

受験番号

●	●	●	●	●	●
---	---	---	---	---	---

自然科学

問題冊子

指 示

合図があるまでは絶対に中を開けないこと

1. この試験は、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となります。
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。
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. もし何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、監督者に聞いてください。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」を解答カードの定められたところに忘れずに書き入れること

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

複素数は 2 次方程式の解を表現するために実際的に必要であり、高校で教えられている。しかし、虚数という言葉に見られるように、その実在が数学者にとって一般的となったのは約 200 年前であった。

a, b を実数とすると、複素数 $\alpha = a + bi$ は平面上の点 (a, b) と対応させることができる。この平面を複素数の平面という。ここで、 i は虚数単位であり、 $i^2 = -1$ を満たす。

複素数 $\alpha = a + bi$ に対して、

$$\bar{\alpha} = a - bi$$

を α の複素共役という。すると、 $\bar{\bar{\alpha}} = \alpha$ は、 α が実数であることを意味する。

1. 実数係数の多項式 $f(x)$ において、 x に i を代入すると $f(i) = 1 - \sqrt{2}i$ であるとき、 $f(x)$ を $x^2 + 1$ で割った余りは次のどれか。

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

ところで、1 の 3 乗根は方程式 $x^3 - 1 = 0$ の解であるが、

$$x^3 - 1 = (x - 1)(x^2 + x + 1)$$

と因数分解できるので、実数でない解は方程式 $x^2 + x + 1 = 0$ の解である。そのうちの 1 つを $\omega = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}$ とおく。このとき、 $\omega^2 + \omega + 1 = 0$ が成り立つことに注意する。

2. 実数係数の多項式 $f(x)$ において, x に ω を代入すると $f(\omega) = 2 + \sqrt{3}i$ であるとき, $f(x)$ を $x^2 + x + 1$ で割った余りは次のどれか.

- a. $2x + 3$
- b. $2x - 3$
- c. $\sqrt{3}x + 2$
- d. $\sqrt{3}x - 2$

3. 分数式 $\frac{x^{10} - 1}{x - 1}$ において, x に ω を代入したときの値は次のどれか.

- a. 0
- b. 1
- c. ω
- d. ω^2

複素数 $\alpha = a + bi$ に対して, α の絶対値 $|\alpha|$ を $|\alpha| = \sqrt{\alpha\bar{\alpha}} = \sqrt{a^2 + b^2}$ で定義する. 絶対値が 1 である複素数は, 適当な実数 θ を用いて $\cos \theta + i \sin \theta$ と表示される.

4. $\omega = \cos \theta + i \sin \theta$ となる θ ($-\pi \leq \theta < \pi$) は次のどれか.

- a. $\frac{\pi}{3}$
- b. $\frac{2\pi}{3}$
- c. $-\frac{\pi}{3}$
- d. $-\frac{2\pi}{3}$

三角関数の加法定理により

$$\begin{aligned}(\cos \theta + i \sin \theta)(\cos \theta' + i \sin \theta') &= \cos \theta \cos \theta' - \sin \theta \sin \theta' + i(\sin \theta \cos \theta' + \cos \theta \sin \theta') \\ &= \cos(\theta + \theta') + i \sin(\theta + \theta')\end{aligned}$$

となるので, 複素数に $\cos \theta + i \sin \theta$ をかけることは複素数の平面上で, 原点を中心とする角 θ の回転に他ならない. ただし, 正の角の回転の向きは反時計回りとする. 特に, $\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}$ すなわち i をかけることは複素数の平面上で原点を中心とする角 $\frac{\pi}{2}$ の回転である.

5. 複素数 α に対して, $\alpha' = \alpha\omega$, $\alpha'' = \alpha'\omega$ とおく. このとき, $\alpha + \alpha' + \alpha''$ の値は次のどれか.

- a. 1
- b. 0
- c. -1
- d. ω

複素数 $\alpha = a + bi$ に対して, a, b をそれぞれ α の実部, 虚部という. 0 ではない 3 つの相異なる複素数 α, β, γ に対して, 複素数の平面上において, α, β を結ぶ線分と α, γ を結ぶ線分とが直交することは, 適当な実数 k について

$$\gamma - \alpha = ik(\beta - \alpha)$$

となることを意味する. これを言い換えると, $\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}$ の実部 = 0 である.

6. $\frac{\gamma - \alpha}{\beta - \alpha}$ の実部 = 0 を言い換えたものは次のどれか.

- a. $(\bar{\alpha}\gamma - \bar{\beta}\gamma - \bar{\alpha}\beta)$ の実部 = $|\alpha|^2$
- b. $(\bar{\alpha}\gamma - \bar{\beta}\gamma - \bar{\alpha}\beta)$ の実部 = $-|\alpha|^2$
- c. $(\bar{\beta}\gamma - \bar{\alpha}\gamma - \alpha\bar{\beta})$ の実部 = $|\alpha|^2$
- d. $(\bar{\beta}\gamma - \bar{\alpha}\gamma - \alpha\bar{\beta})$ の実部 = $-|\alpha|^2$

参考文献

エビングハウス 他, 「数」(上・下), シュプリンガー・フェアラーク東京, (1991)
(特に上巻第 3 章, 複素数).

II

関数 $y = |x|$ は, $x \geq 0$ のとき $y = x$, $x < 0$ のとき $y = -x$ である. このことを,

$$y = |x| = \begin{cases} x & (x \geq 0) \\ -x & (x < 0) \end{cases}$$

と表す.

7. $y = |x|$ のグラフに関する記述として正しいものは次のどれか.

- a. $y = |x|$ のグラフは x 軸に関して対称である.
- b. $y = |x|$ のグラフは y 軸に関して対称である.
- c. $y = |x|$ のグラフは原点に関して対称である.
- d. $y = |x|$ のグラフは直線である.

実数 p, q に対して, 集合 $\{x \mid p \leq x \leq q\}$ を区間と言い, $[p, q]$ と書く. また, 区間 $[p, q]$ に対して, 関数

$$y = \begin{cases} 0 & (x < p) \\ 1 & (p \leq x \leq q) \\ 0 & (x > q) \end{cases}$$

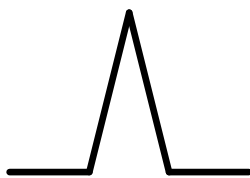
を $[p, q]$ の定義関数と言い, $y = I_{[p, q]}(x)$ と書く. 関数 $F(x)$ を $F(x) = I_{[0, \frac{1}{2}]}(x) - I_{[\frac{1}{2}, 1]}(x)$ と定義する.

8. $y = F(x)$ のグラフの概形として最も適切なものは次のどれか.

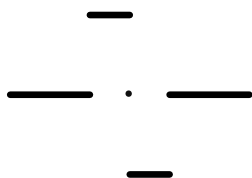
a.



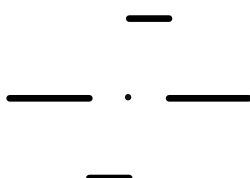
b.



c.



d.



9. $y = F(x)$ のグラフに関する記述として正しいものは次のどれか.

- a. $y = F(x)$ のグラフは x 軸に関して対称である.
- b. $y = F(x)$ のグラフは y 軸に関して対称である.
- c. $y = F(x)$ のグラフは原点に関して対称である.
- d. $y = F(x)$ のグラフは点 $(\frac{1}{2}, 0)$ に関して対称である.

2つの関数 $f(x)$ と $g(x)$ に対して,

$$\langle f(x), g(x) \rangle = \int_0^1 f(t)g(t) dt$$

と定める. 例えば, $g(x) = 1$ (定数関数) ならば,

$$\langle f(x), g(x) \rangle = \langle f(x), 1 \rangle = \int_0^1 f(t) \cdot 1 dt = \int_0^1 f(t) dt$$

である.

