

入学試験問題



理 科

(配点 120 点)

平成 31 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 4～23 ページ, 化学 24～39 ページ, 生物 40～65 ページ, 地学 66～85 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のみ 1 箇所をミシン目に沿って正しく切り取りなさい。
- 10 解答用紙の解答欄に, 関係のない文字, 記号, 符号などを記入してはいけません。また, 解答用紙の欄外の余白には, 何も書いてはいけません。
- 11 この問題冊子の余白は, 草稿用にも使用してもよいが, 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 水平な床面上にとった x 軸に沿って動く台車の上の物体の運動について以下の設問 I, II に答えよ。

I 図 1—1 に示すように、台車の上にはばね定数 k を持ち質量の無視できるばねを介して質量 m の物体が取り付けられており、物体は台車上を滑らかに動く。台車に固定された座標軸 y を、ばねの自然長の位置を原点として、 x 軸と同じ向きにとる。ばねは y 軸方向にのみ伸び縮みし、ばねと台車は十分長い。台車は x 軸方向に任意の加速度 a で強制的に運動させることができる。 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ として以下の設問に答えよ。

(1) 台車が $x = 0$ 、物体が $y = 0$ で静止している状態から、台車を表 1—1 に示す加速度で強制的に運動させる。加速度の大きさ a_1 は定数である。時刻 $t = t_1$ における台車の速度、および時刻 $t = 0$ から $t = t_1 + t_2$ までの間に台車が移動する距離を求めよ。

表 1—1

	時刻 t	台車の加速度 a
加速区間	$0 \sim t_1$	a_1
等速区間	$t_1 \sim t_2$	0
減速区間	$t_2 \sim (t_1 + t_2)$	$-a_1$

(2) 物体が $y = 0$ で静止している状態から、表 1—1 で $t_1 = \frac{T}{2}$ 、 $t_2 = nT$ (n は自然数) として台車を動かす。時刻 $t = t_1 + t_2$ における物体の y 座標および台車に対する相対速度を求めよ。

- (3) 次に台車をとめた状態で物体を $y = y_0 (< 0)$ にいったん固定したのち、
 $t = 0$ で物体を静かに放し、表 1—2 に示す加速度で台車を強制的に運動させる。

表 1—2

	時刻 t	台車の加速度 a
加速区間	$0 \sim \frac{T}{2}$	a_2
減速区間	$\frac{T}{2} \sim T$	$-a_2$

加速度の大きさ a_2 がある定数のとき、時刻 $t = T$ において物体の y 座標は $y = 0$ となり、台車に対する物体の相対速度も 0 となる。 a_2 の値および $t = \frac{T}{2}$ における物体の y 座標を求めよ。

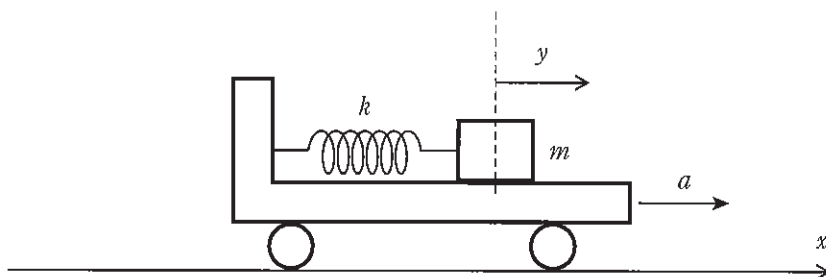


図 1—1

II 手のひらの上に棒を立て、棒が倒れないように手を動かす遊びがある。このしくみを図 1—2 に示す倒立振子で考える。倒立振子は質量の無視できる変形しない長さ ℓ の細い棒の先端に質量 m の質点を取り付けたものとし、台車上の点 O を支点として x 軸を含む鉛直平面内で滑らかに動くことができる。倒立振子の傾きは鉛直上向きから図 1—2 の時計回りの角度 θ (ラジアン) で表す。 θ の大きさは十分に小さく、 $\sin \theta \doteq \theta$ 、 $\cos \theta \doteq 1$ の近似が成り立つ。台車は倒立振子の運動の影響を受けることなく任意の加速度 a で強制的に動かせるものとする。重力加速度の大きさを g 、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ として以下の設問に答えよ。

- (1) 台車が加速度 a で加速しているとき、台車上で見ると、 θ だけ傾いた倒立振子の先端の質点には、図 1—2 に示すように重力 mg と慣性力 ($-ma$) が作用している。質点に働く力の棒に垂直な成分 f を θ 、 a 、 m 、 g を用いて表せ。ただし f の正の向きは θ が増える向きと同じとする。

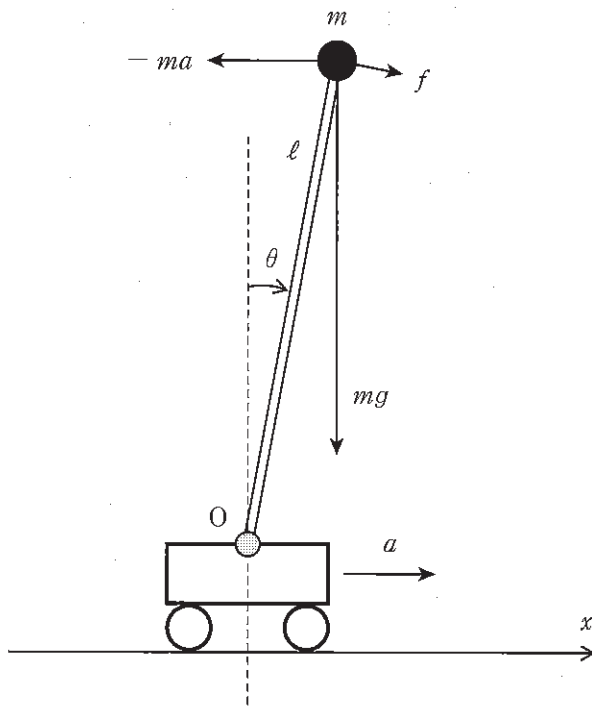


图 1—2

(2) 時刻 $t = 0$ で台車は静止しており，倒立振子を θ_0 傾けて静止させた状態から始まる運動を考える。時刻 $t = T$ で台車が静止し，かつ倒立振子が $\theta = 0$ で静止するようにしたい。そのために倒立振子を図 1—3 に示すように運動させる。すなわち単振動の半周期分の運動で θ_0 から 0 を通過して $t = \frac{T}{2}$ で θ_1 に至り，続いて θ_1 から振幅の異なる単振動の半周期分の運動ののち， $t = T$ において $\theta = 0$ に戻り静止する。このような運動となるように加速度 a を変化させる。

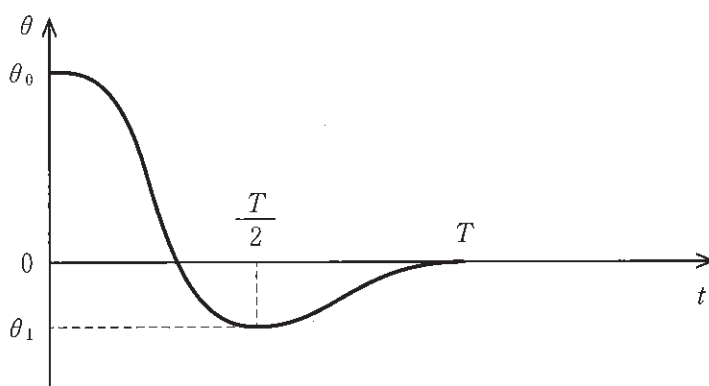


図 1—3

以下の式中の空欄 から に当てはまる式を選択肢①から⑰の中から選べ。選択肢は繰り返し使って良い。また空欄 から に当てはまる数式を書け。

時刻 $t = 0$ から $t = \frac{T}{2}$ の間の θ は

$$\theta = \text{ア} \cos \sqrt{\frac{g}{\ell}} t + \text{イ}$$

と表される。このように単振動する質点に働く復元力 F は

$$F = \text{ウ} (\theta - \text{イ})$$

である。この運動を実現するためには設問Ⅱ(1)で求めた f が F と等しければよいので加速度 a は次の式となる。

$$a = \left(\text{エ} \cos \sqrt{\frac{g}{\ell}} t + \text{オ} \right) g$$

この式の第1項が単振動の加速度と同じ形であることを考慮すると、時刻 $t = 0$ から $t = \frac{T}{2}$ の台車の速度の変化 v_1 は θ_0 , θ_1 , g , ℓ を用いて

$$v_1 = \text{i}$$

となる。

時刻 $t = \frac{T}{2}$ から $t = T$ の運動についても単振動の半周期分であるので同様に考えれば、この区間の台車の速度の変化 v_2 は θ_1 , g , ℓ を用いて

$$v_2 = \text{ii}$$

となる。よって

$$\theta_1 = \text{iii} \theta_0$$

を得る。

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ① $\frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$ | ② $\frac{\theta_0 - \theta_1}{2}$ | ③ $(\theta_0 + \theta_1)$ | ④ $(\theta_0 - \theta_1)$ |
| ⑤ θ_0 | ⑥ θ_1 | ⑦ 0 | ⑧ π |
| ⑨ $-ma$ | ⑩ $-mg$ | ⑪ $-m(g+a)$ | ⑫ $-\frac{ma}{\ell}$ |
| ⑬ $-\frac{mg}{\ell}$ | ⑭ $-\frac{m(g+a)}{\ell}$ | ⑮ $-a\ell$ | ⑯ $-g\ell$ |
| ⑰ $-(g+a)\ell$ | | | |

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 図2—1左に示すように、面積 S の薄い円板状の電極2枚を距離 d だけ隔てて平行に配置し、誘電率 ϵ 、抵抗率 ρ の物質でできた面積 S 、厚さ d の一様な円柱を電極間に挿入した。電極と円柱はすき間なく接触しており、電場は向かい合う電極間だけに生じると考えてよい。電極の抵抗は無視できるものとする。この電極と円柱の組み合わせは、図2—1右に示すように、並列に接続された抵抗値 R の抵抗と電気容量 C のコンデンサーによって等価的に表現することができる。以下の設問に答えよ。

I R と C をそれぞれ ϵ 、 ρ 、 S 、 d のうち必要なものを用いて表せ。

II 図2—2に示すように上記の電極と円柱の組み合わせを N 個積み重ねて接触させ、素子 X を構成した。スイッチを切り替えることによって、この素子 X に電圧 V_0 の直流電源、抵抗値 R_0 の抵抗、電圧 $V_1 \sin \omega t$ の交流電源のいずれかひとつを接続することができる。 ω は角周波数、 t は時間である。以下の設問(1)~(3)には ϵ と ρ は用いずに、 N 、 R 、 C のうち必要なものを含む式で解答せよ。

(1) はじめにスイッチを端子 T_1 に接続して素子 X に直流電圧 V_0 を加えた。スイッチを操作してから十分に長い時間が経過したとき、直流電源から素子 X に流れる電流の大きさと、素子 X の上端に位置する電極 E に蓄積される電気量を求めよ。

(2) 続いてスイッチを端子 T_1 から T_2 に切り替えたところ、抵抗 R_0 と素子 X に電流が流れた。ただしスイッチの操作は十分短い時間内に行われ、スイッチを操作する間に素子 X 内の電極の電気量は変化しないものとする。スイッチを操作してから十分長い時間が経過したところ、電流が流れなくなった。スイッチを端子 T_2 に接続してから電流が流れなくなるまでに抵抗 R_0 で生じたジュール熱を求めよ。また、素子 X を構成する電極と円柱の組み合わせの個数 N を増やして同様の操作を行ったとき、抵抗 R_0 で発生するジュール熱は N の増加に対してどのように変化するかを次の①~④から一つ選べ。

- ① 単調に増加する ② 単調に減少する ③ 変化しない
④ 上記①から③のいずれでもない

(3) 次にスイッチを端子 T_2 から T_3 に切り替え、素子 X に交流電圧 $V_1 \sin \omega t$ を加えた。スイッチを操作してから十分に長い時間が経過したとき、交流電源から素子 X へ流れる電流を求めよ。

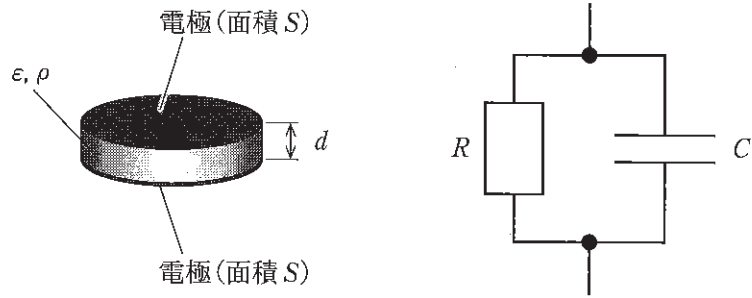


図 2—1

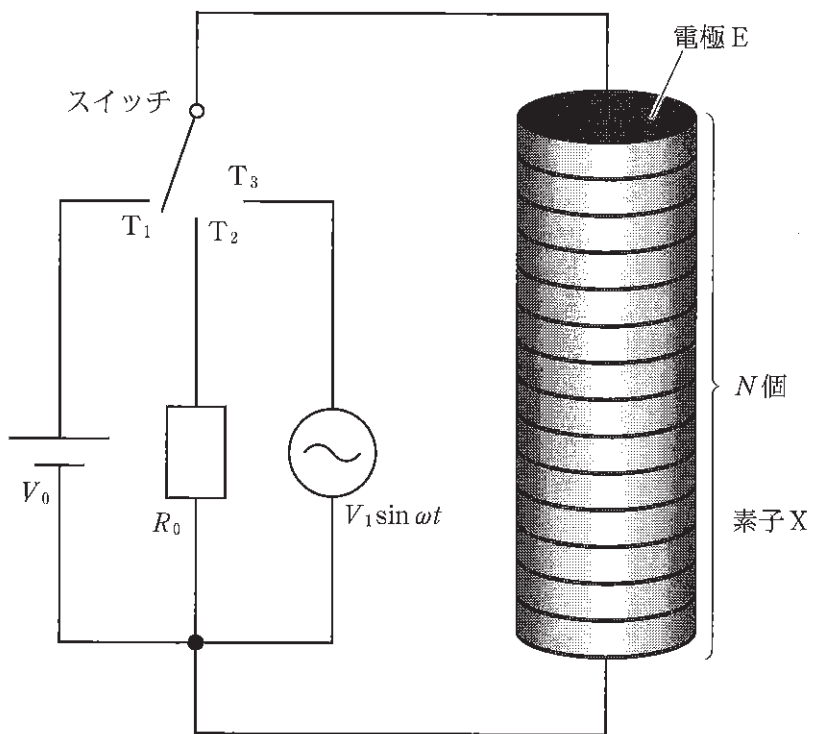


図 2—2

III 設問Ⅱで用いた素子 X を構成する物質の ϵ および ρ の値が未知であるとき、これらの値を求めるためにブリッジ回路を用いる方法がある。図 2—3 のように素子 X、設問Ⅱの交流電源、交流電流計、3つの抵抗と1つのコンデンサーを配置し、交流ブリッジ回路を構成した。抵抗値と電気容量の大きさを調節したところ、交流電流計に電流が流れなくなった。このとき、図 2—3 のように各抵抗の抵抗値は $R_1, 2R_1, R_2$ 、コンデンサーの電気容量は $C_0 = \frac{1}{\omega R_2}$ であった。次の から に入る適切な数式を書け。なお、J, K, L, M は回路上の点を表す。

