

数学・物理・化学・生物

注 意 事 項

試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけない。

1. 数学科、化学科、生物学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の◎印の問題、及び出願時に選択した問題(○印の科目から1科目)をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

物理学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の◎印の問題をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

情報科学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の出願時に選択した問題(○印の科目から2科目)をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

食物栄養学科、人間・環境科学科を志望する者は、問題選択一覧表の当該学科の出願時に選択した問題(○印の科目から1科目)をそれぞれの答案用紙に解答せよ。

問題選択一覧表

(◎印：必須科目、○印：選択科目)

学 科 名		数 学 専 門 ①	数学◎	物理◎	物理◎	化学◎	化学◎	生物◎	生物◎
理 学 部	数 学 科	◎			○		○		○
	物 理 学 科		◎	◎	◎				
	化 学 科				○	◎	◎		○
	生 物 学 科				○		○	◎	◎
	情 報 科 学 科		○		○		○		○
生 活 科 学 部	食 物 栄 養 学 科				○		○		○
	人 間 ・ 環 境 科 学 科				○		○		○

2. この冊子の本文は36ページまでである。印刷の不鮮明な部分、ページの脱落などがあった場合は申し出ること。

3. 答案用紙には、すべてに受験番号と氏名を記入すること。

記入例

受験 番号	1	2	3	4	5	氏名	大塚 茶織
----------	---	---	---	---	---	----	-------

4. この問題冊子及び下書用紙は持ち帰ること。

数 学 専 門 ①

解答は、それぞれ問題の番号に対応する答案用紙に
書くこと。

1 座標平面において双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ を C とする。双曲線 C の漸近線のうち傾きが負の漸近線を l とする。

- (1) 漸近線 l の方程式を書け。
- (2) t を正の実数とする。 y 軸上の点 $(0, t)$ を通り漸近線 l に平行な直線を l_t で表す。直線 l_t と曲線 C との交点を P_t とするとき、点 P_t の x 座標、 y 座標をそれぞれ t を用いた式で表せ。
- (3) 曲線 C 上に点 P をとる。ただし、点 P は第一象限にあるとし、点 P の x 座標を p とする。
 - (i) 点 P を通り漸近線 l に平行な直線の y 軸との交点の y 座標を p を用いた式で表せ。
 - (ii) 点 P における曲線 C の接線と x 軸と曲線 C で囲まれた図形の面積を p を用いた式で表せ。

2 数列 $\{a_n\}$ がすべての自然数 n について

$$a_n + a_{n+2} \geq 2a_{n+1}$$

を満たしているとする.

(1) すべての自然数 n に対して次の不等式が成立することを示せ.

$$\frac{a_n + a_{n+2} + a_{n+4}}{3} \geq \frac{a_{n+1} + a_{n+3}}{2}$$

(2) すべての自然数 n と k に対して次の不等式が成立することを示せ.

$$\frac{a_n + a_{n+2} + a_{n+4} + \cdots + a_{n+2k}}{k+1} \geq \frac{a_{n+1} + a_{n+3} + a_{n+5} + \cdots + a_{n+2k-1}}{k}$$

3 正の実数全体を定義域とする関数 $f(x)$ は定数関数でなく, さらにすべての正の実数 x, y に対して等式

$$f(x \times y) = f(x) \times f(y)$$

が成り立っているものとする. また, 関数 $f(x)$ は $x = 1$ で微分可能であるとする.

- (1) 値 $f(1)$ を求めよ.
- (2) すべての正の実数 x に対して $f(x) > 0$ となることを示せ.
- (3) 関数 $f(x)$ がすべての正の実数 x で微分可能であることを示せ.
- (4) $f'(1) = a$ であるとき, a を用いて $(\log f(x))'$ を表せ.
- (5) $f'(1) = a$ であるとき, a を用いて $f(x)$ を表せ.

数 学 ⑧

解答は、それぞれ問題の番号に対応する答案用紙に書くこと。

1 座標平面において双曲線 $x^2 - y^2 = 1$ を C とする。双曲線 C の漸近線のうち傾きが負の漸近線を l とする。

- (1) 漸近線 l の方程式を書け。
- (2) t を正の実数とする。 y 軸上の点 $(0, t)$ を通り漸近線 l に平行な直線を l_t で表す。直線 l_t と曲線 C との交点を P_t とするとき、点 P_t の x 座標、 y 座標をそれぞれ t を用いた式で表せ。
- (3) 曲線 C 上に点 P をとる。ただし、点 P は第一象限にあるとし、点 P の x 座標を p とする。
 - (i) 点 P を通り漸近線 l に平行な直線の y 軸との交点の y 座標を p を用いた式で表せ。
 - (ii) 点 P における曲線 C の接線と x 軸と曲線 C で囲まれた図形の面積を p を用いた式で表せ。

2 数列 $\{a_n\}$ がすべての自然数 n について

$$a_n + a_{n+2} \geq 2a_{n+1}$$

を満たしているとする.

(1) すべての自然数 n に対して次の不等式が成立することを示せ.

$$\frac{a_n + a_{n+2} + a_{n+4}}{3} \geq \frac{a_{n+1} + a_{n+3}}{2}$$

(2) すべての自然数 n と k に対して次の不等式が成立することを示せ.

$$\frac{a_n + a_{n+2} + a_{n+4} + \cdots + a_{n+2k}}{k+1} \geq \frac{a_{n+1} + a_{n+3} + a_{n+5} + \cdots + a_{n+2k-1}}{k}$$

物 理 ㊤

- 解答は答案用紙に書くこと。
- 答案には，結果の式や数値のみでなく，導出方法も記述せよ。たとえ時間内に結果が完全に得られない場合でも，考え方の道筋や方針を記述せよ。

1 図1のように yz 座標面にある薄い平面状の壁によって $A(x < 0)$ と $B(x > 0)$ の2つの領域に分かれている。この壁は，電荷を通さないが電場は通すとする。また，電荷が壁に接触すると壁からは垂直抗力のみ働くとする。領域 B 内で壁から距離 d だけ離れた $(d, 0, 0)$ の位置に点電荷 $-q$ を固定する。ここで $q > 0$ とする。壁および領域 A, B の誘電率はすべて真空中の誘電率と同じとして，以下の問(1)～(6)に答えよ。

- (1) 領域 A 内に点電荷 $+q$ を置く。どの位置に置くと点電荷に働く力がつりあい，位置エネルギーが最も低くなるか。理由を付けて答えよ。
- (2) 問(1)の状態で，2つの点電荷を含む面内での電気力線の様子を図示せよ。
- (3) $+q$ の点電荷を問(1)の働く力のつりあう位置に固定した状態で，さらに $+q$ の点電荷を領域 A 内に加える。この点電荷をそれに加わる力の方向に少しずつ移動させたとき，この点電荷はどの位置に移動していくか答えよ。
- (4) 問(1)で領域 A 内に置く点電荷が $+\frac{q}{2}$ である場合，働く力のつりあう位置を答えよ。

