

入学試験問題

理科



(配点 120 点)

令和 5 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 この問題冊子は全部で 95 ページあります(本文は物理 4～27 ページ, 化学 28～45 ページ, 生物 46～75 ページ, 地学 76～95 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。
- 3 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。
- 4 解答は, 1 科目につき 1 枚の解答用紙を使用しなさい。
- 5 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。
- 6 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。
- 7 解答は, 必ず解答用紙の指定された箇所に記入しなさい。
- 8 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。
- 9 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。
- 10 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。
- 11 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。
- 12 解答用紙は, 持ち帰ってはいけません。
- 13 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 以下のような仮想的な不安定原子核 X を考える。 X の質量は $4m$ 、電気量は正の値 $2q$ である。 X の半減期は T で、図1—1に示すように自発的に二つの原子核 A と B に分裂する。 A の質量は m 、 B の質量は $3m$ である。分裂の際の質量欠損は Δm であるが、これは m と比べて十分小さいので、 X の質量は A と B の質量の和で近似されている。分裂後の電気量は A も B も共に q である。これらの原子核の運動について考えよう。

ただし、原子核は真空中を運動しており、重力は無視できる。原子核の速さは真空中の光速 c に比べて十分遅い。原子核は質点として扱い、量子的な波動性は無視できる。個々の原子核は以下の問題文で与えられる電場や磁場による力だけを受け、他の原子核が作る電場や電流に伴う力は無視できる。加速度運動に伴う電磁波放射も無視できる。

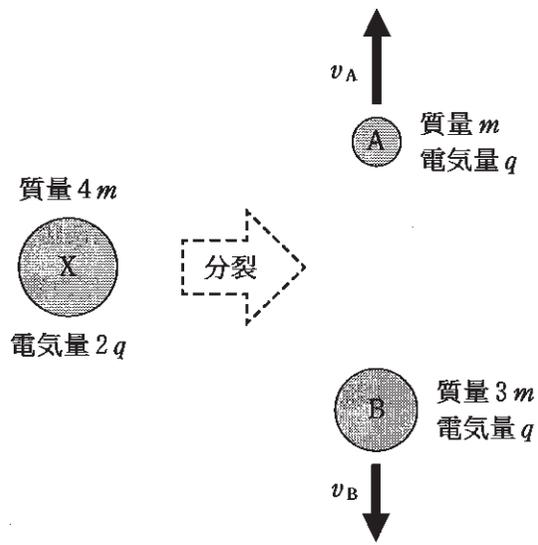


圖 1—1

I 多数の原子核 X を作り、それらが分裂する前に、特定の運動エネルギーをもつものだけを集めることを考える。図 1—2 のように、座標原点にある標的素材に中性子線ビームを照射し、核反応を起こすことで、多数の X が作られる。これらの X は $y > 0$ の領域に様々な速さで、様々な方向に飛び出す。 $y > 0$ の領域に紙面に垂直に裏から表の向きに磁束密度 B の一様な磁場をかける。 x 軸に沿って紙面に垂直な壁を設け、 x 軸上に原点から距離 a だけ離れた位置に小窓を開ける。壁に衝突することなく、壁面に垂直に小窓を通過する原子核だけを集める。以下の設問に答えよ。ただし、標的素材や小窓の大きさは長さ a と比べて十分小さい。

(1) 小窓から集められる個々の X の運動エネルギーを m , q , B , a を用いて表せ。

(2) X が分裂する前に、なるべく効率よく X を集めたい。原点で生成され、小窓を通る軌道に入った X のうち、分裂前に小窓を通過する割合が f 以上になるために必要な磁束密度 B の下限値を f , m , q , a , T の中から必要なものを用いて表せ。ここで収集された X は十分多数で、 $0 < f < 1$ とする。

(3) 集めた X を電場で減速させ、静止させた。図 1—1 のように、この後、 X は分裂する。分裂の際に、 A と B 以外の粒子や放射線は放出されず、質量欠損に対応するエネルギーが A と B の運動エネルギーとなる。このときの A と B のそれぞれの速さ v_A および v_B を m , Δm , c を用いて表せ。

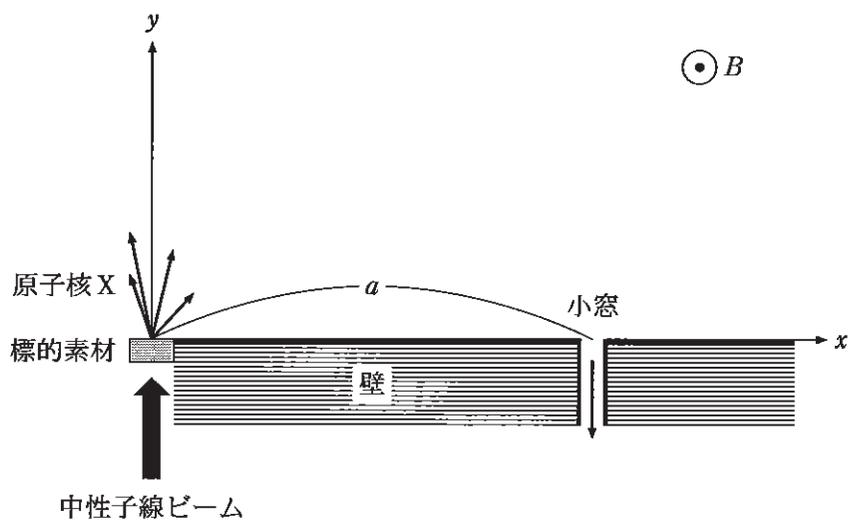


図 1—2

II 次に、図1—3に示す実験を考える。原子核 X を座標原点に、初速0で次々と注入する。ここでは $x \geq 0$ の領域だけに、 x 軸正の向きの一様な電場 E がかけられており、X は x 軸に沿って加速していく。 $x = L$ には検出器があり、原子核の運動エネルギーと電気量、質量を測ることができる。電場 E は、 $E = \frac{2mv_A^2}{qL}$ となるように調整されている。ここで v_A は、設問 I (3) における A の速さ(図1—1参照)であり、定数である。

X の一部は検出器に入る前に様々な地点で分裂し、A と B を放つ。原子核の運動する面を xy 平面にとり、以下では紙面垂直方向の速度は0とする。分裂時の X と同じ速さで x 軸に沿って運動する観測者の系を X 静止系と呼ぶ。X 静止系では、分裂直後に A は速さ v_A で全ての方向に等しい確率で飛び出す。X 静止系での分裂直後の A の速度ベクトルが、 x 軸となす角度を θ_0 とする。このとき、分裂直後の X 静止系での A の x 方向の速度は $v_A \cos \theta_0$ と表せる。以下の設問に答えよ。

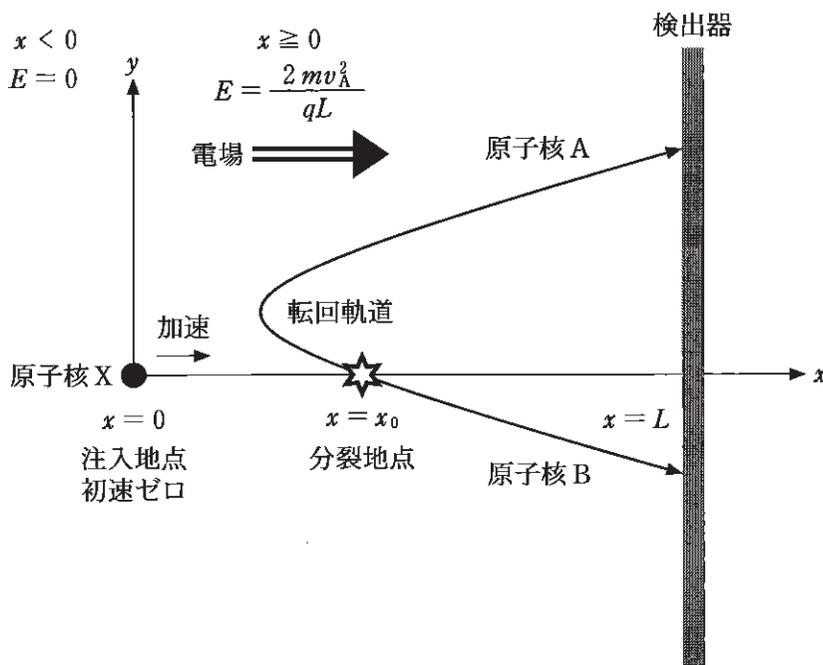


図1—3

- (1) 図1—3にあるように、Xの分裂で生じたAの中には、一度検出器から遠ざかる方向に飛んだ後、転回して検出器に入るものがある。このような軌道を転回軌道と呼ぶ。Aが転回軌道をたどった上で、検出器に入射する条件を求めよう。以下の文の から に入る式を答えよ。以下の文中で指定された文字に加え、 L 、 v_A の中から必要なものを用いよ。

分裂時のXの検出器に対する速さを αv_A と表すと、分裂地点 x_0 の関数として $\alpha =$ と書ける。また、注入されてから x_0 まで移動する時間は、 x_0 の代わりに α を用いて、 と表せる。

転回軌道に入るためには、Aの初速度の x 成分は負である必要があるので、 θ_0 に対して、 α で表せる条件、 $\cos \theta_0 <$ が得られる。この条件から、そもそも $x_0 >$ では転回軌道が実現しないことがわかる。Aが後方に飛んだ場合、 $x < 0$ の領域に入ると、検出器に到達することはない。これを避けるための条件は、 α を用いて $\cos \theta_0 >$ と表せる。 $x_0 >$ のときには、Aは θ_0 によらず $x < 0$ の領域に入ることはない。

- (2) 検出器に入ったAのうち、検出器の x 軸上の点で検出されたものだけに着目する。測定される運動エネルギーの取りうる範囲を m 、 v_A を用いて表せ。
- (3) Xの注入を繰り返し、十分多数のAが検出された。検出されたAのうち、運動エネルギーが mv_A^2 よりも小さい原子核の数の割合は、Xの半減期 T が $\frac{L}{v_A}$ と比べてはるかに短い場合と、逆にはるかに長い場合で、どちらが多くなると期待されるか、理由と共に答えよ。

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。)

第2問 質量を精密に測定する装置について考えよう。

I 図2—1のように、滑らかに回転する軽い滑車に、半径 r 、質量 M の円盤が、質量の無視できる糸と吊り具で水平につり下げられている。円盤の側面には導線が水平方向に N 回巻かれている。導線の巻き方向は、上から見たときに端子 J_1 を始点として時計回りである。滑車の反対側には質量 M のおもりがつり下げられている。円盤の厚さは十分に小さいものとする。

円盤の上下には図2—2のように、二つの円形の永久磁石をN極同士が向かい合うように壁に固定する。鉛直方向下向きに z 軸をとり、二つの磁石の中間点を $z = 0$ とする。円盤は、はじめ $z = 0$ に配置されており、水平を保ちながら z 方向にのみ運動する。円盤が動く範囲では、図2—3のように円盤の半径方向を向いた放射状の磁場が永久磁石により作られ、導線の位置での磁束密度の大きさは一定の値 B_0 である。この磁場は円盤に巻かれた導線のみ作用するものとする。

この装置は真空中に置かれている。重力加速度は g 、真空中の光速は c とする。円盤が動く速さは c よりも十分に小さい。糸の伸縮はない。導線の質量、太さ、抵抗、自己インダクタンスは無視する。また、円盤に巻かれていない部分の導線は、円盤の運動に影響しない。以下の設問に答えよ。

(1) おもりを鉛直方向に動かすことで、円盤を z 軸正の向きに一定の速さ v_0 で動かした。端子 J_1 を基準とした端子 J_2 の電位 V_1 を、 v_0 、 r 、 N 、 B_0 を用いて表せ。

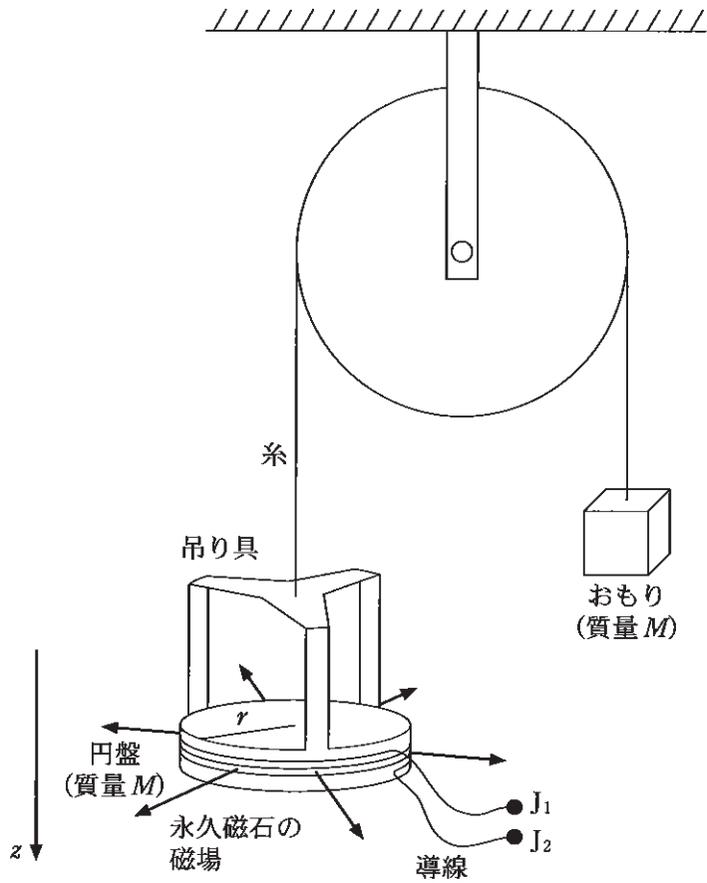


図 2-1

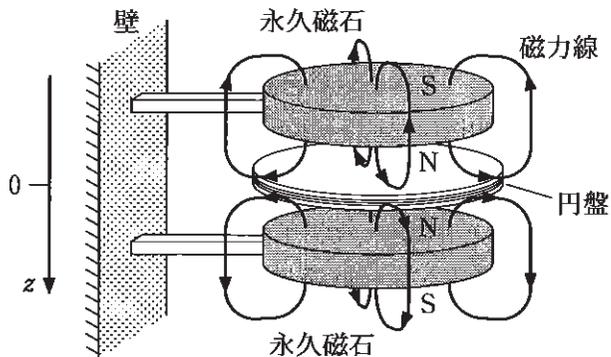


図 2-2

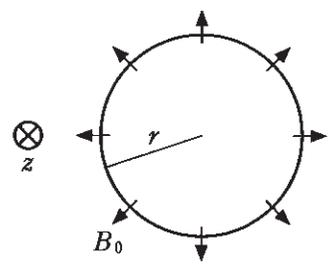


図 2-3

図2—4のように、円盤の位置を精密に測定し電気信号に変換するため、この装置にはレーザー干渉計が組み込まれている。レーザー光源を出た周波数 f の光は、ハーフミラーで一部が反射し、一部は透過する。ハーフミラーで反射した光は円盤に取り付けた鏡 M_1 で反射し、ハーフミラーを透過した光は壁に固定された鏡 M_2 で反射する。 M_1 、 M_2 で反射した光は、ハーフミラーで重ね合わされ光検出器に向かう。光の経路は真空中にある。このとき、円盤の位置 z が変化すると、検出される光の強さが干渉により変化する。光検出器からは、検出した光の強さに比例した電圧 $V(z)$ が出力される。この電圧は、 V_L と k を正の定数として $V(z) = V_L + V_L \sin(kz)$ と表すことができる。鏡 M_1 の質量は無視できる。

(2) f と c を用いて k を表せ。

図2—4の回路に含まれる可変電源は、光検出器の出力電圧を入力すると、正の増幅率を A として $V_A = A\{V(z) - V_L\}$ なる電圧を出力する。抵抗値 R の抵抗に生じる電圧降下を、内部抵抗の十分大きな電圧計によって測定する。可変電源の出力電圧は、一端子を基準とした+端子の電位である。

いま、円盤の位置を $z = 0$ に戻し、静止させた。スイッチを閉じると円盤は静止を続けた。次に、円盤の上に質量 m の物体を静かに置くと、物体と円盤は一体となって鉛直下向きに運動を始めた。

(3) 円盤をつり下げている糸の張力を T 、物体の速度を v とする。一体となって運動する物体と円盤にはたらく力の合力を、 k 、 m 、 M 、 T 、 A 、 r 、 N 、 g 、 B_0 、 R 、 V_L 、 v 、 z のうち必要なものを用いて表せ。

A が十分大きい値であったため、物体と円盤は一体のまま非常に小さな振幅で上下に運動し、時間とともにその振幅は減衰した。時間が経過してほぼ静止したと見なせるときの円盤の位置を z_1 、電圧計の測定値の絶対値を V_2 とする。

(4) z_1 と V_2 を $k, m, A, r, N, g, B_0, R, V_L$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 z_1 が十分に小さいため、近似式 $\sin(kz_1) \approx kz_1$ を用いてもよい。

(5) 設問 I(1)の結果とあわせて、物体の質量 m を V_1, V_2, R, g, v_0 を用いて表せ。

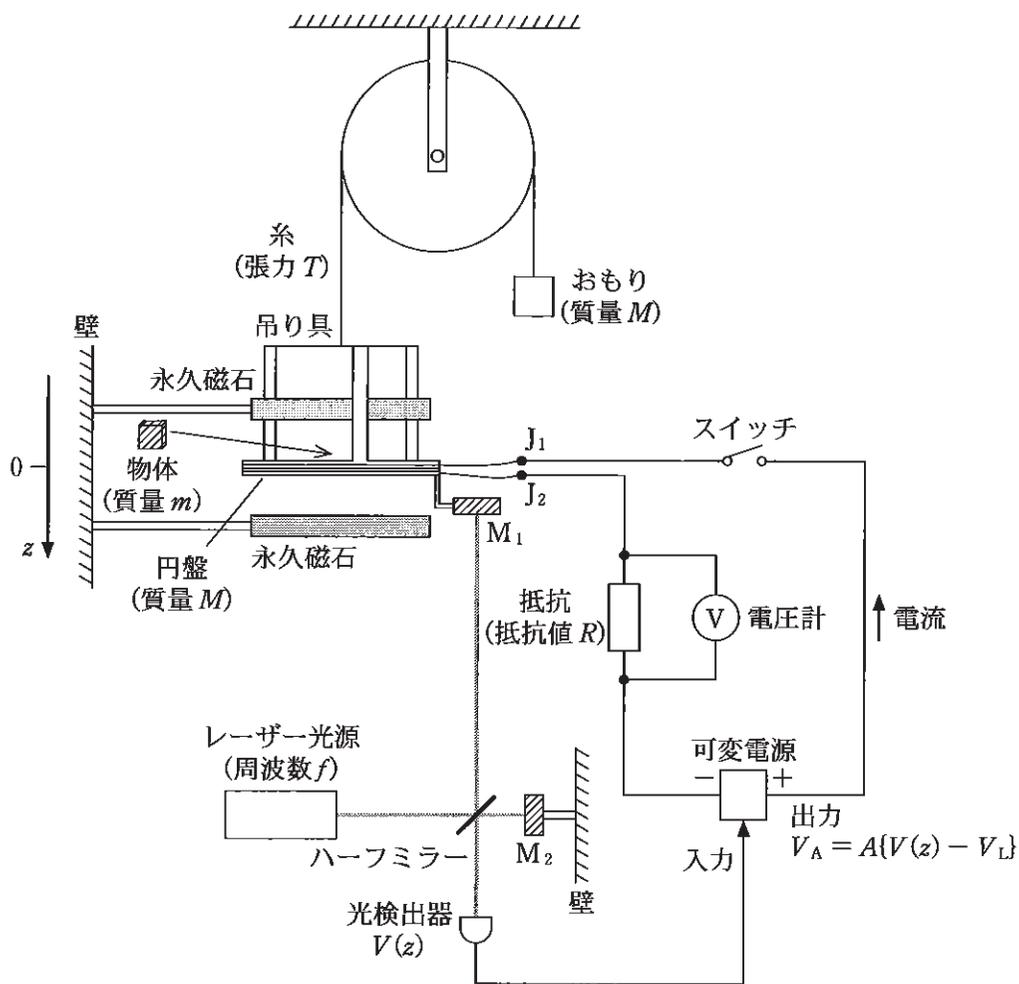


図 2-4

II 質量 m の測定に用いた抵抗の抵抗値 R を精密に決めることを考えよう。

金属や半導体に電流を流し、その電流の向きと垂直に磁場をかけると、ホール効果によって電流と磁場に垂直な方向に電位差が生じる。このような電子部品をホール素子と呼ぶ。ホール効果のうち、量子ホール効果という特殊な場合には、生じた電位差と電流の比 R_H の値は厳密に決まっており、抵抗値の基準となる。