K-M 間の電圧は である。このことを用いて、抵抗 R_2 に流れる電流を、 C_0 を含まない式で表すと、 $\sin \omega t$ + $\cos \omega t$ となる。一方、J-K 間の電圧は であることから、J-L 間を流れる電流を C や R を含む式で表すと $\sin \omega t$ + $\cos \omega t$ となる。以上のことから次式が得られる。

$$\begin{cases} \epsilon = \text{キ} \\ \rho = \text{ク} \end{cases}$$

ただし、 と は $R_1, R_2, \omega, N, S, d$ のうち必要なものを用いて表すこと。

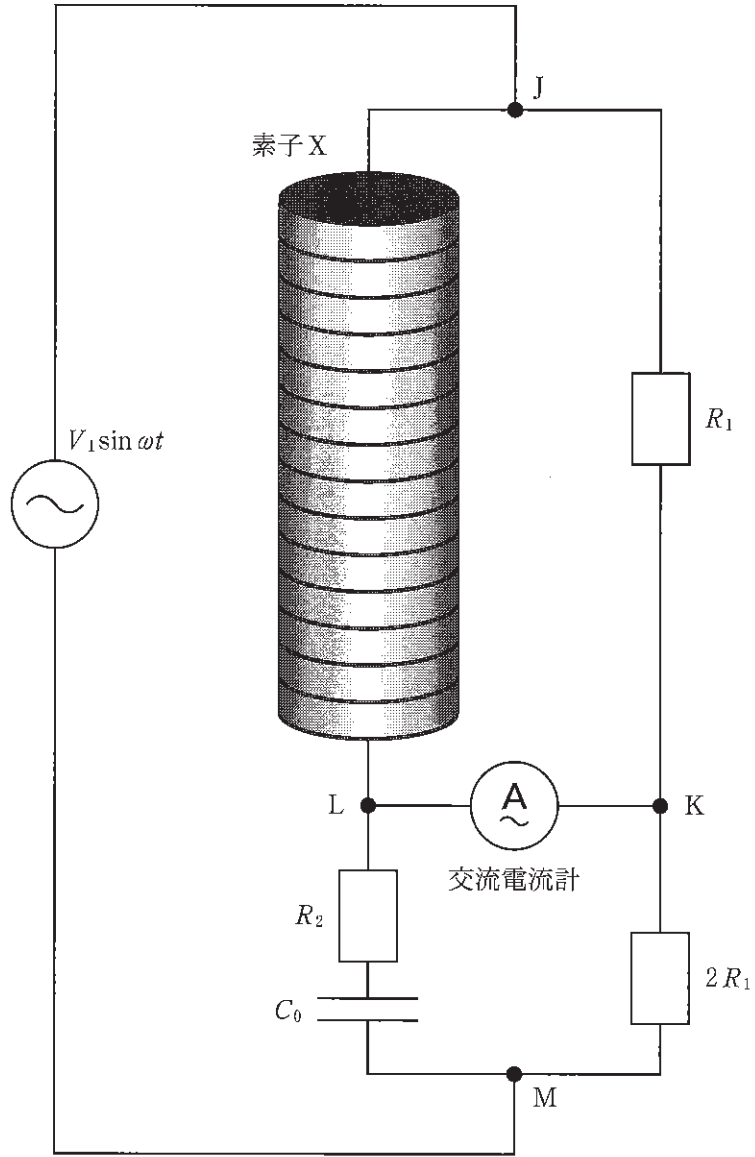


图 2—3

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 光の屈折に関する以下の設問Ⅰ，Ⅱに答えよ。問題文中の屈折率は真空に対する屈折率(絶対屈折率)とする。また，角度は全てラジアンで表す。光源からは全方向に光が放射されているものとする。光の反射は無視してよい。

Ⅰ 図3—1に示すように，媒質1(屈折率 n_1)と媒質2(屈折率 n_2)の境界での光の屈折を考える。境界は点Oを中心とする半径 r の球面の一部であり，左に凸とする。点Oと光源(点C)を通る直線を x 軸とし，球面が x 軸と交わる点をBとする。光源は点Bから左に x_1 だけ離れており，そこから発した図中の太矢印方向の光線は， x 軸から高さ h の球面上の点Pで屈折する。このときの入射角を θ_1 ，屈折角を θ_2 とする。

境界の右側から光源を見ると，あたかも光源が点A(点Bから左に x_2 離れた位置)にあるように見える。本設問Ⅰおよび次の設問Ⅱでは，これを「見かけ上の光源」と呼ぶことにする。以下，入射角が微小となる光線を考える。すなわち，図中の角度 θ_1 ， θ_2 ， α_1 ， α_2 ， ϕ について微小角度 β に対する近似式 $\sin \beta \approx \beta$ が成り立ち， $CP \approx x_1$ ， $AP \approx x_2$ と近似できる場合を考える。以下の問に答えよ。

- (1) $\frac{\theta_1}{\theta_2}$ を n_1 ， n_2 を用いて表せ。
- (2) θ_1 ， θ_2 をそれぞれ α_1 ， α_2 ， ϕ の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) α_1 ， α_2 ， ϕ をそれぞれ x_1 ， x_2 ， r ， h の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 問(1)—(3)で得た関係式を組み合わせることで(式1)が導かれる。 x_1 ， x_2 を用いて空欄 ， を埋め，この式を完成させよ。

$$n_1 \left(\frac{1}{r} + \text{ア} \right) = n_2 \left(\frac{1}{r} + \text{イ} \right) \quad (\text{式1})$$

- (5) 媒質1と媒質2の境界が右に凸の球面の場合を問(1)—(4)と同様に考える。このとき，光源が点Oより左側にある場合[図3—2(A)]と，右側にある場合[図3—2(B)]が考えられる。それぞれの場合に対し， n_1 ， n_2 ， r ， x_1 ， x_2 の間に成り立つ関係式を(式1)と同様の形で表せ。

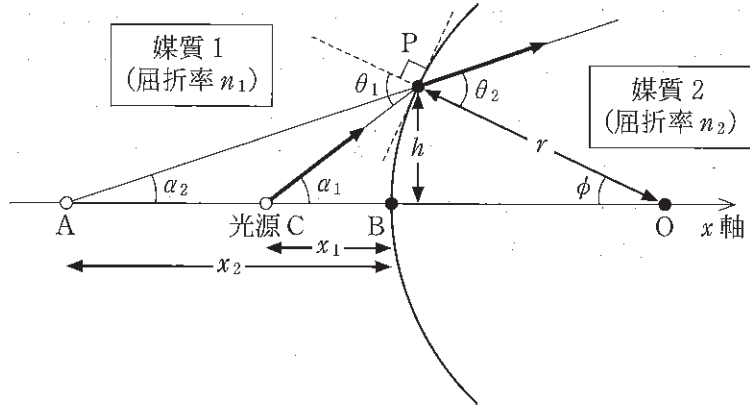


图 3—1

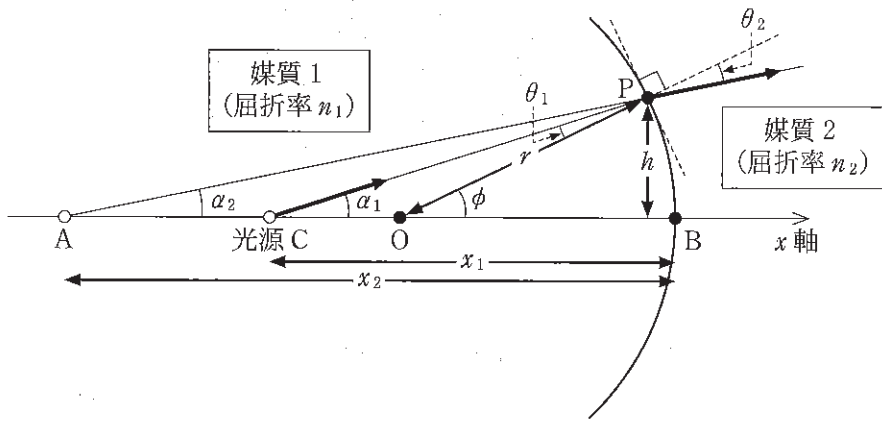


图 3—2(A)

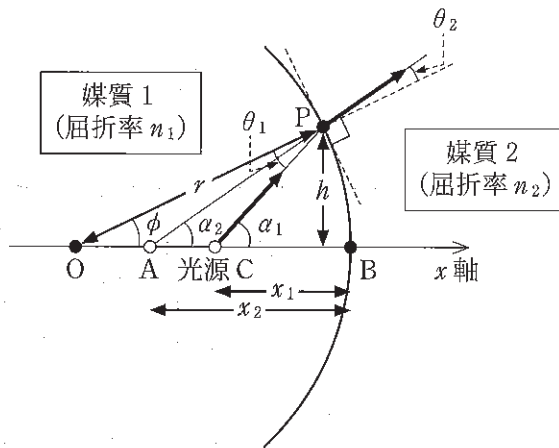


图 3—2(B)

- II (1) 図 3—3 に示すように、屈折率 n_1 の媒質 1 に光源があり、屈折率 n_2 の媒質 2 に観察者がいる。媒質 1 と媒質 2 の境界は平面であり、(式 1)において r が非常に大きい場合 $\left(\frac{1}{r} \cong 0\right)$ とみなすことができる。境界から光源までの距離を L_1 、境界から観察者までの距離を L_2 、光源から観察者までの距離を $L_1 + L_2$ とするとき、観察者から設問 I で述べた「見かけ上の光源」までの距離を n_1 、 n_2 、 L_1 、 L_2 を用いて表せ。

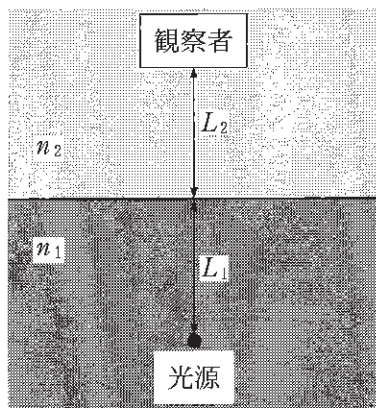


図 3—3

- (2) 設問 II(1)の状況で、屈折率 n_f の透明な板を図 3—4 に示すように境界の上に置くことで、観察者から「見かけ上の光源」までの距離を $L_1 + L_2$ にすることができた。このとき、板の厚さ d を求めよ。また、 n_f と n_1 、 n_2 の大小関係を示せ。ただし、 n_1 、 n_2 、 n_f はすべて異なる値とする。

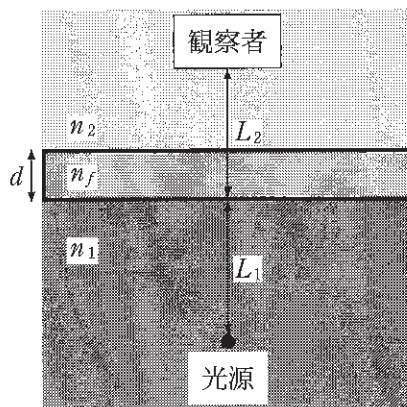


図 3—4

- (3) 設問Ⅱ(2)で置いた板を取り除いたのち、媒質1と媒質2の境界を図3—5の(A)または(B)のように変形させた。変形した部分は半径 r の球の一部とみなすことができる。ただし、境界面の最大変位 δ は L_1 、 L_2 に比べて十分小さく無視してよい。いま、 $n_1 = 1.5$ 、 $n_2 = 1$ 、 $L_1 = 1\text{ m}$ 、 $L_2 = 2\text{ m}$ とする。このとき、変形した部分を通して見ると、観察者から4 mの位置に「見かけ上の光源」が見えた。この場合の球面は、下に凸[図3—5(A)]、または上に凸[図3—5(B)]のうちのいずれであるか。(A)または(B)の記号で答えよ。さらに、 r の値を求めよ。

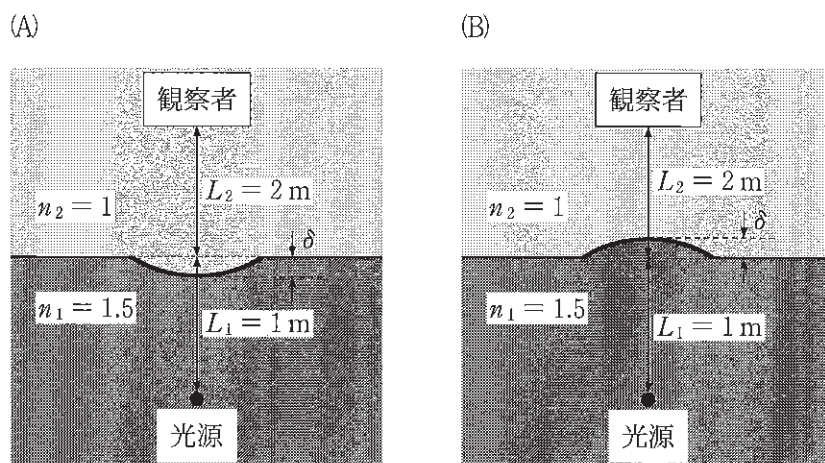


図3—5

- (4) 設問Ⅱ(3)の状況で、観察者の位置に厚さの無視できる薄いレンズを一つ置き、その上から見たところ、「見かけ上の光源」が光源と同じ位置(レンズから3 mの位置)に見えた。このとき、凸レンズと凹レンズのどちらを用いたか答えよ。また、このレンズの焦点距離を求めよ。

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。)

