



クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2014年度 第1回 全統マーク模試

## 学習の手引き【解答・解説集】

# 理科

【2014年5月実施】

### • 新課程理科

#### 理科①

物理基礎	1
化学基礎	7
生物基礎	14
地学基礎	22

#### 理科②

物理	34
化学	43
生物	59
地学	71

### • 旧課程理科

物理 I	95
化学 I	107
生物 I	122
地学 I	136

英語冊子巻末に「自己採点シート」と「学力アップ・志望校合格のための復習法」を掲載していますので、志望校合格へむけた効果的な復習のためにご活用ください。

河合塾



1460610119502130



物理基礎

【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	[1]	③	5			
	問2	[2]	④	5			
	問3	[3]	③	5			
	問4	[4]	④	5			
	問5	[5]	⑦	5			
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	A	問1	[6]	③	4		
		問2	[7]	④	4		
		問3	[8]	③	4		
	B	問4	[9]	⑥	4		
		問5	[10]	⑥	6		
		問6	[11]	②	3		
第2問 自己採点小計				(25)			
自己採点合計				(50)			

## 【解説】

### 第1問 小問集合

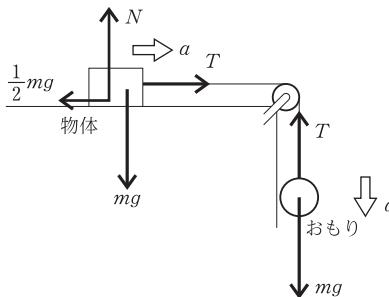
問1 物体とおもりの質量を  $m$ 、重力加速度の大きさを  $g$ 、糸の張力の大きさを  $T$  とする。物体にはたらく垂直抗力の大きさ  $N$  は、鉛直方向の力のつりあいより、 $N=mg$  であるから、動摩擦力の大きさは  $\frac{1}{2}mg$  となる。それぞれの運動方程式は、

$$\text{物体} : ma = T - \frac{1}{2}mg$$

$$\text{おもり} : ma = mg - T$$

$$\text{辺々を加えて, } 2ma = \frac{1}{2}mg$$

$$\therefore a = \frac{1}{4}g \quad \left( \text{これが問題文に与えられている加速度 } a \right)$$



おもりの質量を  $2m$  としたときの加速度の大きさを  $a'$ 、糸の張力の大きさを  $T'$  とする。それぞれの運動方程式は、

$$\text{物体} : ma' = T' - \frac{1}{2}mg$$

$$\text{おもり} : 2ma' = 2mg - T'$$

$$\text{辺々を加えて, } 3ma' = \frac{3}{2}mg$$

$$\therefore a' = \frac{1}{2}g = 2 \times \frac{1}{4}g = \underline{\underline{2a}}$$

1 の答 ③

問2 問題の図において、入射波の進行方向に  $x$  軸をとる。固定端反射における反射波の波形は、次の手順で描くことができる。

- ・手順1：入射波を進行方向に延長する。
- ・手順2：手順1で描いた仮想的な波形を  $x$  軸に対称に折り返す。
- ・手順3：手順2で描いた仮想的な波形を固定端(壁)に対称に折り返す。これが反射波の波形になる。

## 【ポイント】

### 動摩擦力

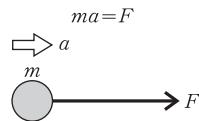
物体が滑っているときの摩擦力で、その大きさは、 $\mu'N$  である。

$\mu'$ ：動摩擦係数

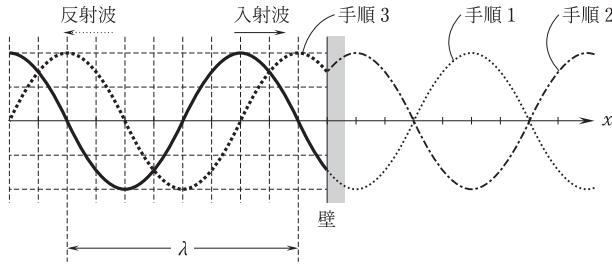
$N$ ：垂直抗力の大きさ

### 運動方程式

質量  $m$  [kg] の物体に  $F$  [N] の力がはたらくとき、物体の加速度を  $a$  [m/s<sup>2</sup>] すると、次式が成り立つ。



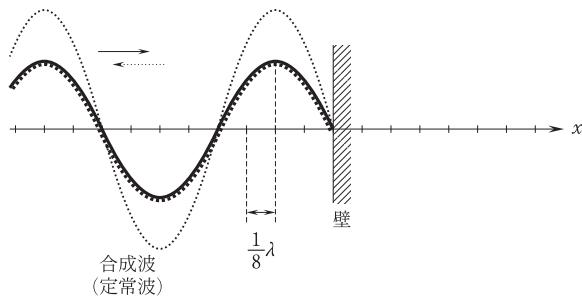
加速度の向きは、力の向きと一致する。いくつかの力が物体にはたらくときは、 $F$  は合力である。



入射波と反射波が重なり合い、**定常波(定在波)**が生じている。このとき、固定端は常に変位が 0、すなわち振幅は 0 となるので、定常波の**節**となる。

上図から、入射波と反射波が、 $\frac{1}{8}\lambda$ だけ進んだときのそれぞれの波形は次図のようになり、同じであることがわかる。(この時刻では、定常波の腹は最大の変位となっていることがわかる。)

よって、問題の図の時刻から時間  $t = \frac{1}{8}\lambda \div v = \frac{\lambda}{8v}$  だけ経過した時刻に初めて入射波と反射波の波形が同じになる。

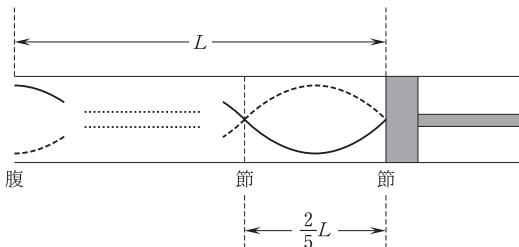


2 の答 ④

問3 閉管の共鳴では、ピストンの位置は節、管口付近を腹とする定常波(定在波)が生じている。開口端補正が無視できる場合、管口がちょうど腹の位置になる。

この実験により、節と節の間隔が  $\frac{2}{5}L$  であることがわかる。定常波において、となり合う節と節の間隔は半波長なので、スピーカーから出る音波の波長を  $\lambda$  とすると、

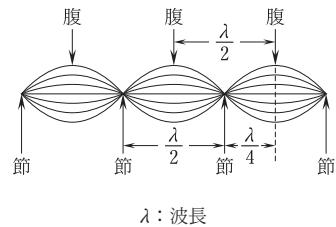
$$\frac{1}{2}\lambda = \frac{2}{5}L \quad \therefore L = \frac{5}{4}\lambda$$



また、腹と節の距離は  $\frac{1}{4}\lambda$  であり、 $L = \frac{5}{4}\lambda = 5 \times \frac{1}{4}\lambda$  と表せる。

#### 定常波(定在波)

互いに逆向きに進む、速さ、波長、振幅が等しい2つの波が干渉してできる合成波。

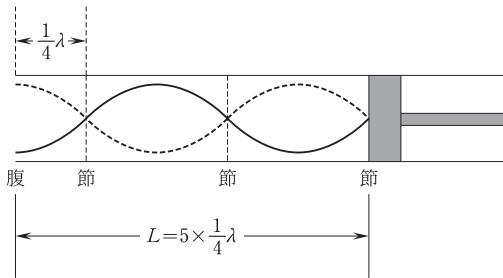


#### 閉管の共鳴

開端(管口)を腹、閉端を節とする定常波(定在波)ができる。

実際には、管口の腹の位置は管口から少し外側であり、腹と管口との距離を開口端補正という。

よって、初めの状態では、次図のように、5倍振動であることがわかる。このとき節の数は3個である。



3 の答 ③

問4 1個の電池の電圧を  $V$ , 1個の抵抗の抵抗値を  $R$  とする。

図4の回路で、電流計Ⓐの読み  $I_0$  は、オームの法則より、

$$I_0 = \frac{2V}{2R} = \frac{V}{R}$$

選択肢①～④の各回路について、電流計の読みを求めていく。

①の回路

並列接続されている二つの抵抗の合成抵抗の値を  $R_1$  とすると、合成抵抗の公式より、

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \quad \therefore R_1 = \frac{R}{2}$$

オームの法則より、電流計Ⓐの読み  $I_1$  は、 $I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{2V}{R}$  となり、図4とは異なる値になる。

②の回路

①の回路の考察を用いると、②の回路は  $\frac{R}{2}$  と  $R$  の抵抗が直列接続されていると見なせ、合成抵抗の値を  $R_2$  とすると、合成抵抗の公式より、

$$R_2 = \frac{R}{2} + R = \frac{3}{2}R$$

オームの法則より、電池を流れる電流  $I_2$  は、 $I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{2V}{3R}$  となる。

電流計Ⓐの読みは、 $\frac{1}{2}I_2$  であるから  $\frac{V}{3R}$  となり、図4とは異なる値になる。

③の回路

②の回路において、電池を流れる電流  $I_2$  が電流計Ⓐの読みだから、電流計Ⓐの読みは、 $\frac{2V}{3R}$  であり、図4とは異なる値になる。

④の回路

$2R$  と  $2R$  の抵抗が並列接続されているので、合成抵抗の値を  $R_4$  とすると、合成抵抗の公式より、

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} \quad \therefore R_4 = R$$

オームの法則より、電流計Ⓐの読み  $I_4$  は、 $I_4 = \frac{V}{R_4} = \frac{V}{R}$  とな

オームの法則

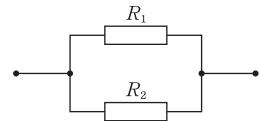
抵抗にかかる電圧と流れる電流は比例し、電圧を  $V$  [V]、電流を  $I$  [A]、抵抗値を  $R$  [\Omega] とすると、

$$V=RI$$

と表される。

合成抵抗の公式

並列接続の場合



$R'$  : 合成抵抗の値

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

直列接続の場合



$R'$  : 合成抵抗の値

$$R' = R_1 + R_2$$

り、図4と同じ値になる。

4 の答 ④

問5 氷の温度が $-15^{\circ}\text{C}$ から $-10^{\circ}\text{C}$ に上昇し、銅製容器の温度が $0^{\circ}\text{C}$ から $-10^{\circ}\text{C}$ に下降したので、氷の比熱(比熱容量)を $c [\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$ とすると、熱量の保存より、

$$210 \times \{(0 - (-10))\} = 200c \times \{(-10) - (-15)\}$$

$$\therefore c = 2.1 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$$

氷の温度が上昇しているとき、与えた熱量は氷と銅製容器の温度上昇に用いられる。その後、温度上昇が止まっている間は、与えた熱量は、 $0^{\circ}\text{C}$ の氷が融解し $0^{\circ}\text{C}$ の水になるのに用いられる。このとき単位質量あたりに必要な熱量を融解熱<sub>冰</sub>といふ。氷の融解熱を $q [\text{J}/\text{g}]$ とすると、熱量の保存より、

$$66800 = 200q$$

$$\therefore q = 334 \text{ J/g}$$

5 の答 ⑦

#### 熱量の保存

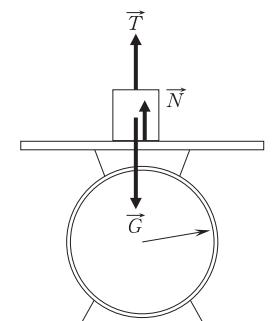
(高温物体が失った熱量)

= (低温物体が得た熱量)

## 第2問 力のつりあい・力学的エネルギー

A

問1 台はかり上の小物体にはたらく力は、次図のように、鉛直下向きにはたらく重力と鉛直上向きにはたらく台はかりからの垂直抗力と鉛直上向きにはたらく糸からの張力の3力である。さらに、小物体は静止していて、力のつりあいが成り立っているので、矢印の長さは、 $|\vec{T}|$ と $|\vec{N}|$ の和と $|\vec{G}|$ が等しくなっている。



6 の答 ③

問2 上図において、垂直抗力の大きさを $N$ とすると、力のつりあいは、

$$N + xg - mg = 0$$

$$\therefore N = (m - x)g$$

一方、作用・反作用の法則より、台はかりが小物体から押される力の大きさは $N$ に等しく $(m - x)g$ である。

よって、台はかりの表示値は、 $m - x$  [kg]

#### 作用・反作用の法則

2 物体が力を及ぼしあうとき、同一作用線上で等しい大きさの力が、互いに逆向きにはたらく。

7 の答 ④

問3 糸を水平にして、力を加え小物体が静止しているとき、小物体にはたらく力は、次図のようになる。糸を引く力の大きさを  $F$ 、静止摩擦力の大きさを  $f$ 、垂直抗力の大きさを  $N$  とすると、力のつりあいは、

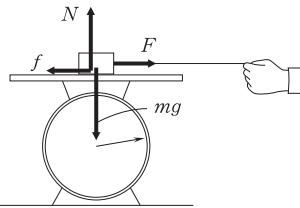
$$\text{水平方向: } F - f = 0$$

$$\text{鉛直方向: } N - mg = 0$$

$$\text{よって, } N = mg \text{ (一定)}$$

$$f = F$$

台はかりの表示値は  $m$  で 変わらない。



$F$  は 0 から大きくしていくので、静止摩擦力の大きさ  $f$  は、最大摩擦力になるまで、大きくなる。

■8 の答 ③

B

問4 自然長から  $A$  だけ縮んでいるばねの弾性力による位置エネ

ルギー(弾性エネルギー)は、 $\frac{1}{2}kA^2$  と表される。

■9 の答 ⑥

問5 小物体は、ばねが自然長になったときに離れるので、力学的エネルギー保存の法則は、

$$\frac{1}{2}m \cdot 0^2 + \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k \cdot 0^2$$

$$\therefore v = A \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ばねから離れたあと的小物体について、力学的エネルギー保存の法則は、

$$\frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot 0 = \frac{1}{2}m \cdot 0^2 + mgh$$

$$\therefore h = \frac{v^2}{2g}$$

■10 の答 ⑥

問6 問5より、 $h = \frac{v^2}{2g} = \frac{kA^2}{2mg}$

質量を  $2m$  としたときに、斜面上で小物体の速さが 0 となる位置の水平面からの高さを  $H$  とすると、力学的エネルギー保存の法則は、

$$\frac{1}{2} \cdot 2m \cdot 0^2 + \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot 0^2 + 2mgH$$

$$\therefore H = \frac{kA^2}{4mg}$$

よって、

$$\frac{H}{h} = \frac{1}{2} \text{ 倍}$$

■11 の答 ②

#### 最大摩擦力

滑りが生じる直前にはたらく静止摩擦力で、その大きさは  $\mu N$  である。

$\mu$ : 静止摩擦係数

$N$ : 垂直抗力の大きさ

#### 力学的エネルギー保存の法則

運動エネルギーと位置エネルギーの和を力学的エネルギーといい、重力や弾性力などの保存力のみが仕事をするとき、力学的エネルギーは保存される。

===== 化学基礎 =====

## 【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	<input type="checkbox"/> 1	<input type="radio"/> ③	3		
		<input type="checkbox"/> 2	<input type="radio"/> ⑥	3		
	問2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="radio"/> ④	3		
	問3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="radio"/> ①	4		
	問4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="radio"/> ④	4		
	問5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="radio"/> ③	4		
	問6	<input type="checkbox"/> 7	<input type="radio"/> ①	4		
第1問 自己採点小計				(25)		
第2問	問1	<input type="checkbox"/> 8	<input type="radio"/> ⑤	3		
	問2	<input type="checkbox"/> 9	<input type="radio"/> ②	4		
	問3	<input type="checkbox"/> 10	<input type="radio"/> ⑤	4		
	問4	<input type="checkbox"/> 11	<input type="radio"/> ⑤	3		
	問5	<input type="checkbox"/> 12	<input type="radio"/> ②	4		
	問6	<input type="checkbox"/> 13	<input type="radio"/> ①	3		
	問7	<input type="checkbox"/> 14	<input type="radio"/> ②	4		
第2問 自己採点小計				(25)		
自己採点合計				(50)		

## 【解説】

### 第1問 物質の構成、物質の構成粒子、物質と化学結合、結晶

#### 問1 同素体、イオン化工エネルギー

a 同じ元素からなる単体で性質が異なるものを、互いに同素体という。選択肢のうち、単体の組合せであるものは、②と③であり、④の斜方硫黄とゴム状硫黄は、どちらも硫黄の単体で互いに同素体である。⑤のフッ素  $F_2$  と塩素  $Cl_2$  は、異なる元素からなる単体であり同素体ではない。なお、①  $^1H$  と  $^2H$  は互いに同位体、⑥一酸化炭素  $CO$  と二酸化炭素  $CO_2$  は異なる化合物、⑦水  $H_2O$  の固体である。⑧塩酸は塩化水素  $HCl$  の水溶液である。

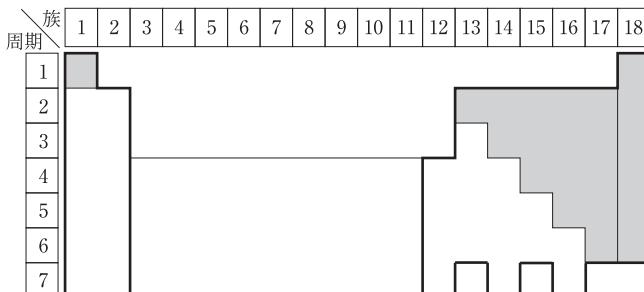
1 …③

b 第3周期に属する元素は  $Na$ ,  $Mg$ ,  $Al$ ,  $Si$ ,  $P$ ,  $S$ ,  $Cl$ ,  $Ar$  である。イオン化工エネルギーは、同一周期に属する元素では、1族の元素が最も小さく、18族の元素が最も大きい。よって、第3周期に属する元素では、⑨ $Ar$  が最大である。

2 …⑨

#### 問2 周期表

下図の  で示されている領域に含まれる元素が非金属元素で、それ以外は金属元素である。なお、非金属元素はすべて典型元素(図中の太線内の元素)に属する。



3 …④

#### 問3 組成式

酸素は非金属元素であり、①～⑨の元素はすべて金属元素である。一般に、陽性の強い金属元素と陰性の強い非金属元素の原子どうしはイオン結合によって化合物をつくる。酸素は2価の陰イオン  $O^{2-}$  になるので、酸化物  $M_2O$  で金属  $M$  は1価の陽イオン  $M^+$  になっている。

周期表の1族のアルカリ金属の原子は1価の陽イオンになりやすい。したがって、正解は① $Na$  で、その酸化物は酸化ナトリウム  $Na_2O$  である。②, ④, ⑨はいずれも2族の元素で、2価の陽イオンになり、酸化物の組成式はそれぞれ  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $BaO$  である。③ $Al$  は3価の陽イオンになり、酸化物の組成式は  $Al_2O_3$  である。

## 【ポイント】

#### 同素体

同じ元素からなる単体で性質が異なるものを互いに同素体という。

S(斜方硫黄、单斜硫黄、ゴム状硫黄)

C(ダイヤモンド、黒鉛)

O(酸素  $O_2$ 、オゾン  $O_3$ )

P(黄リン、赤リン)

#### 同位体

原子番号が等しく、質量数が異なる原子どうし。つまり、陽子の数が等しく、中性子の数が異なる原子どうし。

#### イオン化工エネルギー(第一イオン化工エネルギー)

原子から電子1個を取り去って1価の陽イオンにするときに必要なエネルギー。この値が小さい原子ほど、陽イオンになりやすい。

#### イオン結合

陽イオンと陰イオンの静電気力(クーロン力)による結合。

#### イオンからなる物質の組成式

イオン結晶は全体として電気的に中性なので、次の関係が成立する。

陽イオンの価数×陽イオンの数

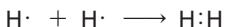
=陰イオンの価数×陰イオンの数

る。

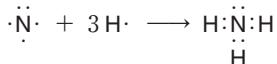
4 ⋯①

#### 問4 共有結合

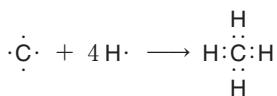
- ① 水素  $H_2$  では、水素原子  $H$  の 1 個の不対電子を共有して 1 組の共有電子対をつくっている。



- ② アンモニア  $NH_3$  では、窒素原子  $N$  の 3 個の不対電子と  $H$  の 1 個の不対電子で、あわせて 3 組の共有電子対をつくっている。



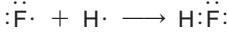
- ③ メタン  $CH_4$  では、炭素原子  $C$  の 4 個の不対電子と  $H$  の 1 個の不対電子で、あわせて 4 組の共有電子対をつくっている。



- ④ 水  $H_2O$  では、酸素原子  $O$  の 2 個の不対電子と  $H$  の 1 個の不対電子で、あわせて 2 組の共有電子対をつくっている。



- ⑤ フッ化水素  $HF$  では、フッ素原子  $F$  の 1 個の不対電子と  $H$  の 1 個の不対電子で 1 組の共有電子対をつくっている。



したがって、共有結合に関係している電子が 4 個ある分子は、2 組の共有電子対をもつ④水である。

5 ⋯④

#### 問5 結晶

- ① 正しい。多数の構成粒子が規則正しく配列している固体を結晶という。イオン結晶では構成する陽イオンと陰イオンが、金属結晶では金属原子が、分子結晶では分子が、共有結合の結晶では非金属原子が、いずれも規則正しく配列している。なお、粒子が規則正しく配列していない固体もあり、これを非晶質(アモルファス)という。

- ② 正しい。物質の成分元素の原子の数を最も簡単な整数比で表した化学式を組成式という。イオン結晶や金属結晶など分子を構成しない物質の化学式は、組成式で表される。

- ③ 誤り。イオン結晶では、結晶を構成するイオンが決められた位置に固定され、自由に移動できないので、イオン結晶の固体は電気を導かない。金属結晶では、自由電子が結晶の中を移動できるので、金属は電気を導く。なお、イオン結晶も融解して液体になったり、水に溶けて水溶液になると、イオンが移動できるので、電気を導く。

- ④ 正しい。イオン結晶は、陽イオンと陰イオンの間にはたら

#### 共有結合

原子どうしが価電子を出しあい、互いに電子を共有してつくられる結合。

#### 不対電子

共有結合を形成する前の対になつていな電子。 $H$  には 1 個、 $C$  には 4 個、 $N$  には 3 個、 $O$  には 2 個、 $F$  には 1 個の不対電子がある。

#### 物質の種類と組成式、分子式

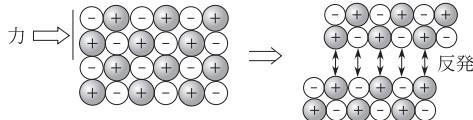
イオンからなる物質 → 組成式

金属 → 組成式

分子からなる物質 → 分子式

共有結合の結晶 → 組成式

くイオン結合が強いため硬いが、外から強い力を加え陽イオンと陰イオンの位置がずれると、同種のイオンどうしが反発し、割れる(劈開)。



⑥ 正しい。金属結晶は、外部から強い力を加えて原子どうしの位置関係が多少ずれても、自由電子によって原子間の結合が保たれるので、変形が可能である。たたくと薄く広がる性質を展性、また、引っ張ると伸びる性質を延性といい、いずれも金属の大きな特徴である。

6 …③

## 問6 金属

① 誤り。アルミニウム、鉄、銅はいずれも広く用いられている金属で、このうちで人類が最も早く利用したものは銅である。銅がその鉱石から得られるようになったのは、紀元前3000年以前といわれる。その後、銅とスズの合金である青銅が得られるようになり、石器時代から青銅器時代へ進んだ。鉄を鉱石から得るために、より高温にすることが必要であり、鉄が広範に利用されるようになったのは、銅よりも後である。アルミニウムは酸素などとの結合が極めて強いため製錬が困難で、鉱石であるボーキサイトからアルミニウムが工業的に得られるようになったのは19世紀後半である。

② 正しい。銅は、特有の赤みを帯びた金属で、金属単体中で銀について電気伝導性が高い。銀に比べて安価なので、電線などに大量に使われている。

③ 正しい。鉄は強度が大きいので、レールや建造物の鉄筋、鉄骨、機械製品の材料として広範に用いられている。また、ステンレス鋼などの合金の材料としても広く活用されている。

④ 正しい。アルミニウムは銀白色の軟らかく、軽い金属である。鉄の密度が $7.9\text{ g/cm}^3$ であるのに対し、アルミニウムの密度は $2.7\text{ g/cm}^3$ で鉄よりも軽い。

⑤ 正しい。水銀の融点は $-39^\circ\text{C}$ で、常温で液体である唯一の金属である。なお、常温で単体が液体であるものは、水銀と臭素 $\text{Br}_2$ の二つである。

7 …①

## 第2問 化学量、酸と塩基、酸化還元

### 問1 原子量

マグネシウムには同位体 $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{25}\text{Mg}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ が存在し、それらの存在比をそれぞれ $x\%[10\%, 100-(10+x)=90-x\%]$ と

### 製錬

鉱石から金属を単体として取り出す操作。製錬が難しい金属ほど、その利用は遅れた。

### 元素の原子量

各同位体の相対質量と存在比から計算した原子の相対質量の平均値  
原子量 = (各同位体の相対質量×存在比)の総和



$\text{NaOH}$  の物質量は等しい。よって、必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積は等しい。

なお、 $\text{CH}_3\text{COOH}$  は弱酸であるが、中和によって  $\text{H}^+$  が消費されると次式の反応が次第に右に進んでいく。



その結果、中和点では  $\text{CH}_3\text{COOH}$  のすべてが  $\text{NaOH}$  と反応しているので、中和の量的関係に電離度は関係しない。

③ 正しい。水溶液中の水素イオンのモル濃度 $[\text{H}^+]$ と水酸化物イオンのモル濃度 $[\text{OH}^-]$ の大小関係で、その水溶液が酸性、中性、塩基性であるかが決まる。酸性の水溶液中では、 $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$  が成り立っている。

④ 正しい。水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  の水溶液は塩基性を示し、pHは7より大きい。水溶液を水で希釈すると、 $\text{NaOH}$  のモル濃度が小さくなるので、 $\text{OH}^-$  のモル濃度は小さくなり、pHは小さくなる。

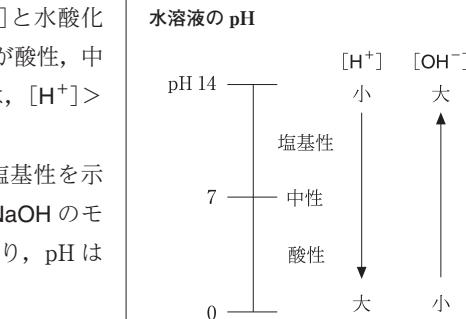
⑤ 誤り。炭酸水素ナトリウム  $\text{NaHCO}_3$  水溶液と水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  水溶液を混合すると、次の反応が起こる。



また、イオン反応式は、次式で表される。



よって、二酸化炭素は発生しない。



11 ⋯ ⑥

## 問5 中和滴定

この滴定における酸と塩基の量的関係は次のように考えることができる。



濃度未知の水酸化バリウム水溶液(水溶液X)20.0 mLを中和するために、0.10 mol/Lの希塩酸を $(40.0 + 4.0) = 44.0$  mL要している。HClは1価の酸、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は2価の塩基なので、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 水溶液(水溶液X)のモル濃度 $x$  [mol/L]とすると、

$$1 \times 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{44.0}{1000} \text{ L} = 2 \times x \text{ [mol/L]} \times \frac{20.0}{1000} \text{ L}$$

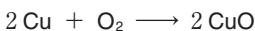
$$x = 0.11 \text{ mol/L}$$

12 ⋯ ②

## 問6 酸化と還元

物質が酸素と結びついたとき、その物質は酸化されたという。

銅線を空気中で加熱すると、銅は酸素と結びつく。



このとき、銅は酸化されている。

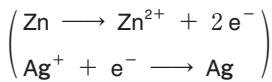
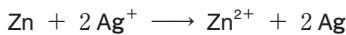
### 中和反応の量的関係

$$\begin{aligned} & (\text{酸の価数}) \times (\text{酸の物質量}) \\ & = (\text{塩基の価数}) \times (\text{塩基の物質量}) \end{aligned}$$

### 酸化と還元

酸化される	酸素を得る
酸素を失う	水素を失う
電子を失う	電子を失う
酸化数が増加する	酸化数が減少する
還元される	
酸素を失う	
水素を得る	
電子を得る	
酸化数が減少する	

物質が電子を失ったとき、その物質は酸化されたという。硝酸銀水溶液に亜鉛板を入れると、亜鉛が溶け出し、銀が析出する。



このとき、亜鉛は電子を失い、イ酸化されている。

物質が水素を失ったとき、その物質は酸化されたという。ヨウ素溶液に硫化水素を通じると、硫化水素は水素を失って硫黄になる。

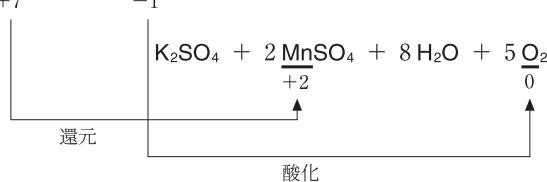
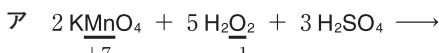


このとき、硫化水素はウ酸化されている。

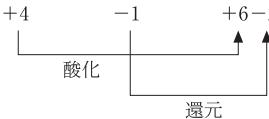
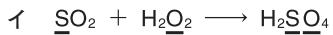
13 ⋯①

### 問7 酸化剤

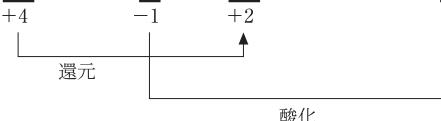
酸化還元反応ア～ウにおいて、下線を引いた原子の酸化数の変化を次に示す。



この反応で、 $\text{KMnO}_4$ は還元され、 $\text{H}_2\text{O}_2$ は酸化されている。よって、 $\text{H}_2\text{O}_2$ は還元剤としてはたらいている。



この反応で、 $\text{H}_2\text{O}_2$ は還元されている。よって、 $\text{H}_2\text{O}_2$ は酸化剤としてはたらいている。



この反応で、 $\text{HCl}$ は酸化されている。よって、 $\text{HCl}$ は還元剤としてはたらいている。

14 ⋯②

**酸化剤** 相手を酸化する物質。自身は還元されて、酸化数の減少する原子が含まれる。

**還元剤** 相手を還元する物質。自身は酸化されて、酸化数の増加する原子が含まれる。

==== 生物基礎 ====

【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点	
第1問	A	問1	1	①	3		
		問2	2	⑤	3		
	B	問3	3	③	3		
		問4	4	③	3		
		問5	5	②	3		
		問6	6	④	2		
第1問 自己採点小計				(17)			
第2問	A	問1	7	④	3		
		問2	8	③	3		
	B	問3	9	②	3		
		問4	10	①	3		
		問5	11	③	4		
	第2問 自己採点小計				(16)		
第3問	A	問1	12	②	2		
		問2	13	③	3		
		問3	14	⑤	3		
	B	問4	15	④	3		
		問5	16	①	3		
		問6	17	⑤	3		
第3問 自己採点小計				(17)			
自己採点合計				(50)			

## 【解説】

## 第1問 生物の多様性とタンパク質合成

Aでは生物の共通性に関する知識問題を、Bでは転写と翻訳に関する考察問題を出題した。

問1 現在の生物は単一の祖先から進化して生じた。このため、共通祖先から受け継いだ共通の特徴をもつ。こうした特徴の例として、「DNAを遺伝物質としていること」や「ATPをエネルギーの仲立ち物質としていること」などがあげられる。その後、生物はそれぞれ多様な環境に適応して、現在の多様な生物が生じた。したがって、①が正しい。

1 … ①

問2 生物がもつ共通の特徴としては、「細胞から成り立っていること」、「DNAを遺伝物質としていること」、「体内で代謝を行い、生じたエネルギーを用いて生命活動を営むこと」、「自己と同じ種類の子孫を残すこと」、「体内的状態を一定に保とうとする性質をもつこと」の五つをあげることができる。ウイルスは、下線部Aに示されているように、細胞から成り立っておらず、下線部Bに示されているように、連続的な化学反応である代謝を行うことができない。これらの点は生物の共通の特徴を備えていないことになる。一方、下線部Cに示されているように、DNAの遺伝情報をもとに子孫を残すことができる。この点は生物の共通の特徴を備えていることになる。このようにウイルスは生物の共通の特徴を一部だけ備えているので、生物と無生物の中間的な存在であると考えられている。

2 … ⑥

問3 DNAの塩基配列がRNAの塩基配列に書き取られる過程を転写とよび、RNAの塩基配列をもとにタンパク質が合成される過程を翻訳とよぶ。なお、DNA→RNA→タンパク質の一方向に遺伝情報が流れることをセントラルドグマとよぶ。

3 … ③

問4 mRNAのCAUの塩基配列と相補的なDNAの塩基配列は、GTAである。この配列を図1から探すと、下側のヌクレオチド鎖にあることがわかる(下図の灰色の部分)。下側の鎖の塩基配列を転写して合成されたmRNAの塩基配列も下図に示す。

DNA — G C G T T C C C T C A T A G G T T A G A C G A A —  
— C G C A A G G G A G T A T C C A A T C T G C T T —  
  
mRNA — G C G U U C C C U C A U A G G U U A G A C G A A —  
→ 翻訳の方向

CAUの配列(上図の下線部)がアミノ酸に対応するので、左側から右側へ翻訳が進行することがわかる。

4 … ③

問5 図1の塩基配列を転写したmRNAは24個の塩基を含む。mRNAの連続する3個の塩基が1個のアミノ酸を指定し、CAUの配列がアミノ酸に対応することから、このmRNAの塩基配列

## 【ポイント】

現在の生物は単一の共通祖先から進化した。

## 生物の共通の特徴

- ・細胞からなる。
- ・DNAを遺伝物質とする。
- ・代謝を行う。
- ・子孫を残す。
- ・体内的状態を一定に保とうとする性質をもつ。

## 遺伝情報の流れ

DNA → RNA → タンパク質  
転写      翻訳

## セントラルドグマ

遺伝情報は、DNA→RNA→タンパク質の一方向に流れる。

mRNAの3個の塩基の配列が1個のアミノ酸を指定する。

を「アミノ酸を指定する3個の塩基」ごとに区切ると次のようになる。

—G C G/U U C/C C U/C A U/A G G/U U A/G A C/G A A—

したがって、図1のDNAに対応する部分のアミノ酸は8個である。

5 ⋯②

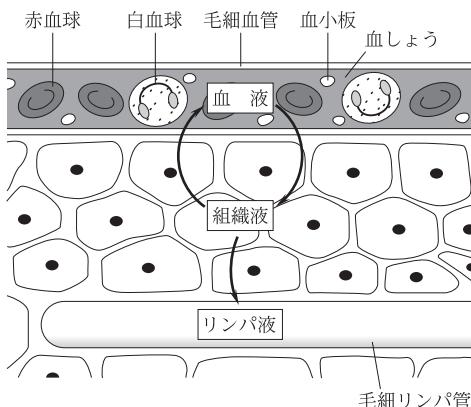
問6 タンパク質を構成するアミノ酸の種類は20種類である。3個のアミノ酸が直鎖状に結合する場合、アミノ酸の配列としては $20 \times 20 \times 20 = 20^3$ 種類があり得る。

6 ⋯④

## 第2問 体液の循環と免疫

Aでは体液とその循環に関する知識問題を、Bでは獲得免疫に関する知識問題と考察問題を出題した。

問1 ヒトの体液は、下図のように、血管内を流れる血液、組織の細胞を浸す組織液、リンパ管内を流れるリンパ液に分けられる。



①血液は、液体成分である血しょうと、有形成分である赤血球、白血球、血小板とからなり、血しょうが血液の重さの約55%を占めているので、正しい。

②組織の細胞間に存在する組織液は、血しょうの一部が毛細血管の壁からしみ出たものであるで、正しい。

③組織液は、血液によって運ばれてきた酸素や栄養分、ホルモンなどを細胞へ供給し、二酸化炭素や尿素などの老廃物を細胞から受け取る役割をもつ。組織液の大部分は毛細血管に戻るが、一部はリンパ管内に入ってリンパ液となるので、正しい。

④リンパ液は、組織液の一部がリンパ管内に入ったものであり、白血球の一種であるリンパ球を多く含み、免疫において重要な役割を担う。リンパ管は心臓の右心房につながるのではなく、心臓の近くの鎖骨下静脈につながるので、誤りである。

7 ⋯④

問2 ①動脈は、静脈よりも筋肉の層が発達しており、心臓から送り出される血液がもつ高い血圧に耐えることができる。静脈には血液の逆流を防ぐための弁が存在するが、動脈には弁は存在しな

ヒトの体液

血液、組織液、リンパ液

血液

血管内を流れる体液

有形成分(45%)：赤血球、白血球、血小板

液体成分(55%)：血しょう

組織液

組織の細胞間に存在する体液。  
血しょうの一部が毛細血管の壁からしみ出たもの

リンパ液

リンパ管内を流れる体液。組織液の一部がリンパ管に入ったもの。リンパ液は鎖骨下静脈で血液と合流する。

動脈：血管壁が厚く、弁がない。

静脈：血管壁が薄く、弁がある。

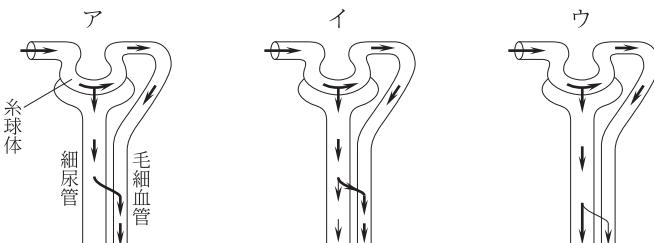
いので、誤りである。

②心臓を出て肺へ向かう血液が流れる肺動脈には酸素の少ない静脈血が流れ、肺を出て心臓へ戻る血液が流れる肺静脈には酸素を多く含む動脈血が流れているので、誤りである。

③食物中の炭水化物やタンパク質はグルコースやアミノ酸まで分解され、小腸で吸収された後、肝門脈を通って肝臓へ送られる。肝臓では、グルコースやアミノ酸がグリコーゲンやタンパク質に合成されて貯えられる。このため、食後に肝門脈を流れる血液には、肝静脈を流れる血液よりもグルコースやアミノ酸が多く含まれるので、正しい。

④腎臓では、腎動脈から送り込まれた血液が糸球体からボーマンのうへろ過され原尿となる。原尿は細尿管(腎細管)へ送られ、グルコースはすべて(下図のア), 無機塩類は大部分(下図のイ)が周囲の毛細血管に再吸収される。一方、原尿中の尿素は約60%が再吸収されずに排出される(下図のウ)。このため、尿素は腎動脈を流れる血液よりも腎静脈を流れる血液中の方が少なくなるので、誤りである。

8 …③



問3 免疫には、自然免疫とよばれるしくみと、獲得免疫とよばれるしくみがある。下表は、自然免疫と獲得免疫の違いをまとめたものである。

肺動脈：静脈血が流れる。

肺静脈：動脈血が流れる。

肝門脈

グルコースなどの栄養分を多く含む血液が流れる。

	自然免疫	獲得免疫
おもに関与する細胞	好中球 マクロファージ	T細胞, B細胞 樹状細胞 マクロファージ
異物に対する応答	非特異的	特異的
応答するまでの時間	短い (0~24時間)	長い (最初は7~10日)
異物に対する攻撃力	毎回同じ	2回目以降は増大

獲得免疫は、抗原を取り込んだ**樹状細胞**やマクロファージが抗原の一部を細胞表面に提示し、この情報をヘルパーT細胞が認識することによってはじまる。獲得免疫は、抗体が関与する**体液性免疫**と、抗体が関与しない**細胞性免疫**に分けられる。

9 …②

問4 次ページの図は、体液性免疫のしくみを模式的に示したもの

免疫 { 自然免疫  
獲得免疫 { 体液性免疫  
細胞性免疫

である。図の①～④はそれぞれ下記の解説に対応している。

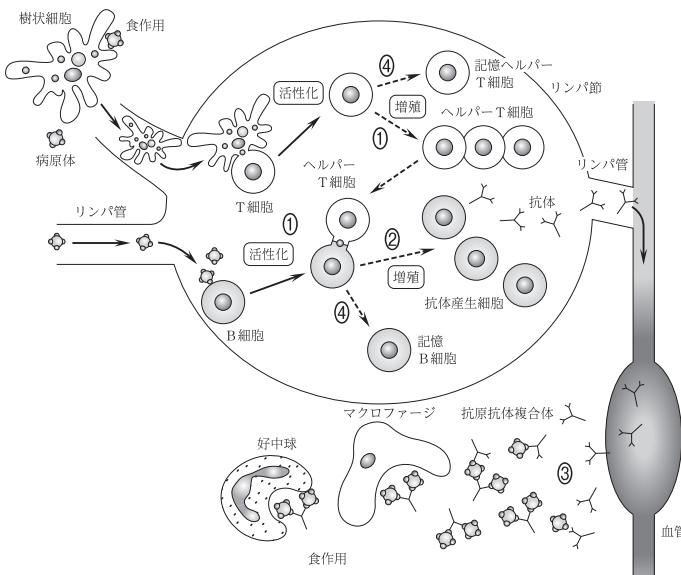
①抗原情報を受け取ったヘルパーT細胞は活性化して増殖し、特定のB細胞を活性化するとともに、その一部は免疫記憶細胞として体内に残るが、ヘルパーT細胞がキラーT細胞に分化することはないので、誤りである。

②ヘルパーT細胞によって活性化されたB細胞は、抗体産生細胞に分化し、抗体を産生するので、正しい。

③抗体は免疫グロブリンとよばれるタンパク質で、特定の抗原と結合し、抗原抗体複合体を形成するので、正しい。

④活性化されたヘルパーT細胞やB細胞の一部は、免疫記憶細胞として体内に残るので、正しい。

10 …①



問5 ①試験管オ～クでは、毒素X溶液と血清と生理食塩水の総量は3.0mLであり、毒素X溶液の量は1.0mLである。各試験管における毒素Xの濃度はすべて同じであるので、誤りである。

②試験管力と試験管キを比較すると、試験管力の方が毒素Xに対する抗体の量が多くなく、試験管内に抗体と結合していない毒素Xが多く残っている。このため、試験管力の方が溶血の程度が大きくなるので、誤りである。

③同じ抗原が再び侵入すると、問4で解説したように免疫記憶細胞が体内に残っているので、これが直ちに増殖して、短時間に多量の抗体を産生する二次応答が起こる。そのため、同量の血清中に含まれる毒素Xに対する抗体の量は、血清Iよりも血清IIの方が多い。試験管キと試験管クに含まれている血清はどちらも1.0mLであるが、試験管キの方が毒素Xに対する抗体の量が少なく、試験管内に抗体と結合していない毒素Xが多く残っている。このため、試験管キの方が溶血の程度が大きくなるので、正

#### 二次応答

免疫記憶細胞のはたらきにより、抗原の1回目の侵入に対する免疫反応(一次応答)より速やかに強い免疫反応が起こる。

しい。

④試験管クと試験管オを比較すると、試験管クには毒素Xに対する抗体が含まれているが、試験管オには毒素Xに対する抗体が含まれていない。このため、試験管オの方が溶血の程度が大きくなるので、誤りである。

上に記した試験管オ～クの違いを、下の表にまとめた。

	オ	カ	キ	ク
毒素X溶液(mL)	1.0	1.0	1.0	1.0
生理食塩水(mL)	2.0	1.5	1.0	1.0
血清I(mL)	0	0.5	1.0	0
血清II(mL)	0	0	0	1.0
試験管に含まれる 毒素Xに対する抗体の量	0	少	→	多
抗体と結合していない 毒素Xの量	多	←	少	
溶血の程度	大	←	小	

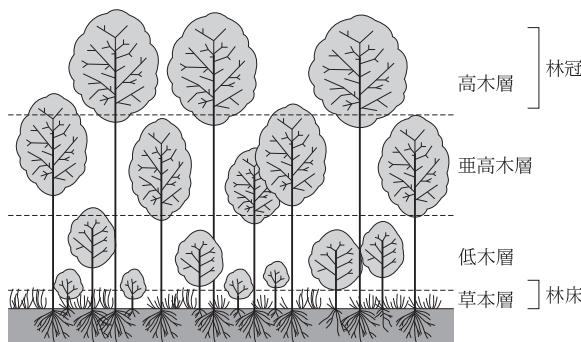
11 …③

### 第3問 森林植生と地球温暖化

Aでは森林植生に関する知識問題を、Bでは地球温暖化に関する考察問題を出題した。

問1 地球上には、その地域の気候に適応した形態をもった植生が発達している。植生を構成する植物のうち、占有する面積(被度)が最も大きい種を優占種とよび、優占種がその植生の外観である相観を決定する。また、各植生に対応してバイオーム(生物群系)が形成され、バイオームは相観によって森林、草原、荒原に大別される。発達した森林では、森林を構成する植物の高さによって、高木層、亜高木層、低木層、草本層がみられ、これを階層構造とよぶ(下図)。

12 …②



問2 ①高木層の樹木が茂っている部分がつながりあって形成される森林の外表面を林冠とよび、地表に近い部分を林床とよぶ(上

優占種

植生を構成する植物のうち、占有する面積(被度)が最も大きい種

階層構造

高木層、亜高木層、低木層、草本層などからなる森林を構成する層状の構造

林冠

高木層の樹木が茂った部分がひとつつながりになった森林の外表面  
林床

森林の地表に近い部分

図)。林冠が発達すると、高木層の葉に日光が多く吸収され、林床に届く光量が減少して林床の照度は低下するので、正しい。

②樹木が茂っている部分では植物が光合成を行うことで酸素濃度が高くなる。一方、土壤中には分解者が数多く存在し、分解者が呼吸を行うことで地表の酸素濃度が低くなるので、正しい。

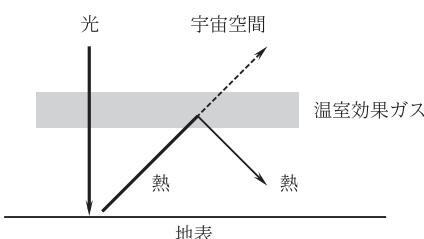
③植物が蒸散を行うと、水が気化する際に熱が吸収されるため、気温は低下するので、誤りである。

④ミズは体内で有機物(腐植質)と土壤を混ぜて排泄することで、土壤に团粒構造をつくる。土壤の粒子が团粒構造を形成すると、土壤の通気性や保水力が高まるので、正しい。 **[13] ⋯③**

問3 土壤は、風化した岩石と有機物が混ざり合って形成される。

森林の土壤には地上部から落葉、落枝が供給され、これらが堆積して分解が進行する層(力)が形成される。その下には、落葉、落枝が分解されて生じた有機物(腐植質)と、風化した岩石が混ざり合う層(工)が形成される。さらにその下には、有機物が存在しない層(才)が存在する。 **[14] ⋯⑥**

問4 太陽から地球に届く光エネルギーは地表で熱のエネルギーとなり、地表から宇宙空間に放出される。二酸化炭素やメタン、フロンなどは、地表から放出された熱のエネルギーを吸収し、再び地表に放出することで地表や大気の温度を上昇させる(下図)。この作用を温室効果とよび、二酸化炭素、メタン、フロンなどを温室効果ガスとよぶ。 **[15] ⋯④**



問5 ①植物の呼吸量は気温の影響を受けるので、一年周期で変化する。夏は気温が高いので呼吸量が大きくなるため、二酸化炭素の排出量は多く、冬は気温が低いので呼吸量が小さくなるため、二酸化炭素の排出量は少なくなる。したがって、二酸化炭素濃度は夏に上昇し、冬に低下するはずである。しかし、設問文には「二酸化炭素濃度は冬に上昇し、夏に低下する」と記されているので、二酸化炭素濃度の一年周期の変動は呼吸量の変化によるものではなく、誤りである。

②植物の光合成量は気温や光量の影響を大きく受ける。夏は光合成量が大きいため二酸化炭素吸収量が多く、冬は光合成量が小さいため二酸化炭素吸収量が少ない。その結果、二酸化炭素濃度は夏に低下し、冬に上昇するので、正しい。

③長期的な二酸化炭素濃度の上昇の原因の一つとして、化石燃

腐植質

落葉、落枝が分解されて生じる有機物

温室効果

地表から放出された熱のエネルギーを温室効果ガスが吸収し、再び地表に放出することで地表や大気の温度を上昇させる作用

温室効果ガス

温室効果をもつ二酸化炭素、メタン、フロンなどの気体

---

料の燃焼があげられる。化石燃料として長期間地下に蓄積されていた炭素が、最近の100年ほどで大量に燃やされ、二酸化炭素として大量に空気中に放出されているので、正しい。

④長期的な二酸化炭素濃度の上昇の原因の一つとして、森林伐採があげられる。森林の減少によって光合成量が減少すると、二酸化炭素の吸収量が減少するので、正しい。 16 …①

問6 問5で解説したように、一年周期の二酸化炭素濃度の変動のおもな原因是、光合成量の季節変化である。南極は植物量が極端に少なく、二酸化炭素濃度の一年周期の変動はほとんどみられない。また、亜熱帯域にあるハワイは植物量が多いが、一年中気温が高く光合成速度の変化が小さいため、二酸化炭素濃度の一年周期の変動は小さい。それに対して、温帶域の岩手県は気温の年間の変動が大きく光合成速度の変化が大きいため、二酸化炭素濃度の一年周期の変動が大きくなる。 17 …⑥

