#### 2009 年度自然科学

### \* ICU に入学を希望する受験生の学習のために公開している資料です。 ICU 公式の試験問題用紙ではありません。

(This is NOT the official Exam.)

No.000001

			i
受験番号			
~~~~			1
<u> </u>			1

# 自然科学

# 問題冊子指示

係りの指示があるまでは絶対に中を開けないこと

- 0. (自然科学のみ「高校で学習したこと」と出題範囲が明確にされていますね)
- 1. この考査は,高校で学習したことと,与えられている資料を読んで,あなたがその内容をどの程度理解し,分析し,また総合的に判断することができたかを調べるためのものです。
- 2. この冊子には,数学,物理,化学,生物の4分野の問題が含まれています。その中から2 分野だけを選んで解答してください。3分野以上選んで解答すると無効になります。
- 3. 配点は各分野とも 40 点満点で、2 分野の合計で 80 点満点です。
- 4. いずれの分野も資料と 13-14 の問題から成っています(数学:問題 1-13,物理:問題 21-33,化学:問題 41-53, 生物:問題 61-74)。分野によっては,資料と問題が混在している場合があります。
- 5. 解答のための時間は、「解答はじめ」の合図があってから正味 70分です。
- 6. 解答のしかたは,問題の前に指示してあります。答えが指示どおりでないと,たとえそれが正解でも無効になりますから,解答のしかたをよく理解してから始めてください。
- 7. 選んだ分野と答えは、すべて解答用カードの定められたところに、指示どおり鉛筆を用いて書き入れてください、一度書いた答えを訂正するには、消しゴムできれいに消してから、あらためて正しい答えを書いてください。
- 8. もしなにか書く必要のあるときには、必ずこの冊子の余白を用い、解答カードには絶対に書きいれないでください。この冊子以外の紙の使用は許されません。
- 9. 「解答やめ」の合図があったらただちにやめて、この冊子と解答カードとを監督者が集め 終わるまで待ってください。集める前に退室したり用紙をもちだすことは、絶対に許 されません。
- 10. 指示について質問があるときは,係りに聞いてください。ただし資料と問題の内容に関する質問はいっさい受けません。

「受験番号」を解答用カードの定められたところに忘れずに書きいれること

## 数学

問題(1-13)には、それぞれ a、b、c、d の 4 つの答えが与えてあります。各問題につき、a、b、c、d の中から、もっとも適切と思う答えを-つだけ選び、解答カードの相当欄にあたるa、b、c、dのいずれかのわくの中を黒くぬって、あなたの答えを示しなさい。

例 8 (マ) (マ) (マ)

Ι

一般に、ある関数 y=f(x) の性質を調べるには、最小値や最大値を求めることに加えて、x がある範囲の値をとるときの y のとる値の範囲を調べることは重要である。そのためには、範囲がはっきりしたものの集まり、すなわち「集合」を用いるのが便利である。

集合  $\{x \mid a \le x \le b, x$  は実数  $\}$  (ただし、a,b は実数)を区間と言い、[a,b] と書く.一般 に、関数 y=f(x) が与えられたとき、実数の部分集合 D が定義域のときの関数 y=f(x) の 値域を f(D) と書く.例えば、定義域を D=[1,2]、関数を y=2x としたとき、f(D)=[2,4] である. つまり、x がとる値の範囲が  $1 \le x \le 2$  であるとき y=2x のとる値の範囲は  $2 \le y \le 4$  であるということである.

- 1. 定義域を D = [-1, 2], 関数を  $f(x) = x^2$  としたとき, f(D) は次のどれか.
  - a. [1, 4]
  - b. [-1, 4]
  - c. [0, 4]
  - d. [-1, 2]

2. 定義域を D = [0,3], 関数を  $f(x) = -x^3 + 3x^2$  としたとき, f(D) は次のどれか.

- a. [0, 0]
- b. [0, 1]
- c. [0, 2]
- d. [0, 4]

集合 A と集合 B の和集合を  $A \cup B$  と書く. すなわち  $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ または } x \in B\}$  である. 例えば,  $[1,3] \cup [-2,2] = [-2,3]$  である.

集合 A と集合 B の共通部分を  $A \cap B$  と書く. すなわち  $A \cap B = \{x \mid x \in A$  かつ  $x \in B\}$  である. 例えば,  $[1,3] \cap [-2,2] = [1,2]$  である.

集合 A が集合 B の部分集合であるとき,  $A \subset B$  と書く. つまり,  $A \subset B$  であることと " $x \in A \Longrightarrow x \in B$ " であることは同値である.

3. 定義域を

$$D = \left[0, \frac{\pi}{4}\right] \cup \left[\pi, \frac{5\pi}{4}\right]$$

関数を

$$f(x) = \cos x \cos 2x$$

としたとき, f(D) は次のどれか.

- a. [0, 1]
- b.  $\left[-\frac{\sqrt{6}}{9}, 1\right]$
- c.  $\left[-\frac{\sqrt{2}}{2}, 1\right]$
- $d. \quad [-1,1]$

関数  $g_1(x), g_2(x)$  を

$$g_1(x) = \frac{x}{3}, \ g_2(x) = \frac{x+2}{3}$$

とし、集合  $C_0$  を区間 [0,1] とする. このとき、集合  $C_k$   $(k=1,2,\cdots)$  を順に

$$C_1 = g_1(C_0) \cup g_2(C_0)$$

$$C_2 = g_1(C_1) \cup g_2(C_1)$$

. . .

一般に 
$$C_k = g_1(C_{k-1}) \cup g_2(C_{k-1})$$

で定義する.

4. 集合 C<sub>1</sub> は次のどれか.

- a. [0, 1]
- b.  $[0, \frac{1}{3}]$
- c.  $[\frac{2}{3}, 1]$
- d.  $[0, \frac{1}{3}] \cup [\frac{2}{3}, 1]$

5. 集合 C<sub>2</sub> は次のどれか.

- a. [0, 1]
- b.  $[0,\frac{1}{9}] \cup [\frac{8}{9},1]$
- c.  $[0, \frac{1}{9}] \cup [\frac{2}{9}, \frac{1}{3}] \cup [\frac{2}{3}, \frac{7}{9}] \cup [\frac{8}{9}, 1]$
- d.  $[0, \frac{1}{9}] \cup [\frac{2}{9}, \frac{4}{9}] \cup [\frac{5}{9}, \frac{7}{9}] \cup [\frac{8}{9}, 1]$

6. すべての  $k=0,1,2,\cdots$  に対して、集合  $C_k$  と集合  $C_{k+1}$  について成立する関係は次 のどれか.

a. 
$$C_k \cap C_{k+1} = C_k$$

b. 
$$C_{k+1} \subset C_k$$

c. 
$$C_{k+1} \supset C_k$$

d. 
$$C_k \cup C_{k+1} = [0, 1]$$

次の文中の空欄ア~ウに入る適当な数の組合わせは次のどれか.

集合  $C_k(k=0,1,2,\cdots)$  は r 個の長さ r の区間の和集合からなるので、これら の区間の長さの総和  $(= C_k$ の「長さ」) は である.

a. 
$$7. 2^{k-1}$$

$$4 \cdot \frac{1}{3^{k-1}}$$

a. ア. 
$$2^{k-1}$$
, イ.  $\frac{1}{3^{k-1}}$ , ウ.  $(\frac{2}{3})^{k-1}$ 

b. 
$$\mathcal{T}$$
.  $2^{k-1}$ ,

イ. 
$$\frac{1}{3^k}$$
,

b. ア. 
$$2^{k-1}$$
, イ.  $\frac{1}{3^k}$ , ウ.  $\frac{1}{3}(\frac{2}{3})^{k-1}$ 

c. 
$$\mathcal{P}$$
.  $2^k$ 

$$4 \cdot \frac{1}{2k}$$

c. ア. 
$$2^k$$
, イ.  $\frac{1}{3^k}$ , ウ.  $(\frac{2}{3})^k$ 

d. 
$$\mathcal{T}$$
.  $2^k$ ,

イ. 
$$\frac{1}{3^{k-1}}$$

d. ア. 
$$2^k$$
, イ.  $\frac{1}{3^{k-1}}$ , ウ.  $3(\frac{2}{3})^k$ 

#### 参考:

 $k \to \infty$  のとき集合  $C_k$  の極限として得られる集合  $\lim_{k \to \infty} C_k$  は、「長さ」が0であるカントール集合と呼ばれ、高校の積分を一般化した「測度」を学ぶ際に重要な例である。また、こ の集合は「自己相似性」を持ち、フラクタルの一例である.

宇宙空間でE星から W 星へ行くときに、 最短経路で旅をしたい. ところが、 ちょうど中間地点にブラックホールがあるので、 迂回 (うかい) して行くことにする. 以下で迂回をする経路の可能性を考えよう.

ブラックホールは、アインシュタインの一般相対性理論から予言された天体である. ブラックホールには事象の地平面という境界があり、それを越えて中に入ると光でもその境界から出ることができない. 実際には、事象の地平面に到達する前に強い重力により物体は粉々になると言われている.

