

平成 30 年 2 月 26 日

教科：理科 問題訂正・補足説明

科目名：物理	12 ページ
<u>補足説明</u> 第 2 問 I (3) において，電源の電圧は V で一定に保たれている。	
科目名：物理	14 ページ
<u>補足説明</u> 第 2 問 II において，ばね定数 k は十分に大きいものとする。	

物 理

第1問 図1—1のように水平な床の上に質量 M の台がある。台の中央には柱があり、柱上部の点 P に質量 m の小球を長さ L の伸び縮みしない糸でつるした振り子を取り付けられている。床に固定された x 軸をとり、点 O を原点、水平方向右向きを正の向きとする。小球と糸は、柱や床に接触することなく x 軸を含む鉛直面内を運動するものとする。また、床と台の間に摩擦はなく、台は傾くことなく x 軸方向に運動するものとする。以下の設問に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、小球の大きさ、糸の質量、および空気抵抗は無視できるとする。

I 図1—1のように、振り子の糸がたるまないように小球を鉛直方向から角度 θ_0 ($0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$) の位置まで持ち上げ、台と小球が静止した状態から静かに手をはなしたところ、台と小球は振動しながら運動した。

(1) 小球が最初に最下点を通過するときの、小球の速度の x 成分を求めよ。

(2) ある時刻における台の速度の x 成分を V 、小球の速度の x 成分を v とする。このとき、点 P から距離 ℓ だけ離れた糸上の点の速度の x 成分を、 V 、 v 、 ℓ 、 L を用いて表せ。

(3) 点 P からの距離が $\ell = \ell_0$ の糸上の点 Q は、 x 軸方向には運動しない。 ℓ_0 を、 M 、 m 、 L を用いて表せ。

(4) 角度 θ_0 が十分小さい場合の台と小球の運動を考える。この運動の周期 T_1 は、点 Q から見た小球の運動を考察することで求めることができる。周期 T_1 を、 M 、 m 、 g 、 L を用いて表せ。ただし、 θ_0 が十分小さいため、点 Q の鉛直方向の運動は無視できるとする。また、 $|\theta|$ が十分小さいときに成り立つ近似式、 $\sin \theta \doteq \theta$ を用いてよい。

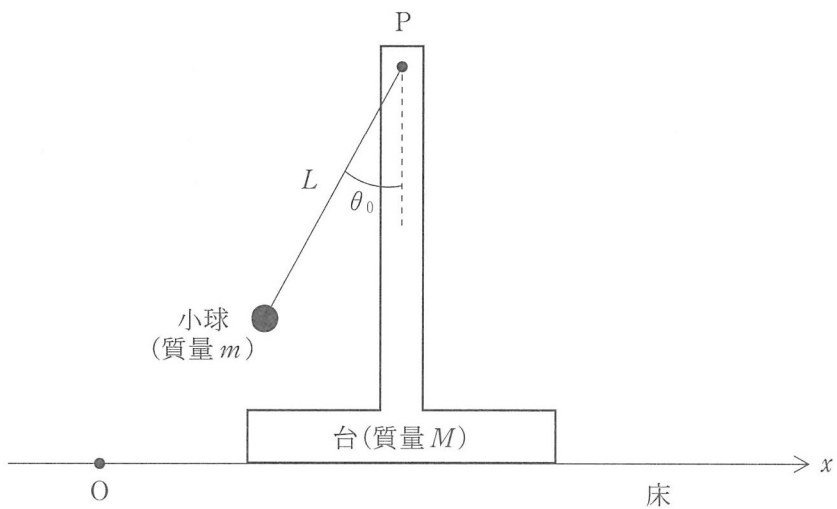


图 1—1

II 時刻 $t = 0$ で台と小球が静止し，振り子が鉛直下向きを向いている。このとき，小球は床から高さ h の位置にある。この状態から図 1—2 のように，時刻 $t \geq 0$ で台が加速度 a ($0 < a < g$) で x 軸の正の向きに等加速度運動するように，台に力 $F(t)$ を加え続けた。その結果，時刻 $t = t_0$ で，小球の高さがはじめて最大となった。

- (1) 時刻 $t = t_0$ での小球の高さを， L, h, g, a を用いて表せ。
- (2) 時刻 $t = 0$ から t_0 までの間に，力 $F(t)$ がした仕事を， M, m, g, a, t_0, L を用いて表せ。

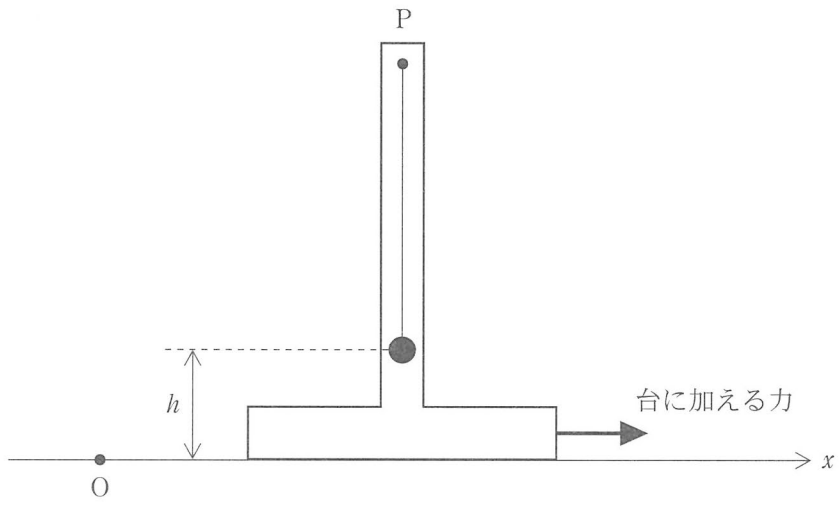
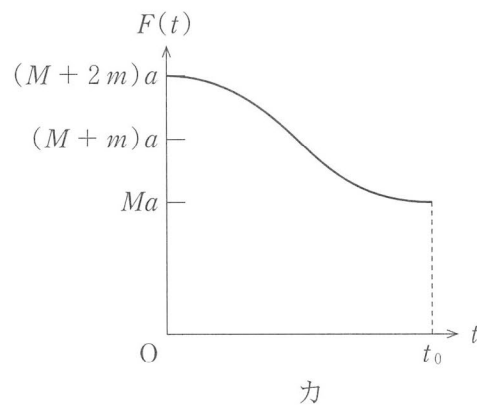
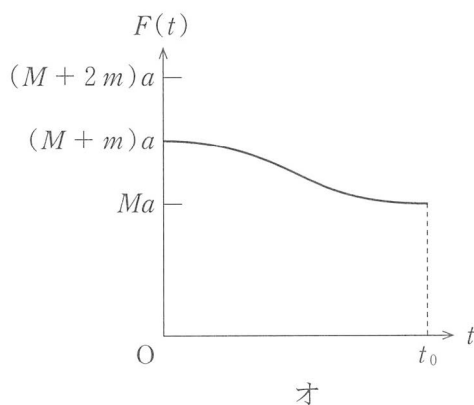
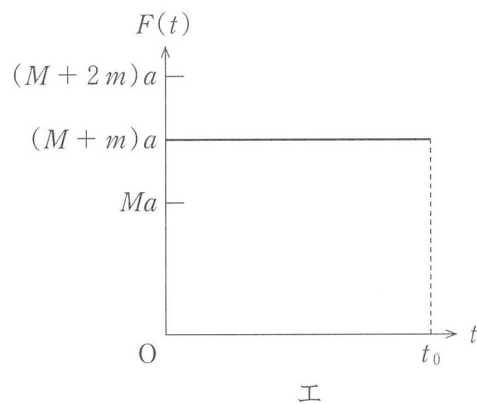
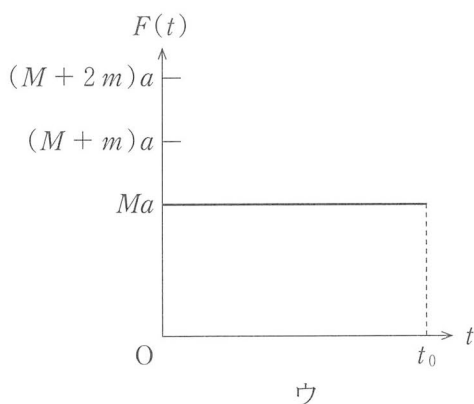
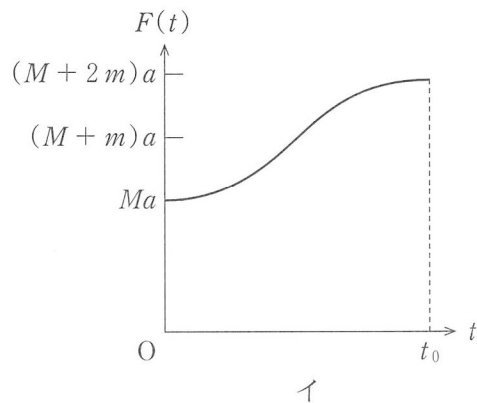
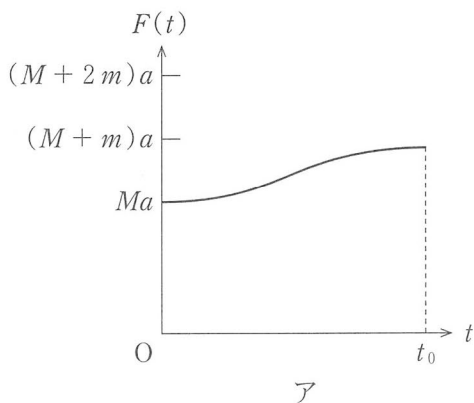


図 1—2

(3) 台に加えた力 $F(t)$ のグラフとして最も適切なものを、以下のア～カから一つ選んで答えよ。



- (4) 時刻 $t = t_0$ で、台に力を加えるのを止めたところ、台と小球はその後も運動を続けた。時刻 $t \geq t_0$ における糸上の点 Q の速度の x 成分を求めよ。また、 a が g に比べて十分小さいとき、時刻 $t \geq t_0$ における点 Q から見た小球の振動の周期 T_2 を、 M , m , g , L を用いて表せ。ただし、 $|\theta|$ が十分小さいときに成り立つ近似式、 $\sin \theta \approx \theta$ を用いてよい。

第2問 真空中に置かれた、ばねを組み込んだ平行板コンデンサーに関する以下の設問に答えよ。ただし、真空の誘電率を ϵ_0 とし、ばね自身の誘電率による電気容量の変化は無視できるとする。また、金属板は十分広く端の効果は無視できるものとし、金属板間の電荷の移動は十分速くその移動にかかる時間も無視できるものとする。さらに、金属板の振動による電磁波の発生、および重力の影響も無視できるとする。

I 図2—1のように、同じ面積 S の2枚の金属板からなる平行板コンデンサーが電源につながれている。2枚の金属板は、ばね定数 k の絶縁体のばねでつながれており、上の金属板はストッパーで固定されている。下の金属板は質量 m をもち、上の金属板と平行のまま上下に移動し、上の金属板との間隔を変化させることができる。

電源の電圧を V にしたところ、ばねは自然長からわずかに縮み、金属板の間隔が d となる位置で静電気力とばねの弾性力がつりあい、下の金属板は静止した。

- (1) 金属板間に働いている静電気力の大きさを求めよ。
- (2) ばねに蓄えられている弾性エネルギーを求めよ。
- (3) この状態から、下の金属板を引っ張り、上の金属板との間隔を d から $d + \Delta$ までわずかに広げてはなすと、下の金属板はつりあいの位置を中心に単振動した。この単振動の周期を求めよ。ただし、 $|a|$ が1より十分小さい実数 a に対して成り立つ近似式、 $(1 + a)^{-2} \doteq 1 - 2a$ を用いてよい。

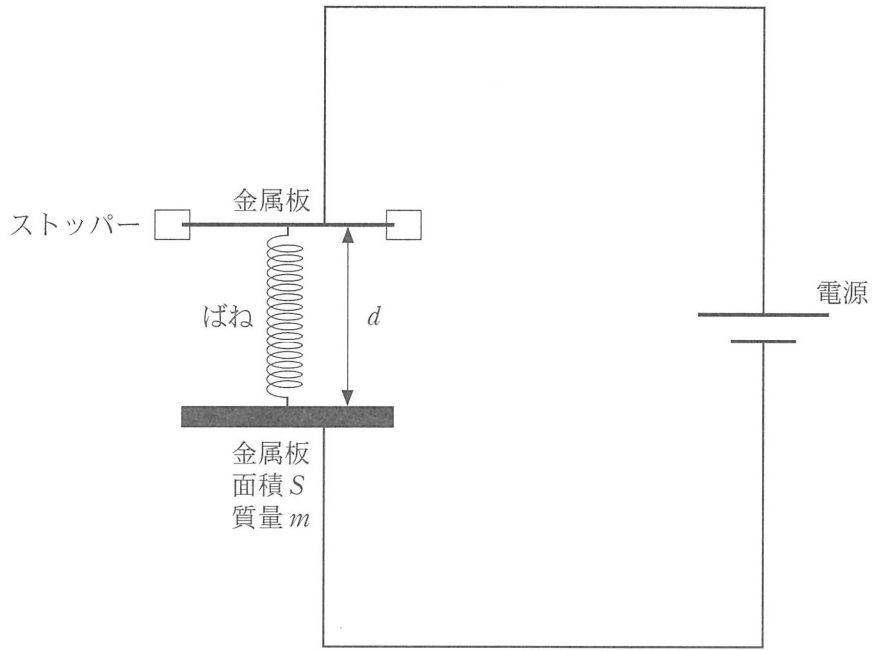


図 2—1

II 図 2—2 のような同じ面積 S の 5 枚の金属板からなる平行板コンデンサーを含む回路を考える。金属板 1, 2, 4, 5 は固定されている。質量 m をもつ金属板 3 は、金属板 4 にばね定数 k の絶縁体のばねでつながれており、ほかの金属板と平行のまま上下に移動することができる。金属板 2, 3, 4 には、それぞれ、 $-Q$, $+2Q$, $-Q$ の電荷が与えられている。金属板 1 と 5 は、図 2—2 に示すような電源と二つのスイッチを含んだ回路に接続されている。はじめ、スイッチ 1 は閉じ、スイッチ 2 は開いており、電源の電圧は 0 であった。このとき、5 枚の金属板は静止しており、隣り合った金属板の間隔はすべて ℓ で、ばねは自然長になっていた。

