

入 学 試 験 問 題

理 科

前

(配点 120 点)

平成 23 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 69 ページあります(本文は物理 4 ~15 ページ、化学 16~31 ページ、生物 32~53 ページ、地学 54~69 ページ)。落丁、乱丁または印刷不鮮明の箇所があつたら、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 3 解答には、必ず黒色鉛筆(または黒色シャープペンシル)を使用しなさい。
- 4 解答は、1 科目につき 1 枚の解答用紙を使用しなさい。
- 5 物理、化学、生物、地学のうちから、あらかじめ届け出た 2 科目について解答しなさい。
- 6 解答用紙の指定欄に、受験番号(表面 2 箇所、裏面 1 箇所)、科類、氏名を記入しなさい。指定欄以外にこれらを記入してはいけません。
- 7 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に記入しなさい。
- 8 解答用紙表面上方の指定された()内に、その用紙で解答する科目名を記入しなさい。
- 9 解答用紙表面の上部にある切り取り欄のうち、その用紙で解答する科目の分を 1 箇所だけ正しく切り取りなさい。
- 10 解答用紙の解答欄に、関係のない文字、記号、符号などを記入してはいけません。また、解答用紙の欄外の余白には、何も書いてはいけません。
- 11 この問題冊子の余白は、草稿用に使用してもよいが、どのページも切り離してはいけません。
- 12 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
- 13 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

物 理

第1問 図1のように、長さ ℓ で質量の無視できる棒によってつながれた、質量 M の物体Aと質量 m の物体Bの運動を考える。ただし $M > m$ とする。棒は物体Aおよび物体Bに対してなめらかに回転でき、棒が鉛直方向となす角を θ とする。はじめ、物体Aは水平な床の上で鉛直な壁に接していた。一方、物体Bは物体Aの真上($\theta = 0^\circ$)から初速度0で右側へ動き始めた。その後の運動について以下の設問に答えよ。なお、重力加速度の大きさを g として、物体Aと物体Bの大きさは考えなくてよい。また、棒と物体Aおよび物体Bとの間にはたらく力は棒に平行である。

I まず、物体Aと床との間に摩擦がない場合について考える。

- (1) 物体Bが動き出してからしばらくの間は、物体Aは壁に接したままであった。この間の物体Bの速さ v を、 θ を含んだ式で表せ。
- (2) (1)のとき、棒から物体Bにはたらく力 F を、 θ を含んだ式で表せ。棒が物体Bを押す向きを正とする。
- (3) $\theta = \alpha$ において、物体Aが壁から離れて床の上をすべり始めた。 $\cos \alpha$ を求めよ。
- (4) $\theta = \alpha$ における物体Bの運動量の水平成分 P を求めよ。
- (5) 物体Bが物体Aの真横($\theta = 90^\circ$)にきたときの、物体Aの速さ V を求めよ。 P を含んだ式で表してもよい。
- (6) $\theta = 90^\circ$ に達した直後に、物体Bが床と完全弾性衝突した。その後、物体Bが一番高く上がったとき $\theta = \beta$ であった。 $\cos \beta$ を求めよ。 P を含んだ式で表してもよい。

II 次に、物体Aと床との間に摩擦がある場合について考える。今度は、 $\theta = 60^\circ$ において、物体Aが壁から離れた。これより、物体Aと床との間の静止摩擦係数 μ を求めよ。

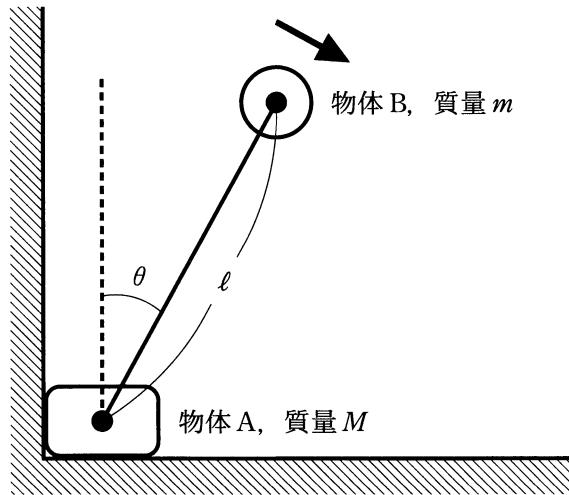


図 1

第2問 電気製品によく使われているダイオードを用いた回路を考えよう。簡単化のため、ダイオードは図2—1のようなスイッチ S_D と抵抗とが直列につながれた回路と等価であると考え、Pの電位がQよりも高いか等しいときには S_D が閉じ、低いときには S_D が開くものとする。なお以下では、電池の内部抵抗、回路の配線に用いる導線の抵抗、回路の自己インダクタンスは考えなくてよい。

I 図2—2のように、容量 C のコンデンサー2個、ダイオード D_1, D_2 、スイッチ S 、および起電力 V_0 の電池2個を接続した。最初、スイッチ S は $+V_0$ 側にも $-V_0$ 側にも接続されておらず、コンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。点Gを電位の基準点(電位0)としたときの点 P_1, P_2 それぞれの電位を V_1, V_2 として、以下の設問に答えよ。

- (1) まず、スイッチ S を $+V_0$ 側に接続した。この直後の V_1, V_2 を求めよ。
- (2) (1)の後、回路中の電荷移動がなくなるまで待った。このときの V_1, V_2 、およびコンデンサー1に蓄えられている静電エネルギー U を求めよ。また、電池がした仕事 W を求めよ。
- (3) (2)の後、スイッチ S を $-V_0$ 側に切り替えた。この直後の V_1, V_2 を求めよ。
- (4) (3)の後、回路中の電荷移動がなくなったときの V_1, V_2 を求めよ。

II 図2—2の回路に多数のコンデンサーとダイオードを付け加えた図2—3の回路は、コッククロフト・ウォルトン回路と呼ばれ、高電圧を得る目的で使われる。いま、コンデンサーの容量は全て C とし、最初、スイッチ S は $+V_0$ 側にも $-V_0$ 側にも接続されておらず、コンデンサーには電荷は蓄えられていないとする。

スイッチ S を $+V_0$ 側、 $-V_0$ 側と何度も繰り返し切り替えた結果、切り替えても回路中の電荷移動が起こらなくなつた。この状況において、スイッチ S を $+V_0$ 側に接続したとき、点 P_{2n-2} と点 P_{2n-1} の電位は等しくなつていた ($n = 1, 2, \dots, N$)。また、スイッチ S を $-V_0$ 側に接続したとき、点 P_{2n-1} と点 P_{2n} の電位は等しくなつていた ($n = 1, 2, \dots, N$)。スイッチ S を $+V_0$ 側に接続したときの点 P_{2N-1}, P_{2N} の電位 V_{2N-1}, V_{2N} を N と V_0 で表せ。なお、点Gを電位の基準点(電位0)とせよ。

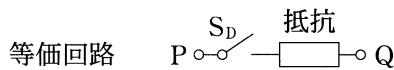
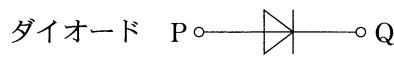


図 2-1

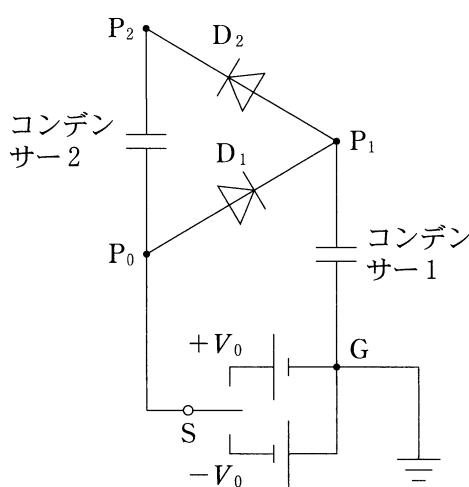


図 2-2

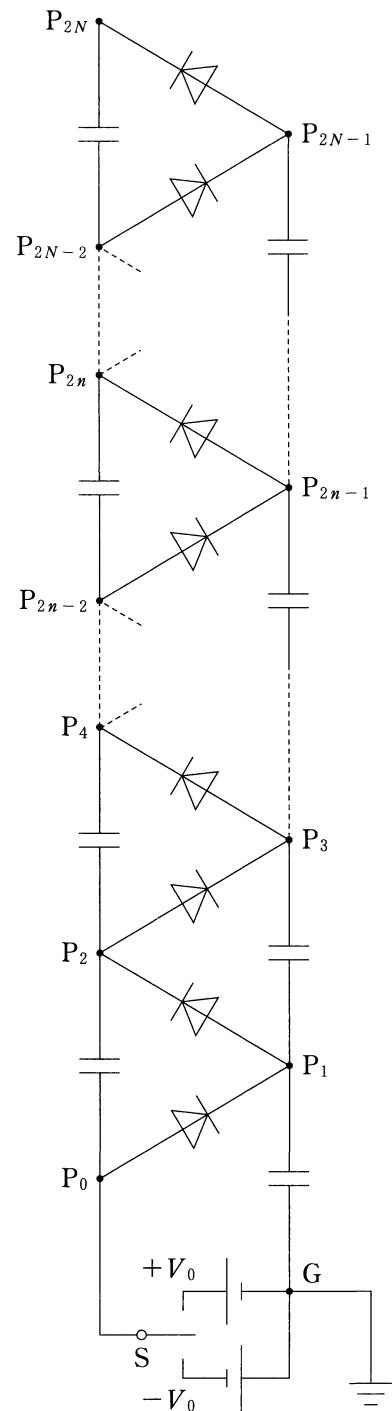


図 2-3

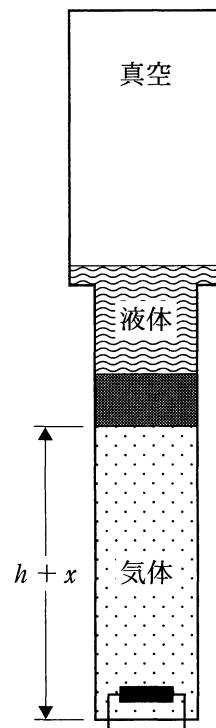
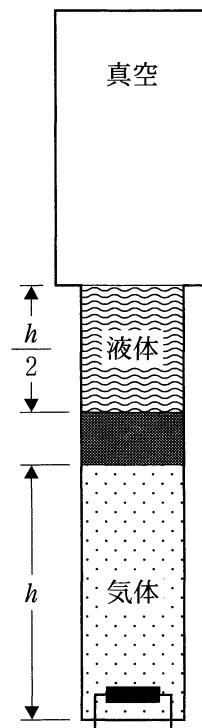
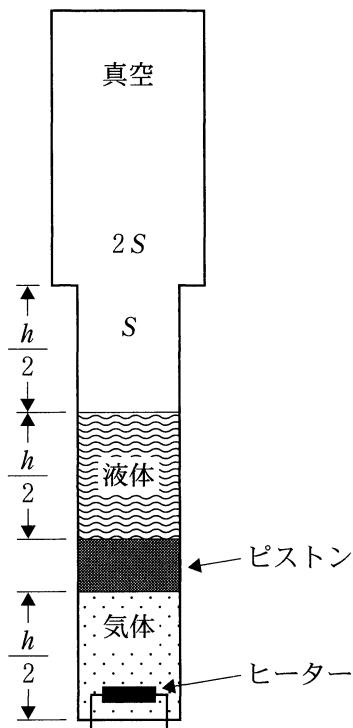
第3問 図3—1のように、摩擦なしに動くピストンを備えた容器が鉛直に立っており、その中に単原子分子の理想気体が閉じ込められている。容器は断面積 S の部分と断面積 $2S$ の部分からなっている。ピストンの質量は無視できるが、その上に一様な密度の液体がたまつており、つりあいが保たれている。気体はヒーターを用いて加熱することができ、気体と容器壁およびピストンとの間の熱の移動は無視できる。また、気体の重さ、ヒーターの体積、液体と容器壁との摩擦や液体の蒸発は無視でき、液体より上の部分は圧力0の真空とする。重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。

