



クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2014年度 第2回 全統マーク模試

## 学習の手引き【解答・解説集】

# 理科

【2014年8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	17
地学基礎	25

#### 理科②

物理	36
化学	49
生物	64
地学	75

### • 旧課程理科

物理 I	99
化学 I	111
生物 I	129
地学 I	142

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



1460620119502130



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	A	問1	<input type="checkbox"/> 1	③	4		
		問2	<input type="checkbox"/> 2	⑤	5		
		問3	<input type="checkbox"/> 3	②	4		
	B	問4	<input type="checkbox"/> 4	③	4		
		問5	<input type="checkbox"/> 5	④	4		
		問6	<input type="checkbox"/> 6	④	4		
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	A	問1	<input type="checkbox"/> 7	④	4		
		問2	<input type="checkbox"/> 8	③	4		
		問3	<input type="checkbox"/> 9	②	4		
	B	問4	<input type="checkbox"/> 10	②	4		
		問5	<input type="checkbox"/> 11	②	4		
		問6	<input type="checkbox"/> 12	④	5		
第2問 自己採点小計				(25)			
自己採点合計				(50)			

## 【解説】

### 第1問 落体の運動・運動方程式

A

問1 小球Pは、鉛直下向きに大きさ $g$ の加速度で等加速度直線運動をする。最高点では速度が0になるので、等加速度直線運動の式 $v=v_0+at$ より、上向きを正として、

$$0=v_0+(-g)t_1$$

$$\therefore t_1 = \frac{v_0}{g}$$

1 の答 ③

問2 小球Pの質量を $m$ とすると、Pにはたらく重力の大きさは $mg$ である。小球Qの質量は、小球Pの質量の2倍の $2m$ なので、Qにはたらく重力の大きさは $2mg$ であり、Pにはたらく重力の大きさの $\frac{1}{2}$ 倍である。また、小球Qの加速度の大きさは、小球Pの加速度の大きさと等しいので(ともに重力加速度の大きさ $g$ )、Qを投げ上げてから最高点に達するまでの時間は、Pを投げ上げてから最高点に達するまでの時間と等しく、 $t_1$ の $\frac{1}{2}$ 倍である。

2 の答 ⑥

問3 小球Pを床から鉛直上向きに大きさ $v_0$ の初速度で投げ上げたとき、最高点の床からの高さを $h$ とすると、等加速度直線運動の式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ より、上向きを正として、

$$h=v_0t_1+\frac{1}{2}(-g)t_1^2$$

$$=v_0 \cdot \frac{v_0}{g} + \frac{1}{2}(-g) \left(\frac{v_0}{g}\right)^2$$

$$=\frac{v_0^2}{2g}$$

また、投げ上げてから再び床に戻るまでの時間を $t_2$ とすると、等加速度直線運動は折り返し点に関して対称な運動なので、

$$t_2=2t_1=\frac{2v_0}{g}$$

よって、小球Pの初速度の大きさを $v_0$ の2倍にすると、最高点の床からの高さは $h$ の4倍、投げ上げてから再び床に戻るまでの時間は $t_2$ の2倍になることがわかる。したがって、床からの高さと投げ上げてからの時間の関係を表すグラフとして最も適当なものは、②である。

(別解)

$h$ と $t_2$ は次の式から求めてよい。等加速度直線運動の式

$$v^2-v_0^2=2ax$$

$$0^2-v_0^2=2(-g)h$$

$$\therefore h=\frac{v_0^2}{2g}$$

## 【ポイント】

### 等加速度直線運動の式

$x$ 軸上を一定の加速度 $a$ で物体が運動するとき、時刻 $t$ における物体の位置を $x$ 、その速度を $v$ ( $t=0$ のとき、 $x=0$ 、 $v=v_0$ )とすると、次の3式が成立する。

$$\begin{cases} v=v_0+at \\ x=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \\ v^2-v_0^2=2ax \end{cases}$$

また、等加速度直線運動の式  $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$  より、

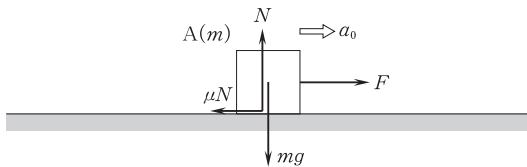
$$0=v_0t_2+\frac{1}{2}(-g)t_2^2$$

$$\therefore t_2=\frac{2v_0}{g}$$

3 の答 ②

B

問4 物体Aに床からはたらく垂直抗力の大きさをNとする。物体Aにはたらく力は、水平右向きに加えた力F、重力mg、垂直抗力N、動摩擦力 $\mu N$ の4つであり、その向きは次図の矢印のとおりである。



物体Aの加速度の大きさを $a_0$ とすると、水平方向の運動方程式は、

$$ma_0=F-\mu N$$

また、鉛直方向の力のつり合いより、

$$N=mg$$

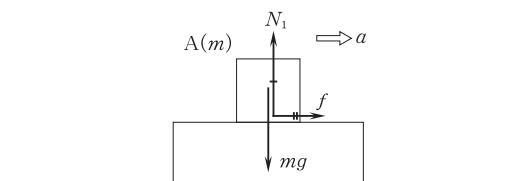
よって、

$$ma_0=F-\mu mg$$

$$\therefore a_0=\frac{F-\mu mg}{m}$$

4 の答 ③

問5 物体AとBの間にはたらく垂直抗力の大きさを $N_1$ 、Bに床からはたらく垂直抗力の大きさを $N_2$ とする。物体Aにはたらく力は、重力mg、物体Bから受ける垂直抗力 $N_1$ 、静止摩擦力fの3つであり、その向きは次図の矢印のとおりである。物体Aは物体Bから受ける静止摩擦力によって右向きに等加速度直線運動をするので、摩擦力の向きは右向きである(物体AとBの間に摩擦力がはたらかない場合、AはBに対して左向きに動くことからも判断できる)。



よって、物体Aの水平方向の運動方程式は、

$$ma=f \quad \cdots ①$$

物体Bにはたらく力は、水平右向きに加えた力F、重力Mg、

### 動摩擦力

すべりが生じているときの摩擦力のこと。動摩擦力の大きさ $F'$ は、動摩擦係数を $\mu$ 、垂直抗力の大きさをNとするとき、

$$F'=\mu N$$

### 運動方程式

物体の質量をm、加速度をa、物体にはたらく力をFとして、

$$ma=F$$

### 静止摩擦力

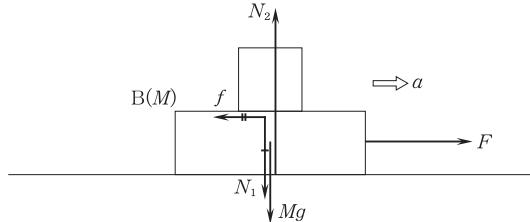
すべりが生じていないときの摩擦力のこと。すべり出す直前(ぎりぎり静止しているとき)の摩擦力の大きさのことを最大摩擦力といい、最大摩擦力 $F_0$ は、静止摩擦係数を $\mu_0$ 、垂直抗力の大きさをNとすると、

$$F_0=\mu_0 N$$

すべりが生じない条件は、静止摩擦力の大きさをFとすると、

$$F \leq F_0$$

床から受ける垂直抗力  $N_2$  の他に、物体 A から受ける垂直抗力と静止摩擦力がある。作用・反作用の法則より、その垂直抗力は鉛直下向きで大きさは  $N_1$ 、静止摩擦力は水平左向きで大きさは  $f$  である。したがって、物体 B にはたらく 5 つの力の向きは次図の矢印のとおりである。



よって、物体 B の水平方向の運動方程式は、

$$Ma = F - f \quad \cdots ②$$

5 の答 ④

問 6 問 5において、物体 A と B の間にはたらく静止摩擦力の大きさ  $f$  は、①、②式より、 $a$  を消去して、

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

よって、 $f$  と  $F$  は比例関係にあることがわかる。なお、物体 A と B の間の静止摩擦係数を  $\mu_0$  とすると、最大摩擦力が  $\mu_0 N_1$  なので、 $f \leq \mu_0 N_1$  より、

$$\frac{m}{m+M}F \leq \mu_0 mg$$

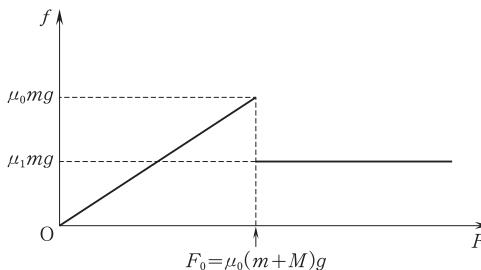
$$\therefore F \leq \mu_0(m+M)g \quad (=F_0)$$

この範囲では、物体 A と B は一体となって運動する(右辺の  $\mu_0(m+M)g$  が問題に与えられた力の大きさ  $F_0$  である)。

一方、 $F > \mu_0(m+M)g$  の範囲では、物体 A は B 上をすべり、A と B の間にはたらく摩擦力は動摩擦力になる。動摩擦力の大きさ  $f$  は、動摩擦係数を  $\mu_1$  とすると、

$$f = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg \quad (= \text{一定})$$

一般に  $\mu_0 > \mu_1$  となることに注意して、物体 A と B の間にはたらく摩擦力の大きさ  $f$  の変化をグラフにすると、次図のようになる。



#### 作用・反作用の法則

物体 P が物体 Q に力を及ぼすとき、物体 Q は物体 P に同じ大きさで逆向きの力を及ぼしている。

## 第2問 波の性質・電流

A

問1 問題に与えられた図1より、この縦波の波長 $\lambda$ は、

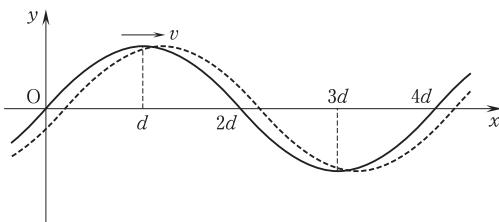
$$\lambda=4d$$

よって、波の速さの式  $v=\frac{\lambda}{T}$  より、

$$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4d}{v}$$

7 の答 ④

問2 図1に、時刻  $t=0$  からわずかに時間が経過したときの波形を点線で描き込むと、次図のようになる。



媒質の速度が  $x$  軸の正の向きで最大になっている位置は、この縦波のグラフでは、媒質の速度が  $y$  軸の正の向きで最大になっている位置として読み取れる。よって、時刻  $t=0$ において、その位置は、 $0 \leq x < 4d$  の範囲で、

$$x=2d$$

8 の答 ③

問3 時刻  $t=0$ において、位置  $x=0, 4d$  は最も疎、すなわち、密度が最小、位置  $x=2d$  は最も密、すなわち、密度が最大である。よって、位置  $x$  と媒質の密度の関係を表すグラフとして最も適当なものは、②である。

9 の答 ②

B

問4 電流計Ⓐの示す値を  $I$  [A] とすると、オームの法則より、抵抗  $R_1$  の電圧は  $20I$  [V]、抵抗  $R_3$  の電圧は  $40I$  [V] と表される。抵抗  $R_1, R_3$  にかかる電圧の和は電池の電圧に等しいので、

$$30 = 20I + 40I$$

$$\therefore I = 0.50 \text{ [A]}$$

(別解)

抵抗  $R_1$  と  $R_3$  の合成抵抗を考える。この2つの抵抗は直列接続であり、合成抵抗値を  $R_{13}$  [ $\Omega$ ] とすると、

$$R_{13} = 20 + 40$$

$$\therefore R_{13} = 60 \text{ [\Omega]}$$

よって、

$$I = \frac{30}{60} = 0.50 \text{ [A]}$$

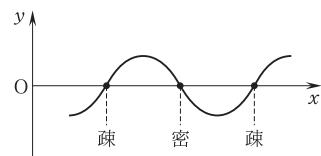
波の速さの式

波の速さを  $v$ 、波長を  $\lambda$ 、振動数を  $f$ 、周期を  $T$  とすると、

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T} \quad \left( f = \frac{1}{T} \right)$$

縦波のグラフ

波の進行方向と媒質の変位方向が同じ波を縦波(疊密波)という。縦波のグラフは、波の進行方向に  $x$  軸をとり、媒質の変位  $y$  は、 $x$  軸の正の向きへの変位を正、 $x$  軸の負の向きへの変位を負として表示する。ある瞬間の最も密な位置、最も疎な位置は、次図のようになる。



オームの法則

抵抗値  $R$  の抵抗に電流  $I$  が流れているとき、抵抗の両端に生じる電圧(電位差)  $V$  は、

$$V = RI$$

合成抵抗

抵抗値  $R_1$  と  $R_2$  の2つの抵抗を直列に接続すると、合成抵抗値  $R$  は、

$$R = R_1 + R_2$$

抵抗値  $R_1$  と  $R_2$  の2つの抵抗を並列に接続すると、合成抵抗値  $R$  は、

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

10 の答 ②

問 5 抵抗  $R_3$  の抵抗値を  $R_3 [\Omega]$ 、電流計Ⓐの示す値を  $i [A]$  とする。抵抗  $R_1$  での消費電力  $P_1 [W]$  は、

$$P_1 = 20i^2$$

抵抗  $R_3$  での消費電力  $P_3 [W]$  は、

$$P_3 = R_3 i^2$$

これらの比は、

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{R_3 i^2}{20 i^2} = \frac{1}{20} \cdot R_3$$

よって、 $\frac{P_3}{P_1}$  と  $R_3$  は比例関係にあることがわかり、最も適当なグラフは、②である。

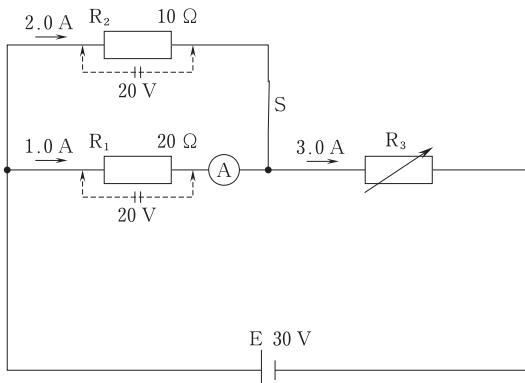
#### 消費電力

電圧  $V$  をかけた抵抗値  $R$  の抵抗に電流  $I$  が流れているとき、この抵抗で消費される電力  $P$  は、

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

11 の答 ②

問 6 電流計Ⓐは 1.0 A を示したので、抵抗  $R_1$  を流れる電流は  $I_1 = 1.0 [A]$  であり、抵抗  $R_1$  にかかる電圧は  $V_1 = 20I_1 = 20 \times 1.0 = 20 [V]$  である。抵抗  $R_1$  と  $R_2$  は並列接続であり電圧  $V_2$  が等しいので、抵抗  $R_2$  にかかる電圧は  $V_2 = V_1 = 20 [V]$  であり、流れ電流は  $I_2 = \frac{V_2}{10} = \frac{20}{10} = 2.0$  イ [A] である。また、抵抗  $R_3$  を流れる電流は  $I_3 = I_1 + I_2 = 1.0 + 2.0 = 3.0$  ウ [A] である。



12 の答 ④

===== 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	1	5	5	3	
		2	6	6	3	
	問2	3	4	4	4	
	問3	4	1	1	3	
	問4	5	2	2	4	
	問5	6	5	5	4	
	問6	7	3	3	4	
第1問 自己採点小計				(25)		
第2問	問1	8	3	3	4	
	問2	9	2	2	4	
	問3	10	4	4	3	
	問4	11	4	4	4	
	問5	12	6	6	3	
	問6	13	1	1	4	
	問7	14	4	4	3	
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

#### 問1 混合物の分離、価電子の数

a 海水は、水に塩化ナトリウムなどが溶けた水溶液である。したがって、蒸発しやすい成分(水)と蒸発しにくい成分(塩化ナトリウムなどの溶質)を分離するためには、蒸留を用いるのが適している。

なお、ろ過は、水などの液体に溶けるものと溶けないものをろ紙によって分離する方法、再結晶は、固体を溶媒に溶かして、温度による溶解度の差を利用して分離する方法、昇華法(昇華による分離)は、固体の混合物中に昇華しやすい物質が含まれるとき、これを昇華させて物質を分離する方法、抽出は、目的とする物質を特定の溶媒に溶かし出して分離する方法、クロマトグラフィーは、ろ紙やシリカゲルなどの吸着剤への吸着のしやすさの違いにより分離する方法である。

1 ⋯⑥

b 価電子の数は、希ガスを除く典型元素の原子では、最外殻電子の数と等しく、その数は族番号の一の位と一致する。なお、希ガスの価電子の数は0とする。価電子の数は、Mg(2族)は2、①He(18族)は0、②B(13族)は3、③O(16族)は6、④Ne(18族)は0、⑥Na(1族)は1、⑥Ca(2族)は2である。よって、Mgと価電子の数が同じであるものは、同じ2族の原子である⑥Caである。

2 ⋯⑥

#### 問2 同位体

① 正しい。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。同位体どうしは、陽子の数は同じであり、中性子の数は異なる。

② 正しい。同位体どうしは電子の数は同じであり、また、電子配置も同じである。

③ 正しい。地球上の多くの元素には、複数の同位体が存在し、ほぼ一定の割合で混ざって存在している。

④ 誤り。同位体どうしは、質量は異なるが、化学的性質はほとんど同じである。

⑤ 正しい。例えば、炭素の放射性同位体である<sup>14</sup>Cは、遺跡の年代測定に用いられている。他にも放射性同位体は、癌の治療や、生体内や化学反応での物質の動きを調べること(トレーサー法)などに利用されている。

3 ⋯④

#### 問3 気体分子の熱運動

一定温度で熱運動している気体分子には、速さが小さいものや大きいものが混ざっており、その分布は低温と高温で異なり、次

## 【ポイント】

### 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ふ。

分離の方法としては、ろ過、蒸留、再結晶、昇華法、抽出、クロマトグラフィーなどがある。

### 価電子

原子がイオンになったり、化学結合するときに重要な役割を果たす電子を価電子といふ。希ガス以外の典型元素の原子では、最外殻電子が価電子である。希ガスの原子はイオンになったり、他の原子と結合することはほとんどなく、価電子の数は0とする。

### 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い、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。

### 原子番号、質量数

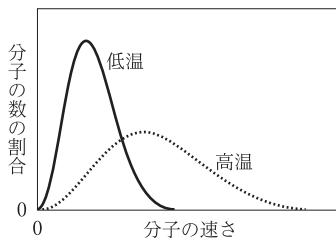


$$\begin{aligned}(\text{原子番号}) &= (\text{陽子の数}) = (\text{電子の数}) \\ (\text{質量数}) &= (\text{陽子の数}) + (\text{中性子の数})\end{aligned}$$

### 熱運動

物質を構成する粒子は、常に不規則に運動している。このような運動を熱運動という。

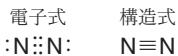
の図のような分布になっている。低温では、速さの平均値が小さく、速さのばらつきも小さいが、高温では、速さが大きい分子が増加して速さの平均値が大きくなり、ばらつきも大きくなる。



4 ⋯①

#### 問4 化学結合

① 正しい。窒素分子  $N_2$  では、窒素原子が不対電子を 3 個ずつ出し合い、3 組の共有電子対をつくって結合している。



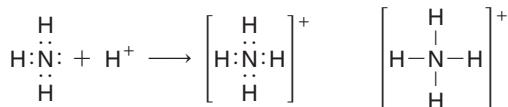
窒素分子中の各窒素原子は、希ガスのネオン原子  $Ne$  と同じ安定な電子配置 (K 裂 : 2 個, L 裂 : 8 個) をとっている。なお、3 組の共有電子対による共有結合を三重結合という。

② 誤り。塩化水素分子  $HCl$  では、塩素原子の方が水素原子より電気陰性度が大きいため、塩素原子が共有電子対を引き寄せて、わずかに負の電荷を帯び、水素原子がわずかに正の電荷を帶びている。なお、このように共有結合している原子間に電荷の偏りがあることを、結合に極性があるという。



(共有結合の極性を → で示した。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。)

③ 正しい。アンモニア分子  $NH_3$  に水素イオンが配位結合で結びつくとアンモニウムイオン  $NH_4^+$  ができる。



配位結合は、でき方が通常の共有結合と異なるが、できた結合は通常の共有結合とまったく変わらない。すなわち、アンモニウムイオンの 4 個の  $N-H$  結合は同じ性質をもち、区別することはできない。

④ 正しい。塩化ナトリウム  $NaCl$  の結晶はイオン結晶であり、ナトリウムイオン  $Na^+$  と塩化物イオン  $Cl^-$  が静電気力(クーロン力)で引き合って結びつき、規則的に配列している。なお、このような陽イオンと陰イオンの静電気力による結合をイオン結合という。

#### 単結合、二重結合、三重結合

1 組の共有電子対による結合を単結合、2 組の共有電子対による結合を二重結合、3 組の共有電子対による結合を三重結合という。

#### 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。電気陰性度の大きい原子ほど共有電子対を強く引きつける。おもな非金属元素の電気陰性度の大きさは、 $F > O > Cl > N > C > H$  の順である。

#### 配位結合

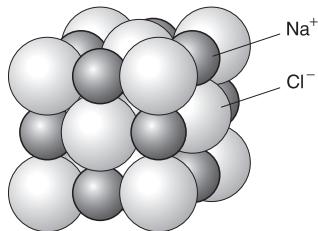
一方の原子の非共有電子対が他方の原子に提供されてできる共有結合。

#### 共有電子対と非共有電子対

二原子間で共有されている電子対を共有電子対といい、共有結合に関与していない電子対を非共有電子対という。

#### イオン結晶

陽イオンと陰イオンがイオン結合で結びついた結晶。硬くてもろい。結晶は電気を導かないが、その水溶液や融解した液体は電気を導く。



⑥ 正しい。アルミニウムなどの金属の結晶では、金属原子の価電子は、特定の原子間で共有されるのではなく、すべての原子で共有された状態にあり、結晶全体を自由に動くことができる。このような価電子を自由電子といい、自由電子による金属原子どうしの結合を金属結合という。自由電子によって、金属は電気をよく導き、また、展性(叩くと薄く広がる性質)や延性(引っ張ると引き延ばされる性質)を示す。

5 …②

### 問5 非共有電子対の数

分子 **a** (水  $\text{H}_2\text{O}$ )、**b** (塩素  $\text{Cl}_2$ )、**c** (メタン  $\text{CH}_4$ )、**d** (二酸化炭素  $\text{CO}_2$ ) の電子式と構造式は次のとおりである。

<b>a</b> 電子式 $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$	構造式 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$	<b>b</b> 電子式 $\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}$	構造式 $\text{Cl}-\text{Cl}$
<b>c</b> 電子式 $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}:\ddot{\text{C}}:\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	構造式 $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	<b>d</b> 電子式 $\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{C}}:\ddot{\text{O}}$	構造式 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

( $\ddot{\text{ }}:$ 是非共有電子対を表す。)

非共有電子対の数は、**a**:2個、**b**:6個、**c**:0個、**d**:4個であり、最も多い分子と2番目に多い分子の組合せは⑥**b**・**d**である。

6 …⑥

### 問6 物質の性質と構造

① 正しい。気体が重いか、軽いかは、密度を比較すればよい。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同温・同圧で密度が小さく、軽い。したがって、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。氷は液体の水より密度が小さいため、液体の水が氷になると体積は増加する。なお、固体の方が液体より密度が小さい物質は、水を含めごく一部に限られ、ほとんどの物質は固体の方が液体より密度が大きい。

#### [参考]

水分子の  $\text{O}-\text{H}$  結合は極性が大きく、水素原子はいくらか正の

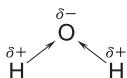
#### 金属結晶

金属原子が自由電子による金属結合で結びついた結晶。展性や延性を示す。電気をよく導く。

#### アボガドロの法則

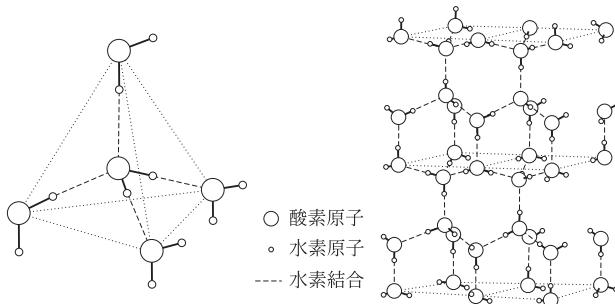
同温・同圧で同体積の気体には、気体の種類によらず、同じ数の分子が含まれる。

電荷を帶び、酸素原子はいくらか負の電荷を帶びている。



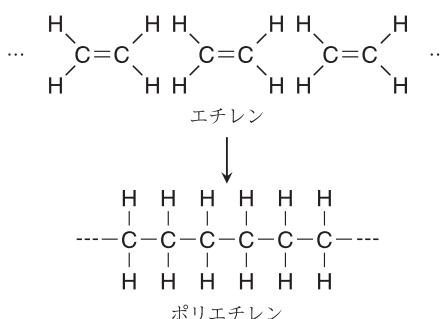
このため、水分子の水素原子と他の水分子の酸素原子の間には静電気的な引力がはたらき、水分子どうしが結びつく。この結合を水素結合といふ。

水の分子結晶である氷では、1個の水分子に対して4個の水分子が正四面体の頂点方向から水素結合で結びつき、すき間の多い結晶構造をとっているため、氷は液体の水より密度が小さい。



③ 誤り。エタノール  $C_2H_5OH$  は極性分子であり、同じく極性分子である水と自由に混じり合うが、非電解質であり、その水溶液は電気をほとんど導かない。なお、極性分子からなる物質やイオン結晶には水に溶けやすいものが多く、一方、無極性分子からなる物質は一般に水に溶けにくい。

④ 正しい。ポリエチレンは、バケツやポリ袋に用いられている高分子化合物であり、炭素原子が共有結合で鎖状につながった構造をもつ。ポリエチレンはエチレン  $C_2H_4$  を原料としてつくれる。エチレン分子には炭素原子間に二重結合があり、エチレン分子どうしの炭素原子間が単結合で次々とつながることで、ポリエチレンが得られる。



⑤ 正しい。炭素の同素体の一つであるダイヤモンドでは、各炭素原子が4個の価電子を使って周囲の4個の炭素原子と共有結合で結びつき、この4個の炭素原子は正四面体の頂点に配置している。ダイヤモンドは、この正四面体を基本単位とした立体網目

### 分子結晶

分子が規則的に配列して結びついている結晶。軟らかくもろい。電気を導かない。

### 極性分子

分子内の結合に極性があり、分子内でその極性が打ち消されず、分子全体として極性をもつ分子。

### 無極性分子

分子内の結合に極性がない、あるいは、分子内の結合には極性があるが、その極性が互いに打ち消し合って、分子全体では極性をもたない分子。

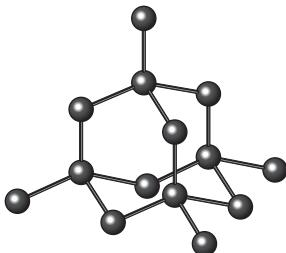
### 高分子化合物

多数の原子が共有結合で結びついた巨大な分子からなる化合物。

### 共有結合の結晶

多数の原子が共有結合によって結びついた結晶。非常に硬く、電気を導かない。(ただし、黒鉛は軟らかく、また、電気を導く。)

構造をもつ共有結合の結晶である。



ダイヤモンド

7 ...③

## 第2問 物質の変化

### 問1 物質量

粒子の数と物質量は比例するので、①～⑥について、それぞれの物質量を比較すればよい。

① 1 mol の  $\text{AlCl}_3$  は、1 mol の  $\text{Al}^{3+}$  と 3 mol の  $\text{Cl}^-$  から構成されているので、0.50 mol の  $\text{AlCl}_3$  に含まれる  $\text{Cl}^-$  の物質量は、

$$0.50 \text{ mol} \times 3 = 1.5 \text{ mol}$$

② 1.5 mol/L の希硫酸 1.0 L に含まれる  $\text{H}_2\text{SO}_4$  の物質量は、  
 $1.5 \text{ mol/L} \times 1.0 \text{ L} = 1.5 \text{ mol}$

$\text{H}_2\text{SO}_4$  1 分子には硫黄原子 S が 1 個含まれるので、1.5 mol の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  に含まれる S の物質量は、1.5 mol である。

③ 標準状態の気体 1 mol の体積は 22.4 L なので、窒素分子  $\text{N}_2$  の物質量は、

$$\frac{11.2 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.50 \text{ mol}$$

④ 二酸化炭素  $\text{CO}_2$  の物質量は、

$$\frac{4.5 \times 10^{23}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} = 0.75 \text{ mol}$$

$\text{CO}_2$  1 分子には酸素原子 O が 2 個含まれるので、0.75 mol の  $\text{CO}_2$  に含まれる O の物質量は、

$$0.75 \text{ mol} \times 2 = 1.5 \text{ mol}$$

⑤ 13.5 g の  $\text{H}_2\text{O}$  (18 g/mol) の物質量は、

$$\frac{13.5 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 0.75 \text{ mol}$$

$\text{H}_2\text{O}$  1 分子には、水素原子 H が 2 個含まれるので、0.75 mol の  $\text{H}_2\text{O}$  に含まれる H の物質量は、

$$0.75 \text{ mol} \times 2 = 1.5 \text{ mol}$$

よって、数値が他と異なるものは③である。

8 ...③

### 問2 化学反応式と量的関係

塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  と硝酸銀  $\text{AgNO}_3$  の量的関係は、図 1 よ

#### アボガドロ定数

1 mol 当たりの粒子の数をアボガドロ定数といい、記号  $N_A$  で表す。

$$N_A = 6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$$

り、次のように読み取ることができる。ここで、グラフの傾きが変化するまでに加えた  $\text{AgNO}_3$  水溶液の体積を  $v$  [mL]とする。

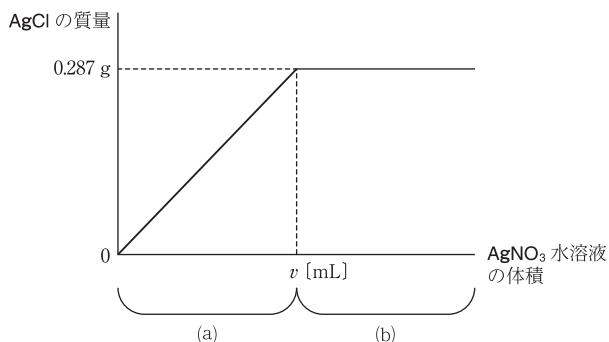


図 1

図 1 中の領域(a)(加えた  $\text{AgNO}_3$  水溶液の体積が  $0 \sim v$  [mL])では、加えた  $\text{AgNO}_3$  水溶液の体積に比例して、生じた  $\text{AgCl}$  の質量が増加している。よって、加えた  $\text{AgNO}_3$  がすべて反応し、 $v$  [mL] 加えたときに、 $\text{NaCl}$  と  $\text{AgNO}_3$  は過不足なく反応している。また、領域(b)(加えた  $\text{AgNO}_3$  水溶液の体積が  $v$  [mL] 以上)では、 $\text{NaCl}$  はすべて反応しているので、加えた  $\text{AgNO}_3$  水溶液の体積に関係なく、生じた  $\text{AgCl}$  の質量は一定である。

つまり、 $\text{NaCl}$  がすべて反応すると、0.287 g の  $\text{AgCl}$  (143.5 g/mol) の沈殿が生じる。反応式より、反応した  $\text{NaCl}$  と生成した  $\text{AgCl}$  の物質量は等しいので、求める  $\text{NaCl}$  水溶液のモル濃度を  $x$  [mol/L] とすると、

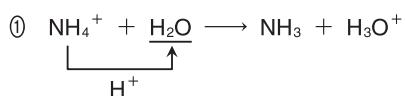
$$x \text{ [mol/L]} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L} = \frac{0.287 \text{ g}}{143.5 \text{ g/mol}}$$

$$x = 0.20 \text{ mol/L}$$

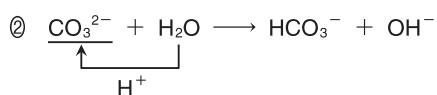
9 ⋯②

### 問 3 酸・塩基の定義

ブレンステッド・ローリーの定義によると、酸は「水素イオンを与える分子またはイオン」、塩基は「水素イオンを受け取る分子またはイオン」である。①～⑥の反応において、下線で示した分子またはイオンの酸または塩基としてのはたらきは、それぞれ次のようにになる。



$\text{H}_2\text{O}$  は、 $\text{NH}_4^+$  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。



$\text{CO}_3^{2-}$  は、 $\text{H}_2\text{O}$  から  $\text{H}^+$  を受け取っているので、塩基としては

### 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  $\text{H}^+$  を生じる物質

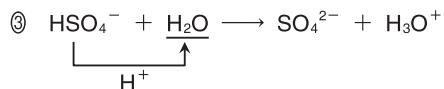
塩基：水に溶けて水酸化物イオン  $\text{OH}^-$  を生じる物質

#### ブレンステッド・ローリーの定義

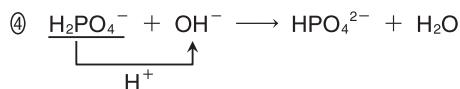
酸：水素イオン  $\text{H}^+$  を与える分子またはイオン

塩基：水素イオン  $\text{H}^+$  を受け取る分子またはイオン

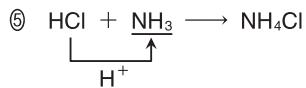
たらいている。



$\text{H}_2\text{O}$  は、 $\text{HSO}_4^-$  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。



$\text{H}_2\text{PO}_4^-$  は、 $\text{OH}^-$  に  $\text{H}^+$  を与えているので、酸としてはたらいている。



$\text{NH}_4\text{Cl}$  は  $\text{NH}_4^+$  と  $\text{Cl}^-$  からなる物質であり、 $\text{NH}_3$  は、 $\text{HCl}$  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。

10 ⋯④

#### 問4 酸と塩基の反応、塩

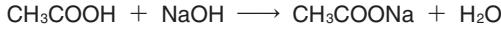
a 0.10 mol/L の酢酸水溶液 10 mL に含まれる  $\text{CH}_3\text{COOH}$  の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

また、0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 10 mL に含まれる  $\text{NaOH}$  の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$\text{CH}_3\text{COOH}$  と  $\text{NaOH}$  の中和反応は次式で表される。



$\text{CH}_3\text{COOH}$  と  $\text{NaOH}$  の物質量は等しいので、 $\text{CH}_3\text{COOH}$  と  $\text{NaOH}$  は過不足なく反応し、反応後の溶液は、酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の水溶液になっている。酢酸ナトリウムは、弱酸である酢酸と強塩基である水酸化ナトリウムからなる塩であり、その水溶液は塩基性を示す。

b 0.10 mol/L の希塩酸 10 mL に含まれる  $\text{HCl}$  の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

また、0.10 mol/L の水酸化バリウム水溶液 20 mL に含まれる  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{20}{1000} \text{ L} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$\text{HCl}$  と  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  の中和反応の量的関係は次のようになる。

#### 塩の水溶液の性質

強酸と強塩基からなる塩⋯⋯中性

(ただし、 $\text{NaHSO}_4$  は酸性)

弱酸と強塩基からなる塩⋯⋯塩基性

強酸と弱塩基からなる塩⋯⋯酸性

	2 HCl	+	Ba(OH) <sub>2</sub>	→	BaCl <sub>2</sub>	+	2 H <sub>2</sub> O
反応前	$1.0 \times 10^{-3}$		$2.0 \times 10^{-3}$		0		
変化量	$-1.0 \times 10^{-3}$		$-5.0 \times 10^{-4}$		$+5.0 \times 10^{-4}$		
反応後	0		$1.5 \times 10^{-3}$		$5.0 \times 10^{-4}$		

(単位: mol)

反応後の溶液には、未反応の Ba(OH)<sub>2</sub> が残っているので、水溶液は塩基性を示す。

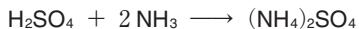
c 0.10 mol/L の希硫酸 10 mL に含まれる H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

また、0.10 mol/L のアンモニア水 20 mL に含まれる NH<sub>3</sub> の物質量は、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{20}{1000} \text{ L} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NH<sub>3</sub> の中和反応は次式で表される。



反応前のそれぞれの水溶液に含まれる H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NH<sub>3</sub> の物質量の比は 1:2 であり、反応式より、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NH<sub>3</sub> は物質量の比 1:2 で反応する。よって、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NH<sub>3</sub> は過不足なく反応し、反応後の溶液は、硫酸アンモニウム (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の水溶液になっている。硫酸アンモニウムは、強酸である硫酸と弱塩基であるアンモニアからなる塩であり、その水溶液は酸性を示す。

以上から、その水溶液が塩基性を示すものは④ a · b である。

11 ⋯ ④

## 問5 酸化数

物質 a ~ c 中の下線で示した原子の酸化数を x とする。

a 塩素 Cl<sub>2</sub> は単体であるので、

$$x = 0$$

b 一酸化窒素 NO について、O の酸化数は -2 なので、

$$x + (-2) = 0 \quad x = +2$$

c 酸化鉄(III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> について、O の酸化数は -2 なので、

$$x \times 2 + (-2) \times 3 = 0 \quad x = +3$$

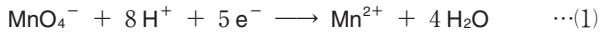
よって、酸化数が大きい順に、c > b > a となる。

なお、Fe は化合物中で複数の酸化数をとる。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は Fe<sup>3+</sup> と O<sup>2-</sup> からなる化合物であり、鉄のイオンの酸化数が +3 であることから、化合物名は酸化鉄(III)とする。

12 ⋯ ⑥

## 問6 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。



## 酸化数の決め方

1 単体中の原子 : 0

2 化合物中の H 原子 : +1

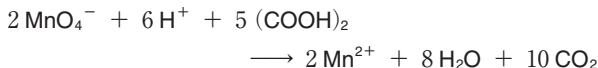
3 化合物中の O 原子 : -2 (ただし、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 中の O 原子の酸化数は -1)

4 化合物中では構成原子の酸化数の和は 0 である。

5 单原子イオンの酸化数はイオンの価数に等しい。

6 多原子イオン中では構成原子の酸化数の和はイオンの価数に等しい。

(1)式×2+(2)式×5より、次のイオン反応式が得られる。



過マンガン酸イオン  $\text{MnO}_4^-$  とシュウ酸  $(\text{COOH})_2$  は 2:5 の物質質量比で過不足なく反応するので、過マンガン酸カリウム水溶液のモル濃度  $x$  [mol/L] とすると、

$$x \text{ [mol/L]} \times \frac{12}{1000} \text{ L} : 0.015 \text{ mol/L} \times \frac{20}{1000} \text{ L} = 2 : 5$$

$$x \text{ [mol/L]} \times \frac{12}{1000} \text{ L} \times 5 = 0.015 \text{ mol/L} \times \frac{20}{1000} \text{ L} \times 2$$

$$x = 0.010 \text{ mol/L}$$

なお、酸化還元反応では、酸化剤が受け取る電子の物質量と還元剤が放出する電子の物質量が等しく、この反応では、

$$(\text{KMnO}_4 \text{ の物質量}) \times 5 = ((\text{COOH})_2 \text{ の物質量}) \times 2$$

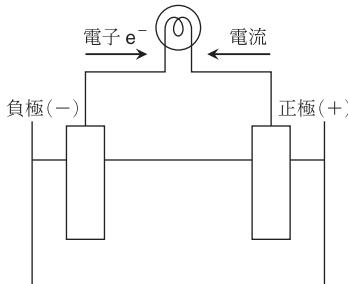
であることからも、上式を導くことができる。

13 ⋯①

## 問7 電池

① 正しい。酸化還元反応に伴って放出される化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置を電池(化学電池)という。

② 正しい。放電時に、電池の負極では、還元剤が酸化されて電子が流れ出す。また、正極では、電子が流れ込み、酸化剤が還元されている。



③ 正しい。電池が放電するとき、電子は導線を通って負極から正極へと流れ込む。なお、電流は、導線を通って正極から負極に向かって流れる。

④ 誤り。充電してくり返し使用できる電池を二次電池という。二次電池には、鉛蓄電池やリチウムイオン電池などがある。なお、充電による再使用ができない電池を一次電池という。

### 電池の電極反応

正極：電子が導線から流れ込む電極。

電子を受け取る還元反応が起こる。

負極：電子が導線に流れ出す電極。

電子を放出する酸化反応が起こる。

14 ⋯④

==== 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	<input type="checkbox"/> 1	②	4		
			<input type="checkbox"/> 2	②	3		
	B	問2	<input type="checkbox"/> 3	⑨	3		
		問3	<input type="checkbox"/> 4	①	3		
		問4	<input type="checkbox"/> 5	④	3		
第1問 自己採点小計				(16)			
第2問	問1	<input type="checkbox"/> 6	④	2			
	問2	<input type="checkbox"/> 7	③	3			
		<input type="checkbox"/> 8	⑦	3			
	問3	<input type="checkbox"/> 9	①	3			
	問4	<input type="checkbox"/> 10	①	3			
	問5	<input type="checkbox"/> 11	③	3			
	第2問 自己採点小計				(17)		
第3問	A	問1	<input type="checkbox"/> 12	②	2		
		問2	<input type="checkbox"/> 13	①	3		
		問3	<input type="checkbox"/> 14	④	3		
	B	問4	<input type="checkbox"/> 15	①	3		
		問5	<input type="checkbox"/> 16	④	3		
		問6	<input type="checkbox"/> 17	⑥	3		
第3問 自己採点小計				(17)			
自己採点合計				(50)			

※の正解は順序を問わない。

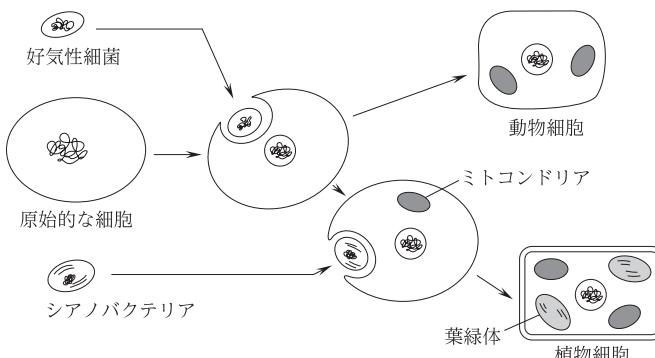
## 【解説】

### 第1問 生物と遺伝子

Aではミトコンドリアと葉緑体に関する知識問題を、BではDNAの構造に関する知識問題を出題した。

問1 ①好気性細菌は酸素を用いて有機物を分解する反応を行う原核生物であり、シアノバクテリアは光合成を行う原核生物である。これらが原始的な細胞に共生して、それぞれミトコンドリアおよび葉緑体になったと考えられているので、正しい。

②ミトコンドリアはすべての真核生物がもっているが、葉緑体はすべての真核生物がもっているわけではない。このことから、まず好気性細菌が原始的な細胞に共生してミトコンドリアになり、その後、そのうち一部の細胞にシアノバクテリアが共生して葉緑体になったと考えられているので、誤りである。ミトコンドリアのみをもつ細胞が動物細胞に進化し、ミトコンドリアと葉緑体の両方をもつ細胞が植物細胞に進化したと考えられている(下図)。



③ミトコンドリアと葉緑体はともに独自のDNAをもち、細胞内で分裂して増殖する。これらの根拠から、ミトコンドリアと葉緑体はもとは独立した生物であったと考えられるので、正しい。

④ミドリゾウリムシは、単細胞生物であるゾウリムシの細胞内に他の単細胞生物(クロレラ)が共生している。シアノバクテリアが原始的な細胞に共生して葉緑体になったのも、このようなことが起こったのではないかと考えられているので、正しい。

1 …②

問2 呼吸と燃焼はともに有機物が酸素と結合してエネルギーを放出する反応である。燃焼では反応が急激に起こり、取り出されるエネルギーの大部分が熱として放出されるが、呼吸では様々な酵素によって段階的に反応が起こり、エネルギーが徐々に取り出されてATPに蓄えられる(次図)。

## 【ポイント】

### 共生説

好気性細菌およびシアノバクテリアが原始的な細胞に共生して、それぞれミトコンドリアおよび葉緑体になったとする説

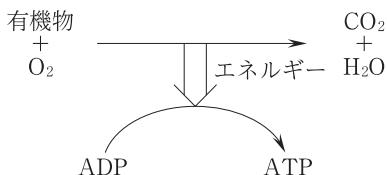
### 共生説の根拠

ミトコンドリアと葉緑体は独自のDNAをもち、細胞内で分裂して増殖する。

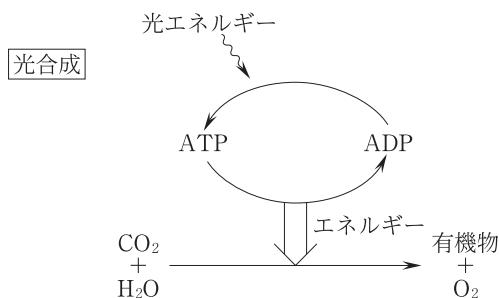
### 呼吸

- ・有機物を段階的に分解する。
- ・得られたエネルギーからATPを合成する。
- ・酵素が関与する。
- ・すべての真核生物にみられる。

### 呼吸



光合成の反応には様々な酵素が関与しており、光エネルギーを吸収して ATP が合成され、この ATP を用いて、二酸化炭素から有機物が合成される(下図)。



したがって、a と c は呼吸、光合成のいずれにも当てはまり、b は光合成のみに、e は呼吸のみに当てはまる。d は燃焼に関する記述なので、呼吸と光合成のどちらにも当てはまらない。呼吸はすべての真核生物でみられるが、光合成は動物などではみられないでの、f は呼吸のみに当てはまる記述である。

2 … ② 3 … ⑨

問3 DNA はリン酸、糖、塩基からなるヌクレオチド(下図)が構成単位となっている。

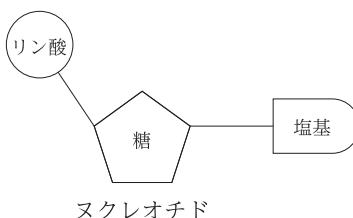


図1において、g がリン酸、h が糖、i が塩基なので、①が正しい。なお、ヌクレオチドどうしは糖とリン酸の間で結合して、鎖状に多数つながってヌクレオチド鎖を構成し、このヌクレオチド鎖が2本、塩基どうしの弱い結合でつながって二重らせん構造をついている。

4 … ①

問4 DNA と RNA のヌクレオチドを比較すると、リン酸は共通であるが、糖はDNAではデオキシリボース、RNAではリボースである。また、塩基については、A(アデニン)、G(グアニン)、C(シトシン)はDNAとRNAで共通であるが、もう一種類の塩基

### 燃焼

物質が急激に酸素と結合する反応で、エネルギーの大部分が熱として放出される。

### 光合成

- ・光エネルギーを吸収して ATP を合成する。
- ・無機物から有機物を合成する。
- ・酵素が関与する。

### ヌクレオチド

DNA および RNA の構成単位であり、リン酸、糖、塩基からなる。

### DNA

糖がデオキシリボース  
塩基が A, G, C, T

### RNA

糖がリボース  
塩基が A, G, C, U

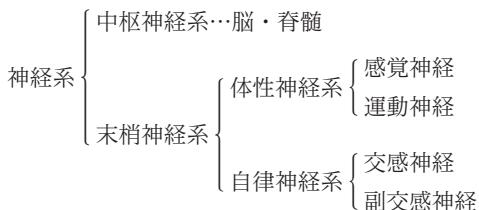
としてDNAはT(チミン)をもち、RNAはU(ウラシル)をもつ  
ので、④が正しい。

5 …④

## 第2問 体温調節

動物の体温調節に関する知識問題および考察問題を出題した。

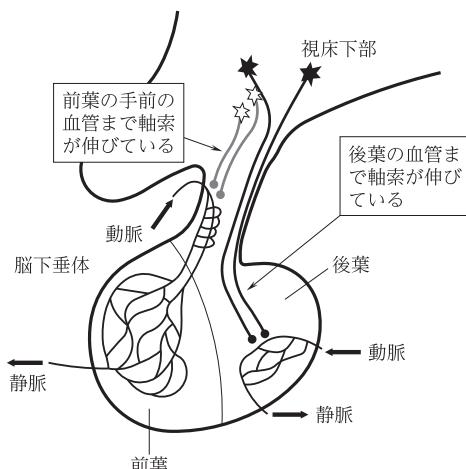
問1 体温の調節中枢は間脳の視床下部にあり、自律神経系や内分泌系のはたらきによって、体温は一定に保たれている。ヒトの神経系は、下図のように、脳と脊髄からなる中枢神経系と、脳や脊髄とからだの各部をつなぐ末梢神経系からなるので、④が正しい。なお、末梢神経系はさらに、体性神経系(感覚神経と運動神経)と自律神経系(交感神経と副交感神経)に分けられる。



6 …④

問2 ①例えば、すい臓のランゲルハンス島からは、グルカゴンとインスリンの2種類のホルモンが分泌される。このように、多くの内分泌腺からは複数の種類のホルモンが分泌されるので、誤りである。

②脳下垂体前葉から分泌されるホルモンは、視床下部の神経分泌細胞から分泌される放出ホルモンや抑制ホルモン(放出抑制ホルモン)によって分泌量が調節される。一方、脳下垂体後葉には、視床下部から伸びた神經分泌細胞の軸索が達しており、適切な量のホルモンが脳下垂体後葉の毛細血管に直接分泌されている(下図)。したがって、放出ホルモンや抑制ホルモンによる分泌量の調節は行われないので、誤りである。



間脳(視床下部)

体温調節、血糖量調節、体液の濃度調節などの中枢

ホルモン

内分泌腺から、直接血液中に分泌され、標的器官に運ばれて作用する。

神經分泌細胞

視床下部にはホルモンを分泌する神經細胞があり、これを神經分泌細胞とよぶ。

主なホルモンのはたらき

- ・パラトルモン…血液中のカルシウムイオン濃度を上昇させる。
- ・鉱質コルチコイド…血液中のナトリウムイオン濃度を上昇させる。
- ・グルカゴン…グルコース濃度を上昇させる。
- ・バソプレシン…腎臓の集合管での水の再吸収を促進する。

③ホルモンは内分泌腺から血液中に直接分泌され、特定の器官（標的の器官）や組織に運ばれて作用するので、正しい。

④パラトルモンは副甲状腺から分泌され、血液中のカルシウムイオン濃度を上昇させるので、誤りである。

⑤鉱質コルチコイドは副腎皮質から分泌され、血液中のナトリウマイオン濃度を上昇させるので、誤りである。

⑥グルカゴンはすい臓のランゲルハンス島A細胞から分泌され、肝臓に蓄えられたグリコーゲンを分解することで、血液中のグルコース濃度を上昇させるので、誤りである。

⑦バソプレシンは脳下垂体後葉から分泌され、腎臓の集合管における水の再吸収を促進するので、正しい。

7・8…③, ⑦

問3 体温を上昇させるときには、下図のように、「放熱量の減少」と「発熱量の増加」が起こる。放熱量を減少させるために体表の血管や立毛筋が収縮する。また、発熱量を増加させるために骨格筋を収縮させてふるえを起こし、代謝の促進や心臓の拍動促進が起こる。