まず、電源の電圧を 0 から小さな値 $V (V > 0)$ までゆっくり変化させた。この過程で金属板 3 は常に力のつりあいを保ちながら移動し、金属板 1 と金属板 5 にはそれぞれ $-q$, $+q$ の電荷が蓄えられた。

- (1) このとき、金属板 3 の元の位置からの変位 x を、 ϵ_0 , Q , q , k , S を用いて表せ。ただし、図 2—2 中の下向きを x の正の向きとする。
- (2) このときの $\frac{q}{V}$ を全電気容量とよぶ。 $\frac{q}{V}$ を、 ϵ_0 , Q , k , S , ℓ を用いて表せ。
- (3) 次に、スイッチ 1 を開きスイッチ 2 を閉じると金属板 3 は単振動した。この運動において、金属板 3 の図 2—2 の位置からの変位が x のときの金属板 5 の電荷を、 Q , x , ℓ を用いて表せ。ただし、図 2—2 中の下向きを x の正の向きとする。
- (4) 設問 II(3)の単振動の周期を求めよ。

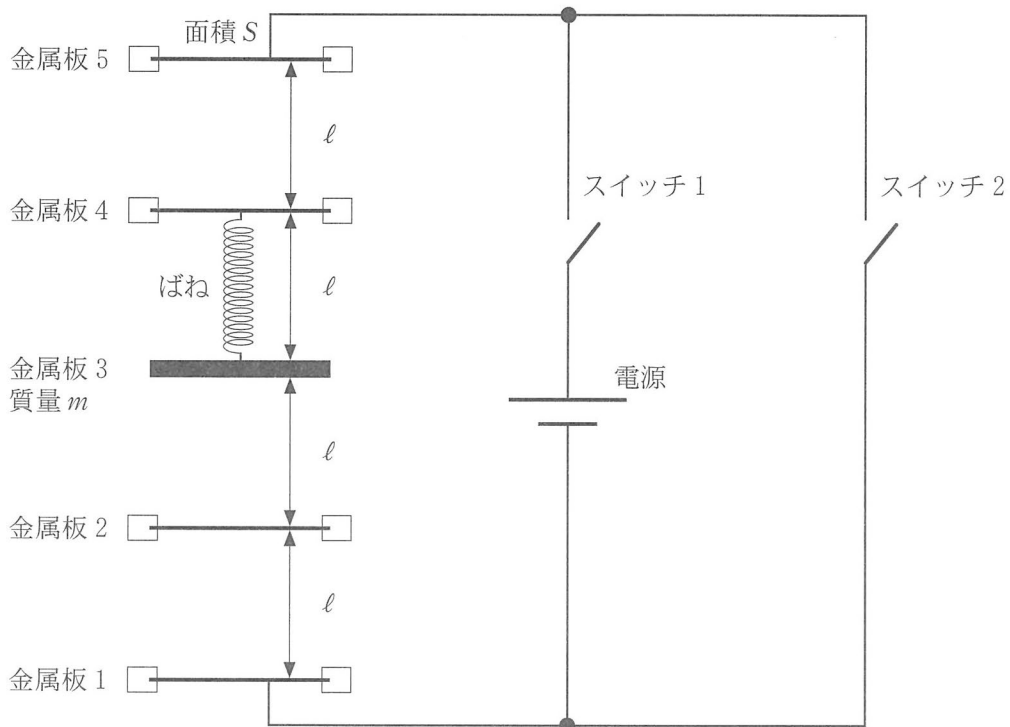


図 2—2

第3問 図3のように、鉛直方向に立てられた3つの円柱状の容器A、容器B、容器Cが管でつながれている。3つの円柱の断面積は等しく、全て S である。容器内には密度が一樣な液体が入っており、液体は管を通して3つの容器の間を自由に移動できる。容器Aと容器Bの上端は閉じられ、容器Cの上端は開いている。容器Aの液面より上は何もない空間(真空)であり、容器Bの液面より上には単原子分子の理想気体が入っている。以下の設問に答えよ。ただし、気体と液体および気体と容器の間の熱の移動はないものとする。また、各容器の液面は水平かつ常に管より上にあり、液体の蒸発や体積の変化は無視できるものとし、容器Bの気体のモル数は常に一定であるとする。

I 最初、図3のように容器A、容器Bの液面が容器Cの液面に比べてそれぞれ $5h$ 、 $2h$ だけ高く、また容器Aの真空部分の長さが h 、容器Bの気体部分の長さが $4h$ であった。このとき容器Bの気体の圧力 p_1 を、外気圧 p_0 を用いて表せ。

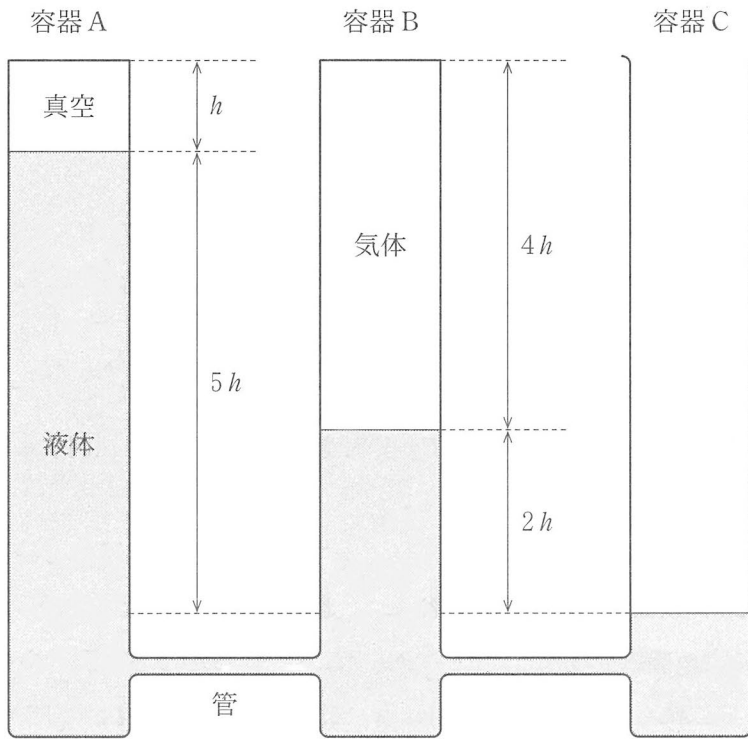


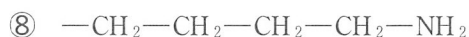
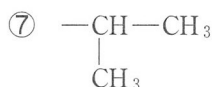
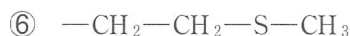
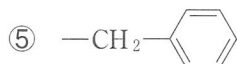
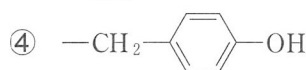
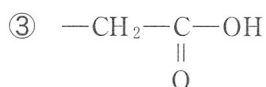
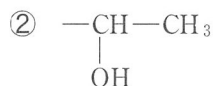
图 3

II 図3の状態から、外気圧を p_0 に保ったまま、容器Bの気体にわずかな熱量をゆっくりと与えたところ、容器Bの液面が x だけわずかに下がった。

- (1) 容器A, 容器Cの液面はそれぞれどちら向きにどれだけ移動するかを答えよ。
- (2) 容器Bの気体の体積, 圧力, 温度が (V_1, p_1, T_1) から $(V_1 + \Delta V, p_1 + \Delta p, T_1 + \Delta T)$ に変化したとする。体積と圧力の変化率 $\frac{\Delta V}{V_1}, \frac{\Delta p}{p_1}$ を, x と h を用いて表せ。
- (3) 容器Bの気体がした仕事 W を求めよ。ただし, x は h に比べて十分小さく, 容器Bの気体の圧力は p_1 で一定であるとして, x^2 に比例する項は無視してよい。
- (4) 液体の位置エネルギーの変化を ΔE とする。 ΔE は, 容器Bの液面付近にある厚さ x , 断面積 S の液体が, 容器A, 容器Cの液面付近に移動したと考えることによって求められる。 ΔE を p_0, p_1, x, h, S のうち必要なものを用いて表せ。ただし, 設問II(3)と同様に, x^2 に比例する項は無視してよい。
- (5) W と ΔE が等しいか等しくないかを答え, 等しくない場合はその原因を簡潔に述べよ。

III 図3の状態から、外気圧を p_0 に保ったまま容器Bの気体に熱量をゆっくり与えていったところ、ある時点で容器Aの液面がちょうど上端に達し、真空部分がなくなった。

- (1) この時点での容器Bの気体の体積, 圧力, 温度 (V_2, p_2, T_2) は, 熱量を与える前の値 (V_1, p_1, T_1) のそれぞれ何倍になっているかを答えよ。
- (2) この時点までに容器Bの気体に与えられた熱量 Q と温度変化 $T_2 - T_1$ の比 $C = \frac{Q}{T_2 - T_1}$ を, 容器Bの気体のモル数 n と気体定数 R を用いて表せ。



実験 1 : A, B, C, D それぞれに含まれるアミド結合を塩酸中で完全に加水分解したところ, A, C, D からは二種類の α -アミノ酸が得られたが, B からは一種類の α -アミノ酸のみが得られた。

実験 2 : A, B, C, D それぞれを十分な量のナトリウムとともに加熱融解し, A, B, C, D を分解した。エタノールを加えて残存したナトリウムを反応させた後に, 水で希釈した。これらの溶液に酢酸鉛(II)水溶液を加えると黒色沈殿が生じたのは, A と C の場合のみであった。

実験 3 : A, B, C, D それぞれを濃硝酸に加えて加熱すると, A, B のみが黄色に呈色した。

実験 4 : A, B, C, D のうち B のみが, 塩化鉄(III)水溶液を加えると紫色に呈色した。

実験 5 : A を過酸化水素水に加えると, 分子間で a 結合が形成され, 二量体を与えた。この結合は b 剤と反応させることで切断され, もとの A が得られた。

実験 6 : 実験 1 における B の加水分解後の生成物を十分な量の臭素と反応させたところ, 二つの臭素原子を含む化合物 E が得られた。

実験 7 : C を完全燃焼させると, 66.0 mg の二酸化炭素と 24.3 mg の水が生じた。

実験 8 : D を無水酢酸と反応させたところ, 化合物 F が得られた。

実験 9 : D, F それぞれの電気泳動を行った。D は塩基性条件下で陽極側に大きく移動したが, 中性条件下ではほぼ移動しなかった。一方で, F は塩基性条件下でも中性条件下でも陽極側に大きく移動した。

[問]

- ア 下線部 (i) について、エタノールとナトリウムとの反応の化学反応式を示せ。
- イ 下線部 (ii) の現象から推定される側鎖構造の候補を、①～⑧の中からすべて答えよ。
- ウ 下線部 (iii) の現象から推定される側鎖構造の候補を、①～⑧の中からすべて答えよ。
- エ

a

 ,

b

 にあてはまる語句をそれぞれ記せ。
- オ A, B の立体異性体は、それぞれいくつ存在するか答えよ。なお、立体異性体の数に A, B 自身は含めない。
- カ E の構造式を示せ。
- キ C に含まれる炭素原子と水素原子の数の比を整数比で求めよ。答えに至る過程も記せ。
- ク C の構造について、①～⑧の数字で $-R^1$, $-R^2$ の組み合わせを答えよ。数字の順序は問わない。
- ケ D の構造について、①～⑧の数字で $-R^1$, $-R^2$ の組み合わせを答えよ。数字の順序は問わない。また、実験 9 の電気泳動において、D が中性条件下でほぼ移動しなかった理由を簡潔に説明せよ。
- コ F の構造式を示せ。

第2問

次の文章を読み、問ア～ケに答えよ。必要があれば表2—1および表2—2に示す値を用いよ。

金属酸化物は、金属元素の種類に応じてさまざまな性質を示し、工業的には耐熱材料や触媒として有用である。表2—1は、Mg、Al、Ca、Baの四つの元素からなる代表的な酸化物の特徴を示している。一般に金属酸化物を得るには、金属単体を酸化する方法や金属元素を含む化合物を加熱する方法がある。

天然に産出する^①金属酸化物の中には、金属の単体を製造する際の原料として用いられるものがある。たとえば、Al単体は、融解した氷晶石に純粋なAl₂O₃を少しずつ溶かし、融解塩電解することで得られる。この融解塩電解では、用いる電解槽の内側を炭素で覆い、これを陰極とし、炭素棒を陽極としている。

表2—1 Mg、Al、Ca、Baの各元素の代表的な酸化物の性質

酸化物の組成	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	BaO
酸化物の密度[g/cm ³]	3.65	3.99	3.34	5.72
金属イオンのイオン半径[nm]	0.086	0.068	0.114	0.149

