

令和5年度 前期日程
入学者選抜学力検査問題

理 科

[注 意]

- 1 机上に受験票を提示しておくこと。
- 2 監督者の指示があるまで、この冊子を開けてはいけない。
- 3 この冊子の問題は余白を入れて49ページからなっている。
- 4 この冊子に落丁・乱丁、印刷不鮮明な箇所があれば、手をあげて申し出ること。
- 5 生命分子化学科、農学生命科学科、食保健学科、環境・情報科学科および森林科学科の受験生は2科目を選択し、環境デザイン学科の受験生は1科目を選択し、解答すること。
- 6 1科目の配点は100点である。ただし、生命分子化学科、食保健学科、環境・情報科学科および環境デザイン学科においては2倍し、200点とする。また、農学生命科学科および森林科学科においては1.5倍し、150点とする。
- 7 選択した科目の解答用紙すべてに受験番号・氏名を必ず記入すること。解答用紙は、物理2枚、化学5枚、生物は3枚に分かれている。受験番号・氏名が記載されていない答案は無効となる場合がある。
- 8 解答は必ず別紙の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
- 9 字数制限のある解答には、句読点や括弧なども字数に含める。
- 10 試験時間中の退室は認めない。
- 11 選択した科目の解答用紙は解答記入の有無にかかわらず持ち帰ってはいけない。
- 12 問題冊子および選択しなかった科目の解答用紙は、持ち帰ること。

令和5年度 前期日程 入学者選抜学力検査問題

理科 正誤表

<化学>

問題

5【1】

問2：2行目～3行目

誤：「ただし，地球上の標準大気圧 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) における窒素の水に対する溶解度 (20°C) は， $6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ である。」

正：「ただし，窒素の分圧が $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のときの，窒素の水に対する溶解度 (20°C) は， $6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ とする。」

令和5年度 前期日程 入学者選抜学力検査問題

理科 正誤表

<生物>

問題

3

問4：1行目

誤：「何分子のナトリウムイオンと何分子のカリウムイオン・・・」

正：「何個のナトリウムイオンと何個のカリウムイオン・・・」

図2の説明：下から2行目

誤：「1分子のナトリウムイオンを・・・、2分子の水素イオン・・・」

正：「1個のナトリウムイオンを・・・、2個の水素イオン・・・」

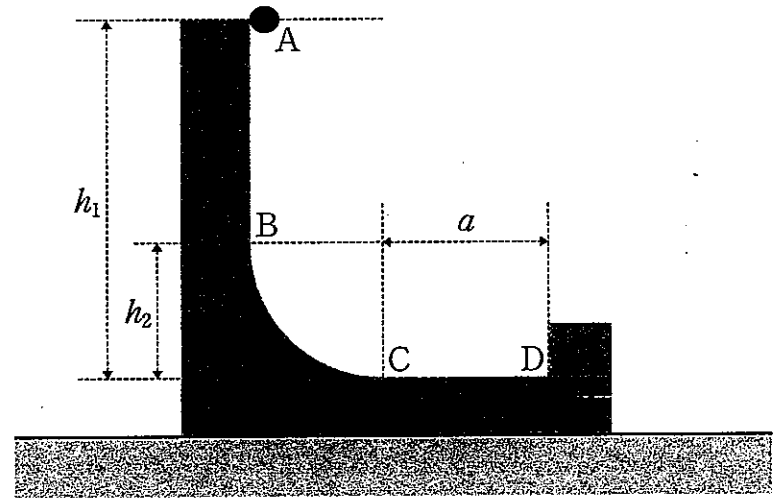
物 理

1 次の文章を読み、(1)～(5)に答えよ。

(25点)

なめらかで水平な床の上に、図のような質量 M [kg] の台が静止している。台上の点 $A \sim D$ は鉛直な同一平面内にあり、点 A から点 B にかけて鉛直、点 B から点 C にかけてなめらかな曲面が続き、点 C から点 D にかけて水平となっている。点 A, B はそれぞれ曲面の最下点 C より h_1, h_2 [m] の高さであり、 CD 間の距離は a [m] である。

点 A で質量 m [kg] の小球を静かにはなした。小球は点 B と点 C を通過して点 D にある鉛直な壁に衝突してはね返り、点 C と点 B を再び通過してある高さの最高点まで到達した。この間、小球は台から離れることなく点 $A \sim D$ を含む鉛直な同一平面内のみを運動した。小球と台、および台と床の間には摩擦はないものとし、重力加速度の大きさを g [m/s²]、点 D にある壁と小球のはね返り係数を e とする。また、以下で求める小球と台の速さは、床に対する速さとする。



- (1) 小球が最初に点 B を通過するときの小球の速さ v_B [m/s] を g, h_1, h_2 を用いて表せ。
- (2) 小球が最初に点 C を通過するときの小球の速さ v_C [m/s] と台の速さ V_C [m/s] をそれぞれ g, h_1, M, m を用いて表せ。

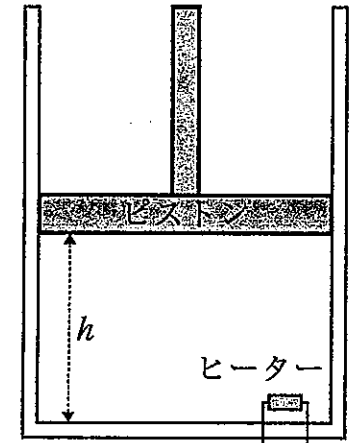
- (3) 小球が点 C を通過してから点 D に到達するまでの時間 t [s] を g, h_1, M, m, a を用いて表せ。
- (4) 小球が点 D にある壁と衝突した直後の小球の速さ v_D [m/s] と台の速さ V_D [m/s] をそれぞれ g, h_1, M, m, e を用いて表せ。
- (5) 小球が曲面を上がり点 B を超えて最高点に達したときの、小球の点 C からの高さ h_3 [m] を g, h_1, M, m, e のうち必要なものを用いて表せ。

(余 白)

2 次の文章を読み、(1) ~ (6) に答えよ。

(25 点)

図のように大気中に鉛直に置かれた断面積 S [m²] の容器に、同じ断面積で質量 M [kg] のピストンがついており、そのピストンはなめらかに動く。また、この容器とピストンは断熱材でできており、ヒーターによって容器内の気体に熱を加えることができる。ヒーターの体積や熱容量は無視する。この容器に理想気体を封入した結果、ピストンの高さは h [m]、温度は T [K] となった (状態 I)。気体定数を R [J/(mol·K)]、重力加速度の大きさを g [m/s²]、大気圧を P_0 [Pa] とする。



- (1) 状態 I における気体の圧力 P [Pa] を S , M , h , T , R , g , P_0 のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 封入されている理想気体の物質量 n [mol] を S , M , h , T , R , g , P_0 のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) ヒーターによって気体をゆっくり加熱したところ、気体の温度は T' [K] となった (状態 II)。このときのピストンの高さ h' [m] を h , T , T' を用いて表せ。
- (4) 状態変化 I → II の間に気体がした仕事 W [J] を n , R , T , T' を用いて表せ。
- (5) 状態変化 I → II の間に気体に与えた熱量を Q [J] とする。この間の気体の内部エネルギーの変化 ΔU [J] を W と Q を用いて表せ。
- (6) 定積モル比熱 C_V [J/(mol·K)] と定圧モル比熱 C_P [J/(mol·K)] との間に成り立つ式 (マイヤーの関係またはマイヤーの式) を (4) および (5) の結果を用いて求めよ。なお、この気体は単原子分子理想気体とは限らないことに注意せよ。

(余 白)

3 次の文章を読み、(1) ~ (5) に答えよ。

(25点)

音源と閉管と弦を使って、音波に関する実験を行った。

まず、図1のように、閉管の開口端の近くで音源から振動数 f [Hz] の音を出して共鳴させた。同時に、音波の波形に影響を与えない小さなマイクロホンを管内で移動させて、管内の音の大きさを調べた。マイクロホンが検知した音が極小になったのは、開口端の近くを除いて、開口端からの距離 x [m] ($x > 0$) が x_1 と x_2 ($x_2 > x_1$) の2か所のみであった。このマイクロホンは空気の疎密変化が大きいときに大きな音であると検知するものとする。

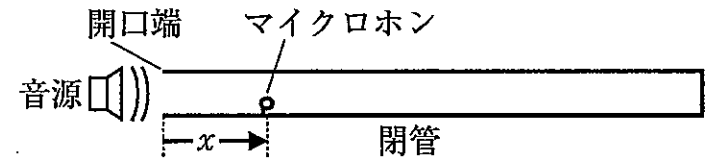


図1

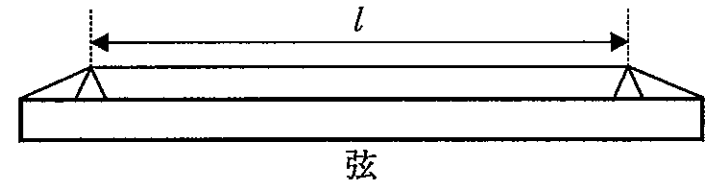


図2

- (1) この閉管内の気柱は何倍振動しているか、答えよ。
- (2) 管内の空気中の音速 V [m/s] を f , x_1 , x_2 を用いて表せ。

次に、図2に示す長さ l [m] の弦を2倍振動させた。これと同時に音源から振動数 f の音を出すと、毎秒 n 回のうなりが生じた。また、音源からの音を止めたあと、この2倍振動している弦を図1の閉管の開口端付近に近づけると共鳴しなかったが、2倍振動を保ちながら弦の長さを少しずつ変えていくと、弦の長さが $l + \Delta l$ [m] ($\Delta l > 0$) となったとき、閉管内の気柱が共鳴した。ただし、弦の長さを変えても弦を伝わる波の速さは変わらないものとする。

- (3) 長さ l で2倍振動している弦から出ている音の振動数 F [Hz] を f , n を用いて表せ。

(4) Δl を f , n , l を用いて表せ。

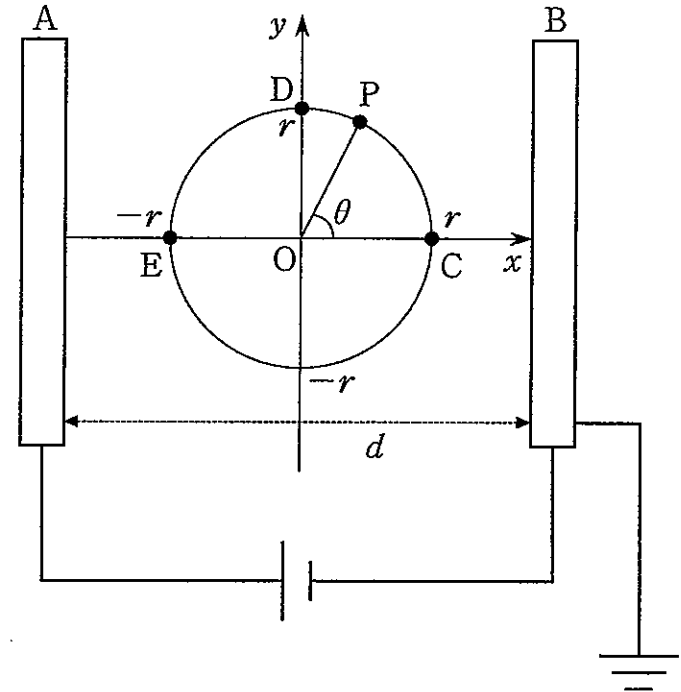
閉管内の空気の温度が少し変化して、長さ $l + \Delta l$ の 2 倍振動している弦と共鳴しなくなった。そこで、2 倍振動を保ちながら弦の長さをもとの l とすると、再び共鳴するようになった。

