

受験番号						氏名	
------	--	--	--	--	--	----	--

2024 年度

# 理 科

## 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 出題分野、頁および選択方法は、下表のとおりです。

出題分野	頁	選 択 方 法
物 理	1～17	左の3分野のうちから2分野を選択し、 解答しなさい。
化 学	18～32	
生 物	33～51	

3. 試験開始後、頁の落丁・乱丁及び印刷不鮮明、解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。また、問題冊子に計算用紙が挟んであるのでメモや計算に用いて構いません。
4. 監督者の指示にしたがって解答用紙の該当欄に下記のようにそれぞれ正しく記入し、マークしなさい。

### ① 受験番号欄

受験番号を5ケタで記入し、さらにその下のマーク欄に該当する5ケタをマークしなさい。(例)受験番号10025番→

1	0	0	2	5
---	---	---	---	---

と記入。

### ② 氏名欄 氏名・フリガナを記入しなさい。

### ③ 解答分野欄

解答する分野名二つを○で囲み、さらにその下のマーク欄にマークしなさい。

5. 受験番号および解答する分野が正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
6. 解答は、解答用紙の解答欄にHB鉛筆で正確にマークしなさい。

例えば 

15
----

 と表示された問題の正答として④を選んだ場合は、次の(例)のように解答番号15の解答欄の④を濃く完全にマークしなさい。薄いもの、不完全なものは解答したことにはなりません。

(例)

解答番号	解 答 欄									
15	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

7. 解答を修正する場合は、必ず「消しゴム」であとが残らないように完全に消しなさい。鉛筆の色や消しくずが残ったり、●のような消し方などをした場合は、修正したことになりません。
8. すべて選べという指示のある問題を除き、それぞれの問題で指定された数よりも多くの解答をマークした場合は無解答とみなされます。
9. 問題冊子の余白等は、適宜利用してよいが、どの頁も切り離してはいけません。
10. 試験終了後、問題冊子、解答用紙、計算用紙を机上に置き、試験監督者の指示に従いなさい。

# 物 理

## 解答にあたっての諸注意

1. 各設問の後に、解答番号、解答形式、単位が記されているので、その解答様式にしたがって解答すること。
2. 計算に用いる数値は、解答の有効数字の桁数より1桁多くしたものとすること。
3. 三角関数表を物理の問題の最後(P17)に添付したので、必要があれば参照すること。

## 第1問 次の文章を読み、下の問(問1～5)に答えよ。

図1のように、水平で滑らかな床の上に傾斜角 $\theta$ [°]の滑らかな斜面をもつ質量 $M$ [kg]の台 $W$ がある。斜面上の高さ $h$ [m]の地点 $P$ に質量 $m$ [kg]の小物体を置き、静かに手を離した。

小物体は、斜面上に沿って左下向きに動き、台 $W$ は床に対して加速度 $A$ [m/s<sup>2</sup>]で右方向に動いた。床の水平方向右向きを $x$ 軸の正の向きとし、鉛直上向きを $y$ 軸の正の向きとする。台と床および小物体と斜面との間には摩擦はなく、空気抵抗は考えないものとする。また、重力加速度の大きさを $g$ [m/s<sup>2</sup>]とする。

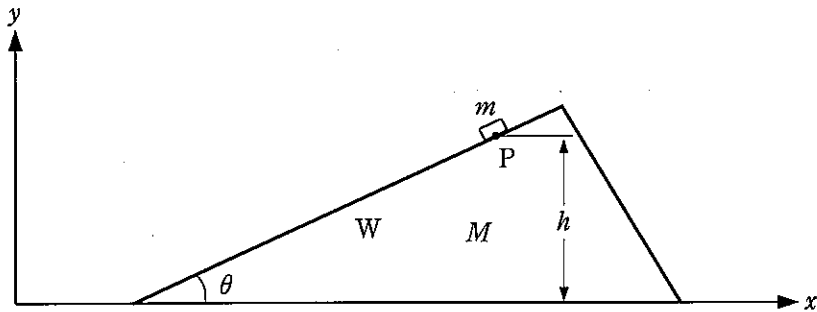


図1

問 1 小物体が斜面を運動しているとき、小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ  $R$  [N] および台  $W$  が床より受ける垂直抗力の大きさ  $N$  [N] はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群から一つ選べ。

$$R = \frac{\boxed{1}}{M + m \sin^2 \theta} \text{ [N]}, \quad N = \frac{\boxed{2}}{M + m \sin^2 \theta} \text{ [N]}$$

1
---

2
---

 の解答群

- |                           |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ① $Mmg$                   | ④ $Mmg \sin \theta$       | ⑦ $Mmg \cos \theta$       |
| ② $Mmg \tan \theta$       | ⑤ $M(M + m)g$             | ⑧ $M(M + m)g \sin \theta$ |
| ③ $M(M + m)g \cos \theta$ | ⑥ $M(M + m)g \tan \theta$ | ⑨ $m(M + m)g$             |
| ④ $m(M + m)g \sin \theta$ | ⑩ $m(M + m)g \cos \theta$ | ⑪ $m(M + m)g \tan \theta$ |

問 2 小物体が斜面を運動しているとき、台  $W$  の加速度の大きさ  $A$  [m/s<sup>2</sup>] はいくらか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$A = \frac{\boxed{3}}{M + m \sin^2 \theta} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

- |                                |                                |                      |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| ① $Mg$                         | ④ $Mg \sin^2 \theta$           | ⑦ $Mg \cos^2 \theta$ |
| ② $Mg \tan^2 \theta$           | ⑤ $Mg \sin \theta \cos \theta$ | ⑧ $mg$               |
| ③ $mg \sin^2 \theta$           | ⑥ $mg \cos^2 \theta$           | ⑨ $mg \tan^2 \theta$ |
| ④ $mg \sin \theta \cos \theta$ |                                |                      |

問 3 小物体が斜面を運動しているとき、床に対し静止した観測者から見た小物体の加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] はいくらか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$a = \frac{\boxed{4}}{M + m \sin^2 \theta} \times g \sin \theta \text{ [m/s}^2\text{]}$$

- |  |  |
|--|--|
| ① $\sqrt{M^2 + M(M + m) \sin^2 \theta}$  | ② $\sqrt{M^2 + m(M + m) \sin^2 \theta}$  |
| ③ $\sqrt{M^2 + M(2M + m) \sin^2 \theta}$ | ④ $\sqrt{M^2 + m(2M + m) \sin^2 \theta}$ |
| ⑤ $\sqrt{M^2 + M(M + m) \cos^2 \theta}$  | ⑥ $\sqrt{M^2 + m(M + m) \cos^2 \theta}$  |
| ⑦ $\sqrt{M^2 + M(2M + m) \cos^2 \theta}$ | ⑧ $\sqrt{M^2 + m(2M + m) \cos^2 \theta}$ |

問 4 小物体が斜面を滑り終えたとき、台 W の速度の大きさ  $V$  [m/s] はいくら  
か。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$V = \sqrt{\frac{\boxed{5}}{(M+m)(M+m\sin^2\theta)}} \text{ (m/s)}$$

- ①  $M^2gh\sin^2\theta$       ②  $2M^2gh\sin^2\theta$       ③  $M^2gh\cos^2\theta$   
 ④  $2M^2gh\cos^2\theta$       ⑤  $m^2gh\sin^2\theta$       ⑥  $2m^2gh\sin^2\theta$   
 ⑦  $m^2gh\cos^2\theta$       ⑧  $2m^2gh\cos^2\theta$

問 5 小物体が斜面を滑り終えたとき、台 W が移動した距離  $L$  [m] はいくら  
か。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$L = \boxed{6} \text{ (m)}$$

- ①  $\frac{Mh\sin\theta}{(M+m)\cos\theta}$       ②  $\frac{Mh\cos\theta}{(M+m)\sin\theta}$       ③  $\frac{Mh\tan\theta}{(M+m)\sin\theta}$   
 ④  $\frac{Mh\tan\theta}{(M+m)\cos\theta}$       ⑤  $\frac{Mh\sin\theta}{M+m\sin^2\theta}$       ⑥  $\frac{Mh\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}$   
 ⑦  $\frac{Mh\tan\theta}{M+m\sin^2\theta}$       ⑧  $\frac{mh\sin\theta}{(M+m)\cos\theta}$       ⑨  $\frac{mh\cos\theta}{(M+m)\sin\theta}$   
 ⑩  $\frac{mh\tan\theta}{(M+m)\sin\theta}$       ⑪  $\frac{mh\tan\theta}{(M+m)\cos\theta}$       ⑫  $\frac{mh\sin\theta}{M+m\sin^2\theta}$   
 ⑬  $\frac{mh\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}$       ⑭  $\frac{mh\tan\theta}{M+m\sin^2\theta}$

第2問 次の文章を読み、下の問(問1～3)に答えよ。

図1のように、線密度  $\rho$  [kg/m] の弦の一端を台上に固定し、支柱 A, B, 小さな滑車 C, 固定された小さな輪 D を通して、質量  $m$  [kg] のおもり E をつないだ。支柱 A と B の間の距離は  $L$  [m]、小さな輪 D からおもり E までの距離は  $R$  [m] である。弦を伝わる波の速さ  $v$  [m/s] は、弦の張力の大きさを  $S$  [N] とすると、 $v = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$  で与えられる。弦と輪 D との間の摩擦は無視できるものとし、おもりの振動周期と弦の振動周期は大きく異なっているものとする。また、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

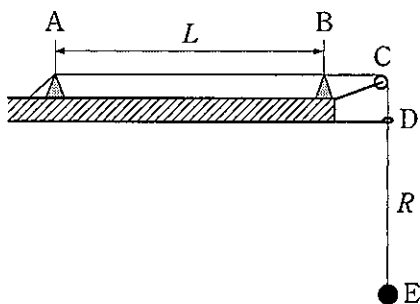


図1

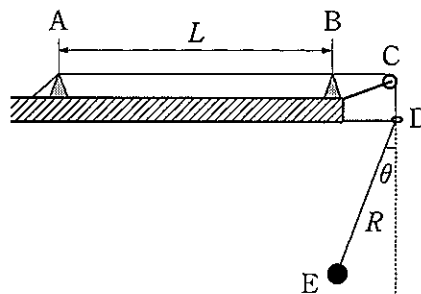


図2

問1 図1のように、おもり E が最下端で静止しているとき、AB の弦の midpoint をはじくと、弦は振動して基本振動の波を生じ、音が聞こえた。基本振動の振動数  $f_0$  [Hz] はいくらか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$f_0 = \boxed{7}$  [Hz]

- ①  $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{mg}{\rho}}$       ②  $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{m\rho}{g}}$       ③  $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{\rho}{mg}}$       ④  $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{g}{m\rho}}$   
 ⑤  $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho}}$       ⑥  $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{m\rho}{g}}$       ⑦  $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\rho}{mg}}$       ⑧  $\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{g}{m\rho}}$

問 2 次に、図 2 のようにおもりを糸が張られた鉛直面内で振らせた。おもりの位置は角度  $\theta$  で表される。このとき DE 部分の最大の振れ角は  $\theta_0 [^\circ]$  であった。ただし、 $\theta_0 < 90^\circ$  である。AB の間の弦の基本振動数  $f [\text{Hz}]$  を、角度  $\theta$  の関数として求めよ。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$f = \boxed{8} \text{ [Hz]}$$

- |  |  |
|--|--|
| ① $f_0 \sqrt{\cos \theta - \cos \theta_0}$       | ② $f_0 \sqrt{\cos \theta - 2 \cos \theta_0}$   |
| ③ $f_0 \sqrt{\cos \theta - 3 \cos \theta_0}$     | ④ $f_0 \sqrt{2 \cos \theta - \cos \theta_0}$   |
| ⑤ $f_0 \sqrt{2 (\cos \theta - \cos \theta_0)}$   | ⑥ $f_0 \sqrt{2 \cos \theta - 3 \cos \theta_0}$ |
| ⑦ $f_0 \sqrt{3 \cos \theta - \cos \theta_0}$     | ⑧ $f_0 \sqrt{3 \cos \theta - 2 \cos \theta_0}$ |
| ⑨ $f_0 \sqrt{3 (\cos \theta - \cos \theta_0)}$   | ⑩ $f_0 \sqrt{4 \cos \theta - \cos \theta_0}$   |
| ⑪ $f_0 \sqrt{2 (2 \cos \theta - \cos \theta_0)}$ | ⑫ $f_0 \sqrt{4 \cos \theta - 3 \cos \theta_0}$ |