表2—2 各元素の性質

元素	C	O	Mg	Al	Ca	Ba
原子量	12.0	16.0	24.3	27.0	40.1	137
単体の密度[g/cm ³]	—	—	1.74	2.70	1.55	3.51
単体の融点[°C]	—	—	649	660	839	727

〔問〕

- ア 下線部①の例として、消石灰 Ca(OH)₂ の水溶液に適量の CO₂ を吹き込んで得られる白色沈殿を取り出し、これを強熱して生石灰 CaO が生じる反応があげられる。Ca(OH)₂ から白色沈殿が生成する反応と、白色沈殿から CaO が生成する反応のそれぞれについて化学反応式を示せ。
- イ MgO、CaO、BaO の結晶は、いずれも図2—1に模式的に示す NaCl 型の結晶構造をもつイオン結晶である。MgO の単位格子の一辺の長さ(図中の *a*)が 0.42 nm であるとき、CaO の単位格子の一辺の長さを有効数字 2 桁で求めよ。ただし、O²⁻ のイオン半径はどの結晶中でも同じものとする。

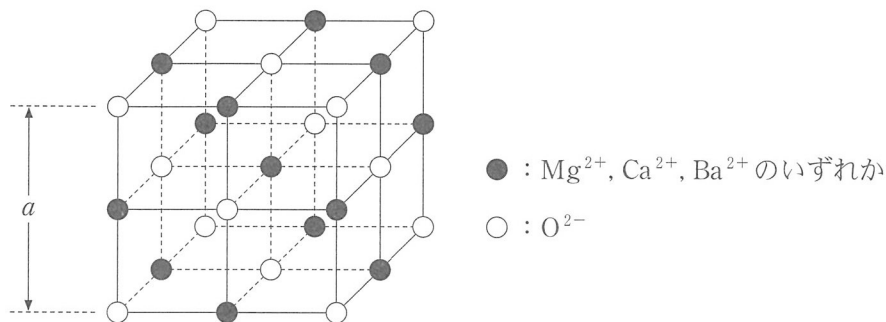


図 2-1 MgO, CaO, BaO の結晶構造の模式図

- ウ 物質の融点は、その物質を構成する粒子間にはたらく化学結合と深く関係する。MgO, CaO, BaO の結晶のうち最も融点の高いものを推定し、化学式とともに、その理由を記せ。
- エ 表に基づき、Al の単体を酸化して Al_2O_3 を得るときの酸化物と単体の体積比(= 酸化物の体積÷単体の体積)を、有効数字 2 桁で求めよ。
- オ 下線部②における Al の単体は、 Al^{3+} を含む水溶液の電気分解では得ることができない。その理由を簡潔に説明せよ。
- カ 下線部③における純粋な Al_2O_3 は、天然のボーキサイトを精製することで得られる。バイヤー法とよばれる精製法では、ボーキサイトを濃水酸化ナトリウム水溶液に加熱溶解させる。その際、水酸化ナトリウムはボーキサイトに含まれる $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ と反応する。その反応の化学反応式を示せ。
- キ 問カの反応で生成する水溶液の pH を調整すると、錯イオン $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_m(\text{OH})_n]^{(3-n)+}$ が生成しうる。 $m + n = 6$ で表わせる錯イオンのうち、 $n = 2$ のときのすべての幾何異性体の立体構造を描け。ただし、 H_2O と OH^- の立体構造は考慮しなくてよい。
- ク 下線部④において、陽極で CO と CO_2 が発生した。それぞれが発生する際の陽極での反応を電子 e^- を用いた反応式で示せ。
- ケ 下線部④において、陽極の炭素が 72.0 kg 消費され、陰極で Al が 180 kg 生成した。また、陽極では CO と CO_2 が発生した。このとき、発生した CO_2 の質量は何 kg か、有効数字 3 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。

第3問

次の I, II の各問に答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

I 次の文章を読み、問ア～オに答えよ。

濃度 $9.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ の塩酸 2.0 L に、気体のアンモニアを圧力 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで毎分 0.20 L の速度で溶かした。アンモニアの導入を開始した時刻を $t = 0$ 分とし、 $t = 40$ 分にアンモニアの供給を止めた。 $t = 40$ 分から濃度 1.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を毎分 10 mL の速度で滴下し、 $t = 80$ 分に止めた。この水溶液に a mol の塩化アンモニウムを溶解させたところ、水素イオン濃度は $1.0 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ となった。

気体のアンモニアは理想気体とし、アンモニアと塩化アンモニウムはすべて水溶液に溶けるものとする。また、アンモニアの溶解による溶液の体積変化は無視できるものとし、すべての時刻において温度は 27°C で一定であり、平衡が成立しているものとする。

アンモニアは水溶液中で以下のような電離平衡にある。



この平衡における塩基の電離定数 K_b は、

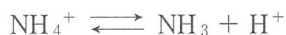
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

で与えられる。

〔問〕

ア $t = 10$ 分における水素イオン濃度を有効数字 2 桁で求めよ。答えに至る過程も記せ。

イ アンモニウムイオン NH_4^+ は、水溶液中で次の電離平衡にある。



アンモニウムイオンの電離定数 K_a を有効数字 2 桁で求めよ。

ただし、水のイオン積 K_w は、 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とする。

ウ $t = 40$ 分における水素イオン濃度を有効数字 2 桁で求めよ。答えに至る過程も記せ。

エ $t = 0$ 分から $t = 80$ 分における pH の変化の概形として最も適当なものを図 3—1 の (1) ~ (6) のうちから選べ。

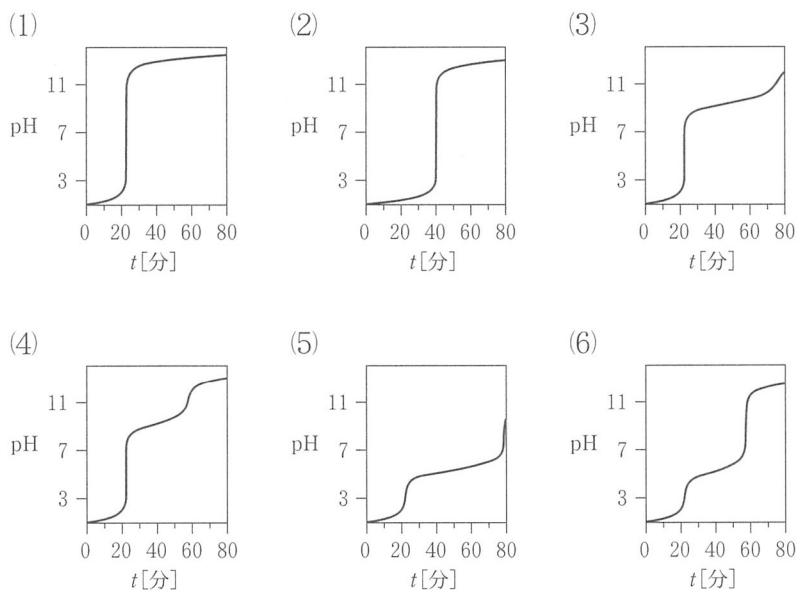


図 3—1 t に対する pH の変化

オ

a

 にあてはまる数値を有効数字 2 桁で求めよ。

II 次の文章を読み、問カ～コに答えよ。

メタンは、化石資源である天然ガスの主成分として産出される。天然ガスを冷却して液体にしたものは液化天然ガスとよばれ、運搬が容易であり、広く燃料として利用されている。メタンは、化学工業における重要な原料でもある。Niなどの触媒を使って高温でメタンと水蒸気を反応させることにより、一酸化炭素と水素が製造されている。この反応をメタンの水蒸気改質反応とよぶ。さらに、一酸化炭素と水素を、CuとZnOを成分とする触媒を使って反応させることにより、メタノールが工業的に合成されている。

〔問〕

カ 一定圧力のもとで理想気体の温度を下げていくと、その体積はシャルルの法則にしたがって直線的に減少し、絶対温度 0 K で体積は 0 になる。横軸を絶対温度、縦軸を体積とした理想気体のグラフを図3-2に破線で示した。一方、実在気体では、臨界点より低く三重点より高い一定圧力のもとで、温度を下げていくと、分子間力のために温度 T_1 で凝縮して液体になる。さらに温度を下げて温度 T_2 に達すると、凝固し固体になる。図3-2を解答用紙に描き写し、絶対温度に対する実在気体およびその液体と固体の体積の変化を示すグラフを、理想気体との違いがわかるように同じ図の中に実線で描け。

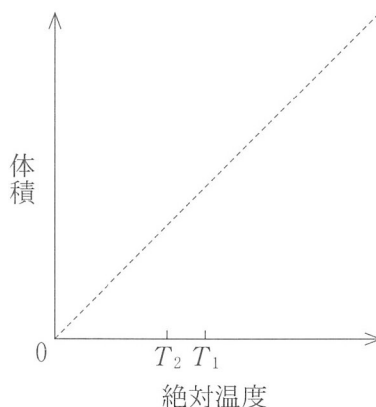
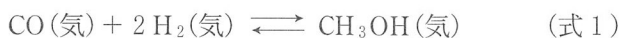


図3-2 物質の絶対温度と体積の関係

- キ メタンの水蒸気改質反応を化学反応式で示せ。
- ク 一酸化炭素と水素からメタノールを合成する反応は、以下の式1で表すことができる。



この反応を利用したメタノールの合成が、高圧下で行われる理由を説明せよ。

- ケ 2 Lの密閉容器に、1.56 molの一酸化炭素、2.72 molの水素および触媒を封入して、ある温度に保った。式1において、平衡に達したとき、0.24 molの水素が残っていた。このとき、容器内に存在する一酸化炭素およびメタノールの物質量をそれぞれ求めよ。
- コ 室温で、CO(気)の生成熱が110 kJ/mol、CO₂(気)の生成熱が394 kJ/mol、H₂(気)の燃焼熱が286 kJ/mol、CH₃OH(液)の燃焼熱が726 kJ/mol、CH₃OH(液)の蒸発熱が38 kJ/molであるとき、式1で1 molのCH₃OH(気)を合成するときの反応熱を求めよ。反応熱を求めるために必要な熱化学方程式を示し、答えに至る過程も記せ。さらに、式1のメタノール生成反応は、発熱反応か吸熱反応かを答えよ。

教科：理科 問題訂正・補足説明

科目名：生物	38, 39, 45 ページ
補足説明	
第 1 問	
図 1-1, 図 1-2, 図 1-6 の中, 白い四角部分はエキソンをあらわし, 山型の実線はスプライシングにより除去される領域をあらわす。	
科目名：生物	47 ページ
補足説明	
第 2 問	泳動
図 2-2	開始位置
“泳動開始位置” の下に	↓
右図のように矢印と“泳動方向”を	
追加する。	泳動方向

生 物

第 1 問

次の I, II の各問に答えよ。

I 次の文章を読み、問 A ~ D に答えよ。

真核細胞において、核内で DNA から転写された mRNA 前駆体の多くはスプライシングを受ける。スプライシングが起きる位置や組み合わせは一意に決まっているわけではなく、細胞の種類や状態などによって変化する場合がある。これを選択的スプライシングと呼ぶ。選択的スプライシングは、mRNA 前駆体に存在する様々な塩基配列に、近傍のスプライシングを促進したり阻害したりする作用を持つタンパク質が結合することによって、複雑かつ緻密に制御されている。例えば、哺乳類の α -トロポミオシン遺伝子は、1a から 9d まで多くのエクソンを持つが、発現する部位によって様々なパターンの選択的スプライシングを受け(図 1-1)、これによって作られるタンパク質のポリペプチド鎖の長さやアミノ酸配列も変化する(表 1-1)。

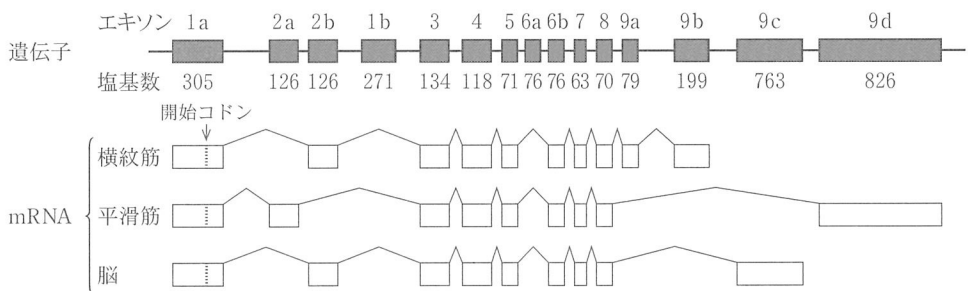


図 1-1 α -トロポミオシン遺伝子の選択的スプライシングの例

表 1-1 各発現部位における α -トロポミオシンタンパク質のポリペプチド鎖の長さ

横紋筋	平滑筋	脳
284 アミノ酸	284 アミノ酸	281 アミノ酸

近年、スプライシングを補正してヒトの遺伝病の治療につなげようとする研究が精力的に行われている。ヒトの5番染色体に存在する *SMN1* (survival motor neuron 1) 遺伝子とそのすぐ隣にある *SMN2* 遺伝子は、塩基配列がほとんど同じであるが、図1-2に示す通り、エキソン7内部のある1つの塩基が、*SMN1* 遺伝子ではCであるのに対し、*SMN2* 遺伝子ではTになっているという違いがある。これにより、*SMN2* 遺伝子から作られる mRNA の約9割では、スプライシングの際にエキソン7が使用されず、スキップされた状態となっている。このようにエキソン7がスキップされた mRNA から作られるタンパク質(Δ7型 SMN タンパク質と呼ぶ)は安定性が低く、すぐに分解されてしまう。一方、*SMN2* 遺伝子から作られる mRNA の残りの約1割では、スプライシングの際にエキソン7が使用され、*SMN1* 遺伝子由来のタンパク質と同じアミノ酸配列を持つタンパク質(全長型 SMN タンパク質と呼ぶ)が作られる(図1-2)。ヒトにおいて、*SMN1* 遺伝子の欠損を原因とする脊髄性筋萎縮症と呼ばれる遺伝病が知られている。最近、脊髄性筋萎縮症の治療に、スプライシングを補正する作用を持つ人工的な核酸分子 X が有効であることが示され、注目を集めている。

