

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

目 次

数 学	2
物 理	8
化 学	18
生 物	26

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 (1) ~ (17) および記述方式の解答欄 A を使って、あなたの答えを示しなさい。

PART I

不等号によって、2つの量に関係づける不等式は、2つの量のある側面から眺めることによって得られることも多く、その中に数学の本質がしばしば含まれているため、数学の中で古くから用いられて来た。ここでは、不等式について、少し考えてみよう。

\vec{a}, \vec{b} をベクトルとする。 \vec{a} の大きさ $|\vec{a}|$ は、内積を用いて $|\vec{a}| = \sqrt{\vec{a} \cdot \vec{a}}$ と表わせる。ベクトル \vec{a}, \vec{b} の大きさと内積については、“コーシー・シュワルツの不等式” とよばれる不等式

$$|\vec{a} \cdot \vec{b}| \leq |\vec{a}| |\vec{b}| \quad (\text{I-1})$$

が成り立つ。

\vec{a}, \vec{b} を平面上のベクトルとし、 $\vec{a} = (a_1, a_2), \vec{b} = (b_1, b_2)$ と成分表示すると、 $\vec{a} \cdot \vec{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2$ となる。すると、不等式 (I-1) は

$$(a_1 b_1 + a_2 b_2)^2 \leq (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2)$$

と同値である。これは

$$(a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2) - (a_1 b_1 + a_2 b_2)^2 = A^2 \geq 0$$

となることから示すことができる。

1. 次のうち、正しいものは $\boxed{(1)}$ である。

- a. $A = a_1 b_2 - a_2 b_1$
- b. $A = a_1 b_2 + a_2 b_1$
- c. $A = a_1 b_1 - a_2 b_2$
- d. $A = a_1 b_1 + a_2 b_2$

2. $\vec{a} = (1, 1), \vec{b} = (1, -1)$ とする。ベクトル $\vec{p} = x\vec{a} + y\vec{b}$ が条件

$$\vec{a} \cdot \vec{p} \leq 2, \quad (\vec{a} - \vec{b}) \cdot \vec{p} = 2$$

を満たすとき、点 (x, y) の軌跡は点 $(\boxed{(2)}, \boxed{(3)})$ を始点とし、傾きが $\boxed{(4)}$ の半直線である。

また, 不等式 $xy + 1 \geq x + y$ は $(x - 1)(y - 1) \geq 0$ と変形できるので, $x \geq 1, y \geq 1$ はこの不等式が成り立つための十分条件である.

3. 次のうち $\boxed{(5)}$ は, 不等式 $xw + yz > xz + yw$ が成り立つための十分条件である.

- a. $x < y, z < w$
- b. $x > y, z > w$
- c. $x < y, z > w$
- d. $x - 1 < y, z > w$

関数 $y = \log_{10} x$ は 10 を底とする対数であり, $x (> 0)$ の値が増加すると, y の値も増加するという性質をもつ. つまり, $y = \log_{10} x$ は $x > 0$ で単調に増加する.

4. $p = 11 \log_{10} 2, q = 7 \log_{10} 3, r = 3 \log_{10} 7 + \log_{10} 6$ とおくとき, 次のうち正しいものは $\boxed{(6)}$ である.

- a. $p < q < r$
- b. $p < r < q$
- c. $r < p < q$
- d. $r < q < p$

正の実数 x, y に対しての相加相乗平均の関係

$$\frac{x+y}{2} \geq \sqrt{xy}$$

は $X = \sqrt{x}, Y = \sqrt{y}$ とおくと、同値な関係式

$$\frac{X^2 + Y^2}{2} \geq XY$$

に書き直せるが、これは $X^2 + Y^2 - 2XY = (X - Y)^2 \geq 0$ から示すことができる。

相加相乗平均の関係では、等号が成立するための条件は $x = y$ である。これを利用すると、正の実数 s, t に対して、 $s^2 + t = 6$ という条件を満たすときの $s^2 t$ の最大値が求められる。すなわち、

$$\sqrt{s^2 t} \leq \frac{s^2 + t}{2} = \frac{6}{2} = 3$$

となることから、 $s^2 t \leq 3^2 = 9$ であり、 $s^2 t$ の最大値は 9 である。等号が成立するのは、 $s^2 = t$ のときであるから、 $s^2 + t = 6$ と合わせて、 $s = \sqrt{3}, t = 3$ のとき、 $s^2 t$ は最大値 9 を取ることがわかる。

5. 正の実数 s, t に対して、 $2s^2 + t = 4$ という条件を満たすとき、 $s^2 t$ は $s = \boxed{(7)}$, $t = \boxed{(8)}$ のとき最大値 $\boxed{(9)}$ を取る。

PART II

数列において、その前の項と条件から次の項をただ1通りに定めることがある。

6. 数列 $\{a_n\}$ が $a_1 = 1$ と漸化式 $a_{n+1} = (n+1)a_n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) を満たすとき, $a_2 = 2 \times 1$, $a_3 = 3 \times 2 \times 1$ であるから, 数列 $\{a_n\}$ の一般項は $a_n = \boxed{(10)}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) である。

- a. $n!$
- b. 2^{n-1}
- c. $2(2n-3)$
- d. $n(n-1)$

数列と同じように扱えるものとして、項を関数とする“関数列”を考えてみよう。ある関数列 $\{T_n(x)\}$ が初項 $T_0(x) = \sin x$ と漸化式 $T_{n+1}(x) = T_n\left(x + \frac{\pi}{2}\right)$ を満たすとする。このとき、 $T_1(x) = T_0\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = \cos x$ である。

7. また、 $T_2(x) = \boxed{(11)}$ である。

- a. $\sin x$
- b. $-\sin x$
- c. $\cos x$
- d. $-\cos x$

8. $n = 0, 1, 2, \dots$ に対して、次のうち正しいものは $\boxed{(12)}$ である。

- a. $T_{4n}(x) = T_0(x)$
- b. $T_{4n+1}(x) = T_0(x)$
- c. $T_{4n+2}(x) = T_0(x)$
- d. $T_{4n+3}(x) = T_0(x)$

次に、関数列 $\{f_n(x)\}$ が初項 $f_0(x) = 1$ と条件

$$f_{n+1}(x) = \int \{(n+1)f_n(x) + xf'_n(x)\} dx \quad \text{かつ} \quad \int_{-1}^1 f_{n+1}(x) dx = 0 \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

を満たすとする。このとき、 $n = 0$ とすると、 C を積分定数として、

$$f_1(x) = \int (1 \times 1 + x \times 0) dx = x + C \quad \text{かつ} \quad 0 = \int_{-1}^1 (x + C) dx = 2C$$

ここから $f_1(x)$ を求めると、 $f_1(x) = x$ がわかる。

次に、 $n = 1$ とすると、

$$f_2(x) = \int \{2 \times f_1(x) + x \times f'_1(x)\} dx \quad \text{かつ} \quad \int_{-1}^1 f_2(x) dx = 0$$

9. ここから、 $f_2(x)$ を求めると、 $f_2(x) = \frac{1}{\boxed{(13)}} (\boxed{(14)}x^2 - 1)$ である。

