

入 学 試 験 問 題

理 科



(配点 120 点)

令和 7 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 93 ページあります(本文は物理 4～23 ページ, 化学 24～43 ページ, 生物 44～71 ページ, 地学 72～93 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

図1—1のように、3個のおもりと3本の棒を互いに固定した物体の運動を考える。ただし、図1—2のように、おもりAに対して2本の棒はなめらかに回転できる。はじめ物体は、図1—1のように、おもりAとおもりBが水平な床に接するように置かれており、おもりCはおもりAの真上にある。おもりCには水平に張られた糸がつながれており、糸を図の右方向に引く力の大きさを F とする。3個のおもりの質量はいずれも m であり、棒と糸の質量は考えなくてよい。おもりAからおもりBまでの距離、およびおもりAからおもりCまでの距離はいずれも d であり、おもりの大きさは考えなくてよい。また、重力加速度の大きさを g とする。

I まず、おもりAが床に固定されている場合を考える。

- (1) 図1—1の状態において、 F を徐々に大きくしていったところ、 F がある大きさに達したときにおもりBが床から離れた。このときの F を求めよ。
- (2) 糸を引き続けて、図1—2のように物体を傾けていくことを考える。おもりBが床から離れてから糸を引く力がした仕事の大きさを W とする。 W がある大きさ W_0 を超えると、物体は倒れて、おもりCは床に衝突する。 W_0 を求めよ。

II 次に、おもりAが床に固定されていない場合を考える。図1—1のようにおもりAとおもりBは床に接している。おもりAと床との間の静止摩擦係数は $\mu \left(\mu < \frac{1}{3} \right)$ であり、おもりBと床との間には摩擦はない。

- (1) F が小さく、物体が静止しているとき、おもりBが床から受ける垂直抗力の大きさを、 F を含む式で表せ。
- (2) 前問II(1)のとき、おもりAが床から受ける垂直抗力の大きさを、 F を含む式で表せ。
- (3) F を徐々に大きくしていったところ、 F がある大きさに達したとき、おもりBが床に接したまま物体が右に動き始めた。このときの F を求めよ。

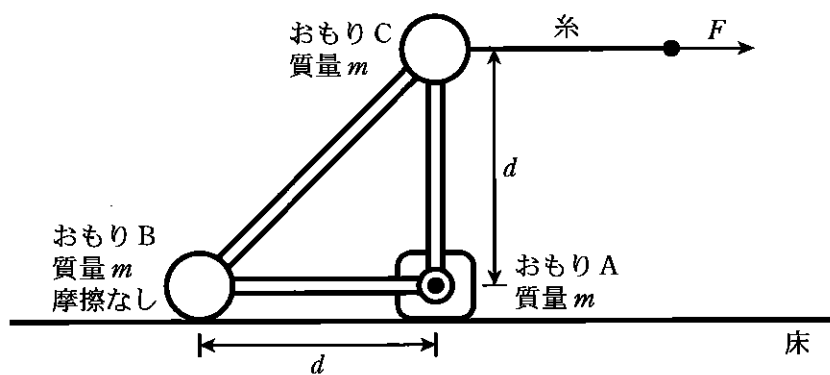


図 1—1

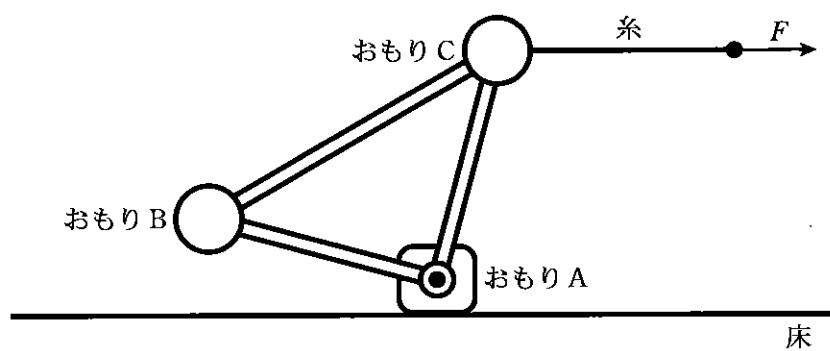


図 1—2

Ⅲ 最後に、おもり A とおもり B が床に接したまま、物体が右に動いている場合を考える。おもり A と床との間の動摩擦係数は μ' ($\mu' < \frac{1}{3}$) であり、おもり B と床との間には摩擦はない。

- (1) 図 1—3 のように、物体が等速直線運動をしているときの F を求めよ。
- (2) 糸を引くのをやめて $F = 0$ にすると、物体は等加速度で減速する。このとき、図 1—4 に示すように、加速度は速度と逆向きであり、その大きさを a ($a > 0$) とする。おもり B が床から受ける垂直抗力の大きさを、 a を含む式で表せ。
- (3) 前問Ⅲ(2)の a を求めよ。

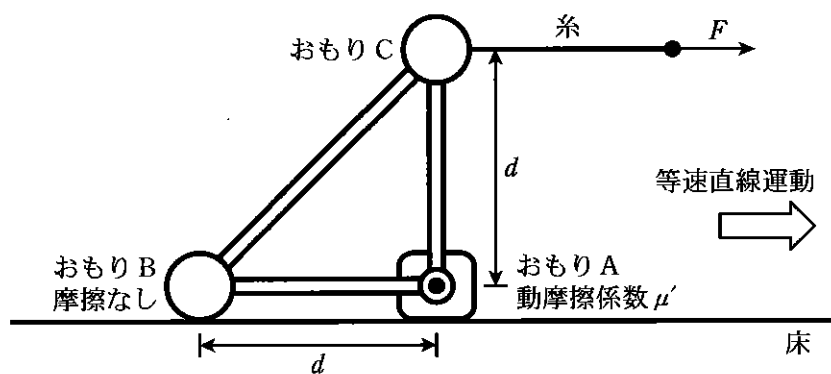


図 1—3

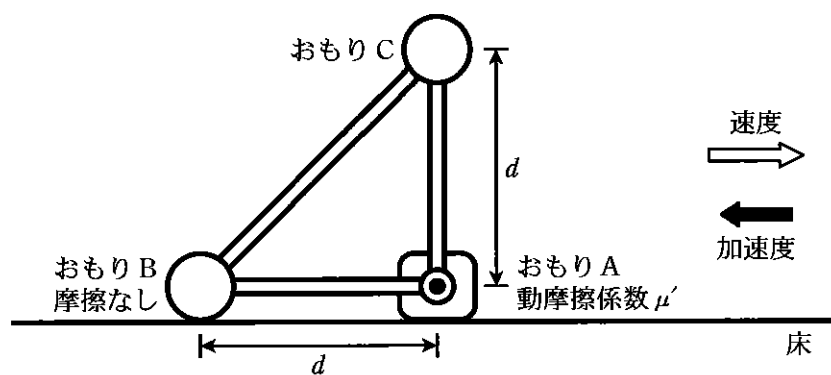


図 1—4

第2問

I 図2—1のように、真空中に直径 a 、長さ ℓ 、巻数 N のソレノイド A がある。その中心軸を x 軸にとり、原点 O をソレノイド A の中心となるようにとった。 x 軸は右向きを正とする。 ℓ は a より十分に大きい。ソレノイド A に右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流す。真空の透磁率(磁気定数)を μ_0 として以下の設問に答えよ。

- (1) 原点 O での磁束密度の大きさ B_0 を求めよ。
- (2) ソレノイド A を中央で二分割して左半分($x < 0$)を取り除き、図2—2のように、右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流した。このとき、原点 O 付近の磁力線は図2—3のように表される。原点 O における磁束密度の大きさ B_1 を、 B_0 を用いて表せ。

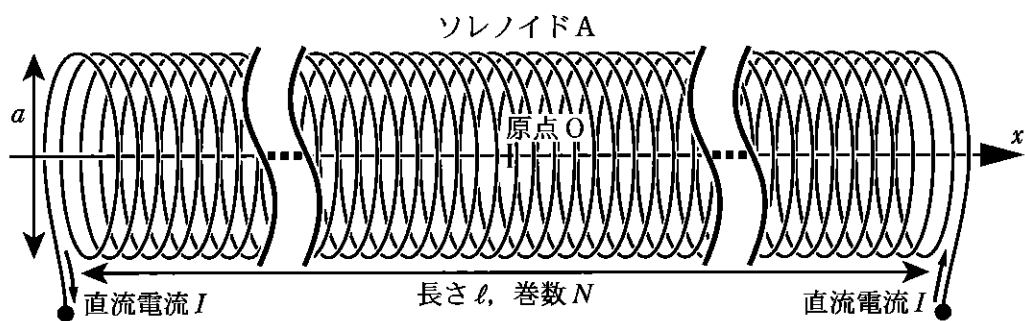


図 2—1

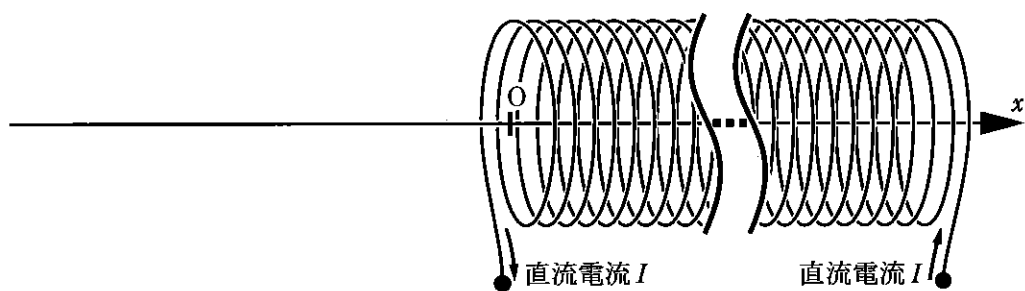


図 2—2

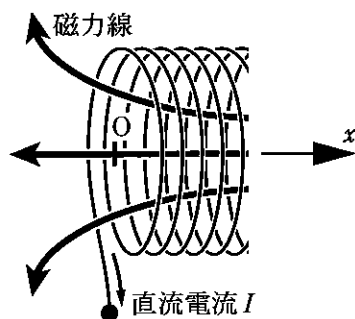


図 2—3

II 図2—4のように、設問I(1)での長さ ℓ のソレノイドAを、中心軸が x 軸、左端面中心が原点Oとなるように固定し、右から左に向けて一定の大きさ I の直流電流を流す。さらに、直径 $b(b < a)$ 、巻数1の円形コイルBを、位置 $x = -x_0(x_0 > 0)$ からソレノイドA内部の位置 $x = x_0$ まで等速運動させる。円形コイルBの中心は常に x 軸上にあり、コイル面は x 軸に垂直である。 x_0 は ℓ より十分に小さい。また、円形コイルBには紙面の手前側に端子 X_B, Y_B がある。その端子間距離は十分に小さく、円形コイルBの電気抵抗と自己インダクタンスは無視できる。

(1) 端子 X_B, Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し、円形コイルBを等速運動させた。円形コイルBを貫く磁束が短い時間 Δt の間に $\Delta\Phi$ だけ変化したとき、円形コイルBに流れる電流の大きさ I_B を求めよ。

(2) 円形コイルB全体が磁場から受ける力を F とする。 F は右向きを正とする。前問II(1)と同様に端子 X_B, Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し、円形コイルBを位置 $x = -x_0$ から $x = x_0$ まで速さ v_0 で等速運動させたとき、 x と F の関係を表すグラフの概形として最も適切なものを図2—5の(あ)～(し)から一つ選んで答えよ。

(3) 前問II(2)において、電気抵抗の抵抗値を R から $2R$ にすると、 F の大きさの最大値は何倍になるか、理由とともに答えよ。

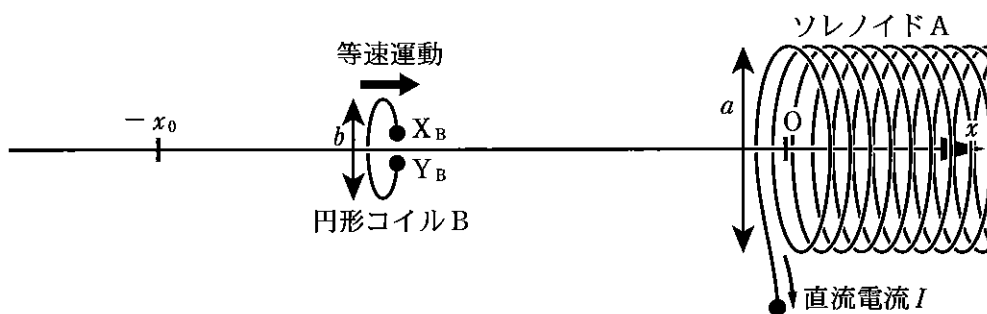


図 2—4

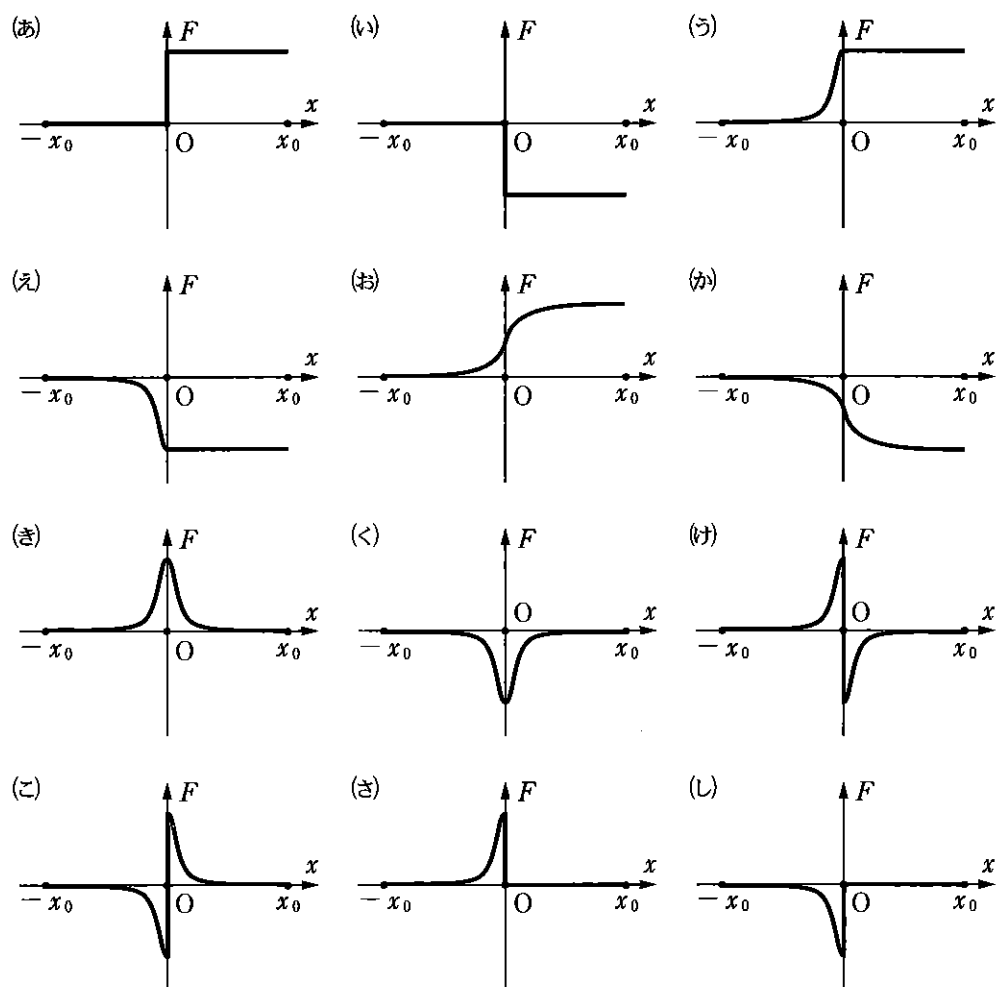


図 2—5

- (4) 図2—6に示す素子1～9は、抵抗値 R の電気抵抗、電気容量 C のコンデンサー、ダイオードからなる。ダイオードでは、順方向には抵抗0で電流が流れ、逆方向には流れないものとする。例えば素子4においては、紙面下向きには電流が流れ、上向きには流れない。

ソレノイドAに流す直流電流の向きを逆にし、左から右に向けて一定の大きさ I の直流電流を流した。ここで、円形コイルBの端子 X_B , Y_B 間に素子1～9のうち一つを選んで接続し、円形コイルBを位置 $x = -x_0$ から $x = x_0$ まで速さ v_0 で等速運動させる場合を考える。ただし、円形コイルBの端子 X_B に素子の端子Xを、端子 Y_B に素子の端子Yを接続するものとする。このとき、 x と F の関係が、設問Ⅱ(2)と全く同じになる素子を図2—6の素子1～9からすべて選び、番号で答えよ。

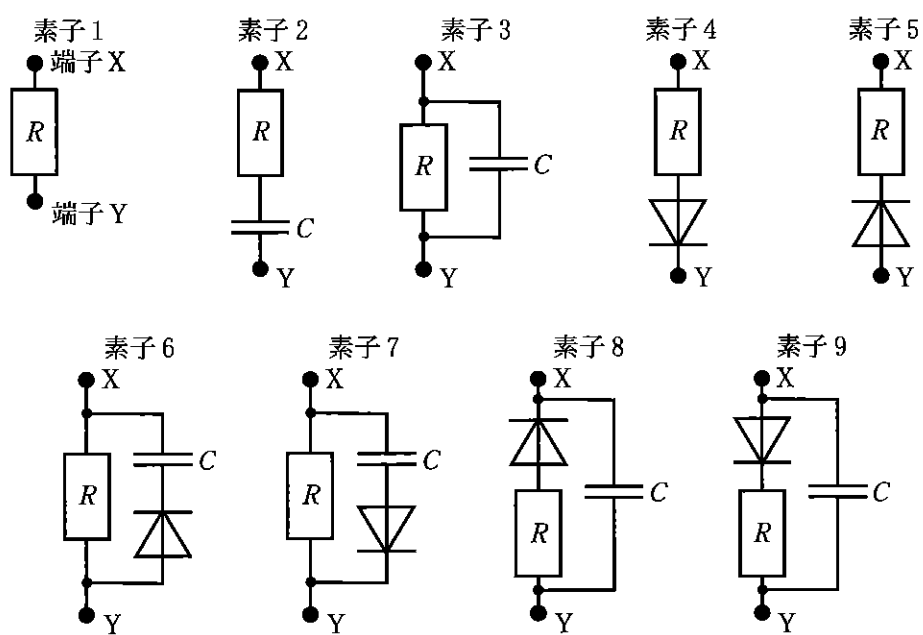


图 2—6

Ⅲ 図 2—7 のように，図 2—4 の状態からソレノイド A を取り除き，代わりに直径 a ，巻数 1 の円形コイル C を固定した。円形コイル C の中心は原点 O に一致し，コイル面は x 軸に垂直である。円形コイル C に一定の大きさの直流電流を，左から見て反時計回りに流して磁場を作る。円形コイル B の端子 X_B ， Y_B 間に抵抗値 R の電気抵抗を接続し，円形コイル B を位置 $x = -x_0$ ($x_0 > 0$) から $x = x_0$ まで等速運動させる。

円形コイル B 全体が磁場から受ける力を F とする。 F は右向きを正とする。 x と F の関係を表すグラフの概形を描け。なお， F の最大値や最小値，それらをとる x の値を示す必要はない。