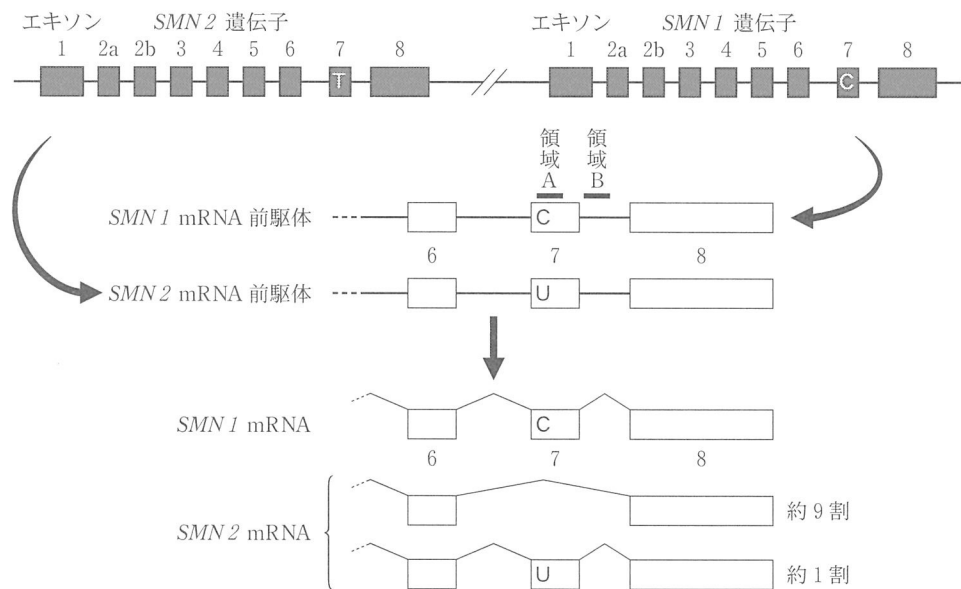


図1-2 ヒトの *SMN1* 遺伝子と *SMN2* 遺伝子およびそれらの転写とスプライシング

[問]

- A 下線部(ア)について。真核生物における転写の基本的なメカニズムについて、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。同じ語句を繰り返し使用してもよい。

基本転写因子，プロモーター，RNA ポリメラーゼ，
片方の DNA 鎖，5' → 3'

- B 下線部(イ)について。異なる塩基配列の6つのエキソン(エキソン1～6と呼ぶ)を持つ遺伝子があるとする。スプライシングの際、エキソン1とエキソン6は必ず使用されるが、エキソン2～5がそれぞれ使用されるかスキップされるかはランダムに決まるとすると、理論上、合計で何種類の mRNA が作られるか答えよ。ただし、スプライシングの際にエキソンの順番は入れ替わらず、エキソンとイントロンの境目の位置は変わらないものとする。

- C 下線部(ウ)について。 α -トロポミオシン mRNA の開始コドンは、図1-1に点線で示すとおり、エキソン1aの192～194塩基目に存在する。図1-1および表1-1の情報から、平滑筋で発現している α -トロポミオシン mRNA 上の終止コドンは、どのエキソンの何塩基目から何塩基目に存在すると考えられるか答えよ。解答例：エキソン1bの51～53塩基目

D 下線部(エ)および(オ)について。以下の文中の空欄 a ~ e に当てはまるもっとも適切な語句を、以下の選択肢①~⑩から選べ。同じ選択肢を繰り返し使用してもよい。解答例：a—①， b—②

SMN1 mRNA 前駆体の領域 A (図 1—2) の塩基配列は CAGACAA であり、スプライシングの制御に関わるタンパク質 Y は、この塩基配列を認識して結合する。しかし、*SMN2* mRNA 前駆体の領域 A の塩基配列は となっており、ここにはタンパク質 Y は結合できない。これらのことから、タンパク質 Y には、スプライシングの際にエキソン 7 が されることを促進するはたらきがあると考えられる。

一方、*SMN1* mRNA 前駆体と *SMN2* mRNA 前駆体で共通の領域 B (図 1—2) には、スプライシングの制御に関わるタンパク質 Z が認識して結合する塩基配列が存在する。脊髄性筋萎縮症の治療に有効な人工核酸分子 X は、領域 B の塩基配列と相補的に結合し、タンパク質 Z の領域 B への結合を阻害すると考えられている。これらのことから、タンパク質 Z には、スプライシングの際にエキソン 7 が されることを促進するはたらきがあり、人工核酸分子 X は、 遺伝子のスプライシングを補正することによって、 型 SMN タンパク質を増加させる作用を持つと考えられる。

- | | | | |
|-----------|-----------|---------------|---------------|
| ① TAGACAA | ② CATACAA | ③ UAGACAA | ④ CAUACAA |
| ⑤ 使用 | ⑥ スキップ | ⑦ <i>SMN1</i> | ⑧ <i>SMN2</i> |
| ⑨ Δ7 | ⑩ 全長 | | |

II 次の文章を読み，問E～Hに答えよ。

近年の塩基配列解析装置の急速な進歩によって，生体内に存在するRNAを網羅的に明らかにする「RNA-Seq」と呼ばれる解析を行うことが可能になった(図1-3)。例えば，今日用いられているある装置を用いてRNA-Seqを行った場合，長いRNAの塩基配列全体を決定することはできないが，それらのRNAを切断することで得られる短いRNAについて，数千万を超える分子数のRNAの塩基配列を一度に決定することができる。こうして決定される一つ一つの短い塩基配列を「リード配列」と呼び，DNAに含まれる4種類の塩基を表すA，C，G，Tのアルファベットをヌクレオチド鎖の5'→3'の順に並べた文字列として表す(塩基配列決定の際にRNAはDNAに変換されるため，UはTとして読まれる)。リード配列を決定した後，そのリード配列の元となった短いRNAがゲノム中のどの位置から転写されたRNAに由来するかを決めるためには，コンピュータを用いて，ヌクレオチド鎖の向きも含めてリード配列と一致する塩基配列がゲノム中出现する位置を見つける「マッピング」と呼ばれる解析を行う。今日の生物学では，このように膨大なデータを情報科学的に解き明かしていくバイオインフォマティクスが重要となっている。

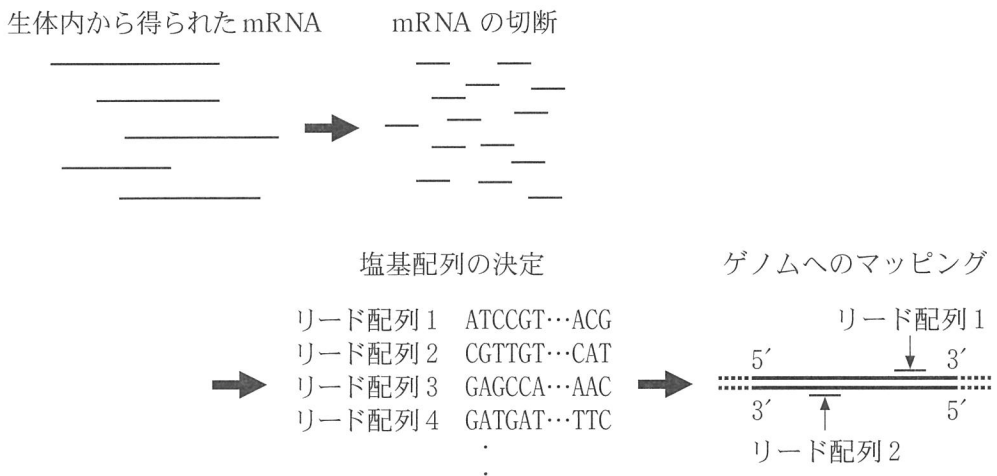


図1-3 mRNAを対象としたRNA-Seqの概略図

(問)

E ヒトのゲノム(核相 n の細胞が持つ全 DNA)の塩基対数はおよそ $3 \times 10^{\boxed{f}}$ である。空欄 f に当てはまる整数を答えよ。

F 一般に、真核生物の遺伝子から転写された mRNA 前駆体には、スプライシングが起きるほか、アデニンが多数連なったポリ A 配列と呼ばれる構造が付加される。これを利用して、真核生物の生体内から得られた RNA を、ある塩基が多数連なった一本鎖の DNA が結合した材質に吸着させることで、mRNA を濃縮して解析することができる。その塩基の名称をカタカナで答えよ。

G リード配列が「ある特徴」を持つ場合、そのリード配列と一致する塩基配列はゲノムの2つのヌクレオチド鎖の全く同じ位置に出現する(図1-4)。「ある特徴」とはどのようなものかを考え、その特徴を持つ10塩基の長さの塩基配列の例を1つ答えよ。塩基配列はA, C, G, Tのアルファベットを5'→3'の順に並べた文字列として表すものとする。

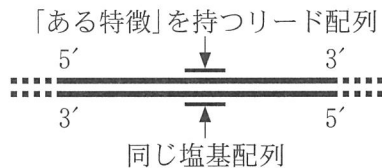


図1-4 「ある特徴」を持つリード配列のマッピング

H 真核生物の生体内から得られた mRNA サンプルに対して RNA-Seq を行い、得られたリード配列をゲノムに対してマッピングし、各遺伝子の各エクソン内にマッピングされたリード配列の数を数えた(図1—5)。RNA-Seqにおいて mRNA は短い RNA にランダムに切断され、解析装置に取り込まれて塩基配列が決定されたとする。リード配列は各エクソンの長さに比べれば十分に短い一定の長さを持ち、いずれかの遺伝子のエクソン内の 1 カ所に明確にマッピングされたものとして、以下の問(あ)~(う)に答えよ。

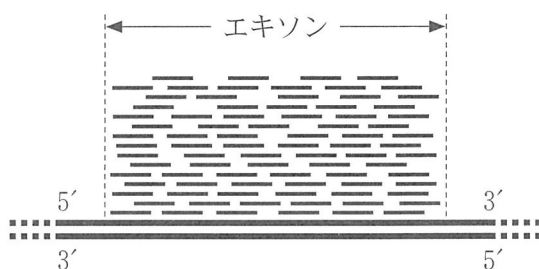


図1—5 ある遺伝子のエクソンに多数のリード配列がマッピングされた様子

(あ) 遺伝子 1 ~ 6 のエクソンの塩基数の合計と、エクソン内にマッピングされたリード配列の数の合計は表1—2に示すとおりであった。このことから、遺伝子 1 ~ 6 のうち、mRNA の分子数が最も多かったものは遺伝子 , 最も少なかったものは遺伝子 であったと考えられる。空欄 g, hに入る数字を答えよ。ただし、遺伝子 1 ~ 6 は選択的スプライシングを受けないものとする。解答例：g—1, h—2

表1—2 RNA-Seq の結果(遺伝子 1 ~ 6)

	遺伝子 1	遺伝子 2	遺伝子 3	遺伝子 4	遺伝子 5	遺伝子 6
エクソンの塩基数の合計	1000	800	3000	2500	1500	1800
エクソン内にマッピングされたリード配列の数の合計	4500	50	10000	150	7000	9000

- (い) 遺伝子7は4つのエクソンを持ち、各エクソンの塩基数と、エクソン内にマッピングされたリード配列の数は表1-3に示すとおりであった。遺伝子7は選択的スプライシングを受け、エクソン2かエクソン3のいずれか、あるいは両方がスキップされることがある。図1-6に示すように、エクソンが一つもスキップされない mRNA の分子数を x 、エクソン2のみがスキップされた mRNA の分子数を y 、エクソン3のみがスキップされた mRNA の分子数を z 、エクソン2と3の両方がスキップされた mRNA の分子数を w とおく。いま x が0だったとすると、 y と z と w の比はこの順番でどのようになるか、最も簡単な整数比で答えよ。解答例：3：2：5

表1-3 RNA-Seqの結果(遺伝子7)

	エクソン1	エクソン2	エクソン3	エクソン4
エクソンの塩基数	800	600	400	1000
エクソン内にマッピングされたリード配列の数	16800	3600	3200	21000

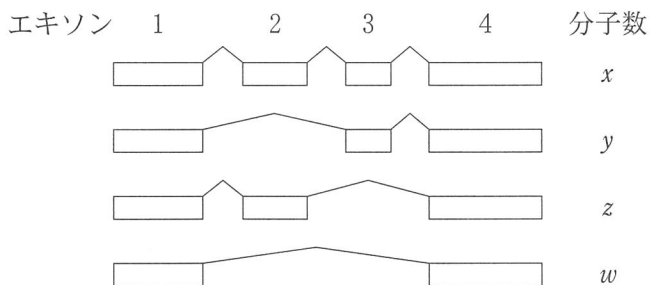


図1-6 遺伝子7の選択的スプライシング

- (う) 遺伝子7について、 x が0とは限らないとして、 x 、 y 、 z 、 w の間に成り立たない可能性がある関係式を以下の選択肢(1)~(6)から2つ選べ。
- (1) $x < y$ (2) $x + z < y + w$ (3) $x < w$
 (4) $y > z$ (5) $y > w$ (6) $z < w$