I まず、気体、液体ともに断面積 S の部分にあるときを考える。このときの液体部分の高さは $\frac{h}{2}$ である。

- (1) はじめ、気体部分の高さは $\frac{h}{2}$ 、圧力は P_0 であった。液体の密度を求めよ。
- (2) 気体を加熱して、気体部分の高さを $\frac{h}{2}$ から h までゆっくりと増加させた(図3—2)。この間に気体がした仕事を求めよ。
- (3) この間に気体が吸収した熱量を求めよ。

II 気体部分の高さが h のとき、液体の表面は断面積 $2S$ の部分との境界にあった(図3—2)。このときの気体の温度は T_1 であった。さらに、ゆっくりと気体を加熱して、気体部分の高さが $h + x$ となった場合について考える(図3—3)。

- (1) $x > 0$ では、液体部分の高さが小さくなることにより、気体の圧力が減少した。気体の圧力 P を、 x を含んだ式で表せ。
- (2) $x > 0$ では、加熱しているにもかかわらず、気体の温度は T_1 より下がった。気体の温度 T を、 x を含んだ式で表せ。
- (3) 気体部分の高さが h から $h + x$ に変化する間に、気体がした仕事 W を求めよ。
- (4) 気体部分の高さがある高さ $h + X$ に達すると、ピストンをさらに上昇させるために必要な熱量が0になり、 x が X を超えるとピストンは一気に浮上してしまった。 X を求めよ。



化 学

第1問

次のⅠ, Ⅱの各間に答えよ。

Ⅰ 次の文章を読み、問ア～カに答えよ。

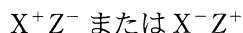
表1—1は各元素の原子1個あたりのイオン化工エネルギー I と電子親和力 E の値を示している。

表1—1

元 素	イオン化工エネルギー(I) ($\times 10^{-19}$ J)	電子親和力(E) ($\times 10^{-19}$ J)
H	21.8	1.2
C	23.4	2.1
O	29.7	5.4
F	33.4	5.6

“表中の値は原子1個あたりである”

米国の化学者マリケンは分子の極性を考える際に、まず極端な構造として二原子分子XZのイオン構造を考えた。つまり



である。XZという分子が全体では中性を保ちながら X^+Z^- というイオンの対をなす構造になるためには、X原子から電子を奪い、Z原子に電子を与えればよい。その結果放出されるエネルギーは、 $E_z - I_x + \Delta$ で与えられる。ここで、 E_z はZ原子の電子親和力、 I_x はX原子のイオン化工エネルギー、 Δ はクーロン力による安定化工エネルギーである。一方、XZという分子が X^-Z^+ というイオン構造になった場合に放出されるエネルギーは $E_x - I_z + \Delta$ で与えられる。ここで、

E_x は X 原子の電子親和力, I_z は Z 原子のイオン化エネルギーである。どちらのイオン構造がより安定であるかは、これらの差

$$x_{xz} = \boxed{a}$$

を考えればよい。 x_{xz} が正の場合は、 X^+Z^- がより安定に、 x_{xz} が負の場合は、 X^-Z^+ がより安定になる。上式を変形してわかるように、 \boxed{b} の値がより大きい原子が分子中で負の電荷を帯びると考えられる。マリケンは \boxed{b} の $1/2$ を原子の電気陰性度とした。

構成する原子の電気陰性度の違いから、分子が極性をもつことがある。極性の大きさは、電気双極子モーメントの大きさによって記述される。例えば二原子分子であれば、2つの原子間の距離を L , それぞれの原子の電荷を $+\delta$, $-\delta$ とすると、電気双極子モーメントの大きさは $L\delta$ である。電気双極子モーメントの大きさが 0 の分子を無極性分子という。

(注) ここで定義した電気陰性度は一般にマリケンの電気陰性度と呼ばれるもので、エネルギーの単位を持つ。電気陰性度には他にポーリングの電気陰性度と呼ばれるものがあり、両者は近似的には比例関係にある。

[問]

ア \boxed{a} を与えられた記号を用いて表せ。

イ \boxed{b} を E , I を用いて表せ。

ウ 酸素原子について \boxed{b} を有効数字 3 桁で求めよ。

エ 次の二原子分子を極性の大きな順番に左から並べ、理由とともに記せ。ただし、原子間距離は同じと仮定せよ。

① CH

② OH

③ HF

(注) これらの分子は必ずしも安定であるとは限らない。

オ HF 分子の電気双極子モーメントの大きさは $6.1 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$ である。HF の原子間距離を $9.2 \times 10^{-11} \text{ m}$ とすると、分子の中ではどちらの原子からどちらの原子に電子が何個分移動したとみなすことができるか。ただし、電子の持つ電荷の絶対値は $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。有効数字 2 術で答えよ。答に至る過程も示せ。

カ 二酸化炭素分子は無極性であるが、二酸化窒素分子は極性を有する。それについて理由を説明せよ。

II 次の文章を読み、問キ～サに答えよ。問ケ～サについては答に至る過程も示せ。

アンモニア水溶液の電離平衡



の正反応および逆反応の反応速度について考える。正反応の反応速度は

$$v_1 = k_1 [\text{NH}_3]$$

逆反応の反応速度は

$$v_2 = k_2 [\text{NH}_4^+] [\text{OH}^-]$$

と表される。ただし、 k_1 および k_2 は反応速度定数である。

反応速度定数を決定するために次のような実験を行った。温度 20 °C の希薄なアンモニア水溶液を用意した。その水溶液の温度を瞬間的に 25 °C まで上昇させた。電離定数の温度依存性のため、平衡移動が起こった。このときの $[\text{OH}^-]$ の時間変化を、水溶液の電気伝導度を測定することにより調べた。その結果を図 1—1 に示した。図 1—1 の実線は $[\text{OH}^-]$ の時間変化、破線は時間が十分経過した後の $[\text{OH}^-]$ の値を示す。図 1—1 の実線のグラフの傾きを解析し、時間変化率 $\Delta[\text{OH}^-]/\Delta t$ を、 $[\text{OH}^-]$ の平衡濃度からのずれ

$$x = [\text{OH}^-] - [\text{OH}^-]_{\text{eq}}$$

の関数としてグラフにしたものを作成した。ただし、記号 $[\cdots]_{\text{eq}}$ は 25 °C の電離平衡における分子やイオンの濃度を表す。理論的には $[\text{OH}^-]$ の時間変化率は x の 2 次式

$$\frac{\Delta[\text{OH}^-]}{\Delta t} = Ax^2 + Bx \quad (1)$$

で表される。図 1—2 のデータでは、式(1)中の x^2 の項が小さく無視できるため、グラフが直線になったと考えられる。

25 °C におけるアンモニアの電離定数は $K_b = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ である。電離平衡においては、正反応と逆反応の速度が等しく、

$$k_1 [\text{NH}_3]_{\text{eq}} = k_2 [\text{NH}_4^+]_{\text{eq}} [\text{OH}^-]_{\text{eq}}$$

であるため、関係式

$$K_b = \frac{k_1}{k_2}$$

が成立する。また、アンモニアの水への溶解度の温度依存性は無視できるとする。

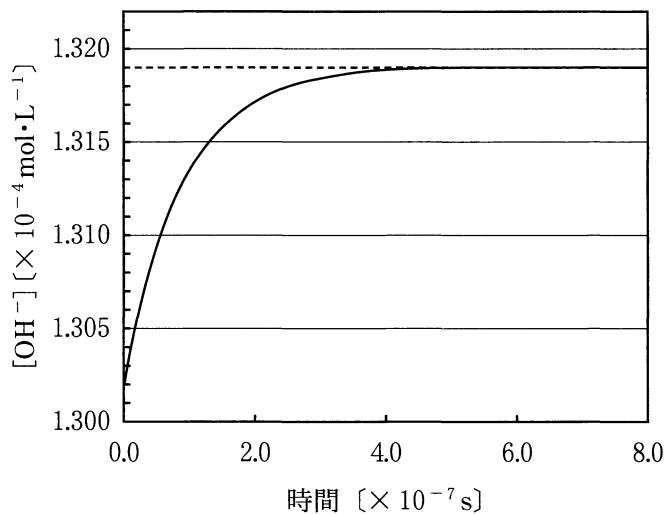


図 1—1

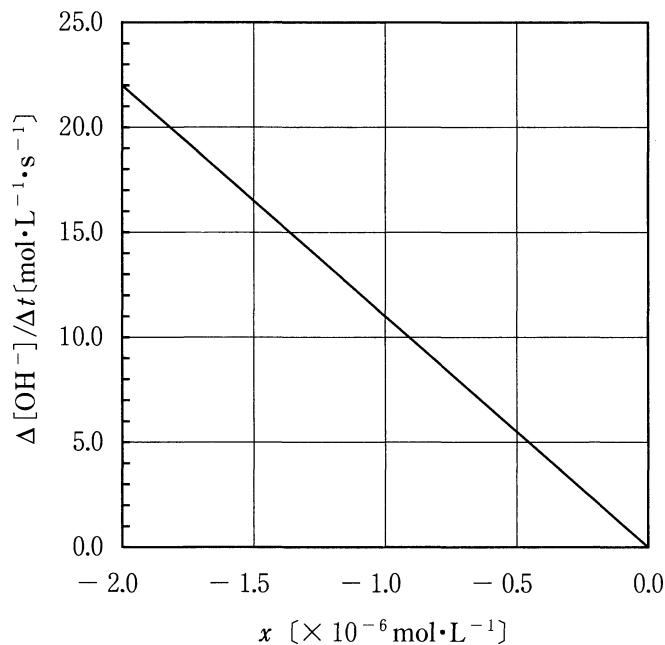


図 1—2

〔問〕

- キ $\Delta[\text{OH}^-]/\Delta t$ を $k_1, k_2, [\text{NH}_3], [\text{NH}_4^+]$, および $[\text{OH}^-]$ を用いて表せ。
- ク x の定義から OH^- の濃度は $[\text{OH}^-] = [\text{OH}^-]_{\text{eq}} + x$ と表すことができる。
 $[\text{NH}_4^+]$ を $[\text{NH}_4^+]_{\text{eq}}$ および x を用いて表せ。また, $[\text{NH}_3]$ を $[\text{NH}_3]_{\text{eq}}$ および x を用いて表せ。
- ケ 式(1)中の B を, $k_1, k_2, [\text{NH}_4^+]_{\text{eq}}$, および $[\text{OH}^-]_{\text{eq}}$ を用いて表せ。
- コ k_2 を, B, K_b , および $[\text{OH}^-]_{\text{eq}}$ を用いて表せ。
- サ 図1—1および図1—2のデータにもとづいて k_2 の値を求め, 有効数字2桁で答えよ。

第2問

次のⅠ, Ⅱの各間に答えよ。必要があれば以下の値を用いよ。

元素	H	C	O	K	Ca	Mn
原子量	1.0	12.0	16.0	39.1	40.1	54.9

Ⅰ 次の文章を読み、問ア～カに答えよ。

カルシウムイオン(Ca^{2+})はシュウ酸イオン($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$)と反応してシュウ酸カルシウム(CaC_2O_4)の沈殿をつくる。シュウ酸カルシウムは水に溶けにくいため、この沈殿生成反応は Ca^{2+} の検出に利用される。ここでは、シュウ酸カルシウムの沈殿生成と、シュウ酸イオンが酸化を受け二酸化炭素2分子に分解されることを利用して、以下に示す手順により、ある水溶液試料に含まれる Ca^{2+} の量を求める実験を行った。