問 3 おもりが振れている間、最大の基本振動数が最小の基本振動数の 1.10 倍であった。 $\theta_0 [^\circ]$  の値はいくらか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$\theta_0 = \boxed{9} ^\circ$$

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| ① 15 | ② 18 | ③ 21 | ④ 24 |
| ⑤ 27 | ⑥ 30 | ⑦ 33 | ⑧ 36 |
| ⑨ 39 | ⑩ 42 | ⑪ 45 | ⑫ 48 |
| ⑬ 51 | ⑭ 54 | ⑮ 57 | ⑯ 60 |

**第3問** 次の文章を読み、下の問(問1～5)に答えよ。問1と問5では対応する解答群より選択せよ。なお同じ番号を複数回選択してもよい。

図1のように  $xy$  平面上の  $0 < x < L$  [m] の範囲に、紙面に垂直に表から裏に向かう向きに磁束密度  $B$  [T] の一様な磁場がかけられている。この磁場中に、長方形の1巻きコイル  $abcd$  が辺  $ab$  を  $y$  軸と平行にして  $x$  軸の正の向きに水平に入り、磁場から出るまで移動した。途中、コイルに外力を加えることで、コイルは一定の速さ  $v$  [m/s] で移動した。コイル  $abcd$  のうち、 $ab$ 、 $cd$ 、 $da$  は抵抗のない導線であり、 $bc$  は  $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗の導線である。 $ab$ 、 $cd$  の長さは共に  $L_1$  [m]、 $bc$ 、 $da$  の長さは共に  $L_2$  [m] とし、 $L_2 < L$  とする。辺  $ab$  が  $y$  軸を通過した時刻を  $t = 0$  とする。ただし、電流は  $abcd$  の向きに流れるときを正、コイルに加えている外力は  $+x$  の向きを正とする。地磁気の影響は無視できるものとする。

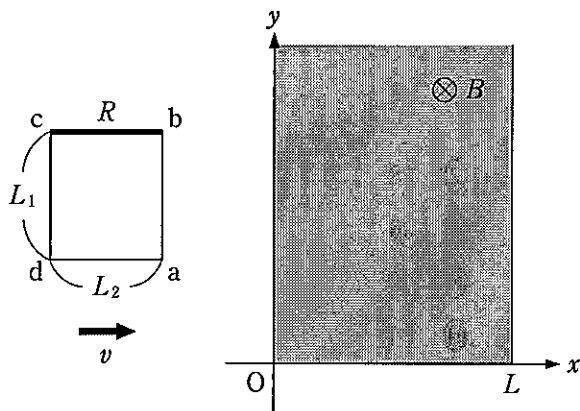
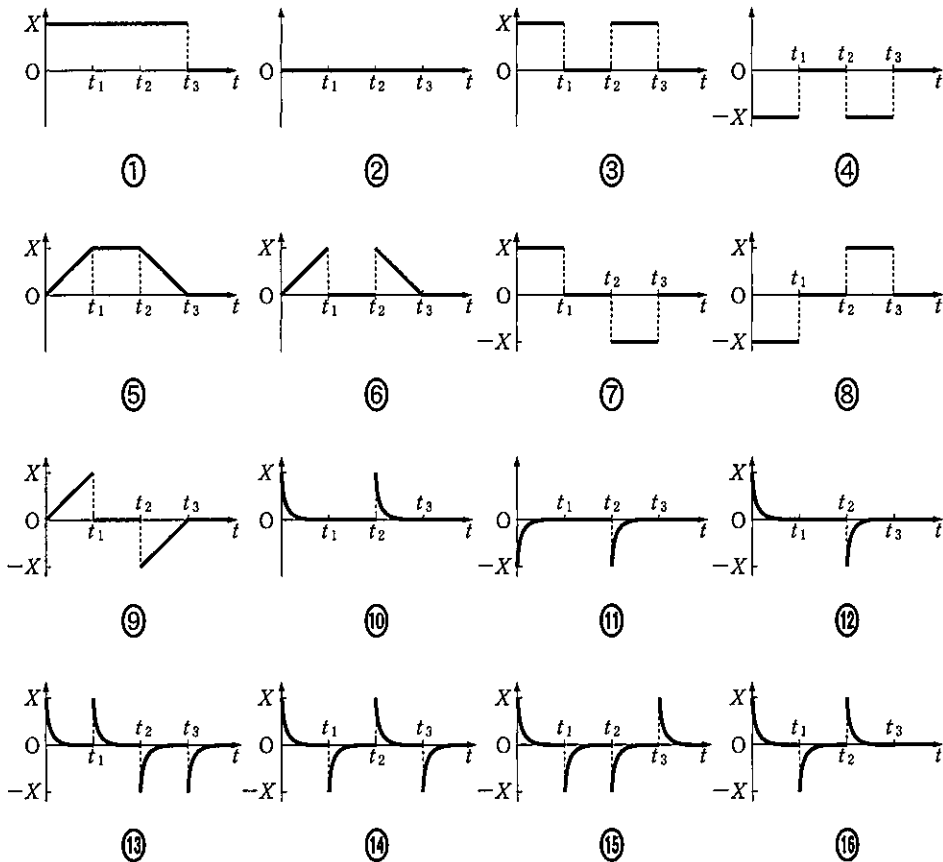


図1

問 1 コイルを流れる電流の時間変化のグラフとして正しいものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。 10

10 14 15 の解答群



ただし、 $t_1 = \frac{L_2}{v}$ 、 $t_2 = \frac{L}{v}$ 、 $t_3 = \frac{L + L_2}{v}$  である。 $X$  はコイルを流れる電流またはコイルに加えている外力の最大値を表す。



問 2 コイルに加える外力の最大値を表す式として正しいものを、次のうちから一つ選べ。 11 [N]

- |                             |                             |                             |                        |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| ① $\frac{B^2 L_1^2 v}{R^2}$ | ② $\frac{B^2 L_1 v}{R}$     | ③ $\frac{BL_1 v^2}{R}$      | ④ $\frac{BL_2 v^2}{R}$ |
| ⑤ $\frac{B^2 L_1 v}{R^2}$   | ⑥ $\frac{B^2 L_1 L_2 v}{R}$ | ⑦ $\frac{B^2 L_1 v^2}{R^2}$ | ⑧ $\frac{BL_1 v}{R}$   |
| ⑨ $\frac{BL_2 v}{R}$        | ⑩ $\frac{B^2 L_2 v^2}{R^2}$ | ⑪ $\frac{B^2 L_1^2 v}{R}$   | ⑫ $\frac{BL_1^2 v}{R}$ |
| ⑬ $\frac{B^2 L_1 v^2}{R}$   | ⑭ $\frac{B^2 L_2^2 v}{R^2}$ | ⑮ $\frac{B^2 L_2^2 v}{R}$   |                        |

問 3 コイルを移動し終えるまでに必要な仕事を表す式として正しいものを、次のうちから一つ選べ。 12 [J]

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| ① $\frac{LB^2}{R}$              | ② 0                                       |
| ③ $B^2 L_1 (L + L_2) v$         | ④ $\frac{L_1^2 L_2 B^2}{R}$               |
| ⑤ $\frac{2 L_1 L_2 B^2}{Rv}$    | ⑥ $\frac{L_1^2 L_2 v B^2}{R}$             |
| ⑦ $\frac{2 L_1^2 L_2 v B^2}{R}$ | ⑧ $\frac{L_1^2 (L - L_1 + L_2) v B^2}{R}$ |
| ⑨ $2 L_1^2 L_2 v B^2 R$         | ⑩ $\frac{L_1^2 L_2^2 B}{R}$               |

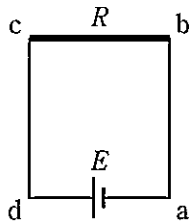


図 2

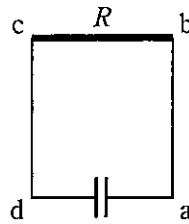


図 3

問 4 図 2 のように、コイル abcd のうち辺 da に内部抵抗の無視できる起電力  $E$  (V) の電池を入れて、同様に磁場の中を移動させた。 $\frac{L}{v} < t < \frac{L+L_2}{v}$  において抵抗で消費される電力を表す式として正しいものを、次のうちから一つ選べ。 13 [W]

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| ① $\frac{2v^2L_1^2B^2L_2 + E^2(L+L_2)}{Rv}$ | ② $\frac{E^2(L+L_2)}{Rv}$   |
| ③ $\frac{E^2L_2}{Rv}$                       | ④ $\frac{E^2L_1}{Rv}$       |
| ⑤ $\frac{(BvL_1 - E)^2}{R}$                 | ⑥ $\frac{2vL_1^2B^2L_2}{R}$ |
| ⑦ $v^2L_1^2B^2R$                            | ⑧ $(BvL_1 - E)^2R$          |
| ⑨ $\frac{E^2(L+L_2)}{RL_2}$                 | ⑩ $\frac{(BvL_1 + E)^2}{R}$ |

問 5 図 3 のように、コイル abcd のうち辺 da にコンデンサーを入れて、同様に磁場の中を移動させた。なお、このコンデンサーを充電するのに必要な時間は、コイルの移動時間に比べて十分短いものとする。bc を流れる電流とコイルに加えている外力の時間変化のグラフはそれぞれどのようなようになるか。正しいものを、対応する解答群からそれぞれ一つ選べ。

bc を流れる電流の時間変化： 14

コイルに加えている外力の時間変化： 15

**第4問** 次の文章を読み、下の問(問1～6)に答えよ。解答にあたり同じ番号を繰り返し用いても良い。

図1のように、一辺  $a = 1.00 \times 10^{-1} \text{ m}$  の正方形の薄い金属板2枚を極板とし、極板間隔  $d = 1.00 \times 10^{-2} \text{ m}$  の平行板コンデンサーがある。極板の間に一辺  $a \text{ (m)}$  四方、厚さ  $d \text{ (m)}$ 、比誘電率  $\epsilon_r = 7.00$  の誘電体が長さ  $x \text{ (m)}$  ( $0 \leq x \leq a$ ) だけ挿入されている。誘電体は、左右方向にのみ動かせるものとし、極板と誘電体との間には隙間はないものとする。このコンデンサーには、起電力  $V \text{ (V)}$  の電池、スイッチ  $S$  が接続されている。

以下の問に解答するにあたり、極板の端の効果、電池の内部抵抗、導線の抵抗、極板と誘電体間の摩擦力は無視できるものとする。コンデンサーは空気中に置かれ、空気の誘電率は、真空の誘電率  $\epsilon_0 \text{ (F/m)}$  に等しいものとする。

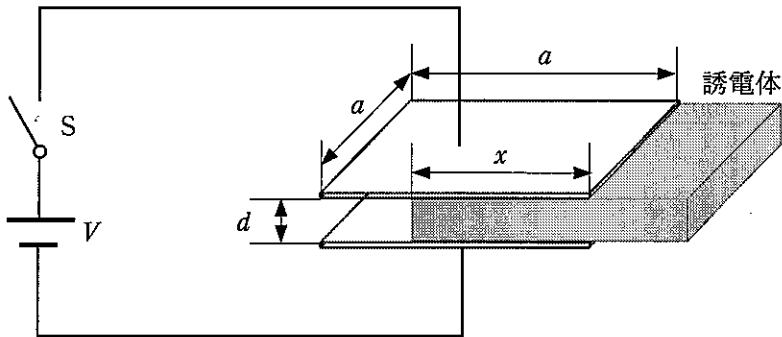


図1

まず、誘電体を全部挿入した状態( $x = a$ )でスイッチ S を閉じ、回路を十分に安定させた。その後、スイッチ S を開き、誘電体を  $x = \frac{2}{3}a$  (m) の位置まで動かした。この状態のコンデンサーについて、以下の問 1 ~ 3 に答えよ。

問 1 コンデンサーの電気容量  $C_0$  (F) はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$C_0 = \boxed{16} \varepsilon_0 \text{ (F)}$$

問 2 コンデンサーの両端の電圧  $V_0$  (V) はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$V_0 = \boxed{17} \text{ V (V)}$$

問 3 このときの静電エネルギー  $U_0$  (J) はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$U_0 = \boxed{18} \varepsilon_0 V^2 \text{ (J)}$$

$\boxed{16}$   $\boxed{19}$   $\boxed{20}$   $\boxed{21}$  の解答群

- |       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| ① 5.0 | ② 10 | ③ 15 | ④ 20 | ⑤ 25 |
| ⑥ 30  | ⑦ 35 | ⑧ 40 | ⑨ 45 | ⑩ 50 |
| ⑪ 55  | ⑫ 60 | ⑬ 65 | ⑭ 70 | ⑮ 75 |

