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, 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る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 分野の問題がこの順序で掲載されています. その中から 2 分野を選んで解答して下さい.
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. 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 **80 分**です.
5. 使用する解答欄は, 問題の前に指示してあります. 解答欄は, 多肢選択マークセンス方式のほか, 一部に記述方式が含まれます.
6. 選んだ分野と答えは, 解答カードの定められたところに指示どおりに鉛筆を用いて書き入れて下さい. 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下さい.
7. メモにはこの冊子の余白を用い, ほかの紙は使用しないで下さい.
8. 「解答やめ」の合図があったら, ただちにやめて下さい. 試験監督が問題冊子と解答カードを集め終わるまでは, 退室できません.
9. この指示について質問があるときは, 試験監督に聞いて下さい. ただし, 問題の内容に関する質問はいっさい受けません.
10. **解答上の注意**が, 裏表紙に記載してあるので, この問題冊子を裏返して必ず読んで下さい. ただし, 問題冊子を開いてはいけません.

「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

2019　　　　N

（余　白）

目　次

数　学

PART I と PART II の問題があります．マークセンス方式の解答欄ア～セを使って，あなたの答えを示しなさい．

PART I

下の式 (1) で表される直線のベクトル方程式について考えてみよう．

$$\ell: \quad y = 2x + 1 \tag{1}$$

原点を $\mathrm{O}(0,0)$ とし，この直線 ℓ 上の点を $\mathrm{P}(x,y)$ とする．$\mathrm{P_0}(0,1), \mathrm{P_1}(1,3)$ は ℓ 上の点である．$\vec{a} = \overrightarrow{\mathrm{P_0P_1}} = \overrightarrow{\mathrm{OP_1}} - \overrightarrow{\mathrm{OP_0}}$ とおく．

$\overrightarrow{\mathrm{P_0P}}$ は $\overrightarrow{\mathrm{P_0P_1}}$ に平行だから $\overrightarrow{\mathrm{P_0P}} = t\,\overrightarrow{\mathrm{P_0P_1}}$ となる実数 t が存在するので，直線 ℓ のベクトル方程式 (2) を得る．

$$\ell: \quad \overrightarrow{\mathrm{OP}} = \overrightarrow{\mathrm{OP_0}} + \overrightarrow{\mathrm{P_0P}} = \overrightarrow{\mathrm{OP_0}} + t\,\overrightarrow{\mathrm{P_0P_1}} = \overrightarrow{\mathrm{OP_0}} + t\,\vec{a} \tag{2}$$

1.　線分 $\mathrm{P_0P_1}$ を $1:2$ に内分する点の座標は，次のどれか．適切なものを解答欄 $\boxed{ア}$ に記せ．

a.　$\left(\dfrac{2}{3}, \dfrac{7}{3}\right)$

b.　$\left(\dfrac{2}{3}, 3\right)$

c.　$\left(\dfrac{1}{3}, 1\right)$

d.　$\left(\dfrac{1}{3}, \dfrac{5}{3}\right)$

同じ直線の別のベクトル方程式を考えてみよう.

2.　Q_0 の座標が $(-1, \alpha)$ で, $\overrightarrow{b} = (\beta, 3)$ とする. s を実数として

$$\overrightarrow{\mathrm{OP}} = \overrightarrow{\mathrm{OQ}_0} + s\,\overrightarrow{b} \tag{3}$$

も直線 ℓ のベクトル方程式であるとするとき, α, β の正しい組合せは, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{イ}}$ に記せ.

a.　$\alpha = -1,\ \beta = \dfrac{1}{2}$

b.　$\alpha = -1,\ \beta = \dfrac{3}{2}$

c.　$\alpha = 1,\ \beta = \dfrac{1}{2}$

d.　$\alpha = 1,\ \beta = \dfrac{3}{2}$

より一般的に, 2 点 $\mathrm{P}_0, \mathrm{P}_1$ を通る直線は

$$\overrightarrow{\mathrm{OP}} = \overrightarrow{\mathrm{OP}_0} + t\,\overrightarrow{\mathrm{P}_0\mathrm{P}_1} = \overrightarrow{\mathrm{OP}_0} + t\left(\overrightarrow{\mathrm{OP}_1} - \overrightarrow{\mathrm{OP}_0}\right) = (1-t)\,\overrightarrow{\mathrm{OP}_0} + t\,\overrightarrow{\mathrm{OP}_1}$$

と表される. $s = 1 - t$ とおくと, 次のように書くことができる.

$$\overrightarrow{\mathrm{OP}} = s\,\overrightarrow{\mathrm{OP}_0} + t\,\overrightarrow{\mathrm{OP}_1} \quad (s + t = 1) \tag{4}$$

3.　上の表示 (4) において, 不等式 $s \geqq 0, t \geqq 0$ が表す点 P からなる図形は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{ウ}}$ に記せ.

a.　三角形 $\mathrm{OP}_0\mathrm{P}_1$ およびその内部

b.　平面の第 1 象限

c.　線分 $\mathrm{P}_0\mathrm{P}_1$

d.　P_0 を端点とし点 P_1 を通る半直線

点 $\mathrm{P}_0'(-1,4)$ を通り, ベクトル $\overrightarrow{a}' = (2,-1)$ を方向ベクトルとする平面の直線 ℓ' を考える.

$$\ell' : \quad \overrightarrow{\mathrm{OP}} = \overrightarrow{\mathrm{OP}_0'} + t'\overrightarrow{a}' \tag{5}$$

4.　直線 ℓ と ℓ' の交点に対応する, 式 (2) の t の値と式 (5) の t' の値の組 (t,t') は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{エ}}$ に記せ.

a.　$(t,t') = (1,1)$

b.　$(t,t') = (2,-1)$

c.　$(t,t') = (1,-2)$

d.　$(t,t') = (1,-1)$

今度は, 直線 ℓ に関して点 $\mathrm{Q}_0(x_0,y_0)$ と対称な点 $\mathrm{Q}_1(x_1,y_1)$ について考えてみよう. 線分 $\mathrm{Q}_0\mathrm{Q}_1$ と ℓ との交点を M とすると, 次の 2 条件が成り立つ.

(A)　M は線分 $\mathrm{Q}_0\mathrm{Q}_1$ の中点である.

(B)　2 点 Q_0, Q_1 を通る直線と直線 ℓ は直交する.

5.　上の条件 (B) と同値な式は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{オ}}$ に記せ.

a.　$2x_0 - y_0 = -(2x_1 - y_1)$

b.　$2x_0 - 2y_0 = 2x_1 - y_1$

c.　$x_0 + 2y_0 = -(x_1 + 2y_1)$

d.　$x_0 + 2y_0 = x_1 + 2y_1$

条件 (A) から, 次の式が成り立つ.

$$\frac{y_0 + y_1}{2} = 2 \cdot \frac{x_0 + x_1}{2} + 1 = x_0 + x_1 + 1 \tag{6}$$

6.　条件 (A) と (B) を使うと, 点 Q_1 の座標 x_1, y_1 を点 Q_0 の座標 x_0, y_0 で表すことができる. 正しいものは, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{カ}}$ に記せ.

a.　$(x_1,\, y_1) = x_0\left(-\frac{3}{5},\, \frac{4}{5}\right) + y_0\left(\frac{4}{5},\, \frac{2}{5}\right) + \left(-\frac{4}{5},\, \frac{3}{5}\right)$

b.　$(x_1,\, y_1) = x_0\left(-\frac{3}{5},\, \frac{4}{5}\right) + y_0\left(\frac{4}{5},\, \frac{3}{5}\right) + \left(-\frac{4}{5},\, \frac{2}{5}\right)$

c.　$(x_1,\, y_1) = x_0\left(-\frac{3}{5},\, \frac{4}{5}\right) + y_0\left(\frac{3}{5},\, \frac{2}{5}\right) + \left(-\frac{3}{5},\, \frac{3}{5}\right)$

d.　$(x_1,\, y_1) = x_0\left(-\frac{1}{5},\, \frac{4}{5}\right) + y_0\left(\frac{3}{5},\, \frac{3}{5}\right) + \left(-\frac{3}{5},\, \frac{2}{5}\right)$

今度は, 空間内の直線を考える. 原点を $\mathrm{O}(0,0,0)$ とし, 上で考えた ℓ を xy 平面上の直線, すなわち $z=0$ として考えると

$$\ell: \quad (x,\, y,\, z) = (0,\, 1,\, 0) + t\,(1,\, 2,\, 0) = \overrightarrow{\mathrm{OP}_0} + t\,\overrightarrow{p} \tag{7}$$

が空間内での ℓ の媒介変数 t による表示である. 点 P_0 とベクトル $\overrightarrow{p}$ はこの式で定める. さて, 式 (8) で定義される直線 m を考えよう.

$$m: \quad (x,\, y,\, z) = (0,\, 1,\, 1) + s\,(1,\, 2,\, -2) = \overrightarrow{\mathrm{OQ}_0} + s\,\overrightarrow{q} \tag{8}$$

ここで s は媒介変数として, Q_0, $\overrightarrow{q}$ は式 (8) で定める.

7.　直線 ℓ と m の交点 N の座標は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{キ}$ に記せ.

a.　$\left(\dfrac{1}{2}, 2, 0\right)$

b.　$\left(-1, 1, 0\right)$

c.　$\left(\dfrac{1}{2}, 2, 1\right)$

d.　$\left(-1, 2, 1\right)$

ベクトル $\overrightarrow{p}$ と $\overrightarrow{q}$ のなす角を考えると, これは直線 ℓ と m の交点 N においてなす角, あるいは π からその角を引いた値に一致する.

8.　ベクトル $\overrightarrow{p}$ と $\overrightarrow{q}$ のなす角を θ とするとき, $\cos\theta$ の値は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{ク}$ に記せ.

a.　$\cos\theta = \dfrac{\sqrt{15}}{5}$

b.　$\cos\theta = -\dfrac{\sqrt{15}}{5}$

c.　$\cos\theta = \dfrac{\sqrt{5}}{3}$

d.　$\cos\theta = -\dfrac{\sqrt{5}}{3}$

PART II

整式とその次数：　一般に，$c_n, c_{n-1}, \ldots, c_1, c_0$ を実数としたとき，

$$f(x) = c_n x^n + c_{n-1}x^{n-1} + \cdots + c_1 x + c_0$$

を x を変数とする整式といい，$c_n \neq 0$ であるとき n 次式，n を整式 $f(x)$ の次数という．

c_3, c_2, c_1, c_0 を実数としたとき，

$$c_3x^3 + c_2x^2 + c_1x + c_0$$

は，$c_3 \neq 0$ のときは 3 次式，$c_3 = 0$, $c_2 \neq 0$ のときは 2 次式である．$c_3 \neq 0$ のときも，$c_3 = 0$ のときも，すべての場合を含めて，次数が 3 以下の整式とよぶこともある．x の値 (実数) を一つ定めると $f(x)$ の値が定まるので, $f(x)$ を x の関数とみることもできる．$f(x)$ が次数が 3 以下の整式のときは, 3 次以下の関数ともいう．

定積分：　さて，a, b を $a < b$ とし，区間 $a \leqq x \leqq b$ での $f(x)$ の定積分を考える．

$$\int_a^b f(x)dx$$

まず，特別な場合を計算しておこう．$n = 0, 1, 2, \ldots$ としたとき，

$$\int_{-a}^{a} x^{2n+1} dx = 0$$

すなわち，区間が $-a \leqq x \leqq a$ の時は，x, x^3, x^5 など，x の奇数乗の関数のグラフは，原点に対して点対称であるので，その定積分の値は 0 になる．

区間 $a \leqq x \leqq b$ （$a < b$）において x^n, $n = 0, 1, 2, \ldots$ の定積分の値を計算しておく.

9.　0 以上の整数 n について，$f(x) = x^n$ としたとき，

$$\frac{1}{b-a}\int_a^b f(x)dx = \frac{1}{b-a}\int_a^b x^n\, dx$$

の値は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{ケ}}$ に記せ.

a.　$\dfrac{b^{n+1} - a^{n+1}}{b-a}$

b.　$(b-a)^n$

c.　$\dfrac{b^{n+1} - a^{n+1}}{(n+1)(b-a)}$

d.　$\dfrac{(b-a)^n}{n+1}$

区間 $a \leqq x \leqq b$ （$a < b$）での定積分の値を，a での値 $f(a)$ および b での値 $f(b)$，または，中点 $m = \dfrac{a+b}{2}$ での値 $f(m)$ から計算することはできないだろうか. 次数が 1 以下の関数は，$f(x) = c_1 x + c_0$ と表されるが，$y = c_1 x + c_0$ は直線の方程式だから，グラフを思い浮かべると，台形の面積を考えればよいので，

$$\frac{1}{b-a}\int_a^b f(x)dx = \frac{f(a)+f(b)}{2} = \frac{1}{2}f(a) + \frac{1}{2}f(b) \tag{9}$$

と書けることがわかる. しかし，$f(x) = c_1 x + c_0$ だから，これを代入すると，

$$\frac{1}{2}f(a) + \frac{1}{2}f(b) = c_1\left(\frac{a+b}{2}\right) + c_0 = f(m) \tag{10}$$

すなわち，中点 m での値 $f(m)$ からも，計算できることがわかった.