10. $\langle F(x), 1 \rangle$ の値は次のどれか.

- a. 2
- b. 1
- c. 0
- d. -1

整数 j, k が $j \geq 0, 0 \leq k \leq 2^{2j} - 1$ を満たすとする. 関数 $F_{j,k}(x)$ を

$$F_{j,k}(x) = 2^j F(2^{2j}x - k)$$

と定める.

11. 正しくないものは次のどれか.

- a. $x < 0$ または $x > 1$ ならば $F_{j,k}(x) = 0$ である.
- b. $2^{-2j}k \leq x \leq 2^{-2j}(k+1)$ ならば $F_{j,k}(x) \neq 0$ である.
- c. $F_{j,k}(x) \neq 0$ ならば $0 \leq x \leq 1$ である.
- d. $F_{j,k}(x) > 0$ ならば $2^{-2j}k \leq x < 2^{-2j}\left(k + \frac{1}{2}\right)$ である.

12. 正しくないものは次のどれか. ただし, m, n は整数で, $m \geq 0, 0 \leq n \leq 2^{2m} - 1$ を満たすとする.

- a. $\langle F_{j,k}(x), F_{j,k}(x) \rangle = 1$
- b. $k \neq n$ ならば $\langle F_{j,k}(x), F_{j,n}(x) \rangle = 0$
- c. $j \neq m$ ならば $\langle F_{j,k}(x), F_{m,n}(x) \rangle = 0$
- d. $0 \leq x \leq 1$ ならば $F_{j,k}(x) \neq 0$

関数 $f_1(x)$ を $f_1(x) = x$ と定める.

13. $\langle f_1(x), F_{j,k}(x) \rangle$ の値は次のどれか.

- a. 2^{-4j-2}
- b. -2^{-4j-2}
- c. 2^{-3j-2}
- d. -2^{-3j-2}

$F_{j,k}(x) = 2^j F(2^{2j}x - k)$ はハール基底と呼ばれ, ウェーブレットの1つである. ウェーブレット理論は, 画像を圧縮する技術に応用されている.

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 ☐ a ☐ b ☒ c ☐ d

I

浮沈子（ふちんし）と呼ばれるおもちゃがある。図1のように、浮沈子を水の入ったペットボトルに入れて、栓をしたボトルを手で握ったり離したりすると、中の浮沈子が浮いたり沈んだりする。このおもちゃの原理を考えてみよう。

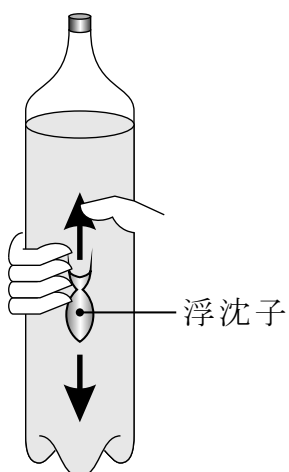


図 1

実際の浮沈子には魚の形など、さまざまな形状があるが、ここでは図2のように、高さ H 、体積 V_0 の円すい形に単純化しよう。浮沈子は、側面、底面ともに厚さの無視できる薄い素材でできており、内部は空洞になっている。底面は、質量 m の重い素材でつくられ、おもりの役目をするが、十分軽い素材でつくられた側面の質量と浮沈子内の空気の質量は無視できる。これらの素材は硬く、浮沈子は変形しないものとする。底面の中心には小さな穴を開けてあり、この底面を下にして、浮沈子を十分な深さのある水槽の中に入れる。水槽には密度 ρ の水が入っている。水の密度は深さによらず一定とする。浮沈子は水の中でひっくり返ることなく、常に底面が下になるものとする。また、浮沈子や水槽の熱伝導率は十分に高いとして、この実験を通して温度は常に一定に保たれるとする。以下では重力加速度を g とする。ただし、気体は理想気体とし、気体が水に溶解することによる気体の圧力や体積の変化は無視できるものとする。

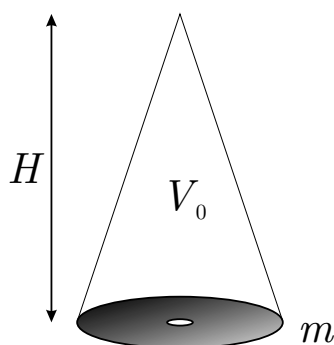


図 2

はじめに, 気圧 P_0 の実験室内で, 浮沈子の底面の穴を質量の無視できる薄いテープでふさいで密閉したものを水槽の中に入れてみよう. すると, 図3のように, 先端が $\frac{1}{5}H$ だけ水面から出た状態で静止した. 一般に, 水中の物体は, その物体が押しのけた体積の水に働く重力の大きさに等しい浮力を受けることが知られている. これをアルキメデスの原理という.

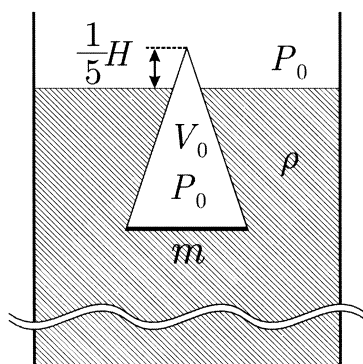


図 3

21. 浮沈子の質量 m の値として正しいものは次のどれか.

- a. $\frac{1}{125} \rho V_0$
- b. $\frac{1}{5} \rho V_0$
- c. $\frac{4}{5} \rho V_0$
- d. $\frac{124}{125} \rho V_0$

次に、底面の穴をふさいでいたテープをはずして、浮沈子の中に水が入りできるようにする。この浮沈子を手でゆっくりと水中に沈めていくと、あるところで静止する深さがあつた。図4のように、浮沈子内の気体の最下部と水槽の水面との距離を d_1 とおく。このときの浮沈子内の気体の体積を V_1 、圧力を P_1 として、以下の手順で d_1 の値を求めよう。

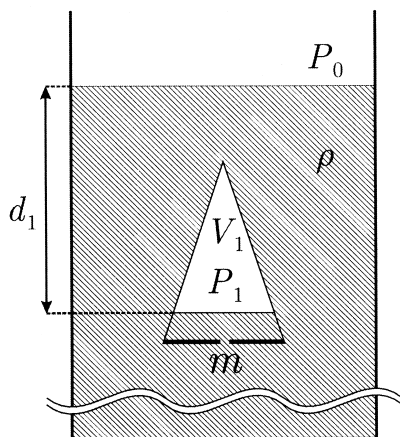


図 4

22. 体積 V_1 の値として正しいものは次のどれか。

- a. V_0
- b. $\frac{m}{\rho}$
- c. $V_0 - \frac{m}{\rho}$
- d. $\frac{1}{2} \left(V_0 + \frac{m}{\rho} \right)$

23. 圧力 P_1 の値として正しいものは次のどれか.

- a. P_0
- b. $\frac{V_0}{V_1} P_0$
- c. $\frac{V_1}{V_0} P_0$
- d. $\left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\frac{3}{2}} P_0$

24. $P_1 - P_0$ の値を d_1 を用いて表わしたとき, 正しいものは次のどれか.

- a. $\rho d_1 g$
- b. $\rho (d_1 - H) g$
- c. $\rho \left(d_1 + \frac{1}{5} H\right) g$
- d. $\rho \left(d_1 - \frac{1}{5} H\right) g$

25. 問 21-23 で求めた値を用いれば, $P_1 = \frac{125}{124} P_0$ であることがわかる. このとき, d_1 の値として正しいものは次のどれか.

