

# 物 理

第1問 図1—1のような，3辺の長さが $L$ ， $L$ ， $3L$ で質量が $M$ の直方体の積木を考える。積木の密度は一樣であるとし，重力加速度の大きさを $g$ で表す。以下の設問に答えよ。

I 図1—2のように，ばね定数 $k$ のばねの上端を天井に固定し，下端に積木をつなげた。ばねが自然長にある状態から積木を静かに放したところ，積木は鉛直方向に単振動を開始した。

(1) ばねの自然長からの最大の伸びを求めよ。

(2) 鉛直下向きに $x$ 軸をとる。ばねが自然長にある状態での積木の上端の位置を原点とし，そこからの変位を $x$ とすると，積木の加速度 $a$ は $a = \boxed{\text{ア}} (x - \boxed{\text{イ}})$ と表される。 $\boxed{\text{ア}}$ ， $\boxed{\text{イ}}$ に入る式を求めよ。ただし加速度は $x$ 軸の正の向きを正とする。

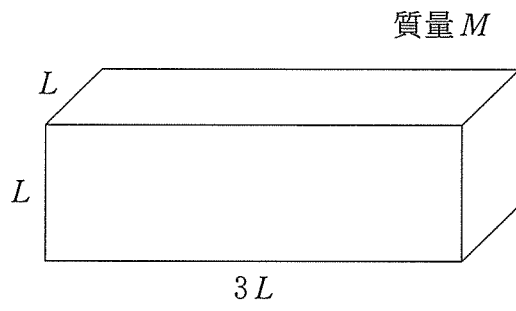


圖 1—1

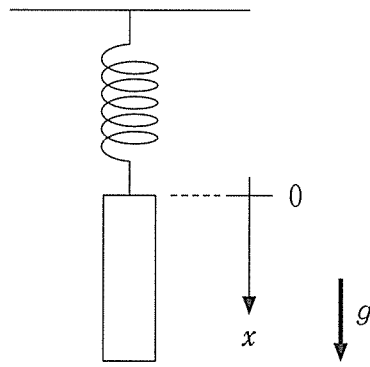


圖 1—2

II 図1—3のように、2個の積木(積木1, 積木2)がそれぞれ水平な台と斜面に置かれており、滑車を通してひもでつながれている。斜面の傾き角を $\theta$ とする。積木1の長辺と平行に $x$ 軸をとる。最初、積木1の右端の位置が $x = 0$ であった。 $x < 0$ では床面はなめらかで摩擦はないが、 $x \geq 0$ では床面と積木1との間に摩擦があり、その動摩擦係数は一様で $\mu'$ である。斜面や滑車はなめらかで摩擦は無視できる。ひもがたるんでいない状態から積木1を静かに放したところ、積木1は初速度0で動き始め、右端が $x_0$ ( $x_0 \leq 3L$ )のところまで進んで静止した。ただし、図1—4のように、積木1の右端が $x$ だけ動いた状態での動摩擦力の大きさ $f$ は、 $f = \frac{x}{3L} \mu' Mg$ で与えられるものとする。斜面は紙面に垂直である。また、2つの積木の長辺は紙面と平行であり、ひもは滑車の左右でそれぞれ積木の長辺と平行である。

- (1) 積木1が動いているときの加速度を $a$ とすると、 $a$ は積木1の右端の位置 $x$ を用いて $a = \boxed{\text{ウ}} (x - \boxed{\text{エ}})$ と表される。 $\boxed{\text{ウ}}$ ,  $\boxed{\text{エ}}$ に入る式を求めよ。ただし加速度は $x$ 軸の正の向きを正とする。
- (2) 積木が動き始めてから静止するまでの時間を求めよ。
- (3) 積木1の右端がちょうど $x_0 = 3L$ になったときに静止したとする。このとき動摩擦係数 $\mu'$ を $\theta$ を用いて表せ。

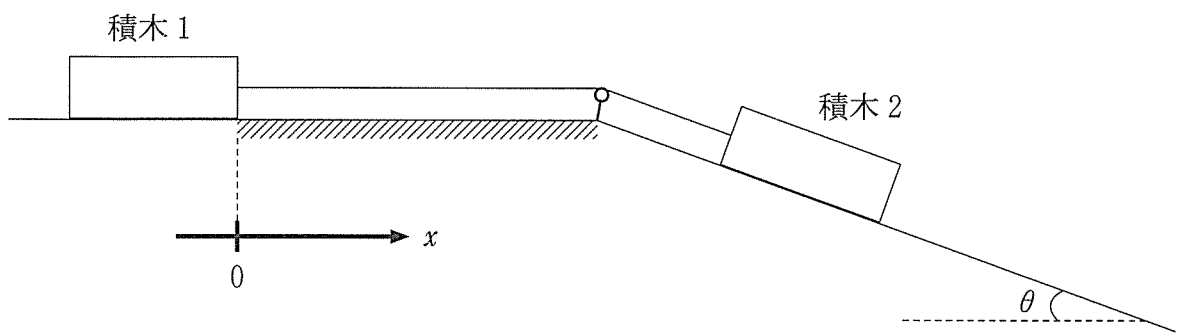


图 1—3

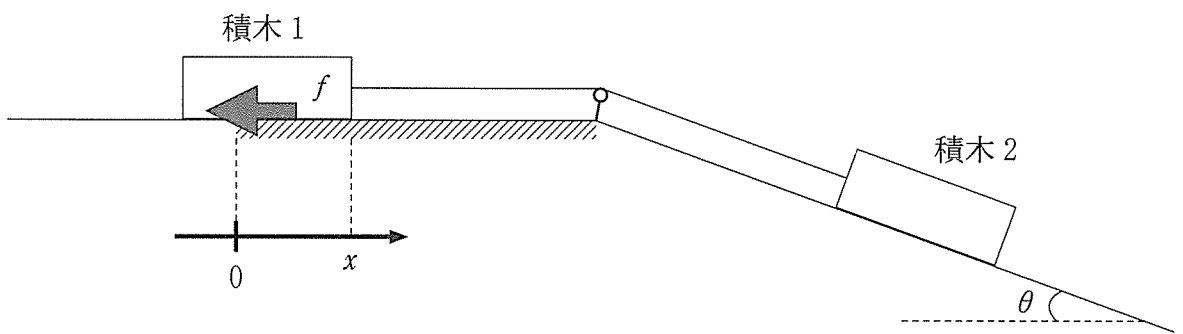


图 1—4

Ⅲ 積木を 9 個用意し、床の上に重ねて積むことを考える。積木どうしの静止摩擦係数を  $\mu_1$ 、積木と床との間の静止摩擦係数を  $\mu_2$  とする。積木の側面の摩擦は無視できるものとし、積木の面に垂直に加わる力は均一とみなしてよい。また、積木にはたらく偶力によるモーメントは考えなくてよい。

(1)  $\mu_2 = \mu_1$  とする。図 1—5 のように積木を 3 段に互い違いに重ねて積み、下の段の真ん中の積木を長辺と平行な向きに静かに引っ張り、力を少しずつ増やしていったところ、あるときその積木だけが動き始めた。積木が動き始める直前に引っ張っていた力の大きさを求めよ。

(2)  $\mu_2 \neq \mu_1$  とする。図 1—6 のように前問と違う向きに積木を重ねて積み、下の段の真ん中の積木を長辺と平行な向きに静かに引っ張り、力を少しずつ増やしていったところ、下の段の真ん中の積木と 2 段目の真ん中の積木が同時に動き始めた。このような状況が起こるための  $\mu_2$  の範囲は  $\mu_2 > \boxed{\text{オ}}$  と表される。 $\boxed{\text{オ}}$  に入る式を求めよ。

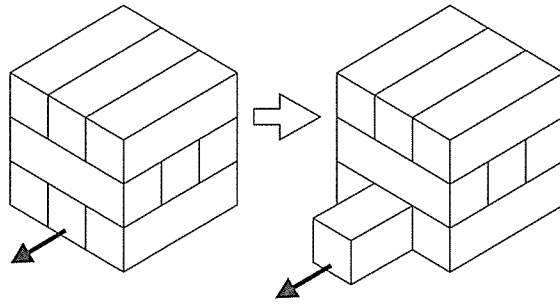


图 1—5

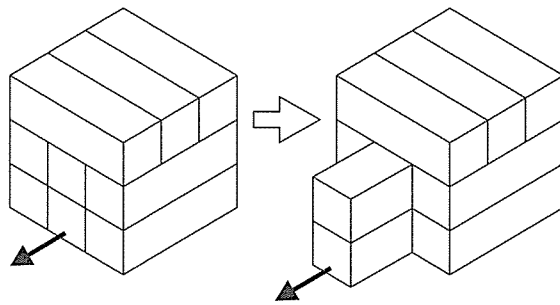


图 1—6

第2問 図2のように、長さ $L$ 、質量 $M$ の導体棒を、長さ $l$ の導線2本で吊り下げたブランコを考える。ブランコの支持点は摩擦なく自由に回転できるような、なめらかな軸受になっている。導線には、抵抗値 $R$ の抵抗がつながれており、さらに電源なし、直流電源、交流電源をスイッチで切り替えられるようになっている。このブランコの導体棒は鉛直上向きの一様磁場(磁束密度 $B$ )中を運動するものとする。鉛直下向きからのブランコの振れ角を $\theta$ 、重力加速度の大きさを $g$ として以下の設問に答えよ。ただし、導体棒や導線は変形しないものとし、それらの抵抗や太さは無視できるものとする。また、導線の質量、電源の内部抵抗も無視できるものとする。導体棒以外の導線や電気回路は一様磁場の外にあり影響を受けない。自己インダクタンス、大気による摩擦は無視できるものとする。ブランコの振動周期に対する抵抗の効果は考慮しなくて良い。

I まず、スイッチを電源なしの位置につなぐ。ブランコを $\theta = \alpha$ の位置まで持ち上げてそっと離れたところ、ブランコは長い時間振動しながら次第に振幅を小さくしていき、十分に時間が経った後には $\theta = 0$ の位置でほぼ静止した。ただし $\alpha$ は正の微小値である。

(1) ある瞬間に、ブランコは $\theta = 0$ の位置を速さ $v$ で通過した。このとき、導体棒に流れている電流の大きさ $I_1$ を求めよ。

(2) ブランコの振動振幅がだんだん小さくなっていくのは、導体棒の力学的エネルギーが抵抗のジュール熱として消費されていくからだと考えることができる。最終的にブランコが静止するまでの間に、抵抗で発生したジュール熱の合計値 $Q$ を求めよ。

(3) もし抵抗値を $2R$ に変更したとすると、変更前に比べて振動の振幅が半分になるまでにかかる時間はどうなるか。以下のア～ウから適当なものを一つ選んで答えよ。

ア. 長くなる

イ. 変わらない

ウ. 短くなる

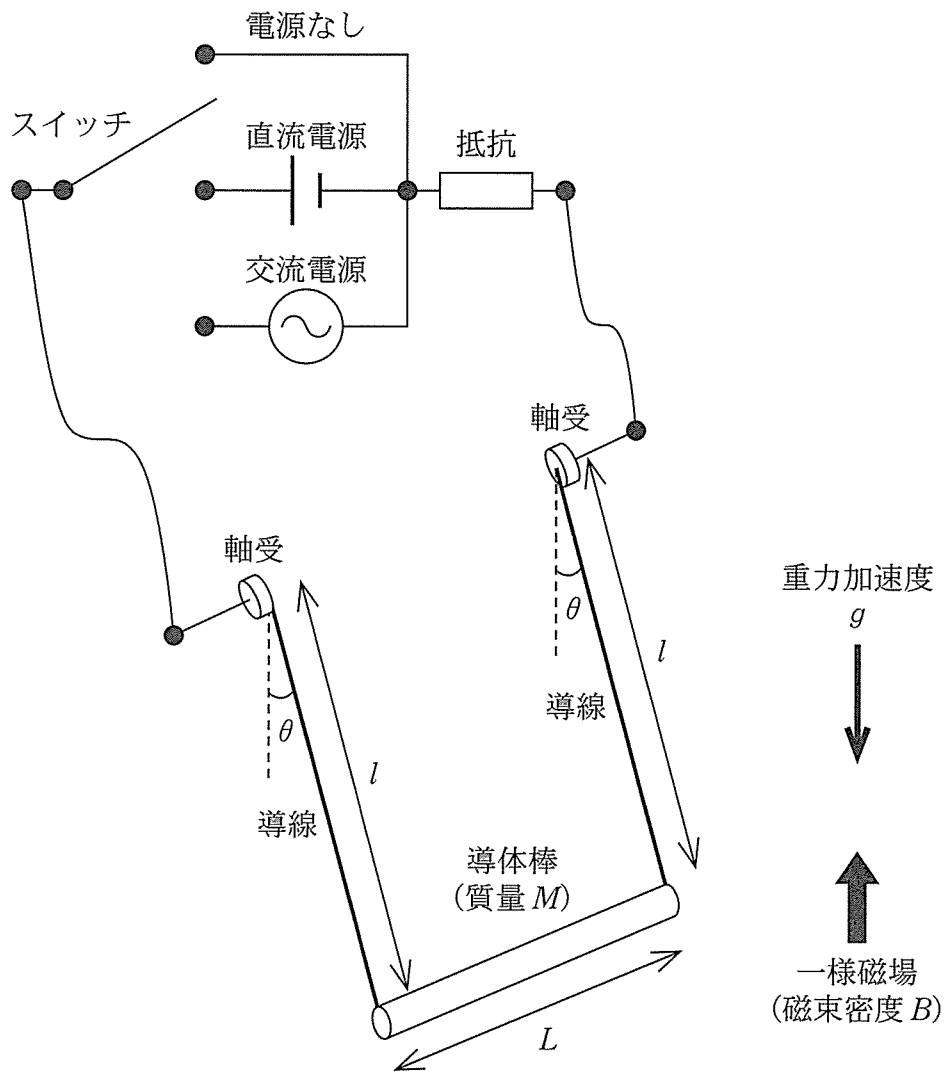


図 2

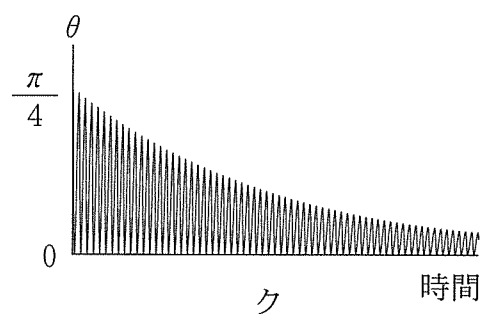
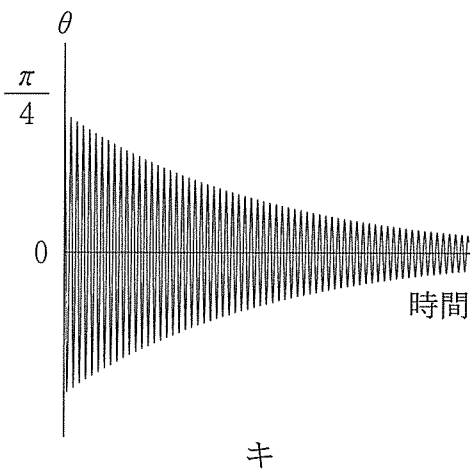
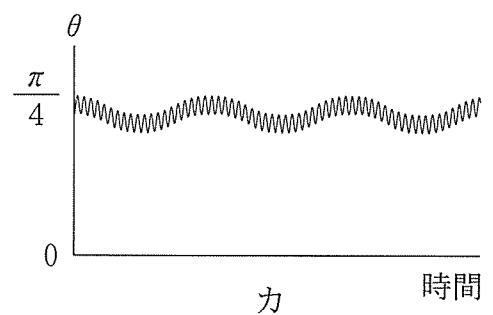
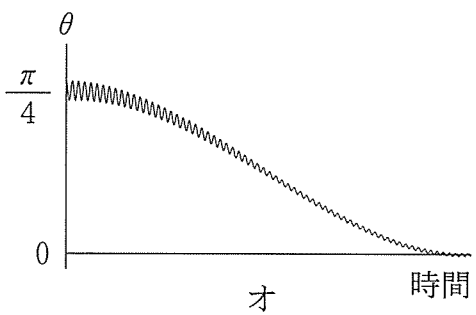
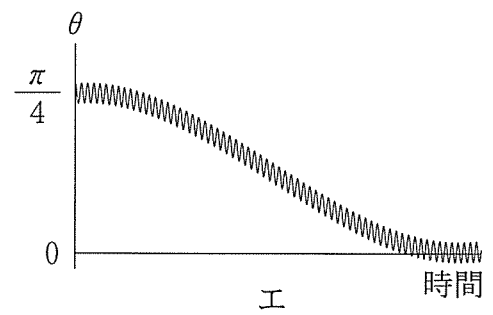
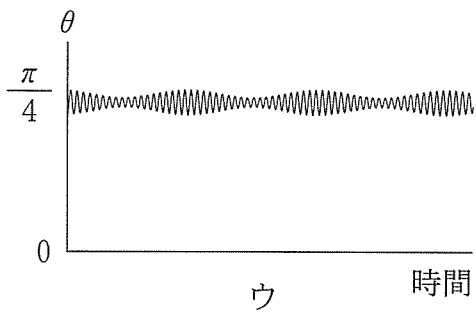
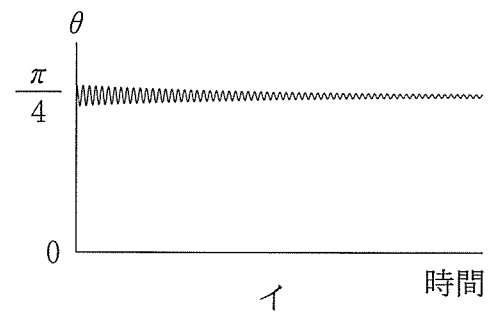
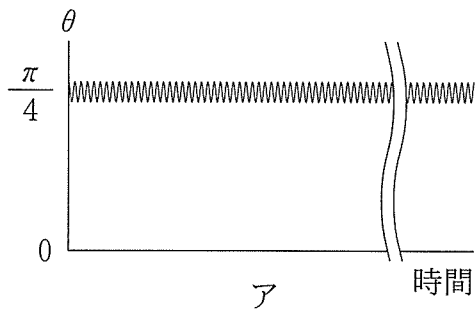


