

令和4年度 AO入試問題集 (理学部)

公表期限：2025年3月末

東北大学入試センター

※ 以下の(1), (2)の場合を除き、複製、転載、転用することを禁じます。

(1) 受験予定者が自主学習のために使用する場合

(2) 学校その他の教育機関(営利目的で設置されているものを除く。)の教職員が教育の一環として使用する場合

東北大学 理学部 数学系 AO入試 II期

数学問題

解答提出時刻：12時30分

注意

1. 解答用紙は4枚ある。
2. すべての解答用紙の上部に、氏名、受験番号を記入し、問題番号の書かれた解答用紙に対応する問題の解答をすること。解答用紙は裏面を使用しても差し支えない。1問の解答を1枚の解答用紙に書ききれない場合は、予備の解答用紙を配布するので、試験監督に申し出ること。
3. 白紙の場合でも、各問の解答用紙を提出すること。
4. 計算用紙が必要な場合は、試験監督に申し出ること。
5. 問題について質問のあるときは、試験監督に申し出ること。
6. 電卓などは使用しないこと。
7. 携帯電話、スマートフォン、タブレット等の電子通信機器は電源を切り、かばんに入れること。

1 n を 3 以上の整数とする. 正 n 角形 A の周の長さ a と円 C の周の長さ $2\pi r$ が等しいとき, A の面積 S と C の面積 T の大小を比べよ.

2 p を素数とする. 等式

$$(*) \quad \frac{4}{x} - \frac{1}{y} = \frac{2}{p^2}$$

を満たす正の整数 x, y を考える. このとき, 以下の問いに答えよ.

- (1) $p = 2$ のとき, 等式 $(*)$ を満たす正の整数の組 (x, y) をすべて求めよ.
- (2) $p \geq 3$ のとき, 等式 $(*)$ を満たす正の整数の組 (x, y) をすべて求めよ.

3 正の整数 n と正の実数 x に対して

$$f_n(x) = \sum_{k=0}^n (-1)^k {}_n C_k \frac{1}{k+x}$$

とおく. ただし, ${}_n C_k (k = 0, 1, \dots, n)$ は二項係数

$${}_n C_k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

である. このとき, 以下の問いに答えよ.

(1) 正の整数 n , 正の実数 x および $0 < a < 1$ を満たす実数 a に対して

$$g_n(x, a) = \int_a^1 t^{x-1} (1-t)^n dt$$

とおく. このとき, すべての正の整数 n とすべての正の実数 x に対して

$$f_n(x) = \lim_{a \rightarrow +0} g_n(x, a)$$

が成り立つことを示せ.

(2) すべての正の整数 n とすべての正の実数 x に対して

$$f_{n+1}(x) = \frac{n+1}{n+1+x} f_n(x)$$

が成り立つことを示せ.

(3) すべての正の整数 n に対して

$$\sum_{k=1}^n (-1)^{k-1} {}_n C_k \frac{1}{k} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}$$

が成り立つことを示せ.

4 実数全体で定義された微分可能な関数 $f(x)$ を考える. このとき, 以下の問いに答えよ.

(1) a を定数とする. すべての正の実数 r に対して

$$g(r) = \frac{1}{2r} \int_{a-r}^{a+r} f(t) dt$$

とおく. このとき, 関数 $g(r)$ の導関数 $g'(r)$ は

$$g'(r) = -\frac{1}{2r^2} \int_{a-r}^{a+r} f(t) dt + \frac{f(a+r) + f(a-r)}{2r}$$

を満たすことを示せ.

(2) すべての実数 x とすべての正の実数 r に対して

$$f(x) = \frac{1}{2r} \int_{x-r}^{x+r} f(t) dt$$

が成り立つとする. このとき, 関数 $f(x)$ は 1 次関数もしくは定数関数であることを示せ.

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

物理 課題 1

試験時間 9:15～10:15

注意

- ・問題用紙 4 枚 (表紙を含め 5 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

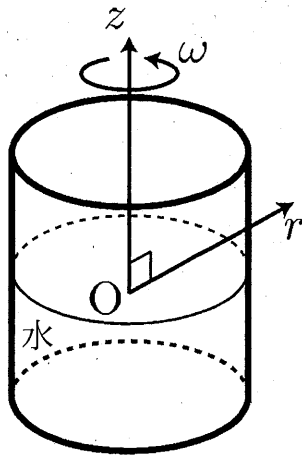
課題 1

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 図1のように、中心軸が鉛直方向を向いた円筒形の容器に水を入れ、中心軸のまわりに一定の角速度 ω で回転させた。十分に時間が経過すると、容器内の水は容器とともに回転し、容器に対して静止した。このとき、中心軸を z 軸とし、 z 軸と水面の交点を O とする。点 O を通り、容器とともに回転する水平軸を r 軸とする。以下の問いに答えよ。表面張力は無視できるとし、重力加速度の大きさを g とする。

- (1) 水面上の $r = r_1$ の位置に浮力で浮いて、容器に対して静止している質量 m の小物体がある。容器とともに回転しながら観察したとき、この小物体にはたらくすべての力を解答用紙の図中に図示せよ。解答は力の向きを矢印で表し、力の名称を記すこと。解答は矢印と名称のみでよい。
- (2) $r = r_1$ の位置において水面が水平面となす角を θ_1 とする。水面の傾き $\tan \theta_1$ を、 m, g, ω, r_1 の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) 水面の高さ z は r の関数として $z = f(r)$ と表される。関数 $f(r)$ を求めよ。

斜め上から見た図



横から見た図

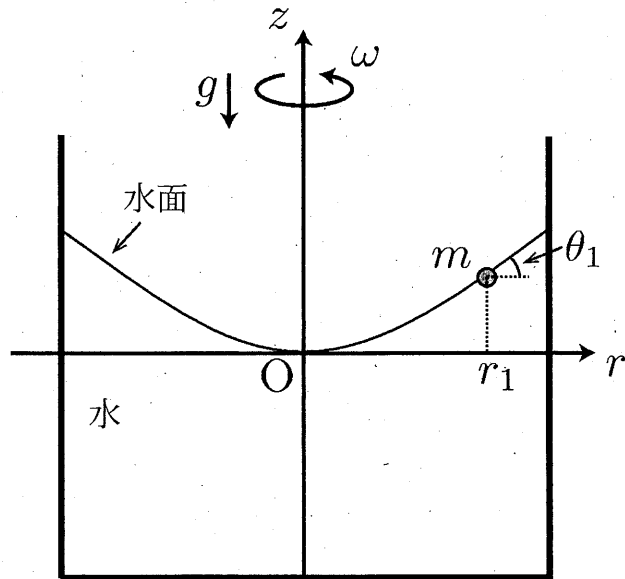


図 1

問 2 図2のように、細くて変形しない針金に、穴の空いた小球を通して、小球が宙返りして運動できる装置が水平な床の上に置かれている。鉛直な入射直線部が、半径 r の四分円を経てなめらかに長さ r の水平な直線につながり、点 O から半径 r の四分円 OP につながる。その後、長さ r の直線 PQ 、半径 r の半円 QRS 、長さ r の直線 ST を経て半径 r の四分円 TO' につながり、長さ $3r$ の水平な直線 $O'U$ につながる。図2(左図)に示すように、点 O と点 O' は離れており、それぞれの位置での小球の運動を妨げることはない。一方で、点 O と点 O' の間の距離は短く、この針金は床に対して垂直な平面上にあるとみなしてよい。図2(右図)に示すように、点 O' を原点として水平右向きに x 軸をとる。針金の端の点 U には壁が設置してあり、小球が衝突した場合には反発係数 (はね返り係数) 1 の弾性衝突をする。また直線 $O'U$ 上の区間 $\frac{r}{2} \leq x \leq \frac{5r}{2}$ (摩擦領域) では、針金と小球の間に動摩擦係数 μ' の摩擦がはたらく。摩擦領域以外では小球は摩擦なくなめらかに針金に沿って運動することができる。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるとする。また、小球の大きさは小さく無視できるとして、以下の問いに答えよ。

