

入学試験問題

理科



(配点 120 点)

平成 26 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 85 ページあります(本文は物理 4～17 ページ, 化学 18～37 ページ, 生物 38～63 ページ, 地学 64～85 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を 1 箇所だけ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 図1—1に示すように、水平から角度 θ をなすなめらかな斜面の下端に、ばね定数 k のばねの一端が固定されている。斜面は点Aで水平面と交わっており、ばねの他端は自然長のとき点Aの位置にあるものとする。図1—2に示すように、質量 m の小球をばねに押し付け、斜面に沿って距離 x だけばねを縮めてから静かに手を離す。その後の小球の運動について、以下の設問に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。また、小球の大きさとはばねの質量は無視してよい。

- (1) $x = x_0$ のとき、手を離しても小球は静止したままであった。このときの x_0 を求めよ。
- (2) 手を離したのち、小球が斜面から飛び出し水平面に投げ出されるための x の条件を、 k 、 m 、 g 、 θ を用いて表せ。
- (3) $x = 3x_0$ のとき、小球が動き出してから点Aに達するまでの時間を求めよ。

次に、(2)の条件が成立し小球が投げ出されたあとの運動を考える。小球は点Aから速さ v で投げ出されたのち、水平距離 s だけ離れたところに落下する。点Aでの速さが一定の場合は、 $\theta = 45^\circ$ のとき落下までの水平距離が最大になることが知られているが、今回の場合は、 θ によって v が変わるため、 s が最大となる条件は異なる可能性がある。以下の設問に答えよ。なお、必要であれば、表1—1の三角関数表を計算に利用してよい。

- (4) v を x 、 k 、 m 、 g 、 θ を用いて表し、 x が一定のとき、 s が最大となる θ は 45° より大きいか小さいか答えよ。
- (5) s を x 、 k 、 m 、 g 、 θ を用いて表せ。
- (6) $x = \frac{2mg}{k}$ のとき、表1—1に示した角度の中から、 s が最も大きくなる θ を選んで答えよ。
- (7) x を大きくしていくと、 s が最大となる θ は何度に近づくか。表1—1に示した角度の中からを選んで答えよ。

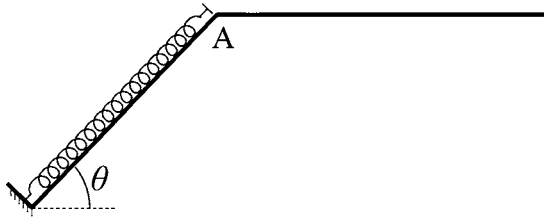


图 1—1

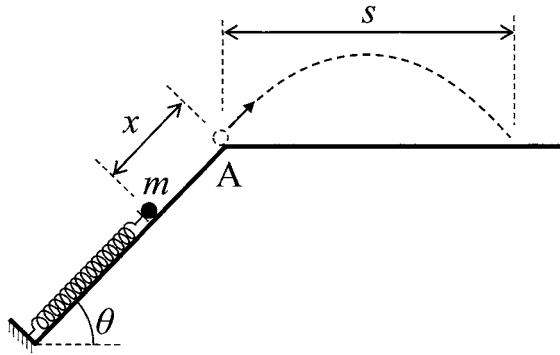


图 1—2

表 1—1

θ	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$\sin \theta$	0.17	0.26	0.34	0.42	0.50	0.57	0.64	0.71
$\cos \theta$	0.98	0.97	0.94	0.91	0.87	0.82	0.77	0.71
θ	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	
$\sin \theta$	0.77	0.82	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98	
$\cos \theta$	0.64	0.57	0.50	0.42	0.34	0.26	0.17	

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 太陽電池は、光を電気に変換する素子である。ここでは、太陽電池を図2-1に示す記号を用いて表し、その出力電流 I は図中の矢印の向きを正とする。また、図中の端子 b を基準とした端子 a の電位を出力電圧 V とする。このとき、 V と I の関係は、図2-2 のようになり、下記の式(i), (ii)で表されるものとする。

(i) $V \leq V_0$ のとき、 $I = sP$

(ii) $V > V_0$ のとき、 $I = sP - \frac{1}{r}(V - V_0)$

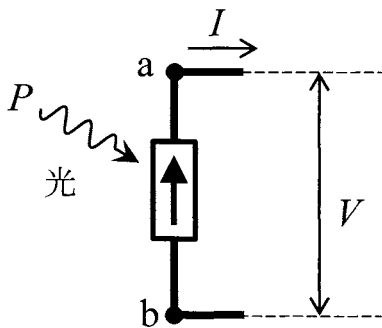
ここで、 P は照射光の強度、 r , s , V_0 は全て正の定数である。以下の設問に答えよ。

ただし、回路の配線に用いる導線の抵抗は無視してよい。

I 図2-3のように、太陽電池の端子間に電気容量 C のコンデンサーを接続した。このとき、コンデンサーに電荷は蓄えられていなかった。この状態で、時刻 $t = 0$ から一定の強度 P_0 の光を照射したところ、図2-4のように電流 I が変化した。

(1) 図2-4中の時刻 t_1 を求めよ。

(2) 十分に時間が経過した後にコンデンサーに蓄えられた電荷を求めよ。



太陽電池

図2-1

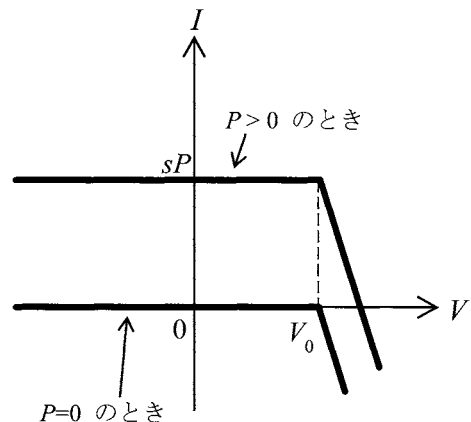


図2-2

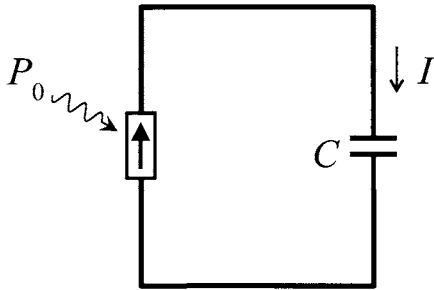


図 2—3

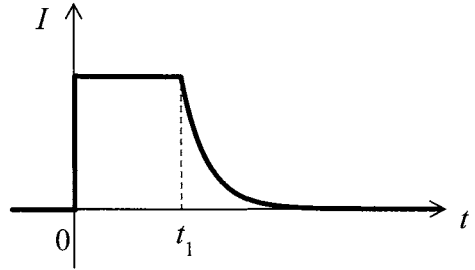


図 2—4

II 図 2—5 のように、太陽電池の端子間に抵抗値 R の抵抗を接続し、強度 P_0 の光を照射した。 R を変化させたとき、ある R_0 を境に、 $R \leq R_0$ の範囲では、抵抗を流れる電流 I が R によらず sP_0 となり、 $R > R_0$ の範囲では、 R の増加とともに電流 I が減少した。

- (1) R_0 を求めよ。
- (2) $R > R_0$ のときの電流 I を、 P_0 、 r 、 s 、 V_0 、 R を用いて表せ。
- (3) r が R_0 に比べて十分小さいとき、抵抗で消費される電力が最大となる R の値と、そのときの電力を求めよ。

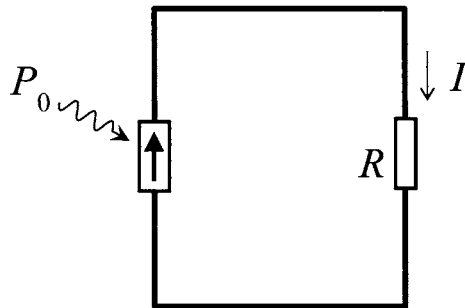


図 2—5

Ⅲ 図2—6のように、二つの太陽電池1, 2と抵抗値 R の抵抗を直列に接続した。太陽電池1に強度 P_0 の光を、太陽電池2に強度 $2P_0$ の光を同時に照射した。ただし、 $P_0 = \frac{V_0}{rs}$ とする。太陽電池1, 2の出力電圧をそれぞれ V_1, V_2 とし、抵抗を流れる電流を I とする。

(1) R を調整したところ、 $I = \frac{1}{2} sP_0$ となった。 V_1, V_2 を求めよ。

(2) (1)のとき R が r の何倍になるか答えよ。

(3) 次に、 $R = r$ とした。 V_1, V_2 はどのような範囲にあるか。以下から正しいものを一つ選んで答えよ。

ア. $V_1 \leq V_0$ かつ $V_2 \leq V_0$

イ. $V_1 \leq V_0$ かつ $V_2 > V_0$

ウ. $V_1 > V_0$ かつ $V_2 \leq V_0$

エ. $V_1 > V_0$ かつ $V_2 > V_0$

(4) (3)の状態において、 I, V_1, V_2 を求めよ。

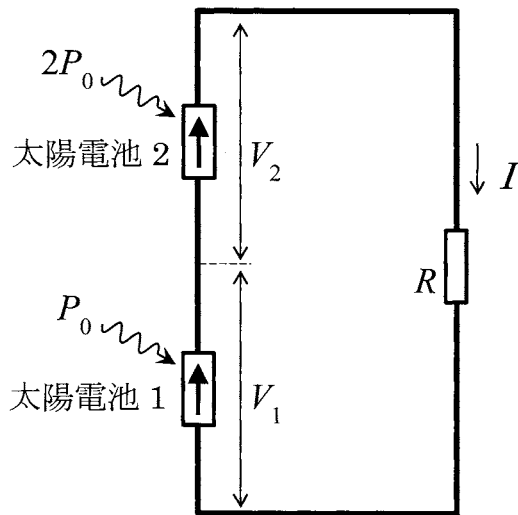


図2—6

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 図3—1(a)のように yz 平面上に設置した等間隔ではない多数の同心円状の細いスリットを用いると、 x 軸に平行に入射した光の回折光を図3—1(b)のように集めて収束させることができる。以下では問題を簡単にするため、同心円状のスリットを図3—1(c)に示すような直線状の細い平行なスリットで置き換えて、その原理を考えよう。以下の設問に答えよ。

図3—2に示すように、 x 軸上の原点 O を通り x 軸に垂直な面 A と、面 A から距離 d だけ離れたスクリーン B を考える。 y 方向(紙面に垂直)に伸びた細いスリット S_0, S_1, S_2, \dots を面 A 上の $z = z_0, z_1, z_2, \dots (0 < z_0 < z_1 < z_2 \dots)$ の位置に配置する。波長 λ の光が、面 A の左側から x 軸に平行に入射し、スリットを通過してスクリーン B に到達する。まず、スリット S_0, S_1 のみを残し、他のスリットを全てふさいだところ、スクリーン B 上に干渉縞が生じた。

- (1) スクリーン B 上で $z = \frac{z_0 + z_1}{2}$ の位置 T にできるのは明線であるか暗線であるか。また、その理由を簡潔に述べよ。
- (2) スクリーン B 上で、この位置 T より下方(z のより小さい方)に最初に現れる明線を、スリット S_0, S_1 に対する1次の回折光と呼ぶ。1次の回折光が、 $z = 0$ の位置 R にあった。 z_0, z_1 は d より十分に小さいものとして、 d を λ , z_0, z_1 を用いて表せ。必要ならば、近似式 $\sqrt{1 + \delta} \doteq 1 + \frac{1}{2} \delta$, ($|\delta|$ は1より十分に小さいものとする)を用いてよい。

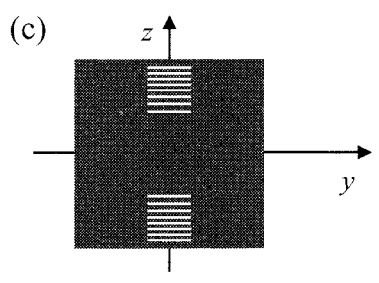
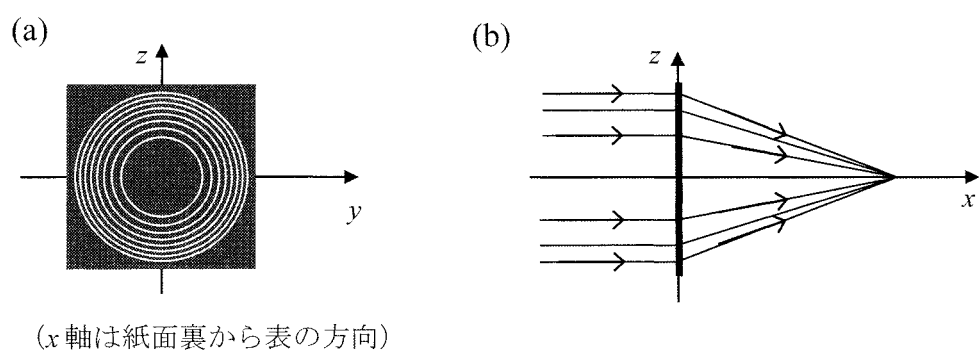


図 3-1

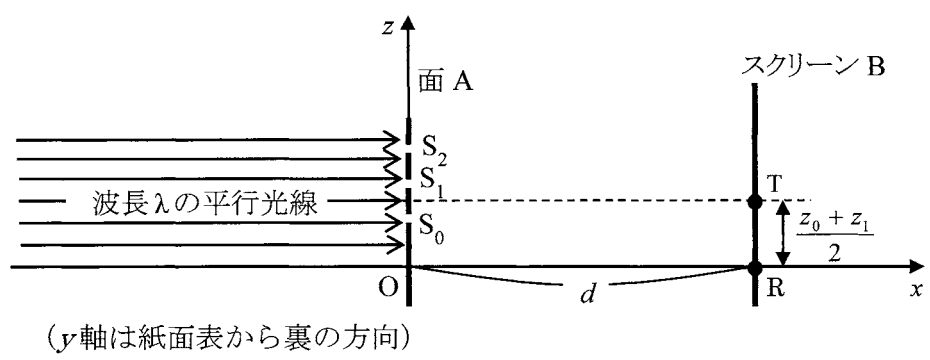


図 3-2

次に、 $z > 0$ の領域にある合計 N 本の多数のスリットすべてを用いる場合を考える。すべての隣りあうスリットの組 S_n と S_{n+1} ($n = 0, 1, 2, \dots$) について、それらの 1 次の回折光が R に現れるためには、その方向が n とともに少しずつ変わるようにスリットを配置する必要がある。このように面 A に N 本のスリットを設置したところ、 R に鮮明な明線が現れた。

- (3) このとき n 番目のスリットの位置 z_n は n のどのような関数になっているか。
 z_n を z_0, n, d, λ を用いて表せ。
- (4) スクリーン B を x 軸に沿って左右に動かすと、他にも $z = 0$ に明線が現れる位置があった。それらの x 座標を R に近い順に 2 つ答えよ。
- (5) 左側から平行光線を入射する代わりに、図 3—3 に示すように x 軸上の原点 O から距離 a の点 P に波長 λ の点光源を置き、スクリーン B を x 軸に沿って左右に動かすと、 $z = 0$ に明線が現れる位置 R' があった。その x 座標 b を、 λ を含まない式で表せ。ただし、 $z = z_0, z_1, z_2, \dots$ は a, b より十分に小さく、 $a > d$ かつ $b > d$ であるとする。
- (6) 図 3—4 は、設問(5)の状況において、 R' 近傍に現れる明線の光の強度分布を z の関数として示したものである。ただし、光の強度とは単位時間あたりに単位面積に到達する光のエネルギーである。図 3—1(c)のように、 $z < 0$ の領域にも $z > 0$ の領域と対称にスリットを配置して、スリットの総数を 2 倍にした。このとき、明線の強度や幅が変化した。以下の文中の 内に入るべき適当な整数もしくは分数を答えよ。