---

地学基礎

【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答 考 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	[1]	③	3		
	問2	[2]	②	4		
	問3	[3]	②	3		
第1問 自己採点小計			(10)			
第2問	問1	[4]	④	3		
	問2	[5]	①	4		
	問3	[6]	⑥	3		
第2問 自己採点小計			(10)			
第3問	問1	[7]	④	4		
	問2	[8]	④	3		
	問3	[9]	③	3		
第3問 自己採点小計			(10)			
第4問	問1	[10]	④	4		
	問2	[11]	①	3		
	問3	[12]	③	3		
第4問 自己採点小計			(10)			
第5問	問1	[13]	①	3		
	問2	[14]	⑥	4		
	問3	[15]	③	3		
第5問 自己採点小計			(10)			
自己採点合計			(50)			

## 【解説】

### 第1問 地球の大きさと形

地球の大きさを最初に測定したエラトステネスの測定法と、地球が橢円体の特徴について出題した。

**問1** 最初に地球の大きさを測定したと伝えられているのはエラトステネス(ア)である。地球を球形と仮定して、子午線(経線)に沿った断面を考えてみよう。2地点間の距離と両地点の中心角から地球全周の長さを求めることができる。

シェネでは夏至の日に太陽が真上に南中する(南中高度は $90^\circ$ )ことが知られていた。シェネとほぼ同一子午線上の北に位置するアレキサンドリアでは、太陽がほぼ同時刻に、真上から南へ $7.2^\circ$ の位置に南中する(南中高度は $82.8^\circ$ )。図1-1に示されるように、この南中高度(1)の差は $\theta=7.2^\circ$ であり、アレキサンドリアとシェネの中心角と等しい。

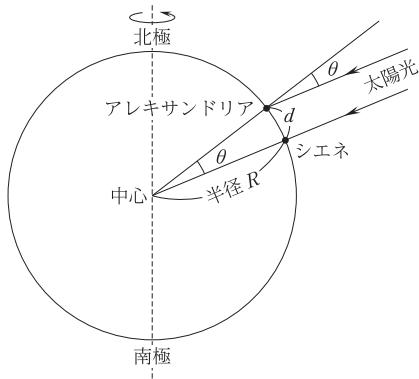


図1-1 エラトステネスの測定法

したがって、地球の半径を $R$ 、2地点間の距離を $d$ 、南中高度の差を $\theta$ とすると、

$$\theta : 360^\circ = d : 2\pi R \text{ (地球全周)}$$

$$2\pi R = \frac{360 \times d}{\theta}$$

となり、全周を求めることができる。

アリストテレスは、月食のとき月に映る地球の影が円形であることから地球の形状が球であることを唱えた学者である。

1 ⋯③

**問2** 千葉市と秋田市はともに東経 $140^\circ$ なので、同一子午線上にあることがわかる。両地点の緯度差は、

$$39.4 - 35.4 = 4^\circ$$

地球の北極点と赤道の緯度差は $90^\circ$ で、子午線の長さは、

$1000 \times 10^4 \text{ m} = 10000 \text{ km}$  であるから、両地点間の距離を $x \text{ km}$  とすると、

## 【ポイント】

### 地球橢円体

地球の形と大きさに最も近い回転橢円体。

### エラトステネス

紀元前3世紀、初めて地球の大きさを測定。

$$4^\circ : 90^\circ = x : 10000$$

$$x \approx 444 \text{ (km)}$$

2 ⋯②

問3 自転による遠心力の影響により、地球が赤道方向に膨らんだ回転楕円体であることを唱えたのはニュートンである。これを検証するために、フランスの学士院は、高緯度地域と低緯度地域で、緯度差  $1^\circ$ あたりの子午線の長さを測定した。図1-2で示されるように、緯度差が  $1^\circ$ の地点では、両地点での鉛直線のなす角が  $1^\circ$ となる。両地点の子午線の長さは、地表面のわん曲が緩やかである方が長く、わん曲が急なところほど短くなる。実際の測定でも、高緯度ほど長い( $d > d' > d''$ )ことが確認され、これにより、地球は、赤道半径が極半径より大きい回転楕円体であることが確認された。

3 ⋯②

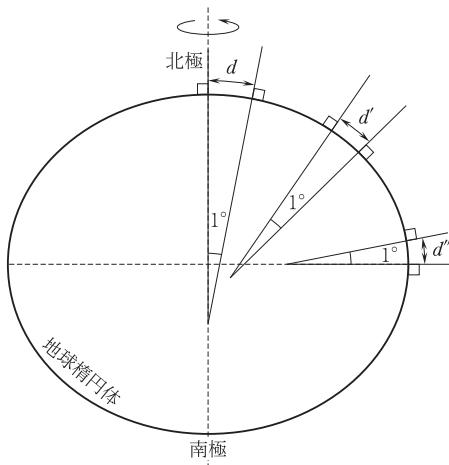


図1-2 緯度差  $1^\circ$ あたりの子午線の長さ

## 第2問 火成岩

火成岩について地学基礎で最低限おさえておくべきところは、

- ・岩石の組織と造岩鉱物の違いによる火成岩の分類
- ・ $\text{SiO}_2$ 質量%，色指数(算出方法も含む)による火成岩の分類
- ・産状
- ・造岩鉱物の種類と性質

の4点である。覚えてしまえば得点しやすい分野なので、積極的に取り組んでほしい。

問1 火成岩はマグマが冷却し固化した岩石で、冷却速度が岩石の組織に反映される。ゆっくり冷却すれば、各鉱物が大きく成長した等粒状組織になる。等粒状組織を示す火成岩はマグマ溜りなどの地下深いところで形成されるので、「深成岩」という。一方、地表や海底に噴出したり、地表近くまで貫入したマグマは急冷するので、各鉱物が成長する間もなく固化する。こうして形成された火成岩は、ある程度成長した鉱物である斑晶(ア)のまわりを

### 地球楕円体の証拠

緯度差  $1^\circ$ あたりの子午線の長さが高緯度ほど長い。

### 火成岩

マグマが固化した岩石の総称。

### 等粒状組織

各鉱物が大きく成長した組織。ガラスなどは含まない。

### 深成岩

マグマがゆっくり冷却して固化した火成岩。等粒状組織を示す。

小さな鉱物やガラスからなる石基(イ)がとりまく斑状組織(ウ)を形成する。斑晶はマグマ溜り内などでゆっくり冷却したときに晶出した鉱物であり、石基はマグマが地表などで急冷・固化する過程で形成されたものである。また、ガラスは結晶構造をもてないまま固まったものである。こうした斑状組織を示す火成岩を「火山岩」という。図2-1に等粒状組織(花こう岩)と斑状組織(玄武岩)を示す。

4 …④

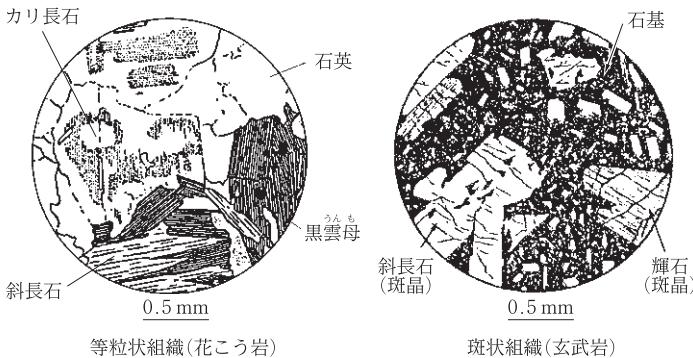


図2-1 火成岩の組織

問2 火成岩の主要造岩鉱物は、 $\text{SiO}_4$ 正四面体を骨格とした構造をもつケイ酸塩鉱物で、各鉱物の結晶構造や組成は異なる。よって、鉱物に含まれる  $\text{SiO}_2$  の割合も異なるので、造岩鉱物の組合せが岩石全体に占める  $\text{SiO}_2$  の質量%に反映される。そこで火成岩は  $\text{SiO}_2$  の質量%が小さい順に、超苦鉄質岩(超塙基性岩)、苦鉄質岩(塙基性岩)、中間質岩(中性岩)、珪長質岩(酸性岩)に大きく分類されている。これと岩石の組織による分類を組合せて、火山岩は「玄武岩」、「安山岩」、「流紋岩」に、また、深成岩は「かんらん岩」、「斑れい岩」、「閃綠岩」、「花こう岩」に分けられる(図2-2)。

火成岩を構成する造岩鉱物は、大きく有色鉱物と無色鉱物に分けられる。有色鉱物は鉄やマグネシウムを含んでいるために色が濃く、「かんらん石」、「輝石」、「角閃石」、「黒雲母」がこれにあたる。無色鉱物は鉄やマグネシウムを含まないために色が薄く、「斜長石」、「カリ長石」、「石英」がこれにあたる。 $\text{SiO}_2$ の質量%が小さい火成岩ほど、有色鉱物の割合が大きいため全体的に色が濃い。有色鉱物が含まれる割合を色指数といい、岩石に対して有色鉱物が占める体積%を数値で表したものである。おもに深成岩を分類するための指標の一つとして用いられている。図2-2はこうした火成岩の分類と造岩鉱物の量比との関係を表したものである。どの教科書にも出ている図なので、しっかり覚えてほしい。

### 火山岩

マグマが急冷・固化した火成岩。斑状組織を示す。

### 斑状組織

斑晶のまわりを石基が取り囲んでいる組織。

### 斑晶

斑状組織のなかで、ある程度の大きさに成長している鉱物。マグマ溜り内などでゆっくり冷却して形成されたもの。

### 石基

斑晶の間を埋める小さい鉱物とガラス。地表付近または、地表に噴出し、急冷して形成されたもの。

### おもな有色鉱物

かんらん石、輝石、角閃石、黒雲母

### おもな無色鉱物

斜長石、カリ長石、石英

### 有色鉱物の成分

鉄やマグネシウムを含む。

### 色指数

岩石中に占める有色鉱物の体積%。

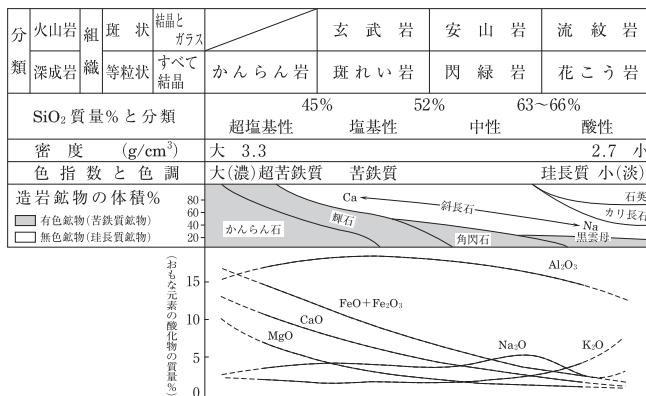


図 2-2 火成岩の分類と性質

なお図 2-2 より、火成岩 A は石英、斜長石、カリ長石、黒雲母を含む白っぽい岩石なので珪長質岩、火成岩 B はかんらん石、輝石、斜長石を含む黒っぽい岩石なので苦鉄質岩である。

したがって、火成岩 A の方が SiO<sub>2</sub> の質量%が大きいので①は正しい。

②の色指数は珪長質岩の方が小さい。これは、石英やカリ長石、斜長石といった無色鉱物を多く含むためである。したがって、火成岩 A の方が火成岩 B より色指数が小さく、誤りである。

③の密度は、有色鉱物を多く含む苦鉄質岩の方が大きい。これは、有色鉱物の方が無色鉱物より比重の大きな元素を多く含むためである。よって、SiO<sub>2</sub> の質量%が小さい火成岩ほど密度が大きくなる。したがって、火成岩 A の方が火成岩 B より密度が小さく、誤りである。

④の鉄やマグネシウムは、有色鉱物に含まれるので、苦鉄質岩の方が多く含まれる。したがって、火成岩 A の方が火成岩 B より鉄やマグネシウムを含む割合が小さく、誤りである。 [5] …①

**問 3** 図 2-2 に示したように、火成岩 A は珪長質の深成岩なので花こう岩、火成岩 B は苦鉄質の火山岩なので玄武岩である。岩石名を判別するために図 2-2 を覚えることはとても大切である。ただし、実際に偏光顕微鏡で観察したときに正しく図に当てはめることができなければ意味がない。まず斑状組織と等粒状組織を識別できること、次に造岩鉱物の種類(有色・無色鉱物の割合)から珪長質～苦鉄質のどこに該当する火成岩なのかを見極められることが必要である。 [6] …⑥

### 第 3 問 地質柱状図

地質柱状図から、その地域に起こった地質現象を読み取ることができる。

**問 1** この地域においては地層の逆転がないので、「上位の地層の方が下位の地層よりも新しい」という地層累重の法則が成立す

#### 火成岩の密度

SiO<sub>2</sub> が少ない岩石ほど密度が大きい。

#### 地層累重の法則

地層の逆転がないかぎり、上位の地層ほど新しい。

る。

a 不整合と判断する条件は、下の四つである。

- I. 上位層と下位層の間に堆積の中斷があった。  
II. 上位層と下位層の地層の傾斜が異なる。  
III. 上位層の最下部に下位層の礫を含む礫岩層(基底礫岩層)  
がある。
- IV. 侵食を示す凹凸面がある。

図1中の**C**層は示準化石である紡錘虫(フズリナ)を含むことから古生代、**B**層はカヘイ石(ヌンムリテス)を含むことから新生代に形成されたと推定され、両者の堆積の間には中斷があったことがわかる(I)。また、**B**層の最下部には**C**層の石灰岩を含む基底礫岩層が見られる(III)ことからも、両者が不整合の関係で接していることがわかる。したがって、正しい記述である。

b **C**層の最下部は**D**岩体と接触することで接触変成岩になっている。石灰岩が接触変成作用を受けると、結晶質石灰岩(大理石)になるので、ホルンフェルスという点が誤りである。ちなみにホルンフェルスは泥岩などが接触変成作用を受けて形成される変成岩である。

c **D**岩体は火成岩であり、化石を含むことはないので、誤りである。したがって、「正、誤、誤」の組合せである④が正解である。

7 …④

問2 地層累重の法則より、この地域における地層**A**層、**B**層、**C**層は、下位から、**C**層 → **B**層 → **A**層の順であることがわかる。また、**C**層は古生代、**B**層は新生代の化石を含んでいることからも地層形成の順序が推定される。

**D**岩体は約2億年前、つまり中生代に形成した岩体であるから、**C**層(古生代)より新しく、**B**層(新生代)より古い。よって、この地域では、古生代に**C**層が堆積し、中生代に**D**岩体が貫入し、その後**B**層・**A**層の順に堆積が行われたことがわかる。したがって、正解は④である。

8 …④

問3 **C**層に含まれる紡錘虫は、古生代後期(石炭紀・ペルム紀)の示準化石である。

① アノマロカリスやオパビニアなどのバージェス動物群は古生代カンブリア紀に繁栄していたが、古生代初期のうちに絶滅しているので適当ではない。

② ティラノサウルスなどの大型の恐竜が繁栄していたのは中生代なので、古生代後期の**C**層の堆積の時代と同時代ではない。

③ リンボク・ロボクなどの大型のシダ植物が繁茂していたのは、石炭紀・ペルム紀である。したがって、③が正解である。

④ 最初の人類サヘラントロップス・チャデンシスが出現したのは約700万年前の新生代新第三紀である。したがって、**C**層の堆積と同時代ではない。

9 …③

## 不整合

上下に重なる地層の堆積の間に長期間の中斷があるとき、その上下の地層の関係を不整合といい、その境界面を不整合面という。

## 示準化石

地層の堆積の地質時代を推定するのに役立つ化石。

古生代(5.4億～2.5億年前)

バージェス動物群

三葉虫、クックソニア

紡錘虫(フズリナ)

リンボク・ロボク・フワインボク

中生代(2.5億～6600万年前)

アンモナイト、三角貝(トリゴニア)

恐竜

新生代(6600万年～現在)

カヘイ石(ヌンムリテス)、

デスマストルス、ビカリア、

サヘラントロップス・チャデンシス

## 接觸変成岩

変成前の岩石によってくる。

泥岩 → ホルンフェルス

石灰岩 → 結晶質石灰岩(大理石)

## 最初の人類

サヘラントロップス・チャデンシス

新生代新第三紀 約700万年前に出現

## 第4問 地球のエネルギー収支

地球のエネルギー収支について、温室効果を含めて出題した。本問では、熱平衡の理解と地球のエネルギー収支、温室効果の関わりといった基本事項の確認がテーマである。

**問1** 地球のエネルギー収支は、宇宙におけるエネルギー収支、大気におけるエネルギー収支、地表におけるエネルギー収支が、それぞれの部分でつり合っている。これを熱平衡といい、熱平衡が成り立っているときは、どの部分も気温が一定に保たれている。

図4-1は宇宙、大気、地表で吸収するエネルギーを正、放射や放出するエネルギーを負(マイナス記号)として問題の図1に加えたものである。よって、どの領域でもエネルギーの和は0になる。

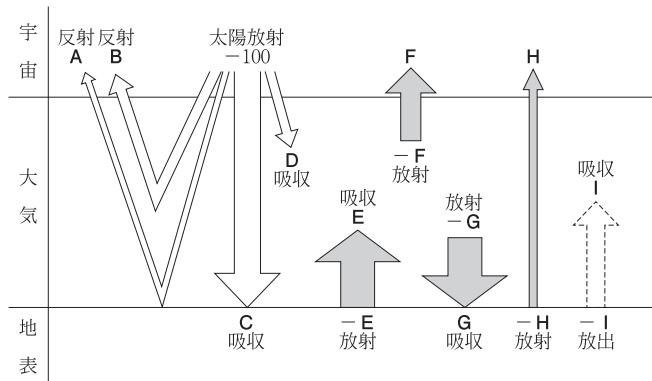


図4-1 地球のエネルギー収支



まず宇宙では、太陽放射は宇宙から地球にエネルギーを放射するので負となる。よって $-100$ となる。宇宙は地球から反射として**A**と**B**、放射として**F**と**H**のエネルギーを受け取るので

$$A + B + F + H - 100 = 0 \text{ より},$$

$$A + B + F + H = 100$$

となる。つまり、①は宇宙におけるエネルギー収支である。

次に大気では、**D**、**E**、**I**が吸収するエネルギー、**F**と**G**が放射するエネルギーなので

$$D + E + I - F - G = 0 \text{ より},$$

$$D + E + I = F + G$$

となる。つまり、④が大気におけるエネルギー収支で、これが正解である。

地表では、**C**と**G**が吸収するエネルギー、**E**と**H**が地表から放射するエネルギー、**I**は水の蒸発や伝導によって地表から大気に移動するエネルギーである。よって、

### 熱平衡

地球が吸収したエネルギー量と放射したエネルギー量のつり合い。

### 太陽放射

太陽から放射されるエネルギー。

最も強いのは可視光線。短波放射ともいわれる。

$$C + G - E - H - I = 0 \text{ より},$$

$$C + G = E + H + I$$

となる。つまり、③は地表におけるエネルギー収支である。

なお、エネルギー **A** と **B** を合わせた 31 % は、大気や地表が反射する太陽放射エネルギーの割合を表す。これをアルベド(反射率)といい、地球は残る約 70 % のエネルギーを吸収している。

**F** と **H** は、地球から出でていくエネルギーで、これを地球放射という。地球放射は赤外線なので直接ヒトの目には見えない。よって、気象衛星による夜間の画像は、赤外線を写したものである。また、晴れた日の早朝に気温が大きく下がる放射冷却は、夜間に地表から放出した赤外線が、通常より多く宇宙に直接放出されるために起こる現象である。つまり、私たちも間接的には地球放射を見たり感じたりしているのである。

また、**I** は水の蒸発や伝導による熱であり電磁波ではない。水が蒸発するときに吸収し、水蒸気が凝結して雲になるときに放出するエネルギーを潜熱という。伝導と対流によって移動するエネルギーを顕熱という。潜熱は状態変化を伴い、顕熱は状態変化を伴わない。

10 …④

問2 図4-2は、図4-1の各エネルギーの大きさを、地球へ入射する太陽放射を100としたときの割合で示したものである。

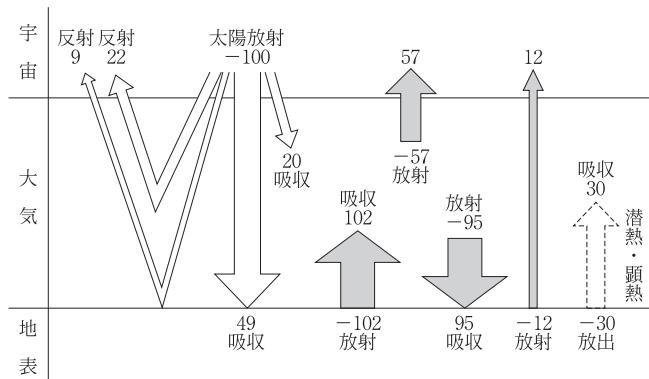


図4-2 地球のエネルギー収支の割合

太陽放射のうち 31 % が反射され、20 % が大気や雲に吸収されるので、地表が吸収する太陽放射は残る 49 % になる。よって、**ア**

$$\frac{49}{100} \div \frac{1}{2} \text{ となる。}$$

大気は、地表からの放射を吸収し、宇宙と地表の双方に放射するので、地表は大気からもエネルギーを吸収する。このため地表の温度が上昇し、地表からは吸収する太陽放射以上のエネルギーが放出される。これが温室効果である。現在の地表付近の平均気温は約 15 ℃ であるが、これは大気が無いと仮定した場合と比べると約 30 ℃ 高い状態にある。つまり、地表が大気および宇宙に

### アルベド(反射率)

エネルギーを反射する割合。

地球は 31 % を反射するので、アルベドは 0.31 である。

### 地球放射

地球から放射されるエネルギー。

赤外線であり、波長の長い電磁波であるため、長波放射ともいわれる。

### 潜熱

蒸発や凝結といった状態変化に伴い吸収や放出される熱。

### 地表が吸収する太陽放射

地表が受ける太陽放射は大気上端の約半分である。

### 温室効果

大気は可視光線を透過させるが、地球放射である赤外線は吸収するため、大気にエネルギーが蓄積し気温が上がる現象。

### 地表付近の平均気温

約 15 ℃

放出するエネルギー量は、地表で吸収された太陽放射のエネルギー量より大きい(イ)ことになる。なお、実際に地表から大気に放射されるエネルギーは 102 である。これだけでも地表が受け取る太陽エネルギー(49)の約 2 倍のエネルギーを放出していることになる。

11 …①

### 問3 温室効果に関する確認問題である。

① 夜間でも地表からの放射があるので、大気はこの放射を吸収する。これが夜間の急激な気温低下を防ぎ、気温を安定させている。したがって、夜間でも温室効果ははたらいているので、誤りである。

② 温室効果は、大気がおもに赤外線を吸収するために起こる現象である。逆に可視光線は透過する割合の方が大きい。したがって、誤りである。

③ 大気中で特に赤外線をよく吸収する成分は、水蒸気、二酸化炭素、メタン、フロンなどである。これらを温室効果ガスといい、この成分が増えると温室効果が強くなり、地表付近の気温が上昇する。したがって、正しい。

④ 地球上に大量に存在する石灰岩や化石燃料は、長い時間をかけて大気中の二酸化炭素が固定されたものである。よって、地球の歴史から見れば、二酸化炭素濃度は増減をくり返しながら全体としては低下しており、これに合わせて温室効果も低下している。温室効果が 18 世紀にはじまったわけではないので、誤りである。

問題なのは、産業革命以降の工業化による二酸化炭素濃度の上昇が、自然変化とは比較にならないほど速いという点である。過度の温室効果により、自然界に影響を与えるのが地球温暖化である。

12 …③

## 第5問 太陽系

太陽系を構成する天体は、太陽をはじめ、惑星、彗星、小惑星、太陽系外縁天体などがある。今回は惑星の形成とその特徴、彗星の軌道について出題した。太陽系の天体の名称や特徴をしっかり整理し理解しておこう。

問1 太陽は、約 46 億年前に主として水素・ヘリウムからなる星間物質の特に濃集した部分が自らの重力で収縮し、形成された。残りの星間物質は、原始太陽の周囲を回転し、原始太陽系星雲を形成した。この星雲中の固体微粒子から微惑星と呼ばれる直径 1 km～10 km の天体が形成された。そして微惑星が衝突・合体をくり返し、原始惑星が形成された(図 5-1)。

### 温室効果ガス

二酸化炭素、水蒸気、メタン、フロンなどの赤外線をよく吸収する成分。

### 地球温暖化

化石燃料の燃焼によって大気中の二酸化炭素濃度が急速に増加し、地球全体の気温が上昇すること。

### 太陽系

太陽とそのまわりを運動する天体の集まり。

### 微惑星

原始太陽系星雲中の固体微粒子から形成された惑星の材料となった直径 1 km～10 km の天体。岩石・金属や氷からなる。

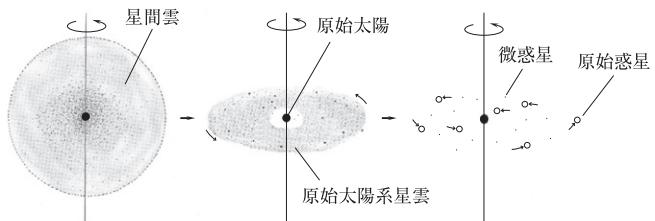


図 5－1 原始惑星の形成

微惑星の組成は、太陽からの距離により異なる。太陽に近い領域では、星間物質中に含まれている水・メタンなどの融点の低い成分は蒸発、飛散してしまい、融点の高い岩石・金属などからなる微惑星が形成された。それらから形成される原始惑星は質量が小さく、岩石・金属からなる。このため、太陽に近い領域で形成された地球型惑星は小型の「岩石惑星」になったと考えられている。一方、太陽から遠い領域では、星間物質として岩石・金属成分の他に、固体の水・メタンも集まったため、微惑星の成分は岩石・金属の他に氷などが含まれた。その結果、太陽から遠い領域では微惑星の数が多くなり、それらから形成される原始惑星の質量も大きくなり、原始太陽系星雲中の水素・ヘリウムを引きつけるのに十分な重力をもった。したがって、太陽から遠い領域で形成された木星型惑星は表層部に大量の水素とヘリウムをもつ「巨大ガス惑星」になったと考えられている。なお、**ア**の微惑星の組成について、ヘリウムは、星間ガスとしては水素に次いで多く存在するが、通常の宇宙空間ではガスの状態で固体にならず、微惑星の主成分にはならないため誤りである。**イ**の微惑星の大きさは1 km～10 kmである。直径1000 kmは微惑星が衝突・合体した原始惑星の大きさになるので誤りである。したがって、正解は①となる。

**[13] …①**

**問2** 太陽系の八つの惑星は、地球型惑星と木星型惑星の2種類に分けられる。太陽に近い方から順に、地球型惑星が、水星、金星、地球、火星であり、木星型惑星が、木星、土星、天王星、海王星である。それぞれの共通の特徴を表5－1に示す。

#### 地球型惑星

水星・金星・地球・火星

#### 木星型惑星

木星・土星・天王星・海王星

表 5－1 地球型惑星と木星型惑星

	地球型惑星	木星型惑星
所属	水星・金星・地球・火星	木星・土星・天王星・海王星
直径(質量)	小	大
密度	大	小
衛星	0 または少ない	多い
環	なし	あり
自転周期	長い	短い
大気主成分	水星ーなし 金星・火星-CO <sub>2</sub> 地球-N <sub>2</sub> ・O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> ・He
偏平率	小	大

a～cの各文について考えると、

a 火星は、地球同様に自転軸が公転面の垂線から傾いているため季節の変化がある。

大気の主成分は二酸化炭素であるため、温室効果が強くはたらきそうであるが、表面における大気圧が地球の 100 分の 1 未満と小さいため温室効果は地球より弱い。また、地球より太陽からの距離が大きいため、受け取る太陽放射が小さい。よって、平均気温は地球より低温である。したがって、誤りである。なお、金星は地球より太陽からの距離が小さいうえに表面における大気圧が地球の 90 倍と大きく、大気の主成分が二酸化炭素であるため、温室効果が強くはたらく。よって、表面温度が地球より高い。

b 土星は、目立つ環(リング)をもつ惑星である。土星の環の写真を目にする機会も多いと思うが、その厚さは非常に薄いことが知られている。環の幅は約 7 万 km だが、厚みは数十 m～数百 m と考えられている。すなわち、幅に対して厚みは、大きく見積もっても 1 万分の 1 より小さい。このため、環と地球が同一平面にあるときに地球から土星を見ると、環が観測できなくなる。したがって、正しい。

c 天王星は、自転軸が公転面の垂線から大きく傾き、横倒しの状態になっている。よって、自転軸と公転面のなす角度は、0° に近い状態である。したがって、誤りである。

したがって、正誤は a～c の順に「誤、正、誤」となり、⑥が正解となる。

[14] …⑥

問3 彗星は、氷やドライアイスを主成分とした小天体である。太陽に近づくと表面の成分が温められて蒸発し、太陽放射や太陽風に吹き流された塵やイオンが尾となり、太陽と反対方向にのびる。彗星は、太陽系の外縁部から橭円や放物線の軌道を描いて太陽に近づくと考えられている。この条件を満たしているのは⑦で

### 火星

四季の変化があり、地表には液体の水が存在した痕跡がある。希薄な二酸化炭素を主成分とした大気をもつ。

### 土星

太陽系の中で、密度が最も小さい惑星。目立つ環をもつ。

### 彗星

氷やドライアイスを主成分とする小天体。橭円や放物線の軌道を運動し、太陽に近づくと太陽と反対方向に尾が発達する。

---

ある。①と②は、彗星の公転軌道が円軌道であることから誤りであり、④は、尾が太陽と反対方向に出ていないことから誤りである。

15 ⋯③

---

物 理

【解答・採点基準】

(100点満点)

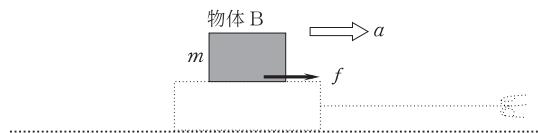
問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1		1	⑥	4	
	問2		2	②	4	
	問3		3	④	4	
	問4		4	④	4	
	問5		5	④	4	
	問6		6	⑤	4	
第1問 自己採点小計				(24)		
第2問	A 問1		7	②	4	
	A 問2		8	④	4	
	A 問3		9	③	5	
	B 問4		10	①	4	
	B 問5		11	②	4	
	B 問6		12	④	5	
第2問 自己採点小計				(26)		
第3問	A 問1		13	④	4	
	A 問2		14	⑤	4	
	A 問3		15	④	4	
	A 問4		16	③	5	
	A 問5		17	①	4	
	A 問6		18	②	4	
第3問 自己採点小計				(25)		
第4問	A 問1		19	③	4	
	A 問2		20	④	4	
	A 問3		21	⑥	5	
	B 問4		22	④	4	
	B 問5		23	③	4	
	B 問6		24	④	4	
第4問 自己採点小計				(25)		
自己採点合計				(100)		

## 【解説】

### 第1問 小問集合

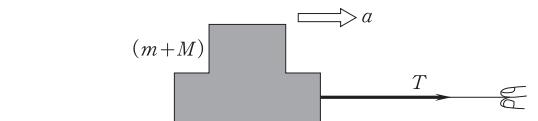
問1 加速度の大きさを  $a$ 、糸の張力の大きさを  $T$  とする。物体Bの運動方程式は、

$$ma=f \quad \cdots ①$$



物体Aと物体Bを一体(1つの物体)と考えたときの運動方程式は、

$$(m+M)a=T \quad \cdots ②$$



①、②式より  $a$  を消去して、

$$T=\frac{m+M}{m}f$$

1 の答 ⑥

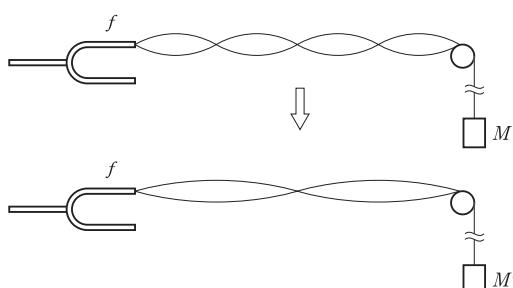
問2 求める運動エネルギーを  $K$  とする。ゴムひもは自然の長さから  $x$ だけ伸びていて、重力の位置エネルギーは  $mg(\ell+x)$  だけ減少したので、力学的エネルギー保存の法則より、

$$K+\frac{1}{2}kx^2=mg(\ell+x)$$

$$\therefore K=mg(\ell+x)-\frac{1}{2}kx^2$$

2 の答 ⑧

問3 音さの振動数を  $f$ 、初めのおもりの質量を  $M$ 、腹の数が2個の定常波が生じるときのおもりの質量を  $M'$  とする。隣り合う節の間の距離が波長の半分なので、次図のように、腹の数が2個の定常波が生じるときの波長は、腹の数が4個のときの波長の2倍である。



## 【ポイント】

### 運動方程式

$$Ma=F$$

$M$  ; 質量

$a$  ; 加速度

$F$  ; 合力

物理

### 力学的エネルギー保存の法則

運動エネルギーと位置エネルギーの和を力学的エネルギーといい、重力や弾性力などの保存力のみが仕事をするとき、力学的エネルギーは保存される。

### 定常波

互いに逆向きに進む、振動数、波長、振幅が等しい波が干渉すると、波形が進まない波ができる。そのような波を定常波という。最も大きく振動するところを腹といい、振動しないところを節という。隣り合う節の距離(腹の距離)は半波長に等しい。

弦の張力はおもりにはたらく重力に等しいので、弦を伝わる横波の速さを、 $k\sqrt{\text{おもりの質量}}/f$  ( $k$  は正の定数) とおく。波の基本公式より、

$$\frac{\text{(後の波長)}}{\text{(初めの波長)}} = 2 = \frac{k\sqrt{M'}/f}{k\sqrt{M}/f} = \sqrt{\frac{M'}{M}}$$

$$\therefore \frac{M'}{M} = 4 \text{ 倍}$$

3 の答 ④

問4 小球の質量を  $m$ 、等速円運動の速さを  $v$  とする。円運動の速さは変わらず、円運動の半径が  $\ell$  から  $\frac{2}{3}\ell$  に変わるので、糸の張力と遠心力のつり合いより、

$$\frac{T'}{T} = \frac{mv^2/\frac{2}{3}\ell}{mv^2/\ell} = \frac{3}{2}$$

4 の答 ④

問5 单振動は等速円運動する物体の正射影と同じである。おもりの速さは、おもりが单振動の振動の中心  $\varphi$  を通過するとき最も大きく、おもりの加速度の大きさは、おもりが单振動の振動の両端  $\varphi$  にあるとき最も大きい。また、单振動の周期は、ばね振り子の周期の公式より、おもりの質量が大きい  $\omega$  ほど長い。

5 の答 ④

問6 求める力積の大きさを  $I$  とする。小球が受けた力積は小球の運動量の変化に等しい。左向きを運動量、力積の正方向とすると、

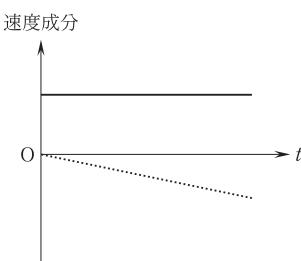
$$I = m \times \frac{2}{3}v - (-mv) = \underline{\underline{\frac{5}{3}mv}}$$

6 の答 ⑥

## 第2問 水平投射・剛体のつり合い

A

問1 台を飛び出して床に落下するまで、小球には鉛直下向きに重力だけがはたらく。したがって、 $x$  方向の速度成分は  $v_0$  のままで一定である。 $y$  方向は加速度  $-g$  の等加速度直線運動なので、 $y$  方向の速度成分は  $-gt$  となる。これより、グラフは次図のようになる。



7 の答 ②

### 波の基本公式

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

$v$  : 波の速さ

$f$  : 振動数

$T$  : 周期

$\lambda$  : 波長

### 遠心力

観測者が円運動するとき、物体にはたらく力

$$(遠心力) = m \frac{v^2}{r}$$

$m$  : 物体の質量

$v$  : 円運動の速さ

$r$  : 円運動の半径

### ばね振り子の周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$m$  : 物体の質量

$k$  : ばね定数

### 運動量

$$(運動量) = mv$$

$m$  : 物体の質量

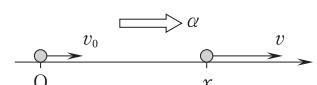
$v$  : 物体の速度

### 力積

$$(力積) = (\text{力}) \times (\text{時間})$$

$= (\text{運動量変化})$

### 等加速度直線運動



$$v = v_0 + \alpha t$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2\alpha x$$

$v_0$  : 初速度(時刻  $t=0$  での速度)

$v$  : 時刻  $t$  での速度

$\alpha$  : 加速度

$x$  : 変位

問2 台を飛び出して床に落下するまでの時間を  $t$  とする。

$x$  方向の運動について；

$$\ell = v_0 t$$

求める高さを  $H$  とすると、

$-y$  方向の運動について；

$$H = \frac{1}{2} g t^2$$

これら 2 式より  $t$  を消去して、

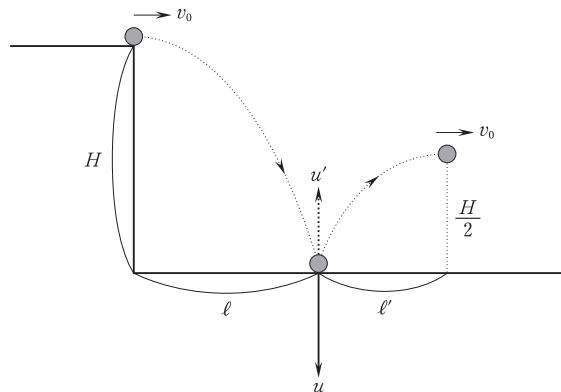
$$H = \frac{1}{2} g \left( \frac{\ell}{v_0} \right)^2 = \frac{g \ell^2}{2 v_0^2}$$

8 の答 ④

問3 小球が床に衝突する直前の  $-y$  方向の速度成分の大きさを  $u$  とする。等加速度直線運動の公式より、

$$u^2 - 0^2 = 2gH \quad \cdots ①$$

$$u = 0 + gt \quad \cdots ②$$



床に衝突してはね返った直後の  $y$  方向の速度成分の大きさを  $u'$ ，はね返ってから最高点に達するまでの時間を  $t'$  とする。最高点に達したとき， $y$  方向の速度成分は 0 なので、

$$0^2 - u'^2 = 2(-g) \frac{H}{2} \quad \cdots ③$$

$$0 = u' - g t' \quad \cdots ④$$

①, ③および②, ④式より、

$$\frac{u'}{u} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{t'}{t}$$

したがって、求める距離  $\ell'$  は、

$$\ell' = v_0 t' = v_0 \frac{t}{\sqrt{2}} = \frac{\ell}{\sqrt{2}}$$

9 の答 ③

B

問4 小球 P, Q にはたらく重力および棒にはたらく糸の張力の方向は鉛直方向なので、水平方向の力のつり合いより、棒の A 端が床から受ける力の水平成分は 0 である。したがって、棒の A

端が床から受ける力の向きは鉛直方向上向きである。

[10] の答 ①

問5 重心を点Gとする。重心は、小球Pと小球Qを結ぶ線分をP, Qの質量の逆比に内分する点である。よって、

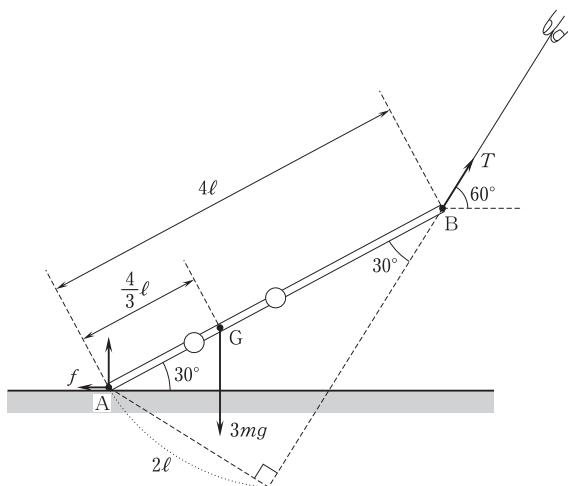
$$PG : QG = 1 : 2 \quad PG + QG = \ell$$

したがって、求める距離は、

$$\ell + PG = \ell + \frac{1}{3}\ell = \frac{4}{3}\ell$$

[11] の答 ②

問6 棒にはたらく力は次図のようになる。糸の張力の大きさをT, 求める摩擦力の大きさをfとする。



A端のまわりの力のモーメントのつり合いより、

$$T \times 4\ell \sin 30^\circ = 3mg \times \frac{4}{3}\ell \cos 30^\circ \quad \therefore \quad T = \sqrt{3} mg$$

よって、水平方向の力のつり合いより、

$$f = T \cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} mg$$

[12] の答 ④

### 第3問 気体の法則

A

問1 状態A→B; 压力一定で温度が上昇。**シャルルの法則**より体積が増加。

状態B→C; 温度一定で圧力が減少。**ボイルの法則**より、圧力と体積は反比例の関係にあり、体積は増加。

状態C→D; 圧力一定で体積が減少。

状態D→A; 体積一定で圧力が増加。

以上の状態変化を正しく表しているグラフは、次図のようになる。

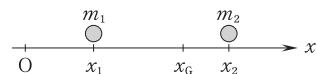
### 重心

物体の各部分にはたらく重力の合力の作用点で、重心のまわりの重力による力のモーメントはつり合っている。

質量  $m_1, m_2$  の2つの質点の重心は、

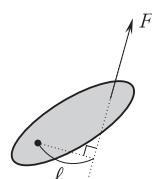
$$x_G = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

これは、2つの質点を結ぶ線分を質量の逆比に内分する点である。



### 力のモーメント

$$(力のモーメント) = F \times \ell$$



### シャルルの法則

気体の物質量と圧力が一定のとき

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

V: 体積

T: 絶対温度

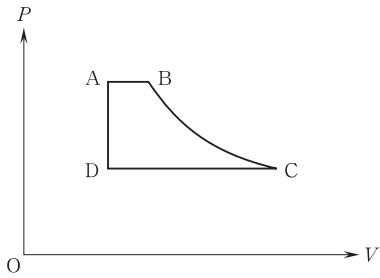
### ボイルの法則

気体の物質量と温度が一定のとき

$$PV = \text{一定}$$

P: 圧力

V: 体積



13 の答 ④

問2 求める体積を  $V_C$  とする。状態Cの圧力は  $P_0$ 、絶対温度は状態Bと同じ  $3T_0$  なので、状態Aと状態Cについてボイル・シャルルの法則より、

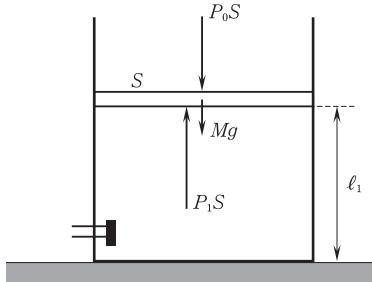
$$\frac{2P_0V_0}{2T_0} = \frac{P_0V_C}{3T_0} \quad \therefore V_C = \underline{3V_0}$$

14 の答 ⑤

B

問3 ピストンにはたらく力のつり合いより、

$$P_1S = P_0S + Mg \quad \therefore P_1 = P_0 + \underline{\frac{Mg}{S}}$$



15 の答 ④

問4 ピストンにはたらく力のつり合いより、

$$P_2 = P_0 \quad \therefore \underline{P_1 > P_2}$$

また、ボイルの法則より、

$$P_1S\ell_1 = P_2S\ell_2 \quad \therefore \ell_1 = \frac{P_2}{P_1}\ell_2 < \ell_2$$

よって、

$$\underline{\ell_1 < \ell_2}$$

16 の答 ③

問5 図1のときの気体の絶対温度を  $T_1$ 、図3のときの気体の絶対温度を  $T_3$ 、圧力を  $P_3$  とする。ピストンにはたらく力のつり合ひより、

$$P_3S + Mg = P_0S \quad \therefore P_3 = P_0 - \underline{\frac{Mg}{S}}$$

気体の体積が同じなので、ボイル・シャルルの法則より、

ボイル・シャルルの法則

気体の物質量が一定のとき

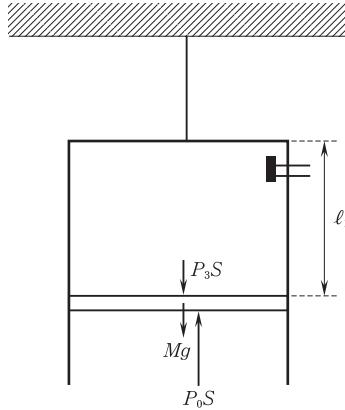
$$\frac{PV}{T} = \text{一定}$$

$P$  ; 圧力

$V$  ; 体積

$T$  ; 絶対温度

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_3}{T_3} \quad \therefore \quad \frac{T_3}{T_1} = \frac{P_3}{P_1} = \frac{P_0 - \frac{Mg}{S}}{P_0 + \frac{Mg}{S}} = \frac{P_0 S - Mg}{P_0 S + Mg}$$

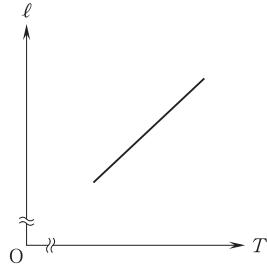


17 の答 ①

問6 ピストンにはたらく力のつり合いより、気体の圧力は  $P_3$  のまま一定である。シャルルの法則より、

$$\frac{Sl}{T} = \text{一定}$$

したがって、次図のように、 $\ell$  は  $T$  に比例するグラフになる。



18 の答 ②

#### 第4問 波の性質・干渉

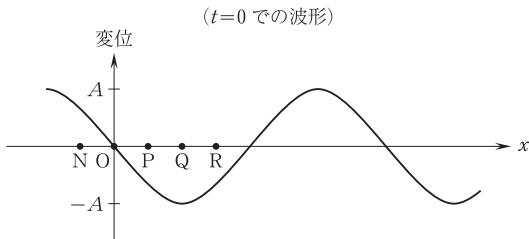
A

問1 図1より、波の波長は、 $\lambda=8d$ 、図2より、波の周期は  $T=2t_0$  であることが分かる。したがって、波の基本公式より、波の速さは、

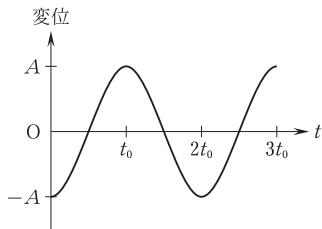
$$V = \frac{\lambda}{T} = \frac{8d}{2t_0} = \underline{\underline{\frac{4d}{t_0}}}$$

19 の答 ③

問2 図2より、原点Oでの波の変位は時刻  $t=0$  で0であり、その後正の方向へ変位を始めるので、時刻  $t=0$  での波形は次図のようになる。

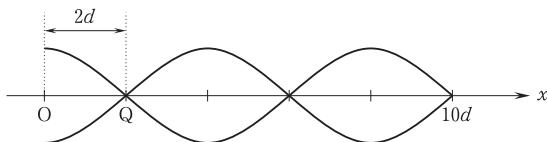


これより、時刻  $t=0$  で点 Q での波の変位は  $-A$  であることが分かる。したがって、点 Q での波の変位の時間変化は次図のようになる。



20 の答 ④

問 3 定常波の隣り合う腹と節の距離は、 $\frac{\lambda}{4}=2d$  である。 $x=0$  と  $x=10d$  の間に原点 O を腹とする定常波を描くと次図のようになる。



反射板の位置が定常波の節になっているので、波は反射板で固定端反射しており、点 Q は定常波の節になることが分かる。

21 の答 ⑥

B

問 4 求める波長を  $\lambda$  とする。 $S_1$  と  $S_2$  から逆位相の音が出ていて、点 P で音が強め合っているので、波の干渉条件より、

$$S_2P - S_1P = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

とおける。点 P は  $S_1$  と  $S_2$  からの距離の差が最小の強め合う点なので、 $m=0$  である。したがって、

$$S_2P - S_1P = 7.5 - 6.5 = \frac{1}{2}\lambda \quad \therefore \lambda = 2.0 \text{ m}$$

22 の答 ④

問 5 直線 OP 上で点 P より左側の任意の点を点 Q とする。点 Q で波が強め合うための波の干渉条件は、

$$S_2Q - S_1Q = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times 2$$

点 Q が点 P にあるとき、

#### 固定端反射

波が反射するとき、位相が半波長分ずれる。定常波が生じたとき、固定端は定常波の節となる。

#### 波の干渉条件

2つの波源が同位相のとき

強め合う条件；

$$(経路差) = m\lambda$$

弱め合う条件；

$$(経路差) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

2つの波源が逆位相のとき

強め合う条件；

$$(経路差) = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

弱め合う条件；

$$(経路差) = m\lambda$$

$m$  ; 整数

$\lambda$  ; 波長

$$S_2Q - S_1Q = 1 \text{ [m]}$$

点 Q が無限遠にあるとき,

$$S_2Q - S_1Q = 6 \text{ [m]}$$

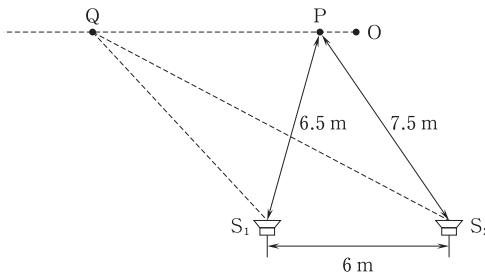
したがって,

$$1 \leq \left(m + \frac{1}{2}\right) \times 2 < 6$$

これより,  $m=0, 1, 2$

よって, 大きな音は 3 回聞こえる。

尚,  $S_1$  と  $S_2$  の間には, その中点を節とする定常波が生じている。大きな音が聞こえる位置を連ねた線は, 定常波の腹を通るので, 中点より左側にある腹の数  $\left(3 \div \frac{\lambda}{2} = 3 \div 1 = \underline{3}\right)$  として求めてよい。



