

* 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

受験番号					
------	--	--	--	--	--

学習能力考查

自然科学

資料及び問題

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. (1980 年代までは、全学生に自然科学の試験がありました)
1. この考查は、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. いずれの分野も資料と 13 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 61-73)。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。
4. 考査時間は、「考查はじめ」の合図があってから正味 70 分です。
5. 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。
6. 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。
7. 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、解答用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。
8. 「考查やめ」の合図があったらただちにやめて、この冊子と解答用カードとを係りが集め終わるまで待ってください。集める前に退場したり用紙をもちだすことは、絶対に許されません。
9. 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一つだけ選び、解答用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

I

自然数 n を 2 で割った商と余りをそれぞれ a_0, b_0 とおく。ここで商 a_0 が 0 でないとき、更に a_0 を 2 で割った商と余りをそれぞれ a_1, b_1 とおく。以下同様に、商 a_j が 0 でないとき、 a_j を 2 で割った商と余りを a_{j+1}, b_{j+1} とおく。この操作を続けて a_i が 0 になったとき、 $b_i, b_{i-1}, \dots, b_1, b_0$ と n の間に次の関係が成り立つ。

$$n = b_i \times 2^i + b_{i-1} \times 2^{i-1} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0$$

このとき $b_i b_{i-1} \dots b_1 b_0$ を自然数 n の2進表現と言い、 $i+1$ をその桁数と言う。それに對して我々が普段使っている 0~9 の数字を用いて自然数を表す方法を 10 進表現と言う。以後、特に断らない場合、自然数を 10 進表現で表す。

1. 自然数 85 の2進表現は次のどれか。

- a. 101101
- b. 110101
- c. 1001101
- d. 1010101

2. 11 桁の2進表現で表される最大の自然数は次のどれか。

- a. 511
- b. 1023
- c. 2047
- d. 4095

大きな数 x に対して例えば x^8 を計算する場合、素朴に

$$x^8 = x \times x$$

に従って計算すると、掛け算を 7 回行う必要がある。それに対して

$$x^8 = x^4 \times x^4, \text{ ただし } x^4 = x^2 \times x^2, x^2 = x \times x$$

に従って計算すると、3 回の掛け算で x^8 が求まる。このように少ない回数の掛け算でべき乗を計算する方法は、 n が一般の自然数の場合にも次のように拡張することができる。

$$x^n = \begin{cases} x & n = 1 \text{ のとき}, \\ x^{\frac{n}{2}} \times x^{\frac{n}{2}} & n \text{ が 2 以上の偶数のとき}, \\ x^{n-1} \times x & n \text{ が 3 以上の奇数のとき}. \end{cases}$$

例えば、 x^{10} をこの方法で計算するには

$$x^{10} = x^5 \times x^5, \text{ ただし } x^5 = x^4 \times x, x^4 = x^2 \times x^2, x^2 = x \times x$$

と考えればよくて、その際に必要な掛け算の回数は 4 回である。

3. x^{85} をこの方法で計算するのに必要な掛け算の回数は何回か。

- a. 7 回
- b. 9 回
- c. 12 回
- d. 21 回

一般に、自然数 n に対して、この方法で x^n を計算するのに必要な掛け算の回数を $f(n)$ とすると

$$\begin{aligned} n = 2m & \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \text{ のとき}, \quad f(n) = f(m) + 1, \\ n = 2m + 1 & \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \text{ のとき}, \quad f(n) = f(m) + 2 \end{aligned}$$

が成り立つ。

4. 11 衔の 2 進表現で表される自然数 n に対する $f(n)$ の最小値と最大値は次のどれか。

- a. 最小値は 10, 最大値は 20
- b. 最小値は 15, 最大値は 30
- c. 最小値は 20, 最大値は 40
- d. 最小値は 25, 最大値は 50

II

関数のグラフについて成り立つことを少し考えてみる。

まず、関数

$$y = f(x) \quad (1)$$

のグラフを考える。 $a, b \geq 0$ について、 x 軸の正の向きに a , y 軸の正の向きに b だけ (1) のグラフを平行移動したものは、関数

$$y = f(x - a) + b$$

のグラフである。

次に、関数 $f(x)$ が単調増加であるとき、すなわち、 $x_1 < x_2$ ならば $f(x_1) < f(x_2)$ が成り立つとき、(1) のグラフと直線 $y = x$ について線対称な軌跡が、関数

$$y = g(x) \quad (2)$$

のグラフであるとすると、 $g(f(x)) = x$ が成り立つ。このような関数 $g(x)$ は $f(x)$ の逆関数とよばれる。

実際、点 (p, q) と直線 $y = x$ について線対称な点が (q, p) であるから、もし (p, q) が (1) のグラフ上にあり、 (q, p) が (2) のグラフ上にあるなら、 $q = f(p)$ であり、かつ $p = g(q)$ であるから $p = g(f(p))$ となる。

5. $f(x) = rx + s$ ($r \neq 0$) の場合を考える。 $y = f(x)$ のグラフを x 軸の正の向きに a だけ平行移動したものと直線 $y = x$ について線対称な軌跡をグラフとする関数は、次のどれか。

a. $y = \frac{1}{r}x - \frac{s}{r} + a$

b. $y = \frac{1}{r}x + \frac{s}{r} + a$

c. $y = \frac{1}{r}x - \frac{s}{r} - a$

d. $y = \frac{1}{r}x + \frac{s}{r} - a$

6. 単調増加な関数 $f(x)$ のグラフと x 軸について線対称な軌跡を考え、さらにその軌跡と直線 $y = x$ について線対称な軌跡をグラフとする関数は、次のどれか。ただし、 $g(x)$ は $f(x)$ の逆関数を表す。

- a. $y = -g(x)$
- b. $y = g(-x)$
- c. $y = -g(-x)$
- d. $y = (g(-x))^{-1}$

7. 単調増加な関数 $f(x)$ のグラフと直線 $y = -x$ について線対称な軌跡をグラフとする関数を $y = h(x)$ とするとき、次のどれが成立するか。

- a. $h(-f(x)) = x$
- b. $h(-f(x)) = -x$
- c. $h(f(x)) = x$
- d. $h(f(x)) = -x$

関数 $y = \frac{1}{x}$ のグラフ(図1)は、反比例の関係を表すものである。

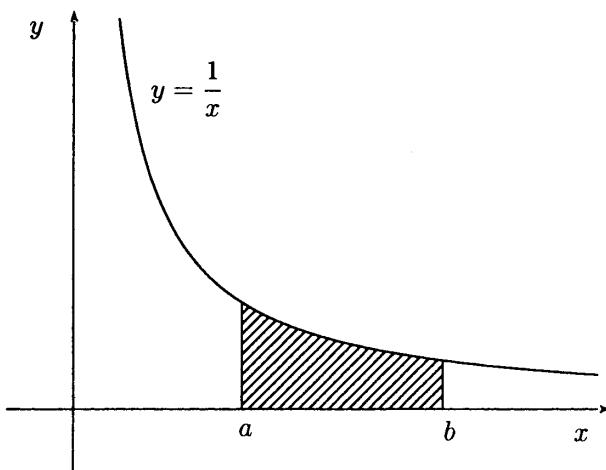


図 1

$0 < a < b$ に対して, $A(a, b)$ を $y = \frac{1}{x}$ のグラフと, x 軸, 直線 $x = a$, $x = b$ で囲まれた領域の面積とする.

$0 < a, b$ について

$$A(1, a) = A(b, ba)$$

が成り立つ. 直観的には, 面積 $A(1, a)$ を与える領域を縦に $\frac{1}{b}$ 倍, 横に b 倍すると, 面積 $A(b, ba)$ を与える領域となることからこの等式は理解できる.

すると,

$$A(1, a) + A(1, b) = A(b, ba) + A(1, b) = A(1, b) + A(b, ab) = A(1, ab)$$

も成立する.

8. $a > 1$ とする. $A(1, a) + A(\frac{1}{a}, 1) + A(\frac{1}{a}, a)$ に等しいのは次のどれか.

- a. $2A(1, a)$
- b. $3A(1, a)$
- c. $4A(1, a)$
- d. $5A(1, a)$

9. $0 < a, b$ について, 等式

$$A(a, ab + 2b^2) = A(1, a)$$

が成立するとき, 常に成り立つ等式は次のどれか.

- a. $2a = \frac{1}{b}$
- b. $\frac{2}{a} = b$
- c. $2a = b$
- d. $a = 2b$

III

座標平面上の点 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, \dots$ を次々と結んで得られる折れ線(図2)を $P_1P_2P_3\dots P_n\dots$ と記す。 n 番目の頂点までの折れ線 $P_1P_2P_3\dots P_n$ の長さは、線分 $P_1P_2, P_2P_3, \dots, P_{n-1}P_n$ の長さの和 $L_n = P_1P_2 + P_2P_3 + \dots + P_{n-1}P_n$ に等しい。

頂点が無限につづく場合、 n をいくらでも大きくしたとき L_n がある有限の値 L に近づくならば、その値 L を折れ線 $P_1P_2P_3\dots P_n\dots$ の長さと定める。

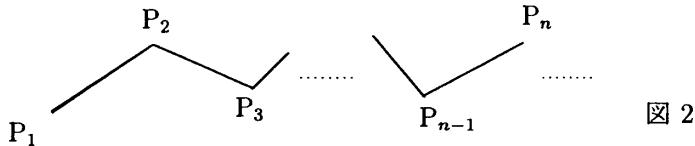


図2

折れ線の長さは正の実数列の和である。一般に、正の実数の数列 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ の n 項目までの和を $S_n = a_1 + a_2 + \dots + a_n$ と表す。 n を大きくしたとき S_n が有限の値 S に近づくとき、 S を数列 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ の和と定める。

たとえば、 $a_{k+1} = ra_k$ ($r \neq 1, k = 1, 2, \dots$) となる数列 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$ を考えると

$$a_n = r^{n-1}a_1, \quad (1-r)S_n = a_1 - ra_n = a_1(1 - r^n)$$

が成立し、したがって

$$S_n = \frac{a_1(1 - r^n)}{1 - r}$$

を得る。ここでもし $0 < r < 1$ であれば、 n が大きくなるとき r^n は0に近づくので

$$S = a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots = \frac{a_1}{1 - r}$$

が得られる。

$0 < c < 1$ とする.

$$0 < \cdots < a_{n+1} < a_n < \cdots < a_2 < a_1 = 1, \quad b_n = \begin{cases} c a_n & n \text{ が偶数のとき} \\ 0 & n \text{ が奇数のとき} \end{cases}$$

をみたす (a_n, b_n) ($n = 1, 2, 3, \dots$) を座標とする平面上の点 P_n を考え、さらに各 $k = 1, 2, \dots$ について三角形 $P_{2k-1}P_{2k}P_{2k+1}$ は $P_{2k-1}P_{2k} = P_{2k}P_{2k+1}$ である直角二等辺三角形になっているとする(図3).

