

2023 年度

## 理 学 部 問 題

(数学・物理・英語・生物)

数 学 科：数学 2～11ページ 解答用紙 5 枚  
物理学科：数学 2 ページ・物理12～21ページ 解答用紙 数学 1 枚・物理 6 枚  
化 学 科：英語22～33ページ 解答用紙 3 枚  
生物学科：生物34～42ページ 解答用紙 4 枚

## 注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右 2 箇所）、氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙（物理学科の数学解答用紙を除く）は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 **数学科の受験者**は、「数学の第 1 問から第 5 問」までを解答すること。
- 8 **物理学科の受験者**は、「数学の第 1 問」と「物理」を解答すること。
- 9 **化学科の受験者**は、「英語」を解答すること。
- 10 **生物学科の受験者**は、「生物」を解答すること。
- 11 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 12 問題冊子は持ち帰ること。

## 問題訂正

科目名： 後期日程 理学部問題 (英語)

《訂正箇所》 23 ページ 第1問 上から 12 行目

誤

like gasses …

正

like gases …

科目名： 後期日程 理学部問題 (生物)

《訂正箇所》 35 ページ 第1問 問2 (3) 上から 5 行目

誤

プロモーターとラクトースを分解する酵素の遺伝子,

正

プロモーターからラクトースを分解する酵素の遺伝子まで,

(余 白)

数 学 (数学科・物理学科)

第 1 問 (100点)

$0 \leq \theta \leq 2\pi$  とする.  $xy$  平面において原点  $O(0,0)$  と点  $P(\cos \theta, \sin \theta)$  を通る直線を  $l$  とし, 点  $Q(2,0)$  と点  $P$  を結ぶ線分の垂直二等分線を  $m$  とする. 次の問いに答えよ.

問 1  $l$  と  $m$  が交点を持つための,  $\theta$  に関する条件を求めよ.

問 2  $\theta$  が問 1 の条件を満たしながら  $0 \leq \theta \leq 2\pi$  の範囲を動くとき,  $l$  と  $m$  の交点の軌跡の方程式を求めよ.

問 3 問 2 で求めた曲線によって, 不等式  $x^2 + y^2 \leq 1$  の表す領域は 2 つの部分に分けられる. そのうちで  $O$  を含まない方を  $S$  とする.  $S$  を  $x$  軸の周りに 1 回転させてできる立体の体積を求めよ.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 2 問 (100点)

数列  $\{a_n\}$  を

$$a_1 = \frac{1}{2}, \quad a_{n+1} = 3 - \frac{1}{a_n^2}$$

で定める. また, 方程式

$$x = 3 - \frac{1}{x^2}$$

の実数解のうち, 最も大きいものを  $c$  とおく. 次の問いに答えよ.

問 1  $c > 2$  を示せ.

問 2  $n \geq 3$  のとき,  $a_n \geq 2$  であることを示せ.

問 3  $n \geq 3$  のとき,  $|a_{n+1} - c| \leq \frac{1}{4} |a_n - c|$  であることを示せ.

問 4  $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = c$  を示せ.

(余 白)

# 数 学 (数学科)

## 第 3 問 (100点)

自然数  $k, n$  に対し,  $f_k(n) = \sum_{m=1}^n m^k$  とおく. また,  $f_0(n) = n$  とおく.  $f_1(n) = \frac{1}{2} n(n+1)$  であるから  $f_1(n)$  は  $n$  についての 2 次式であり,  $f_2(n)$  は  $n$  についての 3 次式である. 次の問いに答えよ.

問 1 等式  $m^3 - (m-1)^3 = 3m^2 - 3m + 1$  で  $m = 1, 2, \dots, n$  とおいたものの辺々を足し合わせることによって,  $f_2(n)$  を  $n$  で表す式を導け.

問 2  $f_k(n)$  は  $n$  についての  $(k+1)$  次式であることを示せ. また,  $f_k(n)$  における  $n^{k+1}$  の係数を求めよ.

問 3  $f_k(n)$  における  $n^k$  の係数を求めよ.

(余 白)

# 数 学 (数学科)

## 第 4 問 (100点)

関数  $f(x)$  は第 2 次導関数をもち、 $0 \leq x \leq 1$  の範囲で  $f''(x) \geq 0$  を満たすとする. 自然数  $n$  に対して,

$$S_n = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} \left\{ \left(x - \frac{k}{n}\right) f'\left(\frac{k}{n}\right) + f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} dx$$

$$T_n = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{\frac{k}{n}}^{\frac{k+1}{n}} \left\{ \left(x - \frac{k}{n}\right) f'\left(\frac{k+1}{n}\right) + f\left(\frac{k}{n}\right) \right\} dx$$

と定める. 次の問いに答えよ.

問 1  $0 \leq a < b \leq 1$  とするとき,  $a \leq x \leq b$  の範囲で

$$(x - a)f'(a) + f(a) \leq f(x) \leq (x - a)f'(b) + f(a)$$

が成り立つことを示せ.

問 2  $S_n \leq \int_0^1 f(x) dx \leq T_n$  を示せ.

問 3  $p = f(0)$ ,  $q = f(1)$  とおくとき,  $\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ n \int_0^1 f(x) dx - \sum_{k=0}^{n-1} f\left(\frac{k}{n}\right) \right\}$  を  $p$  と  $q$  を用いて表せ.

(余 白)

# 数 学 (数学科)

## 第 5 問 (100点)

$n$  を 3 以上の自然数とし, 正  $n$  角形  $P$  を  $xy$  平面の  $y \geq 0$  の範囲内で動かすことを考える.  $P$  の頂点を反時計回り (左回り) に  $A_0, A_1, \dots, A_{n-1}$  とおく. まず, 辺  $A_0A_1$  が  $x$  軸と重なった状態から,  $A_1$  を中心として  $P$  を時計回りに辺  $A_1A_2$  が  $x$  軸と重なるまで回転させる. 以降, 同様に, 辺  $A_{k-1}A_k$  が  $x$  軸と重なった状態から  $A_k$  を中心として  $P$  を時計回りに辺  $A_kA_{k+1}$  が  $x$  軸と重なるまで回転させる操作 を,  $k = 2, \dots, n-1$  に対して順に行う. ただし,  $A_n$  は  $A_0$  を表すものとする. 以上のように正  $n$  角形  $P$  を動かしたときの頂点  $A_0$  の軌跡の長さを  $S$  とする. また,  $k = 1, 2, \dots, n-1$  に対し, 線分  $A_0A_k$  の長さを  $a_k$  とおく. 次の問いに答えよ.

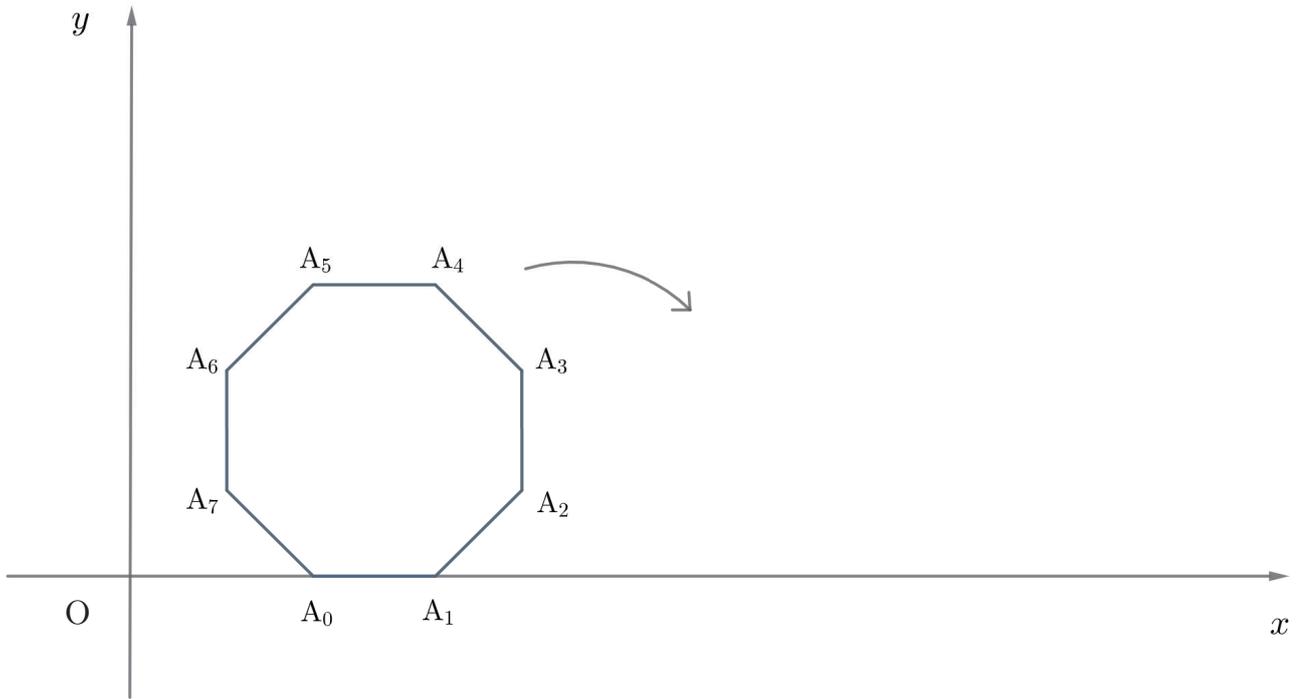
問 1  $k = 2, \dots, n-1$  に対して, 下線部の操作における  $A_0$  の軌跡の長さを,  $a_k$  を用いて表せ.

