

2020年度 入学試験問題

物理 化学 生物

物 理……………1～9ページ
 化 学……………11～23ページ
 生 物……………25～44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		
文化情報学部	文化情報学科		
生命医科学部	医工学科		
	医情報学科		
	医生命システム学科		
スポーツ健康科学部	スポーツ健康科学科		
心理学部	心理学科		

(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

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 とし、空気抵抗は無視できるとする。

図1のように、質量がいずれも M である小球 A と B を長さ l の軽くて伸び縮みしない糸の両端に取りつけ、A を 2 本の水平なレールの上に固定した。B はレールの間を通る鉛直面内でのみ運動するものとする。図2のように、糸がたるまないように B を最下点からこの鉛直面内で高さ h の位置までもちあげ、静かに手を離した。初めて B が最下点に達したとき、B の速さは 、B の加速度の大きさは 、糸の張力の大きさは である。

つぎに、B を静止させ、図3のように、質量がいずれも m である小球 C と D を長さ l の軽くて伸び縮みしない糸の両端に取りつけ、最下点で小球 B と D が接触するように C をレール上に固定した。B や D はレールの間を通る鉛直面内でのみ運動するものとする。小球 A をレール上に固定したままで、糸がたるまないように B を最下点からこの鉛直面内で高さ h の位置までもちあげ、静かに手を離すと、B は最下点で静止していた D と衝突し、衝突後に B は静止し、D が運動を始めた。衝突直後の D の速さは である。B と D の間のはね返り係数を m, M を用いて表すと である。

最後に、図4のように、A をレール上に固定したままで、最下点で B と D が接触するように、今度は C を固定せずにレール上に置き、B, C, D を静止させた。C とレールの間摩擦は無視することができ、レールは十分に長いものとする。図4のように糸がたるまないように B を最下点から高さ h の位置までもちあげ、静かに手を離すと、B は最下点で静止していた D と衝突した。C と D の重心を G とすると、B と D が衝突した直後の G の速さは である。その後、D が初めて最高点に達したとき、C と D の速さの差は であり、D の最下点からの高さは である。 h が糸の長さ l より十分に小さく、G の鉛直方向の運動が無視できるとき、G から見た D の運動は単振動とみなすことができ、その周期は である。

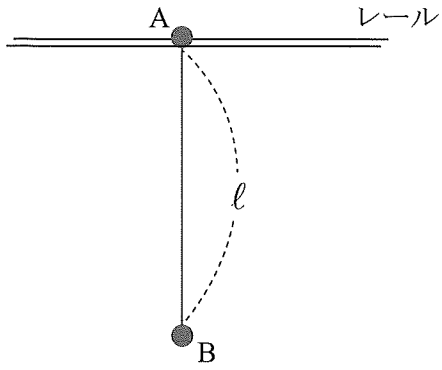


図 1

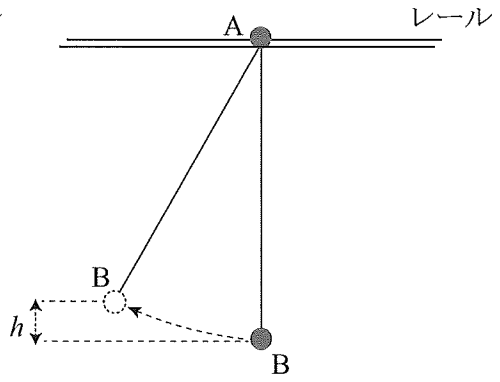


図 2

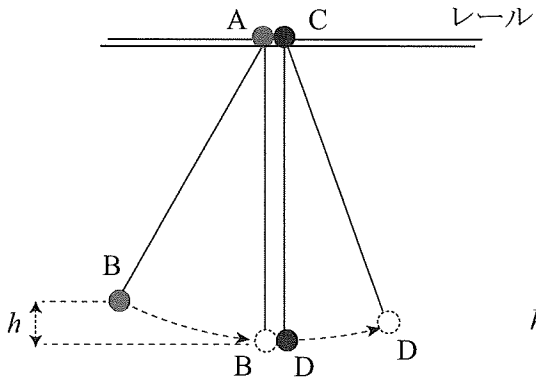


図 3

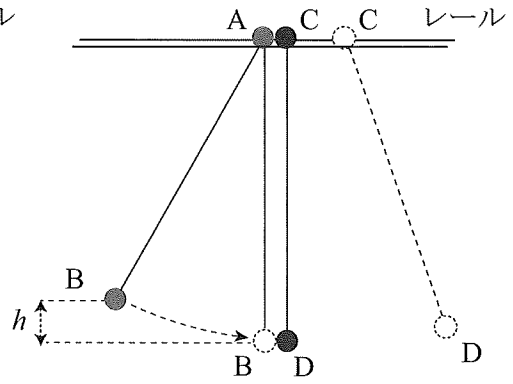


図 4

〔II〕 次の文中の空欄(ア)～(キ)にあてはまる式を解答用紙(一)の該当する欄に記入せよ。また、解答用紙(一)の解答図(II-A),(II-B)に適切なグラフの概形を描け。ただし、電子は真空中を運動し、電子にはたらく重力は無視できるものとする。

図1のように、電子を発生する陰極と電子を加速する陽極、電子(線)を偏向させるための電極板(偏向板) Y_1 と Y_2 、電子があたると光を発する蛍光面で装置を構成する。陽極を通過した電子が水平方向に直進する向きを z 軸正の向きとする。蛍光面は z 軸に対して垂直に設置され、 z 軸との交点を原点 O とする。原点 O を通り z 軸と垂直で紙面手前から奥向きを x 軸正の向き、鉛直上向きを y 軸正の向きとする。

陰極表面から放出された質量 m [kg]、電気量 $-e$ [C] ($e > 0$) の電子は、陽極と陰極の間に加えられた電圧 V_0 [V] ($V_0 > 0$) によって、 z 軸正の向きに加速される。陰極表面での電子の初速度が 0 であるとする、加速された後の電子の速さは $\boxed{\text{ア}}$ [m/s] である。偏向板 Y_1 と Y_2 は xz 平面からそれぞれ y 軸正の向きと負の向きに $\frac{d}{2}$ だけ離れている。図1のように Y_1 と Y_2 に電圧 $+\frac{V_Y}{2}$ [V] と $-\frac{V_Y}{2}$ [V] を加えると、 z 方向に長さ l [m] の偏向板 Y_1 と Y_2 は Y_1Y_2 間にだけ一様な電界を発生させる。 Y_1Y_2 間の空間で電子が受ける加速度の大きさは $\boxed{\text{イ}}$ [m/s²] である。また、 Y_1Y_2 間を通過した後の電子の速度の y 成分は $\boxed{\text{ウ}}$ [m/s] である。電子は Y_1Y_2 間で偏向を受けた後、図1のように Y_1Y_2 間の端から距離 L_1 [m] 離れた位置の蛍光面上の点 P に到達して輝点をつくる。点 P の y 座標は、 $\boxed{\text{エ}} \times V_Y$ [m] のように加えた電圧 V_Y に比例する。従って、点 P の y 座標により偏向板間に加えられた電圧を読み取ることができる。

さらに、図2のように、 z 方向に長さ l [m] の yz 平面に平行な偏向板 X_1 と X_2 を x 方向にも電子が偏向するように設置する。 X_1 と X_2 は yz 平面からそれぞれ x 軸正の向きと負の向きに等距離に置き、 X_1 と X_2 に電圧 $+\frac{V_X}{2}$ [V]、 $-\frac{V_X}{2}$ [V] を加えると、 X_1 と X_2 は X_1X_2 間にだけ一様な電界を発生させる。偏向を受けた電子は蛍光面上の点 Q に輝点をつくる。 V_X と V_Y が等しいとき、 Q の x 座標と y 座標が同じになるようにするためには、偏向板 X_1 と X_2 の間の距離を、図2に示す X_1X_2 の端と蛍光板との距離 L_2 を用いて、 $\boxed{\text{オ}}$ [m] とすればよい。

