

令和 4 年 度

前 期 日 程

理 科 問 題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は，物理，化学，生物の順序で 1 冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{ll} \text{物理} & 2 \text{ ページから } 17 \text{ ページ} \\ \text{化学} & 18 \text{ ページから } 30 \text{ ページ} \\ \text{生物} & 31 \text{ ページから } 45 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は，物理 3 枚，化学 5 枚，生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は，受験する科目の解答用紙の受験番号欄（1 枚につき 2 か所）に 1 枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は，1 ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い，解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は，適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

令和 4 年度個別学力検査等

問 題 訂 正

【 前期日程 理科（物理） 】

・ 問題冊子 13 ページ 問3 - 4 行目

(誤) 「・・・以下の量を, R , C_V , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表
せ。」

(正) 「・・・以下の量を求めよ。必要であれば, R , C_V , T_0 , V_0 を用い
てよい。」

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

- 〔 1 〕 図 1 のように、水平方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸をとった平面内における質量 M の物体 A と質量 m の物体 B の運動を考える。物体 A は、 x 軸に平行に固定された棒に沿って滑らかに動くことができる。また、物体 A と物体 B は伸び縮みしない長さ l で質量の無視できる糸でつながれている。糸と鉛直方向とのなす角度 θ [rad] を、図 1 に示すように定義する。物体 A と棒の間の摩擦力は無視でき、また、物体 A および物体 B は質点とみなしてよい。重力加速度の大きさを g とする。

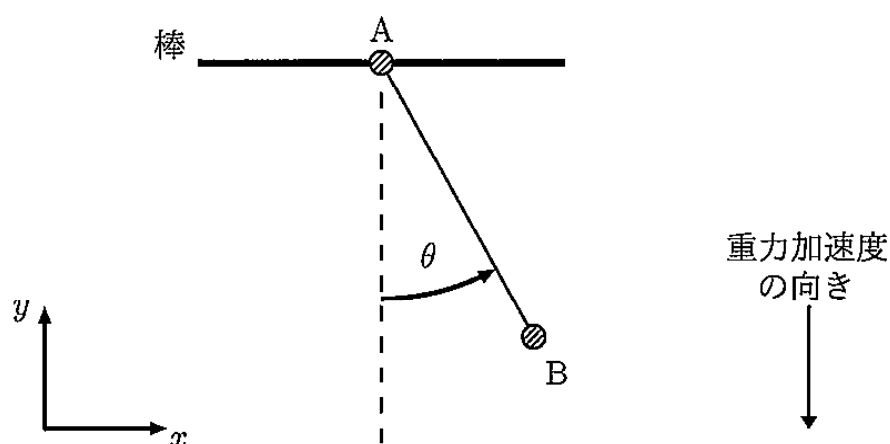


図 1

- I. まず、物体 A を棒の一点に動かないように固定する。糸がたるまないように物体 B を持ち上げ、静かに離すと物体 B は振動をはじめた。このとき、以下の間に答えよ。

問 1 以下の文中の空欄に入れるべき数式を解答欄に記せ。

糸の角度が θ のとき、糸の張力の大きさを S 、物体 B の加速度の x 成分および y 成分を、それぞれ、 a_x および a_y とするとき、物体 B の運動方程式は、 $ma_x =$ (a) および $ma_y =$ (b) と表される。

問 2 $|\theta|$ が十分に小さいとき、物体 B は水平方向にのみ運動すると考えてよい。このとき、問 1 で求めた運動方程式において、 $\sin \theta \simeq \theta$ 、 $\cos \theta \simeq 1$ と近似し、振動の周期 T を求めよ。

- II. 次に、物体 A を棒に沿って動かす。ただし、物体 A の加速度の x 成分が、図 2 に示すように、 $\frac{T}{2}$ ごとに $\pm\alpha$ ($\alpha > 0$) で符号が変わるように物体 A を加減速させながら動かす。ここで、 T は問 2 で求めた周期である。また、時刻 $t = 0$ で糸は鉛直で、物体はいずれも静止しており、このときの物体の位置の x 座標を 0 とする。なお、物体 B の振動の振幅は十分小さく、 $|\theta|$ は十分に小さいとしてよい。このとき、以下の問に答えよ。

物体 A の加速度の x 成分

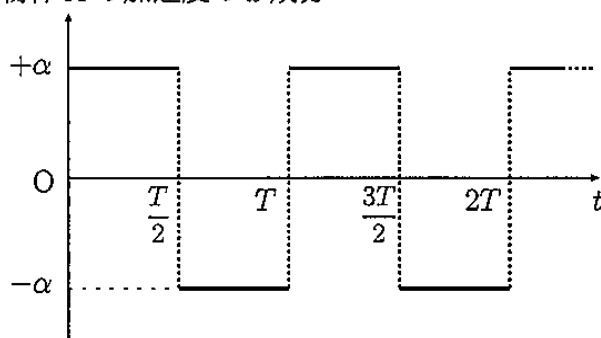


図 2

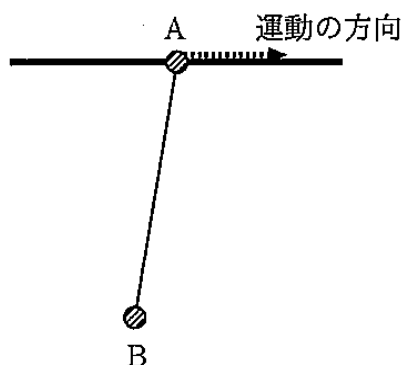


図 3

- 問 3 時刻 $t = nT$ (n は自然数) における物体 A の x 座標 x_n を求めよ。
- 問 4 時刻 t が $0 < t < \frac{T}{2}$ の間の運動を考える (図 3)。このとき、以下の文中の空欄に入れるべき数式を解答欄に記せ。
- 物体 A とともに動く非慣性系で物体 B に作用する慣性力の水平成分は、右向きを正として (c) であるので、この非慣性系で、物体 B は初期位置から水平方向に右向きを正として、(d) だけずれた位置を中心として、周期が T の単振動を半周期だけする。したがって、時刻 $t = \frac{T}{2}$ で、糸の角度 θ は (e) となり、この非慣性系で物体 B は静止する。ただし、角度 θ は図 1 のように定義する。
- 問 5 時刻 $t = nT$ (n は自然数) における糸の角度 θ_n を求めよ。
- 問 6 物体 A が図 2 に示す加速度の x 成分をもつためには、物体 A に重力、糸からの張力、棒からの抗力以外に、外力を作用させる必要がある。 $t = \frac{T}{6}$ におけるこの外力の x 成分を求めよ。

III. 次に，物体 A を水平な棒に沿って自由に動けるようにする。糸が鉛直で，物体 A が静止している状態で，物体 B に x 軸の正の向きに大きさ v_0 の速度を与えたところ，糸はたるまずに，また，糸の角度 θ が $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ のある範囲で，物体 B は振動した。図 4 には，ある時刻における，物体 A および物体 B の運動の様子を点線で示す。ただし， $|\theta|$ は微小とは限らない。このとき，以下の問に答えよ。

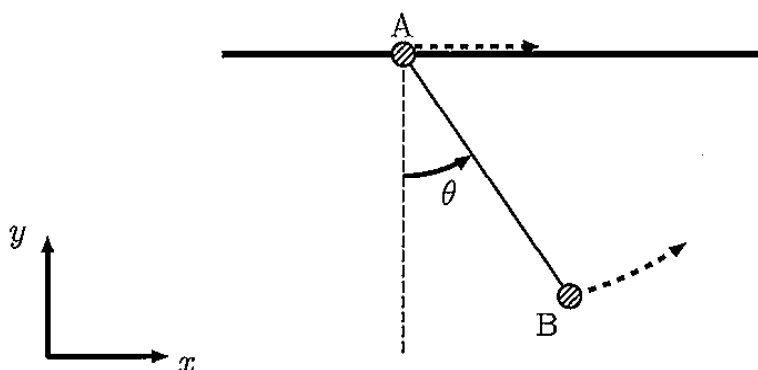


図 4

問 7 物体 B が最高点に達したときの，物体 A の速さを求めよ。

問 8 物体 B の最高点の高さを，物体 B の初期位置を基準として求めよ。

〔2〕 図1のような回路をブリッジ回路という。いくつかのブリッジ回路に関する問題を考える。ただし、導線の電気抵抗と電源の内部抵抗は、共に無視できるほど小さいものとする。

- I. 図1の回路において、抵抗1, 2, 3, 4の抵抗値が、それぞれ R_1 [Ω] , R_2 [Ω] , R_3 [Ω] , R_4 [Ω] であるとする。検流計 G に電流は流れていないものとする。直流電源の電圧の大きさを E [V] とする。このとき、以下の問に答えよ。

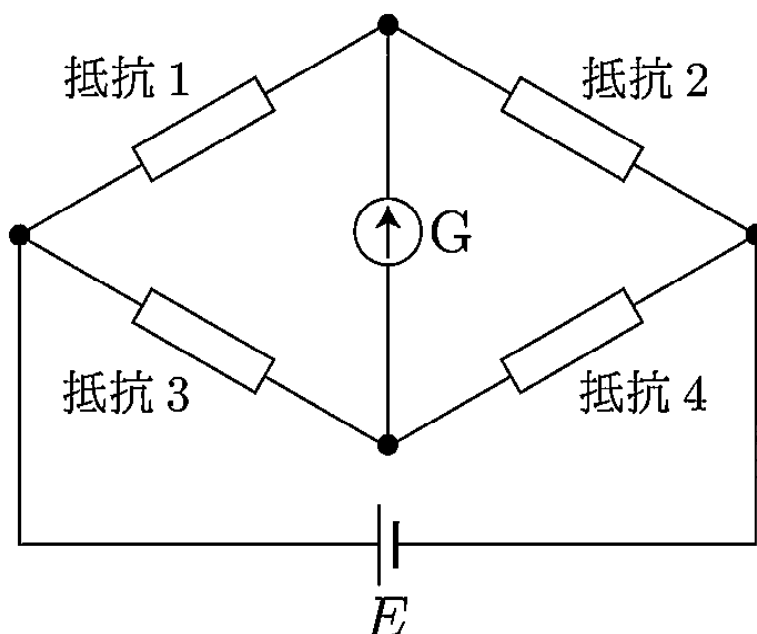


図 1

- 問 1 抵抗1に加わる電圧の大きさ V_1 [V] と、抵抗2に加わる電圧の大きさ V_2 [V] の比 $\frac{V_2}{V_1}$ を、 E , R_1 , R_2 , R_3 のうち、必要なものを用いて表せ。
- 問 2 R_4 [Ω] を、 R_1 , R_2 , R_3 を用いて表せ。