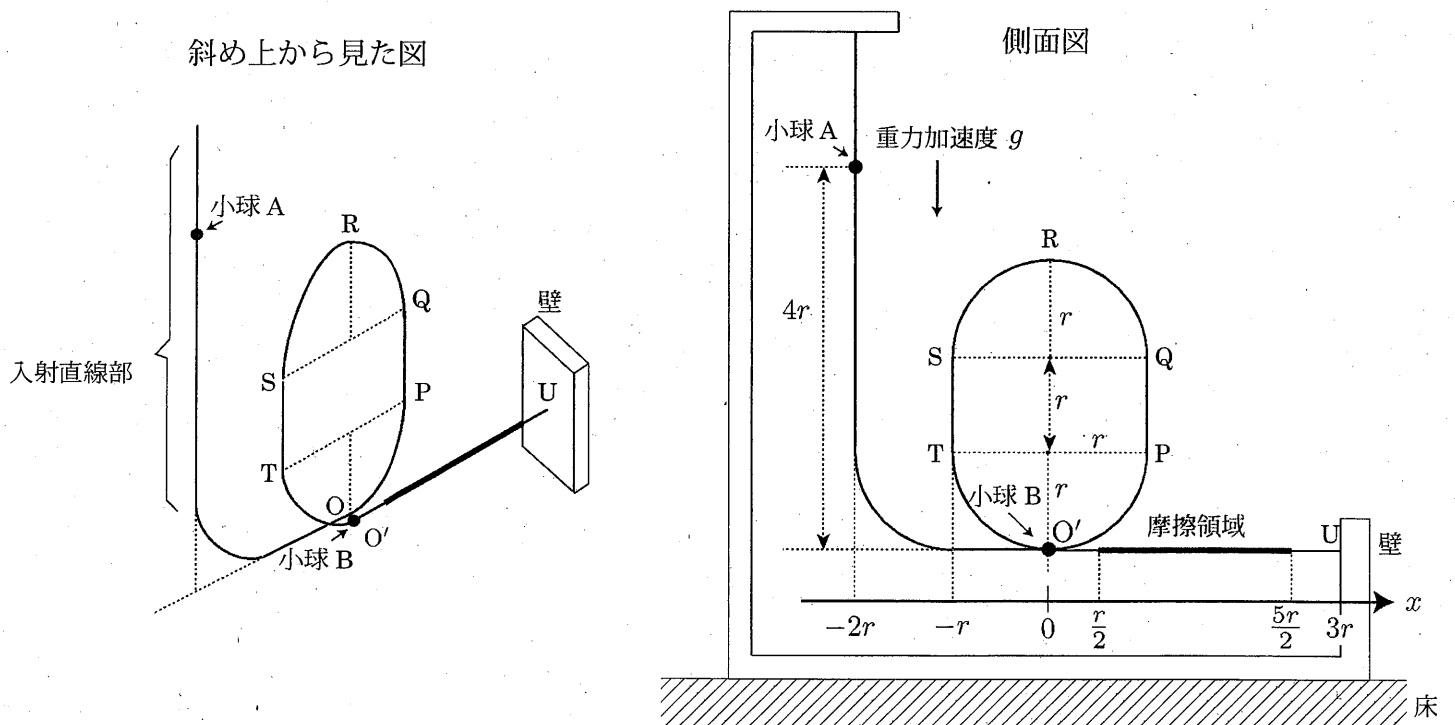


図 2

まず、この装置を水平な床に固定し、質量 m の小球 B を点 O' に静止させて置く。質量 m の小球 A を入射直線部上で点 O' から高さ $4r$ の位置に置き、静かにはなして針金に沿って運動させた。

- (1) はじめて点 P を通過したときの小球 A の速さ v_P を、 m, g, r の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 小球 A が点 P から点 Q に移動するのにかかる時間 t を、 m, g, r の中から必要なものを用いて表せ。

小球 A は点 R をこえて運動し、点 O' で小球 B と反発係数 1 の弾性衝突をした。小球 A と小球 B の衝突後の運動を考える。

- (3) 衝突直前の小球 A の速度を v_A とする。衝突直後の小球 A および小球 B の速度 v'_A および v'_B をそれぞれ v_A を用いて表せ。
- (4) 衝突後の小球 B が再び小球 A と衝突するためには、 v'_B はある値 V よりも大きい必要がある。 V を m, g, r, μ' の中から必要なものを用いて表せ。

以下の問題は動摩擦係数を $\mu' = \frac{4}{9}$ として解答せよ。

- (5) 小球 A と小球 B は衝突を繰り返す、やがてともに静止した。はじめの衝突の後、小球 A と小球 B が静止するまでに小球 A と小球 B が衝突した回数を求めよ。
- (6) 小球 A と小球 B の静止位置の x 座標をそれぞれ x_A と x_B として、 x_A および x_B を求めよ。

(次ページにつづく)

次に、小球 B を装置から取り除き、図 3 に示すように装置を台車の上に固定し、台車を x 軸の正の向きに一定の加速度 a で運動させた。小球 A を入射直線部上で点 O' から高さ $2r$ の位置に置き、台車とともに動く人から見て下向きに初速 v_0 で針金に沿って運動させた。

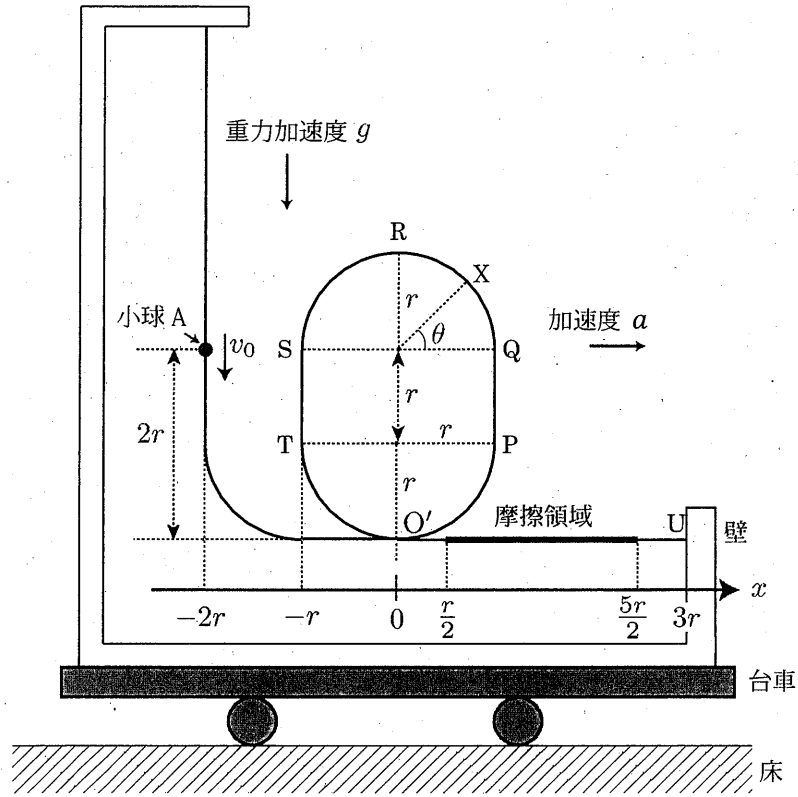


図 3

- (7) 小球 A が運動をはじめてから半円 QRS 上の点 X (点 Q から点 X までの角度を θ とする) に達するまでに、台車とともに動く人から見て、小球 A に作用する力がした仕事の総和 W 、および点 X での速さ v_X を、それぞれ m, g, r, a, v_0, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (8) 小球 A が点 O' に到達するために必要な v_0 の条件を求めよ。

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

物理 課題 2

試験時間 10:40～11:40

注意

- ・問題用紙 4 枚 (表紙を含め 5 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

課題 2

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 図 1 のように、 xyz 空間の xy 平面内にいずれも正の電気量 Q を持つ 3 つの点電荷 A, B, および C が、原点 O を中心とする半径 a の円周上で正三角形をなすように固定されている。ただし、点電荷 A は座標 $(a, 0, 0)$ の位置にあり、点電荷 B の位置の y 座標は正とする。また、 z 軸上に点 $P(0, 0, h)$ をとる。クーロンの法則の比例定数を k とし、電位の基準は無限遠を 0 として、以下の問いに答えよ。

- (1) xy 平面内の電場の様子を電気力線を用いて表せ。ただし、各点電荷には 3 本の電気力線がつながっているものとする。電気力線の一部が点電荷に接続している様子が解答欄に示されているのでこれを補って描くこと。解答は図のみでよい。
- (2) (a) 点電荷 A のみによる点 P における電位 V_A を求めよ。
(b) 点電荷 B のみによる点 P における電位 V_B を求めよ。
(c) 点 P における電位 V を求めよ。
- (3) (a) 点電荷 A が単独で点 P につくる電場ベクトル \vec{E}_A を成分表示で答えよ。
(b) 点電荷 B が単独で点 P につくる電場ベクトル \vec{E}_B を成分表示で答えよ。
(c) 点 P における電場ベクトル \vec{E} を成分表示で答えよ。

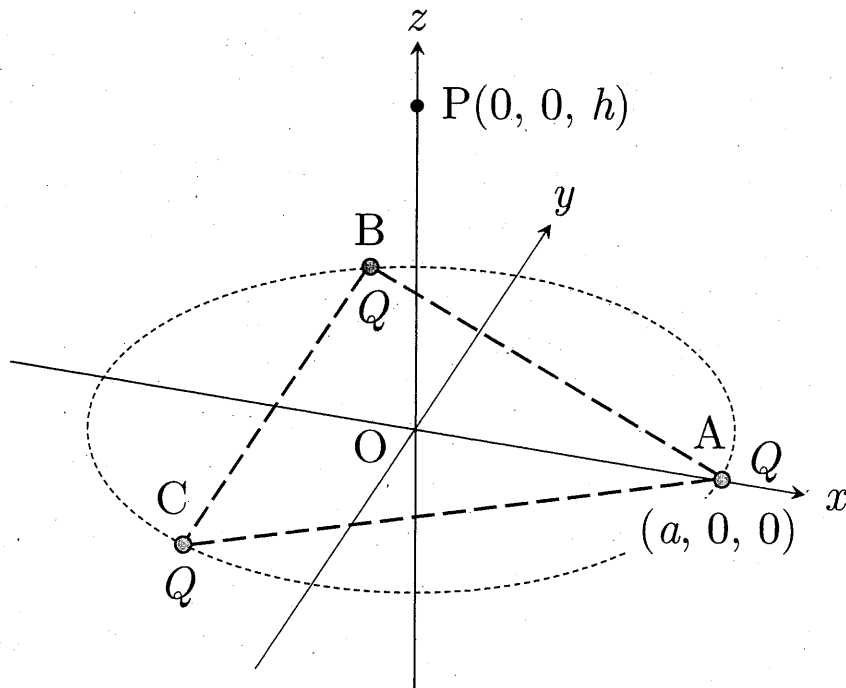


図 1

- (4) 次に図2のように質量が m で正の電気量 q を持つ点電荷 D を z 軸上に置く。ただし、点電荷 D は z 軸上のみをなめらかに運動でき、 z 軸からはずれることはない。また、重力が z 軸負の向きにはたらいており、重力加速度の大きさを g とする。いま、点電荷 D を z 軸上のある点に静かに置いたところ動き出すことはなかった。このような点が存在するためには点電荷 D の質量 m はある値 m_0 以下でなくてはならない。 m_0 を求めよ。