10. よって、 $\int_{-1}^1 f_1(x)f_2(x) dx = \boxed{(15)}$ である。

11. また、 $\int_{-1}^1 \{f_1(x)\}^2 dx = \frac{\boxed{(16)}}{\boxed{(17)}}$ である。

12. これらを用いると、1次関数 $F(x) = px + q$ は $F(x) = pf_1(x) + q$ と表わせるので、

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 \{F(x)\}^2 dx &= \int_{-1}^1 \{pf_1(x) + q\}^2 dx \\ &= p^2 \int_{-1}^1 \{f_1(x)\}^2 dx + 2pq \int_{-1}^1 f_1(x) dx + q^2 \int_{-1}^1 dx \end{aligned}$$

となる。 $\int_{-1}^1 \{F(x)\}^2 dx$ を求め、解答欄 \boxed{A} に記せ。

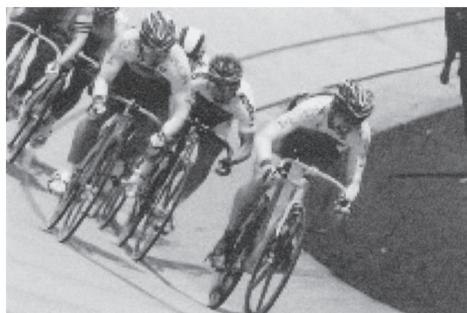
この $f_n(x)$ はルジャンドル多項式として知られている。

物 理

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 (1) ～ (8) および記述方式の解答欄 A ～ E を使って、あなたの答えを示しなさい。

PART I

質点が円運動しているときには、質点には向心力がはたらくている。言い換えると、必要な向心力がはたらかないときには、質点は円運動を続けることはできない。自動車の例を考えてみると、高速でカーブを曲がろうとすると、スリップしたり横転したりする可能性がある。自動車レース、自転車競技やボブスレーなどの例では、カーブに傾斜（バンク）をつけることによって、より高速でも安定してカーブを曲がることのできるようになっている。



高速でカーブを曲がる自転車 (*)

この問題では、傾いた面上で円運動する質点の運動を考察し、質点が横滑り（スリップ）することなく等速円運動を続けるための条件を求めてみよう。

水平な平面上を質量 m [kg] の質点が一定の速さ v [m/s] で、半径 R [m] の円運動をしている。重力加速度は g [m/s²] とする。このとき質点にはたらく向心力の大きさ $F_{\text{向心}}$ [N] は、

$$F_{\text{向心}} = \frac{mv^2}{R} \quad (\text{I} - 1)$$

で与えられる。

平面と質点の間の静止摩擦係数を μ 、質点にはたらく垂直抗力の大きさを N [N] とすると、静止摩擦力の大きさ $F_{\text{摩擦}}$ [N] は、

$$F_{\text{摩擦}} \leq \mu N$$

という条件を満たす。

1. この水平な平面上で質点が等速円運動をする際の最大の速さ $v_{\text{max}}(0)$ [m/s] を求めて、解答欄 に記せ。

図1(a)のように、円錐台の内側を、一定の高さで半径 R [m] の等速円運動をする質量 m [kg] の質点を考える。質点の速さを v [m/s] とする。円錐台の軸は鉛直であり、斜面の傾きは θ であるとする。斜面と質点の間にはたらく静止摩擦係数を μ 、重力加速度を g [m/s²] とする。このとき、質点が同じ高さで等速円運動を続けるためには、水平方向（図1(b)の点線の矢印の向き）に向心力がはたらいていることが必要である。

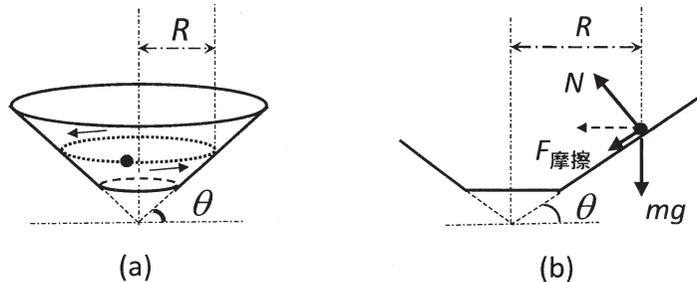


図1 円錐台の内側を等速円運動する質点：(a) 円錐台の内側を一定の高さで質量 m [kg] の質点が半径 R [m] の等速円運動をする。斜面の傾きは θ である。(b) 円錐台の断面。質点にはたらく力を実線の矢印で表す。ただし、摩擦力は斜面に沿って下向きにはたらくとした。向心力は点線の矢印の向きにはたらく。

摩擦力が斜面に沿って下向きにはたらいている場合を考える。このとき、質点にはたらく力は図1(b)に示す通りである。力を鉛直成分と水平成分に分け、鉛直方向のつり合いを考えると、

$$mg = \boxed{\text{ア}} \quad (\text{I} - 2)$$

が得られる。一方、水平方向にはたらく力をすべて加えたものは、等速円運動を続けるための向心力に等しいので、

$$F_{\text{向心}} = \boxed{\text{イ}} \quad (\text{I} - 3)$$

が成り立つ。

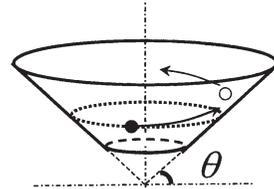
2. $\boxed{\text{ア}}$ および $\boxed{\text{イ}}$ に入る式の正しい組み合わせを選び、解答欄 $\boxed{(1)}$ に記せ。

- $\text{ア} : N \cos \theta - F_{\text{摩擦}} \sin \theta, \text{イ} : N \sin \theta + F_{\text{摩擦}} \cos \theta$
- $\text{ア} : N \cos \theta - F_{\text{摩擦}} \sin \theta, \text{イ} : N \sin \theta - F_{\text{摩擦}} \cos \theta$
- $\text{ア} : N \sin \theta + F_{\text{摩擦}} \cos \theta, \text{イ} : N \cos \theta + F_{\text{摩擦}} \sin \theta$
- $\text{ア} : N \sin \theta + F_{\text{摩擦}} \cos \theta, \text{イ} : N \cos \theta - F_{\text{摩擦}} \sin \theta$