問 2  $k = 1, 2, \dots, n-2$  に対して,  $\angle A_kA_{k+1}A_0$  を求めよ.

問 3 正弦定理を用いることによって,  $k = 1, 2, \dots, n-1$  に対して,  $\frac{a_k}{a_1}$  を求めよ.

問 4 三角関数の積を差に変形する公式を用いることによって,  $\sum_{k=1}^{n-1} \left( \frac{a_k}{a_1} \sin \frac{\pi}{2n} \right)$  を求めよ.

問 5  $P$  が半径 1 の円に内接するとき,  $S$  を求めよ.



$n = 8$  のときの最初の状態

# 物 理 (物理学科)

## 第 1 問 (100点)

図1のように、水平面内に固定されたまっすぐなレールに沿って、質量  $m$  の物体が動けるようになっている。自然長  $\ell$ 、ばね定数  $k$  の軽いばねを用意して、片方の端を物体に取り付け、もう片方の端を固定点  $P$  に取り付ける。点  $P$  はレールと同じ水平面内にあり、レールから距離  $L$  だけ離れた位置にある。点  $P$  はばねの回転軸となっており、物体がレール上を運動する際に、ばねはレールには触れずに、フックの法則に従って点  $P$  と物体を結ぶ方向に沿ってまっすぐ伸び縮みをする。レールに沿って右向きに  $x$  軸をとり、点  $P$  を通るようにレールと垂直に  $y$  軸をとる。物体の位置を  $x$  であらわし、物体の  $x$  方向の速度を  $v$  とする。以下では、物体を  $x = x_0$  に静止させて、時刻  $t = 0$  の瞬間にそっと手を放したときの運動を考える。物体の大きさ、摩擦、ばねの質量、および空気の影響は無視する。次の問いに導出過程も含めて答えよ。

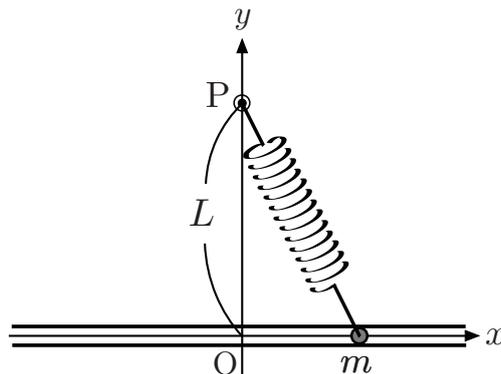


図 1

問 1 ばねが物体におよぼす  $x$  方向の力  $F_x$  を  $k$ ,  $L$ ,  $\ell$ , および  $x$  を用いて表せ。

問 2 力学的エネルギー保存の法則を用いて  $m$ ,  $k$ ,  $L$ ,  $\ell$ ,  $x_0$ ,  $x$ , および  $v$  の関係を表せ。

物体の運動は  $L < \ell$  の場合と  $L > \ell$  の場合で大きく異なる。まず  $L > \ell$  の場合を考える。

問 3  $F_x = 0$  となる位置  $x$  の値を答えよ。

問 4  $x_0$  を  $L$  に比べて十分小さく選ぶと、物体は  $x = 0$  のまわりで微小振動をした。物体の  $x$  方向の加速度を  $a$  として、物体の運動方程式を書け。ただし、問 1 で求めた  $F_x$  の式において、 $|x| \ll L$  のときに成り立つ近似式  $\sqrt{x^2 + L^2} \doteq L$  を用いること。

問 5 この場合の微小振動の周期  $T$  を求めよ.

問 6 次に  $x_0 = \sqrt{3}L$  と選んで, 物体を運動させた. 物体が  $x = 0$  を通過するときの速度の大きさ  $|v|$  を求めよ.

次に  $L < \ell$  の場合を考えよう.

問 7  $F_x = 0$  となる位置は 3 つある. それぞれの位置  $x$  の値を求めよ.

問 8 物体の弾性力による位置エネルギーを  $V(x)$  とするとき,  $V(x)$  の概形として最も適切なものを図 2 の (ア) ~ (エ) から選べ.

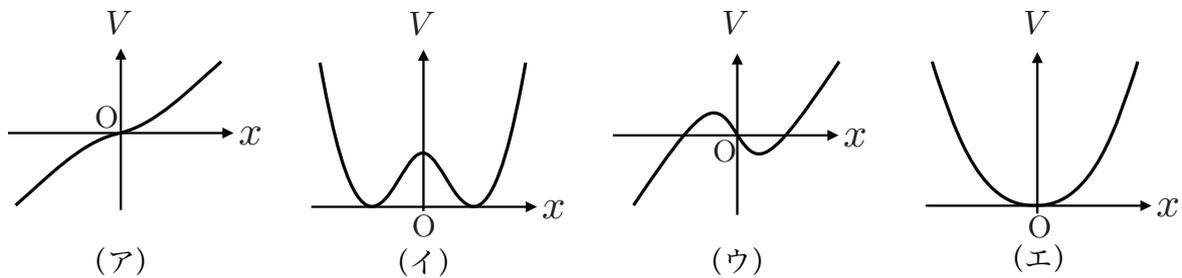


図 2

問 9  $F_x = 0$  となる 3 点のうち, 最も右側の点よりさらに右側の位置を  $x_0$  に選ぶと, 時刻  $t$  と物体の位置  $x$  の関係は図 3 の A (実線の曲線) のようになった.  $x_0$  をさらに大きく選ぶと,  $t$  と  $x$  の関係は図 3 の B (破線の曲線) のようになった. B のように, 物体が  $x < 0$  の領域まで運動するには  $x_0$  をある値より大きく選ばなければならない. その値を求めよ.