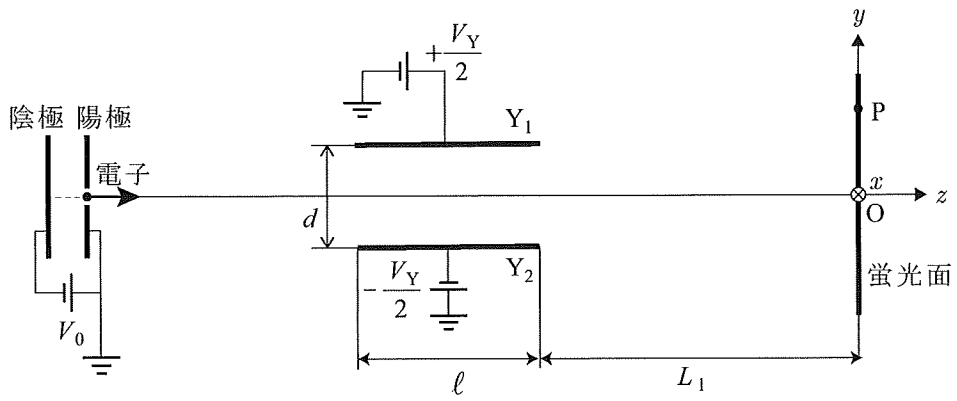


图 1

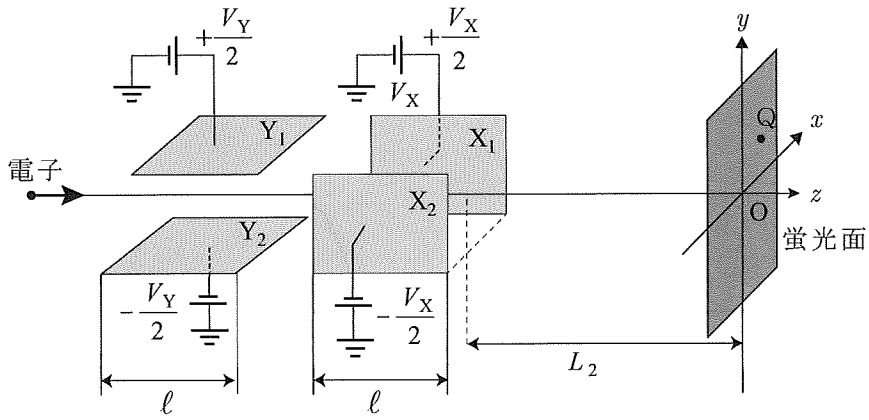


图 2

ここで、連続的に電子を入射させ、偏向板 X_1X_2 間と Y_1Y_2 間の電圧を、図 3(a) に示す $V_X = V_m \sin \frac{2\pi}{T} t$ で表される交流電圧、図 3(b) に示す $V_Y = V_m \cos \frac{2\pi}{T} t$ で表される交流電圧とした。 $V_X = V_m$ と $V_Y = V_m$ のときの蛍光面上に電子がつくる輝点の x 座標と y 座標がそれぞれ同じ a [m] であるとする。 Y_1Y_2 と X_1X_2 の両偏向電極間を電子が通過するのに要する時間は T と比べて非常に小さいため、時刻 t [s] に電子が Y_1Y_2 間に入ってから X_1X_2 間を出るまでの間、 t における各電圧は一定と考えてよい。 $t = \frac{1}{8}T$ のとき、点 Q の座標 (x, y) は a を用いて (,) となる。このように各時刻における点 Q の座標を考えていくと、蛍光面にある軌跡が描かれることがわかる。 $0 \leq t \leq T$ の間で点 Q の描く軌跡の概形を解答図 (II-A) に描け。次に、 V_Y は図 3(b) の交流電圧のまま V_X を変え、蛍光面には図 4 に示す正弦波の軌跡が描かれた。時刻 $t = 0$ と T でそれぞれ点 A と A' に輝点が現れたとき、 V_X の t に対するグラフの概形を解答図 (II-B) に描け。

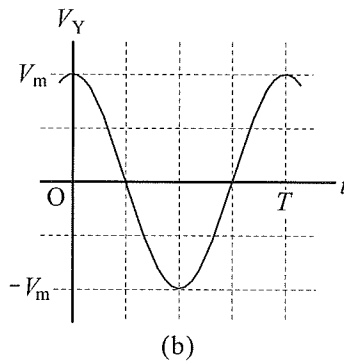
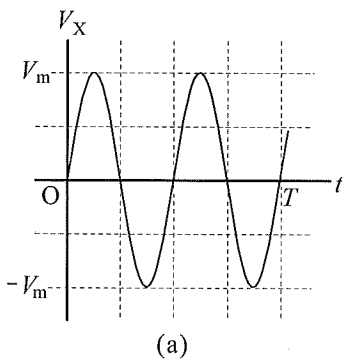


図 3

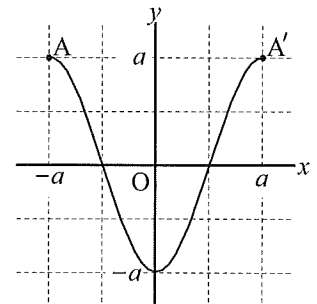


図 4

〔 III 〕 次の文中の空欄 (ア) ~ (キ) にあてはまる数値を解答用紙 (二) の該当する欄に記入せよ。ただし数値は有効数字 3 桁で記入せよ。また、解答用紙 (二) の解答図 (III-A) に適切な図の概形を描け。ここで、空気中の光の速さを 3.00×10^8 m/s, 空気の絶対屈折率を 1.00 とする。また、角度 θ が十分に小さいとき、 $\tan \theta \approx \sin \theta$ が成り立つとする。

図 1 のように、絶対屈折率 1.50 の透明な液体の液面から深さ 1.00 m の鉛直面壁上の点 P にある物体を、ほぼ真上の点 A から観察する。P から出て液面上の点 S で屈折し、A に到達する光の入射角 i と屈折角 r は十分小さいものとする。観察者には物体は液面から深さ m の位置 P' にあるように見える。解答図 (III-A) に、S と P' の位置、S における入射角 i と屈折角 r を記入した上で、P から出て A に到達する光線の軌跡の概形を描け。

つぎに図 2 のように、透明な半径 15.0 cm の半円柱形のガラス 1 と、空気層をはさんで厚さが均一のガラス 2 があり、空気との境界面 AB と CD が水平になるように置かれている。ガラス 1 と 2 は同じ材質である。いま、空気中の波長が 400 nm から 700 nm までの光を含む白色光線を空気中から半円柱を通過してガラス 1 の中心 O に向かって入射させる。波長 400 nm の光 V に対するガラスの屈折率を 1.68, 波長 700 nm の光 R に対する屈折率を 1.63 とする。ガラス内部での V の波長は nm であり、V の振動数は Hz である。ガラス 1 を通過して入射角 30.0° で点 O に入射した V の屈折角を α とすると、 $\sin \alpha =$ である。V と R がガラス 1 を通過する時間の差は 秒である。

点 O から光 V と光 R の屈折光が空気層を進み、そのあと境界面 CD に到達してガラス 2 へ入射する。このとき、V の屈折角を β とすると、 $\sin \beta =$ である。V の点 O での入射角を大きくしていくとある角度 i' から全反射が起きる。この i' を臨界角とよび、 $\sin i' =$ である。

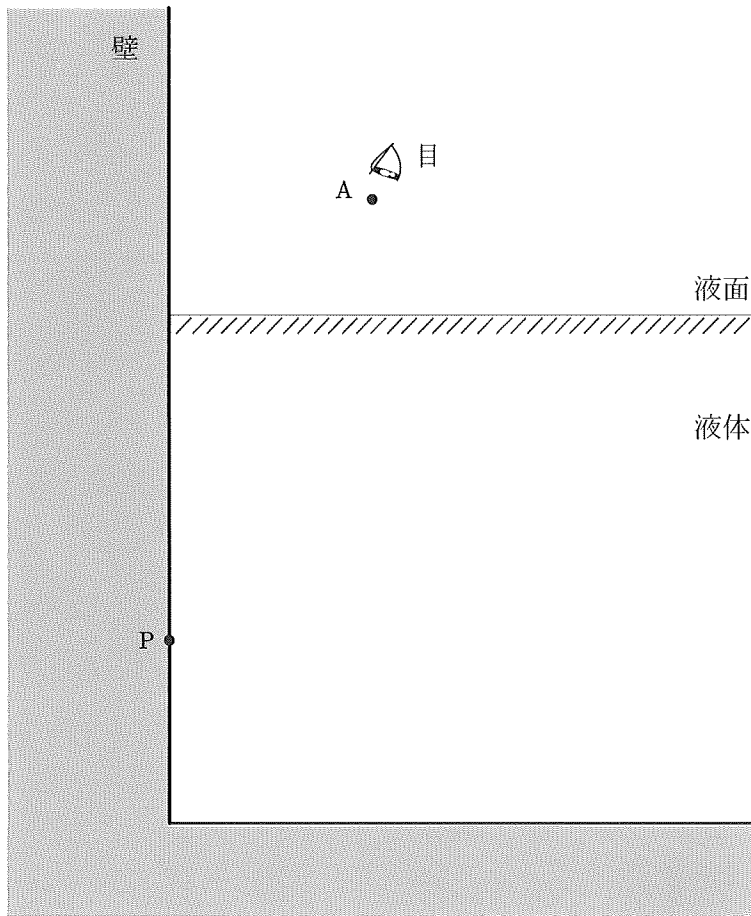


図1

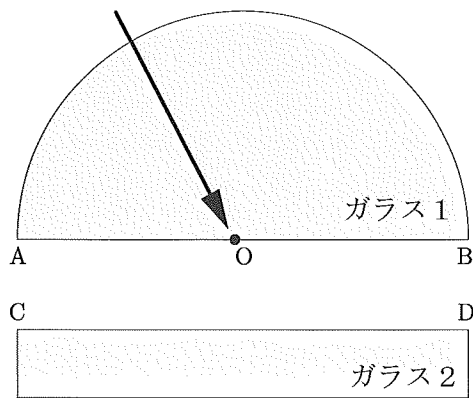


図2

化 学

[注意]

