

新旧

課程

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2014年度 第3回 全統マーク模試

学習の手引き【解答・解説集】

理科

【2014年10月実施】

• 新課程理科

理科①

物理基礎	1
化学基礎	6
生物基礎	14
地学基礎	21

理科②

物理	31
化学	43
生物	57
地学	69

• 旧課程理科

物理 I	88
化学 I	102
生物 I	119
地学 I	130

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



1460630119502130

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	1	5	4		
		問2	2	4	4		
		問3	3	4	5		
	B	問4	4	1	4		
		問5	5	4	4		
		問6	6	6	4		
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	A	問1	7	3	4		
		問2	8	4	4		
		問3	9	5	4		
	B	問4	10	1	5		
		問5	11	3	4		
		問6	12	2	4		
第2問 自己採点小計				(25)			
自己採点合計				(50)			

【解説】

第1問 速度・加速度、力のつりあい

A

問1 小球Pの加速度aは、 $v-t$ グラフ(図2)の傾きに等しいから、

$$a = \frac{-8}{4} = -2 \text{ [m/s}^2]$$

□の答 ⑥

【別解】

図2より、Pは4秒かけて速度が8 m/sから0 m/sへ変化したので、等加速度直線運動の式($v=v_0+at$)より、

$$0 = 8 + a \cdot 4 \quad \therefore a = -2 \text{ [m/s}^2]$$

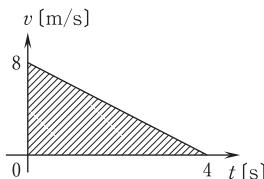
あるいは、加速度は単位時間あたりの速度の変化($a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$)

であることから、

$$a = \frac{0 - 8}{4 - 0} = -2 \text{ [m/s}^2]$$

問2 図2より、Pの速度が0になったのは $t=4$ [s]であり、これがPとQが衝突した時刻である。Pが時刻 $t=0$ [s]から $t=4$ [s]までに進んだ距離 d_P は、下図の斜線部の面積に等しいから、

$$d_P = \frac{1}{2} \times 4 \times 8 = 16 \text{ [m]}$$

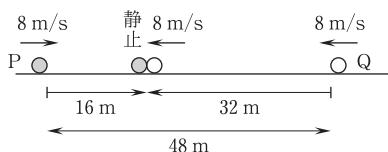


一方、Qが進んだ距離 d_Q は、速さ8 m/sの等速直線運動であるから、

$$d_Q = 8 \times 4 = 32 \text{ [m]}$$

よって、時刻 $t=0$ のときのPQ間の距離 L は、

$$L = d_P + d_Q = 16 + 32 = 48 \text{ [m]}$$



□の答 ④

問3 P, Qの速度を v_P , v_Q とすると、Pに対する(Pから見た)Qの相対速度 u は、

【ポイント】

$v-t$ グラフ

時刻 t に対する物体の速度 v の変化を表す $v-t$ グラフでは、
(グラフの傾き)=(加速度)
(グラフの面積)=(移動距離)
となる。

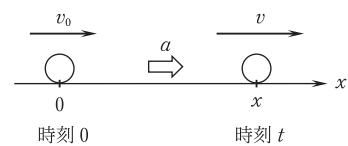
等加速度直線運動の式

$$v = v_0 + at$$

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

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

物体が一定の加速度 a で等加速度直線運動している場合に成り立つ式。時刻0のときの位置は0, 速度は v_0 (初速度)で、時刻 t のときの位置は x , 速度は v である。



相対速度

$$v_{AB} = v_B - v_A$$

v_{AB} : Aに対する(Aから見た)Bの相対速度

v_A : Aの速度

v_B : Bの速度

A $\longrightarrow v_A$ B $\longrightarrow v_B$



A 静止 B $\longrightarrow v_{AB}$

$$u = v_Q - v_P$$

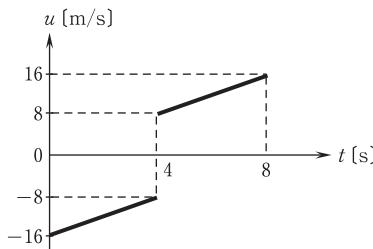
と表される。いくつかの時刻の相対速度 u を求めてみると、次のようになる。

$$t=0 \text{ [s]} \quad u = (-8) - (+8) = -16 \text{ [m/s]}$$

$$t=4 \text{ [s]} \quad \text{衝突直前} \quad u = (-8) - 0 = -8 \text{ [m/s]}$$

$$\text{衝突直後} \quad u = 0 - (-8) = +8 \text{ [m/s]}$$

$t=4 \text{ [s]}$ 以後は、 v_Q は 0 のままで、 v_P が負の向きに大きさが増していくので、 u は正の向きに増えていく。以上より、最も適当なグラフは④である。

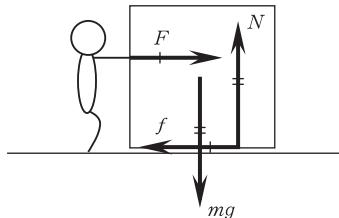


3 の答 ④

P, Q の加速度はそれぞれ負の一定値と 0 なので、相対加速度は正で一定となり、 $u-t$ グラフの傾きも正で一定となる。また、相対加速度の値($u-t$ グラフの傾き)は、衝突の前後で変わらないので、このことだけでも答は④か⑥に絞られる。

B

問 4 床から物体にはたらく静止摩擦力の大きさを f 、垂直抗力の大きさを N とすると、物体にはたらく力は、次図のようになる。



水平方向の力のつりあいより、

$$f = F$$

4 の答 ①

問 5 物体が人から受ける力は右向き(大きさ F)であるから、作用・反作用の法則より、人が物体から受ける力は左向き(大きさ F)である。すると、人が床から受ける静止摩擦力は、水平方向の力のつりあいより、右向きとなる。これらに鉛直方向の重力と垂直抗力が加わり、人にはたらく力の図として適当なものは、④となる。

作用・反作用の法則

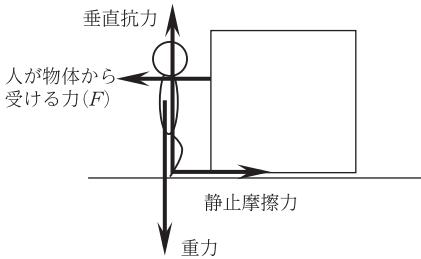
A が B に力を及ぼすと、B も A に力を及ぼし、その 2 力は、

同じ大きさ

逆向き

同一作用線上

になる。



5 の答 ④

問 6 物体が床から受ける垂直抗力の大きさ N は、鉛直方向の力のつりあいより、

$$N = mg$$

これより、物体が床から受ける最大摩擦力の大きさは $\mu N = \mu mg$ となるから、物体が動く直前の水平方向の力のつりあいより、

$$2F = \mu mg \quad \therefore \quad \mu = \frac{2F}{mg}$$

また、物体の上に同じ質量のおもりをのせると、物体とおもりを合わせた物体系の質量は $2m$ になるので、物体が床から受ける垂直抗力の大きさ N' は、鉛直方向の力のつりあいより、

$$N' = 2mg$$

よって、物体が床から受ける最大摩擦力の大きさは $\mu N' = \mu \cdot 2mg$ となり、おもりをのせる前の2倍となる。静止摩擦係数は物体と床の表面の状態で決まるので、おもりをのせても不变である。

6 の答 ⑥

第2問 弦の振動、交流の発生

A

問 1 弦を伝わる横波の波長を λ_1 とすると、生じている定常波の

隣りあう節と節の間の距離は $\frac{\lambda_1}{2}$ に相当するから、

$$\frac{\lambda_1}{2} = 36 \quad \therefore \quad \lambda_1 = 72 \text{ [cm]}$$

7 の答 ③

問 2 図 2 のときの弦を伝わる横波の速さを v 、波長を λ_2 とする。

図 1 と図 2 のそれぞれに対し、波の基本式 ($v = f\lambda$) を立てると、

$$\text{図 1 のとき } v = 440 \times 0.72$$

$$\text{図 2 のとき } v = 330 \times \lambda_2$$

(単位は [m/s] = [Hz] × [m] にしてある)

よって、

$$440 \times 0.72 = 330 \times \lambda_2 \quad \therefore \quad \lambda_2 = 0.96 \text{ [m]}$$

これより、図 2 のときの弦の長さは、

最大摩擦力

$$f_{\max} = \mu N$$

f_{\max} : 最大摩擦力の大きさ

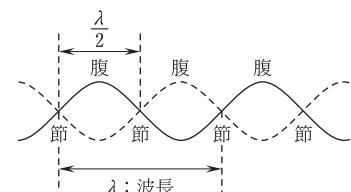
μ : 静止摩擦係数

N : 垂直抗力の大きさ

すべりが生じていないときの摩擦力(静止摩擦力)の最大値。すべる直前のときにはたらく力。

定常波

逆向きに進む、振幅・波長・振動数が等しい二つの波が合成されて生じる。最も大きく振動する腹と、まったく振動しない節が交互に並び、隣りあう節と節の間隔は $\frac{\lambda}{2}$ である。



波の基本式

$$v = f\lambda$$

v : 波の伝わる速さ

f : 振動数

λ : 波長

$$\frac{\lambda_2}{2} \times 2 = 0.96 \text{ [m]} = \underline{96} \text{ [cm]}$$

8 の答 ④

問3 弦の端は振動できないので固定端であり、弦を伝わる横波は固定端反射される。固定端は定常波の節となるので、定常波が生じる場合は、弦の両端が節となる。そうなるのは、弦の長さが半波長 $\frac{\lambda}{2}$ の自然数倍になるときである。

9 の答 ⑤

B

問4 回路に電流が流れるためには電気エネルギーが必要であり、そのエネルギーの供給源は外力の仕事に他ならない。つまり、外力が正の仕事をしてコイルが回転し、コイルが力学的エネルギーを得て、さらにそれが電磁誘導により電気エネルギーに変換され、回路に電流が流れるのである。

外力が正の仕事をすることから、外力の向きはコイルの回転と同じ向きといえる。これは、コイル(を流れる電流)が、磁場から回転と逆向きの力を受けているためである。つまり、外力は磁場からの力に逆らって仕事をして、エネルギーを供給しているのである。

10 の答 ①

問5 コイルが1回転(360°)するのに要する時間は $0.1 \times 2 = 0.2$ 秒であり、これが交流電圧の周期である。周波数は周期の逆数であるから、交流電圧の周波数 f は、

$$f = \frac{1}{0.2} = \underline{5} \text{ [Hz]}$$

11 の答 ③

問6 並列につながれた二つの抵抗の合成抵抗 R は、合成抵抗の公式より、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} \quad \therefore R = 10 \text{ [\Omega]}$$

よって、回路全体の消費電力 P は、公式 $P = \frac{V^2}{R}$ より、

$$P = \frac{10^2}{10} = \underline{10} \text{ [W]}$$

12 の答 ②

周波数

$$f = \frac{1}{T}$$

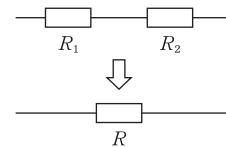
f : 周波数

T : 周期

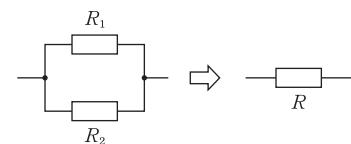
f は、波動分野の振動数に相当する。

合成抵抗 R

・直列接続 $R = R_1 + R_2$



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



消費電力 P

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

I : 抵抗を流れる電流

V : 抵抗にかかる電圧

R : 抵抗値

これは、単位時間あたりに抵抗で消費される(失われる)エネルギーである。失われたエネルギーは熱エネルギー(ジュール熱)となり、外に放出される。オームの法則 $V=RI$ により、相互の式変形ができる。単位は $\text{ワット} = \text{J/s}$ である。

===== 化学基礎 =====

【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	<input type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> ⑤	3			
		<input type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> ①	3			
	問2	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> ②	3			
	問3	<input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> ③	4			
	問4	<input type="checkbox"/> 5	<input checked="" type="checkbox"/> ①	4			
	問5	<input type="checkbox"/> 6	<input checked="" type="checkbox"/> ⑥	4			
	問6	<input type="checkbox"/> 7	<input checked="" type="checkbox"/> ①	4			
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	問1	<input type="checkbox"/> 8	<input checked="" type="checkbox"/> ④	3			
	問2	<input type="checkbox"/> 9	<input checked="" type="checkbox"/> ⑤	4			
	問3	<input type="checkbox"/> 10	<input checked="" type="checkbox"/> ⑤	4			
	問4	<input type="checkbox"/> 11	<input checked="" type="checkbox"/> ②	3			
		<input type="checkbox"/> 12	<input checked="" type="checkbox"/> ⑥	4			
	問5	<input type="checkbox"/> 13	<input checked="" type="checkbox"/> ①	3			
	問6	<input type="checkbox"/> 14	<input checked="" type="checkbox"/> ③	1			
		<input type="checkbox"/> 15	<input checked="" type="checkbox"/> ④	1			
		<input type="checkbox"/> 16	<input checked="" type="checkbox"/> ①	1			
		<input type="checkbox"/> 17	<input checked="" type="checkbox"/> ②	1			
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、化学結合と結晶****問1 炎色反応、電子配置**

a ある種の元素を含む物質を炎の中に入れると、その元素に特有の色がみられることがある。これを炎色反応といい、その色から物質に含まれている特定の元素の種類を知ることができる。橙赤色の炎色反応を示す元素は⑥Caである。

1 …⑥

b 原子内で電子が存在する層を電子殻といい、原子核に近い内側から順にK殻、L殻、M殻…とよばれる。各電子殻に収容することができる電子の最大数は、K殻から順に2個、8個、18個、…であり、内側からn番目の電子殻に収容することができる電子の最大数は $2n^2$ 個である。電子は一般に内側のK殻から順に収容される。選択肢①～⑥の原子の電子配置を次の表に示す。

	原子番号	K殻	L殻	M殻
① Li	3	2	1	0
② Be	4	2	2	0
③ Cl	17	2	8	7
④ Na	11	2	8	1
⑥ Mg	12	2	8	2

よって、L殻に1個の電子が収容されている原子は①Liである。

2 …①

問2 乾燥空気の組成

空気は窒素、酸素、アルゴン、二酸化炭素などの混合物であり、その組成は次のとおりである。

乾燥空気の組成(体積パーセント)

窒素	78.1 %
酸素	20.9 %
アルゴン	0.9 %
二酸化炭素	0.04 %
ネオン	0.002 %

よって、体積パーセントが大きい物質から順に正しく並べられているものは、②窒素>酸素>アルゴン>二酸化炭素である。

3 …②

問3 元素の周期律および周期表

① 正しい。現在の周期表では、元素は原子番号の順に並べら

【ポイント】**炎色反応**

ある種の元素を含む物質を炎の中に入ると、炎が呈色する現象。

Li：赤、Na：黄、K：赤紫、Ca：橙赤、
Sr：紅(深赤)、Ba：黄緑、Cu：青緑

原子

原子番号=陽子の数=電子の数

れている。なお、現在の周期表の原型となるものを考案したのはメンデレーエフであり、その周期表では、元素は原子量の順に並べられていた。

② 正しい。周期表の1, 2族と12~18族の元素を典型元素、3~11族の元素を遷移元素という。

③ 誤り。同一周期では、1族の原子のイオン化エネルギーが最も小さい。よって、第3周期では、ナトリウム原子のイオン化エネルギーが最も小さく、ナトリウム原子は陽イオンになりやすい。なお、同一周期では、希ガス(18族)の原子のイオン化エネルギーが最も大きく、希ガスの原子は陽イオンになりにくい。

④ 正しい。電子親和力が大きい原子ほど、陰イオンになりやすい。なお、同一周期では、ハロゲン(17族)の原子の電子親和力が最も大きく、ハロゲンの原子は陰イオンになりやすい。

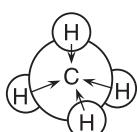
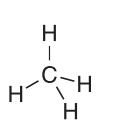
⑤ 正しい。フッ素原子の電気陰性度はすべての元素の中で最も大きい。下の表に示したように、電気陰性度の値は、希ガスを除き、周期表の右上にある元素の原子ほど大きい。

周期\族	1	2	13	14	15	16	17
1	H 2.2						
2	Li 1.0	Be 1.6	B 2.0	C 2.6	N 3.0	O 3.4	F 4.0
3	Na 0.9	Mg 1.3	Al 1.6	Si 1.9	P 2.2	S 2.6	Cl 3.2

4 ... ③

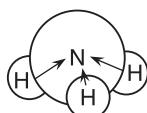
問4 分子の形と極性

① 誤り。メタン CH_4 は、正四面体形の分子である。 $\text{C}-\text{H}$ 結合には極性があるが、4本の $\text{C}-\text{H}$ 結合の極性は互いに打ち消しあうので、 CH_4 は無極性分子である。



(→は結合の極性を表し、矢印の方向)
に共有電子対が引き寄せられている。

② 正しい。アンモニア NH_3 は、三角錐形の分子である。 $\text{N}-\text{H}$ 結合には極性があり、3本の $\text{N}-\text{H}$ 結合の極性は打ち消されないので、 NH_3 は極性分子である。



イオン化エネルギー(第一イオン化エネルギー)

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

電子親和力

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されるエネルギー。この値が大きい原子ほど、陰イオンになりやすい。

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。主な非金属元素の電気陰性度の大きさは、 $\text{F} > \text{O} > \text{Cl} > \text{N} > \text{C} > \text{H}$ の順である。

結合の極性

異なる原子間の共有電子対が電気陰性度の大きい原子の方に引き寄せられるため、結合している原子間に電荷の偏りがあること。

分子の形

代表的な分子の形は次のようになる。

CH_4 …正四面体形

NH_3 …三角錐形

H_2O …折れ線形

CO_2 …直線形

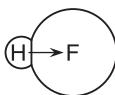
極性分子

原子間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

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

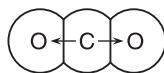
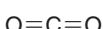
③ 正しい。フッ化水素 HF は、直線形の分子であり、H—F 結合には極性があるので、極性分子である。



④ 正しい。窒素 N₂ は、直線形の分子であり、N≡N 結合は同種の原子からなる結合で極性がないので、無極性分子である。



⑤ 正しい。二酸化炭素 CO₂ は、直線形の分子である。C=O 結合には極性があるが、2 本の C=O 結合の極性は互いに打ち消しあうので、CO₂ は無極性分子である。



5 …①

問 5 結晶の融点

a 氷は、H₂O 分子が分子間力で結びついた分子結晶であり、融点は 0 ℃ である。

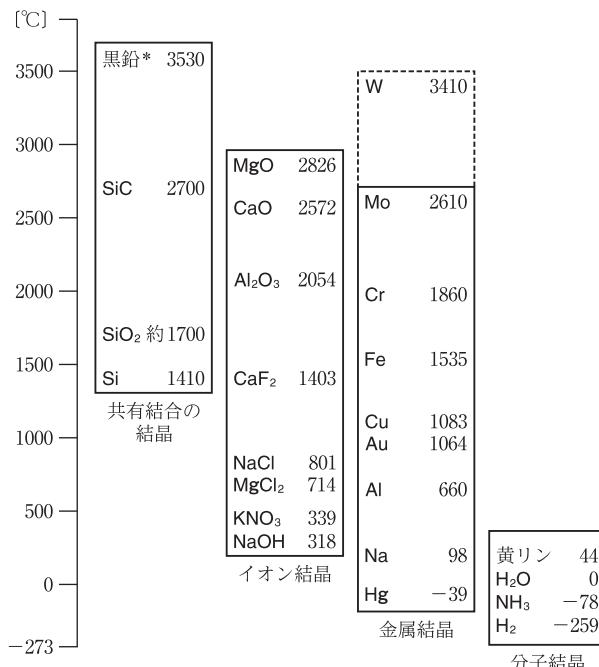
b 塩化ナトリウム NaCl は、Na⁺ と Cl⁻ がイオン結合によって結びついたイオン結晶であり、融点は 801 ℃ である。

c 石英は、Si 原子と O 原子が共有結合で三次元的に結びついた共有結合の結晶であり、その化学式は組成式 SiO₂ で表される。二酸化ケイ素の融点は約 1700 ℃ である。

したがって、結晶の融点の高い順は、⑥ c > b > a となる。

なお、物質を構成する粒子間の結合の強さを比較すると、一般に「共有結合 ≥ イオン結合・金属結合 > 分子間力」となり、結晶の融点は、粒子間の結合力が強いほど高くなる。

(参考) 結晶の融点



* ダイヤモンドの融点は 1.2×10^{10} Pa で 4700 K である。

6 …⑥

問6 金属結晶とイオン結晶の性質

鉛 Pb は金属結晶、塩化カルシウム CaCl₂ はイオン結晶である。

a 電荷をもつ粒子が移動できる状態にあると、電気を導くことができる。Pb は、自由電子が存在するので、固体でも融解液でも電気を導く。一方、CaCl₂ は、固体ではイオン(Ca²⁺ と Cl⁻)が移動できないので、電気を導くことはできないが、融解するとイオンが移動できるようになるので、電気を導くことができる。よって、Pb, CaCl₂ ともに当てはまる記述である。

b CaCl₂ は水に溶けやすい塩であり、水に溶けると次のように電離する。



一方、Pb は水に溶けない。よって、CaCl₂ には当てはまるが、Pb には当てはまらない記述である。

c 叩いて薄くひろげができる性質を展性、引っ張って長くのばすことができる性質を延性といい、これらは金属が示す性質である。よって、Pb には当てはまるが、CaCl₂ には当てはまらない記述である。

以上より、a ~ c の記述のうち、Pb, CaCl₂ ともに当てはまるものは a のみである。

金属結晶

金属原子が、自由電子による金属結合によって結びついた結晶。電気伝導性、展性、延性を示す。

イオン結晶

陽イオンと陰イオンが静電気力(クーロン力)によるイオン結合によって結びついた結晶。結晶は電気を導かないが、融解すると電気を導く。

7 …①

第2問 化学量、酸と塩基、酸化還元

問1 気体の分子量

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ことから、同温・同圧で同体積の気体に含まれる物質量は同じである。小型ボンベから取り出した V [mL] に含まれる N_2 (28 g/mol) の物質量と、 V [mL] に含まれる気体 A の物質量は同じなので、気体 A のモル質量を M [g/mol] とすると、

$$\frac{0.42 \text{ g}}{28 \text{ g/mol}} = \frac{0.60 \text{ g}}{M \text{ [g/mol]}}$$

$$M = 40 \text{ g/mol}$$

各物質のモル質量は、①水素 H_2 : 2.0 g/mol, ②ヘリウム He : 4.0 g/mol, ③酸素 O_2 : 32 g/mol, ④アルゴン Ar : 40 g/mol, ⑤エチレン C_2H_4 : 28 g/mol である。よって、気体 A は④ Ar である。

8 ⋯ ④

問2 溶液の濃度

モル濃度から質量パーセント濃度を求めるには、水溶液 1 L の質量と、それに含まれる溶質の質量を考えればよい。

10 mol/L のエタノール水溶液 1 L (= 1000 cm³) の質量は、

$$0.92 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \text{ cm}^3 = 920 \text{ g}$$

また、この水溶液 1 L に含まれる溶質 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (46 g/mol) の質量は、

$$10 \text{ mol/L} \times 1 \text{ L} = 10 \text{ mol}$$

であり、その質量は、

$$46 \text{ g/mol} \times 10 \text{ mol} = 460 \text{ g}$$

よって、質量パーセント濃度は、

$$\frac{460 \text{ g}}{920 \text{ g}} \times 100 = 50 \%$$

9 ⋯ ⑥

問3 化学反応と量的関係

ブタン C_4H_{10} が完全燃焼する反応は、次の化学反応式で表される。



(1)式より、ブタン C_4H_{10} (58 g/mol) と酸素は物質量の比 2 : 13 で反応するので、ブタン 2.90 g を完全燃焼させるのに必要な酸素の標準状態での体積を x [L] とすると、

$$\frac{2.90 \text{ g}}{58 \text{ g/mol}} : \frac{x \text{ [L]}}{22.4 \text{ L/mol}} = 2 : 13$$

$$x = 7.28 \text{ L}$$

10 ⋯ ⑥

問4 中和滴定

a ア 一定量の $(\text{COOH})_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ をビーカーに入れ、少量の水に溶かした後メスフラスコに移し、標線まで純水を加えて水溶液を調製するので、メスフラスコの内部が純水で濡れていても、

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ことから、同温・同圧で同体積の気体に含まれる物質量は同じである。

モル質量

物質 1 mol の質量をモル質量という。原子量・分子量・式量に単位 g/mol をつけると、原子・分子・イオンなどのモル質量になる。

モル濃度

溶液 1 Lあたりに溶けている溶質の物質量 [mol] で表した濃度。

モル濃度 [mol/L]

$$= \frac{\text{溶質の物質量 [mol]}}{\text{溶液の体積 [L]}}$$

質量パーセント濃度

溶液の質量に対する溶質の質量の割合をパーセントで表した濃度。

質量パーセント濃度 [%]

$$= \frac{\text{溶質の質量 [g]}}{\text{溶液の質量 [g]}} \times 100$$

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。

モル体積

物質 1 mol の体積をモル体積といい、標準状態の気体の場合、22.4 L/mol である。

調製した水溶液中の $(\text{COOH})_2$ の物質量と水溶液の体積は変わらない。よって、純水で濡れたまま使用してよい。

イ ホールピペットの内部が純水で濡れていると、はかりとったシュウ酸水溶液の濃度が小さくなり、 $(\text{COOH})_2$ の正確な物質量がわからなくなる。よって、はかりとる 0.050 mol/L のシュウ酸水溶液で内部を数回すいでから使用する必要がある。

ウ コニカルビーカーの内部が純水で濡れても、コニカルビーカー内にはかりとった $(\text{COOH})_2$ の物質量は変わらない。よって、純水で濡れたまま使用してよい。

エ ビュレットの内部が純水で濡れていると、滴下する水酸化ナトリウム水溶液の濃度が小さくなり、 $(\text{COOH})_2$ を中和するのに必要な体積が大きくなるため、正確な水酸化ナトリウム水溶液の濃度が求められなくなる。よって、滴定に用いる水酸化ナトリウム水溶液で内部を数回すいでから使用する必要がある。

以上より、内部が純水で濡れたまま使用してよい器具は、ア・ウである。

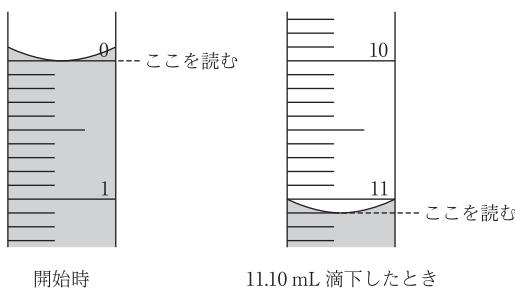
11 ⋯②

b 0.050 mol/L のシュウ酸水溶液 10 mL を中和するために 0.090 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液が v [mL] 必要であった。 $(\text{COOH})_2$ は 2 倍の酸であり、NaOH は 1 倍の塩基であるので、

$$2 \times 0.050 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 1 \times 0.090 \text{ mol/L} \times \frac{v}{1000} [\text{L}]$$

$$v = 11.1 \text{ mL}$$

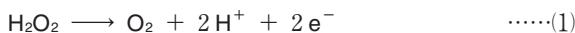
ビュレットの開始時の読みは 0.00 mL なので、ビュレットの読みが 11.10 mL となっているものを選べばよい。



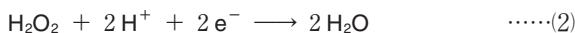
12 ⋯⑥

問 5 酸化還元反応

過酸化水素 H_2O_2 は、反応する相手によって、還元剤としてはたらく場合と酸化剤としてはたらく場合がある。還元剤としてはらいたい場合は、次のように反応して酸素を発生する。



一方、酸化剤としてはらいたい場合は、次のように反応し、酸素は発生しない。



中和滴定で用いる器具

メスフラスコ 正確な濃度の溶液を調製する。

ホールピペット 正確な体積の溶液をはかりとる。

ビュレット 滴下した溶液の体積を正確にはかる。

コニカルビーカー 酸と塩基の水溶液を反応させる。

中和反応の量的関係

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

酸化剤・還元剤

酸化剤 相手を酸化する物質。自身は電子を受け取り還元され、酸化数が減少する原子を含む。

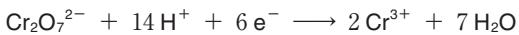
還元剤 相手を還元する物質。自身は電子を失い酸化され、酸化数が増加する原子を含む。

なお、 H_2O_2 は、反応する相手によって酸化剤としてはたらく場合と還元剤としてはたらく場合がある。

・還元剤である KI や H_2S , SO_2 との反応では酸化剤としてはたらく。

・酸化剤である KMnO_4 や $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ との反応では還元剤としてはたらく。

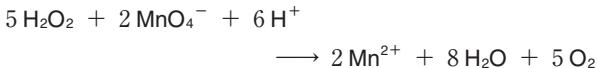
a の過マンガン酸カリウム KMnO_4 と **b** の二クロム酸カリウム $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ は、酸性の条件でそれぞれ次のように酸化剤としてはたらく。



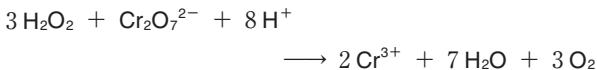
.....(4)

したがって、水溶液 **a** と **b** を、硫酸で酸性にした過酸化水素水に加えると、いずれも酸素が発生する。

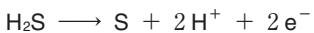
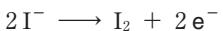
なお、水溶液 **a** を加えた場合のイオン反応式は、(1)式×5+(3)式×2より、



また、水溶液 **b** を加えた場合のイオン反応式は、(1)式×3+(4)式より、



一方、**c** のヨウ化カリウム KI と **d** の硫化水素 H_2S は、それぞれ次のように還元剤としてはたらく。



したがって、水溶液 **c** や **d** を、硫酸で酸性にした過酸化水素水に加えた場合、過酸化水素は酸化剤として(2)式のように反応するので、酸素は発生しない。

13

…①

問6 金属のイオン化傾向

実験I イオン化傾向が非常に大きい **Na** は、冷水に入れると次のように反応し、水素を発生しながら溶ける。よって、**a** は **Na** である。



実験II イオン化傾向が水素より大きい **Zn** は、希塩酸に入れると次のように反応し、水素を発生しながら溶ける。よって、**b** は **Zn** である。



実験III イオン化傾向が水素より小さい **Ag** は、塩酸や希硫酸には溶けないが、酸化力の強い硝酸や熱濃硫酸には溶ける。**Ag** を濃硝酸に入れた場合は、次のように反応し、二酸化窒素が発生する。



一方、イオン化傾向が非常に小さい **Au** は、硝酸や熱濃硫酸にも溶けない。よって、**c** は **Ag**、**d** は **Au** である。

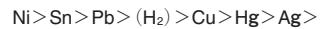
14

…②, 15 …④, 16 …①, 17 …②

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单体になりやすい。



- $\text{Li} \sim \text{Na}$ …冷水と反応する。

- $\text{Li} \sim \text{Sn}$ …塩酸や希硫酸と反応する。

- $\text{Cu}, \text{Hg}, \text{Ag}$ …塩酸や希硫酸とは反応しないが、硝酸や熱濃硫酸と反応する。

- Pt, Au …王水(濃硝酸と濃塩酸の体積比1:3の混合物)と反応する。

==== 生物基礎 ====

【解答・採点基準】

(50点満点)

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点
第1問	A	問1	1	④	3	
		問2	2	⑤	3	
		問3	3	②	3	
	B	問4	4	①	3	
		問5	5	②	4	
第1問 自己採点小計				(16)		
第2問	A	問1	6	①	3	
		問2	7	①	2	
			8	④	2	
	B	問3	9	②	3	
			10	⑧	3	
		問4	11	⑤	4	
第2問 自己採点小計				(17)		
第3問	問1	12	②	2		
	問2	13	①	3		
	問3	14	⑤	3		
	問4	15	②	3		
	問5	16	③	3		
	問6	17	①	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 細胞の共通性と多様性

Aでは細胞に関する知識問題を、Bでは細胞の分化に関する知識問題と考察問題を出題した。

問1 ①植物細胞にみられる液胞は液胞膜に囲まれた構造体で、内部は糖などの有機物、無機塩類、アントシアンとよばれる赤色・青色・紫色の色素などを含む細胞液で満たされている。ユキノシタの葉の裏面表皮細胞が赤く見えるのは、アントシアンなどの色素を含む液胞が発達しているためであり、正しい。

②ヒトの赤血球が赤く見えるのは、酸素の運搬を行うヘモグロビンとよばれる赤色の色素タンパク質を含むためであり、正しい。

③近接した2点を2点として見分けることができる最小の間隔を分解能とよび、肉眼の分解能は約0.1mmである。単細胞の真核生物であるゾウリムシの大きさは0.2~0.25mm(200~250μm)であり肉眼で観察することができるので、正しい。

④光学顕微鏡の分解能は約0.2μmである。原核生物である大腸菌の大きさは約3μmであり、光学顕微鏡で観察することができるので、誤りである。

1 …④

問2 イ選択肢にある核、細胞壁、細胞膜のうち、動物細胞、植物細胞、細菌のすべてに存在するのは**細胞膜**である。

ウ 選択肢にある細胞壁、葉緑体、核、細胞膜のうち、植物細胞と細菌に存在し、動物細胞に存在しないのは**細胞壁**である。

エ 選択肢にある細胞膜、核のうち、動物細胞と植物細胞に存在し、細菌に存在しないのは**核**である。

オ 選択肢にある葉緑体、細胞壁のうち、植物細胞に存在し、動物細胞と細菌に存在しないのは**葉緑体**である。

2 …⑤

問3ミトコンドリアは動物細胞や植物細胞のような真核細胞には存在するが、細菌の細胞のような原核細胞には存在しないので、②が正しい。

3 …②

問4ヒトのからだは、1個の受精卵が体細胞分裂を繰り返してつられた多数の細胞からできている。その過程において、神経や筋肉など特定の形やはたらきをもつ細胞に変化していくことを、細胞の**分化**という。受精卵の核内に含まれるゲノムは、体細胞分裂時に複製、分配されるので、すべての体細胞は基本的に同じゲノムをもっている。それにも関わらず、発生の段階に応じて特定の細胞が分化するのは、すべての遺伝子が常にはたらいているわけではなく、分化した細胞ごとに異なる遺伝子が発現しているからである。そのため、皮膚の細胞のコラーゲン、眼の水晶体の細胞のクリスタリン、膵臅の細胞のアミラーゼのように、分化した細胞ごとに特徴的なタンパク質が合成されるようになる。

【ポイント】

アントシアン

植物の花弁などの細胞の液胞に含まれる赤色・青色・紫色の色素

分解能

近接した2点を2点として見分けることができる最小の間隔

肉眼 約0.1mm

光学顕微鏡 約0.2μm

細胞の大きさ

ゾウリムシ 0.2~0.25mm

大腸菌 約3μm

細胞膜

細胞の外部と内部を仕切る膜で、すべての細胞に存在する。

植物細胞の細胞壁

細胞膜の外側にあり、セルロースが主成分で、細胞の保護、細胞の形の保持を行う。

真核細胞

核膜に包まれた核をもつ。

動物や植物の細胞

原核細胞

DNAはもつが、DNAを包む核膜をもたない。

細菌などの細胞

葉緑体

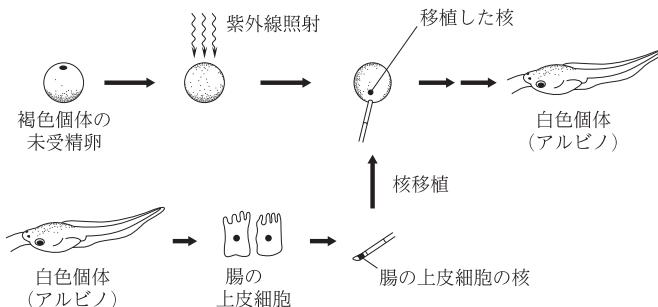
クロロフィルという緑色の色素を含み、光合成を行う。

ミトコンドリア

呼吸によりエネルギーを取り出す。すべての真核細胞に存在する。

4 ⋯①

問5 問4の解説で述べたように、分化した細胞であっても、基本的に体細胞は同じゲノムをもっている。これを実験で確かめたのがイギリスのガードンである。ガードンは、アフリカツメガエルの褐色個体の未受精卵に紫外線を照射して核を不活性化し、この卵に色素を合成できない白色個体(アルビノ)の腸の上皮細胞の核を移植したところ、ある割合で正常な個体が得られ、それらの個体が核を提供した個体と同じ白色であることを示した(下図)。この実験から、分化した腸の上皮細胞の核にも、発生に必要なすべての遺伝子が含まれることが明らかになった。この実験で得られた個体と、核を提供した個体とは遺伝的に同一であり、このように遺伝的に同一な生物集団をクローンとよぶ。



①実験1は、白色個体と褐色個体の生存率を比較した実験ではなく、実験1の結果から、白色個体と褐色個体の生存率の高低は判断できないので、誤りである。

②実験1によって得られた個体が、核を提供した個体と同じ白色であったことから、これらの個体は移植した核の遺伝情報にしたがって発生したと考えられるので、正しい。

③分化した細胞では不要な遺伝子が失われていると仮定すると、実験1で移植に用いた腸の上皮細胞の核には発生に必要な遺伝子が不足していることになる。その場合、核移植を行っても正常な個体は発生しないはずなので、誤りである。

④実験1では、白色個体の腸の上皮細胞に紫外線を照射する実験は行っていない。したがって、この実験からは判断できないので、誤りである。

5 ⋯②

第2問 体内環境の維持

Aでは肝臓に関する知識問題を、Bでは体液濃度の調節に関する知識問題と考察問題を出題した。

問1 ヒトの肝臓は体内で最も大きな臓器であり、成人では1~2kgある。肝臓は様々な物質の合成、貯蔵、分解などを行い、体内の物質の濃度を調節している。肝臓を構成する基本単位は肝小葉とよばれ、1mmほどの大きさで六角構造をしており、約50万個

ゲノム

個体の形成や生命活動を営むのに必要な最小限の遺伝情報

分化した細胞で合成される特徴的なタンパク質

だ腺の細胞：アミラーゼ

水晶体の細胞：クリスタリン

皮膚の細胞：コラーゲン

クローン

遺伝的に同一な生物集団

肝臓

約50万個の肝細胞からなる1mmほどの大きさの肝小葉が集まってできている。

の肝細胞が集まってできたものである。肝小葉には類洞とよばれる太い毛細血管があり、類洞を流れる血液は肝小葉の外側にある動脈と肝門脈から中心にある静脈(中心静脈)へ、つまり周辺部から中心部へ向かって流れ集まり、そこから肝静脈に入る。

6 …①

問2 ①肝臓はアミノ酸の分解によって生じた有毒なアンモニアから毒性の低い尿素を合成するので、誤りである。

②古くなった赤血球は肝臓やひ臓で破壊されるので、正しい。

③肝臓はアルブミンやグロブリンなどの血しょう中のタンパク質を合成するので、正しい。

④リンパ球は肝臓ではなく骨髄の造血幹細胞からつくられるので、誤りである。

⑤肝臓では様々な物質が分解され、それにともなって発生する熱が体温の維持に使われるので、正しい。

⑥肝臓はアルコールなどの有害な物質を分解する解毒作用をもつて、正しい。

⑦血糖量が増加したとき、グルコースがグリコーゲンに合成されて肝細胞内に貯蔵されるので、正しい。

⑧肝臓は脂肪を消化しやすくする胆汁をつくるので、正しい。

7 · 8 …① · ④

問3 海水産硬骨魚(海水魚)も淡水産硬骨魚(淡水魚)も体液濃度は海水のほぼ $\frac{1}{3}$ である。海水魚の体液濃度は海水より低いので、水が体外へ浸出する。海水魚は、水の排出を抑えて塩類を排出したいが、腎臓が発達していないので、体液と等しい濃度の尿しかつくれず、これを少量排出する。したがって、①は誤りであり、②が正しい。

淡水魚の体液濃度は淡水より高いので、水が体内へ浸入する。淡水魚は、塩類の排出を抑えて水を排出したいので、体液より低い濃度の尿を多量に排出する。したがって、③ · ④はいずれも誤りである。

海水魚は体外へ浸出する水を補うため海水を飲む。一方、淡水魚は水が体内へ浸入するので淡水を多量に飲むことはない。したがって、⑤ · ⑥はいずれも誤りである。

海水魚は体内に入ってきた余分な塩類をえらから積極的に排出する。一方、淡水魚は不足する塩類をえらから積極的に吸収する。したがって、⑦は誤りであり、⑧が正しい。

9 · 10 …② · ⑥

問4 体液濃度の調節ができる生物では、外界の塩類濃度と無関係に体液濃度を一定に保つしくみをもっている。しかし、動物Xは体液濃度を調節するしくみをもないので、外界の塩類濃度を変化させると体液濃度がそれと等しくなってしまう。実験開始時(0時間)から12時間までは、100%海水中に浸されているので、

肝臓のはたらき

尿素の合成

赤血球の破壊

血しょうタンパク質の合成

体温の維持

解毒作用

血糖量の調節

胆汁の生成

海水産硬骨魚の体液濃度の調節

海水を飲む。

えらから塩類を積極的に排出する。

体液と等しい濃度の尿を少量排出する。

淡水産硬骨魚の体液濃度の調節

えらから塩類を積極的に吸収する。

体液より低い濃度の尿を多量に排出する。

体液濃度を調節できる動物

体液濃度は、外界の塩類濃度と無関係に一定に保たれている。

体液濃度を調節できない動物

体液濃度は、外界の塩類濃度とほぼ同じになる。

動物Xの体液濃度は100%海水とほぼ等しい。

実験開始から12時間後に90%海水中に浸されると動物Xの体積が急激に増加するのは、塩類濃度の差によって体外から水が浸入したからである。その後、動物Xの体積が減少していくのは、拡散により体外へ塩類が流出するのにともなって水が浸出するからである。実験開始から48時間後には動物Xの体積が再び1.0に戻って体積の変化が停止するので、このとき動物Xの体液濃度は90%海水の塩類濃度と等しくなっていると考えられる。

実験開始から48時間後に再び100%海水中に浸されると動物Xの体積が急激に減少するのは、塩類濃度の差によって体外へ水が浸出したからである。その後、動物Xの体積が増加していくのは、拡散により体内へ塩類が流入するのにともなって体内に水が浸入するからである。実験開始から60時間後には動物Xの体積が再び1.0に戻って体積の変化が停止するので、このとき動物Xの体液濃度は100%海水の塩類濃度と等しくなっていると考えられる。

11 …⑥

第3問 植生の遷移

暖温帯における植生の遷移に関する知識問題と考察問題、および里山生態系に関する知識問題を出題した。

問1 中部地方の丘陵帯(低地帯)に成立する自然のバイオームは照葉樹林である。夏緑樹林は東北地方から北海道南西部の丘陵帯や中部地方の山地帯に成立する。

一次遷移とは、溶岩台地などのような、土壌が存在していない場所から始まる遷移であり、二次遷移とは、植生が破壊された跡地で、はじめから土壌が存在している場所から始まる遷移である。問題文に「河川のはん濫では、その後に土壌が残っている」とあるので、二次遷移である。

12 …②

問2 森林の下層では照度が低くなっている。表1より、樹種Iは森林内の亜高木層と低木層でみられることから、陰樹であることがわかり、樹種IIは亜高木層と低木層でみられないで、陽樹であることがわかる。次図に示すように、陰樹は一般に、陽樹より光補償点と光飽和点がともに低いので、①が正しい。

中部地方の丘陵帯には照葉樹林が広がる。

一次遷移

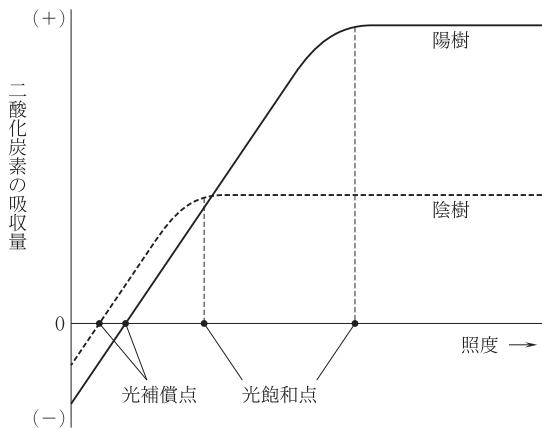
土壌のない裸地から始まる遷移

二次遷移

土壌が存在し、土壌中に種子や地下茎などの植物体が存在する状態から始まる遷移

陰樹

光補償点と光飽和点がともに低い。



13 ⋯①

問3 西暦700年に遷移が始まった地点aは、調査地点のうちで最も遷移が進んでおり、極相であると考えられる。したがって、樹種Ⅲが極相林の優占種であると考えられる。これを基準として考えていくとよい。

高木層に樹種Ⅲが生育しており、地点aの高木層にみられる陰樹の樹種Ⅰが優占種となっている地点cが、地点aに続いて遷移が進んでいると考えられる。

陰樹である樹種Ⅰが優占しているが、陽樹である樹種Ⅱがまだ残っている地点bが、地点cに続いて遷移が進んでいると考えられる。

高木層に陽樹である樹種Ⅱしか生育していない地点dは、調査地点の中で最も遷移が進んでいないことがわかる。

したがって、これらの森林を遷移が進行していく順に並べると、地点d→地点b→地点cとなる。

14 ⋯⑥

問4 樹種Ⅱは暖温帯に生育する陽樹であり、代表的な例としてクロマツやアカマツがあげられる。また、樹種Ⅲは暖温帯の極相を構成する陰樹であり、代表的な例としてタブノキ、スダジイ、カシ類などがあげられる。