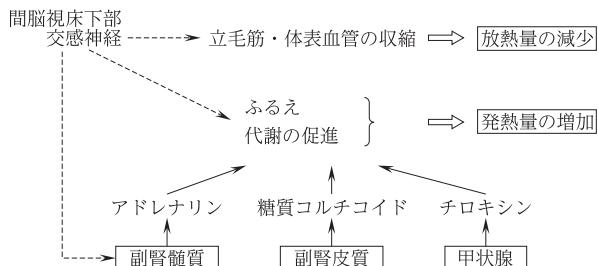
体温を上昇させる場合の調節

・放熱抑制

立毛筋、体表の血管の収縮

・発熱促進

ふるえ、代謝促進



①体表の血管の収縮は交感神経の刺激によって起こるので、正しい。

②アドレナリンは、交感神経の刺激により副腎髄質から分泌されるので、誤りである。

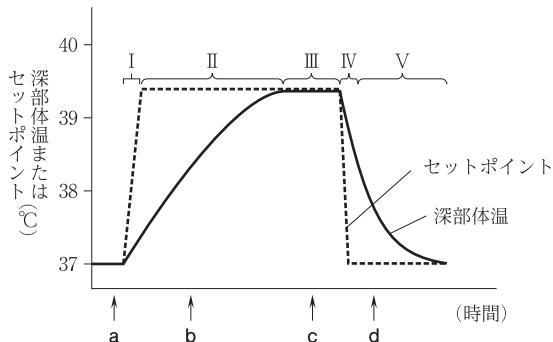
③立毛筋の収縮は交感神経の刺激によって起こるので、誤りである。

④放熱を抑えるために発汗が抑制されている。また、汗腺には交感神経は分布しているが、副交感神経は分布していないので、誤りである。

9…①

問4 文章中にあるように、セットポイントは通常、37℃前後に設定されており、セットポイントと深部体温との差が間脳で感知されている。セットポイントより体温が高くなれば体温を下げ、セットポイントより体温が低くなれば体温を上げる反応が起こり、深部体温は常に37℃付近に保たれる。本問では、このセットポイントが細菌感染により上昇した場合を扱った。細菌に感染してからのセットポイントと体温の一連の変化を次ページの図に

示す。



I …細菌の侵入により物質Pの産生量が増加し、セットポイントがただちに上昇する。

II …セットポイントよりも体温の方が低くなり、寒気を感じる。

問3で解説したように、体温を上昇させる反応が起こる。

III …セットポイントと体温の差が小さくなり、寒気を感じなくなる。

IV …物質Pの産生量が減少し、セットポイントが低下する。

V …セットポイントよりも体温の方が高くなり、血管の拡張や発汗の促進により体温を低下させる反応が起こる。

したがって、①が正しい。

10 …①

問5 薬剤は物質Pを合成する酵素のはたらきを阻害するので、この薬剤を服用すると、物質Pの産生量が増加しなくなり、セットポイントの上昇も起こらなくなる。その結果、体温の上昇も抑制される。

①この薬剤は体温上昇を抑制するはたらきがある。したがって上図のaの時点で服用しても体温上昇が起こることはないので、誤りである。

②上図のbの時点では、物質Pの産生量が増加している。薬剤を服用すると、セットポイントが低下し、体温の上昇も緩和されると考えられる。したがって、体温の上昇が早まるることはないので、誤りである。

③上図のcの時点では、物質Pの産生量が増加しており、セットポイントが高い値に維持されている。この段階で薬剤を服用すれば、セットポイントが低下し、体温の低下も起こるので、正しい。

④上図のdの段階では、物質Pの産生量は減少しており、薬剤を服用しても、セットポイントや体温の変化には影響を与えないなので、誤りである。

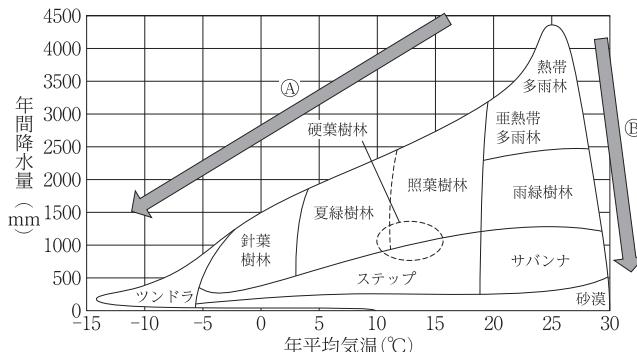
11 …③

### 第3問 バイオームと生態系

Aでは世界のバイオームに関する知識問題とラウンケルの生活形に関する考察問題を、Bでは生態系における物質の循環とエネルギーの流れに関する知識問題を出題した。

問1 世界の陸上バイオームは年平均気温と年間降水量によって決まる。世界の年平均気温は約  $30^{\circ}\text{C}$  から約  $-15^{\circ}\text{C}$  の範囲にあり、年間降水量は約  $4000\text{ mm}$  から  $0\text{ mm}$  の範囲にある(下図)。年平均気温が高く年間降水量が多い地域が、植物の生育にとって最も適した地域であり、熱帯多雨林が成立する。

[12] …②



問2 降水量が十分な地域において、年平均気温の低下によるバイオームの変化を示したのが、上図のⒶの矢印である。熱帯多雨林→照葉樹林→夏緑樹林→針葉樹林→ツンドラと変化するが、これは赤道から両極への変化と対応する。一方、年平均気温が十分高い地域において、年間降水量の減少に対するバイオームの変化を示したのが、上図のⒷの矢印である。熱帯多雨林→雨緑樹林→サバンナ→砂漠と変化するが、これは海岸部から内陸への変化と対応する。

[13] …①

問3 ラウンケルの生活形は、生育に適さない季節につける休眠芽の位置を基準として分類したものである。気温の低いツンドラでは、休眠芽を地表につける半地中植物の割合が高く(工)，降水量の少ない砂漠では、乾燥に強い種子で生育に適さない季節を過ごす一年生植物の割合が高くなる(才)。これに対して、熱帯多雨林や照葉樹林が発達するような気温が高く降水量が多い地域では、地上植物の割合が高い。これは高い位置に芽をつける方が光をめぐる競争に有利なためである(力)。

[14] …④

問4 ①生産者である緑色植物は光合成を行い、二酸化炭素を取り込んで有機物を合成するが、合成した有機物を分解する呼吸も行い、二酸化炭素を大気中に放出するので、誤りである。

②消費者は従属栄養生物であり、無機物から有機物を合成することはできない。一次消費者は生産者を直接捕食することによって有機物を得ており、二次消費者は一次消費者を捕食(生産者を間接的に利用)することによって有機物を得ているので、正しい。

陸上バイオームを決める要因

年平均気温、年間降水量

年平均気温が低下する順に

熱帯多雨林→照葉樹林→

夏緑樹林→針葉樹林→ツンドラ

年間降水量が減少する順に

熱帯多雨林→雨緑樹林→

サバンナ→砂漠

ラウンケルの生活形

生育に適さない季節につける休眠芽の位置で分類

ツンドラ

地表植物や半地中植物の割合が高い。

砂漠

一年生植物の割合が高い。

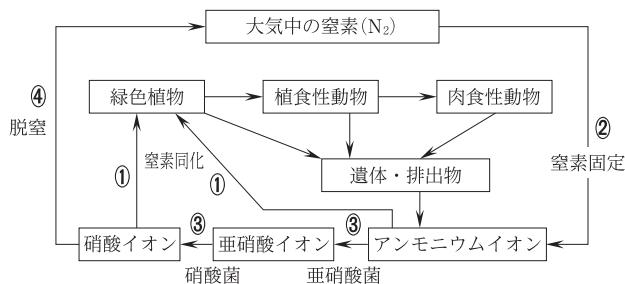
熱帯多雨林

地上植物の割合が高い。

⑩分解者(細菌類や菌類)も従属栄養生物であり、生産者や消費者の遺体や排出物中の有機物を利用しているので、正しい。

④大気中の二酸化炭素が増加している原因是、大規模な森林伐採とともに石油や石炭などの化石燃料の大量消費にあると考えられるので、正しい。 15 …①

問5 生態系における窒素循環の概略を下図に示す。選択肢①～④に対応する部分を図中に示した。



①緑色植物は、土壌中の硝酸イオンやアンモニウムイオンを用いて有機窒素化合物を合成する窒素同化を行う。緑色植物は大気中の窒素(N<sub>2</sub>)を直接利用することはできないので、誤りである。

②アゾトバクターやネンジュモなどは大気中の窒素からアンモニウムイオンを合成する。このはたらきは、窒素同化ではなく、窒素固定であるので、誤りである。

③硝化菌である亜硝酸菌と硝酸菌は、硝酸イオンをアンモニウムイオンに変えるのではなく、分解者のはたらきでつくられたアンモニウムイオンを硝酸イオンに変えるので、誤りである。

④脱窒素細菌は硝酸イオンを窒素(N<sub>2</sub>)に変えて大気中に戻すはたらき(脱窒)をしているので、正しい。 16 …④

問6 生産者が光合成を利用しているのは太陽の光エネルギーであり、これが生態系に流入するエネルギーである。生産者は光エネルギーを化学エネルギーに変換して有機物中に蓄え、消費者は生産者を食べることによって、有機物はさらに高次の栄養段階の消費者に利用される。分解者は生産者や消費者の遺体や排出物中の有機物を取り込んで利用する。したがって、生態系の中で生物間を有機物とともに移動するのは化学エネルギーである。生産者、消費者、分解者が生活活動で利用したエネルギーは、熱エネルギーとして生態系の外に流出する。 17 …⑥

### 窒素同化

体外から硝酸イオン・アンモニウムイオンを取り込んで有機窒素化合物にするはたらき

### 窒素固定

体外から窒素を取り込んでアンモニウムイオンにするはたらき

### 脱窒

硝酸イオンを窒素に変えて、大気中に戻すはたらき

### 光エネルギー

太陽から生態系内に入る。

### 化学エネルギー

生態系内で生物間を移動する。

### 熱エネルギー

生態系から外に出ていく。

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]	[7]	3		
	問2	[2]	[4]	4		
	問3	[3]	[3]	3		
第1問 自己採点小計			(10)			
第2問	問1	[4]	[5]	3		
	問2	[5]	[1]	4		
	問3	[6]	[2]	3		
第2問 自己採点小計			(10)			
第3問	問1	[7]	[2]	3		
	問2	[8]	[5]	3		
	問3	[9]	[3]	4		
第3問 自己採点小計			(10)			
第4問	問1	[10]	[4]	3		
	問2	[11]	[2]	4		
	問3	[12]	[4]	3		
第4問 自己採点小計			(10)			
第5問	問1	[13]	[1]	3		
	問2	[14]	[3]	4		
	問3	[15]	[7]	3		
第5問 自己採点小計			(10)			
自己採点合計			(50)			

## 【解説】

### 第1問 地震

地震波の性質と大森公式について出題した。また、地震災害に関する知識を問う問題とした。

問1 地震の最初に観測されるP波によるゆれを初期微動、S波が到達して観測される大きなゆれを主要動という(図1-1)。

地震が発生すると震源ではP波とS波は同時に発生するが、P波の方が速く伝わるため、観測点ではP波の方が先に到達し、S波は遅れて到達する。初期微動が始まってから主要動が始まるまでの時間を初期微動継続時間という。

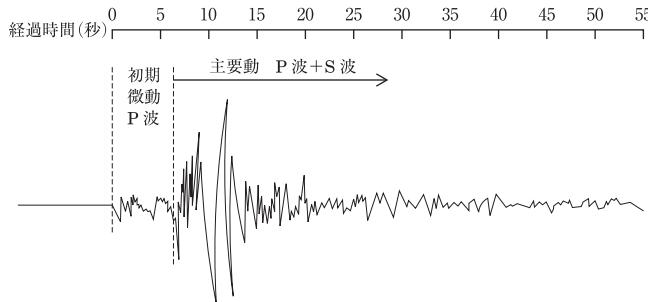


図1-1 地震計の記録

a P波の到達が最も早い観測点Xが震源に最も近く、P波の到達が最も遅い観測点Yは震源から最も離れている。また、初期微動継続時間は震源距離に比例する(問2参照)。初期微動継続時間は観測点Xでは6秒、観測点Yでは14秒、観測点Zでは10秒であることからも、観測点Xが最も震源に近いことがわかる。よって、この文は誤りである。

b 観測点YにP波が到達したのは、初期微動の始まる11時55分16秒である。また、観測点ZにS波が到達したのは、主要動の始まる11時55分20秒である。よって、この文は誤りである。

c 震度はその地点でのゆれの大きさを表すもので、震度0～7までの10段階で示される(震度5と6はそれぞれ強弱に分かれれる)。観測点Xの主要動のゆれの大きさが3地点の中で最も大きいことから、観測点Xの震度が最も大きかったと判断できる。よって、この文は正しい。

以上により、「誤・誤・正」の組合せである⑦が正解である。

1 …⑦

問2 震源が浅く、観測点と震源までの距離が比較的近い地震の場合、初期微動継続時間は震源距離に比例する。この比例関係を大森公式といい、震源距離をD(km)、初期微動継続時間をT(秒)、比例係数をkとすると、次のように表される。

## 【ポイント】

### 初期微動

地震の最初に観測される小さいゆれ。観測点にP波が到達してからS波が到達するまでの間のゆれである。

### 主要動

初期微動のあとに観測される大きなゆれ。

### 初期微動継続時間

初期微動が始まってから主要動が始まるまでの時間。

### 震度

観測点でのゆれの大きさを表す。震度0～7までの10段階で示される(震度5と6はそれぞれ強弱に分かれれる)。

### 大森公式

震源距離 D(km)と初期微動継続時間 T(秒)の関係を表す式。

$$D = kT \quad (k = 6 \sim 8 \text{ km/s})$$

$$D = kT$$

大森公式の比例係数  $k$  は大森定数といい、日本では  $6 \sim 8$  (km/s) 程度の値になる。本問では  $k = 7.5$  であり、問題の図 1 より、観測点 Z では初期微動継続時間は 10 秒であることから、Z から震源までの距離は、 $7.5 \times 10 = 75$  km である。P 波は 5 km/s で伝わることから、震源から 75 km 離れた地点までは、 $75 \div 5 = 15$  秒かかることになる。よって、地震が発生したのは、観測点 Z で初期微動が始まった 11 時 55 分 10 秒の 15 秒前となる。したがって、震源で地震が発生した時刻は、11 時 54 分 55 秒である。

[2] …④

問 3 ① 液状化現象は、水を含んだ砂の層が強い地震動によって液状になる現象である。液状化に伴って砂と水が地表に吹き出たり、地盤が沈下して建造物に被害をもたらしたりすることがある。砂を含んだやわらかい地層でできている埋立地などで発生しやすい。地震動が原因で発生するため、本震、余震にかかわらず、強いゆれによって生じる。したがって、この文は正しい。

② 地震による強いゆれは、建物の倒壊だけでなく、崖くずれ(山くずれ)や地すべりといった地形の変化をもたらすことがある。したがって、この文は正しい。

③ 海溝で発生した地震でも、地震の規模(マグニチュード)が大きければ建物の倒壊などが起こり、火災が発生することもあるため、この文は誤りである。

④ 地震のゆれの大きさは、地盤によっても異なる。埋立地などの軟弱な地盤ではかたい地盤と比べてゆれが大きくなりやすいため、この文は正しい。

[3] …③

## 第 2 問 岩石

堆積岩と統成作用に関する知識を問う問題とした。

問 1 表 2-1 におもな堆積岩の分類を示す。岩石が風化や侵食を受けてできた粒子を碎屑物といい、碎屑物が統成作用によって固結したものを碎屑岩という。碎屑物はその粒径によって、泥、砂、礫に分類され、統成作用を受けるとそれぞれ泥岩、砂岩、礫岩になる。表 2-1 にあるように、砂の粒径は  $\frac{1}{16}$  mm ( $0.0625$  mm) ~  $2$  mm である。よって、a と b が砂岩、c と d が礫岩であることがわかる。

[4] …⑥

### 液状化現象

水を含んだ砂の層が強い地震動によって液状になる現象。

### 碎屑物の粒径

泥： $\frac{1}{16}$  mm 以下

砂： $\frac{1}{16} \sim 2$  mm

礫：2 mm 以上

表2-1 堆積岩の分類

分類名	構成物	岩石の名称	
碎屑岩 (碎屑物)	岩石がくだ かれた破片 (碎屑物)	泥 → 泥岩 $\frac{1}{16}$ mm 砂 → 砂岩 2 mm 礫 → 矶岩	
	火山碎屑物 (火碎物)	火 山 灰 → 凝灰岩 2 mm 火山礫など → 凝灰角礫岩, 火山角礫岩	
		石 灰 質 (有孔虫, サンゴ,貝) ケイ酸質 (放散虫, ケイ藻) 植物遺体 → 石炭	
生物岩 い 遺 がい 骸	化学成分	NaCl (塩化ナトリウム) SiO <sub>2</sub> (二酸化ケイ素) CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム) CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O (硫酸カルシウム・2水和物)	岩 塩 チャート 石 灰 岩 せつ 石 こう 膏

問2 ① 続成作用とは、堆積物が堆積岩に変化する作用のことである。堆積物の上に堆積する地層の重みによって粒子の隙間にあった水がしぶり出されて緻密になったり、粒子の隙間に二酸化ケイ素や炭酸カルシウムなどの成分からなる鉱物が新たにできて粒子どうしが固着したりすることによって、堆積物はかたい岩石に変わる。したがって、この文が正しい。

② 粒子の隙間にある水が凍ると、岩石の物理的風化が進むため、堆積物の固結は起こらない。したがって、この文は誤りである。

③ 堆積物が完全に融けて液体になるということは、堆積物がマグマになるということである。マグマが冷えて固まった岩石は火成岩であるため、この文は誤りである。

④ マグマの熱によって鉱物の結晶構造が変化して緻密になるはたらきは、变成作用である。例えば、泥岩は接触变成作用を受けると、ホルンフェルスという緻密な岩石に変わるが、このような岩石は变成岩に分類されるため、この文は誤りである。

5 …①

問3 ① 浅い海底に堆積した碎屑物が地震などによって水と混合し、斜面に沿って流れ下る現象を乱泥流(混濁流)という。したがって、この文は正しい。

#### 続成作用

堆積物が固結して堆積岩になる作用のこと。隙間の水がしぶり出されたり、粒子間に新たな鉱物が形成されることによって起こる。

#### 接触变成作用

マグマの熱によって岩石が变成すること。

泥岩など → ホルンフェルス  
石灰岩 → 結晶質石灰岩(大理石)

② タービダイトは、乱泥流(混濁流)によって深海底に堆積した地層の名称である。タービダイトには級化層理(級化成層)がしばしば観察される(図2-1)。火碎流とは、高温の火山ガスと火山灰などが一体となって高速で山腹を流れ下る現象で、火碎流堆積物は火山碎屑岩に分類される。したがって、この文は誤りである。

③ 豪雨などによって水と砂礫が山の斜面を流れ下る現象を土石流という。したがって、この文は正しい。

④ クロスラミナ(斜交葉理)は、強い水流があるところや水流の向きや強さが変化する環境で堆積したときに、地層中にできる斜交した模様である(図2-2)。したがって、この文は正しい。

6 …②

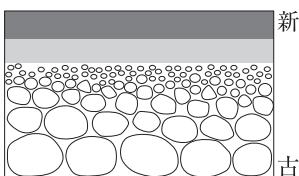


図2-1 級化層理(級化成層)

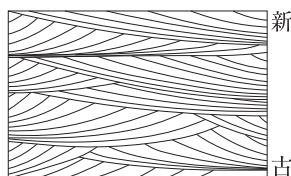


図2-2 クロスラミナ(斜交葉理)

### 第3問 地層と化石

地域の地質を考えるとき、化石や鍵層を利用して柱状図を読み解いていくことは重要である。今回は、有孔虫の化石から産出地域の地層と地質時代の対応関係を読み取る問題を出題した。

問1 有孔虫は、おもに海に生息する炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )の殻をもつ原生動物である。有孔虫などの微化石は、進化の速度が速く、進化の過程において形態上の変化が明瞭に認められる。また、有孔虫は大型の化石と比較して地層中から産出する個体数がはるかに多く、大型化石を含まない地層からも発見されることが多いため、地質時代の決定に役立つ示準化石(ア)として重要なである。

有孔虫は、内湾などの海底で生活しているもの(底生有孔虫)や、プランクトンとして広く外洋に漂って生活しているもの(浮遊性有孔虫)などがある。このように有孔虫は、種類の違いによって限られた環境で生息していたことから、地層が堆積した当時の環境を推定するのに役立つ示相化石(イ)としても重要なである。示相化石の他の例としては、造礁サンゴ(暖かく澄んだ浅い海)、シジミ(汽水)、直立樹幹化石(陸上)が重要である。

凝灰岩層や火山灰層は、火山の噴火によって短期間に広範囲に火山灰が堆積してきたものである。鉱物の組合せが他の地層と異なる場合が多く、色などが特徴的であるため、地層の対比に役立つ鍵層(ウ)として有効である。地層の対比とは、離れた2地点の地層が同じ年代のものであることを調べる作業をいい、鍵

#### 示準化石

- 地質時代の決定や地層の対比に役立つ化石。
- ・種の生存期間が短い(進化速度が速い)
  - ・広い地域から産出する
  - ・個体数が多い

#### 示相化石

- 地層が堆積した当時の環境を推定できる化石。
- ・限られた環境に生息
  - ・生息地で化石となる

#### 鍵層

- 地層の対比に役立つ地層。
- 例 凝灰岩層、火山灰層など

層を用いて行うことが多い。鍵層の他に地層の対比に利用されるものとして、示準化石を含む地層がある。層序とは、複数の地層が堆積した順序のことをいう。

7 ⋯②

問2 図3-1の紡錘虫(フズリナ)は、古生代石炭紀とペルム紀、図3-2のカヘイ石(ヌンミリテス)は、新生代古第三紀に繁栄した有孔虫の仲間で、示準化石として重要である。おもな示準化石を表3-1に示す。

8 ⋯⑥

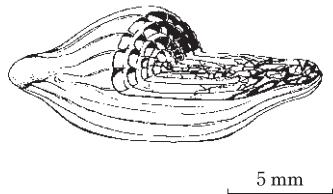


図3-1 紡錘虫

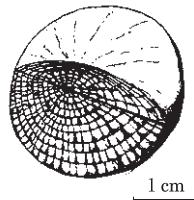


図3-2 カヘイ石

表3-1 おもな示準化石

			数値年代	
新生代	第四紀	オオツノジカ, ナウマンゾウ, マンモス	260万年前	
	新第三紀	デスマスチルス	6600万年前	
	古第三紀	カヘイ石		
中生代	白亜紀	イノセラムス	2.5億年前	
	ジュラ紀			
	三疊紀	モノチス		
古生代	ペルム紀	紡錘虫	5.4億年前	
	石炭紀			
	デボン紀			
	シルル紀	クサリサンゴ, ハチノスサンゴ		
	オルドビス紀	バージェス動物群 (アノマロカリスなど)		
	カンブリア紀			
先カンブリア時代		エディアカラ生物群 (約6億年前)	46億年前	

問3 地層累重の法則より、地層は下位から上位になるほど新しい。よって、A地域では地層Ⅰ → 地層Ⅱ → 地層Ⅲの順、B地域では地層Ⅳ → 地層Ⅴ → 地層Ⅵの順で堆積した。また、地層Ⅲおよび地層Ⅴに挟まれている凝灰岩層は同一の地層であること、地層Ⅵに有孔虫Yが産出することから、地層Ⅲと地層Ⅵはほぼ同じ年代(2000万年前後)に堆積したことがわかる。地層Ⅳは有孔

#### 地層累重の法則

地層は下位から上位に向かって堆積するため、上位の地層ほど新しい。

虫Xが産出することから、6000万～5000万年前に堆積したこと  
がわかる(図3-3)。

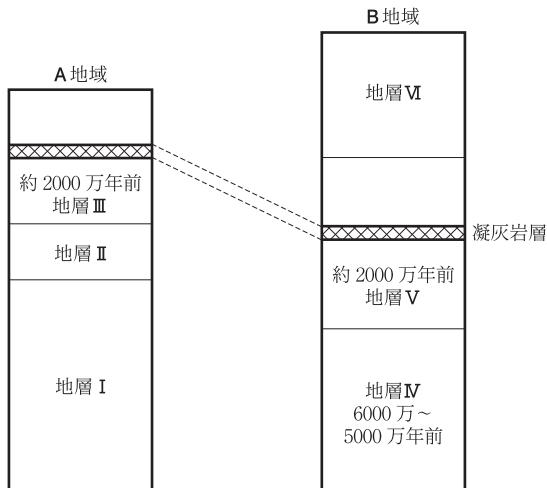


図3-3 地層と数値年代

① 地層Iは、地層III(2000万年前後)より古い時代に堆積した地層である。地層Iからは有孔虫Zが産出するが、有孔虫Zは長期間生息したもの(6500万～500万年前)であることから数値年代は決定できず、地層Iは6000万～5000万年前に堆積した可能性がある。したがって、この選択肢は誤りである。注意点として、6000万～5000万年前に生息していた有孔虫Xが地層Iから産出しないことから、この数値年代の堆積はありえないと判断しないようにする必要がある。問題文中でも記載したように、有孔虫は示相化石の側面ももっているため、地層Iの堆積環境が有孔虫Xの生息地域と異なっている場合、数値年代が同じであっても地層Iから有孔虫Xは産出しないことになる。

② 地層IIは、地層III(2000万年前後)より古く、地層VIは、地層V(2000万年前後)より新いため、地層IIは地層VIより古い数値年代に堆積したことになる。したがって、この選択肢は誤りである。同じ有孔虫Zが産出することから、同じ数値年代と判断しないようにしよう。

③ 不整合とは、地層の堆積が中断したり、侵食作用で地層の一部が失われたりした後、その上に新たな地層が堆積する不連続な地層の接し方をいう。地層IVは6000万～5000万年前に堆積し、地層Vは2000万年前後で堆積したことから、両地層の間には少なくとも3000万年間の堆積の中斷がある。したがって、地層IVと地層Vの接し方は不整合であるため、この選択肢は正しい。

一般に露頭における不整合の判定としては、次のものがある。  
ただし、すべての要素が満たされるとは限らない。

- ・基底礫岩の存在：不整合面の直上に、下位の地層に由来する礫

#### 不整合の判定

- ・基底礫岩が存在する。
- ・侵食面が存在する。
- ・上下の地層に時間的な隔たりがある。
- ・上下の地層の傾きが異なる。

岩が存在する。

- ・侵食面の存在：下位の地層や岩体を侵食した凹凸面上に上位の地層が堆積している。
- ・時間的間隙：かんげき 上下の地層に含まれる化石群の地質年代が異なる。
- ・堆積状態の変化：上下の地層の傾きが異なる。

④ **B** 地域の最も下位に存在する地層 **N** は、6000 万～5000 万年前に堆積している。**A** 地域の最も下位に存在する地層 **I** は、①でも解説したように 2000 万年前以前に堆積し、有孔虫 **Z** を産出することを考慮すると、6500 万～2000 万年前のいずれかの期間に堆積したことがわかる。これらのことから、地層 **I** と地層 **N** は新旧関係を決定することができず、地層 **I** は地層 **N** より古い可能性がある。したがって、この選択肢は誤りである。 **9** …③

#### 第4問 大気圏の構造

大気圧は上空に行くほど減少していくが、気温は上空に行くほど下がり続けていくわけではない。地球の大気圏は、鉛直方向の気温の変化に基づいて、対流圏・成層圏・中間圏・熱圏に分けられている。今回は、地球大気の組成や大気圧のほかに、オゾン層の破壊、大気の大循環について出題した。

問1 **ア** 地球大気の組成は、体積比で、窒素( $N_2$ )が約 78 %、酸素( $O_2$ )が約 21 %、アルゴン( $Ar$ )が約 0.93 %、二酸化炭素( $CO_2$ )が約 0.04 % である。これらの体積比は高度 80 km 程度まではほぼ一定である。このことは、大気がこの高度までよく混合されていることを示す。ただし、水蒸気( $H_2O$ )はほとんど対流圏内にしか存在せず、その体積比は時間や場所によって 0 ~ 4 % の間で変動するので、大気の組成について述べるときには乾燥した大気で考えるのが普通である。問題文の「ほとんど対流圏にしか存在しない」という語句から「水蒸気」が入ると判断してほしい。なお、ヘリウム( $He$ )の割合が増えるのは高度数百 km 以上であり、地球大気のずっと高層のところである。

**イ** 地表での平均的な大気圧は 1 気圧であり、1 気圧(1 atm)は約 1013 ヘクトパスカル hPa である。1 hPa = 100 Pa であるから、1 気圧は約 101300 Pa となる。天気予報などで地上天気図の気圧配置などを見たことがあるれば、日本付近の気圧が 1000 hPa 前後で変化していることがわかるはずである。

以上により、「水蒸気( $H_2O$ )」・「1013」の組合せである④が正解となる。 **10** …④

問2 20世紀後半から、フロンガスの排出によってオゾン層が破壊され、春の極域にはオゾンホールが出現するようになった。最近ではフロンガスの使用に規制がかけられているが、オゾン層がもとの状態に戻るまでには相当な時間がかかると考えられている。フロン(クロロフルオロカーボン類(略して CFCs)など)にはいろ

#### 水蒸気を除く地球大気の組成(体積比)

窒素( $N_2$ ) : 約 78 %

酸素( $O_2$ ) : 約 21 %

アルゴン( $Ar$ ) : 約 0.93 %

二酸化炭素( $CO_2$ ) : 約 0.04 %

#### 地球大気中の水蒸気

ほとんど対流圏内に存在する。

#### 地表での平均的な大気圧

1 気圧 ≈ 1013 hPa

いろいろ種類があるが、本問ではフロン 11(CFC-11)の分解を扱っている。成層圏内で太陽からの紫外線(ウ)を受けるとフロン分子は分解され、塩素(エ)原子が放出される。よって、ウには「紫外線」、エには「Cl(塩素)」が入り、②が正解となる。この塩素原子はオゾン分子( $O_3$ )と反応し、一酸化塩素(問題の図 1 中のエ原子と酸素原子が結合した分子)と酸素分子( $O_2$ )になる。この反応で生じた一酸化塩素は酸素原子(O)と反応して、塩素原子と酸素分子になる。結局、これらの反応で塩素原子はもとに戻ってしまい、成層圏内に残り続けることになるため、オゾン分子が破壊され続け、成層圏内のオゾン量が減少していくことになるのである。

**11** …②

問 3 次の図 4-1 は、大気の大循環を模式的に表したものである。赤道付近では地表付近で暖められた空気が上昇気流となり、熱帯収束帯が形成されている。ここで上昇した空気はより高緯度側へと移動していくが、緯度 30° 附近で地表付近に下降し、亜熱帯高圧帯を形成する。低緯度では、亜熱帯高圧帯から赤道へと向かう風が地球の自転の影響を受けて東寄りになり、貿易風(北半球の場合は北東貿易風)を形成する。低緯度域における鉛直方向の大気の循環がハドレー循環である。中緯度では、亜熱帯高圧帯から高緯度側へと向かう風が地球の自転の影響を受けて西寄りになり、偏西風を形成する。極域では、放射冷却によって下降気流が卓越しており、そこから低緯度側へと向かう風が地球の自転の影響を受けて東寄りになり、極偏東風を形成する。以上により、④が正解になる。なお、極偏東風と偏西風がぶつかる領域では寒帶前線帯が形成され、ここで温帯低気圧が発生しやすくなっている。

**12** …④

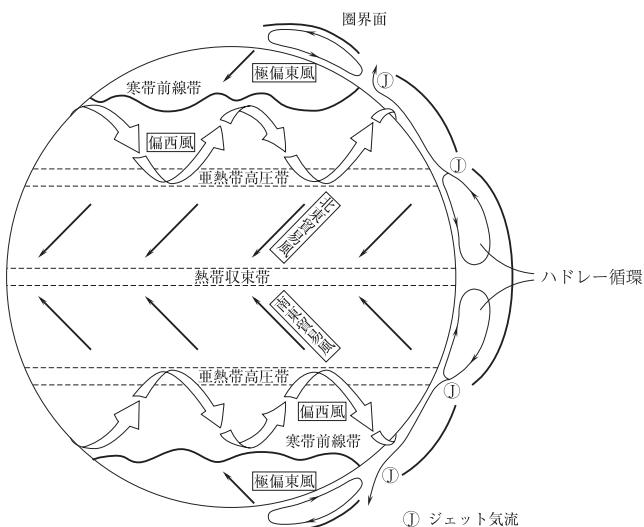


図 4-1 大気の大循環を表した模式図

### オゾンの分解

フロンが紫外線によって分解されて生じた塩素がオゾンを分解する。

### 地表付近の風系

高緯度：極偏東風

中緯度：偏西風

低緯度：貿易風

## 第5問 太陽

太陽は地球に最も近い恒星であり、太陽の観測を通じて恒星に関するさまざまな性質が理解されてきたが、今でもなお解明されていないことも存在する。今回は太陽に関する諸量、太陽の概観、太陽活動について出題した。

問1 **ア** 地球の平均密度は  $5.5 \text{ g/cm}^3$  で、太陽の平均密度は  $1.4 \text{ g/cm}^3$  であるから、太陽の平均密度は地球の約 4 分の 1、つまり、約 0.25 倍ということになる。体積は半径の 3 乗に比例し、平均密度は質量を体積で割れば求められるから、問題文に与えられた太陽と地球の質量の比と半径の比から、

$$\frac{330000}{(109)^3} = 0.254\cdots$$

と計算することでも平均密度の比が得られるが、太陽の平均密度が  $1 \text{ g/cm}^3$  程度であることは覚えておくべきであろう。

**イ** コロナは 100 万 K を超えており、水素やヘリウムは電離してイオンや電子として存在している。これらの粒子は加速され、宇宙空間に高速で流れ出している。このイオンや電子の高速の流れを太陽風という。太陽活動が活発になると太陽風も強くなり、地球に影響を及ぼし、例えば、高緯度域でオーロラが頻発するなどの現象が生じる。

以上により、「0.25」・「太陽風」の組合せである①が正解となる。

**13** …①

問2 太陽像の明るさは一様ではなく、中央部は明るいが、周辺部では少し暗く見える。この現象を周辺減光という。光球は厚さが数百 km の大気層であり、光球の深いところほど高温で、浅くなるほど低温になっている。図 5-1 は、周辺減光を説明した図である。太陽像の中央部では光球の高温の深いところ A' を、中央部から離れるほど低温の浅いところ B' を、周辺部ではさらに低温の浅いところ C' を見ていることにより、周辺減光が生じるのである。

光球の縁にいくほど暗くなる図は③と④であるが、④は光球の中心からすぐに急激に暗くなる状況を示しているので周辺減光を表してはいない。よって、③が正解である。

**14** …③

地球の平均密度

$5.5 \text{ g/cm}^3$

太陽の平均密度

$1.4 \text{ g/cm}^3$

コロナの温度

100 万 K 以上

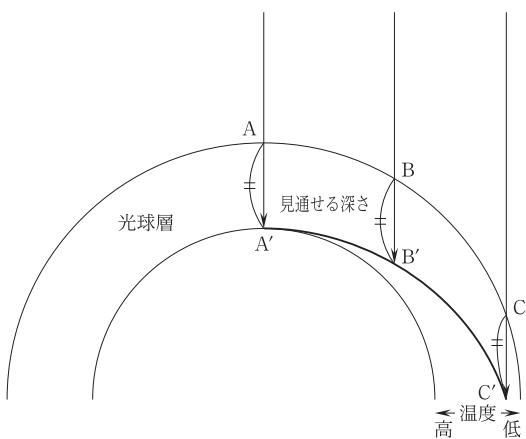
太陽風

コロナを源とする、高速の荷電粒子（イオンや電子）の流れ。

太陽活動が活発になると太陽風が強まり、地球ではオーロラが頻発する。

周辺減光

太陽像の周辺部が暗く見える現象。



光球層の厚さは誇張して描いてある。  
A—A', B—B', C—C' の長さは等しい。

図 5-1 周辺減光

**問3 a** 太陽表面に現れる黒点の数は増減を周期的にくり返している。黒点の数と太陽活動は関係があり、黒点の数が多いときは太陽活動が活発なときで、少ないときは太陽活動が静穏なときである。よって、**a**は誤りである。なお、太陽活動が活発になると太陽表面でフレアが頻繁に発生し、太陽風が強まる。

**b** 太陽表面に現れる黒点の動きから、太陽は地球から見て東から西へと自転していることがわかる。また、黒点の動きから太陽の自転周期が太陽面緯度(日面緯度)によって異なることがわかる。自転周期は、太陽面緯度の低緯度域では約 25 日、高緯度域では 30 日程度で、高緯度ほど長くなっている。太陽面緯度によって自転周期が異なるのは、太陽が固体ではなく気体でできているためである。よって、**b**は誤りである。

**c** 太陽のスペクトルを詳しく調べると、無数の暗い線が見られる。これを吸収線(暗線)といい、研究者の名前からフランホーファー線とも呼ばれる。これは、太陽大気中の原子やイオンがそれぞれ特定の波長の光を吸収するために生じる。よって、**c**は正しい。

以上により、「誤・誤・正」の組合せである⑦が正解となる。

15 ⋯⑦

#### 黒点の数と太陽活動

黒点の数が多いときは太陽活動が活発。

#### フレア

黒点付近の彩層やコロナの一部が急激に明るく輝く、太陽面の爆発現象。

#### 太陽の自転周期

太陽面緯度によって異なる。高緯度ほど自転周期は長い。

#### 太陽スペクトル中の吸収線

太陽大気の原子やイオンが特定の波長の光を吸収することによって生じる。

物 理

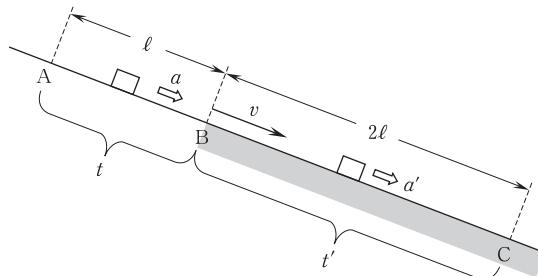
【解答・採点基準】 (100点満点)

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

## 【解説】

### 第1問 小問集合

問1 AB 間の距離を  $\ell$  とすると、BC 間の距離は  $2\ell$  になる。斜面に沿って下向きを正として、AB 間の加速度を  $a$ 、BC 間の加速度を  $a'$  とすると、小物体の運動の様子は次図のように表せる。ただし、 $t$  は AB 間を運動する時間であり、 $t'$  は BC 間を運動する時間である。また、点 B を通過するときの速さを  $v$  とする。



AB 間、BC 間に等加速度直線運動の公式を適用すると、

$$\text{AB 間: } v^2 - 0^2 = 2a\ell$$

$$\text{BC 間: } 0^2 - v^2 = 2a'\times 2\ell$$

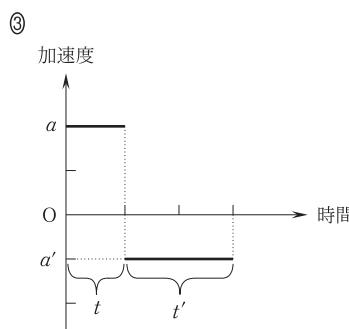
これら 2 式より、 $a' = -\frac{1}{2}a$  ( $a > 0$ ,  $a' < 0$ ) となる。さらに、

$$\text{AB 間: } v = at$$

$$\text{BC 間: } 0 = v + a't'$$

これら 2 式より、 $t' = \frac{a}{-a'}t = 2t$

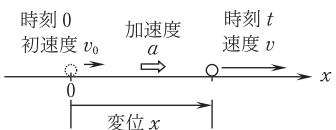
したがって、グラフは次図のようになる。



## 【ポイント】

物理

### 等加速度直線運動の公式



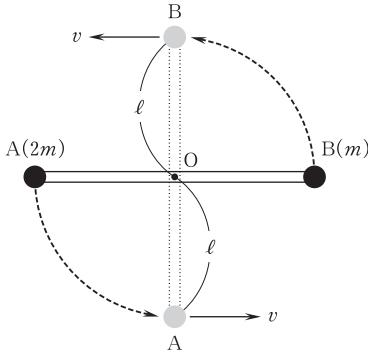
$$v = v_0 + at$$

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

$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$

1 の答 ③

問2 次図のように、Aが $\ell$ だけ下がり、Bが $\ell$ だけ上がる。



力学的エネルギー保存の法則より、A、B全体の位置エネルギーの減少はAとBの運動エネルギーの増加に等しい。求める速さを $v$ とすると、

$$(2m)g\ell - mg\ell = \frac{1}{2}(2m)v^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

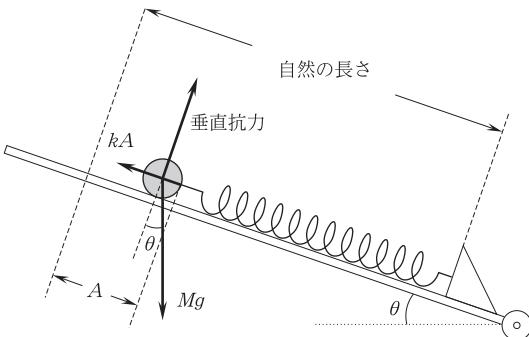
$$mg\ell = \frac{3}{2}mv^2 \quad \therefore v = \sqrt{\frac{2}{3}g\ell}$$

2 の答 ③

問3 单振動の振動中心はつりあいの位置になる。おもりの質量を $M$ 、ばね定数を $k$ 、重力加速度の大きさを $g$ とする。ばねの自然の長さから距離 $A$ だけ縮んだ位置が、おもりにはたらく力がつりあう位置とする。おもりには次図のように力がはたらく。斜面に平行な方向に関する力のつりあいより、

$$kA = Mg \sin \theta$$

$$\therefore A = \frac{Mg \sin \theta}{k}$$



題意より、自然の長さの位置が振動の上端になるから、振幅は $A$ になる。したがって、 $\theta$ が大きくなると $\sin \theta$ は増加するので、振幅は大きくなり ア、また、ばね振り子の周期の公式より、周期は $k$ と $M$ のみで決まるので、周期は変わらない イ。

3 の答 ②

問4 液体の密度を $\rho$ 、大気圧を $P_0$ 、重力加速度の大きさを $g$ とする。次図のように、液面から深さ $x$ における圧力を $P_x$ とする

#### 力学的エネルギー保存の法則

保存力以外の力がはたらかない場合、あるいは、保存力以外の力がした仕事が0の場合、力学的エネルギーが保存される。

#### ばね振り子の周期

$k$ : ばね定数

$m$ : 質量

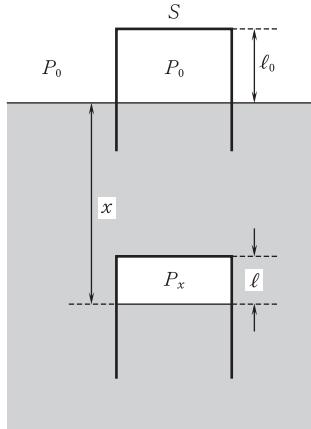
$T$ : 周期

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

と、

$$P_x = P_0 + \rho g x$$

である。これが容器内の空気の圧力に等しい。

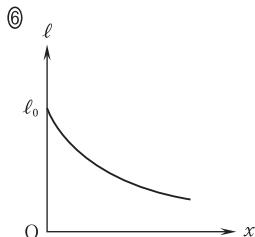


容器内の空気の温度は一定なので、ボイルの法則を満たしている。はじめのふたと容器内の液面との距離を \$\ell\_0\$、容器の断面積を \$S\$ とすると、ボイルの法則は、

$$P_0 S \ell_0 = P_x S \ell$$

$$\therefore \ell = \frac{P_0}{P_x} \ell_0 = \frac{P_0}{P_0 + \rho g x} \ell_0$$

したがって、\$\ell - x\$ グラフは次図のようになる。



⑥ の答 ⑥

問5 次図のように、問題の図5より、時刻 \$t = \frac{T}{8}\$ での原点Oの変位は最小（谷）になることがわかる。したがって、原点Oでの変位が最小（谷）のグラフを選べばよい。

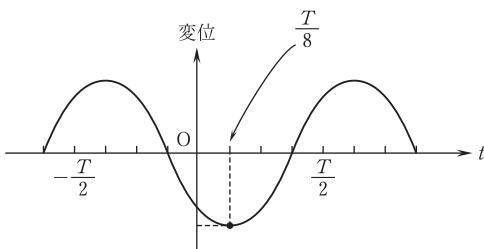
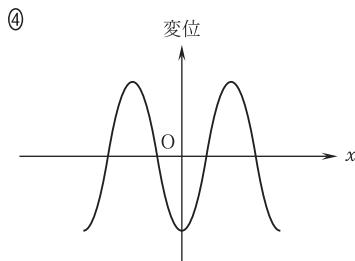


図5

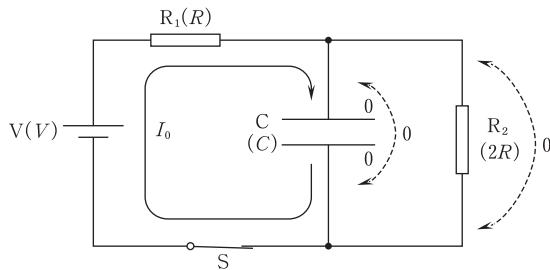
#### ボイルの法則

一定質量の理想気体の場合、温度が一定のとき、(圧力) × (体積) = (一定) が成立立つ。



5 の答 ④

問6 スイッチを閉じた直後の電流は次図のようになる。

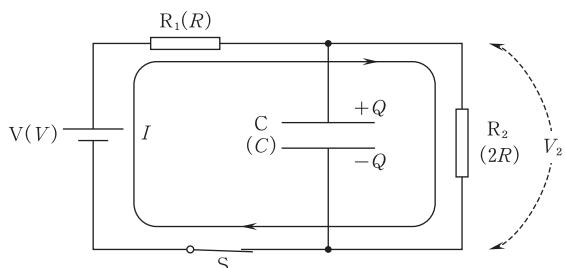


コンデンサーに電荷は蓄えられていないので、コンデンサーの電圧は0である。また、コンデンサーと抵抗 $R_2$ は並列で電圧は等しいから $R_2$ には電流は流れない（もし、流れるとすると、 $R_2$ に電圧が生じてしまいコンデンサーの電圧0と矛盾する）。このとき、コンデンサーは抵抗0の導線とみなせる。回路に流れる電流を $I_0$ とすると、キルヒ霍フの法則より、

$$V = RI_0 + 0 \quad \therefore I_0 = \frac{V}{R}$$

この後コンデンサーは充電されていく。

スイッチを閉じて十分に時間が経過した状態の電流は次図のようになる。



充電が完了てしまっているのでコンデンサーには電流は流れない。このとき、回路を流れる電流は  $I = \frac{V}{3R}$  になる。また、コンデンサーと抵抗 $R_2$ は並列だから電圧は等しく、その電圧を $V_2$ とすると、

$$V_2 = 2RI = \frac{2}{3}V$$

したがって、コンデンサーに蓄えられる電荷は、

キルヒ霍フの法則

（起電力の和）

=（抵抗やコンデンサーの電圧の和）

$$Q = CV_2 = \frac{2}{3}CV$$

である。

6 の答 ⑦

## 第2問 力積と運動量

A

問1 壁はなめらかなので、衝突の際に小球は壁から垂直抗力しか受けない。したがって、小球が受ける垂直抗力による力積は水平方向右向きである。

7 の答 ③

(参考) 少し詳しく考察すると以下のようになる。

点Aでの初速度を成分に分けて、水平成分の大きさを $v_x$ 、鉛直成分の大きさを $v_y$ とする( $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ )。次図のように、点Bへの衝突直前の速度を $\vec{v}_B$ 、衝突直後の速度を $\vec{v}'_B$ とする。壁はなめらかだから、速度の壁に沿った成分の大きさ( $\vec{v}_B$ と $\vec{v}'_B$ の鉛直成分)は、衝突によって変化することはない。一方、小球は衝突の際に壁から垂直抗力による力積を受ける。したがって、速度の壁に垂直な成分( $\vec{v}_B$ と $\vec{v}'_B$ の水平成分)に関しては、速さ $v_x$ で衝突し、速さ $ev_x$ ではねかえることになる。

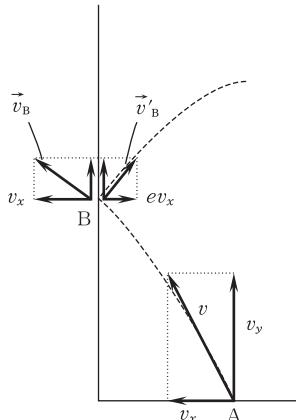
### 力積

$F$ : 物体にはたらく力

$t$ : 力がはたらいた時間

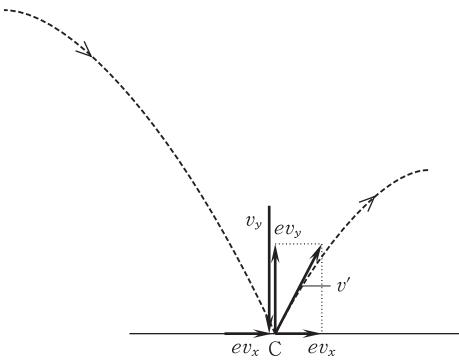
$I$ : 力積

$$I = Ft$$



問2 壁面の点Bに衝突した後、小球の水平方向の運動は速さ $ev_x$ の等速運動になる。床はなめらかなので、次図のように、床面の点Cに衝突直後の速度の水平成分は、衝突直前と変化することはなく $ev_x$ のままである。また、なめらかな壁面の点Bでの衝突において、速度の鉛直成分は変化しないので、小球の点Aから点Cまでの鉛直方向の運動に関しては、速さ $v_y$ で鉛直に投げ上げた運動に等しい。このことから、点Cに衝突直前の速度の鉛直成分の大きさは、点Aの初速度の鉛直成分の大きさ $v_y$ に等しい。したがって、点Cでの衝突直後の速度の鉛直成分の大きさは $ev_y$ になる。衝突直後の速さを $v'$ とすると、

$$v' = \sqrt{(ev_x)^2 + (ev_y)^2} = e\sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \underline{ev}$$



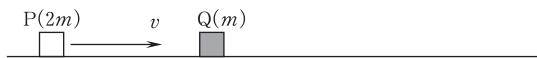
8 の答 ⑥

B

問3 次図のように、衝突前のPの速さを $v$ とすると、運動量保存の法則より、

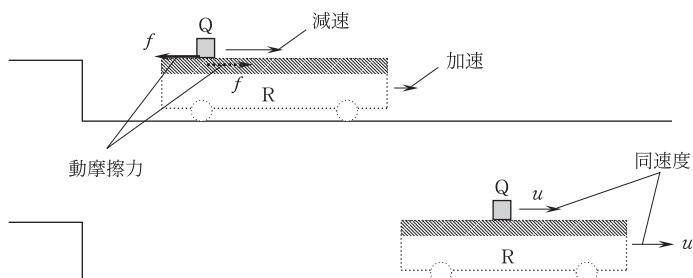
$$(2m)v = (2m)\frac{1}{2}v_0 + mv_0$$

したがって、 $v = v_0$



9 の答 ④

問4 台車Rと小物体Qの運動は次図のようになる。Qに注目したいので、Rは点線で描いてある。



作用・反作用の法則より、小物体Qは動摩擦力によって減速され、逆に台車Rは加速される。台車Rの速さが小物体Qの速さに等しくなる(同速度)と動摩擦力は生じなくなり、その後はそのときの速度で等速度運動するようになる。力積と運動量変化の関係より、小物体Qが台車R上をすべり出してから、R上で静止するまでの時間を $t$ とすると、右向きを正として、