R_H を基準として未知の抵抗値 R を測定するため、図 2—5 に示す回路を用いる。ホール素子には、紙面に垂直で裏から表に向かう磁場がかけられており、 P_1 から P_2 の向きに電流 I_1 を流すと、 P_3 を基準とした P_4 の電位は $R_H I_1$ となる。 P_5 を基準とした P_4 の電位 V を内部抵抗の十分大きな電圧計で測定し、正の大きな増幅率 A をもつ可変電源に入力する。可変電源は電圧 $V_A = AV$ を出力し、抵抗値 R' の抵抗に接続されている。ホール素子は、 P_1 と P_2 の間に有限の抵抗値をもつ。可変電源の出力電圧は、一端子を基準とした+端子の電位である。

ソレノイド 1, 2, 3 は比透磁率 1 の一つの円筒に巻かれており、単位長さあたりの巻数はそれぞれ n_1, n_2, n_3 である。ソレノイド 2 と 3 は同じ向きに、ソレノイド 1 はそれらとは逆向きに巻かれている。電源 1, 電源 2, 可変電源から流れる電流をそれぞれ I_1, I_2, I_3 とし、それぞれがソレノイド 1, 2, 3 に流れている。 I_1 と I_3 は電源に内蔵された電流計で測定している。ソレノイドの導線の抵抗は無視できる。以下の設問に答えよ。

(1) P_5 を基準とした P_4 の電位 V とソレノイド内部の磁場 H の大きさを、 $n_1, n_2, n_3, I_1, I_2, I_3, R, R_H$ のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(2) 以下の記述について、 と にあてはまる式を、 $n_1, n_2, n_3, I_1, I_3, R, R'$ のうち必要なものを用いて表せ。

磁気センサーでソレノイド内部の磁場 H を測定し、 $H = 0$ となるように電源 1 の電圧により I_1 を調整した。このとき、 $\frac{R_H}{R} = \text{ア} + \frac{1}{A} \times \text{イ}$ と表すことができる。増幅率 A が大きいので、近似式 $R \doteq R_H \times (\text{ア})^{-1}$ が得られる。

ソレノイドの巻数をうまく選ぶことで、電流の測定誤差に比べて抵抗値 R の測定誤差を相対的に小さくすることができる。量子ホール効果での R_H は、物理定数であるプランク定数 h 、電気素量 e と自然数 p を用いて $R_H = \frac{h}{pe^2}$ と表せる。ここでは、 $p = 2$ 、 $R_H = 12.9 \text{ k}\Omega$ の素子を用いる。いま、測定したい抵抗値 R は 100Ω 程度であることが測定前にわかっている。測定誤差を小さくするために、 $\frac{n_2}{n_1}$ が $\frac{R}{R_H}$ と近い値となり、 $\frac{n_3}{n_1}$ が小さくなるように巻数の比を選び、 $n_1 : n_2 : n_3 = 1290 : 10 : 129$ とした。

(3) 電流 I_1 と I_3 の測定値と真の値、および抵抗値 R の真の値を表 2—1 に示す。電流の相対誤差は 10% 程度である。 I_1 、 I_3 の測定値と設問 II(2) で得た近似式から、抵抗値 R の測定値を有効数字 3 桁で求めよ。また、この抵抗測定の相対誤差は何%か、有効数字 1 桁で答えよ。

表 2—1

	I_1	I_3	R
測定値	$540 \mu\text{A}$	$400 \mu\text{A}$	
真の値	$600 \mu\text{A}$	$350 \mu\text{A}$	106Ω

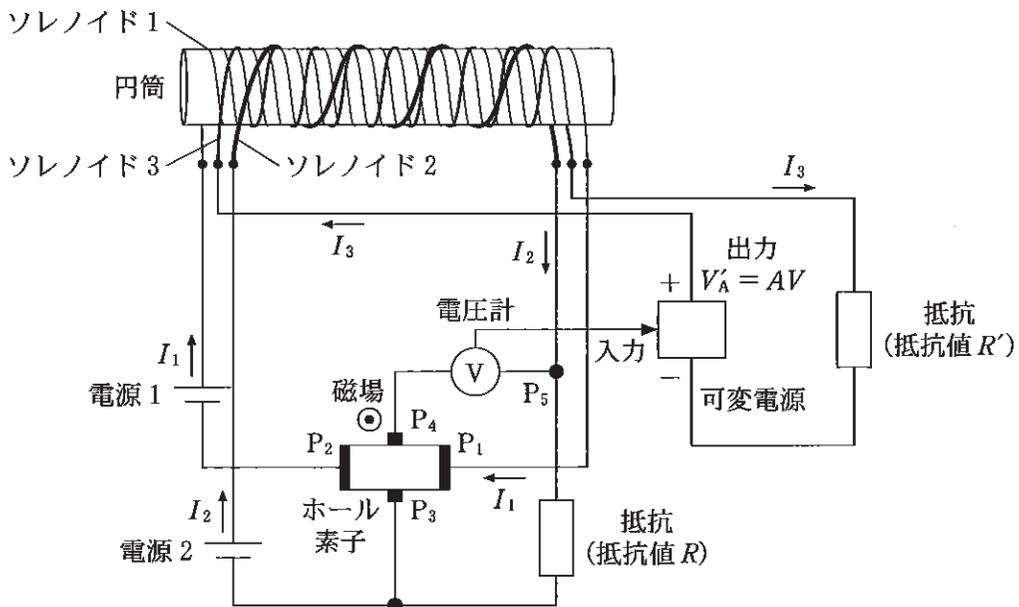


図 2—5

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 ゴムひもを伸ばすと、元の長さに戻ろうとする復元力がはたらく。一方でゴム膜を伸ばして広げると、その面積を小さくしようとする力がはたらく。この力を膜張力と呼ぶ。十分小さい面積 ΔS だけゴム膜を広げるのに必要な仕事 ΔW は

$$\Delta W = \sigma \Delta S$$

で与えられる。ここで σ は[力/長さ]の次元を持ち、膜張力の大きさを特徴づける正の係数である。ゴム膜でできた風船を膨らませると、膜張力により風船の内圧は外気圧よりも高くなる。外気圧は p_0 で常に一定とする。重力を無視し、風船は常に球形を保ち破裂しないものとして、以下の設問に答えよ。

I 図3-1のように半径 r の風船とシリンダーが接続されている。シリンダーには滑らかに動くピストンがついており、はじめピストンはストッパーの位置で静止している。風船とシリンダー内は液体で満たされており、液体の圧力 p は一様で、液体の体積は一定とする。ゴム膜の厚みを無視し、係数 σ は一定とする。

- (1) ピストンをゆっくりと動かし風船を膨らませたところ、図3-1のように半径が長さ Δr だけ大きくなった。ピストンを動かすのに要した仕事を p_0 , p , r , Δr を用いて表せ。ただし、 Δr は十分小さく、 Δr の二次以上の項は無視してよい。
- (2) 設問 I (1) で風船を膨らませたときに、風船の表面積を大きくするのに要した仕事を r , Δr , σ を用いて表せ。ただし、 Δr は十分小さく、 Δr の二次以上の項は無視してよい。
- (3) p を p_0 , r , σ を用いて表せ。ただし、ピストンを介してなされる仕事は、全て風船の表面積を大きくするのに要する仕事に変換されるものとする。

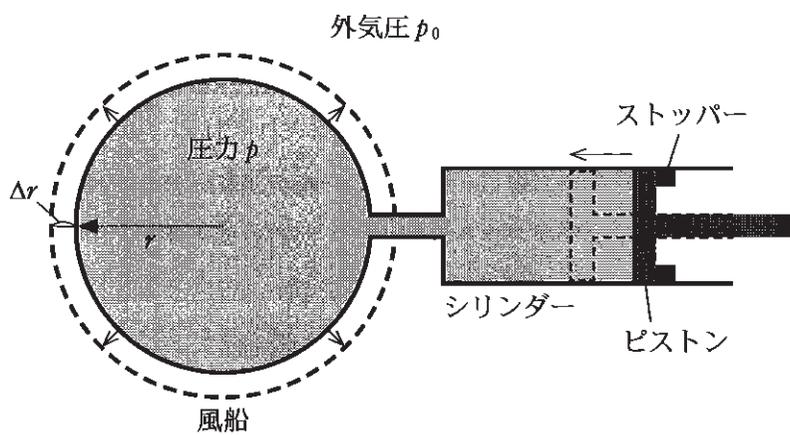


図 3—1

II 図3-2のように、小さな弁がついた細い管の両端に係数 σ の風船がついており、中には同じ温度の理想気体が封入され、気体の温度は常に一定に保たれている。最初、弁は閉じており、風船の半径はそれぞれ r_A 、 r_B である。管内と弁の体積、ゴム膜の厚みを無視し、係数 σ は一定とする。また、風船がしぼみきった場合、風船の半径は無視できるほど小さくなるものとする。

(1) $r_A < r_B$ の場合に弁を開いて起こる変化について、空欄 と に入る最も適切な語句を選択肢①～④から選べ。また、下線部についての理由を簡潔に答えよ。

弁を開くと気体は管を通り、半径の 風船からもう一方の風船に移る。十分時間が経った後の風船は、片方が半径 r_C で、 。

- ① 大きい
- ② 小さい
- ③ 他方も半径 r_C になる
- ④ 他方はしぼみきっている

(2) σ を p_0 、 r_A 、 r_B および、設問II(1)で与えられた r_C を用いて表せ。

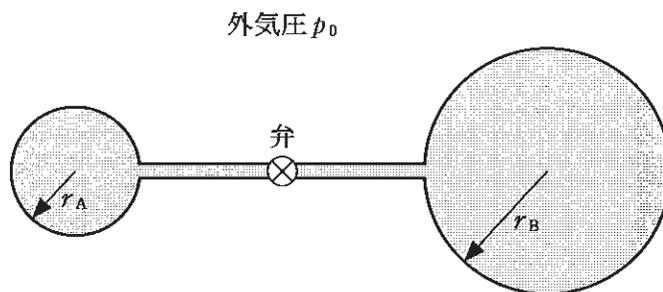


図3-2

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

Ⅲ 実際の風船では、膜張力の大きさを特徴づける係数 σ は一定ではなく、半径 r の関数として変化する。以下の設問では、風船の係数 σ は関係式

$$\sigma(r) = a \frac{r - r_0}{r^2} \quad (r \geq r_0 > 0)$$

に従うと仮定する。ここで a と r_0 は正の定数であり、温度によって変化しないものとする。風船の半径は常に r_0 より大きいものとする。

(1) 図3—3のように、理想気体が封入され、風船の半径がどちらも r_D の場合を考える。弁を開いて片方の風船を手でわずかにしぼませた後、手を放したところ、風船の大きさは変化し、半径が異なる二つの風船となった。 r_D が満たすべき条件を答えよ。ただし、気体の温度は一定に保たれているとする。

(2) 設問Ⅲ(1)で十分時間が経った後、弁を開いたまま、二つの風船内の気体の温度をゆっくりとわずかに上げた。風船の内圧は高くなったか、低くなったか、理由と共に答えよ。必要ならば、図を用いてよい。

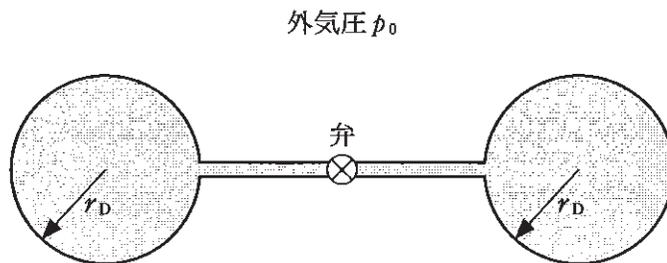


図3—3

(3) 設問Ⅲ(2)で十分時間が経った後、今度は風船内の気体の温度をゆっくりと下げた。二つの風船の半径を温度の関数として図示するとき、最も適切なものを図3-4の①~⑥から一つ選べ。

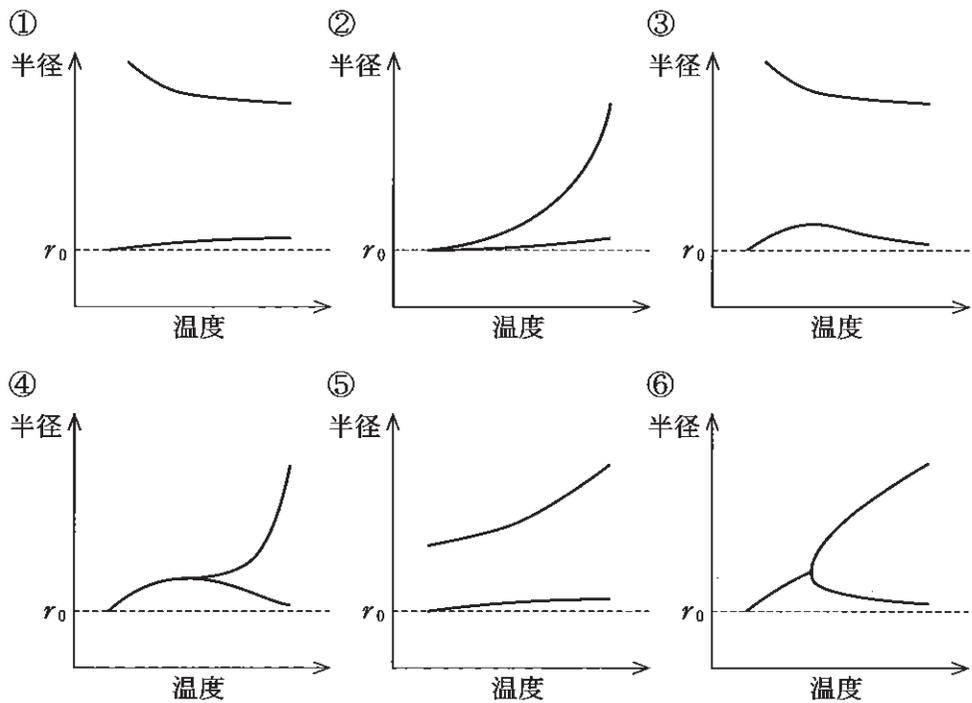


図3-4

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。)

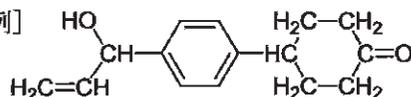
化 学

第1問

次のⅠ、Ⅱの各問に答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。構造式は例にならって示し、鏡像異性体は区別しなくてよい。

元 素	H	C	O
原子量	1.0	12.0	16.0

[構造式の例]



Ⅰ 次の文章を読み、問ア～オに答えよ。

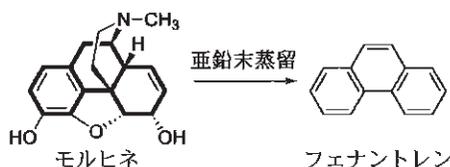
黒田チカ博士は日本の女性化学者のさきがけであり、天然色素の研究で顕著な業績を残した。以下では、黒田が化学構造を解明した色素成分に類似の芳香族化合物 A の構造を考える。A は分子量 272 で、炭素、水素、酸素の各元素のみからなる。次の実験 1～8 を行い、A の構造を決定した。

実験 1：136 mg の A を完全燃焼させると、352 mg の二酸化炭素と 72.0 mg の水が生じた。

実験 2：A を亜鉛末蒸留(解説 1)すると、ナフタレンが生成した。

解説 1：試料を粉末状の金属亜鉛と混合して加熱・蒸留すると、主要炭素骨格に対応する芳香族炭化水素が得られる。例えば、下式に示すように、モルヒネを亜鉛末蒸留するとフェナントレンが生成する。

一部の炭素および水素原子の表記は省略した。太線で示した主要炭素骨格に対応する芳香族炭化水素フェナントレンが得られる。



実験 3：酸化バナジウム(V)を触媒に用いてナフタレンを酸化すると、分子式 $C_8H_4O_3$ の化合物 B と分子式 $C_{10}H_6O_2$ の化合物 C が生成した。C は平面分子でベンゼン環を有し、同じ化学的環境にあるために区別できない 5 種類の炭素原子をもつ(解説 2)。なお、A は部分構造として C を含む。すなわち、C の一部の水素原子を何らかの置換基にかえたものが A である。

解説 2 : 解説 1 に示したフェナントレン(分子式 $C_{14}H_{10}$)を例に考えると、分子の対称性から、同じ化学的環境にあり区別できない炭素原子が 7 種類ある。

実験 4 : A に塩化鉄(III)水溶液を作用させると呈色した。

実験 5 : A に過剰量の無水酢酸を作用させると、アセチル基が 2 つ導入されたエステル D が得られた。

実験 6 : D にオゾンを作用させたのちに適切な酸化処理を行い(図 1—1 (a)), 続いて実験 5 で生成したエステル結合を加水分解すると、化合物 E, 化合物 F, コハク酸 $HOOC-CH_2-CH_2-COOH$, 二酸化炭素および酢酸が生じた。この酢酸は、アセチル基に由来するものである。また、反応途中で生成する 1,2-ジカルボニル化合物は、酸化分解を受けてカルボン酸となった(図 1—1 (b))。一連の反応でベンゼン環は反応しなかった。

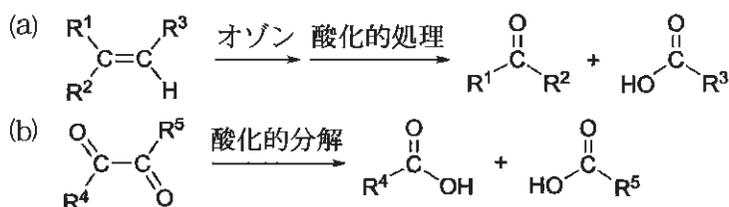


図 1—1 実験 6 の反応の概要 : (a)炭素間二重結合のオゾン分解 ($R^1 \sim R^3$: 炭化水素基など), (b)1,2-ジカルボニル化合物の酸化分解 (R^4, R^5 : ヒドロキシ基や炭化水素基など)

実験 7 : E にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を作用させると、黄色固体 G と酢酸ナトリウムが得られた。

実験 8 : F は分子式が $C_8H_6O_6$ であり、部分構造としてサリチル酸を含み、同じ化学的環境にあるために区別できない 4 種類の炭素原子をもつ。また、F を加熱すると分子内脱水反応が起こり、化合物 H が得られた。

