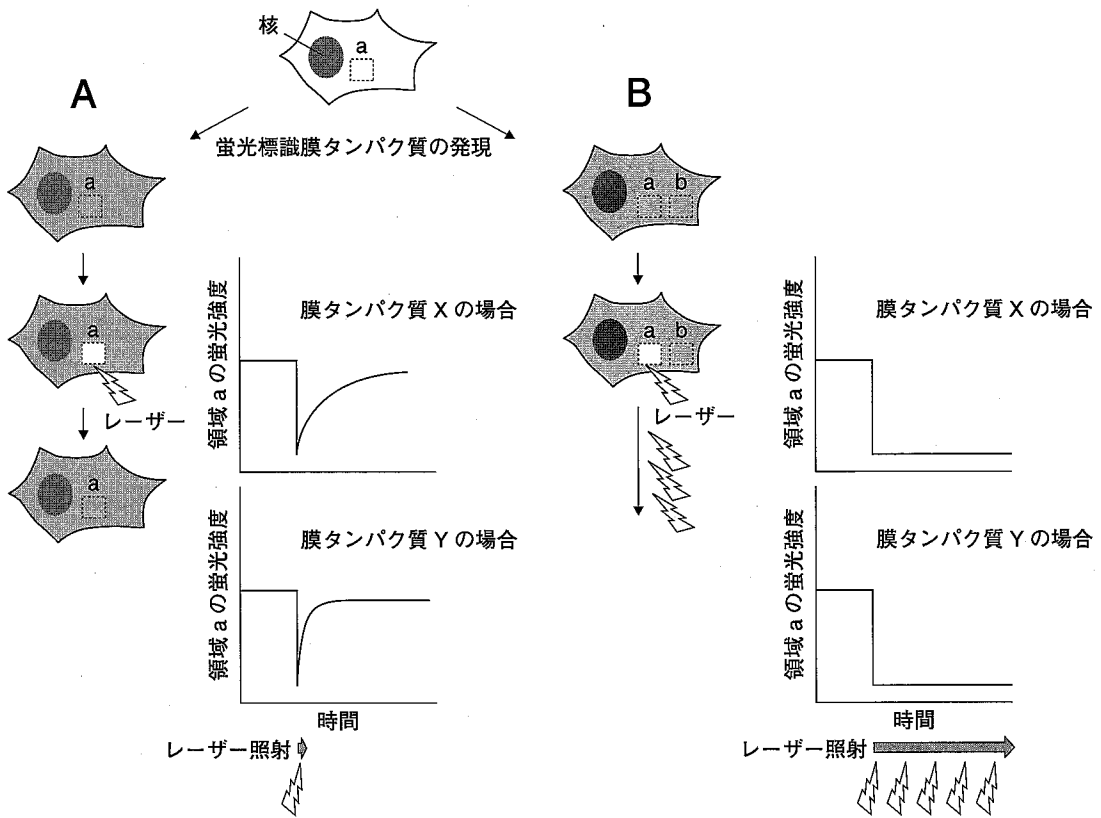


図1 膜タンパク質の側方拡散を観察する実験

- (4) 下線部 (B) に関して述べた次の文章を読み、空欄 (ハ) と (ニ) にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。

筋細胞にある (ハ) の内部にはカルシウムイオンが蓄えられている。筋細胞に刺激が与えられると、(ハ) の膜上に存在している (ニ) が開き、細胞質基質にカルシウムイオンが放出され、筋収縮が起こる。

- (5) 下線部 (B) に関して述べた次の文章を読み、問い③と④に答えよ。

腎臓の集合管の上皮細胞では、水の再吸収を促進するホルモンである (ホ) が作用すると、速やかな水の再吸収が起こる。この水の輸送を担う輸送タンパク質は (ヘ) と呼ばれ、輸送される水の量は集合管の上皮細胞膜上に存在している (ヘ) の量によって決定される。

- ③ 文章中の空欄 (ホ) と (ヘ) にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。

- ④ (ホ) は集合管の上皮細胞全体に存在している (ヘ) の量には影響を及ぼさないと仮定した場合、(ホ) によって速やかな水の再吸収が起こる機構について、句読点を含めて 80 字以内で述べよ。