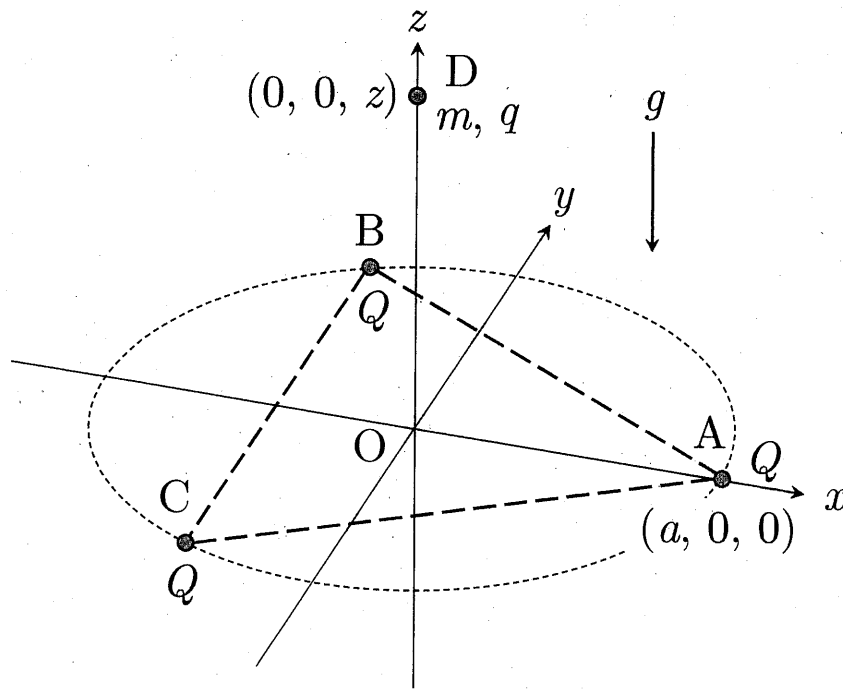


図 2

問 2 図3のように、十分に長い2本の絶縁体のレールが水平面内に間隔 L で平行に固定されている。2本のレールの間の領域には、磁束密度 B の一様な磁場が長さ L ごとに紙面の表から裏へ向かう向き（領域 1,3,⋯）と裏から表へ向かう向き（領域 2,4,⋯）に交互にかかっている。このレールの上に質量 m の長方形回路 PQRS を辺 PQ がレールに対して直角になるように置いた。辺 QR, 辺 SP の長さは L である。回路は抵抗値 R の抵抗と抵抗が無視できる導線からなる。回路は辺 PQ をレールと直角に保ったまま形を変えることなくなめらかに移動できる。また、図3のように右向きを正とする座標軸 x をとり、原点を領域 1 の中央とする。力、加速度、速度もすべて右向きを正とし、回路の位置は辺 PQ の x 座標で表す。自己誘導や空気の影響は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

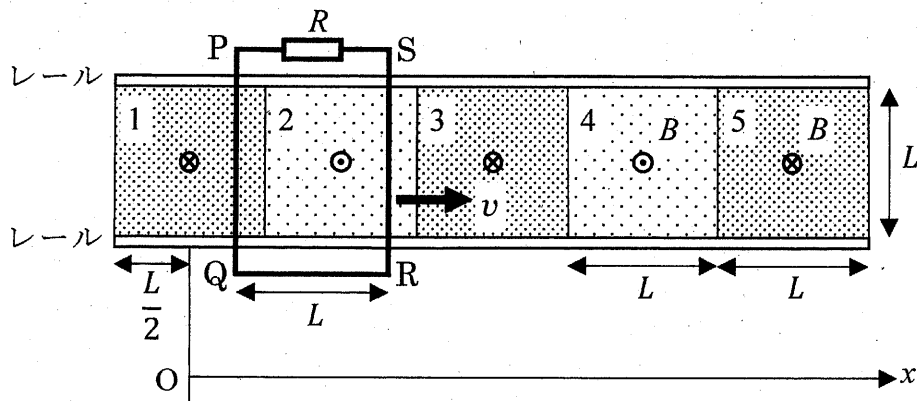


図 3

- (1) x 軸正の向きに外力 F を加えて回路を一定速度 $v = v_0 (v_0 > 0)$ で動かした場合を考える。
 - (a) 回路を貫く磁束 Φ の時間変化の様子をグラフに示せ。回路の位置が $x = 0$ のときを時刻 $t = 0$ とし、 $t = 0$ から $t = \frac{2L}{v_0}$ までの間を示すこと。磁束は、紙面の裏から表へ向かう向きに磁場が回路を貫いたときを正とする。
 - (b) 回路 PQRS に生じる誘導起電力 V の時間変化の様子を問 2(1)(a) と同じ時間範囲でグラフに示せ。
 - (c) 回路の速度を一定に保つために必要な力 F を、 B, L, m, R, v_0 の中から必要なものを用いて表せ。
 - (d) 抵抗で消費されている電力 P を、 B, L, m, R, v_0 の中から必要なものを用いて表せ。

(2) 外力 $F = 0$ の場合を考える.

- (a) 回路が速度 v で動いているときの回路の加速度 a を, B, L, m, R, v の中から必要なものを用いて表せ.
- (b) 回路が時刻 $t = 0$ に $x = 0$ を速度 $v = v_0 (v_0 > 0)$ で通過した. $t > 0$ における回路の速度の時間変化の様子をグラフに示せ.
- (c) 回路の運動エネルギーを E とする. 回路が速度 v で動いているときの E の変化率 $\frac{dE}{dt}$ を問 2(2)(a) の結果を使って求め, B, L, m, R, v の中から必要なものを用いて表せ. また, 得られた結果のもつ物理的意味を説明せよ.

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

物理 課題 3

試験時間 12:05～13:05

注意

- ・問題用紙 4 枚 (表紙を含め 5 枚), 解答用紙 2 枚, 草案紙 1 枚.
- ・全ての解答用紙について, 上部の欄に受験番号および氏名を記入すること.
- ・解答用紙は両面を使い, 用紙が足りなくなったら挙手して追加を申し出ること.
- ・問題用紙, 解答用紙, 草案紙は全て回収するので持ち帰らないこと.

課題 3

解答に際しては、結果だけでなく考え方や計算の過程も記すこと。

問 1 図 1 のような容器に 1 モルの単原子分子理想気体が閉じ込められている。容器はなめらかに動くピストンで閉じられており、容器やピストンの熱容量は無視できる。気体の体積を V 、圧力を P 、温度を T 、内部エネルギーを U 、気体定数を R として以下の問いに答えよ。

- (1) ピストンに力を加えてゆっくりと動かし、気体の体積を V から微小量 ΔV だけ変化させる。さらに微小な熱 Q を気体に与えたとする。このときの内部エネルギーの変化 ΔU を、 $P, V, \Delta V, Q$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 気体の圧力、体積および温度が P, V, T からそれぞれ微小量 $\Delta P, \Delta V$ および ΔT だけ変化したとする。状態方程式で微小量どうしの積は無視することによって、 $\frac{\Delta T}{T}$ を $\frac{\Delta P}{P}$ および $\frac{\Delta V}{V}$ を用いて表せ。
- (3) 理想気体が断熱されて外部との熱のやり取りがないときは、 ΔV と ΔP の間に

$$\frac{\Delta P}{P} + \gamma \frac{\Delta V}{V} = 0$$

の関係が成り立つ。ここで γ は定数である。この定数 γ を問 1(1), (2) の結果を用いて求めよ。

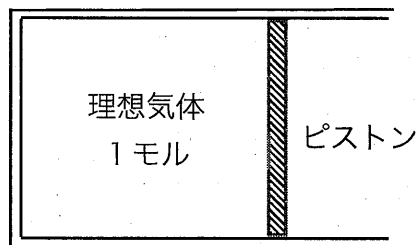


図 1

(次ページにつづく)

次に図2のように、ピストンの左側および右側にそれぞれ単原子分子理想気体1モルを封入した。左側の気体を気体A、右側の気体を気体Bと呼ぶことにする。気体AおよびBは断熱されており、外部および互いの熱のやりとりはないとする。ピストンの質量を m 、面積を S とする。また図のようにピストンの面に垂直な方向の容器の長さを $2L$ とし、ピストンや容器の厚みは無視できるとする。ピストンの面に垂直な方向に x 軸を、容器の両端が $x = -L$ および $x = L$ となるようにとる。ピストンが位置 $x = 0$ で静止したときの気体A、Bの温度が T_0 であるとする。

- (4) ピストンを位置 $x = 0$ からゆっくりと微小量 Δx だけ動かす。このとき気体AおよびBの圧力が位置 $x = 0$ での圧力に比べてそれぞれ微小量 ΔP_A および ΔP_B だけ変化したとする。 $|\Delta x|$ が十分小さく問1(3)の関係式がそれぞれの気体で成り立つとしたとき、 ΔP_A および ΔP_B をそれぞれ $\Delta x, L, S, R, T_0, \gamma$ を用いて表せ。ただし γ の具体的な値を代入する必要はない。
- (5) ピストンを位置 $x = 0$ からゆっくりと動かし、位置 $x = h$ (h は微小量)から静かに放したところ単振動を始めた。問1(4)の結果を使ってこの単振動の周期を m, L, R, T_0, γ を用いて表せ。
- (6) ピストンが問1(5)の単振動を行なっているとき、ある瞬間のピストンの速度を v 、気体A、Bの温度をそれぞれ T_A, T_B とする。ピストンと気体からなる系の全エネルギー E を v, T_A, T_B, m, R を用いて表せ。
- (7) 問1(5)の単振動中に、気体Aの内部エネルギー U_A と気体Bの内部エネルギー U_B の和 $U_A + U_B$ はわずかに変化している。その最大値と最小値の差 $\Delta(U_A + U_B)$ を $m, h, S, L, R, T_0, \gamma$ の中から必要なものを用いて表せ。