- a. $\frac{1}{124} \frac{P_0}{\rho g}$
- b. $\frac{125}{124} \frac{P_0}{\rho g}$
- c. $\frac{1}{124} \frac{P_0}{\rho g} + \frac{1}{5} H$
- d. $\frac{1}{124} \frac{P_0}{\rho g} + H$

次に, 図4のように静止した浮沈子を手で固定したまま, 実験室内の気圧を P_0 から $P_0 + \Delta P$ ($\Delta P > 0$) に上げた. それから, 浮沈子を手で支えながら水の中を移動させると, あるところで静止する深さがあった. 図5のように, 浮沈子内の気体の最下部と水槽の水面との距離を d_2 とおく.

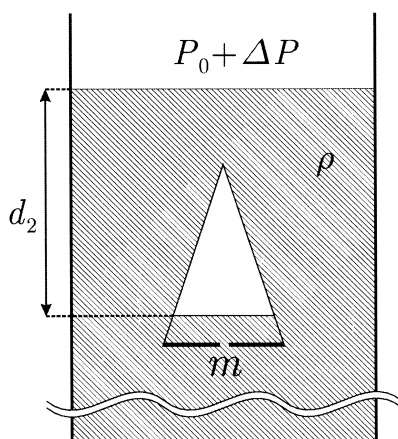


図 5

26. $d_2 - d_1$ の値として正しいものは次のどれか.

- a. $\frac{1}{124} \frac{\Delta P}{\rho g}$
- b. $\frac{\Delta P}{\rho g}$
- c. $-\frac{1}{124} \frac{\Delta P}{\rho g}$
- d. $-\frac{\Delta P}{\rho g}$

今度は, 図4のように静止した浮沈子を 固定せずに, 実験室内の気圧を P_0 から $P_0 + \Delta P$ ($\Delta P > 0$) に上げた.

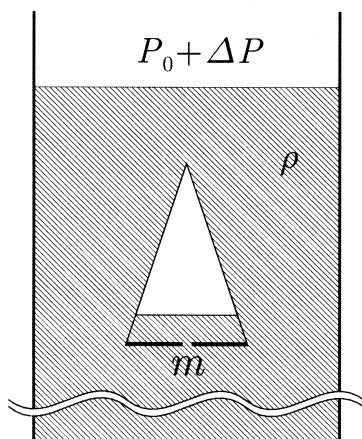


図 6

27. このとき, 浮沈子はどのように運動するか. 正しいものは次のどれか.

- a. 上へ向かって水面に達するまで浮かび続ける.
- b. 上へ向かって浮かび, 図5の d_2 に達したところで静止する.
- c. 下へ向かって水槽の底に達するまで沈み続ける.
- d. 下へ向かって沈み, 図5の d_2 に達したところで静止する.

このように, 圧力に伴う気体の体積の変化によって, 浮沈子の浮力は変化し, 浮いたり沈んだりするのである. 実際に, 魚は体内の浮き袋の体積を変化させることによって, 浮沈子と同じ原理で浮かびあがったりもぐったりしている.

II

以下の問いでは、必要に応じて次の公式を用いてよい.

半径 R の球の表面積は $4\pi R^2$ である.

$|x|$ が 1 より十分小さいとき, $(1+x)^{\frac{1}{4}} \doteq 1 + \frac{1}{4}x$ と近似できる.

あらゆる物体は光を放射している. すべての波長の光を吸収・放射できる理想的な物体を考えると, その表面から単位面積 (ここでは 1 m^2), 単位時間 (ここでは 1 s) 当りに放射されるエネルギー I [$\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$] が, その物体の温度 T [K] の 4 乗に比例することが知られている.

$$I = \sigma T^4$$

これは, ステファン-ボルツマンの法則と呼ばれ, σ はステファン-ボルツマン定数と呼ばれる定数である.

ステファン-ボルツマンの法則は, きわめて広い応用範囲を持っている. ここでは, この法則を太陽や地球に適用して以下の計算を試みよう.

まず, 太陽の表面温度 T_1 [K] を求めてみよう. 地球の軌道上で, 単位面積に垂直に入射する単位時間当たりの太陽光のエネルギー量を P [$\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$] とする. 地球と太陽の平均距離を D とし (図 7), 太陽から地球までの間で光がさえぎられることなく届き, 太陽は全方向に等方的に光を放射しているとする. このとき, 太陽から放射される総エネルギー L [J/s] は, $L = (\text{ア})$ と計算される. 太陽を半径 R_1 の球体とすると太陽表面の面積 $S_1 = 4\pi R_1^2$ であるから, 太陽表面の単位面積当たり $I = \frac{L}{S_1}$ のエネルギーの流れがあることになる. ここでステファン-ボルツマンの法則 $I = \sigma T^4$ を適用すると, 太陽表面の温度 $T_1 = (\text{イ})$ と求められる. このような方法で計算した太陽表面の温度 5780 K は, 他の方法で求めた太陽表面の温度とよく一致する.

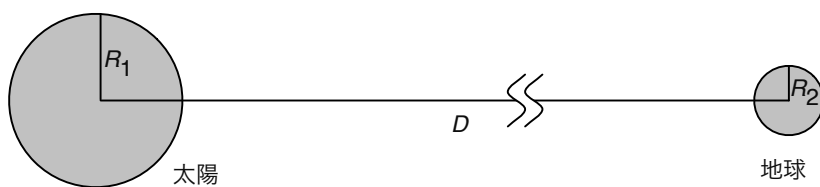


図 7

28. 文中（ア）に入る値として適切なものを選べ.

- a. $\frac{4\pi}{3}D^2P$
- b. $4\pi D^2P$
- c. $\frac{4\pi}{3}D^3P$
- d. $4\pi D^3P$

29. 文中（イ）に入る値として適切なものを選べ.

- a. $\left(\frac{P}{\sigma} \cdot \frac{D}{R_1}\right)^{\frac{1}{4}}$
- b. $\left\{\frac{P}{\sigma} \left(\frac{D}{R_1}\right)^2\right\}^{\frac{1}{4}}$
- c. $\left(\frac{4\pi P}{\sigma} \cdot \frac{D}{R_1}\right)^{\frac{1}{4}}$
- d. $\left\{\frac{4\pi P}{\sigma} \left(\frac{D}{R_1}\right)^2\right\}^{\frac{1}{4}}$

次に、地球に対してステファン-ボルツマンの法則を適用してみよう。地球は大気に包まれているので、地表ではなく、大気の外表面の温度について議論する。ただし、以下の計算では、大気の厚みは地球の半径に比べて無視してよい。地球が太陽から受けたエネルギーは大気や海で様々な形で運ばれ、地球全体に分配される。そして最終的には、受けた光よりも波長がずっと長い赤外線として宇宙に放射される。受け取ったエネルギー量と同じだけのエネルギー量を放射することでバランスがとられ、地球全体の平均温度はほぼ一定となっている（エネルギーを放射しなかったら、地球の温度はどんどん上昇してしまう）。そのエネルギー収支から平均温度を計算することができる。

地球はほぼ完全な球体であり、また太陽からの光は地球の位置ではほぼ平行光として届くから、 R_2 を地球の半径とすると、地球が太陽エネルギーを受ける断面積は πR_2^2 である（図 8）。先に述べた地球軌道での太陽光エネルギー P のうち、一部は地球によって反射される（そのため、宇宙からみた地球は輝いている）。ここでは、その反射率 r を 30% とする。地球が受け取る太陽光エネルギーを地球表面積 ($4\pi R_2^2$) で割り算し、単位面積当たりのエネルギー E を計算すると $E = (\text{ウ})$ となる。地球大気の外表面の平均温度を T_2 とする。ステファン-ボルツマンの法則を適用し、 $\sigma T_2^4 = E$ を解くと $T_2 = 255\text{K}$ すなわち -18°C が得られる。地表近くでの平均気温は 15°C 前後でありこれよりもっと暖かいが、これは水蒸気や二酸化炭素などが地表から放射された赤外線を吸収して再放射するという温室効果のためであり、もし温室効果がなかったら地球は氷の世界である。

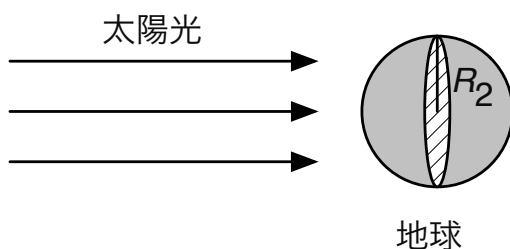


図 8

30. 文中（ウ）に入る値として最も適切なものを選び.