なお、シラカンバは冷温帯に生育する陽樹、ブナは冷温帯に生育する陰樹である。

15 ⋯②

問5 極相林になると陰樹が優占するが、倒木や山火事などにより、大小のギャップ(林冠の切れ目)ができることがある。倒木などが原因でできた小さなギャップは、周囲の樹木が枝を伸ばし、亜高木層や低木層にあった陰樹が成長することにより埋められる。山火事などで一定以上の大きさのギャップができる場合には、土壤中にあった陽樹の種子が光を受けて発芽し、成長してギャップが埋められる(次図)。

森林の遷移の過程

陽樹林→混交林→陰樹林

代表的な陽樹

暖温帯：アカマツ・クロマツ

冷温帯：シラカンバ

代表的な陰樹

暖温帯：タブノキ・スダジイ

冷温帯：ブナ・ミズナラ

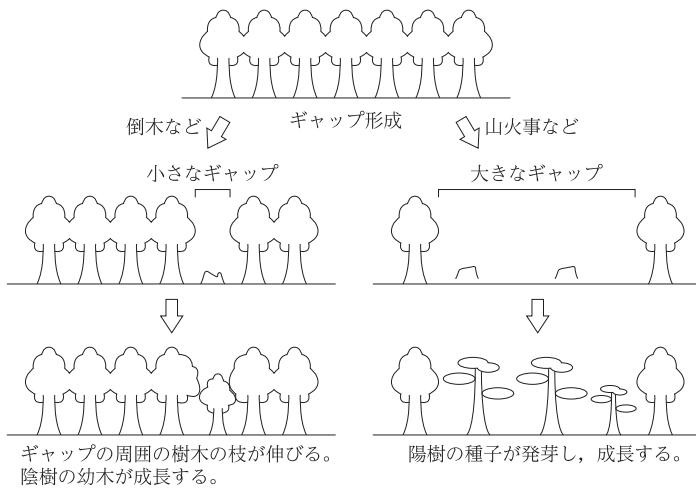
極相林にできるギャップ

大きなギャップ

主に陽樹が埋める。

小さなギャップ

主に陰樹が埋める。



①例えば、表1の地点aでは、高木層に樹種Iと樹種IIIがみられる。このように、極相林でも高木層を構成する樹種が1種類だけになることはほとんどないので、誤りである。

②森林を構成する樹種の多様性は、陰樹と陽樹がともに生育している遷移途中の混交林で最も高いので、誤りである。

③大規模なギャップができると、林床の照度が高くなるため陽樹の芽ばえが成長できるようになる。土壤中には陽樹の種子が残っており、これが発芽して成長を始め、やがて林冠のギャップを埋めるので、正しい。

④極相林の林床では照度が低く、陽樹の幼木は存在しないので、誤りである。

[16] …③

問6 ①里山では、下草刈りなどが行われているため、極相林まで遷移が進行しておらず、陽樹も陰樹も生育している。ここに多種多様な動物が生息しているので、正しい。

②里山では、人間の手で管理が行われ、陰樹林への遷移が抑制されてきた。こうした管理が行われないと陰樹林への遷移が起るので、誤りである。

③里山にも、外来種であるアライグマ、ウシガエル、セイタカアワダチソウなど様々な動植物が侵入して、元々の生態系を変化させているので、誤りである。

④種の保存法は、レッドリストやレッドデータブックに登録された生物のうち、人為的な影響により絶滅が危惧されているものを指定し、販売、譲渡、捕獲を原則として禁止する法律である。里山といった全国に点在する生態系を一括して指定することはないので、誤りである。

[17] …①

里山

農村の集落の周囲にある、人間の手で管理・利用されてきた雑木林や草地、ため池、水田などが存在する一帯

種の保存法

レッドリストやレッドデータブックに登録された、人為的な影響により絶滅が危惧されている生物を指定し、販売、譲渡、捕獲を原則として禁止する法律

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

【解説】

第1問 地球の層構造

地球の層構造に関する問題である。層構造の特徴や構成元素を問う問題を出題した。さらに、地球の誕生と層構造の形成に関する問題も出題した。

問1 原始地球は、約46億年前に、原始太陽のまわりにある原始太陽系星雲(ア)の中で誕生した。まず、原始太陽系星雲の中で、多数の微惑星(イ)が形成された。微惑星は岩石質であるが、金属成分も含まれており、これが地球の岩石質からなるマントルと金属からなる核のもとである。この微惑星が衝突を繰り返してだんだん大きくなり、原始地球が形成されていった。このとき、衝突のエネルギー、微惑星から放出された二酸化炭素や水蒸気を主成分とするガスの温室効果によって、原始地球は高温となり、岩石や金属成分が融けて、地球の表面はマグマの海に覆われた。これをマグマオーシャン(ウ)という。このとき、相対的に密度の大きい金属成分は下に沈んで核を形成し、相対的に密度の小さい岩石成分は浮かんで地殻やマントルを形成した。このようにして、地球の層構造はつくられた。したがって、⑥が正解である。

1 … ⑥

問2 地球内部は、地殻、マントル、外核、内核の4層に区分されている。地殻とマントルは岩石でできており、外核と内核は金属でできている。地殻、マントル、内核は固体であり、外核は液体である。

① 地殻の厚さは、大陸地殻は約30~50km、海洋地殻は約5~10kmであり、地球の半径は約6400kmである。選択肢にある地球の半径の0.01%は、

$$6400 \times \frac{0.01}{100} = 0.64 \text{ km} = 640 \text{ m}$$

であるから、地殻の厚さとしては明らかに薄すぎる。したがって、誤りである。大陸地殻の厚さは地球の半径のおよそ0.5%，海洋地殻の厚さは地球の半径のおよそ0.1%である。

② 上部マントルはかんらん岩質岩石でできている。大陸地殻上部は花こう岩質岩石、大陸地殻下部と海洋地殻は玄武岩質岩石でできている。したがって、誤りである。

③ マントルと外核の境界面は地表から深さ約2900kmのところにあり、核はほぼ球形をしている(図1-1)。地球の半径は約6400kmであるから、核の半径は $6400 - 2900 = 3500 \text{ km}$ となる。したがって、この選択肢が正解である。

④ 地殻、マントル、外核、内核のうち、外核だけが液体である。したがって、誤りである。

なお、地球は中心にいくほど高温になるが、圧力が高まるのに

【ポイント】

地球の形成

約46億年前に、原始太陽系星雲の中で、多数の微惑星が集まって形成された。

マグマオーシャン

原始地球の表面が融けてできたマグマの海。融けたことによって、密度の小さい岩石の地殻やマントルと、密度の大きい金属の核が分離した。

地球の層構造

地殻、マントル、外核、内核の4層に区分される。地殻、マントル、内核は固体、外核は液体である。

地殻の厚さ

大陸地殻：約30~50km
海洋地殻：約5~10km

地球表層の構成物質

大陸地殻上部：花こう岩質岩石
大陸地殻下部：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

マントルと外核の境界

地表からの深さ：約2900km

伴って融点も高くなるため、内核は融点以下の温度になっており、固体の状態となっている。

2 …③

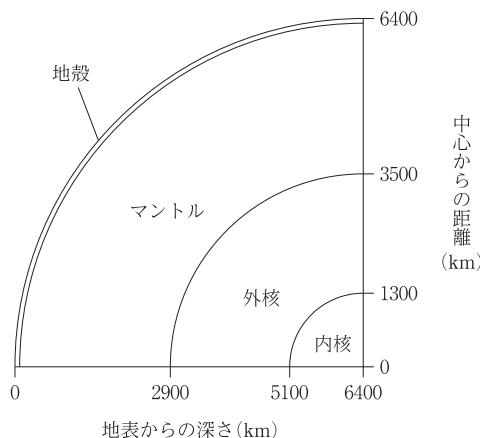


図 1-1 地球の層構造

問3 核は金属でできており、そのおよそ9割は鉄(Fe)である。他にニッケル(Ni)などが含まれる。したがって、④が正解である。

地殻やマントルは岩石でできており、化学組成では SiO_2 が質量で5割程度を占める。元素で表すと、地殻は O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K で約 99 % を占めている。

3 …④

核の化学組成

約9割が鉄(Fe)でできている。他にニッケル(Ni)などが含まれる。

第2問 火山

発生するマグマの性質の違いによって火山活動の様子やつくられる火山地形が異なること、また、火山活動に伴う災害について基礎知識を問う問題を出題した。

問1 マグマの性質の違いと火山活動の関係を問う問題である。その概要を表2-1に示す。

表 2-1 マグマの種類と分類

マグマ	玄武岩質	安山岩質	流紋岩質
SiO_2 質量%	約 50	約 60	約 70
温度	高 ←	→ 低	
粘性	小 ←	→ 大	
ガス成分(揮発性成分)	少 ←	→ 多	
噴火の様子	静穏的 ←	→ 爆発的	
火山地形	盾状火山	成層火山	溶岩ドーム カルデラ火山
おもな活動域	中央海嶺	島弧・大陸弧	
海洋ホットスポット			

マグマの分類

化学組成(SiO_2 質量%)によって性質が異なり、 SiO_2 の割合が増加するにつれて、玄武岩質→安山岩質→流紋岩質のように分けられる(表2-1)。

表2-1に示すように、マグマに含まれる SiO_2 の割合がマグマの性質を決め、火山噴火の様子の違いを生み出す。

①・② マグマ中の SiO₂ の割合が多いほど、溶け込んでいるガス成分を保持したままマグマが上昇してくる。その結果、噴火は爆発的なものになる。よって、①・②はどちらも正しい。

③・④ 流動性が高い(大きい)とは、流れやすいことを意味する。また、粘性が大きいとはマグマが動きにくいことを意味している。表 2-1 より、③の流紋岩質マグマは粘性が大きいので、噴出する溶岩の流動性は低く、③は誤りとなる。④は粘性が小さいので噴出する溶岩の流動性は高いことになり、④は正しい。本問は適当でないものを選ぶので、③が正解となる。 4 …③

問2 マグマの性質・噴出物とつくられる火山地形の関係を問う問題である。

a 盾状火山は、おもに粘性の小さい玄武岩質マグマが繰り返し流出してできる傾斜が緩やかで規模の大きい火山であり、ハワイのマウナロアなどが代表例である。よって、a の内容は正しい。

b 成層火山は、溶岩と火山碎屑物(火碎物)^{さいせつ}^{かさい}が繰り返し交互に積み重なってできる円錐形の火山であり、安山岩質マグマからつくられるものが多い。よって、b の内容は正しい。

c カルデラは、地下にある大量のマグマが放出され、地下のマグマ溜りに空洞ができ、火口付近が陥没してできた凹状の地形である。よって、c の内容も正しい。

以上より、「正・正・正」の組合せである①が正解となる。

5 …①

問3 火山噴火に伴う現象と災害について、ハザードマップを通して考える問題である。ハザードマップとは、災害が起こったときに、どの範囲でどのような災害に遭いやすいのかが示された地図である。火山噴火、河川氾濫、地震の際の津波・液状化などさまざまなものがある。

a 問題の図 1 の P は火口ができる可能性の高い範囲である。火口の位置は地下からマグマが上昇してくるところに相当するので、上空の風の吹き方に左右されることはない。Q は溶岩の到達範囲であるが、火口の位置と周辺の地形によってその範囲は概ね決まるので、上空の風の吹き方に左右されるものではない。よって、a の記述は誤りである。

なお、上空の風の吹き方が関係するのは、噴出後の火山碎屑物の堆積場所である。実際の「富士山火山防災マップ」では、問題の図 1 に示した内容の他に、噴火後に予想される降灰範囲と堆積する層の厚さも示されている(図 2-1)。降灰範囲が富士山の東側の地域に広がっているのは、細粒の火山碎屑物が上空の偏西風に運ばれて東へ向かって飛散するからである。

火山地形の種類

- ・盾状火山：粘性の小さい玄武岩質マグマの火山活動によってつくられる傾斜の緩やかな火山。
- ・成層火山：溶岩と火山碎屑物が繰り返し交互に積み重なってできる火山。安山岩質マグマからつくられるものが多い。
- ・カルデラ：地下にある大量のマグマが放出され、地下のマグマ溜りに空洞ができ、火口付近が陥没してできた凹状の地形。
- ・溶岩ドーム(溶岩円頂丘)：粘性の大きいマグマがつくる小規模なドーム状の火山。

ハザードマップ

災害が起こったときに、どの範囲でどのような災害に遭いやすいのかが示された地図。

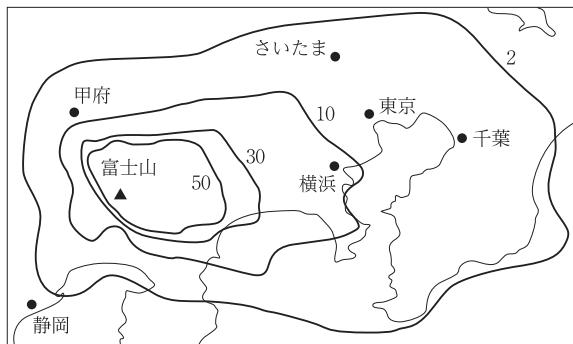


図2-1 予想される富士山の降灰範囲と層の厚さ

図中の数値の単位はcm

b 問題の図1のRは火砕流が流下する想定範囲である。Rは富士山の山頂を中心とする半径約10kmの円形の範囲であるが、火砕流は高温のガスが火山碎屑物とともに高速で流れ下る現象であり、一般にその速度は時速数十～100kmに及ぶ。このため、Rの範囲には3時間よりはるかに短い時間で到達することが予想される。よって、bは誤りと判断できる。

c 富士山は夏季～秋季を除き、山頂部には雪が積もっている。噴火の際には上昇してきたマグマの熱によって斜面に積もっている雪が一斉に融け、生じた大量の融雪水が斜面に堆積している碎屑物とともに土石流や泥流となって流れ下り、山麓の街や集落に甚大な被害をもたらすことがある。よって、cの記述は正しい。

以上より、cのみが正しいので、③が正解となる。 [6] …③

第3問 地層と化石

地層の堆積構造や先カンブリア時代の生物の出現、および示準化石を用いた地層の対比について出題した。

問1 問題の図1は級化層理(級化成層)の断面である。図3-1のように、粒の粗い方が地層の下方となり、地層の上下の判定ができる。砂や泥などの碎屑物と水が混ざり合いながら、海底の斜面を流れ下る乱泥流(混濁流)によって深海底に堆積した堆積物(タービダイトという)には、級化層理がしばしば認められる。

問題の図2はリップルマーク(漣痕)の断面である。層理面(地層面)が水流によって波状になったものである。図3-2のように、水流の向きによって凸の部分の形状が非対称になるのが特徴である。また、リップルマークによって地層の上下も判定することができる、とがっている方が地層の上方である。

したがって、問題の図1は級化層理(級化成層)、問題の図2はQの方向となり、②が正解である。 [7] …②

乱泥流(混濁流)

水と碎屑物が混ざり合って海底の斜面を流れ下る現象。これによって深海底に堆積した堆積物をタービダイトという。

地層の上下判定に用いる堆積構造

- ・級化層理(級化成層)
- ・斜交葉理(クロスラミナ)
- ・リップルマーク(漣痕)

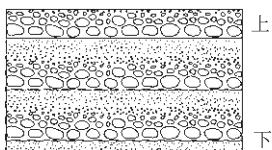


図 3-1 級化層理(級化成層)

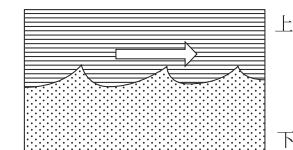


図 3-2 リップルマーク(漣痕)

矢印は水流の向きを示す。

問 2 先カンブリア時代は、かつては生物がほとんどいなかったと考えられていたが、最近ではさまざまな生物がいたことがわかってきてている。地球上に最初の生命が誕生してから現在に至るまで、どのような生物が出現し繁栄してきたのかを理解しておいてほしい。

a 真核生物とは、細胞の中に核やミトコンドリアなどがある生物である。グリパニアは直径約 0.5 mm、長さ数 cm のリボン状の真核生物で、約 19 億年前には地球上に出現していたと考えられる。

b 多細胞生物とは、複数の細胞で構成されている生物のことである。約 15~11 億年前頃から、やわらかい組織の多細胞生物が出現したと考えられており、先カンブリア時代末には体長が数十 cm を超えるものも現れ始めた。先カンブリア時代末の約 6 億年前には、大型の新しい多細胞生物が出現し、これらをエディアカラ生物群という。エディアカラ生物群には、ディキンソニアやクラゲのような生物、ウミエラの仲間などがある。

c 原核生物とは、細胞の中に核がなく、遺伝物質が細胞全体に広がっている単細胞生物である。おもに細菌類がこれに該当する。シアノバクテリアは光合成を行って酸素を放出する生物で、約 27 億年前には地球上に出現していた。また、シアノバクテリアは海水中の泥や石灰分を吸着してドーム状の構造物(ストロマトライト)を形成する。

したがって、古い方から順に、原核生物、真核生物、多細胞生物の順に出現してきたので、**c**, **a**, **b**の順となり、⑥が正解となる。

8 ⋯ ⑥

問 3 地層の対比とは、離れた場所の地層が同時期に堆積したものかどうかを判別する作業のことである。そのため、対比した地層は、岩石の種類が異なっていることもある。地層の対比には、示準化石のほかに、火山灰層や凝灰岩層、短期間に広範囲に堆積するものを用いることが多い。また、地層の対比に役立つ特徴的な地層を鍵層という。

問題の図 3 より、ペルム紀にはイ、ウ、エのアンモナイト類が生息していたことが読みとれるので、これらの化石が含まれる地層に着目する。また、問題文に地層は逆転していないことが書いてあるので、柱状図の下方が古い時代の地層である。

真核生物

細胞の中に核がある生物。

エディアカラ生物群

先カンブリア時代末に繁栄した大型生物の化石群。かたい組織をもたない生物。

原核生物

細胞の中に核がなく、比較的単純な構造をした単細胞生物。

シアノバクテリア

約 27 億年前に地球上に出現した原核生物で、光合成を行って酸素を放出する。ストロマトライトと呼ばれるドーム状の構造物を形成する。

地層の対比

離れた場所にある地層が同時期に堆積したものかどうかを判別する作業。

鍵層

地層の対比に役立つ特徴的な地層。火山灰層や凝灰岩層など。

問題の図4より、bの地層にはウが含まれており、bよりも下の地層からエ、上の地層からイが産出することから、ペルム紀の地層であることがわかる。同様に、c、gの地層についても、それぞれの地層よりも下からエ、上からイが発見されている。したがって、b、c、gについてはペルム紀に堆積したことが特定できるため、⑨が正解となる。

なお、dにもウが含まれているが、その上の地層からデボン紀にのみ生息したアが産出していることから、アと同じデボン紀かそれよりも古い時代であり、dはペルム紀の地層ではないことがわかる。

9 …⑨

第4問 大気と海洋

地表に分布する水と、大気・海洋の相互作用について出題した。

問1 地球表層には約14億km³の水が存在しているが、その大部分は海水である。問題の図1より、淡水(海水以外の水)の割合は、

$$\frac{(13+125+10000+25+24000)}{(1350000+13+125+10000+25+24000)} \times 100 \approx 2.47\%$$

となり、④の2.5%が正解である。

このように、地球上の水のうち海水は100-2.5=97.5%である。また、表層に存在する淡水のうち7割以上が氷河や氷床など、氷として存在していることも改めて確認しておきたい。

なお、湖沼水(125×10^3 km³)には淡水だけでなく塩水も含まれているが、海水と比べるとその量はわずかであるため、解答を導く上では影響しない。また、大気中の水蒸気は淡水として扱っているが、大気中の水蒸気は海水と比べると少量であるので、やはり解答を導く上では影響しない。

10 …④

問2 ① 海水の塩分は、平均するとおよそ35‰(3.5%)である。つまり、海水1kgあたり約35gの塩類が含まれていることになり、この文は正しい。

② 海水中の塩類は、最も多いものが塩化ナトリウム、次いで塩化マグネシウムとなっており、塩化カルシウムは少ない。したがって、海水中の塩類で2番目に多く含まれているものは塩化カルシウムではないので、この文は誤りであり、正解である。

③ 図4-1は海洋の鉛直構造を模式的に示したものである。低緯度から中緯度の海洋では、図4-1のように、水温によって上から順に、表層混合層(混合層)，主水温躍層(水温躍層)，深層の三つの層に区分することができる。表層混合層は風や海流によってよく混合されている層であり、深層は水温がほぼ一定の低温の海水である。表層混合層と深層の間に、温度変化の大きい層が主水温躍層である。したがって、この文は正しい。

地球上の水の割合

海水 約97.5%

その他 約2.5%

海水の塩分

海水の平均塩分は約35‰であり、海水1kg中に約35gの塩類が含まれている。

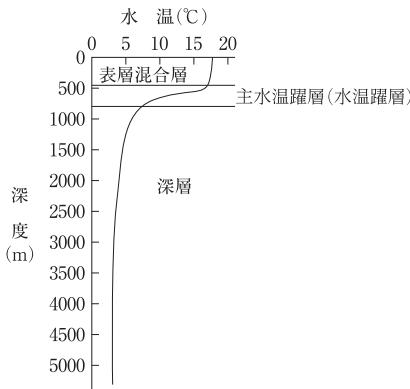


図 4-1 海洋の鉛直構造

④ 北極海や南極の氷床周辺で海氷が形成されるとき、海水の中には塩類は入りにくい。したがって、海水が凍ると海水の分だけ海水から真水が取り除かれるため、海氷の周囲の海水の塩分は相対的に高くなる。よって、この文は正しい。なお、北大西洋グリーンランド沖や南極大陸周辺の海域で形成された低温で高塩分の海水は密度が大きいため、沈み込んで深層水となり、長い時間をかけて世界中の海底を巡っている。

11 ⋯②

問3 数年に一度、貿易風が弱まることによって、赤道太平洋東部の海面水温が平年よりも高くなることをエルニーニョ現象という。図4-2に示すように、平年は貿易風によって表層の海水が太平洋西部に吹き寄せられるため、ペルー沖では冷たい海水が湧き上がっており、海面水温は低くなっているが、エルニーニョ現象が発生すると、冷たい海水の湧昇^{ゆうしょう}が弱まり、赤道太平洋東部の海面水温が高くなる。また、太平洋の海面水温の分布が変化することによって気圧の分布が変化することから、世界中の気象に影響を及ぼすと考えられている。日本では、冷夏や暖冬になる傾向がみられる。

エルニーニョ現象とは逆に、貿易風が強まることによって赤道太平洋東部の海面水温が平年よりも低くなる現象は、ラニーニャ現象と呼ばれている。

12 ⋯⑦

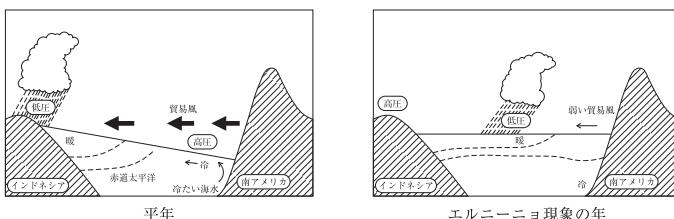


図 4-2 赤道太平洋における海水温の分布

エルニーニョ現象

貿易風が弱まることによって赤道太平洋東部の海面水温が平年よりも高くなる現象。

ラニーニャ現象

エルニーニョ現象とは逆に、貿易風が強まって、赤道太平洋東部の海面水温が平年よりも低くなる現象。

第5問 宇宙

宇宙には恒星の集団である銀河が多数存在し、太陽系はそのうちの一つの銀河である銀河系に属している。この宇宙の誕生と現在の姿について、ビッグバン、元素の生成過程、宇宙の膨張、銀河の分布構造の理解度を見る問題を出題した。

問1 初期の宇宙の様子に関する基礎知識を問う問題である。

a・b 宇宙は超高温・超高密度の状態から始まり、約137億年前のビッグバン以降、宇宙の膨張に伴い、宇宙の温度と密度は次第に低下していったと考えられている。よって、aは正しく、bは誤りである。

c 宇宙の温度の低下に伴い、それまでばらばらの状態だった陽子、電子、ヘリウム原子核が互いに結びつき、陽子と電子から水素原子、ヘリウム原子核と電子からヘリウム原子が形成された。この宇宙の晴れ上がりの時点では、宇宙に存在していた元素は水素とヘリウムしかなく、これらより重い鉄などの元素は、その後の恒星の中心部で起こる核融合反応などによってつくられた。よって、cは誤りである。

以上より、「正・誤・誤」の組合せである④が正解となる。

13 …④

問2 銀河系の構造、銀河の集団、宇宙の大規模構造についての基礎知識を問う問題である。

① 「太陽系が属する銀河」とは、銀河系のことである。銀河系は1000億～2000億個の恒星からなることが知られている。よって、①は正しい。

② 銀河系の円盤部(ディスク)の半径は約5万光年である(図5-1)。よって、②は誤りである。

③ 銀河の集団は、その数によって分けられ、数十個の集団を銀河群、数百～数千個の集団を銀河団といつ。銀河系およびその近傍にあるアンドロメダ銀河や大・小マゼラン銀河(大・小マゼラン雲)を含む30～40個の銀河からなる銀河群は、局部銀河群と呼ばれる。よって、③は局部銀河群の説明であるので誤りである。

④ 銀河は銀河群、銀河団といった集団をつくり、さらにこれらが網目のようにつながって大規模な構造をついている。この構造は、銀河が密集している領域と、それらに囲まれて銀河がほとんど存在しない領域からなり、泡構造と呼ばれる。この構造は、宇宙空間に銀河が均等に分布していないことを示している。よって、④は誤りである。

14 …①

ビッグバン

約137億年前の宇宙の初期に起こった急激な膨張。

銀河

星間物質および1億～1兆個の恒星の集団。

銀河系

太陽系が属する銀河。1000億～2000億個の恒星からなる。

局部銀河群

銀河系およびその近傍にあるアンドロメダ銀河や大・小マゼラン銀河を含む30～40個の銀河からなる銀河群。

宇宙の大規模構造

宇宙における銀河の集団の分布を表す巨大な網目状の構造。銀河が密集している領域と、それらに囲まれて銀河がほとんど存在しない領域からなり、泡構造と呼ばれる。

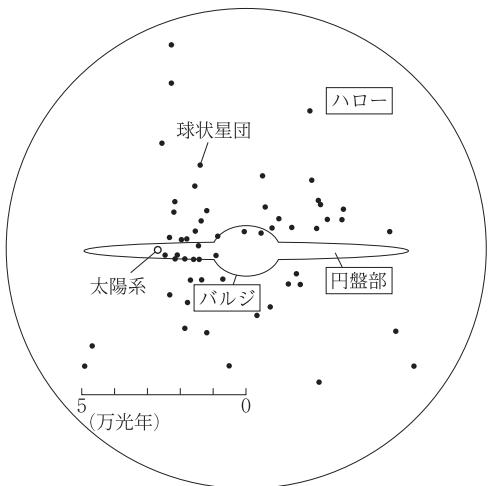


図 5-1 銀河系の構造(断面図)

問3 図5-2は、等間隔に一列に並ぶ銀河X, Y, Zがあり、宇宙が一様に広がって銀河X-Y間, Y-Z間がそれぞれ2倍に広がった様子を示したものである。ただし、銀河Xから見た他の二つの銀河の動き方をわかるようにするために、図5-2では、銀河Xを左端に固定して描いている。

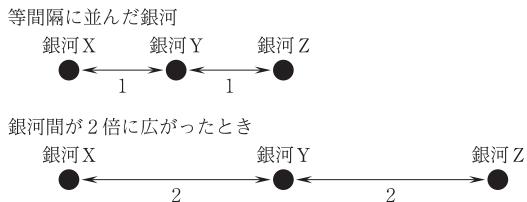


図 5-2 宇宙が一様に広がるときの模式図

銀河Yは、初めは銀河Xから1の距離にあるが、広がった後は2の距離まで移動した。よって、時間 T の間に銀河Yが銀河Xから離れた距離は $2 - 1 = 1$ である。一方、銀河Zは、初めは銀河Xから2の距離にあるが、広がった後は銀河Xから4の距離まで移動した。よって、時間 T の間に銀河Zが銀河Xから離れた距離は $4 - 2 = 2$ である。以上より、銀河Xから離れた距離は銀河Zの方が大きく、bが正しい。また、移動する速度が一定であるとき、速度 = $\frac{\text{移動した距離}}{\text{時間}T}$ であるから、時間 T の間に銀河Xから離れる速度は、初めの位置からより離れた銀河Zの方が大きく、dが正しい。以上より、bとdの組合せである④が正解となる。

多数の銀河について本問のような結果が得られており、宇宙は一様に膨張しているということが明らかになったのである。

宇宙の膨張

宇宙のどの空間もほぼ一様に膨張している。

物 理

【解答・採点基準】 (100点満点)

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

物
理

【解説】

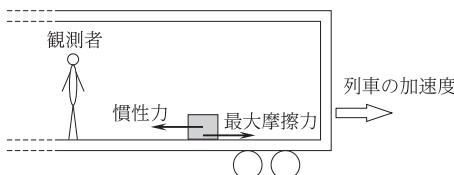
第1問 慣性力、等速円運動

A

問1 慣性力の大きさは(対象物体の質量)×(観測者の加速度の大きさ), 向きは観測者の加速度の向きと反対の向きである。したがって, この場合の慣性力の大きさは ma_0 であり, 向きは図1の左向きである。

1 の答 ②

問2 列車の加速度の大きさが a_1 のときは滑りが生じる直前なので, 受けている静止摩擦力は最大摩擦力である。



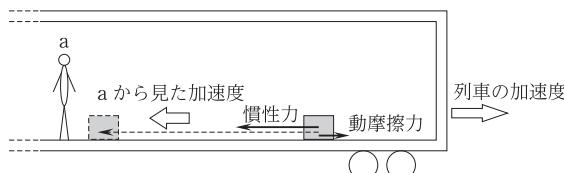
慣性力の大きさは ma_1 なので, 力のつりあいより,

$$ma_1 = \mu_0 mg$$

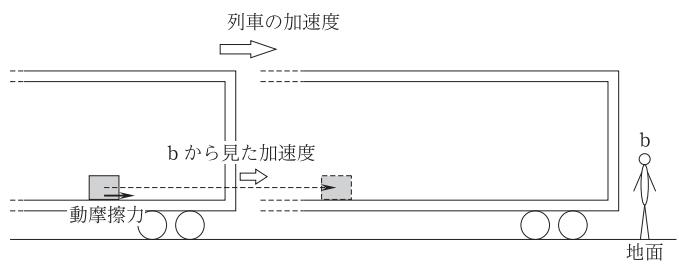
$$\therefore a_1 = \mu_0 g$$

2 の答 ②

問3 まず, 列車に対して静止している観測者 a から見た運動を考える。次図のように, 慣性力は動摩擦力より大きい。したがって, 小物体の加速度の向きは図1の左向きである。



次に, 列車外の地面上で静止している観測者 b から見た運動を考える。次図のように, 小物体にはたらく水平方向の力は右向きの動摩擦力のみである。したがって, 小物体の加速度の向きは図1の右向きである。



3 の答 ③

【ポイント】

慣性力

加速度 \vec{a} で運動する観測者から見ると, 物体にはたらいているように見えるみかけの力を慣性力という。物体の質量が m のとき, 慣性力 \vec{f} は次のようになる。

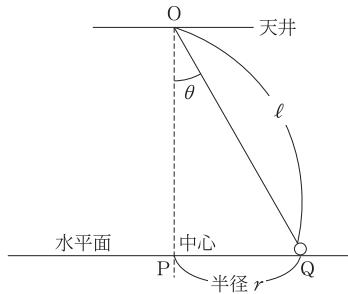
$$\vec{f} = -m\vec{a}$$

B

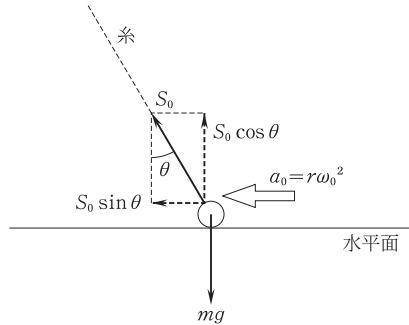
問4 等速円運動をしている物体の加速度の向きは、物体から円の中心に向かう向きであるから、 \overrightarrow{QP} の向きである。

4 の答 ⑥

問5 円軌道の中心は点Pなので、円運動の半径をrとすると、 $r=\ell \sin \theta$ となる。



小球Qが水平面から浮き上がる直前、Qが水平面から受ける垂直抗力は0である。糸の張力を S_0 とすると、Qが受ける力は次図のようになる。



(浮き上がる直前)

Qの加速度の大きさ a_0 は、

$$a_0 = r \omega_0^2$$

$$= \ell \omega_0^2 \sin \theta$$

水平方向について、運動方程式より、

$$ma_0 = S_0 \sin \theta$$

$$\therefore S_0 = \frac{ma_0}{\sin \theta} = m \ell \omega_0^2$$

鉛直方向について、力のつりあいより、

$$S_0 \cos \theta = mg$$

$S_0 = m \ell \omega_0^2$ を代入して、

$$m \ell \omega_0^2 \cos \theta = mg$$

$$\therefore \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell \cos \theta}}$$

等速円運動

円軌道の半径を r 、速さを v 、角速度を ω とすると、等速円運動をしている物体の加速度は、

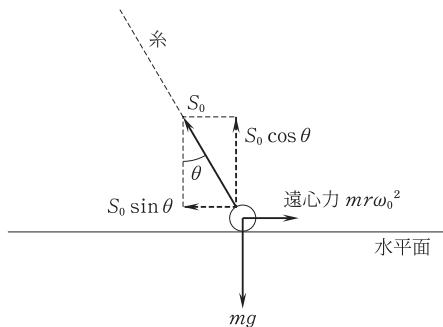
$$\text{大きさ: } r\omega^2 \text{あるいは } \frac{v^2}{r}$$

向き：円軌道の中心に向かう向き
この加速度のことを向心加速度という。

<別解>

小球 Q と同じ等速円運動をする観測者から見る場合を考える。

この観測者から見ると、Q には遠心力がはたらいているように見える。遠心力の大きさは $mr\omega_0^2$ であり、向きは円軌道の中心から遠ざかる向きである。このとき、Q にはたらく力は、次図のようになる。



(浮き上がる直前)

この観測者から見て、Q は静止しているので、力がつりあっている。

$$\text{水平方向} \cdots mr\omega_0^2 = S_0 \sin \theta$$

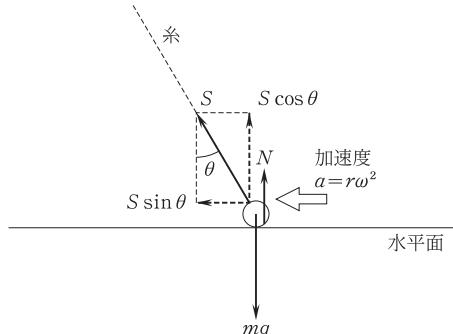
$$\text{鉛直方向} \cdots S_0 \cos \theta = mg$$

2式と $r=\ell \sin \theta$ から S_0 を消去すると、

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell \cos \theta}}$$

□5 の答 ②

問6 $0 < \omega < \omega_0$ のときに小球 Q にはたらく力を次図に示す。



この図で N は、Q が水平面から受ける垂直抗力である。水平方向の運動方程式は、加速度 a が $a=r\omega^2$, $r=\ell \sin \theta$ なので、

$$m\ell\omega^2 \sin \theta = S \sin \theta \quad \cdots(i)$$

$$\therefore S = m\ell\omega^2$$

したがって、グラフは次図のようになる。

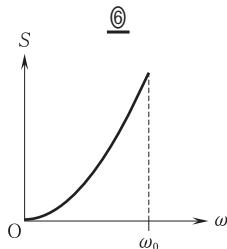
遠心力

物体とともに等速円運動している観測者から見ると、その物体にはたらいているように見えるみかけの力を遠心力といふ。

半径を r , 速さを v , 角速度を ω , 質量を m とすると、遠心力は、

$$\text{大きさ : } mr\omega^2 \text{ あるいは } m\frac{v^2}{r}$$

向き : 円軌道の中心から遠ざかる向き



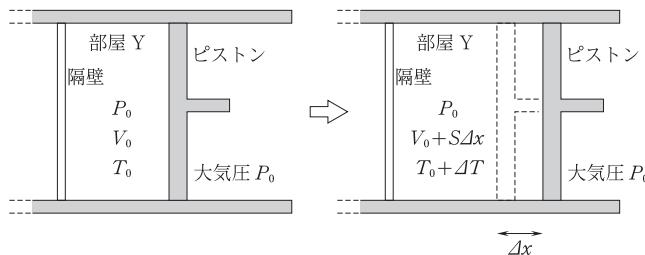
なお、遠心力で考える場合には、水平方向での力のつりあいから(i)式が得られる。

6 の答 ⑥

第2問 気体の状態変化

A

問1 ピストンにはたらく力のつりあいより、部屋Y内の気体の圧力は P_0 のまま変化しない。



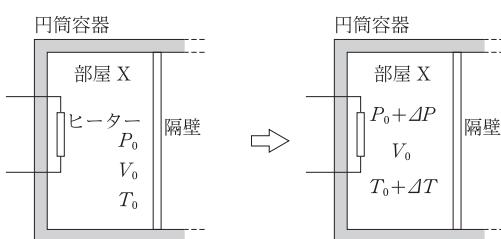
部屋Y内の気体について、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_0 (V_0 + S\Delta x)}{T_0 + \Delta T}$$

$$\therefore \Delta T = \frac{S T_0}{V_0} \Delta x$$

7 の答 ①

問2 部屋X内の気体は、体積が V_0 のまま変化せず、温度が $T_0 + \Delta T$ になる。



部屋X内の気体について、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{(P_0 + \Delta P)V_0}{(T_0 + \Delta T)}$$

$$\therefore \Delta P = \frac{P_0}{T_0} \Delta T$$

8 の答 ⑥

ボイル・シャルルの法則

一定量の理想気体の圧力を P 、体積を V 、温度(絶対温度)を T とすると、次の関係がある。

$$\frac{PV}{T} = \text{一定}$$

圧力が変化しない場合がシャルルの法則である。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

温度が変化しない場合がボイルの法則である。

$$PV = \text{一定}$$

問3 部屋X内の気体と部屋Y内の気体、および隔壁を合わせたものをひとつの物体Zとしてとらえる。

部屋X内の気体と部屋Y内の気体の温度変化は同じなので、内部エネルギーの変化も等しく、ともに ΔU である。したがって、物体Zの内部エネルギーの変化は $2\Delta U$ である。物体Zがピストンを押す力は一定で、その大きさは P_0S なので、物体Zが外に対しても仕事 W は、

$$W = P_0 S \Delta x$$

ヒーターが供給した熱量(物体Zが吸収した熱量)を Q とすると、
熱力学第1法則を物体Zに適用して、

$$\begin{aligned} Q &= 2\Delta U + W \\ &= 2\Delta U + P_0 S \Delta x \end{aligned}$$

<別解>

部屋X内の気体と部屋Y内の気体を別個にとらえる。

隔壁を通って部屋X内の気体から部屋Y内の気体へ移動した熱量を q とする。部屋X内の気体の体積は一定なので、外に対して仕事をしていない。熱力学第1法則より、

$$Q - q = \Delta U \quad \cdots(i)$$

部屋Y内の気体が外に対して仕事 W は、定圧変化なので、

$$W = P_0 S \Delta x$$

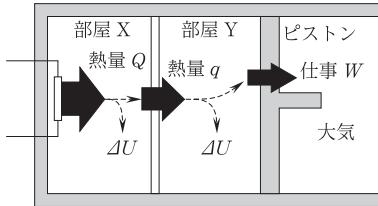
熱力学第1法則より、

$$q = \Delta U + P_0 S \Delta x \quad \cdots(ii)$$

(i), (ii)式より、 q を消去して、

$$Q = 2\Delta U + P_0 S \Delta x$$

なお、エネルギーの流れを矢印で表すと、次図のようになる。



9 の答 ⑥

B

問4 過程1は等温変化なので、気体の内部エネルギーの変化 ΔU は0である。

$$\Delta U = 0$$

熱力学第1法則より、

$$Q = W$$

また、気体の体積が減少するので、気体がした仕事 W は負である。

$$W < 0$$

以上より、

熱力学第1法則

熱力学第1法則は熱と仕事を含めたエネルギー保存則である。気体(物体)が外部から吸収した熱量を Q 、気体(物体)が外部に対して仕事を W 、気体(物体)の内部エネルギーの変化を ΔU とすると、熱力学第1法則は次式のように表すことができる。

$$Q = \Delta U + W$$

$$W=Q<0$$

10 の答 ②

問 5 過程 2 の断熱膨張を考える。気体の体積が増加しているので、気体がした仕事 W は正である。熱力学第 1 法則より、気体の内部エネルギーの変化を ΔU とすると、

$$0 = \Delta U + W$$

$$\therefore \Delta U = -W < 0$$

$\Delta U < 0$ なので、気体の温度は下がる。すなわち、

$$\underline{T_1 > T_2}$$

ボイル・シャルルの法則より、

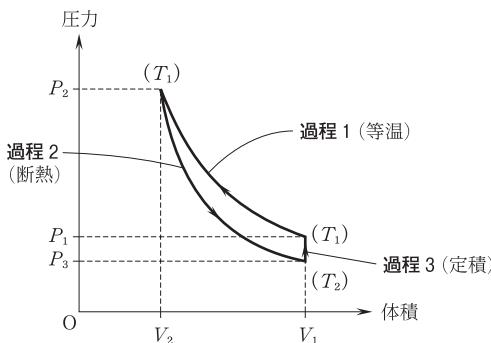
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_3 V_1}{T_2}$$

$$\therefore P_3 = \frac{T_2}{T_1} P_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} < 1 \text{ なので,}$$

$$\underline{P_1 > P_3}$$

なお、過程 1 と過程 2 の変化を圧力-体積のグラフで表すと、次のようになる。



11 の答 ⑨

問 6 気体定数を R とすると、単原子分子からなる理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ である。気体の物質量(モル数)を n とすると、過程 3 において気体が吸収した熱量 Q は、

$$Q = \frac{3}{2}R \times n \times (T_1 - T_2)$$

はじめの状態における状態方程式より、

$$P_1 V_1 = n R T_1 \quad \cdots \text{(iii)}$$

2 式から nR を消去して、

$$Q = \frac{3P_1 V_1}{2T_1} (T_1 - T_2)$$

<別解>

単原子分子からなる理想気体の内部エネルギーの変化 ΔU は、

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_1 - T_2)$$

定積変化なので、気体がした仕事は 0 である。熱力学第 1 法則より、

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U \\ &= \frac{3}{2}nR(T_1 - T_2) \end{aligned}$$

(iii)式より、 nR を消去して、

$$Q = \frac{3P_1V_1}{2T_1}(T_1 - T_2)$$

[12] の答 ②

第 3 問 レンズ、光の干渉

A

問 1 凸レンズの公式より、

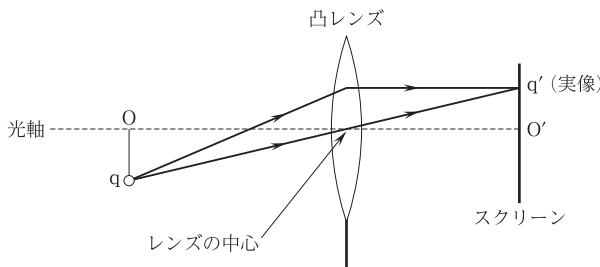
$$\frac{1}{30} + \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$$

$$\therefore b = 60 \text{ cm}$$

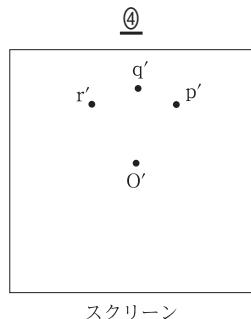
すなわち、凸レンズとスクリーンの距離 b を、 $b = 60 \text{ cm}$ にすると、スクリーン上に点光源の実像が結ばれる。

[13] の答 ②

問 2 凸レンズによる実像はレンズの中心に関して、物体と上下、左右が反対になる。



したがって、凸レンズ側からスクリーンを見ると、次図のようになる。



[14] の答 ④

問 3 点光源をつるしている糸の長さを ℓ とする。凸レンズの公式より、倍率を用いて、

凸レンズの公式

焦点距離を f 、物体とレンズの距離を a とすると、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

この式において、倒立実像の場合は $b > 0$ で、 b が像とレンズの間の距離である。正立虚像の場合は $b < 0$ で、 $|b|$ が像とレンズの間の距離である。