- (5) 問(3)と同様に，問(4)の $+\frac{q}{2}$ の点電荷を働く力のつりあう位置に固定した状態で，さらに $+\frac{q}{2}$ の点電荷を領域 A 内に加えることを考える。ここでは簡単のため，点電荷は壁に接した位置に加えるとする。この場合，加えた点電荷をそれに働く力の方向に少しずつ移動していくと，点電荷はどの位置に移動するか答えよ。
- (6) 問(1)の状態と問(5)の状態と比較した場合，領域 B の $-q$ の点電荷に働く静電気力の大きさはどちらが大きい。理由を付けて答えよ。

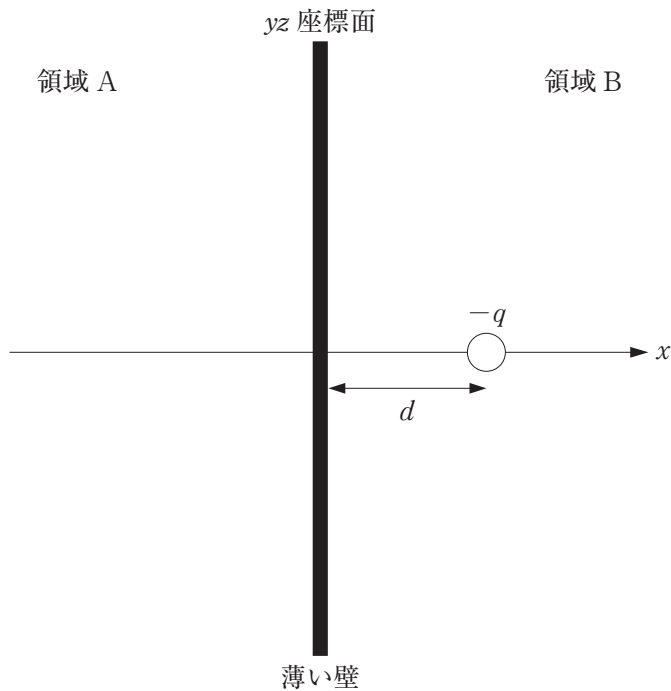


図 1

2 時刻 t , 位置 (x, y) での変位が

$$f = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\sqrt{3}x + y}{2\lambda} \right)$$

で表される xy 平面を伝わる波を考える。 A , T および λ は正の定数である。

以下の問(1)~(7)に答えよ。

- (1) この波を $y = 0$ の線上で観測したとき, 見える波の進む速さを答えよ。
- (2) この波を $x = 0$ の線上で観測したとき, 見える波の進む速さを答えよ。
- (3) $t = 0$ で変位の大きさが最大となる位置を求め, それを xy 平面上に図示せよ。
- (4) $t = 0$ の少し後の時刻での波の変位を考えることにより, 波の進む方向を答えよ。
- (5) この波の進む速さを答えよ。

次に変位が

$$g = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{\sqrt{3}x - y}{2\lambda} \right)$$

で表される波を考える。

- (6) この波の進む方向を答えよ。

さらに, f と g の 2 つの波を重ね合わせた波 $f + g$ を考える。

- (7) 重ね合わせた波は xy 平面をどのように伝わっていくか。伝わり方の特徴を述べよ。ここで,

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

を使ってよい。

物 理 ⑧

- 解答は答案用紙に書くこと。
- 答案には，結果の式や数値のみでなく，導出方法も記述せよ。たとえ時間内に結果が完全に得られない場合でも，考え方の道筋や方針を記述せよ。

1 図1のように，水平から角度 θ だけ傾いた平らな板の上端に，バネ定数 k のバネの一端が取り付けられている。板に沿って下向きに x 軸をとり，バネが自然長のときのバネのもう一方の端の位置を x 座標の原点 $x=0$ とする。バネは軽く，その質量は無視できるものとする。また，重力加速度を g とする。

以下の問(1)~(8)に答えよ。

最初に，板がなめらかで摩擦がない場合を考える。

- (1) バネの先端に質量 m のおもりを静かにつるすと，バネは自然長よりも長くなって静止した。このときのバネの伸びを求めよ。
- (2) x 軸に沿ったおもりの運動を表す運動方程式を，加速度を a として，導け。
- (3) 問(1)の釣り合いの位置から板に沿って長さ a だけおもりを引き下げて静かに手を離すと，おもりは振動運動を行った。おもりの振動の周期と，速度の最大値を求めよ。そして，縦軸に x 座標，横軸に時刻 t をとり，おもりの運動のおおよその様子をグラフで表せ。

次に，板の上の運動で摩擦が生じる場合を考える。ここでは簡単のため，静止摩擦係数と動摩擦係数は一致すると仮定し， μ と表す。 μ の大きさは1より小さいとする。さらに以後，図2のように板が水平，すなわち角度 $\theta=0$ の場合を考える。

- (4) おもりを $x=b$ の位置まで移動した後，静かに手を離した。このとき，おもりが動き始めるための条件を求めよ。ただし b は正とする。

- (5) 時刻 $t = 0$ のときに位置 $x = b$ で静かに手を離したところ、おもりが動き出した。おもりが最初に静止するまで成り立つ、 x 軸に沿ったおもりの運動を表す運動方程式を導け。また、おもりにはたらく合力が最初にゼロとなる位置を求めよ。
- (6) 時刻 $t = 0$ の後、最初におもりが静止するときの位置 $x = d$ を仮定して、このときまでに摩擦力がする仕事を表せ。そして、仮定した静止位置 d を求めよ。
- (7) 問(2)の角度 θ が $\mu = \sin \theta$ を満たすとき、摩擦のない角度 θ 傾いた板に対する問(2)のおもりの運動方程式と、摩擦のある水平な板に対する問(5)の運動方程式を比較して、対応関係を述べよ。そして、摩擦のある水平な板の上で時刻 $t = 0$ に位置 $x = b$ でおもりを静かに手離した後、最初におもりが静止する時刻を求めよ。
- (8) 問(6)で静止したおもりが再び動き出すための静止位置 d および初期位置 b に対する条件を求めよ。また、 x 軸上のある領域内でおもりが一度静止すると、その後には動かなくなる。そのような領域を求めよ。

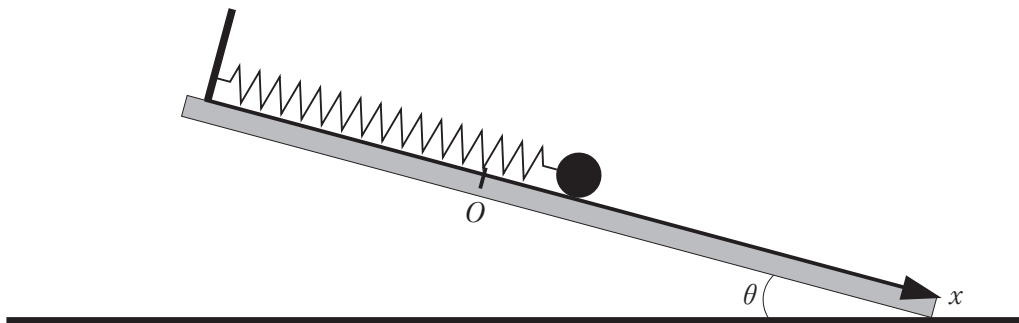


図 1

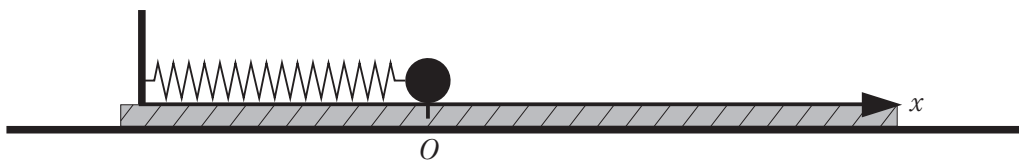


図 2

2 図1のように、底面積 S の円筒の容器が鉛直に置かれており、この容器と質量 m の中ぶたで囲まれた領域内には物質量 n の単原子分子の理想気体が封入されている。容器と中ぶたは断熱素材で作られており、容器内の中ぶたは容器の床面に対して水平のまま、容器内の気体がもれることなく、上下になめらかに動けるものとする。ここで、大気圧を p_0 、気体定数を R 、重力加速度の大きさを g とする。以下の問(1)~(7)に答えよ。