(5) このとき、閉管内の空気の温度は上昇したのか、それとも下降したのか、理由とともに答えよ。

4 次の文章を読み、(1) ~ (5) に答えよ。

(25 点)

図のように同じ形の十分に広くて薄い2枚の金属板 A, B を距離 d [m] 離して平行に置き, B を接地してから直流電源に接続し, AB 間に電圧 V [V] を加えた。その結果, AB 間に一様な電場 (電界) が形成された。ここで, 図のように x 軸が金属板 A に垂直になるよう xy 平面をとり, A から距離 $\frac{d}{2}$ 離れた点を座標の原点 O とする。また, 金属板 B の電位を 0 とする。金属板の端の影響はないものとし, 座標の単位はメートル [m] とする。



- (1) x 軸上の点 $C(r, 0)$ ($0 < r < \frac{d}{2}$) と y 軸上の点 $D(0, r)$ の電位をそれぞれ V, d, r のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 点 C に, q [C] ($q > 0$) の電気量を持つ荷電粒子 Q を置いた。 Q が電場から受ける静電気力の大きさを V, d, q を用いて表せ。また, 静電気力の向きを答えよ。なお, 電気量 q は十分小さく, 金属板 A, B の電荷分布を変えないものとする。
- (3) 荷電粒子 Q を xy 平面上で, 原点 O を中心とする半径 r の円周に沿って点 C から点 D までゆっくりと動かした。このときに必要な仕事 W_D [J] を V, d, r, q を用いて表せ。

- (4) 荷電粒子 Q を、上問 (3) と同様に O を中心とする半径 r の円周に沿って点 C から点 D を経由して点 $E (-r, 0)$ までゆっくりと動かした。この過程において、点 P を OP と x 軸のなす角が θ [rad] となるような円周上の点とする ($0 \leq \theta \leq \pi$)。また、点 P における電位を V_P [V]、点 C から点 P まで荷電粒子 Q を動かすのに必要な仕事を W_P [J] とする。 θ と V_P 、 θ と W_P の関係を表すグラフを $0 \leq \theta \leq \pi$ の範囲でそれぞれ描け。
- (5) 上問 (4) で点 E に移動させた荷電粒子 Q を静かにはなしたところ、静電気力によって運動を開始した。運動を開始して時間 t [s] 経過後の、荷電粒子 Q の x 座標 x_t と速さ v_t [m/s] をそれぞれ求めよ。なお、荷電粒子 Q の質量を m [kg] とし、時間 t が経過する間に Q は金属板に衝突しないものとする。

化 学

必要があれば、次の数値を用いよ。

原子量 水素 1.0, 炭素 12.0, 窒素 14.0, 酸素 16.0, 硫黄 32.0, 銅 64.0

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 標準状態における気体のモル体積: 22.4 L/mol

水のイオン積 $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$

$\sqrt{2.3} = 1.52$, $\log_{10} 6.58 = 0.818$

1 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

(24点)

水酸化ナトリウム、水酸化カルシウム、アンモニアなどの水溶液は、酸と反応して酸性を打ち消す、赤色のリトマス紙を青色に変えるなどの共通の性質を示す。このような性質を塩基性という。

問1 水酸化ナトリウムに関する以下の文章 (ア) ~ (カ) の中から誤っているものを2つ選び、その記号を答えよ。

- (ア) 水酸化ナトリウムの固体を空气中に放置すると空气中的水分を吸収して溶ける。このような現象を風解という。
- (イ) 二酸化ケイ素を水酸化ナトリウムとともに加熱すると、ケイ酸ナトリウムを生じる。
- (ウ) アルミニウムイオンを含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、水酸化アルミニウムの白色沈殿が生じ、さらに過剰に加えると無色透明になる。

- (エ) 鉄(Ⅲ)イオンを含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、水酸化鉄(Ⅲ)の赤褐色沈殿が生じ、さらに過剰に加えても変化は見られない。
- (オ) 銅(Ⅱ)イオンを含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、水酸化銅(Ⅱ)の青白色沈殿が生じ、さらに過剰に加えると青色透明になる。
- (カ) 銀イオンを含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、酸化銀の褐色沈殿が生じ、さらに過剰に加えても変化は見られない。

問2 水酸化ナトリウム水溶液を用いて希塩酸を中和したところ、反応熱は 56.5 kJ/mol であった。また、直接、固体の水酸化ナトリウムと希塩酸を反応させた時の反応熱は 101.0 kJ/mol であった。固体の水酸化ナトリウムを水に溶解させる時の溶解熱 $[\text{kJ/mol}]$ を算出せよ。なお、解答には考え方や計算式も示せ。

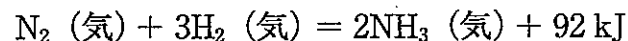
問3 薄い水酸化ナトリウム水溶液は、水を電気分解する際に用いられる。

- (1) 水酸化ナトリウム水溶液を電気分解したときの陰極及び陽極で起こる反応を、電子 e^- を使ったイオン反応式で示せ。
- (2) この電気分解を 1.00 A の電流で3分13秒間行った時に、陰極において発生する気体の標準状態での体積 $[\text{mL}]$ を有効数字3桁で答えよ。なお、解答には考え方や計算式も示せ。

問4 カルシウムに関する以下の文章 (ア) ～ (エ) の中から誤っているものを1つ選び、その記号を答えよ。

- (ア) 金属カルシウムの水との反応性 (反応のしやすさ) は、金属バリウムの水との反応性より高い。
- (イ) 酸化カルシウムに水を加えると、発熱しながら反応し、水酸化カルシウムになる。
- (ウ) 水酸化カルシウム水溶液に二酸化炭素を通じると、炭酸カルシウムの沈殿を生じて白濁する。
- (エ) 水酸化カルシウムと塩化アンモニウムの混合物を加熱して発生する気体を、乾燥剤を通した後、上方置換で捕集することによりアンモニアが得られる。

問5 アンモニアは工業的には Fe_3O_4 を主成分とした触媒を用いて、窒素と水素から直接合成される。アンモニアの合成反応は発熱反応であり、可逆反応である。



この反応において、右向きに平衡が移動する条件として適切なものを、以下の文章 (ア) ～ (エ) の中から1つ選び、その記号を答えよ。

- (ア) 圧力を高くして、高温で反応させる。
- (イ) 圧力を高くして、低温で反応させる。
- (ウ) 圧力を低くして、高温で反応させる。
- (エ) 圧力を低くして、低温で反応させる。

問6 アンモニアは水溶液中では一部の分子のみがアンモニウムイオンとなり、残りの大部分は分子としてそのまま存在している。

(1) アンモニアは電離定数が 2.30×10^{-5} mol/L であるとして、0.100 mol/L のアンモニアの水溶液の電離度 α を算出せよ。

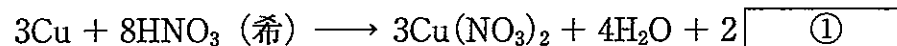
なお、電離度 α は十分に小さいため $1 - \alpha \doteq 1$ と近似し、解答には考え方や計算式も示せ。

(2) この 0.100 mol/L のアンモニアの水溶液の pH を小数第 1 位まで算出せよ。なお、解答には考え方や計算式も示せ。

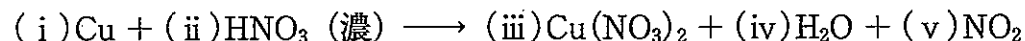
2 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

(14点)

銅は塩酸や希硫酸とは反応しないが、酸化力の強い硝酸や熱濃硫酸とは反応する。しかし、ア) 希硝酸と濃硝酸とでは反応が異なり、希硝酸とは、以下のように反応する。



それに対し、濃硝酸との反応は次の通りである。



一方、銅に熱濃硫酸を反応させると硫酸銅(Ⅱ)が生じるが、硫酸銅(Ⅱ)水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えると、青白色の沈殿が生じる。さらに、この沈殿を空気中で加熱すると、イ) 黒色の物質に変化する。

また、硫酸銅(Ⅱ)の結晶である硫酸銅(Ⅱ)五水和物($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)は青色であるが、その結晶を加熱すると段階的に水和水を失い、最終的には白色粉末の無水塩に変化する。いま、ウ) 硫酸銅(Ⅱ)五水和物($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 500 gを、115℃で十分な時間加熱すると、結晶の色は淡青色に変化し、その時の質量は356 gとなり、それ以上変化しなかった。

次に、エ) 質量パーセント濃度が25%の硫酸銅(Ⅱ)水溶液100 gを作り、20℃まで冷却すると、硫酸銅(Ⅱ)五水和物($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)の青色結晶が析出した。20℃での硫酸銅(Ⅱ)(CuSO_4)の水への溶解度は、20であることがわかっている。

問1 下線部ア) について、以下の (1) および (2) に答えよ。

(1) ①に入る物質の化学式を答えよ。

(2) 銅と濃硝酸との化学反応式の係数 (i) ~ (v) を求めよ。

問2 下線部イ) の物質の化学式を答えよ。

問3 下線部ウ) について、このとき、硫酸銅 (II) 五水和物 1 mol につき、失われた水和水の物質質量 [mol] を、整数で答えよ。

また、加熱後に残った物質の化学式を答えよ。なお、解答には考え方や計算式も示せ。

問4 下線部エ) について、このとき、析出した硫酸銅 (II) 五水和物 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) の質量 [g] を、有効数字 3 桁で答えよ。

なお、解答には考え方や計算式も示せ。

3 次の文章【I】および【II】を読み、問1～問6に答えよ。

(24点)

【I】 化合物 A と化合物 B から化合物 C が生成する化学反応、 $aA + bB \rightarrow cC$ がある (a, b, c は係数)。化合物 A と化合物 B の濃度を変え、異なる温度で反応初期の化合物 C の生成速度 v を求める実験 1～5 を行ったところ、下表の結果が得られた。