倍率 m は、

$$m = \frac{|b|}{a}$$

$$\ell \times \frac{b}{a} = L$$

$$\therefore \ell = \frac{aL}{b}$$

15 の答 ③

B

問4 薄膜の上面で反射する光と下面で反射する光の光路差は $2nd$ である。上面での反射は位相が半波長分ずれ、下面の反射では位相がずれない。したがって、干渉して強めあう条件は、

$$2nd = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

16 の答 ②

問5 問4の結果より、強めあう光の波長を求めるとき、

$$\lambda = \frac{2nd}{\left(m - \frac{1}{2}\right)}$$

$n=1.5$, $d=200\text{ nm}$ を代入する。

$$\lambda = \frac{2 \times 1.5 \times 200 \times 2}{2m-1} = \frac{1200}{2m-1}$$

$m=1, 2, \dots$ を代入し、問題の表に示された範囲の波長 λ を求めると。

$$m=1 \quad \lambda=1200\text{ nm}$$

$$m=2 \quad \lambda=400\text{ nm}$$

$$m=3 \quad \lambda=240\text{ nm}$$

⋮ ⋮

白色光の波長の範囲では、波長 $\lambda=400\text{ nm}$ の紫色の反射光が強めあう。

17 の答 ①

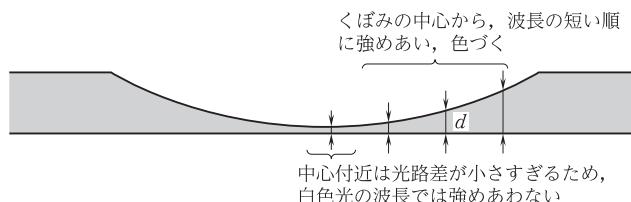
問6 干渉して強めあう条件より、強めあうときの薄膜の厚さ d を求めるとき、

$$d = \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2n}$$

$m=1$ とすると、強めあうときの薄膜の厚さ d は、

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

問題文に、「くぼみの中心付近は色づかなかった」とあるのは、中心付近は d が小さすぎて、上式を満たす波長は白色光に含まれないことを示している。



くぼみの中心から離れるにつれて d が大きくなり、波長の短い

光路差

光が媒質中を進むとき、光が進んだ距離とその媒質の絶対屈折率の積を光学的距離(光路長)という。

光学的距離 = 絶対屈折率 × 距離

光が2通りのみちじを通る場合、そのみちじの光学的距離の差を光路差といふ。

光路差 = 光学的距離の差

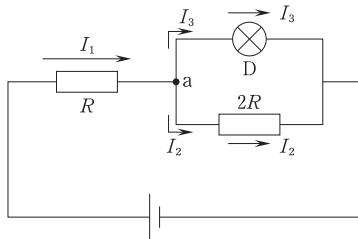
紫アから順番に色づく。シャボン玉が色づくイのは、この現象と同じ原理で起こる。

[18] の答 ⑤

第4問 直流回路

A

問1 次図の点aに着目し、キルヒ霍フの第1法則を適用する。

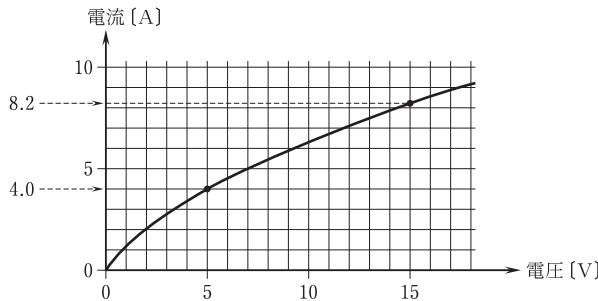


$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\therefore -I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

[19] の答 ④

問2 白熱電球Dの抵抗値 R_D を、電圧が 5.0 V と 15.0 V の場合を例にとって求める。問題のグラフより、流れる電流は 4.0 A と 8.2 A である。



オームの法則より、

$$5.0 \text{ V} \text{ のとき } \cdots R_D = \frac{5.0 \text{ V}}{4.0 \text{ A}} = 1.3 \Omega$$

$$15.0 \text{ V} \text{ のとき } \cdots R_D = \frac{15.0 \text{ V}}{8.2 \text{ A}} = 1.8 \Omega$$

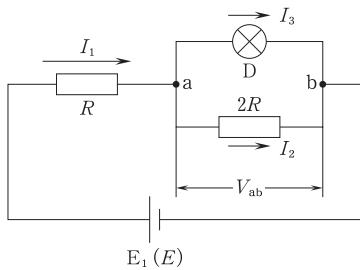
このように、電圧や電流が大きいと電気抵抗が大きくなる。その理由は、白熱電球のフィラメントの温度が上昇すると、陽イオンの熱運動によって自由電子の運動が妨げられるからである。

[20] の答 ③

問3 $R=2.5 \Omega$, $I_2=1.4 \text{ A}$ より、次図の ab 間の電圧を V_{ab} とすると、

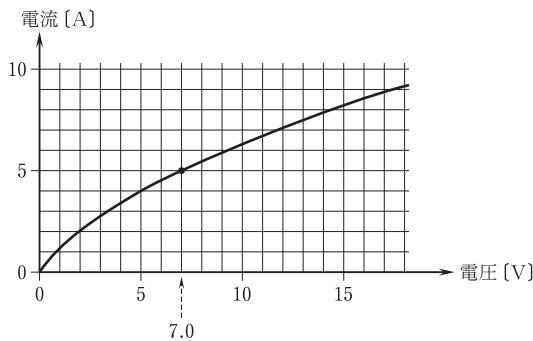
キルヒ霍フの第1法則

回路の中の一つの分岐点において、流れ込む電流の和 = 流れ出る電流の和



$$V_{ab} = 2RI_2 \\ = 2 \times 2.5 \times 1.4 = 7.0 \text{ V}$$

この電圧 $V_{ab}=7.0 \text{ V}$ は白熱電球Dにかかる電圧に等しい。したがって、問題に与えられた電圧と電流の関係を表すグラフより、



$$I_3 = 5.0 \text{ A}$$

また、 I_1 は問1の結果より、

$$I_1 = I_2 + I_3 \\ = 1.4 + 5.0 = 6.4 \text{ A}$$

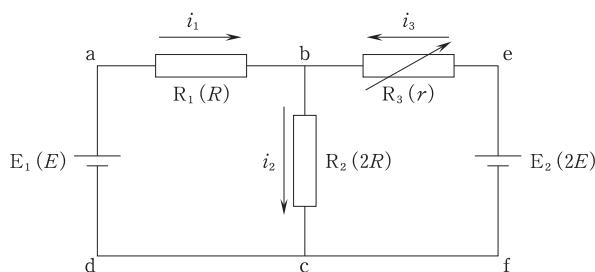
したがって、電池 E_1 の電圧 E は、

$$E = RI_1 + V_{ab} \\ = 2.5 \times 6.4 + 7.0 = 23 \text{ V}$$

21 の答 ⑥

B

問4 抵抗 R_2 に流れる電流を、次図の矢印の向きを正として i_2 とおく。



点 b に着目し、キルヒ霍フの第1法則を適用する。

$$i_2 = i_1 + i_3$$

閉回路 abcd a について、キルヒホッフの第2法則より、

$$Ri_1 + 2Ri_2 = E \\ \therefore Ri_1 + 2R(i_1 + i_3) = E \quad \text{ア}$$

同じく、閉回路 ebcfe について、

$$ri_3 + 2Ri_2 = 2E \\ \therefore ri_3 + 2R(i_1 + i_3) = 2E \quad \text{イ}$$

[22] の答 ④

問5 エネルギー保存則より、3個の抵抗で単位時間あたりに生じるジュール熱の和 P は、2個の電池が供給した電力の和に等しい。

$$P = Ei_1 + 2Ei_3$$

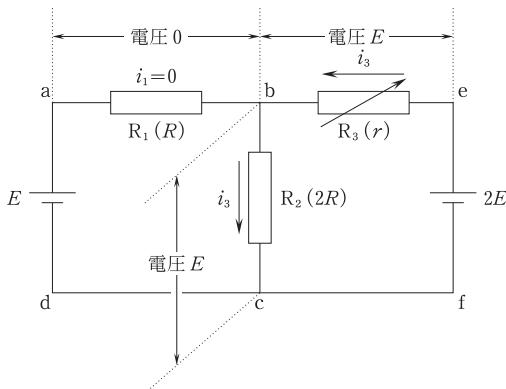
なお、エネルギー保存則を用いずに、各抵抗で単位時間あたりに生じるジュール熱、すなわち抵抗での消費電力の和を求める、次のようになる。

$$P = R{i_1}^2 + 2R(i_1 + i_3)^2 + ri_3^2$$

[23] の答 ④

問6 まず、 $i_1=0$ なので、抵抗 R_2 と可変抵抗 R_3 には同じ電流 i_3 が流れている。

次に、 $i_1=0$ なので、ab 間の電圧は 0 である。したがって、bc 間の電圧は ad 間の電圧と等しく E である。be 間の電圧は $2E - E = E$ なので、抵抗 R_2 と可変抵抗 R_3 には同じ電圧 E がかかっている。



抵抗 R_2 と可変抵抗 R_3 には同じ電圧 E がかかり、同じ電流が流れているので、これらの抵抗値は等しく、 $r = 2R$ である。

[24] の答 ②

キルヒホッフの第2法則

回路内の任意の閉回路において、
抵抗での電位降下の和 = 起電力の和

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	⑤	3			
	問3	4	③	4			
		5	⑤	4			
	問4	6	④	4			
	問5	7	②	4			
第1問 自己採点小計				(25)			
第2問	問1	8	⑥	3			
		9	③	4			
	問2	10	②	4			
	問3	11	③	3			
		12	⑥	4			
	問4	13	③	3			
		14	②	4			
第2問 自己採点小計				(25)			
第3問	問1	15	②	3			
	問2	16	④	3			
	問3	17	①	3			
	問4	18	③	4			
		19	⑥	4			
	問5	20	②	4			
		21	①	4			
第3問 自己採点小計				(25)			
第4問	問1	22	②	3			
		23	⑤	3			
	問2	24	④	3			
	問3	25	②	3			
	問4	26	③	3			
	問5	27	④	3			
	問6	28	⑤	3			
		29	④	4			
第4問 自己採点小計				(25)			
自己採点合計				(100)			

化
学

【解説】

第1問 結晶、気体、溶液

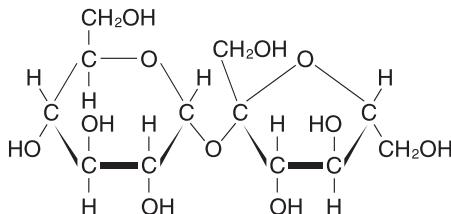
問1 結晶の性質、物質の水溶性

a ⑨黒鉛では、炭素原子が4個の価電子のうち、3個を使って次々と他の炭素原子と共有結合して、正六角形網目状の平面構造をつくり、その平面構造が何層にも重なり合って結晶をつくっている。炭素原子の残りの1個の価電子は平面構造の中を自由に動くことができるので、黒鉛には電気伝導性がある。

①酸化鉄(Ⅲ)と②塩化カリウムはイオン結晶、④二酸化炭素、⑥十酸化四リン、⑧ナフタレンは分子結晶に分類され、これらの固体は電気伝導性がない。よって、正解は⑨黒鉛である。

1 … ⑨

b 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。よって、極性溶媒である水には極性をもつ物質が溶けやすい。①スクロースは下に示す構造式のとおり、極性が大きい親水性のヒドロキシ基-OHを多くもつことから、水によく溶ける。



⑨ヘキサン、⑩水素、⑪ベンゼンは無極性分子であり、極性溶媒である水には溶けにくい。⑫塩化銀は水に難溶なイオン結晶である。なお、イオン結晶の中には、この塩化銀のように水に溶けにくい物質もある。⑬銅は水とは反応せず、溶解しない。よって、正解は①スクロースである。

2 … ①

問2 イオン結晶の構造

① 正しい。単位格子中に含まれる Na^+ (●)の数は、
 $\frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$ 個である。

なお、 Cl^- (○)の数は、

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

【ポイント】

結晶の分類と電気伝導性

共有結合の結晶 原子が次々と共有結合によって結びついた結晶。一般に、電気伝導性がないが、黒鉛は電気伝導性がある。

イオン結晶 陽イオンと陰イオンがイオン結合によって結びついた結晶。固体の状態では電気伝導性がないが、液体または水溶液の状態では電気伝導性がある。

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。電気伝導性がない。

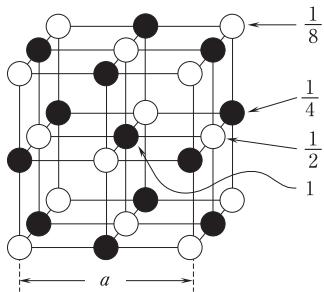
金属結晶 金属原子が金属結合で結びついた結晶。電気伝導性がある。

水への溶解性

NH_3 や HCl などの極性分子や NaCl や KNO_3 などの多くのイオン結晶は水によく溶ける。一方、ヨウ素やベンゼンなどの無極性分子は水に溶けにくい。

単位格子

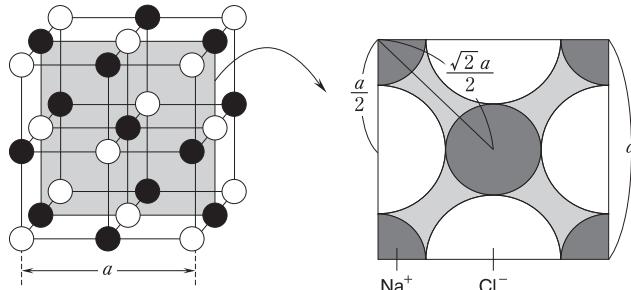
結晶中の粒子の空間的な配列構造を結晶格子といい、結晶格子の最小のくり返し単位を単位格子という。



② 正しい。単位格子の中心にある Na^+ に注目すると、最も近い位置にある Cl^- は上下、左右、前後にある 6 個である。1 つの粒子に最近接の粒子の数を配位数といい、塩化ナトリウムでは Na^+ と Cl^- の配位数は、ともに 6 である。

③ 正しい。単位格子の中心にある Na^+ に注目すると、単位格子中のその他の Na^+ はすべて等距離にあり、12 個である。

④ 正しい。次の図に単位格子中の \square 部分のイオンの配置とイオンの中心間の距離を示す。最も近い位置にある Na^+ と Cl^- の中心間の距離は $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ [cm] である。



⑤ 誤り。右上の図に示すように、最も近い位置にある Na^+ と Na^+ は面の対角線上にあり、中心間の距離は $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ [cm] である。

3 … ⑤

問3 気体の反応

a 密閉容器内の酸素の圧力を p_{O_2} [Pa] とし、状態方程式 $pV = nRT$ を用いて求めると、

$$p_{\text{O}_2} = \frac{0.50 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 27) \text{ K}}{8.3 \text{ L}} \\ = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

4 … ③

b 一酸化炭素を完全に燃焼させたときの量的関係を次に示す。

	2 CO	+ O ₂	→	2 CO ₂
反応前	0.20	0.50		0
変化量	-0.20	-0.10		+0.20
反応後	0	0.40		0.20

(単位は mol)

理想気体の状態方程式

理想気体では次の式が成り立つ。

$$pV = nRT$$

p : 圧力

V : 体積

n : 物質量

T : 絶対温度

R : 気体定数

希ガスの Ar は反応せず、そのまま容器内に残るため、反応後の容器内の気体の全物質量は、

$$0.40 \text{ mol} + 0.20 \text{ mol} + 2.0 \text{ mol} = 2.6 \text{ mol}$$

密閉容器内の圧力を p [Pa] とし、状態方程式 $pV = nRT$ から、

$$p [\text{Pa}] = \frac{2.6 \text{ mol} \times 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol}) \times (273 + 227) \text{ K}}{8.3 \text{ L}}$$
$$= 1.3 \times 10^6 \text{ Pa}$$

よって、正解は⑥である。

5 …⑥

問4 浸透圧

半透膜を隔てて、水とデンプン水溶液が接しているとき、水分子が半透膜を通って、デンプン水溶液中に浸透する。したがってガラス管内の液面が上昇し、液面の高さの差が h [cm] となると停止する。これは液面の高さの差 h [cm] に相当するデンプン水溶液柱の圧力が溶液の浸透圧に等しくなったためである。1 cm のデンプン水溶液柱のおよぼす圧力が 98 Pa なので、浸透圧は $98h$ [Pa] と表される。デンプン水溶液の濃度を c [mol/L] とする、ファントホッフの法則により、

$$98h [\text{Pa}] = c [\text{mol/L}] \times R [\text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})] \times T [\text{K}]$$
$$c = \frac{98h}{RT} [\text{mol/L}]$$

6 …④

問5 コロイド溶液

① 正しい。コロイド溶液に横から強い光を当てると、光の通路が明るく輝いて見える。これはコロイド粒子が光を散乱させるためであり、この現象をチンダル現象という。

② 誤り。コロイド粒子の直径は 10^{-9} m から 10^{-7} m 程度で、セロハンのような半透膜は通過できないが、ろ紙は通過できる。よって、ろ紙を用いてコロイド粒子を分離することはできない。なお、半透膜を用いて、コロイド粒子と小さな分子やイオンを分離する操作を透析という。

③ 正しい。コロイド溶液を限外顕微鏡で観察すると、コロイド粒子が絶えず不規則に運動しているのが見える。この不規則な運動をブラウン運動という。これは熱運動している水分子がコロイド粒子に不規則に衝突するために起こる。

④ 正しい。疎水コロイドを凝析しにくくするために加える親水コロイドを保護コロイドという。保護コロイドには墨汁中のにかわ、インク中のアラビアゴムなどがある。

⑤ 正しい。水中のコロイド粒子は、正または負に帯電しているので、コロイド溶液に直流の電圧をかけると、負電荷をもつコロイド粒子は陽極へ、正電荷をもつコロイド粒子は陰極へ移動する。これを電気泳動という。

半透膜

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

浸透圧(ファントホッフの法則)

$$\Pi = cRT$$

Π [Pa] : 溶液の浸透圧

c [mol/L] : 溶液のモル濃度

ただし、電解質溶液では、溶液中のすべての溶質粒子のモル濃度

T [K] : 絶対温度

R [Pa · L / (K · mol)] : 気体定数と同じ値

コロイド溶液とコロイド粒子

$10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ 程度の直径をもつ粒子をコロイド粒子という。コロイド粒子は、ろ紙は通過できるがセロハンのような半透膜は通過できない。コロイド粒子が分散している溶液をコロイド溶液(またはゾル)という。

親水コロイドと疎水コロイド

親水コロイド デンプンやタンパク質のコロイド溶液のように、コロイド粒子が多く水分子と水和しているコロイドのこと。多量の電解質を加えると沈殿する。このような現象を塩析という。

疎水コロイド 水酸化鉄(Ⅲ)や粘土のコロイド溶液のようにコロイド粒子と水との親和が小さいコロイドのこと。少量の電解質を加えると沈殿する。このような現象を凝析という。

保護コロイド 疎水コロイドのコロイド粒子を取り囲み、少量の電解質では凝析が起こらないようにするはたらきをする親水コロイドのこと。

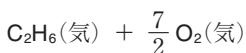
第2問 化学反応と熱、電池、電気分解、化学平衡

問1 化学反応と熱

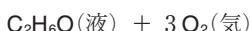
a 与えられた熱化学方程式を(1)~(3)式とする。



$$= \text{CO}_2(\text{気}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + 891 \text{ kJ} \quad \cdots\cdots(1)$$



$$= 2\text{CO}_2(\text{気}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + 1561 \text{ kJ} \quad \cdots\cdots(2)$$



$$= 2\text{CO}_2(\text{気}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + 1368 \text{ kJ} \quad \cdots\cdots(3)$$

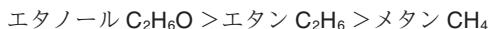
(1)~(3)式より、 q [kJ]の熱量を得るときに発生する CO_2 の物質量は、

$$\text{CH}_4 \quad 1 \text{ mol} \times \frac{q [\text{kJ}]}{891 \text{ kJ}}$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 \quad 2 \text{ mol} \times \frac{q [\text{kJ}]}{1561 \text{ kJ}}$$

$$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} \quad 2 \text{ mol} \times \frac{q [\text{kJ}]}{1368 \text{ kJ}}$$

よって、発生する CO_2 の物質量の大小関係は、



b CO_2 の生成熱を x [kJ/mol], H_2O (液)の生成熱を y [kJ/mol] とする。

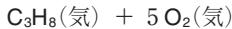
(反応熱) = (生成物の生成熱の和) − (反応物の生成熱の和) の関係を(1)式と(2)式に適用すると、次式が成り立つ。

$$891 \text{ kJ} = (x+2y) [\text{kJ}] - 75 \text{ kJ}$$

$$1561 \text{ kJ} = (2x+3y) [\text{kJ}] - 84 \text{ kJ}$$

よって、 $x = 392 \text{ kJ/mol}$, $y = 287 \text{ kJ/mol}$

プロパン C_3H_8 の燃焼熱 Q [kJ/mol] を表す熱化学方程式は、



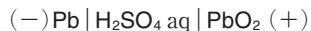
$$= 3\text{CO}_2(\text{気}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + Q [\text{kJ}]$$

(反応熱) = (生成物の生成熱の和) − (反応物の生成熱の和) の関係を適用すると、次式が成り立つ。

$$Q = (392 \times 3 + 287 \times 4) \text{ kJ} - 105 \text{ kJ} = 2219 \text{ kJ}$$

問2 鉛蓄電池

① 正しい。鉛蓄電池の構成は、次のように表され、鉛が負極、酸化鉛(IV)が正極である。



また、放電時、負極と正極では次の反応が起こる。



燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときに発生する熱量。

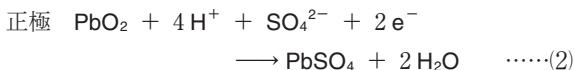
生成熱

物質 1 mol がその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。

電池の電極反応

正極 電子が外部回路から流れ込む電極。電子を受け取る還元反応が起こる。

負極 電子が外部回路に流れ出す電極。電子を放出する酸化反応が起こる。



② 誤り。(1)式より、鉛板では電子を放出する酸化反応が起こる。

③ 正しい。(1)式より、電子が 2 mol 移動すると、1 mol の Pb が 1 mol の PbSO₄ に変化するので、負極の質量は増加する。

④ 正しい。鉛蓄電池の全体の反応は、(1)式+(2)式より、



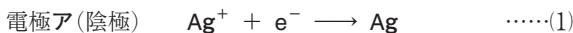
(3)式より、放電させると電解液中では H₂SO₄ が減少し、H₂O が増加するので、硫酸の濃度は減少する。

⑤ 正しい。鉛蓄電池は充電可能な二次電池である。なお、充電するときは、外部電源の負極と正極をそれぞれ鉛蓄電池の負極と正極に接続し、放電のときの逆向きに電流を流す。

10 ⋯②

問3 電気分解

a 外部電源の負極に接続しているアは陰極、イは陽極である。電解槽 I の電極アと電極イでは、それぞれ次の反応が起こる。



電極ア(陰極)では、電子 1 mol、すなわち $9.65 \times 10^4 \text{ C}$ の電気量が流れるとき、Ag が 1 mol、すなわち 108 g 析出する。よって、432 mg の Ag が析出するのに要した電気量は、

$$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} \times \frac{432 \times 10^{-3} \text{ g}}{108 \text{ g/mol}} = 386 \text{ C}$$

11 ⋯③

b 流れた電気量は、電流を流した時間に比例する。(1)式と(2)式より、一定時間電気分解したときに陰極に析出した Ag の物質量と、陽極で減少した Ag の物質量は等しい。よって、銀の物質量の変化を表した直線は E である。

一方、電解槽 II の電極ウと電極エではそれぞれ次の反応が起こる。



(3)式より、電子が 1 mol 流れると、Cu が $\frac{1}{2}$ mol 析出する。

(1)式より、電子 1 mol が流れるとき Ag が 1 mol 析出するので、Cu の物質量の変化量は Ag の物質量の変化量の $\frac{1}{2}$ である。よって、直線 B が答えになる。

12 ⋯⑥

問4 化学平衡

a 圧力と温度が一定に保たれている容積可変の容器に物質 A

充電

放電して起電力が低下した電池に放電時とは逆向きの電流を流し、もとの状態に戻す操作。充電が可能な電池を二次電池という。

電気分解

陽極…外部電極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、ハロゲン単体が生成する。
3. H₂O (電解液が酸性、中性のとき) や OH⁻ (電解液が塩基性のとき) が酸化され、O₂ が発生する。

陰極…外部電極の負極とつないだ電極。還元反応が起こる。

1. 電解液中の Ag⁺ や Cu²⁺ が還元され、Ag や Cu が析出する。

2. H₂O (電解液が中性、塩基性のとき) や H⁺ (電解液が酸性のとき) が還元され、H₂ が発生する。

ファラデー定数

電子 1 mol のもつ電気量の絶対値。

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

電気量と電流

$$\text{電気量 [C]} = \text{電流 [A]} \times \text{時間 [秒]}$$

12 mol と物質 **B** 36 mol を入れて反応させたとき、反応した物質 **A** の物質量を x [mol] とすると、変化量および平衡時の物質量は次のようになる。

A	+	3 B	\rightleftharpoons	2 C	……(1)
反応前	12	36		0	
変化量	$-x$	$-3x$		$+2x$	
平衡時	$12-x$	$36-3x$		$2x$	

(単位は mol)

反応前の物質量の総和は 48 mol、平衡時の物質量の総和は、

$$(12-x) + (36-3x) + 2x = 48 - 2x \text{ [mol]}$$

圧力と温度が一定に保たれていることから、容器の容積は含まれる気体の物質量の総和に比例する。容器の容積が反応前の 0.75 倍になっていたことから、

$$\frac{\text{平衡時の物質量}}{\text{反応前の物質量}} = \frac{48-2x}{48} = 0.75$$

$$x = 6.0 \text{ mol}$$

よって、平衡時の物質 **C** の物質量は、

$$6.0 \text{ mol} \times 2 = 12 \text{ mol}$$

13 …③

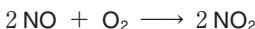
b 温度を高くすると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。図 4 より、温度を高くすると、物質 **C** の体積百分率が減少していることから、(1)式の平衡が左に移動していることがわかる。したがって、(1)式の逆反応は吸熱反応であり、正反応は発熱反応である。また、圧力を大きくすると、気体分子の総数が減少する方向((1)式では右)に平衡は移動する。 p_1 [Pa] と p_2 [Pa] では p_2 [Pa]の方が物質 **C** の体積百分率が大きいので、 p_1 [Pa] より p_2 [Pa]の方が大きいことがわかる。

14 …②

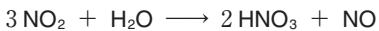
第3問 無機物質

問1 酸化物

CO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 は空気中ですみやかに酸化されることはなく、酸化物 **A** に該当しない。また、 SO_2 は空気中ですみやかに酸化されることはないが、触媒である V_2O_5 の存在下で酸化され、 SO_3 を生成する。**A** に該当するのは NO である。 NO は、空気中ですみやかに酸化され、赤褐色の NO_2 に変化する。



生成した酸化物 **B** の NO_2 を水と反応させると、 HNO_3 が生成し水溶液は酸性を示す。



15 …②

ルシャトリエの原理(平衡移動の原理)

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

- ・温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。

- ・圧力を大きくすると、気体の総分子数(総物質量)が減少する方向に平衡は移動する。

- ・物質の濃度を増大させると、その物質が反応して減少する方向に平衡は移動する。

なお、逆の条件変化に対しては、それぞれ逆の方向に平衡は移動する。

また、触媒の有無は平衡移動に無関係である。

問2 塩素のオキソ酸

① 正しい。それぞれの物質中の塩素原子の酸化数は、次亜塩素酸 HClO では+1、塩素酸 HClO_3 では+5、過塩素酸 HClO_4 では+7であり、過塩素酸が最も大きい。

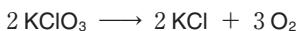
② 正しい。塩素を水に溶かすと、一部が水と反応して、塩化水素と次亜塩素酸を生成する。なお、 Cl_2 が水に溶けた水溶液は塩素水とよばれる。



③ 正しい。次亜塩素酸やその塩は、強い酸化力をもつため、漂白剤や殺菌剤として利用される。

④ 誤り。塩素のオキソ酸では、塩素原子の酸化数が大きいものほど、より強い酸であることが知られている。よって、 HClO より、 HClO_4 の方が強い酸である。

⑤ 正しい。塩素酸のカリウム塩である塩素酸カリウム KClO_3 に触媒として MnO_2 を混合して加熱すると、 O_2 が発生する。この反応は酸素の実験室的製法として知られている。



16 …④

問3 非金属元素の単体

① 誤り。すべての気体中で最も密度が小さいのは水素である。標準状態では、気体のモル体積とモル質量(M [g/mol])とを用いて気体の密度(d [g/L])を表すと、

$$d \text{ [g/L]} = \frac{M \text{ [g/mol]}}{22.4 \text{ L/mol}}$$

よって、モル質量が最も小さい H_2 (2.0 g/mol)が、気体の密度において最も小さくなることになる。なお、 He (4.0 g/mol)は2番目に密度が小さい。

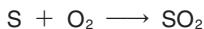
② 正しい。窒素 N_2 は、空気の約 80 % (体積%) を占める気体である。液体空気を、 N_2 (沸点 -196°C) と酸素 O_2 (沸点 -183°C) の沸点の差を利用して分離することで、工業的に N_2 を得ている。

③ 正しい。オゾン O_3 は、 O_2 の中に無声放電(音の発生しない放電)を行ったり、 O_2 に紫外線を当てることで生成する。



なお、 O_3 は特異臭をもつ淡青色の有毒な気体で、強い酸化力をもつ。

④ 正しい。斜方硫黄は黄色の塊状結晶で、空気中で点火すると青い炎をあげて燃え、二酸化硫黄 SO_2 を生じる。



なお、硫黄の同素体には他に、黄色針状結晶の单斜硫黄、無定形のゴム状硫黄などがある。ゴム状硫黄は黒褐色になることが多いが、純度が高ければ黄色になる場合もある。

塩素のオキソ酸

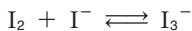
HClO_4 過塩素酸

HClO_3 塩素酸

HClO_2 亜塩素酸

HClO 次亜塩素酸

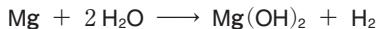
⑥ 正しい。ヨウ素 I_2 は水に溶けにくいが、ヨウ化カリウム水溶液には I_3^- を生成して溶け、溶液は褐色になる。



17 ⋯①

問4 2族元素の単体と化合物

a ① 正しい。マグネシウム Mg はイオン化傾向が比較的大きく、単体の反応性は大きいが、アルカリ土類金属よりはやや小さい。Mg は常温の水とは反応しないが、熱水とは反応し水素を発生する。



② 正しい。塩化マグネシウム $MgCl_2$ は水に溶けやすく、空気中に放置すると、空気中の水蒸気を吸収し溶解する。これを潮解という。

③ 誤り。湿った水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ に Cl_2 を吸収させると、さらし粉 $CaCl(ClO) \cdot H_2O$ ができる。



なお、セッコウは硫酸カルシウム二水和物 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) である。

④ 正しい。塩化カルシウム $CaCl_2$ の水溶液と炭酸ナトリウム Na_2CO_3 の水溶液を混合すると、炭酸カルシウム $CaCO_3$ の白色沈殿が生成する。



⑤ 正しい。硫酸バリウム $BaSO_4$ は水に溶けず酸とも反応しない白色固体であり、X線を透過させにくいのでX線撮影の造影剤に用いられる。

18 ⋯③

b Ca と CaO を希塩酸に溶解させると、どちらも $CaCl_2$ となる。



混合物中の Ca (40 g/mol) を x [mol], CaO (56 g/mol) を y [mol] とすると、その質量について、

$$40 \text{ g/mol} \times x \text{ [mol]} + 56 \text{ g/mol} \times y \text{ [mol]} = 1.80 \text{ g} \quad \cdots\cdots(1)$$

また、反応後の水溶液中に含まれる Ca^{2+} の物質量から、

$$x \text{ [mol]} + y \text{ [mol]} = 0.110 \text{ mol/L} \times \frac{300}{1000} \text{ L} \quad \cdots\cdots(2)$$

上記の(1)式と(2)式から、

$$x = 0.00300 \text{ mol}, y = 0.0300 \text{ mol} \text{ となる。}$$

よって、混合物中に含まれる CaO の質量パーセントは、

$$\frac{56 \text{ g/mol} \times 0.0300 \text{ mol}}{1.80 \text{ g}} \times 100 = 93.3 \approx 93 \%$$

19 ⋯⑥

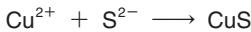
問5 金属イオンの分離

a 操作1では Cl^- による沈殿が生成するので、沈殿Aは

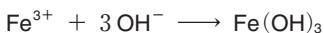
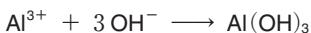
PbCl_2 の白色沈殿である。



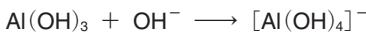
操作2では、酸性条件下で H_2S を通じているので、沈殿Bは CuS の黒色沈殿である。



操作3では、ろ液中に溶け残っている H_2S を煮沸して追い出し、 H_2S により還元され生成した Fe^{2+} を、濃硝酸を加えることで酸化し、 Fe^{3+} にしている。続いて、濃い NH_3 水溶液を十分に加えると Al(OH)_3 と Fe(OH)_3 が沈殿Cとなり、ろ液C中にはテトラアンミン亜鉛(II)イオン $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ が溶解している。

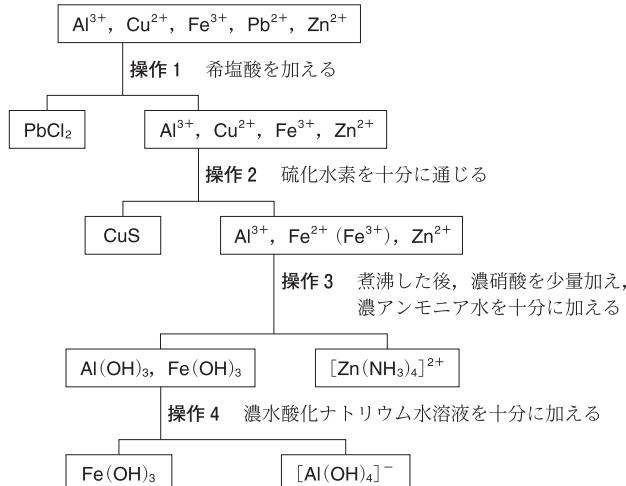


操作4では濃 NaOH 水溶液を加えるので、 Al(OH)_3 の沈殿はテトラヒドロキシドアルミニ酸イオン $[\text{Al(OH)}_4]^-$ となって溶解し、ろ液Dへと分離される。



よって、沈殿Dは Fe(OH)_3 の赤褐色沈殿である。

分離操作をまとめた図を次に示す。

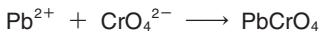


[20] ⋯②

b 沈殿Aは PbCl_2 であり、熱湯を加えると溶解する。

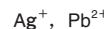


続いてクロム酸カリウム K_2CrO_4 水溶液を加えると、クロム酸鉛(II)の黄色沈殿が生成する。



[21] ⋯①

Cl^- で沈殿するイオン



S^{2-} で沈殿するイオン

水溶液のpHによらず沈殿



中性～塩基性で沈殿



SO_4^{2-} で沈殿するイオン



OH^- で沈殿するイオン

アルカリ金属およびアルカリ土類金属以外の金属イオン。

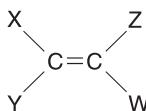
$\text{Zn}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Ag}^+$ に少量のアンモニア水を加えると沈殿するが、これらの沈殿は過剰のアンモニア水に溶ける。

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

第4問 有機化合物

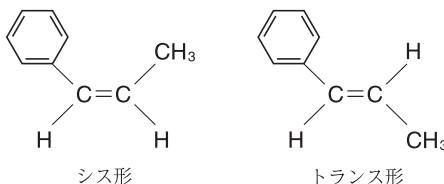
問1 立体異性体

a 幾何異性体(シス-トランス異性体)は、二重結合している炭素原子と、これに直接結合している原子4個が同一平面に固定されるために生じる異性体である。



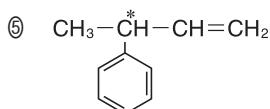
の構造において、原子や原子団が、 $X \neq Y$ かつ

$W \neq Z$ のとき幾何異性体が存在する。この条件をもつ化合物は、②である。



22 ⋯ ②

b 不斉炭素原子を分子中にもつ化合物には、光学異性体(鏡像異性体)が存在する。この条件をもつ化合物は、⑥である。不斉炭素原子を $\overset{*}{C}$ で表すと、



23 ⋯ ⑥

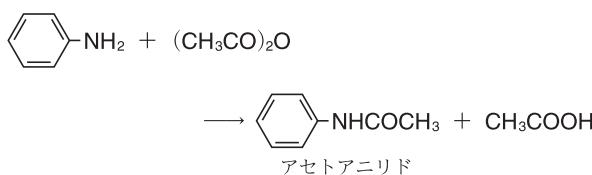
問2 アニリンの性質、反応

① 正しい。アニリンは、アミノ基をもつ芳香族アミンである。アミンは、アンモニアと同様に弱塩基である。

② 正しい。アニリンは酸化されやすく、さらし粉水溶液で酸化すると赤紫色を呈する。この反応はアニリンの検出に利用される。

③ 正しい。アニリンを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化すると、アニリンブラックとよばれる黒色物質ができる。アニリンブラックは水に溶けにくく、染料として用いられている。

④ 誤り。アニリンを無水酢酸と反応させると、アセトアニリドが生成する。



立体異性体

構成原子のつながりや、結合の種類は同じだが、分子の立体構造が異なる異性体。立体異性体には幾何異性体(シス-トランス異性体)や光学異性体(鏡像異性体)がある。

不斉炭素原子と光学異性体

結合する4つの原子や、原子団がすべて異なる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、互いに鏡像の関係にある1対の光学異性体が存在する。

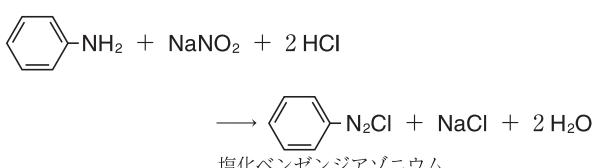
アミン

アンモニア NH_3 の水素原子 H を炭化水素基で置換した構造をもつ化合物。

また、置換基がベンゼン環の化合物を芳香族アミンという。

アセトアニリドはアミド結合 $-\text{NH}-\overset{\text{||}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-$ をもち、アミドであり、エステルではない。

⑥ 正しい。アニリンを5°C以下に冷やしながら、塩酸と亜硝酸ナトリウム水溶液を加えると、塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する。

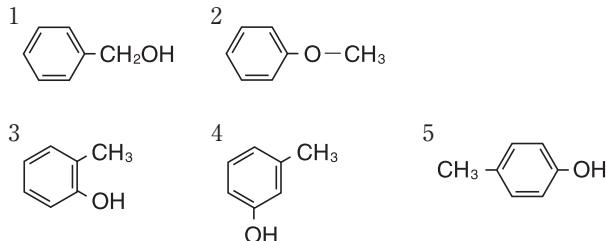


塩化ベンゼンジアゾニウムは $-\text{N}^+ \equiv \text{N}$ の構造をもつジアゾニウム塩である。ジアゾニウム塩が生成する反応をジアゾ化という。

24 ⋯④

問3 芳香族化合物の異性体

$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$ の分子式で表されるベンゼン環をもつ化合物は、次の5種である。

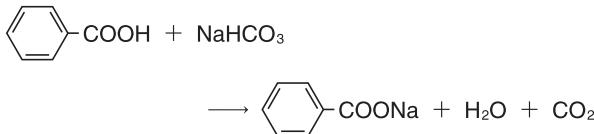


このうち、塩化鉄(III)水溶液で呈色するのは、フェノール類である3~5である。したがって、塩化鉄(III)水溶液で呈色しないのは、アルコールおよびエーテルである1と2の2つである。

25 ⋯②

問4 芳香族化合物の分離

ニトロベンゼン、安息香酸、サリチル酸メチルのうち、炭酸水素ナトリウム水溶液と反応して水溶液Aに移るのは、カルボキシ基をもつ安息香酸である。



ニトロベンゼンとサリチル酸メチルは反応しないので、エーテル溶液A中に残る。したがって、操作アで安息香酸のみが安息香酸ナトリウムとなって、水溶液A中に移る。

操作ウにより、安息香酸ナトリウムは安息香酸になり、エーテル溶液Cに移る。

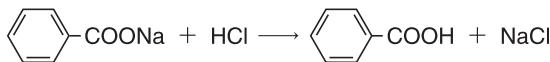
フェノール類の検出

ベンゼン環の炭素原子にOH基が直接結合した化合物をフェノール類といい、塩化鉄(III)水溶液によって、呈色する。

弱酸の遊離

弱酸の塩により強い酸を加えると、弱酸が遊離する。カルボン酸は、炭酸より強い酸であるため、炭酸水素ナトリウム水溶液に二酸化炭素を発生して溶ける。

また、カルボン酸塩の水溶液に、強酸である塩酸を加えると、水溶液から、カルボン酸が遊離する。



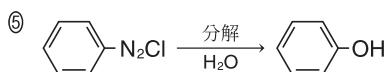
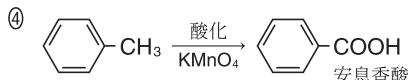
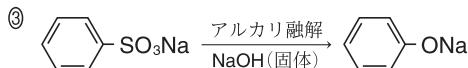
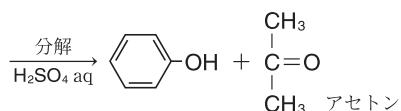
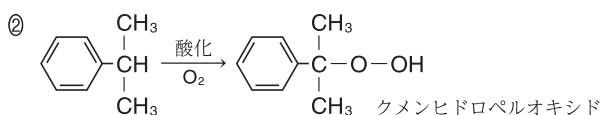
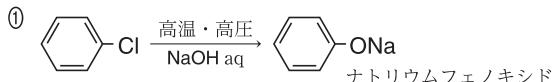
したがって、安息香酸が含まれているのは③である。

なお、アニリン等の塩基性化合物が存在すれば、操作イで塩酸塩となって水溶液Bに溶ける。

[26] ⋯③

問5 フェノール(フェノキシド)の合成

①～⑥の反応で得られる有機化合物は、次のとおりである。



したがって、フェノール、またはナトリウムフェノキシドのいずれも生成しないのは④である。

[27] ⋯④

問6 油脂

a 環構造や三重結合をもたない不飽和脂肪酸なので、炭素間二重結合 $\text{C}=\text{C}$ をもつ。不飽和脂肪酸を RCOOH とする。R中の炭素の数を n , $\text{C}=\text{C}$ の数を m とすると、 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1-2m}\text{COOH}$ になる。リノレン酸 $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ では、

$$2 \times 17 + 1 - 2m = 29$$

$$m = 3$$

したがって、リノレン酸は分子中に $\text{C}=\text{C}$ を3個もつ。

油脂は、グリセリンに脂肪酸3分子が縮合したエステル(トリグリセリド)であるので、リノレン酸のみを構成脂肪酸とする油脂1分子中の $\text{C}=\text{C}$ の数は、 $3 \times 3 = 9$ 個である。

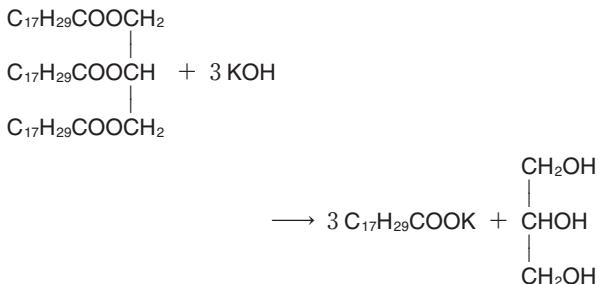
$\text{C}=\text{C}$ 1 mol に付加する I_2 は 1 mol なので、この油脂 1.0 mol に付加する I_2 は最大 9.0 mol である。

[28] ⋯⑥

b 油脂は、脂肪酸3分子と、グリセリン $C_3H_5(OH)_3$ (分子量92)から水(分子量18)が3分子とて縮合した構造であるので、この油脂の分子量は、

$$278 \times 3 + 92 - 18 \times 3 = 872$$

この油脂の水酸化カリウム水溶液によるけん化の化学反応式は、



したがって、この油脂 2.18 g を完全にけん化するのに必要な KOH(56 g/mol)を x [mg] とすると、

$$\frac{x \times 10^{-3} [\text{g}]}{56 \text{ g/mol}} = \frac{2.18 \text{ g}}{872 \text{ g/mol}} \times 3$$

$$x = 420 \text{ mg}$$

29 ⋯④

≡ 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	④	3			
		問3	3	②	3			
	B	問4	4	①	3			
		問5	5	⑤	2			
			6	②	2			
		問6	7	②	4			
第1問 自己採点小計				(20)				
第2問	A	問1	8	③	3			
		問2	9	④	3			
		問3	10	②	3			
	B	問4	11	⑥	3			
		問5	12	③	4			
		問6	13	④	4			
第2問 自己採点小計				(20)				
第3問	A	問1	14	②	3			
		問2	15	④	3			
		問3	16	④	3			
			17	⑧	3			
	B	問4	18	④	4			
			19	⑧	4			
第3問 自己採点小計				(20)				
第4問	A	問1	20	①	3			
		問2	21	④	3			
		問3	22	③	3			
	B	問4	23	②	3			
		問5	24	⑥	4			
		問6	25	②	4			
第4問 自己採点小計				(20)				

問題番号	設問	解番	答 番 号	正解	配点	自己採点
第5問	問1	26	①	3		
	問2	27	③	3		
	問3	28	④	3		
	問4	29	⑥	3		
	問5	30	④	4		
	問6	31	④	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。

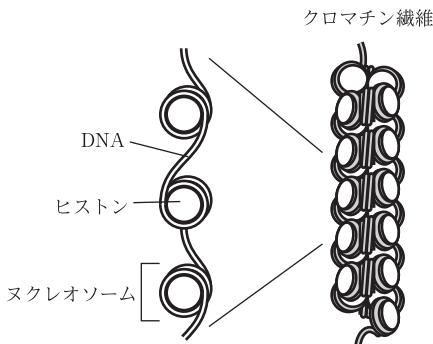
生
物

【解説】

第1問 遺伝子発現の調節

真核生物の転写調節に関する知識問題と、ラクトースオペロンに関する考察問題を出題した。

問1 真核細胞の核内のDNAは、ヒストンとよばれるタンパク質に巻きつき、ヌクレオソームを形成している。ヌクレオソームは数珠状につながってクロマチン纖維とよばれる構造を形成している。