原子量は、H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0,

Mg = 24.3, Zn = 65.5, Br = 80.0, Ag = 108, Hg = 200 とする。

気体定数は $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ とし、必要ならば、 $\sqrt{2} = 1.41$,

$\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{7} = 2.65$ を用いよ。

[I] 次の文を読み、問い (1) ~ (4) の答えを、解答用紙 (一) の [I] の該当する欄に記入せよ。

紀元前 450 年頃にギリシャ人エンペドクレスは、物質は「火、水、土、空気」の 4 つの元素が組み合わさってできると考え、この「四元素説」はプラトンを経てアリストテレスが継承し、ヨーロッパでは長い間信じられていた。

18 世紀になると化学者たちは「空気」にもいくつか種類があることを見いだした。たとえばスコットランドのジョゼフ・ブラックは、(a)炭酸マグネシウムを強熱すると気体が発生し、その気体が石灰水を白濁させることを見つけた。その気体は固体中に固定されていたはずであると考え、「固定空気」と名付けた。イギリスのヘンリー・キャベンディッシュは、(b)亜鉛に希硫酸を加えると、可燃性の気体が発生することを見つけ、この気体を「可燃性空気」と呼んだ。

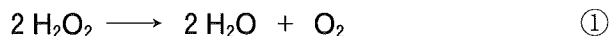
酸素の発見には 3 人の研究者が深く関わっている。スウェーデンのカール・シェーレは、様々な金属灰（酸化物）を強熱する際に発生する気体を捕集し、この気体をろうソクの火に吹き付けると明るく輝くことを発見し、「火の空気」と名付けた。イギリスのジョゼフ・プリーストリーは、水銀を空気中で燃焼して得られる (c)水銀灰（酸化水銀(II)）に熱を加えると再び水銀に戻り、そのときに気体が発生することを見つけた。この気体は「火の空気」と同様に支燃性を持ち、またその気体中ではネズミが元気に駆け回ることを観察した。フランスのアントワーン・ラボアジエは、プリーストリーの水銀灰を用いた実験を繰り返し、燃焼とは物質と「純粋な空気」が結合することであると説明した。その後 (d)この「純粋な空気」を oxygène（酸をつくるもの、酸素）、残りの空気を azote（生命がない、窒素）と名付け、空気が酸

素と窒素の混合物であることを示した。また、キャベンディッシュの「可燃性空気」を hydrogène (水をつくるもの、水素) と名付け、水は水素と酸素が 2 : 1 で化合した化合物であることを証明した。

- (1) 文中の下線部(a)~(c)の反応を化学反応式で記せ。
- (2) 文中の下線部(a)~(c)の反応で得られる気体に関して、次の問い (i) ~ (iii) に答えよ。なお、気体の体積と密度に関しては標準状態で比較せよ。
- (i) それぞれの反応で得られる気体を、密度の高いものから順に並べて、化学式で答えよ。
- (ii) それぞれの反応において、炭酸マグネシウム、亜鉛、酸化水銀(II)をそれぞれ100 g 反応させたとき、得られる気体の体積の大きいものから順に並べて、気体の化学式で答えよ。
- (iii) それぞれの反応で得られる気体のうち、次の (ア) ~ (ウ) の記述にあてはまるすべての気体を化学式で記せ。
- (ア) 無色、無臭である。
- (イ) 大気中に体積で 1 % 以上存在する。
- (ウ) 燃料電池自動車の燃料として用いられる。

- (3) 下線部(d)について、硫黄、リン、炭素を燃焼させてできた生成物が水に溶けると酸性を示すことから、ラボアジェは「酸素がすべての酸に必要な要素である」と考えたが、この点は誤りであった。次の問い(i)～(iii)に答えよ。
- (i) 炭素が燃焼して得られる気体が、水に溶けると酸性を示す理由について、イオン反応式を用いて説明せよ。
- (ii) イギリスのハンフリー・デービーは、塩酸を電気分解しても酸素が得られないことを示し、「酸素はすべての酸に必要な要素である」とするラボアジェの考えを否定した。塩酸の電気分解により陽極、陰極で得られる気体をそれぞれ化学式で答えよ。
- (iii) 第5周期までのハロゲンの水素化合物（ハロゲン化水素）のうち、その水溶液が弱酸であるものすべてを化学式で答えよ。

- (4) 酸素 O_2 は、触媒として少量の酸化マンガン(IV)を用いて、①式に示すように過酸化水素水から得ることができる。次の問い (i) ~ (iv) に答えよ。



- (i) H_2O_2 , H_2O , O_2 の酸素原子の酸化数を求めよ。
- (ii) ①の反応は「不均化反応」とよばれる一種の酸化還元反応であり、この反応では H_2O_2 が酸化剤、還元剤の両方の役割を担っている。 H_2O_2 が酸化剤および還元剤として働くときの反応を、それぞれ電子を含むイオン反応式(半反応式)で示せ。
- (iii) 硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液に過酸化水素水を加えたときに起こる反応に関する次の記述について、正しいものをすべて選んで記号で答えよ。なお、ここでは①の不均化反応は起こらないとする。
- (ア) 反応後の溶液の pH は、反応前より小さくなる。
 - (イ) 反応中に酸素が発生する。
 - (ウ) 反応により黒色の沈殿が生成する。
 - (エ) 過酸化水素水を過剰に加えると、ほぼ無色透明となる。
- (iv) ヨウ化カリウム水溶液に硫酸酸性の過酸化水素水を少量加えたときに起こる反応に関する次の記述について、正しいものをすべて選んで記号で答えよ。なお、ここでは①の不均化反応は起こらないとする。
- (ア) 反応後の溶液の pH は、反応前より大きくなる。
 - (イ) 反応中に水素が発生する。
 - (ウ) 反応後の溶液は無色透明である。
 - (エ) 反応後の溶液をデンプン水溶液に加えると、青紫色を示す。

(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。

物質が液体中に溶ける現象を溶解といい、溶解によってできた混合物を溶液という。（あ）結晶である塩化ナトリウムは水によく溶ける。この時、 Na^+ や Cl^- は水分子に囲まれ、 Na^+ は H_2O の（い）原子側と、 Cl^- は H_2O の（う）原子側と静電的な引力で引きあって安定化される。一方、非電解質であるスクロース ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) は極性のある（え）基が 8 個あり、水分子との間に水素結合を形成して水和されるので水に溶けやすい。一般に、（あ）結晶や極性の大きい分子は、無極性溶媒には溶けにくい。

物質を液体に溶解させると熱（溶解熱）を放出したり吸収したりする。1.0 mol の水酸化ナトリウムを多量の水に溶解させると 45 kJ の熱を放出するが、1.0 mol の硝酸カリウムでは 35 kJ の熱を吸収する。塩化水素 1.0 mol と水酸化ナトリウム 1.0 mol を同時に多量の水に溶解させるときに発生する熱量を Q_1 [kJ] とすると、この値は、塩化水素 1.0 mol と水酸化ナトリウム 1.0 mol を、それぞれ別々に、多量の水に溶解させた時に発生する熱量の和 Q_2 [kJ] より大きく、① $Q_1 > Q_2$ が成り立つ。

直径 1 ～数百 nm 程度の大きさの粒子（コロイド粒子）が液体中に分散した溶液をコロイド溶液という。コロイド粒子を顕微鏡で観察するとコロイド粒子が不規則に動いているのが見える。これを（お）運動という。また、コロイド溶液に強い光線を照射すると、光の通路が一様に輝いて見える。この現象を（か）現象という。

（１）文中の空欄（あ）～（か）にあてはまる、もっとも適切な語句を記せ。（い）、（う）には、水素あるいは酸素のどちらかを記せ。

(2) 本文中の下線①について、次の問い (i) ~ (iii) に答えよ。ただし、溶解熱と反応熱は温度によらず一定とせよ。

(i) 25.00℃の水に25.00℃の塩化水素 0.010 mol と水酸化ナトリウム 0.010 mol を、熱が逃げないように断熱した容器の中で同時に溶解させたところ、混合水溶液の質量は 1.0 kg、温度が 25.42℃となった。このとき発生した熱量 [kJ] を有効数字2桁で求めよ。ただし、水溶液の比熱は 4.2 kJ/(kg·K) とし、全ての物質は多量の水に溶解していると思わせるとせよ。