23 の答 ③

問6 音速を  $V$  とし, 初めの振動数を  $f$  とすると, 波長は  $\lambda = \frac{V}{f}$

である。初め, 点 P で音が強め合っていたとき, 波の干渉条件は,

$$S_2P - S_1P = \frac{1}{2} \times \frac{V}{f}$$

音の振動数を徐々に大きくしていく, 再び音が大きくなったときの振動数を  $f'$  とすると, 波の干渉条件は,

$$S_2P - S_1P = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times \frac{V}{f'}$$

$f' > f$  なので,  $m + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$  である。したがって,

$$\frac{1}{2} \times \frac{V}{f} = \frac{3}{2} \times \frac{V}{f'} \quad \therefore \frac{f'}{f} = \underline{3} \text{ 倍}$$

24 の答 ④

化 学

【解答・採点基準】 (100点満点)

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	1	5	5	3		
		2	3	3	3		
	問2	3	5	5	4		
	問3	4	4	4	3		
		5	2	2	4		
	問4	6	1	1	4		
	問5	7	3	3	4		
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	問1	8	1	1	3		
		9	3	3	4		
	問2	10	3	3	4		
	問3	11	5	5	4		
	問4	12	5	5	3		
	問5	13	3	3	3		
		14	2	2	4		
第2問 自己採点小計				(25)			
第3問	問1	15	3	3	4		
	問2	16	4	4	3		
		17	4	4	4		
	問3	18	6	6	3		
		19	1	1	4		
	問4	20	4	4	3		
		21	1	1	4		
第3問 自己採点小計				(25)			
第4問	問1	22	1	1	3		
	問2	23	3	3	4		
	問3	24	2	2	4		
	問4	25	1	1	4		
	問5	26	5	5	3		
	問6	27	5	5	3		
		28	5	5	4		
第4問 自己採点小計				(25)			
自己採点合計				(100)			

化  
学

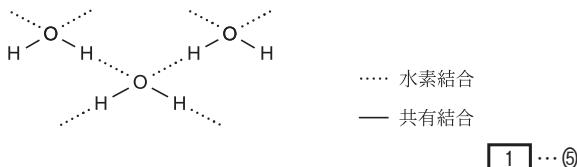
## 【解説】

### 第1問 周期表、化学結合と結晶、状態変化

#### 問1 水素結合、遷移元素

a 電気陰性度の大きいフッ素原子 F, 酸素原子 O, 窒素原子 N に結合した水素原子 H と, 直接共有結合していない F, O, N 原子とが, 静電気的に引きあって生じる結合を水素結合といふ。

① H<sub>2</sub>, ② H<sub>2</sub>S, ③ CO<sub>2</sub>, ④ CH<sub>4</sub>, ⑤ H<sub>2</sub>O, ⑥ HI のうち, ⑥ H<sub>2</sub>O は O-H の結合をもち, 分子間に水素結合を形成する。



b 遷移元素は, 周期表の 3~11 族に属する元素(図の   部)であり, ③Fe が該当する。

周期	族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1																			
2																			
3														B	C	O			
															Al				
4		Ca							Fe										
5																			
6																			

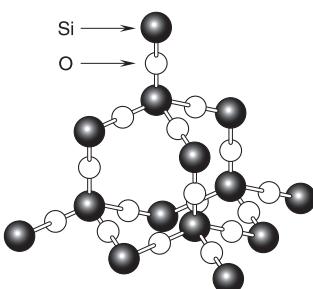
また, 周期表の 1, 2, 12~18 族に属する元素を典型元素といい, ①C(14 族), ②O(16 族), ④B(13 族), ⑥Ca(2 族), ⑥Al(13 族)が該当する。

なお, 遷移元素は原子番号 21 以降で現れるため, 選択肢の中では Fe 以外が原子番号 20 までの元素であることからも正答を判断することができる。

[2] ... ③

#### 問2 結晶

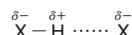
① 正しい。二酸化ケイ素 SiO<sub>2</sub> は, 多数のケイ素原子と酸素原子が共有結合で結びついた共有結合の結晶であり, 1 個のケイ素原子が 4 個の酸素原子と共有結合した正四面体形の構造がくり返されている。



## 【ポイント】

### 水素結合

電気陰性度の大きい原子(F, O, N)の間で, 水素原子を介して形成される結合。H-F, H-O, H-N の結合をもつ分子にはたらく。



(X は F, O, N のいずれかの原子, 一は共有結合, ..... は水素結合を表す)

### 典型元素

周期表 1, 2, 12~18 族の元素。非金属元素と金属元素が約半数ずつある。

### 遷移元素

周期表 3~11 族の元素。すべて金属元素である。

### 共有結合の結晶

多数の構成原子が互いに共有結合によって結合している結晶。

C(ダイヤモンド, 黒鉛), Si, SiO<sub>2</sub> など

なお、二酸化ケイ素に含まれる Si 原子と O 原子の数の比は 1 : 2 であり、組成式  $\text{SiO}_2$  で表される。

② 正しい。硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$  は、カルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$  と硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$  が静電気力(クーロン力)で結びついたイオン結晶である。イオン結晶中では、陽イオンによる正電荷と陰イオンによる負電荷がつりあっている。 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  の数の比は 1 : 1 であり、組成式  $\text{CaSO}_4$  で表される。

③ 正しい。金属元素である銅 Cu の単体は、金属結晶である。金属結晶は、展性(薄く広げられる性質)や延性(引き延ばされる性質)を示す。

④ 正しい。ヨウ素は、ヨウ素分子  $\text{I}_2$  がファンデルワールス力によって結びついた分子結晶である。分子結晶の中には、ヨウ素、ドライアイス、ナフタレンのように、加熱すると昇華するものがある。

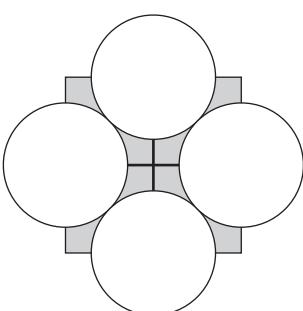
⑤ 誤り。ナトリウムの融点(97.7 °C)は、塩化ナトリウム(800 °C)の融点より低い。一般に、アルカリ金属の単体の融点は、金属の中でも低いことが知られている。

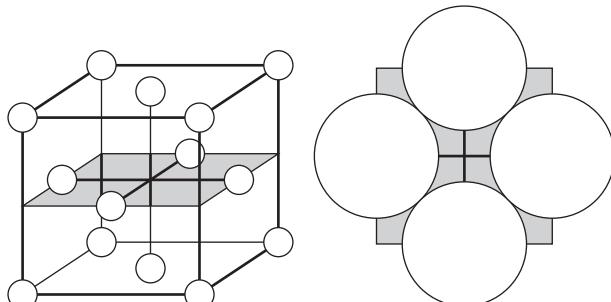
3 … ⑥

### 問 3 結晶格子

a ① 正しい。ナトリウム(図 1)の単位格子では、立方体の中心と各頂点に原子が位置しており、これを体心立方格子という。

② 正しい。アルミニウム(図 2)の単位格子では、立方体の各面の中心と各頂点に原子が位置しており、これを面心立方格子という。

③ 正しい。面心立方格子について、原子が配置している位置を小さい丸で表した次図の  部に着目すると、単位格子の中心には、原子が配置していない隙間になっていることがわかる。



よって、面心立方格子をとるアルミニウムの単位格子の中心には、原子が配置していない。

④ 誤り。1 個の原子の最も近くに位置する原子の数を、配位数という。面心立方格子の単位格子を 2 個並べた次図の  に着目すると、この原子の最も近くに位置する原子は  で示した 12

#### イオン結晶

イオン結合からなる結晶。

$\text{NaCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{CaSO}_4$  など

#### 金属結晶

金属結合からなる結晶。

#### 分子結晶

分子がファンデルワールス力や水素結合によって結合した結晶。

$\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{I}_2$  など

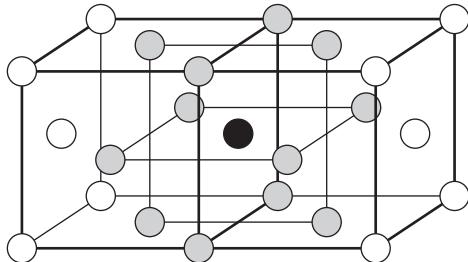
#### 金属結晶の構造

体心立方格子、面心立方格子、六方最密構造について、原子の配列は覚えておこう。

#### 配位数

1 個の原子の最も近くに位置する原子の数。

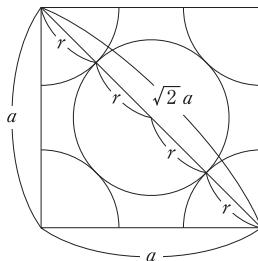
個である。よって、面心立方格子をとるアルミニウムの配位数は12である。



⑥ 正しい。体心立方格子の配位数は8、面心立方格子の配位数は12であり、面心立方格子の方が1個の原子により多くの原子が接している。このことは、体心立方格子より面心立方格子の方が、原子がより密に詰まっていることを意味する。なお、面心立方格子と六方最密構造は、原子がそれ以上密に詰まることができない構造であり、これを最密構造という。

#### [参考]

結晶中の空間のうち、原子が占める体積の割合を充填率といふ。例えば、面心立方格子では、単位格子の一辺の長さを $a$ 、原子の半径を $r$ とすると、 $4r = \sqrt{2}a$ すなわち $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ の関係が成り立つ。



また、単位格子中の各面には $\frac{1}{2}$ 個の原子、各頂点には $\frac{1}{8}$ 個の原子が含まれ、単位格子に含まれる原子の数は $\frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4$ 個である。よって、単位格子の体積に対する、単位格子に含まれる4個の原子の体積の割合が充填率となる。半径 $r$ の球の体積は $\frac{4}{3}\pi r^3$ で表されるので、

$$\begin{aligned} \text{充填率} &= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \times 4}{a^3} \times 100 \\ &= \frac{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3 \times 4}{a^3} \times 100 = \frac{\sqrt{2}}{6}\pi \times 100 \approx 74\% \end{aligned}$$

4 ⋯④

b ナトリウムは体心立方格子をとり、単位格子の中心に1個

#### 最密構造

原子が、それ以上密に詰まることができる原子の配列。面心立方格子と六方最密構造が最密構造である。

#### 充填率

結晶中の空間のうち、原子が占める体積の割合。

の原子、各頂点には  $\frac{1}{8}$  個の原子が含まれ、単位格子に含まれる原子の数は  $1 + \frac{1}{8} \times 8 = 2$  個である。

ナトリウムの原子量を  $M$  とすると、原子 1 個の質量は  $\frac{M [\text{g/mol}]}{N [\text{/mol}]}$  のように表される。単位格子の体積と単位格子に含まれる原子の質量から、

$$d [\text{g/cm}^3] = \frac{\frac{M [\text{g/mol}]}{N [\text{/mol}]} \times 2}{l^3 [\text{cm}^3]}$$

$$M = \frac{dl^3 N}{2}$$

5 …②

#### 問4 分子量と蒸発熱

蒸発熱は、液体を蒸発させて気体にするために必要な熱量であり、この熱は、液体の粒子間の結合を切って、粒子どうしを引き離すために用いられる。したがって、粒子間の結合力が強い物質ほど、蒸発熱は大きい傾向にある。

$F_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$  はすべて分子からなる物質であり、分子間にファンデルワールス力がはたらく。構造の似た分子では、一般に、分子量が大きいほどファンデルワールス力が大きく、蒸発熱も大きくなる。分子量は  $F_2 < Cl_2 < Br_2$  の順に大きくなるので、蒸発熱も  $F_2 < Cl_2 < Br_2$  の順に大きくなる。

6 …①

#### 問5 融解熱と比熱

0 °C の氷 18 g と 50 °C の水 42 g を混合して放置したとき、氷がすべて融け、温度が  $t$  [°C] になったとする。氷が融解するときや水の温度が上昇するときには、熱を吸収する。一方、水の温度が低下するときには、熱を放出する。よって、0 °C の氷 18 g が融解するときに吸収する熱量と温度が  $t$  [°C] に上昇するときに吸収する熱量の和が、50 °C の水 42 g の温度が  $t$  [°C] に低下するときに放出する熱量と等しくなる。

0 °C の氷 ( $H_2O$ , 18 g/mol) 18 g がすべて融解するときに吸収する熱量は、

$$6.0 \text{ kJ/mol} \times \frac{18 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 6.0 \text{ kJ}$$

また、0 °C の水 18 g が  $t$  [°C] に上昇するときに吸収する熱量は、

$$4.2 \text{ J/(g·K)} \times 18 \text{ g} \times t [\text{K}]$$

一方、50 °C の水 42 g が  $t$  [°C] に低下するときに放出する熱量は、

$$4.2 \text{ J/(g·K)} \times 42 \text{ g} \times (50 - t) [\text{K}]$$

したがって、次の式が成り立つ。

$$6.0 \times 10^3 + 4.2 \times 18 \times t = 4.2 \times 42 \times (50 - t)$$

#### ファンデルワールス力

分子間にはたらく弱い引力。

構造の似た分子では、分子量が大きいほどファンデルワールス力は大きい。

#### 比熱

物質 1 g の温度を 1 K 上昇させるためには必要な熱量。

比熱を  $c$  [J/(g·K)] とすると、 $m$  [g] の物質の温度が  $\Delta t$  [K] 上昇したときに物質が吸収した熱量  $Q$  [J] は、

$$Q = cm\Delta t$$

$t = 11.1^\circ\text{C} \doteq 11^\circ\text{C}$

7 ⋯③

## 第2問 気体、溶液、化学反応と熱

### 問1 気体

a 理想気体の状態方程式  $pV = nRT$  より、容器A内の酸素  $\text{O}_2$  (32 g/mol) の物質量は、

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{2.49 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L}}{8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \times (27 + 273) \text{ K}} \\ = 0.10 \text{ mol}$$

よって、その質量は、

$$32 \text{ g/mol} \times 0.10 \text{ mol} = 3.2 \text{ g}$$

8 ⋯①

b 気体の物質量と温度が一定のとき、気体の圧力と体積の積が一定となる。コックを開き、十分に時間が経ったときの窒素の分圧を  $p_{\text{N}_2}$  [Pa] とすると、 $pV = p'V'$  より、

$$1.60 \times 10^5 \text{ Pa} \times 3.0 \text{ L} = p_{\text{N}_2} [\text{Pa}] \times 4.0 \text{ L} \\ p_{\text{N}_2} = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

よって、答えは③になる。

なお、コックを開いたあとの酸素の分圧を  $p_{\text{O}_2}$  [Pa] とすると、同様に、

$$2.49 \times 10^5 \text{ Pa} \times 1.0 \text{ L} = p_{\text{O}_2} [\text{Pa}] \times 4.0 \text{ L} \\ p_{\text{O}_2} = \frac{2.49}{4.0} \times 10^5 \text{ Pa}$$

全圧は分圧の和に等しい(ドルトンの分圧の法則)ので全圧は、

$$\frac{2.49}{4.0} \times 10^5 \text{ Pa} + 1.2 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.82 \times 10^5 \text{ Pa} \doteq 1.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

9 ⋯③

### 問2 理想気体と実在気体

① 正しい。理想気体は、分子間力がはたらかないと仮定した気体である。

② 正しい。理想気体は、分子自身が占める体積が0と仮定した気体である。

③ 誤り。実在気体は、圧縮して圧力を大きくすると、単位体積あたりに存在する気体分子の数が多くなり、分子自身の体積の影響が大きくなる。よって、高圧になると、理想気体からのずれは大きくなる。

④ 正しい。実在気体は、温度を高くすると、分子の熱運動が激しくなり、分子間力の影響が小さくなる。このため、理想気体に近いふるまいをする。

⑤ 正しい。アンモニアは分子間にはたらく引力が水素よりも大きいため、標準状態における水素 1 mol の体積(22.42 L)よりも

#### 理想気体の状態方程式

理想気体では次の式が成り立つ。

$$pV = nRT$$

$p$ : 圧力,  $V$ : 体積,  $n$ : 物質量

$T$ : 絶対温度,  $R$ : 気体定数

#### ボイルの法則

温度、物質量が一定のとき、理想気体の体積は圧力に反比例する。つまり、圧力  $p$  と体積  $V$  の積は一定となる。

$$pV = k \quad (k \text{ は定数})$$

#### ドルトンの分圧の法則

混合気体の全圧は、その成分気体の分圧の和に等しい。

#### 理想気体

分子間力がはたらかず、分子自身の体積が0と仮定した気体を理想気体といいう。理想気体の状態方程式が完全に成り立つ。

#### 実在気体

分子自身の体積があり、分子間力がはたらくため、理想気体の状態方程式が厳密には成り立たない。

アンモニア 1 mol の体積(22.09 L)の方が小さくなる。

10 ⋯③

### 問3 凝固点降下

水溶液の凝固点は、純水に比べて低くなる。水溶液の凝固点降下度  $\Delta t$  [K] は、溶液の質量モル濃度 [mol/kg] に比例する。電解質溶液では、溶液中のすべての溶質粒子の質量モル濃度に比例する。電解質は完全に電離しているものとするので、**a** ~ **c** の溶質粒子の総質量モル濃度は次のようになる。

**a** 塩化カルシウムは電解質であり、水溶液中では次のように電離する。



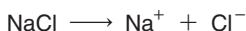
水 1 kg に塩化カルシウム  $\text{CaCl}_2$  0.10 mol が溶けているので、溶質粒子の総質量モル濃度は、

$$\frac{0.10 \text{ mol} \times 3}{1 \text{ kg}} = 0.30 \text{ mol/kg}$$

**b** 水 0.500 kg に非電解質であるグルコース 0.10 mol が溶けているので、溶質粒子の質量モル濃度は、

$$\frac{0.10 \text{ mol}}{0.500 \text{ kg}} = 0.20 \text{ mol/kg}$$

**c** 塩化ナトリウムは電解質であり、水溶液中では次のように電離する。



水 0.500 kg に塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  0.10 mol が溶けているので、溶質粒子の総質量モル濃度は、

$$\frac{0.10 \text{ mol} \times 2}{0.500 \text{ kg}} = 0.40 \text{ mol/kg}$$

よって、凝固点降下度の大きさは **c** > **a** > **b** の順となる。

11 ⋯⑥

### 問4 浸透圧

**①** 正しい。セロハン膜を水分子は自由に通過できるが、スクロースなどの比較的大きな分子は通過できないため、セロハン膜は半透膜として用いられる。

**②** 正しい。半透膜を通って水分子だけが水溶液側に拡散する。この現象を浸透という。浸透により、純水はデンプン水溶液側に移動する。そのため、水溶液側の液面が高くなる。

**③** 正しい。希薄溶液の浸透圧は、溶液のモル濃度に比例するので、0.20 mol/L のスクロース水溶液の浸透圧は、0.10 mol/L のスクロース水溶液の浸透圧の 2 倍になる。

**④** 正しい。希薄溶液の浸透圧は、溶質の種類に無関係であり、溶液のモル濃度が等しいならば、浸透圧も同じ値になる。

**⑤** 誤り。希薄溶液の浸透圧は、絶対温度に比例する。

12 ⋯⑥

### 凝固点降下度

$$\Delta t = K_f \cdot m$$

$\Delta t$  [K] : 凝固点降下度

$m$  [mol/kg] : 溶液の質量モル濃度

$K_f$  [K·kg/mol] : 溶媒のモル凝固点降下度

### 半透膜

溶液中のある成分は通すが、他の成分は通さない膜。セロハンや動物のぼうこう膜などがある。

### 浸透圧(ファントホッフの法則)

$$\Pi = cRT$$

$\Pi$  [Pa] : 溶液の浸透圧

$c$  [mol/L] : 溶液のモル濃度

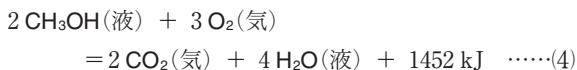
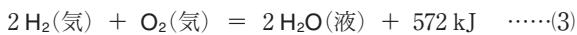
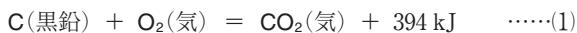
ただし、電解質溶液では、溶液中のすべての溶質粒子のモル濃度

$T$  [K] : 絶対温度

$R$  [Pa·L/K·mol] : 気体定数と同じ値

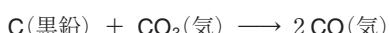
## 問5 化学反応と熱

与えられた熱化学方程式を(1)~(4)式とする。



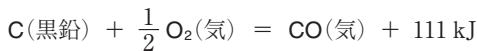
a ① 正しい。二酸化炭素 1 mol が成分元素の単体である黒鉛と酸素から生成するときの反応熱を二酸化炭素の生成熱といい、その値は(1)式より、394 kJ/mol である。

② 正しい。(2)式より、

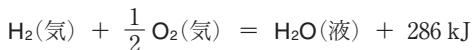


の反応は吸熱反応である。

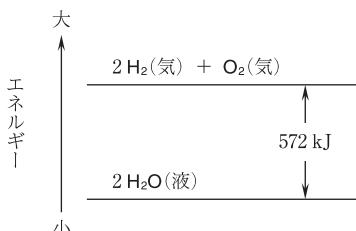
③ 誤り。一酸化炭素 1 mol が成分元素の単体である黒鉛と酸素から生成するときの反応熱を一酸化炭素の生成熱という。一酸化炭素の生成熱は  $\{(1)\text{式} + (2)\text{式}\} \times \frac{1}{2}$  より、111 kJ/mol である。



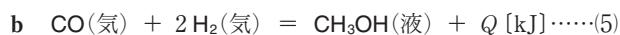
④ 正しい。水素 1 mol が完全燃焼するときの反応熱を水素の燃焼熱という。水素の燃焼熱は、(3)式  $\times \frac{1}{2}$  より、286 kJ/mol である。



⑤ 正しい。(3)式より、水素 2 mol と酸素 1 mol がもつエネルギーは、水 2 mol がもつエネルギーよりも 572 kJ だけ大きい。その関係は、次のように表すことができる。



13 ⋯③



(1)式～(4)式から(5)式を導く。

(5)式中の左辺の  $CO(\text{気})$  から (2)式  $\times \left(-\frac{1}{2}\right)$ ,

左辺の  $2H_2(\text{気})$  から(3)式  $\times 1$ ,

右辺の  $CH_3OH(\text{液})$  から (4)式  $\times \left(-\frac{1}{2}\right)$ ,

これに (1)式  $\times \frac{1}{2}$  を加える。

### 生成熱

物質 1 mol が成分元素の単体から生成するときの反応熱。

### 燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときの反応熱。物質中の炭素は二酸化炭素に、水素は水に変化する。

$$(5) \text{式} = -(2) \text{式} \times \frac{1}{2} + (3) \text{式} - (4) \text{式} \times \frac{1}{2} + (1) \text{式} \times \frac{1}{2}$$

より、

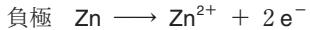
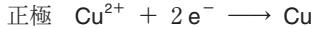
$$Q = -\frac{-172 \text{ kJ}}{2} + 572 \text{ kJ} - \frac{1452 \text{ kJ}}{2} + \frac{394 \text{ kJ}}{2} = 129 \text{ kJ}$$

14 ... ②

### 第3問 電池, 電気分解, 反応速度, 化学平衡

## 問1 ダニエル電池

ダニエル電池の放電時には、各電極で次の反応が起こる。



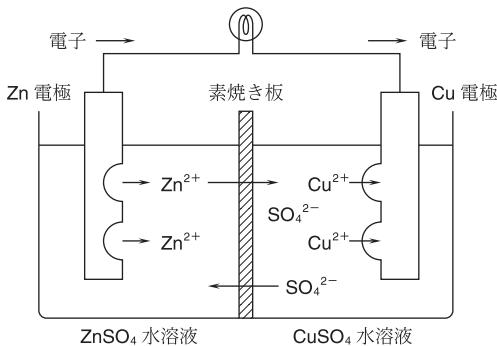
① 正しい。電池において還元反応が起こるのが正極である。

ダニエル電池では正極である Cu 板上で、水溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  が還元される。

② 正しい。負極で起こる酸化反応と正極で起こる還元反応に直接関わる物質をそれぞれ負極活性物質、正極活性物質という。ダニエル電池ではイオン化傾向の大きい Zn 板が負極となり、この Zn 板が酸化されるので、負極活性物質は Zn である。

③ 誤り。放電時に電流は、導線中を正極である Cu 板から負極である Zn 板へと流れる。なお、電子の流れと電流の流れは逆となり、電子は導線中を Zn 板から Cu 板へと流れる。

④ 正しい。ダニエル電池の素焼き板は、両極の水溶液が混ざるのを防いでいるだけではなく、小さな穴(細孔)があいているのでイオンを通すことができる。次の図に示すように、ダニエル電池を放電させると、細孔を通って  $\text{SO}_4^{2-}$  が正極から負極側へ、 $\text{Zn}^{2+}$  が負極から正極側へ移動することで、両溶液は電気的に接続されている。素焼き板をガラス板へと替えると、イオンが移動できなくなるため、電流は流れなくなる。



⑤ 正しい。Cu 板の替わりに炭素棒を用いたとき、炭素棒には電気伝導性があるため、炭素棒上で  $\text{Cu}^{2+}$  の還元反応が起こり、電流は流れれる。

電池

負極…外部回路へ電子が流れ出す電

極。酸化反応が起こる。

正極…外部回路から電子が流れ込む電

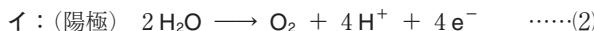
極。還元反応が起こる。

活物質…負極または正極において電子を放出したり受け取ったりする物質。

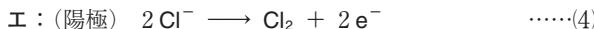
問2 電氣分解

a 電解槽 I, II の各電極で起こる反応は、次のようになる。

電解槽 I



電解槽 II

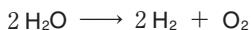


- ① 正しい。電極ア, ウが陰極, 電極イ, エが陽極となる。

② 正しい。(2)式より電極イでは  $H_2O$  が酸化される。

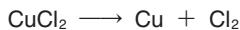
③ 正しい。(3)式より電極ウでは Cu が析出するので, 電極の質量は増加する。

④ 誤り。電解槽 I における全体の反応は, (1)式×2+(2)式より,



電解槽 I で起こる反応は水の電気分解であり、希硫酸中の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  の物質量は変化しない。

⑥ 正しい。(3)式より陰極では  $\text{Cu}^{2+}$  が減少し、(4)式より陽極では  $\text{Cl}^-$  が減少することから、塩化銅(II)水溶液中の  $\text{CuCl}_2$  の物質質量は減少する。なお、電解槽Ⅱにおける全体の反応は、(3)式 + (4)式より、



16 ... 4

**b** 電極Ⅰで発生した気体( $\text{Cl}_2$ )の物質量は、

$$\frac{0.28 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 1.25 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

よって、(4)式より回路を流れた電子の物質量は、

$$1.25 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 2 = 2.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

17 ... ④

### 問3 反応のしくみ

a 反応が進むときのエネルギー変化を次の図に示す。反応が進むためには、反応物どうしが衝突し、さらに衝突した分子が活性化状態と呼ばれるエネルギーの高い中間の状態を経由しなくてはならない。反応物を活性化状態にするのに必要な最小のエネルギーを活性化エネルギーといい、活性化状態と反応物のエネルギーの差に相当する。よって、活性化エネルギーは⑥  $E_3 - E_2$  で表される。

なお、反応熱は、反応物と生成物のエネルギーの差であり、この反応の反応熱は、 $E_2 - E_1$  で表される。

電氣分解

陽極…外部電源の正極とつないだ電

極。酸化反応が起こる。

- ・電極が Cu や Ag のとき
    1. Cu や Ag がイオンになり溶解する

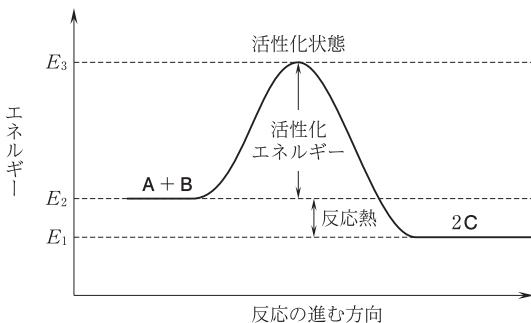
- 電極が C や Pt のとき

2. ハロゲン化物イオンが酸化され、ハロゲンの単体が生成する。

3.  $\text{H}_2\text{O}$  (電解液が酸性、中性のとき) や  $\text{OH}^-$  (電解液が塩基性のとき) が酸化され、 $\text{O}_2$  が発生する。

陰極…外部電源の負極とつないだ電極。還元反応が起こる。

1. 電解液中の  $\text{Ag}^+$  や  $\text{Cu}^{2+}$  が還元され  $\text{Ag}$  や  $\text{Cu}$  が析出する。
  2.  $\text{H}_2\text{O}$  (電解液が中性, 塩基性のとき) や  $\text{H}^+$  (電解液が酸性のとき) が還元され  $\text{H}_2$  が発生する。



18 ⋯⑥

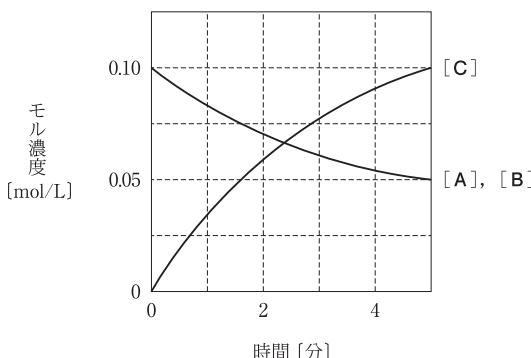
b 密閉容器に物質Aと物質Bを0.10 molずつ入れて反応させた時、反応開始からt分間に減少する物質Aの物質量をx [mol]とすると、t分後のそれぞれの物質の量的関係は次のようになる。

A	+	B	$\longrightarrow$	2C
反応前	0.10	0.10		0
変化量	$-x$	$-x$		$+2x$
$t$ 分後	$0.10-x$	$0.10-x$		$2x$

(単位は[mol])

反応容器の容積が1Lであることから、物質量とモル濃度の値は等しい。

よって、t分後の物質Bの物質量は物質Aの物質量と等しいので、物質Bのモル濃度と時間の関係を示すグラフはアとなる。一方、t分後の物質Cの物質量は、物質Aの物質量の減少量の2倍となるので、物質Cのモル濃度と時間の関係を示すグラフはウとなる。



19 ⋯①

#### 問4 化学平衡

a ① 正しい。密閉容器にSO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を封入すると、次の可逆反応が起こる。



反応の初期はSO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の濃度が大きく正反応の反応速度が大

きいが、反応が進むと  $\text{SO}_2$  と  $\text{O}_2$  の濃度は減少し、正反応の反応速度は小さくなる。一方、 $\text{SO}_3$  の濃度は大きくなるため、逆反応の反応速度は大きくなる。結果、温度を一定に保って放置すると、やがて正反応の反応速度と逆反応の反応速度が等しくなる。このような状態を平衡状態という。

② 正しい。平衡状態は、反応が完全に停止した状態ではなく、正反応の反応速度と逆反応の反応速度が等しい状態である。

③ 正しい。平衡状態では、正反応の反応速度と逆反応の反応速度が等しいことから、反応が止まったように見える。すなわち、 $\text{SO}_3$  の見かけの生成速度は 0 となる。

④ 誤り。反応式の係数の比は物質量の変化量の比と等しいが、平衡状態における物質量やモル濃度の比とは無関係である。なお、平衡時の各物質のモル濃度  $[\text{SO}_2]$ ,  $[\text{O}_2]$ ,  $[\text{SO}_3]$  の値は一定となり、次の関係式が成り立つ。

$$\frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = K$$

$K$  は平衡定数といい、濃度や圧力が異なっても一定の値となる。

⑤ 正しい。触媒を加えると、正反応と逆反応の反応速度がいずれも大きくなり、その結果、触媒を用いないときと比べて平衡状態に達するまでの時間が短くなる。

20 …④

b 化学反応が平衡状態にあるとき、濃度、圧力、温度などの条件を変えると、その影響を緩和する方向に平衡は移動する(ルシャトリエの原理または平衡移動の原理という)。

① 温度を下げるとき、発熱反応の方向である右、つまり  $\text{SO}_3$  が生成する方向に平衡は移動する。

② 触媒を加えるとき、正反応および逆反応の反応速度は大きくなり、平衡状態に達するまでの時間は短くなるが、平衡の移動は起こらない。

③ 圧力を小さくすると、気体分子の総数が増加する方向である左、つまり  $\text{SO}_3$  が減少する方向に平衡は移動する。

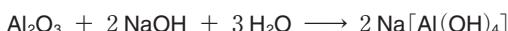
④  $\text{O}_2$  を取り除くと  $\text{O}_2$  が増加する方向である左、つまり  $\text{SO}_3$  が減少する方向に平衡は移動する。

21 …①

## 第4問 無機物質

### 問1 酸化物の性質

①  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は固体の両性酸化物であり、水酸化ナトリウム水溶液にテトラヒドロキシドアルミニ酸ナトリウム  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  を生成して溶ける。



### 化学平衡

可逆反応において、正反応と逆反応の反応速度が等しくなり、反応物と生成物の量(物質量、濃度、分圧など)が変化しない状態。

### 化学平衡(質量作用)の法則



この可逆反応の平衡定数  $K$  は次式のように表される。

$$K = \frac{[\text{X}]^x [\text{Y}]^y}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

([ ]): 平衡状態における各物質のモル濃度)

なお、平衡定数  $K$  は温度が一定ならば、一定の値となる。

### ルシャトリエの原理

一般に、平衡が成立しているときの条件を変えると、その条件変化による影響を緩和する方向に平衡が移動する。

- ・ 温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。
- ・ 圧力を大きくすると、気体の総分子数(総物質量)が減少する方向に平衡は移動する。
- ・ 物質の濃度を増大させると、その物質が反応して減少する方向に平衡は移動する。

なお、逆の条件変化に対しては、それぞれ逆の方向に平衡は移動する。

また、触媒の有無は平衡移動に無関係である。

### 酸化物の分類

**酸性酸化物** 水に溶けて酸性を示したり、塩基と反応する酸化物。非金属元素の酸化物に多い。

**塩基性酸化物** 水に溶けて塩基性を示したり、酸と反応する酸化物。金属元素の酸化物に多い。

**両性酸化物** 酸とも強塩基とも反応する酸化物。両性元素の酸化物。

②  $\text{CO}_2$  は気体の酸性酸化物であり、水酸化ナトリウム水溶液に炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を生成して溶ける。また、③  $\text{MgO}$  と④  $\text{CuO}$  はともに固体の塩基性酸化物であり、水酸化ナトリウム水溶液に溶けず、反応もしない。⑥  $\text{NO}$  は気体であり、水にも塩基性や酸性の水溶液にも溶けない。

以上より、固体で水酸化ナトリウム水溶液と反応して塩をつくる酸化物は、①  $\text{Al}_2\text{O}_3$  である。

22 ⋯ ①

## 問2 ハロゲン化水素の性質

① 正しい。ハロゲン化水素  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  は、いずれも無色で刺激臭をもつ気体である。

② 正しい。水素原子よりハロゲンの原子の方が電気陰性度が大きく、ハロゲンの原子が共有電子対を引き寄せるため、ハロゲン化水素はいずれも極性分子である。

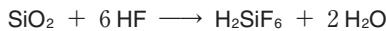


( $\text{X}$  はハロゲンの原子を表す。 $\longrightarrow$  は共有結合の極性を示し、矢印の方向に共有電子対が引き寄せられていることを表している。)

周期表で同族の元素の電気陰性度は、原子番号が小さいほど大きくなる傾向にあり、ハロゲンの電気陰性度は  $\text{F} > \text{Cl} > \text{Br} > \text{I}$  の順である。したがって、水素との電気陰性度の差はフッ素が最も大きく、ハロゲン化水素のうちフッ化水素分子  $\text{HF}$  の極性が最も大きい。

③ 誤り。 $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  は水溶液中でほぼ完全に電離する強酸であるが、フッ化水素酸( $\text{HF}$  の水溶液)は電離度が小さく弱酸である。すなわち、フッ化水素酸は酸として最も弱い。

④ 正しい。フッ化水素酸は、次のように反応して二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$  を溶かす。

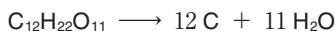


なお、ガラスは  $\text{SiO}_2$  を主成分としており、フッ化水素酸は、この反応でガラスを溶かすため、ポリエチレン容器に保存される。

23 ⋯ ③

## 問3 硫酸の性質

① 正しい。濃硫酸には脱水作用(有機化合物から水分子を脱離させる性質)があるため、スクロース(ショ糖)  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  などの糖類に濃硫酸を加えると、炭素が遊離して黒くなる(炭化)。



② 誤り。塩化ナトリウムに濃硫酸を加えて加熱すると、塩素ではなく、塩化水素が発生する。



この反応は、揮発性の酸の塩に不揮発性の酸を加えて加熱すると、不揮発性の酸の塩が生じるとともに揮発性の酸が気体として

### ハロゲン化水素の性質

- ・ いずれも無色・刺激臭の有毒な気体
- ・ 沸点の高さは、 $\text{HF} > \text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl}$  の順であり、分子間で水素結合を形成する、 $\text{HF}$  が最も高い。
- ・ 水溶液中で  $\text{HF}$  は弱酸、 $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  は強酸としてはたらく。

### 電気陰性度

原子が共有電子対を引きつける強さを数値で表したもの。電気陰性度の大きな原子ほど共有電子対を強く引きつける。18族を除き、周期表で右上にある元素ほど電気陰性度が大きい傾向にあり、 $\text{F}$  が最大である。

### 硫酸の性質

#### (濃硫酸)

- ・ 密度が大きい(約  $1.8 \text{ g/cm}^3$ )。
- ・ 不揮発性である。
- ・ 溶解熱が大きい。
- ・ 吸湿性がある。
- ・ 脱水作用がある。
- ・ 热濃硫酸は酸化作用がある。

#### (希硫酸)

- ・ 強い酸性を示す。
- ・  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  と  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{PbSO}_4$  の白色沈殿を生じる。

発生する反応の一例であり、濃硫酸が沸点の高い(300 °C 以上)不揮発性の酸であり、塩化水素が揮発性の酸であるため進行する。

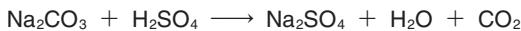
③ 正しい。加熱した濃硫酸(熱濃硫酸)には酸化作用があり、銅や銀などのイオン化傾向の小さい金属を溶かし、二酸化硫黄を発生する。



④ 正しい。希硫酸は酸性が強いため、亜鉛などの水素よりイオン化傾向の大きい金属と激しく反応し、水素を発生する。



⑤ 正しい。炭酸ナトリウムに希硫酸を加えると、弱酸である炭酸  $\text{H}_2\text{CO}_3$  が生成し、さらに分解して二酸化炭素が発生する。



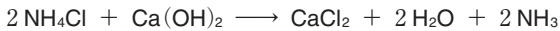
この反応は、弱酸の塩に強酸を作用させると、強酸の塩と弱酸が生じる反応の一例である。

24 ⋯②

#### 問4 アンモニアの性質

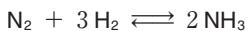
① 誤り。アンモニアは、空気より軽い気体である。同温・同圧で同体積の気体には、気体の種類によらず、同じ数の分子が含まれるので、分子量が小さい気体ほど密度が小さい(軽い)。よって、アンモニア  $\text{NH}_3$  (分子量 17) は、窒素  $\text{N}_2$  (分子量 28) と酸素  $\text{O}_2$  (分子量 32) がおよそ 4 : 1 の分子の数の比で含まれる空気(平均分子量 29) より軽い。

② 正しい。塩化アンモニウムと水酸化カルシウムの混合物を加熱すると、アンモニアが発生する。

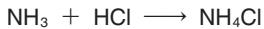


この反応は、弱塩基の塩に強塩基を作用させると、強塩基の塩と弱塩基が生じる反応の一例である。

③ 正しい。工業的にアンモニアは、四酸化三鉄  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  を主成分とする触媒を用いて、高温(400~600 °C), 高圧( $1 \times 10^7$ ~ $3 \times 10^7$  Pa) の条件で窒素と水素から製造される。この製法はハーバー・ボッシュ法とよばれ、反応は可逆反応である。

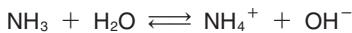


④ 正しい。アンモニアに濃塩酸を近づけると、蒸発した塩化水素とアンモニアが反応して白煙(塩化アンモニウムの微粉末)を生じる。



この反応は、アンモニアと塩化水素の検出法として相互に利用される。

⑤ 正しい。アンモニアは水に非常によく溶け、その水溶液(アンモニア水)は塩基性を示すので、赤色リトマス紙を青くする。

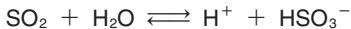
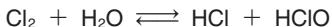


25 ⋯ ①

### 問5 気体物質の性質

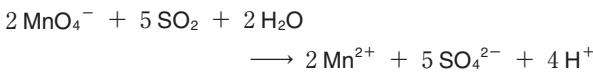
ア 無色の気体は、②  $\text{N}_2$ 、⑥  $\text{SO}_2$  である。①  $\text{Cl}_2$  は黄緑色、③  $\text{O}_3$  は淡青色、④  $\text{NO}_2$  は赤褐色の気体である。

イ ①  $\text{Cl}_2$  は水と反応して塩化水素と次亜塩素酸を生じ、④  $\text{NO}_2$  は水(温水)と反応して硝酸を生じ、⑥  $\text{SO}_2$  は水と反応して電離し、いずれも水溶液は酸性を示す。



なお、②  $\text{N}_2$  は水にほとんど溶けず、③  $\text{O}_3$  も水に溶けにくい。

ウ ⑥  $\text{SO}_2$  には還元作用があるので、 $\text{SO}_2$  を硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液に通じると、 $\text{MnO}_4^-$  が還元され、水溶液は赤紫色からほぼ無色になる。



①  $\text{Cl}_2$ 、②  $\text{N}_2$ 、③  $\text{O}_3$ 、④  $\text{NO}_2$  には還元作用がないので、過マンガニ酸カリウム水溶液の赤紫色を消さない。

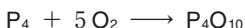
以上より、ア～ウのすべてに当てはまる気体は、⑥  $\text{SO}_2$  である。

26 ⋯ ⑥

### 問6 リンの単体と化合物の性質

a ① 正しい。リンの同素体には、淡黄色ろう状の固体である黄リンと赤褐色の粉末である赤リンなどがある。黄リンの分子式は  $\text{P}_4$  である。なお、赤リンは、多数のリン原子が共有結合で結びつき、定まった分子が存在しないので、組成式  $\text{P}$  で表される。

② 正しい。黄リンは空気中で自然発火する。したがって、黄リンは水中で保存される。

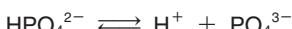


なお、赤リンは空気中で自然発火しない。

③ 正しい。黄リンは毒性が強いが、赤リンは毒性が小さい。

④ 正しい。リンを空気中で燃焼させると生じる十酸化四リン  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  は、白色粉末であり、吸湿性が強いため乾燥剤として用いられる。

⑤ 誤り。リン酸  $\text{H}_3\text{PO}_4$  は、潮解性のある無色の固体で、水溶液では 3 倍の酸としてはたらき、中程度の強さの酸性を示す。すなわち、強酸ではなく完全には電離しない。



#### リンの同素体

	黄リン	赤リン
色	淡黄色	赤褐色
化学式	$\text{P}_4$ (分子式)	$\text{P}$ (組成式)
自然発火	する*	しない
毒性	猛毒	小さい

\* 黄リンは水中で保存される。

27 ⋯ ⑥

b 十酸化四リンに水を加えて加熱すると、リン酸が生じる。



(1)式より、1 mol の  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  (284 g/mol) から 4 mol の  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (98 g/mol) が生じるので、142 g の  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  から生じる  $\text{H}_3\text{PO}_4$  の質量は、

$$98 \text{ g/mol} \times \frac{142 \text{ g}}{284 \text{ g/mol}} \times 4 = 196 \text{ g}$$

よって、得られる質量パーセント濃度 28.0 % のリン酸水溶液の質量を  $x$  [g] とすると、

$$x [\text{g}] \times \frac{28.0}{100} = 196 \text{ g}$$

$$x = 700 \text{ g}$$

[28] ⋯⑤

# ≡ 生 物 ≡

## 【解答・採点基準】 (100点満点)

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点
第1問	A	問1	1	①	3	
		問2	2	④	3	
		問3	3	①	3	
		問4	4	②	3	
	B	問5	5	③	4	
		問6	6	④	4	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	④	2	
		問2	8	③	3	
		問3	9	③	3	
			10	⑧	3	
	B	問4	11	②	3	
		問5	12	③	3	
	第2問 自己採点小計				(20)	
第3問	A	問1	14	①	3	
		問2	15	②	3	
		問3	16	④	3	
	B	問4	17	②	3	
		問5	18	③	4	
		問6	19	④	4	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	20	②	3	
		問2	21	②	3	
	B	問3	22	③	3	
		問4	23	④	3	
		問5	24	①	4	
		問6	25	①	4	
第4問 自己採点小計				(20)		

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点	
第5問	A	問1	26	③	3		
		問2	27	⑤	4		
	B	問3	28	⑥	4		
		問4	29	②	3		
		問5	30	②	3		
第5問 自己採点小計					(20)		
自己採点合計					(100)		

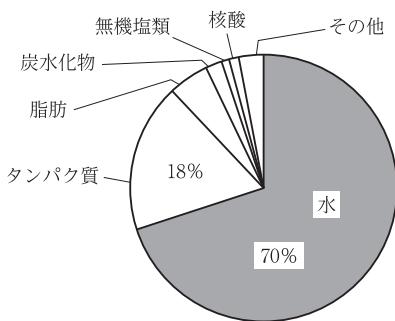
※の正解は順序を問わない。

## 【解説】

### 第1問 細胞・細胞接着

Aでは細胞に関する知識問題を、Bでは細胞の接着に関する考察問題を出題した。

問1 細胞を構成する物質は多くの生物で共通しており、生重量の60~70%は水で占められている。次図は一般的な動物細胞を構成する成分の割合である。

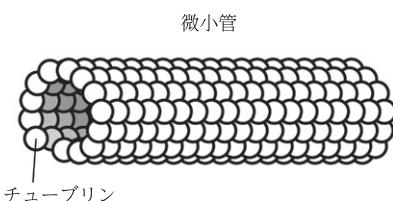


1 …①

問2 ①ゴルジ体は扁平な袋状の構造が積み重なった形をしており、それぞれの袋状の構造は1枚の生体膜で囲まれている。②リソームは1枚の生体膜で囲まれた構造であり、加水分解酵素などを含む。生体膜に囲まれていない構造としては、リボソームと中心体が挙げられる。③水の分子は極性があるので、細胞膜のリン脂質の部分を通過しにくく、主に細胞膜にあるアグロポリン(水チャネル)を通って細胞に入り出す。④グルコースは細胞膜にあるグルコース輸送体とよばれるタンパク質を介して細胞に入り出す。

2 …④

問3 ①微小管を構成するタンパク質はチューブリンとよばれる。②フィブリンは血液凝固にはたらくタンパク質である。③グロブリンは抗体などのタンパク質である。④ミオシンは筋収縮などにはたらくモータータンパク質である。



3 …①

問4 細胞骨格は、微小管、アクチンフィラメント、中間径フィラメントの三つに分けられる。それぞれのはたらきは次のようにまとめられる。

## 【ポイント】

細胞の生重量の60~70%は水が占める。

2枚の膜で囲まれた構造  
核、ミトコンドリア、葉緑体  
膜に囲まれていない構造  
リボソーム、中心体

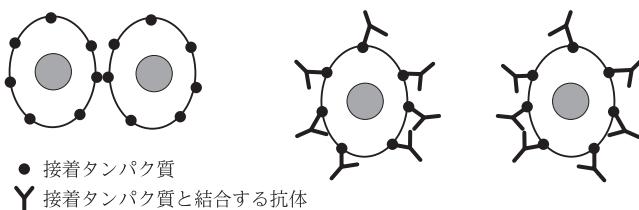
細胞膜にある輸送体  
チャネル 受動輸送  
担体 受動輸送・能動輸送  
ポンプ 能動輸送

細胞骨格  
微小管  
アクチンフィラメント  
中間径フィラメント

微小管	べん毛運動・纖毛運動 細胞内の小胞の輸送 細胞分裂時の染色体の移動
アクチンフィラメント	原形質流動・アメーバ運動 筋収縮・細胞内の小胞の輸送 動物細胞の細胞質分裂時のくびれ形成
中間径フィラメント	細胞の形態維持 核の形態維持

4 …②

問5 実験1～3では、タンパク質P、または、タンパク質Qのどちらか一方の機能を失わせる処理を行っているため、I群の細胞とII群の細胞では、タンパク質Pとタンパク質Qのどちらか一方でのみ接着が行われる。まず、I群の細胞とII群の細胞で接着にはたらくタンパク質がどちらかを考える。実験2と実験3では、抗P抗体と抗Q抗体が用いられている。次図に示したように、抗体が接着タンパク質と結合すると、抗体によって接着タンパク質どうしの結合が妨げられて細胞は細胞塊を形成できなくなるが、抗体が接着タンパク質に結合しない場合には細胞どうしは接着して細胞塊を形成する。



