

令和 7 年度 A O 入 試 問 題 集 (理 学 部)

公表期限：2028 年 3 月末

東北大学アドミッション機構

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、**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 $P_1(z) = z^8 + z^6 + z^5 - z - 1$ とし, $P_{n+1}(z) = P_1(P_n(z))$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) とする.

i を虚数単位とし, $\alpha = \cos \frac{2\pi}{5} + i \sin \frac{2\pi}{5}$ とする. $P_{2025}(\alpha)$ を $r(\cos \theta + i \sin \theta)$ ($r > 0$, $0 \leq \theta < 2\pi$) の形で表すとき, r と θ を求めよ.

2 区間 $0 \leq x \leq 1$ で連続な実数値関数 $f(x)$ が次の (a), (b), (c), (d) をすべて満たしているとする.

(a) 区間 $0 \leq x \leq 1$ で $f(x) = f(1-x)$ が成り立つ.

(b) $f(0) = -3$ かつ $f\left(\frac{1}{2}\right) = 6$ である.

(c) $f(x)$ は区間 $0 < x < 1$ で微分可能であり, その導関数 $f'(x)$ も区間 $0 < x < 1$ で微分可能である.

(d) 区間 $0 < x < 1$ で $f''(x) < 0$ が成り立つ.

このとき, 以下の問いに答えよ.

(1) $f'\left(\frac{1}{2}\right)$ の値を求めよ.

(2) 不等式

$$\int_0^{\frac{1}{2}} f(x) dx > 0$$

が成り立つことを証明せよ.

(3) 区間 $-\frac{1}{4} \leq x \leq \frac{5}{4}$ で連続な関数 $g(x)$ を

$$g(x) = \begin{cases} -f(-2x) - 4 & \left(-\frac{1}{4} \leq x < 0\right) \\ f(x) + 2 & (0 \leq x \leq 1) \\ -f(3-2x) - 4 & \left(1 < x \leq \frac{5}{4}\right) \end{cases}$$

で定義する. このとき, 定積分

$$I = \int_{-\frac{1}{4}}^{\frac{5}{4}} g(x) dx$$

は, $I > 0$, $I = 0$, $I < 0$ のうちのどれを満たすか, 理由とともに答えよ.

3 座標平面において、 x 座標と y 座標がともに整数であるような点のことを **格子点** とよぶことにする。以下の問いに答えよ。

- (1) $n \geq 2$ は整数とする。曲線 $y = \frac{2}{\sqrt{x}}$ と x 軸および 2 直線 $x = 1$, $x = n$ で囲まれた、座標平面内の図形を D_n とする。ただし、 D_n は境界線を含むものとする。図形 D_n に含まれる格子点の個数を $P(n)$ とし、 D_n の面積を $S(n)$ とする。このとき、極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P(n)}{S(n)}$ を求めよ。
- (2) n は正の整数とし、座標平面内の図形 $x^2 + y^2 \leq n^2$ に含まれる格子点の個数を $Q(n)$ とする。このとき、極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{Q(n)}{n^2}$ を求めよ。

4 L と R の 2 文字を有限個左から右に並べてできるものを **単語** とよぶことにする。ここで、単語には L と R のうち少なくとも一方は用いるが、用いない文字があってもよい。単語 w に対し、 w に現れる文字の総数を w の長さという。たとえば、長さ 2 の単語は LL , LR , RL , RR の 4 個であり、長さ n の単語は全部で 2^n 個ある。単語 v に対し、文字 L の右に単語 v を続けることでできる新しい単語を Lv , 文字 R の右に単語 v を続けることでできる新しい単語を Rv とそれぞれおく。たとえば、 v が $RRLR$ のとき、 Lv は $LRRLR$ であり、 Rv は $RRRLR$ である。

単語 w に対し、整式 $f_w(x)$ を次の規則 (i), (ii) で順次定義する。

$$(i) f_L(x) = \frac{2}{3}x \text{ かつ } f_R(x) = \frac{1}{3}x + 1,$$

$$(ii) \text{ 単語 } v \text{ に対し, } f_{Lv}(x) = f_L(f_v(x)) \text{ かつ } f_{Rv}(x) = f_R(f_v(x)) \text{ とする.}$$

このとき、以下の問いに答えよ。

$$(1) f_{RRL}(x) \text{ を求めよ.}$$

$$(2) w \text{ を単語とするととき, 不等式}$$

$$0 \leq f_w(0) < \frac{3}{2}$$

が成り立つことを証明せよ。

$$(3) n \text{ は正の整数とする. } w, z \text{ をともに長さ } n \text{ の単語とする. } f_w(0) = f_z(0) \text{ が成り立つとき, } w \text{ と } z \text{ は同一の単語であることを証明せよ.}$$

$$(4) w, z \text{ をともに単語とする. 2 つの整式 } f_w(x), f_z(x) \text{ が等しいとき, } w \text{ と } z \text{ は同一の単語であることを証明せよ.}$$

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

課題 1

試験時間 9:15～10:15

注意

- ・問題用紙 3 枚（表紙を含め 4 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 なめらかで水平な平面上を速さ v_0 で進んできた質量 m の球 1 が、同じ平面上に静止している、大きさと質量が球 1 と等しい球 2 に衝突した。球の表面はなめらかであるとして以下の問いに答えよ。

(1) 図 1 のように衝突が一直線上で起きる場合を考える。

(a) 力学的エネルギーが保存するとき、衝突後の球 1 と球 2 の速さ v_1, v_2 を求めよ。

(b) 問 (1)(a) の場合に、反発係数（はねかえり係数） e は 1 になることを示せ。

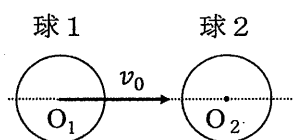


図 1

(2) 図 2 のように斜めに衝突が起きる場合を考える。衝突後、球 1 と球 2 はそれぞれ速度ベクトル $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ で運動した。 $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ の向きは衝突前の球 1 の進行方向に対してそれぞれ角度 α, β であり、大きさは v_1, v_2 であった。