第2問

次の文章を読み、問A～Jに答えよ。

オーストラリア南東部のタスマニア島には、タスマニアデビル(図2—1)と呼ばれる体長50～60 cm の有袋類^(ア)が生息する。タスマニアデビルは肉食性で、他の動物を捕食したり、死肉を食べたりして生きている。体長の割に大きな口と強い歯をもち、気性が荒く、同種の個体どうしで餌や繁殖相手をめぐって頻りに争うため、顔や首などに傷を負うことがしばしばある。

近年、野生のタスマニアデビルの顔や首の傷口の周囲に、大きな瘤(こぶ)ができているのが見つかるようになった。調査の結果、この瘤は悪性腫瘍(がん)とわかった。悪性腫瘍とは、体細胞の突然変異によって生じた、無秩序に増殖し他の臓器へと広がる異常な細胞集団である。この悪性腫瘍は急速に大きくなるため、これをもつタスマニアデビル個体は口や眼をふさがれてしまい、発症から数ヶ月で死に至る。悪性腫瘍をもつ個体は頻りに見られるようになり、短期間のうちに野生のタスマニアデビルの生息数は激減した。現在、タスマニアデビルは絶滅の危機に瀕しており、様々な保護活動が行われている。

タスマニアデビルの悪性腫瘍について、以下の実験を行った。



図2—1 タスマニアデビル

実験1 悪性腫瘍をもつ4頭のタスマニアデビルを捕獲し、腫瘍の一部と、腫瘍とは別の部位の正常な体組織を採取し、DNAを抽出した。また、悪性腫瘍をもたないタスマニアデビル4頭を捕獲し、同様に体組織を採取しDNAを抽出した。これらのDNA検体を用いて、あるマイクロサテライトを含むDNA領域をPCR法によって増幅し、得られたDNAの長さをゲル電気泳動によって解析した。その結果、図2-2に示す泳動像が得られた。マイクロサテライトとは、ゲノム上に存在する数塩基の繰り返しからなる反復配列である。繰り返しの回数が個体によって多様であるが、世代を経ても変化しないことを利用して、遺伝マーカーとして用いられる。正常細胞が悪性腫瘍化した場合にも、このマイクロサテライトの繰り返し回数は変化しないものとする。

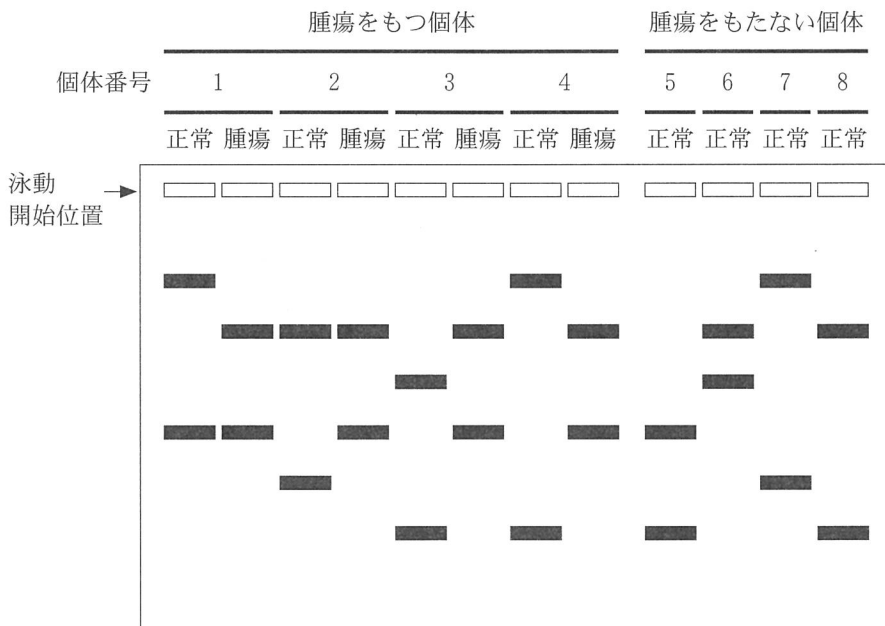


図2-2 ゲル電気泳動の結果

実験2 タスマニアデビルの悪性腫瘍、および様々な正常な体組織から mRNA を抽出し、それを鋳型として cDNA を合成し、DNA マイクロアレイ法によって遺伝子の発現パターンを網羅的に調べた。その結果、悪性腫瘍の遺伝子発現パターンはシュワン細胞のものとよく似ており、悪性腫瘍はシュワン細胞から生じたものと考えられた。しかし、正常なシュワン細胞と比較して、悪性腫瘍細胞では、遺伝子 X の mRNA 量に変化していた(図 2-3 左)。さらに、正常なシュワン細胞と悪性腫瘍細胞とを、ヒストンの DNA への結合を阻害する薬剤 Y で処理し、同様に遺伝子 X の mRNA 量を調べた(図 2-3 右)。

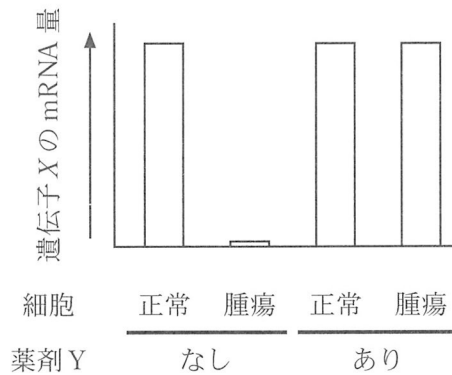


図 2-3 正常なシュワン細胞と悪性腫瘍細胞における遺伝子 X の mRNA 量

実験3 遺伝子Xはヒトやマウスなどの動物に共通して存在し、同一の機能をもつと考えられた。遺伝子組み換え技術によって、遺伝子Xを取り除いたノックアウトマウスを作製した。遺伝子Xノックアウトマウスは病原体のいない飼育環境で正常に発育し、タスマニアデビルのような悪性腫瘍の発生はみられなかった。遺伝子Xノックアウトマウスのシュワン細胞を調べたところ、MHCのmRNA量と細胞膜上のMHCタンパク質の量は図2—4に示す通りであった。また、正常なマウスの皮膚を別の系統のマウスに移植すると拒絶されたが、^(オ)遺伝子Xノックアウトマウスの皮膚を別の系統のマウスに移植しても拒絶されずに生着した。

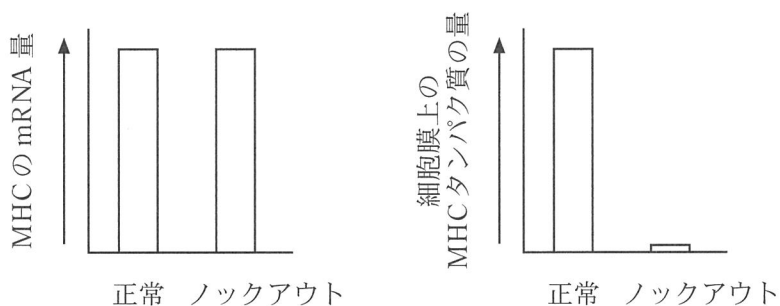


図2—4 正常マウスと遺伝子XノックアウトマウスにおけるMHCのmRNA量と細胞膜上のMHCタンパク質の量

[問]

A 下線部(ア)について。有袋類はオーストラリア地域に多く生息しているが、他の地域にはほとんど見られない。その理由を3行程度で説明せよ。

B 下線部(イ), (ウ)に用いられる酵素の名称と、それらの酵素の遺伝子は何から発見されたものか、それぞれ答えよ。解答例：イ—〇〇(酵素名), △△(酵素遺伝子の由来)

C 下線部(エ)について。以下の文中の空欄1～8に適切な語句を記入せよ。

解答例：1—〇〇, 2—△△

哺乳類では、シュワン細胞は末梢神経において、 は中枢神経において、ニューロンの を包み込む を形成する。 をもつ 神経繊維では、 の部位においてのみ興奮が生じるため、 が起こる。そのため、 をもたない 神経繊維と比べて興奮の伝導速度が 。

D 実験1に用いられた個体のうち、個体7と8はつがいであった。個体1～6のうち、個体7と8の子供である可能性がある個体をすべて選べ。

E 実験1の結果から、タスマニアデビルの悪性腫瘍について考察した以下の(1)~(5)のうち、可能性のあるものをすべて選べ。

- (1) 個体1~4の悪性腫瘍は、それぞれの個体の正常細胞から発生した。
- (2) 個体1と2は兄弟姉妹であり、これらの悪性腫瘍は親の正常細胞から発生したものが伝染した。
- (3) 個体3と4は兄弟姉妹であり、これらの悪性腫瘍は親の正常細胞から発生したものが伝染した。
- (4) すべての悪性腫瘍は、個体1~4のうち、いずれか1頭の個体の正常細胞から発生し、個体間で伝染した。
- (5) すべての悪性腫瘍は、個体1~8とは別の個体の正常細胞から発生した。

F 実験2の結果から、タスマニアデビルの悪性腫瘍では、遺伝子Xにどのようなことが起きていると考えられるか。薬剤Yの作用をふまえ、2行程度で説明せよ。

G 実験3の結果から、遺伝子Xについて考察した以下の(1)~(5)のうち、実験結果の解釈として不適切なものを2つ選べ。

- (1) 遺伝子Xは、染色体上でMHC遺伝子と近い位置にある。
- (2) 遺伝子Xは、MHCの転写に必要ではない。
- (3) 遺伝子Xは、MHCの翻訳を制御する可能性がある。
- (4) 遺伝子Xは、MHCの細胞膜への輸送を制御する可能性がある。
- (5) 遺伝子Xは、MHCの遺伝子再編成を制御する可能性がある。

H 実験 2 と 3 の結果から考察した以下の(1)~(5)のうち、適切なものを 2 つ選べ。

- (1) 遺伝子 X ノックアウトマウスのシュワン細胞を、薬剤 Y で処理すると、遺伝子 X の発現が回復すると予想される。
- (2) タスマニアデビルの悪性腫瘍では、MHC の mRNA 量が減少していると考えられる。
- (3) タスマニアデビルの悪性腫瘍では、細胞膜上の MHC タンパク質の量が減少していると考えられる。
- (4) タスマニアデビルの悪性腫瘍を薬剤 Y で処理すると、細胞膜上の MHC タンパク質の量が回復すると予想される。
- (5) 遺伝子 X ノックアウトマウスの細胞を、薬剤 Y で処理すると、別の系統のマウスに移植しても拒絶されるようになる。

I 下線部(オ)の結果が得られたのはなぜか、その理由を 3 行程度で説明せよ。

J タスマニアデビルがこの悪性腫瘍によって絶滅しないために、有利にはたらくと考えられる形質の変化は何か。以下の(1)~(6)のうち、適切なものをすべて選べ。

- (1) 攻撃性が強くなり、噛みつきによる同種間の争いが増える。
- (2) 攻撃性が低下し、穏やかな性質となる。
- (3) 同種間では儀式化された示威行動によって争うようになる。
- (4) トル様受容体 (TLR) による病原菌の認識能力が高まる。
- (5) ナチュラルキラー (NK) 細胞による異物の排除能力が高まる。
- (6) ウイルスに対して抗体を産生する能力が高まる。

第3問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文章を読み，問A～Cに答えよ。

植物の発生や成長は，様々な環境要因の影響を受けて調節されている。環境要因の中でも，温度は，光と並んで，植物の発生・成長の調節において，とくに重要な意味をもつ。温度と光で調節される発生現象の顕著な例の一つが，花芽形成である。日長に応じて花芽を形成する植物は多いが，その中には一定期間低温を経験することを前提とするものがある。低温を経験することで，日長に応答して花芽を形成する能力を獲得するのである。これを春化という。花芽形成に春化を要求する植物は，一般に長日性である。こうした植物では，低温の経験の後に適温と長日条件の2つが揃ったときに，花芽の形成が促進される。

植物はどのようなときにどこで低温を感じ取り，それはどのように春化につながるのだろうか。これらの問題に関しては，古くから工夫を凝らした生理学的実験が数多く行われている。例えば，組織片からの植物体の再生を利用した実験や，接ぎ木 ^(ア) ^(イ) を利用した実験により，春化における低温感知の特徴，春化と花成ホルモン(フロリゲン)の関係などについて，重要な知見が得られている。

シロイヌナズナを用いた分子生物学的解析からは，*FLC* という遺伝子の発現の抑制が春化の鍵であることがわかっている。*FLC* には花芽形成を妨げるはたらきがある。低温期間中に *FLC* 領域のクロマチン構造が変化して遺伝子発現が抑制された状態が確立し ^(ウ)，*FLC* 発現が低くなることで花芽形成が可能となる。

〔問〕

A 下線部(ア)について。ゴウダソウは春化要求性の長日植物である。ゴウダソウの葉を切り取って培養すると、葉柄の切り口近傍の細胞が脱分化して分裂を始め、やがて分裂細胞の集団から芽が形成されて、植物体を再生する。この植物体再生と低温処理を組み合わせ、春化の特徴を調べる実験が行われた。この実験の概要と結果をまとめたのが図3—1である。

