No.000001

受験番号					

学習能力考査

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. （解答する 2 分野は試験中に選んでも OK）
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. 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,「考査はじめ」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. 「考査やめ」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，もっとも適当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　(14)　a　b　　d

I

平面内の2点 P$=(p_1,p_2)$，Q $=(q_1,q_2)$ の間の距離 PQ は

$$PQ=\sqrt{(p_1-q_1)^2+(p_2-q_2)^2}$$

で与えられることはよく知られている．この距離によって平面内の点たちの隔たりが測られる．

区間 $[s,t]$ 上で定義されている2つの関数 $y=f(x)$，$y=g(x)$ の間にも，それらの隔たりを測る距離が，いくつか考案されている．例えば，

$$d(f(x),g(x))=\text{区間 }[s,t]\text{ における }|f(x)-g(x)|\text{ の最大値}$$

(ただし $|u|$ は実数 u の絶対値を表す．) によって与えられる $d(f(x),g(x))$ は2つの関数 $y=f(x)$，$y=g(x)$ の間の距離と考えられる．

1.　区間 $[0,2\pi]$ における関数 $y=\sin x$ と $y=\cos x$ の距離 $\alpha=d(\sin x,\cos x)$，及び $y=\sin^4 x$ と $y=\cos^4 x$ の距離 $\beta=d(\sin^4 x,\cos^4 x)$ の値は次のどれか．

a.　$\alpha=\sqrt{2},\quad\beta=1$

b.　$\alpha=1,\quad\beta=1$

c.　$\alpha=\sqrt{2},\quad\beta=2$

d.　$\alpha=1,\quad\beta=2$

区間 $[s,t]$ 上で定義されている 2 つの関数 $y=f(x)$, $y=g(x)$ の間の距離として，次の定積分で定められる $\delta(f(x),g(x))$ もよく用いられる．

$$\delta(f(x),g(x))=\int_s^t |f(x)-g(x)|dx$$

これはちょうど区間 $[s,t]$ において，関数 $y=f(x)$ と $y=g(x)$ のグラフおよび 2 直線 $x=s, x=t$ にはさまれる部分の面積に等しい．

次の 2 つの関数 $F(x)$ と $G(x)$ を考える． n は自然数とする．

$$\begin{aligned} F(x) &= n^3x^2-n \\ G(x) &= |F(x)| \end{aligned}$$

2. 区間 $[-1,1]$ において上の 2 つの関数 $y=F(x)$ と $y=G(x)$ に対して，それらの間の 2 種類の距離を考える．その値 $\alpha=d(F(x),G(x))$ 及び $\beta=\delta(F(x),G(x))$ は次のどれか．

a. $\alpha=2n, \quad \beta=\frac{4}{3}$

b. $\alpha=2n, \quad \beta=\frac{8}{3}$

c. $\alpha=2(n^3-n), \quad \beta=\frac{2}{3}(n^3-3n+2)$

d. $\alpha=2(n^3-n), \quad \beta=\frac{4}{3}(n^3-3n+2)$

区間 $[s,t]$ 上で定義されている 2 つの関数 $y=f(x)$ と $y=g(x)$ の δ による距離 $\delta(f(x),g(x))=\int_s^t |f(x)-g(x)|dx$ の値が十分小さいとき，$y=g(x)$ は $y=f(x)$ を距離 δ に関して近似しているという．2 次関数を折れ線グラフで近似することを考えよう．

I

2 次関数

$$y = H(x) = -x^2 + 1$$

は x 軸と点 $(1,0)$, $(-1,0)$ で交わる． 区間 $[-1,1]$ を $2n$ 等分し, x 軸上のその等分点を小さい方から

$$-1 = a_0 < a_1 < a_2 < \cdots < a_{2n} = 1$$

と名づける． $y = H(x) = -x^2 + 1$ のグラフ上の 2 点

$$(a_{j-1}, H(a_{j-1})) \quad と \quad (a_j, H(a_j)) \qquad (1 \leqq j \leqq 2n)$$

を結んだ線分をつなげて得られる折れ線をグラフとする関数を $y = K_n(x)$ とおく．

3. $H(x) = -x^2+1$ のグラフ上の 2 点 $\mathrm{A} = (p, H(p))$, $\mathrm{B} = (q, H(q))$ $(-1 \leqq p < q \leqq 1)$ を結ぶ線分 AB と関数 $y = H(x)$ のグラフで囲まれた部分の面積は次のどれか．

a. $\dfrac{(q-p)^3}{6}$

b. $\dfrac{(q-p)(q+p)^2}{6}$

c. $\dfrac{q^3-p^3}{6}$

d. $\dfrac{(q-p)^2(q+p)}{6}$

4. 区間 $[-1,1]$ において, 距離 $\delta(H(x), K_n(x))$ の値は次のどれか．

a. $\dfrac{1}{3n}$

b. $\dfrac{1}{6n}$

c. $\dfrac{1}{3n^2}$

d. $\dfrac{1}{6n^2}$

このように, n が大きいとき, 関数 $y = K_n(x)$ は関数 $y = H(x)$ を距離 δ に関して近似していると考えられる．

平面内の 3 点 P, Q, R の間の距離について次の三角不等式と呼ばれる不等式が成立することはよく知られている．

$$\mathrm{PQ} + \mathrm{QR} \geqq \mathrm{PR}$$

区間 $[s, t]$ 上で定義された 3 つの関数 $y = f(x), y = g(x), y = h(x)$ の間の距離 d についても三角不等式

$$d(f(x), g(x)) + d(g(x), h(x)) \geqq d(f(x), h(x))$$

が成立する．これは距離 δ に関しても成立する．

5.　a, b, c を互いに異なる実数とする．3 つの 3 次関数

$$\begin{aligned} y &= f(x) = ax^3 - ax^2 \\ y &= g(x) = bx^3 - bx^2 \\ y &= h(x) = cx^3 - cx^2 \end{aligned}$$

の区間 $[0, 1]$ における d による距離が，等式

$$d(f(x), g(x)) + d(g(x), h(x)) = d(f(x), h(x))$$

を満たすための必要十分条件は次のどれか．

a.　$a \geqq 0$　または　$c \geqq 0$

b.　$a > c$　または　$a < c$

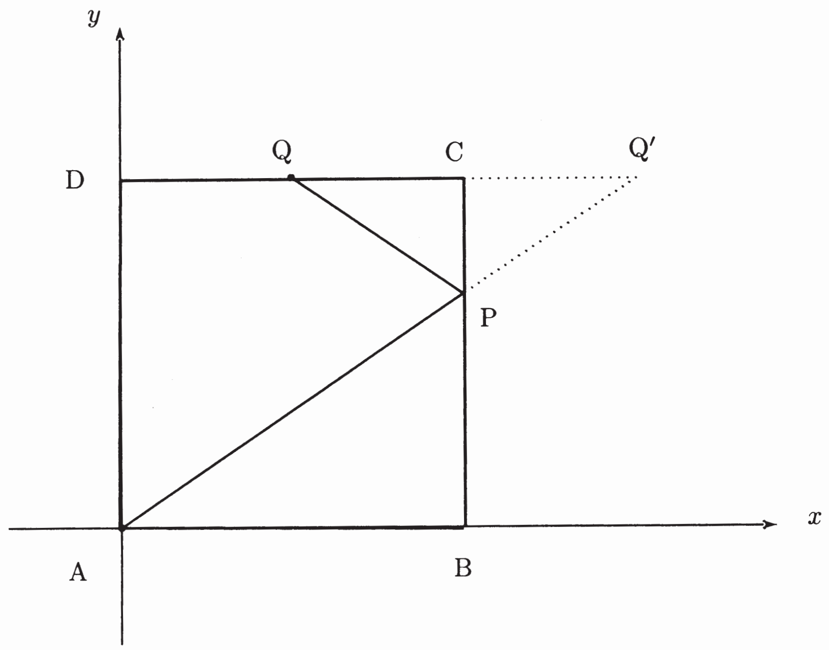
c.　$a > b > c \geqq 0$　または　$a < b < c \leqq 0$

d.　$a > b > c$　または　$a < b < c$

II

次の図で ABCD は正方形のビリヤード台 (周囲を低い壁で囲った水平な台) であり，その一辺の長さを 1 とする．この正方形の頂点 A から球を打ち出し，辺 BC 上の点 P で反射させたのち辺 CD の中点 Q に当てるには，点 P の位置をどう決めればよいか．ただし，球の大きさは無視できるほど小さく，また，摩擦などによるエネルギーの損失はないものとする．