手順1 水溶液試料 10.00 mL を量り取った。

手順2 手順1の試料に水 200 mL を加え、さらに塩酸を加え微酸性にした。そこに十分な量のシュウ酸アンモニウム($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$)水溶液を加え、加熱した後、アンモニア水を加えてアルカリ性にして、室温で2時間静置し、シュウ酸カルシウムを完全に沈殿させた。

手順3 生じた沈殿をろ紙でろ別し、ろ紙上の沈殿を冷水で洗浄した。

手順4 芦紙上の沈殿を温めた硫酸(濃硫酸を6倍に希釀したもの)で完全に溶かし、その液をすべてビーカーに回収した。さらにビーカーに水 200 mL、濃硫酸 5 mL を加え、70 °C に加熱した。

手順5 ビーカー内の溶液を、濃度 $1.00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の過マンガン酸カリウム水溶液で滴定した。

〔問〕

- ア 手順1および5において、体積を量るのに使用する最も適切な実験器具は何か。それについて、実験器具の名称を1つ記せ。
- イ 手順5の下線部②でおこる反応の反応式を記せ。
- ウ 手順5の下線部②の滴定の終点において見られる溶液の色の変化を、20字以内で記せ。
- エ 手順1から5までの実験を5回行い、以下に示す滴定値を得た。ただし、1回目の実験においては、滴定の操作に慣れていなかったため終点を行き過ぎてしまったという。水溶液試料1.00 L中に Ca^{2+} は何mg含まれていると結論できるか。3桁の数値で答えよ。

実験回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
滴定値 [mL]	4.69	4.47	4.45	4.44	4.48

- オ 手順3の下線部①における洗浄が不適切だと、 Ca^{2+} の分析値が真の値よりも小さくなる場合がある。その場合に考えられる原因を、30字以内で記せ。
- カ 手順3の下線部①における洗浄が不適切だと、問オとは逆に、 Ca^{2+} の分析値が真の値よりも大きくなる場合がある。その場合に考えられる原因を、30字以内で記せ。

II 次の文章を読み、問キ～サに答えよ。

水酸化ナトリウム(NaOH)は、工業的には食塩水の電気分解によって製造される。現在は主に、隔膜法やイオン交換膜法が用いられている。これらの方では、図2—1に示すように、電解槽内部が隔膜もしくはイオン交換膜により、陽極室と陰極室に分けられている。

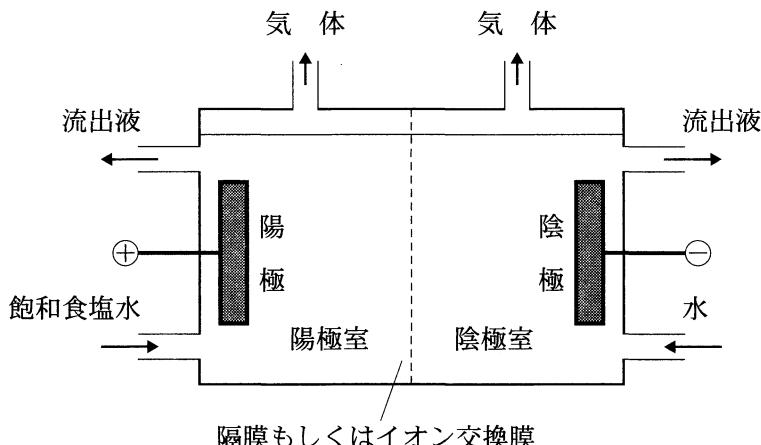
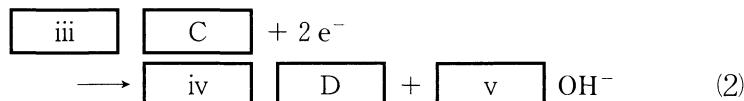


図2—1 水酸化ナトリウム製造のための電解槽

陽極室では、次の反応がおこり、

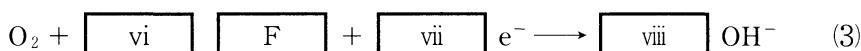


陰極室では、次の反応がおこる。



隔膜法では、陰極室からの流出液に Na^+ , Cl^- , OH^- が含まれるため、純度の高い NaOH を得るために、蒸発濃縮が必要である。一方、イオン交換膜法では、イオン交換膜が $\boxed{\text{E}}$ のみを選択的に透過させるため、純度の高い NaOH を得ることができる。

近年、イオン交換膜法の消費電力量削減のために、陰極で酸素を直接還元する方法が開発されている。この電極では次の反応がおこる。



〔問〕

キ 本文中の i ~ viii に適切な数値を、 A ~ F に適切な化学式(イオン式を含む)を入れよ。

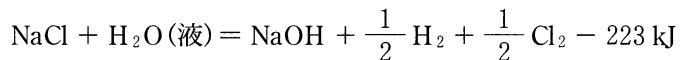
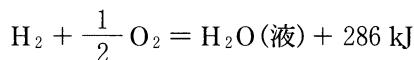
ク 下線部①に関して、陰極室の流出液 1000 g を取り出して濃度を測定したところ、NaCl および NaOH の質量パーセント濃度は、それぞれ 17.6%，12.0% であった。NaOH を濃縮するために、取り出した流出液を加熱して水を蒸発させ、25 ℃で NaOH の飽和水溶液となるようにした。この時、水を何 g 蒸発させたか答えよ。

なお、25 ℃における NaCl および NaOH の水への溶解度は、水 100 g あたりそれぞれ 35.9 g, 114 g である。NaCl および NaOH の溶解度は混合溶液でも変化しないものとし、また析出物はすべて NaCl の無水物とする。

ケ 問クにおいて、濃縮後の NaOH の濃度を質量パーセント濃度で求めよ。

コ イオン交換膜法により食塩水の電気分解を行っていたところ、イオン交換膜に亀裂が生じ、新たに漂白作用を示す塩が生成した。この塩の物質名と、生成する際の反応式を記せ。

サ イオン交換膜法における陰極反応として式(3)を用いた場合について、陽極と陰極の反応を組み合わせた全体の熱化学方程式を記せ。必要であれば、次の熱化学方程式を利用せよ。反応熱は、いずれも 25 ℃, 1 気圧 (1.013×10^5 Pa) における値とする。

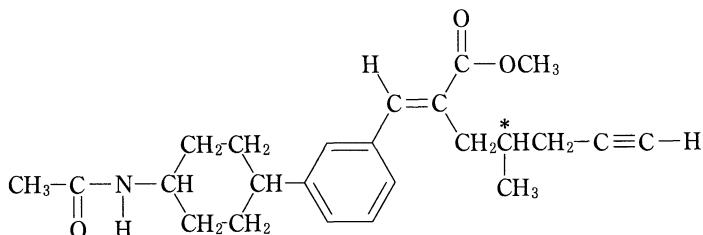


第3問

次の I, II の各間に答えよ。ただし、原子量は次の値を用い、構造式は下記の例のように示せ。

元素	H	C	O	I
原子量	1.0	12.0	16.0	127.0

構造式の描き方例。*印をつけた炭素原子は不斉炭素原子を表す。



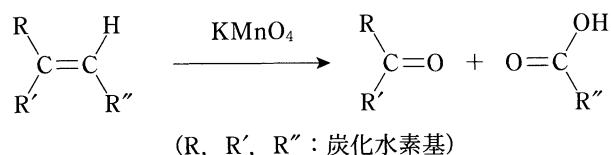
I 次の文章を読み、問ア～オに答えよ。

みかんの皮は、昔から漢方薬や入浴剤として使われている。この果皮の成分として、炭素原子と水素原子だけからなる化合物 A が得られた。化合物 A は不斉炭素原子を有し、常温・常圧で無色透明の液体である。化合物 A の構造を決定するために以下のような実験を行った。

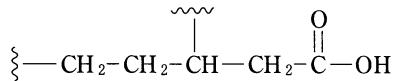
実験1 ある一定量の化合物 A を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 11.0 mg、水 3.6 mg が得られた。また、分子量の測定値は 138 ± 3 であった。

実験2 化合物 A 50.0 mg に水素を付加させたところ、標準状態に換算して 16.5 mL の H_2 を吸収し、飽和化合物 B を生じた(ただし、標準状態の H_2 1.00 mol の体積は 22.4 L とする)。

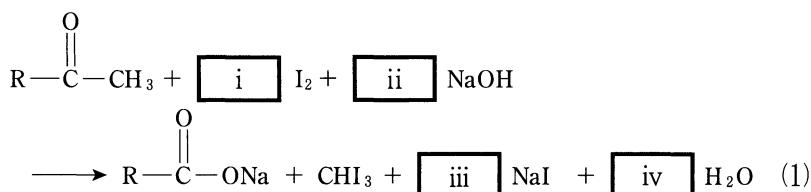
実験3 下記のアルケンを酸性の過マンガン酸カリウム溶液中で熱すると、ケトンとカルボン酸を生じる。



化合物 A を酸性の過マンガン酸カリウム溶液中で熱すると、生成物の 1 つとして以下の部分構造式をもつモノカルボン酸(一価カルボン酸)C が得られた。



実験 4 ヨードホルム反応は以下の式(1)にしたがって進行するという。



モノカルボン酸 C はヨードホルム反応を示し、モノカルボン酸 C 0.100 mol に対して、消費されたヨウ素 I₂ の重量は 152.4 g であった。この実験と実験 3 の結果から、モノカルボン酸 C の構造が決定できた。

[問]

- ア 化合物 A の分子式を求めよ。
- イ 実験 2 から、化合物 A に含まれる不飽和結合の種類と数について 2 通りの組み合わせが考えられる。それぞれを記せ。
- ウ 式(1)の係数 $\boxed{\text{i}}$ ~ $\boxed{\text{iv}}$ を記せ。
- エ 上記実験 1 ~ 4 で得られた情報から、化合物 A として考えられる構造式は 3 種類にしほられる。これらの構造式を示せ。ただし光学異性体は同一の化合物とみなす。
- オ 実験 2 で得られた飽和化合物 B は不斉炭素原子をもたないことがわかつた。この情報により、問エで推定された候補の中から化合物 A を特定することができた。その構造式を示せ。また、化合物 A の不斉炭素原子を * でしるせ。

II 次の文章を読み、問力～コに答えよ。

カルボン酸2分子が縮合してできる化合物は、酸無水物と呼ばれる。代表的な酸無水物として、無水酢酸(D)が知られている。酸無水物の中には、異なる2種類のカルボン酸が縮合した構造をもつ、混合酸無水物と呼ばれる化合物も知られている。酸無水物はアルコールやアミンと温和な条件で反応し、それぞれエスチル化合物やアミド化合物を与える。

〔問〕

力 酢酸とプロピオン酸($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$)が縮合した混合酸無水物Eの構造式を示せ。

キ 無水酢酸(D)に2倍の物質量のプロピオン酸カリウムを加え加熱すると、次第に化合物Eが生じ、さらに加熱を続けると化合物Fも生成しはじめる。化合物Fの構造式を示せ。

ク 問キの反応で加熱を長時間続けても、無水酢酸(D)が完全に消費されることはなく v が成り立つため、化合物D, E, Fの物質量はある一定の比に近づくという。

上記文中の v の中に適当な語句を入れよ。

ケ 有機溶媒と水酸化カリウム水溶液からなる二層の溶媒を用いて、化合物Eと2-メチルペンタン-1,5-ジアミンを反応させた。反応を完結させるのに十分な物質量の化合物Eを用いたところ、6種類の化合物G～Lが新たに生成した。これらの化合物のうち、2種類の有機化合物G, Hは水層にあり、有機層にはアミド結合を有する4種の化合物I, J, K, Lがあった。これらの化合物のうち、J, Kは分子量が同一であった。化合物J, Kの構造式を示せ。ただし、光学異性体は同一の化合物とみなす。

コ 問ケの実験で生成した化合物G, Hそれぞれの構造式を示せ。

生 物

第1問

次の文1と文2を読み、IとIIの各間に答えよ。

[文1]