1 …③

問2 ①・②原核細胞では、転写の開始に基本転写因子を必要としないが、真核細胞では、基本転写因子がRNAポリメラーゼとともにDNAのプロモーターの領域に結合することで、転写が開始される。したがって、①と②はともに誤りである。③ホメオティック遺伝子(ホックス遺伝子)は、ショウジョウバエなどの無脊椎動物だけでなく、マウスやヒトなどの脊椎動物にもみられる。したがって、誤りである。④ショウジョウバエのホメオティック遺伝子の一つであるアンテナペディア遺伝子に変異が生じた個体では、触角が形成されるはずの頭部に脚が形成される。また、ウルトラバイソラックス遺伝子に変異が生じた個体では、本来は翅が形成されない体節に翅が形成されることによって、野生型では1対である翅が2対になる。このように、からだの一部分が別の部分に置き換わるような突然変異をホメオティック突然変異(ホメオーシス)とよぶ。したがって、正しい。

2 …④

問3 ユスリカやショウジョウバエなどの幼虫のだ腺の細胞には、だ腺染色体とよばれる、通常の染色体の150~200倍の大きさの染色体がある。だ腺染色体には、ところどころにパフとよばれるふくらみが観察され、ここでは盛んに転写が行われてRNAが合成されている。発生段階によって、パフがみられる位置やパフの数が変化することから、発生段階によって、発現する遺伝子の種類や数が異なることがわかる。

3 …②

問4 ラクトースオペロンの転写調節では、オペレーターにリブ

【ポイント】

真核細胞の核内のDNAは、ヒストンに巻きついている。

真核細胞では、転写の開始に基本転写因子を必要とする。

ホメオティック突然変異
からだの一部分が別の部分に置き換わるような突然変異

パフでは盛んに転写が起こっている。

リプレッサーが結合することにより、RNAポリメラーゼのプロモーターへの結合が阻害されるため、転写が抑制される。リプレッサーがラクトースの代謝産物と結合すると、オペレーターに結合できなくなり、その結果、RNAポリメラーゼがプロモーターに結合できるようになって、転写が促進される。

4 …①

問5 問題文にある、ウ～カのような変異が生じた場合に、ラクトースオペロンの発現がどのようになるかを考えてみる。

・ウのような変異が生じた場合

RNAポリメラーゼがプロモーターに結合できないため、ラクトースの有無にかかわらず、ラクトースオペロンは発現しない。

・エのような変異が生じた場合

調節タンパク質(リプレッサー)がオペレーターに結合できないため、ラクトースの有無にかかわらず、ラクトースオペロンは発現する。

・オのような変異が生じた場合

調節タンパク質(リプレッサー)がラクトースの代謝産物と結合せず、常にオペレーターに結合するため、ラクトースの有無にかかわらず、ラクトースオペロンは発現しない。

・カのような変異が生じた場合

調節タンパク質(リプレッサー)がオペレーターに結合できないため、ラクトースの有無にかかわらず、ラクトースオペロンは発現する。

表1より、突然変異株Ⅰは、ラクトースの有無にかかわらずラクトースオペロンの発現がみられることから、エとカが可能性として考えられる。また、突然変異株Ⅱは、ラクトースの有無にかかわらずラクトースオペロンの発現がみられないことから、ウとオが可能性として考えられる。

5 …⑥・6 …②

問6 問5の解説で述べたように、突然変異株Ⅰに生じた変異として考えられるのは、エまたはカである。ここで、突然変異株Ⅰにラクトースオペロンの正常な調節遺伝子を導入し、正常なリプレッサーを合成させた結果、ラクトースを含まない培地でラクトースオペロンの発現がみられなくなったことから、突然変異株Ⅰのラクトースオペロンのオペレーターは正常に機能する(正常なリプレッサーが結合できる)ことがわかる。したがって、突然変異株Ⅰは、ラクトースオペロンの調節遺伝子に突然変異が生じ、オペレーターに結合できないリプレッサーが合成されるようになった株であると判断できる。

7 …②

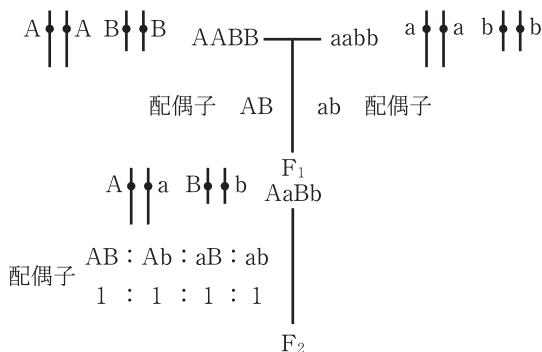
第2問 遺伝

染色体地図に関する問題と、独立または連鎖の関係にある対立遺伝子の遺伝の問題を出題した。

問1 ①同じ染色体上に存在し、互いに連鎖している遺伝子のグループを連鎖群という。図1より、この植物には第1染色体から第5染色体までの5種類の染色体があることがわかる。連鎖群の数は染色体の種類数と一致するので、この植物の連鎖群の数は5である。したがって、誤りである。②遺伝子 *an* も遺伝子 *th* も第1染色体上に存在し、連鎖している。したがって、誤りである。③遺伝子 *cp* も遺伝子 *ag* も第4染色体上に存在し、連鎖している。したがって、正しい。④組換え価は、一般に染色体上での遺伝子間の距離が長いほど大きくなる。第5染色体上での遺伝子 *fy*–*pi* 間の距離は、遺伝子 *pi*–*tt* 間の距離よりも短いため、遺伝子 *fy*–*pi* 間の組換え価は、遺伝子 *pi*–*tt* 間の組換え価よりも小さいと考えられる。したがって、誤りである。

8 ⋯③

問2 遺伝子 *a* は第3染色体上に、遺伝子 *b* は第2染色体上に存在し、独立の関係にある。遺伝子型 *AABB* と *aabb* を交配して得られた *F*₁ の遺伝子型は *AaBb* であり、この *F*₁ がつくる配偶子の遺伝子型とその分離比は、独立の法則に従って、*AB* : *Ab* : *aB* : *ab* = 1 : 1 : 1 : 1 となるため、*F*₂ は次表のようになる。



	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

純系は、着目するすべての遺伝子がホモ接合になっている個体であり、上の表では枠内を灰色で示した4か所が相当する。したがって、この *F*₂ における純系の個体の割合は、 $\frac{4}{16} \times 100 = 25\%$ となる。

9 ⋯④

問3 遺伝子 *a* と遺伝子 *d* はともに第3染色体上に存在して連鎖の関係にあり、その組換え価は 20 % である。組換え価が 20 % であるということは、組換えを起こした配偶子の割合が 20 % で、組換えを起こさなかった配偶子の割合が 80 % であるため、組換え

連鎖群

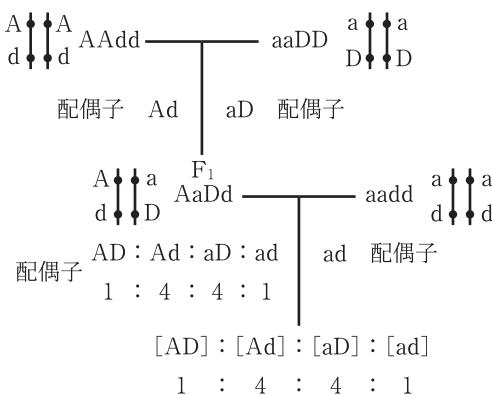
同じ染色体上に存在し、互いに連鎖している遺伝子のグループ。連鎖群の数は染色体の種類数と一致する。

染色体上での遺伝子間の距離が長いほど組換え価は大きくなる。

純系

着目する遺伝子について、すべての遺伝子がホモ接合になっている個体。

を起こした配偶子と起こさなかった配偶子の比は1:4となる。ここで、交雑に用いた個体の遺伝子型がAAddとaaDDであるので、F₁の遺伝子型はAaDdとなり、Aとd, aとDがそれぞれ同一の染色体上に存在する。これより、F₁がつくる配偶子のうち、組換えを起こさなかったものがAdとaD、組換えを起こしたもののがADとadとなり、配偶子の遺伝子型とその分離比は、AD:Ad:aD:ad=1:4:4:1となる。検定交雫では、劣性ホモ接合体(ここではaadd)と交雫するため、生じる個体の表現型とその分離比は、検定された個体がつくる配偶子の遺伝子型とその分離比と一致する。したがって、F₁に検定交雫を行って得た次世代における表現型とその分離比は、[AD]:[Ad]:[aD]:[ad]=[ad]=1:4:4:1となる。



10 ⋯②

問4 問3の解説で述べたように、検定交雫で生じる個体の表現型とその分離比は、検定された個体がつくる配偶子の遺伝子型とその分離比と一致する。表1より、遺伝子(E, e)と(F, f)に着目すると、[EF]:[Ef]:[eF]:[ef]=128:866:874:132であることから、F₁がつくる配偶子の遺伝子型とその分離比は、EF:Ef:eF:ef=128:866:874:132であることがわかる。ここで、組換えを起こした配偶子の割合は、組換えを起こさなかった配偶子の割合よりも小さくなるため、割合の小さいEFとefの配偶子が組換えを起こした配偶子であり、割合の大きいEfとeFの配偶子が組換えを起こさなかった配偶子であることがわかる。これより、F₁の体細胞ではEとf, eとFがそれぞれ連鎖しており、これがF₁が両親から受け継いだ遺伝子の組合せである。したがって、F₁の両親の遺伝子型は、EEffとeeFFである。同様に考えて、遺伝子(E, e)と(G, g)に着目すると、[EG]と[eg]の個体が多く生じていることから、F₁の両親の遺伝子型は、EEGGとeeggであり、遺伝子(E, e)と(H, h)に着目すると、[Eh]と[eH]の個体が多く生じていることから、F₁の両親の遺伝子型は、EEhhとeeHHである。これらを合わせると、F₁の両親の遺伝子型は、

検定交雫

劣性ホモ接合体との交雫
生じる個体の表現型とその分離比は、検定された個体がつくる配偶子の遺伝子型とその分離比と一致する。

組換えを起こした配偶子の割合は、組換えを起こさなかった配偶子の割合よりも小さくなる。

EEffGGhh と eeFFggHH であることがわかる。

11 ⋯⑥

問5 組換え価は、すべての配偶子に対する組換えを起こした配偶子の割合であるため、検定交雑の結果からは、生じたすべての個体に対する、組換えを起こした配偶子が受精して生じた個体の割合として求められる。組換えを起こした配偶子が受精して生じた個体は、遺伝子(E, e)と(F, f)では[EF]と[ef]、遺伝子(E, e)と(G, g)では[Eg]と[eG]、遺伝子(E, e)と(H, h)では[EH]と[eh]であるので、2遺伝子間の組換え価はそれぞれ次のようにになる。

$$E-F \text{ 間 } \frac{128+132}{2000} \times 100 = 13(\%)$$

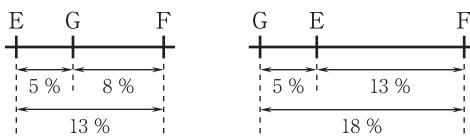
$$E-G \text{ 間 } \frac{51+49}{2000} \times 100 = 5(\%)$$

$$E-H \text{ 間 } \frac{97+103}{2000} \times 100 = 10(\%)$$

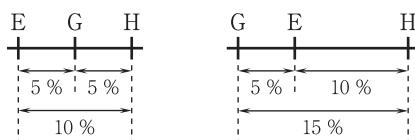
問1の解説で述べたように、組換え価は、染色体上での遺伝子間の距離が長いほど大きくなる。したがって、組換え価の最も小さいE-G間が、染色体上での距離が最も短いと考えられる。

12 ⋯③

問6 表1の結果から、遺伝子E, F, Gの染色体上での並び順を考えてみると、E-F間、E-G間の組換え価はそれぞれ13%と5%であるが、F-G間の組換え価がわからないので、次図のよう、3遺伝子の並び順は、E-G-FとG-E-Fの2通りが考えられ、F-G間の組換え価は、8%と18%の2通りが考えられる。したがって、①は誤りであり、④は正しい。



同様に、遺伝子E, G, Hの染色体上での並び順を考えてみると、E-G間、E-H間の組換え価はそれぞれ5%と10%であるが、G-H間の組換え価がわからないので、次図のよう、3遺伝子の並び順は、E-G-HとG-E-Hの2通りが考えられ、G-H間の組換え価は、5%と15%の2通りが考えられる。したがって、②と③はともに誤りである。



13 ⋯④

組換え価

すべての配偶子に対する組換えを起こした配偶子の割合

第3問 生殖

生殖に関する知識問題と、イネの交雑に関する考察問題を出題した。

問1 被子植物の受精卵は、体細胞分裂を繰り返して胚球(球状胚)と胚柄になる。胚球は子葉、幼芽、胚軸、幼根が分化した胚となり、胚柄は種子の成熟にともなって退化する。 14 …②

問2 有性生殖では、配偶子が合体して新しい個体が生じる。配偶子は減数分裂を経て形成されるため、同じ個体がつくる配偶子でもその染色体構成(遺伝子構成)は異なる。この遺伝子構成の多様な配偶子どうしが合体して新しい個体が生じるため、同じ両親から生じた個体でもその遺伝子構成は異なる。したがって、工は誤りである。無性生殖は配偶子の合体によらずに新しい個体を生じるために、1個体だけでも新しい個体を生じることができる。したがって、才は正しい。ゾウリムシは環境条件が良い場合は分裂によって増えるが、環境条件が悪くなると有性生殖である接合を行う。このように、有性生殖と無性生殖の両方を行うことができる生物が存在する。したがって、カは正しい。無性生殖には、分裂、出芽、栄養生殖などがある。接合は配偶子の合体のことであり、有性生殖である。したがって、キは誤りである。 15 …④

問3 ①・③ 1個の花粉母細胞が減数分裂を行って花粉四分子となり、4個の未熟花粉が生じる。未熟花粉は細胞分裂を行って、1個の花粉管細胞と1個の雄原細胞からなる成熟花粉となる。成熟花粉が柱頭につくと花粉管が伸び、花粉管内で雄原細胞が分裂して2個の精細胞が生じる。このとき、花粉1個あたり2個の精細胞が生じるので、1個の花粉母細胞から8個の精細胞が生じることになる。したがって、①と③はともに誤りである。②・④ 1個の胚のう母細胞が減数分裂を行って4個の細胞が生じるが、そのうち1個の細胞が胚のう細胞となり、残りの3個の細胞は退化する。胚のう細胞は3回の核分裂を行って、1個の卵細胞、2個の助細胞、3個の反足細胞、1個の中央細胞の合計7個の細胞からなる胚のうとなる。このとき、胚のう1個あたり1個の卵細胞を含むので、1個の胚のう母細胞から1個の卵細胞が生じることになる。したがって、②は誤りであり、④は正しい。⑤・⑥ 被子植物の重複受精では、花粉管内に生じた2個の精細胞(n)のうち、一方の精細胞(n)は卵細胞(n)と受精して受精卵($2n$)となり、もう一方の精細胞(n)は2個の極核(n)を含む中央細胞と合体して胚乳核($3n$)をもつ細胞となる。受精卵からは胚($2n$)がつくられ、胚乳核をもつ細胞からは胚乳($3n$)がつくられる。したがって、⑤と⑥はともに誤りである。

⑦・⑧ イネやトウモロコシやカキなどの種子では、発芽に必要な栄養分は胚乳に蓄えられている。このような種子を有胚乳種子とよぶ。また、ナズナやエンドウやクリなどの種子では、胚乳があ

胚球

子葉・幼芽・胚軸・幼根が分化した胚になる。

胚柄

種子の成熟にともなって退化する。

有性生殖

配偶子の合体によって新しい個体が生じる。

無性生殖

配偶子によらずに新しい個体が生じる。

分裂、出芽、栄養生殖など

被子植物の重複受精

精細胞(n) + 卵細胞(n) → 胚($2n$)
精細胞(n) + 中央細胞($n+n$)
→ 胚乳($3n$)

有胚乳種子

発芽のための栄養分は胚乳に蓄えられる。
イネ、トウモロコシ、カキなど

まり発達せずに退化し、発芽に必要な栄養分は子葉に蓄えられている。このような種子を無胚乳種子とよぶ。したがって、⑦は誤りであり、⑧は正しい。

16・17…④・⑧

問4 ①・②実験1では、品種Yにおける稔実率(%)と交雑率(%)を求めているが、稔実率は「すべてのもみの数に対する種子ができたもみの数の割合」を示しており、品種Y自身の花粉が受粉して生じた種子と品種Xの花粉が受粉して生じた種子を区別していない。したがって、交配結果から稔実率を求めるためにウルチ性の品種とモチ性の品種を用いたわけではないので、①と②はともに誤りである。③・④交雑率は「すべての種子の数に対する品種Xと同じ胚乳の形質を示す種子の数の割合」を示している。問題文に「ウルチ性はモチ性に対して優性である」とあるので、品種Yがウルチ性であれば、品種Y(ウルチ性)自身の花粉が受粉して生じた種子と品種X(モチ性)の花粉が受粉して生じた種子のどちらも胚乳はウルチ性となるため、交雑率を求めることができない。品種Yがモチ性であれば、品種Y(モチ性)自身の花粉が受粉して生じた種子の胚乳はモチ性となるが、品種X(ウルチ性)の花粉が受粉して生じた種子の胚乳はウルチ性となるため、交雑率を求めることができる。したがって、⑤は誤りであり、⑥は正しい。

⑥・⑦実験3で、低温処理を行った品種Yの柱頭に品種Yの花粉を受粉したときの稔実率は95%であり、**実験1**の対照区における稔実率(95.2%)とほとんど差がみられない。このことから、低温処理によって卵細胞の受精能力はほとんど変化しないと考えられる。したがって、⑥と⑦はともに誤りである。**⑧・⑨実験2**で、低温処理区と対照区で飛散している花粉の数を比較すると、品種Xの花粉の数は、低温処理区と対照区で大きな差はみられないが、品種Yの花粉の数は、対照区に比べて低温処理区で大幅に減少している。これより、低温処理による稔実率の低下と交雑率の上昇は、いずれも品種Yの飛散花粉数が減少したことが主な原因であると考えられる。つまり、低温処理による稔実率の低下は、品種Yの飛散花粉数が減少し、飛散する花粉の総数が減少して受粉する確率が低下したことが主な原因であり、交雑率の上昇は、品種Yの飛散花粉数が減少し、相対的に品種Xの花粉の割合が大きくなつたことが主な原因であると考えられる。したがって、⑧は誤りであり、⑨は正しい。

18・19…④・⑧

第4問 刺激の受容

受容器に関する知識問題と、視覚に関する考察問題を出題した。

問1 ①内耳に存在する半規管は平衡感覚の受容器であるが、適刺激はからだの回転であり、からだの傾きは内耳に存在する前庭で受容される。②内耳に存在するコルチ器(コルチ器官)は聴覚の受容器であり、音を受容する。③舌に存在する味覚芽(味蕾)みらいは味覚

無胚乳種子

発芽のための栄養分は子葉に蓄えられる。

ナズナ、エンドウ、クリなど

半規管

からだの回転を受容する。

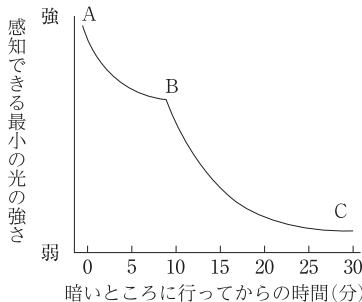
前庭

からだの傾きを受容する。

の受容器であり、液体中の化学物質を受容する。④鼻腔の奥に存在する嗅上皮は嗅覚の受容器であり、空気中の化学物質を受容する。

[20] …①

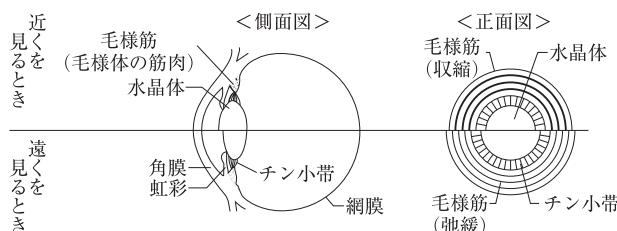
問2 ①瞳孔の大きさはどうこう大きい。瞳孔の大きさは虹彩の筋肉の収縮によって調節される。瞳孔括約筋は虹彩に環状に走る筋肉で、これが収縮すると瞳孔は縮小する。一方、瞳孔散大筋は虹彩に放射状に走る筋肉で、これが収縮すると瞳孔は拡大する。暗いところから急に明るいところに行くと、眼球に入る光量を減らすために、瞳孔括約筋が収縮して瞳孔が縮小する。したがって、誤りである。②・③暗いところから急に明るいところに行くと、始めはまぶしく感じるが、次第にまぶしく感じなくなる。これは、桿体細胞や錐体細胞の感度が低下するためであり、これを明順応という。したがって、②と③はともに誤りである。なお、ロドプシンは桿体細胞に含まれる視物質(感光物質)である。④・⑤明るいところから急に暗いところに行くと、始めは何も見えないが、次第に見えるようになる。これは、桿体細胞や錐体細胞の感度が上昇するためであり、これを暗順応という。この際、まず錐体細胞の感度が上昇し、続いて桿体細胞の感度が上昇する(次図)。したがって、④は正しく、⑤は誤りである。なお、桿体細胞に含まれるロドプシンは、明るいところでは分解されて減少し、暗いところでは合成量が分解量を上回って増加する。



A→Bへの変化には錐体細胞が、B→Cへの変化には桿体細胞が関与している。

[21] …④

問3 近くを見るときには、毛様筋が収縮してチン小帯がゆるむことによって、水晶体が自らの弾性によって厚くなる。なお、遠くを見るときには、毛様筋が弛緩してチン小帯が緊張することによって、水晶体が引っ張られて薄くなる。



瞳孔の大きさの調節

瞳孔括約筋が収縮すると瞳孔が縮小する。

瞳孔散大筋が収縮すると瞳孔が拡大する。

明順応

暗いところから急に明るいところに行くと、始めはまぶしく感じるが、次第にまぶしく感じなくなる現象。

視細胞の感度が低下することによって起こる。

暗順応

明るいところから急に暗いところに行くと、始めは何も見えないが、次第に見えるようになる現象。

視細胞の感度が上昇することによって起こる。

近くを見るとき

毛様筋が収縮する

→ チン小帯がゆるむ

→ 水晶体が厚くなる

遠くを見るとき

毛様筋が弛緩する

→ チン小帯が緊張する

→ 水晶体が薄くなる

22 ⋯③

問4 網膜に存在する視神経細胞の軸索は、1カ所で束となって網膜を貫通し、眼球の外に出る。網膜上のこの部位を盲斑とよび、盲斑には視細胞が存在しないため、光を受容できない。

23 ⋯②

問5 眼に入った光は、角膜と水晶体で屈折して網膜に像を結ぶ。したがって、眼からスクリーンまでの距離に対する、点灯した光が見えない領域の直径の比は、水晶体から網膜までの距離に対する盲斑の直径の比とほぼ等しくなる。これより、盲斑の直径を x cm とすると、 $30\text{ cm} : 3.6\text{ cm} = 2\text{ cm} : x\text{ cm}$ となり、これを解いて、 $x = 0.24\text{ cm} = 2.4\text{ mm}$ となる。

24 ⋯⑥

問6 **問5**の解説で述べたように、眼に入った光は角膜と水晶体で屈折して網膜に像を結ぶ。そのため、右眼の視野の右側からの光は右眼の鼻側の網膜に像を結び、右眼の視野の左側からの光は右眼の耳側の網膜に像を結ぶ。同様に、左眼の視野の右側からの光は左眼の耳側の網膜に像を結び、左眼の視野の左側からの光は左眼の鼻側の網膜に像を結ぶ。

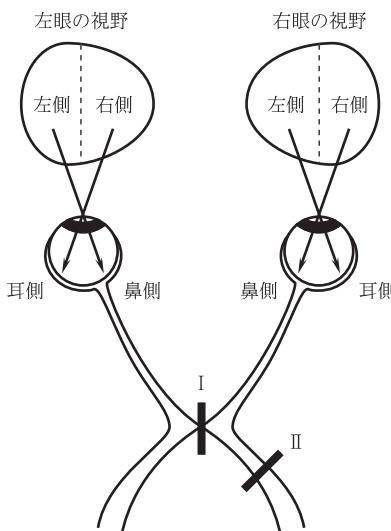


図1のIの位置で視神経の経路に障害が生じると、両眼の鼻側の網膜からの興奮が脳に伝わらなくなる。したがって、ヒトPでは、右眼の視野の右側と左眼の視野の左側が見えなくなる。また、図1のIIの位置で視神経の経路に障害が生じると、右眼の耳側の網膜と、左眼の鼻側の網膜からの興奮が脳に伝わらなくなる。したがって、ヒトQでは、右眼の視野の左側と左眼の視野の左側が見えなくなる。

25 ⋯②

盲斑

視神経細胞の軸索の束が網膜を

貫通する部位

視細胞が分布しないため、光を受容できない。

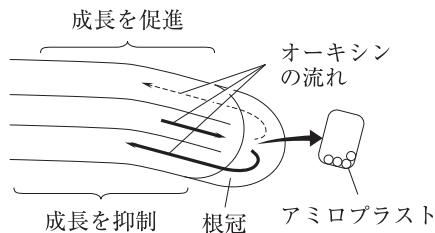
第5問 植物の環境応答

植物ホルモンに関する知識問題と、フィトクロムに関する考察問題を出題した。

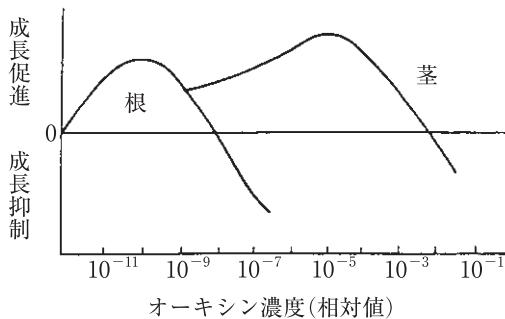
問1 根の重力屈性においては、根冠の細胞内に存在するアミロプラスチックが重力方向に移動することで、重力が感知される。なお、アミロプラスチックはデンプン粒を多量に含む細胞小器官である。

26 ⋯①

問2 植物の芽ばえを暗所で水平に置くと、茎でも根でも、オーキシンが重力方向に移動して伸長域に達するので、茎と根の両方の伸長域で下側のオーキシン濃度が高くなる。根では、問1の解説で述べたように、根冠の細胞内に存在するアミロプラスチックが重力方向に移動し、これに伴ってオーキシン輸送体の配置が変化して、オーキシンが重力方向へ移動すると考えられている(次図)。



次図に示すように、オーキシンに対する感受性は茎と根で異なり、茎では濃度の高い下側の成長が促進されて上向きに屈曲するが、根では濃度の高い下側の成長が抑制されて下向きに屈曲する。



27 ⋯③

問3 頂芽が活発に伸長しているときには、側芽の成長は抑制される。この現象を頂芽優勢とよぶ。この現象には、オーキシンとサイトカイニンが関係している。サイトカイニンは側芽の成長を促進する作用をもつが、頂芽で合成されたオーキシンが極性移動により下方に移動し、側芽の周辺でのサイトカイニンの合成を抑制する。その結果、サイトカイニンが側芽に作用せず、側芽の成長が抑えられる。頂芽を切除すると、オーキシンが移動してこなくなるため、側芽の周辺でサイトカイニンが合成されるようになり、それが側芽に作用して、側芽の成長が起こるようになる。

28 ⋯④

問4 種子の発芽を促進する作用をもつのはジベレリンであり、気

根冠での重力の方向の感知には、アミロプラスチックが関係する。

茎と根の重力屈性

オーキシンが下側に移動し、下側の濃度が高くなる。
茎では下側の伸長が促進され、根では下側の伸長が抑制される。

頂芽優勢

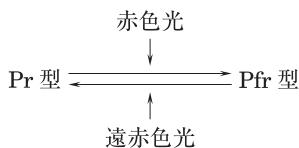
頂芽が活発に伸長しているときに、側芽の成長が抑制される現象。

側芽の成長を促進するサイトカイニンの合成が、オーキシンの作用で抑制されることによって起こる。

孔の閉鎖を促進する作用をもつのはアブシシン酸であり、離層形成を促進する作用をもつのはエチレンである。なお、種子の発芽を抑制する作用をもつのはアブシシン酸であり、離層形成を抑制する作用をもつのはオーキシンである。

[29] ⋯⑥

問5 フィトクロムには赤色光を吸収するPr型と遠赤色光を吸収するPfr型があり、次図のように、赤色光と遠赤色光を吸収して可逆的に型が変化する。



実験1のaとbの結果をみると、光を照射していないaでは酵素Lの濃度が上昇するが、bでは赤色光を照射している(Pr型がPfr型に変化する反応が起こっている)間は酵素Lの濃度が上昇せず、遠赤色光を照射している(Pfr型がPr型に変化する反応が起こっている)間は酵素Lの濃度が上昇している。これと問題文の内容より、暗所ではフィトクロムはPr型として存在し、Pr型は酵素Lの合成を抑制しないが、Pfr型は酵素Lの合成を抑制すると考えられる。

実験1のcでは、最初の5分間赤色光を照射した後、遠赤色光を照射しなくても暗条件で一定時間が経過すると酵素Lの合成が起こっている。Pfr型が酵素Lの合成を抑制することから考えると、暗所ではPfr型が分解されて減少するとともにPr型が合成され、Pfr型の割合が一定値以下になると酵素Lが合成されると考えると、実験1のcの結果が矛盾なく説明できる。

[30] ⋯④

問6 実験2では、子葉にのみ赤色光を照射した場合には、光を照射していない実験1のaと同じ結果となり、フックの部分にのみ赤色光を照射した場合には、赤色光を照射した実験1のcと同じ結果になっている。したがって、酵素Lの合成には子葉のフィトクロムは関与せず、フックの部分のフィトクロムが関与すると考えられる。

実験3では、フックの部分と子葉の間で芽ばえを切断した直後から酵素Lの合成の抑制が起らなくなるので、酵素Lの合成を抑制する信号はフックの部分から子葉に継続的に送られ、子葉には蓄積しないと考えられる。

[31] ⋯④

フィトクロムにはPr型とPfr型がある。

赤色光を吸収するとPr型がPfr型に変化する。

遠赤色光を吸収するとPfr型がPr型に変化する。

地 学

【解答・採点基準】 (100点満点)

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

問題番号	設問	解番	答番号	正解	配点	自己採点	
第5問	A	問1	25	⑦	3		
		問2	26	④	3		
		問3	27	③	4		
	B	問4	28	①	3		
		問5	29	③	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 プレートの運動

地球の表面は、複数の硬いプレートによって覆われている。それぞれのプレートの運動によって地震や火山などの地学現象を説明する考え方方がプレートテクトニクスである。今回は、プレートテクトニクスが成立するまでの経緯を問う問題とした。

問1 ドイツの気象学者ウェゲナーは、大西洋を挟んだ大陸の海岸線の形がほぼ一致することに気付いた。そして、現在離れている各大陸は、約3億年前には一つの大きな大陸(超大陸)をつくるており、やがてそれが分裂し、現在の大陸の配置になったとする大陸移動説を1912年に発表した。ウェゲナーが大陸移動説の根拠として挙げたのは、おもに以下の内容である。

- ・北ヨーロッパにある造山帯と北アメリカにあるア巴拉チア山脈の地質構造が類似していることから、両者は一つにまとまっていたと考えられる。
 - ・アフリカ南部、インド、オーストラリア、南アメリカなどで見られる氷河の流れた方向の痕跡から、これらの大陸は現在の南極付近で一つにまとまっていたと考えられる。
 - ・南アメリカ、アフリカ、インド、オーストラリアなどに見られる古生代の陸生の動植物の化石の類似から、各大陸は一つにまとまっている、その分布域がつながっていたと考えられる。
- したがって、①、②、③は正しい。大陸移動説は、大陸が分裂して移動する原動力をうまく説明できなかったため、当時は多くの支持を集めることはできなかった。

大陸の1年あたりの移動速度を求められたようになったのは20世紀の後半であり、ウェゲナーが大陸移動説を唱えた当時は移動速度を求めることはできなかった。したがって、④が誤りである。現在では、プレートの移動速度はVLBI(超長基線電波干渉法)やGPSなどで求められている。

1 … ④

問2 1950年代から60年代にかけて海洋底の調査・研究が進み、アメリカのヘスとディーツは、マントル物質が上昇した海嶺で海洋底が新しくつくられ、両側に移動していく、海溝でマントル内部に沈んでいく、という海洋底拡大説を発表した。その発表から程なくして、海洋底拡大説を支持する証拠がいくつか見つけられた。磁気異常の縞模様もその一つである。海嶺の中央部でマグマが冷えて岩石が形成されるとき、岩石中にその当時の地球の磁場が残留磁気として記録される。地磁気の逆転が起こると、逆向きの残留磁気が記録される。このようにして、海洋底の移動に伴って、残留磁気は現在と同じ向きの部分と逆の向きの部分が交互に並ぶことになる(図1-1)。

【ポイント】

プレート

地殻とマントル上部からなるリソスフェアのこと。地球の表面を覆う。

プレートテクトニクス

地震や火山などの活動をプレートの運動で説明する考え方。

大陸移動説

現在の大陸は、かつて一つの大きな大陸(超大陸)を形成しており、それが分裂して現在の分布になったとする説。ウェゲナーが発表した。

海洋底拡大説

海嶺で海洋底は新しくつくられ、両側に移動し、海溝で地球内部に沈んでいくという考え方。

実際に地磁気の強さを海上で計測すると、現在の地磁気と同じ向きの残留磁気をもつ海洋底の上では地磁気が強められ、逆の向きの残留磁気をもつ海洋底の上では地磁気が弱められるために、地磁気が強いところと弱いところが交互に並ぶ。これを磁気異常の縞模様と呼ぶ。

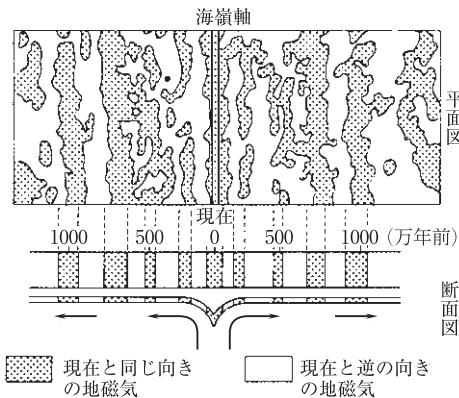


図 1-1 磁気異常の縞模様

問題の図 1において、海嶺に隣接する海洋底(灰色の部分)は、一番新しい時代に形成されたものであり、現在の地磁気と同じ向きの残留磁気をもつ。一方、白色の部分は地磁気が逆転していた時代の残留磁気である。したがって、灰色の部分では地磁気が強く、白色の部分では弱くなる。よって、④が正解である。

2 …④

問 3 20世紀の終わり頃には、多くの地点で観測された地震波の伝わり方の解析から、マントル内の同じ深さであっても場所により地震波速度が大きかったり小さかったりすることがわかってきた。このように地震波が伝わる速度の三次元的な分布を明らかにする手法を地震波トモグラフィーという。地震波速度が周囲より大きいところは岩石が硬く低温であり、地震波速度が周囲より小さいところは岩石がやわらかく高温であると考えられる。低温の部分は、密度が大きくマントル内を下降する流れ(コールドプルーム)と考えられている。高温の部分は、密度が小さくマントル深部からの大規模な上昇流を形成していると考えられており、この上昇流のことをプルーム(ホットプルーム)という。プルームのうち巨大なものはスーパー・プルームとも呼ばれる(図 1-2)。現在、マントル物質の大規模な下降流は日本列島付近からユーラシア大陸東部の下にかけて確認されており、プルームは南太平洋・ 佛領・ ポリネシアの下やアフリカ大陸の大地溝帯の下で確認されている。

磁気異常の縞模様

海嶺を軸として対称に地磁気の強いところ(現在と同じ向きの残留磁気)と弱いところ(現在と逆向きの残留磁気)が縞状に並ぶ。

地震波トモグラフィー

地震波速度の三次元的な分布を解析する手法。

プルーム

マントル内部の大規模な柱状の上昇流。ホット・プルームともいう。

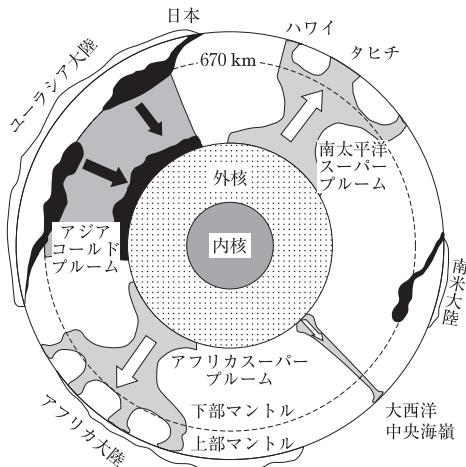


図1-2 マントル内の大規模な動き

a マントル物質の下降流があるところは、周囲の同じ深さの領域より密度が大きく低温の部分であるため地震波速度は大きい。よって、この文は誤りである。

b アフリカ大陸の下では、周囲の同じ深さの領域より地震波速度が小さい部分が確認されており、高温で密度の小さいマントル物質が上昇していると考えられている。よって、この文は正しい。

c 海溝やトラフから沈み込んだプレートは、深さ 670 km 付近で滞留した後、核-マントル境界面へ下降すると考えられている。よって、この文は誤りである。

以上から、「誤、正、誤」の組合せの⑥が正解となる。

3 …⑥

B 地磁気

日常生活を送っていると地磁気を実感する機会はほとんどないが、方位磁石のN極がほぼ北を指すことから、地球が磁場をもっていることを確認できる。今回は、地磁気の要素に対する理解を問う問題を中心に出題した。

問4 地磁気は、北極側にS極、南極側にN極があり、地球の地軸（自転軸）から約10°傾いて地球の中心に仮想された棒磁石のつくる磁場に最も近い（図1-3）。なお、地軸は公転面の垂線から約23.4°傾いているが、このことと地磁気とは関係はない。よって正解は④となる。

実際は、地球内部は高温のため、磁性鉱物でも磁性は失ってしまう。地球内部の外核では、溶融した鉄が流動することで常に電流が流れしており、それが原因となって地磁気がつくられていると考えられている。この考え方をダイナモ理論という。 4 …④

地磁気

地球の地軸から約10°傾いた棒磁石のつくる磁場で近似される。

ダイナモ理論

液体の外核が流動することで電流が流れ、電流が地磁気をつくるという考え方。

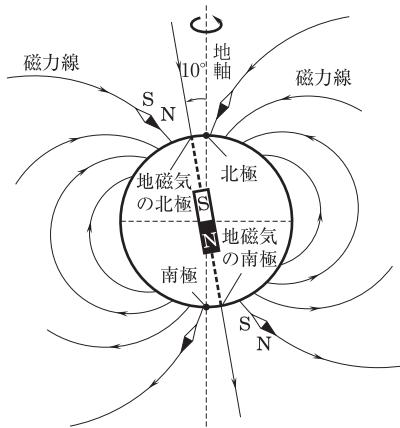


図 1-3 地磁気

問5 ある地点における地磁気は向きと強さで表される。全体としての地磁気の強さを全磁力、水平方向の強さを水平分力、垂直方向の強さを鉛直分力、水平分力の方向と真北との角度を偏角、全磁力の向きと水平面とのなす角を伏角という(図1-4)。

これら地磁気の要素のうちから三つを選ぶと、ある地点での地磁気の向きと強さが決定できる。この三つを地磁気の三要素という。偏角は、他の要素で表すことができないので、必ず含めなければならない。逆に考えると、偏角以外の要素は別の要素で表すことができるのである。

本問では、水平分力と伏角から全磁力を求めればよい。図1-5からもわかるように、全磁力は水平分力を伏角の \cos の値で割ると求められる。 $\cos 50^\circ = 0.64$ であることから、

$$30000 \div 0.64 = 46875$$

となるので、正解は⑥となる。

5 ⋯ ⑥

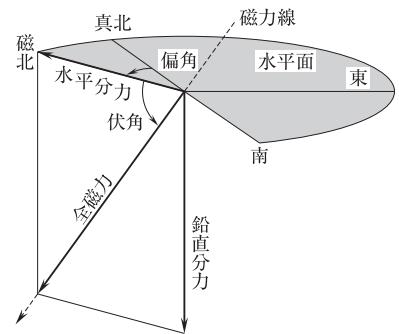


図 1-4 地磁気の要素

地磁気の三要素

偏角を含む三つの要素を選ぶと、ある地点での地磁気の向きと強さを決定できる。

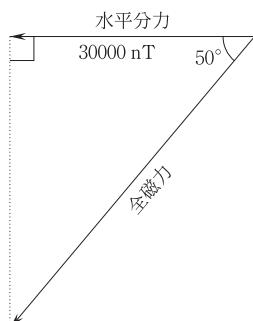


図 1-5

問6 地磁気は常に変動している。太陽風など地球外部の要因による変動と、地球内部の外核に原因がある変動がある。外核に原因があるような數十～数千年にわたる地磁気の変動を永年変化といい、岩石の残留磁気などから推定される。現在の日本付近での偏

角は西に数度であるが、過去をさかのばると偏角が東の時期もあった。

本問では、偏角と伏角の永年変化を題材とした。問題の図2より、現在(2000年)の偏角の値は約7°西と読み取れる。偏角が西で最大のときは0年と600年の約16°、東で最大のときは250～300年の約14°である。また、伏角の現在の値は約49°と読み取れる。伏角が最大のときは650年の約58°、最小のときは1550年の約36°である。これらの中から各選択肢について考えると、

① 偏角が現在の7°西から最もずれているのは14°東なので、21°ずれている。よって、この選択肢は正しい。

② 偏角が真北から最もずれているのは16°西である。よって、この選択肢は誤りである。

③ 伏角が現在の49°から最もずれているのは36°なので、13°ずれている。よって、この選択肢は誤りである。

④ 伏角は36°～58°の間で変化しているので、最大のずれの角度は22°である。よって、この選択肢は誤りである。[6]…①

第2問 岩石と鉱物

A 火山岩

マグマが地表付近で冷え固まってできた火山岩について、火山岩の産状、種類、特徴に関する問題を出題した。

問1 a 噴出したマグマがそのまま冷え固まつたものは火成岩（この場合は火山岩）に分類されるが、凝灰岩は、火山灰などの火山碎屑物^{さいせつ}が堆積^{たいせき}して固まつてできるので、堆積岩に分類される。よって、aは誤りである。

b 海底に噴出したマグマは水中で急冷して固まるので、形成された岩石は火山岩に分類される。よって、bは正しい。

c 現在陸上に露出している火成岩だからといって、地表付近で冷え固まつた火山岩であるとは限らない。地殻の隆起と地表の侵食によって、花こう岩をはじめとする種々の深成岩が陸上の各地で露出している。よって、cは誤りである。

以上から、「誤、正、誤」の組合せの⑥が正解となる。

[7]…⑥

問2 aとbは、火山岩に見られる斑状組織についての問い合わせである。斑状組織は、粗粒な結晶の斑晶と、ガラスや細粒の結晶の石基からなる組織である（図2-1）。斑晶は地下のマグマ溜りで成長していた結晶であり、石基はマグマが急速に冷却されることによって十分に結晶が成長できなかつた部分である。石基を含む斑状組織になるかどうかはマグマの冷却速度で決まるのであり、成長した結晶が鉱物ごとに固有の大きさをもつために斑状組織がつくられるわけではない。よって、aは誤りで、bが正しい。

火山岩

マグマが比較的短い時間のうちに冷え固まつてできた火成岩。^{はんしょく}斑晶と石基からなる斑状組織^{はんじょう}を呈する。

火成岩の組織による分類

斑状組織：火山岩

等粒状組織：深成岩

斑晶

斑状組織を示す岩石に見られる粗粒な結晶。

石基

斑状組織を示す岩石に見られるガラスや細粒の結晶。斑晶を取り巻くように分布。

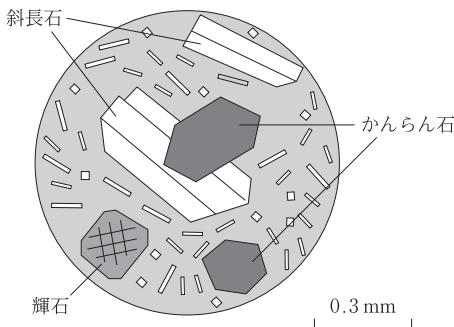


図2-1 斑状組織(玄武岩の例)

cとdは色指数に関する問い合わせである。色指数は火成岩中に占める有色鉱物の割合(体積比)であるので、色指数を知るには火成岩中の鉱物組成を調べる必要がある。等粒状組織を示す深成岩は粗粒の結晶からなるため、構成鉱物を識別して色指数を求めることができる。しかし、火山岩の場合、岩石の色調を大まかに表現することはできても、ガラスや細粒の結晶からなる石基を含むために鉱物組成を正確に求めることはできない。したがって、石基を含むことが色指数を正確に求められない原因であり、斑晶の大きさは関係ない。よって、cは誤りで、dが正しい。

8 ⋯④

問3 本問の溶岩は、粘性の比較的大きなマグマを起源とし、地表で冷え固まったものである。一般に、粘性が小さい溶岩の表面はなめらかになるが、粘性が大きい溶岩の表面はごつごつした形状になったり、問題の図1のように塊状になることが多い。こうした特徴を知らない場合、枕状溶岩が粘性の小さいマグマが海底に噴出してできるものであることを知っているれば、消去法で塊状溶岩を選べるはずである。溶岩は地表で冷え固まった火山岩であるから、深成岩であるかんらん岩や花こう岩は該当しない。よって、安山岩を選べるので、正解は①である。

9 ⋯①

B 広域変成作用

プレートの収束境界における造山運動、および造山運動の過程で生じる広域変成作用に関する問題である。

問4 ① 地層が水平方向に圧縮されて波状に変形したものを褶曲という。褶曲はプレートの沈み込みや衝突が起きるプレート収束境界で形成されることが多い。よって、①は正しい。