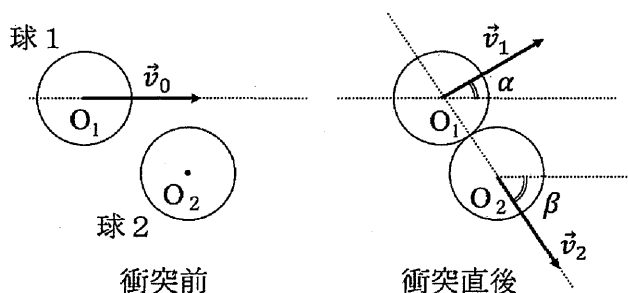


図 2

(a) 球 1 と球 2 が衝突の間に受ける平均の力 $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ を、それぞれの球の中心 O_1, O_2 を始点として矢印で解答用紙の図中に示せ。この問いについては結果のみでよい。

(b) 衝突の間に力が働いた時間の長さを Δt とする。運動量ベクトル $m\vec{v}_0, m\vec{v}_1$, および力積 $\vec{F}_1 \Delta t$ の関係式を書け。また、 $m\vec{v}_1, \vec{F}_1 \Delta t$ を、球 1 の中心 O_1 を始点として矢印で解答用紙の図中に示せ。

(c) この衝突において力学的エネルギーが保存するとき、衝突後の球 1 と球 2 の進行方向がなす角度 $\alpha + \beta$ を求めよ。

(d) 問 (2)(c) の場合に、衝突後の球 1 と球 2 の速さ v_1, v_2 を v_0 と β を用いて表せ。

(e) 問 (2)(c) の場合に、反発係数 e の値を求めよ。

問 2 長さが ℓ の軽くて細い棒の一端に、質量が m の小さなおもりを取り付ける。図 3 のように、棒の他端を、水平な床面上の点 O に取り付ける。棒とおもりは点 O を支点として、鉛直面内（紙面内）でなめらかに運動できる。おもりには、ばね定数が k の軽くて細いばねの一端がつながっている。ばねの他端には、小さな円環が取り付けられている。円環に通した支柱は、台の床面に対して垂直に立てられている。棒が鉛直に立っているときに、ばねは自然長である。円環と支柱の間に隙間はなく、円環は支柱にそってなめらかに動く。図 4 のように棒を傾けると、おもりは、点 O を中心とした半径 ℓ の円の円周に沿って運動するが、ばねは常に水平を保つ。鉛直上向きから測った棒の傾きを θ （単位はラジアン）とする。 θ は、ばねが伸びる方向を正とする。棒と支柱は変形しない。棒の太さと質量、おもりの大きさ、ばねの太さと質量、円環の質量は無視できる。おもりと棒が運動するとき、空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。

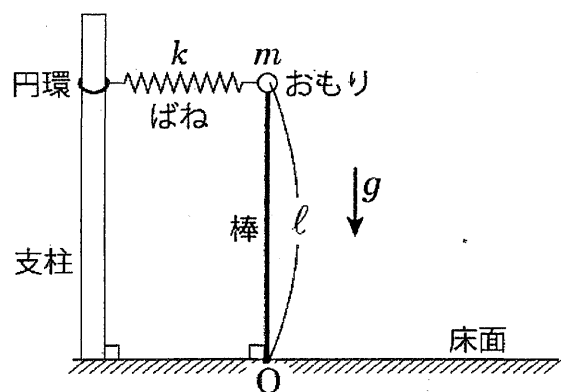


図 3

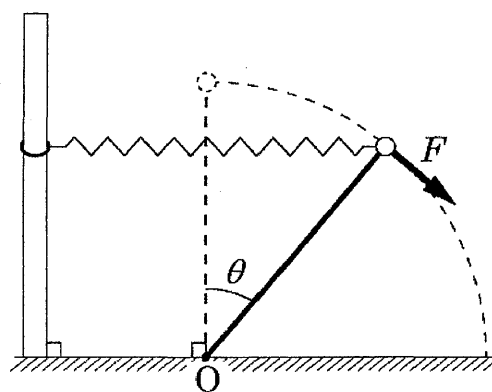


図 4

(次ページにつづく)

(1) 図4に示したように、おもりに作用する運動方向（円の接線方向）の力を F とする。 F は、 θ が増加する向きを正とする。

(a) 棒が θ ($\theta > 0$) だけ傾いているとき、 F を、 m, g, k, ℓ, θ の中から必要なものを用いて表せ。

$|\theta|$ が十分に小さい場合を考える。このとき、 $\cos \theta \doteq 1$, $\sin \theta \doteq \theta$ とすることができる。これらの近似式を使うと、 F は

$$F = -k\ell\theta + mg\theta \quad (1)$$

と表せる。

(b) 式(1)の F が復元力であるためには、ばね定数 k が、ある値 k_c よりも大きくなければならない。 k_c を、 m, g, ℓ の中から必要なものを用いて表せ。

(c) $k > k_c$ の場合を考える。棒を θ_0 ($\theta_0 > 0$) だけ傾けて静止させてから、そっと手を離した。手を離してから θ が初めて0となるまでの時間 T を、 m, g, k, ℓ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 θ_0 は十分に小さいとする。

(2) $k = 2mg/\ell$ の場合を考える。図3のように棒が直立した状態で静止しているおもりに、大きさが v で、水平方向右向きの初速度を与えたときの運動を考える。

(a) 床面を基準点とした重力によるおもりの位置エネルギー U_g と、ばねの弾性力によるおもりの位置エネルギー U_e の和 $U = U_g + U_e$ をおもりの位置エネルギーという。 $x = \cos \theta$ として、 U を、 m, g, ℓ, x の中から必要なものを用いて表せ。

(b) x が取りうる値の範囲が $0 \leq x \leq 1$ であることに注意して、 x と U の関係を表すグラフの概形を、解答用紙の指定の位置に描け。

(c) おもりが床面に達するためには、初速度の大きさ v が、ある値 v_c よりも大きくなければならない。 v_c を、 g, ℓ の中から必要なものを用いて表せ。