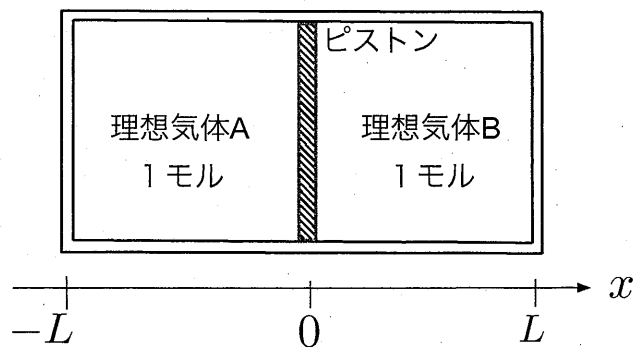


図2

問2 図3のように、水平な底面をもつ水槽に水が入っており、その深さは h である。水槽の壁は鉛直な平面である。水平面に沿って壁に垂直に x 軸、壁に沿って水平に y 軸をとる。水面の鉛直方向の変位を z 、時刻を t として、水面を伝わる波に関する以下の問いに答えよ。ただし、波が壁で反射されるとき波の位相は変化しないとする。

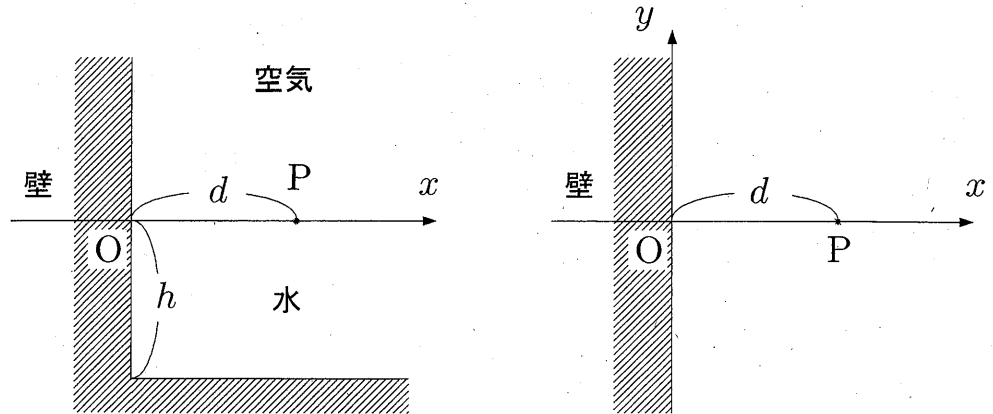


図3

横から見た図

上から見た図

(1) 水面を伝わる波の速さ v は、深さ h に比べて波長が十分大きく、振幅が十分小さい場合、重力加速度の大きさ g と h を用いて $v = g^a h^b$ (a, b は定数) と表せる。それぞれの量の単位を考慮することによって a, b の値を求めよ。

(2) x 軸の負の向きに進む振幅 A 、波長 λ 、振動数 f の平面波が壁に入射し、反射して、定在波（定常波）が生じた。ただし振幅 A は深さ h に比べて十分小さいものとする。

(a) 時刻 t 、位置 (x, y) における入射波の変位は $z = A \sin \left[2\pi \left(ft + \frac{x}{\lambda} \right) \right]$ と表される。この波の速さが $v = f\lambda$ となる理由を、変位の式を使って説明せよ。

(b) 時刻 t 、位置 (x, y) における反射波の変位は $z = A \sin \left[2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$ と表される。次の公式を用いて、観測される定在波の節の位置 (x 座標) をすべて求めよ。

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \quad (\alpha, \beta \text{ は定数})$$

(3) 壁から距離 d だけ離れた点 $P(d, 0)$ に波源を置き、振動数 f で振動させると、点 P を中心とする波長 $\frac{2}{3}d$ の円形波が発生し、壁で反射した。ただし波の振幅は深さ h に比べて十分小さいものとする。

(a) 直線 $y = 0$ 上の $x \geq 0$ の部分において、点 P から直接到達する波と壁で反射した波が弱めあう点の位置 (x 座標) をすべて求めよ。

(b) 直線 $x = d$ 上の $y \geq 0$ の部分において、点 P から直接到達する波と壁で反射した波が弱めあう点のうち、点 P に最も近い点 Q の位置 (y 座標) を求めよ。

(c) xy 平面上の $x \geq 0$ の部分において、点 P から直接到達する波と壁で反射した波が弱めあう点を連ねた曲線のうち、問 2(3)(b) の点 Q を通る曲線の概形を解答用紙の図に描き、そのような形になる理由を式を用いて述べよ。

令和四年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 A

令和3年11月6日 (土)

9 : 15 ~ 10 : 30

受験番号 _____

氏名 _____

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子、解答用紙を開かないこと。
2. 試験開始後、全ての問題用紙と解答用紙が揃っているかどうかを確認すること。
なお、本冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 1から3の問題の解答は、それぞれの解答用紙の指定された箇所に記入すること。
また、解答用紙すべてに受験番号と氏名を記入すること。
4. 草案用紙は、草案や計算のために使用してよいが、裏には書かないこと。
また、草案用紙は回収するので、受験番号と氏名を記入すること。
5. この問題冊子も回収するので、表紙に受験番号と氏名を記入すること。

(解答用紙 1 に解答せよ)

1 次の文章を読み、以下の問1から問9に答えよ。

純物質を構成している元素の種類が1種類の物質を単体という。炭素のみで構成される単体には、黒鉛やダイヤモンドのほかに、 C_{60} を代表とする球状の ア や、管状の イ などがある。黒鉛は、すべての炭素原子が隣接する ウ 個の炭素原子と エ 結合した平面層状構造であり、電気 オ 性をもつ。一方、ダイヤモンドでは カ 個の最近接原子が キ 体構造の頂点の位置にあり、光の ク 率が高い。また、黒鉛からはがれた2次元の単層シートは ケ とよばれ、熱をよく伝える。このように同じ元素の単体だが、性質の異なる物質を互いに コ という。

他にも、同じ元素からなる単体で性質が異なる例として、多くの生物に必要な酸素 O_2 と、特異臭を持つオゾンがある。酸素 O_2 は空気中に体積比で約 サ %含まれる。オゾンは強い シ 作用を持つため、ヨウ化カリウム水溶液を使ったヨウ素 ス 反応で検出することができる。地表からの高度10 kmから50 kmの層では、生体に有害な セ を酸素 O_2 が吸収してオゾンが生成する。またオゾンも セ を吸収して分解するため、吸収したエネルギーは化学エネルギーと ソ エネルギーに変換される。

問1 文中の空欄 ア から ソ に入る適切な語句または数字を書け。

問2 炭素(黒鉛)と炭素(ダイヤモンド)の燃焼熱は、それぞれ 394 kJ/mol と 396 kJ/mol である。黒鉛からダイヤモンドを生成する反応の熱化学方程式を書け。

問3 黒鉛からダイヤモンドを生成する反応は室温では極めて起こりにくいが、高温・高圧ではダイヤモンドの生成が可能になる。高温にすることで、この反応が起こりやすくなる理由を書け。

問4 C_{60} は室温において面心立方格子の分子結晶をつくる。この分子結晶の単位格子中には何個の炭素原子が含まれるか書け。

問5 C_{60} 分子の結晶の単位格子の一辺の長さは 1.4 nm である。 C_{60} 分子を直径 0.7 nm の球体と仮定して、 C_{60} の分子結晶の単位格子の体積に占める C_{60} の体積の割合を有効数字2桁で答えよ。ただし、 C_{60} 分子の内部の空間は C_{60} 分子の体積に含まれるものとする。

- 問6 六角形格子構造をとる窒化ホウ素 (h-BN) は、黒鉛の炭素を交互に B と N に置き換えた平面が重なった結晶であることから、「白い黒鉛」と言われる。h-BN の電気抵抗が非常に大きい理由について、「価電子」と「電気陰性度」の2語を用いて書け。
- 問7 ヨウ化カリウム水溶液にオゾンを通じた際に起こる反応を化学反応式で書け。
- 問8 酸素 O_2 とオゾンを比較して沸点が高いのはどちらか答えよ。また、その理由も書くこと。
- 問9 オゾンは水に溶解するため、オゾン水生成器が市販されている。一般に気体の溶解熱は正の値になり、水の温度が高くなると溶解度が減少する。気体の溶解度が高温で減少する理由を書け。

(解答用紙 **2** に解答せよ)

2 次の文章を読み、以下の問1から問6に答えよ。計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。

原子量 C = 12 O = 16 Fe = 56 気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

世界での生産量の多い重金属として、鉄、銅および亜鉛があげられ、社会のさまざまな場面で利用されている。

鉄は、地殻中に最も多く含まれる a)遷移元素 であり、その単体は、溶鉱炉での b)鉄鉱石とコークスを用いた反応 により生産されている。 **ア** を主成分とする鉄の酸化物は、 c)アンモニアを窒素と水素から工業的に合成する **イ** 法の触媒として働く。

銅は、鉱石から得られる粗銅の **ウ** を行うことで高純度の単体が生産されており、電気をよく通し、熱も伝わりやすいため、電線や調理器具に利用されている。銅と亜鉛の合金は、 **エ** とよばれ、楽器や硬貨に用いられている。

亜鉛は、酸だけでなく d)強塩基とも反応するため、 **オ** 元素とよばれる。亜鉛の単体は、乾電池の負極に利用されている。また、酸化亜鉛を主体とする触媒を用いて、一酸化炭素と水素から **カ** が工業的に製造されている。

問1 文中の空欄 **ア** から **カ** に入る適切な語句を書け。

問2 下線部 a) に関連して、以下の(1)-(3)では、それぞれ特定の遷移元素について説明している。該当する遷移元素の元素記号を解答欄に書け。

- (1) 単体の電気の通しやすさと熱の伝わりやすさが、すべての金属のなかで最も大きい。ハロゲン化物は感光性があり、光が当たると分解して単体が生成する。
- (2) 単体は、硝酸を工業的に製造するオストワルト法での、アンモニアから一酸化窒素への酸化反応の触媒として用いられる。耐食性に優れ、電気分解の電極にも利用される。
- (3) 単体は腐食されにくく、水道の蛇口のめっきやステンレス鋼に利用される。酸化数+6の酸化物イオンは、 Pb^{2+} イオンと水溶液中で反応し黄色沈殿を生じる。