問10, 問11では、これらの点 P_n を結んでできる折れ線 $P_1P_2P_3 \dots P_n \dots$ について考える。

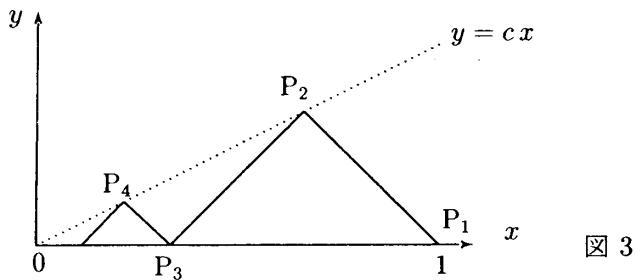


図3

10. 上記の折れ線上の点を結んでできる三角形 $P_1P_2P_3$ と三角形 $P_3P_4P_5$ の面積比 $\triangle P_1P_2P_3 : \triangle P_3P_4P_5$ は次のどれか.

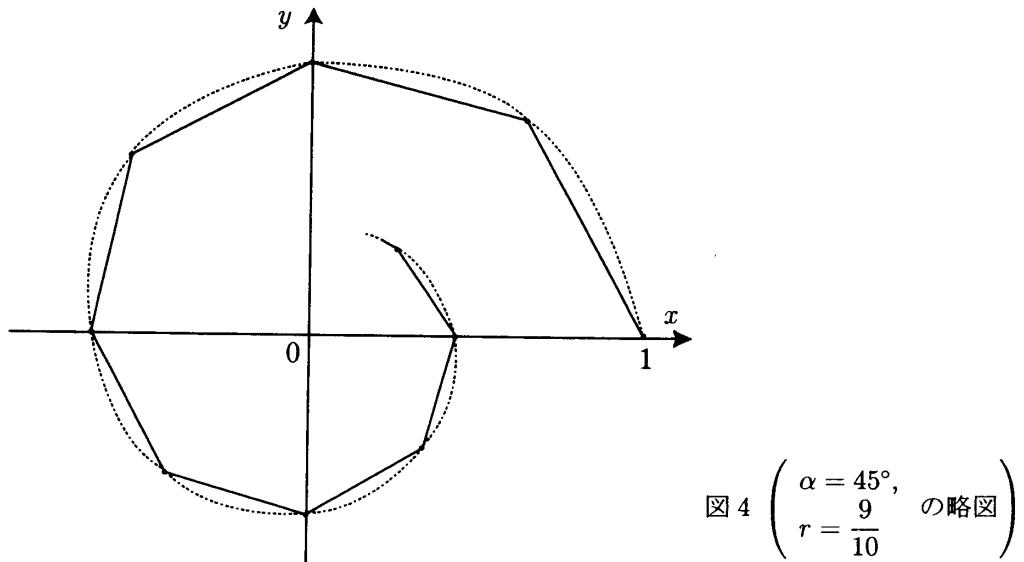
- a. $\triangle P_1P_2P_3 : \triangle P_3P_4P_5 = (1+c) : c$
- b. $\triangle P_1P_2P_3 : \triangle P_3P_4P_5 = (1+c) : 2c$
- c. $\triangle P_1P_2P_3 : \triangle P_3P_4P_5 = (1+c) : (1-c)$
- d. $\triangle P_1P_2P_3 : \triangle P_3P_4P_5 = (1+c)^2 : (1-c)^2$

11. 上記の折れ線 $P_1P_2P_3 \dots P_n \dots$ の長さ L は次のどれか.

- a. $\frac{\sqrt{2}}{2c}$
- b. $\frac{2 + \sqrt{2}}{2}$
- c. $\sqrt{2}c$
- d. $\sqrt{2}$

次に、 $0 < r < 1$, $0 < \alpha < 90^\circ$ とする。問 12, 問 13 では、 $Q_n(r^n \cos(n\alpha), r^n \sin(n\alpha))$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) を頂点とする折れ線 $Q_0Q_1Q_2 \cdots Q_n \cdots$ について考える。

折れ線 $Q_0Q_1Q_2 \cdots Q_n \cdots$ は、点 $Q_0(1, 0)$ から出発して巻きつくように原点に近づくらせんを粗く近似している(図 4)。



12. 折れ線 $Q_0Q_1Q_2 \cdots Q_n \cdots$ を構成する線分の長さについての次の関係のうち、正しいものはどれか。

- a. $Q_2Q_3 = rQ_0Q_1$
- b. $Q_3Q_4 = rQ_0Q_1$
- c. $Q_2Q_3 = rQ_1Q_2$
- d. $Q_3Q_4 = rQ_1Q_2$

13. $\alpha = 45^\circ$, $r = \frac{1}{\sqrt{2}}$ とするとき、折れ線 $Q_0Q_1Q_2 \cdots Q_n \cdots$ の長さ L は次のどれか。

- a. $\sqrt{2} + 1$
- b. $\frac{\sqrt{2} + 1}{2}$
- c. $\sqrt{2} + 2$
- d. $\frac{\sqrt{2} + 2}{2}$

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一つだけ選び、解答用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 34 C_aC C_bC C_cC C_dC

I

アルキメデスは、当時の王から、ある職人に作らせた黄金の王冠に混ぜ物が入っているという情報があるのでその真偽を調べてほしいと頼まれた。彼はこの問題を考え続けながら、たまたま浴場でかけて湯船に身を浸したところ、自分のからだが湯船に沈んで行くにつれ、ますます浮き上がる力を大きく受けるように感じた。これが王から頼まれた問題を解決する方法を示していたので、彼は大喜びで浴場を飛び出し、「エウレカ！エウレカ！（わかった！わかった！）」と叫びながら、裸のままで家に飛んで帰った。こうして彼は見事に、王の王冠に混ぜ物があったことを証明してみせた。

アルキメデスが自身の著作「浮体について」で証明を与えたアルキメデスの原理は、「物体は排除した流体の重量に等しい浮力を受ける」とまとめることができる。浮力は、物体が周囲から受ける力を考慮することで理解でき、以下でみるように圧力が深さによって異なることから生じることがわかる。今、水中に置かれた図1のような直方体の物体を考える。

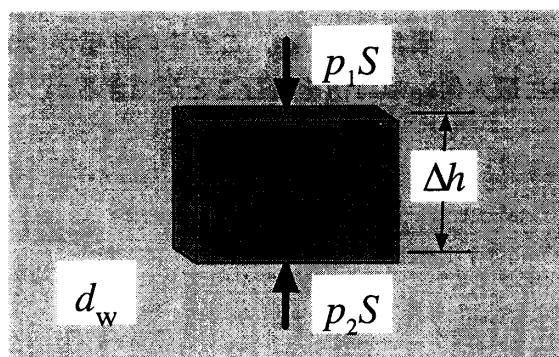


図 1

まず、水平方向の力について考えてみよう。流れのない水の中では同じ深さの点では圧力は等しい。圧力に面積をかけたものがその面に及ぼされる力であるから、側面の正対する面の小領域を考えてみると、圧力が等しく面積が等しいため、それぞれにかかる力は大きさが等しく互いに逆向きとなり、打ち消し合うことがわかる。したがって水平方向の力は考える必要がない。

次に鉛直方向を考えると、物体の上の面と下の面の深さの差は Δh で、それらの面における圧力 p_1, p_2 は異なっている。両者の面積はともに S であるとすると、物体は下向きに p_1S 、上向きに p_2S の力を受けている。圧力 p_1 と p_2 は、この2つの面に挟まれた水柱について力の釣り合いを考えることにより、水面からの深さ h の関数として $p(h) = p_0 + d_wgh$ から求められる。ただし、 g は重力加速度、 d_w は水の密度である。 p_0 は水面での圧力（大気圧）である。

これらを用いて、物体に働く力を考察することによりアルキメデスの原理が証明される。物体が図1のような単純な形状でない場合でも、力を表面積全体にわたって計算すれば同様の証明ができる。

21. 図1の物体にかかる鉛直方向の力は、次のどの式であらわされるか。力の方向は上向きを正とする。 m は物体の質量、 g は重力加速度である。

- a. $p_1S - p_2S - mg$
- b. $p_1S - p_2S + mg$
- c. $p_2S - p_1S - mg$
- d. $p_2S - p_1S + mg$

22. アルキメデスの原理を用いてボートの浮力を考えてみよう。ボートの大きさは容積にして 270ℓ 、質量が 25 kg 、こぎ手の体重が 70 kg とする。このボートには、その他に最大何kgの荷物を積むことができるか。水 1ℓ の質量は 1 kg とする。

- a. 175 kg
- b. 200 kg
- c. 245 kg
- d. 295 kg

23. ボートにのって風の強い日に風上に向かってこぎだしたとする。水面より上にある部分は向かい風を受け、無風状態に比べるとボートの進む速度は小さくなる。こぎ手の体重は 70 kgで、それ以外の重量として 30 kgの荷物を運んでいるとする。以下のうちどのボートを選べば、向かい風から受ける力が一番小さくなるだろうか。水の流れは風とは関係ないものとし、また、ボートの形状は大きさ以外3つとも同じであるとする。