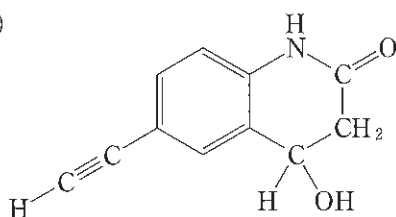
化 学

第1問

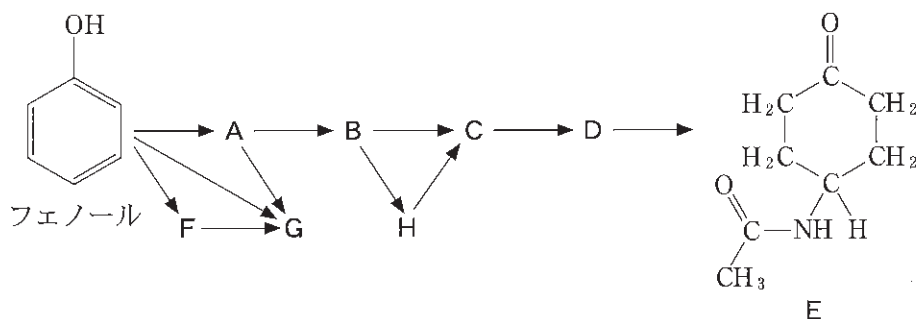
次の文章を読み、問ア～ケに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。構造式を示す場合は、例にならって、不斉炭素原子上の置換様式(紙面の上下)を特定しない構造式で示すこと。

元 素	H	C	N	O
原子量	1.0	12.0	14.0	16.0

(構造式の例)



フェノールでは、様々な置換反応がベンゼン環上の特定の位置で起こりやすい。この置換反応は、多様な医薬品や合成樹脂を合成する際に利用される。そこで、フェノールから下記の化合物 A, B, C および D を経由して、医薬品と関連する化合物 E を合成する計画を立て、以下の実験 1～8 を行った。



実験 1：フェノールに、希硝酸を作用させると、互いに同じ分子式を持つ A と化合物 F の混合物が得られた。この混合物から、A と F を分離した。

実験 2 : フェノールに、濃硝酸と濃硫酸の混合物を加えて加熱し、十分に反応させると、化合物 G が得られた。A および F を、それぞれ同条件で反応させても、G が得られた。

実験 3 : A を濃塩酸中で鉄と処理した。その後、炭酸水素ナトリウム水溶液を加えたところ、二酸化炭素が気体として発生し B が得られた。

実験 4 : B に、水溶液中で X を作用させると C が得られた。

実験 5 : B に、希硫酸中で X を作用させると、C と異なる化合物 H が得られた。H は、塩化鉄(III)水溶液で呈色しなかった。

実験 6 : H に、Y の水溶液を作用させた後に、希硫酸を加えたところ、C と酢酸が得られた。C と酢酸の物質量の比は、1 : 1 であった。

実験 7 : C に、ニッケルを触媒として Z を作用させると、D が得られたが、未反応の C も残った。そこで C と D の混合物のエーテル溶液を分液ロートに移し、Y の水溶液を加えてよく振った。水層とエーテル層を分離した後に、エーテル層を濃縮して D を得た。

実験 8 : D に、硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を作用させると、目的とする E が得られた。

フェノールとホルムアルデヒドの重合反応により、電気絶縁性に優れるフェノール樹脂が合成できる。塩基性触媒存在下にて処理すると、フェノールとホルムアルデヒドは、付加反応と縮合反応を連続的に起こし、フェノールの特定の位置が置換されたレゾールが生成する。レゾールを加熱すると、フェノール樹脂が得られる。これに関連する以下の実験 9 ~ 11 を行った。

実験 9 : フェノールとホルムアルデヒドを物質量の比 2 : 3 で重合し、さらに加熱すると、フェノール樹脂が得られた。

実験 10 : 実験 9 で得られたフェノール樹脂を完全燃焼させたところ、水と二酸化炭素が生成した。

実験 11 : 示性式 $C_6H_4(CH_3)OH$ で表されるクレゾールは、三種類の異性体を持つ。塩基性触媒存在下、クレゾールとホルムアルデヒドの重合反応により三種類のクレゾールに対応する生成物を得た。三種類の生成物をそれぞれ加熱すると、一つの生成物のみがフェノール樹脂と同様の硬い樹脂になった。

(問)

- ア 化合物 A の構造式を示せ。
- イ 化合物 G の構造式を示せ。
- ウ 化合物 H の構造式を示せ。
- エ 化合物 D の構造式を示せ。また、D には立体異性体が、いくつ存在しているか答えよ。
- オ X, Y および Z の物質名をそれぞれ書け。
- カ 実験 7 の分液操作で C と D が分離できる理由を述べよ。
- キ 下線部①のレゾールの例としてフェノール 2 分子とホルムアルデヒド 1 分子の反応において得られる化合物 I がある。I は、2 分子のフェノールのベンゼン環がメチレン基 ($-\text{CH}_2-$) によってつながれた構造を持つ。I の構造式をすべて示せ。
- ク 実験 10 において生成した水に対する二酸化炭素の重量比を有効数字 2 桁で求めよ。なお、実験 9 においては、反応が完全に進行したものとする。
- ケ 実験 11 において硬い樹脂を与えるクレゾールの異性体の構造式を示し、それが硬化した理由および他の異性体が硬化しなかった理由を述べよ。

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。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	O	P	Ca	Ni	Cu	Au
原子量	1.0	16.0	31.0	40.1	58.7	63.5	197

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

Ⅰ 次の文章を読み，問ア～オに答えよ。

リン酸カルシウムを含む鉱石に，コークスを混ぜて強熱すると P_4 の分子式で
 ① 表される黄リン(白リンとも呼ばれる)が得られる。黄リンを空气中で燃焼させると白色の十酸化四リンが得られる。十酸化四リンは，強い吸湿性を持ち乾燥剤や脱水剤に利用され，水と十分に反応するとリン酸になる。リン酸は，図2-1に示したように，水素-酸素燃料電池の電解質として使われる。

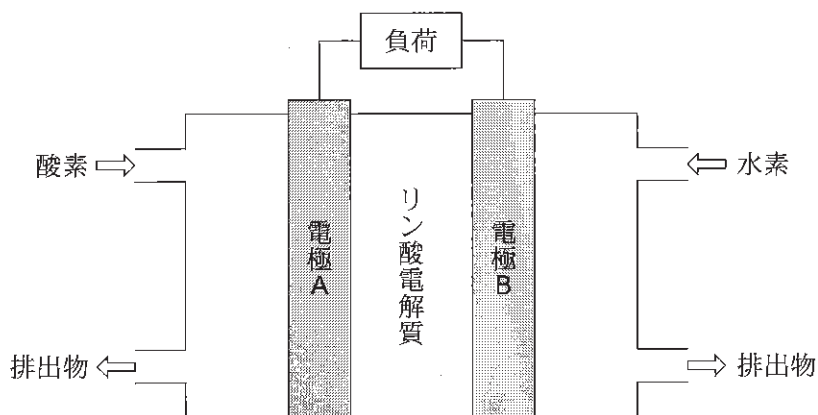
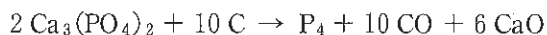


図2-1 リン酸電解質を用いた水素-酸素燃料電池の模式図

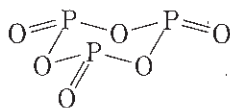
(問)

ア 下線部①の反応は以下の化学反応式で表される。



上記の反応は、十酸化四リンを生成する第一段階の反応と、十酸化四リンと炭素の間の第二段階の反応の組み合わせとして理解できる。それぞれの反応の化学反応式を示せ。

イ 下図は、無極性分子の十酸化四リンの分子構造の一部を立体的に示したものである。この構造を解答用紙に描き写し、他の必要となる構造を描き加えることで分子構造を完成させよ。



ウ 図2—1の電極Aと電極Bでのそれぞれの反応を電子 e^- を用いた反応式で示せ。また、正極となる電極は電極Aと電極Bのどちらであるかを答えよ。

エ 図2—1の燃料電池を電圧0.50Vにおいて、10時間作動させたところ、90kgの水が排出された。このとき、電池から供給された電力量は何Jか、有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。なお、 $1\text{J} = 1\text{C}\cdot\text{V}$ である。

オ 燃料電池の性能を評価する指標の一つに、発電効率が用いられる。発電効率は、燃料に用いた物質の燃焼熱のうち、何%を電力量に変換できたかを示す指標である。図2—1の燃料電池が作動する際の反応は、全体として、水素の燃焼反応として捉えることができ、水素の燃焼熱は286kJ/molである。問エの電池作動時の発電効率は何%か、有効数字2桁で答えよ。

II 次の文章を読み、問カ～サに答えよ。

ある黄銅鉱から得られた試料 C は、 CuFeS_2 を主成分とし、不純物としてニッケルおよび金を含んでいた。この試料 C から銅と鉄を精製するため、以下の実験を行った。

実験 1 : 試料 C を酸素とともに強熱すると気体 D が発生し、硫黄を含まない固体 E が得られた。気体 D は水に溶解することで、亜硫酸水溶液として除去した。

実験 2 : 固体 E をさらに強熱すると融解し、上下二層に分離した。上層からは金属酸化物の混合物である固体 F が、下層からは金属の混合物である固体 G が得られた。固体 F にニッケルおよび金は含まれなかった。

実験 3 : 固体 F を希硝酸中で加熱すると、 Cu^{2+} イオンと Fe^{3+} イオンを含む水溶液 H が得られた。

実験 4 : 水溶液 H に過剰量の塩基性水溶液 X を加えると、銅を含まない赤褐色の固体 I が得られた。

実験 5 : 固体 I を強熱すると Fe_2O_3 が得られた。この得られた Fe_2O_3 をメタンの存在下で強熱したところ、② 純粋な鉄が得られた。

実験 6 : 固体 G を陽極、黒鉛を陰極として、硫酸銅(II)水溶液中で電解精錬を行ったところ、陰極側で純粋な銅が得られた。

(問)

カ 気体 D の化学式を答えよ。

キ 実験 3 の水溶液 H に適切な金属を加えることで Cu^{2+} イオンのみを還元できる。以下の金属のうち、この方法に適さない金属が一つある。その金属を答え、用いることができない理由を二つ述べよ。

ニッケル スズ 鉛 カリウム

ク 実験 4 の水溶液 X として適切な溶液の名称を答えよ。

ケ 固体 I の化学式を答えよ。

コ 下線部②では、鉄のほかに二酸化炭素と水が生成した。1.0 mol の鉄を得るのにメタンは何 mol 必要か、有効数字 2 桁で答えよ。

サ 実験 6 の電解精錬において、1.00 L の硫酸銅(II)水溶液中、 $3.96 \times 10^5 \text{ C}$ の電気量を与えた。固体 G 中の銅、ニッケル、金の物質量の比は、94.0 : 5.00 : 1.00 であり、陽極に用いた固体 G 中の物質量の比は電解精錬前後で変わらなかった。電解精錬後の水溶液のニッケル濃度は何 g/L か、有効数字 3 桁で答えよ。与えられた電気量は、全て金属の酸化還元反応に用いられ、水溶液の体積および温度は電解精錬前後で変わらないものとする。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3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。

酸化還元滴定を行うために以下の溶液を調製した。

溶液 A : 0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 水溶液。

溶液 B : ある物質量のヨウ化カリウム (KI) とヨウ素 (I_2) を水に溶かして 1.00 L とした水溶液。

次に以下の実験を行った。

実験 1 : 溶液 B から 250 mL を取り、水を加えて希釈し 1.00 L とした。ここから 100 mL を取り、これに溶液 A を滴下した。溶液が淡黄色になったところでデンプン溶液を数滴加えると、溶液は青紫色になった。さらに、溶液 A を滴下し、溶液が無色になったところで、滴下をやめた。滴下した溶液 A の全量は、15.7 mL であった。

実験 2 : 少量の硫化鉄(Ⅱ)に希硫酸をゆっくり加えて、気体 C を発生させた。溶液 B から 250 mL を取り、この溶液に気体 C をゆっくり通して、反応させた。この溶液に水を加えて希釈し 1.00 L とした。ここから 100 mL を取り、これに溶液 A を滴下した。溶液が淡黄色になったところでデンプン溶液を数滴加えると、溶液は青紫色になった。さらに溶液 A を滴下し、溶液が無色になったところで、滴下をやめた。滴下した溶液 A の全量は、10.2 mL であった。

(問)

- ア 実験 1, 2 では, ヨウ素とチオ硫酸ナトリウムが反応し, テトラチオン酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$) が生じる。この化学反応式を記せ。
- イ 実験 2 で気体 C とヨウ素との間で起こる反応を化学反応式で記せ。また, 反応の前後で酸化数が変化したすべての元素を反応の前後の酸化数とともに記せ。
- ウ 溶液 B を調製するとき溶かしたヨウ素の物質量は何 mol か, 有効数字 3 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- エ 実験 2 で反応した気体 C の物質量は何 mol か, 有効数字 3 桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- オ 各滴定に用いたビュレットの最小目盛りは 0.1 mL であり, 滴下した溶液の量には, ± 0.05 mL 以内の誤差があるとする。このビュレットを用いた場合, 実験に用いる各溶液の濃度を変えると, 求められる気体 C の物質量の誤差の範囲に影響が及ぶことがある。以下に挙げた(1)~(4)の中で, 求められる気体 C の物質量の誤差の範囲が最も狭くなるものを選び, その理由を述べよ。
- (1) 溶液 A のチオ硫酸ナトリウムの濃度を 2 倍にする。
 - (2) 溶液 A のチオ硫酸ナトリウムの濃度を 0.5 倍にする。
 - (3) 溶液 B のヨウ素の濃度を 2 倍にする。
 - (4) 溶液 B のヨウ素の濃度を 0.5 倍にする。

II 次の文章を読み、問カ～シに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73$$

二種類の陽イオン M_A , M_B と一種類の陰イオン X からなるイオン結晶には、図3—1に示す結晶構造をもつものがある。この結晶構造では、一辺の長さが a の立方体単位格子の中心に M_A が、頂点に M_B が位置し、 X は立方体のすべての辺の中点にある。

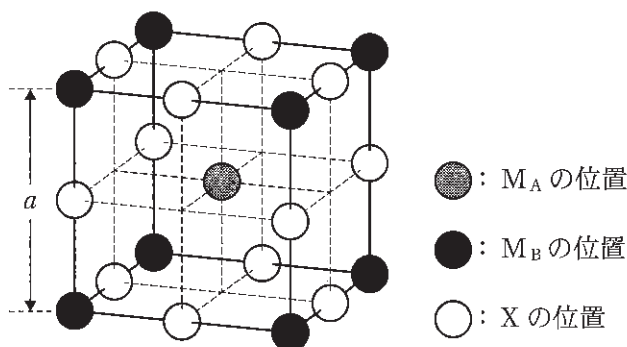


図3—1 M_A , M_B , X からなるイオン結晶の構造

〔問〕

- カ 図3—1に示すイオン結晶の組成式を M_A , M_B , X を用いて表せ。
- キ M_A および M_B の配位数をそれぞれ答えよ。
- ク 図3—1の結晶構造において、 M_A と X をすべて原子 Y に置き換え、すべての M_B を取り除いたとする。このとき、 Y の配列は何と呼ばれるか答えよ。
- ケ 図3—1の結晶構造において、 M_A と X をすべて陰イオン Z に置き換え、単位格子のすべての面の中心に新たに M_B を付け加えたとする。このときに得られるイオン結晶の組成式を、 M_B と Z を用いて表せ。また、この構造をもつ物質を一つ答えよ。

