

入 学 試 験 問 題

理 科



(配点 120 点)

令和 8 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 91 ページあります(本文は物理基礎・物理 4～21 ページ, 化学基礎・化学 22～41 ページ, 生物基礎・生物 42～71 ページ, 地学基礎・地学 72～91 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 物理基礎・物理, 化学基礎・化学, 生物基礎・生物, 地学基礎・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。記入がある場合は, 解答が無効となることがあります。
- 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。記入がある場合は, 解答が無効となることがあります。
- 9 解答用紙表面上方に記載された科目名のうち, その用紙で解答するものにチェックしなさい。
- 10 解答用紙表面の上部にある切り取り欄のうち, その用紙で解答する科目の分のみ 1 箇所をミシン目に沿って正しく切り取りなさい。
- 11 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。)

物理基礎・物理

第1問

路面上を走る一輪車の運動を考えよう。図1—1のように、一輪車と搭乗者を、動力が内蔵された車輪が先端に付いた剛体棒としてモデル化する。この剛体棒は太さと密度が一様であり、その長さ、質量はそれぞれ L 、 m である。車輪の大きさと質量は考えなくてよい。ここでは、車輪と路面間にはたらく摩擦力は静止摩擦力のみとし、その静止摩擦係数を μ とする。この車輪付き剛体棒がすべらずに運動するとき、剛体棒は車輪と路面間の摩擦力を介して加速、減速する。重力加速度の大きさを g とする。空気抵抗は無視してよい。

- I まず、剛体棒が水平面上で等加速度直線運動をする場合を考える。図1—1のように、剛体棒が進行方向に加速するとき、車輪と路面の間ですべらずに加速することができる加速度の大きさの最大値を求めよ。

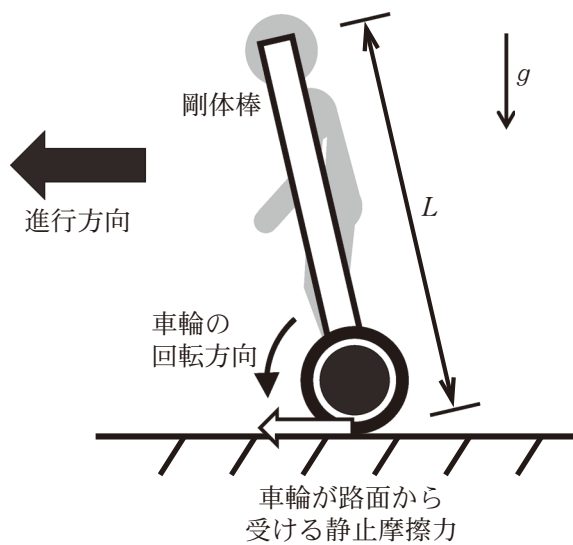


図 1—1

II 次に、図1—2のように剛体棒が水平な路面上で円運動をする場合を考える。

図1—3は、図1—2中の剛体棒を進行方向の真後ろから見た図である。円運動の中心軸から車輪と路面の接触点までの水平距離を R とする。ここで、 $L \ll R$ であり、剛体棒が傾くことによる重心の円運動軌道の半径の変化は無視してよい。また、簡単のため剛体棒の進行方向への傾きは考えなくてよい。

- (1) 図1—3において、剛体棒と水平面がなす角を θ とする。剛体棒が速さ v_0 で等速円運動をしている場合の $\tan \theta$ を v_0 , R , g のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 前問II(1)において、剛体棒がすべらずに等速円運動をすることができる速さの最大値を v_1 とする。 v_1 を求めよ。
- (3) 速さ $v_0 (< v_1)$ で等速円運動をしている状態から、半径 R を保ったまま、剛体棒を進行方向に一定の加速度の大きさ a でごく短時間のあいだ加速させる。このとき、車輪と路面の間にはたらく静止摩擦力の大きさを求めよ。ただし、車輪と路面間にすべりは生じていないものとする。
- (4) 前問II(3)において、剛体棒がすべることなく加速できる a の最大値を求めよ。

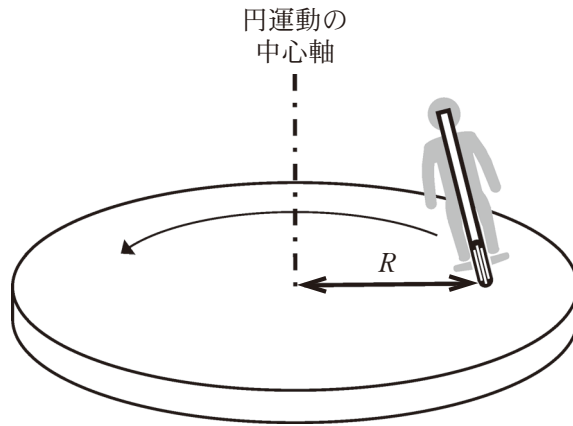


図 1—2

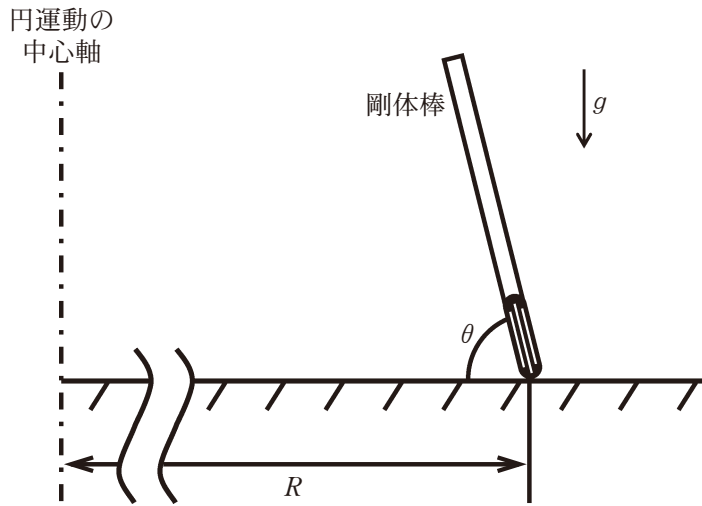


図 1—3

Ⅲ 最後に，図 1—4 のように剛体棒がすりばち状の路面上を円運動する場合を考える。図 1—5 は，図 1—4 中の剛体棒を進行方向の真後ろから見た図である。路面と水平面のなす角を φ ($0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$) とする。また，設問Ⅱと同様に円運動の中心軸から剛体棒と路面の接触点までの水平距離を R とする。 $L \ll R$ であり，剛体棒が傾くことによる重心の円運動軌道の半径の変化は無視してよい。また，簡単のため剛体棒の進行方向への傾きは考えなくてよい。

- (1) 図 1—5 において，剛体棒と水平面がなす角を θ とする。剛体棒が速さ v_0 で等速円運動をしている場合の $\tan \theta$ を v_0 ， R ， g ， φ のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 剛体棒がすべらずに等速円運動をすることができる速さの最大値を v_2 とする。 v_2 を求めよ。ただし， $\tan \varphi < \frac{1}{\mu}$ とする。
- (3) 高速道路のカーブや競輪のコースでは，外側が高くなるように勾配がついている。この理由について，設問Ⅱ(2)およびⅢ(2)の結果にもとづいて簡潔に述べよ。

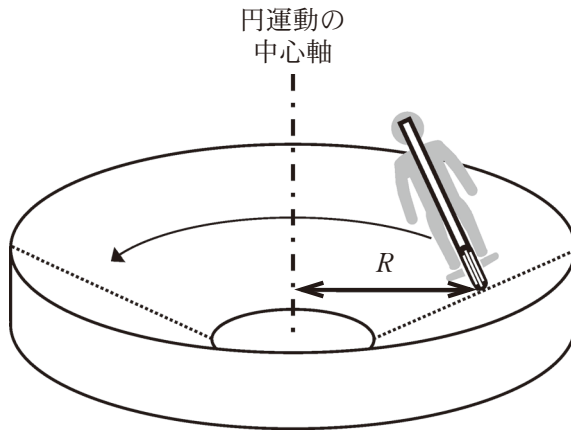


図 1—4

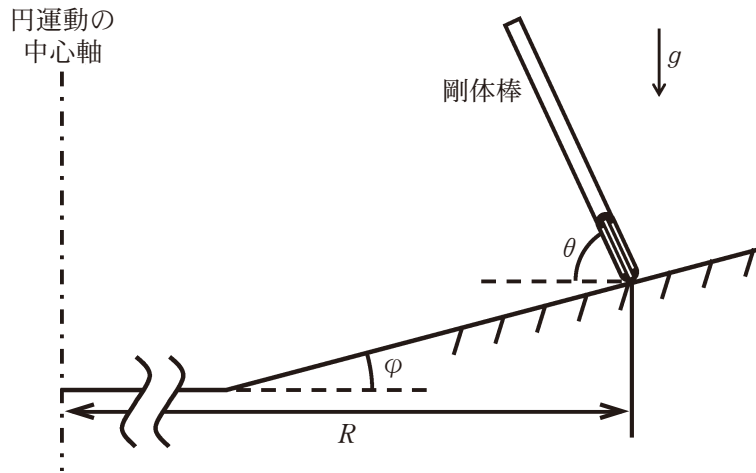


図 1—5

第2問

図2—1のような、円形レール上を回転する導体棒を含む回路を考える。導体でできた半径 l の円形レールが水平面上に設置され、中心点には導電性の回転軸が設置されている。それらの上には、質量をもつ導体棒が渡してある。導体棒は、その一端が回転軸で支持されており、もう一端を円形レールに接触させたまま水平面内で回転することができる。円形レールと回転軸は、それぞれ端子 P と端子 O で抵抗や切り替えスイッチ等に接続されている。抵抗の値は R である。円形レール内には、磁束密度 B の一様な磁場が、鉛直上向き(紙面の裏から表の向き)にかけられている。ただし、円形レールの太さや回転軸の大きさは無視できるものとする。導体棒は変形せず、円形レールと回転軸以外には接触しない。摩擦や空気抵抗、円形レールや導体棒の電気抵抗や接触抵抗、回路を流れる電流が作る磁場の影響は無視できるものとする。

- I スイッチを開放したまま導体棒を一定の角速度 ω_1 で回転させたところ、端子 O と端子 P の間に起電力 E_1 が生じた。この起電力は、係数 α を用いて $E_1 = \alpha \omega_1$ と表される。微小な時間内に導体棒が横切る領域を貫く磁束を考え、係数 α を l, B を用いて答えよ。符号は問わない。
- II 導体棒を静止した状態に戻したうえで、スイッチを端子 X に入れ、電圧 V の直流電源に接続した。直流電源の内部抵抗は無視できるものとする。
- (1) スイッチを端子 X に入れた直後に導体棒の回転軸周りにはたらく力のモーメントの大きさを V, l, B, R を用いて表せ。符号は問わない。ただし、導体棒は太さが一定であり、一様な密度をもつものとする。
- (2) その後、導体棒が回転軸の周りを回転し始めた。図2—1の(あ)、(い)のどちら向きに回転したか答えよ。
- (3) 十分時間が経過した後、導体棒は一定の角速度 ω_2 で回転し続けた。この角速度 ω_2 の大きさを V, α, l, B, R から必要なものを用いて表せ。符号は問わない。

III 設問II(3)のように導体棒が角速度 ω_2 で回転している状態で、スイッチを端子 Y に切り替え、容量 C_1 を持つコンデンサー 1 に接続する。導体棒の回転は徐々に緩やかになり、十分に時間が経過した後、一定の角速度 ω_3 で回転し続けた。このとき、コンデンサー 1 に蓄えられているエネルギーを ω_3 , a , l , B , C_1 から必要なものを用いて表せ。ただし、最初はコンデンサー 1 には電荷は蓄えられていなかったものとする。

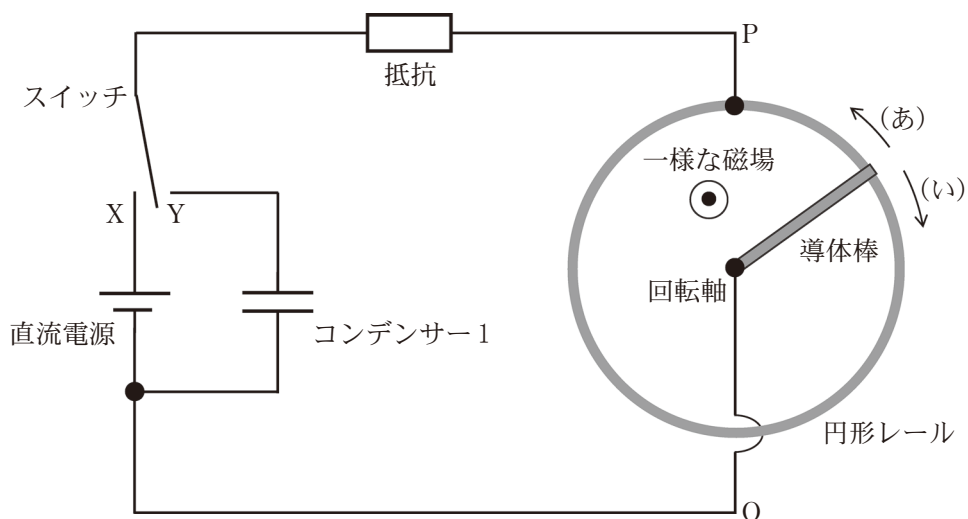


図 2—1

IV 設問Ⅱ，Ⅲの操作の結果は，図2—2のように，端子O-P間の部分を仮想コンデンサー(コンデンサー2)とみなすことでも理解できる。コンデンサー2は実際のコンデンサーと同様の性質をもつ。つまり，端子間の電圧 V_2 ，仮想的な容量 C_2 と仮想的な電荷 Q_2 の関係式，および蓄えられる静電エネルギーは，実際のコンデンサーと同じ式で表される。

- (1) 物体が回転しているとき，その物体は回転による運動エネルギーをもつ。導体棒が一定の角速度 ω で回転しているとき，その運動エネルギーは，定数 β を用いて $\frac{1}{2}\beta\omega^2$ と表すことができる。これに等しいエネルギーがコンデンサー2に静電エネルギーとして蓄えられていると解釈するとき， Q_2 と C_2 を，それぞれ ω ， α ， β を用いて表せ。
- (2) 図2—2において設問Ⅱ，Ⅲと同じ操作を考える。すなわち，スイッチを端子Xに入れて十分時間が経過した後，スイッチを端子Yに切り替え，十分に時間を経過させる。この操作の結果，コンデンサー1に蓄えられているエネルギーを V ， C_1 ， C_2 を用いて表せ。ここで，スイッチを端子Yに切り替えた後，コンデンサー1とコンデンサー2に蓄えられる電荷の和は変化しないと考えてよい。
- (3) 設問Ⅲと設問Ⅳ(2)の結果から，設問Ⅲの ω_3 を V ， α ， C_1 ， C_2 を用いて表せ。

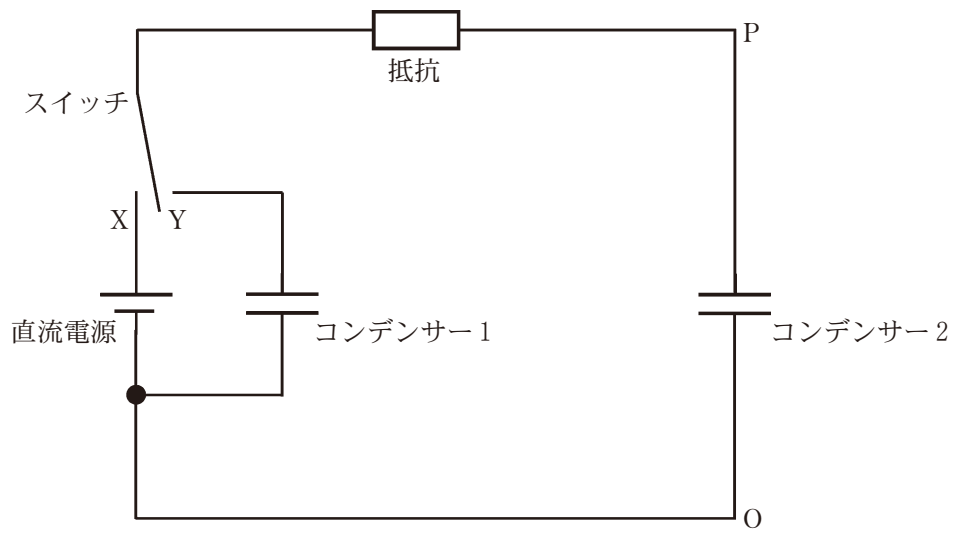


図 2—2

第3問

レンズによって物体の実像をスクリーン上に投影することを考える。ただし、レンズの厚みは無視できるものとする。

I ここでは光が進む様子を光線としてとらえよう。図3-1のように、焦点距離が d の凸レンズ L_1 を用いて、 d に比べはるかに大きい距離 D ($D \gg d$)にある高さ H の物体 A の像を、スクリーン S に投影することを考える。

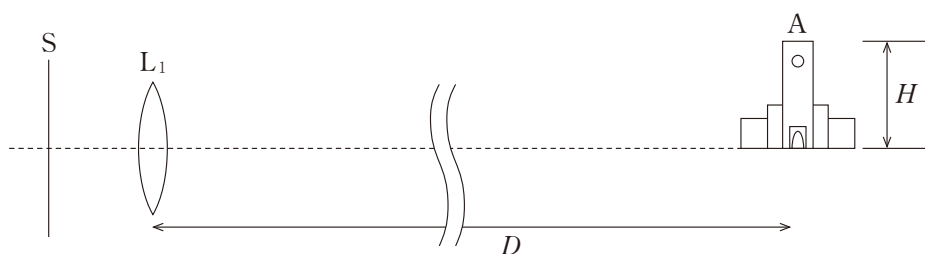


図3-1

- (1) スクリーンに明瞭な像を投影するためには、レンズ L_1 とスクリーン S との距離をレンズの焦点距離 d と等しくすればよい。このことを、物体と実像とレンズの位置関係を表すレンズの式を用いて、簡潔に説明せよ。