〔問〕

ア 実験 1 より、化合物 A の分子式を示せ。

イ 実験 3 より、化合物 B および C の構造式をそれぞれ示せ。

ウ 化合物 E の構造式を示せ。

エ 化合物 H の構造式を示せ。

オ 化合物 A の構造式を示せ。

II 次の文章を読み、問カ～サに答えよ。

三員環から七員環のシクロアルカンのひずみエネルギーを図1-2(a)に示す。メタン分子のH-C-Hがなす角は約 109° である(図1-2(b))。シクロプロパンのC-C-Cがなす角は 109° より著しく小さく(図1-2(c))、ひずみエネルギーが大きい。そのため、シクロプロパンは臭素と容易に反応し、化合物Iを生じる。

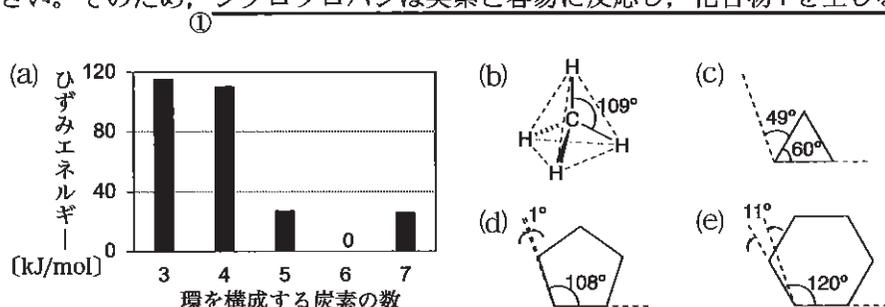


図1-2 (a)シクロアルカンの環構成炭素数と分子あたりのひずみエネルギー、(b)メタンの立体構造、(c)~(e)正多角形の内角と正四面体構造の炭素がなす理想的な角度とのずれ

シクロアルカンが平面構造であると仮定すると、内角が 109° からずれることにより、シクロヘキサンよりもシクロペンタンの方がひずみエネルギーが小さく、安定であると予想される(図1-2(d), (e))。しかし、実際にはシクロヘキサンが最も安定である。これは分子構造を三次元的に捉えることで説明できる。

分子の立体構造を考える上で、図1-3に示す投影図が有用である。ブタンを例にすると、 C^α と C^β の結合軸に沿って見たとき、投影した炭素と水素がなす角はおよそ 120° である。 C^α 、 C^β 間の単結合が回転することで異性体の一種である配座異性体を生じる。②ブタンのメチル基どうしがなす角 θ が 180° のときをアンチ形という。 C^α と C^β の結合をアンチ形から 60° 回転すると置換基が重なった不安定な重なり形の配座異性体となる。さらに 60° 回転した配座異性体をゴーシュ形という。ゴーシュ形はメチル基どうしの反発により、アンチ形より約4 kJ/mol不安定である。

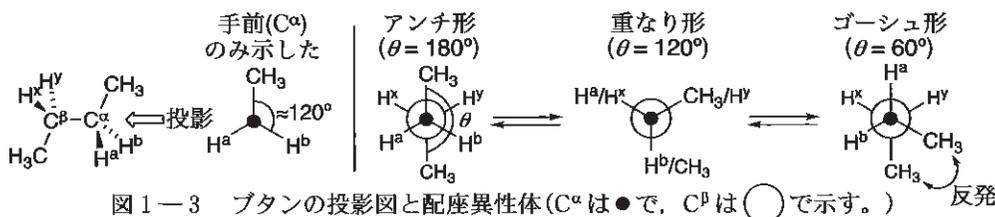


図1-3 ブタンの投影図と配座異性体(C^α は●で、 C^β は○で示す。)

シクロヘキサンのいす形の配座異性体 J (図 1-4) の各 C-C 結合の投影図を考えると、すべてにおいて CH₂ どうしが a となる。また、C-C-C がなす角が 109° に近づくため、ひずみエネルギーをもたない。J には環の上下に出た水素 (H^b, H^y) と環の外側を向いた水素 (H^a, H^x) がある。不安定な K を経て配座異性体 L へと異性化することで、水素の向きが入れ替わる。

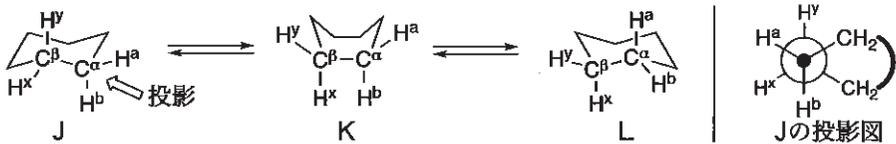


図 1-4 シクロヘキサンの環反転(いくつかの中間体は省略。一部の CH₂ は略記。)と投影図(C^αは●で、C^βは○で示す。シクロヘキサンの残りの部分は で略記。)

1,2-ジメチルシクロヘキサンの立体異性体 M と N がある。立体異性体 M には ^③いす形の配座異性体としてエネルギー的に等価なもののみが存在する。立体異性体 N にはエネルギーの異なる 2 つのいす形の配座異性体がある。 ^④

[問]

力 下線部①について、化合物 I の構造式を示せ。

キ 下線部②について、ブタンの配座異性体のエネルギーと角 θ との関係の模式図として相応しいものを図 1-5 の(1)~(4)の中から 1 つ選べ。なお、メチル基どうしの反発に比べ水素と水素、水素とメチル基の反発は小さい。

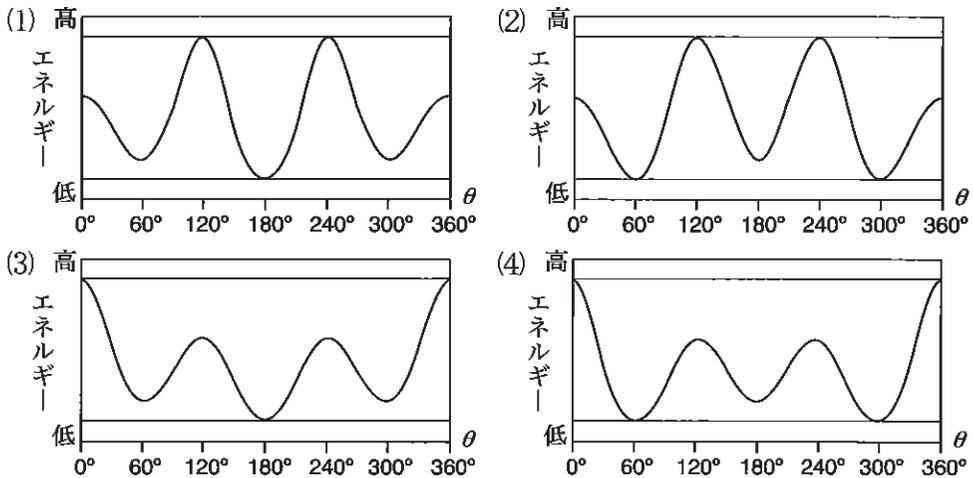


図 1-5 ブタンのメチル基どうしがなす角 θ とエネルギーの関係

ク 空欄 に入る語句として適切なものを以下から選べ。

アンチ形 重なり形 ゴーシュ形

ケ 下線部③に関して、最も安定ないす形の配座異性体の投影図を立体異性体 M, N についてそれぞれ示せ。投影図はメチル基が結合した 2 つの炭素の結合軸に沿って見たものを J の投影図(図 1—4)にならって図示すること。なお, CH₂ とメチル基がゴーシュ形を取るときの反発は, メチル基どうしのそれと同じとみなしてよい。

コ 最も安定ないす形の配座異性体において, 立体異性体 M, N のどちらが安定かを選び, 理由とともに答えよ。

サ 下線部④に関して, N の最も安定ないす形の配座異性体において, 2 つのメチル基が占める位置を図 1—6 の構造式中の空欄 ~ から選べ。

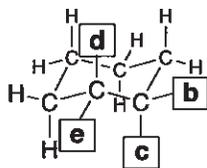


図 1—6 1,2-ジメチルシクロヘキサンの構造式

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

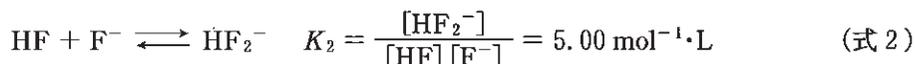
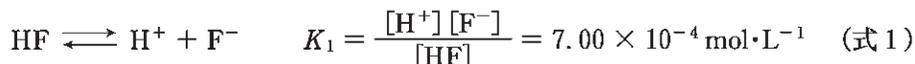
第2問

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。

フッ化水素 HF は、他のハロゲン化水素とは異なる性質をもつ。また、フッ素樹脂の原料として用いられるほか、ガラスの表面加工や半導体の製造過程における酸化被膜の処理においても重要な役割を果たす。

気体では HF 2 分子が会合し、1 分子のようにふるまう二量体を形成する。かつては低濃度のフッ化水素酸 (HF の水溶液) 中においても、気体中と同様に二量体を形成し得ると考えられていた。しかし、凝固点降下の実験で、低濃度のフッ化水素酸中における二量体の形成を裏付ける結果は得られていない。現在ではフッ化水素酸中において、主に以下の二つの平衡が成り立つと考えられている。



これらの平衡にもとづき、 $[\text{H}^+]$ と $[\text{HF}]$ の関係を考えることができる。ここで K_1 、 K_2 は平衡定数であり、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{F}^-]$ 、 $[\text{HF}]$ 、 $[\text{HF}_2^-]$ はそれぞれ H^+ 、 F^- 、 HF 、 HF_2^- のモル濃度を表す。また、以下の問では水の電離は考えないものとする。

〔問〕

ア 下線部①について、HF、塩化水素 HCl、臭化水素 HBr、ヨウ化水素 HI を沸点の高いものから順に並べよ。また、沸点の順がそのようになる理由を、以下の語句を用いて簡潔に答えよ。

〔語句〕 水素結合、ファンデルワールス力、分子量

イ 下線部②について、二酸化ケイ素 SiO_2 とフッ化水素酸の反応では、2 価の酸である A が生成する。 SiO_2 と気体のフッ化水素の反応では、正四面体形の分子 B が生成する。A と B の分子式をそれぞれ答えよ。

- ウ 下線部③について、フッ化水素酸中の二量体の形成が凝固点降下に与える影響を考える。ある濃度のフッ化水素酸中において、二量体を形成すると仮定したときに、凝固点降下の大きさは二量体を形成しないときと比べてどうなると考えられるか、理由とともに簡潔に答えよ。ただし、ここではフッ化水素酸中の HF の電離は考えないものとする。
- エ 下線部④について、十分に低濃度のフッ化水素酸は弱酸としてふるまうため、式1の平衡を考えるだけでよい。式1のみを考え、pHが3.00のフッ化水素酸における HF の濃度 $[HF]$ を有効数字2桁で求めよ。答えに至る過程も記せ。
- オ 下線部④について、(a) 式1の平衡のみを考える場合および(b) 式1と式2の両方の平衡を考える場合における $[HF]$ と $[H^+]$ の関係として最も適切なものを、図2-1のグラフの(1)~(5)からそれぞれ選べ。ただし二量体の形成は考えないものとする。

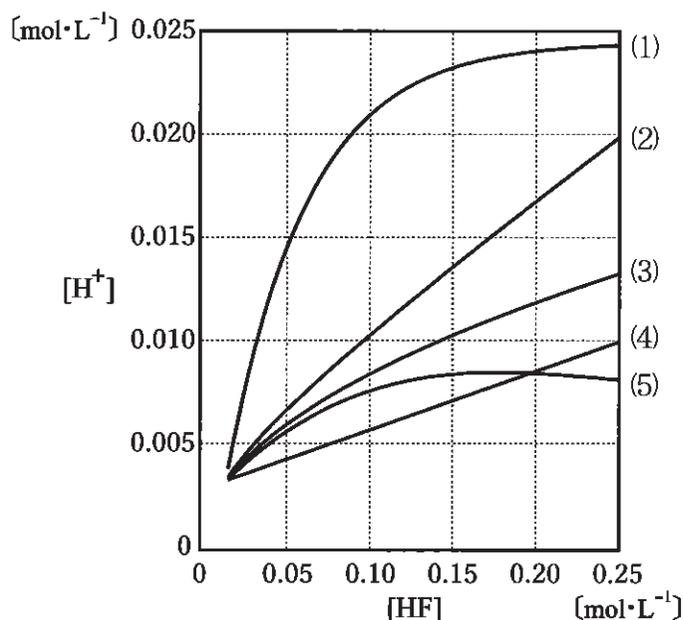


図2-1 フッ化水素酸における $[HF]$ と $[H^+]$ の関係

II 次の文章を読み、問カ～コに答えよ。

金属アルミニウム Al および金属チタン Ti は、地殻に豊富に存在する元素からなる軽金属で、様々な分野で用いられている。

金属 Al の主な工業的製造プロセスでは、原料として酸化アルミニウム Al_2O_3 を主成分とするボーキサイトが用いられる。ボーキサイトに水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を加えて高温・高圧とし、不溶物を除去する。^⑤ 不溶物を除去した溶液を冷却し、pH を調整して水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ を沈殿させ、これを^⑥ $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 程度で熱処理することで高純度の Al_2O_3 を得る。最後に、 Al_2O_3 の熔融塩(融解塩)電解により金属 Al を得る。

金属 Ti の主な工業的製造プロセスでは、原料として酸化チタン TiO_2 を主成分とする鉱石などが用いられる。ここでは、 TiO_2 を原料として考える。 TiO_2 と^⑦ コークスを $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 程度に加熱し、ここに塩素ガス Cl_2 を吹き込むことで、塩化チタン TiCl_4 を得る。 蒸留精製した TiCl_4 を金属マグネシウム Mg を用いて還元^⑧ することで、金属 Ti を得る。 この過程で生成した塩化マグネシウム MgCl_2 は、^⑨ 熔融塩電解により、金属 Mg と Cl_2 としたのち、 再利用される。

金属 Al と金属 Ti の性質の違いとして、展性・延性の違いが挙げられる。金属 Al は展性・延性が高く加工性に優れる。金属 Ti は展性・延性が低く変形しにくい^⑩ため、強度が要求される用途に用いられる。

[問]

カ 下線部⑤に関して、ボーキサイトに含まれる化合物として、 Al_2O_3 、酸化鉄 Fe_2O_3 、二酸化ケイ素 SiO_2 を考える。これらの中で、加熱下で NaOH 水溶液と反応し、溶解する化合物をすべて挙げ、各化合物と NaOH 水溶液の化学反応式を書け。

キ 下線部⑥に関して、3 価の Al イオンは、溶液中では水分子 H_2O あるいは水酸化物イオン OH^- が配位した錯イオン $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_m(\text{OH})_n]^{(3-n)+}$ (m, n は整数, $m + n = 6$) および沈殿 $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{固})$ として存在し、それらが平衡状態にあるとする。平衡状態における錯イオンの濃度の pH 依存性が図 2-2 のように表されるとき、錯イオンの濃度の合計が最も低くなり、 $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{固})$ が最も多く得られる pH を整数で答えよ。

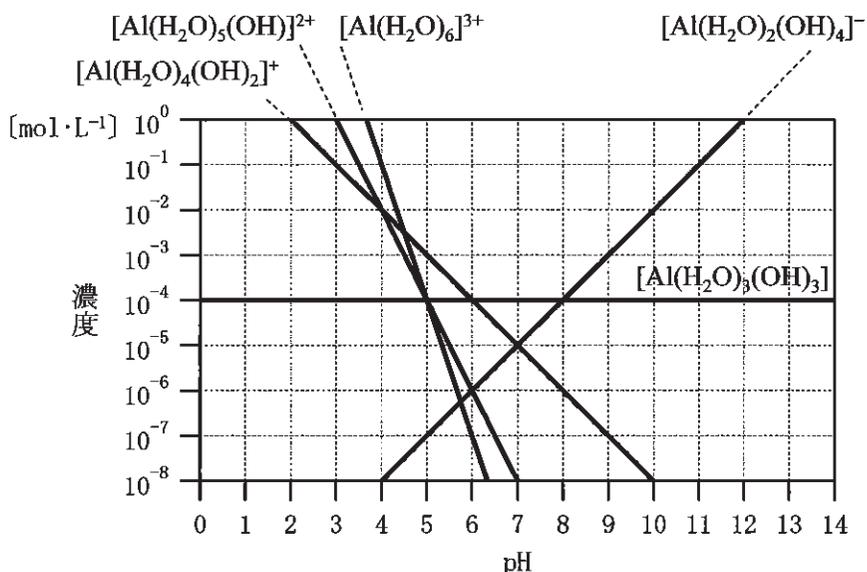


図 2—2 pH と鋳イオンの濃度の関係

- ク 下線部⑦, ⑧, ⑨に関して, それぞれの化学反応式を書け。また, 全体としての化学反応式を書け。下線部⑦の反応では, コークスはCのみからなるものとし, CO_2 まで完全に酸化されるものとする。下線部⑨の反応に関しては, 熔融塩電解全体としての化学反応式を書け。
- ケ 下線部⑨に関して, 2 価の Mg イオンの還元には, MgCl_2 水溶液の電気分解ではなく, 熔融塩電解が用いられる理由を簡潔に述べよ。
- コ 下線部⑩に関して, 結晶構造から考察する。金属原子が最も密に詰まった平面(ここでは最密充填面と呼ぶ)の数は結晶構造によって異なり, 最密充填面の数が多い金属結晶ほど変形しやすい傾向がある(注)。金属 Ti の結晶構造は六方最密構造に分類されるが, 理想的な六方最密構造からずれた構造をとる。ここでは, 図 2—3 に示すような図中の矢印方向に格子が伸びた結晶構造を考える。このとき, 最密充填面の数は 1 つとなる。一方, 金属 Al は面心立方格子の結晶構造をとる(図 2—4)。図 2—5 の(i)~(iii)の中から, 面心立方格子の最密充填面として最も適切なものを答えよ。また, 面心立方格子における最密充填面の数を答えよ。互いに平行な面は等価であるとし, 1 つと数えること。
- (注) 金属に力が加わるとき, 金属原子層が最密充填面に沿ってすべるように移動しやすいことが知られている。

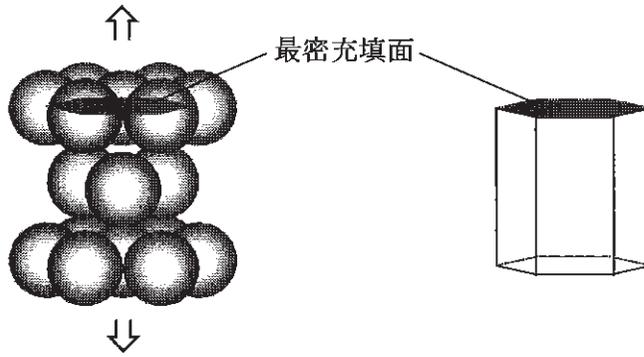


図 2—3 六方最密構造の模式図と最密充填面
球は金属原子を示す。矢印は理想的な六方最密構造からのずれの方向を示している。

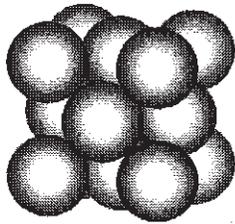


図 2—4 面心立方格子の模式図
球は金属原子を示す。

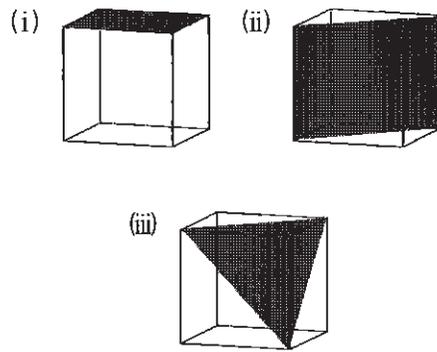


図 2—5 面心立方格子の最密充填面
(網掛け部分)の候補

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よ。

元 素	H	N	O	Fe
原子量	1.0	14.0	16.0	55.8

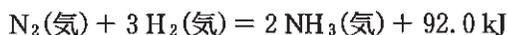
気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$, アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$,