(ii) Q_1 の値 [kJ] を有効数字2桁で求め、 $Q_1 - Q_2$ の値 [kJ] を整数で記せ。ただし、塩化水素 1.0 mol を多量の水に溶解させると 75 kJ の熱が発生するとせよ。

(iii) $Q_1 - Q_2$ の値は水溶液中でのある反応の反応熱に相当していると考えられる。この反応のイオン反応式を記せ。

(3) 25℃における塩化銀の溶解度積は 1.80×10^{-10} (mol/L)² である。
2.70 × 10⁻⁷ mol/L の塩化カルシウム水溶液 5.00 mL に

2.00 × 10⁻³ mol/L の硝酸銀水溶液 x mL を加えて混合した。次の問い (i), (ii) に答えよ。混合水溶液の体積は、混合前のそれぞれの水溶液の体積の和であるとせよ。温度は常に 25℃であるとせよ。

(i) 混合後の溶液には沈殿が生成しないとして、この溶液中の Ag^+ の濃度 [mol/L] を x を用いて表せ。

(ii) 硝酸銀水溶液を 0.10 mL 加えて沈殿が生成するかどうかを確認し、沈殿が生成しなければさらに 0.10 mL 加えるという操作を繰り返し、沈殿が生成した段階でこの操作を止めた。加えた硝酸銀水溶液の全体積 [mL] を求めよ。

- (4) 次の問い (i), (ii) に答えよ。浸透圧はファンツホッフの法則に従い、単糖が分解することなく、硫酸は浸透圧に寄与しないとせよ。また、水は蒸発せず、加熱や反応で溶液の体積は変わらないとせよ。
- (i) 0.171 g のスクロースを希硫酸に溶解させて 1.0 L とした。つぎに、この水溶液を加熱し全てのスクロースをグルコースと (き) に分解した。次の問い (a), (b) に答えよ。
- (a) 空欄 (き) にあてはまる単糖の名称を記せ。
- (b) スクロースを単糖に分解した後の希硫酸を含む水溶液の温度を 300 K とした。この水溶液の浸透圧 [Pa] を有効数字 2 桁で求めよ。
- (ii) 質量百分率で 20% のグルコースを含むグルコースとスクロースの混合物がある。この混合物 1.0 g を水に溶解させ、1.0 L の水溶液をつくり 288 K で浸透圧を測ったところ、その値は P_1 [Pa] であった。つぎに同じ混合物 0.50 g を希硫酸に溶解させて 1.0 L として加熱し全てのスクロースを単糖に分解した。この分解後の溶液の浸透圧が P_1 [Pa] になる温度 [K] を有効数字 2 桁で求めよ。

(5) ② 沸騰している水に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を少しずつ加えると赤褐色のコロイド溶液が得られる。 このコロイド溶液について、次の (i), (ii) に答えよ。

(i) 下線②でおこる反応の化学反応式を記せ。

(ii) 次の「結果と考察」の空欄 (く), (け) にあてはまる最も適切な語句を次の語群から選んで記せ。また, (こ) にあてはまる最も適切な文章を次の文章群から選びその記号を記せ。

「結果と考察」

このコロイド溶液を透析により精製した後、4本の異なる試験管にとり、電解質として、 CaCl_2 , KI , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, Na_2SO_4 を、それぞれ異なる試験管のコロイド溶液に加えていったところ、 Na_2SO_4 が少量でもっとも容易にコロイドを沈殿させることがわかった。このことから、このコロイドは (く) コロイドであり、 Na_2SO_4 により沈殿が生じた現象は (け) であると考えられる。また、このコロイドを用いて電気泳動を観察する実験を行えば、(こ) と考えられる。

語群：泳動，塩析，凝析，親水，疎水，保護

文章群：

- (a) コロイド粒子が陽極の方に移動する
- (b) コロイド粒子が陰極の方に移動する
- (c) コロイド粒子が陽極，陰極から反発されるように両極の中央に集まる

(50点)

〔Ⅲ〕 次の文を読み、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。構造式および化学反応式は例にならって記すこと。

C, H, Oのみからなる有機化合物Xの構造決定を行う。元素分析は、図1のような装置を用いて行った。化合物X 5.70 mgを白金皿にのせ、乾燥した酸素を流しながら完全に燃焼させた。このとき、完全燃焼させるためにガラス管Ⅰには（あ）を詰めた。燃焼により生じた（い）はガラス管Ⅱ中の（う）に吸収され、（え）はガラス管Ⅲ中の（お）に吸収される。このとき、ガラス管ⅡおよびⅢの質量の増加は、それぞれ発生した（い）および（え）の質量に等しいため、（い）が4.50 mg、（え）が13.2 mg生じたことがわかった。これより、化合物Xの組成式は（か）と求められた。

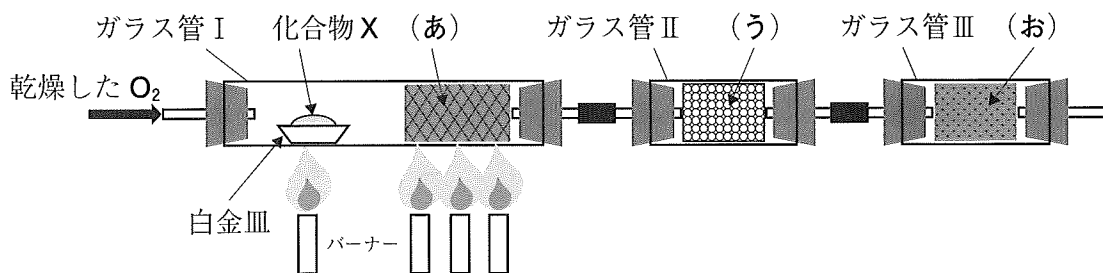
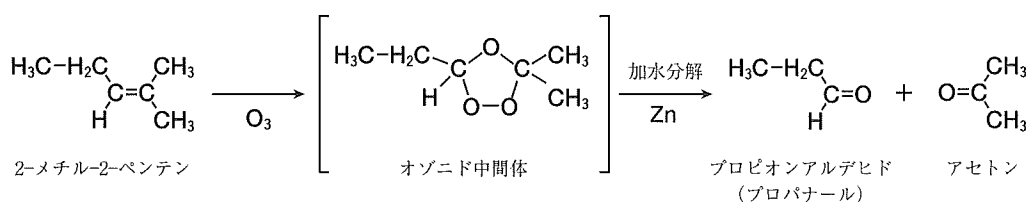


図1 元素分析装置

分子量は、凝固点降下を利用して求めた。すなわち、化合物X 0.228 gを純物質の有機溶媒（凝固点 6.50℃、モル凝固点降下 20.0 K·kg/mol）20.0 gに溶かした。この溶液の凝固点は4.50℃であった。これより、化合物Xの分子量は（き）であることがわかった。この結果と、前述の元素分析の結果から、分子式は（く）となった。

化合物Xに含まれる官能基を調べるために、種々の化学反応を行った。はじめに、化合物X 68.4 mgに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱したところ、73.2 mgのカルボン酸のナトリウム塩とともに19.2 mgのアルコールが生じた。これより、化合物Xは（け）を含むことがわかった。次に、化

化合物Xを含む溶液に臭素を加えると臭素の色が脱色された。このとき、1 molの臭素を脱色するのに1 molの化合物Xが必要であったためC=C結合を1つ含むことがわかった。そこで、化合物Xの構造をさらに詳しく調べるためにオゾン分解を行った。オゾン分解は、アルケンのようにC=C結合をもつ化合物に低温でオゾンを反応させ、生じたオゾン中間体を還元剤の亜鉛とともに加水分解し、C=C結合を二つのカルボニル基へと変換する反応である。たとえば、次式に示すように、2-メチル-2-ペンテンのオゾン分解からはプロピオンアルデヒド（プロパナール）とアセトンが生成する。



化合物Xのオゾン分解を行ったところ、化合物YおよびZが生じた。化合物X、YおよびZにアンモニア性硝酸銀水溶液を加えて穏やかに加熱したところ、化合物Yとの反応でのみ銀が析出した。これより、化合物Yは（こ）を含んでいることがわかった。このとき、化合物Y 11.0 mgが十分な量のアンモニア性硝酸銀水溶液と反応し、析出した銀は54.0 mgであった。さらに、化合物X、YおよびZにヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱するとYおよびZとの反応では黄色固体を生じた。したがって、化合物YおよびZには（さ）が含まれることがわかった。以上の結果より、立体異性体の区別を除いて化合物Xの構造を推定することができた。