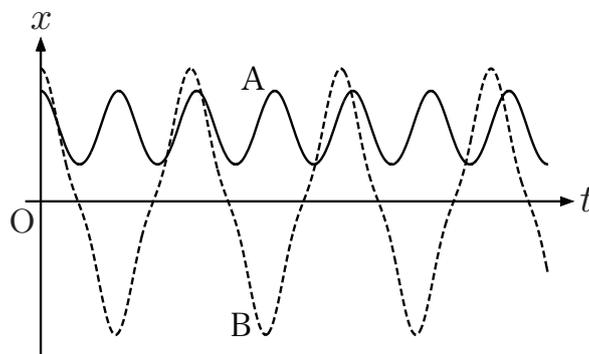


図 3

物 理 (物理学科)

第 2 問 (100点)

図1のように細くて長い管の一端が原点  $O$  に固定され、水平面内で  $O$  の周りを回転できるようにになっている。管の内部には、同じ質量  $m$  の二つの小球  $C_1, C_2$  を長さ  $2d$  の伸び縮みしない細くて軽い棒でつないだ物体  $D$  が入っている。管の内部はなめらかであり、物体  $D$  はその内部を自由に動くことができるが、 $C_1$  と  $C_2$  をつなぐ棒と  $O$  は常に一直線上にあり、 $C_1$  は  $C_2$  よりも  $O$  に近い。  $C_1$  には電気量  $q (> 0)$  の電荷が、  $C_2$  には比例係数  $\alpha$  を用いて  $\alpha q$  で表される電気量の電荷がそれぞれ与えられている。クーロンの法則の比例定数を  $k$  として、以下の問いに導出過程も含めて答えよ。ただし、管および棒は絶縁体でできており、電流は流れない。また、万有引力、空気の影響、電荷の加速度運動により発生する電磁波は無視すること。必要に応じて以下のことを用いよ。

(i)  $|x| \ll 1$  ならば、近似式  $(1+x)^n \doteq 1+nx$  が成り立つ。

(ii) 正の実数  $x, y$  と 3 以上の自然数  $p$  に対して  $y = x^p$  が成り立つならば、 $x$  は  $y$  の  $p$  乗根と呼ばれ  $x = \sqrt[p]{y}$  あるいは  $x = y^{\frac{1}{p}}$  と書くことができる。

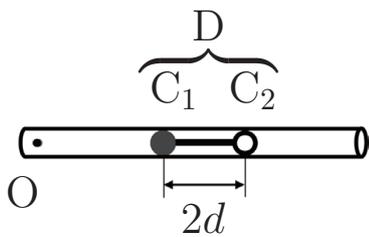


図1

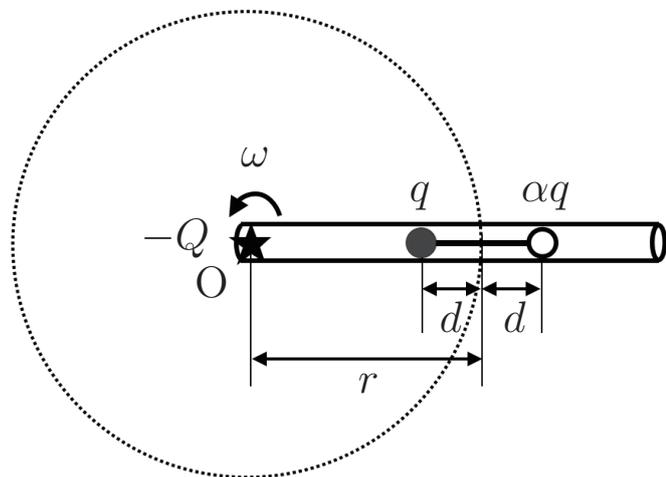


図2

まず、図2のように原点  $O$  に電気量  $-Q$  ( $Q > 0$ ) の点電荷 (★) を固定し、管を  $O$  を中心として一定の角速度  $\omega$  ( $> 0$ ) で水平面内を反時計回りに回転させた。

問 1 物体 D の重心 ( $C_1$  と  $C_2$  の中点) が O を中心とした半径  $r (> d)$  , 角速度  $\omega$  の円運動を行なっている場合を考える. このとき, 管と一緒に回転する観測者から見ると, それぞれの小球には遠心力, クーロン力, 棒からの力が管に沿った方向に加わっており, それらがつりあっている. このことを考慮して,  $C_1, C_2$  それぞれに対する力のつりあいの方程式を求めよ. ただし  $C_2$  が棒から受ける力を  $f$  とし, その向きは  $C_2$  が棒から押される方向を正とせよ.

問 2 問 1 の方程式より  $f$  を消去することで, 物体 D にはたらく力のつりあいの方程式を求めよ.

問 3  $\alpha = 1$  の場合に 問 2 の方程式を満たす  $r$  を求めよ. ただし  $d \ll r$  として近似せよ.

問 4  $\alpha = -1$  の場合に 問 2 の方程式を満たす  $r$  を求めよ. 前問と同様  $d \ll r$  として近似せよ.

(つづく)

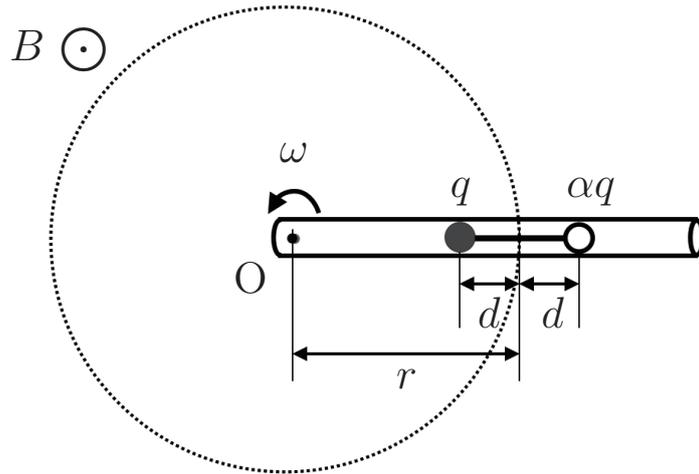


図 3

次に、原点の点電荷を取り除き、磁束密度  $B$  の一様な磁場を鉛直方向で紙面の裏から表向きにかけ、管を再び一定の角速度  $\omega$  で反時計回りに回転させた (図 3)。以下では  $d \ll r$  を仮定せずに解くこと。

問 5 問 1 同様、物体 D にはたらく力がつりあっており、物体 D の重心が  $O$  を中心とした半径  $r$  ( $> d$ )、角速度  $\omega$  の円運動を行なっている場合を考える。このとき、問 2 を参考にして物体 D にはたらく力のつりあいの方程式を求めよ。

問 6  $\alpha = -1$  の場合、問 5 の方程式を満たす  $r$  を求めよ。

最後に  $\alpha = 1$  とし、磁場はそのまま、管を逆向き (時計回り) に一定の角速度で回転させたところ、物体 D の重心は  $O$  を中心とした半径  $R$  ( $> d$ ) の円運動を行なった。

問 7 この場合の角速度の大きさを求めよ。

(余 白)

# 物 理 (物理学科)

## 第 3 問 (100点)

屈折率 1 の空気中に、図 1 のように、単スリット板、スリット間隔  $d$  の複スリット板、スクリーンを互いに平行にして置いた。複スリット板は単スリット板から距離  $H$  だけ離れ、スクリーンとは距離  $L$  だけ離れている。これらの面に垂直に、スリット  $S_1, S_2$  の中点を通るように  $x$  軸をとり、スクリーンと交わる点を原点  $O$  とする。スクリーン内に  $y$  軸をとり、 $S_1$  から  $S_2$  に向かう方向を正方向とする。3 本の細いスリット  $S_0, S_1, S_2$  はいずれも紙面と垂直方向にあり、スリット間隔  $d$  が  $H$  や  $L$  に比べて十分小さい場合を考える。点光源から発した波長  $\lambda$  の単色光は、 $x$  軸上の単スリット  $S_0$  を一様に照らしている。 $S_0$  と複スリット  $S_1, S_2$  を通った回折光は干渉して、スクリーン上に明暗の縞模様が観測された。最も明るい明線が原点  $O$  に観測され、これを 0 次の明線として、それから近い順に 1 次、2 次、3 次、 $\dots$  の明線とする。以下の問いに導出過程も含めて答えよ。必要に応じて、実数  $r$  について  $|r| \ll 1$  のときに成り立つ近似式  $\sqrt{1+r} \doteq 1 + \frac{1}{2}r$  を用いよ。

問 1 スクリーン上の任意の点  $P$  の  $y$  座標を  $Y$ 、スリット  $S_1, S_2$  から点  $P$  までの距離をそれぞれ  $L_1, L_2$  とする。 $L_1 - L_2$  を  $L, d, Y$  を用いて表せ。ただし、 $L \gg |Y|$  として近似せよ。

問 2 隣り合う明線の間隔  $\Delta Y$  と単色光の波長  $\lambda$  の関係を  $L, d, Y$ 、明線の次数  $m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) から必要なものを用いて表せ。また、単色光の色を、赤、紫、緑と変化させる時、 $\Delta Y$  の大きい順に色を示せ。