II. 単一の抵抗に加わる電圧と流れる電流との間の関係を、電流-電圧特性という。
電流-電圧特性が直線で表せない抵抗のことを非直線抵抗という。図 1 の回路が
非直線抵抗を含む場合について考える。

図 1 の回路において、抵抗 1 は非直線抵抗 X ，抵抗 2, 3 はそれぞれ抵抗値が
 R_2 [Ω]， R_3 [Ω] の抵抗，抵抗 4 は非直線抵抗 Y であるとする。非直線抵抗 X
および非直線抵抗 Y の電流-電圧特性は未知であるとする。検流計 G に電流は流
れていないものとする。直流電源の電圧の大きさを E [V] とする。このとき，
以下の問に答えよ。

問 3 抵抗 1 に加わる電圧の大きさを V_X [V]，抵抗 1 を流れる電流の大きさを
 I_X [A] とする。抵抗 2 にオームの法則を適用することによって， I_X [A]
を V_X ， E ， R_2 を用いて表せ。

問 4 $E = 4.0$ V ， $R_2 = 1.0$ Ω ， $R_3 = 2.0$ Ω とする。このとき，以下の (a)，(b)
の 2 つの場合について，それぞれ答えよ。

(a) 非直線抵抗 X として，図 2 の (あ) に示される電流-電圧特性を持つ非
直線抵抗を用いた場合を考える。このとき， V_X [V]，および，抵抗 4 に加
わる電圧の大きさ V_Y [V] を，それぞれ有効数字 2 桁で求めよ。

(b) 非直線抵抗 X と非直線抵抗 Y として，図 2 の (あ)，(い)，(う)，(え)
に示される電流-電圧特性を持つ非直線抵抗のいずれかを，それぞれ用いた
場合を考える。非直線抵抗 X と非直線抵抗 Y の電流-電圧特性として，最
も適した組み合わせを答えよ。解答においては，それぞれを (あ)，(い)，
(う)，(え) から一つずつ選ぶこと (例：「 X ：(い)， Y ：(あ)」)。なお，「 X ：
(い)， Y ：(い)」のように， X と Y について同じ選択肢を選んでもよい。

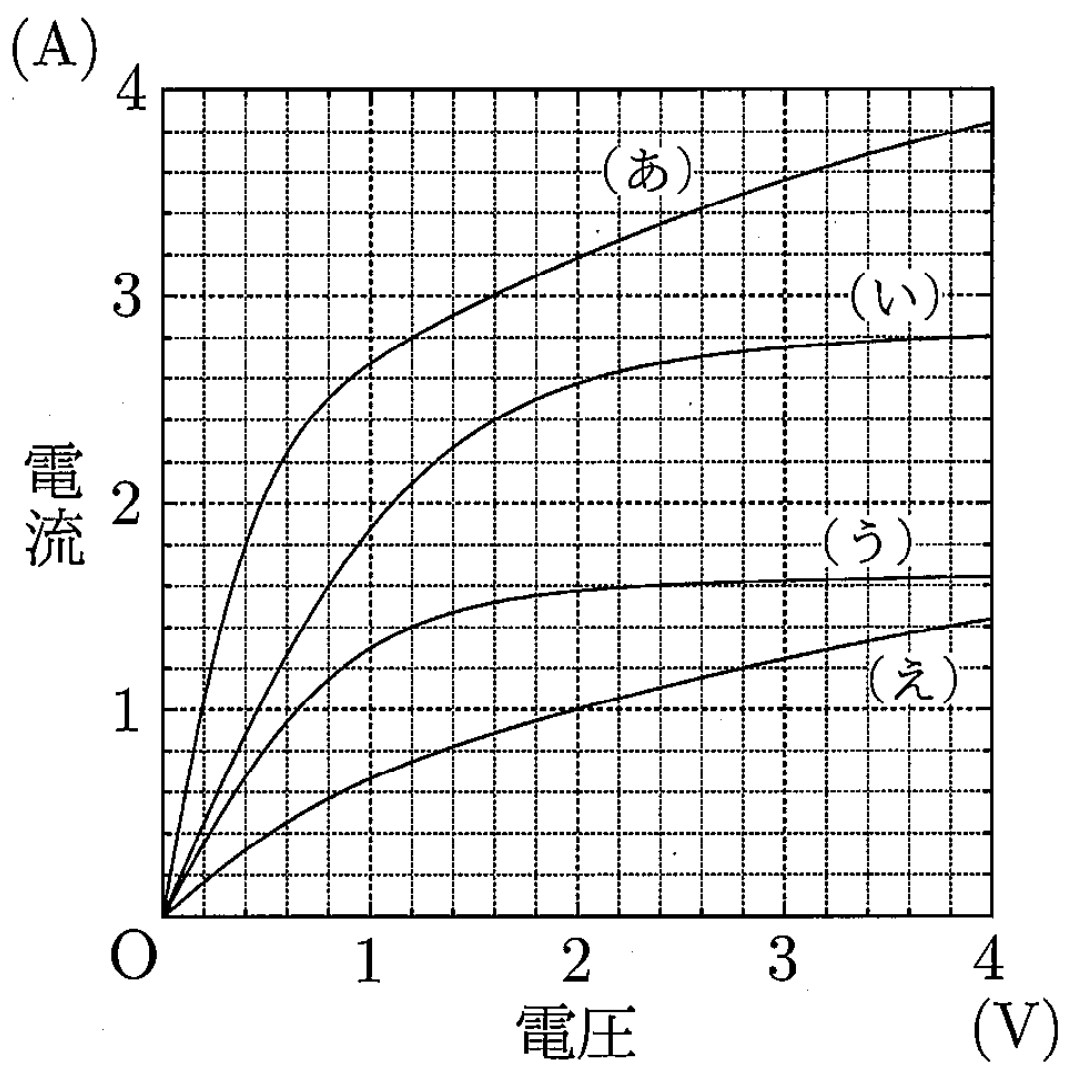


図 2

III. さらに、図 3 の回路について考える。交流電源の電圧は、最大値が E_0 [V]、角周波数が ω [rad/s] であり、点ウを基準とした点アの電位は、時刻 t [s] において $E_0 \cos(\omega t)$ となる。抵抗 5、6 の抵抗値を R [Ω]、コンデンサの電気容量を C [F]、コイルの自己インダクタンスを L [H] とする。交流電流計は、交流電流の大きさを測定できる装置である。測定の結果、あらゆる時刻において常に、点イと点エの間には電流が流れていないことがわかった。このとき、以下の問に答えよ。なお、図 3 における矢印の向きを電流の正の向きとする。また、実数 $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ に対して成り立つ、以下の公式を、必要に応じて用いてよい。

$$\alpha \cos \theta + \beta \sin \theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \cos(\theta + \gamma) \quad \left(\cos \gamma = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \sin \gamma = -\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \right)$$

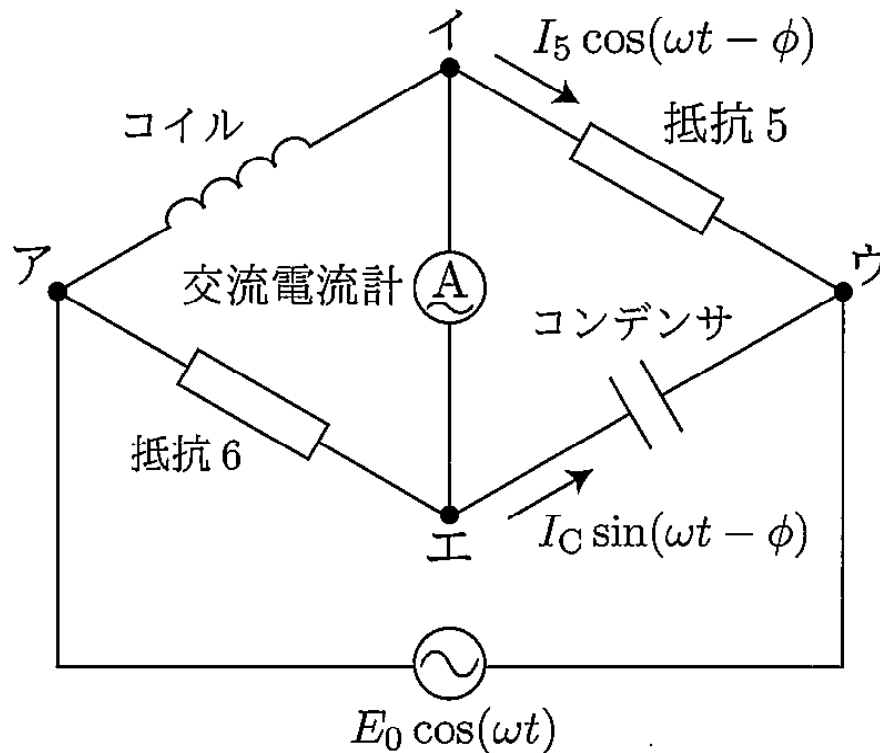


図 3

- 問 5 抵抗 5 を流れる電流を、その最大値 I_5 [A] と、交流電源の電圧との位相差 ϕ を用いて、 $I_5 \cos(\omega t - \phi)$ と表す。このとき、以下の文中の空欄 (a)~(d) に入るべき数式を解答欄に記入せよ。ただし、(a)、(b) については I_5 , ω , R , L のうち必要なものを用いて表し、(c)、(d) については E_0 , ω , R , L のうち必要なものを用いて表せ。

点ウを基準とした点イの電位は $\cos(\omega t - \phi)$ と表され、点イを基準とした点アの電位は $\sin(\omega t - \phi)$ と表される。これらの和が、交流電源の電圧 $E_0 \cos(\omega t)$ と等しい。よって、 $I_5 =$ [A], $\tan \phi =$ であることがわかる。

- 問 6 コンデンサを流れる電流は $I_C \sin(\omega t - \phi)$ と表せる。 I_C [A] を、 I_5 , ω , R , C のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 7 C [F] を ω , R , L のうち必要なものを用いて表せ。

〔3〕 以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 図1のような固定されたシリンダー内に、なめらかに動く2つのピストンがある。ピストンで仕切られたシリンダー内の各領域を、左から部屋A、部屋B、部屋Cとよぶ。部屋Aと部屋Bをピストン1、部屋Bと部屋Cをピストン2が仕切る。部屋Aと部屋Cの中にあるヒーター H_A とヒーター H_C を用いて、それぞれの部屋の内部にある気体を加熱することができる。シリンダー、ピストン、ヒーターをあわせて装置とよぶことにする。装置の熱容量は無視できる。

この装置のピストンを、外部から動かしたり固定したりすることができる。ピストンがヒーターにぶつからない範囲で動く場合について考える。各部屋にはそれぞれ1モルずつ、同一の理想気体が入っている。この理想気体の定積モル比熱を C_V 、定圧モル比熱を C_p とする。気体定数を R とする。