まず，静止摩擦係数 $\mu = 0$ の場合を考える．このときの等速円運動の速さを $v_0(\theta)$ [m/s] と表す．

3. 質点の速さ $v_0(\theta)$ を， g, R, θ を用いて表し，解答欄 B に記せ．

傾き θ の斜面において，静止摩擦係数 $\mu = 0$ のとき，つまり，摩擦力がはたらかないときには，円運動する質点の速さが $v_0(\theta)$ より少しでも大きくなると，右図のように，質点は上方に横滑りをはじめ，軌道は一定の高さの円軌道から斜面に沿って上方にずれていく．逆に，質点の速さが $v_0(\theta)$ より少しでも小さくなると，質点は斜面に沿って下方に横滑りを始める．しかし，静止摩擦係数 $\mu > 0$ であれば，摩擦力が横滑りを防ぐ向きにはたらき，ある程度の速さの範囲で，質点は一定の高さで等速円運動を続けることができる．これを式で表すと，斜面の傾き θ ，半径 R と，静止摩擦係数 μ に依存する最低の速さ $v_{\min}(\theta)$ と最高の速さ $v_{\max}(\theta)$ が存在して，質点の速さ v が



$$v_{\min}(\theta) \leq v \leq v_{\max}(\theta)$$

の範囲にあれば，質点は傾き θ の斜面上で，速さ v で半径 R の等速円運動を続けることができる．この結果を図示したものが図 2 である．

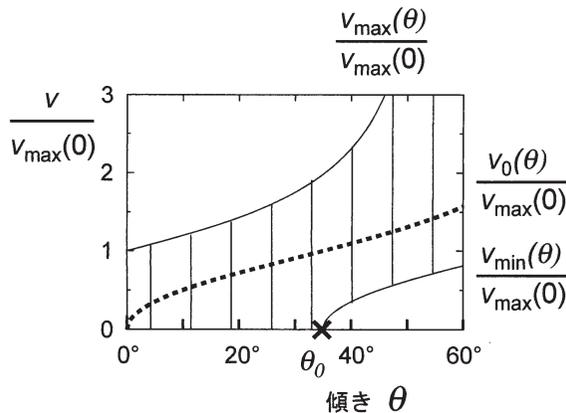


図 2 質点と斜面の間の静止摩擦係数が $\mu = 0.7$ のとき，傾き θ の斜面において質点が横滑りせずに等速円運動を続けることができる速さ v の範囲．縦軸は， $v/v_{\max}(0)$ を示す． $\theta \leq \theta_0$ のとき， $v_{\min}(\theta) = 0$ である． θ_0 は \times で示されている．参考のために， $v_0(\theta)$ も示してある（点線）．

傾き θ が小さくなるとともに $v_{\min}(\theta)$ が小さくなることは、斜面の傾きが小さくなれば低速でも高さ一定の等速円運動を続けられることを意味する。特に、 $v_{\min}(\theta) = 0$ は、どんなに速さが小さくても（止まっても）、質点は斜面を滑り落ちないことを意味している。

4. 図2において、傾き θ が θ_0 以下であるとき、 $v_{\min}(\theta) = 0$ である。このとき、静止摩擦力は斜面に沿って上向きにはたらくていることに注意して、 $\tan \theta_0$ を静止摩擦係数 μ を用いて表し、解答欄 に記せ。

以下では、 $v_{\max}(\theta)$ の表式を求めてみよう。(I-2) 式、(I-3) 式から $F_{\text{摩擦}}$ を消去すると、

$$F_{\text{向心}} \sin \theta = N - mg \cos \theta \quad (\text{I} - 4)$$

という等式が成り立つ。

また、(I-2) 式と $F_{\text{摩擦}} \leq \mu N$ から、

$$N \leq mg Y(\theta) \quad (\text{I} - 5)$$

という不等式が得られる。ただし、 $Y(\theta) > 0$ としている。

5. $Y(\theta)$ として正しいものを選び、解答欄 に記せ。

- a. $\cos \theta + \mu \sin \theta$
- b. $\cos \theta - \mu \sin \theta$
- c. $\frac{1}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$
- d. $\frac{1}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$

(I-1)式, (I-4)式と(I-5)式から, 上向きに質点が横滑りせずに同じ高さで等速円運動を続けるために速さ v が満たすべき条件を求めると,

$$v \leq v_{\max}(\theta) = \sqrt{gR \frac{J(\theta)}{\cos \theta - \mu \sin \theta}}$$

が得られる.

6. $J(\theta)$ として正しいものを選び, 解答欄 に記せ.

- a. $\sin \theta - \mu \cos \theta$
- b. $\sin \theta + \mu \cos \theta$
- c. $\tan \theta - \mu \cos \theta$
- d. $\tan \theta + \mu \cos \theta$

得られた $v_{\max}(\theta)$ の表式は, $\theta = 0$ とすれば, 問1で得られた $v_{\max}(0)$ と一致し, $\mu = 0$ とすれば, 問3で得られた $v_0(\theta)$ と一致することが確かめられる.

(*) 公益財団法人 日本自転車競技連盟 ウェブページ <http://jcf.or.jp/?cat=5&paged=252> より

PART II

光電効果は、物質に光を照射すると電子（光電子）が物質の表面から放出される現象で、19世紀後半に発見された。光電効果については、以下のような事実が実験によって明らかにされていた。

- 振動数がある値以上の光を照射しなければ光電効果は起きない。
- 光電効果が起きているときに、照射する光の強度を一定に保ち振動数を高くすると、光電子1つあたりの運動エネルギーは .
- 光電効果が起きているときに、照射する光の振動数を一定に保ち強度を増すと、光電子1つあたりの運動エネルギーは , 放出される電子の数は増加する。

これらの実験事実は、光が波動であるとする説明が困難であった。たとえば、光が波動であるとする、どのような振動数の光でも、十分な時間照射すれば、光電効果を引き起こすことができるはずだが、実際にはそのようなことは起きないからである。そこでアインシュタインは、光電効果を説明するために、1905年に以下のような仮説を立てた。

- 光は、エネルギーをもった粒子（光子）の流れである。
- 光子1個と電子1個が衝突すると、光子のもっていたエネルギーはすべて電子に与えられ、光子は消滅する。
- 光子1個がもつエネルギー E [J] は、その振動数を ν [Hz], プランク定数を h [J·s] とすると、 $E = h\nu$ と表される。

7. および に入る適切な語句の組合せを選び、解答欄 に記せ。
- a. ア：減少する イ：増加し
 - b. ア：減少する イ：変化せず
 - c. ア：増加する イ：増加し
 - d. ア：増加する イ：変化せず
8. つぎにあげる現象のうち、光の粒子性に関係があるものを選んで、解答欄 に記せ。
- a. ストープの火を強くしても、ほとんど肌は日焼けしない。
 - b. 光の波長よりも小さい構造は、光学顕微鏡では観測できない。
 - c. 携帯電話の液晶画面を虫メガネで拡大すると、小さな光の集まりでできている。
 - d. 夜空の1等星のような明るい恒星がまたたいて見える。

光電管は、高真空（あるいは不活性ガス充填）のガラス容器中に、光を受ける電極 K と光電子を集める電極 P を設けた 2 極管である。電極 K に光を入射し、電極 P から信号電流を取り出す。光電効果が観測されているときに、電極 P の電位を電極 K に対して下げていくと、電極 P に達する電子の数が減り、電流も減少する。電流がゼロになったときの電極 K と電極 P の間の電位差を阻止電圧とよび、 V_0 [V] と表す。さまざまな光の振動数に対して、このような実験を繰り返すと、図 3 のような、光の振動数に対する阻止電圧の変化の様子を示すグラフを得ることができる。この結果から、プランク定数 h [J·s] を求めることができる。なお、電極 K と電極 P の材質は同種の金属 M_1 であるとする。以下の問題では、必要ならば、次の数値を用いよ。