2 次関数 $f(x) = c_2 x^2 + c_1 x + c_0$, $c_2 \neq 0$ についてこの式 (9) は成立するだろうか.

10.　正しい記述は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{コ}}$ に記せ.

a.　式 (9) はどんな 2 次関数についても成立しない.

b.　$c_2 > 0$ のときには式 (9) は成立するが，$c_2 < 0$ のときには式 (9) は成立しない.

c.　$c_2 > 0$ のときには式 (9) は成立しないが，$c_2 < 0$ のときには式 (9) は成立する.

d.　$c_2 > 0$ の場合にも，$c_2 < 0$ の場合にも，式 (9) は成立する場合と成立しない場合がある.

次に，区間は $-1 \leqq x \leqq 1$ すなわち, $a = -1$, $b = 1$ に固定して，点の選び方をもう少し自由にしてみよう.

1 点での値から求める：　中点は 0 だから, 式 (9) および式 (10) から, $f(x)$ が 1 次以下の関数のときは,

$$\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} f(x)dx = f(0) \tag{11}$$

が成り立つことがわかっている.

2 点での値から求める：　$-1 < c < d < 1$ となる二点 c, d としたらどうだろうか. すなわち，$f(c)$ と $f(d)$ の定数倍の和で定積分の値を次のように表す.

$$\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} f(x)dx = uf(c) + vf(d) \tag{12}$$

関数 $f(x)$ の値を計算する c, d と，$f(c)$, $f(d)$ にかける定数 u, v，あわせて 4 つの数 c, d, u, v のとり方を決められるので，同じく，4 つの係数を持つ, 次数が 3 以下の関数 $f(x) = c_3x^3 + c_2x^2 + c_1x + c_0$ すべてについて，成立するように，c, d, u, v を決められないか考えてみよう. $f(x)$ が 1, x, x^2, x^3 について成立すればよいので，下が求める条件である.

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} 1\,dx &= u + v \\
\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x\,dx &= uc + vd \\
\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^2\,dx &= uc^2 + vd^2 \\
\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^3\,dx &= uc^3 + vd^3
\end{aligned}$$

これらの式から, ちょうど一通り, c, d, u, v の値を決めることができる.

11.　d の値は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{サ}}$ に記せ.

a.　$\dfrac{1}{2}$

b.　$\dfrac{1}{3}$

c.　$\sqrt{\dfrac{1}{2}}$

d.　$\sqrt{\dfrac{1}{3}}$

ここで，$p(x) = (x-c)(x-d)$ として，$f(x)$ を 3 次以下の整式とする．すると，$p(x)$ は 2 次の整式だから，ある整式 $q(x)$ と実数 s, r によって

$$f(x) = q(x)p(x) + sx + r$$

と書くことができる．この $f(x)$ に, 式 (12) をあてはめ, $p(c) = p(d) = 0$ であることに注意すると, 式 (12) の右辺の値を計算することができる.

12.　$\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_{-1}^{1} f(x)\,dx = 0$ となる必要十分条件は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{シ}}$ に記せ.

a.　$s = r = 0$

b.　$r = 0$

c.　$s = 0$

d.　$s = r$

3 点での値から求める：　$-1<c<d<e<1$ となる 3 点 c,d,e と定数 u,v,w を新たに選び, $f(c)$, $f(d)$, $f(e)$ の u, v, w 倍の和として, 定積分の値を表せないだろうか. すなわち,

$$\frac{1}{2}\int_{-1}^{1} f(x)dx = uf(c)+vf(d)+wf(e) \tag{13}$$

1 点では，1 次以下，2 点では，3 次以下の関数について成立したから，3 点では，5 次以下の関数すべてについて成立するようにできないか考えてみよう. $f(x)$ が 1, x, x^2, x^3, x^4, x^5 について成立すればよいので，下が求める条件である.

$$m_0 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} 1\,dx = u+v+w \tag{14}$$

$$m_1 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x\,dx = uc+vd+we \tag{15}$$

$$m_2 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^2\,dx = uc^2+vd^2+we^2 \tag{16}$$

$$m_3 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^3\,dx = uc^3+vd^3+we^3 \tag{17}$$

$$m_4 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^4\,dx = uc^4+vd^4+we^4 \tag{18}$$

$$m_5 = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} x^5\,dx = uc^5+vd^5+we^5 \tag{19}$$

ここで, $m_0,m_1,\ldots,m_5$ は上の式で定める.

これらの式から c,d,e を求める方法を思いついた人がいるので紹介しよう.

まず $g(x)=(x-c)(x-d)(x-e)$ と置く. $g(x)$ は 3 次の整式で, x^3 の係数は 1 だから, $g(x)=x^3+a_2x^2+a_1x+a_0$ とおくことができる. 式 (13) の $f(x)$ が $g(x)$ の場合を考えてみると, $g(x)=(x-c)(x-d)(x-e)$ だから, $g(c)=g(d)=g(e)=0$ で, 式 (13) の右辺は 0 である. $g(x)=x^3+a_2x^2+a_1x+a_0$ だから, 左辺は, 式 (14) に a_0, 式 (15) に a_1, 式 (16) に a_2 をかけて, さらに 式 (17) を加えたものだから,

$$a_0m_0+a_1m_1+a_2m_2+m_3=0$$

となる. m_0,m_1,m_2,m_3 の値はわかっているので a_0,a_1,a_2 に関する方程式ができた.

$f(x)$ が $xg(x)$ の場合も式 (13) の右辺は 0 になる. 左辺は, 式 (15) に a_0, 式 (16) に a_1, 式 (17) に a_2 をかけて, さらに式 (18) を加えたものだから,

$$a_0m_1+a_1m_2+a_2m_3+m_4=0$$

を得る. さらに $x^2g(x)$ も, 5 次関数で, 右辺は 0 だから, これからも同様の式が得られる. この a_0,a_1,a_2 に関する連立一次方程式は解くことができる. すなわち $g(x)$ がわかるから, これから, c,d,e を求めることができる.

13.　e の値は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{ス}}$ に記せ.

a.　$e = \sqrt{\dfrac{2}{3}}$

b.　$e = \sqrt{\dfrac{1}{3}}$

c.　$e = \sqrt{\dfrac{3}{5}}$

d.　$e = \sqrt{\dfrac{1}{5}}$

これを用いると, u, v, w も求めることができる.

14.　v の値は, 次のどれか. 適切なものを解答欄 $\boxed{\text{セ}}$ に記せ.

a.　$v = \dfrac{5}{18}$

b.　$v = \dfrac{4}{9}$

c.　$v = \dfrac{5}{9}$

d.　$v = \dfrac{2}{3}$

実は問題 11 の答えもこのようにして求めることができる. 上では, 1 点, 2 点, 3 点と考えたが, さらに, 4 点, 5 点と増やしていくことも可能で, n 点を選ぶことにより, 次数が $2n-1$ 以下の関数について, その積分の値を求めることができる. これは, ガウス・ルジャンドルの求積法とよばれ, 物理学や工学など様々な分野に広く応用されている.

物　理

PART Ⅰ，PART Ⅱ の問題があります．マークセンス方式の解答欄ア～スを使ってあなたの答えを示しなさい．

必要であれば，次の数値を用いてよい．

重力加速度 $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$

PART I

回転運動はわたしたちの身のまわりのさまざまな場所に存在する．自転車の車輪もその 1 つである．自転車といえば，雨の日に自転車に乗って，服が汚れてしまった経験はないだろうか．車輪のタイヤ部分に付着した泥が，車輪の回転のどこかの時点で車輪から離れ，空中を飛び，運転者の背中や脚に付着する．この現象に関し，以下の問いに答えよ．

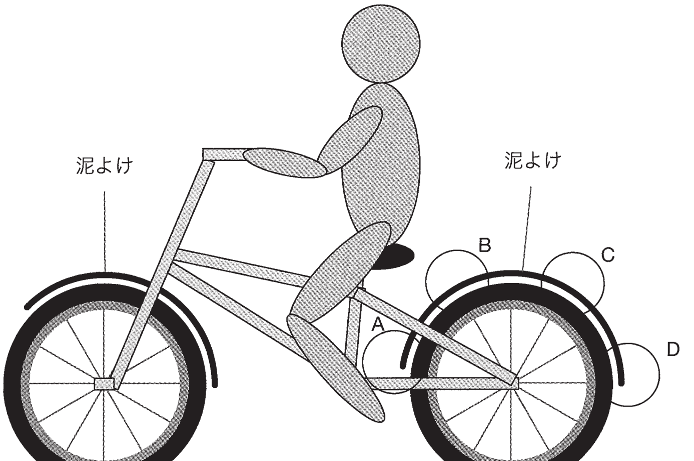
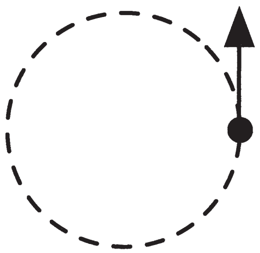


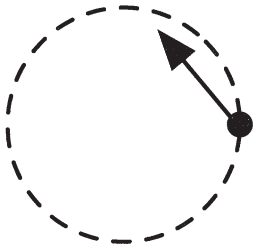
図 1

1. 自転車が前進しているとき，図 1 の D（車軸と同じ高さの車輪の部分）で車輪から離れた泥の初速度の向きは，自転車と同じ速度で進む観測者から見て次のどれか．最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{ア}}$ に記せ．図中の点線は車輪，黒丸は泥を表す．

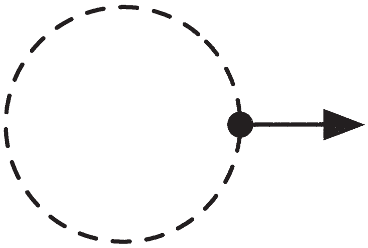
a.



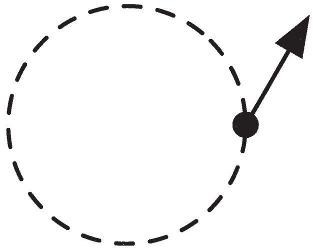
b.



c.



d.



2. 泥はねを防ぐために，前後の車輪に沿って設置されている自転車の部品を泥よけという．図 1 の泥よけの A, B, C, D のどの部分が，運転者の背中にかかる泥はねを防ぐ働きをしているといえるか．次のうちから最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{イ}}$ に記せ．

a. A

b. B

c. C

d. D

3. 自転車が前進している時，運転者の体のどの部分にも泥がかからないということを目的にするならば，図 1 の泥よけは，適切に設置されていないと考えられる．図 1 を基準にして考えると，どのように修正するべきか．次のうちから最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{ウ}}$ に記せ．

a. 前輪泥よけを前方に 30°（左回りに）回転させる．

b. 前輪泥よけを後方に 30°（右回りに）回転させる．

c. 後輪泥よけを前方に 30°（左回りに）回転させる．

d. 後輪泥よけを後方に 30°（右回りに）回転させる．

4. 車輪の直径を 60 cm とする．自転車が速さ 10 m/s（36 km/h）で前方に進行しているとき，泥よけがない自転車では，地上から測って，理論上，最大どれくらいの高さまで泥がはね上げられるか．次のうちから最も適切なものを選び，解答欄 エ に記せ．ただし，泥はひとかたまりで飛んでいくこととし，空気抵抗は考えない．

a. 1 m 程度
b. 5 m 程度
c. 10 m 程度
d. 15 m 程度

等速で円運動をしている物体の速度ベクトルの向きは回転にともなって変化する．微小時間Δt だけ離れた時刻 t_1 と t_2 における速度ベクトルをそれぞれ $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ とする．それらの大きさはvで等しいが，向きは $\Delta\theta$ だけ異なる．速度ベクトルの変化分 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ を考えると，θ が十分小さい時には $\sin\theta = \theta$ とできることを利用して，図 2 のベクトルの作図より，速度ベクトルの変化分 $\Delta\vec{v}$ の大きさ Δv と回転角度 $\Delta\theta$ は（ い ）の関係があることがわかる．一方，円に沿って動いているので，$\Delta\theta$ とΔt は，（ ろ ）の関係がある．この 2 式より，加速度 $\vec{a} = \Delta\vec{v} / \Delta t$ の大きさ $a = v^2 / R$ が求まる．ただし，Rは回転半径である．