- (2) この結像について述べた下の文章の空欄(ア), (イ)に入る式と語の組み合わせとして最も適当なものを, 下の表の(a)~(f)のうちから一つ選べ。

十分遠方の物体 A から発せられた光のうち, レンズ L_1 の中央を通る光は直進することに注意すると, スクリーン S 上の像の高さ h は $h = (\text{ア})$ となる。これより, スクリーン上に物体の像をより大きく投影するためには, 焦点距離が, より (イ) レンズを用いればよいことがわかる。

	(ア)	(イ)
(a)	$\frac{Hd}{D}$	短 い
(b)	$\frac{Hd}{D}$	長 い
(c)	$\frac{HD}{d}$	短 い
(d)	$\frac{HD}{d}$	長 い
(e)	$\frac{Dd}{H}$	短 い
(f)	$\frac{Dd}{H}$	長 い

実際のカメラの望遠レンズ(十分遠方の物体の像を大きく投影するレンズ)の構成について考えよう。図3—2は凸レンズ L_2 と凹レンズ L_3 を用いて、図の右側の十分遠方に置かれた物体の明瞭な像をスクリーン S に投影する様子を示している。凸レンズ L_2 の焦点距離は $5d$ であり、それぞれのレンズとスクリーンとの間の距離は図3—2に示すとおりである。

- (3) 光軸に平行で、かつ光軸から距離 w だけ離れて L_2 に入射する光線⑥に注目する。この光線は L_2 により屈折して L_2 の焦点 P_1 に向かうが、途中で L_3 により再び屈折して、スクリーン S 上の位置 P_2 で光軸と交わる。このとき、レンズ L_3 の焦点距離を、 d を用いて表せ。また、この光線がスクリーンに達する際に光軸となす角 α に対して、 $\tan \alpha$ を d 、 w を用いて表せ。
- (4) 図3—2で示したレンズ L_2 および L_3 による組み合わせレンズを、適切な位置に置いた単一の凸レンズに置き換えて、前問I(3)で注目した光線⑥を光軸となす角度 α で点 P_2 を通過させることを考える。このとき、この凸レンズの焦点距離を d を用いて表せ。
- (5) 実際に用いられる望遠レンズは、図3—2のようなレンズの構成となることが多い。単一の凸レンズを用いた場合と比較して、その利点を簡潔に述べよ。

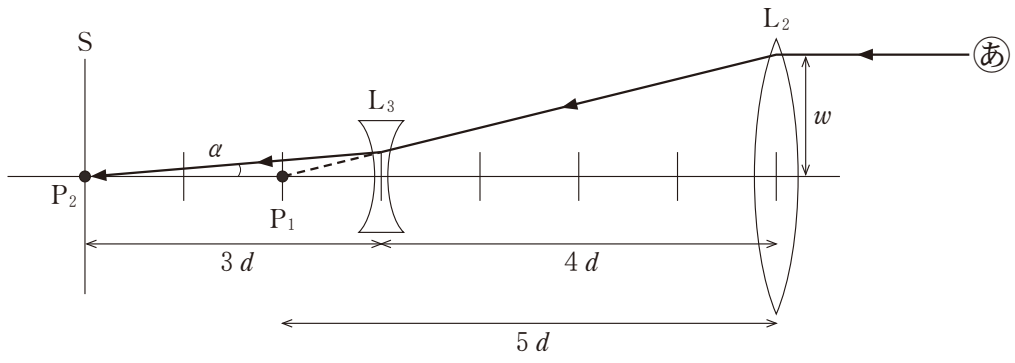


図 3—2

II 設問 I では光の伝わり方を光線で示したが、実際には光は波であるために物体上の一点から出た単色光をレンズで投影しても、像がわずかにぼやける(ボケが生じる)。光の波長を λ としてこのボケの大きさを考えよう。図 3—3 のように、1 枚の凸レンズ L によって十分に遠方にある物体の像をスクリーン S に投影する場合を考える。レンズ L の半径は R であり、焦点距離は d である。図のように十分に遠方に置かれた物体の光軸上の一点から発せられた光は L に平面波として入射するが、L を通過した後は球面波となって焦点 O に集束してゆく。L を通過した直後の波面 W は、焦点 O を中心とする半径 d の球面と考えてよい。焦点 O を原点、光軸を x 軸、スクリーンに沿って y 軸をとる。以下では $|\varepsilon| \ll 1$ のとき、 $\sqrt{1 + \varepsilon} \approx 1 + \frac{\varepsilon}{2}$ の近似式を用いてよい。

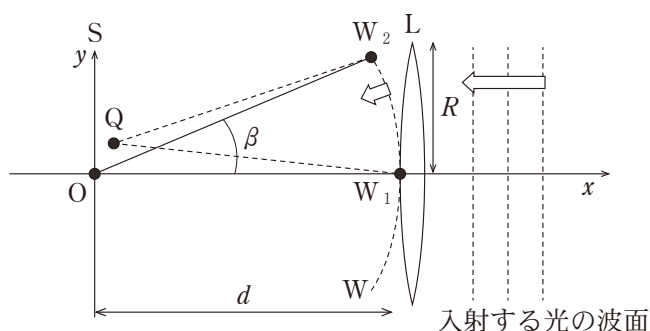


図 3—3

- (1) 図 3—3 に示されるように、波面 W 上のすべての点から焦点 O までの距離は等しい。このため焦点 O には、レンズを通過した光はすべて同じ位相で到達し、点 O は明るくなる。一方、焦点 O の近傍の位置 $Q(x, y)$ では到達する際の光の位相は異なってくる。このとき波面 W 上にあるレンズの端近傍の点 $W_2(d \cos \beta, d \sin \beta)$ から Q までの距離を $\overline{W_2Q}$ 、レンズ中央部の点 $W_1(d, 0)$ から Q までの距離を $\overline{W_1Q}$ とする。ここで角度 β は直線 OW_2 と光軸のなす角である。このとき光路差 $\Delta L = \overline{W_2Q} - \overline{W_1Q}$ を、 d を用いずに x, y, β のみで表せ。ただし $\tan \beta = R/d$ であり、 $|x|, |y| \ll d$ とする。

- (2) スクリーン上に点 $Q(0, y)$ があるとする。スクリーン上の像のボケの大きさは、前問Ⅱ(1)で求めた光路差が光の半波長 $\lambda/2$ となるときの Q の y 座標の値で与えられるものとする。このボケの大きさを、 β , λ を用いて表せ。
- (3) 前問Ⅱ(2)で、 $d = 12 \text{ cm}$, $R = 5.0 \text{ cm}$, $\lambda = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ のとき、ボケの大きさを求めよ。さらに物体とレンズ間の距離が $D = 1.2 \times 10^2 \text{ m}$ であるとき、このスクリーン上でのボケの大きさは、物体上でどれくらいの大きさに対応するか求めよ。
- (4) スクリーンを焦点 O から光軸に沿ってレンズ L に近づけたときに、ほぼ明瞭な物体の像を結ぶことができるスクリーン位置の許容範囲を考えよう。この許容範囲は、点 Q を x 軸上で動かしたとき、設問Ⅱ(1)で求めた光路差 ΔL が光の半波長 $\lambda/2$ と等しくなるまでの範囲と考えるものとする。点 Q の座標を $Q(x, 0)$ とするとき、この許容範囲を与える x の値を、 β , λ を用いて表せ。

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。)

化学基礎・化学

第1問

次の文章を読み、問ア～コに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	C	O
原子量	1.0	12	16

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

ファラデー定数 $F = 9.6 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

我々の身の回りの物質は原子から構成され、原子と原子は電子を介して結合を形成する。その結合の強さは原子の組み合わせや結合のしかたにより異なるため、結合を組み替える化学反応にはエンタルピー変化が伴う。

環境に配慮したエネルギー源として、植物由来のエタノールや、近年注目を集める水素を利用する取り組みが進められている。水素の製造方法のひとつに、メタンを原料とする化学反応を利用する方法がある。

化学反応に伴う電子を電流として直接取り出す装置を電池という。燃料電池では、燃料となる物質のもつ化学的なエネルギーを、電気エネルギーとして取り出すことができる。多くの場合、水素を燃料として、これに空気中から取り込む酸素を反応させて水を生成する過程で電気エネルギーを得る。電池とは逆に、電圧をかけて電流を流すことで化学反応を起こすことを電気分解という。太陽光発電などにより得られる電気エネルギーで水を電気分解して水素を得る取り組みも、再生可能エネルギーの観点から注目されている。

[問]

ア 下線部①に関して，以下の(1)~(5)の中から，誤りを含むものをすべて選べ。
すべて正しい場合には「なし」と答えよ。

- (1) 炭素原子間の結合により構成されるダイヤモンドと黒鉛の結晶は，どちらも同じ密度である。
- (2) 共有結合している2原子からなる分子をばらばらの2つの原子へ引き離すのに必要なエネルギーを活性化エネルギーという。
- (3) アンモニウムイオンの4本のN-H結合のうち，3本の結合距離は同じであるが，1本は異なる。
- (4) 2原子からなる分子において，電気陰性度の差が大きい組み合わせほど，原子間で共有結合を形成する。
- (5) 単体のケイ素における安定な結晶は，共有結合によって構築されている。

イ 下線部②に関連して，以下の(1)~(5)について，長いものから順に，左から右へ並べよ。結合距離とは，原子の中心どうしを結ぶ距離である。

- (1) 窒素分子内の窒素原子間の結合距離
- (2) 水素分子内の水素原子間の結合距離
- (3) エテン(エチレン)分子内の炭素原子間の結合距離
- (4) エタン分子内の炭素原子間の結合距離
- (5) ベンゼン分子内の隣接する炭素原子間の結合距離

- ウ 下線部③に関して、以下の説明文を読み、 に入る適切な化学反応式および に入る数値を答えよ。

[説明文]

液体のエタノールの燃焼エンタルピーは $-1237 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ である。ただし、水は水蒸気として生成するものとする。この燃焼の化学反応式は と表される。一般に、化合物がその成分元素の単体から生じるとき、その化合物 1 mol あたりのエンタルピー変化を生成エンタルピーとよぶ。黒鉛を単体の炭素の基準として考えると、1 mol の炭素原子を含む黒鉛が完全燃焼するとき 394 kJ のエネルギーが熱として発生する(発熱反応)ので、炭素(黒鉛)の燃焼エンタルピーは $-394 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ である。このとき 1 mol の二酸化炭素が発生するので、二酸化炭素の生成エンタルピーは $-394 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ である。同様に、水蒸気の生成エンタルピーは $-242 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ である。以上の説明をもとに、液体のエタノールの生成エンタルピーは $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ と求められる。

- エ 下線部④に関して、燃焼に際して 1.0 L の液体のエタノールと同等のエネルギーを生み出すのに必要な水素について、水素分子の物質量 [mol] および室温大気圧での気体の体積 [L] を求めよ。解答は有効数字 1 桁でよい。計算の過程を簡潔に記せ。ただし、室温を 27°C (300 K)、大気圧を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。必要があれば、問ウの説明文を参照せよ。水は水蒸気として生成し、気体はすべて理想気体、液体のエタノールの密度は $0.8 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ とする。
- オ 下線部⑤に関して、メタンを原料とし、 700°C 以上の高温で水蒸気と反応させて、水素と一酸化炭素を発生させる反応をメタンの水蒸気改質反応とよぶ。この条件で化学平衡が成り立っているものとする。原料の物質あたり水素の収量を大きくするためには、反応容器内の圧力は高い方がよいか、低い方がよいか、あるいは無関係か、簡潔な理由とともに答えよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

カ 問オで記述した改質反応について、温度を上げるほど、化学平衡が移動してメタンの量が減ることが知られている。また、化学工業的には、適切な触媒を利用することが重要となる。

以上の記述をふまえ、以下の(1)~(5)の中から正しいものをすべて選べ。すべて誤っている場合には「なし」と答えよ。

- (1) メタンの水蒸気改質反応は吸熱反応である。
- (2) メタンの燃焼エンタルピーは正である。
- (3) メタンの水蒸気改質反応は、反応速度が温度に比例する。
- (4) 触媒を利用することで、水素の量が増える方向に化学平衡が移動する。
- (5) 触媒を利用することで、水蒸気改質反応の反応エンタルピーが低下する。

キ 下線部⑥に関して、次ページの図1-1に示すように物質A、物質B、物質Cをこの順にくり返して何層も重ね合わせて実験を行った。説明文の ~ に入る最も適切な文または語句を、選択肢(1)~(9)の中からそれぞれ選べ。

[説明文]

ボルタ電池の原型となった仕組みについて考える。物質A、B、Cの組み合わせ(物質A、物質B、物質C)を(亜鉛板、塩化ナトリウム水溶液で湿らせた綿布、銅板)としたとき、物質A側で 。この組み合わせのまま、くり返し単位構造の数を増やしたところ、 。次に、(物質A、物質B、物質C)を としたところ、その場合でも電池として働いた。

選択肢

- (1) 酸化反応が起きた
- (2) 還元反応が起きた
- (3) 電圧計が示す電圧の絶対値は変化しなかった
- (4) 電圧計が示す電圧の絶対値が大きくなった
- (5) 電圧計が示す電圧の絶対値が小さくなった
- (6) (亜鉛板, アルミニウム板, 白金板)
- (7) (亜鉛板, 白金板, 銅板)
- (8) (白金板, 食塩水を含むゼラチンゲル, 亜鉛板)
- (9) (亜鉛板, ガラス板, 銅板)

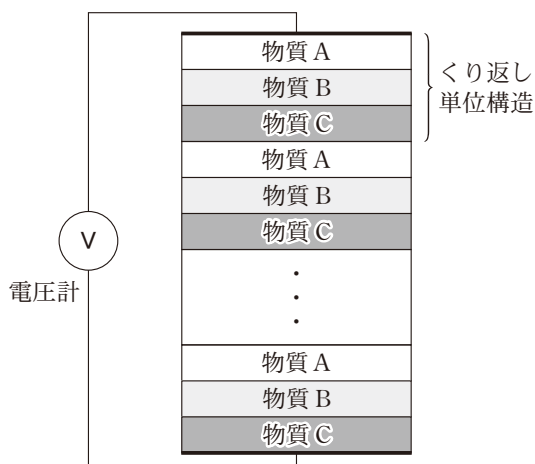


図 1—1 実験の模式図

ク 下線部⑦に関して, 固体酸化物型と呼ばれる燃料電池では, 空気極ともよばれる正極で O^{2-} イオンが発生し, それが燃料極ともよばれる負極に移動して反応する。負極で起きる反応を, 電子の記号 e^- を用いた反応式で表せ。

- ケ 下線部⑧に関して，燃料電池で電気エネルギーとして取り出せるのは， $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ において水素分子 1 mol あたり 237 kJ である。この温度における燃料電池の起電力(電圧)は何 V と計算できるか，有効数字 2 桁で求めよ。なお，電気エネルギーは反応に関与した電気量と電圧の積で与えられ， $1\text{ J} = 1\text{ C} \times 1\text{ V}$ である。
- コ 下線部⑨に関連して，塩化ナトリウム水溶液の電気分解を考える。陽極および陰極より発生する 2 種類の気体のうち，一方は塩素である。ここで，発生した上記 2 種類の気体を回収し，その気体どうしをすべて反応させて得られた物質を，水に溶解させた。こうして得られた水溶液中の Cl^- の濃度 $[\text{Cl}^-]$ $[\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}]$ と pH の関係を表すグラフとして最も適切なものを次ページの図 1—2 に示した(1)~(8)の中から選べ。

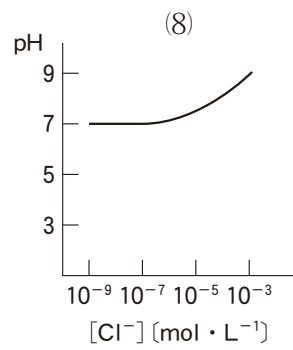
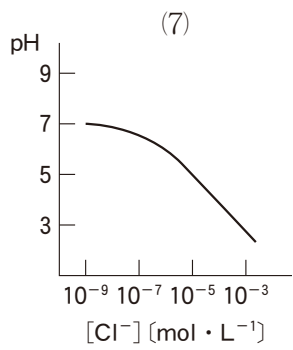
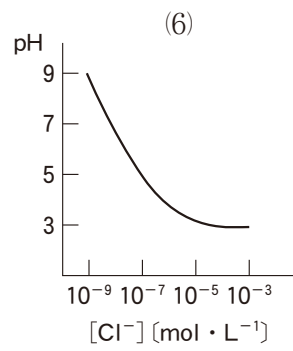
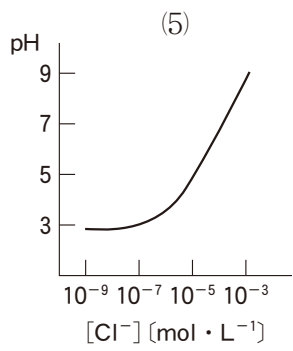
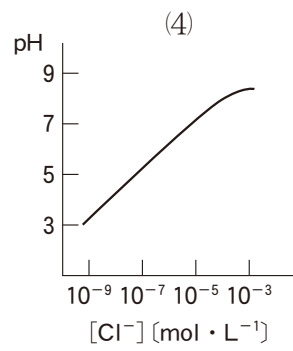
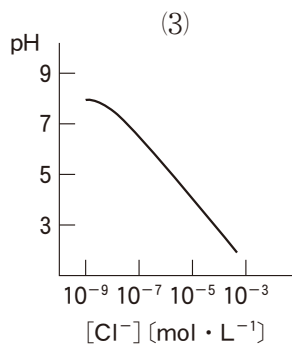
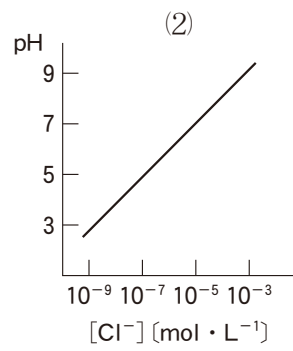
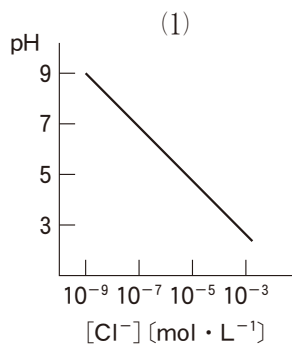