II 次に、スイッチを直流電源に切り替え、一定電圧を加えたところ、ブランコを  $\theta = \frac{\pi}{4}$  の位置で静止させることができた。

(1) このときに導体棒に流れている電流の大きさ  $I_2$  を求めよ。

(2) さらにその状態からブランコを  $\theta = \frac{\pi}{4} + \delta$  の位置まで持ち上げてそっと離れたところ、ブランコは振動を始めた。短時間ではこの運動は単振動とみなしてよい。その周期  $P$  を求めよ。ただし、 $\delta$  は正の微小値である。

(3) その後、長時間観察すると、このブランコの振動はどのようなになるか。以下のア～クのグラフから最も適当なものを一つ選んで答えよ。



Ⅲ 最後に、ブランコを  $\theta = 0$  の位置に戻し、スイッチを交流電源に切り替えた。電源の周期を設問Ⅰの場合のブランコ振動の周期 ( $T$  とする) と同じにした時、ブランコは揺れはじめ、やがて一定振幅 (最大振れ角)  $\beta$  で単振動を続けるようになった。このときの  $\theta$  は、時間  $t$  を用いて  $\theta = \beta \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$  と書くことができる。ただし  $\beta$  は正の微小値である。

- (1) ブランコが一定振幅で単振動をしているときの誘導起電力  $V$  を求めよ。ただし、解答に際して起電力の向きは問わない。また、 $\sin \theta$  は  $\theta$  と近似して良い。
- (2) 交流電源の電圧の振幅  $A$  を求めよ。ただし、ブランコの運動に起因する電磁誘導の効果と、交流電源が接続されていることによる効果がちょうど打ち消し合っていると考えれば良い。
- (3) 交流電源を設問Ⅲ(2)と同じにした状態で、抵抗値を  $2R$  に変更した。十分に時間が経った後のブランコの最大振れ角の大きさ  $\beta'$  を  $\beta$  を用いて表せ。

第3問 図3—1のように、断面積  $S$  のシリンダーが水平な床に固定されている。

シリンダー内にはなめらかに動くピストンが2つあり、それらは必要に応じてストッパーで止めることができる。左側のピストン1には、ばね定数  $k$  のばねがつけられ、ばねの他端は壁に固定されている。また、小さな弁のついた右側のピストン2により、シリンダー内は領域 A, B に仕切られている。A, B 内には、それぞれヒーター1, 2 が封入されている。最初、ばねは自然の長さであり、ピストン1は静止していた。領域 A の長さは  $L$  で、温度  $T_0$  の単原子分子理想気体が封入されている。一方、長さ  $L$  の領域 B 内は真空であり、ピストン2はストッパーにより固定され、弁は閉じられている。シリンダーの外側の気体の圧力は、 $P_0$  で一定に保たれている。シリンダー、ピストン、弁はすべて断熱材で作られ、また、ヒーターとストッパー、弁の部分の体積は無視できるものとする。以下の設問に答えよ。

I 図3—1の状態から、ヒーター1によりA内の気体をゆっくりと加熱すると、図3—2のようにピストン1は  $\frac{L}{2}$  だけ左側に移動してちょうどその位置で止まった。このときのA内の気体の圧力は  $P_1$ 、温度は  $T_1$  であった。

- (1)  $P_1, T_1$  を、 $P_0, S, k, L, T_0$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) この過程におけるA内の気体の内部エネルギーの変化を、 $P_0, S, k, L$  を用いて表せ。
- (3) この過程でヒーター1が気体に与えた熱量  $Q_0$  を、 $P_0, S, k, L$  を用いて表せ。

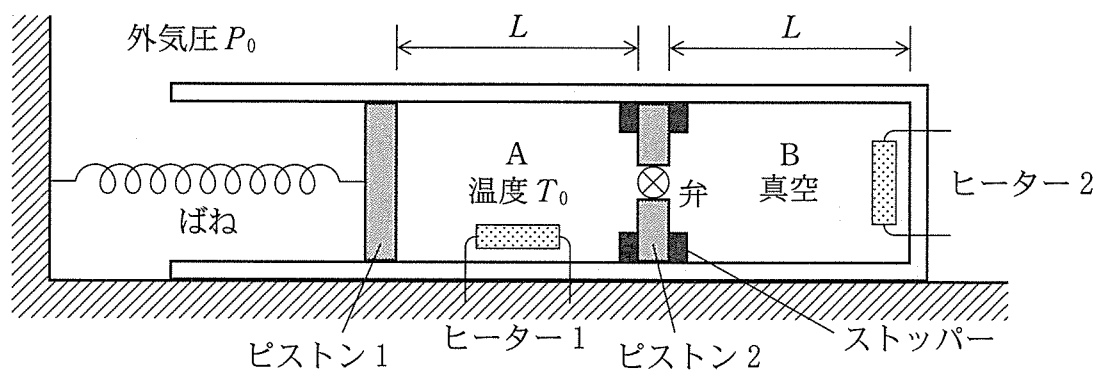


図 3—1

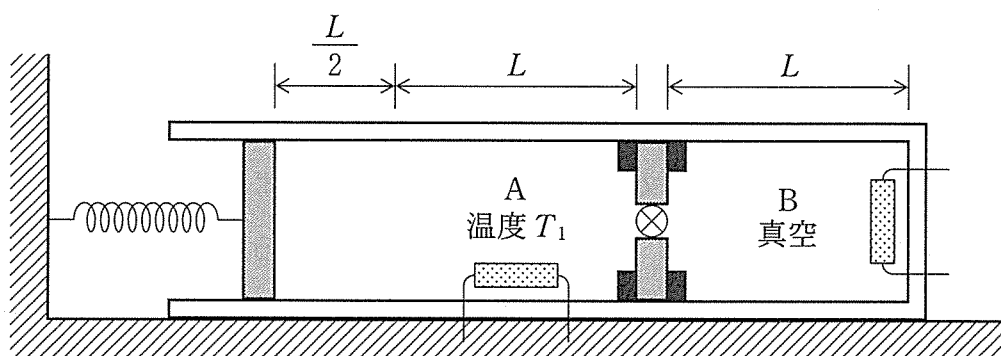


図 3—2

- II 図3—2の状態から、A内のヒーター1を取りはずし、ストッパーでピストン1が右側に動かないようにした。その後、ピストン2の弁を開いたところ、十分に時間が経過した後のA、B内の気体の温度と圧力は等しくなった(図3—3)。この状態をXとする。Xにおける気体の温度 $T_2$ を、 $T_1$ を用いて表せ。また、Xにおける気体の圧力 $P_2$ を、 $P_1$ を用いて表せ。
- III 状態Xから、A、B内の気体をヒーター2でゆっくりと加熱したところ、ピストン1がストッパーから離れて左側に動き始めた。状態Xからピストン1が動き始めるまでに、ヒーター2が気体に与えた熱量 $Q_1$ を、 $P_1$ 、 $S$ 、 $L$ を用いて表せ。
- IV 状態Xから、ピストン2のストッパーによる固定をはずし、弁を閉めた。その後、B内の気体をヒーター2でゆっくりと加熱したところピストン2は左側に移動し、図3—4のように領域Aの長さが $L_A$ となったところでピストン1がストッパーから離れて左側に動き始めた。
- (1) 状態Xからピストン1が動き始めるまでの過程におけるA、B内の気体の内部エネルギーの変化を、それぞれ $\Delta U_A$ 、 $\Delta U_B$ とする。 $\Delta U_A + \Delta U_B$ を、 $P_1$ 、 $S$ 、 $L$ 、 $L_A$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) この過程で、ヒーター2がB内の気体に与えた熱量を $Q_2$ とする。このとき、 $Q_2$ と設問IIIの $Q_1$ との関係を記せ。

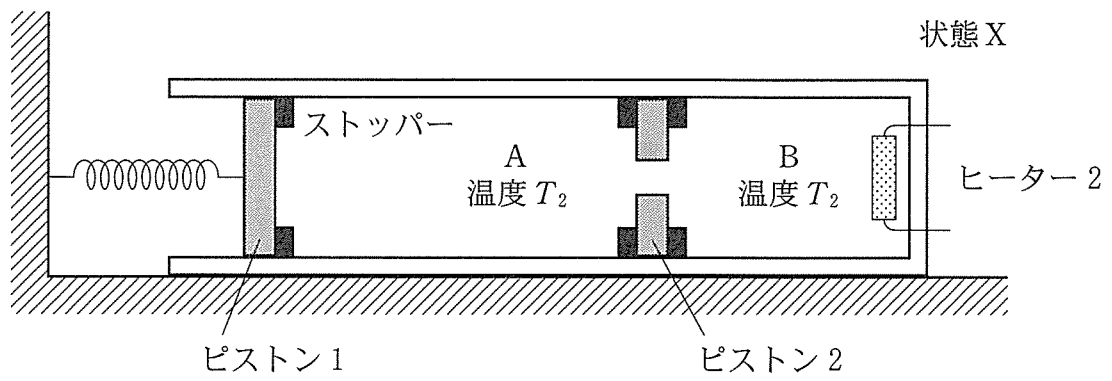


図 3—3

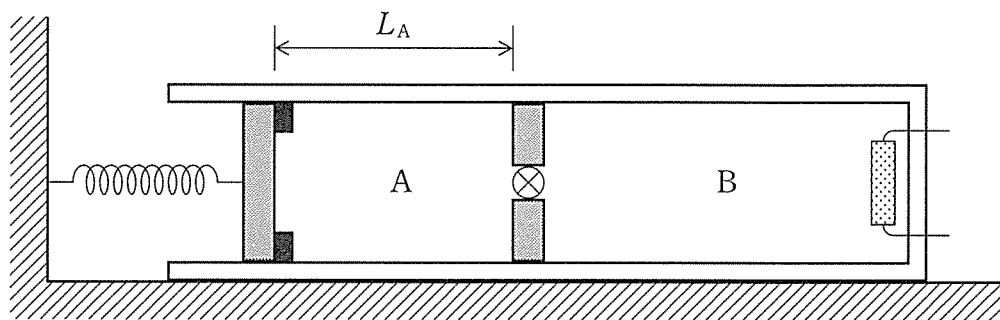


図 3—4

補足説明

冊子名	理科		
科目名	物理		
20	ページ	第 3	問
<u>補足説明</u>  第 3 問 (p.20) の 11 行目「以下の設問に答えよ。」の直後に、 「最初、ヒーター 1, 2 は作動していない。」 と付け足す。			

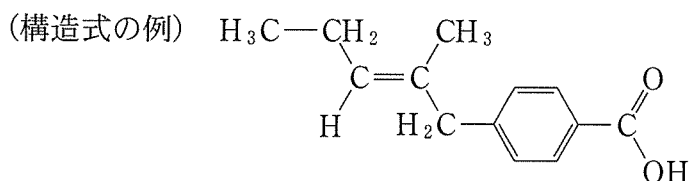


# 化 学

## 第1問

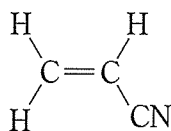
次の文章を読み、問ア～キに答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。構造式は例にならって示せ。

元 素	H	C	N	O
原子量	1.0	12.0	14.0	16.0



有機化合物AとBは、炭素、水素、酸素からなる同じ分子式で表され、ともに分子量86.0の炭素-炭素二重結合を一つもつエステルである。また、AおよびBには、ホルミル基(アルデヒド基：-CHO)が含まれていない。43.0 mgのAを完全に燃焼させ、生じた物質を  の入ったU字管と  の入ったU字管へ順に通したところ、それぞれ27.0 mgの水と88.0 mgの二酸化炭素が吸収されていることがわかった。Bを加水分解して得られた生成物の一つは、三つの炭素原子をもつカルボン酸であった。

次に、アクリロニトリルとAを物質量の比2：1で混合したのち付加重合すると、完全に反応が進行し、高分子化合物Cが得られた。Cの平均分子量は $9.60 \times 10^4$ であった。



アクリロニトリル

一方、Bの付加重合により得られた高分子化合物の一部を架橋し、エステル結合を加水分解したものは、水を吸収・保持する性質を示した。

①

〔問〕

- ア  ,  に当てはまる最も適切な化合物名をそれぞれ記せ。
- イ Aの分子式を答えよ。答えに至る過程も記せ。
- ウ Bの構造式を示せ。
- エ 化合物DはAおよびBと同じ分子式で表され、カルボキシ基をもつ。化合物Dの構造式として考えられるものをすべて示せ。
- オ Aを加水分解すると化合物EとFを生じ、そのうち不安定なFはすみやかにGへ変化した。化合物E, F, Gの構造式を示せ。
- カ 高分子化合物Cの一分子あたりに平均して含まれる窒素原子の数を有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。
- キ 下線部①について、吸収した水を保持する理由を簡潔に説明せよ。

## 第2問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。

### Ⅰ 次の文章を読み，問ア～オに答えよ。

廃棄されたスマートフォンや液晶テレビなどの機器から，金属を回収し再資源化する技術の開発が進められている。その一つとして，廃棄された機器を酸で処理して沈殿操作を行うことで，金属を分離・回収する方法がある。

$\text{Zn}^{2+}$ ， $\text{Cu}^{2+}$ ， $\text{Pb}^{2+}$ ， $\text{Fe}^{3+}$ ， $\text{Ag}^+$ ， $\text{Ba}^{2+}$ ， $\text{Al}^{3+}$ ， $\text{Li}^+$  を含む金属イオンの混合水溶液から，それぞれのイオンを分離するため，以下の実験1から4を連続して行った。この溶液に最初から含まれている陰イオンの影響は考えなくてよい。

実験1：この溶液に希塩酸を加えたところ，白色の沈殿を生じたため，ろ過を行い沈殿とろ液(a)に分離した。このろ紙上の沈殿に熱湯を十分に注いだところ，沈殿の一部が溶解した。その溶解液にクロム酸カリウムを加えたところ，黄色の沈殿を生じた。

実験2：ろ液(a)に $\text{H}_2\text{S}$ を通じる操作を行ったところ， $\text{CuS}$ の黒色の沈殿を生じた。これをろ過して得られたろ液に対して **操作a** ， **操作b** ， **操作c** を連続して行ったところ， **操作c** によって二種類の金属水酸化物の沈殿を生じたため，ろ過を行い沈殿とろ液(b)に分離した。