問 3 複スリット板からスクリーンの間を屈折率  $N$  の透明な液体で満たした場合、 $\Delta Y$  は空気中の時と比べ何倍に変化するか答えよ。

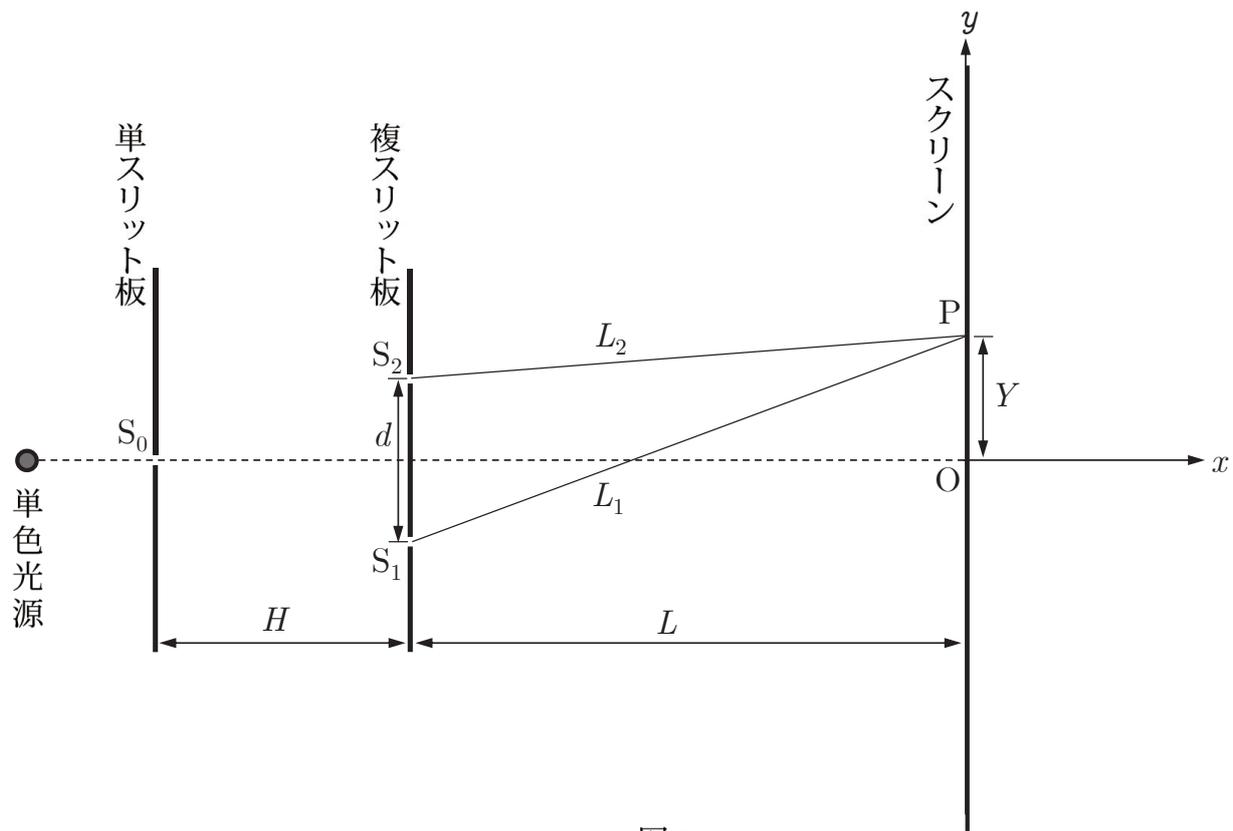


図 1

(つづく)

問 4 図2のように、単スリット板を  $y$  軸の正方向に動かし、スリット  $S_0$  の  $y$  座標を  $t$  としたとき、原点  $O$  は暗線となった。このときの  $t$  を  $H, d, \lambda$ , 次数  $m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) を用いて表せ。ここで、 $t$  は  $H$  に比べて十分小さいものとする。

問 5 スリット  $S_0$  を  $x$  軸上の位置に戻す。図3のように、スリット  $S_2$  の単スリット板側に、厚さ  $a$ , 屈折率  $n$  ( $n > 1$ ) の透明板を光路に垂直に置いたところ、図1の時から干渉縞の位置がずれた。最も明るい0次の明線の位置を点  $O'$  とし、その  $y$  座標を  $Y'$  とする。ここで、透明板での光の反射は考えないものとする。(1)~(4)に答えよ。

- (1)  $Y'$  を  $L, d, n, a$  を用いて表せ。
- (2)  $Y'$  が、透明板がない場合の1次の明線の  $y$  座標と一致するとき、透明板の厚みを  $n, \lambda$  を用いて表せ。
- (3) 透明板の温度を上昇させると、屈折率が  $n$  から  $n + \Delta n$  に、厚さが  $a$  から  $a + \Delta a$  にわずかに変化した。点  $O'$  の  $y$  座標が温度上昇前から  $\Delta y$  だけ移動したとき、 $\Delta y$  を  $L, d, n, a, \Delta n, \Delta a$  を用いて表せ。計算においては、微小量  $\Delta n$  と  $\Delta a$  との積は無視せよ。
- (4) (3)において、 $\Delta a > 0$  の時、温度を上昇させる前後で明線の位置が変化しなかった。この時の  $\Delta n$  の符号を答えよ。