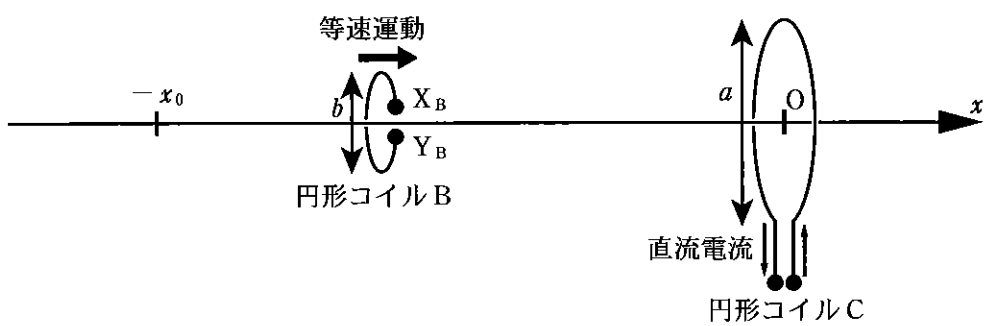


図 2—7

第3問

運動する台車とピストンつき容器の中の単原子分子理想気体に関する以下の設問に答えよ。ただし、断熱変化において気体の圧力 p と体積 V についてポアソンの法則「 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ 」が成り立つことを用いてよい。気体定数を R とする。台車と床との摩擦、およびピストンの質量は無視できる。ピストンつき容器の外側は真空である。台車の速度は右向きを正とする。

- I 図3—1のように、なめらかに動くピストンつきの断熱容器が水平な床に固定されており、この容器に1モルの単原子分子理想気体が封入されている。はじめ、容器内の気体の体積は V_0 、温度は T_0 であり、ピストンはストッパーの位置で静止している。このピストンに向かって質量 m の台車を速度 v_0 で運動させる。

この台車がピストンに接した時刻を t_0 とする。時刻 t_0 の後、台車はピストンを押し込み、気体の体積が V_1 、温度が T_1 となったところで速度が0となった。この時刻を t_1 とする。その後、台車はピストンに押し返されて、気体の体積が V_0 に戻った時刻 t_2 でピストンから離れた。

- (1) 時刻 t_0 における台車の運動エネルギー K_0 と容器内の気体の内部エネルギー U_0 を m 、 v_0 、 T_0 、 V_0 、 R のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (2) T_1 と T_0 の比 $\frac{T_1}{T_0}$ を K_0 と U_0 のみを用いて表せ。
- (3) V_1 と V_0 の比 $\frac{V_1}{V_0}$ を K_0 と U_0 のみを用いて表せ。

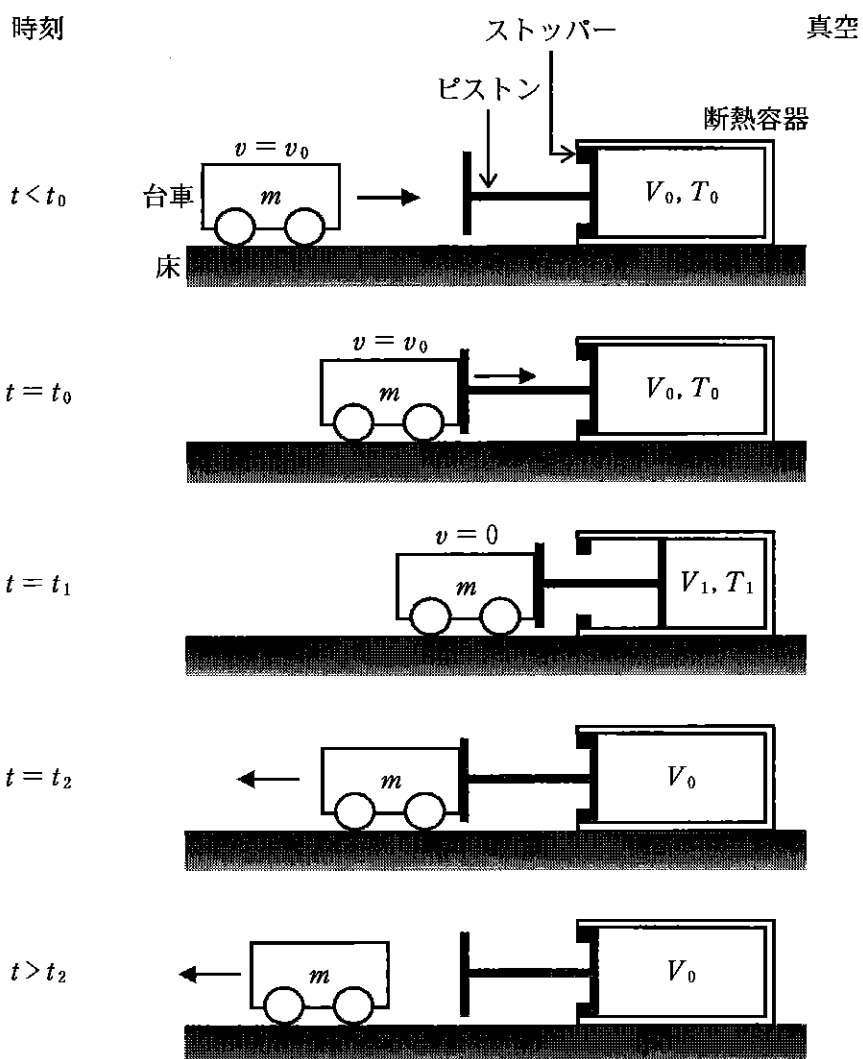


図 3—1

- (4) 時刻 t と台車の速度 v との関係を表すグラフとして最も適切なものを
図 3—2 の①～⑨の中から選び、その理由も述べよ。

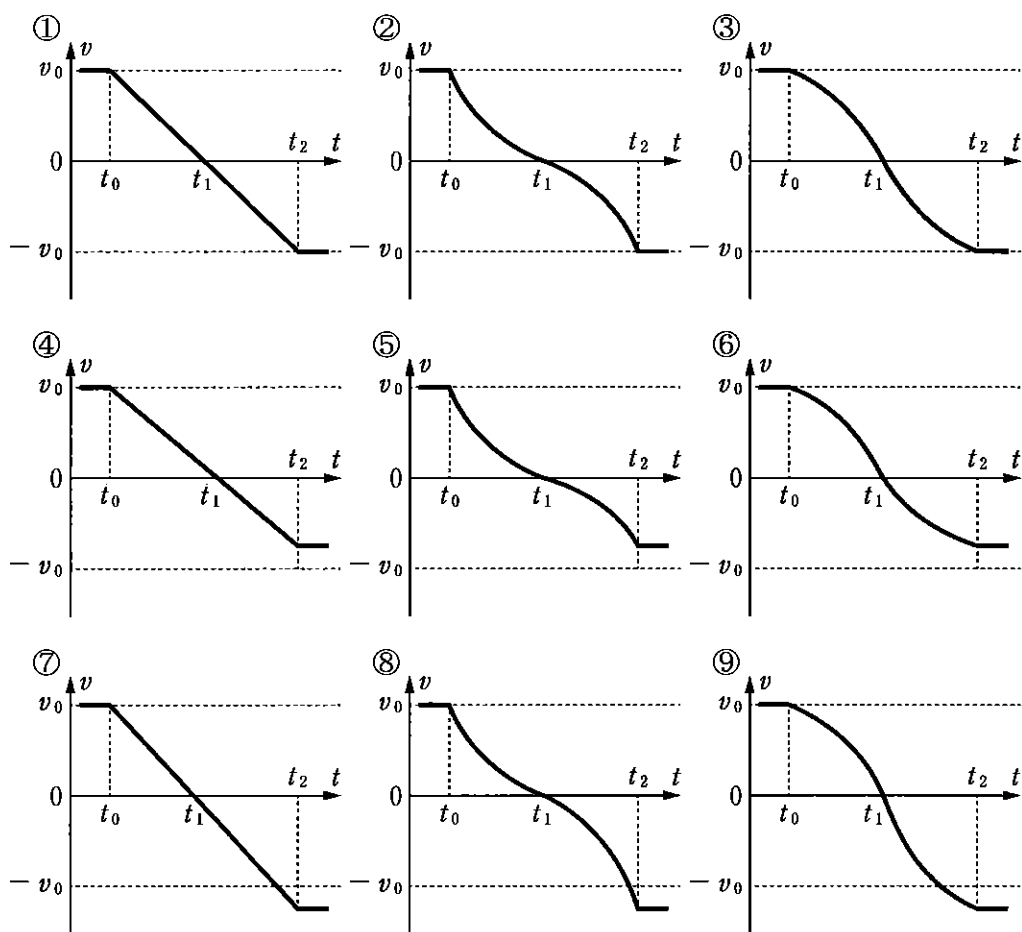


图 3—2

II 図 3—3 のように、なめらかに動くピストン付きの断熱容器が水平な床に固定されている。容器の中央を固定壁で仕切り、左右の領域にそれぞれ 1 モルの単原子分子理想気体を封入した。はじめ、左右の領域内の気体はどちらも体積が V_0 、温度が T_0 であり、ピストンはストッパーの位置で静止している。設問 I と同様に、このピストンに向かって質量 m の台車を速度 v_0 で運動させる。

台車が時刻 t_0 でピストンに接したのち、速度が 0 となった時刻を t_1 とする。このとき左の領域の気体の温度は T_1 になった。この時刻 t_1 で台車の位置を固定し、そのまま充分長い時間待ったところ、固定壁を通じた熱の移動により左右の領域の気体の温度はどちらも T_3 になった。こののち、時刻 t_3 で台車の固定を解除したところ、台車はピストンに押されて左向きに動き始め、左側の領域の気体の体積が V_0 に戻った時刻 t_4 でピストンから離れた。このときの台車の速度を v_4 とする。

ピストンが動いていた時間 $t_1 - t_0$ と $t_4 - t_3$ は充分短く、この間の固定壁を通じての熱の移動は無視できる。

(1) 台車がピストンから離れた時刻 t_4 における左右の領域の気体の温度はそれぞれ T_4 、 T_3 であった。 t_4 以降の時刻における台車の運動エネルギー K_4 を R 、 T_3 、 T_4 のうち必要なものを用いて表せ。

(2) 気体の温度 T_0 、 T_1 、 T_3 、 T_4 の間に成り立つ大小関係を

$$T_A \square T_B \square T_C \square T_D$$

の形で書け。ただし、A、B、C、D にはそれぞれどの温度かを指定する数字 (0, 1, 3, 4) のいずれかがひとつずつ入り、各口には = (等号) または < (不等号) が入る。

(3) v_4 と v_0 の大きさの比を $e = \left| \frac{v_4}{v_0} \right|$ とする。時刻 t_0 における台車の運動エネルギー K_0 と左側の領域の気体の内部エネルギー U_0 のみを用いて e を表せ。

時刻

真空

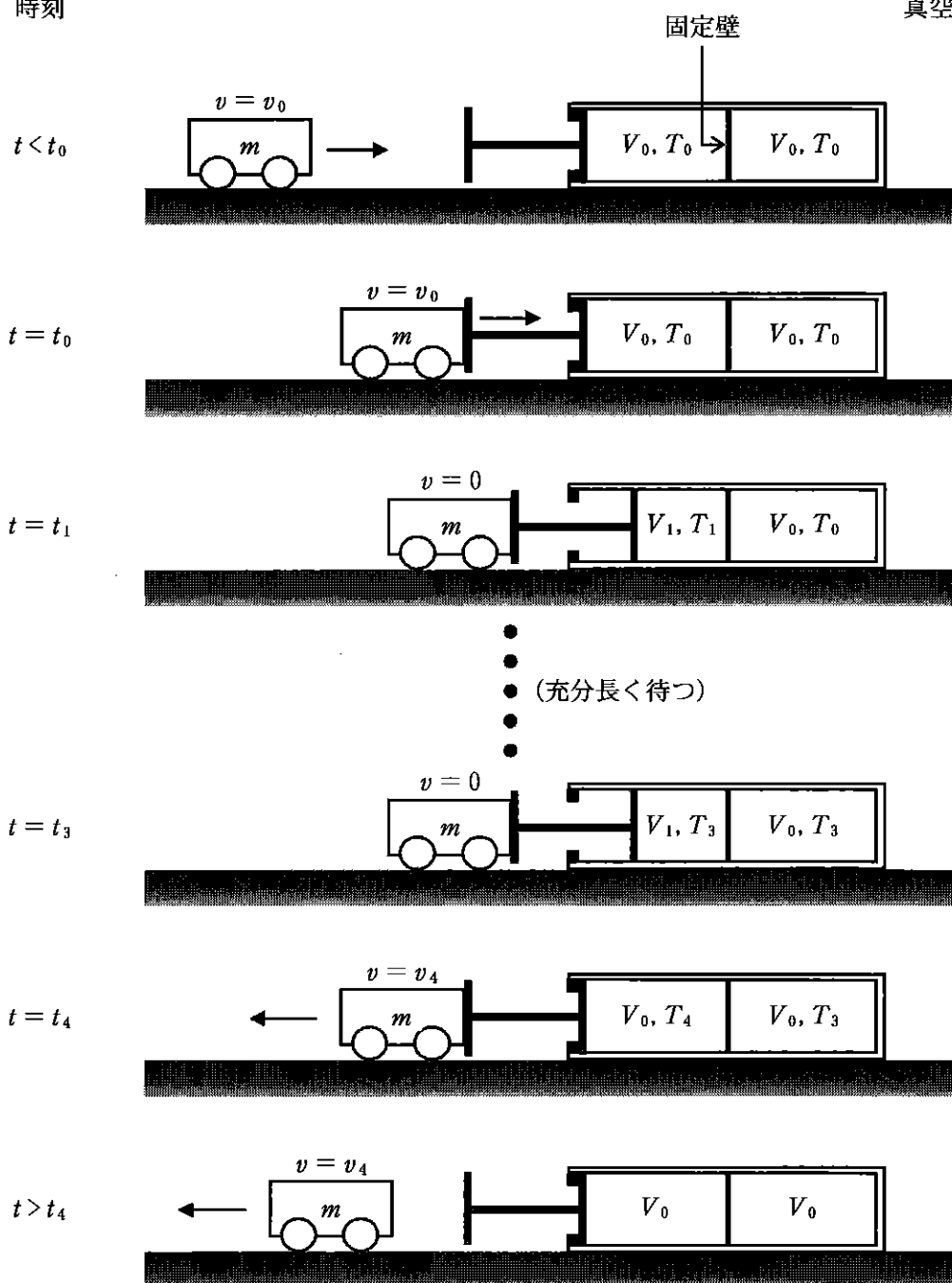


図 3—3

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

次の文章を読み、問ア～コに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	O
原子量	1.0	16.0

アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$

物質の沸点と融点は、物質を構成する原子間、イオン間や分子間にどのような結合が形成され、どのような力が働くかによって決まる。例えば、図1—1に14族から17族の水素化合物の分子量と大気圧における沸点の関係を示すとおり、元素の族によらず共通の傾向がある。一方、金属の融点はさまざまであり、タングステンのように融点が3000℃を超える金属もあれば、水銀やガリウムのように低い融点をもつ金属もある。

状態図は、温度と圧力を変化させたときに物質がとる状態を表す。さまざまな圧力における沸点や融点を読み取れるだけでなく、圧力を変えたときの物質の状態の変化、蒸気圧降下、沸点上昇、凝固点降下といった希薄溶液の性質や、昇華や凝華（注1）といった現象も状態図を用いて理解できる。また、状態図には、ある特定の温度と圧力で現れる特徴的な状態も表される。例えば、図1—2に示した水の状態図において、点Tは固体、液体、気体が共存する三重点である。点Cは臨界点であり、点Cにおいて液体と気体の密度が一致する。温度と圧力が点Cの値を超える領域（図1—2の網掛け部分）は超臨界状態とよばれ、この状態において物質は液体と気体の両方の性質をもつ。

（注1）凝華：物質の状態が気体から固体に変化すること。

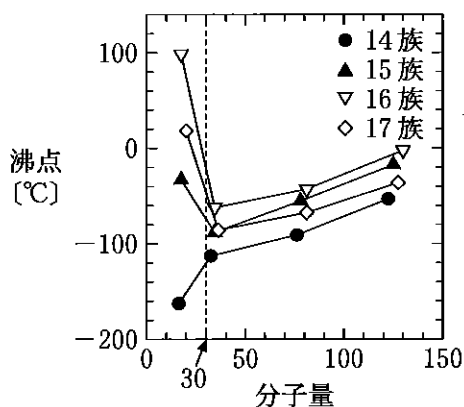


図 1—1 水素化合物の沸点

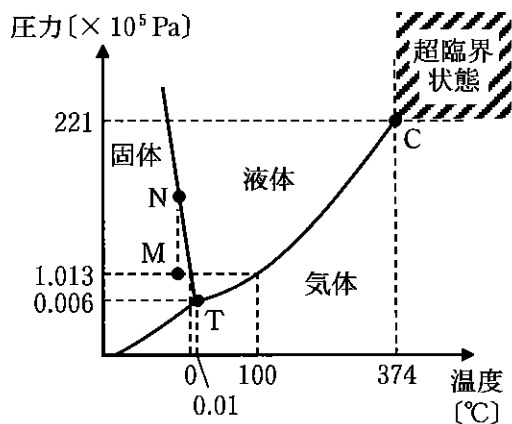


図 1—2 水の状態図

〔問〕

- ア 下線部①と③に関して、図 1—1 に示した水素化合物のうち、分子量が 30 を超える物質に着目すると、分子量が大きいほど高い沸点をもつ傾向がある。このような傾向がある理由を簡潔に述べよ。
- イ 下線部②に関して、CaO, KF, MgO, NaF の結晶構造は全て塩化ナトリウム型であり、表 1—1 は各物質の単位格子の一边の長さ a を示す。これらの物質を、融点の高い順に左から並べよ。

表 1—1 単位格子の一边の長さ

物 質	a [nm]
CaO	0.48
KF	0.53
MgO	0.42
NaF	0.46

- ウ 下線部④に関して、金属元素のうち、大気圧における単体の融点が 100°C 未満であるものを、水銀とガリウム以外から 1つ答えよ。ただし、安定に存在する同位体をもつ金属元素から答えること。さらに、答えた金属元素の単体が低い融点をもつ理由を簡潔に述べよ。
- エ 下線部⑤に関して、図1—2に示すように、大気圧下で 0°C よりもわずかに低温の点 M から、温度を一定に保ったまま圧力がゆつくりと上昇したとき、氷は点 N の圧力において融解し水となる。これは、点 N における氷の密度が水と比べて低いためである。氷の結晶構造に関する以下の説明文を読み、大気圧、 0°C における氷の密度を計算し、水の密度と比べて低いことを示せ。答えに至る過程も記せ。なお、大気圧、 0°C における水の密度は $1.00\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ としてよい。

〔説明文〕

大気圧、 0°C における氷の結晶構造を図1—3に示す。氷において、酸素原子の位置は規則正しく繰り返されている。一方、水素原子は、隣接する2つの酸素原子の間にあり、共有結合と水素結合で隣接する酸素原子と結びついている。この結晶構造の単位格子は、図1—4に示すように、一辺の長さが 0.45 nm 、内角の1つが 120° のひし形の底面をもち、高さが 0.74 nm の四角柱の形状である。この単位格子において、全ての酸素原子は長方形 DEFG 上にあり、図1—5はその様子を示している。