迂回する際には、ブラックホールの影響をほとんど受けない安全な領域のみを通るものとする。その意味で避けるべき領域を B と名づけることにする。ここでは、領域 B の境界は安全な領域の一部であると考えることとして話を進める。

簡単のため、宇宙空間を 2次元平面として考えてみよう。そこで、その平面上に座標軸を定め、E星は (p,0) にあり、W星は (-p,0) にあるとする。ただし、p>0とし、B は原点を含むとする。(図 1)

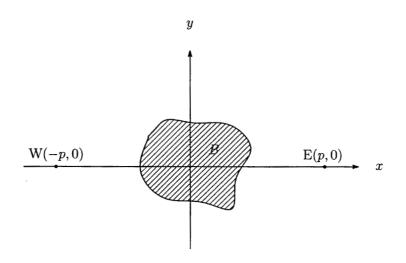


図1 E星とW星と領域 В

最初に、領域 B の形状が正方形で、その 4 頂点が x 軸および y 軸の上にある場合を考える。 ただし、図 2 のように 1 つの頂点を A(0,R) (R>0) とする.

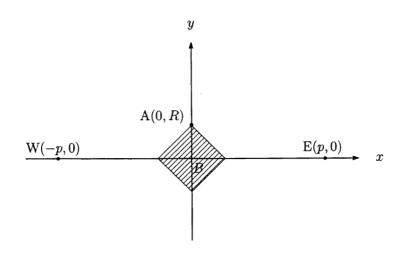


図 2 領域 B の形状が正方形である場合 (4 頂点がx 軸およびy 軸の上)

8. この領域 B を表す不等式は, 次のどれか.

a. 
$$-R \le x \le R$$
,  $y \le R - x$ 

b. 
$$-R \le x \le R$$
,  $|y| \le R - |x|$ 

c. 
$$-R \le x \le R$$
,  $|y| \le R - x$ 

d. 
$$-R \le x \le R$$
,  $y \le R - |x|$ 

いま, R < p であるならば, E星から W 星へ領域 B を迂回して行くときの最短距離 は, 線分 EA と線分 WA の長さの和 EA + WA に等しい. 従って, この最短距離は  $2\sqrt{p^2+R^2}$  である.

次に、領域 B の形状が、図 3 のように 1 辺の長さが 2R の正方形で、その 4 辺がx 軸 または y 軸に平行であり、1 つの頂点の座標が (R,R) である場合を考える。 ただし、0 < R < p であるとする。

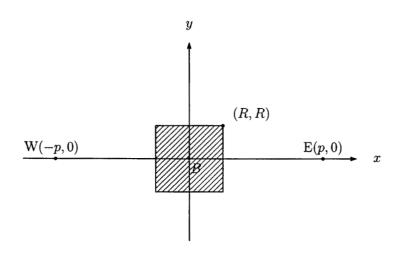


図3 領域 B の形状が正方形である場合 (4 辺がx 軸またはy 軸に平行)

9. このとき、E星からW星へ領域Bを迂回して行くときの最短距離は、次のどれか.

a. 
$$2\sqrt{p^2 + R^2}$$

$$\text{b.} \quad \frac{2p}{p-R}\sqrt{p^2-2pR+2R^2}$$

c. 
$$2R + 2\sqrt{p^2 - 2pR + 2R^2}$$

d. 
$$2R + 2\sqrt{p^2 - R^2}$$

今度は、領域 B の形状が、図 4 のように原点を中心とした半径 R の円である場合を考える。また、0 < R < p とする。

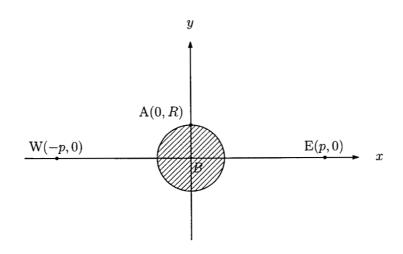


図4 領域 B の形状が原点を中心とした半径 R の円である場合

10. 直線  $\ell$  を点 E を通る円 B の接線とする. このとき, 接点 T の座標は次のどれか.

a. 
$$\left(\frac{R^2}{p}, \pm \frac{R^2}{p^2} \sqrt{p^2 - R^2}\right)$$

b. 
$$\left(\frac{R^2}{p}, \pm \frac{R}{p}\sqrt{p^2 - R^2}\right)$$

c. 
$$\left(\frac{R}{p}, \pm \frac{R}{p}\sqrt{p^2 - R^2}\right)$$

d. 
$$\left(\frac{R}{p}, \pm \frac{R^2}{p^2} \sqrt{p^2 - R^2}\right)$$

ここで、点 T として y 座標が正の点を選ぶと、E 星から W 星へ領域 B を迂回して 行くときの最短距離は、線分 ET の長さと点 T から点 A(0,R) までの円弧の長さの 和の 2 倍であることがわかる.

NS-数学 8

- 11. とくに  $R=\frac{p}{2}$  である場合を考える. このとき, E 星から W 星へ領域 B を迂回して行くときの最短距離は次のどれか.
  - a.  $\left(\sqrt{3} + \frac{\pi}{6}\right)p$

  - b.  $\left(\sqrt{3} + \frac{\pi}{3}\right)p$ c.  $\left(\frac{1}{2}\sqrt{3} + \frac{\pi}{6}\right)p$ d.  $\left(2\sqrt{3} + \frac{\pi}{3}\right)p$

(次のページへ続く)

今度は、領域 B の形状が、図 5 のように放物線

$$y = R - x^2$$

と, x軸に関してこの曲線と対称な曲線とで囲まれた領域である場合を考える. ここで,  $R>0,\,0<\sqrt{R}< p$  であるとする.

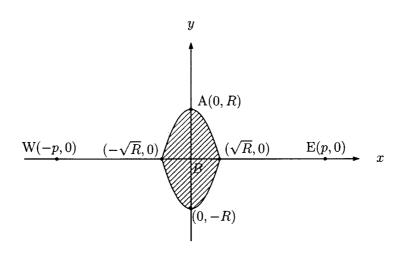


図5 領域 B の形状が2つの放物線で囲まれた領域である場合

12. 点 E を通る直線 m が、この曲線  $y=R-x^2$   $(-\sqrt{R} \le x \le \sqrt{R})$  の接線であるとする. このとき、接点 Q の x 座標  $x_0$  は次のどれか.

a. 
$$p + \sqrt{p^2 + R}$$

b. 
$$p + \sqrt{p^2 - R}$$

c. 
$$p - \sqrt{p^2 + R}$$

d. 
$$p - \sqrt{p^2 - R}$$

従って、領域 B を迂回する最短距離は、線分 EQ の長さと点 Q から点 A(0,R) までの放物線上の弧の長さの和の 2 倍であることがわかる.

点 Q から点 A(0,R) までの放物線上の弧の長さは、次の定積分で与えられることが知られている。

$$\int_0^{x_0} \sqrt{1+4x^2} dx$$

以上では、宇宙空間を2次元平面として考えたが、今度は、宇宙空間を3次元空間と して考えてみる. 迂回する際に避けるべき空間領域を、平面の場合と区別するため に、 $\mathcal{B}$  と名づけることにする. ここでは、空間領域  $\mathcal{B}$  は平面上の領域  $\mathcal{B}$  を x 軸の周 りに回転して得られると仮定する.

いま, 空間領域 B を迂回する最短経路が囲む領域を考えてみよう. 最短経路が囲み, 空間領域 B の外側である空間領域を C とする.

最初に考察した場合、すなわち領域 B の形状が正方形で、その 4 頂点が x 軸および y軸の上にある場合に、空間領域 C を考える. (図 6)

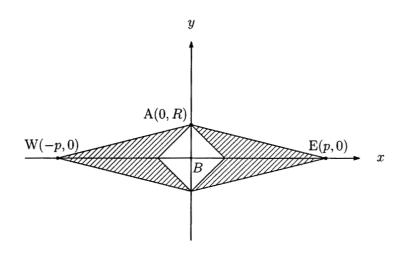


図6 空間領域 C の断面図 (領域 B の形状が正方形である場合)

このとき、最短経路が囲みかつ空間領域 B の外側である空間領域 C の体積は次の 13. どれか、

a. 
$$\frac{1}{3}\pi R(p^2 - R^2)$$

a. 
$$\frac{1}{3}\pi R(p^2 - R^2)$$
  
b.  $\frac{2}{3}\pi R(p^2 - R^2)$   
c.  $\frac{1}{3}\pi R^2(p - R)$   
d.  $\frac{2}{3}\pi R^2(p - R)$ 

c. 
$$\frac{1}{3}\pi R^2(p-R)$$

d. 
$$\frac{2}{3}\pi R^2(p-R)$$

(このページは空白です)

## 物 理

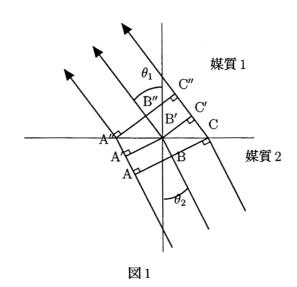
問題(21-33)には、それぞれ a, b, c, d の 4 つの答えが与えてあります。各問題につき、 a, b, c, d の中から、もっとも適切と思う答えを<u>一つだけ</u>選び、解答カードの相当欄にあたる a, b, c, dのいずれかのわくの中を黒くぬって、あなたの答えを示しなさい。

例 8 (マ) (ユ) - (マ)

Ι

プールの上から水底を見ると、水底が浅くなったような錯覚をもつ. また、プールに足を入れてみると、思いのほか深いことは誰しも経験していることだろう. また、見かけの深さが足もとから遠くまで一定ではないように見えることも経験したことであろう. これらの現象は、光の屈折によって説明される. そして、光の屈折は、光が波動であることと密接に関わっている.