② 大陸プレートどうしが衝突するような所では、水平方向に圧縮する力が大きくはたらくので、逆断層や横ずれ断層が生じやすい。正断層は水平方向に引っ張りの力が加わる所で生じやすく、プレートの拡大境界付近に多く見られる。よって、②は誤りである。

③ 海洋プレートが沈み込む際、深海底堆積物は地球内部へ沈み込まずに大陸プレートの縁辺部に付け加わって地球表層に取り

色指数

火成岩中に占める有色鉱物の割合(体積比)。

枕状溶岩

海底に噴出した粘性の小さいマグマが急冷してできた丸みをおびた形状の溶岩。

広域変成作用

造山運動に伴う高い温度・圧力のもとで広い範囲で生じる変成作用。

残されることがある。この大陸縁辺に付け加わる深海底堆積物などの地質体を付加体という。付加体は大陸地殻を水平方向に成長させる役割をもっている。よって、③は正しい。

④ 島弧はプレートの収束境界付近に位置しており、地震活動や火山活動が活発な所である。よって、④は正しい。 **10** …②

問5 広域変成岩は、既存の岩石が温度と圧力の変化を受けることによって形成され、高温低圧型の片麻岩と、低温高压型の結晶片岩に大きく分けられる。図2-2は、これらが形成されやすい温度・圧力を示したものである。なお、問題の図2と図2-2は横軸と縦軸の指標が逆になっているので注意してほしい。

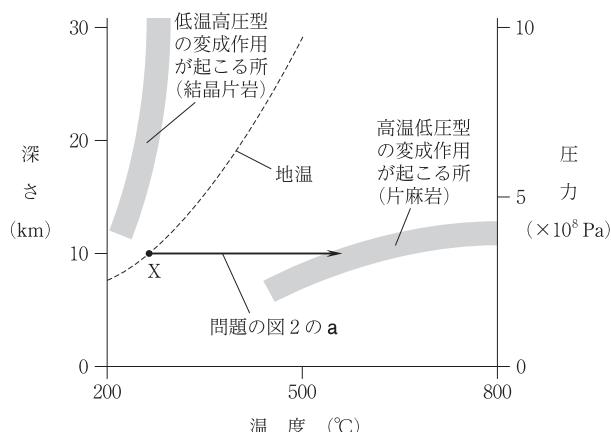


図2-2 広域変成岩がつくられる温度と圧力

問題の図2のX点は深さ10 kmにあるが、高温低圧型の片麻岩が形成される温度・圧力にするには、深さ(圧力)はそのままでも温度を高くする必要がある(図2-2)。よって、aが正しい。

bは低温高压型の結晶片岩がつくられるための道筋である。cは地温に沿った温度変化であり、この道筋では温度・圧力がともに低くなることから、高温低圧の環境にはならないので不適である。

dとeでは片麻岩の組織が問われている。片麻岩は、有色鉱物と無色鉱物の配列によってつくられる縞状組織(縞状構造)が特徴である。eの片状組織(片理)は板状や柱状の結晶が一方向に配列してつくられる組織で、低温高压型の結晶片岩に見られる特徴である。よって、dが正しい。

以上より、①が正解となる。 **11** …①

問6 本問は、同じ沈み込み境界であっても、沈み込む海洋プレートの年代によって広域変成作用のタイプが異なるものになることを考察する問題である。

問題の図3において、500°Cの等温線が下に凸の曲線で示されているのは、沈み込む海洋プレートの温度が周囲よりも低いため

付加体

海洋プレートが沈み込む際に大陸の縁辺部に付け加わる深海底堆積物などの地質体。

片麻岩

高温で低圧の環境で形成される広域変成岩の一つ。有色鉱物と無色鉱物の配列によって形成される縞状組織(縞状構造)が特徴である。

結晶片岩

低温で高圧の環境で形成される広域変成岩の一つ。構成鉱物のうち、柱状・板状の結晶が、一方向に配列する組織(片理)が特徴である。

に、くさび状に低温の領域がつくられるからである。

問題の図4は、500°Cの等温線が問題の図3よりも全体的に浅部に位置し、問題の図3に比べて低温の海洋プレートの影響が深部まで及んでいないことを示している。よって、問題の図4の海洋プレートは、問題の図3の海洋プレートに比べて沈み込みにくくなっているといえる。

また、500°Cの等温線の入り方から見て、Z地点の方がY地点より温度が高くなっている、Y地点よりも高温の変成作用を受けやすくなっているといえる。よって、⑨が正しい。

問題の図3のY地点付近は、一般に低温高圧型の広域変成岩(結晶片岩)が形成されやすい所である。問題の図4のZ地点付近はY地点より温度が高い環境にあるため、Y地点に比べて低温高圧型の広域変成岩は形成されにくくなる。

12 …⑨

第3問 地質

A ルートマップ

ルートマップをテーマに、地質構造や形成順序を組立てる問題を出題した。放射年代などの基礎的事項も確認しておこう。

問1 地層境界面および断層面と水平面との交線の方向を走向という。走向の方向では、同じ高さに同じ地層境界面を観察することができる。A層～C層の走向はNSであり、標高160mの地点Pは、同じ標高である地点2の真南に位置する。したがって、地点Pにおいても、地点2と同様にB層とC層の地層境界を観察することができる(図3-1)。

13 …⑩

問2 地点3で観察された断層Fは垂直な断層であるため、地形の起伏にかかわらず走向の方向に直線状に現れる(図3-1)。また、A層～C層は中生代、D層・E層は新生代に形成されていることから、水平層であるD層・E層の下位に、東へ傾斜したA層～C層が分布した傾斜不整合の関係となっている。断層Fの東側に位置する地点5(標高180m)において、上位のE層と下位のB層の地層境界が見られたことから、水平層であるE層の下面の標高は180mであるとわかる(図3-1)。一方、断層Fの西側に位置する地点Q(標高150m)において、上位のE層と下位のC層の地層境界が観察されたことから、E層の下面の標高は150mであるとわかる(図3-1)。断層Fを挟み、E層の下面の標高が、東側では180m、西側では150mであることから、断層Fは、西側の地盤が相対的に30m沈降したとわかる。

14 …⑩

走向

地層境界面や断層面と水平面との交線の方向。

傾斜不整合

不整合の関係にある地層の走向・傾斜が異なるもの。

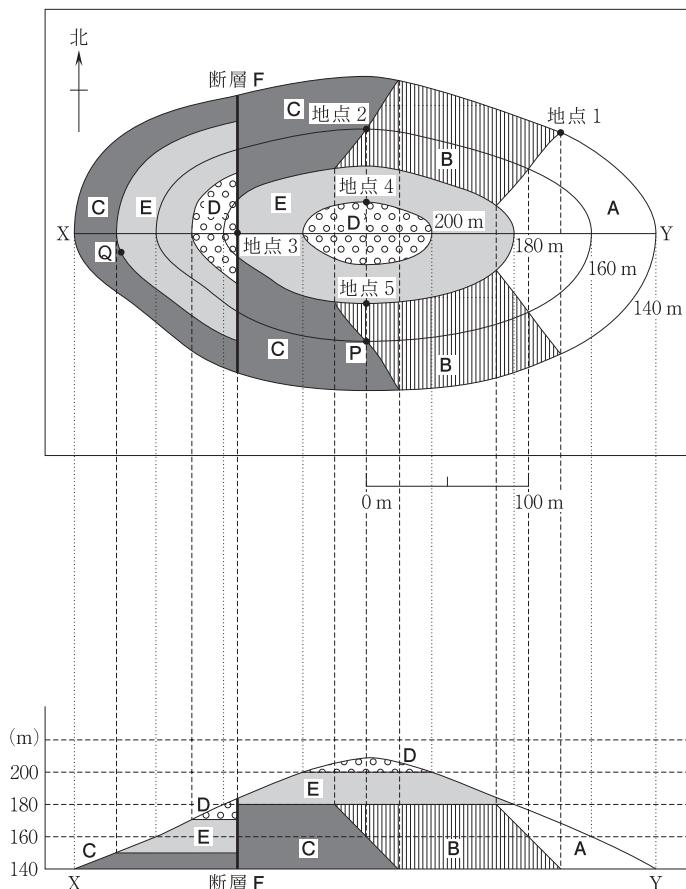


図 3－1 地質平面図と断面図

問3 水平層であるD層・E層と下位のA層～C層は不整合の関係にあり、中生代のA層～C層の後に、新生代のD層・E層が形成された。また、この地域には地層の逆転がないことから、地層累重の法則が成立する。A層～C層は整合関係にあり、すべて傾斜は45°Eである。地点1ではA層の下位にB層が見られ、地点2ではB層の下位にC層が見られたことから、形成順序はC層→B層→A層である(図3－1)。地点5ではB層の上位にE層が見られ、地点4ではE層の上位にD層が見られたことから、形成順序はE層→D層である。地点3では垂直である断層Fの西側にD層、東側にE層が見られたことから、断層Fは、D層とE層が形成された後に活動したことがわかる。以上のことから、形成順序は、C層→B層→A層→E層→D層→断層Fとなる。

問4 ^{14}C (放射性炭素)のような放射性同位体は、時間の経過とともに放射性崩壊によって量(原子核の数)が減少する。その量が、最初の半分になるまでの時間を半減期といい、半減期は放射性同位体ごとに決まった値をとる。 ^{14}C の半減期は5700年である。植物片に含まれていた ^{14}C の量が、もとの量の $\frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^4$ で

地層累重の法則

地層の逆転がない場合、下位の地層ほど形成が古い。

半減期

放射性崩壊によって放射性同位体の量(原子核の数)が半分になるのに要する時間。放射性同位体ごとに定まっており、温度や圧力などの影響で変化しない。

あったことから、半減期を4回繰り返していることがわかる。したがって、D層が形成された時期は、

$$5700 \times 4 = 22800 \approx 23000 \text{ (年前)}$$

となる。

数値で示す年代を絶対年代というが、このうち、放射性崩壊を利用して求めた絶対年代を放射年代という。表3-1に、放射性同位体を利用した放射年代の測定法と放射性同位体の半減期を示す。半減期が長いものは古い年代の測定に適しており、¹⁴Cのように短いものは新しい年代の測定に適している。 16 …③

表3-1 放射年代の測定法と放射性同位体の半減期

測定法の名称	放射性同位体	半減期(年)	最終生成同位体
ウラン・鉛法	²³⁸ U	4.5×10^9	²⁰⁶ Pb
トリウム・鉛法	²³² Th	1.4×10^{10}	²⁰⁸ Pb
カリウム・アルゴン法	⁴⁰ K	1.3×10^9	⁴⁰ Ar, ⁴⁰ Ca
ルビジウム・ストロンチウム法	⁸⁷ Rb	4.9×10^{10}	⁸⁷ Sr
放射性炭素(¹⁴ C)法	¹⁴ C	5.7×10^3	¹⁴ N

B 新生代

地質時代は、おもに動物界の変遷によって区分されている。新生代は、われわれ人類も含む哺乳類が繁栄している時代である。新生代の示準化石や環境の変化について、教科書等をよく読み理解しておこう。

問5 ア：白亜紀末に恐竜などの生物の大量絶滅が起こり、中生代は終わりを迎え、新生代が始まった。このときの絶対年代は、約6600万年前である。各地質時代境界の絶対年代は覚えておこう。

イ：新生代の示準化石には、大型の有孔虫であるヌンムリテス(カヘイ石), 巻貝のビカリヤ(ビカリヤ), 哺乳類のデスマスチルス, マンモス, ナウマン象, オオツノジカなどがある。なお、モノチスは中生代の示準化石である。 17 …⑥

問6 ① 全球凍結とは、地球表層で著しい寒冷化が起こり、両極地域だけでなく、赤道周辺のような低緯度域でも氷河や海水が形成された状態をいう。先カンブリア時代の原生代(約25億~5.4億年前)に少なくとも2回の全球凍結が起こっているが、新生代には起きていない。したがって、この選択肢は誤りである。

② 古生代以降、地球上では5回の大規模な生物の大量絶滅が起きた。しかし、新生代新第三紀末には生物の大量絶滅は起こっていない。したがって、この選択肢は誤りである。5回の大規模絶滅の中でも、古生代ペルム紀末の絶滅が最大規模であり、海洋での大規模な酸素欠乏や活発な火山活動が影響を及ぼしたといわれている。

地質時代境界の絶対年代

- 先カンブリア時代と古生代 約5.4億年前
- 古生代と中生代 約2.5億年前
- 中生代と新生代 約6600万年前

おもな示準化石

- 古生代
三葉虫, ウミユリ, ロボク, リンボク, 紡錐虫(フズリナ)
- 中生代
アンモナイト, 恐竜, モノチス, トリゴニア(三角貝), イノセラムス
- 新生代
古第三紀: ヌンムリテス(カヘイ石)
新第三紀: ビカリヤ(ビカリヤ), デスマスチルス
第四紀: マンモス, ナウマン象, オオツノジカ

③ インド亜大陸は、元々南半球側に位置していたが、中生代後半に分裂して北上し、新生代になるとアジア大陸に衝突した。ヒマラヤ山脈やチベット高原などの高峻な山脈・高原は、この衝突によって形成されている。標高 4000~8000 m のチベット高原・ヒマラヤ山脈によって、大気の流れの向きが変えられ、内陸には乾燥した地域が広がった。しかし、恐竜の絶滅は中生代白亜紀末であるため、この選択肢は誤りである。

なお、チベット高原・ヒマラヤ山脈によって大気の流れが変化したこと、東アジアに梅雨期などの季節的な多雨がもたらされるようになり、現在のモンスーン気候が見られるようになった。

④ 新生代初期に、南極大陸は、アフリカ大陸、南アメリカ大陸、オーストラリア大陸などから分離し、現在の南極付近へと移動した。その結果、南極大陸のまわりを周回する南極周極流(南極海流)が誕生し、赤道からの暖かい海流が南極大陸付近に流入することができなくなったため、南極大陸では寒冷化が進行した。したがって、この選択肢は正しい。

[18] …④

第4問 大気と海洋

A 天気図

天気予報などで見る天気図は地上天気図である。地上天気図の等圧線と地上風との関係、高層天気図との関係について出題した。

問1 問題の図1中のP, Q, Rの3地点は、ほぼ緯度が等しいので、転向力(コリオリの力)による差がなく、気圧傾度力が大きいほど風速は大きくなる。気圧傾度力は、等圧線の間隔が狭いほど大きくなるので、風速は、大きい方から、R, Q, Pの順となる。

[19] …⑥

問2 地上風は、気圧の差によって生じる気圧傾度力、地球が自転しているために生じる転向力、地表面との摩擦によって生じる摩擦力の三つの力がつり合って吹いている(図4-1)。

気圧傾度力は、気圧の高い方から低い方へ、等圧線に直角にはたらく力である。問題の図1の天気図では、R地点の北に低気圧があり、北に向かって低圧となっているので、気圧傾度力はaの方向にはたらく。転向力は、北半球では風の吹いていく方向に対して直角右向きにはたらくので、eの方向である。摩擦力は、風と逆向きにはたらくので、cの方向である。したがって、③が正解である。

[20] …③

地上風

気圧傾度力と転向力と摩擦力がつり合って吹く風。

気圧傾度力

等圧線に直角に、気圧の高い方から低い方へはたらく力。

転向力(コリオリの力)

北半球では風の吹いていく方向の直角右向きにはたらく力。

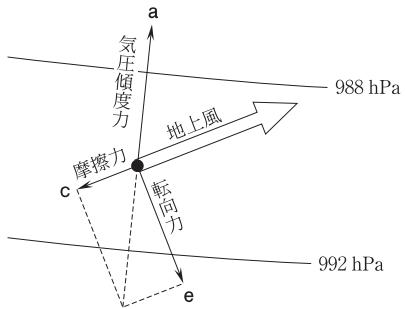


図 4-1 R 地点の地上風にはたらく力

問 3 中・高緯度に位置する日本付近の上空には偏西風が吹いている。偏西風は、南北に大きく蛇行することによって、低緯度の熱を高緯度へ輸送する役割を担っている。偏西風の蛇行は、高層天気図でその様子を見ることができる。上空では摩擦力がはたらかないので、風は、気圧傾度力と転向力がつり合って、北半球では気圧の高い方を右に見ながら等圧線(高層天気図では等高線)に平行に吹く。

高層天気図は、等圧面高度の等高線で表されている。図 4-2 に、500 hPa の等圧面の高度を示した高層天気図を模式的に表した。等高線は低緯度で高く、高緯度で低くなってしまっており、南北に蛇行している。この蛇行のうち、低緯度側に張り出している所を気圧の谷、高緯度側に張り出している所を気圧の尾根という。地上では、気圧の谷の東側で温帯低気圧が発達する(図 4-3)。したがって、問題の図 1 では、低気圧のやや西にある破線部の上空に、等高線が南側に凸の気圧の谷があることが推定できるので、④が正解である。

21 ⋯④

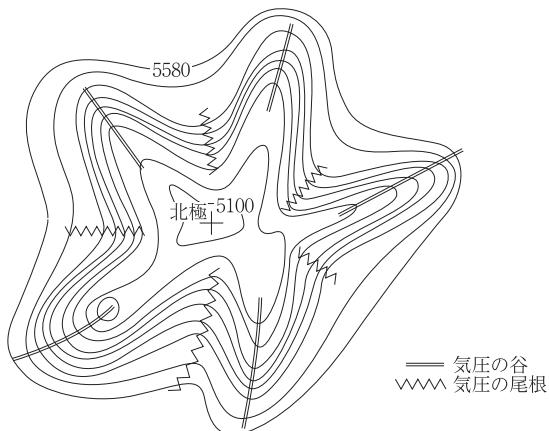


図 4-2 気圧の谷・気圧の尾根

数値は 500 hPa の等圧面の等高線の高度

偏西風

中・高緯度地域に吹く西寄りの風。

偏西風波動によって、低緯度の熱を高緯度へ運んでいる。

気圧の谷

等圧面の等高線が低緯度側に張り出しているところ。やや東側の地上付近で温帯低気圧が発達しやすい。

気圧の尾根

等圧面の等高線が高緯度側に張り出しているところ。

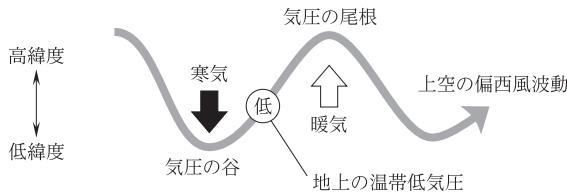


図4-3 気圧の谷と温帯低気圧

B 波

海面の波、津波、潮汐に関する問題を出題した。

問4 海面に波を起こさせるのは、おもに風である。風によって起こる波を風浪(ア)という。風浪はさまざまな波長や波高をもった波で、不規則な形をしてとがった峰をもっているのが特徴である。風浪が風のないところにまで伝わって行くと、なだらかな形状の峰をもつ規則的な波となる。このような波をうねり(イ)という。風浪とうねりが混在したものが波浪である。台風によって生じたうねりは台風より早く日本沿岸に到達し、土用波(ウ)と呼ばれる。なお、高潮は、台風の中心近くで気圧の低下や強風による吹き寄せなどによって海面が上昇する現象で、沿岸に浸水などの被害を引き起こすことがある。 [22] …①

問5 地震災害の一つとして、津波を忘れる事はできない。津波は、海溝型地震など、海底の浅所で巨大な地震が発生したとき、海底が大きく隆起したり沈降したりすることで発生する。津波は震央近くの海岸だけでなく、海洋を伝わって地球の裏側にまで被害を及ぼすことがある。津波の速度 v は、重力加速度 g と水深 h の積の平方根($v = \sqrt{gh}$)であるので、重力加速度 10 m/s^2 と水深 4000 m を代入すると、速度は、

$$v = \sqrt{10 \times 4000} = 200\text{ (m/s)}$$

と求められる。この速度でハワイまでの 6000 km を伝わると、到達するまでの時間は、

$$\frac{6000 \times 10^3}{200} = 30000\text{ 秒} = 8\text{ 時間}20\text{ 分} \approx 8.3\text{ 時間}$$

である。したがって、③が正解である。 [23] …③

問6 潮汐は、月と太陽の引力によって地球表面にある海水が周期的に移動し、海面が上昇・下降する現象である。

① 干潮(引き潮)、満潮(満ち潮)は月の引力が影響している。地球と月は両者の共通重心を中心に互いに回転しており、図4-4に示されるように、地球の中心Oでは、月から受ける引力と、回転による遠心力とがつり合っている。このうち、遠心力は地球のどこでも同じ大きさであるが、月の引力は、月までの距離が近い方が大きいため、月に面しているA点では遠心力よりも月の引力の方が大きくなり、裏側のB点では月の引力の方が小さくな

風浪

風によって起こる波。

うねり

風浪が風のないところまで伝わったもの。

潮汐

月と太陽の引力の影響によって海面が上昇・下降すること。

約1日周期で、干潮・満潮が2回ずつ起こる。

る。よって、遠心力と引力の合力はA点・B点では地球の中心から外側にはたらく。この力が起潮力であり、A点・B点では海水面は上昇し、満潮となる。一方、C点・D点では月がやや傾いた方向にあるため起潮力は地球の中心方向へ向かい、海水面は下降して干潮となる(図4-5)。よって、地球が1回転自転する約1日の間に満潮と干潮がそれぞれ2回ずつ起こることになる。したがって、1日にそれぞれ1回ずつという記述は誤りである。

実際は、地球が自転する間に月も公転しているので、潮汐の周期は、12時間ちょうどではなく、約12時間25分となる。よって、満潮と干潮は、通常は1日にそれぞれ2回ずつ起こるが、どちらか一方が1回欠ける日もある。

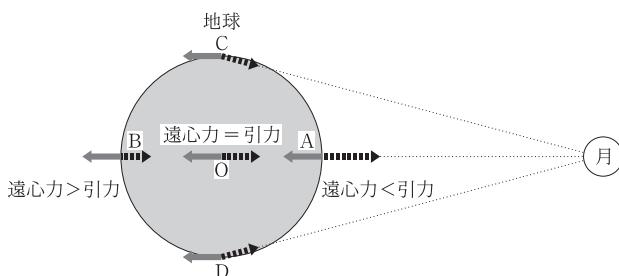


図4-4 遠心力と引力のつり合い

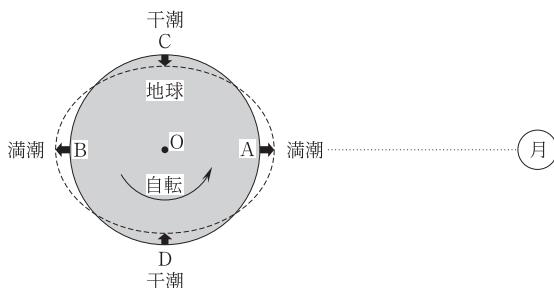


図4-5 満潮と干潮

② 太陽は、引力自体は非常に大きいが、地球との距離が大きいため、太陽に面した側と裏側との引力の差は月ほど大きくなく、太陽の起潮力は月の約2分の1である。したがって、誤りである。

③・④ 大潮・小潮は、太陽と月と地球との位置関係で生じる。太陽と月と地球が直線上に位置する満月・新月のときは、月と太陽の起潮力が同じ方向にはたらくので、大潮となる。下弦の月・上弦の月のときのように、月の方向が太陽の方向と直交しているときは、起潮力が逆方向になって打ち消し合い、干満の差が小さい小潮となる(図4-6)。したがって、③が正解で、④は誤りである。

[24] …③

大潮・小潮

満月・新月のとき、太陽と月の引力の方向が重なって、大潮となる。

上弦の月、下弦の月のとき、太陽と月の引力の方向が直交して、打ち消し合いで、小潮となる。

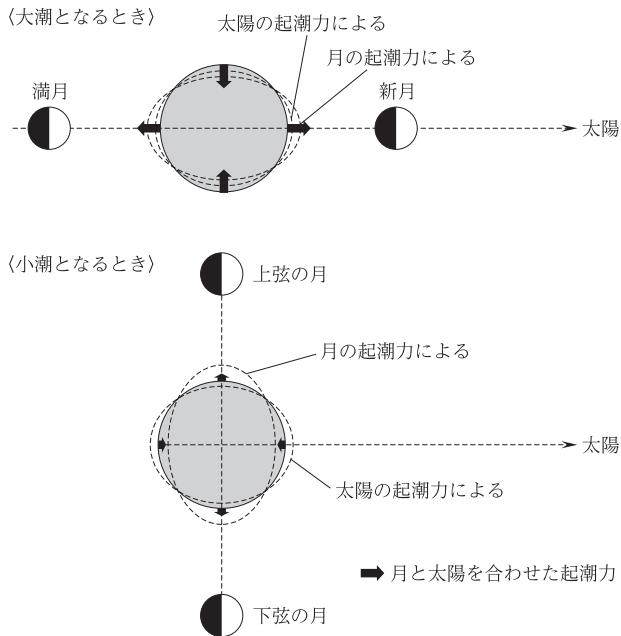


図 4-6 大潮と小潮

第5問 宇宙

A 太陽系の天体

太陽系は、太陽と、そのまわりを公転している8個の惑星、小惑星、彗星、惑星のまわりを回っている衛星および太陽系外縁天体、微細な星間物質などによって構成されている。今回は太陽系の天体の特徴と流星について出題した。

問1 ア : 惑星のまわり、または小天体のまわりを公転している天体を衛星という。地球型惑星のうち、水星と金星には衛星がなく、地球には1個、火星には2個の衛星があり、その数は木星型惑星と比較すると少ない。小惑星はおもに火星と木星の間に存在し、太陽のまわりを公転している。小惑星は軌道が確定しているものだけで数十万個ある。

イ : 太陽に近い領域にある水星、金星、地球、火星の4個の惑星は、地球型惑星に分類され、その半径は数千 km である。太陽から離れた領域にある木星、土星、天王星、海王星の4個の惑星は、木星型惑星に分類され、半径は数万 km で地球型惑星より大きい。

木星の半径は 71492 km であり、水星の半径 2440 km のおよそ 30 倍である。この問い合わせに関して、木星と水星の半径の数値は覚えておく必要はないが、太陽系で最大の大きさをもつ木星は地球の 10 倍以上の半径があることと、最小の水星は地球より小さいことから、解答にたどり着いてほしい。

ウ : 海王星の軌道の外側にある多数の小天体をまとめて太陽

太陽系の惑星の大きさ

木星が最大、水星が最小。

めいおうせい
系外縁天体という。冥王星やエリスも太陽系外縁天体で、彗星の源となる天体も含まれていると考えられている。なお、メインベルトとは、火星と木星の間の小惑星が多数存在する領域をいう。

25 ⋯⑦

問2 火星の赤道半径は地球の約 $\frac{1}{2}$ 、質量は地球の約 $\frac{1}{10}$ で、火星は地球と比べるとかなり小さい。大気の主成分はCO₂(95.3%)であり、表面温度は-100~0℃程度である。表面の大気圧は約6hPaで地球と比較して非常に小さい。

① 問題文中に「接近」とあることから、火星の位置は衝付近であり、最も明るくなっていると考えることができる。水星、金星、火星、木星、土星は最も明るいときの見かけの等級は1等より小さく(明るく)なる。よって、火星の見かけの等級は1等より小さくなっていると考えられ、3等では等級が大きすぎる。ちなみに、2014年4月の接近時には-1.5等であった。

また、火星の表面は赤く見えるが、これは岩石中の鉄分が酸化したものである。

② 火星は大気が非常に希薄であるため、雲の発生は少なく、地表面の地形を可視光線で観察することができる。地形としては多種多様な火山が発見されており、その中でも高度約27kmにも及ぶ盾状火山のオリンポス山が有名である。また、大峡谷と無数の溝状の谷地形(チャネル)が分布しており、大洪水の後の地形に似ていることから、かつて水が存在していたという説が有力である。

③ 楕円のつぶれの度合いを偏平率といい、図5-1のように赤道半径をa、極半径をbとすると、偏平率fは以下の式で与えられる。

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

地球型惑星の火星は木星型惑星と比較して、半径は小さく、自転周期が長いため、惑星にはたらく遠心力が小さい。また、岩石や金属などの固体から構成されているため変形しにくい。したがって、地球型惑星は偏平率が非常に小さく、ほぼ円形に見える。

なお、太陽系の惑星で偏平率が特に大きく、楕円形に見えるのは、偏平率が約0.1の土星である。

④ 火星は自転軸が公転面と垂直な方向に対して約25°傾いているため、地球のように四季の変化がある。火星の冬側の半球では極付近に下層が氷、上層部がドライアイスからできた極冠と呼ばれる白く輝く部分ができる。

26 ⋯④

問3 a 流星は、宇宙空間に漂う星間塵が地球大気中に突入し発光する現象である。流星の発光高度は約80~120kmの熱圈である。したがって、aは正しい。

b 地球磁場の磁力線に沿って高緯度地域の大気に進入するの

偏平率

赤道半径をa、極半径をb、偏平率をfとする、 $f = \frac{a-b}{a}$

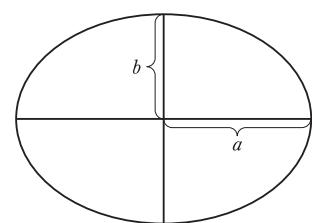


図5-1 偏平率

熱圈

高度80km以上の希薄な大気層。電離層が存在し、流星やオーロラが発光する。

は、流星のもとである星間塵ではなく、太陽から流れてくる荷電粒子であり、オーロラを発生させる。したがって、**b**は誤りである。

c 複星はその軌道上に多くの塵を放出しているため、その中に地球が突入すると、地球大気に多くの塵が飛び込み、流星がたくさん観測される。地球は公転軌道上の同じ点を毎年同じ時期に通過することから、毎年決まった時期に流星群が見られる。したがって、**c**は正しい。

以上から、「正、誤、正」の組合せの③が正解となる。

27 …③

B 連星

連星は、恒星の質量を正確に測定できる天体で、恒星の半数は連星であると考えられている。今回は連星の性質、運動、そして質量を求める問題を出題した。連星の質量が求まることから関連事項として、質量光度関係にも学習を広げていってほしい。

問4 連星のうち、明るく見える方を主星(**工**)、暗く見える方を伴星(**才**)という。連星の公転軌道が地球の公転軌道と一致する場合、一方の星が他方の星を隠す食現象が起きることによって明るさが周期的に変化する。このような連星を食変光星(**力**)または食連星といふ。脈動変光星は星が膨張・収縮を繰り返すことによって、周期的に光度が変化する変光星である。 **28** …①

問5 恒星Aは恒星Bより表面温度が高く、半径も大きいため光度も大きい。恒星A、恒星Bの位置と光度変化の関係を図5-2に示す。**Q**と**S**のときの光度は、恒星Aと恒星Bの光度の和となることから最大(**X**または**Z**)となる。**R**のときの光度は、明るい恒星Aの一部が暗い恒星Bに隠されることから最小(**W**)となる。**P**のときの光度は、暗い恒星Bが明るい恒星Aに隠されるため、**R**のときの光度よりは大きいが、**Q**と**S**のときの光度よりは小さくなる(**Y**)。よって、連星Kが**P**→**Q**→**R**→**S**の位置にあるときの光度は**Y**→**Z**→**W**→**X**と変化する(図5-2)。 **29** …③

流星群

特定の時期に流星が増加する現象。

変光星の種類

食変光星、脈動変光星

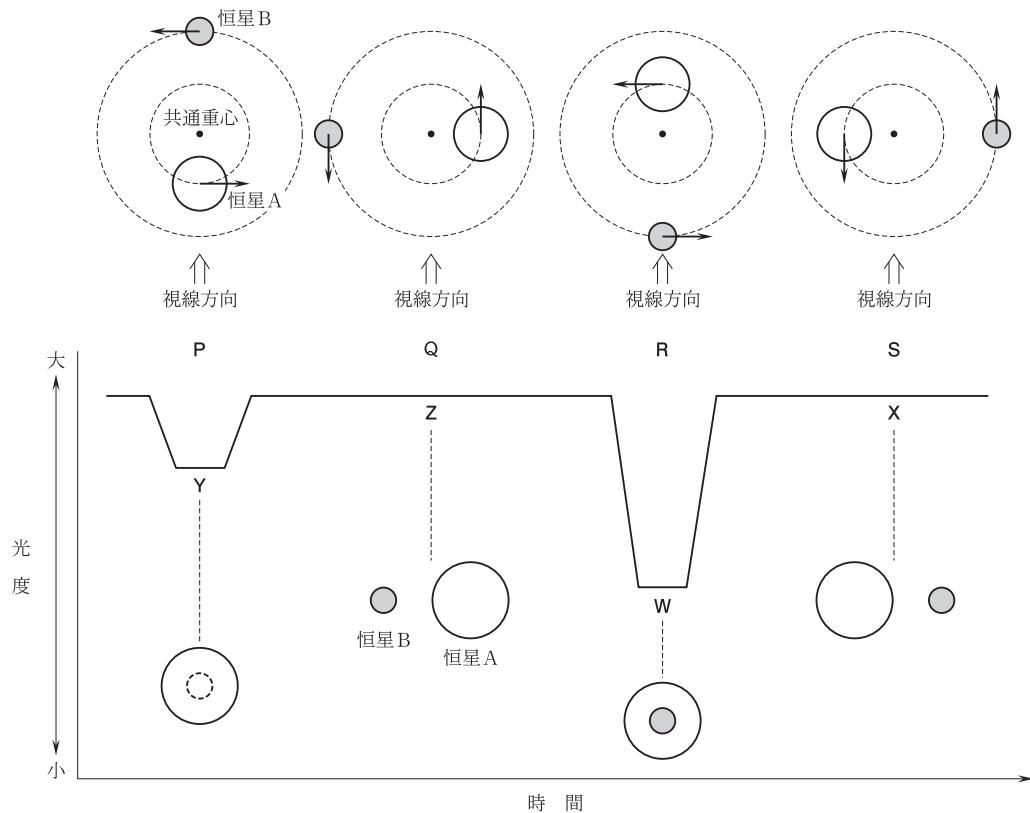


図 5－2 恒星 A, B の位置と光度変化曲線

問 6 恒星の質量を直接求めることができるのは、連星だけである。連星の質量をそれぞれ M , m (太陽質量), 平均距離を a (天文単位), 公転周期を P (年)とした場合, 太陽質量を 1 とすると, ケプラーの第三法則から次の式が成立する。

$$\frac{a^3}{P^2} = M + m$$

この問い合わせでは, $a = 24$, $P = 80$, $M = 2m$ であることから,

$$\frac{24^3}{80^2} = M + \frac{1}{2}M$$

$$M = 1.44 \text{ (太陽質量)}$$

となる。

ケプラーの第三法則

連星の質量 M , m (太陽質量), 平均距離 a (天文単位), 公転周期 P (年)

$$\frac{a^3}{P^2} = M + m$$

[30] ⋯②

物理 I

【解答・採点基準】

(100点満点)

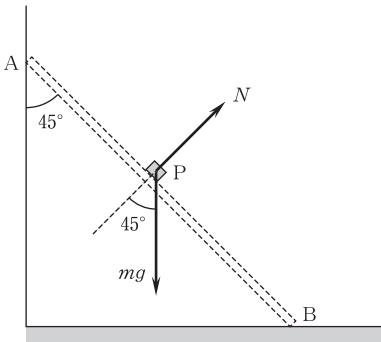
問題番号	設問	解番号	正解	配点	自己採点	
第1問	問1	1	④	4		
	問2	2	①	4		
	問3	3	①	4		
	問4	4	④	4		
	問5	5	②	4		
	問6	6	③	4		
第1問 自己採点小計			(24)			
第2問	A	問1	7	⑤	5	
		問2	8	③	4	
		問3	9	⑤	4	
	B	問4	10	①	3	
		問5	11	⑥	4	
第2問 自己採点小計			(20)			
第3問	A	問1	12	①	3	
		問2	13	④	5	
		問3	14	④	4	
	B	問4	15	⑦	4	
		問5	16	①	4	
		問6	17	④	4	
第3問 自己採点小計			(24)			
第4問	A	問1	18	③	3	
		問2	19	②	4	
		問3	20	③	5	
	B	問4	21	④	4	
		問5	22	①	4	
		問6	23	④	4	
	C	問7	24	④	4	
		問8	25	⑤	4	
第4問 自己採点小計			(32)			
自己採点合計			(100)			

【解説】

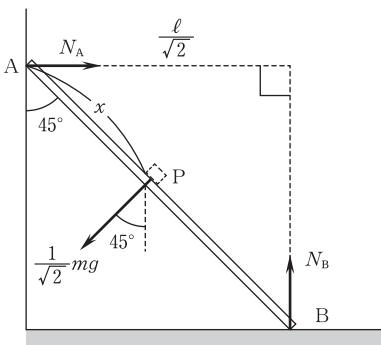
第1問 小問集合

問1 小物体Pの質量を m 、重力加速度の大きさを g とする。小物体Pに板からはたらく垂直抗力を N とする。板に垂直方向の力のつり合いより、

$$N = mg \cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}mg$$



次に、水平面から板に摩擦力がはたらいていないとき板にはたらく力を考える。壁からA端には垂直抗力 N_A 、水平面からB端には垂直抗力 N_B および、小物体Pから N の反作用として、板に垂直に $\frac{1}{\sqrt{2}}mg$ の力がはたらいている。



鉛直方向の力のつり合いより、

$$N_B = \frac{1}{\sqrt{2}}mg \cos 45^\circ = \frac{1}{2}mg$$

A端まわりの力のモーメントのつり合いより、

$$\frac{1}{\sqrt{2}}mg \times x = N_B \times \frac{\ell}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore x = \frac{N_B}{mg} \ell = \frac{1}{2} \ell$$

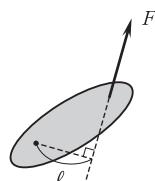
1 の答 ④

【ポイント】

物理
I

力のモーメント

$$(力のモーメント) = F \times \ell$$



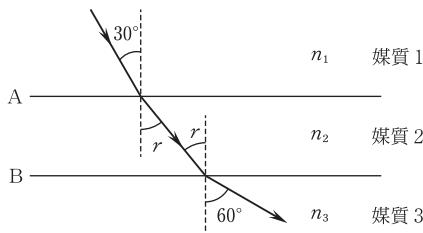
問2 媒質1, 媒質2, 媒質3の絶対屈折率をそれぞれ, n_1 , n_2 , n_3 とする。次図において屈折の法則より,

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad \cdots \text{①} \quad \frac{\sin r}{\sin 60^\circ} = \frac{n_3}{n_2} \quad \cdots \text{②}$$

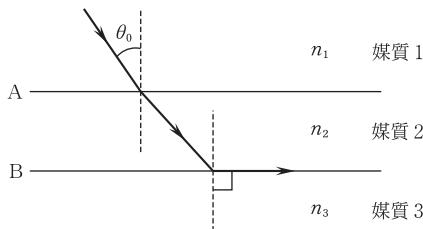
①×②より,

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{n_3}{n_1} \quad \cdots \text{③}$$

この式は、媒質1から媒質3に光が直接入射した場合と同じである。



屈折角が 90° になると全反射が起こり始める。 $r < 60^\circ$ であるので、境界面Aへの入射角をしだいに大きくしていくと、光は境界面Bで全反射が起こり始め媒質3に入らなくなる。次図のように、境界面Aへの入射角が θ_0 のとき、境界面Bでの屈折角が 90° になる。



したがって、③式と同様にして、媒質1から媒質3に光が直接入射したと考えて、屈折の法則より、

$$\frac{\sin \theta_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_3}{n_1} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

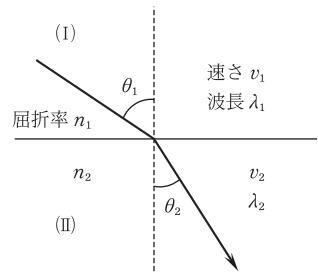
$$\therefore \sin \theta_0 = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

□の答 ①

問3 次ページの図のように、物体Aから物体Bにはたらく垂直抗力の大きさを N とする。物体Bにはたらく力の斜面に垂直方向のつり合いより、

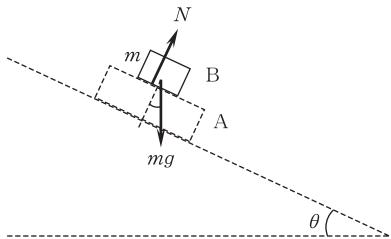
$$N = mg \cos \theta$$

屈折の法則(光波の場合)

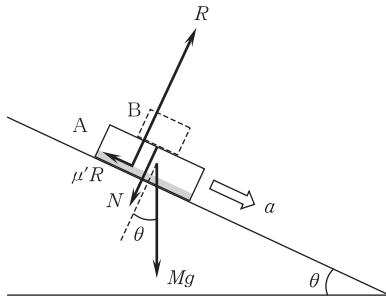


$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_2 < n_1$ のとき、 $\theta_2 > \theta_1$ であり、 $\theta_2 = 90^\circ$ となるときの入射角 θ_1 を臨界角という。入射角が臨界角より大きくなると、光は屈折しなくなり全反射する。



作用・反作用の法則より、物体Aには物体Bから斜面に垂直下向きに、 $N=mg \cos \theta$ の垂直抗力がはたらく。



斜面から物体Aにはたらく垂直抗力の大きさをRとする。物体Aにはたらく力の斜面に垂直方向のつり合いより、

$$R = N + Mg \cos \theta = (m+M)g \cos \theta$$

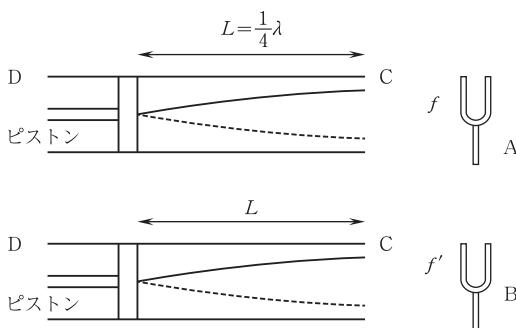
求める加速度をaとする。物体Aの運動方程式は、

$$Ma = Mg \sin \theta - \mu'R = Mg \sin \theta - \mu'(m+M)g \cos \theta$$

$$\therefore a = \left\{ \sin \theta - \frac{\mu'(m+M)}{M} \cos \theta \right\} g$$

□の答 ①

問4 音さAの振動数をfとする。音さA,Bを同時に鳴らすと単位時間当たりN回のうなりが聞こえたので、音さBの振動数は、 $f' = f \pm N$ と表せる。初め、閉管内にはピストンの位置を節、管口の位置を腹とする**基本振動の定常波**が生じている。このときの音波の波長は $\lambda = 4L$ である。室温を少し上昇させると音速が少し増加するので、音さAを用いた場合波長が少し増加して閉管は共鳴しない。したがって、振動数がfより少し大きい音さを用いて、波長が $4L$ になれば再び共鳴が生じる。これより、音さBの振動数は、 $f' = f + N$ である。



運動方程式

$$Ma = F$$

M; 質量

a; 加速度

F; 合力

閉管の共鳴

開端(管口)を腹、閉端を節とする定常波ができる。

基本振動

振動数が最小(波長が最大)の定常波が生じた状態を**基本振動**といいう。

定常波

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

初めの音速を V , 気温を少し上昇させたときの音速を V' とする。波の基本公式より,

$$V = f \times 4L \quad \cdots ①$$

$$V' = (f + N) \times 4L \quad \cdots ②$$

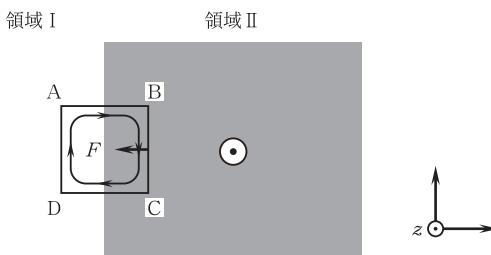
②-①より, 音速の増加は,

$$V' - V = \underline{4NL}$$

4 の答 ④

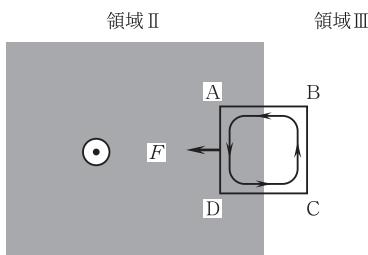
問5 紙面に垂直で裏から表の向きに z 軸をとり, 磁場の向きを \odot で表す。また, 正方形コイルの頂点を A, B, C, D とする。

- 正方形コイル全体が領域 I にあるときコイルには電流は流れずコイルは力を受けない。
- 正方形コイルの辺 BC が領域 II にあり, 辺 AD が領域 I にあるとき, コイルが右向きに動いているのでコイルを $+z$ 方向に貫く磁力線の数が増加する。したがって, ファラデーの電磁誘導の法則により, $-z$ 方向に磁場をつくるように, A→B→C→D→A の向きに電流が流れる。



このとき, 辺 BC を流れる電流は, フレミングの左手の法則より, 左向きに力 F を受ける。辺 AB 部分および DC 部分の電流が磁場から受ける力は相殺する。

- 正方形コイル全体が領域 II にあるときコイルを貫く磁力線の数は変化しないので, 電流は流れずコイルは力を受けない。
- 正方形コイルの辺 AD が領域 II にあり, 辺 BC が領域 III にあるとき, コイルが右向きに動いているのでコイルを $+z$ 方向に貫く磁力線の数が減少する。したがって, ファラデーの電磁誘導の法則により, $+z$ 方向に磁場をつくるように, A→D→C→B→A の向きに電流が流れる。



このとき, 辺 AD を流れる電流は, フレミングの左手の法則

波の基本公式

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

v ; 波の速さ

f ; 振動数

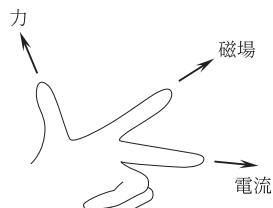
T ; 周期

λ ; 波長

ファラデーの電磁誘導の法則

コイルを貫く磁力線の数が変化するとコイルには誘導起電力が生じる。誘導起電力の大きさは磁力線の数の変化が激しいほど大きい。誘導起電力の向きは, それによって流れる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向きである。