問3 下線部 b) の反応の代表例では、酸化鉄(III) (赤鉄鉱の主成分) が一酸化炭素 (コークス由来) により段階的に還元される反応を経て、鉄の単体と二酸化炭素が生成する。この過程で排出される二酸化炭素の削減が、脱炭素社会の実現に向けた課題となっている。

- (1) 上記下線部の段階的な反応全体を1つにまとめた化学反応式を書け。
- (2) (1)の反応が完全に進んだとして、酸化鉄(III)から鉄 5.6 kg を得るために排出される二酸化炭素の 27 °C, 1.0×10^5 Pa での体積を L 単位で計算し、有効数字 2 桁で書け。ただし、二酸化炭素は理想気体としてふるまうものとする。

問4 下線部 c) のアンモニアの合成反応に関して、以下の問いに答えよ。アンモニアの生成熱(発熱)として、46 kJ/mol を使用せよ。

- (1) 水素分子の H-H 結合およびアンモニアの N-H 結合のエネルギーがそれぞれ 436 kJ/mol および 391 kJ/mol であることを用い、窒素分子の N≡N 結合のエネルギーを算出し、kJ/mol 単位の整数値で書け。
- (2) この合成反応は、高温(400–600 °C)・高圧の条件下で行われている。高圧にする理由を書け。

問5 下線部 d) に関して、亜鉛と水酸化ナトリウムとの反応の化学反応式を書け。

問6 Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} イオン, および, ある金属 X の n 価の陽イオン X^{n+} を含む水溶液について, 図1に示した手順により, 金属イオンの分離を行った。これに関する以下の問いに答えよ。

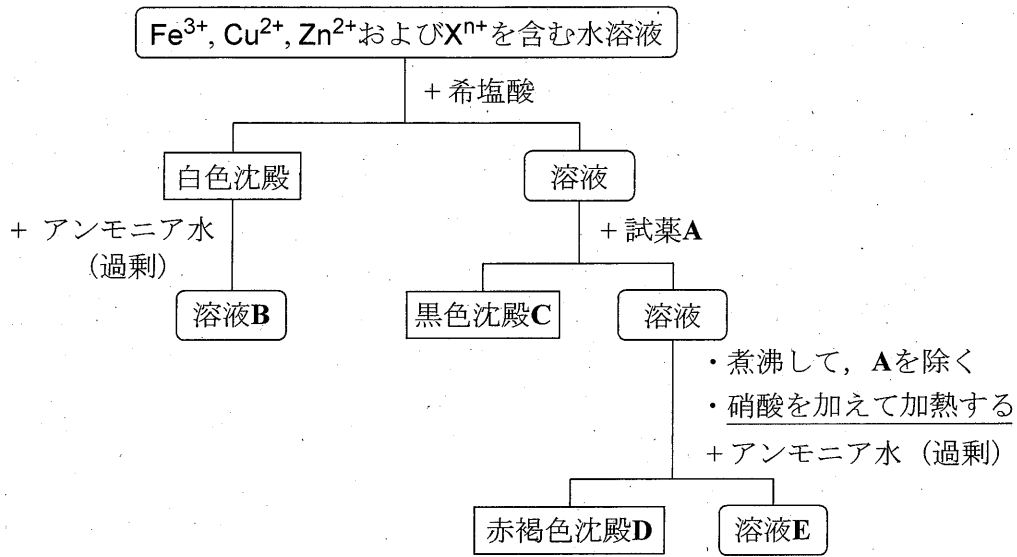


図1

- (1) 図1の試薬Aとして適切なものを次の①から④の中から1つ選び, 解答欄の数字を○で囲め。

① 希硫酸 ② 硫化水素 ③ 水酸化ナトリウム水溶液 ④ アンモニア水
- (2) X^{n+} イオンは次の①から④のいずれかである。正しいものを選び, 解答欄の数字を○で囲め。また, 溶液Bに含まれる錯イオンのイオン式を書け。

① Cd^{2+} ② Ag^+ ③ Pb^{2+} ④ Mn^{2+}
- (3) 沈殿Cおよび沈殿Dに含まれる金属化合物の化学式をそれぞれ書け。
- (4) 溶液Eに含まれる錯イオンのイオン式を書き, その形(立体構造)を次の①から⑤の中から1つ選び, 解答欄の数字を○で囲め。

① 直線形 ② 折れ線形 ③ 正方形 ④ 正四面体形 ⑤ 正八面体形
- (5) 図1の下線部で示した硝酸を加えて加熱する操作が必要な理由を40字程度で書け。
- (6) Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} および X^{n+} イオンを含む水溶液に, はじめに希塩酸を入れるべきところ, 間違っってアンモニア水を過剰量加えてしまった。この場合に, どのような手順を以降に行えば各イオンを最も効率よく分離できるかを書け。ただし, 次の試薬が手元にあり, 使用できるものとする。また, X^{n+} イオンは, (2)で答えたものであるとする。

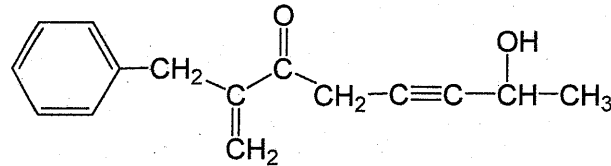
希塩酸 希硝酸 希硫酸 硫化水素 アンモニア水

(解答用紙 **3** に解答せよ)

3 次の文章[I]および[II]を読み、以下の問1から問10に答えよ。構造式を求められた場合は、以下の例のように書け。計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。

原子量 H = 1 C = 12 O = 16

(例)



[I] ベンゼンは6個の炭素原子が環状につながった構造をしており、このような環状構造をベンゼン環という。ベンゼン環を持つ炭化水素を **ア** 炭化水素という。 **ア** 炭化水素にはトルエンのようにベンゼン環に置換基を持つものや、分子式 C_{10}H_8 の化合物 **A** のような複数のベンゼン環を持つものも含まれる。ベンゼンは化学反応により様々な化合物に変換できる重要な化合物である。

問1 文中の空欄 **ア** に入る語句を書け。

問2 ベンゼンやベンゼン環に関する次の①から⑥の説明のうち誤っているものを1つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

- ① ベンゼンの6つの炭素原子は同一平面上にある。
- ② ベンゼンの6つの炭素原子間の結合距離はすべて等しい。
- ③ ベンゼンはアセチレンを鉄触媒とともに加熱することで生成する。
- ④ ベンゼンは空気中で多量の煤をだして燃焼する。
- ⑤ ベンゼン環を持つアミノ酸も存在する。
- ⑥ ナイロン6はベンゼン環を持っている。

問3 化合物 **A** の名前を書け。

[II] 酸素原子を複数含む有機化合物 **B**, **C**, **D**, **E** がある。これらはいずれもベンゼン環を2つ持ち、酸素-酸素結合を持たない。また、化合物 **B** と **C** は異性体の関係にある。化合物 **B**, **C**, **D**, **E** および関連する化合物について以下の実験1から実験9を行った。

実験1 化合物 **B**, **C**, **D**, **E** の混合物を適切な触媒存在下で水と反応させると、加水分解反応が進行し化合物 **F**, **G**, **H**, **I** が得られた。

実験2 化合物 **F** と無水酢酸の混合物に濃硫酸を加えると、解熱鎮痛剤に用いられる分子量180の化合物 **J** が得られた。

実験3 化合物 **G** の分子量は122であり、ベンゼン環を1つ持っていた。**G** の水溶液は酸性を示した。また、**G** と **H** は異性体の関係であった。

実験4 化合物 **G** を過マンガン酸カリウムを用いて酸化すると **F** が得られた。また、**G** はフェーリング液を還元しなかった。

実験5 化合物 **F** と **G** の混合物を硫酸存在下で加熱すると **B** が生じた。

実験6 化合物 **H** の水溶液は中性であった。また、**H** のベンゼン環の1つの水素を臭素に置き換えた化合物には2種類の異性体が存在した。

実験7 化合物 **I** の水溶液は中性であった。**I** を適切な酸化剤により十分に酸化すると、分子量が28増加した化合物 **K** が得られた。**K** は炭素原子の数が2個のジカルボン酸であった。

実験8 化合物 **F** と **I** の混合物を硫酸存在下で加熱すると **D** が生じた。**D** に適切な酸化剤を加え穏やかに酸化すると、化合物 **L** が得られた。化合物 **L** はフェーリング液を還元して赤色沈殿を生じた。

実験9 化合物 **E** は塩化鉄(III)水溶液によって呈色しなかった。また、**E** のベンゼン環の1つの水素を臭素に置き換えた化合物には4種類の異性体が存在した。

問 4 化合物 **J** の構造式を書け。

問 5 化合物 **G** の構造式を書け。

問 6 化合物 **B** の構造式を書け。

問 7 化合物 **H** の構造式を書け。

問 8 化合物 **I** の名前を書け。

問 9 化合物 **D** の構造式を書け。

問 10 化合物 **E** の構造式を書け。

令和四年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 B

令和3年11月6日 (土)

10:45～11:35

受験番号 _____

氏名 _____

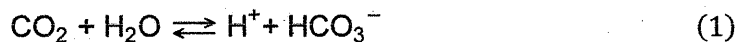
注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子、解答用紙を開かないこと。
2. 試験開始後、全ての問題用紙と解答用紙が揃っているかどうかを確認すること。
なお、本冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 4及び5の問題の解答は、それぞれの解答用紙の指定された箇所に記入すること。
また、解答用紙すべてに受験番号と氏名を記入すること。
4. 草案用紙は、草案や計算のために使用してよいが、裏には書かないこと。
また、草案用紙は回収するので、受験番号と氏名を記入すること。
5. この問題冊子も回収するので、表紙に受験番号と氏名を記入すること。

(解答用紙 **4** に解答せよ)