- コ 図3-1の結晶構造をもつ代表的な物質として、 M_A が Sr^{2+} 、 M_B が Ti^{4+} 、 X が O^{2-} であるチタン酸ストロンチウムがある。その単位格子の一边は $a = 0.391 \text{ nm}$ である。イオン半径 0.140 nm をもつ O^{2-} と、 Sr^{2+} および Ti^{4+} が接していると仮定して、各陽イオンの半径は何 nm か、小数第3位まで求めよ。
- サ 図3-1の結晶構造をもつイオン結晶の安定性には、構成イオンの価数の組み合わせが重要である。 X を O^{2-} とし、表3-1にある M_A と表3-2にある M_B からそれぞれ一つを選んでイオン結晶を作るとする。価数の観点から安定な M_A と M_B の組み合わせをすべて答えよ。

表3-1 M_A のイオン半径 r_A

M_A	Ca^{2+}	Cs^+	La^{3+}	Ce^{4+}
$r_A [\text{nm}]$	0.134	0.188	0.136	0.114

表3-2 M_B のイオン半径 r_B

M_B	Fe^{3+}	Zr^{4+}	Mo^{6+}	Ta^{5+}
$r_B [\text{nm}]$	0.065	0.072	0.059	0.064

- シ 図3-1の結晶構造をもつイオン結晶の安定性には、構成イオンの相対的な大きさも重要となる。その尺度として、以下のパラメータ u を用いることとする。

$$u = \frac{r_A + r_X}{r_B + r_X}$$

ここで、 r_A 、 r_B 、 r_X は、それぞれ M_A 、 M_B 、 X のイオン半径である。 X が O^{2-} ($r_X = 0.140 \text{ nm}$)のとき、問サで選択した M_A と M_B の組み合わせの中で、パラメータ u の値に基づき、最も安定と予想されるものを答えよ。また、その理由を記せ。

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。)

生 物

第1問

次のⅠ、Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文1、文2を読み、問A～Dに答えよ。

[文1]

多くの生物の発生は、1個の細胞からなる受精卵から始まる。発生の過程では、細胞分裂が繰り返し起こって多数の細胞が作られ、それらは多様な性質を持った細胞に分化しながら生物の体を作り上げていく。分裂により生じた細胞は親細胞の性質を受け継ぐこともあるが、他の細胞との相互作用により性質を変化させることもある。^(ア)発生学の研究によく用いられる生物である「線虫」での一例について、いくつかの実験を通して細胞分化のしくみを考察しよう。

発生のある時期において、生殖腺原基の中の2つの細胞、A細胞とB細胞は、図1—1のように隣り合わせに配置しているが、いずれもそれ以上分裂せず、その後、C細胞とよばれる細胞かD細胞とよばれる細胞に分化する(図1—2(a))。その際、A細胞、B細胞のそれぞれがC細胞とD細胞のいずれの細胞になるかは、個体によって異なっていて、ランダムに一方のパターンが選ばれるように見える。しかしC細胞が2個またはD細胞が2個できることはない。どうしてうまく2種類の細胞になるのだろうか。以下の実験をみてみよう。

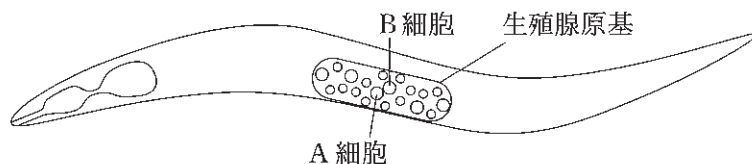


図1—1 線虫の幼虫

実験1 X遺伝子の突然変異によりXタンパク質が変化した突然変異体線虫が2種類みつかった。ひとつは、Xタンパク質が、X(-)という機能できない形に変化した変異体である(以下これをX(-)変異体とよぶ)。もうひとつは、Xタンパク質が、常に機能してしまうX(+++)という形に変化した変異体である(以下これをX(+++)変異体とよぶ)。なお、正常型の変異型でないXタンパク質をX(+)と書くことにする。X(-)変異体ではA細胞とB細胞がいずれもC細胞に分化した。X(+++)変異体ではA細胞とB細胞がいずれもD細胞に分化した(図1-2(b))。

実験2 遺伝学の実験手法を用いて、A細胞とB細胞のうち、一方の細胞だけの遺伝子がX(-)を生じる変異をもつようにした(他方の細胞はX(+)を生じる正常型遺伝子をもつ)。すると、X(-)遺伝子をもつ細胞が必ずC細胞に、X(+)遺伝子をもつ細胞が必ずD細胞に分化した(図1-2(c))。

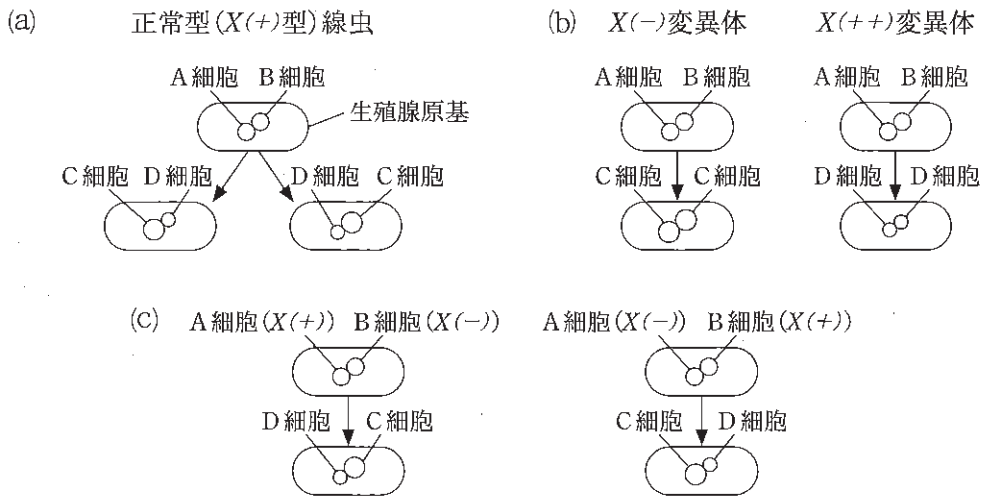


図1-2 線虫のC細胞とD細胞の分化の過程
A細胞~D細胞以外の細胞は省略した。

[問]

A 下線部(ア)について。胚のある領域が隣接する他の領域に作用してその分化の方向を決定する現象を何というか、答えよ。

B 文1および実験1, 2の結果から、どういうことがいえるか。以下の選択肢(1)~(6)から適切なものをすべて選べ。(注：ここでいう分化とは、もともとA細胞またはB細胞であった細胞が、C細胞に分化するか、D細胞に分化するかということ。)

- (1) A細胞とB細胞は相互に影響を及ぼし合いながらそれぞれの分化を決定している。
- (2) A細胞とB細胞は他方の細胞とは関係なくそれぞれの分化を決定する。
- (3) A細胞はB細胞に影響を及ぼさないが、B細胞はA細胞に影響を及ぼしてA細胞の分化を決定する。
- (4) A細胞またはB細胞がC細胞に分化するにはその細胞でXタンパク質がはたらくことが必要である。
- (5) A細胞またはB細胞がD細胞に分化するにはその細胞でXタンパク質がはたらくことが必要である。
- (6) A細胞またはB細胞がD細胞に分化するには他方の細胞でXタンパク質がはたらくことが必要である。

[文 2]

C細胞とD細胞の分化に関係するもうひとつのタンパク質として、Xタンパク質に結合するYタンパク質が見つかった。Yタンパク質の機能がなくなる変異体(Y(-)変異体)ではX(-)変異体と同様にA細胞とB細胞がいずれもC細胞に分化した。

実験3 各細胞でのXタンパク質の量を調べたところ、図1-3(a)のような結果が得られた。

実験4 各細胞でのYタンパク質の量を調べたところ、図1-3(b)のような結果が得られた。

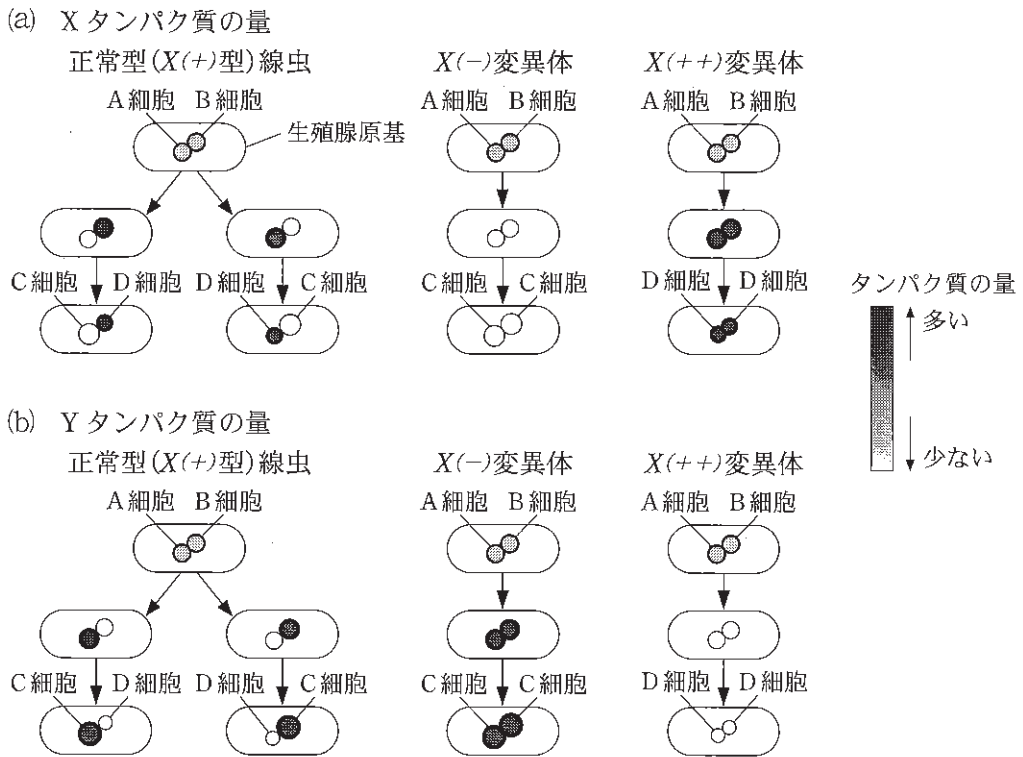


図1-3 各細胞でのXタンパク質(a)とYタンパク質(b)の量の変化
A細胞~D細胞以外の細胞は省略した。

Xタンパク質の細胞の外側に位置する部分にYタンパク質が結合すると、Xタンパク質は活性化され、その情報を核の中に伝え、X遺伝子とY遺伝子の発現(転写)を制御する(図1-4)。

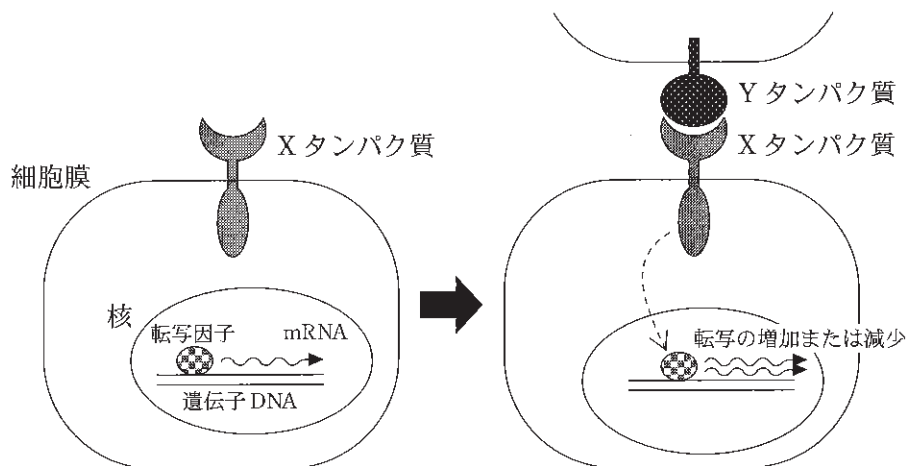


図1-4 Xタンパク質とYタンパク質のはたらきかた

〔問〕

- C 文1, 文2の内容と実験1～4の結果から, 以下の文中の空欄1～5に入る適切な語句をそれぞれ下記の選択肢①～⑩から選べ。解答例: 1—①, 2—②

A細胞とB細胞が生じた直後は, いずれの細胞も同程度のXタンパク質とYタンパク質を発現している。一方の細胞から突き出ているYタンパク質は隣の細胞の タンパク質に作用し, そのタンパク質のはたらきを強める。その結果, 作用を受けた細胞ではYタンパク質が し, Xタンパク質が する。A細胞とB細胞が生じた直後には, 上記の作用がA細胞とB細胞の間で拮抗しているが, 一旦バランスが崩れると, Yタンパク質の量は一方の細胞で急激に増えて他方の細胞では急激に減ることになる。Yタンパク質が増加した細胞のXタンパク質は し, その細胞は 細胞に分化する。

語句

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ X
⑥ Y ⑦ 変異 ⑧ 分化 ⑨ 増加 ⑩ 減少

- D 正常型の線虫で, A細胞とB細胞が生じた直後に一方の細胞をレーザーにより破壊した。このとき, 残った細胞はC細胞, D細胞のいずれになると予想されるか。文1, 文2の内容と実験1～4の結果をもとに考察し, 理由も含めて2行程度で答えよ。

II 次の文3を読み、問E～Hに答えよ。

[文3]

線虫でのもうひとつの細胞分化のしくみをみてみよう。図1—5のように、発生の過程で、腹側の表皮の前駆細胞であるP1, P2, P3, P4, P5が並んでいるが、P3細胞のすぐ上側にE細胞とよばれる細胞が位置している。その後、発生が進むと、P3細胞は分裂して卵を産む穴の中心部分の細胞群(穴細胞とよぶ)になり、その両脇のP2細胞とP4細胞は穴の壁を作る細胞群(壁細胞とよぶ)になる。これらのさらに外側の細胞(P1細胞とP5細胞)は平坦表皮(表皮細胞とよぶ)になる(表1—1(a))。この発生過程でも、Yタンパク質が隣り合った細胞のXタンパク質を活性化させる機構はたらくが、これに加え、E細胞から分泌されるZタンパク質による制御もはたらいっている。Zタンパク質は離れた細胞のWタンパク質の細胞外の部分に結合し、Wタンパク質を活性化する。この効果は相手の細胞との距離が近いほど強い。