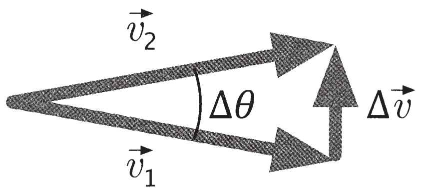


図 2

5．文中の（ い ）（ ろ ）に入る適切な式の組み合わせを選び，解答欄 オ に記せ．

a. （い） $\Delta v = v\Delta\theta$ （ろ） $\Delta\theta = \dfrac{v\Delta t}{R}$

b. （い） $\Delta v = 2v\Delta\theta$ （ろ） $\Delta\theta = \dfrac{v\Delta t}{2R}$

c. （い） $\Delta v = 2\pi v\Delta\theta$ （ろ） $\Delta\theta = \dfrac{v\Delta t}{2\pi R}$

d. （い） $\Delta v = \dfrac{v\Delta\theta}{2\pi}$ （ろ） $\Delta\theta = \dfrac{2\pi v\Delta t}{R}$

図 3 のように，水を入れた小さなバケツを手に持ち，腕を鉛直面内で十分早く回転させればば水はこぼれない．いま、回転半径を 1.6 m として，水の入ったバケツを鉛直面内で回転させる実験を行った．このときバケツは等速円運動をするとする．はじめに，等速円運動の周期を 5 秒とすると，水はこぼれてしまった．そこで周期を 1 秒ずつ短くして実験を繰り返したところ，周期が t 秒となったときにはじめて水をこぼさずに回転させることができた．

6．t の値として適当なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{カ}}$ に記せ．

a.　1
b.　2
c.　3
d.　4

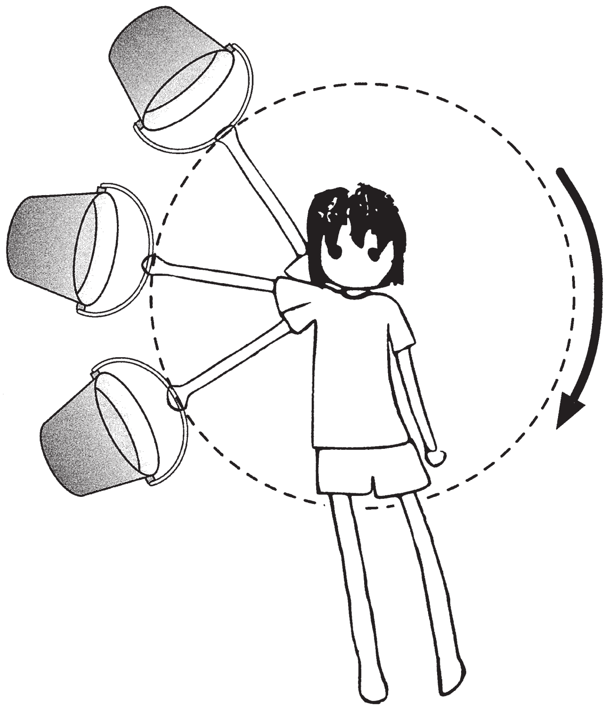


図 3

7.　ループコースターとよばれるジェットコースターは乗客を乗せたまま鉛直面内で一回転する．実際のループコースターの軌道はこれとは異なるが，ここでは図 4 のような直線と円を組み合わせた軌道を用いて実験を行った．このコースターの床に体重計を設置し，その上に小さな重りを乗せ，体重計から落ちないように固定した．コースターが走行中の体重計の目盛りの数値の時間変化のグラフとして最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{キ}}$ に記せ．コースターは最初，図 4 のようにレールの直線部分を進行していたとし，コースターがループに差しかかった時，半分の高さまで上がった時，ループの頂上に達した時の時刻をそれぞれ t_0，t_1，t_2 とする．重力以外には加速したり減速したりする力は働かないものとする．

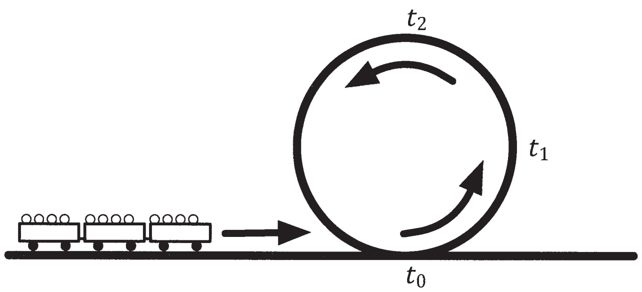
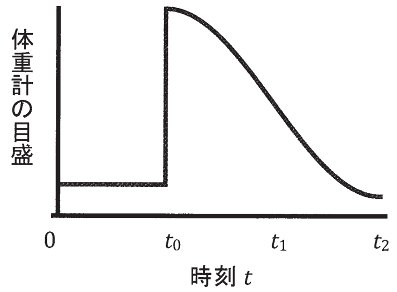
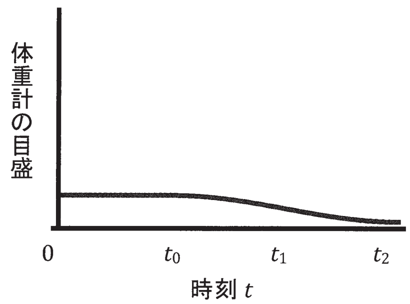
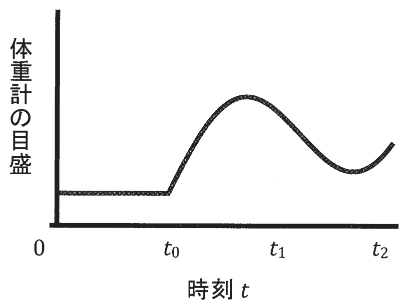
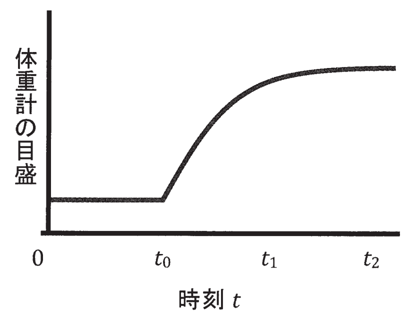


図 4

a.


b.


c.


d.


PART II

虹の見え方について考える．そのためには図 5 のような水滴と，実線の矢印で示したような光路に沿って進む光線を考えればよい．図 5 に示すように，入射光は A 点で（い）し，B 点で（ろ）し，C 点で再び（い）して水滴から射出する．A 点での入射角 i_A と（い）角 r_A の関係は，（は）の法則により表される．B 点では（ろ）の法則により，入射角 i_B と（ろ）角 j_B は等しい．虹が生じるのは入射角 i_A が一定でも，色によって光線の角度変化の様子が異なるためであるが，そのような現象を（に）とよぶ．以下の議論はすべて，可視光線が，上記のように水滴（のちの設問では球状の透明物体）内部で一回だけ（ろ）する機構で生じる虹についてのみ考える．

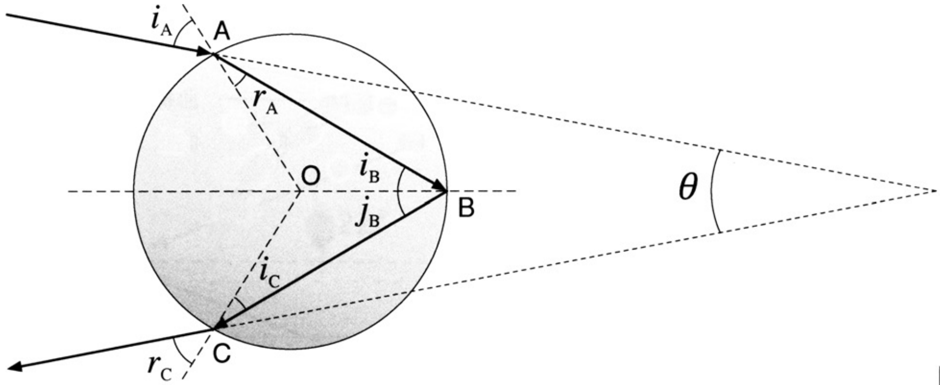


図 5

8. 文中の（ い ）（ ろ ）（ は ）（ に ）に入る言葉の組み合わせとして最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{ ク }}$ に記せ．

a. （い）屈折　（ろ）反射　（は）屈折　（に）分散
b. （い）反射　（ろ）屈折　（は）屈折　（に）回折
c. （い）屈折　（ろ）反射　（は）反射　（に）回折
d. （い）反射　（ろ）屈折　（は）反射　（に）分散

図 5 の A, B, C の 3 点での光線の折れ曲がる角度をひとつひとつ計算し，それらを合計すると入射光線に対する射出光線の角度を計算できる．今の場合は入射光と反対側に戻って来た光を観察するので図 5 の θ を考えるのが便利である．θ は水滴への光線の入射角 i_A によって異なり，θ を i_A の関数としてグラフにしたものが図 6 である．入射角 $i_A = 0°$ だと $\theta = 0°$，すなわち光線はもと来た方向に戻る．入射角が増えるにつれ，θ は単調に増加していくが，ある入射角を境に折り返し減少に転じる．折り返しの起きる入射角は図 6 からもわかるように約 60°である．入射光の，水滴への入射角はさまざまな値をとるが，入射角が 60°に近いときには，θ の変化は小さいので，光はほぼ同じ方向に射出される．その結果，その方向に射出される光の強度が大きくなる．このときの θ を虹角 $\theta_{虹}$ とよぶ．水の虹角は約 42°である．

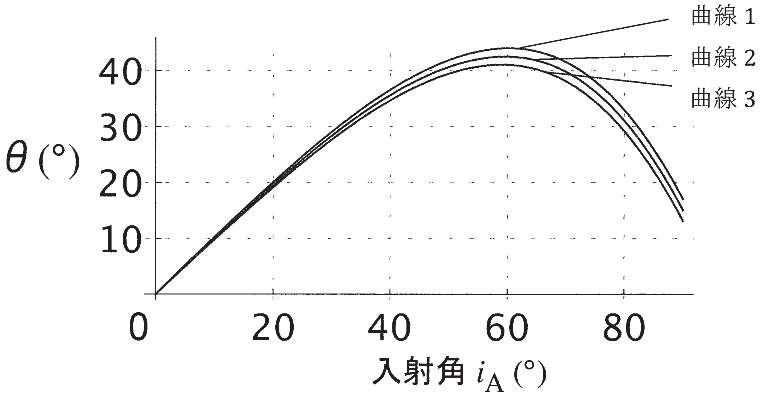


図 6

9. 波長によって屈折率は変化する．例えば，水の場合，赤色光（波長 780 nm）での屈折率は 1.328，紫色光（波長 380 nm）での屈折率は 1.345 である．図 6 のグラフで，赤色光，紫色光，緑色光に対する曲線はそれぞれ，どれであると考えられるか．図 5 の光線の光路を参照し，最も適切な組み合わせを選び，解答欄 $\boxed{\text{ケ}}$ に記せ．（ただし，図 6 のグラフでは色による屈折率の違いは実際より誇張してある．）

a. 曲線 1 が赤色光，曲線 2 が紫色光，曲線 3 が緑色光
b. 曲線 1 が緑色光，曲線 2 が紫色光，曲線 3 が赤色光
c. 曲線 1 が赤色光，曲線 2 が緑色光，曲線 3 が紫色光
d. 曲線 1 が紫色光，曲線 2 が緑色光，曲線 3 が赤色光

虹を実験で再現する模型として，ある透明な物質で作った小さな球を一面に貼り付けた板を製作した．これに太陽光（平行光）を当て，板の正面に立つと，円状の虹が見えた（図 7 参照）．ただし，この虹の模型でできた，虹の見える球を見込む角度の半分（これを以下では虹の視半径とよぶ）は 22°で，水滴によって空にできる通常の虹の 42°の視半径より小さかった．つまりこの物質における虹角は 22°である．このことは，この物質の屈折率が水の屈折率と比べて（　ほ　）ことを意味している．また，この時，図 7 の点線で示したように板を 30°傾けた時，観察できる虹の視半径は 22°（　へ　）．

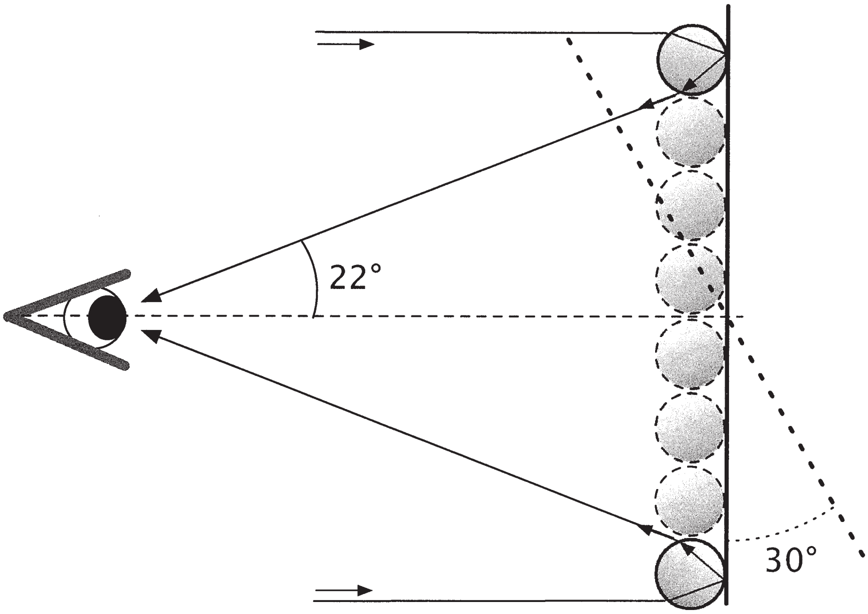


図 7

10．文中の（　ほ　）（　へ　）に入る言葉の組み合わせとして最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{コ}}$ に記せ．

a.　（ほ）大きい　（へ）から変化する
b.　（ほ）大きい　（へ）から変化しない
c.　（ほ）小さい　（へ）から変化する
d.　（ほ）小さい　（へ）から変化しない