	A の初期濃度 [mol/L]	B の初期濃度 [mol/L]	C の生成速度 [mol/(L·s)]	温度 [K]
実験 1	0.20	0.20	2.0×10^{-3}	300
実験 2	0.60	0.20	1.8×10^{-2}	300
実験 3	0.20	0.40	4.0×10^{-3}	300
実験 4	0.20	0.20	4.0×10^{-3}	310
実験 5	0.20	0.20	3.2×10^{-2}	340

問 1 反応速度定数を k 、化合物 A、B の濃度をそれぞれ $[A]$ 、 $[B]$ として、この反応の反応速度式を書け。なお、解答には考え方も示せ。

問 2 300 K での反応における反応速度定数 k を有効数字 2 桁で単位とともに答えよ。なお、解答には考え方と計算式も示せ。

問3 温度を 330 K にしたときの化合物 C の生成速度と反応速度定数 k を、有効数字 2 桁で単位とともに答えよ。なお、化合物 A, B の初期濃度は実験 1 と同じとする。解答には考え方と計算式も示せ。

【II】 次の実験 1～3 を行った。ただし、水溶液の温度は一定であるとする。

実験 1 0.1 mol/L 亜鉛イオン水溶液が (ア), 硫化水素を通じると沈殿を生じた。

実験 2 0.1 mol/L 亜鉛イオンと 0.1 mol/L 銅 (II) イオンの混合水溶液が (イ), 硫化水素を通じると一種類の化合物である (ウ) の沈殿を生じた。

実験 3 (ウ) の沈殿を、別のビーカーに取り出し、水を加えてよくかき混ぜると、ごく一部が溶解して 2.6×10^{-15} mol/L の飽和水溶液になった。

問 4 (ア) および (イ) に当てはまる適切な語句を次の (a) ～ (c) から選び、記号で答えよ。

(a) 酸性のとき (b) 塩基性のとき (c) 酸性でも塩基性でも

問5 (ウ) の化合物名を答え、その溶解度積を有効数字2桁で単位をつけて答えよ。

問6 実験1の沈殿を別のビーカーに取り出し、水を加えてよくかき混ぜ、飽和水溶液にしたときの濃度として適切な値を次の

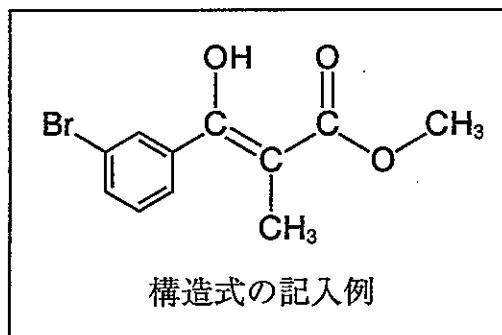
(a) ~ (c) から選び、イオン反応式を用いて理由とともに記号で答えよ。

(a) 6.9×10^{-21} mol/L (b) 2.6×10^{-15} mol/L (c) 1.5×10^{-9} mol/L

(余 白)

4 次の問1～問3に答えよ。なお、化合物の構造式は記入例を参考に示せ。

(21点)



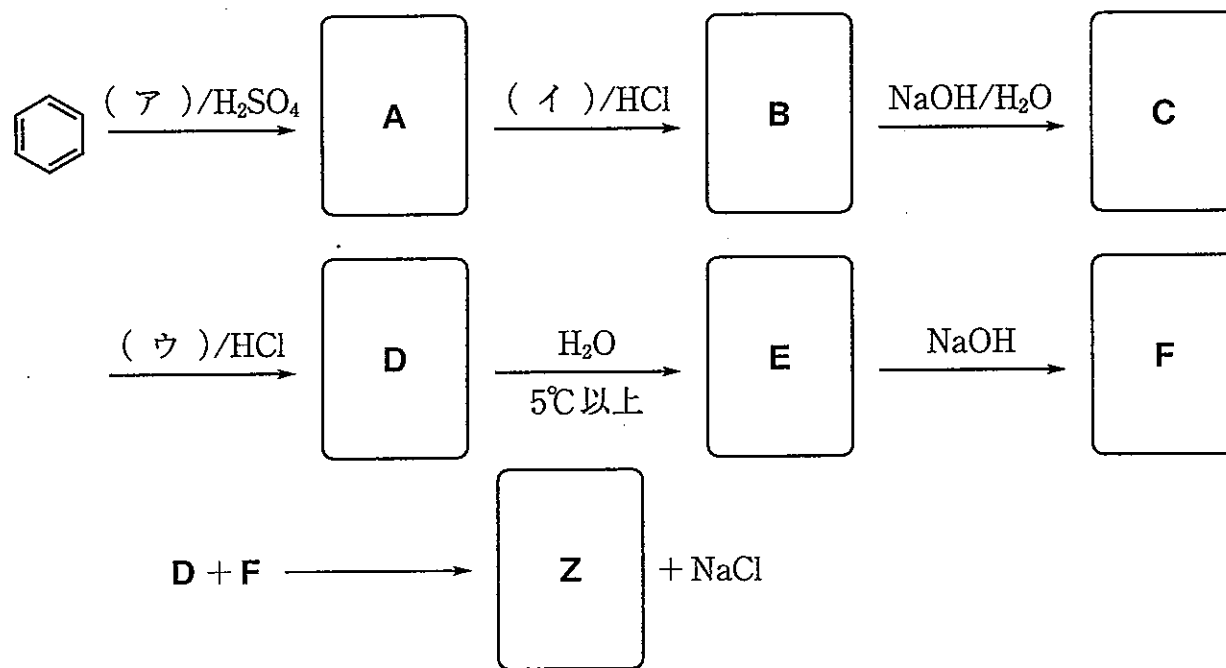
問1 置換基を一つまたは置換基を二つ*p* (パラ) の位置にもち、分子式が $C_8H_{10}O$ で示される芳香族化合物がいくつかある。これらの化合物の中から、以下の性質を示す化合物の構造式を理由とともにすべて示せ。

- (1) ナトリウムと反応しない化合物。
- (2) 水溶液が弱い酸性を示す化合物。
- (3) 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えても呈色せず、また酸化するとテレフタル酸を与える化合物。
- (4) ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加え、緩やかに加熱すると、特有の臭気をもつ黄色沈殿を生じる化合物。

問2 問1の(3)の条件を満たす化合物と問1の(4)の条件を満たす化合物を混合し、そこに濃硫酸を加え 130°C 程度で加熱した。この反応により得られる、 $C_8H_{10}O$ よりも分子量が大きい化合物の構造式を理由とともにすべて示せ。

問3 炭素, 水素, 酸素, 窒素のみからなる分子量が350以下の黄から赤色を示す化合物Zがある。元素分析を行ったところ, その値は炭素72.7%, 水素5.1%, 酸素8.1%であった。

- (1) 化合物Zの組成式を求めよ。なお, 解答には考え方や計算式も示せ。
- (2) 化合物Zは次に示す経路で合成することができる。化合物A~Fおよび化合物Zの構造式を示せ。ただし, 化合物B, DおよびFは塩の構造をもつ化合物である。また, (ア)~(ウ)に入る適切な試薬を, 化学式を用いて示せ。



5 次の文章【I】～【III】を読み、また図1および表1を参考にして、問1～問4に答えよ。(17点)

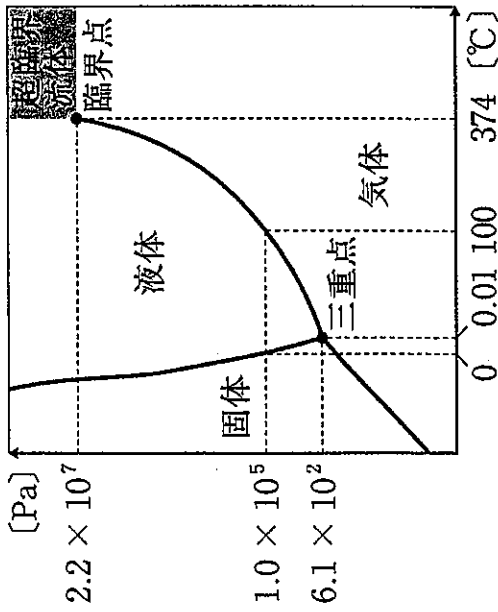


図1 水の状態図

表1 水の蒸気圧

温度 [°C]	0	5	10	20	40	80	100
蒸気圧 [$\times 10^2$ Pa]	6.1	8.7	12.3	23.4	73.8	473.5	1013

【I】 あなたは、人類で初めて火星表面に降り立つことを目指す火星探査隊の一員であり、地球上でそのための訓練を受けている。火星の大気は、二酸化炭素 CO_2 が95%を占め、また2.7%の窒素 N_2 も含まれると推測されている。

問1 容積が20 Lのボンベに二酸化炭素を充填したところ、ボンベの中には10 Lの液体が溜まり、ボンベ内の圧力は5°Cにおいて 4.0×10^6 Paであった。ボンベ内の二酸化炭素をさまざまな目的に利用した結果、ボンベの中の液体の体積は5.0 Lに減少した。このとき、5°Cにおけるボンベ内の圧力として適切な値を次の(a)～(c)から選び、記号で答えよ。また、その圧力を選んだ理由を説明せよ。

- (a) 4.0×10^6 Pa (b) 2.0×10^6 Pa (c) 1.0×10^5 Pa

問2 20℃において、 $5.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ に加圧した火星大気が、1Lの水に接して十分な時間が経過したとする。そのとき、水に溶けている窒素の物質量[mol]を有効数字2桁で求めよ。ただし、地球上の標準大気圧 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) における窒素の水に対する溶解度 (20℃) は、 $6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ である。なお、解答には考え方や計算式も示せ。

【II】 火星に着陸した後、活動に必要な水を得るために、地殻に埋もれている水を探掘し、太陽熱を利用して水を融解する施設を建設することが計画されている。その施設が建てられる地点の大気圧は200 Paと想定されており、施設内は、大気圧と同じ200 Paである。

問3 この施設を利用して、液体の水を得ることはできるか、理由とともに説明せよ。

【III】 火星探査の基地はやや低地に建設する予定であり、その地点では、大気圧は700 Pa、温度は5℃であると想定される。地球上の訓練施設内に火星の基地周辺の気圧と温度を再現し、ビーカーを地面に置いて水を注いでみた。すると、水は激しく沸騰した。

問4 水が激しく沸騰した理由を説明せよ。

生 物

(20点)