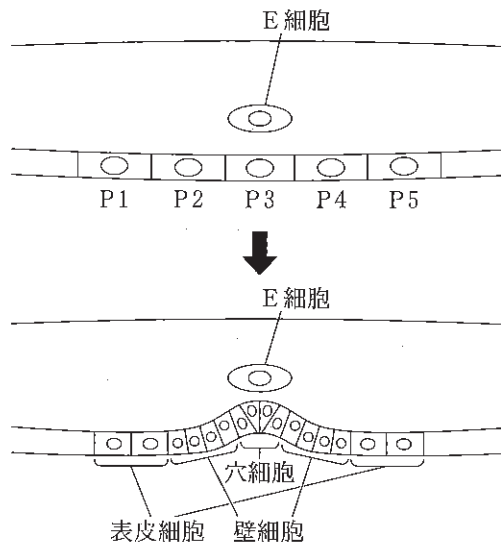


図1—5 卵を産む穴の発生の初期過程。E細胞のまわりの細胞は省略した。

実験5 P1～P5細胞が分化する前にE細胞をレーザーで破壊したとき、またはE細胞を移動させたとき、発生が進んだあとには、P1～P5細胞は表1—1(b)～(c)のように分化した。

実験6 $X(-)$ 変異体、 $X(++)$ 変異体で、何も操作せず、あるいはE細胞をレーザーで破壊したとき、発生が進んだあとには、P1～P5細胞は表1—1(d)～(g)のように分化した。

表1—1 X遺伝子の変異およびE細胞の操作と表皮の前駆細胞の分化

	線虫の遺伝子型	E細胞の操作	P1	P2	P3	P4	P5
(a)	正常型	操作なし	表皮	壁	穴	壁	表皮
(b)	正常型	破壊	表皮	表皮	表皮	表皮	表皮
(c)	正常型	P4の上側に移動	表皮	表皮	壁	穴	壁
(d)	$X(-)$ 変異	操作なし	表皮	穴	穴	穴	表皮
(e)	$X(-)$ 変異	破壊	表皮	表皮	表皮	表皮	表皮
(f)	$X(++)$ 変異	操作なし	壁	壁	穴	壁	壁
(g)	$X(++)$ 変異	破壊	壁	壁	壁	壁	壁

表中で、「表皮」は表皮細胞、「壁」は壁細胞、「穴」は穴細胞に分化したことを示す。

(問)

E 正常の発生過程で、E細胞からの影響を直接または間接的に受けて分化が決まると考えられる細胞をP1, P2, P3, P4, P5のうちからすべて選べ。

F Xタンパク質がはたらいた表皮の前駆細胞はどのタイプの細胞に分化すると考えられるか。以下の選択肢(1)~(5)からもっとも適切なものを1つ選べ。

- (1) 穴細胞
- (2) 壁細胞
- (3) 表皮細胞
- (4) 穴細胞および表皮細胞
- (5) 壁細胞および表皮細胞

G Wタンパク質の活性化によりY遺伝子の発現が変化することがわかっている。Wタンパク質の直接の効果により、正常の発生過程においてもっとも顕著にみられる現象は以下のいずれか。文3と実験5, 6の結果から考察し1つ選べ。

- (1) P3細胞でY遺伝子の発現が増加する。
- (2) P3細胞でY遺伝子の発現が減少する。
- (3) P2細胞とP4細胞でY遺伝子の発現が増加する。
- (4) P2細胞とP4細胞でY遺伝子の発現が減少する。

H E細胞から分泌されたZタンパク質の影響を受けて、X, Y, Wタンパク質がどのようにはたらいて表1-1(a)のような穴細胞, 壁細胞, 表皮細胞の分化パターンが決定するのか。X, Y, Wの語をすべて使って5行以内で説明せよ。

第2問

次の I, II の各問に答えよ。

I 次の文章を読み、問A～Dに答えよ。

葉において光合成反応がすすむ速度は様々な要因の影響を受ける。図2-1は、土壤中の栄養や二酸化炭素、水分、そしてカルビン・ベンソン回路を駆動するために必要な酵素タンパク質が十分存在しているときの、光の強さと二酸化炭素吸収速度との関係(これを光—光合成曲線と呼ぶ)を模式的に示している。光がある程度弱い範囲では、二酸化炭素吸収速度は光の強さに比例して大きくなる。光化学反応から光の強さに応じて供給される 1 や 2 の量が二酸化炭素吸収速度を決める。

光の強さがある強さ(光飽和点と呼ぶ)を超えると、それ以上二酸化炭素吸収速度が変化しなくなる(図2-1)。このときの二酸化炭素吸収速度を見かけの最大光合成速度(以下、最大光合成速度)と呼ぶ。このとき二酸化炭素の供給やカルビン・ベンソン回路の酵素タンパク質の量が光合成の制限要因となっている。

最大光合成速度が大きければ大きいほど、暗黒下で測定される呼吸速度もそれに比例して大きくなる。その主な理由は次の通りである。最大光合成速度は光合成に関わる酵素タンパク質の量に比例する。こうした酵素タンパク質の中には時間とともに機能を失うものがある。酵素タンパク質の機能を復活させるためにはエネルギーが必要であり、そのエネルギーは呼吸によって供給される。このため、カルビン・ベンソン回路の酵素タンパク質を多く保持し最大光合成速度が大きな葉は、呼吸速度も大きくなる。

タンパク質である酵素は窒素を含むため、無機窒素が少ない貧栄養の土壤では酵素タンパク質が十分に合成されず、最大光合成速度が小さくなる。^(ア)

土壤が湿っている環境では葉の気孔は開き気味であるが、土壤が乾燥し、水が十分でない環境となると葉の気孔は閉じられる。この場合、葉の内部の二酸化炭素濃度が低くなり、最大光合成速度は小さくなる。^(イ)

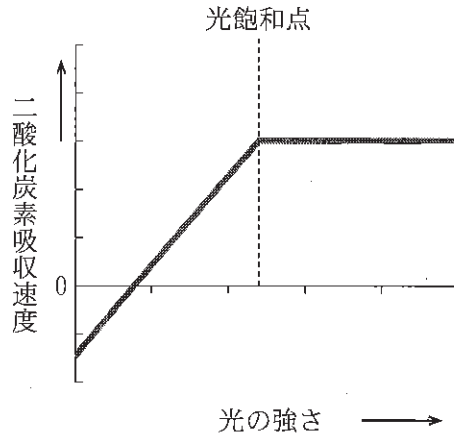


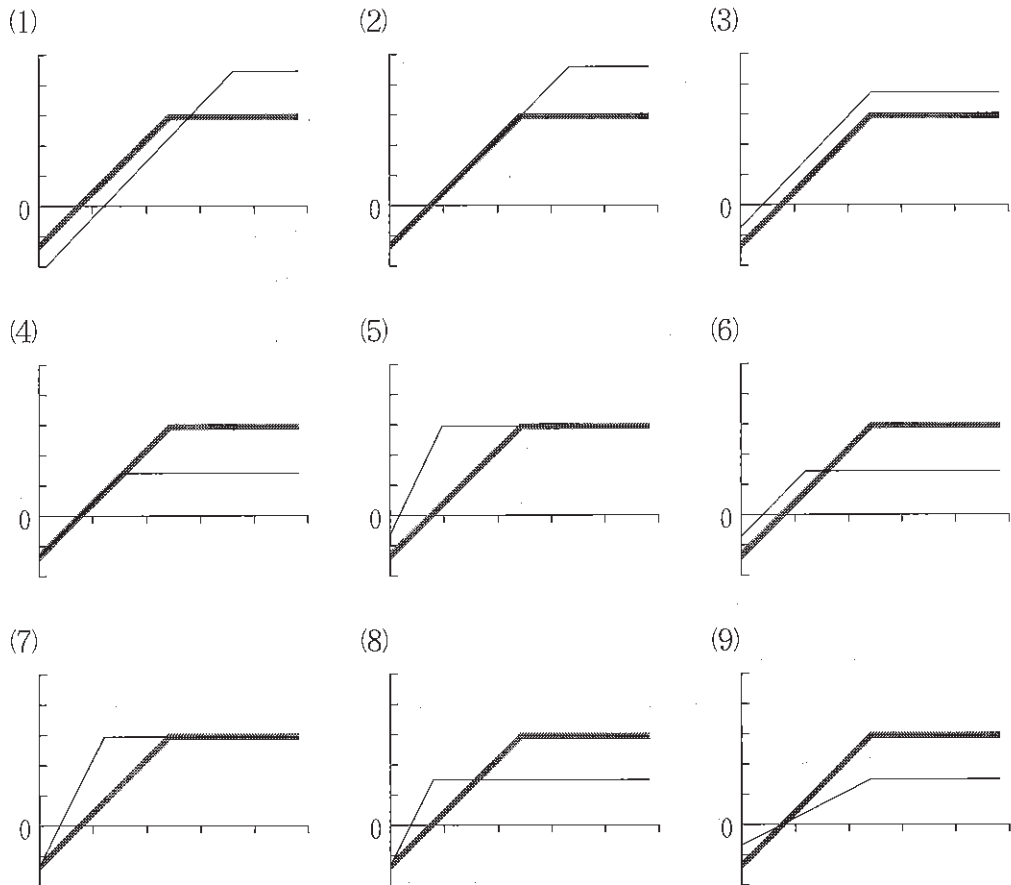
図2—1 光の強さと二酸化炭素吸収速度との関係(光—光合成曲線)

[問]

- A 文中の空欄1と2に入るもっとも適切な分子名を記せ。ただし解答の順序は問わない。
- B 下線部(ア)、(イ)のときの光—光合成曲線はどのような結果になると予想されるか。図2—1を葉面積あたりの光—光合成曲線(太線)とし、該当する曲線(細線)を重ねあわせて描いたものとして適切と思われるものを、次のページにあるグラフ(1)~(9)からそれぞれ1つずつ選べ。なお、貧栄養のときの最大光合成速度は富栄養のときの半分とする。解答例：ア—(1)、イ—(2)
- C 光が弱い環境では、植物は陰葉とよばれる葉を作ることが知られている。陰葉は最大光合成速度が小さいだけではなく、葉も薄くなる。ここではその陰葉の面積あたりの質量と最大光合成速度は陽葉の半分とする。このとき図2—1が陽葉の面積あたりの光—光合成曲線、あるいは陽葉の質量あたりの光—光合成曲線とした際、新たに陰葉についての光—光合成曲線を細線で重ねあわせて描くと、どのようなグラフとなるだろうか。下線部(ウ)と(エ)について、曲線として適切と思われるものを次のページにあるグラフ(1)~(9)からそれぞれ1つ選べ。ただし、葉の質量あたりに含まれる光合成に関係するタンパク質の量は変化しないものとする。解答例：ウ—(1)、エ—(2)

D 薄くて面積あたりの質量の小さい陰葉をどのような光の強さのもとでも作る植物があったとする。この葉の質量あたりの光合成速度が陽葉よりも低下する環境が存在するとしたら、どのような環境だろうか。その理由を含めて3行程度で答えよ。ただし、葉から失われる水の量は葉面積に比例するものとし、葉が重なり合うことはないものとする。

グラフ



II 次の文章を読み、問E～Jに答えよ。

円盤のような形をしている葉緑体に目を向けてみよう。光が弱いときには光を最大限に利用できるように配置される。しかし光が強いときには、光に対して平行となるように配置されて、葉緑体内の酵素タンパク質が強い光を受けて機能を失うのを抑えようとする。

光化学系Ⅱは複数種類のタンパク質と からなる構造体であり、電子が流れていく最初の段階で から電子を引き抜く役割をもつ。図2—2に示される実験で葉緑体が強光を受けると、光化学系Ⅱの能力がいったん低下することがわかる。これを光化学系Ⅱが損傷を受けたという。D1タンパク質はその光化学系Ⅱの反応中心にあるタンパク質である。損傷を受けてもD1タンパク質の量自体は減らない。しかし強光にあたると葉緑体内に活性酸素が発生する。その活性酸素がD1タンパク質などの酵素タンパク質に高温や極端なpHにさらされたときのような変化を与えて傷害が起こるのである。弱光の下ではこの損傷は起こらない。

そして葉緑体には光が弱まると、徐々に光化学系Ⅱの能力を復活させるしくみがあることがわかってきた。この能力の復活はタンパク質合成阻害剤を加えた状態では観察されない(図2—2)。

Vと名づけられた遺伝子の変異体が発見され、光化学系Ⅱの能力が復活する過程について次のヒントを与えた。正常型のV遺伝子からは損傷を受けたD1タンパク質を分解する酵素が発現する。正常型植物と変異体Vについてタンパク質合成阻害剤を加えた状態で、強光を継続してあてる実験を行うと、D1タンパク質の量が正常型植物では減少するのに対して、変異体Vでは減少しなかった(図2—3)。一方、タンパク質合成阻害剤を加えない状態で、強光をあてたあとの弱光下での光化学系Ⅱの能力の復活を比較したところ、変異体Vではその復活が非常に起こりにくかった(図2—4)。