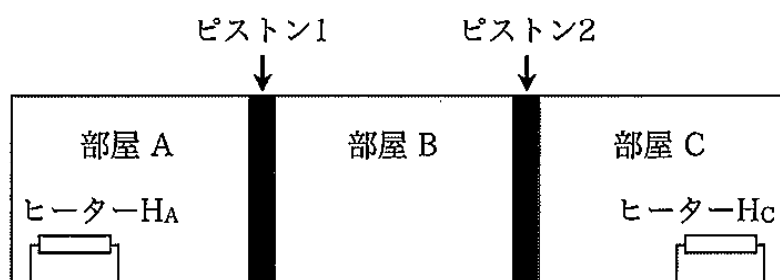


図1

- I. この装置を絶対温度 T_0 の環境に置いて、順番に以下の操作をする。はじめ、部屋A、B、Cの気体の体積はいずれも V_0 であった。装置は外部に熱を通すものとする。以下の問に答えよ。

図2に、絶対温度 T が一定である1モルの理想気体の圧力と体積の関係を示す。解答にあたっては、図2の斜線部の面積が $RT \log \frac{V_2}{V_1}$ であることを用いてよい。ここでの $\log x$ は、 $\log_e x$ である。 $e (= 2.71828 \dots)$ は無理数であり、 e を底とする対数を自然対数という。

問1 まず、ピストン2を固定した状態でピストン1を十分にゆっくりと右に動か

し、部屋 A の気体の体積が $\frac{4}{3}V_0$ となったところでピストン 1 を固定した。
 このときの、部屋 B の気体の圧力 p_B を、 R , T_0 , V_0 を用いて表せ。

問 2 問 1 の操作によってピストン 1 が部屋 B の気体にした仕事 W_B を、 R , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 問 1 で最後にピストン 1 を固定した状態からピストン 2 を十分にゆっくりと左に動かし、部屋 C の気体の体積が $\frac{4}{3}V_0$ となったところでピストン 2 を固定した。問 1 の操作を始める前からここにいたるまでの変化について、以下の量を R , C_V , T_0 , V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(a) 3 つの部屋内にある気体の内部エネルギーの増加量の総和 ΔU

(b) 装置から外部に放出された熱の総量 Q

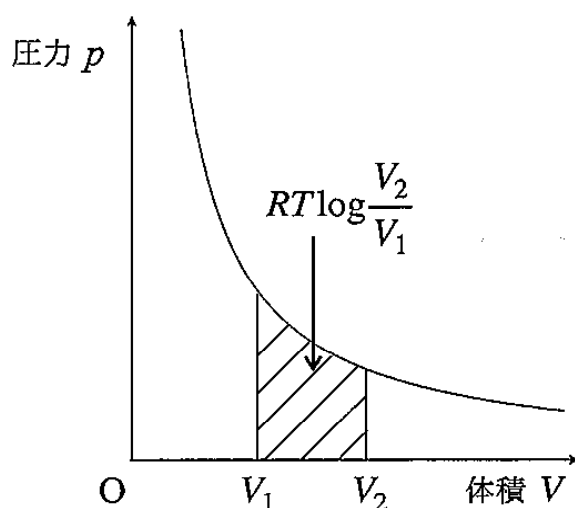


図 2

II. ふたたび、各部屋の気体の体積が V_0 、絶対温度が T_0 である状態から操作を始める。これ以降は装置を断熱材で覆い、シリンダーの外壁を通した外部との熱のやりとりが起きないものとする。2 つのピストンは固定されていない。ピストンは熱を通さない素材でできており、部屋の間での熱のやりとりはないものとする。このときの装置と気体の状態を状態 (あ) とする。

まず、ヒーター H_A を用いて部屋 A の気体をゆっくりと加熱したところ、2 つのピストンがゆっくりと動き始めた。加熱をやめてから十分に時間が経ち、2 つ

のピストンが静止したときの装置と気体の状態を、状態（い）とする。さらに、ヒーター H_C を用いて部屋 C の気体をゆっくりと加熱したところ、2つのピストンがゆっくりと動き始めた。加熱をやめてから十分に時間が経ち、2つのピストンが静止したときの装置と気体の状態を、状態（う）とする。状態（う）において、部屋 A, B, C の気体の体積比は $4:1:4$ になっていた。以下の問に答えよ。

解答にあたっては、 p を理想気体の圧力、 V を理想気体の体積とすると、断熱過程において pV^γ が一定に保たれることを用いてよい。ただし、 $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ である。

- 問 4 状態（う）における部屋 B の気体の絶対温度 T_B を、 γ , T_0 のうち必要なものを用いて表せ。
- 問 5 ヒーター H_A が部屋 A の気体に与えた熱を Q_1 、ヒーター H_C が部屋 C の気体に与えた熱を Q_2 とする。 $Q_1 + Q_2$ を γ , C_V , T_0 を用いて表せ。
- 問 6 状態（い）における部屋 A, B, C の気体の体積を、それぞれ V_A , V_B , V_C とする。 $V_A : V_B : V_C$ を、最も簡単な整数の比で表せ。

B. X線は可視光や紫外線よりも波長の短い光であり，加速した電子を物質の表面に照射すると発生する。

I. 図1のような装置を使用して，X線を発生させる場合について考える。ただし，フィラメントの電源の電圧 V_0 は，高圧電源の電圧 V に対して十分に小さい。

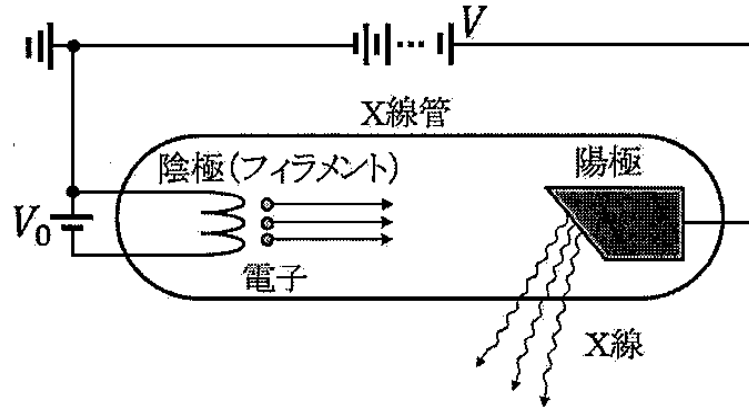


図 1

陰極・陽極間に高電圧 V を加えると X線が発生し，発生する X線の波長とその強度の関係（X線波長スペクトル）は，図2のようになる。連続 X線と，特定の波長に強い強度をもつ固有 X線（特性 X線）が発生することがわかる。電子の質量を m ，電子の電荷を $-e$ ，プランク定数を h ，光の速さを c として，以下の問に答えよ。

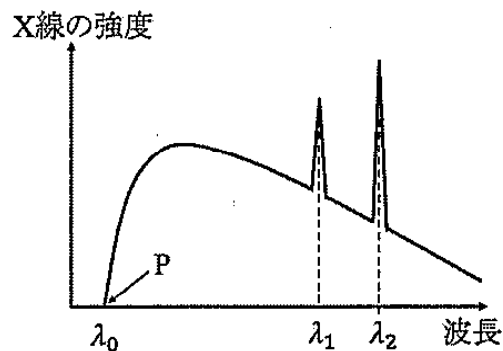


図 2

問 7 図2に示されている点Pの波長（最短波長） λ_0 を h ， c ， m ， e および V のうち必要なものを用いて表せ。

II. 図3のような原子モデルを使って、原子番号が Z ($10 < Z \leq 18$) の原子が放出する固有 X 線を考える。中心に電荷 $+Ze$ を持つ原子核があり、そのまわりを電子が等速円運動している。

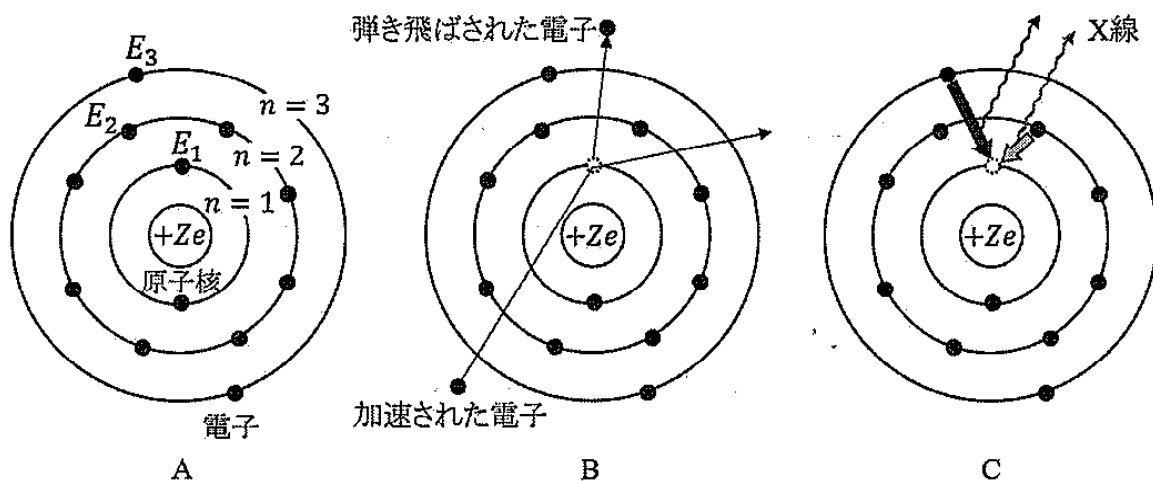


図 3

軌道上の電子は、次の量子条件にしたがう。

量子条件 原子内の電子は、円軌道の周の長さが物質波の波長の n 倍 (n は正の整数) であるときに、定常状態として安定に存在できる。

円軌道上の電子は、図3Aのように、定まった個数 ($n=1$ の軌道には2個, $n=2$ の軌道には8個, ...) だけ、低いエネルギー準位から状態を占めていく。同一 (n 番目) の軌道にある電子は、同じエネルギー準位 E_n をもつとする ($E_n < 0$)。円軌道にある電子には、原子核との間にクーロン力がはたらき、他の電子から力は受けないとする。ただし、 $n \geq 2$ の軌道にある電子からは、より内側の軌道にある電子の数の分だけ、原子核の電荷を打ち消すように見えるため、クーロン力は補正を受ける (例えば、図3Aの $n=2$ の軌道にある電子からは、原子核の電荷が $+(Z-2)e$ に見える)。

固有 X 線は、次の振動数条件にしたがって放出される。

振動数条件 図3Bのように、加速された電子が原子内の電子を弾き飛ばしたとき、図3Cのように、外側の軌道の電子がより内側の軌道に移って、エネルギー準位差に対応する振動数の X 線が放出される。

軌道上の電子の速さは、光の速さ c より十分に遅いとして、以下の問に答えよ。

- 問 8 図 3A の $n = 3$ の軌道の半径を r_3 としたとき、クーロン力と遠心力のつり合いの関係から、 r_3 を、 h , m , e , Z , 真空中のクーロンの法則の比例定数 k_0 を用いて表せ。
- 問 9 図 3A のエネルギー準位 E_2 , E_3 を、水素原子 ($Z = 1$) の基底状態の電子のエネルギー準位 E_H と Z のみを使ってそれぞれ表せ。ただし、クーロン力による位置エネルギーは無限遠をゼロ (基準) とする。
- 問 10 図 2 に示されている固有 X 線の 2 つのピークは、図 3C のように、電子が $n = 2$ から $n = 1$ と、 $n = 3$ から $n = 1$ の軌道へ移るときに放出される X 線に対応する。固有 X 線が放出される直前には、 $n = 1$ の軌道にある電子の数は 1 個であることに注意して、固有 X 線の波長 λ_2 を、 E_H , Z , h , c を使って表せ。