ここで、一般の波動現象について考察する. 波動は振動が空間を伝わる現象であり、振動の状態(位相)が等しい点を連ねた面を「波面」という. 例えば、ある一点の波源からは、球状の波面が広がっていく. 波源が遠方である場合には、波面はほぼ平面をなしている. 波面が平面をなす波を「平面波」とよぶ. 波面の進み方については、「波面の各点からは、波の進む前方に素元波とよばれる球面波が出る. これらの素元波に共通に接する面(包絡面)が、次の波面を形成する. 」というホイヘンスの原理が成り立つ.

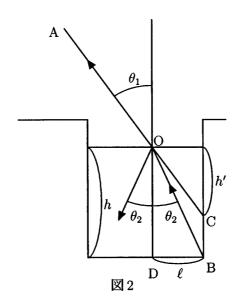


まず、図1のように、ある面を境として、2つの媒質があり、媒質1と媒質2における波の伝わる速さをそれぞれ $c_1$ 、 $c_2$ とする。このとき、媒質2から媒質1に進む波が屈折することを説明しよう、いま、 $c_1 > c_2$ とする。媒質2から境界の面に入射角 $\theta_2$ で入射する平面波の波面 ABC が境界の面で折れ曲がることを見よう。波面 ABC の各点から出た素元波は波面 A'B'C'を形成し、さらにその波面の各点から出た素元波は波面 A'B'C' を形成する。波面 A'B'C' の一部は媒質1にあり一部は媒質2にあるので、波の進む速さの違いを反映して、波面 A'B'C' は B' において折れ曲がる。素元波は C から C' へは速さ $c_1$  で進み、A から A' へは速さ $c_2$  で進むので、CC' と AA' の長さの比が2つの媒質の中での波の進む速さの比となる。光の波動の場合、真空中の光の速さ $c_2$ とそれぞれの媒質における光の速さの比を屈折率とよぶ。すなわち、媒質1と媒質2の屈折率はそれぞれ $c_1 = \frac{c}{c_1}$ 、 $c_2 = \frac{c}{c_2}$  である。

- 21. 屈折角  $\theta_1$  と入射角  $\theta_2$  の間の関係式として、正しいものを選べ.
  - a.  $c_1 \sin \theta_1 = c_2 \sin \theta_2$
  - b.  $c_1 \sin \theta_2 = c_2 \sin \theta_1$
  - c.  $c_1 \cos \theta_1 = c_2 \cos \theta_2$
  - d.  $c_1 \cos \theta_2 = c_2 \cos \theta_1$

いま、図 2 のように、プールの壁の底 B から出た光は、一部は水と空気の境界面の点 O において反射して水中に戻るが、一部は点 O を通って屈折し観測者 A に達する。観測者 A にとっては、点 B が点 C にあるように見える。点 B の深さを h、その見かけ上の深さ、すなわち、点 C の深さを h' とする。点 O から水底に下ろした垂線が水底と交わる点を D とし、点 D と点 B の距離を  $\ell$  とする。

空気の屈折率  $n_1$  はほぼ 1 であり、水の屈折率  $n_2$  は 1.33 程度である。点 O における空気中への光の屈折角を  $\theta_1$ 、水中からの光の入射角を  $\theta_2$  とし、屈折率の比を  $n=\frac{n_2}{n_1}$  で表す。



22. 見かけ上の深さh'が0となるときの入射角 $\theta_2$ の関係式として,正しいものを選べ.

a. 
$$\sin \theta_2 = \frac{1}{n}$$

b. 
$$\sin \theta_2 = n$$

c. 
$$\cos \theta_2 = \frac{1}{n}$$

d. 
$$\cos \theta_2 = n$$

23. h' を  $\ell$ , h, n を用いて表した式として, 正しいものを選べ.

a. 
$$h' = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{h^2}{n} + (n^2 - 1)\ell^2}$$

b. 
$$h' = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{h^2}{n^2} + (n^2 - 1)\ell^2}$$

c. 
$$h' = \sqrt{\frac{h^2}{n} - (n^2 - 1)\ell^2}$$

d. 
$$h' = \frac{1}{n} \sqrt{h^2 - (n^2 - 1)\ell^2}$$

24. これまでの考察から、真上から水底を見たときの水底の深さhと見かけ上の深さh'との関係式として、正しいものを選べ.

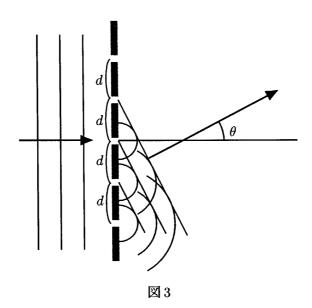
a. 
$$\frac{h'}{h} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

b. 
$$\frac{h'}{h} = \frac{1}{n}$$

c. 
$$\frac{h'}{h} = \frac{1}{n\sqrt{n}}$$

$$d. \quad \frac{h'}{h} = \frac{1}{n^2}$$

平らなガラス板の片面に多くの筋(すじ)を等間隔で平行に引いたものを「回折格子」とよぶ、筋を引いたところは、光が乱反射して透過しないが、筋を引いてない滑らかな部分は光が透過する。回折格子をモデル化すれば、図3のように、周期的に細いスリットが開いている板であると考えてよい。板の左側に平面波が到達すると、それぞれのスリットが波源となって球面波(素元波)を発する。ホイヘンスの原理によれば、それぞれのスリットからの球面波が重なり合って、板の右側に波面を形成する。その波面は、平面波として一定の方向に進む。 その方向と板に垂直な方向とのなす角度を $\theta$ とする。また隣り合うスリットの間隔をd、平面波の波長を $\lambda$ とする。



25. スリットの間隔 d, 波長  $\lambda$ , 角度  $\theta$  の間の関係式として, 正しいものを選べ. ただし, m は整数とする.

a. 
$$d\cos\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

b. 
$$d\sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

c. 
$$d\cos\theta = m\lambda$$

d. 
$$d\sin\theta = m\lambda$$

次に、スリットの間隔をうまくとると、透過した光の波動が一点に集中するようにできる。板の中央の点 Pから板と垂直な方向に点 Oをとり,POの距離を fとする。図 4のように、まず点 Pにスリットを開け、点 Pの両側の距離  $d_1$ の点  $S_1$ , $T_1$ にスリットを開ける。 $d_1$ をうまくとると,点 Pから出た素元波は,点  $S_1$ と点  $T_1$ から出た素元波と点 O において強め合う。

さらに、点 P の両側の距離  $d_2$  (ただし  $d_2 > d_1$ ) の点  $S_2$ ,  $T_2$  にスリットを開け、それらから出る素元波も、点 P,  $S_1$ ,  $T_1$  から出る素元波と点 O において強め合うようにすることができる.同様にして、点 P の両側の距離  $d_3$  (ただし  $d_3 > d_2$ ) の点  $S_3$ ,  $T_3$  にもスリットを開けて、これらのスリットからの素元波がすべて点 O において強め合うようにすることができる.

このようにデザインされた回折格子は凸レンズと同じように集光するのに使われる.

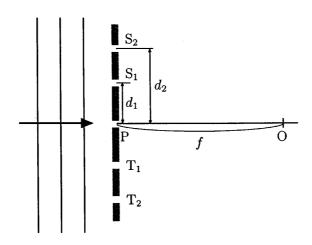


図 4

26. f と波長 $\lambda$ が与えられたときに,  $d_1$  の最小値, および  $d_2 > d_1$  を満たす  $d_2$  の最小値 として, 正しいものを選べ.

a. 
$$d_1 = \sqrt{\lambda^2 + 4f\lambda}$$
,  $d_2 = \sqrt{4\lambda^2 + 4f\lambda}$ 

b. 
$$d_1 = \sqrt{\lambda^2 + 4f\lambda}, \quad d_2 = \sqrt{4\lambda^2 + 8f\lambda}$$

c. 
$$d_1 = \sqrt{\lambda^2 + 2f\lambda}$$
,  $d_2 = \sqrt{4\lambda^2 + 4f\lambda}$ 

d. 
$$d_1 = \sqrt{\lambda^2 + 2f\lambda}$$
,  $d_2 = \sqrt{4\lambda^2 + 8f\lambda}$ 

27. 前問の  $d_1$ ,  $d_2$ , および  $d_3 > d_2$  を満たす  $d_3$  の最小値について, 成り立たない 関係式を選べ.

a. 
$$d_1 > \frac{d_2}{2} > \frac{d_3}{3}$$

b. 
$$d_1^2 > \frac{d_2^2}{2} > \frac{d_3^2}{3}$$

c. 
$$d_1 > d_2 - d_1 > d_3 - d_2$$

d. 
$$d_1^2 < d_2^2 - d_1^2 < d_3^2 - d_2^2$$

単位時間あたりの速度変化を加速度とよぶ。ニュートンの運動法則によれば、物体は力を受けると、力に比例して加速度を生じる。力と加速度の比例係数が質量である。いま、直線上の運動を考えることにして、短い時間 t の間に、質量 m の物体が力を受けて、速度が v から v' に変化したとすると、加速度は  $\frac{v'-v}{t}$  であるから、  $m\frac{v'-v}{t}$  が力に等しいということになる。

また, ニュートンの作用・反作用の法則によれば, 力を及ぼし合う 2 つの物体 A, B について, 物体 A が物体 B に及ぼす力と, 物体 B が物体 A に及ぼす力とは, 大きさが等しく, 向きが反対である. このことを用いて, 衝突の前後での物体の速度の変化を求めてみよう.