光速： 3.0×10^8 m/s

電子の質量： 9.1×10^{-31} kg

電気素量： 1.6×10^{-19} C

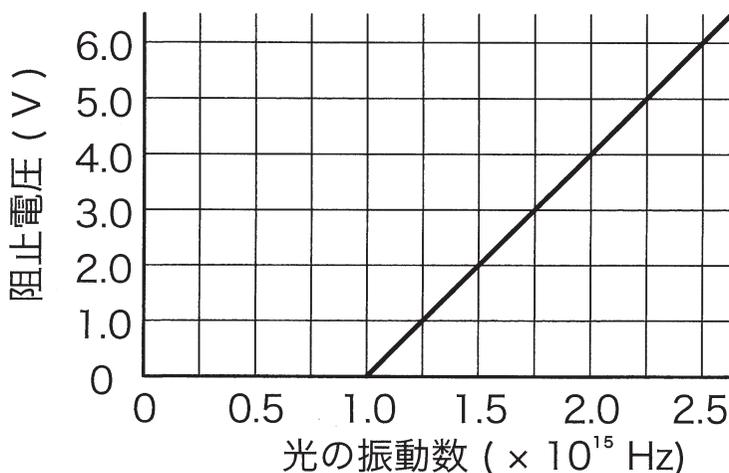
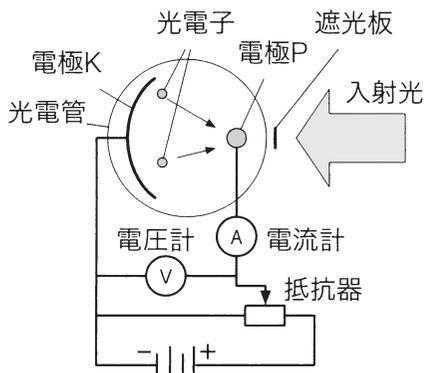
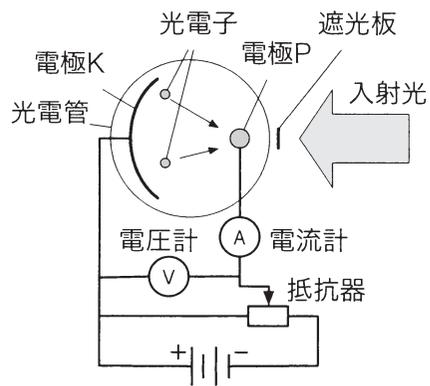


図 3 光電効果の実験結果：照射する光の振動数を変化させると、阻止電圧は直線的に変化する。

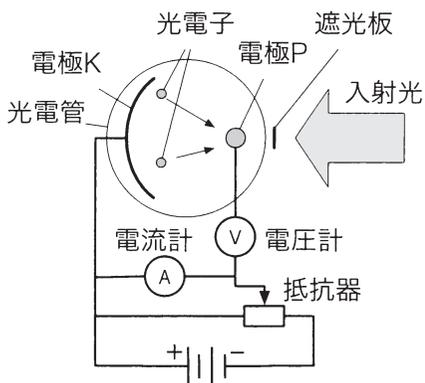
9. 本文中で説明されている光電管の阻止電圧を測定するための実験装置として適切なものを以下の図の中から選び、解答欄 に記せ.



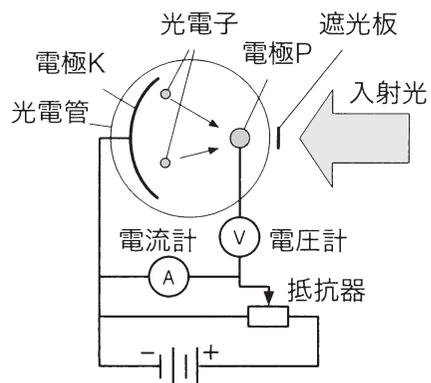
a.



b.



c.



d.

10. 阻止電圧 V_0 [V] に電気素量 e [C] をかけたもの $eV_0 (> 0)$ は、次の物理量のうちどれに等しいか。正しいものを選び、解答欄 に記せ。
- a. 光電子の加速度
 - b. イオン化エネルギー
 - c. 光電子の最大運動エネルギー
 - d. 仕事関数
11. 電極 P と電極 K として利用する金属を M_1 から別の金属 M_2 に換えたとき、図 3 のグラフにどのような違いが生じるか。適切なものを選んで解答欄 に記せ。
- a. 直線の傾き、直線が横軸と交差する値の両方が変化する。
 - b. 直線の傾き、直線が横軸と交差する値ともに変化しない。
 - c. 直線の傾きのみが変化する。
 - d. 直線が横軸と交差する値のみが変化する。
12. 図 3 の結果から、プランク定数 h [J·s] を求めて、解答欄 に記せ。有効数字 2 桁でよい。ただし、実際のプランク定数の値と一致するとは限らない。
13. 図 3 の結果から、金属 M_1 の仕事関数を求めて、解答欄 に記せ。有効数字 1 桁でよい。ただし、必要があればプランク定数は既知の値 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ [J·s] を用い、また仕事関数の単位として eV を用いよ。

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(1)～(10)および記述方式の解答欄A～Cを使って、あなたの答えを示しなさい。

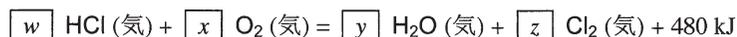
必要であれば、次の数値を用いなさい。

原子量 水素：1，炭素：12，酸素：16，硫黄：32，セレン：79，テルル：128

PART I

HCl と O₂ から、Cl₂ と H₂O が生じる可逆反応を考える。この反応では、反応物も生成物もすべて気体とする。

1. 以下はこの反応の熱化学方程式である。この式での反応熱は、Cl₂ (気)が 1 mol 生成する時の熱量である。この熱化学方程式の係数 w ， x ， y ， z のうち、値が同じものの組み合わせを選び、解答欄 (1) に記せ。



- a. w, x
- b. w, y
- c. x, z
- d. y, z

2. この反応が平衡に達したとき、反応の平衡を右に動かす操作のうち、間違っているものを選び、解答欄 に記せ.

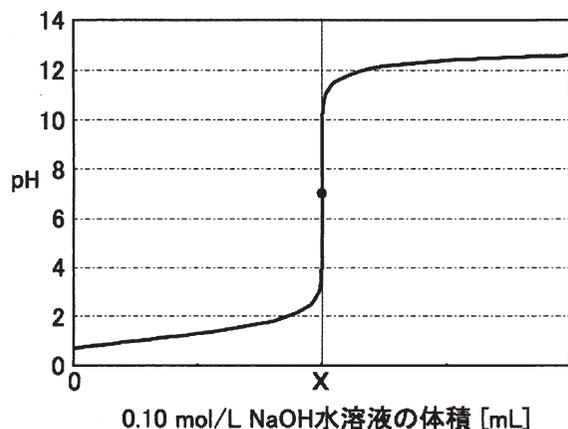
- a. 温度を一定に保ち、体積を半分にする.
- b. 温度を一定に保ち、 O_2 を加える.
- c. 体積を一定に保ち、 He を加える.
- d. 体積を一定に保ち、温度を下げる.