実験3：ろ液(b)に $\text{H}_2\text{S}$ を再度通じたところ， $\text{ZnS}$ の白色の沈殿を生じたため，ろ過を行い沈殿とろ液(c)に分離した。

実験4：ろ液(c)に希硫酸を加えたところ，白色の沈殿を生じた。最終的に溶液に残った金属イオンは一種類のみであった。

[問]

ア 実験1における波線部のろ紙上に残った沈殿は、試薬、熱、電気を使うことなく、ある方法によって金属単体へと還元できる。その金属元素の硝酸塩を試験管内で水に溶かしてアンモニア水を加えたところ褐色の沈殿を生じたが、さらに加えると沈殿が消失した。ここに、ある脂肪酸を加え加熱したところ、試験管の内面に金属が析出した。

(1) 下線部①の方法を答えよ。

(2) 下線部②に関して、この反応で金属を析出させることができる脂肪酸のうち、最小の分子量をもつ物質を答えよ。

イ 実験2において、Tさんは誤って **操作 a** ~ **操作 c** の代わりに、以下の操作を連続して行ってしまった。

**操作 x** 炭酸ナトリウム水溶液を十分に加える。

**操作 y** 煮沸する。

**操作 z** 希硫酸を十分に加える。

**操作 z** の後で最終的に得られた沈殿に含まれる金属元素が、**操作 x** と **操作 z** において起こす反応の反応式をそれぞれ示せ。

ウ 実験2における、本来の操作方法である **操作 a** , **操作 b** , **操作 c** をそれぞれ答えよ。

エ 実験4で得られた上澄み液を、白金線に付けてバーナー炎中に入れたところ、炎色反応を示した。その炎色と、それを示した元素を答えよ。

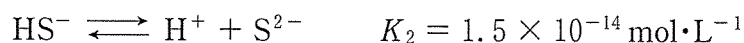
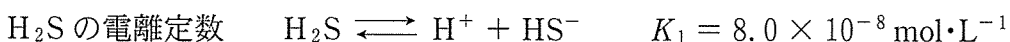
オ 一般に、 $\text{Cu}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+}$  が溶けた溶液の水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  を調整し、 $\text{H}_2\text{S}$  を通じると  $\text{CuS}$  のみを沈殿させることができる。以下に示す実験条件および値を用いて、このときの  $[\text{H}^+]$  の下限を有効数字2桁で答えよ。また、答えに至る過程も記せ。ただし  $[\text{H}_2\text{S}]$  は常に一定とする。

$$[\text{H}_2\text{S}] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}, [\text{Cu}^{2+}] = 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1},$$

$$[\text{Zn}^{2+}] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{CuS の溶解度積} \quad K_{\text{sp}}(\text{CuS}) = 6.5 \times 10^{-30} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$$

$$\text{ZnS の溶解度積} \quad K_{\text{sp}}(\text{ZnS}) = 3.0 \times 10^{-18} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$$



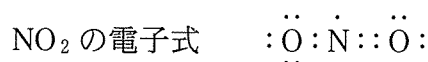
II 次の文章を読み、問カ～コに答えよ。

大気の約 8 割を占める窒素は自然界で雷，火山の噴火や森林火災で酸化され，NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>などの窒素酸化物を生成する。NO<sub>2</sub>は大気中の水分と反応し③て硝酸を生成し，酸性雨の要因となる。硝酸は強い酸化作用を示し，水素よりイオン化傾向の小さな銀や銅などの金属を溶かす。このとき，一般的に希硝酸を用いると NO が，濃硝酸を用いると NO<sub>2</sub>が発生するとされるが，実際には NO と NO<sub>2</sub>がともに発生し，その割合は硝酸の濃度に依存する。④⑤

硝酸は，過去には硝酸ナトリウムや硝酸カリウムに濃硫酸を加えて蒸留すること⑥で製造された。現在では，窒素から作ったアンモニアを酸化して NO を発生させ，これをさらに酸化した NO<sub>2</sub>を水と反応させるオストワルト法により製造される。NO<sub>2</sub>が発生する過程では，一部のNO<sub>2</sub>同士が反応して N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>を生じる。⑦

[問]

- カ 下線部③に示す窒素酸化物のように，窒素は多数の酸化状態をとることができる。窒素が最大の酸化数をとる窒素化合物と，最小の酸化数をとる窒素化合物の化学式を，それぞれの窒素の酸化数とともに一つずつ答えよ。
- キ 下線部④の化学反応式を示せ。
- ク 下線部⑤の NO と NO<sub>2</sub>の割合が硝酸濃度に依存する理由を，NO と NO<sub>2</sub>が硝酸水溶液と反応することを踏まえて簡潔に説明せよ。
- ケ 下線部⑥の化学反応式を示せ。またこのとき，濃硫酸の代わりに濃塩酸を使わない理由を簡潔に説明せよ。
- コ 下線部⑦の N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>を生じる反応は，吸熱反応と発熱反応のいずれであるかを答えよ。またその理由を，以下の NO<sub>2</sub>の電子式に着目して簡潔に説明せよ。



第3問

次のⅠ，Ⅱの各問に答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元 素	H	C	N	O	S	Fe	Pt	Pb
原子量	1.0	12.0	14.0	16.0	32.1	55.8	195	207

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  $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Ⅰ 次の文章を読み，問ア～ウに答えよ。

図3—1のように，鉛と酸化鉛(Ⅳ)を電極に用い，電解液として希硫酸を用いた鉛蓄電池と，白金を電極として用いた電解槽を接続できるようにした。鉛蓄電池を十分に充電した後，以下の操作1を行った。

操作1：スイッチを接続し，水酸化ナトリウム水溶液を電気分解したところ，電解槽の両極で気体が発生した。電解槽の白金電極Bで発生した気体を，水上置換法を用いて捕集した。

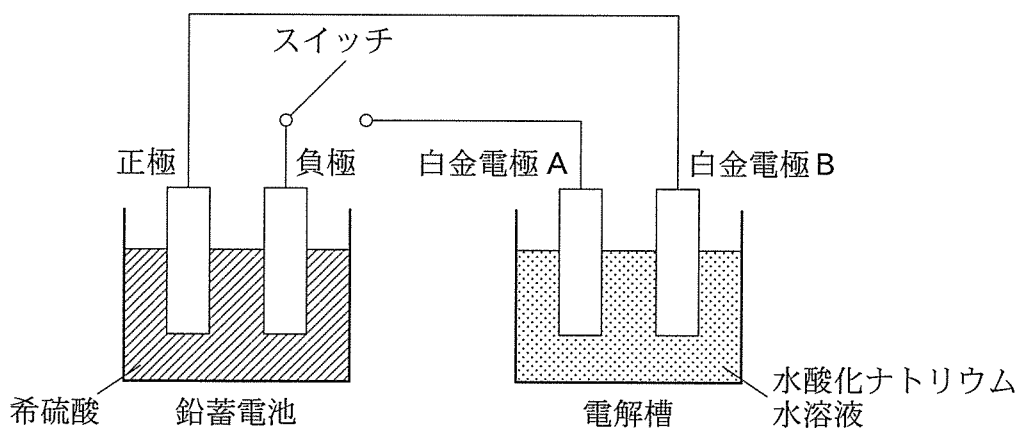


図3—1 鉛蓄電池と電解槽の模式図

(問)

- ア 鉛蓄電池の放電時に、正極および負極で起こる変化を、それぞれ電子  $e^-$  を用いたイオン反応式で示せ。
- イ 図3—2は、操作1を行ったときの、鉛蓄電池における放電時間に対する物質の重量変化を示している。電解液の重量が(6)のように変化したとき、鉛蓄電池の正極および負極の重量変化を示す直線として最も適当なものを、図3—2の(1)～(6)のうちから、それぞれ一つずつ選べ。ただし、同じものを選んでもよい。
- ウ 操作1において、1000秒間電気分解した。このとき、(i)白金電極Bで発生した気体は何か。(ii)その物質は何molか。またこのとき、(iii)27℃、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で水上置換法を用いて捕集した気体の体積は何Lか。それぞれ、有効数字2桁で答えよ。答えに至る過程も記せ。ただし、水の飽和蒸気圧は27℃で $4.3 \times 10^3 \text{ Pa}$ とする。また、発生した気体は水に溶けず、理想気体として扱えるものとする。

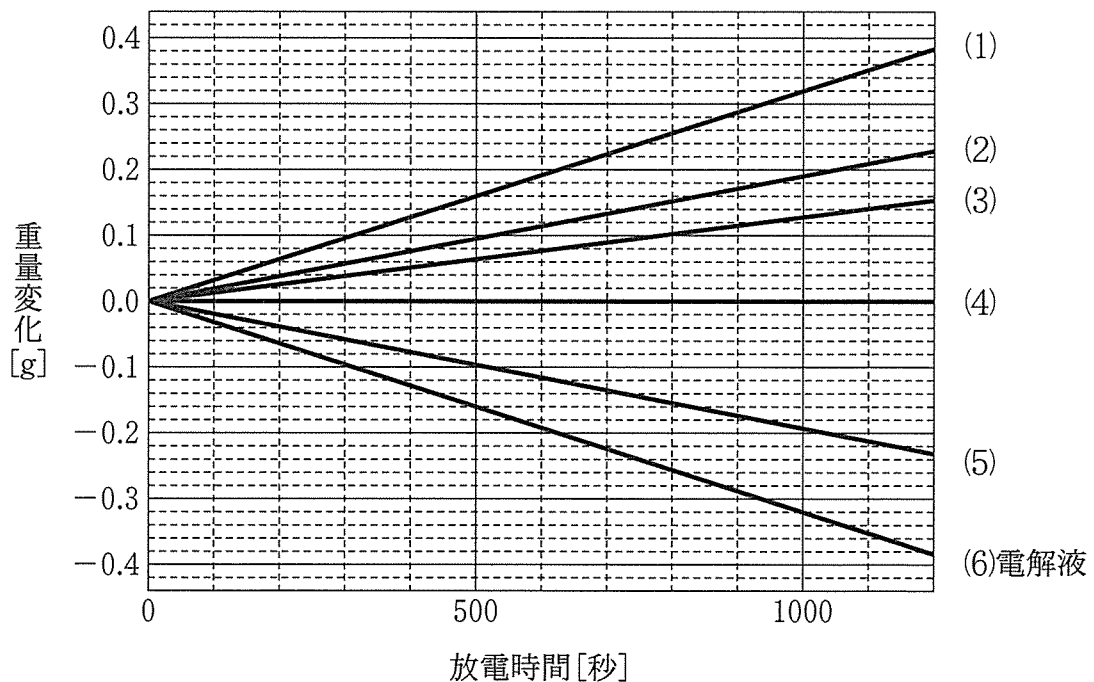
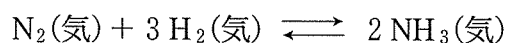


図3—2 放電時間に対する物質の重量変化

II 次の文章を読み、問工～キに答えよ。

$\text{N}_2$  と  $\text{H}_2$  の混合気体を密閉容器に入れて高温にすると、次の化学反応が可逆的に起こり、やがて平衡状態に達する。



この可逆反応の正反応は、発熱反応であることが知られている。この可逆反応が平衡状態にあるとき、反応温度を  $\boxed{\text{a}}$  したり、圧力を  $\boxed{\text{b}}$  すると、ルシャトリエの原理から考えると、 $\text{NH}_3$  の生成率が増加する。工業的には、 $\text{NH}_3$  は、四酸化三鉄が主成分の触媒を用いて生産される。

① 気体の反応では、反応の進行に伴う濃度変化を測定するよりも圧力変化を測定するほうが容易なので、濃度の代わりに分圧をもとに反応の進行を考えることが多い。 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{NH}_3$  のそれぞれの分圧を  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  とし、これらを用いて  $Q$  を以下の式で定義する。

$$Q = \frac{(P_C)^2}{(P_A) \cdot (P_B)^3}$$

各気体の分圧は反応の進行とともに変化するので、 $Q$  もそれに応じて変化し、平衡状態に達するとある一定値になる。このときの  $Q$  の値を圧平衡定数 ( $K_P$ ) という。

平衡状態にある  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{NH}_3$  の混合気体に、圧力を加えたり、反応物や生成物を加えたりした直後の  $Q$  の値を  $K_P$  と比較することにより、反応がどちらに進むかを知ることができる。

$\text{NH}_3$  の生成反応について次の実験を行った。以下では、すべての気体は理想気体として扱えるものとする。

実験 1：容積一定の容器 I に、 $3.0 \text{ mol}$  の  $\text{N}_2$  と  $6.0 \text{ mol}$  の  $\text{H}_2$  を入れ、温度  $T_1$  で反応させた。平衡に達したとき、 $\text{H}_2$  の分圧は反応開始前における  $\text{H}_2$  の分圧の  $0.9$  倍であった。

実験 2：容積が可変な容器 II に  $\text{N}_2$  と  $\text{H}_2$  を入れ、全圧  $P$  を一定に保ち、温度  $T_2$  で反応させた。平衡に達したとき、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{NH}_3$  の物質量は、それぞれ、 $4.0$ 、 $2.0$ 、 $1.0 \text{ mol}$  であった。



〔問〕

エ  ,  に入る語句として適切なものを以下から選び、記号で答えよ。

(a-1) 高く (a-2) 低く

(b-1) 高く (b-2) 低く

オ 下線部①に関して、図3-3の曲線(1)は、触媒を用いない場合のNH<sub>3</sub>の生成率の時間変化を示している。触媒を用いた場合のNH<sub>3</sub>の生成率の時間変化を示す曲線を(1)~(4)のうちから選べ。ただし、触媒の有無以外の反応条件は同じとする。

カ 実験1の平衡状態において、生成したNH<sub>3</sub>の物質量は何molか。有効数字2桁で答えよ。

キ 実験2の平衡状態に、全圧および温度を一定に保ちながら混合気体にN<sub>2</sub>を3.0mol加えた。加えた直後の $Q$ を $Q_1$ とし、 $Q_1$ と $K_P$ を、それぞれ全圧 $P$ を用いて表せ。さらに、正反応と逆反応のいずれの方向に平衡が移動するかを、 $Q_1$ と $K_P$ を用いて説明せよ。

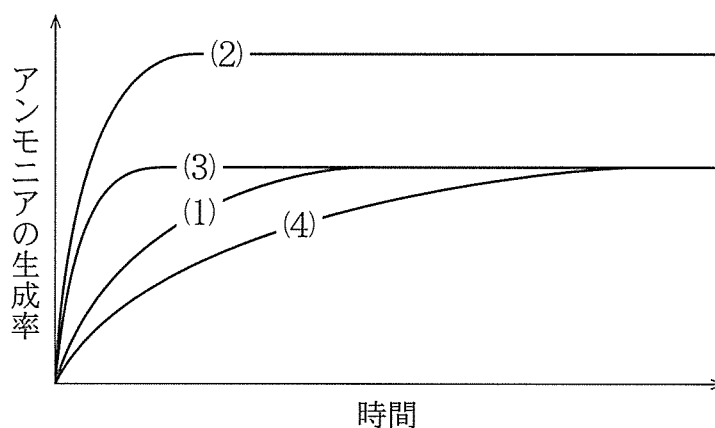


図3-3 アンモニア(NH<sub>3</sub>)の生成率の時間変化

# 生 物

## 第 1 問

次の文 1 と文 2 を読み、I と II の各問に答えよ。

[文 1]

DNA・RNA・タンパク質はすべて高分子であり、それぞれを構成する単位の並びからなる配列情報を有する。これら 3 つの配列情報の間には、理論上、図 1—1 のように 9 通りの伝達経路が想定できる。しかし、現存する生物やウイルス<sup>(ア)</sup>においては、これらすべての伝達経路が存在するわけではない。

DNA・RNA・タンパク質を介して遺伝情報が発現する過程は、その各段階において様々な制御を受ける。そのような制御の一例として「RNA 干渉」があげられる。RNA 干渉とは、真核生物の細胞内に二本鎖の RNA が存在すると、その配列に対応する標的 mRNA が分解されてしまうという現象である。無脊椎動物や植物などにおいて、RNA 干渉は生体防御機構として重要な役割を果たしていることが知られている。