1 次の文章を読み、問1～問8に答えよ。

[文章] 図1に示す①プラスミドDNA [図1(A)] および②ゲノムDNA断片 [図1(B)] を用いて、これらを制限酵素で切断する、あるいはPCRで配列の一部を増幅するなどの処理を行った結果生じるDNA断片の長さをアガロース (注1) ゲル電気泳動で確認する実験を行った。両DNAの全長はいずれも13,572 bp (塩基対) であり、プラスミドDNAは図2に示す3様態のうち閉環型の分子のみを含む。制限酵素には③2本鎖DNA上の特定の6塩基対を認識して切断する *Bam*HI および *Kpn*I を用いた。両酵素の認識配列と切断部位を図3に、プラスミドDNAおよびゲノムDNA断片それぞれの制限酵素による切断部位と④PCR増幅に用いた2種類のプライマー (プライマー1およびプライマー2) の結合領域を図1に示した。

(注1: DNA断片の分離および回収を目的に精製された寒天)

問1 下線部①および②のDNAの混合物を下線部③の2種類の制限酵素で処理した後、電気泳動を行った。実験がすべて適切に行われた場合に得られる泳動像として正しいものを図4のレーン1～6の中から1つ選び、番号で答えよ。

問2 下線部①および②のDNAを無処理のまま混合して電気泳動を行った。その結果、両DNAの全長が同じであるにもかかわらず泳動像では2本のバンドが確認された。その理由について、電気泳動の原理にもとづいて150字以内で説明せよ。

(A) プラスミド DNA (環状 DNA : 全長 13,572 bp)

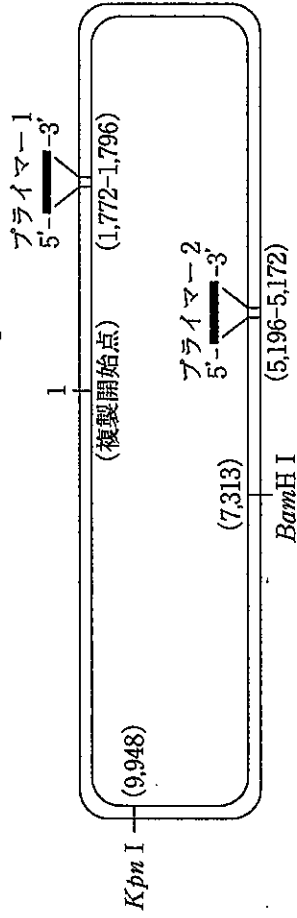
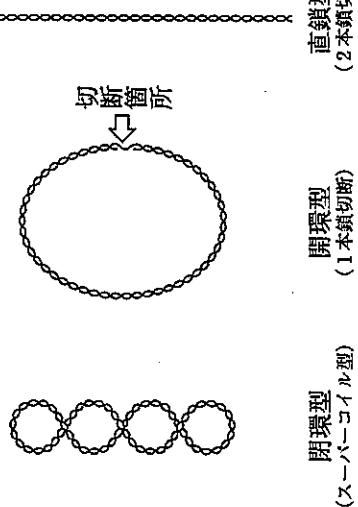
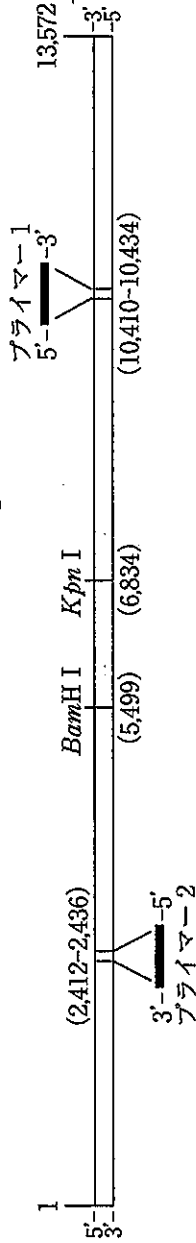


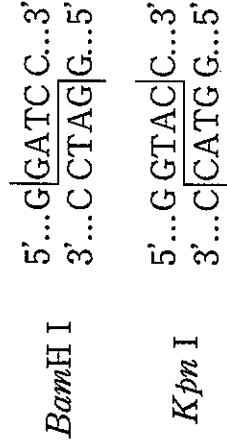
図1 実験に用いた2種類のDNA
図中の数字は複製開始点(プラスミドDNA
の場合)または一方の末端(ゲノムDNAの
場合)を起点として、そこから塩基対数を
示す。2種類の制限酵素による切断サイトお
よびPCR用プライマーの結合領域をそれぞ
れ図中に示した。

(B) ゲノム DNA 断片 (線状 DNA : 全長 13,572bp)



(左) 図2 プラスミド DNA の3 様態
(<https://www.rikelab.jp/tips/7005>
を改変)

(右) 図3 制限酵素 BamH I および
Kpn I の認識配列と切断様式



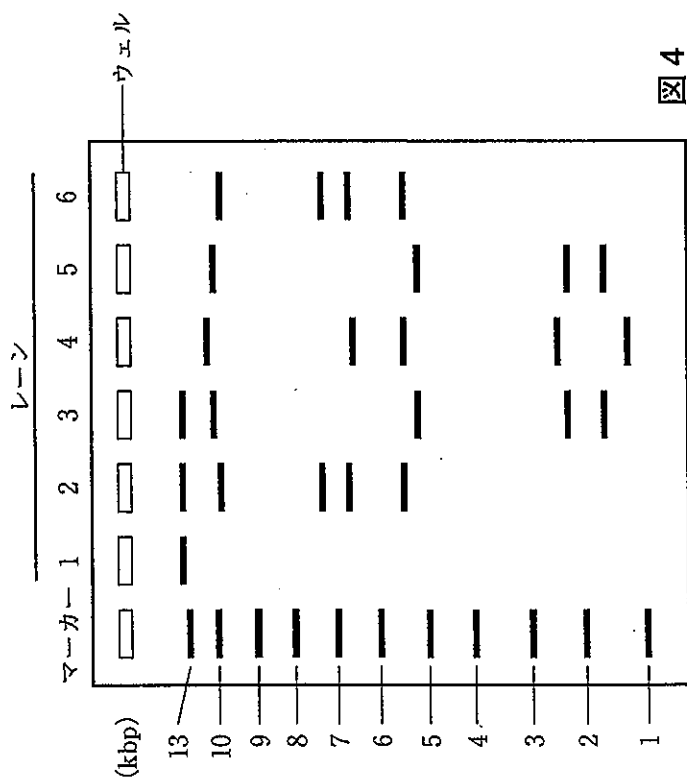


図4

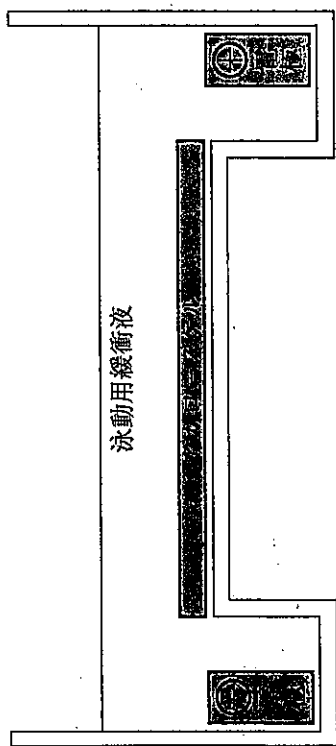


図5 電気泳動槽の断面図

問3 図5の模式図に示した電気泳動槽に、泳動用のアガロースゲルを設置する際の正しい置き方を以下の(a)～(e)から1つ選び、記号で答えよ。また、その理由を30字以内で説明せよ。

- (a) ウェル (DNA 試料を入れるくぼみ) を図の右側にして左向きに泳動されるようにする
- (b) ウェルを図の手前側にして奥向きに泳動されるようにする
- (c) ウェルを図の左側にして右向きに泳動されるようにする
- (d) ウェルを図の奥側にして手前向きに泳動されるようにする
- (e) どの向きに置いても問題はない

問 4 ある生物から抽出した配列未知のゲノム DNA を下線部③の 2 種類の制限酵素で処理した場合、切断部位は何 bp に 1 回出現すると期待されるかを答えよ。ただし、DNA 配列上の各塩基は組成が均等かつランダムに出現するものとする。

問 5 2 人の生徒があるプラスミド DNA を 2 種類の制限酵素で個別に切断して電気泳動で確認する実験を行ったところ、どちらも同じく 40 分間の電気泳動を行ったにもかかわらず生徒 A の泳動像と生徒 B の泳動像には図 6 に示すような違いが現れた。その原因として考えられることの説明として適切なものを以下の (a) ~ (f) から 2 つ選び、記号で答えよ。なお、2 人の生徒が実験に用いた DNA や制限酵素の種類、およびそれらの組み合わせに違いはないものとする。

- (a) ゲルのアガロース濃度が異なった
- (b) ゲルの厚さが異なった
- (c) 反応液に加えたプラスミド DNA の量が異なった
- (d) 反応液に加えた制限酵素の量が異なった
- (e) 泳動の際に加える電圧が異なった
- (f) 泳動方向が異なった

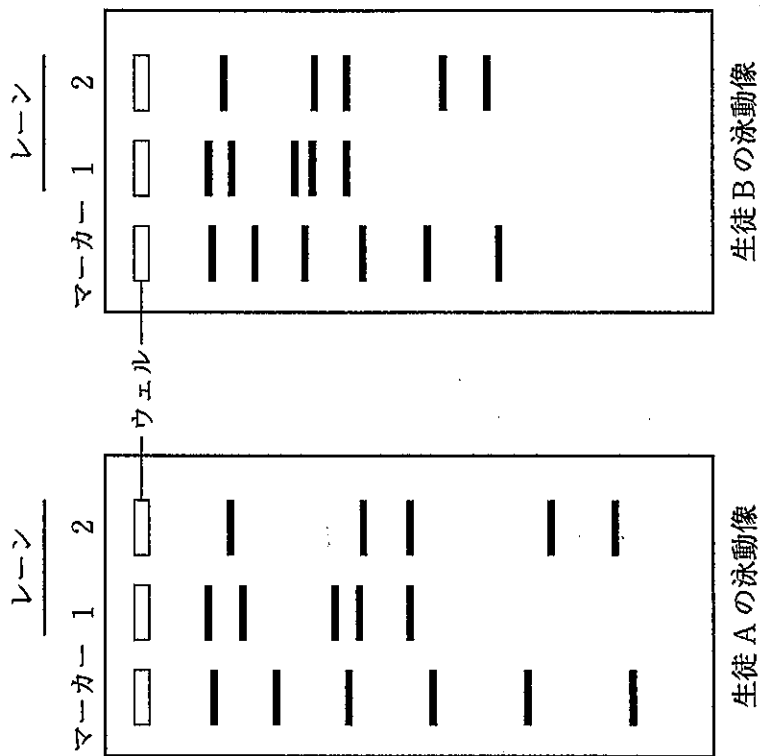


図 6

問6 下線部④の2種類のプライマーを用いて下線部①および②のDNAの混合物に対するPCR増幅を行い、電気泳動で確認した。その結果得られた泳動像として正しいものを下記図7のレーン1~6の中から1つ選び、番号で答えよ。

