

入学試験問題

理科



(配点 120 点)

平成 27 年 2 月 26 日 9 時 30 分—12 時

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
- 2 問題はすべて新課程と旧課程とに共通です。
- 3 この問題冊子は全部で 83 ページあります(本文は物理 4～15 ページ, 化学 16～35 ページ, 生物 36～59 ページ, 地学 60～83 ページ)。落丁, 乱丁または印刷不鮮明の箇所があったら, 手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答には, 必ず黒色鉛筆(または黒色シャープペンシル)を使用しなさい。
- 5 解答は, 1 科目につき 1 枚の解答用紙を使用しなさい。
- 6 物理, 化学, 生物, 地学のうちから, あらかじめ届け出た 2 科目について解答しなさい。
- 7 解答用紙の指定欄に, 受験番号(表面 2 箇所, 裏面 1 箇所), 科類, 氏名を記入しなさい。指定欄以外にこれらを記入してはいけません。
- 8 解答は, 必ず解答用紙の指定された箇所に記入しなさい。
- 9 解答用紙表面上方の指定された()内に, その用紙で解答する科目名を記入しなさい。
- 10 解答用紙表面の上部にある切り取り欄のうち, その用紙で解答する科目の分のみ 1 箇所をミシン目に沿って正しく切り取りなさい。
- 11 解答用紙の解答欄に, 関係のない文字, 記号, 符号などを記入してはいけません。また, 解答用紙の欄外の余白には, 何も書いてはいけません。
- 12 この問題冊子の余白は, 草稿用に使用してもよいが, どのページも切り離してはいけません。
- 13 解答用紙は, 持ち帰ってはいけません。
- 14 試験終了後, 問題冊子は持ち帰りなさい。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

物 理

第1問 質量 m の小球 A, B が長さ l のひもの両端につながれている。図1のように水平な天井に小球 A, B を l だけ離して固定した。小球 B を固定した点を O とし、重力加速度の大きさを g とする。小球 A, B の大きさ、ひもの質量、および空気抵抗は無視できるものとする。以下の設問に答えよ。

I 小球 B を固定したまま小球 A を静かに放した。

- (1) ひもと天井がなす角度を θ とする。小球 A の速さを θ を用いて表せ。ただし、 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ とする。
- (2) 小球 A が最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときのひもの張力の大きさを求めよ。
- (3) 小球 A が最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときの小球 A の加速度の大きさと向きを求めよ。

II 小球 A がはじめて最下点 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) に達したときに小球 B を静かに放した。

この時刻を $t = 0$ とする。

- (1) 2個の小球の重心を G とする。小球 B を放したあとの重心 G の加速度の大きさと向きを求めよ。
- (2) 時刻 $t = 0$ における、重心 G に対する小球 A, B の相対速度の大きさと向きをそれぞれ求めよ。
- (3) 時刻 $t = 0$ における、ひもの張力の大きさを求めよ。
- (4) 時刻 $t = 0$ における、小球 A, B の加速度の大きさと向きをそれぞれ求めよ。
- (5) 小球 B を放してから、はじめて小球 A と小球 B の高さが等しくなる時刻を求めよ。
- (6) 小球 B を放したあとの時刻 t における小球 A の水平位置を求めよ。ただし、点 O を原点とし、右向きを正とする。

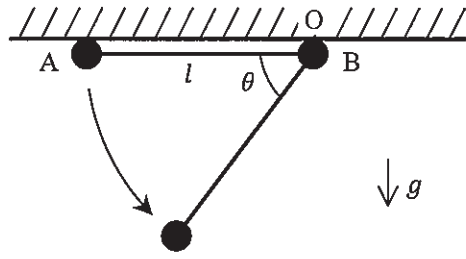


图 1

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 図2のように、2本の十分に長い導体のレールP、Qが、水平面と θ の角度をなして互いに平行に設置されている。レールの太さと抵抗は無視できるとする。レール間の距離は L である。これらのレール上には、長さ L 、質量 m 、抵抗 R の十分に細い N 本の棒 $1, 2, 3, \dots, N$ が下から順にレールに対して垂直に置かれている。それらはレールに対して垂直のまま、レールに沿って摩擦なく滑る。磁束密度 $B(B > 0)$ の一様な磁場が鉛直上向きにかけられている。はじめ、すべての棒は固定されている。以下では、空気抵抗、および棒とレールを流れる電流により発生する磁場の影響は無視する。重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。

I 棒1の固定をはずしたところ、棒1はレールに沿って下に動き始め、しばらくして一定の速さ u になった。

(1) レールPからQに向かって棒1を流れる電流 I を u を用いて表せ。

(2) u を求めよ。

II 次に、棒1が他の棒から十分離れた状態で、棒1をレールに沿って上方向に一定の速さ w で動かし続けた。このとき、棒2から棒 N の固定をすべてはずしたところ、それらは動かなかった。 w を求めよ。

III すべての棒を固定した状態から始めて、棒 N 以外の固定を下から順番にはずしていった。しばらくして、棒 N 以外の速さはすべて u' となった。 u' を求めよ。

IV 設問IIIの状況で、さらに棒 N の固定もはずした。 n 番目の棒($1 \leq n \leq N$)のレールに沿った速度を v_n 、加速度を a_n とする。ただし、速度と加速度はレールに沿って滑り降りる向きを正とする。

(1) $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_N$ を求めよ。

(2) 1から $N-1$ までの整数 n に対して、 $a_{n+1} - a_n = -k(v_{n+1} - v_n)$ が成り立つ。定数 k を求めよ。

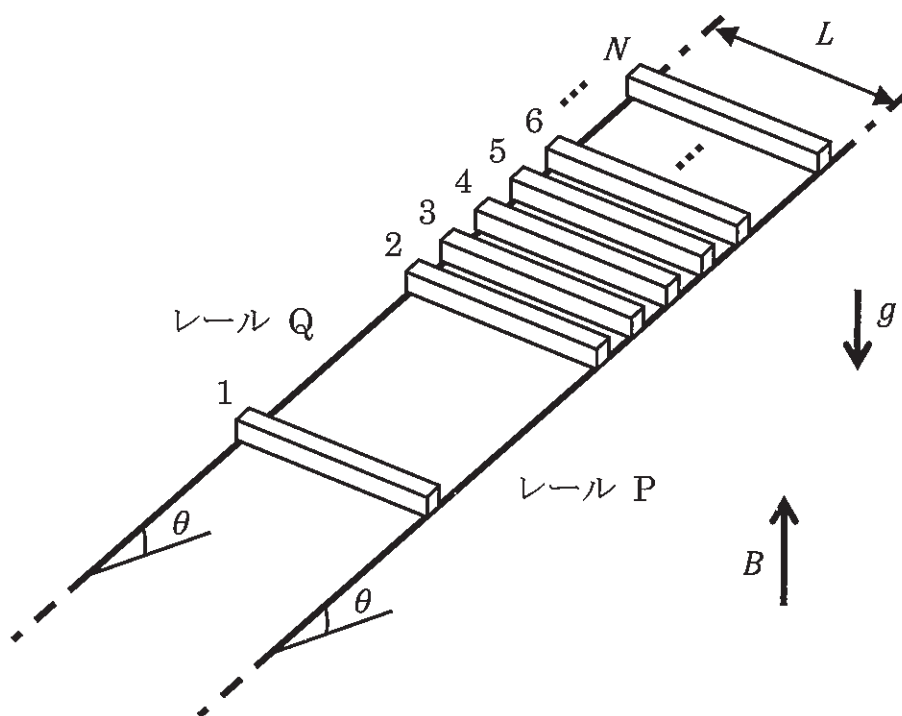
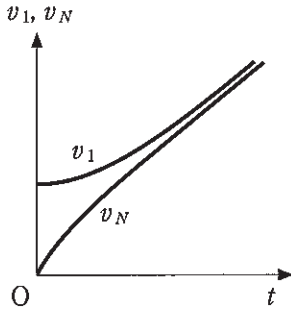


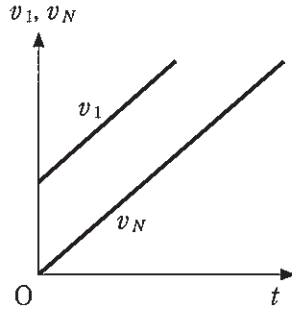
図 2

- (3) 棒 N の固定をはずしてからの経過時間 t に対して、 v_1 と v_N はどのように変化するか。以下の説明とグラフの中から最も適当なものを選べ。なお、一般に加速度 a および速度 v をもつ物体の運動が $a = -Kv$ (K は正の定数) を満たす場合、 v は時間の経過とともに 0 に近づく。

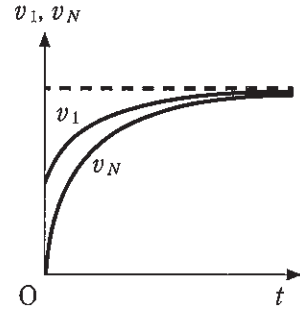
ア. v_1 と v_N は最終的にはともに増加し、その差は小さくなる。



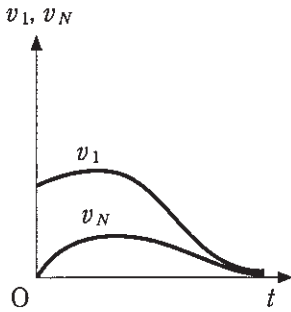
イ. v_1 と v_N は一定の差を保ったまま、ともに増加する。



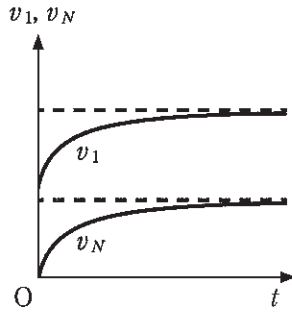
ウ. v_1 と v_N はともに増加し、共通の定数に近づく。



エ. v_1 と v_N は最終的にはともに減少し、0に近づく。



オ. v_1 と v_N はともに増加し、異なる定数に近づく。



(4) 棒1と棒 N の間の距離は時間が経つにつれてどのように変化するか。以下の中から最も適当なものを選べ。

ア. 大きくなる

イ. 一定値に近づく

ウ. 小さくなる

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 図3—1のように下端の開口部から水が自由に出入りできる筒状容器の上部に質量の無視できる単原子分子の理想気体1モル、下部には水が満たされている。容器の質量は m 、底面積は S であり、その厚さは無視できる。容器は傾かずに鉛直方向にのみ変位する。容器外の水面における気圧を P とする。水の密度 ρ は一様であるとし、気体定数を R 、重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。ただし、物体の受ける浮力の大きさは、排除した水の体積 V を用いて ρVg と表され、深さ h での水圧は $P + \rho gh$ で与えられる。

I 図3—1のように容器の上部が水面から浮き出ている場合を考える。

- (1) 容器が静止しているとき、容器内の水位と外部の水位の差 d (図3—1) を求めよ。
- (2) 設問 I (1) の状態から容器をひき上げて水位が容器の内と外で同じになるようにした。このとき気体の体積はもとの体積の r 倍であった。 r を ρ 、 d 、 g 、 P を用いて表せ。ただし、気体の温度変化はないものとする。

II 図3—1の状態において気体の温度は T であった。これを加熱したところ、容器は水面に浮いたままゆっくりと上昇し、気体の体積は $\frac{6}{5}$ 倍になった。

- (1) この過程において気体がした仕事 W を R 、 T を用いて表せ。
- (2) この過程において気体が吸収した熱量 Q を R 、 T を用いて表せ。

III 図3—2のように容器全体が水中にある場合を考える。

- (1) 容器に働く合力が0となるつり合いの位置の深さ h (図3—2) を求めよ。ただし、気体の温度を T とし、 $\frac{\rho RT}{mP}$ は1より大きいとする。

(2) 設問Ⅲ(1)のつり合いの位置に容器を固定したまま水面を加圧して P の値を大きくし、その後容器の固定をはずした。加圧前と比べてつり合いの位置はどうなるか。また固定をはずしたあとの容器の動きはどうなるか。以下から最も適当なものを選び。

- ア. つり合いの位置は深くなる。容器は上昇する。
- イ. つり合いの位置は深くなる。容器は下降する。
- ウ. つり合いの位置は浅くなる。容器は上昇する。
- エ. つり合いの位置は浅くなる。容器は下降する。
- オ. つり合いの位置は変わらない。容器は動かない。

Ⅳ 図3—3のように筒状容器全体が水中にあり、容器内の気体と水が水平な仕切りで隔てられている場合を考える。気体に熱の出入りはない。仕切りは上下に滑らかに動くことができ、その体積と質量は無視できる。以下の過程では気体の圧力と体積は「(圧力)×(体積) $^{\frac{5}{3}}$ = 一定」という関係式を満たす。

(1) はじめに、気体の体積は V_1 、温度は T_1 であった。容器に外力を加えてゆっくりと沈め、気体の体積を V_2 にした。この過程における気体の内部エネルギーの変化 ΔU を R 、 T_1 、 V_1 、 V_2 を用いて表せ。