RNA 干渉において、長い二本鎖 RNA は、まず「ダイサー」と呼ばれる酵素によって認識され、端から 21 塩基程度ごとに切り離される。こうして作られた短い二本鎖 RNA は、次に「アルゴノート」と呼ばれる酵素に取り込まれる。アルゴノートは、短い二本鎖 RNA の片方の鎖を捨て、残ったもう片方の鎖に相補的な配列をもつ標的 mRNA を見つけ出して切断する。その後、切断された標的 mRNA は別の RNA 分解酵素群によって細かく分解される。このように、RNA 干渉には二本鎖 RNA の存在だけでなく、様々なタンパク質のはたらきが不可欠である。

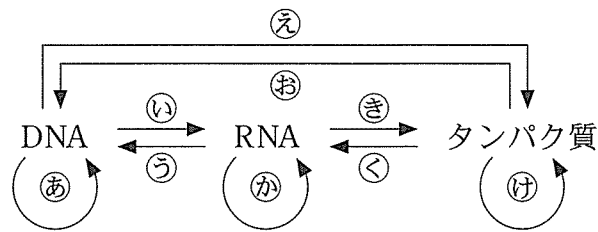


図1—1 DNA・RNA・タンパク質という3つの配列情報間の伝達経路

実験1 ショウジョウバエ(ハエと略す)のRNA干渉に関わるタンパク質Xおよびタンパク質Yの機能欠失変異体ハエ( $x$ 変異体ハエおよび $y$ 変異体ハエと呼ぶ)をそれぞれ作製し、野生型ハエとともに、一本鎖RNAをゲノムとしてもつFウイルスまたは大腸菌を感染させた。その結果、図1—2のような生存曲線が得られた。一方、未感染の場合の14日後の生存率は、野生型ハエ、 $x$ 変異体ハエ、 $y$ 変異体ハエのすべてにおいて、98%以上であった。また、感染2日後の時点において、Fウイルスまたは大腸菌に由来する21塩基程度の短いRNAがハエの体内に存在するかどうかを調べたところ、表1—1に示す結果となった。

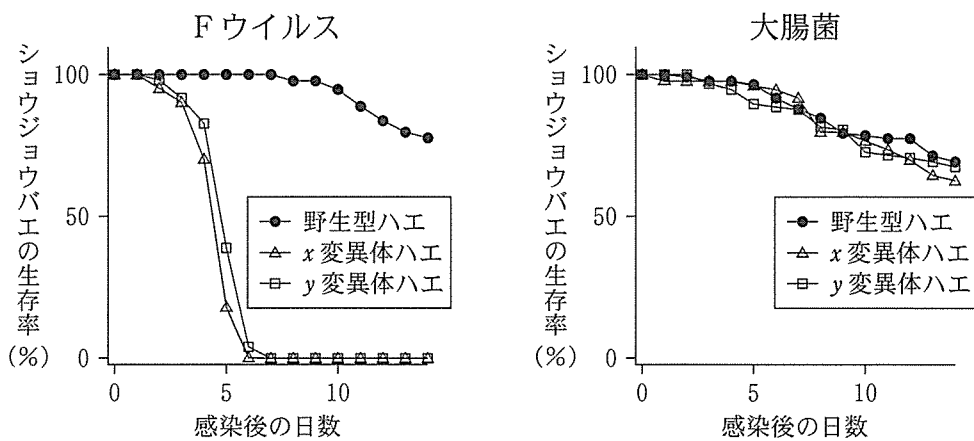


図1—2 Fウイルスまたは大腸菌感染後のショウジョウバエの生存曲線

表1—1 感染2日後のショウジョウバエ体内における短いRNA

	野生型ハエ	$x$ 変異体ハエ	$y$ 変異体ハエ
Fウイルス由来の短いRNA	有	有	無
大腸菌由来の短いRNA	無	無	無

実験2 Fウイルスのゲノムには、ウイルス固有のB2と呼ばれるタンパク質をコードする遺伝子が存在する。B2タンパク質の機能欠失変異体Fウイルス( $\Delta$ B2Fウイルスと呼ぶ)を作製し、野生型ハエに感染させたところ、野生型Fウイルスと比べて $\Delta$ B2Fウイルスはほとんど増殖できなかった。一方、 $x$ 変異体ハエや $y$ 変異体ハエに $\Delta$ B2Fウイルスを感染させた場合は、野生型Fウイルスと同程度の顕著な増殖が確認された。

また、FウイルスのB2遺伝子を取り出し、野生型ハエの体内で強制的に発現させた。すると、そのようなハエにおいては、B2遺伝子を強制発現させていない通常の野生型ハエと比べて、Fウイルスだけではなく一本鎖RNAをゲノムとしてもつ他のウイルスも顕著に増殖しやすくなった。一方、 $x$ 変異体ハエや $y$ 変異体ハエにおいては、その体内でFウイルスのB2遺伝子を強制発現させてもさせなくても、Fウイルスやその他の一本鎖RNAウイルスの増殖の程度に違いはなかった。

[文2]

生命科学の研究においては、同じ親から生まれた雄と雌の交配(兄妹交配)を数十世代繰り返すことで得られた近交系(純系)のマウスが広く用いられている。近交系のマウスは集団の中からどの個体をとっても遺伝的にほとんど同じであるため、生命科学研究で大きな問題となりうる遺伝的な個体差を最小化し、実験の精度を向上させることができる。しかし、近交系マウスにおいても、世代を経るたびに一定の頻度で突然変異が生じており、大きな表現型の変化として現れる場合がある。

ある近交系のマウスを兄妹交配しながら飼育していたところ、血液中の白血球<sup>(イ)</sup>におけるT細胞の割合が顕著に少ない数匹の個体が見つかった。これらのマウスは、病原菌のいない清浄な飼育環境では野生型マウスと同程度に発育し、身体のサイズや繁殖能力に問題はなかった。また、T細胞以外の白血球<sup>(ウ)</sup>の数には異常はみられなかった。そこで、これらのマウスどうしを交配し、子孫マウス集団中の個体を調べたところ、血液中の白血球におけるT細胞の割合が、元の近交系マウスと比べて同程度(表現型A)、約1/5(表現型B)、約1/20(表現型C)、という3群に分かれた(図1—3左)。さらに、それぞれの個体の血縁関係と、A、B、Cの表現型を示した家系図(図1—3右)を作成したところ、これらのマウスは飼育の過程で生じた突然変異体と考えられた。

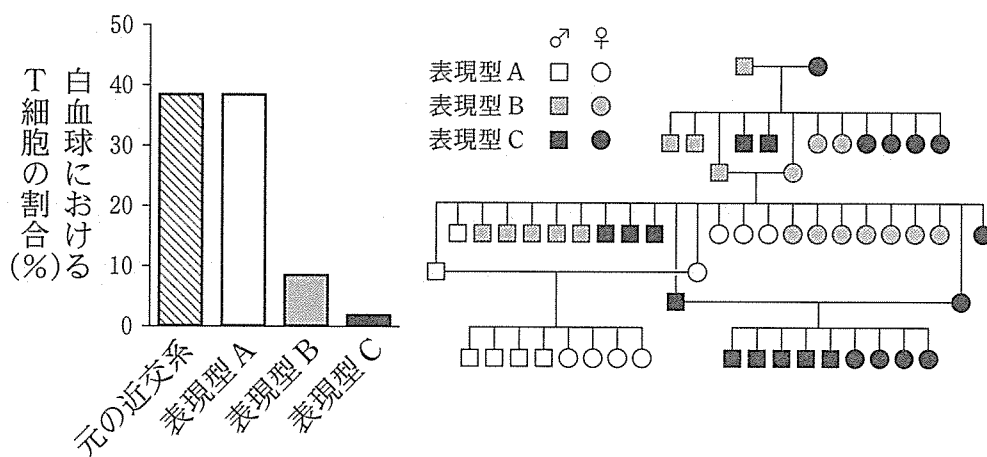


図1—3 マウスの血液中の白血球におけるT細胞の割合(左)と家系図(右)

実験3 血液細胞を死滅させる線量の放射線を照射したマウス(レシピエント)に対し、別のマウス(ドナー)の骨髄細胞を移植すると、ドナー由来の細胞がレシピエントの体内で分化して新たな血液細胞を構成し、キメラマウスができる。表現型 A, B, C それぞれのマウスから骨髄細胞を採取して表現型 A の別のマウスに移植した。また、表現型 A のマウスから骨髄細胞を採取して表現型 B のマウスと表現型 C のマウスに移植した。作製したキメラマウスについて、血液中の白血球における T 細胞の割合を調べた(図1-4)。

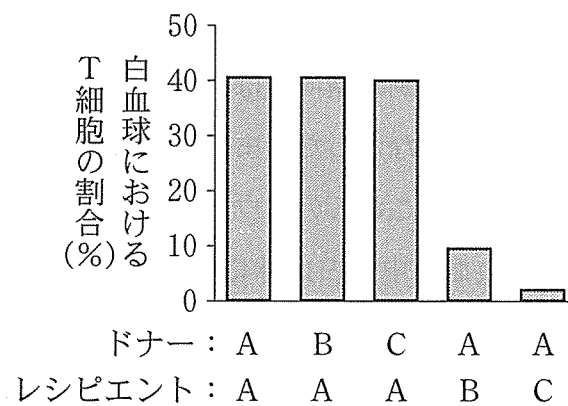


図1-4 キメラマウスの血液中の白血球における T 細胞の割合

実験4 表現型 C のマウスのゲノムを調べたところ、タンパク質 Z をコードする遺伝子 Z の塩基配列にアミノ酸置換をもたらす一塩基変異が見つかった。遺伝子 Z の機能を調べるため、遺伝子組換え技術を用いて、元の近交系マウスのゲノムから遺伝子 Z を取り除いたノックアウトマウスを作製した。遺伝子 Z ノックアウトマウスの血液中の白血球における T 細胞の割合は、元の近交系マウスや表現型 A のマウスと同程度であった。

〔問〕

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 図1—1の㉔の過程の基本的な仕組みを、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。同じ語句を繰り返し使用してもよい。

mRNA, tRNA, リボソーム, アミノ酸, コドン, ペプチド結合

B 下線部(ア)について。以下の問(a)と(b)に答えよ。

(a) 「セントラルドグマ」という言葉は、現在では「遺伝情報はDNA→RNA→タンパク質と一方向に流れる」という概念を指すものとして説明されることが多い。しかし、1956年にフランシス・クリックがセントラルドグマについて記したメモには、以下のように記述されている。

3つの要素から成り立つ原理。

セントラルドグマとは「情報が一度タンパク質分子になってしまえば、そこから再び出て行くことはない」ということ。

DNA・RNA・タンパク質という配列情報間の伝達経路を示す図1—1の㉔～㉕の矢印のうち、このメモにおいてクリックが存在しないと主張したと考えられるものをすべて選べ。

(b) 図1—1の㉔～㉕の矢印のうち、自然界に現存する生物やウイルスにおいて、その存在が確認されていないものをすべて選べ。

C 実験1と2の結果から、タンパク質Xとタンパク質Yは、それぞれ何であると考えられるか。以下の選択肢(1)~(6)から1つ選べ。

選択肢	タンパク質 X	タンパク質 Y
(1)	ダイサー	アルゴノート
(2)	ダイサー	B2
(3)	アルゴノート	ダイサー
(4)	アルゴノート	B2
(5)	B2	ダイサー
(6)	B2	アルゴノート

D 実験1と2の結果を考察した以下の文中の空欄1~7に当てはまるもっとも適切な語句を、以下の選択肢①~⑮から選べ。同じ選択肢を繰り返し使用してもよい。解答例：1—①， 2—②

実験1において、野生型ハエと比べて $x$ 変異体ハエや $y$ 変異体ハエでは、  
1 の感染に対する生存率が顕著に低下していることから、ショウジョウバエは、もともと 2 の機構を利用して 1 に抵抗していると考えられる。2 は 3 に対して起こる現象であるので、1 は一時的に 3 の状態をとるような複製様式、すなわちRNAを鋳型にして 4 を行う複製様式をとっていると考えられる。

また実験2の結果から、FウイルスのB2タンパク質には、5 がもつ 6 の機構を 7 するはたらきがあると考えられる。

- |            |          |          |
|------------|----------|----------|
| ① ショウジョウバエ | ② Fウイルス  | ③ 大腸菌    |
| ④ 促進       | ⑤ 抑制     | ⑥ 維持     |
| ⑦ 一本鎖DNA   | ⑧ 二本鎖DNA | ⑨ 一本鎖RNA |
| ⑩ 二本鎖RNA   | ⑪ DNA合成  | ⑫ RNA合成  |
| ⑬ タンパク質合成  | ⑭ RNA干渉  | ⑮ 抗体産生   |



II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 図1—3から、この変異マウスの遺伝様式を推測することができる。以下の図1—5に示す交配をした場合に、生まれた子マウスが表現型Cの雌の個体である確率を分数で答えよ。

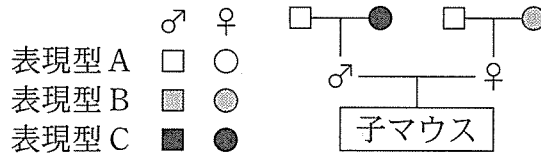


図1—5 変異マウスの交配

B 下線部(イ)・(ウ)について。以下の文中の空欄8～15に適切な語句を記入せよ。解答例：8—〇〇， 9—△△

T細胞は、個々の異物を特異的に認識して排除する  免疫系の中心的存在であり、ヒトの生体防御において重要な役割を担っている。そのため、たとえば  がT細胞に感染してその機能を低下させると、微生物感染に対する生体防御が大きく損なわれる。一方、 免疫系では、 などの白血球が貪食(食作用)によって異物を分解する。

免疫系は全ての動物に備わっているが、 免疫系は脊椎動物にのみ備わる。

脊椎動物と無脊椎動物では、循環系のしくみも大きく異なっている。脊椎動物では動脈と静脈が  で連絡しており、 血管系と呼ばれる。一方、昆虫などの多くの無脊椎動物では  が存在せず、血液・ ・リンパ液の区別がない  血管系となっている。

C 実験3の背景と結果に関連する以下の(1)~(5)のうち、適切なものを2つ選べ。

- (1) すべてのT細胞は、造血幹細胞からつくられる。
- (2) T細胞の核を用いて作製されたクローンマウスは、多様なT細胞抗原受容体を発現し、正常な免疫機能をもつ。
- (3) 表現型CのマウスではT細胞以外の白血球数は正常であるため、体内に侵入した異物に対する抗体は正常につくられる。
- (4) 表現型B, Cのマウスでは骨髄細胞に異常があるため、つくられるT細胞の数が減少している。
- (5) 表現型B, Cのマウスでは胸腺に異常があるため、T細胞の成熟が妨げられる。

D 実験4の結果から、この変異マウスの原因変異について複数の解釈が考えられる。以下の(1)~(4)から、実験結果の解釈として不適切なものを1つ選べ。

- (1) 遺伝子Zノックアウトマウスでは、タンパク質Zの発現が消失するが、その機能は別のタンパク質によって補われている。
- (2) 実験4で見つかった変異によって、タンパク質Zの構造が変化し、別のタンパク質のはたらきが妨げられる。これがT細胞の減少の原因である。
- (3) 実験4で見つかった変異は、T細胞の減少とは何ら関係はなく、原因変異は別に存在する。
- (4) 実験4で見つかった変異によって、タンパク質Zの発現が消失する。これがT細胞の減少の原因である。

## 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]

植物や緑藻など、光合成を行う生物は、光のエネルギーを利用してCO<sub>2</sub>を固定し、糖をはじめとする有機物をつくることができる。この過程は、大きく2つの段階に分けられる。第一段階では、葉緑体のチラコイド膜にある光化学系が光を吸収して、H<sub>2</sub>Oから電子を引き抜き、この電子を順次伝達しながら、ストロマからチラコイド内腔へとH<sup>+</sup>を運ぶ。電子は最終的に補酵素のNADP<sup>+</sup>に渡され、NADPHが生じる。また、H<sup>+</sup>の運搬によって形成されたH<sup>+</sup>濃度勾配に従い、H<sup>+</sup>がチラコイド内腔からストロマへ流れ込むときに、これと共役してADPからATPが合成される。第二段階では、第一段階で生産されたNADPHとATPを使って、CO<sub>2</sub>を固定し糖を合成する一連の反応が進行する。