$\boxed{17}$   $\boxed{18}$  の解答群

- |        |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| ① 0.70 | ② 1.0 | ③ 1.4 | ④ 1.7 | ⑤ 2.1 |
| ⑥ 2.4  | ⑦ 2.8 | ⑧ 3.1 | ⑨ 3.5 | ⑩ 3.8 |
| ⑪ 4.2  | ⑫ 4.5 | ⑬ 4.9 | ⑭ 5.2 | ⑮ 5.6 |

次に、誘電体の位置は  $x = \frac{2}{3}a$  [m] のままで、スイッチ S を閉じた。その後、さらに微小量  $\Delta x$  [m] だけ左方向に誘電体を動かした。これらの操作に対して、以下の問 4 ~ 6 に答えよ。

問 4 コンデンサーに蓄えられる電荷の増加量  $\Delta Q$  [C] はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$\Delta Q = \boxed{19} \Delta x \varepsilon_0 V \text{ [C]}$$

問 5 コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーの増加量  $\Delta U$  [J] はいくらか。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$\Delta U = \boxed{20} \Delta x \varepsilon_0 V^2 \text{ [J]}$$

問 6 この静電エネルギーの変化は、誘電体を  $\Delta x$  [m] だけ挿入するために外部の力がした仕事であるとして、外部の力の大きさ  $F$  [N] を求めよ。最も適切なものを、対応する解答群のうちから一つ選べ。

$$F = \boxed{21} \varepsilon_0 V^2 \text{ [N]}$$

第5問 次の文章を読み、下の問(問1～2)に答えよ。

ウラン  $^{238}\text{U}$  を含むある岩石がある。この岩石ができたとき、鉛  $^{206}\text{Pb}$  は含まれておらず、現在含まれている  $^{206}\text{Pb}$  はすべて  $^{238}\text{U}$  の放射性崩壊によって生成されたものとする。現在、この岩石中には、質量百分率にして0.097%の  $^{238}\text{U}$  と0.042%の  $^{206}\text{Pb}$  が含まれていた。ただし、外部との元素の出入りはなかったとする。

問1 現在の  $^{238}\text{U}$  の原子数  $N_{\text{U}}$  に対する  $^{206}\text{Pb}$  の原子数  $N_{\text{Pb}}$  の比  $\frac{N_{\text{Pb}}}{N_{\text{U}}}$  はいくらか。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。

$$\frac{N_{\text{Pb}}}{N_{\text{U}}} = \boxed{22}$$

- ① 0.43      ② 0.47      ③ 0.50      ④ 0.54  
⑤ 0.57      ⑥ 0.61      ⑦ 0.64      ⑧ 0.68

問2 この岩石はできてからどれだけ経過したものと推定されるか。ただし、 $^{238}\text{U}$  と  $^{206}\text{Pb}$  のみを考えればよいものとし、 $^{238}\text{U}$  の半減期は44.4億年とする。また、 $\log_{10} 2 = 0.301$ 、 $\log_{10} 3 = 0.477$  である。最も適切なものを、次のうちから一つ選べ。  $\boxed{23}$  億年

- ① 10      ② 12      ③ 14      ④ 16      ⑤ 18      ⑥ 20  
⑦ 22      ⑧ 24      ⑨ 26      ⑩ 28      ⑪ 30      ⑫ 32

第6問 次の文章を読み、下の問(問1～4)に答えよ。

断面積が等しく、なめらかに動くピストン付きの2つの密閉された容器A、B内にそれぞれ1 molの理想気体が入っている。容器とピストンは熱を伝えない材料でできている。容器を図のように水平な床の上に固定し、ピストンどうしをつなぎ、ピストンにネジを取り付けてピストンの位置を固定できるようにする。はじめ、ピストンのネジを締めた状態で、左側の容器Aの気体は体積 $V[\text{m}^3]$ 、温度 $T[\text{K}]$ であり、右側の容器Bの気体は体積 $2V[\text{m}^3]$ 、温度 $T[\text{K}]$ であった。次に、ネジを静かにゆるめ、しばらく放置したところ、ピストンはゆっくり動いて静止した。理想気体の気体定数を $R$ 、比熱比を $\gamma$ とする。ピストン間の距離は変化しないものとする。

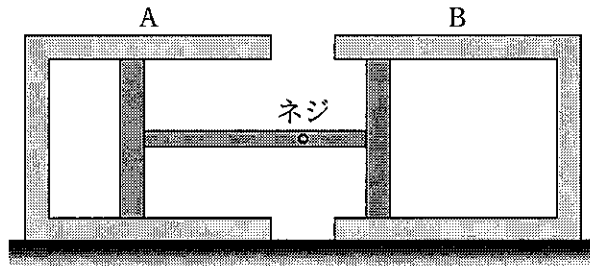


図1

問1 理想気体の断熱変化において、気体の圧力を $p[\text{N}/\text{m}^2]$ 、体積を $V[\text{m}^3]$ としたとき、成り立つ関係式の組み合わせとして正しいものを、次のうちから一つ選べ。 24

- |   |   |
|---|---|
| ① $pV^{\gamma+1} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma} = \text{一定}$ | ② $pV^{\gamma-1} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ |
| ③ $pV^{\gamma} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma} = \text{一定}$   | ④ $pV^{\gamma+1} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ |
| ⑤ $pV^{\gamma+1} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma} = \text{一定}$ | ⑥ $pV^{\gamma-1} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma} = \text{一定}$   |
| ⑦ $pV^{\gamma} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma-1} = \text{一定}$ | ⑧ $pV^{\gamma-1} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma-1} = \text{一定}$ |
| ⑨ $pV^{\gamma} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma} = \text{一定}$   | ⑩ $pV^{\gamma+1} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma-1} = \text{一定}$ |
| ⑪ $pV^{\gamma} = \text{一定}$ , $TV^{\gamma-1} = \text{一定}$ | ⑫ $pV^{\gamma-1} = \text{一定}$ , $VT^{\gamma} = \text{一定}$   |

問 2 最後の状態での気体 A の体積  $V_A$  [ $\text{m}^3$ ] を表す式として正しいものを、次の

うちから一つ選べ。  $V_A = \boxed{25}$  [ $\text{m}^3$ ]

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| ① $\frac{V}{1 + 2^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$  | ② $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{\gamma-2}{\gamma-1}}}$ | ③ $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$ | ④ $\frac{2V}{1 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}$         |
| ⑤ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$ | ⑥ $\frac{V}{1 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}$          | ⑦ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$ | ⑧ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{\gamma-2}{\gamma-1}}}$ |
| ⑨ $\frac{V}{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$  | ⑩ $\frac{3V}{1 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}$         | ⑪ $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$ | ⑫ $\frac{V}{1 + 2^{\frac{\gamma-2}{\gamma-1}}}$  |

問 3 最後の状態での気体 B の体積  $V_B$  [ $\text{m}^3$ ] を表す式として正しいものを、次のう

ちから一つ選べ。  $V_B = \boxed{26}$  [ $\text{m}^3$ ]

- |   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| ① $\frac{2V}{1 + 2^{-\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$ | ② $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}$        | ③ $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{\gamma+2}{\gamma-1}}}$ | ④ $\frac{3V}{1 + 2^{-\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$  |
| ⑤ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$  | ⑥ $\frac{V}{1 + 2^{-\frac{\gamma}{\gamma+1}}}$ | ⑦ $\frac{3V}{1 + 2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$   | ⑧ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{\gamma+2}{\gamma-1}}}$ |
| ⑨ $\frac{V}{1 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}$          | ⑩ $\frac{V}{1 + 2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$  | ⑪ $\frac{V}{1 + 2^{\frac{\gamma+2}{\gamma-1}}}$  | ⑫ $\frac{2V}{1 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}$          |



問 4 最後の状態での気体 A, B の温度  $T_A$  [K],  $T_B$  [K] を表す式の組み合わせとして正しいものを, 次のうちから一つ選べ。 27

$$\textcircled{1} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{3} \right)^{\gamma-1} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}{3} \right)^{\gamma-1} T$$

$$\textcircled{2} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}{3} \right)^{\gamma+1} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{\frac{1}{\gamma-1}}}{3} \right)^{\gamma+1} T$$

$$\textcircled{3} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}{3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T$$

$$\textcircled{4} \quad T_A = \left( \frac{3 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{3} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T$$

$$\textcircled{5} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}{2} \right)^{\gamma} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{\frac{1}{\gamma-1}}}{2} \right)^{\gamma} T$$

$$\textcircled{6} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{2} \right)^{\gamma+1} T, \quad T_B = \left( \frac{3 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}{2} \right)^{\gamma+1} T$$

$$\textcircled{7} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T, \quad T_B = \left( \frac{3 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T$$

$$\textcircled{8} \quad T_A = \left( \frac{2 + 2^{\frac{1}{\gamma}}}{3} \right)^{\gamma} T, \quad T_B = \left( \frac{3 + 2^{\frac{1}{\gamma-1}}}{2} \right)^{\gamma} T$$

$$\textcircled{9} \quad T_A = \left( \frac{2 + 2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{3} \right)^{\gamma+1} T, \quad T_B = \left( \frac{2 + 2^{-\frac{1}{\gamma}}}{2} \right)^{\gamma+1} T$$

$$\textcircled{10} \quad T_A = \left( \frac{1 + 2^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}}{2} \right)^{\gamma-1} T, \quad T_B = \left( \frac{3 + 2^{\frac{1}{\gamma+1}}}{2} \right)^{\gamma-1} T$$

## 三角関数表

角		正弦	余弦	正接	角		正弦	余弦	正接
度	ラジアン				度	ラジアン			
[°]	[rad]	sin	cos	tan	[°]	[rad]	sin	cos	tan
0	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	45	0.7854	0.7071	0.7071	1.0000
1	0.0175	0.0175	0.9998	0.0175	46	0.8029	0.7193	0.6947	1.0355
2	0.0349	0.0349	0.9994	0.0349	47	0.8203	0.7314	0.6820	1.0724
3	0.0524	0.0523	0.9986	0.0524	48	0.8378	0.7431	0.6691	1.1106
4	0.0698	0.0698	0.9976	0.0699	49	0.8552	0.7547	0.6561	1.1504
5	0.0873	0.0872	0.9962	0.0875	50	0.8727	0.7660	0.6428	1.1918
6	0.1047	0.1045	0.9945	0.1051	51	0.8901	0.7771	0.6293	1.2349
7	0.1222	0.1219	0.9925	0.1228	52	0.9076	0.7880	0.6157	1.2799
8	0.1396	0.1392	0.9903	0.1405	53	0.9250	0.7986	0.6018	1.3270
9	0.1571	0.1564	0.9877	0.1584	54	0.9425	0.8090	0.5878	1.3764
10	0.1745	0.1736	0.9848	0.1763	55	0.9599	0.8192	0.5736	1.4281
11	0.1920	0.1908	0.9816	0.1944	56	0.9774	0.8290	0.5592	1.4826
12	0.2094	0.2079	0.9781	0.2126	57	0.9948	0.8387	0.5446	1.5399
13	0.2269	0.2250	0.9744	0.2309	58	1.0123	0.8480	0.5299	1.6003
14	0.2443	0.2419	0.9703	0.2493	59	1.0297	0.8572	0.5150	1.6643
15	0.2618	0.2588	0.9659	0.2679	60	1.0472	0.8660	0.5000	1.7321
16	0.2793	0.2756	0.9613	0.2867	61	1.0647	0.8746	0.4848	1.8040
17	0.2967	0.2924	0.9563	0.3057	62	1.0821	0.8829	0.4695	1.8807
18	0.3142	0.3090	0.9511	0.3249	63	1.0996	0.8910	0.4540	1.9626
19	0.3316	0.3256	0.9455	0.3443	64	1.1170	0.8988	0.4384	2.0503
20	0.3491	0.3420	0.9397	0.3640	65	1.1345	0.9063	0.4226	2.1445
21	0.3665	0.3584	0.9336	0.3839	66	1.1519	0.9135	0.4067	2.2460
22	0.3840	0.3746	0.9272	0.4040	67	1.1694	0.9205	0.3907	2.3559
23	0.4014	0.3907	0.9205	0.4245	68	1.1868	0.9272	0.3746	2.4751
24	0.4189	0.4067	0.9135	0.4452	69	1.2043	0.9336	0.3584	2.6051
25	0.4363	0.4226	0.9063	0.4663	70	1.2217	0.9397	0.3420	2.7475
26	0.4538	0.4384	0.8988	0.4877	71	1.2392	0.9455	0.3256	2.9042
27	0.4712	0.4540	0.8910	0.5095	72	1.2566	0.9511	0.3090	3.0777
28	0.4887	0.4695	0.8829	0.5317	73	1.2741	0.9563	0.2924	3.2709
29	0.5061	0.4848	0.8746	0.5543	74	1.2915	0.9613	0.2756	3.4874
30	0.5236	0.5000	0.8660	0.5774	75	1.3090	0.9659	0.2588	3.7321
31	0.5411	0.5150	0.8572	0.6009	76	1.3265	0.9703	0.2419	4.0108
32	0.5585	0.5299	0.8480	0.6249	77	1.3439	0.9744	0.2250	4.3315
33	0.5760	0.5446	0.8387	0.6494	78	1.3614	0.9781	0.2079	4.7046
34	0.5934	0.5592	0.8290	0.6745	79	1.3788	0.9816	0.1908	5.1446
35	0.6109	0.5736	0.8192	0.7002	80	1.3963	0.9848	0.1736	5.6713
36	0.6283	0.5878	0.8090	0.7265	81	1.4137	0.9877	0.1564	6.3138
37	0.6458	0.6018	0.7986	0.7536	82	1.4312	0.9903	0.1392	7.1154
38	0.6632	0.6157	0.7880	0.7813	83	1.4486	0.9925	0.1219	8.1443
39	0.6807	0.6293	0.7771	0.8098	84	1.4661	0.9945	0.1045	9.5144
40	0.6981	0.6428	0.7660	0.8391	85	1.4835	0.9962	0.0872	11.4301
41	0.7156	0.6561	0.7547	0.8693	86	1.5010	0.9976	0.0698	14.3007
42	0.7330	0.6691	0.7431	0.9004	87	1.5184	0.9986	0.0523	19.0811
43	0.7505	0.6820	0.7314	0.9325	88	1.5359	0.9994	0.0349	28.6363
44	0.7679	0.6947	0.7193	0.9657	89	1.5533	0.9998	0.0175	57.2900
45	0.7854	0.7071	0.7071	1.0000	90	1.5708	1.0000	0.0000	