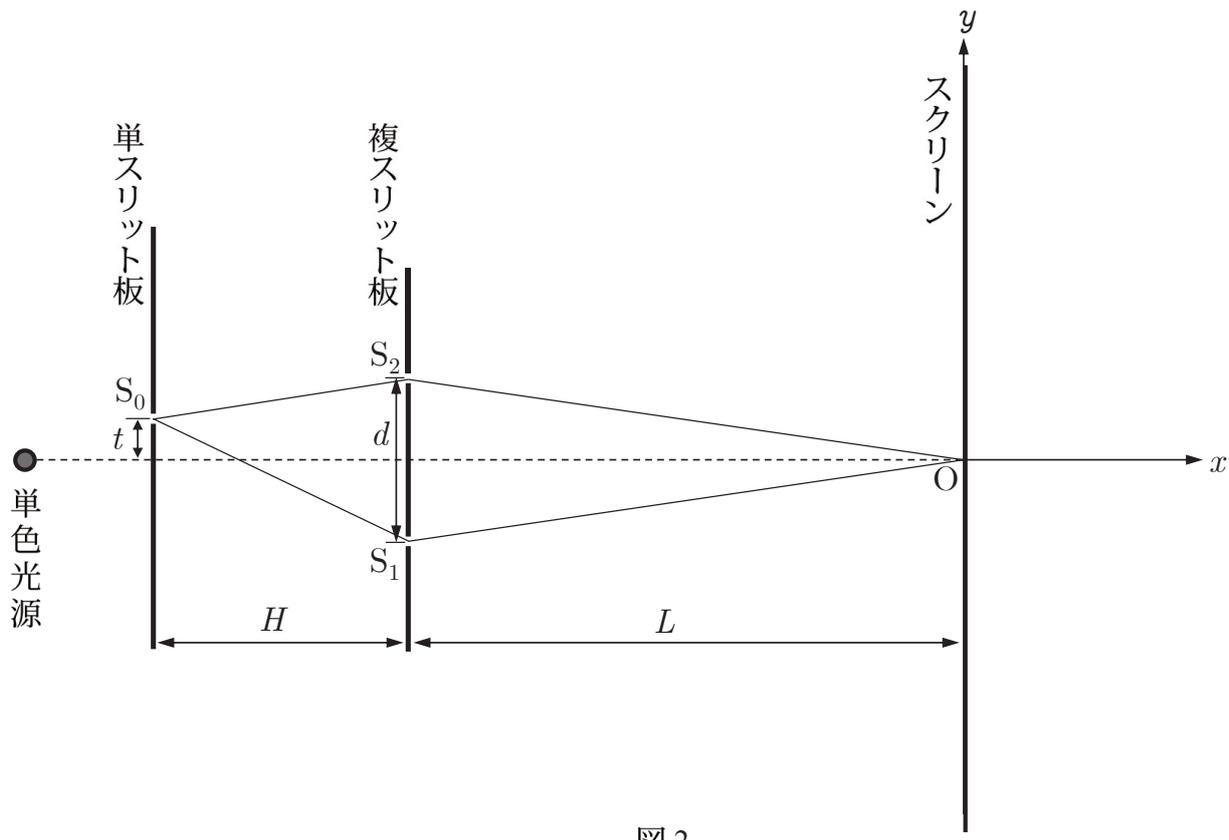


図 2

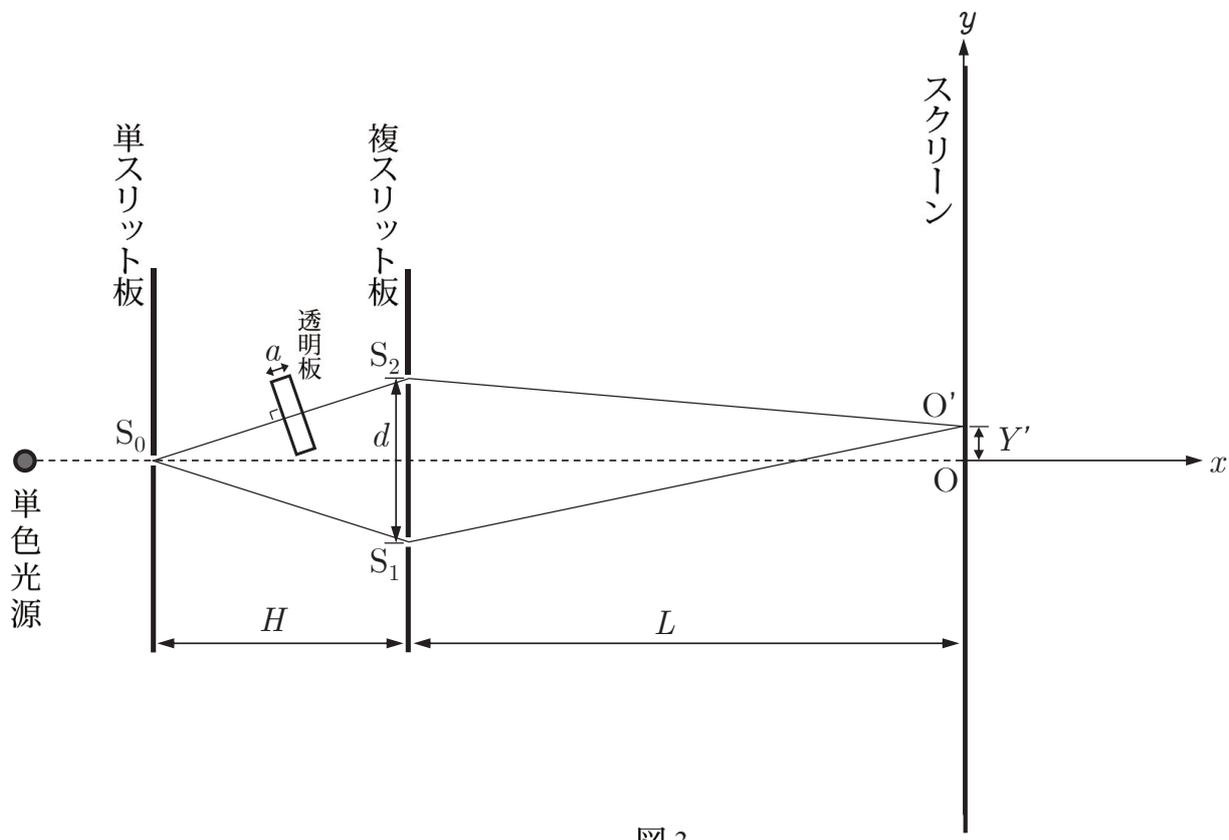


図 3

英 語 (化学科)

第 1 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問7に答えよ。

著作権の都合により、公開しません。

著作権の都合により、公開しません。

(出典：J. W. Hill, T. W. McCreary, D. K. Kolb. *CHEMISTRY for Changing Times*. Pearson Education, 2010. 一部改変)

(注) scCO<sub>2</sub>: supercritical CO<sub>2</sub>の略, the U.S. Food and Drug Administration: アメリカ食品医薬品局

問1 下線部①を日本語に訳せ。

問2  に当てはまる適切な単語を以下から選び，記号で答えよ。

- (a) melting      (b) boiling      (c) sublimation      (d) triple

問3 ,  に当てはまる適切な単語をそれぞれ本文中から選んで記せ。

問4 下線部②を日本語に訳せ。

問5 下線部③の理由を，「water」および「scCO<sub>2</sub>」という語を用いて15語以内の英文で説明せよ。

問6 下線部④について，

- (i) scCO<sub>2</sub> を用いる手法に対して，従来の手法はどのように行われていたかを日本語で簡潔に説明せよ。
- (ii) scCO<sub>2</sub> を用いる手法に対して，従来の手法の欠点を2つ日本語で挙げよ。

問7 下線部⑤について，

- (i)  に当てはまる適切な単語を本文中から選んで記せ。
- (ii) CO<sub>2</sub> は **Figure 1** におけるどの状態 (State) からどの状態へと変化するか。以下の  および  に適切な数字 (1, 2, 3, または4) を記せ。

State  → State

(余 白)

英 語 (化学科)

第 2 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問5に答えよ。

A molecule of sulfuric acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , has two hydrogen atoms connected to the acid remainder ( $\text{SO}_4$ ) and is therefore a dibasic acid. Sulfuric acid is possibly the most important commodity chemical that has numerous applications and is manufactured on a tremendous scale.

It is sometimes said that the per capita volume of manufactured and consumed sulfuric acid is <sup>①</sup>an indication of a country's state of industrial development. The largest consumers of sulfuric acid are the fertilizer, petrochemical, and chemical industries.

Sulfuric acid is a colorless and odorless liquid. The content of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in commercial undiluted sulfuric acid, called concentrated sulfuric acid, ranges from 95% to nearly 100% by weight (the rest is water). Concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$  is viscous (has the consistency of oil), which explains its medieval name oil of vitriol. Unlike oil, however, sulfuric acid is very dense,  $d = 1.84 \text{ g/mL}$ , nearly twice as dense as water.

Sulfuric acid is miscible with water in any proportion, has a very high affinity for water, and is <sup>②</sup>hygroscopic. A substance is said to be hygroscopic if it takes up and retains moisture from the air. Concentrated sulfuric acid does not only that, but also avidly pulls water out of various inorganic and organic compounds and materials. The process of water removal from a substance is called dehydration. There are two types of dehydration. In one, the already available water molecules in a moist material are transferred to a dehydrating agent. In this case, the loss of water is a physical phenomenon. In <sup>③</sup>the second type of dehydration, a dehydrating agent brings about a chemical reaction that generates water and absorbs the water produced. Concentrated sulfuric acid can perform both types of dehydration. You may have seen a spectacular demonstration of the dehydration of sugar by concentrated sulfuric acid. The formula of sugar (sucrose) is  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . For the time being, it suffices to say that there are no water molecules in sugar. Being “hungry” for water, sulfuric acid forces the molecules of sucrose to decompose to water and carbon among other products. The water produced is avidly absorbed by the  $\text{H}_2\text{SO}_4$  used for the reaction:



The powerful dehydrating ability of concentrated sulfuric acid is one of the two key reasons for its extreme corrosiveness. The other key reason is the very high strength of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  as an acid. Concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$  must be handled with utmost care because it burns through cloth and causes painful and slow-healing burns to the skin. Direct contact of concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$  with the eyes can result in permanent blindness. The necrosis of tissues caused by sulfuric acid has both chemical and thermal origins. As dehydration by concentrated sulfuric acid occurs, much heat is released, which exacerbates the chemical damage by the thermal burn of the same area.

Aqueous solutions of sulfuric acid for a broad variety of uses are prepared by dilution of concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Great care should be exercised when mixing concentrated sulfuric acid and water because the mixing generates a massive amount of heat. To dilute concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , it is always the acid that should be slowly poured into the water at stirring. Doing it the other way around is likely to result in a bad accident. In an educational video posted on the Internet, water is added to pure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  on purpose, to demonstrate the potential danger of the wrong order of addition. Toward the end of this very short demonstration, the temperature in the flask rises above the boiling point of water ( $100\text{ }^\circ\text{C}$ ). Imagine scalding-hot strong acid splattering around on one's clothing and skin, let alone eyes. In contrast, no splashing takes place if the acid is added to the water.