(1) 中ぶたの底面が容器の床面より高さ h_0 の位置で、中ぶたは水平につりあった。このとき、容器内の気体の温度 T_0 を求めよ。

(2) 問(1)の中ぶたの上に、同じ質量 m のおもりを中ぶた中央の位置に静かにのせたところ、中ぶたはゆっくりと下に沈んで静止した。このときの容器の床面から中ぶたの底面までの高さ h_1 を求めよ。

図2のように、容器内の壁面にストッパーをとりつけ、中ぶたが容器の床面からの高さ h_0 より下がらないようにした。容器と中ぶたで囲まれた領域内に物質量 n の単原子分子の理想気体を封入し、中ぶたの上の中央に質量 m のおもりをのせて固定している。はじめ、容器内の温度は T_0 であり、中ぶたの底面が容器の床面から高さ h_0 の位置で中ぶたは静止していた。この容器内をゆっくりと加熱する。このとき、容器内の気体は一様に加熱されるものとする。また、ストッパーの大きさは考慮しないものとする。

(3) 容器内の温度が上昇し T_1 になったとき、中ぶたはゆっくりと上昇し始めた。 T_1 を求めよ。

(4) 容器内の温度がさらに上昇し T_2 になったとき、中ぶたの底面の位置はストッパーの位置より $h_0/2$ だけ上昇していた。 T_2 を求めよ。

(5) 問(4)の過程において、気体が吸収した熱量を求めよ。

(6) 問(4)の過程において、気体がされた仕事を求めよ。

(7) 次に、容器内の温度が T_2 に達した直後に加熱を止め、中ぶたを均一に一定の大きさの力 F で静かに押し込み、ちょうど容器の床面から h_0 の位置まで中ぶたがゆっくりと下降して静止した。このとき、容器内の気体の温度変化はどうか。温度の増減について説明し、温度変化分 ΔT を求めよ。

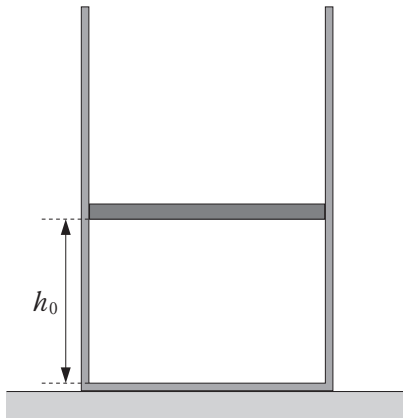


図 1

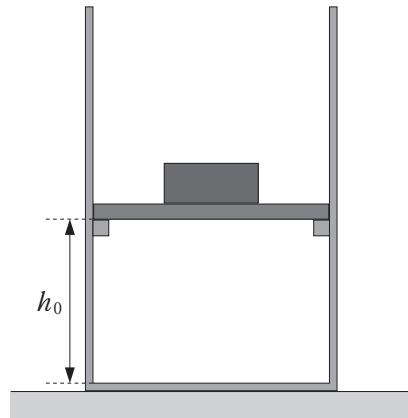


図 2

化 学 ㊦

1. 解答は答案用紙の所定の欄に記入せよ。
2. 問題を解くにあたり、必要な場合には原子量の値として次のものを用いよ。
H 1.0 C 12.0 O 16.0 S 32.1 Fe 55.9
3. 計算においては計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。

1 硫酸鉄の合成および酸化還元滴定に関する以下の文章を読み、問(1)~(10)に答えよ。

硫酸鉄(Ⅱ)七水和物($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)を以下の実験手順で合成した。

10 g の鉄くぎを 500 mL の丸底フラスコに入れ、15 mL の濃硫酸を 100 mL の^(a)
水で薄めてつくった希硫酸を加えた。^(b)長さ 50~60 cm のガラス管を差し込んだ
コルク栓をし、穏やかに加熱した(図 1)。反応が進むと、水溶液の色は徐々に淡
緑色になった。この時、ガラス管の内側に水滴がついていた。鉄くぎが糸のよう
に細くなった時点で反応終了とし、反応液をろ過した。ビーカーに入れたろ液に^(c)
きれいな鉄くぎを 1 本加え、液量が 50 mL になるまで穏やかに加熱して濃縮し
た。液量が 50 mL になったところで冷めないうちにろ過し、ろ液をフタ付きの
容器に入れて室温で一晩保存した。翌朝、析出していた淡緑色結晶をろ過して分
けた。得られた結晶を少量の冷水で洗い、^(d)ろ紙ではさんで余分な水分を取り除い
た後、0.30 g をはかり取ってシャーレに入れて保管した。

数日後に、シャーレ内の結晶試料の一部が黄褐色^(e)になっていた。シャーレ内の
すべての結晶試料に対して、硫酸酸性条件で、^(f)濃度既知の過マンガン酸カリウム^(g)
水溶液で酸化還元滴定を行うことにした。

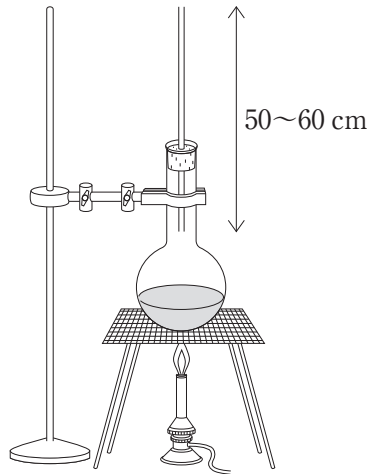


図 1

- 問(1) 下線部(a)において、希硫酸を調製する際に注意すべきことを理由とともに述べよ。
- 問(2) 下線部(b)のガラス管の役割を述べよ。
- 問(3) 下線部(c)できれいな鉄くぎを入れる理由を述べよ。
- 問(4) 下線部(d)で結晶を洗う際に、少量の冷水を用いる理由を述べよ。
- 問(5) 硫酸鉄(Ⅱ)七水和物合成の際の化学反応式を記せ。
- 問(6) 下線部(e)の黄褐色は何の色であると考えられるか。化学式で答えよ。
- 問(7) 下線部(f)の硫酸酸性条件での過マンガン酸カリウムの酸化剤としての半反応式(電子の授受で表したイオン反応式)(i)と、Feの酸化数変化を表す半反応式(ii)を記せ。