円周率 $\pi = 3.14$, 標準状態: 273 K, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

すべての気体は、理想気体としてふるまうものとする。

I 次の先生と生徒の議論を読み、問ア～オに答えよ。

先生 アンモニア NH_3 は、空気中の窒素 N_2 と水素 H_2 から合成されているのを知っているかい？



最近では、二酸化炭素を排出しないエネルギー源として注目されているよ。

生徒 授業で習いました。 の原理と呼ばれる平衡移動の原理^①があつて、この反応では 圧にするほど、また、 熱反応なので 温にするほど、アンモニア生成の方向へ平衡が移動するのですよね。でも、反応速度を増加させるためには 温にしなければなりません。

先生 そうだ。産業上極めて重要な化学反応だけれど、とても困難な反応なんだ。この反応を可能としているのが触媒だ。触媒は一般的に、図3-1のように、触媒反応を起こす金属と、それを支える担体とからなっているんだ。触媒を用いたアンモニア合成法は、触媒を開発した人の名前から、ハーバー・ボッシュ法とも呼ばれているんだ。ここでは、 の原理とともに、アンモニア合成法について考えてみよう。

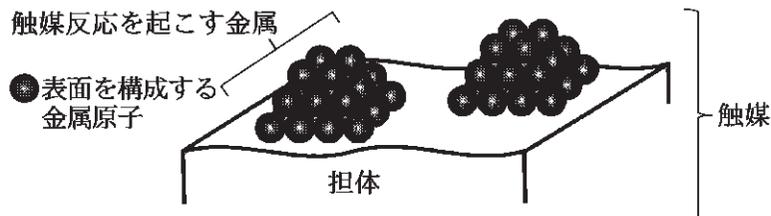


図3-1 触媒の構造

先生 ある触媒 1.00 g 上へ吸着した窒素の体積 V と圧力 p の関係を図 3—2 に示しているよ。真空状態から大気の圧力 p_0 まで少しずつ窒素の圧力 p を大きくし、吸着した窒素量を標準状態における体積 V [mL] に換算して図に表しているんだ。窒素は触媒表面に可逆的に吸着する(図 3—3 左)。触媒上に窒素分子が一層で吸着すると考えると、一分子が占有する面積が分かれば、吸着量から触媒の表面積を求めることができるね。この吸着した窒素は、圧力を下げることで完全に脱離するんだ。再度圧力を大きくして窒素を吸着させても、同じ量を吸着するんだ。

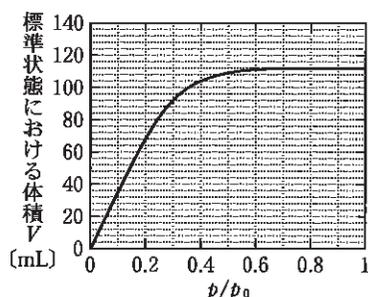


図 3—2 触媒 1.00 g への窒素の吸着体積と圧力の関係図

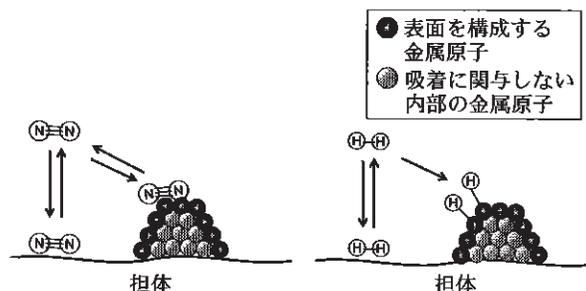


図 3—3 N_2 (左)および H_2 (右)の触媒表面への吸着(断面図)

先生 水素の方はどうなるか、知っているかい？

生徒 窒素が担体と金属のいずれにも分子のまま吸着するのに対して、水素分子は表面金属原子に対しては原子状に解離して強く吸着する(図 3—3 右)から、容易に脱離せず圧力に対して不可逆とみなせる吸着現象であると聞きました。

先生 そうだね。だから水素の吸着体積と圧力の関係図は、図 f で表される形になるんだ。この場合、水素を解離する金属上に、水素原子と表面金属原子が 1 対 1 で水素が吸着するから、金属だけの表面積を求めることができる。担体を含めた触媒全体の表面積が算出できる窒素とは対照的だね。

生徒 金属 1.00 mol に対して、水素原子が 0.100 mol しか吸着しないと^③と、表面を構成している金属原子が 10 % しかないことを示すのですね。

先生 そうだね。さて、吸着した窒素に対して触媒が果たすべき役割を考えてみよう。ハーバー・ボッシュ法に 温が必要な理由が他に分かるかい？

生徒 触媒には という能力が必要になり、そのために 温が必要になります。

先生 その通り。 の原理だけではなく、触媒についても勉強になったね。

生徒 はい。私も大学で、アンモニア合成を簡単にする触媒研究に挑戦します！

(問)

ア 下線部①に関して、 ~ にあてはまる語句を記せ。

イ 下線部②に関して、窒素一分子の占有面積を 0.160 nm^2 ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) とし、触媒 1.00 g に対する標準状態の窒素の飽和吸着量を図 3—2 から読み取ると、触媒 1.00 g の表面積は何 m^2 か、有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。

ウ 図 に相当する図で最も適切なものを図 3—4 の(i)~(iii)の中から一つ選べ。なお、吸着 3 回目以降の結果は 2 回目と同じであった。

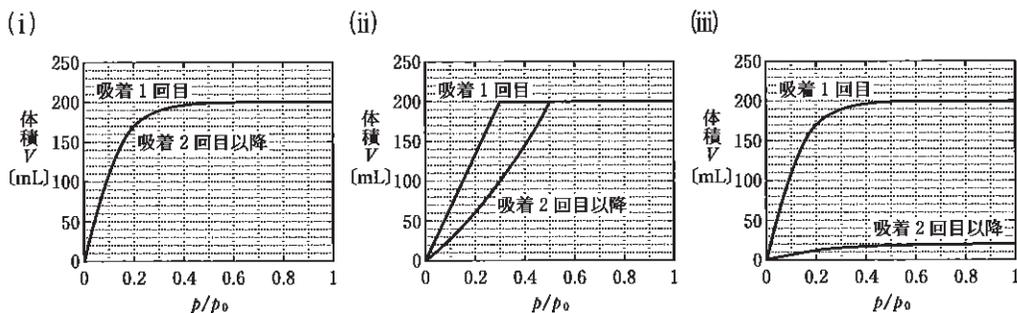


図 3—4 触媒 10.0 g への水素の吸着体積と圧力の関係図
体積 V は、 300 K 、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ における換算体積である。

エ 下線部③に関して、ある触媒 10.0 g 上に 300 K で水素を吸着させた。この触媒上の金属が $5.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$ であったとして、ウで選んだ図から水素の吸着量を読み取ると、表面を構成している金属原子は何%になるか、有効数字 2 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。

オ にあてはまる語句を 10 文字程度で答えよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

II 次の文章を読み、問カ～サに答えよ。

コロイド溶液は、粒子の表面状態や大きさに依存したふるまいを示す。水酸化鉄(III)粒子を 53.4 g/L の濃度で純水中に分散したコロイド溶液を用いて、以下の2つの実験を行った。なお、粒子は半径のそろった真球であり、実験の過程で溶解しないものとする。また、コロイド溶液の密度は粒子の濃度によらず一定で、純水の密度 1.00 g/cm^3 と同じとしてよい。

実験1：粒子表面の電荷は、粒子表面のヒドロキシ基と溶液中のイオンとの可逆反応(図3—5)により、pHに応じて変化する。コロイド溶液のpHを3.0に調整した。このコロイド溶液を電気泳動した結果、粒子は \boxed{h} 極側へ移動した。また、 $\text{pH} = 3.0$ のコロイド溶液に水酸化ナトリウム水溶液を徐々に添加していったところ、ある時点で沈殿を生じた。^④ なお、粒子表面の電荷が全体として0となるpH(等電点)は、7.0だった。

実験2：半透膜で仕切られたU字管の左側にコロイド溶液、右側に純水をそれぞれ10.0 mL ずつ入れた。液面の高さの変化がなくなるまで待った結果、左右の液面の高さの差 $\Delta h[\text{cm}]$ は 1.36 cm となった(図3—6)。粒子の半径によらず、粒子の組成は $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、粒子の単位体積あたりに含まれる鉄(III)イオンの数は $4.00 \times 10^4 \text{ mol/m}^3$ ^⑥ であるものとする。これらから、粒子の半径 $r_1[\text{m}]$ は \boxed{i} m と算出される。なお、この実験では溶液中のイオンの影響は考えなくてよいものとし、コロイド溶液および純水の温度を 300 K 、U字管の断面積を 1.00 cm^2 、大気圧 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ に相当する水銀柱の高さを 76.0 cm 、水銀の密度を 13.6 g/cm^3 とする。

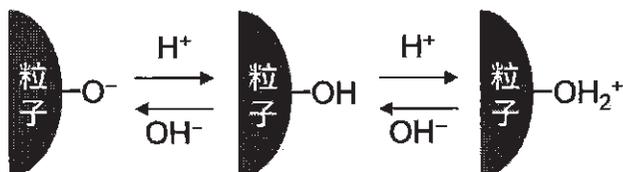


図3—5 粒子表面のヒドロキシ基とコロイド溶液中の水素イオン、水酸化物イオンの可逆反応

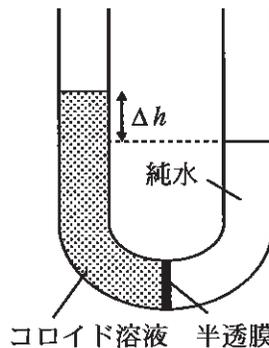


図3—6 実験2の模式図

(問)

- カ にあてはまる語句を答えよ。また、その理由を図3—5の反応にもとづいて述べよ。
- キ 下線部④に関して、その理由を図3—5の反応にもとづいて述べよ。
- ク 下線部⑤に関して、この結果から推定される、液面の高さの変化がなくなった後のU字管左側のコロイド溶液中の粒子のモル濃度は何 mol/L か、有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。なお、コロイド溶液は希薄溶液であり、粒子 6.02×10^{23} 個を1モルとする。
- ケ 下線部⑥に関して、粒子の半径を 1.00×10^{-8} m と仮定した場合の、粒子1モルあたりの質量は何 g か、有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- コ にあてはまる値は 1.00×10^{-8} よりも大きい小さいか、理由とともに答えよ。
- サ 実験2と同様の実験を、粒子の質量濃度が同じく 53.4 g/L、半径 r が r_1 よりも大きい水酸化鉄(III)コロイド溶液を用いて行ったとする。得られる Δh と r の関係として最も適切なものを図3—7の(1)~(5)の中から一つ選べ。また、その理由を簡潔に述べよ。

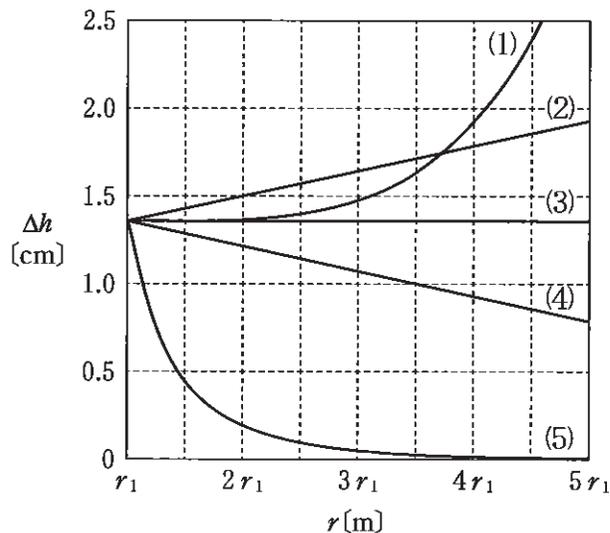


図3—7 r と Δh の関係

生 物

第1問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文1と文2を読み，問A～Mに答えよ。

[文1]

ヒトの生命は，生殖細胞である精子と卵子にそれぞれ 本ずつ含まれる父親由来と母親由来の染色体を受け継いで， 本の染色体をもつ受精卵としてスタートする。生殖細胞の分化の過程では，減数分裂が起こる。減数分裂では，1回のDNA合成に続いて，2回の細胞分裂が起こる。1回目の分裂では，父親由来と母親由来の相同染色体どうしが平行に並んで対合し，染色体DNAの一部が，同一，もしくは，ほぼ同一な配列をもつ染色体DNAの一部によって置き換わる組換え^(ア)という現象が起こる。この時，対合した2本の相同染色体の間でDNAの一部が相互に入れ換わる乗換え^(イ)が起こることが多い。その後，染色体は細胞の赤道面に並び，細胞の両端から伸びる紡錘糸によって引っばられ，両極に移動する。その後，細胞質は二分され，続いて，2回目の分裂が行われる。減数分裂の全過程を通して，1個の母細胞から 個の娘細胞ができ，娘細胞の染色体数は，母細胞の染色体数の 分の1となる。

[文2]

ヒトの体を構成する細胞のうち，生殖細胞以外の細胞のことを体細胞という。体細胞分裂は，細胞周期^(イ)に沿って進行する。細胞周期は，増殖細胞においては繰り返し進行する。ただし，正常細胞では，放射線などによってDNA損傷が生じた場合には，それに応答して，細胞周期の進行が停止する。一方，組換えという現象は，体細胞において，放射線などによってDNAの二本鎖が切断される場合にも起こり，DNA修復に関与する。体細胞における組換え^(イ)では，減数分裂にお

ける組換えとは異なる点も存在する。まず、鋳型となる染色体が両者で異なる。また、減数分裂における組換えとは異なり、体細胞における組換えでは、乗換えは起こらない。二本鎖切断の入った染色体の切断部位周辺の DNA 配列は、鋳型となるもう一方の染色体の DNA 配列によって置き換えられるが、この時に鋳型となった染色体では DNA 配列の置き換えは起こらない。

実験 1 タンパク質 X は、遺伝性乳がん・卵巣がんの原因遺伝子産物の 1 つとして知られる。一方、タンパク質 X は、細胞周期の進行に関わるタンパク質と複合体を形成する。そこで、タンパク質 X の細胞周期の制御における役割を調べることにした。タンパク質 X をコードする遺伝子 X を欠損していないヒト細胞(野生株)と遺伝子 X を欠損したヒト細胞のそれぞれについて、放射線を照射する前の細胞と放射線を照射後 24 時間経過した細胞を多数採取した。DNA と結合すると蛍光を発する色素を用いて染色することにより、一つ一つの細胞に含まれる DNA 量を計測した。その結果、図 1—1 のような分布となった。

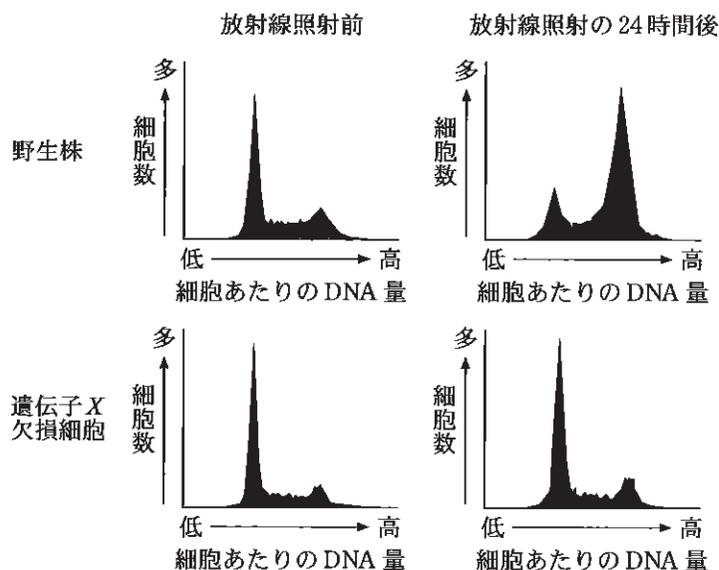


図 1—1 野生株と遺伝子 X 欠損細胞における放射線照射前と放射線照射 24 時間後の細胞あたりの DNA 量の分布

実験2 細胞周期の進行と DNA 複製は密接に関連している。タンパク質 X の DNA 複製における機能を調べるために、遺伝子 X を欠損していないヒト細胞(野生株)と遺伝子 X を欠損したヒト細胞を用いて、放射性同位元素で標識した DNA 構成成分の細胞内への取り込みを測定することによって放射線照射前後の DNA 合成量を調べた。その結果、図 1—2 のようなグラフが得られた。

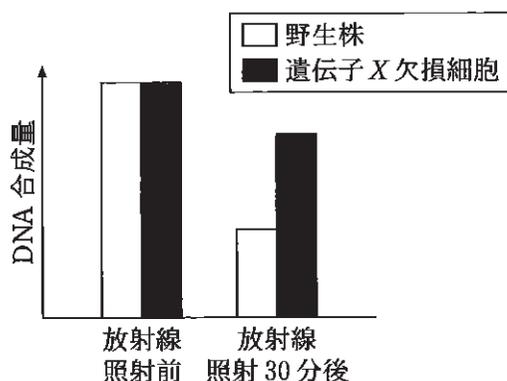


図 1—2 野生株と遺伝子 X 欠損細胞の放射線照射前後の DNA 合成量

実験3 タンパク質 Y は、タンパク質 X と同様に、遺伝性乳がん・卵巣がんの原因遺伝子産物の 1 つとして知られる。一方、タンパク質 Y は、組換えの中心的酵素と直接結合することも分かっている。そこで、タンパク質 Y の組換えにおける役割を調べるために、ヒト細胞を用いて、DNA 二本鎖切断を導入したときの組換えによる修復の発生頻度を測定する実験系を構築した。

この実験系では、配列置換型と欠失型の緑色蛍光タンパク質 (*Green Fluorescent Protein (GFP)*) 遺伝子を含むレポーター遺伝子を準備した(図 1—3 と図 1—4 を参照)。配列置換型 *GFP-a* 遺伝子では、正常 *GFP* 遺伝子の配列内に存在する制限酵素 M の認識配列内に、変異を複数導入することによって、新たに制限酵素 N の認識配列を生成し、その認識配列内に終止コドンを導入した。欠失型 *GFP-b* 遺伝子では、5' 末端と 3' 末端の両方に欠失を入れた(図 1—3)。なお、制限酵素 M も制限酵素 N も、ヒト細胞では通常発現しない。

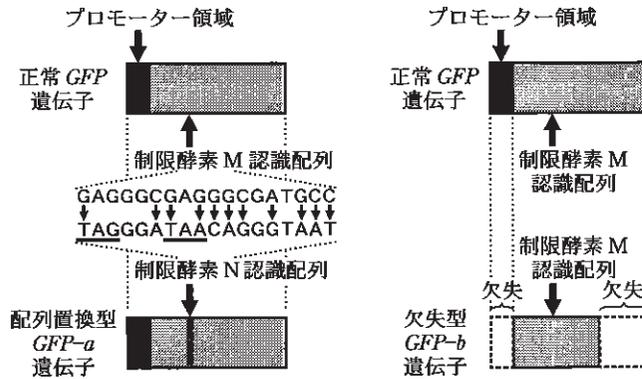


図 1—3 配列置換型 *GFP-a* 遺伝子(左)と欠失型 *GFP-b* 遺伝子(右)の構造
制限酵素 N 認識配列内の下線部(TAG, TAA)は、いずれも終止コドンである。また、欠失型 *GFP-b* 遺伝子において、開始コドンは欠失していない。