# 化 学

(注意) 問題文中に指定がない場合、解答にあたって必要ならば、次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.01, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0,  
S = 32.1, Cl = 35.5

計算値： $\log_{10} 2 = 3.01 \times 10^{-1}$ ,  $\log_{10} 3 = 4.77 \times 10^{-1}$ ,  
 $\log_{10} 5 = 6.99 \times 10^{-1}$ ,  $\log_{10} 7 = 8.45 \times 10^{-1}$

複数の水溶液を混合するとき、得られる混合水溶液の体積は、混合前のそれぞれの水溶液の体積の和に等しいものとする。

**第1問** 以下の問1～5の各群の選択肢①～⑤の中には、それぞれの問いの指示に該当するものが一つだけあるか、一つもないかのいずれかである。指示に該当するものが①～⑤の中に存在する場合は、①～⑤のうちから最も適切なもの一つを選べ。該当するものがない場合は⑥を選べ。

問1 

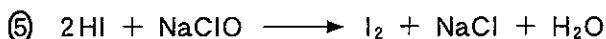
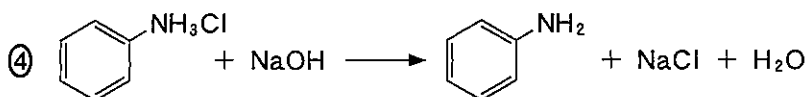
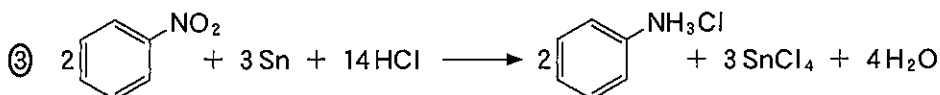
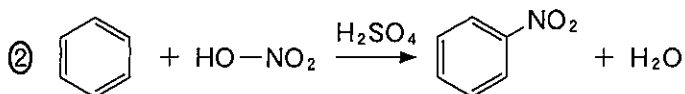
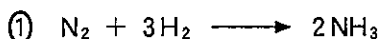
1
---

指示：誤りを含むもの

- ① 炭酸ナトリウムや炭酸カリウムは白色の固体である。これらの物質の水溶液は、塩基性を示す。
- ② 炭酸ナトリウムや炭酸水素ナトリウムに希塩酸を加えると、二酸化炭素が発生する。
- ③ 炭酸ナトリウム十水和物を乾燥した空气中に放置すると、水和水の一部が失われ、炭酸ナトリウム一水和物の白色粉末ができる。この現象を潮解という。
- ④ 炭酸水素ナトリウムは重曹とも呼ばれる。これを加熱すると、二酸化炭素が発生する。
- ⑤ 塩化ナトリウムの飽和水溶液に十分な量のアンモニアを吸収させた後、二酸化炭素を吹き込むと、炭酸水素ナトリウムが沈殿する。
- ⑥ (①～⑤のどこにも誤りは含まれていない。)

問 2 2

指示：反応の前後で酸化数が変化する原子を含まない化学反応の化学反応式



⑥ (①～⑤の化学反応式はすべて、酸化数が変化する原子を含む化学反応式である。)

問 3 3

指示：誤りを含まないもの

- ① 水溶液中で進行する化学反応  $2\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{C}$  の反応速度  $v$  は一般に、物質 A のモル濃度  $[\text{A}]$  を用いて  $v = k[\text{A}]^2$  と書くことができる。ただし、 $k$  は反応速度定数である。
- ② 温度が 10 K 上昇すると反応速度が 2 倍になる化学反応がある。この反応の温度を 50 K 上昇させると反応速度は 10 倍になると考えられる。
- ③ 発熱反応では一般に、活性化エネルギーが大きいほど反応熱も大きくなる。
- ④ 化学反応  $\text{A} \rightarrow \text{B}$  に触媒を加えると、一般に、反応速度は変化するが、反応熱は変化しない。
- ⑤ 容積が変化できる密閉容器中で、気体同士の可逆反応  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$  が平衡状態にある。この容器に全圧が変化しないようにアルゴンを注入しても、平衡は移動しない。
- ⑥ (①～⑤のすべてに誤りが含まれている。)

## 問 4

4

指示：誤りを含まないもの

- ①  $0.00\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1.01 \times 10^5\text{ Pa}$ において、氷(固体) $1.00\text{ mol}$ が融解して水(液体)になるときに吸収する熱量 $A\text{ [kJ]}$ と、水(液体) $1.00\text{ mol}$ が凝固して氷(固体)になるときに放出する熱量 $B\text{ [kJ]}$ の値の絶対値を比べると、 $B$ の値の方が大きい。
- ② 発熱反応で発生した熱量を正の値、吸熱反応で吸収した熱量を負の値で表したとき、ある化学反応における反応熱 $Q\text{ [kJ]}$ は、その各反応物の生成熱の総和 $Q_1\text{ [kJ]}$ から、その各生成物の生成熱の総和 $Q_2\text{ [kJ]}$ を差し引くことにより求めることができる。
- ③ 物質の温度を $t\text{ (K)}$ 上げるのに必要な熱量を $Q\text{ (J)}$ 、その物質の物質量を $n\text{ (mol)}$ 、比熱(比熱容量)を $c\text{ [J/(g}\cdot\text{K)]}$ 、温度変化を $\Delta t\text{ (K)}$ とすると、 $Q = n \times c \times \Delta t$ の関係が成り立つ。
- ④ 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液が反応したときの中和熱とは、両者の中和によって $1.00\text{ g}$ の塩化ナトリウムが生成するときに、この混合溶液が放出する熱量である。
- ⑤ 化学反応式の右辺に反応熱を書き加え、両辺を $\rightleftharpoons$ で結んだ式を熱化学方程式という。
- ⑥ (①~⑤のすべてに誤りが含まれている。)

問 5 5

指示：誤りを含まないもの。ただし、選択肢中の下線部の記述は正しいものとする。

- ① 水溶液中の過酸化水素は、酸化マンガ(IV)を少量加えると、常温で激しく分解する。このとき酸化マンガ(IV)は、過酸化水素の化学エネルギーの増大を促進する。
- ② 水素と酸素の体積比 2 : 1 の混合気体が反応して水が生成する反応は、常温では進行を認識することが困難である。その理由は、この反応が吸熱反応だからである。
- ③ 水素と酸素の体積比 2 : 1 の混合気体に燃焼している炭素の単体を加えると、炭素の作用によって混合気体の燃焼反応が吸熱反応から発熱反応に変化し、すみやかに水が生成する。
- ④ 硝酸アンモニウムの水への溶解は吸熱だが、自発的に進行する。この理由は、溶解によってエントロピー(=乱雑さ)が増大するためである。
- ⑤ 十分な酸素の存在下で炭素の単体に点火すると、炭素は燃焼し、二酸化炭素が生成する。この反応によって炭素の活性化エネルギーが増大するので、この反応は自発的に進行する。
- ⑥ (①~⑤のすべてに誤りが含まれている。)

**第2問** フェノールフタレインを pH 指示薬として、正確に 10.00 mL 量り取った濃度未知の酢酸水溶液(「水溶液 X」とする)に、ビュレットから 0.100 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液(「水溶液 A」とする)を滴下する滴定実験に関する、以下の各問い(問1～7)に答えよ。ただし、この問題では、溶液の温度はすべて 25.0 °C で一定であり、水のイオン積は  $1.00 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  とする。なお、水溶液中における水酸化ナトリウムの電離度は 1.00 であり、pH 指示薬や大気に由来する二酸化炭素は水溶液の pH には影響しないものとする。

問1 水溶液 X に水溶液 A を 5.00 mL 滴下したところで、反応溶液の色がちょうど無色透明から薄い赤色に変化し、振り混ぜても赤色が消えなくなった。この結果から、水溶液 X の濃度は何 mol/L と計算されるか。最も近い数値を、以下の①～⑩のうちから一つ選べ。

mol/L

- ①  $1.00 \times 10^{-3}$     ②  $5.00 \times 10^{-3}$     ③  $1.00 \times 10^{-2}$     ④  $2.00 \times 10^{-2}$   
 ⑤  $2.50 \times 10^{-2}$     ⑥  $5.00 \times 10^{-2}$     ⑦  $1.00 \times 10^{-1}$     ⑧  $2.00 \times 10^{-1}$   
 ⑨  $2.50 \times 10^{-1}$     ⑩  $5.00 \times 10^{-1}$     ⑪ 1.00

問2 実験開始前に水溶液 X の pH を測定したところ、その値は 3.00 であった。このときの酢酸の電離度  $\alpha$  はいくらか。最も近い数値を、以下の①～⑩のうちから一つ選べ。

- ①  $5.00 \times 10^{-4}$     ②  $2.00 \times 10^{-3}$     ③  $4.00 \times 10^{-3}$     ④  $5.00 \times 10^{-3}$   
 ⑤  $1.00 \times 10^{-2}$     ⑥  $2.00 \times 10^{-2}$     ⑦  $4.00 \times 10^{-2}$     ⑧  $5.00 \times 10^{-2}$   
 ⑨  $1.00 \times 10^{-1}$     ⑩  $2.00 \times 10^{-1}$     ⑪ 1.00

問 3 問 2 の答えから、酢酸の電離定数  $K_a$  はいくらと計算されるか。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

mol/L

- ①  $1.00 \times 10^{-6}$    ②  $2.00 \times 10^{-6}$    ③  $4.02 \times 10^{-6}$    ④  $5.03 \times 10^{-6}$   
⑤  $1.01 \times 10^{-5}$    ⑥  $2.04 \times 10^{-5}$    ⑦  $4.17 \times 10^{-5}$    ⑧  $5.26 \times 10^{-5}$   
⑨  $1.01 \times 10^{-4}$    ⑩  $2.50 \times 10^{-4}$    ⑪  $6.67 \times 10^{-4}$

問 4 水溶液 X に水溶液 A を 10.00 mL 滴下した時点における反応溶液の pH はいくらと計算されるか。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

- ① 1.00   ② 1.30   ③ 1.60   ④ 3.00   ⑤ 4.00  
⑥ 10.3   ⑦ 11.3   ⑧ 12.4   ⑨ 13.0   ⑩ 13.3  
⑪ 14.0