令和4年度個別学力検査等

板書訂正

【 前期日程 理科（化学） 】

・ 27 ページ

〔4〕〔1〕問1（1）3行目

（誤）

・・・とする。この樹脂を用いて 5.0 mmol/L ・・・

（正）

・・・とする。この樹脂を用いて 50.0 mmol/L ・・・

化 学 問 題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

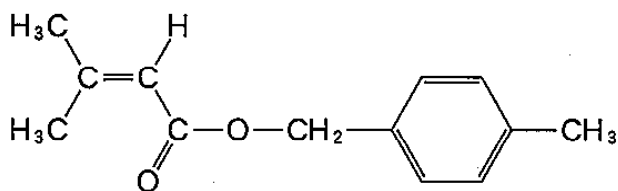
Hの原子量 = 1.0 Cの原子量 = 12.0 Nの原子量 = 14.0

Oの原子量 = 16.0 Alの原子量 = 27.0

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

2. 特にことわらない限り、構造式は下の例にならって示すこと。

(例)



3. 字数制限のある解答は、下に示す例にならって書くこと。

(例)

L	—	ア	ラ	ニ	ン	を	,	5	.	0	×	1	0	-	²	g
/	L	の	N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

地殻に最も多く含まれている元素は酸素Oである。酸素は、鉱物中の酸化物や、海水や大気の主たる成分元素の1つである。O₂は酸化剤としてはたき、化石燃料と反応してエネルギーを放出するとともに、二酸化炭素^①を生成する。また、大気を用いる内燃機関では窒素酸化物^②も生成する。これらは多量に放出されれば、地球温暖化や大気汚染の原因となり得る。

地殻の成分元素として二番目に多く含まれているのはケイ素Siであり、三番目に多く含まれているのはアルミニウムAlである。いずれも酸化物のSiO₂やAl₂O₃としてセメントの原料となるほか、SiO₂はガラスの原料としても用いられ、単体のSiは半導体の材料となっている。単体のAlは、ボーキサイトから得られるAl₂O₃^③から電気化学的な還元^④によって製造される。その製造には膨大な電力消費を伴うため、飲料用缶などのリサイクルによる再利用が進んでいる。

地殻の成分元素として四番目に多く含まれているのは鉄Feである。主成分がFe₂O₃である赤鉄鉱と主成分がFe₃O₄である磁鉄鉱などを多く含む鉄鉱石を、コークスから生成した一酸化炭素で還元^⑤することによって、銑鉄(せんてつ)が得られる。

問1 下線部①の二酸化炭素について、以下の(1)、(2)の設問に答えよ。

(1) 二酸化炭素の電子式を書け。

(2) 二酸化炭素に関連して、以下の文章の ア に適切な元素名を入れ、イ と ウ には適切な化学式を入れよ。

二酸化炭素は生物系の炭素循環において、光合成によって還元され、糖などの炭水化物に変換される。また石灰石や大理石などの主成分として ア イオンの炭酸塩が天然に存在する。日本の河川水は一般にほとんどが軟水であるのに対して、地下水や温泉水は ア イオンやマグネシウムイオンなどを多く含む硬水が多い。二酸化炭素を多く含む地下水が石灰岩を徐々に侵食すると塩である イ が溶解した水溶液となり、それが滴り落ちたときに二酸化炭素が空気中に放出され、ウ が析出して鍾乳石や石筍(せきじゅん)が形成し、鍾乳洞ができる。

問 2 下線部②の窒素酸化物において、大気汚染物質が生成する原因となるのは、おもに一酸化窒素 NO や、刺激臭のある二酸化窒素 NO₂ である。これらに関連する以下の(1)~(4)の設問に答えよ。

- (1) NO は空気中で酸化される。この反応式を示せ。
- (2) NO₂ は単体の銅と濃硝酸から生成する。この反応式を示せ。
- (3) NO₂ は O—N—O の結合を有し、窒素原子上に不対電子をもつ。常温において赤褐色の NO₂ ガスを十分に加圧するとほぼ無色となる。この無色の気体は、すべての原子において希ガス原子と似た電子配置をもつ分子から成る。このときに生成する分子の電子式を書け。
- (4) NO₂ を含めたいくつかの分子の立体構造に関する以下の文章の空欄

エ

 ~

ク

 に適切な語句や化学式を入れよ。

電子対間の反発は分子の立体構造に影響する。例えばメタン CH₄ とアンモニア NH₃ と水 H₂O の H—X—H (X = C, N, O) の角度が CH₄ > NH₃ > H₂O となるのは、

エ

 電子対と

オ

 電子対の反発が

エ

 電子対同士の反発より大きいためである。この影響に加えて、不対電子と電子対の反発は電子対間の反発より小さいことを考慮すると、亜硝酸イオン NO₂⁻、二酸化窒素 NO₂、および NO₂ が電子を 1 つ失った NO₂⁺ における O—N—O の角度の順は、

カ

 >

キ

 >

ク

 となる。

問 3 下線部③に関連した以下の文章の空欄 ケ ～ ソ にあてはまる適切な語句や数字を入れよ。

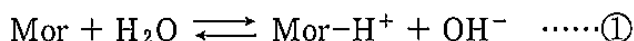
金属原子の ケ エネルギーは一般に小さいため、金属元素は陽性が強い。そのため、金属原子が規則正しく配列した結晶では、その価電子は特定の原子内にはとどまらず、結晶内のすべての原子に共有される形で結晶中を動き回ることができる。このような価電子を コ 電子といい、サ 結合や電気伝導性に関与している。つぎに、周期表の第 シ 族の元素である Si の結晶中では、ス 個の価電子をもつ Si 原子の周りに、隣接する 4 つの Si 原子が共有結合している。そこに微量の P 原子を混入すると、セ 個の価電子をもつ P 原子の周りにも隣接する 4 つの Si 原子が共有結合し、そこで余った ソ 個の価電子が コ 電子と同じように電気を運ぶはたらきをして、n 型半導体としての性質を示す。

問 4 下線部④、⑤の Al と Fe の製造法や性質に関連した以下の(1)～(3)の設問に答えよ。

- (1) Al と Fe_2O_3 との混合物(テルミット)に点火すると、激しく反応して融解した鉄 Fe が生じるため、鉄道のレールなどの溶接に利用される。このときの Al と Fe_2O_3 の熱化学方程式を記せ。ただし、 Al_2O_3 と Fe_2O_3 の生成熱はそれぞれ 1676 kJ/mol と 824 kJ/mol である。
- (2) 1000 ℃ の高温で融解した氷晶石 Na_3AlF_6 に Al_2O_3 を溶かして、炭素電極を用いて融解塩(熔融塩)電解することにより、 Al_2O_3 から単体の Al が製造されている。2.00 A の電流で、陰極で 108 g の Al を得るために要する時間(秒)を有効数字 3 桁で答えよ。また陽極で発生する主な気体の 1 つを答えよ。
- (3) Fe は、Al と Fe_2O_3 の混合物の反応により容易に得られるが、Al は、 Al_2O_3 と Fe の混合物の反応では得られない。この理由を、Al と Fe の性質を比べて 30 字以内で述べよ。

- 〔2〕 モルヒネおよびモルヒネ塩酸塩は室温で固体であり，モルヒネ塩酸塩の水溶液は医療において麻酔・鎮痛薬として用いられている。以下の文章を読み，問1～問6に答えよ。

モルヒネを水に溶かすと式①に示す電離平衡に達し，その水溶液は弱塩基性を示す。



(式中では，水素イオン H^+ が結合していないモルヒネは Mor ， H^+ が結合したモルヒネは Mor-H^+ と略記する)

モルヒネは，分子中の窒素原子がもつ非共有電子対を H^+ に与えて共有結合を形成し，陽イオンになる。

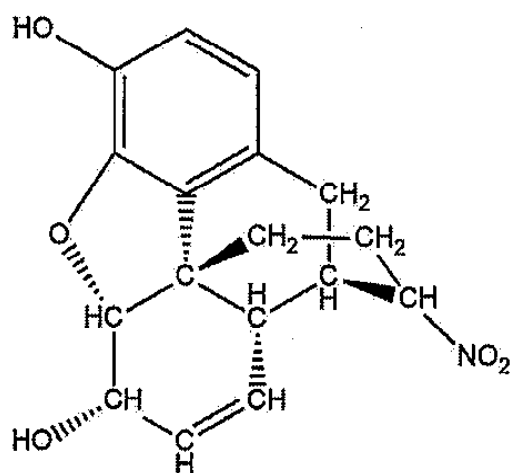
式①の電離平衡の平衡定数を K とすると，化学平衡の法則から， K は式②のように表される。

$$K = \boxed{\text{ア}} \quad \cdots \cdots \text{②}$$

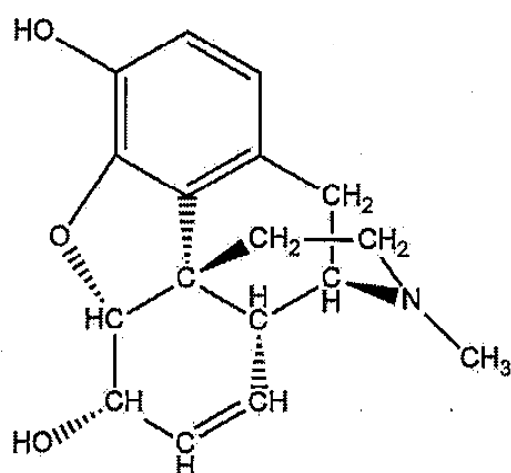
この電離平衡の中で，水のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}]$ は他の物質の濃度よりも十分大きく一定とみなせるので，モルヒネの電離定数 K_b は式③のように表される。

$$K_b = K[\text{H}_2\text{O}] = \boxed{\text{イ}} \quad \cdots \cdots \text{③}$$

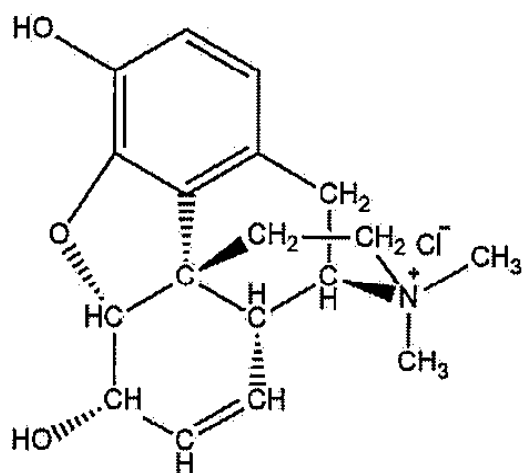
問 1 モルヒネの構造式として正しいものは、つぎの A~D のうちどれか、記号で答えよ。また、選んだ理由を示せ。