問(8) 問(7)での酸化還元反応全体の化学反応式を記せ。

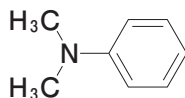
問(9) 下線部(f)において、加えるべき硫酸を入れずに過マンガン酸カリウム水溶液を用いた酸化還元滴定を行ったところ、黒褐色の沈殿が生じた。この時の過マンガン酸カリウムの酸化剤としての半反応式を記せ。

問(10) 下線部(g)において、シャーレ内に保管してあった全結晶試料を含む硫酸酸性水溶液を 0.025 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液で滴定したところ、8.00 mL を要した。結晶試料中に含まれるすべての Fe のうち、酸化数 +2 の Fe の割合[%]を計算せよ。

2 以下の文章を読み、問(1)~(9)に答えよ。

芳香族化合物は医薬品や染料などの身近なところで使われている。触媒を用いて、プロペンにベンゼンを付加させると **A** が生成する。この **A** を酸化すると **B** が生じ、さらに **B** を酸で分解するとフェノールと **C** が生成する。

一方、ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合物を加えて反応させると **D** が生成する。さらにニッケルを触媒として、高温で **D** を水素で還元すると **E** が得られる。得られた **E** を濃硫酸と反応させると、*p*-位の H 原子がスルホ基で置換された スルファニル酸 が得られる。また、**E** を冷やしながらか塩酸と亜硝酸ナトリウムを反応させると **F** が生じる。**F** をナトリウムフェノキシドと混合すると、橙赤色のアゾ染料である *p*-フェニルアゾフェノール が得られる。一方、スルファニル酸に対して、塩酸と亜硝酸ナトリウムによる反応を行い、得られた化合物を *N,N*-ジメチルアニリンと反応させると、中和滴定の指示薬に用いられるアゾ染料である メチルオレンジ が得られる。



N,N-ジメチルアニリン

問(1) **A** ~ **F** に入る化合物名と構造式を書け。

問(2) 78.0 g のベンゼンを用いて **A** の合成を行ったところ、未反応のベンゼンと **A** を、合わせて 111.6 g 得た。この反応で **A** に変換されたベンゼンの割合 [%] を求めよ。

問(3) **A** からフェノールの合成において、未反応の **A** とフェノールとを抽出操作で分離したい。適切な操作を 100 字程度で述べよ。

問(4) DからEの合成において、未反応のDとEとを抽出操作で分離したい。適切な操作を100字程度で述べよ。

問(5) スルファニル酸の構造式を書け。

問(6) Fとナトリウムフェノキシドからp-フェニルアゾフェノールが生成する反応の化学反応式を書け。

問(7) メチルオレンジの構造式を書け。

問(8) 中和滴定において、メチルオレンジ(変色域；pH 3.1~4.4)が指示薬として適しているのは、i)、ii)のどちらの場合か、理由とともに答えよ。

i) 酢酸水溶液の水酸化ナトリウム水溶液による滴定。

ii) アンモニア水の塩酸による滴定。

問(9) 中和滴定に関する次の説明で、正しいものに○、間違っているものに×を記せ。また、間違っている場合にはその理由を述べよ。

i) 濃度の分からない水溶液を滴定するときに、その水溶液を入れるコニカルビーカーは純水でぬれていても良い。

ii) 標準溶液を入れるビュレットは純水でぬれていても良い。

iii) メスフラスコはよく加熱乾燥して使う。

化 学 ㊦

1. 解答は答案用紙の所定の欄に記入せよ。
2. 問題を解くにあたり、必要な場合には原子量の値として次のものを用いよ。

H 1.0 C 12.0 O 16.0 Na 23.0 Cl 35.5

3. 問題を解くにあたり、必要な場合には以下の定数を用いよ。

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

気体定数 $8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

4. 計算においては計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。

1 以下の文章を読み、問(1)~(4)に答えよ。なお、電気化学反応は流れた電流に対して100%進行するものとする。

水酸化ナトリウムは苛性ソーダとも呼ばれ、ガラスや繊維、染料、医薬品、せっけん、紙など多くの化学製品の製造に不可欠な化学物質である。水酸化ナトリウムは、水酸化カルシウムと炭酸ナトリウムの混合水溶液を加熱することでも生成するが^(a)、塩化ナトリウム水溶液を電気分解することによっても得られる。工業的には、以前は陰極に水銀を用いた水銀法などが主流であったが、現在は主として陽イオン交換樹脂を用いたイオン交換膜法が用いられ、^(c)環境負荷および消費電力の低減が進められている。

強塩基性を示す水酸化ナトリウム水溶液は、中和滴定などの化学分析にも広く用いられる。水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、正確な濃度の酸水溶液(標準液)^(d)を用いた滴定によって求める必要がある。

問(1) 下線部(a)で水酸化ナトリウムが生成する化学反応式を示せ。

問(2) 下線部(b)について以下の文章を読み、(i)~(iv)に答えよ。

電極に黒鉛を用いて塩化ナトリウム水溶液を電気分解すると、陽極側では化学工業におけるもう一つの有用な化学物質 **A** も生じる。**A** が水と反応すると、**B** と **C** が生成する。**C** は強力な殺菌剤、消毒剤として利用されている。

- (i) この電気分解における半反応式(電子の授受で表したイオン反応式)を、陽極側と陰極側でそれぞれ示せ。
- (ii) 文章中の空欄 **A** ~ **C** にあてはまる化学式をそれぞれ答えよ。
- (iii) 陽極付近の溶液を試験管に取り、これにヨウ化カリウムを加えるとどのような反応がおこるか。予想される観察結果と反応式を示せ。
- (iv) 2.00 A の電流を 10 分間流して塩化ナトリウム水溶液の電気分解を行う。生成した物質 **A** がすべて気体として存在する場合の標準状態での体積を求めよ。

問(3) 下線部(c)に関して、イオン交換膜法における電気分解槽(図1)について考える。(i)~(ii)に答えよ。

陽極側では塩化ナトリウム水溶液の電気分解により **D** が過剰となる。一方で陰極側では、水の電気分解によって **E** が生成される。**F** は、陽イオン交換膜中のイオン化したスルホ基と **G** をおこすため、陽イオン交換膜を通過しにくく、**H** が陽イオン交換膜を通過することで電気的中性が保たれる。よって陰極側で **I** と **J** の濃度が増加し、この水溶液を濃縮することで水酸化ナトリウムを得ることができる。