問 5 水溶液 X に蒸留水を正確に 40.00 mL 加えて得た水溶液(「水溶液 Y」とする)に水溶液 A を滴下する。反応溶液の色がちょうど無色透明から薄い赤色に変化し、振り混ぜても赤色が消えなくなるのは、水溶液 A を何 mL 加えたときか。最も近い数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

mL

- ① 1.00   ② 1.25   ③ 1.67   ④ 2.50   ⑤ 5.00  
⑥ 7.50   ⑦ 10.00   ⑧ 12.50   ⑨ 15.00   ⑩ 17.50  
⑪ 20.00



問 6 水溶液 Y に水溶液 A を 2.50 mL 滴下した時点における反応溶液の pH を、問 3 で求めた電離定数  $K_a$  を用いて表すとき、最も近い値となるのはどれか。以下の①～⑩のうちから一つ選べ。

11

- |                         |                                 |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ① $2.5 K_a$             | ② $2 K_a$                       | ③ $K_a$                         |
| ④ $-\log_{10} K_a$      | ⑤ $-\log_{10}(2 K_a)$           | ⑥ $\frac{2}{5} K_a$             |
| ⑦ $\frac{1}{2} K_a$     | ⑧ $-\log_{10}(\frac{1}{2} K_a)$ | ⑨ $-\log_{10}(\frac{2}{5} K_a)$ |
| ⑩ $-\log_{10}(2.5 K_a)$ |                                 |                                 |

問 7 水溶液 X における酢酸の電離定数を  $K_{a1}$ 、電離度を  $\alpha_1$ 、水溶液 Y における酢酸の電離定数を  $K_{a2}$ 、電離度を  $\alpha_2$  としたとき、 $K_{a1}$ 、 $K_{a2}$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  についての記述として正しいものはどれか。以下の①～⑩のうちから一つ選べ。

12

- ①  $K_{a1}$  と  $K_{a2}$  の値は互いに等しく、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の値も互いに等しい。
- ②  $K_{a1}$  と  $K_{a2}$  の値は互いに等しく、 $\alpha_1$  の値は  $\alpha_2$  の値よりも大きい。
- ③  $K_{a1}$  と  $K_{a2}$  の値は互いに等しく、 $\alpha_1$  の値は  $\alpha_2$  の値よりも小さい。
- ④  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも大きく、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の値は互いに等しい。
- ⑤  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも大きく、 $\alpha_1$  の値も  $\alpha_2$  の値よりも大きい。
- ⑥  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも大きく、 $\alpha_1$  の値は  $\alpha_2$  の値よりも小さい。
- ⑦  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも小さく、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の値は互いに等しい。
- ⑧  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも小さく、 $\alpha_1$  の値は  $\alpha_2$  の値よりも大きい。
- ⑨  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも小さく、 $\alpha_1$  の値も  $\alpha_2$  の値よりも小さい。
- ⑩  $K_{a1}$  の値は  $K_{a2}$  の値よりも小さく、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の値の大小関係は、わからない。
- ⑪  $K_{a1}$  の値と  $K_{a2}$  の値の大小関係および  $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の値の大小関係は、わからない。

**第3問** 分液ろうとを用いる抽出に関する以下の各問い(問1～5)に答えよ。ただし、1-オクタノール  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$  は水より密度が小さな無色の液体で、水とは全く混ざり合わないとする。また、溶質 X の水および1-オクタノールの双方に対する溶解度は十分に高く、溶媒と溶質、溶媒同士および溶質同士のいずれも、互いに反応しないとする。また、どの実験におけるどの層からも、蒸発や溶質の析出は起こらないものとし、溶質 X が溶解することによる水層や1-オクタノール層の体積変化は無視できるものとする。なお、この問題では、分液ろうとをよく振り混ぜて、水層と1-オクタノール層の二層に分かれるまで待つ操作を「分液操作」と呼び、上層の溶媒を溶媒 U、下層の溶媒を溶媒 L と呼ぶ。また、この問題では、例えば「溶質 X が溶けている水層のモル濃度」のことは「水層に含まれる X のモル濃度」と表記する。

**実験1**：溶質 X を 100 mL の 1-オクタノールに完全に溶かして水 100 mL と共に分液ろうとに入れ、分液操作を行う(図1)。

**実験2**：互いに等しい物質量の物質 A, B, C および D を溶質 X として使い、それぞれの溶質ごとに実験1を行った。各実験の結果、水および1-オクタノールの各層に含まれる X のモル濃度の比は、以下の表の通りとなった。なお、この問題では、表で1-オクタノール層の方の数値が大きいほど「1-オクタノールの方に溶けやすい」、逆に水層の方の数値が大きいほど「水の方に溶けやすい」と、それぞれ表現することにする。

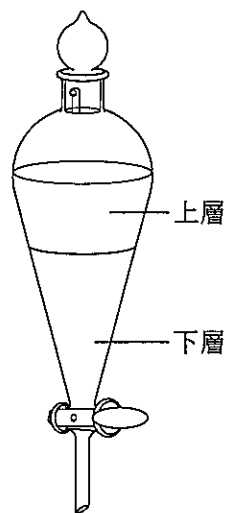


図1 実験1

表 実験 2 の結果

溶質 X	A	B	C	D
1-オクタノール層	135	29	1	2
水層	1	1	2	1

※ 表中の各数値は、分液操作後における 1-オクタノールおよび水の各層に含まれる X のモル濃度の比を、用いた物質ごとに記したものである。例えば、溶質 X として物質 A を用いて実験 1 を行った結果、水および 1-オクタノールの各層に含まれる A のモル濃度の比は 1 : 135 となった、ということである。なお、表の結果は X のモル濃度の絶対値や溶液の pH には依存しないものとする。また、溶質 X として混合物を使用した場合にも、表の結果は溶液中に共存する他の物質の影響を一切受けないものとする。

問 1 実験 2 の結果から言えることとして最も適切なものを、以下の①～⑧のうちから一つ選べ。

13

- ① 溶媒 U は水である。
- ② 物質 A は 1-オクタノールに溶けない。
- ③ 物質 A の方が物質 B よりも水の方に溶けやすい。
- ④ 物質 C は水に溶けない。
- ⑤ 物質 C よりも物質 D の方が水の方に溶けやすい。
- ⑥ 物質 C を溶質 X とした場合の水層に含まれる C のモル濃度は、物質 D を溶質 X とした場合の水層に含まれる D のモル濃度の 2 倍である。
- ⑦ 物質 D よりも物質 A の方が水の方に溶けやすい。
- ⑧ 物質 A を溶質 X とした場合の 1-オクタノール層に含まれる A のモル濃度は、物質 D を溶質 X とした場合の 1-オクタノール層に含まれる D のモル濃度の 67.5 倍である。

問 2 実験 1 において溶質 X として物質 B を  $6.0 \times 10^{-4}$  mol 用いた場合、実験後の水層に含まれる B のモル濃度は表からいくらと考えられるか。下記のように表した場合に最も近い数値を、以下の①～⑩のうちからそれぞれ一つずつ選べ。なお、例えば  $1 \times 10^{-2}$  と解答する場合は、 に①、 には②を、それぞれマークせよ。

$$\text{} \times 10^{-\text{}} \text{ mol/L}$$

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① 1 | ② 2 | ③ 3 | ④ 4 | ⑤ 5 |
| ⑥ 6 | ⑦ 7 | ⑧ 8 | ⑨ 9 | ⑩ 0 |

実験 3：実験 1 で用いたものと同じ空の分液ろうとを五つ並べ、左から順に分液ろうと # 0, # 1, # 2, # 3, # 4 とする (以下単に # 0, # 1, # 2, # 3, # 4 と表記する)。# 1 ~ # 4 には溶媒 L を 100 mL ずつ入れておく。これらを用い、下記の手順 I ~ V に従って順に実験を進める。図 2 に手順 III までの内容を図示する。なお、図 2 では、各分液ろうと内の上層と下層を模式的に上下に重ねたマスで表す。

手順 I：# 0 を用いて実験 1 を行う。

手順 II：# 0 の上層を右隣の # 1 に移し、# 1 で分液操作を行う。次に、# 0 に溶媒 U を 100 mL 加え、# 0 で分液操作を行う。

手順 III：# 1 の上層を # 2 に移し、# 2 で分液操作を行う。次に、手順 II を行う。

手順 IV：# 2 の上層を # 3 に移し、# 3 で分液操作を行う。次に、手順 III を行う。

手順 V：# 3 の上層を # 4 に移し、# 4 で分液操作を行う。次に、手順 IV を行う。

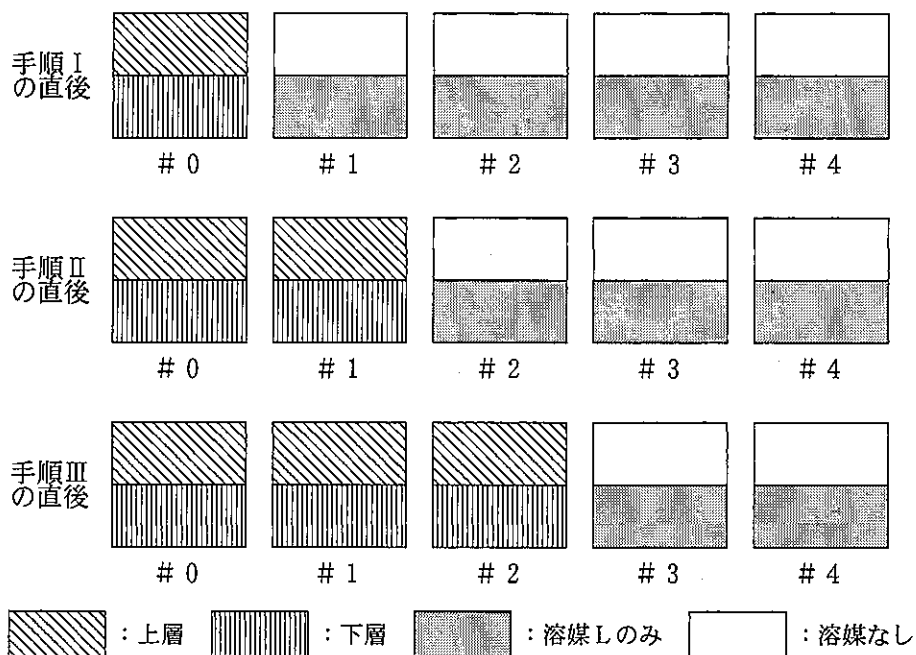


図2 実験3(手順Ⅲまで)

問3 溶質Xとして物質Cを $1.0 \times 10^{-3}$  mol用い、手順Ⅰ～Ⅲまで行った。この時点における#0～#2内の各層に含まれるCのモル濃度に関する説明として最も適切なものを、以下の①～⑤のうちから一つ選べ。

16

- ① 含まれるCのモル濃度が最も高いのは、#2の下層である。
- ② 分液ろうとの番号が小さいほど、下層に含まれるCのモル濃度が高い。
- ③ #0の下層と#1の下層とを比較すると、含まれるCのモル濃度は互いに等しい。
- ④ #1の上層と下層とを比較すると、含まれるCのモル濃度は互いに等しい。
- ⑤ それぞれの分液ろうと内において、水層に含まれるCのモル濃度は1-オクタノール層に含まれるCのモル濃度の $\frac{2}{3}$ である。

問 4 問 3 の手順Ⅲ終了時点における # 1 の下層に含まれる C のモル濃度は、表からいくらと考えられるか。下記のように表した場合に最も近い数値を、以下の①～⑩のうちからそれぞれ一つずつ選べ。なお、例えば  $1 \times 10^{-2}$  と解答する場合は、 に①、 には②を、それぞれマークせよ。

$$\text{} \times 10^{-\text{}} \text{ mol/L}$$

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① 1 | ② 2 | ③ 3 | ④ 4 | ⑤ 5 |
| ⑥ 6 | ⑦ 7 | ⑧ 8 | ⑨ 9 | ⑩ 0 |

問 5 溶質 X として、物質 C と物質 D の物質量比 1 : 1 の混合物を用い、実験 3 を行ったところ、次の結果が得られた：

- ・手順Ⅲまで行った時点で、D の位置は # 1 と # 2 であった。
- ・手順Ⅳまで行った時点で、D の位置は # 2 であった。

ただし、例えば下層に含まれる D のモル濃度が最も高くなっている分液ろうとが # 2 だけである場合は「D の位置は # 2 である」と表記し、# 2 と # 3 の 2 か所である場合は「D の位置は # 2 と # 3 である」と表記する。