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

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 電荷が作る静電場と、それによる粒子の運動についての以下の問いに答えよ。
クーロンの法則の比例定数を k とする。

(1) 図 1 のように xy 平面上の原点 $(0, 0)$ に電気量 Q ($Q > 0$) の点電荷をおいた。

(a) 平面上の点 (a, a) (ただし $a > 0$) における電場ベクトル $\vec{E} = (E_x, E_y)$ を、 k, Q, a を用いて表せ。

(b) 平面上の点 (a, a) (ただし $a > 0$) における電位 V を、 k, Q, a を用いて表せ。
電位は無限遠を基準とする。

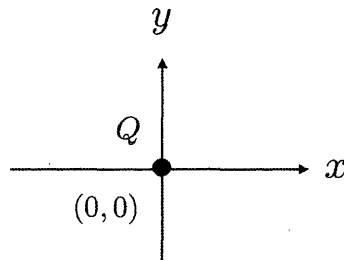


図 1

(2) 図 2 のように xy 平面上の $(L, 0)$ と $(-L, 0)$ の 2 点に電気量 Q ($Q > 0$) の点電荷をおいた。この 2 つの点電荷は平面上に固定されており、動かないものとする。

(a) x 軸上の点 $(x, 0)$ (ただし $0 < x < L$) における電場ベクトル $\vec{E} = (E_x, E_y)$ を、 k, Q, L, x を用いて表せ。

(b) y 軸上の点 $(0, y)$ (ただし $y > 0$) における電場ベクトル $\vec{E} = (E_x, E_y)$ を、 k, Q, L, y を用いて表せ。

(c) 平面上の任意の点 (x, y) における電位 V を、 k, Q, L, x, y を用いて表せ。電位は無限遠を基準とする。

(d) 解答用紙に電気力線の各点電荷付近の様子が描かれている。それを延長する形で電気力線を描け。この問いについては図のみでよい。

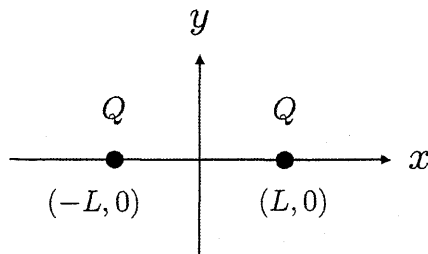


図 2

(次ページにつづく)

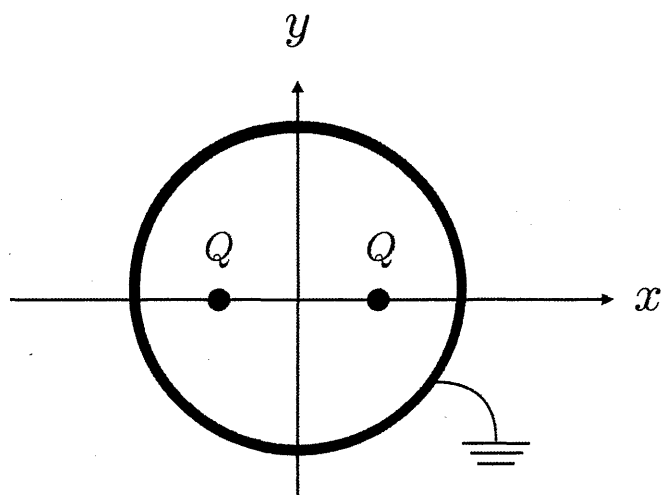


図 3

- (e) 図 3 のように、この 2 つの点電荷のまわりを接地された導体の球殻で囲む。この球殻の中心は原点に一致し、半径は $2L$ で厚さは無視できるものとする。このとき、 xy 平面上の点 $(3L, 0)$ における電場の大きさ E を求めよ。
- (3) 図 3 の状態から導体の球殻を取り除き、図 2 の状態に戻した。質量 m 、電気量 q ($q > 0$) で大きさの無視できる粒子 A を、 y 軸上の点 $(0, b)$ (ただし $b > 0$) から原点 $(0, 0)$ に向かって初速 v で打ち出した。粒子 A が y 軸負の方向に動き続けるためには、初速 v はある値 v_c 以上でなければならない。 v_c を、 k, q, Q, L, m, b を用いて表せ。粒子 A の運動は xy 平面内で起こり、重力の影響は考慮しなくてよい。

問 2 図 4 のように、内部抵抗の無視できる起電力 V_0 の電池、抵抗値 R の抵抗、電気容量 C のコンデンサーおよびスイッチ S_1, S_2 からなる回路がある。はじめコンデンサーには電荷はたくわえられておらず、 S_1, S_2 がともに開いている。

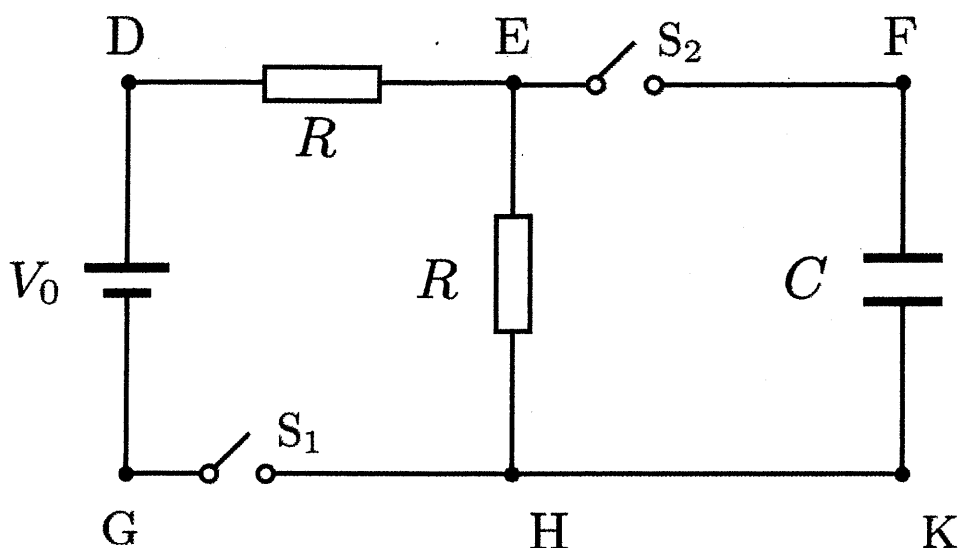


図 4

- (1) S_1 だけを閉じたとき、D 点から E 点の向きに流れる電流 I_0 を、 V_0, R を用いて表せ。

次に、 S_1 を閉じたまま、 S_2 も閉じる。 S_2 を閉じる前のコンデンサーの電気量はゼロ、 S_2 を閉じた瞬間から測った時間を t とする。時刻 t における K 点を基準としたときの F 点の電位 (コンデンサーの極板間の電位差) を V 、D 点から E 点の向きに流れる電流を I_1 、E 点から H 点の向きに流れる電流を I_2 として、以下の問いに答えよ。