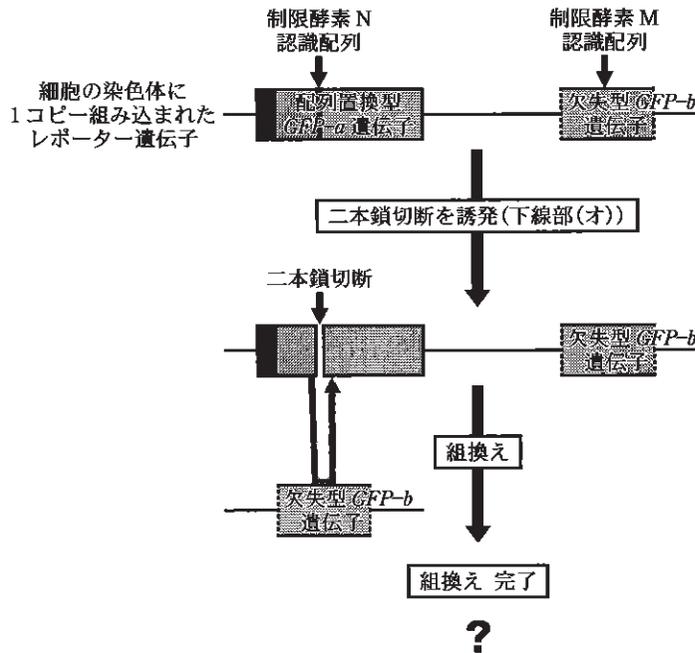


図 1—4 組換えの発生頻度を測定する実験系

配列置換型 *GFP-a* 遺伝子, 欠失型 *GFP-b* 遺伝子を連結している黒い線は、これらの遺伝子とは関係がない DNA 配列を表している。

この実験系で使用するレポーター遺伝子は、配列置換型 *GFP-a* 遺伝子と欠失型 *GFP-b* 遺伝子が、これらとは関係のない DNA 配列によって直線状に連結された構造をとる(図 1—4)。組換えの発生頻度を調べたい細胞に対して、このレポーター遺伝子を導入し、1 コピーが安定的に染色体に組み込まれた細胞を準備する。この細胞において、染色体に組み込まれたレポーター遺伝子上の配列置換型 *GFP-a* 遺伝子内の「ある 1 箇所」^(ア)に DNA 二本鎖切断を誘発する。その後、姉妹染色分体(注：DNA の複製時に作られる同一の遺伝子配列を持つ染色体)、あるいは、同じ染色体の中にある相同な配列を鋳型として、組換えによって二本鎖切断が修復されると、細胞は正常な GFP タンパク質を発現し、緑色の蛍光を発するようになる。緑色の蛍光を発する細胞の割合が、その細胞における組換え頻度に相当する。

遺伝子 *Y* を欠損していないヒト細胞(野生株)と遺伝子 *Y* を欠損したヒト細胞を用いて、この実験系で、それぞれの細胞の組換え頻度を測定した結果、遺伝子 *Y* 欠損細胞では、野生株の 2 割程度まで組換え頻度が低下していた。

実験 4 タンパク質 *Y* は、組換えによる DNA 二本鎖切断の修復以外に、別の機能も有することが明らかになってきた。遺伝子 *Y* を欠損していないヒト細胞(野生株)と遺伝子 *Y* を欠損したヒト細胞を用いて、3 つ以上の中心体を有する細胞の頻度を調べたところ、遺伝子 *Y* 欠損細胞では野生株と比べて、その頻度は明らかに上昇していた。また、遺伝子 *Y* 欠損細胞では野生株と比べて、染色体の数の異常(異数体)が多く見られた。

(問)

A ~ に入る適切な数字をそれぞれ答えよ。

B 下線部(ア)について、減数分裂における組換えの生物学的意義は何か。20 字以内で述べよ。

C 下線部(イ)の細胞周期が進行する過程を、次の語群の語句を全て用いて、3 ~ 4 行で説明せよ。

[語群] M 期, DNA 量, 染色体, G1 期, 複製,
微小管, G2 期, 分裂, 分配, S 期

D 下線部(ウ)について、減数分裂における組換えでは、父親由来と母親由来の相同染色体を鋳型に用いるのに対し、体細胞における組換えでは、DNA 損傷の入っていない姉妹染色分体を鋳型として用いる。体細胞における組換えは、細胞周期のどの段階で起こるか。以下の選択肢(1)~(4)の中から、正しいものを全て選べ。

- (1) G1 期
- (2) G2 期
- (3) M 期
- (4) S 期

E 実験 1 において、放射線照射後の野生株においては、細胞周期のどの段階の細胞が増加しているか。1 つ答えよ(例：○期)。なお、細胞分裂期にある細胞の割合は、野生株と遺伝子 X 欠損細胞との間で差が見られなかったものとする。

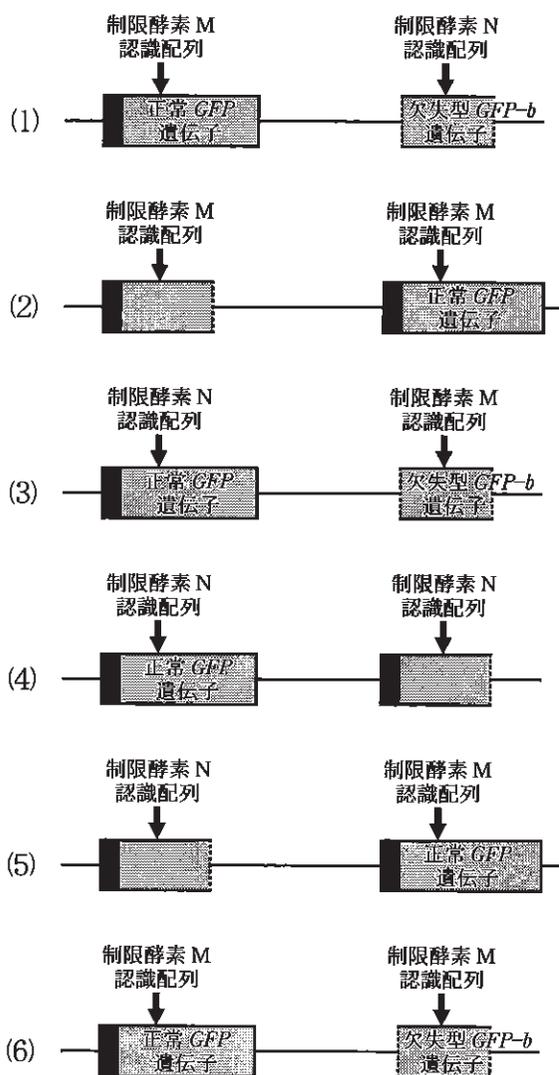
F 実験 1 の結果から読み取れるタンパク質 X の機能を、細胞周期の制御を踏まえ、影響を与える細胞周期の段階(例：○期)を具体的に示しながら、1 行で述べよ。

G 実験 2 の結果から読み取れるタンパク質 X の機能を、細胞周期の制御を踏まえ、影響を与える細胞周期の段階(例：○期)を具体的に示しながら、1 行で述べよ。ただし、この実験系では、使用した放射性同位元素による DNA の切断や分解は無視できるものとする。

H 実験 3 の下線部(エ)において、配列置換型 *GFP-a* 遺伝子や欠失型 *GFP-b* 遺伝子からは、正常に機能する GFP タンパク質は産生されない。それぞれにおいて、正常なタンパク質が産生されない理由を、タンパク質の発現もしくは構造異常の観点から、合わせて 2 ~ 3 行で説明せよ。

I 実験3の下線部(a)を実施するためには、実験上、どのような方法をとれば良いか。1行で簡潔に述べよ。なお、ここでの「ある1箇所」とは、図1-4に示した二本鎖切断の部位とする。

J 実験3の組換えの発生頻度を測定する実験系を示した図1-4の中で、組換えによる修復が成功したときに生成されるレポーター遺伝子部分は、どのような構造をとると考えられるか。次の選択肢(1)~(6)の中から、もっとも適切な図を1つ選べ。



K ある患者のがん組織の遺伝子解析を行ったところ、遺伝子 Y のミスセンス変異 (= 遺伝子の DNA 配列の 1 塩基対が変化することによって、アミノ酸の 1 つが別のアミノ酸に置換される変異のこと) が見つかった。この変異については、これまでにヒトにおける病的意義が明らかにされていない。実験 3 で構築した実験系を用いて、このミスセンス変異が組換え修復に与える影響を調べるためには、どのような細胞を準備して、組換え頻度を比較すれば良いか。実験 3 で用いたレポーター遺伝子を導入した遺伝子 Y の欠損細胞を材料として用いることを前提として、2 ~ 3 行で答えよ。

L 放射線照射によって細胞内の DNA に二本鎖切断が生じ、その修復に失敗して二本鎖切断が残存した場合、その細胞ではどのような現象が起こるか。10 字以内で答えよ。

M 実験 4 において、細胞内の中心体の数が増えると、染色体の数の異常 (異数体) が引き起こされる理由について、中心体の細胞内における役割を踏まえて、2 行以内で説明せよ。

II 次の文3を読み、問Nと問Oに答えよ。

[文3]

近年、がんゲノム医療が医療の現場で実践されるようになった。がんゲノム医療では、がん患者の腫瘍細胞だけでなく、正常細胞のゲノム情報も検査することにより、後天的に発生した遺伝子異常だけでなく、先天的に親から受け継がれた遺伝子異常が見つかることもある。

遺伝子Yは、がん抑制遺伝子であり、一对の遺伝子の片方だけに病的な異常がある(第1ヒット)だけではがんは発症しない。もう一方の遺伝子にも病的な異常(第2ヒット)が起きて、タンパク質Yの機能が欠損したときに、初めてがんを発症する。

生殖細胞に遺伝子Yのヘテロ接合型の病的な変異を有する人は、遺伝性の乳がん、卵巣がん、膵臓がんの発症リスクが高いことが知られている。図1—5は、生殖細胞に遺伝子Yの病的な変異を有する家系の一例である。

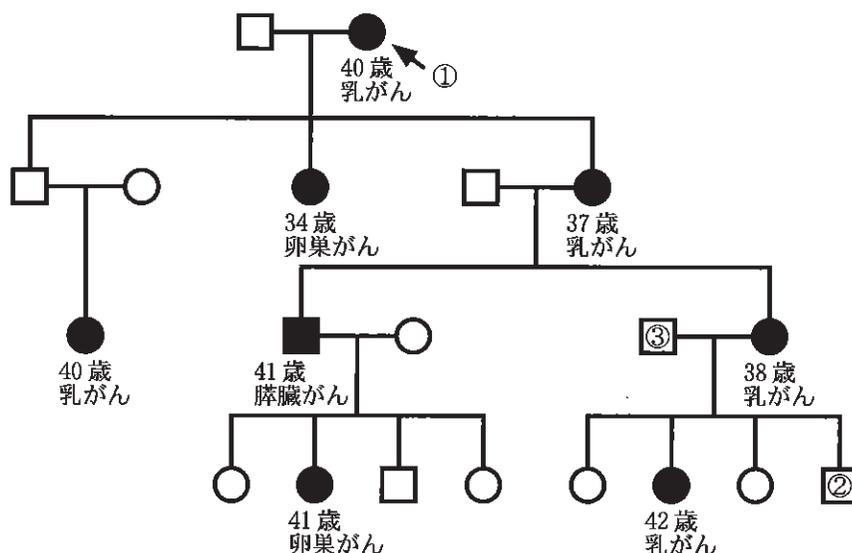


図1—5 生殖細胞に遺伝子Yの病的な変異を有する遺伝性がん家系の一例
四角印は男性、丸印は女性を指す。黒塗りの四角や丸は、がんを発症した人を指し、それぞれの発症年齢と発症したがんの種類が記されている。「膵臓がん」とは「すい臓がん」のこと。

〔問〕

N 図1—5の家系において、①番の女性の2人の娘は、いずれも生殖細胞に遺伝子Yのヘテロ接合型の病的な変異を受け継いでいたことが判明している。この2人における正常細胞とがん細胞の違いを、遺伝子Yの状態とタンパク質Yの機能が保たれているかどうか、という観点から、2～3行で説明せよ。

O 図1—5において、②番の男性は、遺伝子検査を受けたことがない。この男性の将来の子どもが生殖細胞の病的な遺伝子Yの変異を受け継ぐ確率は、どれくらいか。次の選択肢の中から、もっとも適当なものを選び、その確率になる理由を2行以内で述べよ。ただし、②番の男性の(将来の)子どもの母親、および、②番の男性の父親(=③番の男性)における生殖細胞の遺伝子Yは正常であり、②番の男性の母親は、生殖細胞に遺伝子Yのヘテロ接合型の病的な変異を有するものとする。

〔選択肢〕 0%, 1.25%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%,
12.5%, 25%, 50%, 75%, 100%

第2問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文章を読み，問A～Fに答えよ。

被子植物では，光合成によって葉でつくられた炭水化物が植物の体内を移動して，呼吸や器官の成長に使われたり貯蔵されたりする。植物体内での炭水化物の移動を考えるとときには，炭水化物を供給する器官のことをソース，炭水化物が受容される器官のことをシンクと呼ぶ。ソースからシンクへの炭水化物の輸送は，多くの植物でスクロースが維管束の師部を移動することにより行われる。ソースとなる葉では，葉肉細胞でつくられたスクロースが，細胞間をつなぐ原形質連絡を通って葉脈へと運ばれる。葉脈の師部における師管へのスクロースの輸送は，積み込みと呼ばれ，植物種によって異なる方法で行われる。積み込まれたスクロースは，師管を通ってシンクとなる器官へと輸送される。

ソースとシンクの間を介したスクロースの移動の様子は，炭素の安定同位体¹³C(以下¹³Cと表記する)を利用した実験によって明らかにできる。こうした実験の結果から，植物体内にあるシンクとなる複数の器官がソースからのスクロースを競合して獲得していることがわかっている。果樹Xで個体内のソースとなる葉からシンクとなる器官へのスクロースの移動の様子を明らかにするために，実験1と実験2を行った。

注1 質量数13の炭素で，自然界に一定の割合で安定して存在する。

実験1 常緑性の果樹Xでは、図2—1に示すように初夏の5月に花が咲き、夏から果実が成長を始めて翌年の2月から3月に成熟する。8月に(1)果実をすべて切除した個体(全切除)、(2)全果実の2/3を切除した個体(2/3切除)、(3)全果実の1/3を切除した個体(1/3切除)、(4)果実をすべて残した個体(切除なし)をつくった。そして、果実がさかんに成長する10月に一部の葉から ^{13}C を含む $^{13}\text{CO}_2$ を光合成によって多量に植物へ取り込ませ、その3日後に器官を採取し、根、茎、葉、果実の ^{13}C 含量と、根、茎、葉のデンプン濃度を測定した。さらに、(1)から(4)と同様の処理をした個体で、翌年の5月に花の数を調べた。この実験の結果を、図2—2に示す。

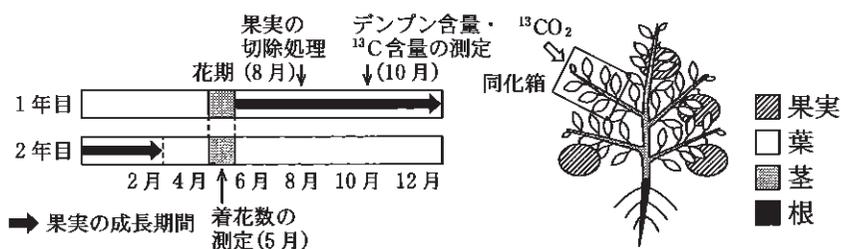


図2—1 果樹Xを使った炭素安定同位体の取り込み実験
(左)開花と果実の成長の時期と測定を行った時期、(右)果実Xの一部の枝を透明な箱(同化箱)に密閉し、 ^{13}C を含む $^{13}\text{CO}_2$ を光合成により植物に取り込ませた。

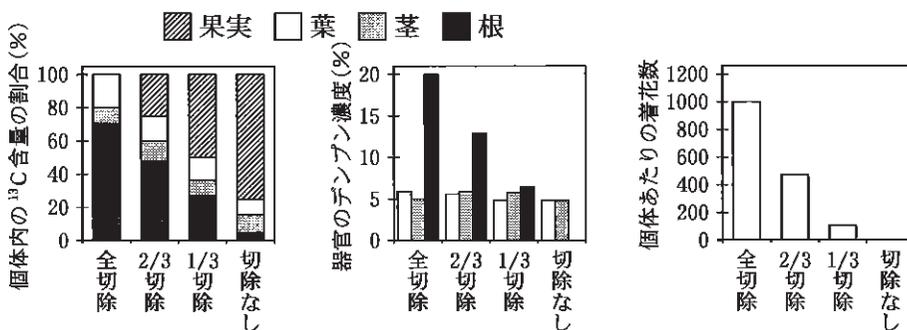


図2—2 果樹Xにおける果実切除が個体の成長に及ぼす影響
果実の切除処理をした個体における(左)炭素安定同位体含量(^{13}C 含量)の個体内での割合、(中)器官のデンプン濃度、(右)翌年5月の個体あたりの着花数。左のグラフでは、 $^{13}\text{CO}_2$ を取り込ませた枝での値は除いてある。

実験2 果実をすべて残した果樹Xの個体で、毎年10月に根でのデンプン濃度を5年間、測定し続けた。この実験の結果は、図2—3のようになった。この測定の間、大きな災害や天候不順はなかったものとする。

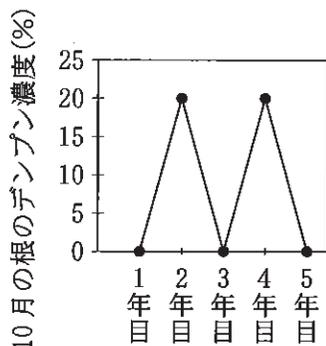


図2—3 果実をすべて残した果樹Xの個体における根のデンプン濃度の年変動

グラフ中の1年目は、実験を開始した年とする。

〔問〕

A 下線部(ア)について。維管束を構成する師部と木部に関する記述のうち正しいものを以下の選択肢(1)~(5)から全て選べ。

- (1) 師管と道管は、ともに形成層の細胞の分裂によって作られる。
- (2) 冠水などによって土壤中の酸素が不足すると、イネやトウモロコシでは維管束に通気組織が発達する。
- (3) 木部で水が通る細胞は、被子植物では道管が主であり、裸子植物とシダ植物、コケ植物では仮道管である。
- (4) 茎の屈性に関与する植物ホルモンであるオーキシンは道管を通過して極性移動をする。
- (5) 木化した茎と根では木部は内側に師部は外側に発達する。

B 下線部(イ)について。炭水化物の積み込みについて、以下の文中の から に最もよくあてはまる語句を以下の語群から選べ。ただし、語句は複数回選んでもかまわない。

多くの植物で葉脈を観察すると、師部の細胞と葉肉細胞とが接した部分の面積当たりの原形質連絡の個数が、多い植物の種と少ない植物の種に分けられる。原形質連絡は細胞間の物質の移動を可能にしており、図2—4のように原形質連絡の多い種では、葉肉細胞でつくられたスクロースが原形質連絡を経由して によって師部の細胞へ運ばれる。このとき、スクロース濃度は よりも で高い。一方で原形質連絡の少ない種では、葉肉細胞でつくられたスクロースは細胞の細胞質から細胞壁へ移動し、 によって師部の細胞へ運ばれる。このとき、スクロース濃度は で よりも高くなることが多い。