(6) 下線部 (B) に関して述べた次の文章を読み、問い⑤～⑦に答えよ。

生体が腸管からグルコースを吸収する場合、グルコースは小腸粘膜上皮細胞の頂端部（腸内腔側）から細胞内に取り込まれ、側部・基部側から細胞外液さらに血液中へと輸送される。このため、グルコースが腸内腔側から側部・基部側へ輸送されるには、図2に示す2つのグルコース輸送体（AおよびB）を介して二度細胞膜を通過しなければならない。この時、腸内腔側に高濃度のナトリウムイオンが存在することが必要であることが示されている。また、ナトリウム-カリウム ATPアーゼの活性を阻害する薬物であるウアバインを側部・基部側から作用させた場合、腸内腔側から側部・基部側へのグルコースの輸送は阻害されるが、腸内腔側から作用させた場合にはこの輸送は影響を受けないことが示されている。このことから、ナトリウム-カリウム ATPアーゼは小腸粘膜上皮細胞の（ト）の細胞膜上に存在していると考えられる。すなわち、ウアバインが存在しない生理的な条件下では、グルコース輸送体Aは（チ）を駆動力としてグルコースを細胞内に輸送し、その結果グルコース輸送体Bは（リ）にしたがってグルコースを側部・基部側から細胞外へと輸送していると考えられる。ただし、ウアバインなどの低分子物質やイオンは上皮細胞間の密着結合のため細胞間隙を通過できないものとし、また腸内腔側には常に高濃度のナトリウムイオンが存在するものと仮定する。

また、小腸粘膜上皮細胞以外のほとんどの細胞、例えば筋細胞や脂肪細胞がグルコースを取り込む際には、（ヌ）を用いている。

- ⑤ 文章中の空欄（ト）にあてはまるもっとも適切な語句を語群（a）～（d）から選び、記号で答えよ。

語群：（a） 腸内腔側 （b） 側部・基底部側
 （c） 腸内腔側と側部・基底部側の両方
 （d） 細胞内輸送小胞

- ⑥ 文章中の空欄（チ）と（リ）にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。

- ⑦ 文章中の空欄（ヌ）にあてはまるもっとも適切な語句を語群（a）～（d）から選び、記号で答えよ。

語群：（a） グルコース輸送体 A
 （b） グルコース輸送体 B
 （c） グルコース輸送体 A や B とは駆動力が異なる輸送体
 （d） グルコース輸送体 A や B とは駆動力が異なるチャネル