質量  $m_A$ ,  $m_B$  の 2 つの物体 A, B が衝突し, 衝突の短い時間 t の前後で, それぞれの物体の速度が  $v_A$ ,  $v_B$  から  $v_A'$ ,  $v_B'$  へと変化したとする. 物体 A は短い時間 t の間に  $v_A' - v_A$  だけ速度変化したのであるから, 衝突の間に物体 A が受けた力は  $m_A \frac{v_A' - v_A}{t}$  であり, 同様に物体 B が受けた力は  $m_B \frac{v_B' - v_B}{t}$  である. 作用・反作用の法則により, これら 2 つの力は、大きさが等しく、向きが反対であるから、

$$m_{\rm A} \frac{v_{\rm A}' - v_{\rm A}}{t} = -m_{\rm B} \frac{v_{\rm B}' - v_{\rm B}}{t}$$

という関係式が導かれる.これから t を消去すると、

$$m_{\rm A}(v_{\rm A}'-v_{\rm A})=-m_{\rm B}(v_{\rm B}'-v_{\rm B})$$

となる. さらに変形すると、

$$m_{\mathcal{A}}v_{\mathcal{A}}' + m_{\mathcal{B}}v_{\mathcal{B}}' = m_{\mathcal{A}}v_{\mathcal{A}} + m_{\mathcal{B}}v_{\mathcal{B}} \tag{1}$$

が得られる. こうして,作用・反作用の法則から,「物体の質量と速度の積の和は,衝突の前後で変化しない」ということが導かれる.

2つの物体全体の重心の衝突前と衝突後の速度をそれぞれV, V'で表し、

$$V = \frac{m_{\rm A} v_{\rm A} + m_{\rm B} v_{\rm B}}{m_{\rm A} + m_{\rm B}}, \quad V' = \frac{m_{\rm A} v_{\rm A}' + m_{\rm B} v_{\rm B}'}{m_{\rm A} + m_{\rm B}}$$

で定義する. (1) 式から

$$V = V' \tag{2}$$

である. すなわち、重心の速度は衝突の前後で変わらない.

次に, 運動エネルギーの和が衝突の前後で変わらないかどうかを考察する. そのために, 2つの物体の速度の差 (「相対速度」とよぶ)を導入する. 衝突前と衝突後の相対速度をそれぞれ

$$v = v_{\rm A} - v_{\rm B}, \quad v' = v'_{\scriptscriptstyle A} - v'_{\scriptscriptstyle B}$$

で定義する.

28. 衝突の前後のそれぞれの物体の速度を, 重心の速度と相対速度を用いて表した式として, 正しいものを選べ.

a. 
$$v_{A} = V - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v$$
,  $v_{B} = V + \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{A} = V' - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v'$ ,  $v'_{B} = V' + \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v'$ 
b.  $v_{A} = V - \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v_{B} = V + \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{A} = V' - \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v'$ ,  $v'_{B} = V' + \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v'$ 
c.  $v_{A} = V + \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v_{B} = V - \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{A} = V' + \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v'$ ,  $v'_{B} = V' - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v'$ 
d.  $v_{A} = V + \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v_{B} = V - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{A} = V' + \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{B} = V' - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v$ ,  $v'_{A} = V' + \frac{m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v'$ ,  $v'_{B} = V' - \frac{m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v'$ 

重心の速度 V と相対速度 v を用いると、衝突前後の 2 つの物体全体の運動エネルギーは次のように表される。

$$\frac{1}{2}m_{\rm A}v_{\rm A}^2 + \frac{1}{2}m_{\rm B}v_{\rm B}^2 = \frac{1}{2}(m_{\rm A} + m_{\rm B})V^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2}m_{\rm A}v_{\rm A}'^2 + \frac{1}{2}m_{\rm B}v_{\rm B}'^2 = \frac{1}{2}(m_{\rm A} + m_{\rm B})V'^2 + \frac{1}{2}mv'^2$$
(3)

それぞれの右辺の第一項は、重心の速度に依存する運動エネルギーであり、「重心の運動エネルギー」とよばれる。第二項は相対速度vに依存する運動エネルギーであり、mは質量の次元をもつ量である。

29. m をそれぞれの物体の質量  $m_{A}$ ,  $m_{B}$  を用いて表した式として, 正しいものを選べ.

a. 
$$m = \sqrt{m_{\rm A} m_{\rm B}}$$

b. 
$$m = \frac{m_{\rm A} + m_{\rm B}}{2}$$

c. 
$$m = \frac{|m_{\rm A} - m_{\rm B}|}{2}$$

$$d. \quad m = \frac{m_{\rm A} m_{\rm B}}{m_{\rm A} + m_{\rm B}}$$

(3) 式より、2つの物体全体の運動エネルギーが衝突の前後で変化しないための条件は

$$\frac{1}{2}(m_{\rm A}+m_{\rm B})V^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(m_{\rm A}+m_{\rm B})V'^2 + \frac{1}{2}mv'^2$$

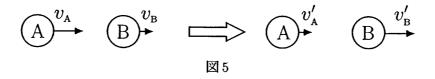
が成り立つことである. (2) 式より V=V' が成り立つことから, 相対運動の速度について,  $v^2=v'^2$  であれば, 2 つの物体全体の運動エネルギーは変化しない, ということになる.

図 5 のように、衝突前に B が A の前方にあれば、 $v=v_{\rm A}-v_{\rm B}>0$  のとき衝突が可能で、衝突後は  $v'=v'_{\rm A}-v'_{\rm B}<0$  となる. つまり、衝突の前後で運動エネルギーが変化しないための条件は、v=-v' すなわち、

$$v_{\rm A} - v_{\rm B} = v_{\rm B}' - v_{\rm A}' \tag{4}$$

であり、2つの物体が衝突前に近づく速さは、衝突後に遠ざかる速さと同じである、という ことになる。

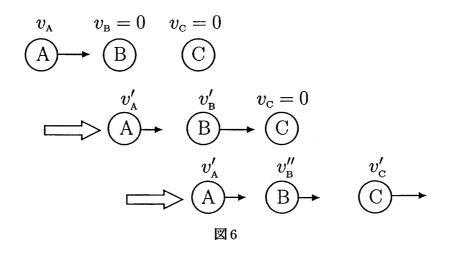
#### 右向きを正の方向とする



30. 作用・反作用の法則から導かれた (1) 式と衝突前後における相対速度の性質を表す (4) 式をもとに、衝突後の物体 A の速度 v'<sub>A</sub> と物体 B の速度 v'<sub>B</sub> を、衝突前の物体 A の速度 v<sub>A</sub> と物体 B の速度 v<sub>B</sub> で表した式として、正しいものを選べ。

a. 
$$v'_{A} = \frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} + \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B},$$
  $v'_{B} = \frac{m_{B} - m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v_{B} + \frac{2m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v_{A}$ 
b.  $v'_{A} = -\frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} + \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B},$   $v'_{B} = \frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} + \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B}$ 
c.  $v'_{A} = \frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} - \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B},$   $v'_{B} = \frac{m_{B} - m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v_{B} - \frac{2m_{A}}{m_{A} + m_{B}} v_{A}$ 
d.  $v'_{A} = -\frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} - \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B},$   $v'_{B} = \frac{m_{A} - m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{A} - \frac{2m_{B}}{m_{A} + m_{B}} v_{B}$ 

以上の議論にもとづき、3つの物体が続いて衝突する場合について考察する. いま、図 6 のように、左から順に物体 A、B、C が並んでいるものとする. 最初に、B と C は静止していたとする. 物体 A が速度  $v_A$  で右方に動き物体 B と衝突した結果、物体 A の速度は  $v_A'$  となり、物体 B の速度は  $v_B'$  となる. その後、物体 B は物体 C と衝突し、物体 B の速度は  $v_B'$  となり、物体 C の速度は  $v_C'$  となる. それぞれの衝突において、全体の運動エネルギーは変わらないとする. また物体 A、B、C の質量はそれぞれの質量を  $m_A$ 、 $m_B$ 、 $m_C$  とする. この運動について、以下の問いに答えよ.



31. 衝突後の物体 Cの速度  $v_C'$  を表す式として, 正しいものを選べ.

a. 
$$v'_{\rm C} = \frac{4m_{\rm A}m_{\rm B}}{(m_{\rm A}+m_{\rm B})(m_{\rm B}+m_{\rm C})}v_{\rm A}$$

b. 
$$v'_{\rm C} = \frac{4m_{\rm B}m_{\rm C}}{(m_{\rm A}+m_{\rm B})(m_{\rm B}+m_{\rm C})}v_{\rm A}$$

c. 
$$v_{\rm C}' = \frac{4m_{
m A}m_{
m C}}{(m_{
m A}+m_{
m B})(m_{
m B}+m_{
m C})}v_{
m A}$$

d. 
$$v'_{\rm C} = \frac{4m_{\rm A}m_{\rm B}}{(m_{\rm A} + m_{\rm B})(m_{\rm A} + m_{\rm C})}v_{\rm A}$$

32. 物体 C との衝突の後, 物体 B が物体 A と再び衝突するための条件として, 正しいものを選べ.