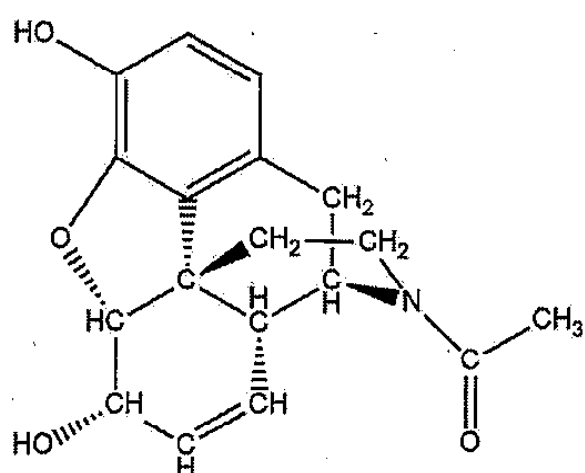
A



B



C



D

問 2 ア , イ を, $[\text{Mor}]$, $[\text{H}_2\text{O}]$, $[\text{Mor}-\text{H}^+]$, $[\text{OH}^-]$ のすべて, あるいはいずれかを用いて示せ。ただし, $[\text{Mor}]$, $[\text{H}_2\text{O}]$, $[\text{Mor}-\text{H}^+]$, $[\text{OH}^-]$ は, それぞれ水溶液中の Mor, H_2O , $\text{Mor}-\text{H}^+$, OH^- のモル濃度 (mol/L) である。

問 3 式①の電離平衡状態にあるモルヒネ水溶液に対する(i)~(v)の操作と結果の関係について、常に正しいものをすべて選び記号で答えよ。

- (i) 塩化水素を通じると、 Mor-H^+ の濃度は上昇する。
- (ii) 水酸化ナトリウムを加えると、 Mor-H^+ の濃度は低下する。
- (iii) 水で 10 倍に希釈すると、 Mor-H^+ の濃度は 10 分の 1 になる。
- (iv) モルヒネを加えると、pH は大きくなる。
- (v) モルヒネ塩酸塩を加えると、pH は大きくなる。

問 4 モルヒネ塩酸塩を水に溶かすと、酸性、中性、塩基性のうち、いずれの液性を示すか答えよ。また選んだ理由をイオン反応式を用いて答えよ。

以下の実験を 25°C で行った。ただし、 25°C における水溶液中のモルヒネの電離定数 K_b は $1.6 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ 、水のイオン積 K_w は $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とする。また、モルヒネの窒素原子以外の部分および粉末 X 中のモルヒネ以外の物質は、水溶液の pH を変化させないものとする。なお、必要があれば、 $\log_{10} 2 = 0.30$ を使ってもよい。

問 5 モルヒネを含む粉末 X (0.300 g) を純水に溶かして 3.00 L の水溶液 Y を調製したところ、その pH は 8.00 であった。

- (1) 水溶液 Y 中のモルヒネの濃度 $[\text{Mor}]$ を有効数字 2 桁で求めよ。また、解答欄には計算過程も示せ。
- (2) 粉末 X 中のモルヒネの物質量を有効数字 2 桁で求めよ。また、解答欄には計算過程も示せ。

問 6 ヒトの血液の pH は約 7.4 である。ヒトの血液の pH に合わせた注射液をつくるために、ある緩衝液にモルヒネを溶解させ、 $\text{pH} = 7.40$ のモルヒネ水溶液を調製した。この水溶液中における $[\text{Mor-H}^+]/[\text{Mor}]$ の値を有効数字 2 桁で求めよ。また、解答欄には計算過程も示せ。

- 〔3〕 **A**, **B**, **C**, **D** は、いずれも炭素、水素、酸素からなる同じ分子式をもつ分子量 300 以下のベンゼン環を含む芳香族化合物である。これらの分子の構造を決定するために、以下の操作を行った。

図 1 に示すように、**A** および **B** を酸性水溶液中で加水分解すると共通の芳香族化合物 **E** を、また **C** および **D** を同様に加水分解すると共通の芳香族化合物 **F** を生成した。**E** および **F** を酸化剤と反応させると共通の化合物 **G** を生成し、**G** を加熱して分子内脱水縮合させることで分子量 148 の化合物 **H** を得た。

(a)~(f)の文章を読み、問 1 ~ 問 6 に答えよ。

- (a) 1.92 mg の **A** を完全燃焼させると二酸化炭素 5.28 mg, 水 1.44 mg が生成した。
- (b) 等しい物質量の **E** とアニリンの混合物から脱水縮合によって得られる化合物の元素分析の結果は、質量百分率で炭素 79.59 %, 水素 6.20 %, 窒素 6.63 %, 酸素 7.58 % であった。一方、**F** とアニリンは反応しなかった。
- (c) **A**~**H** のすべての化合物はアンモニア性硝酸銀水溶液を用いる銀鏡反応を示さなかった。
- (d) 1 mol の **E**, **F**, **G** は、エーテル中で十分な量のナトリウムと反応し、それぞれ 0.5 mol, 0.5 mol, 1 mol の水素を発生した。 **E** と **G** のナトリウムとの反応生成物はいずれも水に溶解したが、**F** の反応生成物は水と反応して **F** に戻った。
- (e) **A** から **E** への加水分解で生成した脂肪族化合物 **I** はヨードホルム反応を示したが、**B** から **E** への加水分解で生成した脂肪族化合物 **J** はヨードホルム反応を示さず、また過マンガン酸カリウムとも反応しなかった。
- (f) **C** および **D** の加水分解で **F** とともに生成した化合物のうち、**D** から得られた化合物にのみ枝分かれのある炭素鎖が存在した。

問 1 (a)の結果から化合物 **A** の分子式を示せ。

問 2 (b)の結果から化合物 **E** の分子式を示せ。解答欄には導出過程も示せ。

問 3 (a)~(d)の結果から化合物 **E**, **F**, **G**, **H** の構造式を示せ。

問 4 (d)の下線部①で **G** とナトリウムとの反応の反応式を構造式を用いて示せ。

問 5 (a)~(e)の結果から化合物 **A** と **B** の構造式を示せ。

問 6 (a)~(f)の結果から化合物 **C** と **D** の構造式を示せ。

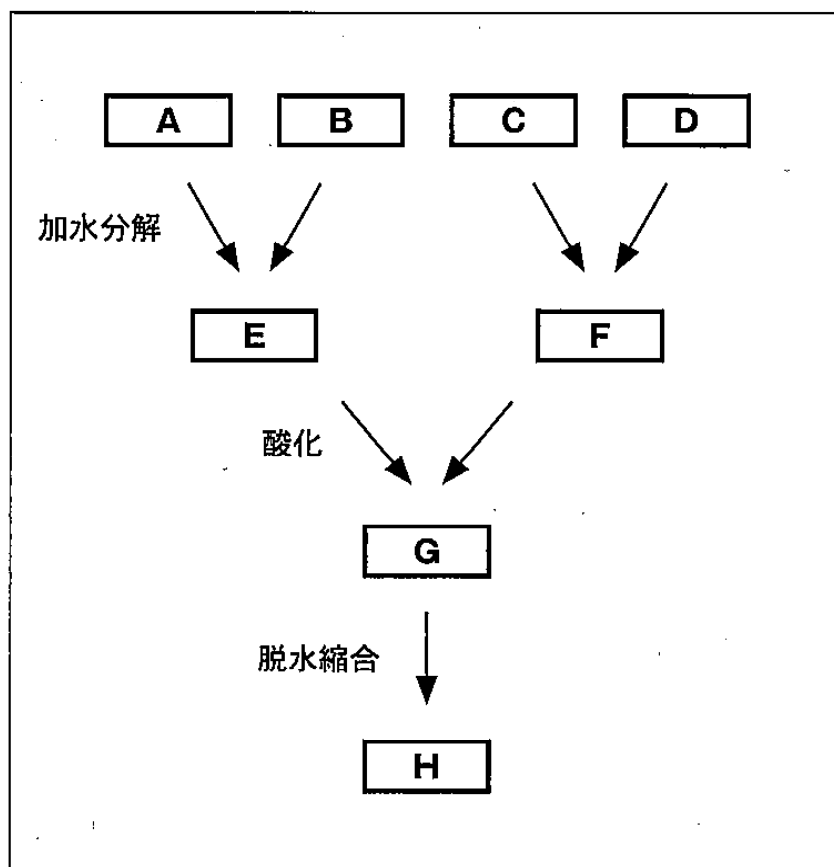


図 1

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

【1】

半導体の洗浄には、不純物である金属イオンをほとんど含まない脱イオン水や過酸化水素水が用いられる。

問1 この脱イオン水は、大量に利用できる工業用水からイオン交換樹脂で金属イオンを除去してつくられる。ここで用いるイオン交換樹脂は、以下のよう
に、架橋型ポリスチレンから作成される。

まず、スチレン $\text{CH}_2=\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)$ 41.6 g および少量の架橋剤を共重合させて架橋型ポリスチレンを合成した。次に、濃硫酸を反応させて、スチレン由来のフェニル基の 58.0 % がスルホン化されたイオン交換樹脂^①を作成した。
なお、重合は完全に進行し、架橋剤由来の部位はスルホン化されないものとする。

(1) 塩化ナトリウム水溶液中のナトリウムイオンを、下線部①のイオン交換樹脂に吸着させることで除去する。このとき、水素イオン H^+ はナトリウムイオンに完全に交換されるものとする。この樹脂を用いて 50 mmol/L の塩化ナトリウム水溶液からナトリウムイオンをすべて除去するとき、最大で何Lの水溶液が処理できるか、有効数字3桁で求めよ。解答欄には計算過程も記せ。

(2) 金属イオンを同定するため、イオン交換樹脂を充填したカラムに工業用水を通して金属イオンを吸着させ、そのカラムを水洗して流出液をすべて回収した。流出液に [Na, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ag, Pb] の金属元素のイオンが含まれているとき、以下の系統分析(a)～(c)で得られる沈殿の化学式を〔 〕の中から適切な元素を用いて記せ。また、(d)で同定される金属イオンのイオン式を〔 〕の中から適切な元素を用いて記せ。

- (a) 希塩酸を加えると白色沈殿が生じたためろ過で回収した。この沈殿は熱水に溶解した。
- (b) (a)のろ液に硫化水素を通じると黒色沈殿が生じた。
- (c) (b)のろ液を煮沸して硫化水素を追い出し、硝酸を加えて加熱後、塩化アンモニウムとアンモニア水を加えると赤褐色の沈殿が生じた。
- (d) (c)のろ液の炎色反応を調べると黄色炎を呈した。