次に，太陽光（平行光）ではなく，電球（白色光源とみなす）で虹を作る実験を行った．この電球から出る光は一点から出る光（点光源からの光）とみなすことができるとする．図 8 のように，観察は常に，光源と観察者が板に垂直な同一直線上にあるようにして行う．この直線を以下では光軸とよぶ．板から電球の距離，板から観測者の距離はそれぞれ L と D とする．図 8 では，代表して 2 つの球で，光源から光が球に入射し，虹角で射出する様子を描いた．球 1 では虹角 $\theta_{虹}$ で射出した光線は観察者の目に入るが，球 2 から虹角 $\theta_{虹}$ で射出した光線は目に入らない．つまり，光軸からある特定の距離にある球からの光線だけが目に入り，これが虹として見える．虹角を満足するような球から光軸までの距離を R とする．

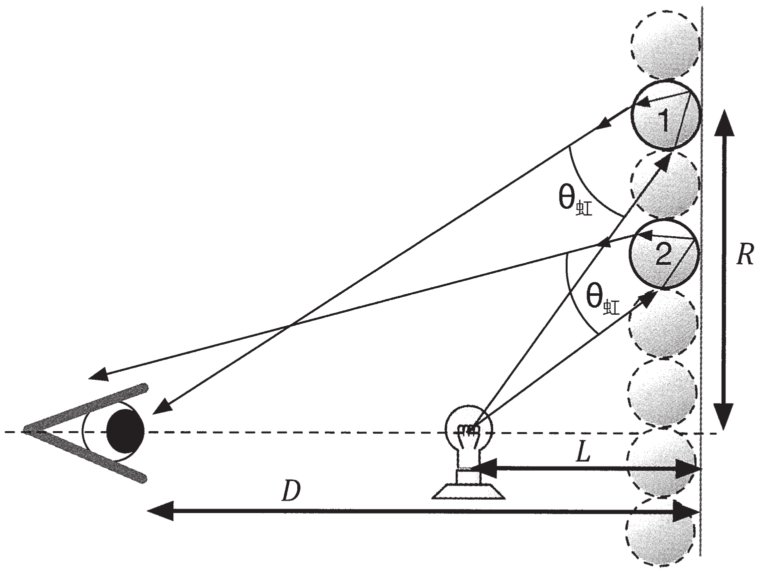


図 8

板上のどこにある球がこのような関係を満足させられるかというと，それは光源および観察者の位置によって変わってくる．

11．光源と観察者が同じ位置（$D = L$）にあった場合，どうなるだろうか，次のうちから最も適切なものを選び，解答欄 サ に記せ．

a.　平行光の場合と同様の色の順序で虹が見える．
b.　虹は見えない．
c.　平行光の場合とは色の順序が逆になった虹が見える．
d.　二重の虹が見える．

板上のどこにある球からの光が虹角を満足して目に入ってくるかを考えよう．まず最も簡単な例を考える．点光源が非常に遠方にあり，入射光が平行光とみなせる場合である．太陽光で実験したときがこれに相当する．この場合，光源－球－観測者の角度が 22°になる場所は（　と　）となるような位置であり，これは必ず存在するので虹は見える．

点光源が遠方にある場合以外にも必ず虹は見えるのだろうか．光源－球－観察者のなす角が，球の光軸からの距離によってどのように変化するか考えてみる．球の光軸からの距離が 0 に近いと光源－球－観察者のなす角度は 0 に近い．球の光軸からの距離を大きくしていくと光源－球－観察者のなす角度ははじめ大きくなるが，さらに球の光軸からの距離を大きくしていくと今度は光源－球－観察者のなす角度は小さくなり，0 に近づいていく．したがって，光源－球－観察者のなす角度には極大値がある．もし極大値が虹角以上であれば，虹角を満足する点が少なくとも二箇所存在し，一方，極大値が虹角以下であれば，虹角を満足する点がないので虹は見えない．

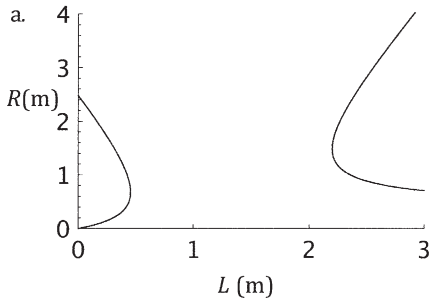
点光源が観測者に比べて板に非常に近いときを考えてみると，光源－球－観察者のなす角度を大きくすることができるので，その極大値が虹角以上になる条件を満たしやすいだろうということが予想できる．

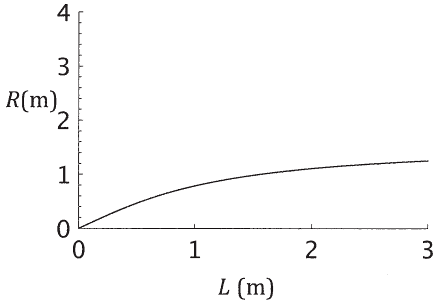
なお，虹が見えるか見えないかという点で言えば，光源と観察者の位置を（　ち　）．この実験について以下の問いに答えよ．

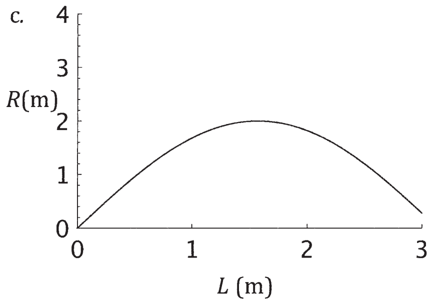
12．文中の（　と　）（　ち　）内に入るものの組み合わせとして最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{シ}}$ に記せ．

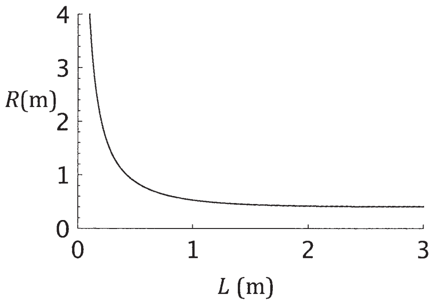
a.　（と）$R/D = \tan 22°$　（ち）入れ替えても結果に変わりはない
b.　（と）$R/D = \tan 22°$　（ち）入れ替えると結果は異なる
c.　（と）$R/D = \tan 68°$　（ち）入れ替えても結果に変わりはない
d.　（と）$R/D = \tan 68°$　（ち）入れ替えると結果は異なる

13．板から電球の距離 L，板から観測者の距離 D が与えられると，光源－球－観察者がなす角度が虹角となるような，ある特定の距離 R にある球からの射出光だけが目に入り，それが虹として見える．観測者の位置を $D = 1$ m に固定したとき，光源の位置 L の関数として，R をグラフにすると，次のどれに最も近いか．適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{ス}}$ に記せ．

a.


b.


c.


d.


なお，目の位置が，光源と一直線上にない一般の場合を考えると，この板でできる虹は一般には円にはならない．これが太陽光（平行光）によってできる空の虹とは異なる点である．

化　学

PART I ～ PART III の問題があります．マークセンス方式の解答欄ア～シおよび記述方式の解答欄 A，B を使って，あなたの答えを示しなさい．

必要であれば，次の数値を用いなさい．

原子量　H : 1，C : 12，N : 14，O : 16，Ca : 40

水の比熱 : 4.2 $\mathrm{J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}}$

PART I

旅の楽しみの一つに，駅弁がある．数ある駅弁の中には，ひもを引くと発熱して駅弁を温められる仕掛けがついているものがある．図 1 にそのしくみを示す．これは，すみやかに起こる化学反応を利用したものである．発熱ユニットには，酸化カルシウムと反応に必要な少量の水があり，これらによる発熱反応（65 $\mathrm{kJ \cdot mol^{-1}}$）が熱源である．

では，図 2 のような容器に水温 20 ℃ の水 200 g を入れ，これを 80 ℃ まで温めるのに必要な酸化カルシウムの質量を求めてみよう．ただし，容器や外気などによる熱の損失はないものとする．また，発生した熱はすべて容器内の水 200 g を温めるのに使われるとする．

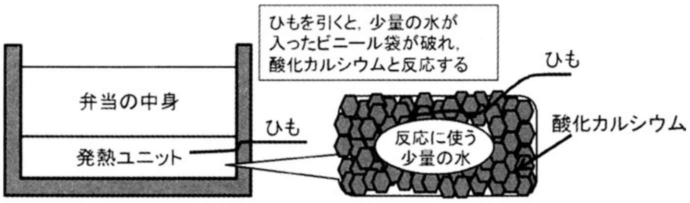


図1　加熱式お弁当の断面図

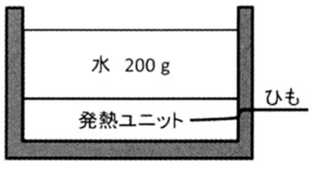


図2　水 200 gを入れた容器

1. 酸化カルシウムの質量として，もっとも適切なものは次のうちどれか．解答欄 ア に記せ．

   a.　77 g
   b.　65 g
   c.　57 g
   d.　43 g

2. 次のうち，正しい記述の組み合わせを解答欄 $\boxed{\text{イ}}$ に記せ．

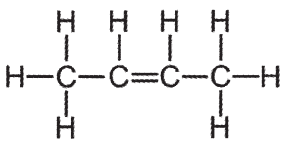
① 触媒を添加すると，反応経路が変わる．
② 触媒を添加すると，平衡定数が変わる．
③ 可逆反応で温度を上げると正反応・逆反応ともに反応速度は速くなる．
④ 反応物の濃度が半分になると，反応速度定数も半分になる．

a. ①，③
b. ②，③
c. ②，④
d. ①，④

3. C, H, O だけでできている有機化合物 X（60 mg）を元素分析装置により調べたら，H_2O が 72 mg, CO_2 が 132 mg 生成した．また，有機化合物 X を調べたら，①～③の性質があることがわかった．記入例を参考にして，有機化合物 X の化学構造式を解答欄 $\boxed{\text{A}}$ に記せ．ただし，有機化合物 X の分子量は 60 とする．

① 金属ナトリウムと反応し，気体を発生する．
② 酸化するとカルボン酸になる．
③ ヨードホルム反応を示さない．

（記入例）



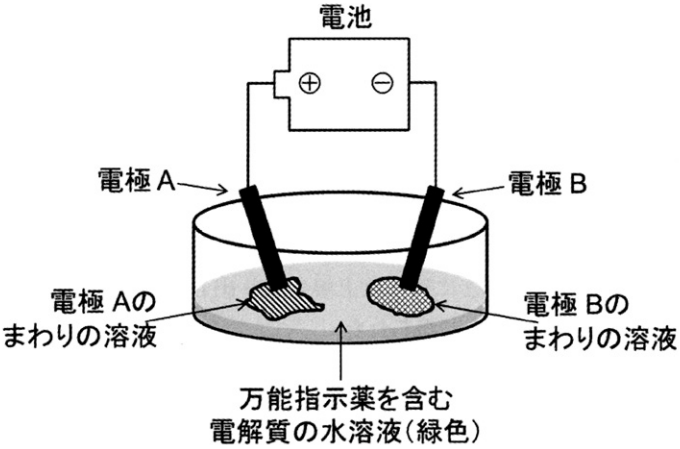
$CH_3-CH=CH-CH_3$

4. A 欄の 2 種類のイオンが混ざった水溶液がある．B 欄の沈殿反応により，2 種類のイオンを分離できないのは次のうちどれか．解答欄 $\boxed{\text{ウ}}$ に記せ．

	A	B
①	Al^{3+}, Cu^{2+}	アンモニア水を過剰に加える．
②	Pb^{2+}, Ba^{2+}	硫酸アンモニウム水溶液を加える．
③	Na^{+}, Ca^{2+}	炭酸アンモニウム水溶液を加える．
④	Fe^{2+}, Cu^{2+}	中性にして H_2S 気体を通す．
⑤	Zn^{2+}, Cu^{2+}	NaOH 水溶液を過剰に加える．

a. ①，⑤
b. ②，④
c. ②，⑤
d. ③，④

5. 万能指示薬（pH 7 で緑，それより大きな pH では青，小さな pH ではピンクを呈す）を加えた希薄な硫酸ナトリウム水溶液をシャーレに，約 5 mm の深さに入れ，溶液を動かさないように気をつけながら白金を電極として電気分解を行った．この実験の結果について，適切な組み合わせは次のうちどれか．解答欄 $\boxed{\text{エ}}$ に記せ．