- a. $0.075P$
- b. $0.18P$
- c. $0.25P$
- d. $0.53P$

ここで太陽からのエネルギー量の変化が地球の気温にどのように影響するかをみてみよう. 太陽から来るエネルギーが $1+x$ 倍 ($|x|$ は 1 より十分小さいとする) に変化したとする. $\sigma T_2^4 = E$ より, 地球大気の外表面温度の変化 ΔT_2 ($|\Delta T_2|$ は T_2 より十分小さい) として, $\Delta T_2 =$ (エ) を導くことができる.

31. 文中（エ）に入る値として, 適切なものは次のどれか.

- a. $\frac{1}{4}xT_2$
- b. $\frac{1}{2}xT_2$
- c. $2xT_2$
- d. $4xT_2$

太陽活動は約 11 年周期で変動していることが知られており, これに伴って太陽光強度も 0.1% 程度の変動をしている. これにより, 地球大気の外表面温度も変動していると考えられる. これが地表における平均気温の変動にどのように影響するかは非常に複雑な過程であるために一概には言えないが, 0.1°C 程度の変化をもたらしているのではないかと議論されている. このように, 地球の平均温度は太陽から届く光量に影響を受けるわけであるが, 先の計算では 30% とした地球の反射率は実際には一定ではなく, 人間による開発や伐採, 雲の増減や降雪, 砂漠化など, 様々な要因により変化する. 反射率が変化すると太陽から来る光エネルギー量が変わったのと類似の効果をもたらす, 地球の気温を変化させることになる.

32. 地球の反射率が $r \rightarrow r'$ と変化した場合の、地球大気の外表面での温度変化を $T_2 \rightarrow T'_2$ と表すと、 $\left(\frac{T'_2}{T_2}\right)^4$ の値として正しいものは次のどれか。

- a. $\frac{r}{r'}$
- b. $\frac{r'}{r}$
- c. $\frac{1-r}{1-r'}$
- d. $\frac{1-r'}{1-r}$

33. 地球の反射率が 30% から 29% に減少すると、地球大気の外表面での温度変化はどの程度になると考えられるか。次のうち最も適切なものを選べ。

- a. 約 0.1 K の減少
- b. 約 1 K の減少
- c. 約 0.1 K の増加
- d. 約 1 K の増加

参考文献

朝永振一郎, 「物理学とはなんだろうか」, 岩波書店, (1979) (第 1 章).

“Solar variability: striking a balance with climate change”, NASA Mission News (2008),

http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/solar_variability.html

「太陽活動周期が気候変動に与える影響を NASA が測定 (米国)」,

NEDO 海外レポート No.1023, 2008, <http://www.nedo.go.jp/content/100105440.pdf>

化 学

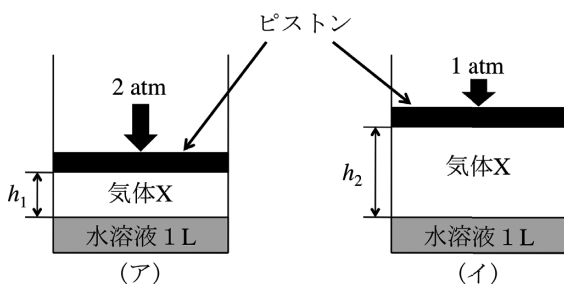
問題(41 - 53)には、それぞれ a, b, c, d の 4 つの答えが与えてあります。各問題につき、a, b, c, d の中から、もっとも適切と思う答えを一つだけ選び、解答カードの相当欄にあたる a, b, c, d のいずれかのわくの中を黒くぬって、あなたの答えを示しなさい。

例 ☐ a ☐ b ☒ c ☐ d

I

ぬるくなった炭酸飲料の栓を開けると中身があふれ出ることがある。これは温度上昇にともなって、溶質である CO_2 の溶解度（ある一定量の溶媒に、溶質が溶解する限度）が小さくなったためである。一般に、一定量の溶媒に溶け込む気体の質量は一定温度のもとでは、その気体の圧力（混合気体の場合には分圧）に比例する。これをヘンリーの法則という。

41. メタンは天然ガスの主成分である。20℃, 1 atm で、水 1 kg あたりメタンの溶解度が 0.02 g だとすると、同じ温度、20 atm で 10 kg の水に溶解するメタンの量としてもっとも近いものは次のうちどれか。
- a. 0.04 g
 - b. 0.4 g
 - c. 4 g
 - d. 40 g
42. 40℃, 1 atm で水 1 L あたり気体 X の溶解度は α g である。(ア)に示すように 10 α g の気体 X を 40℃の水が 1 L 入っている容器に入れ、ピストンに圧力を 2 atm かけた。平衡状態に達したとき、ピストンの高さ(h_1)は 80 mm であった。次に、(イ)のように圧力を 1 atm に減らした。反応系が平衡状態に達したとき、ピストンの高さ(h_2)は何 mm か。次のうちもっとも近いものはどれか。ただし気体 X の水への溶解はヘンリーの法則に従うものであり、温度、水の蒸気圧、気体 X の溶解にともなう水溶液の体積変化、ピストンの質量および摩擦は無視する。



- a. 90 mm
- b. 160 mm
- c. 180 mm
- d. 200 mm

II

43. 80°C に熱した鉄のかたまり (比熱は $0.50 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$) を 25°C の水 130 g に素早く入れた. これにより水の温度は 28°C になった. 鉄のかたまりの質量は何 g か. 次のうちもっとも近いものを選び. ただし水の比熱は $4.2 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ とする.

- a. 15 g
- b. 32 g
- c. 63 g
- d. 126 g

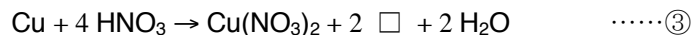
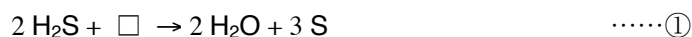
44. 元素 A, D, E の酸化数が, それぞれ +2, +5, -2 であるとき, 元素 A, D, E で構成される化合物の化学式として, 適当なものを選び.

- a. A_2DE_6
- b. AD_2E_6
- c. AD_5E
- d. A_3DE_4

45. 以下に示す数字は金属元素の電子配置を K 殻, L 殻, M 殻, N 殻の順に表している. これら電子配置で示される金属元素の中で, もっともイオン化エネルギーが小さいものはどれか. 該当する金属元素の電子配置を以下の中から選べ.