問 2 洗浄に用いる過酸化水素水の濃度を求めるため、脱イオン水で 20 倍に希釈した。この溶液 10 mL に、硫酸で酸性にした 0.040 mol/L の二クロム酸カリウム水溶液を加えていくと、5.0 mL 加えたところで過酸化水素がすべて反応した。この過酸化水素水のモル濃度を有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には反応式と計算過程も記せ。

【Ⅱ】

陰イオン交換膜は陰イオンを、陽イオン交換膜は陽イオンを選択的に透過するため、イオン交換膜は水酸化ナトリウムの製造や海水の濃縮・淡水化などに用いられる。

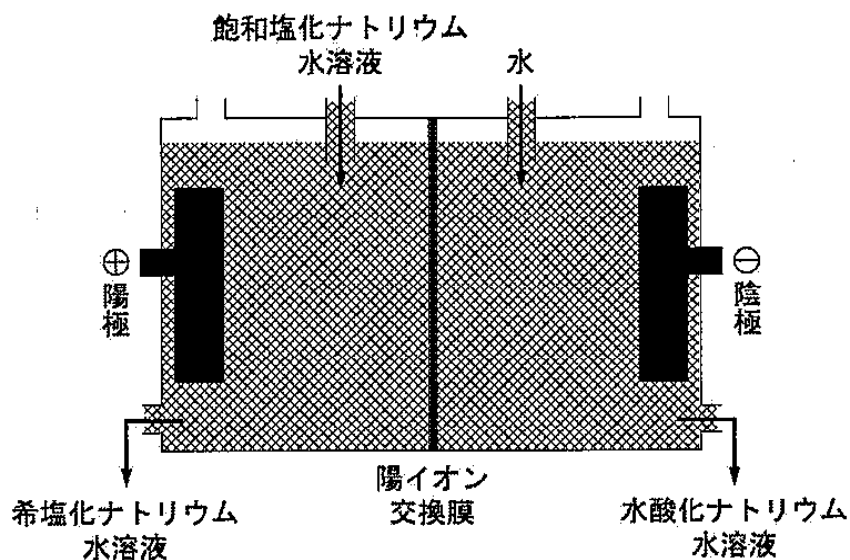


図1 水酸化ナトリウムの製造装置

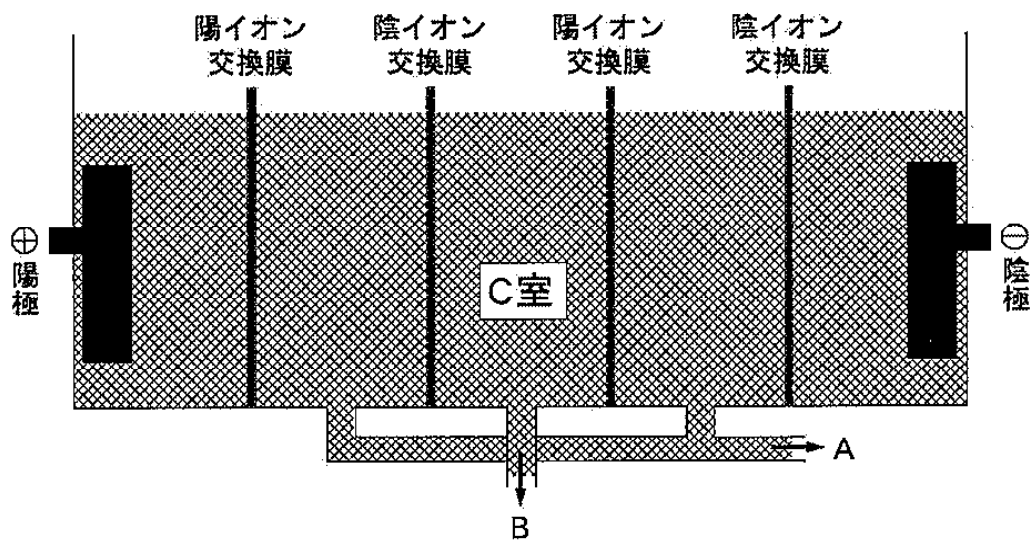


図2 海水の濃縮・淡水化装置

問 3 下線部②は、図 1 の装置を用いた塩化ナトリウム水溶液の電気分解で行われる。各電極で起こる反応式と全体の反応式をそれぞれ記せ。

問 4 図 1 の装置では、陽イオン交換膜がない場合より水酸化ナトリウムを効率よく生成できる。その理由を、反応式を用いて説明せよ。

問 5 下線部③では、工業的に図 2 のような装置が用いられ、イオン交換膜で仕切られた各室に海水を満たして電圧をかけることで海水の濃縮・淡水化を行う。A と B から回収されるそれぞれの水溶液の塩濃度を海水と比較するとどちらが高いか答えよ。また、その理由も説明せよ。

問 6 【I】のように、イオン交換樹脂のすべてのイオンが交換されると、それ以降イオン交換樹脂は使用できない。一方、図 2 の装置の C 室に陽および陰イオン交換樹脂を充填すると、イオン交換樹脂を連続的に使用できるため、水溶液中のイオンを連続的に除去できる。連続的に使用できる理由を説明した下記の文章の空欄 から に適切な語句を〔 〕から選び記入せよ。

に吸着したイオンは水の で生じたイオンと され、 を通って されて排出されるため、 が されるから。

〔陽極，電極，陰極，加水分解，海水，交換，反応，再生，電気分解，濃縮，希釈，酸化，還元，イオン交換樹脂，イオン交換膜〕

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、すべての文字を一つのマスに一つ記入すること。

〔 1 〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問 1 ～ 問 6 に答えよ。

【A】

炭水化物が呼吸基質として通常用いられるが、脂肪やタンパク質も呼吸基質となる(図 1)。脂肪は脂肪酸とモノグリセリドに分解されたのち、脂肪酸は ア 回路に、モノグリセリドは イ 系に入る。タンパク質の分解によって生じたアミノ酸は ウ 反応によって、有機酸と エ に分解される。有機酸は ア 回路に入り、有毒な エ は尿素回路(オルニチン回路)と呼ばれる回路に入り、毒性の弱い尿素となる。尿素は血流に乗り、腎臓で濾過(ろか)されて尿中へ排泄される。

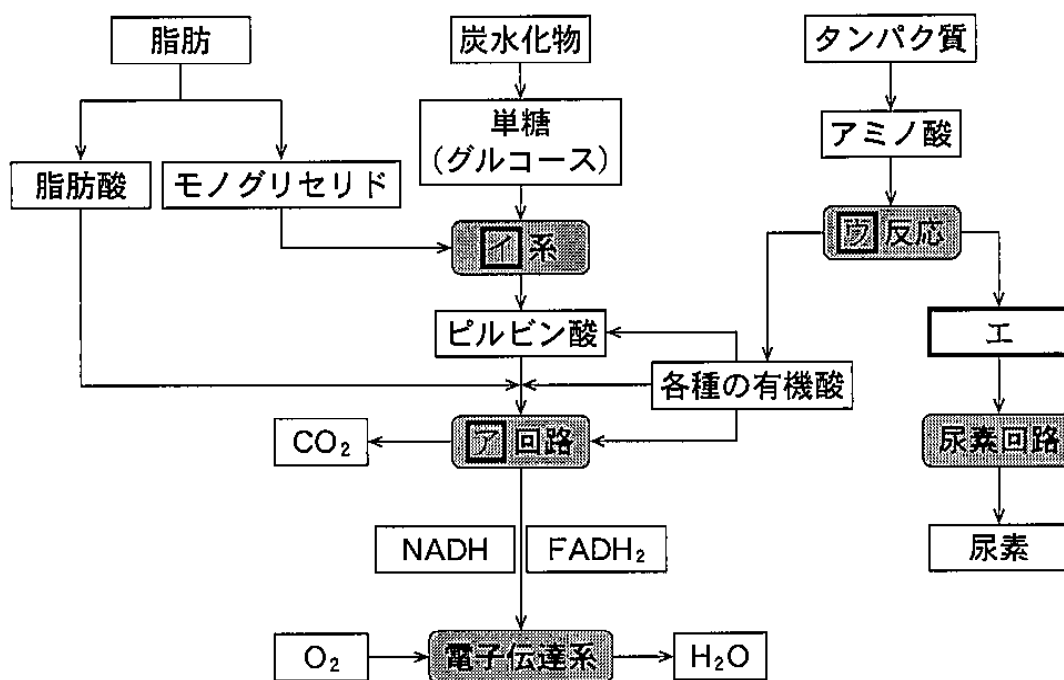
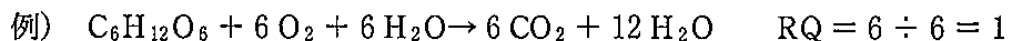


図 1 各呼吸基質の分解経路

問 1 文中、図 1 中の空欄 ア から エ に適切な語句を入れよ。

問 2 炭水化物・脂肪・タンパク質は呼吸基質となり、呼吸に伴い酸素を吸入し、二酸化炭素を放出する。この際の酸素と二酸化炭素の体積比、すなわち CO_2/O_2 を呼吸商 (RQ) と呼ぶ。炭水化物であるグルコースの反応式を例に示す。グルコースの RQ は 1 である。



(1) 脂肪酸である(i)オレイン酸($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$)、アミノ酸である(ii)バリン($\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_2$)の反応式を、例にならって係数が整数になる反応式で示せ。

(2) (i)オレイン酸、(ii)バリンの RQ を計算せよ。値は四捨五入して小数点第 2 位までの数で答えよ。

問 3 炭水化物はグリコーゲンとして肝臓をはじめ、筋肉などの組織に貯留されていく。貯留できるグリコーゲン量はヒトの場合、約数百グラムである。過剰に摂取した炭水化物は脂肪に合成され、脂肪組織に貯留されていく。中程度の強度の有酸素運動を行うことは、強い強度の無酸素運動を行うよりも効率がよい脂肪の減量が期待できる。

(1) 有酸素運動の方が無酸素運動よりも効率がよい脂肪の減量が期待できる理由について、呼吸基質の違いを含めて 125 字以内で説明せよ。

(2) 無酸素運動時に比べ、有酸素運動を行った際に想定される RQ の変化を簡潔に説明せよ。

【B】

ヒトの肝臓は、消化管に付属する最も大きな内臓器官である。その重量は成人で体重の約 % におよぶ。さまざまなはたらきを担っていることから肝臓は“体内の生化学工場”とも呼ばれている。肝臓は多様な物質の生成・貯蔵・分解を行うことができる。個体が、たえず変化する環境におかれながら、体内の状態を常に安定に保ち、生命を維持するしくみ()のために肝臓は極めて重要な臓器である。例えば尿素の合成、胆汁の合成、熱の発生のほか、体内に摂取した、あるいは体内で発生した有害な物質の影響を酵素反応によって軽減するはたらきがある。