(i) 文章中の空欄 **D** ~ **J** にふさわしい語を次のア~カから選べ。ただし、同じ語を何度選んでも良い。

- ア) 水素結合 イ) 静電的反発 ウ) 立体障害
 エ) 水酸化物イオン オ) 水素イオン カ) ナトリウムイオン

(ii) 陽極と陰極の間に陽イオン交換膜が無い場合、水酸化ナトリウムの収量が低下してしまう。この理由を説明せよ。

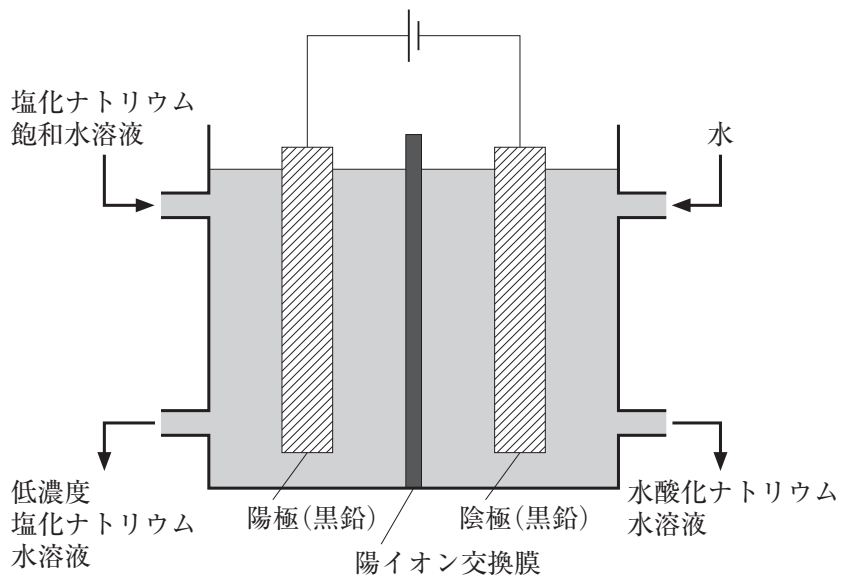


図1

問(4) 下線部(d)について，以下のような中和滴定を考える。(i)～(iii)に答えよ。

0.200 mol/L シュウ酸標準溶液 4.00 mL をはかり取り，これに水酸化ナトリウム水溶液を滴下する。

- (i) この中和滴定における化学反応式を示せ。
- (ii) この滴定操作で中和点までに要した水酸化ナトリウム水溶液の体積は 12.5 mL であった。この水酸化ナトリウム水溶液の濃度[mol/L]を求めよ。
- (iii) 図 1 で示した塩化ナトリウムの電気分解槽において，2.00 A の電流を流して(ii)で求めたものと同じ濃度の水酸化ナトリウム水溶液を連続的に得るには，陰極側へ毎分何 g の水を供給する必要があるか求めよ。ただし，陰極側での溶液濃度は均一であるものとし，水および水酸化ナトリウム水溶液の密度は 1.00 g/cm^3 とする。

2 生体高分子に関する以下の問(1)~(3)に答えよ。

問(1) 文章中の空欄 ~ にあてはまる語を、下の〔 〕の中から選び、(a)~(s)の記号で答えよ。

反応の前後でそれ自身は変化しないが、 を大きくするような物質を触媒という。触媒を用いると、反応のしくみが変わり、 がより小さい新たな反応経路で反応が進む。生体内の化学反応に対して、触媒として働くタンパク質を という。

タンパク質は一般に分子量が大きく、タンパク質を酸加水分解すると、構成成分である が得られる。天然のタンパク質には、 で結合した の配列順序と数の違いにより、多くの種類がある。その配列順序を という。水素結合やジスルフィド結合、クーロン力などにより、タンパク質分子全体がつくる複雑な立体構造を という。 は、タンパク質の機能に重要な役割を果たしている。

- (a) 化学平衡, (b) 反応熱, (c) 受容体, (d) ビタミン, (e) 糖類,
(f) アミノ酸, (g) 核酸, (h) 金属イオン, (i) 酵素, (j) ホルモン,
(k) 基質, (l) 活性化エネルギー, (m) 一次構造, (n) 二次構造,
(o) 三次構造, (p) イオン結合, (q) 共有結合, (r) 水素結合,
(s) 反応速度

問(2) 以下の文章を読み, (i)~(iv)に答えよ。

ある植物から得られた物質 **X** を 1.80 g はかり取り, 熱水を加えて 100 mL とし, かき混ぜて, その後冷ました。その溶液を「**X** を含む溶液」と呼ぶ。その一部をガラスビーカーに入れて, 暗所で横からレーザー光線を当てると, 光の通路が輝いて見えた。この溶液に硫酸ナトリウムを少量加えたが, 変化はなかった。

一方, **X** を含む溶液の一部を, 分子量が約 5 千以下の物質を通す性質があるセロハン膜で作った袋に入れ, 多量の水を入れた容器中につるしてしばらく置くと, 袋の体積は水を吸って増加した。

- (i) これらの現象から, **X** について推定できる事を 2 点挙げよ。
- (ii) **X** を含む溶液の浸透圧を測定したところ, 27°C で $2.50 \times 10^3 \text{ Pa}$ だった。**X** の分子量を求めよ。
- (iii) **X** を含む溶液を 2 mL ずつ, 4 本の試験管 **A** ~ **D** に移した。試験管 **A** には 3 mol/L の硫酸 1 mL と沸騰石を加え, 沸騰浴中で 2 分間煮沸した後, 気体が発生しなくなるまで炭酸ナトリウムを少しずつ加えて塩基性とした。試験管 **B**, **C** にはそれぞれ 1 mL の唾液と沸騰石を加え, 試験管 **D** には 1 mL の水を加えた。**B** はただちに沸騰浴中で, **C** と **D** は 37°C の水浴中で 20 分間保温した。冷却後, **A** ~ **D** の各試験管にそれぞれ, フェーリング液 1 mL を加えて加熱したところ, **A** と **C** には赤色の沈殿が生じたが, **B** と **D** には生じなかった。
(a)
(b)
- ① 下線部(a)の結果は, どのような官能基が関与したものであるかを答えよ。
- ② 下線部(b)の理由を説明せよ。
- (iv) この実験結果から考えられる **X** の物質名を答えよ。また, 自然界に存在し **X** と同じ組成式を有する物質の名称を 1 つ挙げ, **X** とその物質について, 構造と所在の違いをそれぞれ述べよ。

問(3) ある物質 Y の組成を分析したところ、炭素、水素、酸素のみを含むことがわかった。24.0 mg の Y を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 35.2 mg と水 14.4 mg を生じた。Y の組成式を求めよ。

生 物 ㊤

(解答は答案用紙の所定欄に記載せよ)

1 次の文を読み、問1～6に答えよ。

インフルエンザウイルスは、遺伝物質としてのRNAと十数種類のタンパク質でできた粒子である。インフルエンザウイルスには8本のRNAが含まれており、これらのRNAにはわずかに十数種類のタンパク質(殻を構成するタンパク質と、RNAを鋳型として相補的なRNAを合成するRNA複製酵素)の遺伝子しかコードされていない。殻に存在する1種類のタンパク質が、宿主細胞の表面に存在する特定の糖鎖に結合すると、ウイルスが宿主細胞内に取り込まれ、RNAとRNA複製酵素が宿主細胞質中に放出される。ウイルスのRNAはRNA複製酵素と複合体を形成し、宿主細胞の核内に運ばれ、複製と転写が起こる。殻のタンパク質は宿主の細胞膜に取り込まれながら集合し、ウイルスのRNAやタンパク質を包みながら細胞外に出る。この過程でも宿主の細胞表面の糖鎖に結合するため、その結合を殻に含まれる酵素が切断することによって、ウイルスは細胞から離れることができる。感染した宿主細胞ごとに多数のウイルスが作られる。宿主細胞から排出されたウイルスは、他の細胞に感染して症状を悪化させたり、体外に排出されて他の宿主個体に感染したりする。