- a. 大型ボート 450ℓ (質量45 kg)
- b. 中型ボート 300ℓ (質量30 kg)
- c. 小型ボート 150ℓ (質量15 kg)
- d. どれを選んでも同じ

24. 図2の装置は、中に水を満たした容器で、上面の同じ高さに2つの口 A, B がついており、それぞれの面積は S_A と S_B である。パスカルの原理によると、このような容器内の連結する静止した液体中では同じ圧力が伝わる。 $S_A = 10^{-2} \text{ m}^2$, $S_B = 10^{-4} \text{ m}^2$ であるとき、質量 1000 kgの物体を面 S_A で持ち上げるには、 F_B そして最低どれだけの大きさの力を加えればよいか。重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。

- a. 9.8 N
- b. $9.8 \times 10 \text{ N}$
- c. $9.8 \times 10^3 \text{ N}$
- d. $9.8 \times 10^5 \text{ N}$

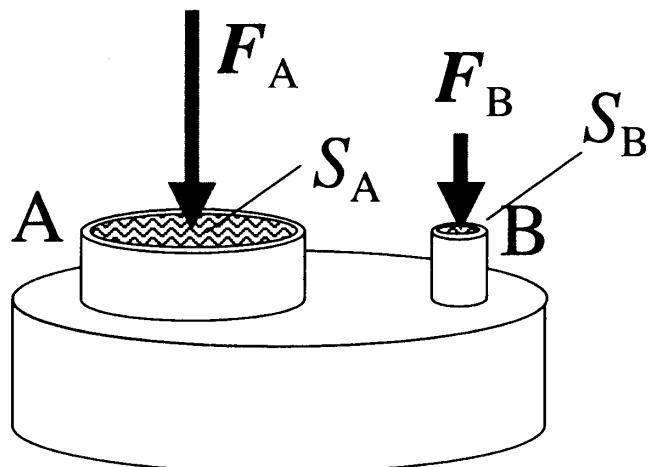


図2

25. 図3のように高さ h まで水の入った容器を考える。この容器の底には排水孔があり、栓を抜くと水が勢いよく流れ出す。これは容器の底と、排水孔の外部との圧力差によって水が加速されることによる。エネルギーの保存則を用いると、流れ出す水の流速 v を簡単に求めることができる。まず、単位時間に流れ出す水の質量を m としよう。すると同じく単位時間に、これに対応した分だけ水面が下がるはずであるが（水面の高さの変化量は h の大きさに対して十分に小さいとする），この部分は容器の底を基準として mgh の位置エネルギーを持っている。この位置エネルギーは流れ出す水の運動エネルギーに変換される。水の高さが 0.60 m のとき、排水孔から流れ出す瞬間の水の流速 v は、次のどれに最も近いか。重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。

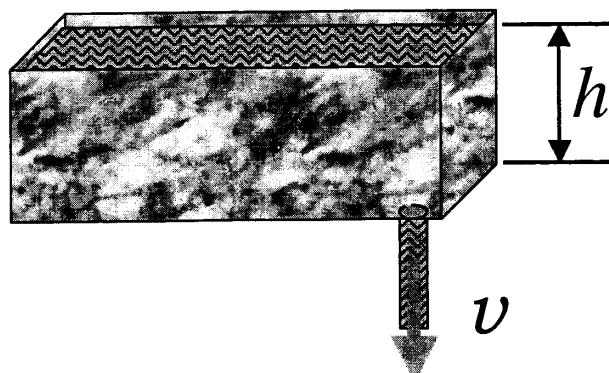
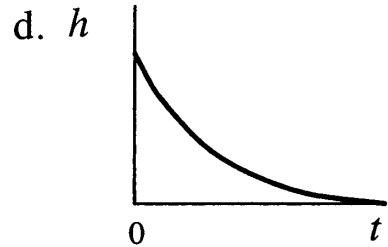
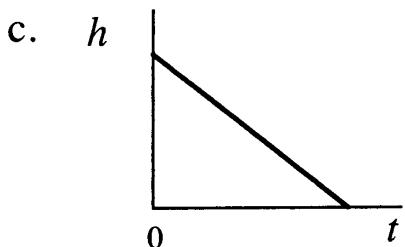
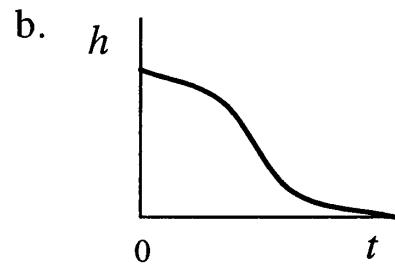
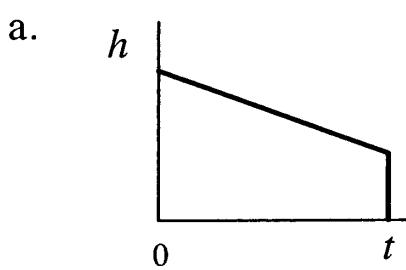


図3

- a. 2.4 m/s
- b. 3.4 m/s
- c. 6.0 m/s
- d. 12 m/s

26. 図3の直方体の容器の底の栓を抜いたとき、水面の高さ h を時間 t の関数としてグラフにすると、次のどれにもっとも近いか。



27. 飛行船には、主にヘリウムや水素ガスが使われる。大気圧 p_0 における空気の密度 d_a とガスの密度 d_b を用いて、この気球に働く力をあらわすと次のうちどれになるか。飛行船の構造体の質量 m 、体積 V とする。 g は重力加速度である。飛行船内部と外部の圧力はともに大気圧 p_0 であり、力の向きは上向きを正とする。

- a. $(d_a - d_b)Vg - mg$
- b. $(d_a + d_b)Vg - mg$
- c. $(d_a - d_b)Vg + mg$
- d. $(d_a + d_b)Vg + mg$

28. 1936年に就航したドイツの大型飛行船ヒンデンブルグ号の浮力用ガスの体積は $2.0 \times 10^5 \text{ m}^3$, 構造体の質量は $1.3 \times 10^5 \text{ kg}$ で, 水素を詰め込んだときに持ち上げることのできる荷物の量は $1.1 \times 10^5 \text{ kg}$ であった. 水素の代わりにヘリウムを詰め込んだとき, 同条件においてこの飛行船は何kgの荷物を運ぶことができるか. 次のうちから最も適切なものを選べ. 水素, ヘリウム, 空気の密度比は $2.0 : 4.0 : 29.0$ である.

- a. $0.5 \times 10^5 \text{ kg}$
- b. $0.7 \times 10^5 \text{ kg}$
- c. $0.9 \times 10^5 \text{ kg}$
- d. $1.3 \times 10^5 \text{ kg}$

29. 熱気球は, バーナーを使って中の空気を暖め, 気球の内部と外部の空気の温度の違いを利用して浮力を得る. 気球の下部は開いており自由に空気が出入りできるようになっているので, 気球内外の気圧は常に同一である. ある熱気球の気球部分の体積は $2.0 \times 10^3 \text{ m}^3$ (一定), 気球の構造体の質量は $6.0 \times 10^2 \text{ kg}$ である. 外気温が 10°C の時, 気球内の温度を最低限度まで上昇させればこの気球は浮かび上がりはじめるか. 次のうちから最も適切なものを選べ. 10°C において空気の密度は 1.25 kg/m^3 である. シャルルの法則が成り立つものとして計算せよ.

- a. 100°C
- b. 120°C
- c. 140°C
- d. 160°C

II

先に、浮力について考えたとき、互いに向き合った面における圧力の違いから浮力として一方向の力が生じることを見てきた。したがって一般的に言つて、向き合った面の圧力が同じ場合には力を及ぼすことは不可能に思える。しかし、図4のような、ガスを封入した容器を考えると、それは正しくないことがわかる。

図4の装置では、内部には高圧のガスが封入してある。この圧力 $p(x)$ は、大気圧 p_0 よりも常に十分大きいとする。ピストンは筒の中を自由に動くようになっている。ピストンには穴があいていて、図4の左側の部屋と右側の部屋の間を自由にガスが出入りすることができる。したがって、圧力は左右の部屋で常に等しい。

ピストンの左右の面を考えてみると、右側の面積 S に比べ、左側の面積がシャフトの太さの分 S_0 だけ小さくなっている。したがって左右の面に働く力も異なっており、大気圧を考慮してもなお、ピストンを押し出す力が働くことがわかる。

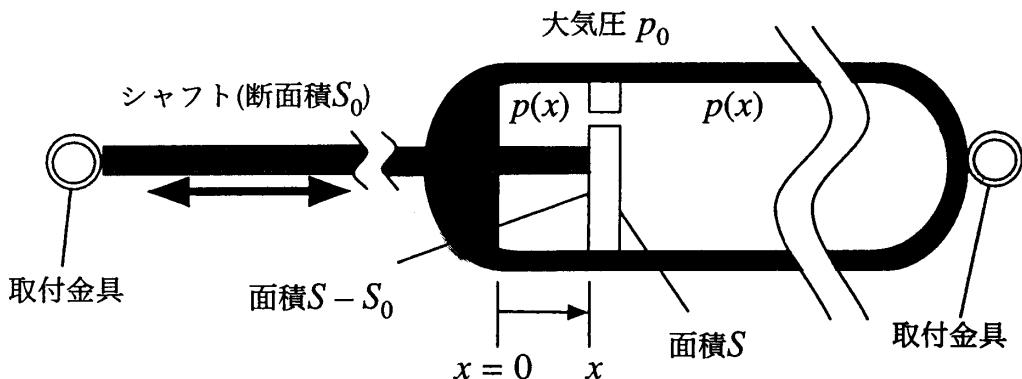


図4 ガス・ストラットの構造

このように、物体の左右の圧力に差がなくても、その作用する面積の違いにより、ピストンに力を作用させることができる。図4のような機構は、ガス・ストラットと呼ばれている。