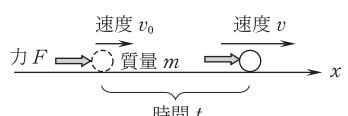
#### 運動量保存の法則

外力がはたらかないとき、運動量の和は保存される。

#### 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、2 物体に互いに逆向きにはたらく。

#### 力積と運動量変化



$$Ft = mv - mv_0$$

$$-ft = mu - mv_0 \quad \cdots \textcircled{1}$$

となる。したがって、 $t = \frac{m(v_0 - u)}{f}$

10 の答 ③

(参考) 台車 R が動摩擦力から受けた力積と運動量の関係は、R の質量を M とすると、

$$ft = Mu - 0 \quad \cdots \textcircled{2}$$

となる。小物体 Q と台車 R に関する力積と運動量の関係式①と②を足し合わせると、

$$0 = mu - mv_0 + Mu \quad \therefore \quad mv_0 = (m+M)u$$

となり、運動量保存の法則を表す。

問 5 運動量保存の法則より、

$$mv_0 = (m+M)u = (m+M)\frac{1}{3}v_0$$

となる。したがって、 $M = 2m$

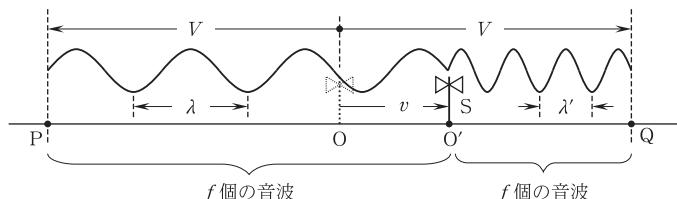
11 の答 ⑥

### 第3問 ドップラー効果、光波の屈折・全反射

A

問 1 音源が運動しても(地面に対する)音速は変わらないが、運動する音源から出た音波の波長は、伝わる方向によって変化する。単位時間に音源 S から出た音波を考える。次図のように、S は単位時間に O から O' (O'O=v) まで動く。また、音波は単位時間に O から P, Q (OP=OQ=V) まで達する。この間、S の振動数は f だから、O'P 間 ( $O'P=V+v$ ) と O'Q 間 ( $O'Q=V-v$ ) には、1 波長分の音波を 1 個と考えると、f 個の音波が存在する。S の動く向きと逆向き ( $O' \rightarrow P$ ) に伝わる音波の波長を  $\lambda$ 、同じ向き ( $O' \rightarrow Q$ ) に伝わる音波の波長を  $\lambda'$  とすると、

$$\lambda = \frac{V+v}{f}, \quad \lambda' = \frac{V-v}{f}$$

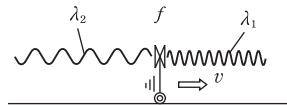


観測者 A は音源 S の運動する向きと逆向きの位置にいるので、A の方向に伝わる音波の波長は  $\lambda = \frac{V+v}{f}$  である。

12 の答 ⑥

問 2  $t=t_0$  に音源 S から出た音を、観測者 B が聞く時刻を  $t=t'$  とする。この間の S と B の位置関係は次図のようになる。時刻  $t=t_0$  が上段の図で時刻  $t=t'$  が下段の図である。この間の時間

運動する音源から出た音波の波長



$f$ : 音源の振動数

$V$ : 音波の速度

$v$ : 音源の速度

$\lambda_1$ : 前方での波長

$\lambda_2$ : 後方での波長

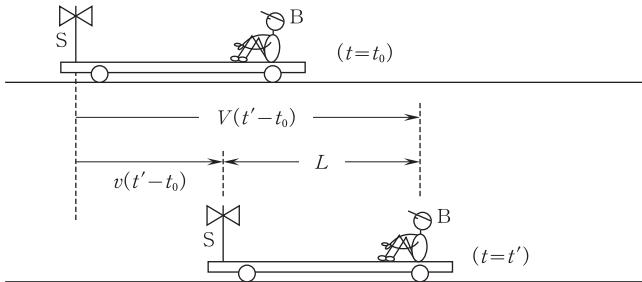
$$\lambda_1 = \frac{V-v}{f}, \quad \lambda_2 = \frac{V+v}{f}$$

$t' - t_0$  に音波が進む距離が  $V(t' - t_0)$ , また, この間に S が進む距離が  $v(t' - t_0)$  である。これらの差が SB 間の距離  $L$  に等しいから,

$$L = V(t' - t_0) - v(t' - t_0) = (V - v)(t' - t_0)$$

$$\text{したがって, } t' = t_0 + \frac{L}{V-v}$$

13 の答 ④



音波の地面に対する速さは  $V$ , B の地面に対する速さは  $v$  だから, 台車上での B に対する音速は  $V - v$  になることから求めてもよい。

問 3 観測者 B は音源 S の運動する向きにいるので, 波長は  $\lambda' = \frac{V-v}{f}$  になる。また, 動いている B に対する音速は  $V - v$  になるから, B が聞く音の振動数を  $f_B$  とすると, 波の速さの式より,  $f_B = \frac{V-v}{\lambda'} = f$

14 の答 ③

ドップラー効果の公式から次のように求めてよい。

$$f_B = \frac{V-v}{V-v} f = f$$

このように, 音源と観測者が同じ速度で運動する場合, 振動数は変化しない。

B

問 4 屈折の法則より, 入射角は  $i$ , 屈折角は  $r$  になるから,

$$n \sin i = \sin r$$

$$\therefore \sin i = \frac{1}{n} \sin r$$

15 の答 ①

問 5 小物体を B 端に近づけると入射角  $i$  が減少するため, 屈折の法則より, 屈折角  $r$  も減少する。したがって, 小物体を見るためには, 水平方向に A 端に近い位置 にまで移動しなくてはいけない。小物体が B 端にごく近い位置にあるとき, 小物体の真上に近い位置から見る。次図のように, B 端から小物体までの距離を  $x$ , 小物体が見える水面からの深さを  $d'$  とすると,

波の速さの式

$V$ : 波の速さ

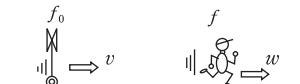
$f$ : 振動数

$\lambda$ : 波長

$T$ : 周期

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

ドップラー効果の公式



$V$ : 音波の速さ

$w$ : 観測者の速度

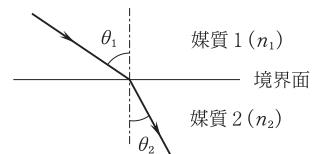
$v$ : 音源の速度

$f_0$ : 音源の振動数

$f$ : 観測者の聞く振動数

$$f = \frac{V-w}{V-v} f_0$$

屈折の法則



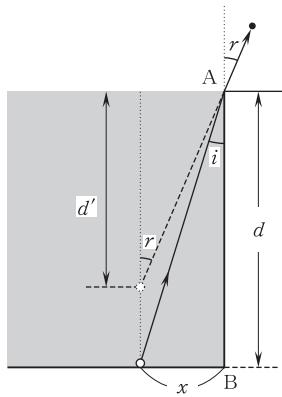
$\theta_1$ : 媒質 1 (絶対屈折率  $n_1$ ) での入射角

$\theta_2$ : 媒質 2 (絶対屈折率  $n_2$ ) での屈折角

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

あるいは,

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



$$x = d \tan i = d' \tan r$$

$$d' = \frac{\tan i}{\tan r} d$$

ここで、小物体は B 端にごく近い位置にあるから  $x$  は非常に小さく、 $i$  と  $r$  は微小なので、

$$\tan i \approx \sin i, \tan r \approx \sin r$$

と近似できるから、

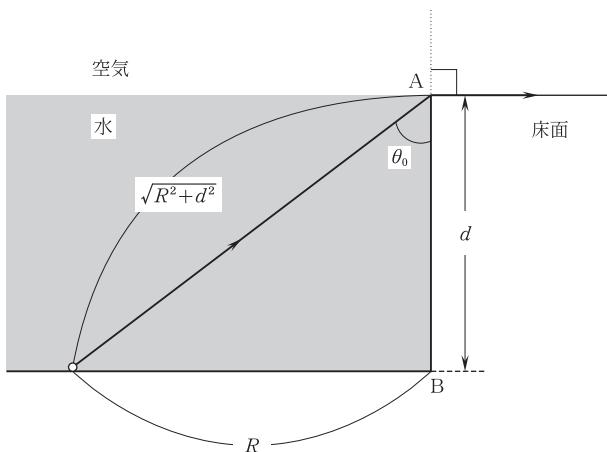
$$d' = \frac{\tan i}{\tan r} d \approx \frac{\sin i}{\sin r} d$$

また、問 4 より、 $\sin i = \frac{1}{n} \sin r$

したがって、小物体は  $d' = \frac{d}{n}$  の位置まで浮き上がって見える。

#### 16 の答 ④

問 6 次図のように、小物体から出た光が A 端を通過するとき、A での入射角が臨界角になればよい。

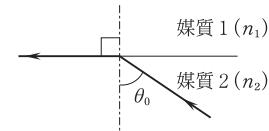


臨界角を  $\theta_0$  とすると、

$$\sin \theta_0 = \frac{1}{n}$$

また、このときの小物体から B 端までの距離を  $R$  とすると、

#### 臨界角



$\theta_0$  : 臨界角

$$\sin \theta_0 = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{ただし, } n_1 < n_2)$$

$$\sin \theta_0 = \frac{R}{\sqrt{R^2 + d^2}}$$

したがって、

$$\frac{1}{n} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + d^2}}$$

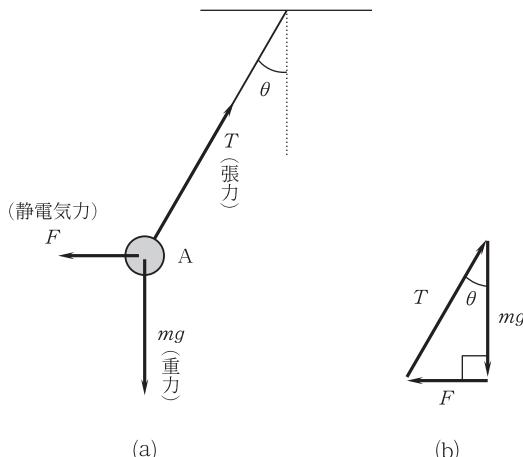
$$\therefore R = \frac{d}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

17 の答 ②

#### 第4問 クーロンの法則、電位

A

問1 次図(a)は金属球Aにはたらく力を表す。この場合、平面内でつりあう3力は次図(b)のような直角三角形になる。



#### 平面内でつりあう3力

互いに平行でなく、平面内でつりあう3力は三角形をつくる。物体に3力より多くの力がはたらいてつりあっているとき、それらの力(ベクトル)は多角形をつくる。

問2 金属球Bを遠ざけると、クーロンの法則より静電気力の大きさFが減少する。 $mg$ は一定だから、問1より  $\tan \theta$ は小さくなる。 $0 < \theta < 90^\circ$ だから、はじめのつりあう角度  $\theta$ より小さくなる。 $0 < \theta < 90^\circ$ の範囲では  $\theta$ が小さくなれば、 $\cos \theta$ は大きくなるので、張力の大きさTは小さくなるア。これらのこととは前図(b)の力の直角三角形の図からも明らかである。

18 の答 ⑥

また、張力の大きさは  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$  になる。

#### クーロンの法則

$q, Q$ : 二つの点電荷の電荷の大きさ

$r$ : 二つの点電荷間の距離

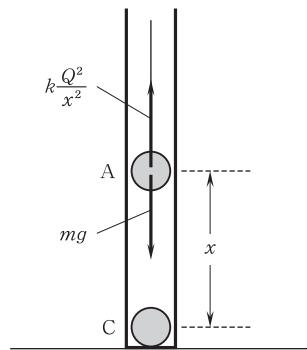
$k$ : クーロンの法則の比例定数

$F$ : 静電気力の大きさ

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

19 の答 ⑦

問3 張力が0のとき、金属球Aにはたらく力は次図のようになる。



クーロンの法則より、静電気力の大きさは  $k\frac{Q^2}{x^2}$  になるので、

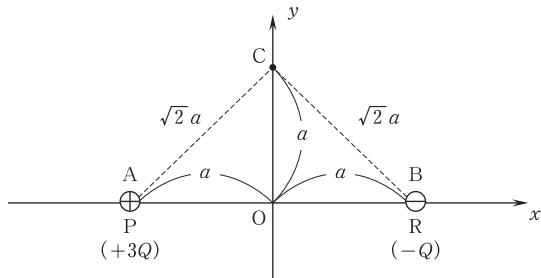
$$\text{力のつりあいより}, k\frac{Q^2}{x^2} = mg \quad \therefore x = Q\sqrt{\frac{k}{mg}}$$

[20] の答 ②

B

問4 点電荷P, Rから点Cまでの、それぞれの距離は

$$AC = BC = \sqrt{2}a \text{ である。}$$



点Cの電位は二つの点電荷による電位の和になる。点Cの電位を  $V_C$  とすると、

$$V_C = k\frac{3Q}{\sqrt{2}a} + k\frac{(-Q)}{\sqrt{2}a} = \frac{2kQ}{\sqrt{2}a} = \frac{\sqrt{2}kQ}{a}$$

[21] の答 ⑥

問5 正電荷P(+3Q)による点Bの電位は  $V_B = k\frac{3Q}{2a}$  である。

負電荷R(-Q)に蓄えられた静電気力による位置エネルギーは、

$$U_B = -QV_B = -\frac{3kQ^2}{2a}$$

である。また、無限遠で電位0だから、無限遠での位置エネルギーは  $U_\infty = 0$  である。

点電荷による電位

$Q$ : 電荷(符号を含む)

$r$ : 点電荷からの距離

$V$ : 電位

$k$ : クーロンの法則の比例定数

$$V = k\frac{Q}{r}$$

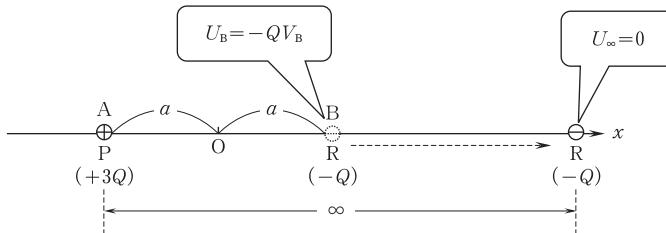
静電気力による位置エネルギー

$q$ : 電荷(符号を含む)

$V$ : 電位

$U$ : 位置エネルギー

$$U = qV$$



したがって、位置エネルギーと仕事の関係より、Rを点Bから無限遠まで運ぶのに必要な外力の仕事Wは、

$$W = U_\infty - U_B = \frac{3kQ^2}{2a}$$

22 の答 ④

位置エネルギーと仕事

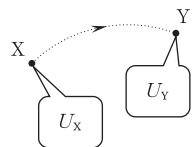
$U_x$ : 点Xでの位置エネルギー

$U_y$ : 点Yでの位置エネルギー

$W$ : 点Xから点Yまでゆっくり運ぶ

ときの外力の仕事

$$W = U_y - U_x$$



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

化  
学

## 【解説】

### 第1問 結晶, 気体, 気液平衡, 溶液

#### 問1 結晶の分類, 気体の密度

a 非金属元素の原子が多数、次々と共有結合によって結びついてできた結晶を、共有結合の結晶といい、⑩ケイ素が該当する。ケイ素のほかに、ダイヤモンド、黒鉛、二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$ (水晶、石英)などが共有結合の結晶に分類される。なお、①塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$ 、⑥酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$ はイオン結晶、②水  $\text{H}_2\text{O}$ (氷)、④二酸化炭素  $\text{CO}_2$ (ドライアイス)は分子結晶、⑤亜鉛  $\text{Zn}$ は金属結晶に分類される。

1 …③

b 同温・同圧において、気体の密度は分子量に比例する。窒素および①～⑥の気体の分子量は、

窒素  $\text{N}_2$  : 28, ①メタン  $\text{CH}_4$  : 16, ②酸素  $\text{O}_2$  : 32,

③二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  : 64, ④アルゴン  $\text{Ar}$  : 40,

⑤塩素  $\text{Cl}_2$  : 71, ⑥塩化水素  $\text{HCl}$  : 36.5

であり、分子量が窒素より小さい①メタンが正解である。

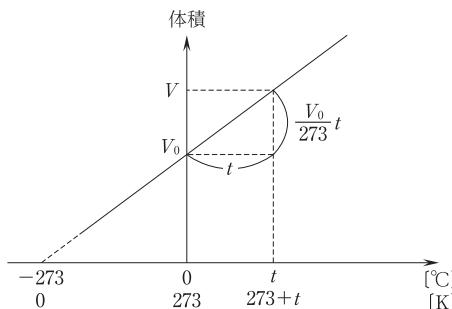
2 …①

#### 問2 気体の法則

圧力が一定のとき、一定物質量の気体の体積は、温度が1K上昇するごとに、0°Cのときの体積の  $\frac{1}{273}$  ずつ増加する。これは発見者の名前をとって、シャルルの法則とよばれる。

なお、シャルルの法則によると、0°Cのとき体積  $V_0$  の気体を、圧力一定で温度を  $t$  [°C]にしたときの体積  $V$  は(1)式で表される。

$$V = V_0 + V_0 \times \frac{t}{273} \quad \cdots(1)$$



また、(1)式において絶対温度を  $T$  [K]とすると、 $T = 273 + t$  から、(2)式が得られる。

$$V = V_0 \times \frac{273 + t}{273} = V_0 \times \frac{T}{273} \quad \cdots(2)$$

(2)式は、圧力一定の場合、一定物質量の気体の体積は、絶対温度に比例することを示している。

## 【ポイント】

### 結晶の分類と性質

**共有結合の結晶** 原子が共有結合によって次々と結びついた結晶。

**イオン結晶** 陽イオンと陰イオンがイオン結合で結びついた結晶。

**分子結晶** 分子が分子間力(ファンデルワールス力や水素結合)で結びついた結晶。

**金属結晶** 金属原子が自由電子による金属結合で結びついた結晶。

### 気体の分子量と密度

モル質量  $M$  [g/mol] の気体の質量を  $w$  [g] とすると、気体の状態方程式から、

$$pV = \frac{w}{M} RT$$

気体の密度を  $\rho$  [g/L] とすると、

$$\rho = \frac{w}{V} = M \times \frac{p}{RT}$$

### 気体の法則

一定物質量の気体において、

**ボイルの法則** 温度一定では、気体の体積  $V$  は圧力  $p$  に反比例する。

$$pV = \text{一定}$$

**シャルルの法則** 圧力一定では、気体の体積  $V$  は絶対温度  $T$  に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

**ボイル・シャルルの法則** 気体の体積  $V$  は、圧力  $p$  に反比例し、絶対温度  $T$  に比例する。

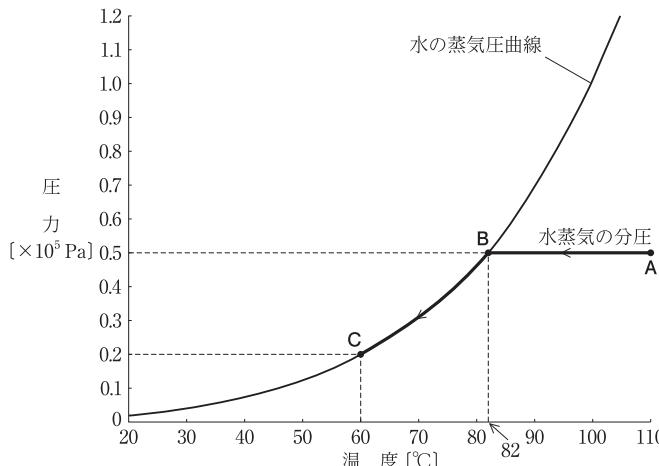
$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$

### 問3 混合気体、気液平衡

a 混合気体では、各成分気体の分圧の比と物質量の比は等しく、「分圧 = 全圧 × モル分率」の関係がある。水蒸気の分圧を  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  とすると、水がすべて気体であるとしたとき、

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times \frac{0.10 \text{ mol}}{0.10 \text{ mol} + 0.10 \text{ mol}} = 5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

110°C,  $5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$  は下図の A 点である。その温度における飽和蒸気圧が  $5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$  以上の領域(A点からB点)では、水はすべて気体として存在する。全圧一定で温度を下げているので、水がすべて気体として存在する領域では、水蒸気の分圧は  $5.0 \times 10^4 \text{ Pa}$  で一定である。図の B 点で容器内の水蒸気の分圧と飽和蒸気圧が等しくなり、水の凝縮が始まる。B点の温度は図より 82°C と読み取れる。



4 ⋯④

b B点からさらに温度を下げると、水の凝縮が進む。したがって、60°Cで水は気液平衡の状態にあり、水蒸気の分圧は、60°Cの飽和蒸気圧に等しい。図1より、60°Cの飽和蒸気圧は  $(0.20 \times 10^5 = ) 2.0 \times 10^4 \text{ Pa}$  である。全圧が  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  であることから、窒素の分圧は、

$$1.0 \times 10^5 \text{ Pa} - 2.0 \times 10^4 \text{ Pa} = 8.0 \times 10^4 \text{ Pa}$$

容器の容積を  $V [\text{L}]$  とすると、窒素について気体の状態方程式  $pV = nRT$  から、

$$\begin{aligned} V &= \frac{0.10 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 60) \text{ K}}{8.0 \times 10^4 \text{ Pa}} \\ &= 3.45 \text{ L} \approx 3.5 \text{ L} \end{aligned}$$

なお、60°Cで液体の水が存在するが、水がすべて液体となっても  $1.8 \text{ g} (= 18 \text{ g/mol} \times 0.10 \text{ mol})$  で、実際は一部が気体になっていることから、液体の水の体積は、容器内の気体の体積に比べて非常に小さく、無視できる。

5 ⋯②

### 混合気体の圧力

**全圧** 混合気体全体が示す圧力。

**分圧** 成分気体が単独で、混合気体と

同じ体積を占めたときの圧力。

・全圧 = 分圧の総和(ドルトンの分圧

の法則)

・分圧の比 = 物質量の比

### モル分率と分圧

**モル分率** 混合気体の全物質量に対する成分気体の物質量の割合。

**分圧 = 全圧 × モル分率**

例 気体A  $n_A$  [mol], 分圧  $p_A$  [Pa]

気体B  $n_B$  [mol], 分圧  $p_B$  [Pa]

全圧  $p$  [Pa] とすると、

$$p_A = p \times \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

$$p_B = p \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

### 気液平衡

液体物質を密閉容器に入れて放置したとき、単位時間当たりに「蒸発する分子の数 = 凝縮する分子の数」となった状態。

### 飽和蒸気圧

液体と蒸気が共存し、気液平衡となつたとき蒸気が示す圧力。蒸気の圧力がその温度の飽和蒸気圧を超えることはない。

### 蒸気圧曲線

飽和蒸気圧は、温度が高くなるほど大きくなる。飽和蒸気圧と温度の関係をグラフで表した曲線を蒸気圧曲線という。

### 理想気体の状態方程式

理想気体では次の関係が成り立つ。

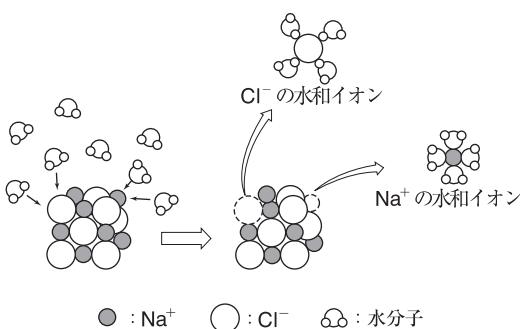
$$pV = nRT$$

( $p$ : 圧力,  $V$ : 体積,  $n$ : 物質量,

$T$ : 絶対温度,  $R$ : 気体定数)

#### 問4 溶液、溶解度

① 正しい。水溶液中では、塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  はナトリウムイオン  $\text{Na}^+$  と塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  に電離し、それぞれのイオンは水分子に取り囲まれた水和イオンになっている。水分子は極性分子であり、電気陰性度の大きい O 原子がいくらか負の電荷、H 原子はいくらか正の電荷を帶びている。したがって、 $\text{Na}^+$  には水分子の O 原子が静電気力で引きつけられ、 $\text{Na}^+$  の水和イオンをつくっている。なお、 $\text{Cl}^-$  には水分子の H 原子が静電気力で引きつけられ、 $\text{Cl}^-$  の水和イオンをつくっている。



② 正しい。無極性分子であるヨウ素  $\text{I}_2$  は、極性分子である水分子と引き合う力が弱いので、水和が起こりにくく、水にはほとんど溶けない。一方、無極性溶媒であるヘキサン  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  には、ヨウ素分子が溶媒和されるので、よく溶ける。一般に、極性の大きい物質どうし、極性の小さい物質どうしは溶け合って溶液をつくりやすい。

③ 正しい。硝酸カリウム  $\text{KNO}_3$  など固体物質の多くは、温度が高くなると溶解度が大きくなる。ただし、水酸化カルシウム  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  のように、温度が高くなると溶解度が減少する物質もまれに存在する。

④ 正しい。一定量の水に溶ける酸素などの気体の物質量は、一般に温度が上昇すると減少する。これは、温度が高くなると、分子の熱運動が激しくなり、気体として溶液中から飛び出しやすくなるためである。

⑤ 誤り。一定量の水に溶ける酸素などの気体の物質量は、圧力が高いほど増加する。これは、溶液に飛び込む気体分子の数が多くなるためである。したがって、「圧力によらず一定」としたこの選択肢が誤りである。

6 …⑥

#### 水和

水溶液中で、溶質粒子が水分子と結びつく現象を水和といい、水和しているイオンを水和イオンという。

#### 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、F が最大で、次に O が大きい。

#### 溶媒和

溶液中で、溶質粒子が溶媒分子にとり囲まれて結びつく現象。

#### 気体の溶解度

温度が低く、圧力が高いほど、気体の溶解度(質量・物質量)は増加する。

溶解度の小さい気体では、溶解度(質量・物質量)は液体に接している気体の圧力に比例する(ヘンリーの法則)。

## 問5 沸点上昇

溶質が非電解質の場合、その希薄溶液の沸点上昇度  $\Delta t$  [K] は、溶質の種類に関係なく、その溶液の質量モル濃度  $m$  [mol/kg] に比例する。一方、溶質が電解質の場合、その希薄溶液の沸点上昇度は、電離して生じるすべての溶質粒子の質量モル濃度に比例する。

水溶液 A 塩化ナトリウム  $\text{NaCl}$  (58.5 g/mol) は水溶液中で完全に電離している。



すべての溶質粒子 ( $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$ ) の質量モル濃度は、

$$\frac{5.85}{58.5} \text{ mol} \times \frac{1}{1.0 \text{ kg}} \times 2 = 0.20 \text{ mol/kg}$$

沸点上昇度は、

$$100.104 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C} = 0.104 \text{ K}$$

水溶液 B 非電解質の分子量を  $M$  とすると、質量モル濃度は、

$$\frac{4.5 \text{ g}}{M \text{ [g/mol]}} \times \frac{1}{0.500 \text{ kg}} = \frac{9.0}{M} \text{ [mol/kg]}$$

沸点上昇度は、

$$100.078 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C} = 0.078 \text{ K}$$

ともに溶媒は水なので、沸点上昇度と溶質粒子の総質量モル濃度は比例する。

$$0.104 \text{ K} : 0.078 \text{ K} = 0.20 \text{ mol/kg} : \frac{9.0}{M} \text{ [mol/kg]}$$

$$M = 60$$

なお、水のモル沸点上昇を  $K_b$  [K·kg/mol] として、次の解法もある。

水溶液 A の沸点上昇度について、

$$0.104 \text{ K} = K_b \text{ [K·kg/mol]} \times 0.20 \text{ mol/kg}$$

$$K_b = 0.52 \text{ K·kg/mol}$$

この値を用いて、水溶液 B の沸点上昇度について、

$$0.078 \text{ K} = 0.52 \text{ K·kg/mol} \times \frac{9.0}{M} \text{ [mol/kg]}$$

$$M = 60$$

7 …②

## 問6 イオン結晶の構造と組成式

原子 A の陽イオン (○) は、面心立方格子の配列をとっている。頂点に位置するイオンは  $\frac{1}{8}$  個、面の中心に位置するイオンは  $\frac{1}{2}$  個がこの単位格子に含まれるので、単位格子中に含まれる A の陽イオンの総数は、

$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$$

原子 B の陰イオン (●) は、単位格子を 8 等分してできた小立方体の中心に 1 個ずつ含まれるので、単位格子中に含まれる B の陰

### 質量モル濃度

溶媒 1 kg 当たりに溶けている溶質の量を物質量で表した濃度。単位記号には mol/kg を用いる。

### 沸点上昇度

非電解質の希薄溶液では、質量モル濃度を  $m$  [mol/kg]、沸点上昇度を  $\Delta t$  [K] とすると、

$$\Delta t = K_b m$$

( $K_b$  : 溶媒の種類で決まる比例定数で、モル沸点上昇という。)

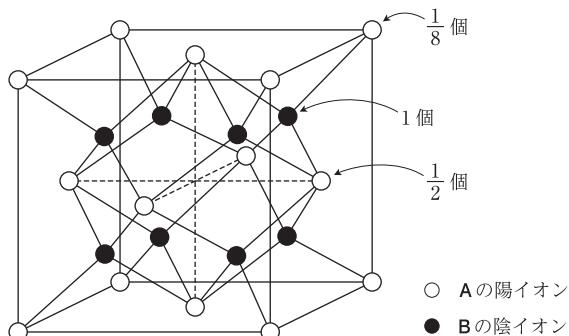
7

### 単位格子

結晶中の粒子の空間的な配列構造を結晶格子といい、結晶格子の最小限のくり返し単位を単位格子という。

イオンの総数は、

$$1 \times 8 = 8$$



この化合物を構成する**A**の陽イオンと**B**の陰イオンの個数の比(**A** : **B**)は、

$$4 : 8 = 1 : 2$$

したがって、組成式は④  $\text{AB}_2$  である。なお、上図のような結晶構造をもつ化合物の例としてフッ化カルシウム(ホタル石)  $\text{CaF}_2$  がある。

8 ④

## 第2問 結合エネルギー、電気分解、電池、反応速度、化学平衡

### 問1 結合エネルギーと反応熱

与えられた熱化学方程式は、



$\text{N}\equiv\text{N}$  と  $\text{H}-\text{H}$  の結合エネルギーより、



アンモニア  $\text{NH}_3$  1分子中には  $\text{N}-\text{H}$  の結合が3個あるので、

$\text{N}-\text{H}$  の結合エネルギーを  $x$  [kJ/mol] とすると、



(1)式 = (2)式 + (3)式  $\times 3$  - (4)式  $\times 2$  より、

$$93 \text{ kJ} = -945 \text{ kJ} + (-436 \text{ kJ}) \times 3 + 3x \text{ [kJ]} \times 2$$

$$x = 391 \text{ kJ/mol}$$

#### [別解]

(1)式について、反応熱 = (生成物の結合エネルギーの総和) - (反応物の結合エネルギーの総和)の関係より、

$$93 \text{ kJ} = 3x \times 2 \text{ [kJ]} - (945 + 436 \times 3) \text{ kJ}$$

$$x = 391 \text{ kJ/mol}$$

#### [参考]

エネルギー図で表すと次のようになる。

### 組成式

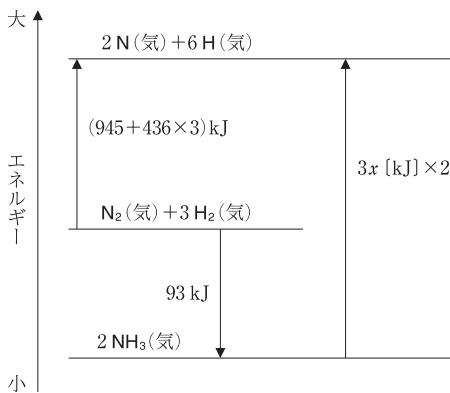
物質を構成する元素やイオンの種類とそれぞれの数の最も簡単な整数比で表した化学式。金属、共有結合の結晶、イオンからなる物質は、いずれも組成式で表される。

### 結合エネルギー

共有結合 1 mol を切断するのに必要なエネルギー。

### 反応熱と結合エネルギーの関係

反応熱 = (生成物の結合エネルギーの総和) - (反応物の結合エネルギーの総和)



9 ⋯②

## 問2 水溶液の電気分解

図1で、電極Aは直流電源の負極に接続されているので陰極、電極Bは直流電源の正極に接続されているので陽極である。ア～エの各電解液を用いたとき、電極A、Bではそれぞれ次の反応が起こる。

- ア A : 陰極  $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$
- B : 陽極  $4 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$
- イ A : 陰極  $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$
- B : 陽極  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$
- ウ A : 陰極  $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$
- B : 陽極  $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$
- エ A : 陰極  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$
- B : 陽極  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$

したがって、Aから水素、Bから酸素が発生した電解液の組合せは、①ア・イである。

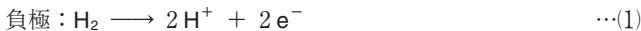
10 ⋯①

## 問3 燃料電池

a リン酸水溶液を電解液に用いた燃料電池の構成は次のように表される。



放電時には、負極でア[水素]が酸化され、正極で酸素が還元される。各極の反応は次の電子を含むイオン反応式で表される。



したがって、正しい組合せは③である。なお、電池全体の化学反応式は、(1)式×2+(2)式で得られる。



11 ⋯③

b (1)式より、水素が 0.10 mol 消費される間に流れた電子の物質量は、

## 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.  $\text{H}_2\text{O}$  (電解液が中性、酸性のとき) 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、Ag や 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。

## 電池

酸化還元反応を利用して電気エネルギーを取り出す装置を電池(化学電池)といふ。

**負極** 酸化反応が起こる。

**正極** 還元反応が起こる。

外部回路を電子は負極から正極に流れ、电流は正極から負極に流れれる。

$$0.10 \text{ mol} \times 2 = 0.20 \text{ mol}$$

したがって、流れた電気量は、

$$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} \times 0.20 \text{ mol} = 1.93 \times 10^4 \text{ C}$$

12 ⋯④

#### 問4 反応速度

① 正しい。Aのモル濃度(単位体積当たりの物質量)が大きくなり、単位時間当たりに衝突するAとBの分子の数が増加するので、反応速度( $v_A$ と $v_C$ )は大きくなる。

② 正しい。触媒は、反応の前後において自身は変化しないが、反応速度を大きくする物質である。したがって、触媒を用いると、反応速度( $v_A$ と $v_C$ )は大きくなる。

③ 誤り。単位時間当たりに反応するAと生成するCの物質量の比は、化学反応式の係数の比と一致する。したがって、 $v_A : v_C = 1 : 2$  である。

④ 正しい。容器の容積を小さくすると、AとBのモル濃度が大きくなり、単位時間当たりの衝突回数が増加するため、反応速度( $v_A$ と $v_C$ )は大きくなる。

⑤ 正しい。反応が起こるためには、衝突した分子が活性化状態とよばれるエネルギーの高い中間状態を経由しなければならない。反応物が活性化状態になるために必要な最小のエネルギーを活性化エネルギーという。

温度を高くすると、活性化エネルギーを超える大きい熱運動のエネルギーをもつAとBの分子の割合が増大するため、反応速度( $v_A$ と $v_C$ )は大きくなる。

13 ⋯③

#### 問5 化学平衡

a 水素、ヨウ素、ヨウ化水素の反応前と平衡状態のときの物質量は次のようになる。

$\text{H}_2$	+	$\text{I}_2$	$\rightleftharpoons$	2 HI
反応前	4.0 mol	4.0 mol		0 mol
変 化	-3.0 mol	-3.0 mol		+6.0 mol
平衡時	1.0 mol	1.0 mol		6.0 mol

平衡状態での水素、ヨウ素、ヨウ化水素のモル濃度(単位体積当たりの物質量)をそれぞれ $[\text{H}_2]$ ,  $[\text{I}_2]$ ,  $[\text{HI}]$ とすると、この反応の平衡定数Kは次のように表される。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

T [K]での平衡定数の値は、

$$K = \frac{\left(\frac{6.0 \text{ mol}}{V [\text{L}]}\right)^2}{\frac{1.0 \text{ mol}}{V [\text{L}]} \times \frac{1.0 \text{ mol}}{V [\text{L}]}} = 36$$

14 ⋯⑥

#### 反応速度

反応速度は、単位時間当たりに減少する反応物の量(モル濃度、物質量など)、あるいは、単位時間当たりに増加する生成物の量で表される。

#### 化学平衡の状態(平衡状態)

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、見かけ上変化が停止した状態。

#### 化学平衡(質量作用)の法則



この可逆反応の平衡定数Kは次式で表される。

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

([ ]: 平衡状態における各物質のモル濃度)

平衡定数は、温度が一定ならば一定の値となる。

**b ア** 一般に容積を大きくすると、圧力が減少し、気体分子の総数が増加する方向に平衡が移動するが、この反応では正反応、逆反応のいずれの方向に進んでも気体分子の総数が増減しないので、平衡は移動しない。よって、平衡状態でのヨウ化水素の物質量は、**a**で示した場合と等しく 6.0 mol になる。

**イ** 温度を高くすると、吸熱反応の方向に平衡が移動する。与えられた熱化学方程式より、吸熱反応の方向は逆反応のヨウ化水素が分解する方向であるから、平衡状態でのヨウ化水素の物質量は 6.0 mol より小さくなる。

**ウ** 触媒の有無は平衡状態に影響ないので、触媒を加えても平衡は移動しない。よって、平衡状態でのヨウ化水素の物質量は、**a**で示した場合と等しく 6.0 mol になる。

なお、触媒を用いると反応速度が大きくなり、触媒がないときと比べて早く平衡状態に到達する。

以上より、**⑥ア・ウ**が正解である。

15 …⑥

### 第3問 無機物質

#### 問1 ハロゲンの単体と化合物

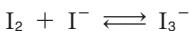
**①** 正しい。フッ素  $F_2$  は酸化力が強く、水と激しく反応して酸素を発生する。



**②** 正しい。常温・常圧において、塩素  $Cl_2$  は黄緑色の気体、臭素  $Br_2$  は赤褐色の液体である。

**③** 誤り。一般に、分子量が大きいほどファンデルワールス力が強くなり、沸点が高くなるので、 $HCl < HBr < HI$  の順になる。しかし、フッ化水素  $HF$  の沸点は、分子量から予想される値よりも異常に高い。これは、 $HF$  の分子間ではファンデルワールス力よりも強い水素結合が形成されるからである。したがって、沸点は、 $HCl < HBr < HI < HF$  の順になる。

**④** 正しい。 $Cl_2$  はヨウ素  $I_2$  よりも酸化力が強い。したがって、 $Cl_2$  はヨウ化カリウム  $KI$  と反応して  $I_2$  を生じる。このとき生じた  $I_2$  と水溶液中に存在する未反応の  $I^-$  が反応して三ヨウ化物イオン  $I_3^-$  を生じるので、水溶液は褐色になる。



**⑥** 正しい。ハロゲン化銀のうち、フッ化銀  $AgF$  は水に溶けやすいが、塩化銀  $AgCl$ (白色)、臭化銀  $AgBr$ (淡黄色)、ヨウ化銀  $AgI$ (黄色)は水に溶けにくい。

16 …③

#### 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、その条件変化の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。

- ・圧力を上げると、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。

- ・物質の濃度を大きくすると、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、触媒の有無は平衡状態に影響しない。

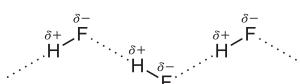
#### ハロゲンの単体

	色	状態	酸化力
$F_2$	淡黄	気体	強 ↑
$Cl_2$	黄緑	気体	
$Br_2$	赤褐	液体	
$I_2$	黒紫	固体	弱 ↓

#### 水素結合

$HF$ 、 $H_2O$ 、 $NH_3$ などの分子では、電気陰性度の大きい  $F$ 、 $O$ 、 $N$  原子が  $H$  原子との共有電子対を強く引き寄せている。このため  $H$  原子が正に帯電し、隣り合う分子の負に帯電した  $F$ 、 $O$ 、 $N$  原子と静電気力で引き合う。このような結合を水素結合という。

#### HFの例



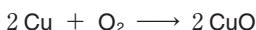
(——：共有結合、……：水素結合)

## 問2 酸化物

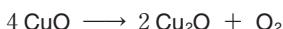
① 正しい。ケイ素 Si の単体は天然には存在せず、電気炉中で二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$  を炭素で還元してつくられる。



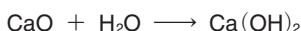
② 正しい。銅 Cu を空気中で加熱すると、黒色の酸化銅(II)  $\text{CuO}$  が得られる。



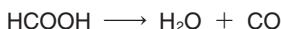
なお、酸化銅(II)を  $1000^\circ\text{C}$  以上に加熱すると、赤色の酸化銅(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$  を生じる。



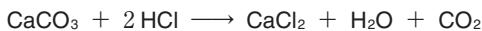
③ 正しい。酸化カルシウム  $\text{CaO}$  は、常温で水と反応して水酸化カルシウム  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  になる。この反応は発熱反応であり、酸化カルシウムは発熱剤として用いられる。



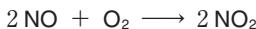
④ 誤り。ギ酸  $\text{HCOOH}$  に濃硫酸を加えて加熱すると、濃硫酸の脱水作用により、一酸化炭素が生じる。



なお、実験室で二酸化炭素を得る場合は、炭酸カルシウムに塩酸を加えて発生させる。



⑤ 正しい。無色の気体である一酸化窒素  $\text{NO}$  は、空气中で直ちに酸化され、赤褐色の二酸化窒素  $\text{NO}_2$  を生じる。

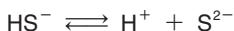


17 …④

## 問3 硫化水素

① 正しい。硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  は、火山ガスに含まれており、腐卵臭をもつ無色の有毒な気体である。

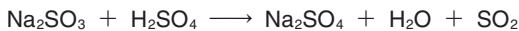
② 正しい。硫化水素は水に溶け、水溶液は弱い酸性を示す。



③ 正しい。酢酸鉛(II)  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$  の水溶液に硫化水素を通じると、硫化鉛(II)  $\text{PbS}$  の黒色沈殿が生じる。



④ 誤り。亜硫酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  に希硫酸を加えると、二酸化硫黄  $\text{SO}_2$  が発生する。

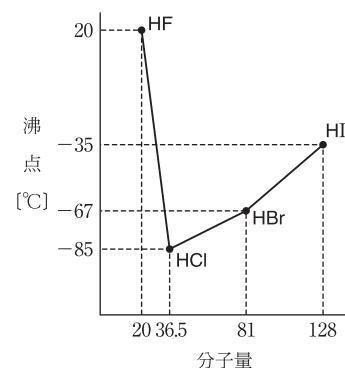


なお、実験室で硫化水素を得る場合は、硫化鉄(II)  $\text{FeS}$  に希硫酸や塩酸を加えて発生させる。



⑤ 正しい。硫化水素の水溶液に二酸化硫黄を通じると、 $\text{H}_2\text{S}$  が還元剤、 $\text{SO}_2$  が酸化剤としてはたらき、水に不溶な硫黄  $\text{S}$  が生

ハロゲン化水素の沸点



濃硫酸の脱水作用

濃硫酸は、有機化合物から水分子を脱離させる性質をもつ。

じて水溶液は白濁する。



[18] ⋯④

#### 問4 水素の発生

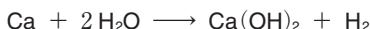
① 鉄 Fe は水素 H<sub>2</sub> よりイオン化傾向が大きく、希硫酸と反応して水素を発生する。



② アルミニウム Al は両性元素であり、単体は濃い水酸化ナトリウム水溶液と反応して水素を発生する。



③ カルシウム Ca はイオン化傾向が大きく、常温の水と反応して水素を発生する。



④ メタン CH<sub>4</sub> を、触媒を用いて水蒸気と反応させると水素が発生する。



この反応は、天然ガス(主成分 CH<sub>4</sub>)から水素を製造する工業的製法に用いられる。

⑤ 炭酸水素ナトリウム NaHCO<sub>3</sub> を加熱すると、二酸化炭素と水蒸気が発生し、水素は発生しない。



[19] ⋯⑥

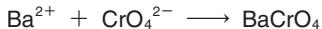
#### 問5 鉄イオンの性質と反応

硫酸鉄(II)七水和物 FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O を水に溶かすと、Fe<sup>2+</sup> を含むア淡緑色の水溶液になる。これに希硝酸を加えると、Fe<sup>2+</sup> が酸化されて Fe<sup>3+</sup> になり、水溶液はイ黄褐色に変化する。この水溶液にヘキサシアニド鉄(II)酸カリウム  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  水溶液を加えると、濃青色の沈殿が生じる。なお、チオシアン酸カリウム KSCN 水溶液を加えると、血赤色の水溶液になる。

[20] ⋯⑧

#### 問6 金属イオンの反応

① 正しい。バリウムイオン Ba<sup>2+</sup> を含む水溶液にクロム酸カリウム K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 水溶液を加えると、クロム酸バリウム BaCrO<sub>4</sub> の黄色沈殿が生じる。



② 正しい。鉛(II)イオン Pb<sup>2+</sup> を含む水溶液に塩酸を加えると、塩化鉛(II) PbCl<sub>2</sub> の白色沈殿が生じる。

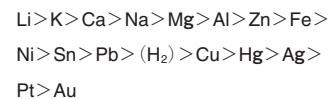


③ 誤り。銅(II)イオン Cu<sup>2+</sup> を含む水溶液に水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を加えると、水酸化銅(II) Cu(OH)<sub>2</sub> の青白色沈殿が生じる。

#### 金属のイオン化傾向

金属の単体が水(溶液)中で電子を放出し、陽イオンになろうとする性質。

イオン化傾向が大きい金属の単体ほど水中で電子を放出してイオンになりやすく、イオン化傾向が小さい金属のイオンほど電子を受け取り単体になりやすい。



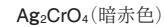
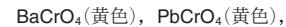
#### 両性元素

単体が酸とも強塩基とも反応する元素。Al, Zn, Sn, Pb は両性元素である。

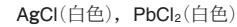
#### 鉄イオンの反応

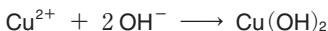


#### 水に難溶性のクロム酸塩



#### 水に難溶性の塩化物

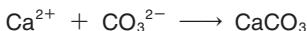




④ 正しい。銀イオン  $\text{Ag}^+$  を含む水溶液に  $\text{NaOH}$  水溶液を加えると、酸化銀  $\text{Ag}_2\text{O}$  の褐色沈殿が生じる。



⑤ 正しい。カルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$  を含む水溶液に炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  水溶液を加えると、炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$  の白色沈殿が生じる。



21 …③

## 問7 化合物の構成元素の原子量

酸化物  $\text{M}_2\text{O}_3$  中の M の酸化数は +3 であり、M の酸化数が等しい塩化物の組成式は  $\text{MCl}_3$  である。

$\text{M}_2\text{O}_3$  の質量を  $x$  [g] とすると、得られた  $\text{MCl}_3$  の質量は  $2.62x$  [g] である。含まれる M(原子量を  $m$  とする)の物質量は、 $\text{M}_2\text{O}_3$  (式量  $2m+48$ ) 中と  $\text{MCl}_3$ (式量  $m+106.5$ ) 中で等しいので、

$$\frac{x \text{ [g]}}{2m+48 \text{ [g/mol]}} \times 2 = \frac{2.62x \text{ [g]}}{m+106.5 \text{ [g/mol]}}$$

$$m = 26.9 \div 27$$

22 …②

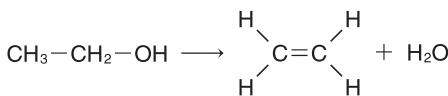
## 第4問 有機化合物

### 問1 鎮式炭化水素

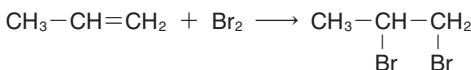
① 正しい。メタン  $\text{CH}_4$  分子に含まれる 4 個の C-H 結合はすべて単結合である。

② 誤り。ブタン  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  の方がプロパン  $\text{C}_3\text{H}_8$  よりも沸点が高い。直鎖状のアルカンでは、炭素数が大きくなるにつれて分子量が大きくなり、ファンデルワールス力が強くなるので、沸点は少しづつ高くなる。

③ 正しい。エタノール  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  に濃硫酸を加えて 160~170 °C に加熱すると、分子内から水が失われる脱水反応が起こり、エチレン  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  が発生する。



④ 正しい。プロペン  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$  などのアルケンは、付加反応を起こしやすく、臭素水(赤褐色)に通すと、臭素と反応して溶液が無色になる。なお、プロペンに臭素が付加すると、1,2-ジブロモプロパンが生じる。



⑤ 正しい。アルキンでは、三重結合で結びついた 2 個の炭素原子とそれに結合する原子の合計 4 個の原子は、常に同一直線上

### $\text{OH}^-$ で沈殿する陽イオン

アルカリ金属・アルカリ土類金属以外の金属イオンは水酸化物または酸化物の沈殿を生じる。

・  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$  は、過剰のアンモニア水に溶ける。

・ 両性元素の水酸化物  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  は、過剰の水酸化ナトリウム水溶液に溶ける。

### 鎮式炭化水素の分類

アルカン 単結合のみからなる鎮式飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  で表される。

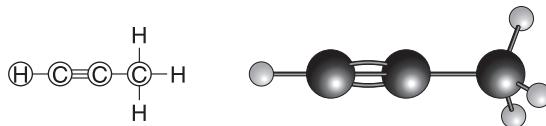
アルケン 二重結合を 1 個もつ鎮式不飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  で表される。

アルキン 三重結合を 1 個もつ鎮式不飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$  で表される。

### $\text{C}=\text{C}$ , $\text{C}\equiv\text{C}$ の検出

炭素間二重結合  $\text{C}=\text{C}$  または炭素間三重結合  $\text{C}\equiv\text{C}$  をもつ化合物は、付加反応により、 $\text{Br}_2$  の赤褐色を脱色する。

に位置する。したがって、プロピエン(メチルアセチレン) $\text{CH}\equiv\text{CCH}_3$ 分子中の3個の炭素原子は常に同一直線上にある。

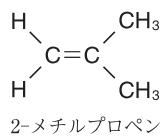
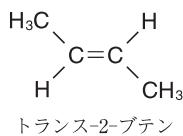
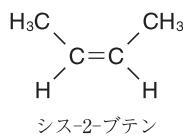
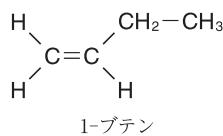


(上の構造式中の○で囲んだ原子は、常に同一直線上に存在する。)

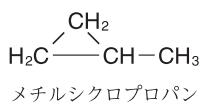
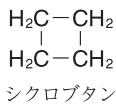
[23] ⋯②

## 問2 $\text{C}_4\text{H}_8$ の異性体

$\text{C}_4\text{H}_8$  の分子式をもつ異性体は、二重結合をもつアルケンと環構造をもつシクロアルカンに分けられる。ここでは、二重結合をもつのでアルケンのみを考えればよく、次の4種類の異性体が存在する。二重結合は回転できないため、2-ブテンには幾何異性体(シス-トランス異性体)が存在する。