スリットの総数が 2 倍になったので、点 R' における光の波(電磁波)の振幅は ア 倍になる。光の強度は光の波の振幅の 2 乗に比例することが知られているので、点 R' での光の強度は ア の 2 乗倍になる。一方、明線内に単位時間に到達する光のエネルギーは イ 倍になるはずである。このことから、スリット数を 2 倍に増やすと明線の z 方向の幅は、約 ウ 倍となると考えられる。

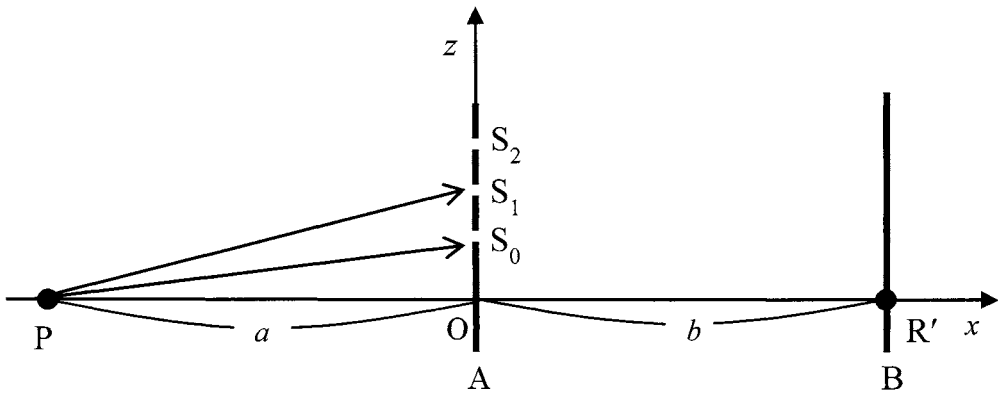


図 3-3

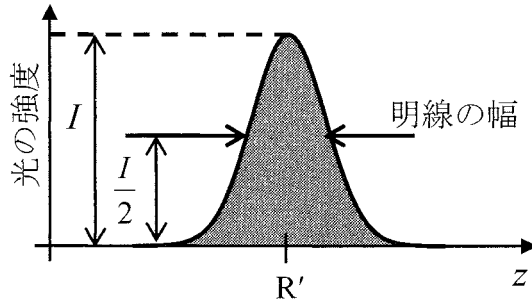


図 3-4

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

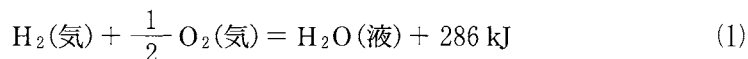
次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文章を読み，問ア～オに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	Li	C
原子量	1.0	6.9	12.0
結 合	H—H	H—O	O=O
結合エネルギー[kJ・mol ⁻¹]	436	463	496

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

1 mol の水素ガス H_2 の燃焼反応は，下記の熱化学方程式(1)で与えられる。

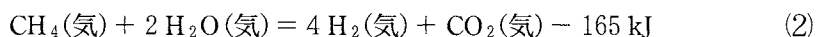


この反応は，石炭や石油等の化石燃料を燃焼させたときに発生する二酸化炭素や窒素酸化物を出さないのので，水素ガスは地球に優しい燃料の候補として注目されている。

また，水素ガスは質量あたりの燃焼エネルギーがあらゆる物質の中で最大である。石炭，石油が燃えて二酸化炭素と水になるとき，質量1gあたりの燃焼エネルギーは，それぞれ約30kJ，約46kJである。それに対して，水素ガスの質量1gあたりの燃焼エネルギーは kJ である。

これらの理由から，水素ガスを自動車等の燃料に使うという魅力的な見通しが生まれる。しかし，水素ガスが燃料として一般的に利用されるためには克服しなければならない問題がいくつかある。まずは，十分な量の水素ガスをどうすれば確保できるかという問題である。地球上に水素は大量に存在するが，ほぼすべて

の水素は化合物に組み込まれていて、水素ガスとしてはほとんど存在しない。したがって、燃料に使う水素ガスを得るには、水素を含む化合物から水素ガスを製造する必要がある。燃料に使う水素ガスは、主に、天然ガスの主成分であるメタン CH_4 と水蒸気 H_2O の反応により製造されている。その反応は、下記の熱化学方程式 (2) で与えられる。



しかし、この水素ガス製造法は化石燃料に依存しており、二酸化炭素の発生を抑えることにはならない。そのため化石燃料を用いずに水素ガスを効率的に製造する方法の研究開発が続けられている。

克服しなければならないもう一つの問題は、水素の貯蔵と輸送に関してである。室温の 1 気圧下では、水素ガスの体積は質量 1 g あたり約 12 L にもなる。体積を減らすために加圧すると肉厚の金属容器が必要となり、その質量のために、質量あたりの燃焼エネルギーが高いという水素ガスの利点が失われる。体積を減らす他の方法として、水素ガスを金属と反応させて化合物を作る方法がある。たとえば、水素ガスと金属リチウム Li を反応させて固体の LiH を作ると、その体積は水素の質量 1 g あたり、わずか b ^① mL になる。その化学反応式は式 (3) で与えられる。



生成した LiH を水と反応させると水素ガスが生成し、これを燃料に使うことができる。水素貯蔵の効率を上げるために、様々な水素化合物に関する研究が続けられている。

〔問〕

- ア 熱化学方程式(1)から の値を有効数字2桁で求めよ。
- イ 表に示した結合エネルギーを用いて、水素ガスの質量1gあたりの燃焼エネルギーを有効数字2桁で求めよ。求めた値が上記アで求めた の値と一致するか否かを答えよ。また、その理由を40字程度で述べよ。
- ウ 熱化学方程式(2)の反応を用いてメタンから水素ガスを製造し、その水素ガスを燃焼してエネルギーを得る場合、メタンの質量1gあたり何kJの燃焼エネルギーが得られるか。有効数字2桁で求めよ。ただし、水の蒸発熱は $44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ とする。
- エ Li原子の最外殻電子に働く原子核の正電荷は、他の電子の電荷で打ち消されて、近似的に+1と考えられる。下線部①の固体のLiH中では、Li原子とH原子の間に電荷の偏りが起きている。どちらの原子に負電荷が偏るか答えよ。また、その理由を、Li原子とH原子の電子配置に基づいて、40字程度で述べよ。
- オ の値を有効数字2桁で求めよ。ただし、LiHの結晶構造は、図1-1に示す塩化ナトリウム型構造をとり、隣り合うLi原子とH原子の距離は0.20 nm とする。

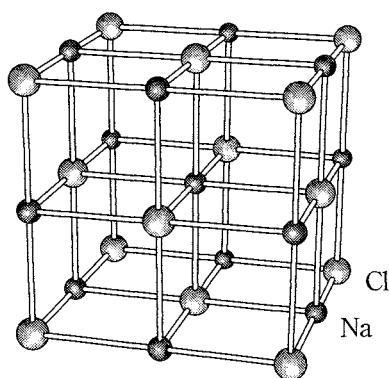


図1-1 塩化ナトリウム型構造

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

II 次の文章を読み、問力～サに答えよ。

化学反応式が一見して単純であっても、複数の反応によって反応物が生成物へ変化する場合がある。例えば、気体の水素分子 H_2 と気体のヨウ素分子 I_2 から気体のヨウ化水素分子 HI が生成する次の反応を考えよう。



ここで k_1 は反応速度定数である。この反応は 600 K 以上の高温において進行し、 $9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ の発熱反応である。反応(4)では逆反応は考慮しなくてよい。また、 HI の生成速度 v_{HI} は次式で表されるように、 H_2 のモル濃度 $[\text{H}_2]$ と I_2 のモル濃度 $[\text{I}_2]$ の積に比例することが実験事実として知られている。

$$v_{\text{HI}} = k_1 [\text{H}_2] [\text{I}_2] \quad (5)$$

(5) 式が成り立つことから、一見すると H_2 と I_2 が衝突し、反応(4)が進行するように見える。しかし、次の二つの反応の組み合わせによって HI が生成する説が有力である。



ここで k_2 は反応速度定数である。ヨウ素原子 I は気体として存在し、反応(6)では平衡が成立している。反応(7)では逆反応は考慮しなくてよい。また、 H_2 はほとんど解離しないものとする。反応(6)の正反応は、 $150 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ の c 反応であり、平衡定数は、

$$K = \frac{[\text{I}]^2}{[\text{I}_2]} \quad (8)$$

で表される。 $[\text{I}]$ は I のモル濃度である。

反応(6)で生成したIは、 H_2 と衝突し、エネルギーの高い中間状態を經由し^②て、反応(7)に従ってHIが生成する。反応(7)によるHIの生成速度 v_{HI} は、

$$v_{\text{HI}} = k_2[\text{H}_2][\text{I}]^2 \quad (9)$$

で表される。反応(6)の正反応、逆反応の速度が反応(7)に比べて圧倒的に速く、^③常に平衡が成立しているとする。このとき、HIの生成速度 v_{HI} は、 $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ の積に比例し、実験事実と合致する。

この例から分かるように、単純な化学反応式で記述される化学反応でも、実際に起きている過程は複雑な場合がある。

[問]

- カ 空欄 に当てはまる語句は吸熱か発熱か答えよ。その理由を30～50字程度で記せ。
- キ 反応(6)において、圧力一定で温度を上昇させたとき、平衡はどちらに移動するか答えよ。その理由を40～80字程度で記せ。
- ク 下線部②は何と呼ばれる状態か答えよ。
- ケ 反応(7)の反応熱は何 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ か、有効数字3桁で答えよ。
- コ 下線部③において、反応(7)の反応速度が $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ の積に比例することを示せ。また、 k_1 、 k_2 、 K の間に成り立つ関係式を記せ。
- サ 反応(6)の正反応・逆反応の速度よりも、反応(7)の反応速度の方が圧倒的に速いとしよう。このとき、HIの生成速度は $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ に対してどのような依存性をもつか。例えば、 $[\text{H}_2][\text{I}_2]^2$ に比例する、のように答えよ。

第2問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	C	O	S	K	Cr	Mn	Fe
原子量	1.0	12.0	16.0	32.1	39.1	52.0	54.9	55.8

Ⅰ 次の文章を読み，問ア～キに答えよ。

クロム化合物は，ギリシャ語の色(クロマ)が語源であるように酸化数や構造によって様々な色を呈する。二クロム酸カリウムを水に溶かし，水酸化カリウムを用いて溶液を塩基性にすると溶液は黄色になり，この溶液を希硫酸を用いて酸性にすると赤橙色になる。酸化数が+6のクロム化合物は，有機化合物に対する酸化剤としてよく用いられる。

マンガン化合物は，幅広い酸化数を取り得る。酸化マンガン(Ⅳ)は，過酸化水素を水と酸素に分解する優れた触媒である。過マンガン酸カリウムは，強力な酸化作用を有し，その水溶液は特徴的な赤紫色を呈することから，酸化還元滴定によく用いられる。

これらを踏まえて，以下の実験1～3をおこなった。

実験1：ある濃度の二クロム酸カリウムの希硫酸溶液 2.0 mL と 2-プロパノール 2.0 mL を試験管に入れた。図2-1のように試験管に誘導管をつけて，この溶液を 65～70℃ に加熱したところ，溶液の色が緑色に変化した。反応終了時に，氷水で冷やされた試験管には反応生成物である無色透明の液体が 0.30 g 溜まった。

実験2：ある温度で 3.0% (質量パーセント) の過酸化水素水 1.0 mL に粉末の酸化マンガン(Ⅳ) 10 mg を加えると，過酸化水素は完全に分解し，過酸化水素 1.0 mol あたり 98 kJ の反応熱が観測された。

実験 3 : 硫化鉄(Ⅱ)と書かれた試薬瓶に入っている試薬中の硫化鉄(Ⅱ)の純度を求めるために以下の実験をおこなった。過マンガン酸カリウム 1.6 g を希硫酸 20 mL に溶かし、水を用いて 25 mL に希釈した。瓶の中の試薬 1.0 g を希硫酸 100 mL に加えると、③ 気体が発生し、試薬はすべて溶解した。この溶液を十分に煮沸した^③後、④ 調製した過マンガン酸カリウム溶液で滴定したところ、5.4 mL 滴下したところで^⑤終点に達した。

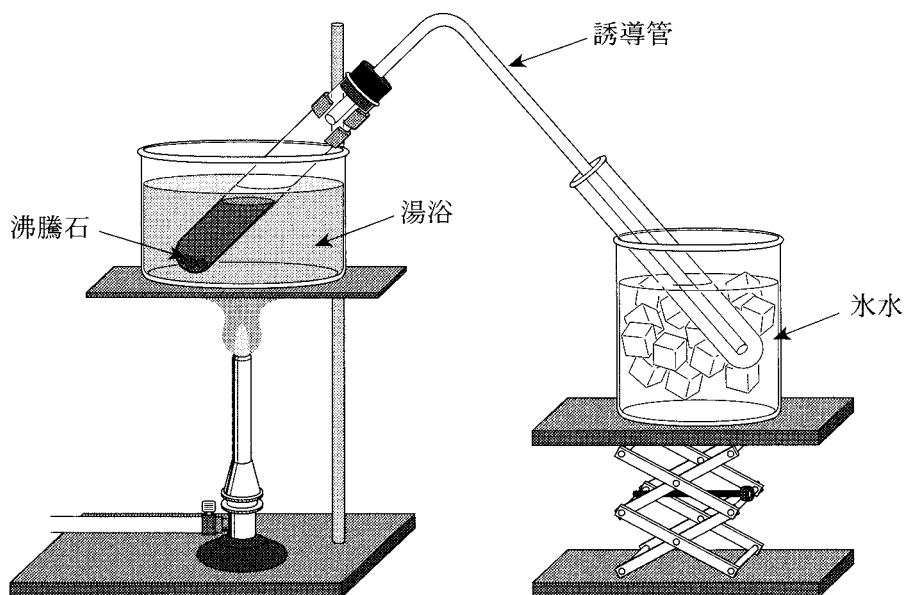


図 2—1 実験 1 の反応装置

〔問〕

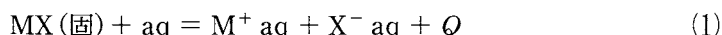
- ア 下線部①の化学反応式を記せ。
- イ 下線部②の化合物の構造式を記せ。
- ウ 実験 1 で用いた二クロム酸カリウム溶液の濃度は何 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ か。有効数字 2 桁で答えよ。下線部②の化合物が生成する反応の化学反応式および答えに至る過程も記すこと。ただし、氷水で冷やされた試験管には下線部②の化合物のみが溜まったとする。
- エ 実験 2 の反応を酸化マンガン(IV) 20 mg を用いておこなう場合、過酸化水素 1.0 mol あたり何 kJ の反応熱が観測されるか。有効数字 2 桁で答えよ。
- オ 下線部③の気体の化学式を記せ。また、その気体の特徴として正しいものを下記の選択肢 (1) ~ (6) の中からすべて選べ。
- (1) 水溶液は弱酸性を示す。
 - (2) 水溶液は弱アルカリ性を示す。
 - (3) 下方置換で捕集できる。
 - (4) 上方置換で捕集できる。
 - (5) 黄緑色の気体である。
 - (6) 褐色の気体である。
- カ 下線部④に関して、溶液を煮沸せずに滴定すると、硫化鉄(II)の純度の実験値が 100 % (質量パーセント) を超えてしまった。この理由を 40~60 字程度で説明せよ。
- キ 実験 3 の結果から、試薬中の硫化鉄(II)の純度(質量パーセント)を有効数字 2 桁で求めよ。下線部⑤の反応の化学反応式および答えに至る過程も記すこと。ただし、試薬に含まれる不純物は、過マンガン酸カリウムとは反応しないものとする。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