- (1) 空欄（あ）～（お）にあてはまる最も適切な物質名を語群から選び、記号で答えよ。

- 【語群】 (a) 二酸化炭素 (b) 水 (c) ソーダ石灰
 (d) 塩化カルシウム (e) 酸化銅(II)

- (2) 空欄 (か) にあてはまる組成式を答えよ。
- (3) 空欄 (き) にあてはまる分子量を整数値で答えよ。ただし、化合物 X は溶媒とは反応せず、また、電離しないものとする。
- (4) 空欄 (く) にあてはまる分子式を答えよ。
- (5) 空欄 (け) ~ (さ) にあてはまる最も適切な官能基の種類を語群から選び、記号で答えよ。

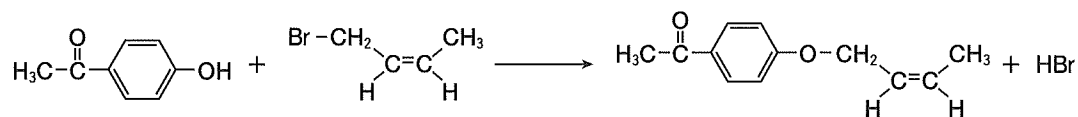
【語群】 (ア) アミノ基 (イ) エーテル結合 (ウ) アルデヒド基
(エ) カルボキシ基 (オ) アセチル基 (カ) ニトロ基
(キ) エステル結合 (ク) アミド結合

- (6) 次の問い (i) ~ (iv) に答えよ。
- (i) エタノールと濃硫酸の混合物を 170℃ に加熱したときに起こる反応の化学反応式を記せ。
- (ii) アセチレンにシアン化水素が付加する反応の化学反応式を記せ。
- (iii) シクロヘキセンをオゾン分解したときに生成する鎖状のカルボニル化合物の構造式を記せ。
- (iv) オゾン分解によりベンズアルデヒドとホルムアルデヒドのみを生じる化合物の構造式を記せ。

(7) 化合物 Y と Z の構造式を記せ。

(8) 化合物 X の構造式を記せ。なお、立体異性体も含むすべての構造式を記すこと。

構造式および化学反応式の例



(50点)

生 物

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

ある地域で生活する同種の生物個体の集まりは個体群と呼ばれている。個体群内では、その種の特性或環境に応じて、個体の分布に様々な様式が見られる。例えば、風で種子が散布される植物などでは、各個体が他の個体と関係なく散らばる不規則な配置になり、その分布は（あ）分布と呼ばれる。一方、群れを形成する動物や、成長に適した特定の土壌を好む植物などの場合、多くの個体が、特定の空間に偏って分布することになり、それを（い）分布と呼ぶ。さらに、競争などによって、他個体を避ける性質を持つ生物の場合は、各個体が一定の間隔をおいて分布することもあり、これを（う）分布と呼ぶ。

ある生物が生活する単位空間あたりの個体数は個体群密度と呼ばれる。個体群密度は、食物や生活空間のような生存と繁殖に必要な資源に制限がなければ、際限なく増えていくが、資源は有限である場合が多く、その維持される個体数には上限がある。この維持できる最大の個体数を（え）と呼ぶ。個体群密度によって、個体の成長や生理的性質が変化する効果を密度効果と呼ぶ。

密度効果は、個体群の変化をグラフに図示するとよく確認できる。一定量のアズキを与えた時のアズキゾウムシという昆虫の飼育を考える。その成虫の個体群密度（グラフの横軸）を変えた場合に、母虫一匹あたりの次世代の羽化個体数（グラフの縦軸）は、親虫の個体群密度に応じた変化を示す。また植物の例では、ダイズを様々な個体群密度（グラフの横軸）で栽培すると発芽前の種子の重量が同じでも、種子をまいてから十分な日数を経た成長後の個体の平均重量（グラフの縦軸）は、個体群密度に応じて変化する。この場合、十分な日数（グラフの横軸）を経た植物個体群の単位面積あたりの重量（グラフの縦軸）は個体群密度が異なっても最終的に一定の値を示す。このような効果は様々な植物個体群で見られ、（お）の法則と呼ばれている。密度効果以外にも、行動を通じた個体間の相互作用が知られており、アユなどの魚や多くの鳥などでは、縄張

りを作って食物や交配相手を確保する行動をとる。

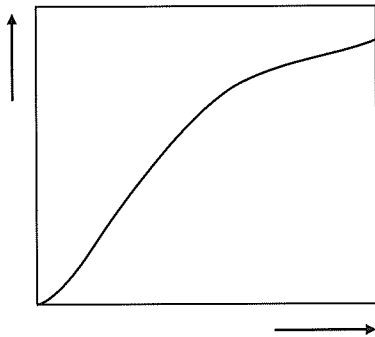
異なる種間にも様々な相互作用が知られている。共通の資源を利用する生物間では競争が生じ、時には、競争的排除により一方の種が存在できなくなることもある。また、コウノシロハダニとカブリダニのように、被食者と捕食者の組み合わせも自然界で広く見られる種間関係である。種間関係が双方に利益をもたらす場合も少なくない。^(E)この関係を（か）という。一方、片方の生物のみが利益を受け、他方は利益も不利益も受けない場合は（き）と呼ばれている。さらに、一方は利益を受けるが他方は不利益を受ける関係は寄生と呼ばれ、寄生する生物は寄生者、寄生される生物は宿主という。^(F)

ある一定の場所に生息する各種の個体群の集まりは生物群集と呼ばれる。ある環境の生物群集において、各種が必要とする食物や生活空間といった資源や、その利用のしかたを（く）という。食物や生活空間が多様であれば、生物の種も多様になりうる。これは、食物や空間の利用の仕方が種により異なることで、異なる種が共存できるという、（く）の分割がおこったためであると考えることができる。（く）の分割では、食物の種類などが群集の種間で異なる場合のほかに、同じ溪流に住むイワナとヤマメのように、似た生活様式をもつ種間で生活空間を分割する（け）も見られる。一方、（く）の分割が生じていなくても、別の要因が作用することによって似た（く）を持つ種が共存できる場合もあり、そのしくみには、（こ）説で示されるようなかく乱を伴うメカニズムや^(G)キーストーン種のはたらきが知られている。

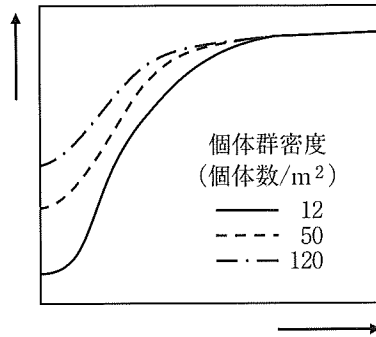
(1) 本文中の空欄（あ）～（こ）にあてはまるもっとも適切な語句を答えよ。

(2) 生物個体群が密度効果を受け下線部 (A) ~ (C) のような反応を示した場合, その状況を示すもっとも適切なグラフを以下の選択肢 (ア) ~ (カ) からそれぞれ一つ選び, 記号で答えよ。

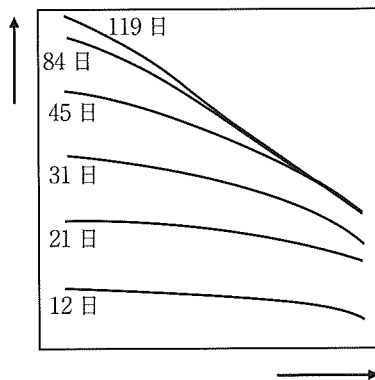
(ア)



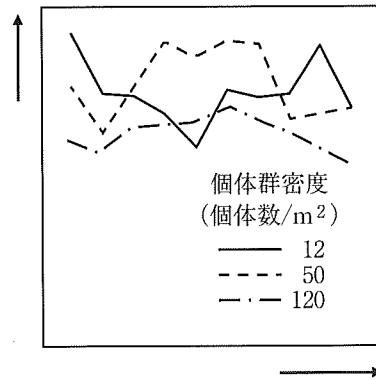
(イ)



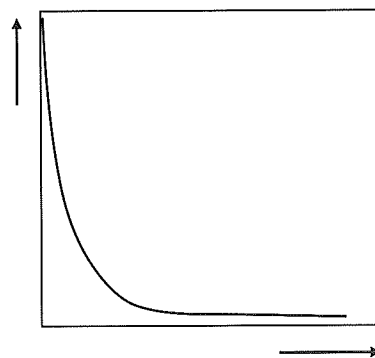
(ウ)



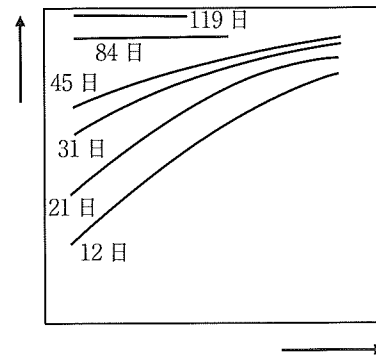
(エ)