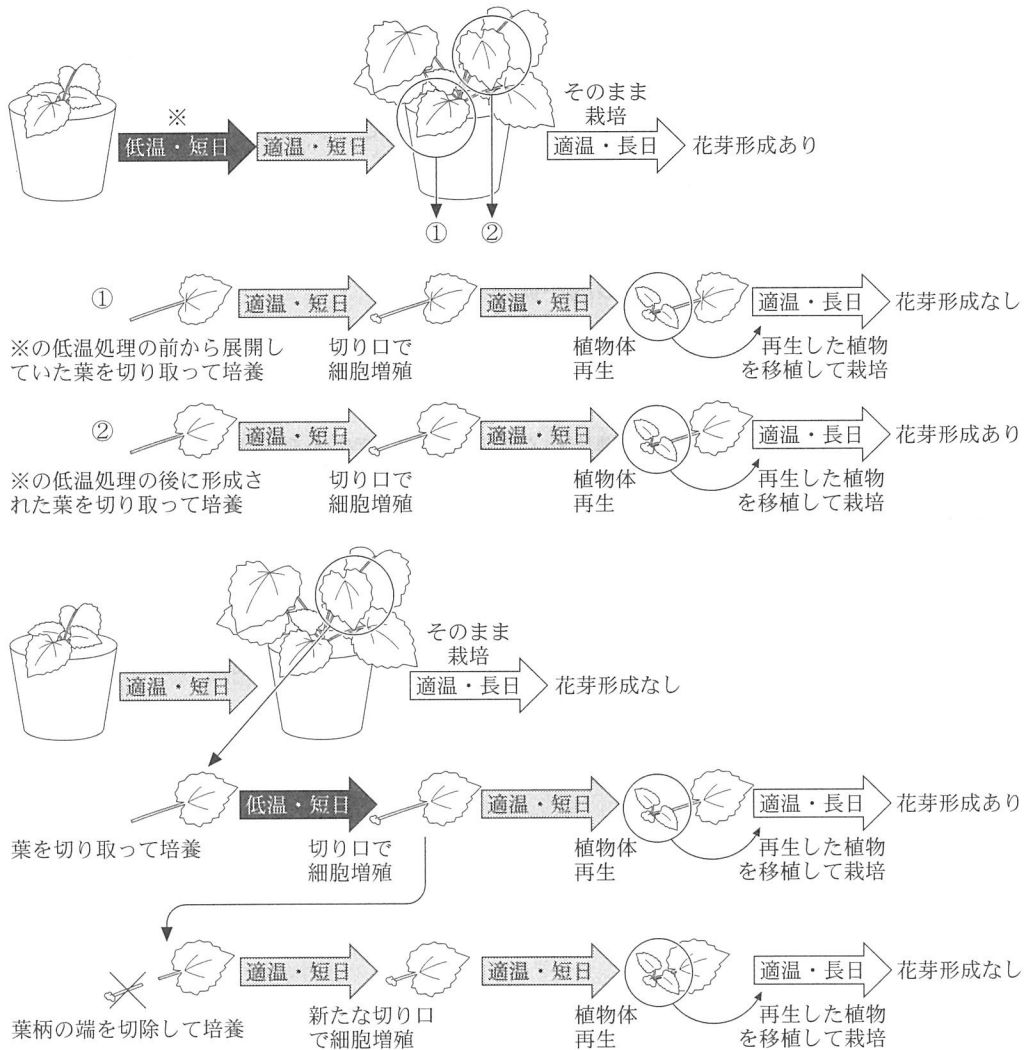


図3—1 ゴウダソウの植物体再生を利用した花芽形成実験

以下の(1)~(5)の記述のそれぞれについて、図3—1の実験結果から支持されるなら「○」、否定されるなら「×」、判断できないなら「？」と答えよ。

- (1) 一旦春化が成立すると、その性質は細胞分裂を経ても継承される。
- (2) 植物体の一部で春化が成立すると、その性質は植物体全体に伝播する。
- (3) 春化の成立には、分裂している細胞が低温に曝露されることが必要である。
- (4) 春化は脱分化によって解消され、春化が成立していない状態に戻る。
- (5) 低温処理時の日長によって、春化が成立するまでにかかる時間が異なる。

B 下線部(イ)について。春化による花芽形成能力の獲得には、花成ホルモンを産生する能力の獲得と、花成ホルモンを受容し応答する能力の獲得の2つが考えられる。これらそれぞれを判定するための、春化要求性長日植物を用いた接ぎ木実験を考案し、判定の方法も含めて実験の概要を5行程度で説明せよ。なお、図を用いてもよい。

C 下線部(ウ)について。春化における *FLC* の抑制と同様の仕組みは、様々な生物の様々な現象に関わっている。以下の(1)~(6)のうちから、*FLC* 抑制と同様の仕組みが関わる現象として最も適当なものを1つ選べ。

- (1) 大腸菌にラクトースを投与すると、ラクトースオペロンの抑制が解除される。
- (2) 酸素濃度の高い条件で酵母を培養すると、アルコール発酵が抑えられる。
- (3) エンドウの果実から種子を取り除くと、さやの成長が止まる。
- (4) ショウジョウバエの受精卵で、母性効果遺伝子の mRNA の局在が分節遺伝子の発現パターンを決める。
- (5) 雌のマウスで、2本ある X 染色体の一方が不活性化されている。
- (6) ヒトのある地域集団で、A, B, AB, O の各血液型の割合が、世代を経てもほぼ一定に保たれている。

II 次の文章を読み、問D～Gに答えよ。

植物の成長は、成長に適した温度域における、比較的小さな温度の違いにも影響を受ける。最近、シロイヌナズナの胚軸の伸長に対する温度の影響に着目した研究から、フィトクロムの関与を示す画期的な発見があった。

フィトクロムは、光受容体として光応答にはたらく色素タンパク質である。フィトクロムには、赤色光吸収型の Pr と遠赤色光吸収型の Pfr が存在し、Pr は赤色光を吸収すると Pfr に変換し、Pfr は遠赤色光を吸収すると Pr に変換する。また、Pfr から Pr への変換は、光とは無関係にも起きる。図3—2に示すように、各変換の速度 $v_1 \sim v_3$ は、Pr または Pfr の濃度 ($[Pr]$, $[Pfr]$) と変換効率を表す係数 $k_1 \sim k_3$ の積で決まる。

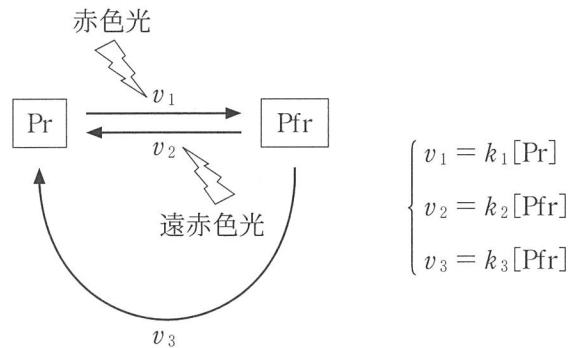


図3—2 フィトクロムの Pr と Pfr の変換

シロイヌナズナの胚軸の伸長は、明所では抑制され、暗所で促進される。これに対して、フィトクロム完全欠損変異体の胚軸は明所でも伸長し、暗所と同じように長くなる^(x)ことなどから、胚軸伸長の光応答にフィトクロムが関与することはよく知られていた。図3—3に示すように、シロイヌナズナの胚軸の伸長は温度にも応答し、10℃から30℃の範囲の様々な温度で芽生えを育てると、温度が高いほど胚軸が長くなる。この温度応答についてフィトクロム完全欠損変異体を用いて調べてみると、温度の影響がほとんど見られず、どの温度でも胚軸がほぼ一樣に長くなったのである。

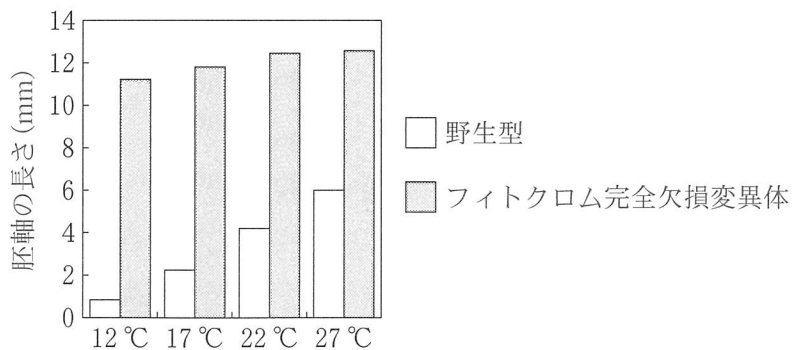


図 3—3 シロイヌナズナの胚軸の伸長に対する温度とフィトクロム欠損の影響

さらに精製フィトクロムを用いた試験管内実験によって、Pr・Pfr 間の変換に対する温度の影響も調べられた。光による変換の係数である k_1 と k_2 は、光に依存するが、温度には依存しない。しかし、 k_3 が温度に依存するなら、Pr・Pfr 間の変換が温度で変わる可能性があり、この点が検討された。純粋な Pr の水溶液を、赤色光の照射下、様々な温度で保温して、全フィトクロムに占める Pfr の割合を測定する実験により、図 3—4 のような結果が得られた。この結果は、温度応答においてフィトクロムが温度センサーとしてはたらくことを示唆するものとして、注目を集めている。

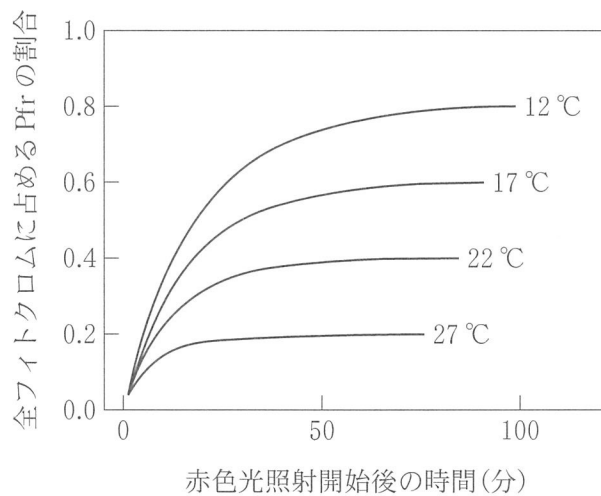


図 3—4 各温度における Pfr の割合の変化

[問]

D 下線部(エ)について。この実験結果から、胚軸伸長の制御において、フィトクロムはどのように作用すると考えられるか。以下の(1)~(4)のうちから、最も適当なものを1つ選べ。

- (1) Pr が伸長成長を促進する。
- (2) Pr が伸長成長を抑制する。
- (3) Pfr が伸長成長を促進する。
- (4) Pfr が伸長成長を抑制する。

E 下線部(オ)について。図3—4の情報に基づいて、 k_3 と温度の関係をグラフで表せ。なお、横軸に温度を取り、 k_3 は27℃のときの値を1とする相対値で縦軸に取ること。また、大きさは、両軸に付す数字も含めて、10文字分×10行分程度とすること。作図はフリーハンドで構わない。

F 下線部(カ)の実験を、赤色光と同時に遠赤色光を照射して行くと、結果はどのようなになると予想されるか。以下の(1)~(5)のうちから、最も適当なものを1つ選べ。

- (1) 温度によらず、定常状態でのPfrの割合はほぼ0となる。
- (2) 温度によらず、定常状態でのPfrの割合はほぼ1となる。
- (3) 温度が高いほどPfrの割合が低い傾向は赤色光下と同じであるが、温度の影響は弱くなる。
- (4) 温度が高いほどPfrの割合が低い傾向は赤色光下と同じであるが、温度の影響がより強くなる。
- (5) 赤色光下とは逆に、温度が高いほどPfrの割合が高くなる。

G 高温で伸長が促進される性質は、胚軸だけでなく、茎や葉柄でも見られる。この性質が自然選択によって進化したとすれば、それはどのような理由によるだろうか。自由な発想で考え、合理的に説明できる理由の1つを3行程度で述べよ。

地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 天体を調べるにあたり、地球からその天体までの距離を知ることが最も基本となる。そのため歴史的に様々な手法が編み出されてきた。銀河系内外の天体の距離導出に関する以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字2桁で答え、計算の過程も示せ。また必要であれば、1パーセクは3.3光年とせよ。

(1) 銀河系内の恒星までの距離は、年周視差を用いて正確に求めることができる。可視光の望遠鏡を搭載したヨーロッパの位置天文衛星「ガイア」により、今までにない高精度な年周視差測定が可能となった。

(a) 地上ではなく衛星の望遠鏡を使うことで、より小さな年周視差を測定できる理由を1行程度で述べよ。

(b) ガイア衛星が最小で 1.0×10^{-4} 秒角の年周視差を測定できるとして、どれだけ遠方までの星の距離を求められるかを光年の単位で求めよ。

(2) 銀河系を中心として数千万光年の範囲に存在する局部銀河群や近傍銀河群内の銀河までの距離は、主に脈動変光星のケフェウス座 δ 型変光星(以下、種族Iセフィイド)を標準光源として求められる。

(a) 種族Iセフィイドは、HR図上において「不安定帯」と呼ばれる細長い帯の内側に分布する(図1-1)。その帯の中で、変光周期 P_1 、 P_2 、 P_3 を持つセフィイドが分布する範囲を3本の太く短い実線で示した。周期光度関係に着目し、2行程度の理由とともに P_1 、 P_2 、 P_3 の大小関係を不等号で表せ。