ほ乳類の始原生殖細胞は、発生の比較的早い時期に、胚の尿嚢^{にょうのう}とよばれる部位に出現する。そして、胚中を移動し、形成中の生殖腺にたどり着く。雄では、生殖腺は腎臓などと同様に 1 胚葉から分化し、やがて精巢となるが、始原生殖細胞はそこに入っていき、2 細胞となる。精巢の中で 2 細胞は体細胞分裂を繰り返して増殖を続けるが、その一部はやがて分裂を停止し、成長して大きくなる。これが一次精母細胞である。一次精母細胞は減数分裂をおこなって精細胞となる。精細胞は、まだ球形に近い細胞で、それが形を変えて精子となる。精巢から放出された精子は、鞭毛^{べんもう}を屈曲運動させることによって雌の生殖器内を遊泳し、卵をめざす。

一方、卵巣内では卵形成が進む。体細胞分裂を停止し、大きくなった一次卵母細胞は第一減数分裂の結果、二次卵母細胞と第一 3 になる。さらに第二減数分裂で二次卵母細胞は卵と第二 3 となる。このような卵形成の進行は、生殖腺刺激ホルモンによって制御されている。一般に、ほ乳類では、卵巣内では第二減数分裂の中期で卵形成が停止しており、その状態で排卵され、輸卵管のなかで受精する。受精卵は卵割^(ア)を繰り返しながら子宮に到達し、そこで着床する。

ほ乳類に比べて実験が容易な、棘皮動物^{きょくひぶつ}のヒトデやウニを用いて、卵形成や、受精後の細胞分裂がどのようなしくみでおこるかを調べた。

実験 1 産卵期の、ほぼ成熟したヒトデの卵巣を切り出し、よく海水で洗った後、海水中に静置した。そこに、ほ乳類の生殖腺刺激ホルモンに相当する 1-メチルアデニンを加えたところ、卵巣の切り口から、均一で球形の大きな細胞(一部のものは、小さい細胞で囲まれている)がたくさん放出された。^(イ) この細胞をすぐに顕微鏡で観察したところ、細胞内部に大きな核が観察されたが、やがてそれらの大きな核は見えなくなり、その後しばらくして細胞が極端な不等分裂をおこした。^(ウ)

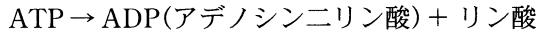
^(エ)

実験 2 ウニの一種であるタコノマクラの卵は比較的透明度が高く、紡錘体などの内部構造を観察しやすい。タコノマクラの受精卵を動かないように海水中で固定し、第一卵割が始まるのを待った。そして核が見えなくなり、紡錘体が形成され始めたころ、細胞に微小な注射針を挿入し、その紡錘体を吸い取って除去したところ、数時間待っても卵は分裂しなかった。一方、紡錘体がほぼ完全に形成された後に、同様に紡錘体を吸い取ったところ、細胞にくびれが生じ、それが深まり、やがて細胞は 2 つに分裂した。^(オ) このとき、分裂面はもとの紡錘体の赤道面と一致していた。

[文 2]

精子の鞭毛は、その先端部にいたるまで、サイン波様の屈曲を周期的に作り出すことで、推進力を生み出している。鞭毛にこのような屈曲運動を引きおこしているのは、鞭毛全体にわたって分布しているダイニンとよばれるタンパク質である。ダイニンは ATP(アデノシン三リン酸)を分解して得られるエネルギーを運動に変えるはたらきをしているので、ダイニンが鞭毛全体ではたらき、鞭毛の運動を維持するためには、鞭毛全体にわたって十分な量の ATP が供給される必要がある。しかし鞭毛は細長く、しかもミトコンドリアは鞭毛の基部(精子の頭部近辺)のみに局在している。したがって、ミトコンドリアにおける代謝(ケン酸回路と電子伝達系)により生産される ATP が主に用いられる場合には、ATP を鞭毛の先端まで十分量供給するしくみが必要となる。一方、鞭毛内の細胞質基質に存在する解糖系で生産される ATP が主に用いられる場合には、解糖系の基質

が、精子の細胞外から鞭毛全体に十分に供給されるしくみが必要となる。マウスとウニを用いて、代謝と鞭毛運動の関係を調べる実験をおこなった。なお、精子において、ATPは鞭毛の運動に使われるエネルギーを得るための反応である、



で消費される。また、上の反応で生じた ADP から、



の反応で、ADP の一部が ATP に再生され、さらに消費される。

(注：上記の反応式は一部簡略化してある。)

実験 3 マウスの精子の代謝と鞭毛運動の関係を調べる目的で、精子の培養液に、図 1—1 の①～⑥の実験条件で、代謝の基質と代謝の阻害剤(薬剤 X, 薬剤 Y)を加える実験を行った。解糖系の基質としてはグルコースを、ミトコンドリアにおける代謝の基質としてはピルビン酸を用いた。グルコースは解糖系でピルビン酸になり、それがミトコンドリアに運ばれて、さらに代謝される。また、薬剤 X はミトコンドリアにおける代謝の阻害剤で、解糖系は阻害しない。薬剤 Y は解糖系の阻害剤で、ミトコンドリアにおける代謝は阻害しない。なお、これらの基質や阻害剤は、精子の培養液に加えると、すみやかに精子細胞内に取り込まれることがわかっている。

基質と阻害剤を精子の培養液に加えた直後は、図 1—1 に示される①～⑥のすべての実験条件において、精子は高い運動活性と ATP 濃度を示したが、30 分後に精子細胞内の AMP, ADP, ATP の濃度を測定したところ、図 1—1 に示すような結果が得られた。図 1—1 の最下段には、その時点で観察された精子の運動活性を、高いか低いかで示している。なお、ピルビン酸を基質として用い、ミトコンドリアにおける代謝を調べる実験条件については、精子細胞内に存在するグルコースの影響を除くために、薬剤 Y を加えてある。

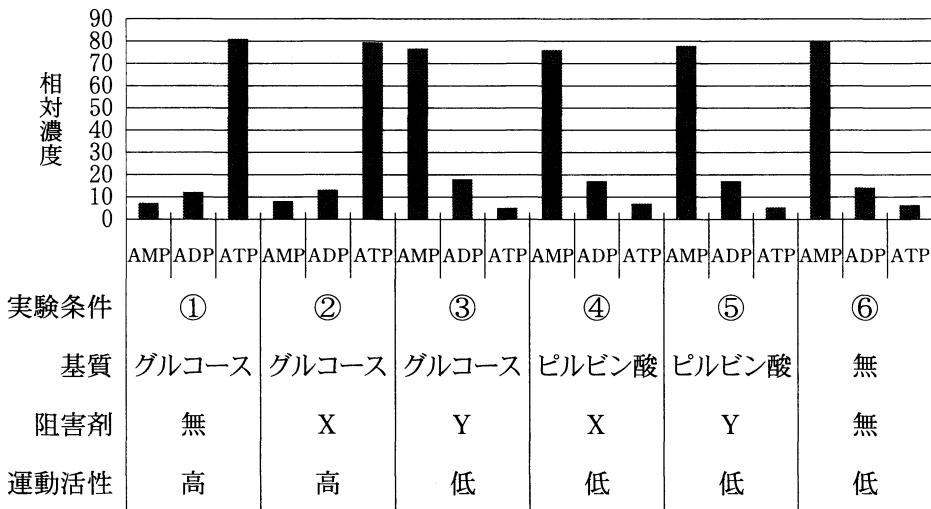


図1—1 マウス精子の培養液に、代謝基質と阻害剤を加えて30分後の精子細胞内に含まれるAMP, ADP, ATPの相対濃度と精子の運動活性

実験4 次に、ウニの精子を用いた実験をおこなった。ウニの精子を海水中にけん濁すると、激しい遊泳運動を示した。その運動は15分過ぎても維持されていた。15分後の海水中の溶存酸素量を測定したところ、著しく減少していた。この、15分間海水中で運動させた精子をすりつぶして調べた結果、細胞中の成分Zの量が減少していた。また、精子や海水中に含まれる、尿酸や尿素のような窒素を含む老廃物の量は増加していなかった。次に、精子をけん濁した海水中に薬剤Xを加えたところ、急激に精子の運動活性が低下するのが観察された。しかし、薬剤Yを加えた場合には、運動活性の阻害はほとんどみられなかった。

[問]

- I 文1について、以下の小間に答えよ。
- A 空欄1～3に適切な語を入れよ。
- B 下線部(ア)について。ほ乳類における、一般の体細胞分裂と卵割の大きな違いは何か。1行程度で述べよ。

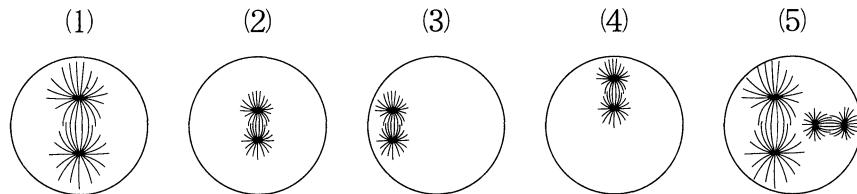
C 下線部(イ)について。この細胞は何か。最も適切なものを、以下の(1)～(5)から選べ。

- (1) 卵原細胞
- (2) 卵胞細胞
- (3) 一次卵母細胞
- (4) 二次卵母細胞
- (5) 卵細胞

D 下線部(ウ)について。ここで見られた現象は次のうち、どの変化を見ていることになるか。最も適切なものを、以下の(1)～(5)から選べ。

- (1) 間期から分裂期前期が始まる直前までの変化
- (2) 分裂期前期から分裂期中期への変化
- (3) 分裂期中期から分裂期後期への変化
- (4) 分裂期後期から分裂期終期への変化
- (5) 分裂期終期から次の間期への変化

E 下線部(エ)について。1-メチルアデニンを加えた後に生じる、極端な不等分裂においても、紡錘体が作られるのが観察された。その紡錘体は、細胞のどの位置に出現すると考えられるか。最も適切なものを、以下の(1)～(5)から選べ。なお、図は卵の中心と紡錘体の両極を含む断面を模式的に示したものである。



F 下線部(オ)について。細胞にくびれを生じさせ分裂させるしくみは細胞のどこにあると推測されるか。最も適切なものを、以下の(1)～(5)から選べ。

- (1) クビレが生じた場所の細胞膜のすぐ内側
- (2) クビレを含む平面の細胞質全体
- (3) 紡錘体の極
- (4) 紡錘体全体
- (5) 赤道面に集まった染色体

II 文2について、以下の小間に答えよ。

- A 実験3について。図1—1に示すように、30分後にマウスの精子の運動活性が低い実験条件では、いずれもAMP濃度が最も高かった。その理由を推測して2行程度で述べよ。
- B 実験3について。図1—1に示された、マウスの精子を用いた実験の結果からの推測として、誤った記述はどれか。以下の(1)～(5)からすべて選べ。
- (1) 精子の運動にはグルコースが基質として使われているので、実際の受精環境にはグルコースが存在している可能性がある。
 - (2) 精子の運動活性が低い条件ではATPを生産する必要がないので、ATP濃度は30分後でも低い。
 - (3) 精子の運動活性が高い場合でも精子の運動に使われるATPの量は非常に少ないので、ATP濃度は30分後でも維持されている。
 - (4) ミトコンドリアの代謝がはたらかなくても、解糖系のみで充分、精子の運動活性が維持される。
 - (5) ピルビン酸が与えられても、解糖系がはたらいていないと、精子の運動活性は低いので、精子の運動には解糖系が大きく寄与している。
- C 下線部かについて。細胞中の成分Zは何か。最も適切なものを、以下の(1)～(5)から選べ。
- (1) グリコーゲン
 - (2) フルクトース
 - (3) タンパク質
 - (4) アミノ酸
 - (5) 脂質
- D ウニの精子が、細胞中の成分Zを代謝して遊泳運動のためのエネルギーを得ている理由を、受精の環境がほ乳類と異なることを考慮して、2行程度で述べよ。
- E ウニの精子では、ミトコンドリアで作られたATPを鞭毛の先端部まで供給するために、ある高エネルギーリン酸化合物を介して、ADPからATPを直接的に合成するしくみをもっている。この高エネルギーリン酸化合物は骨格筋にも存在し、運動の維持のためにはたらいている。この高エネルギーリン酸化合物の名称を答えよ。