〔語群〕 細胞質、細胞膜、細胞壁、葉肉細胞、師部の細胞、能動輸送、受動輸送、エンドサイトーシス、エキソサイトーシス、浸透圧、膨圧

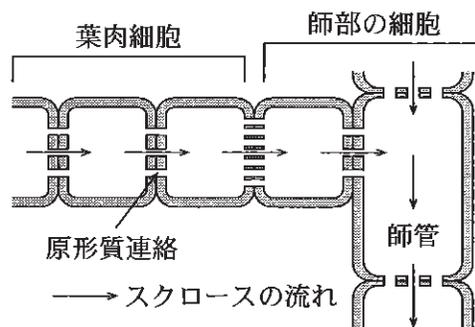


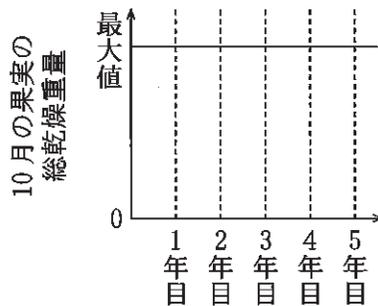
図2—4 葉肉細胞と師部の細胞の間に多くの原形質連絡をもつ種におけるスクロースの積み込みの模式図

C Bの文中にあるような葉脈で師部の細胞と葉肉細胞の間で多くの原形質連絡がみられる植物のなかには、スクロースにガラクトースが結合したラフィノースやスタキオースといったオリゴ糖を師管で輸送するものがある。これらの植物では、葉肉細胞から移動したスクロースが師部の細胞でオリゴ糖に変換される。また、葉肉細胞と師部の細胞とをつなぐ原形質連絡は、スクロースだけを輸送する植物のものよりも内径が細い。こうした植物はオリゴ糖を合成することで、スクロースだけを輸送するよりも大量の糖を輸送できる。それを可能にする機構について以下の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。ただし、ガラクトースの供給は十分にあり、スクロースがオリゴ糖に変換される反応は十分に速く進むものとする。

拡散，原形質連絡，濃度勾配，逆流

- D 下線部(ウ)について。実験1を行ったところ、図2-2のような結果を得た。この実験に関連して、以下の選択肢(1)~(5)から正しいものを1つ選べ。
- (1) 光合成で吸収された ^{13}C の総量は、各器官で検出された ^{13}C の量の合計とほぼ等しい。
 - (2) 検出された ^{13}C は、測定した器官に含まれる細胞壁やデンプン、糖だけに由来する。
 - (3) 光合成で吸収された ^{13}C は、ソースから近い距離にある器官へ優先して供給される。
 - (4) 果実の切除により、果樹Xでは秋に葉や茎よりも根で乾燥重量が増加する。
 - (5) 翌年の着花数は、光合成を行う葉が秋に増えることで増加する。

E 実験2を行ったところ、図2-3のような結果を得た。実験2で根のデンプン濃度を測定した10月に、個体についている果実の総乾燥重量の年変化のパターンを予想してグラフに図示せよ。同時に、果実の総乾燥重量を予想した根拠を2行程度で説明せよ。ただし、果実の総乾燥重量は着花数に比例するとする。また、測定を行った5年間で果樹Xにつく果実の総乾燥重量の最大値は変化せず、個体内のスクロースの分配と着花数は、図2-2の結果から読み取れる関係に従うものとする。さらに、グラフ中の1年目は実験を開始した年とする。



F 果樹Xで8月に果実の半分を切除した個体を複数つくり、10月の果実の総乾燥重量を5年間にわたって測定した。果実の切除は実験を開始した1年目のみに行い、一度測定に用いた個体は実験から除外した。この実験の結果について推察されることで正しいものを以下の選択肢(1)~(6)から全て選べ。ただし、果実の総乾燥重量は着花数に比例するとする。また、測定を行った5年間で果樹Xにつく果実の総乾燥重量の最大値は変化せず、個体内のスクロースの分配と着花数は、図2-2の結果から読み取れる関係に従うものとする。

10月の果実の総乾燥重量は、

- (1) 2年目より4年目で多い。
- (2) 2年目と4年目でほぼ等しい。
- (3) 2年目より4年目で少ない。
- (4) 3年目より5年目で多い。
- (5) 3年目と5年目でほぼ等しい。
- (6) 3年目より5年目で少ない。

II 次の文章を読み、問G～Kに答えよ。

窒素は植物を構成する必須元素のひとつであり、土壌から根で吸収される。土壌中の主要な窒素源のひとつである硝酸塩(または硝酸イオン)は植物に取り込まれたあと、窒素同化によってアミノ酸に変換されてタンパク質合成の材料となる。^(x)タンパク質の一部は生体内で酵素として機能し、^(y)植物の様々な代謝反応を円滑に進行させている。植物の成長は、土壌中の利用できる硝酸塩の濃度に強く左右される。これは、光合成速度を高めるために、CO₂を固定する酵素を多量に必要とするからである。

植物は窒素を効率的に利用するために、生育する窒素環境に応答して形態を変える。例えば、土壌中の硝酸塩の濃度に対する応答では、植物ホルモンAを介した仕組みによって、植物の葉や茎(地上部)と根(地下部)の乾燥重量の比が変化する。^(z)植物ホルモンAを介した土壌の硝酸塩への応答を詳しく調べるために、実験3を行った。

実験3 モデル植物であるシロイヌナズナの野生型植物を低濃度と高濃度の硝酸塩を施肥した土壌で育てた。さらに、植物ホルモンAの生合成酵素の遺伝子が欠損した変異体Yを用意し、野生型植物と変異体Yとで地上部(葉、莖)と地下部(根)の接ぎ木実験を行い、それぞれを高濃度の硝酸塩を施肥した土壌で育てた。接ぎ木は複数の植物の器官をその切断面をつなぐ園芸の手法で、切断面の維管束がつながることにより接ぎ木した植物の器官は通常の植物と同様に成長できる。これらの植物で地上部と地下部の乾燥重量と植物ホルモンAの濃度を測定し、図2—5の結果を得た。

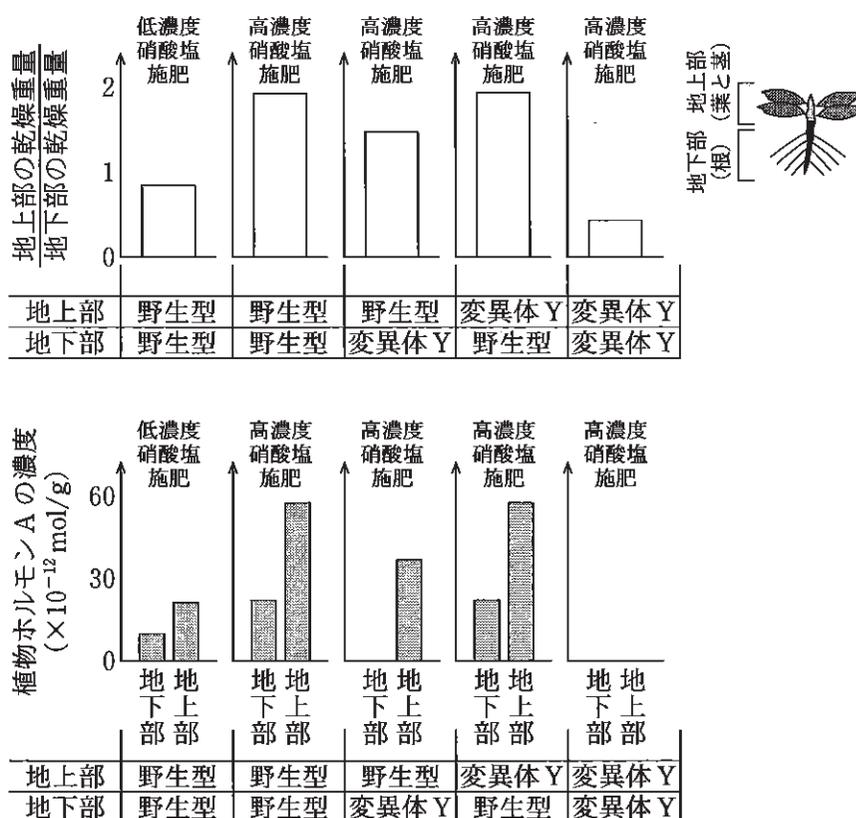


図2—5 実験を行った植物の(上)地上部と地下部における乾燥重量の比と(下)植物ホルモンAの濃度

グラフ下部の表は、接ぎ木した地上部と地下部に使った植物の系統を示している。

〔問〕

G 下線部(エ)について。窒素同化は、硝酸イオンから亜硝酸イオンになる反応と、亜硝酸イオンがアンモニウムイオンになる反応、そしてアンモニウムイオンがアミノ酸に取り込まれる反応の3つからなる。 e^- は電子、Piは無機リン酸であるとして、以下の化学式中の 7 から 9 にあてはまる数字もしくは物質名を答えよ。



H 多くの草本植物では窒素同化の反応は主に葉で行われ、その反応速度は光環境に強く依存する。これらの理由をあわせて1行程度で説明せよ。

I 下線部(オ)について。植物がもつタンパク質について、選択肢(1)～(5)から正しいものを全て選べ。

- (1) クロロフィルは光合成に必要な波長の光を吸収するタンパク質である。
- (2) フォトトロピンは青色光を受容するタンパク質である。
- (3) 花成ホルモンであるフロリゲンはタンパク質である。
- (4) 種子発芽に関与する植物ホルモンのジベレリンはタンパク質である。
- (5) 電子の受け渡しに貢献する補酵素のNADPHはタンパク質である。

J 下線部(カ)について。図2-5のグラフから土壌中の硝酸塩濃度に応答して地上部と地下部の乾燥重量の比が変化することが読みとれる。高い硝酸塩濃度を施肥したときの地上部と地下部の乾燥重量の比の適応的な意義について、個体の光合成量の観点から以下の語句を全て用いて2行程度で説明せよ。

酵素, 光合成速度, 葉面積

K 実験3の実験結果について図2-5のグラフをもとに、以下の文中の [10] から [16] に最もよくあてはまる語句を以下の語群から選べ。ただし、語句は複数回選んでもかまわない。

シロイヌナズナでは、植物ホルモンAの生合成が [10] で行われ、高濃度の硝酸塩の施肥は植物ホルモンAの生合成を [11] 。また、植物体内では植物ホルモンAは [12] から [13] の方向へ移動する。さらに、地上部と地下部の乾燥重量の比が [14] の植物ホルモンAの濃度とより強く相関する。以上の結果から、植物ホルモンAは [15] における成長を [16] という作用をもち、地上部と地下部の乾燥重量の比を変化させることが推測される。

[語群] 地上部, 地下部, 地上部と地下部, 促進させる, 変化させない, 抑制させる

第3問

次の文1～3を読み、問A～Kに答えよ。

[文1]

ヒトのABO式血液型は、赤血球膜上にある糖タンパク質の糖鎖構造で決定される。A型のヒトはA型糖鎖を持ち、B型のヒトはB型糖鎖を持つ。また、AB型のヒトはA型糖鎖とB型糖鎖の両方を持っている。図3—1に示すように、A型のヒトではH型糖鎖にN-アセチルガラクトサミンが付加されてA型糖鎖が形成され、B型のヒトではH型糖鎖にガラクトースが付加されてB型糖鎖が形成される。A型とB型の糖鎖を形成するABO式血液型糖転移酵素(以下、糖転移酵素)は、354アミノ酸残基からなるタンパク質である。A型のヒトはA型糖鎖を形成するA型糖転移酵素(以下、A型酵素)を、B型のヒトはB型糖鎖を形成するB型糖転移酵素(以下、B型酵素)を持ち、AB型のヒトはA型糖転移酵素とB型糖転移酵素の両方を持っている。またO型の糖転移酵素遺伝子からは、活性を持たない糖転移酵素が産生される。

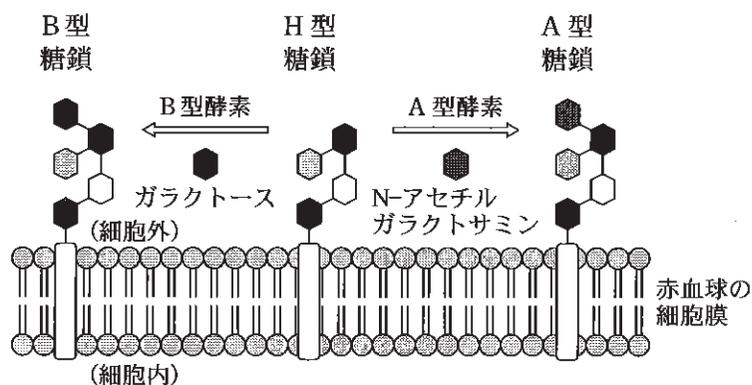


図3—1 ABO式血液型を決める糖転移酵素による糖鎖付加反応の模式図

A 以下の文中の空欄に適切な語句を、以下の語群から選択して記入せよ。

解答例：1—〇〇， 2—△△

新生児は、生まれつき ABO 血液型の抗原に対する を産生する能力を持っている。 による の産生は、T 細胞を必要とせず 遺伝子の再構成は行われない。

[語群] 免疫グロブリン，自然抗体，B 細胞，T 細胞，樹状細胞，食細胞

B A 型のヒトは A 型酵素をコードする A 型遺伝子を持ち，B 型のヒトは B 型酵素をコードする B 型遺伝子を持つ。A 型酵素と B 型酵素を比較すると，176 番目と 235 番目と 266 番目と 268 番目のアミノ酸残基が異なっている。この 4ヶ所について，A 型と B 型の，どちらかの遺伝子型を持つキメラ遺伝子を作製した。それぞれのキメラ遺伝子から産生される糖転移酵素の活性を測定した結果を表 3—1 に示す。例として，AABB と表記したキメラ遺伝子は，176 番目と 235 番目のコドンが A 型，266 番目と 268 番目のコドンが B 型の塩基配列である。表 3—1 の結果から，キメラ遺伝子の糖転移酵素活性についての記述として，適当なものを以下の選択肢(1)～(4)から全て選べ。ただし，酵素活性 A は A 型糖鎖を，酵素活性 B は B 型糖鎖を，酵素活性 AB は A 型糖鎖と B 型糖鎖の両方を産生できることを示す。また酵素活性 A (B) は，主に A 型糖鎖を産生するが B 型糖鎖もわずかながら産生できることを示す。

- (1) 266 番目が A 型遺伝子の塩基配列であれば，必ず A 型の酵素活性をもつ。
- (2) 266 番目が B 型遺伝子の塩基配列であれば，必ず B 型の酵素活性をもつ。
- (3) 268 番目が A 型遺伝子の塩基配列であれば，必ず A 型の酵素活性をもつ。
- (4) 268 番目が B 型遺伝子の塩基配列であれば，必ず B 型の酵素活性をもつ。

表 3—1 各キメラ遺伝子を発現させたヒト培養細胞で検出された糖転移酵素活性

キメラ遺伝子 (176, 235, 266, 268 番目)	糖転移酵素活性
AAAB	A
AABA	AB
AABB	B
ABAA	A
ABAB	A(B)
ABBA	AB
ABBB	B
BAAA	A
BAAB	A
BABA	AB
BABB	B
BBAA	A
BBAB	A(B)
BBBA	AB
AAAA (A 型遺伝子)	A
BBBB (B 型遺伝子)	B

C B型遺伝子の268番目のアミノ酸残基について、野生型以外の19種類の置換変異体を作製した。これらの置換変異体と野生型遺伝子を含め20種類のB型遺伝子のすべての場合について、糖転移活性を測定する実験を行った。表3—2に、作製したB型遺伝子の持つ268番目のアミノ酸残基の種類と、産生された酵素活性を測定した結果を示す。B型の酵素活性を持つ糖転移酵素のアミノ酸残基に共通する性質について、最も適当なものを以下の選択肢(1)~(4)から1つ選べ。

- (1) 側鎖が持つ正電荷
- (2) 側鎖の疎水性
- (3) 側鎖の大きさ
- (4) 側鎖の分岐構造

D 表3—1と表3—2から考えられるA型遺伝子とB型遺伝子の268番目のアミノ酸残基として、最も適当なものをそれぞれ答えよ。

解答例：A型—○○，B型—△△

表3—2 作製したB型遺伝子の268番目のアミノ酸残基と、産生された糖転移酵素の活性

日本語名	アミノ酸残基		糖転移酵素活性	
	3文字表記	1文字表記	A型	B型
アラニン	Ala	A	—	+++
アルギニン	Arg	R	—	—
アスパラギン	Asn	N	—	—
アスパラギン酸	Asp	D	—	—
システイン	Cys	C	—	—
グルタミン	Gln	Q	—	—
グルタミン酸	Glu	E	—	—
グリシン	Gly	G	+	+
ヒスチジン	His	H	—	—
イソロイシン	Ile	I	—	—
ロイシン	Leu	L	—	—
リシン	Lys	K	—	—
メチオニン	Met	M	—	—
フェニルアラニン	Phe	F	—	—
プロリン	Pro	P	—	—
セリン	Ser	S	—	+
トレオニン	Thr	T	—	—
トリプトファン	Trp	W	—	—
チロシン	Tyr	Y	—	—
バリン	Val	V	—	—

表中の+は酵素活性の高さを示す。+++は+より高い酵素活性を持つ。

E 活性を持たない糖転移酵素を産生するO型糖転移酵素遺伝子のホモ接合型のヒト(遺伝子型はOO)は、A型糖鎖とB型糖鎖のいずれも持たない。しかしながら、A型酵素もしくはB型酵素を持っていても、H型糖鎖を持たない場合はO型となる。H遺伝子はH型糖鎖を産生する活性を持った酵素をコードし、h遺伝子は活性を失った酵素をコードする。あるO型の父親とA型の母親から、B型の子供が生まれた。以下の選択肢(1)~(5)から、両親の持つH型糖鎖産生酵素と糖転移酵素の遺伝子型として最も適切なものを1つ選べ。

- (1) 父親はHhAB 母親はhhOA
- (2) 父親はHHBB 母親はHhAA
- (3) 父親はhhOO 母親はHhOA
- (4) 父親はHhOB 母親はHHAA
- (5) 父親はhhBB 母親はHHOA

[文2]

タンパク質合成は、リボソームが mRNA に結合し、 を認識することによってはじまる。mRNA の連続した3つの塩基からなるコドンが、1つのアミノ酸に対応している。各コドンと塩基対形成する をもつ tRNA が mRNA に結合することで、塩基配列がアミノ酸に変換される。リボソームが1コドンずつずれるごとに、コドンに対応する を持った tRNA が結合する。tRNA によって運搬されたアミノ酸どうしは、 結合によって連結される。真核生物のほとんどの mRNA の5'側の末端には とよばれる構造が、3'側の末端には とよばれる構造が付加されており、いずれの構造も翻訳を促進する。一方で、 や などの細胞小器官では、細胞質のリボソームとは異なるリボソームを用いて翻訳反応を行っており、mRNA も や の構造を持っていない。 や は、それぞれシアノバクテリアと好気性の細菌に構造と機能の点でよく似ており、これらの生物が別の宿主細胞に取り込まれて するうちに、細胞小器官となった 説が広く受け入れられている。