4 次の文章を読み、以下の問1から問7に答えよ。

水は様々な物質を溶かすことのできる液体である。海水などの水溶液で衣服がぬれると淡水よりも乾きにくくなるのは、水溶液の **ア** が純水よりも低いためである。a)塩化ナトリウムなどのイオン結晶は水に溶けると電離し、塩化物イオンとナトリウムイオンにはb)水分子が方向性を持って水和する。c)同じく金属と塩素の化合物である塩化銀は、ごくわずかにしか水に溶けない。シロ糖などの糖類は、**イ** を持つ親水性のヒドロキシ基が分子内にあることにより水によく溶けるが、ベンゼンやヘキサンにはあまり溶けない。一方で、ヨウ素やナフタレンなどの **イ** を持たない分子は水にはあまり溶けない。これらの疎水性の分子を水に溶かすのに、親水基と疎水基を併せもつセッケンなどの洗剤としてはたらく分子(**ウ** 剤)が使われる。セッケンの分子は、ある濃度以上ではa)水溶液中で会合して **エ** と呼ばれるコロイド粒子となる。このようなコロイド粒子を水に分散させた液体に多量の電解質を加えると、コロイド粒子の成分が沈殿する。この現象は **オ** と呼ばれ、豆腐やセッケンの製造に利用される。二酸化炭素は、水に溶けると以下のような反応が起こりその水溶液は弱酸性になる。



$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (2)$$

大気と平衡にある水に溶けている二酸化炭素の濃度 $[\text{CO}_2]$ は $1.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ であることと、(2)式の電離定数の値より、大気と平衡にある水のpHは以下の式で与えられる。

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \approx \text{カ} - \frac{1}{2} \log_{10} \text{キ} \approx 5.6 \quad (3)$$

問1 文中の空欄 **ア** から **オ** に適切な語句を書け。

問2 下線部 a)に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 塩化ナトリウムの水への溶解はわずかに吸熱反応であり、その溶解熱は -3.9 kJ/mol である。温度を上げた時に塩化ナトリウムの水への溶解度は大きくなるか、小さくなるか、変化しないか、答えよ。
- (2) 塩化ナトリウムの水への溶解熱は、発熱の過程と吸熱の過程の寄与の結果で決まる。以下の①から④の過程のうち、塩化ナトリウムの溶解に対して吸熱過程として寄与するものを全て選び、解答欄の数字を○で囲め。

① Na^+ と Cl^- の結合の切断 ② Na^+ の水和 ③ Cl^- の水和 ④ 水分子間の水素結合の切断

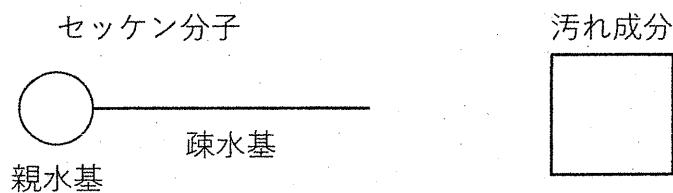
問3 下線部 b)のイオンへの水和についての記述として正しいものを全て選び、解答欄の数字を○で囲め。

- ① 水分子の酸素原子が、塩化物イオンの方に向くように水和する。
- ② 水分子の酸素原子が、ナトリウムイオンの方に向くように水和する。
- ③ 塩化物イオンとナトリウムイオンの間に一つの水分子が挟まれる構造となる。
- ④ ナトリウムイオンと水分子は、水素結合により結合する。

問4 下線部 c)に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 6.0×10^{-6} mol/L の塩化銀水溶液 20 L に、0.10 mol/L の硝酸銀水溶液を加えていったところ、 4.8×10^{-3} L 加えたところで沈殿が生じた。塩化銀の水に対する溶解度積を求めよ。ただし、この過程による体積変化は無視できるものとする。計算過程も示し、単位も書くこと。
- (2) (1)のように、電解質溶液に同じイオンを生じる別の物質を加えると、もとの電解質の電離度が小さくなる現象のことを何というか答えよ。

問5 下線部 d)の会合体の断面におけるセッケン分子の並び方を、解答欄に模式的に書け。また、油脂などの汚れ成分を含む場合についても、会合体断面におけるセッケン分子および汚れ成分の並び方を模式的に書け。ただし、セッケン分子および汚れ成分は、以下のように模式的に表すものとする。



問6 (3)式の空欄 , に入る適切な数値を書け。空欄 に入る数値は有効数字 1 桁、空欄 に入る数値は有効数字 2 桁とする。計算過程も示すこと。

問7 海水の pH は、様々な成分が溶け込んでいることからおよそ 8.1 になっている。この場合、海水に溶け込む CO_2 と HCO_3^- を合計した量は、同じ温度、体積の淡水と比較して大きくなるか、小さくなるか、また等しくなるか、答えよ。また、そうなる理由を書け。ただし、海水に溶けている二酸化炭素の濃度 $[\text{CO}_2]$ は、淡水と同じであるとする。

(解答用紙 5 に解答せよ)

5 次の文章を読み、以下の問1から問6に答えよ。

金属原子の価電子は、共有結合のように特定の原子の間で共有されるのではなく、すべての原子によって共有されている。このような価電子は と呼ばれ、 による金属原子どうしの結合を金属結合、金属結合でできている結晶を金属結晶という。金属結晶の多くは、a) 同じ大きさの球(原子)を最も密に詰めた構造、あるいは少し隙間のある構造をとる。

金属の多くは、湿った空气中に放置すると酸化されて、さびを生じる。例えば、鉄は赤褐色の赤さび、銅は緑色の を生じる。一方、b) アルミニウムは、常温で空气中に放置すると、その表面に酸化物の被膜が生じて内部が保護され、それ以上は酸化されない。このような金属の状態を という。

また、金属イオンの多くは、陰イオンや特定の官能基と反応して沈殿を生じたり、特有の色を示したりする。この沈殿反応や呈色反応を利用すれば、c) 糖やタンパク質など、天然化合物の性質や構造を調べることができる。

問1 文中の空欄 から に入る適切な語句を書け。

問2 下線部 a) の構造として、六方最密構造と面心立方格子がある。配位数と充填率はいずれも同じであるが、原子の層の積み重なりかたが異なる。その違いを簡潔に述べよ。

問3 下線部 b) の反応を化学反応式で書け。

問4 金属結晶に関して、以下の問いに答えよ。

(1) 金属が展性(薄く広げられる性質)や延性(引き延ばされる性質)を示す理由を簡潔に述べよ。

(2) 図1に示す結晶格子について、原子半径 r と単位格子の一辺の長さ l の関係を答えよ。導出の過程も簡潔に記せ。

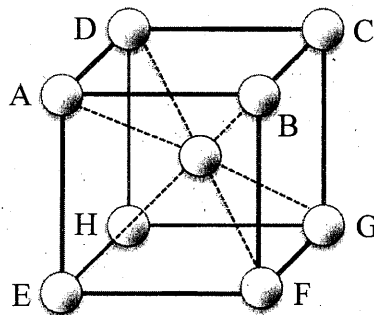


図1 金属の結晶格子

問5 鉄のさび（腐食）に関して、次のような実験を行った。以下の問いに答えよ。

実験：よく磨いた鉄板上に、 $K_3[Fe(CN)_6]$ とフェノールフタレイン溶液を少量加えた3% NaCl水溶液を数滴滴下した（図2）。しばらく放置すると、d) 滴下した溶液の中央付近が青色に変化した。さらに時間がたつと、e) 溶液の周辺部分が薄い赤色になった。

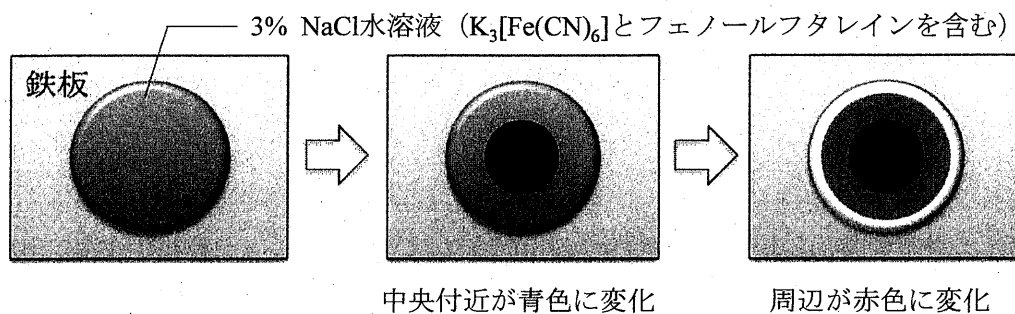


図2 鉄のさびに関する実験

- (1) 下線部 d) に関して、溶液の中央付近では、どのような反応が起きていると考えられるか。簡潔に述べよ。
- (2) 下線部 e) の結果は、鉄板中の電子 e^- が水溶液に溶け込んだ酸素と反応して OH^- を生成したためと考えられる。この反応を電子 e^- を含むイオン反応式で書け。
- (3) 湿った地中や海水中の鉄構造物の腐食を防ぐために、アルミニウムや亜鉛を鉄構造物に取り付ける「電気防食」と呼ばれる技術がある（図3）。なぜ、鉄の腐食を防ぐことができるのか。その理由を簡潔に述べよ。

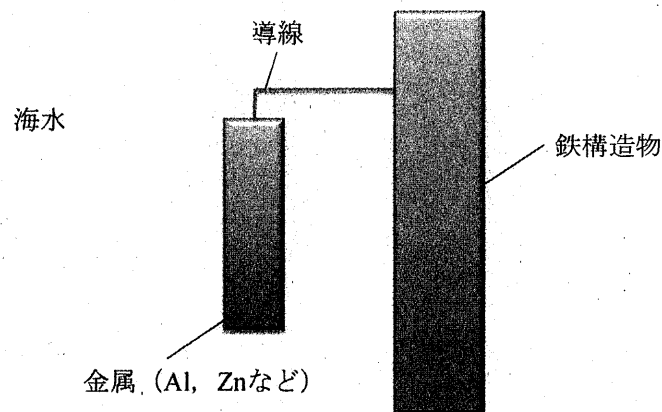


図3 電気防食

問6 下線部 c) に関して、次のような実験 1 から実験 3 を行った。以下の問いに答えよ。

実験 1 : 卵白を溶かした水溶液 3 mL に、2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 1 mL 加えたのち、0.1 mol/L 硫酸銅 (II) 水溶液を 1~2 滴加えたところ、水溶液の色は赤紫色になった。