実験2では、抗Q抗体を加えると細胞塊が形成されないので、I群の細胞では抗Q抗体と結合するタンパク質Qが接着にはたらいていることがわかる。実験3も同様に考えて、II群の細胞では抗P抗体と結合するタンパク質Pが接着にはたらいていることがわかる。このことをもとに実験1の結果を考える。タンパク質Pが接着にはたらくII群の細胞どうしは、Ca<sup>2+</sup>があるときにのみ接着して細胞塊を形成するので、タンパク質Pは接着にCa<sup>2+</sup>を必要とすることがわかる。一方、タンパク質Qが接着にはたらくI群の細胞どうしは、Ca<sup>2+</sup>の有無に関係なく接着して細胞塊を形成するので、タンパク質Qは接着にCa<sup>2+</sup>を必要としないことがわかる。

5 …③

問6 「Ca<sup>2+</sup>を含む培養液」を用いるので、I群の細胞もII群の細胞とともに結合することができる。Bのリード文に「同じタンパク質どうしでのみ互いに接着する」とあるので、タンパク質Pのみが接着にはたらくII群の細胞どうしが接着して細胞塊が形成され、タンパク質Qのみが接着にはたらくI群の細胞どうしが接着して細胞塊が形成される。

6 …④

抗体が接着タンパク質と結合すると、細胞どうしの接着が阻害される。

## 第2問 呼吸

Aでは呼吸の経路に関する知識問題を、Bでは呼吸商を求める実験に関する考察問題を出題した。

**問1** 解糖系とクエン酸回路では、呼吸基質の酸化に伴って NAD<sup>+</sup> と FAD の還元が起こり、NADH と FADH<sub>2</sub> が生成される。電子伝達系では、NADH と FADH<sub>2</sub> に由来する電子を利用して ATP が合成され、NADH と FADH<sub>2</sub> は酸化されて NAD<sup>+</sup> と FAD になる。

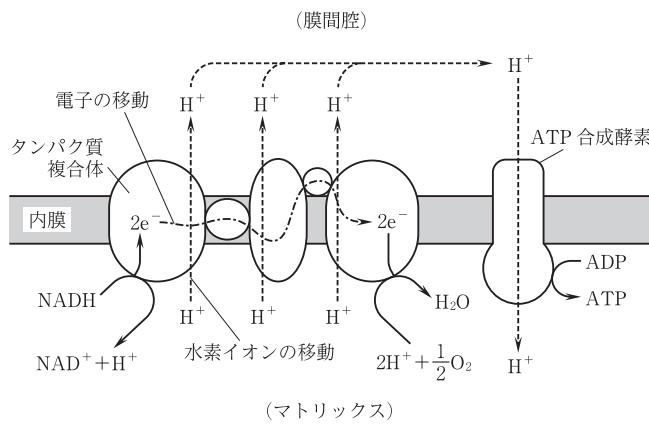


7 …④

**問2** 1分子のグルコースが呼吸によって分解された場合、解糖系では2分子のATPが消費されて4分子のATPが合成されるため、差し引き2分子のATPが合成される。また、クエン酸回路では2分子のATPが合成され、電子伝達系では最大34分子のATPが合成される。したがって、1分子のグルコースが呼吸によって分解された場合に合成されるATPの分子数の最大値は、電子伝達系が最も多い。

8 …⑨

**問3** ミトコンドリアの電子伝達系では、NADH と FADH<sub>2</sub> に由来する電子が内膜に存在するタンパク質複合体の間を受け渡される。このとき、電子の移動に伴って水素イオン(H<sup>+</sup>)がマトリックスから膜間腔(内膜と外膜の間の空間)に輸送される。この結果、マトリックスよりも膜間腔の H<sup>+</sup> 濃度が高くなる濃度勾配が生じ、H<sup>+</sup> が濃度勾配に従って ATP 合成酵素を通ってマトリックスに移動する際に ATP が合成される。次図は、NADH に由来する電子が伝達されたときの ATP 合成を模式的に示したものである。



9 · 10 …③ · ⑧

**問4** 水酸化カリウム水溶液には、二酸化炭素を吸収するはたらき

解糖系とクエン酸回路では、NAD<sup>+</sup> と FAD が還元されて NADH と FADH<sub>2</sub> が生成される。

電子伝達系では、NADH と FADH<sub>2</sub> が酸化されて NAD<sup>+</sup> と FAD が生成される。

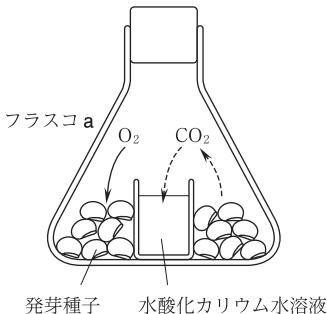
1分子のグルコースが呼吸によって分解された場合に合成される ATP の分子数

解糖系………2分子

クエン酸回路…2分子

電子伝達系……34分子(最大)

である。発芽種子は呼吸によって酸素を吸収し、二酸化炭素を放出するが、フラスコaでは、放出された二酸化炭素が水酸化カリウム水溶液に吸収されるため、フラスコaにおける気体の減少量は、発芽種子の呼吸による酸素の吸収量を示すことになる。



11 ... ②

問5 呼吸によって放出された二酸化炭素と吸収された酸素との体

積比  $\left( \frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} \right)$  を呼吸商とよぶ。問4の解説で述べたように、フラスコaにおける気体の減少量は、発芽種子の呼吸による酸素の吸収量を示す。また、フラスコbでは、発芽種子によって放出された二酸化炭素が吸収されないため、フラスコbにおける気体の減少量は、発芽種子の呼吸によって吸収された酸素の量と放出された二酸化炭素の量の差を示す。ここで、フラスコaにおける気体の減少量からフラスコbにおける気体の減少量を引いた値は、酸素吸収量 - (酸素吸収量 - 二酸化炭素放出量) = 二酸化炭素放出量となる。したがって、フラスコaにおける気体の減少量をa、フラスコbにおける気体の減少量をbとすると、呼吸商は次のように求めることができる。

$$\frac{\text{二酸化炭素放出量}}{\text{酸素吸収量}} = \frac{a-b}{a}$$

12 ... ③

問6 問5で求めた式に実験1で得られた数値を代入すると、

$$\frac{a-b}{a} = \frac{1340 - 390}{1340} = \frac{950}{1340} \doteq 0.708$$

となる。炭水化物を呼吸基質として用いたときの呼吸商は約1.0、タンパク質を呼吸基質として用いたときの呼吸商は約0.8、脂肪を呼吸基質として用いたときの呼吸商は約0.7であるので、実験1で発芽種子が呼吸に用いた主な呼吸基質は脂肪であることがわかる。

$$\text{呼吸商} = \left( \frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} \right)$$

呼吸商

炭水化物……約 1.0

タンパク質…約0.8

脂肪………約 0.7

### 第3問 窒素代謝

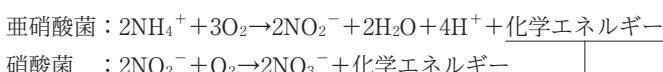
Aでは窒素代謝に関する知識問題を、Bでは植物の窒素同化と光合成に関する実験者察問題を出題した。

問1 タンパク質や核酸、ATP、クロロフィルなどは、炭素、酸素、

水素のほかに窒素を含んでおり、有機窒素化合物とよばれる。③のDNAは核酸であり、塩基、糖、リン酸からなるヌクレオチドの塩基に窒素が含まれる。④のカタラーゼは酵素であり、酵素はタンパク質が主成分であるので、カタラーゼも有機窒素化合物である。一方、①のセルロースは多糖類であり、窒素化合物ではない。

14 …①

問2 垂硝酸菌や硝酸菌は、次式に示すように、アンモニウムイオンや垂硝酸イオンの酸化によって放出されるエネルギー(化学エネルギー)を用いて、二酸化炭素を還元して有機物をつくる。したがって、②が正しい。



このように、光エネルギーの代わりに化学エネルギーを利用して炭酸同化を行うはたらきを化学合成とよび、垂硝酸菌や硝酸菌は化学合成細菌である。なお、①の発酵は酸素を用いずに有機物を分解してATPを合成するはたらきのことであり、③の脱窒は脱窒素細菌のエネルギーを得る代謝に伴って硝酸イオンや垂硝酸イオンから窒素(N<sub>2</sub>)が生じる反応のことである。

15 …②

問3 シアノバクテリアは原核生物であり、ネンジュモやユレモがその例である。なお、クロレラは真核生物の緑藻に属する生物である。また、マメ科植物では、根に根粒とよばれるこぶがみられ、この中で根粒菌が生活している。マメ科植物は光合成により合成した有機物を根粒菌に与え、根粒菌はマメ科植物に窒素固定で得たNH<sub>4</sub><sup>+</sup>を与えることで、互いに利益を与えあう相利共生の関係にある。したがって、④が正しい。

16 …④

問4 窒素同化では、植物の道管を通って葉に運ばれたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>(硝酸イオン)が葉の細胞に取り込まれ、硝酸還元酵素によってNO<sub>2</sub><sup>-</sup>(垂硝酸イオン)に還元される。さらに、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>は垂硝酸還元酵素によって還元されてNH<sub>4</sub><sup>+</sup>(アンモニウムイオン)となる。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は次図に示すように、ATPのエネルギーを用い、グルタミン合成酵素のはたらきによって、グルタミン酸と結合してグルタミンとなる。グルタミンとケトグルタル酸は、グルタミン酸合成酵素のはたらきによって2分子のグルタミン酸となる。アミノ基転移酵素のはたらきによってグルタミン酸から様々な有機酸にアミノ基が転移され、様々な種類のアミノ酸を生じる。



17 …②

問5 実験1より、二酸化炭素の濃度に関わらず、弱光の場合より

有機窒素化合物

タンパク質、核酸、ATP、クロロフィルなど

垂硝酸菌や硝酸菌

化学合成細菌である。  
無機物の酸化によって得られる  
エネルギーを用いて炭酸同化を行  
う。

シアノバクテリア

ネンジュモ、ユレモなど

マメ科植物は根粒菌と相利共生の  
関係にある。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はグルタミン酸と結合して  
グルタミンとなる。

アミノ基転移酵素によってグルタ  
ミン酸と有機酸からアミノ酸がつ  
くられる。

強光の場合の方が窒素同化量は大きい。これより、窒素同化には光による反応が関与していることがわかる。光合成では、チラコイドで光エネルギーを吸収し、水を分解して還元型補酵素(NADPH)とATPが合成される。合成されたNADPHとATPが窒素同化に利用されると考えると結果を説明できる。したがって、窒素同化で用いられる還元型補酵素とATPは、主に③の葉緑体でつくられたものが利用されていると考えられる。

18 …③

問6 ①・②呼吸速度は、二酸化炭素濃度の影響を直接には受けないので誤りである。③葉緑体のストロマにあるカルビン・ベンソン回路の反応速度は、二酸化炭素濃度の影響を受ける。したがって、強光条件下では、高CO<sub>2</sub>条件の場合より低CO<sub>2</sub>条件の場合の方が光合成における二酸化炭素固定速度は低下する。ここで、還元型補酵素であるNADPHとATPはチラコイドでつくられるが、二酸化炭素濃度が低下したことでの、それらの合成速度が上昇することはない。したがって、誤りである。④高CO<sub>2</sub>条件では二酸化炭素濃度が限定要因となりにくく、強光条件下でNADPHとATPの合成速度が大きいときに、NADPHとATPを利用するカルビン・ベンソン回路の反応速度も大きくなる。しかし、低CO<sub>2</sub>条件では二酸化炭素濃度が限定要因となり、光合成に利用されるNADPHとATPは高CO<sub>2</sub>条件の場合よりも減少するので、窒素同化に利用できる還元型補酵素やATPが、高CO<sub>2</sub>条件の場合より増加すると考えられる。したがって、正しい。

19 …④

#### 第4問 遺伝情報の発現

Aでは転写に関する知識問題を、Bではスプライシングと翻訳に関する考察問題を出題した。

問1 DNAを錆型としてRNAを合成する過程を転写という。この過程では、まず、DNAの転写開始点の近くにあるプロモーターとよばれる領域にRNAポリメラーゼ(RNA合成酵素)が結合する。RNAポリメラーゼは、DNAの錆型鎖の塩基と相補的な塩基をもつヌクレオチドをつなぎ合わせてRNAを合成する。なお、オペレーターとは、原核生物の遺伝子発現調節において調節タンパク質が結合する領域を指す。また、DNAポリメラーゼはDNAの複製の際にヌクレオチド鎖を伸長させる酵素である。

20 …②

問2 ①DNAの錆型鎖の塩基配列とRNAの塩基配列は相補的な関係である。DNAでは、アデニン(A)と相補的な塩基はチミン(T)であるが、RNAの塩基にはチミンではなく、アデニンとウラシル(U)が相補的な塩基であるので、正しい。②DNAの各遺伝子領域では、転写される鎖(錆型鎖・アンチセンス鎖)と転写されない鎖(相補鎖・センス鎖)が決まっており、二本鎖のうち錆型鎖し

プロモーター

DNAの転写開始点の近くにあり、RNAポリメラーゼが結合する領域

オペレーター

原核生物の遺伝子発現調節において調節タンパク質が結合する領域

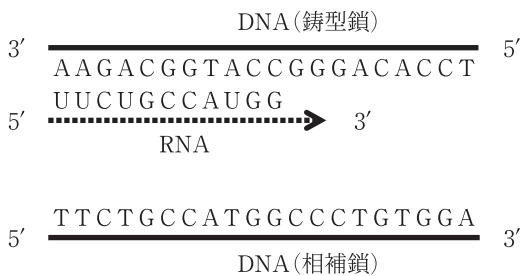
RNAポリメラーゼ

DNAに結合してRNAを合成する酵素

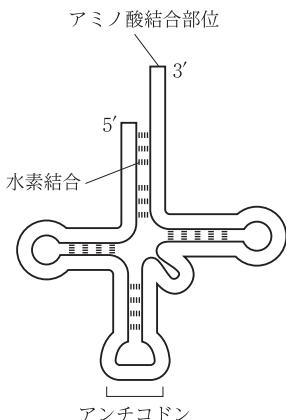
DNAポリメラーゼ

DNAの複製の際にヌクレオチド鎖を伸長させる酵素

か転写されないので、誤りである。⑨次図のように、DNA ポリメラーゼや RNA ポリメラーゼは、ヌクレオチド鎖の 3' 末端側にしか新しいヌクレオチドを結合させることができない。すなわち、DNA 合成と同様に、RNA 合成も 5' 末端側から 3' 末端側への一方向に起こるので、正しい。



⑩ RNA には、mRNA (伝令 RNA), tRNA (転移 RNA, 運搬 RNA), rRNA (リボソーム RNA) の 3 種類があり、すべて DNA を錆型として合成される。tRNA は折りたたまれて立体構造を形成し (次図参照)，特定のアミノ酸と結合してリボソームにアミノ酸を運搬する。rRNA も折りたたまれて立体構造を形成し、さらにリボソームタンパク質と複合体となってリボソームを構成する。したがって、正しい。



[21] …②

問 3 ①多くの真核生物の遺伝子にはイントロンが存在するが、大腸菌などの多くの原核生物の遺伝子にはイントロンが存在しないので、誤りである。②・③・④エキソンもイントロンも転写されるため、mRNA 前駆体にはイントロンが含まれている。しかし、スプライシングによって mRNA 前駆体からイントロンが除かれ、エキソンのみがつなぎ合わされて mRNA となる。したがって、②・④は誤りであり、③が正しい。

DNA の A に相補的な塩基は RNA では U である。

DNA も RNA も 5' 末端側から 3' 末端側への一方向にのみ合成される。

RNA

mRNA(伝令 RNA)

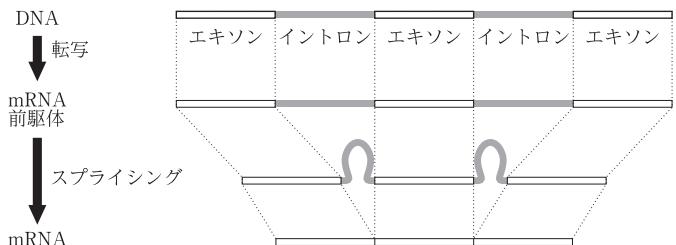
tRNA(転移 RNA, 運搬 RNA)

rRNA(リボソーム RNA)

大腸菌の DNA にはイントロンはない。

スプライシング

mRNA 前駆体からイントロンが除かれ、エキソンのみがつなぎ合わされて mRNA となる過程



22 ... ③

問4 まず、図1で示されている塩基配列が、DNAの鋳型鎖の塩基配列か相補鎖の塩基配列かを判断する必要がある。□で囲まれたAAGはリシンを指定する配列である。もし、図1が鋳型鎖の塩基配列ならば、AAGに対応するmRNAのコドンはUUCであり、表1よりフェニルアラニンを指定する配列となる。図1が相補鎖の塩基配列ならば、AAGに対応するmRNAのコドンはAAGであり、表1よりリシンを指定する配列となる。すなわち、図1は相補鎖の塩基配列であるので、TをUに読み替えれば、mRNAの塩基配列になる。表1より、開始コドンはAUGなので、塩基番号8~10のATGが開始コドンに対応し、読み枠が決定される。したがって、次のコドンはGCCとなり、表1よりアラニンが指定される。

23 ... ④

問5 Bのリード文に「[ ]で囲まれた AAG はリシンを指定する配列であり、リシンの次はヒスチジン、トリプトファン、グリシンの順に指定される」とある。[ ]で囲まれた AAG から塩基配列を順に読むと、CAC, GTG(GUG)とコドンが続くことになる。ただし、( )内は mRNA の配列を表す。表1から、CAC はヒスチジンを指定し、GUG はバリンを指定することがわかる。リシンの次はヒスチジン、ヒスチジンの次はトリプトファンであるので、塩基番号 194 の G から後ろがイントロンであると判断できる。トリプトファンを指定する配列は TGG(UGG)のみであり、イントロンの終わりをみつけるには塩基番号 194 以降で TGG を探せばよい。塩基番号 971~973 に TGG が出現し、さらにグリシンを指定する GGC が続くので、塩基番号 970 の G までがイントロンであると考えれば、与えられたアミノ酸配列がうまく説明できる(次回参照)。

24 …①

問6 前図のように、イントロンの後のエキソンをトリプトファンから順に読むと、塩基番号 986～988 に TAG が出現する。これは mRNA では UAG となり、終止コドンである。終止コドンはアミノ酸を指定しないため、塩基番号 985 までがアミノ酸を指定する領域となる。遺伝子 X のアミノ酸を指定する塩基数は、イントロン前の塩基番号 8 から 193 までの 186 塩基と、イントロン後の塩基番号 971 から 985 までの 15 塩基を合わせた 201 塩基である。したがって、遺伝子 X から合成されるポリペプチドのアミノ酸数は  $201 \div 3 = 67$  個となる。

25 …①

終止コドンはアミノ酸を指定しない。

## 第5問 バイオテクノロジー

A ではバイオテクノロジーに関する知識問題を、B ではヒトのインスリンを大腸菌に合成させる方法に関する考察問題を出題した。

問1 遺伝子組換え実験において、導入したい DNA を効率よく細胞に取り込ませるために、目的の遺伝子をプラスミドやウイルスなどの DNA に結合させる。このようなプラスミドやウイルスなどをベクター(運び屋という意味)とよぶ。①のパフは、ショウジョウバエやユスリカのだ腺などでみられる巨大染色体において観察されるふくらみで、パフでは RNA 合成が行われている。②のゲノムは、ある生物が生存するために必要な遺伝子の 1 セットのことである。④のリプレッサーは、遺伝子発現の調節において、DNA に結合し、転写を抑制する調節タンパク質のことである。

26 …③

ベクター

遺伝子の運び屋のこと。

プラスミドやウイルスが用いられる。

問2 ①本来その生物がもたない外来遺伝子が体内で発現している生物をトランジジェニック生物とよぶので、正しい。②植物の遺伝子導入においては、アグロバクテリウムとよばれる細菌のプラスミドがよく用いられる。このプラスミドに目的とする遺伝子を組み込み、このプラスミドをもつアグロバクテリウムを植物細胞に感染させて取り込ませるので、正しい。③ある遺伝子を破壊した生物を作製し、その生物に生じた異常を調べることでその遺伝子のはたらきを調べる技術はノックアウトとよばれるので、正しい。④GFP(緑色蛍光タンパク質)はオワンクラゲから取り出されたタンパク質であり、紫外線を照射すると緑色の蛍光を発する。この GFP 遺伝子を目的とする遺伝子に結合させて生物に導入すると、この遺伝子が発現している細胞は紫外線を照射すると緑色に発光する。このことを利用して目的とする遺伝子が発現している組織や器官、あるいは発生段階を調べることができるので、正しい。⑥短時間で多量の DNA を複製する方法は PCR 法(ポリメラーゼ連鎖反応法)とよばれる。サンガー法は、DNA の塩基配列を決定するための方法であるので、誤りである。

27 …⑥

トランジジェニック生物

その生物にない外来遺伝子を導入し、体内で発現するようにした生物

ノックアウト

ある遺伝子を破壊した生物を作製して、その遺伝子のはたらきを調べる技術

サンガー法

塩基配列を決定するための方法

PCR 法

多量の DNA を複製する方法

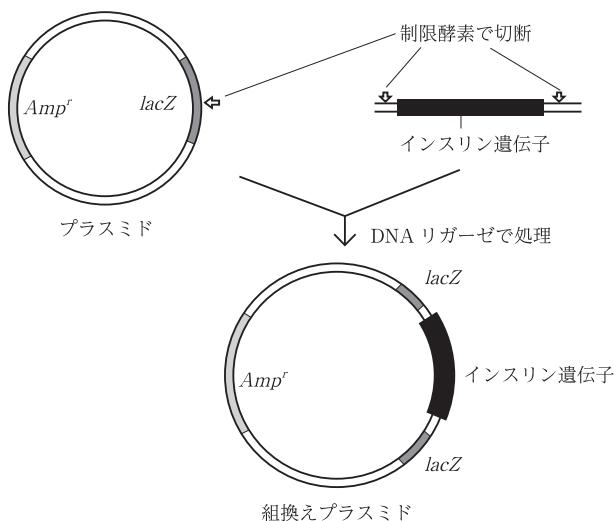
問3 DNA の特定の塩基配列を識別して切断する酵素を制限酵素とよぶ。制限酵素は細菌類などがもつ酵素であり、細胞内に侵入してきたウイルスのDNAを切断して、ウイルスから細胞を防御する。DNAリガーゼはすべての生物がもつ酵素であり、DNA断片どうしを連結する酵素である。逆転写酵素はRNAを録型としてDNAを合成する酵素であり、遺伝子としてRNAをもつエイズウイルスなどのレトロウイルスの増殖の際にはたらく。

28 ⋯⑥

問4 5'…GAATTC…3'のような6塩基対からなる塩基配列が存在する確率を考えればよい。上の鎖の塩基配列が決まれば下の鎖の塩基配列は自動的に決定され、上の鎖も下の鎖とともに5'側から順に5'…GAATTC…3'という同じ塩基配列であるので、上の鎖の塩基配列が出現する確率を求めればよい。塩基はA, G, C, Tの4種類なので、それぞれの塩基が出現する確率は $\frac{1}{4}$ である。最初の塩基であるGが出現する確率は $\frac{1}{4}$ 、次のAが出現する確率も $\frac{1}{4}$ というようになるので、6塩基対では $(\frac{1}{4})^6 = \frac{1}{4^6}$ となり、 $4^6$ 塩基対に1ヶ所の割合で切断される。

29 ⋯②

問5 インスリン遺伝子を含む組換えプラスミドは、次図に示したような方法で作製する。まず、制限酵素を用いてプラスミドをβ-ガラクトシダーゼの遺伝子(*lacZ*)の途中で1ヶ所切断する。また、同じ制限酵素を用いてインスリン遺伝子を含むDNAを切断してDNA断片を得る。制限酵素にはいろいろな種類があるので、上記のような切断が可能な制限酵素を用いる。このプラスミドとインスリン遺伝子を含むDNA断片を混合してDNAリガーゼで処理し、インスリン遺伝子を含む組換えプラスミドを作製する。



制限酵素

特定の塩基配列を識別して、DNAを切断する酵素

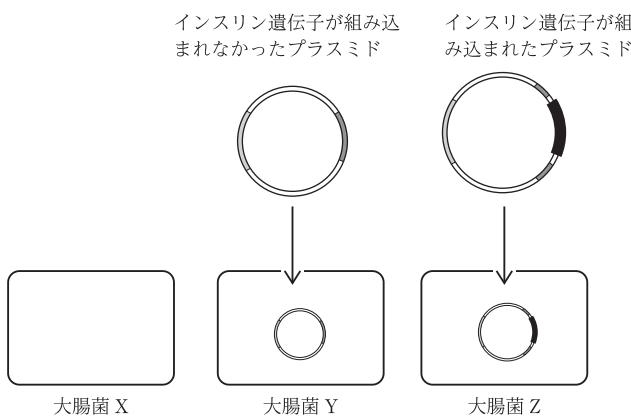
DNAリガーゼ

DNA断片どうしを連結させる酵素

逆転写酵素

RNAを録型としてDNAを合成する酵素

このとき、インスリン遺伝子が組み込まれたプラスミド以外に、インスリン遺伝子が組み込まれなかったプラスミドも存在する（制限酵素がうまく作用せずプラスミドが切断されなかったものや、プラスミドは切断されたが、DNAリガーゼによって切断されたプラスミドの切断部分どうしがそのまま結合したものが生じる）。また、すべての大腸菌がプラスミドを取り込むわけではない。したがって、プラスミドを大腸菌に取り込ませる処理を行った場合、次図のように、プラスミドを取り込まなかった大腸菌（大腸菌X）、インスリン遺伝子が組み込まれなかったプラスミドを取り込んだ大腸菌（大腸菌Y）、インスリン遺伝子が組み込まれたプラスミドを取り込んだ大腸菌（大腸菌Z）の3種類の大腸菌が存在することになる。



大腸菌Xや大腸菌Yはインスリン遺伝子をもっていないので、これらを増殖させてもインスリンを合成しない。インスリンを合成するのは大腸菌Zだけなので、大腸菌Zだけを選抜して増殖させるとインスリンの生産が効率よく起こる。

アンピシリンは抗生素質の一種であり、細菌の増殖を阻害する物質である。また、物質PはXgalとよばれる物質であり、 $\beta$ -ガラクトシダーゼによって分解され、青色の物質を遊離する。大腸菌X、大腸菌Y、大腸菌Zをアンピシリンを含む培地で培養すると、 $Amp^r$ をもたない大腸菌Xは増殖せず、 $Amp^r$ をもつ大腸菌Yと大腸菌Zは増殖し、コロニーをつくる。大腸菌Yでは $\beta$ -ガラクトシダーゼが合成されるが、大腸菌Zでは $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子の中にヒトのインスリン遺伝子が挿入されているので、 $\beta$ -ガラクトシダーゼが合成されない。そのため、大腸菌Yでは物質Pが分解されて青色のコロニーに、大腸菌Zでは物質Pが分解されず白色のコロニーが形成される。したがって、白色のコロニーから大腸菌を採取して培養すれば、ヒトのインスリン遺伝子が組み込まれたプラスミドを取り込んだ大腸菌だけを増殖させることができる。

# 地 学

## 【解答・採点基準】 (100点満点)

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点
第1問	A	問1	1	①	3	
		問2	2	①	4	
		問3	3	⑤	3	
	B	問4	4	⑥	3	
		問5	5	②	3	
		問6	6	②	4	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	②	3	
		問2	8	③	3	
		問3	9	④	3	
		問4	10	②	4	
	B	問5	11	③	4	
		問6	12	①	3	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	13	②	3	
		問2	14	⑥	4	
		問3	15	④	3	
		問4	16	③	3	
	B	問5	17	⑤	4	
		問6	18	②	3	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	⑦	4	
		問2	20	③	3	
		問3	21	①	3	
		問4	22	④	3	
	B	問5	23	④	3	
		問6	24	②	4	
第4問 自己採点小計				(20)		

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点
第5問	問1	25	③	3		
	問2	26	①	4		
	問3	27	②	3		
	問4	28	③	4		
	問5	29	⑧	3		
	問6	30	②	3		
第5問 自己採点小計					(20)	
自己採点合計					(100)	

 地  
学

## 【解説】

### 第1問 固体地球

#### A 地球内部の状態

地球は、太陽のように核融合反応を起こしてエネルギーを生成しているわけではないが、地球創成期の熱が蓄えられており、地球内部は高温になっている。地球内部の熱は地殻熱流量として地表から放出され続け、誕生してから約46億年の間に、地球は徐々に冷却してきた。今回は、地球内部の温度、地殻熱流量、地球内部の熱源などについて出題した。

問1 **ア** 深さとともに地球内部の圧力は増加していくので、地球内部の密度も深さとともに大きくなっているが、深さ約2900kmのマントルー外核境界、深さ約5100kmの外核ー内核境界で密度は不連続に上昇している。したがって、マントルー外核境界の深さは約2900kmが正解である。深さ約2900kmのマントルー外核境界における密度の不連続な変化は、マントルと外核の化学組成が大きく異なることが原因である。

**イ** 地下数十mより深いところでは、平均すると100m深くなるごとに2~3℃ずつ温度が上昇している。この温度上昇の割合は地下30km付近まで続いていると考えられている。この地下の温度上昇の割合を地下増温率(地温勾配)といふ。火山地帯などの地下増温率は、これよりもずっと大きな値である。

仮に、深さ100mごとに3℃の割合で温度上昇が地球の中心部まで続いたとすると、深さ40kmでは1000℃を超え、中心部では約20万℃にも達し、大陸地殻下部よりも深部では構成物質が溶融して液体の状態になっていることになる。しかし、地震波の解析から、液体の状態になっているのは外核(深さ約2900~5100kmの領域)のみであり、それ以外は固体であることがわかっている。地震波の解析に加えて、実験室内での高圧条件下における物質の状態の研究などから、地球の中心部は固体であり、その温度は5000~6000℃と見積もられている。

**1** …①

問2 問題文にあるように、地殻熱流量は地下増温率と岩石の熱伝導率との積で定義される。熱伝導率とは熱の伝わりやすさを示す数値であり、大陸地殻上部に多く分布する花こう岩の熱伝導率は、 $3.0\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) = 3.0\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 程度である。

問題の図1の深さと地下の温度の関係を示す直線では、深さ200mの温度は20℃、深さ400mの温度は25℃と読み取れるから、地下増温率は100m深くなるごとに2.5℃の温度上昇、すなわち1m深くなるごとに0.025℃の温度上昇の割合になる。したがって、求める地殻熱流量は、

$$0.025 \times 3.0 = 0.075 (\text{W}/\text{m}^2)$$

となる。したがって、正解は①である。

## 【ポイント】

マントルー外核境界の深さ

約2900km

外核ー内核境界の深さ

約5100km

地下増温率(地温勾配)

深さに対する地下の温度上昇の割合。

地殻熱流量

単位面積を単位時間に伝わる熱量(單位はW/m<sup>2</sup>あるいはmW/m<sup>2</sup>)。

ちなみに、大陸地域の地殻熱流量の平均値は約  $0.065 \text{ W/m}^2$ 、海洋地域の地殻熱流量の平均値は約  $0.101 \text{ W/m}^2$  と見積もられている。海洋地域の地殻熱流量の平均値の方が大陸地域の地殻熱流量の平均値より大きいことも合わせて覚えておこう。

なお、本問とは直接の関係はないが、問題の図1では、地表から深さ40mまでの地下の温度のデータを示していない。これは、地表から地下数十mまでは太陽放射の影響を受けて地下の温度が変動しており、昼間などではむしろ地表付近の方が温度が高くなるからである。次の図1-1は、問題の図1に地表から深さ40mまでの温度のデータを加えたものである。 2 …①

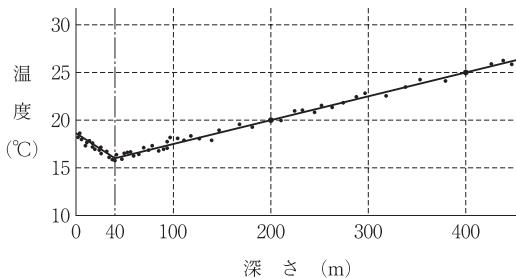


図1-1 地下の温度分布

問3 a 東北日本の太平洋沖には日本海溝があり、ここから冷たい太平洋プレートが沈み込んでいるため、海溝付近の地殻熱流量は小さい。火山前線(火山フロント)は火山分布の海溝側の限界線であり、火山は火山前線よりも大陸側(西側)に存在するため、火山前線よりも大陸側の方が海溝側よりも地殻熱流量が大きい(図1-2)。したがって、aは誤りである。

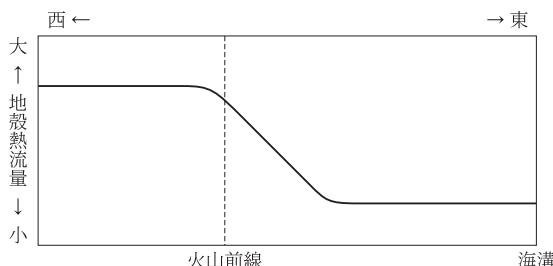


図1-2 東北日本の地殻熱流量の分布(模式図)

b 地球創成期に、微惑星の衝突・合体によって発生した熱が現在も地球の中心部に残っており、これが地球内部の主要な熱源の一つとなっている。もう一つの主要な熱源は、U(ウラン), Th(トリウム), K(カリウム)などの放射性同位体の放射性崩壊(自然崩壊)に伴って発生する熱である。したがって、bは正しい。

放射性同位体は大陸地殻上部を構成する花こう岩に多く含まれ、大陸地殻下部や海洋地殻を構成する玄武岩や上部マントルを

#### 地殻熱流量の平均値

大陸地域の平均値 < 海洋地域の平均値

#### 東北日本の地殻熱流量の分布

火山前線を境にして、西側で大きく、東側で小さい。

#### 地球内部の熱源

- ・地球創成期に蓄えられた熱
- ・放射性同位体(U, Th, Kなど)の放射性崩壊に伴う発熱

構成するかんらん岩には少ない。大陸地域の地殻熱流量は放射性同位体の放射性崩壊に伴って発生する発熱がその多くをまかなっていると考えられている。

c 地球は約46億年の歴史の中で、地表から絶えず熱を放出し続け、冷却してきた。液体である外核は、地球の冷却に伴って、圧力の高い中心部に近い方から固化し、それによって内核が形成され、現在に至るまで内核は成長してきたと考えられる。したがって、cは正しい。

以上から、「誤、正、正」の組合せである⑥が正解となる。

3 …⑥

## B 地 震

日本列島周辺では4枚のプレートが接しており、世界的に見ても地震の頻発している地域である。それゆえ、日本では地震に関する研究が進んでいるものの、まだ解明されていないことも多い。今回は、日本で発生する地震のタイプ、地震に伴う地殻変動、活断層などについて出題した。

問4 [ウ] 問題文にあるように、日本で発生する地震の多くは、プレート境界で発生する地震(海溝型地震)、沈み込む海洋プレート(スラブ)内で発生する地震(深発地震)、陸のプレート内部で発生する地震(内陸地震)の三つのタイプに分けられる(図1-3)。このうち、プレート境界では、海洋プレートの沈み込みに伴って圧縮力がはたらき、おもに逆断層型の地震が発生する。このタイプの地震はマグニチュード(M)が8を超えるような巨大地震になることが多い。

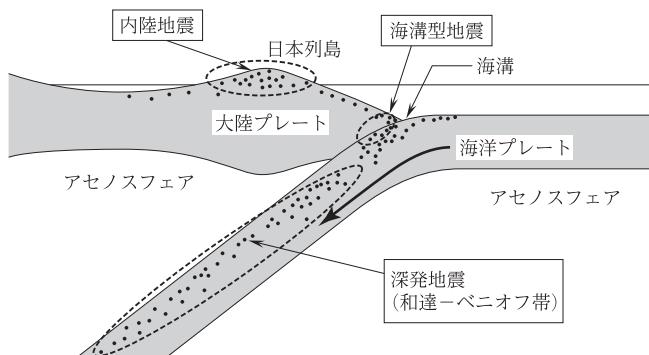


図1-3 日本で発生する地震の三つのタイプ

[工] 日本のような島弧-海溝系(あるいは弧-海溝系)では、深発地震の震源が海溝やトラフから沈み込む海洋プレートに沿って面状に分布している。これを深発地震面といい、深さ約700kmまで続いている。深発地震の分布帶は、発見者の名前にちなんで和達-ベニオフ帯と呼ばれている(図1-3)。

4 …⑥

## 地球内部の変化

地球の冷却に伴って、外核が固化して内核が成長している。

## 日本で発生する地震のタイプ

- ・プレート境界で発生する地震(海溝型地震)
- ・沈み込む海洋プレート(スラブ)内で発生する地震(深発地震)
- ・陸のプレート内部で発生する地震(内陸地震)

## 和達-ベニオフ帯

沈み込む海洋プレートに沿って発生する深発地震の分布領域。

**問5** ① プレートの運動などに伴い、地下の岩盤は周囲から圧力を受けており、ひずみが蓄積されている。地震は、地下の岩盤が破壊されてずれ動き(断層運動をして)、蓄積されたひずみが解放されることによって発生する。なお、ひずみとは物質の変形の尺度を表す量のことである。したがって、この選択肢は正しい。

② 観測地点に最初に到達するP波の地震計の記録から、地震が発生したときの観測地点の最初の動き(初動)を知ることができる。初動を調べることによって、観測地点からどちらの方向に震源があるのかが推定できる。さらに多数の観測地点の初動分布から、断層のずれ方が推定される。しかし、一地点に置かれた地震計の初動の記録からは震源までの距離は求められない。ある地点の震源までの距離は、初期微動継続時間などを用いて求める。したがって、この選択肢が誤りであり、正解となる。

③ 高知県の室戸岬や千葉県の房総半島の南端などでは、巨大地震が発生するたびに海食台(波食台)が隆起して陸地となり、階段状の地形である海岸段丘が形成されている。したがって、この選択肢は正しい。

④ 津波は、海底の浅いところで起きた地震によって海底が大きく隆起または沈降し、海水全体が大きく上下に動いて発生する。陸地の浅いところで発生したマグニチュードの小さな地震では、海底が大きく変動することなく、海水にほとんど影響を与えないで、大きな津波が発生する可能性はないといえる。したがって、この選択肢は正しい。

5 …②

**問6** P波の初動分布(押し引きの分布)では、直交する2本の直線によって4領域に分けられるとき、2本の直線のうち1本の直線が横ずれ断層ののびる方向になる。どちらの直線が断層の方向になるかは余震分布などから判断できる。

図1-4のように押し引きが分布し、北東-南西方向と北西-南東方向にのびる2直線によって4領域に分けられているとき、引き波が分布している領域が震源に向かって圧縮力がはたらいている領域であるので、図1-4は東西方向に圧縮力がはたらいていることを意味する。

図1-4左図は、断層が北東-南西方向にのびている場合、図1-4右図は、断層が北西-南東方向にのびている場合である。断層を挟んで向こう側の地盤が自分のいる側の地盤に対して右に動いている場合が右横ずれ断層で、自分のいる側の地盤に対して左に動いている場合が左横ずれ断層なので、図1-4左図の断層は右横ずれ断層、図1-4右図の断層は左横ずれ断層である。したがって、正解は②である。

6 …②

#### 地震の発生

地震は、地下の岩盤が破壊されてずれ動く断層運動によって発生する。

#### 海岸段丘

海岸沿いに見られる階段状の地形。

#### P波の初動分布

押し引きの分布が2本の直交する直線によって4領域に分けられるとき、2本の直線のどちらかが地震を引き起こした断層の方向になる。

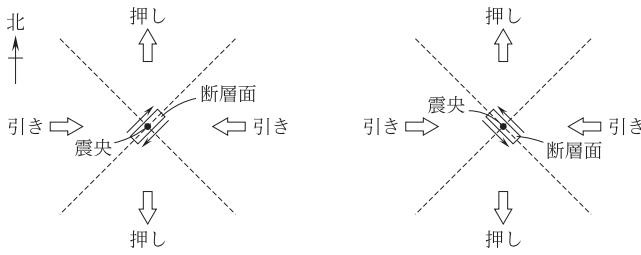


図 1-4 押し引き分布と断層の方向

## 第2問 岩石・鉱物

### A 造岩鉱物

鉱物は、特定の原子が規則正しく結合している天然の物質である。岩石を構成する鉱物を造岩鉱物といい、40種類程度ある。今回は、偏光顕微鏡を使用した造岩鉱物の観察と、造岩鉱物の組合せから岩石の種類や岩石の生成条件を推定する問題を出題した。

**問1** 偏光顕微鏡は、下方ニコルと上方ニコルという偏光板があり、上方ニコルは出し入れすることが可能になっている(問題の図1)。これらのニコルを通した光によって鉱物の多色性、干渉色、消光などを観察する。

**ア** 上方ニコルを取り出した平行(開放)ニコル下での観察は、鉱物の形や鉱物本来の色を調べるのに適している。無色鉱物(珪長質鉱物)が無色透明であるのに対し、有色鉱物(苦鉄質鉱物)はそれぞれ特徴のある色を示す。多色性とは、平行ニコルの状態でステージを回転させると鉱物の色の濃淡や色調が変化する現象で、有色鉱物の多くがそれぞれ特有の多色性を示す。

**イ・ウ** 上方ニコルを入れた直交ニコルの観察では、干渉色と消光について調べることができる。干渉色とは、光が下方ニコル、薄片そして上方ニコルを通ることにより、光が干渉を起こして鉱物特有の色が見られる現象で、鉱物本来の色とは異なっている。消光は、ステージを回転させると90°ごとに個々の鉱物が光を通さなくなる現象である(問2参照)。

7 ⋯②

**問2** 造岩鉱物はそれぞれ特有の光学的性質をもっているため、偏光顕微鏡を用いた観察によって上記の多色性や干渉色、消光角などを調べ、鉱物の種類を特定することができる。火成岩を構成するおもな造岩鉱物の偏光顕微鏡下における特徴を表2-1に示す。

表2-1より①の斜長石、②のカリ長石、④の黒雲母の記述は正しいことがわかる。

③ 石英は、無色鉱物であるため、多色性はなく、ステージを回転させると波打つような消光(波状消光)を示す場合が多い。したがって、この選択肢が誤りである。

なお、消光に関しては図2-1の黒雲母を例にすると、へき開

### 偏光顕微鏡での観察

平行ニコル：下方ニコルのみで観察。  
鉱物の形、色、多色性や  
へき開を調べるときに用  
いる。

直交ニコル：上方ニコルと下方ニコル  
で観察。干渉色や消光角  
を調べるときに用いる。

### 多色性

平行ニコル下で、ステージを回転する  
と鉱物の色の濃淡や色調が変化する現  
象。

### 干渉色

直交ニコル下で見られる色。

### 消光

直交ニコルで観察する。ステージを  
90°回転させるごとに消光する。

### へき開

一定方向に割れやすい鉱物の性質。

線と偏光顕微鏡の視野内にある十字線が一致したときに消光することを直消光といい、黒雲母は直消光を示す。それ以外の場所で消光する場合を斜消光という。

8 ⋯③

表 2-1 火成岩の造岩鉱物の光学的な性質

鉱物名	平行ニコル			直交ニコル	
	色	多色性	へき開	干渉色	特徴および消光
無色鉱物	石英	無色	なし	なし	灰色
	カリ長石	無色	なし	1~2方向	灰色
	斜長石	無色	なし	1~2方向	灰色
有色鉱物	黒雲母	暗褐~黄緑色	強い	1方向	赤・緑・青・紫色などの鮮やかな色
	角閃石	青緑~褐色	あり	1~2方向	
	輝石	無色~淡褐色	あり	1~2方向	
	かんらん石	無色~淡黄色	なし	不明瞭	

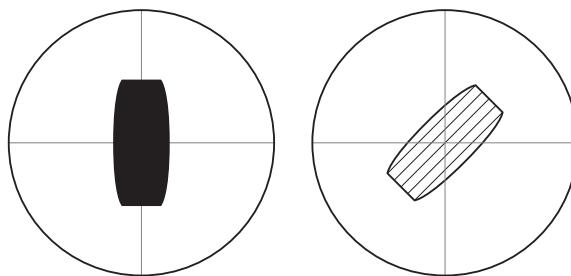


図 2-1 顕微鏡の視野内における黒雲母の消光のようす

(右図の鉱物内に見られる数本の線がへき開を表している。  
左図では消光しているため、へき開線は見えない。)

問3 結晶構造は変わらず、イオンの置換によって化学組成が連続的に変化する鉱物を固溶体とい。置換の条件として、「イオンの大きさが似ていること」、「結晶の電気的な中性が保たれるようにイオンの置換が起こること」が必要である。

斜長石の化学組成は  $(Ca, Na)Al(Al, Si)Si_2O_8$  と表すことができ、( )内のイオン  $Ca^{2+}$  と  $Na^+$ ,  $Al^{3+}$  と  $Si^{4+}$  が結晶内の電気的中性を保つように入れ替わる。

斜長石  $(Ca, Na)Al(Al, Si)Si_2O_8$  は、次のように変化する。



イオンの比率がどの程度になるかを決定する要因としては、鉱物の生成温度が重要である。高温下で晶出する塩基性岩中の斜長石には Ca, 低温下で晶出する酸性岩中の斜長石には Na が含まれやすい性質がある。図 2-2 から火成岩 A の主要造岩鉱物は斜長石, カリ長石, 石英, 黒雲母であるので酸性岩, 火成岩 B の主要造岩鉱物はかんらん石, 輝石, 斜長石であるので塩基性岩である。したがって、火成岩 A 中の斜長石は Na 成分に富み、火成岩 B 中

#### 固溶体

結晶構造は変わらず、化学組成が連続的に変化する鉱物。

(例) 火成岩の主要造岩鉱物のうち、石英以外の鉱物。

#### 斜長石

高温のマグマから晶出するのは Ca 成分に富む斜長石。

低温のマグマから晶出るのは Na 成分に富む斜長石。

の斜長石は Ca 成分に富む。つまり、 $\frac{\text{CaO}}{\text{Na}_2\text{O}}$  の値が大きいのは火成岩 B である。

このようなことから、固溶体の成分分析をすることによって鉱物やそれを含む岩石の生成時の温度条件などを知ることができる。

なお、多形とは、化学組成が同じで結晶構造が変化する鉱物どうしの関係であり、同質異像ともいう。例として、化学組成が C (炭素) であるダイヤモンドと石墨、化学組成が  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  である紅柱石、珪線石、藍晶石などがある。

9 …④

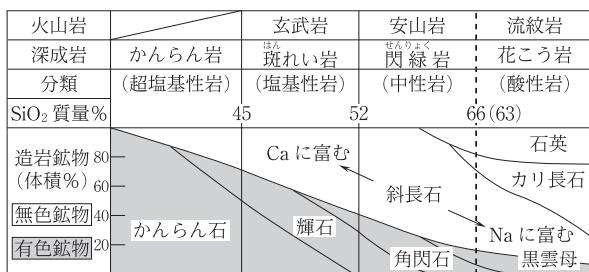


図 2-2 火成岩の分類

問 4 鉱物 X と鉱物 Y は、化学組成が同じで結晶構造が異なることから多形の関係にある。問題の図 2 中の直線上の温度・圧力条件下で、鉱物 X と鉱物 Y が共存する。变成岩 C が形成された温度は 300 °C であり、問題の図 2 で 300 °C に対応する圧力は  $2 \times 10^8 \text{ Pa}$  と読みとることができる。また、1 km 深くなるごとに圧力は  $2.5 \times 10^7 \text{ Pa}$  ずつ増加することが問題文中で与えられていることから、变成岩 C が形成された深さ x km は、以下のように求めることができる。

$$2.5 \times 10^7 \text{ Pa} : 1 \text{ km} = 2 \times 10^8 \text{ Pa} : x \text{ km}$$

$$x = 8 \text{ km}$$

10 …④

## B 堆積岩

堆積岩はその成因や堆積物の種類によって、碎屑岩、火山碎屑岩(火碎岩)，生物岩，化学岩に分類される。今回は碎屑岩と生物岩の成り立ちとその特徴を出題した。

問 5 a 続成作用とは、碎屑物が堆積し、長期間にわたってその上にある地層の重みによって、粒子の間にあった水が絞り出され(圧密)，また、 $\text{CaCO}_3$  や  $\text{SiO}_2$  などの成分が粒子の間隙を埋めて固まり(セメント化作用)，かたい岩石に変化していく作用をいう。したがって、この文は正しい。また、続成作用は碎屑物に限らず、堆積物ならば種類によらず起こる現象である。

b 岩石は風化して碎屑物となる。碎屑物が堆積してできた岩石を碎屑岩という。碎屑物は構成粒子の粒径によって、泥，砂，礫に分類される(表 2-2)。0.2 mm 程度の粒子から構成されて

## 多形(同質異像)

化学組成が同じで結晶構造が異なる鉱物どうしの関係。

(例)