インフルエンザは、ウイルスのRNA配列が変化しながら流行してきた。1968年から1996年までには、6回の大流行をもたらしている。大流行したインフルエンザウイルスの糖切断酵素をコードする遺伝子の一部(アミノ酸27個をコードする部分)を調べると、突然変異によってアミノ酸を変える塩基置換(非同義置換)^(ア)は5回、アミノ酸を変えない塩基置換(同義置換)は10回起こっていた。

- 問 1 インフルエンザウイルスは、ヒトなどの宿主細胞に感染することによってのみ増殖することができる。その理由を説明せよ。
- 問 2 下線部(ア)に記した計 15 回の塩基置換は、アミノ酸 27 個をコードする部分において 29 年間で発生したものである。この頻度は、さまざまな生物の遺伝子における一般的な置換頻度に比べて極めて高い。なぜ塩基が頻繁に置換するのか、その分子的しくみを説明せよ。
- 問 3 下線部(ア)の非同義置換と同義置換の比率は 1 : 2 となっており、さまざまな生物の遺伝子における一般的な比率と比べて、非同義置換が数倍から数十倍も高い値である。非同義置換の比率が高い理由を説明せよ。
- 問 4 同じウイルスによって、インフルエンザが数年にわたり次々と異なる地域で流行することがある。その理由を説明せよ。
- 問 5 インフルエンザの予防方法にはワクチン接種がある。ワクチンがどのように機能するかを簡潔に説明せよ。
- 問 6 インフルエンザの予防や治療のための、ウイルスに直接はたらきかける薬は、どのような作用を有する化合物であればよいか。考えられる薬の作用を 2 つ挙げよ。

2 次の文を読み、問1～5に答えよ。

近年は造礁サンゴ(サンゴ礁を形成するサンゴ)の白化が頻繁に起こるようになっており問題視されている。サンゴの白化とは、サンゴの細胞内に共生する褐虫藻(渦鞭毛藻の一種)が葉緑素を失うことやサンゴから抜け出すことによって、サンゴの骨格が透けて白く見えてしまう現象である。海水温が30℃を越えて高温になるほど白化現象が起こりやすくなる。また、浅い海中では夏の晴天の正午前後の強い光が当たると、光合成の光化学反応が過剰になることで生じる活性酸素の影響で白化が起こりやすくなる。

褐虫藻の葉緑体は、クロロフィルaとcに加えて、ペリジニンという色素を有している。ペリジニンには、紫～緑色の光を吸収して、そのエネルギーを赤色の光に変換して放出する性質がある(図1)。

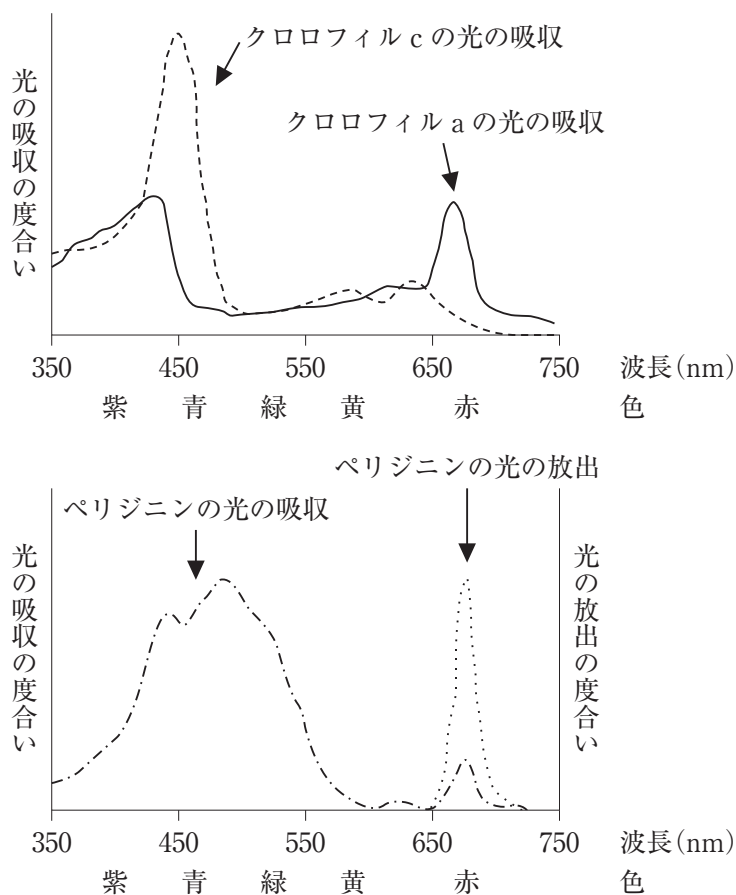


図1 クロロフィルaとcの光の吸収曲線とペリジニンの光の吸収曲線および放出曲線

ペリジニンは、電子伝達系のタンパク質複合体に結合しているタンパク質 P に包み込まれている。そこでタンパク質 P が白化に関わるかを調べるために、サンゴから取り出して培養されている褐虫藻のなかから 1 種類を選んで実験をおこなった。褐虫藻は 25℃ での培養で維持した。細胞の数をそろえて新しい培地に移し、明条件の 25℃ または 34℃ で培養し、24 時間後まで各種の計測をおこなって実験培養開始時と比較した。実験結果を以下に示す。

実験 1 タンパク質 P の細胞あたりの量を測ったところ、34℃ では 24 時間後に 20% になるまで直線的に減少した。25℃ では変化がなかった。

実験 2 細胞内のタンパク質 P の分解速度を測ったところ、25℃ ではタンパク質 P の量が 24 時間で 60% になるまで直線的に減少するのに相当する速度であった。

実験 3 タンパク質 P の mRNA の細胞あたりの量を測ったところ、34℃ では 24 時間後に 70% になるまで直線的に減少した。25℃ では変化がなかった。

問 1 25℃ でタンパク質 P の細胞あたりの量が一定に保たれているしくみを説明せよ。

問 2 タンパク質 P の量が 34℃ で 24 時間後に 20% に減少したのはどのような理由が考えられるか説明せよ。

問 3 図 1 から、タンパク質 P とペリジニンの存在によって褐虫藻にどのような利点があると考えられるか、その可能性を 2 つ挙げよ。

問 4 細胞内共生体に由来する葉緑体には，その内部に内膜が陥入してできた扁平な袋状のチラコイドが多数積み重なって，グラナという構造が発達する。グラナが発達することで葉緑体にどのような利点があると考えられるか，その可能性を2つ挙げよ。

問 5 サンゴ礁では生物の活動が活発なため，海水中の栄養塩は消費されて貧栄養となっている。褐虫藻は海中で独立生活をすることもできるが，造礁サンゴなどとの共生が顕著である。共生することによって褐虫藻はどのような利益を得ているかを簡潔に述べよ。

生 物 ⑧

(解答は答案用紙の所定欄に記載せよ)