第2問

次の文1と文2を読み、IとIIの各間に答えよ。

[文1]

図2—1は一般に見られる被子植物の構造を示す模式図である。葉が茎につく位置を節といい、節と節の間を節間という。被子植物の体は、花と根を除き、1つの節間と、節につく葉および側芽からなる単位が、繰り返し規則的に積み重なった構造となっている。新しい茎や葉は頂芽の中にある頂端分裂組織から発生し、次第に発達して完成した形となる。その過程で、図2—1に示すように、葉と茎の間に1つの側芽が発達する。側芽にも頂端分裂組織があり、新しい茎や葉を作りだす能力をもっている。側芽が伸長することにより側枝が形成される。

1つの節に1枚の葉がつく場合には、葉が茎の周囲に、らせん状に配列する。葉のつき方の規則性を葉序といい、連続する2つの葉が、茎の軸を中心としてなす角度(0° 以上、 180° 以下)を開度という。花もまた頂芽や側芽の頂端分裂組織から発生するが、花が形成されると頂端分裂組織の活動が終わる。つまり、花は頂端分裂組織が最後に形成する器官である。地球上に存在する被子植物は、繰り返し規則的に積み重なった構造を基礎とし、節間と節、葉および側芽の形態をさまざまに変化させることで、30万種とも50万種ともいわれる多様性を実現している。

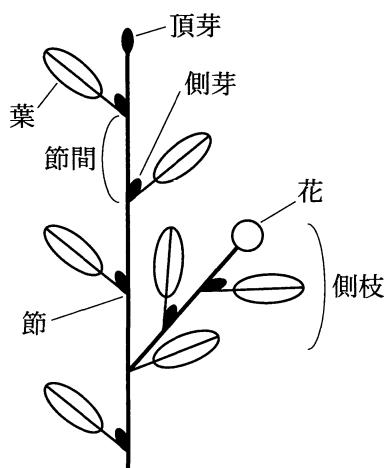


図2—1 被子植物の構造の模式図

〔文2〕

地下にある茎を地下茎とよぶ。地上にある茎(地上茎)と見かけは異なっているが、構造は共通である。たとえば、サトイモ科のウラシマソウという植物は、節間が短くなり肥大して栄養を貯蔵する地下茎(イモ)をもっている。ウラシマソウの地下茎には多くの葉がつき、それぞれの葉のつけ根に1個の側芽を形成する。そこで、葉が枯れた休眠期のイモを観察すると、側芽の位置を葉の位置とみなすことにより、葉序を調べることができる。図2—2(a)はウラシマソウの地下茎を茎頂側から観察した写真で、図2—2(b)はその模式図である。頂芽を中心とし、その周囲にらせん状に配列する側芽の位置を示している。また、図2—2(c)は同じ方法で、同じサトイモ科のマムシグサの地下茎の葉序を模式的に示した図である。

一方、樹木の枝のような地上茎においては、茎の太さがおおむね均一であり、節間が長いため、葉序を観察することは難しく、観察には工夫が必要である。

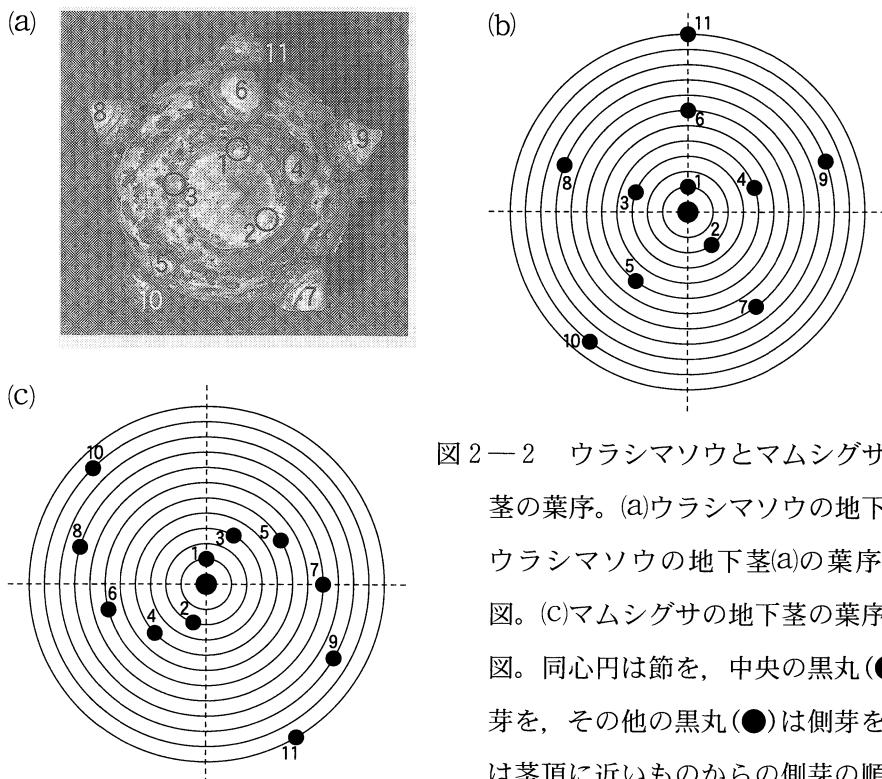


図2—2 ウラシマソウとマムシグサの地下茎の葉序。(a)ウラシマソウの地下茎。(b)ウラシマソウの地下茎(a)の葉序の模式図。(c)マムシグサの地下茎の葉序の模式図。同心円は節を、中央の黒丸(●)は頂芽を、他の黒丸(●)は側芽を、数字は茎頂に近いものからの側芽の順序を示す。破線は補助線である。

実験1 ある落葉樹の地上茎の葉序を調べる目的で、図2—3(a)のような枝分かれした枝を、AとCを含む部分と、B部分とに分けて切り取った。それぞれを平らな粘土の上で1回転させたところ、図2—3(b), (c)のような痕跡が得られた。ここで、黒丸(●)は側芽の痕跡、白丸(○)はB部分を切り取った痕跡、四角(□)は花の落ちた痕跡である。なお、枝の太さは均一なものとし、1回転の起点と終点に縦線を引いている。

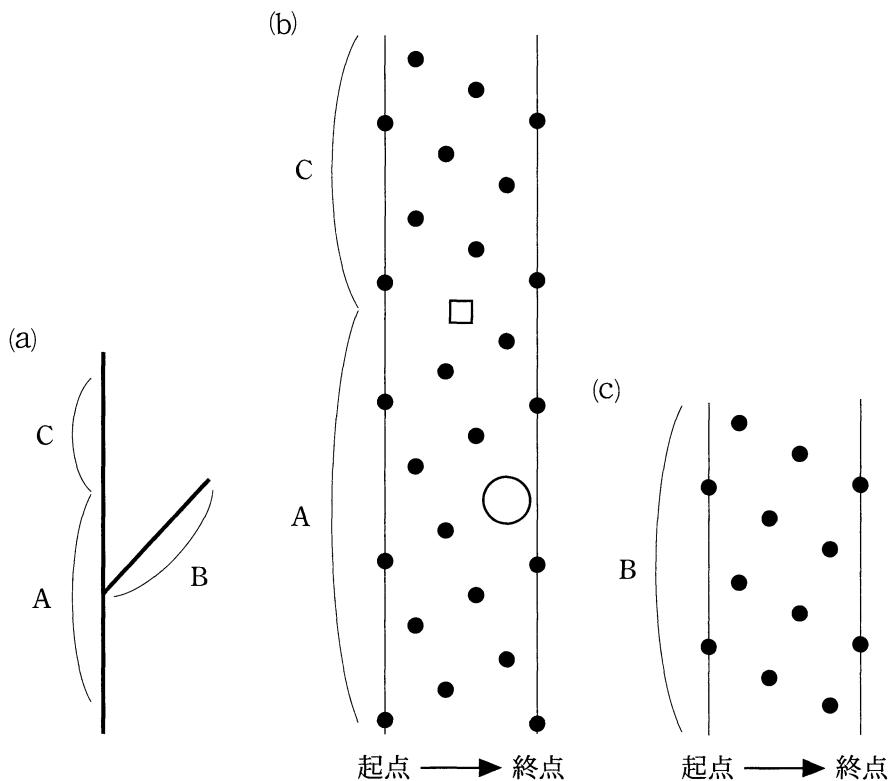


図2—3 地上茎の葉序の調査 (a)葉序を調べた枝の模式図。(b)AとCを含む部分を転がして得られた痕跡。(c)B部分を転がして得られた痕跡。

〔問〕

I 文1について、以下の小間に答えよ。

A 文1は被子植物について述べているが、図2—4に示すように、シダ植物やコケ植物のなかにも、茎のような軸とその周囲に規則的に配列する葉からなる体をもつものがある。これについて、以下の(i), (ii)に答えよ。

- (i) 生活環に注目すると、図2—4に示したツルコケモモ(被子植物)とコンテリクラマゴケ(シダ植物)の体は相同であるが、それらとマルバハネゴケ(コケ植物)の体は相同ではない。その理由を2行程度で述べよ。
- (ii) シダ植物とコケ植物の、このような体の構造について、おもな違いを、1行程度で述べよ。

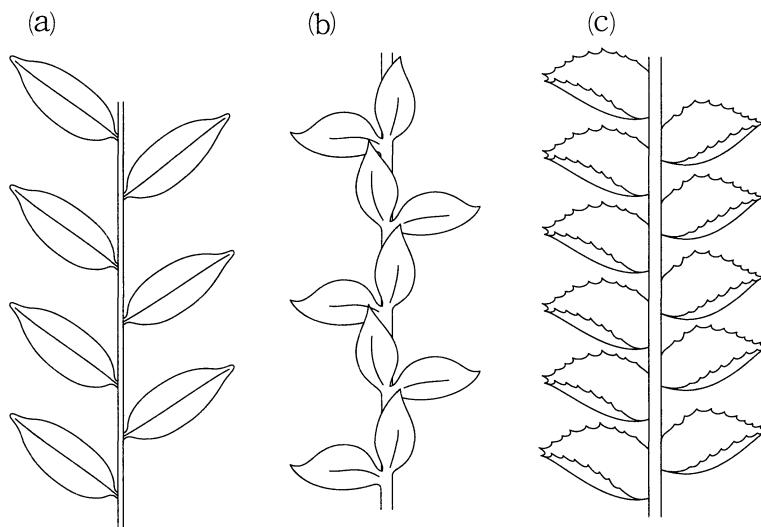


図2—4 植物体の形態の比較 (a)ツルコケモモ(被子植物)
(b)コンテリクラマゴケ(シダ植物) (c)マルバハネゴケ(コケ植物)

B 下線部(ア)について。誤った記述を以下の(1)～(5)から 2つ選べ。

- (1) エンドウの巻きひげは枝分かれしており、茎が変形したものである。
- (2) サボテンのトゲは束になって規則的に配列しており、葉が変形したものである。
- (3) バラのトゲは茎に不規則についており、葉が変形したものである。
- (4) イチジクの実は中に多くの花があり、茎が変形した部分を含んでいる。
- (5) ウメの芽鱗(冬芽を包んでいる鱗状のもの)はらせん状に配列しており、葉が変形したものである。