(2) 設問Ⅳ(1)の過程において容器に加えた外力のする仕事を W' とすると、一般に W' と ΔU は一致しない。差 $W' - \Delta U$ に含まれる仕事やエネルギーとしてはどのようなものがあるか挙げよ。(60字以内)

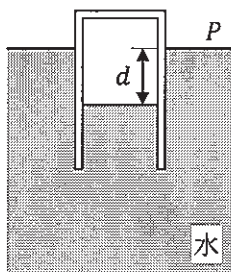


図3—1

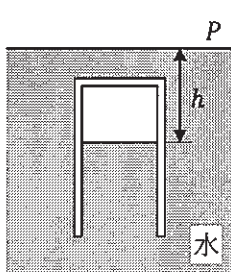


図3—2

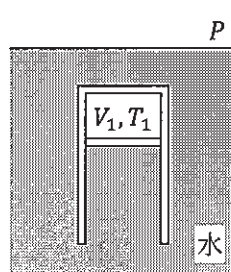


図3—3

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

化 学

第1問

次の I, II の各問に答えよ。

I 次の文章を読み、問ア～オに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	C	O
原子量	1.0	12.0	16.0

気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

二酸化炭素(CO_2)は人間の生活において身近な気体であり、炭酸飲料や入浴剤など多くの場面で登場する。これらには、 CO_2 気体の水に対する高い溶解度が活かされている。また、ドライアイス(CO_2 固体)も冷却剤として広く利用されている。これは、ドライアイスが低温であるだけでなく、液体になることなく空气中に拡散する(昇華する)という便利な性質によるところが大きい。

CO_2 など大気圧下で昇華する固体の多くは分子性結晶であり、その分子間力のうちの主な引力は 力である。 CO_2 分子の C と O の間は 重結合で結ばれており、OCO 結合角は 度である。ドライアイスの蒸気圧が一酸化炭素(CO)固体の蒸気圧よりはるかに低い主な理由は、CO の極性が小さいことに加え、 力は が大きいほど大きくなるからである。

CO_2 の性質を調べるため、図1—1に示す実験装置を考えよう。温度 -196°C 、容積 0.50 L の容器 A には質量 2.7 g のドライアイスのみが、温度 0°C 、容積 0.50 L の容器 B には 0.25 L の水のみが入っている。2つの容器は細い管でつながれており、その間にはバルブがある。最初の状態では、バルブは閉じている。バルブ、圧力計および管内部の体積は無視できるものとする。

図1—2は CO_2 の状態図である。なお、以下の問では、気体は全て理想気体とし、気体の圧力と液体への溶解度の関係については、ヘンリーの法則が成り立つものとする。

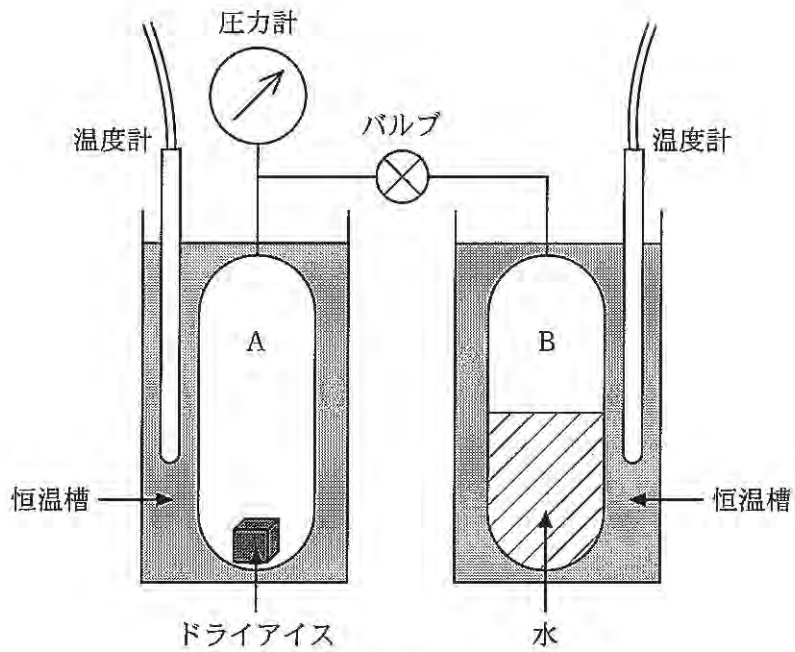


図1—1 実験装置

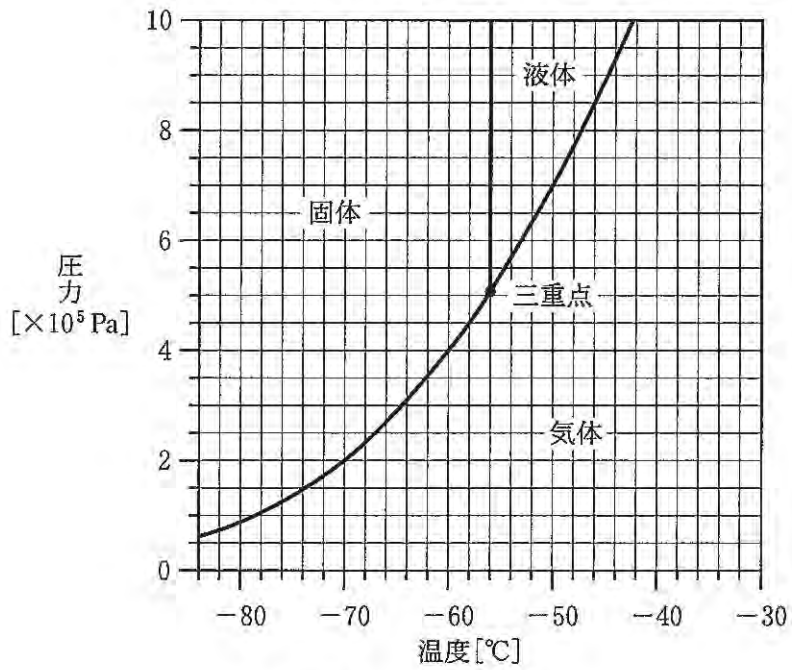


図1—2 CO₂の状態図

[問]

- ア 空欄 ~ に当てはまる言葉や数字を答えよ。
- イ 図1—2において、圧力 1.0×10^5 Pa でドライアイスが昇華する温度は何℃か、また、 CO_2 の液体が生成する最低の圧力は何 Pa か、それぞれ有効数字2桁で答えよ。
- ウ 容器Aを問イの昇華温度に上げたとき、容器A内のドライアイスの質量は何gか、有効数字2桁で答えよ。ただし、ドライアイスの体積は無視してよい。
- エ 容器Aの温度を問ウの温度からさらに上げていくと、ある温度でドライアイスがすべて昇華して気体になった。そのときの温度は何℃か、有効数字2桁で答えよ。さらに温度を上げ、容器が0℃になったとき、容器内の圧力は何 Pa か、有効数字2桁で答えよ。
- オ 問エの操作が終了した状態でバルブを開けると、 CO_2 気体は容器Bに流れ込み、水に溶け込んでいく。十分に時間が経ち平衡状態に達したとき、水に溶け込んだ CO_2 の物質量は何 mol か、また容器内の圧力は何 Pa か、それぞれ有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。ただし、0℃における 1.0×10^5 Pa の CO_2 気体の水に対する溶解度は $0.080 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ とする。また、0℃における水の蒸気圧は無視してよい。

計 算 用 紙

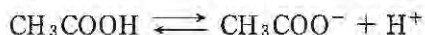
(切り離さないで用いよ。)

II 次の文章を読み、問カ～コに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

$$\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 2.7 = 0.43, \log_{10} 3 = 0.48$$

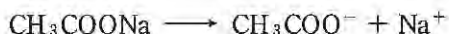
弱酸とその塩、または弱塩基とその塩を含む溶液は、少量の強酸や強塩基を加えても pH がごくわずかしか変化しない。このような作用を緩衝作用と言ひ、私たちの血液や細胞内の pH を一定に保つという重要な役割を果たしている。ここでは、酢酸水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えたときの pH を求めることにより、緩衝作用を検証しよう。ただし、全ての実験は 25℃で行ひ、溶液の混合による体積変化は無視できるものとする。

酢酸は水溶液中でその一部だけが電離しており、電離していない分子と電離によって生じたイオンの間に、以下に示す電離平衡が成り立っている。



酢酸の電離定数を K_a とする。また、酢酸水溶液のモル濃度を c 、電離度を α とすると、 c と α を用いて、 $K_a = \boxed{e}$ と表される。酢酸の電離度は 1 に比べて十分小さいので、 $1 - \alpha \approx 1$ と近似すると、 c と K_a を用いて、 H^+ のモル濃度は $[\text{H}^+] = \boxed{f}$ と表される。

まず、溶液 A ($0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の酢酸水溶液) をビーカーにとり、pH を測定した。^①次に、1000 mL の溶液 A に、500 mL の溶液 B ($0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の水酸化ナトリウム水溶液) を加えた。この混合溶液を C とし、pH を測定した。^②このとき、酢酸ナトリウムは、以下のように、ほぼ完全に電離している。



次に、1500 mL の溶液 C に、10 mL の溶液 D ($1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の水酸化ナトリウム水溶液) を加え、pH を測定した。^③その結果、pH に大きな変動はなく、緩衝作用が確認された。

一方、1000 mL の溶液 A に、1000 mL の溶液 B を加えて中和反応を行った。
④
このとき、溶液は中性にはならず、塩基性を示した。これは、以下に示すように、酢酸イオンの一部と水が反応して OH^- が生じるためである。



[問]

- カ 空欄 , に入る適切な式を記せ。
- キ 下線部①に関して、溶液 A の pH を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。ただし、25 °C における酢酸の電離定数を $K_a = 2.7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ とする。
- ク 下線部②に関して、溶液 C の pH を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- ケ 下線部③に関して、このときの pH を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- コ 下線部④に関して、このときの pH を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。ただし、水と反応して生成する酢酸の量は、酢酸イオンの量と比べて、きわめて少ないものとする。また、水のイオン積を $K_w = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ とする。

第2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。

元 素	H	C	O	Cu	Br	I
原子量	1.0	12.0	16.0	63.5	79.9	127

Ⅰ 次の文章を読み、問ア～カに答えよ。

2価の銅イオン(Cu^{2+})を含む水溶液にヨウ化物イオンを加えると Cu^+ に還元され、固体が沈殿する。たとえば、硫酸銅(Ⅱ)水溶液に十分な量のヨウ化カリウム水溶液を加えると、白色のヨウ化銅(Ⅰ)の沈殿とヨウ素(I_2)が生じる。^{注1)}生じたヨウ素の量を、チオ硫酸ナトリウム($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)などを用いて滴定すれば、もとの硫酸銅水溶液の濃度を決定できる。

一方、固体中の銅は +1 や +2 など様々な価数を取りうる。水溶液中と同様の反応を、銅を含む固体の化合物に適用すると、固体中に含まれる銅の量を決定できる。

これらを踏まえて、以下の実験1～5を行った。

実験1：固体の酸化銅(Ⅱ)に十分な量のヨウ化カリウム水溶液を加え、さらに塩酸を加えると、酸化銅(Ⅱ)は白色の沈殿へと変化した。ここにデンプン溶液を加えたところ、溶液は紫色になった。

実験2：固体の酸化銅(Ⅰ)に十分な量のヨウ化カリウム水溶液を加え、さらに塩酸を加えると、酸化銅(Ⅰ)は白色の沈殿へと変化した。ここにデンプン溶液を加えたところ、溶液の色に変化は見られなかった。

実験3：銅の粉末を空気中で徐々に加熱しながら質量変化を測定したところ、図2-1のようになった。ある温度 T_1 を越えたところで質量は増加しはじめ、その後一定となった。さらに温度を上げると、温度 T_2 で質量は減少しはじめた。^{注2)}その後加熱をやめて急冷し、固体Aを得た。Aの質量は0.30 gであった。

実験4：ヨウ素0.115 gに十分な量のヨウ化カリウム水溶液を加え、この溶液中のヨウ素を $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、9.0 mLで終点に達した。

実験 5 : A に十分な量のヨウ化カリウム水溶液を加え、さらに塩酸を加えると、
 A は白色の沈殿へと変化し、溶液の色は褐色となった^③。この溶液中のヨ
 ウ素を $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、
 24.0 mL で終点に達した。