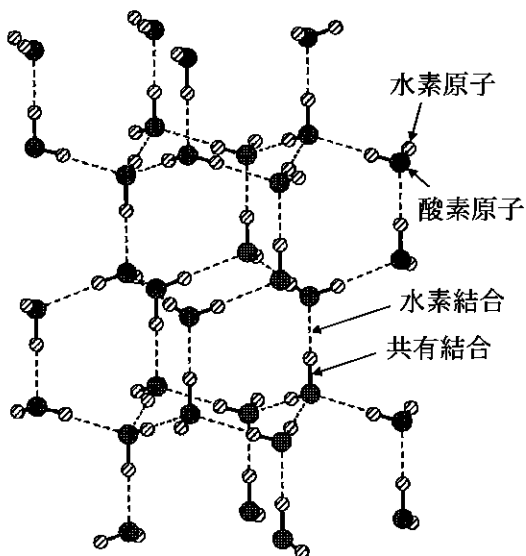


図1—3 氷の結晶構造

実線は共有結合を，破線は水素結合を示す。

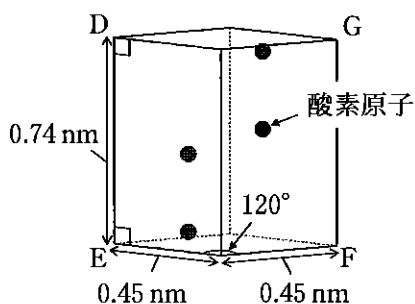


図1—4 氷の単位格子
水素原子を省略している。

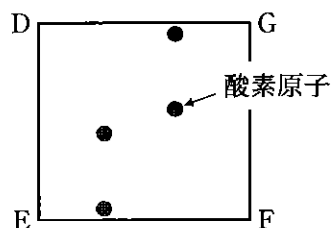


図1—5 図1—4のDEFGを通る
断面図

オ 下線部⑥および⑧に関して，水に不揮発性の物質を少量溶解させたときに，
図1—2の三重点Tの(A)温度と(B)圧力はどのように変化するか。(A)
と(B)のそれぞれの変化について，次の(1)～(3)から選べ。

- (1) 上昇する (2) 変化しない (3) 低下する

カ 下線部⑥に関して，希薄溶液の溶媒の蒸気圧 p は溶媒のモル分率 x に比例し，純粋な溶媒の蒸気圧 p_0 を用いて $p = xp_0$ と表される。これをラウールの法則という。いま，少量の不揮発性の物質を水に溶解させた水溶液Sを調製し，水溶液Sと水の蒸気圧を比べたところ，水溶液Sの蒸気圧 P は水の蒸気圧 P_0 と比べて低く，両者の差 $\Delta P = P_0 - P$ は P_0 に対して 0.0720 % だった。大気圧における，水溶液Sと水の沸点の差は何 K か，有効数字2桁で求めよ。答えに至る過程も記せ。なお，水のモル沸点上昇の値 $K_b = 0.52 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ を用いてよい。また，蒸気圧降下の大きさの温度変化は無視してよい。

キ 下線部⑦の状態の変化は，固体の無機物や有機物の精製に使われる。以下に，ある化合物 A の精製(昇華精製)の説明文を記す。説明文中の下線部⑩のようにして，化合物 A をガラス容器の中間(位置 Y)に凝華させるべき理由を述べよ。なお，理由には，化合物 A が凝華したときに図 1—6 の X, Z の各位置に存在する物質に関する記述を含めること。

〔説明文〕

化合物 A とさまざまな不純物を含む粉末がある。この粉末を，図 1—6 に示すように，円筒形のガラス容器の左端(位置 X)に置いた。次に，粉末が飛散しないように気をつけながら，真空ポンプを用いてガラス容器内を減圧し，低い圧力 P_1 に保った。続いて，ガラス容器を加熱することで図 1—6 のグラフのようにガラス容器内に温度勾配をつけ，十分な時間保持した。その結果，位置 Y に化合物 A が凝華した。X, Z の各位置には固体の物質が存在した。その後，加熱をやめ，高い純度の化合物 A を位置 Y から回収した。

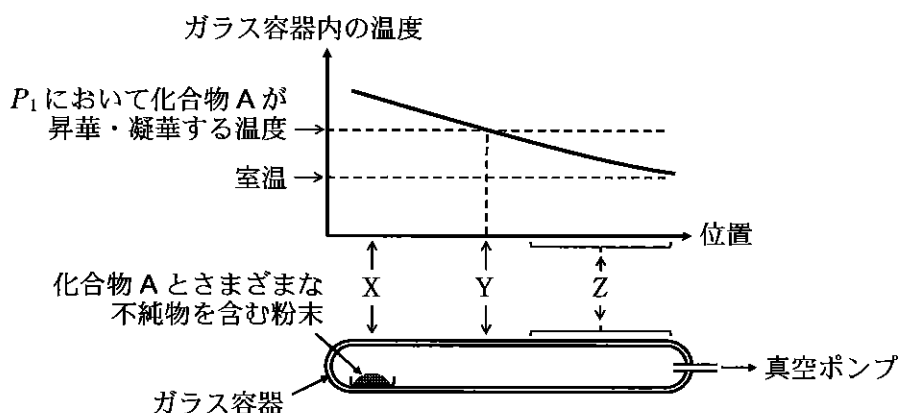


図 1—6 化合物 A の昇華精製の概略図

- ク 昇華精製は、さまざまな溶媒に対して低い溶解度をもつ固体物質の精製によく用いられる。一方、いずれかの溶媒に十分に溶解する固体物質の精製には、、 やクロマトグラフィーといった、溶媒を用いる手法が用いられることが多い。また、溶媒に十分に溶解する物質であっても、さらに純度を高めるために、溶媒を用いる手法により精製された後に、昇華精製が行われる^⑩こともある。 と にあてはまる最も適切な語句をそれぞれ5文字以内で記せ。また、下線部⑩の手順において昇華精製が行われる理由のうち、溶媒に関する理由を簡潔に述べよ。
- ケ 下線部⑨に関して、臨界点 C における水蒸気の実際の密度は、理想気体の場合と大きく異なる。理想気体を仮定したときに、点 C に近い温度 377 °C (650 K) と圧力 2.00×10^7 Pa における水蒸気の密度 [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] を有効数字 2 桁で求めよ。答えに至る過程も記せ。
- コ 下線部⑨に関して、臨界点 C では密度だけでなく熱やエネルギーについても特徴的な性質が現れ、曲線 TC に沿って点 C に向かうと が 0 に近づき、点 C において 0 になる。 にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

第2問

次の文章を読み、問ア～サに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

$$\log_{10} 0.5 = -0.30, \log_{10} 0.7 = -0.15$$

なお、[物質]は、ある物質の溶液中のモル濃度を表す。

火山で噴気として放出されるガス(火山ガス)は、その大部分を水蒸気が占め、他には二酸化炭素、硫化水素、二酸化硫黄、塩化水素等が含まれる。火山ガスを水酸化カリウム水溶液等の塩基性水溶液に通すと、二酸化炭素、硫化水素、二酸化硫黄、塩化水素は溶液に溶ける。この溶液中の各イオンの濃度を測定することで、火山ガス中の二酸化炭素と塩化水素の濃度を求めることができる。一方、硫化水素と二酸化硫黄は採取後に溶液中で互いに反応し、単体の硫黄を生成するため、この方法で火山ガス中の硫化水素と二酸化硫黄の濃度を求めることは難しい。そこで別に、ヨウ素酸カリウム(KIO_3)とヨウ化カリウムの塩酸酸性水溶液に火山ガスを通じ、硫化水素と二酸化硫黄をヨウ素と反応させ、それぞれ単体の硫黄と硫酸イオンを生成させる。この単体の硫黄と、溶液中の硫酸イオンを分けて定量することで、火山ガス中の硫化水素と二酸化硫黄の濃度を求める。

火山ガスに含まれる水と硫化水素は、ともに16族元素A(O, S, Se, Te)からなる H_2A 分子である。16族元素の H_2A 分子の沸点を比べると、水の沸点が他より異常に高い。これは水分子間に働く水素結合に由来する。水素結合を $\text{X}-\text{H}^{\delta+} \cdots \text{Y}^{\delta-}$ (XとYは主に酸素原子や窒素原子)と表記すると、 $\text{X}-\text{H}^{\delta+}$ と $\text{Y}^{\delta-}$ の間には、主に静電的な引力が働いている。

[問]

ア 下線部①に関して、図2-1のように火山ガスを氷水で冷却し、火山ガス中の水蒸気が凝縮した水を主とする液体(凝縮水)と、残留気体に分けて採取した。全ての二酸化硫黄は硫化水素と反応し、単体の硫黄を生成した。一方、二酸化炭素、硫化水素、塩化水素は、凝縮水か残留気体のいずれかに含まれていた。これら3つの成分が、それぞれ凝縮水と残留気体のいずれに主に含まれるか、理由とともに答えよ。

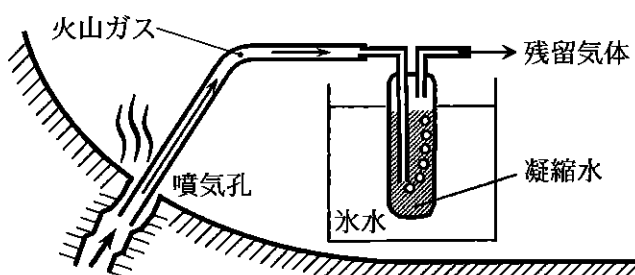


図 2—1 火山ガスからの凝縮水と残留気体の分取

イ 下線部②に関して、塩基性水溶液として水酸化カルシウム水溶液を使うと、はじめは炭酸カルシウム等の沈殿が生じるが、さらに火山ガスを通し続けると沈殿の量が減少する。これは炭酸カルシウムの沈殿が溶け、炭酸水素イオンとカルシウムイオンが生じるためである。

炭酸水素カルシウムは固体として単離されないため、水への溶解度を実験的に求めることはできない。しかし、炭酸カルシウムの沈殿の溶解が進行し、沈殿が完全に消失したとき、水溶液中に溶けている炭酸水素イオンとカルシウムイオンの量から、みかけの溶解度を理論的に計算することは可能である。

水酸化カルシウム水溶液に過剰の二酸化炭素を加え、炭酸カルシウムの沈殿が完全に消失したとき、水溶液の pH は 8.3 であった。このとき、炭酸水素カルシウムのみかけの溶解度 $[\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}]$ として、最も近いものを以下の(あ)～(お)から選べ。ただし計算の過程を示すこと。

必要に応じて以下の定数を用いてよい。

$$\text{炭酸カルシウムの溶解度積 } K_{\text{sp}} = 5.0 \times 10^{-9} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^2$$

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = 5.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 5.0 \times 10^{-11} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(あ) 5×10^{-4} (い) 5×10^{-3} (う) 5×10^{-2} (え) 5×10^{-1} (お) 5

- ウ 下線部③に関して、水溶液中の塩化物イオン濃度の測定には、クロム酸カリウム水溶液を指示薬として、硝酸銀水溶液により滴定する方法(モール法)がよく用いられる。しかし、下線部③の溶液中の塩化物イオン濃度は、モール法では正しく定量できない。その理由を述べよ。
- エ 下線部④の水溶液中でヨウ素が生成する反応式を書け。
- オ 下線部⑤に関して、二酸化硫黄がヨウ素を含む水溶液に溶け、亜硫酸が生じる反応式と、亜硫酸とヨウ素が反応して硫酸が生じる反応式をそれぞれ記せ。
- カ 下線部⑤に関して、火山ガス中のほぼ全ての硫化水素はヨウ素と反応して単体の硫黄を生じるが、その硫黄がさらにヨウ素と反応して亜硫酸を生じることはない。これにより硫化水素に由来する単体の硫黄と、二酸化硫黄に由来する硫酸を分別して定量できる。硫化水素とヨウ素が反応して単体の硫黄を生じる平衡反応と、単体の硫黄とヨウ素が反応して亜硫酸が生じる平衡反応の、反応式をそれぞれ記せ。また、実際にはこれらの平衡反応のいずれにおいても、硫黄を含む物質として単体の硫黄のみが生じる理由を述べよ。
- キ 下線部⑥に関して、分子の形は、電子対(共有電子対や非共有電子対)の間に働く静電的な反発が最も小さくなる構造から推定できる。16族元素の H_2A 分子には、2つのA-H結合の共有電子対と、A原子上の2つの非共有電子対がある。これら4つの電子対が、A原子を中心とした四面体の頂点方向に配置される場合に、電子対間の反発は最も小さい。そのため、16族元素の H_2A 分子は折れ線構造をとると推定される。

亜硫酸イオンの電子式を示し、上記を踏まえて亜硫酸イオンがとりうる立体構造を推定して図示せよ。またそのように推定した理由も簡潔に述べよ。ただし硫黄と酸素の間の結合はいずれも等価とする。なお立体構造を図示する際は、図2-2に示す六フッ化硫黄の例を参考にしてもよい。

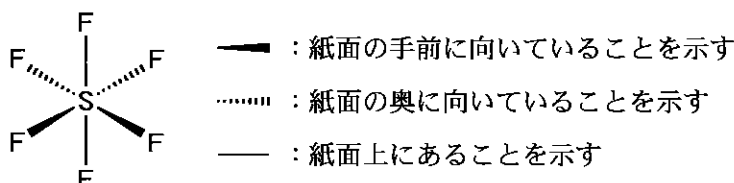
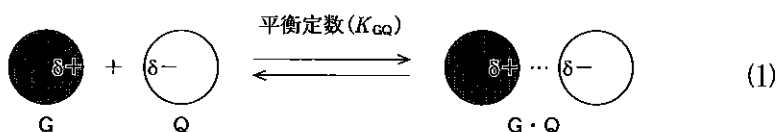


図2-2 六フッ化硫黄の立体構造を表す模式図

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

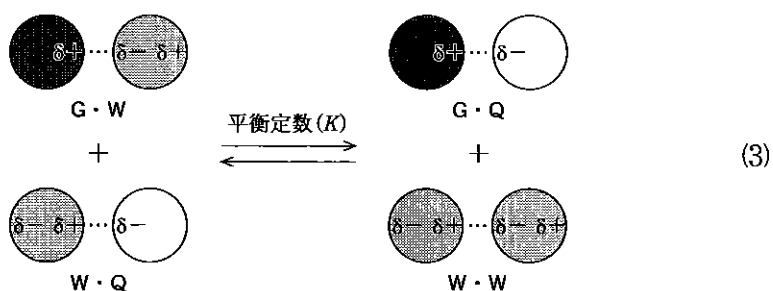
ク 下線部⑦に関して、 $X-H^{\delta+}$ を水素結合のドナー、 $Y^{\delta-}$ を水素結合のアクセプターと呼ぶ。水素結合のドナー部位をもつ分子 G とアクセプター部位をもつ分子 Q が、ある溶媒中で水素結合を介して複合体 $G \cdot Q$ を形成する式(1)の平衡を考える。



このとき、溶媒の影響を無視し、式(1)の反応の平衡定数 (K_{GQ}) を式(2)で定義する。

$$K_{GQ} = \frac{[G \cdot Q]}{[G][Q]} \quad (2)$$

つづいて、溶媒の影響を考慮し、 $G \cdot Q$ の形成を考える。溶媒分子 (W) が水素結合のドナー部位とアクセプター部位を併せもつ場合、複合体を形成していない G と Q は W と水素結合を形成し、この状態を $G \cdot W$ 、 $W \cdot Q$ と表す。 $G \cdot W$ と $W \cdot Q$ から $G \cdot Q$ の形成に伴い、2つの W が水素結合を介して二量体 $W \cdot W$ を形成すると仮定すると、溶媒 W の中で $G \cdot Q$ を形成する平衡は式(3)で表される。



ここで、 $G \cdot W$ 、 $W \cdot Q$ 、 $W \cdot W$ それぞれの形成を式(1)と同じように表し、これらの平衡定数 K_{GW} 、 K_{WQ} 、 K_{WW} を式(2)と同様に定義する。式(3)の平衡定数 (K) を K_{GW} 、 K_{WQ} 、 K_{GQ} 、 K_{WW} を使って表せ。

ケ 問クにおいて、式(1)の反応の平衡定数 K_{GQ} の常用対数 ($\log_{10} K_{GQ}$) が、 α_G と β_Q の積で表されるとする(式(4))。

$$\log_{10} K_{GQ} = \alpha_G \beta_Q \quad (4)$$

ここで、 α_G を G のドナー定数、 β_Q を Q のアクセプター定数と呼ぶ。これらはともに正の実数であり、G と Q が互いに相互作用する部分の電荷の絶対値に比例する。

W のドナー定数とアクセプター定数をそれぞれ α_W 、 β_W とする。ここで、 $\log_{10} K_{GW}$ 、 $\log_{10} K_{WQ}$ 、 $\log_{10} K_{WW}$ は式(5)~(7)で表されるとする。

$$\log_{10} K_{GW} = \alpha_G \beta_W \quad (5)$$

$$\log_{10} K_{WQ} = \alpha_W \beta_Q \quad (6)$$

$$\log_{10} K_{WW} = \alpha_W \beta_W \quad (7)$$

このとき問クの式(3)の平衡が右に偏る条件が、以下の2つのいずれかであることを示せ。

$$\alpha_G > \alpha_W \quad \text{かつ} \quad \beta_Q > \beta_W \quad (\text{条件 1})$$

$$\alpha_G < \alpha_W \quad \text{かつ} \quad \beta_Q < \beta_W \quad (\text{条件 2})$$

コ 問ケの条件1と2それぞれについて、G・Q を形成する駆動力を説明せよ。

サ 問クとケの考え方は、G と Q の間に水素結合を形成しない場合にも拡張できる。セッケンを水に溶かして生じる脂肪酸イオンは親水部と疎水部をもち、ある濃度以上になると水中でミセルを形成する(図2—3)。ミセルの形成では、式(3)のGとQがそれぞれ何に相当するか、図2—3中の(か)~(け)から選べ。また、このとき条件1と2のどちらが成立しているか、その理由とともに答えよ。

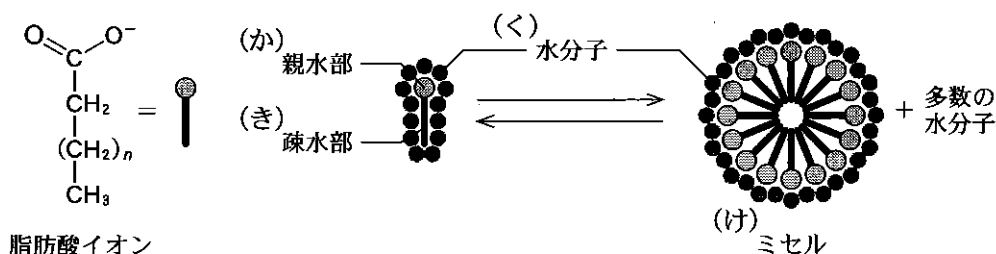


図2—3 ミセルの形成の模式図

セッケン由来の脂肪酸イオンおよびミセルに近接する水分子のみを模式的に示している。

第3問

次の文章を読み、問ア～ケに答えよ。なお、アミノ酸やペプチドの構造式は、それぞれのアミノ基、N末端を左側に置いて描くこと。特に指示がない限り、官能基の電離状態を考えなくてよい。必要があれば以下の原子量を用いよ。