(オ)



(カ)



(3) 下線部 (D) に示されるように生物が縄張りを作る場合、縄張りの大きさが大きくなれば、それだけ得られる食物の量は多くなるが、その縄張りを守る労力も増加することになる。また、個体群密度が変化した場合、縄張りを守る労力も変化すると考えられる。図1のX、Yの曲線は2つの個体群における縄張りを守る労力の変化を示している。X、Yのうち、より個体群密度の高い個体群の示す曲線を選び、答えよ。また、X、Yそれぞれの個体群で、最適な縄張りの大きさを示すと考えられる点を図1の(ア)～(カ)から一つ選び、答えよ。

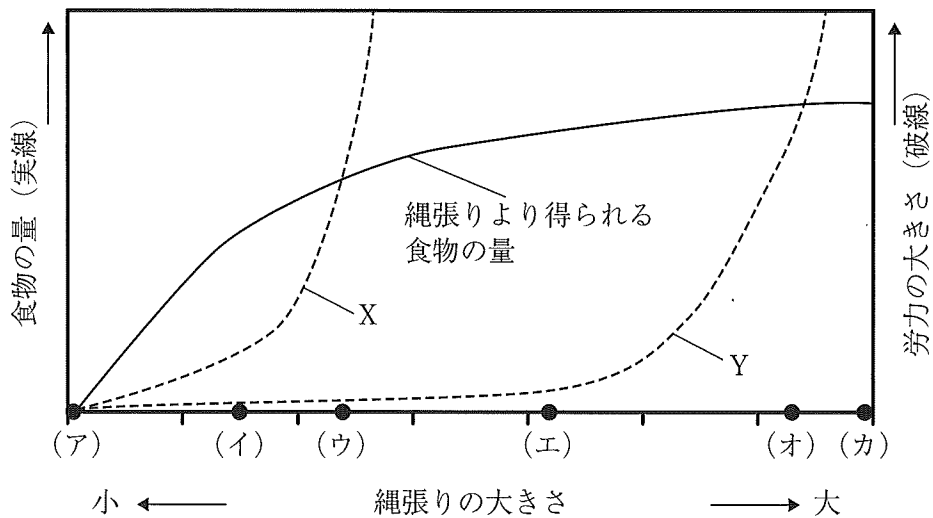


図1 縄張りの大きさと食物の量および労力の関係

(4) 下線部 (E) に示されるような関係にある生物の組み合わせとして不適切なものを以下の選択肢 (ア)～(オ) から二つ選び、答えよ。

- (ア) チョウの幼虫とコマユバチ
- (イ) マメ科植物と根粒菌
- (ウ) シロアリと腸内微生物
- (エ) アリとアブラムシ
- (オ) カクレウオとナマコ

(5) 以下の(ア)～(ク)の生物のなかで、下線部(F)における寄生者と宿主の関係として適切な二つの組み合わせを作成せよ。

(ア) イネ

(イ) ヤドリギ

(ウ) ヒル

(エ) ブナ

(オ) モンシロチョウ

(カ) ニホンジカ

(キ) ショウジョウバエ

(ク) ヒマワリ

(6) 下線部(G)に関する例として、北太平洋沿岸の大型の藻類(ジャイアントケルプ)を中心とした生態系の維持があげられる。多種の共存におけるキーストーン種の役割について、以下の語群を全て用いて、句読点を含め65文字以内で説明せよ。

語群：藻類, ウニ, ラッコ

(50点)

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

日本の人々は古来より季節の変化を敏感に感知して、情景や感情などを俳句や短歌などで表現してきた。(A) 夏は暑く、冬は寒い。 いったい、これらの感覚はどのように得られているのだろうか。

動物には、(B) 外界の刺激を感知する細胞があり、温度も刺激として受容される。温度受容体の一つに、特定の温度以上の熱で活性化する TRPV1 がある（図 1）。興味深いことに、TRPV1 は、カレーライスにも使われるトウガラシの主成分カプサイシンを感知するタンパク質でもある。カレーライスを食べると、辛さとともに熱く感じることはこのためである。TRPV1 が、熱やカプサイシンの刺激を感知すると、(C) Na^+ や Ca^{2+} が細胞内に流入し脱分極が起こり、その刺激が電気信号として神経細胞を伝わっていく。 「辛い」も「熱い」も英語では「hot」というが、実に同じしくみだったのである。熱は、痛みをもたらすこともあり、(D) TRPV1 は「痛み」の感知にも関与している。

一方、冷覚に関する受容体も発見されており、その一つは 28°C 以下の温度を感知するとともに、ミントの主成分メントールの受容体としても知られている。このように、ヒトは温度の変化を察知するしくみをもっている。

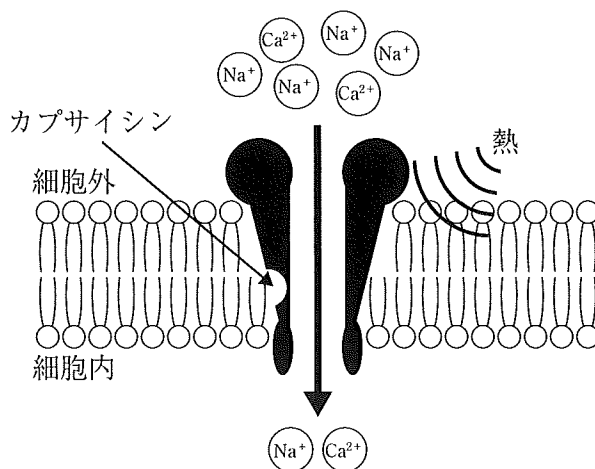


図 1 細胞膜に存在する TRPV1

- (1) 下線部 (A) の温覚と冷覚に対する皮膚の受容器の名称をそれぞれ答えよ。また、このように受容器が反応する外界の刺激の総称を答えよ。
- (2) 下線部 (B) の名称を答えよ。
- (3) 図1のように、物質が結合することでイオンを通過させるタンパク質の総称を答えよ。
- (4) 下線部 (C) の説明としてもっとも適切な文章を、次の (ア) ~ (オ) から一つ選び、記号で答えよ。
- (ア) Na^+ や Ca^{2+} の流入が直接的に活動電位となり、神経繊維に沿って伝わる。
- (イ) 脱分極が引き金となり、次々と K^+ の流入が起き、刺激の大きさに応じて頻度が異なる活動電位となって神経繊維に沿って伝わる。
- (ウ) 脱分極が引き金となり、次々と Na^+ の流入が起き、刺激の大きさに応じて頻度が異なる活動電位となって神経繊維に沿って伝わる。
- (エ) 脱分極が引き金となり、次々と K^+ の流入が起き、刺激の大きさに応じて大きさが異なる活動電位となって神経繊維に沿って伝わる。
- (オ) 脱分極が引き金となり、次々と Na^+ の流入が起き、刺激の大きさに応じて大きさが異なる活動電位となって神経繊維に沿って伝わる。

(5) 熱いカレーライスは辛く感じるが、冷めたカレーライスはそれほどでもない。本文中に記載してある TRPV1 の性質を考慮して、この現象についてもっともふさわしい理由を、句読点を含め 30 字以内で述べよ。

(6) 以下の文章を読み、次の問い①～④に答えよ。

西アフリカ原産のミラクルフルーツと呼ばれる果実がある。興味深いことに、これだけを食べても特段甘くはないが、その直後にレモンや梅干しなど酸味のあるものを食べると、非常に強い甘みを感じる。舌には、(あ)や支持細胞などが集まってつくられる(い)が分布しており、ミラクルフルーツに含まれるミラクリンと呼ばれるタンパク質がここに作用する。ミラクリンは、(あ)の甘味の受容体にのみ結合し、このとき周囲が酸性であると、甘味の受容体がより強く反応し、受容体に結合しているタンパク質が GDP 結合型から GTP 結合型に変換され、(E)を脱分極させることが知られている。

① 空欄(あ)と(い)に該当するもっとも適切な語句を答えよ。

② 甘味と酸味以外の基本味を三つ答えよ。

③ 下線部(E)に示す性質をもつ受容体の種類を答えよ。

- ④ トムヤムクンは、タイ料理の一つで、強い酸味と辛さが特徴のスープである。ミラクルフルーツを食べた後でトムヤムクンを食べた時の感じ方の変化として、もっとも適切な文章を次の（ア）～（キ）の中から一つ選び、記号で答えよ。

- （ア） 甘味も辛さも強くなる。
- （イ） 甘味は強くなり、辛さは弱くなる。
- （ウ） 甘味は強くなり、辛さは変化しない。
- （エ） 甘味は変化しないが、辛さは強くなる。
- （オ） 甘味は変化しないが、辛さは弱くなる。
- （カ） 甘味も辛さも変化しない。
- （キ） 甘味も辛さも弱くなる。