フレミングの左手の法則

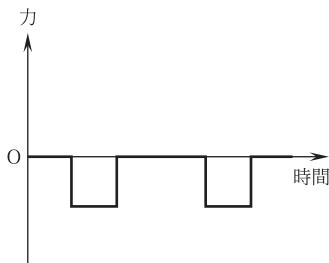


力の向きは磁場, 電流の向きに垂直

より、左向きに力 F を受ける。辺 AB 部分および DC 部分の電流が磁場から受ける力は相殺する。

- 正方形コイル全体が領域Ⅲにあるときコイルには電流は流れずコイルは力を受けない。

以上より、コイルに流れる電流が磁場から受ける力を時間の関数として表したグラフは、次図のようになる。



5 の答 ②

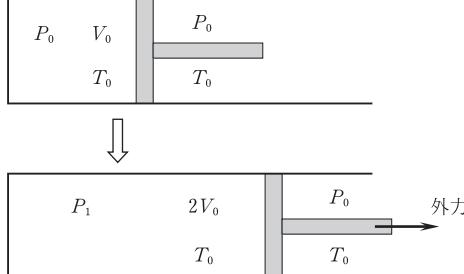
問 6 大気の圧力および絶対温度をそれぞれ、 P_0 、 T_0 、初めの状態の容器内部の気体の体積を V_0 とする。体積を 2 倍にした後の気体の圧力を P_1 とすると、温度が一定なので、ボイルの法則より、

$$P_0 V_0 = P_1 \cdot 2V_0 \quad \therefore \quad P_1 = \frac{1}{2} P_0$$

一方、気体は温度一定で体積が増加したので、内部エネルギーの増加は 0 で、気体は外部に正の仕事をしている。したがって、熱力学第 1 法則より、

$$Q = 0 + W$$

よって、操作後の気体の圧力は操作前の圧力の $\frac{1}{2}$ 倍であり、気体が吸収した熱量は気体がした仕事と等しい。



6 の答 ③

第 2 問 非直線抵抗・箇検電器

A

問 1 図 1 のグラフから、電圧が 20 V のとき電流は 0.4 A なのでそのときの抵抗値は、オームの法則より、

$$\frac{20}{0.4} = 50 \Omega$$

熱力学第 1 法則

$$\Delta U = Q + W_{\text{out}}$$

Q ：気体が吸収した熱

ΔU ：内部エネルギーの増加

W_{out} ：気体が外へした仕事

気体がされた仕事 W_{in} を用いると、

$$W_{\text{in}} = -W_{\text{out}}$$

$$\Delta U = Q + W_{\text{in}}$$

オームの法則

$$V = RI$$

V ：電圧

R ：抵抗

I ：電流

電圧が 40 V のとき電流は 0.5 A なのでそのときの抵抗値は、

$$\frac{40}{0.5} = 80 \Omega$$

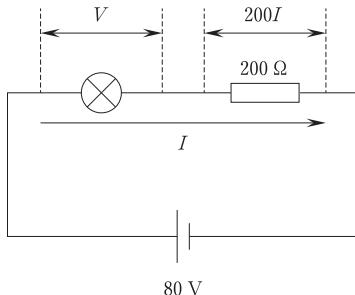
したがって、電圧が 40 V のときの抵抗値は、電圧が 20 V のときの抵抗値の $\frac{80}{50} = 1.6$ 倍である。

一方、金属中には自由電子があり、その電子が電流の担い手となっている。電圧や電流が増すと発生するジュール熱によってフィラメントの温度が上昇するため、電子の流れが妨げられ抵抗値が増加する。これにより、電流と電圧の関係を表すグラフが直線にならない。

7 の答 ⑥

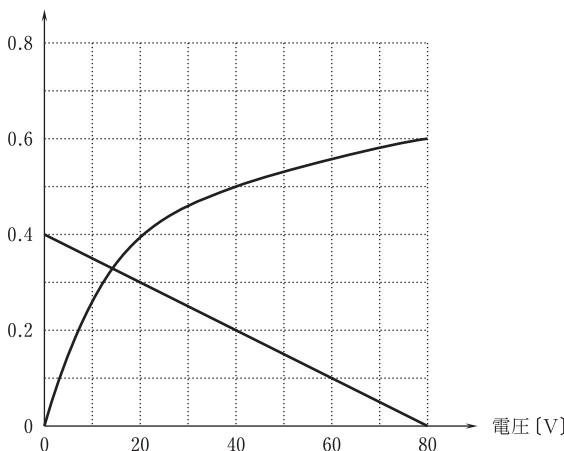
問2 電流を I [A]、電球にかかる電圧を V [V] とする。オームの法則より、 200Ω の抵抗には $200I$ の電圧がかかっている。電池の電圧は電球にかかる電圧と抵抗にかかる電圧を足したものに等しいので、

$$80 = V + 200I \quad \cdots ①$$



①式と図1のグラフを連立すればよい。①式が表す直線を図1のグラフに書き込んでグラフとの交点を求める、 $I = 0.33$ A となる。

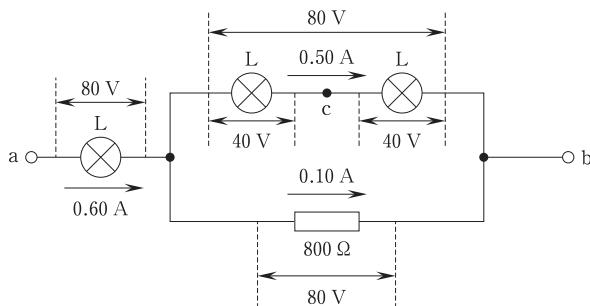
電流 [A]



8 の答 ③

問3 回路の点cに 0.50 A の電流が流れているとき、点cの両側の電球Lには、図1のグラフより、それぞれ 40 V の電圧がかかっている。したがって、 800Ω の抵抗には 80 V の電圧がかかり、オームの法則より、 $\frac{80}{800}=0.10\text{ A}$ の電流が流れている。これより、端子aにつながる電球Lには、 $0.50+0.10=0.60\text{ A}$ の電流が流れ、図1のグラフより、 80 V の電圧がかかっている。したがって、端子a, b間に加えた電圧は、

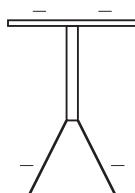
$$80+80=\underline{160\text{ V}}$$



9 の答 ⑥

B

問4 電気的に中性の状態よりも自由電子が余分に与えられて、箔電気は負に帯電している。自由電子は互いに斥力を及ぼし合うので電子は一か所に偏って集まることなく、負電荷が次図のように分布する。

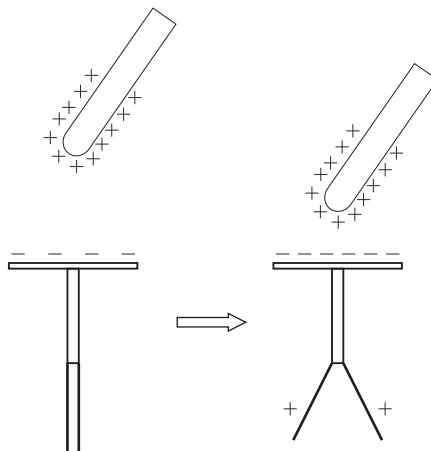


10 の答 ①

問5 正に帯電しているガラス棒を金属円板に近づけて行くと、静電誘導によって箔の自由電子が金属円板に移動し、箔が帶電していない状態になると箔は閉じる。ガラス棒をさらに金属円板に近づけて行くと箔の自由電子はさらに金属円板に移動し、金属箔は自由電子が不足するので正に帯電し、再び開く。

静電誘導

外部の帶電体からの影響によって電荷の分布に偏りが生じる現象



11 の答 ⑥

第3問 波の干渉・レンズ

A

問1 波の基本公式より、波の速さは、

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

12 の答 ①

問2 波源 S_1 , S_2 を結ぶ線分上の任意の点を点 Q とする。点 Q で波が強め合う条件は、波の干渉条件より、

$$S_1 Q - S_2 Q = m\lambda \quad \cdots ①$$

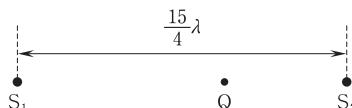
一方、 S_1 , S_2 間の距離が $\frac{15}{4}\lambda$ なので、

$$-\frac{15}{4}\lambda \leq S_1 Q - S_2 Q \leq \frac{15}{4}\lambda \quad \cdots ②$$

①, ②式より、

$$-\frac{15}{4}\lambda \leq m\lambda \leq \frac{15}{4}\lambda$$

$\therefore m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ の 7 個



(別解) 波源 S_1 , S_2 を結ぶ線分上では次ページの図のように、2つの波源の中点を腹(○印)とする定常波ができている。隣り合う腹の距離は $\frac{1}{2}\lambda$ であるので、中点より右側(または左側)にある腹の個数は、 $\frac{15}{8}\lambda \div \frac{1}{2}\lambda = 3.8$ 、即ち 3 個である。したがって、 S_1 と S_2 を結ぶ線分上で波が強め合って大きく振動する点の個数は、 $1 + 3 \times 2 = 7$ 個

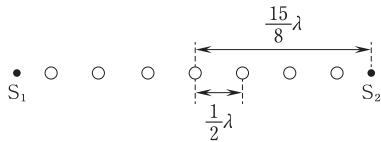
波の干渉条件

2つの波源が同位相のとき

強め合う条件；(経路差) = $m\lambda$

弱め合う条件；(経路差) = $(m + \frac{1}{2})\lambda$

m ；整数 λ ；波長



13 の答 ④

問3 次図および波の干渉条件より,

$$S_1P - S_2P = 2\lambda \quad \cdots ①$$

であり、初め点Pでは波は強め合って大きく振動している。波の周期を短くしていくと、波の基本公式より、波長はしだいに短くなる。点Pがほとんど振動しなくなったときの波長を λ' とするとき、波の干渉条件より、

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

①、②式より、

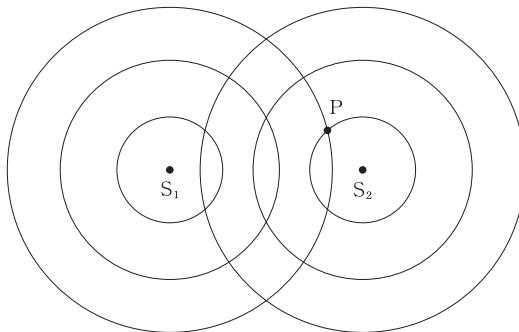
$$2\lambda = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda'$$

$$\lambda' < \lambda \text{ なので, } \left(m + \frac{1}{2}\right) = 2 + \frac{1}{2}, 3 + \frac{1}{2}, \dots = \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \dots$$

$$\therefore \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{4}{5}, \frac{4}{7}, \dots$$

初めて弱め合ったので、 λ' は λ に最も近い値である。よって、

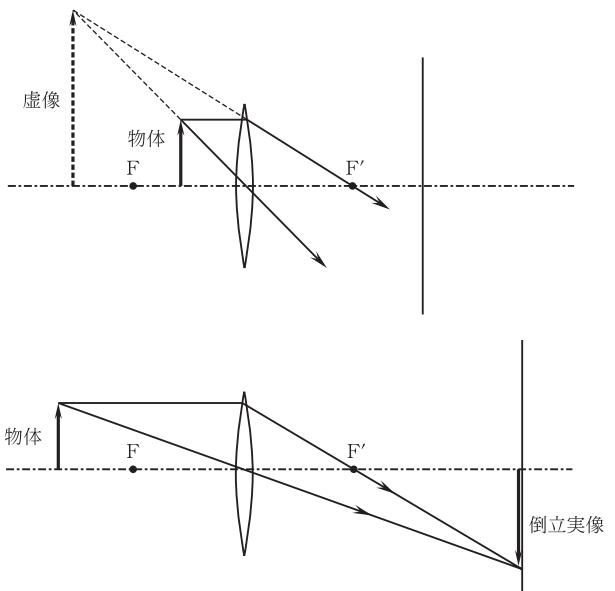
$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{4}{5} = 0.8$$



14 の答 ④

B

問4 次ページの図のように、物体が焦点Fの右側にあるときは、レンズの左側に虚像ができるのでスクリーン上には像は写らない。物体を左側に動かしていき、点Fを通過した後にスクリーン上には倒立実像が写る。



[15] の答 ⑦

問5 求める距離を b とする。レンズの公式より、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \cdots ①$$

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

[16] の答 ①

問6 問5の場合と同じ大きさの像が見えたので、凹レンズと虚像の間の距離は問5の距離 b に等しい。求める焦点距離を f' とする。レンズの公式より、

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f'} \quad \cdots ②$$

①+②より、

$$\frac{2}{a} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f'} \quad \therefore f' = \frac{af}{a-2f}$$

[17] の答 ④

第4問 等加速度直線運動・浮力・エネルギーの変換

A

問1 まず、小球Aについて考える。加速度は斜面に沿って下向きに生じる。斜面の傾角を θ 、重力加速度の大きさを g とする。運動方程式は、

$$ma = mg \sin \theta \quad \therefore a = g \sin \theta$$

これより、加速度は小球の質量によらないことが分かる。よって、小球Bの加速度の大きさも $g \sin \theta$ であり、小球Aの加速度の大きさの1倍である。

レンズの公式

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

a : 物体とレンズ間の距離

$|b|$: 像とレンズ間の距離

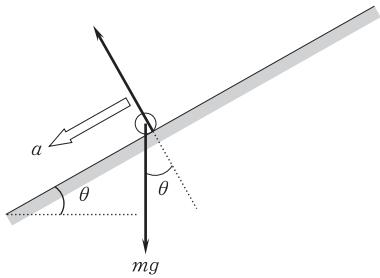
倍率 $\frac{|b|}{a}$

$b > 0$ 倒立実像がレンズに対して物体と反対側に生じる

$b < 0$ 正立虚像がレンズに対して物体と同じ側に生じる

$f > 0$ 凸レンズ

$f < 0$ 凹レンズ



18 の答 ③

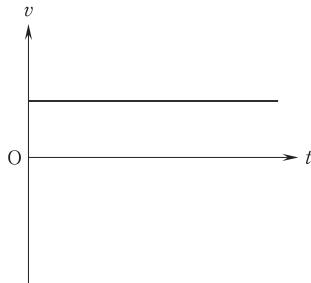
問2 小球Aと小球Bの時刻tにおける斜面に沿って上向きの速度をそれぞれ、 v_A 、 v_B とする。等加速度直線運動の式より、

$$v_A = v_0 - at, \quad v_B = -at$$

したがって、Bから見たAの相対速度vは、

$$v = v_A - v_B = v_0 - at = \text{一定}$$

これより、相対速度vと時刻tの関係を表すグラフは次図のようになる。



19 の答 ②

問3 小球Aと小球Bが衝突する時刻をtとする。このとき小球Aが最高点に達しているので、

$$v_A = 0 = v_0 - at \quad \therefore t = \frac{v_0}{a} \quad \cdots ①$$

小球Aの最初の位置を原点として、斜面に沿って上向きを変位の正方向にとる。時刻tでの小球Aの位置は、

$$x_A = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

時刻tでの小球Bの位置は、

$$x_B = L - \frac{1}{2} a t^2$$

2球が衝突するとき、 $x_A = x_B$ なので、

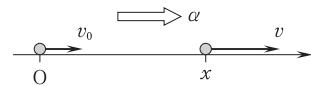
$$v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = L - \frac{1}{2} a t^2 \quad \therefore v_0 t = L \quad \cdots ②$$

①、②式よりtを消去して、

$$v_0 = \sqrt{aL}$$

(別解) 問2より、小球Bから見ると小球Aは一定の速さ v_0 で近づいてくるように見える。小球Aと小球Bの初めの距離はLな

等加速度直線運動



$$v = v_0 + at$$

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

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

v_0 : 初速度(時刻 $t=0$ での速度)

v : 時刻 t での速度

α : 加速度

x : 変位

ので、

$$v_0 t = L \quad \cdots ②$$

①, ②式より, $v_0 = \sqrt{aL}$

20 の答 ③

B

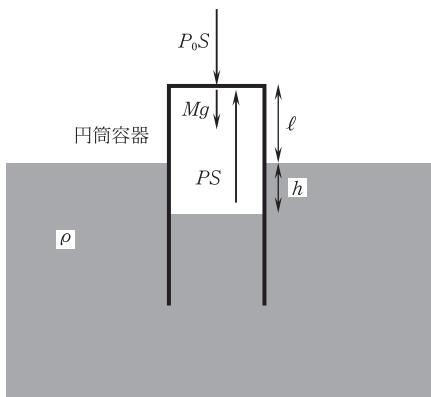
問4 求める円筒容器内部の空気の圧力 P は容器内部の水面の圧力に等しい。同一水平面上の液体中の圧力は等しいので、圧力 P は、容器外部の水面から深さ h の位置の圧力と等しい。したがって、**水中での圧力の公式**より、

$$P = P_0 + \rho gh \quad \cdots ①$$

21 の答 ④

問5 求める質量を M とする。円筒容器にはたらく力のつり合いより、

$$P_0 S + Mg = PS = (P_0 + \rho gh)S \quad \therefore M = \underline{\rho Sh}$$



(別解) 円筒容器と容器内部の気体を1つの物体と考える。この物体が排除した液体の体積は $V = Sh$ なので、**アルキメデスの原理**より、物体は ρShg の浮力を受ける。重力 Mg と浮力のつり合いより、

$$Mg = \rho Shg \quad \therefore M = \underline{\rho Sh}$$

22 の答 ①

問6 円筒容器にはたらく力のつり合いより、容器内部の圧力は一定である。したがって、問4の①式より円筒内の液面と水槽の液面の高さの差は h のままである。**シャルルの法則**より、

$$\frac{S(h+\ell)}{T} = \frac{S(h+\ell')}{T'}$$
$$\therefore \ell' = \underline{\frac{T'}{T}(h+\ell) - h}$$

水中での圧力

水面から深さ h の位置の圧力 P は大気圧より ρgh 高い。

$$P = P_0 + \rho gh$$

P_0 : 大気圧

ρ : 液体の密度

アルキメデスの原理

流体(液体、気体)中の物体は、それが排除している流体の重さに等しい大きさの浮力を受ける。

$$浮力 F = \rho Vg$$

ρ : 流体の密度

V : 物体が排除している流体の体積

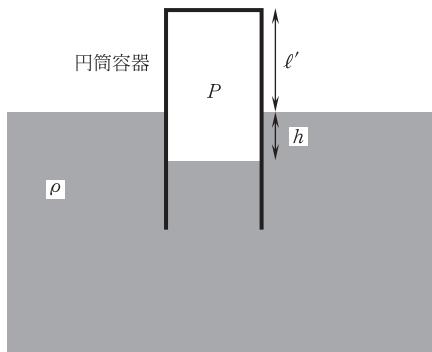
シャルルの法則

気体の物質量と圧力が一定のとき

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

V : 体積

T : 絶対温度



23 の答 ④

C

問7 太陽電池に、1時間=3600秒の間に太陽から注がれるエネルギーは、 $1 \times 10^3 \times 25 \times 3600 \text{ J}$ なので、これが電気エネルギーに変換される割合は、

$$\frac{1.5 \times 10^7}{1 \times 10^3 \times 25 \times 3600} \times 100 \doteq 17\%$$

24 の答 ④

問8 順次検討する。

- ① 水力発電：水の力学的エネルギーを電気エネルギーに変換
 - ② 热機関：热エネルギーを力学的エネルギーに変換
 - ③ 乾電池：化学エネルギーを電気エネルギーに変換
 - ④ 原子力発電：核エネルギーを電気エネルギーに変換
 - ⑤ 燃焼：化学エネルギーを热エネルギーに変換
- したがって、⑥が適当である。

25 の答 ⑥

===== 化 学 I =====

【解答・採点基準】

(100点満点)

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

問1 イオン化工エネルギー、純物質と混合物

a 原子から電子1個を取り去り、1価の陽イオンにするのに必要なエネルギーをイオン化工エネルギー(第一イオン化工エネルギー)といい、周期表の右上にある元素の原子ほど、イオン化工エネルギーは大きくなる傾向がある。よって、電子を1個取り去るのに必要なエネルギーが最も大きい原子、すなわち、イオン化工エネルギーが最も大きい原子は、希ガス元素の原子の⑨Neである。

1 … ③

b 物質は、混合物と純物質に分類される。

①ホルマリンはホルムアルデヒド HCHO の水溶液、②王水は濃硝酸と濃塩酸を1:3の体積比で混合した溶液で、混合物である。③ナフサは、原油を分留したときの留出物の一種で、種々の炭化水素の混合物である。④グリセリン C₃H₈(OH)₃は純物質である。⑤ソーダ石灰は、酸化カルシウム CaO を濃い水酸化ナトリウム NaOH 水溶液に浸し、これを熱して粒状にしたもので、混合物である。⑥食酢は酢酸 CH₃COOH などが溶けた水溶液で、混合物である。

よって、純物質であるものは④である。

2 … ④

問2 原子の構造

原子番号が20以下で、フッ素 F と同族(17族)の元素 X は、塩素 Cl である。Cl の同位体の一つである原子 A の中性子の数は、¹⁹F の中性子の数(19-9=10)より8多いので、18である。Cl の陽子の数は17なので、A の質量数は、

$$17+18=35$$

なお、A は³⁵Cl と表される。

3 … ⑥

問3 物質の電気伝導性

金属結晶には自由電子が存在し、固体状態でも電気伝導性を示す。また、イオン結晶は電気伝導性を示さないが、融解すると、イオンが自由に移動できるようになるため、電気伝導性を示す。一般に、共有結合の結晶や分子からなる物質には、自由電子やイオンが存在しないため、これらの物質を融解しても電気伝導性を示さない。ただし、黒鉛は固体状態で電気伝導性を示す。

塩化ナトリウム NaCl はイオン結晶に分類され、固体状態では電気伝導性を示さないが、融解すると電気伝導性を示す。ナフタレン C₁₀H₈ は分子結晶に分類され、融解しても電気伝導性を示さない。よって、電球が点灯する物質はイのみである。

4 … ②

【ポイント】

イオン化工エネルギー(第一イオン化工エネルギー)

原子から電子1個を取り去って1価の陽イオンにするために必要なエネルギーをイオン化工エネルギー(第一イオン化工エネルギー)といい。イオン化工エネルギーの小さい原子ほど、陽イオンになりやすい。

純物質と混合物

純物質…1種類の単体、または1種類の化合物だけからなる物質。

混合物…2種類以上の純物質が混ざり合った物質。

原子番号、質量数

原子番号=陽子の数=電子の数

質量数=陽子の数+中性子の数

問4 分子

X～Zは原子番号6～10の元素(C, N, O, F, Ne)のいずれかである。これらのうち、希ガスであるNeは、単原子分子として存在し、他の原子と結合しない。

Xは、分子a, dの構造式より、原子価4の炭素Cである。

Yは、分子bの構造式より、原子価3の窒素Nである。

Zは、分子cの構造式より、原子価1のフッ素Fである。

① 正しい。Cの単体には、黒鉛、ダイヤモンド、フラーレンなどの同素体がある。

② 正しい。Fの単体であるF₂は、常温・常圧で気体である。

③ 正しい。分子aはCH₄であり、天然ガスの主成分である。

④ 正しい。分子bはNH₃であり、三角錐形の構造をとる。

⑤ 誤り。分子dはCO₂であり、直線形の構造をとる。

なお、分子cはHFである。

5 …⑥

問5 アボガドロ定数

滴下したステアリン酸の物質量は、モル濃度と滴下量から求められる。また、単分子膜の面積から、滴下したステアリン酸分子の個数が求められるので、これらから、アボガドロ定数を計算することができます。

滴下したステアリン酸の物質量は、

$$c \times \frac{v}{1000} = \frac{cv}{1000} [\text{mol}]$$

单分子膜の面積から、滴下したステアリン酸分子の個数は、

$$\frac{A}{s} [\text{個}]$$

アボガドロ定数をN_A [/mol] とすると、

$$N_A \times \frac{cv}{1000} = \frac{A}{s}$$

$$N_A = \frac{1000A}{csv} [/mol]$$

なお、ステアリン酸 C₁₇H₃₅COOH は、油脂を構成する高級脂肪酸の一つで、炭化水素基 C₁₇H₃₅- とカルボキシ基(カルボキシル基) -COOH をもち、問題文にあるように、水面で、水になじみやすい親水性のカルボキシ基を水側、水になじみにくい疎水性の炭化水素基を空気側に向けてすき間なく並び、单分子膜をつくる。

6 …④

問6 化学反応式と化学量計算

酸素O₂は反応(1)と(2)で使われる。

(i) 反応(1)で使われるO₂

黄銅鉱 CuFeS₂ 1 mol に Cu が 1 mol 含まれていることから、最終的に Cu 1.0 mol を得るために CuFeS₂ が 1.0 mol 必要である。したがって、(1)で必要なO₂の物質量は、

原子価

1つの原子がつくる共有結合の数。

同素体

同じ元素からなる単体で、性質の異なるものを互いに同素体という。

分子の形

二原子分子(H₂, N₂, HF), CO₂

…直線形

H₂O, H₂S

…折れ線形

NH₃

…三角錐形

CH₄

…正四面体形

アボガドロ定数

1 molあたりの粒子の数をアボガドロ定数という。アボガドロ定数をN_A とすると、

N_A [/mol] × 物質量 [mol] = 粒子の数

化学反応式と量的関係

化学反応式の係数の比

= 反応・生成した物質の物質量の比

$$1.0 \times \frac{4}{2} = 2.0 \text{ [mol]}$$

(ii) 反応(2)で使われる O₂

反応(3)から、1.0 mol の Cu を得るために必要な Cu₂O の物質量は、

$$1.0 \times \frac{2}{6} = \frac{1.0}{3} \text{ [mol]}$$

反応(2)において、 $\frac{1.0}{3}$ mol の Cu₂O を得るために必要な O₂ の物質量は、

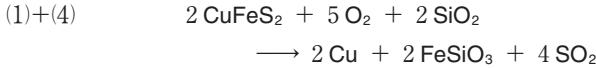
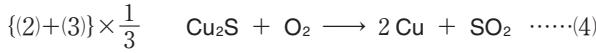
$$\frac{1.0}{3} \times \frac{3}{2} = 0.50 \text{ [mol]}$$

以上(i), (ii)より、必要な O₂ の総量は、

$$2.0 + 0.50 = 2.5 \text{ [mol]}$$

〔別解〕

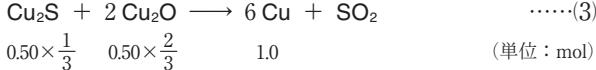
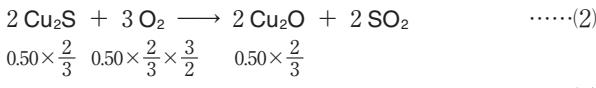
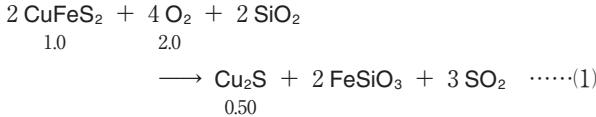
反応式(1)～(3)から、中間生成物である Cu₂S, Cu₂O を消去すると、CuFeS₂ から Cu を得る全体の反応式を導くことができる。



したがって、Cu 1.0 mol を得るために必要な O₂ の物質量は、

$$1.0 \times \frac{5}{2} = 2.5 \text{ [mol]}$$

参考までに、(1)～(3)の量的関係をまとめると、



(3)で、Cu₂S : Cu₂O = 1 : 2 の物質量比で反応させるためには、

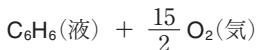
(1)で得られた Cu₂S の $\frac{2}{3}$ を(2)で Cu₂O にする。

7 …①

第2問 化学反応と熱、酸と塩基、酸化還元

問1 化学反応と熱

ベンゼン(液)、シクロヘキサン(液)、水素(気)の燃焼熱を熱化学方程式(1)～(3)で示す。



燃焼熱

物質 1 mol が完全燃焼するときの反応熱。

④ 正しい。硝酸 HNO_3 は 1 値の強酸、硫酸 H_2SO_4 は 2 値の強酸であるから、同じモル濃度であれば、希硝酸の方が H^+ のモル濃度は小さい。 H^+ のモル濃度が小さいほど、pH は大きいので、希硝酸の pH の方が希硫酸の pH より大きい。

⑤ 正しい。塩化カリウム KCl は、 HCl (強酸)と KOH (強塩基)の中和反応により得られる正塩であり、その水溶液は中性を示し、pH は 7 である。また、酢酸ナトリウム CH_3COONa は、 CH_3COOH (弱酸)と NaOH (強塩基)の中和反応により得られる塩であり、その水溶液は塩基性を示し、pH は 7 より大きい。よって、塩化カリウム水溶液の pH の方が酢酸ナトリウム水溶液の pH より小さい。

10 ⋯③

問 3 実験器具の取扱い、中和滴定

a 器具 A ホールピペットの内部に水滴が残っていると、実際にはかり取った水酸化バリウム水溶液の体積が 20.0 mL より少なくなってしまうので、使用する水酸化バリウム水溶液で内部を数回洗ってから用いる。

器具 B コニカルビーカーの内部に水滴が残っていても、水酸化バリウムの物質量は変わらないので、そのまま用いることができる。

器具 C 内部に水滴が残っているピュレットに塩酸を入れると、塩酸の濃度が小さくなってしまうので、使用する塩酸で内部を数回洗ってから用いる。

よって、純水でぬれたまま用いることができる器具は B のみである。

11 ⋯②

b 操作 1 ではかり取った $\text{Ba}(\text{OH})_2$ の一部が呼気中の CO_2 と反応する。ここで残った $\text{Ba}(\text{OH})_2$ を操作 3 で塩酸により滴定している。操作 1 と操作 3 で起こる反応は、次の化学反応式で表される。



三角フラスコにはかり取った $\text{Ba}(\text{OH})_2$ の物質量は、

$$0.15 \times \frac{20.0}{1000} = 3.0 \times 10^{-3} [\text{mol}]$$

化学反応式から、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ と CO_2 は物質量比 1 : 1 で反応するので、呼気に含まれている CO_2 を x [mol] とすると、反応した $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は x [mol] である。よって、反応後の溶液中に残っている $\text{Ba}(\text{OH})_2$ の物質量は、 $3.0 \times 10^{-3} - x$ [mol] である。

操作 3 で、残った $\text{Ba}(\text{OH})_2$ を塩酸で滴定しており、 HCl は 1 値、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ は 2 値であるから、中和反応の量的関係より、

塩の水溶液の性質

① 強酸と強塩基からなる

正塩 … 中性
酸性塩…酸性

② 弱酸と強塩基からなる塩…塩基性
③ 強酸と弱塩基からなる塩…酸性

中和反応の量的関係

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

$$1 \times 0.10 \times \frac{20.0}{1000} = 2 \times (3.0 \times 10^{-3} - x)$$

$$x = 2.0 \times 10^{-3} [\text{mol}]$$

よって、呼気に含まれていた CO_2 の標準状態における体積は、

$$22.4 \times 2.0 \times 10^{-3} = 0.0448 \approx 0.045 [\text{L}]$$

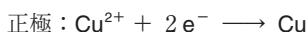
12 ⋯②

問4 酸化還元、電池、電気分解

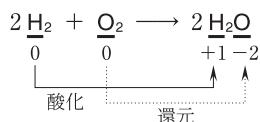
① 正しい。ある物質が電子を失ったとき、その物質は酸化されたという。逆にある物質が電子を得たとき、その物質は還元されたという。

② 誤り。還元剤は、電子を与えることで相手を還元する物質であり、自身は酸化されるため、酸化数の増加する原子が含まれる。

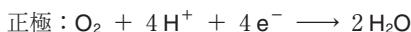
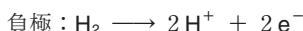
③ 正しい。ダニエル電池では、イオン化傾向の大きい亜鉛が負極、イオン化傾向の小さい銅が正極となり、この電池を放電させると、各電極では次の反応が起こる。



④ 正しい。水素を燃料とする燃料電池を放電させると、全体では水素の燃焼反応が起り、水素は酸化され、酸素は還元される。



電池において、還元反応が起こるのが正極であり、正極では酸素が還元される。なお、電解液にリン酸水溶液を用いた水素を燃料とする燃料電池の各電極では次の反応が起こる。



⑥ 正しい。電気分解において、外部電源の負極につないだ電極を陰極といい、還元反応が起こる。

13 ⋯②

問5 鉛蓄電池

鉛蓄電池を充電するためには、外部電源をつなぐことによって、放電のときと逆向きに電流を流し、両電極で放電時と逆向きの反応を起こさせる必要がある。よって、鉛電極に外部電源のア [負極] を、酸化鉛(IV)電極に外部電源のイ [正極] を接続して充電する。

酸化・還元

酸化される 電子を失い、酸化数が増加する。

還元される 電子を得て、酸化数が減少する。

酸化剤・還元剤

酸化剤 相手を酸化する物質。自身は還元され、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。自身は酸化され、酸化数が増加する原子を含む。

電池

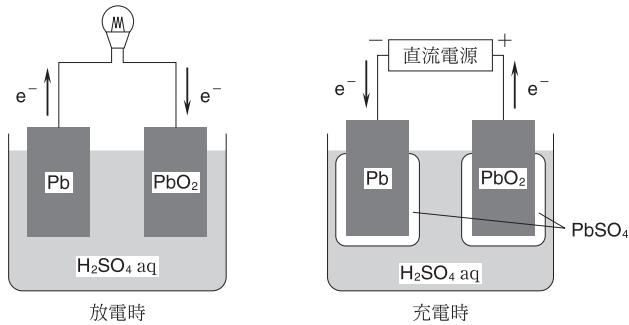
負極 外部回路へ電子が流れ出す電極。酸化反応が起こる。

正極 外部回路から電子が流れ込む電極。還元反応が起こる。

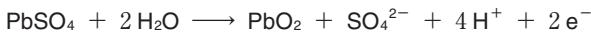
電気分解

陽極 外部電源の正極とつないだ電極。酸化反応が起こる。

陰極 外部電源の負極とつないだ電極。還元反応が起こる。



充電のとき、酸化鉛(IV)電極では次の反応が起こる。



2 mol の e^- が流れると、1 mol の PbSO_4 が 1 mol の PbO_2 に変化し、このとき、電極の質量は $(32+16\times 2=)64 \text{ g}$ 減少する。

よって、1930 C の電気量を通じて充電すると、酸化鉛(IV)電極の質量は、

$$\frac{64}{2} \times \frac{1930}{9.65 \times 10^4} = 0.64 [\text{g}]$$

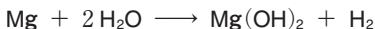
より、 $\boxed{0.64} \text{ g}$ 減少する。

14 ⋯⑤

第3問 無機物質

問1 第3周期の元素の単体

① 正しい。マグネシウムは、熱水と反応して H_2 を発生し、水酸化物となる。



② 正しい。ケイ素の単体は、ダイヤモンドと同様に、正四面体の構造がくり返された共有結合の結晶である。

③ 誤り。黄リンは、 P_4 分子からなる黄白色ろう状の固体で水に溶解しない。なお、空気中で酸素と触れると自然発火するので、水中に保存される。また、黄リンの燃焼によって生成した P_4O_{10} に水を加えて煮沸すると、リン酸 H_3PO_4 が生成する。



④ 正しい。硫黄の単体には、斜方硫黄、单斜硫黄、ゴム状硫黄などの同素体がある。斜方硫黄と单斜硫黄は分子式 S_8 で表される環状分子、ゴム状硫黄は多数の硫黄原子が結合した長い鎖状分子である。

⑤ 正しい。Ar は、空気中に約 1 % 含まれる単原子分子である。乾燥空気中には N_2 、 O_2 に次いで多く含まれ、液体空気の分留によって得られる。

リンの同素体

黄リン P_4 分子。空気中で自然発火するので水中に保存する。猛毒である。

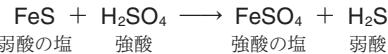
赤リン 空気中で自然発火しない。毒性が小さい。マッチの側薬などに用いられる。

問2 気体の発生と有色気体

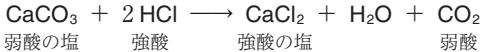
① 硫化鉄(II) FeS に強酸である硫酸の水溶液(希硫酸)を加

15 ⋯⑥

えると、弱酸である無色の H_2S が発生する。



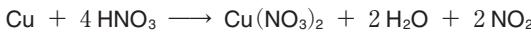
② 炭酸カルシウム $CaCO_3$ に強酸である塩酸を加えると、弱酸である炭酸が遊離し、無色の CO_2 が発生する。



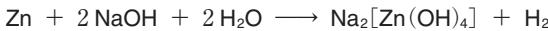
③ 弱塩基の塩である硫酸アンモニウム $(NH_4)_2SO_4$ と強塩基である水酸化ナトリウムを混合し加熱すると、弱塩基である無色の NH_3 が発生する。



④ 濃硝酸は酸化力の強い酸であり、銅に濃硝酸を加えると赤褐色の NO_2 が発生する。



⑤ 亜鉛は両性元素であり、水酸化ナトリウムなどの強塩基の濃い水溶液を加えると、無色の H_2 を発生して溶解する。



よって、有色の気体が発生する操作は④である。

16 …④

問3 ハロゲン

① 誤り。萤石 CaF_2 に濃硫酸を加えて加熱すると、フッ化水素 HF が発生する。



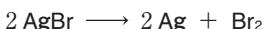
② 正しい。フッ化水素 HF の水溶液はフッ化水素酸とよばれ、ガラスの主成分である SiO_2 を溶かし、ヘキサフルオロケイ酸 H_2SiF_6 を生成する。



③ 正しい。塩素 Cl_2 には強い酸化力があり、次の反応によりヨウ素 I_2 が遊離するので、ヨウ素デンプン反応により、水で湿らせたヨウ化カリウムデンプン紙を青紫色に変える。



④ 正しい。臭化銀 $AgBr$ などハロゲン化銀は、光によって分解し、銀 Ag が遊離して黒くなる。



⑤ 正しい。ヨウ素 I_2 は、常温で昇華性をもつ黒紫色の固体である。

17 …①

問4 ナトリウムの単体と化合物

① 誤り。ナトリウムは、鉄より融点が低い。金属の単体のうち、アルカリ金属の単体は融点が低く、遷移元素の単体は典型元素の単体と比べて融点の高いものが多い。なお、ナトリウムの融点は $98^{\circ}C$ 、鉄の融点は $1535^{\circ}C$ である。

弱酸の遊離

弱酸の塩に強酸を加えると、弱酸が遊離する。

窒素の化合物

アンモニア NH_3

・水に非常によく溶ける気体

・水溶液は弱塩基性

一酸化窒素 NO

水に溶けにくい無色の気体

二酸化窒素 NO_2

水によく溶ける赤褐色の気体

ハロゲン化水素の性質

- すべて無色、刺激臭で有毒な気体である。
- フッ化水素酸は弱酸であり、塩酸、臭化水素酸、ヨウ化水素酸は強酸である。
- フッ化水素酸はガラスを溶かすので、ポリエチレン容器に保存される。

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

ヨウ化カリウムデンプン紙

ろ紙をヨウ化カリウムとデンプンの水溶液に浸した後、乾燥させたもの。

湿らせた後、オゾンや塩素など酸化力のある気体を接触させると、青紫色に変化する。

② 正しい。水酸化ナトリウムは、工業的には塩化ナトリウム水溶液の電気分解で製造される。



③ 正しい。水酸化ナトリウムや水酸化カリウムの固体は、湿った空気中で水分を吸収し、潮解する。

④ 正しい。無色透明の結晶である炭酸ナトリウム十水和物 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ は、乾燥した空気中に放置すると風解し、白色粉末状の一水和物 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ になる。

⑤ 正しい。炭酸ナトリウム水溶液に二酸化炭素を通じると、炭酸水素ナトリウムが生成する。



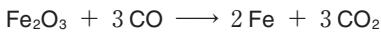
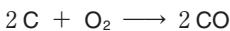
この反応では、二酸化炭素と水が反応して生成した炭酸から、炭酸イオンが水素イオンを受け取っている。



18 ⋯①

問5 鉄の製錬

鉄は、赤鉄鉱 Fe_2O_3 や磁鉄鉱 Fe_3O_4 などの鉄鉱石を溶鉱炉(高炉)で A [コークス] C などと加熱し、還元してつくられる。



溶鉱炉から得られる鉄は B [銑鉄] とよばれる。また、銑鉄の上に浮かぶ不純物は C [スラグ] (ケイ酸カルシウム CaSiO_3 などを含む)とよばれ、銑鉄と分離して除かれる。

銑鉄は質量パーセントで約 4 % の炭素を含み、硬いがもろい。銑鉄を転炉に移し、酸素を吹き込んで不純物を除き、炭素の含有率を 0.04~2 % 程度にしたもののが鋼という。鋼は硬くて強いため、鉄材として広く用いられる。

19 ⋯⑥

問6 金属イオンの反応

① 正しい。スズより亜鉛の方がイオン化傾向が大きいため、塩化スズ(II)水溶液に亜鉛板を浸すと、亜鉛板の表面に銀白色のスズが樹枝状に析出する。



② 誤り。鉛(II)イオンを含む水溶液に硫化水素を通じると、硫化鉛(II)の沈殿が生じるが、硫化鉛(II)は白色ではなく黒色である。



なお、硫化水素の検出には、酢酸鉛(II)水溶液をしみ込ませたろ紙を黒変せることが用いられる。

③ 正しい。硝酸銀水溶液にヨウ化カリウム水溶液を加える

潮解

固体が空気中の水蒸気を吸収し、その水に溶ける現象。

風解

水和物の結晶が空気中で水和水の全部または一部を失って粉末になる現象。

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。
 $\text{Li} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Sn} > \text{Pb} > (\text{H}_2) > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{Ag} > \text{Pt} > \text{Au}$

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。

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 $\text{Zn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ni}^{2+}$

と、黄色のヨウ化銀の沈殿が生じる。



④ 正しい。鉄(Ⅲ)イオン Fe^{3+} を含む水溶液は黄褐色であり、チオシアノ酸カリウム KSCN 水溶液を加えると、血赤色の水溶液に変化する。

⑥ 正しい。黄色のクロム酸イオン CrO_4^{2-} を含む水溶液に酸を加えると、橙赤色の二クロム酸イオン $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ に変化する。



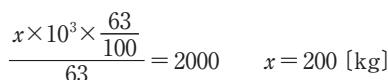
なお、さらに塩基を加えて塩基性になると、再びクロム酸イオンに戻って水溶液は黄色になる。



問7 窒素化合物の工業的製法

1000 mol の N_2 には窒素原子が 2000 mol 含まれるので、 N_2 の窒素原子をハーバー・ボッシュ法およびオストワルト法により完全に HNO_3 へ変換したとき、得られる HNO_3 は 2000 mol である。

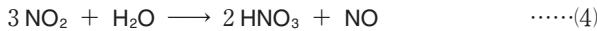
2000 mol の HNO_3 (63 g/mol) を含む 63 % の濃硝酸が x [kg] 得られるとすると、



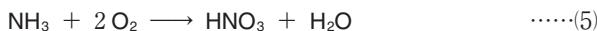
なお、ハーバー・ボッシュ法では、 NH_3 は鉄を主成分とした触媒を用いて窒素と水素から工業的に合成される。



また、オストワルト法では、 NH_3 を空気と混合し、白金を触媒として約800℃で酸化させることでNOをつくり、これを空気中で酸化して NO_2 とした後、温水と反応させて HNO_3 を生成させる。このとき発生したNOはすべて回収され、再び酸化して NO_2 として用いる。



$\{(2)式 + (3)式 \times 3 + (4)式 \times 2\} \times \frac{1}{4}$ により、(2)式～(4)式を一つにまとめるとき次の(5)式となる。



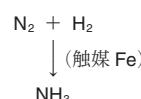
(1)式と(5)式の反応式から、1000 mol の N_2 を完全に反応させて得られる HNO_3 は、2000 mol とわかる。

ハロゲン化銀

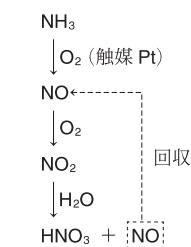
AgF …水に可溶

AgCl(白色), AgBr(淡黄色), AgI(黄色)
…水に難溶

鉄イオンの反応



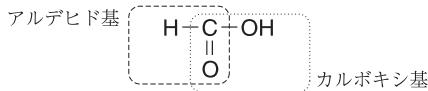
オストワルト法



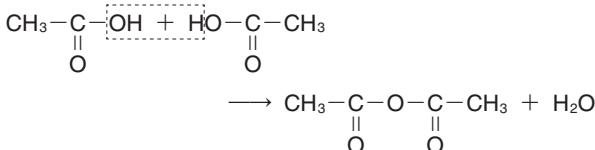
第4問 有機化合物

問1 カルボン酸

- ① 正しい。ギ酸は分子内にカルボキシ基(カルボキシル基)以外にアルデヒド基の構造をもつので、還元性を示す。

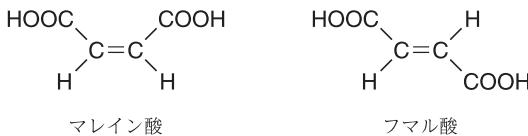


- ② 誤り。酢酸に十酸化四リンを加えて加熱すると、酢酸2分子から1分子の水がとれて縮合し、無水酢酸が生じる。



なお、純度の高い酢酸(融点 16.6 °C)は気温が低いと凝固するので、氷酢酸ともよばれる。

- ③ 正しい。マレイン酸とフマル酸は、シス-トランス異性体(幾何異性体)の関係にあり、これらの物質の融点は異なる。なお、マレイン酸の融点は 133 °C、フマル酸の融点は封管中で 300 °C である。