以上の結果から言えることとして正しいものを、以下の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 手順Ⅲまで行った時点で、C の位置は # 2 であった。
- ② 手順Ⅳまで行った時点で、C の位置は # 3 であった。
- ③ 手順Ⅴまで行った時点で、C の位置は # 2 であった。
- ④ 手順Ⅳまで行った時点と手順Ⅴまで行った時点とでは、C の位置は同じである。
- ⑤ D の位置が # 2 のとき、C の位置は # 3 である。

**第4問** 構造が互いに異なる芳香族化合物 A~J に関する下記の説明を読み、以下の各問い(問1~6)に答えよ。

化合物 A~G はいずれも分子式  $C_xH_yO_z$  ( $x \sim z$  は自然数) で分子量 122 であり、完全燃焼により二酸化炭素と水を物質量比 8 : 5 で生じた。化合物 A はベンゼンの三置換体であり、その他の化合物 B~J はベンゼンの一置換体または二置換体である。化合物 A~G のジエチルエーテル溶液に、それぞれナトリウムの単体を加えると、化合物 A, B, C および D の溶液からのみ水素が発生した。化合物 B および C を、二クロム酸カリウムの硫酸酸性水溶液を用いておだやかに酸化したところ、化合物 B からは化合物 H が、また化合物 C からは化合物 I が、それぞれ得られた。化合物 H はフェーリング液を還元した。化合物 C および I はともに、ヨードホルム反応を示した。化合物 B および C をそれぞれ脱水反応させたところ、どちらからも同じ化合物 J が生じた。化合物 E, F および G は、フェノール、ベンジルアルコールおよびクレゾールに含まれるヒドロキシ基の水素原子をアルキル基(炭化水素基)に置換した構造を、それぞれもっている。化合物 A~J に塩化鉄(III)水溶液を加えると、化合物 A と D のみが呈色反応を示し、他の化合物はいずれも呈色反応を示さなかった。

問1 分子式  $C_xH_yO_z$  の  $z$  として最も適切な数値を、以下の①~⑪のうちから一つ選べ。

20

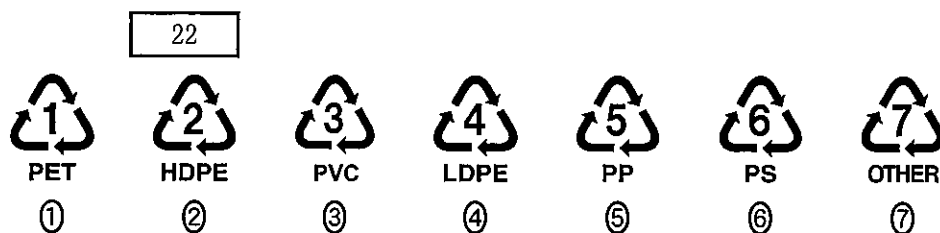
- ① 1            ② 2            ③ 3            ④ 4            ⑤ 5  
 ⑥ 6            ⑦ 7            ⑧ 8            ⑨ 9            ⑩ 10  
 ⑪ 11

問2 化合物 A~J のうち、不斉炭素原子をもつ化合物はどれか。あてはまるものを、以下の①~⑩のうちから一つ選べ。

21

- ① A            ② B            ③ C            ④ D            ⑤ E  
 ⑥ F            ⑦ G            ⑧ H            ⑨ I            ⑩ J

問 3 化合物 J を重合させると得られるプラスチックの識別マーク(リサイクルマーク)として最も適切なものを、以下の①～⑦のうちから一つ選べ。



問 4 化合物 A に当てはまる構造は何種類考えられるか。最も適切な数値を、以下の①～⑪のうちから一つ選べ。

- 23
- |      |     |     |     |      |
|------|-----|-----|-----|------|
| ① 1  | ② 2 | ③ 3 | ④ 4 | ⑤ 5  |
| ⑥ 6  | ⑦ 7 | ⑧ 8 | ⑨ 9 | ⑩ 10 |
| ⑪ 11 |     |     |     |      |

問 5 化合物 A～J のうち、ベンゼンの二置換体はどれか。あてはまるものを、以下の①～⑩のうちからすべてを選び、解答欄 24 にそれらすべてをマークをせよ。ただし、この問題では、選択した正解選択肢の数に応じて得点を与え、選択した不正解選択肢の数に応じて減点する。なお、選択した不正解選択肢の数が選択した正解選択肢の数を上回る場合は 0 点とする。

- 24
- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① A | ② B | ③ C | ④ D | ⑤ E |
| ⑥ F | ⑦ G | ⑧ H | ⑨ I | ⑩ J |



問 6 化合物 A~J の性質の説明として正しいものを、以下の①~⑩のうちから四つを選び、解答欄 25 にそれらすべてをマークせよ。

25

- ① 化合物 B は水溶液中でわずかに電離するため、その水溶液は弱酸性を示す。
- ② 化合物 C は 2 価アルコールである。
- ③ 塩化ベンゼンジアゾニウムを 0℃ で水と反応させると、化合物 D が生じる。
- ④ 化合物 D のベンゼン環に直接結合しているアルキル基(炭化水素基)に含まれる炭素原子の数は、化合物 G のそれよりも多い。
- ⑤ 化合物 E と F は互いに幾何異性体である。
- ⑥ 化合物 H は銀鏡反応を示さない。
- ⑦ トルエンを過マンガン酸カリウムで酸化すると、化合物 I が得られる。
- ⑧ 臭素水に十分な量の化合物 J を加えると、溶液が無色になる。
- ⑨ 化合物 J をオゾン分解すると、化合物 I になる。
- ⑩ 化合物 A~J のうち、カルボニル基をもつものは化合物 H と I のみである。
- ⑪ 化合物 A~J のうち、分子量が最も小さいものは、化合物 J である。

# 生 物

(注意) 計算値の解答をマークするときは、桁に満たない解答欄には0を選んでマークせよ。また、複数の選択肢を選択して解答するときは、指定された解答番号の解答欄に複数の選択肢をマークせよ。

**第1問** 後の問い(問1～6)に示す語句について、①～⑤の中に誤っているものが一つあるか、あるいは①～⑤のすべてが正しいかのどちらかである。①～⑤の中に誤りがある場合にはその記号を、①～⑤のすべてが正しい場合には⑥を選んで、解答欄にマークせよ。なお、補足の文章がある問いはその文章を読んでから解答せよ。解答番号  ～

問1 真核細胞の細胞小器官

- ① ミトコンドリアは好気性細菌が起源であるとされ、外膜と内膜の二重の膜があり、内膜には電子伝達系に関わるタンパク質がある。
- ② 葉緑体は独自のDNAをもち、二重の膜に囲まれていて、チラコイドには二酸化炭素から有機物を合成する酵素が存在している。
- ③ 小胞体は核膜の外側の膜とつながった一重の膜からなる構造で、滑面小胞体はカルシウムイオンを貯えたり放出したりする。
- ④ ゴルジ体は平らな袋状の膜が層状に重なった形をしていて、小胞を介して小胞体から細胞外へのタンパク質の輸送を中継する。
- ⑤ リソソームはゴルジ体から形成され、細胞内の不要な物質やエンドサイトーシスで取り込んだ物質を内部に含む分解酵素で分解する。
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

問 2 真核細胞の遺伝子発現 2

- ① 転写開始の際、RNA ポリメラーゼは基本転写因子とよばれる複数のタンパク質と結合して複合体を形成する。
- ② 転写の際に鋳型となる DNA 鎖をアンチセンス鎖といい、RNA ポリメラーゼはアンチセンス鎖を 5' → 3' の方向に移動する。
- ③ スプライシングは核内で起こり、その過程で mRNA 前駆体からイントロンの領域が取り除かれ、エキソンの領域がつながれる。
- ④ 61 種類のコドンが 20 種類のアミノ酸を指定し、AUG はメチオニンに対する唯一のコドンであり開始コドンでもある。
- ⑤ リボソームが mRNA の終止コドンまでくると、それに対応するアンチコドンをもつ tRNA が存在しないため、翻訳が終了する。
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

問 3 ヒトの血液 3

- ① 血液は液体成分である血しょうと有形成分である血球に分けられ、血しょうはグルコースや尿素などを運搬する。
- ② 血しょうの一部は、毛細血管からしみ出て組織液となり、組織液の大部分はリンパ管内に入ってリンパ液となる。
- ③ 赤血球は中央がくぼんだ円盤状をしており、核をもたず、鉄を含んだタンパク質であるヘモグロビンを多量に含む。
- ④ 白血球の一種である好中球は、骨髄の造血幹細胞からつくられ、病原体を食作用によって細胞内に取り込んで処理する。
- ⑤ 血小板は核をもたない小さな細胞で、傷口に集合して血液凝固を引き起こし、出血によって血液が失われるのを防ぐ。
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

問 4 旧口動物 4

- ① ヒトデ
- ② ミミズ
- ③ ハマグリ
- ④ センチュウ
- ⑤ プラナリア
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

問 5 ヒトの耳の構造と聴覚・平衡覚が生じるしくみ 5

- ① 耳は外耳，中耳，内耳の3つの部分からなり，耳殻は外耳に，耳小骨は中耳に，半規管と前庭は内耳にある。
- ② 半規管は前庭につながる半円状の管で，3個の半規管が互いに直交する面に配置されている。
- ③ 空気の振動として伝わってきた音は鼓膜を振動させ，その振動は耳小骨によって増幅され，うずまき管に伝えられる。
- ④ うずまき管の基底膜が最も振動する位置は伝わる音の高さによって異なり，先端側ほど低音に反応して振動する。
- ⑤ 前庭には感覚毛をもつ感覚細胞があり，平衡石(耳石)が動くことによって感覚毛が曲がると，前庭(平衡)神経に電気信号が発生する。
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

問 6 生態系の物質収支 6

表は、ある湖沼におけるエネルギー量を栄養段階ごとに示したものである。それぞれの値の単位は  $J/(cm^2 \cdot 年)$  である。ただし、入射した光エネルギー量は  $369620 J/(cm^2 \cdot 年)$  である。なお、老廃物排出量は呼吸量に含める。

表

	生産者	一次消費者	二次消費者
生産者の総生産量	467.9		
呼吸量	98.3	18.5	7.5
被食量	ア	15.5	0.0
枯死・死滅量	11.8	1.3	0.0
成長量	295.6	イ	5.5
不消化排出量		6.0	2.5

- ① 生産者の純生産量は、 $369.6 J/(cm^2 \cdot 年)$  となる。
- ② 生産者の被食量(表中ア)は、 $62.2 J/(cm^2 \cdot 年)$  となる。
- ③ 一次消費者の成長量(表中イ)は、 $26.9 J/(cm^2 \cdot 年)$  となる。
- ④ 二次消費者の同化量は、 $13.0 J/(cm^2 \cdot 年)$  となる。
- ⑤ 光合成で固定されたエネルギー量は、入射した光エネルギー量の約  $0.13\%$  となる。
- ⑥ ①～⑤のすべての選択肢は正しい。

第2問 次の文章IとIIを読み、以後の問い(問1～6)に答えよ。解答番号

7 ~ 15

I 二倍体の生物の個体が、ある遺伝子座にどのような対立遺伝子(アレル)の組合せをもっているのかを調べる方法のひとつに制限酵素断片長多型(RFLP)を解析する方法がある。このとき、PCRを組合せると微量なDNA試料を用いて簡便にRFLPを解析することができる。この方法では、個体からDNAを抽出し、調べたい遺伝子座の領域をPCRで増幅する。増幅したDNAを制限酵素で完全に切断した後、生じたDNA断片を電気泳動で長さに応じて分離する。各対立遺伝子で制限酵素処理後に生じる断片の長さが異なる場合、染色後の電気泳動のバンドパターンによって、その個体が各対立遺伝子をどの組合せでもっているのかを判別することができる。

ヒトのある遺伝子座に含まれる遺伝子(全長2000塩基対)には、制限酵素Xで切断したときに多型が認められ、図1(i)に示す2か所の制限酵素切断部位が知られている。1000塩基対目に制限酵素切断部位をもつ潜性(劣性)の対立遺伝子はある病気を引き起こす原因となる。健康な人とこの病気の患者、合わせて10人についてRFLPを解析した結果を図1(ii)のア～コに示す。