図 1—2 $[\text{Cl}^-]$ と pH の関係

第2問

次の文章を読み、問ア～クに答えよ。なお、解答にあたり結晶水(水和水)や不純物は考えなくてよい。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	O	Na	Al	Si
原子量	1.0	16	23	27	28

気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, e : 自然対数の底

ゼオライトという結晶性の鉱物が存在する。これは、ケイ素、アルミニウム、酸素原子からなる骨格を有し、その骨格構造としてミクロ孔と呼ばれる分子レベルの大きさの孔をもつ物質の総称である。骨格構造が異なる様々なゼオライトが知られており、その違いに応じて様々な機能を発現する。図2—1にゼオライトの一種であり、日本でも多く産出するMOR型ゼオライトの骨格構造を示す。ゼオライトの特徴的な性質と応用について考えてみよう。

ゼオライトの骨格は負に帯電しており陽イオン交換に用いることができる。この理由は次のように説明できる。まず、骨格にアルミニウムを含まないゼオライトを考える。ゼオライトをイオン結晶とみなすと、一般に結晶内では全てのケイ素イオンに酸化物イオン4つが隣接しており、全ての酸化物イオンにケイ素イオン2つが隣接している。このときゼオライトの骨格全体の電荷は0となり、酸化物イオンの電荷は -2 であるため、ケイ素イオンの電荷は あ である。ここで、ゼオライトの骨格全体の中で、ケイ素イオン1つをアルミニウムイオン1つで置換すると、骨格全体の電荷は い となる。このためアルミニウムイオンの数に対応する負電荷が生じ、ゼオライトはこの負電荷を打ち消すために必要な分量の陽イオンを、ミクロ孔内のイオン交換サイトと呼ばれる部位に保持している。その陽イオンは別の陽イオンと交換できる。このことを利用すると、たとえば水中に存在する セシウムイオンを除去できる。このとき、ゼオライトを筒に充填してイオンを含む水をゆっくり通すとイオン交換の効率が^③高い。

ゼオライトは触媒としても重要性が高い。例えば、イオン交換サイトの陽イオンとして水素イオンを保持している場合には酸として働くため、固体の酸触媒として^④くり返し使用できる。

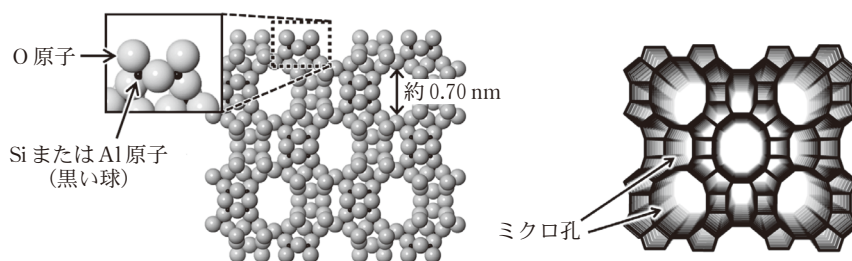


図 2—1 MOR 型ゼオライトの骨格構造の模式図

ここに示す骨格は一部を切り出したものである。(左)原子をイオン半径で示した図。左上には一部の拡大図を示す。「Si または Al 原子」と示す箇所には、ケイ素またはアルミニウムのどちらかの原子が存在する。イオン交換サイトに保持されている陽イオンは省略されている。(右)ケイ素またはアルミニウム原子が存在する位置を線でつないだ図。酸素原子を省略し、骨格構造を見やすくしている。ミクロ孔が紙面に垂直な方向に深く続いていることを示している。

〔問〕

ア , に入る符号付きの数値を答えよ。ただし、電子 1 個の電荷を -1 と表すものとする。

イ 下線部①に関して、ゼオライト骨格中のケイ素とアルミニウムの原子の数の比は様々であり、フッ化水素酸によってゼオライトを溶解させるとこの比を精度よく調べられる。ここで、フッ化水素酸の取り扱いについて述べた以下の文について、二重下線部 a ~ e のうち間違っている箇所をすべて選び、記号で答えよ。

フッ化水素酸は有毒かつ強酸であるため、丈夫な石英ガラス製の容器に保存し、実験時には小分けにして用いる。使用する際には、保護めがねを着けるが、手袋は使わず素手で取り扱うことが好ましい。なお、皮膚に付着した場合に備えてグルコン酸カルシウム軟こうを用意しておく。これは、流水洗浄で除去しきれなかったフッ化水素をカルシウムイオンと反応させて毒性の低い錯イオンに変えるためである。実験後に余ったフッ化水素酸は重金属を含まないので下水に流してかまわない。

ウ 下線部②に関して、セシウムイオンをイオン交換サイトに保持しやすいゼオライトである MOR 型ゼオライトを用いて以下の実験 1, 2 を行った。

実験 1 : 骨格に含まれるケイ素とアルミニウムの原子の数の比が 5.3 : 1 であり、イオン交換サイトにナトリウムイオンのみを有する MOR 型ゼオライトを得た。

実験 2 : 実験 1 の MOR 型ゼオライト 1.00 kg を筒に充填し、セシウムイオン濃度が $2.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ である試料水を連続的にゆっくり通した(図 2—2)。その結果、ナトリウムイオンの 96 % がセシウムイオンに交換された段階まではセシウムイオンが完全に除去された水が得られ、それ以降はセシウムイオンを含む水が筒から出てきた。

実験 1 で得た MOR 型ゼオライトの組成式を $\text{Na}_{10}(\text{SiO}_p)_q(\text{AlO}_r)_s$ で表すとき、 p, q, r, s の値を自然数で答えよ。また、実験 2 において、使用した MOR 型ゼオライトの何倍の質量の試料水からセシウムイオンを完全に除去できたか、有効数字 2 桁で答えよ。

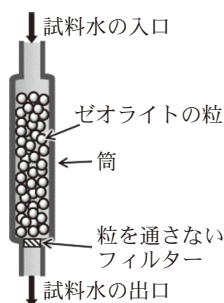


図 2—2 筒型装置を用いたイオン交換

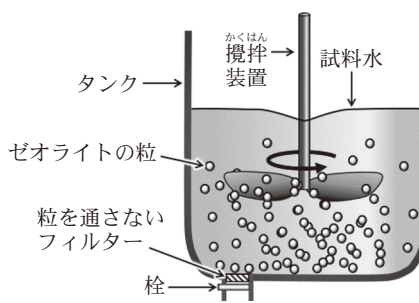


図 2—3 タンク型装置を用いたイオン交換

エ 下線部③に関して、その理由を明らかにしたい。そのために、化学的性質が同一と見なせる $^{41}\text{K}^+$ と $^{39}\text{K}^+$ を利用し、陽イオンとして 1.00 mol の $^{41}\text{K}^+$ のみを含む $1.00 \times 10^3 \text{ L}$ の試料水と、1.00 mol の $^{39}\text{K}^+$ のみをイオン交換サイトに保持している 1.00 kg のゼオライトを使った実験を考える。図 2—3 に示すように、単純に全量の試料水 ($1.00 \times 10^3 \text{ L}$) とゼオライト (1.00 kg) をタンク内で混合してイオン交換反応が平衡に達するまで攪拌する。そののち栓を開けて試料水のみを回収する場合に、試料水中に残存する $^{41}\text{K}^+$ の物質質量 [mol] を有効数字 2 桁で求めよ。

オ 問工に関連して、今度はタンクを2段にして実験を行う(図2—4)。問工の場合と同様に、陽イオンとして 1.00 mol の $^{41}\text{K}^+$ のみを含む $1.00 \times 10^3\text{ L}$ の試料水と、 1.00 mol の $^{39}\text{K}^+$ のみをイオン交換サイトに保持している 1.00 kg のゼオライトを用意する。ここで、実験3~5を行う。

実験3：このゼオライトを上段と下段のタンクに 0.50 kg ずつ入れる。

実験4：試料水 $5.0 \times 10^2\text{ L}$ を上段のタンクに入れて平衡に達するまで攪拌する。次に、処理後の試料水を下段のタンクに移し、再び平衡に達するまで攪拌する。最後にその試料水を回収する。

実験5：ゼオライトは交換せずに、残りの試料水 $5.0 \times 10^2\text{ L}$ を用いて実験4と同じ操作をする。

実験4と5で回収された試料水中に残存している $^{41}\text{K}^+$ の物質質量 $[\text{mol}]$ をそれぞれ有効数字2桁で求めよ。

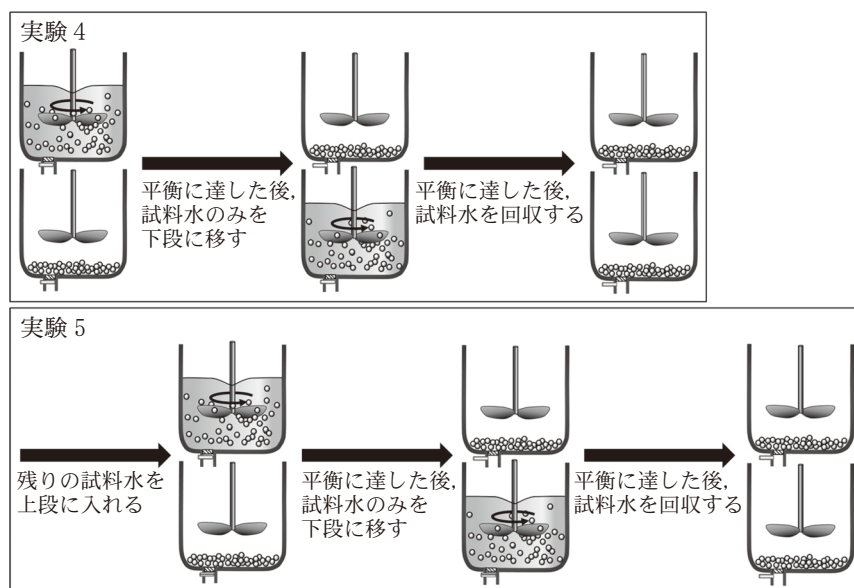


図2—4 2段タンク型装置を用いたイオン交換操作

カ 図2—2の筒型装置と図2—3のタンク型装置を比較する。二つの装置でそれぞれ同量のゼオライトと試料水を用いるとき、筒型装置のほうが試料水中の特定のイオンをより多く除去できる。その理由を、問工、才をふまえて平衡という語句を用い、簡潔に答えよ。

キ 下線部④に関して、固体の酸の強さは気体のアンモニアを用いて評価できる。式1に示すようにイオン交換サイトに保持された水素イオン(s-H⁺)とアンモニアが反応し、イオン交換サイトに保持されたアンモニウムイオン(s-NH₄⁺)になる。



この平衡反応の平衡定数 K を式2で表すこととする。このとき、酸が強いほど K の値は大きくなる。ここで、 r_{s-H^+} と $r_{s-NH_4^+}$ はそれぞれイオン交換サイトを H^+ と NH_4^+ が占める割合を、 $[NH_3]$ は気体アンモニアの濃度 $[\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}]$ を示す。

$$K = \frac{r_{s-NH_4^+}}{r_{s-H^+} \cdot [NH_3]} \quad (\text{式2})$$

あるゼオライトが示す K の値を測定するために以下の実験6～9を行った。

実験6：このゼオライトのイオン交換サイトの陽イオンを全てアンモニウムイオンとしたのち、十分な大きさの容器に入れ、容器内の気体をすべてヘリウムに置換した。

実験7：容器内部を $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $427 \text{ }^\circ\text{C}$ で一定に保った。このとき、平衡状態において r_{s-H^+} と $r_{s-NH_4^+}$ はそれぞれ80%、20%となった。

実験8：圧力と温度を保持したまま容器内の気体を1.00 L 捕集した。この捕集したガスを冷却してから50.0 mL の $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸に通し、含まれるアンモニアを全て反応させた。

実験9：この溶液を $1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の水酸化ナトリウム水溶液で滴定した。その結果、pH 6.0 になるまでに必要な滴下量は5.00 mL であった。

このとき、 K の値を有効数字2桁で答えよ。計算過程も示すこと。

ク 問キで求めた平衡定数 K の値から分かる固体の酸の強さを、液体の酸の強さと直接比較することは困難である。そこで、液体の酸が他の物質に水素イオンを与える能力の高さを示すハメットの酸度関数 (F_A) と呼ばれる指標を固体に適用する。ゼオライトについては、 F_A と問キの式 2 の平衡定数 K の関係は式 3 と式 4 で表すことができる。ここで、 ΔH は問キに示す式 1 の正反応の反応エンタルピー [$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$], T は平衡定数を測定した際の温度 [K], $\alpha = 1.8 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{J}^{-1}$, $\beta = 1.2 \times 10^{-9} \text{ L}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ とする。

$$F_A = \alpha \cdot \Delta H + 16 \quad (\text{式 3})$$

$$K = \beta \cdot T \cdot e^{-\frac{\Delta H}{RT}} \quad (\text{式 4})$$

MOR 型ゼオライトに関して、問キと同様の実験を行ったところ 427°C で平衡定数 K は $5.7 \times 10^4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ と見積もられた。MOR 型ゼオライトの F_A を有効数字 2 桁で求めよ。 計算過程も示すこと。また、算出した F_A をもとに、この MOR 型ゼオライトと 80 % 硫酸のどちらが酸として強いといえるか答えよ。 ただし、その理由を式 3 と 4 をもとに説明すること。 なお、 F_A の値は温度によって変化しないものとし、80 % 硫酸の F_A は -7 とする。必要があれば以下の値を用いよ。

$$\log_e(5.7 \times 10^4) = 11, \log_e(1.2 \times 10^{-9}) = -21, \log_e(7.0 \times 10^2) = 7,$$

$$1 \text{ J} = 1000 \text{ Pa}\cdot\text{L}$$

第3問

次の文章を読み、問ア～ケに答えよ。

有機化合物は、炭素、水素、酸素、窒素など比較的限られた元素から構成されているにもかかわらず、極めて多様な構造や性質を示す。有機化合物が示す物理的・化学的性質は、その化合物がもつ官能基と立体構造に強く影響される。^①
^②

〔問〕

ア 下線部①に関連して、図3-1に示した化合物A～Fを物理的・化学的性質に応じて分類する。大気圧下において沸点が100℃より低いものをすべて選び、記号で答えよ。なお、化合物B、C、およびFの構造式は図3-2にしたがって一部の炭素原子および炭素原子に結合した水素原子の表記を省略している。

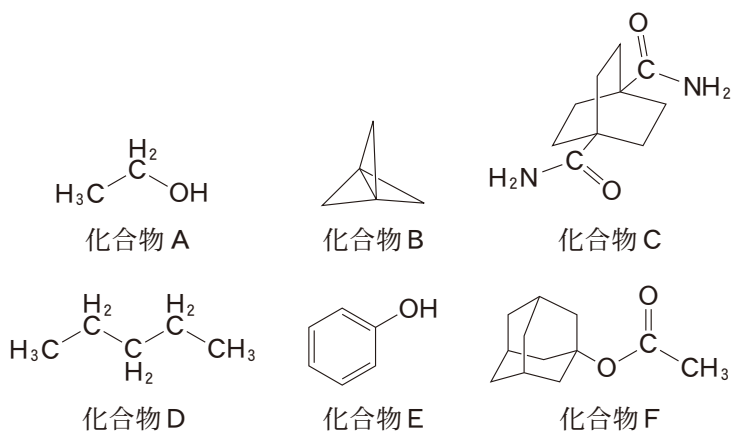
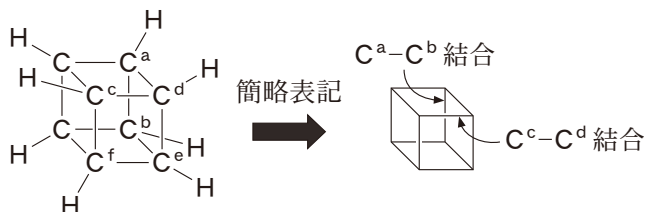


図3-1 化合物A～Fの構造式



C^a-C^b 結合と C^c-C^d 結合はねじれの位置にある。
 なお、面 $C^cC^dC^eC^f$ を紙面上に置いたとき、 C^a-C^b 結合は紙面奥側に存在する。

図3-2 構造式の簡略表記の例

- イ 問アの図3—1に示した化合物A～Fに少量の臭素を滴下すると、一部の化合物において臭素に由来する色が消えた。色が消えた化合物をすべて選び、記号で答えよ。
- ウ 水酸化ナトリウム水溶液に、問アの図3—1に示した化合物A～Fのいずれかとヨウ素を加えて温めると、一部の溶液において黄色沈殿の生成が見られた。この反応を示す化合物をすべて選び、記号で答えよ。また、沈殿した化合物の分子式を示せ。
- エ 問アの図3—1に示した化合物A～Fをそれぞれ水に加えたところ、一部の化合物は水に溶解し、酸性を示した。この性質を有する化合物をすべて選び、記号で答えよ。
- オ 有機化合物はその構成元素が変わると性質が変化する。例えば、問アの図3—1に示した化合物Aとエタチオール($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-SH}$)は構造が類似しているが、沸点は大きく異なる。沸点の違いに関する次の説明文中の空欄 と にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

[沸点の違いに関する説明文]

化合物Aの沸点は、エタチオールの沸点よりも 。この理由は、分子間の相互作用の1つである 結合の強さが異なるためである。

カ 下線部②に関連して、立体異性体について考える。例えば、2-ブタノール ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-CH}_3$) は不斉炭素原子をもち、1対の鏡像異性体が存在する。一方、2-ブタノール中の1つの水素原子を塩素原子に置換した3-クロロ-2-ブタノール ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CHCl-CH}_3$) は、分子内に2個の不斉炭素原子をもち、図3-3に示した4種類の立体異性体 G~J が存在する。なお、図中の \blacktriangleleft は紙面上に置いた不斉炭素原子から紙面の手前側に向かう結合、 $\cdots\cdots$ は紙面の奥側へ向かう結合、 --- は紙面と同じ平面にある結合を表している。この表記法を以後、「破線-くさび型表記」とよぶ。