- ④ 正しい。アジピン酸 HOOC-(CH₂)₄-COOH はカルボキシ基を分子内に 2 つもつジカルボン酸(2 倍カルボン酸)である。

- ⑤ 正しい。乳酸 CH₃-^{*}CH(OH)-COOH は分子内にカルボキシ基

とヒドロキシ基をもち、ヒドロキシ酸に分類される。なお、*印の炭素原子は、互いに異なる 4 個の原子または原子団が結合している不齊炭素原子であり、乳酸は光学異性体をもつ。

[22] ⋯②

問2 脂肪族化合物の性質

- ① 正しい。アセチレン CH≡CH は燃焼熱が大きく、十分な酸素と混合し燃焼させると、酸素アセチレン炎とよばれる約 3000 °C の炎となり、金属の切断や溶接に用いられる。

- ② 正しい。エタノール CH₃-CH₂-OH とジメチルエーテル CH₃-O-CH₃ では、構造式は異なるが、いずれも分子式 C₂H₆O で表されるので、この 2 つの化合物は構造異性体の関係にある。

- ③ 正しい。第二級アルコールである 2-プロパノールを酸化すると、ケトンであるアセトンが得られる。

シス-トランス異性体(幾何異性体)

C=C について置換基の配置が異なる立体異性体をシス-トランス異性体(幾何異性体)という。

不齊炭素原子

互いに異なる 4 つの原子や原子団が結合している炭素原子を不齊炭素原子といいう。不齊炭素原子が 1 個ある化合物には、1 組の光学異性体が存在する。

構造異性体

同じ分子式で原子の結合順序や結合の種類が異なる異性体。炭素骨格の違いや官能基の位置の違い、官能基の種類の違いなどによって生じる。

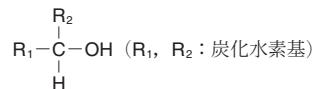
アルコールの分類

・第一級アルコール



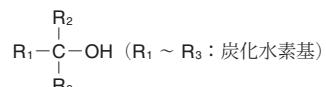
酸化されるとアルデヒドを生じ、アルデヒドがさらに酸化されるとカルボン酸を生じる。

・第二級アルコール

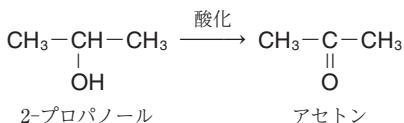


酸化されるとケトンを生じる。

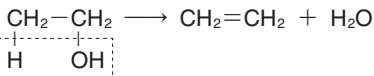
・第三級アルコール



酸化されにくい。



④ 誤り。エタノールと濃硫酸の混合物を約170℃に加熱すると、分子内から水分子が脱離し、エチレンが生じる。



なお、エタノールと濃硫酸の混合物を約130℃に加熱すると、分子間で脱水し、ジエチルエーテルが生じる。

⑤ 正しい。エタノールは $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-$ の構造を、アセトンは $\text{CH}_3-\text{CO}-$ 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温めると、ヨードホルム CHI_3 の黄色沈殿を生じる。

[23] …④

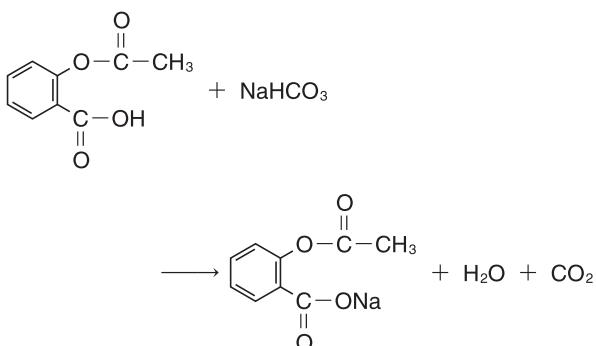
問3 有機化合物の反応

① 誤り。アルコールと水酸化ナトリウム水溶液を混合しても水素は発生しない。なお、アルコールに単体のナトリウムを加えると水素が発生し、ナトリウムアルコキシドが生じる。メタノールであれば、ナトリウムメトキシドが生じる。



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

③ 正しい。カルボン酸は炭酸($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$)より強い酸であるため、炭酸水素ナトリウム水溶液にカルボン酸を加えると、二酸化炭素が発生する。アセチルサリチル酸はカルボキシ基をもち、炭酸水素ナトリウム水溶液と次のように反応する。



④ 正しい。アニリンを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化すると、黒色の物質が生成する。これはアニリンブラックとよばれ、水に溶けにくく、染料に用いられる。

⑤ 正しい。塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液にナトリウムフェノキシドの水溶液を加えると、橙赤色の p -ヒドロキシアゾベンゼン(p -フェニルアゾフェノール)が生成する。この反応を

ヨードホルム反応

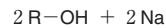
次の構造をもつ化合物にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、ヨードホルムの黄色沈殿が生じる。



(Rは水素原子または炭化水素基)

Naとの反応

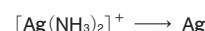
アルコール…水素を発生する



エーテル…反応しない

アルデヒドの検出

・銀鏡反応



・フェーリング液の還元



炭酸水素ナトリウムとの反応

炭酸($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$)より強い酸(スルホン酸、カルボン酸など)に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると二酸化炭素が発生する。

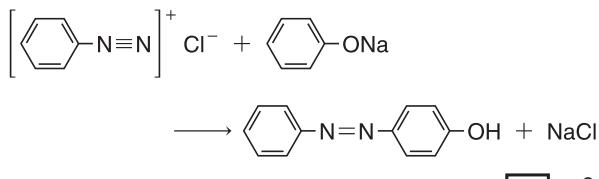
なお、炭酸より弱い酸であるフェノール類は炭酸水素ナトリウムと反応しない。

アニリンの呈色反応

・さらし粉水溶液を加えると、赤紫色を呈する。

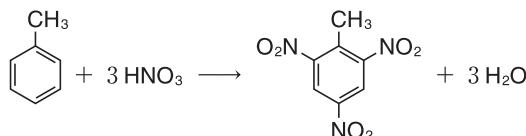
・二クロム酸カリウムの硫酸酸性溶液で酸化すると、黒色の物質(アニリンブラック)が生じる。

ジアゾカップリングという。

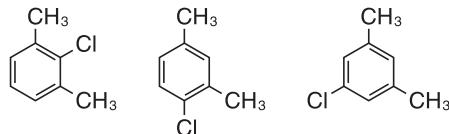


問4 芳香族炭化水素

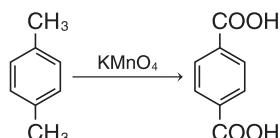
- ① 正しい。トルエンに濃硝酸と濃硫酸を加えて加熱し、十分にニトロ化すると、2,4,6-トリニトロトルエンが得られる。



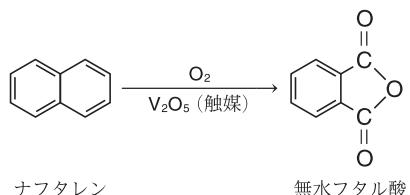
- ② 正しい。*m*-キシレンのベンゼン環に直接結合するH原子1個をCl原子で置換した化合物には、次の3種類が存在する。



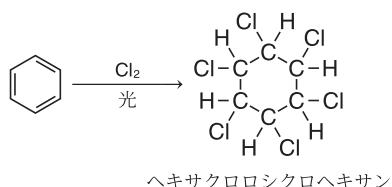
- ③ 正しい。ベンゼン環の側鎖の炭化水素基は、 KMnO_4 によってカルボキシ基に酸化される。よって、*p*-キシレンを KMnO_4 で酸化すると、テレフタル酸が得られる。



- ④ 正しい。ナフタレン C_{10}H_8 を触媒(V_2O_5)を用いて空気酸化すると、無水フタル酸が得られる。



- ⑤ 誤り。ベンゼンと Cl_2 の混合物に、光(紫外線)を照射すると付加反応が起こり、ヘキサクロロシクロヘキサン(ベンゼンヘキサクロリド)が得られる。

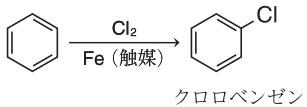


ベンゼン環の側鎖の酸化

ベンゼン環に直接結合する炭化水素基は、過マンガン酸カリウムで酸化するとカルボキシ基になる。



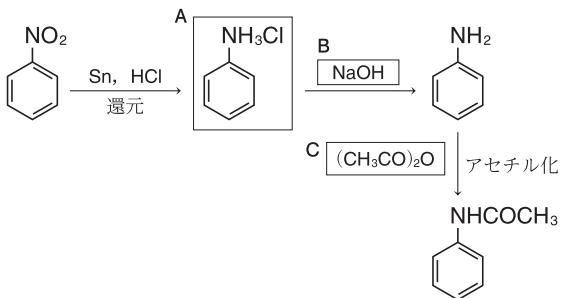
なお、触媒に鉄を用いて反応させると置換反応が起こり、クロロベンゼンが得られる。



[25] ⋯⑥

問5 アセトアニリドの合成

ニトロベンゼンにスズ Sn と塩酸を作用させると、ニトロベンゼンが還元され、アニリン塩酸塩(化合物 A)が得られる。これに、水酸化ナトリウム NaOH(化合物 B)水溶液を加えるとアニリンが遊離する。アニリンに無水酢酸 $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ (化合物 C)を作用させると、アセチル化によりアセトアニリドが得られる。この反応経路は、次のように表される。

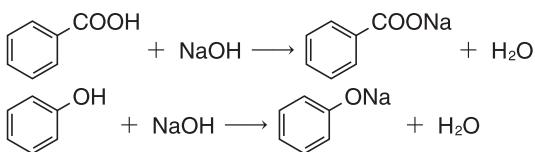


[26] ⋯⑦

問6 有機化合物の分離

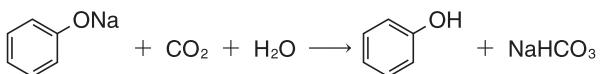
3種類の化合物の分離操作は次のようにになる。

操作1 酸性の物質である安息香酸とフェノールは、水酸化ナトリウムと反応して塩となり、水層イに移る。



ニトロベンゼンは、水酸化ナトリウムと反応しないので、エーテル層アに存在する。

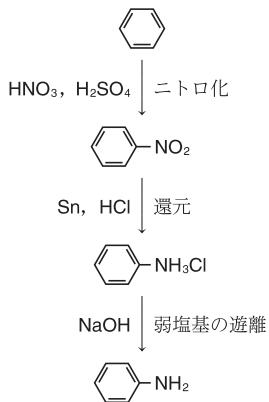
操作2 水層イに CO_2 を十分に通じたとき、ナトリウムフェノキシドが炭酸($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)と反応し、フェノールが遊離する。よって、フェノールは、エーテル層ウに移る。この変化は、次式で表される。



安息香酸ナトリウムは、炭酸($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$)と反応しないので水層工に存在する。

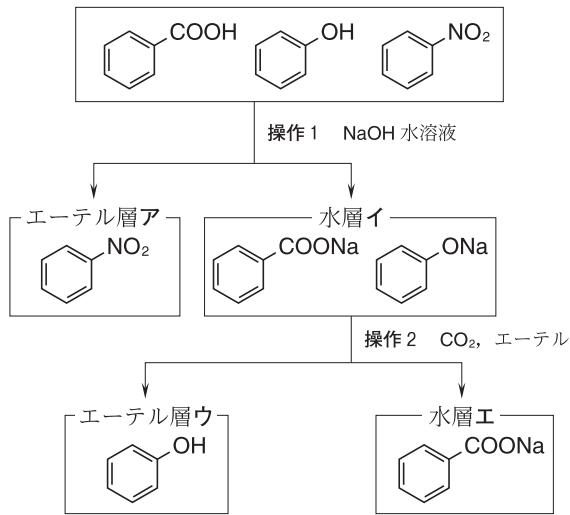
以上の流れを次の図に示す。

アニリンの製法



酸の強弱

スルホン酸 > カルボン酸
 $> \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} >$ フェノール類



27 ⋯⑥

問 7 脂肪族化合物の構造決定

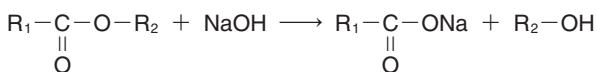
①～⑥に臭素を付加させたときに得られる化合物を次に示す。

なお、構造式中の＊印は不斉炭素原子を示す。

- ① → $\text{CH}_3-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_3$
- ② → $\text{CH}_3-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- ③ → $\text{CH}_2-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}_2-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_3$
- ④ → $\text{CH}_2-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}_2-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- ⑤ → $\text{CH}_3-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}_2$
- ⑥ → $\text{CH}_3-\underset{\text{O}}{\overset{||}{\text{C}}}-\text{O}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\overset{*}{\underset{\text{Br}}{\text{CH}}}-\text{CH}_3$

Aに臭素を付加させると、不斉炭素原子を1個もつ化合物が生じたので、Aの候補は③、④、⑥である。

選択肢より、Aはエステル結合を1つもち、そのけん化の反応式は次のように表される。



(R_1, R_2 : 炭化水素基)

けん化に要する水酸化ナトリウム NaOH (40 g/mol) と得られるアルコールの物質量は等しいので、Aのけん化により得られるアルコールの分子量を M とすると、

$$\frac{6.0}{40} = \frac{6.9}{M} \quad M = 46$$

けん化

エステルに水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、カルボン酸のナトリウム塩とアルコール(またはフェノール類のナトリウム塩)が得られる。エステルの塩基による加水分解をけん化という。

けん化により得られるアルコールは、⑩では CH_3-OH , ④では $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$, ⑥では $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$ である。これらのうち、分子量 46 のアルコールは④から得られたエタノールのみである。よって、A は④である。

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	問1	[1]	(4)	3		
	問2	[2]	(4)	3		
	問3	[3]	(3)	3		
	問4	[4]	(2)	4		
	問5	[5]	(2)	3		
	問6	[6]	(3)	4		
第1問 自己採点小計				(20)		
第2問	A	問1	[7]	(2)	3	
		問2	[8]	(4)	3	
		問3	[9]	(4)	3	
	B	問4	[10]	(8)	3	
			[11]	(4)	4	
			[12]	(8)	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	[13]	(2)	3	
		問2	[14]	(2)	3	
		問3	[15]	(5)	4	
	B	問4	[16]	(1)	3	
			[17]	(5)	3	
		問5	[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]	(3)	3	
			[21]	(5)	3	
	B	問3	[22]	(2)	3	
		問4	[23]	(4)	4	
		問5	[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	問1	[25]	(2)	3		
	問2	[26]	(2)	3		
	問3	[27]	(2)	4		
	問4	[28]	(3)	3		
	問5	[29]	(1)	4		
	問6	[30]	(3)	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 動物の組織

動物の組織と酵素に関する知識問題を出題した。

問1 多細胞動物では、細胞の分化が進み、同じ形やはたらきをもつ細胞が集まって組織を形成し、いくつかの種類の組織が集まって、まとまつたはたらきをもつ器官を形成している。また、いくつかの器官が集まつてはたらきを分担し、効率的に機能する器官系を構成している。例えば、消化に関係する器官である胃、小腸、すい臓などは、消化系とよばれる器官系を構成している。器官系には、消化系のほか、呼吸系、神経系、循環系などがある。

維管束植物である種子植物やシダ植物では、関連のあるいくつの組織が集まって組織系を形成しており、根、茎、葉などの器官は、表皮系、維管束系、基本組織系の3種類の組織系から構成されている。

1 …④

問2 食物の消化に関係する胃、小腸、すい臓などの消化器官からは、様々な消化酵素が分泌される。胃液に含まれるタンパク質分解酵素はペプシンであり、すい液に含まれるタンパク質分解酵素はトリプシンである。食物中のタンパク質は最終的にアミノ酸にまで分解され、小腸で吸収される。なお、カタラーゼは過酸化水素を水と酸素に分解する酵素である。

2 …④

問3 図1の力は小腸の内表面をおおつており、栄養分を消化管から取り込むはたらきをもつ上皮組織(吸収上皮)である。その外側のキは結合組織であり、グルコース、アミノ酸、脂肪など、吸収した物質の輸送に関わる毛細血管やリンパ管などを含む。さらにその外側のクには消化管の運動に関わる筋組織と筋繊維につながる神経組織がみられる。したがって、aがキ、bが力、cがクの部位を、それぞれ観察した結果である。

3 …③

問4 ①結合組織は、組織と組織の間にあって、それらを支えたり、組織どうしを結合し、組織や器官に強さとしなやかさを与えている。結合組織は、上皮組織とは異なり、多量の細胞間物質を含み、細胞どうしが密着していないので、誤りである。②血液は、赤血球や白血球などの細胞を含み、液体の血しょうが細胞間物質として血球の間を満たしており、結合組織に含まれるので、正しい。③纖維性結合組織では、纖維状の細胞ではなく、細胞間物質である纖維性の物質が組織どうしをつないでいるので、誤りである。④骨も結合組織に含まれ、骨細胞はリン酸カルシウムなどのカルシウム塩を細胞外に分泌し、これを細胞間物質として多量に含むことで骨に硬さをもたらしているので、誤りである。

4 …②

問5 からだの外表面や消化管、血管などの内表面をおおう組織が上皮組織である。上皮組織は、そのはたらきから、保護上皮、腺上皮(分泌上皮)、吸収上皮、感覚上皮などに分けられる。①爪と

【ポイント】

多細胞動物

細胞→組織→器官→器官系→個体

器官系には、消化系、呼吸系、神経系、循環系などがある。

種子植物やシダ植物

細胞→組織→組織系→器官→個体

タンパク質分解酵素

ペプシン(胃液)

トリプシン(すい液)

カタラーゼ

過酸化水素 → 水 + 酸素

動物の組織

上皮組織、結合組織、神経組織、筋組織(筋肉組織)

結合組織

細胞どうしが離れて存在し、その間には多量の細胞間物質が存在する。

皮膚の真皮、腱、硬骨、軟骨、血液など

③毛は表皮の一部が変化したものであり、上皮組織(保護上皮)に属する。②腱は骨と筋肉をつなぐ役割をしており、結合組織に属する。④ホルモンを分泌する内分泌腺、消化液や汗などを分泌する外分泌腺などの腺は、分泌物を分泌する上皮組織(腺上皮)に属する。

5 …②

問6 ①筋組織は、筋纖維(筋細胞)とよばれる繊維状の細胞が集まってできている。骨格筋では1個の筋纖維内に多数の核がみられるが、心臓の筋肉(心筋)や心臓以外の小腸などの内臓の筋肉(内臓筋)では、1個の筋纖維内に1個の核が存在するので、誤りである。②骨格筋の収縮は運動神経により調節されるが、内臓筋の収縮は自律神経系により調節されるので、誤りである。③すべての筋肉は、筋纖維内に収縮性のタンパク質を含むので、正しい。④骨格筋や心筋は、筋纖維に横縞がみられる横紋筋であるが、内臓筋は、筋纖維に横縞がみられない平滑筋であるので、誤りである。

6 …③

第2問 生殖

生殖に関する知識問題と、イネの交雑に関する考察問題を出題した。

問1 被子植物の受精卵は、体細胞分裂を繰り返して胚球(球状胚)と胚柄になる。胚球は子葉、幼芽、胚軸、幼根が分化した胚となり、胚柄は種子の成熟にともなって退化する。

7 …②

問2 有性生殖では、配偶子が合体して新しい個体が生じる。配偶子は減数分裂を経て形成されるため、同じ個体がつくる配偶子でもその染色体構成(遺伝子構成)は異なる。この遺伝子構成の多様な配偶子どうしが合体して新しい個体が生じるため、同じ両親から生じた個体でもその遺伝子構成は異なる。したがって、工は誤りである。無性生殖は配偶子の合体によらずに新しい個体を生じるため、1個体だけでも新しい個体を生じることができる。したがって、才は正しい。ゾウリムシは環境条件が良い場合は分裂によって増えるが、環境条件が悪くなると有性生殖である接合を行う。このように、有性生殖と無性生殖の両方を行うことができる生物が存在する。したがって、力は正しい。無性生殖には、分裂、出芽、栄養生殖などがある。接合は配偶子の合体のことであり、有性生殖である。したがって、キは誤りである。

8 …④

問3 ①・③ 1個の花粉母細胞が減数分裂を行って花粉四分子となり、4個の未熟花粉が生じる。未熟花粉は細胞分裂を行って、1個の花粉管細胞と1個の雄原細胞からなる成熟花粉となる。成熟花粉が柱頭につくと花粉管が伸び、花粉管内で雄原細胞が分裂して2個の精細胞が生じる。このとき、花粉1個あたり2個の精細胞が生じるので、1個の花粉母細胞から8個の精細胞が生じることになる。したがって、①と③はともに誤りである。②・④ 1個

上皮組織

細胞どうしが密着し、からだの外表面や内表面をおおう。
保護上皮、腺上皮(分泌上皮),
吸収上皮、感覚上皮など

筋組織

収縮性をもつ筋纖維(筋細胞)の集まり
骨格筋(横紋筋) 筋纖維は多核
心筋(横紋筋) 筋纖維は单核
内臓筋(平滑筋) 筋纖維は单核

胚球

子葉・幼芽・胚軸・幼根が分化した胚になる。

胚柄

種子の成熟にともなって退化する。

有性生殖

配偶子の合体によって新しい個体が生じる。

無性生殖

配偶子によらずに新しい個体が生じる。

分裂、出芽、栄養生殖など

の胚のう母細胞が減数分裂を行って4個の細胞が生じるが、そのうち1個の細胞が胚のう細胞となり、残りの3個の細胞は退化する。胚のう細胞は3回の核分裂を行って、1個の卵細胞、2個の助細胞、3個の反足細胞、1個の中央細胞の合計7個の細胞からなる胚のうとなる。このとき、胚のう1個あたり1個の卵細胞を含むので、1個の胚のう母細胞から1個の卵細胞が生じることになる。したがって、②は誤りであり、④は正しい。⑥・⑦被子植物の重複受精では、花粉管内に生じた2個の精細胞(n)のうち、一方の精細胞(n)は卵細胞(n)と受精して受精卵($2n$)となり、もう一方の精細胞(n)は2個の極核(n)を含む中央細胞と合体して胚乳核($3n$)をもつ細胞となる。受精卵からは胚($2n$)がつくられ、胚乳核をもつ細胞からは胚乳($3n$)がつくられる。したがって、⑤と⑥はともに誤りである。

⑦・⑧イネやトウモロコシやカキなどの種子では、発芽に必要な栄養分は胚乳に蓄えられている。このような種子を有胚乳種子とよぶ。また、ナズナやエンドウやクリなどの種子では、胚乳があまり発達せずに退化し、発芽に必要な栄養分は子葉に蓄えられている。このような種子を無胚乳種子とよぶ。したがって、⑦は誤りであり、⑧は正しい。

■9・■10…④・⑧

問4 ①・②実験1では、品種Yにおける稔実率(%)と交雑率(%)を求めているが、稔実率は「すべてのものみの数に対する種子ができるもみの数の割合」を示しており、品種Y自身の花粉が受粉して生じた種子と品種Xの花粉が受粉して生じた種子を区別していない。したがって、交配結果から稔実率を求めるためにウルチ性の品種とモチ性の品種を用いたわけではないので、①と②はともに誤りである。③・④交雑率は「すべての種子の数に対する品種Xと同じ胚乳の形質を示す種子の数の割合」を示している。問題文に「ウルチ性はモチ性に対して優性である」とあるので、品種Yがウルチ性であれば、品種Y(ウルチ性)自身の花粉が受粉して生じた種子と品種X(モチ性)の花粉が受粉して生じた種子のどちらも胚乳はウルチ性となるため、交雑率を求めることができない。品種Yがモチ性であれば、品種Y(モチ性)自身の花粉が受粉して生じた種子の胚乳はモチ性となるが、品種X(ウルチ性)の花粉が受粉して生じた種子の胚乳はウルチ性となるため、交雑率を求めることができる。したがって、③は誤りであり、④は正しい。

⑥・⑦実験3で、低温処理を行った品種Yの柱頭に品種Yの花粉を受粉したときの稔実率は95%であり、実験1の対照区における稔実率(95.2%)とほとんど差がみられない。このことから、低温処理によって卵細胞の受精能力はほとんど変化しないと考えられる。したがって、⑥と⑦はともに誤りである。⑥・⑧実験2で、低温処理区と対照区で飛散している花粉の数を比較すると、品種Xの花粉の数は、低温処理区と対照区で大きな差はみられない

被子植物の重複受精

精細胞(n) + 卵細胞(n) → 胚($2n$)
精細胞(n) + 中央細胞($n+n$)
→ 胚乳($3n$)

有胚乳種子

発芽のための栄養分は胚乳に蓄えられる。

イネ、トウモロコシ、カキなど 無胚乳種子

発芽のための栄養分は子葉に蓄えられる。

ナズナ、エンドウ、クリなど

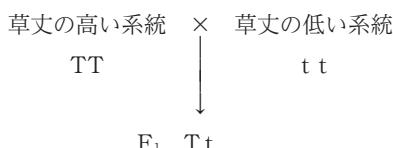
が、品種Yの花粉の数は、対照区に比べて低温処理区で大幅に減少している。これより、低温処理による稔実率の低下と交雑率の上昇は、いずれも品種Yの飛散花粉数が減少したことが主な原因であると考えられる。つまり、低温処理による稔実率の低下は、品種Yの飛散花粉数が減少し、飛散する花粉の総数が減少して受粉する確率が低下したことが主な原因であり、交雑率の上昇は、品種Yの飛散花粉数が減少し、相対的に品種Xの花粉の割合が大きくなつたことが主な原因であると考えられる。したがつて、⑥は誤りであり、⑧は正しい。

11・12…④・⑧

第3問 遺伝

Aでは植物の草丈に関する遺伝の問題を、Bではハツカネズミの毛色に関する遺伝の問題を出題した。

問1 問題文に「これらの形質は、1対の対立遺伝子によって決定されている」とある。また、**実験1**で、草丈の高い系統の個体と草丈の低い系統の個体を交配したところ、F₁の草丈は草丈の高い系統の個体と同じであったことから、草丈を高くする遺伝子が草丈を低くする遺伝子に対して優性であることがわかる。草丈を高くする遺伝子をT、草丈を低くする遺伝子をtとする、**実験1**は次のようになる。



また、F₁個体を自家受精させた**実験2**の交配は次のようになる。

$$\begin{array}{c} \text{Tt} \times \text{Tt} \\ \downarrow \\ \begin{array}{|c|c|c|} \hline & \text{T} & \text{t} \\ \hline \text{T} & \text{TT(高)} & \text{Tt(高)} \\ \hline \text{t} & \text{Tt(高)} & \text{tt(低)} \\ \hline \end{array} \end{array}$$

交配表より、F₂にはTT、Tt、ttの3種類の遺伝子型が存在し、草丈の高い個体の遺伝子型はTTとTtの2種類であるので、②が正しい。

13…②

問2 実験2で得られた F_2 個体をすべて自家受精させたときに生じる個体の遺伝子型の分離比を、最も簡単な比で表すと、次のようになる。

$$\begin{array}{c} \text{TT : Tt : tt} \\ \text{TT} \times \text{TT} \rightarrow 1 : 0 : 0 \\ \text{Tt} \times \text{Tt} \rightarrow 1 : 2 : 1 \\ \text{tt} \times \text{tt} \rightarrow 0 : 0 : 1 \end{array}$$

複数の交配の結果を合計する際には、それぞれの交配によって生じる次世代の総個体数($TT+Tt+tt$)と同じにする必要がある。

$$\begin{array}{c} \text{TT : Tt : tt} \\ \text{TT} \times \text{TT} \rightarrow 4 : 0 : 0 \\ \text{Tt} \times \text{Tt} \rightarrow 1 : 2 : 1 \\ \text{tt} \times \text{tt} \rightarrow 0 : 0 : 4 \end{array}$$

また、 F_2 では、 Tt の個体は TT の個体と tt の個体の2倍存在するので、 Tt の自家受精の結果を2倍する必要がある。

$$\begin{array}{ll} \text{TT : Tt : tt} & \text{TT : Tt : tt} \\ \text{TT} \times \text{TT} \rightarrow 1(4 : 0 : 0) \rightarrow 4 : 0 : 0 & \\ \text{Tt} \times \text{Tt} \rightarrow 2(1 : 2 : 1) \rightarrow 2 : 4 : 2 & \\ \text{tt} \times \text{tt} \rightarrow 1(0 : 0 : 4) \rightarrow 0 : 0 : 4 & \end{array}$$

これらをまとめると、 $TT : Tt : tt = 6 : 4 : 6 = 3 : 2 : 3$ となる。 F_2 と F_3 を比較すると、次のようになる。

$$F_2 \quad TT(\text{高}) : Tt(\text{高}) : tt(\text{低}) = 1 : 2 : 1$$

$$F_3 \quad TT(\text{高}) : Tt(\text{高}) : tt(\text{低}) = 3 : 2 : 3$$

草丈の高い個体の割合は、 F_2 が $\frac{3}{4}$ 、 F_3 が $\frac{5}{8}$ であり、ホモ接合体の割合は、 F_2 が $\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ 、 F_3 が $\frac{6}{8} = \frac{3}{4}$ である。したがって、草丈の高い個体の割合は低下するが、ホモ接合体の割合は上昇するので、②が正しい。

14 ⋯②

問3 実験2で得られた F_2 のうち、草丈の高い個体(TT , Tt)のみをすべて自家受精させたときに生じる個体の遺伝子型の分離比は、問2と同様に考えればよいので、次のようになる。

$$\begin{array}{ll} \text{TT : Tt : tt} & \text{TT : Tt : tt} \\ \text{TT} \times \text{TT} \rightarrow 1(4 : 0 : 0) \rightarrow 4 : 0 : 0 & \\ \text{Tt} \times \text{Tt} \rightarrow 2(1 : 2 : 1) \rightarrow 2 : 4 : 2 & \end{array}$$

これらをまとめると、 $TT(\text{高}) : Tt(\text{高}) : tt(\text{低}) = 6 : 4 : 2 = 3 : 2 : 1$ となる。したがって、次世代における表現型の分離比は、草丈の高い個体 : 草丈の低い個体 = 5 : 1 となる。

15 ⋯⑥

複数の遺伝子型の個体を含む集団での自家受精

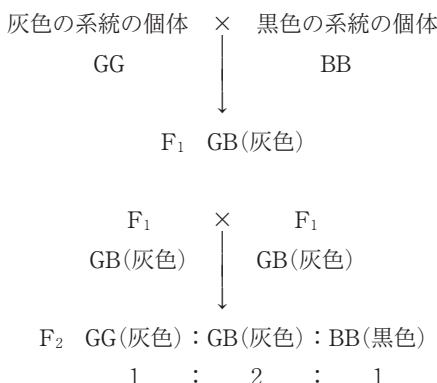
各個体ごとに交配して、後から合計する。次の2点に注意する。

①交配ごとの次世代の総個体数を同じにする。

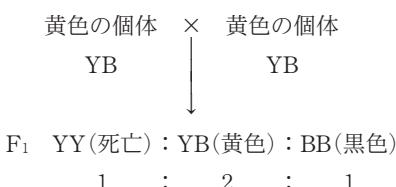
②親世代の個体数を反映させる。

問4 問題文に「ハツカネズミの灰色、黄色、および黒色の毛色の決定には、相同的な常染色体上の同じ位置(遺伝子座)に存在し、互いに対立遺伝子の関係にある三つの遺伝子が関与する」とある。このように、ある一つの形質に関して、三つ以上の対立遺伝子があるとき、これらの遺伝子を複対立遺伝子とよぶ。

実験3で、毛色が灰色の系統の個体(GG)と、毛色が黒色の系統の個体(BB)を交配させたところ、 F_1 (GB)の毛色はすべて灰色であったことから、遺伝子 G は遺伝子 B に対して優性であることがわかる。また、 F_1 個体どうしを交配させたところ、 F_2 では灰色と黒色の個体が 3:1 の割合で生まれた。これらをまとめると、**実験3**は次のようになる。



実験4で、毛色が黄色の個体どうしを交配させたところ、 F_1 では黄色と黒色の個体が 2:1 の割合で生まれた。この結果は、交配に用いた黄色の個体の遺伝子型は YB であり、遺伝子 Y は遺伝子 B に対して優性であるが、遺伝子 Y は劣性の致死遺伝子であり、遺伝子 Y のホモ接合体は発生過程で死亡すると考えればうまく説明できる。**実験4**は次のようになる。

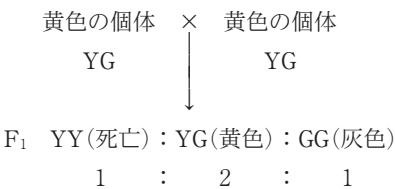


実験5で、**実験4**で用いた個体とは別の、毛色が黄色の個体どうしを交配させたところ、 F_1 では黄色と灰色の個体が 2:1 の割合で生まれた。この結果は、交配に用いた黄色の個体の遺伝子型は YG であり、遺伝子 Y は遺伝子 G に対して優性であるが、遺伝子 Y は劣性の致死遺伝子であり、遺伝子 Y のホモ接合体は発生過程で死亡すると考えればうまく説明できる。**実験5**は次のようになる。

三つ以上の対立遺伝子があるとき、それらの遺伝子を複対立遺伝子とよぶ。

劣性の致死遺伝子

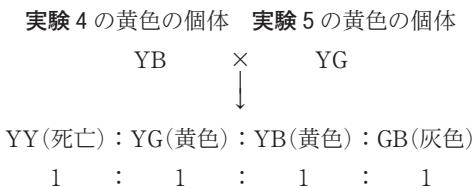
ホモ接合になると発生過程で死亡を引き起こす遺伝子



上記の内容をまとめると、遺伝子 Y は遺伝子 G と遺伝子 B に対して優性であり、遺伝子 G は遺伝子 B に対して優性であることから、①が正しく、遺伝子 Y のホモ接合体は発生過程で死亡することから、⑥が正しい。

16 · 17 … ① · ⑥

問5 実験4 で交配に用いた毛色が黄色の個体(YB)と、**実験5** で交配に用いた毛色が黄色の個体(YG)の交配は、次のようになる。



これより、次世代の毛色の分離比は、灰色：黄色：黒色 = 1:2:0 となる。

18 … ③

第4問 感覚

Aでは受容器と神経に関する知識問題を、Bでは耳に関する知識問題と聴覚に関する考察問題を出題した。

問1 光を受容する眼(網膜)や空気中の化学物質を受容する鼻(嗅上皮)などは受容器(感覚器)とよばれ、ヒトの場合、触覚、痛覚、温覚、冷覚などの皮膚感覚の受容器は皮膚の真皮に存在する。受容器には特定の刺激に対して敏感に反応する受容細胞(感覚細胞)が存在し、ヒトの場合、受容細胞に生じた興奮は感覚神経によって大脳の感覚中枢に伝えられ、感覚が生じる。

19 … ③

問2 ①感覚神経でも運動神経でも、軸索では活動電流が次々と隣接する静止部に活動電位を生じさせることによって興奮が伝わるので、誤りである。②ヒトの神経系は、中枢神経系と末梢神経系に大別され、末梢神経系はさらに自律神経系と体性神経系に分けられる。感覚神経も運動神経も体性神経系に分類されるので、誤りである。③感覚神経は背根を通って脊髄に入り、運動神経は腹根を通って脊髄から出るので、正しい。④感覚神経の細胞体は脊髄神経節に存在し、運動神経の細胞体は脊髄の灰白質に存在するので、誤りである。⑤しつがい腱反射の反射弓では、介在ニューロンが存在せず、感覚神経と運動神経が直接シナプスを形成しているので、正しい。⑥体温が上昇すると、交感神経のはたらきで汗腺からの汗の分泌が促進されるので、誤りである。⑦体温が低

受容器(感覚器)

刺激を受容する。

眼(網膜), 鼻(嗅上皮)

耳(うずまき管, 前庭, 半規管)

皮膚(触点, 痛点, 温点, 冷点)

ヒトの神経系

中枢神経系(脳, 脊髄)と末梢神経系からなり、末梢神経系は自律神経系と体性神経系に分けられる。

自律神経系は交感神経と副交感神経からなる。

体性神経系は感覚神経と運動神経からなる。

下すると、交感神経のはたらきで立毛筋が収縮し、熱の放散が抑制されるので、誤りである。 20 · 21 …③・⑥

問3 ①聴細胞や半規管・前庭の感覚細胞には感覚毛が存在するが、鼓膜の表面には感覚毛は存在しないので、誤りである。②耳小骨は、つち骨、きぬた骨、あぶみ骨とよばれる三つの小さな骨からなり、鼓膜の振動を増幅するはたらきをもつて、正しい。③耳管(エウスタキオ管)^{いん}は咽頭につながっており、耳管内を空気が通ることで鼓膜内外の気圧が等しく保たれるので、誤りである。④うずまき細管は前庭階と鼓室階の間に存在し、うずまき細管内に前庭階と鼓室階は存在しないので、誤りである。⑤コルチ器では、基底膜の上に聴細胞が並んでいるので、誤りである。⑥前庭はからだの傾きを受容し、半規管はからだの回転を受容するので、誤りである。 22 …②

問4 ヒトRは、「感じることができた最小の音の大きさ」が、骨を伝わって直接内耳を振動させる骨導音では5~10 dBと正常であるが、空気の振動が中耳(鼓膜、耳小骨)を経由して内耳を振動させる気導音では40~50 dBと大きいことから、内耳は正常であるが、中耳に異常がある伝音性難聴であることがわかる。

ヒトQは、「感じることができた最小の音の大きさ」が、骨導音では30~45 dBと大きく、気導音では45~70 dBとさらに大きい。これは、ヒトQは、内耳に異常があるため、骨導音を聞かせた場合の「感じることができた最小の音の大きさ」は30~45 dBと聴覚が正常なヒトよりも大きくなり、中耳にも異常があるため、気導音を聞かせた場合、内耳に伝わる音が正常な場合よりも弱まり「感じることができた最小の音の大きさ」は45~70 dBとさらに大きくなるものと考えられる。したがって、中耳と内耳の両方に異常がある混合性難聴であると考えられる。

ヒトRが伝音性難聴、ヒトQが混合性難聴であるので、④が正しく、ヒトPは感音性難聴である。ヒトPは、「感じることができた最小の音の大きさ」が、骨導音でも気導音でも35~70 dBと大きく、骨導音と気導音で聴力にほとんど差がみられない。これは、ヒトPが、中耳は正常であるが、内耳に異常がある感音性難聴であると考えれば、説明できる。 23 …④

問5 鼓膜から耳小骨に伝えられた振動は、うずまき管内のリンパ液を伝わって基底膜を振動させるが、基底膜が最も振動する位置は伝わる音の高さによって異なり、振動数が小さい音(低音)ほど、うずまき管の頂部(奥側)近くの基底膜を振動させ、振動数が大きい音(高音)ほど、うずまき管の基部(入り口側)近くの基底膜を振動させる。ヒトSでは、4000 Hz以上の高振動数域で聴力が低下していることから、うずまき管の基部の聴細胞に何らかの異常が生じていると考えられる。①・②のように、聴細胞の数が減少すると、聴力が低下するが、③・④のように、聴細胞の閾値が

しつがい腱反射の反射弓では、感覚神経と運動神経が直接シナプスを形成する。

前庭はからだの傾きを受容し、半規管はからだの回転を受容する。

振動数が小さい音(低音)ほど、うずまき管の頂部(奥側)近くの基底膜を振動させ、振動数が大きい音(高音)ほど、うずまき管の基部(入り口側)近くの基底膜を振動させる。

低下すると、より小さい音でも聴細胞に興奮が生じるようになり、聴力が上昇するはずであり、⑥・⑦のように、聴細胞につながる聴神経における興奮の伝導速度が低下しても、聴力は変化しないはずである。

24 ⋯①

第5問 植物の反応

Aでは植物と光合成に関する知識問題と計算問題を、Bでは光の強さと光合成速度の関係に関する考察問題を出題した。

問1 根の表面には、表皮細胞が細長く変形した根毛がみられる。

根毛により根の表面積が大きくなるので、土壤中の水や無機塩類を効率よく吸収することができる。生育に必要な水は、被子植物では主に根の道管に入り、葉まで運ばれる。

25 ⋯②

問2 植物には、強い光のもとでよく生育する陽生植物と、弱い光のもとでも生育できる陰生植物がある。陽生植物は、陰生植物と比べて、呼吸速度、補償点、光飽和点、最大光合成速度が大きいという特徴をもつ。陽生植物としては、セイヨウタンポポ、ススキ、イネ、アカマツ、クロマツなどがあげられ、陰生植物としては、ミヤマカタバミ、アオキ、ヤブツバキ、イヌシダなどがあげられる。

26 ⋯②

問3 図1の縦軸は葉面積 100 cm²あたり1時間あたりの二酸化炭素吸収量(mg)を表している。光合成では二酸化炭素が吸収され、呼吸では二酸化炭素が放出されることから、グラフの縦軸の値は、光合成量から呼吸量を引いた見かけの光合成量を示しており、光合成量は、「見かけの光合成量+呼吸量」で表される。

葉面積 20 cm²の陽葉に相対値 2.0 の光を 1 時間連続して照射したときの見かけの光合成量は $10 \times \frac{20}{100} = 2.0$ (mg) であり、呼吸量は $10 \times \frac{20}{100} = 2.0$ (mg) であるので、光合成量は $2.0 + 2.0 = 4.0$ (mg) となる。

葉面積 40 cm²の陰葉に相対値 2.0 の光を 1 時間連続して照射したときの見かけの光合成量は $7 \times \frac{40}{100} = 2.8$ (mg) であり、呼吸量は $3 \times \frac{40}{100} = 1.2$ (mg) であるので、光合成量は $2.8 + 1.2 = 4.0$ (mg) となる。

したがって、陽葉1枚の光合成量は陰葉1枚の光合成量と等しいので、1.0倍となる。

27 ⋯②

問4 光合成速度は、光の強さ、温度、二酸化炭素濃度の影響を受ける。光合成速度と光の強さとの関係を調べるためにには、温度を適温で一定に保つ必要がある。光源からは光だけでなく熱も放出されるので、小型水槽に入れた水に熱を吸収させ、大型水槽中の温度が上昇しないようにする必要がある。

28 ⋯③

問5 問題文に、「植物から二酸化炭素が発生した場合、二酸化炭素は水に溶けやすいので、気泡としては観察されない」とあるので、実験1でオオカナダモから発生している気泡は酸素であると考え

陽生植物

呼吸速度、補償点、光飽和点、最大光合成速度が大きい。

セイヨウタンポポ、ススキ、イネ、アカマツ、クロマツなど

陰生植物

呼吸速度、補償点、光飽和点、最大光合成速度が小さい。

ミヤマカタバミ、アオキ、ヤブツバキ、イヌシダなど

光合成速度 =

見かけの光合成速度 + 呼吸速度

光合成速度に影響する要因

光の強さ

温度

二酸化炭素濃度

られる。オオカナダモに補償点よりも強い光が照射されている場合、光合成速度が呼吸速度を上回り、酸素が発生する。光源とオオカナダモの距離が 300 cm 以上の場合、酸素の発生がみられなかつたのは、光の強さが補償点以下となり、光合成速度が呼吸速度を下回ったためであると考えられるので、①が正しく、②は誤りである。なお、弱光条件下でも光合成と呼吸は行われるので、③・④は誤りである。

[29] …①

問6 問4で解説したように、光合成速度は、光の強さ、温度、二酸化炭素濃度の影響を受ける。実験1では、光の強さと温度は一定に保たれていることから、実験開始から1時間後にオオカナダモからの気泡の発生がみられなくなったのは、大型水槽内の二酸化炭素濃度が低下して光合成速度が低下し、光合成速度が呼吸速度と等しくなったためであると考えられる。したがって、オオカナダモから再び気泡を発生させるには、大型水槽内の二酸化炭素濃度を高めて光合成速度を上昇させ、光合成速度が呼吸速度を上回るようにすればよいので、③が正しい。

[30] …③

補償点

呼吸速度と光合成速度が等しくなるときの光の強さ

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	①	3	
		問2	2	⑥	4	
		問3	3	③	3	
	B	問4	4	②	3	
		問5	5	③	3	
		問6	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	⑥	3	
		問3	9	④	4	
	B	問4	10	③	3	
		問5	11	⑥	3	
		問6	12	③	4	
第2問 自己採点小計				(20)		
第3問	A	問1	13	②	3	
		問2	14	③	3	
		問3	15	④	3	
		問4	16	③	4	
	B	問5	17	⑧	3	
		問6	18	②	4	
第3問 自己採点小計				(20)		
第4問	A	問1	19	④	3	
		問2	20	②	3	
		問3	21	④	4	
	B	問4	22	④	3	
		問5	23	⑥	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	②	3		
		問2	26	①	3		
		問3	27	③	4		
	B	問4	28	④	3		
		問5	29	⑤	3		
		問6	30	④	4		
第5問 自己採点小計				(20)			
自己採点合計				(100)			

【解説】

第1問 固体地球

A 地球の内部と熱

原始地球のでき方、地球内部の様子、構成物質、地球内部の熱に関する出題した。地球の内部構造の様子は、地球のでき方と地震波の解析の2点から説明できるようにしておこう。また、地球内部の熱については、その熱源と地球内部の温度分布に加え、熱の移動量(地殻熱流量)についても正しく理解しておこう。

問1 原始地球では、微惑星(ア)の衝突による熱と微惑星中の揮発成分からつくられた原始大気の温室効果によって高温となり、マグマオーシャン(イ)が形成された。このとき、密度の高い(ウ)鉄などの重い物質が地球中心に集まり、現在の核が形成された。そして、核の周囲を比較的軽い岩石質のマントルが取り囲み、さらに地球が冷えると表面に地殻ができる。現在の地球内部は、地殻・マントル・外核・内核の4層に区分される。