- (2) 電流 I_1 と I_2 を、 V, V_0, R の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) 時刻 t ($t > 0$) から微小な時間 Δt の間にコンデンサーの電気量が ΔQ だけ増加した。 ΔQ を、 $\Delta t, I_1, I_2$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 微小な時間 Δt の間に V が ΔV だけ変化したとき、コンデンサーの極板間の電位差の変化率は $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ と表せる。ここで $\Delta t \rightarrow 0$ の極限をとると、変化率 $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ は $\frac{dV}{dt}$ となる。 $\frac{dV}{dt}$ を、 V, V_0, R, C の中から必要なものを用いて表せ。

(次ページにつづく)

- (5) コンデンサーの極板間の電位差 V は t の関数として

$$V = -\frac{V_0}{2}e^{\alpha t} + \beta \quad (\alpha, \beta \text{ は定数, } e \text{ は自然対数の底})$$

で与えられる. 問 (4) の結果を利用して, α, β を, V_0, R, C の中から必要なものを用いて表せ.

- (6) 時刻 $t > 0$ での I_1, I_2 の時間変化の様子を表す 2 つのグラフを, 解答用紙の所定の欄にまとめて図示せよ.

- (7) 時刻 $t = 0$ から $t = T$ までに, 2 つの抵抗により発生するジュール熱の総和 W は

$$W = \int_0^{\boxed{\text{イ}}} \boxed{\text{ア}} dt$$

のように積分で求めることができる.

- (a) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$, $\boxed{\text{イ}}$ に入る適切な数式を, T, I_1, I_2, R の中から必要なものを用いて表せ.

- (b) 積分を実行することにより, W を T, V_0, R, C の中から必要なものを用いて表せ.

東北大学理学部物理系 AO 入試Ⅱ期

課題 3

試験時間 12:05～13:05

注意

- ・問題用紙 6 枚（表紙を含め 7 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

媒質（空気）中を伝わる音波を、 xy 平面上にいる観測者が観測する。媒質中の音速を U とする。また、音波の変位は音波が伝わる向きの媒質の変位を表し、音波が伝わる向きを正とする。観測者による音波の変化は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 媒質中を音波（平面波）が x 軸の正の向きに伝わっている。時刻 t , 位置 (x, y) における音波による媒質の変位 F が、

$$F = A \sin \left\{ 2\pi f \left(t - \frac{x}{U} \right) \right\}$$

で表せるとする。ここで、 f は音波の振動数、 A は正の定数である。

- (a) この音波の波長 λ を、 f, U の中から必要なものを用いて表せ。

図 1 のように、観測者が一定の速さ v ($v < U$) で x 軸上を正の向きに移動しながら、音波を観測している。観測者は時刻 $t = 0$ に位置 x_0 を通過した。

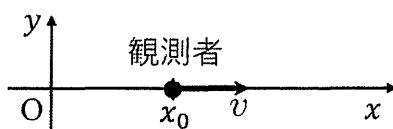


図 1

- (b) 時刻 t における観測者の位置 x を、 t, v, x_0 の中から必要なものを用いて表せ。
(c) 問 (1)(b) で求めた観測者の位置 x を変位 F の式に代入することで、観測者が観測する変位 F' が求まる。 F' の式を使って、観測者が観測する音波の振動数 f' を求めよ。

図 2 のように、観測者が一定の速度 $\vec{v} = (v_x, v_y)$ ($|\vec{v}| < U$) で移動しながら、音波を観測している。観測者は、時刻 $t = 0$ に位置 $(x_0, 0)$ を通過した。

- (d) 問 (1)(c) と同様に、観測者が観測する変位から、観測する音波の振動数 f' を求め、 f, v_x, v_y, U の中から必要なものを用いて表せ。

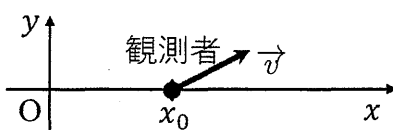


図 2

(次ページにつづく)

- (2) 観測者が音速より遅い速さで移動しながら、原点 O にある音源から全方向に伝わる振動数 f の音波を観測している。図 3 のように、時刻 t での観測者の位置ベクトルを $\vec{r}$ 、観測者の速度ベクトルを $\vec{v}$ とする。 $\vec{r}$ と $\vec{v}$ のなす角を θ 、 $v = |\vec{v}|$ 、 $r = |\vec{r}|$ として以下の問いに答えよ。

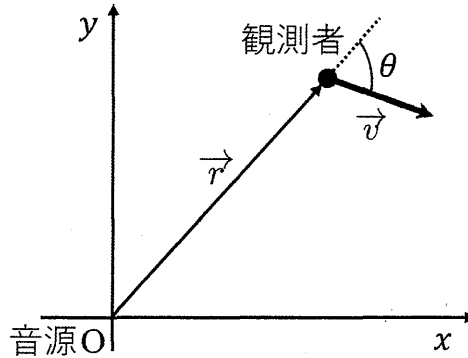


図 3

- (a) 問 (1)(d) の結果を用いて、観測者が観測する音波の振動数 f' を、 f, v, U, θ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、観測者は音源から十分に遠く、観測者には、音波は $\vec{r}$ の向きに伝わる平面波とみなせるとする。また、観測者が音波を観測している間の $\vec{v}$ の変化は無視できる。
- (b) 観測者の動きに注目する。図 4 に示すように、時刻 t での観測者の位置を P 、時刻 $t + \Delta t$ ($\Delta t > 0$) での観測者の位置を Q とする。 OQ ($\overrightarrow{OQ}$ の長さ) を、 r, θ, PQ ($\overrightarrow{PQ}$ の長さ) の中から必要なものを用いて表せ。