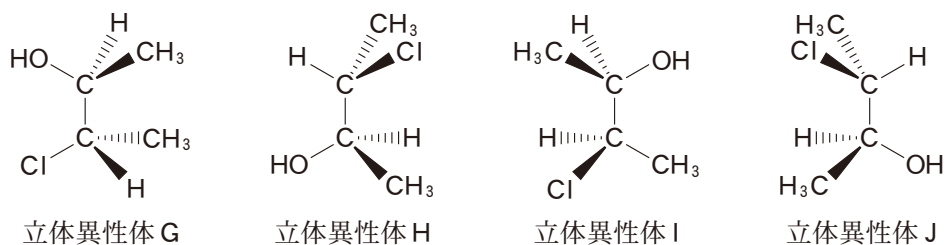


図3-3 3-クロロ-2-ブタノールの立体異性体

図3-3中の立体異性体 G~J の中には、鏡像異性体の関係にあるものが2対存在する。立体異性体 G と鏡像異性体の関係にある立体異性体を選び、H, I, J のいずれかの記号で答えよ。

キ 2,3-ブタンジオール ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH(OH)-CH}_3$) は、図3-3に示した3-クロロ-2-ブタノールと同様に2個の不斉炭素原子をもつにもかかわらず、鏡像異性体は1対しか存在しない。その理由を簡潔に説明せよ。必要に応じて図を用いて解答してもよい。

ク C_6H_{10} の分子式をもつ直鎖状のアルキン K を用いて次の説明文および図3-4に記載した一連の反応を行った。化合物 K, L, M, N, O, および R の構造式を、図3-5を参考にして描け。

[アルキン K に対する一連の反応の説明文]

直鎖状のアルキン K に硫酸水銀 (HgSO_4) を触媒として水を付加させると、単一のケトン L のみが得られた。なお、ケトン L に対し、問ウと同様の反応を行ったところ、黄色沈殿は生じなかった。

アルキン K に対し、活性炭の表面にパラジウムの微粒子を載せたパラジウム炭素 (Pd/C) を触媒として水素を付加させると、化合物 M が得られた。一方、活性炭の代わりに炭酸カルシウムを用い、さらにパラジウム表面に吸着しやすい酢酸鉛などの物質を加えた触媒 (リンドラー触媒) を用いた場合には、アルキン K への水素の付加反応は進行するものの、化合物 M とは異なる化合物 N が得られた。液体アンモニア中にアルキン K とナトリウムを入れて適切な処理を行うと化合物 O が得られた。化合物 N と O は、同じ分子式をもち、互いに立体異性体の関係にあった。また、大気圧下における化合物 N の融点は -138°C であり、化合物 O の融点 (-115°C) よりも低い値であった。

さらに、臭素水の上に化合物 N を静かに注いでできた 2 層の溶液を振り混ぜると臭素の色が消える様子が観測された。同様の実験を化合物 O に対して行った場合には臭素の色が消えた一方、化合物 M に対して行った場合には色の変化が観測されなかった。化合物 N と臭素の反応からは 1 対の鏡像異性体 P と Q が得られた一方、化合物 O と臭素の反応からは鏡像異性体が存在しない化合物 R のみが得られた。化合物 P, Q, および R は同じ分子式をもち、互いに立体異性体の関係にあった。

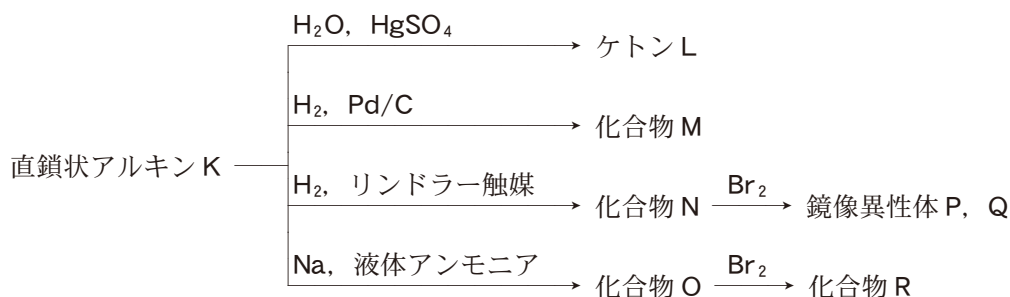
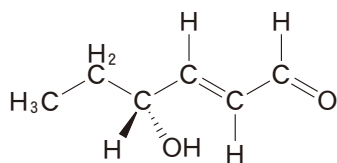


図 3—4 アルキン K に対する一連の反応



注意点 1：二重結合によるシス-トランス異性体がある場合には，区別できるように表記すること
 注意点 2：不斉炭素原子がある場合には，問力で説明した破線-くさび型表記を用いること

図 3—5 構造式の例

ケ 図 3—6 に示したニトロ基とカルボキシ基をもつベンゼン環どうしが連結された化合物 S は，不斉炭素原子をもたない。それにもかかわらず，この化合物には 1 対の鏡像異性体が存在する。化合物 S に鏡像異性体が存在する理由を，分子の立体的な構造に注目し，1～2 行程度で簡潔に説明せよ。

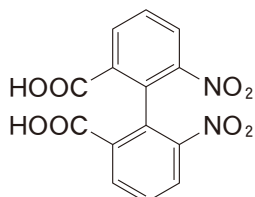


図 3—6 化合物 S の構造式

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

生物基礎・生物

第1問



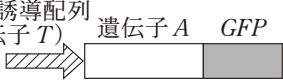
次の文を読み、問A～Hに答えよ。

真核生物においてタンパク質をコードする遺伝子は核内でRNAポリメラーゼによって転写され、未成熟なRNAが産生される。未成熟なRNAの配列にはアミノ酸配列に反映されない **ア** と呼ばれる配列が含まれることがあり、この配列はメッセンジャーRNA(mRNA)の成熟に伴い **イ** を受けることで除かれる。さらに、mRNAは細胞質にある **ウ** と結合し、翻訳される。この一連の過程を遺伝子発現という。

遺伝子発現は、細胞内外の環境に応じて変化する。特定の遺伝子が適切な時期に発現し機能することは、正常な生命活動のために不可欠である。例えば、分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* は栄養豊富な条件(富栄養条件)では体細胞分裂を繰り返す(増殖する)のに対して、栄養が枯渇した飢餓条件では増殖を停止し、減数分裂に続いて胞子を形成する。この栄養状態に応じた変化に関わる遺伝子発現のしくみを明らかにするため、以下の実験を行った。

実験1 遺伝子 *S* がコードするタンパク質 *S* は、遺伝子 *T* を含む減数分裂期で機能する遺伝子群の転写調節因子であり、特に飢餓条件においてこれらの遺伝子群の転写を強く促進する。遺伝子 *A* は恒常的に発現しており、mRNA量は栄養状態によって変わらない。緑色蛍光タンパク質 GFP の遺伝子をレポーター遺伝子として、表1-1に示す組み合わせで転写誘導配列(転写調節領域とプロモーターを含む)と遺伝子を融合したものを作製し、野生株と遺伝子 *S* を欠損した細胞株(遺伝子 *S* 欠損株)に導入した。次に、各条件における GFP の mRNA 量を解析したところ、表1-1の結果が得られた。なお、以降の実験では、各転写誘導配列の活性は繋いだ遺伝子配列の影響を受けないものとし、GFP 遺伝子の融合は繋いだ遺伝子の発現や機能に影響を与えないものとする。また、GFP の mRNA 量は細胞あたりの量とする。


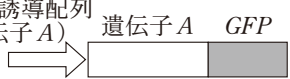
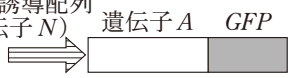
表 1—1 (実験 1) 各条件での *GFP* の mRNA 量

転写誘導配列と遺伝子の組み合わせ	野生株		遺伝子 S 欠損株
	富栄養条件	飢餓条件	飢餓条件
組み合わせ① 	+	++	-
組み合わせ② 	+	+	+
組み合わせ③ 	エ	オ	カ

mRNA 量は、高レベル(++), 中レベル(+), 低レベル(-)で示す。

実験 2 タンパク質 S は遺伝子 *N* の発現も誘導する。遺伝子 *N* は、内部に D 配列と呼ばれる特殊な配列を持つ。表 1—2 に示した転写誘導配列と遺伝子を融合したものを野生株に導入し、*GFP* の mRNA 量を解析したところ、表 1—2 の結果が得られた。

表 1—2 (実験 2) 各条件での *GFP* の mRNA 量

転写誘導配列と遺伝子の組み合わせ	野生株	
	富栄養条件	飢餓条件
組み合わせ④ 	-	++
組み合わせ② 	+	+
組み合わせ⑤ 	+	++

mRNA 量は、高レベル(++), 中レベル(+), 低レベル(-)で示す。

実験3 遺伝子 *N* の D 配列を欠失させたもの、または D 配列を遺伝子 *A* に挿入したものを野生株に導入し、*GFP* の mRNA 量を解析した。その結果を表 1—3 に示す。なお、D 配列の欠失や挿入によって翻訳時のコドンの読み枠に変化は生じないものとする。

表 1—3 (実験3)各条件での *GFP* の mRNA 量

転写誘導配列と遺伝子の組み合わせ	野生株	
	富栄養条件	飢餓条件
組み合わせ④ 	—	++
組み合わせ⑥ 	+	++
組み合わせ② 	+	+
組み合わせ⑦ 	—	+

mRNA 量は、高レベル(++), 中レベル(+), 低レベル(-)で示す。

実験4 実験3の富栄養条件において *GFP* の mRNA 量の違いが生じるしくみを調べるため、薬剤処理で転写を完全に止めた状態にし、*GFP* の mRNA 量の経時的な変化を解析した。その結果を図 1—1 に示す。

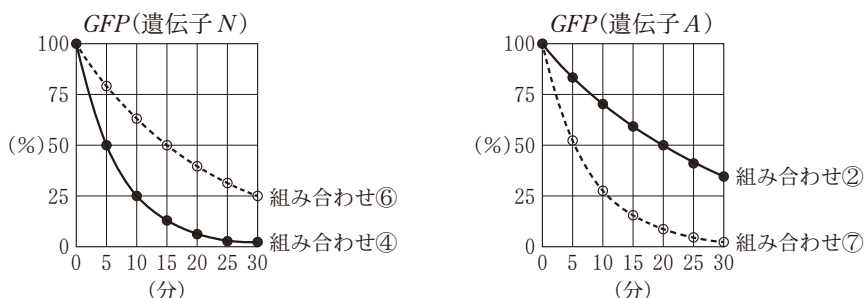
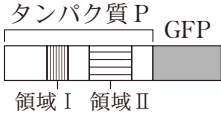
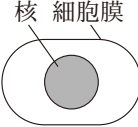
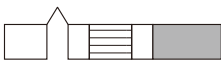

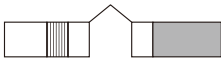



図 1—1 (実験4) *GFP* の mRNA 量の経時変化

横軸は、転写を完全に止めた状態での経過時間を示す。縦軸は、0分時点における mRNA 量を 100% とした場合の相対的な量を示す。

実験5 遺伝子 *N* の mRNA の D 配列が機能するためにはタンパク質 P が結合することが必要であり、タンパク質 P がはたらくためには D 配列との結合が必要である。タンパク質 P のアミノ酸配列には2つの機能的な領域が存在する。野生型および各領域を欠失させた遺伝子 *P* に GFP 遺伝子を融合したものを野生株に導入し、富栄養条件におけるタンパク質 P の細胞内の分布(局在)を解析した。また、それぞれのタンパク質 P と、遺伝子 *N* の mRNA との結合能を解析した。それらの結果を表1—4に示す。なお、遺伝子 *P* の各領域の欠失により翻訳時のコドンの読み枠に変化は生じないものとする。

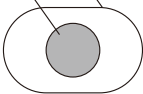
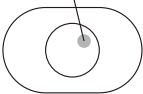
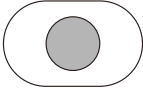
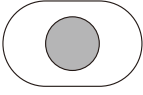
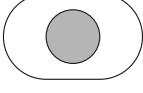
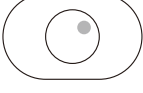
表1—4 (実験5)タンパク質 P の細胞内局在と遺伝子 *N* の mRNA との結合能

GFP 融合タンパク質 P の構造	富栄養条件における細胞内局在	遺伝子 <i>N</i> の mRNA との結合能
野生型  タンパク質 P GFP 領域 I 領域 II	 核 細胞膜	あり
領域 I 欠失型 		あり
領域 II 欠失型 	 核 細胞膜	なし

GFP の蛍光シグナルが観察された細胞内の場所を灰色で示す。

実験6 遺伝子 *M* がコードするタンパク質 *M* は、飢餓条件で発現し、核内で集合体 (*M* ドット) を形成することにより、減数分裂の進行に重要な役割を果たす。一方、タンパク質 *P* の細胞あたりの存在量は栄養状態によって変化せず、それ自体がもつ活性も栄養状態では変化する。タンパク質 *P* とタンパク質 *M* の関係を調べるため、遺伝子 *P* に *GFP* 遺伝子を融合したものを、野生株、遺伝子 *M* 欠損株および遺伝子 *N* 欠損株に導入し、*GFP* 融合タンパク質 *P* の細胞内局在を解析した。また、それぞれの条件で遺伝子 *N* の mRNA 量を解析した。その結果を表1—5に示す。なお、*GFP* 融合タンパク質 *P* は、各細胞株において同程度の量で存在しており、もともと細胞内に存在しているタンパク質 *P* の機能を阻害しないものとする。また、遺伝子 *N* の mRNA 量は細胞あたりの量とする。

表1—5 (実験6) タンパク質 *P* の細胞内局在と遺伝子 *N* の mRNA 量

細胞株	タンパク質 <i>P</i> の細胞内局在		遺伝子 <i>N</i> の mRNA 量	
	富栄養条件	飢餓条件	富栄養条件	飢餓条件
	核 細胞膜	<i>M</i> ドット		
野生株			—	++
遺伝子 <i>M</i> 欠損株			—	+
遺伝子 <i>N</i> 欠損株			—	—

GFP の蛍光シグナルが観察された細胞内の場所を灰色で示す。遺伝子 *N* の mRNA 量は、高レベル(++), 中レベル(+), 低レベル(—)で示す。

実験7 遺伝子 *P* と遺伝子 *N* の関係を調べるため、各遺伝子の単独欠損株および二重欠損株を作製し、富栄養条件における増殖能を解析した。その結果を表1—6に示す。なお、細胞の増殖能は体細胞分裂による細胞数の増加を指標に評価した。

表1—6 (実験7)各細胞株の増殖能

細胞株	増殖能
野生株	++
遺伝子 <i>P</i> 欠損株	-
遺伝子 <i>N</i> 欠損株	++
遺伝子 <i>P</i> 遺伝子 <i>N</i> 二重欠損株	+

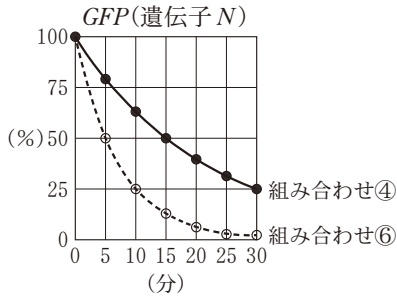
(++)活発に増殖する, (+)増殖する, (-)増殖しない

[問]

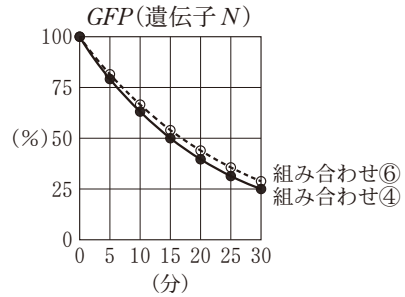
- A 文中の ア ~ ウ に入る最も適当な用語を答えよ。
- B 実験1において、表1—1のエ、オ、カに入る記号の組み合わせを以下の(1)~(4)から1つ選べ(各記号は左からエ、オ、カの順に並んでいる)。ただし、表1—1の転写誘導配列(遺伝子 *T*)はタンパク質 *S* による制御に必要なかつ十分な配列を含むものとする。
- (1) +, ++, -
 - (2) -, ++, ++
 - (3) -, +, +
 - (4) ++, +, -
- C 実験2~4の結果をふまえ、富栄養条件における *D* 配列の役割を1行で述べよ。

D 実験4と同様の実験を飢餓条件において行った。組み合わせ④と⑥について、GFPのmRNA量の変化はどのようなグラフとなるか、最も適切なものを、以下の(1)~(4)から1つ選べ。

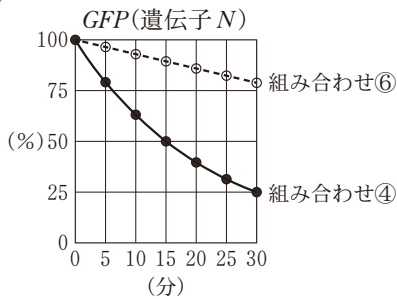
(1)



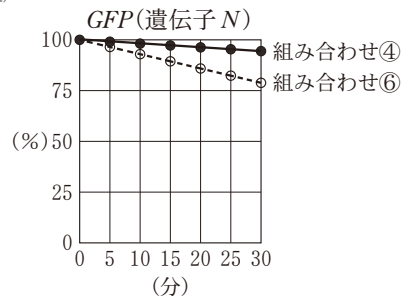
(2)



(3)



(4)



E 実験5の結果から考えられるタンパク質Pの領域Iと領域IIの機能について、以下の(1)~(5)から正しいものを全て選べ。

- (1) 領域Iは遺伝子NのmRNAと結合することで、タンパク質Pの安定性に影響を与える機能を持つ。
- (2) 領域Iは遺伝子NのmRNAと結合することで、タンパク質Pを細胞質に局在させる上で必須の役割を果たす。
- (3) 領域Iは遺伝子NのmRNAとの結合能とは関係無く、タンパク質Pを核に局在させる上で必須の役割を果たす。
- (4) 領域IIは遺伝子NのmRNAと結合することで、タンパク質Pを核に局在させる上で必須の役割を果たす。
- (5) 領域IIは遺伝子NのmRNAとの結合能とは関係無く、タンパク質Pを核に局在させる上で必須の役割を果たす。