実験 2 : 乾いた試験管にマルトース (麦芽糖) の粉末 0.2 g と硫黄の粉末 0.05 g を入れ、グリセリン 3 mL を加えた。さらに数滴の酢酸鉛 (II) 水溶液を加え、よく振り混ぜた。その後、試験管を弱火で加熱したところ、硫化鉛 (II) の黒色沈殿が生じた。一方、スクロース (シロ糖) の粉末を用いて同様の実験を行ったところ、沈殿は生じなかった。

実験 3 : 分子量 45,000 のタンパク質 A 45.0 mg を試験管に入れ、6 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液 1.0 mL を加えて沸騰水中で 30 分間加熱した。室温まで冷却した後、0.1 mol/L 酢酸鉛 (II) 水溶液を 0.5 mL 加えて振り混ぜたところ、硫化鉛 (II) の黒色沈殿が 2.39 mg 生じた。

- (1) 実験 1 で、水溶液の色が赤紫色に呈色するのはなぜか。その理由を簡潔に述べよ。
- (2) 実験 2 で、マルトースのみ硫化鉛 (II) の沈殿が生じたのはなぜか。その理由を簡潔に述べよ。
- (3) 実験 3 の結果から、タンパク質 A には、最大で何本のジスルフィド (S-S) 結合があると考えられるか。その数値を答えよ。導出の過程も簡潔に記せ。

ただし、タンパク質 A は、硫黄を含むアミノ酸としてシステイン (図 4) のみをもち、すべての硫黄が反応したものとする。また、計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。

原子量 S = 32 Pb = 207

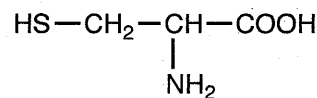


図 4 システインの構造

令和4年度(2022年度)
東北大学理学部地球科学系
A0 入試 II 期

問題 I

試験時間 9:15-9:55

注 意 事 項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号 _____

氏 名 _____

このページは余白

このページは余白

メタンハイドレートに関する次の文章を読み、以下の問い（問1・問2）に答えよ。

“Methane ice”, methane hydrate is a naturally-occurring frozen compound formed when water and methane combine at moderate pressure and relatively low temperature conditions. Methane hydrates represent a highly concentrated form of methane, with a cubic meter of idealized methane hydrate containing 0.8 m³ of water and more than 160 m³ of methane at standard temperature-pressure conditions. Ethane, propane, and carbon dioxide, and similar gases can also form gas hydrates, and individual molecules of these gases are often incorporated into gas hydrates that contain predominantly methane. Both on a global volumetric basis and in terms of areal distribution, methane hydrates are the most important type of natural gas hydrate. (ア)In contrast to conventional natural gas, methane hydrates occur only in sediments characterized by well-known pressure and temperature conditions, meaning that exploration activities can be strictly limited to specific zones. The pressure-temperature conditions consistent with methane hydrate stability are widespread on Earth. (イ)At pressure-temperature conditions outside the stability zone, methane is no longer bound in “methane ice” and exists only as free gas or gas dissolved in pore waters.

(Adapted from “Methane Hydrates and the Future of Natural Gas” by Carolyn Ruppel, MIT Energy Initiative, 2011.
一部改変)

(参考)

hydrate: ハイドレート

ethane: エタン

propane: プロパン

sediment: 堆積物

pore water: 間隙水（粒子間の隙間を満たす水）

問1 以下の小問（1）～（2）に答えよ。

（1）上の英文をもとに、8 m³のメタンハイドレートに含まれる常温常圧でのメタンの体積を答えよ。

（2）下線部（ア）を和訳せよ。

問2 図1は下線部(イ)について具体的な温度と圧力を示している。図2では、ある海域の海底面が実線で、海水の温度が破線で示してあり、その下の堆積物の温度は深さとともに $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ で上昇すると仮定する。また、水中の水圧と堆積物中の圧力は 100 気圧/ km で上昇すると仮定する。ただし、1気圧は $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ として考えるものとする。以下の小問(1)～(2)に答えよ。

著作権処理の都合上、この部分をご覧いただけません。

(1) 海面から深さ 2000 m の地点の温度を答えよ。

(2) 図2に示す海域で、温度と圧力のみから考えた場合に、メタンハイドレートが存在することのできる海面からの深さを以下から全て選べ。

{ 0 m , 200 m , 300 m , 500 m , 1000 m , 1800 m , 2400 m }

このページは余白

このページは余白

令和4年度(2022年度)
東北大学理学部地球科学系
A0 入試 II 期

問題 II

試験時間 11:00-11:40

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号 _____

氏 名 _____

このページは余白

このページは余白

次の文章を読み、以下の問い（問1～問3）に答えよ。

地球は約46億年前に小さな天体が衝突を繰り返し、それらの構成物質が付加することにより形成されたと考えられている。誕生したばかりの地球の表面は、非常に高温で岩石が融けてできたマグマの海（マグマオーシャン）によっておおわれていたとされる。その後、
(ア)原始地球は徐々に冷却され、外側から地殻、マントル、核からなる球殻構造がつけられた。
(イ)地殻とマントルは、主にマグネシウムや鉄などとケイ素と酸素の化合物であるケイ酸塩鉱物が集合した岩石からなり、核は鉄を主体とした金属で構成されると考えられている。このような主に岩石や金属などから構成される惑星は、「地球型惑星」と呼ばれる。

問1 下線部（ア）について、どのような過程、原理によってそのような地球の内部構造が形成されたと考えられるか。あなたの考えを5行以内で述べよ。

問2 ボーリング掘削で地下の試料を採取できるのは、通常、深さ数km程度までで、それより深部の物質を直接採取して調べることはできない。それにも関わらず、たとえば下線部（イ）のように地球内部の様子を推測することができるのはなぜか。その根拠や手掛かりについて2つ例をあげて、あなたの考えを説明せよ。

問3 火星は地球に比較的似た内部構造を持つと考えられているが、その推定平均密度は大きく異なる。地球の直径と質量をそれぞれ12800 km、 6.0×10^{24} kg、火星の直径と質量をそれぞれ6800 km、 6.4×10^{23} kgとしたとき、どちらの密度がどれくらい大きいか、百分率で示せ。なお、両者を真球とみなし、答えは四捨五入して整数で求めること。計算過程も示すこと。

このページは余白

このページは余白

このページは余白

令和4年度(2022年度)
東北大学理学部地球科学系
A0 入試 II 期

問題 III

試験時間 13:40-14:20

注意事項

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置かないこと。
2. 携帯電話や音の出る機器などは、電源を切ってかばんの中に入れること。
3. 合図があるまで問題冊子を開かないこと。
4. 試験開始後、この問題冊子と全ての解答用紙には受験番号および氏名を記入すること。
ページの脱落、印刷不鮮明などの箇所がある場合は試験監督者に申し出ること。
5. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ることはできません。白紙の場合でも全ての解答用紙を提出して下さい。
7. 問題について質問がある時は、発言せずに挙手をして、試験監督者に知らせること。
8. この問題冊子は回収します。

受験番号 _____

氏 名 _____

このページは余白

このページは余白

次の文章を読み、以下の問い（問1・問2）に答えよ。

新型コロナウイルスのように人を介する伝染病の場合には、地理学において人や物の地域間流動モデルを利用し、さまざまな予測が可能になる。ここでは通勤流動、すなわち働いている人の住んでいる場所と働いている場所の間の流動を事例に、地域間流動モデルを紹介する。

地域 i に住みかつ地域 j で働く人の数を通勤流動 T_{ij} とする。このとき T_{ij} は、地域 i に居住している就業者の数 O_i （以下、居住者数）、地域 j で従業している人の数 D_j （以下、従業者数）、地域 i と地域 j の距離 R_{ij} の関数で推定することができる。これは、地域間流動を万有引力の法則になぞらえてモデル化した「重力モデル」とよばれるもので、 O_i と D_j を適切なものに再定義することにより、通学流動や購買流動なども推定することができる。

なお、地域を識別する i と j には、番号を代入するが、その番号とは対象の地域群に $1 \sim N$ の連番 (N は地域群の数) をつけたものであると考えてよい。また、同一地域内の距離には 0 ではなく、その地域の面積に応じた距離の代表値を用いることとする。

問1 図1は、さいたま市大宮区と東北本線・東海道線沿線の自治体間の通勤流動と、関連する情報を図示したものである。この図をよく観察して、以下の小問(1)～(2)に答えよ。

- (1) 下線部(ア)の重力モデルとしてふさわしいものを考え、 T_{ij} を O_i と D_j と R_{ij} の関数で表せ。必要に応じて、ギリシャ文字 α 、 β 、などを定数として用いてよい。
- (2) 上の(1)で作成した関数で説明できる通勤流動の性質を全てあげ、図中に示されている事例を用いて、6行以内で説明せよ。

問2 図1に示した自治体のうち、もっとも伝染病が流行しやすいと考えられる自治体はどれか。あなたの考えをその理由とともに5行以内で述べよ。ただし、議論の単純化のために、地域外(ここでは自治体外)との通勤流動が多い地域で伝染病が流行しやすいと仮定する。

著作権処理の都合上、この部分をご覧いただけません。

このページは余白

このページは余白

令和4年度
東北大学理学部
AO入試Ⅱ期

生物系 適性試問

注意

1. 解答時間は9:15～10:45です。
2. 問題は2問あります（問題1，問題2）。
3. 解答用紙は4枚あります。4枚とも，受験番号，氏名を記入してください。
4. 解答用紙の所定の場所に解答を記入してください。
5. 問題用紙は持ち帰らないでください。

問題 1 地球温暖化と植物の分布移動の関係に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

Terrestrial plants are notorious for their ¹sedentary habits; indeed, that is one way our ²ambulatory species identifies them as members of the other kingdom. Of course, populations of plants do move, ³infiltrating new territory by creep of root and shower of seed. But how much does our self-absorbed species really know about these stately migrations? Do scientists know enough, for instance, to predict what would happen to plant communities if the earth's climate suddenly changed?