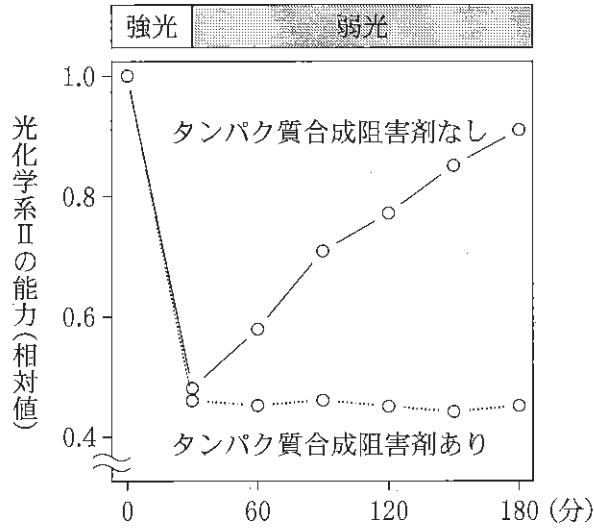


図 2—2 正常型植物の光化学系Ⅱの能力に対する強光照射とタンパク質合成阻害剤の影響

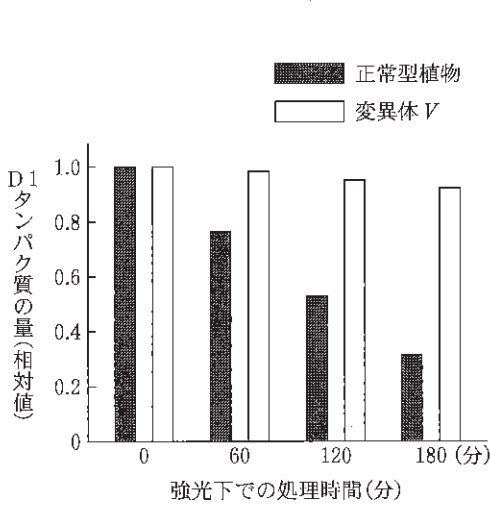


図 2—3 タンパク質合成阻害剤を与えて強光を照射した後での正常型植物と変異体 V 中の D1 タンパク質の量

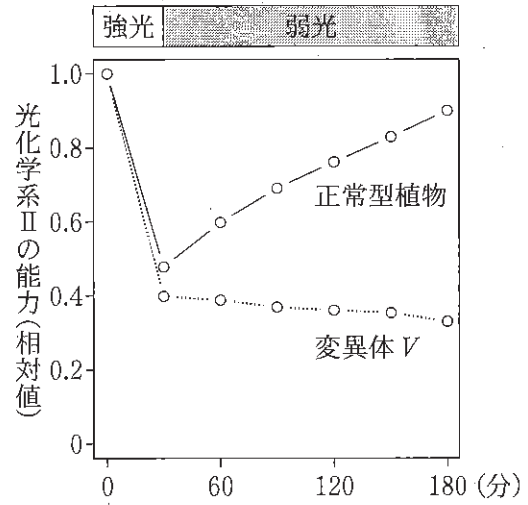


図 2—4 強光照射後の正常型植物と変異体 V での光化学系Ⅱの能力の時間変化

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

Ⅰ 次の文章を読み，問A～Eに答えよ。

生物の形質の変異は遺伝子^(ア)によって決められるか否かで大きく2種類に分類されるが，これらの変異がどのように生物の進化に寄与するか，古くから考えられてきた。ダーウィンの唱えた進化学説(ダーウィニズム)^(イ)は，現在においても多くの生物学者に支持されている。一方，ラマルクが唱えた用不用説は，環境条件の変化により生じた獲得形質が遺伝することを仮定している。現在，一般的には「獲得形質の遺伝」は否定されているが，実際の生物にみられる現象を見渡すと，獲得形質が遺伝あるいは進化するように見える事例が多く知られる。環境条件に応答して表現型を変化させる性質は「表現型可塑性」と呼ばれ，ほぼすべての生物に備わっている。この表現型可塑性にも環境応答の様式に変異があり，そこに選択がかかることで可塑性そのものが進化することが知られている。

事例1 ミジンコの仲間の多くは、捕食者であるボウフラ(カの幼虫)が存在すると頭部に^つ角を生じ捕食者から飲み込まれにくくすることで、被食を免れるという可塑性を進化させている。角の形成にはエネルギーが必要であり、産卵数の減少や成長率の低下などの代償が生じる。そのため、捕食者の非存在下では角は形成せず、捕食者が存在するときのみ、捕食者の分泌する化学物質(カイロモン)に⁽⁷⁾応答して角を形成する。図3-1は、ある地域の異なる湖A, B, Cから採集したミジンコについて、腹部に対する頭部長の比(≡角の長さ)がカイロモンの濃度に依存してどのように変化するかを実験した結果である。

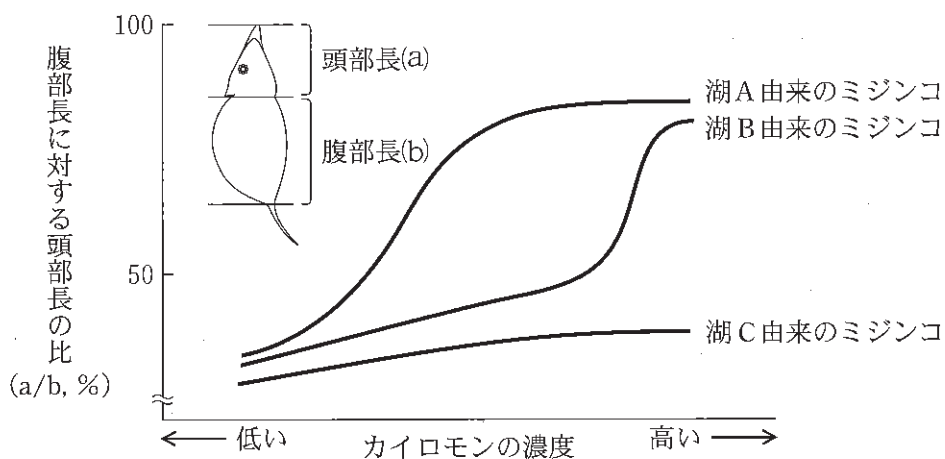


図3-1 カイロモンの濃度に応じたミジンコの頭部長の変化

事例2 環境要因と生物の表現型(形質値)との関係は大きく分けると図3—2のよう
 (a)のように、可塑性のないもの(図3—2(a))、環境要因に対して連続的に変化
 (b)するもの(図3—2(b))、環境要因の変化に対してあるところで急激に形質
 (c)値を変化させる、すなわち不連続に表現型が変化するもの(図3—2(c))に
 分類できる。同種であっても環境条件によって複数のタイプの表現型が出現
 するものを「表現型多型」と呼ぶ。表現型多型の代表的な例に、社会性昆
 虫のカースト多型、バッタの相変異、アブラムシの翅多型などがある。表現
 型多型を示すものには、図3—2(c)のように、体内の生理機構に^{いさち}閾値が
 存在することによって、表現型を急激に変化させるものがある一方で、体内の生理機構に閾値は備わっていないが、その生物が経験する環境要因が^(c)
不連続であるために、結果として表現型多型が出現することもある。

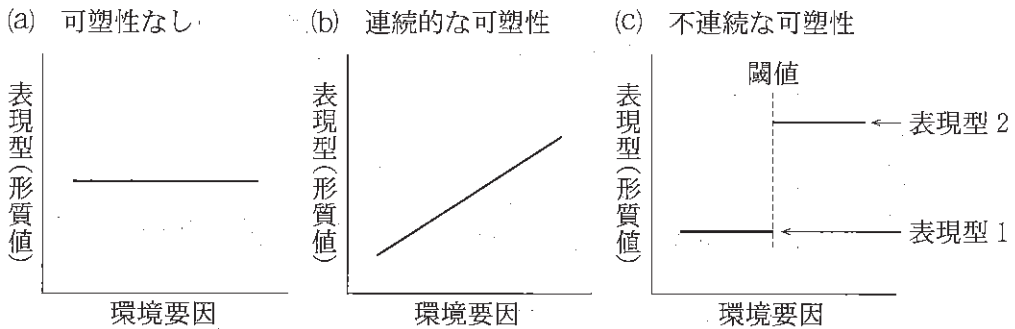


図3—2 環境要因と表現型(形質値)の関係

(問)

- A 下線部(ア)について。これら2つの変異の名称を記せ。
- B 下線部(イ)について。ダーウィニズムとはどのような説か。もっとも適切なものを以下の選択肢(1)~(4)から1つ選べ。
- (1) よく使う器官は発達し、使用しない器官が退化することにより生物の形質進化が起こる。
 - (2) 集団内に生じた変異に自然選択がはたらくことで、環境に適した個体の生存・繁殖の機会が増え、その変異が遺伝すればその形質は進化する。
 - (3) 遺伝子の突然変異は大部分が自然選択に対して有利でも不利でもなく(中立的)、突然変異と遺伝的浮動が進化の主たる要因である。
 - (4) 生物の形質は、遺伝子が倍化することにより、新たな機能が生じることによって進化する。
- C 下線部(ウ)について。図3-1に示すように、湖によって「カイロモンの濃度」と「腹部長に対する頭部長の比(≒角の長さ)」の関係が異なることから、各湖に生息するミジンコと捕食者についてどのようなことが考えられるか。以下の選択肢(1)~(3)からもっとも適切なものを1つ選べ。
- (1) 湖Aおよび湖Bでは、捕食者の数に応じてミジンコは角を生やす。
 - (2) 湖Aと湖Bはミジンコの捕食者の種類や数は同じだった。
 - (3) 湖Cにはミジンコの捕食者が湖A、湖Bより多かった。
- D 下線部(エ)について。温帯域で1年に2度出現するチョウは、生理機構に閾値はないが表現型多型(春型・夏型)を生じる。なぜ、閾値がなくても多型が生じるのか、その理由を2~3行で記せ。
- E 温帯域で1年に2度出現するチョウの表現型多型の生理機構に閾値がないことを示すために、環境条件を操作する飼育実験を計画した。どのように環境条件を操作し、どのような結果が得られれば表現型多型の生理機構に閾値がないことが示せるか、2~3行で記せ。

II 次の文章を読み、問F～Iに答えよ。

20世紀のころに活躍した発生学者のコンラート・H・ウォディントンは、環境刺激によって引き起こされる形質変化について選択実験を行った。ショウジョウバエの卵を物質Xに曝^{さら}して発生させると、後胸が中胸に変化することにより(中胸が倍化することにより)翅が4枚ある表現型(バイソラックス突然変異体に似る、図3-3)がある頻度で生じる。物質Xは、遺伝情報を改変することなく発生過程に影響を与える物質である。ウォディントンはショウジョウバエの発生中の卵を毎世代、物質Xに曝して生育させ、「中胸が倍化したハエ」を交配、産卵させ、再び卵を物質Xに曝することを繰り返した。これを約30世代繰り返した後では、物質Xに曝した場合の「中胸が倍化したハエ」の出現率が上がり、卵を物質Xに曝さずとも、「中胸が倍化したハエ」が羽化することもあった。この現象は遺伝的同化と呼ばれ、環境条件に引き起こされる可塑性が進化した例として知られる。

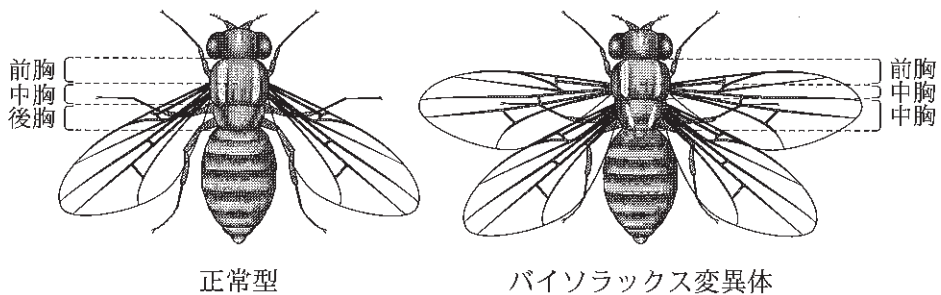


図3-3 ショウジョウバエの正常型とバイソラックス変異体

実験1 タバコスズメガの幼虫の体色は緑色をしているが、「黒色変異体」という突然変異系統の幼虫は黒色を示す。この黒色変異体の4齢幼虫に30℃以上の熱処理を与えると、5齢幼虫で緑色化する個体が出現する。この熱処理による緑色化の程度にはばらつき(バリエーション)があるため、熱処理に対する応答性の違いに基づいて下記の3群に分け、更にそれぞれの群の中で交配・選択を行い、13世代累代飼育を行った。体色のバリエーションはカラスコア0～4で評価できる(黒色0, 正常型同様の緑色4)。

- ・ 緑色選択群：熱処理を与えたとき、緑色への変化の大きい個体を選択
- ・ 黒色選択群：熱処理を与えたとき、体色変化の少ない個体を選択
- ・ 対照群：熱処理を与え、体色に関係なくランダムに選択

各世代における、熱処理に応答した体色の変化を図3—4(a)に示す。また、13世代目の各選択群における処理温度とカラスコアの関係を図3—4(b)に示す。

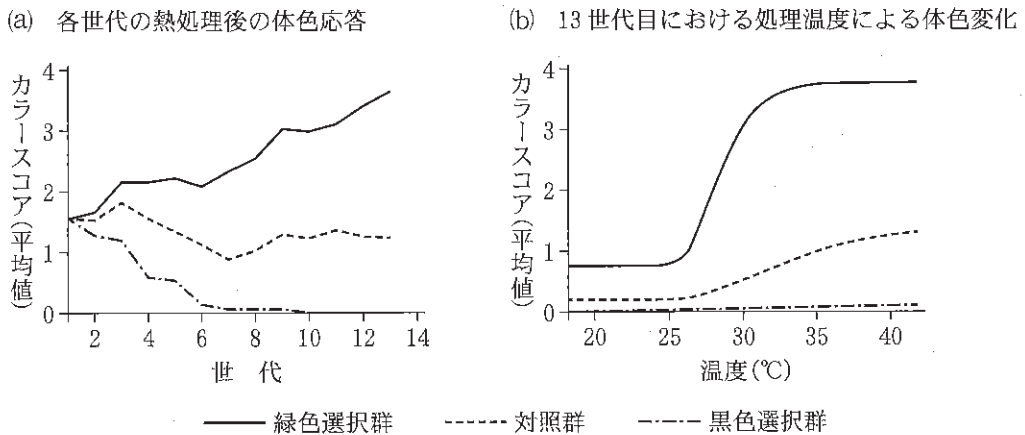


図3—4 タバコスズメガ幼虫の熱処理による体色応答に関する選択実験

実験2 タバコスズメガ幼虫の熱処理による体色変化には、昆虫の脱皮や変態を制御するホルモン α とホルモン β が関与すると予想された。ホルモン α は頭部に存在する内分泌腺から、ホルモン β は胸部にある内分泌腺から分泌される。熱処理による緑色化にこのどちらのホルモンが有効に働くのかを調べるため、熱処理前に腹部または頸部(頭部と胸部の境界)を結紮する実験を行った(図3—5)。ホルモンは体液中に分泌され全身を巡る液性因子であるため、結紮すると結紮部位を越えて移動できなくなる。実験の結果を、図3—5の表に示す。ただし、頭部の皮膚は胸部・腹部とは性質が異なり、体色の判別はできないものとする。また、ホルモン α と β は他方の分泌を制御する関係ではないことがわかっている。