a. 
$$4m_{\rm A}m_{\rm B} > (m_{\rm A} + m_{\rm B})(m_{\rm B} + m_{\rm C})$$

b. 
$$4m_{\rm A}m_{\rm C} > (m_{\rm A} + m_{\rm B})(m_{\rm B} + m_{\rm C})$$

c. 
$$4m_{\rm B}m_{\rm C} > (m_{\rm A} + m_{\rm B})(m_{\rm B} + m_{\rm C})$$

d. 
$$4m_{\rm B}m_{\rm C} > (m_{\rm A} + m_{\rm C})(m_{\rm B} + m_{\rm C})$$

- 33. いま, 物体 A と物体 C の質量は等しく, 物体 B の質量と比べて大きくて 10 倍以上であるとする. 物体 B と物体 C の衝突後の運動について, 正しいものを選べ.
  - a.  $v'_A > v'_C$  であり、物体 B は物体 A と再び衝突する.
  - b.  $v'_A < v'_C$ であり、物体 B は物体 A と再び衝突する.
  - c.  $v_{
    m A}'>v_{
    m C}'$ であり、物体 B は物体 A と再び衝突することはない.
  - d.  $v_{
    m A}' < v_{
    m C}'$ であり、物体 B は物体 A と再び衝突することはない.

(このページは空白です)

## 化 学

問題(41-53)には、それぞれ a, b, c, dの4つの答えが与えてあります。各問題につき、a, b, c, dの中から、もっとも適切と思う答えを<u>--つだけ</u>選び、解答カードの相当欄にあたる a, b, c, dのいずれかのわくの中を黒くぬって、あなたの答えを示しなさい。

例 第 (4) (4)

必要ならば、 次の値を用いよ.

原子量: H 1.0, C 12.0, O 16.0, S 32.1, Cu 63.5

結合エネルギー (kJ/mol)

H – C	414	H – O	460
C - C	347	C = O	745
C = C	620	O = O	499
$C \equiv C$	812		

I

水は身近に存在する物質であるが、物理化学的に多くの特異な性質をもち、日常生活の中で液体、固体、気体間の水の三態変化を見ることができる点においても他の物質と異なる。 $H_2O$  という単純な構造をもつ水が、なぜそのような特異な性質をもつのかを考えてみよう。それには分子間に働く引力(分子間力)に注目する必要がある。分子間力は、水に限らずどんな分子間にも存在する。常温で気体として存在する分子では、常温で液体として存在する分子よりも分子間力が弱い。同様に、常温で液体の分子では常温で固体の分子よりも分子間力が弱い。結晶は、分子どうしが互いに近接し規則正しく配列した状態である。固体が加熱されると、分子は固定された位置から動き始めて液化する。液体では、分子は分子間力により引き合いながら移動しているため、形状は容器の形にしたがって自由に変形できる。液体が

加熱されると、分子の運動エネルギーが大きくなり、分子間力を振り切って自由に 空間を運動し始める.これが気体である.蒸発熱、沸点とも分子間力の強さを示す 尺度と見なすことができる.融解熱、融点も分子間力の強さに大きく関係するが、 結晶構造の違いにも影響される.

では、分子間力は何によって決まるのだろうか。正負の電荷をもつ分子間には電気的な引力が生じる。また、電気的な偏りが存在する分子(極性分子)にも分子間力が生じる。極性分子内の特定原子が特定の立体配置をとったときに強い分子間力が生じる場合がある。水素結合がその典型例である。すなわち、水素結合は、

 $X\cdots H-X$  という配置をとったときに生じる分子間力で、部分的に負電荷を帯びた原子 X と、部分的に正電荷を帯びた H の間に働く、周期表において、同じ周期の元素の中では第 18 族元素を除いて原子番号が大きい元素ほど、同族元素の中では原子番号が小さいほど、分子間に働く水素結合が強い、さらに、フッ化水素では  $HF\cdots H-F$ 、水では  $H,O\cdots H-OH$  という直線配置をとるため水素結合が非常に強い、

分子間力は炭化水素のような無極性分子の間にも働く (ファンデルワールス力). 直鎖状アルカン類では分子量が大きくなるほどファンデルワールス力が強くなり、 沸点が高くなる (表 1).

表1 直鎖状アルカン類 (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>) の沸点

n	1	2	3	4	5	
分子量	16	30	44	58	72	
沸点 (℃)	-161.5	-89	-42	0	36	

種々の原子からなる分子では、以上述べた分子間力が総和として働き、物質の三態変化や性質を決定している.

次に、水のもつ沸点、融点、蒸発熱などの熱的特性と分子間力との関係について考えてみよう、水のように水素原子 2 個ともう一つの原子からなる水素化物 ( $H_2X$ ,

X は O と同族の元素)と水の構造と性質を比較する(図 1,表 2).分子構造を見ると,原子 X の大きさと H-X-H 間の結合角の大きさがそれぞれ異なる. 水は結合角が 104.5°で他の分子と大きく異なるため,氷ではダイアモンドとよく似た結晶構造となる. 氷では隣接する分子間の水素結合が直線に近い配置をとるため分子間力が非常に強い. また,水の沸点を他の  $H_2X$  分子と比べてみると,分子量から予想される値から大きく離れている. これは水分子間に水素結合による強い分子間力が働くためである. 他の  $H_2X$  分子間にも水素結合は働くが,H-X 間の電気的な偏りが小さいため,水分子間よりもはるかに弱い.

その結果、表 2 に示すような水素化物  $H_nX$  (原子 X と水素原子 n 個からなる分子) の物理化学的性質の違いが現れるのである。水の特異性の謎を解く鍵は水の分子構造と水分子間に働く水素結合にあると言ってよい。

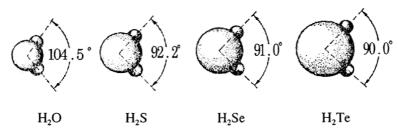


図1 H<sub>2</sub>X分子(XはOと同族の元素)の構造

表2 水素化物 H<sub>n</sub>X の性質

	分子式	分子量	沸点( <b>°</b> C)	蒸発熱(kJ/mol)
水	H₂O	18	100	40.5
硫化水素	H <sub>2</sub> S	34	-62	20.1
セレン化水素	H <sub>2</sub> Se	81	-42	20.9
テルル化水素	H₂Te	130	0	23.4
メタン	CH₄	16	-161.5	0.94
アンモニア	NH <sub>3</sub>	17	-33	23.3
フッ化水素	HF	19	19.5	30.2
塩化水素	HCl	36.5	-85	16.2

- 41. 表 2 で示した水素化物  $H_2X$  における分子間力の強さを比較した場合、左から強い順に並んでいるものはどれか.
  - a. H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>Se, H<sub>2</sub>Te
  - b. H<sub>2</sub>Te, H<sub>2</sub>Se, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O
  - c. H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>Te, H<sub>2</sub>Se, H<sub>2</sub>S
  - d. H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>Se, H<sub>2</sub>Te, H<sub>2</sub>O
- **42**. 表 2 で示した水素化物  $\mathbf{H_{n}X}$  の分子間に働く水素結合の強さを比較した場合、左から強い順に並んでいないものはどれか.
  - a. HF, HCI, H<sub>2</sub>S
  - b. H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>
  - c. H<sub>2</sub>O, HF, NH<sub>3</sub>
  - d. HF,  $H_2O$ ,  $H_2S$
- 43. 次の記述の中で適切でないものはどれか.
  - a. 無極性分子でも分子量が大きければ、常温で液体の場合もあり、固体の場合 もあり得る.
  - b. **NH**<sub>3</sub>の沸点が **CH**<sub>4</sub>の沸点よりも高いのは水素結合の強さに大きな違いがある ためと考えられる.
  - c. メタノール  $CH_3$  OH の沸点 (64.0°C) が,分子量の近いエタンの沸点よりも高いのは,メタノールでは水素結合による分子間力が強く働いているためと考えられる.
  - d. 凝固するときに放出する 1 mol 当たりの熱量は, 硫化水素の方が水よりも大きい.

- 44. 表3に示す3つの異性体についての記述の正しい組合せはどれか.
  - ア. 分子間力の強い順に並べると, A, B, C である.
  - イ. 分子間力の強い順に並べると、B, A, Cである.
  - ウ. 化学エネルギーの高い順に並べると、 C, B, A である.
  - エ. 化学エネルギーの高い順に並べると、A, B, Cである.
    - a. ア, ウ
    - b. ア, エ
    - c. イ, ウ
    - d. イ, エ

表 3 異性体の物性

	沸点	融点	密度	燃焼熱
C₄H <sub>8</sub> の異性体	(℃)	(℃)	(g/cm <sup>3</sup> )	(kJ/mol)
A: CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>3</sub>	1	-106	0.60	2718
(トランス異性体)				
B: CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>3</sub>	4	-139	0.62	2722
(シス異性体)				
C: CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CH <sub>2</sub>	-6	-185	0.59	2729

- 45. 銅化合物の中の銅は、ほとんどが酸化数 +1 か +2 として存在し、酸素と結合する場合に二種類の化合物を形成する. 一方の銅酸化物は 1.28 g の酸素と、10.2 g の銅が結合することにより形成される. もう一方の銅酸化物を形成する場合に、3.78 g の酸素と結合する銅の量は次の中でどれにもっとも近いか.
  - a. 7.56 g
  - b. 15.2 g
  - c. 22.4 g
  - d. 30.4 g
- 46. 硫酸 (濃度 9.0 mol/L) を薄めて濃度 2.0 mol/L の硫酸溶液を 100.0 mL つくるには, 9.0 mol/L 硫酸が何 mL 必要か.