- （7） 下線部（D）に関する以下の文章を読み、次の問い①～③に答えよ。

生体が何らかの傷害を受けると、発熱や痛みが生じる炎症がおこる。炎症の部位ではプロスタグランジンという物質が放出されて、TRPV1のはたらきで細胞が脱分極することが知られている。図2は、プロスタグランジン放出前後での、各温度に対するTRPV1による活動電位の発生を示す。

- ① 健常なヒトでのTRPV1の閾値は何℃か答えよ。
- ② プロスタグランジン放出後で、ヒトの痛みの感じ方はどのように変化するか、次の（ア）～（ウ）から適切な文章を一つ選び、記号で答えよ。また、その理由を句読点を含め30字以内で述べよ。

- （ア） 感じやすくなる。
- （イ） 感じにくくなる。
- （ウ） 変化しない。

- ③ 炎症部位の痛みを和らげるには、医師の処方する鎮痛剤を服用したり湿布薬を使うが、仮にそれらが入手できない場合には、どのような処置に鎮痛の効果が期待できるか、句読点を含め10字以内で答えよ。

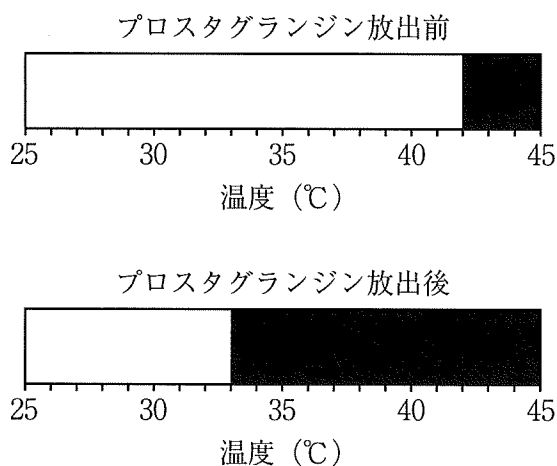


図2 プロスタグランジン放出前後のTRPV1による活動電位の発生

黒い部分は活動電位が発生する温度域を、白い部分は活動電位の発生しない温度域を示している。

(50点)

〔Ⅲ〕 次の文章を読み、問い（１）～（５）の答えを解答用紙（二）の〔Ⅲ〕の該当する欄に記入せよ。

ヒトを含むほぼすべての多細胞生物は、酸素を失えば生命を維持できない。多くのヒトは約 20 % の酸素濃度下で生活しているが、一過的に低酸素濃度の状態に陥ることがある。このように生体が低い酸素濃度にさらされることを、低酸素ストレスとよぶ。生物は低酸素ストレスに対して生体防御するために様々な恒常性維持メカニズムを備えている。例えば、ある特定の遺伝子を発現誘導することで、^(A)細胞の代謝反応を解糖系で中心におこなったり、^(B)赤血球を増やすことで組織への酸素供給能を向上させる。しかし、この^(C)低酸素ストレス応答メカニズムが通常酸素濃度においても恒常的に活性化しつづけると、様々な疾患の発症につながる。

（１） 下線部（A）に関する下記の文章を読み、空欄（あ）～（く）にあてはまるもっとも適切な語句を解答欄に記入せよ。

真核生物の DNA は（あ）とよばれるタンパク質に結合して（い）を形成し、そのつながりが折りたたまれて（う）という構造を形成することで核の中に収まっている。この状態では酵素である（え）は DNA に結合できないため、遺伝子の転写は起こらない。転写が起こるためには、転写される領域の上流に存在する塩基配列である（お）上に、（え）と（か）が複合体を形成することが必要である。また遺伝子の転写反応は（き）が制御する。低酸素ストレスなどの細胞の外的・内的状況によってある特定の遺伝子だけを発現させることを（く）遺伝子発現とよぶ。

- (2) 低酸素ストレスに対する遺伝子発現メカニズムに関する下記の文章を読み、次の問い①～③に答えよ。

図1は、通常酸素濃度と低酸素濃度における低酸素ストレス応答遺伝子の発現メカニズムを示している。細胞が低酸素ストレスにさらされると、遺伝子Hから発現誘導されたタンパク質Hが低酸素ストレス応答遺伝子を発現誘導することで恒常性を維持する。一方、通常酸素濃度では、細胞内に存在する酸素センサーがこの酸素濃度を感知し、遺伝子Hからタンパク質Hを発現させる一連の過程のいずれかに作用することで(図1、点線枠)、細胞内のタンパク質Hの量を減少させる。これによりタンパク質Hによる低酸素ストレス応答遺伝子の発現は抑制される。つまり通常酸素濃度において酸素センサーがタンパク質Hの量を低下させるメカニズムを阻害することが、低酸素ストレス応答メカニズムの1つなのだ。そこで、通常酸素濃度において酸素センサーがタンパク質Hの量を減少させるメカニズムを解明するために、まず実験1を行った。

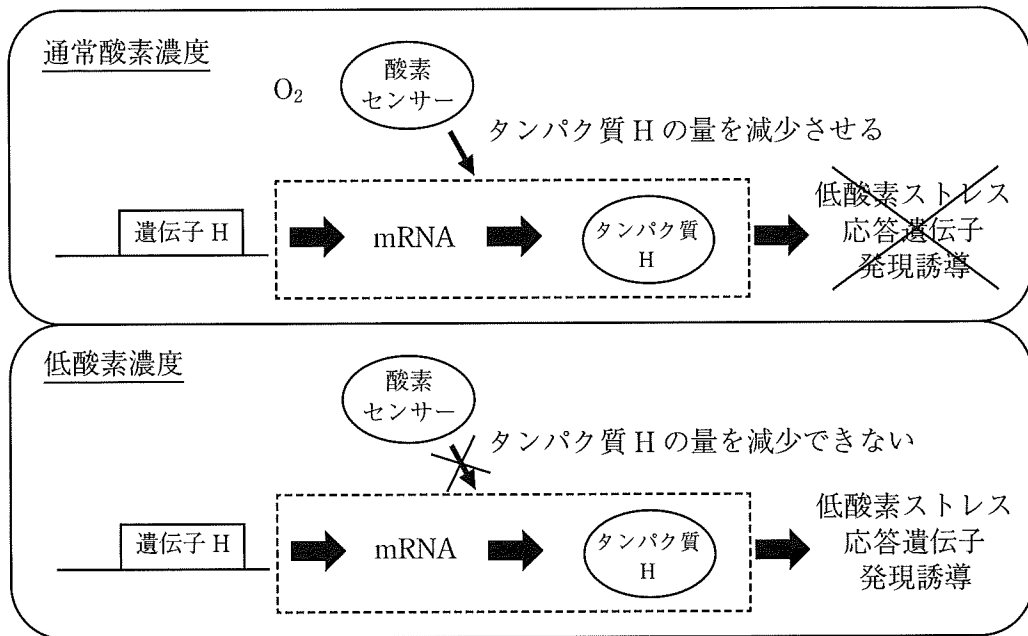


図1 低酸素ストレス応答遺伝子の発現メカニズム

実験1：通常酸素濃度と低酸素濃度で細胞を4時間培養後，その細胞からすみやかにRNAと細胞の全タンパク質を抽出し，遺伝子Hに対するmRNAとタンパク質Hの発現量を解析した（図2）。グラフでは，通常酸素濃度における発現量を1として，低酸素濃度における発現量はその相対値で示している。

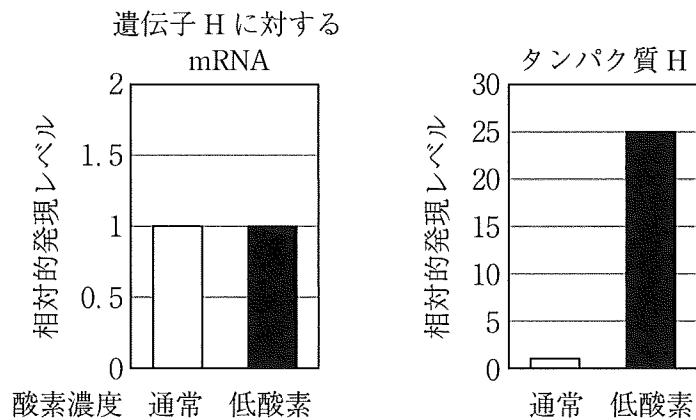
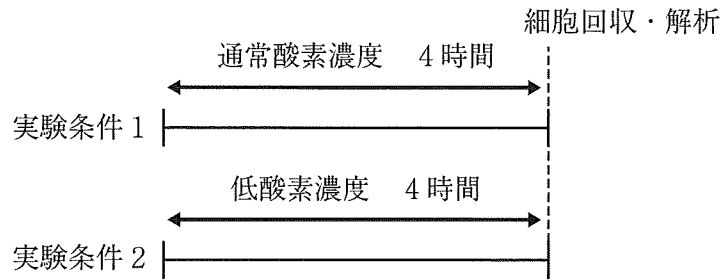