光合成でつくられた糖からは、様々な有機物が派生する。光合成生物は、こうして得た有機物を体の素材に用いるほか、一部を基質として呼吸を行い、エネルギーをATPの形で取り出していろいろな生命活動に利用する。全体を見ると、光合成生物では、光合成で光のエネルギーを有機物の化学エネルギーに変換し、このエネルギーを呼吸で取り出していることになる。

光合成はCO<sub>2</sub>を消費してO<sub>2</sub>を発生し、呼吸はO<sub>2</sub>を消費してCO<sub>2</sub>を発生するため、両者を行う光合成生物では、気体交換はそれぞれの活性を反映した複合的なものとなる。逆に言えば、気体交換の詳しい分析から、光合成と呼吸の動態を推定することができる。

### [文2]

植物の体は、光合成器官の葉と、それ以外の器官の茎や根からなる。植物は光合成で得た有機物を、これらの器官の構築に振り向けて成長していく。光合成量を増やしてより早く成長するには、葉への物質分配を高め、葉の割合を大きくした方がよいが、周りの植物と光をめぐる競争している環境では、茎を伸ばして

葉を高い位置で展開するために、茎への物質分配も重要である。自立性の植物では、葉の量に応じて茎を太くしなければ葉をしっかりと支えられないので、このことが茎への物質分配の下限を規定し、葉への物質分配を制約している。これに対し、他の植物などを支柱とする「つる植物」では、自分の茎で葉の重量を支えなくてすむので茎を細くでき、その分茎への物質分配の下限が緩和されるとともに、分配される物質当たりの茎の伸長量が増大する。これらの点で、つる植物は早くまた高く成長するのに有利であると言える。

つる植物は、支柱に絡みついたり巻きついたりするために、特別な器官や性質を発達させている。巻きひげは絡みつくための器官の代表例で、様々なつる植物に見られる。巻きひげは、葉または茎が特殊化したものである。巻きひげなどを使わずに、茎全体で支柱に巻きつくようなつる植物も多い。このようなつる植物では、茎の先端が円を描くように動く回旋運動(図2-1)を、支柱の探索に利用している。茎が回旋運動を行いながら成長し、何か支柱になるものに接触すると屈曲して巻きつくのである。巻きひげの形成にせよ、支柱の探索にせよ、相応のコストがかかるはずであるが、進化上何度もつる植物が出現していることは、成長上の有利さがこのコストを上回る場合が多いことを示唆している。

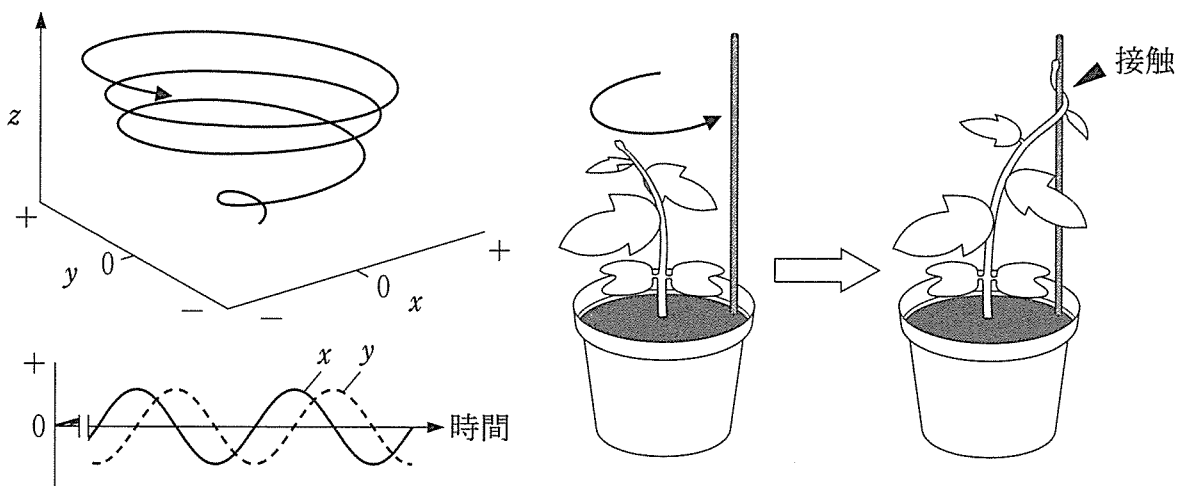


図2-1 つる植物Wの回旋運動と支柱への巻きつき

左上は、 $xyz$ 空間における回旋運動中の茎先端部の軌跡。左下は、茎先端の $x$ 座標と $y$ 座標の変化が示す、水平方向の往復振動パターン。右は、回旋運動をしていた茎が支柱に接触して巻きつく様子。

〔問〕

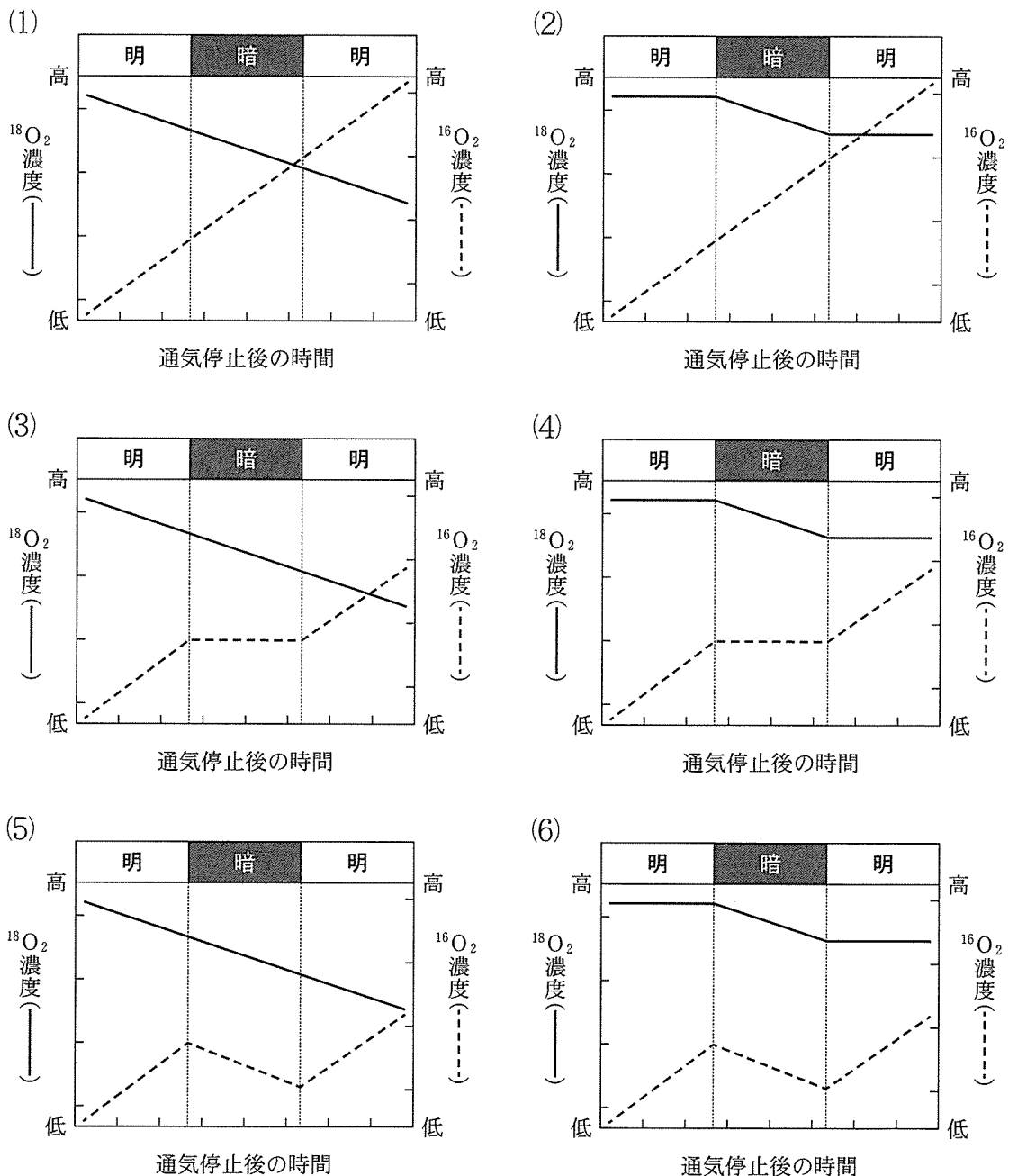
I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(ア)・(イ)のように、光化学系の電子伝達では $\text{H}_2\text{O}$ からの電子を受けてNADPHが生じるが、自発的な酸化還元反応では逆にNADPHからの電子を受けて $\text{H}_2\text{O}$ が生じ、エネルギーが放出される。このエネルギーをNADPH 1分子当たり $\alpha$ とする。下線部(ウ)も自発的な反応とは逆であり、自発的にはATPからADPが生じ、エネルギーが放出される。このエネルギーをATP 1分子当たり $\beta$ とする。通常、光合成では、2分子の $\text{H}_2\text{O}$ から始まる電子伝達に伴い、3分子程度のATPが合成される。下線部(エ)では、1分子のグルコースの合成に相当する反応に、12分子のNADPHと18分子のATPが使われる。下線部(オ)では、1分子のグルコースを基質とする呼吸により、最大38分子のATPが合成される。これらを踏まえると、1分子のグルコースの合成に相当する光合成では、光化学系に吸収された光のエネルギーと $\alpha$ 、 $\beta$ について、どのような大小関係が考えられるか。以下の(1)~(10)から、もっとも適切なものを選べ。

- (1) 光エネルギー  $< 12\alpha + 18\beta < 38\beta$
- (2) 光エネルギー  $< 38\beta < 12\alpha + 18\beta$
- (3)  $12\alpha + 18\beta < \text{光エネルギー} < 38\beta$
- (4)  $38\beta < \text{光エネルギー} < 12\alpha + 18\beta$
- (5)  $12\alpha + 18\beta < 38\beta < \text{光エネルギー}$
- (6)  $38\beta < 12\alpha + 18\beta < \text{光エネルギー}$
- (7)  $18\beta < \text{光エネルギー} < 12\alpha < 38\beta$
- (8)  $18\beta < \text{光エネルギー} < 38\beta < 12\alpha$
- (9)  $12\alpha < 18\beta < \text{光エネルギー} < 38\beta$
- (10)  $18\beta < 12\alpha < \text{光エネルギー} < 38\beta$

B 下線部(カ)について。光合成と呼吸の活性を同時に調べるための実験として、単細胞緑藻の培養液に  $^{18}\text{O}_2$  を通気し、通気を止めた後に、光条件を短時間に明→暗→明と切り替えながら、培養液中の  $^{18}\text{O}_2$  濃度と  $^{16}\text{O}_2$  濃度の変化を測定することを考える。測定開始時点では与えた  $^{18}\text{O}_2$  以外に  $^{18}\text{O}$  を含む物質は培養液中に存在しないとしたとき、 $^{18}\text{O}_2$  濃度と  $^{16}\text{O}_2$  濃度はどう変化すると推測されるか。以下の(1)~(6)から、もっとも適切なものを選び。

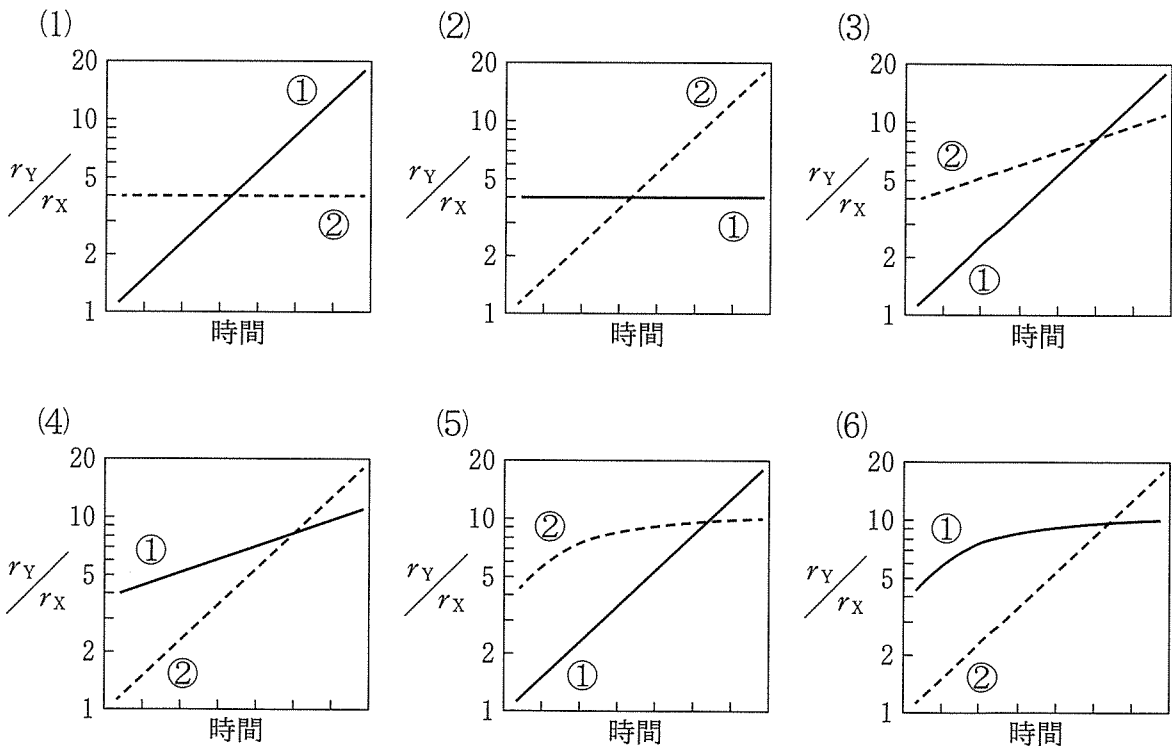
(注)  $^{16}\text{O}$  と  $^{18}\text{O}$  は酸素原子の安定同位体。天然ではほとんどが  $^{16}\text{O}$ 。



II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(キ)について。茎の伸長は、光などの様々な環境要因や、体内の植物ホルモンによって調節されている。茎の伸長の抑制にはたらく光受容体を1つ、茎の伸長を促進させる作用をもつ植物ホルモンを2つ答えよ。

B 下線部(ク)について。植物個体が光合成で有機物を生産する速度は、その時点で個体をもつ葉の量に比例し、生産した有機物は、葉とそれ以外の器官に一定の割合で分配されて、各器官の成長に使われるものとする。今、茎の長さ・重量比(長さ/重量)が1の自立性植物Xと、茎の長さ・重量比が4のつる植物Yを想定し、Yの成長戦略として、茎への物質分配をXの1/4に減らして、葉への物質分配をXの2倍にする場合(戦略①)と、各器官への物質分配をXと同じにする場合(戦略②)の2通りを考える。XとYの茎の伸長速度をそれぞれ $r_X$ 、 $r_Y$ としたとき、2つの戦略(①と②)で $r_Y/r_X$ の変化パターンはどのようなになるか。戦略①を実線、戦略②を破線で表したグラフとしてもっとも適切なものを、以下の(1)~(6)から選べ。



- C 下線部(ケ)・(サ)について。巻きひげで支柱に絡みつく植物と、巻きひげをもち、茎全体で支柱に巻きつく植物の例を、それぞれ1種ずつあげよ。ただし、種名は、標準的な和名のカタカナ表記とすること。解答例：巻きひげ—〇〇，茎全体—△△
- D 下線部(コ)について。下の図(図2-2)は、植物Zの巻きひげの外観と横断面を示している。Zの巻きひげは茎が特殊化したものなのか、葉が特殊化したものなのか。この図から判断し、根拠とともに3行程度で述べよ。