この問題を次のような考え方で解くことができる．直線 AP と DC の交点を Q′ とする．そのとき，点 Q と Q′ は直線 BC に関して線対称であるから $Q'C = QC = \dfrac{1}{2}$，よって点 Q′ の座標は $\left(1\dfrac{1}{2}, 1\right)$ である．このことから，直線 AP の方程式は $y = \dfrac{2}{3}x$ であり，この直線と辺 BC の交点 P の座標は $\left(1, \dfrac{2}{3}\right)$ であることが分かる．



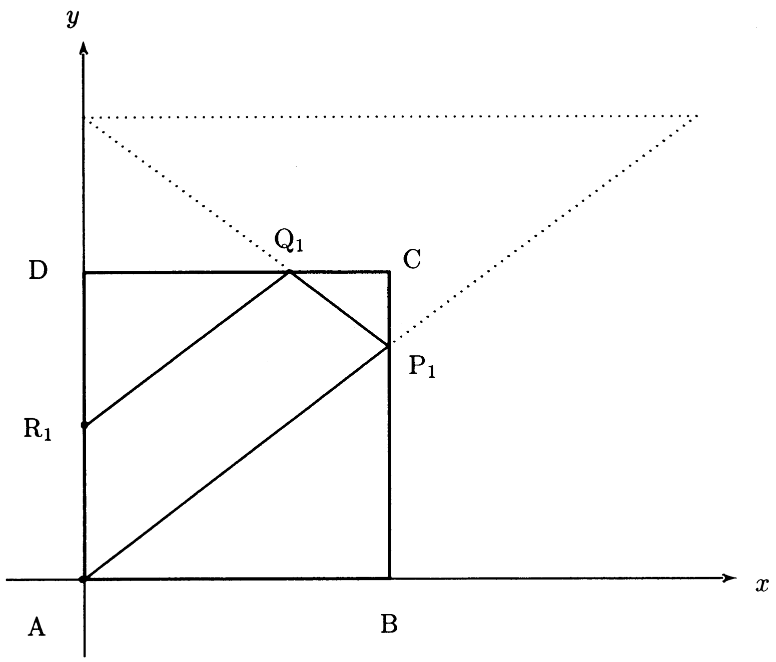
6.　同じく正方形 ABCD の頂点 A から球を打ち出し，辺 BC 上の点 P_1 と辺 CD 上の点 Q_1 で一度ずつ反射させたのち辺 DA の中点 R_1 に当てる場合，最初に反射させる点 P_1 の座標は次のどれか (下図参照).

a.　$\left(1, \frac{5}{7}\right)$

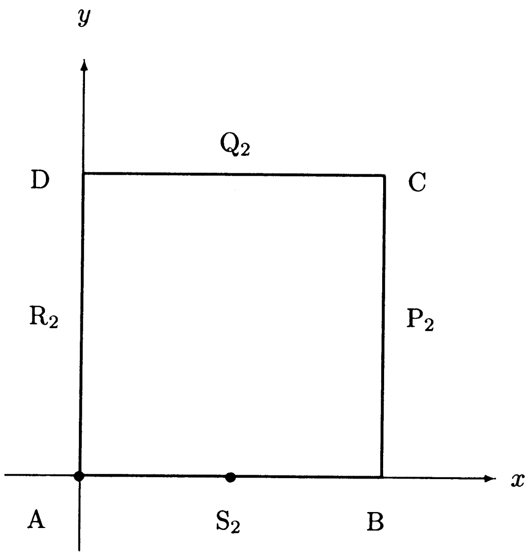
b.　$\left(1, \frac{3}{4}\right)$

c.　$\left(1, \frac{7}{9}\right)$

d.　$\left(1, \frac{4}{5}\right)$



7.　頂点 A から球を打ち出し，辺 BC 上の点 P_2，CD 上の点 Q_2，DA 上の点 R_2 の順に反射させたのち，辺 AB の中点 S_2 に当てる場合，点 R_2 の座標として正しいものは次のどれか (下図参照).



a.　$\left(0, \frac{3}{8}\right)$

b.　$\left(0, \frac{2}{5}\right)$

c.　$\left(0, \frac{1}{2}\right)$

d.　$\left(0, \frac{3}{5}\right)$

8.　前問と同様に，点 A から球を打ち出し，辺 BC 上の点 P_2，CD 上の点 Q_2，DA 上の点 R_2 の順に反射して辺 AB の中点 S_2 に当て，更にそこで反射して辺 BC, CD, ... と次々に反射を繰り返していくと，最終的にこの球はどうなるか．ただし，正方形の頂点では球は反射せず，そこで動きを止めるものとする．

a.　頂点 B で止まる．

b.　頂点 C で止まる．

c.　頂点 D で止まる．

d.　永久にこの正方形の中を回り続ける．

9.　頂点 A から辺 BC 上の点 $\left(1, \dfrac{7}{10}\right)$ に向かって球を打ち出したとき，この球は以後どんな動きをするか.

a.　5 回反射したのち頂点 B で止まる.

b.　10 回反射したのち頂点 C で止まる.

c.　15 回反射したのち頂点 D で止まる.

d.　永久にこの正方形の中を回り続ける.

III

整数係数の 2 次式

$$f(x) = ax^2 + bx + c \qquad (a \neq 0,\ a, b, c \text{ は整数}) \tag{1}$$

の因数分解について考える．2 次式 $f(x)$ が

$$f(x) = (kx + \ell)(mx + n) \qquad (k, m \neq 0,\ k, \ell, m, n \text{ は整数}) \tag{2}$$

と整数係数の 1 次式の積に表されるとき，$f(x)$ は整数の範囲で因数分解可能であるといい，そうでないとき整数の範囲で因数分解不可能であるという．

$f(x)$ が実数係数の 1 次式の積に表されるための条件は，方程式 $f(x) = 0$ が実数解をもつこと，すなわち

$$b^2 - 4ac \geqq 0$$

が成り立つことである．

一方，$f(x)$ が実数係数の 1 次式の積に表されたとしても，整数の範囲で因数分解可能であるとは限らない．例えば，

$$x^2 + x - 1 = \left(x - \frac{-1+\sqrt{5}}{2}\right)\left(x - \frac{-1-\sqrt{5}}{2}\right)$$

は整数の範囲で因数分解不可能である．

実は，整数係数の 2 次式 $f(x)$ について，それが整数の範囲で因数分解可能であることと，方程式 $f(x) = 0$ が有理数の解を持つことは同値である．

また，$f(x) = x^2 + c$ の場合，$f(x)$ が整数の範囲で因数分解可能である条件は，$-c$ が d^2 (d は整数) という形をしていることである．

10.　整数 p, q ($q \neq 0$) に関する次の 4 つの条件のうち，3 つは互いに同値であり，残り 1 つはそれらに同値でない．その残りの条件は次のどれか．

a.　$x^2 + (p-2)x + q - p + 1$ は整数の範囲で因数分解可能である．

b.　$x^2 + (p+2)x + q + p - 1$ は整数の範囲で因数分解可能である．

c.　$qx^2 + px + 1$ は整数の範囲で因数分解可能である．

d.　$x^2 + px + q$ は整数の範囲で因数分解可能である．

(1) の 2 次式 $f(x)$ が整数の範囲で因数分解不可能であるための十分条件として次の定理が知られている.