- a. 2, 8, 8, 1
- b. 2, 8, 8, 2
- c. 2, 1
- d. 2, 2

46. 以下に示す，気体が関与する4つの化学式（関与する気体は□で表記している）に関して記した文1）～6）について，正誤を正しく表している組み合わせを選べ．



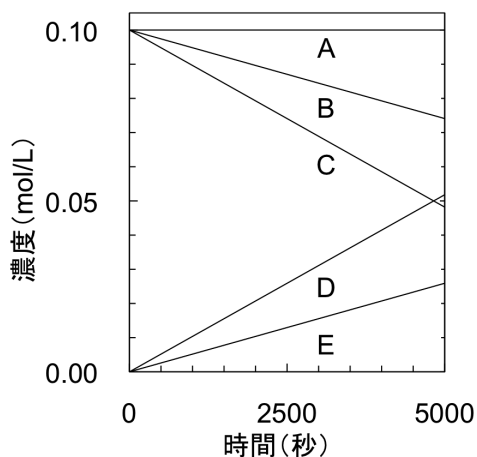
- 1) ①では **S** 原子が還元される反応が起きている．
- 2) ①では **S** 原子が酸化される反応が起きている．
- 3) ②では **Cl** 原子が酸化される反応が起きている．
- 4) ③では **Cu** 原子が還元される反応が起きている．
- 5) ③では **N** 原子が還元される反応が起きている．
- 6) ④では **Si** 原子が酸化される反応が起きている．

	1)	2)	3)	4)	5)	6)
a.	誤	誤	正	正	誤	誤
b.	誤	正	誤	正	誤	正
c.	正	誤	誤	誤	正	誤
d.	正	正	誤	誤	正	誤

III

白金を電極として、以下の物質の 0.1 mol/L 水溶液 1 L に 1 A の直流電流を流す実験を行った。以下の問いに答えよ。ただしファラデー定数を $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。
使用した物質：AgNO₃, KI, NaOH, CuSO₄

47. 気体の発生がみられた電極の組み合わせは以下のうちどれか。
- AgNO₃ 水溶液の 陰極 と NaOH 水溶液の 陽極
 - CuSO₄ 水溶液の 陰極 と AgNO₃ 水溶液の 陽極
 - NaOH 水溶液の 陰極 と KI 水溶液の 陽極
 - KI 水溶液の 陰極 と CuSO₄ 水溶液の 陽極
48. 図中の直線 A~E は、電流を通じた時間と 4 種類の水溶液中の主なイオンの濃度の関係を示している。これらに関する以下の文のうち、正しいものはどれか。ただし濃度が 0.001 mol/L 以下のものは描かれていない。



- AgNO₃ 水溶液中の主なイオンの濃度は A, C, D のように表される。
- KI 水溶液中の主なイオンの濃度は A, B, D のように表される。
- NaOH 水溶液の主なイオンの濃度は A, C のように表される。
- CuSO₄ 水溶液の主なイオンの濃度は B, D, E のように表される。

49. それぞれの溶液に 1 A の電流を 5000 秒通じたのち、以下のように溶液を等量混合する実験を行った結果の記述として、正しいものの組み合わせはどれか。

- ア. AgNO_3 水溶液と KI 水溶液を混合すると、黄色の沈殿が生成した。
- イ. KI 水溶液と NaOH 水溶液を混合すると、ほぼ中性だった。
- ウ. AgNO_3 水溶液と NaOH 水溶液を混合すると、かつ色の沈殿が生成した。
- エ. KI 水溶液と CuSO_4 水溶液を混合すると、赤色の沈殿が生成した。

- a. アとイ
- b. イとエ
- c. アとウ
- d. ウとエ

50. 同様に直流電流を流す実験を 0.1 mol/L の NaCl 水溶液について行った。以下の記述のうち正しいものはどれか。

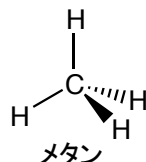
- a. 中性だった溶液が、時間とともに酸性になった。
- b. 無色だった溶液が、時間とともに薄青色の溶液へと変わった。
- c. 陰極に金属が析出した。
- d. 陽極から気体が発生した。

IV

有機化合物は主に炭素原子と水素原子から構成されており、有機化合物の構造や性質を知るためには、その化合物中の炭素原子や水素原子がどのような化学的な環境（電子状態や構造など）にあるか、ということ进行分析する必要がある。有機化合物中の炭素原子や水素原子の性質を分析する手法として、核磁気共鳴（NMR）という手法がある。これは水素原子核や炭素原子核が正電荷を持って回転しているため、磁気を帯びているという性質を応用したものである。

とくに水素原子核の NMR (^1H NMR) は感度が高く、有機化合物の分析の代表的な手法となっている。この NMR を活用することによって、異なる環境にある水素原子が何種類あるかということを知ることができる。ある化合物中に含まれる水素原子が同じ環境にあるかどうかということは、第一義的には化合物の構造と対称性を考えることで、容易に理解できる。

メタンやエチレン、塩化ビニル、メタノールを例にとって ^1H NMR による水素原子の種類の区別を説明する。まず、メタンの水素原子は正四面体構造の各頂点に位置しており、これら 4 つの水素原子の環境は同じであるため、図 1 の a) に示すとおり、1 種類の線（ピークと呼ばれる）として現れる。



(太線の結合は紙面の手前に、破線の結合は紙面の向こう側にあることを示す。)

続いてエチレンについて考えてみると H_a と H_b および H_a と H_c とは面対称の位置にあり、 H_a と H_d とは点対称の位置にあるため、これら 4 つの水素の環境は同じと見なすことができ、やはり 1 種類のピークを示す。一方、塩化ビニルでは水素原子の一つが塩素原子で置換されており、このような対称性は完全に失われ、 H_e , H_f , H_g はすべて異なる環境にあるとみなせるため、3 種類のピークが観測される。また、メタノール ($\text{CH}_3\text{-OH}$) では、C と O の結合は自由に回転できるため、メチル基 ($\text{CH}_3\text{-}$) 上の水素は、すべて同じ環境にあると見なすことができる。一方、水酸基 (HO-) の水素は異なる環境にあるため、2 種類のピークを示す (図 1 b)。

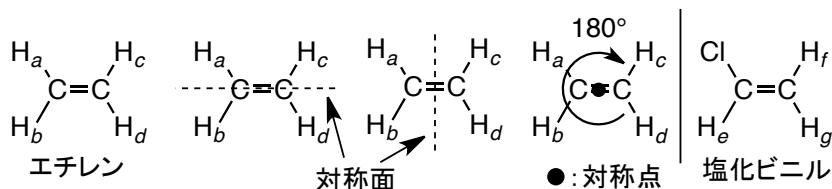
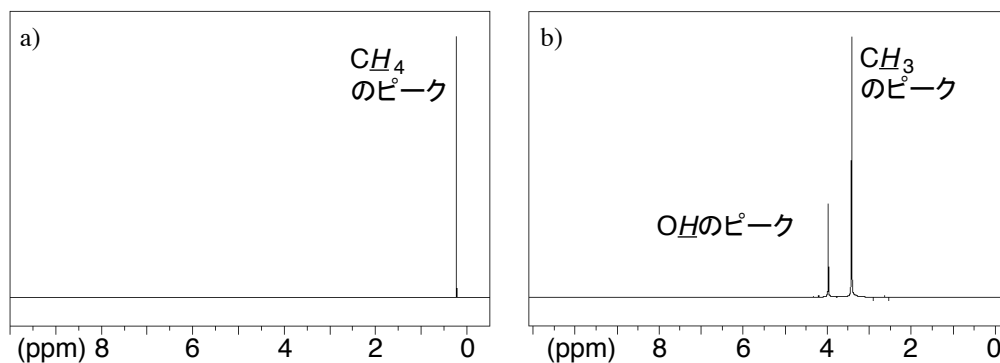
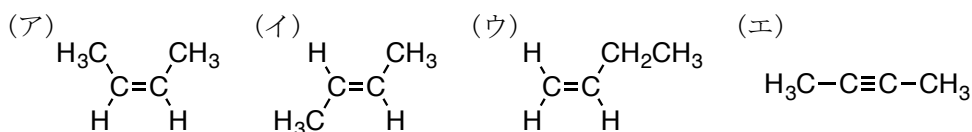


図1. ^1H NMR の測定結果：a) メタン，b) メタノール



(産業技術総合研究所・有機化合物のスペクトルデータベースより引用)