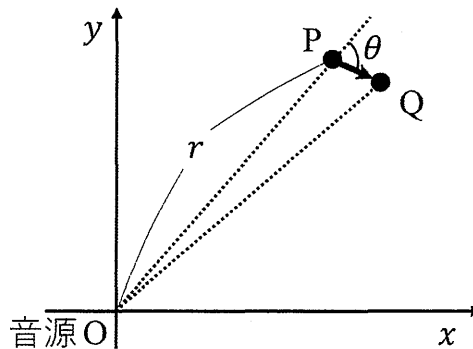


図 4

- (c) 問 (2)(b) の結果において、 Δt が十分に小さいときの OQ を、 $r, v, \theta, \Delta t$ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 PQ は $v\Delta t$ と書けるとし、 $(\Delta t)^2$ に比例する項は無視できる。また、 z を微小量としたときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+z} \doteq 1 + \frac{1}{2}z$ を用いよ。

観測された音波の振動数 f' は, $f' = \{1 - B \cos^2(Ct)\}f$ と表せることが分かった.
ここで, B, C は正の定数であり, $B < 1$ である.

(d) 問 (2)(c) で求めた OQ を $r + \Delta r$ とするとき, 単位時間当たりの r の変化は $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ となる. このとき, $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ を t, B, C, U の中から必要なものを用いて表せ.

$\Delta t \rightarrow 0$ の極限を取ると, $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ は $\frac{dr}{dt}$ となる.

(e) 時刻 $t = 0$ での原点 O と観測者の間の距離を r_0 とする. 時刻 t における原点 O と観測者の間の距離 r を, t, B, C, U, r_0 の中から必要なものを用いて表せ.

問2

図5に示すように、一定の断面積 S をもつ長さ $2L$ のシリンダーが水平に置かれている。シリンダーの内部は、厚さが無視でき、なめらかに水平方向に動くピストンで仕切られている。ピストンの左側および右側の領域には、同じ種類の単原子分子からなる理想気体が、それぞれ 1 mol ずつ密閉されている。ピストンの面積は、シリンダーの断面積と等しく S である。シリンダーとピストンは断熱材で作られている。ピストンの左側の領域に閉じ込められている気体を気体 A、ピストンの右側の領域に閉じ込められている気体を気体 B と呼ぶ。気体 A の温度は温度調整器 α により、気体 B の温度は温度調整器 β により調整される。2つの温度調整器は、その体積と熱容量が無視できる。図5に示した状態では、2つの気体の温度はともに T_0 で体積も同じであった。この状態を状態0と呼ぶ。図5のようにピストンの移動方向に沿って x 軸をとり、ピストンの位置を x で表す。状態0のときのピストンの位置を原点 $x = 0$ とし、図の右向きを x 軸の正方向とする。以下、気体定数を R とする。

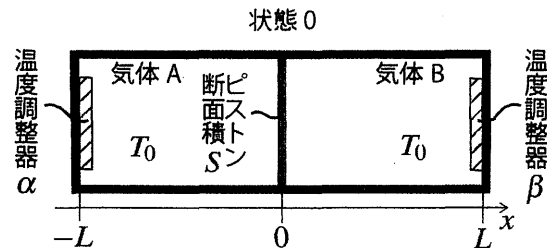


図 5

- (1) 状態0における気体 A の圧力 P_0 を、 R , T_0 , S , L の中から必要なものを用いて表せ。

(次ページにつづく)

- (2) 温度調整器 α をはたらかせて、気体 A をゆっくりと加熱する．同時に、温度調整器 β をはたらかせて、気体 B の温度を T_0 で一定に保つ．

- (a) 図 6 のようにピストンの位置が x のときの、気体 A の圧力 P と温度 T を、 R, T_0, x, L, S の中から必要なものを用いて表せ．

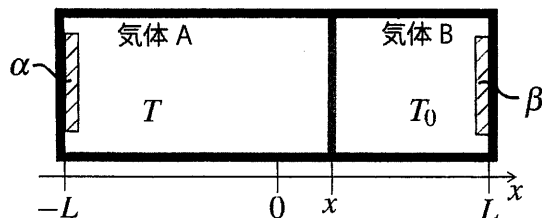


図 6

- (b) 気体 A を加熱し続け、気体 A の温度が $T = 3T_0$ に達したところで温度調整器 α と β のスイッチを切った (図 7)．この状態を状態 1 と呼ぶ．状態 1 におけるピストンの位置 x_1 を、 L を用いて表せ．

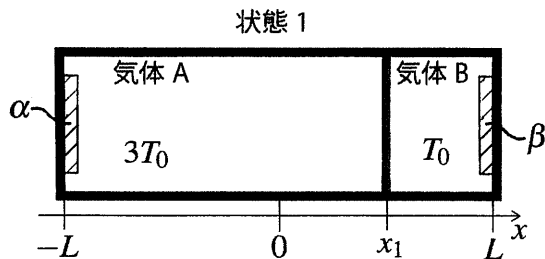


図 7

- (c) 状態 0 から状態 1 に変化する過程で、ピストンの位置が x から微小な距離 Δx だけ x 軸の正方向に移動する間に気体 A がした仕事 ΔW を、 $R, T_0, L, x, \Delta x$ の中から必要なものを用いて表せ．
- (d) 状態 0 から状態 1 に変化する過程で、ピストンの位置 x の変化に伴う気体 A の圧力 P の変化を表すグラフを横軸を x 、縦軸を P として描け．状態 0 と状態 1 を表す点を図中に明記すること．
- (e) 状態 0 から状態 1 まで変化する過程で、気体 A がした仕事 W を、 R, T_0 の中から必要なものを用いて表せ．
- (f) 状態 0 から状態 1 まで変化する過程で、温度調整器 α から気体 A に与えられた熱量 Q を、 W, R, T_0 の中から必要なものを用いて表せ．