F 実験6の結果をふまえ、飢餓条件におけるタンパク質 M の機能として考えられるものを、以下の(1)~(6)から全て選べ。

- (1) タンパク質 M は、タンパク質 P よりも強く D 配列と結合することで、遺伝子 *N* の mRNA 量を減少させる。
- (2) タンパク質 M は、タンパク質 P を安定化することで、遺伝子 *N* の mRNA 量を減少させる。
- (3) タンパク質 M は、タンパク質 P を M ドットに集合させることで、タンパク質 P の作用を抑制する。
- (4) タンパク質 M は、タンパク質 P を M ドットに集合させることで、タンパク質 P の作用を増強する。
- (5) タンパク質 M は、タンパク質 P を核内全体に局在させることで、タンパク質 P の作用を増強する。
- (6) タンパク質 M は、タンパク質 P を核内全体に局在させることで、タンパク質 P の作用を抑制する。

G 実験6までの結果を総合すると、分裂酵母は栄養状態に応じて遺伝子 *N* の mRNA 量を厳密に制御していることがわかる。富栄養条件および飢餓条件における制御のしくみについて、それぞれ2行程度で説明せよ。なお、全体を通して以下の用語を全て用いること。

[用語] 転写調節因子 S, D 配列, タンパク質 M, タンパク質 P

H 実験7の結果をふまえて、分裂酵母が富栄養条件で増殖するための遺伝子 *P* の役割はどのようなものだと考えられるか。遺伝子 *P* 欠損株と二重欠損株の増殖能が異なる理由の説明とともに2行程度で述べよ。

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 次の文を読み，問A～Cに答えよ。

被子植物は，根，茎，葉などの器官で構成されている。器官の表面は，表皮系とよばれる組織系からなり，内部の保護や外界との物質のやりとりにかかわっている。表皮系には^{とげ}棘や毛などの突起がみられることがある。棘はさまざまな植物にみられ，食害からの防御に加えて，水分の維持など多様な機能をもつ。一方，栽培植物において棘は敬遠される形質であり，人為選択の過程で独立に何度も失われてきた。

ナス属において棘は独立に何度も失われており，棘を喪失した種の多くで，遺^(ア)伝子Lの機能が失われていることがわかっている。遺伝子Lは植物ホルモンのサイトカイニンの合成にかかわる酵素をコードしている。サイトカイニンは，別の植物ホルモンである^(イ)オーキシンの存在下で細胞分裂を誘導する物質であり，老化抑制や側芽の成長促進など，^(ウ)さまざまな機能をもつ。

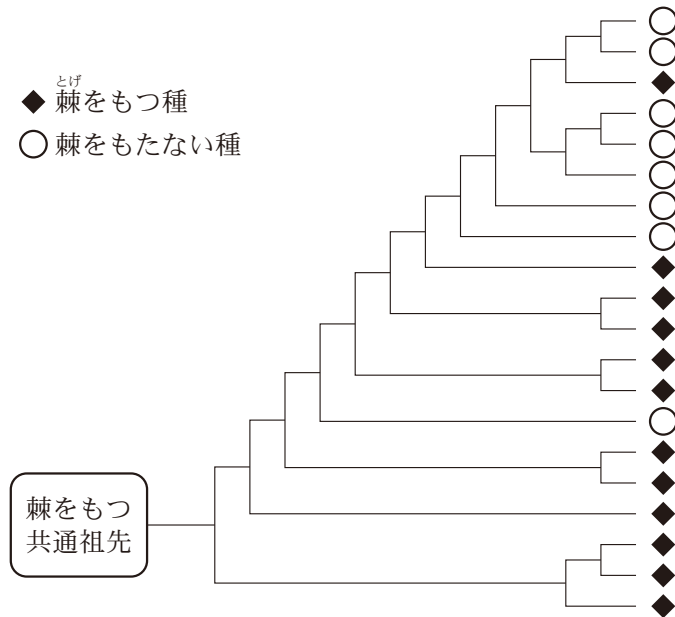


図2—1 ナス属に属する種の系統関係と棘の有無

[問]

- A 下線部(ア)について。図2—1はナス属に属する種の系統関係と、それぞれの種が棘をもつか、もたないかを示している。これらの種の共通祖先には棘があり、一度棘が失われたら再獲得は起きないと仮定するとき、この系統樹に示される種の進化の過程で、棘の喪失が何回起きたと考えられるか。最も少ない場合の回数を答えよ。
- B 下線部(イ)について。ナス属のある植物種 K において、棘の有無は1番染色体上の1つの遺伝子座で決定されることがわかっていた。そこで、植物種 K の棘をもつ個体と、もたない個体の交配に由来する F_2 (雑種第2代) 個体について、1番染色体の各領域の由来と棘の有無との関係を調べたところ、図2—2のようになった。遺伝子 L が棘の有無を決定すると仮定すると、図2—2の(1)~(8)で示された各領域のうち、遺伝子 L が含まれる領域はどれか。考えられる領域を全て選べ。ただし、植物種 K は二倍体であり、図2—2には個体ごとに1対の相同染色体が示されている。

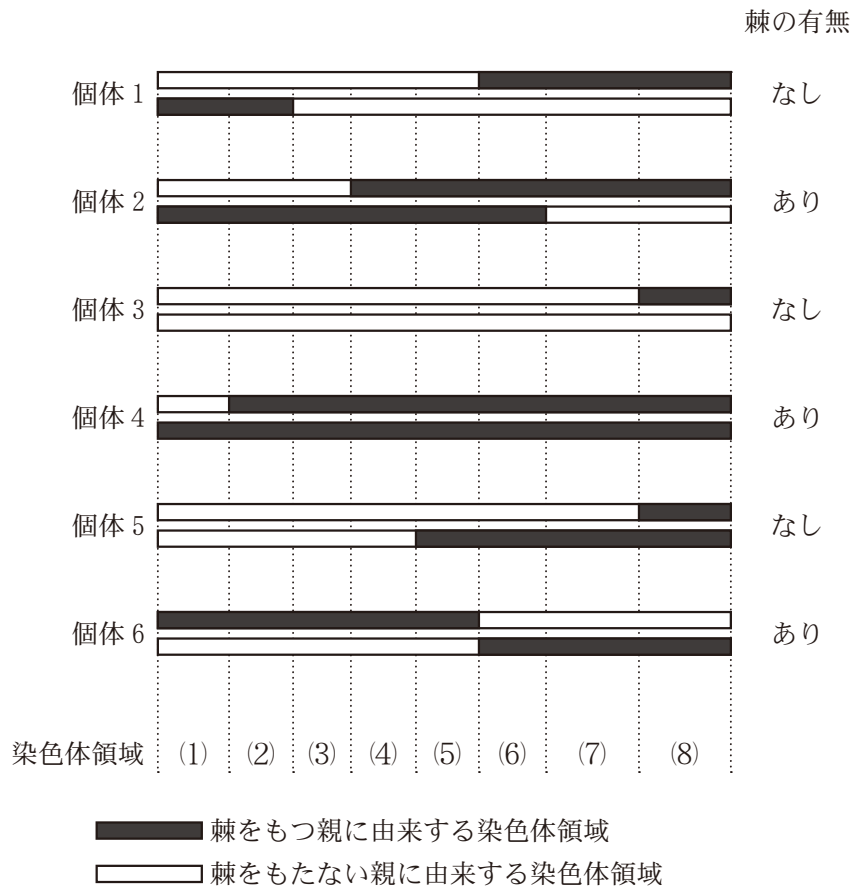


図 2—2 F₂ 個体における棘の有無と 1 番染色体の各領域の由来

C 下線部ウ)について。オーキシンの機能として正しい記述を以下の選択肢

(1)~(5)から全て選べ。

- (1) 適切な濃度において細胞の伸長を促進する。
- (2) 種子に蓄積して発芽を抑制する。
- (3) 葉柄のつけ根に離層を形成させることで落葉を促進する。
- (4) 乾燥に応答して気孔の閉鎖を促進する。
- (5) 頂芽で合成されて、側芽の成長を促進する。

II 次の文1と文2を読み、問D～Gに答えよ。

[文1]

ある植物種 M の野生型個体は、葉の表面に単一の細胞からなる毛をもつ。毛は、毛に分化しなかった複数の細胞で隔てられることで、一定の間隔をとる(図2—3左)。このような葉表面の毛の発生機構を調べるために以下の実験を行った。

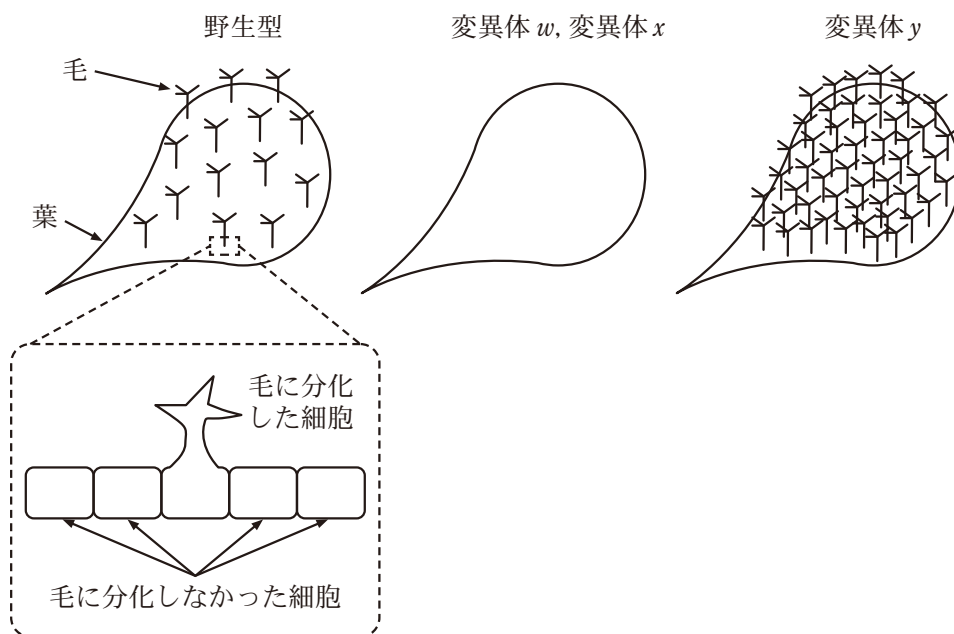


図2—3 葉表面における毛の分布の模式図

実験1 植物種 M において、毛の発生に影響のある変異体として w , x , y の 3 種類を得た。各変異体の毛の発生を調べたところ、 w と x では毛が失われており、 y では毛の数が野生型より増加していた(図 2—3)。変異体 w , x , y では、それぞれタンパク質 W, X, Y をコードする遺伝子 W , X , Y の機能が失われる変異が生じていた。

実験2 野生型個体で、まだ毛が生じていない発生初期の葉における、遺伝子 W , X , Y の発現を調べた。その結果、どの遺伝子も表皮系のすべての細胞で発現していることがわかった。

実験3 タンパク質 W と X は互いに結合して複合体を形成し、遺伝子 W , X , Y および毛の形成にかかわる他の遺伝子群の転写を活性化することがわかった。タンパク質 Y はタンパク質 W と似たアミノ酸配列をもち、タンパク質 W の代わりにタンパク質 X とともにタンパク質複合体を形成することもわかった。

実験4 タンパク質 Y は表皮系の細胞間を移動することがわかった。この移動は、隣接する細胞どうしが細胞壁をつらぬいて連結する、原形質連絡とよばれる構造を通じて起きていた。一方、タンパク質 W と X の細胞間移動はみられなかった。

[文2]

植物種 M の近縁種である植物種 N の野生集団では、葉に毛をもつ個体(有毛型)ともたない個体(無毛型)の両方がみられる。植物種 N では、植物種 M で見つけた遺伝子 W に相当する遺伝子の機能が失われることにより、有毛型から無毛型が生じている。また、有毛型と無毛型は互いに交配して子孫を残すことができ、有毛型は無毛型に対して顕性である。

毛には、昆虫などの食害から身を守るという機能がある。葉に毛をもつことで食害から身を守ることができるのであれば、有利な有毛型の性質が集団中に広まると考えられるが、実際の植物種 N の野生集団では、一つの集団の中に有毛型と無毛型の両方が存在することがある。集団中で有毛型と無毛型の両方が維持されるしくみを調べるために以下の実験 5 を行った。

実験 5 植物種 N の野生集団では、ハムシの 1 種(以下ハムシと呼ぶ)が主に葉を食害する。このハムシは飛べないため、地面を歩き回って植物種 N を探索する。ハムシによる食害と有毛型、無毛型の個体の頻度との関係調べるために、頻度を人為的に変えられる実験区を設定した。有毛型が多数派(頻度 80 %)の実験区と少数派(頻度 20 %)の実験区でそれぞれ有毛型、無毛型の食害の程度と花生産数を調べたところ、図 2—4 および図 2—5 の結果が得られた。同様の実験区でハムシを人為的に排除し花生産数を調べたところ、図 2—6 の結果が得られた。ただし、食害前の個体あたりの葉の総面積は、有毛型と無毛型の間、および異なる実験区の間で変わらないものとする。なお、花生産数が多いほど、適応度が高いことを示す。

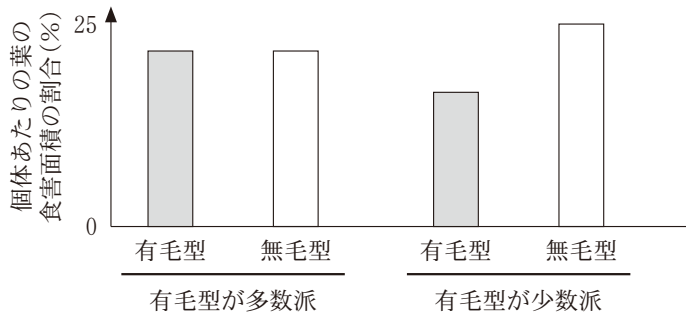


図 2—4 有毛型，無毛型の頻度を変えたときのハムシによる食害の程度

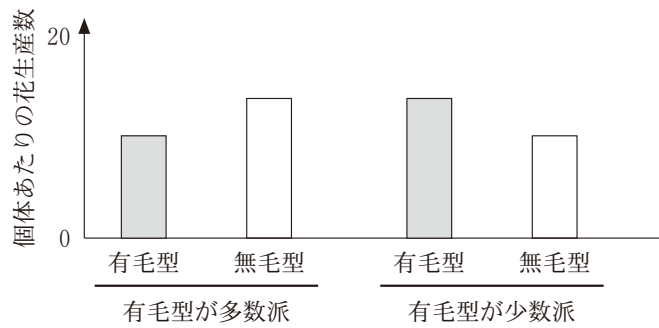


図 2—5 ハムシが存在する環境において，有毛型，無毛型の頻度を変えたときの個体あたりの花生産数(適応度の指標)

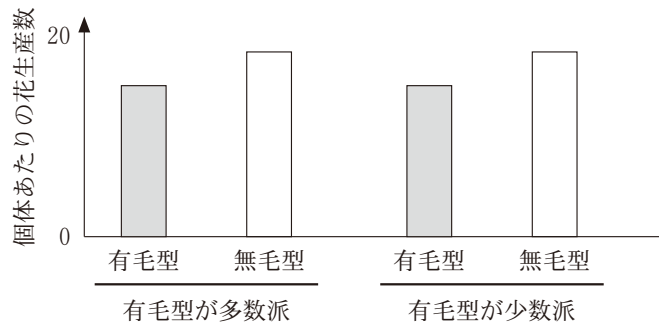


図 2—6 ハムシを人為的に排除した環境において，有毛型，無毛型の頻度を変えたときの個体あたりの花生産数(適応度の指標)

[問]

D 下線部(エ)について。タンパク質 W, X, Y は毛の形成を促進する因子か、抑制する因子か。実験 1 をふまえて、それぞれについて答えよ。

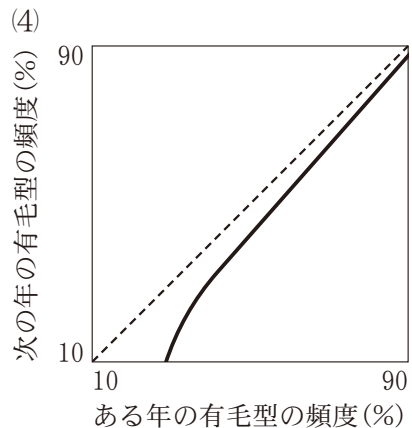
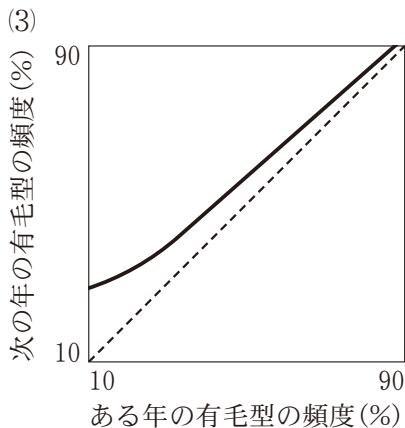
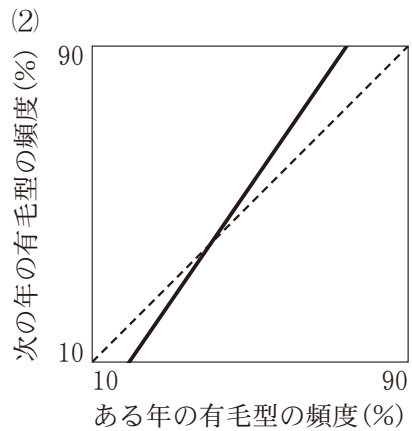
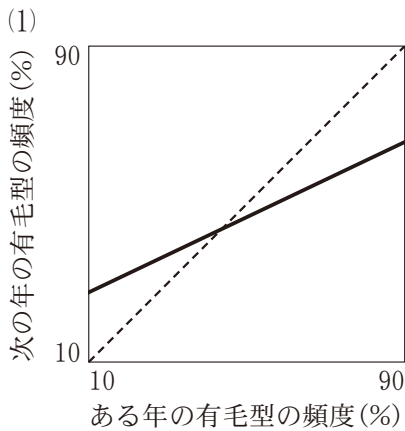
解答例：W—促進, X—抑制, Y—促進