注 1) 生じたヨウ素は、ヨウ化カリウム水溶液に三ヨウ化物イオンとなって溶け
 る。

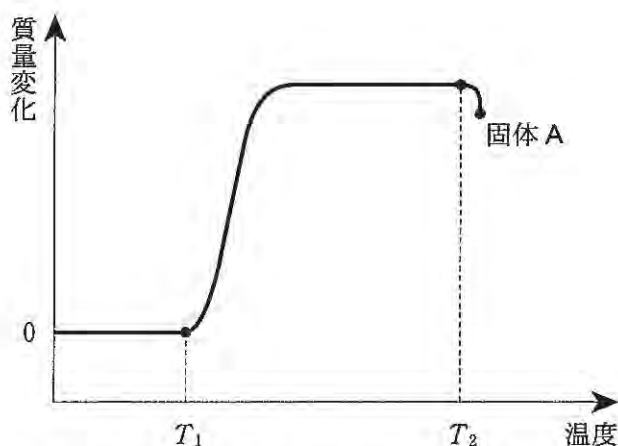


図 2—1 銅の粉末を加熱した時の質量変化

〔問〕

- ア 下線部①の化学反応式を記せ。
- イ 下線部②でどのような物質が生じているか。化学式を記せ。
- ウ 固体 A 中に含まれる物質は何か。また、そのように考えた理由を 30 字程度で述べよ。
- エ 下線部③で、塩酸の代わりに硝酸を用いるのは適切でない。この理由を 30 字程度で説明せよ。
- オ 下線部④で、溶液中に含まれるヨウ素 (I_2) の物質量は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記すこと。
- カ 固体 A 中に含まれる銅の含有率 (質量パーセント) を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記すこと。

II 次の文章を読み、問キ～シに答えよ。

ハロゲンの単体は酸化力を有するため種々の金属と反応し、対応するハロゲン化物が生成する。また、ハロゲンの単体は H_2 とも反応し、ハロゲン化水素(HF, HCl, HBr, HI)が生成する。ハロゲン化水素の沸点の序列は、 $HF(19.5^\circ C) > HI(-35.1^\circ C) > HBr(-67.1^\circ C) > HCl(-85.1^\circ C)$ である。

フッ素は、天然には蛍石や氷晶石など、フッ化物イオンとして存在する。 F_2 は水と激しく反応する。

Cl_2 は、工業的には塩化ナトリウムの電気分解などにより製造される。 Cl_2 が初めて作られたのは、酸化マンガン(IV)と濃塩酸の反応による(図2-2)。

Br_2 は、工業的には酸性溶液中で Cl_2 による臭化物イオンの酸化によって製造される。 Br_2 は種々の有機化合物の臭素化剤として用いられるが、 Br_2 の取り扱いにくさが問題として挙げられる。そのため、適切な条件下で O_2 が臭化物イオンを Br_2 に酸化できることを利用して、反応中に Br_2 を発生させる臭素化法が開発されている。

I_2 も Cl_2 によるヨウ化物イオンの酸化によって製造される。 I_2 は、有機化合物中の特定の官能基の検出、様々な滴定、水分の定量などに用いられる。我が国は、ヨウ素の生産量、輸出量ともに世界第二位である。

[問]

- キ 下線部⑤に関して、 O_2 やSなどの単体も酸化力を有する。 O_2 , S, F_2 , I_2 を酸化力が強い順に並べよ。
- ク 下線部⑥に関して、HFの沸点が他のハロゲン化水素の沸点に比べて高い理由を20字程度で説明せよ。
- ケ 下線部⑦の化学反応式を記せ。
- コ 下線部⑧の化学反応式を記せ。また、図2-2のような装置で純粋な Cl_2 を得たいときに、どのような精製装置、捕集装置(捕集方法)を用いるのが適切かを簡潔に説明せよ。精製装置に関しては、何をどのように除去するかを明確に記すこと。

- サ 下線部⑨に関して、臭素化反応は有機化合物の不飽和度の決定にも利用される。二重結合を含む炭素数 20 の直鎖の炭化水素が 10.0 g ある。この炭化水素に Br_2 を反応させると、質量が 33.3 g になった。すべての二重結合が Br_2 と反応したとして、この炭化水素 1 分子に含まれる二重結合の数を整数で答えよ。答えに至る過程も記すこと。
- シ 下線部⑩に関して、式(1)の反応が速やかに、かつ完全に進行することが知られている。^{注2)}



この反応を利用して、購入したエタノール中に含まれる水分の定量を以下のように行った。

ビーカーに、十分な量のヨウ化物イオン、 SO_2 を含むメタノール 90.0 mL および購入したエタノール 10.0 mL を加えた。この溶液に陽極、陰極を浸し、100 mA の電流を 120 秒間流したところで、溶液に I_2 特有の色が観測された。一方、購入したエタノールを加えずに実験を行ったところ、電流を流し始めた直後に I_2 の色が観測された。購入したエタノール中の含水率(質量パーセント)を有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記すこと。ただし、陽極では、ヨウ化物イオンの酸化反応以外は起こらないものとする。陰極での反応は考えなくてよい。購入したエタノールの密度は $0.789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ とする。ファラデー定数は $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$ とする。

- 注 2) 反応を効率よく進行させるためには塩基が必要であるが、酸化・還元反応に直接関わらないので、塩基を式(1)から除いて簡略化してある。

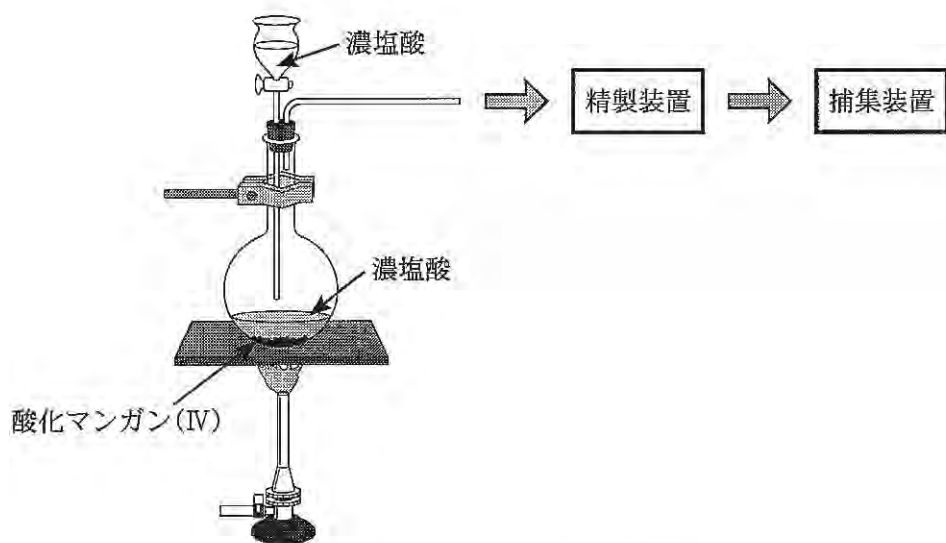


図 2—2 実験室での Cl_2 の製造装置

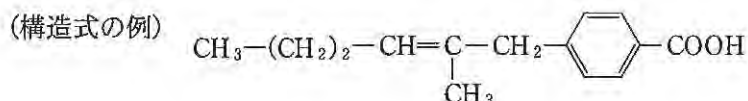
計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問

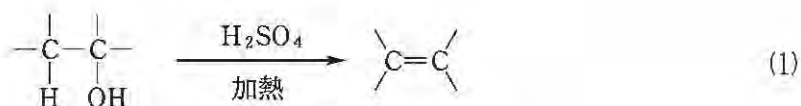
次のⅠ、Ⅱの各問に答えよ。必要があれば以下の値を用い、構造式は例にならって示せ。

元素	H	C	N	O	Na	S	K	Mn
原子量	1.0	12.0	14.0	16.0	23.0	32.1	39.1	54.9

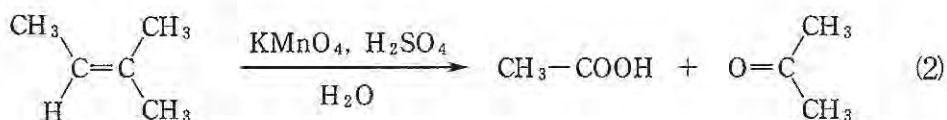


Ⅰ 次の反応1、反応2に関する記述を読み、問ア～カに答えよ。なお、本問では反応中に炭素骨格が変化したり、二重結合の位置が移動する反応は起こらないものとする。

〔反応1〕 濃硫酸を高温に加熱して、エタノールを加えると、分子内脱水反応によりエチレンが発生する。この例のように隣接する二つの炭素原子から水分子が脱離する反応は、温度条件などに違いはあるものの、多くのアルコールで行うことができ、二重結合を持つ化合物の合成法の一つである(式(1))。

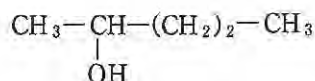


〔反応2〕 一般に、炭素原子間の二重結合は硫酸酸性の過マンガン酸カリウムにより切断され、カルボニル化合物を与える。さらに、生成した有機化合物中にアルデヒド基が含まれる場合は、すべてカルボキシ基に酸化される。反応例を以下に示す(式(2))。



[問]

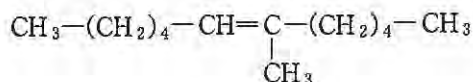
- ア 次に示すアルコールを用いて、反応1によりアルケンの合成を行う場合、生成する可能性のあるすべてのアルケンの構造式を示せ。立体異性体については考慮する必要はない。



- イ 問アの反応により得られたアルケンの混合物をそのまま原料として用いて、さらに反応2により二重結合の切断を行う場合、生成する可能性のあるすべての有機化合物の構造式を示せ。炭酸および二酸化炭素は有機化合物とはみなさない。
- ウ 硫酸酸性の過マンガン酸塩は基本的に式(3)に従った酸化反応を起こす。しかしながら、実際に酸化反応の実験を行うと、式(4)に示すように4価のマンガンの段階で反応が止まってしまう場合がある。このため、式(3)で計算した理論量の過マンガン酸塩を反応に用いた場合は反応が完結しないこともある。



下記のアルケン(分子式 $\text{C}_{13}\text{H}_{26}$) 27.3 g を用いて、反応2の操作を行う際に、全体の25.0%の過マンガン酸カリウムが式(4)の反応を起こし、残りは式(3)に従って反応するものと仮定する。この場合、反応に必要な最小限の過マンガン酸カリウムの量は何gか。有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も示すこと。



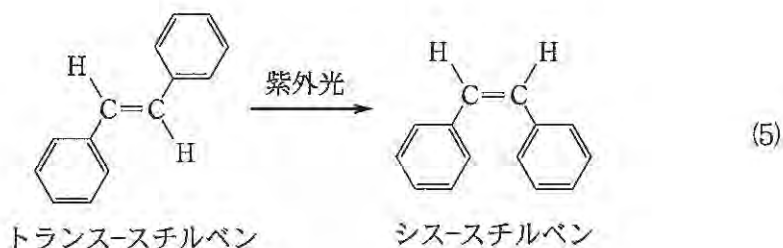
- エ 問ウの反応を行うと、カルボン酸とケトンが生成する。これらを分液操作により分離し、それぞれ蒸留操作により精製を行いたい。反応混合物から2種類の生成物を、それぞれ蒸留前の粗生成物として得るまでの分離操作について、簡潔に説明せよ。
- オ $C_7H_{16}O$ の分子式を持つ第三級アルコールAを用いて、反応1によるアルケンの合成を行い、さらに得られたすべての有機化合物を用いて、反応2の操作を行った。生成したすべての有機化合物の調査を行ったところ、ケトンのみが得られていることがわかった。化合物Aの構造として考え得る構造式をすべて示せ。立体異性体については考慮する必要はない。
- カ 二重結合を一つ持つ炭化水素Bを用いて、反応2の操作を行い、生成したすべての有機化合物の調査を行ったところ、1種類のケトンのみが得られていることがわかった。その生成物中のカルボニル基をアルコールに還元した後、反応1の操作により、二重結合を導入した。さらに得られたすべての有機化合物を用いて、ふたたび反応2の操作により、二重結合を切断したところ、1種類の有機化合物のみが生成し、これはナイロン66(6,6-ナイロン)の合成原料のジカルボン酸と同じ化合物であった。化合物Bの構造として考え得る構造式をすべて示せ。

計 算 用 紙

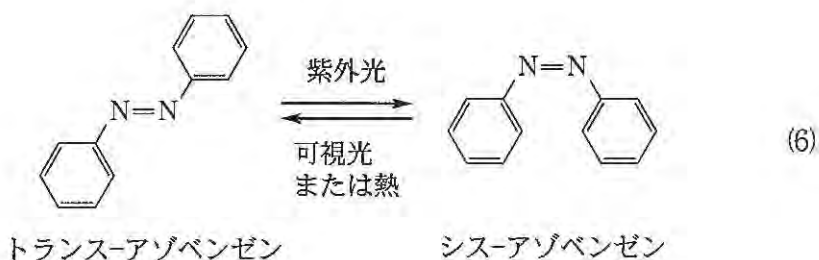
(切り離さないで用いよ。)