ガス・ストラットの、ピストン位置 x に対する力の大きさを考えてみよう。ピストンが最大限に引き出された時に $x = 0$ であるとする。 $x = 0$ での容器内の体積を V_0 とする。このときのガスの圧力は $p(0)$ である。ピストンを押し込んでいくと、体積は $V_0 - S_0x$ と変化し、これに伴って容器内部（左右の部屋とも）の圧力は増加する。

ガス・ストラットの応用として、はねあげ式のドアにおいて、ドアの重みを支える用途がある（図5）。ドアは、ちょうつがいによって、右端でフレームと接続されている。ガス・ストラットは、ドアとフレームの間に設置され、ドアの動きについて角度を変えることができるよう両端の固定部分はちょうつがいになっている。角度 $\alpha = 0^\circ$ の時がドアが全閉の状態（A）、 $\alpha = 90^\circ$ の時が全開の状態（C）である。その途中の状態の図が、Bである。ガス・ストラットは軸に平行な方向の力をドアに及ぼし、ドアのちょうつがいの周りに図5において時計回りの力のモーメントを与える。これはドアを開ける方向のモーメントであり、これにより、操作者はより小さい力でドアを開くことができる。この機構は後部扉が後ろにはねあがるようなドアを持つワゴン車などでよくみかけられる。

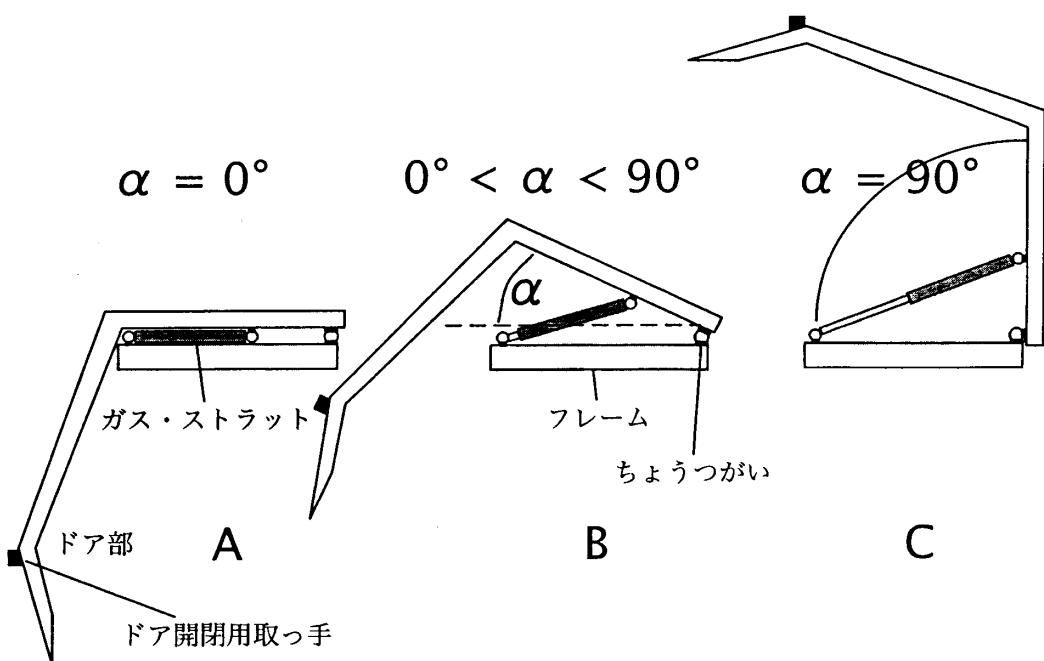
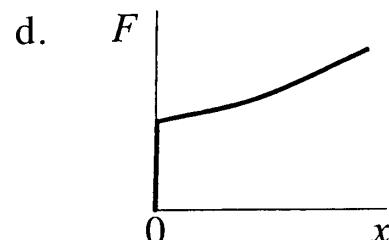
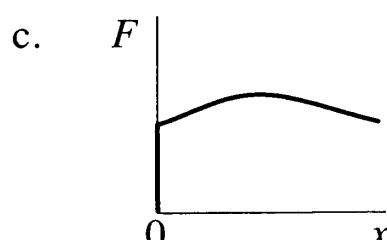
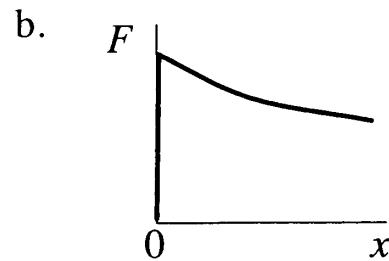
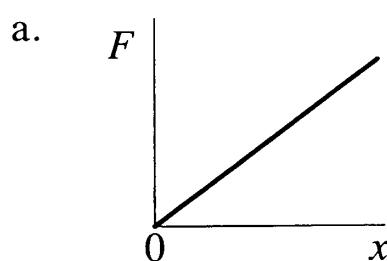


図5 ガス・ストラットを用いたはねあげドアの機構

30. ガス・ストラットのピストンをある位置で固定しておくためには、図4においてシャフトに右向きの力を加えていなければならぬ。シャフトの反対側に大気圧 p_0 がかかっていることを考慮すると、その力の大きさは次のどの式であらわされるか。

- a. $S_0 p_0 - S p(x)$
- b. $S p(x) - S_0 p_0$
- c. $S_0(p(x) - p_0)$
- d. $(S - S_0)p_0$

31. シャフトを押し出す力の大きさ F を x の関数としてグラフにしたとき、最も近いのは次のうちどれか。ただしピストンは十分にゆっくり動かすものとする。



32. ガス・ストラットを用いたはねあげドア機構について、ドアを回転させようとする力のモーメントを考える。図6に示すように、ドアの開き角 $\alpha = 30^\circ$ 、ガス・ストラットとフレームの角度 $\beta = 15^\circ$ の時、ピストンを押している力が1000 N であった。ガス・ストラットのドアへの固定場所は、ドアのちょうどつがい（図6の点 P）から 0.1 m の距離である。

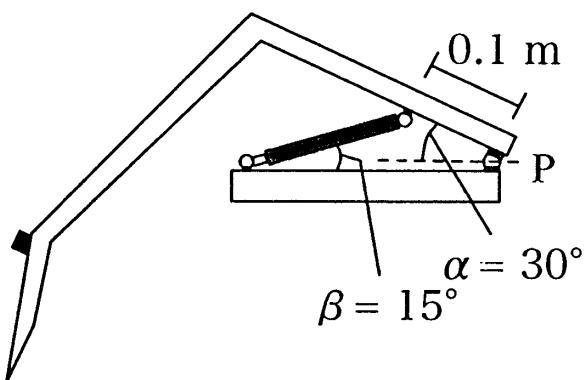


図6

ガス・ストラットがドアに及ぼしている、ドアのちょうどつがい部分 P のまわりの力のモーメントの大きさは、次のうちどれに最も近いか。必要ならば次の数値を用いよ。

	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
$\sin \theta$	0.26	0.50	0.71
$\cos \theta$	0.97	0.87	0.71

- a. 10 N·m
- b. 30 N·m
- c. 50 N·m
- d. 70 N·m

33. 図5に示すようなガス・ストラットを用いたドア機構について、次のうち正しい説明はどれか。ただし、ガス・ストラットの及ぼす最大の力は、ドアの重量よりも小さいとし、ドアを完全に開けた状態でもガス・ストラットは伸びきっていない ($x > 0$) とする。

- a. ドアが完全に開いた状態 ($\alpha = 90^\circ$) では、ガス・ストラットがあってもなくてもドアの位置の保持に必要な力は同じである。
- b. ドアが閉じている状態から開ける際 ($\alpha = 0^\circ$) には、ガス・ストラットがあってもなくても必要な力は同じである。
- c. ガス・ストラットがドアに及ぼす力のモーメントは、ドアが完全に開いている状態 ($\alpha = 90^\circ$) で最小となる。
- d. ガス・ストラットがドアに及ぼす力のモーメントは、ドアが閉まつていてガス・ストラットが最も押し縮められた状態 ($\alpha = 0^\circ$) で最大となる。

(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一つだけ選び、解答用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

(54)

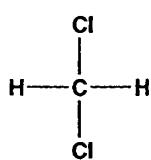
a b c d

分子は原子から構成されている。原子、分子の大きさは 10^{-10} mの桁なので肉眼ではもちろんのこと、精密な光学顕微鏡を使っても見えない。電子顕微鏡を使うと原子量の大きな原子の像がやっと見えるが、炭素、水素、酸素などの原子は見えない。では原子の集合体である分子の構造をどのようにして知るのだろうか。

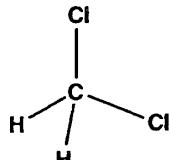
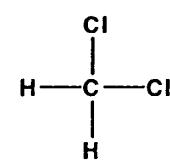
化学者は、取り扱っている物質の構造を知るために、まず物質を構成する原子の種類と数を元素分析によって調べ、それに分子量のデータを合わせて分子式を決定する。次に、原子同士がどのように結合しているかを決めるために可能な平面構造式を書き出す。分子を構成する原子数が増えると構造の可能性も増える。その中から化学的性質、物理的性質を合理的に説明できる構造式を選び出す。さらに、分子の電磁波に対する性質を調べたり（スペクトル分析という）、X線結晶構造解析などの手段を用い、三次元空間における分子の原子配列を含む分子構造を決定するのである。

構造が異なるということは、それぞれが別物質として存在が可能であることを示しており、それぞれ固有の物理的、化学的性質を持っている。逆に言えば、取り扱っている物質の物理・化学的性質を調べることによって構造を知ることができる。