なお、環構造をもつ異性体は次の2種類である。



### 構造異性体

分子式は同じで原子の結合のしかたが異なる異性体。

### 幾何異性体(シス-トランス異性体)

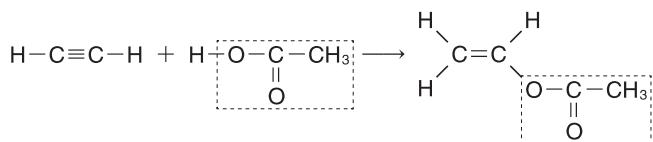
炭素原子間の二重結合に対する置換基の配置の違いによる立体異性体。

### シクロアルカン

環構造を1個もつ環式飽和炭化水素であり、一般式  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  で表される。

## 問3 酢酸ビニルの合成

触媒を用いてアセチレン  $\text{CH}\equiv\text{CH}$  に酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  を付加させると、酢酸ビニル  $\text{CH}_2=\text{CHCOCH}_3$  が生成する。このときアセチレンのそれぞれの炭素原子に、酢酸のカルボキシ基の水素原子と残りの部分(次の反応式中の[ ]で囲んだ部分)が結合する。酢酸ビニルはビニル基  $\text{CH}_2=\text{CH}-$  をもち、合成高分子の原料として用いられる。

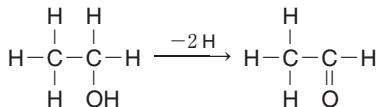


[24] ⋯③

## 問4 アセトアルデヒドの性質

① 正しい。アセトアルデヒド  $\text{CH}_3\text{CHO}$  は水によく溶けるが、水中で電離しないので、水溶液は中性を示す。

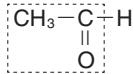
② 正しい。硫酸酸性の二クロム酸カリウム  $K_2Cr_2O_7$  水溶液を加えて、第一級アルコールであるエタノールを酸化すると、アセトアルデヒドが生じる。



③ 正しい。アルデヒド  $RCHO$  は酸化されてカルボン酸  $RCOOH$  になりやすく、その際に他の物質を還元するので、アルデヒドには還元性がある。アンモニア性硝酸銀水溶液にアルデヒドを加えて温めると、ジアンミン銀(I)イオン  $[Ag(NH_3)_2]^+$  が還元され、器壁に銀の単体が析出する。これを銀鏡反応という。

④ 誤り。フェーリング液にアルデヒドを加えて加熱すると、銅(II)イオン  $Cu^{2+}$  が還元されて酸化銅(I)  $Cu_2O$  の赤色沈殿が生じる。

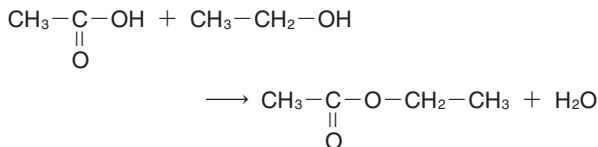
⑤ 正しい。アセトアルデヒドは、次の構造式中の [ ] で囲んだ構造をもつて、アセトアルデヒドにヨウ素  $I_2$  と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、ヨードホルム  $CHI_3$  の黄色沈殿が生じる。この反応をヨードホルム反応という。



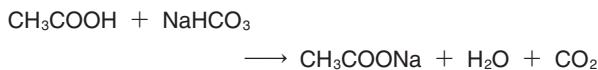
26 ⋯④

## 問5 カルボン酸

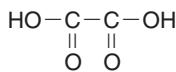
① 正しい。酢酸とエタノールに触媒として濃硫酸を加えて加热すると、エステル化が起こり、酢酸エチル  $CH_3COOC_2H_5$  が生成する。



② 正しい。カルボン酸は炭酸  $H_2CO_3$  より強い酸であるため、酢酸などのカルボン酸に炭酸水素ナトリウム  $NaHCO_3$  水溶液を加えると、炭酸が生成し、分解して二酸化炭素が発生する。



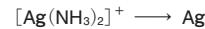
③ 正しい。シウ酸  $(COOH)_2$  は、2個のカルボキシ基が結合した構造の分子であり、2価のカルボン酸(ジカルボン酸)である。



④ 正しい。ヒドロキシ酸(ヒドロキシ基とカルボキシ基をもつ化合物)の一つである乳酸  $CH_3CH(OH)COOH$  は、不斉炭素原

## アルデヒドの検出

### 銀鏡反応



### フェーリング液の還元



## ヨードホルム反応

次の構造をもつ化合物にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、ヨードホルム  $CHI_3$  の黄色沈殿が生じる。



(R : H原子または炭化水素基)

## 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て溶ける。

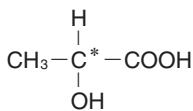
## 酸の強さ

硫酸、塩酸 > スルホン酸 > カルボン酸  
> 炭酸 > フェノール類

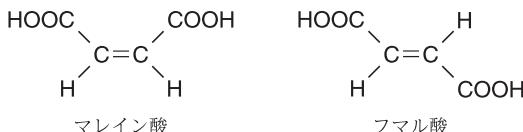
## 不斉炭素原子と光学異性体

炭素原子に結合する4個の原子または原子團がすべて異なるとき、その炭素原子を不斉炭素原子という。不斉炭素原子が1個あると、互いに実像と鏡像の関係にある1対の光学異性体が存在する。

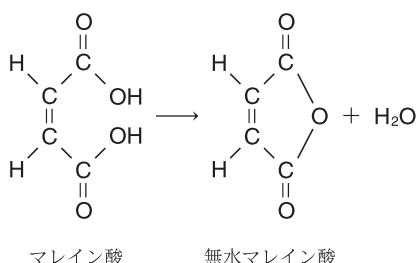
子(次の構造式中で C\* と記した)を 1 個もち、1 対の光学異性体が存在する。



⑥ 誤り。マレイン酸とフマル酸は、幾何異性体の関係にあるジカルボン酸である。



シス形のマレイン酸は、2 個のカルボキシ基が近い位置にあるため、加熱すると分子内で脱水して無水マレイン酸を生じる。無水マレイン酸のように、カルボキシ基間の脱水により生じる化合物を酸無水物という。



一方、トランス形のフマル酸は、2 個のカルボキシ基の位置が遠いので、同様に加熱しても脱水反応は起こらない。

27 ⋯⑥

#### 問6 アルコールの反応の量的関係

A は分子式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$  から 1 値アルコールであり、ナトリウムとの反応は次のように表される。



A の分子量は  $14n+18$  と表され、A 2 mol 当たり水素  $\text{H}_2$  1 mol が発生するので、

$$\frac{3.7 \text{ g}}{14n+18 \text{ [g/mol]}} : \frac{0.56 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 2 : 1$$

$$n = 4$$

A の分子式は  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$  と決まり、その完全燃焼の反応式は、



よって、1.0 mol の A を完全燃焼するときに消費される酸素の物質量は 6.0 mol である。

アルコールと Na との反応



28 ⋯①

≡ 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	③	3	
		問2	2	②	3	
		問3	3	①	3	
	B	問4	4	③	3	
			5	④	4	
		問5	6	①	4	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	②	3	
		問2	8	②	3	
		問3	9	④	3	
	B	問4	10	③	3	
		問5	11	③	4	
		問6	12	⑥	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	13	④	3	
		問2	14	④	3	
		問3	15	⑤	2	
		問4	16	④	3	
	B	問5	17	④	3	
			18	②	3	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	20	④	3	
		問2	21	⑦	3	
		問3	22	①	3	
			23	⑤	3	
	B	問4	24	①	4	
			25	⑦	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	26	②	3		
	問2	27	④	3		
	問3	28	③	3		
	問4	29	③	4		
	問5	30	③	3		
	問6	31	⑥	4		
第5問 自己採点小計				(20)		
自己採点合計				(100)		

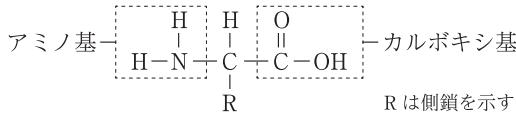
※の正解は順序を問わない。

## 【解説】

### 第1問 タンパク質・物質の輸送

タンパク質に関する知識問題と、物質輸送に関する考察問題を出題した。

問1 タンパク質を構成するアミノ酸は20種類である。アミノ酸は、1個の炭素原子にアミノ基、カルボキシ(カルボキシル)基、水素原子、および側鎖が結合したものであり、側鎖の違いによってアミノ酸の性質は決定される。



1 …③

問2 ①隣接するアミノ酸どうしは、一方のアミノ酸のカルボキシ基と他方のアミノ酸のアミノ基から1分子の水がとれてペプチド結合する。S-S結合は、硫黄(S)を含むアミノ酸であるシステインの側鎖どうしの結合であるので、誤りである。②ポリペプチド鎖の一部が、離れたアミノ酸間の水素結合によってジグザグに折れ曲がったシート状になった部分の構造を $\beta$ シート構造といい、同様にらせん状になった部分の構造を $\alpha$ ヘリックス構造という。このようなポリペプチド鎖の部分的な立体構造を二次構造といふので、正しい。③三次構造は、1本のポリペプチド鎖がS-S結合や水素結合などによって折りたたまれて生じるポリペプチド鎖全体の立体構造を指すので、誤りである。④四次構造は、複数のポリペプチド鎖が組み合わさったタンパク質の立体構造を指すので、誤りである。

2 …②

問3 免疫グロブリンは抗体の主成分であり、体外から侵入した異物の排除にはたらいている。カドヘリンは細胞どうしを接着させるタンパク質である。したがって、①が正しい。なお、ヘモグロビンは赤血球に含まれるタンパク質で、酸素の運搬にはたらく。ヒストンはDNAと結合してヌクレオソームを形成している。

3 …①

問4 マウスの神経細胞の細胞膜には、ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )やカリウムイオン( $\text{K}^+$ )などの輸送にかかわる複数のタンパク質が存在している。ナトリウムポンプ( $\text{Na}^+-\text{K}^+$ ATPアーゼ)は、ATPのエネルギーを用いて、細胞内の $\text{Na}^+$ を濃度勾配に逆らって細胞外へ排出し、細胞外の $\text{K}^+$ を濃度勾配に逆らって細胞内へ取り込むことで、細胞内の $\text{Na}^+$ の濃度を細胞外より低く保ち、細胞内の $\text{K}^+$ の濃度を細胞外より高く保っている。したがって、①と②は誤りである。ナトリウムチャネルは、細胞内外の $\text{Na}^+$ の濃度勾配に従って、濃度の高い細胞外から濃度の低い細胞内へ、

## 【ポイント】

タンパク質を構成するアミノ酸は20種類ある。

ペプチド結合

隣接するアミノ酸どうしの結合。カルボキシ基とアミノ基の間に1分子の水がとれて結合する。

タンパク質の構造

一次構造 アミノ酸の配列

二次構造 部分的な立体構造

$\beta$ シート構造

$\alpha$ ヘリックス構造

三次構造 1本のポリペプチド鎖が折りたたまれてできる立体構造

四次構造 複数のポリペプチド鎖が組み合わさってできる立体構造

生

物

ポンプ

濃度勾配に逆らって物質を能動輸送する。

エネルギーを必要とする。  
チャネル

濃度勾配に従って物質を受動輸送する。

エネルギーを必要としない。

$\text{Na}^+$  を輸送する。したがって、③は正しく、④は誤りである。

4 …③

問5 実験1と実験3では、物質Pを加えておらず細胞膜のカルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )の透過性を高めていないので、細胞質基質と同じカルシウムイオン濃度の培養液でもカルシウムイオンを含まない培養液でも、細胞への  $\text{Ca}^{2+}$  の出入りは少なく、細胞内の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度は通常の細胞と同程度と考えられる。実験2では、培養液に加えた物質Pのはたらきによって細胞膜の  $\text{Ca}^{2+}$  に対する透過性が高まる。細胞質基質と同じカルシウムイオン濃度の培養液では  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度が細胞の内外で等しいので、細胞内の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度は変化しない。一方、カルシウムイオンを含まない培養液では、細胞内の  $\text{Ca}^{2+}$  が濃度勾配にしたがって細胞外へ流出し、細胞内の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度がほぼ0まで低下する。実験1～3について、細胞内の  $\text{Ca}^{2+}$  の有無、ATPの有無とタンパク質Nの分布をまとめると次のようになる。

	$\text{Ca}^{2+}$	ATP	タンパク質Nの分布
実験1	有	有	核 内
実験2	有	有	核 内
	無	有	核 膜
実験3	有	無	核 膜

これより、 $\text{Ca}^{2+}$  がなくてもタンパク質Nは細胞質から核膜まで輸送されることがわかる。また、ATPがなくてもタンパク質Nは細胞質から核膜まで輸送されることもわかる。一方、 $\text{Ca}^{2+}$  があり、ATPがあるときにのみ、タンパク質Nは核膜から核内へ輸送されることがわかる。

5 …④ 6 …①

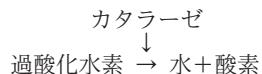
## 第2問 酵素

酵素や補酵素に関する知識問題と、酵素反応の阻害に関する考察問題を出題した。

問1 カタラーゼは、代謝の過程で生じる有害な過酸化水素を水と酸素に分解する反応を促進する。

7 …②

問2 ①化学反応が進むためには、物質が活性化されて反応しやすい状態になる必要がある。この状態になるのに必要なエネルギーを活性化エネルギーといふ。酵素などの触媒ははたらくと活性化エネルギーが低下し、化学反応が進みやすくなるので、誤りである。②酵素の基質と結合する部分を活性部位とよぶ。それぞれの酵素の活性部位はアミノ酸配列にもとづく固有の立体構造をもつてゐる。このため、酵素は活性部位の構造に適合する特定の基質にのみ作用する。この性質を基質特異性とよぶので、正しい。③酵素の主成分はタンパク質である。このため、一般に、高温にな



酵素などの触媒は、化学反応の活性化エネルギーを低下させて反応を促進する。

### 酵素の特徴

- ・タンパク質が主成分である。
- ・基質特異性がある。
- ・最適pHがある。
- ・最適温度がある。

るとタンパク質が熱変性し失活する。失活した酵素は、常温に戻しても活性が回復することはないので、誤りである。④酵素の立体構造は温度だけではなく、水素イオン濃度(pH)の影響も受けるので、pHによって酵素の活性は変化する。酵素活性が最大になるときのpHを最適pHという。生体内の多くの酵素では、中性(pH7)付近が最適pHであるが、ペプシンのように最適pHが強酸性(pH2)にあるものや、トリプシンのように最適pHが弱アルカリ性(pH8)にあるものもある。したがって、誤りである。

8 …②

問3 酵素には、その作用を現すために補酵素を必要とするものもある。①補酵素は酵素のタンパク質部分との結合が弱く、また低分子の物質であるので、半透膜などを利用してタンパク質部分から補酵素を分離することができる場合が多い。したがって、正しい。②補酵素の多くは、ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>2</sub>、ニコチン酸などのビタミン類を成分としているので、正しい。③タンパク質は熱変性するが、補酵素は熱に対して比較的強いものが多いので、正しい。④NAD<sup>+</sup>は脱水素酵素の補酵素であるので、誤りである。

9 …④

問4 酵素反応では、酵素-基質複合体の濃度が高いほど反応速度が大きくなる。酵素濃度が一定の場合、基質の濃度を高めていくと、酵素-基質複合体が形成される確率が高くなるため、反応速度は大きくなる。しかし、基質濃度がある濃度以上になると、すべての酵素が常に基質と結合して酵素-基質複合体になるので、反応速度は最大となり、それ以上大きくならない。したがって、③が正しい。

10 …③

問5 基質と立体構造が似ている阻害物質が、酵素の活性部位に結合し、基質との結合を妨げることで酵素反応の速度を低下させることがある。このような阻害物質の作用を競争的阻害という。一定量の競争的阻害物質が存在する場合、基質濃度が低いときには阻害物質が酵素と結合する確率が高くなるので、阻害物質がない場合と比べて反応速度が大きく低下する(阻害効果が大きい)が、基質濃度が十分に高くなると阻害物質が酵素と結合する確率が低くなるので、阻害物質がない場合と比べて反応速度はほとんど変わらない(阻害効果が小さい)。したがって、③が正しい。

11 …③

問6 非競争的阻害の場合、酵素の活性部位以外の部位に阻害物質が結合して酵素反応を阻害する。表1の結果から阻害率を求めるところ次表のようになる。

#### 補酵素

比較的熱に強い。

低分子である。

酵素のタンパク質部分との結合が弱いので、半透膜を用いて分離できる場合が多い。

ビタミン類などを成分とするものもある。

#### 酵素反応の速度

酵素-基質複合体の濃度に依存する。

基質濃度がある濃度以上では、すべての酵素が常に基質と結合するため、酵素-基質複合体の濃度は最大となる。

#### 競争的阻害

基質と立体構造が似た物質により起こる。

基質濃度が低いときは阻害効果が大きい。

基質濃度が高いときは阻害効果が小さい。

#### 非競争的阻害

阻害物質は酵素の活性部位以外に結合する。

基質濃度	阻害率(%)
1	$(18-12) \div 18 \times 100 \approx 33.3\%$
2	$(27-18) \div 27 \times 100 \approx 33.3\%$
3	$(31-21) \div 31 \times 100 \approx 32.3\%$
4	$(33-22) \div 33 \times 100 \approx 33.3\%$
6	$(37-25) \div 37 \times 100 \approx 32.4\%$

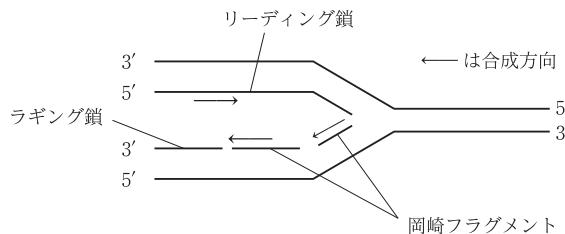
これより、基質濃度に関わらず、阻害率が約33%であることがわかるので、⑥が正しい。

12 …⑥

### 第3問 PCR法・親子関係の推定

PCR法に関する知識問題と、PCR法を利用した親子関係の推定に関する考察問題を出題した。

問1 ① 2本鎖DNAでは、アデニンとチミン、グアニンとシトシンが相補的に結合するので、誤りである。②DNAの複製は半保存的に行われる。すなわち、複製されたDNAの2本鎖のうち一方が新しく合成された鎖で、もう一方がもとのDNA鎖に由来する。したがって、誤りである。③・④DNAが合成されるときには、DNAポリメラーゼによって5'末端側から3'末端側へのみヌクレオチド鎖が伸長していくので、リーディング鎖は連続的に合成されるが、ラギング鎖ではDNAが不連続に合成される(次図)。ラギング鎖では、岡崎フラグメントとよばれる短いDNA鎖が合成されて、その後、それらがDNAリガーゼによってすでに合成されたDNA鎖と連結される。したがって、③は誤りであり、④は正しい。



13 …④

問2 DNAポリメラーゼはヌクレオチド鎖を5'末端側から3'末端側の方向にのみ伸長させており、PCR法を使うプライマーは、鑄型となるDNA鎖の3'末端側に相補的な塩基配列をもたなければならない(次図)。したがって、IIとIIIの塩基配列と相補的な塩基配列をもつDNA鎖をプライマーとして用いる。

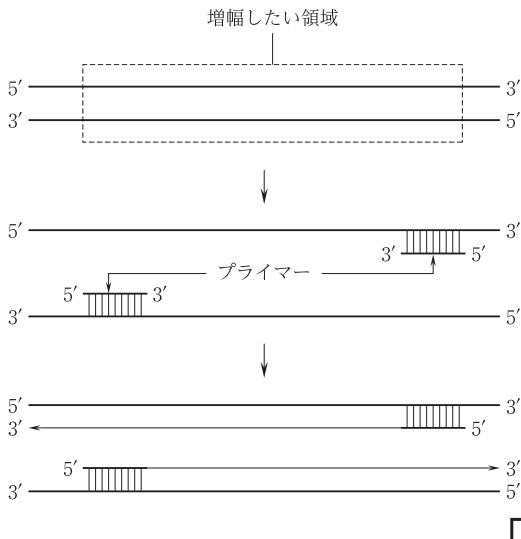
2本鎖DNAでは、アデニンとチミン、グアニンとシトシンが相補的に結合している。

岡崎フラグメント

ラギング鎖で合成される短いDNA鎖

プライマー

DNAの合成起点となる短いヌクレオチド鎖



14 …④

問3 PCR法では、まず、反応を行わせる混合溶液を約95℃にして、2本鎖DNAの塩基間の水素結合を切り、1本鎖に解離させる。次に、約55℃に変化させてプライマーの塩基配列と相補的な塩基配列をもつ部分にプライマーを結合させる。続いて、約72℃に変化させてDNAポリメラーゼによるDNA鎖の伸長反応を行わせる。以上の過程を1サイクルとして繰り返すことでDNAを増幅させる。この過程を連続的に行うためには、95℃でも失活しないDNAポリメラーゼが必要になる。このため、好熱細菌から得た耐熱性のDNAポリメラーゼを用いる。このDNAポリメラーゼの最適温度は約72℃であるので、72℃でDNA鎖の伸長反応を行わせる。

15 …⑥

問4 PCR法で一連の温度変化のサイクルを1回行うと、2本鎖DNAは2倍になる。したがって、20回増幅を行うと、 $2^{20}$ 倍になる。

16 …④

問5 DNAは負に帯電しているので、電気泳動では一極側から+極側に向かって移動する。電気泳動で使用する寒天ゲルは纖維状の物質が絡みあつたものである。短いDNA鎖ほど絡み合った纖維の隙間を移動しやすく移動速度が大きくなるので、一定時間電流を流すと、DNAのヌクレオチド数に応じてDNA断片の移動距離に差が生じる。この場合には、CAリピートの反復回数が少ないDNA断片ほど移動距離が長くなる。

17 …④

問6 まず、雌親から考える。幼個体Jのミトコンドリアは雌親に由来するので、表1から、幼個体Jと同じ型のミトコンドリアのDNAをもっている雌aと雌bが雌親の可能性がある。幼個体Jは雌親と雄親からそれぞれ1本ずつ染色体を受け継いでいる。図2を見ると、雌aは幼個体Jと共にCAリピートをもたないので、幼個体Jの雌親ではない。したがって、幼個体Jと共に

增幅したい領域の2本鎖DNAの3'末端側に相補的な塩基配列をもつ短い1本鎖DNAを、プライマーとして用いる。

PCR法の温度変化

95℃ DNAを1本鎖に解離  
↓  
55℃ プライマーの結合  
↓  
72℃ DNA鎖の伸長

PCR法で増幅のサイクルをn回繰り返すと、2本鎖DNAは $2^n$ 倍になる。

電気泳動法

DNAは負に帯電しているので+極方向へ移動する。  
短いDNA断片の方が移動速度が大きい。

ミトコンドリアは母親から子に伝えられる。

る CA リピート(図 2 の幼個体 J の上側の CA リピート)をもつ雌 b が幼個体 J の雌親である。幼個体 J は雌親から図 2 の上側の CA リピートを受け継いでいるので、雄親からは図 2 の下側の CA リピートを受け継いでいる。したがって、雄親は幼個体 J の下側の CA リピートと同じ CA リピートをもつことが条件になり、これを満たしている雄 e が幼個体 J の雄親であるとわかる。

18 ⋯② 19 ⋯⑥

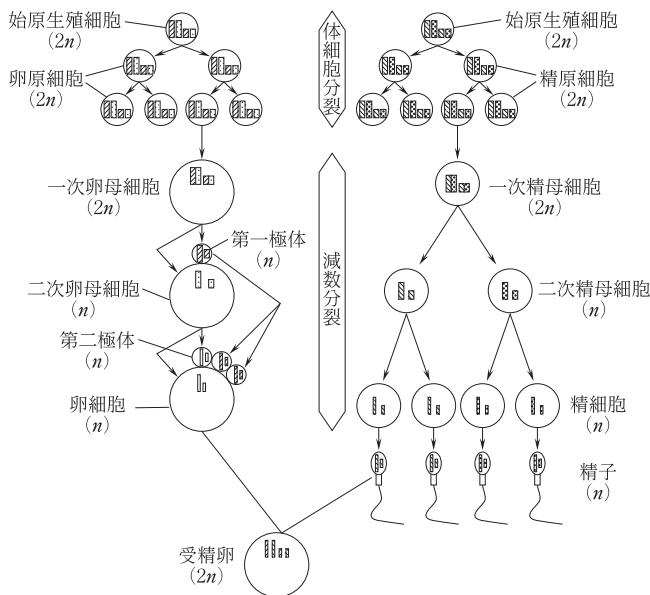
#### 第 4 問 減数分裂・動物の配偶子形成

動物の配偶子形成と減数分裂に関する知識問題と、アフリカツメガエルの卵成熟に関する考察問題を出題した。

**問 1** 減数分裂の過程では、第一分裂前期に相同染色体が対合して二価染色体が生じる。染色体間で乗換えが起こらない場合、1 対の相同染色体はそれぞれ異なる配偶子に分配されるので、配偶子に分配される染色体の種類は1対の相同染色体あたり2通りとなる。体細胞の染色体数が8本のキイロショウジョウバエの場合、3対の相同染色体と1対の性染色体をもつ。性染色体どうしが対合して分離するので、配偶子に分配される染色体の組合せは、 $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^4 = 16$  通りとなる。

20 ⋯④

**問 2** 卵の形成過程と精子の形成過程を次図に模式的に示す。



体細胞分裂では、染色体数は変化しない。減数分裂では、第一分裂が終了した時点で染色体数が半減し、第二分裂では染色体数は半減したままで変化しない。したがって、体細胞の染色体数を  $2n$  とすると、体細胞分裂で増殖する始原生殖細胞や精原細胞の染色体数は  $2n$ 、減数分裂を行う前の第一次精母細胞の染色体数は

相同染色体の対合は減数分裂の第一分裂前期に起こる。

減数分裂では、相同染色体の一方が娘細胞に分配される。

#### 染色体数の変化

体細胞分裂  $2n \rightarrow 2n, n \rightarrow n$

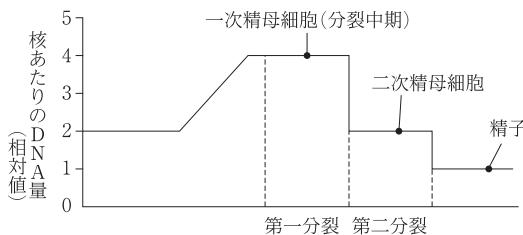
減数分裂第一分裂  $2n \rightarrow n$

減数分裂第二分裂  $n \rightarrow n$

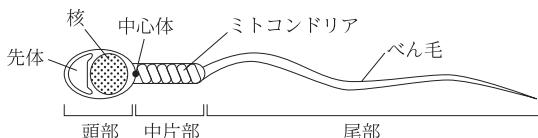
$2n$ , 第一分裂で生じた二次精母細胞の染色体数は  $n$ , 第二分裂で生じた精細胞の染色体数は  $n$  となる。

[21] …⑦

問3 精子の形成過程での減数分裂における核あたりのDNA量の変化は次図のようになる。1個の精子の核に含まれるDNAの量は第一分裂中期にある1個の一次精母細胞のすべての染色体に含まれるDNAの量(一次精母細胞の第一分裂中期の核あたりのDNA量)の25%であるので、①は誤りである。



精子の頭部には核と先体が含まれる(次図)ので、②は正しい。精子の中片部に存在するミトコンドリアはATPを合成し、ATPの分解で生じるエネルギーを用いてべん毛を動かすので、③は正しい。精子のべん毛では、チューブリンからなる微小管が規則正しく並んでるので、④は正しい。



問2の解説の模式図に示したように、卵原細胞は体細胞分裂によって増殖するが、この体細胞分裂では母細胞から同じ大きさの2個の娘細胞ができるので、⑥は誤りである。一次卵母細胞が行う減数分裂では、不均等に細胞質が分配される。第一分裂では小さな第一極体と大きな二次卵母細胞ができるので、⑥は正しい。一次卵母細胞の動物極側に第一極体が放出され、二次卵母細胞の動物極側に第二極体が放出されるので、⑦は正しい。第二極体は二次卵母細胞から放出されるので、⑧は正しい。

[22]・[23]…①・⑥

問4 実験1で、ろ胞細胞を取り除いた一次卵母細胞をリンガー液中で培養しても卵成熟が起こらないが、実験3で、ろ胞細胞を取り除いた一次卵母細胞を物質Pを含む溶液Ⅱに入れて培養すると卵成熟が起こることから、物質Pが一次卵母細胞に作用すると卵成熟が起こることがわかる。実験2で、脳下垂体ホルモンを作らせると、ろ胞細胞があるときのみ物質Pが検出されることから、物質Pはろ胞細胞から分泌されると考えられる。実験1では、脳下垂体ホルモンとろ胞細胞の両方がある場合にのみ卵成熟が起こっている。以上のことから、脳下垂体ホルモンはろ胞細胞に作用して物質Pを放出させ、物質Pが一次卵母細胞に作用して

精子

- |     |                |
|-----|----------------|
| 精子  |                |
| 頭部  | 核と先体を含む。       |
| 中片部 | ミトコンドリアを含む。    |
| 尾部  | 微小管を含むべん毛からなる。 |

卵形成過程の減数分裂では細胞質が不均等に分配され、大きな卵1個と小さな極体が生じる。

卵成熟を引き起こしていると考えられる。したがって、①は正しく、②、③、④、⑥は誤りである。**実験3**をみると、寒天片だけ(溶液Ⅰ)を作用させた場合には、卵成熟は起こらないので、寒天片は卵成熟には無関係である。一方、寒天片に吸着した物質P(溶液Ⅲ)によってろ胞細胞を取り除いた一次卵母細胞の卵成熟が起こっており、**実験3**の文章に、寒天片は「細胞より大きく細胞膜を透過できない」とあることから、寒天片に吸着した物質Pは一次卵母細胞の細胞内ではなく細胞表面の受容体に作用し、卵成熟を引き起こしたと考えられる。したがって、⑦は正しく、⑩は誤りである。**実験3**で、ろ胞細胞に囲まれている一次卵母細胞でも溶液Ⅱに入れると卵成熟が起こるので、物質Pはろ胞細胞の層を通過して一次卵母細胞に作用したことがわかる。したがって、⑥は誤りである。なお、**実験3**で、ろ胞細胞に囲まれた一次卵母細胞を溶液Ⅲに入れても卵成熟が起こらないのは、寒天片がろ胞細胞の層を通過できず、寒天片に吸着した物質Pが一次卵母細胞に到達できないためであると考えられる。

[24]・[25]…①・⑦

受容体

特定の情報を受け取るタンパク質でできた構造

## 第5問 植物の器官分化

植物の器官に関する知識問題と、花の構造を決めるABCモデルに関する考察問題を出題した。

**問1** ①根は土壤中の水や無機塩類を吸収する器官であるので、正しい。②茎の先端には茎頂分裂組織があり、根の先端にも根端分裂組織があって細胞分裂を盛んに行うので、誤りである。なお、双子葉植物の根には分裂組織の形成層もある。③茎には維管束があり、根と葉の間の物質の連絡通路となるので、正しい。④茎は伸長成長と肥大成長の両方を行うので、正しい。⑤葉は光合成で炭水化物を合成し、窒素同化でアミノ酸などを合成するので、正しい。⑥葉には多数の気孔が存在し、葉からは蒸散によって水分が放出されるので、正しい。

[26]…②

**問2** ①シロイスナズナは小型の植物であり、実験室で大量に栽培できるので、正しい。②・③シロイスナズナには、突然変異によって生じた多様な形質が知られている。また、DNAの全塩基配列が明らかにされているため、遺伝子の研究に適している。したがって、正しい。④シロイスナズナでは、種子をまいてから次世代の種子ができるまでの期間が短く、遺伝学の研究に適しているので、誤りである。

[27]…④

根 水や無機塩類を吸収する。

茎 根と葉の間の物質の移動通路となる。

葉 光合成や窒素同化を行う。蒸散により水分を放出する。

根にも分裂組織はある。

シロイスナズナ

小型で大量に栽培できる。

多くの突然変異体がある。

DNAの全塩基配列が明らかになっている。

一世代の期間が短い。

ホメオティック遺伝子

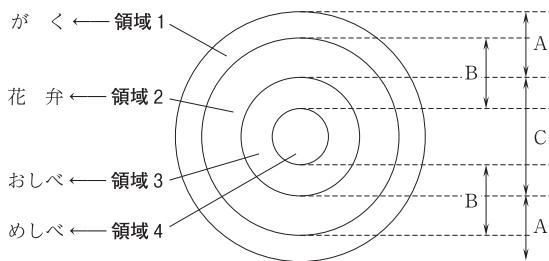
生物の様々な構造が、からだのどの位置に形成されるかを決定する遺伝子

**問3** 問題文中にある遺伝子A, B, Cのように、生物の様々な構造が、からだのどの位置に形成されるかを決定する遺伝子をホメオティック遺伝子という。①母性効果遺伝子は、卵母細胞の時期に発現し、その遺伝子産物が未受精卵に含まれ、胚の前後軸の決定などにはたらく遺伝子である。②初期化遺伝子は、iPS細胞の作製に用いる、細胞を未分化な状態に戻すはたらきをもつ遺伝子で

ある。④ビコイド遺伝子は、ショウジョウバエの前後軸の決定に関与する母性効果遺伝子の一つである。

[28] ⋯③

問4 野生型のシロイヌナズナの遺伝子 A～C の発現領域と、そこから分化する構造を図にすると次のようになる。



これより、遺伝子 A のみが発現する領域 1 にはがく、遺伝子 A と B が発現する領域 2 には花弁、遺伝子 B と C が発現する領域 3 にはおしべ、遺伝子 C のみが発現する領域 4 にはめしべが、それぞれ生じることがわかる。遺伝子 B の機能を失った変異体の場合、領域 1 と 2 には遺伝子 A のみが発現してがくが生じ、領域 3 と 4 には遺伝子 C のみが発現してめしべが生じると考えられる。

[29] ⋯③

問5 遺伝子 A のみが機能を失った変異体では、領域 1～4 に生じる構造は順にめしべ、おしべ、おしべ、めしべなので、領域 1 と 4 では遺伝子 C のみが発現し、領域 2 と 3 では遺伝子 B と C が発現したことがわかる。したがって、遺伝子 A が発現しない領域では、遺伝子 C が発現するようになることがわかる。遺伝子 C のみが機能を失った変異体では、領域 1～4 に生じる構造は順にがく、花弁、花弁、がくなので、領域 1 と 4 では遺伝子 A のみが発現し、領域 2 と 3 では遺伝子 A と B が発現したことがわかる。したがって、遺伝子 C が発現しない領域では、遺伝子 A が発現するようになることがわかる。

[30] ⋯③

問6 正常遺伝子 A, B が機能を失った遺伝子をそれぞれ a, b とする。遺伝子 A のみが機能を失った純系の変異体(遺伝子型は aaBBCC)と、遺伝子 B のみが機能を失った純系の変異体(遺伝子型は AAbbCC)を交配すると、雑種第一代( $F_1$ )の遺伝子型は AaBbCC となる。これが正常な花をつけることから、遺伝子 a, b はそれぞれ遺伝子 A, B に対し劣性であることがわかる。 $F_1$  個体である AaBbCC どうしの交配では、遺伝子 C・c に注目すると CC どうしの交配となるので、次世代の個体はすべて CC となる。したがって、AaBb どうしの交配を考えればよい。A・a と B・b は独立に遺伝するので、A・a と B・b だけに着目すると、

$$AaBb \times AaBb$$

↓

$$A_B_- : A_bb : aaB_- : aabb = 9 : 3 : 3 : 1$$

遺伝子 A のみが発現 → がく  
遺伝子 A と B が発現 → 花弁  
遺伝子 B と C が発現 → おしべ  
遺伝子 C のみが発現 → めしべ

遺伝子 A が発現しない場合、遺伝子 C が発現する。

遺伝子 C が発現しない場合、遺伝子 A が発現する。

2組の遺伝子(A・a と B・b)が独立に遺伝する場合

$$AaBb \times AaBb$$

↓

$$A_B_- : A_bb : aaB_- : aabb = 9 : 3 : 3 : 1$$

となる（\_は優性遺伝子でも劣性遺伝子でもよいことを示す）。これに CC を加えると、F<sub>2</sub> の遺伝子型の分離比は次のようになる。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{A\_B\_CC} & : & \text{A\_bbCC} & : & \text{aaB\_CC} & : & \text{aabbCC} \\ = & 9 & : & 3 & : & 3 & : & 1 \end{array}$$

F<sub>2</sub> のうち、正常な花をつける個体の遺伝子型は A\_B\_CC であるので、その割合は  $\frac{9}{9+3+3+1} \times 100 = 56.25\%$  である。

また、遺伝子 B のみの機能を失った変異体と同じ型の花をつける個体の遺伝子型は A\_bbCC であるので、その割合は、  
 $\frac{3}{9+3+3+1} \times 100 = 18.75\%$  である。

31 …⑥

# 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	②	3	
		問2	2	③	4	
		問3	3	③	3	
	B	問4	4	⑤	4	
		問5	5	①	3	
		問6	6	③	3	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	④	3	
		問2	8	③	3	
		問3	9	①	3	
		問4	10	②	4	
	B	問5	11	②	3	
		問6	12	③	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	13	②	4	
		問2	14	③	3	
		問3	15	②	3	
	B	問4	16	②	3	
		問5	17	④	3	
		問6	18	③	4	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	③	3	
		問2	20	④	4	
		問3	21	⑤	3	
	B	問4	22	③	3	
		問5	23	②	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	A	問1	25	③	3		
		問2	26	②	3		
		問3	27	②	4		
	B	問4	28	⑥	3		
		問5	29	⑤	4		
		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 重力加速度の測定と地球の形

地球の形と重力は深い関係にある。地球楕円体と重力、ジオイドと重力の関係を理解しておこう。今回は、重力に関する教科書にある振り子の実験を題材にした問題を出題した。

問1 振り子を用いて重力加速度の測定ができる。振り子の長さを  $L$ 、振り子の振動周期を  $T$ 、重力加速度を  $g$  とすると、次の式が成り立つからである。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

問題の表1に基づいて、重力加速度  $g$  を計算すると、約  $9.77 \text{ m/s}^2$  となる。

また、上の式からわかるように、振り子の長さを2倍にすれば、振動周期は  $\sqrt{2}$  倍になる。

本問では、上の式を使用しなくても問題の表1に示した数値の関係から答えを導くことができる。例えば、 $2.0 \text{ m}$  の長さの振り子の振動周期は  $2.84 \text{ 秒}$ 、 $4.0 \text{ m}$  の長さの振り子の振動周期は  $4.02 \text{ 秒}$  であるから、

$$\frac{4.02}{2.84} \approx 1.42 \approx \sqrt{2} \text{ (倍)}$$

である。他の数値の間でも同じように確認することができる。

1 ⋯ ②

問2 重力は、地球自転による遠心力と引力(万有引力)の合力である。したがって、地球楕円体の場合、図1-1のように、赤道では引力が最小、遠心力が最大であり、それらの合力の重力は最小である。逆に、北極や南極では引力が最大で、遠心力が0であり、重力は最大である。

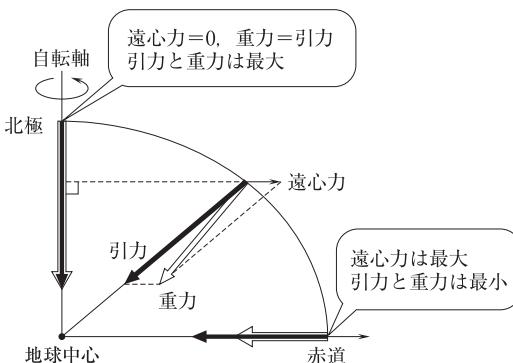


図1-1 地球楕円体上の重力

したがって、赤道と南極で比較すれば、赤道の方が南極よりも重力が小さい。このことから、正解は③か④に絞ることができ

## 【ポイント】

#### 振り子の振動周期

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

#### 重力

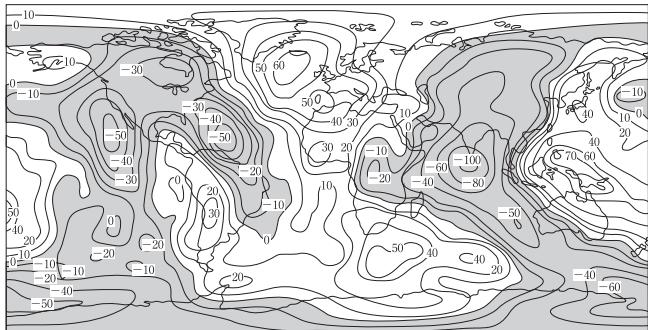
引力(万有引力)と遠心力の合力。

赤道で最小、両極で最大。

る。また、問1で示した式のように、振り子の振動周期は重力加速度の平方根に反比例する。したがって、重力加速度の小さい赤道で振り子を振らせれば、その振動周期は長くなる。もしくは、振り子は重力によって振動するので、重力加速度が小さくなれば、ゆっくりと振動する、つまり、振動周期が長くなると考えてもよい。

2 ⋯③

**問3 ①** ジオイドは、平均海面とその陸地への延長で表される面であり、地形や地下構造に左右される。そのため、図1-2のように、地球楕円体とは一致しない地点が多い。地球楕円体の面とジオイドとのずれをジオイドの高さといい、インド半島の南ではジオイドが地球楕円体よりも100mほど低く、ニューギニア島付近では70mほど高くなっている。したがって、この選択肢は誤りである。



数値の単位はm、影の部分は負の値を示す。

図1-2 ジオイドの高さ

② 図1-3のように地球楕円体の赤道半径を $a$ 、極半径を $b$ とすると、偏平率 $f$ は、次式で表される。

$$f = \frac{a-b}{a}$$

地球楕円体の偏平率は、約 $\frac{1}{300} \approx 0.003$ である。したがって、この選択肢は誤りである。

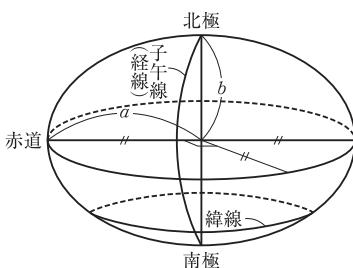


図1-3 地球楕円体

③ 楕円の長軸または短軸を回転軸として楕円を回転してできる立体が回転楕円体である。短軸を回転軸として楕円を回転する

### ジオイド

平均海面とその陸地への延長で表される面で、重力の方向に垂直である。

### ジオイドの高さ

地球楕円体とは数十m~100mの差がある。

### 偏平率

$$\frac{a-b}{a}$$

地球の場合は、約 $\frac{1}{300} \approx 0.003$

### 地球楕円体の切断面

赤道と平行な切断面は円。

両極を通る切断面は楕円。

と、楕円の長半径が描く軌跡が回転楕円体上の赤道である。楕円の長半径は、楕円を回転しても長さは変わらないので、回転楕円体上の赤道の形は円である。一方、地球楕円体の両極を通るように回転楕円体を切断すると、極半径と赤道半径の長さは異なるので、その断面は楕円形である(図1-3)。したがって、この選択肢が正しく、正解である。

④ 地球自転による遠心力は、両極を除いて、図1-1のように、自転軸に直角外向きにはたらく。したがって、この選択肢は誤りである。

3 …③

## B 地球表層部の構造

比較的近くで発生した地震の走時曲線を用いて、地球表層部の構造が研究されている。モホロビッチ不連続面(モホ不連続面)に関連した走時曲線を題材にして、地震計の記録と地球表層の特徴に関して出題した。

モホロビッチ不連続面(モホ不連続面)  
地殻とマントルの境界。

問4 地殻中を直接伝わってきた地震波を直接波、地殻からマントルに屈折・入射した後、マントルから地殻に入射・屈折して伝わってきた地震波を屈折波という。次の図1-4の直接波が、地殻中を伝わって観測点に届いたP波であり、屈折波が、マントルを伝わって観測点に届いたP波である。図1-4では、震央距離120 kmの地点Bで走時曲線が折れ曲がっている。この地点までは地殻中を直接伝わったP波(直接波)が先に届くが、この地点以遠には、屈折してマントル中を伝わったP波(屈折波)が先に届いている。

地殻中を伝わるP波(直接波)の速度は、図1-4中の原点とA点もしくはB点を用いれば求めることができる。したがって、

$$\frac{60}{10} = \frac{120}{20} = 6.0 \text{ km/秒}$$

である。

マントル中を伝わるP波(屈折波)の速度は、図1-4中のB点とC点を用いて、

$$\frac{180-120}{28-20} = \frac{60}{8} = 7.5 \text{ km/秒}$$

である。

4 …⑥

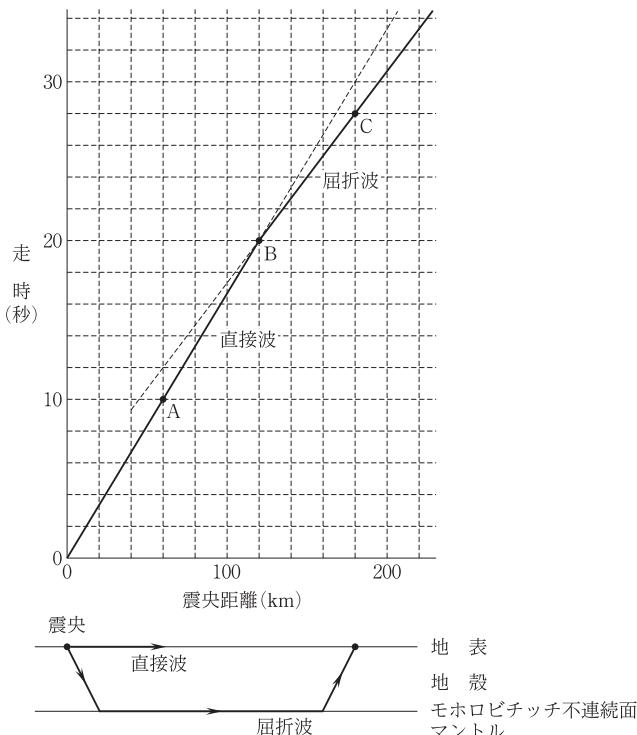


図 1-4 走時曲線と地震波の経路

問 5 ① 図 1-5 のように地震計に記録された最初の小さな振幅の揺れが初期微動、それに続く大きな振幅の揺れが主要動である。P 波と S 波は、震源で同時に発生するが、P 波の方が速度が大きいので、S 波よりも先に観測点に届く。観測点に P 波が届くと初期微動が始まり、S 波が届くと主要動が始まる。したがって、この選択肢が誤りである。

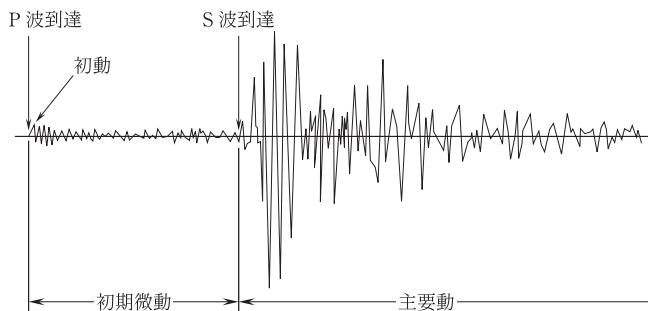


図 1-5 地震計の記録

② 図 1-6 のように、P 波は伝播方向(伝わる方向)と振動方向が平行な縦波である。一方、S 波は、伝播方向と振動方向が直角の関係にある横波である。したがって、この選択肢は正しい。

#### 地震計の記録

P 波が到達すると初期微動が始まり、S 波が到達すると主要動が始まる。

#### 地震波の性質

P 波 伝播方向と振動方向が平行な縦波。振幅は小さい。固体・液体・気体中を伝わる。

S 波 伝播方向と振動方向が直角な横波。振幅は大きい。固体中のみ伝わる。

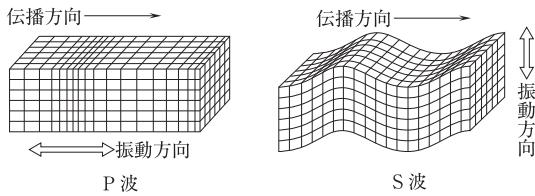


図 1-6 地震波の伝わり方

③ P 波は縦波であり、固体・液体・気体中を伝わるが、S 波は横波であり、固体中のみ伝わる。つまり、P 波は海水中を伝わるが、S 波は海水中を伝わらない。したがって、この選択肢は正しい。

④ 一般に P 波の振幅は、図 1-5 のように、震源で同時に発生した S 波の振幅よりも小さい。したがって、この選択肢は正しい。

5 …①

問 6 a 海洋地殻の下にあるマントルは、おもにかんらん岩質岩石から構成されている。かんらん岩はかんらん石、輝石などのケイ酸塩鉱物からなる岩石である。したがって、この文は正しい。

b 上部が花こう岩質岩石、下部が玄武岩質岩石からなる大陸地殻の平均密度は約  $2.7 \sim 3.0 \text{ g/cm}^3$  であり、玄武岩質岩石からなる海洋地殻の平均密度は約  $3.0 \text{ g/cm}^3$  である。つまり、大陸地殻の平均密度は、海洋地殻の平均密度よりも小さい。したがって、この文は誤りである。

c 図 1-7 のように、地殻の平均化学組成の 50 重量%以上を  $\text{SiO}_2$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が占める。玄武岩の  $\text{SiO}_2$  重量%は  $45 \sim 52\%$ 、花こう岩の  $\text{SiO}_2$  重量%は  $66\%$  以上である。したがって、平均すれば地殻の  $\text{SiO}_2$  重量%だけでも 50 %を超えることが予想できる。したがって、この文は正しい。

以上から、「正、誤、正」の組合せの ③ が正解である。

6 …③

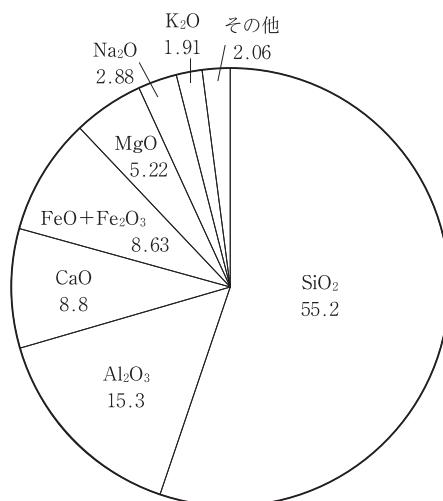


図 1-7 地殻の化学組成(重量%)

#### 地球表層の構成物質

大陸地殻 上部…花こう岩質岩石

下部…玄武岩質岩石

海洋地殻 玄武岩質岩石

上部マントル かんらん岩質岩石

#### 地殻の化学組成

$\text{SiO}_2$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  で半分以上を占める。

## 第2問 火山と変成作用

### A 火山

マグマの発生、火山の分布、火山地形について出題した。火山に関しては、マグマの発生から火山地形の形状にいたるまでを系統的に理解しておく必要がある。

問1 上部マントルを構成するかんらん岩質岩石が融け始めた状態をマグマの発生という。

図2-1はかんらん岩の融解曲線で、(A)はかんらん岩が水を含まない場合、(B)は水を含む場合である。

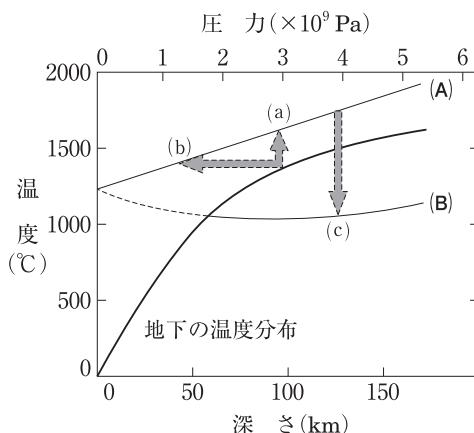


図2-1 かんらん岩の融解曲線と地温分布

図2-1中の矢印(a), (b), (c)は次の条件を示している。

- (a) : 岩石の温度が上昇する。
- (b) : 岩石の圧力が低下する。
- (c) : 水が添加されることによって岩石の融点が下がる。

この中で一つでもその条件が満たされると、岩石が融け始めることが実験で確かめられている。なお、融け始めるというのは、かんらん岩が均一に融け出すのではなく、融け出しやすい成分が部分的に融け出すことを意味している。これを部分溶融という。このとき発生するのは玄武岩質マグマである。