H : 1.0, C : 12, N : 14, O : 16, S : 32

ペプチドは、構成要素となる複数のアミノ酸の間でアミノ基とカルボキシ基が脱水縮合してできた化合物で、鎖状のペプチドは、図3—1(a)に示すとおりN末端とC末端をもつ。図3—1(b)に示す α -アミノ酸においては、側鎖(R)が水素以外の場合、L型とD型の鏡像異性体が存在する。

①ペプチドは、脱水縮合を促進する試薬である「縮合剤」を用い、複数のアミノ酸を脱水縮合することで化学合成できる。アミノ酸は分子内にアミノ基とカルボキシ基を両方もつため、目的のペプチドを高い効率で合成するためには、これらの官能基の反応性を適切に制御することが重要である。②有機化学では、反応性の高い官能基を反応性の低い官能基に変換しておくことを「保護」といい、この目的に使用する原子団(基)を「保護基」という。また、保護基を適切な反応によって除去し、反応性の高いもとの官能基に戻すことを「脱保護」という。ペプチドの合成では、ペプチドの化学構造や脱水縮合の条件を考慮し、適切な保護基を選択する必要がある。③

ペプチドの合成法には、全ての反応を均一な溶液中で行う「液相合成法」と、不溶性の合成樹脂の細粒(樹脂ビーズ)上で反応を行う「固相合成法」がある。④固相合成法を用いると、数十個以上のアミノ酸が結合したポリペプチドの簡便な合成が可能になる。これにより生命科学研究や医薬品開発が飛躍的に進歩した。

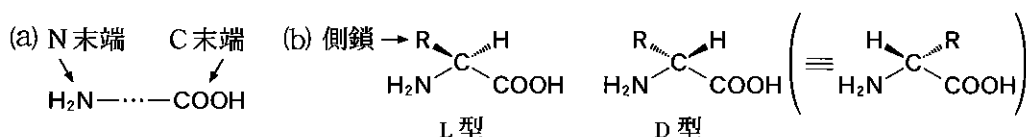


図3—1 ペプチドのN末端・C末端の定義と、 α -アミノ酸の構造

(a)ペプチドのN末端とC末端の定義。(b)L型とD型 α -アミノ酸の一般の構造。図の破線—くさび型表記では、破線で表される結合(／)が紙面奥側に、くさびで表される結合(／)が紙面手前側に出ていることを表す。なお、紙面奥側、手前側の結合を左右どちらに表記しても同じ構造を表す。

表 3—1 本問に関連する α -アミノ酸の名称，側鎖(R)の構造，分子量

名 称	側鎖(R)の構造	分子量	名 称	側鎖(R)の構造	分子量
グリシン	$-\text{H}$	75	リシン	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	146
アラニン	$-\text{CH}_3$	89	グルタミン酸	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	147
セリン	$-\text{CH}_2-\text{OH}$	105	メチオニン	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3$	149
システイン	$-\text{CH}_2-\text{SH}$	121	アルギニン	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\overset{\text{NH}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{NH}_2$	174
アスパラギン酸	$-\text{CH}_2-\text{COOH}$	133	チロシン	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	181

〔問〕

ア ピウレット反応を用いると，一般的にトリペプチド以上の長さのペプチドを検出できる。この反応に使用する最も適切な試薬を選択肢(1)～(5)から，また反応を行う水溶液の液性を選択肢(6)，(7)からそれぞれ選べ。

- (1) FeCl_3 (2) FeCl_2 (3) Cu_2O (4) CuSO_4
 (5) KMnO_4 (6) 酸性 (7) 塩基性

イ アミノ酸 A^1 ， A^2 ， A^3 ， A^4 から構成される鎖状テトラペプチド X の化学構造を決定する実験を行ったところ，以下のように結果 1 ～ 8 を得た。アミノ酸 A^1 ， A^2 ， A^3 の名称をそれぞれ書け。L 型と D 型を区別する必要はない。また， A^4 として考えるアミノ酸の構造式を図 3—2 を参考にして全て描け。アミドの C—N 結合は自由に回転できるものとする。

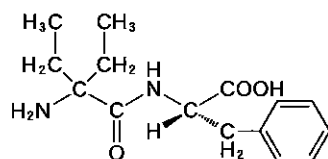


図 3—2 構造式の例

不斉炭素原子をもつ場合には，図 3—1 (b) に準じて破線—くさび型表記を用いよ。

結果 1： A^1 ， A^2 ， A^3 ， A^4 は全て異なるアミノ酸であった。

結果 2：ペプチド X の配列は N 末端から順に A^1 ， A^2 ， A^3 ， A^4 であった。

結果 3： A^1 ， A^2 ， A^3 はいずれも α -アミノ酸で，側鎖(R)は表 3—1 に示すもののいずれかであった。

結果 4： A^4 は 1 つのアミノ基 ($-\text{NH}_2$) と 1 つのカルボキシ基以外は飽和炭化水素で構成されるアミノ酸で，環状構造をもたなかった。

結果 5 : ペプチド X を塩酸で短時間処理し、部分的にアミド結合を加水分解すると、トリペプチド a, b とジペプチド c, d, e が得られた。

結果 6 : 結果 5 で得られた a, b, c, d, e について、pH 7.0 の緩衝液を用いて電気泳動を行ったところ、a と c のみが陰極側に移動した。

結果 7 : 結果 5 で得られた c の分子量は 220 未満であった。また、c を完全に加水分解して得られたアミノ酸のうち、pH 7.0 の緩衝液中、電気泳動で陰極側に移動したアミノ酸を元素分析した結果、質量百分率が C : 49.3 %, H : 9.6 %, N : 19.2 %, O : 21.9 % であった。

結果 8 : 結果 5 で得られた a, b, c, d, e のうち 1 種類のペプチドは立体異性体をもたず、そのペプチドの分子量は 150 以上 170 未満であった。

ウ 下線部①に関連して、化合物 B から触媒 C を用いて、D 型アラニンに容易に変換可能な化合物 D を合成した(図 3—3)。これに関する以下の文章の空欄 あ ~ う にあてはまる最も適切な語句を記せ。なお、う は「奥」または「手前」のいずれかで解答せよ。

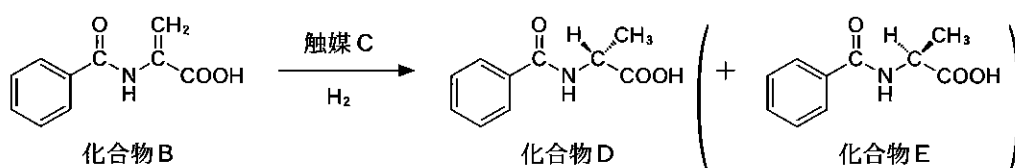


図 3—3 化合物 B と触媒 C を用いた化合物 D の合成反応式

破線—くさび型表記は図 3—1 (b) に準ずる。

化合物 B の水素化を行う際に、鏡像異性体の一方である触媒 C (不斉触媒) を用いたところ、化合物 D が化合物 E よりも多く生成した。この反応の遷移状態では、化合物 B, 触媒 C, 水素の 3 成分から複合体が生じる。このとき、水素が図 3—3 における化合物 B の紙面手前側から反応するか、奥側から反応するかによって、あ の関係に相当する 2 種類の遷移状態が形成される。あ は物理的・化学的性質が異なるため、2 種類の遷移状態を経由する反応経路において、い に差が生じる。図 3—3 の反応では、水素が紙面 う 側から反応する方が い が小さいため反応が進行しやすく、化合物 D が多く生成した。

- エ 下線部②に関連して、同じ物質量の L 型アラニンとグリシンを溶媒中で混合し、縮合剤を作用させた。このとき生じうる鎖状ジペプチドは何種類考えられるか、数字で答えよ。ただし、不斉炭素原子に結合した原子および原子団(基)の立体的な配置は変化しないものとする。
- オ 下線部②に関連して、L 型アラニンのアミノ基がアセチル基で保護された化合物と、グリシンのカルボキシ基がエチルエステルとして保護された化合物を脱水縮合して得られる、保護されたジペプチドの構造式を問イの図 3—2 に記載された構造式の例にならって描け。
- カ 下線部③に関連して、ポリペプチドの合成について考える。適切な保護基をもつアミノ酸を用いると、N 末端と C 末端の両方が保護されたジペプチドの N 末端のアミノ基のみを選択的に脱保護できる。こうして得られた C 末端が保護されたジペプチドと、アミノ基が保護された別のアミノ酸を脱水縮合すれば、N 末端と C 末端の両方が保護されたトリペプチドが得られる。このように脱保護—脱水縮合を繰り返し、最後に脱保護することで配列を制御してポリペプチドを合成できる。ここで、アミノ基がアセチル基で保護されたアミノ酸を用いると、ポリペプチドの収量が大幅に低下してしまう。この理由を脱保護時に起こりうる具体的な反応に言及し、簡潔に説明せよ。
- キ 下線部④に関して、固相合成法の概略を図 3—4 および図 3—5 に示す。目的のペプチドを高い純度で合成するためには、液相合成法、固相合成法いずれの場合も、各工程において未反応の保護されたアミノ酸や縮合剤由来の不要な生成物などを除く精製操作が必要である。液相合成法では、カラムクロマトグラフィーなどの煩雑な精製操作が必要であるが、固相合成法では精製操作を大幅に簡略化できる。固相合成法においてどのような実験操作を行うと、不要な化合物を効率的に除去できるか、簡潔に説明せよ。

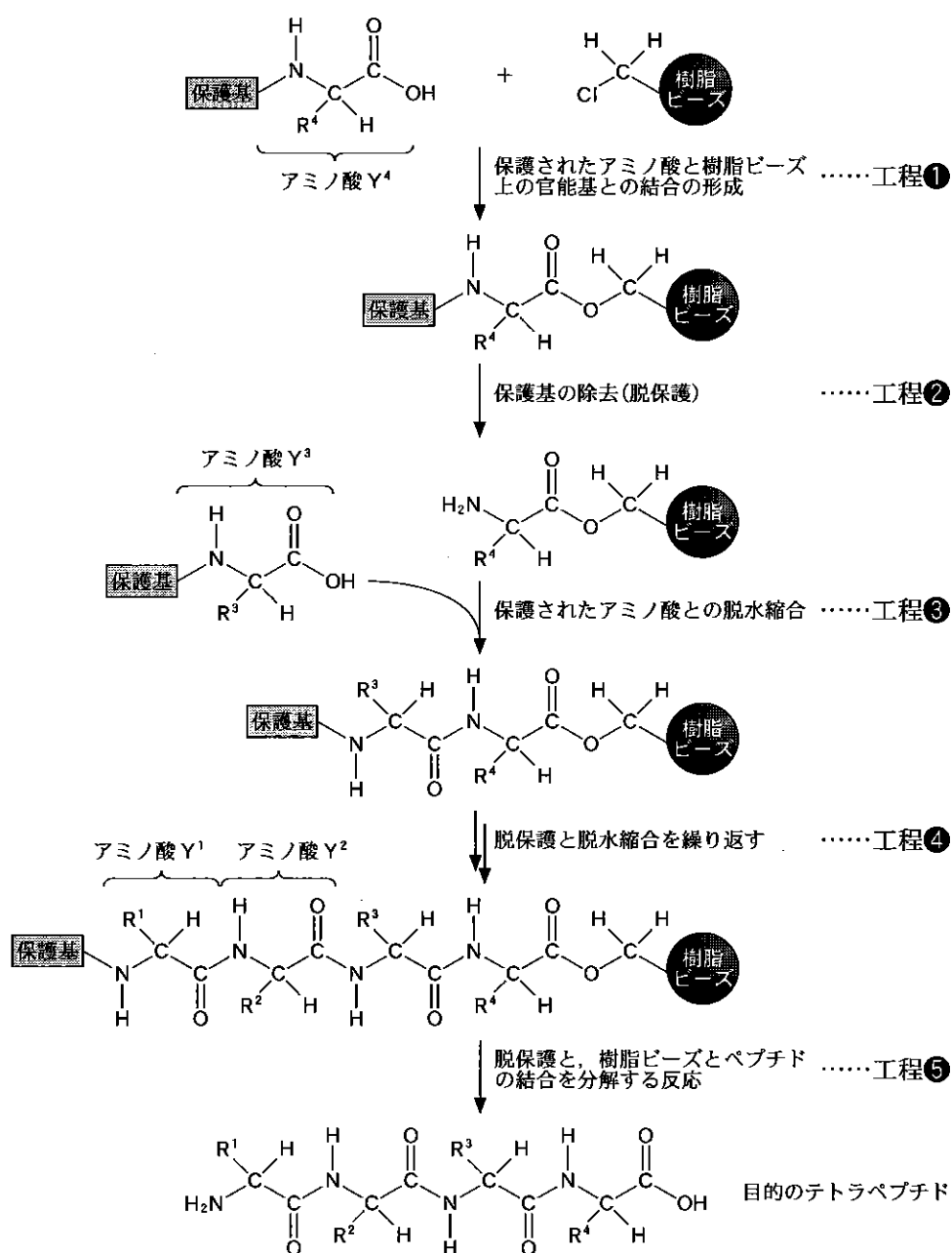


図 3—4 テトラペプチドを例としたペプチド固相合成の手順

保護されたアミノ酸 $Y^1 \sim Y^4$ を用いて、樹脂ビーズ上でペプチド鎖を N 末端方向に伸長させ、最後に脱保護、および樹脂ビーズ上の官能基とペプチドの間の結合を分解する反応を行うことで、目的のペプチドが得られる。樹脂ビーズには多数のペプチド鎖が結合しているが、図では簡略化のため、そのうちの 1 本のペプチド鎖のみが描かれている。

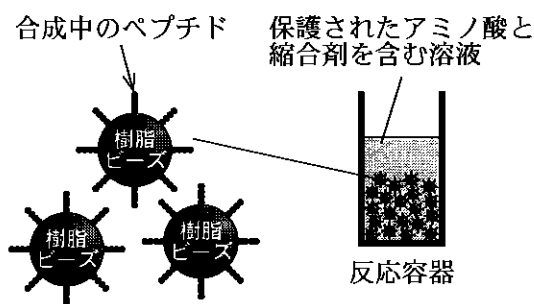


図 3—5 ペプチド固相合成中の反応容器の様子

- ク 図 3—4 にしたがって、それぞれ適切に保護されたグリシン，D 型アスパラギン酸，D 型リシン，L 型チロシンを順に用い，ペプチド Z を得た。Z を水酸化ナトリウム水溶液中に溶解させた際，最も多く存在する Z のイオンの構造式を，官能基の電離状態を考慮して描け。なお，図 3—6 に示したペプチドの部分構造を解答用紙に描き写し，図 3—1 (b) も参考にしながら，破線—くさび型表記を用いて，必要な構造を描き加えて完成させよ。アミド結合の NH は電離せず，アミノ酸側鎖はペプチド合成時に反応に関与しないものとする。また，水酸化ナトリウム水溶液中でペプチド結合は安定に存在し，不斉炭素原子に結合した原子および原子団(基)の立体的な配置は変化しないものとする。

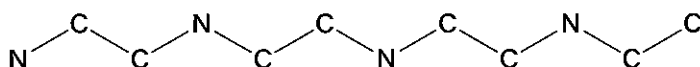


図 3—6 解答用紙に描き写すペプチドの部分構造

- ケ 図 3—4 に示す固相合成の途中で，保護されたアミノ酸 Y³ の脱水縮合(工程③)の実験操作が終わり，ペプチドの N 末端の脱保護を行う前に，樹脂ビーズを一部小分けにした。この小分けした樹脂ビーズをニンヒドリン溶液に浸し加熱したところ，青紫色を呈した。この結果を踏まえ，目的のテトラペプチドを高い収量で得るために，次に行うべき適切な実験操作を，理由とともに簡潔に述べよ。なお，保護基が脱保護の反応条件以外で除去されることはなく，ペプチド中のアミノ酸側鎖の影響は考慮しないものとする。

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。)

生 物

第1問

次の文1～4を読み、問A～Jに答えよ。

[文1]

線虫 *Caenorhabditis elegans* は遺伝学や神経科学の分野でよく用いられるモデル生物である。体は小さく透明で、大腸菌をえさとして容易に飼育できる。302個ある神経細胞のそれぞれに名前が付けられている。また、さまざまな遺伝子の変異体を実験に用いることや、外部から遺伝子を導入して特定の神経細胞で発現させることも容易である。こうした利点をいかして、神経系の機能に重要な遺伝子についてさかんに調べられてきた。

線虫は特定の味覚物質や匂い物質、温度などに誘引される走性行動を示す。中でも塩(NaCl)に対する走性行動(塩走性)について詳しく調べられている。線虫はえさとともに感じた周囲の塩濃度を記憶し、塩濃度の勾配がある寒天プレートに置かれると、記憶した塩濃度の領域に誘引される。また、えさがない培地で条件付けされると、そのとき感じていた塩濃度を忌避するようになる。