① 陽極のまわりの溶液がピンクになった．

② 陰極のまわりの溶液がピンクになった．

③ 陽極と陰極から発生した気体の質量の比は 16:1 であった．

④ 電極のまわりの溶液の色が青くなった電極では還元反応が起こった．

⑤ すべての電極を抜いて溶液全体をかき混ぜて一様にすると緑色になった．

⑥ 溶液中で陰極から陽極に電子が移動した．

a. ①，③，④
b. ②，③，⑥
c. ①，④，⑤
d. ②，⑤，⑥

PART II

溶液Xは置換基が異なる4つの芳香族化合物(C_6H_5-OH, C_6H_5-NH_2, C_6H_5-COOH, C_6H_5-CH_3)のジエチルエーテル溶液を混合したものである．各成分を分離するため，（い）～（に）の操作を行った．

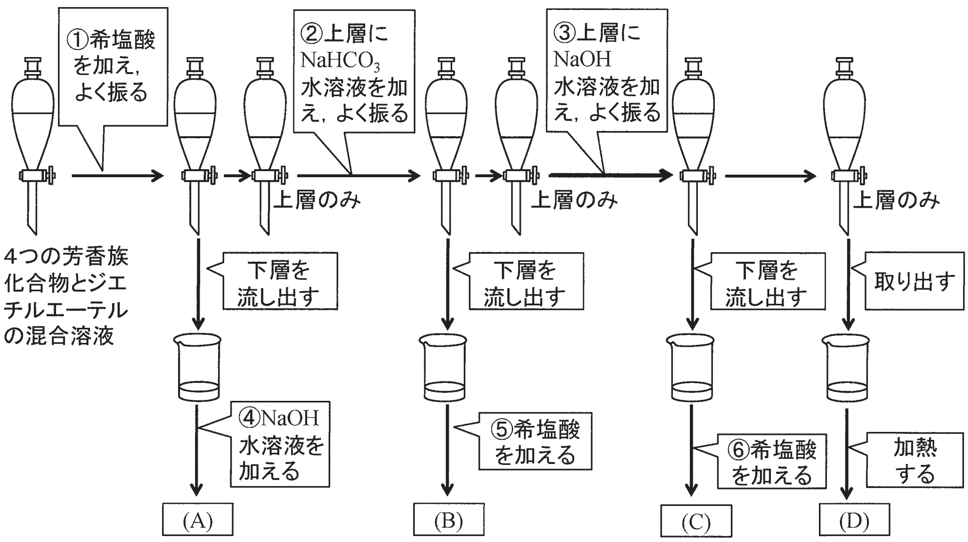
（い）分液ろうとに希塩酸を加え，よく振った．下層を取り出して，下図のようにNaOH水溶液を加えたら，(A) が得られた．

（ろ）操作（い）で，分液ろうとに残った上層に $NaHCO_3$ 水溶液を加え，よく振った．下層を取り出して，希塩酸を加えると，(B) が得られた．

（は）操作（ろ）で，分液ろうとに残った上層に NaOH 水溶液を加え，よく振った．下層を取り出して，希塩酸を加えると，(C) が得られた．

（に）操作（は）で分液ろうとに残った上層を取り出し，加熱し，ジエチルエーテルを蒸発させたら，(D) が得られた．

【抽出の概要図】



6. 概要図の (B) と (D) にあてはまる芳香族化合物の正しい組み合わせは次のうちどれか．解答欄 オ に記せ．

a. (B) : C_6H_5-CH_3, (D) : C_6H_5-COOH
b. (B) : C_6H_5-NH_2, (D) : C_6H_5-OH
c. (B) : C_6H_5-COOH, (D) : C_6H_5-CH_3
d. (B) : C_6H_5-OH, (D) : C_6H_5-NH_2

7. これらの 4 つの芳香族化合物のうち，エステル化反応を起こす化合物の組み合わせとして，正しいのは次のうちどれか．解答欄 カ に記せ．

a. C_6H_5-NH_2,　　C_6H_5-COOH
b. C_6H_5-COOH,　　C_6H_5-OH
c. C_6H_5-OH,　　C_6H_5-CH_3
d. C_6H_5-CH_3,　　C_6H_5-NH_2

8. これらの 4 つの芳香族化合物のうち，酸無水物ができる化合物として，正しいのは次のうちどれか．解答欄 キ に記せ．

a. C_6H_5-OH
b. C_6H_5-NH_2
c. C_6H_5-COOH
d. C_6H_5-CH_3

9. 抽出の概要図に記した①～③の操作で用いる試薬の代わりに，①には $NaHCO_3$ 水溶液を，②には NaOH 水溶液を，③には希塩酸を用いた．このとき， (B) を取り出すために，⑤の操作で用いる試薬と，取り出した芳香族化合物 (B) の組み合わせとして，正しいのは次のうちどれか．解答欄 ク に記せ．

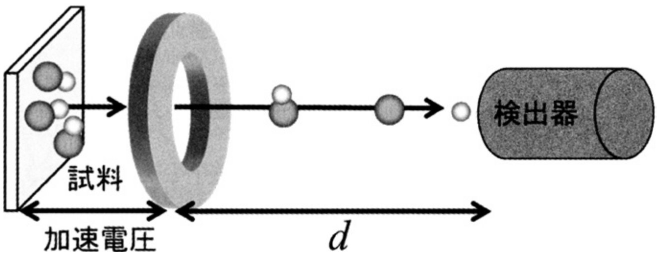
a. 操作⑤：希塩酸　　(B)：C_6H_5-COOH
b. 操作⑤：NaOH 水溶液　　(B)：C_6H_5-CH_3
c. 操作⑤：希塩酸　　(B)：C_6H_5-OH
d. 操作⑤：NaOH 水溶液　　(B)：C_6H_5-NH_2

10. 抽出の概要図に記した②の操作で，$NaHCO_3$ 水溶液の代わりに，誤って NaOH 水溶液を加えた．この操作で分液ろうとの下層へ移る化合物の組み合わせとして，正しいのは次のうちどれか．解答欄 ケ に記せ．

a. C_6H_5-OH,　　C_6H_5-CH_3
b. C_6H_5-NH_2,　　C_6H_5-COOH
c. C_6H_5-CH_3,　　C_6H_5-NH_2
d. C_6H_5-COOH,　　C_6H_5-OH

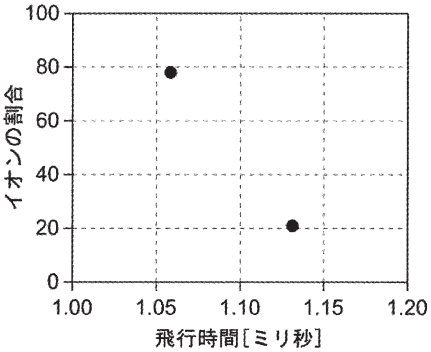
PART III

分子の質量を測定する装置として，飛行時間型質量分析器がある．これはイオン化した分子を電圧 V（加速電圧）で加速し，一定の距離 (d) を飛行する時間を測定する装置である．分子イオンが +1 価であるとすると，分子イオンが電場の加速で得る運動エネルギー T は分子イオンの質量 m によらず一定 (eV) であるため，加速部分を通過したあとの分子イオンの速さ v とT の関係 $(T = eV = \frac{1}{2}mv^2)$ から，分子イオンの速さ v は質量 m の平方根に反比例する．したがって，距離 d を飛行するのにかかる飛行時間 $t = d/v$ を測定することによって，分子イオンの質量を知ることができる．たとえば，質量 m の分子イオンの飛行時間が 10.0［ミリ秒］なら，質量 $2m$ の分子イオンの飛行時間は $10.0 \times \sqrt{2}$ =14.1［ミリ秒］になる．分子イオンの質量は，分子の質量とほぼ同じである．以下では，質量分析器に導入された分子がイオン化する割合はどの分子についても同じであり，イオンはすべて +1 価であるとする．

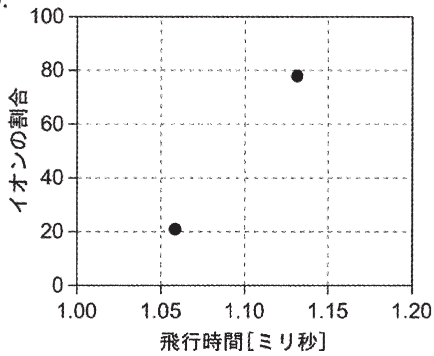


11. 乾燥空気を飛行時間型質量分析器で測定したときの飛行時間 t［ミリ秒］ のデータとして，下図のうちもっとも適切なのはどれか．解答欄 $\boxed{\text{コ}}$ に記せ．ただし，分子量 100 の分子の飛行時間は 2.0［ミリ秒］である．

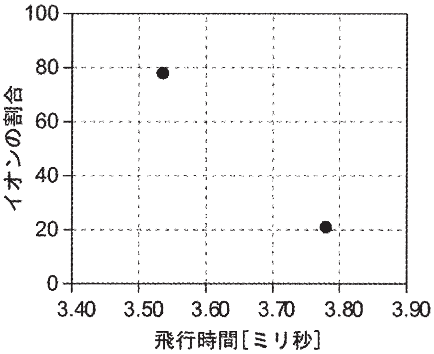
a.



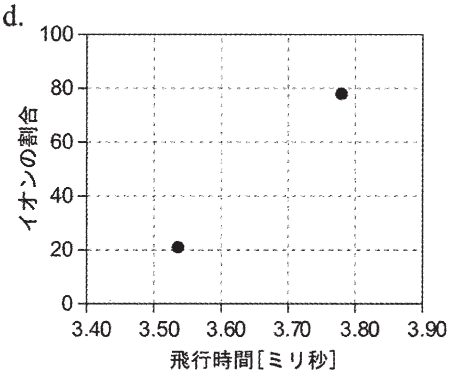
b.



c.



d.

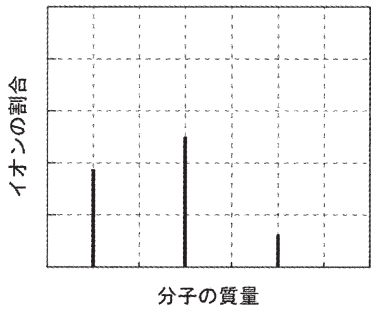


12. 元素の中には，複数の安定同位体をもつものがある．たとえば，臭素の安定同位体には質量数が 79 の同位体（^{79}Br）と 81 の同位体（^{81}Br）の 2 種類があり，それらは 1:1 の割合で存在している．また，塩素も二つの安定同位体を持ち，質量数 35 の同位体（^{35}Cl）と 37 の同位体（^{37}Cl）の存在比は 3:1 である．塩化臭素（BrCl）には分子の質量が異なるものが存在する．

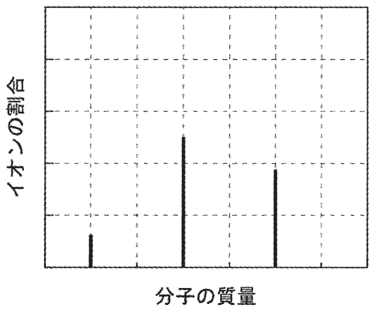
BrCl を飛行時間型質量分析器で測定したときに得られるデータとして，下図のうち正しいのはどれか．解答欄 $\boxed{\text{サ}}$ に記せ．ただし，横軸は飛行時間から分子の質量に換算してある．

なお図の横軸の「分子の質量」は，グラフの左から右に行くにしたがって，大きな値となる．

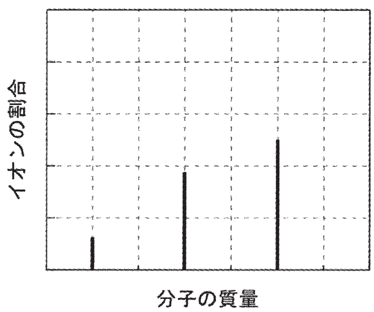
a.



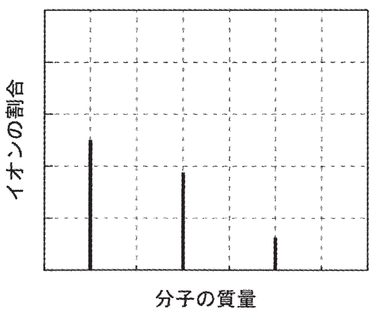
b.



c.



d.