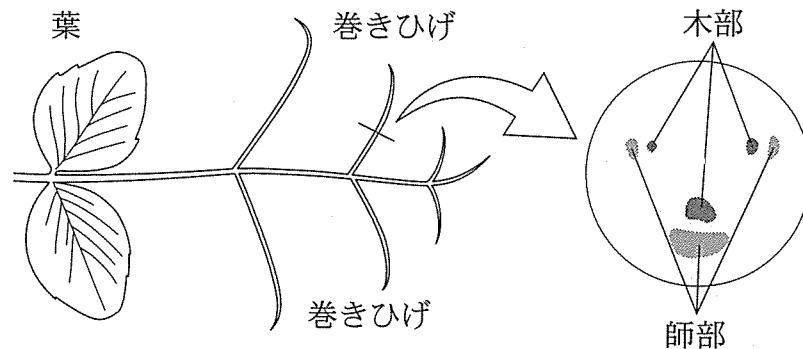


図2-2 植物Zの巻きひげ

左は巻きひげとその周辺部の外観(葉の表側から見たもの)。右は巻きひげ横断面の拡大図(左の図の紙面手前側が横断面の上側になるように示している)。

- E 下線部(シ)について。最近の研究から、回旋運動に重力屈性が関与することがわかってきている。有力な仮説では、重力屈性は図2-1左下に示すような往復振動を生み、その結果回旋運動が起きるとされる。しかし、茎の重力屈性の基本を、「茎は重力に対して鉛直上方向に向かおうとする一定の強さの負の重力屈性を示し、重力と茎がなす角度を伸長域で感知し、ずれがわずかでもあるとすみやかに屈曲する」こととすると、この基本通りでは往復振動は生じない。どの点がどのように異なっていたら、往復振動が生じると考えられるか。以下の(1)~(5)から、もっとも適切なものを選び。

- (1) aの点が異なり、鉛直斜め上方向に向かおうとする。
- (2) bの点が異なり、強さに周期的な変動がある。
- (3) cの点が異なり、茎の先端だけが感知する。
- (4) dの点が異なり、ずれが十分に大きくないと反応しない。
- (5) eの点が異なり、応答に時間的遅れがある。



F 下線部(ス)について。植物の屈曲反応には、屈曲の方向が刺激の方向に依存する屈性と、依存しない傾性がある。つる植物の茎が支柱に巻きつくときの屈曲反応は、接触屈性のように見えるが、接触傾性の可能性も考えられる。接触傾性である場合、茎の屈曲が支柱に巻きつく方向に起きるのはどのように説明できるか、2行程度で述べよ。

G 下線部(セ)について。下の図(図2—3)は、植物のあるグループについて、DNAの塩基配列情報に基づいて作られた系統樹と、つるに関する形質をまとめたものである。このグループの祖先となった植物はつる性ではなかったとして、グループ内の進化における形質変化の回数を最少とするには、形質の変化がどのように起きたと考えたらよいか。たとえば、「*a*と*b*でつる性の獲得が起き、*c*と*d*でつる性の喪失が起きた。」というように、図中の記号*a*~*k*を使って答えよ。なお、形質変化の回数が最少となる形質変化の起き方が複数ある場合は、それら全てを答えること。

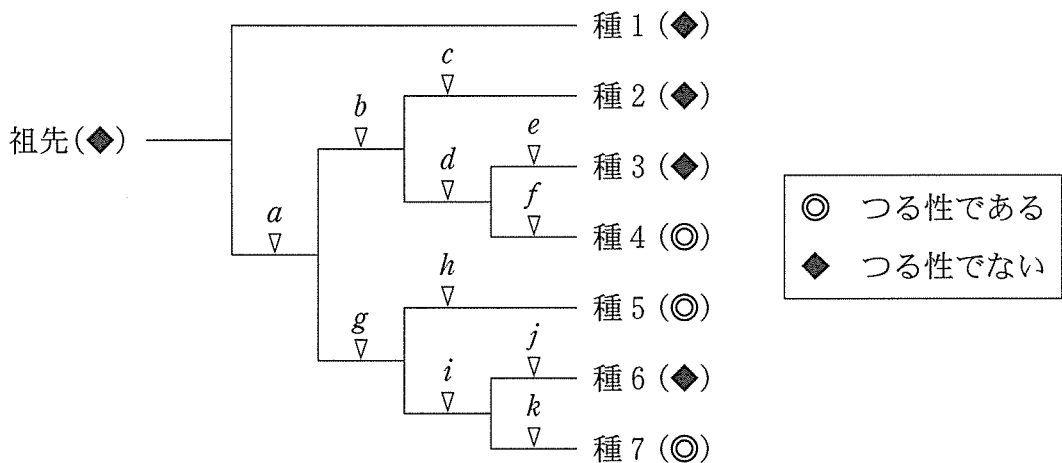


図2—3 植物のあるグループ(種1~種7)の系統樹とつるに関する形質

### 第3問

次の文1と文2を読み、IとIIの各問に答えよ。

#### 〔文1〕

生物が様々な異なる環境へ適応して、共通の祖先から数多くの種に多様化することを  という。相互作用している複数種の生物が、互いに影響を与えながら進化することを  という。動物における種間の相互作用としては、行動を介した交渉による直接的相互作用や、同じ餌を利用することで一方の種が他方の種に間接的な影響を与えるものなどがある。生物群集において、ある種が占める生息場所、出現時期や活動時間、餌の種類などの生息条件を  という。食性が共通するなど、  が近い種間では激しい種間競争が生じ、一方の種がもう一方の種を駆逐する  が起こる事がある。しかし、ある食性の動物にとって、同じ食性の他種の存在が有利にはたらく間接的な相互作用も存在することが明らかになってきた。

#### 〔文2〕

アフリカのタンガニイカ湖に生息する魚類には、他魚種の鱗<sup>うるこ</sup>を主食とする種がいる。鱗を食べる魚は、鱗を食べられる魚の後方から忍び寄り、体側から襲いかかって鱗を一度に数枚はぎ取る。魚種AとBはどちらも魚種Cを襲って鱗を食べるが、2種の襲い方は大きく異なる。どちらの種もゆっくり泳ぎながら探索し、種Cを見つけると、種Aは底沿いに忍び寄り、遠くから突進する。種Bはあたかも無害な藻食魚のような泳ぎ方で種Cに近寄り、至近距離からいきなり襲いかかる。種Cは、種AまたはBの接近を常に警戒しているため、種AやBが単独で襲いかかった場合の鱗はぎ取りの成功率は20%程度である。ところが<sup>(ア)</sup>種AおよびBの採餌成功率は、状況に応じて異なった(図3—1)。

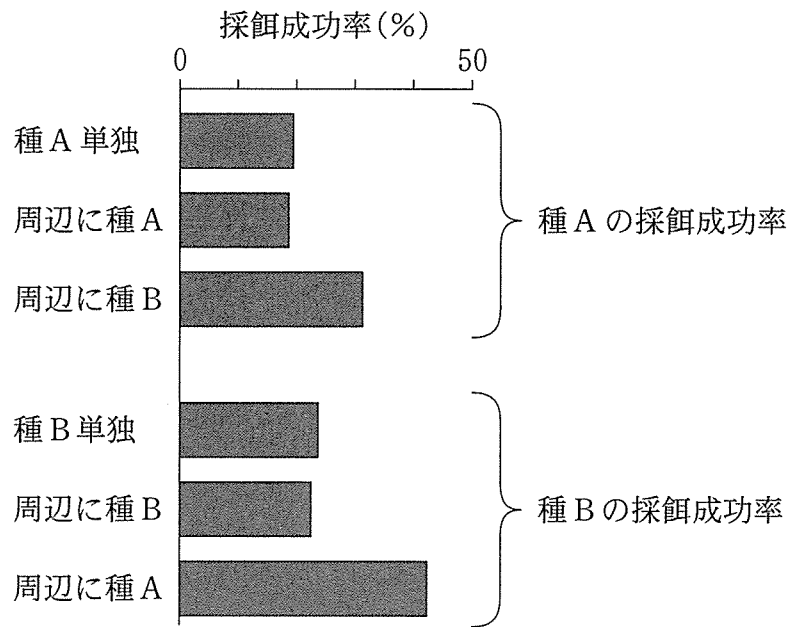


図 3—1 鱗を食べる種 A と B が種 C から鱗をはぎ取ること成功した割合  
 単独で襲いかかった場合、種 C の周辺に同種もしくは別種がいた場  
 合で比較した。

種 A や B の口を観察すると、魚の口は右や左に大きく曲がっていた(図 3—  
 2)。口が右に曲がった個体の胃袋からは、種 C の左の体側からはぎ取った鱗の  
 みが出現し、口が左に曲がった個体からは右の体側からはぎ取った鱗のみが出現  
 した。つまり、個体ごとに口の曲がりに応じて食べやすい体側からのみ鱗をはぎ  
 取っているのである。

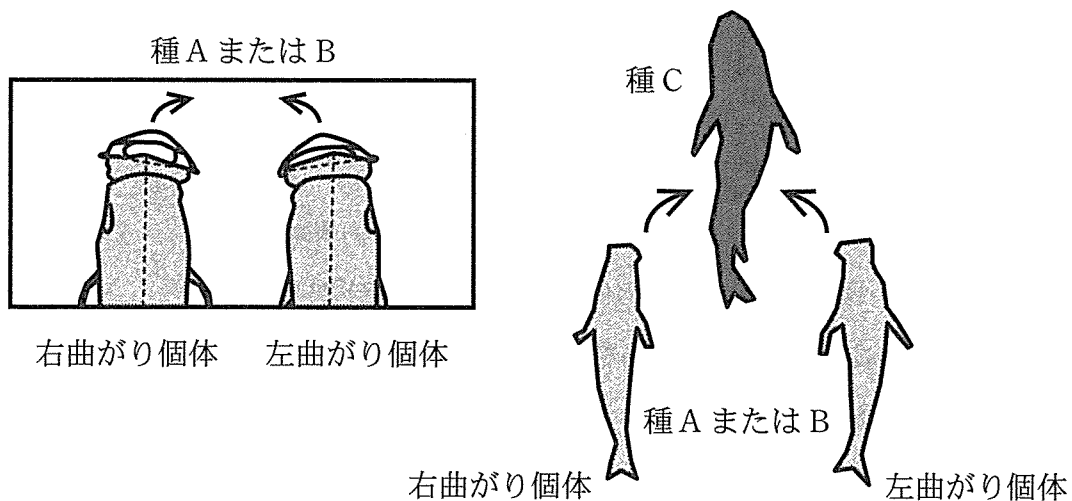


図 3—2 口が右や左に曲がった個体とそれぞれの鱗はぎ取り方法を上から見た図

種 A および B において、口が左に曲がった親どうしの組み合わせから生まれた子は、すべて口が左に曲がった個体となった。口が右に曲がった個体どうし、あるいは右に曲がった個体と左に曲がった個体を親とする子の口の曲がる向きを調べたところ、単一の遺伝子座にある対立遺伝子に支配される左曲がり劣性のメンデル遺伝<sup>(イ)</sup>を<sup>(ウ)</sup>すると考えられた。

個体群中で口が左に曲がった個体と右に曲がった個体がどのような比率で存在するのかを調べるため、種 A と C のみが生息する場所で種 A を十数年間調べたところ、口が左に曲がる個体の割合は 40 から 60 % の間を 4 ~ 5 年の周期で変動し、平均はほぼ 50 % となった。

鱗をはぎ取られた種 C の体にはしばらくの間痕跡が残るため、どちら側の体側から鱗をはぎ取られたかを調べることができる。種 A と C のみが生息する場所<sup>(ウ)</sup>で、種 C に残る痕跡を、右と左それぞれの体側で複数年にわたって数えたところ、年によって結果が異なった(図 3-3)。

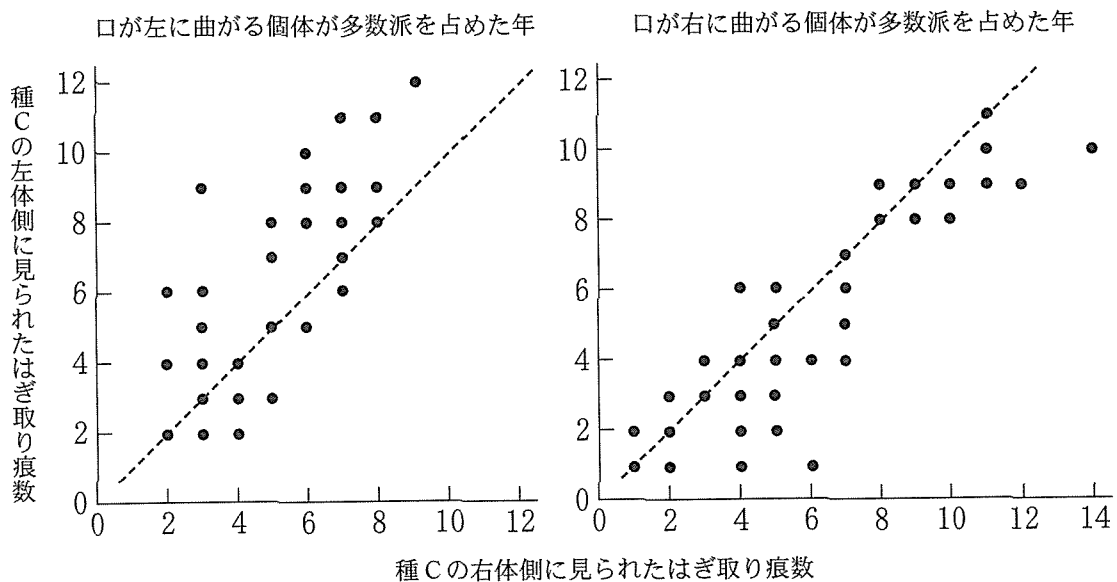


図 3-3 種 C の体側に見られたはぎ取り痕数

口が左に曲がった個体が種 A の多数派を占めた年(左パネル)と右に曲がった個体が種 A の多数派を占めた年(右パネル)を比較した。破線は右体側と左体側に見られるはぎ取り痕数が同じであった場合を示す。1つの点は種 C の 1 個体における値を示す。

[問]

I 文1について、以下の小問に答えよ。

A 空欄1～4にあてはまるもっとも適切な語句を、以下の選択肢①～⑬の中から選べ。解答例：1—①， 2—②

- |         |         |         |
|---------|---------|---------|
| ① 最適条件  | ② 共存    | ③ 弱肉強食  |
| ④ 適者生存  | ⑤ 生態的地位 | ⑥ 食物連鎖  |
| ⑦ 競争的排除 | ⑧ 間接効果  | ⑨ 生物多様性 |
| ⑩ 共進化   | ⑪ 適応放散  | ⑫ 収束進化  |
| ⑬ 食物網   |         |         |

B 2種間の相互作用には、以下の表に記す組み合わせが存在する。2種間の関係を表す語句(1)～(6)それぞれに対応する組み合わせとしてふさわしいものを、表の①～⑤の中から選べ。解答例：(1)—①， (2)—②

- |          |          |        |
|----------|----------|--------|
| (1) 片利共生 | (2) 寄生   | (3) 競争 |
| (4) 中立   | (5) 相利共生 | (6) 捕食 |

		生物2にとって		
		利益	不利益	どちらでもない
生物1にとって	利益	①	②	③
	不利益	②	④	偏害
	どちらでもない	③	偏害	⑤

II 文2について、以下の小問に答えよ。

A 下線部(ア)について。採餌成功率が状況に応じてどのように異なったか、  
図3—1から読み取れる傾向を2行程度で説明せよ。

B 図3—1のような結果がもたらされた理由を、鱗をはぎ取られる種Cの  
行動面から2行程度で説明せよ。

C 下線部(イ)がなり立つとして、口が右に曲がった個体どうしが親となる場  
合、生まれる子の理論上の比率として考えられるものを以下の(1)~(7)からす  
べて選べ。

- (1) 右曲がり：左曲がり = 1 : 0      (2) 右曲がり：左曲がり = 0 : 1  
(3) 右曲がり：左曲がり = 2 : 1      (4) 右曲がり：左曲がり = 1 : 2  
(5) 右曲がり：左曲がり = 3 : 1      (6) 右曲がり：左曲がり = 1 : 3  
(7) 右曲がり：左曲がり = 1 : 1