本問に關係するマグマの発生は、(b)のマントル内でかんらん岩が上昇して圧力が低下する(ア)か、(c)の添加された水のはたらきでかんらん岩の融点が下がる(イ)ことが原因である。したがって、正解は④である。

マグマの発生の具体的な状況の例として、(b)は中央海嶺においてプレートが拡大する際に裂け目ができ、そこを埋めるように下からマントル物質が上昇する場合、あるいはホットスポットにおいて地下深くにあったマントル物質が、地表へ向かって上昇する場合、(c)は島弧-海溝系(弧-海溝系)においてプレートが沈み込む際に、岩石に含まれていた含水鉱物から分離した水がマントル

#### マグマの発生条件

- ・ 温度上昇
- ・ 圧力低下
- ・ 水の添加による融点降下

#### マグマの発生場所

- ・ 中央海嶺
- ・ ホットスポット
- ・ 島弧-海溝系(弧-海溝系)

に供給される場合である。

7 …④

問2 日本列島の火山は島弧－海溝系に属し、太平洋プレートが沈み込む日本海溝、伊豆・小笠原海溝、およびフィリピン海プレートが沈み込む南海トラフにはほぼ平行に帶状の分布をしている(図2-2)。その中で最も海溝側に存在する火山に沿って引いた線を火山前線(火山フロント)という。海溝やトラフと火山前線との間には、火山が存在しない。これは、図2-3のように海溝やトラフから斜めに沈み込んだプレートが、ある程度の深さに達したところでマグマが発生するからである。図2-2と四つの選択肢を照らし合わせると、正解は⑧になる。

8 …⑧

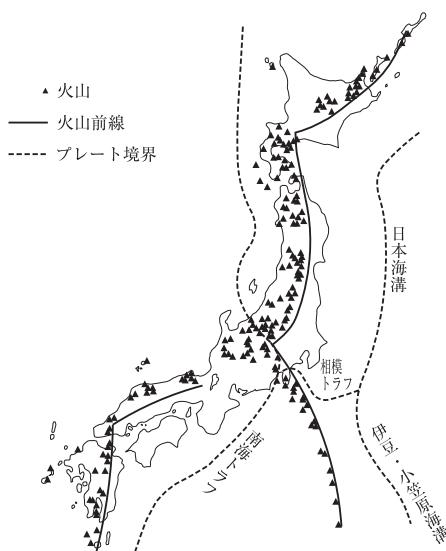


図2-2 火山前線と海溝

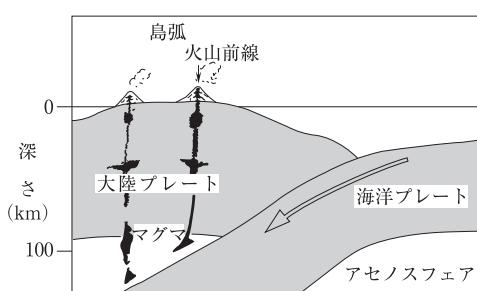


図2-3 島弧の火山

問3 ホットスポットはプレートを貫くマグマの湧き出し口である、プレート境界とは密接な関係をもたずに火山を形成する。

① ホットスポットは、マントル深部から高温の物質が上昇している場所である。よって、「液体の外核内部から」とあるこの選択肢は誤りである。この高温物質の上昇はマントル対流の一部と考えられ、ブルームと呼ばれている。

#### ホットスポット

- ・マントル深部からのブルームの湧き出しが
- ・玄武岩質マグマの活動
- ・大陸内部にも存在

② ホットスポットにおける火山活動は、おもにかんらん岩の部分溶融によって発生する玄武岩質マグマによるものである。よって、この選択肢は正しい。

③ 固定されたホットスポット(現在のハワイ島の位置)の上をプレートが通過すると、次々と火山が誕生し、プレートの移動によって火山島や海山の列がつくられていった(図2-4)。火山島(ハワイ諸島の島々)や海山は、ハワイ島から離れるほど形成年代が古くなる。この列の方向や形成年代から、プレートの移動方向や移動速度を推定することができる。よって、この選択肢は正しい。

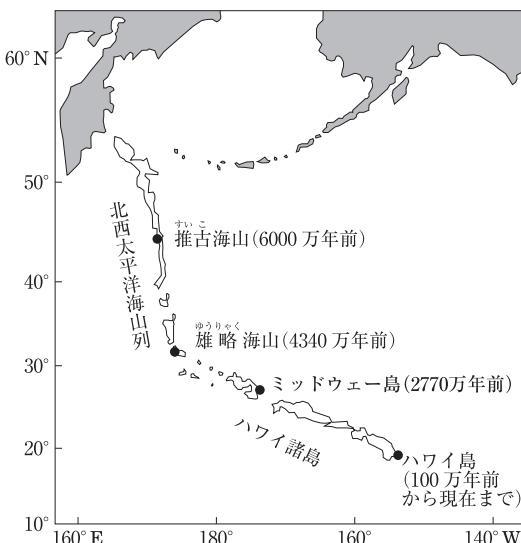


図2-4 ホットスポットと火山島列、海山列

図2-4から、雄略海山付近を境にして、ハワイ諸島は西北西に並び、北西太平洋海山列(天皇海山列)は北北西に並んでいることがわかる。これは約4340万年前まではプレートは北北西に移動し、それ以降は西北西に移動するようになったことを示している。

現在、ハワイ島のキラウエア火山において、ホットスポットの活動(溶岩の流出)が観察できる。さらに、そこから50kmほど南の海底では、新たにロイヒ海山が溶岩を噴出している。これは、まさにプレートの移動によって火山活動の場が移り変わろうとしていることを示している。

④ 大陸内部にあるホットスポットとしては、北アメリカ大陸西部のイエローストーンなどが知られている。よって、この選択肢は正しい。

9 …①

問4 図2-5に火山地形を示す。

① <sup>たて</sup>盾状火山は、粘性が小さく流れやすい溶岩が地表に噴出し

たときに形成される地形で、盾を伏せたような傾斜のゆるい巨大な山体を形成している。よって、この選択肢は正しい。

② 溶岩ドーム(溶岩円頂丘)は、粘性が大きく流れにくい溶岩が、地表に出て盛り上がった地形である。溶岩の粘性が大きい場合、揮発性成分(おもに  $H_2O$ )が抜けにくく、地表付近で圧力が低くなると揮発性成分が一気に発泡し、爆発的な噴火につながることもある。溶岩ドームはドーム状の山体であるが、内部は風船を膨らませたような空洞になっていない。よって、この選択肢は誤りである。

③ 成層火山をつくる溶岩は、盾状火山をつくる溶岩と溶岩ドームをつくる溶岩との中間的な粘性をもっているものが多い。溶岩が斜面を流れ下ることもあれば、爆発的な噴火によって噴出された火山碎屑物(火山灰や軽石など)が降り積もることもあるため、それらが交互に層状に積み重なって円錐形の山体をつくる。よって、この選択肢は正しい。

④ 大規模な噴火によって大量の溶岩や火山碎屑物が噴出すると地下に空洞ができ、山体が大きく陥没することがある。これによってできたくぼ地をカルデラという。よって、この選択肢は正しい。

10 …②



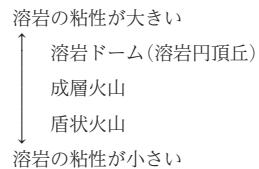
図 2-5 火山地形

## B 变成作用

变成作用における温度-圧力条件と、生成される  $Al_2SiO_5$  の化学組成をもつ鉱物との関係について出題した。それらの安定領域を示す図の見方をきちんと理解しておきたい。

問 5 図 2-6 は、 $Al_2SiO_5$  の化学組成をもつ鉱物の安定領域を示す温度-圧力図である。らん晶石、紅柱石、珪線石は、泥質变成岩から広く産出する鉱物で、化学組成( $Al_2SiO_5$ )が同じで結晶構造は異なるという特徴をもつ。このような関係を多形(同質異像)という。变成岩に含まれているこれらの鉱物の組合せによって、生成時の温度・圧力を推定することができる。变成作用を考える上で気をつけたいことは、温度と圧力についてある程度の幅をもたせて考えることである。広域变成作用はもちろんのこと、接触变成作用にしてもある程度広い範囲に及ぶため、その範囲内で温度・圧力に差が生じる。例えば、熱源に近いところでは高温の变成作用を受け、熱源から離れたところでは、より低温の变成作用を受けることになる。また、深いところでは高圧の变成作用を受け、より浅いところでは低圧の变成作用を受ける。

## 火山地形



## 広域变成岩

片麻岩(高温低圧型)  
結晶片岩(低温高压型)

## 接触变成岩

ホルンフェルス  
結晶質石灰岩(大理石)

問題文には「高温低圧型の変成帯」(広域変成帯のこと)とあるので、図2-6の右下にある紅柱石や珪線石(ウ)を含むことになり、そのうち「片麻岩の形成時の温度が比較的低温の場合」とあるので、より低温側の紅柱石(エ)を含むことになる。よって、正解は②である。

なお、問題文中で取り上げた片麻岩は、泥岩などを起源とする高温低圧型の広域変成岩である。例えば、泥岩がマグマの熱によって変成作用を受けたとき、温度の上昇に伴って組織が変化し、最終的に片麻岩になると考えられている。このとき、鉱物は再結晶によって粗粒になり、再結晶した無色鉱物と有色鉱物が縞状に配列した組織が顕著になる。

11 …②

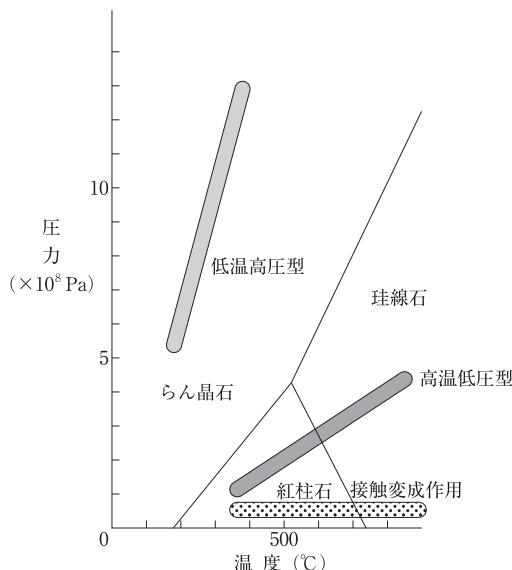


図2-6 変成作用

問6 高温低圧型の変成帯の周辺には花こう岩が分布することが多い。これはプレート運動による広域変成作用と同時に、その周辺の地下浅所で花こう岩の貫入による接触変成作用が起きていることを意味する。泥岩が接触変成作用を受けた場合、熱源(花こう岩体)に近いところは高温状態となるため、珪線石を含むことが多く、熱源から離れたところでは、それより低温となるため紅柱石を含むことが多い。しかし、接触変成作用は広域変成作用に比べて地下浅所で起こるので、らん晶石が含まれることはない。

よって、泥岩が接触変成作用(オ)を受けると、珪線石を含んだホルンフェルス(カ)になる場合が考えられる。したがって、正解は③である。

12 …③

### 第3問 地質・地史

#### A 地質図

地質図の読み取りで最も基本的な作業は、層理面や断層面の走向線の決定である。走向線は層理面や断層面と水平な面との交線であるので、地質図上で作図するには、ある高さの等高線と地層境界線や断層線との交点を2点選んで直線で結べばよい。この方法で異なる高さの走向線が作図できれば、それらを含む平面として層理面や断層面が求まり、走向と傾斜が決定できる。これをすべての地層に対して行えば地下構造が把握でき、それが地史の組み立ての基本材料となる。

問1 問題の図1の断層Fの南東側の平面状の斜面にB層とC層の境界線は等高線と平行に、東西方向にのびている。よって、層理面は東西方向では水平であり、境界線が走向線となる。したがって、走向はE-W(ア)であることがわかる。

問題文に「B・C・D層の走向・傾斜はこの地域内で同一である」とあるので、断層Fの西側でもB・C・D層の走向はE-Wである。断層の西側に現れているB層とC層の境界線は図3-1のZ地点で120mの等高線と交わり、Z'地点で100mの等高線と交わっている。これらの交点を通る東西方向の走向線をそれぞれ描くと、100mの走向線は120mの走向線よりも南側にあるので、層理面は南(イ)に傾斜していることがわかる。

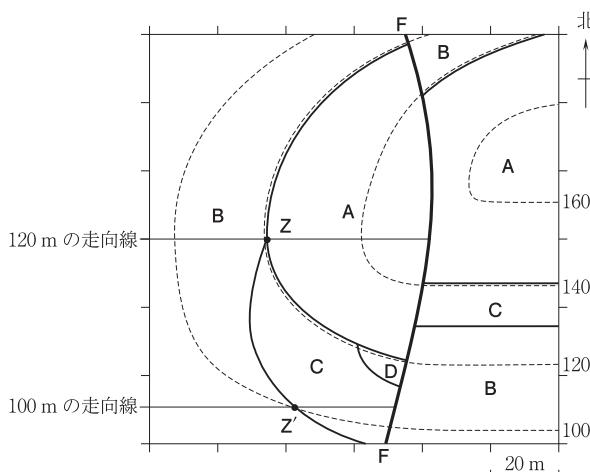


図3-1 B層とC層の層理面の走向線

なお、断層Fの東側では、平面状の斜面の上でB層とC層の境界線が東西に直線状にのびており、層理面は南に傾いていることから、B層とC層は、図3-2のように分布している。

#### 層理面

地層の境界面。

#### 走向線

層理面と水平面との交線。

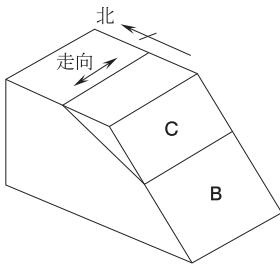


図3-2 B層とC層の層序

これに対し、A層は断層Fの両側で等高線に沿って水平に分布しており、問題文にもあるとおり、B・C・D層とは傾斜が異なる。よって、A層はそれ以外の地層と連続的に堆積しておらず、不整合(ウ)の関係にあることがわかる。

13 ⋯②

問2 図3-3で、Xは断層線と標高140 mの等高線との交点2か所を結んだ直線で、これが断層Fの標高140 mの走向線となる。同様に標高120 mの走向線を描いたものがYである。走向線に垂直な方向に両者の水平距離を計るとおよそ5 mとなる。高度差の20 mは水平距離の5 mより大きいので、傾斜は45°を超える角度であることがわかる。また、YがXの西にあることから傾斜方向は西であり、断層の西側が上盤であることがわかる。断層の両側でのA層の下限の高度を見ると、東側で140 m、西側で120 mなので、西側が20 m下がっていることがわかる。上盤が下がっているので、断層Fは正断層であると結論できる。以上から、③が正解となる。

14 ⋯③

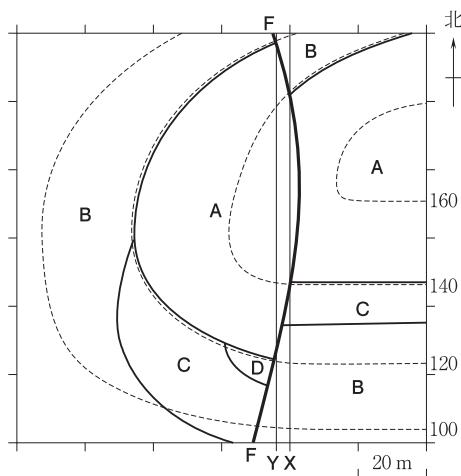


図3-3 断層Fの走向線

問3 チャートとはSiO<sub>2</sub>を主成分とする非常に硬い堆積岩である。おもにケイ酸質の殻をもつ放散虫などの遺骸が深海底に堆積して形成される。よって、B層が堆積したのは深海底であることがわかる。一方、石灰岩はCaCO<sub>3</sub>が主成分の堆積岩で、おもに貝や有

#### 不整合

層理面の上下で不連続に堆積したときの地層の関係。上下の地層の走向・傾斜が異なっていたり、地質時代が大きく異なったりすることなどから判断できる。

#### 正断層

地盤に伸張力がはたらいた結果生じる、上盤側が下がった断層。

#### 逆断層

地盤に圧縮力がはたらいた結果生じる、上盤側が上がった断層。

#### チャート

SiO<sub>2</sub>を主成分とする堆積岩。生物起源のものは放散虫やケイ藻の遺骸が堆積して形成される。

孔虫、<sup>ぼうすい</sup>紡錘虫(フズリナ)の殻やサンゴの骨格などが堆積して形成されるが、生物起源でないものもある。堆積環境はさまざまであるが、含まれる化石などによって判別することができる。本問の場合、D層の石灰岩からは造礁サンゴの化石が産出しているため、サンゴの生息域、つまり日光が深くまで届くような澄んだ暖かい浅海で堆積したことがわかる。以上から、正解は②となる。

15 …②

## B 日本列島

日本列島付近には4枚のプレートが集まっているため、複雑な力がはたらいており、プレートテクトニクスに伴うさまざまな現象が現れている。したがって、日本列島の地質構造や形成史を学習しておけば、世界中の地学現象に応用することができる。

**問4** 日本は古第三紀まではユーラシア大陸東岸の一部であったが、新第三紀(**工**)の約2000万年～1500万年前に日本海が拡大を始めた後に島弧となった。日本海拡大時期の初期には現在の東北日本と西南日本は独立しており、大陸の東縁に分布していた。その後、東北日本は反時計回り、西南日本は時計回りに回転し、現在の折れ曲がった日本列島の原型がつくられた。最終的に、東北日本と西南日本が近づいて合体した。そのときの接合部分が地溝帯であるフォッサマグナ(**オ**)である。

16 …②

**問5** 日本列島の下には、太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの2枚の海洋プレートが日本海溝や南海トラフから沈み込んでいる。海洋プレート上にはチャートをはじめとする深海堆積物が堆積しているが、それらは海溝から沈み込むときにはぎ取られ、海溝内に堆積した陸源性の堆積物とともに大陸プレートに押しつけられる。そのとき、以前に押しつけられていた堆積物の下に押し込まれるようにして付加されるため、新しい付加体ほど下位に位置することになる。日本列島はおもにこのような付加体と、火成活動でつくられた花こう岩、変成岩などから形成されている。

①・② 四十万<sup>しまんと</sup>帯を含めた西南日本の帶状の地質構造は、上記のように付加体の形成によって形づくられたものであり、水平に堆積した地層群の侵食による切り口ではない。よって、これらは誤りである。

③ 四十万帯に分布しているのはおもに海底で堆積した砂岩や泥岩などであり、陸上に堆積した火山噴出物ではない。よって、この選択肢は誤りである。

④ 付加体は海溝内の陸源性堆積物と海洋プレート上の堆積物の混合物からなっている。堆積物が付加されてから長時間経過すると変成作用を受けることがあるが、四十万帯は年代が新しいため堆積物がそのまま付加されているだけである。よって、この選択肢が正しい。

17 …④

### 日本海の拡大

約2000万年～1500万年前に拡大を開始した。

### フォッサマグナ

日本列島中央部を南北に横断する地溝<sup>いとひ</sup>帯。西縁は糸魚川～静岡構造線。

### 付加体

海溝内の堆積物と海洋プレート上の堆積物が大陸プレートに押しつけられて付加したもの。下方から上方に向かって、また、海側から陸側に向かって古くなる。

**問6** 日本海が拡大を開始した当初、東北日本と西南日本は地続きではなく、**問4**で述べたようにそれぞれ反対方向に回転して日本海が広がっていった。そして新第三紀の終わり頃には両者はフォッサマグナで結合した。その後、フォッサマグナ南部に、フィリピン海プレート上にある、後に伊豆半島となった地塊が衝突し、帯状の地質構造を歪ませた。よって、⑨が正解である。

① 東北日本と西南日本の結合時もその後も、圧縮力を受けて褶曲や造山運動が起きているが、西南日本に形成されていた帯状構造を歪ませた原因ではないので、この選択肢は誤りである。

② 富士山などの火山噴火を引き起こすマグマの体積は、地質構造を歪ませるほど大きいものではないので、この選択肢は誤りである。

④ 糸魚川一静岡構造線はフォッサマグナの西端に位置する断層であり、地層を切ったりずらしたりはするが、歪ませるように動かすことはないので、この選択肢は誤りである。 **18** …⑨

## 第4問 大気と海洋

### A 地球のエネルギー収支と大気の大循環

地球の大気や海洋の運動は、太陽からの放射エネルギーを原因の一つとして生じている。地球のエネルギー収支を理解することで、大気や海水の大循環についても理解が深まる。教科書の図などをよく確認して説明できるようにしておこう。

**問1** 図4-1は、大気圏上層に到達する太陽放射エネルギーを100として地球のエネルギー収支を示したものである。太陽からは可視光線が最も強く放射されており、地球からは赤外線が放射されている。

① 太陽放射のうち、大気と雲および地表によって約30% (0.3)は反射・散乱されて宇宙空間へと戻っていく。カッコ内の値をアルベド(反射能)と呼ぶ。約20%は大気と雲によって吸収される。よって、地表面が吸収するのは約50%となる。したがって、この選択肢は誤りである。

② 地表からの放射は、直接宇宙空間に放出される分と、大気によって吸収される分があり、大気によって吸収される量の方がはるかに大きい。したがって、この選択肢は誤りである。

③ 大気によって吸収されたエネルギーは、宇宙空間と地表へと放射される。宇宙空間に放出される量よりも地表に放出される量の方が大きく、このはたらきによって地表の温度は高温に保たれている。したがって、この選択肢は正しい。大気中の水蒸気や二酸化炭素、メタン、フロンなどは、地表からの赤外線を吸収し、再放射することで地表を暖める。これを温室効果という。温室効果がはたらかないと仮定したときの地表の気温は、現在よりも約30~35℃ほど低いと考えられている。

太陽放射の最強波長

可視光線

地球放射

赤外線

アルベド(反射能)

太陽から入射するエネルギーのうち、反射・散乱されるエネルギーの割合。地球では約0.3。

温室効果ガス

可視光線に対しては透明で赤外線を吸収する気体。

例：水蒸気、二酸化炭素、メタン、フロン

④ 地表から放出されるエネルギーのうち、一部は水が蒸発する際に潜熱として大気へ輸送される。その割合は、図4-1の値を用いて計算すると、

$$\frac{23}{114+7+23} \times 100 = 15.9$$

となり、約16%である。したがって、この選択肢は誤りである。

19 ⋯③

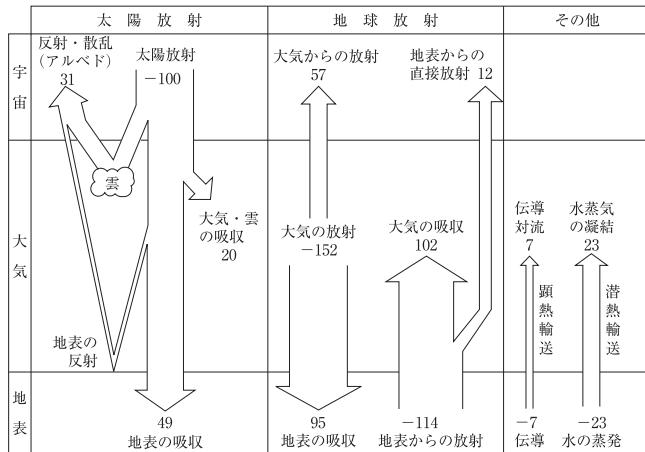


図4-1 地球のエネルギー収支

問2 地球に入射する太陽光線は平行光線であり、緯度によって入射する角度が異なる。秋分の日の正午における各地点(水平面)における太陽光線の入射角度は、赤道上のC地点で90°、緯度30°のB地点で60°、緯度60°のA地点で30°、緯度45°のD地点で45°である。図4-2のようにエネルギー量が等しい日射が、各地点に入射したときに水平面に当たる面積は、赤道上のC地点での面積を1とすると、B地点では $\frac{2}{\sqrt{3}}$ 、A地点では2、D地点では $\sqrt{2}$ となる。

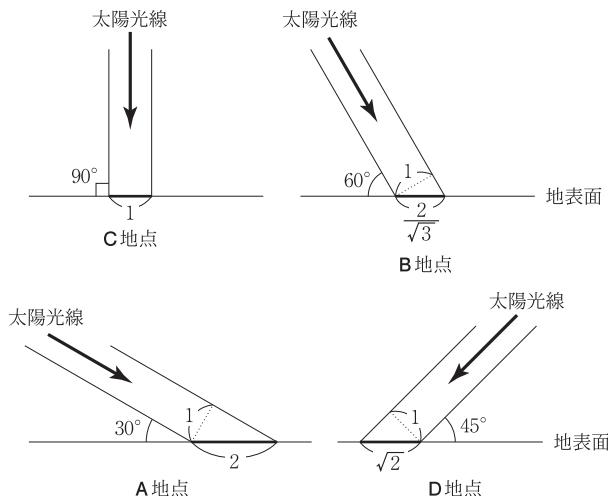


図4-2 各地点の太陽光線の入射角と面積

入射する太陽放射エネルギー量は等しいため、日射が当たる面積が大きいほど、単位面積あたりのエネルギー量は小さくなる。したがって、水平面における単位面積あたりの太陽放射エネルギー量は、C 地点での値を 1 とすると、

$$B \text{ 地点では}, 1 \div \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$A \text{ 地点では}, 1 \div 2 = \frac{1}{2}$$

$$D \text{ 地点では}, 1 \div \sqrt{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

と表される。よって、A 地点は B 地点の  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  倍であるため、①は誤り、B 地点は C 地点の  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  倍であるため、②は誤り、C 地点は D 地点の  $\sqrt{2}$  倍であるため、③は誤りである。D 地点は A 地点の  $\sqrt{2}$  倍であるため、④が正しい。

[20] …④

**問3 a** 亜熱帯高圧帯で下降した気流の一部は、地表付近で貿易風として熱帯収束帶(赤道収束帶)へと向かう(図 4-3)。下降気流のもとでは、雲はほとんど生じず晴天となる。したがって、この文は誤りである。赤道付近では、南北から吹き込む貿易風が収束し、上昇気流となって鉛直方向に発達する積乱雲が形成されやすい。

**b** 赤道付近の熱帯収束帶で上昇した気流は圏界面まで上昇すると、北半球、南半球のそれぞれ高緯度側へと移動する。つまり、北半球では北向きに、南半球では南向きに移動する(図 4-3)。したがって、この文は正しい。

**c** 低緯度域において、上昇気流が見られる熱帯収束帶と下降気流が見られる亜熱帯高圧帯を形成するような大気の鉛直循環は、ハドレー循環と呼ばれている。したがって、この文は正しい。

以上から、「誤・正・正」の組合せの⑥が正解である。

[21] …⑥

#### 貿易風

亜熱帯高圧帯から熱帯収束帶に向かう地表付近の風。転向力(コリオリの力)により、東寄りの風となる。

#### ハドレー循環

低緯度域における南北方向の鉛直循環。

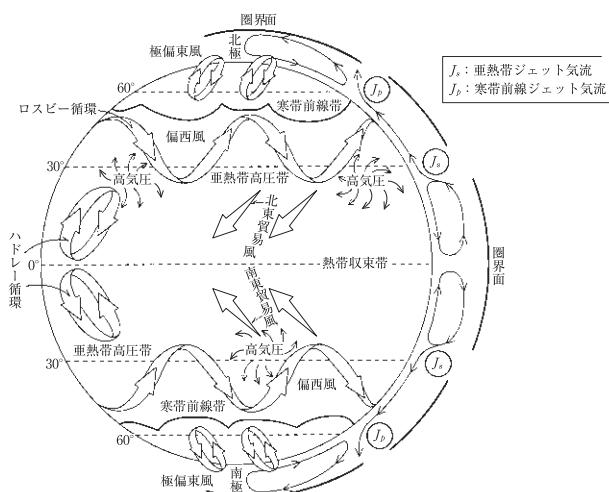


図 4-3 大気の大循環

## B 海洋の構造

大気と同様に、海洋にも水温の鉛直構造が見られる。海洋の基本的な特徴と海水の運動が起こるしくみを理解しておこう。

**問4** 海水の塩類は、海水中で電離してイオンとなっている。イオン存在量で比較すると、塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )が最も多く、次いで、ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )、硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )、マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )の順である(表4-1)。その組成比(割合)は、海域によらずどこでもほぼ一定となっている。

なお、塩類として最も量が多いものは塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )で、次いで、塩化マグネシウム( $\text{MgCl}_2$ )である。他に、硫酸マグネシウム( $\text{MgSO}_4$ )、硫酸カルシウム( $\text{CaSO}_4$ )、塩化カリウム( $\text{KCl}$ )、炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )などが含まれる。 22 …③

表4-1 海水のイオン存在量

塩分を構成するイオン	存在量(g/kg)	質量%
塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )	19.4	55.1
ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )	10.8	30.6
硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2.7	7.7
マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )	1.3	3.7
カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )	0.4	1.2
カリウムイオン( $\text{K}^+$ )	0.4	1.1
炭酸水素イオン( $\text{HCO}_3^-$ )	0.1	0.4
臭化物イオン( $\text{Br}^-$ )	0.07	0.2
その他	—	0.04

**問5 ア・イ**：海洋の鉛直構造は、水温変化によって、表層混合層、主水温躍層(水温躍層)、深層に区分されることがある。表層混合層は、風や波によってかき混ぜられたり、海面で冷却されて密度が大きくなったり海水が沈み込み、対流が生じることによって水温が一様の層となっている。中緯度では、春から夏にかけて、海面が暖められて対流が生じにくくなり、また、風によるかき混ぜも弱まるため、表層混合層は薄くなる。冬になると海面が冷却されて対流が活発となるため、表層混合層が厚くなる。

**ウ**：高温の表層混合層と低温の深層の間には、水温が急変する主水温躍層が形成されることがある(図4-4)。主水温躍層は、表層と深層の水温差が大きい低緯度から中緯度の海域で形成され、気温が低い高緯度では、表層の水温が低く、深層との温度差が小さいので明瞭な主水温躍層が見られない。 23 …②

### 海水のイオン存在量

割合の多い順に、塩化物イオン、ナトリウムイオン、硫酸イオン、マグネシウムイオン。

### 海洋の鉛直構造

水温の変化のようすによって区分される。表層混合層、主水温躍層、深層。

### 主水温躍層(水温躍層)

水温が急変する層。低緯度から中緯度の海域で見られる。

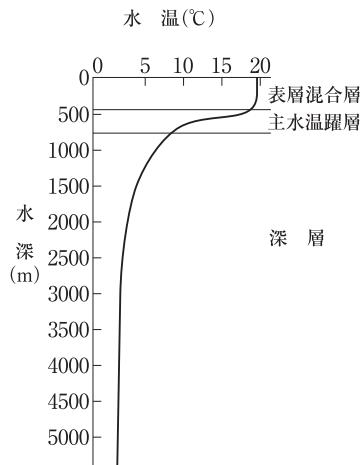


図 4-4 海洋の鉛直構造(低緯度から中緯度)

問 6 ① 海水の塩分は、降水量が蒸発量を上回る海域で低くなり、蒸発量が降水量を上回る海域では高くなる。北緯 30° 付近は亜熱帯高圧帯にあたり、下降気流が卓越するため降水量が少なく、蒸発量が降水量を上回る(図 4-5)。そのため、表層部分の塩分が比較的高い。したがって、この選択肢は正しい。

② 塩類は氷の中には入りにくいため、海水が結氷すると海中に塩類が残されて塩分が高くなる。したがって、この選択肢は誤りである。南緯 50° 付近の表層部分で塩分が低いのは、寒帶前線帯に位置し、降水量が蒸発量を上回っていることや、融氷によってできた水が流入している影響が大きい(図 4-5)。

③ 南緯 30° 付近の水深約 1000 m には、南緯 50° 付近の表層から低温で塩分が低い海水が沈み込んでいる。ただし、この海水はそれより深層の海水より密度が小さいため、深層まで沈み込んでいない。したがって、この選択肢は正しい。

④ 南緯 30° 付近の水深約 3000 m の深層部分には、北緯 60° 付近の表層から低温で高塩分の密度が大きい海水が沈み込んでいる。北緯 60° のグリーンランド沖では、冬季に海水が形成されるため高塩分の海水が生じ、深層への沈み込みが生じている。したがって、この選択肢は正しい。

24 ⋯②

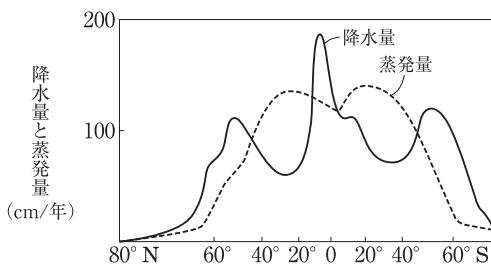


図 4-5 緯度別の降水量と蒸発量

#### 海水の塩分

平均約 35 %

降水量 > 蒸発量の海域で低い。

例) 热帯収束帯

蒸発量 > 降水量の海域で高い。

例) 亜热帯高圧帯

高緯度では、結氷する海域で高く、融水が流入する海域では低い。

#### 海水の深層への沈み込み

北大西洋のグリーンランド沖と南極海で深層への沈み込みが見られる。

## 第5問 宇宙

### A 太陽系

ケプラーは惑星の運動に関する三つの法則を発見した。ケプラーの法則に関する問題は新課程に入ってもセンター試験でたびたび取り上げられる重要な事項になるであろう。今回は、ケプラーの法則、惑星の運動、会合周期に関する問題を出題した。今回は出題しなかったが、ケプラーの第三法則については計算問題として出題される可能性があるので、計算練習をして慣れておいてほしい。

**問1** ケプラーの第三法則は、惑星の太陽からの平均距離  $a$  の3乗は、惑星の公転周期  $P$  の2乗に比例する、というものである。式で表せば、

$$\frac{a^3}{P^2} = K \quad (K \text{ は比例定数}) \quad \cdots ①$$

となる。①の式において、平均距離を天文単位に、公転周期を年の単位にすると、太陽のまわりを公転する天体について、

$$\frac{a^3}{P^2} = 1$$

となる。

以上から、「3」・「2」の組合せの②が正解となる。 25 ②

**問2 a** 惑星の近日点距離を  $a_n$ 、遠日点距離を  $a_f$  とし、惑星の公転軌道の長半径を  $a$  とすると、惑星の太陽からの平均距離は近日点距離  $a_n$  と遠日点距離  $a_f$  の相加平均であり、図5-1を見ればわかるように、公転軌道の長半径  $a$  に等しい。よって、 $a$  は正しい。

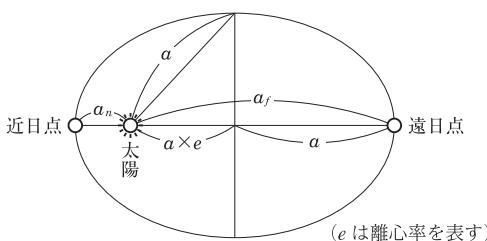


図5-1 惑星の公転軌道と長半径

**b** 惑星の公転軌道を円軌道とすると、惑星の太陽からの平均距離  $a$  は円の半径に等しくなり、円周の長さは  $2\pi a$  になる。惑星の公転速度を  $v$ 、公転周期を  $P$  とすれば、

$$v = \frac{2\pi a}{P} \quad \cdots ②$$

である。式①・②から  $P$  を消去すれば、

$$v = \frac{2\pi\sqrt{K}}{\sqrt{a}}$$

となり、公転速度  $v$  は太陽からの平均距離  $a$  の平方根に反比例する。よって、太陽から遠い惑星ほど公転速度が小さく、太陽に近

### ケプラーの法則

第一法則(橢円軌道の法則)

第二法則(面積速度一定の法則)

第三法則(調和の法則)

### ケプラーの第三法則

惑星の太陽からの平均距離  $a$  の3乗は惑星の公転周期  $P$  の2乗に比例する。

$$\frac{a^3}{P^2} = K \quad (K \text{ は比例定数})$$

### 惑星の太陽からの平均距離

惑星の公転軌道の長半径に等しい。

### 惑星の公転速度

太陽に近い惑星ほど公転速度が大きい。

い惑星ほど公転速度が大きいことがわかる。よって、**b**は正しい。

**c** めい冥王星のような太陽系外縁天体やハレー彗星すいせいのような周期彗星も、ケプラーの法則に従って、太陽を一つの焦点とする橢円軌道を描き、太陽のまわりを公転している。よって、**c**は誤りである。

以上から、「正、正、誤」の組合せの②が正解となる。

**26** …②

**問3** グラウンドを何周か走ることを考えてみよう。グラウンドを走っていると、足の速い人が遅い人を追い抜いていく、ということが起こりうる。スタート地点から走り始めて、足の速い人(太陽に近い惑星と考える)が遅い人(太陽から遠い惑星と考える)を周回遅れにする瞬間までの時間が会合周期に相当する。ところで、走っている人の足の速さに大きな差がない場合は、追い越したり、逆に追い越されたりするまでには時間がかかるてしまう。惑星の運動もこれと似たようなもので、**問2**の**b**で説明したように惑星の公転速度は、太陽からの距離が地球に近い天体ほど、公転速度の差が小さいため、会合周期が長くなる。それゆえ、地球に近い火星の会合周期は長いのである。

一方、太陽から遠方にいる惑星は公転速度が小さく動きが遅い。よって、地球が1年経って元の位置に戻るとき、太陽から遠い惑星はほとんど動いていないので、地球があと少しだけ動けば、また同じ位置関係になる。すなわち、太陽から遠い木星の会合周期は地球の公転周期である1年より少しだけ長くなる。

以上のこと考慮すると、②が正しいとわかる。

**27** …②

## B 恒 星

今回はHR図をもとにして、恒星の光度と半径、恒星の基本的性質、恒星の進化などについて出題した。宇宙・天文分野は数式がたくさん出てくるので、その扱いに慣れることが何よりも重要である。今回は、数式については公式を正確に覚えていなくても解答できるように配慮した。

**問4** **ウ**：縦軸に絶対等級あるいは光度(全放射エネルギー)、横軸にスペクトル型あるいは表面温度をとった図に、多くの恒星をプロットしたものがHR図である(図5-2)。等級は明るい(光度が大きい)ほど数値が小さくなるように決められており、また、HR図では上に行くほど等級の数値が小さくなるように設定している。したがって、問題の図1の五つの恒星A～Eのうち、最も上に位置しているDが最も光度が大きい。

**工**：太陽は表面温度が約5800K、スペクトル型がG型、絶対等級が約4.9等の主系列星である。問題の図1の五つの恒星A～Eのうち、これらの特徴に最も近いものはCである。

以上から、「D」・「C」の組合せの⑥が正解となる。

**28** …⑥

### 会合周期

ある位置関係から再び同じ位置関係に戻るまでの周期。

$$\text{内惑星: } \frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E}$$

$$\text{外惑星: } \frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P}$$

(S: 会合周期、E: 地球の公転周期、P: 惑星の公転周期)

### HR図

縦軸に絶対等級(または光度)、横軸にスペクトル型(または表面温度)をとった図に、恒星をプロットしたもの。

### 太陽の性質

表面温度: 約5800K

スペクトル型: G型

絶対等級: 約4.9等

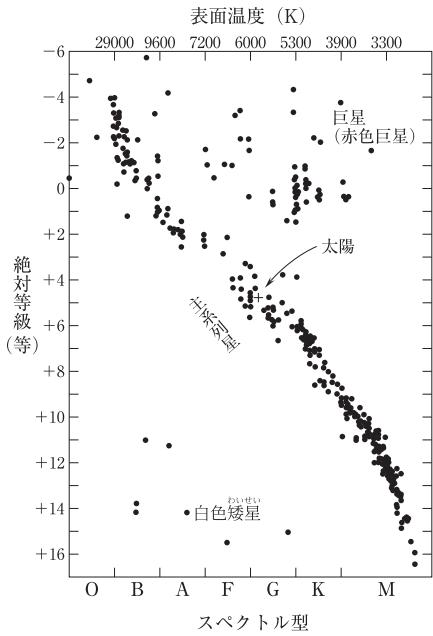


図 5-2 HR 図

問 5 恒星の単位表面積から単位時間に放射されるエネルギー  $E$  は、恒星の表面温度  $T$ (単位は K)の 4 乗に比例する。すなわち、

$$E = \sigma T^4 \quad (\sigma \text{ は シュテファン・ボルツマン定数})$$

が成り立つ。これをシュテファン・ボルツマンの法則という。

恒星はふつう球形をしていると考えてよいから、恒星の光度(全放射エネルギー) $L$  は、恒星の半径を  $R$  として、

$$L = 4\pi R^2 \cdot E = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \quad \cdots ③$$

と表せる。これが問題文の「恒星の光度(全放射エネルギー)は、恒星の表面温度の 4 乗と恒星の半径の 2 乗の積に比例する」ということである。この式を用いて、恒星の光度と表面温度の比から恒星の半径の比が求められる。

問題の図 1において、恒星 D と恒星 E は表面温度が等しいことから、これを  $T$  とし、恒星 D の光度を  $L_D$ 、半径を  $R_D$ 、恒星 E の光度を  $L_E$ 、半径を  $R_E$  とすれば、式③より、

$$L_D = 4\pi R_D^2 \cdot \sigma T^4 \quad \cdots ④$$

$$L_E = 4\pi R_E^2 \cdot \sigma T^4 \quad \cdots ⑤$$

となる。恒星 D は恒星 E より絶対等級が 15 等級小さい。5 等級小さいと 100 倍明るいことから、恒星 D の光度は恒星 E の光度の  $100^3 = 1000^2$  倍である。すなわち、 $L_D = 1000^2 \times L_E$  である。これを用いて、④ ÷ ⑤ を計算して、 $R_D$  と  $R_E$  の比を求めると、

$$\left(\frac{R_D}{R_E}\right)^2 = 1000^2$$

$$\therefore R_D = 1000 R_E$$

となり、恒星 D の半径は恒星 E の半径の 1000 倍である。

#### シュテファン・ボルツマンの法則

$$E = \sigma T^4$$

( $E$ : 単位表面積から単位時間に放射されるエネルギー、 $T$ : 表面温度、 $\sigma$ : シュテファン・ボルツマン定数)

#### 恒星の光度(単位時間に放射される全エネルギー)

$$L = 4\pi R^2 \cdot E = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

( $L$ : 単位時間に放射される全エネルギー、 $R$ : 半径)

#### 等級と明るさ

5 等級小さいと 100 倍明るい。

以上により、⑥が正解となる。

[29] …⑥

問6 ① 恒星の進化の仕方は質量によって異なる。太陽質量程度の恒星であれば、巨星(赤色巨星)に進化した後、外層部のガスを放出して、白色矮星になる。質量が太陽質量の数倍以上の恒星は、主系列星から巨星に進化した後に超新星爆発を起こし、中性子星やブラックホールになることがある。主系列星がすべて超新星爆発を起こすわけではないし、超新星爆発を起こした後に白色矮星になるわけでもない。よって、①は誤りである。

② 恒星の進化過程において、主系列星として輝く時間が最も長いため、恒星の寿命＝主系列星としての時間と考えてよい。主系列星はその質量と光度の間に、光度は質量の3~4乗に比例するという質量光度関係が成り立つ(図5-3)。図5-2を見るとわかるように、主系列星の場合、表面温度が高いほど光度が大きいので、表面温度が高いほど質量が大きいということになる。質量が大きい主系列星ほど中心部の温度が高く、水素の核融合反応が激しく進行し水素の消費が速いため、主系列星としての時間は短い。すなわち、表面温度が高い主系列星ほど、主系列星としての寿命が短い。よって、②は正しい。

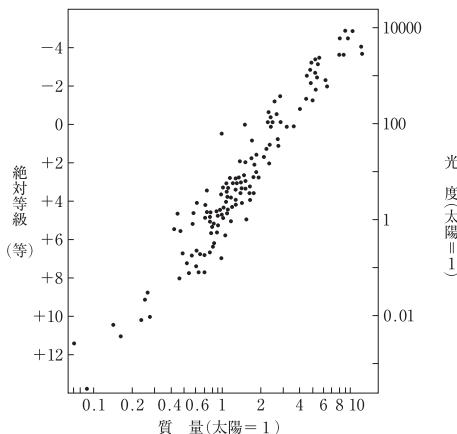


図5-3 主系列星の質量光度関係

③ 太陽程度の質量の恒星は、進化の終末で白色矮星になる。白色矮星に進化すると、もはや中心部で核融合反応を起こすほどの温度には至らず、余熱で輝くことになる。核融合反応が停止しているので、次第に低温になり、やがて暗黒の黒色矮星になると考えられている。よって、③は誤りである。

④ 白色矮星は、太陽程度の質量であるが地球程度の大きさしかないので、その平均密度は非常に大きい。一般的な主系列星と考えられている太陽の平均密度が $1.4 \text{ g/cm}^3$ であるのに対し、白色矮星の一つであるシリウスの伴星の平均密度は、 $10^5 \sim 10^6 \text{ g/cm}^3$ もあると考えられている。一方、巨星(赤色巨星)は、その

#### 太陽質量程度の恒星の進化

主系列星 → 巨星 → 白色矮星

#### 太陽質量の数倍以上の恒星の進化

主系列星 → 巨星 → 中性子星  
ブラックホール

#### 主系列星の質量光度関係

主系列星の光度は質量の3~4乗に比例する。

#### 恒星の寿命

恒星の質量が大きいほど短い。

#### 白色矮星のエネルギー源

核融合反応は停止しているため、余熱で輝いている。

#### 恒星の平均密度

巨星 < 主系列星 < 白色矮星

---

中心部には重元素が密に存在しており、中心部の密度は非常に高いものの、問5で解説した恒星Dのように膨張して半径が大きくなっているので、巨星全体の平均密度は  $10^{-6} \sim 10^{-7}$  g/cm<sup>3</sup> であり、非常に小さい。よって、④は誤りである。

30 ⋯②

---

物理 I

【解答・採点基準】

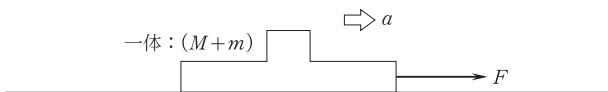
(100点満点)

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	③	5		
	問2	2	⑦	5		
	問3	3	⑧	5		
	問4	4	②	5		
	問5	5	①	5		
	問6	6	⑥	5		
第1問 自己採点小計				(30)		
第2問	A 問1	7	⑦	4		
	問2	8	①	4		
	B 問3	9	④	4		
	問4	10	①	4		
	問5	11	⑤	4		
	第2問 自己採点小計				(20)	
第3問	A 問1	12	②	3		
	問2	13	①	4		
	B 問3	14	⑤	3		
	問4	15	②	4		
	問5	16	②	4		
	第3問 自己採点小計				(18)	
第4問	A 問1	17	①	4		
	問2	18	④	4		
	問3	19	③	4		
	B 問4	20	③	4		
	問5	21	⑦	4		
	問6	22	⑥	4		
	C 問7	23	③	4		
	問8	24	②	4		
第4問 自己採点小計				(32)		
自己採点合計				(100)		

## 【解説】

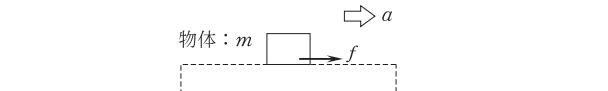
### 第1問 小問集合

問1 板に加えた外力の大きさを  $F$ 、板と物体との間にはたらく静止摩擦力の大きさを  $f$  とする。加速度を  $a$  (水平方向右向きを正)として、一体の運動方程式をたてる。



$$(M+m)a=F \quad \cdots \textcircled{1}$$

物体の運動方程式をたてると、



$$ma=f \quad \cdots \textcircled{2}$$

①式と②式より、

$$\frac{f}{F} = \frac{m}{M+m} \text{ 倍}$$

1 の答 ③

問2 1時間 ( $=3.60 \times 10^3$  s) で水が失った重力による位置エネルギーを  $U$  [J] とすると、

$$U = (3.60 \times 10^6 \text{ kg}) \times (9.80 \text{ m/s}^2) \times (1.00 \times 10^2 \text{ m})$$

である。この発電で得られた電力量を  $W$  [J] とすると、

$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$  より、

$$W = (7.84 \times 10^5 \text{ W}) \times (3.60 \times 10^3 \text{ s})$$

である。水の位置エネルギーの  $x\%$  が電気エネルギーに変換されたとすると、

$$W = U \times \frac{x}{100} \text{ より、}$$

$$x = \frac{W}{U} \times 100 = \frac{7.84 \times 10^5 \times 3.60 \times 10^3}{3.60 \times 10^6 \times 9.80 \times 1.00 \times 10^2} \times 100 \\ = \frac{7.84}{9.80} \times 100 = \underline{\underline{80}} \text{ \%}$$

2 の答 ⑦

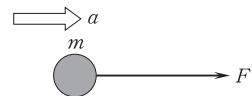
問3 直線電流のつくる磁場(磁界)は、電流に垂直な平面内で、電流の位置を中心とした同心円状の磁力線によって決まる。まず、点 P を通る導線に流れる電流が点 R の位置につくる磁場  $\vec{H}_P$  を求める。右ねじの法則より、 $\vec{H}_P$  の向きは次図( $z$  軸の正方向からみた  $x-y$  面)のようになる。

## 【ポイント】

### 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>] とすると、

$$ma=F$$



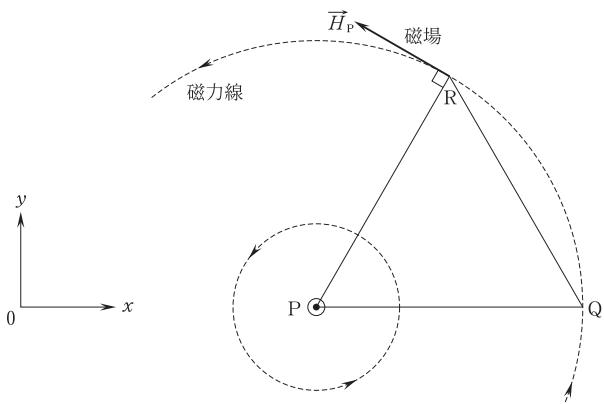
加速度の向きは、力の向きと一致する。いくつかの力が物体にはたらくときは、 $F$  は合力とする。