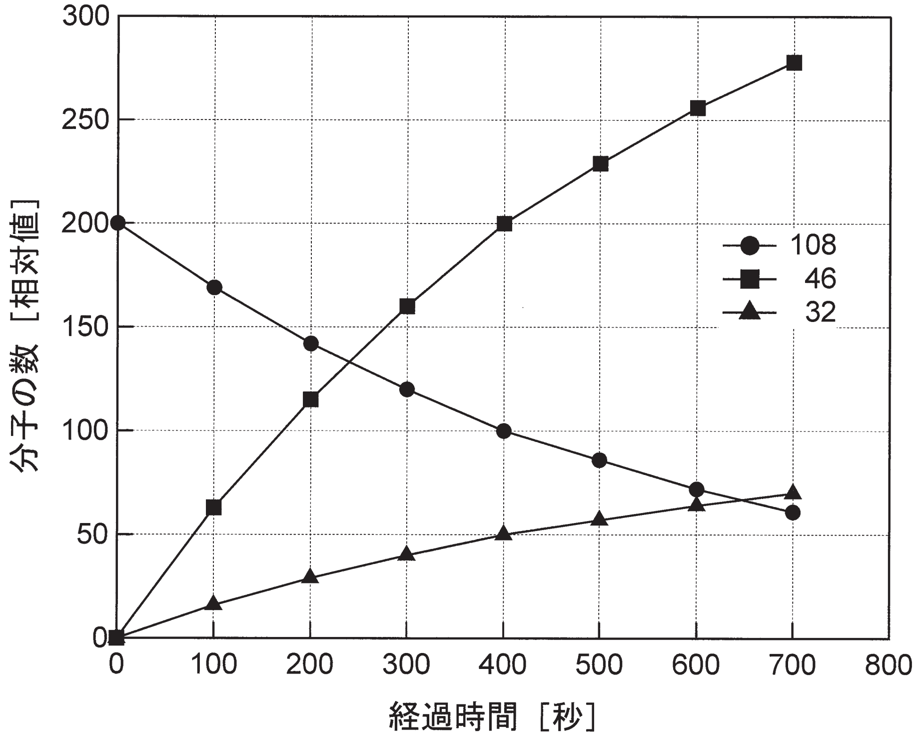


13. ある気体の化合物 X は，気体 Y と気体 Z に分解することが知られている．下図は，X の分解実験を行ったときの飛行時間型質量分析器による質量 32, 46, 108 の各分子の数の時間変化を表している．

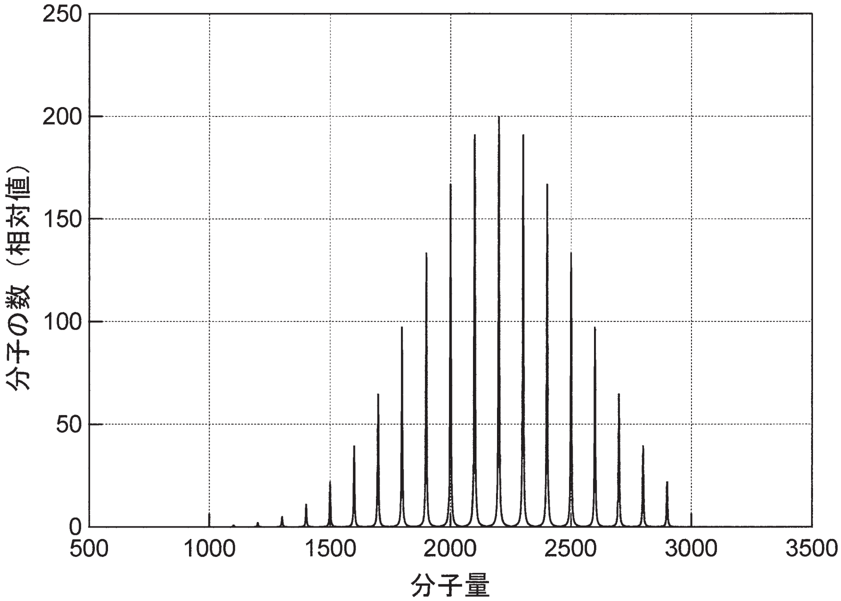
この反応の反応式

$$p\,\mathrm{X} \rightarrow q\,\mathrm{Y} + r\,\mathrm{Z}$$

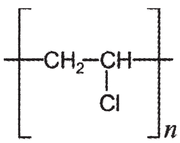
の係数 q の値を解答欄 $\boxed{\mathrm{B}}$ に記せ．ただし q は r 以上である．



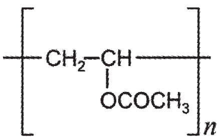
14. 高分子化合物の合成では，重合度の異なる高分子が同時に生成する．ある高分子化合物を合成して，その生成物を飛行時間型質量分析器で測定したものが下図に示されている．この高分子は次のうちどれか．解答欄 $\boxed{\text{シ}}$ に記せ．



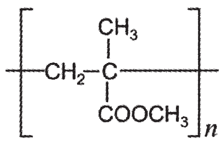
a.　ポリ塩化ビニル



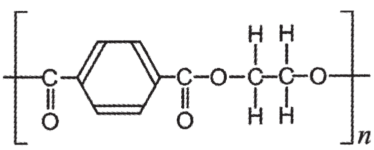
b.　ポリ酢酸ビニル



c.　メタクリル樹脂



d.　ポリエチレンテレフタレート



生　物

PART Ⅰ， PART Ⅱ の問題があります．マークセンス方式の解答欄ア～ソおよび記述方式の解答欄Ａ～Ｄを使って，あなたの答えを示しなさい．

PART Ⅰ

生態系に関する下記の文章を読み，問いに答えよ．

生物は，多様な種が複雑に関係し合って地球上に生息している．これまでに，約 190 万種が生物学者によって記載されているが，まだ 80%以上の種が未発見であるという推測もある．このように多様な生物が生息することは，生物多様性とよばれるが，生態系多様性，種多様性，および (a)遺伝的多様性の三階層の多様性が含まれていると考えられる．

世界の各地域で，植生を構成する植物だけでなく，動物，微生物も含めた生物の集まりを （Ａ） とよび，陸上の （Ａ） は (b)相観 によって分類される．たとえば，日本の本州の森林環境では，常緑広葉樹を中心とする 〝照葉樹林〟 が主に関東から西の地域に広がり，ほぼ同じ降水量で平均気温がやや低い東北地方では，〝 （Ｂ） 〟が広い面積を占める．環境に応じて多様な （Ａ） が存在することが，生態系多様性が保たれた状態である．より低い階層の多様性として種多様性，および (a)遺伝的多様性があるが，それぞれが生物多様性を形作る重要な要素である．生態系を安定して持続する上での多様性の大切さは，走行する自動車のネジにたとえられる．ネジが数本抜けても問題は無いように思えるが，少しずつ抜けてゆくといつかは走行できなくなってしまう．このように，ある生物種が絶滅してもはじめのうちは問題が無いが，絶滅が続くといつかは生態系が崩壊してしまうと考えられる．

一方，生態系は自動車とは異なり，環境の変化にある程度は対応していくことができる．環境の大規模な撹乱（かくらん）が起こっても，植物生態系は長い年月をかけてそれぞれの地域に適した安定な植生に遷移してゆく．たとえば，日本の関東地方の場合，(c)シラカシが優占する長期間安定した林を人間が切り払い，その後の自然の遷移によって形成された

草原のススキをかやぶき屋根の材料などに利用し，さらに,明るい環境で成長が早く秋期に落葉するコナラなどの木を育成して雑木林をつくり，木材を薪(まき)などの燃料に，落ち葉を畑の堆肥(たいひ)にと，人為的な利用が続けられてきた．このような雑木林は近年まで各所で見られたが，現在ではまきや炭が利用されなくなって経済的価値が下がり，住宅地の開発などにより雑木林は減少してしまった．

1．上記文章中の (a)遺伝的多様性 に関する記述として，最も適切な記述を選び，解答欄 ア に記せ．

a．同種の生物でも，個体ごとに遺伝子の塩基配列に違いがあることを，遺伝的多様性とよぶ．これにより個体群は環境変動などに対する応答性が高まる．

b．同種の生物では，個々の遺伝子から翻訳されたタンパク質は同一であるため，表現型に影響のない塩基配列の多様性のことを遺伝的多様性とよぶ．

c．遺伝子の塩基配列にランダムに変異が生じて種内の遺伝的多様性が増大するが，その変異が個体群内に定着するのは，正の自然選択が働いた場合のみである．

d．ある地域の個体群に地域外から同種の個体群が流入しても，ハーディ・ワインベルグの法則に示されるように集団内の対立遺伝子の比率は変わらないため，遺伝的多様性は増大しない．

2．上記文章中の （ A ） に当てはまる適切な用語を，解答欄 A に記せ．

3．上記文章中の(b)相観の説明として最も適切な記述を選び，解答欄 イ に記せ．

a．その地域の生態系の維持に最も大きな影響を持つ植物種のニッチ

b．その地域で最も個体数の多い生物種の分類群

c．その地域に生息する生物間の相互作用のネットワーク

d．その地域の植生全体の外観

4．上記文章中の （ B ） に当てはまる適切な用語を，解答欄 B に記せ．

5. 遷移は，その始まりの状態から，大きく２つのタイプに分けられるが，上記文章中の下線部(c)の環境の撹乱（かくらん）後に進行するタイプの遷移の例として，最も適切な記述を選び，解答欄 $\boxed{\text{ウ}}$ に記せ．

a. 海底火山が噴火してできた火山島には，土壌がなくても生きられる地衣類などが最初に生育する．
b. 山火事で森が消失すると，土中の種や球根などから植物が生育し，草原が形成される．
c. 人間が広葉樹林を伐採して，針葉樹の苗を植えて針葉樹林に変わる．
d. 乾期に植物のあまり見られない地域が，雨期になって草原に覆われる．

東京近郊のある雑木林では，高木層の優占種はコナラで，その他に数は少ないがシラカシが生えている．この林は，明治時代までは，伐採して木材を燃料などに用い，切り株から生えてくる萌芽（ほうが）を次に伐採する時期まで 20-30 年間成長させてから，また伐採して利用し，(d)林床の落ち葉は毎年かき集めて堆肥に利用してきた（この作業のことを林床の管理とよぶ）．しかし近年は，高木の伐採はされず，林床の管理のみが行われてきた．この管理では，種から成長を始めた幼樹と落ち葉は除去される．ただし，切り株から萌芽した新芽は，除去されないで若木に育つものも残された．

この林で，樹木の調査を行った．そこに生えるすべてのコナラとシラカシの木に番号を付けて識別し，調査開始時に一度だけ胸高周囲（地面から 120 cm の高さの幹の周囲の長さ）を測定して，その値によって区分けし，6 年ごとに個々の樹木が生存しているかどうかを調査した．その結果，表 1 のようなデータが得られた．

表1. 胸高周囲25cm以上のコナラとシラカシの樹木数と6年後，12年後の生存本数

調査開始時の胸高周囲(cm)		調査開始時の本数	6年後の生存本数	12年後の生存本数
25-50	コナラ	10	4	2
	シラカシ	3	3	3
51-100	コナラ	85	62	51
	シラカシ	8	7	7
101-150	コナラ	92	83	76
	シラカシ	5	5	5
151-200	コナラ	12	12	12
	シラカシ	1	1	1

6. 上記文章中の下線部(d)に記述した林床の管理をやめ，その後大きな環境の変化がないとすると，今後この林はどのように変わってゆくと考えられるか．下記の記述 (い)，(ろ)，(は) について，表1のデータを参考にa～dの中で最も適切なものを選び，解答欄 エ に記せ．