10.0 L の容器に HCl 1.00 mol と O_2 0.40 mol を入れ、ある温度に保ったところ、この反応が平衡状態に達した. 平衡状態において、0.40 mol の Cl_2 が生成していた. 平衡状態における混合気体を水 1.00 L に通し、 HCl をすべて捕集した. ただし、混合気体中に含まれていた H_2O による体積変化は無視できるものとする. また、 O_2 、 Cl_2 は水に溶けないものとし、 O_2 、 Cl_2 は別のガラス容器 (容積 11.2 L) にすべて回収できたものとする.

3. ガラス容器には回収した O_2 、 Cl_2 のみが封入されているものとする. 温度は 273 K に保った場合、容器内の圧力の値としてもっとも近いものを選び、解答欄 に記せ.

- a. 1.2×10^5 Pa
- b. 2.4×10^5 Pa
- c. 6.0×10^5 Pa
- d. 1.2×10^6 Pa

4. HCl を捕集した水溶液を 10.0 mL 取り、0.10 mol/L $NaOH$ 水溶液を用いて滴定した時のグラフは以下ようになった. 以下のグラフの X の値を求め、解答欄 に記せ.



PART II

炭素と水素でできた化合物は炭化水素とよばれ、もっとも基本的な有機化合物のひとつである。その構造から鎖式炭化水素（脂肪族炭化水素）と環式炭化水素に分類される。また、炭素間の結合が全て単結合であるものを飽和炭化水素、二重結合や三重結合を含むものを不飽和炭化水素とよぶ。

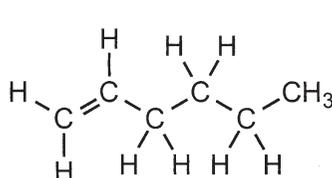
構造が明らかになっていない炭化水素の研究においては、その組成式とともに、水素不足指数とよばれる指数が、重要な情報となる。

この水素不足指数の考え方は以下の通りである。鎖式の飽和炭化水素はアルカンとよばれ、その分子式は一般式 C_nH_{2n+2} で表される。一方、二重結合をひとつ持つアルケンは、一般式 C_nH_{2n} で表されるが、アルケンには金属触媒（白金またはニッケル）とともに、水素分子と反応し、アルカンを生じる。すなわち、二重結合ひとつあたり、1分子の水素分子と反応することができるため、水素不足指数は1となる。また、三重結合をひとつ持つアルキンも、三重結合ひとつあたり、2分子の水素分子と反応することができるため、水素不足指数は2となる。

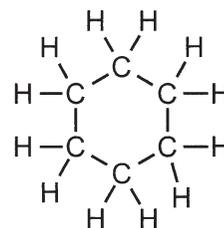
5. 分子式 C_8H_{10} の炭化水素の水素不足指数をもとめ、その数値を解答欄 (4) に記せ。

水素不足指数とは、対象となるある分子の分子式が、同じ炭素数の鎖式飽和炭化水素の分子式から水素分子（水素原子2つ）をいくつとればよいかを示す数と定義できる。そのため、先に述べたような不飽和結合の種類や数によって算出する以外に、環状構造の有無についても考えなければならない。

例えば、1-ヘキセンとシクロヘキサンは、分子式は同じ C_6H_{12} であるため、構造異性体の関係にあるが、同じ炭素数の鎖式炭化水素 C_6H_{14} から水素分子ひとつをとればよいので、ともに水素不足指数は1である。



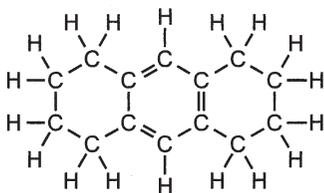
1-ヘキセン



シクロヘキサン

すなわち、ある分子中に二重結合がひとつ存在しても、環状構造がひとつ存在しても、水素不足指数としては同じ1として計算される。従って、対象の分子が二重結合を有するのか、環状構造を有するのかはその反応性を確かめることによって、確認しなければならない。

6. 次に示す分子の水素不足指数をもとめ、その数値を解答欄 に記せ.



7. 有機化合物の分子式の決定には、元素分析が有効な手段である。ある炭化水素 40.0 mg を燃焼させ、元素分析を行ったところ、二酸化炭素 132 mg、水蒸気 36.0 mg が発生していることがわかった。また、この炭化水素の水素不足指数が 4 であるとき、この炭化水素の分子式を解答欄 に記せ.
8. 以下に示す反応のうち、1-ヘキセンとシクロヘキサンとを区別する反応として間違っているものを a.~d.の中から選び、解答欄 に記せ.
- a. 過マンガン酸カリウム水溶液と反応させ、色の変化を観察する.
 - b. 白金触媒存在下、水素ガスと反応させ、水素ガスの減少量を調べる.
 - c. 暗所で臭素と反応させたのち、色の変化を観察する.
 - d. 紫外線を照射しながら、塩素ガスと反応させ、塩素ガスの減少量を調べる.
9. 炭素数 8 で、水素不足指数が 4 の芳香族炭化水素 A と B の混合物がある。この混合物を酸化したところ、化合物 A からは C が得られ、化合物 B からは D が得られた。化合物 C は加熱すると中性の化合物 E へと変化し、化合物 D はエチレングリコールと反応させると樹脂状の物質が得られた。このとき、化合物 A の構造を予測し、その化学構造式を解答欄 に記せ.

PART III

15, 16, 17 族の元素はどれも典型元素であり, 常温常圧(298 K, 1013 hPa)で気体の化合物も多く存在する. 15, 16, 17 族元素を含む 3 つの化合物 A, B, C は, 以下の①~③の性質を示す. これらについての以下の問いに答えよ. ただし, この問いの中では, 化合物は二種類の元素から構成されるものとする.

- ① 15 族元素の化合物 A は, 4 原子からなる. A は水によく溶け, その水溶液は塩基性を示す.
- ② 16 族元素の化合物 B は, 強い還元性があり, 腐卵臭をもつ.
- ③ 17 族元素の化合物 C は, 弱い酸性を示すが, 皮膚を激しく侵し, 極めて有毒である. また, ガラスを溶かす.

10. 白金を触媒として化合物 A を酸素と反応させると, 2 原子からできている化合物 P を生じる. P を空気中で酸化すると褐色の気体 Q が得られ, Q を水と反応させて強酸 R を得る. この一連の過程は工業的に行われており, オストワルド法とよばれている. 以下の記述のうち正しいものを選び, 解答欄 に記せ.

- a. 注射筒に P を入れ, ピストンを押して圧力を高めると P は Q に変化する.
- b. 濃度が低い R は, 金属銅と反応して P を生じる.
- c. 濃度が高い R は, 金属銀の表面に不動態をつくる.
- d. A の水溶液を硫酸アルミニウムの水溶液に加えて生じる白色沈殿は, 過剰量の A の水溶液を加えると溶解する.