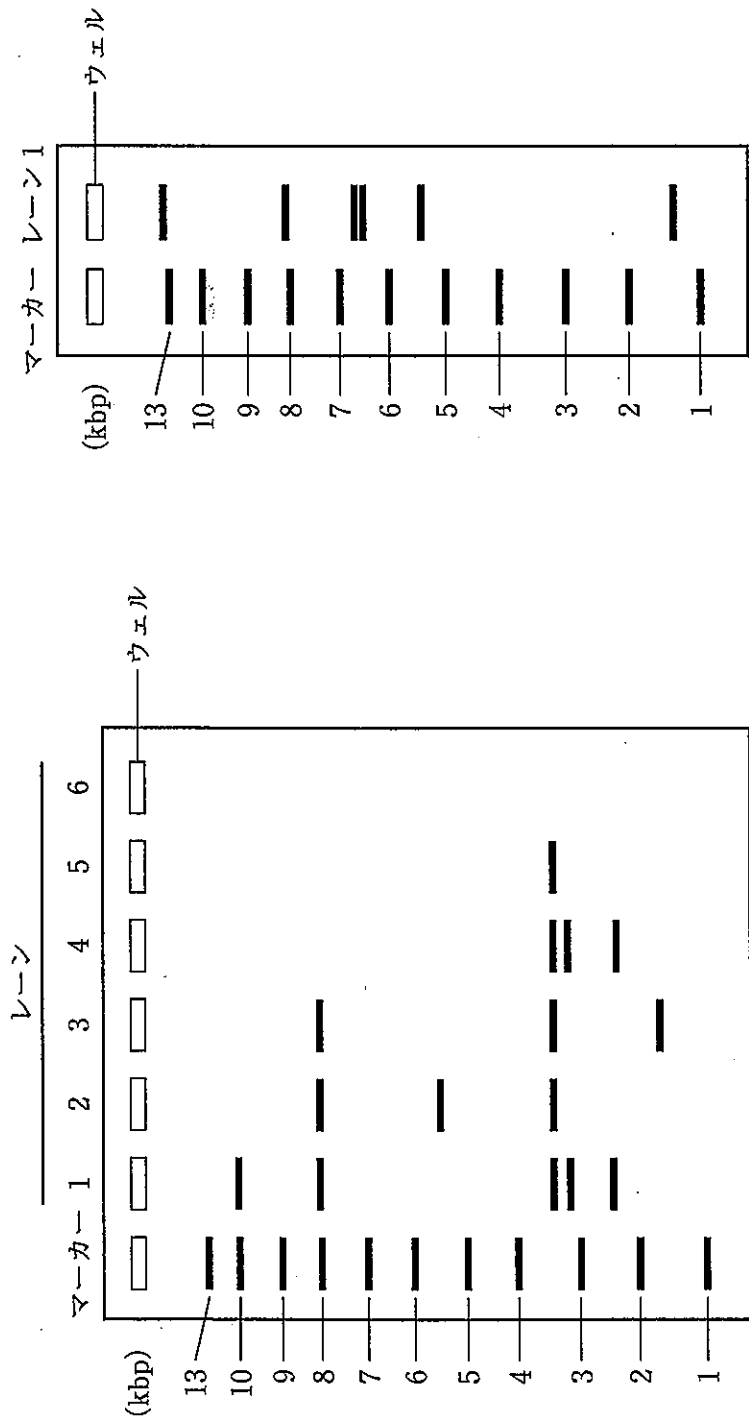


図7

図8

問7 下線部②の DNA を下線部③の 2 種類の制限酵素で処理して電気泳動を行ったところ、想定していたものとは異なり図 8 のような泳動像となった。その理由の説明として最も適切なものを以下の (a) ~ (e) から 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、実験に使用した器具、試薬類に汚染や不純物の混入は一切ないものとする。

- (a) 本来の切断部位以外での非特異的な DNA 切断が生じた
- (b) 一度切断された DNA どうしが結合した
- (c) 制限酵素処理の時間が不十分だった
- (d) 切断後に一部の DNA が分解されて短い断片が生じた
- (e) 制限酵素地図に記載されていない切断部位があった

問8 次回の実験に使用するプラスミド DNA が不足するので増やしたい。プラスミド DNA を増やす一般的な方法を 100 字以内で簡潔に説明せよ。

2 次の文章1～文章3を読み、問1～問7に答えよ。

(20点)

[文章1] 米飯を食べると口の中でかみ砕かれ、唾液と混ぜ合わされる。唾液中にはアミラーゼが含まれており、デンプンの分解が始まる。かみ砕かれた食物と唾液成分との混合物を食塊(しよっかい)とよぶ。かみ砕かれた米飯を含む食塊は1分後には飲み込まれて胃に移動しているが、この①食塊が胃から完全に排出されるまでには数時間を要する。胃から小腸へ排出されると、さらに②酵素のはたらきで分解は進み、デンプンは最終的にグルコースとして吸収される。吸収されたグルコースは、③血管を通して最初に肝臓へ運ばれたのちに全身へ供給される。食後に血糖値が上昇すると、すい臓ランゲルハンス島のB細胞からインスリンが分泌され、その作用で血糖値は低下する。

問1 下線部①の食塊に含まれるアミラーゼの活性は、下記(1)および(2)のように変化すると思われる。なお、変化する理由はそれぞれ異なる。その理由を50字以内で説明せよ。

- (1) 食塊を飲み込んだ5分後、アミラーゼの反応速度が低下した。
- (2) 食塊を飲み込んだ30分後、アミラーゼは分解されていないにもかかわらず失活していた。

問2 インスリンなどのホルモンと下線部②で示した酵素の分泌様式の違いを100字以内で説明せよ。

問3 下線部③の血管の名称を答えよ。

[文章2] 空腹時(0分)に採血した後、一定量のグルコース溶液を飲み、その後30分ごとに採血を繰り返し、血糖値と血しょうインスリン濃度を測定した。2名の結果を右の図1に示す。健康なAさんの結果(実線)に対し、Bさんの結果(点線)は糖尿病を発症するリスクが高い状態と思われた。

問4 Aさんと比較し、Bさんの血糖値がグルコース溶液を飲んでから60分以降で高くなっていく理由を80字以内で説明せよ。

問5 Aさんの尿からは、グルコース溶液を飲んだ60分後でもグルコースは検出されなかった。その理由を60字以内で説明せよ。

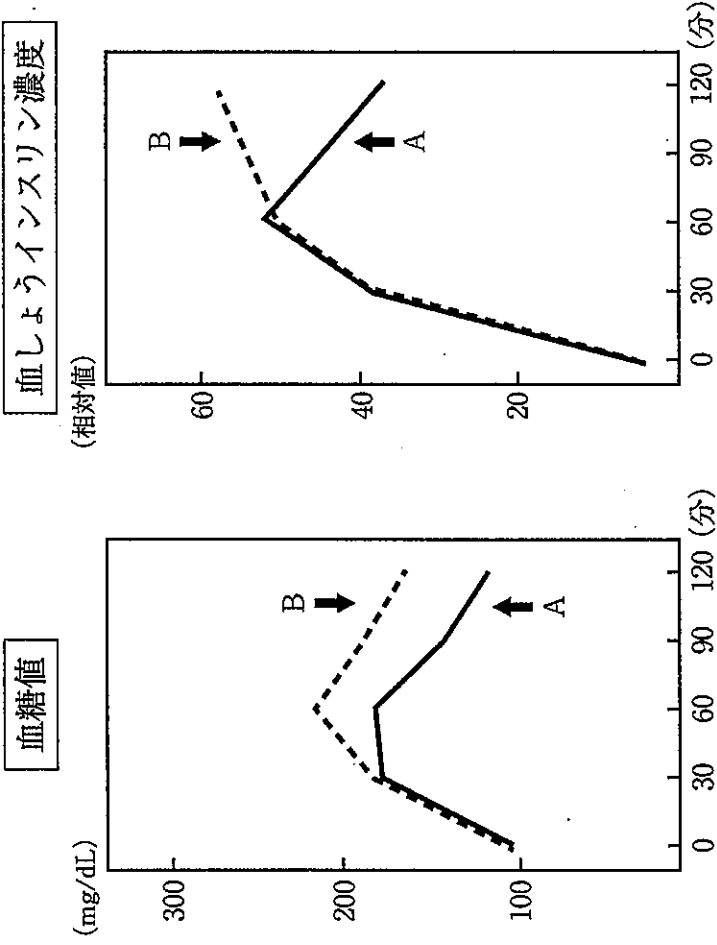


図1

[文章3] 血糖値 (血糖濃度) が低下すると、神経系と内分泌系が協調して正常な血糖の濃度を維持する。図2はその調節機構を示している。

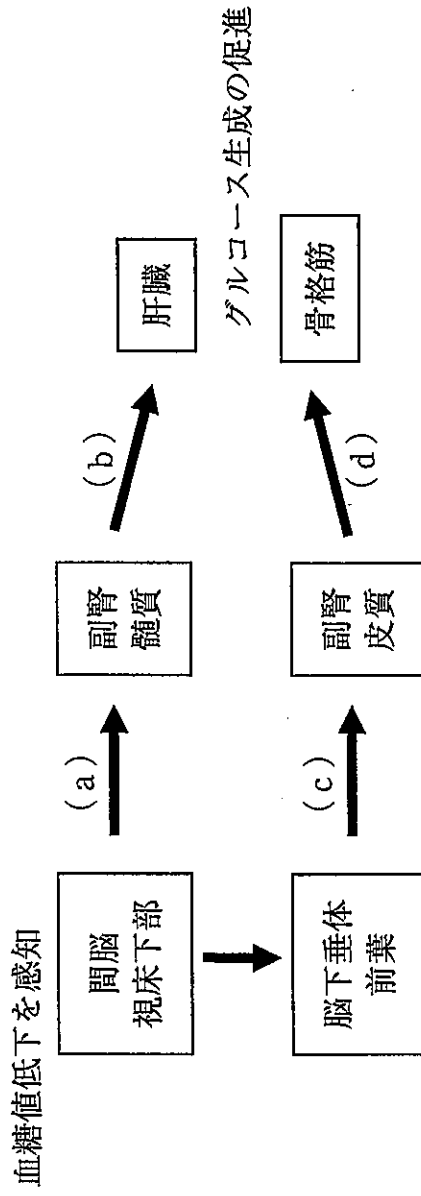


図2

問6 図2の (a) は神経, (b) ~ (d) はホルモンである。それぞれの名称を答えよ。

問7 図2の (d) はグルコース生成を促進するために骨格筋でどのような作用を引き起こすのか20字以内で答えよ。

(余白)

3 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

(20点)