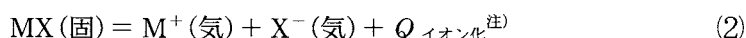
II 次の文章を読み、問ク～セに答えよ。

アルカリ金属は \boxed{a} が大きく、常温で激しく水と反応する。一方、銅や銀は \boxed{a} が小さいため、水と反応しないが、 \boxed{b} の大きい硝酸を用いると一酸化窒素を発生し溶ける。また、アルカリ金属 M はハロゲン X_2 と反応し、 MX の水に対する溶解度はアルカリ金属イオン M^+ とハロゲン化物イオン X^- のイオン半径の大きさに関係がある。 MX の水への溶解は次の熱化学方程式 (1) で表される。



MX の溶解熱 Q が大きい程、 MX の溶解度は高い。ここで、 MX の溶解の過程を MX のイオン化と水和に分けて、次のように考える。

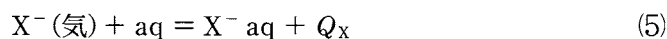
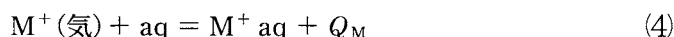
固体の $\text{MX}(\text{固})$ が気相のイオン $M^+(\text{気})$ と $X^-(\text{気})$ へイオン化するときの熱化学方程式は式 (2) で表される。



$M^+(\text{気})$ と $X^-(\text{気})$ の間には静電気的な引力が働き、イオン化熱 $Q_{\text{イオン化}}$ は負で、 $Q_{\text{イオン化}}$ の大きさはイオン間の距離に反比例する。そこで、 $Q_{\text{イオン化}}$ と M^+ のイオン半径 r_M 、 X^- のイオン半径 r_X との間に、近似的に式 (3) が成り立つとする。

$$Q_{\text{イオン化}} = -\frac{\alpha}{r_M + r_X} \quad (\alpha \text{ は正の定数}) \quad (3)$$

つづいて、 $M^+(\text{気})$ 、 $X^-(\text{気})$ の水和はそれぞれ熱化学方程式 (4) と (5) で表される。



Q_M および Q_X は正で、イオン半径が小さいほど大きい。水和熱 $Q_{\text{水和}}$ は Q_M と Q_X の和で表される。そこで、 $Q_{\text{水和}}$ と M^+ のイオン半径 r_M 、 X^- のイオン半径 r_X との間に、近似的に式 (6) が成り立つとする。

$$Q_{\text{水和}} = Q_M + Q_X = \beta \left(\frac{1}{r_M} + \frac{1}{r_X} \right) \quad (\beta \text{ は正の定数}) \quad (6)$$

MX の溶解熱 Q におよぼす $Q_{\text{イオン化}}$ と $Q_{\text{水和}}$ の効果を考えると、 $Q_{\text{イオン化}}$ の絶対値が \boxed{c} ほど、また $Q_{\text{水和}}$ が \boxed{d} ほど、 MX の溶解度は高くなる。

ここで、陽イオンが同じで陰イオンの異なる 2 種類のアルカリ金属のハロゲン化物、塩 A、B について考える。A の陰イオン半径は陽イオン半径と等しく ($r_X = r_M$)、B の陰イオン半径は陽イオン半径の半分である ($r_X = 0.5 r_M$)。B の $Q_{\text{イオン化}}$ から A の $Q_{\text{イオン化}}$ を差し引くと \boxed{e} となり、一方、B の $Q_{\text{水和}}$ が

ら A の $Q_{\text{水和}}$ を差し引くと となる。したがって、陰イオン半径が変わると、 $Q_{\text{イオン化}}$ と $Q_{\text{水和}}$ の変化の度合いが異なり、MX の溶解熱が変化する。このため、陰イオン半径の異なる MX について水に対する溶解度の違いを推測することができる。

注) $Q_{\text{イオン化}}$ には固体の MX (固) が気体の MX (気) へ変化する昇華熱が含まれる。

〔問〕

ク 空欄 , それぞれにあてはまる適切な用語を選択肢 (1) ~ (6) の中から選びその番号を記せ。

- (1) 酸性 (2) 塩基性 (3) イオン化傾向
(4) 酸化力 (5) 電気陰性度 (6) 原子半径

ケ 下線部⑥に関して、銅と希硝酸との化学反応式を記せ。

コ 空欄 , それぞれにあてはまる適切な語を選択肢 (1) および (2) から選びその番号を記せ。

- (1) 大きい (2) 小さい

サ 空欄 , それぞれにあてはまる式を α , β , r_M を用いて記せ。

シ NaF のイオン化熱 Q_{NaF} , Na^+ イオンおよび F^- イオンの水和熱 Q_{Na} , Q_{F} , イオン半径 r_{Na} , r_{F} を以下に示す。NaF について式 (3) および (6) の定数 α , β を有効数字 2 桁で求めよ。

$Q_{\text{NaF}} [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]$	$Q_{\text{Na}} [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]$	$Q_{\text{F}} [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]$	$r_{\text{Na}} [\text{nm}]$	$r_{\text{F}} [\text{nm}]$
- 923	406	524	0.12	0.12

ス シで求めた α , β を用い、塩 A と塩 B のどちらの溶解度が高いか答えよ。また、その理由を $Q_{\text{イオン化}}$ と $Q_{\text{水和}}$ の絶対値の変化量を比較し 50 字程度で述べよ。

セ ハロゲン化物イオンのイオン半径を以下に示す。リチウムイオンのイオン半径は 0.09 nm である。ハロゲン化リチウムについて、溶解度が最も高いと考えられる塩と溶解度が最も低いと考えられる塩の化学式をそれぞれ記せ。

ハロゲン化物イオン	F^-	Cl^-	Br^-	I^-
イオン半径 [nm]	0.12	0.17	0.18	0.21

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	C	N	O	Ag
原子量	1.0	12.0	14.0	16.0	107.9

I 次の文章を読み、問ア～キに答えよ。

[文1] 天然に存在するグルコースのほとんどは、D型である。図3-1に示すとおり、炭素①についたヒドロキシ基(以下、①OH基と呼ぶ)が六員環をはさんで炭素⑥の反対側にあるD-グルコースは、 α -D-グルコースと呼ばれる。 α -D-グルコースを水に溶かすと、 α -D-グルコースとは異なる環状分子や鎖状分子を含む平衡混合物として存在する。

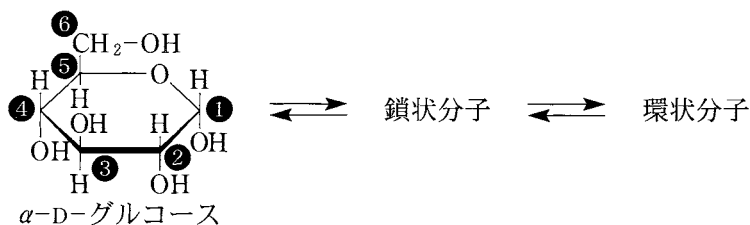


図3-1 α -D-グルコース水溶液中の平衡混合物
(簡略化のため、環を構成するC原子は省略してある)

[文2] 図3-2に示すとおり、ポリマー分子P1は、5個の α -D-グルコース(A～E)間で①OH基と④OH基どうしが脱水縮合して生じる α -グリコシド結合か、または、①OH基と⑥OH基どうしが脱水縮合して生じる α -グリコシド結合により五糖の単量体を構成し、その単量体が n 個重合した構造をもつ。

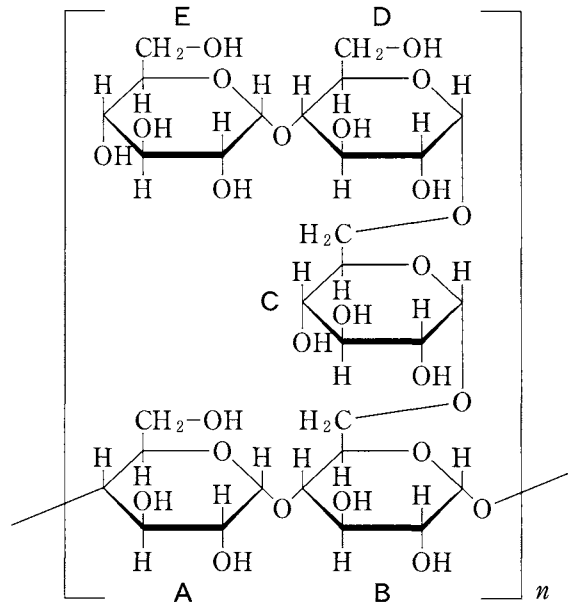
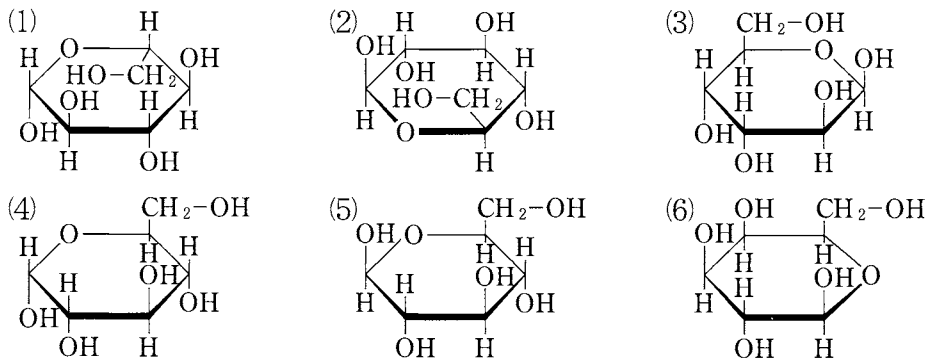


図3-2 ポリマー分子P1の構造

〔問〕

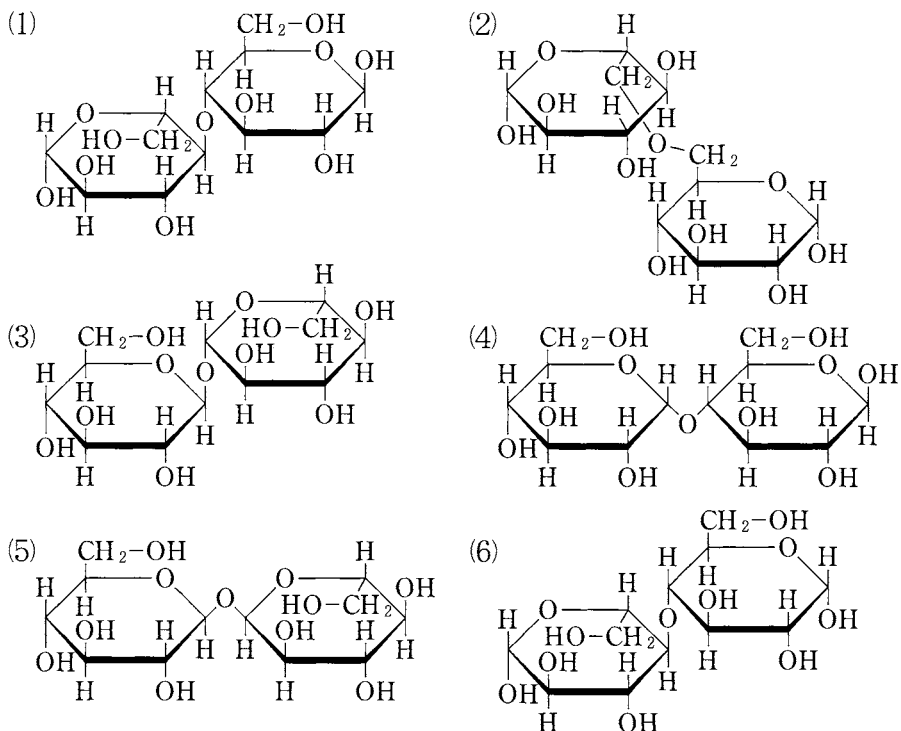
ア 下線部①の環状分子に該当する糖を表している構造式を(1)～(6)からすべて選び、番号で記せ。



イ α -D-グルコース水溶液をアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させると、銀が析出するが、一般的な脂肪族アルデヒドをアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させる場合と比べて銀の析出速度が遅い。その理由を30字程度で記せ。

ウ 上記イの反応後、 α -D-グルコースはどのような化合物に変換されるか、構造式を記せ。ただし、反応溶液はアルカリ性であることを考慮せよ。

エ α -D-グルコース水溶液中の六員環構造をもつ分子どうしが脱水縮合した以下の二糖(1)~(6)のうち、還元作用を示さないものをすべて選び、番号で記せ。



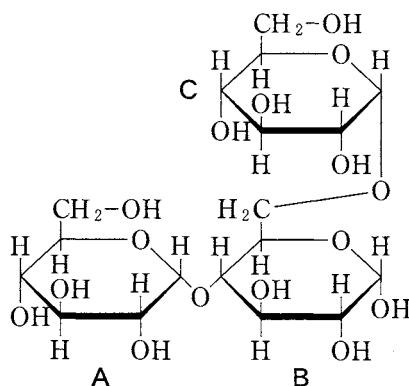
オ 酵素 Q は、 α -D-グルコースどうしの①OH 基と⑥OH 基間で生じた α -グリコシド結合のみを加水分解する。酵素 Q を用いてポリマー分子 P1 (重合度 n) 内に存在する①OH 基と⑥OH 基間で生じた α -グリコシド結合をすべて加水分解した場合の化学反応式を記せ。ただし、ポリマー分子 P1 の分子式は $(C_{30}H_{50}O_{25})_n$ と表記し、重合部分の両末端は化学反応式に反映させなくてよいものとする。

- カ α -D-グルコースを十分量のアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させると、1 mol の α -D-グルコースあたり 2 mol の銀が析出する。8.1 g のポリマー分子 P1 を酵素 Q と反応させて、P1 分子内に存在する①OH 基と⑥OH 基間で生じた α -グリコシド結合をすべて加水分解した後、酵素 Q を除いてから十分量のアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させた。その結果、析出する銀の重量を有効数字 2 桁で記せ。ただし、重合部分の末端の反応は考慮しなくてよいものとし、また、ポリマー分子 P1 の分子量として $810n$ を用いよ。
- キ α -D-グルコースで五糖を構成する際の異性体の数について考える。下記の 3 条件をすべて満たす異性体の数は全部でいくつあるか記せ。なお、ポリマー分子 P1 を構成する単量体も 3 条件を満たしており、異性体の数に含まれる。

条件 1：下図に示す三糖(A—B—C)の部分構造をもつ。

条件 2：残り 2 個の α -D-グルコースは、A、B のいずれに対しても脱水縮合していない。

条件 3：縮合の様式はすべて、①OH 基と④OH 基間で生じる α -グリコシド結合か、または、①OH 基と⑥OH 基間で生じる α -グリコシド結合のいずれかである。



II 次の文章を読み、問ク～ソに答えよ。

[文3] ナイロン66(6,6-ナイロン)は、ジカルボン酸XとジアミンYの縮合重合によって得られる。実験室でナイロン66をつくる場合には、Xの代わりに酸塩化物^注Zを使うと加熱や加圧が不要となり、以下の操作(i)～(iii)を行うことで簡単に合成することができる。