④ Why does the order of addition (acid to water vs. water to acid) make such a big difference? The amount of heat produced on mixing a particular volume of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  with a particular volume of  $\text{H}_2\text{O}$  is the same, no matter how the two are mixed. One explanation deals with the difference in density of concentrated sulfuric acid and water (see above). When water is added to much more dense  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , the water stays on top of the acid for at least a short moment before the two are fully admixed. The heat instantly released on contact of the two is sufficient to make the upper layer of the small amount of water boil abruptly and violently, spitting and splashing around the hot acid solution. When poured into the water, the more dense sulfuric acid goes to the bottom and the heat released is dissipated over the large amount of water in the upper layer.

(出典：Chemistry from Scratch. <https://chemistryfromscratch.org> 一部改変)

(注) per capita: 一人あたりの, medieval: 古風な, affinity: 親和性, decompose: 分解する, corrosiveness: 腐食性, necrosis: 壊死<sup>えいじ</sup>, thermal: 熱の, exacerbate: 悪化させる, dilution: 希釈, stir: 攪拌<sup>かくはん</sup>する (かき混ぜる), scalding: 火傷<sup>やけど</sup>するほど, splatter, splash: (液体が) 飛び散る, abruptly: 急に

問1 下線部①を日本語に訳せ。

問2 下線部②の単語が示す性質の名称の日本語訳を示すとともに、その性質の具体的な意味を本文の内容に沿って日本語で説明せよ。

問3 下線部③の内容を具体例を挙げながら日本語で説明せよ。

問4 下線部④の問いに対する答えを、本文の内容に沿って200字以内の日本語で述べよ。

問5 以下の英文中で実験技師が行ったとされる操作と考察には重大な科学的誤りが5つ含まれている。それらをそれぞれ日本語で述べよ。

A laboratory technician was asked to prepare a 20% solution (by mass) of sulfuric acid in water from concentrated (100%)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . For that, he decided to mix 100 g of water and 20 g of concentrated sulfuric acid. Since it is easier to measure liquids by volume than by mass, and, knowing that the density of water is 1 g/mL, the technician placed exactly 100 mL of water in a graduated cylinder. Then he placed 20 mL of concentrated  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in another graduated cylinder. After that, he started adding the measured quantity of water to the sulfuric acid. Once the first portion of water was added, much heat was released, and a violent splattering occurred. Fortunately, the technician had a lab coat, rubber gloves, and goggles on, as otherwise he would have had hot acidic splashes all over his hands, face, and, possibly, in his eyes. After the hot liquid mixture cooled down, the technician decided to check if the solution was acidic. For that, he mixed a few drops of the resultant acid solution with a few drops of a phenolphthalein indicator solution. As the mixture remained colorless rather than turning raspberry red, the technician concluded that something went wrong and the acid had decomposed.

(問4 下書き欄)


100字

200字

英 語 (化学科)

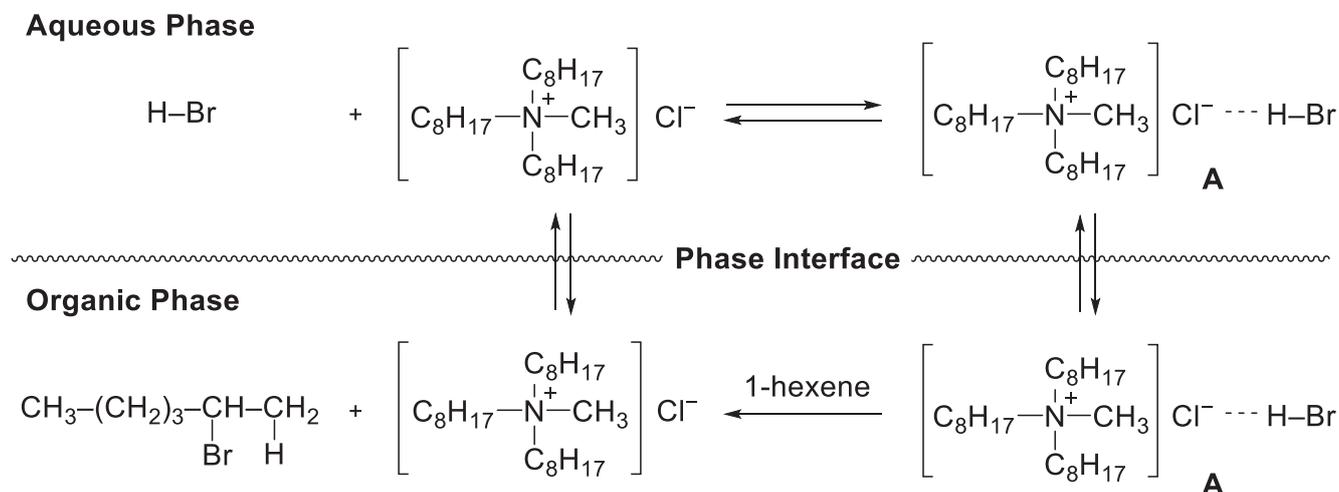
第 3 問 (100点)

式(1)の反応の解説と実際の実験操作を記した次の英文を読んで、問1～問7に答えよ。



The addition of hydrogen bromide (H-Br) to 1-hexene produces 2-bromohexane preferentially. This type of reaction is normally rather difficult to perform with aqueous hydrobromic acid in the undergraduate laboratory for several reasons. First, common alkenes are immiscible with concentrated aqueous hydrobromic acid, and the reaction is sluggish if the layers are not mixed efficiently. Second, H-Br is a strong acid that protonates water extensively to give the hydronium ion, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Because a hydronium ion is a weaker acid than undissociated H-Br, it is unable to protonate the alkene rapidly under mild reaction conditions. Moreover, the presence of water in the reaction mixture introduces the possibility of competing acid-catalyzed addition of water to the alkene. These problems are reduced by using anhydrous H-Br, but the highly corrosive nature of this gas makes it difficult to handle and use.

A convenient solution to these experimental difficulties entails the addition of a catalytic amount of a quaternary ammonium salt such as methyltrioctylammonium chloride, CH<sub>3</sub>(C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>)<sub>3</sub>N<sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>, to the heterogeneous mixture of the aqueous acid and the alkene. The ammonium salt partitions between the aqueous and organic phases because of the amphoteric nature of the catalyst (Scheme 1): it is lipophilic or nonpolar-loving due to the alkyl groups and hydrophilic or polar-loving because of the ionic ammonium function, respectively. By forming



Scheme 1.

complex A with the H–Br, the ammonium salt extracts H–Br from the aqueous phase, transporting it into the organic phase where the alkene is present. The quaternary ammonium salt repartitions into the aqueous phase to complete the catalytic cycle. The transfer of the H–Br into the organic phase essentially dehydrates the acid, making it more reactive toward the alkene so that the addition becomes possible.

### <Experimental Procedure>

(a) **Setting Up**; Combine 3.0 mL of 1-hexene, 14 mL of 48% aqueous hydrobromic acid, and 1.0 g of methyltrioctylammonium chloride in a 50 mL round-bottom flask. Equip the flask with a water-cooled condenser and set up the apparatus heating under reflux.

(b) **Addition and Work-Up**; With rapid stirring, heat the heterogeneous reaction mixture under gentle reflux for 2 hours and then allow the mixture to cool to room temperature.

Carefully transfer the two-phase mixture to a separatory funnel, rinse the reaction flask with 15 mL of petroleum ether, and add the rinse to the separatory funnel. Shake the funnel thoroughly and allow the layers to separate. Verify that the lower one is the X phase and remove it. Transfer the organic layer to a conical flask and dry it with swirling over anhydrous sodium sulfate for at least 30 minutes.

(c) **Isolation**; Decant or gravity-filter the dried solution into a 25 mL round-bottom flask, equip the flask for simple distillation, and distill the product. Carefully control the rate of heating throughout the course of this distillation because severe foaming can occur.

After the first fraction containing petroleum ether and unreacted 1-hexene is removed over a range of room temperature to 80 °C (760 mmHg), change the receiving flask and collect the bromohexane as a single fraction. Because the volume of product is likely to be only 1-2 mL, an accurate boiling point may be difficult to obtain, and all material that distills above 110-115 °C (760 mmHg) should be collected in order to obtain a reasonable yield.