11. 化合物 B は, 化合物 B 中に含まれるものと同じ 16 族元素の酸化物と反応して, 16 族元素の単体と水を生じる. 1.7 g の B が完全に反応したときに生成する水の重量(g)にもっとも近いものを選び, 解答欄 に記せ.

- a. 0.5 g
- b. 0.9 g
- c. 1.8 g
- d. 3.6 g

12. 化合物 C の水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で中和した水溶液 X がある。また C の中の 17 族元素を周期表で一周期下の元素で置き換えた化合物 C' の水溶液を同様に水酸化ナトリウム水溶液で中和した水溶液 Y がある。以下の記述のうち正しいものを選び、解答欄 (9) に記せ。
- a. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液を加えると、水溶液 Y のみが沈殿を生成した。
 - b. 臭素水を加えると、水溶液中の 17 族元素は X も Y もどちらも酸化されなかった。
 - c. AgNO_3 水溶液を加えると、水溶液 X, Y ともに沈殿を生成した。
 - d. 水溶液 X, Y を蒸発乾固させた塩にそれぞれ硫酸を加え、加熱すると、X から得られた塩からのみ気体が発生した。
13. 化合物 A は C' と反応して白色固体 S を生成する。S の水溶液について、以下の記述のうち正しいものを選び、解答欄 (10) に記せ。
- a. 酸性を示す。
 - b. 塩基性を示す。
 - c. 濃度が低いときは酸性を示すが、濃度が高いときは塩基性を示す。
 - d. 濃度が低いときは塩基性を示すが、濃度が高いときは酸性を示す。

(このページは空白です。)

生 物

PART I～PART Vの問題があります。マークセンス方式の解答欄(1)～(11)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。

PART I

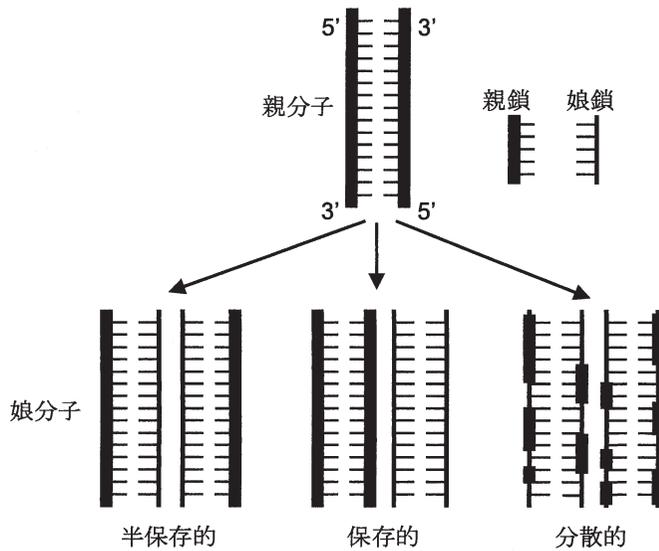
DNAの構造と複製に関する下記の文章を読み、問いに答えよ。

すべての生物の遺伝情報はDNAの塩基配列情報として細胞内に保持されている。1953年、ワトソンとクリックによってDNAの「2重らせん構造」が解明された。DNAは互いに逆向きの2本の糖リン酸エステル鎖を外側に持ち、内側に糖に結合したプリンまたはピリミジン塩基が互いに水素結合で連結している。これらの塩基のうち、アデニン(A)はチミン(T)と、グアニン(G)はシトシン(C)と結合する。このようにペアを作る塩基が決まっていることによって、一方の鎖の塩基配列が決まればもう一方の鎖の塩基配列も決まる。このことをDNAの2本鎖は互いに(ア)であるという。

さて、ワトソンとクリックは、DNAの2重らせん構造を解明した論文を次の文章で締めくくっている。

"It has not escaped our notice that the specific pairing we postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material". (J.D. Watson & F.H.C. Crick (1953) *Molecular Structure of Nucleic Acids. Nature*, 171: 737-738)

彼らは、DNAの2本鎖がほどこ、それぞれの鎖を鋳型として新しい(ア)なDNA鎖が合成されることにより遺伝物質の複製が行われると考えたのである。1958年、メセルソンとシュタールは、巧妙な実験によってこの考えが正しいことを証明した。彼らはDNA複製の考え得る仕組みとして次のページの図に模式的に示す3通りを想定した。ワトソンとクリックの予想した仕組みはこの中で「半保存的複製」にあたる。メセルソンとシュタールはまず大腸菌を窒素の安定同位体である ^{15}N (重窒素)を高濃度を含む培地で数世代培養し、菌体内窒素の大部分を ^{15}N で置き換えた。その後、通常の窒素 ^{14}N のみを含む培地に移して、1回細胞分裂させ、さらにもう1回細胞分裂させた。各段階の菌体からDNAを調製し、それを塩化セシウムの密度勾配遠心法で分離した。この方法では重いDNA分子ほど遠心管の下部に沈降する。

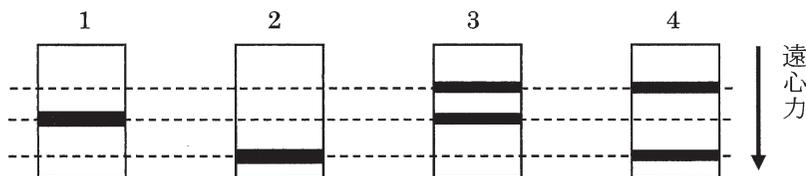


^{15}N を含む培地で育てた菌体の DNA は次ページの図の (イ) の位置にバンドを作った。次に ^{14}N 培地で 1 回細胞分裂させた菌の DNA は (ウ) のような遠心パターンを示した。さらにもう 1 回細胞分裂させると、DNA の遠心パターンは (エ) のようになった。第 1 の細胞分裂後の結果から (オ) の可能性は排除され、さらに第 2 の細胞分裂後の結果から (カ) の可能性も排除される。こうして DNA 複製はワトソンとクリックが考えた通りに「半保存的複製」で行われることが証明された。この実験は「生物学でもっとも美しい実験」といわれている。

1. 上記の文章で、(ア)、(オ)、(カ) に当てはまる言葉として適切な組み合わせを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. (ア) 対称的, (オ) 分散的, (カ) 保存的
- b. (ア) 対称的, (オ) 保存的, (カ) 分散的
- c. (ア) 相補的, (オ) 保存的, (カ) 分散的
- d. (ア) 相補的, (オ) 分散的, (カ) 保存的

2. 下図は重さの異なる DNA を塩化セシウム密度勾配遠心法で分離した結果を示すバンドパターンである。



本文にある (イ), (ウ), (エ) に当てはまるパターンとして正しい組み合わせを下記 a.~d.から選び, 解答欄 に記せ.

- a. (イ) 1, (ウ) 2, (エ) 4
- b. (イ) 2, (ウ) 1, (エ) 3
- c. (イ) 2, (ウ) 1, (エ) 4
- d. (イ) 3, (ウ) 4, (エ) 1

DNA の複製と RNA への転写の仕組みを説明した以下の文章を読み, 問いに答えよ.