E 葉の発生初期に、毛の発生にかかわる因子の濃度が細胞間でばらつくことで、後に毛に分化する細胞としない細胞が生じる。実験 1～4 をふまえて、こうした細胞分化の過程におけるタンパク質 W, X, Y のふるまいを、以下の用語を全て用いて 4 行以内で説明せよ。同じ用語を複数回用いても構わない。

[用語] 正のフィードバック, 移動, 複合体

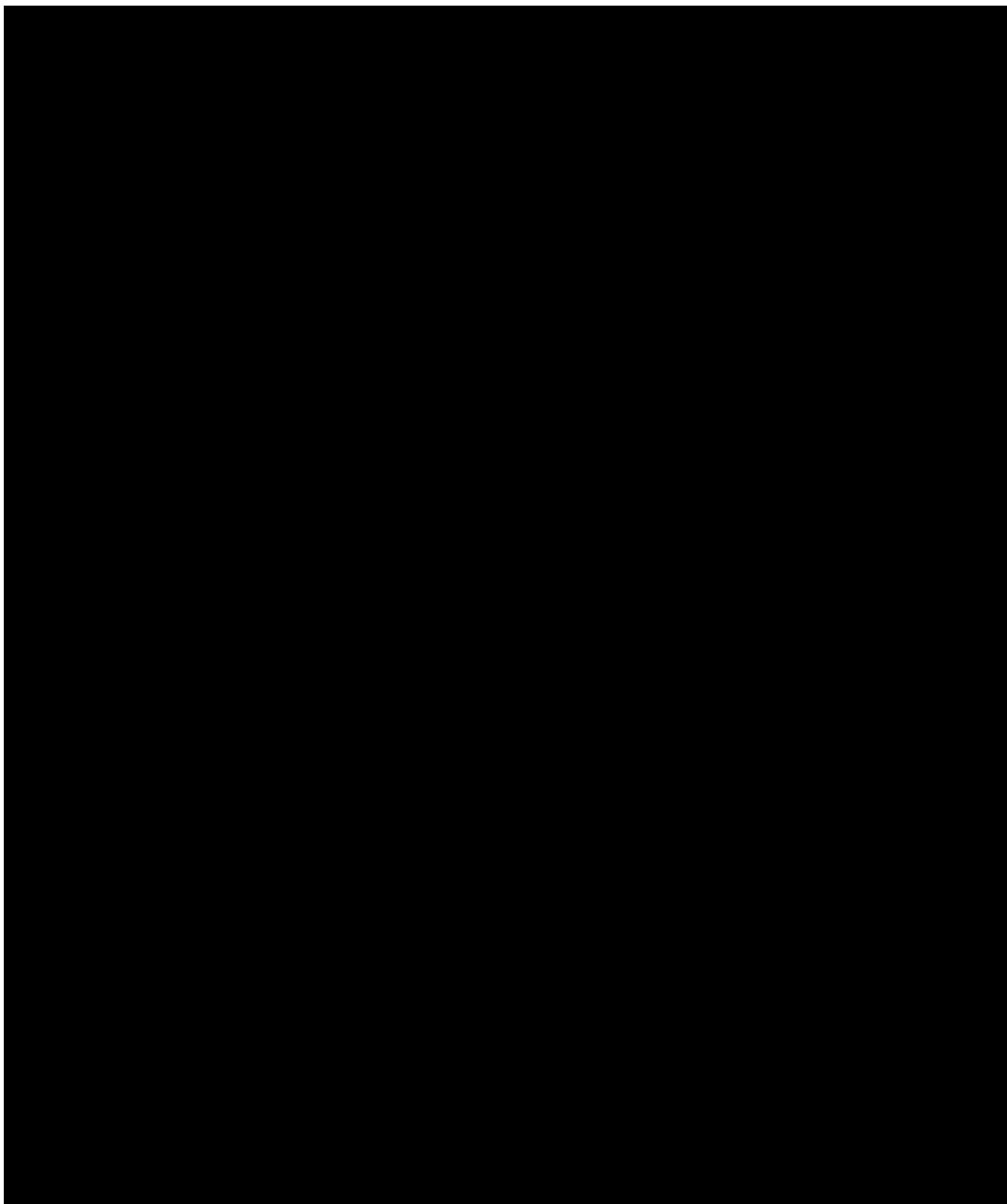
F 実験 5 の結果にもとづき、ハムシが存在する環境で、有毛型が多数派のときに無毛型の方が花生産数が多くなる理由について、毛の形成に必要な資源の観点から 2 行以内で説明せよ。

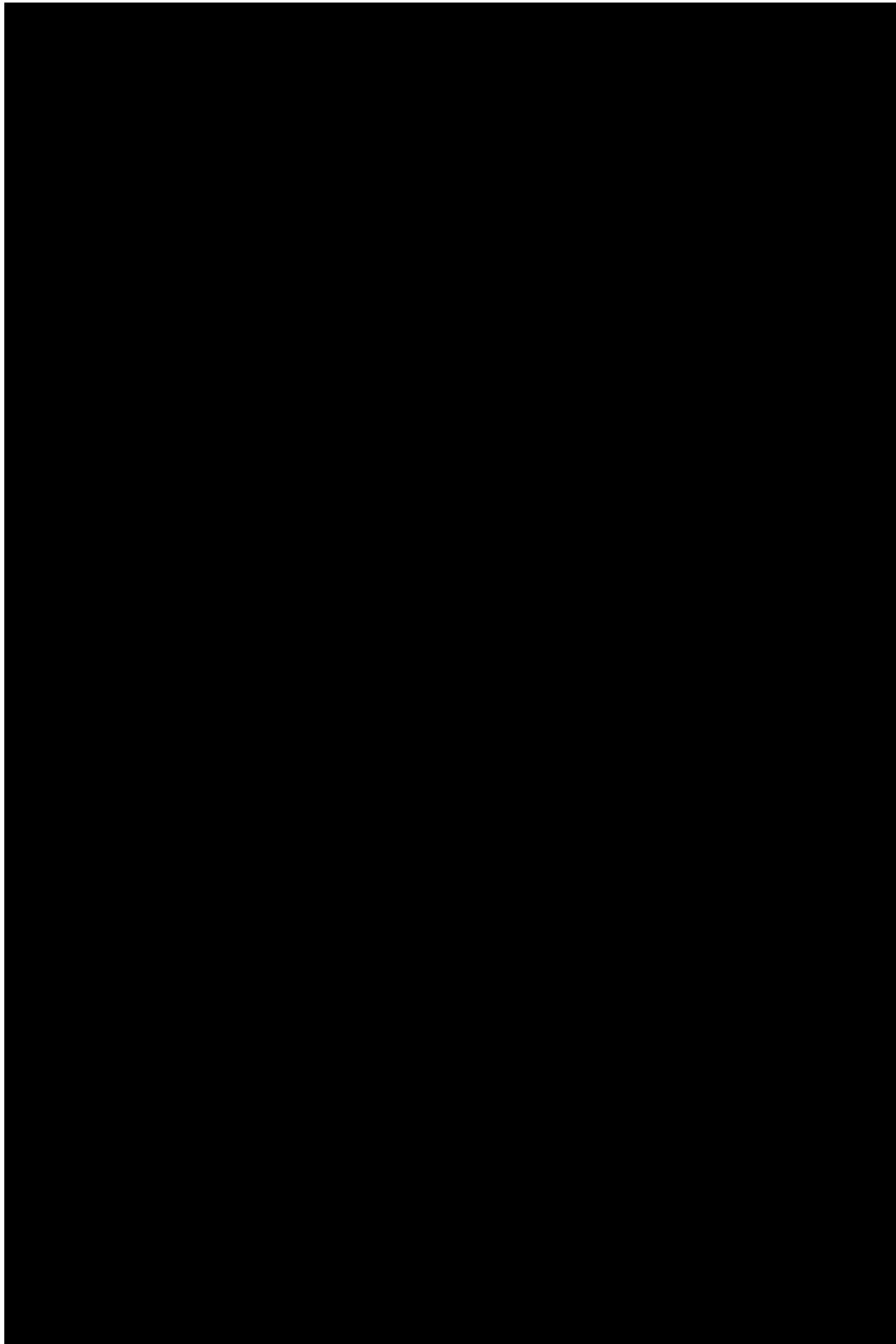
G 植物種 N の野生集団において数年間複数の調査区を設定し、各調査区における有毛型、無毛型の頻度を毎年調査した。実験 5 の結果から、ある年と次の年の有毛型の頻度の関係はどのようになるか。以下の(1)~(4)の中からもっとも適切なものを 1 つ選べ。また、選んだ理由を、実験 5 の結果をふまえ、有毛型、無毛型の頻度と適応度の観点から 3 行以内で説明せよ。なお、ハムシの個体数は年ごとに大きな変動はなく、実験 5 が行われた時と同程度であるとする。さらに、集団外からの植物個体の移入はないものとする。点線はある年の有毛型の頻度と次の年の有毛型の頻度が等しいことを示す。

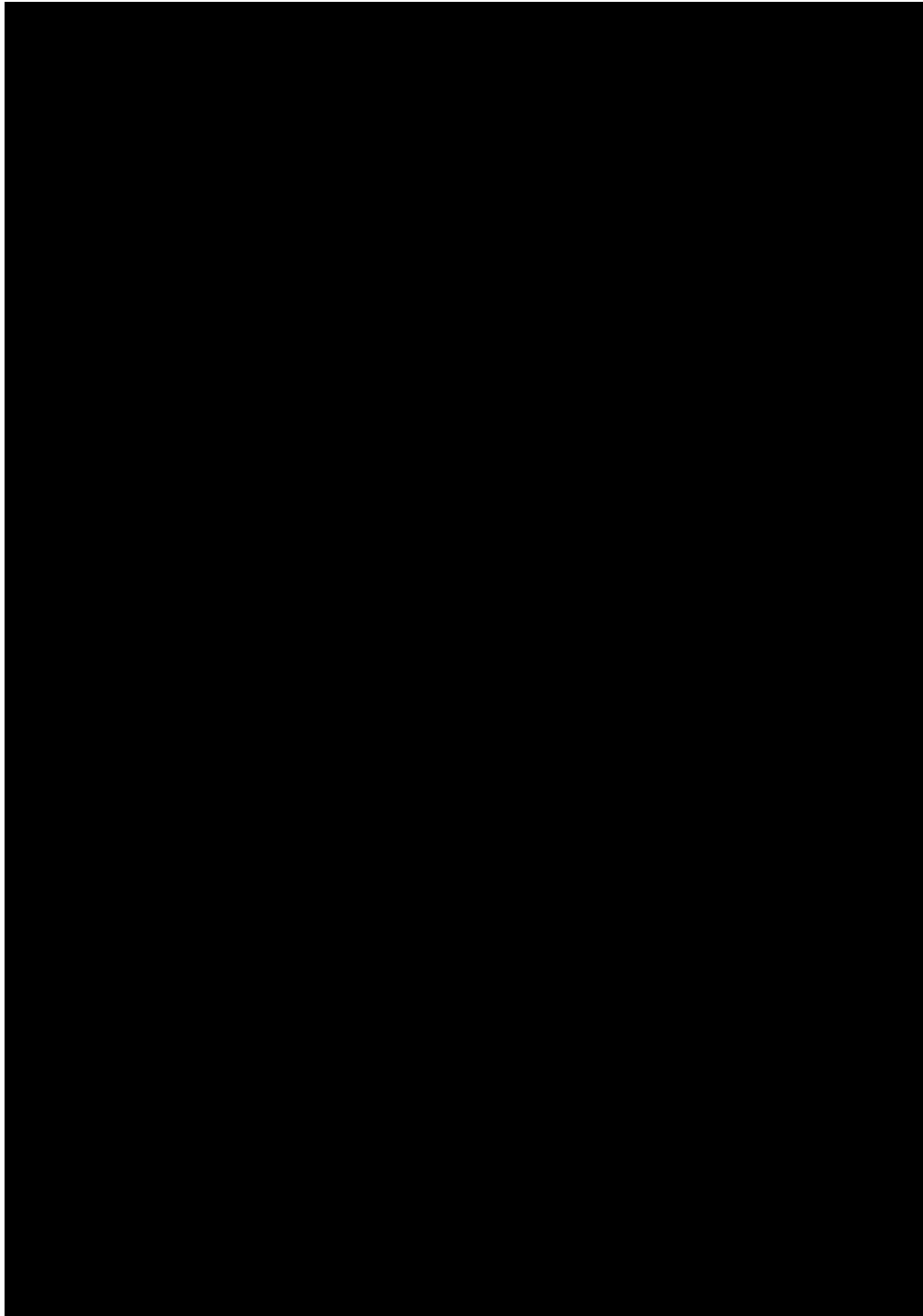


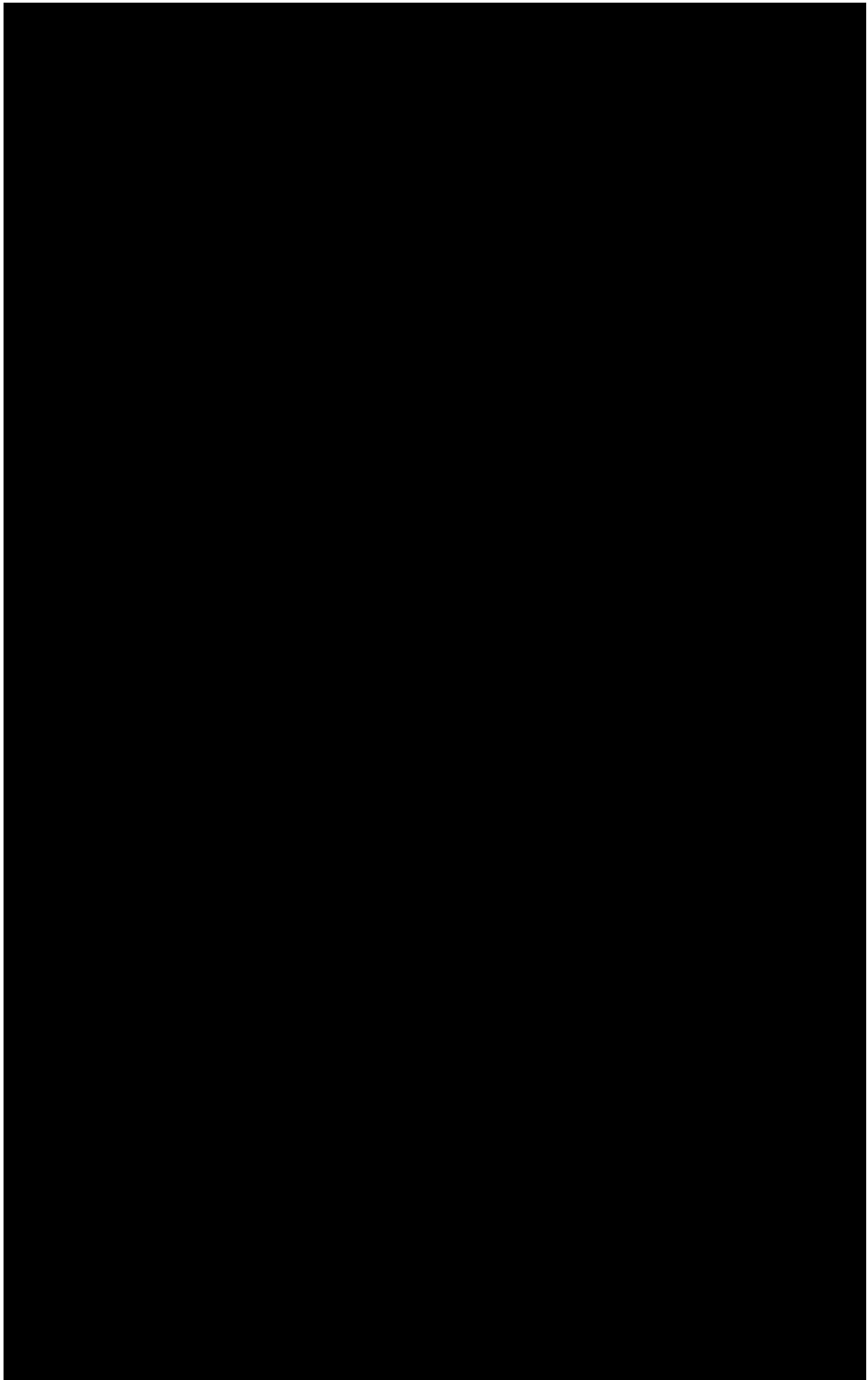
第3問

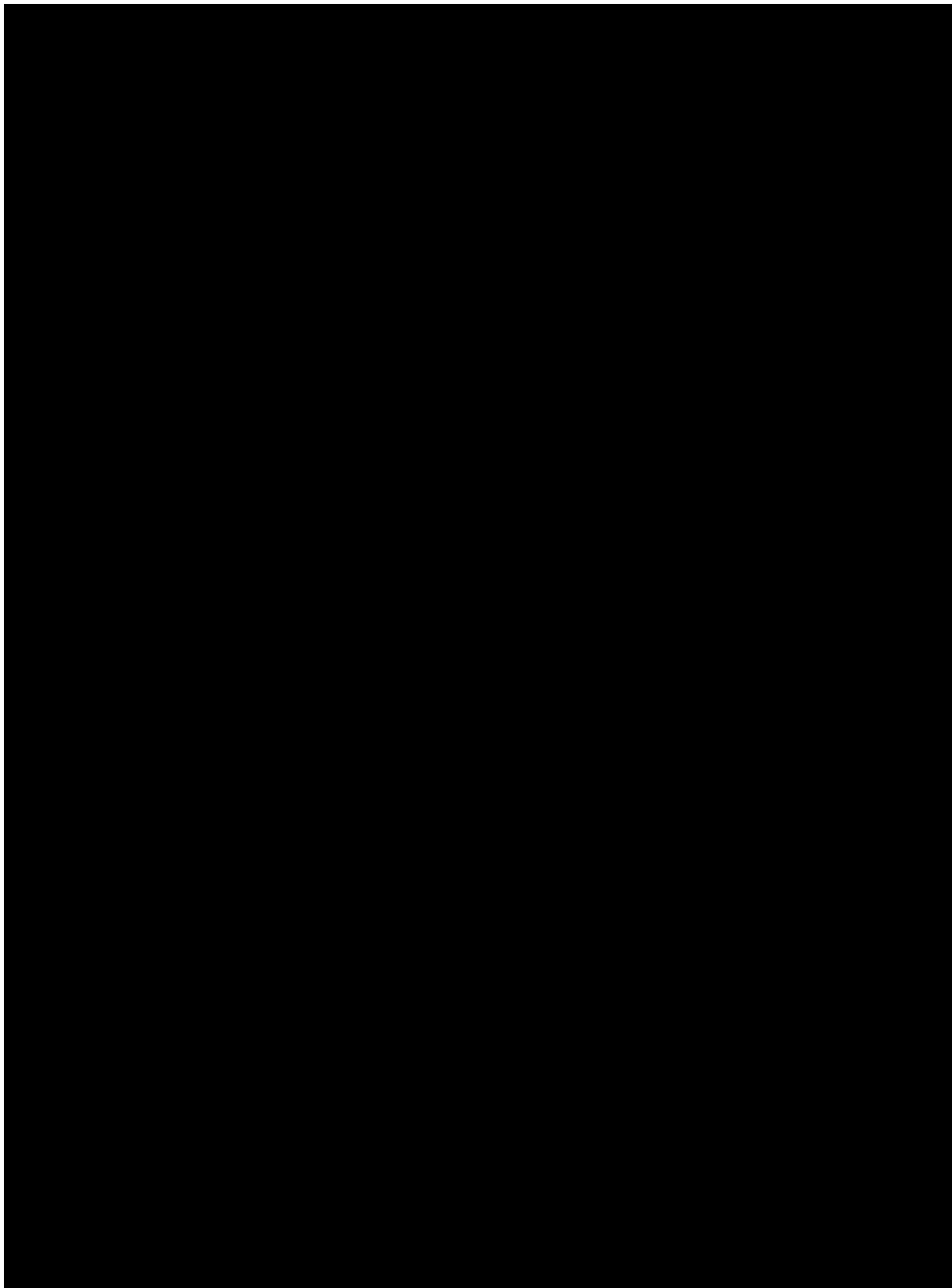
次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。