(出典：J. C. Gilbert, S. F. Martin. *Experimental Organic Chemistry*, 4th ed. Thomson Brooks/Cole, 2006. 一部改変)

(注) sluggish: (反応が) 遅い, extensively: 大量に, 広範囲に, dissociate: 解離する, acid-catalyzed: 酸触媒による, corrosive: 腐食性の, heterogeneous: 不均一の, amphoteric: 両性の, complex: 複合体, under reflux: 還流下で, work-up: 後処理, petroleum ether: 石油エーテル (ペンタンを主成分とする低級脂肪族炭化水素の混合物), sodium sulfate: 硫酸ナトリウム, decant: 上澄み液を移す

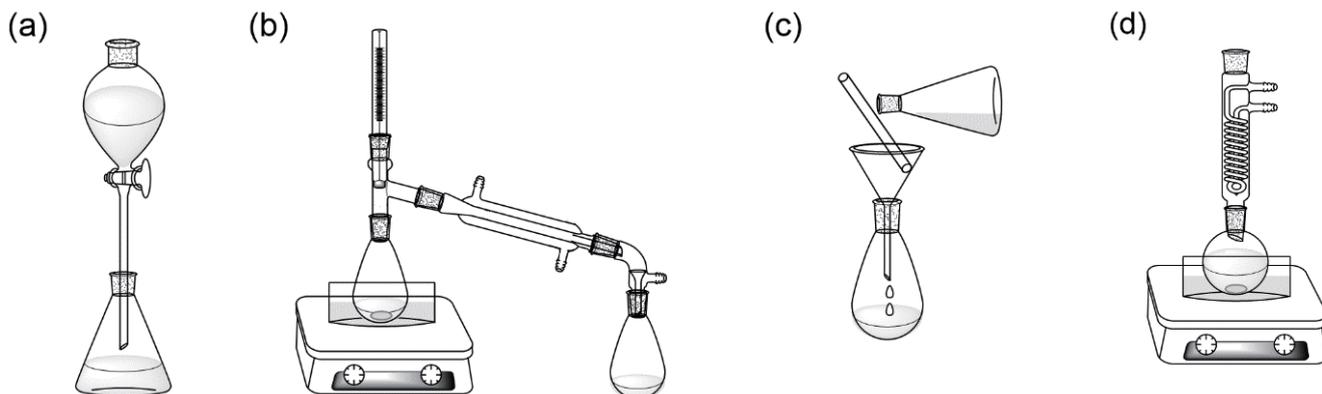
問1 下線部①の3つの理由を本文に沿って日本語で述べよ。

問2 1-hexene に対して下線部②に示す反応が進行した場合に得られてくる主生成物の構造式を、式(1)をふまえて答えよ。

問3 下線部③を日本語に訳せ。

問4 下線部④の化合物の役割を、本文の内容に沿って具体的に日本語で述べよ。

問5 以下の図(a)~(d)は、この実験で用いた装置の一部である。実験手順に記載されている順に並べ替え、記号で答えよ。



問6  にあてはまる単語を本文中から選んで記せ。

問7 下線部⑤に関して、この実験を実際に行ったところ、1.5 mL の 2-bromohexane が得られた。この反応において、得られた 2-bromohexane の物質量は、用いた 1-hexene の物質量の何%に相当するかを有効数字2桁で答えよ。(計算式も記すこと。)

なお、1-hexene と 2-bromohexane の分子量は、それぞれ 84, 165, 密度はそれぞれ 0.70 g/mL, 1.1 g/mL とする。

(余 白)

# 生 物 (生物学科)

## 第 1 問 (170点)

遺伝情報の発現と制御に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

生物の遺伝情報の本体は DNA である。DNA の塩基配列の情報は、mRNA の配列に写し取られ、その情報がアミノ酸の配列に翻訳されて、タンパク質が合成される。生物は、必要なときに必要なタンパク質を合成する。タンパク質の合成は、おもに転写の段階で調節される。例えば、大腸菌のラクトースを分解する酵素の転写調節が挙げられる。大腸菌は、生育に必要なグルコースが周囲になく、ラクトースが豊富にある場合にラクトースを分解する酵素を合成し、ラクトースを分解してグルコースを得る。この転写調節機構はバイオテクノロジーに応用されている。ラクトースを分解する酵素をコードする遺伝子を緑色蛍光タンパク質 (GFP) をコードする遺伝子に置き換えた大腸菌は、グルコースがなくラクトースが存在する培地に移されると、GFP の遺伝子を発現する。遺伝子を置き換える際には、DNA のある特定の塩基配列を切断する制限酵素などが用いられる。

問 1 下線部①に関して、ヒトのある遺伝子 I および遺伝子 II について(1)~(3)に答えよ。

(1) DNA はグアニン (G)、アデニン (A)、チミン (T)、シトシン (C) の塩基を含む。一方、RNA は T の代わりにウラシル (U) を含む。遺伝子 I の DNA のアンチセンス鎖の塩基組成は  $G = 20\%$ 、 $A = 15\%$ 、 $T = 40\%$ 、 $C = 25\%$  である。このアンチセンス鎖から転写された mRNA の塩基組成を求めよ。

(2) 遺伝子 I の DNA のアンチセンス鎖の塩基配列の一部を図に示した。図には、転写されると開始コドンとしてはたらく配列が含まれる。転写された mRNA からタンパク質が翻訳される際に 3 番目のアミノ酸を運搬する tRNA のアンチコドンの塩基配列を答えよ。

5' AAAAAAGGGAAATTTCCCCATTTT 3'

図

- (3) 遺伝子 I および遺伝子 II には、それぞれ 300 および 1000 個のアミノ酸から構成されるタンパク質の配列情報が含まれる。ヒトの DNA を鋳型にして、それぞれのタンパク質の開始コドンから終止コドンまでを PCR 法を用いて増幅した。その結果、遺伝子 I、II ともに 3003 塩基対の DNA 断片が得られた。この結果から考えられる遺伝子 I と遺伝子 II の構造の違いを説明せよ。

問 2 下線部②に関して、(1)~(3)に答えよ。

- (1) 大腸菌では、ラクトースを分解する酵素を含む 3 つの酵素の遺伝子はひとかたまりになって存在する。これらの遺伝子は、1 つのプロモーターのもとでまとまって調節タンパク質による転写調節を受ける。このような 1 つのプロモーターによって発現が調節される複数の遺伝子群のまとまりは何とよばれるか、答えよ。
- (2) 培地にグルコースがなくラクトースが豊富にあっても、ラクトースを分解する酵素を含む 3 つの酵素が合成されない大腸菌の突然変異株を 2 種類見つけた。これらの突然変異株では、調節遺伝子、または、プロモーターの領域のいずれかに突然変異が起きている。なぜ、これらの突然変異株では、グルコースがなくラクトースが豊富にあっても 3 つの酵素が合成されないのか、それぞれ理由を説明せよ。
- (3) (2)の 2 種類の突然変異株に、プラスミド A を導入した。プラスミド A を導入した突然変異株をある培地で培養し、ラクトースを分解する酵素の発現を調べる実験を行うと、突然変異が起きた領域を特定できた。この実験において、プラスミド A には野生株の調節遺伝子、プロモーター、ラクトースを分解する酵素の遺伝子、プロモーターとラクトースを分解する酵素の遺伝子、の 4 つの領域のうち、どの領域を含む DNA を導入すればよいか、最も適切なものを 1 つ答えよ、また、この実験ではどのような培地で大腸菌を培養したか、答えよ。それぞれの突然変異株でのラクトースを分解する酵素の発現の結果についても説明せよ。

問3 下線部③に関して、15100塩基対の環状ではない線状の2本鎖DNAと制限酵素Aおよび制限酵素Bを用いて、実験1および実験2を行った。

実験1 制限酵素AでDNAを処理したところ、表1の左側に示した塩基対数の断片が得られた。次に、それぞれの断片を制限酵素Bで処理したところ、それぞれ表1の右側に示した塩基対数の断片が得られた。

実験2 実験1の操作を逆にして、制限酵素BでDNAを処理した後に、得られた断片を制限酵素Aで処理した(表2)。

表1 実験1の結果

制限酵素Aで処理した後の断片の塩基対数		それぞれの断片を制限酵素Bで処理した後の断片の塩基対数
6300	—————▶	3300, 3000
4200	—————▶	4200
3000	—————▶	1800, 1200
1600	—————▶	1600