C …ダイヤモンド，石墨

$\text{Al}_2\text{SiO}_5$  …紅柱石，珪線石，藍晶石

## 堆積岩の種類

碎屑岩，火山碎屑岩，生物岩，化学岩

## 続成作用

堆積物が堆積岩に変化する作用。圧密や膠結(セメント化作用)による。

いる碎屑岩は砂岩であり、この文は誤りである。

表2-2 碎屑物の分類

粒径	碎屑物
$\sim \frac{1}{16}$ mm	泥
$\frac{1}{16} \sim 2$ mm	砂
2 mm ~	礫

c 地表に露出した岩石は、水や大気のはたらきによって風化し、碎屑物を形成する。碎屑物は、おもに流水の作用によって侵食・運搬されて堆積物となる。運搬の際、碎屑物の粒子は角が削られて丸くなる。このため、砂岩を構成する粒子は丸みを帯びたものが多い。したがって、この文は正しい。

以上から、「正、誤、正」の組合せである③が正解となる。

11 …③

問6 堆積岩は、その成因や構成物によって表2-3のように碎屑岩、火山碎屑岩、生物岩、化学岩に分類される。岩石Dは珪酸質の殻をもつ放散虫の化石を含んでいるので、生物岩のチャートであり、その主成分は  $\text{SiO}_2$  (二酸化珪素) である。チャートは緻密でかたく、昔は火打ち石として使用された。チャートにはさまざまな色を呈するものがあるが、微量の酸化鉄を含んでいるチャートは赤色を呈する。岩塩は主成分が  $\text{NaCl}$  (塩化ナトリウム) であり、化学岩の一種である。

12 …①

表2-3 堆積岩の分類

分類名	構成物	岩石名
碎屑岩	碎屑物	泥岩、砂岩、礫岩
火山 碎屑岩 (火碎岩)	火山灰 火山礫など	凝灰岩 凝灰角礫岩 火山礫凝灰岩
生物岩	石灰質(サンゴ、 紡錘虫) 珪酸質(放散虫、珪藻)	石灰岩 チャート
化学岩	$\text{NaCl}$ $\text{SiO}_2$ $\text{CaCO}_3$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	岩塩 チャート 石灰岩 石こう

#### 生物岩

い、がい 生物の遺骸が堆積してできた岩石。

#### 化学岩

海水などに溶けていた物質が、化学的に沈殿して形成された岩石。

### 第3問 地質・地史

#### A 地質断面図

2方向の地質断面図から、その地域で生じた地質現象を読み取る問題である。

問1 図3-1のように、走向は、層理面と水平面の交線の方向である。また、傾斜は、傾斜角と傾斜の方向で表される。傾斜角は、層理面と水平面がなす角度である。傾斜の方向は層理面が下がる方位であり、4方位もしくは8方位で表す。

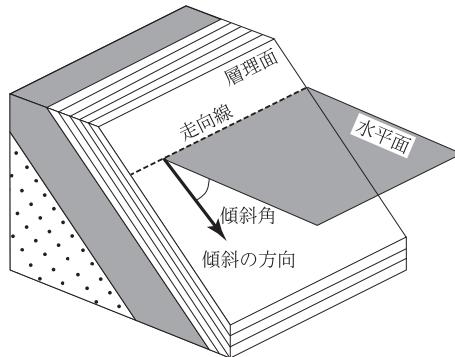


図3-1 走向と傾斜

クリノメーターは、層理面の走向・傾斜を測定する器具である。走向は、図3-2のように、クリノメーターを水平に保ち、層理面にその長辺を当てて測定する。したがって、aが正しい測定法である。傾斜角は、走向と垂直な方向に長辺を当て、針が指す内側の目盛りの値を読む。以上から、走向の測り方はa、傾斜角の測り方はdが正解である。

13 ⋯②

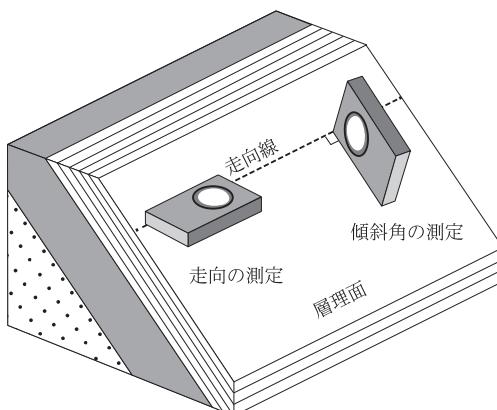


図3-2 クリノメーターの当て方

問2 C層、凝灰岩層、D層の走向は同一なので、問題の図1中の凝灰岩層の走向を求める。走向は、水平面と層理面との交線の方向である。したがって、問題の図1中の凝灰岩層の下部が、底面

#### 走向・傾斜

走向：層理面と水平面の交線の方向。

傾斜：層理面の傾斜角と層理面が下がる方位。

#### クリノメーター

層理面の走向・傾斜を測定する器具。

の水平面と交わる P 点と Q 点を結んだ線が走向線である(図 3-3)。

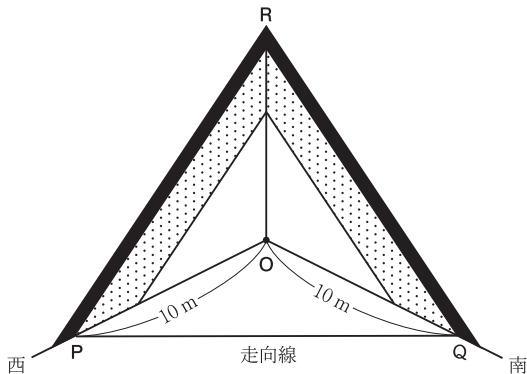


図 3-3 走向の求め方

次の図 3-4 に、この走向線を含む三角形 OPQ を示した。  
 $OP = OQ = 10\text{ m}$  なので、この三角形は直角二等辺三角形であり、 $\angle OQP$  は  $45^\circ$  である。したがって、走向線は北の方向から  $45^\circ$  西の方向にのびているので、走向は N $45^\circ$ W である。また、傾斜の方向は、層理面が下がる方位で表すので、南西である。記号は、図 3-5 のように長い棒で走向の方向を示し、短い棒で層理面が下がる方位を示すので、⑥が正解である。

14 ⋯ ⑥

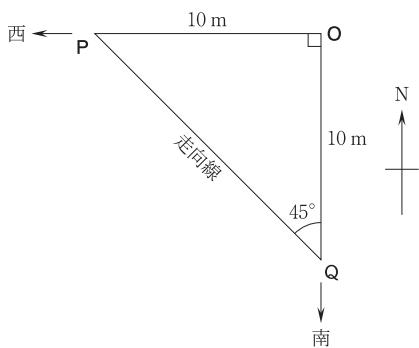


図 3-4 底面における走向

問 3 次の表 3-1 に相対年代と放射年代(絶対年代)、各時代の代表的な示準化石を示した。

F 岩体は約 1 億年前に形成されたので、形成年代は中生代と新生代の境界の 6600 万年前よりも前の中生代後半であることがわかる。選択肢の中では、中生代に含まれる時代は白亜紀だけなので、④が正解である。相対年代の古生代、中生代、新生代の始まりが何年前であったかは覚えておこう。

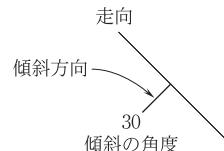
15 ⋯ ④

#### 相対年代

動物界の変遷に基づいて区分する。

#### 示準化石

地層の堆積した地質時代を推定するのに役立つ化石。



走向 N $45^\circ$ W, 傾斜 30°SW の場合

図 3-5 走向・傾斜の記号

表3-1 地質時代と示準化石

年前	相対年代	示準化石
260万年	第四紀	ナウマンゾウ・マンモス
	新第三紀	ビカリア・デスマスチルス
	古第三紀	カヘイ石(ヌムリテス)
6600万年	白亜紀	
	ジュラ紀	恐竜
	三疊紀	アンモナイト
2.5億年	ペルム紀	アンモナイト
	石炭紀	紡錘虫(フズリナ)
	デボン紀	リボク
5.4億年	シルル紀	ロボク フワインボク
	オルドビス紀	三葉虫
	カンブリア紀	クサリサンゴ・ハチノスサンゴ パージェス動物群(アノマロカリス)
先カンブリア時代		エディアカラ生物群 シアノバクテリア(ストロマライト)

問4 この地域には地層の逆転が見られないで、「上位の地層は下位の地層よりも新しい」という地層累重の法則が成立する。

示準化石と年代(表3-1), 地層累重の法則, 「切っている方が切られている方よりも新しい」の関係から, この地域の層序を組み立ててみると, 次のようになる。

E層堆積・褶曲(紡錘虫…古生代後期)



D層堆積(途中で凝灰岩層堆積)



C層堆積



F岩体貫入(約1億年前…中生代後半)



B層堆積(カヘイ石…新生代古第三紀)



A層堆積

これを参考に選択肢を検討する。

① B層は新生代に堆積した地層で, F岩体は中生代に貫入しているので, 新しいB層がそれより古いF岩体によって接触変成作用を受けることはない。したがって, この選択肢は誤りであ

接触変成岩

泥岩 → ホルンフェルス

石灰岩 → 結晶質石灰岩(大理石)

る。

⑧ C層は、古生代に堆積したE層よりも新しく、中生代後半に貫入したF岩体よりも古いので、中生代に堆積した可能性がある。そのため、中生代のアンモナイトの化石が含まれている可能性がある。したがって、この選択肢は誤りである。

⑨ E層は古生代に堆積して褶曲しており、褶曲していないD層とは走向・傾斜が異なる。すなわち、D層とE層は不整合の関係である。したがって、この選択肢が正解である。

ちなみに不整合と判断する条件として、以下の四つがある。

I. 下位層堆積後、上位層の堆積までの間に長期間の堆積の中断があった。

II. 上位層と下位層の地層の走向・傾斜が異なる。

III. 上位層の最下部に下位層の礫を含む礫岩層(基底礫岩層)  
がある。

IV. 侵食を示す凹凸面がある。

E層とD層の重なりではIIの条件を満たしている。

⑩ 三角貝(トリゴニア)は中生代の示準化石なので、古生代のE層に含まれる可能性はない。したがって、この選択肢は誤りである。

16 …③

## B 地球の歴史

先カンブリア時代の大気環境の移り変わりについて出題した。

問5 現在の大気の成分は体積比で、窒素：酸素≈4:1である。

一方、地球誕生時の原始大気は、微惑星の衝突の際に微惑星内部から放出されたガスから構成されており、おもに水蒸気と二酸化炭素と窒素であった。したがって、現在の大気に含まれ、原始大気に含まれていない成分は酸素(イ)であり、その量は、現在の大気では約20(ア)%である。光合成生物によって海水中に放出された酸素は、海水中に多く含まれていた鉄(ウ)イオンと結合し、縞状鉄鉱層(工)を形成した。縞状鉄鉱層は、現在の重要な鉄資源となっている。

また、二酸化炭素は原始大気の主成分であり、海水中のカルシウムイオンと結合して石灰岩となって固定され、減少していく。

17 …⑥

問6 先カンブリア時代は、地球誕生の約46億年前から、古生代が始まる約5億4000万年前までの時代である。

① 最初に誕生した生物は、核をもたない単細胞生物であり、「原核生物」と呼ばれている。真核生物は細胞内に核をもつ生物であるので、誤りである。

② 約27億年前、光合成をするシアノバクテリアが出現し、約19億年前まで繁栄した。ストロマトライトとは、シアノバクテリアのコロニーがつくる構造物である。したがって、この選択肢が正しく、正解である。

### 現在の大気成分

窒素：酸素≈4:1

### 原始大気

水蒸気、二酸化炭素

### 縞状鉄鉱層

シアノバクテリアの光合成によって放出された酸素が海水中の鉄イオンを酸化して形成された。

### 先カンブリア時代の生物

原核生物…細胞内に核をもたない単細胞生物。  
真核生物…細胞内に核をもつ生物。

### ストロマトライト

シアノバクテリアによって形成された構造物。

⑨ 約 7 億年前の全球凍結の時代には、当時の生物の大半が絶滅したが、全球凍結が終了し、地球が暖かくなつくると、大型の多細胞生物が出現した。その代表がエディアカラ生物群である。しかし、エディアカラ生物群の生物は、かたい殻はもつていなかった。かたい殻をもつた動物が繁栄するようになるのは、古生代になってからである。したがつて、この選択肢は誤りである。

⑩ 最初の陸上植物の一つは、シダ植物のクックソニアであるが、出現したのは古生代のシルル紀である。したがつて、この選択肢は誤りである。

18 ⋯⑩

## 第4問 大気・海洋

### A 大気圏の構造

高さとともに変化する大気組成、気温、気圧について出題した。地表付近の地球大気のおもな組成を表4-1に示す。この組成は中間圏上端(約 80~90 km)までほとんど変わらない。これは大気が水平方向のみならず、上下方向にもよく運動していることを示している。

表4-1 おもな大気組成

成 分	体積比(%)
窒素 N <sub>2</sub>	78.1
酸素 O <sub>2</sub>	21.0
アルゴン Ar	0.9
二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	0.04

水蒸気は変動が大きいため、体積比には入れていない。

問1 対流圏の上端は高緯度で高度 8~9 km、赤道付近で高度 17~18 km 付近にある。ここから高度約 50 km までを成層圏といふ。成層圏では高度が高くなるとともに気温が上がる(図4-1)。これは、大気中のオゾン(O<sub>3</sub>)が原因である。大気中の酸素(ア)分子(O<sub>2</sub>)が太陽からの紫外線を受けると酸素原子(O)に分解される。この酸素原子と酸素分子が結合してオゾン(イ)分子ができる。オゾン分子は、酸素原子と結合して二つの酸素分子に戻る。つまり、酸素がオゾンに変わる反応と、逆にオゾンが酸素に分解される反応がくり返されており、この過程で紫外線(ウ)から受けたエネルギーを熱として放出し、大気を暖めていく。

オゾン濃度は、この二つの反応のバランスによって変化する。オゾン濃度が最も高いのは、高度 25 km 付近である。オゾン層はここを中心にオゾン濃度の高い約 15~30 km の領域をいう。ただし、オゾン濃度は連続的に変化するので、オゾン層の明瞭な境

### エディアカラ生物群

先カンブリア時代の末期に繁栄した大型の多細胞生物群。

### 大気組成の変化

水蒸気やオゾンを除き、高さ約 80~90 km までの大気組成はほとんど変わらない。

### オゾン層

高度約 15~30 km のオゾン濃度が高い領域。生命に有害な紫外線(波長 250~270 nm)を吸収し、陸上での生命活動を可能にしている。

界はない。また、高度が高いところほど紫外線の強度が大きく、大気密度が小さいため、成層圏で最も気温が高いのはオゾン層ではなく、高度 50 km 付近である。

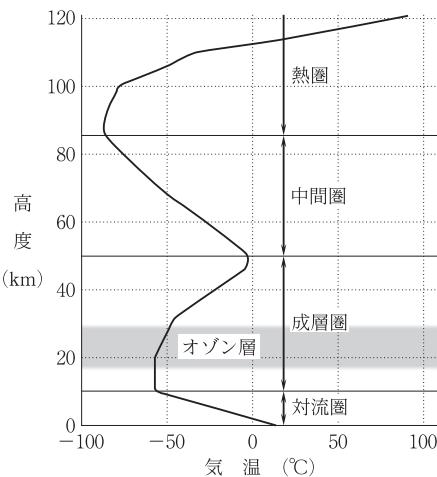


図 4-1 大気圏の層構造

なお、**イ**の誤答「フロン」は塩素化合物の一種で、引火せず、直接的には人体に安全な物質である。このため、20世紀には、エアコンの冷媒や半導体の洗浄、化粧品用のスプレーなどさまざまな用途に使用されてきた。しかし、フロンは紫外線を受けると、フロンをつくっている塩素が分離し、オゾンをつくる酸素と結合してオゾンを破壊する。オゾン層が破壊されると生命に有害な紫外線が強くなり、陸上生物に影響を与える。現在は世界的にフロンの使用が禁止もしくは制限されており、成層圏中のオゾンの量はやや回復傾向にある。しかし、南半球が春になると南極上空ではオゾン濃度が極端に下がったオゾンホールが出現し、近年は北極上空でもオゾンホールが観測されている。これは、大気中に残留しているフロンが原因の一つではないかと考えられている。

19 ⋯⑦

問 2 热圈は、高度約 80~90 km から 500~700 km 付近までを範囲とする大気層で、他の層に比べると厚さが 1 桁大きい。気圧が非常に低いため、中間圏以下の 大気圏とは環境がかなり異なる。

① 高層の大気は、太陽放射のうち特に X 線、紫外線を多く吸収する。つまり、これら波長の短い電磁波は高層の大気によって吸収され、高度が低くなるほど到達する量は減少する。したがって、この選択肢は誤りである。

② 大気組成は地表付近から中間圏までの 大気層ではほとんど変化せず、約 80 km までの平均分子量(= 空気 1 モルの質量)は 28.96 であり、ほぼ一定である。しかし、さらに高度が高くなると次第に減少に転じる。つまり、酸素原子やヘリウムなどの軽い

#### 成層圏の最高気温とオゾン濃度

最高気温は上端の高度 50 km 付近。  
オゾン濃度が最も高いのは高度 25 km 付近。

#### フロン

人工的につくられた塩素化合物。  
オゾンの分解を促進する。

#### オゾン層の破壊

オゾン層が破壊されると、生命に有害な紫外線が地表に届く量が増え、陸上生物に影響が出る。

#### オゾンホール

極地方でオゾン濃度が極端に下がった領域。

#### 太陽放射の吸収

太陽放射は大気によって吸収されるため、大気上層ほど太陽放射のエネルギーが強くなる。

原子や分子の割合が大きくなる。したがって、この選択肢は誤りである。

③ 太陽からの X 線や紫外線によって、原子はイオンと電子に電離する。大気中の電子の割合を電子密度といい、電子密度が大きい領域を電離層という。電離層はおもに熱圏に形成されている。電子密度が大きいということはイオンの割合も大きいということなので、この選択肢が正しい。

④ 热圈では高度が高くなるほど気温が上がる。これは太陽からのX線や紫外線を酸素や窒素が吸収して大気を暖めるためで、高度200kmで約600℃、300kmでは約700℃に達する。ただし、ここでいう気温とは、原子や分子の平均運動量を示している。高度300kmの気圧は、地上の1000万分の1～1億分の1しかない。つまり原子や分子がいくら速く運動しても、数が極めて少ないので物体を熱するほどのエネルギーはない。実際に国際宇宙ステーションは約400km上空を周回している。ここは宇宙空間ではなく热圈で、気温は700℃を超えてる。しかし、船体が触けることはなく、船外活動も行われている。つまり、気温が高くて、热圈の空気がもつ単位体積あたりのエネルギーは非常に小さいのである。したがって、この選択肢は誤りである。

問3 ラジオゾンデは、気温、気圧、湿度などを自動測定し、そのデータを送信する観測装置である。水素やヘリウムガスが充填されたゴム風船に吊るされ、上昇しながら高層の気象データを逐次送信する。GPS(全地球測位システム)の搭載により、水平方向の動きから風向・風速も測定される。

ラジオゾンデは協定世界時0時と12時(日本時間9時と21時)に世界で同時に飛揚<sup>ひよう</sup>されている。これは高層天気図の作成時刻でもある。国内では16か所と南極の昭和基地で観測が行われております、この他に海洋上からも飛揚される。

ラジオゾンデを飛揚させるゴム風船は、上昇に伴う周囲の気圧の低下によって次第に膨らみ、高度約30kmで破裂する。したがって、この高さが観測限界である。ラジオゾンデにはパラシュートが付いており、また、ラジオゾンデ自体も発泡スチロールで覆われており、落下時に被害が出ないよう配慮されている。

① 対流圏では、ふつうは高さとともに気温が下がるが、逆に高さとともに気温が上がる層を逆転層という。晴れた冬の朝は、夜間の放射冷却により地表付近の気温が急激に低下するため、逆転層が生じやすい。逆転層内の空気塊は上昇しにくいため、大気は安定している。このため、霧が発生したり、煙突から出る煙が真横にたなびく。

次の図4-2は、問題の図1の地表付近を拡大したものであり、700m付近まで高度とともに気温が上がっており、気温の逆転層が生じていることがわかる。

電離層

大気圏の中～高層で電子密度が大きい領域。下からD層、E層、F1層、F2層の4層がある。電波を反射する性質がある。

## 气 温

気温は原子や分子の平均運動量。

ラジオゾンデ

気温、気圧、湿度などを測定し、データを電波で送信する機器。ゴム風船に吊るして上昇しながら測定する。

逆転層

高さとともに気温が上昇する層。大気が安定しているため、霧やスモッグの原因にもなる。

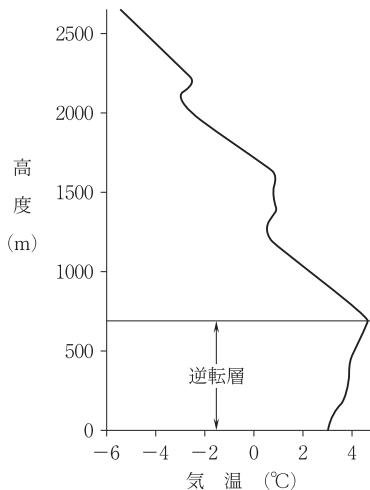


図 4-2 逆転層

② 対流圏と成層圏の境を圏界面または対流圏界面といふ。赤道域で約 17~18 km, 極付近で約 8~9 km, 平均すると 11 km の高さにある。対流圏界面を越えて成層圏に入ると、そこから數 km の高さまでは気温がほとんど変化せず、その上から次第に気温が上がる。したがって、対流圏界面は急に気温減率が小さくなつたところ、つまり気温のグラフの傾きが大きくなるところなので、問題の図 1 では高度 11 km 附近に対流圏界面があることがわかる。高度 18 km は、すでに成層圏の中である。したがって、この選択肢は誤りである。

③ 中間圏は約 50 km 以上の高度の大気層である。したがつて、この選択肢は誤りである。大気の層構造の境界面である各圏界面の高度は覚えておこう(図 4-1 参照)。

なお、ゴム風船では、成層圏界面に達することができない。現在でも高度 30 km 以上の中層大気は、地表からは高すぎ、衛星からは低すぎるため直接観測することが難しい。大型の大気レーダーによる観測も行われているが、場所は限定されている。

④ ②より、高度約 11 km 以上が成層圏である。11~20 km 附近までは気温がほぼ一定で、20 km 以上では高くなるほど気温が上がる。したがつて、気温変化の割合は一定ではない。また、その中でも細かな温度変化が起きており、問題の図 1 についていえば、対流圏よりむしろ変化が大きいといえる。これは成層圏内でも風が吹いていることを示している。成層圏では、冬は西風、夏は東風となって極を回る巨大な渦が形成されている。 [21] …①

問 4 問題文にあるように、気圧は 16 km 上昇するごとに約  $\frac{1}{10}$  になる。問題の図 1 では約 32 km まで観測しているので、

$$x = \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{100}$$

となる。

#### 圏界面(対流圏界面)の高さ

赤道付近：約 17~18 km

極地方：約 8~9 km

平均：11 km

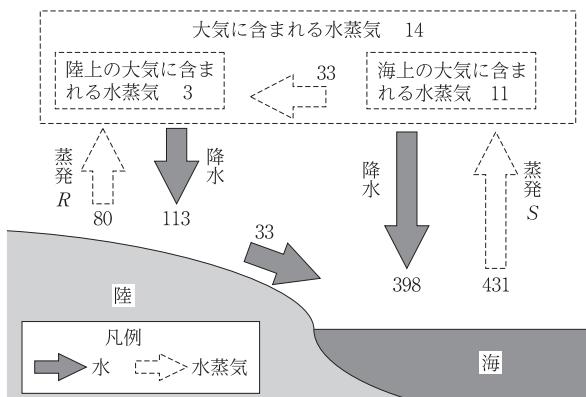
気圧はその上にある空気の量を示している。したがって、高度32 kmより上にある空気は地球全体の1%しかない。逆に、99%の大気は32 kmより下にある。出題されやすいテーマなので、必ず計算できるようにしてほしい。また、気圧が地表の $\frac{1}{2}$ になるのは、約5.5 kmの高度である。500 hPa高層天気図の等高線が5500 m付近の値を取ることからもわかるであろう。気圧と高度の関係については、覚えておいてほしい。

22 ⋯④

## B 水の循環

地球の特徴の一つは、表層に大量の水が存在することであり(氷で覆われている天体が多い)、その約97%は海水である。また、陸に存在する水の大部分は氷河や氷床と地下水であり、河川や湖沼の水の割合は非常に小さい。海水や陸の水は太陽エネルギーを受けて水蒸気となり、凝結して降水となって海や陸に戻る。この循環がエネルギー輸送や地形の変化、生命活動などにさまざまな影響を与えている。

**問5** 問題の図2に、海から陸へ移動する水蒸気に相当する水の量と、陸から海へ流れる水の量などを加えたのが次の図4-3である。「陸」、「海」、「陸上の大気」、「海上の大気」の各場所で水の量が変わらないことがポイントである。



大気に含まれる水蒸気量の単位は( $\times 10^{15} \text{ kg}$ )

蒸発量と降水量の単位は( $\times 10^{15} \text{ kg/年}$ )

図4-3 水の循環の一例

陸上では、陸から海へ川となって流れる水があるため、降水量の方が蒸発量Rより多い(工)。逆に、海では、陸から水が流れ込んでいるにも関わらず海水の量が変わらないので、その分だけ降水量が蒸発量Sより少ない(オ)。

図4-3のように陸地から蒸発する水の量は80であり、33の水が過剰になる。これが川となって海に流れていく水の量である。つまり陸上では、

$$\text{降水量} = \text{蒸発する水の量} + \text{川から海に流れる水の量}$$

## 気圧の考え方

その上にある空気の量を考える。

## 高度と気圧の関係

高度が約5.5 km高くなるごとに気圧は半減する。

## 陸の水(陸水)

氷河・氷床>地下水>河川水・湖沼水

になるので，

$$113 = 80 + 33$$

となる。

したがって、海では，

$$\text{降水量} = \text{蒸発する水の量} - \text{川から海に流れ込む水の量}$$

になるので，

$$398 = 431 - 33$$

となる。

また、大気に含まれる水蒸気量を水に換算すると，

$$\text{陸上 } 3 + \text{海上 } 11 = 14$$

である。上記より蒸発する水の量が  $431 + 80 = 511$  なので、大気に含まれる水の量の方が少ないことがわかる( **力** )。 **23** ⋯④

問6 問題の図2より、大気に含まれる水の量は，

$$3 + 11 = 14$$

である。1年間の全降水量は，

$$113 + 398 = 511$$

であり、これと全蒸発量が等しいと考えればよいので、1年間に，

$$\frac{511}{14} = 36.5 \text{ (回)}$$

入れ替わることになる。

したがって、水蒸気となった水分子が大気中に留まる平均日数は、1年間を365日とすると，

$$\frac{365}{36.5} = 10 \text{ (日)}$$

となる。この値は、教科書や参考書によって9～11日の間でばらつきがある。また、1年間で水蒸気が入れ替わる回数を問われることもありうるので、考え方と解き方をしっかりと理解しておいてほしい。

**24** ⋯②

## 第5問 宇宙

### A 地球の自転と公転

恒星や太陽が天球上を運動しているように見えるのは、地球が運動しているからである。約1日を周期とする日周運動は地球の自転に起因し、約1年を周期とする年周運動は地球の公転に起因する。

問1 天球上の太陽の年周運動は、太陽が地球のまわりを回っていても説明がつくため、かつては太陽が地球のまわりを回っている天動説が広く受け入れられていた。しかし、地球が太陽のまわりを回る地動説の証拠が観測され、年周運動は見かけの運動とわかった。

地球の公転により、恒星を観測する公転軌道上の位置が変化し、図5-1に示したように天球上で1年を周期とする恒星の見かけの動きが起こる。この見かけの動きの示す最大角度の半分の

### 蒸発量と降水量

地球全体で蒸発する水の量と全降水量は等しい。

### 日周運動

恒星や太陽が約1日を周期として動く見かけの運動。

### 年周運動

恒星や太陽が約1年を周期として動く見かけの運動。

値を年周視差と呼び、その大きさは、恒星までの距離に反比例する。

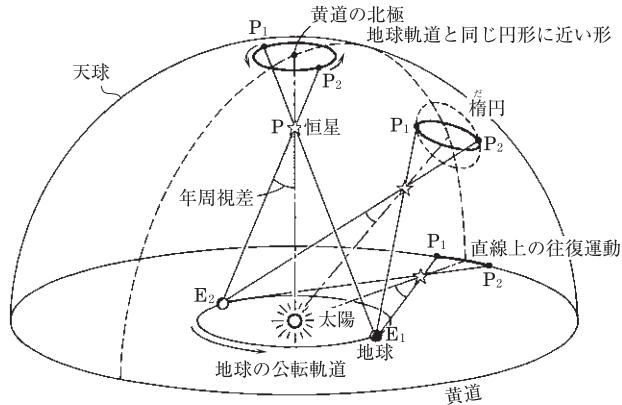


図 5-1 年周視差

地球が  $E_1$  の位置にあるとき、恒星  $P$  は  $P_1$  の位置に、地球が  $E_2$  の位置にあるとき、恒星  $P$  は  $P_2$  の位置にあるように見える。

また、地球の公転運動によって、恒星からくる光は地球の公転運動の進行方向斜め前方からくるように見える。このため光源である恒星が 1 年周期で動いているように見える。この光の方向のずれの角度の大きさを年周光行差という(図 5-2)。年周光行差の大きさは、恒星までの距離によらず、地球の公転方向と恒星の方向が直角なときに最大の値をとる。

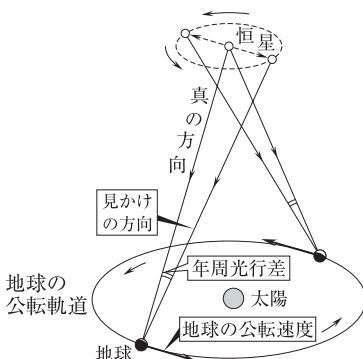


図 5-2 年周光行差

年周視差と年周光行差は、どちらも地球公転の証拠であるが、年周視差は最大値でも  $1''$ (秒)より小さいのに対し、年周光行差の最大値は  $20''$  あまりである。このため、18世紀にイギリスのラッドラーが年周光行差を発見し、年周視差は 100 年以上あとにドイツのベッセルが初めて観測した。

したがって、選択肢の⑩が正解となる。

そのほかの選択肢が誤りである理由は、以下のとおりである。

① 年周光行差は、恒星までの距離によらないので誤りであ

### 年周視差

地球の公転軌道上の位置変化によって生じる天球上の恒星の見かけの動きを示す最大角度の半分の値。

恒星までの距離に反比例する。

### 年周光行差

1 年を周期として恒星からの光が地球の公転方向前方にずれて見える現象。

恒星までの距離によらない。

る。

- ② 年周視差は、恒星までの距離に反比例するので誤りである。

- ④ 先に検出されたのは、年周光行差なので誤りである。

25 ⋯ ③

問2 地球上で太陽の動きを観測した場合、東から西に動くのは南北両半球で共通である。しかし、南半球の南回帰線より高緯度側では、その地域の子午線上に太陽がくると南中ではなく北中することになる。このため、太陽は、北緯35度では右回り(時計回り)に日周運動するのに対し、南緯35度では左回り(反時計回り)に日周運動するよう見える。

また、恒星は天の北極のまわりを約23時間56分で1周する。これを1恒星日と呼び、地球の自転周期に等しい。これに対して、太陽の日周運動の周期を1太陽日といい、1恒星日より約4分長い24時間である。これは、恒星が南中してから再び南中するまでの1恒星日の間に、地球は360°自転するのに対し、太陽が南中してから再び南中する1太陽日の間には、地球の自転方向と公転方向が同じであるため、その間に地球が公転した角度も含めて、

$$360^\circ + \frac{360^\circ}{365} \approx 360^\circ + 1^\circ$$

だけ自転するからである。

図5-3のように、地球が自転によって約1°回転するのに要する時間は、

$$24 \times 60 \times \frac{1^\circ}{360^\circ} = 4(\text{分})$$

である。

#### 地球の自転周期

約23時間56分。

1恒星日に等しい。

#### 1太陽日

太陽が南中してから再び南中するまでの時間。地球の自転周期より約4分長く、約24時間。

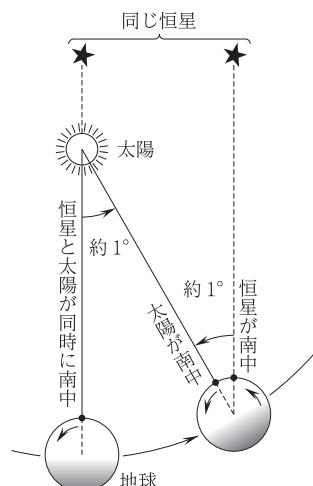


図5-3 1恒星日と1太陽日の違い

日周運動のようすは **a**, 恒星と太陽の日周運動の周期については **d** が正しいので、**①** が正解である。 **[26] ⋯①**

**問3** 歳差運動のため、黄道上を春分の日に太陽が通過する春分点の位置は少しずつ動く。問題文に示したように、地球の自転軸が  $360^{\circ}$  回転するのに約 26000 年かかるので、1 年あたりの移動角度は、

$$\frac{360^{\circ} \times 60 \times 60}{26000} \approx 50(\text{秒})$$

となる。

角度を秒単位で求めるため、 $360^{\circ}$  に  $60 \times 60$  を掛けることを忘れないようにしよう。

また、問題の図 1 からわかるように、歳差運動の向きと地球の公転の向きは逆である。このため、1 年間の歳差運動の値(先に求めた 50 秒)だけ、1 太陽年(春分点から春分点に太陽が移動する期間)は地球の公転周期より短くなる。したがって、選択肢の **②** が正解となる。 **[27] ⋯②**

## B 銀河系

恒星と星間物質などからなる大集団が銀河である。そのうち、太陽を含む銀河を銀河系といふ。図 5-4 に銀河系の模式断面図を示す。銀河系の中央部の膨らみをバルジといふ。その周囲の円盤部(ディスク)は、半径が約 5 万光年である。太陽系は、銀河系の中心から約 2.8 万光年離れた円盤部に位置している。

銀河系の多くの恒星や星間物質は、円盤部に分布している。天の川は恒星と星間物質の集まりであり、円盤部の一部を見ていることになる。また、一部の恒星は、半径約 7.5 万光年の球状の領域に分布しており、この領域をハローといふ。各部の名称と特徴を確認しておこう。

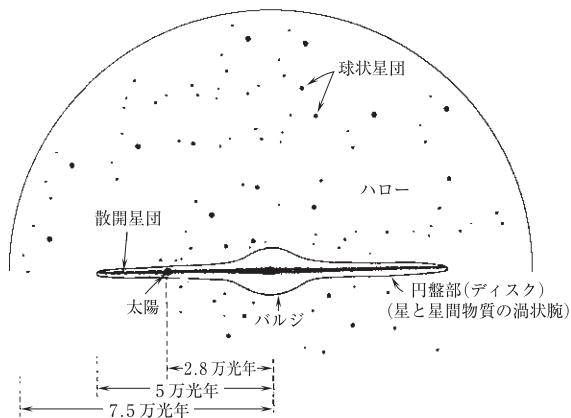


図 5-4 銀河系の模式断面図

**問4** 銀河系の円盤部の恒星は、全体として銀河系の中心のまわり

## 歳差運動

地球の自転軸がコマの首振り運動のような回転をする現象。

## 角度の単位

$1^{\circ}$  の  $\frac{1}{60}$  が  $1'$  であり、 $1'$  の  $\frac{1}{60}$  が  $1''$  である。

1 度 = 60 分、1 分 = 60 秒。

## 銀河系

太陽を含む恒星と星間物質からなる銀河。直径約 10 万光年の渦巻き(棒渦巻き)の構造が見られる。

## ハロー

銀河系の円盤部の外側を包むように分布する領域。

半径は約 7.5 万光年。

を回るように運動している。また、問題の図2のように中心部を除くと、その回転速度は大きく変化していない。銀河系の中心から  $18 \times 10^3$  パーセク離れた位置でも、 $12 \times 10^3$  パーセク離れた位置でも、回転速度は約 220 km/s である。しかし、回転速度が等しくても銀河系の中心からの距離が異なれば、1回転するときの移動量は異なる。各天体が円運動をしているとすれば、銀河系の中心からの距離を  $a$ 、回転速度を  $v$  とすると、1回転にかかる時間は  $\frac{2\pi a}{v}$  となり、回転速度が等しい場合、1回転にかかる時間は銀河系の中心からの距離に比例する。つまり、

$$\frac{18 \times 10^3}{12 \times 10^3} = \frac{3}{2}$$

となる。

したがって、③が正解となる。

28 ⋯③

**問5** 恒星は水素やヘリウムを主成分とするが、それ以外の元素も含む。水素やヘリウム以外の元素を重元素と呼び、重元素を含む割合で恒星を種族Iと種族IIに分けることができる。種族Iの恒星は、含まれる重元素の割合が比較的大きく、若い恒星が多い。種族IIの恒星は、含まれる重元素の割合が小さく、老齢の恒星が多い。

宇宙の形成初期に形成された元素は水素とヘリウムであり、重元素は存在しなかったので、重元素量の割合が小さい種族IIの恒星は宇宙の初期の時代に誕生したと考えられている。

恒星は巨星(赤色巨星)になった後に、核融合反応によって重元素を形成する。大質量の恒星では超新星爆発などによって宇宙空間に重元素が飛散し、その星間物質から種族Iの恒星は誕生したと考えられている。恒星の中には、比較的狭い領域に密集し、星団を形成しているものもある。表5-1に星団と種族の関係を示す。

表5-1 星団と種族

	散開星団	球状星団
形 状	不定形	球 状
恒星数	数十～千個	数十万～百万個
分 布	円盤部	ハロー
種 族	種族I	種族II
年 齢	~50億年	100~130億年
重元素の割合	大きい	小さい
例	プレアデス星団 ヒアデス星団	M3

a 種族IIの恒星は宇宙の初期に誕生し、重元素の割合が小さ

恒星の主成分

水素とヘリウム

宇宙形成初期に形成された元素

水素とヘリウム

---

い老齢な恒星である。したがって、この文は誤りである。

b 散開星団は、種族 I の恒星の集団である。したがって、この文は誤りである。

c 太陽は種族 I の恒星である。したがって、この文は誤りである。

以上から、「誤、誤、誤」の組合せである⑧が正解となる。

29 …⑧

問6 表5-1のように、散開星団は銀河系の円盤部、球状星団はおもにハローに分布している。このため、天球上の分布を考えると、散開星団は銀河系円盤部にあたる銀河面に多く分布し、球状星団は天球上のどの方向にも分布することになる。ただし、球状星団は、地球から観測した場合、どの方向にも一様に分布しているわけではない。また、太陽は銀河系の中心から約2.8万光年離れた円盤部に位置し、球状星団の分布の中心、つまり銀河系の中心には位置していない。アメリカのシャプレーが、球状星団の分布から銀河系の中心の位置を推定したことも覚えておこう。

したがって、⑧が誤った内容を述べているので正解となる。

30 …⑧

---

物理 I

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	1	②	5		
	問2	2	③	5		
	問3	3	④	5		
	問4	4	②	5		
	問5	5	⑤	5		
	問6	6	②	5		
第1問 自己採点小計				(30)		
第2問	A 問1	7	③	4		
	A 問2	8	①	4		
	A 問3	9	⑤	4		
	B 問4	10	④	4		
	B 問5	11	④	4		
	第2問 自己採点小計				(20)	
第3問	A 問1	12	⑤	4		
	A 問2	13	④	3		
	A 問3	14	④	3		
	B 問4	15	①	4		
	B 問5	16	②	3		
	B 問6	17	②	3		
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A 問1	18	④	4		
	A 問2	19	⑥	4		
	B 問3	20	②	4		
	B 問4	21	④	4		
	B 問5	22	⑦	3		
	C 問6	23	①	2		
	C 問6	24	③	2		
	C 問7	25	①	4		
第4問 自己採点小計				(30)		
自己採点合計				(100)		

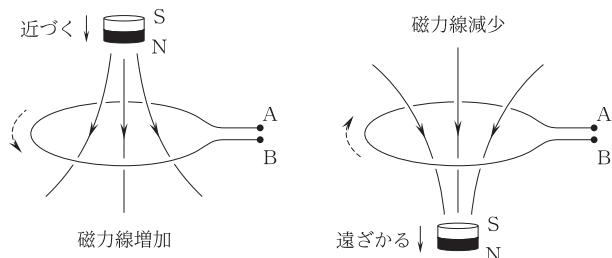
## 【解説】

### 第1問 小問集合

問1 磁石が上からコイルに近づくときは、コイルを下向きに貫く磁力線の数が増えていくので、コイルは上向きの磁力線をつくろうとして、右ねじの法則より下図左の矢印の向きの電流を流そうとする。よって、このときはコイルに正の電圧が生じる。

磁石がコイルを通過して下へ遠ざかるときは、コイルを下向きに貫く磁力線の数が減っていくので、コイルは下向きの磁力線をつくろうとして、右ねじの法則より下図右の矢印の向きの電流を流そうとする。よって、このときはコイルに負の電圧が生じる。

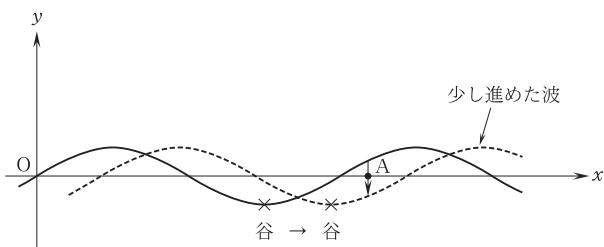
以上より、最も適当なグラフは②である。



1 の答 ②

問2 問題の図は、実際には縦波である波を、横波表示したものである。

波が進行すると、点Aのすぐ左側にある谷が、点Aに近づいてくるので、波が生じていないとき点Aにあった媒質は、このあとy軸の負の向きへ移動していく。つまり、もし横波だとすると、媒質の速度はy軸の負の向きである。実際には縦波であるから、媒質の速度はx軸の負の向きとなる。

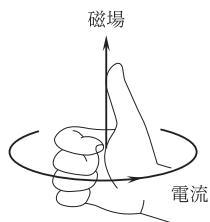


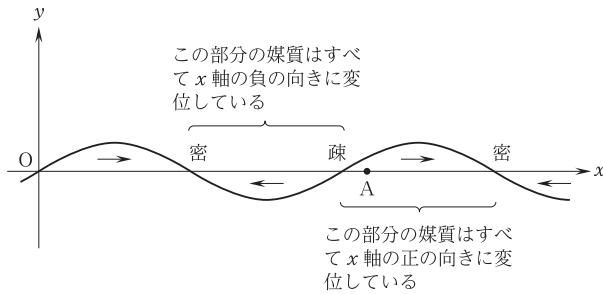
また、y軸の正の向きへの変位はx軸の正の向きへの変位を、y軸の負の向きへの変位はx軸の負の向きへの変位を表すことから、問題の図2の時刻での疎密のようすは次図のようになる。よって、点Aは密より疎に近いので、波が生じていないときに比べ、密度は低い。

## 【ポイント】

### 右ねじの法則

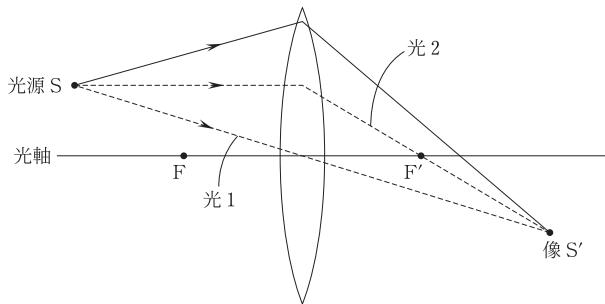
電流と、電流がつくる磁場の向きには下図の関係がある。





2 の答 ③

問3 光源Sを出て、下図のように凸レンズに入射する光1, 2を考える。レンズの中心を通る光1は直進し、光軸に平行な光2はレンズ後方の焦点F'を通過する。この2つの光により像S'の位置がわかるので、Sから右上へ出た実線の光は、焦点F'の少し奥を通ってS'へ達する。よって、答は④となる。



3 の答 ④

問4 本問のように動滑車が一つある場合、おもり(または動滑車)とひもの端Aの速さの比は1:2となる。つまり、端Aの速さは $2v$ である。

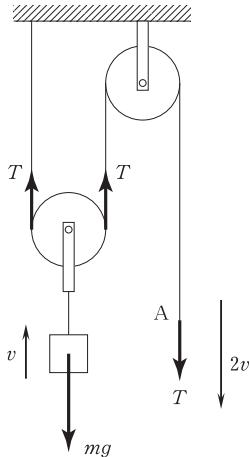
この理由は、次のとおりである。例えば、動滑車とおもりが距離 $d$ だけ上昇すると、動滑車の左右両側でひもの鉛直部分の長さが $d$ ずつ短くなり、端Aはそれらを合わせた $2d$ だけ下がる。同じ時間での移動距離が2倍なので、速さも2倍となる。

また、ひもの張力の大きさ $T$ は、動滑車+おもりの物体系が等速度運動をしていることより、物体系の力のつり合いを考えて、

$$2T = mg \quad \therefore \quad T = \frac{1}{2}mg$$

以上より、端Aを引く力の仕事率 $P$ は、

$$P = T \times 2v = \frac{1}{2}mg \times 2v = \underline{\underline{mgu}}$$



4 の答 ②

(別解)

仕事とエネルギーの関係より、端 A を引く力の仕事率  $P$  は、  
単位時間あたりのおもりの位置エネルギーの増加量に等しい。  
おもりが単位時間で上昇する距離は  $v$  なので、

$$P = mgv$$

問 5 ある時間が経過するまでの間に、物体 X, Y が吸収した熱量をともに  $Q$ 、その間の物体 Y の温度上昇を  $\Delta T$ 、物体 Y の質量を  $m$  とする。物体 X の温度上昇は、問題の図 5 より  $2\Delta T$  となるから、

$$Y : Q = mc_Y \Delta T$$

$$X : Q = 2m \cdot c_X \cdot 2\Delta T$$

辺々割り算して

$$1 = \frac{c_Y}{4c_X} \quad \therefore \quad \frac{c_Y}{c_X} = 4$$

5 の答 ⑥

問 6 棒にはたらく重力の大きさを  $W$ 、図 7 ではねはかりが B 端を引く力の大きさを  $F_B$  とすると、重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  として、

$$W = 0.12 \times 9.8 \text{ [N]}$$

$$F_B = 0.072 \times 9.8 \text{ [N]}$$

となる。これらと、A 端が床から受ける垂直抗力の大きさ  $N_A$  を用いると、問題の図 7 で棒が受けている力は、次図のようになる。

吸収した熱量  $Q$

$$Q = mc\Delta t = C\Delta T$$

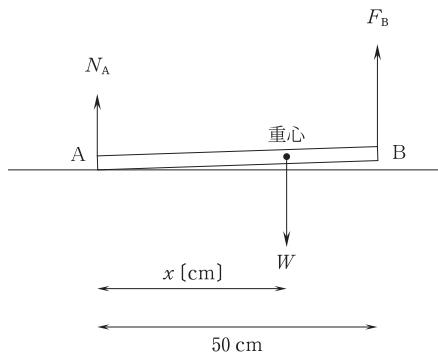
$Q$  : 物体が吸収した熱量

$m$  : 物体の質量

$c$  : 物体の比熱

$C$  : 物体の熱容量

$\Delta T$  : 物体の温度上昇



求める距離を  $x$  [cm] とすると、A 端のまわりの**力のモーメント**のつり合いより、

$$W \times x = F_B \times 50$$

$$\therefore x = \frac{72}{120} \times 50 = \underline{\underline{30}} \text{ [cm]}$$

□6 の答 ②

## 第2問 電気抵抗と消費電力・電磁誘導

A

問1  $R_2$  と  $R_3$  は並列接続なので、その合成抵抗は、

$$\left( \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} \right)^{-1} = \frac{2}{3} R$$

これと  $R_1$  は直列接続であるから、回路全体の合成抵抗は、

$$R + \frac{2}{3} R = \underline{\underline{\frac{5}{3} R}}$$

□7 の答 ③

問2  $R_2$  と  $R_3$  は並列接続なので、かかる電圧が同じである。それを  $V$  とすると、

$$P_2 : P_3 = \frac{V^2}{2R} : \frac{V^2}{R} = \frac{1}{2} : 1 = \underline{1:2}$$

□8 の答 ①

問3  $R_1$  の抵抗値を  $R_1$ 、電池の起電力を  $E$  とする。回路全体の合

成抵抗は  $R_{\text{全}} = R_1 + \frac{2}{3} R$  なので、回路全体の消費電力  $P$  は、

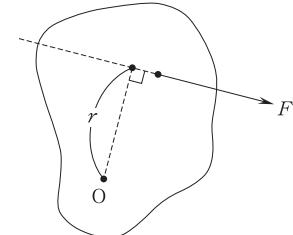
$$P = \frac{E^2}{R_{\text{全}}} = \frac{E^2}{R_1 + \frac{2}{3} R} \quad \dots(*)$$

よって、最も適当なグラフは⑥である。

□9 の答 ⑥

**力のモーメント  $M$**

$$M = F \times r$$



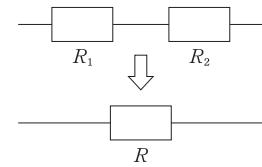
$F$  : 力の大きさ

$r$  : 力の作用線までの距離

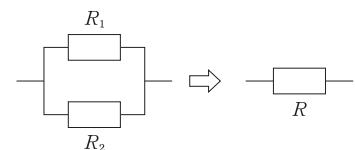
上図の場合、 $M = F \times r$  を「点 O のまわりの力のモーメント」といい、力が物体を点 O を中心に時計まわりにまわそうとする程度を表す。