51. 以下に示す物質(ア)~(エ)を ^1H NMRを用いて分析したとき、それぞれ観測されるピークの種類について正しく表している組み合わせを選べ。



- a. (ア) 2種類 (イ) 2種類 (ウ) 5種類 (エ) 1種類
 b. (ア) 2種類 (イ) 2種類 (ウ) 3種類 (エ) 2種類
 c. (ア) 1種類 (イ) 1種類 (ウ) 5種類 (エ) 2種類
 d. (ア) 1種類 (イ) 1種類 (ウ) 3種類 (エ) 1種類
52. ^1H NMRでは化学反応による物質の変化についても情報を得ることができる。 ^1H NMRで3種類のピークを示す物質(カ)に(ク)反応を行ったところ、2種類のピークを示す物質(キ)へと変化した。化合物(カ)，(キ)および反応の名称(ク)に入れる語句の組み合わせについて、正しいものを選べ。

- | | | |
|-----------------|--------------|--------|
| a. (カ) エタノール | (キ) アセトアルデヒド | (ク) 酸化 |
| b. (カ) アセトアルデヒド | (キ) 酢酸 | (ク) 酸化 |
| c. (カ) アセトアルデヒド | (キ) エタノール | (ク) 還元 |
| d. (カ) エタノール | (キ) 酢酸 | (ク) 還元 |

53. 未知の化合物であっても、元素分析などによって分子式を明らかにできれば、 ^1H NMR やその他の定性試験をあわせて活用することによって、化学構造を推定することができる。

炭素、水素、酸素からなる化合物の試料 74.6 mg を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 177.1 mg、水 90.9 mg を生じた。この化合物を ^1H NMR を用いて分析したところ、2種類のピークを示した。さらにこの化合物とナトリウムを反応させると気体が発生した。この化合物の示性式を次の中から選べ。ただし原子量は、C:12, H:1, O:16 とする。

- a. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$
- b. CH_3CHO
- c. $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$
- d. $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$

引用：SDBSWeb: <http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/>

(独) 産業技術総合研究所, 2012 年

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

植物の花芽形成に関する以下の文章を読み、問いに答えよ。

植物は新しい芽を形成しながら成長する。将来成長して葉になる芽は葉芽、花になる芽は花芽とよばれている。多くの植物はそれぞれ決まった季節に花芽をつける。花芽はのちに成長し、開花・結実を経て種子を産生する。このような栄養成長相（葉芽を形成する状態）から生殖成長相（花芽をつくる状態）への転換は、花芽形成（花成）とよばれている。多くの植物は季節の変化を昼夜の長さの変化としてとらえ、花芽形成を行っていると考えられている。

1 日あたりの明期の長さ、すなわち日長が長い間は花芽をつけないが、日長が短くなると花芽をつける植物を（ア）という。逆に、日長が長くなると花芽をつける植物を（イ）という。このように日長に応答する性質を（ウ）という。（ウ）は植物ばかりでなく、ほ乳類や昆虫などにも見られる性質である。

61. 上記の文章中の空欄（ア）、（イ）、（ウ）に入る最も適切な語の組み合わせはどれか。

- a. （ア）短日植物、（イ）長日植物、（ウ）一年性
- b. （ア）長日植物、（イ）短日植物、（ウ）一年性
- c. （ア）短日植物、（イ）長日植物、（ウ）光周性
- d. （ア）長日植物、（イ）短日植物、（ウ）光周性

(ウ) による植物の花芽形成の制御は、実際には、1日あたりの明期の長さよりも、1日あたりの連続した暗期の長さが重要であることが分かっている。ある植物を用いて、以下の3つの実験を実施した。

(実験1) この植物をそれぞれ A : 8 時間明期と 16 時間暗期 (8L16D)、B : 12 時間明期と 12 時間暗期 (12L12D)、C : 10 時間明期と 14 時間暗期 (10L14D)、D : 14 時間明期と 10 時間暗期 (14L10D) の条件で栽培した (図1)。このとき、B と D では花芽が形成されたが、A と C では花芽が形成されなかった。

(実験1)

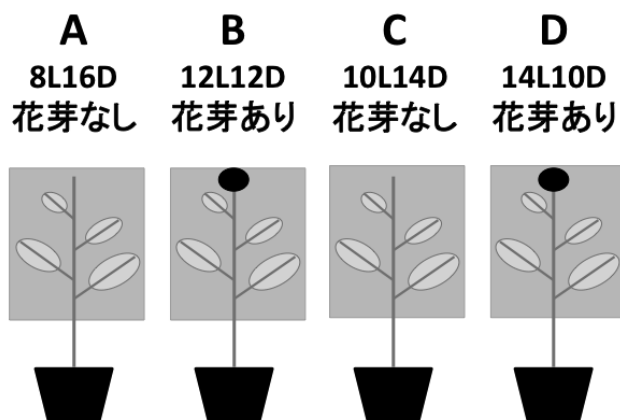


図1

62. 実験1で用いた植物の花芽形成について、最も適切な記述はどれか。

- a. 限界暗期長が 12 時間と 14 時間の間にある長日植物
- b. 限界暗期長が 12 時間と 14 時間の間にある短日植物
- c. 限界暗期長が 8 時間と 10 時間の間にある長日植物
- d. 限界暗期長が 8 時間と 10 時間の間にある短日植物

(実験2) 暗期の途中で短時間、光を照射すると暗期が分断される。このような短時間の光照射を光中断という。上記の(ア)では、連続した暗期長が植物種の花芽形成に必要な一定の長さ以下になると、花芽を形成しなくなる。逆に、(イ)では、連続した暗期長が一定の長さ以下になると、花芽を形成する。実験2では、実験1と同じ種類の植物を用いた。E: 8時間明期と16時間暗期(8L16D)の条件で栽培した(図2)。Fでは暗期のちょうど真ん中で光中断を行った。Eでは花芽が形成されなかったが、Fでは花芽が形成された。

花芽を形成する条件で栽培された植物個体の葉では花成ホルモン(フロリゲン)がつくられ、これが芽に移動して花芽の形成を引き起こすと考えられている。2つの植物個体を接木(つぎき)して、一方の個体を花芽形成する条件で栽培し、もう一方を花芽形成しない条件で栽培すると、花芽形成する条件で栽培した個体の葉から、もう一方の個体の芽にも花成ホルモンが移動すると考えられる。そのため、花芽形成しない条件で栽培した個体も接木により花芽をつけるようになる。さらに、本実験では、接木した植物をそれぞれG: 8時間明期と16時間暗期(8L16D)、H: 14時間明期と10時間暗期(14L10D)の条件で栽培した。GとHともに花芽を形成した(図2)。

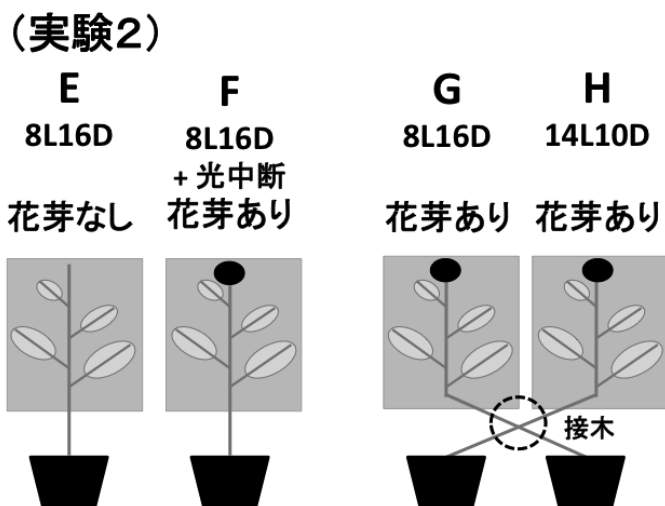


図2

(実験3) 実験1および実験2と同じ種類の植物を用いて、接木した植物をそれぞれ I: 8 時間明期と 16 時間暗期 (8L16D), J: 9 時間明期と 15 時間暗期 (9L15D) の条件で栽培した (図3)。