実験1 線虫は通常 50 mM NaCl, えさありの培地で飼育されている。ここで mM はミリ mol/L を表す。飼育時と同じ 50 mM NaCl, えさありの培地で条件付けされた野生型の線虫を、図1－1のような塩濃度勾配のあるプレートにおくと、塩濃度が 50 mM 付近である中央区画に集まる誘引行動を示した。一方、50 mM NaCl, えさなしの培地で条件づけされた野生型の線虫は、中央区画を避ける忌避行動を示した(図1－2と図1－3)。ただし、中央区画への集合率は、以下の式によって計算した。

$$(\text{中央区画への集合率}) = \frac{(\text{中央区画の線虫の数})}{(\text{プレート全体の線虫の数})}$$

寒天プレートを上から見た図

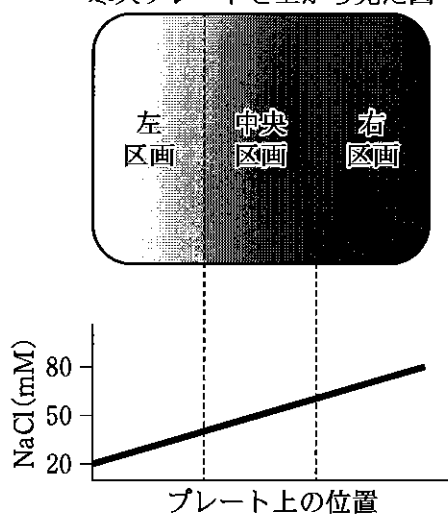


図 1—1 寒天プレートの塩濃度勾配

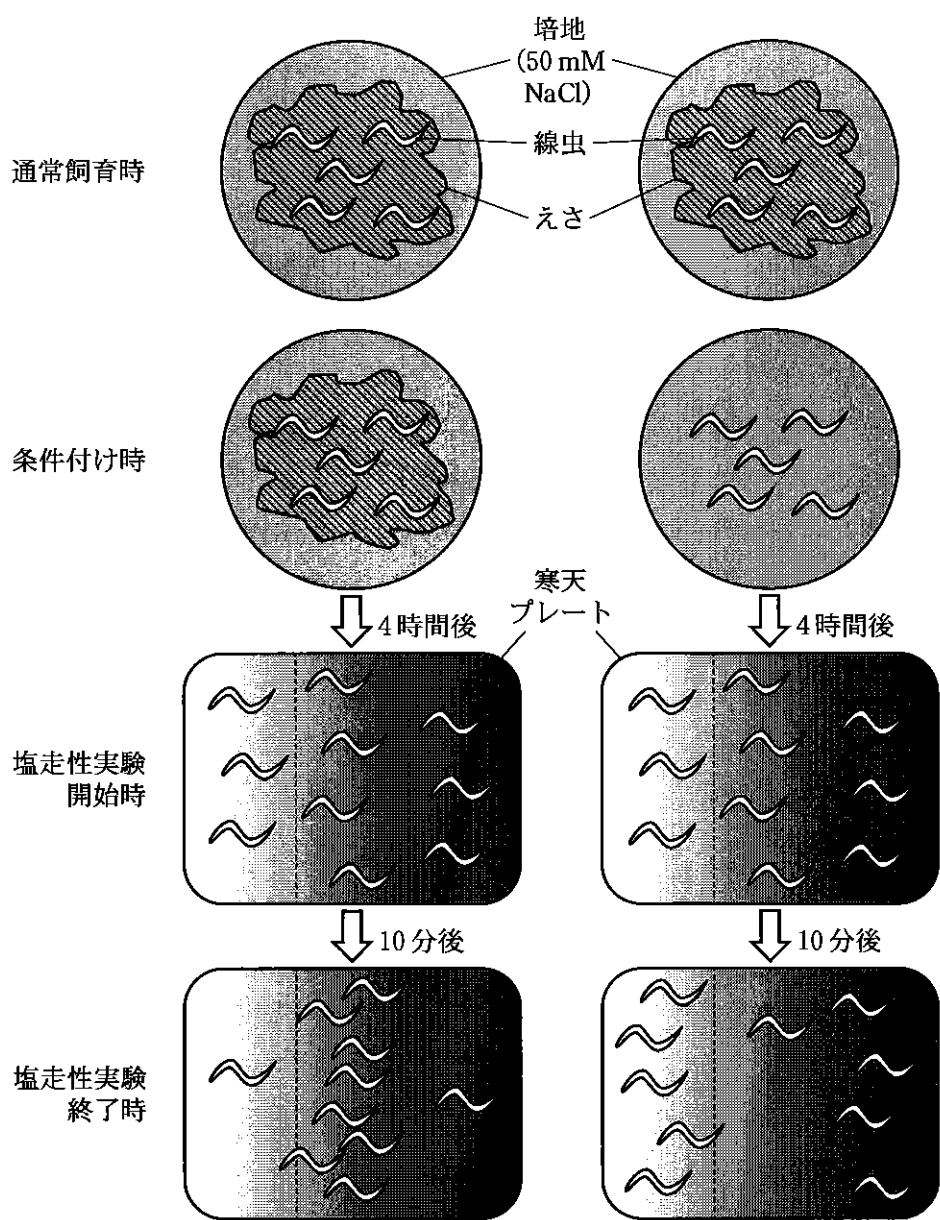


図 1—2 条件付けと塩走性

(左) 50 mM NaCl, えさありで条件付けした場合の塩走性
 (右) 50 mM NaCl, えさなしで条件付けした場合の塩走性

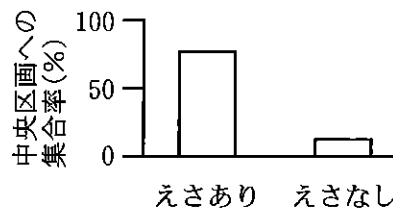


図 1—3 飼育環境と塩走性 (中央区画への集合率)

[文 2]

線虫が塩走性行動を示すには、神経細胞 A が NaCl を受容することが必要である。遺伝子 *G* は神経細胞 A でのみ発現しており、NaCl の受容に必要である。遺伝子 *G* を全身で欠損した変異体は、塩濃度勾配のある寒天プレート上では、塩濃度によらず均一に分布する。また、ある遺伝子 *D* は神経細胞 A を含むいくつかの神経細胞で発現している。この遺伝子 *D* の機能を調べるため、以下の実験では、さまざまな遺伝子型の線虫を 50 mM NaCl, えさなしで条件付けして、塩に関する忌避行動を調べた。

実験 2 遺伝子 *D* や遺伝子 *G* が全身で欠損した変異体を用いて、塩に関する忌避行動を調べたところ、図 1—4 のような結果を得た。

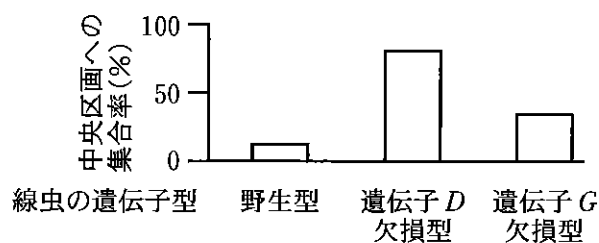


図 1—4 遺伝子 *D* や遺伝子 *G* の欠損が忌避行動に与える影響

[文3]

遺伝子はゲノム DNA を鋳型として RNA へ転写されたあと、スプライシングを受けて成熟したメッセンジャー RNA (mRNA) となり、タンパク質に翻訳される。一方、mRNA を鋳型として DNA へ 1 することで、complementary DNA (cDNA : mRNA と相補的な配列を持つ 1 本鎖 DNA, あるいはこれを元に作製した 2 本鎖 DNA のこと) が得られる。特定の細胞で転写を誘導する配列を含むゲノム DNA を cDNA につないで、線虫に導入すると、特定の細胞で遺伝子を強制的に発現させることができる。

遺伝子 *D* はあるペプチドホルモンの受容体 *D* をコードしている。遺伝子 *D* から 2 ⁽⁷⁾ によって 2 種類の mRNA が生じることが知られていた。これらの mRNA から翻訳されるタンパク質をそれぞれアイソフォーム 1 およびアイソフォーム 2 とする。これらのタンパク質の構造を図 1—5 に示す。

受容体 *D* アイソフォーム 1 は二量体を形成しており、ペプチドホルモンと結合すると、酵素 *E* を活性化する。活性化された酵素 *E* はシグナル分子を生成して細胞内に情報を伝える。

受容体 *D* アイソフォーム 2 も二量体を形成しており、ペプチドホルモンと結合するが、細胞膜を貫通する部位や酵素 *E* と相互作用する部位が欠失しており、細胞膜上に固定されていない。

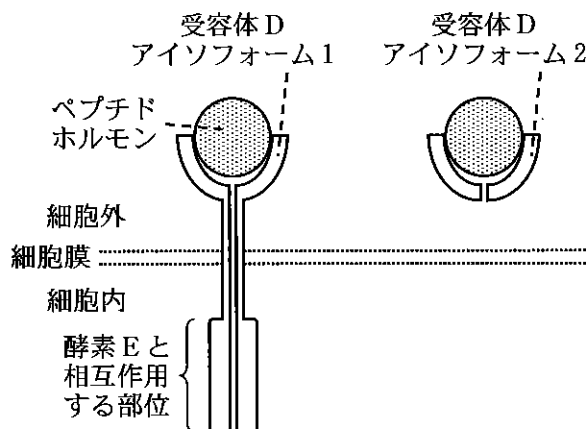


図 1—5 受容体 *D* のアイソフォームの構造

実験3 受容体Dのアイソフォーム1のcDNAを遺伝子Dの欠損変異体へ導入して様々な神経細胞で発現させ、塩に関する忌避行動を観察したところ、図1—6のような結果を得た。

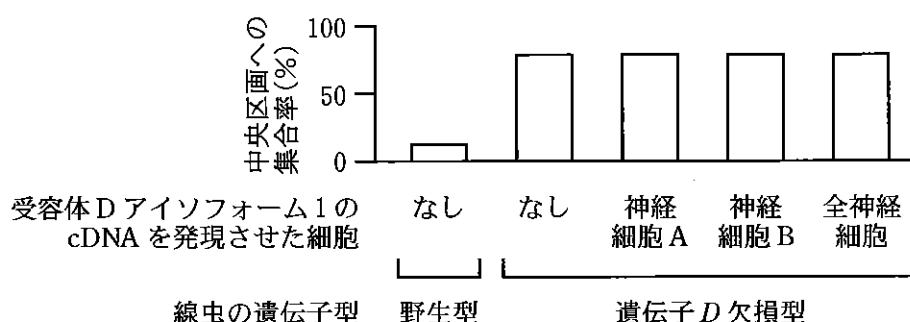


図1—6 受容体Dアイソフォーム1が忌避行動に与える影響

実験4 野生型の線虫からmRNAを抽出して 1 し、様々な遺伝子に由来するcDNAが含まれたcDNAライブラリーを作製した。さらに遺伝子Dに由来するcDNAの全長をポリメラーゼ連鎖反応法(PCR法)で増幅したところ、アイソフォーム1のcDNAと未知のアイソフォームのcDNAの混合物が得られた⁽⁹⁾。新たに見つかったアイソフォームをアイソフォーム3とした。受容体Dアイソフォーム3の構造はアイソフォーム1とほぼ同じだが、アイソフォーム3のcDNAの塩基配列を解読したところ、2 によって、アイソフォーム1と共通のエキソンの間に、アイソフォーム3に特異的なエキソンが挿入されていることがわかった。

実験5 受容体Dのアイソフォーム3のcDNAを遺伝子Dの欠損変異体へ導入して様々な神経細胞で発現させ、塩に関する忌避行動を観察したところ、図1—7のような結果を得た。

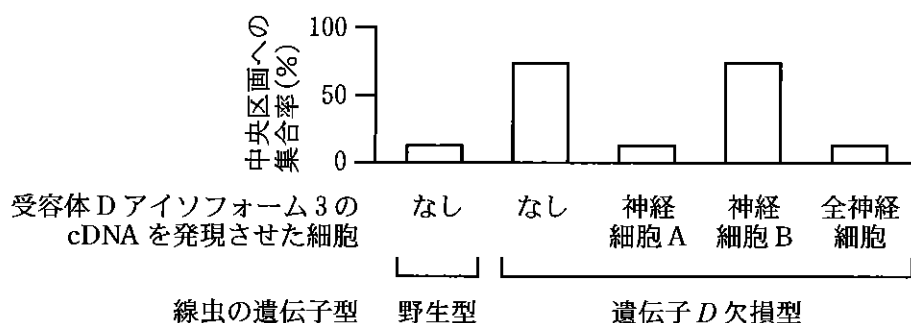


図 1—7 受容体 D アイソフォーム 3 が忌避行動に与える影響

[文 4]

遺伝子 D のアイソフォーム 3 の cDNA で新たに見つかったエキソンがコードするアミノ酸配列は、別のタンパク質 C と結合する部位を含んでいた(図 1—8)。遺伝子 C がコードするこのタンパク質 C は、微小管を介した細胞内の物質輸送にかかわるキネシンタンパク質と結合する部位を持ち、様々な分子を同一細胞の別の場所へ輸送していることが知られている。受容体 D のアイソフォーム 3 は、特異的なエキソンに対応する部位を介してタンパク質 C と結合し、キネシンによって同一細胞の別の場所へ輸送されている可能性があると考えられた。

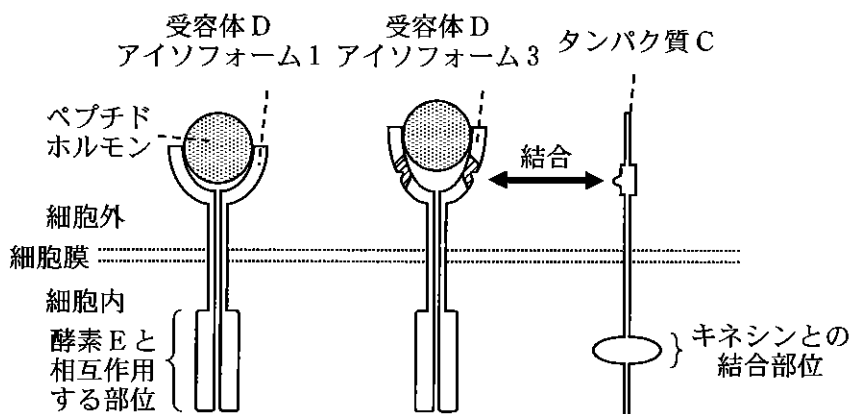


図 1—8 受容体 D アイソフォーム 3 の構造

アイソフォーム 3 の斜線部は特異的なエキソンに対応する部位を示す。

[問]

A 実験2について。図1—4の結果から、遺伝子*D*のはたらきについてどのようなことが推測できるか。最も適切なものを以下の(1)~(3)から1つ選べ。

- (1) 遺伝子*D*はNaClの受容に必要である。
- (2) 遺伝子*D*はえさの情報に基づく忌避行動の調整に必要である。
- (3) 遺伝子*D*は線虫が移動するための筋肉を動かすのに必要である。

B 文中の

1

 と

2

 に入る最も適当な用語を答えよ。

C 下線部(ア)について。ペプチドホルモンの例として最も適切なものを以下の(1)~(4)から1つ選べ。

- (1) アンドロゲン
- (2) インスリン
- (3) グリコーゲン
- (4) グルタミン

D 遺伝子*D*は寿命の制御に関わっていることが知られている。野生型の線虫と遺伝子*D*を欠損した線虫の寿命を調べたところ、それぞれ図1—9の(イ), (ウ)のようになった。また遺伝子*D*を欠損した線虫に受容体Dのアイソフォーム1を発現させると、寿命は図1—9の(イ)のようになった。また野生型の線虫に酵素Eを大量に発現させると、寿命は図1—9の(ウ)のようになった。一方、野生型の線虫に受容体Dのアイソフォーム2を大量に発現させると、寿命は図1—9の(ウ)のようになった。受容体Dのアイソフォーム2を大量に発現させたとき、このような結果が得られたのはなぜか。下線部(イ)をふまえて2行以内で記せ。

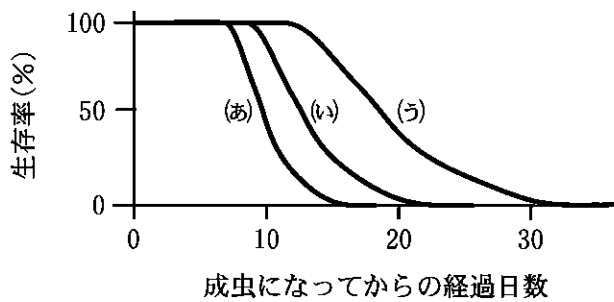


図 1—9 遺伝子 *D* と寿命の関連

E 問Dの結果をふまえると、遺伝子 *D* は寿命をどのように制御しようと考えられるか。最も適切なものを以下の(1)~(3)から 1 つ選べ。

- (1) 遺伝子 *D* は寿命を延長する方向にはたらく。
- (2) 遺伝子 *D* は寿命を短縮する方向にはたらく。
- (3) 遺伝子 *D* は寿命の延長と短縮の両方にはたらく。

F 下線部(ウ)について。遺伝子 *D* のゲノム構造は図 1—10 のようになっている。受容体 *D* のアイソフォーム 1 の cDNA とアイソフォーム 3 の cDNA の混合物に対して、図 1—10 に示したプライマー(1)~(7)を組み合わせる PCR 法で増幅し、電気泳動法で分離したところ、図 1—11 のような結果が得られた。アイソフォーム 3 に特異的なエクソンはどの領域にあるか。図 1—10 の(ア)~(エ)から 1 つ選べ。

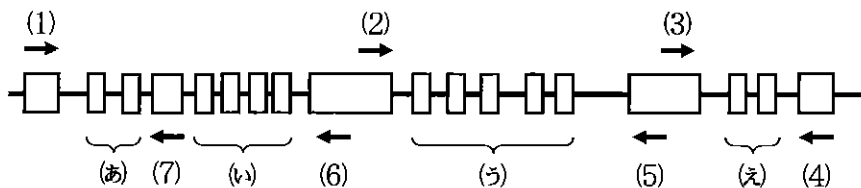


図 1—10 遺伝子 *D* 領域のゲノム構造

白い四角は遺伝子 *D* のエクソンを示す。矢印はプライマーの位置と 5′ 末端から 3′ 末端への向きを示す。

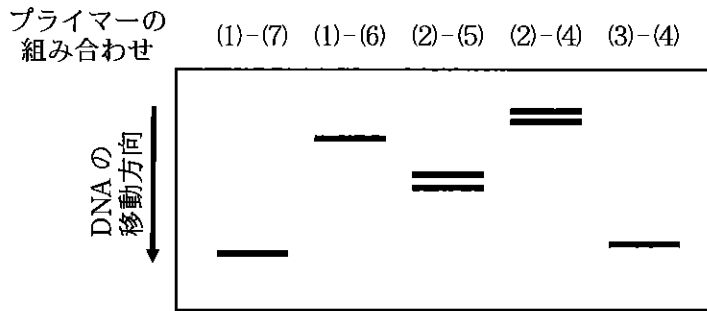


図 1—11 電気泳動法による分離の結果

G 実験 3～5 について。図 1—6 および図 1—7 の結果から、忌避行動における受容体 D の各アイソフォームのはたらきに関してどのようなことが推測できるか。2 行程度で記せ。ただし実験 3 と実験 5 において、導入した遺伝子の発現量の影響は考えないものとする。

H 受容体 D のアイソフォーム 3 がどこに輸送されるか、線虫を生きたまま顕微鏡で観察することで確かめたい。どのような工夫をして何を観察すればよいか。2 行程度で記せ。

I 受容体 D が同一細胞の別の場所へ輸送されることが忌避行動にとって必要であることを確かめたい。どの遺伝子の欠損変異体を用いて何を観察すればよいか。1 行程度で記せ。ただし微小管やキネシンの欠損変異体は生存できないため観察に使えないものとする。

J 一連の実験から、受容体 D のアイソフォーム 1 とアイソフォーム 3 は、線虫の忌避行動におけるはたらきが異なることが示された。受容体 D が同一細胞の別の場所へ輸送されることがこの違いを生みだしていることを、アイソフォーム 1 を用いて確かめたい。どのような工夫をして何を観察すればよいか。2 行程度で記せ。

第2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。

被子植物では、同じ花の中にめしべとおしべの両方が存在する両性花をつける種が8割以上を占める。多くの動物のように個体ごとに雌雄が分かれている場合に比べ、より多くの交配の機会を得られることが両性花の利点である。しかし、両性花では同じ花、あるいは同じ個体の中で受粉が起きやすく、自家受粉によってできた子孫の生存率や繁殖力が低下することがある。そのため、両性花をつける植物には、同じ個体の花粉がめしべに受粉しても花粉管の伸長が妨げられる自家不和合性と呼ばれるしくみをもつものが多い。一方、被子植物の中には、雌花または雄花のように、どちらかの性に特化した花をつけるものも存在する。雌花や雄花のことを単性花といい、1つの個体が雌花と雄花をつける場合を雌雄同株、集団内に雌花のみをつける個体と雄花のみをつける個体が存在する場合を雌雄異株という。単性花には、雌雄同株の場合は同じ花の中での、雌雄異株の場合は同じ個体の中での受粉を回避できる利点がある。