計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

II 次の文を読み、問F～Hに答えよ。

個体発生において細胞のふるまいを制御するのはモルフォゲンの濃度勾配に限らない。例えばマウスの初期胚では、細胞が胚の表面に位置しているのか、あるいは内部に位置しているのかに^(ウ)したがって細胞の予定運命(細胞運命)が決定される。

マウスの初期発生過程を図3—4に示す。8細胞期後期に細胞間接着構造が発達し、胚の表面の形状がなめらかになる。続く桑実胚では、細胞が胚の内部に位置する細胞群と胚の表面を構成する一層の細胞群に分かれる。胚発生がさらに進行すると、胚盤胞が形成される。胚盤胞を構成する細胞のうち、内部の細胞は内部細胞塊^{かい}と呼ばれ、将来、体をつくる。表面の細胞は栄養外胚葉と呼ばれ、将来、胎盤をつくる。

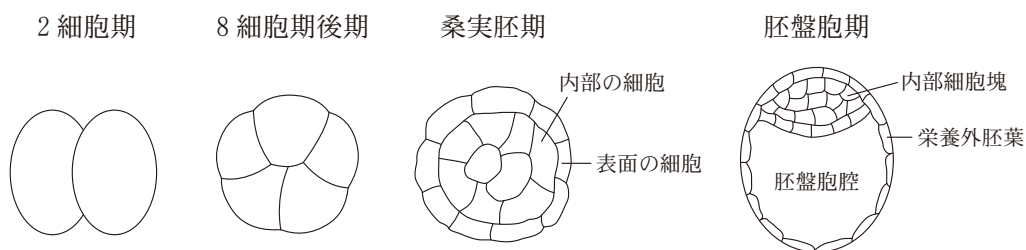


図3—4 マウス初期発生過程の模式図

8細胞期後期の胚は、一方向から見える細胞のみを示す。桑実胚と胚盤胞は、胚の断面を示す。縮尺は一定ではない。

桑実胚期および胚盤胞期では、転写調節因子Aが胚の表面の細胞の核に存在し(図3—5, 左)、栄養外胚葉の発生に必要な遺伝子Bの発現を誘導する。胚の内部の細胞では転写調節因子Aは細胞質に存在し、遺伝子Bは発現しない。細胞が胚における位置に応じて転写調節因子Aの細胞内における分布(細胞内局在)を調節し、細胞運命が決定されるしくみを調べるために、実験4～6を行った。

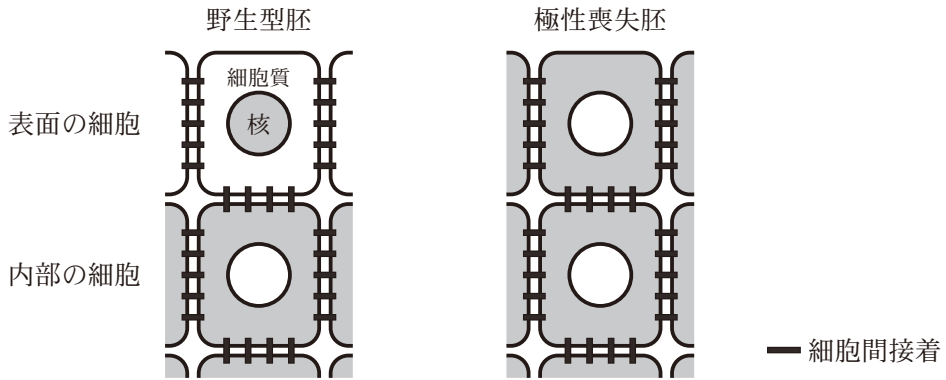


図3—5 野生型胚および極性喪失胚における転写調節因子Aの細胞内局在
マウス桑実胚の断面像。胚表面近傍を拡大して示す。灰色で示す部位に転写調節因子A
が局在する。

実験4 桑実胚および胚盤胞では、胚の表面に位置する細胞が胚の内外方向に沿った極性を発達させる。一方、内部の細胞はそのような極性をもたない。遺伝子操作により胚の内外方向に沿った細胞極性を喪失させると、胚の表面に位置する細胞においても転写調節因子Aが細胞質に局在し、遺伝子Bの発現が顕著に減少した(図3—5, 右)。このとき、内部の細胞における転写調節因子Aの局在と遺伝子Bの発現は変化しなかった。なお、この遺伝子操作は細胞間接着に影響しない。

実験5 薬剤処理により細胞間接着を減弱させると、桑実胚の全ての細胞で転写調節因子Aが核に局在し、遺伝子Bが発現した。なお、この薬剤処理は細胞極性に影響しない。

実験6 複数の8細胞期の胚の細胞をバラバラにして取り出し、得られた20～30個の細胞を集合させた。再構成した胚は細胞間接着と細胞極性を正常に形成し、桑実胚になった。再構成した胚では、野生型胚と同様に、転写調節因子Aが胚表面の細胞の核と内部の細胞の細胞質に局在しており、遺伝子Bが胚表面の細胞でのみ発現していた。

[問]

F 下線部(ウ)について。個体発生が正常に進行するためには、胚の表面の細胞と内部の細胞の数の比率を適切に制御する必要がある。8細胞期から胚盤胞にいたる過程では、細胞分裂の方向が表面と内部の細胞の数の比率を決める上で重要な役割をはたす。この細胞分裂の方向を介して表面と内部の細胞の数の比率を決めるしくみについて推測し、3行以内で述べよ。以下の用語を全て用いること。

[用語] 細胞分裂, 娘細胞

G 実験4～6の結果の解釈として適切なものを以下の選択肢から全て選べ。

- (1) マウス初期胚における転写調節因子Aの正しい細胞内局在には細胞間接着と細胞極性の両方が必要である。
- (2) マウス初期胚では最初は転写調節因子Aが細胞質に局在し、発生が進むにつれて転写調節因子Aが核に局在する細胞が現れる。
- (3) 仮に8細胞期までに細胞運命が決定されていたとしても、胚内での細胞の位置に応じて細胞運命を書きかえることができる。

H 転写調節因子 A の細胞内局在を調節するしくみを詳細に調べたところ、遺伝子 C を欠失した桑実胚では転写調節因子 A が核に局在すること、野生型もしくは細胞極性を喪失した桑実胚において遺伝子 C がコードするタンパク質 C は図 3—6 のように分布することがわかった。タンパク質 C のはたらきについてさらに解析を進めて、以下の破線で囲った文に記載した知見を得た。実験 4～6 の結果もふまえて、 ～ に入る用語として最も適切なものを以下の語群から 1 つずつ選べ。

胚の表面の細胞では、タンパク質 C の正しい局在に が必要である。胚表面の細胞膜の近傍にあるタンパク質 C は転写調節因子 A に作用できない。胚の内部の細胞では、タンパク質 C が により されることで、転写調節因子 A の核への移動が阻害される。

[語群] 細胞極性、細胞分裂、細胞間接着、活性化、不活性化、分解

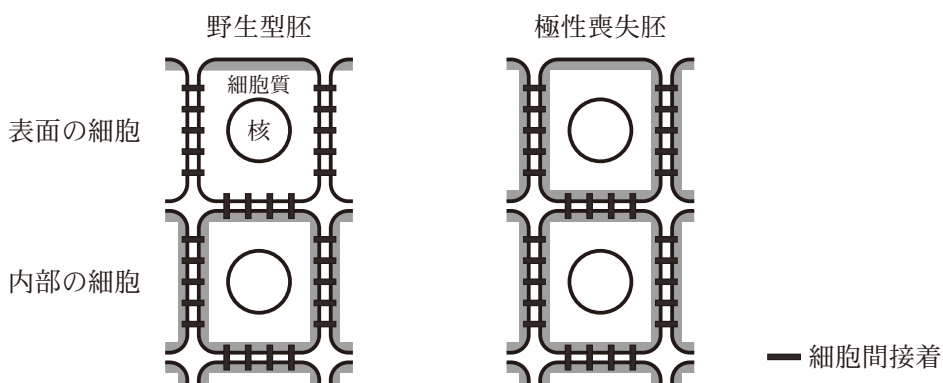


図 3—6 野生型胚および極性喪失胚におけるタンパク質 C の細胞内局在
マウス桑実胚の断面像。胚表面近傍を拡大して示す。灰色で示す部位にタンパク質 C が局在する。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

地学基礎・地学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球からほぼ同じ方向に銀河Aと銀河Bが観測され、図1-1に示すような、水素原子による輝線(H α 線)などを含むスペクトルが得られた。この2つの銀河の赤方偏移は一方が0.03、他方が0.06である。以下の問いに答えよ。数値での解答には有効数字1桁で答え、計算の過程も示せ。ただし、ハッブル・ルメートルの法則、および宇宙原理が成り立つものとし、必要であれば $\log_{10} 3 = 0.5$ として計算してもよい。

- (1) 地球から遠いのは銀河Aと銀河Bどちらの銀河か、理由とともに1行程度で答えよ。
- (2) 銀河Bから観測したときの銀河Aの赤方偏移の値を答えよ。
- (3) H α 線の本来の波長は $0.656\ \mu\text{m}$ である。銀河Aと銀河Bのスペクトルに見られるH α 線の波長の差を μm の単位で答えよ。
- (4) 銀河BにIa型超新星が出現した。この超新星を地球から観測し続けたところ、時間とともに明るくなり、見かけの明るさは最も明るいとき17.5等級に達し、その後暗くなっていった。Ia型超新星は最も明るいときに絶対等級が -20 等級になることが知られている。地球から銀河Bまでの距離をメガパーセクの単位で答えよ。

(5) ハッブル定数を H としたとき、宇宙の年齢はおおまかに $\frac{1}{H}$ で与えられる時間として推定することができる。

(a) その理由を 2 行程度で答えよ。

(b) この推定値は、遠方の超新星などの観測から求められた宇宙の年齢とは必ずしも一致しない。その理由をダークエネルギーという言葉を用いて 2 行程度で答えよ。

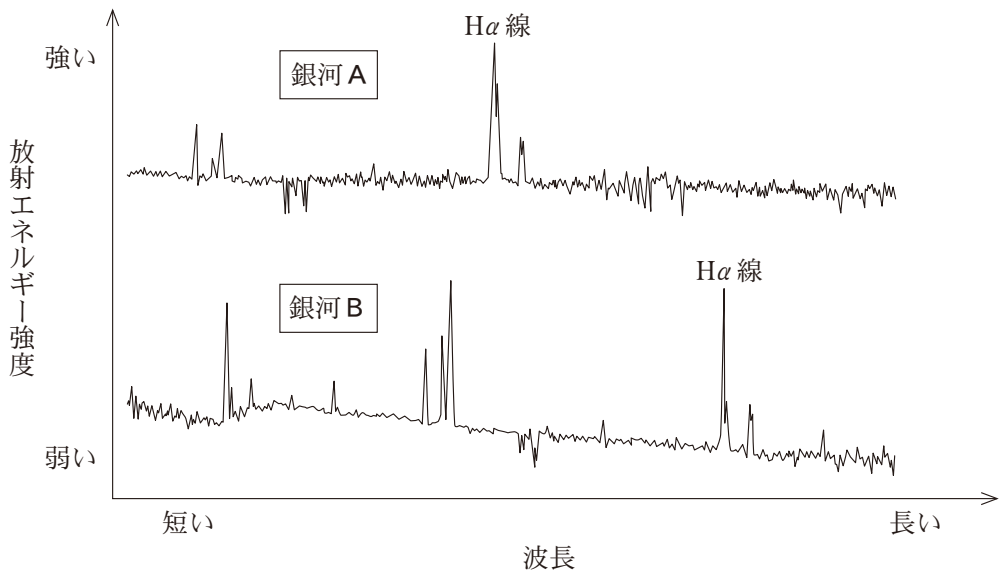


図 1—1 観測された 2 つの銀河のスペクトル

問 2 以下の問いに答えよ。(2), (4)については計算の過程も示し, 有効数字 2 桁で答えること。必要であれば, 円周率 $\pi = 3.1$, $\sqrt{2} = 1.4$ として計算してもよい。

伊与原新の小説『宙わたる教室』に次の一文がある。

「な, ちゃんと 0.38 G が作れてるだろ?」岳人がグラフの底を示して言った。

これは, 自作した重力可変装置を用いて, 火星上での重力加速度に相当する 0.38 G が実験室で作られた一場面である (G は地球上の重力加速度を意味する)。

- (1) 火星は, 重力以外にも地球と異なる特徴をもつ。火星表面の気圧は, 地球表面の気圧の (ア) 分の 1 程度である。また, 火星大気の主成分は (イ) であり, 火星と同様に (イ) を主成分とした大気をもつ太陽系の惑星は (ウ) である。

空欄 (ア) に入る最も適切な数値を以下から選べ。また, 空欄 (イ), (ウ) に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

1.7 17 170 1700

- (2) この重力可変装置で, 天体イオ上に相当する重力加速度を作り出すため, イオ上の重力加速度を求めたい。以下の表を参考に, 地球上での重力加速度を G としたときのイオ上での重力加速度を求めよ。天体は球形であると考え, ここでは自転による遠心力は無視してよい。

	平均密度 (kg/m^3)	半径 (km)
地球	5500	6400
イオ	3500	1800

- (3) イオは、太陽系で最も活発な火山活動が見られる天体である。イオは (エ) の衛星であり、活発な火山活動の原因は (エ) による (オ) 力であると考えられている。

空欄 (エ), (オ) に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。

- (4) ある小惑星の探査をおこなった。この天体は、半径 200 m の球形であり、極での重力加速度は $8.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、自転周期は $6.2 \times 10^4 \text{ s}$ であった。

(a) この小惑星の赤道で、物体にはたらく遠心力は、万有引力の何分の 1 となるか、求めよ。小惑星の密度は均一であるとする。

(b) この小惑星の重心を焦点の 1 つとする平均距離 1000 m の楕円軌道に、人工衛星を周回させることに成功した。ケプラーの法則が成り立つとして、この人工衛星が、小惑星の周囲を公転する周期を求めよ。人工衛星の質量は、小惑星に比べて、十分に小さいものとする。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

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 地球の雲はさまざまな緯度や高度で形成され、地球のエネルギー収支や水の循環において重要な役割を果たしている。図2—1は海洋上に形成される典型的な雲を模式的に描いたものである。次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

低緯度で見られる背の高い雲は、熱帯(ア)帯と亜熱帯(イ)帯とを結ぶ大規模な(ウ)循環を駆動する上で重要な役割を果たしている。亜熱帯においては一般に背の低い雲が形成される。中緯度から高緯度にかけての背の高い雲は、(エ)低気圧にともなう前線の周辺で形成されるものが多い。これらの低気圧は、(オ)波動の一部を構成するものとして形成され発達する。極域では背の低い雲が多く見られる。

- (1) 上の文章中の(ア)～(オ)に入る適切な語句をそれぞれ答えよ。
- (2) 下線部の循環にともなう水蒸気の輸送は、熱帯から亜熱帯への輸送となるか、亜熱帯から熱帯への輸送となるか、その理由とともに2行程度で答えよ。理由の説明では、「降水量」と「蒸発量」というふたつの言葉を含めよ。
- (3) 図2—1に模式的に描かれた熱帯の背の高い雲と亜熱帯の背の低い雲が、ともにシュテファン・ボルツマンの法則により宇宙空間に向けて放射エネルギーを放出しているとする。このとき単位面積あたりに放出される放射エネルギーが大きいのはどちらの雲か、理由とともに2行程度で答えよ。ただし、雲の上にある大気による放射エネルギーの吸収や放出は無視できるとする。
- (4) 図2—1の中緯度から高緯度にかけての雲は、この緯度帯でよく見られる温暖前線周辺に形成される雲を模式的に示したものである。このような雲は、一般にこの図のように雲が形成される高度が緯度とともに高くなっている。その理由を2行程度で答えよ。