また、接木した植物をそれぞれ K: 7 時間明期と 17 時間暗期 (7L17D), L: 9 時間明期と 15 時間暗期 (9L15D) の条件で栽培した。L では暗期のちょうど真ん中で光中断を行った (図3)。

(実験3)

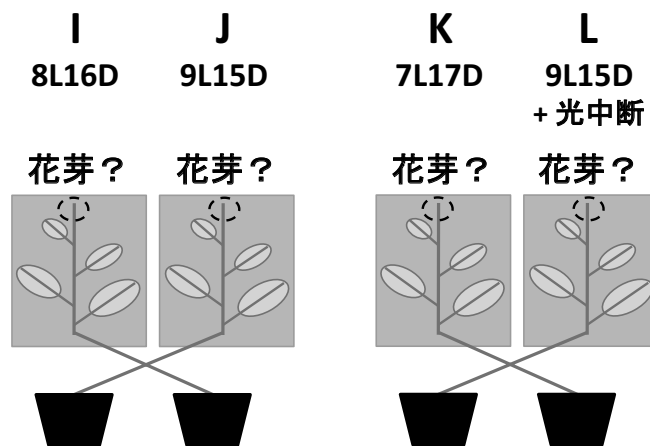


図3

63. 実験3の条件Iと条件Jで栽培した植物に関して、正しい組み合わせはどれか。

- a. I: 花芽あり, J: 花芽あり
- b. I: 花芽あり, J: 花芽なし
- c. I: 花芽なし, J: 花芽あり
- d. I: 花芽なし, J: 花芽なし

64. 実験 3 の条件 K と条件 L で栽培した植物に関して、正しい組み合わせはどれか。

- a. K: 花芽あり, L: 花芽あり
- b. K: 花芽あり, L: 花芽なし
- c. K: 花芽なし, L: 花芽あり
- d. K: 花芽なし, L: 花芽なし

II

植物の遺伝に関する以下の文章を読み、問いに答えよ。

ここでは、アブラナ科植物の変異と花芽の形成時期の形質に着目して遺伝の様式を調べた。このアブラナ科植物の正常型は、最適な栽培条件では発芽後に 30 日程度経過してから花芽が形成される。変異体 A はこの条件で、発芽後に 80 日程度経過しないと花芽が形成されなかった（遅咲き）。一方、変異体 B と変異体 C はこの条件で、双方ともに、発芽後に 15 日程度経過して花芽が形成された（早咲き）。これらの正常型と変異体を用いて、下記の 3 つの実験を実施した。

（実験 1）変異体 A と正常型との交配により得られた雑種第一代（ F_1 ）の花成時期は正常型とほぼ同じであった。また、この雑種第一代（ F_1 ）の自家受精によって生じた雑種第二代（ F_2 ）では、正常型と遅咲きとが現れ、それぞれの個体数の分離比は約 3 : 1 であった。

（実験 2）変異体 B と正常型との交配により得られた雑種第一代（ F_1 ）の花成時期は変異体 B とほぼ同じで早咲きであった。また、この雑種第一代（ F_1 ）の自家受精によって生じた雑種第二代（ F_2 ）では、正常型と早咲きとが現れ、それぞれの個体数の分離比は約 1 : 3 であった。

（実験 3）変異体 C と正常型との交配により得られた雑種第一代（ F_1 ）の花成時期は正常型とほぼ同じであった。また、この雑種第一代（ F_1 ）の自家受精によって生じた雑種第二代（ F_2 ）では、正常型と早咲きとが現れ、それぞれの個体数の分離比は約 15 : 1 であった。

65. 変異体 A と変異体 B の変異について、最も適切な組み合わせはどれか.

- a. A: 一遺伝子の劣性変異, B: 一遺伝子の劣性変異
- b. A: 一遺伝子の劣性変異, B: 一遺伝子の優性変異
- c. A: 一遺伝子の優性変異, B: 一遺伝子の劣性変異
- d. A: 一遺伝子の優性変異, B: 一遺伝子の優性変異

66. 変異体 C の変異について、最も適切な記述はどれか.

- a. 二遺伝子の劣性変異
- b. 二遺伝子の優性変異
- c. 三遺伝子の劣性変異
- d. 三遺伝子の優性変異

III

以下の文章は、植物の構造や環境への応答性についての記述である。

(1) タバコなどの植物では、大気中の二酸化炭素濃度が光合成の限定要因となっている。一方、トウモロコシやサトウキビなどは C_3 植物とよばれ、強光のもとでも二酸化炭素濃度が限定要因になりにくい。これらの植物は二酸化炭素を効率よく取り入れて光合成に用いるしくみをもっているからである。

(2) 花粉は、めしべの柱頭につくと発芽して、花粉管を胚珠に向かって伸ばす。花粉管の中で雄原細胞は 1 回分裂して、2 個の精細胞になる。花粉管の先端が胚嚢に達すると、精細胞の 1 個は卵細胞と受精し、受精卵 (2n) になる。精細胞の他の 1 個は中央細胞と融合し、将来は胚乳 (3n) となる。この受精の様式は重複受精とよばれ、被子植物に見られる。

(3) 落葉樹は環境条件の良い時期には葉を広げて光合成を行うが、不利な条件になると葉を落とす。このとき、葉を支えている葉柄の基部に離層を形成する。植物は葉の中の物質を分解し、紅葉する。そして、離層の細胞の細胞壁を溶かして、葉を切り離す。この落葉の過程には、植物ホルモンであるエチレンとサイトカイニンが促進的に作用する。

(4) チューリップの花びらでは、温度が上がると花びらの基部の内側が、温度が下がると基部の外側が成長する。そのため、温度変化が刺激となって、花は開閉する。このように、刺激の方向とは無関係に植物が運動する性質を屈性という。

67. 上記の (1) ～ (4) の記述のうち、正しいものはどれか。

- a. (1)
- b. (2)
- c. (3)
- d. (4)

IV

酵素に関する以下の文章を読んで問いに答えよ。

酵素は生命体で起こっているほとんどの化学反応に関与している。酵素の働きはある化学反応を速めることである。例えば、OMP デカルボキシラーゼという酵素はオロチジナーリン酸からカルボン酸を脱離する反応を促進するが、この酵素の働きにより反応速度は実に約 1.4×10^{17} 倍になることが知られている。酵素反応において酵素が作用する物質を基質、反応の結果生じる物質を反応生成物と呼ぶ。酵素は通常一種類の基質と結合する、つまり（ア）が非常に高い。基質が結合する酵素の部位を（イ）という。酵素反応の結果、酵素自身は変化しない。よって、酵素は（ウ）である。ほとんどの酵素はタンパク質である。タンパク質はモノマー（単量体）である（エ）からなるポリマー（重合体）である。

68. 文中の（ア）に入る最も適切な語はどれか。

- a. 反応性
- b. 応答性
- c. 特異性
- d. 溶解性

69. 文中の（イ）と（ウ）に入る最も適切な語の組み合わせはどれか。

- a. （イ）活性部位, （ウ）溶媒
- b. （イ）活性部位, （ウ）触媒
- c. （イ）酵素部位, （ウ）溶媒
- d. （イ）酵素部位, （ウ）触媒

- セルロース
- グリコーゲン
- デオキシリボ核酸
- インスリン

- 細胞呼吸に関わる酵素は細胞質基質とミトコンドリアに存在する。
- ヒトの消化過程において、デンプンは主にアミラーゼやペプシンにより分解される。
- ヒトの消化過程において、タンパク質は主にトリプシンやキモトリプシンにより分解される。
- 同化は、さまざまな酵素の働きによって、化学的に単純な物質から生物体に必要で複雑な物質を合成することである。