II 文 2について、以下の小間に答えよ。

A 下線部(イ)について。地下茎は根とどのように区別できるか。形態的な相違点を 3 つ、あわせて 2 行程度で述べよ。

B 図 2—2について。ウラシマソウとマムシグサの葉序について、それぞれの開度を整数で求めよ。

C 実験 1について。以下の(i)～(iv)に答えよ。

- (i) A 部分の葉序の開度を整数で求めよ。
 - (ii) B 部分の葉序が A 部分の葉序と共通な点、異なる点について、あわせて 1 行程度で述べよ。
 - (iii) A 部分と C 部分の接続部には、花が落ちた痕跡(□)が見いだされた。
- これについて次のように考察した。空欄 1, 2 に「側芽」または「頂芽」の語を入れよ。

考察：図 2—3(b)において、B 部分を切り取った痕跡の位置が、A 部分の側芽のらせんに完全に合致しているから、B 部分は A 部分の側芽が伸長してできた側枝である。この関係により、(ii)の異なる点が生じたとすると、見かけ上 A 部分と直線的に連続している C 部分は、A 部分の 1 が伸長してできたと捉えられる。つまり、花が A 部分の 2 に形成されたため、A 部分の成長が終わり、代わりに C 部分が形成されたと考えられる。

(iv) A 部分と C 部分の接続部についての(iii)の考察を正しくあらわしている模式図を、図 2—5 の(a)～(d)から 1 つ選べ。点線は、すでに落ちた葉と茎、花をあらわしている。ただし、葉序の開度は無視してよいものとする。

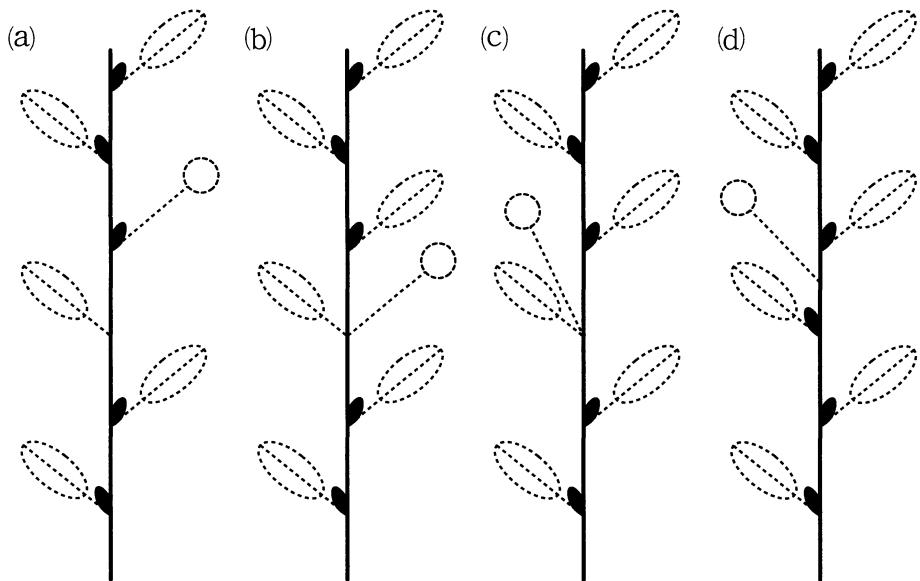


図 2—5 A 部分と C 部分の接続部付近の模式図

第3問

次の文1と文2を読み、IとIIの各間に答えよ。

〔文1〕

プロテアーゼは、基質となるタンパク質の 結合に 分子を反応させることにより、 1 結合を開裂させる酵素である。ヒトのからだで生じるさまざまな生体反応が、プロテアーゼのはたらきにより営まれている。たとえば、胃液中のペプシンや、すい液中の 3 のようなプロテアーゼは、ヒトが食物からアミノ酸を摂取するためにはたらく。しかし、プロテアーゼは、消化のようにタンパク質を小さく断片化するときだけでなく、活性をもたないタンパク質の一部分を切り離して、活性をもつタンパク質へ変換させるときにもはたらく。このようなプロテアーゼとして、真核細胞の細胞質に存在するプロテアーゼPが知られている。

単細胞の真核生物である酵母におけるプロテアーゼPのはたらきを知るために
 (ア) 酵母のプロテアーゼPの遺伝子の欠損株を作製したところ、P遺伝子欠損株では、脂肪酸の1種であるオレイン酸の合成に必要なL遺伝子の発現がほとんど見られないことがわかった。細胞質に存在する別の酵素Eの遺伝子の欠損株でも同じ表現型がみられた。そこでL遺伝子の発現を促進する転写因子をコードするT遺伝子に注目し、野生型株、P遺伝子欠損株、E遺伝子欠損株について、T遺伝子に由来する細胞内のタンパク質を調べた。すると野生型株では、遺伝子配列から予測されるとおりのアミノ酸配列と分子量をもつTa、Taに分子Sが共有結合したTa-S、およびTaの一部が失われ分子量が小さくなったTbという、3種類のタンパク質が検出された。P遺伝子欠損株ではTbが検出されず、TaとTa-Sが検出されたが、Ta-Sの細胞内含有量は野生型株と比べて顕著に増加していた。E遺伝子欠損株ではTa-SもTbも検出されず、Taのみが検出された。Ta、Ta-S、Tbの細胞内分布を調べたところ、TaとTa-Sは、細胞小器官の1つである小胞体の膜上に存在するが、Tbは核内に存在することがわかつた。

〔文2〕

酵母の二倍体の細胞は、栄養環境が悪くなると減数分裂を行い、4個の一倍体胞子を形成する。胞子は栄養条件が良くなると、発芽して一倍体のまま増殖を開始する。酵母には、T遺伝子に塩基配列のよく似たR遺伝子が存在する。T遺伝子とR遺伝子のはたらきに関連があるか調べるために、次の実験を行った。

酵母の二倍体細胞を遺伝子操作し、T遺伝子の2つの対立遺伝子の片方を HIS3 遺伝子(ヒスチジン合成に必須の酵素をコードする遺伝子)と置き換えることにより欠損させ、さらにR遺伝子も同様に、2つの対立遺伝子の片方を LEU2 遺伝子(ロイシン合成に必須の酵素をコードする遺伝子)と置き換えることにより欠損させた細胞を作製した。この実験に用いたもとの細胞は、ヒスチジンとロイシン要求性の細胞であるが、作製した細胞は TtRr(大文字は野生型、小文字は遺伝子が置き換えられた型の対立遺伝子を意味する)の遺伝子型をもち、t をもつことにより細胞内でのヒスチジン合成が可能となり、ヒスチジンを含まない培地(His(-)培地)で増殖できるようになる。同様に r をもつことでロイシン合成が可能となり、ロイシンを含まない培地(Leu(-)培地)で増殖できる。

この二倍体 TtRr 細胞(図 3—1(a))を減数分裂させると胞子囊内に4つの胞子が形成されるが(図 3—1(b))、4つの胞子は T 遺伝子座の遺伝子型については、T もしくは t をもつものが 2 つずつ、R 遺伝子座の遺伝子型については、R もしくは r をもつものが 2 つずつとなる。これら 4 つの胞子をそれぞれ 1 つずつ分離して、それぞれをヒスチジンとロイシンを含む栄養条件の良い寒天培地(完全栄養培地)に植え継ぎ(図 3—1(c))、3 日間培養することを 2 つの胞子囊についておこなった。胞子囊 1、胞子囊 2 からの胞子の増殖結果を考察することにより、それぞれの胞子の遺伝子型が判明し、T 遺伝子と R 遺伝子が細胞の増殖にどのように関わっているかがわかる。

実験の結果、増殖して培地上でコロニーを形成した場合(図 3—1(d) 1 のイ、1 のニ、および 2 のイ～ニ)と増殖できなかった場合(図 3—1(d) 1 のロ、1 のハ)がみられた。また、完全栄養培地で増殖した細胞を His(-) 培地と Leu(-) 培地に植え継いで増殖を調べたところ、それぞれ図 3—1(e)、(f)のような増殖パターンを示した。なお、T 遺伝子と R 遺伝子はそれぞれ異なる染色体上に存在している。

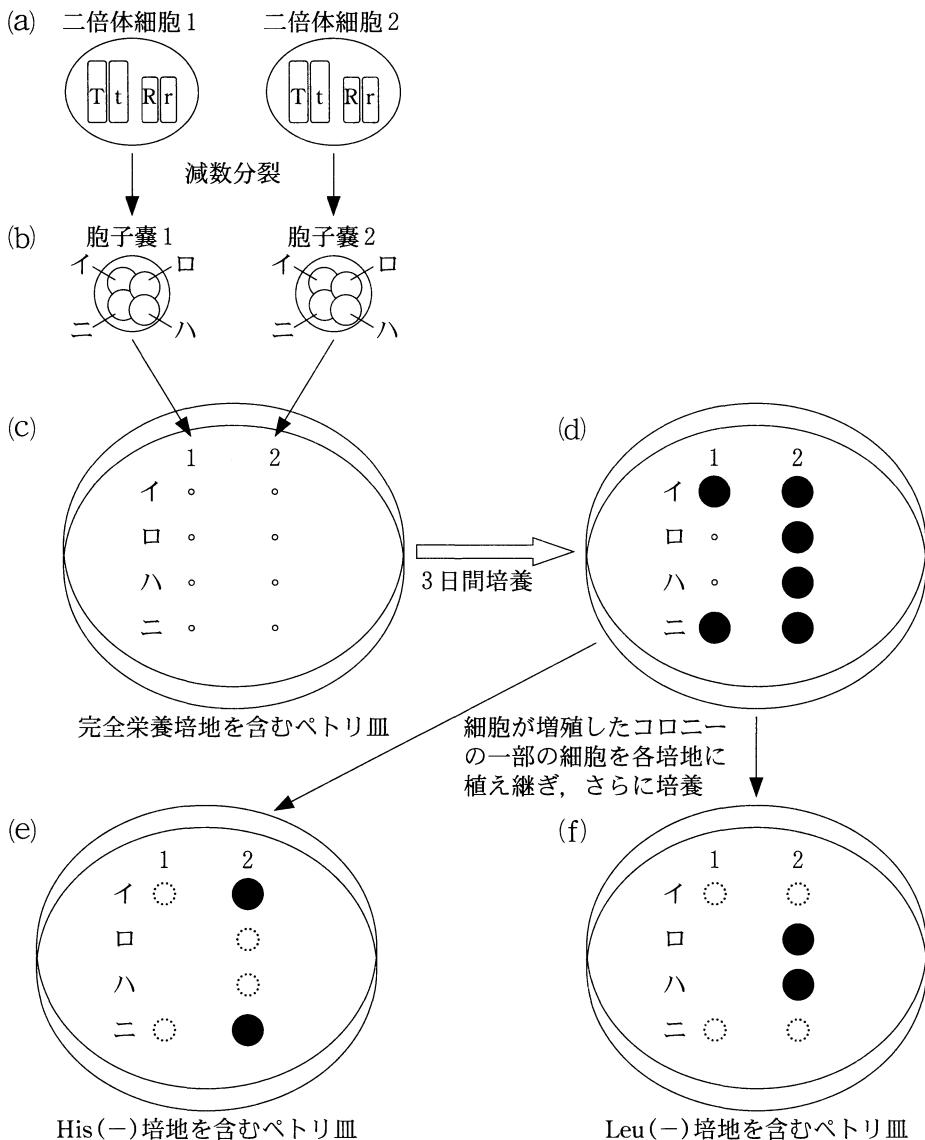


図3—1 二倍体細胞(TtRr)を減数分裂させて得られた胞子由来の細胞の増殖の観察 (b)でそれぞれの胞子囊に含まれる4つの一倍体胞子をイ～ニとする。(c), (d)の小さい丸(。)は胞子、(d)～(f)の黒丸(●)は、胞子が出芽して細胞が増殖したコロニーを示す。(e), (f)の破線白丸(○)は His(-)培地、Leu(-)培地で増殖できなかったことを示す。2個の胞子囊(胞子囊1, 胞子囊2)について独立して実験を行い、それぞれ縦1列イ～ニに沿って並べた。(c)～(f)の細胞の位置関係は一致している。