細胞内のリボソームは、核から合成された mRNA のみでなく、ウイルス由来の mRNA や mRNA ワクチンなどの外来の mRNA も翻訳する。SARS-CoV-2 は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の原因となるウイルスである。SARS-CoV-2 ウイルス粒子が細胞に取り込まれた後、宿主細胞に導入されたウイルス RNA を鋳型にして、ウイルス由来の mRNA (ウイルス mRNA) が新たに合成される。その後、ウイルス mRNA を鋳型にしてリボソームが翻訳を行い、ウイルスタンパク質が合成される。

F 空欄に最も適切な語句を記入せよ。

解答例：1—複製，2—合成

G SARS-CoV-2 を宿主細胞に感染させたのち、3、5、8時間経過した後、宿主細胞内で新しく合成される宿主タンパク質とウイルスタンパク質の合計量を測定した結果を、図3-2-aに示す。また、リボソームが結合する宿主 mRNA とウイルス mRNA の割合を解析した結果を、図3-2-bに示す。ウイルス感染後の細胞に関する記述として、適当なものを以下の選択肢(1)~(6)から全て選べ。ただし、リボソームが結合する mRNA 量は、その mRNA から合成されるタンパク質量と比例するものと考えよ。

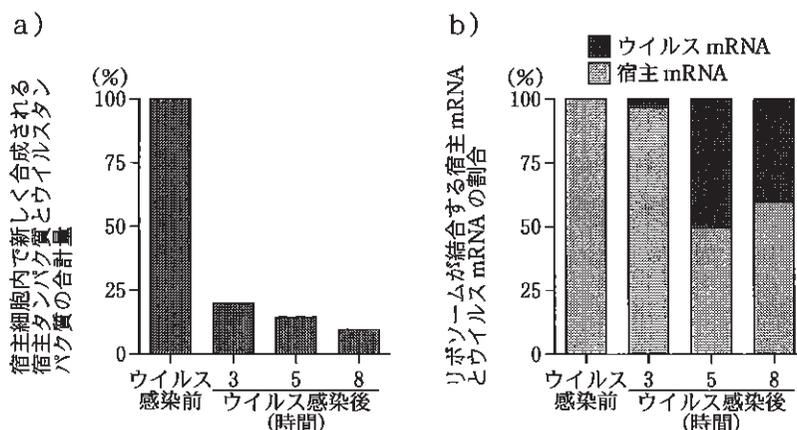


図3-2 宿主細胞内で合成されるタンパク質量とリボソームが結合する mRNA 量
a) 宿主細胞内で新しく合成される宿主タンパク質とウイルスタンパク質の合計量を、ウイルス感染前を100%とした相対値で示す。b) リボソームが結合する宿主 mRNA とウイルス mRNA の割合を示す。

- (1) 感染3時間後にウイルス mRNA から合成されるタンパク質量は、宿主 mRNA から合成されるタンパク質量より少ない。
- (2) 感染3時間後に宿主 mRNA から合成されるタンパク質量は、ウイルス感染前と比較して低下する。
- (3) ウイルス mRNA から合成されるタンパク質量は、感染5時間後より感染3時間後が多い。
- (4) 宿主 mRNA から合成されるタンパク質量は、感染5時間後より感染3時間後が少ない。
- (5) 宿主 mRNA から合成されるタンパク質量は、感染8時間後より感染3時間後が少ない。
- (6) ウイルス mRNA から合成されるタンパク質量は、感染8時間後より感染3時間後が少ない。

[文3]

ヒト白血球型抗原(HLA)は、主要な組織適合性遺伝子の産物であり、「自己」と「非自己」の識別などの免疫反応に重要な役割を果たす。図3-3に示すように、ウイルスが細胞に感染すると、ウイルス由来のペプチドが樹状細胞の膜にあるクラスIのヒト白血球型抗原(HLA-I)の表面に提示される。HLA-Iの表面に提示されたペプチドは、細胞障害性T細胞膜にあるT細胞受容体によって認識される。ある型のHLA-Iを発現する細胞にSARS-CoV-2を感染させた後、HLA-Iに結合したSARS-CoV-2由来のペプチドを複数同定した。同定したペプチドとHLA-Iとの親和性を測定する方法として、一定濃度の対照ペプチドとの競合結合試験がある。一定濃度の対照ペプチドに対して、様々な濃度の目的のペプチドを加えた後、HLA-Iに結合している対照ペプチド量を測定し、対照ペプチドの結合を50%阻害するペプチドの濃度を IC_{50} とする。

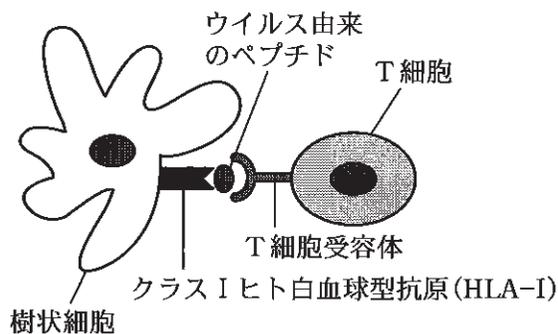


図3-3 T細胞受容体によるHLA-Iに結合したペプチドの認識

H 図3-4はHLA-Iに結合したSARS-CoV-2由来のペプチドについて、HLA-Iとの親和性を測定した結果である。ペプチド1～5に関する記述として、最も適当なものを以下の選択肢(1)～(6)から1つ選べ。

- (1) ペプチド3の IC_{50} は、 1.0×10^{-8} mol/L以上である。
- (2) ペプチド4の IC_{50} は、 1.0×10^{-8} mol/L以上である。
- (3) ペプチド1の IC_{50} は、 1.0×10^{-10} mol/L以下である。
- (4) ペプチド5の IC_{50} は、 1.0×10^{-10} mol/L以下である。
- (5) HLA-Iとの親和性は、ペプチド3よりペプチド1の方が低い。
- (6) HLA-Iとの親和性は、ペプチド2よりペプチド4の方が高い。

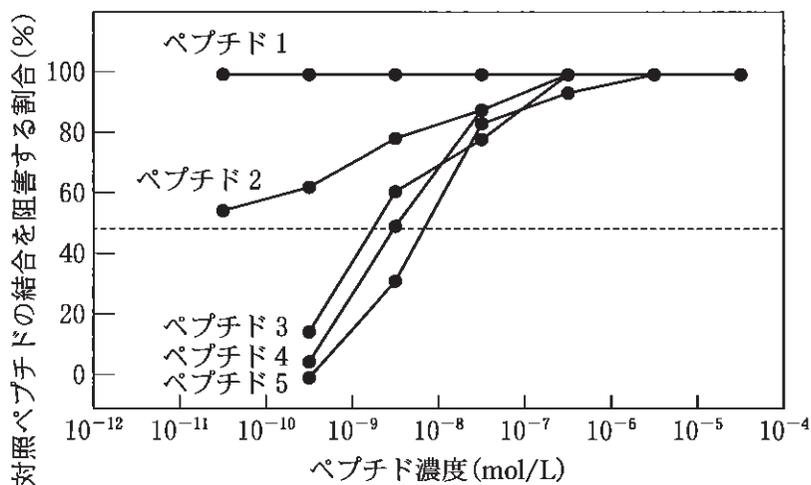


図3—4 SARS-CoV-2由来のペプチドのHLA-Iに対する親和性の測定結果
 対照ペプチドの結合が阻害された割合と個々のペプチド濃度の関係を示す。

I 図3—4に示すペプチド1～5を含めて、HLA-Iに結合したSARS-CoV-2由来のペプチドとHLA-Iとの親和性を測定した結果を表3—3に示す。ペプチド4とペプチド5に対応するペプチドを表3—3の記号a～kから選択し、その記号を記載せよ。

解答例：ペプチド4—x, ペプチド5—y

表3—3 同定されたペプチドのIC₅₀

記号	ペプチドの アミノ酸配列	IC ₅₀ (× 10 ⁻¹⁰ mol/L)
a	GLITLSYHL	< 1
b	MLLGSMLYM	< 1
c	FGDDTVIEV	38
d	STSAFVETV	260
e	ELPDEFVVVTV	12
f	YLNSTNVTI	120
g	SLEDKAFQL	200
h	KAFQLTPIAV	78
i	ELPDEFVVV	4600
j	FASEAARVV	4950
k	LEDKAFQL	38910

ペプチドのアミノ酸配列を1文字表記で示す。アミノ酸の1文字表記については、表3—2と表3—4を参考にせよ。

J SARS-CoV-2 は、宿主細胞表面のアンジオテンシン変換酵素 2 (ACE 2) タンパク質に結合してヒト細胞に侵入する。SARS-CoV-2 のウイルス粒子の外側に存在するスパイクタンパク質 S が ACE 2 に結合し、ウイルス粒子は細胞に取り込まれる。以下は、スパイクタンパク質 S の翻訳領域のうち、開始コドンから数えて 61 番目のコドンから 90 番目までのコドンの塩基配列である。この領域は、ペプチド 1 とペプチド 2 を合成するためにリボソームが翻訳する領域を含んでおり、下線部はペプチド 2 の翻訳領域である。ペプチド 1 に対応するペプチドを表 3-3 の記号 a~k から選択し、その記号を記載せよ。

61-AAUGUUACTUUGGUUCCAUGCUAUACAUGUC-70
 71-UCUGGGACCAAUGGUACUAAGAGGUUUGAU-80
 81-AACCUGUCCUACCAUUUAAUGAUGGUGUU-90

表 3-4 コドン暗号表

UUU フェニルアラニン	UCU	UAU チロシン	UGU シス테인
UUC Phe(F)	UCC セリン	UAC Tyr(Y)	UGC Cys(C)
UUA	UCA Ser(S)	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン
UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン Trp(W)
CUU ロイシン	CCU	CAU ヒスチジン	CGU
CUC Leu(L)	CCC プロリン	CAC His(H)	CGC アルギニン
CUA	CCA Pro(P)	CAA グルタミン	CGA Arg(R)
CUG	CCG	CAG Gln(Q)	CGG
AUU	ACU	AAU アスパラギン	AGU セリン
AUC イソロイシン	ACC トレオニン	AAC Asn(N)	AGC Ser(S)
AUA Ile(I)	ACA Thr(T)	AAA リシン	AGA アルギニン
AUG メチオニン Met(M)	ACG	AAG Lys(K)	AGG Arg(R)
GUU	GCU	GAU アスパラギン酸	GGU
GUC バリン	GCC アラニン	GAC Asp(D)	GGC グリシン
GUA Val(V)	GCA Ala(A)	GAA グルタミン酸	GGA Gly(G)
GUG	GCG	GAG Glu(E)	GGG

K ペプチド1とペプチド2に関する特徴として適当なものを，以下の選択肢

(1)~(5)から全て選べ。表3—4にコドン暗号表を示す。

- (1) ペプチド2は，スパイクタンパク質Sと同じ読み枠で翻訳される。
- (2) ペプチド2は，スパイクタンパク質Sと異なる読み枠で翻訳される。
- (3) ペプチド1は，スパイクタンパク質Sと異なる読み枠で翻訳される。
- (4) ペプチド1は，スパイクタンパク質Sと同じ読み枠で翻訳される。
- (5) ペプチド1とペプチド2は，異なる読み枠で翻訳される。

地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 恒星A, Bがそれらの共通重心の周りに円軌道で公転している連星系について考える。恒星A, Bの質量をそれぞれ $M, m (M > m)$, 二つの星の中心間の距離を a , 公転周期を P とする(図1—1)。この連星系の軌道面上の遠方にいる観測者が分光観測を行ったところ, 恒星AはBよりもはるかに明るく, Aに対してのスペクトルのみ得られた。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。なお, 地球の質量は太陽の質量と比べて無視できるほど小さいとする。

(1) 恒星Aの放射エネルギー分布において, 最も強く放射される光の波長(ピーク波長)は平均で $0.15 \mu\text{m}$ であった。太陽の放射エネルギー分布のピーク波長を $0.50 \mu\text{m}$ として, 恒星Aの表面温度(単位: K)を求めよ。

(2) 恒星Aの公転速度 v と地球の太陽に対する公転速度 v_e の比 v/v_e を r , P, r_e, P_e を用いて表せ。ここで, r は恒星Aの共通重心に対する公転円の半径, r_e, P_e はそれぞれ地球の太陽に対する公転円の半径と公転周期である。

(3) 恒星Aのスペクトルに見られる暗線(吸収線)に対するドップラー効果の観測から v を求めたところ, $v/v_e = 0.10$ とわかった。この連星系では $P = 10$ 年, $a = 10$ 天文単位として, 以下に答えよ。

(a) 恒星Aの公転半径 r (単位: 天文単位)を求めよ。

(b) 恒星A, Bの質量の和 $M + m$ は太陽質量の何倍であるか求めよ。

- (c) 恒星 B の質量 m は太陽質量の何倍であるか求めよ。
- (d) 恒星 B が主系列星である期間は何年程度であるか。またこの星は進化の末期にどのような経過をたどると考えられるか、あわせて 2 行程度で述べよ。

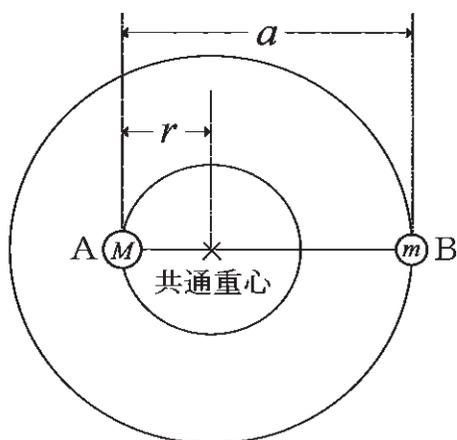


図 1—1 共通重心の周りに円軌道で公転運動する恒星 A, B

問 2 超新星は、一つの恒星が突然爆発し、銀河全体に匹敵する明るさで輝きはじめ、それが一月ほど続く現象である。以下の問いに答えよ。計算の過程も示せ。

- (1) 超新星も通常の恒星と同じように球対称の光球面を持ち、シュテファン・ボルツマンの法則が成り立つとする。超新星の光度、表面温度、光球半径をそれぞれ L_{SN} , T_{SN} , R_{SN} とし、太陽のそれらを L_0 , T_0 , R_0 とする。 R_{SN} をその他の五つの物理量を用いて表わせ。

- (2) ある超新星は、爆発から 20 日後に最大光度に達し、その時の絶対等級が -20.2 で、表面温度は太陽と同じであった。光球面は一定の速度で膨張しているとして、その膨張速度 V (単位: m/s) を有効数字 1 桁で求め、それが光速の何%か答えよ。爆発直後の光球の大きさはゼロとしてよい。太陽の絶対等級は 4.8 、太陽半径は $R_0 = 7 \times 10^8 \text{ m}$ 、1 日は $9 \times 10^4 \text{ s}$ とする。

- (3) この超新星の爆発で放出された物質の質量を M_{SN} とする。周囲には均一な質量密度 ρ のガスが存在し、放出された物質は周囲のガスをかき集めながら球対称に膨張する。爆発からの時刻 t までに、半径 $R(t)$ より内側のガスがかき集められるとする(時刻 $t = 0$ で $R = 0$)。かき集めたガス質量 $M_{\text{R}}(t)$ が時刻 t_{d} で M_{SN} に等しくなると、膨張は減速を始める。 R は時刻 t_{d} までは一定の速度 V で膨張するとして、 t_{d} を V , ρ , M_{SN} を用いて表わせ。

- (4) その後、 $M_{\text{R}}(t)$ がさらに大きくなり、 M_{SN} は M_{R} に比べて無視できる状態を考える。 $R(t)$ は $R = Ct^a$ (C , a は定数) と表せるとする。膨張の運動エネルギーは $M_{\text{R}}(t)$ と $V(t)$ を用いて $M_{\text{R}}V^2/2$ で与えられ、エネルギー保存則により一定に保たれるとする。 V は R を t で微分したものであることに注意し、 a の値を求めよ。

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次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 以下の問いに答えよ。

- (1) 図2—1は海面気圧分布であり、北半球の夏か冬のいずれかの平均的なもの
を示している。この図を見て以下の問いに答えよ。

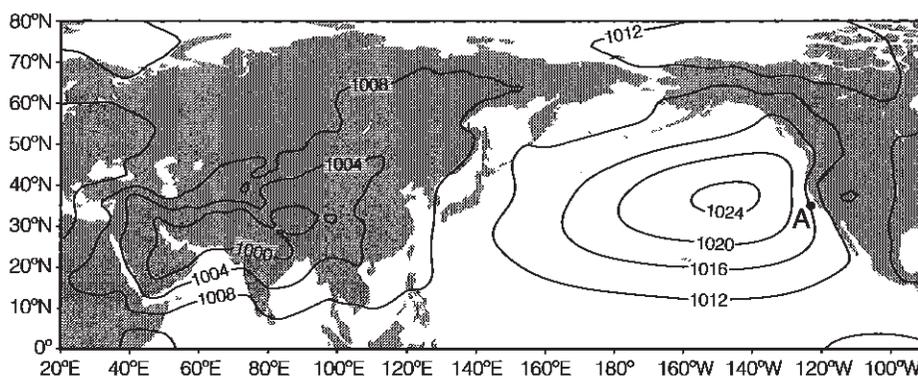


図2—1 海面気圧の分布(単位はhPa)

- (a) 図2—1がどちらの季節のものか答えよ。またその根拠となる、北半球
の夏と冬それぞれの平均的な海面気圧分布に見られる特徴を、あわせて
2～3行で述べよ。
- (b) 図2—1中の海上の点A付近での、この季節における海面付近の平均
的な風向きに最も近いものを①～④の中から、また海水の平均的なエクマ
ン輸送の向きを⑦、⑧から選べ。
- ① 北東向き ⑦ 北米大陸に向かう向き
② 北西向き ⑧ 北米大陸から離れる向き
③ 南東向き
④ 南西向き

(c) 図2-2は、図2-1に示した季節における点Aでの平均的な気温の高度分布を模式的に示している。図2-2に見られる逆転層を伴った気温分布がどのようにして形成されるか、下記の語句をすべて用いて2～3行で説明せよ。なお、雲が放射を通して与える影響については述べなくて良い。

語句群： エクマン輸送、下降気流

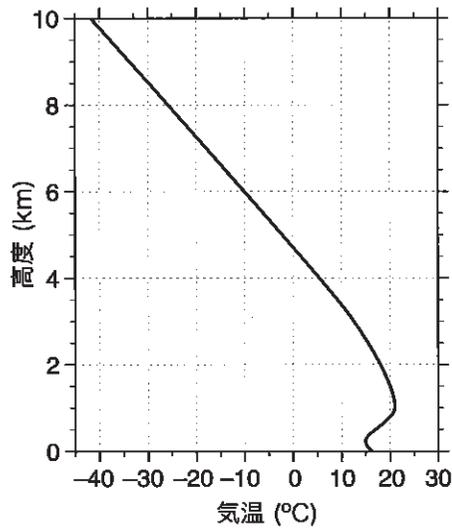


図2-2 気温の高度分布

- (2) 次の文章を読んで以下の問いに答えよ。なお、過飽和は起こらないものとする。

気温減率が乾燥断熱減率よりも大きい場合の大気の状態を絶対不安定、湿潤断熱減率よりも小さい場合を絶対安定、二つの断熱減率の間にある場合を(ア)という。地表面付近にある水蒸気を含んだ空気塊が断熱的に持ち上げられると、その空気塊の温度ははじめ乾燥断熱減率に従って低下する。やがて水蒸気が飽和すると、(イ)が放出されるため、空気塊の温度低下は湿潤断熱減率に従うようになる。周囲の気温減率が(ア)の状態にあり、周囲の気温が空気塊の温度よりも(ウ)くなる高度範囲に空気塊が達すると、空気塊は浮力を得て自然に上昇するようになる。