- (i) ビーカーに溶媒S1を入れ、化合物Zを溶かす。
- (ii) 別のビーカーに溶媒S2を入れ、水酸化ナトリウムと化合物Yを溶かす。^②
- (iii) (i)で調製した溶液に(ii)で調製した溶液を静かに注ぐと、(ii)の溶液が上層となり、2つの液の境界面にナイロン66の薄膜が生成する。これをピンセットでつまんで引き上げ、試験管などに巻き付けて、ナイロン66の繊維を得る。

一方、工業的にはXとYを直接縮合重合してナイロン66を合成する。実用のために力学的強度を上げるには、ポリマーの重合度を十分に高くする必要がある。重合度の高いナイロン66を工業的に生産するには、XとYの物質量の比が重要である。^③そのため、まず最初に、物質量の等しいXとYからなる塩を作る。その後、270℃程度にまで加熱して、熔融状態で脱水縮合反応を進行させ、ナイロン66を得る。

[文4] 2-アミノプロパン(CH₃)₂CHNH₂にアクリル酸の酸塩化物^注を加えて反応させるとモノマーMが得られる。さらにMを重合させることでポリマーP2が得られる。P2はある温度以下では水に溶解し、その溶液は透明である。しかし、ある温度以上に加熱すると水に不溶となり、透明な溶液は白濁する。この現象は可逆的で、冷却すると再び透明な溶液に戻る。2-アミノプロパンの代わりにアミノメタンCH₃NH₂を用いた場合はこのような性質を示さない。低温領域においては、P2の構造中で親水性の a 結合部位が水分子と水素結合を形成することでP2は水に溶解する。一方、高温領域では水分子がP2から遊離し不溶となる。P2中に存在する b 基の疎水性が

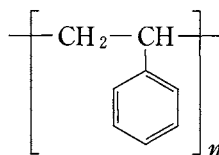
この不溶化に大きく寄与している。このように、P2は温度に応答する“賢い”高分子であり、環境や再生医療の分野などで様々な機能性材料として応用する研究が盛んに行われている。

注) 酸塩化物：ここでは、カルボン酸の-COOH を-COCl に置換した化合物をさす。

[問]

- ク Zの構造式をすべての価標を省略せずに記せ。
- ケ 下線部②について、水酸化ナトリウムを加える理由として最も適切なものを下記の選択肢より1つ選べ。
- (1) カルボキシ基を中和することで縮合を加速する。
 - (2) 縮合速度を抑えることで重合度の高いポリマーを合成する。
 - (3) 縮合速度を抑えることでポリマーの強度を適切に調整する。
 - (4) 塩化水素を中和することで縮合速度が低下することを防ぐ。
 - (5) 酸塩化物をカルボン酸に加水分解することで縮合を加速する。
 - (6) 水酸化ナトリウムの溶解熱を利用して縮合を加速する。
- コ S1とS2の組み合わせとして最も適切なものを1つ選べ。
- (1) S1：ジクロロメタン，S2：水
 - (2) S1：水，S2：ジクロロメタン
 - (3) S1：アセトン，S2：水
 - (4) S1：水，S2：アセトン
 - (5) S1：ジエチルエーテル，S2：水
 - (6) S1：水，S2：ジエチルエーテル
 - (7) S1：エタノール，S2：ジエチルエーテル
 - (8) S1：ジエチルエーテル，S2：エタノール
- サ 下線部③について、XとYの物質量が等しくない場合を考える。最初に存在していたXとYがもつカルボキシ基とアミノ基の総数をそれぞれ N_x 、 N_y とする。ここで $N_x/N_y = r (0 < r < 1)$ とする。カルボキシ基がすべて反応したとき、反応後の全分子数を N_x と r を用いて表せ。

- シ 合成したナイロン 66 の重合度の平均値(平均重合度)は、(最初の全分子数) / (反応後の全分子数) で計算できるものとする。サの条件において、平均重合度を r を用いて表せ。
- ス サの条件において、カルボキシ基がすべて反応したときの平均重合度を 200 以上にしたい。そのためには、重合開始時において X の物質量に対する Y の物質量の過剰分を何% 以下に抑える必要があるか。有効数字 2 桁で求めよ。
- セ P2 の構造式を記せ。なお、ポリマーの構造式は以下の例にならって繰り返し単位を記すこと。



- ソ 空欄 , にあてはまる最も適切な語句をそれぞれ記せ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

生 物

第1問

次の文1から文3を読み、IとIIの各問に答えよ。

〔文1〕

カモノハシなどの 1 類やコアラなどの 2 類を除く大部分のほ乳類では、胎仔は胎盤を介して母体から供給される栄養分と酸素に依存して発育する。そのため、胎盤に深刻な異常が生じると、胎仔の発育は停止し死に至る。胎盤で母体の血液が胎仔血管に流れ込むことはなく、赤血球が母体の肺から胎仔の末梢組織へ酸素を直接届けることはできない。胎盤で胎仔が酸素を受け取ることができるのは、母体のもつ成体型ヘモグロビンと胎仔赤血球に含まれる胎仔型ヘモグロビンの酸素結合能が異なる^(ア)おかげである。

〔文2〕

マウスの初期胚発生では、胚盤胞期に胞胚腔が形成され、それを囲む栄養外胚葉と、内側に存在する内部細胞塊の、2つの細胞集団が現れる(図1-1)。成熟した胚盤胞が子宮の内壁に着床すると、栄養外胚葉の細胞は胎盤や胎膜を形成するが、胎仔の体細胞や生殖細胞には分化しない。一方、内部細胞塊からは胎盤細胞への分化は起こらず、胎仔の体をつくる三胚葉が派生する。さらに、中胚葉の一部の細胞が生殖細胞へと分化する。胚性幹細胞(ES細胞)は内部細胞塊から樹立され、その分化能をよく保持している。

また、マウスでは、2つの8細胞期胚を合わせて1つの胚にしたり、8細胞期胚とES細胞を合わせて胚にES細胞を取り込ませたりすることによって、遺伝的に異なる細胞が混在する個体(キメラとよばれる)をつくることができる。キメラにおける細胞の分布様式は、表1-1に示すように、用いる細胞の組合せによって異なる。

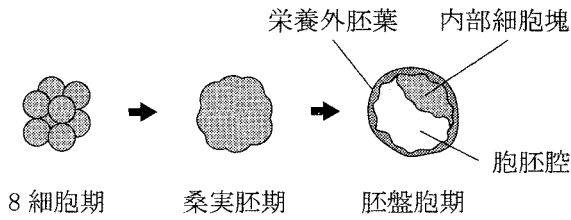

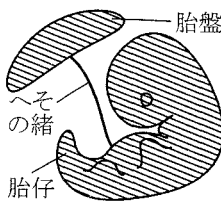
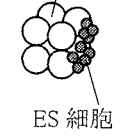
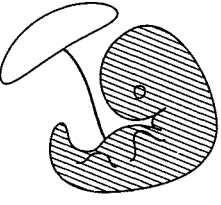

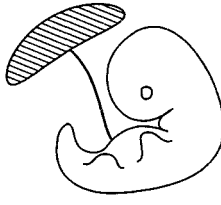


図 1—1 マウスの 8 細胞期から胚盤胞期までの発生を示した模式図
 桑実胚期には割球の境界が不明瞭になる。胚盤胞は内部構造を表すために、その断面図を示した。

表 1—1 異なる細胞の組合せで作製されるキメラ

組合せ	細胞の分布 ^(注1)	説明
8 細胞期胚  8 細胞期胚		2つの 8 細胞期胚を 1 つに合わせて作製するキメラ。胎盤と胎仔の両方で遺伝的に異なる細胞が混在する。
8 細胞期胚  ES 細胞		8 細胞期胚と ES 細胞を合わせて作製するキメラ。内部細胞塊に由来する ES 細胞は胎盤の細胞に分化しないため、胎仔のみで細胞が混在する。
8 細胞期胚  8 細胞期胚 (四倍体)		2つの 8 細胞期胚の一方に四倍体胚 ^(注2) を用いて作製するキメラ。四倍体細胞は胎盤に分布して正常に機能するが、胎仔には分布しない。

(注 1) 斜線部分が遺伝的に異なる 2 種類の細胞からなる。

(注 2) 2 細胞期胚の割球を人工的に融合して四倍体化した胚を発生させたもの。

[文3]

ほとんどの動物は、精子に由来する父由来染色体と卵に由来する母由来染色体をもつ二倍体であり、多くの場合、どちらの染色体上の対立遺伝子もともに発現し得る。しかし、ほ乳類では、父由来染色体と母由来染色体は機能的に等価ではないことが知られている。たとえばある遺伝子座では、常に父由来染色体上の対立遺伝子のみが発現し、母由来の相同染色体上の対立遺伝子は不活性化されて発現しない(この逆のケースもある)。この現象は、親の始原生殖細胞において、その性に応じてオス型あるいはメス型の印が染色体上につけられるために起こるもので、「ゲノム刷り込み」とよばれている。ゲノム刷り込みのため、ほ乳類の正常な個体発生には、父由来と母由来双方の染色体が必要となる。⁽¹⁾

ここで、胎盤と胎仔の両方で発現する遺伝子 *A* に注目し、その個体発生における機能を知るためにキメラ作製を含む以下の実験を行った。なお、遺伝子機能の欠損によってある種類の細胞が正常につくられず組織の形成と機能に異常が生じる場合、正常細胞が混在したキメラを作製すると、失われるはずの細胞種を正常細胞が補い、組織は正常に形成されその機能も回復する。

実験1 まず、バイオテクノロジーの手法を用いて遺伝子型 *Aa* の ES 細胞を作製し (*A* は野生型、*a* は機能を完全に欠失させた対立遺伝子とする)、この ES 細胞と野生型 8 細胞期胚を用いてキメラ個体を作製した。そのうちの 1 匹のオスと野生型メスマウスをかけあわせたところ、得られた第 1 世代 (F1) マウスの 10% が 遺伝子型 *Aa* の個体であった。⁽²⁾ さらに、*Aa* 個体 (F1) と野生型個体のかけあわせから、表 1—2 の結果が得られた。

表 1—2 *Aa* 個体 (F1) と野生型個体のかけあわせで得られた F2 胎仔の表現型

かけあわせ	F2 胎仔の遺伝子型	
	<i>AA</i>	<i>Aa</i>
♀ <i>AA</i> × ♂ <i>Aa</i>	正常	正常
♀ <i>Aa</i> × ♂ <i>AA</i>	正常	妊娠中期に発生が停止

実験2 実験1の結果を受け、受精卵の移植実験を行った。F1個体のかけあわせで得られる受精卵を体外に取り出し、異なる遺伝子型のメスマウス(レシピエントとよぶ)に移植して胎仔を発生させたところ、表1—3の結果が得られた。なお、レシピエント自身の卵は受精しないため、それに由来する胎仔は存在しない。また、胚操作によるダメージの影響はないものとする。

表1—3 胚移植実験で得られたF2胎仔の表現型

受精卵を得た かけあわせ	レシピエント の遺伝子型	F2胎仔の遺伝子型	
		AA	Aa
♀AA × ♂Aa	AA	正常	正常
♀AA × ♂Aa	Aa	正常	正常
♀Aa × ♂AA	AA	正常	妊娠中期に 発生が停止
♀Aa × ♂AA	Aa	正常	妊娠中期に 発生が停止

実験3 実験1, 2において発生が停止したF2個体を精査したところ、そのすべてにおいて、胎盤の形態に顕著な異常が見られた。一方、発生が停止する直前の時期の胎仔には形態的な異常が認められなかった。このことから、「発生停止は胎盤の機能が不十分なために起こる二次的な表現型である」との仮説を立て、その検証のためのキメラ作製実験を計画した。キメラ作製実験でこの仮説を検証するには、発生が停止するはずの遺伝子型の^(工)個体において、胎盤のみに正常に機能する細胞を分布させて胎盤の機能を補完した場合の胎仔の表現型を見ればよい。

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 空欄1, 2にそれぞれ適切な漢字二文字を入れよ。

B 下線部(ア)について。図1—2は、胎盤における二酸化炭素分圧のときの、成体型ヘモグロビンと胎仔型ヘモグロビンの酸素解離曲線である。胎盤では成体型ヘモグロビンの40%が酸素結合型(酸素ヘモグロビン)であり、胎仔末梢組織における酸素分圧が10 mmHgであるとすると、胎仔末梢組織では血液100 mLあたり何 mLの酸素が放出されるか答えよ。ただし、酸素ヘモグロビン100%の状態の血液がすべての酸素を放出した場合、血液100 mLから20 mLの酸素が放出されるものとする。また、胎盤と胎仔末梢組織における二酸化炭素分圧の差、胎盤から胎仔末梢組織に達するまでの酸素の放出、および血漿しょうに溶解している酸素は無視できるものとする。

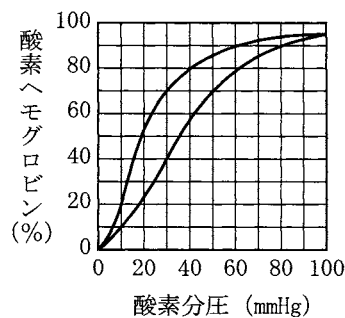


図1—2 ヘモグロビンの酸素解離曲線
2本の曲線のいずれか一方が成体型ヘモグロビンの、他方が胎仔型ヘモグロビンの酸素解離曲線を表す。

II 文2および文3について、以下の小問に答えよ。

A ES細胞と四倍体8細胞期胚を合わせてキメラを作製した場合、どのような細胞の分布が期待されるか。表1—1を参考に、1行程度で答えよ。

B 下線部(イ)について。マウスでは、二倍体である体細胞の核をもちいた核移植により、正常なクローン個体を得ることができる。しかし、精原細胞の核を移植してクローン胚を作製した場合には、精原細胞も二倍体であるにもかかわらず正常な個体まで発生するものはまったく得られない。その理由を3行程度で答えよ。

C 下線部(ウ)について。以下は、 Aa 個体が F1 世代の 10% であったこと
理由に関する考察である。空欄 3, 4 に適切な語を入れよ。なお、遺伝子 A
の機能は生殖細胞の分化や機能に必要なものとする。

考察：かけあわせに用いたオスキメラ個体において、 の
 % は野生型 8 細胞期胚に由来する細胞であった。

D 実験 2 により、 Aa の表現型を決定する条件について、何が否定された
か。1 行程度で答えよ。

E どちらも遺伝子型が Aa のメス個体とオス個体をかけあわせて得られた遺
伝子型 aa の個体は、すべてが妊娠中期に発生を停止し胎生致死の表現型を
示した。このかけあわせで得られる遺伝子型 Aa の個体に予想される表現型
と、その理由を、それぞれ 1 行程度で答えよ。

F 下線部(エ)について。表 1—1 を参考に、このキメラ作製実験に関する次の
考察の空欄 5 ~ 9 に当てはまる語の組合せで正しいものを以下の表からすべ
て選び、(1)~(8)の番号で答えよ。ただし、四倍体胚の遺伝子型も、便宜上そ
れらが由来する二倍体胚の遺伝子型を用いて表すものとする。

考察：遺伝子型 のメスと遺伝子型 のオスとのかけあわ
せから得られる 8 細胞期胚 (倍体) と、遺伝子型 AA の 8 細
胞期胚 (倍体) を用いてキメラを作製する。妊娠後期まで生
き残ったキメラの遺伝子型を解析し、遺伝子型 の細胞だけ
からなる正常な胎仔が確認されれば、胎仔の形態形成や体細胞の生存
には遺伝子 A は直接必要ではないことがわかる。