〔問〕

I 文1について、以下の小間に答えよ。

- A 文中の空欄1～3に適切な語を入れよ。
- B 下線部アについて。酵母と同じ、単細胞の真核生物は次のうちどれか。正しいものを、以下の(1)～(5)からすべて選べ。
- (1) メタン生成菌
 - (2) 乳酸菌
 - (3) ゾウリムシ
 - (4) 大腸菌
 - (5) ネンジュモ
- C 実際にL遺伝子の転写因子としてはたらいているのはTa, Ta-S, Tbのうちどれであると考えられるか、答えよ。またその理由を2つ、それぞれ1行程度で述べよ。
- D 表3—1に示すように、精製したTaまたはTa-Sに対して、精製した酵素E, 分子S, 酵素Eと分子Sの両者, プロテアーゼPを加えたところ、TaにEとSの両者を加えた場合、およびTa-SにPを加えた場合にのみ変化がみられ、それぞれTa-S, Tbを生成した。一方、Eのみ、またはSのみを加えた場合は、変化が見られなかった。Pの基質となるのはTa, Ta-S, Tbのうちどれか、答えよ。

表3—1 TaまたはTa-Sに酵素E, 分子S, 酵素Eと分子S, プロテアーゼPを加えた後に生じるTの種類

Tの種類	加えた精製物			
	E	S	EとS	P
Ta	Ta	Ta	Ta-S	Ta
Ta-S	Ta-S	Ta-S	Ta-S	Tb

E この一連の反応における酵素 E と分子 S の役割を、それぞれ 1 行程度で述べよ。

F 細胞内のオレイン酸の含量を一定に保つしくみが酵母にあると考えた場合、オレイン酸を培地に過剰に加えたときにおこると予想される反応を、以下の(1)～(5)からすべて選べ。

- (1) プロテアーゼ P の活性が高まる。
- (2) 酵素 E の活性が低下する。
- (3) L 遺伝子の伝令 RNA の量が減少する。
- (4) Tb の量が増加する。
- (5) T 遺伝子の伝令 RNA の量が増加する。

II 文2について、以下の小間に答えよ。

A 胞子囊1から得られた完全栄養培地で増殖可能な細胞〔1のイ〕と〔1の二〕(図3—1(d))は、His(-)培地でもLeu(-)培地でも増殖不可能であることから、以下の(1)～(4)のどの遺伝子型をもつと考えられるか。それぞれについて、〔1のイ〕～(5)のように答えよ。

- (1) TR
- (2) Tr
- (3) tR
- (4) tr

B 胞子囊1の結果のみを考慮したとき(胞子囊2の結果は考慮しない)、完全栄養培地での酵母の増殖におけるT遺伝子とR遺伝子の必要性について、考えられる可能性を2行程度で述べよ。

C 胞子囊2からの胞子は、すべて完全栄養培地で増殖できたが、His(-)培地とLeu(-)培地に植え継ぐと、いずれか片側の培地でしか増殖できなかつた。このことから胞子囊2に由来する細胞のうち、〔2のイ〕と〔2の口〕は、以下の(1)～(4)のどの遺伝子型をもつと考えられるか。それぞれについて、〔2のイ〕～(5)のように答えよ。

- (1) TR
- (2) Tr
- (3) tR
- (4) tr

D 胞子囊1の結果に加えて、胞子囊2の結果をあわせて考えたとき、完全栄養培地での酵母の増殖におけるT遺伝子とR遺伝子の必要性について、考えられる可能性を1行程度で述べよ。

地 学

第1問 地球から星や銀河などの天体までの距離を測る方法に関連して、次の問Ⅰ～Ⅲに答えよ。

問Ⅰ 比較的近い星に対しては年周視差を用いて距離を求めることができる。星Aの年周視差が $0.05''$ のとき、この星までの距離は何パーセクであるか答えよ。
ただし、””は角度の単位で秒をあらわす。

問Ⅱ セファイド型(ケフェウス型)変光星には種族Ⅰと種族Ⅱに属するものがあり、それぞれの変光周期と絶対等級の間には図1のような関係がある。また星の絶対等級 M 、見かけの等級 m と距離 d [パーセク]の間には、

$$M = m + 5 - \boxed{\alpha} \times \log_{10} d$$

という式が成り立つ。なお、絶対等級とは天体を10パーセクの距離におき直したときの等級である。以下の(1)～(5)に答えよ。

(注) 種族Ⅱのセファイド型変光星は、おとめ座W型変光星とも呼ばれる。

(1) 上式の空欄 ア に入る適切な数字を記せ。

(2) 種族Ⅰに属するセファイド型変光星Bは年周視差が $0.01''$ で、見かけの等級が1等である。変光星Bの変光周期[日]を最も近い整数値で答えよ。

(3) 周期21日、見かけの等級が12.4等のセファイド型変光星Cが10000パーセクの距離にある。どちらの種族に属するか、計算過程とともに1行程度で記せ。

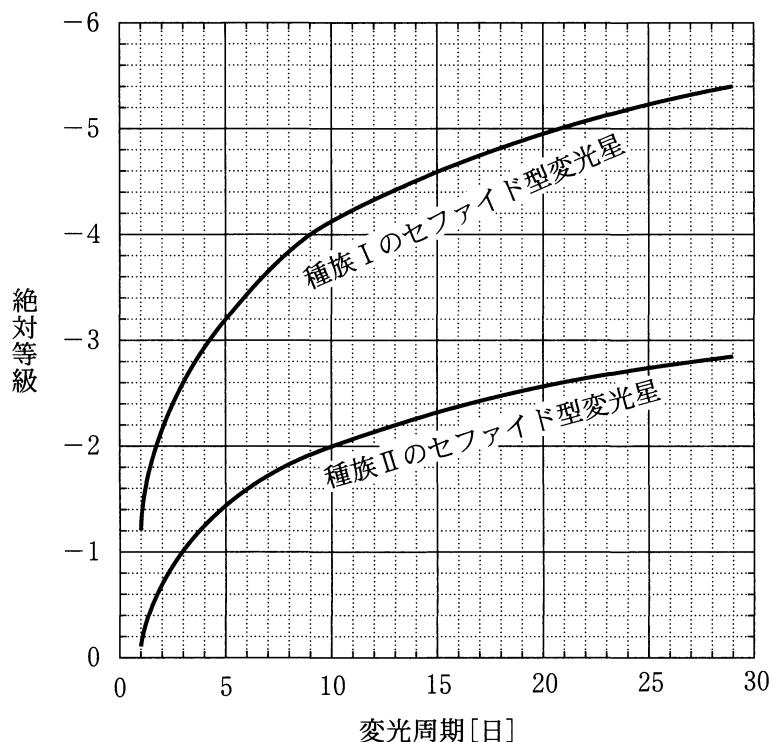


図1 セファイド型変光星の周期光度関係

(4) 前問(3)のセファイド型変光星Cが属する種族の星の特徴としてあてはまるものを以下の(a)～(e)の中からすべて選べ。

- (a) 太陽と同じ種族である。
- (b) 銀河形成と同じ頃に誕生した古い星である。
- (c) 散開星団に属している。
- (d) 球状星団に属している。
- (e) 銀河の円盤部に多い。

(5) 種族Ⅱの星は種族Ⅰの星と比べてヘリウムより重い元素の割合が少ない。

その理由を2行程度で述べよ。

問Ⅲ 銀河までの距離を測る方法を1つあげ、その原理を1～2行で説明せよ。ただし、年周視差および変光星の周期光度関係を用いる方法を除く。

第2問 大気海洋のエネルギー輸送、高さ構造に関する以下の問Ⅰ～Ⅲに答えよ。

問Ⅰ 図2—1は、ある日の静止気象衛星「ひまわり」の赤外画像である。温度が低い雲ほど、色がより白く写っている。領域Aの雲の温度は領域Bの雲の温度より低い。以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 領域Aと領域Bの雲の高度はどちらが高いか。理由をつけて1～2行程度で答えよ。
- (2) 領域Aと領域Bの雲から宇宙空間に向けて放出される単位面積当たりの赤外放射の強度はどちらが大きいか。理由をつけて1～2行程度で答えよ。
- (3) 図2—1の雲がない場所での単位面積当たりの赤外放射の強度はどのような要因によって決まるか。1～2行程度で答えよ。

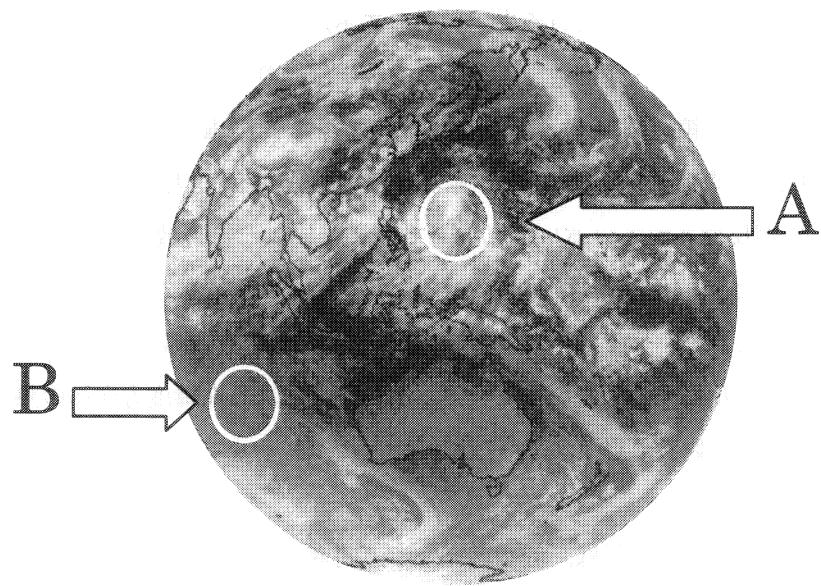


図2—1 静止気象衛星「ひまわり」による赤外画像

問Ⅱ 地球によって吸収される太陽放射のエネルギー量と地球から放出される赤外放射のエネルギー量は地球全体でみるとほぼつりあっている。地球大気の上端での太陽光線に垂直な面上で受けるエネルギー(太陽定数)は 1.37 kW/m^2 であり、地球全体で平均すると雲や地表面などにより太陽放射エネルギーの 30% が反射されている。大気上端での太陽放射と赤外放射を年平均・東西平均すると、緯度 37 度より低緯度では太陽放射の方が赤外放射より大きく、逆にこれより高緯度では赤外放射の方が太陽放射より大きい。このような緯度方向のエネルギー流入量の差は大気および海洋による高緯度方向への熱輸送により補われている。以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 大気中の水蒸気は、低緯度では赤道向きに輸送されている。大気中の低緯度での水蒸気輸送、降水分布、大気の循環の関係を 2 行程度で説明せよ。
- (2) 地球全体で平均したときに、大気中の水蒸気が凝結する際に放出される潜熱は、地球から放出される赤外放射のエネルギー量の 3 分の 1 であるとする。地球全体で平均した降水量は 1 日あたり何 mm か、有効数字 1 桁で求めよ。単位質量の水の潜熱を $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ 、水の密度を $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。途中の計算過程もあわせて示せ。

(3) 図2—2は海洋全体での北向き熱輸送量と緯度との関係を描いたものである。この熱輸送は大気と海洋の間の熱交換と密接に関係する。海面において、海洋が放出する熱量が吸収する熱量を上回るのはどの緯度の範囲か答えよ。ただし、海底では熱の出入りが存在しないものとする。また、南緯75度より南には海洋はない。