- (a) 空欄(ア)～(ウ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

- (b) 地表気温 25.0°C で、一定の気温減率 $0.60^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ をもつ気温分布のもとで、はじめ地表にある二つの空気塊 X と Y を考える。X の地表での温度は 25.0°C 、相対湿度は 86 % である。Y は地表で暖められて、その温度は 26.0°C 、相対湿度は 79 % である。これらが断熱的に持ち上げられたとき、文中の下線部のような高度範囲の下限は、X と Y のどちらの方が低いか答えよ。計算の過程も示せ。なお、簡単のため、ここでは乾燥断熱減率は $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 、湿潤断熱減率は $0.50^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ とする。飽和水蒸気圧は表 2—1 のとおりとする。

表 2—1 飽和水蒸気圧の値

温度($^{\circ}\text{C}$)	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0
飽和水蒸気圧(hPa)	26.5	27.3	28.1	29.0	29.9	30.8	31.7	32.7	33.6

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。

月と太陽の影響によって生じる起潮力を受け、海面は規則的な昇降を繰り返す。この現象を潮汐という。月による起潮力は、月に面した地球表面とその裏側で、海面を上昇させる方向に働く。地球は自転しているため、約(ア)の周期で満潮が繰り返し発生する。月と地球は、共通重心の周りを互いに公転している。太陽の影響も加えて考えると、満潮と干潮の間の潮位差が最大になる大潮と、最小になる小潮が発生する。

海面の高さは潮汐以外の原因でも上下する。黒潮は、コリオリ力と(イ)が釣り合うことで海面の高さが場所によって異なった状態を保ち流れている。黒潮は図2-3のように、日本の南岸に沿って流れる非大蛇行期と、流路が1年以上にわたり沖に蛇行する大蛇行期を繰り返しており、沿岸域の海面の高さも非大蛇行期と大蛇行期とで変化する。

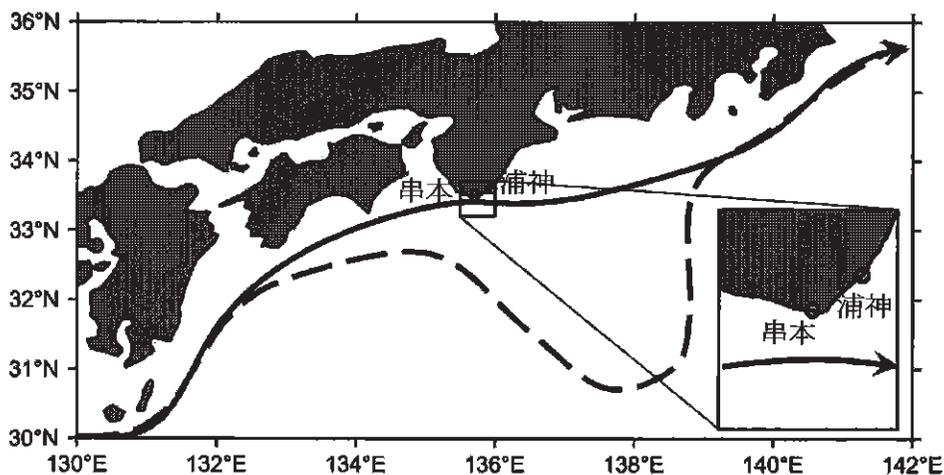


図 2-3 黒潮の非大蛇行期(実線)と大蛇行期(破線)の流路の模式図

(1) 空欄(ア)に入る適切な周期を以下から選べ。

12 時間, 24 時間, 15 日, 30 日

(2) 空欄(イ)に入る適切な語句を答えよ。

(3) 下線部で述べた現象が起こる仕組みを 2 ~ 3 行程度で説明せよ。

(4) 大潮と小潮それぞれが発生するときの太陽，月，地球の位置関係を，あわせて2行程度で説明せよ。

(5) 図2-4は串本と浦神の海面の高さの差の変動を示す。

(a) 図2-4の縦軸の海面の高さの差は，串本と浦神のどちらからどちらの値を引いたものか，以下の語句をすべて用いて，その理由を含め2行以内で答えよ。

語句群：黒潮，地衡流

(b) 図2-4が示す変動の様子が変化した2017年8月以降は，黒潮の非大蛇行期，大蛇行期のいずれに相当するか，理由を含め3行以内で答えよ。

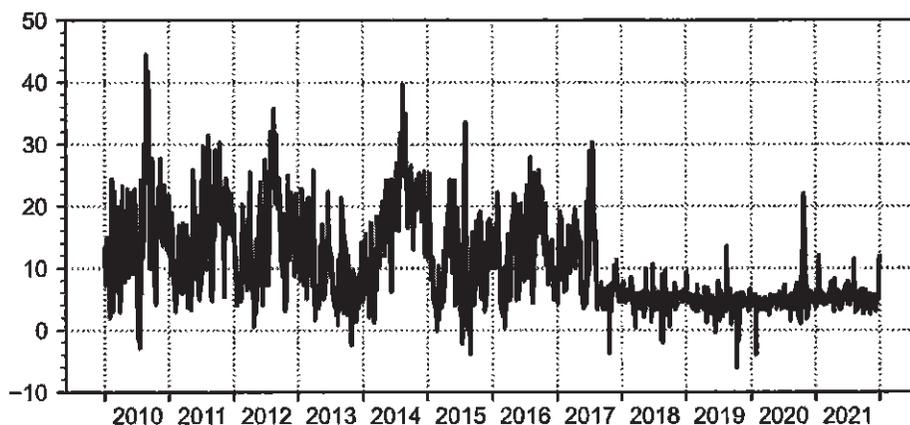


図2-4 2010年1月から2021年12月までの串本と浦神の海面の高さの差。縦軸の単位はcm。

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 重力と火山に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 ジオイドに関する以下の問いに答えよ。

- (1) ジオイドには起伏があり、図3-1はその高さ分布を示している。図中のHは起伏の高所を、Lは低所を示し、実線は高所、破線は低所の等高線を示す。等高線は(ア)m毎に描かれている。

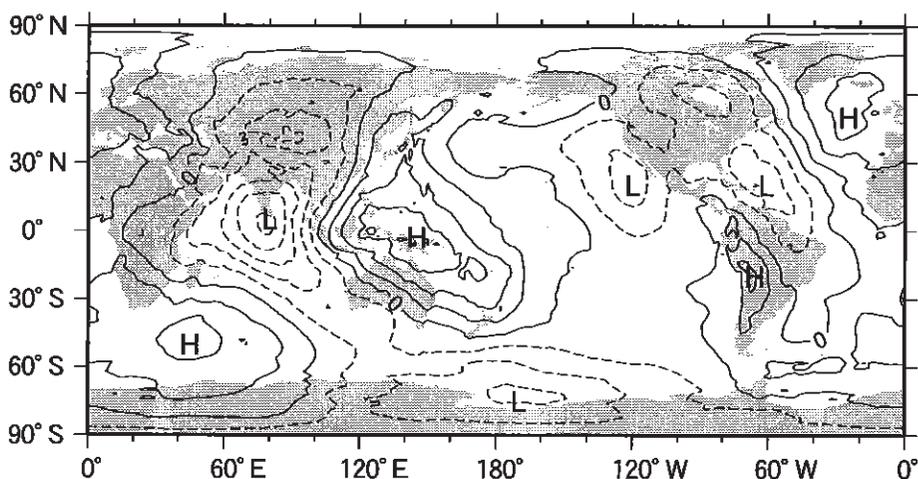


図3-1 ジオイド高分布

- (a) 空欄(ア)に入る適切な数値を以下から選べ。

2, 20, 200, 2000, 20000

(b) 長期間の平均をとった海面(平均海水面)を考える。この海面上に数多くの浮きを静かに置いて、浮きの動きを観察する。観察結果として適切な文章を次の①～⑤から選べ。ジオイド高は時間変化しないとし、海流や風など、地球の重力以外の影響はないものとする。

- ① 浮きは次第に高所 H へ移動する。
- ② 浮きは次第に低所 L へ移動する。
- ③ 浮きはジオイド高がゼロの線へ移動する。
- ④ 浮きはジオイド高の等高線に沿って移動する。
- ⑤ 浮きは移動しない。

(2) 近年、ジオイド高は人工衛星により詳しく調べられ、時間変動することがわかってきた。図 3—2 はアマゾン盆地の毎月のジオイド高と降水量を示している。図 3—3 は簡略化したアマゾン盆地の水収支モデルである。

(a) 図 3—2 に基づいて、アマゾン盆地内総水量は何月頃に最大となるか答えよ。

(b) 図 3—2 では、降水量が増加するとジオイド高が遅れて上昇し、その後下降に転じている。図 3—3 の水収支モデルに基づいて、降水量の極大に比べてジオイド高の極大が遅れる理由を以下の語句をすべて用いて 3 行程度で答えよ。

語句群：盆地内総水量，降水による増加量，蒸発散と流出による減少量

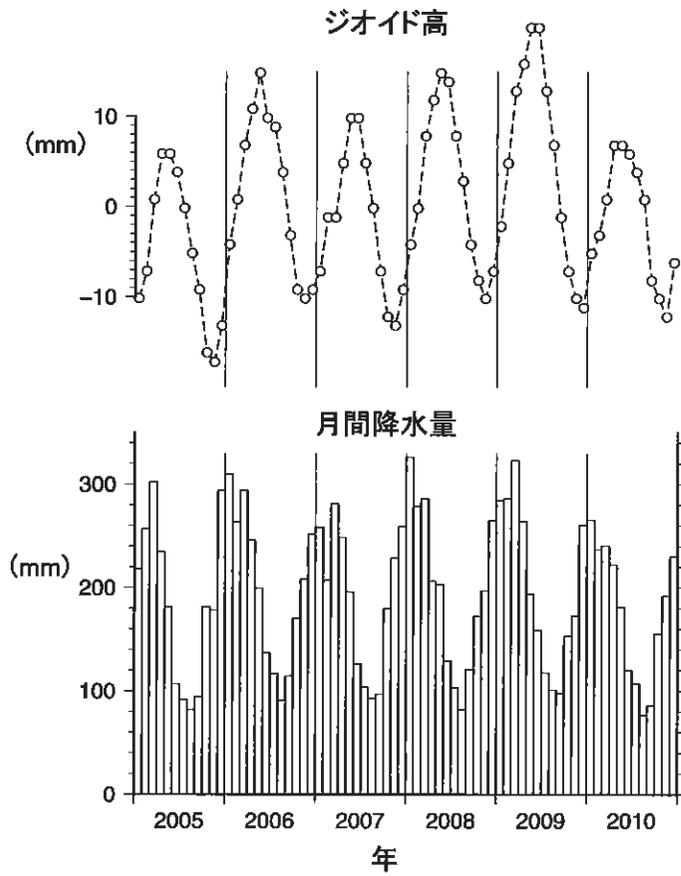


図 3—2 アマゾン盆地の毎月のジオイド高(時間平均からのずれ)と降水量

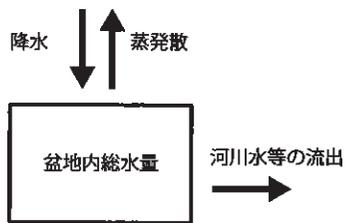


図 3—3 アマゾン盆地の水収支モデル(矢印は水の輸送の向きを表している)

(3) より長い時間では、地球温暖化が進みグリーンランドの氷床が急速にすべて溶けて海へ流出したとすると、(イ)が成立するように地殻は変動する。グリーンランドのジオイド高も氷床が溶ける前と比べると変動する。

(a) 空欄(イ)に入る適切な語句を答えよ。

(b) 下線部の振り舞いとして正しい文を次の①～⑥から選べ。

- ① 氷床が溶けた直後のジオイド高は低くなり、次第に上昇する。
- ② 氷床が溶けた直後のジオイド高は低くなり、さらに下降する。
- ③ 氷床が溶けた直後のジオイド高は低くなり、そのままを保つ。
- ④ 氷床が溶けた直後のジオイド高は高くなり、次第に下降する。
- ⑤ 氷床が溶けた直後のジオイド高は高くなり、さらに上昇する。
- ⑥ 氷床が溶けた直後のジオイド高は高くなり、そのままを保つ。

(c) 氷床が溶けたあとに地殻は隆起するか沈降するか答えよ。グリーンランドの氷床の厚さを 1800 m, 氷の密度を 0.900 g/cm^3 , マントルの密度を 3.60 g/cm^3 とし, 最終的な地殻の上下変動量を有効数字 2 桁まで単位とともに答えよ。計算の過程も示せ。

問 2 次の文章を読んで、問いに答えよ。

(1) 地球上の火山活動はプレートの動きと密接な関係をもっている。地球上で、マグマの発生による火山活動や火成岩形成の主要な場として、三つのタイプがある。(A)はプレートが新たに生じる場所、(B)はプレート境界とは関係なく、プレート内等に火山島や海山が形成される場所、(C)はプレートが他のプレートの下に沈み込む場所である。

(B)としてよく知られているのがハワイ島である。ハワイ諸島では、ハワイ島から遠ざかるに従って、火山の年代が(ア)なる。これをもとにプレート移動の方向と(イ)を推定することができる。ハワイ島には大型で緩やかな斜面をもつ(ウ)火山が分布している。

(C)の地域の火山は、海溝と平行して地球規模で帯状に連なり、分布域の海溝側の端をつなぐ線は(エ)と呼ばれる。この地域は、結晶分化作用等により、幅広い組成のマグマが形成され、多様な火山活動の場となっている。この地域では、溶岩と火山砕せつ物が重なってできた(オ)火山が多く分布している。

(a) 空欄(A)～(C)に当てはまる語句をそれぞれ答えよ。

(b) 空欄(ア)～(オ)に当てはまる語句をそれぞれ答えよ。

(c) 上記下線部について、なぜ“緩やかな斜面をもつ”のか、1行で答えよ。

(2) ある火山を調査し、図3—4の地質図を得た。ここでは、比較的新しい活動で形成された溶岩流 K と L および南西に開く崩壊地形が識別される。

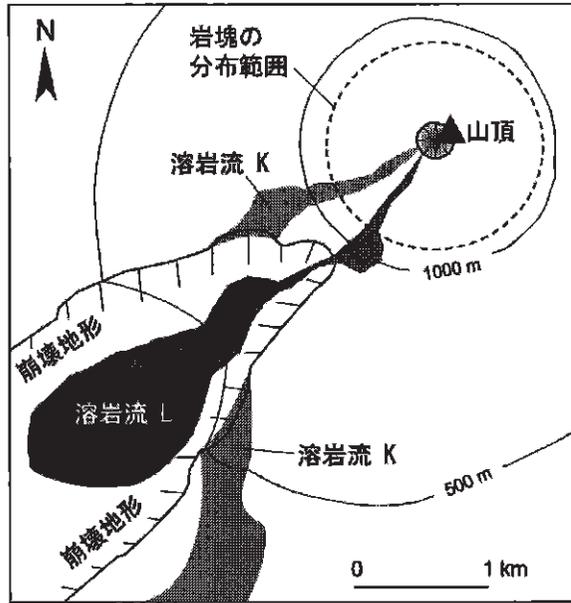


図3-4 ある火山の地質図

- (a) 溶岩流 K と L および崩壊地形の形成順序はどのようになっているか、地質図を判読し 1 行で答えよ。
- (b) 山頂近傍の地表面に、同じ爆発的噴火によると思われる多数の岩塊が分布していた。複数の岩塊で残留磁気を測定したところ、どれも磁化の方向は同じであった。これは、着地時に岩塊が(カ)であったことにより同方向に磁化されたためと考えられ、これらの岩塊が(キ)である可能性を示す。空欄(カ)、(キ)に当てはまる語句を以下から一つ選び、その番号をそれぞれ答えよ。
- カ：① 正四面体、② 低温、③ 球状、④ 灰色、⑤ 白色、
 ⑥ 六角柱状、⑦ 高温、⑧ 板状
- キ：⑨ 地表面の古い溶岩が吹き飛ばされたもの
 ⑩ この噴火を生じた新しいマグマに由来するもの
 ⑪ 地表面の古い溶岩噴泉の堆積物が吹き飛ばされたもの

- (c) 崩壊地形がつくる崖の露頭において、溶岩流 K の直下に炭化木片が見つかった。この炭化木片の ^{14}C を分析したところ、元の原子数の $1/8$ が残っていたことがわかった。 ^{14}C の半減期を 5700 年として、この溶岩が噴出したのは何年前と推定されるか、計算過程も含めて答えよ。
- (d) 溶岩流の試料から薄片をつくり、偏光顕微鏡で観察した。溶岩流 K (玄武岩) では、斑晶鉱物として鉱物 X と鉱物 Y が含まれていた。鉱物 X は有色鉱物で、開放ニコルで無色～淡黄色で多色性は示さなかった。また、鉱物 Y は無色鉱物で、直交ニコルで白黒縞状の消光がみられた。溶岩流 L の試料にも同様の斑晶鉱物が含まれていた。鉱物 X の結晶構造は、 SiO_4 の四面体が独立しているタイプである。鉱物 X と鉱物 Y の鉱物名を答えよ。
- (e) 化学組成の分析を行い、 SiO_2 含有量について下記の値を得た。

溶岩流 K : 50.0 質量%, 溶岩流 L : 52.0 質量%

鉱物 X : 40.0 質量%, 鉱物 Y : 48.0 質量%

問(2)(a)で噴出順序について判読した溶岩流 K と L のうち、先に噴出した溶岩の活動後、図 3-5 左のように、マグマ溜りがこの溶岩流と同じマグマで満たされていたとする。その後、図の右のように、このマグマから斑晶鉱物 X と Y が同じ割合で晶出し、マグマ溜りの下方に沈み取り去られることで、後に噴出した溶岩流と同じマグマが生じたと仮定する。このとき、マグマ溜りを満たしていたマグマの何% (質量%) が斑晶鉱物 (X と Y) として取り去られたことになるか、有効数字 2 桁で計算過程も含めて答えよ。

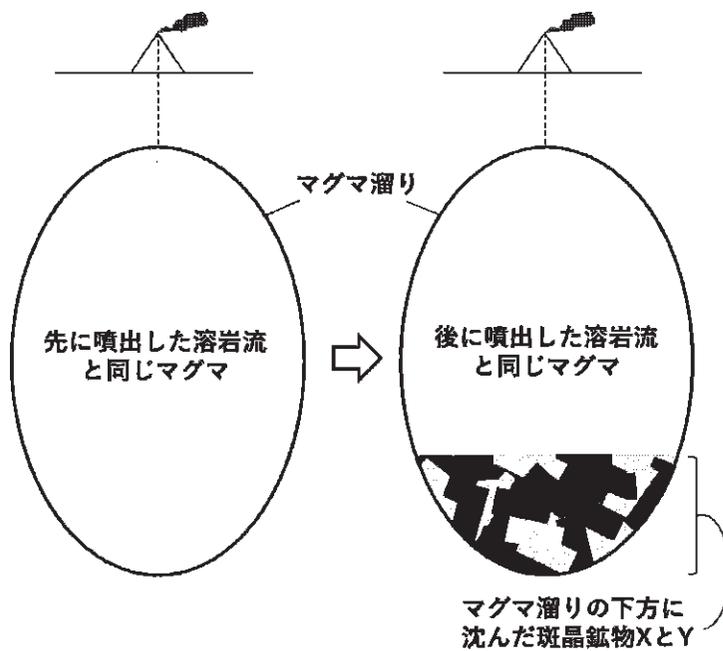


図3—5 マグマ溜り内でのマグマの変化