D 下線部(ウ)について。図3—3に見られたはぎ取り痕数の左右の偏りがもた  
らされた理由として正しいものを、以下の(1)~(3)から1つ、(4)~(6)から1つ  
選べ。

- (1) 種Cはどちらの体側も守るべく防御を左右均等に配分した。  
(2) 種Cは種Aの多数派からの襲撃に対する防御に専念した。  
(3) 種Cは種Aの少数派からの襲撃に対する防御に専念した。  
(4) 種Aの多数派と少数派は同程度の採餌成功率であった。  
(5) 種Aの多数派は高い採餌成功率であった。  
(6) 種Aの少数派は高い採餌成功率であった。

E 下線部(ウ)について。鱗を食べる魚が配偶相手を選択する際に、口が右に曲  
がった個体の数が左に曲がった個体の数を大きく上回っている場合は、口が  
左に曲がった個体はどちらのタイプの個体を選択するのが子の生存に有利と  
なるか答えよ。またその理由を2行程度で答えよ。

F 種 A と C のみが生息する場所では、種 A における口が左に曲がった個体の割合は数年周期の振動を示した。種 A と B と C が生息する場所で、種 A と B における口が左に曲がった個体の割合を十数年間調べたところ、どちらの種においても 50 % を中心とする数年周期の振動を示し、さらにそれらの振動はほぼ同調した。模式的に示すと図 3—4 のようになる。この現象に関する考察として不適切なものを、以下の(1)~(4)から 1 つ選べ。

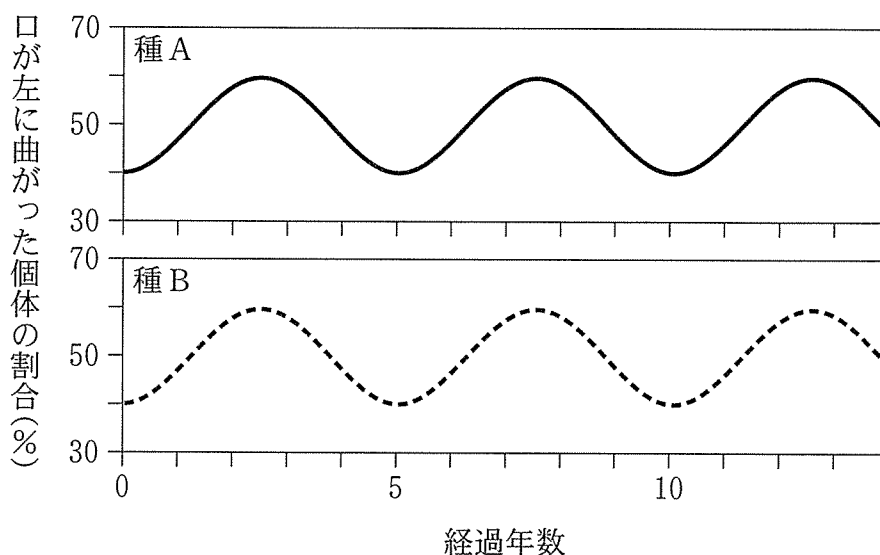


図 3—4 口が左に曲がった個体が種 A および B に占める割合の年変動

- (1) 採餌成功率が高い個体の繁殖成功率は高まるが、その子が鱗を食べるようになるまでの時間が、振動周期に影響を及ぼす。
- (2) 襲い方が異なる種 A と B の共存や、口の曲がりの左右性という種内二型は、種 C の警戒を介した頻度に依存した自然選択によって維持されている。
- (3) 種 A の個体数が種 B よりもはるかに多い場合、種 A における口が左に曲がった個体の割合に応じて、種 C は防御のやり方を変えている。
- (4) 種 A の個体数が種 B よりもはるかに多い場合、種 A における口が左に曲がった個体の割合は、種 B の採餌成功率を左右しない。

# 地 学

第1問 宇宙に関する次の問い(問1～2)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。

問1 昨年2月、アメリカのLIGO(ライゴ)実験チームは、史上初めてブラックホール連星の合体で生じた重力波を検出したと発表した。一般相対性理論によれば、重力は時空の歪みであり、時空のわずかな歪みが光速の波動として伝わる現象が重力波である。この発見に関する以下の問いに答えよ。なお、光速は  $3 \times 10^8$  m/s、1年は  $3 \times 10^7$  s、1天文単位は  $2 \times 10^{11}$  m とする。

- (1) 合体直前の重力波信号の振動から、連星の公転周期を 0.01 s と見積もった。合体直前の2つのブラックホールは、光速に近い速度で公転している。ここでは、2つのブラックホールの質量が等しく、光速の0.4倍の速度で円軌道を公転しているとして、連星間の距離が何 km か求めよ。
- (2) さらに、ケプラーの法則が成り立つとして、この連星のそれぞれのブラックホールの質量を、太陽質量( $M_{\odot}$ )単位で求めよ。
- (3) 重元素の量が太陽と同程度である星の進化では、約  $20 M_{\odot}$  より重いブラックホールは作られないと考えられており、今回のブラックホール連星は重元素の量が少ない連星が進化したものである可能性が高い。この連星が形成された場所や誕生時の星の種族として考えられるものを、以下の語群から3つ以上の語を用いながら、2行程度で答えよ。

語群：球状星団、散開星団、ハロー、円盤部、種族I、種族II



- (4) 連星間の平均距離が  $a$  であるブラックホール連星の公転により重力波が放出されると、それに伴うエネルギー損失により、 $a$  は公転周期より長い時間スケールでゆっくりと減少する。その場合  $a$  は時刻  $t$  に対して以下の式に従う。

$$a(t) = (C - At)^{1/4}$$

ここで  $A$  は連星の質量で決まる定数であり、 $C$  は初期条件によって決まる定数である。また、 $C > 0$ 、 $A > 0$ 、 $t \leq C/A$  とし、 $a = 0$  で合体が起こるとする。ある時刻  $t_0$  で  $a = a_0$  だった連星が時刻  $t_m$  で合体する場合、合体までにかかる時間  $t_m - t_0$  を  $A$  と  $a_0$  で表せ。

- (5) 今回重力波が検出されたブラックホール連星は、誕生から合体まで重力波の放出のみでエネルギーを失うものとする。現在の宇宙の年齢を答え、さらに、誕生時の連星間距離の上限値  $a_{\max}$  を求めよ。なお、この連星においては  $A = 3 \times 10^{24} \text{ m}^4/\text{s}$  である。また、地学に登場する様々な長さスケールの中で、 $a_{\max}$  に近いものを1つ、例としてあげよ。

問 2 太陽系外の惑星(系外惑星)は 3000 個以上が知られているが、そのほとんどが恒星の前を横切る際の食を利用して見つかった。その結果、地球に近い大きさを持ち、かつ生命の存在が期待される惑星も多数知られるようになった。系外惑星と生命存在可能性に関する次の問いに答えよ。なお、恒星の質量  $M$  と光度  $L$  の間には質量光度関係  $L = cM^4$  ( $c$  は定数) が成り立つとする。

- (1) 系外惑星を 3 つ持つある G 型の恒星の明るさを約 1 年間観測したところ、図 1 のように周期的にわずかに暗くなる様子が観測された。この恒星では、1 地球半径 ( $R_E$ ) の惑星による食で明るさが最大 0.01 % 減少するものとする。このとき、3 つの惑星それぞれについて半径が  $R_E$  の何倍であるかを求め、中心の恒星から近い順に並べよ。なお、全惑星は同一の公転面を持ち、われわれは公転面に平行な方向から観測しているものとする。
- (2) 惑星に生命が存在するためには、水が液体として存在することが重要と考えられている。惑星の温度は、恒星から受ける放射エネルギーと惑星の熱放射エネルギーの平衡で決まり、また惑星の熱放射はシュテファン・ボルツマンの法則に従うものとする。恒星の質量を  $M$ 、惑星のアルベド(反射率)を  $A$  としたときに、惑星の温度が水の凝固点(絶対温度  $T_{ice}$ ) に等しくなる軌道半径  $a_{ice}$  を、 $M$ 、 $c$ 、 $A$ 、 $T_{ice}$  およびシュテファン・ボルツマン定数  $\sigma$  を用いて表せ。なお、惑星は円軌道で公転しているものとする。

恒星周囲において、水が液体として存在可能な惑星の軌道半径の範囲(円環領域)をハビタブルゾーン(生命存在可能領域)と呼ぶが、軌道半径  $a_{ice}$  はその外縁を定義する。恒星は質量の増加とともに光度が大きく増加するため、ハビタブルゾーンも大きく広がる。一方で、恒星は質量が増加すると寿命が短くなってしまうため、生命誕生以前に恒星の寿命が尽きてしまうかもしれない。

(3) 恒星の寿命を、核融合の燃料となる水素がすべて消費されるまでの時間と考える。燃料となる水素の核融合開始時の量は恒星質量に比例し、その後単位時間あたりに消費される水素の量は光度に比例するものとする。1太陽質量の恒星の寿命を100億年とする。また、惑星は恒星と同時に形成し、生命が誕生するには惑星形成から最低3億年が必要なものとする。このとき、惑星に生命が誕生しうる最も重い恒星の質量を、太陽質量( $M_{\odot}$ )の単位で答えよ。

(4) ハビタブルゾーンの外側であっても生命は存在するかもしれない。太陽系のハビタブルゾーンは、地球軌道および火星軌道を含む狭い円環と考えられているが、その領域外にありながらも生命が存在しうると考えられている天体を、理由とともに1つあげよ。

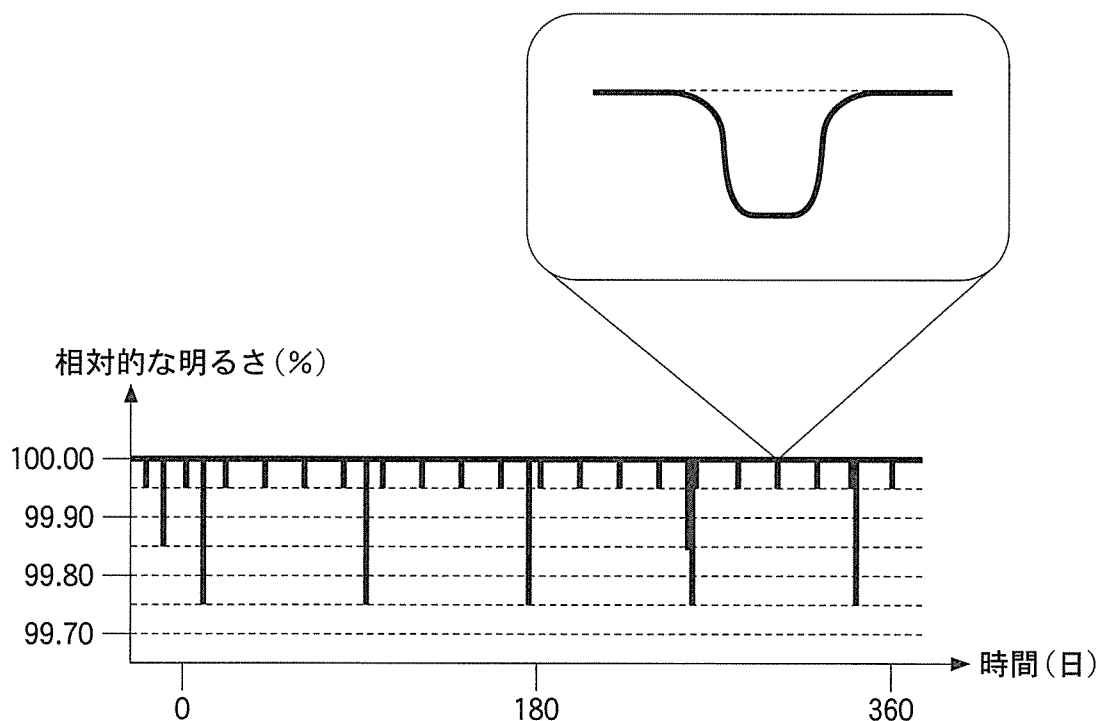


図1 あるG型の恒星の相対的な明るさの時間変化。一部の拡大図を右上に示す。

第2問 大気の熱収支および大気と海洋の相互作用に関する次の問い(問1～2)に答えよ。

問1 地球の気候の成り立ちや変動を理解する上で、地球のエネルギー収支を考えることは重要である。図2-1は、地球全体で年平均した単位表面積あたりのエネルギー収支を、大気の上端に入射する太陽からの短波放射エネルギーを100とした相対的な値(%)で表したものである。この図を参照して以下の問いに答えよ。ただし、数値を求める問題には有効数字2桁で答え、計算の過程も示すこと。なお、図中の相対値100に対応する熱輸送の大きさを  $340 \text{ W/m}^2$  とせよ。

- (1) 地球大気は地表面から上向きに射出された長波放射の大部分を吸収し、下向きに長波放射を射出することで地表を温めている。地球大気の持つこのはたらきを何というか。
- (2) 大気の上端および地表面でエネルギー収支がつりあっているとして、図中の空欄ア～ウにあてはまる数値を求めよ。また、これらの数値から、短波放射に対する地球のアルベド(反射率)を求めよ。
- (3) 短波放射と長波放射を合わせた放射によって、地球大気は冷却されている。これによって大気が失うエネルギーの大きさを  $\text{W/m}^2$  の単位で求めよ。
- (4) この冷却が大気の上端から下端まで一様に起こるとしたとき、大気の気温低下率は1日あたり何 $^{\circ}\text{C}$ か求めよ。ただし、地球大気の定圧比熱を  $1.0 \times 10^3 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ 、地表面気圧を  $1.0 \times 10^3 \text{ hPa}$ 、重力加速度を  $10 \text{ m/s}^2$ 、1日を  $8.6 \times 10^4 \text{ s}$  とせよ。

(5) 地球大気では、この放射による冷却が、蒸発と熱伝導による地表面から大気への熱輸送とつりあうことで熱的平衡が成り立っている。地球全体の平均では年蒸発量と年降水量がつりあっていると仮定し、年降水量を  $1.0 \times 10^3 \text{ mm}$  とするとき、蒸発による熱輸送の大きさを大気上端へ入射する短波放射エネルギーに対する相対値(%)で求めよ。また、これは熱伝導による熱輸送の何倍か求めよ。ただし、単位質量の水を蒸発させるのに必要な熱量を  $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、水の密度を  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、1年を  $3.2 \times 10^7 \text{ s}$  とせよ。

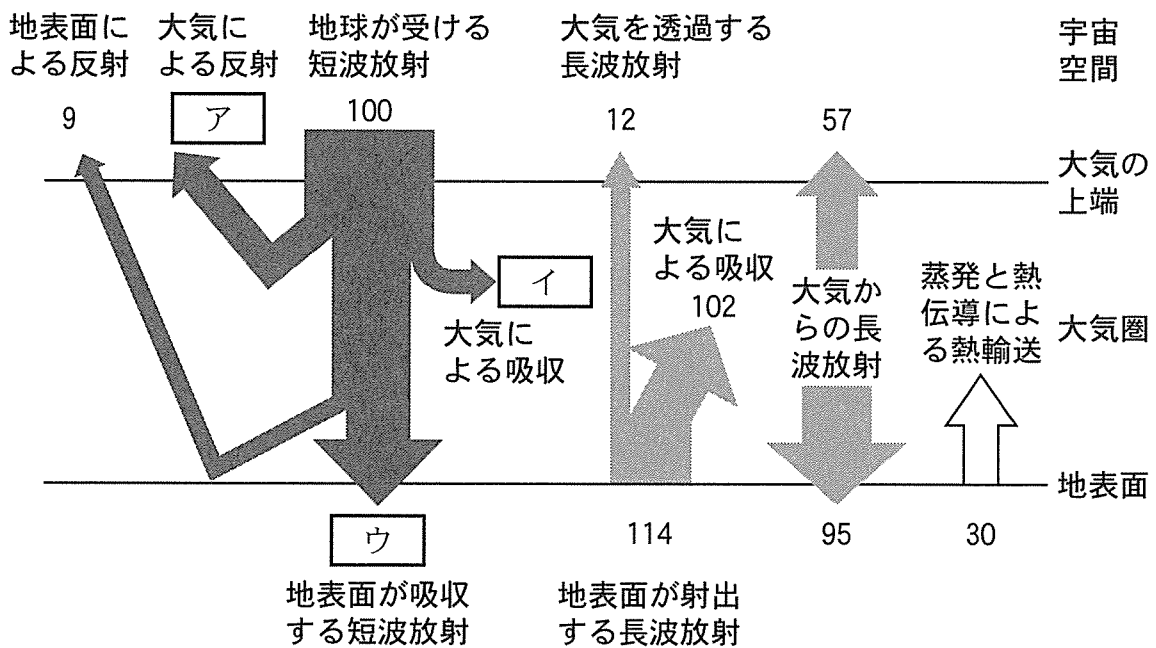


図2—1 地球全体で年平均したエネルギー収支の模式図。地球大気の上端へ入射する短波放射エネルギーを100とした相対値(%)で表す。

問 2 熱帯低気圧と海洋の関係について以下の問いに答えよ。数値を求める問題には有効数字 2 桁で答え、計算の過程も示すこと。なお、重力加速度  $g$  は  $10 \text{ m/s}^2$  とする。