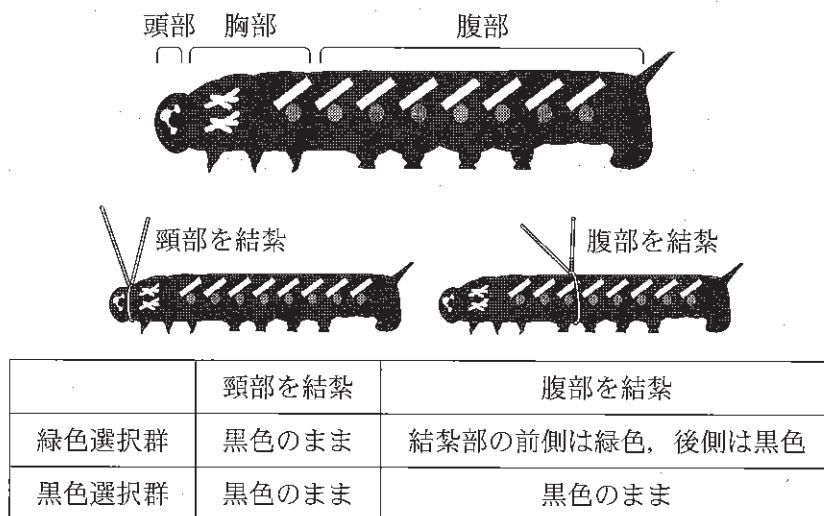


図3—5 体色変化(胸部・腹部)に関与するホルモンの同定のための結紮実験

実験3 ホルモン α がこの体色変化に寄与することを検証するため、ホルモン α を幼虫に投与する実験を行った。その結果、選択群や熱処理の有無にかかわらず、投与量に応じて緑色化が起こった。また、各選択群の熱処理の有無による個体内のホルモン α の濃度変化を調べた結果、緑色選択群に熱処理を加えたときにホルモン α の濃度の上昇がみられ、黒色選択群では上昇は認められなかった。一方、ホルモン β は各選択群や熱処理の有無で濃度の差は認められなかった。

〔問〕

F ウォディントンが行ったショウジョウバエの選択実験にみられる現象を説明する文章として、もっとも適切なものを以下の選択肢(1)~(4)から1つ選べ。

- (1) 毎世代、物質 X に応答して中胸が倍化する個体を選択されると、中胸倍化を促進する遺伝子の遺伝子頻度が世代を経るに従い高くなったため、中胸が倍化し4枚翅を生じやすい形質が進化した。
- (2) 毎世代、物質 X に応答して中胸が倍化する個体が排除されたため、4枚翅を生じやすいという応答性が進化した。
- (3) 物質 X は翅の発生を誘発する物質であるため、後胸にも翅を生じさせた。
- (4) 物質 X により、パイソラックス変異体の原因遺伝子に変異が生じ、世代を経て広まった。

G 実験1において、黒色選択群と緑色選択群ではそれぞれどのように表現型可塑性が変化したか。図3-4の結果を見て3行程度で説明せよ。

H 実験2の結紮実験の結果のみにより否定されることを以下の選択肢(1)~(5)から1つ選べ。

- (1) ホルモン α さえあれば、体色の変化は引き起こされる。
- (2) ホルモン β さえあれば、体色の変化は引き起こされる。
- (3) ホルモン α と β がともにあるときにのみ、体色の変化は引き起こされる。
- (4) ホルモン α のみでは熱処理による体色の変化は引き起こされない。
- (5) ホルモン β のみでは熱処理による体色の変化は引き起こされない。

I 実験3から、熱処理による体色の変化の可塑性の変遷について考えられることとして適切なものを以下の選択肢(1)~(5)からすべて選べ。

- (1) 緑色選択群でも黒色選択群でも熱処理を与えたときにホルモン α の濃度上昇が起こらない。
- (2) タバコスズメガの幼虫では、熱処理を与えると体内のホルモン β の濃度が上昇することで緑色化が引き起こされている。
- (3) 実験1開始前の黒色変異体である程度の緑色化が起こっているのは、熱処理によりホルモン α の濃度が上昇したことによるものである。
- (4) 緑色選択群では熱処理によりホルモン α の濃度上昇が起こり、黒色選択群では熱処理によりホルモン β の濃度上昇が起こっている。
- (5) 黒色選択群は熱処理を与えてもホルモン α の濃度上昇が起こらないような個体が選択され、結果として熱処理により体色に変化しないという形質が進化した。

草 稿 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 恒星は核融合反応によって莫大なエネルギーを生成し宇宙空間に放射している。この恒星のエネルギー生成に関する以下の問いに答えよ。なお、太陽質量 $M_{\odot} = 2.0 \times 10^{30}$ kg, 太陽の全輻射量(単位時間あたり放射するエネルギーの総量) $L_{\odot} = 3.8 \times 10^{26}$ J/s, 光速 $c = 3.0 \times 10^8$ m/s, 1年 = 3.2×10^7 秒とする。数値での解答には有効数字1桁で答え、計算の過程も示せ。

- (1) 太陽などの主系列星では、この反応で水素原子4個からヘリウム原子1個が作られるが、その際に質量が0.7%減少する。この質量 m はアインシュタインの関係式 $E = mc^2$ によってエネルギー E に変換される。水素1kgがこの反応に使われる際に生成されるエネルギーを求めよ。
- (2) 太陽の全輻射量を考慮すると、太陽では毎秒何kgの水素原子がこの反応を起こしていると考えられるか答えよ。さらに、この反応におけるエネルギー生成率は主系列の期間変わらないものとし、水素(太陽形成時、太陽質量の74%)がすべてこの反応を起こすとすると、太陽の主系列での寿命は何億年と推定できるか答えよ。ここで得られる値は太陽の主系列での寿命とされている100億年に比べて長い、その主な物理的理由を述べよ。
- (3) 大質量星であるO5型星の質量を $M = 40 M_{\odot}$ 、寿命を500万年とする。太陽の主系列での寿命を100億年とするとき、質量と寿命との比の値をO5型星と太陽とで比較し、その値が両者で大きく異なることを示した上で、その主たる物理的理由を推論して述べよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問 2 火星と地球の公転運動に関する以下の問いに答えよ。以下では、火星の公転軌道は、長半径(太陽からの最大距離と最小距離の平均) $a_M = 1.5$ 天文単位、離心率 $e_M = 0.1$ の楕円軌道、地球の公転軌道は半径 $a_E = 1$ 天文単位の円軌道であり、地球と火星は同一平面上を運動しているとする。また、火星が1日に公転する角度は一定であると近似してよい。地球の公転周期は $P_E = 365$ 日、火星の公転周期は $P_M = 687$ 日とする。解答には計算の過程も示せ。

(1) 地球と火星の会合周期は何日か、有効数字2桁で求めよ。

(2) 図1に示したように、火星の公転軌道は楕円であるため、衝が起こる時の地球—火星間の距離は毎回同じではない。火星が近日点に来た時に衝が起こった場合と、火星が遠日点に来た時に衝が起こった場合とでは、地球から見た火星の見かけの明るさは何倍異なると考えられるか、有効数字1桁で答えよ。ただし、火星の太陽光の反射率は時間変化しないものとする。

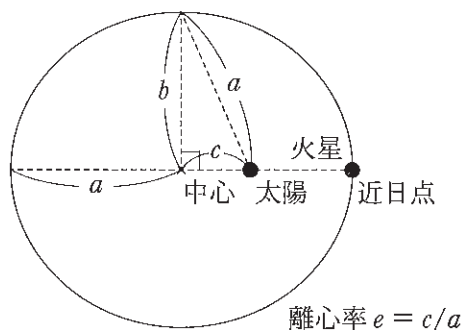


図1 火星の公転軌道の模式図

(3) 今年、火星がちょうど近日点に来た時に衝が起こったとして、向こう20年に起こる衝のうちで、地球—火星間の距離が最短となるのは何年後の衝か、有効数字2桁で求めよ。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第2問 大気と海洋の現象に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地表面(海面も含む)からの蒸発は、大気中に水蒸気を供給し、降水は、大気中から水蒸気を除去する。また、大気中の水蒸気量は一般に下層ほど多く、大気上端では非常に少ない。したがって、大気中の水蒸気の収支を考える際には、大気上端での水蒸気の出入りは無視できるものとする。月平均の大気中の水蒸気収支に関して、以下の問いに答えよ。なお、降水量と蒸発量は地表面での値とする。また、単位地表面積上の気柱(地表面から大気上端までの大気)に含まれる総水蒸気量を気柱水蒸気量 $[\text{kg}/\text{m}^2]$ と呼ぶ。

(1) 月平均など長期間平均した場合、ある領域での降水の総量と蒸発の総量の差は、その領域の側面から流入する水蒸気の総量と流出する水蒸気の総量の差とつり合っていると近似できる。図2-1(左)のような地表面積 $S[\text{m}^2]$ をもつ領域で平均した降水量を $P[\text{m}/\text{s}]$ 、蒸発量を $E[\text{m}/\text{s}]$ とする。この領域に側面から単位時間に流入する水蒸気量を $W_{\text{in}}[\text{kg}/\text{s}]$ 、流出する水蒸気量を $W_{\text{out}}[\text{kg}/\text{s}]$ とする。また、液体の水の密度は $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ とする。これらの量を用いて、上記のつり合いの関係を式で表せ。

(2) 次に、図2-1(右)のように直交した xyz 軸をとり、 x 方向に $L[\text{m}]$ 、 y 方向に $D[\text{m}]$ の直方体領域において、(1)のつり合いが成り立っていると考える。この領域の平均降水量は $16.6\text{ mm}/\text{日}$ 、平均蒸発量は $8.0\text{ mm}/\text{日}$ 、風は x 軸方向に吹き、風速は風上の側面A、風下の側面Bのそれぞれにおいて一様で時間変化がないとする。側面Aでの気柱水蒸気量は一様に $45.0\text{ kg}/\text{m}^2$ 、風速は $10.0\text{ m}/\text{s}$ 、側面Bでの気柱水蒸気量は一様に $30.0\text{ kg}/\text{m}^2$ 、風速は $V[\text{m}/\text{s}]$ 、 L は $1.2 \times 10^5\text{ m}$ とし、液体の水の密度は $1.0 \times 10^3\text{ kg}/\text{m}^3$ とする。

(a) この直方体領域における(1)の W_{in} 、 W_{out} を、上で与えられた数値や記号の中から必要なものを用いて表せ。

(b) 側面Bでの風速 V を有効数字2桁で求めよ。計算の過程も示すこと。

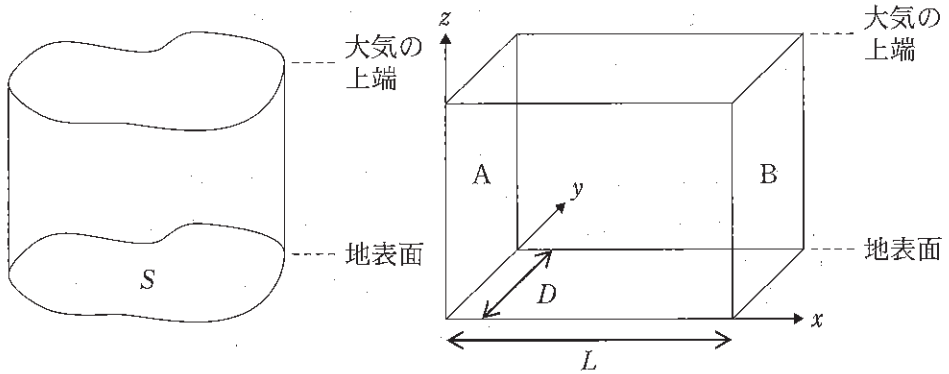


図 2—1 (左)地表面積 S をもつ領域の概念図。(右)直方体領域の概念図。

(3) 図 2—2 に太平洋とその周辺での海上降水量(等値線)と鉛直積算水蒸気流(ベクトル)の 1 月の平均値を示す。鉛直積算水蒸気流とは、気柱を水平に通過する水蒸気の輸送量であり、各高度での水蒸気の水平の輸送量を地表面から大気上端まで積算したベクトルである(注 1)。日本の東方海上の長方形領域 X と南半球の長方形領域 Y は、それぞれ中緯度および熱帯において比較的降水量が多い領域であるが、異なる点も見られる。この図を用い、 X 、 Y それぞれの長方形領域において降水の総量と蒸発の総量との大小関係を推測し、その根拠とともに、合わせて 5 行程度で説明せよ。

(注 1) 気柱の各高度で微小な厚さの大気の層を考えると、大気の単位体積あたりの水蒸気量 $[\text{kg}/\text{m}^3] \times$ 水平風 $[\text{m}/\text{s}] \times$ 層の厚さ $[\text{m}]$ がベクトルとして求まる。それを地表面から大気上端まで積算したベクトルが鉛直積算水蒸気流であり、単位は $[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})]$ となる。ここで水平風はベクトルである。

(4) 下の文章を読み、ア～ウの空欄に当てはまる語句をそれぞれ答えよ。同じ語句を繰り返し使用してもよい。

大気中の水蒸気は、 を介して大気熱輸送の一端を担っている。今、(3)の長方形領域X、Yの側面境界を通じた領域内外の大気は のやりとりについて考える。長方形領域Xでは、 は しており、長方形領域Yでは、 は している。

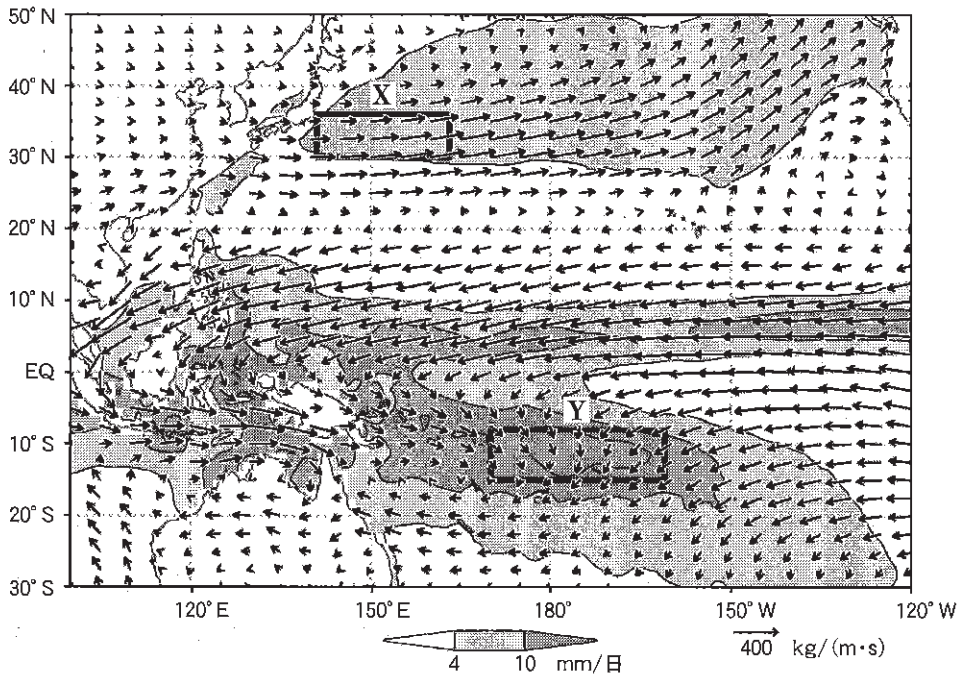


図2—2 太平洋とその周辺での降水量(等値線、海上のみ)と鉛直積算水蒸気流(ベクトル)の1月の平均値。薄い影は4～10 mm/日、濃い影は10 mm/日以上を降水量を示す。ベクトルの縮尺は東西・南北方向で等しく、右下のベクトルの長さは400 kg/(m·s)を示す。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問 2 日本海における海洋現象に関する以下の問いに答えよ。数値による解答は有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示せ。なお、重力加速度 g は 9.8 m/s^2 とする。