(次ページにつづく)

- (3) 温度調整器 β のスイッチを切ったまま、状態1から、温度調整器 α をはたらかせて気体 A の温度をゆっくり低下させると、ピストンが x 軸の負方向に動いた。ピストンが原点に戻るまで温度調整器 α をはたらかせた後、温度調整器 α のスイッチを切り、気体の温度を一定に保った (図 8)。この状態を状態 2 と呼ぶ。状態 2 における気体 A の温度 T_2 は、 T_0 と同じか、 T_0 より高いか、または低いかわ、理由とともに答えよ。

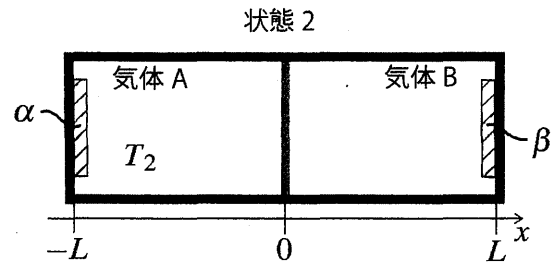


図 8

令和7年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期（化学系）

適性試問 A

令和6年11月2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、全ての問題冊子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. 計算用紙は、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、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。

このページは白紙

(解答用紙 1 に解答せよ)

1 水素化合物の分子間力に関する次の文章を読み、以下の問1から問6に答えよ。

図1は第2周期から第5周期における14族から17族の水素化合物の融点を示している。すなわち、四本の折れ線グラフはそれぞれ同じ族(①から④)の化合物の融点を結んだ線を表している。また、(a)から(i)は特定の水素化合物を示す。

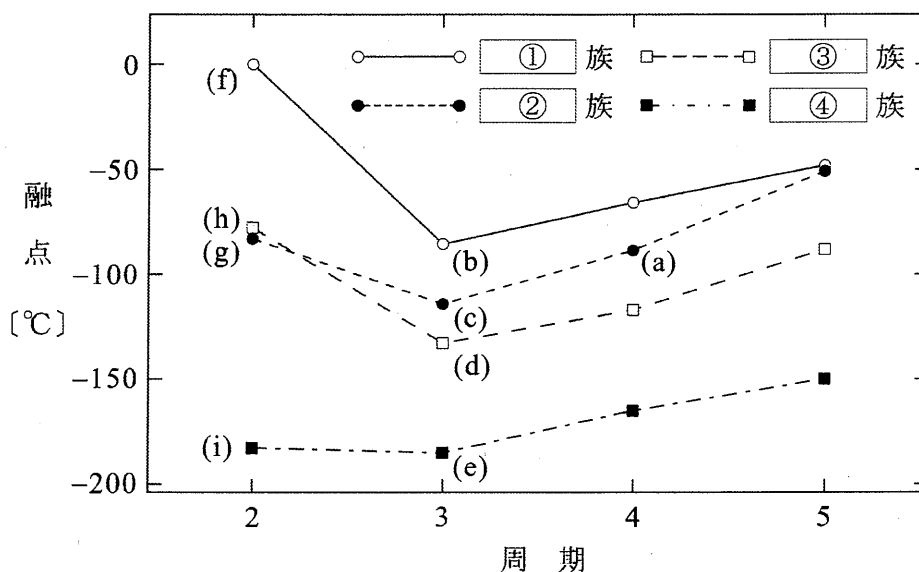


図1

- 問1 (a) は臭素の水素化合物である。①から④にあてはまる族の番号を解答欄に記せ。
- 問2 (b), (c), (d), (e) は第3周期の元素の水素化合物である。(b), (c), (d), (e) の化学式を記せ。
- 問3 第3周期以降では、どの族の水素化合物も周期番号の大きいものほど融点が高くなっている。この理由を簡単に述べよ。
- 問4 (f), (g), (h), (i) は第2周期の元素の水素化合物である。(f), (g), (h) の融点は第3周期以降の同じ族の水素化合物の融点よりも高い傾向がある。その理由を簡単に述べよ。
- 問5 第2周期の元素の電気陰性度は、(f) に含まれる元素の方が (g) に含まれる元素よりも小さい。それにもかかわらず (f) の融点が (g) の融点よりも高くなる理由を簡単に述べよ。図を書いて説明しても良い。
- 問6 一般に、沸点に比べて融点の値の方が「分子間力の大きさ」以外の性質の影響を受けやすい。そのような、「分子間力の大きさ」以外の性質の例を挙げよ。

(解答用紙 2 に解答せよ)

2 遷移元素に関する次の文章を読み、以下の問1から問8に答えよ。

遷移元素は全て金属元素であり、^{a)}周期表上で横に並んだ元素どうしで性質が互いに似ていることが多い。ほとんどの単体は融点が高く、密度が大きい。さまざまな酸化数の状態をとり、酸化数の大きな化合物は、ア 剤として利用されている。例えば、クロムやマンガンは、多くの酸化数をとる代表的な遷移元素である。

クロムの単体は、銀白色で硬く、常温では空気や水で酸化されにくい。これは表面に酸化膜を作り、イ を形成するため、内部が腐食されにくくなるためである。クロムの化合物であるクロム酸カリウムは水に溶かすとウ 色のクロム酸イオンを生じ、^{b)}その水溶液を酸性にすると二クロム酸イオンに変化する。この水溶液を塩基性にすると元のクロム酸イオンに戻る。

^{c)}二クロム酸カリウムは、酸性溶液中では強い酸化作用を示し Cr^{3+} を生じて暗緑色に変化する。

マンガンの単体は、空气中で表面が酸化されやすい。マンガン鋼と呼ばれるマンガんとエ との合金は極めて硬く、鉄道のレールの一部に用いられる。酸化マンガン(IV)は、^{a)}触媒や乾電池のオ 活物質などに用いられる。過マンガン酸カリウムは、水に溶かすと過マンガン酸イオンを含む赤紫色の溶液となり、この溶液は酸性条件下で酸化剤として働くと^{e)}ほぼ無色～淡桃色の水溶液になる。