### 電力量 $W$ [J]

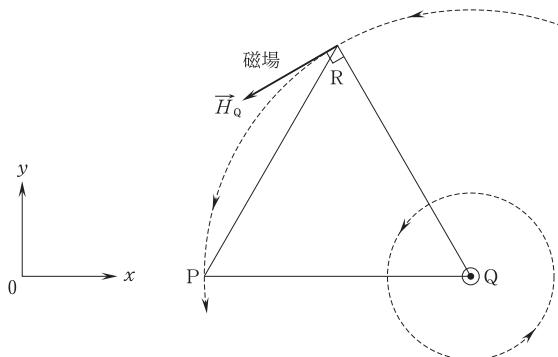
$$W=Pt$$

$P$  [W] : 電力

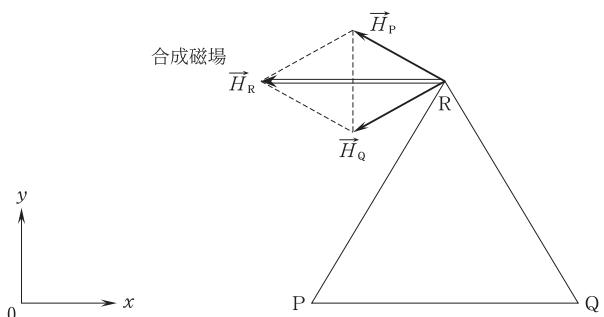
$t$  [s] : 時間



次に、点 Q を通る導線に流れる電流が点 R の位置につくる磁場  $\vec{H}_Q$  の向きは次図で表せる。

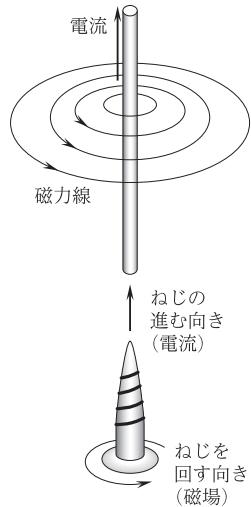


点 P と Q を通る 2 本の導線を流れる電流の強さは等しく、点 P と Q から点 R までの距離も等しいことから、磁場  $\vec{H}_P$  と  $\vec{H}_Q$  の強さも等しい。点 R での磁場  $\vec{H}_R$  は、 $\vec{H}_P$  と  $\vec{H}_Q$  との合成だから、次図のように、x 軸の負の向きとなる。



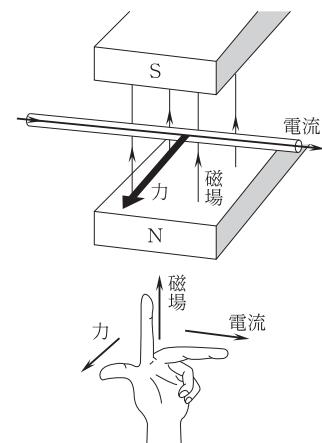
点 R を通る導線の電流が磁場  $\vec{H}_R$  から受ける力の向きは、フレミングの左手の法則より、y 軸の負の向きに(次図)となる。

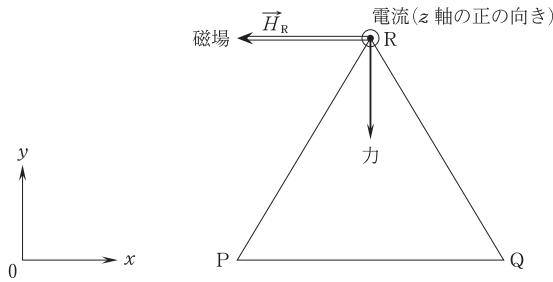
### 右ねじの法則



### フレミングの左手の法則

直線電流が磁場(磁界)から受ける力の方向は、電流や磁場の方向に垂直である。左手の3指を互いに直角に開き、中指を電流、人差し指を磁場の向きに合わせると、親指が力の向きを指す。





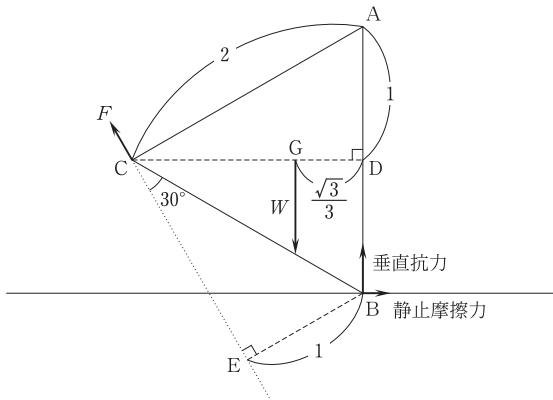
3 の答 ⑧

問4 板の重さを  $W$ , C 端に加えた外力の大きさを  $F$  とする。正三角形 ABC の板の重心 G は, C から辺 AB の中点 D に下した垂線(中線)を 2:1 に内分する点となる。AB=BC=CA=2 とすると,  $CD=\sqrt{3}$  なので  $CG:GD=2:1$  より,

$$CG = \frac{2\sqrt{3}}{3}, \quad GD = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

となる。

板 ABC にはたらく力を図示すると, 次図で表せる。



点 B のまわりの力のモーメントのつりあいの式より,

$$W \times GD - F \times BE = 0$$

ここで,  $GD = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ,  $BE = 1$  より,

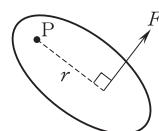
$$\frac{F}{W} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

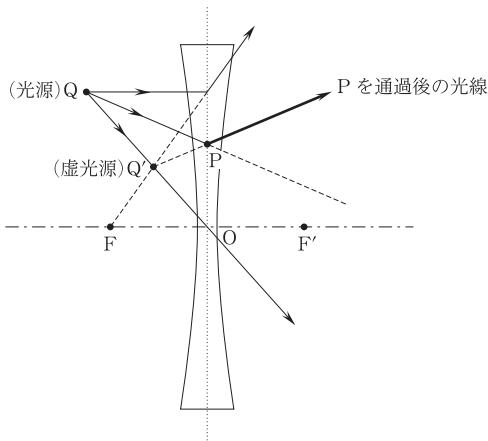
4 の答 ⑨

問5 凹レンズの点 P に左方から入射する光線が光源 Q から出ているものとする。次図のように, Q から出て光軸に平行にレンズに入射する光は, レンズを通過後は前方の焦点 F から出たように進む。また, Q から出でてレンズの中心 O を通る光は直進する。この 2 光線の交点 Q' が光源 Q の虚光源である。P へ向かった光線は Q' から出たように進むので, Q' から P を通る直線を延長した光線が, レンズを通過した後の求める光線となる。

#### 力のモーメント

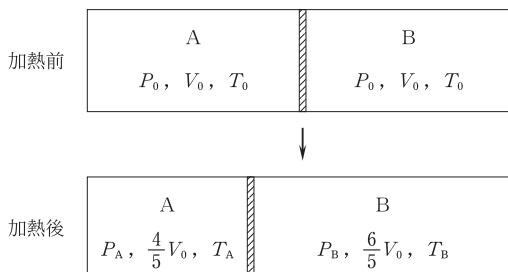
物体を回転させる作用を示す量で, 力の大きさとモーメントのうでの長さで決まる。次図のような場合, 点 P のまわりのモーメントの大きさを  $M$  とすると,  
 $M = F \times r$





5 の答 ①

問6 B内の気体を加熱する前のA, B内の気体の圧力と体積は等しく, それらをそれぞれ $P_0$ ,  $V_0$ とする。加熱後のA内の気体の圧力を $P_A$ , B内の気体の圧力を $P_B$ とする。



この過程におけるA内の気体の内部エネルギーの変化量を $\Delta U_A$ , 気体がした仕事を $W_A$ とする。体積が減少したことから $W_A < 0$ 。熱の出入りはないことから, 热力学第1法則を適用すると,

$$0 = \Delta U_A + W_A$$

$$\therefore \Delta U_A = -W_A > 0$$

A内の気体の内部エネルギーが増加したことから, A内の気体の温度 $T_A$ は $T_0$ より高くなる。つまり, 断熱圧縮過程後の気体の温度は高くなる。

$$\underline{T_A > T_0}$$

また, 加熱後のピストンのつりあいより,

$$P_A = P_B \quad \dots \textcircled{1}$$

A, B内の気体それぞれについて, ポイル・シャルルの法則より,

$$A : \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_A \left( \frac{4}{5} V_0 \right)}{T_A} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$B : \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_B \left( \frac{6}{5} V_0 \right)}{T_B} \quad \dots \textcircled{3}$$

#### 熱力学第1法則

気体が外部にした仕事を $W$ , 気体が外部から吸収した熱量を $Q$ とし, 内部エネルギーの増加を $\Delta U$ とする。

熱力学の第1法則は,

$$Q = \Delta U + W$$

と表される。

#### ボイル・シャルルの法則

一定量の気体の変化において成立。

$$PV = \text{一定} \quad (\text{ボイルの法則})$$

$$\frac{V}{T} = \text{一定} \quad (\text{シャルルの法則})$$

$$\frac{PV}{T} = \text{一定} \quad (\text{ボイル・シャルルの法則})$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3} \text{式より, } \frac{4V_0}{5T_A} = \frac{6V_0}{5T_B}$$

$$\therefore T_B = \frac{3}{2} T_A$$

6 の答⑥

## 第2問 生活と電気

A

問1 電気回路に電流計と電圧計を接続するとき、電流計は抵抗に直列に接続し、電圧計は抵抗に並列に接続しなければならない。

問題の図1(a), 図1(b)では、計器Xは抵抗Rに並列に接続されており、計器Yは抵抗に直列に接続されている。したがって、Xが電圧計, Yが電流計である。図1(a)ではXに電流が流れるのでYはRを流れる電流を正しく示さない。図1(b)ではYにも電圧がかかるので、XはRの電圧を正しく示さない。電圧計Xと電流計Yの指示値を用いて、抵抗Rの抵抗値をできるだけ正確に測定するには、電圧計Xの内部抵抗を十分に大きくすることでXに流れ込む電流を小さくし、また、電流計Yの内部抵抗を十分に小さくすることでYでの電圧を小さくする必要がある。よって、XとYの内部抵抗は、Xは大きく、Yは小さいうがよい。

7 の答 ⑦

問2 次の図1(a)と図1(b)のように、抵抗Rに流れる電流をI、電圧をVとする。Rの正しい抵抗値Rは  $R = \frac{V}{I}$  となる。

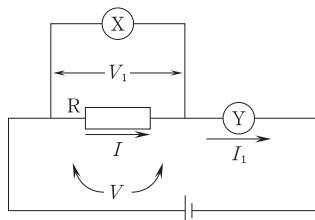


図 1(a)

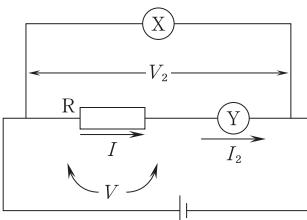


図 1(b)

図1(a)において、電流計Yの指示値  $I_1$  には電圧計Xを流れる電流も含まれている。よって、 $I < I_1$ ,  $V = V_1$

$$\text{したがって, } R_1 = \frac{V_1}{I_1} < \frac{V}{I} = R$$

$$\therefore R_1 < R \quad \cdots \textcircled{1}$$

図1(b)において、電圧計Xの指示値  $V_2$  には電流計Yにかかる電圧も含まれている。よって、 $V_2 > V$ ,  $I_2 = I$

$$\text{したがって, } R_2 = \frac{V_2}{I_2} > \frac{V}{I} = R$$

$$\therefore R < R_2 \quad \cdots \textcircled{2}$$

①と②式より、 $R_1 < R < R_2$

8 の答 ①

(参考) 電圧計 X の内部抵抗を  $r_v$  とすると,  $R_1$  は  $R$  と  $r_v$  との並列合成抵抗であるから,

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

よって,

$$R_1 = \frac{r_v R}{r_v + R} = \frac{R}{1 + \left(\frac{R}{r_v}\right)} < R$$

また, 電流計 Y の内部抵抗を  $r_A$  とすると,  $R_2$  は  $R$  と  $r_A$  の直列合成抵抗であるから,  $R_2 = r_A + R$

よって,  $R_2 = r_A + R > R$

以上より,  $R_1 < R < R_2$  が求まる。

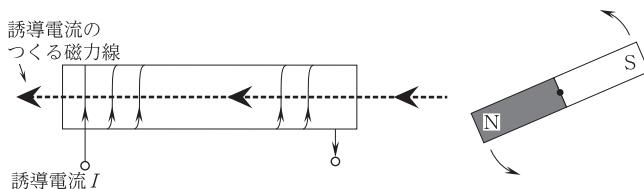
B

問3 導線を密に巻いたコイルの近くで, 棒磁石を回転させると, フラーデーの電磁誘導の法則より, コイルには誘導起電力が生じる。この誘導起電力が交流電圧となる。誘導起電力の大きさはコイルを貫く磁力線の数の変化が大きいほど, また, コイルの巻き数が多いほど大きくなる。よって, 棒磁石の回転する速さを 大きくしたり, コイルの巻き数を 増やすことで, 電圧を大きくすることができる。

9 の答 ④

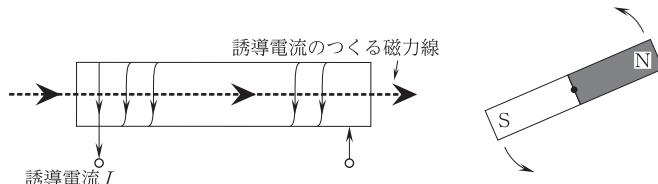
問4 問題文の図2の状態を時刻  $t=0$  とする。各時間帯においてコイルを流れる誘導電流  $I$  は, レンツの法則より, 次図のようになる。

- $0 < t < \frac{T}{2}$  (コイルに棒磁石により加えられた左向きの磁力線の数が減少中のとき)



このとき,  $I > 0$  より, 測定電圧は正となる。

- $\frac{T}{2} < t < T$  (コイルに棒磁石により加えられた右向きの磁力線の数が減少中のとき)



このとき,  $I < 0$  となり, 測定電圧は負となる。

合成抵抗

直列接続

$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

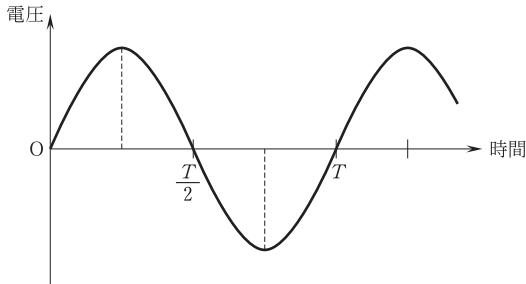
並列接続

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

レンツの法則

誘導起電力は, それによって流れる誘導電流のつくる磁力線が, 外から加えられた磁力線の数の変化を打ち消すような向きに生じる。

以上より、求める電圧の時間変化を表すグラフは、次図である。



[10] の答 ①

問 5 変圧器の関係式より、2次コイルの交流電圧を  $V_2$  [V] とすると、

$$V_1 : V_2 = N_1 : N_2 \longleftrightarrow 100 : V_2 = 100 : 500$$

$$\therefore V_2 = 500 \text{ V}$$

2次コイル側の  $250 \Omega$  の抵抗に流れる誘導電流  $I_2$  [A] は、

$$I_2 = \frac{500}{250} = 2 \text{ A}$$

1次コイルに流れる電流の大きさを  $I_1$  [A] とすると、1次と2次コイルの間でのエネルギーの損失はないことから、

$$I_1 V_1 = I_2 V_2 \longleftrightarrow I_1 \times 100 = 2 \times 500$$

$$\therefore I_1 = 10 \text{ A}$$

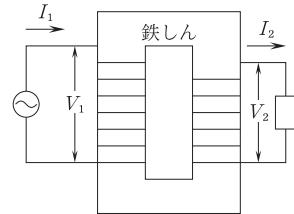
[11] の答 ⑤

変圧器

$$V_1 : V_2 = N_1 : N_2$$

$$I_1 V_1 = I_2 V_2 \text{ (電力は等しい)}$$

1次コイル  
(巻き数  $N_1$ )      2次コイル  
(巻き数  $N_2$ )



### 第3問 波の性質・光の干渉

A

問 1 問題の図 1 より、正弦波の振幅  $A = 3 \text{ cm}$ 、周期  $T = 0.4 \text{ s}$  であることが読みとれる。振動数  $f$  と周期  $T$  の関係式より、

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ Hz}$$

波の伝わる速さ  $v$  を表す式より、波長を  $\lambda$  とすると、

$$\lambda = \frac{v}{f} = vT = 2 \times 0.4 = 0.8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$$

以上より、 $(A, f, \lambda) = (3, 2.5, 80)$

[12] の答 ②

問 2 時刻  $0.1 \text{ s} = \frac{T}{4}$  のとき、問題の図 1 より、原点 O での波の変位は  $3 \text{ cm}$  なので、そのときの波形は次図のように表せる。

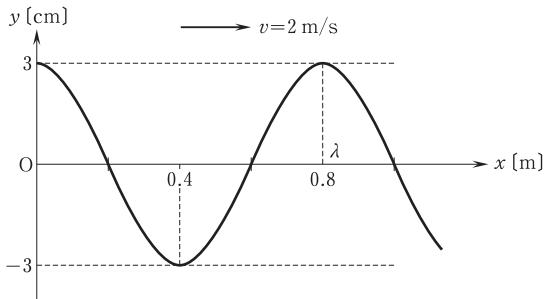
波の伝わる速さ

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

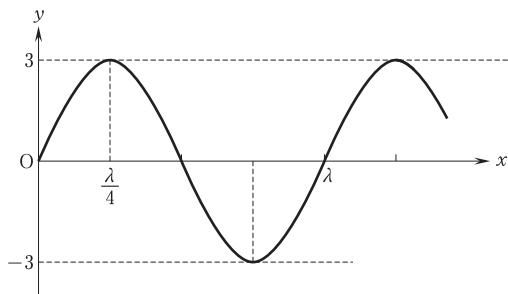
$f$  : 振動数 [Hz]

$\lambda$  : 波長 [m]

$T$  : 周期 [s]



時刻  $0.2\text{ s}$  のときの波形は、上図の波形が  $x$  軸の正方向へ、  
 $vt = 2 \times 0.1 = 0.2\text{ m} = \frac{1}{4}\lambda$  進んだ波形となる。  
 よって、次図の波形になる。



13 の答 ①

B

問3 スリット A, B の位置は同位相の 2 波源となる。A, B から  
 出た光がスクリーン上の点 P で干渉し、暗線となる(弱めあう)条件は、

$$|BP - AP| = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \cdots \textcircled{1}$$

14 の答 ⑤

問4  $|BP - AP| = \frac{2dx}{L}$  を条件式①に代入して、

$$\frac{2dx}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

よって、暗線となる位置  $x$  は次式で表せる。

$$x = \left(m + \frac{1}{2}\right) \left(\frac{L\lambda}{2d}\right) \quad \cdots \textcircled{2}$$

点 O から最も近い暗線までの距離  $x_0$  は、②式で  $m = 0$  より、

$$x_0 = \frac{L\lambda}{4d}$$

15 の答 ②

問5 スリット A を通った後、鏡で反射してスクリーンに達した  
 光の経路長は、次図のように、スリット B を通って直接スクリー  
 ンに達した光の経路長と同じである。このとき、鏡での反射は固  
 定端の反射なので、反射する際、位相が逆転する。このことを考  
 慮すると、スリット A, B の位置に逆位相の波源があるとみなせ

#### 干渉条件

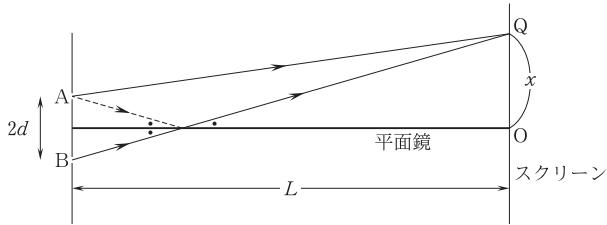
2 つの波源の振動状態が同じ(同位相)  
 のとき

強めあう条件 : (経路差) =  $m\lambda$

弱めあう条件 : (経路差)

$$= \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m \text{ は整数})$$

る。



A, B を通って、スクリーン上の点 O から距離  $x$  だけ離れた点 Q に達した 2 つの光の干渉において、点 Q が暗線となる条件は、

$$BQ - AQ = m\lambda \quad (m=1, 2, \dots)$$

と表せる。 $BQ - AQ \doteq \frac{2dx}{L}$  より、

$$\frac{2dx}{L} = m\lambda$$

点 O に最も近い暗線の位置  $x_1$  は、上式で  $m=1$  として、

$$\frac{2dx_1}{L} = 1 \cdot \lambda$$

$$\therefore x_1 = \frac{L\lambda}{2d}$$

ここで、 $x_1 > x_0$  より、求める暗線のずれの距離は、

$$x_1 - x_0 = \frac{L\lambda}{2d} - \frac{L\lambda}{4d} = \underline{\underline{\frac{L\lambda}{4d}}}$$

16 の答 ②

#### 第4問 運動とエネルギー・熱

A

問1 小球の運動を地上から見ると、小球を手放したときの気球の速度  $v_0$  を初速度とする鉛直投げ上げ運動である。速度、加速度は鉛直方向上向きを正と決めてあるので、小球の運動は、初速度  $v_0$ 、重力加速度  $\underline{\underline{-10 \text{ m/s}^2}}$  の等加速度直線運動となる。

小球を手放してから、速度が  $v$  [m/s]、地上からの高さが  $y$  [m] となるまでの時間を  $t$  [s] とすると、 $v$  と  $y$  は次式で表せる。

$$v = v_0 - 10t \quad \cdots (1)$$

$$y = 30 + v_0 t - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2 \quad \cdots (2)$$

3 秒後に地面に達したことから、(2)式において、

$t=3$  のとき  $y=0$  より、

$$0 = 30 + 3v_0 - 5 \times 3^2$$

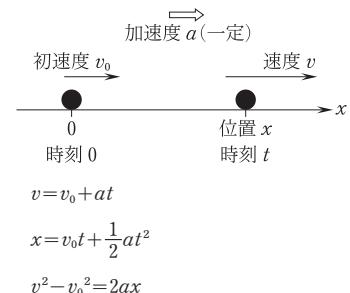
$$3v_0 = 15$$

$$\therefore v_0 = \underline{\underline{5 \text{ m/s}}}$$

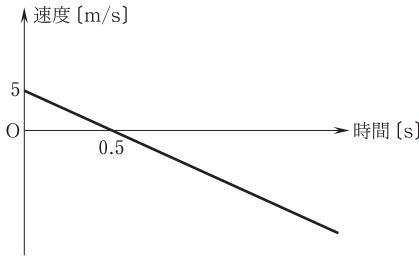
17 の答 ①

問2 (1)式より、時間と小球の速度の関係を表すグラフは、速度切

#### 等加速度直線運動



片  $5 \text{ m/s}$ , 傾き  $-10 \text{ m/s}^2$  である右下がりの直線となる。



18 の答 ④

問 3 小球を気球に対して初速度  $u_0$  [m/s] で投げ上げたとする。

気球は速さ  $4 \text{ m/s}$  で上昇しているから、地上から見た小球の初速度  $V_0$  [m/s] は、相対速度の式より、

$$V_0 - 4 = u_0$$

$$\therefore V_0 = u_0 + 4 \text{ [m/s]}$$

となる。②式において、 $v_0$  を  $V_0$  に置き換えて、

$$y = 30 + V_0 t - 5t^2$$

$$= 30 + (u_0 + 4)t - 5t^2$$

5 秒後に小球が地面に達することから、

$t=5$  のとき  $y=0$  より、

$$0 = 30 + (u_0 + 4) \times 5 - 5 \times 5^2$$

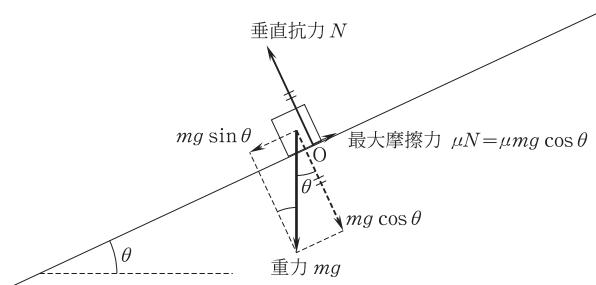
$$u_0 + 4 = 19$$

$$\therefore u_0 = 15 \text{ m/s}$$

19 の答 ③

B

問 4 点 O で小物体から手を放した瞬間は、ばねは自然の長さである。小物体が斜面に沿って下方にすべり出したことから、次図のように、重力の斜面平行分力  $mg \sin \theta$  が最大摩擦力  $\mu N = \mu mg \cos \theta$  より大きかったことがわかる。



$$mg \sin \theta > \mu mg \cos \theta$$

$$\therefore \mu < \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$$

20 の答 ③

問 5 動摩擦力の大きさは  $\mu' N = \mu' mg \cos \theta$ 、力の向きと変位の向きが逆向きより、動摩擦力がした仕事  $W$  は、負の仕事である。

### 相対速度

動く物体 A から観測した他の物体 B の速度のことを、A に対する B の(A から見た B の)相対速度という。

$$v_{AB} = v_B - v_A$$

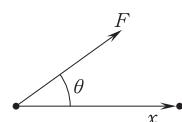
$v_{AB}$  : A に対する B の相対速度

$v_A$  : A の速度

$v_B$  : B の速度

### 仕事 $W$

$$W = Fx \cos \theta \text{ [J]}$$



$F$  [N] : 力

$x$  [m] : 変位

$\theta$  : なす角

$$W = -(\mu' mg \cos \theta)x = -\underline{\mu' mgx \cos \theta}$$

[21] の答 ⑦

問 6 小物体が点 P に達したときのばねの伸びを X とする。力学的エネルギーと仕事との関係より、動摩擦力がした仕事  $= -\mu' mgX \cos \theta$  が、小物体の力学的エネルギーの変化量に等しい。

点 P を重力による位置エネルギーの基準として、

$$-\mu' mgX \cos \theta = \underbrace{\left(0 + 0 + \frac{1}{2}kX^2\right)}_{\text{点 P での力学的エネルギー}} - \underbrace{\left(0 + mgX \sin \theta + 0\right)}_{\text{点 O での力学的エネルギー}}$$

$$\therefore \frac{1}{2}kX^2 = mg(\sin \theta - \mu' \cos \theta)X$$

$X > 0$  より、

$$X = \underline{\frac{2mg}{k} (\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$$

[22] の答 ⑥

C

問 7 比熱とは、物質 1 g を温度 1 K 上昇させるのに必要な熱量なので、その単位は  $[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$  で表される。

[23] の答 ③

問 8 金属の比熱を  $c'$  とすると、

$$\text{金属が失った熱量} = Mc'(T_1 - T)$$

$$\text{水と容器が得た熱量} = (mc + C)(T - T_0)$$

熱量の保存より、

$$Mc'(T_1 - T) = (mc + C)(T - T_0)$$

$$\therefore c' = \underline{\frac{(mc + C)(T - T_0)}{M(T_1 - T)}}$$

力学的エネルギーと仕事との関係

$$\begin{pmatrix} \text{重力と弾性力} \\ \text{以外の力がす} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{力学的} \\ \text{エネルギー} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{の仕事} \\ \text{の変化量} \end{pmatrix}$$

熱量の保存  
(高温物体が失った熱量)  
= (低温物体が得た熱量)

[24] の答 ②

===== 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	③	3	
		2	⑥	3	
	問2	3	③	3	
	問3	4	⑤	4	
	問4	5	③	4	
	問5	6	④	4	
	問6	7	④	4	
第1問 自己採点小計			(25)		
第2問	問1	8	①	4	
	問2	9	②	4	
	問3	10	⑤	3	
	問4	11	②	3	
	問5	12	⑤	4	
	問6	13	⑤	4	
	問7	14	⑤	4	
	問8	15	②	4	
第2問 自己採点小計			(30)		
第3問	問1	16	④	4	
	問2	17	③	3	
	問3	18	①	3	
	問4	19	④	4	
	問5	20	⑥	3	
	問6	21	③	3	
第3問 自己採点小計			(20)		
第4問	問1	22	②	3	
	問2	23	④	4	
	問3	24	③	3	
	問4	25	①	4	
	問5	26	⑤	4	
	問6	27	③	3	
	問7	28	④	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、化学変化と量的関係

#### 問1 電子の数、イオンからなる物質

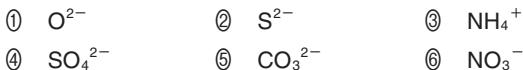
a 分子中の総電子数は、分子を構成する原子がもつ電子の総数、すなわち原子番号の総和と等しい。①～⑥の総電子数は次のとおりである。

	分子式	総電子数
①	NO	$7+8=15$
②	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	$1\times 2+8\times 2=18$
③	CO <sub>2</sub>	$6+8\times 2=22$
④	F <sub>2</sub>	$9\times 2=18$
⑤	CH <sub>4</sub>	$6+1\times 4=10$
⑥	H <sub>2</sub> S	$1\times 2+16=18$

したがって、総電子数が最も多い分子は③CO<sub>2</sub>である。

1 … ③

b ①～⑥のイオンのイオン式は次のとおりである。

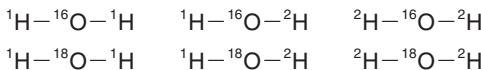


陽イオンと陰イオンが化合物をつくるとき、電荷の総和は0になる。よって、Al<sup>3+</sup>と物質量の比1:3で化合物をつくるイオンは、1価の陰イオンであり、①～⑥のうちで1価の陰イオンは⑥だけである。なお、Al<sup>3+</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>からなる硝酸アルミニウムの組成式はAl(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>となる。

2 … ⑥

#### 問2 同位体と分子の種類

2種類のHの同位体と(<sup>1</sup>H, <sup>2</sup>H)と2種類のOの同位体(<sup>16</sup>O, <sup>18</sup>O)からつくられる水分子は、次に示す6種類である。



3 … ③

#### 問3 イオン化エネルギーと元素の性質

周期表の同一周期において、(第一)イオン化エネルギーが最大になるのは希ガス(18族)なので、グラフ中の**b**と**f**は原子番号20以下の希ガスである<sub>2</sub>He, <sub>10</sub>Ne, <sub>18</sub>Arのいずれかに該当する。グラフより**b**は原子番号5以上の元素であることから、**b**はNe, **f**はArである。よって、次に示す原子番号1～20の原子のイオン化エネルギーのグラフ中の実線(—)部分が、問題に示されたグラフに一致する。

## 【ポイント】

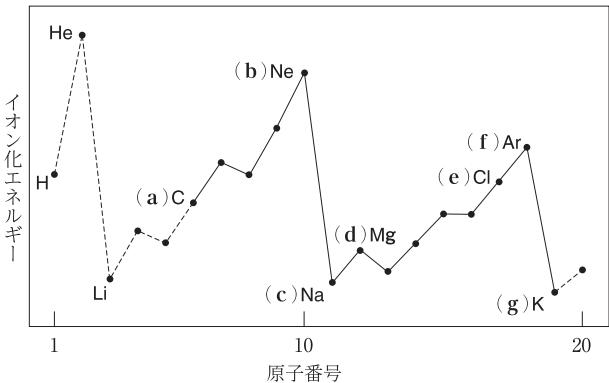
### イオンからなる物質の組成式

イオンからなる物質は、構成しているイオンの種類とその数の比を示す組成式で表され、構成する陽イオンと陰イオンについて次の関係が成立つ。

$$\begin{aligned} & (\text{陽イオンの価数}) \times (\text{陽イオンの数}) \\ & = (\text{陰イオンの価数}) \times (\text{陰イオンの数}) \end{aligned}$$

### (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。イオン化エネルギーが小さいほど原子は陽イオンになりやすい。



- ① 正しい。a～gの原子のうち、bの原子は最もイオン化工エネルギーが大きいので、最も陽イオンになりにくく。
- ② 正しい。bとfは、いずれも18族に属する元素である。
- ③ 正しい。cとgは、いずれもアルカリ金属元素である。なお、同一周期において、アルカリ金属元素の原子のイオン化工エネルギーが最小である。
- ④ 正しい。同一周期において、ハロゲンの原子の電子親和力が最大である。よって、c～fの原子のうち、eの原子の電子親和力が最も大きい。
- ⑤ 誤り。ともに非金属元素であるaとeの原子は共有結合で結びつく。aとeの化合物として四塩化炭素 $\text{CCl}_4$ がある。

4 …⑥

#### 問4 溶液の密度と質量、体積

異なる液体を混合したとき、混合溶液の質量は、混合前の液体の質量の和に等しいが、体積は、混合前の液体の体積の和に等しいとは限らない。

40 mL の水の質量は、

$$1.00 \times 40 = 40 \text{ [g]}$$

60 mL のエタノールの質量は、

$$0.79 \times 60 = 47.4 \text{ [g]}$$

混合溶液の質量は、

$$40 + 47.4 = 87.4 \text{ [g]}$$

混合溶液の密度が  $0.90 \text{ g/cm}^3$  であることから、体積は、

$$\frac{87.4}{0.90} = 97.1 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$  から、体積は  $97.1 \approx 97 \text{ [mL]}$  である。

このように、エタノールと水を混合した場合は、体積は減少する。

5 …③

#### 問5 化学変化と量的関係

この問題では、次の2点に着目する。

- (i) 炭素はすべて反応していることから、反応前の炭素の物質

#### 電子親和力

原子が電子1個を受け取って、1価の陰イオンになるときに放出するエネルギー。電子親和力が大きいほど原子は陰イオンになりやすい。

#### 物質の密度

物質の単位体積あたりの質量。

物質の密度 [ $\text{g/cm}^3$ ]

$$= \frac{\text{物質の質量} [\text{g}]}{\text{物質の体積} [\text{cm}^3]}$$

量と生成した  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  の物質量の和が等しい。

- (ii)  $\text{CO}_2$  が生成する反応では気体の物質量(したがって体積)の変化はないが,  $\text{CO}$  が生成する反応では気体の物質量が変化する。

生成した  $\text{CO}_2$  の物質量を  $x$  [mol],  $\text{CO}$  の物質量を  $y$  [mol] とする。

反応前の炭素 C (12 g/mol) の物質量は,

$$\frac{12.0}{12} = 1.00 \text{ [mol]}$$

点火すると次の二つの反応が進む。



変化量  $-x \quad -x \quad +x$  [mol]



変化量  $-y \quad -\frac{1}{2}y \quad +y$  [mol]

反応前の炭素の物質量と反応後の  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  の物質量の和が等しいことから,

$$x+y=1.00 \quad \dots\dots(3)$$

(1)式の反応では, 反応した  $\text{O}_2$  の物質量と生成した  $\text{CO}_2$  の物質量が等しいので, 反応による気体の体積の変化はない。

(2)式の反応では,  $y-\frac{1}{2}y=\frac{1}{2}y$  [mol] だけ気体の物質量が増加

している。これが, 反応による気体の体積の変化に対応している。

$$\frac{1}{2}y = \frac{2.24}{22.4} = 0.100 \quad \dots\dots(4)$$

$$y = 0.100 \times 2 = 0.200 \text{ [mol]}$$

これを(3)式に代入して,

$$x = 1.00 - 0.200 = 0.80 \text{ [mol]}$$

6 ⋯④

## 問6 身のまわりの物質

① 正しい。希ガスの原子は, 電子配置が非常に安定であることから, イオンになったり, 結合することがまれで, 化学的に安定である。アルゴンなどの希ガスが電球に封入されるのは, 希ガスが反応しにくいことを利用したものである。

② 正しい。水銀は, 常温で液体である唯一の金属単体である。

③ 正しい。粉末状の鉄が入った使い捨てカイロは, 鉄が空気中の酸素により酸化される発熱反応を利用している。

④ 誤り。ポリエチレンは, エチレンの付加重合により得られる。



⑤ 正しい。酢酸エチルは, 酢酸とエタノールから得られる工

### 化学反応式と量的関係

化学反応式の係数の比は, 反応物と生成物の変化する物質量の比を表す。

### 単体の状態(常温・常圧)

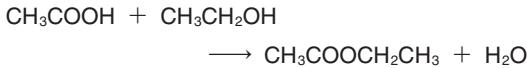
気体  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  ( $\text{O}_3$ ),  $\text{F}_2$ ,  $\text{Cl}_2$

希ガス ( $\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$  など)

液体  $\text{Br}_2$ ,  $\text{Hg}$

固体 上記以外の単体

ステルである。



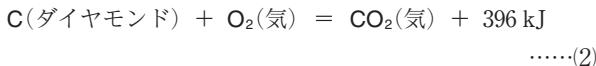
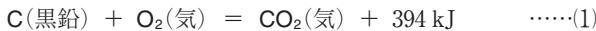
酢酸エチルのように分子量が比較的小さなエステルは、一般に芳香をもつ液体で、香料や溶媒として用いられる。

7 …④

## 第2問 化学反応と熱、酸と塩基、酸化還元反応

### 問1 化学変化および状態変化と熱

① 誤り。黒鉛の燃焼熱、ダイヤモンドの燃焼熱は、それぞれ次の熱化学方程式で表される。



黒鉛 1 mol がダイヤモンド 1 mol に変化するときの反応熱を  $Q_1$  [kJ] とすると、

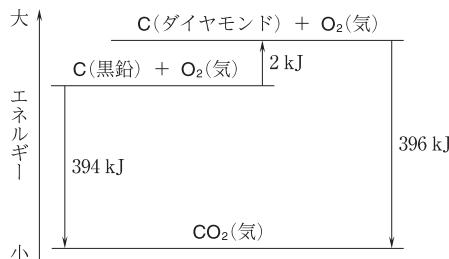


(1)式-(2)式より、

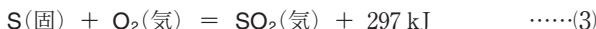
$$Q_1 = 394 - 396 = -2 \text{ [kJ]}$$

したがって、2 kJ の熱が吸収される。

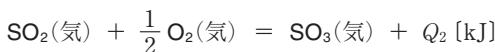
この関係は次の図で示される。



② 正しい。二酸化硫黄、三酸化硫黄の生成熱は、それぞれ次の熱化学方程式で表される。



二酸化硫黄と酸素から三酸化硫黄 1 mol が生成するときの反応熱を  $Q_2$  [kJ] とすると、



(4)式-(3)式より、

$$Q_2 = 395 - 297 = 98 \text{ [kJ]}$$

したがって、98 kJ の熱が放出される。

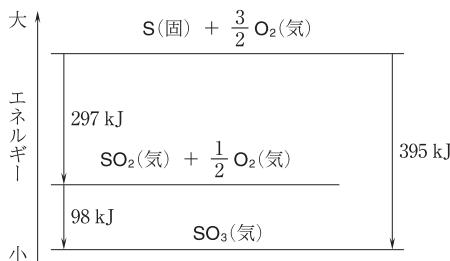
この関係は次の図で示される。

### 燃焼熱

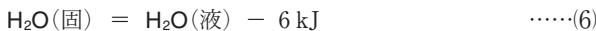
物質 1 mol が完全燃焼するときに発生する熱量。

### 生成熱

化合物 1 mol が成分元素の単体から生成するときに発生または吸収する熱量。



③ 正しい。水の蒸発熱、融解熱は、それぞれ次の熱化学方程式で表される。



物質がもつエネルギーは、固体 < 液体 < 気体なので、固体から直接気体になる変化では熱が吸収される。氷 1 mol が昇華するとき吸収される熱(昇華熱)を  $Q_3$  [kJ] とすると、

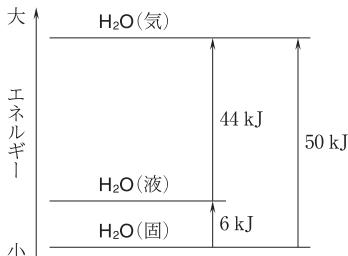


(5)式+(6)式より、

$$-Q_3 = -44 + (-6) = -50 \text{ [kJ]}$$

したがって、50 kJ の熱が吸収される。

この関係は次の図で示される。



④ 正しい。メタン、プロパンの燃焼熱は、それぞれ次の熱化学方程式で表される。



100 kJ の熱量を得るときに発生する  $\text{CO}_2$  の物質量は、

$$\text{メタン } \frac{100}{891} \text{ [mol]}$$

$$\text{プロパン } \frac{100}{2220} \times 3 = \frac{100}{740} \text{ [mol]}$$

したがって、プロパンの方が発生する二酸化炭素の物質量は大きい。

⑤ 正しい。塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和熱は次の熱化学方程式で表される。



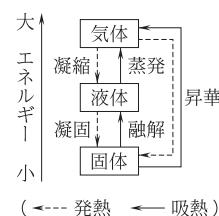
### 蒸発熱

液体 1 mol が気体になるときに吸収する熱量。

### 融解熱

固体 1 mol が液体になるときに吸収する熱量。

### 状態変化とエネルギー



( ←--- 発熱 ←--- 吸熱 )

### 中和熱

酸と塩基が中和して水 1 mol が生成するときに発生する熱量。



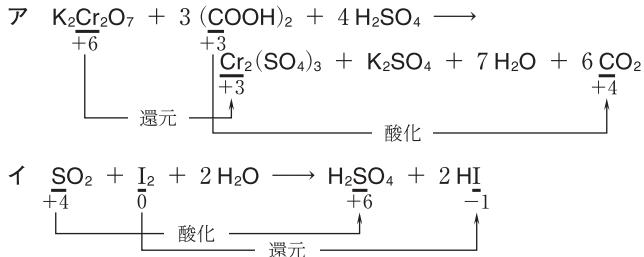
c KCl は、強酸である HCl と強塩基である KOH からなる正塩なので、その水溶液は中性を示す。よって、pH = 7 である。

以上より、pH の小さい順に水溶液を並べると、a < c < b となる。

11 ⋯②

### 問5 酸化還元反応

反応ア、イの反応前後での原子の酸化数の変化を次に示す。



① 正しい。アでは、C 原子の酸化数は +3 から +4 に変化しており、 $(\text{COOH})_2$  は酸化され、還元剤としてはたらいている。

② 正しい。アでは、Cr 原子の酸化数は +6 から +3 に変化しており、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  は還元され、酸化剤としてはたらいている。

③ 正しい。アでは、S 原子の酸化数は +6 で、反応前後で変化していない。

④ 正しい。イでは、I 原子の酸化数は 0 から -1 に変化しており、 $\text{I}_2$  は還元され、酸化剤としてはたらいている。

⑤ 誤り。イでは、S 原子の酸化数は +4 から +6 に変化しており、 $\text{SO}_2$  は酸化され、還元剤としてはたらいている。

12 ⋯⑥

### 問6 金属の単体とイオンの反応の量的関係

$\text{AgNO}_3$  水溶液に Cu を浸すと、イオン化傾向が  $\text{Cu} > \text{Ag}$  であるから、次の反応が起こる。



反応した  $\text{Ag}^+$  の物質量は、

$$(1.00 - 0.75) \times \frac{200}{1000} = 5.0 \times 10^{-2} [\text{mol}]$$

よって、析出した Ag の物質量は  $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  である。このとき、溶け出した Cu の物質量は、

$$5.0 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} = 2.5 \times 10^{-2} [\text{mol}]$$

以上より、残っている Cu (64 g/mol) と析出した Ag (108 g/mol) の質量の合計は、

$$100.0 - 64 \times 2.5 \times 10^{-2} + 108 \times 5.0 \times 10^{-2} = 103.8 [\text{g}]$$

13 ⋯⑥

### 酸化数の決め方

1. 単体中の原子 : 0
2. 化合物中の H 原子 : +1
3. 化合物中の O 原子 : -2  
(ただし、 $\text{H}_2\text{O}_2$  中では -1)
4. 化合物中の原子の酸化数の総和 : 0
5. 单原子イオンの酸化数 : イオンの値数
6. 多原子イオン中の原子の酸化数の総和 : イオンの値数

### 酸化剤と還元剤

**酸化剤** 相手を酸化する物質。自らは還元され、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。自らは酸化され、酸化数が増加する原子を含む。

### イオン化傾向

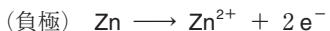
金属の単体が水(溶液)中で電子を放出し、陽イオンになろうとする性質。

イオン化傾向が大きい金属の単体ほど水中で電子を放出してイオンになりやすく、イオン化傾向が小さい金属のイオンほど電子を受け取り单体になりやすい。

$\text{Li} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Sn} > \text{Pb} > (\text{H}_2) > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{Ag} > \text{Pt} > \text{Au}$

## 問7 ダニエル電池

ダニエル電池を放電させると、各電極では次の反応が起こる。

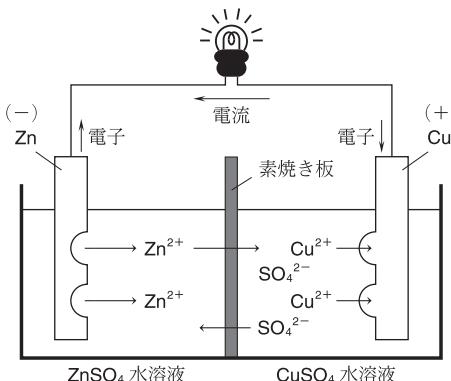


① 正しい。電池の負極では酸化反応、正極では還元反応が起こる。

② 正しい。亜鉛板(負極)から放出された電子は、導線を通して銅板(正極)に流れ込み、銅板上で  $\text{Cu}^{2+}$  に受け取られる。

③ 正しい。上記の反応より、亜鉛が溶け出ため、亜鉛板の質量は減少する。また、銅が析出するため、銅板の質量は増加する。

④ 正しい。次の図のように、電解液中では、素焼き板に空いている小さな穴を通って、 $\text{SO}_4^{2-}$  が正極側から負極側に、 $\text{Zn}^{2+}$  が負極側から正極側に移動する。

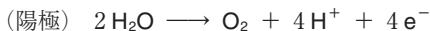


⑤ 誤り。イオン化傾向は  $\text{Ni} > \text{Cu}$  であるから、ニッケル板が負極、銅板が正極になる。電流は導線を通して、正極から負極に流れるので、銅板からニッケル板に電流が流れる。

14 ⋯ ⑥

## 問8 電気分解

各電極では次の反応が起こる。



流れた電子の物質量を  $x$  [mol] とすると、陽極で  $\text{O}_2$  が  $\frac{x}{4}$  [mol]、陰極で  $\text{H}_2$  が  $\frac{x}{2}$  [mol] 発生する。

陽極と陰極で合計 0.060 mol の気体が発生したので、

$$\frac{x}{4} + \frac{x}{2} = 0.060$$

$$x = 0.080 \text{ [mol]}$$

この電気分解で流した電流を  $i$  [A] とすると、電気量 [C] = 電流 [A] × 時間 [秒] より、

$$9.65 \times 10^4 \times 0.080 = i \times 1930$$

$$i = 4.0 \text{ [A]}$$

## 電池

酸化還元反応を利用して電気エネルギーを取り出す装置を電池(化学電池)といふ。

**負極** 酸化反応が起こる。

**正極** 還元反応が起こる。

外部回路を電子は負極から正極に流れ、電流は正極から負極に流れ。

イオン化傾向の異なる 2 種類の金属を導線でつなぎ、電解液中に浸すと電池になる。この場合、

イオン化傾向の大きい金属…負極

イオン化傾向の小さい金属…正極

## 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.  $\text{OH}^-$  (電解液が塩基性のとき) や  $\text{H}_2\text{O}$  (電解液が中性、酸性のとき) 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。

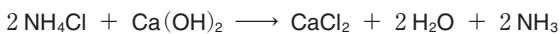
1. 電解液中の  $\text{Ag}^+$  や  $\text{Cu}^{2+}$  が還元され、Ag や Cu が析出する。

2.  $\text{H}^+$  (電解液が酸性のとき) や  $\text{H}_2\text{O}$  (電解液が中性、塩基性のとき) が還元され、 $\text{H}_2$  が発生する。

### 第3問 無機物質

#### 問1 アンモニアの実験室的製法

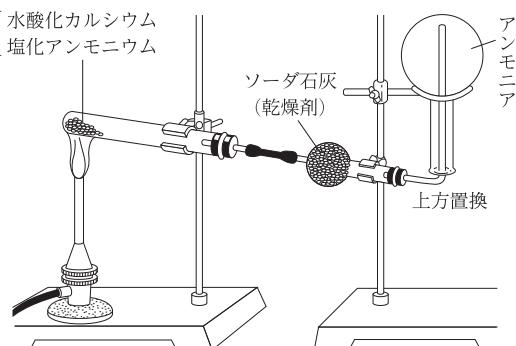
アンモニアは、実験室ではアンモニウム塩と A [水酸化カルシウム] など強塩基の混合物を加熱して発生させる。



なお、塩化アンモニウムと硫酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を混合して加熱しても反応しない。

アンモニアの乾燥には B [ソーダ石灰] ( $\text{CaO}$  と  $\text{NaOH}$  からなる白色粒状の固体) が適し、塩化カルシウム  $\text{CaCl}_2$  はアンモニアと反応してしまうので適さない。

アンモニアは水に溶けやすく空気より軽い気体なので、C [上方置換] で捕集される。



#### 問2 ハロゲン

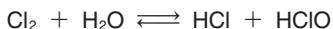
① 正しい。塩素の実験室的製法の一つとして、さらし粉に塩酸を加えて発生させる方法がある。



なお、別の実験室的製法として、酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて加熱する方法がある。



② 正しい。塩素は水に溶け、その一部が次のように反応する。



この反応で生じる次亜塩素酸  $\text{HClO}$  には強い酸化作用があるため、塩素水(塩素の水溶液)は漂白剤や殺菌剤として用いられる。

③ 誤り。ハロゲンの単体には酸化作用がある。その酸化力は原子番号が小さいものほど強く、 $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$  の順である。

したがって、塩素より酸化力が弱い臭素を塩化カリウム水溶液に加えても反応せず、塩素は生じない。

#### 気体の捕集法

**水上置換** 水に溶けにくい気体( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ など)の捕集に用いる。

**下方置換** 水に溶け、空気より重い気体( $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ など)の捕集に用いる。

**上方置換** 水に溶け、空気より軽い気体( $\text{NH}_3$ )の捕集に用いる。

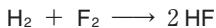
#### ハロゲンの単体

	色	状態	酸化力
$\text{F}_2$	淡黄	気体	強 ↑
$\text{Cl}_2$	黄緑	気体	
$\text{Br}_2$	赤褐	液体	
$\text{I}_2$	黒紫	固体	弱 ↓

なお、塩素を臭化カリウム水溶液に通じると、塩素により  $\text{Br}^-$  が酸化されて臭素が生じる。

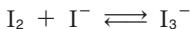


④ 正しい。フッ素は酸化力が強く非常に反応しやすい。そのため、フッ素は水素と冷暗所でも爆発的に反応する。



なお、塩素と水素は光を当てると爆発的に反応する。

⑤ 正しい。ヨウ素は昇華性をもつ黒紫色の固体であり、水にはほとんど溶けないが、ヨウ化カリウム水溶液には溶ける。このとき、 $\text{I}_2$  と  $\text{I}^-$  から  $\text{I}_3^-$  (三ヨウ化物イオン) が生じ、水溶液は褐色になる。

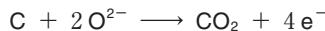
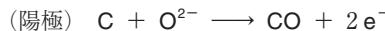
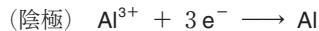


17 …③

### 問3 アルミニウム

① 誤り。 $\text{Li}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  のようなイオン化傾向の大きい金属のイオンは還元されにくいため、これらのイオンを含む水溶液を電気分解しても、陰極では水素が発生する反応が起こり、単体は得られない。