定理　H を

$$\left|\frac{b}{a}\right| \text{と} \left|\frac{c}{a}\right| \text{のうち大きい方の値} \tag{3}$$

とする. もし, $H+2$ 以上のある整数 N について $|f(N)|$ が素数であるならば, $f(x)$ は整数の範囲で因数分解不可能である. (ただし、$|u|$ は u の絶対値を表す.)

ここで, 素数の定義を思い出しておこう. 正整数 n が素数であるとは, $n \geqq 2$ であり, n を割り切る正の整数が 1 と n 自身しかないことをいう. 1 は素数であるとは考えない.

11.　$f(x) = x^2 + c$ (c は正整数) について, 次のうち 正しくない 記述はどれか.

a.　$f(x)$ は整数の範囲で因数分解不可能である.

b.　$c > 1$ のとき, $f(c)$ は素数でない.

c.　$f(c+1)$ は必ず奇数である.

d.　$f(c+2)$ は素数となることがある.

次に絶対値の性質について復習しておこう.

12.　α, β を実数とする. 次の性質のうちで, 必ずしも成り立たない ものは次のどれか.

a.　$|\alpha+\beta| \leqq |\alpha| + |\beta|$

b.　$|\alpha| - |\beta| \leqq |\alpha + \beta|$

c.　$|\alpha| \leqq |\alpha - \beta| - |\beta|$

d.　$|\beta| \leqq |\alpha| + |\alpha - \beta|$

先の定理の証明には次の命題を使う.

命題　$f(x)$ を (1) の 2 次式とする。方程式 $f(x) = 0$ の実数解 α について, 不等式

$$|\alpha| < H + 1 \tag{4}$$

が成り立つ. ここで, H は上の (3) で定義した値である.

この命題の証明は省略する.

定理の証明にとりかかろう．背理法により証明する．そこで結論を否定して，$f(x)$ が整数の範囲で因数分解可能で (2) の形に表されるとしよう．k, ℓ, m, n は整数であるので，

$$f(N) = (kN + \ell)(mN + n)$$

は，整数 $f(N)$ を因数分解した式である．ところで，定理の仮定により $|f(N)|$ が素数であるとすると，素数の定義により $|kN+\ell|$ か $|mN+n|$ の一方は 1 である．今，$|kN+\ell| = 1$ としよう．$|mN+n| = 1$ の場合も同様に議論できる．

すると，命題を用いて

$$1 = |kN + \ell| \geqq \left|N + \frac{\ell}{k}\right| \geqq N - \left|-\frac{\ell}{k}\right| > N - (H+1) \geqq 1 \tag{5}$$

となり矛盾する．矛盾の原因は，$f(x)$ が整数の範囲で因数分解可能であるとした仮定にある．従って，$f(x)$ は整数の範囲で因数分解不可能である．(証明終わり)

13. 上の不等式 (5) の証明で使っていない事実は次のどれか．

a. $-\dfrac{\ell}{k}$ が方程式 $f(x) = 0$ の解であること．

b. $N \geqq H + 2$ という仮定．

c. k が 0 でない整数であること．

d. ℓ が整数であること．

参考文献

M. Ram Murty: Prime numbers and irreducible polynomials, American Mathematical Monthly, **109** (2002), 452–458.

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，もっとも適当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)　⊂a⊃　⊂b⊃　▬　⊂d⊃

ニュートンが力学の法則を考えたのは，１７世紀のことである．ニュートンの力学は以下の三つの法則からなる．原文はラテン語であるが，

- *Every body continues in its state of rest or of uniform motion in a straight line, unless acted upon by a force applied from the outside.*
- *Change of motion is proportional to the applied force and takes place in the same direction in which the force acts.*
- *Whenever one object exerts a force on a second object, the second object exerts an equal and opposite force on the first.*

Ira Freeman 著 'Physics' (1968, McGraw-Hill) より引用

のように英訳されている．

第一法則は，“物体に力が作用しなければ，その物体は等速度運動を続ける”ことを表している．

21．第一法則に関する以下の記述のうち，不適切なものを選べ．

a. 滑らかな氷の上にある物体は等速度運動をしているように見える．これは摩擦がほとんどなく水平方向に力が働いていないからである．
b. 支えの綱が切れて落下しているエレベータの中では，重力が見かけ上なくなるから物体は等速度運動をしている．
c. 力を一切受けていない物体が一定間隔の地点を通過する時刻は一定間隔となる．
d. 等速度運動している物体には力が働かないことになるから，一定の速さで円運動している物体には力が働いていないと考えられる．

第二法則は，“物体に働く力と加速度が比例する” ことを表している．これは，質量の大きいものを加速するには，大きな力が必要であることを意味している．

22．第二法則に関する以下の記述のうち，不適切なものを選べ．

a. プールに浮いている物体には，見かけ上ほとんど重さはない．
b. プールに浮いている物体を，水平方向に加速するにはほとんど力は必要ない．
c. プールに浮いている物体を垂直方向に上げて水面から上げようとすれば，浮力が働かなくなるから大きな力が必要だ．
d. 水と同じ比重の物体が水中に浮いているときは，垂直方向に加速するときと水平方向に加速するときとほぼ同じ力が必要だ．

I

第三法則は，“作用・反作用の法則”と呼ばれるものである．小さな物体と大きな物体が力を及ぼしあう例として，ネズミと象が相撲を取っているとしよう．

23. 以下の記述のうちで，第三法則を最も適切に表わしているものはどれか．

a. 象とネズミが押し合うとき，双方同じ力で押し合っている．
b. 象が寄り切って勝つであろうから，象のほうが余計に力を出している．
c. 負けたネズミの方が疲れており，より大きな力を出している．
d. 熱戦になって，押したり引いたりするとすれば，力の出し方は行きつ戻りつで一定しない．

次に，「エネルギー保存則」という概念を理解するために，ある時間間隔 Δt[s] ごとに，速度が一定分 b [m/s]だけ増加する運動を考え，初速度を v_0 [m/s]とする．時刻 $t=\Delta t$ [s] における速度は $v_1 = v_0 + b$ [m/s]となり，時刻 $t = 2\Delta t$ [s]では，$v_2 = v_0 + 2b$ [m/s]となる．一般に，時刻 $n\Delta t$ [s]のときの速度 v_n は $v_n = v_0 + nb$ [m/s]と表記できる．さらに，時刻 $t = n\Delta t$ [s] における物体の位置を x_n [m]とすると，x_n [m]と一つ前の時刻における位置 x_{n-1} [m] との差は，速度に時間間隔を掛けたものであるから，$x_n - x_{n-1} = v_{n-1}\ \Delta t$ [m]と書けることになる．これより，この差を n=1 から n まで辺々たしあわせることにより，時刻 $t = n\Delta t$ [s]における物体の位置 x_n [m] は，

$$x_n - x_0 = \alpha v_0 \Delta t + \beta b \Delta t$$

のような形になることが予想される．

24. 上の式で α として適当なものを選べ．

a. 0
b. $n-1$
c. n
d. $\frac{1}{n}$

一般に，1+2+3+⋯ +(k-1)+k を計算する際に，両端からたしていくことで，先頭から順番にたしていく場合に比べ，短時間で計算ができることが知られている．

25．上の式で β として適当なものを選べ．

a. $\dfrac{n(n-1)}{2}$

b. $\dfrac{n(n+1)}{2}$

c. n^2

d. $\dfrac{1}{n^2}$

次に，時間間隔 Δt [s]を小さくして連続的に加速することを考える．その際，単位時間当たりの加速度 $a = b/\Delta t$ [m/s^2] を一定とする．ここで，時間を $t = n\Delta t$ [s] とすると，初速度 $v_0 = 0$ [m/s]，一定加速度 a [m/s^2] の場合の位置に関する公式