	5	6	7	8	9
(1)	Aa	Aa	二	四	Aa
(2)	Aa	Aa	二	四	aa
(3)	AA	Aa	四	四	Aa
(4)	AA	Aa	四	二	Aa
(5)	AA	Aa	四	二	aa
(6)	Aa	AA	二	二	aa
(7)	Aa	AA	二	四	Aa
(8)	Aa	AA	四	二	aa

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問

次の文1と文2を読み、IとIIの各問に答えよ。

〔文1〕

植物は、土壌から根を通して、さまざまな無機養分を吸い上げて利用している。この無機養分の中でも主要なものの一つに、無機窒素化合物が挙げられる。

土壌に存在する無機窒素化合物のかなりの部分は、生物の遺体や排出物に含まれる有機窒素化合物に由来する。有機窒素化合物は、土壌中の微生物のはたらきなどにより分解されて、アンモニウムイオン(NH_4^+)を生じる。ある種の土壤細菌やシアノバクテリア、マメ科植物と共生する根粒菌は、窒素固定により空気中の窒素分子(N_2)から NH_4^+ をつくることができる。これもまた窒素化合物の重要な供給源となる。このほか、栽培下では、肥料として窒素化合物が土壌に投入される。

土壌の NH_4^+ は、通常、硝化細菌によって、速やかに亜硝酸イオン(NO_2^-)へ、 NO_2^- はさらに硝酸イオン(NO_3^-)へと変換される。植物は一般に NH_4^+ と NO_3^- のどちらも吸収できるが、多くの植物にとって、より効率的に利用できるのは NO_3^- の方である。植物体内で、 NO_3^- は NO_2^- を経て NH_4^+ となる。この NH_4^+ と グルタミン酸から、グルタミン合成酵素により、グルタミンがつくられる。これは窒素同化の入り口の反応として、きわめて重要である。

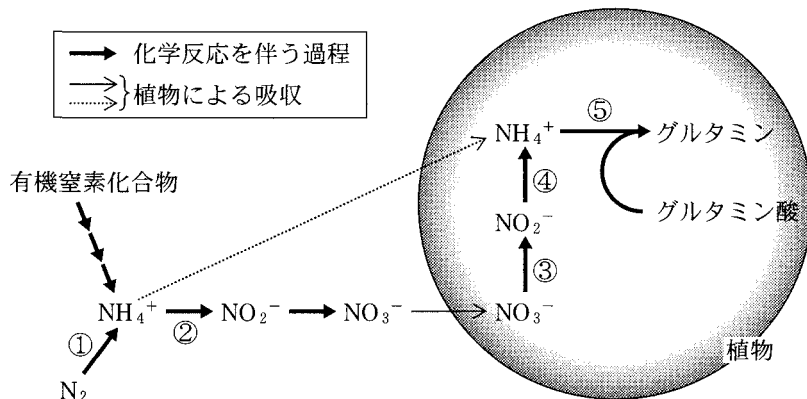


図2—1 植物の窒素同化に至る土壌中と植物体内における窒素化合物の変換の流れ

[文2]

マメ科植物の根に根粒菌が感染すると、組織の一部で細胞分裂が引き起こされる。細胞分裂により細胞集塊が形成され、その中に根粒菌が入り込んで増殖する。この細胞集塊は、やがて丸い瘤こぶのような構造体に発達する。これが根粒である。

根粒の中では、根粒菌が窒素固定を行い、 N_2 からつくった窒素化合物を宿主の植物に提供する。そのため、根粒をもつマメ科植物は、窒素分の乏しい土壌でも生育できる。一方、宿主の植物は光合成で生産した炭酸同化物を根粒菌に提供する。したがって、根粒は形成するときだけでなく、維持するのにも相応のコストがかかる。マメ科植物は、根粒が増えすぎないように、根粒数を適正に調節するしくみを備えており、必要な窒素を獲得しつつ、過剰なコスト負担を回避している。この調節に関しては、ダイズやミヤコグサ(注1)などを材料として、活発に研究が行われている。こうした研究により、根に根粒が形成されると、(1)根が根粒形成を知らせるシグナルを生成して地上部に送る、(2)地上部がこれを受けて新たな根粒形成を抑制するシグナルを生成し根に送る、(3)根がこの抑制シグナルを受けて根粒形成を停止する、という3つの段階からなる機構がはたらい根粒数を制限することがわかってきている。

(注1) ミヤコグサは小型のマメ科植物で、遺伝学的解析によく用いられる。

実験1 ダイズの根粒過剰着生変異体 x は、野生型に比べ、数にして10倍以上の根粒を形成する。過剰な根粒形成が植物の成長に与える影響を調べるために、この変異体 x と野生型に根粒菌を感染させ、16日後、20日後、36日後に植物体を回収して、乾燥重量を測定した。結果をまとめると、表2-1のようになった。なお、根粒が十分に発達し、野生型と変異体 x との間で根粒量の違いがはっきりしてきたのは14日後以降であった。

表2-1 ダイズの野生型と根粒過剰着生変異体 x の植物体乾燥重量

	16日後	20日後	36日後
野生型	0.32 g	0.45 g	1.80 g
根粒過剰着生変異体 x	0.30 g	0.38 g	0.96 g

実験 2 発芽直後のダイズの主根を切り取り，発根を促すことによって，根系が大きく 2 つに分かれた植物体を用意した。図 2—2 のように，これらの根系を別々の容器に入れ，それぞれに独立に根粒菌を感染させられるようにした。2 つの根系に同時あるいは時間差をつけて根粒菌を感染させ，各根系に生じた根粒の数の変化を調べたところ，図 2—3 に示すような結果が得られた。

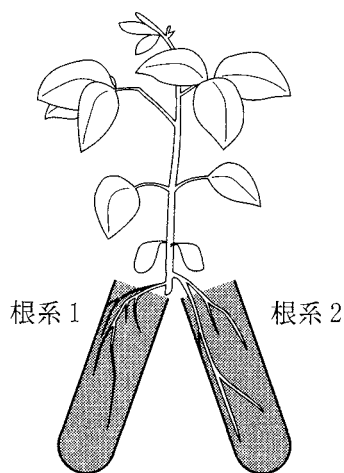


図 2—2 根系が 2 つに分かれたダイズ

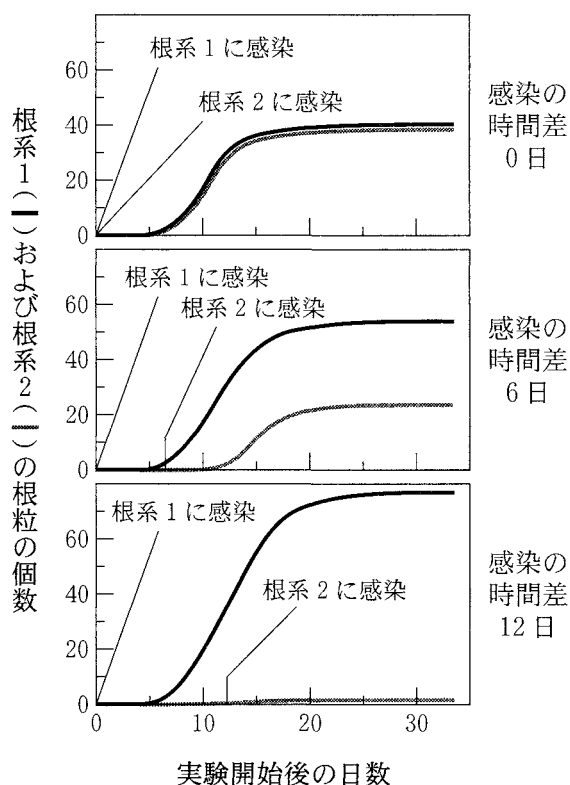


図 2—3 ダイズの 2 つの根系に時間差をつけて根粒菌を感染させたときの根粒数の変化
根系 1 と根系 2 の根粒数をそれぞれ黒色と灰色の曲線で表す。

実験3 ミヤコグサの根粒過剰着生変異体 *y* は、タンパク質 Y の機能を欠損している。変異体 *y* と野生型のミヤコグサを用いて、図2—4のように茎の基部で接ぎ木を行い、地上部と根が遺伝的に異なる植物体を作出した。この植物体の根に根粒菌を感染させ、十分な時間をおいて、根粒の増加がほぼ止まってから、生じた根粒の数を測定したところ、図2—5に示すような結果が得られた。

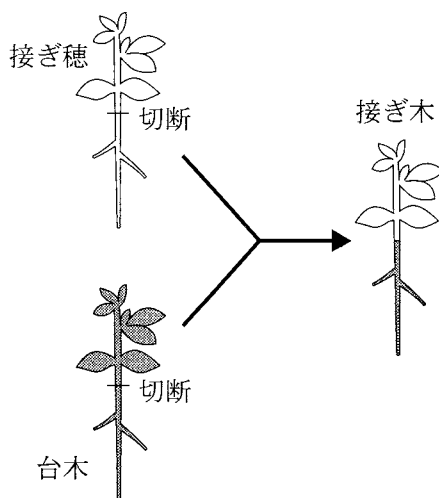


図2—4 地上部と根が遺伝的に異なる植物体を作出するためのミヤコグサの接ぎ木

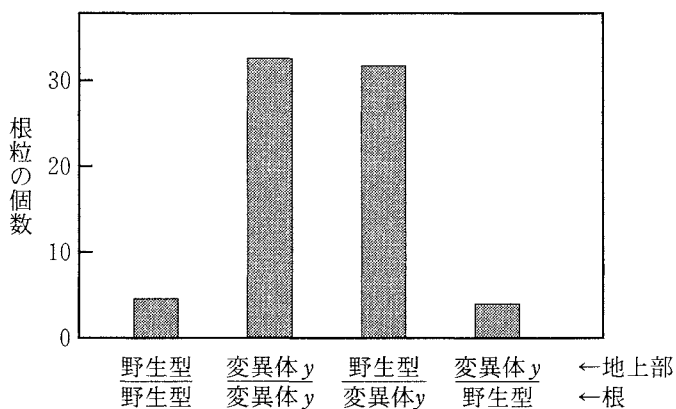


図2—5 地上部と根が遺伝的に異なるミヤコグサにおける根粒形成

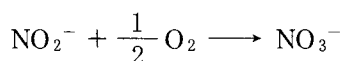
[問]

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(ア)について。次の物質のうち、窒素を含む有機化合物はどれか。該当するものすべてを選び、過不足なく答えよ。

RNA, ATP, グリコーゲン, コラーゲン, 脂肪, DNA, 乳酸, 尿酸

B 下線部(イ)について。NO₂⁻ から NO₃⁻ への変換は、硝化細菌の硝酸菌による酸化反応で、電子伝達系を動かし、ATPの生産をもたらす。NO₂⁻の酸化反応は、まとめて書くと、



となるが、実際には電子伝達系に電子を与える反応(電子供与反応)と電子伝達系から電子を受け取る反応(電子受容反応)から成り立っている。この電子供与反応と電子受容反応を、[H]またはe⁻を用いて、それぞれ反応式で示せ。

C NO₂⁻ から NO₃⁻ への反応のほかに、生物がエネルギーを取り出せる窒素化合物の変換反応はあるか。図2-1の反応①~⑤の中にエネルギーを取り出せる反応があれば、それをすべて選び、番号で答えよ。ない場合は、なしと答えよ。

D 下線部(ウ)について。グルタミン合成酵素による反応は、通常、植物の生育にとって必須である。実際、グルタミン合成酵素阻害剤のグルホシネートは、除草剤として用いられている。グルホシネートで植物を処理すると、窒素同化が遮断されると同時に、NH₄⁺の蓄積が起きる。高濃度のNH₄⁺は毒性を示すので、グルホシネートが植物を枯らす要因としては、窒素同化産物の欠乏のほかに、NH₄⁺の蓄積の可能性も考えられる。グルホシネートによる除草で、このどちらが植物枯死の直接の引き金になっているかを見極めるためには、どのような実験を行ったらよいか。2通りの実験を考案し、それぞれについて要点を2行程度で述べよ。

II 文2について、以下の小問に答えよ。

- A 実験1について。盛んに成長している植物では、乾燥重量が2倍になるのにかかる日数(ここでは倍加日数と呼ぶ)がほぼ一定している。そのため、植物間の成長速度を比較するには、倍加日数がよい指標となる。表2-1の結果から、野生型と変異体 x のそれぞれについて、16日後~36日後の期間における倍加日数を求め、小数点以下を四捨五入して、整数で答えよ。なお、倍加日数を算出するにあたっては、必要に応じ、第2問の最後にある方眼紙または片対数方眼紙を用いよ。
- B 実験2では、根粒菌感染の時間差によらず、根系1と根系2の根粒の総数は最終的にほぼ同じで、一定していた。この理由を下線部(エ)のしくみにもとづいて考察し、4行程度で説明せよ。
- C 実験3の結果は、タンパク質Yが根で根粒数の調節にはたらくことを示している。下線部(エ)のしくみにもとづくくと、Yは段階(1)または段階(3)に関わっていると考えられる。このどちらであるかを知るために、図2-6のような接ぎ木を野生型と変異体 y の間で行って、遺伝的に異なる2つの根系をもつ植物体を作成し、両根系に同時に根粒菌を感染させて、根粒形成を調べる実験を計画した。実験に先立ち、野生型どうし、変異体 y どうしの組合せで接ぎ木を行って調べたところ、図2-7(A)に示すような結果が得られた。野生型と変異体 y の組合せの接ぎ木で、根系1が野生型、根系2が変異体 y のときには、どのような結果が予想されるか。Yが段階(1)に関与する場合と、段階(3)に関与する場合のそれぞれについて、最も適当なものを図2-7(B)のa~iの中から1つずつ選んで答えよ。