II 次の文章を読み、問キ～シに答えよ。

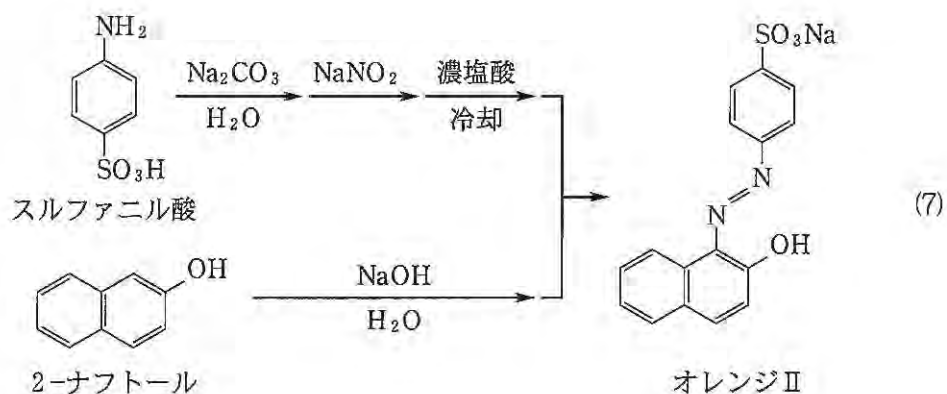
単結合はその結合を軸として自由に回転できるが、通常、二重結合は回転できない。しかし、光をあてると二重結合が回転する場合がある。たとえば、式(5)のようにトランス-スチルベンに紫外光をあてると、シス-スチルベンへ変化する。



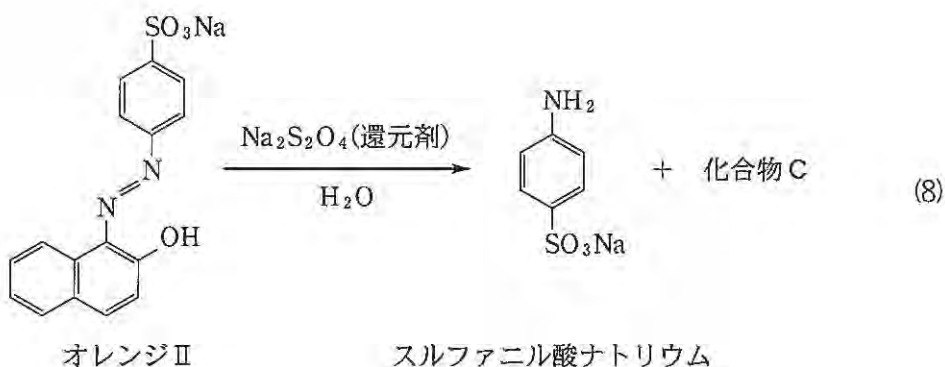
トランス-スチルベンの $-\text{CH}=\text{CH}-$ を $-\text{N}=\text{N}-$ で置き換えた化合物であるトランス-アゾベンゼンに紫外光をあてると、式(6)のようにシス-アゾベンゼン^①へ変化する。アゾベンゼンのシス形に可視光をあてるか、加熱すると、トランス形に戻る。光をあててトランス形からシス形に変化させると、分子全体の形だけでなく、^②極性も変化する。分子全体の極性は、^③ベンゼン環に置換基を導入することでも変化する。



アゾ化合物は DVD-R の記録層用途の色素や、繊維を染色する染料として使用される。染料の一種であるオレンジ II は、式(7)のようにスルファニル酸と 2-ナフトールを出発物質として合成される。



式(8)のようにオレンジⅡを還元すると、スルファニル酸ナトリウムと化合物Cが生成する。化合物Cに大量の無水酢酸を反応させると、分子式 $\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{NO}_3$ の化合物Dが得られる。



〔問〕

- キ 下線部②に関して、アゾベンゼンのトランス形とシス形のうち、より極性が高い方の異性体がどちらであることを 30 字程度の理由とともに記せ。
- ク 下線部③に関して、トランス-アゾベンゼンの任意の二つの水素原子を塩素原子に置き換えた化合物を考える。その化合物で下線部①の反応が進んだ場合、反応の前後で二つの塩素原子の間の距離が変化しないものは何通りあるかを記せ。ただし、 $-\text{N}=\text{N}-$ 部分以外の構造変化は起こらないものとする。

ケ 式(7)にしたがって、スルファニル酸(分子量 173.1)3.98 g と 2-ナフトール(分子量 144.0)2.88 g を出発物質として、オレンジⅡ(分子量 350.1)を合成したところ、4.83 g が得られた。オレンジⅡの収率を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、オレンジⅡの収率は次の式で求められるものとし、理論上得られるオレンジⅡの物質質量とは、いずれかの出発物質が完全に消失するまで反応が進行する場合に、生成し得るオレンジⅡの最大の物質質量であるものとする。なお、無機試薬は反応に十分な量を使用したものとする。

$$\text{収率(\%)} = \frac{\text{実際に得られたオレンジⅡの物質質量}}{\text{理論上得られるオレンジⅡの物質質量}} \times 100$$

コ 式(7)の反応の実験操作で、反応溶液を濃塩酸と混ぜるときにあらかじめ水を加えて冷却する。ここで、温度を上げると、収率を低下させる反応が起こる可能性がある。構造式を用いて、その反応を化学反応式で示せ。

サ 化合物 C と化合物 D の構造式をそれぞれ示せ。

シ 式(7)の反応の実験を行い、報告書(レポート)を作成した。報告書を作成する上で明らかに不適切なものを次の(1)～(5)から二つ選べ。

- (1) 実験手順書で指示された薬品の質量と実際に使用した質量が違ったので、指示された質量で計算した収率を記載した。
- (2) 反応溶液を濃塩酸と混ぜるときに実験手順書には 1 回で加えるように書かれていたが、実際には 2 回に分けて加えたので、実際に行った実験操作を記載した。
- (3) 固体の析出や気体の発生などの反応の様子について、実験ノートをもとに観察結果を記載した。
- (4) オレンジⅡの収率を計算したところ 110 % になったが、収率は最大で 100 % であるべきなので、収率は 100 % であったと記載した。
- (5) 観察された色の変化や気体の発生について実験前に立てた仮説と比較し、考察を記載した。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

生 物

第 1 問

次の文 1 と文 2 を読み、ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文 1〕

体内の恒常性を維持することは、生物の生存にとって必要不可欠である。たとえば、水から離れた環境で生息する哺乳類にとっては、水や塩類をいかにして体内に保持するかが重要な課題である。腎臓は不要物質を体内から排出するだけでなく、体内の水・塩環境を整えることにも重要なはたらきをもつ。

ヒトの腎臓では、まず腎小体において血しょう成分がろ過される。続いて、原尿が細尿管(腎細管)を通過する間に有用物質が され、不要物質が濃縮され排出される。集合管を構成する細胞には脳下垂体後葉ホルモンであるバソプレシンの受容体が存在し、そこにバソプレシンが作用すると集合管の水に対する が上昇し、 を促進する。ヒトの糸球体で 1 日にろ過される血しょう量(糸球体ろ過量という)は 150 L 以上にも及ぶが、1 日に排泄^{せつ}される尿量は 1 ~ 2 L 程度である。

腎臓で尿をつくる基本的な仕組みは魚類から哺乳類までで共通しているが、ネフロン(腎単位)の構造と機能は動物が生息する環境に応じて多様に変化している。たとえば一般的な硬骨魚類の場合、タイなど海水魚のネフロンと、キンギョなど淡水魚のネフロンには明確な違いが観察される。その違いのひとつが糸球体であり、海水魚の糸球体は一般に淡水魚の糸球体よりも小さい。これは、海水魚が糸球体ろ過を抑制しているためだと考えられる。海水魚のなかにはアンコウ^(ア)などのように糸球体を消失した無糸球体腎をもつものもいる。

海水魚がつくる尿と淡水魚がつくる尿の組成にも大きな違いがある。表1—1は、ある種の海水魚と淡水魚、ヒトについて、1日あたりの糸球体ろ過量、1日あたりの尿量と糸球体ろ過量の比、1日あたりのナトリウムイオン(Na^+)の排出量とろ過量の比、ならびに尿の浸透圧と血しょうの浸透圧の比を示したものである。

表1—1 ヒト、淡水魚、海水魚の尿に関するデータ

	ヒト	淡水魚	海水魚
1日あたりの糸球体ろ過量(L/kg) (注)	2.8	0.24	0.013
尿量/糸球体ろ過量	0.0094	0.69	0.66
Na^+ 排出量/ Na^+ ろ過量	0.010	0.024	0.23
尿の浸透圧/血しょうの浸透圧	2.9	0.14	1.0

(注) 体重1kgあたりの量を示す。

[文2]

哺乳類の生殖は多くのホルモンによって調節されている。そのひとつがオキシトシンとよばれるホルモンで、出産から保育にいたる様々な生殖活動に関わる。子宮平滑筋の収縮はオキシトシン作用のひとつであり、近年では性行動や社会的行動へのオキシトシンの影響も注目されている。以下の実験は、マウスのオキシトシン遺伝子を破壊(ノックアウト)して作用できなくし、その影響を見たものである。なお、オキシトシン遺伝子はマウスの常染色体に存在し、正常なオキシトシン遺伝子を OT 、破壊されたオキシトシン遺伝子を ot と示す。母マウスと父マウスからそれぞれオキシトシン遺伝子をひとつずつ受け継ぐため、両親から正常なオキシトシン遺伝子を受け継いだ仔マウスの遺伝子型は OT/OT となる。また、実験に用いたマウスでは、オキシトシン以外の遺伝子に変異は生じていなかった。

実験1 ヘテロ接合体 (OT/ot) とホモ接合体 (ot/ot) を用いて4種類の交配実験を行った。妊娠が確認された後、雄を取り除いて雌だけで飼育した。表1-2は、各交配について10ペアから生まれた仔マウスの遺伝子型と、生まれてから24時間後での仔マウスの生存率を調べた結果である。どの交配でも、親マウスは正常な性行動、妊娠、分娩^{べん}を示し、生まれた直後にはすべての仔マウスが生存していることを確認した。

表1—2 オキシトシン遺伝子ノックアウトマウスを用いた交配実験結果

親の遺伝子型	交配 1			交配 2		
	雌(<i>OT/ot</i>) × 雄(<i>OT/ot</i>)			雌(<i>ot/ot</i>) × 雄(<i>ot/ot</i>)		
仔の遺伝子型	<i>OT/OT</i>	<i>OT/ot</i>	<i>ot/ot</i>	<i>OT/OT</i>	<i>OT/ot</i>	<i>ot/ot</i>
総産仔数	26	42	24	—	—	92
24 時間後の生存率	96 %	98 %	100 %	—	—	0 %

親の遺伝子型	交配 3			交配 4		
	雌(<i>OT/ot</i>) × 雄(<i>ot/ot</i>)			雌(<i>ot/ot</i>) × 雄(<i>OT/ot</i>)		
仔の遺伝子型	<i>OT/OT</i>	<i>OT/ot</i>	<i>ot/ot</i>	<i>OT/OT</i>	<i>OT/ot</i>	<i>ot/ot</i>
総産仔数	—	48	46	—	50	46
24 時間後の生存率	—	100 %	96 %	—	0 %	0 %

—：この遺伝子型の仔マウスは存在しない。

実験 2 正常マウスを用いてオキシトシンの産生部位を調べたところ、主要な産生部位は間脳視床下部の神経分泌細胞群であった。この細胞群は脳下垂体後葉から血液中へとオキシトシンを放出するほか、脳内の様々な部位に軸索を伸ばしていた。一方、マウスのオキシトシン受容体は1種類で、子宮や乳腺の平滑筋、社会的行動や性行動に関わるニューロンに存在した。

実験 3 実験 1 に用いたすべての母マウスを調べたところ、妊娠中は巣作りを行い、出産後は仔マウスをなめる、巣に持ち運ぶ、うづくまって授乳しようとするなど、その保育行動に違いは見られなかった。

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 空欄1と2に適切な語句を入れよ。

B 恒常性や水分調節に関する(a)~(d)の文で、正しくないものをすべて選び、正しくない理由をそれぞれ1行程度で述べよ。

(a) 血液を介して必要成分の供給や老廃物の回収を行うことで、ヒトの体を構成する各細胞の恒常性は維持される。

(b) ヒトの心臓では左心室の壁は右心室よりも厚く筋力も大きいですが、これは左心室が酸素に富む血液を体循環へと送り出すためである。

(c) 糖尿病患者では、血糖濃度が高いために腎臓でグルコースを分泌し、その結果としてグルコースが尿中に排出される。

(d) 植物の水分環境維持においては、水分が過剰になるとアブシシン酸が合成されて濃度が高まり、孔辺細胞の水が排出されて気孔が閉じる。

C ナトリウムポンプとナトリウムチャネルに関する以下の文章の空欄3~11にあてはまる適切な語句を、以下の選択肢①~⑫から選べ。なお、選択肢①~⑫は繰り返し使用してもよい。解答は、「3—①, 4—②,」のように書くこと。

ナトリウムポンプは を加水分解した際に得られるエネルギーを利用し、 に を細胞外へ、 を細胞内へと輸送する。一方、ナトリウムチャネルは、濃度勾配に ナトリウムイオンを輸送する。ナトリウムイオンの濃度は よりも の方が高い。したがって、ナトリウムチャネルを介して から へとナトリウムイオンが移動する。

① 能動的

② 受動的

③ cAMP(環状AMP)