**合成抵抗  $R$**

・直列接続  $R = R_1 + R_2$



・並列接続  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$



**消費電力  $P$**

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

これは、単位時間あたりに抵抗で消費される(失われる)電気的エネルギーである。失われた電気的エネルギーは熱エネルギーとなり、外に放出される。オームの法則  $V = RI$  により、相互の式変形ができる。単位は  $[W] = [J/s]$  である。

《補足 1》 (\*式は、 $xy$  平面における

$$y = \frac{b}{x+a}$$

( $a, b$  は定数)

と同様な形である。

《補足 2》 (\*)式に、 $R_1=0, R, 2R$  を代入して、

$$R_1=0 \rightarrow P = \frac{3E^2}{2R} = 20 \cdot \frac{3E^2}{40R}$$

$$R_1=R \rightarrow P = \frac{3E^2}{5R} = 8 \cdot \frac{3E^2}{40R}$$

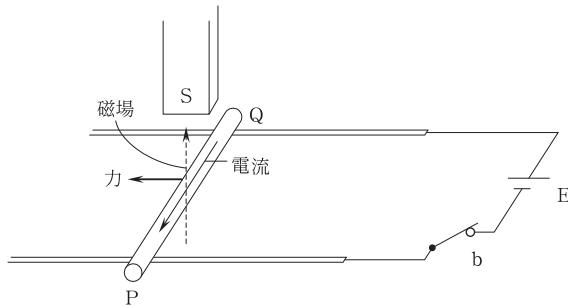
$$R_1=2R \rightarrow P = \frac{3E^2}{8R} = 5 \cdot \frac{3E^2}{40R}$$

これらからでも、答を⑥に絞り込む。

## B

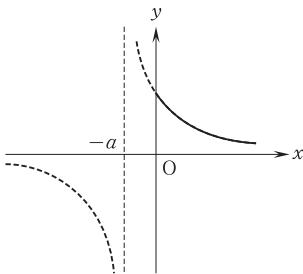
問 4 導体棒 PQ は、電流が磁場から受ける力により動き出すので、PQ が静止している状態で PQ に電流が流れる必要がある。よって、スイッチ T を接続したのは b 側である。

また、PQ を流れる電流は Q→P 向きで、PQ が左向きに動き出したことから、フレミングの左手の法則により、PQ 部分での磁場は鉛直上向きとわかる。よって、導体棒に近い側の磁極は S 極である。



10 の答 ④

問 5 N 極を下に向けた棒磁石を右に動かしていくことで、閉回路 PQRTP を鉛直下向きに貫く磁力線の数が増えていく。よって、閉回路 PQRTP には、その増加を妨げるための上向きの磁力線をつくろうとして、右ねじの法則より反時計まわりの電流、すなわち Q→P 向きの電流が流れる。

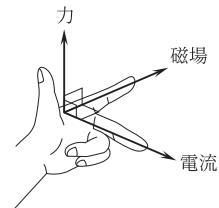


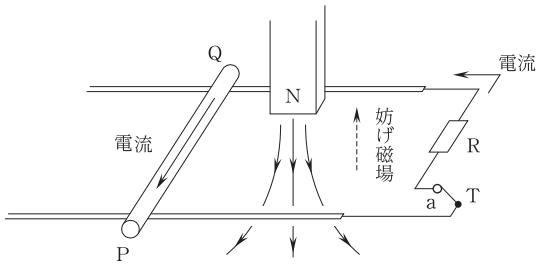
### 電流が磁場から受ける力

磁場内で電流が流れると、電流(が流れている導線)は力を受ける。その力の大きさは、「電流の強さ」「磁場の強さ」「力を受ける部分の長さ」に比例する。

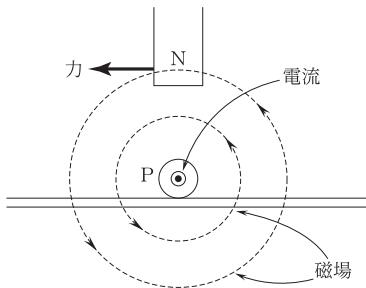
### フレミングの左手の法則

電流が磁場から受ける力と電流と磁場の向きには、下図の関係がある。





導体棒 PQ を流れる  $Q \rightarrow P$  向きの電流は、P 側から見て反時計まわりの磁場をつくる。よって、棒磁石が導体棒 PQ の真上を通過するとき、棒磁石はこの磁場から左向きの力を受ける。

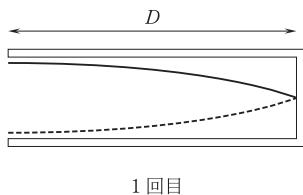


11 の答 ④

### 第3問 気柱の共鳴・ドップラー効果

A

問1 閉管で共鳴が起きているとき、管口は腹、管の底は節となるような定常波ができている。いま、音速は一定なので、振動数を0から徐々に増やしていくと、波長は非常に長い状態から徐々に短くなってくる。よって、1回目の共鳴(振動数  $f_1$ )のときは、次図のように、管の長さが4分の1波長に等しい定常波ができる。



1回目

よって、

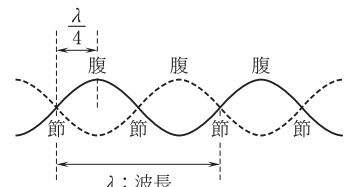
$$D = \frac{\lambda_1}{4} \quad \therefore \quad 4D \text{ [m]}$$

12 の答 ⑥

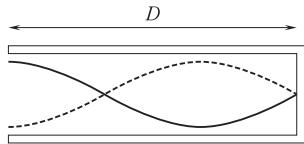
一般に、波の伝わる速さは媒質で決まる。空気中を伝わる音波の音速は、空気の温度で決まる。いまは、室温が  $T [^\circ\text{C}]$  に保たれているので、音速も一定である。

#### 定常波

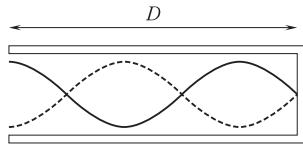
逆向きに進む、振幅・波長・振動数が等しい波が合成されると生じる。最も大きく振動する腹と、まったく振動しない節が交互に並び、隣り合う腹と節の間隔は  $\frac{\lambda}{4}$  である。



問2 さらに振動数を増やしていくば、波長はさらに短くなっているので、2回目、3回目の閉管の共鳴のときの定常波の波形は、以下のようになる。



2回目



3回目

3回目の共鳴は、1回目の共鳴(基本振動)のときに比べ波長が $\frac{1}{5}$ 倍になっているので、振動数は $f_1$ の5倍となる、5倍振動になっている。

13 の答 ④

問3 1回目の共鳴のとき、室温は $T$ なので、音速は $V_0 + \alpha T$ となる。よって、以下の式が成り立つ。

$$V_0 + \alpha T = f_1 \lambda_1 \quad \cdots ①$$

スピーカーからの音の振動数が $f_1$ のまま、室温が $T + \Delta T$ に上昇し音速が増すと、音波の波長が長くなるので、共鳴は起こらなくなる。その状態から振動数を増やしていくと、波長は短くなり、 $\lambda_1$ に戻ったとき再び共鳴が起きる。このときの振動数が $f_1 + \Delta f$ である。よって、以下の式が成り立つ。

$$V_0 + \alpha(T + \Delta T) = (f_1 + \Delta f) \lambda_1 \quad \cdots ②$$

式②-①より、

$$\alpha \Delta T = \Delta f \lambda_1 \quad \therefore \quad \alpha = \frac{\Delta f}{\Delta T} \lambda_1$$

14 の答 ④

## B

問4 電車が発する警笛音の振動数を $f_0$ とすると、ドップラー効果の公式より、

$$f_1 = \frac{V}{V-v} f_0 \quad \therefore \quad f_0 = \frac{V-v}{V} f_1$$

15 の答 ①

問5 電車が警笛音を鳴らしていた時間を $t_0$ とする。電車が発した波の数 $f_0 t_0$ と、K君が観測した波の数 $f_1 t_1$ は等しいので、

$$f_0 t_0 = f_1 t_1$$

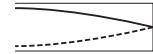
$$\therefore t_0 = \frac{f_1}{f_0} t_1 = \frac{V}{V-v} t_1$$

16 の答 ②

問6 電車が警笛音を鳴らし始めた時刻を $t=0$ 、求める距離を $L$ とする。

## 閉管の共鳴

音速が一定のとき、管内に生じる定常波は、以下のようになる。



基本振動  $f_1, \lambda_1$

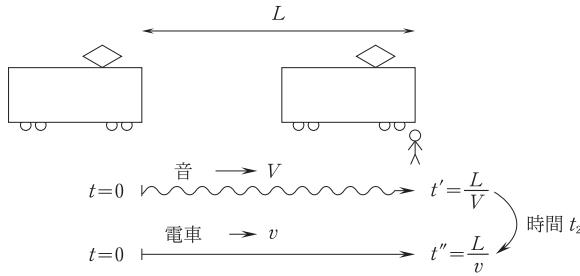


3倍振動  $3f_1, \frac{1}{3}\lambda_1$



5倍振動  $5f_1, \frac{1}{5}\lambda_1$

⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮



K君が音を聞き始めた時刻  $t'$  は、距離  $L$  を音速  $V$  で進むのにかかる時間に等しいから、

$$t' = \frac{L}{V}$$

また、電車の先頭が K君の目の前に達した時刻  $t''$  は、距離  $L$  を電車の速さ  $v$  で進むのにかかる時間に等しいから、

$$t'' = \frac{L}{v}$$

これらの差が  $t_2$  であるから、

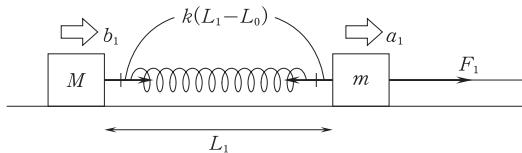
$$t_2 = t'' - t' = \frac{L}{v} - \frac{L}{V} \quad \therefore \quad L = \frac{Vv}{V-v} t_2$$

17 の答 ②

#### 第4問 運動方程式・力学的エネルギー・気体の状態変化

A

問1  $L_1$  が自然長  $L_0$  よりも長い場合、物体 A, B にはたらく力は下図のようになる。



よって、このときの物体 A の運動方程式は、

$$\underline{ma_1 = F_1 - k(L_1 - L_0)}$$

18 の答 ④

$L_1$  が自然長  $L_0$  よりも短い場合、物体にはたらく弾性力の向きは逆になるが、大きさも  $k(L_0 - L_1)$  と表式が変わるために、結局、運動方程式は上記と同じになる。

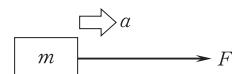
また、参考までに物体 B の運動方程式は、加速度を  $b_1$  とする、以下のようにになる。

$$Mb_1 = k(L_1 - L_0)$$

問2  $L$  が自然長  $L_0$  よりも長い場合、物体 A, B にはたらく力は下図のようになる。

運動方程式

$$ma = F$$



$m$  : 物体の質量

$a$  : 物体の加速度

$F$  : 物体にはたらく合力

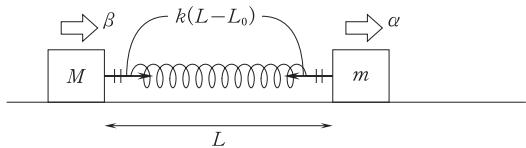
弾性力(ばねの場合)

$$F = kx$$

$F$  : 弹性力の大きさ

$k$  : ばね定数

$x$  : 自然長からの伸び、または縮み



よって、物体 A, B の運動方程式は、

$$A : m\alpha = -k(L - L_0) \quad \cdots ①$$

$$B : M\beta = k(L - L_0) \quad \cdots ②$$

式①より、

$$L = L_0 - \frac{m\alpha}{k}$$

式①+②より、

$$m\alpha + M\beta = 0 \quad \therefore \quad \beta = -\frac{m}{M}\alpha$$

19 の答 ⑥

B

問3 ゴムひもの弾性力の大きさは伸びに比例する。その比例定数を  $k$  とすると、伸びが  $x$  のときの弾性力の大きさは  $kx$  となる。このゴムひもは、質量  $m$  のおもりをつるすと長さが  $2\ell$  になる。このとき、伸びは  $\ell$  であるから、おもりにはたらく力のつり合いより、

$$k\ell = mg \quad \therefore \quad k = \frac{mg}{\ell}$$

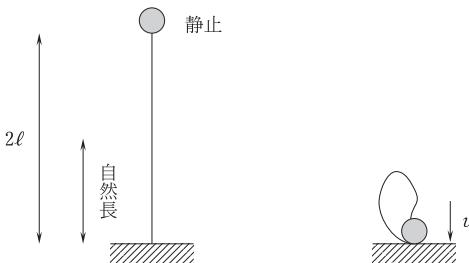
となる。

図2のときも、ゴムひもの伸びは  $\ell$  であるから、このときゴムひもにたくわえられている弾性エネルギーは、

$$\frac{1}{2}k\ell^2 = \frac{1}{2} \frac{mg}{\ell} \ell^2 = \underline{\frac{1}{2}mgl} \quad \cdots ③$$

20 の答 ②

問4 小球が床に達する直前の速さを  $v$  とする。



重力による位置エネルギーの基準を床とする。ゴムひもは、長さが  $\ell$  以下になると弾性エネルギーが 0 になることに注意して、力学的エネルギー保存則より、

$$mg \cdot 2\ell + \frac{1}{2}k\ell^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

式③より、

弾性エネルギー

$$\frac{1}{2}kx^2$$

$k$  : ばね定数

$x$  : 自然長からの伸び、または縮み

$$mg \cdot 2\ell + \frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore v = \sqrt{5gl}$$

21 の答 ④

問5 小球とゴムひもがもつ、床と衝突する前の力学的エネルギーは、運動開始時の位置に着目して、

$$\begin{aligned} & mg \cdot 2\ell + \frac{1}{2}k\ell^2 \\ &= 2mgl + \frac{1}{2}mgl \quad (\text{式③より}) \\ &= \frac{5}{2}mgl \end{aligned}$$

床と衝突した後の力学的エネルギーは、小球が達する最高点に着目して、

$$\begin{aligned} & mg \cdot \frac{3}{2}\ell + \frac{1}{2}k\left(\frac{1}{2}\ell\right)^2 \\ &= \frac{3}{2}mgl + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}k\ell^2 \\ &= \frac{3}{2}mgl + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}mgl \quad (\text{式③より}) \\ &= \frac{13}{8}mgl \end{aligned}$$

力学的エネルギーが失われるのは、床との衝突のときのみであるから、これらの差が小球が床との衝突で失った運動エネルギー  $\Delta E$  に相当する。よって、

$$\Delta E = \frac{5}{2}mgl - \frac{13}{8}mgl = \underline{\underline{\frac{7}{8}mgl}}$$

22 の答 ⑦

C

問6 過程Iは、体積が一定の定積変化である。体積を一定にするためにはピストンを固定すればよい。また定積変化では、気体は外へ仕事をしない。よって、**熱力学第1法則**より、熱を与えた場合、その熱量はすべて内部エネルギーの増加に使われ、気体の温度が上昇する。すると、**ボイル・シャルルの法則**より、気体の圧力が増す。逆に、熱を奪った場合は、気体の温度と圧力は減少する。過程Iでは圧力が増しているので、ピストンを固定して熱を与えた①の操作が正しい。

過程IIは、圧力が一定の定圧変化である。シリンダーの外側の大気の圧力は  $P$  なので、ピストンを自由に動けるようにしておけば、力のつり合いより、シリンダー内の気体の圧力も  $P$  のままでなる。この状態で気体に熱を与えれば、気体は膨張し、体積が増すことになる。よって、過程IIの操作は②である。

23 の答 ①

24 の答 ③

#### 熱力学第1法則

$$Q = \Delta U + W$$

$Q$ ：気体が得た熱量

$\Delta U$ ：気体の内部エネルギーの変化量

$W$ ：気体が外へした仕事

これは、エネルギー保存則の一種であり、常に成り立っている。

#### ボイル・シャルルの法則

$$\frac{PV}{T} = \text{一定}$$

$P$ ：気体の圧力

$V$ ：気体の体積

$T$ ：気体の絶対温度

これは、気体の物質量(モル数  $n$ )が不变のときに成り立つ。2つの状態を結ぶ式である。

問7 シリンダー内に閉じ込められた気体の物質量(モル数)は変わらないので、ボイル・シャルルの法則が成り立つ。状態Bの気体の圧力を $P_B$ 、状態B、Cの気体の温度を $T_1$ とし、状態BとCを結ぶと、

$$\frac{P_B V}{T_1} = \frac{P V_1}{T_1} \quad \therefore P_B = \frac{V_1}{V} P$$

25 の答 ①

問8 熱力学第1法則で考える。

過程I、IIで気体が吸収した熱量をそれぞれ $Q_1$ 、 $Q_2$ とする。

問6の考察より、気体は両過程で熱を吸収しているので、これらはともに正である。

過程I、IIでの気体の内部エネルギーの変化は、温度変化が同じであるから等しく、これを $\Delta U$ とする。

過程I、IIで気体が外へした仕事を $W_1$ 、 $W_2$ とする。過程Iでは定積変化であるから $W_1=0$ である。過程IIでは気体が膨張しているので $W_2$ は正で、その値は図4の線分ACと横軸(体積軸)の間にある部分の面積であるから、

$$W_2 = P(V_1 - V) = P(2V - V) = PV$$

となる。

以上より、各過程における熱力学第1法則は、

$$\text{過程I : } Q_1 = \Delta U$$

$$\text{過程II : } Q_2 = \Delta U + W_2 = \Delta U + PV$$

よって、気体が吸収した熱量は、過程IIの方が $PV$ だけ多い。

26 の答 ③

===== 化 学 I =====

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設 問	解 答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	[1]	②	3	
		[2]	④	3	
	問2	[3]	②	4	
	問3	[4]	⑤	4	
	問4	[5]	②	4	
	問6	[6]	①	4	
		[7]	④	3	
		[8]	③	4	
第1問 自己採点小計			(29)		
第2問	問1	[9]	①	3	
		[10]	②	4	
	問2	[11]	③	4	
		[12]	③	3	
	問3	[13]	①	3	
	問4	[14]	⑤	4	
		[15]	④	4	
第2問 自己採点小計			(25)		
第3問	問1	[16]	⑤	3	
		[17]	①	4	
	問3	[18]	②	3	
		[19]	②	4	
	問4	[20]	③	4	
	問5	[21]	④	3	
第3問 自己採点小計			(21)		
第4問	問1	[22]	①	4	
	問2	[23]	④	3	
	問3	[24]	④	3	
	問4	[25]	④	4	
	問5	[26]	③	4	
	問6	[27]	⑤	3	
	問7	[28]	⑥	4	
第4問 自己採点小計			(25)		
自己採点合計			(100)		

## 【解説】

### 第1問 物質の構成、物質量、化学反応と熱

#### 問1 元素の分類、分子の構造

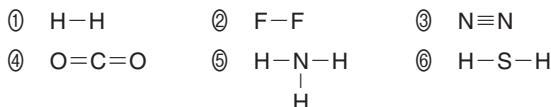
a 次の周期表の□で示される1, 2, 12~18族に属する元素を典型元素といい、周期表の3~11族に属する元素を遷移元素という。また、遷移元素は第4周期のスカンジウム Sc (原子番号21)以降に現れる。

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	■																	
2	■	■	■												N	O		Ne
3	■	■	■											Al				
4				Cr	Mn	Fe		Ni	Cu	Zn								
5											Ag			Sn				

したがって、典型元素の組合せは①Oと③Alである。

1 ... ③

b 共有結合を価標で表した化学式を構造式という。①~⑥の分子はそれぞれ次の構造式で表される。



したがって、価標が最も多い分子は④二酸化炭素である。

2 ... ④

#### 問2 混合物の分離

① 正しい。固体が混じっている液体から、ろ紙などを用いて固体を分離する操作をろ過という。食塩水と砂の混合物では、食塩水はろ紙を通過するが、砂はろ紙を通過できないので、食塩水と砂を分離することができる。

② 誤り。混合物に特定の溶媒を加えて、目的物質を溶かして分離する操作を抽出という。大豆を粉碎し、これにジエチルエーテルを加えると、大豆中に含まれる油脂がジエチルエーテルに溶解するため、大豆から油脂を分離することができる。

なお、クロマトグラフィーは、混合物中の成分をろ紙などへの吸着力の差を利用して分離する操作をいう。

③ 正しい。温度による溶解度の変化などをを利用して、物質を精製する操作を再結晶という。少量の塩化ナトリウムを含む硝酸カリウムを、加熱した水に溶かした後、溶液を冷却すると、溶けきれなくなった硝酸カリウムが析出するが、少量の塩化ナトリウムは飽和に達しないので析出せず、不純物を含まない硝酸カリウムの結晶が得られる。

④ 正しい。混合物である溶液を加熱して発生した蒸気を冷却することによって、液体の分離、精製を行う操作を蒸留という。食塩水を加熱すると水蒸気が発生し、これを冷却することで水を

## 【ポイント】

### 典型元素

周期表1族、2族、12~18族の元素。非金属元素と金属元素が約半数ずつある。

### 遷移元素

周期表3~11族の元素。すべて金属元素である。Cr, Mn, Fe, Cu, Ag, Auなど。

### 共有結合

非金属元素の原子間で互いに価電子を共有してできる結合。共有される価電子が2個、4個、6個の共有結合をそれぞれ単結合、二重結合、三重結合といい、1本、2本、3本の価標で表す。

### 混合物の分離

混合物からその成分である純物質を取り出す操作を分離という。

分離の方法としては、ろ過、蒸留、再結晶、昇華、抽出、クロマトグラフィーなどがある。

分離することができる。

⑥ 正しい。2種類以上の液体の混合物を、沸点の違いを利用して、蒸留によって各成分に分離する操作を分留という。原油は炭化水素などの混合物であり、分留によりナフサ、灯油、軽油などに分離される。

3 …②

### 問3 原子やイオンの構造と性質

- ① 正しい。陽子と中性子の質量は、ほぼ等しい。
- ② 正しい。原子番号(陽子の数)が同じで質量数が異なる(つまり中性子の数が異なる)原⼦どうしを、互いに同位体といふ。
- ③ 正しい。原⼦から1個の電子を取り去るのに必要なエネルギーを(第一)イオン化エネルギーといふ、この値が小さい原⼦ほど陽イオンになりやすい。
- ④ 正しい。 $\text{Na}^+$ は $\text{Na}$ 原⼦に比べて、電子が1個少ないが、電子の質量は陽子や中性子の質量の約1840分の1で、無視できるほど小さいことから、 $\text{Na}$ 原⼦と $\text{Na}^+$ の質量は、ほぼ等しい。
- ⑤ 誤り。水に溶けると陽イオンと陰イオンに分かれる物質を電解質といふ。 $\text{NaCl}$ のようにイオン結合からなる物質以外に、 $\text{HCl}$ のように共有結合からなる物質の中にも電解質は存在する。

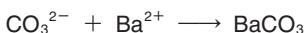
4 …⑥

### 問4 化学変化と物質量

炭酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 水溶液と水酸化バリウム $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 水溶液を混合すると、炭酸バリウム $\text{BaCO}_3$ の白色沈殿が生じる。



イオン反応式で表すと、



混合前の物質量は、

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \quad 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020 \text{ [mol]}$$

$$\text{Ba}(\text{OH})_2 \quad 0.10 \times \frac{300}{1000} = 0.030 \text{ [mol]}$$

したがって、 $\text{CO}_3^{2-}$ がすべて反応し、0.020 mol の $\text{BaCO}_3$ が生じる。

ナトリウムイオン $\text{Na}^+$ は、イオンとして水溶液中に残っている。その物質量は、

$$0.020 \times 2 = 0.040 \text{ [mol]}$$

混合溶液の体積は、 $200 + 300 = 500$  [mL]であることから、モル濃度は、

$$0.040 \times \frac{1000}{500} = 0.080 \text{ [mol/L]}$$

5 …②

### 原子の構造

構成粒子		電荷	質量比
原子核	陽子	+1	1836
	中性子	0	1839
電子		-1	1

### 同位体

原子番号が同じで質量数が異なる原子を互いに同位体といふ、化学的性質がほぼ同じであるため、同じ元素の原子としてまとめられる。

### イオン化エネルギー(第一イオン化エネルギー)

原子から電子1個を取り去って1価の陽イオンにするときに必要なエネルギー。この値が小さい原子ほど陽イオンになりやすい。

### 電解質

水中で電離する物質。水溶液は電気を通す。

(例) 塩化ナトリウム、硫酸銅(II)、水酸化ナトリウム、塩化水素、酢酸など

### イオン反応式

反応に関係するイオンをイオン式で表した反応式。

### モル濃度

溶液1Lに溶けている溶質の量を物質量で表した濃度。

モル濃度:  $C$  [mol/L]

溶質の物質量:  $n$  [mol]

溶液の体積:  $V$  [L]

のとき、

$$C \text{ [mol/L]} = \frac{n \text{ [mol]}}{V \text{ [L]}}$$

$$n \text{ [mol]} = C \text{ [mol/L]} \times V \text{ [L]}$$

### 化学反応式と量的関係

化学反応式の係数の比

= 反応・生成した物質の物質量の比

問 5 物質量

硫酸銅(II)五水和物  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  は青色の結晶で、220 ℃ 程度で乾燥した空気中に放置すると水和水を失い、最終的には白色の無水物になる。この問題では、混合物中の硫酸銅(II)一水和物  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  の物質量を  $x$  [mol]、硫酸銅(II)無水物  $\text{CuSO}_4$  の物質量を  $y$  [mol] として、乾燥前後の  $\text{CuSO}_4$  の物質量と、減少した水和水の物質量に着目すると、解答が得られる。

25.0 g の  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (250 g/mol) の物質量は、

$$\frac{25.0}{250} = 0.100 \text{ [mol]}$$

はじめの五水和物の物質量と、混合物中の一水和物と無水物の物質量の和は等しいことから、

$$x + y = 0.100 \quad \dots\dots(1)$$

質量の減少量は、失われた  $\text{H}_2\text{O}$  (18 g/mol) の質量に相当する。

$$25.0 \times \frac{30.6}{100} = 7.65 \text{ [g]}$$

その物質量は、

$$\frac{7.65}{18} = 0.425 \text{ [mol]}$$

五水和物から一水和物  $x$  [mol]への変化で、 $4x$  [mol]の水が、五水和物から無水物  $y$  [mol]への変化で、 $5y$  [mol]の水が減少している。したがって、水和水の減少量について、

$$4x + 5y = 0.425 \quad \dots\dots(2)$$

(1)式, (2)式から,

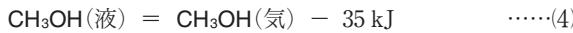
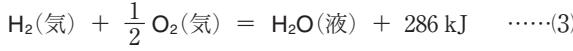
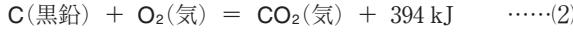
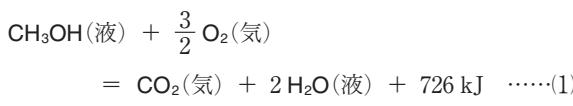
$$\gamma = 0.425 - 0.100 \times 4 = 0.025 \text{ [mol]}$$

なお、 $x = 0.075$  [mol]である。

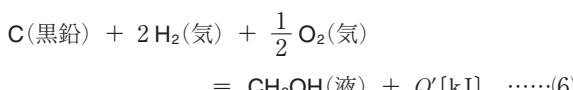
6 ... ①

## 問 6 化学反応と熱

問題で与えられた熱化学方程式を(1)~(5)とする。



a  $\text{CH}_3\text{OH}$ (液)の生成熱を  $Q'$ [kJ/mol]とする。



(1)~(3)式から(6)式を導く

生成熱

化合物 1 mol がその成分元素の単体から生成するときの反応熱。

ヘスの法則

物質が変化するときの反応熱は、変化の前後の物質の種類と状態だけで決まり、変化の経路には関係しない。この法則を用いると、実験では測定することが困難な反応熱を、計算によって求めることができる

(6)式中の

$$\begin{array}{ll} \text{左辺の C(黒鉛)から} & (2) \text{式} \times 1 \\ \text{左辺の } 2 \text{ H}_2 \text{ から} & (3) \text{式} \times 2 \\ \text{右辺の CH}_3\text{OH から} & (1) \text{式} \times (-1) \end{array}$$

(6)式 = (2)式 + (3)式 × 2 - (1)式より、

$$Q' = 394 + 286 \times 2 - 726 = 240 \text{ [kJ]}$$

[別解]

(2)式から CO<sub>2</sub> の生成熱は 394 kJ/mol, (3)式から H<sub>2</sub>O(液)の生成熱は 286 kJ/mol である。

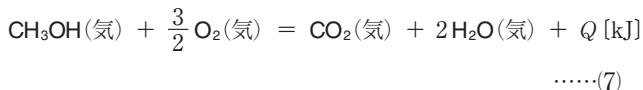
(1)式について、

反応熱 = (生成物の生成熱の総和) - (反応物の生成熱の総和)  
より、

$$726 = 394 + 286 \times 2 - Q' \quad Q' = 240 \text{ [kJ]}$$

7 ...④

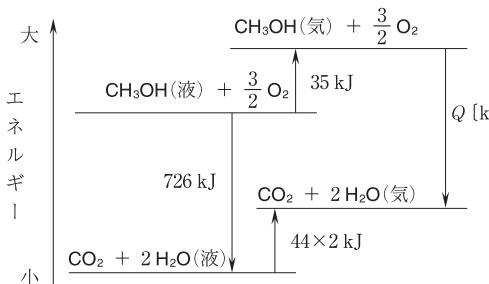
b 問題で与えられた式を(7)式とする。



(7)式 = (1)式 - (4)式 + (5)式 × 2 より、

$$Q = 726 - (-35) + (-44) \times 2 = 673 \text{ [kJ]}$$

なお、(1)式と(7)式に関する物質のエネルギーの関係は、次の図で表される。

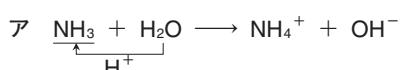


8 ...③

## 第2問 酸・塩基、酸化還元

### 問1 酸・塩基の定義

ブレンステッドの定義では、「酸とは水素イオン H<sup>+</sup> を与える分子・イオンであり、塩基とは水素イオン H<sup>+</sup> を受け取る分子・イオン」である。反応ア～エの下線を付した分子またはイオンについては、それぞれ次のようになる。



NH<sub>3</sub> は、H<sub>2</sub>O から H<sup>+</sup> を受け取っているので塩基としてはたらいている。

### 反応熱と生成熱の関係

#### 反応熱

= (生成物の生成熱の総和)  
- (反応物の生成熱の総和)  
(単体の生成熱は 0 として計算する。)

### 酸・塩基の定義

#### アレーニウスの定義

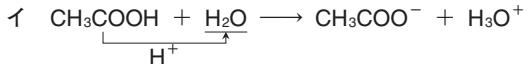
酸：水に溶けて水素イオン H<sup>+</sup> を生じる物質

塩基：水に溶けて水酸化物イオン OH<sup>-</sup> を生じる物質

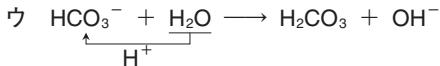
#### ブレンステッドの定義

酸：水素イオン H<sup>+</sup> を与える分子またはイオン

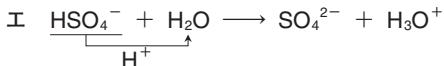
塩基：水素イオン H<sup>+</sup> を受け取る分子またはイオン



$\text{H}_2\text{O}$  は、 $\text{CH}_3\text{COOH}$  から  $\text{H}^+$  を受け取っているので塩基としてはたらいている。



$\text{H}_2\text{O}$  は、 $\text{HCO}_3^-$  に  $\text{H}^+$  を与えているので酸としてはたらいている。



$\text{HSO}_4^-$  は、 $\text{H}_2\text{O}$  に  $\text{H}^+$  を与えているので酸としてはたらいている。

9 …①

## 問 2 電離度、中和の量的関係

a 水溶液アの pH が 3.0 なので、水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ は、  
 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} [\text{mol/L}]$

酢酸の電離度を  $\alpha$  とすると、 $[\text{H}^+]$  は次のように表されるので、

$$[\text{H}^+] = a \times \alpha = 1.0 \times 10^{-3} \quad \alpha = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{a}$$

10 …②

b 水溶液ウに含まれる  $\text{CH}_3\text{COOH}$  は 1 倍の酸、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  は 2 倍の酸である。また、 $\text{NaOH}$  は 1 倍の塩基である。水溶液ウに含まれる酸を完全に中和するのに必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積を  $v$  [mL] とすると、中和反応の量的関係より、

$$1 \times a \times \frac{10}{1000} + 2 \times a \times \frac{10}{1000} = 1 \times b \times \frac{v}{1000}$$

$$v = \frac{30a}{b} [\text{mL}]$$

なお、水溶液ウに水酸化ナトリウム水溶液を加えると、次の二つの中和反応が起こる。



$\text{CH}_3\text{COOH}$  は弱酸であり、水溶液中での電離度は小さいが、塩基を加えていくと、電離が進み、最終的には  $\text{H}^+$  がすべて反応するので、電離度は中和の量的関係には関係しない。

11 …③

## 問 3 酸化数

窒素原子の酸化数をそれぞれ  $x$  とおく。

a  $\text{N}_2$  は単体であるので、 $x=0$

b  $\text{HNO}_3$  について、

$$(1) + x + (-2) \times 3 = 0 \quad x = +5$$

c  $\text{NH}_4\text{Cl}$  は  $\text{NH}_4^+$  と  $\text{Cl}^-$  からなる化合物であり、 $\text{NH}_4^+$  について、

### 電離度

電離した酸(塩基)の物質量(または濃度)  
 溶かした酸(塩基)の物質量(または濃度)

### 中和の量的関係

酸が放出する  $\text{H}^+$  の物質量 [mol]  
 = 塩基が放出する  $\text{OH}^-$  の物質量 [mol]  
 (塩基が受け取る  $\text{H}^+$  の物質量 [mol])  
 すなわち、  
 酸の価数 × 物質量 [mol]  
 = 塩基の価数 × 物質量 [mol]

### 酸化数の決め方

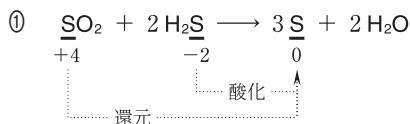
1. 単体中の原子 : 0
2. 化合物中の原子の酸化数の総和 : 0
3. 化合物中の H 原子やアルカリ金属原子 : +1
4. 化合物中の 2 族原子 : +2
5. 化合物中の O 原子 : -2  
 $(\text{H}_2\text{O}_2$  など過酸化物では -1)
6. 单原子イオンの酸化数 : イオンの価数
7. 多原子イオン中の原子の酸化数の総和 : イオンの価数

$$x + (+1) \times 4 = +1 \quad x = -3$$

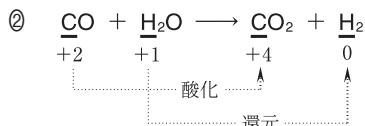
よって、窒素原子の酸化数の大小関係は、 **b > a > c** である。

12 ⋯③

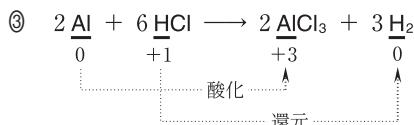
#### 問4 酸化剤と還元剤



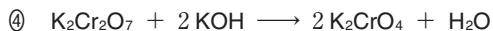
$\text{SO}_2$  は還元され、酸化剤としてはたらいている。



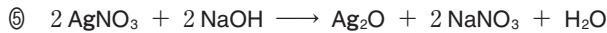
$\text{CO}$  は酸化され、還元剤としてはたらいている。



$\text{Al}$  は酸化され、還元剤としてはたらいている。



酸化数は、左辺、右辺ともに K: +1, Cr: +6, O: -2, H: +1 で変化していないので、酸化還元反応ではない。



酸化数は、左辺、右辺ともに Ag: +1, N: +5, O: -2, Na: +1, H: +1 で変化していないので、酸化還元反応ではない。

#### 酸化剤と還元剤

**酸化剤** 相手を酸化する物質。

自身は還元されて、酸化数が減少する原子を含む。

**還元剤** 相手を還元する物質。

自身は酸化されて、酸化数が増加する原子を含む。

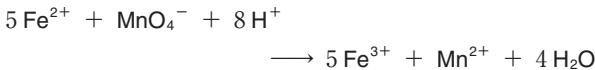
13 ⋯①

#### 問5 酸化還元反応の量的関係

与えられた式をそれぞれ(1)式、(2)式とする。



(1)式×5+(2)式より、次のイオン反応式が得られる。



5 mol の  $\text{Fe}^{2+}$  は、1 mol の  $\text{MnO}_4^-$  と過不足なく反応するので、硫酸鉄(II)水溶液Aのモル濃度を  $x$  [mol/L] とすると、

$$5 : 1 = x \times \frac{10.0}{1000} : 0.10 \times \frac{10.0}{1000}$$

$$x = 0.50 \text{ [mol/L]}$$

#### [別解]

過不足なく反応したとき、 $\text{Fe}^{2+}$  が放出した  $\text{e}^-$  の物質量と、 $\text{MnO}_4^-$  が受け取った  $\text{e}^-$  の物質量は等しいので、硫酸鉄(II)水溶液Aのモル濃度を  $x$  [mol/L] とすると、

#### 酸化還元反応の量的関係

酸化剤が受け取った電子の物質量

= 還元剤が放出した電子の物質量

$$x \times \frac{10.0}{1000} \times 1 = 0.10 \times \frac{10.0}{1000} \times 5$$

$$x = 0.50 \text{ [mol/L]}$$

14 ⋯⑥

### 問6 イオン化傾向、電気分解

**操作1** イオン化傾向が大きい金属を、イオン化傾向が小さい金属のイオンを含む水溶液に浸すと、イオン化傾向が小さい金属が析出する。

イオン化傾向は、 $\text{Na} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ag}$  であるから、Aは $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{AgNO}_3$ のいずれかであり、それぞれ次の反応が起こる。



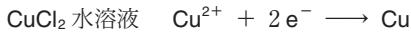
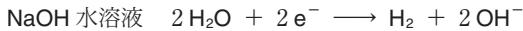
なお、亜鉛は濃い水酸化ナトリウム水溶液に溶解し、水素を発生するが、金属は析出しない。

**操作2** 白金電極を用いて各水溶液を電気分解すると、陽極では、次の反応が起こる。



Bの水溶液では酸素が発生したので、Bは $\text{NaOH}$ ,  $\text{AgNO}_3$ のいずれかである。

**操作3** 白金電極を用いて各水溶液を電気分解すると、陰極では、次の反応が起こる。



Cの水溶液では水素が発生したので、Cは $\text{NaOH}$ であることが決定する。よって、操作2より、Bは $\text{AgNO}_3$ であることが、操作1より、Aは $\text{CuCl}_2$ であることがわかる。

15 ⋯④

### 第3問 無機物質

#### 問1 塩素の酸化物

① 正しい。一酸化窒素 $\text{NO}$ は、水に溶けにくい無色の気体である。

② 正しい。一酸化窒素は、実験室では銅に希硝酸を加えて発生させ、水上置換で捕集する。



なお、銅に濃硝酸を加えた場合は、二酸化窒素 $\text{NO}_2$ が発生する。

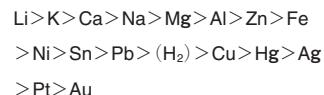


③ 正しい。一酸化窒素は、空気中で速やかに酸化されて二酸

#### イオン化傾向

金属の単体が、水溶液中で電子を放出し、陽イオンになる性質をイオン化傾向という。

主な金属のイオン化傾向は大きい順に、



( $\text{H}_2$ は金属ではないが、陽イオンになる性質がある)

#### 水溶液の電気分解

陽極…外部電源の正極とつないだ電極。

酸化反応が起こる。

- ・電極が Cu や Ag のとき
  1. Cu や Ag が酸化され、イオンになり溶解する。
  2. 電極が C や Pt のとき
    2. ハロゲン化物イオンが酸化され、ハロゲンの単体が生成する。
    3. 電解液が酸性、中性のときには  $\text{H}_2\text{O}$  が、電解液が塩基性のときには  $\text{OH}^-$  が酸化され、 $\text{O}_2$  が発生する。
- 陰極…外部電源の負極とつないだ電極。
 

還元反応が起こる。

  1. 電解液中の  $\text{Ag}^+$  や  $\text{Cu}^{2+}$  が還元され、Ag や Cu が析出する。
  2. 電解液が中性、塩基性のときには  $\text{H}_2\text{O}$  が、電解液が酸性のときには  $\text{H}^+$  が還元され、 $\text{H}_2$  が発生する。

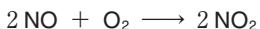
#### 一酸化窒素の性質

- ・無色の気体である。
- ・空気中で酸化され二酸化窒素になる。
- ・銅に希硝酸を加えると発生する。

#### 二酸化窒素の性質

- ・赤褐色で有毒な気体である。
- ・水に溶けて硝酸を生じる。
- ・銅に濃硝酸を加えると発生する。

化窒素になる。



- ④ 正しい。二酸化窒素は、赤褐色の有毒な気体である。  
⑤ 誤り。二酸化窒素は水に溶けやすく、水(温水)と次のように反応して、硝酸と一酸化窒素を生じる。



16 ⋯⑥

## 問2 硫酸の性質

塩化ナトリウムに濃硫酸を加えて加熱すると、塩化水素が発生する。



これは、揮発性の酸の塩に不揮発性の酸を加えて加熱すると、不揮発性の酸の塩が生じるとともに、揮発性の酸が遊離する反応の一例であり、濃硫酸が沸点の高い(300 °C 以上)不揮発性の酸であり、塩化水素が揮発性の酸であるため進行する。同様の例として、硝酸カリウムに濃硫酸を加えて加熱すると、揮発性の酸である硝酸が発生する反応がある。



17 ⋯①

## 問3 酸素とオゾン

- a ① 正しい。酸素は、無色・無臭の気体である。  
② 誤り。酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて加熱すると、塩素が発生する。この反応では酸化マンガン(IV)が酸化剤としてはたらいている。



酸素は、工業的には液体空気の分留で得られ、実験室では過酸化水素水に酸化マンガン(IV)を加えるか、塩素酸カリウムと酸化マンガン(IV)の混合物を加熱して発生させる。



- ③ 正しい。酸素の同素体であるオゾン O<sub>3</sub> は、淡青色で特異臭のある気体である。オゾンは、酸化力が強いため毒性があり、また、漂白・殺菌作用をもつ。

- ④ 正しい。オゾンは、酸素中で無声放電(音を伴わない放電)を行うか、酸素に紫外線を当てるとき生じる。



- ⑤ 正しい。オゾンは酸化力が強く、分解して酸素に変化する。たとえば、オゾンをヨウ化カリウム水溶液に通じると、ヨウ素が生じる。



この反応により、オゾンは、湿ったヨウ化カリウムデンプン紙を青紫色に変える。

## 硫酸の性質

- 濃硫酸
- 密度が大きい(約 1.8 g/cm<sup>3</sup>)。
  - 不揮発性である。
  - 水への溶解熱が大きい。
  - 吸湿性がある。
  - 脱水作用がある。
  - 熱濃硫酸は酸化作用がある。
- 希硫酸
- 強い酸性を示す。
  - Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> と BaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, PbSO<sub>4</sub> の白色沈殿を生じる。

❸ 上述したように、次の反応が起こる。



(1)式より、標準状態で  $3x$  [L] の酸素が反応したとすると、 $2x$  [L] のオゾンが生成するので、減少した気体の体積について次の式が成り立つ。

$$3x - 2x = 4.0$$

$$x = 4.0 \text{ [L]}$$

したがって、生成したオゾンの体積は、

$$2x = 2 \times 4.0 = 8.0 \text{ [L]}$$

反応後の気体全体の体積は  $104.0 - 4.0 = 100.0$  [L] であり、含まれるオゾンの体積パーセントは、

$$\frac{8.0}{100.0} \times 100 = 8.0 [\%]$$

なお、反応前の酸素と窒素の体積は、

$$\text{O}_2 \quad 104.0 \times \frac{20}{100} = 20.8 \text{ [L]}$$

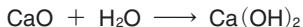
$$\text{N}_2 \quad 104.0 \times \frac{80}{100} = 83.2 \text{ [L]}$$

であり、反応前後の各物質および気体全体の体積(標準状態)は次のとおりである。

	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	气体全体
反応前	20.8 L	0 L	83.2 L	104.0 L
変化	-12.0 L	+8.0 L	—	-4.0 L
反応後	8.8 L	8.0 L	83.2 L	100.0 L

#### 問 4 金属の酸化物

- ① 正しい。酸化カルシウム(生石灰)は塩基性酸化物であり、水と反応して水酸化カルシウム(消石灰)となり、このとき熱が発生する。



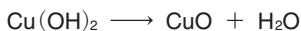
- ② 正しい。酸化鉄(Ⅲ)は塩基性酸化物であり、希塩酸と反応し溶解する。



- ③ 誤り。酸化アルミニウムは両性酸化物であり、濃い水酸化ナトリウム水溶液に溶解するが、このとき水素は発生しない。



- ④ 正しい。水酸化銅(II)を加熱すると、酸化銅(II)が得られる。



- ⑥ 正しい。酸化銀は濃アンモニア水に溶解し、ジアンミニン銀(I)イオンになる。

アボガド日の法則

気体では種類に関係なく、同温・同压では同体積中に同数の分子が含まれる。

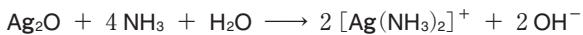
気体の反応の場合、アボガドロの法則より、化学反応式中の係数の比は変化する物質の標準状態の体積の比である。

## 酸化物の分類

酸性酸化物…水に溶けて酸性を示したり、塩基と反応する酸化物。一般に非金属元素の酸化物

塩基性酸化物…水に溶けて塩基性を示したり、酸と反応する酸化物。一般に金属元素の酸化物

両性酸化物…酸とも塩基とも反応する酸化物。両性元素の酸化物。



[20] ⋯③

### 問5 生活と無機物質

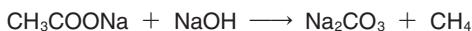
- ① 正しい。水銀は常温で液体であり、さまざまな金属を溶かしてアマルガムとよばれる合金をつくる。
- ② 正しい。硫酸カルシウム二水和物  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  はセッコウとよばれ、建築材料などに用いられる。
- ③ 正しい。銅を湿った空気中に放置すると、緑色のさびである緑青が生じる。緑青の主成分は  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  や  $\text{CuSO}_4 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$  などといわれている。
- ④ 誤り。シリカゲルはケイ酸  $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$  を加熱脱水したものであり、乾燥剤、吸着剤として利用される。含まれる元素は炭素ではなくケイ素、酸素、水素である。
- ⑤ 正しい。硫酸アルミニウム  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  と硫酸カリウム  $\text{K}_2\text{SO}_4$  の混合水溶液を濃縮し、冷却すると複塩であるミョウバン  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  が析出する。

[21] ⋯④

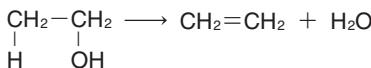
## 第4問 有機化合物

### 問1 炭化水素

- ① 誤り。酢酸ナトリウムと水酸化ナトリウムの混合物を加熱すると、メタンが得られる。

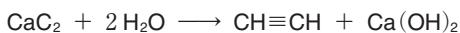


- ② 正しい。エタノールに濃硫酸を加えて  $160\sim170^\circ\text{C}$  に加熱すると、分子内で脱水し、エチレンが得られる。



なお、エタノールに濃硫酸を加えて  $130\sim140^\circ\text{C}$  に加熱すると、分子間で脱水し、ジエチルエーテルが得られる。

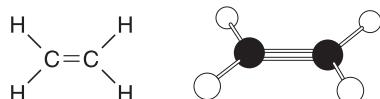
- ③ 正しい。炭化カルシウム(カーバイド)に水を加えると、アセチレンが得られる。



- ④ 正しい。炭素原子間の結合距離は、長い順に、  
 $\text{C}-\text{C} > \text{C}=\text{C} > \text{C}\equiv\text{C}$

である。

- ⑤ 正しい。エチレンを構成するすべての原子は、同一平面上に存在する。



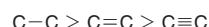
[22] ⋯①

### アルコールの脱水

アルコールに濃硫酸を加えて加熱すると、脱水反応が起こる。

エタノールの場合、 $130\sim140^\circ\text{C}$  に加熱したときは分子間で、 $160\sim170^\circ\text{C}$  に加熱したときは分子内で脱水する。

### 炭素原子間の結合距離

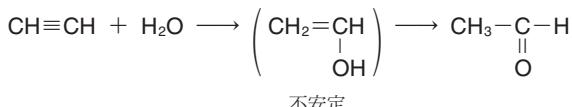


## 問2 アセトアルデヒド

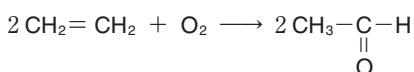
① 正しい。アセトアルデヒド  $\text{CH}_3-\overset{\text{||}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{H}$  は水によく溶ける。