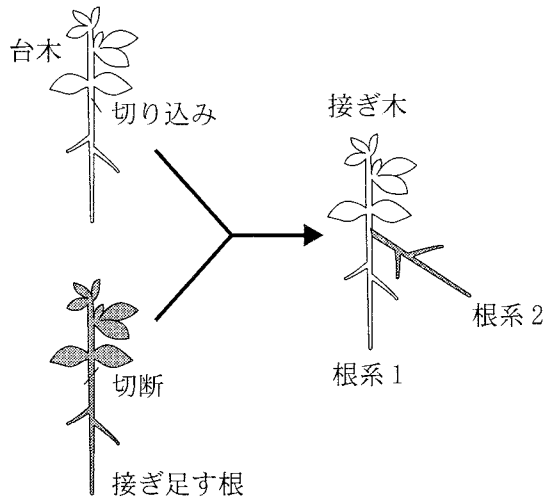


図2—6 遺伝的に異なる2つの根系をもつ植物体を作成するための
ミヤコグサの接ぎ木

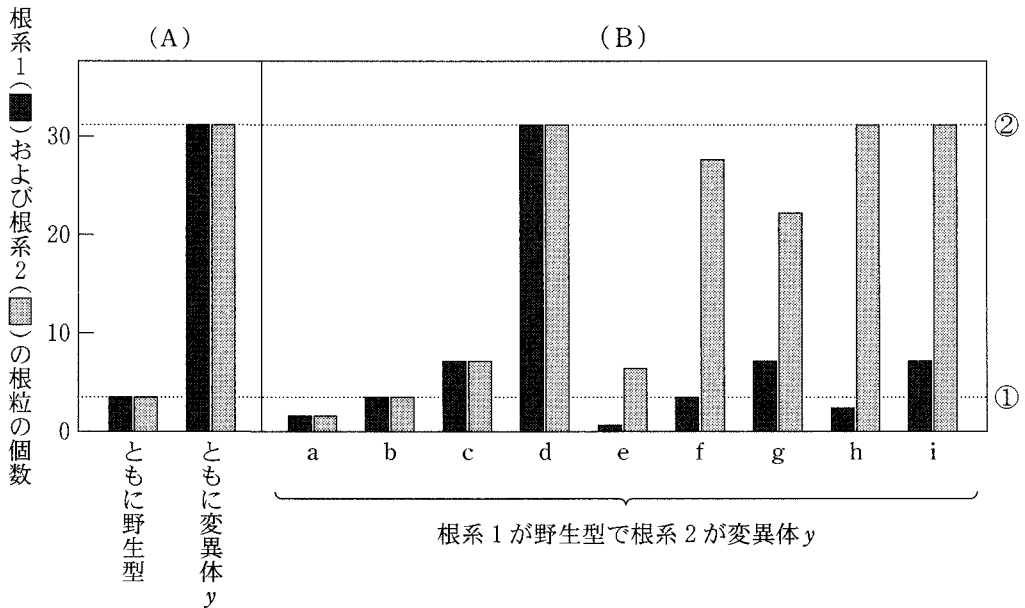
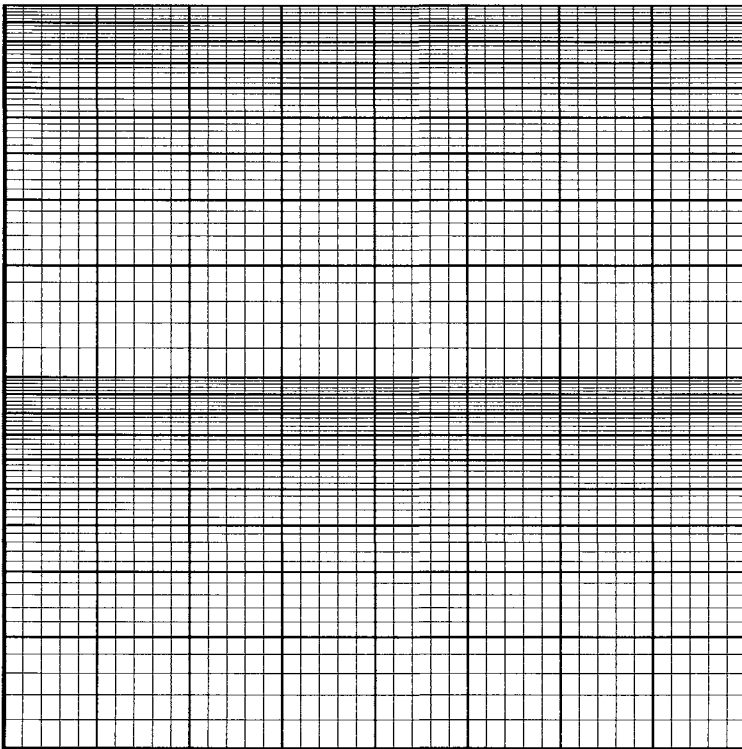
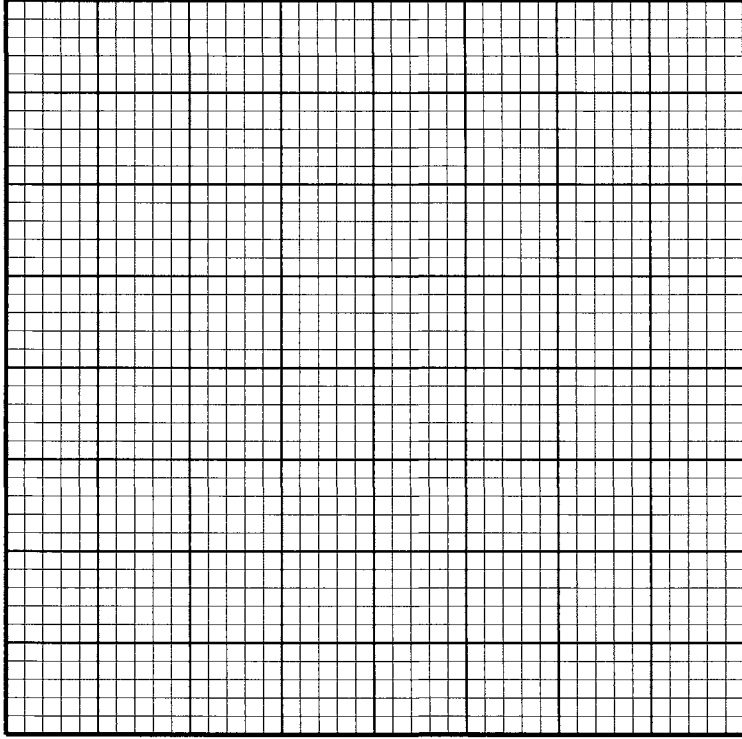


図2—7 遺伝的に異なる2つの根系をもつミヤコグサにおける根粒形成
根系1と根系2の根粒数をそれぞれ黒色と灰色の柱で表す。また比較のために、(A)
の野生型どうしの接ぎ木実験における根系当たり根粒数のレベルと、変異体y
どうしの接ぎ木実験における根系当たり根粒数のレベルを、水平の点線①と②で示す。

草 稿 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

次の文1から文3を読み、IからⅢの各問に答えよ。

〔文1〕

生物において、DNAの遺伝情報はRNAに転写され、さらにタンパク質に翻訳される。また、遺伝情報は細胞増殖に伴って母細胞から娘細胞に伝えられる。細胞が増殖する際に、分裂した細胞が再び分裂を起こすまでの過程を細胞周期という。細胞周期は、細胞分裂が進行するM期とそれ以外の間期に大別され、間期はさらにG1期、G2期、およびS期に区分される。細胞周期のS期において染色体DNAは忠実に複製されて倍加する。

実験1 増殖中のヒト培養細胞の集団から、その一部を採取し、DNAと結合すると蛍光を発する色素を用いて染色した。この方法を用いると個々の細胞内のDNA量を蛍光強度として検出することができる。その結果、図3-1に示すようなグラフが得られた。

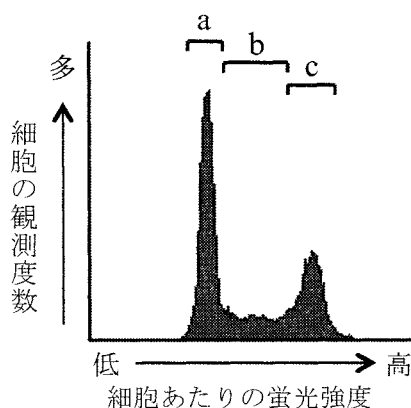


図3-1 細胞あたりの蛍光強度と細胞の観測度数の関係

〔文2〕

細胞周期が正しく進行するには、細胞周期の各段階がそれぞれ誤りなく完全に終了した後に、次の段階に移行する必要がある。たとえば、DNA複製が完了する前に細胞分裂が始まると、生じる娘細胞は完全な染色体DNAを引き継ぐことができず、結果として細胞増殖に重大な影響が出てしまう。このようなことが起こらないように、細胞は、細胞周期の各ステップが完全に終了したかどうか、異常が起きていないかどうかを確認する機構を有している。このような細胞周期監

視機構の存在は、最も単純な真核生物の一種である出芽酵母(以後、酵母とよぶ)を用いた実験によって解明された。自然界で酵母は二倍体として存在するのみならず、染色体を一組のみもつ一倍体として生育することもできる。一倍体細胞では、各遺伝子が細胞あたり一つずつ存在するため、遺伝子変異が起こると、その影響が直接、細胞の表現型として現れる。このような性質は、特定の機能をもつ遺伝子を同定するのに有用であることから、実験では主に一倍体の酵母が用いられている。

正常な酵母は、X線照射によって染色体の2本鎖DNAが切断されると、損傷部位と同じ配列をもつDNAを利用して修復する。このような修復は、主に細胞周期のG2期で起こることが知られているが、これは染色体の損傷を修復する際にDNA複製によって生じたもう一組の染色体を利用するからである。一方、G1期やM期の酵母細胞は、X線によるDNA損傷を修復することができず、そのほとんどが死滅してしまう。DNA損傷に対する細胞応答の制御には、さまざまな遺伝子が関与することが知られているが、その多くが一倍体酵母細胞を用いた解析によって同定された。

実験2 盛んに増殖している酵母を寒天培地上に散布してX線を照射し、その10時間後に、G2期にある細胞の割合を定量的に計測した。また、X線を照射してから3日後に、形成されたコロニー(生存した細胞が増殖してできた塊)数をカウントし、細胞の生存率を計測した。その結果、表3—1(上段)に示すように、正常な酵母細胞では、少量のX線照射によって、G2期にある細胞の割合が著しく増加し、最終的に50%の細胞が生き残ることがわかった。また、多量のX線を照射すると、G2期にある細胞の割合がさらに増加した。一方、DNA損傷を修復する酵素が完全に機能を失っている変異細胞Aや、未知の遺伝子に欠失がある変異細胞Bでは、表3—1(中段、下段)に示す結果となった。

表 3—1 X線照射後の細胞周期分布および細胞生存率の変化

細胞	X線照射量	X線照射10時間後にG2期にある細胞の割合(%)	X線照射3日後に生存している細胞の割合(%)
正常細胞	なし	5	100
	少量	50	50
	多量	70	30
変異細胞 A	なし	10	100
	少量	1	2
変異細胞 B	なし	5	100
	少量	20	30
	多量	45	1

実験 3 次に、紡錘体形成を阻害する特殊な薬剤で処理することによって細胞周期を人工的にG2期で停止させた酵母細胞(正常細胞および変異細胞 B)にX線を照射し、その後直ちに薬剤を除去して培養を続けた。1～2時間おきに細胞を観察して、細胞周期が再び回り始めG2期から次の段階へ進んだ細胞の割合を調べたところ、図3—2のような結果が得られた。なお、酵母の細胞周期は1周期が約2時間である。

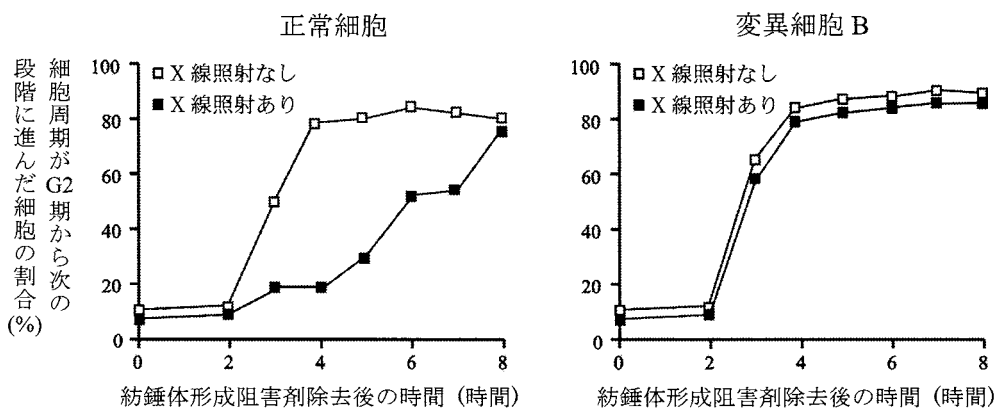


図 3—2 紡錘体形成阻害剤除去後に細胞周期が進行した細胞の割合

X線を照射した細胞および未照射の細胞から得られたデータをそれぞれ■と□で示す。

〔文 3〕

細胞内で、遺伝情報にもとづいて合成されるタンパク質の一部は酵素であり、増殖や分化、代謝など、多彩な細胞機能の調節に重要な役割を果たしている。酵素活性をもつタンパク質は、酵素として働く領域や、その活性を制御する領域など、異なる機能をもつ複数の領域から構成されているものが多い。人工的に遺伝子変異を導入して、タンパク質の特定の領域のみを欠失させることで、酵素タンパク質分子内の各領域が、どのような機能を有しているかを詳細に解析できる。

実験 4 マウスの細胞内に存在するタンパク質 X は、5つの領域(a~e)から構成されるタンパク質分子であり(図 3—3 左上)、分子内のどこかに酵素として働く領域をもっている。このタンパク質 X の酵素活性を調節するメカニズムを明らかにするため、細胞内でタンパク質 X と特異的に結合する分子を探索したところ、新たなタンパク質 Y が得られた。タンパク質 Y は、ふだんは細胞内にほとんど発現していないが、ホルモン Z で細胞を刺激すると、その発現量が著しく増加することがわかっている。そこで、タンパク質 Y がタンパク質 X の酵素活性にどのような影響を与えるかを調べるため、以下の実験を行った。

まず、タンパク質 X およびタンパク質 Y を、バイオテクノロジーの手法を用いて大腸菌内で大量合成し、別々に精製した。得られた各タンパク質を試験管内に少量ずつ取り分け、タンパク質 X のみが存在する状態、およびタンパク質 X とタンパク質 Y の両方が存在する状態で、タンパク質 X の酵素活性を測定した。また同時に、タンパク質 X 分子内の5つの領域(a~e)をさまざまに欠失させた7種類のタンパク質(欠失型タンパク質 I ~ VII)を作製して、同様の実験を行ったところ、図 3—3 の棒グラフのような結果となった。ただし、反応に用いた各タンパク質の量や酵素活性の測定条件は同一である。また、タンパク質 X の a~e 領域以外の部分に特別な機能はなく、タンパク質 Y はタンパク質 X の酵素領域とは直接結合しないことがわかっている。

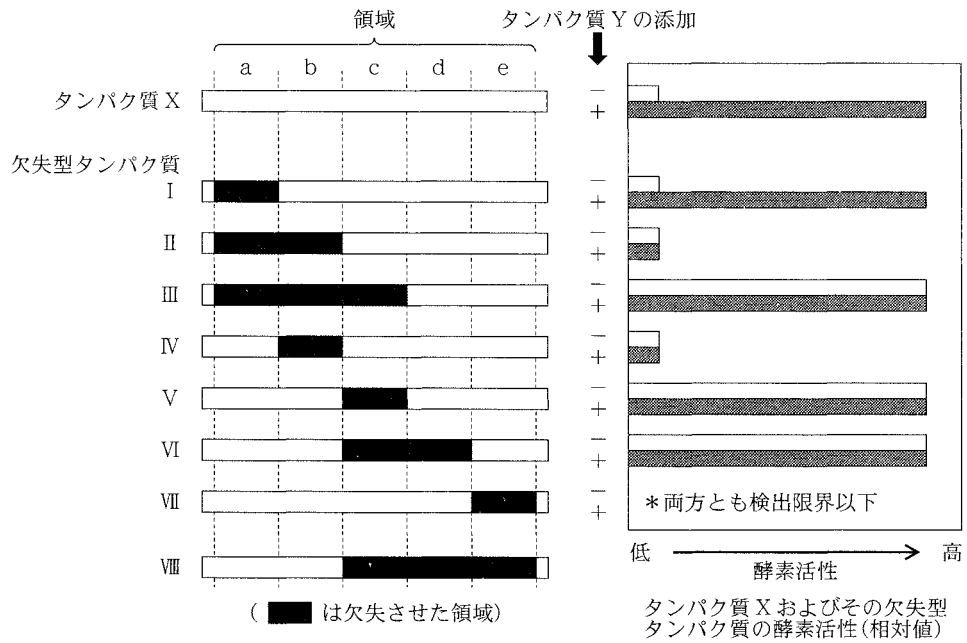


図 3—3 タンパク質 X と各欠失型タンパク質の構造(左)およびタンパク質 Y 添加による酵素活性の変化(右) (「+」および「-」は、タンパク質 Y の有無を示す)