④ ATP

⑤ 逆らって

⑥ したがって

⑦ ナトリウムイオン

⑧ カルシウムイオン

⑨ カリウムイオン

⑩ タンパク質

⑪ 細胞内

⑫ 細胞外

- D 表1—1に示した淡水魚と海水魚の血しょう中のナトリウムイオン濃度はそれぞれ140ミリ mol/Lと150ミリ mol/Lであった。表1—1の値をもとに、それぞれの尿中のナトリウムイオン濃度を答えよ。解答はミリ mol/Lの単位で表し、四捨五入して小数点第1位まで記せ。
- E 表1—1から、ヒトと淡水魚では、細尿管(ここでは集合管も含めるものとする)の機能に大きな違いがあることがわかる。細尿管における水とナトリウムイオンの

1

 について、それぞれ1行程度で答えよ。
- F 下線部(ア)について。海水魚は、体内に過剰となるナトリウムイオンを主として鰓^{えら}の塩類細胞から排出している。腎臓でも尿をつくることでナトリウムイオンが排出されるが、実際には糸球体ろ過量ならびに尿量は少ない。恒常性維持の観点から、海水魚が糸球体ろ過量ならびに尿量を抑制する理由について、表1—1にある数値を根拠として2行程度で説明せよ。

II 文2について、以下の小問に答えよ。

- A 表1—2に示した交配実験の結果から、父、母、仔それぞれの遺伝子型が仔マウスの24時間後の生存率に与える影響について2行以内で述べよ。
- B 実験1～3の結果から、仔マウスが生後24時間以内に死亡してしまう原因は何だと考えられるか。以下の選択肢(1)～(6)からもっとも適切だと考えられるものを1つ選べ。また、もっとも適切だと考えた理由について2行程度で説明せよ。
- (1) 仔マウスが乳を消化・吸収できなかった。
 - (2) 仔マウスが腎臓から老廃物を排出できなかった。
 - (3) 母マウスが腎臓から老廃物を排出できなかった。
 - (4) 母マウスが低体温であった。
 - (5) 母マウスから乳が出なかった。
 - (6) 父マウスの保育行動が不足していた。
- C Bで導き出した理由を仔マウスを用いて確かめるとしたら、どのような実験を追加したらよいか。実験と期待される結果を1行程度で答えよ。

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問

次の文1と文2を読み、ⅠとⅡの各問に答えよ。

〔文1〕

アブラナ科植物の多くは、同一個体の配偶子間の受精(自家受精)を防ぐために、同一個体の花粉が柱頭^(ア)に受粉した際に花粉の発芽を阻害する自家不和合性と呼ばれる仕組みをもっている。この仕組みは、花粉表面に存在する雄性因子(タンパク質X)が、柱頭の細胞表面に存在する雌性因子(受容体タンパク質Y)に結合することにより発動する。タンパク質XとYをつくる遺伝子は、それぞれ1つである。同じ植物種であってもタンパク質XとYにはそれぞれアミノ酸配列の違う複数のタイプが存在し、タンパク質XとYの組み合わせは、株(遺伝的に同一な集団)ごとに異なっている。また、通常は同じ株がつくるタンパク質XとYの組み合わせに限り両者は結合可能である。

アブラナ科に属する植物種Aは、タンパク質XとYによる自家不和合性反応のため、自家受精することができない。一方、A種の近縁種Bは、タンパク質XとYの遺伝子をもっているが、自家不和合性は示さず、自家受精が可能である。また、A種にもB種にも複数の株が存在し、A種の特定の株とB種の特定の株の間で人工的に交配した際に、花粉が発芽するかどうかはタンパク質XとYが結合するかどうかによって決まる。植物種AとBを用いて以下のような実験を行った。なお、実験に用いたA種ならびにB種のすべての株は、特殊な操作によって、タンパク質XとYの遺伝子についてすべてホモ接合となるようにした。

実験 1 A 種の 2 種類の株 (A 1 株, A 2 株) のそれぞれの花粉を, B 種の 3 種類の株 (B 1 株, B 2 株, B 3 株) の柱頭に対しすべての組み合わせで受粉する実験を行った。その結果, A 1 株の花粉は B 1 株, B 3 株の柱頭では発芽したが, B 2 株の柱頭では発芽しなかった。一方, A 2 株の花粉は B 種のすべての株の柱頭で発芽した (図 2—1)。

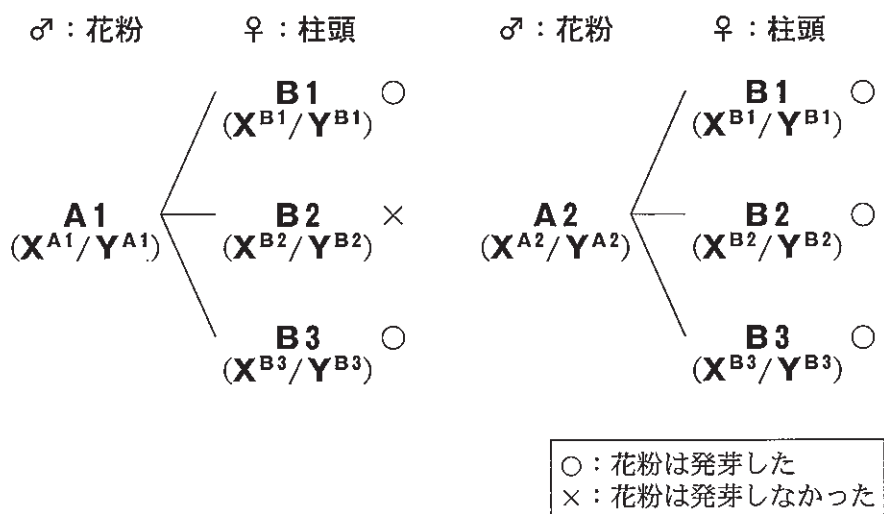


図 2—1 実験 1 の交配結果

各株がもつタンパク質 X と Y それぞれのタイプを括弧内に示す。

実験2 実験1で花粉が発芽しなかったA1株とB2株の組み合わせについて、それぞれのタンパク質XのmRNA(伝令RNA)の塩基配列を比較した。その結果、両者の間でmRNAの長さに違いはなかったが、タンパク質をコードする領域内の4箇所では塩基の違いが見つかった。塩基の違いのある箇所を含む7塩基の配列を表2-1に示す。なお、配列の先頭位置は、mRNA中の翻訳開始コドンAUGのAを1として数えた位置である。

表2-1 A1株とB2株に由来するタンパク質XのmRNA塩基配列の比較

7塩基の先頭位置	A1株の配列 ※	B2株の配列 ※
19	UUUGUGG	UUUAUGG
60	UUUCGAA	UUUUGAA
164	GCAUGGC	GCAAUGC
184	GCGUCAA	GCGUAAA

※：塩基の違いがある箇所の7塩基を示す。

表2-2 遺伝暗号表

コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸
UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止コドン	UGA	終止コドン
UUG		UCG		UAG		UGG	
CUU		プロリン	CCU	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
CUC			CCC	CAC		CGC	
CUA	CCA		CAA	グルタミン	CGA		
CUG	CCG		CAG		CGG		
AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	リシン	AGA	アルギニン
AUG	メチオニン	ACG	AAG	AGG			
GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

実験3 花粉の表面にA1株由来のタンパク質Xをつくらせる人工遺伝子を作製し、形質転換によってB2株に導入した(形質転換株)。形質転換株は、その後の操作によって人工遺伝子がホモ接合になるようにし、形質転換株のすべての花粉表面にA1株のもつタンパク質Xが存在することを確認した。この形質転換株とB2株(野生型株)を用いて、相互に交配する実験を行った(表2-3)。

表2-3 実験3の交配結果

		♀	
		野生型株	形質転換株
♂	野生型株	○	○
	形質転換株	×	(a)

○：すべての花粉は発芽した。 ×：すべての花粉が発芽しなかった。

[文2]

被子植物では、若いおしべの葯内において花粉母細胞から花粉四分子が形成され、花粉へと発生する。その後、花粉の成熟に伴い不等分裂が生じ、花粉管細胞と雄原細胞が形成される。さらに、花粉管が伸長する時期には、雄原細胞は体細胞分裂を一度行い、2個の精細胞が花粉管内につくられる。一方、めしべの胚珠の中では、胚のう母細胞が分裂を繰り返し、卵細胞を含む成熟した胚のうが形成される。^(イ)

柱頭で発芽した花粉からは花粉管が伸長し、助細胞から放出される花粉管誘引物質に導かれ、花粉管は珠孔へと到達する。その後、花粉管が胚のうへと進入する際には、1個の助細胞が崩壊し、2個の精細胞が胚のう内部に放出される。放出された2個の精細胞はそれぞれ、卵細胞、中央細胞と接合する。こうした受精様式を重複受精と呼ぶ。重複受精の結果、卵細胞は胚へ、中央細胞は胚乳へと発達し、^(ウ)正常な種子形成が行われることになる。

ある種子植物 C 種において、変異 m のヘテロ接合体から得られる花粉では、50 % の割合で花粉管内に 2 個の精細胞ではなく 1 個の精細胞に似た細胞がつけられる。こうした異常な細胞をもつ花粉管は、花粉管の内容物を放出するまでの過程に野生型との間で違いはみられないが、胚のう内に放出された精細胞に似た細胞は、卵細胞とも中央細胞とも接合することができず、正常な種子形成を開始することができない。C 種の野生型株と変異 m のヘテロ接合体を用いて、以下の実験を行った。

実験 1 C 種の野生型株の柱頭に変異 m のヘテロ接合体から得た花粉を十分量受粉したところ、以下のような結果が得られた。

結果 1 75 % の胚のうで重複受精が成立し、正常な種子形成が観察された。

結果 2 重複受精が成立した胚のうの 67 % では、進入した花粉管が 1 本であった。また、残りの胚のうでは 2 本の花粉管の進入が観察された。

結果 3 重複受精が不成立の胚のうでは、すべて 2 本の花粉管の進入が観察された。

実験 2 あらかじめ助細胞の 1 つを破壊した C 種の野生型株の柱頭に、変異 m のヘテロ接合体の花粉を十分量受粉したところ、以下のような結果が得られた。

結果 1 50 % の胚のうで重複受精が成立し、正常な種子形成が観察された。

結果 2 すべての胚のうで、進入した花粉管は 1 本しか観察されなかった。

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(ア)について。自家受精について述べた以下の文章(1)～(3)から、間違っているものをすべて選べ。

- (1) 自家受精しない植物種はハチなどの送粉者が他花に花粉を運んでくれるため、自家受精する植物種よりも確実に子孫を残すことができる。
- (2) 自家受精する植物種と自家受精しない植物種がそれぞれ小さな個体群を形成している場合に、各個体群が孤立するような大きな環境変化が発生したとする。その際に、自家受精する植物種の方が、自家受精しない植物種よりも短期的に個体群が消滅するおそれが高い。
- (3) 自家受精しない植物種の場合、自家受精する植物種よりも子孫の遺伝子型の多様性が高く、環境の変化に対応できる個体の存在する可能性が高くなる。

B 表2-1で示された mRNA 塩基配列の違いによって、B2株がつくるタンパク質XはA1株が作るタンパク質Xに対して違いが生じる。両者の違いについて述べた以下の文章中の、空欄1～5に当てはまる数字、アミノ酸名を表2-2を参照して答えよ。なお、A1株がつくるタンパク質Xは89アミノ酸からなることとする。

文章：B2株で作られるタンパク質Xは、A1株で作られるタンパク質Xの 番目のバリンが に、 番目のセリンが にそれぞれ置換され、タンパク質全長がA1株に比べてアミノ酸 個分短くなっている。

C 表2-3の空欄(a)について、花粉の発芽はどのようになると予想されるか。すべての花粉は発芽した、すべての花粉が発芽しなかった、半分の花粉は発芽した、の中から選べ。また、そのように予想した理由について、以下の語句をすべて用いて2行程度で記せ。

花粉，柱頭，雌性因子

D B2株では自家受精が可能なのはなぜか。以下の(1)~(4)よりもっとも適切な理由を選択せよ。

- (1) B2株ではタンパク質 X の機能が失われているため。
- (2) B2株ではタンパク質 Y の機能が失われているため。
- (3) B2株ではタンパク質 X と Y の機能がともに失われているため。
- (4) B2株ではタンパク質 X と Y の機能がともに正常であるため。

E A種において、タンパク質 X と Y による自家不和合性の仕組みが世代を超えて安定に保たれるためには、タンパク質 X と Y をつくるそれぞれの遺伝子が、染色体上でどのような位置関係にある必要があるか。また、そうした位置関係にあることによって、自家不和合性の仕組みが安定に保たれる理由も、あわせて2行程度で記せ。

II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(イ)について。(イ)の過程で卵細胞が作られるまでの、核あたりのDNA量の変化をグラフに示せ。なお、グラフの横軸には時間経過を、縦軸には核あたりのDNA量を取り、(イ)の過程が始まる前の時点における胚のう母細胞の核あたりのDNA量を2とすること。

B 下記の植物種の中から重複受精をする植物種をすべて選べ。

イチヨウ、イネ、エンドウ、ゼニゴケ、ソテツ、ワラビ

C 下線部(ウ)について。卵細胞、胚、胚乳それぞれの核相を記せ。なお、解答は「孔辺細胞：2n」のように記すこと。

D C種の野生型株では、受精した胚のうに進入している花粉管は1本しか観察されない。実験1, 2の結果をもとに、C種の野生型株において花粉管が胚のうへ2本以上進入するのを防ぐ仕組みを考察した。以下の文章中の、空欄1～3に当てはまる適切な語を入れよ。