(b) ある渦巻き銀河に変光周期 P_2 を持つ種族 I セファイドが見つかった。しかし、精密なスペクトル型(星の色)が測定されていない場合、このセファイドが図 1—1 の P_2 の太く短い実線上のどこに位置するかわからないため、周期から求められる光度に若干の不定性が残る。このとき、図 1—1 を使って求められる銀河までの距離の最大値は最小値に対して何%大きくなるかを答えよ。ここで、 x が 1 より十分小さい場合に成り立つ近似式 $10^x = 1 + 2.30x + 2.65x^2$ を用いてもよい。

(3) 1 億光年より遠方の銀河の距離を精密に求めるためには、恒星よりも明るい標準光源が必要となる。そのような天体を 1 つ挙げよ。

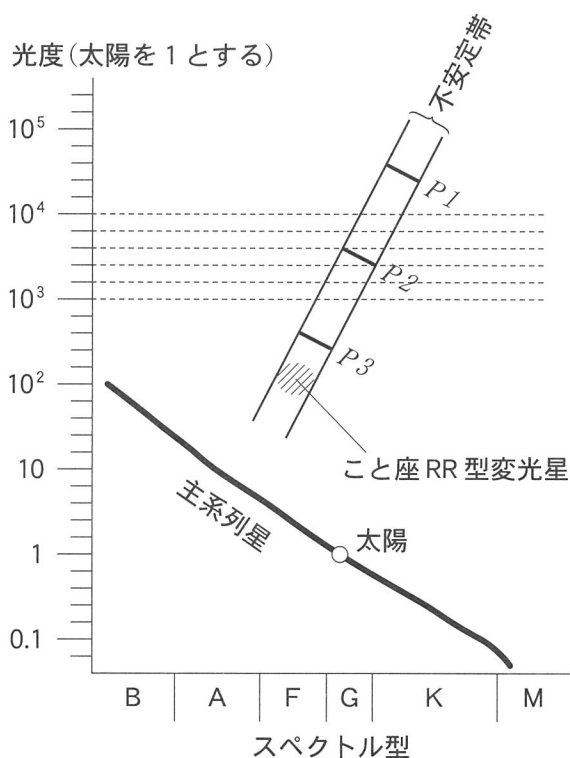


図 1—1 HR 図上の不安定帯の位置。種族 II のこと座 RR 型変光星も不安定帯の中に位置する。なお、変光星の光度とスペクトル型は周期平均をとった値で定義している。

問 2 渦巻き銀河の銀河回転(円盤部に属する恒星や星間物質の、銀河中心のまわりの回転運動)に関する以下の問いに答えよ。銀河回転は厳密な円運動であるとし、同じ場所にある恒星と星間物質の回転速度は等しいとする。銀河円盤の厚さおよびバルジとハローの存在は無視してよい。数値での解答には有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示せ。

(1) ある渦巻き銀河の絶対等級を測ったところ -20.2 等であった。この銀河の光度は太陽の光度の何倍か、答えよ。太陽の絶対等級を 4.8 等とする。

(2) この渦巻き銀河の円盤部は、本来は円形だが、視線に対して傾いているため楕円形の像として観測される(図 1—2 (上))。その長軸に沿って、星間物質から放射される輝線の 1 つである水素原子の $H\alpha$ 輝線の波長を測ったところ、回転運動で生じるドップラー効果によって、銀河中心より右側では銀河中心での波長より長い波長が、左側では短い波長が観測された(図 1—2 (下))。

(a) 図に示すように、円盤部の像は、上が観測者から見て近い側、下が遠い側にあることが別の観測からわかっている。銀河回転の方向は図の A と B のどちらであるかを、理由とともに答えよ。

(b) この銀河の後退速度を km/s の単位で求めよ。 $H\alpha$ 輝線の本来の波長を 656.4 ナノメートルとし、光の速さを $3.0 \times 10^5 \text{ km/s}$ とする。

(3) 図 1—3 の実線は、図 1—2 の H α 輝線の観測から得られた銀河回転の速さを描いたものである。視線に対して円盤部が傾いている効果は補正されている。銀河回転を用いて銀河の質量を推定してみよう。銀河は、恒星、星間物質、ダークマターだけで構成されているとし、どの構成要素も銀河回転の回転軸に対して軸対称に分布しているとする。

(a) 銀河中心から任意の距離 R を速さ $V(R)$ で回転している恒星(あるいは星間物質)には、回転運動で生じる遠心力と銀河からの万有引力が働いており、これら 2 つの力はつりあっている。遠心力は $mV^2(R)/R$ と表せ、万有引力は $GmM(R)/R^2$ と表せるとする。ここで m は恒星(あるいは星間物質)の質量、 G は万有引力定数、 $M(R)$ は銀河中心を原点とする半径 R の球内にある全構成要素の質量の総和である(球の外部の構成要素は万有引力に寄与しない)。図 1—3 の実線から、 $M(2$ 万光年)と $M(4$ 万光年)の比を推定せよ。

(b) 恒星と星間物質の質量分布は光と電波の観測から求まる。銀河が恒星と星間物質だけでできていると仮定し、それらの総和による万有引力に遠心力がつりあうために必要な恒星(あるいは星間物質)の回転の速さを R の関数として求めたものが、図 1—3 の破線である。観測値よりも小さい速さが得られることから、銀河には光らない物質であるダークマターが存在していることが推定できる。実線と破線の比較から、 $M(4$ 万光年)に占めるダークマターの割合を推定せよ。

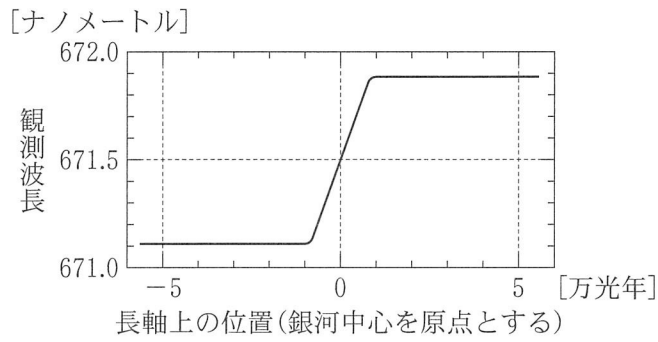
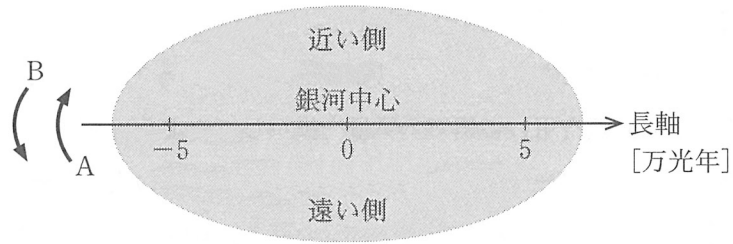


図 1—2 (上)円盤部の像。(下)長軸に沿って測った H α 輝線の波長。

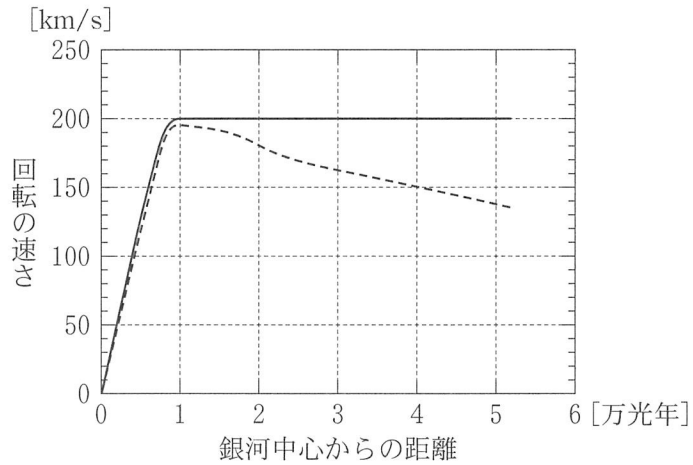


図 1—3 回転の速度と銀河中心からの距離の関係

第2問 大気と海洋に関する以下の問い(問1～2)に答えよ。

問1 雨はその生成のしくみにより、暖かい雨と冷たい雨の2つに大別される。ここでは暖かい雨の生成について考えてみよう。空気塊の中で雲粒として凝結している水を雲水と呼び、 1 cm^3 の空気塊中の雲水の量を g/cm^3 の単位で表すことにする。またここでは、雲粒が落下し始めるのに十分な大きさまで成長したものを降水粒子と呼び、さらにそれが落下中に大きく成長したものを雨粒と呼ぶことにする。以下の問いに答えよ。数値を求める問題には有効数字2桁で答え、計算の過程も示せ。雲粒や降水粒子は球形であるとし、円周率 π は3.0として計算せよ。

(1) 空気塊中の雲水の生成について述べた以下の文章の空欄ア～ウを埋めよ。

水蒸気を含んだ空気塊が未飽和のまま断熱的に上昇すると気温は 減率に従い低下する。この結果、飽和水蒸気圧は高度とともに し、空気塊の水蒸気が飽和すると凝結により雲粒を生成する。飽和した空気塊がさらに断熱的に上昇すると気温は 減率に従い低下し、飽和水蒸気圧は高度とともにさらに する。空気塊中の水分子の総量(水蒸気と雲水を合わせた総量)が一定に保たれるとすると、雲水の量は高度とともに増加する。

(2) 次に、雲底から成長していく雲の中での降水粒子の生成について考えてみよう。空気塊がその中の水分子の総量を一定に保ったまま上昇したとき、雲底から高度1 km 上昇するごとに $2.0 \times 10^{-6}\text{ g/cm}^3$ の水蒸気が凝結し、雲水になったとする。雲粒の数濃度が 200 個/cm^3 で高度によらずに一定であると仮定した時、高度とともに増加する雲水は、個々の雲粒の半径の増加によってもたらされる。このようにして成長する雲粒は、雲頂においてその半径が $2.0 \times 10^{-3}\text{ cm}$ に達すると降水粒子として落下しはじめるとした場合、降水粒子の落下は雲頂が雲底から何 km の高さまで達した時にはじまるか求めよ。ただし、雲粒の半径は各高度においてすべての雲粒で同じと仮定し、水の密度を 1.0 g/cm^3 として計算せよ。

(3) さらに、雲頂で生成した降水粒子が、雨粒へと成長していく過程について考える。現実の大気では雲頂付近の雲粒の中で特に大きなものが降水粒子として落下し始めることにより、雨が引き起こされる。このような降水粒子が雲底までまっすぐ下向きに落下する間に、図2—1のように各高度にある雲粒と衝突し、それらをとらえることにより体積を増加させるとする。簡単のため、降水粒子がとらえる雲粒の半径は高度によらずすべて r cm であるとし、雲粒の数濃度は n 個/cm³ で一様に分布しているとする。また降水粒子の半径を R cm とした時、この降水粒子の中心が通る軌道から半径 R cm 以内に中心がある雲粒がすべてとらえられるとする。この時、降水粒子が Δz cm 落下する間に雲粒をとらえることにより増加させる体積 ΔV cm³ を R , r , n , Δz を使って表せ。ただし、降水粒子がとらえる雲粒数の計算においては、 Δz cm の落下中での降水粒子の半径 R の変化は無視できるとし、また雲内での上昇流の影響は無視できるとする。

(4) 最後に、雨粒と降水量との関係を考える。雲頂付近から雲中を落下する降水粒子が、半径 1.0×10^{-3} cm の雲粒を合計 10 万個とらえることにより雨粒へと成長し、そのままの体積で地表面に落下したとする。このようにしてできた雨粒が地表面付近において 2.0×10^{-4} 個/cm³ の数濃度で存在し、それぞれが 5.0 m/s で落下する時、1 時間あたりの降水量は何 mm となるか答えよ。ただし、落下開始時の降水粒子の体積は無視できるとする。

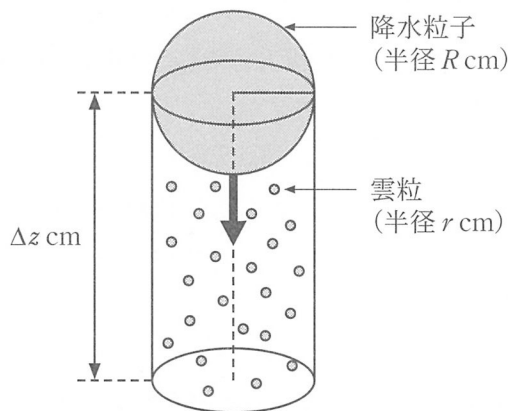


図2—1 降水粒子が落下しながら雲粒と衝突し、とらえる様子を示した模式図

問 2 太平洋熱帯域では数年に一度エルニーニョが発生する。太平洋熱帯域での平均的な状況とエルニーニョ時の大気と海洋に関する以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示せ。

- (1) 図 2—2 は平均的な状況における太平洋熱帯域の海面水温と地表面付近の風の分布である。この状況がどのように形成され維持されているか、大気の状態が海洋に与える影響と海洋の状態が大気に与える影響を考慮して 5 行程度で述べよ。その際、以下に示す大気と海洋に関する語を全て用いること。

大気に関する語群：貿易風，対流活動，海面気圧

海洋に関する語群：海面水温，水温躍層，湧昇

- (2) 平均的な状況における東部太平洋熱帯域での海水の運動を考えよう。図 2—2 の点線で示された長方形の領域において、海面を上面とし、風で直接駆動される表層の流れがおよぶ深さを下面とする海洋表層の箱を考える。この箱の各側面や下面を通して出入りする単位時間あたりの海水輸送量を流量(単位は m^3/s)と呼び、上面を出入りする流量はないとする。この箱の北側(北緯 5 度)と南側(南緯 5 度)側面での流量には、貿易風の東西成分 $U \text{ m/s}$ (東向きを正とする)により駆動される吹送流の海水輸送のみを考え、単位東西幅あたりの流量 $Q \text{ m}^2/\text{s}$ (北向きを正とする)は $Q = -1.3 \times 10^{-6} \times \frac{|U|U}{f}$ で与えられる。ここで、 f は地球の自転によるコリオリ力の効果を表す係数であり、北緯 5 度では $f = 0.13 \times 10^{-4}/\text{s}$ となる。長方形領域の東西幅は 6000 km とし、南北方向の距離は緯度 1 度あたり 100 km とせよ。