- (5) エネルギー収支の観点からみると、降水は水蒸気からの雲の形成にともなう潜熱の放出により大気を加熱する現象である。地球全体の平均降水量が 3.0 mm/日 であるとき、この降水が地球の気温を何度上昇させるはたらきをもつか求めてみよう。このために地球の大気を代表した 1 m^2 を底面とする大気の柱を考え、 3.0 mm/日 の降水が地表面から大気上端までの柱中の大気の温度を一様に上昇させるとする。このとき降水は1日に気温を何度上昇させるか有効数字2桁で答えよ。計算の過程も示せ。ただし降水はすべて雨(液体の水)としておこるとする。また柱中の大気の質量を $1.0 \times 10^4 \text{ kg}$ 、大気の比熱を $1.0 \times 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$ 、水蒸気から水への凝結の潜熱を $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、水の密度を $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。大気の比熱とは、 1 kg の大気を 1 °C 上昇させるのに必要な熱エネルギーである。

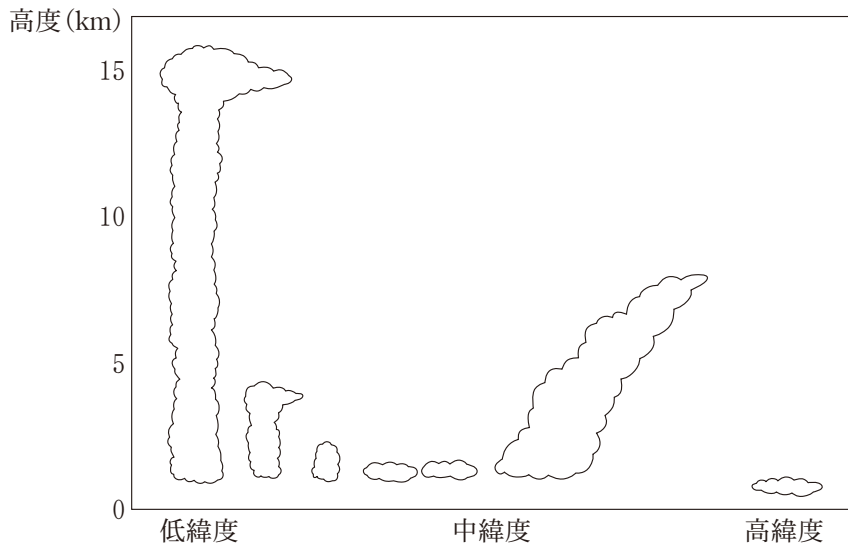


図 2—1 海洋上に形成される典型的な雲の模式図

問 2 海洋中には暖水の渦や冷水の渦が多く存在し、それらは熱や物質を輸送するため、地球環境において重要である。渦の観測に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

東北地方東方の海域には、半径が 100 km 程度の渦が存在することがある。これらは、周辺を流れる暖流である(ア)と寒流である(イ)から切り離されたものである。この海域の暖水の渦について、中心を東西に横切る線に沿って水温と塩分の鉛直分布を測った。図 2—2 の左図は、その水温の鉛直断面分布を模式的に示したものであり、等しい深さでは渦の中心に向かって水温が高くなっている。このように水温測定の結果から判断すると、暖水があることで、海面は中心に向かって高くなっており、渦を回る流れをともなっていることがわかる。図 2—2 の右図は、渦の外に位置する地点 P における水温の鉛直分布であり、この海域の典型的な分布となっていた。

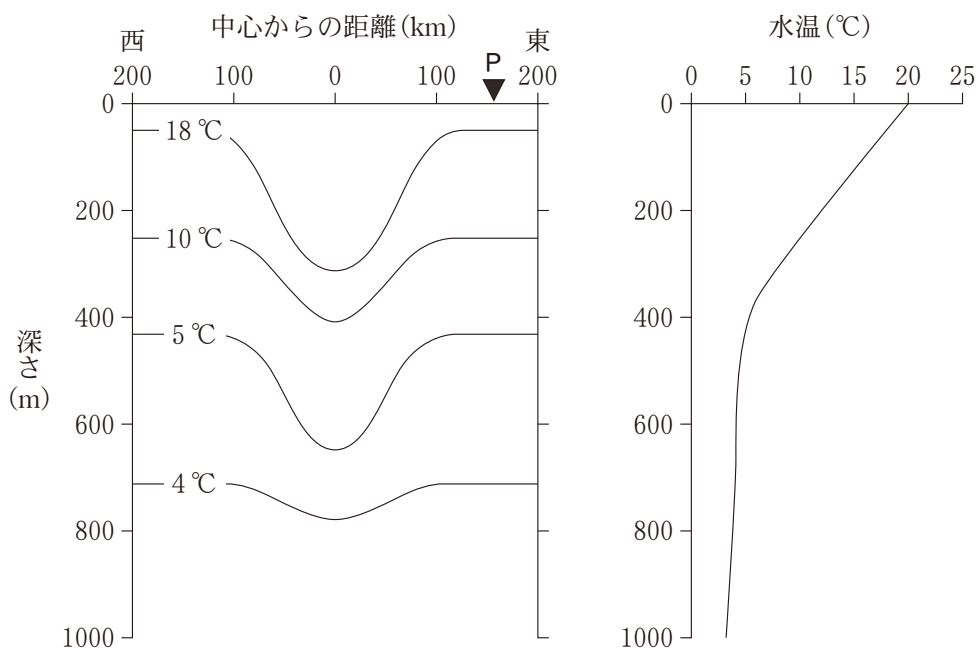


図 2—2 暖水渦を東西に横切る線での水温の鉛直断面分布の模式図(左)と、左図に示す渦の東方の地点 P における水温の鉛直分布(右)

- (1) (ア)と(イ)にあてはまる海流の名称を答えよ。
- (2) 下線部(I)について、等しい深さでは渦の中心に向かって塩分は高くなるか低くなるか、理由とともに1行程度で答えよ。
- (3) 下線部(II)について、海面の高さの違いは水温分布から推定できる。測定によれば、海面から深さ1000 mまで平均した水温は、地点Pより渦の中心の地点が 3.2°C 高かった。1000 mより深いところでは深さの等しい面での水温や圧力を等しいとし、地点Pにおける海面の高さを0 mとするとき、渦の中心の地点における海面の高さを有効数字2桁で求めよ。計算の過程も示せ。なお、この暖水渦では、海水の密度は水温が 1°C 上がると0.021%減少すると近似でき、塩分が密度に与える効果は考慮しなくてよい。
- (4) 下線部(III)について、渦を回る流れは、地衡流を仮定した場合と、さらに海水が渦を回ることによって生じる遠心力も考慮した場合を比べると、どちらが速いか、理由とともに2行程度で答えよ。
- (5) 下線部(IV)について、測定される海面の水温は、春と秋に同じような値になる。しかし、水温の鉛直分布は特徴が異なるため、どちらの季節に測定したか判別できる。図2-2に示される水温を測定したのは、5月と11月のどちらと考えられるか、理由とともに1行程度で答えよ。

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3問 固体地球および地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球内部に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

図3—1で示されるように、ある地域で震源の浅い地震が発生し、複数の地点で地震波を観測した。また、地域内にある掘削孔において様々な深度で岩石の温度測定を行った。地域内には、過去にマグマが地下深いところで形成され、マグマ上昇の際に周囲の岩石を取り込んだ噴出物が観察される場所がある。マグマに取り込まれていた岩石は、岩石A、B、Cの3種類であり、地域一帯の地殻およびマントルを構成する岩石と推定される。これらの岩石を用いた実験を行うことで、地震波観測および温度測定の結果を解釈し、地域一帯の地殻やマントルの構造および状態を推定できる。

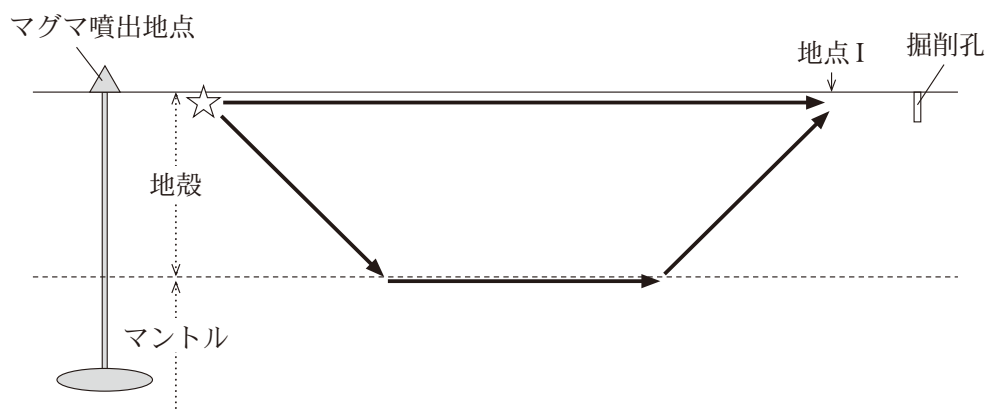


図3—1 ある地域の地下構造の模式図。震源(☆)および発生した地震波の直接波および屈折波の伝搬経路が示されている。

- (1) 岩石 A は大陸地殻を特徴づける深成岩，岩石 B は海洋地殻を代表する深成岩，岩石 C は上部マントルを代表する岩石である。岩石 A，岩石 B，岩石 C に相当する最も適切な岩石名を以下からそれぞれ選んで答えよ。

斑れい岩 片麻岩 かんらん岩 石灰岩 砂岩 花こう岩 玄武岩

- (2) 岩石 A, B, C をそれぞれ図 3—2 で示された 5.0 cm × 5.0 cm × 2.0 cm の直方体に切断し，質量 [g] を測定した。その結果の最も適切な組み合わせを以下のア～カから選んで答えよ。

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ
岩石 A	130	650	50	170	55	120
岩石 B	140	130	55	120	80	130
岩石 C	165	120	80	155	50	650

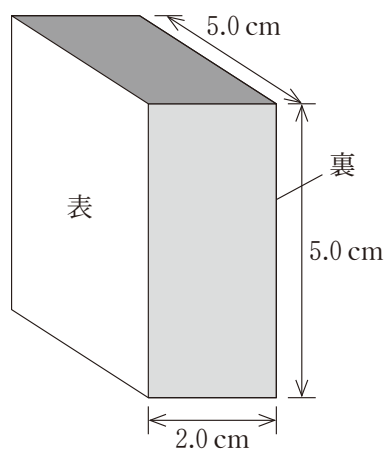


図 3—2 岩石試料の形状

- (3) 図 3—2 で示される岩石 A および C の試料表面側で P 波(縦波)および S 波(横波)を発生させ、裏面側へ伝わった波をとらえることで、P 波および S 波の試料中での伝搬時間がわかる。表 3—1 に示されたその結果をもとに、地震波観測結果を解釈する。以下の(a)および(b)の問いに答えよ。その際、地球の曲率は無視でき、地殻とマンツルの境界は地表に平行であるとする。解答では、計算過程も示し、有効数字 2 桁で求めよ。

表 3—1 岩石試料の P 波および S 波伝搬時間(秒)

	岩石 A	岩石 C
P 波の伝搬時間	3.2×10^{-6}	2.4×10^{-6}
S 波の伝搬時間	5.8×10^{-6}	4.4×10^{-6}

- (a) 地点 I において、P 波と S 波の直接波の到着時刻差は 26 秒であった。地点 I から震央までの距離 [km] を求めよ。地殻は岩石 A のみからなるとする。
- (b) 震央から地点 I、さらにその延長線上の地点での震央からの距離と P 波の到着時刻の関係(走時曲線)を調べると、地点 I が、P 波の直接波と屈折波の到着時刻が一致する地点であった。この観測結果を用いて本地域の地殻の厚さ [km] を求めよ。ただし、地殻の厚さ d 、震央から地点 I までの距離 l 、地殻を伝わる地震波速度 v_1 、マンツルを伝わる地震波速度 v_2 の間で以下の関係式が成り立つとする。

$$d = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

v_1 および v_2 はそれぞれ表 3—1 の結果から得られる岩石 A および岩石 C を伝わる P 波速度とみなしてよい。 l は(a)で求めた値を用いよ。 $\sqrt{3} = 1.7$ および $\sqrt{7} = 2.6$ として計算してもよい。

(4) 掘削孔内では、深度 100 m ごとに温度が 3.0 °C 上昇していた。掘削部分は、すべて岩石 A からなっていた。図 3—2 で示される岩石 A の実験試料の表面側から 7.5 W の熱を与え続け、十分に時間が経った後に温度を計測したところ、試料表面では 45 °C、裏面では 25 °C であった。実験中、岩石に与えた熱はすべて岩石の裏面から放出されていたとみなす。これらの観測および実験結果から、掘削孔近傍での地殻熱流量 (mW/m^2) を有効数字 2 桁で求めよ。計算の過程も示せ。その際、

$$\begin{aligned} \text{地殻熱流量} [\text{mW}/\text{m}^2] = \\ \text{地下増温率} [\text{K}/\text{m}] \times \text{岩石の熱伝導率} [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})] \times 10^3 \end{aligned}$$

の関係を用いてよい。ここで、熱伝導率は、厚さ 1 m の板の両面に 1 °C の温度差があるとき、その板の面積 1 m^2 の面を通して 1 秒間に流れる熱量のことである。

問 2 堆積物と堆積岩に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

堆積物には岩石が細くなった碎屑物、火山の噴火に由来するもの、生物の遺骸が積み重なったもの、化学的に沈殿したものなどがある。未固結の堆積物が圧密や膠結こうけつなどによってかたい堆積岩になる作用を続成作用とよぶ。^(I)^(II)

碎屑物の粒子は粒径により泥・砂・礫に分けられる。泥は粒径 0.063 mm 未満、砂は粒径 0.063 mm 以上 2 mm 未満、礫は粒径 2 mm 以上の粒子のことを指す。図 3—3 は、流水中における水の流速と粒子の粒径による侵食・運搬・堆積の関係を表した両対数グラフである。泥・砂・礫は、その粒径に応じて、動きやすさ・堆積しやすさが異なる。^(III)

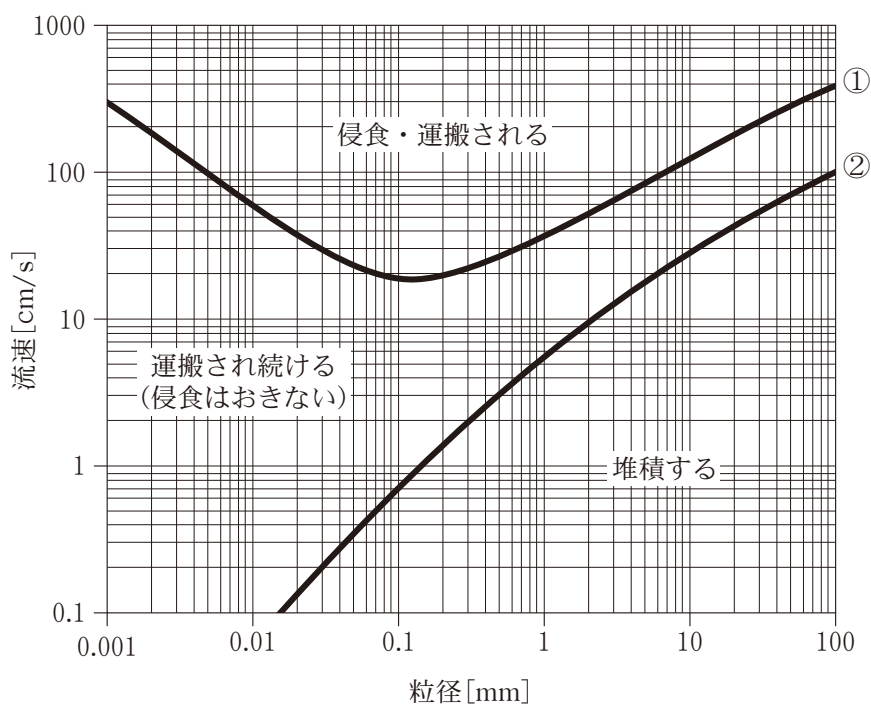


図 3—3 流速と粒径による碎屑物の侵食・運搬・堆積の関係。線①は静止している粒子が動き始める流速，線②は動いている粒子が堆積し始める流速を表す。

- (1) 下線部(I)に由来する堆積岩の例を2つ答えよ。
- (2) 下線部(II)に関して、同じ時代に同じ地域で形成され、続成作用の度合いのみが異なる地層を比較すると、続成作用を強く受けた地層のほうが、続成作用をあまり受けていない地層よりも層厚が薄くなる傾向がみえる。この理由を2行程度で答えよ。
- (3) 下線部(III)に関して、流水中の泥・砂・礫の粒子が静止している状態からの動きやすさと、動いている状態からの堆積しやすさについて、泥と礫は砂と比較してどのような特徴をもつか。適切な説明を泥・礫のそれぞれについて以下のA～Dの中から1つ選択せよ。
- A 動きやすく堆積しやすい
 - B 動きにくく堆積しやすい
 - C 動きやすく堆積しにくい
 - D 動きにくく堆積しにくい
- (4) 流水の流速が 30 cm/s の場合の粒径ごとの粒子の挙動を、図 3—3 を参考にして2行程度で述べよ。解答には、図 3—3 から読み取った数値を含めること。
- (5) 碎屑物からなる地層中に、連続的に下部から上部に向かって粒径が小さくなる級化構造が観察された。級化構造の最下部の粒径は約 30 mm、最上部の粒径は約 0.3 mm であった。流水中での堆積によってこの級化構造が形成されたとすると、堆積時の流速はどのように変化したと考えられるか。図 3—3 を参考にして1行程度で述べよ。解答には、図 3—3 から読み取った数値を含めること。

- (6) 沿岸部の潟や湿地を数メートル掘ると、津波起源の堆積物が認められることがある。津波起源の堆積物は潟や湿地における定常時の堆積物とくらべて粒径や堆積構造にどのような特徴があると考えられるか。図 3—3 を参考にして 2 行程度で述べよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)