なお、アセトアルデヒドやホルムアルデヒド、アセトンなど、炭素数の少ないアルデヒド、ケトンは水によく溶ける。

② 正しい。アセチレンに水を付加すると、不安定なビニルアルコールを経てアセトアルデヒドが得られる。



③ 正しい。エチレンを触媒(塩化パラジウム(II)と塩化銅(II))の存在下で空気酸化すると、アセトアルデヒドが得られる。



④ 誤り。アセトンを還元すると、2-プロパノールが得られる。

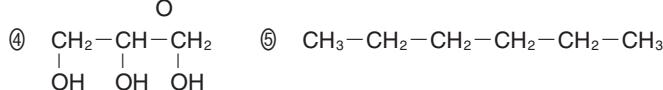
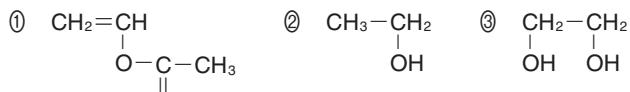


⑤ 正しい。アルデヒドは還元性を示し、アンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱すると、銀が析出する。これを銀鏡反応という。

23 …④

## 問3 脂肪族化合物の構造

①～⑥の構造式は次のとおりである。



よって、分子中に含まれる酸素原子の数が最も多い化合物は④である。

24 …④

## 問4 セッケン、合成洗剤

A :  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COONa}$  は高級脂肪酸のナトリウム塩であり、セッケンとよばれる。

B :  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$  はアルキル硫酸のナトリウム塩であり、合成洗剤の主成分である。

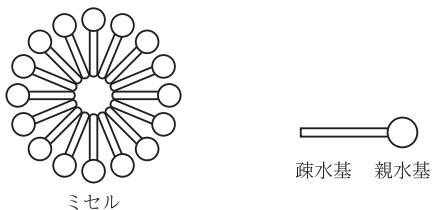
① 正しい。Aを水に溶かすと、疎水性の炭化水素基の部分を内側に、親水性のイオンの部分を外側に向けて多数集合したミセルを形成する。

### 銀鏡反応

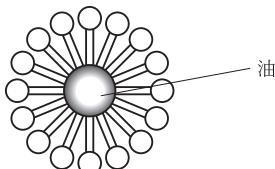
アルデヒドにアンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱すると、銀イオンが還元されて銀の単体が析出する。

### セッケンと合成洗剤

	セッケン	合成洗剤
水溶液	弱塩基性	中性
硬水中での洗浄力	失う (難溶性の塩をつくる)	保たれる

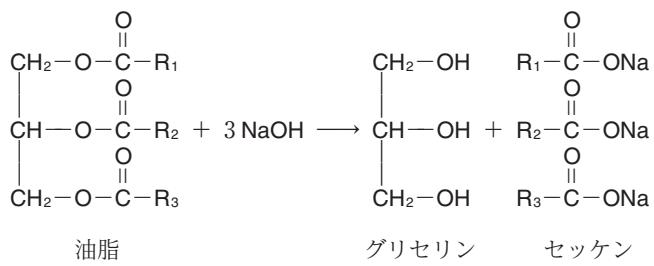


② 正しい。A, B の水溶液ともに、油を加えて振り混ぜると、セッケンまたは合成洗剤が油のまわりを取り囲み、水中に分散して乳濁液になる。これを乳化作用という。



③ 正しい。A は弱酸である脂肪酸と強塩基である水酸化ナトリウムの中和により得られる塩であり、その水溶液は塩基性を示す。一方、B は強酸であるアルキル硫酸と強塩基である水酸化ナトリウムの中和により得られる正塩であり、その水溶液は中性を示す。よって、A の水溶液の pH は、B の水溶液の pH より大きい。

④ 誤り。油脂に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、グリセリンと高級脂肪酸のナトリウム塩であるセッケンが得られ、B は得られない。



⑤ 正しい。カルシウムイオンやマグネシウムイオンを多く含む水を硬水といふ。A は硬水中では水に溶けにくいカルシウム塩やマグネシウム塩になって沈殿し、洗浄力が失われるが、B のカルシウム塩やマグネシウム塩は水に溶けるので、硬水中でも洗浄力が保たれる。

25 ⋯ ④

## 問5 脂肪族化合物の構造決定

化合物 A を硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で十分に酸化したところ、酸性の化合物 B が得られたので、A は第一級アルコールまたはアルデヒド、B はカルボン酸であると考えられる。また、化合物 A は不斉炭素原子をもつことから、⑨または⑩のい

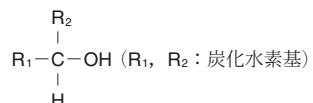
### アルコールの分類

#### ・第一級アルコール



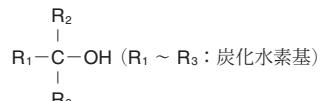
酸化されるとアルデヒドを生じ、アルデヒドがさらに酸化されるとカルボン酸を生じる。

#### ・第二級アルコール



酸化されるとケトンを生じる。

#### ・第三級アルコール

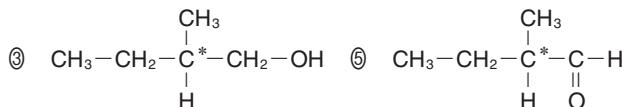


酸化されにくい。

### 不斉炭素原子

互いに異なる 4 つの原子や原子団が結合している炭素原子を不斉炭素原子といふ。不斉炭素原子が 1 個ある化合物には 1 組の光学異性体が存在する。

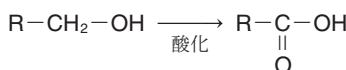
ずれかである。



(C\* は不斉炭素原子を表す)

A の分子量を M とする。

A が第一級アルコールの ③ とすると、B の分子量は M+14 である。



A 1 mol あたり、1 mol の B が得られるので、

$$\frac{44}{M} : \frac{51}{M+14} = 1 : 1 \quad M = 88$$

③ の分子量は 88 なので、これが正解である。

なお、A がアルデヒドの ⑤ とすると、B の分子量は M+16 である。



A 1 mol あたり、1 mol の B が得られるので、

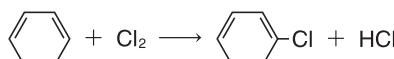
$$\frac{44}{M} : \frac{51}{M+16} = 1 : 1 \quad M = 100$$

⑤ の分子量は 86 なので、⑤ は不適当であると判断できる。

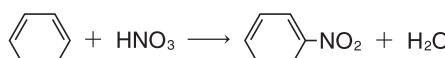
[26] … ③

## 問 6 芳香族化合物の反応

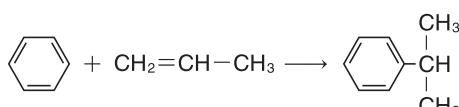
① 正しい。ベンゼンに鉄を触媒として塩素を作用させると、置換反応が起り、クロロベンゼンが生成する。



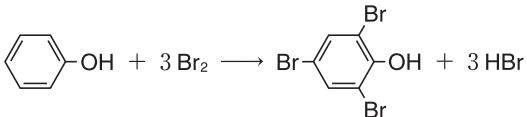
② 正しい。ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合液を作用させると、ベンゼンはニトロ化され、ニトロベンゼンが生成する。



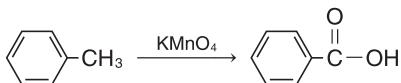
③ 正しい。ベンゼンに触媒を用いてプロパンを作用させると、クメン(イソプロピルベンゼン)が生成する。



④ 正しい。フェノールに臭素水を作用させると、置換反応が起り、2,4,6-トリブロモフェノールの白色沈殿が生成する。



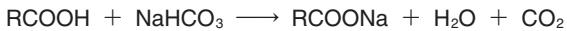
⑥ 誤り。トルエンを過マンガン酸カリウムで酸化すると、メチル基が酸化されてカルボキシル基となり、安息香酸が生成する。



27 ⋯⑥

### 問7 芳香族化合物の官能基と性質

炭酸水素ナトリウム水溶液に、二酸化炭素を発生しながら溶けるのは、炭酸より強い酸であるカルボン酸である。



したがって、記述アに当てはまる化合物は、①、⑥である。

塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると特有の呈色反応を示すのは、フェノール類である。したがって、記述イに当てはまる化合物は、②、⑤、⑥である。

よって、ア、イのいずれにも当てはまる化合物は、⑥のサリチル酸である。

28 ⋯⑥

### 芳香族炭化水素の側鎖の酸化

ベンゼン環に結合したメチル基などの炭化水素基は、過マンガン酸カリウムによって酸化され、カルボキシル基に変化する。

### 弱酸の遊離

弱酸の塩により強い酸を加えると、弱酸が遊離する。カルボン酸は炭酸より強い酸であるため、炭酸水素ナトリウム水溶液に、二酸化炭素を発生しながら溶ける。

### 塩化鉄(Ⅲ)水溶液の呈色

フェノール類の水溶液に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると、青紫色や赤紫色などを呈する。

### フェノール類

ベンゼン環の炭素原子にヒドロキシ基-OH が直接結合した化合物をフェノール類という。

# ≡ 生 物 I ≡

## 【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	問1	[1]	③	3		
	問2	[2]	②	3		
	問3	[3]	③	3		
	問4	[4]	①	3		
	問5	[5]	④	4		
		[6]	⑤	4		
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A 問1	[7]	①	3		
	A 問2	[8]	③	3		
	A 問3	[9]	④	3		
	A 問4	[10]	③	4		
	B 問5	[11]	③	3		
	B 問6	[12]	⑥	4		
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A 問1	[13]	①	3		
	A 問2	[14]	③	3		
	B 問3	[15]	②	3		
	B 問3	[16]	④	3		
	A 問4	[17]	②	4		
	A 問5	[18]	③	4		
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A 問1	[19]	③	3		
	A 問2	[20]	⑧	3		
	A 問3	[21]	④	4		
	B 問4	[22]	②	3		
	B 問4	[23]	⑤	3		
	B 問5	[24]	②	4		
第4問 自己採点小計				(20)		

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第5問	A 問1	[25]	①	3		
	A 問2	[26]	④	3		
	A 問3	[27]	①	3		
B		[28]	⑥	3		
	B 問4	[29]	⑧	4		
第5問 自己採点小計				(20)		
自己採点合計				(100)		

※の正解は順序を問わない。

**【解説】****第1問 浸透圧**

植物の組織に関する知識問題と、ユキノシタの葉の裏面表皮を用いた原形質分離の実験に関する考察問題を出題した。

**問1** 植物では、同じ形やはたらきをもつ細胞が集まって組織を、複数の組織が集まって組織系を、組織系が集まって高度な機能をもつ器官(花・葉・茎・根など)を、器官が集まって個体を形成する。組織系は表皮系、維管束系、基本組織系に分けられる。表皮細胞や表皮細胞が変形した孔辺細胞、根毛は表皮系に、道管や師管は維管束系に、葉のさく状組織や海綿状組織、根の皮層や内皮は基本組織系に含まれる。 1 …③

**問2** 原形質分離の観察には、ユキノシタの葉の裏面表皮がよく用いられる。葉の裏面表皮の細胞の液胞には、アントシアントンとよばれる赤い色素が含まれており、原形質分離を起こしているかどうかを判別しやすいので、②が正しい。表皮細胞には葉緑体が存在しないので、①は誤りである。表皮細胞の外側にはクチクラ層が存在し、クチクラ層は水を透過しにくいので、③は誤りである。原形質分離における水の移動は呼吸とは無関係であるので、④は誤りである。 2 …②

**問3** すべての表皮細胞の浸透圧は等しいわけではなく、高いものから低いものまでばらつきが存在する。このため、スクロース溶液の濃度を高くしていくと原形質分離を起こす細胞が増加していく。ある濃度以上になるとすべての細胞が原形質分離を起こしている状態となるので、③が正しい。 3 …③

**問4** 液胞膜が囲む部分の体積は、細胞膜や細胞壁が囲む部分の体積よりも小さいので、aは液胞膜ではない。細胞が水を吸収して膨張しているときは、細胞膜と細胞壁が囲む部分の体積は同じになる。原形質分離を起こすと、細胞壁が囲む部分の体積は減少せず一定になるが、細胞膜が囲む部分の体積は減少するので、aが細胞壁、bが細胞膜とわかる。 4 …①

**問5** 図1から、裏面表皮の細胞から時間とともに細胞外に水が流出して細胞の体積が減少し、やがて原形質分離を起こすようになることがわかる。また、原形質分離を起こすので、このとき裏面表皮を浸したスクロース溶液(細胞外液)は細胞内液より高張であることがわかる。

時間0では、高張液に入れた直後の状態なので、細胞内液の浸透圧は細胞外液の浸透圧より小さい。また、時間0では、原形質分離を起こした状態の細胞壁が囲む体積よりも細胞の体積は大きいので、細胞が膨らんだ状態であることがわかる。したがって、このときには膨圧が発生しており、④が正しい。 5 …④

時間tでは原形質分離が起こっており、また、aとbの体積は

**【ポイント】**

植物の組織系

表皮系

維管束系

基本組織系

ユキノシタの葉の裏面表皮

液胞内にアントシアントンとよばれる赤い色素が含まれるので、原形質分離を起こしたかどうか判別しやすい。

細胞を高張液に浸すと、原形質分離が起こる。

それぞれ一定になり変化しなくなっている。原形質分離を起こして細胞の体積が変化しなくなった状態では、細胞内液の浸透圧と細胞外液の浸透圧は等しくなっており、膨圧は0となるので、⑤が正しい。

6 …⑥

原形質分離を起こして細胞の体積が変化しなくなった状態  
細胞内液と細胞外液の浸透圧は等しく、膨圧は0である。

## 第2問 生殖と配偶子形成

Aでは生殖と配偶子形成に関する知識問題を、Bでは精原細胞の増殖に関する考察問題を出題した。

**問1** 生物の生殖方法は、有性生殖と無性生殖に分けられる。無性生殖は配偶子によらない生殖方法であり、遺伝的に親と同一な子が生じる。有性生殖は配偶子の合体によって新しい個体(子)をつくる生殖方法であり、遺伝的に多様な子が生じる。有性生殖には、同じ大きさの配偶子が合体する同形配偶子接合と、異なる大きさの配偶子が合体する異形配偶子接合がある。異形配偶子接合のうち、卵と精子(精細胞)が合体する場合を受精という。次表は、それぞれの生殖方法と、それを行う生物の名称をまとめたものである。

生殖方法		生物例
無性生殖	分裂	細菌類、アメーバ、ゾウリムシ
	出芽	酵母菌、ヒドラー
	栄養生殖	サツマイモ(塊根)、ジャガイモ(塊茎)、オランダイチゴ(走出枝)
有性生殖	同形配偶子接合	アオミドロ、クラミドモナス
	異形配偶子接合	アオサ、ミル ほとんどの植物や動物(受精)

7 …①

**問2** ①ヒトの雄性配偶子は精子であり、雌性配偶子は卵である。精子はべん毛をもち運動性をもつが、卵は細胞質を豊富に含み大型化して運動性がなく、纖毛をもたないので、誤りである。②精子や卵は減数分裂によって形成された配偶子であり、ともに染色体数もDNA量も体細胞の半分となっている。すなわち、精子と卵の核に含まれるDNA量は等しいので、誤りである。なお、ヒトのY染色体はX染色体より小さいため、精子がY染色体をもつ場合、X染色体をもつ卵に比べてわずかにDNA量が少なくなるが、精子の核に含まれるDNA量が卵の核に含まれるDNA量よりも多くなることはない。③ヒトの卵の直径は約140μm、ヒトの精子の全長は約60μmであるので、正しい。④精子は頭部、中片部(中片)、尾部からなり、中片部にミトコンドリアをもつので、誤りである。

8 …③

精子と卵のDNA量は、体細胞のDNA量の半分である。

精子は頭部、中片部、尾部からなり、中片部にミトコンドリアをもつ。

問3 ①受精の様式には、精子と卵が体外に放出されて受精する体外受精と、精子が雌の体内に放出されて卵と受精する体内受精があるが、ウニは体外受精を行うので、誤りである。②一つの卵と複数の精子が受精することを多精受精という。通常、一つの卵に進入する精子は一つであり、卵は受精膜を形成するなどの方法によって多精受精を防いでいるので、誤りである。③先体反応とは、精子が卵のゼリー層などに接触すると、精子の頭部にある先体から物質が放出される反応であり、精子の核が卵内に進入するのに先立って起こるので、誤りである。④未受精卵には細胞膜の外側に卵膜という膜が存在する。精子が卵に進入すると、卵膜が細胞膜から離れて受精膜となり、多精受精を防ぐので、正しい。

9 …④

問4 ヒトの体細胞の染色体数は46本( $2n = 46$ )である。すなわち、体細胞には23組の相同染色体が存在する。減数分裂によって配偶子が形成される過程では、2本ある相同染色体の片方が配偶子に分配されることで染色体数が半減する。配偶子には23組の相同染色体からそれぞれ片方の染色体が受け継がれる。各組の染色体について、相同染色体のどちらを受け継ぐかで2通りのパターンがあるので、配偶子がもつ23本の染色体の組合せは $2^{23}$ 通りとなる。したがって、父由来の配偶子である精子と母由来の配偶子である卵が受精して生じる受精卵における染色体の組合せは $2^{23} \times 2^{23}$ 通りとなる。

10 …③

問5 次の図に示すように、発生過程で生じた始原生殖細胞は、精巣内に移動すると精原細胞となる。精原細胞は体細胞分裂を行って増殖し、一部の細胞が成長して一次精母細胞となる。一次精母細胞は減数分裂を行い、第一分裂によって二次精母細胞が、続く第二分裂によって精細胞が生じる。精細胞はその後変形して精子となる。

先体反応

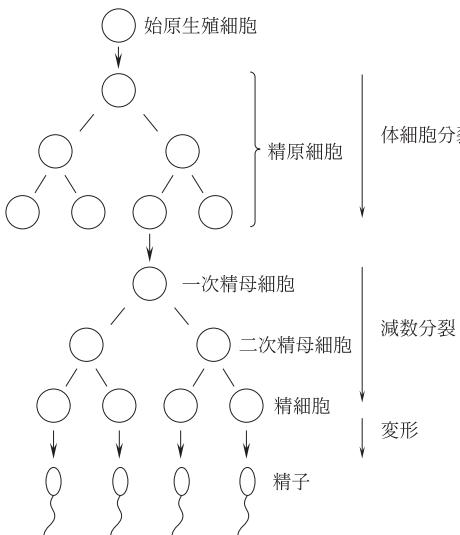
精子が卵のゼリー層などに接触すると起こる。

精子の核が卵内に進入するのに先立って起こる。

減数分裂では相同染色体の片方が配偶子に分配される。

始原生殖細胞





11 …③

問6 精巣内には、精原細胞だけでなく細胞Yが存在しており、細胞Yは精原細胞の増殖に関与する。実験1より、精原細胞と細胞Yだけでは精原細胞は増殖しないので、精原細胞の増殖に物質Xは必要であることがわかる。実験2より、精原細胞のみを培養した場合は物質Xを与えてでも精原細胞は増殖しないので、物質Xが作用するためには細胞Yが必要であることがわかる。また、物質Xを精原細胞に作用させてから、物質Xがない条件で精原細胞と細胞Yを接触させても精原細胞は増殖しない。これらのことにより、物質Xは精原細胞に直接作用するのではなく、細胞Yに作用し、細胞Yが精原細胞の増殖を促進すると考えられるので、①・②は誤りである。仮に、精原細胞の増殖が細胞Yによって抑制されているとすると、精原細胞だけを培養したときには細胞Yの抑制がなくなり、精原細胞の増殖が起こるはずであるので、③・④は誤りである。実験3から、細胞が通過できないフィルターで精原細胞と細胞Yを隔てた場合、物質Xを与えてでも精原細胞は増殖しないことから、細胞Yが精原細胞に作用するためには細胞Yと精原細胞が直接接觸している必要があることがわかる。したがって、⑥は誤りであり、⑥が正しい。

12 …⑥

### 第3問 遺伝

Aでは性染色体と性決定に関する問題を、Bではキイロショウジョウバエの眼の色の遺伝に関する問題を出題した。

問1 キイロショウジョウバエの体細胞の染色体数は8本( $2n=8$ )である。そのうち6本は、雌雄に共通な3対の相同染色体からなり、これらの染色体は常染色体とよばれる。残りの2本は、雌雄で組合せが異なる。これは性染色体とよばれる。性染色体について

て、雌は同じものを 2 本もつが、雄は雌と共通の染色体を 1 本と、雌とは形の異なる染色体を 1 本もつ。雌雄で共通な性染色体を X 染色体、雄のみがもつ性染色体を Y 染色体という。 [13] ⋯①

問 2 常染色体の 1 組を A で表すと、XY 型の性決定様式をもつ生物の染色体構成は、雄は  $2A+XY$ 、雌は  $2A+XX$  と表すことができる。減数分裂の結果、精子の染色体構成は  $A+X$  または  $A+Y$ 、卵の染色体構成は  $A+X$  となり、精子と卵のもつ染色体数は同じになるので、①は誤りである。XO 型の生物では、卵の染色体構成は  $A+X$ 、精子の染色体構成は  $A+X$  または  $A$  となるので、精子の染色体数は、卵と同じか、卵より 1 本少ない。したがって、②は誤りである。雌ヘテロ型の生物 (ZW 型および ZO 型) では、精子の染色体構成は  $A+Z$  の 1 種類であるが、卵の染色体構成は ZW 型なら  $A+Z$  と  $A+W$  の 2 種類、ZO 型なら  $A+Z$  と  $A$  の 2 種類がある。したがって、③が正しく、④は誤りである。

性決定様式をまとめると、次表のようになる。

性決定様式		親	配偶子	子
雄 ヘ テ ロ 型	XY 型	雌 $2A+XX$	$\rightarrow A+X$	$2A+XX$
		雄 $2A+XY$	$\rightarrow \begin{cases} A+X \\ A+Y \end{cases}$	$2A+XY$
雌 ヘ テ ロ 型	XO 型	雌 $2A+XX$	$\rightarrow A+X$	$2A+XX$
		雄 $2A+X$	$\rightarrow \begin{cases} A+X \\ A \end{cases}$	$2A+X$
雌 ヘ テ ロ 型	ZW 型	雌 $2A+ZW$	$\rightarrow \begin{cases} A+Z \\ A+W \end{cases}$	$2A+ZW$
		雄 $2A+ZZ$	$\rightarrow A+Z$	$2A+ZZ$
ZO 型	ZO 型	雌 $2A+Z$	$\rightarrow \begin{cases} A+Z \\ A \end{cases}$	$2A+Z$
		雄 $2A+ZZ$	$\rightarrow A+Z$	$2A+ZZ$

[14] ⋯③

問 3 実験 1 では、白色眼の雌と野生型(赤色眼)の雄の交配で生じた  $F_1$  が、雌ではすべて赤色眼、雄ではすべて白色眼となり、生じた雄と雌で表現型が異なっている。この結果は、眼色を支配する遺伝子が、性染色体(X 染色体)上に存在することを示している。また、赤色眼の遺伝子と白色眼の遺伝子のヘテロ接合である  $F_1$  の雌が赤色眼であることから、赤色眼の遺伝子が優性とわかる。したがって、 $F_1$  の赤色眼の雌と白色眼の雄の交配は検定交雑であり、 $F_2$  の眼色が赤色眼 : 白色眼 = 1 : 1 になることから、 $F_1$  の雌がつくる配偶子は、赤色眼の遺伝子をもつものと白色眼の遺伝子をもつものが 1 : 1 の比で生じていることがわかる。したがつ

XY 型、 XO 型

雌が性染色体についてホモ接合。

ZW 型、 ZO 型

雄が性染色体についてホモ接合。

性染色体の遺伝子による遺伝

(伴性遺伝)

子の雌雄で表現型が異なる場合がある。

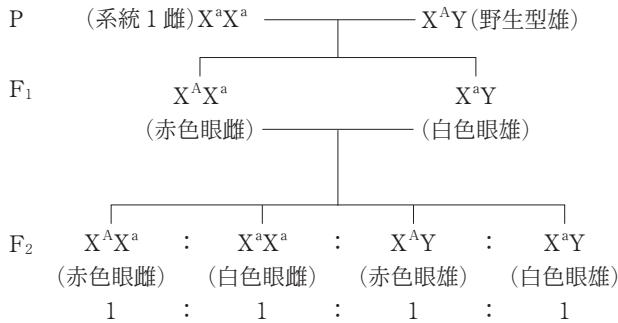
両親のもつ形質を逆にして交配すると結果が異なる。

検定交雫

検定交雫によって生じた子の表現型の分離比は、検定した個体の配偶子の遺伝子型の分離比に一致する。

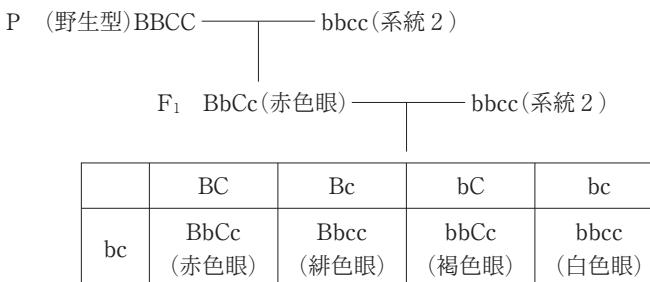
て、眼色に 1 対の対立遺伝子が関わると考えることで説明できるので、②が正しい。

**実験 1**に関して、赤色眼の遺伝子を A、白色眼の遺伝子を a とすると、系統 1 の雌は  $X^aX^a$ 、雄は  $X^aY$ 、野生型系統の雌は  $X^AX^A$ 、雄は  $X^AY$  と表すことができる。



15 ⋯ ②

**実験 2**では、 $F_1$  の雄に系統 2 の雌を交配したときと、 $F_1$  の雌に系統 2 の雄を交配したときで同様の結果が得られており、また、いずれの交配結果でも子の表現型は雌雄で同じなので、眼色に関わる遺伝子は常染色体上にある。さらに、赤色眼、緋色眼、褐色眼、白色眼の 4 種類があることから、これらの眼色には少なくとも 2 対の対立遺伝子が関わっていると考えられる。これらを踏まえて、 $F_1$  がすべて赤色眼となることから、野生型系統を BBCC、系統 2 を bbcc とすると、 $F_1$  は BbCc となる。 $F_1$  の雄 (BbCc) と系統 2 の雌 (bbcc) の交配は検定交雑であり、交配により赤色眼 : 緋色眼 : 褐色眼 : 白色眼 = 1 : 1 : 1 : 1 となるので、2 対の対立遺伝子は独立の関係にある。**実験 2** の交配は次のようになる。なお、[Bc] と [bC] の表現型は褐色眼、緋色眼のいずれでもよいので、ここでは [Bc] が緋色眼、[bC] が褐色眼として考えることにする。



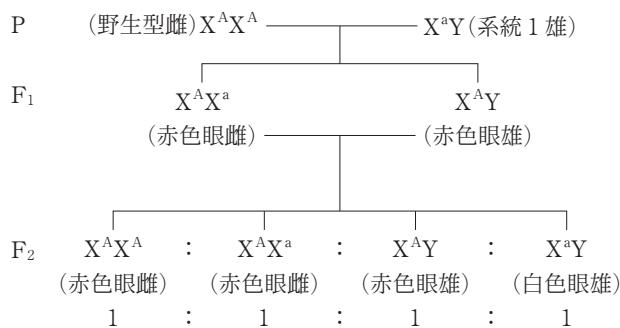
したがって、眼色の遺伝には異なる常染色体上の 2 対の対立遺伝子が関わると考えることで説明できるので、④が正しい。

16 ⋯ ④

常染色体の遺伝子による遺伝  
生じる子の表現型は雌雄で同じである。

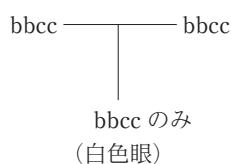
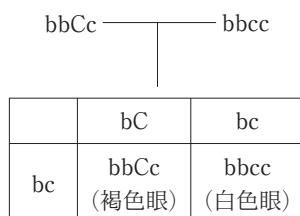
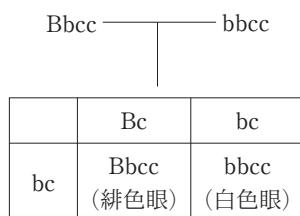
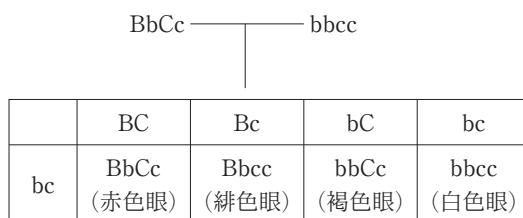
2 対の対立遺伝子についてハテロ接合である個体 (BbCc) がつくる配偶子は、独立であれば BC : Bc : bC : bc = 1 : 1 : 1 : 1 となる。

問4 下線部力の  $F_1$  の雌雄の交配は次のようになる。



以上より、 $F_2$  は雌はすべて赤色眼、雄は赤色眼 : 白色眼 = 1 : 1 となる。 17 ⋯②

問5 下線部キのすべての雌(遺伝子型は  $BbCc$ ,  $Bbcc$ ,  $bbCc$ ,  $bbcc$ )と系統 2 の雄(遺伝子型は  $bbcc$ )をそれぞれ交配すると次のようにになる。



以上の四つの交配結果を合計する。このとき、どの遺伝子型の親も同数存在するので、どの交配においても、生じる子の数は等しい。したがって、子の総数がどの交配においても同じになるよう、分離比の合計が最大( $1+1+1+1=4$ )となる交配に合わせて、他の交配も合計が4になるようにしておく。以上の注意点を踏まえて、結果を合わせると下表のようになる。

	赤色眼	緋色眼	褐色眼	白色眼
BbCc × bbcc	1	1	1	1
Bbcc × bbcc	0	2	0	2
bbCc × bbcc	0	0	2	2
bbcc × bbcc	0	0	0	4
合 計	1	3	3	9

したがって、赤色眼：緋色眼：褐色眼：白色眼 = 1 : 3 : 3 : 9 となる。

18 ⋯③

#### 第4問 動物の行動

Aでは動物の受容器と神経系、および動物の行動に関する知識問題を、Bでは鳥の歌の学習に関する考察問題を出題した。

問1 眼では光、耳では音というように、それぞれの受容器は特定の刺激のみを受け取ることができる。このような受容器が受容できる刺激の種類は適刺激とよばれる。なお、鍵刺激は本能行動を引き起こす刺激である。ヒトの眼の網膜には、錐体細胞とかん体細胞の2種類の視細胞が存在する。このうち錐体細胞には、青色、緑色、赤色の光をそれぞれよく吸収する色素をもつ3種類があり、色覚に関与する。また、網膜の黄斑付近で密度が高く、明るい所ではたらく。一方、かん体細胞は、錐体細胞に比べると薄暗い所ではたらくが、色覚には関与しない。また、網膜の黄斑の周辺部に高い密度で分布する。したがって、アは適刺激、イは錐体細胞、ウはかん体細胞である。

19 ⋯③

問2 ヒトの大脳は新皮質とよばれる部分が発達している。そこには視覚や聴覚などの受容器から入った情報を処理する感覚野、からだの各部の随意運動を制御する運動野、そしてそれらを統合して判断するとともに、意思や創造などに関係する連合野が存在する。このうち後頭葉には視覚の中枢(図1のd)が存在し、側頭葉には聴覚の中枢(図1のc)が存在する。なお、頭頂葉には皮膚感覚の中枢(図1のb)が存在し、前頭葉には随意運動の中枢(図1のa)が存在する。

適刺激

各受容器が受け取ることのできる  
刺激の種類

錐体細胞

色覚に関与する。

黄斑付近に多く分布する。

明るい所ではたらく。

かん体細胞

色覚に関与しない。

黄斑の周辺に多く分布する。

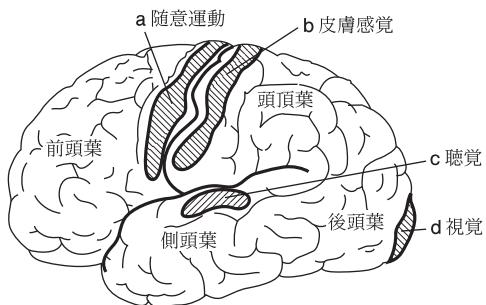
薄暗い所ではたらく。

視覚の中枢

大脳の後頭葉にある。

聴覚の中枢

大脳の側頭葉にある。



20 ⋯⑧

問3 カイコガでは、雌が分泌した性フェロモンを雄が受容することで配偶行動が行われる。フェロモンは触角に存在する化学受容器で受容されるので、①は正しい。しつさいけん膝蓋腱反射では、腱をたたいたことによる筋肉の張力の増加を膝の伸筋の中にある筋紡錘が受容し、この興奮が感覚神経、運動神経を経て伸筋に伝えられ、伸筋が収縮する。したがって、②は正しい。なお、指先が熱いものに触れると思わず手を引っ込めるような屈筋反射の受容器は皮膚に存在する。繁殖期のイトヨの雄は、形が雄にそっくりな模型でも腹部が赤くなければ攻撃行動を起こさないが、形が似ていなくても腹部が赤い模型に対しては攻撃行動を起こす。したがって、③は正しい。なお、問1でも解説したように、このような本能行動を引き起こす刺激を鍵刺激とよぶ。カモやアヒルのひなは、ふ化後初めて見た動くものについて歩くようになる。この行動は刷込みとよばれる。後ろについて歩く対象となるものはふつう母鳥であるが、動くものなら何でもよく、初めて見たものに対して行われるので、経験にもとづく学習行動であり、本能行動ではない。したがって、④は誤りである。

21 ⋯④

問4 この鳥では、ふ化後20~50日目が成鳥の歌を聴く感受期であり、ふ化後100日目以後の成熟期には自分で歌を歌って練習する時期であることに注意して、実験結果を考察する。実験1~8をまとめると次のようになる。

フェロモン

体外に分泌され、同種の他個体に特定の反応を引き起こす化学物質

筋紡錘

筋肉中に存在する張力受容器

鍵刺激

本能行動を引き起こす刺激

刷込み

生後すぐの限られた期間に成立し、成立後は変更されにくい行動。経験にもとづく学習行動である。

実験	感受期に聴かせた成鳥の歌	成熟期に自分の歌を聴いたか聴けなかったか	成鳥期に歌った歌
1	e	聴いた	e
2	f	聴いた	g
3	e・f	聴いた	e
4	—	聴いた	g
5	e	聴かなかった(80日目手術)	h
6	—	聴かなかった(80日目手術)	h
7	e	聴いた(170日目手術)	e
8	—	聴いた(170日目手術)	g

eは実験に用いた幼鳥と同種の成鳥の歌であり、fは他種の成鳥の歌である。gは不完全であるが同種の成鳥の歌と判断できる歌であり、hはとぎれとぎれで歌とはいえない鳴き声である。

実験1・4から、感受期に同種の歌を聴かなければ、成熟期に自分の歌を聴いても、同種の歌(e)を正確に歌うことはできないが、不完全ながら同種の歌(g)を歌うことができることがわかるので、①は誤りであり、②は正しい。実験1・5から、感受期に同種の歌を聴いても、成熟期に自分の歌を聴かなければ、歌とはいえない鳴き声(h)でしか鳴けないことがわかるので、③・④は誤りである。実験1・3から、感受期に同種の歌を聴き、成熟期に自分の歌を聴けば、感受期に他種の歌(f)を聴いても同種の歌を歌うことができることがわかる。したがって、⑥が正しく、⑦は誤りである。実験2から、感受期に他種の歌を聴き、成熟期に自分の歌を聴いても、他種の歌を歌うことはできないことがわかるので、⑩は誤りである。

[22]・[23]…②・⑥

問5 実験5・7から、成熟期に歌い始める前に聴覚を失わせて自分の歌を聴こえなくすると、感受期に同種の歌を聴いていても、歌とはいえない鳴き声でしか鳴けないが、成熟期に自分の歌を聴いた後で聴覚を失わせた場合には、聴覚を失わせなかった場合(実験1)と同様に、正確に同種の歌を歌うことができることがわかる。また、実験8から、感受期に同種の歌を聴かなくても、成熟期に自分の歌を聴いた後で聴覚を失わせた場合には、聴覚を失わせなかった場合(実験4)と同様に、不完全ながら同種の歌を歌うことができることがわかる。

この結果をもとに、①～④の結果を予想する。①と②は成熟期に自分の歌を聴くことができないのでhの鳴き声で鳴くと考えられ、ともに誤りである。③と④は成熟期に自分の歌を聴くことができるが、③は感受期に同種の歌を聴いていないのでgの歌を歌い、④は感受期に同種の歌を聴いているのでeの歌を歌うと考えられる。したがって、⑥が正しく、⑦は誤りである。

[24]…⑥

## 第5問 植物の反応

Aでは種子発芽に関する知識問題を、Bではトウモロコシの胎生発芽に関する考察問題を出題した。

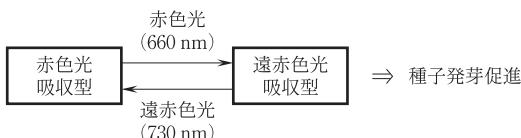
問1 一般に、植物の種子の発芽には、水分、酸素、適当な温度などの条件が必要である。種子の発芽に必要なエネルギーは、種子内に蓄えられた有機物を分解することによって取り出される。酸素は、有機物の分解(呼吸)に用いられる。発芽する前の種子では光合成は行われないので、発芽に二酸化炭素は必要ではない。水分、酸素、適当な温度以外に、ある種の植物の種子では、発芽に光を必要とする。このように、発芽に光を必要とする種子を光発芽種子とよぶ。また、形成された直後の種子では、環境条件が発芽に適した条件であっても、一定の期間が経過しないと発芽しない場合があり、このような発芽の一時的な停止を休眠とよぶ。なお、春化とは、植物が低温条件を経験することによって花芽形成などが促進される現象のことである。

[25] …①

問2 光発芽種子をつくる植物には、レタス、マツヨイグサ、タバコなどがある。一方、光発芽種子とは反対に、光によって発芽が抑制される種子を暗発芽種子とよぶ。暗発芽種子をつくる植物には、カボチャ、キュウリ、ケイトウなどがある。

[26] …④

問3 光発芽種子の発芽は、赤色光(波長 660 nm)によって促進され、遠赤色光(波長 730 nm)によって抑制される。光発芽種子の発芽には、光を受容する色素タンパク質が関係している。この色素タンパク質には赤色光吸収型と遠赤色光吸収型の二つの型があり、赤色光吸収型は赤色光を吸収すると遠赤色光吸収型に変わり、遠赤色光吸収型は遠赤色光を吸収すると赤色光吸収型に変わること。



光発芽種子では、赤色光の照射によって色素タンパク質の多くが遠赤色光吸収型になると発芽が促進され、遠赤色光の照射によって色素タンパク質の多くが赤色光吸収型になると発芽が抑制されるので、①が正しく、②・③・④は誤りである。

赤色光と遠赤色光を交互に照射した場合、最後に照射した光が赤色光であれば、遠赤色光吸収型が増加して発芽が促進され、最後に照射した光が遠赤色光であれば、赤色光吸収型が増加して発芽が抑制されるので、⑥が正しく、⑦は誤りである。

[27] · [28] …① · ⑥

問4 蒸留水のみを与えた場合、野生株、株I、株IIでは胎生発芽がみられないが、株III、株IVでは胎生発芽がみられる。

野生株では植物ホルモンXの合成阻害剤を与えると胎生発芽が

一般に、種子の発芽には、水分、酸素、適当な温度が必要である。

光発芽種子

発芽に光を必要とする種子

レタス、マツヨイグサ、タバコ

暗発芽種子

光によって発芽が抑制される種子

カボチャ、キュウリ、ケイトウ

光発芽種子では、赤色光によって発芽が促進され、遠赤色光によって発芽が抑制される。

光発芽種子に赤色光と遠赤色光を交互に照射すると、最後に照射した方の光の効果が現れる。

みられることから、野生株では植物ホルモンXが合成され、その作用によって胎生発芽が抑制されていると考えられる。一方、株IIIと株IVでは、植物ホルモンYの合成阻害剤を与えると胎生発芽がみられなくなることから、胎生発芽がみられるためには植物ホルモンYが合成される必要があることがわかる。また、野生株に植物ホルモンYを与えると胎生発芽がみられることがある。したがって、オは正しく、エは誤りである。

これらのことから、野生株では、植物ホルモンXと植物ホルモンYが合成され、植物ホルモンYの胎生発芽を促進するはたらきが植物ホルモンXによって抑制されているものと考えられる。また、野生株に植物ホルモンXの合成阻害剤を与えると胎生発芽がみられるようになるのは、植物ホルモンYの胎生発芽を促進するはたらきが植物ホルモンXによって抑制されなくなるためであり、野生株に植物ホルモンYを与えると胎生発芽がみられるようになるのは、植物ホルモンYの量が過剰になり、植物ホルモンXが植物ホルモンYの胎生発芽を促進するはたらきを完全に抑制することができなくなるためであると考えられる。

野生株、株I、株IIの結果を比較すると、植物ホルモンXの合成阻害剤を与えた場合、野生株では胎生発芽がみられるが、株Iと株IIでは胎生発芽がみられないことから、株Iと株IIは「植物ホルモンYを合成できない」または「植物ホルモンYを受容できない」のいずれかの異常をもつことがわかる。さらに、株Iに植物ホルモンYを与えると胎生発芽がみられるが、株IIに植物ホルモンYを与えても胎生発芽がみられないことから、株Iは「植物ホルモンYを合成できない」異常をもち、株IIは「植物ホルモンYを受容できない」異常をもつことがわかる。したがって、カ・キはともに誤りである。

株IIIと株IVでは、蒸留水のみを与えた場合、胎生発芽がみられる。これは、植物ホルモンYの胎生発芽を促進するはたらきが植物ホルモンXによって抑制されないためであり、株IIIと株IVは「植物ホルモンXを合成できない」または「植物ホルモンXを受容できない」のいずれかの異常をもつことがわかる。さらに、株IIIに植物ホルモンXを与えても胎生発芽がみられるが、株IVに植物ホルモンXを与えると胎生発芽がみられないことから、株IIIは「植物ホルモンXを受容できない」異常をもち、株IVは「植物ホルモンXを合成できない」異常をもつことがわかる。したがって、ケが正しく、クは誤りである。

[29] …⑧

問5 株Vは、株Iがもつ「植物ホルモンYを合成できない」異常と株IIがもつ「植物ホルモンYを受容できない」異常を合わせもつので、植物ホルモンYの合成と受容ができない。したがって、株Vでは植物ホルモンYがはたらくことはないので、胎生発芽は

みられない。また、株Ⅵは、株Ⅰがもつ「植物ホルモンYを合成できない」異常と株Ⅲがもつ「植物ホルモンXを受容できない」異常を合わせもつので、植物ホルモンXの受容と植物ホルモンYの合成ができる。したがって、植物ホルモンYを与えた場合には、胎生発芽がみられることになる。実験結果をまとめると、次表のようになる。

蒸留水に加えた物質	株V	株VI
なし	—	—
植物ホルモンX	—	—
植物ホルモンX の合成阻害剤	—	—
植物ホルモンY	—	+
植物ホルモンY の合成阻害剤	—	—

表1と比較すると、株Vでは株Ⅱと同じ結果が得られ、株VIでは株Ⅰと同じ結果が得られることがわかるので、③が正しい。

30 ⋯ ③

地 学 I

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第1問	A	問1	1	④	3	
		問2	2	⑤	4	
		問3	3	①	3	
	B	問4	4	⑤	3	
		問5	5	①	3	
		問6	6	②	4	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	①	3	
		問2	8	④	4	
		問3	9	①	3	
	B	問4	10	②	3	
		問5	11	④	4	
		問6	12	④	3	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	問1	13	②	3		
	問2	14	②	3		
	問3	15	④	4		
	問4	16	②	4		
	問5	17	⑤	3		
	問6	18	④	3		
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	④	3	
		問2	20	②	3	
		問3	21	⑤	4	
	B	問4	22	⑥	4	
		問5	23	③	3	
		問6	24	③	3	
第4問 自己採点小計				(20)		

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点	
第5問	A	問1	25	③	3		
		問2	26	①	4		
		問3	27	⑤	3		
	B	問4	28	①	3		
		問5	29	③	3		
		問6	30	①	4		
第5問 自己採点小計				(20)			
自己採点合計				(100)			

## 【解説】

### 第1問 地球

#### A プレート運動

今回は、ハワイ諸島－天皇海山列(天皇海山群)を題材にして、太平洋プレートの移動方向や移動速度、太平洋プレートの沈み込む場所などについて出題した。

**問1** ハワイ島の下にはホットスポットがあり、その上で火山島が形成される。太平洋プレートの移動に伴って火山島はホットスポットの上から離れ、その形成年代が古くなっていく。このため、形成年代の古くなる方向に太平洋プレートが動いていったと考えればよい。問題図1から、太平洋プレートは、約4300万年前以前は、雄略海山→明治海山の方向(すなわち北北西)に進み、約4300万年前には移動方向を変え、約4300万年前～現在は、ハワイ島→雄略海山の方向(すなわち西北西)に進んでいったと判断できる(図1-1)。問題図2の直線から、約4300万年前以前の太平洋プレートの移動速度は、8000万年前と4300万年前の距離が約2200km =  $2200 \times 1000 \times 100$  cmであることに留意して、

$$\frac{2200 \times 1000 \times 100}{(8000 - 4300) \times 10000} = 5.9\cdots (\text{cm/年})$$

と求まる。同様にして、問題図3の直線から、約4300万年前～現在の太平洋プレートの移動速度は、2000万年前と現在との距離が約1700km =  $1700 \times 1000 \times 100$  cmであることに留意して、

$$\frac{1700 \times 1000 \times 100}{2000 \times 10000} = 8.5 (\text{cm/年})$$

と求まる。以上により、④が正解となる。

## 【ポイント】

#### ホットスポット

アセノスフェア深部の熱源に由来する火山活動および火山。ハワイ島の下にあるホットスポットが代表例であるが、ほかにも多数のホットスポットが存在する。

#### プレートの移動速度

1～10cm/年。

プレートごとに異なる。

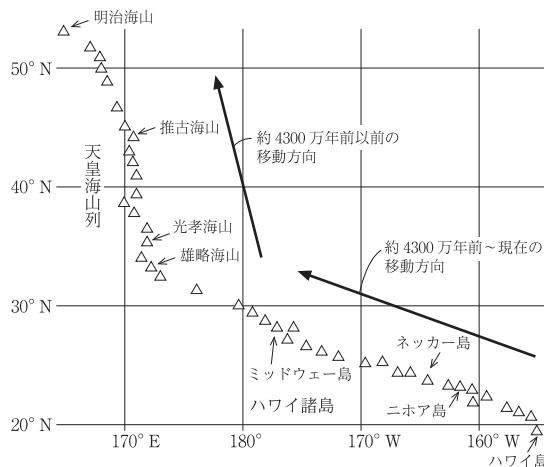


図1-1 太平洋プレートの移動方向

問2 **a** GPS(汎地球測位システム)は複数の人工衛星からの電波を受信して、現在の位置を測定するシステムである。地表の複数の観測点の位置の変化を随時調べることで、プレートの移動方向や移動速度を求めることができる。よって、**a**は誤りである。

**b** 問題文にも書いてあるように、ハワイ島の下にはホットスポットがあるが、ほかにもアイスランドやアメリカのイエローストーンなど、多数確認されている。よって、**b**は正しい。

**c** 海山は海底において周囲よりも盛り上がっていて、その頂が海面より上に出ていない海底地形であるが、の中には、海底火山であったり、あるいは、かつては火山島であったものが海面下に没したものがある。天皇海山列として連なっている海山の多くは、かつてはホットスポット上にあった火山島である。

太平洋プレートは海洋プレートであるから、中央海嶺で形成され、中央海嶺から離れるにしたがって厚みを増し、海洋底までの水深は深くなっていく。**問1**でも述べたように、太平洋プレートはハワイ島から西の方(約4300万年前以前は北北西、約4300万年前以降は西北西)へと移動しており、中央海嶺から離れる方向へと移動している。さらに、かつては、ホットスポット上にあった火山島は太平洋プレートの移動に伴ってホットスポット上からずれることにより、マグマの供給が途絶えて火山活動が停止してしまう。このようなプレートの動きに加え、波などの侵食作用なども加わり、かつての火山島は海面下に没してしまう。海山列の海山の多くはこのようにして形成される(図1-2)。よって、**c**は正しい。

以上により、⑥が正解となる。

2 …⑥

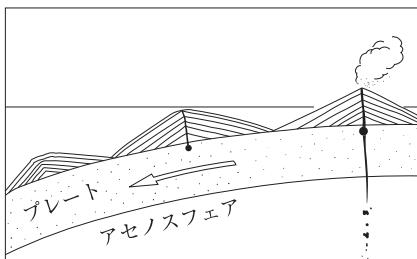


図1-2 ホットスポット上の火山島と海山の模式図  
右端が火山島で、左の二つは海山

問3 太平洋プレートは東太平洋海嶺(東太平洋海溝)～太平洋南極海嶺で形成され、アリューシャン海溝、千島海溝(千島・カムチャッカ海溝)、日本海溝で北アメリカプレート(北米プレート)の下に、また、伊豆・小笠原海溝～マリアナ海溝でフィリピン海プレートの下に沈み込んでいる(図1-3)。よって、①が正解である。なお、南海トラフと琉球海溝(南西諸島海溝)は、フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる場所で