例えば、メタンを光照射下で塩素と反応させると水素が塩素で置換されたいつかの物質が生成する。その中の一つが沸点39 ℃の無色の液体である。その分子構造は次のように決定される。元素分析の結果と、分子量測定の結果が85であることから、分子式が CH_2Cl_2 と決定される。そこで可能な平面構造式が2つ書ける（下図A）。もしも、 CH_2Cl_2 が平面構造分子であれば、構造の異なる2個の分子（異性体）が存在することになるが、実際には、ただ1個しか存在しない。それは、炭素は、結合が中心から正四面体の頂点方向にのびた立体構造をもつからである。炭素は



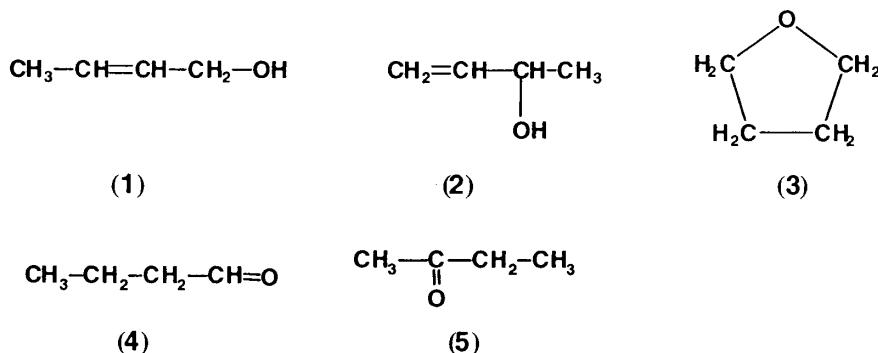
A 平面構造式



B 立体構造式

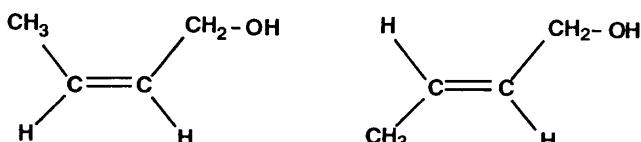
4個の価電子をもち、単結合だけでなく二重結合、三重結合をつくる。さらに他の元素と結合することにより多種多様な有機化合物がつくり出される。

そこで、 C_4H_8O という分子式をもつ化合物の構造について考えてみよう。この分子式を満たす分子として、例えば次のような平面構造式をもつアルコール、エーテル、アルデヒド、ケトン類が存在する。これらは互いに構造異性体である。構造異



性体は、沸点をはじめとする物理的性質が異なり、化学的性質も異なるので別物質である。例えば、アルコール類(1), (2)は無水酢酸と反応させるとエステルを生成するが、(3), (4), (5)はエステルを生成しない。また、ヨードホルム試験を行うと、(2)と(5)は陽性だが、他は陰性である。

(1)の立体構造についてもう少し詳細に考えてみよう。(1)の二重結合を形成する2つの炭素原子とそれらに直結する4つの原子の合計6原子が同一平面上に存在するため、下のような2種の異性体が存在する。これらを幾何（シス-トランス）異性体といふ。

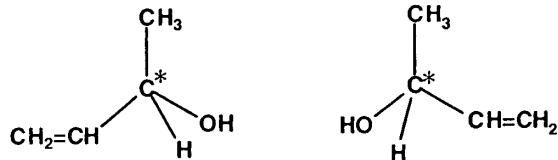


(1) の幾何異性体

また、(2)の平面構造式は一種類であるが、立体構造を考慮すると互いに鏡像関係にある二種類の構造が考えられる。実際にそれぞれ別物質として存在し、化学的性質は同一であるが、平面偏光にたいする物理的性質（旋光性）だけが異なる。これを立体異性体といい、その性質を光学活性といふ。

立体異性体では、(2)のように中心炭素に結合する4つの原子や置換基がすべて異なる。その中心炭素を不斉炭素といい、 C^* で示す。アミノ酸や糖類など生体分子の多くが光学活性で、その構造が薬の効果や生体内における生理機能の違いと密接

に関係する。



(2) の立体異性体

これまで有機化合物の構造を中心に考えて來たが、周期表と分子構造の関係について考えてみよう。周期表の族を見ると、各元素の最外殻電子数から価標が分かるので、いくつの水素と安定な分子を作るかが分かる（表1）。では、それぞれの分子式から立体構造が予想できるか。例外（#）もあるが、分子内の原子および非共有電子対間に働く反発力が最小となるように三次元空間に配置すると考えると、およそその構造を予想することができる。この中で、15族、16族は非共有電子対の存在が分子の形に影響を与える例である。13族は例外で、予想される平面正三角形構造の BH_3 は不安定であり、2分子が結合した B_2H_6 として存在するが、 BF_3 は予想通り平面正三角形である。

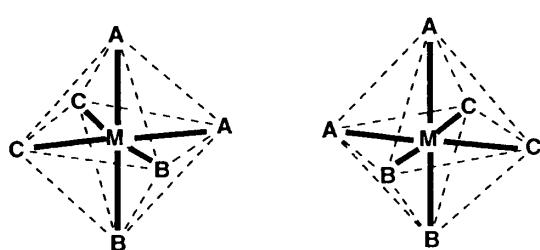
表1 第2周期元素の水素化化合物の形

族	1	2	13	14	15	16	17
分子	LiH	BeH_2	BH_3	CH_4	NH_3	H_2O	HF
分子の形	直線形	直線形	#	正四面体形	三角錐形	折れ線形	直線形

なお、元素の周期が変わると同族でも結合角が変わることが知られている。分子の形は分子の極性を決定する重要な要素の一つである。

錯イオンの分子構造ではどうか。

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	正八面体
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	正方形
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	直線形
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	正四面体



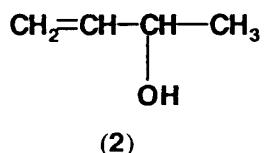
(Mは金属イオン、A, B, Cは配位子を表す)

これらの錯イオンでは、中心金属に CN^- や NH_3 などが配位結合し、配位子の種類、配位数によって一定の立体構造をつくる。錯イオンには、上の正八面体形錯イオンの例のように互いに鏡像関係にある立体異性体が存在し、光学活性が観測される。

必要があれば、原子量は次の値を用いよ。

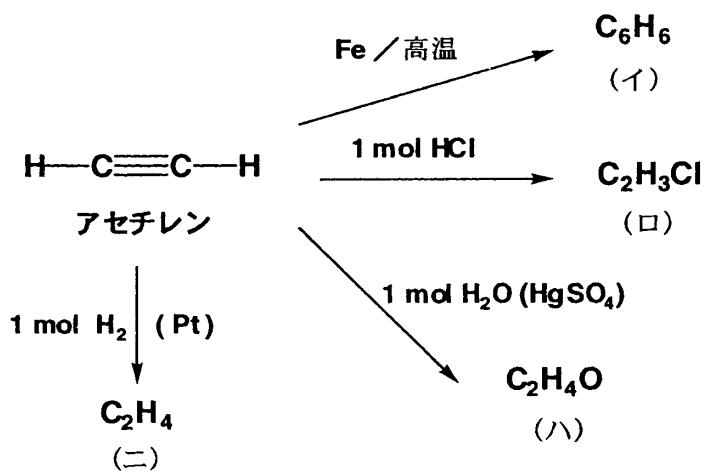
H: 1, C: 12, O: 16, N: 14, Ar: 40, Ne: 20

41. 資料中の化合物(2)が、次のどの反応によって光学活性を失うか。



- a. 水素付加反応
- b. 臭素付加反応
- c. 無水酢酸によるエステル化反応
- d. 水酸基のカルボニル基への酸化反応

42. アセチレンの反応の結果生じる分子(イ, ロ, ハ, ニ)は、1つを除き構成するすべての原子が平面上に配置した構造である。その1つの例外分子はどれか。



- a. (イ)
- b. (ロ)
- c. (ハ)
- d. (ニ)

43. 炭素, 水素, 酸素からなる有機化合物を元素分析したところ, 質量比で炭素 60.0%, 水素 13.3%であることがわかった. また, この化合物は, 分子量が60で, 水に溶けない液体であった.

この化合物についての実験結果に関する次の記述の中で, 正しいものはどれか.

- a. ヨードホルム反応を行うと, CHI_3 の黄色の沈殿が生じる.
- b. 過マンガン酸カリウム水溶液を加えても, 赤紫色が消失しない.
- c. 無水酢酸と反応させると, エステルを生成する.
- d. 金属ナトリウムの小片を加えると, 気体が発生する.

44. 次の無機化合物の水溶液の中で, 沈殿を生じない組み合わせはどれか.

- (イ) $\text{NaCl} + \text{FeCl}_3 + \text{CuSO}_4$
- (ロ) $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$
- (ハ) $\text{CuSO}_4 + \text{NaCl} + \text{Ba}(\text{OH})_2$
- (二) $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$
- (ホ) $\text{FeCl}_3 + \text{CuSO}_4 + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$

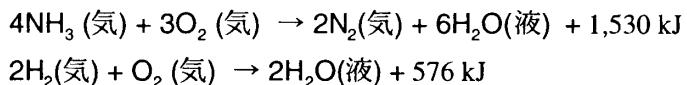
- a. (イ), (ロ), (ホ)
- b. (イ), (ハ), (二)
- c. (ロ), (ハ), (ホ)
- d. (イ), (二), (ホ)

45. 24.00 gの炭素(黒鉛)および水素ガスを完全燃焼させた時, それぞれ788 kJ および3,432 kJの熱量が発生した.

二酸化炭素および水の生成熱は, それぞれ何 kJ/molか.