1 …①

問2 a 震央角距離 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ に現れる P 波の影は、外核で P 波が下向きに屈折することでつくられる(図 1-1)。また、震央角距離 103° 以遠に現れる S 波の影は、液体である外核中を S 波が伝わらないことからつくられる。

固体の内核の存在は、内核の表層で上向きに屈折してやってきた微弱な P 波が震央角距離 110° 付近で観測されたことから推定されている。震央角距離 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ に現れる P 波の影の存在によって、内核が固体であると推定されたわけではない。したがって、この文は誤りである。

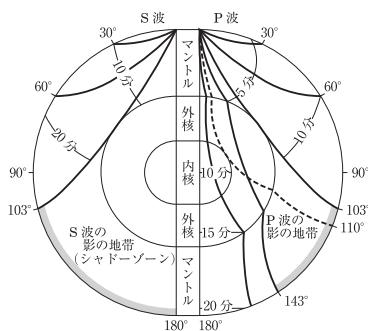


図 1-1 地球内部を伝わる地震波の経路

b 構成元素は、地殻は酸素と珪素が、マントルは酸素とマグネシウムが、核は鉄が多い。また、地球全体では、鉄が最も多い元素であり、酸素ではないことに注意しよう。したがって、この文は正しい。

c 地球の半径を 6400 km 、地表から核までの深さを 2900

【ポイント】

マグマオーシャン

温室効果や微惑星の衝突による熱によって、地表面の岩石が溶けてできたマグマの海。

P 波の影と S 波の影

P 波の影：震央角距離 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$

S 波の影：震央角距離 103° 以遠

地球の構成元素(重量%)

地殻： $\text{O} > \text{Si} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$

$> \text{K}$

マントル： $\text{O} > \text{Mg} > \text{Si} > \text{Fe}$

核： $\text{Fe} > \text{Ni}$

地球全体： $\text{Fe} > \text{O}$

(km)とすると、核の半径は3500(km)である。また、地殻は非常に薄いので計算に含めないこととし、地球全体の体積を100(%)とすると、核の体積は、 $\frac{3500^3}{6400^3} \times 100 = 16\%$ になる。地球全体の体積から核の体積を引いた84(%)がマントルの体積であり、核の体積に比べて約5倍も大きい。したがって、この文は誤りである。

以上より、「誤、正、誤」の組合せである⑥が正解となる。

2 ⋯⑥

問3 ① 地球内部の熱源は、地球創成期に閉じ込められた熱と放射性同位体の崩壊に伴う熱である。岩石中には、放射性同位体であるウランやトリウム、カリウムが含まれ、これらの放射性同位体が崩壊することで、発熱が起こる。したがって、この文は正しい。

② 海洋地殻の地殻熱流量のおもな熱源は、高温のマントルから供給される熱であり、岩石中の放射性同位体の崩壊に伴う熱は少ない。一方、大陸地殻の地殻熱流量のおもな熱源は、岩石中の放射性同位体の崩壊に伴う熱である。したがって、この文は正しい。

③ 一般に、地殻熱流量は、火山地帯や中央海嶺付近で大きく、古い岩石でできた安定大陸や海溝付近で小さい。海洋地殻の地殻熱流量は、中央海嶺 > 海洋底 > 海溝であり、中央海嶺から離れるにつれて小さくなる。したがって、この文が誤りで、正解である。

④ 地殻中の平均的な地下増温率は2~3°C/100 mである。この割合で地球中心の温度を推定すると約130000~190000°Cにもなる。実際の地球中心の温度は約4000~6000°Cであるので、この値は高すぎる。よって、マントルや核での地下増温率は、地殻に比べると小さくなることがわかる。したがって、この文は正しい。

3 ⋯③

B 日本付近の地震

島弧-海溝系の地震は、内陸地震、海溝型地震、深発地震に分けられる。これらの特徴をしっかりと覚えておこう。

問4 深発地震とは、震源の深さが100 kmより深い地震のことである。深発地震は、Bの海溝で沈み込んだ海洋プレートの上面で発生する。この面を深発地震面(和達-ベニオフ面)という(図1-2)。この面は、海溝から大陸側に向かって深くなっている。したがって、正解は②となる。分布域Aは大陸プレートの深部、C・Dはアセンスフェアであり、これらの領域ではほとんど地震は発生しない。

4 ⋯②

地球内部の熱源

地球創成期の熱と岩石中の放射性同位体の崩壊に伴う熱。

深発地震

震源の深さが100 kmよりも深い地震。

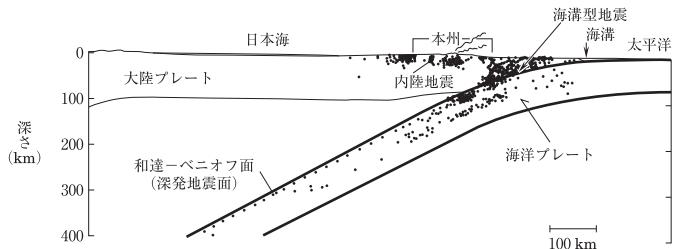


図 1-2 東北日本付近の東西断面における震源分布

問 5 ① 内陸で発生する内陸地震のうち、比較的浅い震源をもつ地震は直下型地震ともいわれる。日本列島は、プレート運動によってほぼ東西に押され、おもに圧縮の力を受けている。この圧縮の力がはたらくことで、内陸地震が発生する。したがって、この文は誤りである。

② 活断層とは、数十万年前以降に活動し、今後も活動する可能性のある断層のことであり、日本付近では陸域・海域とともに多数存在する。津波は、海溝型地震の発生時にだけ見られる現象ではない。海域の活断層が活動し、海底が上下にずれることで、津波が発生することもある。したがって、この文は誤りである。

③ 一般に、震度は、震央から離れるにつれて小さくなる。しかし、地震波の伝わりやすい経路がある場合や地盤が弱い地域がある場合には、震央から離れた地域で震度が大きくなることがある。これを異常震域という。したがって、この文は正しい。

④ 地震の規模を表すマグニチュードが 2 大きくなるごとに、放出されるエネルギーは 1000 倍大きくなるという関係がある。したがって、この文は誤りである。 5 …③

問 6 大地震における地殻の上下変動に関する問題である。特に、海溝型地震は、地震発生時の隆起と通常期の沈降をくり返している。地震発生時の隆起量が通常期の沈降量を上回る場合は、長期的に地殻が隆起している。

この問では、周期 T (年)で地震がくり返し発生している。地震発生時の隆起量は h (m)，通常期における T 年間の沈降量は沈降速度 v (m/年)に周期 T 年を掛けて vT (m)となることから、 T 年あたりの隆起量は $h - vT$ (m)である(図 1-3)。したがって、平均隆起速度は、 T 年あたりの隆起量を周期 T (年)で割り、 $\frac{h}{T} - v$ (m)となる。 6 …①

内陸地震

おもに圧縮の力によって生じる。震源断層は、逆断層・横ずれ断層が多い。

海溝型地震

海洋プレートが大陸プレートに沈み込む場所で発生し、規模の大きい地震では津波を伴うことが多い。震源断層は、逆断層が多い。

異常震域

震央から離れたところで大きな震度が見られる地域。

マグニチュード (M) と放出されるエネルギーの関係

M が 2 大きくなるごとにエネルギーは 1000 倍大きくなる。 M が 1 大きくなるごとにエネルギーは約 32 倍 ($10\sqrt{10}$ 倍) 大きくなる。

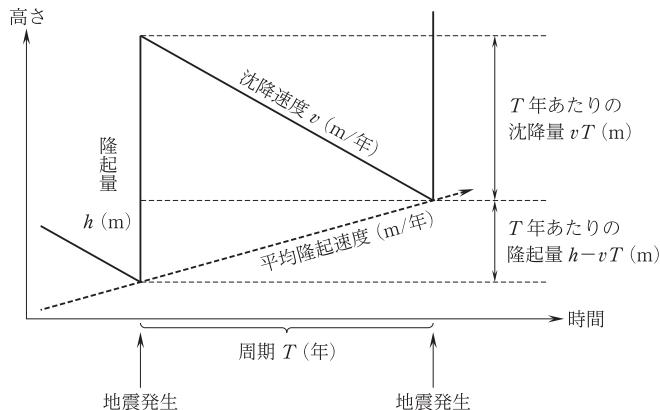


図 1-3 大地震に伴う隆起と沈降の様子

第2問 岩石と鉱物

A マグマ

上部マントルのかんらん岩からマグマが生じるまでの過程、生じたマグマの性質、マグマだまりの中で起こるマグマの分化に関する問題である。

問1 マグマは、上部マントルを構成するかんらん岩が溶融して生じる。図2-1のように、かんらん岩の融解曲線は右上がりの曲線で表され、かんらん岩の融点は深部ほど高くなる。地温を示す曲線上のかんらん岩Xが、温度一定の条件のもとで融解曲線よりも上の領域に入るには、圧力が低下すればよいことがわかる(図2-1の矢印)。プレートが拡大する境界やホットスポットでは、上部マントルの岩石が深部から浅部へと上昇していくことに伴う圧力の低下によってマグマが生じている。

7 ⋯②

マグマの発生

上部マントルでかんらん岩が部分溶融して発生する。

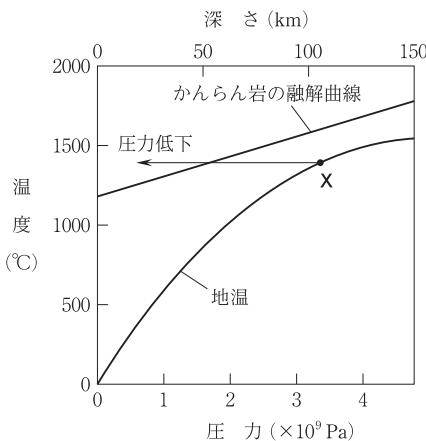


図 2-1 温度一定の条件下におけるマグマの発生

問2 上部マントルでマグマが生じる際、かんらん岩のすべてが一様に融けてしまうのではなく、問題の図1のように、かんらん岩

を構成する結晶の表面がわずかに融けるだけである。このとき、もとのかんらん岩と融け出た液体(マグマ)の化学組成は異なっている。これは、かんらん岩のうち、特定の成分が融け出た液体に集まるからである。このような溶融のしかたを部分溶融という。結果として、融け出たマグマの SiO_2 の割合(重量%)は、もとのかんらん岩よりも多くなっており、玄武岩質マグマとなる。このマグマがゆっくりと冷え固まったときにできる岩石が問われているので、玄武岩質の深成岩である斑れい岩を選べばよい(図 2-2)。

8 ⋯⑥

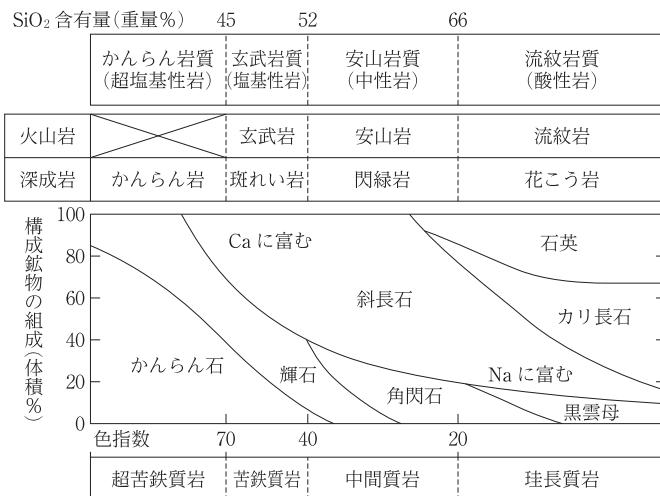


図 2-2 火成岩の分類と構成鉱物

問3 一般に、マグマだまりでは時間の経過とともにマグマの温度が低下し、結晶が晶出して液体と結晶の分離が生じる。この結晶分化作用の進み方の違いなどにより、マグマだまりの上部と下部とで異なる種類のマグマが生じることがある。本問では、マグマだまりの上部には流紋岩質のマグマが、下部には玄武岩質のマグマがそれぞれ占めるようになり、噴火の初期にはマグマだまり上部の流紋岩質マグマに由来する白っぽい火山碎屑物が噴出し、噴火の後期にはマグマだまり下部の玄武岩質マグマに由来する黒っぽい火山碎屑物が噴出したと考えられる。なお、マグマの種類は火山碎屑物の色(黒っぽい = 玄武岩質、白っぽい = 流紋岩質)から推定できる。

本問で題材にした事象は、富士山が最後に噴火した 1707 年(宝永 4 年)の宝永噴火である。このときの噴出物は、富士山の東方に位置する江戸でも観察され、噴火の初期には白っぽい火山灰が降り、その 2 日後の噴火では黒っぽい火山灰が降ってきたとの記録が残っている。これは、マグマだまりの中でマグマの分化が進み、上部のマグマと下部のマグマにそれぞれ由来する火山碎屑物が噴出したためであると考えられている。

かんらん岩の部分溶融

上部マントルでかんらん岩の一部が融けること。融け出た液体は玄武岩質マグマである。

マグマの結晶分化作用

マグマだまりの中で結晶が晶出するにつれて、残されたマグマの化学組成が変化して、異なる性質をもったマグマができる作用。この過程でマグマは、玄武岩質 → 安山岩質 → 流紋岩質の順に変化していく。

① かんらん石は玄武岩質岩石の主要構成鉱物であり、噴火の初期の火山碎屑物(流紋岩質マグマ起源)にはほとんど含まれない。よって、①は誤りである。

② 石英は流紋岩質岩石の主要構成鉱物であり、噴火の初期の火山碎屑物(流紋岩質マグマ起源)に多く含まれる。よって、②は誤りである。

③ Mg と Fe は有色鉱物に共通して含まれる金属元素であり、火山碎屑物に含まれる Mg と Fe の割合は、噴火の後期の火山碎屑物(玄武岩質マグマ起源)の方が多い。よって、③は誤りである。

④ Ca を含むおもな造岩鉱物は斜長石である。Ca に富む斜長石は噴火の後期の火山碎屑物(玄武岩質マグマ起源)に多く含まれる。よって、噴火の初期の火山碎屑物に含まれる割合は少ないので、④は正しい。

9 …④

B 变成岩

多形鉱物の種類、变成岩がつくられる温度と圧力、造山運動の過程で生じる温度・圧力の変化に関する問題である。

問4 互いに多形(同質異像)の関係にある鉱物は、化学組成は同じであるが、結晶構造が異なるという性質をもつ。結晶構造が異なるため、鉱物の外形や物理的な性質(密度など)も異なっている。

① 石英は SiO_2 、ダイヤモンドは C の組成をもつ鉱物であり、両者は化学組成が異なるので、多形の関係にはない。ダイヤモンドと多形の関係にある鉱物は石墨である。よって、誤りである。

② 斜長石とカリ長石は、互いに化学組成が異なる鉱物である。よって、誤りである。

③ 紅柱石とらん晶石はともに Al_2SiO_5 の組成をもち、多形の関係にある鉱物である。両者は、安定に存在するための温度と圧力の条件が異なり、問題の図 2 の鉱物 P がらん晶石、鉱物 Q が紅柱石にあたる。よって、正しい。

なお、鉱物 R は珪線石である。 Al_2SiO_5 の組成をもつ多形鉱物は、センター試験ではたびたび出題されているので、しっかり覚えておこう。

④ 方解石は炭酸塩鉱物、黒雲母は珪酸塩鉱物であり、両者は化学組成が異なるので、多形の関係にはない。よって、誤りである。

10 …③

問5 变成岩は、マグマの貫入の際におもに高温の变成作用を受けてつくられる接触变成岩と、造山運動に伴う広い範囲で高い温度・圧力の作用を受けてつくられる広域变成岩の 2 種類に分類される。本問では、a の結晶質石灰岩(大理石)と d のホルンフェルスが接触变成岩、b の結晶片岩と c の片麻岩が広域变成岩に該当する。

a の結晶質石灰岩は、变成作用を受ける前の岩石が石灰岩であ

多形(同質異像)

化学組成は同じであるが、結晶構造が異なる鉱物どうしの関係。

例：ダイヤモンド、石墨(C)

紅柱石、珪線石、らん晶石
(Al_2SiO_5)

接触变成岩

- ・結晶質石灰岩(もとは石灰岩)
- ・ホルンフェルス(もとは泥岩や砂岩など)

広域变成岩

- ・結晶片岩(低温高压型)
- ・片麻岩(高温低压型)

り、 CaCO_3 の化学組成をもつため、 Al_2SiO_5 の組成をもつ鉱物P～Rを含むことはない。よって、①～④は誤りである。

広域変成岩のうち、bの結晶片岩は低温高圧、cの片麻岩は高温低圧の環境でそれぞれつくられる。問題の図2の Al_2SiO_5 の組成をもつ3種類の鉱物を比較すると、鉱物Pのらん晶石が低温高圧の環境で安定に存在し、鉱物Qの紅柱石と鉱物Rの珪線石が高温低圧の環境で安定に存在する(図2-3)。

また、dのホルンフェルスは接触変成岩であり、一般に接触変成作用は広域変成作用よりも浅いところで起こるため、高温で低压の環境でつくられる(図2-3)。

よって、鉱物Pのらん晶石よりも鉱物Qの紅柱石や鉱物Rの珪線石を多く含むのは、cの片麻岩とdのホルンフェルスである。

11 ⋯⑥

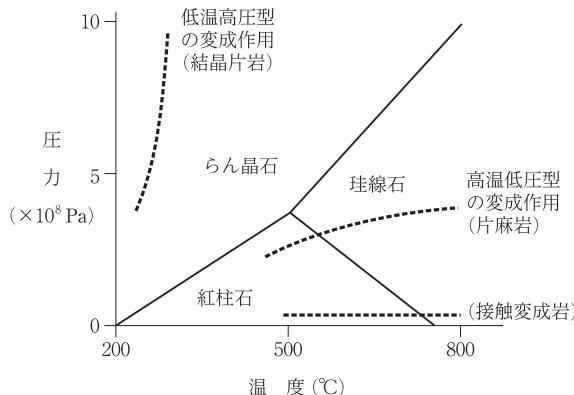


図2-3 Al_2SiO_5 の組成をもつ鉱物と変成岩がつくられる温度と圧力

問6 本問は、造山運動の過程で起こる島弧の地下における温度と圧力の変化を考える問題である。本問では周囲から局所的に加わる力や岩石の変形に伴う圧力は考えなくてよいので、地殻深部ほど温度・圧力ともに高くなることを念頭に考えていいけばよい。

① マグマの貫入を受けると、その周囲の地層・岩石の温度はマグマの熱によって上昇し、高温の変成作用を受ける。よって、①は正しい。

② 貫入したマグマによって地層や岩石が上方へ持ち上げられていくと、深部から浅部へと移動することで圧力は低下する。よって、②は正しい。

③ 沈み込む海洋プレートは低温であるため、それと接する大陸地殻の縁辺部の地下の温度は深さのわりに低くなってしまっており、低温高圧型の広域変成岩がつくられやすい環境にある。よって、③が誤りで、正解である。

④ 島弧の山脈が長期にわたり侵食されると、もともと深部に

あった地層や岩石が地表に広く露出するようになる。このとき、地層や岩石は深部から浅部に移動したことになるので、温度・圧力ともに低下する。よって、④は正しい。

12 ⋯③

第3問 地質と地史

A 地質断面図

地質断面図をテーマに、地質構造の読み取りや形成順序を組立てる問題を出題した。示準化石や堆積構造などの基礎的事項も確認しておこう。

問1 A層～C層は整合の関係にあることから、同じ時代に連続的に堆積したと考えられる。そのうちのB層に、中生代の示準化石であるトリゴニア(三角貝)が産出したことから、A層にも中生代の化石が産出する可能性が高い。①ウミユリは古生代、②イノセラムスは中生代、③三葉虫は古生代、④ビカリア(ビカリヤ)は新生代新第三紀の示準化石である。したがって、②が正解となる。

13 ⋯②

問2 地層境界面と水平面の交線の方向を走向という。そのため、走向に対して平行な断面では、地層境界線が水平に現れることがある。問題の図1において、B層の地層境界線は、東西断面では傾いているが、南北断面では水平方向に現れている。つまり、B層の走向は南北とわかる。傾斜の向きは、地層境界面が低くなる方向を指す。東西断面を見ると、西に向かって傾斜していることがわかる。

垂直方向のずれをもつ断層は、引張力によって上盤が相対的に下がった正断層と、圧縮力によって上盤が相対的に上がった逆断層に区別される(図3-1)。問題の図1では、東西断面において、断層を挟んで東側が上盤、西側が下盤となっており、上盤が相対的に下がっていることから正断層である。

14 ⋯③

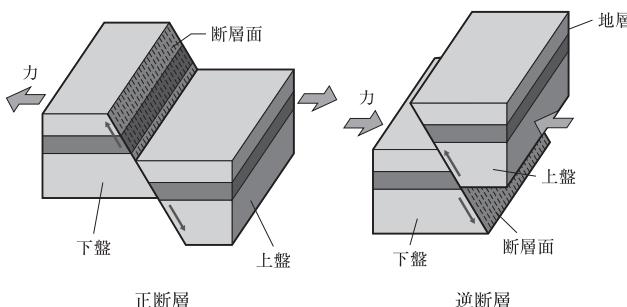


図3-1 断層の種類

問3 斜交葉理とは、砂粒などが水流に沿って堆積したもので、古い葉理の上に新しい葉理が重なる際に、古い葉理が新しい葉理によって切られ、葉理が斜交した構造となる(図3-2左)。切って

おもな示準化石

古生代

三葉虫、ウミユリ、ロボク、リンボク、紡錘虫(フズリナ)

中生代

アンモナイト、恐竜、モノチス、トリゴニア(三角貝)、イノセラムス

新生代

古第三紀：カヘイ石(ヌンムリテス)

新第三紀：ビカリア(ビカリヤ)、デスマスチルス

第四紀：マンモス、ナウマン象、オオツノジカ

走向

地層境界面と水平面の交線の方向。走向と平行な断面では地層境界線が水平に現れる。

いる葉理の方が切られている葉理よりも新しいことから、地層の上位と判断できる。したがって、①・②ともに、誤りである。

級化層理(級化成層)とは、さまざまな粒径の堆積物が同時に堆積した際に、粒径の大きいものが小さいものより速く沈んで下位となり、粒径の小さいものがその上に堆積した構造である(図3-2右)。これより、粒径の大きい方が地層の下位と判断できる。したがって、③は誤りで、④が正解である。

15 …④

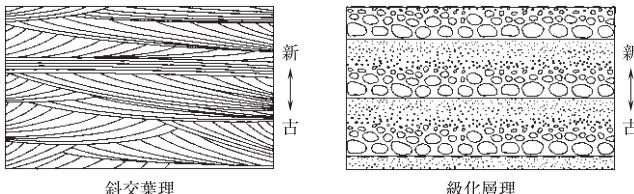


図3-2 堆積構造

問4 この地域には地層の逆転がないことから、地層累重の法則が成立する。A層～C層は整合の関係であることから、形成順序はC層→B層→A層である。A層～C層の下位にあるD層は褶曲しており、A層～C層とは走向・傾斜が異なることから、D層とA層～C層は不整合の関係とわかる。また、C層はD層を不整合に覆っていることから、D層の方が古い。花こう岩体は、放射年代が約4500万年前の新生代であることから、中生代のA層～C層より新しいとわかる。断層は、問題の図1中のすべての地層・岩体を切っていることから、A層～D層、および花こう岩体の形成後に活動したことがわかる。以上のことから形成順序を古い方から並べると、D層→C層→B層→A層→花こう岩体→断層となる。

16 …③

B 地史

地質時代は、生物界の変遷によって区分されている。地球誕生後の生物界の変遷と関連する地球環境の変化について、基本的事項を出題した。

問5 **ア** 先カンブリア時代に、光合成を行うシアノバクテリア(ラン藻類)などによって海洋中に酸素が放出され、海洋中の鉄イオンと結びついて沈殿し、海底に大規模な鉄鉱層(縞状鉄鉱層)が形成された。大規模な石炭層は、シダ植物が大繁栄した古生代後半に形成されたものが多い。

イ 先カンブリア時代と古生代の境界の絶対年代は約5.4億年前である。「先カンブリア時代末期」とあることから、約6億年前が正しい。

ウ 酸素が大気中に放出され、大気中での量がしだいに増加すると、オゾン層が形成され、生物に有害な紫外線が吸収されるようになった。そのため、古生代の中期には生物が陸上に進出で

地層累重の法則

地層の逆転がない場合、下位の地層ほど形成が古い。

地質時代の境界の絶対年代

先カンブリア時代と古生代
約5.4億年
古生代と中生代
約2.5億年
中生代と新生代
約6550万年

生物の進化

植物界(陸上植物)
シダ植物→裸子植物→被子植物
動物界(脊椎動物)
魚類→両生類→は虫類→哺乳類

きるようになり、植物ではシダ植物が、動物では両生類などが陸上に進出した。なお、裸子植物は、シダ植物が出現した後、古生代後半に出現している。

17 …⑧

問6 ① エディアカラ生物群は、数cmから最大で1mに達するような大型の生物群で、扁平な形をしているものが多い。バージェス動物群は、数cmから数十cmの大きさの多様な生物からなる。したがって、この選択肢は誤りである。

② エディアカラ生物群は、硬い組織をもたない生物である。そのため、化石の発見が難しく、長い間、先カンブリア時代には大型の生物は存在しないと考えられていた。一方、バージェス動物群は、硬い殻や骨格をもつものが多く、化石としても保存されやすいため、多くの化石が発見されている。したがって、この選択肢が正解である。

③ エディアカラ生物群、およびバージェス動物群は、ともに無脊椎動物である。したがって、この選択肢は誤りである。

④ エディアカラ生物群は、先カンブリア時代末に絶滅し、バージェス動物群は古生代初期にそのほとんどが絶滅した。したがって、この選択肢は誤りである。

18 …②

第4問 大気と海洋

A 雲と降水

大気中の水蒸気は地表付近の気象現象に大きくかかわっている。今回は、空気塊の断熱変化、雲の発生、降水、およびフェーン現象について出題した。

問1 空気塊が何らかの力を受けて上昇すると、まわりの気圧が低いため膨張し、まわりに仕事をすることでエネルギーが消費されて温度が下がる。このような現象を断熱膨張という。湿度が100%に達していない空気塊の断熱膨張による温度低下は100m上昇するごとに1.0°Cであり、これを乾燥断熱減率という。しかし、空気塊が露点に達し、湿度が100%となると、空気塊内の水蒸気が凝結する。このとき凝結熱が放出されるため、空気塊の温度低下は抑えられ、100mあたり約0.5°Cとなる。これを湿潤断熱減率という。したがって、凝結熱が放出されるため、乾燥断熱減率(1.0°C/100m)よりも湿潤断熱減率(約0.5°C/100m)の方が小さいので、④が正解である。

19 …④

問2 上空の雲の中で生成される氷晶雨のしくみに関する問題である。発達した雲の上部は氷点下に達しており、その中には氷晶と、氷にならない水滴(過冷却水滴)が共存している。飽和水蒸気圧は気温によって決まっているが、氷点下では、氷晶面と過冷却水滴面ではその値が異なり、氷晶面の飽和水蒸気圧よりも過冷却水滴面での飽和水蒸気圧の方が高い(図4-1)。そのため、雲の中の大気の水蒸気圧が両者の間の値であった場合、過冷却水

断熱減率

上昇する空気塊の温度低下の割合。

乾燥断熱減率 1.0°C/100m

湿潤断熱減率 約0.5°C/100m

氷晶雨

氷点下の雲の中で、過冷却水滴が蒸発して水蒸気となり、水蒸気が昇華して氷晶が成長する。

そのまま落下すると雪、途中で融けると雨となる。

滴面上は未飽和であるため蒸発が起り、氷晶面上は過飽和であるため水蒸気が昇華する。このようにして氷晶が成長し、落下する。氷晶がそのまま落ちてくると雪となり、落下する途中で融けると雨となる。したがって、②が正解である。

20 ⋯②

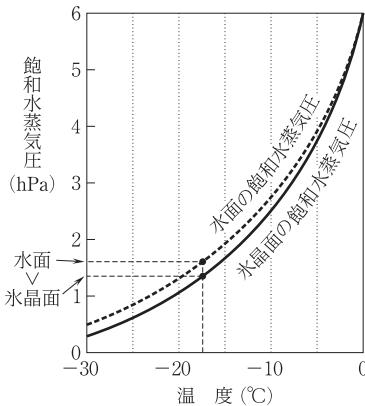


図 4-1 水面と氷晶面の飽和水蒸気圧

問3 フェーン現象は、水蒸気を多く含む(湿度が高い)空気塊が、山脈を越える際に風上側で雨を降らせ、風下側に高温で乾燥した大気となって吹き降りる現象である。

問題の図1において、空気塊は、風上側のA点から乾燥断熱減率にしたがって温度を下げながら上昇していくが、露点に達するB点で雲が発生する。ここから頂上のC点までは湿潤断熱減率にしたがって温度が下がる。この間に雨が降り、C点で雲が消えると、C点から風下側のD点までは乾燥断熱減率にしたがって温度が上昇する。このようにして、D点の温度はA点に比べて高温となる。また、風上側で雨を降らせて空気塊中の水蒸気が減少しているため、相対湿度は低くなる。

問題の空気塊XとYについて考えてみよう。図4-2は、山を越える空気塊の移動と、それに伴う温度変化をグラフで示したものである。空気塊Xの温度変化はグラフのA→B→C→Dで示される。また、空気塊Xよりも風上側の湿度が高い空気塊Yは、より早く、より高い温度で露点に達するので、雲の発生高度は低く、その温度変化はA→B'→C'→D'のようになる。したがって、雲ができるはじめの高度がより高いのは空気塊Xである(B>B')。また、雲が発生すると湿潤断熱減率にしたがって気温が下がるので、その期間が長いほど、空気塊の温度低下は小さくなる。そのため、雲の発生高度が低い空気塊Yの方が頂上では高温となる(C'>C)。さらに、風下側へは両者とも乾燥断熱減率にしたがって温度が上昇するので、頂上と同様、空気塊Yの方が高温となる(D'>D)。したがって、④が正解である。

フェーン現象

湿度の高い空気塊が山脈を越え、風下側に高温・乾燥した大気となって吹き降りる現象。

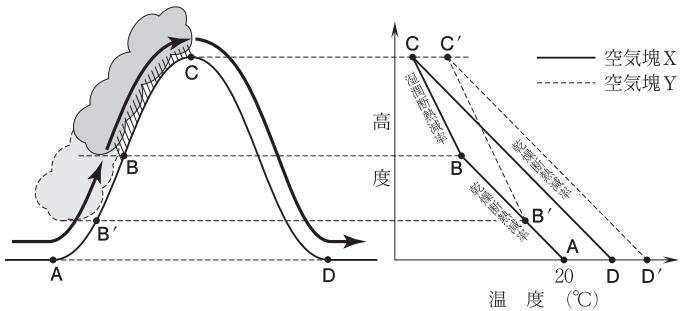


図4-2 フェーン現象

B エルニーニョ現象

大気と海洋は互いに影響しあってさまざまな現象を引き起こしている。それらの関係と、その一例としてエルニーニョ現象について出題した。

問4 ① 海洋の水は大陸の岩石に比べて暖まりにくく、冷めにく

いため、海洋表層の昼夜の温度差や夏冬の温度差は、陸地表面よりも小さくなる。このため、海洋に面する沿岸部では内陸部よりも日較差、年較差が抑えられているので正しい。

② 海洋から水が蒸発することによって、海洋から気化熱が吸収される。そして、大気中で水蒸気が凝結することで大気中に凝結熱が放出され、大気が暖められる。こうして海洋から大気へ潜熱が輸送される。したがって、正しい。

③ 海洋中には大気の50倍もの二酸化炭素が溶け込んでいる。海洋には、溶けていた二酸化炭素を大気中に放出したり、大気中の二酸化炭素を吸収したりすることによって、大気の二酸化炭素の量を調節する機能がある。したがって、正しい。

④ 海洋の塩分は、降水量や蒸発量、海水の結氷や融氷、河川水の流入などの影響によって変化する。例えば、亜熱帯高圧帯では、気温は高いが、蒸発量が降水量を上回り、塩分が高くなっている。また、気温の低い高緯度の海域で結氷が起こると、塩類を取り残して凍るため、海水の周囲の海水の塩分が高くなる。これらのことから、気温が高いほど塩分は低くなるとはいえないの

で、この文が誤りで、正解である。 22 …④

問5 南太平洋の低緯度地域では、南東貿易(ア)風の影響を受けて、東から西に向かう南赤道海流が流れている。そのため、強い太陽放射によって暖められた表層の海水は西部に移動し、西部の沿岸地域は海水温が高くなっている。一方、東部では、貿易風によって海水が沖に移動すると、それを補うため深層から冷たい湧昇流が上昇し、海水温が低くなっている。湧昇流には栄養塩類が多く含まれているため好漁場となっている。

しかし、数年に一度、ペルー沖の海水温が平年よりも2~5°C上昇するエルニーニョ現象が発生し、湧昇流が途絶えて不漁となる

海洋の気温調節

海水は暖まりにくく、冷めにくいので、沿岸部の気温の日較差、年較差を小さくしている。

潜熱の移動

海洋から蒸発した水蒸気が大気中で凝結することにより、海洋から大気へ熱が移動している。

エルニーニョ現象

数年に一度、南東貿易風が弱まることで、高温の海水が東部に押し戻され、ペルー沖で平年より海水温が上昇する現象。

ことがある。この原因は、貿易風が弱まる(イ)ことで、西部に吹き寄せられていた高温の海水が東部へ移動するためである。エルニーニョ現象が発生すると、いつも乾燥している東部の沿岸地域に大雨が降ることがある。

また、逆に貿易風が強まる(ウ)と、表層の海水は西部にさらに吹き寄せられる。ペルー沖では、深層からの湧昇流が強まり、平年よりも海水温が低下する。これがラニーニャ現象である。したがって、正解は⑥である。

[23] …⑥

問6 エルニーニョ現象の年には、貿易風が弱まることによって西部の高温の海水が東部に押し戻されるため、高温部の領域が東に広がって、aに示すような温度分布となる。逆に、貿易風が強まるラニーニャ現象の年には、西部に吹き寄せられた高温部が平年よりもさらに厚くなるので、その温度分布はbのようになる。したがって、①が正解である。エルニーニョ現象の年でも貿易風は弱まるだけなので、cやdのように東部の方が西部よりも高温になることはない。

[24] …①

ラニーニャ現象

南東貿易風が平年よりも強まり、ペルー沖で平年より海水温が低下する現象。

第5問 宇宙

A 恒星

今回は、恒星の分類と特徴、年周視差、絶対等級と見かけの等級の関係が理解できているかを確認する問題を出題した。

問1 ① 表面温度は、スペクトル型から判断できる。スペクトル型は、恒星の連続スペクトル上に見られる吸収線(暗線)の出現の仕方を基準に分類したものである。スペクトル型は、恒星の表面温度の高い順にO, B, A, F, G, K, M型の七つの型に大別される。問題の三つの恒星の中では、A型のシリウスが最も表面温度が高く、M型のベテルギウスが最も表面温度が低い。したがって、この文は正しい。

② 見かけの等級から判断できる。見かけの等級は地球から見たときの等級で、三つの恒星のうち最も等級の小さなシリウスが、最も明るく観察される。したがって、この文が誤りで、正解である。なお、絶対等級は恒星本来の明るさを表したもので、恒星を10パーセク(約32.6光年)の距離に置いたと仮定したときの明るさを等級で表している。

③ 恒星の種類は、スペクトル型と絶対等級からHR図を用いて判断できる。図5-1にHR図を示す。HR図の横軸は、左からO-B-A-F-G-K-Mと表面温度が高いスペクトル型の順に並ぶ。縦軸は絶対等級で、上ほど小さく(=明るく)なる。恒星は、HR図上の位置から、主系列星、赤色巨星、白色矮星の三つのグループに分類される。太陽は、スペクトル型がG型、絶対等級が5等の主系列星である。スペクトル型と絶対等級から、シリウスとプロキオンは太陽の左上に位置する主系列星、ベテルギウス

スペクトル型

吸収線の出現型から恒星を分類したもの。

絶対等級

恒星を10パーセク(約32.6光年)の距離に置いたと仮定したときの等級。

は太陽の右上に位置する赤色巨星であると判断できる。したがって、この文は正しい。

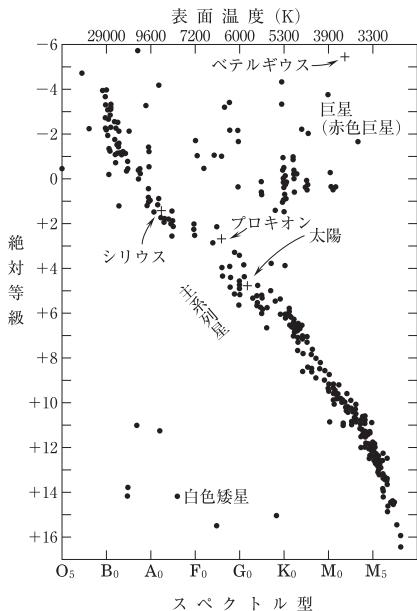


図5-1 HR図

④ 主系列星の中心部では4個の水素原子核が1個のヘリウム原子核になる核融合反応によってエネルギーが放出される。赤色巨星は中心部でヘリウムなどの核融合反応が起こり、それをとり巻く領域で水素の核融合反応が起こっている。よって、主系列星、赤色巨星ともに核融合反応によってエネルギーが発生している。したがって、この文は正しい。

[25]…②

問2 比較的近距離の恒星は、地球の公転によって見える方向が変わるために、1年周期で天球上の位置がわずかに変化する。このずれの角度の最大値の半分が年周視差で、地球と太陽が恒星を挟む角度でもある(図5-2)。年周視差が $1''$ のときの距離を1パーセクといい、年周視差(ρ'')と恒星までの距離(r パーセク)は反比例する。よって、距離が小さい恒星ほど年周視差が大きくなる。問題の表1より、地球から三つの恒星までの距離を小さい順に並べると、シリウス、プロキオン、ベテルギウスになる。したがって、この順番で年周視差が大きい。

[26]…①

年周視差

地球が公転することによって地球の位置が変化するために生じる恒星の天球上のずれの角度の最大値の半分。

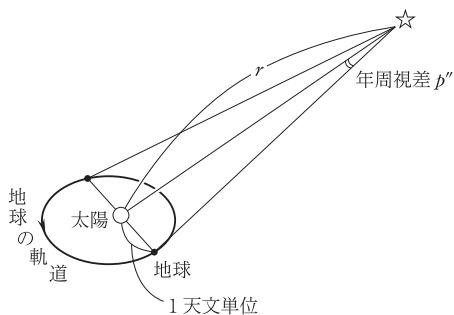


図 5－2 年周視差

問3 ベテルギウスは赤色巨星に分類されるが、非常に不安定な状態で収縮し続けており、表面温度も低下し続けていることから近い将来、超新星爆発を起こすと考えられている。

ベテルギウスは絶対等級が -5.5 等、見かけの等級が 0.4 等である。ベテルギウスまでの距離は変化しないことから、絶対等級と見かけの等級の差は変化しない。よって、超新星爆発の絶対等級が -18 等であり、見かけの等級を m とすると、

$$-18 - m = -5.5 - 0.4$$

が成り立つ。これより $m = -12.1$ 等となる。

この見かけの等級は満月の -12.5 等に近い明るさであり、もしベテルギウスが超新星爆発した場合、昼間でも観察できる明るさになる可能性がある。なお、ベテルギウスの超新星爆発のときの明るさには諸説があり、満月の100倍程度になるという説もある。

27 …③

B 銀河

今回は、銀河と宇宙の広がりを主題とする問題とした。この分野は知識偏重になりがちであるが、銀河の構造や大きさなどの重要事項をまとめ、宇宙の進化と結びつけながら学習してほしい。

問4 銀河はその形状によって図5－3のように分類されている。

そのうち、銀河系は棒渦巻銀河に、アンドロメダ銀河は渦巻銀河に分類されている。

銀河の形状

銀河系：棒渦巻銀河

アンドロメダ銀河：渦巻銀河

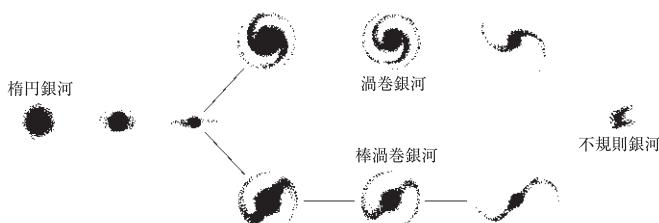


図 5－3 銀河の形状

宇宙空間で銀河は銀河団・銀河群のような集団をつくっていることが知られている。銀河系も例外ではなく、アンドロメダ銀河

や大小マゼラン銀河など 30~40 個ほどの銀河とともに、局部銀河群と呼ばれる半径約 300 万光年程度の銀河群を構成している。アンドロメダ銀河は、地球からおよそ 230 万光年離れており、局部銀河群最大の銀河である。なお、アンドロメダ銀河は銀河系外に分布しているので、銀河系の半径(7.5 万光年)よりはるかに小さい値である 2300 光年を選択してはいけない(図 5-4)。

28 ⋯④

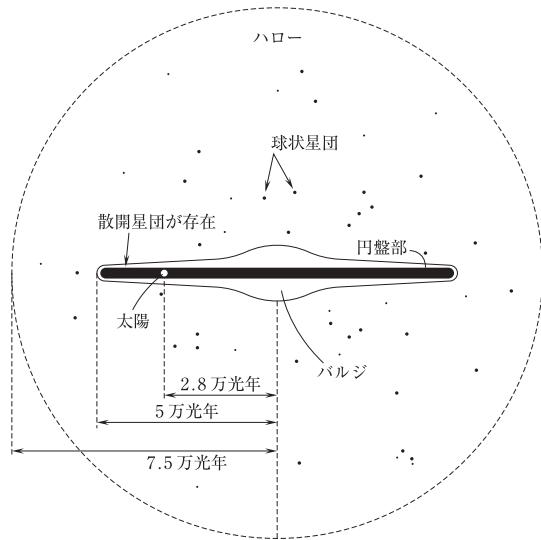


図 5-4 銀河系の大きさ

問 5 図 5-5 のように、遠ざかる天体のスペクトルの波長は、静止している場合の波長と比べて長く観測され、近づく天体は短く観測される。このような現象をドップラー効果という。

遠方の銀河は銀河系から遠ざかっており(後退しており)、ドップラー効果により、遠方の天体から届く光の波長は、光の本来の波長に比べて長く伸びて(赤い方にずれて)観測される。遠ざかる天体から届く光の波長が全体的に長い方へずれる現象を赤方偏移という。ごく近い銀河を除いて、銀河の光の波長は長い方にずれている。

なお、シャプレーは球状星団の分布から太陽が銀河系の中心からはずれた位置に存在していることを発見した人物である。また、青方偏移は、天体が近づく場合、光の波長は短い方に縮んで(青い方にずれて)観測される現象である。

29 ⋯⑥

赤方偏移

銀河の光を観測すると、ごく近い銀河を除いて、すべての銀河の光は波長の長い方にずれている。

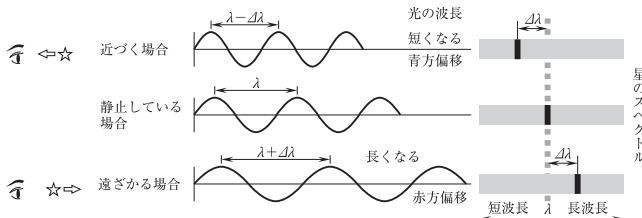


図 5-5 ドップラー効果

問 6 ① ハッブルは複数の銀河について距離を求め、その距離が銀河の後退速度に比例することを明らかにした。この関係をハッブルの法則という。銀河の後退速度を v 、距離を r とすると次式で表すことができる。

$$v = H \cdot r \quad (H: \text{ハッブル定数})$$

② 遠方の銀河ほど大きな赤方偏移を示すことから後退速度が大きく、図 5-6 のように銀河までの距離と後退速度は比例関係にあることがわかった。遠くの銀河ほど後退速度が大きいことは宇宙が膨張していることを意味している。

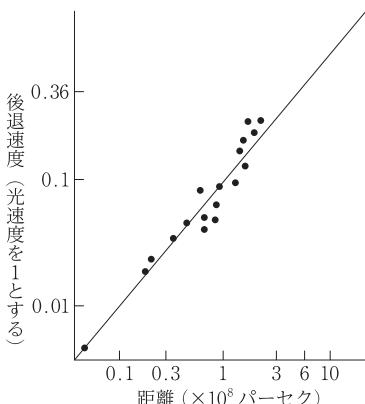


図 5-6 銀河の後退速度と距離

③ 宇宙の膨張速度が一定であると仮定すると、宇宙が一点から始まり、等速度 v で膨張して現在の距離 r に広がるまでの時間は $\frac{r}{v}$ である。その時間は、宇宙が膨張し始めてから現在までの経過時間、すなわち、宇宙の年齢を表している。ここで、 $v = H \cdot r$ を代入すると、 $\frac{r}{v} = \frac{1}{H}$ となり、ハッブル定数の逆数は宇宙の年齢を表すことになる。

④ ハッブルの法則は、近傍の銀河では成立しない。その理由は、銀河は固有に運動しており、後退速度の小さい近傍の銀河では、後退速度に対して固有運動の大きさが無視できないからである。例えば、銀河系に近いアンドロメダ銀河は約 300 km/s で近づいている。したがって、この文が誤りで、正解である。

ハッブルの法則

遠方の銀河の後退速度は、銀河系からの距離に比例している。

宇宙の年齢

約 137 億年前にビッグバンによって誕生した。

MEMO

MEMO

MEMO

MEMO

MEMO

© Kawaijuku 2014 Printed in Japan

無断転載複写禁止・譲渡禁止

手引(理)