アルミニウムの単体は、原料のボーキサイトから純粋な酸化アルミニウムをつくり、これを、炭素電極を用いて融解塩電解(溶融塩電解)することで得られる。



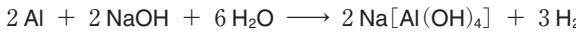
② 正しい。アルミニウムはイオン化傾向が比較的大きく、常温の水とは反応しないが、高温の水蒸気とは反応して酸化アルミニウム  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や水酸化アルミニウム  $\text{Al(OH)}_3$  になり、同時に水素を生じる。

③ 正しい。アルミニウムの粉末と酸化鉄(Ⅲ)の粉末を混合して点火すると、激しく反応し、酸化アルミニウムとともに鉄の単体が生じる。



この反応はテルミット反応とよばれ、融解した鉄が得られるため、レールの溶接などに利用される。

④ 正しい。アルミニウムは両性元素であり、単体は、濃い水酸化ナトリウム水溶液に水素を発生しながら溶解する。



⑤ 正しい。ジュラルミンは、アルミニウムに銅やマグネシウムなどを加えた合金で、軽量で強度が高いため、航空機の機体などに用いられる。

### 両性元素

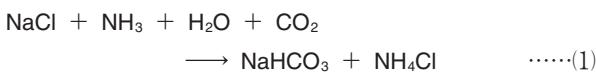
単体が酸とも強塩基とも反応する元素  
( $\text{Al}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$ )



18 …①

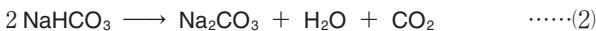
#### 問4 アンモニアソーダ法

塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを十分に吸収させてから二酸化炭素を吹き込むと、炭酸水素ナトリウムが沈殿する。



(1)式の反応では、 $\text{NaCl}$ と等しい物質量の $\text{NaHCO}_3$ が得られる。

炭酸水素ナトリウムを分離して焼くと、炭酸ナトリウムが得られる。



(2)式の反応では、 $\text{NaHCO}_3$ の $\frac{1}{2}$ の物質量の $\text{Na}_2\text{CO}_3$ が得られる。

以上より、用いた $\text{NaCl}$ の $\frac{1}{2}$ の物質量の $\text{Na}_2\text{CO}_3$ が得られるので、 $\text{NaCl}$ (58.5 g/mol) 117 kg から得られる $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (106 g/mol)の質量は、

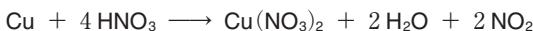
$$106 \times \frac{117 \times 10^3}{58.5} \times \frac{1}{2} = 106 \times 10^3 [\text{g}]$$

よって、得られる $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の質量は 106 kg である。

19 ⋯④

#### 問5 鉄と銅の性質

a 銅のみに当てはまる。鉄は不動態になるので、濃硝酸には溶解しない。銅は濃硝酸に二酸化窒素を発生しながら溶解する。



b 鉄のみに当てはまる。鉄は希塩酸に水素を発生しながら溶解する。



銅はイオン化傾向が水素より小さく、希塩酸とは反応しない。

c 両方に当てはまる。鉄には $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (赤褐色)など、銅には $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ (青色)など有色の化合物が存在する。遷移元素の化合物には有色のものが多い。

d 両方に当てはまる。鉄は $\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Fe}^{3+}$ 、銅は $\text{Cu}^+$ と $\text{Cu}^{2+}$ の複数のイオンが存在し、異なる酸化数をとる化合物が存在する。遷移元素では、同一元素でも酸化数の異なる化合物が存在することが多い。

20 ⋯⑥

#### 問6 金属イオンの反応

① 正しい。硝酸銀水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、褐色の酸化銀が沈殿する。



② 正しい。硫酸銅(II)水溶液に硫化水素水を加えると、黒色の硫化銅(II)が沈殿する。

#### 不動態

$\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ などに濃硝酸を加えると、金属表面に緻密な酸化被膜が形成され、内部が保護されて溶解しなくなる。このような状態を不動態という。

#### 金属イオンの反応

$\text{OH}^-$ で沈殿する陽イオン

アルカリ金属・アルカリ土類金属以外の金属イオン

・ $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ag}_2\text{O}$ は、過剰のアンモニア水に溶ける。

・両性元素の水酸化物  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,

$\text{Zn}(\text{OH})_2$ は、過剰の水酸化ナトリウム水溶液に溶ける。

$\text{S}^{2-}$ で沈殿する陽イオン

・水溶液の pH によらず沈殿

$\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$

・中性～塩基性でのみ沈殿

$\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$

$\text{CrO}_4^{2-}$ で沈殿する陽イオン

$\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$

$\text{SO}_4^{2-}$ で沈殿する陽イオン

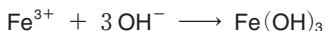
アルカリ土類金属イオン,  $\text{Pb}^{2+}$

$\text{Cl}^-$ で沈殿する陽イオン

$\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$

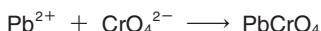


③ 誤り。塩化鉄(Ⅲ)水溶液にアンモニア水を加えると、赤褐色の水酸化鉄(Ⅲ)が沈殿する。

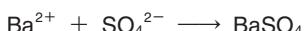


なお、 $\text{Fe}^{2+}$ を含む水溶液にアンモニア水を加えると、緑白色の水酸化鉄(Ⅱ)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ が沈殿する。

④ 正しい。酢酸鉛(Ⅱ)水溶液にクロム酸カリウム水溶液を加えると、黄色のクロム酸鉛(Ⅱ)が沈殿する。



⑤ 正しい。塩化バリウム水溶液に硫酸マグネシウム水溶液を加えると、白色の硫酸バリウムが沈殿する。

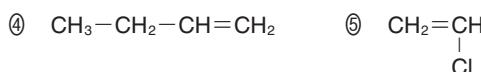
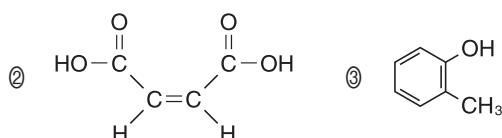
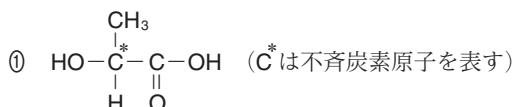


21 … ③

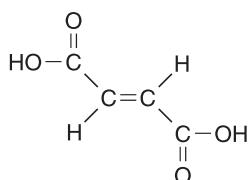
#### 第4問 有機化合物

##### 問1 幾何異性体(シス-トランス異性体)

①～⑥の構造式は次のとおりである。



これらのうち、②には幾何異性体(シス-トランス異性体)であるフマル酸が存在する。

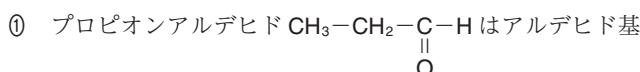


フマル酸

##### 幾何異性体(シス-トランス異性体)

炭素間二重結合  $\text{C}=\text{C}$  に対する置換基の配置の違いによる立体異性体。

##### 問2 有機化合物の識別

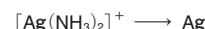


をもち、アンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱すると、銀が析出するが、アセトン  $\text{CH}_3-\overset{\parallel}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{CH}_3$  はアルデヒド基をもたないの

で、このような変化は起こらない。よって、2種類の化合物を区

##### アルデヒドの検出

##### 銀鏡反応



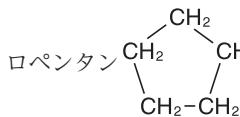
##### フェーリング液の還元

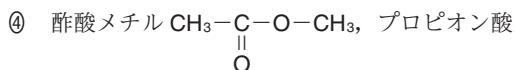


別できる。

② エタノール  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$  はヒドロキシ基をもち、ナトリウムと反応して水素を発生するが、ジメチルエーテル  $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$  はヒドロキシ基をもたず、このような変化は起こらない。よって、2種類の化合物を区別できる。



③ 1-ペンテン  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$  は炭素間二重結合をもち、付加反応により臭素水をすみやかに脱色するが、シクロペンタン  は炭素間二重結合をもたないので、このような変化は起こらない。よって、2種類の化合物を区別できる。



$\text{CH}_3-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{OH}$  ともにアルデヒド基をもたないので、フェーリング液を加えて加熱しても酸化銅(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$  の赤色沈殿は生じない。よって、2種類の化合物を区別することはできない。

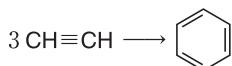
⑤ 2-プロパノール  $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_3$  は  $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{R}$  の構造をもち、ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、ヨードホルム  $\text{CHI}_3$  の黄色沈殿を生じるが、1-プロパノール  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$  は  $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{R}$  の構造をもたないので、

このような変化は起こらない。よって、2種類の化合物を区別できる。

23 ⋯④

### 問3 ベンゼンの構造と性質

① 正しい。アセチレンは、赤熱した鉄などの触媒のもとで3分子が重合し、ベンゼンを生じる。

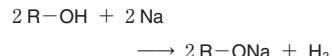


② 正しい。ベンゼンは、常温・常圧で特異臭をもつ無色の液体である。

③ 誤り。ベンゼン分子の6個の炭素間結合はすべて同等で、アルカンの単結合ともアルケンの二重結合とも異なる。

④ 正しい。ベンゼンは平面状の正六角形の分子で、分子を構成するすべての原子は同一平面上に存在する。

### ヒドロキシ基の検出

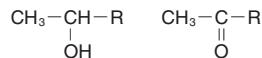


### C=C, C≡C の検出

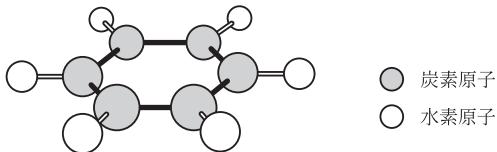
炭素間二重結合  $\text{C}=\text{C}$  または炭素間三重結合  $\text{C}\equiv\text{C}$  をもつ化合物は、付加反応により、 $\text{Br}_2$  の赤褐色を脱色する。

### ヨードホルム反応

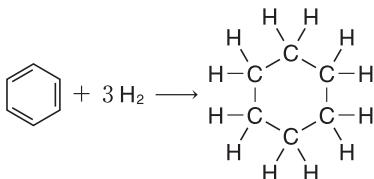
次の構造をもつ化合物にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加温すると、ヨードホルム  $\text{CHI}_3$  の黄色沈殿が生じる。



(RはH原子または炭化水素基)



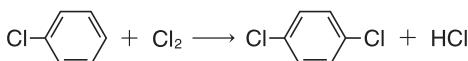
⑥ 正しい。ベンゼンは、ニッケルなどを触媒として高温・高圧下で水素と付加反応し、シクロヘキサンを生じる。



[24] ⋯③

#### 問4 芳香族化合物の反応の種類

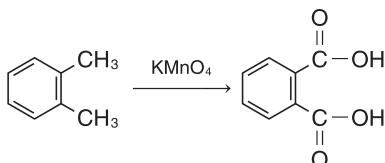
① 誤り。クロロベンゼンのパラ位の水素原子を塩素原子で置換すると *p*-ジクロロベンゼンが生じるので、付加反応ではなく置換反応である。



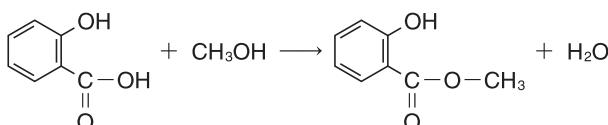
② 正しい。ニトロベンゼンを、塩酸とスズを作用させて還元し、強塩基を加えるとアニリンが得られる。



③ 正しい。*o*-キシリレンを過マンガン酸カリウムで酸化すると、ベンゼン環に結合したメチル基がカルボキシル基に変化し、フタル酸が生成する。



④ 正しい。サリチル酸にメタノールと濃硫酸を加えて加熱すると、エster化が起こり、サリチル酸メチルが生じる。エster化は縮合反応である。



⑤ 正しい。トルエンに濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)を加えて加熱すると、ベンゼン環の水素原子がニトロ基で置換されるニトロ化が起こり、2,4,6-トリニトロトルエンが得られる。ニトロ化は置換反応である。

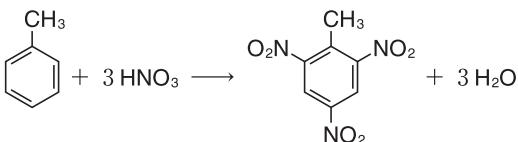
#### 芳香族炭化水素の側鎖の酸化

ベンゼン環に直接結合している炭化水素基は、過マンガン酸カリウムで酸化するとカルボキシル基に変化する。



#### 縮合反応

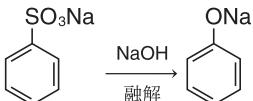
二つの分子の官能基から水などの簡単な分子がとれて、結合する反応。



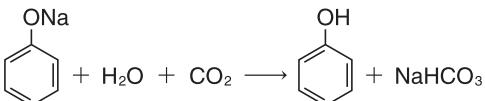
25 ⋯①

### 問5 フェノールの合成経路

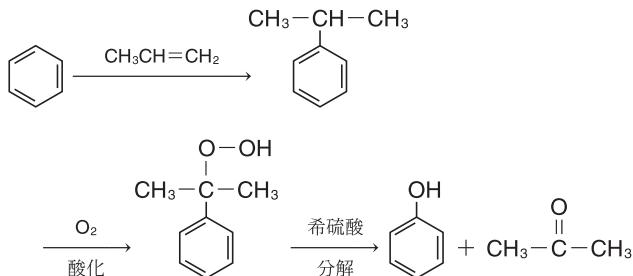
フェノールの製法の一つとして以下の方法がある。ベンゼンスルホン酸ナトリウムを水酸化ナトリウム $\text{NaOH}$ とともに融解すると、ナトリウムフェノキシドが得られる。



フェノールの塩であるナトリウムフェノキシドの水溶液に二酸化炭素イ $\text{CO}_2$ を通じると、炭酸より弱い酸であるフェノールが遊離する。



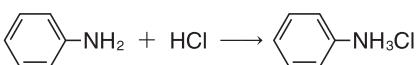
フェノールは、工業的にはクメン法とよばれる方法で製造されている。クメン法では、ベンゼンとプロパンの反応で得られたクメンを酸素で酸化し、生じたクメンヒドロペルオキシドに希硫酸を加えて分解すると、フェノールとともにアセトン $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ が得られる。



26 ⋯⑥

### 問6 塩素を含む芳香族化合物

① 正しい。塩基であるアニリンは、塩酸と中和反応してアニリン塩酸塩になり、水に溶ける。



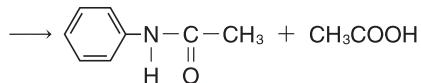
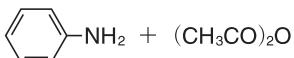
② 正しい。アニリンに無水酢酸を作用させると、アミノ基の水素原子がアセチル基で置換されたアセトアニリドが生じる。アセトアニリドは、アミド結合 $-\text{NHCO}-$ を含む化合物である。

### 弱酸の遊離

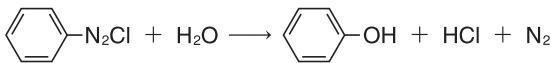
弱酸の塩の水溶液により強い酸を加えると、弱酸が遊離する。

### 酸の強さ

硫酸、塩酸 > スルホン酸 > カルボン酸  
> 炭酸 > フェノール類

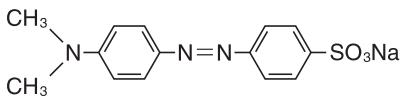


③ 誤り。塩化ベンゼンジアゾニウムは、水溶液中では低温で安定であるが、加熱すると分解してフェノールを生じ、同時に窒素が発生する。



④ 正しい。ニトロベンゼン(密度 1.2 g/cm<sup>3</sup>)は、水(密度 1.0 g/cm<sup>3</sup>)より重い油状物質である。よって、ニトロベンゼンは水に沈む。

⑤ 正しい。アゾ基 =N=N= をもつ化合物をアゾ化合物といい、染料や色素などに利用されている。pH 指示薬として用いられるメチルオレンジは、代表的なアゾ化合物である。



メチルオレンジ

27 ⋯③

### 問7 エステルの構造決定とけん化

ベンゼン環をもつエステル 6.10 g に含まれる C 原子と H 原子の質量は、生じた CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>O の質量から、

$$\text{C 原子} : 15.4 \times \frac{12}{44} = 4.20 \text{ [g]}$$

$$\text{H 原子} : 2.70 \times \frac{1.0 \times 2}{18} = 0.30 \text{ [g]}$$

よって、O 原子の質量は、

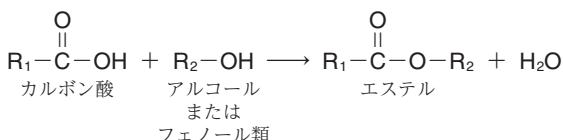
$$\text{O 原子} : 6.10 - (4.20 + 0.30) = 1.60 \text{ [g]}$$

以上から、このエ斯特ル中の各元素の原子数の比は、

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = \frac{4.20}{12} : \frac{0.30}{1.0} : \frac{1.60}{16} = 7 : 6 : 2$$

組成式は C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> (式量 122) であり、分子量が 122 であることから、分子式は C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> と決まる。

エ斯特ルは、次のようにカルボン酸とアルコールまたはフェノール類が結合した構造をもつ化合物である。



(R<sub>1</sub> は H または炭化水素基、R<sub>2</sub> は炭化水素基)

分子式から、エ斯特ル結合 -COO- を除いた上記の R<sub>1</sub> と R<sub>2</sub>

### アセチル化

無水酢酸を作用させると、ヒドロキシ基 -OH やアミノ基 -NH<sub>2</sub> の H 原子がアセチル基 -COCH<sub>3</sub> に置換される反応。

### 含まれる元素の質量

#### C の質量

$$= \text{CO}_2 \text{ の質量} \times \frac{\text{C の原子量}}{\text{CO}_2 \text{ の分子量}}$$

#### H の質量

$$= \text{H}_2\text{O} \text{ の質量} \times \frac{(\text{H の原子量}) \times 2}{\text{H}_2\text{O} \text{ の分子量}}$$

#### O の質量

$$= \text{試料の質量} - (\text{C の質量} + \text{H の質量})$$

### 組成式

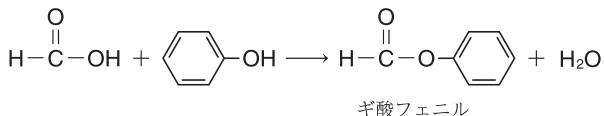
物質を構成する各元素の原子の数を最も簡単な整数比で示した化学式。

### 分子式

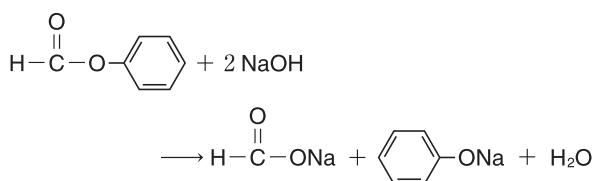
分子を構成する各元素の原子の数を示した化学式。

$$\text{分子式} = (\text{組成式}) \times n \quad (n \text{ は整数})$$

の部分は、合わせて C 原子 6 個と H 原子 6 個で構成される。ベンゼン環には C 原子が 6 個含まれるので、R<sub>1</sub> が H 原子、R<sub>2</sub> がフェニル基 C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> と決まる。このエステルは、ギ酸とフェノールが縮合した構造のギ酸フェニルである。



ギ酸フェニルに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、次のようにけん化され、ギ酸ナトリウムとナトリウムフェノキシドが生じる。



よって、ギ酸フェニル 1.0 mol と反応する水酸化ナトリウムは 2.0 mol である。

### けん化

エステルの塩基による加水分解。カルボン酸の塩とアルコールまたはフェノール類の塩が得られる。

[28] ⋯④

≡ 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	A	問1	1	③	3	
		問2	2	②	3	
		問3	3	④	3	
		問4	4	①	4	
	B	問5	5	④	4	
		問6	6	⑤	3	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	⑧	3	
		問2	8	②	3	
		問3	9	②	3	
		問4	10	①	3	
	B	問5	11	③	4	
			12	⑤	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	13	③	3	
		問2	14	②	4	
	B	問3	15	③	3	
			16	⑨	3	
		問4	17	④	3	
		問5	18	③	4	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	②	3	
		問2	20	③	3	
	B	問3	21	④	3	
		問4	22	②	3	
		問5	23	④	4	
			24	⑦	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	⑦	4		
B	問4	28	①	3		
	問5	29	④	3		
		30	⑥		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 体細胞分裂

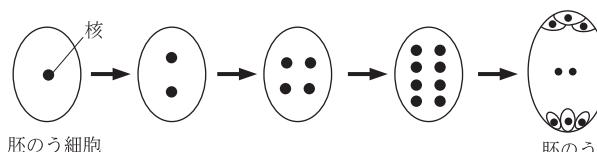
細胞分裂に関する知識を問う問題、および細胞周期と細胞質分裂に関する考察問題を出題した。

問1 体細胞分裂の過程では、まず核分裂が起こり続いて細胞質分裂が起こる。核分裂が終わってから次の核分裂が始まるまでの期間を間期という。間期の動物細胞には核膜や核小体が存在し、中心体も存在する。染色体は細い糸状で核内に分散し、光学顕微鏡では観察されない。核分裂の過程は前期、中期、後期、終期に分けられる。前期には、染色体が太く短くなり、光学顕微鏡で観察されるようになる。また、核膜と核小体が消失する。動物細胞では、複製された中心体が分かれ両極に移動し、中心体を起点として紡錘糸が伸びて紡錘体が形成される。紡錘糸は染色体の動原体に結合する。なお、被子植物の細胞には中心体ではなく、両極から紡錘糸が形成される。中期になると、染色体は紡錘体の赤道面に並び、後期には染色体は縦裂面で分かれ、紡錘糸に引かれて両極に移動していく。終期には、核膜や核小体が現れ、染色体は細い糸状になって観察されなくなる。また、紡錘体も消失する。動原体は分裂期の染色体に現れ、間期の細胞ではみられない。

1 …③

問2 動物細胞と植物細胞の体細胞分裂の過程では、細胞質分裂の過程が異なる。細胞質分裂が起こるときには、動物細胞では紡錘体の赤道面の位置で細胞膜にくびれが形成されて細胞質が二分されるが、植物細胞では赤道面に細胞板が形成されて細胞質が二分される。

次図のように、被子植物の胚のう細胞の核は3回分裂して8個になる。この過程では核分裂の後に細胞質分裂が起こらずに次の核分裂が起こる。8個の核ができる後で、核の周囲に細胞膜が形成され、卵細胞や中央細胞などを含む胚のうが生じる。なお、二次卵母細胞が行う減数分裂の第二分裂では、核分裂の後に細胞質分裂が起こり、大きな卵と小さな第二極体が生じる。



2 …②

問3 図1では、細胞の体積が半分に減少している時点が分裂が完了した時点であり、グラフの傾きが細胞の成長速度を表している。①栄養分を少なくした時間t以降でも分裂は起こっているので、誤りである。②時間t以降ではグラフの傾きが小さくなり、

## 【ポイント】

細胞分裂の過程

核分裂→細胞質分裂

分裂期と分裂期の間が間期

間期には核膜や核小体が観察される。

動物細胞には中心体が存在する。

分裂期 前期→中期→後期→終期

分裂期各期の染色体

前期 太く短くなる。

中期 赤道面に並ぶ。

後期 両極に移動する。

終期 細い糸状になる。

細胞質分裂

動物細胞ではくびれが形成されて細胞質が二分される。

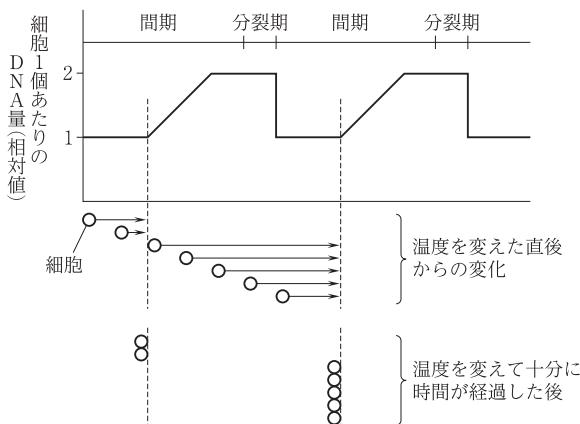
植物細胞では細胞板が形成されて細胞質が二分される。

胚のう細胞から胚のうが生じるときにみられる分裂では、核分裂の後に細胞質分裂が起こらずに次の核分裂が起こる。

成長速度が遅くなっていることがわかる。しかし、分裂直前の細胞の体積や分裂直後の細胞の体積は時間  $t$  以前と変わっていないので、誤りである。 $\textcircled{③}$  分裂が終わってから次の分裂が終わるまでの時間は、時間  $t$  以前に比べて時間  $t$  以降では長くなっているので、誤りである。 $\textcircled{④}$  時間  $t$  以前も時間  $t$  以降も、分裂するときの細胞の体積は同じである。すなわち、細胞は分裂後に一定の体積まで成長すると次の分裂を行うことがわかる。したがって、正しい。

3 … $\textcircled{④}$

**問4** 分裂直後の培養細胞1個あたりのDNA量を1としたときの細胞1個あたりのDNA量は、次図のようになる。設問文に「25°CではDNA合成を開始することができるが、39°CではDNA合成を開始することができない。DNA合成の開始以外の過程は、25°Cでも39°Cでも同様に進行し」とあるので、温度を変えた直後には細胞周期の様々な段階にある細胞も、培養温度を39°Cに変えて十分に長い時間が経過すると、すべてDNA合成の開始直前の段階(次図の破線部分)にあることになる。したがって、細胞1個あたりのDNA量はすべての細胞で1となる。



4 … $\textcircled{①}$

**問5** 実験1で後期の受精卵から紡錘体を除去しても細胞質分裂が起こっているので、紡錘体が存在しなくても細胞質分裂は起こる。したがって、 $\textcircled{①}$ と $\textcircled{②}$ は誤りである。紡錘糸によって細胞質分裂を抑制するための信号が細胞表層に伝わるのであれば、紡錘体を除去すると細胞質分裂を抑制するための信号が伝わらず、細胞質分裂が起こるはずである。実験1では、中期の受精卵から紡錘体を除去した場合には細胞質分裂は起こらない。したがって、紡錘糸によって細胞表層に伝えられる信号は、細胞質分裂を抑制するものではなく促進するものであると考えられるので、 $\textcircled{⑨}$ は誤りである。中期が始まるまでに細胞質分裂を促進する信号が細胞表層に伝わるのであれば、中期の受精卵ではその信号の伝達は完了しており、中期の受精卵で紡錘体を除去したり紡錘糸の伸長を阻

細胞質分裂が起こると細胞の体積は減少する。

DNAは間際に合成される。

害しても、細胞質分裂は起こるはずである。実際には、**実験1・実験2**で中期の受精卵から紡錘体を除去したり紡錘糸の伸長を阻害したりすると細胞質分裂が起こらないので、③は誤りである。一方、後期の受精卵から紡錘体を除去したり紡錘糸の伸長を阻害したりしても細胞質分裂が起こることから、後期が始まるまでに細胞表層に細胞質分裂を促進する信号が伝わっていると考えられるので、④が正しい。

5 …④

**問6 実験3**では、分裂期の様々な時期にある多数の受精卵に紡錘糸の伸長を阻害する物質Pを作らせている。集めた受精卵には、前期、中期、後期、終期のものが含まれている。物質Pを作らせた時点で、後期や終期にあった受精卵は、細胞質分裂を促進する信号がすでに細胞表層に伝わっているので細胞質分裂を行うことができるが、前期や中期にあった受精卵は、細胞質分裂を促進する信号がまだ細胞表層に伝わっていないので細胞質分裂を開始できない。したがって、**実験3**では、物質Pを作らせた時点で後期になった直後の受精卵が最後に細胞質分裂を開始することになる。この受精卵が細胞質分裂を開始すると、細胞質分裂を開始する受精卵がなくなるので、細胞質分裂を開始する受精卵の割合が増加しなくなる。したがって、6分という時間は、後期になった直後の受精卵が細胞質分裂を開始するまでに要する時間となる。

6 …⑥

## 第2問 発生

両生類の初期発生に関する知識を問う問題と、胚の背側と頭部の構造の形成に関する考察問題を出題した。

**問1** 動物の卵を卵黄の量と分布から分類すると、卵黄が少なく均等に分布しているウニやは乳類の卵は等黄卵とよばれる。また、卵黄が植物極側に偏って分布している、カエルなどの両生類、鳥類、は虫類の卵は端黄卵とよばれる。カエルでは、原腸胚期になると、赤道面からやや植物極側の部位に原口が形成され、原口から陷入が始まる。陷入の進行とともに、原口は半円状から馬蹄形となり、原腸胚の後期には円形となる。この円形の原口に囲まれた卵黄に富む植物極の部分は卵黄栓(卵黄プラグ)とよばれる。原腸胚の時期には、外胚葉、中胚葉、内胚葉の三胚葉が分化する。原口の背側の部域である原口背唇は陷入によって胚の内部へ移動し、内側から外胚葉に接するようになる。そして、原口背唇は接する外胚葉を神経管に誘導するとともに、自身は中胚葉の脊索に分化する。

7 …⑧

**問2** ①卵黄は卵割の妨げとなるため、卵黄の少ないウニの卵では第三卵割が赤道面で起こるが、卵黄が植物極側に偏って分布する端黄卵であるカエルの卵では、第三卵割は卵黄を避けるように動物極側に偏った位置で起こる。このように、卵割は卵黄の量や分

等黄卵 ウニ、ほ乳類

端黄卵 両生類、鳥類、は虫類

### 卵黄栓

円形の原口に囲まれた卵黄に富んだ植物極の部分

布の影響を受けるので、正しい。②卵割の場合、間期に要する時間は一般の体細胞分裂に比べて短いが、DNAの合成は行われるので、誤りである。③動物極と植物極を通る面で起こる卵割を経割、赤道面に平行な面で起こる卵割を緯割とよぶ。カエルの卵では、第一卵割と第二卵割は経割、第三卵割は緯割となるので、正しい。④生じた割球の大きさが互いに同じになる卵割を等割、生じた割球の大きさが互いに異なる卵割を不等割とよぶ。カエルの場合、第一卵割と第二卵割は等割であるが、第三卵割は不等割であるので、8細胞期の胚は動物極側の4個の小さな割球と植物極側の4個の大きな割球からなる。したがって、正しい。■8…②

問3 原口背唇は中胚葉となり、脊索や体節の一部に分化する。①の脊髄と④の大脳は外胚葉から分化し、③の肝臓は内胚葉から分化する。

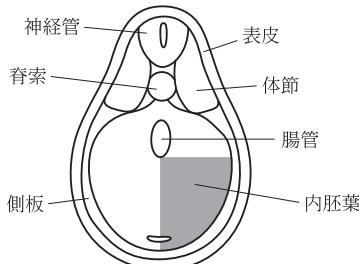
■9…②

問4 ①カエルの場合、精子進入点の反対側に灰色三日月環が現れ、灰色三日月環が形成された側が将来の背側となり、精子進入点側が腹側となる。したがって、正しい。②卵割の結果生じた胚内部の空所を卵割腔とよぶ。カエルの場合、桑実胚では動物極側に卵割腔が存在するので、誤りである。③卵割腔は胞胚期には発達し、胞胚腔とよばれる。カエルの場合、胞胚腔は胞胚の動物極側に存在するが、陷入の過程で押しつぶされて消失する。体腔は側板の内部に新たに形成されるので、誤りである。④カエルの場合、原口は予定内胚葉域に形成されるので、誤りである。

■10…①

問5 紫外線の照射によって生じた段階0～段階5までの尾芽胚のうち、段階0は正常であるが、それ以外では段階の数値が大きいほど異常の程度が大きな胚となる。①割球aの除去と移植を行った場合には、正常な段階0になったものはないので、誤りである。②割球bの除去と移植を行った場合には、脊索と体節が形成される段階0～段階4になったものは合計で約20%であるので、誤りである。③割球cの除去と移植を行った場合には、脊索と体節が形成される段階0～段階4になったものは合計で約85%となるので、正しい。

実験2の図3で分化した構造の名称は次図のようになり、移植した割球cは灰色で示した内胚葉に分化したことがわかる。



### 卵割の特徴

割球は分裂ごとに小さくなる。  
間期が短い。  
分裂が同調している。

### 等割

同じ大きさの割球が生じる。

### 不等割

異なる大きさの割球が生じる。

原口背唇は主に脊索に分化する。

### 灰色三日月環

精子進入点の反対側に形成される。  
灰色三日月環が形成された側が将来の背側となる。

④脊索と体節は移植した割球cからではなく、移植を受けた胚の細胞から分化しているので、誤りである。⑥割球cは内胚葉に分化していることから、脊索と体節は割球cとは異なる細胞から分化していることがわかるので、正しい。⑦実験1・2からは割球cが内胚葉に分化したことはわかるが、割球aと割球bについては、実験を行っていないので脊索と体節に分化したかどうかはわからない。したがって、誤りである。なお、両生類の胞胚の原基分布図から推定して、割球aや割球bは内胚葉に分化すると考えられ、この二つの割球のみから脊索と体節がつくられるとは考えられない。⑧割球aの除去と移植を行った場合には、他の割球の除去と移植を行った場合に比べて脊索と体節をもつ段階0～段階4となる割合が低く、割球aは脊索と体節をつくらせる活性が最も低いと考えられるので、誤りである。なお、割球cの除去と移植を行った場合には、他の割球の除去と移植を行った場合に比べて段階0～段階4となる割合が高いので、割球cが脊索と体節をつくらせる活性が最も高いと考えられる。⑨割球bの除去と移植を行った場合には、割球cの除去と移植を行った場合に比べて頭部が形成される段階0～段階3となる割合が低く、頭部をつくらせる活性が最も高いとはいえないで、誤りである。

11・12…⑩・⑪

### 第3問 遺伝

Aでは植物の花の色を題材に一遺伝子雑種に関する問題を、Bではニワトリの体色を題材に遺伝子の相互作用に関する問題を出題した。

問1 有色の純系個体の遺伝子型はRR、白色の純系個体の遺伝子型はrrなので、F<sub>1</sub>の遺伝子型はRrである。メンデルの法則にしたがう場合には、F<sub>1</sub>がつくる配偶子である卵細胞と精細胞の遺伝子型とその分離比は、いずれもR:r=1:1となるので、F<sub>2</sub>はRR:Rr:rr=1:2:1となり、有色個体:白色個体=3:1となる。したがって、有色個体の割合は、 $\frac{3}{3+1} \times 100 = 75\%$ になると期待される。

13…⑩

問2 問題の交配で生じたF<sub>2</sub>においては、実際には問1で算出した75%よりも多くの有色個体が生じている。この原因を調べるために検定交雑が行われている。F<sub>1</sub>個体の雌しべに劣性ホモである白色個体の花粉を受粉させた場合の結果から、受精した卵細胞の遺伝子型とその分離比が、R:r=1:1であることがわかる。したがって、遺伝子Rをもつ卵細胞と遺伝子rをもつ卵細胞で、受精のしやすさや数に差があるとは考えられないで、①と⑩は誤りである。また、F<sub>1</sub>個体の花粉を白色個体の雌しべに受粉させた場合の結果から、受精した精細胞の遺伝子型とその分離比が、R:r=7:3であることがわかる。遺伝子rをもつ花粉が遺伝

ヘテロ接合体(Aa)がつくる配偶子は、A:a=1:1となる。

ヘテロ接合体(Aa)どうしの交配結果は、

AA:Aa:aa=1:2:1となる。

### 検定交雫

劣性ホモ個体との交配。

検定個体のつくった配偶子の遺伝子型とその分離比が、交配で生じた個体の表現型とその分離比に一致する。

子 R をもつ花粉よりも多くつくられるのであれば、受精する精細胞も遺伝子 r をもつものが多くなると考えられるので、④は誤りである。②のように、遺伝子 R をもつ花粉の方が遺伝子 r をもつ花粉よりも花粉管の伸長がよく、胚のうに到達する割合が高く受精しやすかったと考えれば、検定交雑の結果を説明できる。なお、検定交雫の結果に基づいて  $F_2$  の分離比を算出してみると次のようになる。

♀	♂	7 R	3 r
1 R		7 RR	3 Rr
1 r		7 Rr	3 rr

$F_2$  の遺伝子型とその分離比は  $RR : Rr : rr = 7 : 10 : 3$  となり、全体に占める有色個体の割合は 85 % となる。 14 …②

問 3 問題文に、「遺伝子 A と遺伝子 B を少なくとも一つずつもち、遺伝子 D をもたない個体は有色になり」とあるので、有色個体の遺伝子型は、 $A_B_dd$  である（ $_$  は優性遺伝子でも劣性遺伝子でもよいことを示す）。この遺伝子型以外はすべて白色となる。  
イ 問題文に示された各系統の遺伝子型をもとに交配を示すと、次のようになる。

(レグホーン系統)  $AABBDD \times AAbbdd$  (シルキー系統)  
 $\downarrow$   
 $F_1 \quad AABbDd \times aabbDd$  (ワイアンドット系統)

3組の対立遺伝子は異なる染色体上に存在し独立に遺伝するので、 $F_1$  個体の配偶子の遺伝子型とその分離比は、 $ABD : ABd : AbD : Abd = 1 : 1 : 1 : 1$  である。ワイアンドット系統がつくる配偶子の遺伝子型は  $aBd$  であるので、 $F_1$  個体とワイアンドット系統の個体の交配は次のようになる。

	aBd
ABD	$AaBBDd$ (白色)
ABd	$AaBBdd$ (有色)
AbD	$AaBbDd$ (白色)
Abd	$AaBbdd$ (有色)

これより、  
有色 : 白色 = 1 : 1  
になる。

15 …③

ウ イの  $F_1$  個体である  $AABbDd$  どうしの交配では、AA どうしの交配となるので、次世代はすべて AA となる。したがって、 $BbDd$  どうしの交配を考えればよい。B・b と D・d は独立に遺伝するので、B・b と D・d だけに着目すると、この交配は、

$BbDd \times BbDd$



$$B_D_ : B_dd : bbD_ : bbdd = 9 : 3 : 3 : 1$$

となる。これに AA を加えると、

2組の遺伝子 ( $A \cdot a$  と  $B \cdot b$ ) が独立に遺伝する場合

$AaBb \times AaBb$



$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = \\ 9 : 3 : 3 : 1$$

AAB\_D\_ : AAB\_dd : AAbB\_D\_ : AAbbdd

$$= 9 : 3 : 3 : 1$$

となる。このうち、AAB\_dd のみが有色となるので、有色 : 白色 = 3 : 9+3+1 = 3 : 13 となる。

16 ⋯⑨

問4 選択肢の交配はすべて、dd × dd であり、次世代の個体はすべて dd となるので、A · a と B · b に着目した交配結果が、

$$\begin{array}{c} \text{A\_B\_ : } \underbrace{\text{A\_bb} + \text{aaB\_} + \text{aabb}}_{(\text{有色})} = 3 : 1 \\ \text{(\白色)} \end{array}$$

にならない交配を探せばよい。

①の交配は、AaBBdd どうしの交配であり、次世代ではすべての個体が BBdd となり、次世代の遺伝子型は A · a のみが異なることになる。A · a については Aa × Aa であるので、次のようになる。

AaBBdd × AaBBdd



$$\text{A\_BBdd(有色) : aaBBdd(白色) = 3 : 1}$$

②の交配も①と同様に考えると、次のようになる。

AABbdd × AABbdd



$$\text{AAB_dd(有色) : AAbbdd(白色) = 3 : 1}$$

③の交配は、A · a に着目すると AA × Aa であり、次世代の個体はすべて A\_ となる。したがって、B · b の組合せで次世代の形質が決まることになる。B · b については Bb × Bb であるので、次のようになる。

AABbdd × AaBbdd



$$\text{A\_B_dd(有色) : A\_bbdd(白色) = 3 : 1}$$

④の交配は、A · a と B · b だけに着目すると、AaBb × AaBb であるので、次のようになる。

AaBbdd × AaBbdd



$$\text{A\_B_dd : A\_bbdd : aaB\_dd : aabbdd}$$

(有色) : (白色) : (白色) : (白色)

$$= 9 : 3 : 3 : 1$$

これより、有色 : 白色 = 9 : 7 となる。したがって、④は親世代の有色個体の遺伝子型の組合せとして可能性がない。

17 ⋯④

問5 ①白色のシルキー系統 AAbbdd の個体と白色のワイアン

ドット系統 aaBBdd の個体を交配すると、次世代はすべて AaBbdd の有色個体となるので、正しい。②白色のシルキー系統 AAbbdd の個体と有色系統 AABBdd の個体を交配すると、次世代はすべて AABbdd の有色個体となる。また、白色のワイアンドット系統 aaBBdd の個体と有色系統である AABBdd の個体を交配しても、次世代はすべて AaBBdd の有色個体となるので、正しい。③白色のレグホーン系統 AABBDD の個体は遺伝子型 ABD の配偶子のみをつくり、白色のシルキー系統 AAbbdd の個体は遺伝子型 Abd の配偶子のみをつくり、白色のワイアンドット系統 aaBBdd の個体は遺伝子型 aBd の配偶子のみをつくる。したがって、誤りである。④A・a, B・b, および D・d について、8種類の遺伝子型の配偶子をつくる個体の遺伝子型は AaBbDd のみであり、遺伝子型 AaBbDd の個体の体色は白色である。したがって、正しい。

18 …④

#### 第4問 体液浸透圧の調節と腎臓

Aでは魚類の体液浸透圧の調節に関する知識問題を、Bでは腎臓における尿生成のしくみに関する知識問題と考察問題を出題した。

問1 海水に生息する硬骨魚類の体液浸透圧は海水よりも低く保たれ、淡水に生息する硬骨魚類の体液浸透圧は淡水よりも高く保たれている。いずれの体液浸透圧も海水の浸透圧の約3分の1である。海水に生息する硬骨魚類の体液は海水より低張であるので、主にえらから浸透圧差にしたがって水が海水に流出する。このため、水を補うように海水を積極的に飲んで腸で吸収し、そのとき吸収される余分な塩分はえらから能動輸送によって排出している。また、排出のときの水の喪失を抑制するために、体液と等張な尿を少量排出する。なお、淡水に生息する硬骨魚類は体液が淡水より高張であるので、主にえらから浸透圧差にしたがって水が体内に流入してくる。このため、淡水に生息する硬骨魚類は多量の低張尿として余分な水を排出し、不足する塩分はえらから能動輸送によって吸収する。

19 …②

問2 サメやエイなどの海水に生息する軟骨魚類では、体液に含まれる塩類の濃度は硬骨魚類と同程度であるが、尿素が多く含まれるため、体液浸透圧は海水とほぼ等張であり、海水に生息する硬骨魚類のように、えらなどから水が流出することはない。

20 …③

問3 ヒトの腎臓は腹腔の背側に1対存在する。腎臓には尿を生成する単位となる構造があり、これを腎単位(ネフロン)とよぶ。腎単位は1個の腎臓に約100万個存在する。腎単位は腎小体(マルピギ小体)と細尿管(腎細管)からなる。腎小体は毛細血管である糸球体(オ)をボーマンのう(カ)が包んだ構造である。細尿管は集まって集合管となり、集合管が腎臓の腎うに開口する。尿が生

硬骨魚類の体液浸透圧

海水魚…海水より低張

淡水魚…淡水より高張

硬骨魚類のえらにおける塩類の能動輸送

海水魚…排出

淡水魚…吸収

軟骨魚類は体液に尿素を含む。

腎単位  
{ 腎小体 { 糸球体  
                  ボーマンのう  
                  細尿管

成されるときには、糸球体から血しょうの一部がボーマンのうへこし出される。この過程はろ過とよばれ、ボーマンのうへろ過された液は原尿とよばれる。原尿が細尿管を通る間に、必要な物質は多く再吸収され、不要な物質はほとんど再吸収されない。その結果、再吸収されなかった物質が腎うに集められて尿となる。

21 ⋯④

問4 ある物質の尿中濃度を血しょう中濃度で割った値を濃縮率という。表1のイヌリンの濃度からイヌリンの尿中濃度は血しょう中濃度(aでの濃度)の125倍に濃縮されていることがわかる。イヌリンは腎小体でろ過されるが細尿管や集合管で再吸収されない物質であるので、ろ過された量がすべて尿中に排出される。したがって、125倍に濃縮されたということは、液量が $\frac{1}{125}$ に減少したことを意味する。すなわち、125mLの原尿がろ過されると、これから1mLの尿がつくられ、124mLの水が途中で再吸収されたことになる。したがって、②が正しい。

22 ⋯②

問5 表1の物質E～Gは、タンパク質、グルコース、尿素のいずれかである。物質EとFは尿中に含まれないので、タンパク質またはグルコースである。したがって、残る物質Gが尿素である。物質Eは、aの部位での血しょう中濃度は70mg/mLであるが、ろ過直後のbの部位では0mg/mLであるので、分子量が大きいために腎小体でろ過されないタンパク質であることがわかる。したがって、①と②は誤りである。物質Fは、血しょう中とろ過直後の濃度が同じ1mg/mLであるが、細尿管のcの部位では0mg/mLとなっているので、ろ過されるが、b～c間ですべて再吸収されるグルコースであることがわかる。したがって、③は誤りであり、④が正しい。

各区間で物質がどれくらい再吸収されたかは、その物質とイヌリンの濃縮の程度を比較するとわかる。b～c間では、イヌリンは相対値で1→5へと5倍に濃縮されており、この区間で液量が $\frac{1}{5}$ になっている。物質Gも $0.05\text{ mg/mL} \rightarrow 0.25\text{ mg/mL}$ と同じ5倍に濃縮されているので、水が再吸収された分だけ濃縮されたと考えられ、物質Gはこの区間ではみかけ上再吸収されていないことがわかる。集合管では、イヌリンは $16 \rightarrow 125$ へと約7.8倍に濃縮されているが、物質Gは $0.75\text{ mg/mL} \rightarrow 5\text{ mg/mL}$ へと約6.7倍に濃縮されており、イヌリンよりもその値が小さい。物質Gが再吸収されなければ同じ7.8倍に濃縮されるので、この区間では物質Gの一部が再吸収されることがわかる。したがって、⑥は誤りである。水の再吸収についても、イヌリンの濃縮の程度から考えることができる。次の表は、イヌリンの濃度変化から、1分あたり125mLの原尿がろ過されたときの各部位での液量を計算したものである。

糸球体からボーマンのうへ血しょうの一部がろ過され、ろ液が細尿管と集合管を通過する間に必要な物質が再吸収されて尿が生じる。

$$\text{濃縮率} = \frac{\text{尿中濃度}}{\text{血しょう中濃度}}$$

原尿量はイヌリンの濃縮率を用いて計算できる。

$$\text{原尿量} = \text{尿量} \times \text{イヌリンの濃縮率}$$

タンパク質

ろ過されないため、尿中に排出されない。

グルコース

ろ過されるが、細尿管ですべて再吸収されるため、尿中に排出されない。

	b	c	d	尿
イヌリン濃度	1	5	16	125
液量の変化	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{125}$
液量(mL/分)	125	25	約 7.8	1

これより各区間の水の再吸収量と再吸収率は次表のようになる。例えば、b - c 間では、水の再吸収量は  $125 - 25 = 100$  mL であり、水の再吸収率は  $\frac{125 - 25}{125} \times 100 = 80\%$  となる。

	b - c 間	c - d 間	集合管
再吸収量(mL/分)	100	約 17.2	約 6.8
再吸収率	80 %	約 68.8 %	87.2 %

したがって、水の再吸収量が最も多いのは b - c 間であり、水の再吸収率が最も高いのは集合管であるので、⑥は誤りであり、⑦が正しい。

[23] · [24] … ④ · ⑦

## 第5問 環境と植物の反応

A では光周性に基づく花芽形成に関する問題を、B では芽の休眠における日長条件や植物ホルモンの影響に関する問題を出題した。

**問1** 1日の昼と夜の長さは季節によって変化する。植物には日長条件の季節的な変化に反応して、決まった季節に花芽を形成するものがある。このように、日長条件に対して生物が反応する性質を光周性とよぶ。花芽形成に光周性を示す植物には、日長が長くなると花芽を形成する長日植物と日長が短くなると花芽を形成する短日植物がある。しかし、花芽形成の有無を決める環境条件は明期の長さではなく連続した暗期の長さであり、連続暗期の長さが一定時間以上となるか以下となるかで花芽形成の有無が決まる。このような一定時間の暗期は限界暗期とよばれ、植物はそれぞれ固有の限界暗期をもつ。短日植物は限界暗期以上の連続暗期が与えられると花芽を形成し、長日植物は限界暗期以下の連続暗期が与えられると花芽を形成する。長日植物や短日植物では、連続暗期の長さは葉で感知される。花芽の形成に適当な連続暗期を感じると、葉でフロリゲン(花成ホルモン)が合成され、フロリゲンは師管を通って芽に移動し、花芽形成を誘導する。フロリゲンは道管ではなく師管を通るので、⑨が誤りである。 [25] … ⑨

**問2** 光周性を示さない植物を中性植物という。選択肢に挙げられた植物のうち、長日植物はアブラナ、ホウレンソウ、コムギであり、短日植物はアサガオ、キク、オナモミであり、中性植物はトマト、トウモロコシである。したがって、①の植物はすべて長日

連続暗期の長さは葉で感知される。

フロリゲンは葉で合成され、師管を通って芽に移動する。

植物である。次表に長日植物、短日植物、中性植物の代表的な植物例を示す。

長日植物	ホウレンソウ、アヤメ、ダイコン、アブラナ、コムギ
短日植物	キク、コスモス、アサガオ、オナモミ、イネ、タバコ、ダイズ
中性植物	トマト、トウモロコシ、セイヨウタンポポ、エンドウ

26 …①

問3 16時間の暗期の開始から2時間後に光中断を行うと、連続暗期は2時間と14時間になる。同様に、4時間後に光中断を行うと4時間と12時間、6時間後に光中断を行うと6時間と10時間、8時間後に光中断を行うと8時間と8時間になる(次表)。限界暗期より短い連続暗期と長い連続暗期の両方が与えられた場合、長日植物は花芽を形成せず、短日植物は花芽を形成する。つまり、花芽形成に影響を与えるのは与えられた連続暗期のうち長い方の連続暗期である。

光中断の時期	連続暗期	植物P	植物Q
2時間後	2時間、14時間	97%	0%
4時間後	4時間、12時間	70%	43%
6時間後	6時間、10時間	25%	77%
8時間後	8時間、8時間	0%	100%

これより、植物Pは、暗期の開始から8時間後に光中断を行った場合(連続暗期は8時間)では花芽を形成しないが、暗期の開始から2時間後に光中断を行った場合(長い方の連続暗期は14時間)ではほとんどの個体が花芽を形成するので、暗期が長くなると花芽を形成する短日植物である。一方、植物Qは、暗期の開始から2時間後に光中断を行った場合(長い方の連続暗期は14時間)では花芽を形成しないが、暗期の開始から8時間後に光中断を行った場合(連続暗期は8時間)ではすべての個体が花芽を形成するので、暗期が短くなると花芽を形成する長日植物である。したがって、イが正しい。

問題文に「限界暗期の長さを、1個体でも花芽を形成するようになる最長または最短の連続暗期の長さとする」とある。植物Pは、暗期の開始から8時間後に光中断を行った場合(連続暗期は8時間)に花芽を形成した個体の割合が0%で、暗期の開始から6時間後に光中断を行った場合(長い方の連続暗期は10時間)に花芽を形成した個体の割合が25%であるので、限界暗期の長さは8時間と10時間の間にあると考えられる。一方、植物Qは、暗期の開始から2時間後に光中断を行った場合(長い方の連続暗期