  - a. 11.1 mL
  - b. 20.0 mL
  - c. 22.2 mL
  - d. 25.0 mL

#### 次の3種の化学反応について考える.

- A:  $2HNO_3 + 3H_3AsO_3 \rightarrow 2NO + 3H_3AsO_4 + H_2O$
- B: NaI + 3HOCl  $\rightarrow$  NaIO<sub>3</sub> + 3HCl
- C:  $CH_3COONa + HCI \rightarrow CH_3COOH + NaCI$
- 47. これらの反応式についての記述の正しい組み合わせはどれか.
  - ア. 反応 A では、 N が酸化され As が還元されている.
  - イ. 反応 A では、 As が酸化され N が還元されている.
  - ウ. 反応 A では、 強酸どうしの中和反応が起こっている.
  - エ. 反応 B では、 I が酸化され CI が還元されている.
  - オ. 反応 B では、CI が酸化され I が還元されている.
  - カ. 反応 B では、 置換反応が起こっている.
  - キ. 反応 C では、 Na が酸化され C が還元されている.
  - ク. 反応 C では、 CI が酸化され C が還元されている.
  - ケ. 反応 C では、酸化、還元されているものはない.
    - a. P, I, +
    - b. イ, エ, ケ
    - c. イ, オ, ク
    - d. ウ, オ, ケ

図 2 は水溶液の電気分解を小規模で簡便に行う実験装置の一例である. 最近, 高校の化学実験の一部に取り入れられ, 電気分解を目の前で観察し, 発生する気体の量を測定できる便利な方法となっている.

【実験】 2 本のプラスチック製注射器にウェル(凹孔)内と同じ溶液を満たしてから、両方の二方コックを閉じ、黒いまち針を陽極、白いまち針を陰極として刺して装置を組み立てる(気体および水溶液はもれることがないものとする).次に、9Vの電池を電極につないで水溶液の電気分解を行い、それぞれの電極から発生する気体の体積を測定する.ただし、実験中のまち針の化学反応は無視できるものとする.

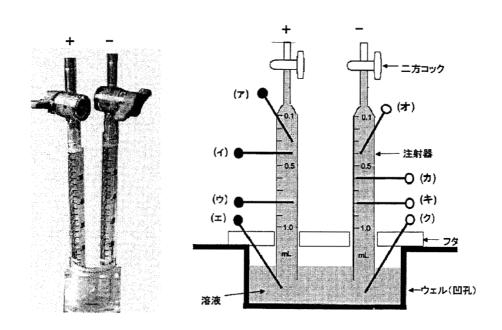
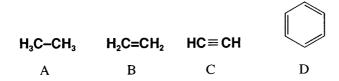


図2 水溶液の電気分解実験装置

- 48. 水酸化ナトリウム水溶液と塩化ナトリウム水溶液を試料として,まち針の位置を変えて気体の発生が止まるまで電気分解を行った.次の記述の中で<u>適切でない</u>ものはどれか.
  - a. 水酸化ナトリウム水溶液を電気分解した場合に、(ウ)と(キ)を電極とした場合に陽極側に集まる気体の体積と(ア)と(オ)を電極とした場合に陰極側に集まる気体の体積は同じである.
  - b. 水酸化ナトリウム水溶液を電気分解した場合に、(イ)と(キ)を電極とし した場合に陽極側に集まる気体の体積と(イ)と(ク)を電極とした場合に 陽極側に集まる気体の体積は同じである.
  - c. (ウ) と(キ) を電極として薄い塩化ナトリウム水溶液の電気分解を行うと、 陰極側に集まる気体の体積は約0.8 mL である.
  - d. (イ) と(オ) を電極として薄い塩化ナトリウム水溶液の電気分解を行うと、 陰極側に集まる気体の体積は約0.2 mL である.
- 49. さまざまな水溶液をウェルに入れて電気分解実験を行うことができる. 次の記述の中で適切でないものはどれか.
  - a. 硫酸水溶液の方が水よりも電気分解における酸素の発生速度が非常に速い.
  - b. 硫酸銅(II)水溶液と水酸化ナトリウム水溶液を電気分解すると、どちらの 場合も陽極側には同じ種類の気体が発生する.
  - c. 硝酸銀水溶液を電気分解すると陰極側には銀が析出する.
  - d. 塩化銅(II)水溶液を電気分解すると、陽極側には水酸化ナトリウム水溶液の場合と同じ種類の気体が発生する.

炭素と水素からなる代表的な有機分子 A, B, C, D と関連する分子の構造, 性質, 反応について考えてみよう.



- 50. 次にあげる構造についての記述の正しい組合せはどれか.
  - ア. 分子 A, B, C それぞれの中で共有結合を形成している電子の総数は同じである.
  - イ. 分子 A と  $CH_3$ -F,  $CH_3$ -OH,  $CH_3$ - $NH_2$ 各分子を構成する原子の最外殻電子の総数は同じである.
  - ウ. 分子 B に塩素が付加すると炭素原子間の距離は短くなる.
  - エ. 分子 B, C, D を構成する原子はすべて同一平面上にあるが, 分子 A では同一平面上にはない原子が存在する.
    - a. ア, イ
    - b. ア, ウ
    - c. イ, エ
    - d. ウ, エ

- 51. 次にあげる反応についての記述の正しい組合せはどれか.
  - ア. 分子 A も分子 D も室温で塩素を加えただけでは反応しないが,光(紫外線) を当てると両者とも塩素と反応する.
  - イ. 付加重合により、分子Bはシクロヘキサンとなり、分子Cは分子Dとなる.
  - ウ. 濃硫酸存在下で水と反応させると、分子 B からはエタノールが、分子 C からはアセトアルデヒドが、分子 D からはフェノールが生成する.
  - エ. 赤紫色の  $KMnO_4$  水溶液に分子 B あるいは分子 C を吹き込むと赤紫色が消えるが、分子 A と分子 D の場合には混合しても赤紫色が消えない.
    - a. ア,イ
    - b. ア,エ
    - c. イ,ウ
    - d. ウ, エ
  - 52. 水の生成熱は 286 kJ/mol, 二酸化炭素の生成熱は 394 kJ/mol である. 分子 A の燃焼熱が 1556 kJ/mol とすると, 分子 A の生成熱は次の中でどれにもっとも近いか.
    - a. 45 kJ/mol
    - b. 90 kJ/mol
    - c. 880 kJ/mol
    - d. 3200 kJ/mol

53. 酢酸を合成するための反応としてもっとも実用的なものはどれか.

b. 
$$HC \equiv CH \xrightarrow{HCI} CH_2 = CHCI \xrightarrow{HCI} CH_3COOH$$

c. 
$$CH_2=CH_2$$
  $\xrightarrow{O_2}$   $CH_3CH=O$   $\xrightarrow{K_2Cr_2O_7}$   $CH_3COOH$   $\xrightarrow{(触媒)}$   $CH_3COOH$ 

d. 
$$CH_3CH_3$$
  $\xrightarrow{O_2}$   $CH_3CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7}$   $CH_3COOH$   $(触媒)$ 

## 参考資料:

国立天文台編, 理科年表, 丸善 (2008).

荻野和子, 東海林恵子, 化学と教育, 55, 82-83 (2007).

L.G. ウエイド, 有機化学 I, 丸善 (1989).

鈴木啓三, 水および水溶液, 共立全書 (1980).

問題(61-74)には、それぞれ a, b, c, dの4つの答えが与えてあります。各問題につき、a, b, c, dの中から、もっとも適切と思う答えを--つだけ選び、解答カードの相当欄にあたる a, b, c, dのいずれかのわくの中を黒くぬって、あなたの答えを示しなさい。

例 8 (マン (マン (マン

Ι

動物の行動に関する以下の文章を読み, 問いに答えよ.

動物の行動は、その発現様式から大きく2つに分けられる。そのひとつは生得的行動とよばれ、生まれながらにそなわっていて、一定の型にはまった行動である。生得的行動は定型的行動ともいわれ、走性、反射、本能行動などがある。もうひとつは、習得的行動とよばれ、生まれてからの経験に基づく行動である。習得的行動には、学習、知能行動などがあるが、学習はさらに慣れ、刷り込み、試行錯誤学習などに分けられる。

生得的行動のひとつである走性とは、刺激に対して方向性のある行動をいい、刺激に向かう場合を正の走性、刺激から離れる場合を負の走性という。反射とは、刺激に対して意識と無関係に起こる行動をいう。本能行動は、いくつかの走性、反射が組み合わされ、一定の目的に適応した行動であり、摂食行動、生殖行動などがある。本能行動は、どのような刺激に対しても起こるものではなく、特定の刺激によってのみ誘起される。このような刺激を\_\_\_(1)\_\_\_という。

習得的行動のひとつである慣れとは、ある種の刺激を繰り返し受けたときに、 その刺激に対する感受性が低下する現象である。刷り込みとは、生後のごく早い時期になされた記憶が生涯持続する学習様式をいう。また試行錯誤学習とは、 試行を繰り返し、失敗と成功を繰り返した後に成功するようになる学習過程を いう。さらに知能行動とは、過去の経験や学習をもとに、未経験のことでも適 切な状況判断により行われる行動である。

- 61. 文中の空欄(1)にあてはまる適切な語を以下から選べ.
  - a. 適刺激
  - b. かぎ刺激
  - c. 条件刺激
  - d. 無条件刺激
- 62. 次に示す行動のうち、本能行動ではないものの組み合わせはどれか.
  - A. トゲウオの雄は、腹部が赤い他の雄、および下部が赤く雄と似た形の 模型を攻撃する.