- a. 788 kJ /mol および 1716 kJ /mol
- b. 394 kJ /mol および 1716 kJ /mol
- c. 394 kJ /mol および 286 kJ /mol
- d. 788 kJ /mol および 286 kJ /mol

46. 次のような燃焼熱実験データが与えられている。



アンモニアの生成熱は何 kJ /mol か。

- a. 49.5 kJ /mol
- b. 99 kJ /mol
- c. 198 kJ /mol
- d. 239 kJ /mol

47. 次の中で、無極性の分子（あるいはイオン）だけからなる組み合わせはどれか。

- a. CH_2Cl_2 , NH_4^+ , H_2S
- b. CS_2 , H_3O^+ , CH_4
- c. CCl_4 , CS_2 , BF_3
- d. BF_3 , O_3 , NH_3

48. 地球大気の成分である窒素、酸素、アルゴン、水蒸気、二酸化炭素、メタン、ネオンについて考える。これらの成分のうち、単原子分子や同種の原子2個からできている分子は紫外線や赤外線をほとんど吸収しない。3原子以上からできているものは紫外線はほとんど吸収しないが、赤外線を吸収するという温暖化効果を持つガスである。

成分Aは、地球誕生後、生命活動によって20億年以上の年月をかけて増加し現在の大気中濃度になった。

成分Bは、呼吸に関係し、温暖化ガスの一種である。

成分Cは、地球を温暖な気候に保つ役割をはたし、生命活動に不可欠である。

成分Dは、この中で一番軽い。また水にとけず、温暖化ガスの一種である。

成分Eは、反応性は乏しいが、高温では酸素と反応する。

これらの成分についての記述のうちで正しいものは次のどれか。

- a. 成分Dは可燃性だが、成分Aは可燃性ではない。
- b. 成分Bは塩化カルシウムに吸収される。
- c. 成分Cは石灰水に通じると沈殿を生じる。
- d. 成分Eの気体は空気より密度が大きい。

49. 岩石やガラスなどの成分であるケイ酸塩は、主に四面体型の SiO_4^{4-} を基本構成単位としている（図1）。 SiO_4^{4-} はSiの周りにOが4個結合した正四面体の形をしている。二つの SiO_4^{4-} 単位が一個の酸素を共有して結合すると $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ になる（図2）。

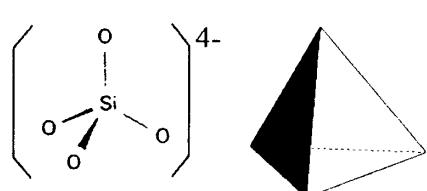


図1

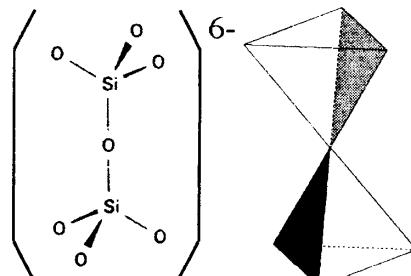


図2

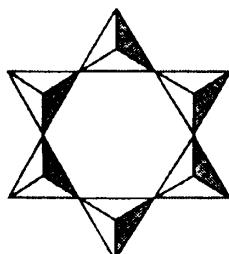
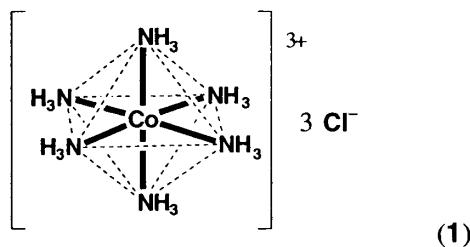


図3

これを参考にして、図3の6個の SiO_4^{4-} 単位が結合してできた陰イオンと Be^{2+} , Al^{3+} でできている緑柱石の化学式として正しいものはどれか。

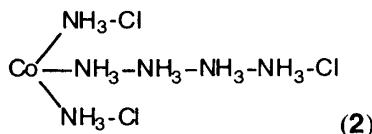
- a. $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- b. $\text{Be}_2\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$
- c. $\text{Be}_3\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{21}$
- d. $\text{Be}_6\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{21}$

コバルトは6個のアンモニア分子と配位結合して錯イオン $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ をつくり、3個の Cl^- イオンとイオン結合する。その構造は(1)のような正八面体形であることが、現在では知られている。



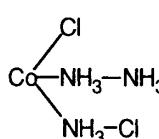
(1)

ところが、今から100年余り前には配位結合という概念はなく、結合は一種類のみと考えられていた。また、正八面体形の構造も知られていなかった。例えば上記のコバルト化合物には(2)のような構造が提案されていた。

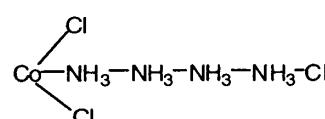


(2)

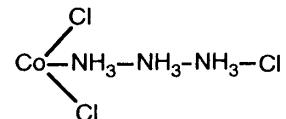
コバルトに直接結合していない塩素は水溶液中でイオンとして離れやすいとされた。また、この化合物を熱すると次々とアンモニアが失われることが確認された。それは(2)→(3)→(4)→(5)のような構造変化で説明された。



(3)



(4)



(5)

以上の結果に基づき、問50と問51に答えよ。

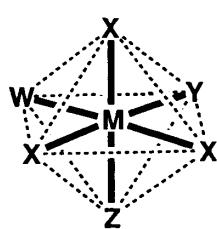
50. これらの化合物の水溶液に硝酸銀を加えたときの実験結果は次のようであつた。(2)～(5)のような構造であると仮定すると矛盾するものはどれか。

- a. (2)では Cl^- イオン3個分の塩化銀が沈殿した。
- b. (3)では Cl^- イオン2個分の塩化銀が沈殿した。
- c. (4)では Cl^- イオン1個分の塩化銀が沈殿した。
- d. (5)は水に溶けにくく、硝酸銀を加えても塩化銀は沈殿しなかった。

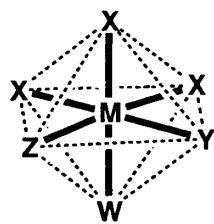
51. さらに次のような実験結果が得られた。**(2)～(5)**のような構造であると仮定すると矛盾するものはどれか。

- a. **(2)**の水溶液では陽イオンと陰イオンを合わせたイオンの数は合計4個となる。
- b. **(2)**では異性体は存在しないが、**(4)**では異性体が存在する。
- c. **(3)**の水溶液では陰イオンの数は2個である。
- d. **(4)**には化学的性質の異なる2種類の塩素が含まれる。

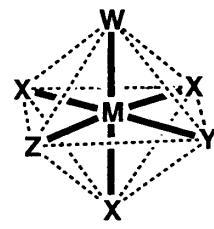
52. 次に5つの錯イオンの正八面体形の立体構造式が示してある。Aと鏡像関係にある異性体の組み合わせはどれか。ただし、Mは遷移元素のイオン、W, X, Y, Zはそれぞれ異なる配位子である。



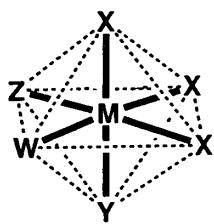
A



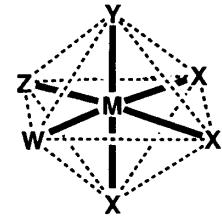
1



2



3



4

- a. 1, 2
- b. 2, 3
- c. 3, 4
- d. 1, 4

53. 約200年前の化学の世界には物質の最小単位として原子の概念はあったが、水や一酸化炭素などは複原子と呼ばれ、まだ分子の概念は確立していなかった。そのころドルトンが発表した原子説の中で使われていた記号は次のようなものである。

水素 ◎， 酸素 ○， 炭素 ●

水 ○○， 一酸化炭素 ○●， 二酸化炭素 ○●○， メタン ○●○

エチレン ○●

また、同じころゲーリュサックは、気体同士の反応する容積比はつねに簡単な整数比となることを見出し、さらに気体の同じ体積中には、同じ数の原子が存在するらしいと推測していた。

次の実験結果が得られている。ただし、炭素としては黒鉛を用い、実験は常温、1気圧で行ったとする。

- (イ) 水素 2ℓ + 酸素 1ℓ = 水蒸気 2ℓ
- (ロ) 炭素 + 酸素 1ℓ = 二酸化炭素 1ℓ
- (ハ) 炭素 + 水素 2ℓ = メタン 1ℓ
- (二) 炭素 + 水素 2ℓ = エチレン 1ℓ

ドルトンの記号で説明したとき、矛盾しないものはどれか。

- a. (イ)
- b. (ロ)
- c. (ハ)
- d. (二)

参考文献：

George B. Kauffman, *J. Chem. Ed.* 36, 521-527(1959)

生 物

問題(61-73)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一つだけ選び、解答用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  C B C D

I

アメリカの地球化学者 F. W. Clarke (1847~1931年) は地表部付近から、海平面下約16kmまでの、岩石圈、水圏、気圏の三つの領域に存在する元素量を調べて、地球表層を構成する元素の重量%を求めた。この値はクラーク数と呼ばれる。

表1の左半分に、クラーク数の大きい順に1番目から10番目までについて、また、右半分に人体の構成元素の原子数の比を百分率で表し、多い順に1番目から10番目まで示した。

表1 クラーク数と人体構成元素の割合

順位	元素	クラーク数	順位	元素	人体での割合、原子%
1	O	49.5	1	H	60.3
2	Si	25.8	2	O	25.5
3	Al	7.56	3	C	10.5
4	Fe	4.70	4	N	2.42
5	Ca	3.39	5	Na	0.730
6	Na	2.63	6	Ca	0.226
7	K	2.40	7	P	0.134
8	Mg	1.93	8	S	0.132
9	H	0.83	9	K	0.036
10	Ti	0.46	10	Cl	0.032

生物体を構成している元素の割合と、地球表層を構成する元素の割合には、かなりの差があることが表1から明らかである。生体構成元素の上位4種類の合計は約99%となるが、生命維持にとって重要なこれら上位4元素のうち、CとNは地球表層には非常に少ない割合でしか分布していないことがわかる。