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

が得られ，速度は

$$v(t) = v_0 + at$$

と表される．以上の考察の応用として，重力により加速する物体の運動を考える．鉛直上方に x 軸の正方向をとり，鉛直下方に重力 (加速度: g[m/s^2]) が働いているとすると，$a = -g$ とおくことにより，

$$\frac{v(t)^2}{2} + gx(t) = \frac{{v_0}^2}{2} + gx_0$$

が成立する．ここで，物体の質量を m [kg]とすると，

$$\frac{mv(t)^2}{2} + mgx(t) = \frac{m{v_0}^2}{2} + mgx_0$$

が導かれる．質量に速度の２乗を掛けて２で割ったものは運動エネルギーとよばれ，質量と高さと重力加速度を掛けたものは位置エネルギーと呼ばれる．上の式は，二つのエネルギーを足し合わせたものは常に一定であるという「エネルギー保存則」を表している．

落下した物体が，床と完全弾性衝突をする場合，衝突直前の速さと衝突直後の速さは同じである．しかし非弾性衝突では，衝突直後の速さは，直前の速さの e 倍となる．この定数 e をはねかえり係数（反発係数）とよぶ．$0<e<1$ であるとき，物体は衝突のたびにもとの高さには戻らず，やがて床の上に静止することになる．

26. 非弾性衝突の場合も，エネルギー保存則が成立すると考えると，はじめの物体の位置エネルギーはどのようなエネルギーに変わったのか．以下の記述の中から最も適当なものを選べ．

a. 地球全体の運動エネルギーに変わったのであり，この変化があまりにもわずかであるため一般には無視できる．
b. エネルギー保存則はある特殊な条件でしか成り立たず，これ自体は普遍性をもたない．
c. 床，物体，まわりの空気などの分子の熱運動のエネルギーに変わる．
d. 衝突した結果，跳ね上がった空気分子の位置エネルギーに変わる．

次に，バネの縮みによって重さを量る秤が板の上に載せられており，その秤に物体が載せられている場合を考える．今，板を急に外して秤ごと重力のもとに自由落下させた場合の，秤の上の物体の運動を考察する．

27. この運動に関する以下の記述の中で最も適当なものを選べ．

a. 物体は秤の上に付いたまま，一緒に自由落下する．
b. 物体は秤のバネの反発によって，秤から離れていく．
c. 物体はいったん秤から離れるが，また戻って秤にぶつかる．
d. 物体は秤の上に載ったまま，バネと一緒に振動する．

次に，振動や波動の現象について考えよう．音は空気の密度の変動が伝わっていく現象である．弦楽器の場合には弦の振動が，打楽器の場合には膜の振動が空気に密度変動を起こす．音の振動数（一秒間に振動する回数）が，一般に音の高さ（ドレミ… ）として認知される．

28. 弦楽器で，太い弦が低音を出す理由として，以下の記述のうち最も適当なものはどれか．

a. 太い線は，単位長さあたりの質量が大きいので低い音になる．
b. 太い線は曲がりにくいから，長い波長の低音となる．
c. 弦を強く引かなければならないから，長い波長の低音となる．
d. 太い弦では，弦の内部で低音が共鳴する．

もうひとつの振動波動現象として，光を挙げることができる．光は電磁波であり，真空中を伝播する．光の進行方向に対して電場は垂直方向を向いている．同じ進行方向と振動数をもつ光でも，電場の振動方向として互いに垂直な二つの方向が可能である．偏光板というのは，ある方向に振動する電場をもつ光だけを通すものである．

今 A，B，C の偏光板が三枚あり，A は水平方向に振動する電場の光を通し，B は鉛直方向に振動する電場の光を通し，C はその中間の斜めの方向に振動する電場の光を通すものとする．

29. 三枚の偏光板をどのような順番に並べれば光を通すか．

a. ABC
b. ACB
c. BAC
d. どのように並べても光は通さない．

30. 屈折する光に関する以下の記述のうち<u>不適切なもの</u>はどれか．

a. 光が空気中から水中に入ると，光の速さは空気中に比べ水中のほうが遅いので屈折する．
b. 凸レンズで物体が大きく見えるのは，光が屈折するからである．
c. 水中からの光は，屈折して波長を変えずに空気中に出てくる．
d. 川が浅く見えるのは，光の屈折のためである．

真空中で，面積 S [m^2]の 2 枚の電極板を距離 D [m]だけ離して設置した平行平板コンデンサを考える．ここで，両電極板にかかる電圧を V [V]，そのとき蓄えられる電気量を q [C]とすると，コンデンサの容量は $C = q/V$ [F]で与えられる．次にこのコンデンサに蓄えられている電気量を一定に保ったまま，面積 S [m^2]，厚さ d [m]の金属板を，コンデンサの 2 枚の電極板からはみ出さないように位置を合わせ，両電極板から等しい距離に挿入する．

31．金属板を挿入して得られたコンデンサ内の電界は，どのような状態になるか．以下の記述のうち正しいものを選べ．

a．金属板を挿入する前の電界の状態と変化がない．
b．金属板の内側にのみ電界が生じる．
c．金属板の外側にのみ電界が生じる．
d．金属板の内部と外部で異なった大きさの電界が生じる．

32．金属板を挿入して得られたコンデンサの容量はいくらになるか．以下の中から正しいものを選べ．

a．$\dfrac{2d}{(D-d)}C$

b．$\dfrac{d}{(D-d)}C$

c．$\dfrac{2D}{(D-d)}C$

d．$\dfrac{D}{(D-d)}C$

温度や圧力といった熱現象は，気象，料理，体温など日々の生活でしばしば経験するために，かえって誤解や不正確な言い方によって混乱を招くことも多い.

33. 熱の諸現象について，以下の記述の中で<u>不適切なもの</u>を選べ.

a. 圧力鍋で料理すると肉が軟らかくなるのは，高圧にして水の沸点を上昇させることにより，お湯のまま高温で調理できるからである.
b. 電子レンジに氷を入れ，スイッチを入れると，氷は一瞬で水蒸気に変わる.
c. 電熱器で発生した熱だけを使い再度発電し，その電気を使って電熱器を使い続けるということは不可能である.
d. スケートがよくすべるのは，圧力をかけると氷の融点が下がるからである.

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，もっとも適当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⊃　▬　⊂d⊃

以下の問題では，元素の原子量として次の値を用いよ.
水素：1.0　炭素：12.0　酸素：16.0　塩素：35.5

I

環境省が定めている「生活環境の保全に関する環境基準」で，水質汚染がどの程度であるかを示す指標の一つにCOD (Chemical Oxygen Demand・化学的酸素要求量)がある. CODは次のように定義される.

COD は水中に存在する有機物やその他の酸化可能物質を酸化剤で酸化するときに必要とする酸素の量を mg/l で表したものである.