(a) 北緯 5 度における $|U|$ は、どこでも 10 m/s であったとする。北側側面での流量を m^3/s の単位で求め、その向きとともに答えよ。

(b) 南緯 5 度および北緯 5 度における U が等しいとすると、南側側面での流量は北側側面と同じ大きさになるが、向きは逆になる。この理由を 1 行で述べよ。

(c) 次に、長方形領域の下面における鉛直方向の流速 w m/s(上向きを正とする)を考えよう。この箱の海水の体積が時間とともに変わらず、東側側面での流入量と西側側面での流出量は常に等しいとする。また、下面での w m/s は一様であるとする。この時の w m/s を求めよ。

(3) エルニーニョ時には、赤道太平洋の広い範囲で大気と海洋の状況が大きく変わる。図2-2の長方形領域において、エルニーニョ時には北緯5度および南緯5度での $|U|$ が 5.0 m/s に弱まったとする。エルニーニョ時の w m/s は平均的な状況に比べてどれだけ増減しているか求めよ。

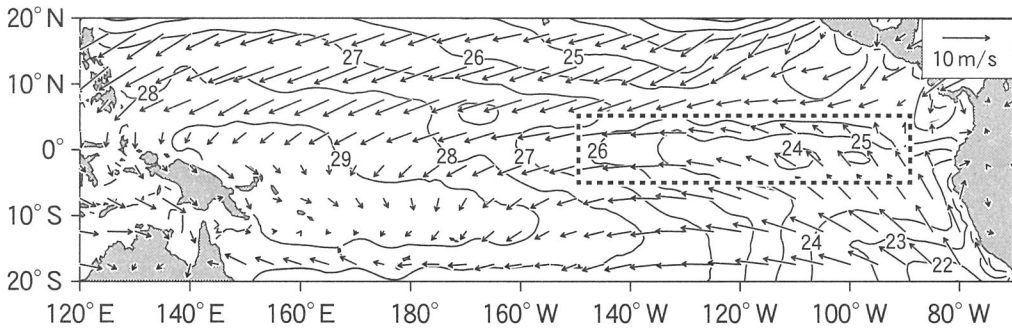


図2-2 平均的な状況における太平洋熱帯域での海面水温の等値線(単位は $^{\circ}\text{C}$)と地表面付近の風(矢印)の分布

第3問 地震と地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 図3-1のように、東西および南北方向に正確に2 km 間隔で地震計を地表に並べて、微小地震を対象にした観測をしていたところ、偶然近くで大きな地震(以後本震と呼ぶ)が発生した。本震のP波到着時刻は正確に読みとれた(図3-2)が、その直後には、使用していた地震計の計測範囲を超える地震動となり、S波到着時刻は読みとれなかった。一方、本震後2週間ほどの間に、その震源周辺で多数の小規模地震が発生した。図3-1の灰色部は、それらの震源が集中的に分布した領域(余震域)を示している。この観測に関する以下の問いに答えよ。なお、地表面は水平であるとし、また、地下の地震波速度構造は均質であるとする。本問で使用する3次元座標系(x, y, z)の x 軸及び y 軸は図3-1に定義するものとし、 z 軸は地表をゼロとし、鉛直下向きを正として定義する。

(1) 本震の震源(地震破壊が開始した点)の位置を(x_0, y_0, z_0)とする。 x 軸上の観測点($x, 0, 0$)と震源の間の距離を x_0, y_0, z_0 および x の式で表せ。

(2) 図3-2のデータから推定される本震の震央の座標値 x_0 および y_0 を以下の選択肢から記号で選べ。

選択肢(単位は km) : (a) 2.0 (b) 3.0 (c) 4.0 (d) 5.0 (e) 6.0 (f) 7.0

(g) 8.0 (h) 9.0 (i) 10.0 (j) 11.0 (k) 12.0 (l) 13.0

(3) 図3-1の観測点AとBにおける本震P波の到達時刻は、それぞれ、2時5分43.6749秒、2時5分43.5916秒であった。このこと及び(2)の答を用いて、震源の深さ z_0 が満たすべき方程式を導け。また、その解を有効数字2桁で求めよ。ただし、P波速度は6.000 km/sとする。計算の過程も示すこと。

(4) 余震域の3次元的な形態を調べると、走向 $N0^\circ E$ 、傾斜 $60^\circ E$ の平面で代表されることがわかった。また、本震P波初動の東西成分は y 軸上の6つの観測点すべてにおいて西向きであった。本震の断層運動は、(a)右横ずれ、

(b)左横ずれ, (c)逆断層, (d)正断層のいずれであるか, 5行程度の理由とともに答えよ。必要なら図を描いて説明してもよい。なお, 本震の震源断層は余震域に含まれると仮定する。

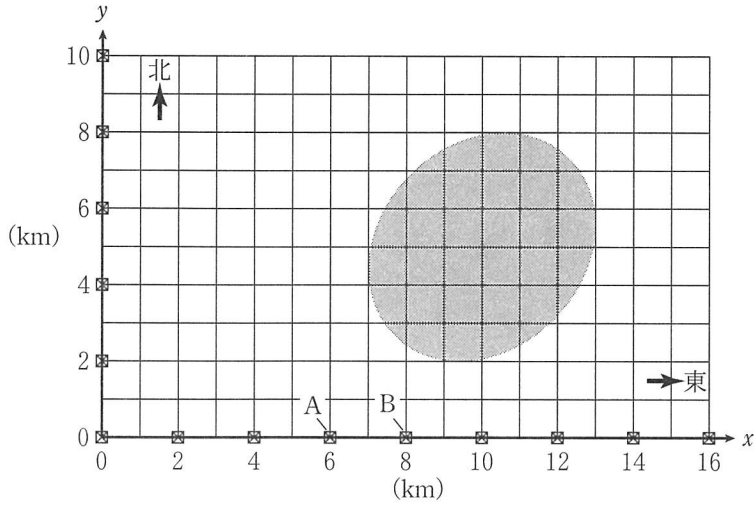


図3—1 観測点(□印)の配置。灰色の領域は, 余震域を xy 平面に投影したもの。

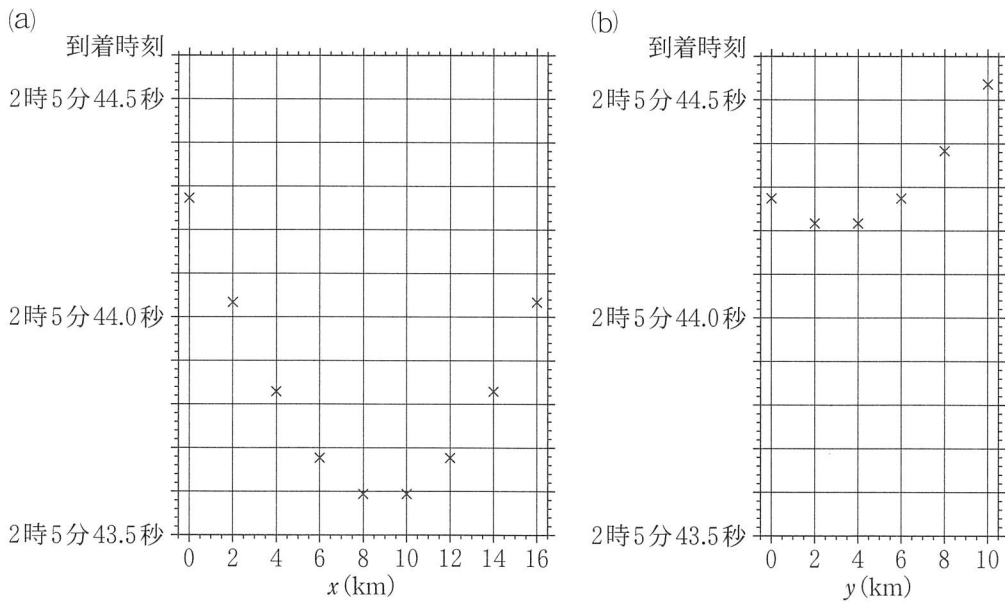


図3—2 本震P波の到着時刻。 x 軸上の観測点については(a)に, y 軸上の観測点については(b)に, 到着時刻を×印で示した。

問 2 鉱床について述べた次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

鉱床とは、火成作用、変成作用または堆積作用により、地殻中で特定の化学成分が通常より高い割合で濃集している部分である。地殻にマグマが貫入して形成される火成鉱床の一つに、ペグマタイト鉱床が知られている。ペグマタイト鉱床を構成する岩石は、石英、長石などの大きな結晶の集合体から構成される。一方、地殻中に貫入したマグマは熱水循環を^(I)活発化させ、銅・鉛・亜鉛に富んだ黒鉱鉱床を形成することもある。変成作用で形成されるスカルン^(II)鉱床は、石灰岩を含む地層にマグマが貫入して形成されるものである。堆積鉱床の一つである風化残留鉱床は、岩石が低温で水と反応して形成されるものであり、良質な粘土鉱物が産出する場合、陶磁器の製造に利用される。

(1) 東北地方から九州地方にかけての代表的な黒鉱鉱床、スカルン鉱床、ペグマタイト鉱床と広域変成帯の分布を、図 3—3 に示す。凡例中のアとイにあてはまる変成帯の型の名称を、以下の語群の 2 つの語を組み合わせ、それぞれ答えよ。また、図 3—3 に示すア型の変成帯とペグマタイト鉱床の分布が類似する理由を、3 行程度で答えよ。

語群：高圧、中圧、低圧、高温、中温、低温

(2) 下線部(I)の鉱物がマグマ中で結晶化する際、その鉱物の化学組成はマグマの分化が進むにつれて変化する。その変化を 2 行程度で答えよ。

(3) 図 3—3 に示した東北地方にある下線部(II)の鉱床は、約 1500 万年前に形成された。その形成に寄与した一連の地質学的事象を、3 行程度で答えよ。

(4) 図3-3に示す関東地方のスカルン鉱床の周辺に見られる石灰岩には、サンゴの化石が含まれることがある。石灰岩の周辺には放散虫の化石を含むチャートも見られる。浅く暖かい海に生息するサンゴを含む岩石と、深海底で堆積した放散虫を含む岩石が、ほぼ同じ場所で見られる理由を3行程度で答えよ。

(5) 風化作用で、母岩中の灰長石から元素が溶脱してポーキサイトができる際に、溶脱しやすい元素の順番を1行程度で答えよ。また、ポーキサイトを含む鉱床が、日本では大規模に形成されない理由を、1行程度で答えよ。

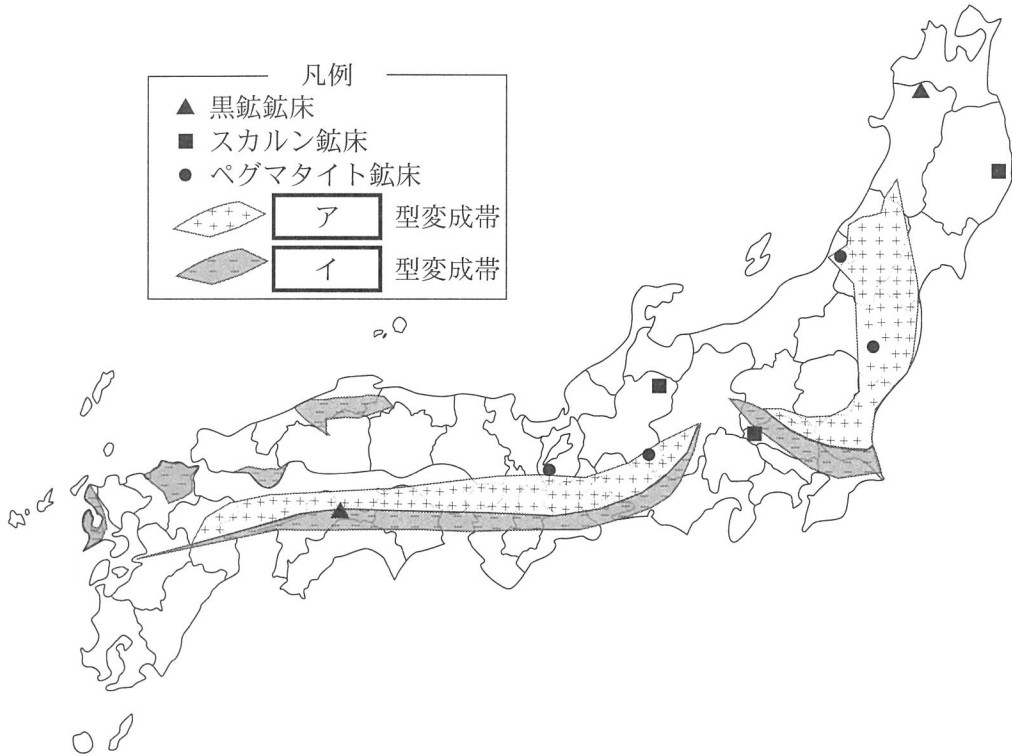


図3-3 東北地方から九州地方にかけての鉱床と広域変成帯の分布