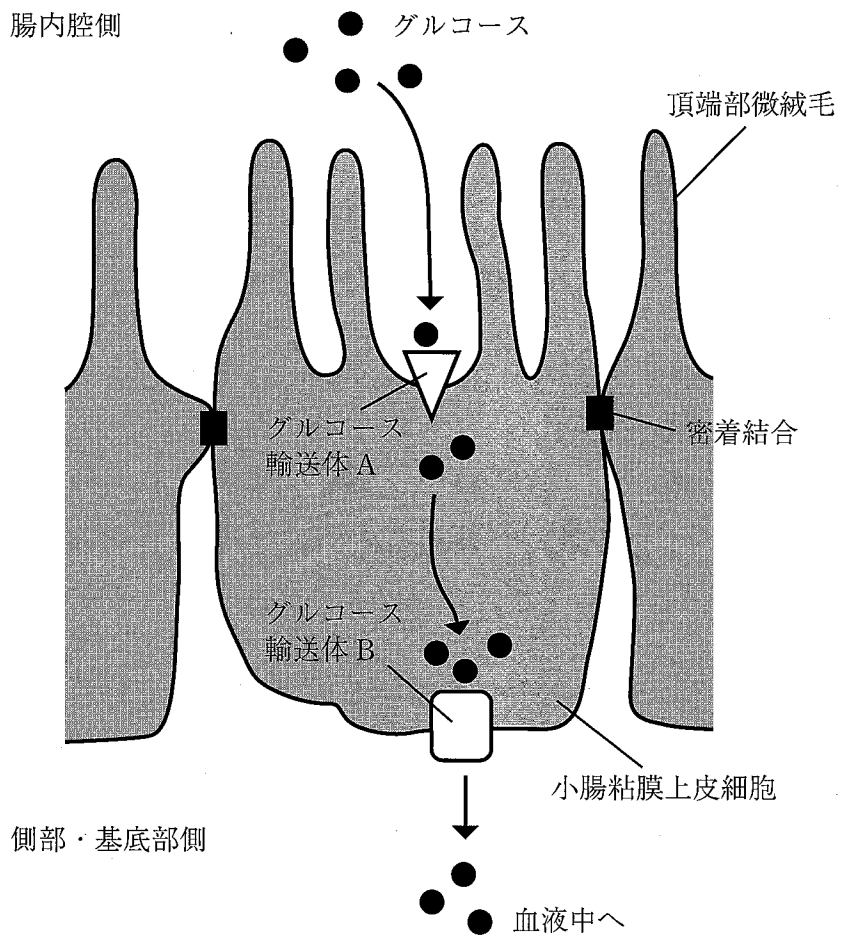


図2 小腸粘膜上皮細胞におけるグルコースの輸送

(50点)

〔Ⅲ〕 次の文章を読み、問い（１）～（８）の答えを解答用紙（二）の〔Ⅲ〕の該当する欄に記入せよ。

動物は光や音などの刺激を、眼や耳などの^(A)受容器を介して受け取り、外界からの情報を得ている。受容器は、それぞれの特定の刺激（適刺激）だけに反応する。受容器の反応が、神経により中枢神経系に伝えられることで感覚が生じる。

ヒトの^(B)眼球は直径約 25 mm の球状の器官である。外界からの光は、眼球内に取り込まれ、受容器である^(C)網膜に刺激として受け取られる。遠くのものを見るときも、近くのものを見るときも常に網膜上に像を結ぶように、眼は^(D)遠近調節することができる。

光刺激を感受する網膜にある細胞を^(E)視細胞といい、^(F)薄暗い場所ではよくはたらき色の区別には関与しない桿体細胞と、明るい場所ではたらき色の区別に関与する錐体細胞の２種類ある。錐体細胞は青錐体細胞、緑錐体細胞、赤錐体細胞の３種類あり、それぞれ 430 nm、530 nm、560 nm 付近の波長の光をよく吸収する^(G)視物質を有している。それぞれの錐体細胞が吸収した光の量に応じて反応することにより、ヒトは光の色を^(H)識別することができる。

- (1) 下線部 (A) に関して述べた次の文章の空欄 (a) ~ (d) にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群 (ア) ~ (ケ) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

光刺激に対しては網膜が受容器としてはたらき視覚となり、音は (a) が受容器となり聴覚として生体に認識される。また、体の傾きや体の回転はそれぞれ、(b) と (c) が受容器となり (d) として認識される。

- 語群：(ア) 触覚 (イ) 前庭 (ウ) 嗅覚
(エ) 核 (オ) 半規管 (カ) 嗅上皮
(キ) 味蕾 (ク) 平衡覚 (ケ) コルチ器

- (2) 下線部 (B) について、眼球の発生に関して述べた次の文章の空欄 (a) ~ (f) にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群 (ア) ~ (ソ) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

神経管は頭部レベルで拡大し脳となり、脳の一部が左右に突出して (a) を形成する。(a) は中央部分がくぼみ (b) となり、(b) は (c) に分化する。また (a) は、近傍の (d) に作用して水晶体を誘導する。水晶体は、次に (e) の上皮を誘導する。続いて、神経堤より (e) の実質 (固有層) と内皮が形成される。このように最初に分化の運命が決まった部分が残りの未分化な部分を誘導して新しい器官をつくることを (f) という。

- 語群：(ア) 網膜 (イ) 強膜
(ウ) 角膜 (エ) 内胚葉
(オ) 中胚葉 (カ) 外胚葉
(キ) 胞胚腔 (ク) 眼杯
(ケ) 毛様体 (コ) 眼胞
(サ) 原口 (シ) 脊索
(ス) 誘導の多能性 (セ) 前後軸の誘導
(ソ) 誘導の連鎖

- (3) 下線部 (C) に関して述べた次の文章の空欄 (a) ~ (f) にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群 (ア) ~ (シ) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