We seem to believe that we do. (a)Forecasts of global warming are often illustrated with maps showing the poleward movement of plant species, as though the biosphere were made up of puzzle pieces that could be rearranged at will. In reality, it may take plant populations years or decades to move substantial distances. Moreover, today they must move through a landscape that human activity has rendered increasingly ⁴impassable. Under the circumstances, it is possible that many species might perish, caught in the double bind of climate change and habitat degradation. To reliably assess this risk, we need a better understanding of plant migration.

(b)The interdisciplinary research required to predict how migration might constrain the response of the plant kingdom to climate shifts is just beginning. The evidence consists of diverse pieces. Some scientists have examined the fossil record of plant migrations following ancient climatic ⁵upheavals. Others have studied contemporary invasions of exotic species. Still others have analyzed the mathematics of dispersal mechanisms and the interaction of those mechanisms with contemporary landscape patterning.

These three lines of research provide disparate—even contradictory—insights. (c)Past migrations have been much faster than simple calculations based on seed dispersal by wind or by vertebrate animals would predict. Plants appear to be capable of long-distance jumps and of rapidly spreading from pre-established outlier positions. But it is also evident that human activity has greatly altered patterns of plant migration. People disperse seeds farther and faster than the seeds' own dispersal mechanisms can take them. But people also fragment the landscape, creating habitat patchworks that are usually less able to support either plant species or their animal ⁶conveyances than are undisturbed landscapes.

<次ページへ続く>

Some of these factors would seem to retard plant migration and others to accelerate it. Which factor or combination of factors will predominate for which species in the event of future climate change? And what will happen if the climate changes faster than it has in the past? (d) おそらく、このような複雑な問題を探求する唯一の方法は、計算機によるモデルを利用することでしょう。

(Adapted from "Plant Migration and Climate Change" by Louis F. Pitelka and Plant Migration Workshop Group; American Scientist. Copyright © 1997 Sigma Xi, The Scientific Research Honor Society. 一部抜粋)

注：¹sedentary, 固着性の; ²ambulatory, 歩行性の; ³infiltrate, 侵入する; ⁴impassable, 移動できない; ⁵upheaval, 激変; ⁶conveyance, 運搬, 伝達

問1 下線部(a)では、地球温暖化による生物への影響の予測がどのようにして説明されていることが多いと述べているのか、50字以内の日本語で説明せよ。

問2 下線部(b)を和訳せよ。

問3 下線部(c)を和訳せよ。

問4 下線部(d)を英訳せよ。

問題2 次の文章 [I] [II] を読み、以下の問いに答えよ。

[I]

進化とは、生物の性質が世代と共に変化する現象のことである。進化に関わりうる要因として、下記の a, b, c がある。

- a 生物個体群の個体間に変異がみられる。
- b その変異に応じて、生存率や繁殖率に違いがある。
- c その変異は遺伝する。

この3つがそろっているときに起きるのが、 による進化である。一方、3つのうちの がない場合でも進化は起こる。それをもたらすのが、生物の性質が世代間で により変化する事である。DNA の塩基配列の変異の大部分はこれによりもたらされたと考えられている。 による進化を分子進化の 説と呼ぶ。

問1 文中の ~ に適当な語を入れよ。

問2 文中の に a, b, c のどれかを入れよ。

問3 下記の①-④の中で、進化を起こす要因となりえるものをすべて選べ。また、選んだものが進化要因となりうる理由と、選ばなかったものが進化要因となりえない理由を説明せよ。

- ① 哺乳類の体細胞の DNA に起きた突然変異。
- ② 哺乳類の生殖細胞の DNA に起きた突然変異。
- ③ 被子植物の花粉の DNA に起きた突然変異。
- ④ 被子植物の茎頂細胞の DNA に起きた突然変異。

問4 毛髪や血痕などから得た DNA 情報をもとに人物を特定することができる。どうしてそれが可能なのかを説明せよ。

<次ページへ続く>

[II]

進化生物学においては「利他的」とは、自個体の生存繁殖上の利益を犠牲にして、他個体に利益を与える性質として定義されており、自然界のいくつかの生物において個体同士が「利他的」に振る舞う現象が観察される。しかし、「利他的」な性質は進化の過程で淘汰されやすいと考えられている。その理由を考える上で、簡単な思考実験を試みよう。

無性生殖をするある生物種（単相）に、対立遺伝子 A と a があるとする。対立遺伝子 A は、他個体に「利他的」に振る舞う性質を発現する。たとえば、自分が獲得した食糧を自分だけで消費するのではなく、常に他の個体にそのいくらかを分け与えるなどする。対立遺伝子 A を持つ個体（A 個体）のみからなる集団においては、お互いに食糧を分け与え合う。自分の食糧が減ってしまうことは不利益であるが、自分が食糧を獲得できない時でも他個体から食糧をもらうことができる。この見返りは大きく、各個体の繁殖率は高く、多くの子を残すことができる。そのため、個体群全体の増殖率が高まる（図 1）。一方、対立遺伝子 a は、自個体の利益のみを優先する性質を発現する。対立遺伝子 a を持つ個体（a 個体）のみからなる個体群では、お互いに食糧を分け与えたりしない。この場合、自分で食糧を獲得できなかったときでも他個体から食糧を貰えないため、各個体の繁殖率は低く、残す子の数も少ない。したがって個体群全体の増殖率も低い（図 1）。つまり、この思考実験の想定する状況では、個体数を増やして種を繁栄させたり、絶滅を防いだりすることにおいては対立遺伝子 A の方が有利である。ただし、これらの性質以外は、対立遺伝子 A と a が発現する性質に違いはない。また、A 個体なのか a 個体なのかを識別することはできず、A 個体は、どの個体に対しても同じように協力的に振る舞う。なお、この思考実験においては、得られる食糧が十分でない場合、この生物自体は死ぬことはないが、繁殖はできないこととする。

<次ページへ続く>

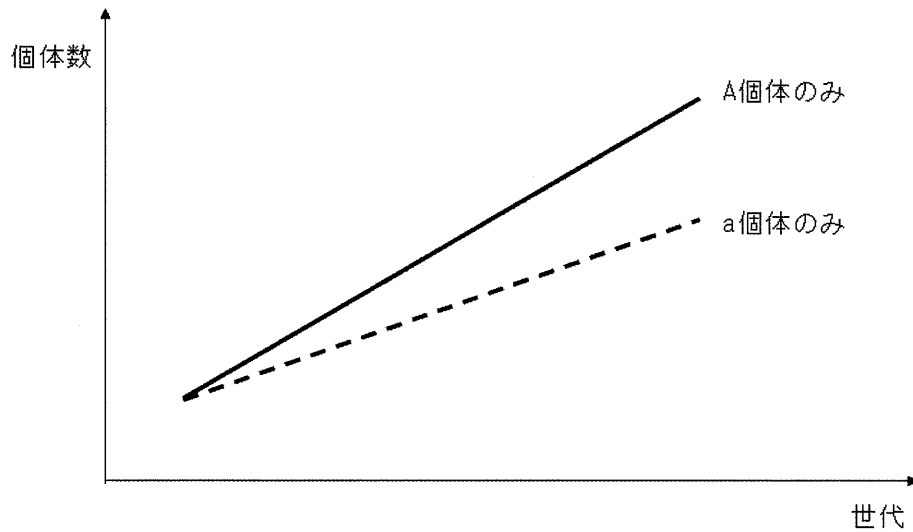


図 1. A 個体のみ, および, a 個体のみからなる個体群における世代を経た個体数の変化。

問 5 ある単位時間において, A 個体は 100 kcal の食糧を自分で獲得し, 獲得した食糧の 1% ずつを周りの 10 個体に分け与えるとする。なお, 食糧を分け与えたり, 分け与えられる機会は全ての個体で平等であるとする。このとき, 次の(i), (ii) の問いに解答せよ。

- (i) A 個体ばかり 100 個体以上からなる個体群において, ある A 個体が単位時間あたりに得られる食糧の総量 (自分で獲得する量の他, 他個体に分け与える量と, 他個体から分け与えられる量とを合計した量) は何 kcal と推定されるか答えよ。
- (ii) A 個体ばかり 100 個体以上からなる個体群において, ある A 個体 1 個体だけが, 自分では 50 kcal の食糧しか獲得できない場合, その個体が単位時間あたりに得られる食糧の総量は何 kcal と推定されるか答えよ。

<次ページへ続く>

問 6 A 個体のみからなる個体群に、突然変異によって a 個体が現れたとする。十分な世代が経った後、対立遺伝子 a はこの個体群内で広がっているかどうか答えよ。また、その理由も説明せよ。

問 7 a 個体のみからなる個体群に、突然変異によって A 個体が現れたとする。十分な世代が経った後、対立遺伝子 A はこの個体群内で広がっているかどうか答えよ。また、その理由も説明せよ。

問 8 問 6, 問 7 の思考実験の結果を踏まえて、「利他的」に振る舞う性質は進化の過程で淘汰されやすいと考えられている理由を述べよ。

問 9 一方で、自然界ではさまざまな生物種において、「利他的」に振る舞う行動が観察される。ヒト以外の動物において同種個体間で見られる利他的な行動の例を 1 つ挙げよ。また、それがなぜ進化の過程で淘汰されないのか述べよ。