  - B. カイコガの雄は、雌からのフェロモンに反応して生殖行動を行う.
  - C. 多くの鳥類の雌は、産卵後、卵をあたためる.
  - D. 池で飼われているコイに餌をやるたびに手をたたいていると, 手をた たくだけでコイが寄ってくるようになる.
  - E. カエルは脳を除去されても、後肢が軽く刺激されると、後肢を曲げる.
    - a. A, C
    - b. B, D
    - c. C, E
    - d. D, E

- 63. 次に示す行動のうち、知能行動の組み合わせはどれか.
  - A. イヌと餌の間に金網を置くと、イヌは餌をとるために何度も金網にぶつかり、なかなか餌がとれないが、そのうちに金網を迂回(うかい)して餌をとるようになる.
  - B. ある種の昆虫は、木の葉や枝に似た姿勢をとることにより、捕食者にみつからないようにする.
  - C. ネズミを迷路に入れるとはじめは迷うが、いったん出口にたどりつくと、 次からは短時間で出口にたどりつく.
  - D. チンパンジーと餌の間に金網を置くと、チンパンジーは金網に触れることなく、金網を迂回して餌をとる.
  - E. ヒトは、はじめて見た入学試験問題でも解くことができる.
  - F. カモのひなは、ふ化後まもなく、はじめて見た大きな動くもののあとを 追うようになる.
    - a. A, C
    - b. B, F
    - c. C, D
    - d. D, E

多くの脊椎動物において生殖行動が起こるには、生殖腺でつくられる性ホルモンが重要であることが知られている。また、ほ乳類では、生殖行動と性ホルモンについての詳しい研究がなされており、雌雄それぞれの個体が性に従った生殖行動を行い、一般的には反対の性の性行動を起こすことはない。魚類についてはあまり研究が進んでいないが、ここでは、比較的研究の進んでいるキンギョを用いて、キンギョの生殖行動に性ホルモンがどのようにかかわっているかを調べてみよう。キンギョでは、雌が産卵可能になるとフェロモンが放出され、雄のキンギョを刺激する。フェロモン刺激を受けた雄は、まず雌を追いかける追尾(ついび)を行い、しばらくして雌が水草に対して卵を放出し(産卵)、雄が雌の近くで精子を放出する(放精)という一連の雌雄の生殖行動が見られる。ここでは、雄における雄性ホルモンの働きについて調べてみた。

- 実験1 産卵の準備のできた、フェロモンを放出する雌1個体を水槽内に入れ、 さらにこの水槽に次の(ア)、(イ)、(ウ)のような3種類の処理をした雄 のいずれか1個体を入れ、10分間観察した.
  - (ア) 無処理の雄
  - (イ) 精巣摘出手術をした雄
  - (ウ) 精巣摘出手術と同様な開腹手術は行うが、精巣は取らずにおいた雄
- 実験2 産卵の準備のできたフェロモンを放出する雌1個体を水槽内に入れ, さらにこの水槽に次の(エ),(オ),(カ)のような3種類の処理をした雄 のいずれか1個体を入れ,10分間観察した.なお,ゴマ油は,雄性ホルモ ンを溶かす溶媒で、キンギョには無害である.
  - (エ) 精巣摘出手術をし、さらに雄性ホルモンをゴマ油に溶かして投与 した雄
  - (オ) 精巣摘出手術をし、さらにゴマ油のみを投与した雄
  - (カ) 精巣摘出手術と同様な開腹手術は行うが、精巣は取らずにおき、 ゴマ油のみを投与した雄

これらの実験の結果、雄が雌に対して追尾を行ったのは、(r)、(d)、(x)、(d) の処理をした雄であった。

- 64. 次の文は、実験1および2からわかることを説明してある。実験1のみではわからず、実験2まで行ってはじめてわかることの適切な組み合わせはどれか。
  - A. 精巣がないとフェロモンがあっても雄は追尾しない.
  - B. 開腹手術による体へのダメージは多少あるかもしれないが、行動が抑制されるほど強いものではない.
  - C. 精巣で作られる雄性ホルモンが、追尾をするために必要であると考えられる.
  - D. 雄性ホルモンが体内にあるときに、雄はフェロモンに反応して追尾を する
  - E. 雄が追尾を行うには、精巣あるいは精巣で作られる物質の存在が必要である.
  - F. ゴマ油には、追尾を起こさせる作用はない.
    - a. A, E, F
    - b. B, C, D
    - c. C, D, F
    - d. B, D, E

次に、キンギョの雌に雄性ホルモンを与えて、その行動について観察する実験3と4を行った.

- 実験3 産卵の準備のできた、フェロモンを放出する雌1個体を水槽内に入れ、 さらにこの水槽に次のような処理をした雌、いずれか1個体を入れ、10分 間観察した.
  - (キ) 無処理の雌
  - (ク) 卵巣を摘出した雌
  - (ケ) 卵巣摘出手術と同様な開腹手術は行うが、卵巣は取らずにおいた雌
  - (コ) 卵巣摘出手術をし、さらに雄性ホルモンをゴマ油に溶かして投与した 雌
  - (サ) 卵巣摘出手術をし、さらにゴマ油のみを投与した雌
  - (シ) 卵巣摘出手術と同様な開腹手術は行うが、卵巣は取らずにおき、ゴマ 油のみを投与した雌
  - (ス) 卵巣摘出手術はせずに、雄性ホルモンをゴマ油に溶かして投与した雌

実験3の結果, 興味深いことに(コ),(ス)の処理の雌が, フェロモンを放 出する雌に対して雄と同様な追尾を行った.

実験4 実験3で用いた各処理の雌1個体と無処理の雄1個体を水槽内に入れ、 1か月間飼育した. その間,これらの雌のなかには、雄を刺激して生殖行動を行い、実際に卵を産むものがみられた. 産卵行動を行ったのは、(キ)、(ケ)、(シ)、(ス) の処理をした雌であった. なお1度投与した雄性ホルモンの効果は、1か月間持続するものとする.

- 65. 次の文は、実験3の結果を説明してある. もっとも適切なものの組み合わせはどれか.
  - A. 雌では卵巣を摘出しないと、雄性ホルモンによる追尾は起こらない.
  - B. 卵巣でつくられる雌性ホルモンは、雄性ホルモンの効果を抑制している.
  - C. 卵巣があっても、雄性ホルモンにより追尾が起こる.
  - D. 雌では雌性ホルモンを除去すると、フェロモンに反応して追尾を行うようになる.
  - E. 無処理の雌は、他の雌が放出したフェロモンに反応して追尾をすることはない.
    - a. A, B
    - b. B, C
    - c. C, E
    - d. D, E

- **66.** 次の文は,実験 3 と 4 の結果を説明してある. 適切なものの組み合わせは どれか.
  - A. 雌が1度追尾を行うと、雌としての性質は失われ、雌型の生殖行動はできなくなる.
  - B. 雌が1度追尾を行っても、雌としての性質は失われず、雌型の生殖行動を行うことができる.
  - C. 雄は、雄性ホルモンを投与された雌を雌として認識しなくなる.
  - D. 雄は、雄性ホルモンを投与された雌でも雌として認識する.
  - E. 雄性ホルモンの投与は、雌に追尾を起こさせるが、雌の産卵は抑制しない.
  - F. 雄性ホルモンの投与は、雌に追尾を起こさせ、雌型の生殖行動を起こらなくする.
    - a. A, C, E
    - b. A, D, F
    - c. B, C, F
    - d. B, D, E

細胞は生物の基本単位であり、例えば多細胞生物のヒトでは、約60兆個の細胞が集まって体が形成されているといわれる。細胞は、物質がある程度出入りできる細胞膜によって外界と仕切られている。そして、その中にさまざまな細胞小器官があることは古くから知られており、核やミトコンドリア、葉緑体などの細胞小器官の有無は、原核生物と真核生物、あるいは動物と植物を分類する基準のひとつとなっている。

ミトコンドリアや葉緑体の起源については,「細胞共生説」が広く受け入れられている. 細胞共生説によれば,今から15億年以上前に,真核生物の祖先となった単細胞生物が,独立して生活していた好気性細菌を細胞膜に包んで飲み込むように細胞内に取り込んで共生させ(細胞内共生),それがミトコンドリアになった.次に,光合成を行う能力のあるラン藻類のような単細胞生物が,すでにミトコンドリアを持つ真核生物の祖先に,同様に取り込まれて細胞内共生を始め,それが葉緑体となった.取り込まれた単細胞生物は,その後長期間共生する間に次第に独自性を失って細胞小器官となっていったと考えられている.その証拠のひとつとして,葉緑体が二重の膜を持っていることがあげられる.これは,ラン藻類が共生相手の真核生物の細胞膜に外側を包まれて細胞内に入ったためであると説明できる.(図1)また,分子生物学的な遺伝子の解析によっても,この細胞共生説は支持されている.

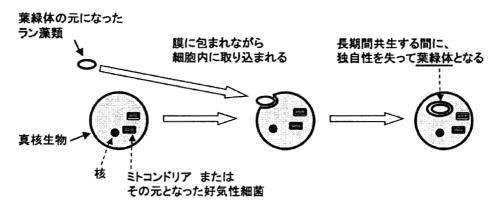


図1. 細胞共生説による葉緑体の起源の説明

67. 細胞膜に関する以下の記述のうち、空欄(1)、(2)に入る適切な語の組み 合わせはどれか.