問1 文中の空欄 ア から ウ に入る最も適切な語句を書け。

問2 文中の空欄 エ には適切な金属名を書き、空欄 オ には最も適切な電池の極(負極あるいは正極)を答えよ。

問3 下線部 a) の理由を、「内側の電子殻」と「最外殻電子」の語句を用いて、簡潔に答えよ。

問4 下線部 b) の反応のイオン反応式を書け。

問5 クロム酸イオンを含む水溶液に、金属イオンを入れると黄色の沈殿が生成した。この金属イオンとして適切なものを次の中から全て選び、該当する番号を○で囲め。

(1) Ag^+ (2) Li^+ (3) Pb^{2+} (4) Na^+ (5) Ba^{2+}

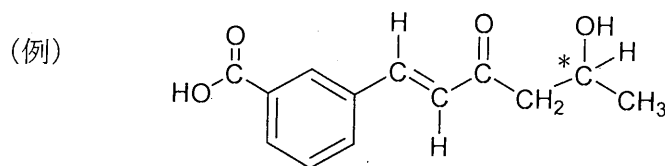
問6 下線部 c) の反応について、電子 e^- を含むイオン反応式を書け。

問7 下線部 d)に関して、酸化マンガン (IV) は過酸化水素から酸素を発生させる反応の触媒となる。この反応において、4 mol の過酸化水素から何 mol の酸素分子が発生するか、答えよ。

問8 下線部 e) で得られた溶液を塩基性～中性にした後、硫化水素を通じると淡桃色の沈殿が生じた。この沈殿は何か、化学式で答えよ。

(解答用紙 3 に解答せよ)

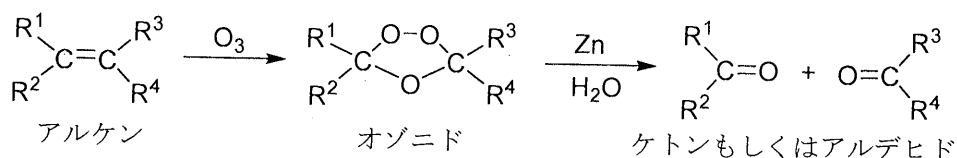
3 次の文章[I]および[II]を読み、以下の問1から問11に答えよ。構造式や不斉炭素原子の表示(*)を求められた場合は、以下の例にならって書け。特に指定がない場合は立体異性体を区別して書け。ただし、鏡像異性体は区別しない。計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。



原子量 H = 1 C = 12 O = 16

なお、文章[II]の実験9に関連して、一般的なオゾン分解反応を以下に示す。

下式のように、アルケンにオゾン O₃ を作用させると、環状化合物 (オゾニド) が生成し、さらに亜鉛を用いて還元し、加水分解すると、ケトンもしくはアルデヒドが得られる。R¹~R⁴ は炭化水素基または水素である。



[I] 水素や鎖状炭化水素基に1つの ア 基が結合した化合物を脂肪酸という。脂肪酸の中で、イ は最も強い酸性を示し、ウ 基をもつため、還元性を示す。モノカルボン酸で、光学異性体をもつ エ は、ヨーグルトなどの乳製品に含まれている。シス・トランス異性体をもつ分子式 C₄H₄O₄ のジカルボン酸のうち、A は加熱すると、分子内で脱水反応が起こり、酸無水物 B が生成する。B とアニリンを適切な酸性条件を用いて高温 (120℃以上) で加熱すると、脱水を伴って 1:1 で反応した化合物 C が得られる。C は酸性を示さない。分子式 C₈H₁₀ の芳香族化合物には オ 種類の異性体がある。いずれも適切な酸化反応により芳香族カルボン酸が得られる。

問1 文中の空欄 ア から オ に入る最も適切な語句または数字を書け。

問2 化合物 A, B, C の構造式を書け。

[II] 炭素、水素、酸素原子のみからなる分子量500以下のエステル化合物**D**がある。化合物**D**について以下の実験1から実験10を行った。

- 実験1 118 mg の化合物 **D** を完全燃焼させると、319 mg の二酸化炭素と 63 mg の水が得られた。化合物 **D** は 1 個の不斉炭素原子をもつ。
- 実験2 化合物 **D** を水酸化ナトリウム水溶液で完全に加水分解した後、酸性になるまで希塩酸で処理すると、化合物 **E**, **F**, **G** および **H** が 1:1:1:1 の割合で得られた。化合物 **E** と **H** はそれぞれ不斉炭素原子を 1 個もつが、化合物 **F** と **G** は不斉炭素原子をもっていなかった。
- 実験3 分子式 $C_9H_{12}O$ の化合物 **E** はヨードホルム反応を示した。化合物 **E** を加熱すると、分子量が 18 減少した化合物 **I** が得られた。化合物 **I** はベンゼンの二置換体でパラ位に置換基がついている。
- 実験4 ベンゼン環に結合する置換基の位置が化合物 **I** と異なる異性体である化合物 **J** を過マンガン酸カリウムで酸化すると、化合物 **F** が得られた。
- 実験5 化合物 **F** は加熱すると脱水が起こり、化合物 **K** が生じた。
- 実験6 化合物 **E** と化合物 **K** を反応させると、化合物 **L** が得られた。化合物 **L** は 1 つの不斉炭素原子をもち、炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると、気体が発生した。
- 実験7 化合物 **G** は、安息香酸に濃硫酸を加えてスルホン化した後、アルカリ融解することで得られた。適切な機器分析を行ったところ、化合物 **G** はベンゼン環の 4 個の水素原子の中で 3 個の水素原子が隣り合っている構造であった。
- 実験8 化合物 **G** と化合物 **L** を適切な酸性条件で脱水縮合反応させると、化合物 **M** が得られた。化合物 **M** は 1 つの不斉炭素原子をもち、炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると、気体が発生した。化合物 **M** に塩化鉄(III)水溶液を加えたが、呈色しなかった。
- 実験9 分子式 C_6H_{12} の化合物 **N** をオゾン分解すると、化合物 **H** とホルムアルデヒドが得られた。
- 実験10 化合物 **N** は 1 つの不斉炭素原子をもっていた。化合物 **N** に適切な触媒を用いて 1 分子の水素分子を付加させたところ、不斉炭素原子をもたない化合物 **O** が得られた。