肝臓は他の臓器と異なる特徴的な血流を受けている。心臓から大動脈を経て流入する肝動脈の血液には酸素が多く含まれている。小腸で吸収された栄養素に富んだ血液は、小腸からの静脈につながる血管である を介して肝臓へ流入する。これら二つの血管は肝臓内の六角形の最小構成単位である と呼ばれる構造の周辺部から中心静脈へと流れ込む。中心静脈から肝静脈に合流して、 を介して血液が心臓右房に戻っていく。

問 4 文中の空欄 にあてはまる数値を下から一つ選べ。

0.5 1 2 7 15

問 5 文中の空欄 から に適切な語句を入れよ。

問 6 下線(a)に関連して、以下の問に答えよ。

- (1) このようなはたらきを何と呼ぶか答えよ。
- (2) 肝硬変は何らかの原因によって肝細胞の傷害が持続することで肝細胞が減少し、線維に置き換わっていくことによって肝臓が硬くなる病気である。肝硬変では肝細胞の減少に伴い、肝臓本来の機能が著しく低下していく。さらに、肝硬変の進展に伴い、力 から肝臓への血流が悪くなり、特にタンパク質の多い食事摂取後に脳機能異常(意識障害、けいれんなど)を引き起こす肝性脳症を発症することがある。タンパク質の多い食事摂取が肝硬変患者において肝性脳症を引き起こす理由について、栄養素の消化・吸収・代謝の観点をふまえて 100 字以内で説明せよ。

〔2〕 動物の感覚と行動についての以下の文章【A】，【B】を読み，問1～問5に答えよ。

【A】

動物は，自らを取り巻く環境の情報を得るため，外界からの物理刺激などを感じとる様々な受容器を持っている。空気の振動を音として捉えるための受容器は耳である。ヒトの耳は，外耳，中耳，内耳から成り立っている。外耳で捉えられた空気の振動は，中耳に存在する3つの 骨を伝わって内耳に伝えられる。すると，内耳の 管の中を満たしているリンパ液が振動し，その結果， 管の中に存在する基底膜が振動する。この膜の上には，それぞれの場所の振動を神経情報に変換するはたらきをする 器官または 器と呼ばれる構造が存在し，空気の振動に伴う基底膜の振動の情報を脳へと伝え，結果として聴覚が生じる。聴覚では，空気の振動の有無や強弱だけでなく，振動の周波数も検出される。

(a)

問1 文章中の ～ に当てはまる語句を答えよ。

問2 下線部(a)のように周波数の違いを検出できるのは，異なる周波数の空気振動を耳が受容したとき， 管の中で基底膜が最も大きく振動する場所が異なるためである。高い周波数の空気振動(高音)を受容したときと低い周波数の空気振動(低音)を受容したときでは，基底膜が最も大きく振動する場所がどのように異なるのかを簡潔に答えよ。

【B】

光受容器である眼の中には、光刺激を視覚神経情報に変換するはたらきを担う視細胞が存在する。脊椎動物の視細胞には、薄暗い光環境ではたらく桿(かん)体細胞(桿体)と、明るい光環境ではたらく錐体細胞(錐体)がある。

多くの脊椎動物の眼には、吸収する光の波長が異なる複数の種類の錐体と、
(b) 1種類の桿体が存在する。例えば、硬骨魚類の一種である魚Aの眼には、成魚になると、4種類の錐体(L錐体、M錐体、S錐体、UV錐体)に加えて1種類の桿体が存在する。それぞれの視細胞がどの波長の光を吸収して応答するのかを図1に示す。この魚は、これらの視細胞で得られた情報を使いわけて、後述する追従や捕食などの行動をとるか否かを決めている。

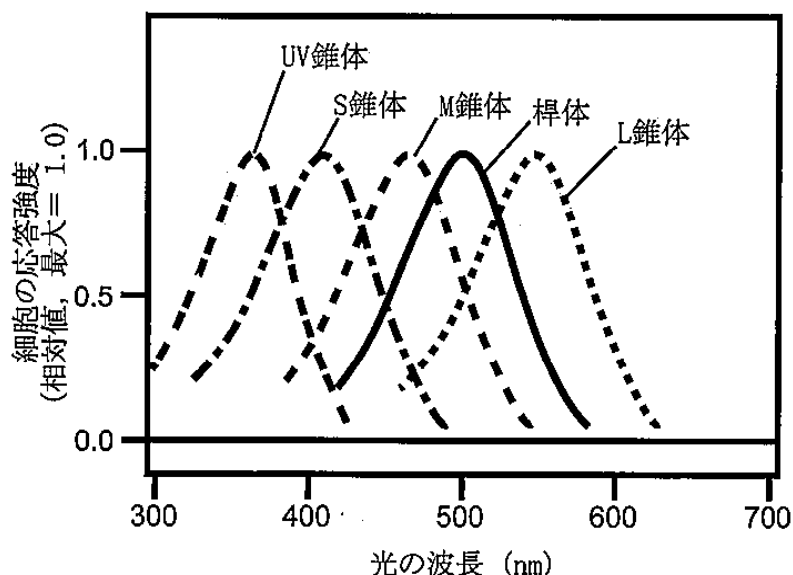


図1

卵から孵化して数日たった魚Aの幼魚について、成魚と同じように4種類の錐体を持っているかどうかを調べるため、以下の2つの実験を行った。

なお、以下の実験では、成魚が持つ錐体が幼魚にあるかないか、のみで考察することとし、幼魚のみが持つ視細胞が存在する可能性や、視細胞以外に行動に関わる光受容細胞が存在する可能性は考慮しないものとする。また、実験に使われた光の強度は錐体のはたらく強度であって、光の反射等で光の波長が変わることはないものとする。

【実験 1】

図 2 のように、幼魚が入っている水槽の底に様々な波長の光で動画を示すことのできる装置を設置した。次に、図 2 に示したように特定の波長の光の縞(シマ)模様を矢印の方向に動かした。すると、水槽内の幼魚は、縞模様が 500 nm の波長の光、または 600 nm の波長の光で示されたときには、縞模様の動きにつられて同じ方向へ泳ぐ行動(追隨行動)をとった。一方、380 nm の波長の光や 700 nm の波長の光で縞模様の動きが示された時には追隨行動をとらなかった。

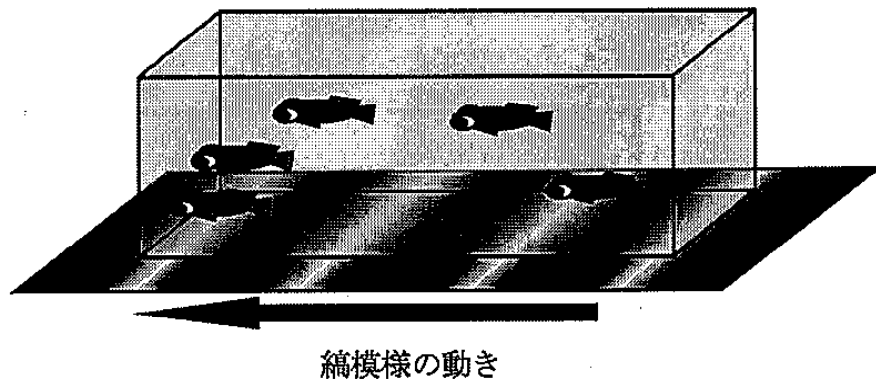


図 2

【実験 2】

図 3 のように、幼魚を接着剤で水槽の中に固定した後、その周りに餌となるゾウリムシを泳がせた。水槽の中を 380 nm, 500 nm, 600 nm, 700 nm の波長の光で同時に照明すると、魚の正面にゾウリムシが泳いできたとき、魚はゾウリムシを捕食しようと激しく体をくねらせる行動(捕食行動)をとった。照明光を 380 nm の波長の光だけにした場合にも、同様の捕食行動が見られた。一方、水槽内を 500 nm, 600 nm, または 700 nm の波長の光だけで照明した場合には捕食行動をとらなかった。なお、ゾウリムシの動きは照明する光の種類で大きく変わることはなかった。

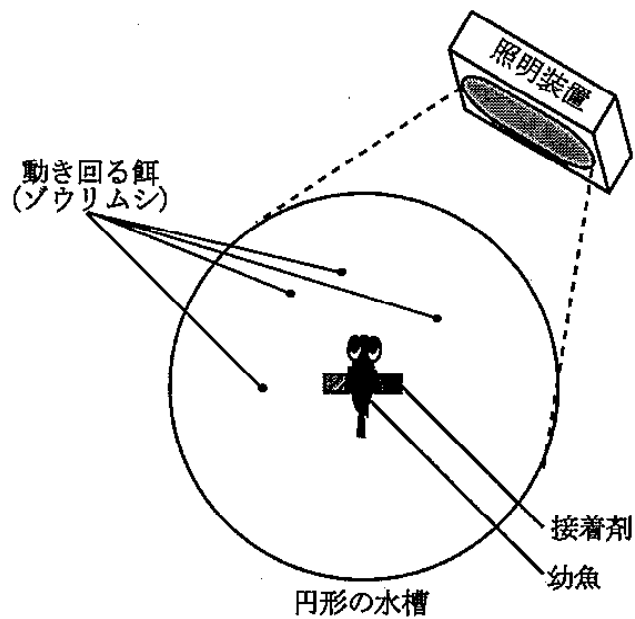


図 3

問 3 下線部(b)から，薄暗い光環境での視覚と明るい光環境での視覚にどのような違いが生じるか，簡潔に説明せよ。

問 4 以下に挙げる仮説(1)から仮説(4)までの記述のうち，図 1 と実験 1，実験 2 から正しいと考えられる仮説を一つ選べ。また，その仮説が正しいと考えられる理由を簡潔に説明せよ。

仮説(1)：幼魚は，500 nm，600 nm の波長の光は知覚できるが，380 nm の波長の光は知覚できない。

仮説(2)：幼魚は，餌であるゾウリムシが発する振動や匂いを知覚しただけでは捕食行動をとらない。

仮説(3)：幼魚は，380 nm の波長の光を知覚する際に，S 錐体しか使わない。

仮説(4)：幼魚は，500 nm の波長の光を知覚する際に，L 錐体しか使わない。

問 5 図 1 と実験 1，実験 2 から，成魚に存在する 4 種類の錐体(L, M, S, UV 錐体)のうち，幼魚にかならず存在すると考えられるものがある。それはどの錐体か，該当するものをすべて答えよ。また，そのように考えられる理由を簡潔に説明せよ。

〔 3 〕 近交系のマウス A と別系統の近交系のマウス B を用いて行われた免疫に関する以下の実験内容を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。なお、近交系のマウスとは、近親交配を繰り返して得られた遺伝的背景が揃った系統のマウスのことである。その特徴として、成熟したマウス A に別個体のマウス A の皮膚を移植しても、移植片は脱落しないことが知られている。