(キ) DNA を複製する酵素 DNA ポリメラーゼは, 鋳型となる 1 本鎖 DNA に水素結合したプライマーとよばれる短い RNA 鎖を足場として, 5'→3'の方向に新しい DNA 鎖を合成していく.

(ク) DNA の一方の鎖を鋳型として, RNA ポリメラーゼが RNA を合成していく過程を転写という. このとき鋳型となる DNA 鎖をアンチセンス鎖, 鋳型とならない DNA 鎖をセンス鎖とよぶ.

(ケ) 原核生物ではしばしば, 機能的に関連のある遺伝子がゲノム上に連続して存在し, ひとまとめにして mRNA に転写される. このように転写の単位となる遺伝子群をオペロンとよぶ. 真核生物ではオペロンはまれで, ほとんどの遺伝子はひとつずつ転写される.

(コ) RNA ポリメラーゼは DNA ポリメラーゼと同様に, 鋳型 DNA 鎖に結合した短い RNA プライマーを必要とし, そこから RNA 鎖を 5'→3'方向に合成する. このとき, RNA 鎖は鋳型 DNA 鎖と水素結合せず, 1 本鎖の RNA が紡ぎ出されていく.

3. 上記 (キ) ~ (コ) の 4 つの文章のうち, 正しいものの数を解答欄 に記せ.

PART II

窒素栄養に関する下記の文章を読み、問いに答えよ。

窒素は、タンパク質、核酸をはじめとして細胞を形作る多くの化合物に含まれており、あらゆる生物にとって重要な栄養素のひとつである。生物が必要とする窒素の給源は、大気中に約 78%含まれる分子状窒素 (N_2) である。しかし、植物や動物は大気窒素 N_2 を直接利用することはできない。一部のバクテリアだけが、(ア) のエネルギーを利用して、 N_2 をアンモニア (NH_3) に還元することができる。この作用を (イ) とよぶ。植物は土壌中のアンモニウムイオン (NH_4^+) や硝酸イオン (NO_3^-) を吸収してアミノ酸など有機窒素化合物を合成している。動物など従属栄養生物は直接または間接的に植物が合成した有機窒素化合物を吸収し、必要とする窒素化合物に作りかえている。このような植物や動物の働きを (ウ) という。

4. 上記の文章で、(ア)～(ウ) に当てはまる言葉として適切な組み合わせを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. (ア) ATP, (イ) 窒素固定, (ウ) 窒素同化
- b. (ア) GTP, (イ) 窒素同化, (ウ) 窒素固定
- c. (ア) GTP, (イ) 窒素固定, (ウ) 窒素同化
- d. (ア) ATP, (イ) 窒素同化, (ウ) 窒素固定

PART III

細胞に関する以下の文章を読み、問いに答えよ。

すべての細胞は膜によって外界と区画されている。この膜を細胞膜または原形質膜とよび、その主要な構成成分は（ア）の二重層である。細胞膜は酸素、二酸化炭素、尿素などを自由拡散によって容易に通過させるが、イオン、水、糖、アミノ酸など親水性の分子を通過させにくい性質をもっている。たとえば、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- などのイオンは、（ア）の二重層を貫通するように埋め込まれたタンパク質によって構成される（イ）や（ウ）を通して輸送される。（イ）は物質を濃度勾配に従って通過させるもので、自由拡散と同様に受動輸送である。一方、（ウ）は濃度勾配に逆らって物質を輸送する能動輸送であり、そのためにエネルギーを消費する。アミノ酸や有機酸、糖などについても同じような輸送タンパク質が働いている。

5. 上記の文章で、（ア）～（ウ）に当てはまる言葉として適切な組み合わせを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. （ア）タンパク質、（イ）イオンチャネル、（ウ）イオンポンプ
- b. （ア）リン脂質、（イ）イオンチャネル、（ウ）イオンポンプ
- c. （ア）多糖類、（イ）イオンポンプ、（ウ）イオンチャネル
- d. （ア）脂質、（イ）イオンポンプ、（ウ）イオンチャネル

細胞は、核を持たず DNA が細胞質中に漂っている原核細胞と、DNA が核の中に局在する真核細胞にわけることができる。前者にはいわゆるバクテリア（細菌）が、後者には高等動植物を含め我々が通常目にするのできる生物の大部分が含まれる。原核細胞と真核細胞は核の有無だけでなく、(エ)や(オ)などをはじめとする、細胞内オルガネラ（小器官）の有無でも異なっている。すなわち、これら細胞内オルガネラは真核細胞にのみ存在し、原核細胞には存在しない。真核細胞は原核細胞から進化したと考えられており、おそらく細胞膜が細胞質内部に陥入することによって核が生じたと推定される。こうしてできた原始的な真核細胞に、好気性細菌が入り込み細胞内共生することによって(エ)が生じ、また光合成細菌であるシアノバクテリアが細胞内共生することによって(オ)が生じたとする考えが広く認められている。このように(エ)や(オ)の起源を数十億年前に起きた細胞内共生の結果とする考えを細胞共生進化説という。このことは、(エ)と(オ)がそれぞれ核ゲノムとは異なる独自の環状ゲノムを有していることから強く支持されている。

6. 上記の文章で、(エ)に当てはまる用語を解答欄 に記入せよ。

7. 上記の文章で、(オ)に当てはまる用語を解答欄 に記入せよ。

PART IV

発生生物学の重要な現象の多くは脊椎動物と無脊椎動物で共通している。ここでは無脊椎動物である昆虫の視細胞の発生をみてみよう。多くの昆虫は脊椎動物の単眼とは異なる複眼を持っている(図1)。複眼は、個眼とよばれる主にレンズと視細胞からなる単位が、多数規則正しく集合することにより形成されている(図2)。キイロショウジョウバエの個眼には8つの視細胞と4つの円錐細胞がある(図3)。円錐細胞はレンズを作る。8つの視細胞はそれぞれ細胞の形や個眼の中の位置から区別することができ、R1~R8と命名されている。キイロショウジョウバエを含む多くの昆虫は紫外線を受感することができるが、成虫個体に紫外線を照射すると光源に引き寄せられる。これは光刺激に対する(ア)とよばれる性質である。今、ある遺伝子*s*の変異体の光応答を調べたところ、紫外線に対する(ア)が失われていることがわかった。次にこの変異体の個眼の構造を調べたところ、図4のように正常型では視細胞R7に分化する細胞(r7細胞)が円錐細胞に分化していることがわかった。このことから視細胞R7が紫外線を受感していると考えられる。さらに遺伝子*s*を調べたところ、この遺伝子から作られるタンパク質Sはr7細胞で作られること、また、タンパク質Sは視細胞R8で作られる別のタンパク質Bを受け取る受容体として働くことがわかった。r7細胞ではタンパク質Bを受容体で受け取ることにより、R7細胞への分化を引き起こす遺伝子が発現する。以上のことから、視細胞R8は隣接する視細胞R7の分化に影響を与えていることがわかるが、この現象は(イ)とよばれている。また、視細胞発生過程における視細胞R7および視細胞R8の関係において、視細胞R7は脊椎動物の発生過程における(ウ)と、視細胞R8は(エ)と、それぞれ対応関係にあると考えることができる。