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(ア)について。以下の(1)~(4)の文章のうち、間違っているものをすべて選んで、その番号を記し、それぞれについて、どこが間違っているかを簡潔に説明せよ。

- (1) 真核生物の核 DNA は、ヒストンとよばれるタンパク質に巻きついた状態で存在している。
- (2) 原核生物の RNA ポリメラーゼはプロモーターに直接結合するが、真核生物の RNA ポリメラーゼは、プロモーター領域に結合し、転写する際に、基本転写因子を必要とする。
- (3) 免疫グロブリンの多様性は、主として、免疫グロブリン遺伝子から転写される RNA が選択的スプライシングを受けることで生み出されている。
- (4) 6 塩基対の配列を認識する制限酵素を用いて染色体 DNA を処理した場合、切断される塩基配列の出現頻度は、計算上、4096 塩基対に 1 回である。

B 下線部(イ)について。細胞周期の各期(G1, G2, S, M)の細胞は、図3-1に示す領域 a~cのうち、どの領域に含まれるか。G1—○領域, G2—□領域, のように答えよ。

II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 表3-1の空欄1および空欄2に入る数字の組合せとして最も適切なものを以下の(1)~(8)から1つ選べ。

1

2

1

2

(1) 5 ————— 5

(2) 5 ————— 20

(3) 20 ————— 20

(4) 20 ————— 80

(5) 50 ————— 50

(6) 50 ————— 80

(7) 80 ————— 5

(8) 80 ————— 50

B X線照射後の細胞の生存率が、正常細胞と比較して変異細胞Bで低下しているのはなぜか。表3—1および図3—2で示した実験結果をもとに考察し、3行程度で説明せよ。

C 変異細胞Bで欠失している遺伝子が、DNA損傷修復酵素をコードする遺伝子ではないことを確認するために、どのような実験を行ったらよいか。紡錘体形成阻害剤を利用した実験を考案し、予測される結果とともに3行程度で説明せよ。

III 文3について、以下の小問に答えよ。

A タンパク質X分子内で酵素としての活性をもつのは、a～eのうち、どの領域であると考えられるか、記号で答えよ。

B タンパク質Yは、タンパク質Xのどの領域に結合すると予想されるか、記号で答えよ。

C タンパク質X分子内のc領域は、酵素活性の調節において、どのような役割を果たしているかと推測されるか。最も適切なものを以下の(1)～(6)から1つ選べ。

(1) タンパク質Xとタンパク質Yの結合を促進する。

(2) タンパク質Xとタンパク質Yの結合を抑制する。

(3) タンパク質Xの酵素活性を増強する。

(4) タンパク質Xの酵素活性を抑制する。

(5) タンパク質Xの立体構造を安定化する。

(6) タンパク質Xの立体構造を不安定化する。

D 細胞をホルモンZで刺激するとタンパク質Xの酵素活性は、どのように変化すると考えられるか。タンパク質X分子内の各領域による酵素活性の制御メカニズムを含めて、3行程度で説明せよ。

E タンパク質 X と新たに作製した欠失型タンパク質Ⅷ(図 3—3 ; c/d/e 領域を欠失しており, a/b 領域のみからなる)を試験管内で混合した後, タンパク質 Y を加えて反応させた。このとき, 欠失型タンパク質Ⅷを加えることによって, タンパク質 X の酵素活性にどのような影響が認められるか。次の考察の空欄 3 と空欄 4 に入る最も適切な語句を, 以下の選択肢(1)~(5)からそれぞれ 1 つ選んで番号で答えよ。ただし, 同じ語句を 2 度用いてもよい。

考察：加えた欠失型タンパク質Ⅷの量が, タンパク質 X およびタンパク質 Y の量より十分に多いとき, 反応液中のタンパク質 X の酵素活性は, 欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して 。一方, タンパク質 Y の量が, 欠失型タンパク質Ⅷおよびタンパク質 X の量よりも十分に多いとき, 反応液中のタンパク質 X の酵素活性は, 欠失型タンパク質Ⅷが存在しない場合と比較して 。

選択肢：

- (1) 高くなる (2) 高くなった後, 低くなる (3) 低くなる
(4) 低くなった後, 高くなる (5) 同等である

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

地 学

第1問 近年、太陽以外の恒星のまわりを回る惑星(太陽系外惑星)が多数見つかっている。恒星Sのまわりを回る惑星Pについて、以下の問いに答えよ。なお、恒星及び惑星はすべて球体であり、表面の温度は一様でシュテファン・ボルツマンの法則に従うエネルギー放射を行っているとは仮定する。シュテファン・ボルツマン定数を σ 、円周率を π とする。数値での解答にはすべて有効数字2桁で答え、計算過程も示せ。また、必要に応じて $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{7} = 2.65$, $\sqrt{10} = 3.16$ を用いよ。

問I 恒星Sの表面温度が T_s 、半径が R_s 、惑星Pの半径が R_p 、恒星Sと惑星Pの距離が a であるとき、惑星Pの表面温度 T_p を推定したい。

- (1) 恒星Sから放射された全エネルギーは、惑星Pの位置では半径 a の球面に均等に分配される。このことから、恒星Sから惑星Pに単位時間あたりに入射する全エネルギー E_{in} を R_s , R_p , T_s , T_p , a , σ , π のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 惑星Pの表面から単位時間あたりに放射される全エネルギー E_{out} を R_s , R_p , T_s , T_p , a , σ , π のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 惑星Pの表面では E_{in} と E_{out} がつり合う熱平衡状態になっている。このとき、惑星Pの表面温度 T_p を R_s , R_p , T_s , a , σ , π のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) (3)の関係式を用いて、地球の表面温度 T_E を推定してみよう。 $R_s = 7.0 \times 10^8$ m(太陽半径), $T_s = 5800$ K(太陽の表面温度), $R_p = 6.4 \times 10^6$ m(地球半径), $a = 1.5 \times 10^{11}$ m(1天文単位)とする。このとき、 T_E を計算せよ。
- (5) 実測された地球の平均地表気温は、(4)で求めた T_E よりも高い。その違いの原因を1つあげよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問Ⅱ 図1—1のように、恒星Sと惑星Pが互いの共通重心(恒星と惑星の2つをあわせた重心)のまわりをA→B→C→D→A→・・・の順に円運動していると
する。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、恒星Sの質量を M_S 、惑星P
の質量を M_P 、公転周期を t 、恒星Sと惑星Pの距離を a 、恒星Sの共通重心
のまわりの軌道半径を a_S とする。

(1) a_S を M_S 、 M_P 、 a を用いて表せ。

(2) 光のドップラー効果を利用すると、観測者に対する恒星Sの速度を測定
することができる(以下、これを「視線速度」という)。共通重心は観測者に対
して運動しないとすると、視線速度の時間変動は図1—2のように正弦関数
として観測される。この視線速度の振幅 K が $M_P/\sqrt{a(M_S + M_P)}$ に比例す
ることを示せ。ただし、観測者は恒星Sから十分離れた位置におり、惑星P
の公転軌道と観測者は同一平面上にあるとする。

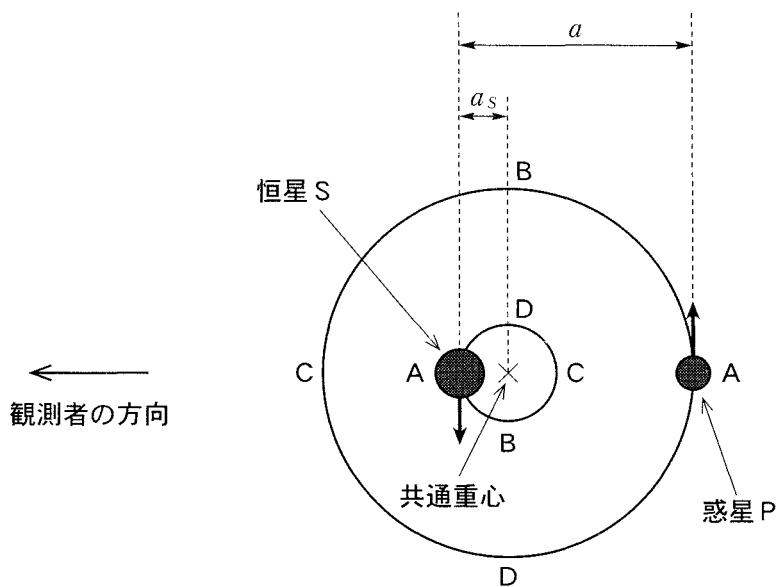


図1—1 軌道面に垂直な方向から見た恒星Sと惑星Pの軌道。
観測者は、恒星Sから十分離れた位置にいる。

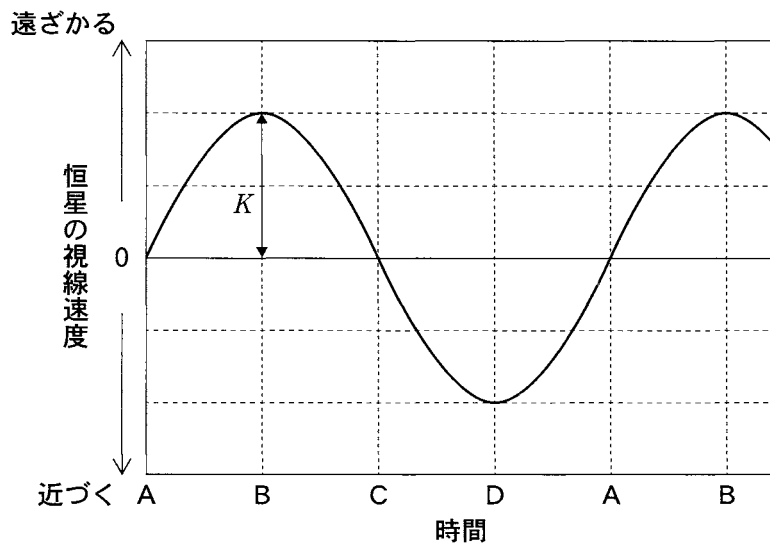


図1—2 恒星Sの視線速度の時間変化。横軸のABCD
は、図1—1のABCDに対応する。

問Ⅲ 質量が太陽の半分の主系列星 S' のまわりを回る、地球と同じ質量をもつ惑星 P' を考える。惑星 P' の表面温度が問Ⅰの T_E と等しいとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 主系列星では、恒星質量 M と単位時間あたりの全放射エネルギー L の間にはおおよそ $L = AM^4$ の関係がある (A は比例係数)。このとき、恒星 S' と惑星 P' の距離は何天文単位になるか求めよ。
- (2) 地球により生じる太陽の共通重心まわりの回転速度は 0.089 m/s であることを用いて、惑星 P' により生じる恒星 S' の視線速度の振幅を求めよ。ただし、観測者は惑星 P' の公転軌道と同一平面上におり、惑星 P' の質量は恒星 S' の質量と比べて十分に小さいとする。
- (3) 太陽系外惑星の探索には、恒星の視線速度の変動を測定する手法がよく用いられる(視線速度法)。視線速度法を用いて、主系列星のまわりを回る地球と同じ質量で同じ表面温度の惑星を探索することを考えると、重い恒星を観測するほうが容易か、軽い恒星を観測するほうが容易か、理由とともに1行程度で述べよ。

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。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 大気と海洋に関する以下の問Ⅰ～Ⅲに答えよ。

問Ⅰ 太平洋の黒潮は亜熱帯環流と呼ばれる大規模な時計回りの環流の一部である。以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 亜熱帯環流はどのような風によって形成されているか、1～2行程度で説明せよ。
- (2) 図2—1は太平洋における亜熱帯環流の様子を表している。図のAにおいて海面の高さはまわりに比べて高いか低いか、海水に働く力のつり合いを述べた上で、2～3行程度で答えよ。ただし、亜熱帯環流は地衡流であるとする。
- (3) 図2—2は太平洋での海洋による北向き熱輸送量 H を示したものである。北緯30度付近の H のすべてが亜熱帯環流によって担われていると仮定すると、その緯度における北向きと南向きの海流の平均的な水温差 ΔT を推定できる。亜熱帯環流の流量を V 、海水の比熱(単位質量あたりの熱容量)を C_p 、密度を ρ としたとき、 ΔT を H 、 V 、 C_p 、 ρ を用いて表せ。また、 $V = 3.0 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $C_p = 4.0 \times 10^3 \text{ J/kg/K}$ 、 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ としたとき、 ΔT の値を有効数字1桁で求めよ。

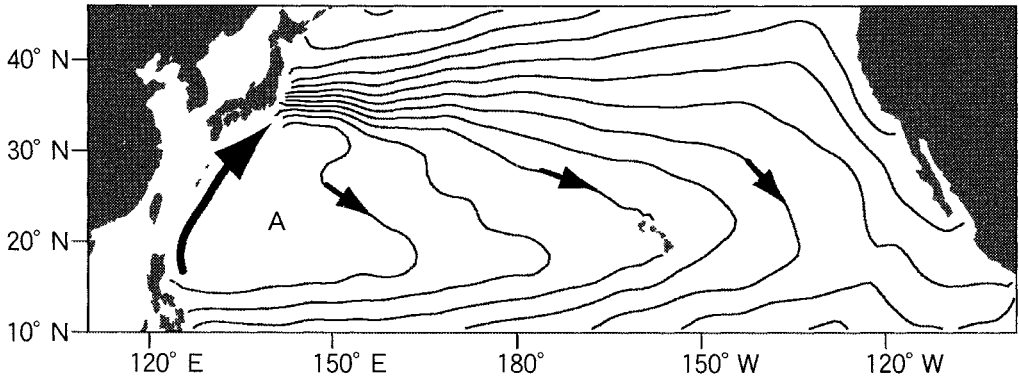


図 2—1 太平洋における亜熱帯環流の様子。実線は海面の高さの等値線，矢印は海流の向きを示している。陸地近くでの等値線は省略してある。

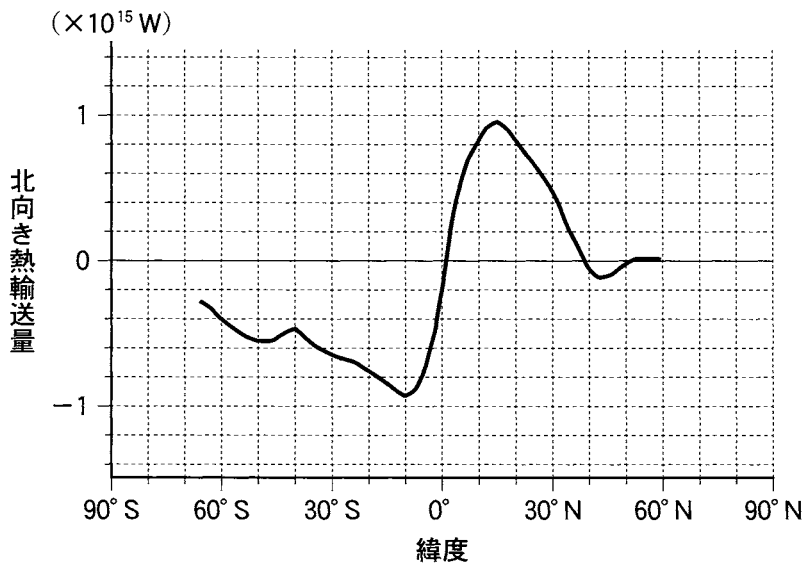


図 2—2 太平洋での海洋による北向き熱輸送量

問Ⅱ 地上において温度 10°C の空気が、強制的に上空に持ち上げられる場合を考える。持ち上げられる空気の温度と高度の関係は、図 2—3 の細かい実線と太い実線で表されるものとする。空気に含まれる水蒸気の量は、 1 kg の空気に対して何 g の水蒸気を含むかで定義される混合比という量で表される。相対湿度 100% の空気は、飽和混合比として表される量の水蒸気を含んでいる。持ち上げられる空気 A, B について、水蒸気の混合比はそれぞれ 3 g/kg と 5 g/kg であるとする。以下の(1)~(3)に答えよ。