1 ヒトの聴覚に関する次の文を読み、問1～4に答えよ。

音の性質を決める要素である高さ(周波数)と強さ(物理的強度)が、感覚に及ぼす影響を調べるため以下の実験をおこなった。

実験 A：被験者にヘッドホンを付けさせ、純音(音叉の音など、単一の周波数の正弦波からなる音)を聞かせる。目的は、音を用いた感覚刺激に対する受容閾値(最小可聴強度)を、周波数に対して調べることである。そこで、ヒトの可聴域はおよそ 20 Hz から 20000 Hz であることを考え、周波数を変化させたときの受容閾値を測定した。測定結果として、音の物理的強度を縦軸に、周波数を横軸として、各周波数の純音に対する受容閾値をプロットしたところ図1に示すような下に凸の曲線が得られた。

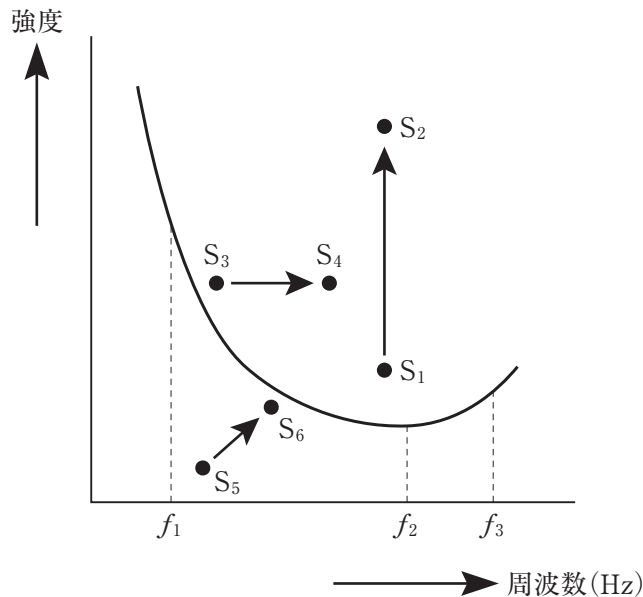


図1 受容閾値(最小可聴強度)の実験結果

実験 B：次に音の物理的な強度と感覚について調べる実験をおこなった。音の物理的強度が、ある強度 P_1 のときに被験者は音を感じた。このときの音の強さの感覚をレベル L_1 とする。この強度 P_1 を基準に、音の物理的強度を増加させてみて、感覚がどのように変化(増強)するか調べた。強度のわずかな増加に対しては被験者は音の強さの変化を知覚できず同一の強さの音と感じたが、物理的強度を大きくして P_2 以上としたとき被験者は音の強さの増加を感じた。このとき、2つの音の強さの違いを弁別できたと考えることができ、この強度の差の最小値 $(P_2 - P_1)$ を弁別閾値とよぶ(音の強さの分解能と考えてもよいであろう)。弁別閾値に相当する強度の増加によって、被験者の受け取る音に対する感覚は、仮にレベル L_1 を基準とするならば、レベル L_1 から1つ上のレベル L_2 に達したと考えることが可能である。音の広い強度範囲で同様の実験を繰り返した結果、感覚強度の弁別閾値は、基準とした物理的強度の 0.1 倍であることが分かった。

問 1 図 1 における周波数 f_1, f_2, f_3 の各純音について、感じやすさ(感受性)の順番に並べよ。また、図 1 の曲線が下に凸となる理由を耳の構造の観点から述べよ。

問 2 実験 A の結果に基づいて、音を聞かせる以下の 3 つの実験を行った。

実験 I 図 1 の S_1 の音を聞かせ、 S_2 まで変化させる。

実験 II 図 1 の S_3 の音を聞かせ、 S_4 まで変化させる。

実験 III 図 1 の S_5 の音を聞かせ、 S_6 まで変化させる。

それぞれの実験において、被験者が受け取る音の高さと強さの感覚に関して、どのような結果が予想されるか答えよ。

問 3 実験 B について以下の問に答えよ。

(1) P_2 を P_1 を用いた式で表せ。

- (2) 下線部(ア)をふまえると、 L_1 を基準としたとき、被験者が、 L_1 から4段階上の強さの感覚レベル L_5 (すなわち、 $L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow L_3 \rightarrow L_4 \rightarrow L_5$)を得るには、 P_1 の何倍の物理的強度の音を与える必要があると考えられるか。根拠となる計算式とともに記せ。

問 4 「聞こえ」の不自由さを人工的に補う方法として、蝸牛管(うずまき管)の内部の神経を、直接、電気刺激する人工内耳がある。

- (1) ヒトが蝸牛管において音の高低を感じ分けるしくみを説明せよ。
- (2) 図2は人工内耳のしくみについての概念図である。一番右の図は蝸牛管に挿入される部分(挿入前の状態。以下挿入部とよぶ)であり、柔らかい材料でできている。また、矢印で示された黒い部分は「電極」とよばれ、そこから神経に向けて刺激電流が流れ出す。図3は挿入部を蝸牛管の内部に配置した模式図である。挿入部の各電極から流れ出す電流の量は図2の装置により電極ごとに制御される。また、挿入部に設けられた電極の数は限られる。これらのことを考慮し、仮に、電極数を20個とすると、制御装置にどのような機能が必要か述べよ。

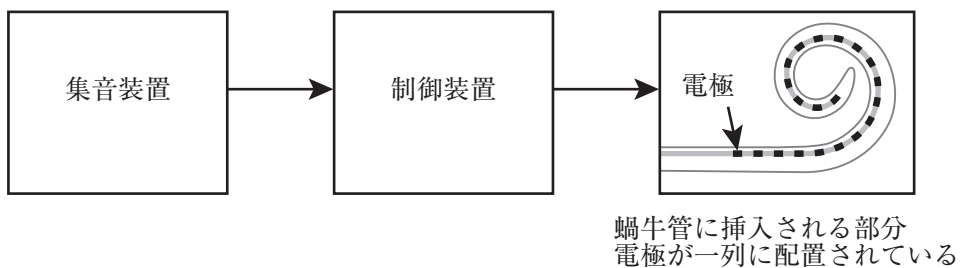


図2 人工内耳の概念図

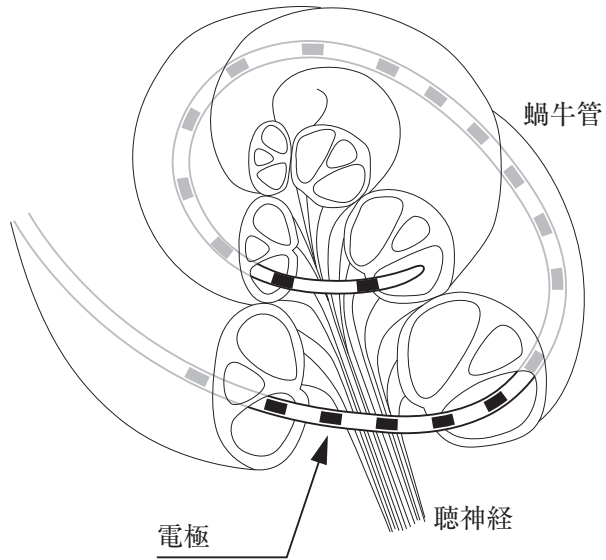


図3 挿入部を蝸牛管の内部に配置した状態(説明のために断面を示した模式図)