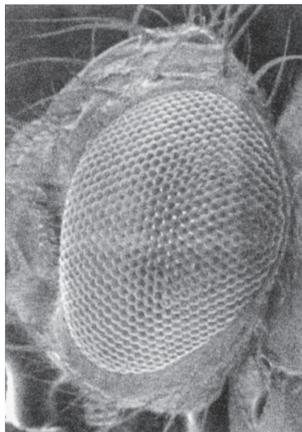


写真: 国際基督教大学

図1

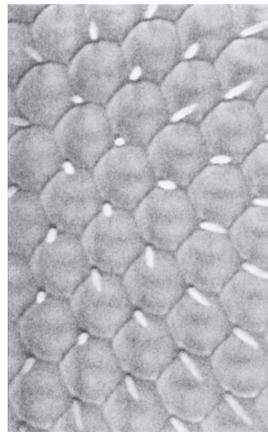


図2

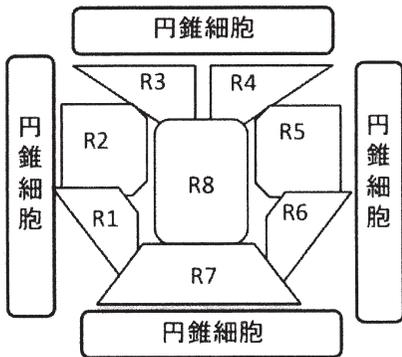


図3

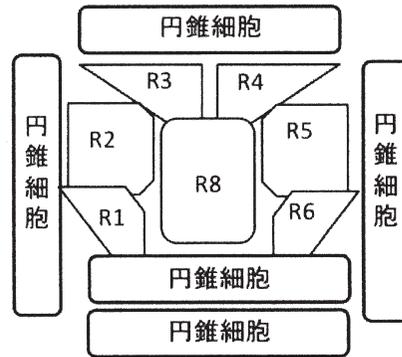


図4

8. 上記の文章で、(ア)に当てはまる最も適切な言葉を下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. 相補性, b. 偏性, c. 光屈性, d. 走性

9. 上記の文章で、(イ)に当てはまる最も適切な言葉を下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. 原腸陥入, b. 卵割, c. 導入, d. 誘導

10. 上記の文章で、(ウ), (エ)に当てはまる語句として最も適切な組み合わせを下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. (ウ)水晶体, (エ)眼杯
 b. (ウ)角膜, (エ)眼杯
 c. (ウ)水晶体, (エ)角膜
 d. (ウ)眼杯, (エ)水晶体

PART V

キイロシヨウジョウバエ受精卵の初期発生では、細胞分裂はおこらず、核分裂だけが進行する。このときの核分裂の速さは非常に速く、最初の 13 回の分裂はその周期が同調している。つまり、受精卵の中のすべての核が同時に分裂する。その結果、一つの細胞に多数の核を持つ多核細胞になる。その後、核の一部は受精卵表層部に移動し細胞膜ができて、胞胚ができる。そのためウニやカエルの初期胚で見られる（ア）は生じない。胞胚形成後の細胞分裂は発生初期の核分裂と比べると遅くなり同調性も失われる。今、胞胚期の受精卵から取り出した細胞について、細胞集団中の分裂期(M期)にある細胞の割合を調べることで細胞周期の長さを求めた。

11. 上記の文章で、(ア)に当てはまる最も適切な言葉を下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. 原口, b. 胚葉, c. 割球, d. 受精

【実験 1】

胞胚期受精卵から取り出した細胞を固定し、M期の細胞だけを染色したところ、観察した 250 個の細胞のうち、染色された細胞は 47 個であった。M期の持続時間は 0.5 時間で、かつ観察した細胞は互いに同調せず、独立して分裂していると仮定すると、この細胞集団の細胞周期の平均の長さは(イ)時間と見積もれる。

12. 上記の文章で、(イ)に当てはまる最も適切な数字を下記から選び、解答欄 に記せ。

- a. 2.7, b. 5.4, c. 27, d. 54

以上の実験で求めた細胞周期の長さを確認する目的で以下の実験を行った。

【実験 2】

胞胚期受精卵から取り出した細胞を DNA 合成期(S期)の細胞を標識する色素 A が入った溶液の中でごく短い時間培養した。色素を取り除いた後、引き続いて実験 1 で求めた細胞周期の長さだけ細胞をさらに培養した。その後固定して観察すると細胞集団の中に色素 A を取り込んだ細胞が観察されたが、これらの細胞は色素 A が入った溶液で細胞を培養したときに、S 期にあった細胞であると考えてよい。

【実験3】

実験2と同様に、胞胚期受精卵から取り出した細胞をS期の細胞を標識する色素Aが入った溶液の中でごく短い時間培養した。色素を取り除いた後、引き続いて実験1で求めた細胞周期の長さだけ細胞をさらに培養した。次に、今度はS期の細胞を標識する別の色素Bが入った溶液の中でごく短い時間培養して、その後固定し観察した。すると細胞集団中に色素Aと色素Bの両方を取り込んだ細胞が観察された。色素Aのみ、または色素Bのみを取り込んだ細胞は観察されなかった。このことは実験1で求めた細胞周期に関する結果と一致する。

【実験4】

次に細胞周期の長さが異なる変異体 c を仮定する。この変異体の胞胚期受精卵から取り出した細胞を実験3と同じ手法で培養、固定し観察した。変異体 c は分裂準備期(G_2 期)のみが野生型と比べて Δt 時間長くなることが知られており、 Δt について以下の関係が知られているものとする。

$\Delta t >$ 野生型のS期の時間

13. 実験4の予想される観察結果について考えてみよう。細胞集団中で、色素を取り込んだ細胞を下記の通りに分類する。

A : 色素Aのみを取り込んだ細胞

B : 色素Bのみを取り込んだ細胞

AB : 色素Aと色素Bの両方を取り込んだ細胞

これらに関する最も適切な記述を選び、解答欄 に記せ。

- a. A, および, ABが観察された。Bは観察されなかった。
- b. B, および, ABが観察された。Aは観察されなかった。
- c. A, B, ABが観察された。
- d. A, および, Bが観察された。ABは観察されなかった。

(このページは空白です。)

(このページは空白です。)

解答上の注意

1. 問題番号と解答欄番号は必ずしも一致しないので注意して下さい。
2. 問題の文中の (1), (2) などには, 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。
3. 問題の文中の A, 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。
4. 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, $\frac{2}{3}$ と答えるところを $\frac{4}{6}$ のように答えてはいけません。
5. 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, $6\sqrt{2}$, $\frac{\sqrt{17}}{3}$ と答えるところを, $3\sqrt{8}$, $\frac{\sqrt{68}}{6}$ のように答えてはいけません。

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
1つに マーク	<input type="checkbox"/>	A																			
○ ○ 数 化 学 学	<input type="checkbox"/>	B																			
○ ○ 物 生 理 物	<input type="checkbox"/>	C																			
	<input type="checkbox"/>	D																			
	<input type="checkbox"/>	E																			