考察：C種の野生型株では、1本目の花粉管の胚のうへの進入により重複受精が成立する。この時 細胞からの 物質の放出が続くと、さらなる花粉管の胚のうへの進入が起きてしまう。これを防ぐために、重複受精が成立すると、 細胞の機能を する仕組みが存在する。

E 実験1の結果1について。75%の割合で重複受精が成立する仕組みを3行程度で説明せよ。

第3問

次の文1から文3を読み、ⅠからⅢの各問に答えよ。

〔文1〕

地球上には、外観の異なるさまざまな生態系が存在する。陸域での純生産量は、気温や降水量で強く規定され、それに応じて森林や草原などが形成されている。一方、海洋では一般に海水中の栄養塩が乏しいため、窒素や 1 などの量が純生産量を決めている。

生態系の特徴を示す代表的な尺度として、純生産量のほかに現存量がある。純生産量は生態系ごとに異なるが、現存量はしばしばそれ以上に異なっている。例えば、温帯草原の純生産量は、温帯落葉樹林の50%ほどであるが、その現存量は温帯落葉樹林の5%に過ぎない。

また、純生産量のうちで消費者に消費される量も生態系間で大きく異なる。森林では純生産量の5%が消費者に摂食されるのに対し、草原では25%、大きな湖沼では50%が摂食される。こうした違いは、生産者の特徴で説明できる。森林では、動物の多くが消化できない 2 やリグニンなどに富んだ物質が多く生産されるため、消費者に摂食される量が少ない。 それに対し、大きな湖沼の生産者である植物プランクトンは、体をささえる支持組織が少なく体も小さいので、動物プランクトンによって摂食されやすい。

〔文2〕

20世紀の後半以降、生物多様性の減少が顕著になっている。その原因はさまざまだが、草原生態系における種の多様性の減少要因としては、窒素肥料の使用量の増加や窒素化合物を含んだ降雨による土壌の富栄養化、そして野生動物の絶滅や著しい増加などが注目されている。

そこで、ある草原において、土壌への窒素化合物の添加と草食獣が、植物群落に与える影響を調べる実験を行った。

実験1 野外において、以下の4種類の条件の実験区(各5m×5m)を設けた。

実験区a：草食獣の摂食が自由に行われる自然状態の区(対照区)。

実験区b：窒素化合物を添加する以外は、実験区aと同じ区(窒素添加区)。

実験区c：草食獣が侵入できないように柵で囲った区(草食獣排除区)。

実験区d：柵で囲って窒素化合物を添加した区(窒素添加+草食獣排除区)。

実験区の設置1年後に、植物群落の現存量、種数、地面に届く光の強さを調べた。図3-1は、その結果を相対値で表したものである。

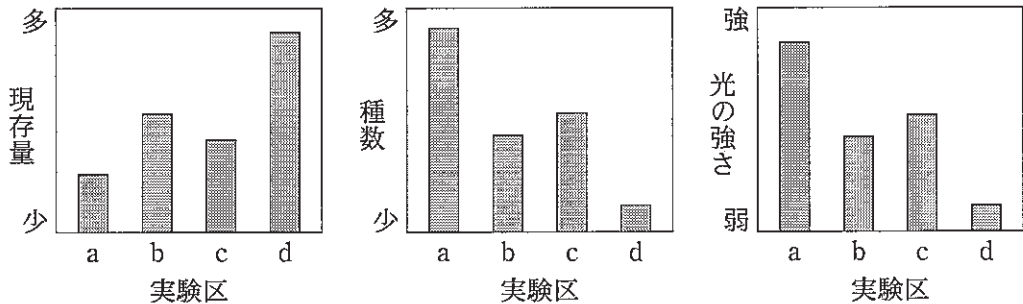


図3-1 それぞれの実験区における植物群落の現存量、種数、地面に届く光の強さ

実験2 上記の実験では、自然状態での草食獣の密度はそれほど高いものではなかった。そこで、家畜を高密度に放牧した新たな実験区eを作った。この実験区では、窒素化合物の添加は行っていない。その結果、1年後の植物の現存量は、図3-1の実験区a(対照区)の値より減少したが、種数は実験区c(草食獣排除区)と同程度になった。しかし、実験区eと実験区cの種構成には大きな違いが見られた。^(注)

〔文3〕

日本各地でみられる里山は、水田、雑木林、ため池などの組み合わせからなる複合的な生態系で、人間の管理によって長年維持されてきた。雑木林の木は、炭や薪まきなどの燃料となり、落葉や下草は堆肥にして水田の肥料に使われてきた。また農業用のため池は、水田に水を供給する用途があった。しかし現在では、石油などの普及によりそうした営みが失われ、ササや陰樹的な常緑樹が優占する暗い林になっている。また、外来種の侵入という別の問題もある。特にため池にはさまざまな外来種が繁栄しており、在来の水生昆虫、水草、魚類などを著しく減少させている。

外来種の問題を考えるには、まず、ため池の生態系の構造を明らかにする必要がある。図3—2は、ため池の食物網と生物どうしの関係を表している。ため池の生態系のエネルギー源は、ため池内で生産される植物プランクトンや水草による一次生産物に加え、周囲の雑木林から流入する落葉などの遺体有機物である。落葉はため池内の分解者に消費され、分解者は高次の消費者のエネルギー源になるからである。また水草には、水生昆虫や小魚に隠れ家や産卵場所を提供し、これら生物にとっての環境形成作用の役割もある。一方、ため池に侵入したオオクチバスは、魚類や甲殻類、昆虫を食べる捕食者であり、これら生物の個体数を減らしている。またアメリカザリガニは、昆虫、水草、そして落葉までも食べる雑食者であり、昆虫や水草の個体数を減らしている。

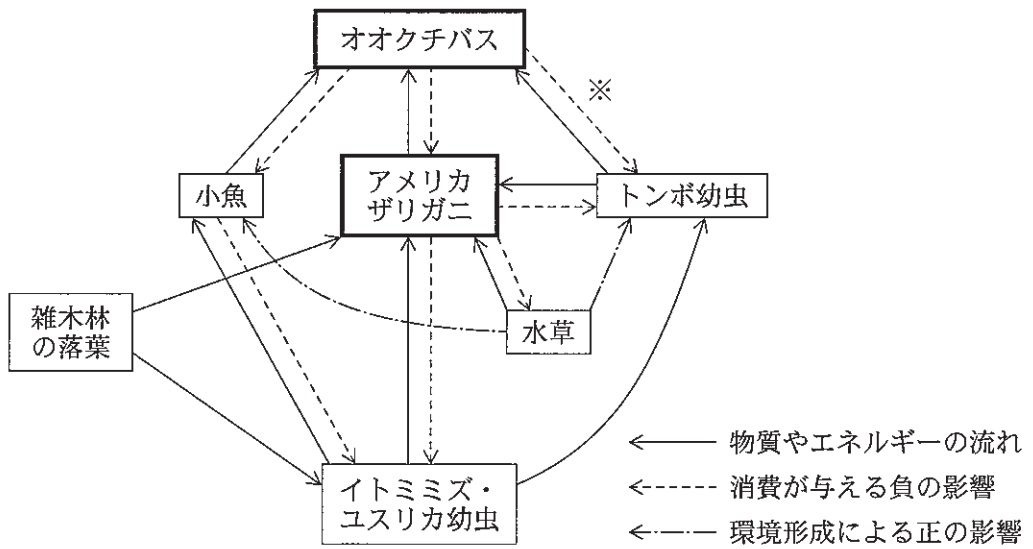


図3—2 ため池の生態系における生物間の相互作用

太枠の種は外来種を示す。植物プランクトンと動物プランクトンは省略している。

※は、58ページの〔問〕のⅢBを参照のこと。

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 空欄1と2に適切な語を入れよ。

B 下線部(ア)について。温帯草原と温帯落葉樹林を比較したときに、現存量の違いの方が純生産量の違いよりも大きいのはなぜか。消費者による摂食以外の観点から、2行程度で述べよ。

C 下線部(イ)について。シロアリは、 やリグニンを分解する酵素を合成できないが、これらを消化してエネルギーを得ることができる。その理由を1行で述べよ。

D 草原において、生産者の純生産量に対する一次消費者の純生産量の比率が2%であったとする。このとき、一次消費者の排泄と代謝によって失われるエネルギー量の総和は、摂食したエネルギー量の何パーセントであったと考えられるか。小数点以下四捨五入で答えよ。

II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 実験1から、窒素化合物を添加すると植物の種数が減少することがわかった。下記の文は、その仕組みを考察したものである。文中の空欄3～5に当てはまる語を入れよ。

考察：窒素化合物の添加により、植物の成長を制限している要因が、

から へと変化した。そのため、 をめぐる が激化し、 に弱い種が排除され、種数が減少した。

B Aで考察した、窒素化合物の添加により種数が減少する効果は、草食獣がいると緩和されることが図3—1から読み取れる。緩和される理由について、2行程度で述べよ。ただし、草食獣による排泄物や遺体の影響は無視できるものとする。

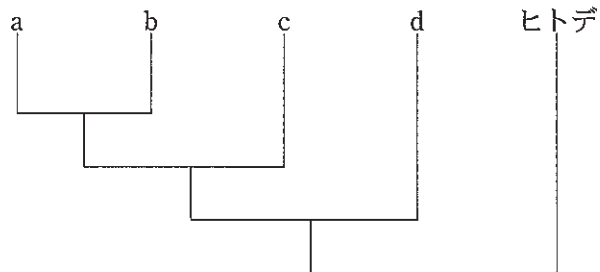
C 実験2の下線部(ウ)について。種構成の違いについての説明として不適切なものを、以下の(1)~(5)からすべて選べ。

説明：実験区 e では、

- (1) トゲのある植物が多かった。
- (2) 葉の柔らかい植物が多かった。
- (3) 丈の高い植物が多かった。
- (4) タンニンを多く含む植物が多かった。
- (5) 成長の遅い植物が多かった。

III 文3について、以下の小問に答えよ。

A 図3—2の無脊椎動物の系統関係は、下記のように表すことができる。
a~dに当てはまる生物名の組み合わせを、以下の(1)~(6)から選べ。ただし、生物名の順番はa~dの順番に対応している。



- (1) ユスリカ, イトミミズ, トンボ, アメリカザリガニ
- (2) ユスリカ, トンボ, アメリカザリガニ, イトミミズ
- (3) ユスリカ, トンボ, イトミミズ, アメリカザリガニ
- (4) ユスリカ, イトミミズ, アメリカザリガニ, トンボ
- (5) トンボ, アメリカザリガニ, ユスリカ, イトミミズ
- (6) トンボ, アメリカザリガニ, イトミミズ, ユスリカ

- B 図3—2のため池でオオクチバスを駆除すると、長期的にはトンボの幼虫がさらに減少する可能性がある。そのようなことが起こるのは、オオクチバスの捕食がトンボの幼虫に与える直接的な負の影響(図の※で記した矢印)よりも、ある2つの間接的な正の影響の総和の方が強い場合である。その2つの影響について、それぞれ1行で答えよ。ただし、小魚やアメリカザリガニが、ユスリカの幼虫やイトミミズに与える影響は無視できるものとする。
- C 在来の生物群集を復元するには、オオクチバスに加えてアメリカザリガニの影響を軽減する必要がある。しかし、アメリカザリガニは罠わなによる駆除を試みても、個体数を十分減らすことは難しい。図3—2の相互作用をもとに、在来生物への影響がもっとも少ないと考えられる駆除以外の有効な方法を、その理由とともに2行程度で述べよ。ただし、オオクチバスは完全に駆除できていると仮定する。

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

地 学

第1問 以下の問Ⅰ～Ⅲ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。必要であれば、 $\log_{10} 2 = 0.30$ 、 $\log_{10} 2.5 = 0.40$ 、 $\log_{10} 3 = 0.48$ を用いてよい。

問Ⅰ 恒星から放射されるエネルギーの強度は、図1—1に示すように温度によって決まる放射(黒体放射)のスペクトルで近似できる。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、O6型主系列星の表面温度は40000 K、M6型主系列星の表面温度は3000 Kとする。

- (1) 黒体放射スペクトルが最大となる波長と温度には一意の関係がある(ウィーンの変位則)。O6型主系列星からの放射エネルギーの強度が最大となる波長を求めよ。
- (2) 肉眼では、O6型主系列星は青白く、M6型主系列星は赤く見える。この理由を図1—1を参考にして説明せよ。
- (3) 太陽黒点は周囲に比べて温度が低い。このことから、太陽黒点が肉眼で黒く見える理由を図1—1を参考にして説明せよ。
- (4) 太陽から放射されるX線の強度は、その表面温度の黒体放射から予想される強度より大幅に大きいことが知られている。その理由を述べよ。