アスバラガスやキウイフルーツは雌雄異株の植物であり、個体の性は性染色体によって決定される。一方、トウモロコシやメロンは雌雄同株であり、性染色体はもたない。雌雄同株の植物において、雌花と雄花はどのように作られるのだろうか。メロンでは、めしべとおしべの分化に G 、 M 、 A の3つの遺伝子が関与することがわかっており、それらは図2—1のようなはたらきをもつ。 G 遺伝子と M 遺伝子はそれぞれめしべとおしべの形成を阻害し、 G 遺伝子はさらに M 遺伝子のはたらきを抑制する。また、 G 遺伝子のはたらきは植物ホルモンのエチレン^(イ)によって抑制され、 A 遺伝子はエチレンの合成を促進することで G 遺伝子のはたらきを抑制する。そのため、個体内で A 遺伝子が発現している部位では G 遺伝子のはたらきが抑制されて雌花ができ、 A 遺伝子が発現していない部位では G 遺伝子が活発にはたらき雄花が作られると考えられている。また、 M 遺伝子のはたらきが欠損した変異体では両性花が作られることがある。

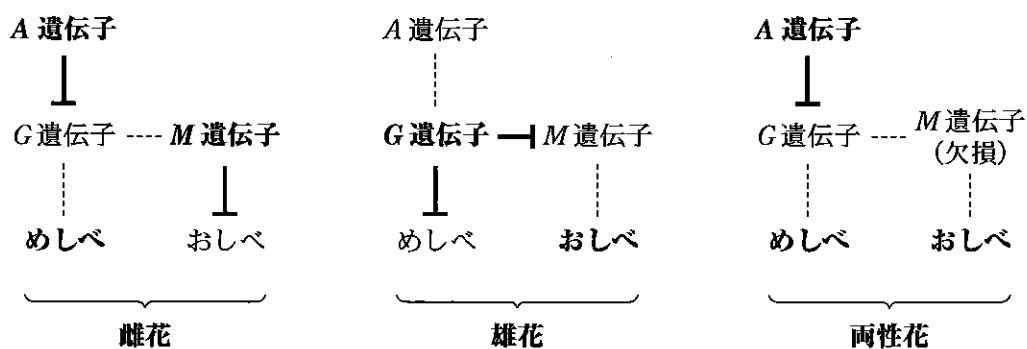


図 2—1 メロンにおける G , M , A 遺伝子のはたらき

┐の記号は抑制を表し、点線はその抑制が起きていないことを表す。発現していない遺伝子、はたらきが欠損している遺伝子、形成が阻害されているめしべとおしべを細字で示してある。

表 2—1 メロンの花に関する表現型と遺伝子型

観察された表現型	遺伝子型		
	<i>G</i> 遺伝子	<i>M</i> 遺伝子	<i>A</i> 遺伝子
あ	<i>g/g</i>	<i>M</i> /—	—/—
い	<i>G</i> /—	—/—	<i>a/a</i>
う	<i>g/g</i>	<i>m/m</i>	—/—
雌花, 雄花	<i>G</i> /—	<i>M</i> /—	<i>A</i> /—
雄花, 両性花	<i>G</i> /—	<i>m/m</i>	<i>A</i> /—

大文字, 小文字はそれぞれ顕性, 潜性の対立遺伝子(アレル)を表す。
表中の「—」は, いずれの対立遺伝子の場合も同じ表現型が観察されたことを示す。

G, *M*, *A* の 3 つの遺伝子のはたらきをさまざまな組み合わせで欠損させた変異体を作出したところ, 花の性について異なる表現型をもつ植物が得られた。

表 2—1 はそれぞれの表現型をもつ植物の遺伝子型をまとめたものである。

表 2—1 の結果をふまえ, 1 遺伝子が顕性ホモ接合, 2 遺伝子と 3 遺伝子が潜性ホモ接合である雌株と, 4 遺伝子が顕性ホモ接合, 5 遺伝子がヘテロ接合, 6 遺伝子が潜性ホモ接合である雄株を交配させたところ, 雌株と雄株が 1 : 1 の割合で出現する人工的な雌雄異株の植物を作ることに成功した。

[問]

A 下線部(ア)について。子孫の生存率や繁殖力の低下(近交弱勢)がなぜ起こるかを1行程度で答えよ。

B 下線部(イ)について。エチレンに関する記述として正しいものを以下の選択肢(1)~(4)から全て選べ。

- (1) セルロース繊維の並び方を制御し、成長軸方向への伸長を促進する。
- (2) ブドウやイチゴなど、収穫後に成熟が進まない果実では生成されない。
- (3) 離層が関わる器官の脱離においてオーキシンと反対のはたらきをもつ。
- (4) 物理的接触のない植物間でも作用することがある。

C 表2—1の

あ

 ,

い

 ,

う

 それぞれに入る花の性を以下の選択肢から選んで答えよ。該当するものが複数ある場合は全てを選ぶこと。

[選択肢] 両性花, 雌花, 雄花

D 文中の

1

 ~

6

 それぞれに入る遺伝子名を G, M, A から1つずつ選んで答えよ。

II 次の文1，文2を読み，問E～Iに答えよ。

[文1]

単性花の進化には，細胞核の遺伝子のはたらきだけでなく，ミトコンドリアが関わることもある。植物細胞において，DNAは主に細胞核に存在するが，葉緑体やミトコンドリアにもDNAは存在し，さまざまなはたらきをもつ遺伝子をコードしている。細胞核のDNA上の遺伝子は基本的にメンデルの法則に従って次世代に伝わるが，葉緑体やミトコンドリアのDNAは多くの場合，卵細胞に含まれるもののみが次世代に伝わる。このような遺伝様式を母性遺伝と呼ぶ。

自然界に見られるさまざまな植物で，ミトコンドリアに雄性不稔遺伝子が存在^(ウ)することがあり，ミトコンドリアにこの遺伝子が存在する個体では正常な花粉が作られず，全ての花が機能的には雌花になる。一方，個体によっては，雄性不稔遺伝子のはたらきを抑えて正常に花粉を作らせる稔性回復遺伝子を細胞核にもつことがあり，稔性回復遺伝子のはたらいている個体では，ミトコンドリアに雄性不稔遺伝子が存在していたとしても正常な花粉が作られる。

日本各地の海岸沿いに自生するアブラナ科のハマダイコンは，ミトコンドリアの雄性不稔遺伝子のはたらきによって，雌花のみをつける個体(雌株)と両性花のみをつける個体(両性株)が集団中に存在する植物の一つである。九州北部沿岸の各ハマダイコン集団で，集団中の雌株の割合と，ミトコンドリアに雄性不稔遺伝子をもつ個体の割合を調べたところ，図2―2の結果を得た。

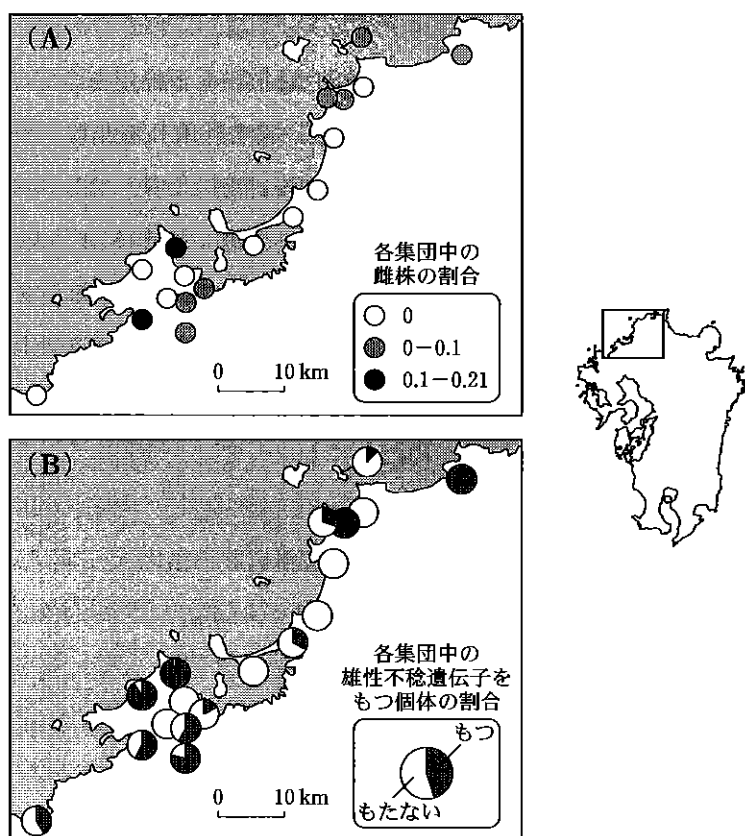


図2—2 九州北部沿岸における各ハマダイコン集団の雌株の割合(A)と雄性不稔遺伝子をもつ個体の割合(B)

(A)では、雌株の割合が0の集団を白色、0より大きく0.1未満の集団を灰色、0.1以上(0.21が最大)の集団を黒色の円で示す。(B)では、個体の割合を円グラフで示す。

[文2]

ハマダイコンのように、同じ集団中に雌株と両性株が共存する植物は多いが、雌株と両性株が共存する植物種は極めて少ない。両性株に比べ、雄株は花粉を通じてしか次世代に遺伝子を残せない点で不利であるため、両性株の集団に雄株が生じても雄株は集団中に広まりにくいと考えられている。モクセイ科のフィリレア・アングスティフォリア^(x)は、被子植物では例外的に雄株と両性株が集団中で安定的に維持されている。この植物でどのように集団中に雄株と両性株が維持されるのかを調べるため、以下の実験1～2を行った。

実験1 両性株6個体(H1～H6とする)を選び、それぞれの個体の花粉を、同じ個体の花、および異なる個体の花に授粉する操作を全ての個体の組み合わせで行った。授粉から24時間後、花を採取して花粉管を染色する試薬でめしべを処理し、顕微鏡で観察することにより、めしべの中で花粉管が伸長したかどうかを確認した。また、雄株3個体(M1～M3とする)の花粉を、上記の両性株6個体の花に授粉し、花粉管の伸長を同様に観察した。実験に用いる花は、組み合わせごとに異なるものを使用し、また、授粉を行う時点でめしべに他の花粉がついてないことを確認した。この実験から、表2—2の結果を得た。

表2—2 授粉実験の結果

			花粉								
			両性株						雄株		
			H1	H2	H3	H4	H5	H6	M1	M2	M3
めしべ	両性株	H1				○	○	○	○	○	○
		H2				○	○	○	○	○	○
		H3				○	○	○	○	○	○
		H4	○	○	○				○	○	○
		H5	○	○	○				○	○	○
		H6	○	○	○				○	○	○

表中の○で示されている個体の組み合わせにおいては花粉管が伸長したが、空欄の組み合わせでは花粉管が伸長しなかった。

実験2 実験1の結果から、フィリレア・アングスティフォリアの両性株には、
 個体H1のめしべ上で花粉管が伸長せず個体H1と交配ができない個体
 と、正常に花粉管が伸長して交配可能な個体があることがわかったため、
 それぞれの表現型をHa, Hbとした。そこで、両性株と雄株の遺伝様式
 を調べるため、実験1と同じ個体を用いていくつかの組み合わせで授粉実
 験を行い、得られた種子を育てて花の性を確認した。花が両性花だった場
 合は、その花の花粉を個体H1の花に授粉し、花粉管の伸長を観察して
 表現型がHa, Hbのどちらであるかを確認した。この実験から、表2—
 3の結果を得た。

表2—3 授粉実験によって得られた種子から育てた個体の表現型

		花粉				
		両性株 H 1	両性株 H 4	雄株 M 1	雄株 M 2	雄株 M 3
めしべ	両性株 H 1		両性株 Ha 両性株 Hb	雄株 両性株 Ha	雄株 両性株 Ha 両性株 Hb	雄株 両性株 Hb
	両性株 H 4	両性株 Ha 両性株 Hb		雄株	雄株	雄株

表中の空欄の組み合わせでは授粉実験で種子が得られなかった。

[問]

E 下線部(ウ)について。雄性不稔遺伝子は細胞核に生じる場合もあるが、自然界では細胞核に生じた場合よりもミトコンドリアに生じた場合の方が集団中に広まりやすい。その理由を、ミトコンドリアの遺伝子が母性遺伝することに着目して2行程度で答えよ。

F 図2—2の結果から言えることとして正しいものを以下の(1)~(4)から全て選べ。

- (1) 両性株に、雄性不稔遺伝子をもたない個体と、雄性不稔遺伝子をもつが稔性回復遺伝子のはたらきで両性花をつける個体の2通りが存在する集団がある。
- (2) 雄性不稔遺伝子をもつ個体の割合が高い集団の方が、低い集団よりも常に雌株の割合が高い。
- (3) 稔性回復遺伝子のはたらいている個体の割合が、雌株の割合よりも高い集団がある。
- (4) 稔性回復遺伝子のはたらいている個体だけからなる集団がある。

G 下線部(エ)について。雄株は花粉を通じてしか次世代に遺伝子を残せない点で両性株よりも不利であるが、同じ集団中に雄株と両性株が維持されていることを考慮すると、雄株には何らかの繁殖上の有利性があると考えられる。フィリレア・アングスティフォリアにおいて、雄株が両性株に対してどのような点で有利だと考えられるか、実験1の結果から読み取れることを3行程度で説明せよ。

H 実験2における両性株と雄株の出現パターンは、雄株の性質をもたらす遺伝子座 B を仮定することで説明ができる。遺伝子座 B の2つの対立遺伝子を B, b とし、 B が b に対して顕性であるとき、雄株と両性株それぞれの遺伝子座 B の遺伝子型を以下の選択肢から選んで答えよ。ただし、雄株の花粉が両性株 H4 に受粉して両性株ができたとしてもそれらは全て致死になると仮定する。

[選択肢] BB, Bb, bb

I 実験2における両性株 Ha と両性株 Hb の出現パターンは、交配可能性を決定する遺伝子座 F を仮定することで説明ができる。両性株同士が交配するとき、同じ表現型をもたらす遺伝子型をもつ個体の間では花粉管の伸長が阻害され、異なる表現型をもたらす遺伝子型をもつ個体の間でのみ花粉管が伸長する。遺伝子座 F における2つの対立遺伝子を F, f とし、 F が f に対して顕性であるとき、表現型が Ha の両性株、表現型が Hb の両性株、雄株 M1, 雄株 M2, 雄株 M3 それぞれの遺伝子座 F の遺伝子型を以下の選択肢から選んで答えよ。ただし、雄株の花粉が両性株 H4 に受粉して両性株ができたとしてもそれらは全て致死になると仮定する。

[選択肢] FF, Ff, ff

第3問

次の文章を読み、問A～Kに答えよ。

異なる2種の生物が同所的に生息している状態において、食物や生活空間をめぐる種間競争が生じることがある。これら2種の生態的地位(ニッチ)が重複する場合は、同じ場所において2種は共存できないことがある。これを 1 と言う。一方、生態的地位が完全には重複せず、生活空間や食物を分かつことができる^(ア)場合には、2種は共存し続けることができる。野外で 1 が起こっているかどうかを調べるため、系統的に近い淡水魚の分布と食物を河川で調査した。

河川に生息する淡水魚は、上流から下流に沿って優占する種が異なることがある。ある河川区間Ⅰで同じ食物を利用する生態的地位の近い2種の分布を調べたところ、種Aは下流、種Bは上流に偏って分布した(図3-1)。水温や流速などの物理的環境が上流と下流では異なるので、2種は生活上の要求が異なる可能性もある。一方、2種は生態的地位の重複が大きいので、種間競争が作用して分布のパターンに違いが生じた可能性も考えられた。

種Aは生活史の一部を海で過ごす通し回遊魚と呼ばれる種であり、産卵する雌はその年に海から遡上する。そのため、河川にダムが建設されて海から遡^{さかのぼ}れなくなると、ダムの上流域では種Aは個体群を維持することができず絶滅する。ダムの建設で種Aが絶滅した河川区間Ⅱにおいて、種Bの個体群密度を調べたところ、種Bは上流から下流まで広く分布した(図3-1)。

一方、複数のダムが建設されている別の河川において、種Bの遺伝的多様性を調べたところ、ダム上流域に分断化された種Bの局所個体群では遺伝的多様性の低下が生じており、絶滅リスクの高まりが懸念された^(イ)(図3-2)。さらに、ダム上流域の生態系にも様々な変化が生じると考えられた^(ウ)。

生態的地位に近い2種が 1 を回避して共存している場合もある。種B^(エ)または種Cが単独で生息する河川では、いずれの種も表層を流下する陸生昆虫を食べていた。一方、種Bと種Cが共存する河川では、表層の食物の供給量が多い時期には両種ともに同じ表層の食物を食べ、表層の食物の供給量が少ない時期には同種・異種を問わず個体間で表層の食物をめぐる競争が強まった。そして、種Cは底層の水生昆虫を多く食べるようになった。また、単独域と共存域の種Cの顎^{あご}

を比較すると、共存域の種Cの顎は底層の食物を食べやすい形態に変化していた(図3-3)。このような形態の適応進化は 2 と呼ばれ、他の生物に対して適応した現象の一例である。

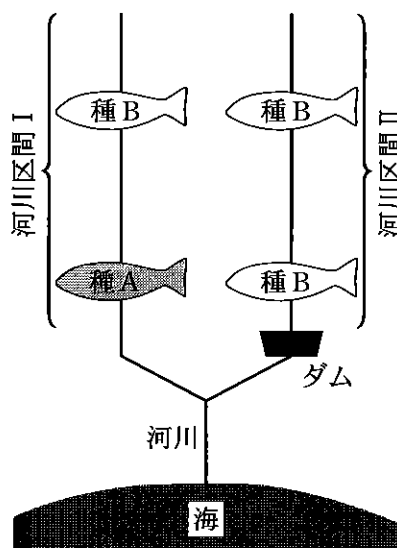


図3-1 ある河川における優占種の分布(模式図)

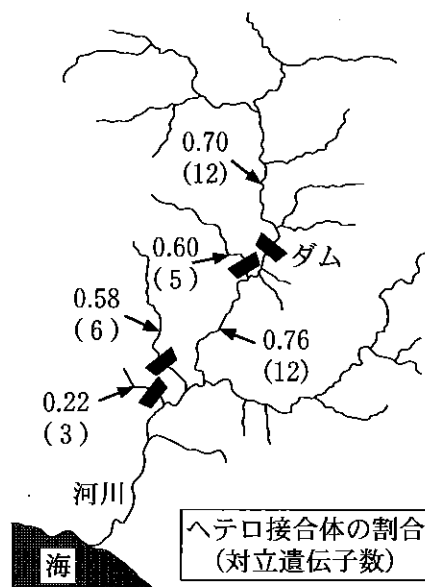


図3-2 ある河川における種Bの遺伝的多様性

4つのダムがある河川の5地点(矢印)で種Bを各50個体採集し、ある遺伝子座におけるヘテロ接合体の割合と対立遺伝子数(アレル数)を調べた結果(数値の意味は図中右下の枠内のとおり)。