[文章] 生物のからだは細胞からできている。すべての細胞は細胞膜に包まれた構造をもつ。細胞膜は①(ア)と呼ばれる脂質分子によって作られた脂質膜と、この脂質膜に埋め込まれたタンパク質によって構成される。脂質膜は半透膜の性質を有し、②これを透過しやすい物質と透過しにくい物質がある。脂質膜を透過しにくい物質は、脂質膜に埋め込まれた輸送タンパク質によって輸送される。

細胞膜は細胞内と細胞外の異なる環境を隔てている。例えば、細胞内と細胞外では電位が異なり、細胞内は負の電位を示す。このような電位を(イ)という。(イ)の形成には、細胞内外のナトリウムイオン濃度とカリウムイオン濃度が異なることが重要である。そして、細胞内外のナトリウムイオンとカリウムイオンとの濃度差を形成し、かつ維持するため、細胞膜に埋め込まれた(ウ)と呼ばれる輸送タンパク質の機能が必須である。③(ウ)は、(エ)を分解する酵素活性性を有し、このときのエネルギーを利用してナトリウムイオンとカリウムイオンを輸送する。物質は通常、濃度の高い方から低い方へ移動する性質がある。しかし、(ウ)によってナトリウムイオンとカリウムイオンを輸送し続ける場合にはこれらの濃度勾配に逆らって輸送する必要がある。このような輸送を(オ)輸送という。

神経細胞においては、細胞外からの刺激によって細胞内外の電位が瞬間的に逆転し、細胞内の電位が正に転じる。このような膜電位の変化を④(カ)といい、神経の興奮ともいう。⑤運動神経の興奮の場合は、筋肉と接合する神経終末から神経伝達物質として(キ)が放出され、その作用によって筋肉が収縮する。

問1 (ア)～(キ)に最も適切な用語を入れよ。

問2 下線部①について、(ア)は1分子の中で水になじみやすい親水部(図1の丸部分)と水になじみにくい疎水部(図1の棒部分)を有する。設問(1)と設問(2)に答えよ。

(1) (ア)がどのような構造で脂質膜を構成しているか、図1に示す1分子の脂質分子モデルを参考に、10分子程度を用いて図示せよ。

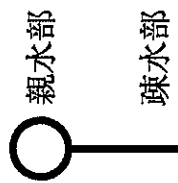


図1 脂質分子モデル

(2) (1)のような脂質膜構造を何と呼ぶか、その名称を答えよ。

問3 下線部②について、脂質膜を最も透過しやすいものを以下の(a)～(e)から選び、記号で答えよ。

- (a) 水 (b) グルコース (c) アルブミン (d) 水素イオン (e) 二酸化炭素

問 4 下線部③について、(ウ)の輸送体が、1回の輸送で、何分子のナトリウムイオンと何分子のカリウムイオンを細胞内に外に輸送しているのか、図2の例を参考に図示せよ。

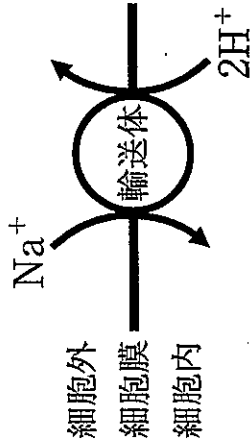


図 2 輸送体モデルとイオン輸送

輸送体モデルの例としてナトリウムイオン-水素イオン輸送体を示した。そして、1回の輸送で移動する各イオンの種類、数、輸送方向を示した。すなわち、このナトリウムイオン-水素イオン輸送体は1回の輸送で、1分子のナトリウムイオンを細胞外から細胞内へ、2分子の水素イオンを細胞内から細胞外へ輸送している。

問 5 下線部④について、神経興奮時の細胞内の電位変化を図3に示した。図中に示す(1)と(2)の時間帯における細胞内の電位変化について、それぞれの状況で機能する輸送タンパク質と輸送される物質の名称を用いて、100~150字以内で説明せよ。

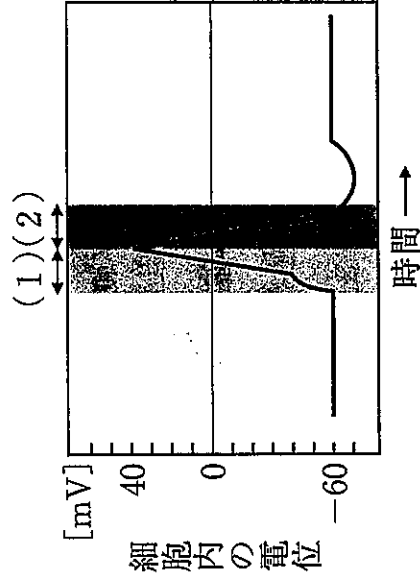


図 3 神経興奮時の細胞内の電位変化

問6 下線部⑤について、図4に示す神経筋標本を用いて下記の実験を行った。神経筋接合部から3 cm離れたA点、9 cm離れた

B点、または直接筋肉に、それぞれ同じ大きさの電気刺激を与えると、図5のような筋肉の収縮が観察された。このとき、筋肉が収縮し始めた時点を、電気刺激を与えてから筋肉の収縮に要した時間と見なす。次の設問(1)、(2)に答えよ。

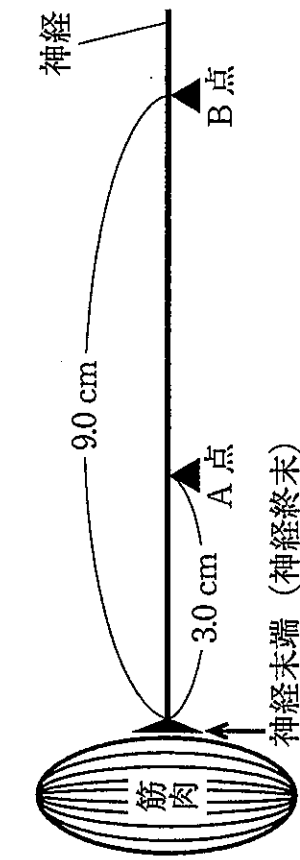


図4 神経筋標本による実験

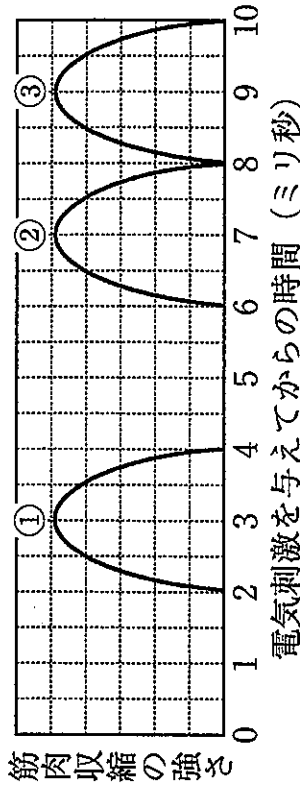


図5 A点、B点、筋肉を直接刺激した際の筋肉の収縮①は直接筋肉を刺激した場合、②は図4のA点を刺激した場合、③は図4のB点を刺激した場合の筋肉収縮の強さを示した。

- (1) この神経上での興奮の伝導速度を求めよ。単位も正確に答えること。
- (2) この神経末端が興奮してから筋肉へ興奮が伝達されるまでに要する時間とその考え方を答えよ。単位も正確に答えること。

(20点)

4 次の文章1～文章3を読み、問1～問7に答えよ。

[文章1] 特定の地域における①種の多様性は、その地域で起こるかく乱の頻度や規模の影響をうけることが知られている。図1は、アフリカの熱帯雨林地帯において発達段階の異なるさまざまな森林の構成樹種を調べた結果を模式的に示している。調査した熱帯雨林地帯では、大規模なかく乱を起こす台風などの気象的現象が発生しないこと、大規模なかく乱は人間活動に起因すること、および極相期の森林では過去に人間活動に起因する大規模なかく乱は起こっていないことがわかっている。

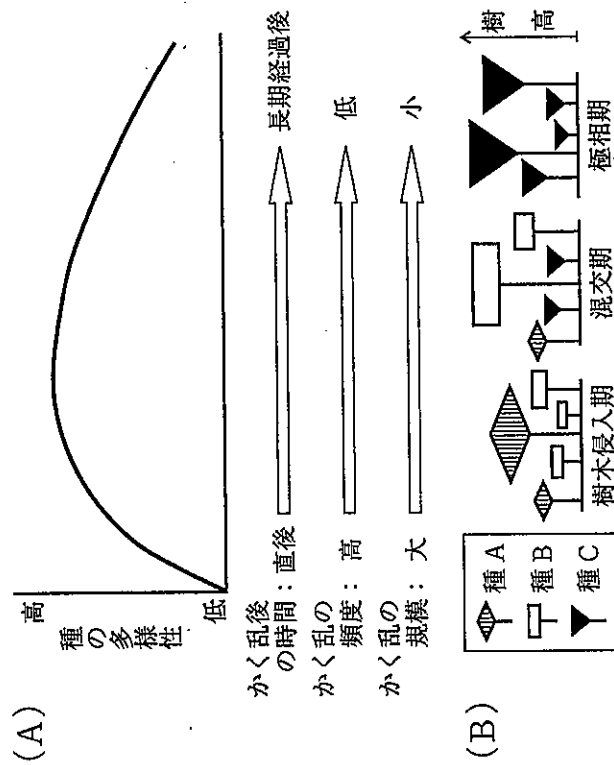


図1 アフリカの熱帯雨林地帯のさまざまな森林における樹木の種の多様性

この調査の結果から、さまざまな森林の発達段階を次の3つに分類した。

- (1) 樹木侵入期 (継続的に人為的かく乱をうけていた場所が放棄され樹木が侵入しつつある時期)
- (2) 混交期 (樹木侵入期からさらに時間が経ち、異なる種が混交している時期)
- (3) 極相期 (ほとんどの個体が単一の種で構成されている時期)

図1 (B) には、これらの発達段階における森林の階層構造を模式的な樹木で表してある。樹高の高い個体は林冠を構成する樹木、樹高の低い個体は低木層の樹木を示す。

問1 下線部①に関連して、生物多様性は「種の多様性」のほかに2種類の多様性が知られている。これら2つの多様性を列挙し、種の多様性との違いがわかるように150字以内で説明せよ。

問2 この研究の結果は、森林の種の多様性がどのようなときに最も高くなるかを示している。図1の結果で示される多様性の現れ方に関する学説の名前を答えよ。

問3 種A, 種B, 種Cそれぞれの稚樹について、耐陰性が高いと考えられる順に並べよ。

問4 森林以外でも図1 (A) に示したような多様性のパターンが現れることが知られている。どのような生態系で現れるか、50字以内で具体例を1つ挙げよ。

[文章2] 種を単独で生育させたときのニッチを基本ニッチとよぶ。ニッチが似た種が同じ場所に存在すると (ア) が起こり、その程度が強い場合には (イ) が起こる。一方、同じ地域に生育する種の間で基本ニッチが似ている場合もある。