図2 実験1の概要と遺伝子Hに対するmRNA・タンパク質Hの発現変動

- ① 実験1の結果だけをふまえた場合、通常酸素濃度において酸素センサーがタンパク質Hの量を減少させるメカニズムとして適切なものを、下記の選択肢(あ)～(く)からすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) 遺伝子Hの転写の活性化
- (い) 遺伝子Hの転写の抑制
- (う) 遺伝子Hに対するmRNAの分解抑制
- (え) 遺伝子Hに対するmRNAの分解促進
- (お) タンパク質Hの翻訳の活性化
- (か) タンパク質Hの翻訳の抑制
- (き) タンパク質Hの分解抑制
- (く) タンパク質Hの分解促進

次に実験1の結果から考えられた複数の可能性を検討するために、様々な実験を行った。その結果、下記の実験2において大きな差が見られた。

実験2：細胞を低酸素濃度で4時間培養する。その際、培養液中には放射性同位体元素で標識されたアミノ酸を添加し、低酸素濃度下4時間で翻訳されたタンパク質だけを標識した。次に低酸素状態を維持しながら、培養液から放射性同位体元素を完全に除去した後に、通常酸素濃度と低酸素濃度の2つの条件で培養を継続し、0、5、10、30分後に細胞を回収した。それぞれの細胞からすみやかに全タンパク質を抽出し、放射性同位体元素で標識されたタンパク質Hの量の変動を解析した(図3)。なお、グラフにしめす各細胞回収時のタンパク質Hの量は、0分時の量に対する割合として表記してある。

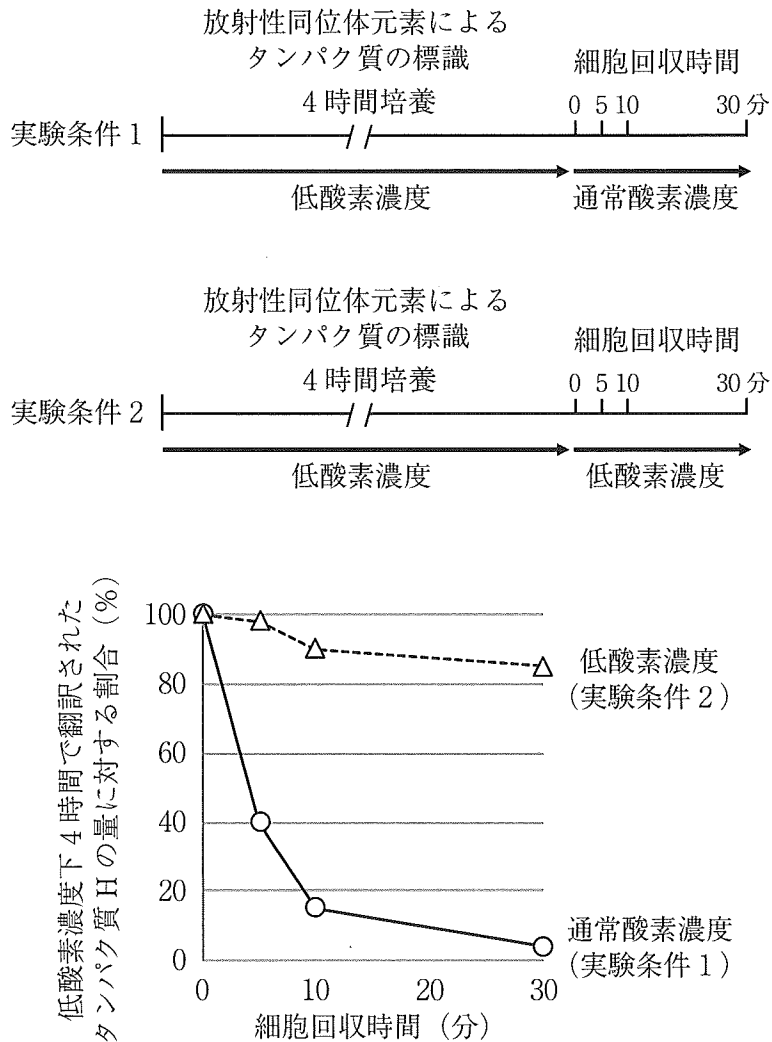


図3 実験2の概要と放射性同位体元素で標識されたタンパク質Hの通常酸素濃度あるいは低酸素濃度で培養後の量の変動

- ② 実験1と2の結果を総合的に考えた場合、通常酸素濃度において酸素センサーがタンパク質Hの量を減少させるメカニズムとしてもっとも適切なものを上記①の選択肢(あ)～(く)から選び、記号で答えよ。

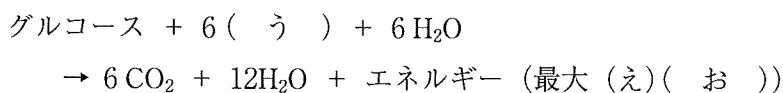
- ③ 実験1と2で解明した低酸素ストレス応答メカニズムを生物が採用した生理的意義として、もっとも適切な考察を下記の文章(あ)～(え)の中から選び、記号で答えよ。

- (あ) 転写により遺伝子発現レベルは精密に制御できる。
- (い) タンパク質の変性を防ぐことができる。
- (う) 低酸素応答をすみやかに行うことができる。
- (え) mRNAのスプライシングで遺伝子の多様性をもたらすことができる。

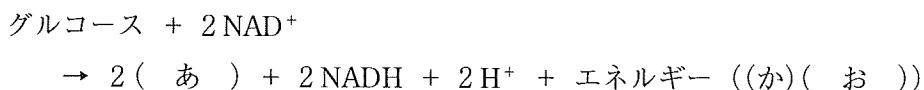
- (3) 下線部 (B) に関する下記の文章を読み、文章ならびに反応式の空欄 (あ) ~ (か) に入る、もっとも適切な語句あるいは数字を答えよ。ただし空欄 (え) と (か) には数字が入る。

通常酸素濃度下にある細胞は、解糖系とミトコンドリアが担うクエン酸回路と電子伝達系によってエネルギー産生をおこなう。一方、低酸素濃度下では解糖系によりエネルギー産生をおこなう。問い (2) において、低酸素ストレス下でタンパク質 H は、ある遺伝子の発現を活性化することで、解糖系の最終産物である (あ) から (い) への変換を阻害する。(い) はクエン酸回路の基質であることから、タンパク質 H はクエン酸回路への流れを抑制する。ここで重要な点は、解糖系は (う) を使わずにエネルギー産生できることである。つまり、これが細胞の低酸素ストレスに対する生体防御戦略の1つである。

通常酸素濃度下でのエネルギー産生の反応式



低酸素条件下での解糖系によるエネルギー産生の反応式



(4) 下線 (C) に関する下記の文章を読み、問いに答えよ。

低酸素ストレス下でタンパク質 H は、細胞内の代謝変化だけではなく、組織の低酸素ストレス応答ももたらす。その一つとして、エリスロポエチンとよばれる造血因子の分泌を促進することで赤血球を増やし、血中の酸素運搬量を増加させる。赤血球にはヘモグロビンが存在し、これが酸素と強く結合するため、肺で取り込んだ酸素を体内の各組織へ運搬・供給する。

血液量 100 mL あたり 20 mL の酸素を運ぶためには、血液 100 mL あたり何 g のヘモグロビンが必要か。小数点以下第一位まで示せ。ただしヘモグロビンの分子量は 66,000、気体 1 mol の体積は 22.4 L とする。また 1 分子のヘモグロビンには 4 分子の酸素が結合しているとする。

(5) 下線 (D) に関する下記の文章を読み、問いに答えよ。

問い (2) の酸素センサーのタンパク質 H に対する制御メカニズムには、タンパク質 V とよばれる因子も関わる。このタンパク質 V に対する遺伝子 V に遺伝子変異が生じると、通常酸素濃度下でも低酸素ストレス応答が恒常的に活性化するため、多血症をはじめとする様々な疾患を引き起こすことが知られている。ここで自然界のマウスも遺伝子 V の対立遺伝子双方に異常を有すると多血症を示すとする。ある地域に生息するマウス集団において、この症状を示す個体は 62,500 匹中 1 匹の割合で生まれた。この集団中の遺伝子 V について、野生型遺伝子と変異型遺伝子の頻度の比を答えよ。またヘテロ接合体のマウスの出現率 (%) を小数点以下第二位まで答えよ。この集団中の遺伝子 V の対立遺伝子は野生型と変異型だけとし、この集団においてハーディー・ワインベルグの法則が成立すると仮定する。

(50点)