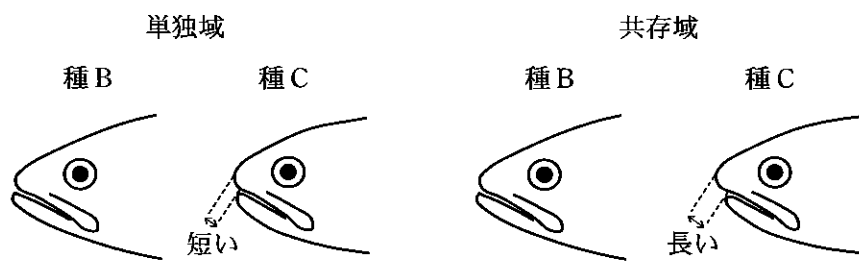


図3-3 単独域と共存域における顎の形態

〔問〕

A 文中の 1 と 2 に入る用語をそれぞれ記せ。

B 1 の現象が野外調査で観察されているが、その説明として最も適切なものを以下の選択肢の中から1つ選べ。

- (1) 種 B は上流の低い水温に適応しているのに対し、種 A は下流の高い水温に適応していると考えられる。
- (2) 種 A が生息できない場合は種 B が下流まで分布を広げたことから、種 B の分布には種 A の存在が影響すると考えられる。
- (3) 種 B は種 A よりも広範囲の環境条件に適応し、種間競争においても優位であり、河川全体で分布域を広げたと考えられる。
- (4) 種 A は生活史の一部を海で過ごす通し回遊魚であるため、遡上できないダムの上流域では個体群を維持することができずに絶滅したと考えられる。

C 生態的地位に近い複数の種が共存するしくみとして、下線部(ア)の生活空間や食物の分割のほかに、どのようなものが考えられるか、以下から適切なものを全て選べ。

- (1) ある生態系内の食物網における上位の捕食者が、複数種の共存を維持する効果をもつ。
- (2) 個体群が隔離されることにより、異なる遺伝子型を持つ個体どうしが交配するという異系交配による同所的種分化が生じ、複数種の共存が進行する。
- (3) 自然選択による適応進化のプロセスによって、それぞれの種が保存されるように生物は進化するため、複数種の共存が促進される。
- (4) 自然界には大雨による河川の増水など生物の生存に影響する自然現象があり、このようなかく乱がある頻度で生じることで複数種の共存が促進される。
- (5) 放射線やある種の化学物質が多い環境では、突然変異と適応放散に伴う種分化がある頻度で生じるようになり、複数種の共存が促進される。

- D 図3—2の調査結果と下線部(イ)について論じた以下の文の ~ にあてはまる適切な語句を選択肢の中から選べ。また、 に入る用語を記せ。

建設されてから約30年経過したダムの上流域に孤立した局所個体群は、下流域と比べて遺伝的多様性が低い傾向が認められた。本来、種Bは河川間で移動による があったと考えられるが、ダム上流では という偶然による遺伝子頻度の変化によって、ある特定の遺伝子型に固定されやすくなり、遺伝的多様性が低下したと考えられた。 集団ほど の影響が大きくなるため、 河川ほど遺伝的多様性が低かったと考えられた。さらに、個体数が少ない場合、偶然にほとんどの個体の性が雄になるといった によっても個体数が減少するリスクがあり、 の効果を加速させると考えられる。

[選択肢] 小さい、大きい、中規模な、遺伝子浸透、遺伝子平衡、遺伝的交流、遺伝子重複、自己複製系の確率性、人口学的な確率性、環境の確率性、カタストロフ的事象、表現型可塑性、環境形成作用、環境性決定

- E 表3—1を説明した以下の文の ~ に入る数値を記せ。ただし、 と はそれぞれ有効数字2桁で記せ。

ダム上流とダム下流で種Bを各50個体採集し、ある遺伝子座の対立遺伝子を調べた。その結果、全体で つの対立遺伝子が確認され、ダム上流から つの対立遺伝子が見つかった。これら2つの地点間でヘテロ接合をもつ個体の割合を計算すると、ダム上流のヘテロ接合の個体の割合は で、ダム下流のヘテロ接合の個体の割合は であった。このような対立遺伝子数やヘテロ接合体の割合は、遺伝的多様性の指標となる。

表 3—1 ダム上流とダム下流で採集された種 B の遺伝子型ごとの個体数

遺伝子型	A_1A_1	A_2A_2	A_3A_3	A_1A_2	A_1A_3	A_2A_3
ダム上流	0	13	12	0	0	25
ダム下流	4	8	5	11	9	13

F 下線部(イ)について。遺伝的多様性が低下すると個体群の絶滅リスクが高まる理由について、以下の用語のうち一つのみを用いて 2 行程度で述べよ。選んだ用語は複数回用いても構わない。

[用語] 種多様性, 適応放散, 環境

G 下線部(ウ)について。ダム上流で種 A のような海から^{さかのぼ}遡る通し回遊魚が不在になることで生じる可能性のある生態系の変化を述べた以下の文章について、誤りがある記述を全て選べ。

- (1) 通し回遊魚に含まれる栄養物質の供給がなくなり、河川周辺の総生産量が減少する。
- (2) 通し回遊魚を食物としていた鳥類が、ダム上流域に飛来しなくなる。
- (3) 通し回遊魚から河川水に溶けだす DNA が失われるため、食物連鎖を通して遺伝的多様性が低下する。
- (4) ダム上流域に残った種に対して、新たな自然選択が作用して進化が生じる。
- (5) ダム上流域に空いた生態的地位が形成されるため、外来生物の魚類が持ち込まれると定着しやすい。
- (6) 生物量が多いためにキーストーン種であった通し回遊魚が不在になり、生物群集が単純化する。

H 下線部(ウ)について。調査した河川には寿命が最大 100 年に達しうる二枚貝の種 D が生息した。この二枚貝は、幼生期に種 A の稚魚(0 歳)の鰓のみに寄生し、1～2 ヶ月間寄生した後に、川床に着底する。図 3—1 の河川区間 I と河川区間 II においてこの二枚貝の年齢構成を調べたとき、河川区間 I の年齢ピラミッドが図 3—4 であった場合、河川区間 II で想定される年齢ピラミッドを図示せよ。ただし、河川区間 I と河川区間 II において二枚貝の生存率に違いは無く、この河川にダムが建設されたのは約 30 年前であった。作図はフリーハンドで行い、縦軸と横軸の目盛りとラベルは図 3—4 と同じにすること。

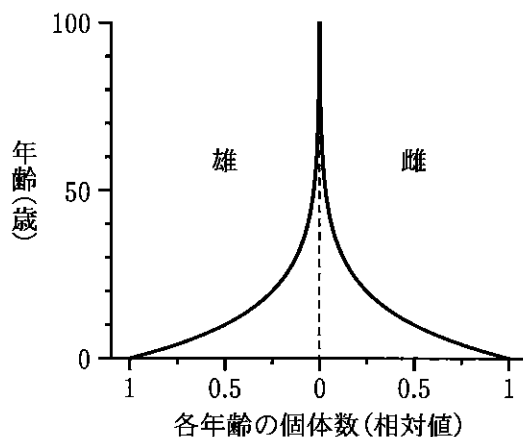


図 3—4 河川区間 I における二枚貝(種 D)の年齢ピラミッド

横軸は各年齢の個体数を示し、グラフの値は雌雄別に各年齢の個体数の最大値を 1 とした相対値で示す。

I 図 3—4 の年齢ピラミッドに関連する記述として最も適切なものを、以下の選択肢の中から 1 つ選べ。

- (1) 若齢時ほど死亡率が低い。
- (2) 各年齢の死亡率がほぼ一定である。
- (3) 若齢時ほど死亡率が高い。

J 下線部(エ)の観察から推察されることについて述べた以下の(1)~(4)のそれぞれについて、正しいなら「○」を、誤っているなら「×」を記せ。

解答例：(1)―○、(2)―×、(3)―○、(4)―×

- (1) 共存域において2種が利用している食物の重複が大きいときは、種間を含む個体間の競争が強いと考えられる。
- (2) 共存域において2種が利用している食物の重複が小さいときは、種間を含む個体間の競争が弱いと考えられる。
- (3) 共存域において食物が十分にあるときは、生態的地位に近い2種は同じ食物を利用すると考えられる。
- (4) 共存域において食物が少ないときは、生態的地位に近い2種は異なる食物を利用すると考えられる。

K 淡水魚の種Cが生息する河川に図3―5の左側のようなビニールハウス型のカバーを設置し、陸上から供給される陸生昆虫を遮断する野外操作実験をおこなった。自然区(対照区)とビニールハウス区で、藻類食者の水生昆虫と河川内の藻類の生物量を調べると、図3―5の右側のような間接効果を示す結果が得られた。

なぜ、自然区とビニールハウス区の間で、水生昆虫と藻類の生物量に違いが生じたのかを3行程度で説明せよ。なお、ビニールハウスの影響は陸生昆虫を遮断する以外に無く、種Cは自然区とビニールハウス区にそれぞれ同じ個体群密度で生息した。

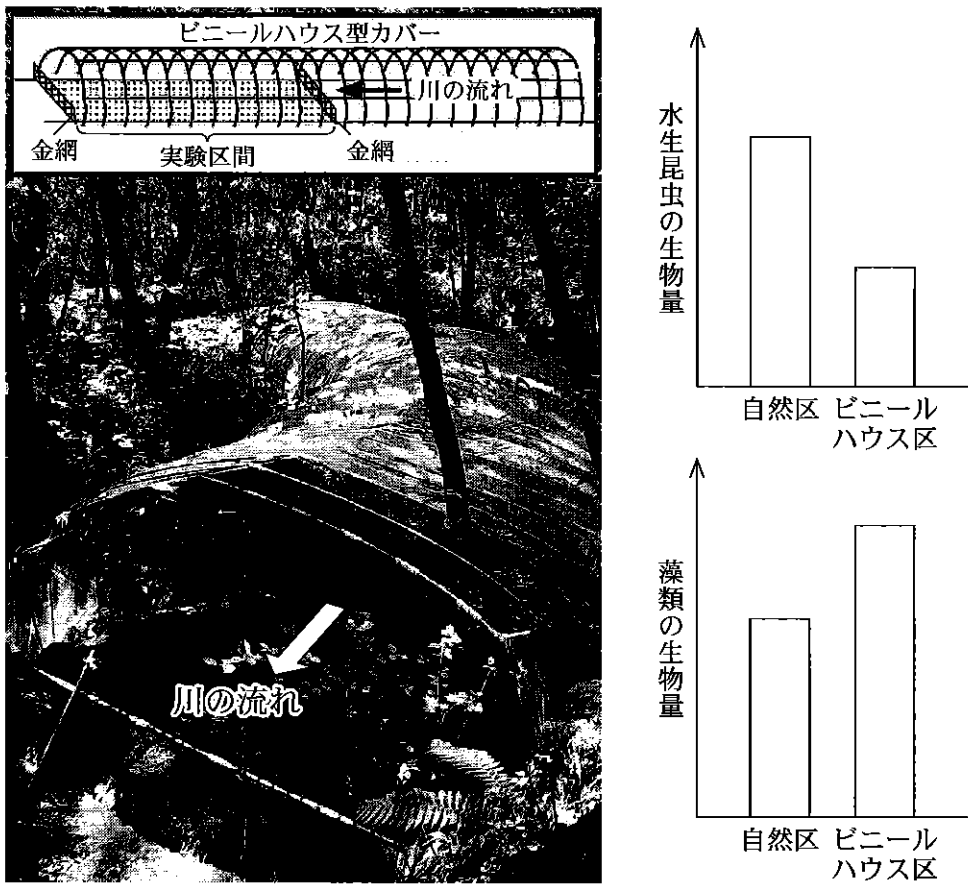


図3—5 ビニールハウス区の図と写真(左), 自然区とビニールハウス区における水生昆虫の生物量(右上), および河川内の藻類の生物量(右下)

ビニールハウス区では, 河川を覆うようにビニールハウスが設置され, 樹木などから落下してくる陸生昆虫の供給が遮断された。

地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 銀河系の回転運動を銀緯 90° の方向(北銀極)より見た場合の模式図を図1—1に示す。銀河系円盤に属する天体や物質は、円盤内を銀河系中心の周りに同じ向きで円運動しているとする。また、太陽は銀河系中心から8キロパーセクの距離 R_0 に位置し、 220 km/s の速さ v_0 で円運動しているとする。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。ただし、 $1\text{ パーセク} = 3.1 \times 10^{13}\text{ km}$ 、円周率 $\pi = 3.1$ 、 $1\text{ 年} = 3.1 \times 10^7\text{ 秒}$ とする。

- (1) 太陽が銀河系を1周する時間を年の単位で答えよ。
- (2) 図1—1に示すように、銀河系中心から距離 R (ただし $R < R_0$)に位置し、速さ v で円運動する銀河系円盤に属する天体Pを考える。太陽から見て、Pと銀河系中心の間の離角を θ とする。
 - (a) 太陽の位置から見たPの視線方向の速度成分 v_r (視線速度)が、

$$v_r = \left(\frac{v}{R} - \frac{v_0}{R_0} \right) R_0 \sin \theta \quad (\text{式1—1})$$

と記述できることを示せ。

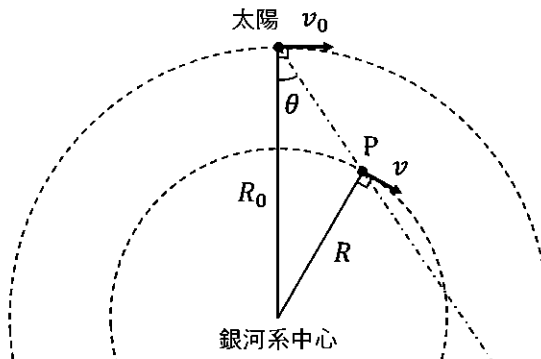


図1—1 銀河系の回転運動を北銀極より見た場合の模式図

(b) 宇宙空間に分布する中性水素原子は電波の輝線を放射することが知られている。この電波輝線の観測から中性水素原子の視線速度を導出する方法を1行程度で答えよ。

(c) 図1—2に銀河面に沿って観測された中性水素原子が放射する電波輝線の強度分布を示す。横軸は図1—1において太陽から見て銀河系中心の方向から左回りに測った離角 θ に相当する。縦軸は電波輝線の観測から導出された中性水素原子の視線速度 v_r であり、太陽から遠ざかる方向を正の数と定義する。太陽より内側に位置する物質は、銀河系中心の近傍をのぞき、太陽とほぼ同じ速さで円運動していることが知られている。北銀極より見た場合に、観測された中性水素原子が銀河系中心の周りを左右いずれの向きに回転していると言えるか、図1—2から読み取れる情報と式1—1を使って2行程度で説明せよ。

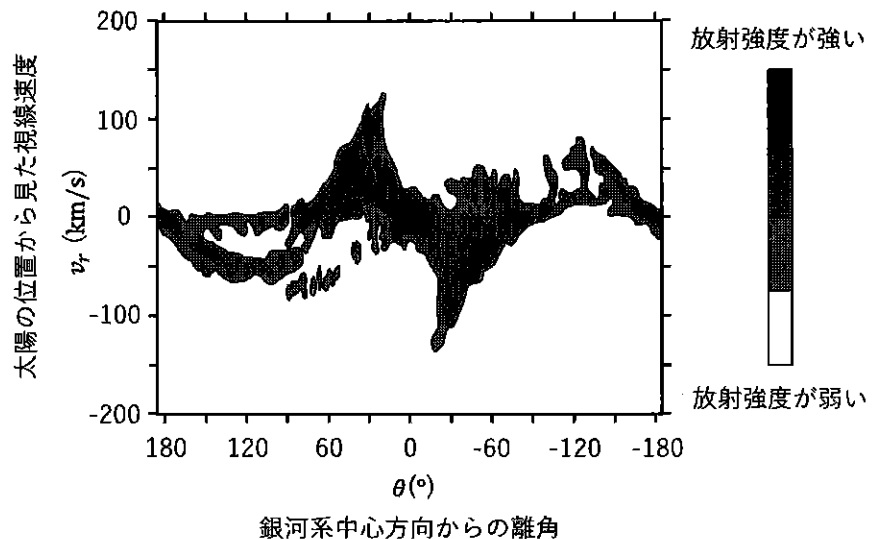


図1—2 銀河面に沿って観測された中性水素原子が放射する電波輝線の強度分布

- (3) 銀河系内に分布する星間塵^{じん}により星の見かけの明るさが本来の明るさより暗く見える現象(減光)がしばしば観測される。ある恒星を観測したところ、可視光での見かけの明るさは12等級であり、年周視差は0.001秒角であった。この恒星は、分光的特性からB0型の主系列星(可視光の絶対等級が-3等級)であり、かつ星間塵による減光を受けていることがわかっている。この恒星の可視光の明るさは星間塵により何等級暗くなっているか答えよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問 2 次の会話文を読んで以下の問いに答えよ。数値での解答には計算の過程も示し、有効数字 1 桁で答えること。ただし、必要であれば円周率 $\pi = 3.1$ 、および $\sqrt{2} = 1.4$ 、 $\sqrt{3} = 1.7$ 、 $\sqrt{5} = 2.2$ を用いてよい。

生徒：先生、ケプラーは惑星の観測データからケプラーの法則を発見したということですが、その手順について教えてください。^(A)

先生：では例として火星の観測を使うことにして、一緒に考えてみましょう。まず、火星の公転周期はどのように求められますか。

生徒：火星の会合周期の観測から求めることができます。

先生：^(B)では火星の公転面上の軌道はどうでしょうか。地球から観測されるのは火星の天球上での見かけの運動ですから、火星の軌道を決めるためには、まずは地球の軌道を正確に決めなくてはいいですね。

生徒：どうしたらよいのでしょうか。

先生：火星の方向(天球上での火星の見かけの位置)と太陽離角(地球から見た太陽と火星の方向のなす角度)を観測することで、太陽と火星を基準とした相対的な地球の位置は決められますね。

生徒：でも、火星も運動しているので複雑になりそうです。

先生：まずは火星が衝のときからはじめて、ア ごとに火星を観測していけば火星の イ はいつも同じなので、地球の相対的な軌道が決定できますね。

生徒：なるほど。地球の軌道が決定できれば、今度は火星の軌道も同じ要領で決められそうですね。

先生：ケプラーの法則は惑星の運動を非常に正確に記述することができたので、地動説が広く受け入れられることになりました。後に別の観測からも地球が太陽の周りを公転している証拠が得られています。

生徒：年周光行差や年周視差ですね。

先生：歴史的には、より値の大きい年周光行差が先にブラッドレーによって観測^(C)されました。年周光行差は光の速さが有限であることも示しています。

生徒：惑星と言えば、太陽以外にも惑星を持つ恒星があるそうですね。

先生：系外惑星ですね。

生徒：公転周期が地球よりずっと短い惑星もあると聞きました。でも、ケプラーの法則を考えると中心の恒星に近すぎるので、生命を育むのに適した環境ではなさそうですね。

先生：そうとも限りませんよ。恒星の光度や質量にも依存しますからね。

生徒：^(D)そうなのですね。もしかしたら系外惑星にも生命が存在するかもしれませんね。将来の観測が楽しみです。

(1) 下線部(A)について、太陽と惑星の平均距離 R 、公転周期 P 、および定数 K を用いてケプラーの第3法則を $R^{\alpha}/P^{\beta} = K$ と表すとき、正の整数 α 、 β の組として最小のものを答えよ。

(2) 下線部(B)について、地球の公転周期を 3.6×10^2 日として、観測された火星の会合周期 7.8×10^2 日から火星の公転周期が何日になるか求めよ。