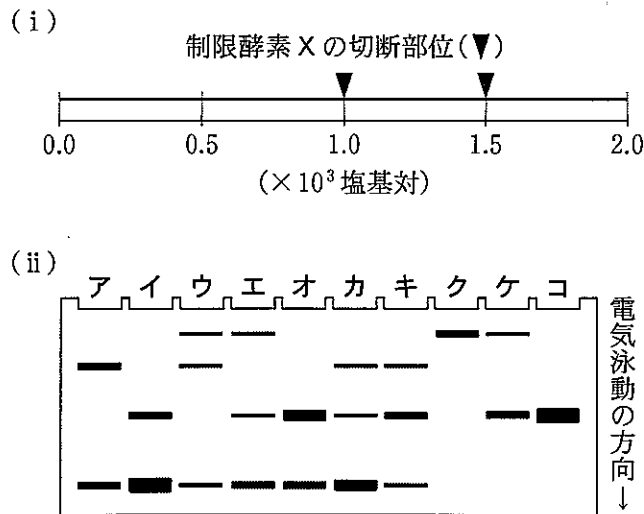


図1

注) バンドの太さはDNA断片の数と比例する。

問 1 下線部Aに関して、制限酵素 X の切断部位で判別できる対立遺伝子の種類の最大数はいくつか。最も適当なものを、次の①～⑩のうちから一つ選べ。

- ① 1            ② 2            ③ 3            ④ 4            ⑤ 5  
 ⑥ 6            ⑦ 7            ⑧ 8            ⑨ 9            ⑩ 10

問 2 この病気の患者は図 1 (ii) 中ア～コのどれか。適当なものを、次の①～⑩のうちからすべて選べ。

- ① ア            ② イ            ③ ウ            ④ エ            ⑤ オ  
 ⑥ カ            ⑦ キ            ⑧ ク            ⑨ ケ            ⑩ コ

問 3 制限酵素 X の切断部位で判別できる対立遺伝子の種類のすべては、制限酵素 Y で切断すると、750 塩基対目と 1400 塩基対目の 2 か所で切断される。この遺伝子について、エの人の PCR で増幅した DNA を制限酵素 Y で完全に切断した後、さまざまな長さの DNA 断片が得られるように DNA リガーゼで処理した。得られた DNA 断片のうち、4000 塩基対の断片を制限酵素 X で完全に切断したときに生じる最も小さな断片の長さは何塩基対か。一の位を 0 として、千、百、十の位の数字を答えよ。ただし、PCR で増幅した DNA の末端は、3' 側のみに A が 1 塩基分突出し、制限酵素 X あるいは Y で切断された DNA の末端は平滑末端で、5' 側と 3' 側のどちらの塩基も突出しないものとする。なお、DNA リガーゼは、同じ制限酵素で切断した末端どうし以外にも、塩基配列とは無関係に平滑末端どうしを連結することができる。

千の位    百の位    十の位  
         0 塩基対

- ① 1            ② 2            ③ 3            ④ 4            ⑤ 5  
 ⑥ 6            ⑦ 7            ⑧ 8            ⑨ 9            ⑩ 0

II 系統樹を作成する方法のひとつに最節約法がある。最節約法は、進化的な変化の回数が最も少なくなる系統樹を選択する方法である。例えば、3種の生物の進化的関係は、3通り考えられる。DNAの塩基配列の違いを用いる場合、種間で異なる塩基の部位に注目し、3通りの系統樹のどこで塩基の変化が起こったのかを考える。3通りの系統樹のそれぞれで、進化的関係を説明できる変化の総数を求め、最も変化の総数が少なくなる系統樹を最適な系統樹として選択すればよい。

ヒトは約20万年前にアフリカで誕生し、現在では、世界各地に分布している。ある研究では、異なる地域のヒトの集団間での進化的関係を調べるため、ある4地域から選ばれたヒトとヒトと最も近縁であるチンパンジーのミトコンドリアDNA (mtDNA)が比較された。この研究では、mtDNAの塩基配列を決定する代わりに、複数の制限酵素を用いて、塩基配列間の違いを推定し、最節約法で系統樹を作成した(図2)。

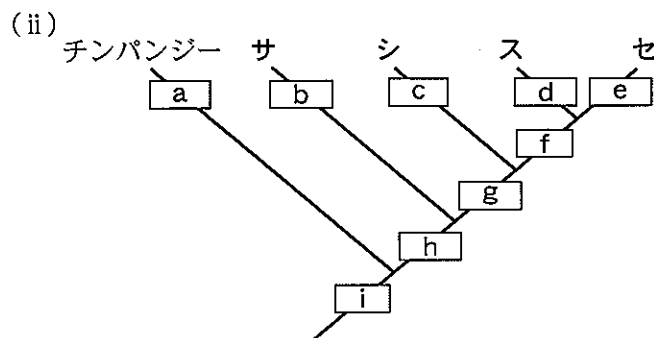
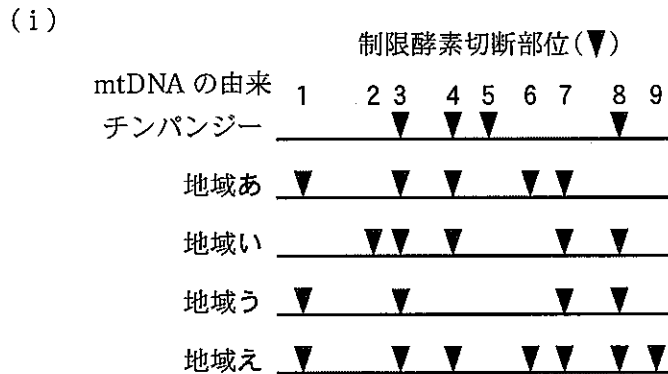


図2



問 4 下線部Bに関して、ヒトと類人猿を比較したとき、両者に共通する特徴は

どれか。適当なものを、次の①～⑦のうちから二つ選べ。

- ① 眼窩上隆起(眼の上の骨の隆起)が発達している。
- ② おとがい(下あごの骨の先端部の隆起)がある。
- ③ 大後頭孔が真下に開口している。
- ④ 平爪をもつ。
- ⑤ 拇指対向性である。
- ⑥ 比較的前肢が長く、後肢が短い。
- ⑦ 骨盤の幅が広く上下に短い。

問 5 制限酵素切断部位5の喪失と6の獲得は図2(ii)中a～iのどこで起こったことになるか。最も適当なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ一つずつ選べ。5の喪失:  , 6の獲得:

- ① a            ② b            ③ c            ④ d            ⑤ e
- ⑥ f            ⑦ g            ⑧ h            ⑨ i

問 6 図2(ii)中シにあてはまる地域として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 地域あ
- ② 地域い
- ③ 地域う
- ④ 地域え

第3問 次の文章IとIIを読み、以後の問い(問1～6)に答えよ。解答番号

16 ~ 22

I 1950年代、種子の発芽における光の影響を調べるため、研究者たちは、暗所で十分に吸水させたレタス(*Lactuca sativa*, グランド・ラピッド種)の種子に赤色光(波長 580~680 nm)と遠赤色光(波長 700~780 nm)を表に示した順序で短時間照射した後、暗所に移して2日後に種子の発芽率を調べた(表)。その後の研究で、この一連の現象には単一の光受容体タンパク質 X が関わっていることが明らかにされた。Xには赤色光吸収型(X赤)と遠赤色光吸収型(X遠赤)があり、図1にそれぞれの吸収スペクトルを、また、植物の茂った葉の上の直射日光と茂った葉の下の透過光の波長分布を示す。

表

光の照射順序(→の右が次に照射した光を示す)	発芽率(%)
未照射(暗所に置いたまま)	8.5
赤色	98
赤色→遠赤色	54
赤色→遠赤色→赤色	100
赤色→遠赤色→赤色→遠赤色	43
赤色→遠赤色→赤色→遠赤色→赤色	99
赤色→遠赤色→赤色→遠赤色→赤色→遠赤色	54
赤色→遠赤色→赤色→遠赤色→赤色→遠赤色→赤色	98

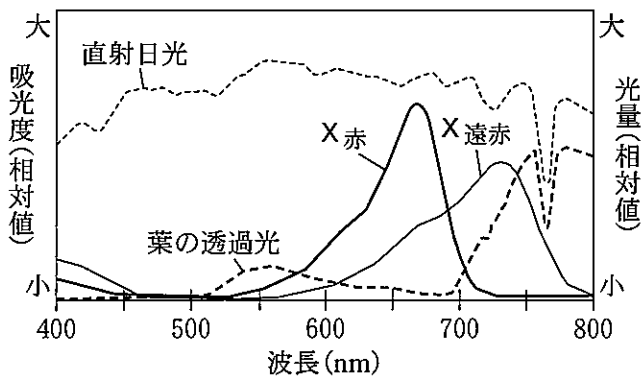


図1

問 1 下線部 A はレタスの学名である。二名法による学名の表し方は、このように  のあとに  をつけて表す。空欄アとイにあてはまる語として最も適当なものを、次の①～⑥のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

ア: , イ:

- ① 科名                      ② 属名                      ③ 綱名  
④ 目名                      ⑤ 種小名                      ⑥ 命名者名

問 2 下線部 B に関して、X および気孔の開閉に関するものはどれか。正しい組合せとして最も適当なものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。

- | X         | 気孔開閉    |
|-----------|---------|
| ① クリプトクロム | クリプトクロム |
| ② クリプトクロム | フィトクロム  |
| ③ クリプトクロム | フォトリロピン |
| ④ フィトクロム  | クリプトクロム |
| ⑤ フィトクロム  | フィトクロム  |
| ⑥ フィトクロム  | フォトリロピン |
| ⑦ フォトリロピン | クリプトクロム |
| ⑧ フォトリロピン | フィトクロム  |
| ⑨ フォトリロピン | フォトリロピン |

問 3 表および図 1 から考えられるレタスの種子の発芽に関する結論や推論として適当なものを、次の①～⑥のうちから二つ選べ。

- ① 未照射群と比較して、最後に遠赤色光を照射した群は発芽が阻害される。
- ② 赤色光による発芽促進効果は、遠赤色光照射によって抑制される。
- ③ 最後に赤色光を照射した群では、X<sub>赤</sub> が発芽の促進に関与する。
- ④ 暗所に 2 日間置くと、種子中のおよそ半分の X<sub>赤</sub> が X<sub>遠赤</sub> へ変換される。
- ⑤ X<sub>赤</sub> と X<sub>遠赤</sub> との間の変換は可逆的である。
- ⑥ 葉の透過光のもとでは、種子中の X<sub>遠赤</sub> の割合が増加する。

問 4 光に対して、この実験に用いたレタスの種子と同様に反応する種子をつくる植物とその種子の適応的特徴と考えられるものはどれか。正しい組合せとして最も適当なものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 

20
----

- ① タバコー比較的大型でたくさんの栄養分を貯蔵しているものが多く、生育に適さない環境では休眠している。
- ② タバコー比較的大型でたくさんの栄養分を貯蔵しているものが多く、生育に適さない環境でも発芽してすばやく成長する。
- ③ タバコー比較的小型で貯蔵している栄養分が少ないものが多く、生育に適さない環境では休眠している。
- ④ タバコー比較的小型で貯蔵している栄養分が少ないものが多く、生育に適さない環境でも発芽するが、すぐに枯死してしまう。
- ⑤ カボチャー比較的大型でたくさんの栄養分を貯蔵しているものが多く、生育に適さない環境では休眠している。
- ⑥ カボチャー比較的大型でたくさんの栄養分を貯蔵しているものが多く、生育に適さない環境でも発芽してすばやく成長する。
- ⑦ カボチャー比較的小型で貯蔵している栄養分が少ないものが多く、生育に適さない環境では休眠している。
- ⑧ カボチャー比較的小型で貯蔵している栄養分が少ないものが多く、生育に適さない環境でも発芽するが、すぐに枯死してしまう。

II 1990年代以降のさらなる研究で、レタスの種子の発芽には、新たに生合成される植物ホルモンYが関わっていることが明らかにされた。図2に示すように、Yの活性化には2つの酵素が、不活性化には1つの酵素が関与する。発芽における光の影響とYの生合成との関係を明らかにするため、Yの生合成に関わる酵素について次のような実験が行われた。暗所で十分に吸水させたレタスの種子に、赤色光と遠赤色光を短時間照射して暗所に移し、3時間後に3つの酵素のmRNA量を調べた。その結果を図3に示す。なお、吸水前の乾燥したレタスの種子中には、活性型Yは検出されなかった。