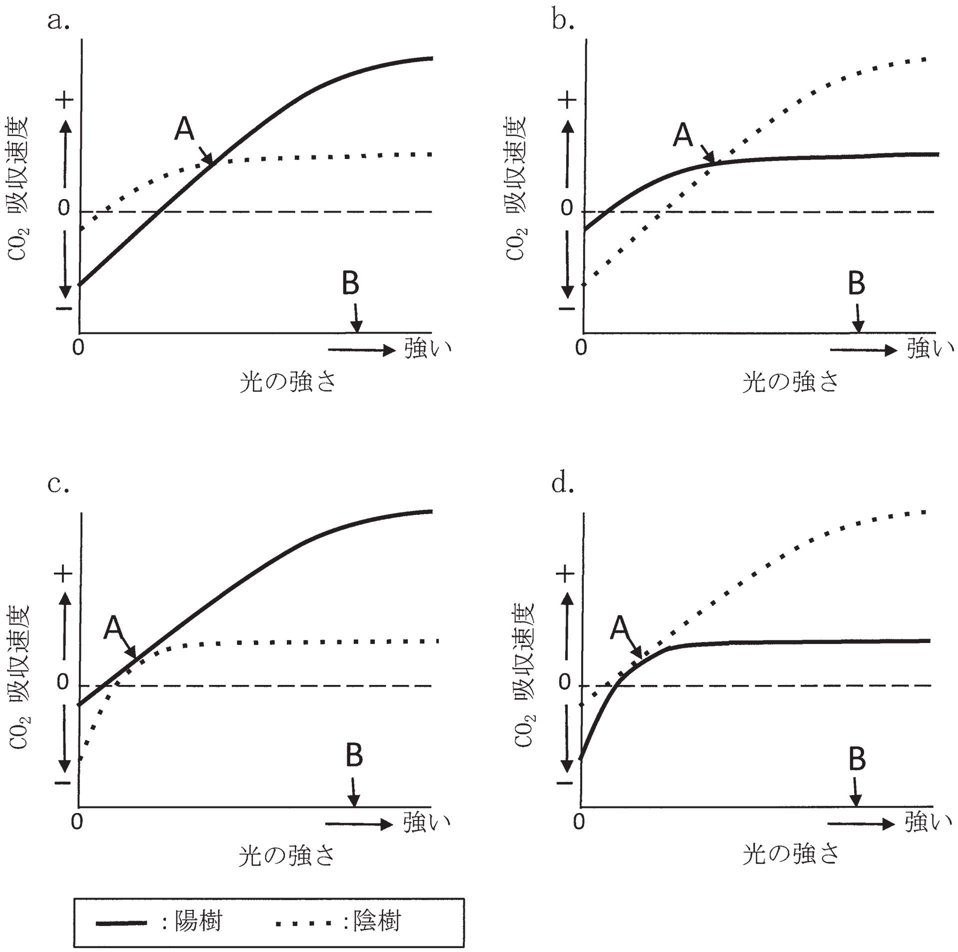
(い) 現在，高木層を形成しているコナラは老齢化して枯死し，コナラの胸高周囲25 cm程度の若木は生存率が低く育たないために，コナラが寿命を迎えた時期に一度草原に戻ってそこから新たな二次遷移が始まる．

(ろ) 林床の管理がなくなって，コナラ，シラカシとも種から芽を出した幼樹が成長を始めるが，高木がある環境下ではコナラは生存率が低く，シラカシの幼樹がよく成長して，次第にシラカシの林に遷移して，長期間安定して維持される．

(は) コナラの胸高周囲 25 cm程度の若木は生存率が低いが，コナラの高木が枯死すると，光が当たる“ギャップ”ができるためにコナラの若木が順次成長して，現状と変わらないコナラが優占する林が長期間安定して維持される．

a. すべて誤り
b. (い)のみ正しい
c. (ろ)のみ正しい
d. (は)のみ正しい

7. 下図は，コナラなどの陽樹とシラカシなどの陰樹について光の強さと二酸化炭素の吸収速度の関係を表したグラフである．陽樹を実線で陰樹を点線で表す． a～d の中で最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{オ}}$ に記せ．



8．陽樹と陰樹の物質生産に関する下記の記述（い），（ろ），（は）について，a〜dの中で最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{カ}}$ に記せ．

（い）　問７のグラフ中に矢印Ａで示した点より弱い光条件では，光合成速度は，陰樹の方が陽樹より大きい．

（ろ）　問７のグラフ中の CO_2 吸収速度が０になる光条件では，陽樹，陰樹とも，個体全体の収支で見ると，見かけ上酸素は放出されない．

（は）　問７のグラフ中に矢印Ｂで示した光条件では，林冠部の葉に含まれる酵素ルビスコ（リブロース-1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼともよばれる）の量は，葉の同面積で比較すると陽樹の方が陰樹より多い．

a．(い)，(ろ)が正しい
b．(い)，(は)が正しい
c．(ろ)，(は)が正しい
d．(い)，(ろ)，(は)いずれも正しい

PART II

代謝に関する下記の文章を読み，問いに答えよ.

生物は絶えず変化している外部環境中を生きている．生物の体内環境を維持することは生命活動の維持に極めて重要といえる．恒温動物では気温が上昇したり，激しい運動によって体温が上昇すると，交感神経の働きにより発汗が促され，放熱量が増加されるなどして体温を下げる．同様に肝臓や腎臓の働きによって，体液中の様々な物質（イオン，酸素，二酸化炭素，グルコースなど）の濃度がある一定の範囲に調節されている．このような，体内環境が一定に維持される仕組みを $\boxed{（ C ）}$ という.

$\boxed{（ C ）}$ の一例として，ヒトの血液中のグルコース濃度（血糖濃度，血糖値などともよばれる）について考えてみる．糖質の摂取などによって急激にグルコース濃度が上昇したり，激しい運動などによってグルコース濃度が低下すると，インスリン，グルカゴン，アドレナリン，糖質コルチコイドなどのホルモンが分泌されることにより，グルコース濃度が一定の範囲に維持される.

9．上記文章中の $\boxed{（ C ）}$ に当てはまる適切な語句を，解答欄 $\boxed{C}$ に記せ.

10. インスリンについて，誤っている記述を1つ選び，解答欄 キ に記せ．

a.　インスリンはすい臓のランゲルハンス島とよばれる構造にみられるB細胞から分泌される．

b.　インスリンの分泌は交感神経の働きにより促される．

c.　インスリンは筋肉細胞や脂肪細胞によるグルコースの取り込みを促進する．

d.　インスリンは肝臓でのグリコーゲンの合成を促進する．

グルコース濃度の維持機構に異常をきたし，グルコース濃度が適切に下がらなくなると，グルコース濃度が慢性的に高い状態になる．このような疾患は糖尿病とよばれている．糖尿病は大きく２つに分けられる．１つは，グルコース濃度が上昇しても十分な量のインスリンが分泌されないことによる場合である．本来外敵から体を守る働きをする免疫系により，インスリンを分泌する細胞が破壊されるためであるが，これは１型糖尿病である．もう１つは，肥満，ストレス，加齢などにより，インスリンの標的細胞においてインスリンによる情報伝達効率が低下することが主な原因とされる場合で，これは２型糖尿病である．インスリンによる情報伝達効率が低下する状態をインスリン抵抗性というが，インスリン抵抗性が進行すると，正常なグルコース濃度を維持するためにより多くのインスリン分子を必要とするようになるので，慢性的に血液中インスリン濃度が高い状態になる．この状態がある一定期間続くと，インスリン分泌細胞が疲弊（ひへい）して，糖尿病が急激に悪化する．現在，先進国を中心に患者数が増加しているのは，２型糖尿病である．

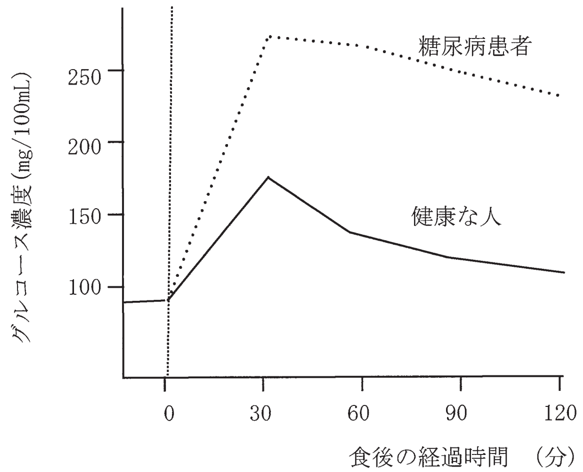


図１

図１に示すように，食事によるグルコース濃度の変化を調べると，健康な人と比べて糖尿病患者ではグルコース濃度が高い状態が続く．高グルコース濃度がインスリン分泌の異常（１型糖尿病）のためなのか，インスリン抵抗性（２型糖尿病）のためなのか調べる方法の１つとして，グルコースクランプ法がある．この検査では，ある一定量のインスリンを静脈から連続的に注入すると同時に，低血糖症（グルコース濃度が低い状態）にならないようにグルコースも静脈から連続的に注入する．そして，グルコース濃度が摂食時グルコース濃度程度に安定するように，単位時間あたりのグルコース注入量を調節する．体内で分泌されるイ

ンスリン量とグルコース濃度を上昇させるホルモンの働きを無視できると仮定すると，グルコース濃度が安定した状態では，$\boxed{（\ D\ ）}$とみなして良い．そう考えると，インスリン抵抗性がある糖尿病患者では健康な人と比べて，単位時間あたりのグルコース注入量は$\boxed{（\ E\ ）}$.

11．上記文章中の $\boxed{（\ D\ ）}$，$\boxed{（\ E\ ）}$ に入るものの組み合わせとして，最も適切なものを解答欄 $\boxed{\ ク\ }$ に記せ．

a．$\boxed{（\ D\ ）}$ 注入したグルコースの量と，注入したインスリンの作用により体内の細胞に取り込まれているグルコースの量は等しい
$\boxed{（\ E\ ）}$ 多くなる

b．$\boxed{（\ D\ ）}$ 注入したグルコースの量と，注入したインスリンの作用により体内の細胞に取り込まれているグルコースの量は等しい
$\boxed{（\ E\ ）}$ 少なくなる

c．$\boxed{（\ D\ ）}$ 注入したグルコースの量と，注入したインスリンの作用により肝臓や筋肉でグリコーゲン合成に利用されるグルコースの量は等しい
$\boxed{（\ E\ ）}$ 多くなる

d．$\boxed{（\ D\ ）}$ 注入したグルコースの量と，注入したインスリンの作用により肝臓や筋肉でグリコーゲン合成に利用されるグルコースの量は等しい
$\boxed{（\ E\ ）}$ 少なくなる

糖尿病には1型糖尿病にも，２型糖尿病にも分類されないタイプのものもある．ある糖尿病変異体マウスを解析したところ，インスリンの血中濃度が野生型マウスと比べて著しく低下していることがわかった．そこで野生型マウス，変異体マウスからインスリンを分泌する細胞を取り出して，下記の実験を行った．まず，この細胞に遺伝子工学の手法を用いて特殊なタンパク質Ｐを発現させた．タンパク質Ｐは細胞の中の小胞内に輸送される．また，タンパク質Ｐは pH が低い小胞の中では光らないが，pH が高い細胞外に移動すると光を発する性質を持つ．この細胞にグルコースを添加して発色度合いを定量化したところ，図２のようになった．ただし，野生型マウス，変異体マウス，どちらのインスリンを分泌する細胞でも，タンパク質Ｐは同程度に発現し，小胞内に輸送されるものとする．

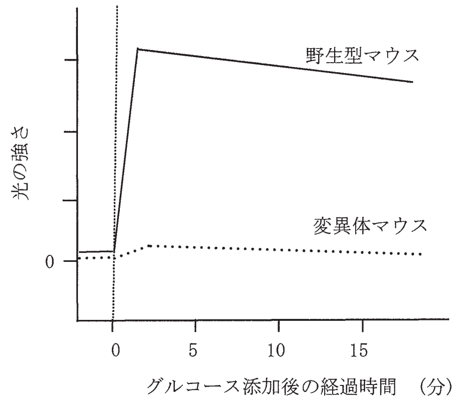


図２

12. この実験結果から考えられる，この変異体マウスの異常に関する下記の記述（い)，(ろ)，(は)，(に）について，a〜d の中で最も適切なものを選び，解答欄 $\boxed{\text{ケ}}$ に記せ．

（い）変異体マウスでは小胞がほとんど移動できない．

（ろ）変異体マウスでは小胞が細胞膜とほとんど融合できない．

（は）変異体マウスではインスリンがほとんど小胞に取り込まれない．

（に）変異体マウスではインスリンを分泌する細胞はグルコースの濃度をほとんど感知できない．

a.（ろ)，(は)，(に)が正しい

b.（い)，(は)，(に)が正しい

c.（い)，(ろ)，(に)が正しい

d.（い)，(ろ)，(は)が正しい

呼吸商とはある時間において生体内で栄養素が分解されてエネルギーに変換されるまでの，酸素消費量に対する二酸化炭素放出量の体積比である．呼吸商は生体内で利用されている栄養素の比率によって決まる．表２は炭水化物，脂質，タンパク質それぞれ 1g が完全に異化されたときの，それぞれの酸素消費量，二酸化炭素放出量，尿中に放出される窒素量を示す．

表２

	酸素消費量 (L)	二酸化炭素放出量 (L)	尿中窒素量 (mg)
炭水化物	0.8	0.8	—
脂質	2.0	1.4	—
タンパク質	0.6	0.5	163

13．健康な成人の呼吸を１時間測定したところ，酸素消費量は 9.4 L，二酸化炭素放出量は 8.3 L であった．消費された炭水化物と脂質の合計消費量(g)を求めよ．ただし，タンパク質による二酸化炭素放出量は全二酸化炭素の 12%とする．合計消費量を以下のように表したとき，$\boxed{コ}$ と $\boxed{サ}$ に入る適切な数字を解答欄 $\boxed{コ}$ ，$\boxed{サ}$ にそれぞれ記せ．ただし，小数点第２位を四捨五入せよ．