表2 実験2の結果

制限酵素Bで処理した後の断片の塩基対数		それぞれの断片を制限酵素Aで処理した後の断片の塩基対数
9300	—————▶	4200, 3300, 1800
3000	—————▶	3000
2800	—————▶	1600, 1200

実験1および実験2で得られた結果から、もとのDNAに存在する制限酵素Aおよび制限酵素Bの切断部位と切断部位間の塩基対数を解答用紙の例にならって示せ。ただし、切断部位間の塩基対数を長さで正確に表す必要はない。

問4 一般に、細菌が制限酵素を持つことは、自然界での生存に有利に働くと考えられる。細菌が制限酵素を持つ利点を述べよ。

(余 白)

# 生 物 (生物学科)

## 第 2 問 (170点)

生殖と発生に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

生物の生殖は(ア)と(イ)の2つに分けられる。(ア)には<sup>①</sup>分裂、出芽、栄養生殖が含まれる。(イ)では接合が起こる。多細胞生物では生殖細胞から生じた配偶子が接合を行う。配偶子の核相は単相( $n$ )であり、接合子の核相は複相( $2n$ )である。(ウ)は $2n$ の細胞から再び $n$ の細胞を生み出す特別な細胞分裂である。動物の卵形成では<sup>②</sup>一次卵母細胞が(ウ)を行い、成熟した卵と極体を生じる。精子と卵の接合を<sup>③</sup>受精という。受精卵は、卵割期、胞胚期、原腸胚期を経て発生する。原腸胚期になると(エ)とよばれる形態形成運動によって原腸ができる。

問1 文章中の空欄(ア)～(エ)に入る最も適切な語句を答えよ。

問2 下線部①に関して、(ア)と(イ)のどちらの方法でも生殖する生物について、以下の(a)～(e)の文章のうち、正しいものには○を、間違っているものには×を解答欄に記入せよ。

- (a) (ア)は(イ)に比べ、親子間で遺伝情報の違いが大きくなりやすい。
- (b) (ア)は(イ)に比べ、個体数をすみやかに増やしやすい。
- (c) (ア)は(イ)に比べ、環境の変化に耐えられる子を作りやすい。
- (d) (ア)と(イ)のどちらでも生殖できるのは単細胞生物のみである。
- (e) (ア)と(イ)のどちらでも生殖できるのは多細胞生物のみである。

問3 下線部②に関して、分裂、出芽、栄養生殖において親の個体から新しい個体ができる過程の特徴をそれぞれ述べよ。

問4 下線部③に関して、シダ植物において  $2n$  の細胞から  $n$  の細胞が作られる過程として最も適切なものを、次の(a)~(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 孢子体 ( $2n$ ) に孢子のう ( $n$ ) が作られる。
- (b) 孢子のう ( $2n$ ) の中に孢子 ( $n$ ) が作られる。
- (c) 孢子 ( $2n$ ) から前葉体 ( $n$ ) が作られる。
- (d) 前葉体 ( $2n$ ) に造精器 ( $n$ ) が作られる。
- (e) 造卵器 ( $2n$ ) の中に卵 ( $n$ ) が作られる。

問5 下線部④に関して、動物の卵形成において、一次卵母細胞から成熟した卵が生じる過程を、細胞の大きさと核相の変化に注目して説明せよ。

問6 下線部⑤に関して、生息域が重複し、形態的・生理的・生態的特徴が似通っている2つの動物群 A と B を調べたところ、互いの卵と精子は受精できた。しかし、この結果だけでは A と B は生物学的に同種とはいえない。その理由を述べよ。

問7 動物極と植物極を結ぶ軸を地球の地軸になぞらえたとき，経線を境に卵割することを経割，緯線を境に卵割することを緯割という．ウニとイモリの卵割を比較するといずれも，第一卵割と第二卵割は等割の経割で，第三卵割は緯割である．またいずれも，胞胚は胞胚腔をもつ．胞胚期のうちにウニはふ化するが，イモリはまだふ化しない．ふ化したウニの胞胚は遊泳胞胚とよばれる．図はウニとイモリの初期胚を示したものである．(1)～(4)に答えよ．

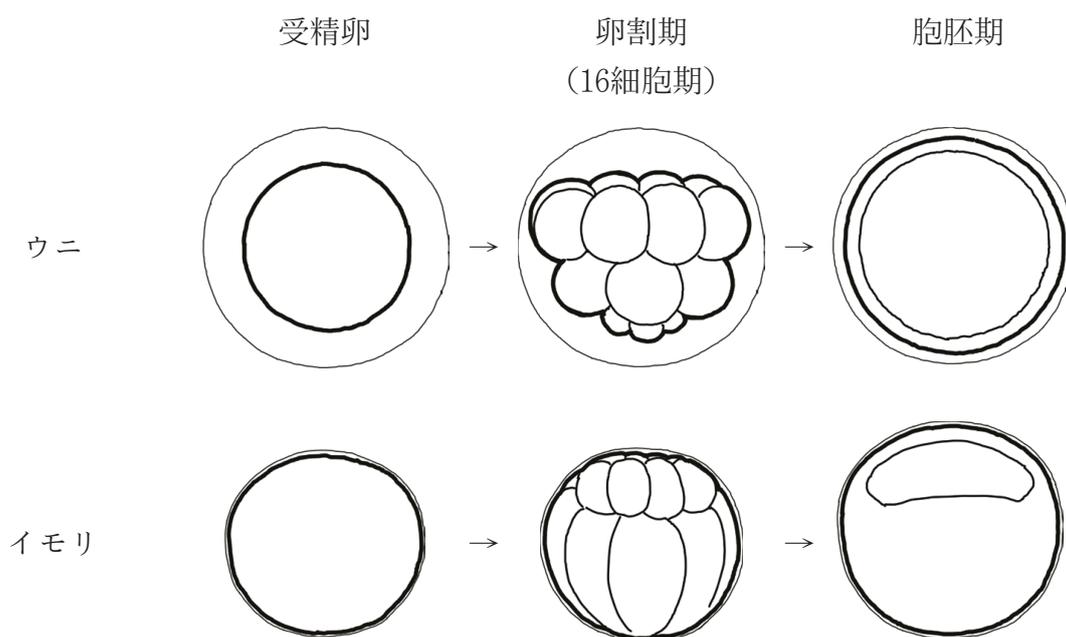


図 ウニとイモリの初期胚．図の上側が動物極．  
胞胚期の図は動物極と植物極を通る断面像で，  
割球同士の境界は省略している．

(1) 第四卵割はウニとイモリでどのような違いがあるか，図を参考に，以下の用語をすべて用いて説明せよ．

緯割      経割      等割      不等割

(2) ウニの遊泳胞胚はどのような効果器を用いて運動するか，その効果器の名称を答えよ．

- (3) ウニの原腸胚とプリズム幼生の模式図をそれぞれ描け。また、模式図には以下の用語のうち、それぞれに適したものをを用いて方向や部位を指し示すこと。用語はすべて用いること。なお、同じ用語を原腸胚とプリズム幼生の両方に用いてもよい。

動物極側      植物極側      原口      原腸      将来の口      将来の肛門

- (4) ショウジョウバエの胚とウニの胚では、卵割やその後の発生のように異なる。卵割期と胞胚期のそれぞれについて、ショウジョウバエの胚とウニの胚の形態的な違いを説明せよ。

# 生 物 (生物学科)

## 第 3 問 (60点)

人間の活動によって生物の絶滅が引き起こされる要因として、外来生物の侵入、生息地の分断化、地球温暖化が挙げられる。これら3つの要因がどのように生物の絶滅を引き起こすのかを、以下の語句をすべて用いて説明せよ。ただし、それぞれの語句は、いずれか1つの要因の説明のみに適切に使用すること。また、それぞれの語句はそれぞれの要因の説明の中で繰り返し用いてもよい。

遺伝的多様性      温室効果      海水面の上昇      近親交配      在来生物  
種間競争      出生率      二酸化炭素      ニッチ      年平均気温  
捕食      有害遺伝子