61. 生物体を構成する元素の上位4種類の説明として、適切なものの組み合わせはどれか。

- A. Hは生体内では電子の運搬者として物質の還元にあずかる性質がある。
- B. Cは生体内の化学反応に必要な化合物をH, N, O, Sと結合してつくることができる。
- C. CやNが地球表層に少ないので、これらの元素が生物体の中に保持されていて、積極的に体外に放出されることが少ないからである。
 - a. Aは正しいがBとCは誤り
 - b. AとBは正しいがCは誤り
 - c. Bは正しいがAとCは誤り
 - d. AとCは正しいがBは誤り

62. 生物体を構成する主要成分についての次の記述のうちで、適切なものの組み合わせはどれか。

- A. 生物体を構成する元素のうち、炭素は生体内で無機炭素化合物の酸化により有機炭素化合物となり、生体の構成成分となる。
- B. これらの元素は、地球表層を構成している元素としては希少なものであるが生物の生存には必要であり、生物圏では生態系での循環によって保持されている。
- C. これらの元素について、生産者がとりこむ量とすべての栄養段階の生物が放出する量との関係はほぼ等しい状態に保たれている。

- a. A は正しいが B と C は誤り
- b. A と B は正しいが C は誤り
- c. B と C は正しいが A は誤り
- d. C は正しいが A と B は誤り

生物は外界から必要な物質を取り入れて、それらの物質を化学反応により自分のからだをつくる成分につくりかえている。このようなはたらきを同化といふ。図1は、生物を構成する生体分子を大きさ、複雑さに応じて階層的に示したものである。すべての有機物は環境から得られた低分子の前駆物質に由来する。生物はこの前駆物質から、しだいに分子の大きさを増す代謝中間体を経て、中くらいの分子量をもつ構成単位生体物質をつくり、それらをつなぎ合わせて、さらに大きな分子量の巨大分子を形成する。ここまでの中の反応は、共有結合を主体としたものであるが、できあがった巨大分子を組み合わせてつくる複合体である超分子複合体は、むしろ水素結合、双極子間相互作用、ファン・デル・ワールス相互作用、疎水性相互作用、イオン的相互作用などの作用によっている。

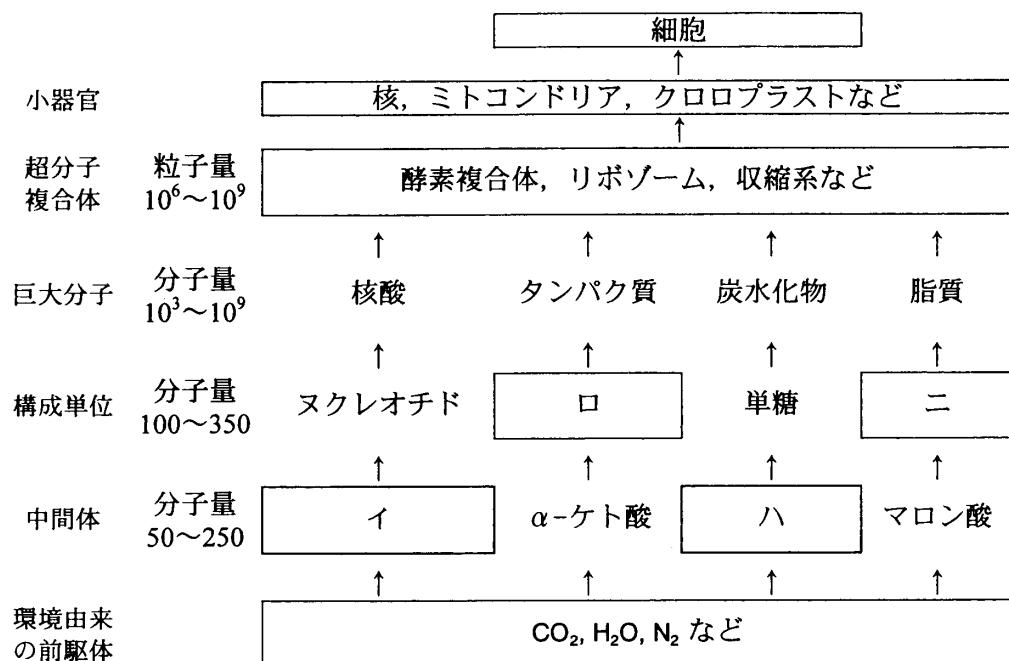


図1 真核細胞における分子構築の階層性

63. 図1の空欄「イ」～「二」に記入して図を完成させるのに、正しい物質の組み合わせはどれか。

- a. イ. グルコース ロ. アンモニア ハ. ピルビン酸 ニ. 脂肪酸
- b. イ. リン酸 ロ. アミノ酸 ハ. ピルビン酸 ニ. ケイ酸
- c. イ. リボース ロ. アミノ酸 ハ. リンゴ酸 ニ. 脂肪酸
- d. イ. デオキシリボース ロ. アンモニア ハ. リンゴ酸 ニ. ケイ酸

緑色植物が行う光合成は、太陽の光エネルギーを利用した炭酸同化反応、すなわち H_2O 、 CO_2 と光エネルギーにより有機物を合成する反応である。以下の実験は、光合成における反応過程を調べる目的で実施した。

実験内容	観察・測定結果
植物体をすりつぶして葉緑体の実験1 チラコイドを分離し、緩衝液中に入れ光を当てた。	CO_2 の吸収や O_2 の発生はなかった。
実験2 実験1の緩衝液にシュウ酸鉄(III)を加え、光を当てた。	CO_2 の吸収はなかったが、 O_2 がさかんに発生するのが見られた。
実験3 緑色植物を暗箱に入れ、 CO_2 を15分間与えた後、箱からとりだして CO_2 のない所で光を15分間当てた。	炭酸同化物質の合成はなかった。
実験4 緑色植物を CO_2 のない所で光を15分間当てた後、暗箱に入れ15分間 CO_2 を与えた。	炭酸同化物質の合成がみられた。

64. 実験1から実験4までの結果を考察した場合、下記の記述のうち、適切なものの組み合わせはどれか。

- A. 実験 1 および実験 2 の結果から、光合成の反応過程における H_2O の分解は、
 H を受け取るものがないと進行せず、 O_2 の放出もない。
- B. 実験 3 および実験 4 の結果から、光合成の反応過程において、 CO_2 から有機物ができる反応は光が照射されているときだけ進行する。
- C. 実験 1 から実験 4 までの結果から、光合成により CO_2 から有機物ができるためには、その反応過程において O_2 を必要とする。
- a. A は正しいが B と C は誤り
b. B は正しいが A と C は誤り
c. C は正しいが A と B は誤り
d. すべて誤り

生命の基本単位と考えられている細胞（生体）を構成している巨大分子は、図 1 に示したように 4 種類のものがある。生きている細胞の約 70 % (重量 %) は水であるが、4 種類の巨大分子の細胞中に占めるおおよその割合はタンパク質：15 %、核酸：7 %、炭水化物：3 %、脂質：2 %である。これらの巨大分子のうち、タンパク質と核酸には基本元素として N が含まれる。 N_2 は現在の地球大気の約 80 % (体積 %) を占めるが、通常の細胞はこの気体状の N_2 を直接利用することはない。

65. 生物の窒素同化についての記述のうち、適切なものの組み合わせはどれか。

- A. 多くの植物は無機窒素化合物から有機窒素化合物を合成するが、空气中の N_2 を直接利用することはできない。
- B. 多くの動物は、無機窒素化合物を同化できず、有機窒素化合物のみを窒素源として利用している。
- C. ある種の細菌は、空気中の N_2 を無機窒素化合物に変えることができる。
- a. すべて正しい
b. A と B は正しいが C は誤り
c. B と C は正しいが A は誤り
d. A と C は正しいが B は誤り

66. 生態系における窒素循環について適切なものの組み合わせはどれか.

- A. 生物の死骸や排出物中の窒素化合物は、細菌の作用によりアンモニウムイオンや硝酸イオンに変えられる。
 - B. ある種の細菌は硝酸イオンを酸化し、 N_2 として大気中に放出する。
 - C. 化学肥料に含まれる N は空気中の N_2 を工業的に固定したものであり、生態系に取り込まれて循環する。
- a. すべて正しい
 - b. A と B は正しいが C は誤り
 - c. B と C は正しいが A は誤り
 - d. A と C は正しいが B は誤り

II

生物が新しい個体をつくり子孫を残すことを生殖という。生殖の方法は無性生殖と有性生殖に分けられる。無性生殖は、からだの一部、あるいは細胞から新しい個体ができる方法で、有性生殖は、配偶子とよばれる生殖細胞が合体して新しい個体ができる方法である。

生物のなかには、その生活環において無性生殖と有性生殖を繰り返すものがみられる。シダ植物の場合、胞子体は胞子をつくり、この胞子が発芽・成長して配偶体となる。配偶体は卵あるいは精子をつくり、これらの卵と精子が受精して受精卵となり、受精卵が分裂・成長して胞子体となる。このように生活環のなかで生殖方法の異なる世代が交代をすることを世代交代という。

67. シダ植物の生活環における核相について、正しいものを選べ。

- a. 胞子体 (2n), 胞子 (n), 配偶体 (n), 卵 (n), 精子 (n)
- b. 胞子体 (2n), 胞子(2n), 配偶体 (n), 卵 (n), 精子 (n)
- c. 胞子体 (n), 胞子 (n), 配偶体 (2n), 卵 (n), 精子 (n)
- d. 胞子体 (n), 胞子 (2n), 配偶体 (2n), 卵 (n), 精子 (n)

種子植物では、シダ植物のような胞子はつくらないが、植物の本体がシダ植物の胞子体に、花粉と胚囊が配偶体に相当すると考えられている。被子植物では、花粉はおしひのうでつくられるが、めしひの柱頭につくと発芽して花粉管が伸び、花粉管内では雄原細胞から2個の精細胞がつくられる。一方、めしひの胚珠では胚囊ができる、胚囊内では胚囊細胞から卵細胞、助細胞、中央細胞、反足細胞がつくられる。2個の精細胞のうち、1個は____(1)と、もう1個は____(2)と受精する。これを重複受精という。その後、前者は胚となり、後者は胚乳となり、種子ができる。