(1) 持ち上げられる空気 A, B のそれぞれについて、雲ができ始める高度が何 km であるかを図から読み取り、小数点以下 1 桁で答えよ。

(2) 雲ができ始めた後に、持ち上げられた空気が自然に上昇を始めたとする。このようなことが起こるのは、まわりの空気の高さ方向の温度分布(気温減率)がどのような場合か、1~2行で答えよ。

(3) 人工衛星から赤外線で雲を撮影する装置と同じ装置を使って、地上から空気 A, B にできた雲を撮影する。雲は赤外線に対して完全に不透明であり、撮影される物体からの赤外線が強いほど、写真にはより黒く写るものとする。このとき、空気 A, B にできた雲は、どちらがより黒く写るか、理由を含めて 1~2行で答えよ。

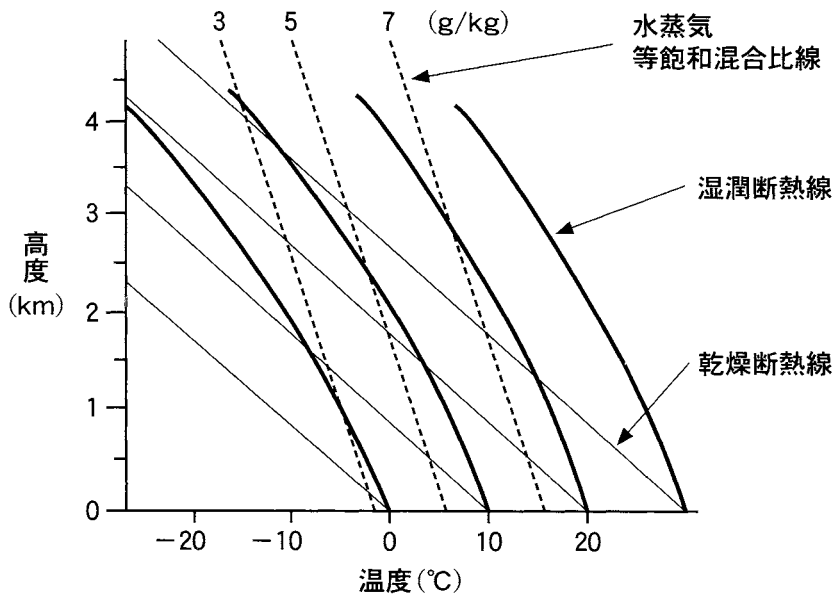


図 2—3 上昇する空気の温度の変化(細い実線と太い実線)。破線は、混合比が 3, 5, 7 g/kg のときに水蒸気が凝結する温度を表す等飽和混合比線を示す。

問Ⅲ 地球大気の大規模な循環を調べるために、回転水槽を用いた実験が行われることがある。図2—4は、異なる条件のもとで行った回転水槽実験における流れを、水槽の上から見たものである。これと現実の大気大循環に関して以下の(1)~(3)に答えよ。

(1) 図2—4の流れについて、以下の文章のア~ウに当てはまる語を答えよ。

図の(a)に見られる同心円状の流れは地球大気の に相当すると考えられ、水槽の回転と同じ向きで、かつ水槽よりも速く流れている。このとき、外壁近くの水位は内壁近くよりも く、地衡風のバランスを考えると整合的である。一方、図の(b)に見られる流れは、 に加えて波動が生成していることを意味するが、これは地球大気で と呼ばれるものに対応する。図の(a)において、暖められた外壁付近では上昇流が、冷やされた内壁付近では下降流が作られ、これらが鉛直循環を形成する。
①

(2) 地球大気は、図の(a)、(b)どちらの特徴ももつが、回転水槽実験では条件を変えることで(a)から(b)へ遷移する。この条件をあげ、それをどう変えたときに遷移が生じるかを簡潔に1行で述べよ。ただし、(a)と(b)では同じ水槽を用いており、媒質も変えないものとする。

- (3) 下線部①にともなう水槽の底付近の流れについて、以下のA～Iから正しいものを3つ選べ。
- A. $x-x'$ の方向では、圧力傾度力が、転向力と摩擦力の合力とほぼつり合う。
 - B. 底面の摩擦が大きいと、外壁に向かう流れの成分が弱められる。
 - C. $x-x'$ の方向では、転向力が、圧力傾度力と摩擦力の合力とほぼつり合う。
 - D. 回転台に乗って見る底面付近の流れは、水槽の回転と逆向きである。
 - E. $x-x'$ の方向では、摩擦力が、圧力傾度力と転向力の合力とほぼつり合う。
 - F. 回転台に乗って見ると底面付近の流れは静止している。
 - G. 底面の摩擦が大きいと、外壁に向かう流れの成分が強められる。
 - H. 回転台に乗って見る底面付近の流れは、水槽の回転と同じ向きである。
 - I. 外壁に向かう流れの成分の大きさは、底面の摩擦の大きさにはよらない。

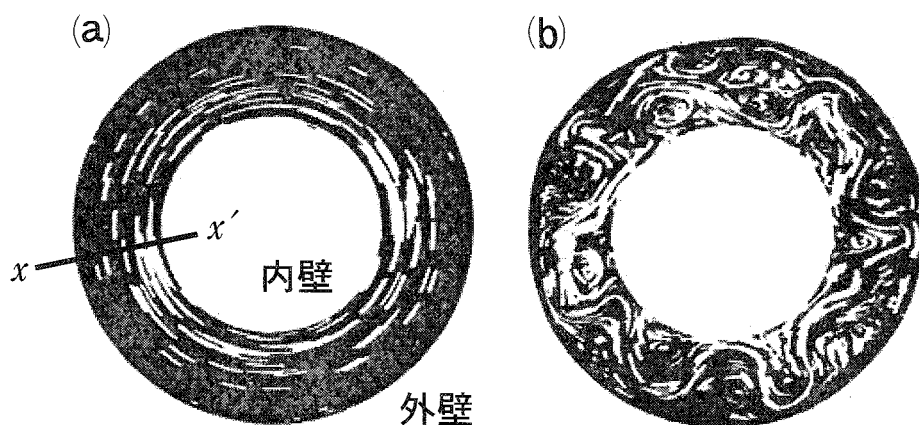


図2—4 回転水槽実験で現れる流れの様子を、水槽の上から見たもの。水槽は2つの円筒で挟まれたドーナツ型で、回転台に乗せられており、内壁側を冷やし、外壁側を暖めて温度差を作っている。図の黒い部分は水を表しており、アルミニウム粉末で白く流れを可視化している。(a)の $x-x'$ は動径方向を表す。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 以下の問Ⅰと問Ⅱに答えよ。

問Ⅰ 地球内部の熱と地震発生のエネルギーに関する以下の問いに答えよ。

- (1) 地球内部の温度は、内側へ行くほど高くなり、地球の中心では約 5000 °C に達すると考えられている。地球の内部がこのように高温であることには、主に2つの理由がある。1つは、地球が形成されるときに集積した物質の力学的エネルギーが、熱として蓄積されたためである。もう1つの理由を1行程度で説明せよ。
- (2) 高温の地球内部から低温の地表に向けて流れ出る熱量を地殻熱流量といい、単位面積を単位時間に流れ出る熱量で表す。地殻熱流量の地球全体の平均値が 0.085 W/m^2 であるとき、地表から1年間に放出される熱エネルギーを有効数字1桁で求めよ。解答には計算の過程も示せ。ただし、地球の半径を $6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 、1年を 3.2×10^7 秒とする。
- (3) 海溝付近と海嶺付近の地殻熱流量にはどのような違いがあると考えられるか、理由とともに1～2行で述べよ。
- (4) 次の文を読み、空欄 ～ に当てはまる数値を、以下の(a)～(m)から選べ。また、 ～ に当てはまる数値を、計算の過程も示しつつ、有効数字1桁で答えよ。 $\sqrt{10} = 3.2$ とし、必要ならば数学公式

$$a + ar + ar^2 + ar^3 + \dots = \frac{a}{1-r} \quad (0 \leq r < 1)$$

を用いよ。

地球内部の熱はプレート運動の原動力であり、プレート運動と地震発生は密接に関係している。地震により1年間に放出されるエネルギーを概算し、(2)で求めた熱エネルギーと比較してみよう。地震のマグニチュード M は四

捨五入して整数値として扱う。例えば、 $3.5 \leq M < 4.5$ はすべて $M = 4$ とする。起こりうる最大の地震のマグニチュードを $M = 9$ とし、そのエネルギーを $2 \times 10^{18} \text{ J}$ とする。

地震の発生頻度はマグニチュードが1小さくなるごとにおよそ10倍になる。これはグーテンベルグ・リヒター則と呼ばれる。一方、地震1個のエネルギーはマグニチュードが1小さくなるごとに 倍になる。

50年間に $M = 9$ の地震が10個発生し、地震の発生頻度がグーテンベルグ・リヒター則に従う場合に、地震のエネルギーの総和を考える。グーテンベルグ・リヒター則から $M = 8$ の地震は100個発生し、 $M = 8$ の地震のエネルギーの合計は $M = 9$ の地震のエネルギーの合計の 倍になる。同様に考えると、 $M = 7$ の地震は 個発生し、そのエネルギーの合計は $M = 9$ の地震の合計の 倍になる。この考えを無限に小さな地震にまで繰り返すと、エネルギーの総計は Jになる。そのうち $M \leq 6$ の地震のエネルギーが占める割合は %である。

この50年間の総計から、地震により1年間に平均して放出されるエネルギーを計算すると、それは(2)で求めた地球の熱エネルギーの %に相当する。

- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| (a) $\frac{1}{1000}$ | (b) $\frac{\sqrt{10}}{1000}$ | (c) $\frac{1}{100}$ |
| (d) $\frac{\sqrt{10}}{100}$ | (e) $\frac{1}{10}$ | (f) $\frac{\sqrt{10}}{10}$ |
| (g) 1 | (h) $\sqrt{10}$ | (i) 10 |
| (j) $10\sqrt{10}$ | (k) 100 | (l) $100\sqrt{10}$ |
| (m) 1000 | | |

問Ⅱ 石英は地殻の主要な構成鉱物の1つであり、その化学式は SiO_2 である。

SiO_2 は、温度・圧力の変化にともなって、いくつかの異なった結晶構造をもつ鉱物として存在し、それらが安定に存在する温度・圧力の領域は図3—1のように示される。

- (1) このように、同じ化学組成でも異なった結晶構造をもつ鉱物どうしを何と呼ぶか述べよ。また、このような例を SiO_2 以外に1つあげて、化学式と相当する鉱物名を2つ答えよ。
- (2) 温度 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 、圧力 $3.5 \times 10^9\text{ Pa}$ の地球深部で、コース石を含んだ岩石が形成され、この岩石が造山運動で地表に上がって来たとする。この岩石から薄片試料を作って、偏光顕微鏡を使って観察したところ、図3—2のようにコース石を取り囲んで石英が存在しており、さらにその周囲にある輝石に放射状の割れ目が観察された。この割れ目がどのようにして形成されたかを2～3行程度で説明せよ。
- (3) 図3—1で示すようなコース石やスティショバイトなどの超高压下で安定な鉱物が形成される場所は、通常は地球深部である。しかし、コース石やスティショバイトは、ある自然現象によって、地表でも形成されることが分かっている。この自然現象は何か答えよ。

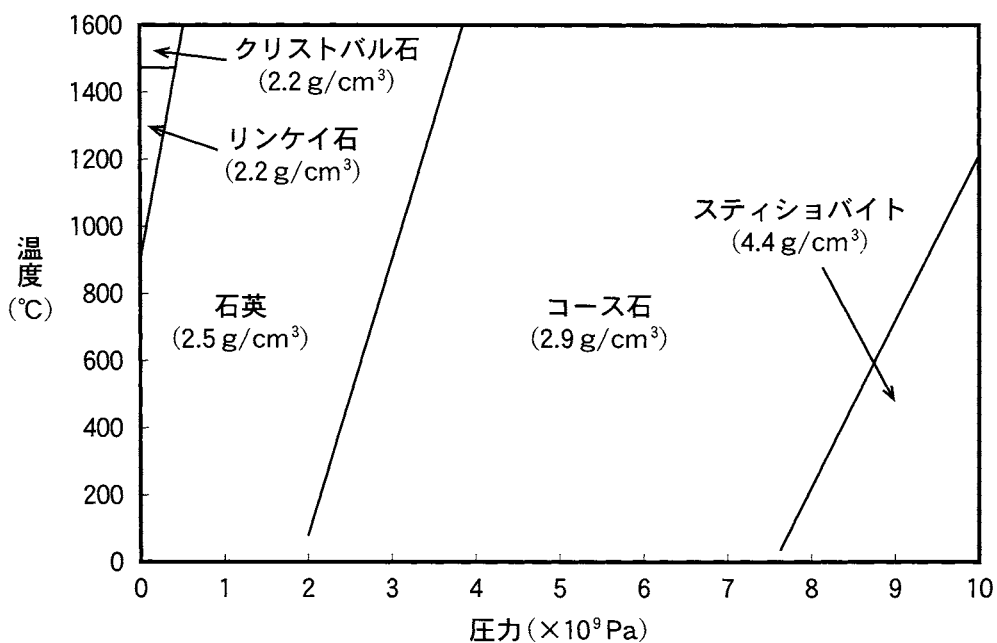


図 3—1 さまざまな温度・圧力下で安定に存在する SiO_2 鉱物。それぞれの鉱物名の下に数字は密度を表している。

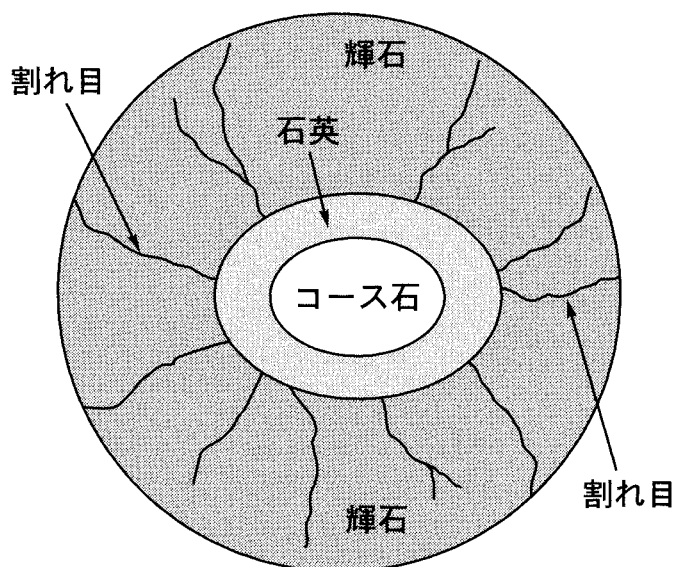


図 3—2 コース石を含んだ薄片の模式的スケッチ

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。)