「細胞膜は、物質の出入りができる半透膜であり、\_\_(1)\_\_に浸した場合には、 浸透圧によって細胞の体積は小さくなる.一方, (2) の機能も持っているが, これは生きている細胞でのみ見られる.」

- a. (1) 高張液 (2) 受動輸送
- b. (1) 高張液
- (2) 能動輸送
- c. (1) 低張液 (2) 能動輸送
- d. (1) 低張液 (2) 受動輸送

ある単細胞の藻類の中には、図2の模式図に示すように、四重の膜を持つ葉 緑体がみつかっている.この葉緑体の内側から2番目と3番目の膜の間には、 ヌクレオモルフとよばれる真核生物の核によく似た性質を持つ細胞小器官が見 られる.

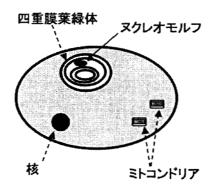


図 2. 四重の膜を持つ葉緑体を含む藻類の模式図

- **68.** 細胞共生説から考えて、この藻類の特殊な葉緑体の起源を説明する以下の 記述のうち、適切なものはどれか.
  - a. ラン藻類が共生している原核生物が、さらに葉緑体を持たない真核生物の細胞内に共生した.
  - b. ラン藻類が共生している真核生物から、光合成原核生物が一度細胞外に出て、再び葉緑体を持たない真核生物の細胞内に共生した.
  - c. ラン藻類が共生している真核生物が、さらに葉緑体を持たない真核生物の細胞内に共生した.
  - d. ラン藻類が共生している真核生物が、さらに葉緑体を持たない原核生物の細胞内に共生した.
- 69. 原核生物と真核生物に関する以下の記述のうち,正しいものの組み合わせはどれか.
  - A. 真核生物でも原核生物でも,多細胞性の場合は核を持たない細胞もある.
  - B. 真核生物でも原核生物でも、光合成を行う生物は葉緑体を持つ.
  - C. 染色体は、真核生物にはあるが、原核生物にはない.
  - D. 細胞内に膜で仕切られた核は, 真核生物にはあるが, 原核生物にはない.
    - a. A, B
    - b. A, D
    - c. B, C
    - d. C, D

細胞の働きを調べる実験に古くから用いられてきた生物のひとつに藻類の一種,カサノリがある.カサノリは,全長5センチメートル程度になる藻類であり,岩などにはりつく仮根,そこから伸びる柄,そしてその上につくかさの部分から成っている.顕微鏡で観察したところ,仮根には大きな核が見られた.

次に、かさの形の異なる 2 種のカサノリ、A 種と B 種を用いて、以下の 1 から 4 の実験を行った.

実験1 A種のカサノリを、仮根と柄とかさの三つに切断した。その後、仮根からは全体が再生し、柄からは、かさだけが再生した。かさからは柄や仮根は再生しなかった。再生したかさは全てA種の形であった。(図3)

実験2 実験1で再生したかさを再び切断して除去した. その結果, 柄から再生したかさはもう再生しなかったが, 仮根から再生したかさは, 除去してももう一度同じ形のかさが再生した. (図3)

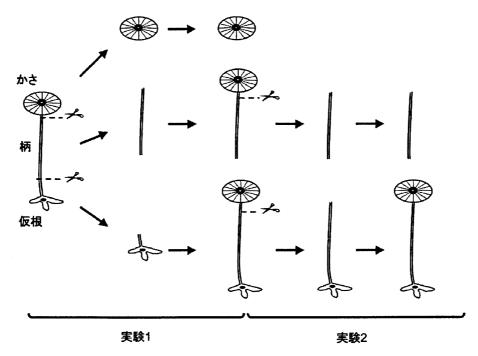


図3. 実験1および2

- 実験3 A種とB種のカサノリを仮根と柄とかさの三つに切断し、次に仮根と柄を用いて以下の4種類の処理を行った. (図4参照)
  - (ア) B種の柄をA種の仮根に移植した.
  - (イ) A種の柄をB種の仮根に移植した.
  - (ウ) A種の柄をA種の仮根に移植した.
  - (エ) B種の柄をB種の仮根に移植した.

その結果, (ア), (イ) では A 種と B 種の中間型のかさが再生し, (ウ) では A 種のかさが, (エ) では B 種のかさが再生した.

実験 4 (ア) から (エ)の各処理で再生したかさを再び切断した. その結果, (ア), (ウ) では A 種のかさが, (イ), (エ) では B 種のかさが再生した. (図 4 参照)

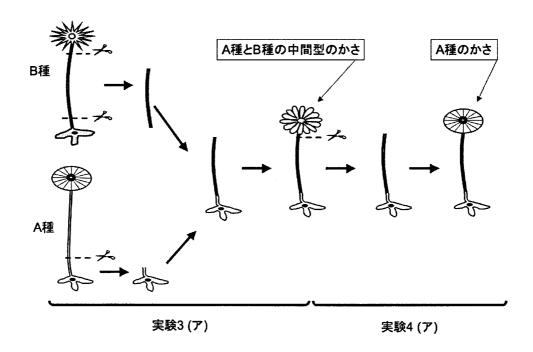


図4. 実験3と4の処理(ア)

1930年代から行われた上記のような一連のカサノリの実験から、ドイツのヘンマーリンクは、"カサノリの細胞質中に、かさの形成を指令し形を決める「形態形成物質」が存在する"という仮説を立てた。その後の研究によって、この仮説は正しいことがわかり、「形態形成物質」については現在でも研究が続けられ、どのような物質がどう働くのかがしだいに明らかになってきている。

「形態形成物質」が存在するということを前提として以下の問いに答えよ.

カサノリの特徴でもある大きな核の直径を測るために、光学顕微鏡に接眼ミクロメーターと対物ミクロメーターをセットして観察したところ、図5のような像が見えた.

図5. ミクロメーターの目盛りの像

(上下の目盛りは、矢印と点線を付した部分で一致しているものとする.)

次に、接眼ミクロメーターのみでカサノリの核の直径を計測したところ、9 目盛りであった. なお、観察はすべて10倍の接眼レンズ、20倍の対物レンズ を用い、対物ミクロメーターの目盛りは、1mm を100等分したものであった.

- 70. 核の直径としてもっとも適切なものはどれか.
  - a.  $94.7 \mu m$
  - b. 85.5 μm
  - c. 947 µm
  - d. 855 µm

- 71. 次の文は、実験1および2からわかることを説明してある。実験2まで行ってはじめてわかることの適切な組み合わせはどれか。
  - A. 柄は、仮根を形成することができない.
  - B. 柄は、「形態形成物質」を生産することができない.
  - C. 柄には、かさを形成する能力がある.
  - D. 核を持つ仮根は、かさを形成する能力がある.
  - E. 核を持つ仮根は、「形態形成物質」を生産することができる.
    - a. A, B
    - b. C, D
    - c. D, E
    - d. B, E
- 72. 「形態形成物質」に関する次の文のうち, 実験 1, 2, 3, 4 の結果から考えて, 適切なものの組み合わせはどれか.
  - A. 柄の中の「形態形成物質」は、かさの形成過程で消費される.
  - B. 柄の中の「形態形成物質」は、柄の細胞質で生産される.
  - C. 「形態形成物質」は、かさの形成は誘導するが、形を決められない。
  - D. 「形態形成物質」は、種によって特異的なかさの形を決める働きを持っている.
  - E. 「形態形成物質」は、A種、B種ともに活性に優劣がないため、細胞質内に両種の「形態形成物質」が存在すると、中間型のかさになってしまう.
  - F. 柄の中の「形態形成物質」は、仮根で生産される「形態形成物質」より も活性が劣っており、両者が細胞質内に存在すると、仮根の中の「形態形 成物質」の作用が優先される.
    - a. A, C, E
    - b. A, D, E
    - c. B, D, E
    - d. B, C, F

- 73. ある人は、実験3の処理(ア)と(イ)で中間型のかさが再生したことに関して、「切断と柄の移植という実験操作で細胞が傷つき、一見、中間型に見える変形したかさが再生する」という仮説を思いついた。しかし、すべての実験結果をよく考えたとき、この仮説はある実験結果から否定されていることに気がついた。次にあげた実験の中で、結果が仮説を否定する根拠となるもっとも適切なものはどれか。
  - a. 実験1
  - b. 実験 2
  - c. 実験3の(ウ)
  - d. 実験4の(ア)
- 74. 次の文は、新たな仮想実験と予想されるかさの形について記述してある. 実験 1, 2, 3, 4 の結果から考えて適切な結果が予想されているものの組み合わせはどれか. ただし、すべての実験において、処理をした個体で柄やかさが形成されるものとする.
  - A. かさを切断した A 種から仮根の核を抜き取り、そこに B 種の仮根から抜き取った核を移植すると、まず B 種のかさが形成される.
  - B. 柄とかさを切断された、短い柄のついた A 種と B 種の仮根どうしを柄の部分で接合すると、接合部分から柄が伸びて、先端に中間型のかさが形成される
  - C. B 種の柄から細胞質を取り出して、かさを切断した A 種の柄に注入する と、B 種のかさが形成される.
  - D. 切断した A 種と B 種の柄を接合すると、接合部分から柄が伸びて先端に中間型のかさが形成される.
    - a. A, B
    - b. A, C
    - c. B, D
    - d. C, D

## 参考文献

千原光男編集「藻類の多様性と系統」裳華房 (1999) 小川和朗他編集「細胞学大系 5:増殖と分化」朝倉書店 (1971) Hämmerling, J. *Inter. Rev. Cytology*, **2**, 475 (1953)