図2 (A) は、ヨーロッパにおけるある湿草地に出現したイネ科草本6種に対し、異なる土壌地下水面の深さでそれぞれの種の個体群を一定期間単独で栽培した実験の結果である。図2 (A) の場合どの種もほぼ同じ地下水面の深さで現存量が最大となったことから、地下水面の深さに関してほぼ同じ基本ニッチを占めている。

図2 (B) は、この6種すべてを混植した場合の実験結果を示している。この混植実験において (イ) は起こらず、すべての種が生存した。

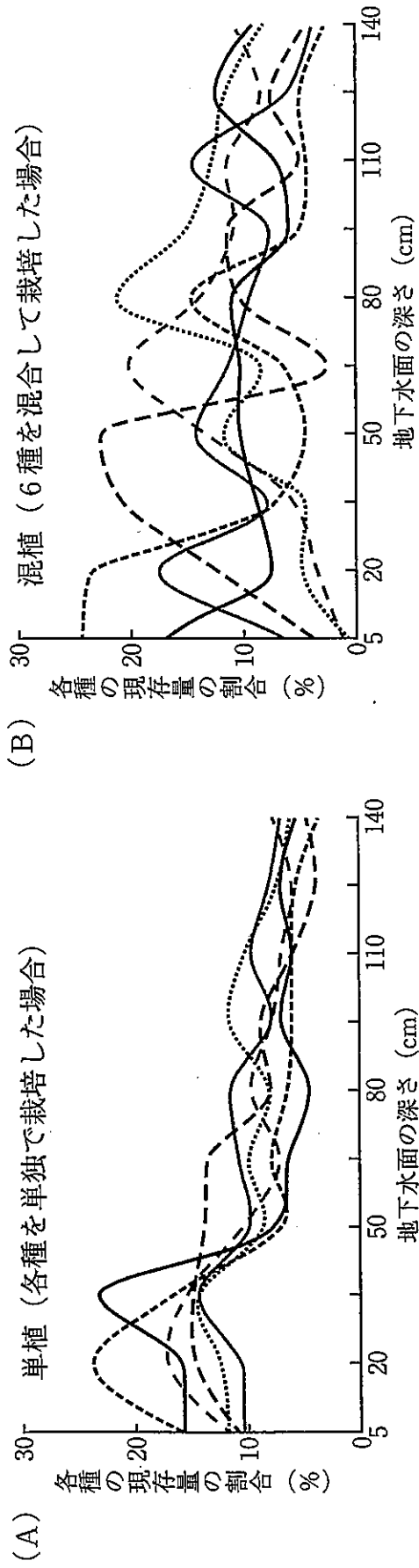


図2 湿草地における植物6種の単植および混植による実験 (A) と (B) とで同じ線は同じ種を表す。また、各種の現存量は各種の測定値の総和が100%となるように描かれている。

問5 (ア), (イ) に入る最も適切な用語を答えよ。

問6 図2において、混植においては現存量の割合が最も高くなる地下水面は多くの種で異なる。その理由はなぜか、ニッチという用語を用いて50字以内で説明せよ。

[文章3] カナダ北部の海岸に近い平坦な土地において植生や土壌の調査を行ったところ、3種の草本植物(種D, 種E, 種F)が出現した。海岸に近い場所ほど土壌中の塩分(ここではNaClのこと)の濃度が高く、塩分が一定の濃度より高い場所ではどの種も出現しなかった。

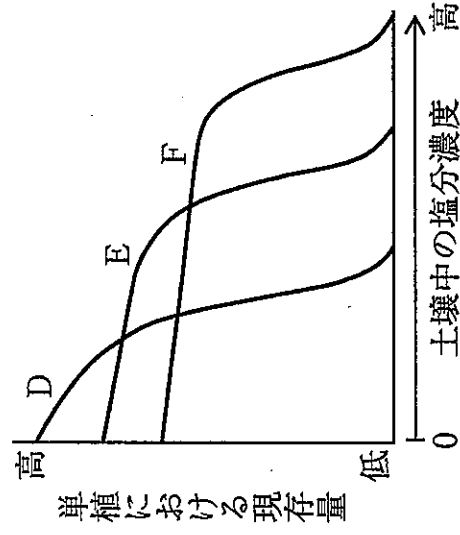


図3 草本植物3種の現存量と土壌塩分濃度との関係

この3種それぞれの発芽したばかりの苗を同数準備し、土壌中の塩分濃度を0から何段階かに設定してそれらを一定期間育てる実験1, 実験2を行った。

実験1 各種をそれぞれ単植で栽培したところ、それぞれの種の現存量と塩分濃度との関係は図3のような結果となった。

実験2 次に、単植のときと同じ塩分濃度設定で、これら3種を混植する実験を行ったところ、次の結果が得られた。

結果1 同じ塩分濃度であれば、単植したときの各種の現存量が最も大きい種が混植におけるその塩分濃度で最も優占する傾向が強くなる、その結果ニッチの分割が生じた。

結果2 混植しても、それぞれの種が生育できる塩分濃度の最大値は単植のときと同じだった。

結果3 塩分濃度0のときは種Dのみが生き残った。

問7 以上の実験結果をもとにして、3種を混植した実験2において種D、種E、種Fそれぞれの現存量が塩分濃度とともにどのように変化するかを予測し、土壌中の塩分濃度を横軸に、各種の現存量を縦軸にとった解答用紙の図中に3種の曲線グラフをそれぞれ描け。ただし、どの曲線がどの種を表すかを明示すること。また、解答用紙の<参考>に示した図3とほぼ同じ縮尺で描くこと。

(余白)

(20点)

5 次の文章1～文章3を読み、問1～問7に答えよ。

[文章1] 進化の過程で多様化してきた生物を、その分岐順序に従って枝分かれした線で表した図を系統樹という。図1の系統樹は、2016年に発表された論文にもとづき、現生被子植物における目(もく)間の系統関係を簡略化して示している。二分岐になっていない太線部は、分岐の順序が十分に解明されていないことを意味する。この系統樹にもとづくと、①現生被子植物の中で最初に分岐した分類群はアンボレラ目といえ、②「中核真正双子葉植物類」に最も近縁な分類群は「ツゲ目」といえる。同様に、「ヤマグルマ目」に最も近縁な分類群は(ア)と(イ)からなる分類群、単子葉植物類に最も近縁な分類群は(ウ)と(エ)からなる分類群といえる。

「真正双子葉植物類」のように、同一の祖先に由来する全ての子孫から構成される分類群のことを「単系統群」とよぶ。よって、図1の系統樹にもとづくと、「基部被子植物類」は単系統群ではないといえる。

問1 下線部①のアンボレラ目は、現生種の *Amborella trichopoda* のみで構成される。では、アンボレラ目にはいくつの科と属が含まれるか答えよ。さらに、その属の名称を学名で答えよ。

問2 下線部②の考え方にもとづき、[文章1]の(ア)～(エ)に入る最も適切な分類群を、図1内で示されている分類群の名称を用いて1つずつ答えよ。

問3 「単子葉植物類」以外の全ての被子植物を含む分類群として「双子葉植物類」を定義するとき、この「双子葉植物類」は単系統群とみなせるか、理由とともに100字以内で答えよ。