と仮定すると以下のミカエリス・メンテン式とよばれる関係式が導かれる。ただし、1 モル (mol) とは分子など同じ粒子のアボガドロ数 (6.02×10^{23}) 個の集団である。

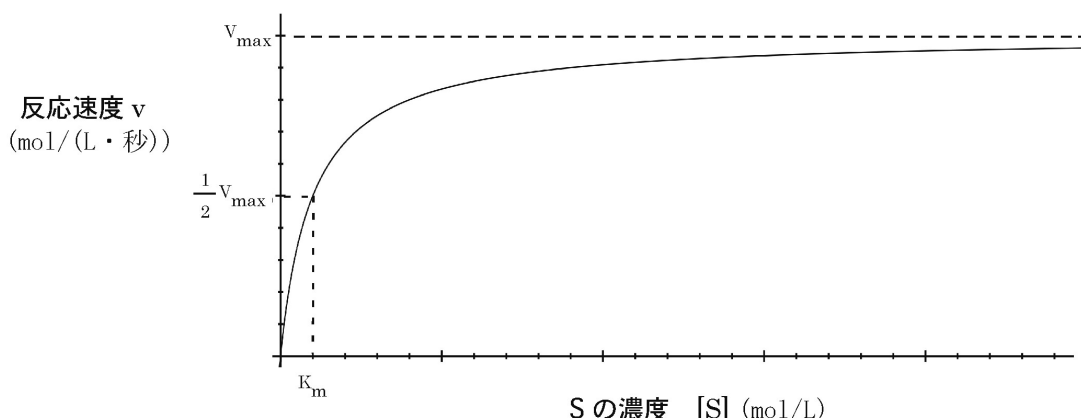


図 1

この式は、以下の 2 つのことを示している。一つは、 $[S]$ が十分小さいとき、 $K_m + [S] \approx K_m$ とみなせるので、 $v \approx \frac{V_{\max}}{K_m} [S]$ と近似でき、 v は $[S]$ に比例することである。もう一つは、 $[S]$ が十分大きいとき、 $v \approx V_{\max}$ となり v は $[S]$ に依存しない定数となることである。横軸を $[S]$ 、縦軸を v とすると、(式 1) は図 1 のようなグラフになる。各酵素には固有の $V_{\max}$ と K_m があり、酵素の性質を知る上で重要である。具体例を見てみよう。 $V_{\max}$ が得られるとその酵素の代謝回転数 k_{cat} を求めることができる。 k_{cat} とは、酵素が基質で十分飽和しているとき、ある一定の時間内に 1 分子の酵素によって基質が反応生成物に変換される回転数である。したがって、酵素の濃度 $[E]$ がわかれば $V_{\max}$ で k_{cat} を示すことができる。つまり、

$$k_{\text{cat}} = \frac{V_{\max}}{[E]}$$

となる。

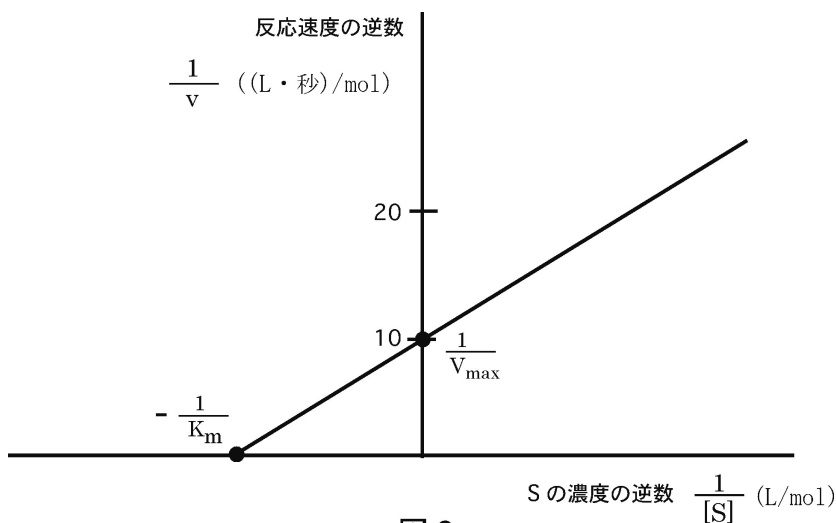
$V_{\max}$ と K_m を求めるために、通常は (式 1) を (式 2) のように変形し、 v , $[S]$, それぞれの逆数の 1 次関数とみなす。この 1 次関数 (式 2) のグラフは図 2 のようになり、図 2 の切片から $V_{\max}$ と K_m がもとめられる。この方法はラインウィーバー・

バークプロット法とよばれている。

$$\frac{1}{v} = \frac{K_m}{V_{\max}} \times \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{\max}} \dots \dots \dots (式 2)$$

72. いかに速い速度で基質の結合, 反応生成物の離脱が繰り返されているか, 見てみよう. 図 2 に示されている酵素の代謝回転数 k_{cat} を下から選べ. ただし, 酵素濃度 $[E]$ は $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ とする.

- a. 毎秒 1.0×10^{-5} 回
- b. 毎秒 1.0×10^{-6} 回
- c. 毎秒 1.0×10^5 回
- d. 毎秒 1.0×10^6 回



73. また、ラインウィーバー・バークプロット法を用いることで、酵素の阻害剤の性質を知ることができる。例えば、メトトレキサートは核酸の生合成に働く酵素、ジヒドロ葉酸レダクターゼの阻害剤である。この化合物は、ジヒドロ葉酸レダクターゼの基質であるジヒドロ葉酸の構造類似体であり、（イ）との結合において基質と競合する。このことにより、基質が効率良く酵素と結合できなくなることで、酵素の働きが阻害される。このような阻害剤の場合、阻害剤に対して基質の濃度を十分上げていくと、阻害剤の影響を無視できるようになると考えてよい。このとき、どのようなラインウィーバー・バークプロット法のグラフが描けるか適切なものを選び（図 3）。

- a. A
- b. B
- c. C
- d. D

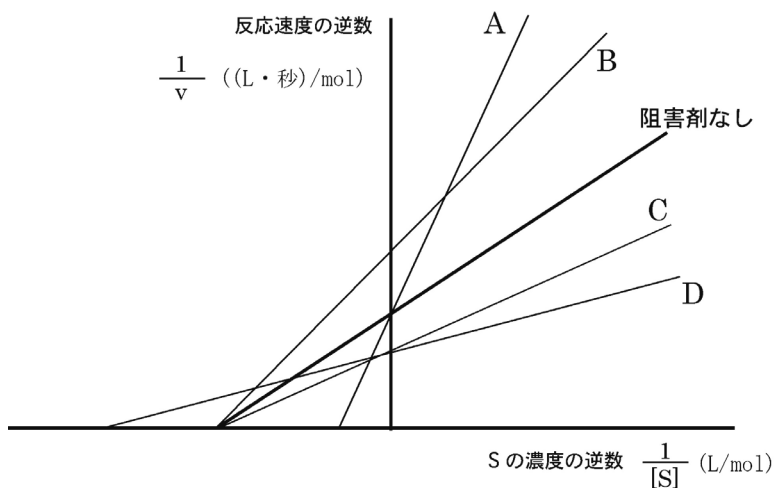


図 3

参考文献

Berg, J.M., Tymoczko, J.L. and Stryer, L. 「ストライヤー生化学 第 6 版」,
東京化学同人 (2008)