この COD の値が大きいほど汚染物質が多いことを示す. COD の測定値は，酸化剤の種類と濃度，測定時の温度などの条件によって異なる. また，一定条件のもとでも有機物の種類と濃度によって異なる. 従って COD の値は，測定対象である被酸化物の内容や測定方法の違いによって異なるものであるが，同一条件下で求めた値を比較することで汚染の度合いを示すことができる. ここでは過マンガン酸カリウムを酸化剤とし，下記の手順で河川水の COD を滴定で求めることにする.

手順：

1) 検水 100 m*l* を 300 m*l* 三角フラスコに測りとり，濃硫酸を蒸留水で 3 倍に薄めた希硫酸溶液を 5 m*l* 加える．
2) 0.002 mol/*l* 過マンガン酸カリウム溶液を 10 m*l* 加える．
3) 三角フラスコを金網に乗せてバーナーで加熱し，5 分間沸騰させる．
4) 火からはずし，直ちに 0.005 mol/*l* シュウ酸ナトリウム溶液を 10 m*l* 加える．
5) 溶液の温度を 60℃から 80℃に保ちながら，ビュレットから 0.002 mol/*l* 過マンガン酸カリウム溶液を滴下して，溶液がわずかにピンク色になるまで滴定する．

試料溶液に，濃度がはっきり分かっている溶液を一定過剰量加え，反応が完了したのち残余量を滴定することによって試料濃度を求める方法を，「逆滴定」または「残余滴定」と呼ぶ．反応が遅く，過剰量を加えないと反応が完了しないときなどに用いられる．今回の実験では，逆滴定の原理を応用している．

41．COD を求めるために利用している化学反応はどれか．

A. $MnO_2 + 4\,H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$

B. $MnO_4^- + 4\,H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$

C. $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

D. $C_2O_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2C_2O_4$

E. $C_2O_4^{2-} \rightarrow 2\,CO_2 + 2\,e^-$

a. A と D
b. B と E
c. B と D
d. C と E

42. 手順 1 で希硫酸溶液 5 m*l* を測るのに最も適当な器具と理由はどれか.

A. あまり正確に体積を測る必要がないので

B. できるだけ正確に体積を測る必要があるので

C. メスシリンダーを使う

D. ホールピペットを使う

E. ビュレットを使う

a. A と C

b. A と E

c. B と C

d. B と D

43. 手順 4 で 0.005 mol/*l* シュウ酸ナトリウム溶液 10 m*l* を測るのに一番適当な器具と理由はどれか.

A. あまり正確に体積を測る必要がないので

B. できるだけ正確に体積を測る必要があるので

C. メスシリンダーを使う

D. ホールピペットを使う

E. ビュレットを使う

a. A と C

b. A と E

c. B と C

d. B と D

44. 各手順の結果観察される色の変化と実験の進め方として最も妥当な記述はどれか.

a. 手順２で試料溶液は赤紫になり，手順３で加熱すると色が消えたので，手順 4 でシュウ酸ナトリウム溶液を加え，無色のまま，手順５でわずかにピンク色になるまで滴定した.

b. 手順２で試料溶液は赤紫になり，手順３で加熱しても色の変化がなかったが，手順４でシュウ酸ナトリウム溶液を加えると無色になったので，手順５でわずかにピンク色になるまで滴定した.

c. 手順２で試料溶液は無色のままで，手順３で加熱しても色の変化がなかったが，手順４でシュウ酸ナトリウム溶液を加え，無色のまま，手順５でわずかにピンク色になるまで滴定した.

d. 手順２で試料溶液は無色のままで，手順３で加熱すると赤紫になったが，手順４でシュウ酸ナトリウム溶液を加えると無色になったので,手順５でわずかにピンク色になるまで滴定した.

45. ある検水を上記の手順で滴定した．手順 5 で 0.002 mol/*l* 過マンガン酸カリウム溶液を 7.0 m*l* 滴下したところ，溶液がわずかにピンク色になった．蒸留水 100 m*l* を検水と同じ手順をふんで滴定したときは，1 滴で溶液がわずかにピンク色になった．検水に含まれている被酸化物質の量は過マンガン酸カリウム何 mol に相当するか．最も近い数字を答えよ.

a. 0.5×10^{-5}

b. 1.0×10^{-5}

c. 1.5×10^{-5}

d. 3.0×10^{-5}

地球の大気が酸化的であるということは私達の生活に大きな影響を与えている．燃える，さびる，呼吸作用など，酸素と結びつく化学反応は私達の生活のどこにでも存在する反応であって，酸化反応とよばれている．しかし，「燃える」のは必ずしも酸素の中だけではない．塩素ガス中でもマグネシウムや鉄が「燃える」ことからすれば，酸化反応の定義はもっと広げて考えることができる．

46．次に示す６つの反応の内で酸化反応を含んでいるのはどれか．

A. $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$

B. $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$

C. $Br_2 + H_2O \rightarrow HBr + HBrO$

D. $SO_2 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_4$

E. $2KHCO_3 \rightarrow K_2CO_3 + CO_2 + H_2O$

F. $2Cu^+ \rightarrow Cu^{2+} + Cu$

a. A，C，F

b. A，D，E

c. B，C，E

d. B，D，F

47．次の反応式において正しい w，x，y，z の組み合わせはどれか．

$$Zn + wNO_3^- + xH^+ \rightarrow Zn^{2+} + yNO_2 + zH_2O$$

a. 1，2，1，1

b. 2，2，2，1

c. 2，4，2，2

d. 2，6，2，3

48. 電解質の溶液に電極を入れて電気エネルギーを与えると電極の表面で酸化還元反応が起こる．これが電気分解である．ファラデーは電子 1 mol の電気量は 96500 C であることを見出した．今，食塩水を白金電極を用いて電気分解したとする．流した電気量が 48250 C であったとして，この電気分解で発生する気体の総質量として最も近いのはどれか．

a. 17.8 g

b. 18.3 g

c. 35.5 g

d. 36.5 g

49. 原子から電子を取り去るとイオンとなる．イオン化エネルギーとは原子から電子を引き離して陽イオンとする変化に必要なエネルギーであって，電子を１個引き離す（$M \rightarrow M^{+} + e^{-}$）時に必要なエネルギーを第１イオン化エネルギーと言う．１価の陽イオンからさらに電子を取り去って２価の陽イオンにする（$M^{+} \rightarrow M^{2+} + e^{-}$）時に必要なエネルギーを第２イオン化エネルギーと言い，同様にして，第３イオン化エネルギー（$M^{2+} \rightarrow M^{3+} + e^{-}$），第４イオン化エネルギー（$M^{3+} \rightarrow M^{4+} + e^{-}$）などが定義される．

つぎの表は５つの元素 A, B, C, D, E のイオン化エネルギーのおよその値を示したものである．

表1　イオン化エネルギー（単位：kJ/mol）

	第1イオン化エネルギー	第2イオン化エネルギー	第3イオン化エネルギー	第4イオン化エネルギー
A	500	4600	6900	9500
B	740	1500	7700	10500
C	420	3100	4400	5900
D	590	1100	4900	6500
E	1500	2700	3900	5800

表1の数値をもとに，つぎの中から正しいものを選べ．

a.　BとDは原子に2000 kJ/molのエネルギーを与えた時に2価の陽イオンになる．

b.　原子から3価イオンにするのに必要なエネルギーが最も少ないのはEである．

c.　AとCは元素の周期表で同じ族に属している．

d.　BとDは元素の周期表で同じ周期に属している．

II

有機化合物の特徴は多様な構造と性質をもつ物質への変換が可能なことである．変換には様々な反応が利用される．反応と反応条件を選ぶ場合に鍵となるのは，有機化合物の構造の一部を成す二重結合や水酸基などの官能基の反応性である．官能基に対して反応する物質（これを試薬と呼ぶ）と温度，圧力，試薬の濃度，触媒などの条件を選ぶことにより多様な物質へと変換することができる．