- (3) 人工内耳は聴覚を構成する機能にどのような不具合がある場合が対象となるか述べよ。

2 次の文を読み、問1～5に答えよ。

動物の血管は、血液に接する面である血管内皮細胞の層、その外側にある平滑筋の層、さらに外側の膜組織(外膜)からなる(図1)。平滑筋の収縮と弛緩によって動脈の太さが変わり、血液の流量が調節される。平滑筋の制御には自律神経系(交感神経と副交感神経)が大きな割合を占める。交感神経からはノルアドレナリンが、副交感神経からはアセチルコリンが分泌される。そこで以下の実験をおこなった。

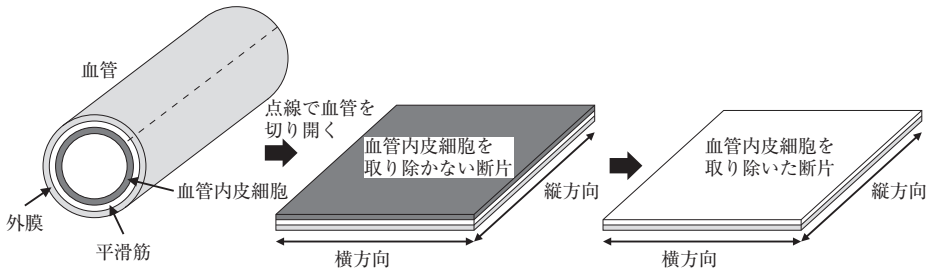


図1 血管の構造及び実験用の断片作成

実験方法

図1のように、ウサギから切り出した動脈の血管を縦方向に切り開いて正方形の断片にし、そのままの血管内皮細胞を取り除かない断片、または血管内皮細胞を取り除いた断片を実験に用いた。血管の断片は図2のような装置に設置して収縮の強さを測定した。

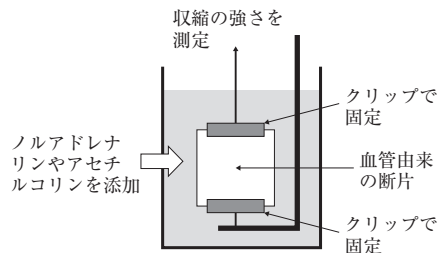


図2 血管由来断片の収縮の強さ測定装置

実験1 血管内皮細胞を取り除いた断片の横方向の収縮の強さを計測しながら、ノルアドレナリンを加え、さらにアセチルコリンを加えたところ、図3の結果が得られた。

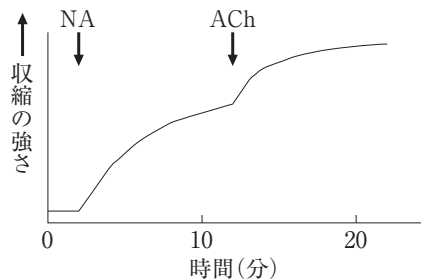


図3 血管内皮細胞を取り除いた断片の横方向の収縮の強さの測定結果
ノルアドレナリン(NA)及びアセチルコリン(ACh)を矢印の時点で添加

実験 2 血管内皮細胞を取り除いた断片の縦方向の収縮の強さを測定しながら、ノルアドレナリンを加え、さらにアセチルコリンを加えたところ、図 4 の結果が得られた。

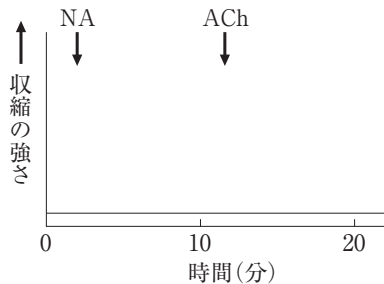


図 4 血管内皮細胞を取り除いた断片の縦方向の収縮の強さの測定結果

実験 3 血管内皮細胞を取り除かない断片の横方向の収縮の強さを測定しながら、ノルアドレナリンを加え、さらにアセチルコリンを加えたところ、図 5 の結果が得られた。

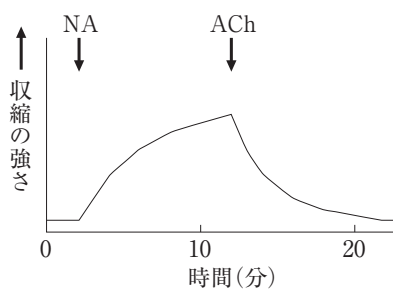


図 5 血管内皮細胞を取り除かない断片の横方向の収縮の強さの測定結果

実験 4 血管内皮細胞を取り除いた断片と血管内皮細胞を取り除かない断片を、縦横 90 度の向きで血管の内側どうしが接するようにクリップではさみ(図 6)、収縮する強さを測定しながら、ノルアドレナリンを加え、さらにアセチルコリンを加えた。

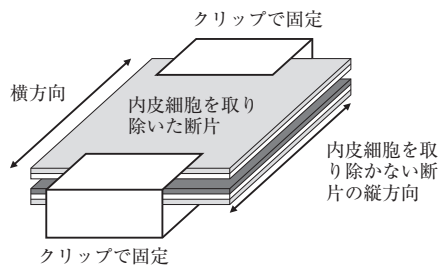


図 6 血管内皮細胞を取り除かない断片と血管内皮細胞を取り除いた断片の重ね合わせ

問 1 血管の平滑筋が収縮するしくみは、骨格筋の筋線維が収縮するしくみと同様である。骨格筋が収縮するしくみについて説明せよ。

問 2 自律神経による動脈の血管の太さの調節は、血管の平滑筋の収縮や弛緩がどのような方向に起こることで成り立っているのか。実験 1 及び実験 2 の結果をふまえ説明せよ。

問 3 血管の平滑筋に対するノルアドレナリンとアセチルコリンの直接の作用はどのようなものであると考えられるか。実験 1 の結果をふまえ説明せよ。

問 4 実験 1 と実験 3 とで、アセチルコリンによる断片の収縮の強さに対する異なる結果をもたらした理由を述べよ。

問 5 実験 4 における予想される結果について、図 7 を参考に答案用紙にグラフで示せ。ノルアドレナリンを加えるまでの収縮の強さを示す線は、これまでの実験 1～3 と同様である。その線に引き続いて結果を示せ。

次に、グラフに示した結果について、そのように考えた理由を、次の点を考慮して答えよ。

- ・ノルアドレナリンを加えたときに収縮の強さの変化が起こった理由
- ・アセチルコリンを加えたときに収縮の強さの変化が起こった理由
- ・収縮の強さを発揮するのがどちらの断片によるものなのか
- ・血管内皮細胞のはたらき

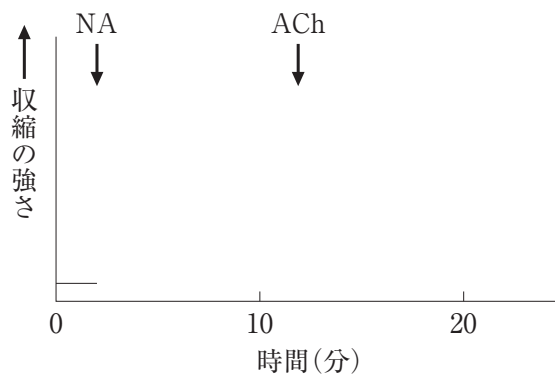


図 7