68. 文中の空欄の(1) および(2) にあてはまる適切な語の組み合わせはどれか。

- a. (1) 卵細胞, (2) 助細胞
- b. (1) 卵細胞, (2) 中央細胞
- c. (1) 助細胞, (2) 反足細胞
- d. (1) 中央細胞, (2) 反足細胞

69. 被子植物の生活環における核相について、正しいものを選べ。

- a. 花粉 (n), 精細胞 (n), 胚囊細胞 (n), 卵細胞 (n)
- b. 花粉 (2n), 精細胞 (n), 胚囊細胞 (2n), 卵細胞 (n)
- c. 助細胞 (n), 反足細胞 (2n), 中央細胞 (2n), 胚 (2n), 胚乳 (3n)
- d. 助細胞 (2n), 反足細胞 (3n), 中央細胞 (2n), 胚 (2n), 胚乳 (2n)

有性生殖を行う生物において、雄の配偶子と雌の配偶子が同一の個体でできるもの（雌雄同体）と別の個体でできるもの（雌雄異体）がみられる。雌雄異体の動物において、個体が雄になるか雌になるかは多くの場合、染色体の組み合わせによって決まる。雌雄の性を決める染色体を性染色体といい、それ以外の染色体を常染色体という。ネズミ（ラット）の体細胞では、常染色体が40本あり、性染色体が2本ある。性染色体は、形の異なるX染色体とY染色体の2種類があり、雌では2本ともX染色体であるため、XXで表し、雄ではX染色体とY染色体からなるため、XYと表す。常染色体の1組（20本）をAで表すと、雌は2A+XX、雄は2A+XYとなる。この場合、卵の染色体はA+Xとなり、精子の染色体はA+Xおよ

びA+Yとなる。従って受精の際、精子の染色体の種類によって受精卵の性が決定する。このような性決定様式をXY型という。

一方、ニワトリなどでは、雌が2種類の性染色体、雄が1種類の性染色体を持ち、雌は2A+ZW、雄は2A+ZZで表される。この場合は卵の染色体の種類によって受精卵の性が決定し、ZW型の性決定様式と呼ばれる。

魚類では、XY型、ZW型の両方がみられるが、人為的染色体操作により一方の性の魚だけを、すなわち雄だけあるいは雌だけをつくることが可能となっており、養殖において活用される。それには次のような2つの方法が知られている。人工授精の際に、精子をあらかじめ紫外線照射しておくと染色体は破壊されるが、受精能は保持され、この精子は卵の発生を進行させることができる。魚類ではこの紫外線照射した精子と正常な卵を受精させ、その後、圧力処理などで第一卵割を阻止すると、受精卵は2倍体となり正常に発生する。この場合、XY型の染色体をもつ魚種であれば、生まれる魚の性は____(3)となり、ZW型の染色体をもつ魚種であれば、生まれる魚の性は、____(4)となる。一方、紫外線照射により卵の染色体を破壊し、正常な精子と受精させ、第一卵割を阻止すると、受精卵は2倍体となり正常に発生する。この場合、XY型の染色体をもつ魚種であれば、生まれる魚は____(5)となり、ZW型の染色体をもつ魚種であれば、生まれる魚は、____(6)となる。

70. 文中の空欄の(3)から(6)にあてはまる適切な語の組み合わせはどれか。

- a. (3)すべて雌、(4)すべて雄、(5)すべて雄、(6)すべて雌
- b. (3)雌雄1:1、(4)すべて雌、(5)雌雄1:1、(6)すべて雄
- c. (3)雌雄1:1、(4)雌雄1:1、(5)すべて雄、(6)すべて雌
- d. (3)すべて雌、(4)雌雄1:1、(5)雌雄1:1、(6)すべて雄

哺乳類の場合、Y染色体には生殖腺を精巣に分化させる遺伝子が含まれ、胎児の発生過程において精巣ができると、精巣では雄性ホルモンがつくられるようになる。性的に成熟したネズミでは、交尾の際に雄はマウンティングという雌の背後から乗りかかる行動（雄の性行動）をとり、雌はロードーシスという雄を受け入れる姿勢（雌の性行動）をとる。通常これらの性行動は雌雄で決まっており、性的に成熟した雌雄のネズミがもう一方の性の性行動をすることはない。性行動と性ホルモン（精

巣でできる雄性ホルモンと卵巣でできる雌性ホルモン) の関係を明らかにするために性的に成熟した雌雄のネズミを使って次のような実験を行った。

- 実験 1. 雄ネズミの精巣および雌ネズミの卵巣を摘出すると、雌雄ともに性行動が起こらなくなつた。
- 実験 2. 雄ネズミの精巣および雌ネズミの卵巣を摘出し、それぞれに精巣、卵巣を移植すると、雌雄ともにもとの性行動が起こるようになった。
- 実験 3. 雄ネズミの精巣および雌ネズミの卵巣を摘出し、それぞれに雄性ホルモン、雌性ホルモンを投与すると、雌雄ともにもとの性行動が起こるようになった。
- 実験 4. 雄ネズミの精巣および雌ネズミの卵巣を摘出し、雄に卵巣、雌に精巣を移植すると、雌雄ともに性行動は起こらなかつた。
- 実験 5. 雄ネズミの精巣および雌ネズミの卵巣を摘出し、それぞれに雌性ホルモン、雄性ホルモンを投与すると、雌雄ともに性行動は起こらなかつた。

71. 実験 1 から実験 5 までの結果を考察した場合、下記の記述のうち、適切なものの組み合わせはどれか。

- A. 雄に性行動が起こるためにには雄性ホルモンが必要であり、雌に性行動が起こるためにには雌性ホルモンが必要である。
- B. 雄も雌も雄性ホルモン、雌性ホルモンのどちらかがあればそれぞれの性行動は起こる。
- C. 雌性ホルモンには雄に性行動を起こす作用がなく、雄性ホルモンには雌に性行動を起こす作用がない。
- D. 雌性ホルモンは雄に性行動を起こすことを抑制し、雄性ホルモンは雌に性行動を起こすことを抑制している。
- a. A と B
- b. B と D
- c. A と C
- d. C と D

性行動は脳によって調節されているが、脳の発達と性行動の関係を明らかにするために出生直後の雌雄のネズミを使って次のような実験を行った。

実験 6. 雄ネズミの精巣を摘出し、雄性ホルモンを与えた。成長後、再び雄性ホルモンを与えたところ、性行動を行った。

実験 7. 雄ネズミの精巣を摘出し、雄性ホルモンは与えなかった。成長後、雄性ホルモンを与えたが、性行動は起こらなかった。

実験 8. 雌ネズミの卵巣を摘出し、雌性ホルモンは与えなかった。成長後、雌性ホルモンを与えたところ、性行動を行った。

72. 実験 6 から実験 8 までの結果を考察した場合、下記の記述のうち、適切なものの組み合わせはどれか。

A. 雄が性行動を起こすには、出生直後の時期の脳に、雄性ホルモンが作用することが必要である。

B. 雄が性行動を起こすには、出生直後の時期の脳に、雄性ホルモンが作用しなくとも、成長後に雄性ホルモンが脳に作用すればよい。

C. 雌が性行動を起こすには、出生直後の時期の脳に、雌性ホルモンが作用することが必要である。

D. 雌が性行動を起こすには、出生直後の時期の脳に、雌性ホルモンが作用しなくとも、成長後に雌性ホルモンが脳に作用すればよい。

a. A と C

b. A と D

c. B と C

d. B と D

通常、雌雄のネズミはそれぞれの性の性行動を行い、もう一方の性の性行動を行うことはない。脳の発達過程における脳の性分化について明らかにするために出生直後の雌雄のネズミを使って次のような実験を行った。

実験 9. 出生直後の雄ネズミの精巣を摘出し、雄性ホルモンは与えず、成長後、雌性ホルモンを与えたところ、雌に対して雄型の性行動（マウンティング）を行わず、他の雄に対して雌型の性行動（ロードーシス）を行った。

実験 10. 出生直後の雌ネズミの卵巣を摘出し、雄性ホルモンを与えた。成長後、雄性ホルモンを与えたところ、雄に対して雌型の性行動（ロードーシス）を行わず、他の雌に対して雄型の性行動（マウンティング）を行った。

実験 11. 出生直後の雌ネズミの卵巣を摘出し、雄性ホルモンを与えた。成長後、雌性ホルモンを与えたところ、雄に対する雌型の性行動、他の雌に対する雄型の性行動のどちらも行わなかった。

73. 実験 1 から実験 11 までの結果を考察した場合、下記の記述のうち、適切なものはどれか。

- a. 脳の性分化は出生直後の時期には起こらず、成長後、雄性ホルモンが脳に作用すると脳は雄型に分化し、雌性ホルモンが脳に作用すると脳は雌型に分化する。このとき分化した脳の雌雄の型は、その後変化しない。
- b. 脳の性分化は出生直後の時期には起こらず、成長後、雄性ホルモンが脳に作用すると脳は雄型に分化し、雌性ホルモンが脳に作用すると脳は雌型に分化する。しかしその後の脳の雌雄の型は雄性ホルモンあるいは雌性ホルモンの作用により変化する。
- c. 脳の性分化は出生直後の時期に起こり、そのときに雄性ホルモンが脳に作用すると脳は雄型に分化し、雄性ホルモンが脳に作用しないと脳は雌型に分化する。このとき分化した脳の雌雄の型は、その後成長しても変化しない。
- d. 脳の性分化は出生直後の時期に起こり、そのときに雄性ホルモンが脳に作用すると脳は雄型に分化し、雄性ホルモンが脳に作用しないと脳は雌型に分化する。しかし成長後、脳の雌雄の型は雄性ホルモンあるいは雌性ホルモンの作用により変化する。

参考文献：

理化学辞典 第2版 p. 1379、岩波書店、1963.

Biology. sixth edition, p. 28, Pearson Education, San Francisco, CA, 2002.