例えば，解熱・鎮痛作用をもつアスピリンや，フィルムや容器への加工が可能なポリエチレンなどはアセチレンから，以下に示すような変換反応により合成される．

有機化合物の変換反応

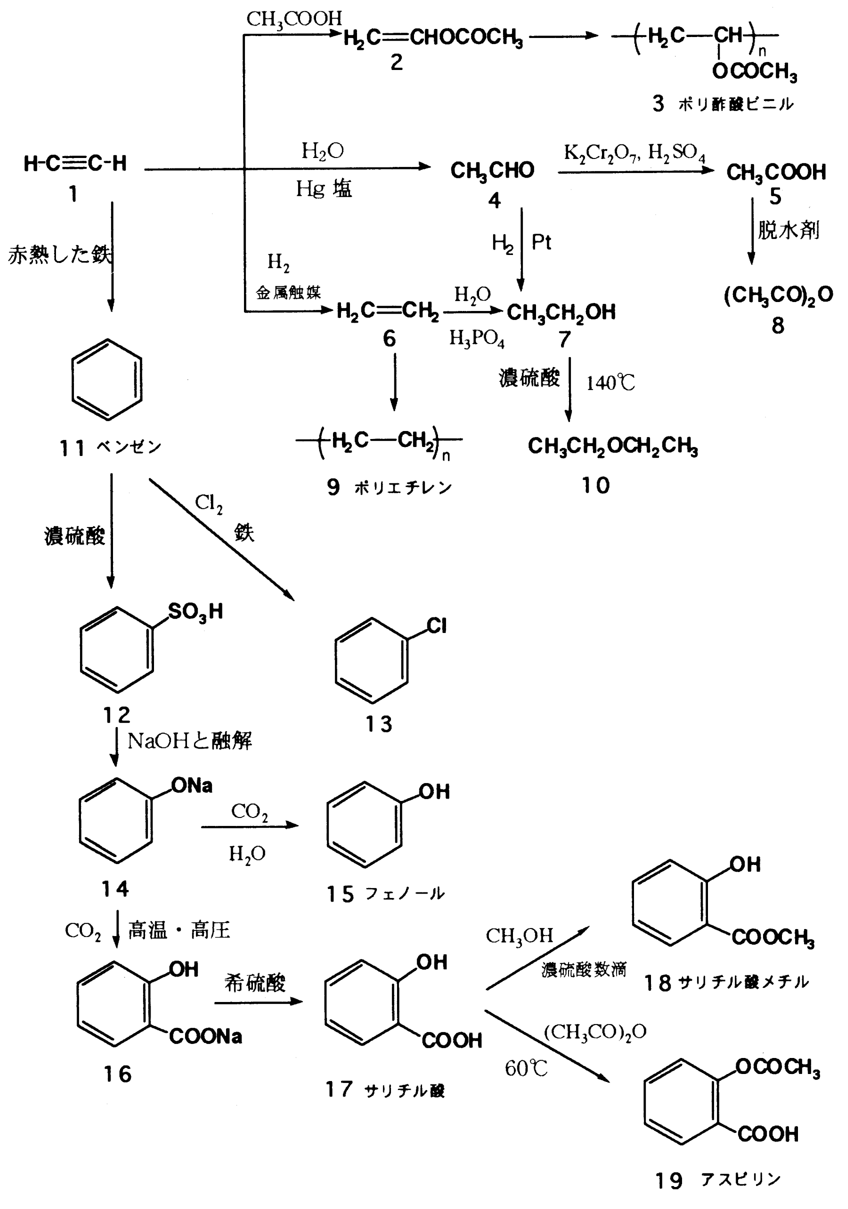


図 1

医薬品や工業製品を大量生産する場合には，石油，石炭などの天然資源から取り出せるエチレンやアセチレンなどが基本原料として用いられる．官能基の反応性を利用すれば任意の化合物への変換が可能なので種々の医薬品の合成や生体物質の変換も可能となる．つまり，構造変換の手段が有機化学反応といえる．左図はいくつかの有機化合物の変換反応例である（19 個の化合物と変換過程を示す矢印のそばに試薬と反応条件が示されている）．

50. この変換反応図の 19 個の化合物について次の中で正しいものはどれか．

a. 2 と 3 と 19 はエステルである．

b. 3 と 8 と 18 はエステルである．

c. 2 と 19 はエステルであるが，3 はエステルではない．

d. 3 と 8 はエステルであるが，18 はエステルではない．

51. 化合物 X から化合物 Y への変換反応を（X→Y）と表した時，次の中で正しい記述はどれか．

a. （1→2），（1→4），（11→13）は付加反応であり，（1→11），（6→9）は付加重合反応である．

b. （1→6），（4→5），（6→7）は付加反応であり，（6→9），（7→10）は付加重合反応である．

c. （1→4），（4→5），（11→13）は付加反応であり，（1→11），（7→10）は付加重合反応である．

d. （1→2），（1→6），（6→7）は付加反応であり，（2→3），（6→9）は付加重合反応である．

52. この変換反応図の 19 個の化合物の中で水溶液にした時に炭酸よりも強い酸性を示す化合物だけの組み合わせは次のどれか．

a. 5，12，15

b. 5，18，19

c. 15，17，18

d. 12，17，19

53. アセチレンの燃焼熱は 1309 kJ/mol，ベンゼンの燃焼熱は 3268 kJ/mol である．アセチレンをベンゼンに変換する時の反応熱はベンゼン 1 モルについて何 kJ か．

a.　220　kJ

b.　659　kJ

c.　1959　kJ

d.　3927　kJ

参考文献
化学便覧　基礎編Ⅱ(改訂4版)　日本化学会編　丸善　(1993)

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，もっとも適当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　(74)　⊂a⊃　⊂b⊃　▬　⊂d⊃

生物のからだは，いずれも細胞からできている．さまざまな生命現象は，一つ一つの細胞の働きにより行われているので，生物体を構成し，その生命を維持する基本単位は細胞である．細胞には原核細胞と真核細胞が知られている．生体細胞内では，複雑な化学反応がたえず行われており，生命活動に必要な有機物の同化と異化が行われている．現在の地球は大気に酸素を含み，数多くの生物が酸素を用て呼吸基質を分解する好気呼吸によってエネルギーを獲得している．好気呼吸のエネルギー生産では，もとになる糖類などの呼吸基質を酸化分解する経路，すなわち解糖系，クエン酸回路，電子 (水素) 伝達系を総合すると，グルコース 1 molから 38 molのATPが生産される．一方，酸素を用いないで呼吸基質を分解し，生命活動に要するエネルギーを生産する呼吸を嫌気呼吸という．

生体で利用されるエネルギー通貨はATPである．ATPがADPとリン酸に分解されるときに放出されるエネルギーは，さまざまな生命活動に使われる．細胞は周囲から半透性の細胞膜で隔てられている．細胞膜の両側に濃度の異なる溶液があるとき，受動輸送で物質が細胞内部に移動する場合がある．また細胞は必要に応じて特定の物質を積極的に，うすいところから濃いところへ，濃度勾配に逆らって吸収・排出する能動輸送を行うことが知られている．能動輸送はエネルギーを消費する．

ここでどの程度のエネルギーが必要なのかを考えてみよう．この濃度勾配に逆らって物質を輸送するのに必要なエネルギーは，次の式で算出できる．

$$\text{必要なエネルギー} = 2.303\,RT\log_{10}\frac{C_2}{C_1}$$

R：気体定数 = 8.31 [J/K・mol]
T：絶対温度 [K]
C_1：低濃度 [mol/l]
C_2：高濃度 [mol/l]

61. 細胞の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 原核細胞にも真核細胞にも核がある.
B. 真核生物はすべて多細胞生物である.
C. 原核生物も真核生物も遺伝子の本体はDNAである.

a. A，B，Cのいずれも正しい.
b. Aは正しいが，B，Cは誤り.
c. A，Bは誤りだが，Cは正しい.
d. A，B，Cすべて誤り.