- (1) 図 2—3(a)は、海面下 100 m における水温分布図である。本州に沿って存在する相対的に水温の高い領域は、南西から北東に向かって流れる対馬暖流に伴うものである。対馬暖流が岸に平行に流れる地衡流であるとして、その流れの向きが図 2—3(b)に矢印で示してある。解答用紙に図 2—3(b)を模写したうえで、対馬暖流に働く圧力傾度力と転向力を、これらの力の相対的な大きさと向きに注意してベクトルとして図示せよ。力の名称も図中に示すこと。なお、圧力傾度力、転向力以外の力を考慮する必要はない。
- (2) 図 2—3(a)をみると、5 月と 11 月では対馬暖流域の海面下 100 m における水温分布に違いがみられる。北緯 39 度～41 度、東経 138 度～140 度の対馬暖流に着目したとき、水温分布の季節による違いを反映して、地衡流である対馬暖流の流れの速さに 5 月と 11 月ではどのような違いがあるか、理由とともに 3 行程度で説明せよ。等温線は、地衡流に伴う海面高度の等高線に一致するとみなしてよい。
- (3) 北緯 40 度付近の本州日本海側の海岸線はほぼ南北方向である。ここに北風が数日程度連続して吹き続けると、それに伴うエクマン輸送により海面水温にどのような変化が起こりうるか、理由とともに 3 行程度で説明せよ。
- (4) 1983 年 5 月 26 日、日本海東部の秋田県沖を震源とする「日本海中部地震」が発生し、これに伴う津波は発生からしばらく後に震源から約 900 km 離れた対岸の朝鮮半島に到達するなど、日本のみならず周辺諸国の沿岸にも被害をもたらした。この時の津波は水深に比べて波長が十分長い長波であったとして、津波の発生から朝鮮半島に津波の第一波が到達するまでに要した時間(単位：分)を求めよ。ただし、この津波は、伝搬経路上の平均水深 2300 m に対する長波の速さで伝わったものとみなしてよい。

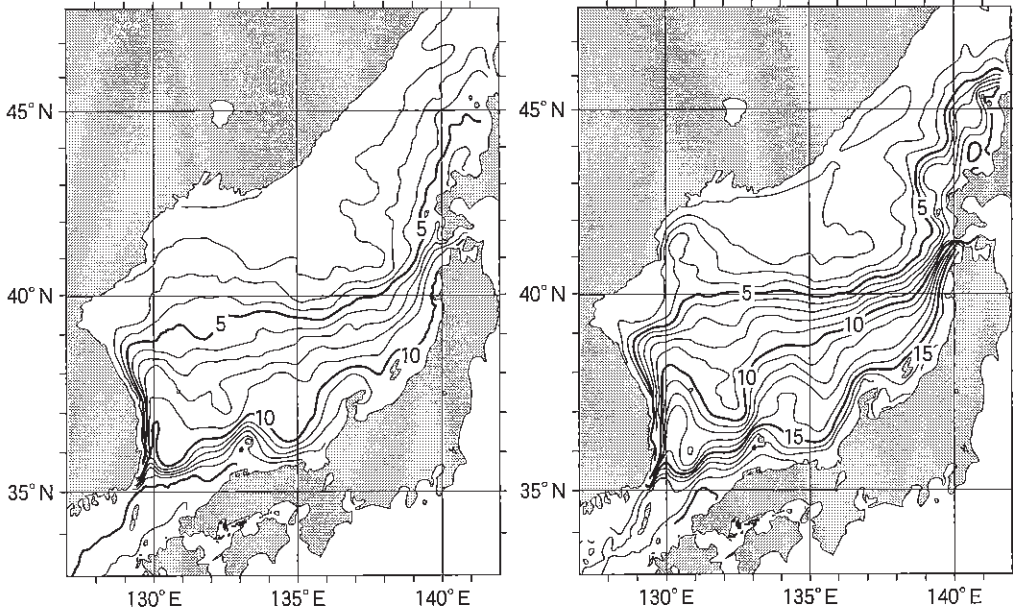


図2—3(a) 日本海の海面下100 mにおける水温分布。5月(左), 11月(右)。等温線の間隔は1℃。

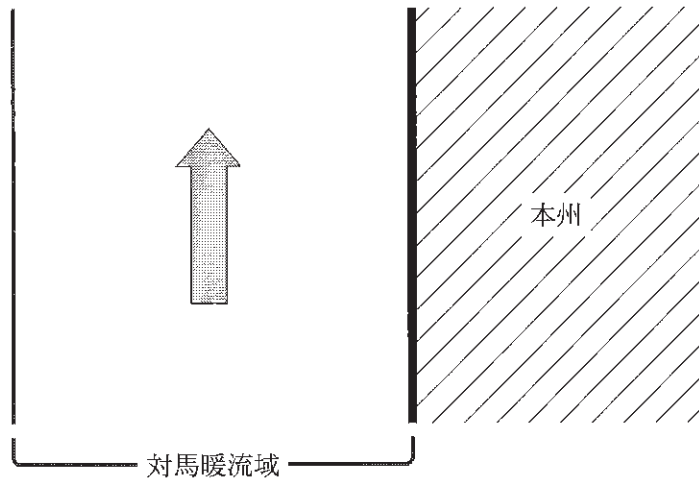


図2—3(b) 本州の海岸に平行に流れる対馬暖流の模式図

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

第3問 地質および地史に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 図3—1は、100 m ごとの等高線付きの地質図およびA—B線に沿う地形断面図である。上部から、泥岩、砂岩、礫岩の3層が観察され、また、特徴的な地質構造として褶曲が認められる。地形断面図に地層分布を描き加えることで、地質断面図ができる。地質図および得られた地質断面図をもとに、以下の問いに答えよ。なお、本問では、地層境界面は平面で構成されており、褶曲による層理面の向きの変化は、褶曲軸での突然の折れ曲がりとして生じているものとする。また、必要であれば、 $\sqrt{2} = 1.4$ 、 $\sqrt{3} = 1.7$ 、 $\sqrt{5} = 2.2$ を用いてよい。

- (1) 下の文章を読み、ア～ウの空欄にあてはまる方向をそれぞれ答えよ。その際、東西もしくは南北と答えよ。

地質図から見て取れる地層の走向はほぼ全域で 方向である。
 方向の褶曲軸をもつ褶曲構造が見て取れ、これは、 方向に圧縮する力がはたらくことによって形成されたと考えられる。

- (2) 地質図のC地点地下での砂岩層の傾斜角の大きさを θ とすると、 $\tan \theta$ の値を有効数字1桁で答えよ。また、C地点地下の砂岩層の層厚(層理面に垂直な方向の厚さ)を有効数字1桁で答えよ。
- (3) 本地質図で見られる褶曲構造は、もともと水平であった地層が広域的な水平方向の短縮をうけて形成したものである。元の地層の長さに対して地層が水平方向に短縮した長さの割合を水平短縮ひずみという。この褶曲による水平短縮ひずみを有効数字1桁で答えよ。ただし、褶曲軸の両側で、傾斜角の大きさは等しいとせよ。

(4) 下の文章を読み，エ～オの空欄にあてはまる語句をそれぞれ答えよ。

新潟県中越地方では褶曲構造がよく見られる。中越地方では，新第三紀における の拡大に伴って新第三系が厚く堆積した後，新第三紀の終わりごろから，太平洋プレートからの強い圧縮により褶曲構造の形成が始まった。中越地方で掘削を行うとしばしば石油が産出するが，石油は水より軽いので，褶曲構造の 軸を中心に液体を通しにくい地層の下に集積していることが多い。

(5) (3)のような地質構造の解析から得られる水平短縮ひずみをその構造の形成に要した時間で割ると，長期的な水平地殻ひずみ速度が求まる。一方で，GPS などによる地殻変動観測からは短期的な水平地殻ひずみ速度が求められる。大きな地震が発生しなかった期間の GPS 観測から得られる中越地方の水平地殻ひずみ速度は，地質構造から推定される同地域の長期的な水平地殻ひずみ速度と比べて著しく大きい。この違いが生じる理由を，プレート境界型巨大地震の発生と関係づけて，3行程度で説明せよ。

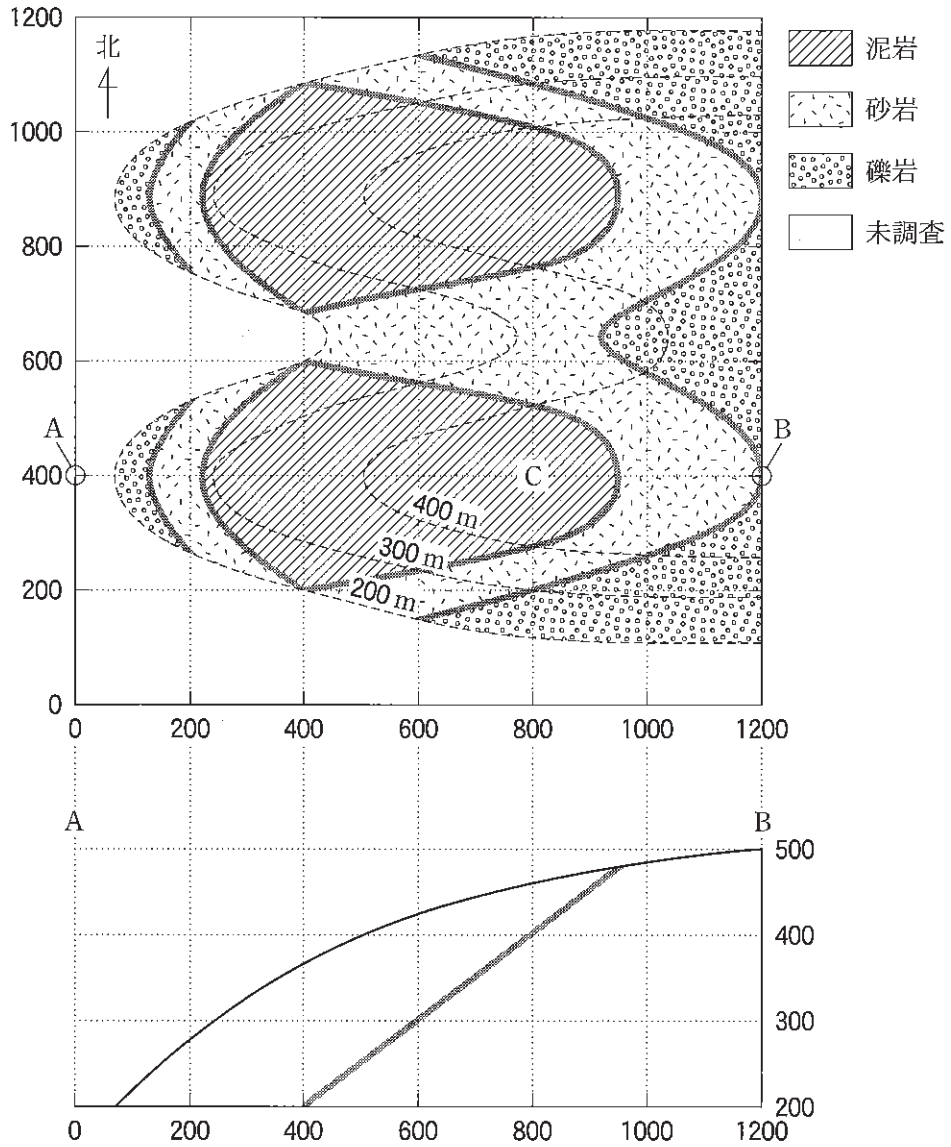


図3—1 地質図(上)および地形断面図(下)。座標軸の数字の単位は全てメートルである。地質図の破線は等高線を、灰色の太線は地層境界を示す。断面図には、泥岩—砂岩層境界の一部が灰色の太線で描き加えられている。

計 算 用 紙

(切り離さないで用いよ。)

問 2 地球の過去の気候について、以下の問いに答えよ。

(1) およそ 260 万年前から始まった **ア** という地質時代は、氷期と間氷期とよばれる寒暖を、数万年から 10 万年の周期で繰り返してきたことが知られている。この原因は **イ** サイクル(周期)と呼ばれる地球の自転運動や公転運動の周期的な変化と考えられている。過去 70 万年間に限ると 10 万年周期が卓越している。この周期性は海底堆積物に含まれる有孔虫の殻の **ウ** 同位体比の変動に反映されている。直近の氷期(最終氷期)は約 2 万年前にピークに達し、現在では南極やグリーンランドにしか存在しない氷床が、**エ** などの地域にも形成されていたことが、礫・砂・泥が小丘状に堆積した **オ** の分布からわかっている。

(a) ア～オの空欄にあてはまる語を答えよ。

(b) 下線部で述べられた地球の自転運動や公転運動の周期的変化を 3 つあげよ。

(2) 最終氷期には、現在は氷床が存在しない陸域にも厚い氷床が存在した。それが 2 万年前以降に融解し、陸面が年間数ミリメートルから数センチメートルの速度で隆起した。このことに関連して以下の問いに答えよ。ただし、淡水および海水の密度は $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、氷の密度は $0.90 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、マントルの密度は $3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とし、海洋の面積は $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$ 、現在は氷床が存在しないが最終氷期には氷床が存在した陸域の面積は $1.0 \times 10^7 \text{ km}^2$ とする。ただし、氷床の融解によって生じた水は全て海洋に流入し、融解の前後で海洋の面積は変わらないものとする。また、淡水および海水の密度は温度によって変わらないものとし、現在および最終氷期には、それぞれアイソスタシーが成り立っているとして考えよ。計算結果は有効数字 2 桁で表し、計算の過程も示すこと。

- (a) 最終氷期に氷床が存在していたが現在は氷床が存在しない陸域はどこでも、最終氷期以降、現在までに 810 m 隆起したとする。最終氷期以降に融解した氷床の厚さはどこでも等しいとして、その厚さを求めよ。
- (b) 一方で、最終氷期に存在していた氷床の融解によって、最終的に海底は平均で何メートル隆起または沈降したか答えよ。

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。)