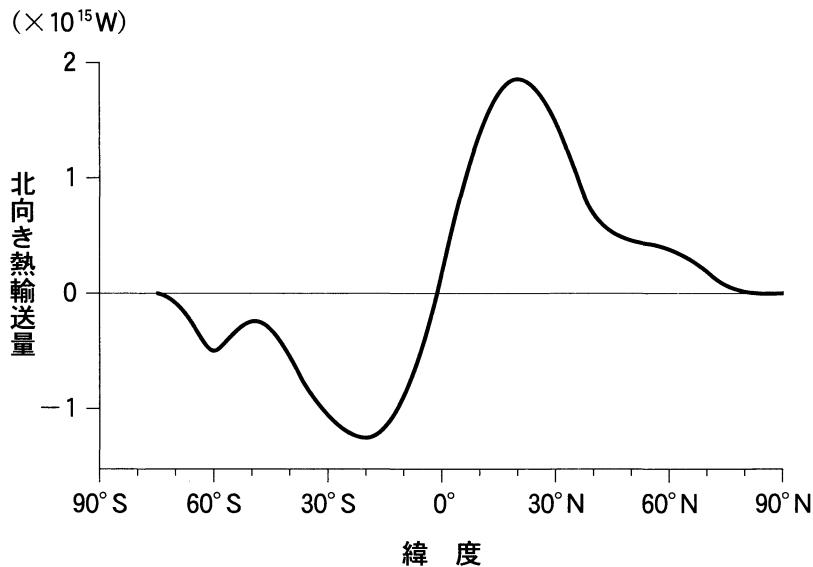


図2—2 海洋全体での北向き熱輸送量の緯度分布

問Ⅲ 雲底の高度は地上付近の大気の温度や湿度に大きく影響される。図2—3のように地面付近にある温度 T_a [°C]、露点 T_d [°C] の空気塊が上昇すると、乾燥断熱減率に従って 100 mにつき 1 °C という一定の割合で温度が下がり、水蒸気が飽和に達すると雲ができるはじめる。しかしその高度 h [m] は空気塊の温度が T_d [°C] まで下がる高度 $h_0 = 100(T_a - T_d)$ [m] より高くなる。以下の(1)と(2)に答えよ。

- (1) 空気塊が上昇して気圧が下がると、それに比例して水蒸気圧も下がる。地面付近の空気塊の気圧を p [Pa]、水蒸気圧を e [Pa]、地面から高度 h [m] の間の空気の平均密度を ρ [kg/m³]、重力加速度を g [m/秒²]として、空気塊が高度 h [m] まで上昇したときの水蒸気圧を p, h, ρ, g, e で表せ。
- (2) 空気塊が上昇すると、水蒸気圧とともに露点も下がる。露点が高度とともに下がる割合が一定であるとすれば、雲底高度 h [m] と T_a [°C], T_d [°C] の間には $h = A(T_a - T_d)$ [m] という関係が成り立つ。空気塊が 500 m 上昇するごとに露点が 1 °C 下がるものとして、 A [m/°C] の値を求めよ。途中の計算過程もあわせて示せ。

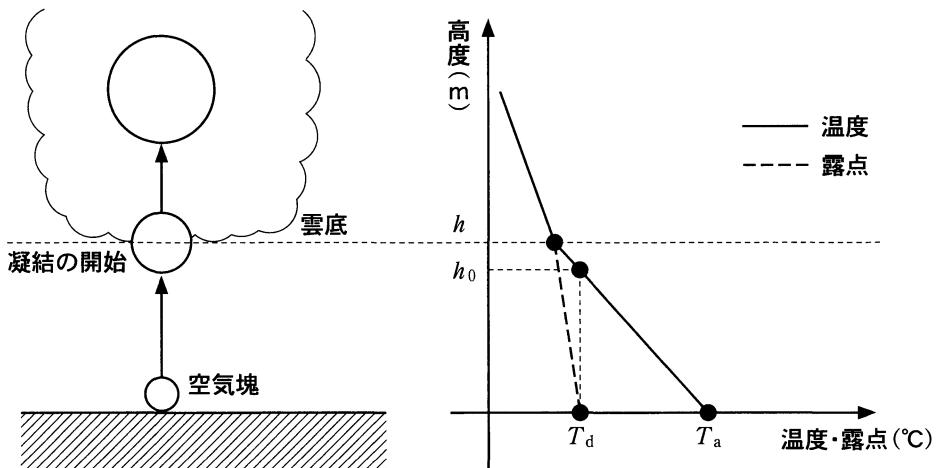


図 2—3 地面付近の空気が断熱的に上昇し、飽和に達して雲を作る様子と、
そのときの空気塊の温度と露点の変化

第3問 図3—1は日本のある地域における地質図である。地層Aは、図3—2の露頭断面スケッチに示されるような見かけを呈し、色は黒色であった。図3—2のaの部分を顕微鏡で観察すると、図3—3のようであった。地層Bは、赤色の層状チャートからなっていた。地層Cは、灰色のケイ質な泥岩からなり、その上部には、砂岩、れき岩や凝灰岩の薄層がしばしばはさまれ、れき岩中には、花こう岩や安山岩のれきが見られた。地層Dは砂岩からなり、標高250mより高い所に分布していた。以下の問I～VIに答えよ。

問I 図3—3をもとに、地層Aを構成する岩石名を答えよ。

問II 図3—2のbの部分についても薄片で観察すると、aに比べてbの方が石基を構成するガラスの割合が大きく、石基中の斜長石の結晶の大きさが小さかつた。こうした違いは、どういう理由で生じたものか。1行程度で説明せよ。

問III 図3—2に示される地層Aを構成する岩石が示す構造を何と呼ぶか。また、地層Aは、どのような場所で堆積したと考えられるか。根拠も含めて1～2行程度で説明せよ。

問IV 地層AとBの境界、地層BとCの境界の走向および傾斜をそれぞれ5度単位で答えよ。

問V 図3—1のX地点で掘削を行った。掘削を進めることによって見出されることが期待される地層境界とその地表からの深度を、上から順に50m単位で答えよ。

問VI 地層Aの放射年代は、約2億年前を示した。地層Bの基底部からは三畳紀末(約2億年前)の放散虫化石が、地層Bの最上部からはジュラ紀末(約1億5千万年前)の放散虫化石が発見された。地層Cの上部にはさまれるれき岩中に花こう岩や安山岩のれきがしばしば見られ、凝灰岩の放射年代は、約1億4千万年前を示した。これらの情報をもとに、地層Aから地層Cにかけてその堆積環境がどう変遷したか、またその原因は何か、プレートテクトニクスの視点を入れて3行程度で説明せよ。

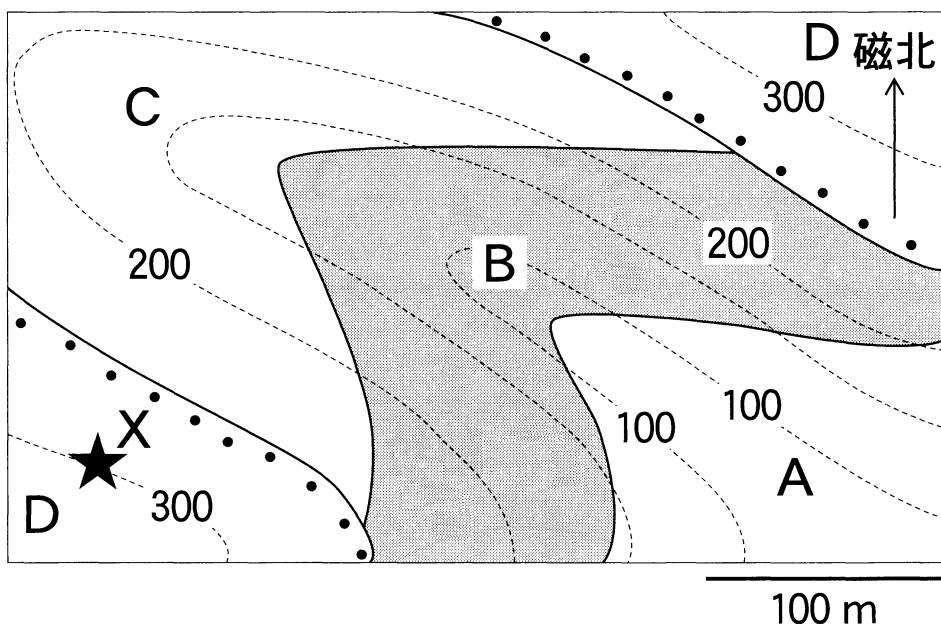


図3—1 日本のある地域の地質図。破線は50m間隔の等高線を示している。実線は地層の境界を表わす。★印はX地点を表す。

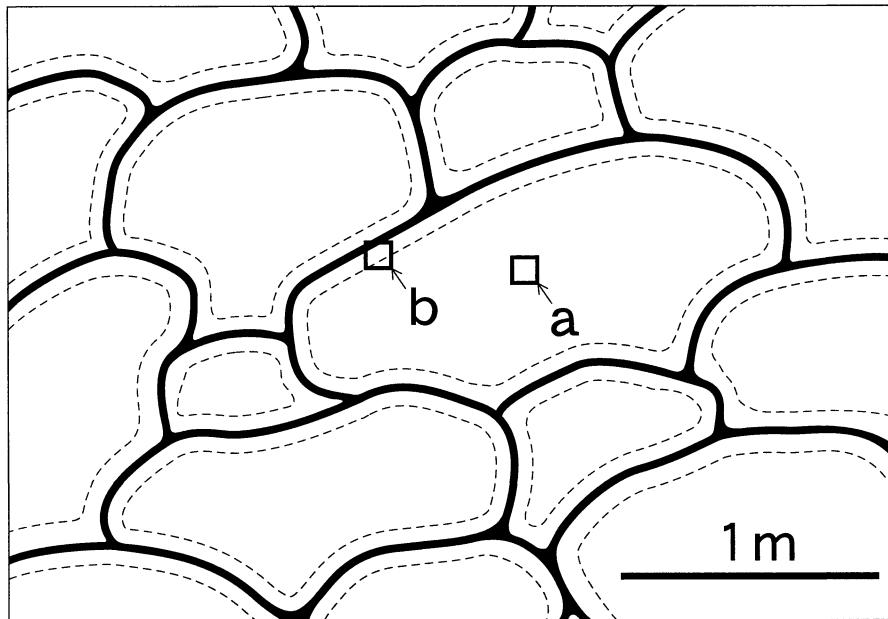


図3—2 地層Aの露頭断面スケッチ

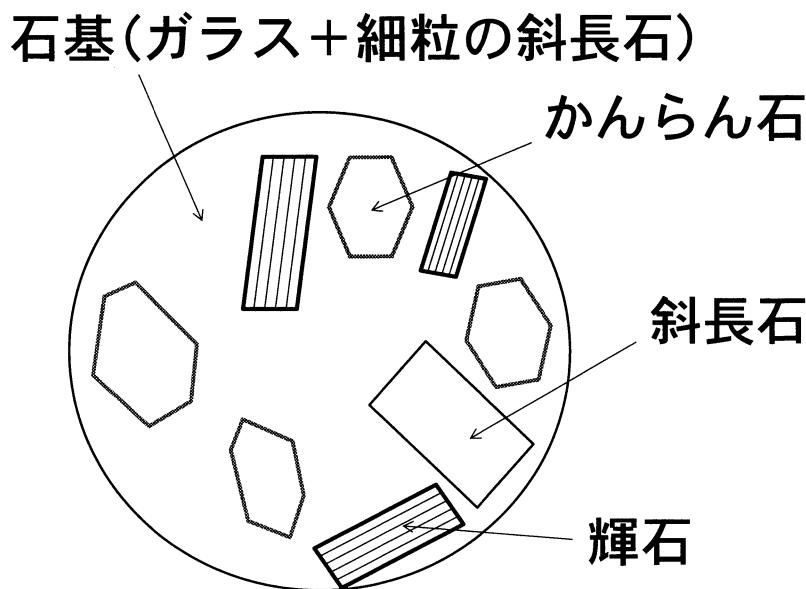


図3—3 図3—2のaの部分から採取した試料の薄片の模式的スケッチ