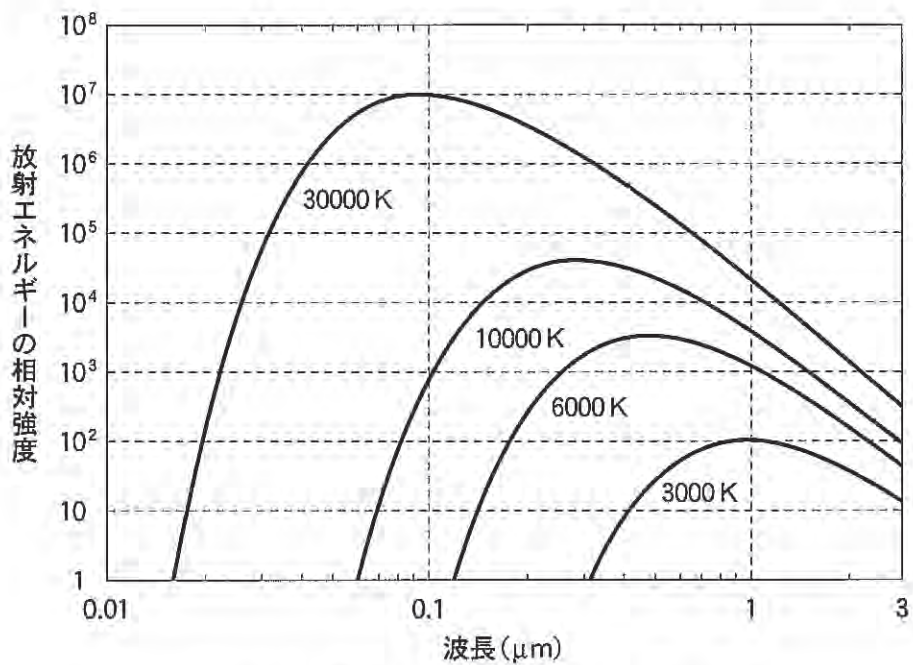


図 1—1 黒体放射スペクトルと温度の関係

問Ⅱ 主系列星の光度 L と半径 R は質量 M に依存する。このことに関する以下の問いに答えよ。ただし、太陽の光度を L_{\odot} 、半径を R_{\odot} 、質量を M_{\odot} 、表面温度を 6000 K とする。また、O6型主系列星の質量を $30M_{\odot}$ 、表面温度を 40000 K とする。

- (1) 質量が $10M_{\odot}$ 以下の主系列星では、光度は質量の4乗に比例する。一方、それよりも質量の大きな主系列星では、光度は質量の2乗に比例する。このことから、O6型主系列星の光度を L_{\odot} を用いて答えよ。
- (2) O6型主系列星の半径を R_{\odot} を用いて答えよ。ただし、恒星表面からの放射はシュテファン・ボルツマンの法則に従うものとする。
- (3) $1M_{\odot}$ 以上の質量を持つ主系列星では、半径は質量の n 乗に比例するとする。(2)の結果を用いて、 n の値を求めよ。
- (4) 主系列星の寿命は、質量を光度で割った量 $\left(\frac{M}{L}\right)$ に比例する。このとき、O6型主系列星の寿命を求めよ。ただし、質量が $10M_{\odot}$ の主系列星の寿命を 2000 万年とする。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問Ⅲ ある球状星団を観測し、個々の恒星のスペクトル型と見かけの等級の関係をグラフにしたところ、図1—2のようになった。この球状星団についての以下の問いに答えよ。ただし、太陽(G2型星)の絶対等級は5等級とする。

- (1) 球状星団での星形成は過去のある時点で一斉に起こり、その後は星形成活動が行われていないと考えられている。図1—2の球状星団が星形成を行ってから現在までの期間の長さは太陽の寿命の何倍かを、その理由とともに答えよ。ただし、ここでの解答は有効数字1桁でよい。

- (2) 別の観測から、この球状星団の手前に星間雲が広がっており、見かけの等級は星間雲がない場合に比べて1等級暗くなっていることが明らかになった。このとき、この球状星団までの距離を求めよ。

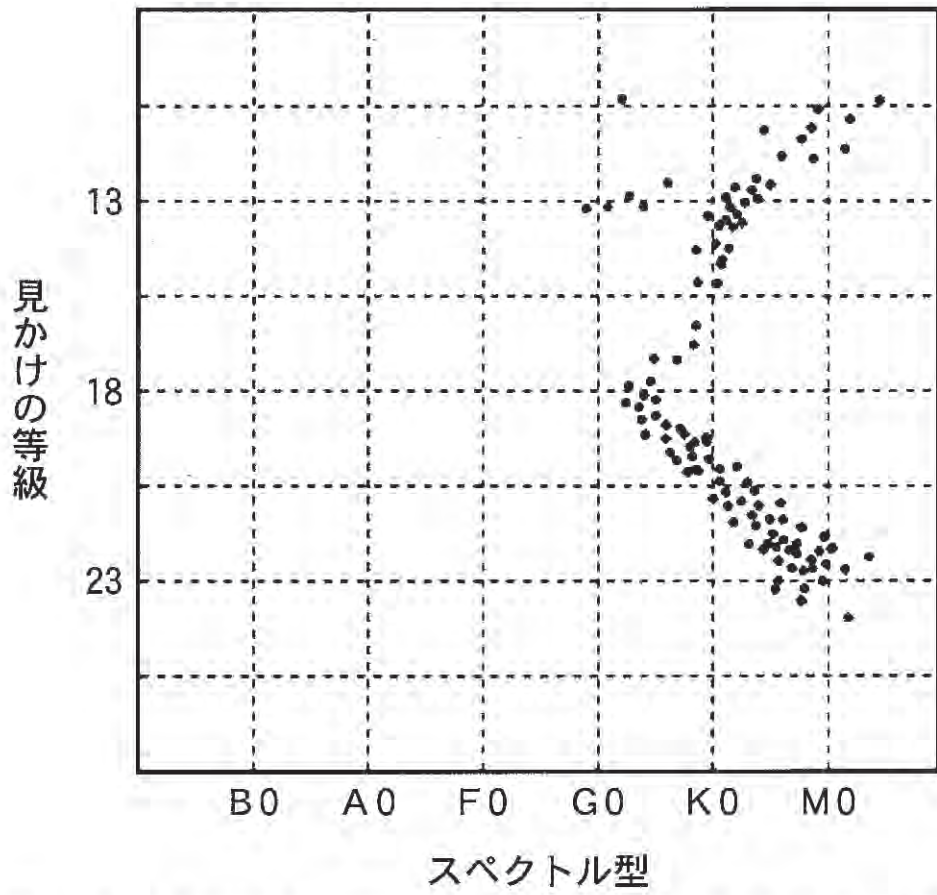


図1—2 ある球状星団に含まれる恒星の見かけの等級とスペクトル型の関係

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 大気と海洋に関する以下の問Ⅰ～Ⅱに答えよ。

問Ⅰ 活発な水の循環は、地球大気および地球の気候を特徴づける要素の一つである。大気中の水蒸気は、地球表面からの蒸発により供給され、降水により除去される。また、降水過程に伴う水蒸気の凝結は、潜熱を解放することで大気循環の駆動源となる。

図2—1は、経度方向に平均した年平均の降水量と蒸発量の緯度分布を示したものである。これに関して以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字1桁で答え、計算の過程も示せ。

- (1) 図2—1のA、Bの線は、降水量と蒸発量を表している。それぞれがどちらに対応するか答えよ。また、Bに矢印で示した北緯5度付近の極大域を何とよぶか答えよ。
- (2) 降水量と蒸発量は局所的につり合っておらず、その不均衡は低緯度で特に顕著である。これを補うような大規模な大気の循環を何とよぶか答えよ。また、大気中の水蒸気収支におけるその循環の役割について、循環の向きを明示しつつ2行以内で説明せよ。
- (3) (2)で答えた循環をはじめ、低緯度で吹く風は地衡風で説明できない場合が多い。赤道近くの風が地衡風ではない理由を1行で説明せよ。

- (4) 図2—1に示した降水が、気圧600 hPaと400 hPaの間の大気層で一様に生じる水蒸気の凝結によりもたらされると仮定したときに、北緯5度において、その大気層に加えられる熱量は1日あたり何℃の気温上昇に相当するかを求めよ。ただし、降水量の値は図から読み取り、必要に応じて凝結の潜熱 $L = 2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、大気の定圧比熱容量(気圧によらないとする) $c_p = 1.0 \times 10^3 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$ 、重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ を用いること。また、凝結に伴う大気質量の変化は無視してよい。

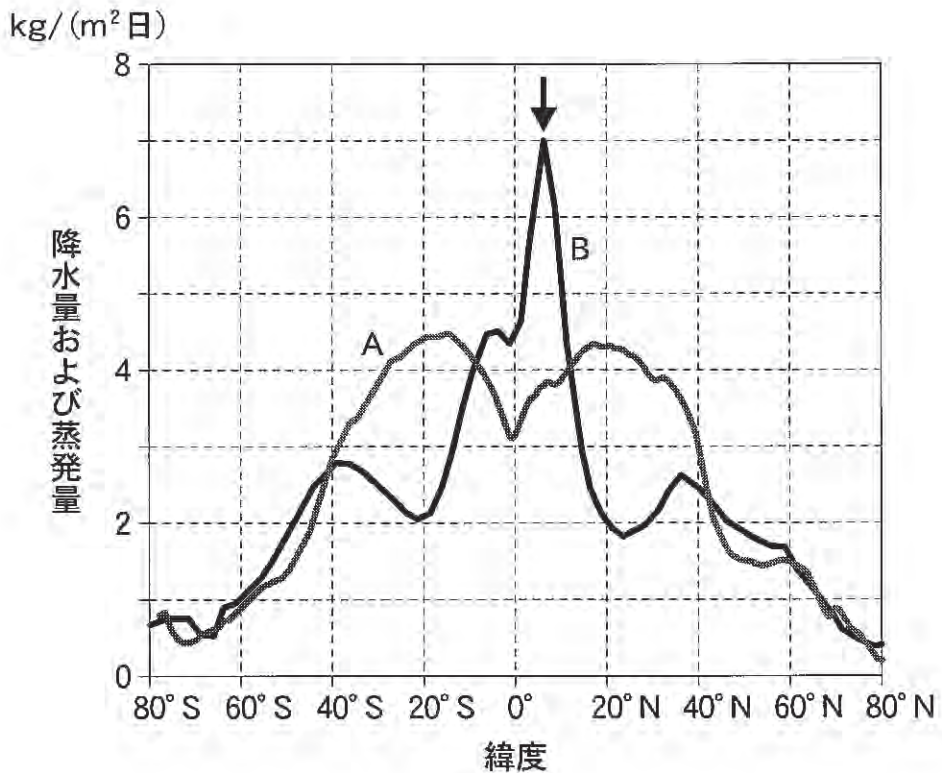


図2—1 経度方向に平均した年平均の降水量と蒸発量の緯度分布

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問Ⅱ 海水の密度と海洋の深層循環について述べた次の文章を読み、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。

海洋の温度分布を鉛直方向に見ると、多くの場所では図2-2の実線のようにになっている。海面付近には温度が比較的一様な があり、その下には温度が深さとともに急激に変化する水温躍層が存在し、さらにその下には低温な深層水が存在する。こうした場所では深くなるにつれて密度が高くなっており、このことは表層と深層の海水交換が活発でないことを示す。

一方、大西洋北縁(グリーンランド海やラブラドル海)では、図2-2の破線のように、海面付近から深層まで一様で低温な温度分布が見られる。このような場所では、大気による冷却で高密度化した海面付近の海水が深層へ沈むとい^(ア)う深層水形成が生じており、全世界の海洋の深層を占める低温水の源になっている。この深層水は、全世界の海洋深層をめぐりながらゆるやかに上昇し、最終的に深層水形成場所の海面付近に戻ってくる。^(イ)

海水の密度は温度だけでなく塩分にも依存し、海面付近での海水の高塩分化が主要因となって深層水形成が生じている場所も存在する。^(ウ)

- (1) 上の文章中の空欄 に入れるべき最も適切な語を答えよ。また、それが形成される理由を2行以内で説明せよ。
- (2) 下線部(ア)に関して、深層水形成が起こる場所では他の場所よりも顕著に多くの熱が海面から奪われる。 $1.0 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ の熱によって 1 m^2 の海面の下にある質量 1 kg の海水が一様に冷却される場合、1秒あたりの密度増加を求めよ。ただし、海水の比熱容量を $4.0 \times 10^3 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ とし、 1°C の温度低下は 0.25 kg/m^3 の密度増加をもたらすとす。