炭水化物と脂質の合計消費量 ＝ $\boxed{コ}$. $\boxed{サ}$ g

14．炭水化物と脂質の酸素消費量と二酸化炭素放出量のみから算出した呼吸商を非タンパク呼吸商という．上記と同様に糖尿病患者の呼吸を測定したところ，非タンパク呼吸商は 0.80 であった．また，タンパク質の消費量は上記の健康な被験者と同じであった．このとき

$$R = \frac{炭水化物の消費量}{脂質の消費量}$$

としたときの 糖尿病患者のＲを求めよ．Ｒを以下のように表したとき，$\boxed{シ}$ と $\boxed{ス}$ に入る適切な数字を解答欄 $\boxed{シ}$ ，$\boxed{ス}$ にそれぞれ記せ．小数点第２位を四捨五入せよ．

R ＝ $\boxed{シ}$. $\boxed{ス}$

２型糖尿病の要因は多数知られているが，その１つが肥満である．肥満は摂取された栄養が過剰であるとき，中性脂肪が脂肪細胞に過度に蓄積された状態をいう．図３は解糖系とTCA回路の模式図である．中性脂肪はグリセリンと３つの脂肪酸が結合してできているが，脂肪酸の合成はTCA回路の中間産物の１つであるクエン酸から開始する．個体の栄養条件は，TCA回路（異化経路）と脂肪酸合成経路（同化経路）のうち，どちらが促進するかに影響を与える．通常の摂食条件ではTCA回路が働いているが，栄養過多になると，速やかに脂肪酸合成経路が活性化する．このような代謝経路の切り替えは，放射性同位元素の炭素を用いた以下の様な実験により検証できる．

【実験Ⅰ】

ラットをある一定期間通常の餌（えさ），あるいは高カロリーの餌を与えた後，放射性同位元素の炭素のみからなるグルコースを経口で投与した．その後，放射性同位元素の脂肪酸への取り込みを調べた．

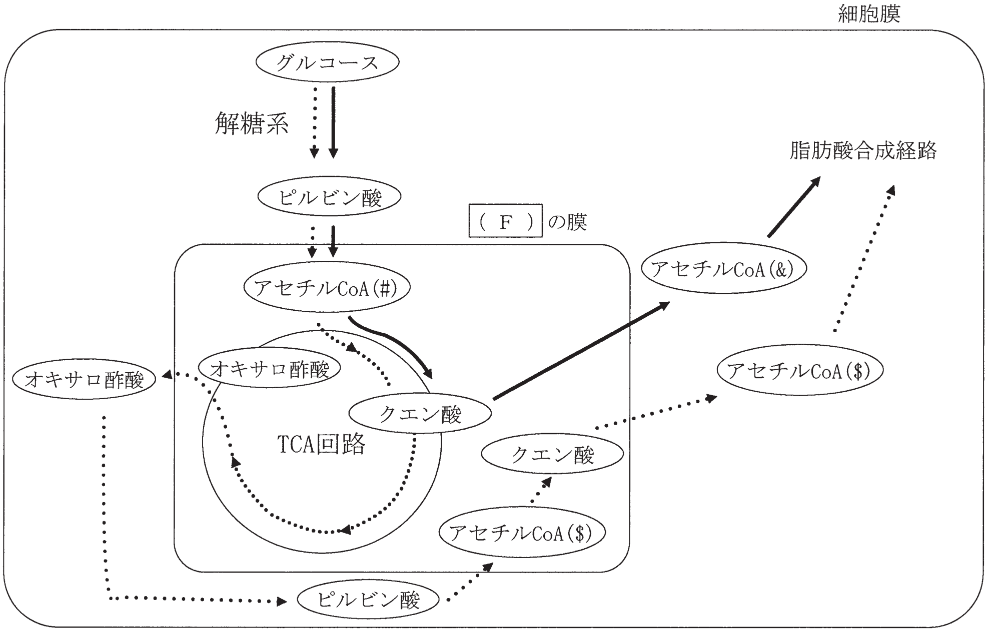


図３　解糖系とTCA回路

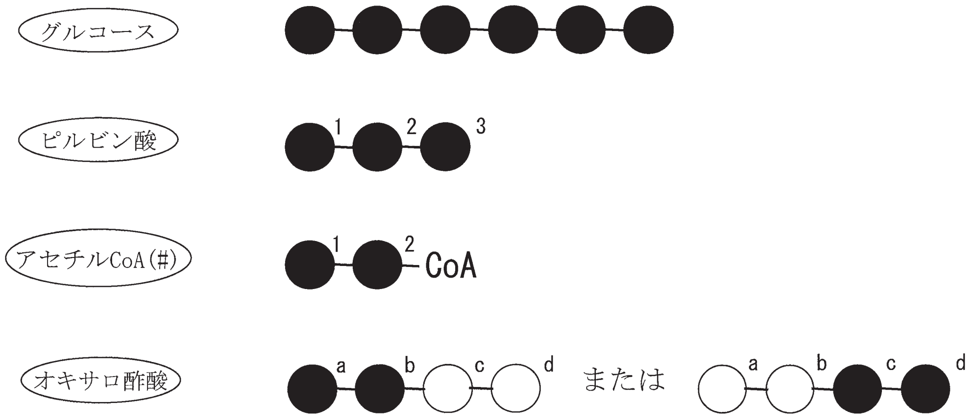


図４　解糖系とTCA回路の中間産物

図４の●は放射性同位元素の炭素原子を，○は放射性同位元素ではない炭素原子をそれぞれ表す．グルコースは６つの炭素が枝分かれすることなく，直線状に繋がった構造をしているが，図３中のグルコースから始まる実線で示した代謝経路のように解糖系では１つのグルコース分子から２つのピルビン酸が生成される．ピルビン酸は３つの炭素が繋がった構造をしている．ピルビン酸は非対称な分子であるが，図４のように炭素に番号を付けると，３番の炭素が二酸化炭素として分離して，残りの２つの炭素，すなわち１番と２番の炭素はCoA とよばれる物質と結合して，アセチル CoA(#)となる．つまり，アセチル CoA は CoA の部分とピルビン酸由来の２つの炭素からなっているといえる．アセチル CoA は TCA 回路に入ると，オキサロ酢酸という４つの炭素からなる物質と結合して，クエン酸になる．図３中の実線で示すように，脂肪酸合成経路が促進すると，クエン酸は $\boxed{（\ \mathrm{F}\ ）}$ から細胞質へ移動し，細胞質でクエン酸から再びアセチル CoA(&)が作られる．このときアセチル CoA(&)の CoA以外の炭素は，解糖系で生成されたアセチル CoA(#)に含まれる炭素と同じ炭素である．

一方，クエン酸は図３中のグルコースから始まる点線で示した代謝経路のようにオキサロ酢酸からピルビン酸が合成される経路からも生成される．すなわち，解糖系で生成されたピルビン酸は TCA 回路に入り，オキサロ酢酸に変換される．図４のようにオキサロ酢酸の４つの炭素を区別すると(a～d)，放射性同位元素の炭素は，a, b の炭素，または c, d の炭素になることが知られている．点線の経路では，オキサロ酢酸からピルビン酸を経由して，アセチル CoA($)が合成されるが，このときアセチル CoA($)の CoA 以外の炭素はオキサロ酢酸の b, c の炭素由来である．

アセチル CoA の CoA に結合した２つの炭素が脂肪酸合成に用いられる．脂肪酸は枝分かれのない直線状に炭素が繋がった構造をしているが，アセチル CoA から２つの炭素を受け取ることで，炭素２個分ずつ脂肪酸が伸長していく．新たに合成された脂肪酸１分子あたり平均１回放射性同位元素の炭素を持つアセチル CoA 由来の炭素が取り込まれているものと考えたとき，脂肪酸１分子あたり１つの放射性同位元素をもつ脂肪酸（Ｓ１タイプ）と脂肪酸１分子あたり２つの放射性同位元素をもつ脂肪酸（Ｓ２タイプ）の生成量を調べたところ，通常の餌では主に （Ｇ） が生成され，高カロリーの餌では主に （Ｈ） が生成されていることがわかった．この結果， （Ｉ） と考えられる．

15. 上記文章中の （Ｆ） に当てはまる適切な細胞内構造の名称を，解答欄 Ｄ に記せ．

16. 上記文章中の （Ｇ），（Ｈ），（Ｉ） に当てはまる語句，文の組み合わせとして最も適切なものを選び 解答欄 セ に記せ．

a. （Ｇ） Ｓ１タイプ，（Ｈ） Ｓ２タイプ，（Ｉ） 高カロリーの餌を与えると実線で示した代謝経路が促進する．
b. （Ｇ） Ｓ１タイプ，（Ｈ） Ｓ２タイプ，（Ｉ） 高カロリーの餌を与えると点線で示した代謝経路が促進する．
c. （Ｇ） Ｓ２タイプ，（Ｈ） Ｓ１タイプ，（Ｉ） 高カロリーの餌を与えると実線で示した代謝経路が促進する．
d. （Ｇ） Ｓ２タイプ，（Ｈ） Ｓ１タイプ，（Ｉ） 高カロリーの餌を与えると点線で示した代謝経路が促進する．

実験Ⅰと同様の実験を変異体ラットに対して行ったところ，通常の餌でも高カロリーの餌でも，野生型マウスに高カロリーの餌を与えたときに生成される脂肪酸のタイプが生成された．この変異体ラットでは図５に示した代謝経路で働くひとつの酵素に変異があり，この変異が入った酵素は野生型の酵素と比べて酵素活性が低下していることがわかった．

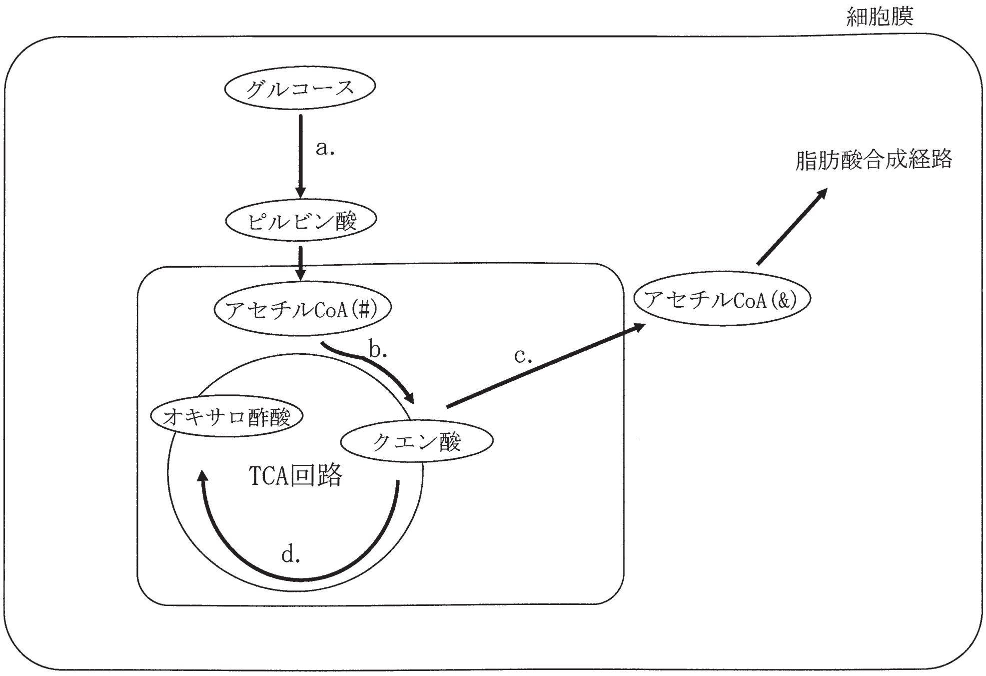


図５ 解糖系とTCA回路

17. この酵素が働く過程として，図５中の a〜d の中で最も適切なものを選び，解答欄 ソ に記せ．ただし，この酵素の量は野生型ラットと変異体ラットで同程度とする．

a. グルコースからピルビン酸を合成する過程
b. アセチル CoA(#)からクエン酸を合成する過程
c. クエン酸からアセチル CoA(&)を合成する過程
d. クエン酸からオキサロ酢酸を合成する過程

参考文献

Musselman et al. (2013) J. Bio. Chem. 288, 8028–8042.

解答上の注意

1. 問題の文中の $\boxed{\text{ア}}$, $\boxed{\text{イ}}$ などには, 特別の指示がない限り, 文字（a～d）または数字（0～9）のいずれか一つが入ります．それらを解答カードの解答欄にマークして答えて下さい．
2. 問題の文中の $\boxed{\text{A}}$, $\boxed{\text{B}}$ などには, 記述式の解答が入ります．それらを解答カードの解答欄の枠からはみ出さないように, 明瞭に記入して下さい．
3. 分数形で解答する場合は, それ以上約分できない形で答えて下さい．例えば, $\dfrac{2}{3}$ と答えるところを $\dfrac{4}{6}$ のように答えてはいけません．
4. 根号を含む形で解答する場合は, 根号の中に現れる正の整数が最小となる形で答えて下さい．例えば, $6\sqrt{2}$, $\dfrac{\sqrt{17}}{3}$ と答えるところを, $3\sqrt{8}$, $\dfrac{\sqrt{68}}{6}$ のように答えてはいけません．