外界からの光は、(a) と (b) で屈折し網膜に像を結ぶ。近視は、像が網膜より (c) に結ばれることで網膜上にピントが合わないために遠くのものが見えにくくなる状態である。一般的に近視は、角膜から網膜までの長さである眼軸長が長いために生じる。そのため、近視により網膜上にピントが合わない状態は、(d) レンズを眼鏡やコンタクトレンズなどとして使用することで矯正することができる。反対に遠視は、像が網膜より (e) に結ばれる状態であり、(f) レンズにより矯正する。

- 語群：(ア) 瞳孔 (イ) 硝子体 (ウ) 毛様体
(エ) 水晶体 (オ) 角膜 (カ) チン小帯
(キ) 脈絡膜 (ク) 前後 (ケ) 凹
(コ) 凸 (サ) 手前 (シ) 奥

(4) 下線部 (D) について述べた次の文章 (ア) ~ (オ) のうち、内容が適切な文章を二つ選び、記号で答えよ。ただし、記号の順番は問わない。

(ア) 若年者においては、遠くを見るときには水晶体が薄くなることで、遠くの対象物が網膜上に像を結ぶ。

(イ) 若年者においては、近くを見るときには毛様体が収縮し、チン小帯が緊張する。

(ウ) 若年者においては、近くを見るときには毛様体が収縮することで角膜の曲率半径および水晶体の厚みを変化させることで、近くの対象物が網膜上に像を結ぶ。

(エ) 加齢により水晶体の厚みを変化させる調節能が低下すると、近くの対象物が網膜上に像を結びにくくなる。

(オ) 若年者においては、眼の遠近調節は主として毛様体の収縮・弛緩により眼軸長を変化させることによる。

(5) 下線部 (E) に関して述べた次の文章の空欄 (a) ~ (d) にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群 (ア) ~ (キ) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

図1に示した①および②は、それぞれ (a) および (b) の分布を示す。③は (c) といひ (b) が多く集まっている部位に該当する。④は (d) といひ、視神経繊維が束となり集まっている部位に該当する。

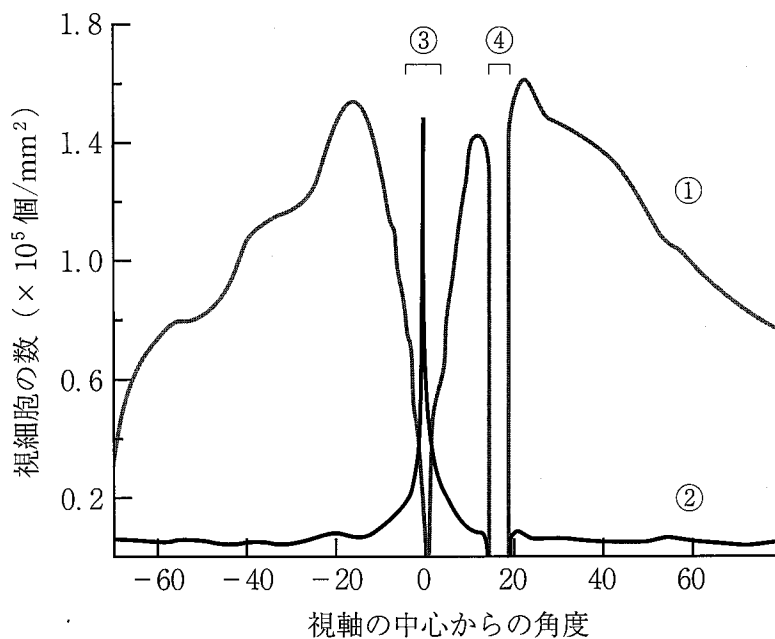
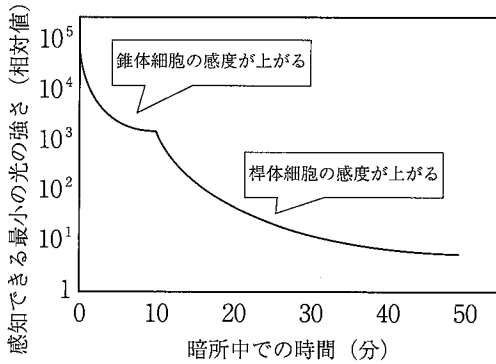