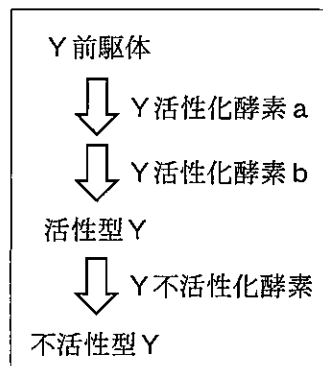
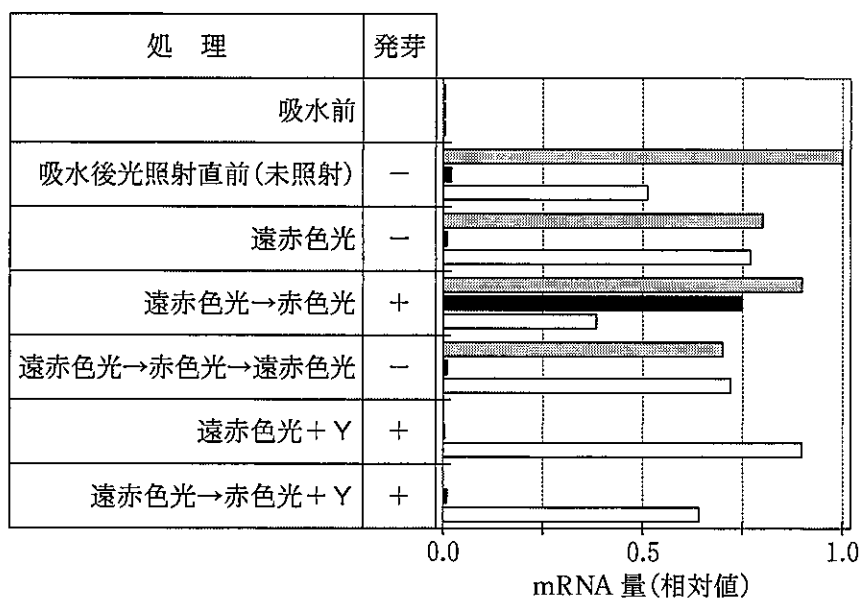


図2



▨：Y活性化酵素 a，■：Y活性化酵素 b，□：Y不活性化酵素  
 +：12時間後にほとんどの種子が発芽した，-：ほとんどの種子が発芽しなかった

図3

注) →の右が次に照射した光を，+Yは光照射時から活性型Yを加えていることを示す。なお，+Yの実験群では，Y活性化酵素 a の mRNA 量の測定は行っていない。

問 5 下線部Cに関して、Yはどれか。また、気孔の開閉に関与するものはどれか。それぞれにあてはまる語の組合せとして最も適当なものを、次の①～⑩のうちから一つ選べ。 21

Y	気孔開閉
① アブシシン酸	エチレン
② アブシシン酸	オーキシシン
③ アブシシン酸	ジベレリン
④ エチレン	オーキシシン
⑤ エチレン	ジベレリン
⑥ オーキシシン	アブシシン酸
⑦ オーキシシン	エチレン
⑧ ジベレリン	アブシシン酸
⑨ ジベレリン	エチレン
⑩ ジベレリン	オーキシシン

問 6 図2と図3から考えられる結論や推論として適当なものを、次の①～⑧のうちから三つ選べ。 22

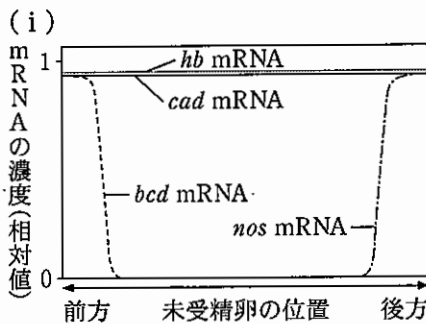
- ① 吸水によって発芽に十分な濃度の活性型 Y がつくられる。
- ② Y 活性化酵素 a の転写は吸水によって促進され、赤色光の照射によってさらに促進される。
- ③ 赤色光は発芽に必要な Y の活性化を促進し、不活性化を抑制する。
- ④ 遠赤色光による発芽の阻害は、おもに活性型 Y の不活性化経路が促進されることによって起こる。
- ⑤ Y 活性化酵素 b の転写の促進には、X<sub>赤</sub> が関与している。
- ⑥ Y 不活性化酵素の転写の抑制には、X<sub>遠赤</sub> が関与している。
- ⑦ Y 活性化酵素 b は、活性型 Y によるアロステリック阻害により負のフィードバック調節を受ける。
- ⑧ Y 活性化酵素 a 遺伝子の機能欠損変異体では、発芽が阻害される。

第4問 次の文章を読み、以後の問い(問1～6)に答えよ。解答番号 23 ～

31

ショウジョウバエの未受精卵には、卵形成時に母親がもつ遺伝子に基づいて合成された母性因子(母性効果遺伝子からつくられる mRNA やタンパク質)が蓄積している。母性因子である *bcd* mRNA は卵の前方に、*nos* mRNA は卵の後方に分布する。<sup>A</sup> 同じく母性因子である *hb* mRNA と *cad* mRNA は、ほぼ均等に分布する(図1(i))。受精後、これらの母性因子から翻訳された各タンパク質の分布パターンによって、特定のギャップ遺伝子(*kni*, *hb*, *Kr*, *gt*, *tll*)が胚の特定の領域に帯状に発現する。ギャップ遺伝子の胚の前後軸に沿った領域特異的な発現は、母性因子だけでなく、<sup>B</sup> ギャップ遺伝子どうしの相互作用によっても決まり、胚を大まかに区画化する。これらの因子の相互作用についてのモデルを図1(ii)に示す。

胚が大まかに区画化されると、ペアルール遺伝子のうち、先に発現するグループが胚の前後軸に沿って7本の縞状に発現し、後に発現するグループはその間に発現して、胚が14の区分に分けられる。次いで、セグメントポラリティー遺伝子によって14の区分における前後の極性が与えられ、14個の体節がほぼ決定される。さらに同一の染色体上に並んだ8つのホメオティック遺伝子が、その並び順で胚の前後軸<sup>C</sup>に沿って異なる体節に発現し、各体節の構造が決定される。



(ii) 図1( )は著作権の関係上、掲載することができません。

図1

注) *hb* は、胚自身ももつ遺伝子からも発現する。また、*hb* は、高濃度で *Kr* を抑制し、中間濃度前後で *Kr* を促進する。





問 2 下線部Bに関して、発生における遺伝子間の相互作用は、「ある遺伝子の発現様式を、別の遺伝子の機能が失われた胚で観察する」、「ある遺伝子の発現様式を、別の遺伝子を全領域に強制発現させた胚で観察する」の2つのタイプの実験を行うことによって推測できる。ショウジョウバエ胚で3つの領域に発現する遺伝子  $a$ ,  $b$ ,  $c$  について相互作用を確かめる実験を行った結果を図3に示す。この結果から考えられる遺伝子  $a$ ,  $b$ ,  $c$  の相互作用として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 24

図3は著作権の関係上、掲載することができません。

図 3

注) 灰色の領域は遺伝子が発現していることを示す。

- ① 遺伝子  $b$  と遺伝子  $c$  はどちらも遺伝子  $a$  の発現を抑制する。
- ② 遺伝子  $b$  と遺伝子  $c$  はどちらも遺伝子  $a$  の発現を促進する。
- ③ 遺伝子  $b$  は遺伝子  $a$  の発現を抑制し、遺伝子  $c$  は遺伝子  $a$  の発現を促進する。
- ④ 遺伝子  $b$  は遺伝子  $a$  の発現を促進し、遺伝子  $c$  は遺伝子  $a$  の発現を抑制する。
- ⑤ 遺伝子  $b$  と遺伝子  $c$  はどちらも遺伝子  $a$  の発現に影響しない。

問 3 ギャップ遺伝子の発現パターンを調べた結果、3つの遺伝子については図4のようになった。図1にしたがって胚での各因子の相互作用を考えたとき、遺伝子  $d \sim f$  にあてはまるギャップ遺伝子として最も適当なものを、次の①～⑤のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

$d$ :  ,  $e$ :  ,  $f$ :

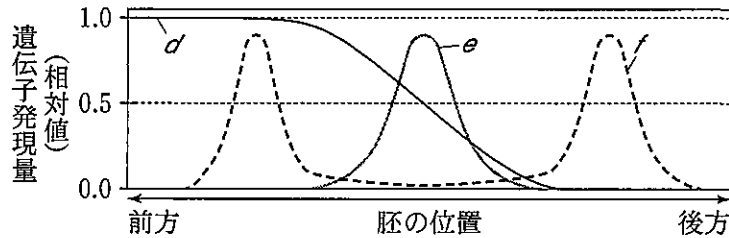


図 4

- ① *hb*      ② *kni*      ③ *Kr*      ④ *gt*      ⑤ *tll*

問 4 図1から考えられる母性因子とギャップ遺伝子の相互作用の結果の推論として適切でないものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① *bcd* タンパク質は *cad* mRNA の翻訳を抑制するので、*cad* タンパク質の濃度は胚の前方で低く、後方にかけて高くなる。
- ② *bcd* タンパク質は *hb* mRNA の翻訳を促進し、*nos* タンパク質は *hb* mRNA の翻訳を抑制するので、*hb* タンパク質の濃度は胚の前方で高く、後方にかけて低くなる。
- ③ *hb* タンパク質と *kni* タンパク質は互いにそれぞれの遺伝子の転写を抑制するので、*hb* タンパク質と *kni* タンパク質の発現量のピークは重ならない。
- ④ *hb* タンパク質は高濃度で *Kr* の転写を抑制し、中間濃度の前後で *Kr* の転写を促進するので、*hb* タンパク質の発現量が減少するところから *Kr* タンパク質の発現量が増加する。
- ⑤ *tll* タンパク質は *kni* と *gt* の翻訳を抑制するので、胚の前方端、中央、後方端の3つのピークをもつ分布パターンを示す。

問 5 下線部Cに関して、ショウジョウバエのパイソラックス遺伝子複合体 (*Ubx*, *abd-A*, *Abd-B*) の遺伝子の機能を1つまたは複数欠損させた変異体の一齢幼虫を図5(ii)~(v)に示す。下線部Cおよび図5の結果の結論や推論として適切でないものを、次の①~⑥のうちから一つ選べ。 29

図5は著作権の関係上、掲載することができません。

図 5

注) 野生型の幼虫((i) : 図は一齢幼虫)は、頭部 C1 ~ C3 (内部に陥入しているため外部からは観察できない)、胸部 T1 ~ T3、腹部 A1 ~ A8 の合計 14 体節からなる。正常な胸部体節には、1つのケイリン器官(肢が変化した感覚器)、2つの黒点感覚器、3つの感覚毛が左側(右側も同様)から観察できる。また、正常な腹部体節には、3つの感覚毛が観察できる。後気門は A8 に属している。囲肛板は尾節とよばれる構造に含まれ、腹部体節とは異なる。なお、野生型の成虫の胸部は、1対の脚がある前胸節、1対の翅と脚がある中胸節、1対の平均棍と脚がある後胸節からなり、それぞれが野生型の幼虫の T1、T2、T3 に由来する。

- ① 野生型では、*Ubx* は T3 を含めた後方の体節で、*abd-A* は A2 を含めた後方の体節で、*Abd-B* は A5 を含めた後方の体節で発現する。
- ② バイソラックス遺伝子複合体の 3 つの遺伝子は、同一染色体上に *abd-A* を真ん中にして並んでいる。
- ③ バイソラックス遺伝子複合体の各遺伝子は、野生型の T2 を基本として、T3 以降に胸部や腹部の体節としての修飾を加える。
- ④ バイソラックス遺伝子複合体のすべてを欠損した変異体では、野生型の T3 から A8 までのすべての体節が T2 様の体節に置き換わる。
- ⑤ *Abd-B* を欠損した変異体では、*Ubx* の影響が野生型の A8 と同じ位置の体節にまで及ぶため、後気門が形成されない。
- ⑥ *Ubx* 欠損変異体の成虫は 2 対の翅をもつが、これは T2 様に变化した体節のうち、後方の体節が腹部体節の特徴ももつためである。

問 6 ショウジョウバエの発生はさまざまな遺伝子が段階的に相互作用することによって制御されている。それぞれの遺伝子群の機能欠損変異体の特徴として最も適当なものを次の①～⑤のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

ペアルール遺伝子：  ， ホメオティック遺伝子：

- ① 一つおきに体節が失われ、残った体節だけをもつ幼虫になる。
- ② 前方部から中央部あるいは中央部から後方部の大半の領域が失われる。
- ③ 一つもしくはそれ以上の体節の特徴が、異なる体節のものに置き換わる。
- ④ 複数の連続した体節が失われるが、残りのパターンは基本的に正常である。
- ⑤ 各体節のパターン形成が異常になり、各体節の半分が残り半分の鏡像対称になる。