#### GPS(汎地球測位システム)

複数の人工衛星を用いて現在の位置を測定するシステム。プレートの移動方向や移動速度を求めるのにも用いられる。

#### 海洋プレート

中央海嶺で形成される。

中央海嶺から離れるほど厚くなり、海洋底までの水深は深くなる。

ある。日本付近の4枚のプレートの名称と位置、そしてそのプレート境界について確認しておこう。

3 ⋯①

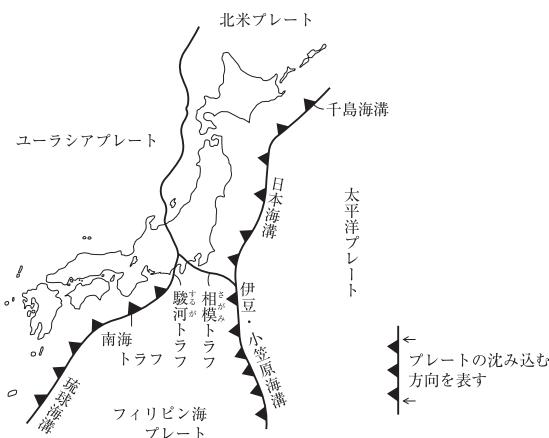


図1-3 日本付近の4枚のプレートと海溝・トラフ

## B 地震

日本は世界でも有数の地震国である。そのため、センター試験でも、過去に何度も地震に関する問題が出題されてきた。今回は、活断層、震度とマグニチュード、地震に伴って発生する現象などに関する基本的知識について出題した。

**問4** **[ア]** : 活断層とは、新生代第四紀(あるいは、過去数十万年の間に繰り返し活動し、今後も活動する可能性のある断層のこと)である。新生代第四紀は約260万年前から現在までの期間であり、約46億年の地球の歴史においては極めて最近の時代であるといってよい。そのような最近の時代に繰り返し活動している断層は、将来も活動する可能性があるとして、詳しい調査がなされているのである。なお、第三紀は第四紀の前の紀で、約6500万年前から約260万年前までの期間である。

**[イ]** : 日本では、気象庁が定めた震度階級が用いられている。この震度階級は0, 1, 2, 3, 4, 5弱, 5強, 6弱, 6強, 7の10段階に分けられており、最も強い揺れを示す震度は7である。

**[ウ]** : マグニチュードは地震の規模の大きさを表す数値であり、一つの地震について一つのマグニチュードの値しか存在しない。一方、震度は、地表の各地点の地震の揺れ(地震動)の強さを表す数値であり、地震が発生すると、地表の各地点で震度が計測され、観測地点ごとの震度が多数存在する。

よって、⑥が正解となる。

4 ⋯⑥

**問5** 震源距離  $d$  は、初期微動継続時間(P-S時間) $t$ に比例し、P波速度を  $V_P$ 、S波速度を  $V_S$  として、

$$d = \frac{V_P \times V_S}{V_P - V_S} \times t$$

## 日本付近の4枚のプレート

大陸プレート

ユーラシアプレート

北アメリカプレート(北米プレート)

海洋プレート

太平洋プレート

フィリピン海プレート

## 活断層

新生代第四紀(あるいは過去数十万年の間に繰り返し活動し、今後も活動する可能性のある断層)。

## 震度

地震の揺れの強さを表す数値。

日本では0~7までの10段階。

## マグニチュード

地震の規模の大きさを表す数値。

一つの地震について一つのマグニチュードの値しかない。

と表される。これを大森公式という。大森公式に与えられた数値を代入すると、震源距離  $d$  は、

$$d = \frac{6.5 \times 3.5}{6.5 - 3.5} \times 6 = 45.5 \text{ (km)}$$

となり、震源距離が求められる。P 波はこの距離を 6.5 (km/s) で進む。したがって、P 波が震源から観測地点に到達するまでにかかる時間は、

$$\frac{45.5}{6.5} = 7 \text{ (秒)}$$

である。問題図 4 より、観測地点に P 波が到達した時刻は 14 時 07 分 51 秒であるから、P 波が震源を発した時刻、すなわち地震が発生した時刻は、

$$14 \text{ 時 } 07 \text{ 分 } 51 \text{ 秒} - 7 \text{ 秒} = 14 \text{ 時 } 07 \text{ 分 } 44 \text{ 秒}$$

となり、地震が発生した時刻も求められる。よって、①が正解となる。

5 … ①

**問 6** ① 大きな地震(本震)の後に引き続いて地震が発生することがある。これを余震という。余震は本震よりも規模が小さいのがふつうであるが、本震に匹敵する規模の余震が発生することもある。余震は、本震発生時に解放しきれなかった歪みのエネルギーが放出されるために起こると考えられており、本震発生から時間が経つにつれて余震の発生回数は急激に減少していく。しかし、本震発生から 1 年以上経過した後でも余震が発生することもある。よって、誤りである。

② リニアメントとは、空中写真や衛星画像などから判読できる、線状の特殊な地形の模様のことである。リニアメントは、地震によって地表に現れた断層(地震断層)の活動に伴って、谷や尾根、河川、道路などがずれ動き、断層を挟んで地表の高度差が生じることによって形成されたり、侵食などの断層の活動以外の原因によって形成されることもある。よって、これが正解である。

③ 液状化現象とは、埋立地などで地下水を多く含む砂の地盤が地震動によって液状化する現象である。マグニチュードの大きな地震では、震源から離れていても地震波があまり減衰せず、特に埋立地のような地盤のやわらかいところでは地震動が大きくなることがある。例えば、2004 年新潟県中越地震は震源の浅い内陸地震であったが、水田や湖沼などを埋め立てた地域で液状化現象が発生した。よって、誤り。

④ 海底で地震が発生すると、津波が発生することがある。津波は、海底地形の大きな変化に伴って海水全体が振動する波長の長い波であり、地震波とは性質を異にし、地震波の伝播とは関係がない。

したがって、ある地点で地震が発生したとき、震央角距離 103° 以遠の地表では横波の S 波は観測されないが、海底で大規模な地

### 大森公式

震源距離を  $d$ 、初期微動継続時間(P-S 時間)を  $t$ 、P 波速度を  $V_P$ 、S 波速度を  $V_S$  として、

$$d = \frac{V_P \times V_S}{V_P - V_S} \times t$$

### 余震

本震(大きな地震)の後に引き続いて発生する、規模の小さな地震。本震発生後、時間経過とともに、余震の回数は減少していく。

### 液状化現象

埋立地など、地下水を多く含む砂の地盤が地震動によって液状化する現象。

### 津波

海域で発生した地震に伴って生じることがある。

水深と関係があり、水深が深いほど速く伝わる。

震が発生した場合、震央角距離  $103^{\circ}$  以遠でも、津波が到達することはありうる。例えば、1960 年に発生したマグニチュード 9.5 の南米チリ地震の震源は南緯 38 度であるが、この地震に伴って発生した津波は、北半球の日本やロシア、北緯 65 度のアラスカにも到達している。よって、誤り。

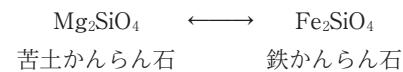
6 …②

## 第 2 問 岩石と鉱物

### A 鉱物とその性質

センター試験の岩石・鉱物分野では写真やスケッチなど、観察や実習からの出題が多い。これらのこと踏まえ今回は、鉱物の肉眼での観察とその特徴から鉱物の名称を推定する問題を出題した。

**問 1** 固溶体とは、イオンの置換によって、化学組成が連続的に変化する鉱物をいう。置換の条件として、「イオンの大きさが似ていること」、「結晶の電気的な中性が保たれるようにイオンの交換が起こること」が必要である。例えば、かんらん石  $(Fe, Mg)_2SiO_4$  は、次のように化学組成が変化する。



$Mg^{2+}$  と  $Fe^{2+}$  のように電荷が等しく、イオン半径が似ているイオン間で交換が起こっている。

多形(同質異像)とは、化学組成が同じで結晶構造が変化する鉱物である。例として化学組成が C(炭素) であるダイヤモンドと石墨、化学組成が  $Al_2SiO_5$  である紅柱石と珪線石と藍晶石などがある。よって、鉱物の名称としては固溶体が正解である。

へき開とは、鉱物に発達した特有な割れやすい性質をいう。原子の結合方向に強弱があるとき、結合の弱い面の間で割れやすくなる。珪酸塩鉱物の結晶構造は 1 個の珪素(Si)原子と 4 個の酸素原子が結びついた正四面体の構造が基本骨格になっている。黒雲母は図 2-1 のように各四面体が三つの頂点で平面網目状に結合しているため、面状に薄くはがれる性質がある。石英は図 2-2 のように各四面体が四つの頂点で立体的に結合し、金属元素がないため、原子間の結びつきがあらゆる方向に対して一定であることからへき開はない。かんらん石は図 2-3 のように各四面体が独立しているため結びつきの方向に強弱がなく、明瞭なへき開がない。

片理とは、変成岩に発達し、特定方向に雲母などの鉱物が配列して形成される構造である。特に結晶片岩などの広域変成岩に片理が発達しており、特定の方向に割れやすい性質をもつ。よって、鉱物の性質としてはへき開が正解である。

7 …①

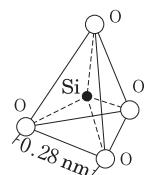
### 固溶体

化学組成が連続的に変化する鉱物。

### 多 形

化学組成が同じで結晶構造が変化する鉱物。

### $SiO_4$ 四面体構造



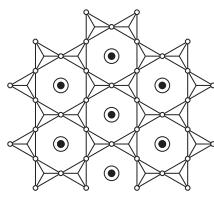


図2-1 黒雲母

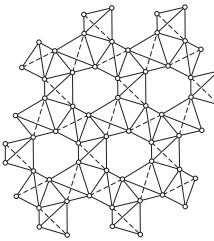


図2-2 石英

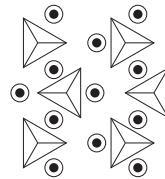


図2-3 かんらん石

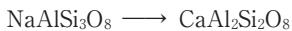
●は四面体以外の元素  
○は共有している酸素



SiO<sub>4</sub> 四面体を示す

問2 斜長石の化学組成は  $(\text{Ca}, \text{Na}) \text{Al}(\text{Al}, \text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$  と表すことができる、( )内のイオン  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  と  $\text{Si}^{4+}$  は結晶全体の電気的中性を保つように入れ替わる。

問題の斜長石  $(\text{Ca}, \text{Na}) \text{Al}(\text{Al}, \text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$  は、次のように変化する。



Na 斜長石 Ca 斜長石

Na 斜長石の化学組成は、下記のいずれかの方法で求めることができる。

・結晶全体の電荷が0になるようにする。 $\text{Na} = +1$ ,  $\text{Al} = +3$ ,  $\text{Si} = +4$ ,  $\text{O} = -2$ より、選択肢④の  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  は  $+1 + 3 + (+4 \times 3) + (-2 \times 8) = 0$  となり、選択肢①～③では0にならない。

・( )内の  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  と  $\text{Si}^{4+}$  が入れ替わるために、Ca 斜長石は  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Al}^{3+}$  で合計+5の電荷となるので、同じ電荷になるように Na 斜長石は  $\text{Na}^+$  と  $\text{Si}^{4+}$  の組合せになる。

イオンの交換がどの程度起こるかを決定する要因として、結晶の生成温度が重要である。斜長石では高温で Ca、低温で Na が含まれやすい性質がある。このようなことから、固溶体の成分分析をすることによって結晶の生成時の温度条件などを知ることができ、マグマの結晶分化作用のようすを知ることができる。

8 …④

問3 黒雲母は有色鉱物であることから、鉱物Wか鉱物Yのいずれかになる。また、黒雲母はへき開が一方向に発達することから、鉱物Wと決定することができる。

石英は無色鉱物であることから、鉱物Xか鉱物Zのいずれかになる。また、へき開がないことから割れ方がガラスのように不規則であり、鉱物Xと決定することができる。

他の鉱物として、かんらん石は鉱物Y、斜長石は鉱物Zになる。

9 …①

## B 地表の変化と岩石

地表の岩石は風化されて碎屑物となり、流水の作用などによって侵食・運搬され、最終的には海底などに堆積する。その後堆積物は続成作用を受けて堆積岩となり、地下深部にもたらされた岩石は変成作用を受けて変成岩になる。それらの岩石の一部が溶融し、マグマが生成され、火成岩として地表にもたらされる。今回はこのよう

## 斜長石

高温のマグマから晶出するのは Ca 斜長石。

低温のマグマから晶出るのは Na 斜長石。

## 有色鉱物(苦鉄質鉱物)

Fe(鉄), Mg(マグネシウム)を含む。

な一連の流れを考慮して、問題を出題した。

問4 地表に露出した岩石は、水や大気のはたらきによって破壊されたり(物理的風化)，化学反応によって溶かされたり、化学組成が変化したり(化学的風化)して碎屑物を形成し、侵食・運搬・堆積する過程で新たな地形をつくり出す。

① カルスト地形は、堆積岩である石灰岩地帯で、雨水や地下水(二酸化炭素が溶け込んで弱酸性になっている)によって石灰岩(炭酸カルシウム： $\text{CaCO}_3$ )が溶かされて形成された地形で、化学的風化によるものである。カルスト地形は図2-4のように地表部では多数の凹地が形成され、地下には鍾乳洞ができることがある。よって、この選択肢は誤りである。

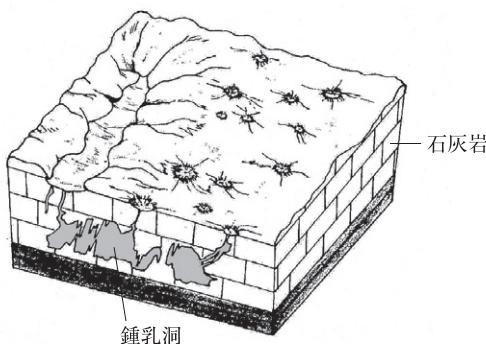


図2-4 カルスト地形

② V字谷は、河川の上流などで形成され、谷底が深く削られた侵食地形である。よって、この選択肢が正しい。

③ U字谷は、氷河が下方に向かって流れるとき、側面の斜面がU字型に削られてできる侵食地形である。氷河による堆積地形はモレーンであり、この選択肢は誤りである。

④ 深海扇状地は、大陸斜面と深海底の間に形成される地形である。大陸斜面の堆積物が地震などの発生によって、土砂と水が混じり合った状態の混濁流(乱泥流)となり、海底谷に沿って流れ下り深海扇状地を形成する。混濁流による堆積物はタービダイトと呼ばれ、砂層と泥層の繰り返しで、礫<sup>れき</sup>が主体となることはない。砂層には級化層理や斜交葉理などのような、特徴的な堆積構造が認められる。陸上で形成される扇状地の堆積物には礫が多く含まれる。よって、この選択肢は誤りである。 10 …④

問5 b 変成作用：岩石が高温または高圧条件下で固体のまま再結晶し、岩石の組織や鉱物の組合せが変化する作用で、マグマの熱による狭い範囲で起こる接触変成作用と、造山帶の内部などの広い範囲で起こる広域変成作用がある。

c 繰成作用：碎屑物が堆積して、それが堆積岩に変化する作用で、圧密(上部の地層の重みによって、粒子間が狭くなつて体積

#### 化学的風化

岩石・鉱物が化学反応によって分解・溶解する作用。

#### おもな地形

おもな要因	侵食地形	堆積地形
河川	V字谷	扇状地、三角州
氷河	カール、U字谷	モレーン
波・沿岸流	海食崖 <sup>かいせきがい</sup> 、海食台	砂浜
混濁流(乱泥流)	海底谷	深海扇状地
地下水	カルスト地形	

#### 続成作用

堆積物が堆積岩に変化する作用。圧密<sup>こみつ</sup>と膠結による。

が減少)と膠結(粒子間が  $\text{CaCO}_3$  や  $\text{SiO}_2$  によって埋まって結合)によって硬い岩石に変化していく。

e 結晶分化作用：マグマが発生して冷え固まっていくとき、次々といろいろな鉱物ができる、マグマ溜りの下に沈んでいくと、残ったマグマの組成も変化していく。このように、鉱物が晶出することによって、化学組成の異なる種々のマグマができるこことを結晶分化作用といい、この作用によってさまざまな種類の火成岩が生成される。

11 ⋯④

問6 [ア]：マグマは通常、上部マントルを構成するかんらん岩の部分溶融によって発生する。かんらん岩は、均一に融け出すではなく、より  $\text{SiO}_2$  に富む成分が部分的に融け出す。そのため、発生するマグマの組成は、かんらん岩より  $\text{SiO}_2$  質量%が大きくなり、玄武岩質になる。

[イ]：結晶分化作用末期に生成する流紋岩質マグマが地下深くでゆっくり冷却すると、花こう岩が形成される。しかし、結晶分化作用で生成する流紋岩質マグマが少量であるため、大陸地殻上部に大量に存在する花こう岩は、結晶分化作用だけではその量が説明できない。つまり、地殻物質の溶融など、その他の過程でも流紋岩質マグマ(花こう岩質マグマ)が生成されると考えられる。

12 ⋯④

### 第3問 地質図

地質図から地域の地史を読み取ることができる。今回は水平面上に現れた地層・岩体から、形成時代、褶曲、断層、貫入について出題した。

問1 相対年代は、おもに動物の変遷によって区分されている。相対年代を推定するには、その時代に生息した示準化石を用いる。示準化石は、種としての生存期間が短く(進化が速く)，生息分布が広く、個体数の多い古生物が有効となる。

A層から産出する紡錘虫(フズリナ)は古生代末石炭紀、ペルム紀に繁栄した有孔虫である。C層から産出するカヘイ石(ヌンムリテス)は新生代古第三紀の代表的な示準化石である。

13 ⋯②

問2 離れた地域の地層が同時代に堆積したことを決定することを地層の対比といい、示準化石や鍵層が使われる。したがって、鍵層として有効な条件は示準化石の条件とよく似ている。まず、短期間に堆積して形成されること。そして、分布が広いことである。その点、火山灰は火山噴火の短い期間に大量に放出され、風に乗って運ばれ広い地域に分布するのでその条件を満たしている。したがって、①、③は正しい。

また、堆積岩の中で見分けやすいことも一つの条件となる。凝灰岩は色などの特徴が他の堆積物と異なって見分けやすく、その鉱物組成から同じ火山からの噴出物でもどの時期の噴出物である

### 結晶分化作用

マグマが冷却するにしたがって、融点の高い鉱物から晶出し、それに伴って、マグマの化学組成が変化していく過程。

### 古生代の示準化石

三葉虫・ウミユリ・クサリサンゴ  
ロボク・リンボク・フワインボク  
紡錘虫(フズリナ)

### 中生代の示準化石

アンモナイト・恐竜  
三角貝(トリゴニア)・イノセラムス

### 新生代の示準化石

カヘイ石(ヌンムリテス)  
ビカリア・デスマスチルス

かが推定されるという点でも時代を確定できる。したがって、④は正しい。

火山を形成したマグマの粘性は、堆積の時代とは無関係なので、②が誤りである。

14 ⋯ ②

問3 断層、花こう岩体、岩脈の形成順序は、どちらがどちらを切っているかで判断することができる。切っている方が、切られている方よりも新しい。まず、断層と岩脈を比較すると、岩脈は断層に切られてはれているので、断層の方が岩脈よりも新しい。また、岩脈は花こう岩体を切って貫いているので、岩脈の方が花こう岩体よりも新しい。したがって、花こう岩体 → 岩脈 → 断層の順で形成されたことがわかり、正解は④である。

15 ⋯ ④

問4 まだ固結が不完全な地層が大きな圧力を受けると、地層が大きく波うった形状になることがある。このうち、上に凸の構造を背斜、下に凸の構造を向斜という(図3-1)。

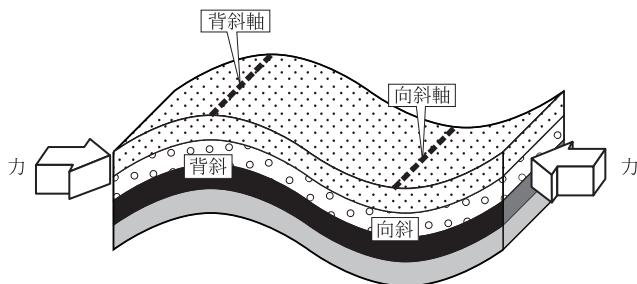


図3-1 褶曲と圧力の方向

地層が褶曲しているとき、侵食された水平な地表には、図3-2のように、背斜ならば地層は褶曲軸から外側方向へ傾き、褶曲軸から外側ほど新しい地層が現れる。また、向斜ならば地層は褶曲軸の方向へ傾き、褶曲軸から外側ほど古い地層が現れる。

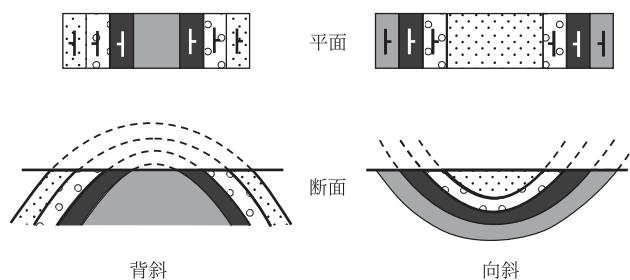


図3-2 背斜と向斜

問題図1では、B層・C層の傾斜方向が向かい合うように内側に向いているので、向斜であることがわかる。

さらに、傾斜角の大きさは、水平面に現れる地層の幅から推定することができる。問題図1では、褶曲軸よりも西側に現れてい

#### 地質現象の新旧

断層・貫入岩体・地層は、切っている方が切られている方より新しい。

#### 褶曲

上に凸の構造を背斜、下に凸の構造を向斜という。

#### 背斜

水平面では外側ほど新しい地層が現れる。

#### 向斜

水平面では外側ほど古い地層が現れる。

るB層、C層の幅が、褶曲軸の東側に現れているB層、C層の幅よりも短い(図3-3)。のことから、西側の地層は東側の地層よりも傾斜が大きいことがわかる。したがって、正解は②である。

16 ⋯②

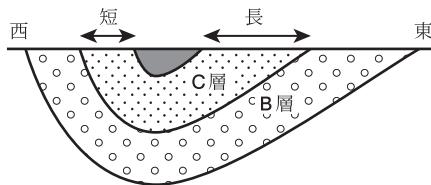


図3-3 褶曲と地層の幅

問5 圧縮力による横ずれ断層は、断层面に対して約45°の方向から加わる力により水平方向にずれる断層で、断層の前に立って、断層の向こう側の岩盤が右に動いていたら右横ずれ断層、左に動いていたら左横ずれ断層である(図3-4)。

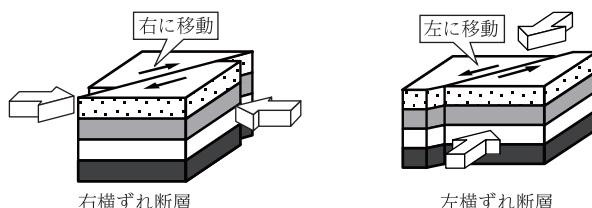


図3-4 横ずれ断層と圧縮力

問題図1の断層は断層の向こう側が左にずれているので左横ずれ断層であり、加わった圧縮力は南北方向である。

17 ⋯⑥

問6 ① 花こう岩体は、C層に貫入している。C層は新生代(6500万年以降)の地層なので、花こう岩体はそれよりも新しい。したがって、約2億年前の中生代に貫入した可能性はない。

② 化石は堆積物や堆積岩に含まれる。凝灰岩は火山灰が堆積して形成された岩石で、化石を含むことがあるので誤りである。

③ 花こう岩体と接して接触変成作用を受けると、石灰岩は結晶質石灰岩、泥岩はホルンフェルスになる。結晶片岩は低温高压型の広域変成作用を受けて形成された岩石なので、誤りである。

④ 碓岩(B層)は新生代に堆積したC層と整合関係にあるので、ほぼ同時代に堆積したと考えられる。一方、問題図1中の石灰岩(A層)は古生代の地層であり、B層との間には堆積の中斷があるので、不整合で接しているということがわかる。そのため、A層の石灰岩の礫がこの層を不整合で覆う礎岩層(B層)中に含まれている可能性がある。したがって正しい。

18 ⋯④

#### 横ずれ断層

水平方向にずれた断層。

#### 右横ずれ断層

断層の向こう側の岩盤が右にずれた断層。

#### 左横ずれ断層

断層の向こう側の岩盤が左にずれた断層。

#### 接触変成岩

泥岩 → ホルンフェルス

石灰岩 → 結晶質石灰岩(大理石)

#### 広域変成岩

高温低圧型：片麻岩

低温高压型：結晶片岩

## 第4問 大気と海洋

### A 低気圧と前線

前線の種類による雨域の広がりや雨の降り方の違い、および風向きについて出題した。なお、風向き(風向)は、風が吹いてくる方向である。風向きを問われたときは注意してほしい。

問1 気温が異なる空気どうしの境界にあたる前線面と地表との交線を前線という。温帯低気圧の多くは寒気と暖気の境界で発生するため、前線を伴うことが多い。

寒冷前線は寒気がもぐり込んで暖気を押している境界線である。前線面の傾斜が比較的大きい。前線付近では強い上昇気流により積乱雲をはじめとする背の高い雲が形成され、狭い範囲で強い雨が降りやすい。寒冷前線が通過すると北半球では低気圧の西側の風が当たるので、北寄りの風に変わり気温が下がる。

温暖前線は暖気がのし上がるよう寒気を押している境界線である。前線面の傾斜は寒冷前線より小さい。おもに乱層雲などの背の低い雲が形成され、広い範囲で弱い雨が降りやすい。温暖前線が通過すると、北半球では南から暖かい風が吹き込む領域に入るので、南寄りの風に変わり気温が上がる。

A点は前線の影響で強い雨が降り始めたところなので、寒冷前線の通過時または通過の直前・直後である。C点はA点の東側に位置し、弱い雨が降り続いていることから温暖前線の雨域にあり、温暖前線が近づいていると考えられる。B点はA点とC点の間で晴れているので、寒冷前線と温暖前線の間に位置し、南寄りの風が吹いていると考えられる。これらから前線の一般的な位置関係は、図4-1に示すように、低気圧の南西側に寒冷前線、南東側に温暖前線がくる。また、その断面は図4-2のようになる。よって、正解は④である。

19 ⋯④

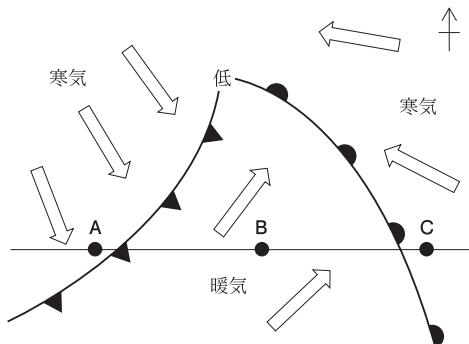


図4-1 各点と前線の位置関係

### 風向き

風が吹いてくる方向。風向計が示す方角。

### 寒冷前線

寒気が暖気を押している境界線。積乱雲が形成され、狭い範囲で強い雨が降る。寒冷前線が通過すると北寄りの風に変わり、気温が下がる。

### 前線面

性質の異なる空気どうしの境界面。寒冷前線の方が温暖前線より傾斜が大きい。

### 温暖前線

暖気が寒気にのし上がるよう押しいる境界線。雲の範囲が広く、前線面上に乱層雲や高層雲等が発生する。また、弱い雨が広範囲に降る。

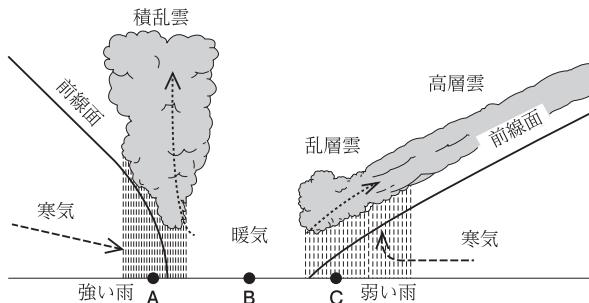


図 4-2 A～C 点の断面図

問 2 問題図 1 で午前 9 時に C 点は温暖前線のやや東側に位置しているので、このあと温暖前線が通過し、暖気側に入ると晴れて南寄りの風になり気温も上がる。よって、晴れて北風に変わる③と④は誤りである。低気圧は東に 35 km/h で移動しているので、前線も同じように東へ移動している。温暖前線から寒冷前線までの距離は約 700 km あり、寒冷前線が低気圧より多少速く移動したとしても、その日の夕方までに通過することはない。寒冷前線の移動速度を仮に 40 km/h としても 18 時間後、35 km/h ならば 20 時間後に寒冷前線が C 点を通過することになるからである。よって、午後に寒冷前線の通過を示す①も誤りである。翌日の朝に寒冷前線の通過を示し、前線の通過前は暖気の中、通過後は寒気の中に入ることを示している②が、この後の天気変化として最も可能性が高い。

[20] …②

問 3 台風は北太平洋で発生した熱帯低気圧が発達したものであるから、そのまわりを吹く風は反時計まわりになる。図 4-3 のように、台風と A 点、C 点との位置関係から考えると、台風が B 点を通過する前は、台風に対して A 点は A1、C 点は C1 の位置。台風が B 点を通過する時は A2 と C2。台風の B 点通過後は A3 と C3 となる。よって、A 点での風向きは北北西(A1)→北西(A2)→西北西(A3)と反時計まわりに変化し、C 点では東南東(C1)→南東(C2)→南南東(C3)と時計まわりに変化する。

一方、台風は自分ではほとんど移動できず、周囲を吹く風に押し流されるように移動する。よって台風の周囲には、台風自身に吹き込む風だけでなく、台風の進行方向にも風が吹いている。このとき、台風の進行方向右側は、台風に吹き込む風向きと、台風を押し流す風向きが同じ方向になるので、風が強くなる。逆に台風の進行方向左側では、台風に吹き込む風と台風を押し流す風向きとが逆になるため、風は相殺されて弱くなる。台風の暴風域や強風域は東側の方が大きいことが多いのはそのためである。

[21] …⑥

#### 熱帯低気圧

水蒸気が水滴に変化するときに放出する潜熱をエネルギーにした低気圧。赤道付近を除く熱帯の海上で発生する。寒気の流入が無いので前線を伴わない。

#### 台風

北太平洋西部で 10 分間の平均風速の最大値が 17.2 m/s を超えた熱帯低気圧。

#### 台風の周囲の風の強さ

進行方向右側の方が、台風を押し流す風と、台風に吹き込む風の向きが同じ向きになるため、風が強くなる。

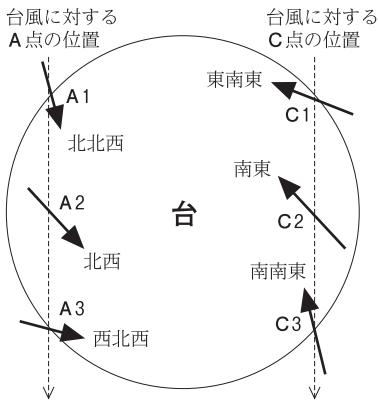


図4-3 台風周囲の風向き

## B 海水の温度と塩分

海洋の分野では、海水表層部については大気との関連、鉛直方向については塩分と水温による密度の変化を理解し、海水全体の流れを把握することが必要である。今回は、基本事項である海水組成と塩分の変化、および緯度による水温の変化をテーマに出題した。

**問4** 海水1kgに含まれる塩類の総量は約35gなので塩分は3.5%であるが、通常は千分率が用いられ、35‰(パーミル)と表される。最も多い塩類は塩化ナトリウムであるが、塩化マグネシウムも約10%含まれる(表4-1)。海水をなめると塩辛いだけでなく、やや苦みを感じるのはこのためである。ただし、塩類は海水中ではイオンとして存在しているので、海水中のイオンの質量比(表4-2)の方が重要である。海水1kg中の質量として示されている教科書もあるので、その場合は35gの塩類中の比として計算すればよい。これらの数値あまり細かく覚える必要はないが、イオンの質量比はどの海域でもほとんど変わらないので、塩化物イオンが半分以上を占め、次にナトリウムイオンが約3割、3番目に硫酸イオンが多いことまでは覚えておいてほしい。よって、[工]には2番目に多い塩類の塩化マグネシウム、[才]にはイオンとして最も多い塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)が入る。 [22]…⑥

**問5** 太平洋や大西洋といった大きな海洋の貿易風が卓越する海域では、表面の海水が西側に流れ、北赤道海流のような西向きの海流が形成される。中緯度では偏西風の影響で東向きの海流が形成される。このため北半球では時計回りの大きな渦、南半球では反時計回りの大きな渦が形成される。こうした渦を亜熱帯環流という(図4-4)。環流によって、低緯度から高緯度に流れれる暖流は環流の西側、高緯度から低緯度に流れれる寒流は環流の東側を流れることになる。よって、西側の水温が高く、東側の水温が低い原因の一つは海流の影響であることからaは正しい。

### 海水中の塩分

約35‰(パーミル)

=海水1kgに含まれる塩類の総量(g)。

表4-1 海水中のおもな塩類

塩化ナトリウム	NaCl	77.9 %
塩化マグネシウム	MgCl <sub>2</sub>	9.6 %
硫酸マグネシウム	MgSO <sub>4</sub>	6.1 %

表4-2 海水中のイオンの質量比

塩化物イオン	Cl <sup>-</sup>	55 %
ナトリウムイオン	Na <sup>+</sup>	31 %
硫酸イオン	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8 %
マグネシウムイオン	Mg <sup>2+</sup>	4 %

### 海水中のイオン

海水に含まれるイオンの割合はどの海域でもほとんど変わらない。

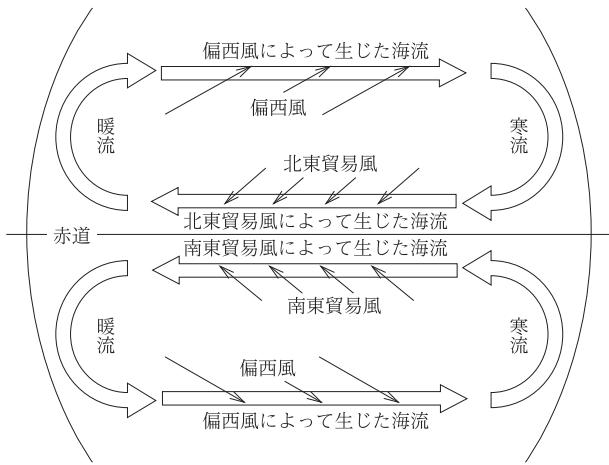


図 4-4 亜熱帯環流の形成

また、環流にはコリオリの力(転向力)がはたらく。緯度によるコリオリの力の違いによって環流の中心が西方に移動するため、西側の海流ほど強い流れになる。これを西岸強化といい(図4-5)、黒潮や湾流(メキシコ湾流)はその代表である。ただし、速いといっても、海水どうしの摩擦熱によって流域全体の水温を上昇させるほどの速さはないので**b**は適当ではない。

図4-6に示したように、赤道付近では貿易風により海水が西向きに押されているため、北赤道海流のように西に向かう海流が形成される。これを補うように東側では下層から海水が上昇する。これを沿岸湧昇といい、水温の低い海水が上昇するので海洋の東側の水温が下がる。よって、**c**は正しい。

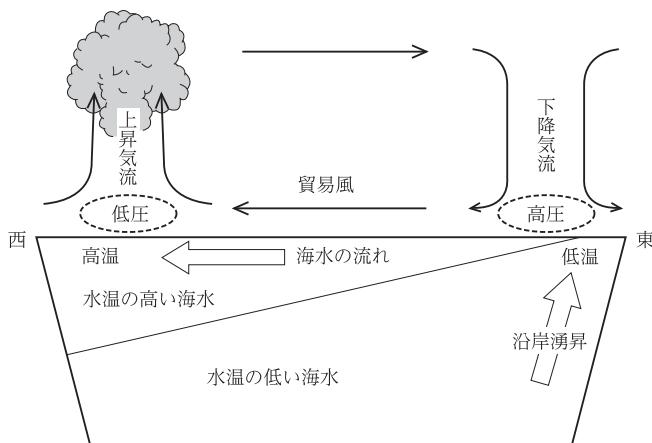


図 4-6 沿岸湧昇と大気との関係

さらに西側の水温が高いことから大気の下層が暖まり、上昇気流が発生して気圧が下がる。このため西側は雲が多くなり日射量が減少する。一方、東側は水温が低いため大気下層は暖まらず、

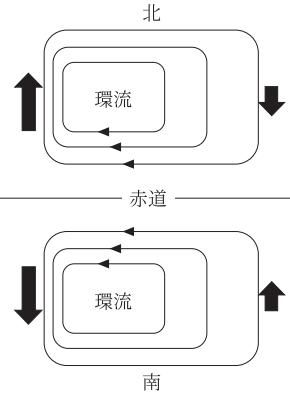


図 4-5 西岸強化

#### 沿岸湧昇

沖に流された表層水の分を補うために下層から上昇してくる海水の流れ。湧昇が起きているところは水温が低い。

相対的に下降気流が強くなり気圧が上がる。このため雲ができにくく日射量は増加する。よって、dは誤りである。

なお、貿易風が弱まると海水の西への流れも弱まり沿岸湧昇も減少する。このため東側の海水温度が上がる。これが南太平洋で起きた場合をエルニーニョ現象という。エルニーニョ現象が起きると、西側の海面上の気圧が上がり、相対的に東側の気圧が下がる。この影響で北太平洋海域の気圧配置までも変化し、日本では暖冬・冷夏になりやすく、台風の発生が減ることが多い。

23 ⋯③

問6 問題図4より、両半球とも緯度 $20^{\circ}\sim30^{\circ}$ 付近に塩分の大きい海域が存在する。この海域は大気の大循環における亜熱帯高圧帶に位置し、気圧が高く雲が形成されにくいため降水量が少ない。また亜熱帯に位置するため気温が高く蒸発量が多い。このため塩分が大きくなる(図4-7)。よって、⑨が正解である。

- ① 周囲より気圧が「低い」ところが誤りである。
- ② 問題の図3と図4を比べれば、海洋表層の温度が高い海域と塩分の大きい海域が一致していないことがわかるだろう。海水温度が高いところは蒸発量も大きいが、水温が高くても熱帯収束帶では降水量が増えるため、逆に塩分は下がってしまう。よって、誤りである。
- ④ 広い範囲で大気が不安定ということは、上昇気流が発生して雲ができやすい。よって、雨が降りやすい海域なので誤りである。

24 ⋯③

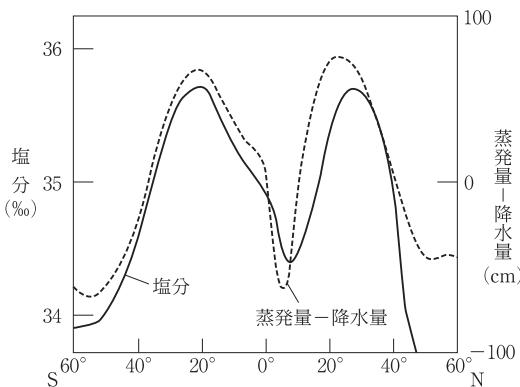


図4-7 海水表層の塩分と蒸発量・降水量の関係

## 第5問 太陽系の惑星と太陽

### A 太陽系の惑星

太陽とそのまわりを公転する天体の集まりを太陽系と呼ぶ。太陽以外の太陽系の質量のほとんどは八つの惑星が占める。これらの惑星は、その特徴から地球型惑星・木星型惑星に分類される。これら惑星の形成過程は、不明な点も多かったが、近年の太陽系外の惑星

### エルニーニョ現象

貿易風が弱まり、ペルー沖の水温が平年より高くなる現象。

### 塩分と蒸発量・降水量の関係

(蒸発量-降水量)の値が最も大きい緯度 $20^{\circ}\sim30^{\circ}$ 付近の塩分が大きい。

### 太陽系

太陽とそのまわりを公転する天体の集まり。

の発見などにより理解が深まっている。地球型惑星・木星型惑星の各グループ共通の特徴、各惑星ごとの独自の特徴などを、しっかり整理し理解してもらいたい。

**問1** 太陽系の八つの惑星は、地球型惑星と木星型惑星の二つに大別される。太陽に近い方から順に、水星、金星、地球、火星であり、これらが地球型惑星、木星、土星、天王星、海王星が木星型惑星である。このことを覚えた上で、各惑星の特徴も覚えておきたい。各選択肢について考えると、

① 太陽系の各惑星は、すべて太陽の自転方向と同じ方向(天の北極方向から見た場合、反時計まわり)に公転している。また、公転面は、地球の公転軌道とほぼ同一の面に存在している。よって、この選択肢は誤りである。なお、ほとんどの惑星は自転方向も同じであるが、金星は逆方向に自転しており、天王星は自転軸が公転面の法線に対して横倒しの状態で自転している。

② 火星の大気の主成分は二酸化炭素であるため、温室効果が強く起こりそうであるが、そもそも表面の気圧が地球の1%未満で大気の量が少ないため、温室効果も強いわけではなく、平均気温も地球より高いわけではない。よって、この選択肢は誤りである。なお、金星は表面気圧で地球の90倍と大気の量が多く、その主成分が二酸化炭素なので、非常に強い温室効果が起こっている。

③ 木星は太陽系最大の惑星であり、地球に比べ厚い大気が激しく運動していることを示す渦や縞模様が多く見られるが、なかでも大赤斑と呼ばれる縞円形の模様は長径が地球の直径の2~3倍に匹敵する大きさがあり、人類が木星に望遠鏡を向け始めた17世紀中ごろには発見されていた。よって、この選択肢が正解である。

④ 土星は、環(リング)をもつ代表的な惑星である。土星の環の写真を目にする機会も多いと思うが、土星以外の木星型惑星もすべて環をもつ。地上からの望遠鏡観測ではほとんど確認できなかったため、一般には知られていないが、惑星探査機などの調査で環が発見されている。よって、この選択肢は誤りである。

25 …③

**問2** 太陽は、約46億年前に主として水素・ヘリウムからなる星間物質が濃集した分子雲が自らの重力で収縮し、形成された。太陽を形成した残りの分子雲は、原始太陽系星雲と呼ばれる円盤を形成した。この円盤中の固体微粒子から微惑星と呼ばれる直径数km~10kmの天体が形成された。この微惑星が衝突・合体を繰り返し、原始惑星が形成され、これらの原始惑星が現在の惑星のひな型となった(図5-1)。

#### 地球型惑星

水星・金星・地球・火星

#### 木星型惑星

木星・土星・天王星・海王星

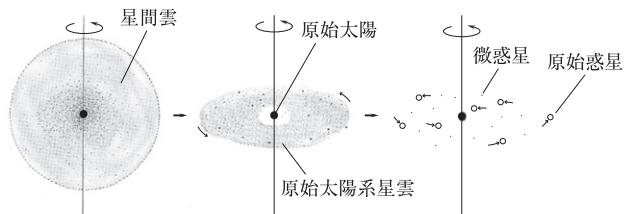


図 5-1 原始惑星の形成

同じように形成された原始惑星から、地球型と木星型の惑星型の違いが生じたのは、形成時の太陽からの距離によると考えられている。比較的多く存在した水・メタンなどの揮発性の物質が固体として存在できない太陽に近い領域では、揮発性成分は飛散してしまい、岩石・金属などからなる岩石質の惑星が形成された。一方、太陽から遠い領域では、岩石質の成分の他にそれを上回る量の固体の氷・メタンも集まったため、質量が大きくなり、原始太陽系星雲中の水素・ヘリウムを引き付けるのに十分な重力をもち、木星と土星は大量の水素とヘリウムをもつ「巨大ガス惑星」になったと考えられている。

地球などの惑星も隕石とほぼ同時期に形成されたと考えられているため、惑星の形成時期は、地球に降り注いだ隕石の形成年代から推定される。隕石の多くは、約 46 億年前の年代を示すので、惑星も約 46 億前に形成されたと推定される。

現在の太陽系には原始太陽系星雲は存在しないが、近年の観測技術の向上により、太陽系外に原始惑星系円盤をもつと思われる恒星が見つかってきている。しかし、これは年齢が 1000 万年程度までと非常に若い恒星に限られる。そのため、太陽系でも太陽が形成されてからほどなくして原始太陽系星雲は、太陽風などによって吹き払われたと考えられ、惑星の成長はそれまでにほぼ止まつたと推定されている。

これらのことから考えると、おもな組成は水素やヘリウム、形成時期は約 46 億年前の、選択肢①が正解となる。なお、おもな組成の鉄・酸素は地球型惑星の組成を示していることにも気づいておきたい。また、約 100 億年は太陽の寿命であることには気づいただろうか。

26 ⋯①

問 3 地球型惑星と木星型惑星のそれぞれの共通の特徴を表 5-1 に示す。

#### 地球の年齢

約 46 億年。隕石の年代などから推定。

表 5-1 地球型惑星と木星型惑星

	地球型惑星	木星型惑星
惑星名	水星・金星・地球・火星	木星・土星・天王星・海王星
直径(質量)	小	大
密度	大	小
衛星	少	多
環	なし	あり
自転周期	長	短
大気主成分	水星－なし 金星・火星-CO <sub>2</sub> 地球-N <sub>2</sub> ・O <sub>2</sub>	H・He
偏平率	小	大

ここでまとめられている内容は覚えておきたい。問題の a ~ c それぞれについて考えると、

a 地球型惑星の自転周期は、最も短い地球で約 24 時間であるが、木星型惑星は 24 時間未満であるため、a は誤りである。

b 地球型惑星は、木星型惑星よりも自転周期が長く、半径が小さいため遠心力が小さい。また、岩石質の表面が変形しにくいこともあり、偏平率は木星型惑星より小さいため、b は正しい。

c 地球型惑星の衛星数は、水星、金星が 0、地球が一つ、火星が二つであり、数十の衛星をもつ木星型惑星よりも少ないため、c は正しい。

よって、a ~ c は順に誤、正、正となり⑥が正解となる。

[27] …⑥

## B 太陽

太陽は太陽系で唯一自らの内部でエネルギーを発生させ光を放つ恒星である。このエネルギーを受け、地球で大気や海洋の循環が発生し、生命が育まれている。エネルギーを放つ太陽の表面でもさまざまな現象が観測される。そこから、太陽の活動の周期や自転のようすなどがわかってきた。

問4 太陽の各部の名称を図 5-2 に示す。

図 5-2 が示すように、太陽の表面が光球である。光球は粒状斑で覆われており、太陽表面で周囲より低温で強い磁場をもつ部分が黒点である。光球より上層の太陽大気である彩層からコロナにかけて炎が立ち上がるよう見えるのが紅炎(プロミネンス)である。また、コロナの一部や彩層で爆発する現象がフレアである。これらの内容は、覚えておきたい。また、継続して黒点を観測すると、太陽の自転によって東から西に動くように見える(図 5-3)。

### 光球

太陽の表面

### 黒点

光球面上で周囲より低温の部分。強い磁場をもつ。

### フレア

コロナの一部と彩層で発生する爆発現象。

### 太陽の自転

黒点の動きから推定され、東 → 西。  
赤道付近で速く、極で遅い。

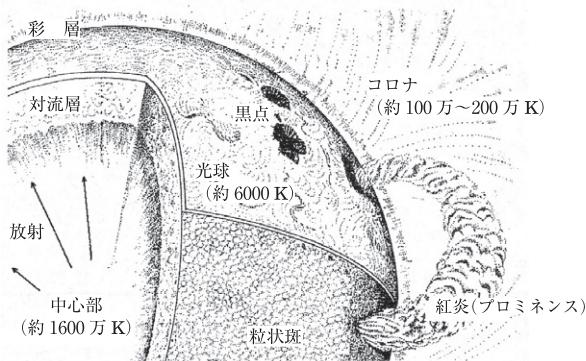


図 5-2 太陽の構造

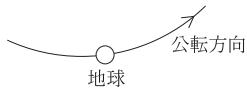


図 5-3 黒点の移動のようす

(天の北極側から見ている)

東・西の方角がつかみにくいかもしれないが、天の北極から見た図の場合、地球から見て黒点は太陽表面を左→右に動いていのが、東→西の運動になる。地図で方角を考える際と逆に感じるかもしだれがないが、北半球の地上で太陽はふつう南の方向を見て観測するので、南を向いての左：東と考えればよい。この黒点の移動のようすから太陽の自転周期が求められる。なお、太陽の緯度により黒点の移動する速さは異なり、低緯度で速く、高緯度で遅いことを知っておこう。表面が光球、黒点が東から西を示す選択肢の①が正解である。

[28] ⋯①

問5 図5-2 からもわかるように、太陽中心部では、水素がヘリウムに変わる核融合反応が起きている。そこより伝わったエネルギーが表面である約6000Kの光球から宇宙に放射されている。光球より上空にある大気であるコロナは約100万Kであり、光球より高温であることには注意が必要である。

よって、問題の各部を高温なものから低温なものに順に並べると、中心部→コロナ→表面となり、選択肢の③が正解となる。

[29] ⋯③

問6 光をプリズムなどに通して分光させると、波長ごとの強度がわかり、これをスペクトルと呼ぶ。スペクトルには、暗線と呼ばれる黒い線が入り、この線の波長や強度を調べると、その光源の

太陽のエネルギー源

水素がヘリウムに変わる核融合反応。

コロナ

太陽の最外層の大気。希薄だが光球面より高温。

スペクトル

恒星の光の波長による強度の分布。暗線の入り方から元素組成や表面温度が推定できる。

---

情報が得られる。太陽などの恒星のスペクトルに入る暗線は、放射された可視光線が表層を通る間に元素が特定の波長のエネルギーを吸収するために生じる。このため、暗線は吸収線(フラウンホーファー線)とも呼ばれる。元素によって吸収する波長が異なるため、暗線の波長から恒星の元素組成が推定できる。これらのことから選択肢①が正解となる。選択肢②は、判断が難しかったかもしれないが、コロナは非常に高温であるため、暗線ではなく特定波長が強められた輝線が形成されるので誤りである。

30 ⋯①

---

**MEMO**

**MEMO**

**MEMO**

**MEMO**



© Kawaijuku 2014 Printed in Japan

無断転載複写禁止・譲渡禁止

手引(理)