- (1) 図 2—2 の熱帯低気圧の発生場所の分布をみると、熱帯低気圧は緯度 30 度より高緯度側と赤道付近であまり発生していないことがわかる。この理由を、高緯度側と赤道付近についてそれぞれ 1 行程度で述べよ。
- (2) 台風の強風で発達した風浪のうち、波長の長い波は、台風が低緯度の海洋上にあるうちから、うねりとして日本沿岸に到達し、海岸の侵食などの被害を生ずる。ここで、海洋表面の波の伝わる速さ  $V \text{ m/s}$  は波の波長  $\lambda \text{ m}$  と重力加速度  $g \text{ m/s}^2$  を用いて  $V = 0.40 \lambda^a g^\beta$  と与えられる。実数の定数  $a$  と  $\beta$  を単位の整合性を考慮して求め、 $\lambda = 2.5 \times 10^2 \text{ m}$  のときの  $V$  を求めよ。
- (3) 低緯度から北西に進んだ台風が進行方向を北東に変える場所では、その移動速度が遅くなり一時的にほとんど停滞する。ここで、海洋上に停滞している台風を考え、風は目を中心とする回転方向にだけ吹いていると仮定する。このとき、台風の風により海洋にはどのような流れと水温の変化が生じ、その結果として台風の強さはどうなると考えられるか、3 行程度で述べよ。
- (4) 台風の接近により、海面気圧が平常時の  $1013 \text{ hPa}$  から  $950 \text{ hPa}$  へ低下したとする。このとき、海面の水位は平常時に比べ何  $\text{m}$  上昇するか求めよ。ここで、海面気圧の低下分は、水位の上昇による海水の重さの増加と相殺し、海底での圧力は平常時から変化しないと仮定せよ。また、海水の密度は  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  とする。

- (5) 南東方向に開いた湾に台風が南西側から近づくとき、湾口と湾奥では海面気圧の低下が同じでも、台風の風のために水位に違いが生ずる。このとき、湾内では、湾口から湾奥に向かって働く力と、湾奥から湾口に向かって働く力の2つの力がほぼつりあう。これらの力がどのようなものか説明し、湾口と湾奥のどちらで水位が高くなるかについて、2行以内で述べよ。

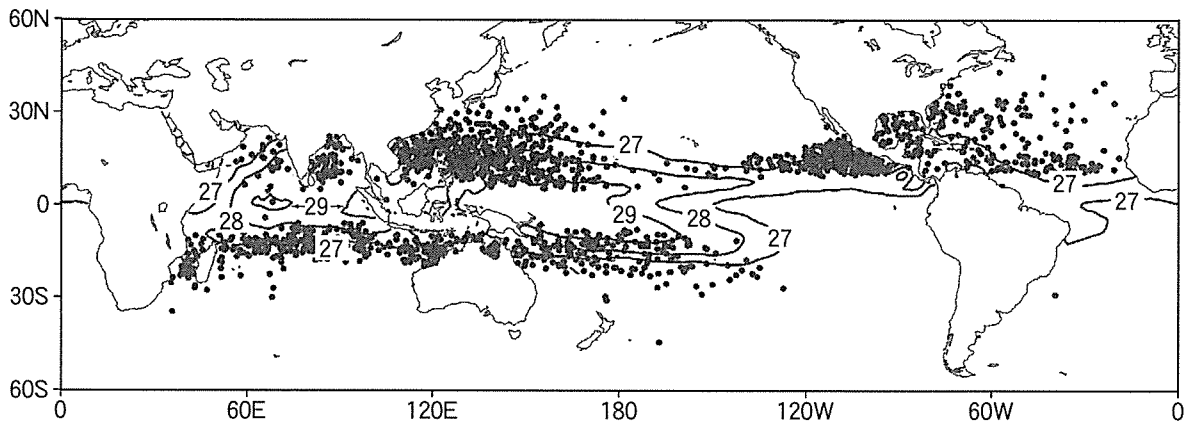


図2—2 1986年～2005年の熱帯低気圧の発生位置(黒丸)と年平均の海面水温の等値線(27℃以上を1℃ごとに描いてある)。

第3問 地震と地質に関する次の問い(問1～2)に答えよ。数値を求める問題では、計算の過程も示すこと。

問1 東西方向に100 km離れて並んでいる2つの観測点(西側を観測点1, 東側を観測点2と名づける)で, 南北, 東西, 上下のそれぞれの動きを記録する地震計を設置していたところ, 隕石衝突の地震波形記録が取得された。この記録を用いて隕石衝突地点と衝突時刻の特定を行う。それぞれの観測点でP波, S波は, 図3—1中に記してある時刻に観測された。水平面上の位置を特定するため, 観測点1を原点とし, 真東および真北方向に $x$ 軸,  $y$ 軸を定義する。また, 観測点1から見た衝突地点の方位を特定するため, 真東を基準とした衝突地点の方位角 $\theta$ ( $-180^\circ < \theta \leq 180^\circ$ )を, 図3—1のように反時計回り方向を正方向として定義する。さらに, 地表面に射影した隕石の到来方位を特定するため, 衝突地点方位を基準とした到来方位の方位角 $\varphi$ ( $-180^\circ < \varphi \leq 180^\circ$ )を, 同じく反時計回り方向を正方向として定義する。なお, この地域の地表面は水平であり, 地下はP波速度6.4 km/s, S波速度4.0 km/sの均質構造を持ち, 隕石の飛来により大気中に生ずる衝撃波の影響は無視できるものとする。

- (1) 隕石衝突地点から観測点1および観測点2までの距離を, 有効数字2桁で求めよ。
- (2) 隕石衝突地点の座標( $x_0, y_0$ )を, 有効数字2桁で求めよ。また, 隕石衝突時刻を, 1秒の精度で求めよ。複数の可能性がある場合は, すべての可能性を列挙せよ。

衝突地点をさらに絞り込むため, 衝突地点ごとに地震波形の特徴がどう変化するかについて考察する。例として, 到達時刻の解析により, 衝突地点が(i)  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  もしくは(ii)  $-90^\circ < \theta < 0^\circ$  のどちらかの領域にあると特定できた場合を考え, (i)および(ii)のそれぞれの場合で観測点1における波形の特徴がどのように変わるかを考える。



- (3) (i)  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  の領域に  $\phi = 0^\circ$  の方位から衝突した場合，観測点 1 における東西成分と南北成分の初動の向きは以下の(a)~(d)のどの組み合わせになるか，答えよ。

	(a)	(b)	(c)	(d)
東西成分	東向き	西向き	東向き	西向き
南北成分	南向き	南向き	北向き	北向き

- (4) 観測点 1 の東西成分と南北成分の初動の向きは，隕石の衝突地点の方位角  $\theta$  だけでなく，隕石の到来方位角  $\phi$  によっても変化する。衝突地点が (i)  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  の領域にある場合，初動の向きは(3)の(a)~(d)のどの組み合わせになるかを， $\phi$  の値の範囲ごとに答えよ。
- (5) 隕石の到来方位角  $\phi$  に関する情報がないとき，衝突地点が(i)  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  と(ii)  $-90^\circ < \theta < 0^\circ$  のどちらの領域にあるかを，地震波形からどのように特定できるか，2 行程度で答えよ。

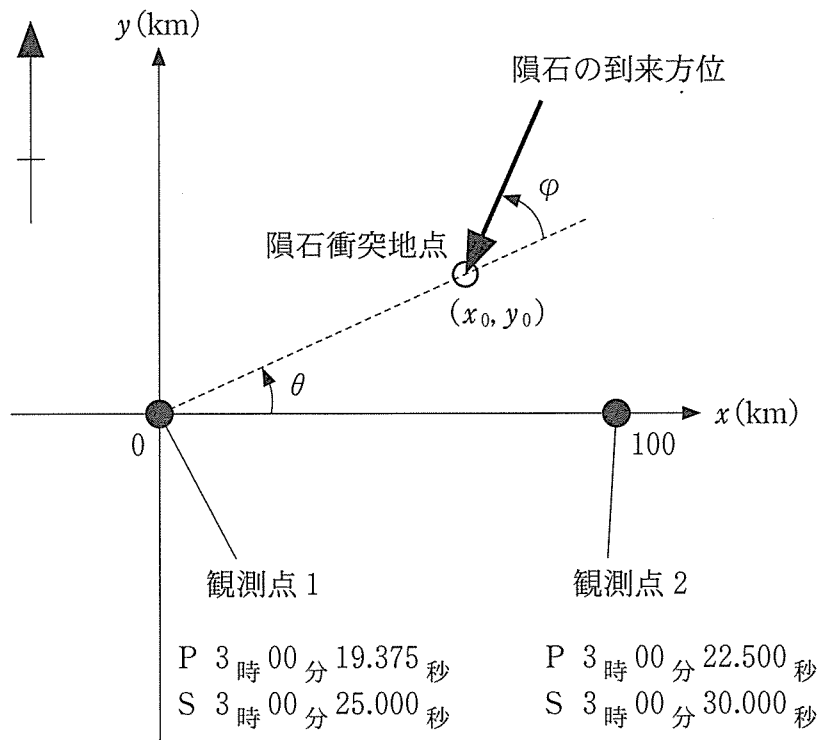


図 3—1 座標および方位角の定義。各観測点における P 波、S 波の到達時刻も合わせて記す。

問 2 図 3—2 は、ボーリング(地下掘削)によって明らかにされた、ある地熱地帯の地質柱状図および温度分布図である。上部には、主に泥岩からなる新第三紀の堆積岩、下部には、 $\text{SiO}_2$  が 70 % 程度の深成岩である **ア** 岩が定置している。深成岩に含まれる黒雲母や長石に **イ** 年代法を適用したところ、100 万年以下の年代が得られた。堆積岩体において、 $\text{Al}_2\text{SiO}_4$  を成分とし多形を持つ変成鉱物 **ウ** および **エ** が深部から浅部に順に見いだされた。これは、現在の温度分布から期待される変成鉱物の形成(再結晶)と整合的である。したがって、堆積岩が深成岩からの熱により **オ** 変成作用を受け、その作用が現在も続いていると考えられる。

本地域の深度 3000 m より浅部の温度構造は水の沸騰曲線に近いのに対して、3000 m より深部では、深度と共に直線的に増加する温度構造となっている。堆積岩体中には多くの亀裂が生じており、その一部を充填する形で石英が晶出しているのに対し、深成岩体中にはこれらの構造はみられない。上記の事実は、浅部域では活発な熱水(蒸気を含む)対流が生じているのに対して、深部域では熱水活動が起きていないことを示す。

- (1) ア～オにあてはまる語を答えよ。
- (2) ボーリングで得られた深成岩試料の薄片を偏光顕微鏡で観察した。顕微鏡の開放(平行)ニコルおよび直交ニコルで観察したときの下線部の 2 つの鉱物の相違点を、それぞれのニコルの場合で 1 つずつあげよ。
- (3) 3000 m より深部での地殻熱流量( $\text{W}/\text{m}^2$ )を有効数字 2 桁で求めよ。また、その値は平均的な大陸の地殻熱流量と比べて高いか低いのか、その原因とともに答えよ。ここで、深成岩の熱伝導率を  $2.6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  とする。
- (4) 本地域では微小地震が頻発しているが、その地震は深度 3100 m より深部では観測されない。高温下では、地震発生が抑制されるのかもしれない。この仮説にもとづき、標準的な内陸地震発生の下限深度を有効数字 2 桁で推定せよ。その際、本地熱地域における地震下限深度での温度、内陸の地温勾配  $30 \text{ K}/\text{km}$  および地表温度  $20^\circ\text{C}$  を用いること。

- (5) 本地域に類似した温度構造は、海嶺直下にも存在すると考えられる。その理由を、海嶺における海洋地殻の生成と関連づけて4行程度で説明せよ。その際、以下の語すべてを用いること。

語群：マントル物質，玄武岩質マグマ，海水

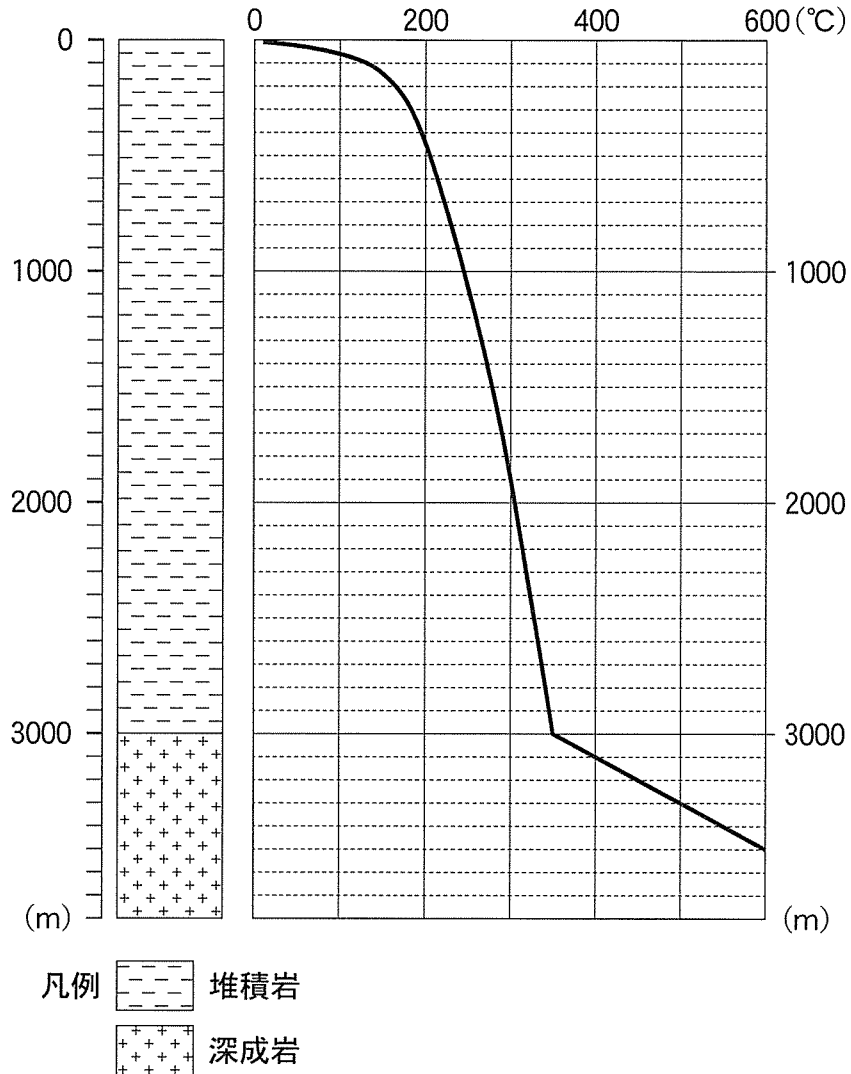


図3-2 地質柱状図(左)および温度分布図(右)。縦軸は深度を示す。

## 問題訂正

冊子名	理科		
科目名	地学		
82	ページ	第 3	問
<u>問題訂正</u>			
(誤) 5 行目			
$Al_2SiO_4$			
(正) 5 行目			
$Al_2SiO_5$			