- (3) (2)で述べた冷却の大部分は海水の蒸発によるが、蒸発は塩分の増加を通して密度を高める。1 m²の海面の下にある塩分 $S = 35\%$ を持つ質量 $M = 1 \text{ kg}$ の海水を考え、その海面から $1.0 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ の熱を奪うだけの蒸発が起こった結果として塩分が一樣に増加する場合、1秒あたりの密度増加を求めよ。ただし、蒸発による1秒あたりの海水質量変化が $\Delta M [\text{kg/s}]$ のとき、塩分変化 $\Delta S [\%/s]$ は $S \times \frac{\Delta M}{M}$ で近似できることを用いてよい。また、海水蒸発の潜熱は $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ であり、1%の塩分増加は 0.75 kg/m^3 の密度増加をもたらすとする。
- (4) 海洋の表層循環が成因の面からは風成循環とよばれるのに対して、下線部(イ)の深層循環は成因の面からは何とよばれるか答えよ。また、この循環はどのようにして全地球規模の気候に影響を及ぼすか、例をひとつ挙げて2行以内で説明せよ。
- (5) 下線部(ウ)に該当する場所の代表は、地中海および南極大陸の周囲である。これらの海域の海面付近の海水を高塩分化する原因は何か、それぞれについて1行で答えよ。

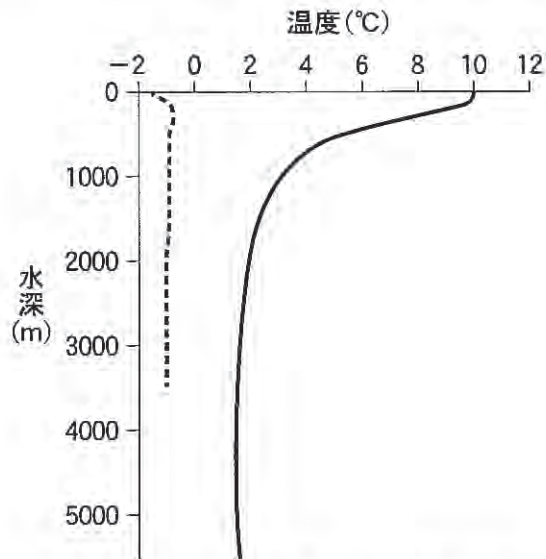


図2—2 3月における海洋の鉛直方向温度分布。実線は東経180度、北緯40度(太平洋中央部)、破線は西経5度、北緯75度(グリーンランド海)。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 以下の問Ⅰ～Ⅱに答えよ。

問Ⅰ 地球の表面は球面であり、これを覆う変形しない板であるプレートの運動は、地球の中心を通る軸のまわりの回転運動である。図3-1のプレートAとプレートBの間には、プレートが形成される拡大境界である中央海嶺が存在する。図3-2は、この中央海嶺の一部を模式的に示したものである。

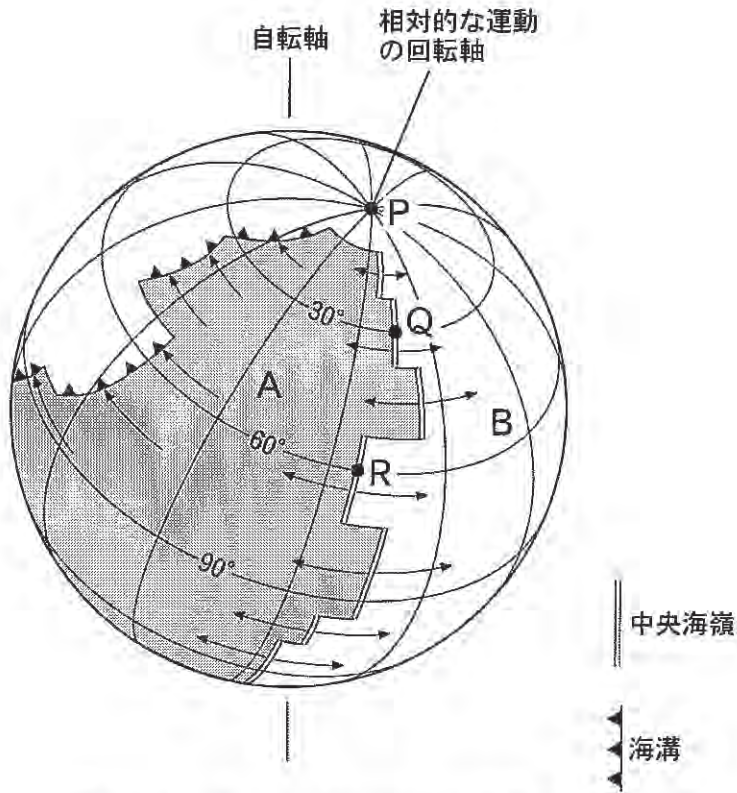


図3-1 プレートAとプレートBの相対的な運動

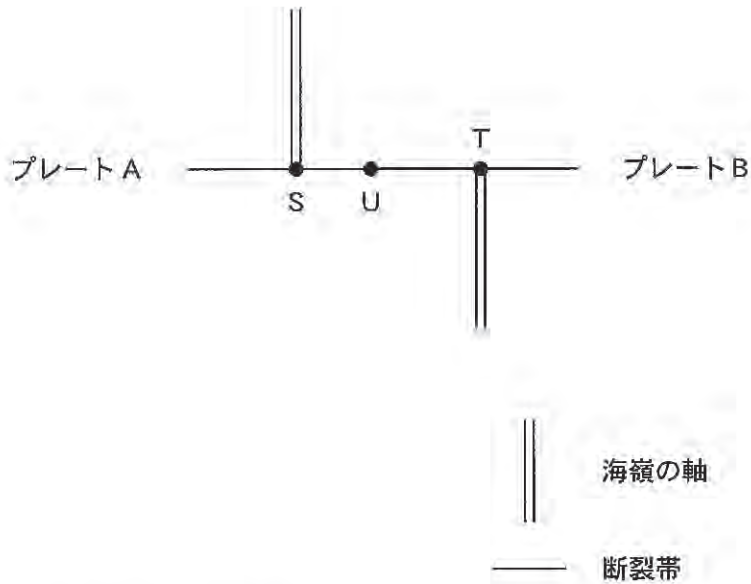


図3-2 プレート間の拡大境界(中央海嶺)の模式図

- (1) 中央海嶺の軸は、ところどころで断裂帯を境にしてずれている。図3-2で、軸の間をつなぐ部分(点Sと点Tの間)はプレートAとプレートBの境界をなす断層となるが、このような断層を何とよぶか。
- (2) 図3-2の点Sと点Tの間の断層において起きる横ずれ断層型の地震について考える。
- (a) 断層におけるずれの向きを、点S, Tを含めた図を描き、矢印を用いて示せ。
- (b) 震央が点Uである場合、この地震による初動が、震源から外に向かう押し波になる領域を、点S, T, Uを含めた図を描いて示せ。

(3) 図3—2のような、現在拡大を続けている中央海嶺付近における地磁気の強さ(全磁力)の強弱の分布を、図3—3に白と黒の2色で模式的に示す。このような縞状の地磁気異常の原因は、海洋底の岩石が冷却した時点の地磁気の方に磁化し、その磁気を保持していることである。

(a) 岩石がこのようにして獲得し、保持している磁気を何とよぶか。

(b) 図3—3において黒で示した部分では、白で示した部分に比べて全磁力が強いのか弱いのかを、理由を含めて2～3行で答えよ。

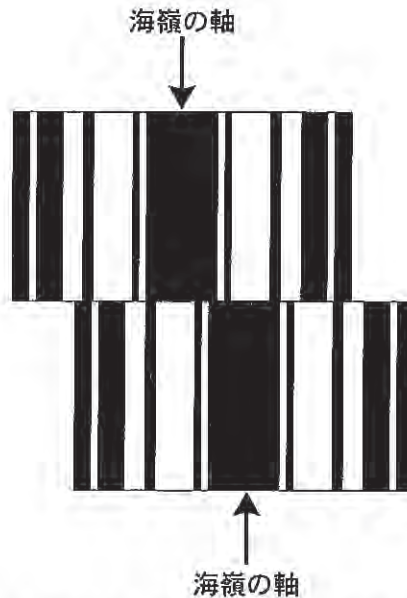


図3—3 中央海嶺付近における全磁力の強弱分布の模式図

(4) 図3—1において、プレートAとプレートBの相対的な運動を考える。

この相対的な運動もまた、ある軸のまわりの回転運動であり、その回転の速さ(角速度)はプレート内のどこにおいても等しい。回転軸が地表面を通る点(回転の極)をP、地球の中心をOとする。点Q、点RはプレートAとプレートBの間の中央海嶺の軸上にあり、 $\angle POQ = 30^\circ$ 、 $\angle POR = 60^\circ$ である。

点Qの付近で地磁気異常の縞模様を調べた結果、プレートA、プレートBのいずれにおいても、海嶺の軸から拡大方向に65 km離れた地点の海底は、現在から300万年前に形成されたことがわかった。プレートAとプレートBの運動は過去300万年間変化していないものとして、点RにおけるプレートAとプレートBの相対的な運動の速さを、cm/年を単位として有効数字2桁で求めよ。

問Ⅱ 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

図3—4はある地域の地質図であり、破線は50m間隔の等高線を示す。岩体Aは貫入した花こう岩、地層Bは石灰岩、地層C~Gは砕せつ物からなる堆積岩であり、Bからはこの地層が古第三紀に堆積したことを示す化石が見つかった。B~Fの境界面の走向および傾斜は図中に示されている通りである。このことから、これらの地層はほぼ南北方向に走る軸を持つ 構造を作っていると考えられる。また、GとA、E、Fとの境界面は傾斜0°であり、Gの最下部には基底礫岩が含まれる。このことから、GとA、E、Fとの境界は であることがわかる。また、Bの中でAとの境界に近い部分は接触変成作用を受け、 になっていた。

- (1) 文章の空欄 ~ を埋めよ。
- (2) 花こう岩とはどのような岩石か。組織と化学組成についてその特徴を1行で述べよ。
- (3) 下線部に関して、Bから見つかる可能性のある化石を以下の選択肢から1つ選べ。

イノセラムス、フデイシ(筆石)、アンモナイト、
カハイ石(ヌムリテス)、サンヨウチュウ(三葉虫)

- (4) この地質図から判断できるこの地域の地史(堆積や地質構造の形成の順番)をA~Gの岩体及び地層の記号を用いて3行以内で説明せよ。ただし地層の上下の逆転はないものとする。

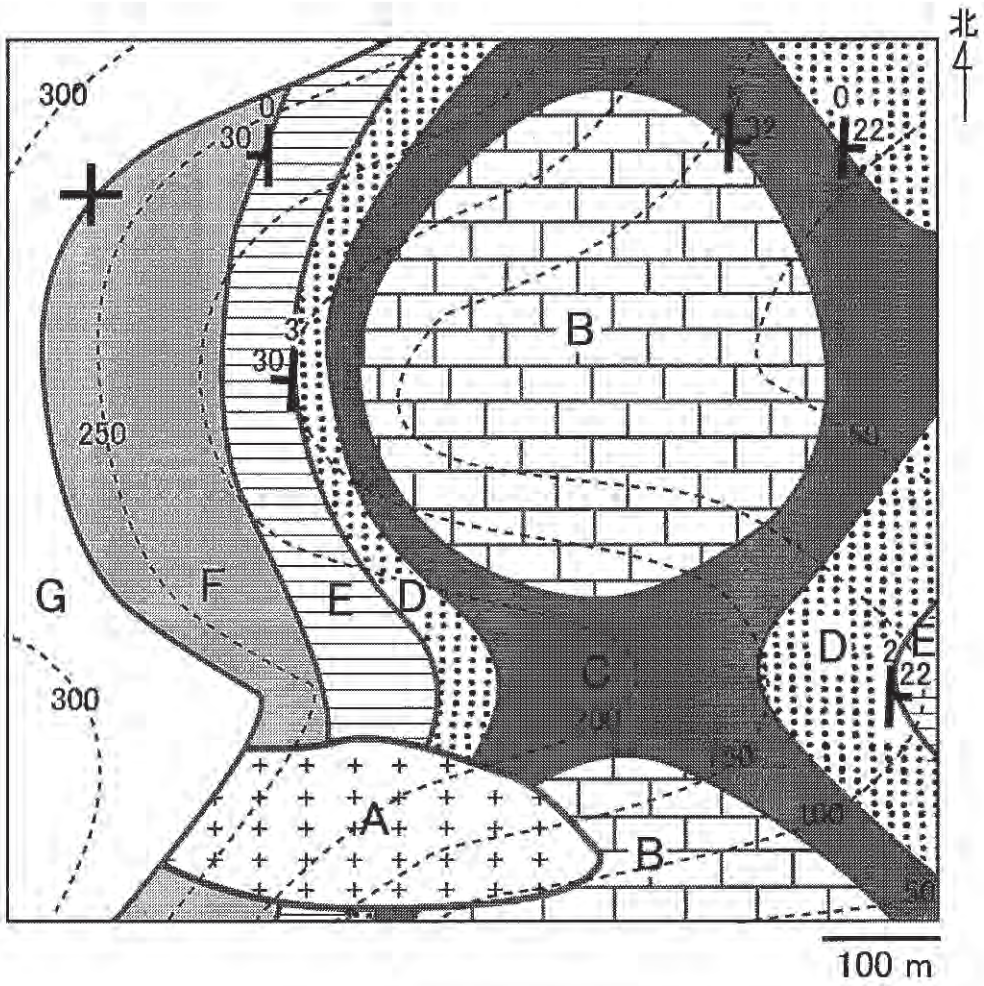


図 3—4 ある地域の地質図

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)