【実験 1】 成熟したマウス A にマウス B の皮膚を移植すると 10 日後に移植片は脱落した。

【実験 2】 実験 1 を行った後のマウス A を用い、1 ヶ月後にマウス B の皮膚を移植すると 5 日後に移植片は脱落した。

【実験 3】 生後直ぐのマウス A の胸腺を手術により完全に摘出することで、胸腺摘出マウス A を作製した。成熟した胸腺摘出マウス A にマウス B の皮膚を移植したが、移植片の脱落は認められなかった。

【実験 4】 成熟したマウス A にヒツジ赤血球を注射した。2 週間後に採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球は凝集した。一方、ヒツジ赤血球を注射していない成熟したマウス A から採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球の凝集は認められなかった。

【実験 5】 生後直ぐのマウス A の胸腺を手術により完全に摘出することで、胸腺摘出マウス A を作製した。成熟した胸腺摘出マウス A にヒツジ赤血球を注射した。2 週間後に採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球の凝集は認められなかった。また、ヒツジ赤血球を注射していない成熟した胸腺摘出マウス A から採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球の凝集は認められなかった。

【実験 6】 生後直ぐのマウス A の胸腺を手術により完全に摘出することで、胸腺摘出マウス A を作製した。成熟した胸腺摘出マウス A に、成熟した別個体のマウス A から採取したリンパ球とヒツジ赤血球を混合して一緒に注射した。2 週間後に採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球は凝集した。

【実験 7】 生後直ぐのマウス A の胸腺を手術により完全に摘出することで、胸腺摘出マウス A を作製した。次に別の成熟したマウス A にヒツジ赤血球を注射し、2 週間後にリンパ球を採取した。このリンパ球を成熟した胸腺摘出マウス A に注射した。2 週間後に採血し、その血清とヒツジ赤血球を混合したところ、ヒツジ赤血球は凝集した。

問 1 実験 2 では、実験 1 に比べて皮膚移植片が脱落するまでの日数が短くなっている。皮膚移植片が脱落した要因、及びなぜこのような違いが生じたのかについて、下記の語句をすべて用いて 150 字以内で説明せよ。

語句：キラー T 細胞、拒絶反応、免疫記憶、細胞性免疫、記憶細胞

問 2 実験 1 では、皮膚移植片の脱落が認められたのに対して、実験 3 では、皮膚移植片の脱落は認められなかった。なぜ、実験 1 と実験 3 で皮膚移植片の脱落に違いが生じたのか、50 字以内で説明せよ。

問 3 実験 4 では、ヒツジ赤血球を注射していないマウス A の血清で、ヒツジ赤血球の凝集は認められなかったのに対して、ヒツジ赤血球を注射したマウス A の血清では、ヒツジ赤血球が凝集した。なぜ、ヒツジ赤血球を注射したマウス A の血清では、ヒツジ赤血球が凝集したのか、75 字以内で説明せよ。

問 4 実験 5 では、ヒツジ赤血球を注射した胸腺摘出マウス A の血清で、ヒツジ赤血球の凝集は認められなかったのに対して、実験 6 ではヒツジ赤血球は凝集した。なぜ、実験 5 と実験 6 でヒツジ赤血球の凝集に違いが生じたのか、150 字以内で説明せよ。

問 5 実験 7 では、成熟した胸腺摘出マウス A にヒツジ赤血球を注射していないにも関わらず、その血清はヒツジ赤血球を凝集させた。その理由を 50 字以内で説明せよ。

〔 4 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

動物の中には太陽を利用し、自らが向かうべき方角を知るものがある。ある鳥の仲間は、一年の中で渡りの季節になると、太陽の方角を手掛かりに決まった方角へ長距離移動することが知られている。また、窓から太陽の方角がわかる室内でその鳥を飼育し、いつも決まった方角で餌を与えると、餌の方角を覚えて定位する。しかし、鏡を使って太陽が見える方角を変えると、餌の方角へ正しく定位できない。太陽の方角は一日の時刻に応じて移動するが、この鳥は時刻に関わらず太陽を手掛かりに特定の方角へ定位する。このしくみを持つ鳥を用いて以下の実験を行った。ただし、実験期間中の太陽の動きは春分の日と変わらないものとして考えよ。

【実験 1】

- 1-1) 北半球のある地域で、春分の頃(日の出 6 : 00, 日没 18 : 00), 昼行性の同種の鳥 a, b を 1 個体ずつかごに入れ、周囲に窓のある円形の実験室の中央に置き(図 1), 実験室の照明を調節した光周期(12 時間明期 12 時間暗期, 明期開始 6 : 00, 明期終了 18 : 00)を与えた。そして、明期に周囲の窓から空と太陽だけが見える環境で鳥を飼育した。また、鳥かごの周りに図 1 のように餌を置く台を等間隔に 12 個並べ、特定の一つの台に餌を置いた。鳥 a の餌は南の、鳥 b の餌は西の台に置いた(図 2 A)。そして、明期の様々な時刻に鳥をかごから出して、餌を自由に食べさせた。
- 1-2) 1-1) の飼育期間の後半、いずれの台にも餌を置かず明期の様々な時刻に鳥をかごから出し、最初にどの台を訪れるか調べた。鳥 a と鳥 b の結果を図 2 B に示す。各台の数字は、その台を最初に訪れた回数を示している。

【実験 2】

- 2-1) 実験 1 の後、すべての窓を閉めて鳥が太陽を見ることができない状態にした。そして、新しい光周期(12 時間明期 12 時間暗期, 明期開始 12 : 00, 明期終了 24 : 00)を与え、鳥かご内で水と最低限の餌を与えて飼育した。
- 2-2) 2-1) の飼育期間の最後の数日間、12 : 00 から 24 : 00 の間で太陽が出ている時間にすべての窓を開け、鳥をかごから出し、餌を置いていない 12 か所の台のうち、最初にどの台を訪れるかを調べた。その結果を図 2 C に示す。

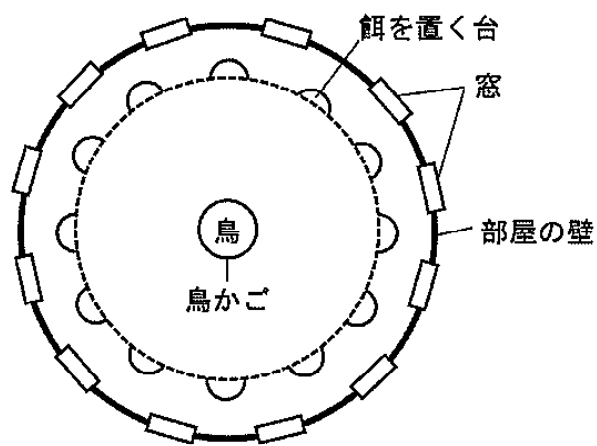


図 1

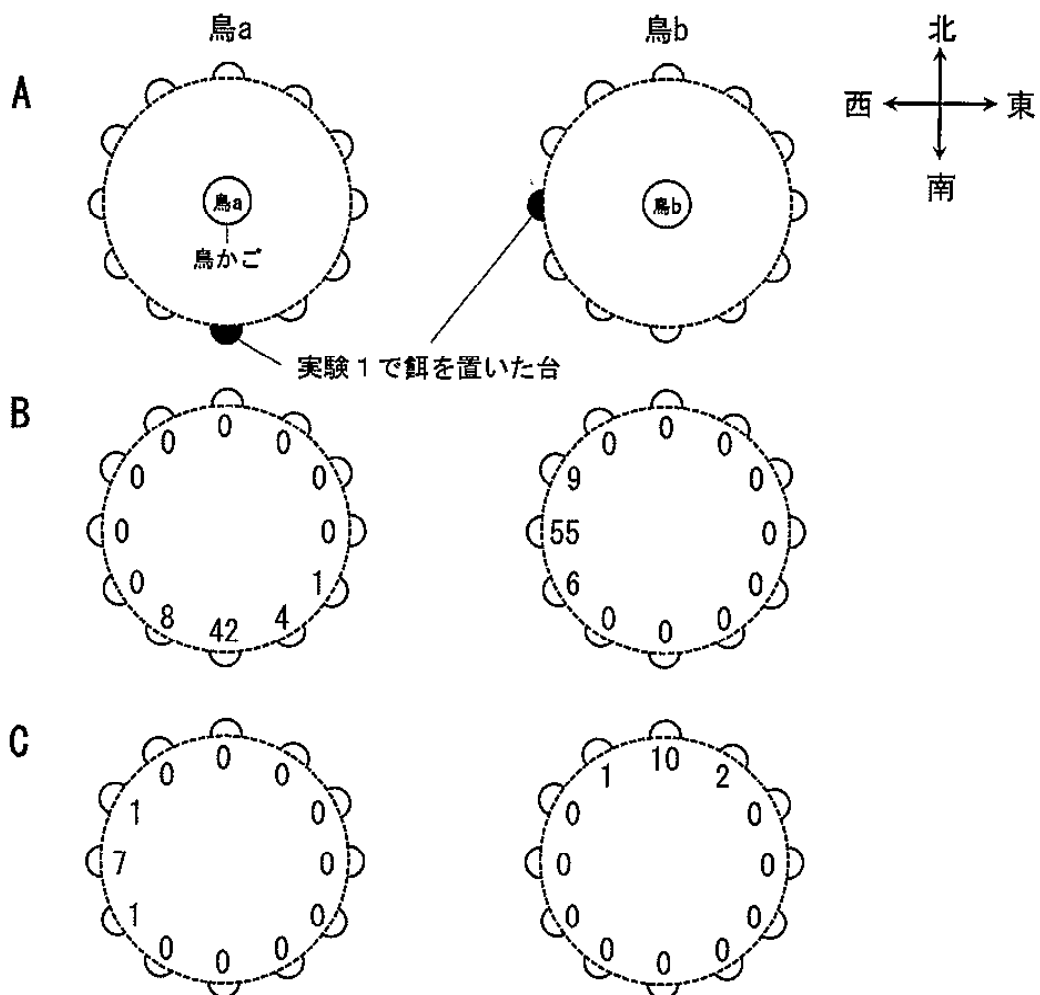


図 2

問 1 動物が用いる下線部(a)の生理機構を何と呼ぶか答えよ。

問 2 図 2 A の状態で鳥 b が 10 : 00 と 16 : 00 に餌に向かう状況を考える。

10 : 00 と 16 : 00 それぞれにおいて、鳥かごの中にいる鳥 b から見て太陽と餌の方角はおおよそ何度異なるか答えよ。その角度を導いた根拠を途中の計算式を含めて説明せよ。ただし、太陽の方角(東西南北)は 1 時間当たり 15 度移動するものとして考えよ。

問 3 鳥が一日の時刻を知ることができれば、問 2 のような時刻による違いを計算して餌のある台にたどりつくことができる。一日の時間を計り、時刻を知るための生理機構を何と呼ぶか答えよ。

問 4 図 2 C において、餌を探して最初に訪れた台の方角が図 2 B と比べて時計回りへおおよそ何度ずれたのかを考慮し、鳥が問 3 の生理機構を利用して太陽の方角からどのように餌の方角を知ると考えられるかを説明せよ。