図1 視細胞の分布

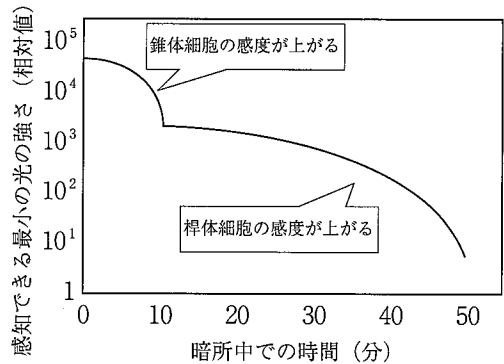
- | | | |
|-----------|--------|----------|
| 語群：(ア) 盲斑 | (イ) 黄斑 | (ウ) 桿体細胞 |
| (エ) 錐体細胞 | (オ) 視索 | (カ) 脈絡膜 |
| (キ) 視覚野 | | |

(6) 下線部 (F) について、明るい場所から急に暗い場所に入ると、はじめはよく見えないが、やがて慣れて見えてくる。この現象をなんと呼ぶか答えよ。また、この現象を示したグラフとしてもっとも適切なものを以下の①~④から一つ選び、記号で答えよ。

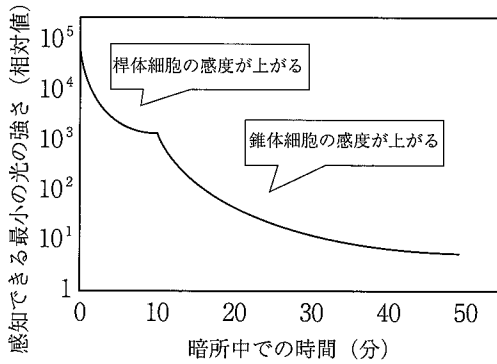
①



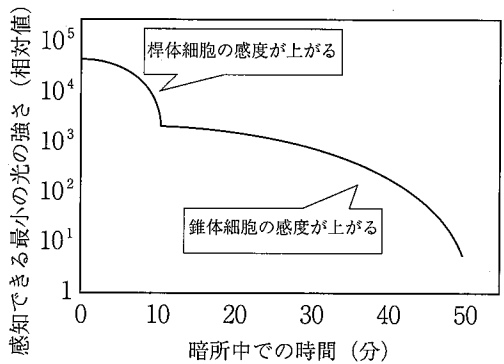
②



③



④



(7) 下線部 (G) に関して述べた次の文章の空欄 (a) ~ (d) にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の語群 (ア) ~ (シ) からそれぞれ選び、記号で答えよ。

視物質とはタンパク質であるオプシンと (a) の一種である (b) の複合体である。錐体細胞は異なる波長の光を吸収する3種類の (c) という視物質を有する。また、桿体細胞は (d) という視物質を有する。

- 語群：(ア) ビタミンA (イ) ビタミンB
(ウ) ビタミンC (エ) ビタミンD
(オ) レチナール (カ) アセチルコリン
(キ) トロポニン (ク) フォトプシン
(ケ) アクチン (コ) ロドプシン
(サ) ATP (シ) イオンチャネル

(8) 下線部(H)について、先天的(生まれながら)に錐体細胞の視物質に異常があると色覚異常となる。このような先天色覚異常の多くは先天赤緑色覚異常であり、原因となる遺伝子はX染色体上にある。先天赤緑色覚異常について述べた次の文章(ア)～(オ)のうち、内容が誤っている文章を1つ選び、記号で答えよ。ただし、保因者とは先天赤緑色覚異常の原因となる遺伝子をもっているが色覚異常がない人、非保因者とは原因となる遺伝子をもたない人とする。

- (ア) 色覚異常がある父親と、非保因者の母親から生まれた女性は、原則的に全て保因者となる。
- (イ) 色覚異常がある父親と、非保因者の母親から生まれた男性の約50%が色覚異常を有する。
- (ウ) 色覚異常がない父親と、保因者の母親から生まれた男性の約50%が色覚異常を有する。
- (エ) 色覚異常がある男性を祖父にもつ孫(男児)が、色覚異常を示すことがある。
- (オ) 色覚異常がある人の大半は男性である。

(50点)