62. 嫌気呼吸の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 嫌気呼吸にも好気呼吸に含まれる代謝経路がある.
B. 嫌気呼吸では二酸化炭素を発生しない.
C. 嫌気呼吸だけで生存できる生物はいない.

a. A，Bは正しいが，Cは誤り.
b. Aは正しいが，B，Cは誤り.
c. Aは誤りだが，B，Cは正しい.
d. A，B，Cすべて誤り.

63. グルコースのような物質の1モル(「グラム分子量」ともいう)を，細胞膜で隔てられた濃度 0.001 mol/l の場所から濃度 0.1 mol/l の場所へ輸送するのに必要なATPの量として，次のうちの最も近い値はどれか. この場合，温度は20°C，ATPがADPに分解されるときの『利用可能なエネルギー』を31 kJ/mol とする.

a. 0.05 mol
b. 1 mol
c. 50 mol
d. 1000 mol

I

好気呼吸を行う場合には酸素が細胞にたえず供給されねばならない．ヒトなどの場合には血液中に含まれるヘモグロビンによって酸素が効率よく運ばれる．セキツイ動物の赤血球に存在するヘモグロビンはタンパク質部分4分子と鉄を含むヘム4分子とが集まってできあがっており，ヘム分子がそれぞれ酸素分子と結合できる．ヘモグロビンは酸素と結合しやすく，また周囲の条件変化によって容易に酸素を離す性質を持っている．空気中には窒素や希ガスなどとともに、全体積の約1/5の酸素とわずかな二酸化炭素が含まれている．混合気体の中で，それぞれの気体が占める割合を圧力で表したものを分圧といい，水銀柱の高さを基準にした単位[mmHg]であらわすことが一般に行われている．酸素分圧が高くなると，酸素に結合するヘモグロビンの割合は大きくなる．酸素分圧と酸素に結合するヘモグロビンの割合との関係を示す曲線を酸素解離曲線という．図1にpH 7.4，37°C でのヒトの酸素解離曲線を示した．肺の中の典型的な酸素分圧は 104 mmHgであり，安静時，筋肉など身体の一般的組織での酸素分圧は40 mmHgである．

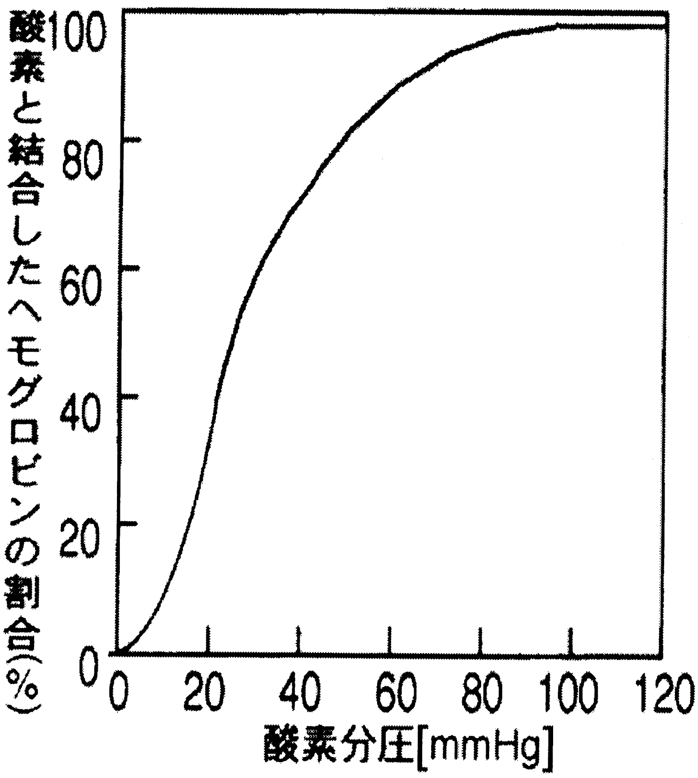


図1　酸素解離曲線

図1をもとにして，以下の問いに答えよ．

64. 肺で吸収された酸素が，安静時に身体の一般的組織に供給されているときの説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 肺ではヘモグロビンが酸素と結合しほぼ飽和状態を作っている.
B. 身体の一般的組織ではヘモグロビンの約30%が酸素を提供した.
C. 身体の一般的組織ではヘモグロビンの約50%が酸素と結合したままである.

a. A，は誤りだが，B，Cは正しい.
b. A，は正しいが，B，Cは誤り.
c. A，Bは誤りだが，Cは正しい.
d. A，Bは正しいが，Cは誤り.

65. 激しい運動の結果，身体の一般的組織での二酸化炭素の分圧が上昇すると，血液中でどのようなことが起こると予想されるか．正しいものの組み合わせはどれか.

A. 身体の一般的組織での二酸化炭素が増えるので，血液のpHが高くなる.
B. 身体の一般的組織での酸素分圧が下がり，酸素がヘモグロビンからさらに解離する.
C. 身体の一般的組織での二酸化炭素の分圧が高くなり，ヘモグロビンと酸素の結合が弱められる.

a. A，B，Cのいずれも正しい.
b. A，Bは正しいが，Cは誤り.
c. Aは誤りだが，B，Cは正しい.
d. A，B，Cすべて誤り.

66. 図1の曲線はS字型をしている．このことから，ヘム分子と酸素分子との間でどのようなことが起ると考えられるか．次の説明のうち，正しいものの組み合わせはどれか．

A. 酸素分子がヘモグロビンのヘム分子の一つ結合すると，残りの三つのヘム分子への次の酸素分子の結合が促進される．
B. ヘモグロビンが1分子のヘムしか含まなければ，S字型の曲線にはならない．
C. 血液の pH があがるとヘム分子と酸素との結合が弱まるので，解離曲線は低い方向に向かって移動する．

a. A，Bは正しいが，Cは誤り．
b. A，Bは誤りだが，Cは正しい．
c. Aは誤りだが，B，Cは正しい．
d. Aは正しいが，B，Cは誤り．

エネルギー生産のもとになる有機物は，独立栄養生物が作り出したものであり，従属栄養生物だけで構成される生態系は存在しない．現在の地球で，光合成や窒素同化を行う多くの植物が，二酸化炭素や硝酸塩などの無機物と水を吸収し，糖類やタンパク質などの同化産物を作り出して，いろいろな有機物を必要とする生命活動を可能にしている．植物が光合成を行って二酸化炭素から有機物を作り出すと同時に酸素を発生し，そのおかげで多くの生物が能率のよい好気呼吸によってエネルギー生産を行っている．地球の歴史を振り返ってみると，生命が誕生し進化を始めた35億年前ころの大気は，地球科学的なデータから水蒸気，二酸化炭素，一酸化炭素，窒素からなると推定されている．

酸素を発生しない光合成反応（非酸素発生型光合成）の存在も知られており，そのような光合成を行う生物は光合成細菌である．これらの細菌のすんでいる環境は光が比較的弱く嫌気的なところで，具体的には湖沼の比較的深い部分などである．海洋で光が届く層は水深600～1000mで，緑色植物による光合成が行われる十分な光のある水層はほぼ100mまでである．非酸素発生型光合成は，生物が酸素発生型光合成を獲得する以前に，光のあまり届かない海洋底で誕生したと考えられている．

67. 生物が酸素発生型光合成を獲得できたことにより，起ったと考えられることがらの説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 酸素ガスの発生により大気の成分組成が変化した.
B. 好気呼吸できる生物が大量に増殖し，生物多様性が増進した.
C. 化学合成細菌群が生態系で主な生産者になった.

a. Aは誤りだが，B，Cは正しい.
b. A，Bは誤りだが，Cは正しい.
c. A，Cは正しいが，Bは誤り.
d. A，Bは正しいが，Cは誤り.