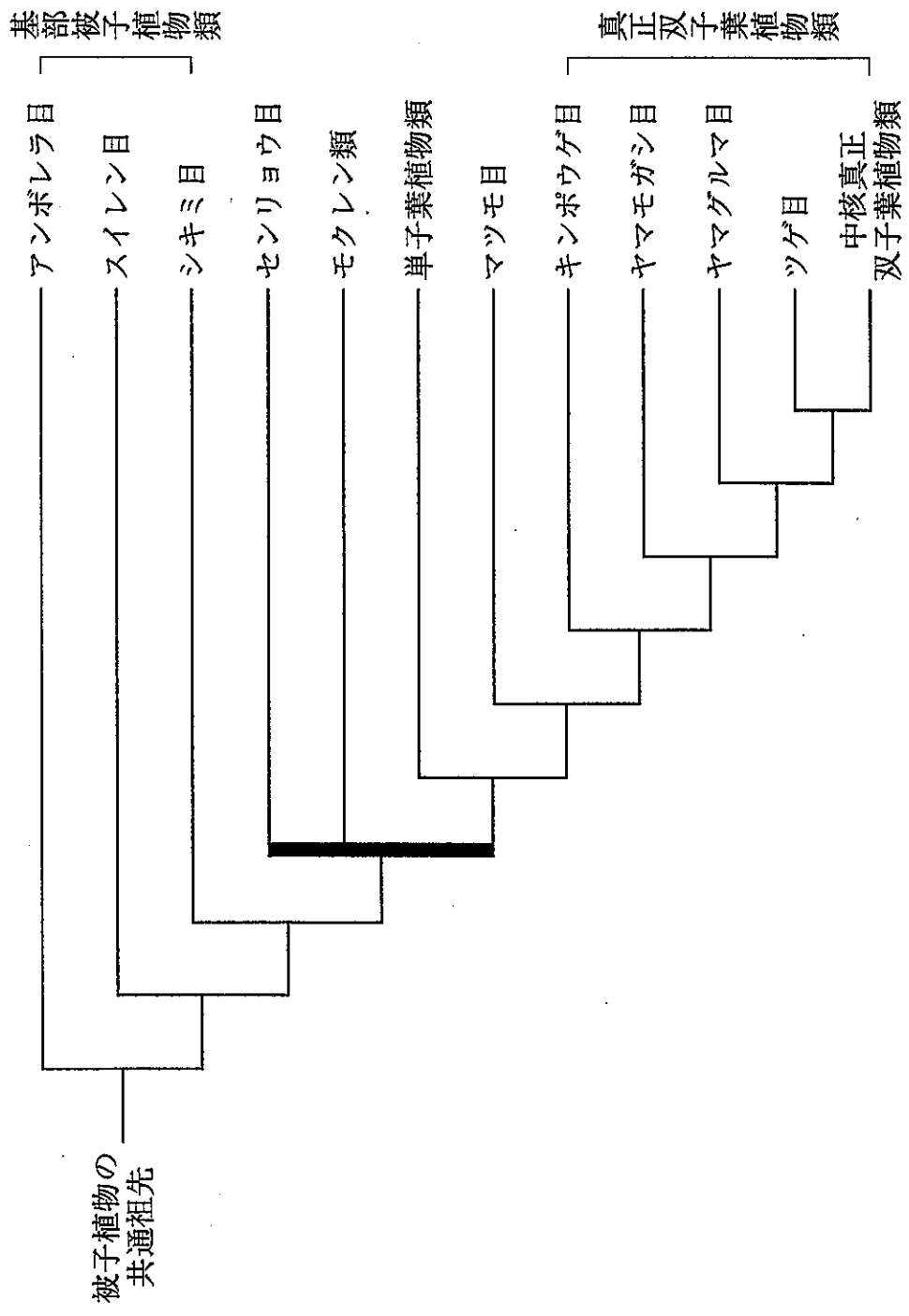


図1 現生被子植物の系統関係（「類」と表記されている分類群には複数の目が含まれる）

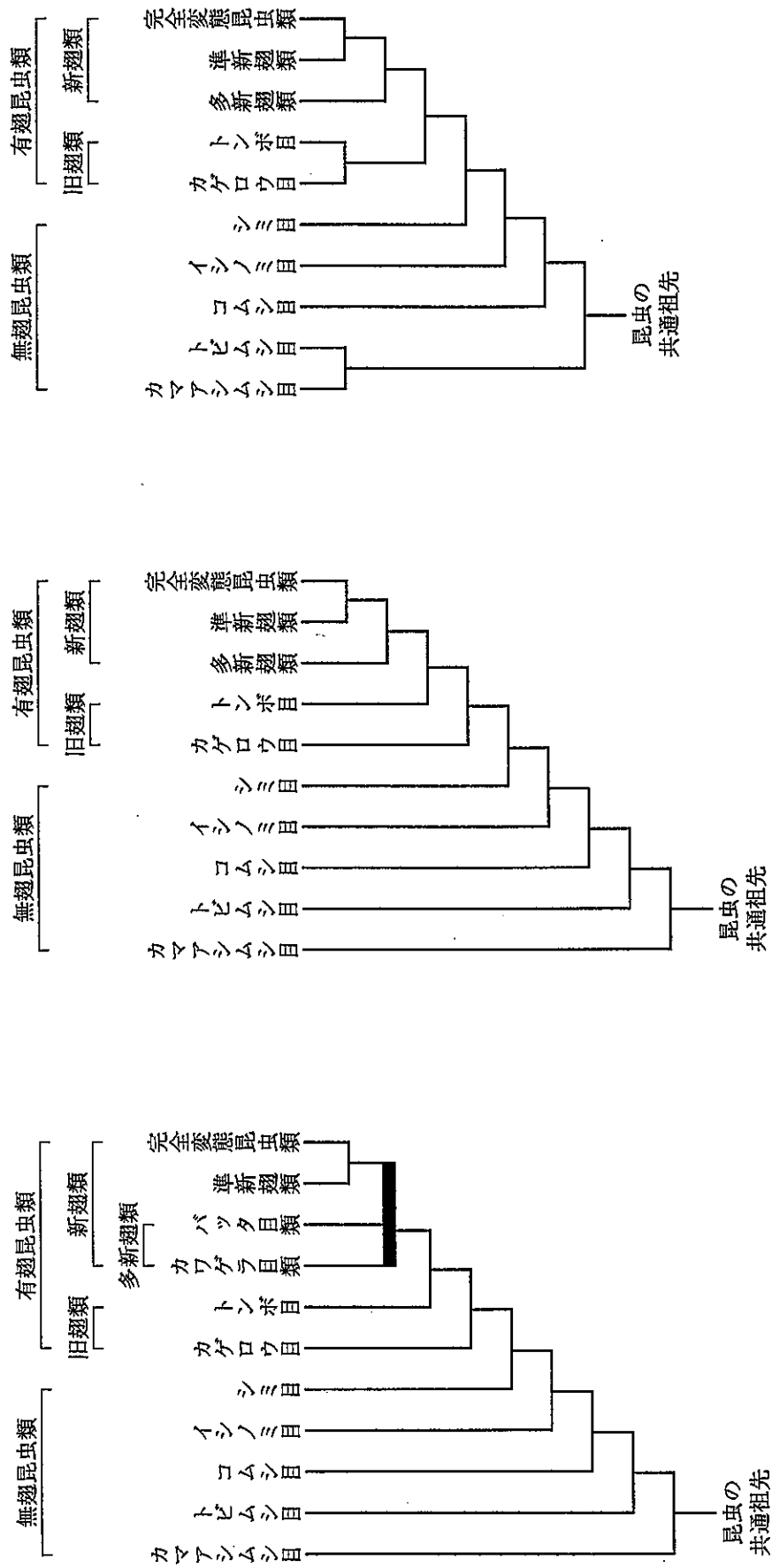
（出典：系統樹は The Angiosperm Phylogeny Group (2016) Botanical Journal of the Linnean Society をもとに作成し、各分類群の和名は伊藤・井鷲 (2018) 『新しい植物分類体系』を参考にした）

[文章2] 生物の分類体系はその時々で最も確からしいと思われれる仮説にもとづいて提唱されており, 新たな分類群の発見や系統推定法の精度向上などによって, 時代とともに変遷してきた。その一例として, 図2には現生昆虫類の目間系統仮説の変遷が示されている。ただし本問題では, 成虫の胸部に3対6本の脚を有する節足動物を昆虫とよぶことにする。これらの系統樹は, いずれも P. J. Gullan 氏と P. S. Cranston 氏による『The Insects: an outline of entomology』(注: entomology は昆虫学という意味) という書籍に掲載された系統樹を簡略化して示したものであり, 左から順に初版 (1994年発行), 第3版 (2005年発行), 第5版 (2014年発行) に掲載された。なお, 二分岐になっていない太線部は, 図1同様, 分岐の順序が十分に解明されていないことを意味する。

例として, 図2に示した初版と第3版の系統樹を比較すると, 初版では単系統群であることが支持されていなかった「多新翅類」が第3版では単系統群となり, 「新翅類」中で最初に分岐した分類群となっていることがわかる。

問4 第3版と第5版の系統樹を比較し, 系統関係における変更点を, 「単系統群」という単語を必ず用いて2点答えよ。ただし, 系統関係における変更点には分岐関係のみを含むものとし, 各分岐点から各枝の末端までの長さは系統関係の違いとしては考慮しないものとする。

問5 有翅昆虫類であるカゲロウ目とトンボ目, 新翅類の3分類群間の系統関係に関して可能な全ての分岐パターンを考えると, 図2に示した3つの系統樹以外にも考えられる系統関係が1つある。回答欄の四角の空欄内に「カゲロウ目」, 「トンボ目」, 「新翅類」の分類群名を1つずつ記入し, この「図2内では一度も支持されなかった系統関係」を完成させよ。



初版 (1994年) 第3版 (2005年) 第5版 (2014年)

図2 現生昆虫の系統関係(「類」と表記されている分類群には複数の目が含まれる)

(出典: 系統樹は「文章2」に示した文献をもとに作成し, 各分類群の和名は平嶋・広渡編著(2017)『教養のための昆虫学』を参考にした)

問6 図2に示されている「無翅昆虫類」、「有翅昆虫類」、「旧翅類」、「新翅類」という4つの分類群に着目する。単系統群の場合のみ「有効な分類群」とみなす、と決めた場合、図2に示した初版、第3版、第5版における現生昆虫の系統仮説の変遷の中で、この4つの分類群における「有効な分類群」はどのように変遷してきたかを80字以内で答えよ(分類群名を記述する場合、「無翅昆虫類」のように「」を用いる必要は無い)。

[文章3] 文章2で見えてきたように、分類体系を構築する上で系統推定は重要な役割をはたす。図3には、「種A」、「種B」、「種C」と「ABCの共通祖先」間の系統関係が示されている。今この系統樹に、新たに発見された「種D」を加えて系統推定を再度行うとする。「種D」が加わることは、「種A」、「種B」、「種C」と「ABCの共通祖先」間の系統関係には影響しないとする。と、「種D」が加わる系統的的位置は図3に示した(m)~(q)の5ヶ所が考えられる。仮に「種D」が(m)の位置に加わったとすると、得られる系統樹は図4のようになる。さらに、図4に「種E」を加えることを考えると、「種E」が加わる系統的的位置は(オ)ヶ所が考えられる(「種D」の時同様、「種E」が加わることは、「種A」、「種B」、「種C」、「種D」と「ABCDの共通祖先」間の系統関係には影響しないとする)。

以上の考え方にもとづき、図3の系統樹に2種が加わる場合を考えると、1つ目の種が加わることで新たに起こり得る分岐パターンは(カ)通りあり、その一つ一つのパターンに対して2つ目の種が加わるパターンが(オ)通り考えられるため、図3の系統樹に新たに2種が加わるときに考えうる分岐パターンは(キ)通りとなる。

問7 [文章3]の(オ)~(キ)に入る最も適切な数字を答えよ。

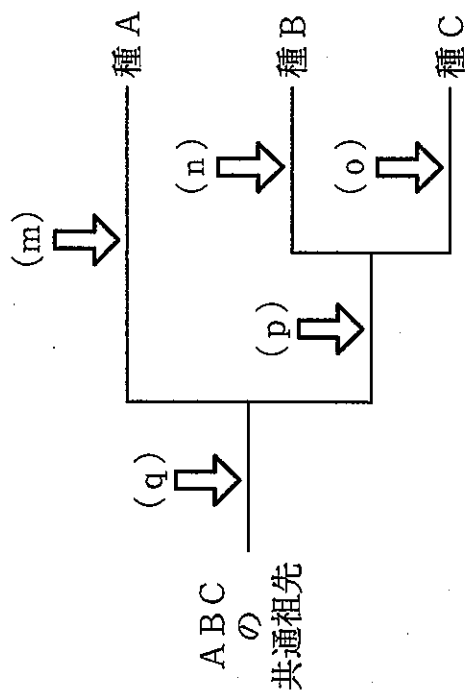


図3 種 A, 種 B, 種 C 間の系統樹

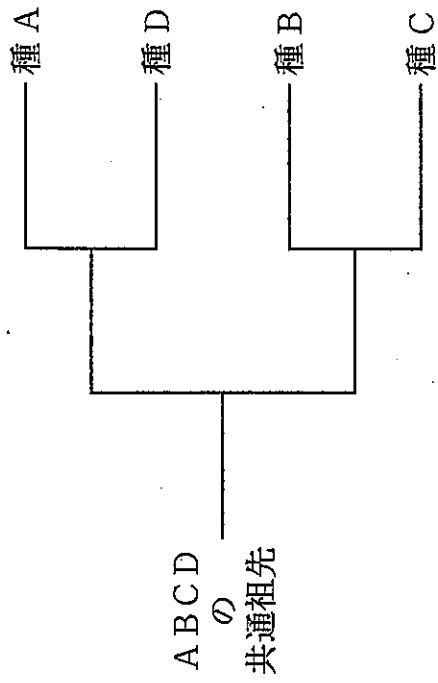


図4 種 A, 種 B, 種 C, 種 D 間の系統樹