(3) 空欄

ア

 および

イ

 に当てはまる最も適当なものを以下の選択肢からそれぞれ選んで答えよ。

[アの選択肢]

地球の公転周期、地球の自転周期、火星の公転周期、火星の会合周期

[イの選択肢]

方向、太陽離角、公転面上での位置、地球との距離

(4) 下線部(C)について、地球の公転面に対して垂直な方向にある恒星の年周光行差を θ とするとき $\tan \theta$ の値を求めよ。ただし、地球の公転を円運動と仮定し、軌道半径 1.5×10^{11} m、公転周期 3.1×10^7 s、光の速さ 3.0×10^8 m/s を用いること。

- (5) 下線部(D)について，質量 $M = 0.25 M_s$ ，光度 $L = 0.010 L_s$ の恒星のまわりを公転する系外惑星を考える。ここで， M_s は太陽の質量， L_s は太陽の光度を表す。恒星と惑星の平均距離だけ恒星から離れた点における，単位時間・単位面積あたりの恒星からの放射エネルギーが，地球とこの系外惑星で等しくなるとき，この系外惑星の公転周期が地球の公転周期の何倍になるか求めよ。ただし，設問(1)の定数 K は恒星の質量 M に比例すると仮定する。

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次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 大気の高圧に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

① 気圧は、その地点より上にある大気の重さによる圧力である。その分布は、大気の運動の様子を把握したり、天気を予報したりするための重要な情報となる。

冬季の日本周辺の地上付近ではしばしば、大陸上で高気圧、太平洋上で低気圧が発達する「西高東低」の気圧配置となる。等圧線がちょうど南北方向にのびているとき、仮に(ア)の影響が無視できるとすれば、気圧分布によって生じる(イ)が(ウ)とほぼつりあって(エ)風が吹くことになる。しかし実際には地上付近では(ア)の影響のため、それに比べて(オ)寄りの風になる。

日本付近の上空では等圧線は東西方向にのびていることが多く、このような等圧線に対応した偏西風が吹いている。この風は気温の南北分布と関連があり、南北の②気温差が大きくなる冬季には特に強くなる傾向にある。上空の偏西風の様子を詳しく見ると、通常、偏西風波動と呼ばれる南北に蛇行した構造をとっている。上空の③偏西風の低緯度側への変位を伴う気圧の谷は、地上付近の温帯低気圧の中心位置の真上よりずれたところにあることが多い。

一方、日本の南方の低緯度海域では、夏から秋にかけて熱帯低気圧が多く見られる。熱帯低気圧は、中心付近で気圧が非常に低くなって、強い上昇流を伴った台風④へと発達することがある。

- (1) 上の文章中の(ア)～(オ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。ただし、(ア)～(ウ)は空気塊にはたらく力を以下の語句から選び、(エ)および(オ)には四方位での方角を入れよ。

語句群：転向力、気圧傾度力、起潮力、遠心力、浮力、摩擦力

(2) 下線部①より，地球上に存在する大気の質量を地上気圧から推定することができる。固体地球の質量は大気の質量の何倍になるかを有効数字1桁で求めよ。計算の過程も示せ。ただし，固体地球は半径 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ ，平均密度 5.5 g/cm^3 の球であるとし，大気のア平均地上気圧を $1.0 \times 10^3 \text{ hPa}$ ，地表面付近での重力加速度を 9.8 m/s^2 とする。

(3) 下線部②について，日本付近で冬季に上空の偏西風が強くなる理由を，南北の気温差が大きくなることにもとづき，以下の語句を全て用いて2行程度で説明せよ。ただし，地上での南北の気圧差の季節による変化は小さいものとする。

語句群：気圧差，空気の密度，地衡風

(4) 下線部③について，通常，上空の気圧の谷は地上の低気圧の中心位置の真上より，東西のどちらにずれているかを，地上の低気圧の中心のすぐ東側と西側に2地点をとって以下のように考える。

(a) 両地点では，通常，どちらの気温が低くなっているかを，低気圧の周囲での風の吹き方を考慮することによって1行程度で説明せよ。

(b) このとき両地点の上空では，どちらの気圧が低くなるのかを考察し，その結果にもとづいて，上空の気圧の谷が地上の低気圧の中心位置の真上より東西のどちらにずれるのかを2行程度で説明せよ。

(5) 下線部④について，平均的な鉛直気温分布の大気中で地上付近にある空気塊が上昇するとする。その場合，断熱膨張によって気温が低下し，上昇流域の上空は周囲と比べて冷たい空気で占められて地上付近の気圧が高くなり，低気圧の発達が阻害されるはずである。それにもかかわらず，地上の気圧が低下して台風へと発達することがあるのは，どのような効果がはたらくことによるのか。1行程度で説明せよ。

問 2 北半球の中緯度にある縁海を考える。図 2—1 のように、この縁海は 1 か所の狭く浅い海峡を通じて西にある大洋とつながっている。海峡では上層で大洋からの流入、下層で大洋への流出があり、正味では 1 年間に 2080 km^3 の流入となっている。また、この縁海の海面には 1 年間に 0.34 m の降水と 1.40 m の蒸発があり、周囲の陸地から表流水が流入する。この縁海の海面の面積を $2.50 \times 10^6 \text{ km}^2$ として、以下の問いに答えよ。ただし、降水と表流水の塩分は 0 ‰ とする。

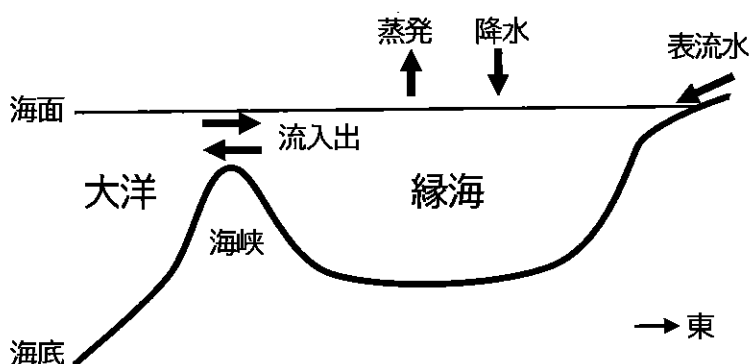


図 2—1 縁海における水循環の模式図(東西断面図)

- (1) 蒸発がおきると、海水の水温と塩分は変化する。蒸発により水温と塩分の値はそれぞれどのように変化するか、理由とともに 1 行程度で述べよ。
- (2) 縁海の海面の高さが 1 年を通じて変化しないとすると、表流水の流量は 1 年間に何 km^3 になるか有効数字 2 桁で求めよ。計算の過程も示せ。
- (3) 水深 300 m の海峡を挟んで少し離れた観測点 A と B において、海面から深さ 300 m まで水温と塩分を測定した。図 2—2 は、そのデータを縦軸に水温、横軸に塩分をとって表示したもの(T-S 図)である。
 - (a) 縁海側(東側)の観測点は A と B のどちらであると考えられるか、理由とともに 1 行程度で述べよ。

- (b) 流入する海水と流出する海水の平均的な塩分をそれぞれ大洋側観測点の深さ 50 m の塩分と縁海側観測点の深さ 250 m の塩分とする。これらの塩分の値を図 2—2 から小数第 1 位まで読み取ってそれぞれ答えよ。
- (c) 流入する海水と流出する海水の塩分が 1 年を通じて(b)の値で近似できるとして、海峡上層の流入量が 1 年間に何 km^3 になるか、有効数字 2 桁で求めよ。計算の過程も示せ。なお、縁海全体で平均した塩分は 1 年を通じて変化しないものとする。
- (4) この縁海の北部では、冬季に表層水が底層に間欠的に沈降する。偏西風が卓越する海域であることが北部で沈降が起きやすいことに関連している。偏西風が吹くことで北部の表層と底層の水温差はどのように変化するか、理由とともに 2 行程度で説明せよ。

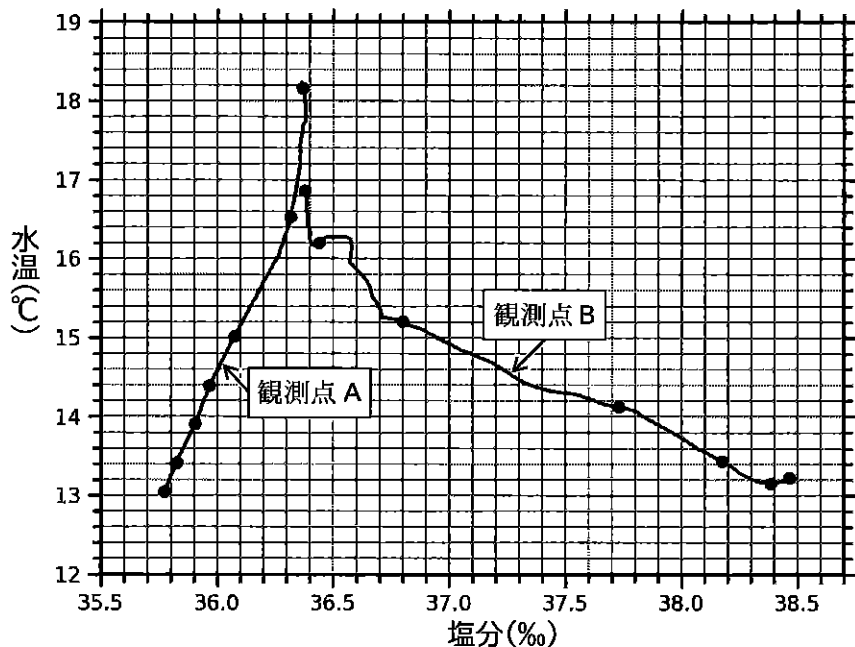


図 2—2 観測点 A と B における T-S 図。どちらも海面から深さ 300 m まで表示し、50 m 間隔で●の記号をつけている。

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 プレートテクトニクスと火山に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 プレートの運動に伴う現象について述べた次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

地球の表面は、十数枚の大小のプレートで覆われている。プレートは地殻とマントル最上部で構成される(ア)からなり、より柔らかく流動性に富む(イ)の上を運動している。2つ以上のプレートが接する境界付近では、その相対運動によって多くの地震が発生している。

海中の大山脈である海嶺はプレートの拡大する境界にできる地形である。図3—1に示すように、海嶺軸はしばしばそれと直交する断裂構造でくい違っており、くい違った海嶺軸を結ぶ断裂構造は(ウ)断層と呼ばれている。海嶺軸で形成された海洋プレートは(イ)の上を移動し、海底は海嶺軸から遠ざかるにしたがって深くなる。これは海洋プレートが時間とともに厚さを増し、アイソスタシーによって沈降するためと考えられる。

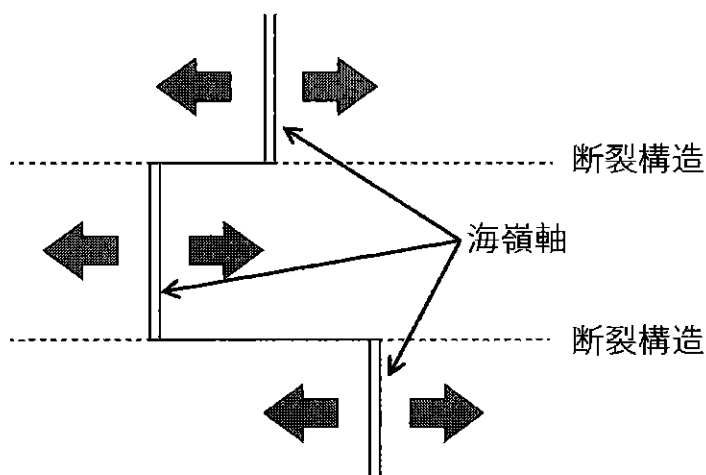


図3—1 プレートの拡大する境界(海嶺)周辺を上から見た模式図。
灰色矢印はプレートの拡大方向を示す。

(1) 文中の(ア)～(ウ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

(2) プレートの相対運動によって、プレート境界は拡大する境界、収束する境界、およびすれ違う境界の3つのタイプに分類される。さらに、収束する境界は沈み込み境界と衝突境界に分類される。表3―1において、①～④には深さ100 kmより浅部で発生する地震の主な断層の型を、⑤～⑧には深さ400 kmより深部で発生する深発地震の有無を答えよ。

表3―1 プレート境界の種類と、そこで発生する地震の特徴

プレート境界の種類		深さ100 kmより浅部で発生する地震の主な断層の型	深さ400 kmより深部で発生する深発地震の有無
A 拡大する境界		①	⑤
収束する境界	B 沈み込み境界	②	⑥
	C 衝突境界	③	⑦
D すれ違う境界		④	⑧

(3) 図3―1に示す海嶺周辺で、海底に地震計を設置して地震を観測する。図中のくい違った海嶺軸を結ぶ断裂構造で発生するすべての地震のP波初動が、常に押し波で観測される領域はどこか。図3―1を矢印や語句は省略して解答用紙に書き写し、その中に図示せよ。

- (4) 図3—2に示すように、海洋プレートが海嶺軸に対して5.0 cm/年の速さ v で矢印の方向に拡大し、移動しているとする。海嶺軸での海底の水深 h_0 が2.5 km、海嶺軸から 3.2×10^3 km 離れた地点Xにおけるこのプレートの厚さ h_p が62 kmであった。海洋プレートの平均密度 ρ_p (単位: kg/m^3) を有効数字2桁で求めよ。計算の過程も示せ。ただし、海嶺軸での海洋プレートの厚さは0 kmとし、海洋プレートが形成されてから時間 t (単位: 年) 経過したときの海底の沈降量 d (単位: km) は $d = 3.5 \times 10^{-4} \sqrt{t}$ と表されるとする。また、どの場所でもアイソスタシーは成り立っているものとする。海水および海洋プレートより深部を構成する物質の平均的な密度はそれぞれ $\rho_w = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_m = 3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。

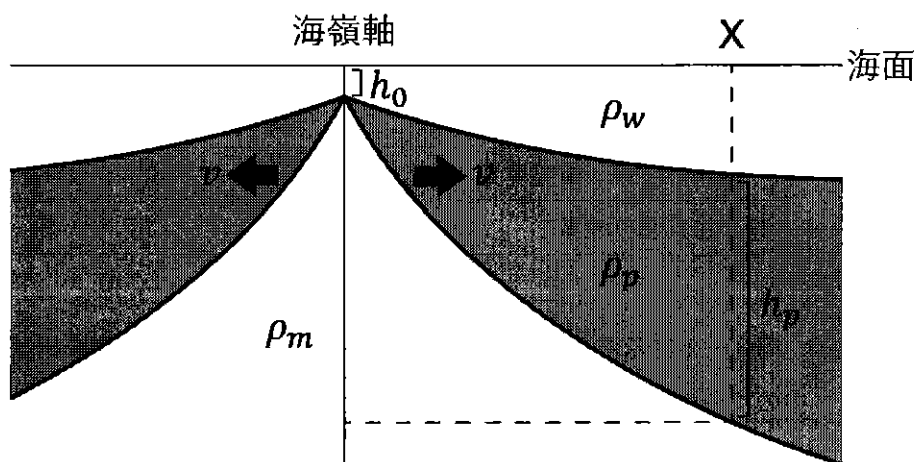


図3—2 プレートの拡大・移動方向に沿った鉛直断面の模式図。灰色領域は海嶺軸で形成された海洋プレートを、矢印は海洋プレートの拡大方向を示す。

- (5) 海嶺から十分に離れた海洋プレートと大陸プレートとの境界は、表3—1にあるA~Dのどの境界に属するか。もっとも適当なものを一つ選べ。また、その境界では海洋プレートは大陸プレートおよびその下のマントルに対しどのように運動するかを、密度に関する考察から1行程度で説明せよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問 2 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。数値での解答には計算の過程も示せ。

プレートの沈み込み帯では、地表に多くの火山が形成され、地球内部の熱や物質を放出する場となっている。日本列島の火山活動も、沈み込み帯でのマグマの発生に起因している。沈み込んだプレートの上にあるマントルで発生したマグマは、マントルおよび地殻内を、上昇と滞留を繰り返しながら移動する。この間、マグマの化学組成や物性は、マグマ溜り内での結晶分化作用やマグマ混合などにより、しだいに^(I)変化していく。

地殻内のマグマの多くは、地表に達することなく固まって岩石となり、大陸地殻の一部を作ることにより寄与する。このような岩石のうち、大陸地殻上部を主に構成する(ア)は、^(II)火山活動がない地域における顕著な熱源となっている。これは、(ア)がウランなどの(イ)を豊富に含むため、発熱量が多いことが原因である。一方、地下の浅部に達したマグマ中で、揮発性物質が発泡すると、気体が混ざった状態のマグマは(ウ)が著しく低下し、これによりマグマはさらに上昇して火山噴火に至る場合がある。火山噴火に至るマグマのうち最も分化が進んだものが(エ)質マグマであり、爆発的な噴火を起こしやすい性質をもつ。

(1) 文中の(ア)～(エ)に当てはまる語句を答えよ。(ア)と(エ)については、岩石名を書け。

(2) 下線部(I)について、沈み込み帯でマグマが発生しやすくなる理由について、下記の語句をすべて用いて2行程度で説明せよ。

語句群：海洋プレート、マントル、融点、水

(3) 下線部(II)のマグマ溜りにおける結晶分化作用について、表3-2をもとに考えてみよう。表3-2に示す化学組成のマグマXから、同表に示す鉱物A、鉱物B、輝石が、それぞれ10、20、10質量%晶出し、マグマ溜りに沈積したとする。

- (a) 表 3—2 に示した化学組成の特徴をもとに、鉱物 A、鉱物 B に対応する鉱物名を下記の選択肢からそれぞれ答えよ。

選択肢：石英，斜長石，カリ長石，かんらん石，方解石

- (b) 表 3—2 に示した化学組成をもとに，残ったマグマの SiO_2 含有量(質量%)を有効数字 2 桁で求めよ。

表 3—2 マグマ X と晶出した鉱物 A，鉱物 B，輝石の化学組成
(単位は質量%)

酸化物名	マグマ X	鉱物 A	鉱物 B	輝 石
SiO_2	51.2	39.0	45.7	51.1
Al_2O_3	16.3	0.0	34.2	2.3
FeO	11.6	16.6	0.8	11.2
MgO	6.7	44.0	0.1	15.0
CaO	10.6	0.2	18.0	19.4
Na_2O	2.4	0.0	1.2	0.2
その他	1.2	0.2	0.0	0.8
合 計	100.0	100.0	100.0	100.0

- (4) 下線部Ⅲについて，日本列島のとある非火山地域の岩体で地温勾配を測定したところ，深さ 400 m 毎に 10°C 上昇するというデータを得た。このデータから算出される地殻熱流量を，日本列島の平均的な地殻熱流量の値と仮定し，日本列島の陸域で 1 年間に放出される熱を有効数字 1 桁で求めよ。ただし，地温勾配を測定した岩石の熱伝導率を $3.0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，1 年を 3.1×10^7 秒，日本列島の陸域の面積を $3.8 \times 10^5 \text{ km}^2$ とし，地温勾配は一定であるとする。
- (5) 下線部Ⅳについて，この種のマグマが爆発的噴火を起こしやすい理由を 2 行程度で説明せよ。

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。)