長日植物

連続暗期が限界暗期以下になると花芽を形成する。

短日植物

連続暗期が限界暗期以上になると花芽を形成する。

中性植物

日長条件と無関係に花芽を形成する。

花芽形成に影響を与えるのは与えられた連続暗期のうち長い方の連続暗期である。

は14時間)に花芽を形成した個体の割合が0%で、暗期の開始から4時間後に光中断を行った場合(長い方の連続暗期は12時間)に花芽を形成した個体の割合が43%であるので、限界暗期の長さは12時間と14時間の間にあると考えられる。したがって、オ

が正しい。

27 …⑦

問4 種子の休眠を促進し、発芽を抑制する作用をもつ植物ホルモンはアブシシン酸である。なお、種子の発芽を促進する作用をもつ植物ホルモンはジベレリンである。

28 …①

問5 ①・②実験2の文中に、「この植物の芽における植物ホルモンXの含有量を調べたところ、どの時点でも置かれた日長条件による差はみられなかった」とあるので、長日条件に置かれても短日条件に置かれても、芽における植物ホルモンXの合成量は変化しないと考えられる。したがって、ともに誤りである。③～⑧図1の縦軸は芽が成長を開始するまでの日数であるので、この日数が長いほど芽の成長が抑制された、すなわち、芽が休眠したこと示す。図1において、同じ短日条件でも、植物ホルモンXありの場合(図中の▲印)には、芽を単離するまでの日数が長くなるほど芽が成長を開始するまでの日数も長くなっているが、植物ホルモンXなしの場合(図中の△印)には、芽が成長を開始するまでの日数は長くならない。これより、植物ホルモンXは芽を休眠させる作用をもつことがわかる。また、植物ホルモンXを与えた場合に、芽が短日条件に置かれる(図中の▲印)と、芽が成長を開始するまでの日数は長くなるが、芽が長日条件に置かれる(図中の●印)と、芽が成長を開始するまでの日数は長くならない。このことは、短日条件におかれると芽の植物ホルモンXに対する感受性が高くなることを示している。すなわち、短日条件に置かれると、日数が経つほど芽の植物ホルモンXに対する感受性が上昇し、その結果、植物ホルモンXの作用が現れて芽が休眠すると考えられる。したがって、③・④・⑤・⑥は誤りであり、④・⑥は正しい。

29 · 30 …④ · ⑥

種子の発芽は、ジベレリンによって促進され、アブシシン酸によって抑制される。

# 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	②	3	
		問2	2	⑥	3	
		問3	3	④	4	
	B	問4	4	①	4	
		問5	5	②	3	
		問6	6	④	3	
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	7	④	3	
		問2	8	⑥	4	
		問3	9	①	3	
		問4	10	③	3	
	B	問5	11	②	3	
		問6	12	⑤	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	問1	13	①	3		
	問2	14	②	3		
	問3	15	③	3		
	問4	16	④	4		
	問5	17	④	4		
	問6	18	①	3		
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	②	3	
		問2	20	③	3	
		問3	21	②	4	
		問4	22	①	3	
	B	問5	23	④	3	
		問6	24	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	25	①	3		
		問2	26	②	3		
		問3	27	④	4		
	B	問4	28	④	4		
		問5	29	①	3		
		問6	30	①	3		
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 地磁気**

地磁気のおもな学習内容は、地磁気の分布の様子、地磁気の三要素、太陽の影響などである。学習する内容が少ないため、学んだ知識を応用する問題が出題されやすい。

**問1 ア** : 図1-1のように、地磁気は全磁力、水平分力、鉛直分力、伏角、偏角という要素で表す。これらの要素のうち、偏角は他の要素の組合せで表すことができないため、地磁気の三要素の一つに必ず含める。

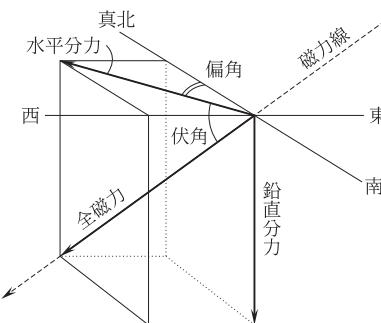


図1-1 地磁気の要素

P地点の全磁力は50000 nT(ナノテスラ), 伏角は下向きに60°であるから、図1-2に示すように、水平分力は、

$$50000 \cos 60^\circ = 25000 \text{ nT}$$

となる。

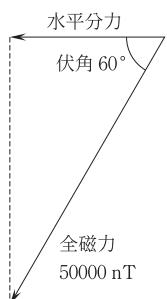


図1-2 P地点の地磁気の要素

**イ** : 太陽表面で突然的に生じる爆発現象はフレアと呼ばれる。プロミネンスは紅炎とも呼ばれ、コロナへたちのぼる炎のように見える現象である。

1 ⋯②

**問2** フレアによって、X線が強く放射されたり、通常よりも強い太陽風がコロナから吹き出す。

a X線は波長の短い電磁波であり、光の速度(約30万 km/s)

**【ポイント】****地磁気の三要素**

偏角を必ず含める。

(例) 偏角, 伏角, 全磁力

で地球に届く。したがって、強いX線によって生じる現象は、フレア発生後、約8分後に生じ始める。これは、デリンジャー現象と呼ばれる短波通信の障害である。したがって、「数日後」ではないので、誤りである。

**b・c** 強い太陽風によって生じる現象は、オーロラと磁気嵐である。オーロラは、太陽風の影響によって、高層大気中に強い電流が流れることで生じる。また、磁気嵐は太陽風によって地球磁場の様子が突発的に変化する現象である。太陽風は高速の荷電粒子の流れであるが、光の速度に比較すれば遅く、地球には数日後に到達する。したがって、**b**は正しいが、**c**は誤りである。

以上より、「誤・正・誤」の組合せである⑥が正解である。

なお、デリンジャー現象と磁気嵐は地球全域で発生するが、オーロラは高緯度地方で発生する現象である。

**2** …⑥

**問3** クリノメーターの盤面では、EとWは通常の方位とは逆に記してあるので、②と④の盤面の図が正しい。**P**地点の偏角は真北から西へ15°である。これは、問題の図では、盤面上のN-Sの方向から左の方に15°ずれた方向を磁針のN極が示すことを意味する。したがって、④が正解である。

なお、クリノメーターを用いて地層の走向を測定したときに、④の図のようにクリノメーターの盤面が表示された場合、走向はN15°Eと読み取れるが、**P**地点の偏角を考慮してこれを補正した正しい走向はNSとなる。

**3** …④

## B 走時曲線

比較的近くで発生した地震の走時曲線を用いて、地球表層部の構造が研究されている。モホロビッチ不連続面(モホ面、モホ不連続面)に関連した走時曲線を題材にして出題した。

**問4** **[ウ]**：問題の図1では、横軸は20kmごと、縦軸は4秒ごとに破線が引いてある。目盛の交点に注目すると、例えば**Q**地域では、震央距離120kmに20秒要してP波が到達している。したがって、その速度は6.0km/sである。

**[エ]**：走時曲線が折れ曲がる地点までの距離が長いほど、地殻の厚さは大きい。**Q**地域では180km、**R**地域ではおよそ90kmの地点で走時曲線が折れ曲がっているので、**R**地域の地殻の方が薄いことがわかる。したがって、**Q**地域の地殻の厚さである30kmよりも薄い15kmが正解である。

**4** …①

**問5** P波は縦波であり、固体・液体・気体中を伝わる。一方、S波は横波であり、固体中のみを伝わる。音は、空気中を伝わって耳に届く。空気という気体中を伝わるので、音波はP波同様、縦波である。したがって、②が誤りであり、正解である。

① 地表付近の空気中を伝わる音波の速度は、中学理科で学習したように、約340m/sである。問4で求めたP波の速度は6.0km/s=6000m/sであるから、空気中を伝わる音速よりもP

## フレアの影響

強い太陽放射(X線) デリンジャー現象

強い太陽風 オーロラ、磁気嵐

## クリノメーターの盤面

通常の方位とは逆にEとWが記してある。

## モホロビッチ不連続面(モホ面、モホ不連続面)

地殻とマントルの境界面。

## 地殻の厚さ

走時曲線が折れ曲がる地点までの距離が長いほど、地殻は厚い。

## P波の性質

伝わる方向と平行に振動する縦波。

固体・液体・気体中を伝わる。

振幅が小さく、初期微動をもたらす。

S波よりも速度が大きい。

波の速度の方がはるかに大きい。したがって、この選択肢は正しい。

③ 図1-3は地震計の記録である。初期微動はP波による揺れであり、主要動はおもにS波による揺れである。したがって、伝わってきたP波の振幅は、同時に発生したS波の振幅よりも小さく、この選択肢は正しい。

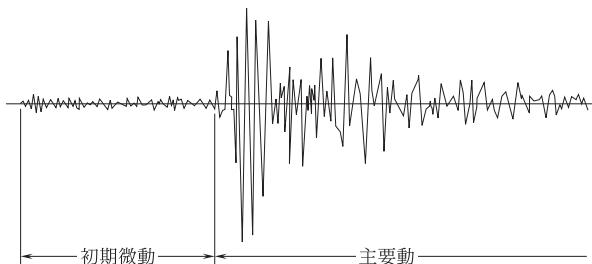


図1-3 地震計の記録

④ 地震波の速度は、硬い物質中を伝わる場合の方が柔らかい物質中を伝わる場合よりも大きいので、この選択肢は正しい。

5 …②

問6 ① 一般に地球表層ではアイソスタシーが成り立っているため、標高の高い山脈の地下にあるモホ面までの深さは、深海底の地下にあるモホ面までの深さよりも深い。したがって、この選択肢は誤りである。

② 海洋プレートは中央海嶺で生成され、水平方向に移動する。深海底の堆積物は、海洋表層に生息していたプランクトンの遺骸などが降り積もったものであり、中央海嶺から離れるにつれて堆積物は厚くなる。したがって、この選択肢は誤りである。

③ 大陸地殻上部を構成する花こう岩質岩石の密度は約 $2.7\text{ g/cm}^3$ 、大陸地殻下部を構成する玄武岩質岩石の密度は約 $3.0\text{ g/cm}^3$ である。上部マントルを構成するかんらん岩質岩石の密度は、約 $3.3\text{ g/cm}^3$ であり、地殻を構成する岩石の密度よりも大きい。したがって、この選択肢は誤りである。

④ 海洋地殻を構成する玄武岩質岩石の $\text{SiO}_2$ 重量%は50%前後であり、上部マントルを構成するかんらん岩質岩石の $\text{SiO}_2$ 重量%は45%以下である(第2問図2-1参照)。このように、海洋地殻を構成する岩石は、上部マントルを構成する岩石よりも $\text{SiO}_2$ 重量%が大きい。したがって、この選択肢が正しく、正解である。

6 …④

## 第2問 岩石・鉱物

### A 火山岩

火成岩に関する問題はよく出題されるため、火成岩の分類、造岩鉱物、化学組成については正確に理解しておく必要がある。今回

### S波の性質

伝わる方向と直角に振動する横波。  
固体中のみを伝わる。  
振幅が大きく、主要動をもたらす。  
P波よりも速度が小さい。

### 地震波の速度

硬い物質中を伝わる場合の方が柔らかい物質中を伝わる場合よりも大きい。

### モホ面までの深さ

大陸で深く、海洋で浅い。

### 深海底堆積物の厚さ

海嶺から離れるにつれて厚くなる。

### 地球表層の平均密度

大陸地殻 < 海洋地殻 < マントル  
大陸プレート < 海洋プレート

### 地球表層を構成する岩石

大陸地殻 上部は花こう岩質岩石  
下部は玄武岩質岩石  
海洋地殻 玄武岩質岩石  
マントル かんらん岩質岩石

は、火山岩をテーマとして出題した。

問1 火成岩は、 $\text{SiO}_2$ 重量%によって超塩基性岩(45%以下)、塩基性岩(45~52%)、中性岩(52~66%)、酸性岩(66%以上)の四つに大きく分類される。さらに顕微鏡下での組織が斑状か等粒状かによって、それぞれ火山岩と深成岩に分けられる。超塩基性岩はかんらん岩のみ、塩基性岩は玄武岩と斑れい岩に、中性岩は安山岩と閃綠岩に、酸性岩は流紋岩と花こう岩に分けられる(図2-1)。

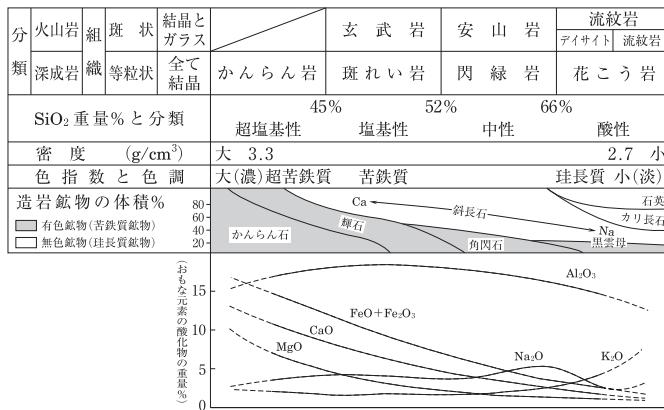


図2-1 火成岩の分類

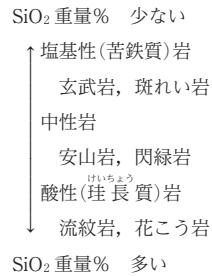
問題の表1中のA~Cは火山岩であり、 $\text{SiO}_2$ 重量%は、火山岩Aでは49.1%，火山岩Bでは59.6%，火山岩Cでは72.8%であることから、順に玄武岩、安山岩、流紋岩となる。したがって、④が正解である。

なお、問題の表1で、火山岩A(玄武岩)は $\text{SiO}_2$ 重量%が少なく、 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ と $\text{MgO}$ の重量%が多い。これは珪長質鉱物(無色鉱物)が少なく、苦鉄質鉱物(有色鉱物)が多いことを表している。玄武岩が黒っぽく見えるのはこのためである。なお、「苦」とは苦土(マグネシウム)の意味である。

一方、火山岩C(流紋岩)は $\text{SiO}_2$ 重量%が多く、 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ と $\text{MgO}$ の重量%が少ない。すなわち、珪長質鉱物が多く、苦鉄質鉱物が少ない。そのため流紋岩は白っぽく見える。 [7] …④

問2 斜長石は塩基性岩から酸性岩まで共通して含まれている鉱物で、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ などから構成されている。塩基性岩中の斜長石はCaに富み、酸性岩中の斜長石はNaに富んでいる。アはA~Cのすべての火山岩で $\text{SiO}_2$ に次いで多く含まれており、地殻の元素組成の順( $\text{O}>\text{Si}>\text{Al}>\text{Fe}>\text{Ca}>\text{Mg}>\text{Na}>\text{K}$ )から判断して、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ が入ることが推定できる。イはAの塩基性岩中に多く、Cの酸性岩中で少なくなっている。図2-1のおもな元素の酸化物の重量%から $\text{CaO}$ と判断できる。ウはAの塩基性岩中に少なく、Bの中性岩、Cの酸性岩中で多くなっている。

### 火成岩の分類



### 有色鉱物の化学組成

$\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ を含む。

### 斜長石の化学組成

塩基性(苦鉄質)岩  
Caに富む斜長石  
酸性(珪長質)岩  
Naに富む斜長石

図2-1から $\text{Na}_2\text{O}$ と判断できる。したがって、表1のアは $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、イは $\text{CaO}$ 、ウは $\text{Na}_2\text{O}$ となるので、正解は⑥である。 [8] ⋯⑥

問3 ①・② 図2-2右は火山岩の特徴を示す斑状組織である。

粗粒の鉱物(斑晶)のまわりを細粒の鉱物やガラス(石基)が埋めている。よって、①が正解である。マグマ溜りの中で斑晶が結晶として先に晶出し、斑晶を含んだマグマが上昇して地表近くの浅いところで急に冷やされた部分が細粒の石基となる。斑状とは、斑模様を意味する。

図2-2左は深成岩の特徴を示す等粒状組織である。地下深部でゆっくり冷えて固結するため、鉱物は十分に成長し、粗粒になる。

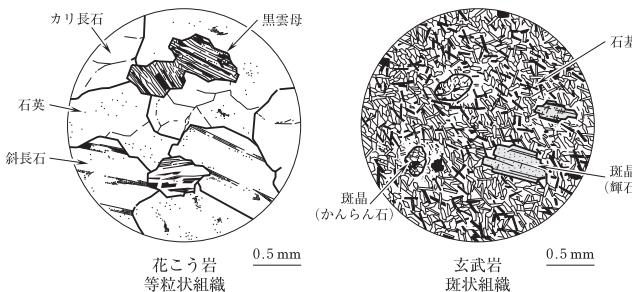


図2-2 火成岩の組織

③ 岩石が一定の方向から圧力を受けると、鉱物が一方向に配列する。このような組織を片理<sup>へんり</sup>という。これは広域変成岩の結晶片岩に顕著に見られる。

④ 侵食・運搬によって角がとれた細粒の鉱物からできているのは碎屑岩(砂岩など)<sup>かくご</sup>の特徴である。 [9] ⋯①

問4 ①・② マグマが層理面に沿って貫入してきた岩体を岩床といい、層理面を切るように貫入してきた岩体を岩脈という(図2-3)。岩床・岩脈は、冷却速度が速ければ火山岩になり、冷却速度が遅ければ深成岩になる。したがって、玄武岩の産状としてはありえる。

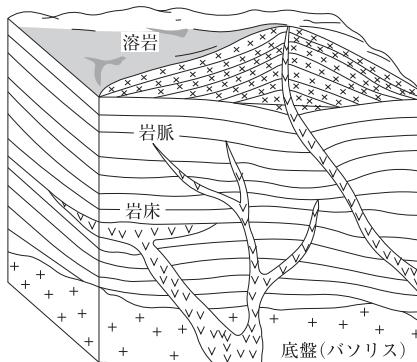


図2-3 火成岩の産状

### 火成岩の組織

火山岩は斑状組織を示し、斑晶と石基よりなる。

深成岩は等粒状組織を示し、粒のそろった大きな結晶よりなる。

③ 地下深部の大規模な貫入岩体を底盤(バソリス)という(図2-3)。底盤を形成する岩石は深成岩に限られる。よって、火山岩である玄武岩の産状には成りえないので、③が正解となる。

④ 中央海嶺では玄武岩質マグマによる海底火山活動が特徴的で、海底に流出した溶岩は枕を積み重ねたような形になる。これを枕状溶岩といふ。したがって、枕状溶岩は玄武岩の産状の一つである。図2-4は、枕状溶岩の流れた方向に垂直に切った断面を模式的に示した図である。

10 ⋯③

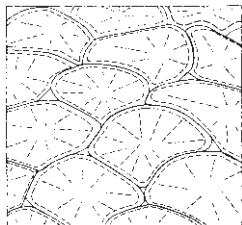


図2-4 枕状溶岩

## B 堆積岩

堆積物は、統成作用によって堆積岩になる。堆積岩は構成成分の起源により碎屑岩、火山碎屑岩(火碎岩)、生物岩、化学岩に分類される(表2-1)。それぞれの違いについて正確に理解しておこう。

表2-1 堆積岩の分類

分類名	構成物	岩石の名称
碎屑岩	岩石が 砕かれた 破片 (碎屑物)	泥 → 泥岩
		1/16 mm 砂 → 砂岩
		2 mm 礫 → 矶岩
火山碎屑岩 (火碎岩)	火山 碎屑物 (火碎物)	火山灰 → 凝灰岩
		2 mm 火山礫など → 凝灰角礫岩など
生物岩	生物の 遺骸	石灰質 (新鋸虫・サンゴ) → 石灰岩
		珪酸質 (放散虫・珪藻) → チャート
		植物遺体 → 石炭
化学岩 (沈殿岩) (蒸発岩)	化学成分	NaCl → 岩塩
		SiO <sub>2</sub> → チャート
		CaCO <sub>3</sub> → 石灰岩
		CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O → 石こう

問5 ①・② 火山碎屑岩は火山活動によって噴出した火山碎屑物が固結した岩石で、碎屑岩と同様に構成粒子の大きさによって分類されている。このうち火山灰(粒径2 mm以下)が固結した岩石を凝灰岩といふ。したがって、①は正しく、②は誤りである。

底盤(バソリス)を形成する火成岩

深成岩

## 統成作用

堆積物が圧密や膠結によって堆積岩に変化する作用のこと。膠結物質(セメント物質)としては、CaCO<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>などがある。

⑨ 碎屑岩は構成粒子の大きさによって分けられ、粒径  $\frac{1}{16}$  mm 以下を泥岩、 $\frac{1}{16} \sim 2$  mm を砂岩、2 mm 以上を礫岩という。粒径がおもに 1 mm の粒子によって構成されているのであれば、砂岩に分類される。したがって、正しい。

⑩ 碎屑岩である砂岩や泥岩が高温のマグマによる接触変成作用を受けると、ホルンフェルスになる。したがって、正しい。

11 …⑨

問 6 生物岩は生物の遺骸を主体とする岩石である。CaCO<sub>3</sub> からなるサンゴや紡錘虫(フズリナ)などの遺骸でできた生物岩を石灰岩といい、SiO<sub>2</sub> からなる放散虫や珪藻などの遺骸でできた生物岩をチャートという。

化学岩は化学物質が沈殿して固化した岩石である。CaCO<sub>3</sub> が沈殿して固化した化学岩を石灰岩といい、SiO<sub>2</sub> が沈殿して固化した化学岩をチャートといいう。

以上から、石灰岩とチャートは生物岩と化学岩のどちらにも分類される岩石である。したがって、CaCO<sub>3</sub> と SiO<sub>2</sub> の組合せである⑩が正解となる。

CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O は石こう、NaCl は岩塩の化学組成である。どちらも化学岩に分類され、生物岩には見られない。石こうや岩塩は、海水や湖水に溶けている物質が水の蒸発によって析出した化学岩であり、蒸発岩ということもある。

12 …⑩

#### 生物岩

石灰岩(CaCO<sub>3</sub>)  
チャート(SiO<sub>2</sub>)

#### 化学岩

石灰岩(CaCO<sub>3</sub>)  
チャート(SiO<sub>2</sub>)  
石こう(CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O)  
岩塩(NaCl)

### 第 3 問 地質調査

地質図関連の問題は、図の解釈ばかりが問われるのではない。自分で図を作成する力も必要であり、正確で幅広い知識が問われることもある。また、文章を正確に読み取ることも必要である。今回はルートマップをテーマとした。

問 1 ① 高温の変成作用を受けると、結晶が粗粒となりやすい。  
したがって、この選択肢は正しい。

②・③ 石灰岩の主要成分は炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)である。石灰岩が接触変成作用を受けて生成した大理石(結晶質石灰岩)も同様の化学組成で、鉱物は方解石から構成されており、珪酸塩鉱物の紅柱石は含まない。したがって、この選択肢は誤りである。

④ 石灰岩 B 層は花こう岩体 G から変成作用を受けているため、石灰岩の形成後に花こう岩が貫入したことがわかる。よって、石灰岩の一部が花こう岩に取り込まれることはあるが、花こう岩の礫が石灰岩に取り込まれることはない。したがって、この選択肢は誤りである。

13 …①

問 2 垂直に貫入した岩脈 H が地点Ⅲと地点 Y では見られるのに、その延長上にある地点 Z で A 層によって切られているのは、地点 Z が標高 120 m にあり、水平層である A 層に岩脈 H が不整合に覆われているためである。したがって、岩脈 H は A 層のビカリ亞

#### 大理石

接触変成岩  
方解石の集合体  
主要成分は CaCO<sub>3</sub>

(ピカリヤ)の年代(新第三紀)よりも古い。しかし、岩脈HはC層に貫入しているので、C層のアンモナイトやトリゴニア(三角貝)の年代(中生代)より新しい。これに矛盾しない年代は②だけである。なお、新第三紀の始まりは約2300万年前、中生代の始まりは約2.5億年前、古生代石炭紀の始まりは約3.6億年前である。

14 …②

問3 地形断面図に地点I～VIIの調査結果を記入したものを、図3-1に示す。地点Iでは花こう岩体GとB層の境界を描く(傾斜は不明)。地点IIとIVでは、中生代のC層が水平に、古生代のB層を覆うように境界線を引く。地点IIIではC層に岩脈Hが垂直に貫入しているように描く。地点Vでは断層Fを西傾斜に描き、その東側にB層、西側にC層を分布させる。地点VIとVIIではC層がB層を水平に覆うように境界線を引く。

断層Fは西傾斜で、下盤の東側に相対的に古いB層、上盤の西側に新しいC層が分布することから、東側の下盤が相対的にずり上がっている正断層である。図3-2のように、正断層には水平方向に引っ張る力がはたらいており、断層Fでは力のはたらく方向は東西方向となる。

15 …③

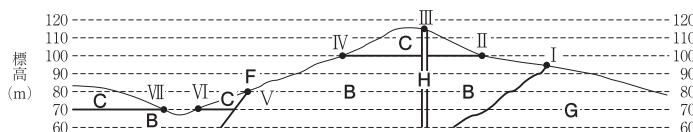


図3-1 X-X' 地形断面図(B層とG岩体の境界は推定)

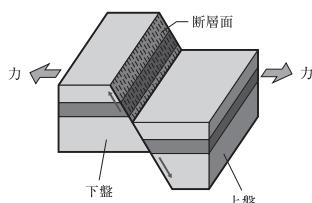


図3-2 正断層

問4 断層の走向はNS・傾斜は60°Wで、地点Vの標高が80mであることから、断層の80m走向線は、地点Vを通る南北方向の直線となる(図3-3)。したがって、80mの走向線と等高線との交点上(地点工)で断層が見つかることから、④が正解である。なお、参考までに断層の現れ方を、図3-3の地質平面図で確認してもらうとよい。ただし、B層と花こう岩体Gの境界は確定できないので地点Iの東側の花こう岩体Gの分布は、推定したものである。

16 …④

### 示準化石

ピカリア(ピカリヤ)…新第三紀
アンモナイト、トリゴニア(三角貝)…中生代
ぼうすいちらう 紡錘虫(フズリナ)…古生代後半

### 地質時代区分の年代

新生代の始まり…約6600万年前
中生代の始まり…約2.5億年前
古生代の始まり…約5.4億年前

### 正断層と逆断層

正断層…水平方向に引っ張る力
逆断層…水平方向に圧縮する力

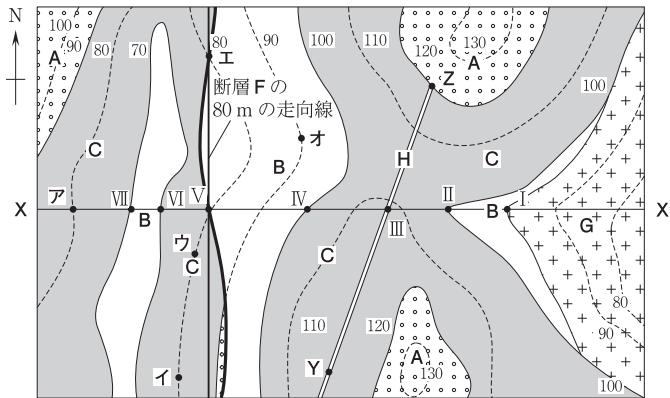


図3-3 地質平面図

**問5 a** 不整合は隆起して海面より上に出て侵食を受けたことを意味しており、陸化したことを示す。B層は傾斜した地層、C層は水平層で走向・傾斜が異なることから不整合の関係で接しているので、1回目の陸化がこのときに起こった。また、C層は中生代、A層は新生代新第三紀に堆積した地層で、両地層に時代の隔たりがあることから、不整合の関係で接している。よって、2回目の陸化がこのときに起こったことがわかる。さらにこの地域は現在、陸上にあるので、少なくとも3回は陸化したことになる。したがって、正しい。

**b** 図3-1からB層とC層の境界の標高を比較すると、断層によって西側が東側に対し30m下がっている。そのため、断層の東側で標高120m以上に分布しているA層は、断層より西側では30m下がった標高90m以上に分布しているはずであり、問題の図1の北西部には標高90m以上の領域があるため、A層が分布する。したがって、誤りである。

**c** B, C層がくり返し見られるのは褶曲のせいではなく、地形の影響である。C層は水平層という問題文中の語を読み落とさないでほしい。したがって、誤りである。

以上より、「正・誤・誤」の組合せである④が正解である。

17 …④

**問6** 花こう岩は深成岩で、マグマが深いところで冷え固まって形成された岩石であり、その上位に堆積岩が存在していても連続的な堆積である①の整合関係はありえない。花こう岩の上部が侵食されて、その上に堆積物が堆積したのであれば②の不整合の関係となる。また、③の断層で接觸している場合と④の貫入はあります。

18 …①

#### 不整合

隆起・侵食・沈降があったことを示す。

#### 岩体と地層の接觸関係

整合

不整合

断層

貫入

## 第4問 大気と海洋

### A 太陽放射と地球放射

地球の大気や海洋の運動は、太陽から受け取る放射エネルギーによって生じている。地球のエネルギー収支を理解することで、大気の大循環や海水の循環についても理解が深まる。基本事項をきちんと確認して問題に臨んでほしい。

問1 太陽定数とは、太陽・地球間の平均距離(1天文単位)において、大気や雲による反射・散乱や吸収などの影響がない地球大気圏外で、太陽光線に垂直な単位面積が単位時間に受け取る太陽放射エネルギー量を指す。この定義によって測定される太陽定数は、約  $1370 \text{ W/m}^2$  である。地球全体が受け取る太陽放射エネルギー量  $E(\text{W})$  は、太陽定数に地球の断面積をかけた値である。つまり、太陽定数を  $I(\text{W/m}^2)$ 、地球の半径を  $R(\text{m})$  とすると、

$$E = I \times \pi R^2 (\text{W})$$

と表され、これを地球表面で平均すると、

$$I \times \frac{\pi R^2}{4\pi R^2} = \frac{I}{4} (\text{W/m}^2)$$

となる。このうち、約 30 % は雲や地表面によって反射され、約 20 % は大気に吸収されることから、地表に到達するのは約 50 % となる。よって、地表面が平均して受け取る太陽放射エネルギー量 ( $\text{W/m}^2$ ) は、

$$\frac{I}{4} \times \frac{50}{100} (\text{W/m}^2)$$

と表される。

19 ⋯②

問2 [ア]：太陽放射はおもに可視光線や赤外線として放射され、エネルギーが最強となる波長は可視光線である。一方、地球からは赤外線が放射されており、地球放射と呼ばれる。

[イ]：太陽からの入射エネルギー量の平均を比較すると、年間を通じて太陽高度が高い低緯度側で大きく、太陽高度が低い高緯度側で小さい。それに対し、地球放射エネルギー量の緯度差は、太陽放射エネルギー量の緯度差よりも小さい(図 4-1)。

20 ⋯③

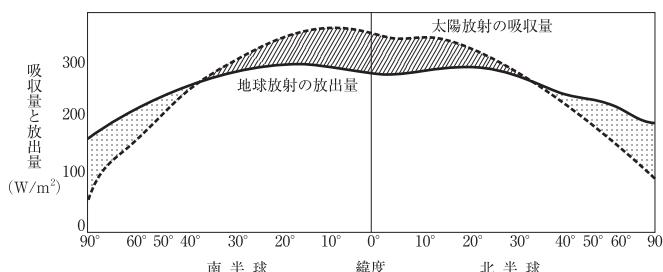


図4-1 太陽放射と地球放射の緯度別分布

#### 太陽定数

太陽・地球間の平均距離(1天文単位)において、地球大気圏外で、太陽光線に垂直な単位面積が単位時間に受け取る太陽放射エネルギー量。約  $1370 \text{ W/m}^2$ 。

#### 球の表面積

$4\pi R^2$  ( $R$  は半径)

#### 太陽放射の最強波長

可視光線

#### 地球放射

赤外線

問3 図4-1のように、太陽放射エネルギー量と地球放射エネルギー量には緯度による違いがあり、低緯度側ではエネルギー過剰、高緯度側ではエネルギー不足の状態となっている。大気や海水の大循環によって低緯度側から高緯度側へと熱が輸送されるため、低緯度と高緯度の気温差が小さくなる。もし、大気や海水の大循環による熱輸送がなくなると、低緯度で気温上昇、高緯度で気温低下が起こり、地球放射エネルギー量はそれに対応して、放出量が低緯度で上昇、高緯度で低下する。最終的には各緯度において、吸収した太陽放射エネルギー量と同量の地球放射エネルギー量を放出することになるため、図4-1の地球放射の放出量の曲線は太陽放射の吸収量の曲線と一致することになる。したがって、両者の差である正味の入射エネルギー量は、どの緯度でも±0となる。

[21] …②

問4 大気圏の層構造は、温度変化の様子によって、地表に近い方から対流圏、成層圏、中間圏、熱圏に区分される(図4-2)。

① 図4-2のように、対流圏では、一般的に高度とともに気温が低下する。したがって、誤りである。地表付近は、主として地球放射によって暖められるため、地表付近の大気ほど高温となる。

大気中の水蒸気や二酸化炭素は、太陽放射の可視光線に対しては透明であるが、地球放射の赤外線を吸収し、再放射する。そのため、地表付近の気温は高温に保たれる。このような効果を温室効果といい、水蒸気や二酸化炭素のように温室効果をもたらす成分を温室効果ガスという。

② 成層圏では、高度約20~30km付近にオゾン層が存在し、太陽放射の紫外線を吸収している。オゾン層が紫外線を吸収するため、成層圏では高度とともに温度が上昇する。したがって、正しい。

③ オゾン層が存在する成層圏では高度とともに昇温するのに對し、中間圏では高度とともに気温が低下する。したがって、正しい。

④ 热圏には電離層が存在し、太陽放射のX線や紫外線を吸収する。そのため、成層圏と同様に高度とともに気温が上昇する。したがって、正しい。

[22] …①

#### 大気圏の層構造

温度変化の様子によって区分される。  
対流圏、成層圏、中間圏、熱圏。

#### 温室効果

大気の成分が地表からの赤外線を吸収・再放射し、地表付近の大気を暖める効果。

#### 温室効果ガス

可視光線に対しては透明であるが、赤外線は吸収する気体。  
例：水蒸気、二酸化炭素、メタン、フロンなど

#### オゾン層

高度約20~30kmの成層圏に分布する。紫外線を吸収する。

#### 電離層

紫外線やX線を吸収する。

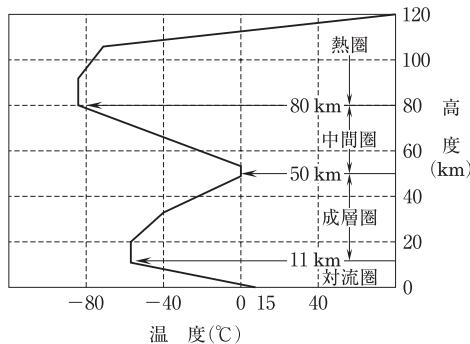


図 4-2 大気圏の層構造

## B 海洋の構造

大気と同様、海洋も水温変化によって区分できる鉛直構造が見られる。表層と深層の違いや海水の運動が起こるしくみを理解しておこう。

**問 5 ウ**：海洋表層の水温が一様となった層を表層混合層(混合層、表層水)という。表層混合層は、冬季の海水の冷却や風や波などによってよくかき混ぜられ、ほぼ一定の温度の層を形成している。一方、深層は、低温で密度の大きい海水が高緯度で沈み込んだものであり、緯度によらず、およそ $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ でほぼ一定の水温となっている(図 4-3)。

**エ**：高温の表層混合層と低温の深層の間には、水温が急変する主水温躍層(温度躍層)が形成されることがある(図 4-3)。主水温躍層は、表層と深層の水温差が大きい海域に形成され、海面付近の気温が低い高緯度では、表層と深層との温度差が小さいので主水温躍層が見られない。

23 ⋯④

### 海水の鉛直構造

水温の変化の様子によって区分される。表層混合層、主水温躍層、深層。

### 主水温躍層(温度躍層)

水温が急変する層。低緯度～中緯度の海域で見られる。

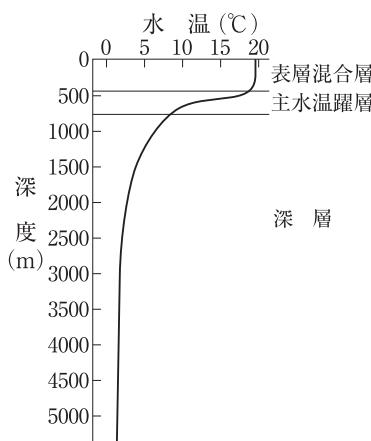


図 4-3 海水の鉛直構造(低緯度～中緯度)

**問6** 海洋深層には、低温で塩分が大きく、密度の大きい海水が沈み込んでいる。海水の深層への沈み込みは、非常に限られた海域で生じており、北大西洋のグリーンランド沖はその一つである。このような深層水の循環は、図4-4に示したようなベルトコンベアの動きに例えられており、グリーンランド沖で沈み込んだ深層水は、大西洋を南下して、南極付近を循環しながら、太平洋とインド洋に流入し、1000年～2000年かけて再び表層へと上昇する。

24 ⋯①

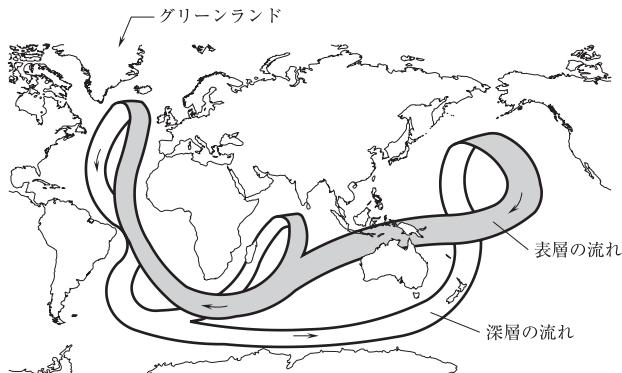


図4-4 海洋の深層循環

## 第5問 宇宙

### A 惑星の運動

センター試験では、ケプラーの法則に関する事項はよく出題される。今回は、ケプラーの第一法則および第二法則を中心いて、惑星の運動について出題した。ケプラーの第三法則については触れなかつたが、第三法則は計算問題として出題される可能性があるので、第三法則の式を使いこなせるようにしておこう。

**問1** **[ア]** : 問題文にあるように、太陽系の惑星や小惑星、彗星など、太陽のまわりを公転している天体は、ケプラーの法則に従つて運動している。太陽のまわりを公転している天体の多くは、太陽を焦点の一つとする橿円軌道を描いている(ケプラーの第一法則)。

図5-1を見ればわかるように、近日点距離 $a_n$ と遠日点距離 $a_f$ の和は、軌道長半径 $a$ の2倍である。すなわち、 $a_n + a_f = 2a$ である。これより、軌道長半径 $a$ は、

$$a = \frac{a_n + a_f}{2}$$

となり、近日点距離と遠日点距離の「相加平均」に等しい。これは太陽からの平均距離に等しい。

深層へ沈み込む海域

グリーンランド沖

南極大陸付近

### ケプラーの第一法則

太陽のまわりを公転している天体は、太陽を焦点の一つとする橿円軌道を描く。

### ケプラーの第二法則

太陽のまわりを公転している天体と太陽との結ぶ線分(動径)が単位時間に描く面積は等しい。

### ケプラーの第三法則

太陽のまわりを公転している天体の軌道長半径を $a$ 天文单位、公転周期を $P$ 年とすると、

$$\frac{a^3}{P^2} = 1$$

### 軌道長半径

太陽からの平均距離に等しい。

軌道長半径 $a$ =太陽からの平均距離

$$a = \frac{a_n + a_f}{2}$$

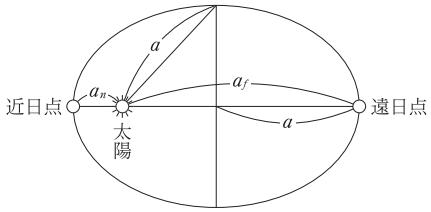


図 5-1 ケプラーの第一法則

$a_n$ ：近日点距離,  $a_f$ ：遠日点距離,

$a$ ：軌道長半径

イ：軌道の離心率は、焦点が中心からどれだけ離れているかの割合を示す値である。軌道長半径を  $a$ 、離心率を  $e$  とすると、橢円軌道の中心と焦点の距離  $c$  は  $a \times e$  で表される(図 5-2)。軌道が真円であれば、近日点距離  $a_n$  = 遠日点距離  $a_f$  = 軌道長半径  $a$  = 軌道短半径  $b$  となり、図 5-2 の  $c$  は 0 になる。したがって、 $a \times e = 0$  となるので、 $e$  は 0 になる。

以上より、「相加平均」と「0」の組合せである①が正解となる。

25 ⋯①

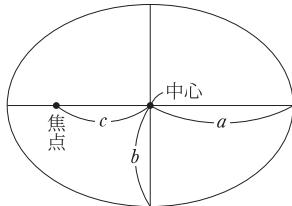


図 5-2 軌道長半径  $a$ , 短半径  $b$ , 中心-焦点間の距離  $c$

問2 ケプラーの第二法則により、太陽のまわりを公転している天体と太陽とを結ぶ線分(動径)が単位時間に描く面積は等しい。それゆえ、太陽のまわりを公転している天体の公転速度は、太陽に最も近づく近日点で最も大きくなり、太陽から最も遠ざかる遠日点で最も小さくなる(図 5-3)。太陽のまわりを回る天体の公転速度は、一定ではないことに注意しよう。問題の図 1において、イトカワの近日点はA、火星の近日点はDであるから、②が正解となる。なお、近日点と遠日点において、近日点における公転速度を  $v_n$ 、遠日点における公転速度を  $v_f$  とすれば、

$$a_n \cdot v_n = a_f \cdot v_f$$

が成り立つこともあわせて覚えておいてほしい。

26 ⋯②

### 離心率

楕円の焦点の中心からのずれの割合を示す数値。

0 に近いほど円に近い。

### 公転速度

近日点で最大、遠日点で最小。

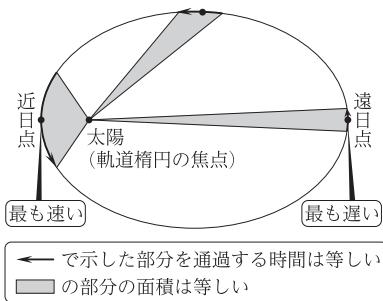


図 5-3 ケプラーの第二法則

問3 問題の図1の太陽－地球E－イトカワIのなす角はほぼ $90^{\circ}$ になっている。図5-4は、問題の図1の太陽・地球・イトカワの位置関係のとき、日本において、太陽が地平線に沈む日の入り(日没)のころに、イトカワが南の空で観測できる様子を模式的に示したものである。イトカワが太陽よりも東側に位置していることから、太陽が地平線に沈む日の入り(日没)後に、日本では南の空で観測することができる。よって、④が正解である。

27 …④

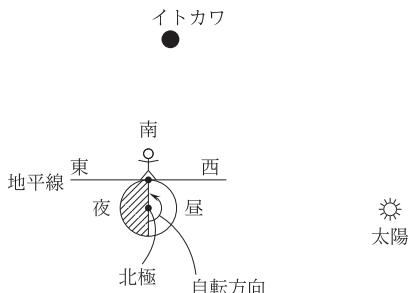


図 5-4 太陽－地球－イトカワの位置関係

## B 恒星

恒星の進化のしかたは、誕生したときの質量によってほぼ決まってしまう。質量によって恒星がどのように進化していくかをきちんと整理していこう。今回は、HR図、主系列星の質量光度関係、恒星の寿命などに関して出題した。

主系列星の質量と光度の間には、質量が大きいほど光度が大きくなるという関係が成り立つ。これを質量光度関係といいう。図5-5は、太陽の質量と光度を1とし、縦軸に光度、横軸に質量をとって、いろいろな主系列星を点でプロットした、質量光度関係を表した図である。質量光度関係を表した図は、右にいくほど質量が大きくなるように設定するのがふつうであるが、問題の図2は、図5-5を左右反転したもので、HR図中の主系列星の並び方に対応させていく。

### 主系列星の質量光度関係

主系列星の光度は、質量の3～4乗に比例する。

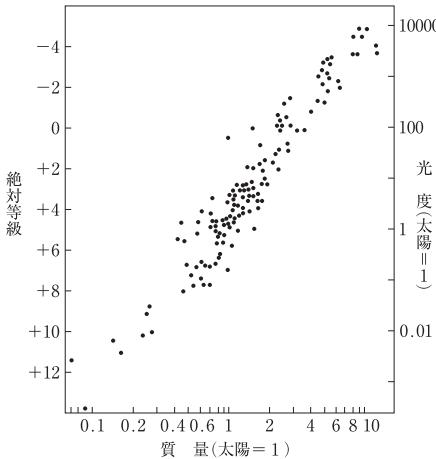


図 5-5 主系列星の質量光度関係

**問4** 問題の図2中の恒星Xも主系列星であるので、質量光度関係を満たしている。質量光度関係とは、主系列星の光度がその質量の3乗～4乗に比例するというものである(図5-5)。問題の図2より、太陽の10倍の質量をもつ恒星Xは光度が太陽の10000倍と読み取れる。等級が5等級小さくなると光度が100倍になる(100倍明るくなる)ことから、光度が太陽の10000倍＝ $100^2$ 倍である恒星Xの絶対等級は太陽より $5 \times 2 = 10$ 等級小さいとわかる。選択肢の太陽の絶対等級がおよそ5等の位置にあるから、恒星Xの絶対等級は $5 - 10 = -5$ 等ということになる。したがって、④が正解となる。

[28] ④

**問5** [ウ]：問題文にあるように、恒星の一生のうち、主系列星の段階にある期間が最も長いので、恒星の寿命は主系列星の段階にある期間とほぼ同じであるとしてよい。恒星の主成分は水素であり、水素の核融合反応によってエネルギーを生成するので、恒星の質量が核融合反応の原材料そのものであると見なせる。

一方、恒星の光度(全放射エネルギー)は単位時間あたりの水素の消費量(消費率)に比例するから、恒星の寿命 $t$ は、質量を $M$ 、光度を $L$ として、

$$t \propto \frac{M}{L} \quad (\propto \text{は比例を表す記号}) \quad \dots \dots (1)$$

と表せる。恒星Xの質量は太陽の質量の10倍、光度は10000倍であるので、恒星Xの寿命を $t_X$ 、太陽の寿命を $t_S$ とすると、式(1)より、

$$t_X \propto \frac{10}{10000} t_S = \frac{1}{1000} t_S$$

となる。太陽の寿命が100億年であるので、

$$t_X = 100\text{億} \times \frac{1}{1000} = 1000\text{万(年)}$$

と求められる。

#### 等級と明るさの関係

5等級小さいと100倍明るい。

1等級小さいと約2.5倍明るい。

#### 恒星の寿命

主系列星の段階にある期間とほぼ同じとしてよい。

質量が大きいほど、恒星の寿命は短い。

#### 太陽の寿命

約100億年

あるいは、次のように求めてもよい。問題の図2から、太陽の質量の10倍の質量をもつ恒星Xの光度は太陽の $10^4$ (=10000)倍の光度であることが読み取れるので、主系列星の光度はその質量の4乗に比例すると考えてよい。よって、主系列星の光度を $L$ 、質量を $M$ とすると、

$$L \propto M^4 \quad \dots(2)$$

と表せる。式(2)を式(1)に代入すれば、

$$t \propto \frac{M}{L} \propto \frac{M}{M^4} \propto \frac{1}{M^3} \quad \dots(3)$$

となり、恒星の寿命 $t$ は恒星の質量 $M$ の3乗に反比例する。すなわち、恒星の寿命は、質量が大きいほど短い。太陽の寿命は約100億年であるので、質量が10倍の恒星Xの寿命は、式(3)より、

$$100\text{億} \times \frac{1}{10^3} = 1000\text{万(年)}$$

と求められる。

**工**：太陽の数倍以上の質量をもつ恒星は、恒星の進化の過程の最終段階で超新星爆発を起こし、超新星として観測される。超新星爆発を起こした後には、中性子星やブラックホールが形成されると考えられている。恒星の進化の過程の最終段階で白色矮星になるのは、太陽質量程度の恒星の場合である。

以上より、「1000万」・「超新星爆発を起こす」の組合せである①が正解である。

**29** …①

**問6 a** 主系列星はHR図の左上から右下にかけて分布する恒星である(図5-6)。恒星の表面温度が高いほど、HR図の左側に位置する。また、主系列星はHR図の左側に位置しているものほど上に位置する。つまり、主系列星は、表面温度が高いほど光度が大きい。したがって、aは正しい。

#### 太陽の数倍以上の質量の恒星の終末

超新星爆発を起こして、中性子星やブラックホールが形成される。

#### 太陽質量程度の恒星の終末

白色矮星になる。

#### HR図上の恒星の位置

主系列星…左上から右下にかけて分布

巨星・超巨星…右上に分布

白色矮星…左下に分布

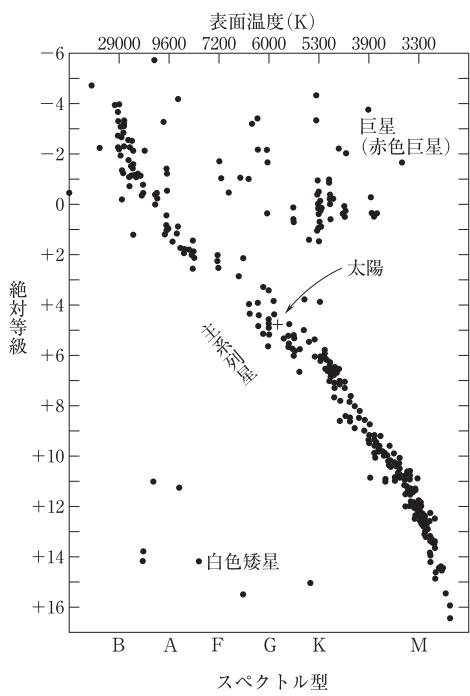


図 5-6 HR 図

b 例えば、スペクトル型が同じ K 型の主系列星と巨星(赤色巨星)を比較したとき、HR 図上では巨星の方が主系列星よりも上に位置する(図 5-6)。したがって、スペクトル型が同じ主系列星と巨星では、巨星の方が光度は大きい。したがって、b は正しい。

c 恒星の距離は年周視差に反比例する。すなわち、恒星の距離が遠いほど、年周視差は小さくなる。恒星の距離を  $r$  パーセク、年周視差を  $p''$  とすると、

$$r = \frac{1}{p''}$$

である。10 パーセクの距離にある恒星の年周視差は  $0.1''$ 、100 パーセクの距離にある恒星の年周視差は  $0.01''$  となることから、10 パーセクの恒星の年周視差は 100 パーセクの恒星の 10 倍になる。したがって、c は正しい。

以上より、「正・正・正」の組合せである①が正解である。

30 ⋯ ①

#### 恒星の距離と年周視差

距離が遠いほど、年周視差が小さい。

恒星の距離を  $r$  パーセク、年周視差を  $p''$  とすると、

$$r = \frac{1}{p''}$$

1 パーセク  $\approx 3.3$  光年であるので、恒星の距離を  $r$  光年で表すと、

$$r = \frac{3.3}{p''}$$



© Kawaijuku 2014 Printed in Japan

無断転載複写禁止・譲渡禁止

手引(理)