68. 化学合成細菌の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 無機化合物の酸化によってエネルギーを得ているものがいる.
B. 硫化水素を硫黄にまで酸化してエネルギーを得ているものがいる.
C. 鉄やマンガンの還元型を利用してエネルギーを得ているものがいる.

a. A，B，Cはすべて正しい.
b. A，Bは正しいが，Cは誤り.
c. Aは正しいが，B，Cは誤り.
d. Aは誤りだが，B，Cは正しい.

69. 非酸素発生型光合成を行う細菌の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 緑色硫黄細菌や紅色硫黄細菌などがこれにあたる.
B. 水の代わりに硫化水素や水素分子を使うので，酸素発生がない.
C. 緑色植物と同じクロロフィルを持っている.

a. A，B，Cはすべて正しい.
b. A，Bは正しいが，Cは誤り.
c. A，Cは正しいが，Bは誤り.
d. Aは誤りだが，B，Cは正しい.

70. 非酸素発生型光合成の説明として，正しいものの組み合わせはどれか．

A. 酸素発生型光合成よりもエネルギーを獲得できる効率がよい．
B. いずれの光合成も，よく似た明反応系をもつ．
C. 宇宙からの強烈な紫外線が，地上に届く環境のもとで誕生した．

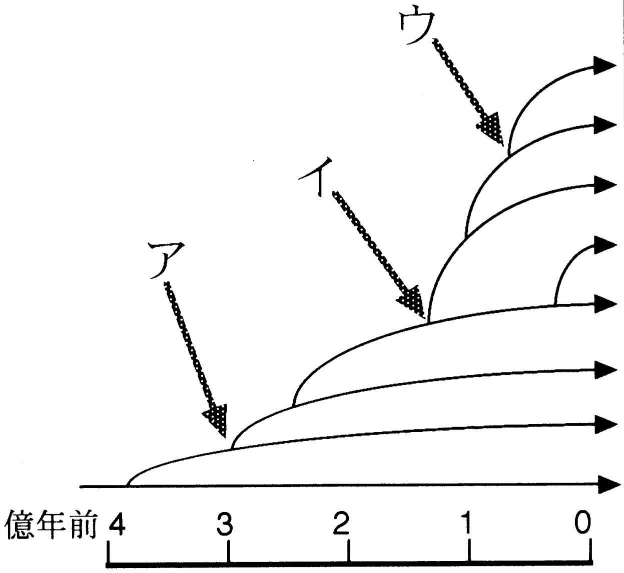
a. A，B，Cはすべて正しい．
b. A，Bは正しいが，Cは誤り．
c. Aは正しいが，B，Cは誤り．
d. Aは誤りだが，B，Cは正しい．

生物の初期進化を考えるうえで，最も長い歴史を持つ原核生物が重要な鍵をにぎっている．しかし，原核生物の化石を調べることは困難で，原核生物が歩んだ進化の過程をたどることは最近まで不可能だった．ところが，分子生物学とコンピュータの急速な発展により，化石に頼ることなく現在の生物の遺伝子を構成する核酸成分の並び方（＝塩基配列）の解析にもとづき，進化系統をたどることが可能になった．現存するすべての生物は共通の祖先から枝分かれ（系統分岐）して生じてきたと考えられる．なぜなら，現存するすべての生物の，遺伝暗号は基本的に共通で，遺伝子であるDNAの構成塩基として4種類を使っているからであり，また，現存するすべての生物が，現在知られている100種類以上のアミノ酸のうちから20種類を，機能タンパク質の構成部品として用いているからである．

生物の機能発現はタンパク質の立体構造により決められているが，このもとになるのはDNA分子が担う遺伝情報（塩基配列）である．生物個体のDNA塩基配列に置き換え(置換)などの突然変異が起こると，タンパク質の立体構造に反映される．その変化は生存に不利（消滅する），有利（繁栄する，だがめったに起らない）と，そのいずれでもない場合が考えられる．選択に対して有利でも不利でもない塩基置換（中立的な変異）の大部分は，生存には特に不都合はなく，集団の遺伝子の中に保持されたまま現在まで残る．このことは世代の長さや集団の大きさに無関係で，置換した塩基の割合が時間におおよそ比例した形で増してゆくことが期待でき，多くの事例で実際に確認されている．たとえば，ヒトとウマの祖先は，今から約8千万年前に分岐したと推定されるが，ヒトとウマのヘモグロビンを構成する141個のアミノ酸のうちで互いに違っているアミノ酸配列は18箇所である．

このように，生体を構成する高分子の塩基やアミノ酸配列を，複数の生物の種類で比較して作った系統樹（分子系統樹）から推定される進化の過程を，分子進化とよんでいる．

分子系統樹は，たとえばリボソームのようなすべての生物に普遍的に存在しているもので，その遺伝子に比較的一定の割合で塩基の置換が増してゆくものをもとにして作る．ここで，図2のような系統関係にある遺伝子をもとにつくられた，仮想的な分子系統樹を考えてみる（図2）．いま8種類の原核生物で，3つの表現型X，Y，Zに対応した遺伝子*x*，*y*，*z*について遺伝子の分布を調べた．表現型Yは生物「**い**」，「**ろ**」には存在するが，「**は**」，「**に**」，「**ほ**」，「**へ**」，「**と**」，「**ち**」にはみられなかったとすると，表現型Yが生物界に現れたのは約 1 億年前であったと推定できる．



種	表現型		
	X	Y	Z
い	-	+	+
ろ	+	+	+
は	+	-	+
に	+	-	-
ほ	+	-	-
へ	+	-	-
と	-	-	-
ち	-	-	-

図 2 仮想的な原核生物の分子系統樹.

表現型を持つ場合を **+**, 持たない場合を **-** で示す.

なお, 原核生物は半数体である.

71. 図2の矢印のア，イ，ウの分岐部分に記入する説明として適当なものはどれか.

A. 表現型Xが出現した.
B. 表現型Xが消失した.
C. 表現型Zが出現した.
D. 表現型Zが消失した.

a. ア=A，イ=C，ウ=B
b. ア=A，イ=B，ウ=C
c. ア=C，イ=A，ウ=D
d. ア=C，イ=D，ウ=A

72. 図2のそれぞれの系統の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 生物「**い**」は，この系統樹の種の中で一番新しい系統である.
B. 生物「**い**」～「**は**」は，生物「**へ**」の系統より進化した.
C. 生物「**ろ**」の系統が分岐する頃に，生物「**に**」の系統も分岐した.

a. Aは正しいが，B，Cは誤り.
b. A，Bは正しいが，Cは誤り.
c. A，Cは誤りだが，Bは正しい.
d. A，Bは誤りだが，Cは正しい.

73. 現在生きている生物を対象に進化を考える分子進化の説明として，正しいものの組み合わせはどれか.

A. 起源が古い物質や現象がより広く生物に分布している.
B. 生物を構成する高分子の構造を比較している.
C. その分子をもつ生物の進化の過程や機構を示している.

a. A，B，Cはすべて正しい.
b. A，B，は正しいが，Cは誤り.
c. Aは正しいが，B，Cは誤り.
d. Aは誤りだが，B，Cは正しい.

参考文献

Bengtson, S. (ed). Early Life on Earth, Columbia University Press, New York. (1994)