問3 化合物 **E** の構造式を書け。不斉炭素原子には*印をつけよ。

問4 化合物 **I** の構造式を書け。

問5 化合物 **F** の構造式を書け。

問6 化合物 **L** の構造式を書け。不斉炭素原子には*印をつけよ。

問7 化合物 **G** の構造式を書け。

問8 化合物 **M** の構造式を書け。不斉炭素原子には*印をつけよ。

問9 化合物 **N** の構造式を書け。不斉炭素原子には*印をつけよ。

問10 化合物 **H** の構造式を書け。不斉炭素原子には*印をつけよ。

問11 化合物 **D** の構造式を書け。不斉炭素原子に*印をつけよ。立体異性体が複数存在する場合は、どれか1つの異性体を書け。

令和7年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期（化学系）

適性試問 B

令和6年11月2日（土）

11:10～12:00

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、全ての問題冊子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. 計算用紙は、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、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。

このページは白紙

4 次の文章を読み、以下の問1から問7に答えよ。

温度 T の密閉された体積一定の容器内において、2つの気体 A と B から気体 C を生成する以下の化学反応を考える。すなわち、



反応の開始時、容器内には気体 A と B しかなく、分圧はそれぞれ P_A および P_B であるとする。また、反応開始時の気体 A の物質量を n_A とする。この反応は、時間が経つとやがて平衡に達する (図1)。この平衡時、容器内の温度は T 、全圧は P であったとする。気体はいずれも理想気体であるとする。

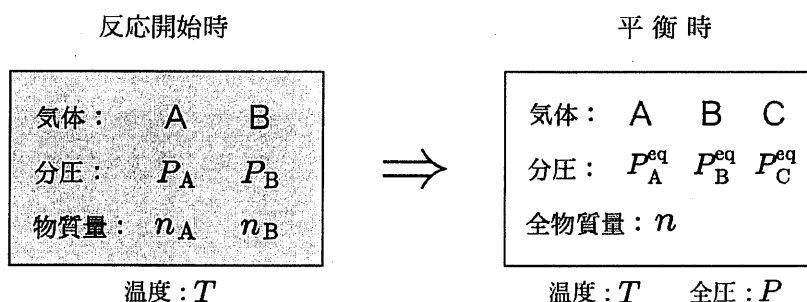


図 1

問1 反応開始時の気体 B の物質量 n_B を、 P_A , P_B および n_A を用いて記せ。

問2 反応の平衡時の全ての気体の物質量の合計 n を、 P , P_A および n_A を用いて記せ。

問3 反応の平衡時の気体 C の分圧 P_C^{eq} を、 P , P_A , P_B および n_A のうち、必要な変数を用いて記せ。導出の過程も記せ。

問4 反応の平衡時の気体 A の分圧 P_A^{eq} を、 P , P_A , P_B および n_A のうち、必要な変数を用いて記せ。導出の過程も記せ。

問5 1 mol の気体 A が全て式 (1) の反応をした時に放出される熱量を Q とする。問題文の反応において q の熱量が放出されたとすると、反応開始時の気体 A の物質量 n_A を、 P , P_A , P_B , q および Q を用いて記せ。導出の過程も記せ。

問6 問5において、 $Q > 0$ とする。容器内の気体の温度を $T'(> T)$ に上昇させると、平衡は右方向に移動するか左方向に移動するか、理由とともに述べよ。

問7 式(1)の反応において容器内に触媒を導入した場合を考える。これによって、温度の変化は無いものとする、式(1)の反応の圧平衡定数 K_p の値はどのように変化するか、理由とともに述べよ。

(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 8 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 $H = 1$ $O = 16$ $S = 32$ $\sqrt{2} = 1.41$ $\sqrt{3} = 1.73$ $\sqrt{5} = 2.24$ $\sqrt{7} = 2.64$

酸素は空気、水、岩石、有機化合物などの構成元素であり、地殻中で最も存在量の多い元素である。酸素 O_2 は工業的には液体空気の分留で得られる。実験室では過酸化水素 H_2O_2 の水溶液に、触媒として酸化マンガン(IV)を加えるか、^{a)} 塩素酸カリウム $KClO_3$ に、触媒として酸化マンガン(IV)を加え、加熱して O_2 を発生させ、 ア 置換で集める。酸素は反応性に富み、多くの元素と反応して^{b)} 酸化物をつくる。

硫黄は酸素と同じ 16 族に属する典型元素である。硫黄の単体には環状分子 A からなる単斜硫黄と斜方硫黄、鎖状分子からなるゴム状硫黄などの同素体がある。硫化水素は腐卵臭を持つ無色の有毒な気体で、^{c)} 還元作用を示す。硫化水素は多くの金属イオンと反応し、特有の色を持つ硫化物の沈殿を生じる。たとえば、酢酸鉛(II)水溶液に硫化水素を通じると、イ 色の硫化鉛(II)の沈殿を生じるため、この化学反応は硫化水素の検出に用いられる。硫酸は肥料や薬品製造、金属精錬など、化学工業に広く用いられる。熱濃硫酸は酸化力が強く、ウ を発生しながら銅や銀を溶かす。一方、希硫酸は強い酸性を示し エ を発生しながら亜鉛や鉄などを溶かす。

- 問 1 文中の空欄 ア から エ に入る最も適切な語句を書け。ただし、空欄 ウ と エ は気体の名称とする。

- 問 2 文中の空欄 A に入る最も適切な物質の化学式を書け。

- 問 3 下線部 a) の反応を、イオンを含まない化学反応式で書け。

- 問 4 下線部 b) について、次の (a) から (f) の酸化物のうち、両性酸化物をすべて選び、解答欄の記号を○で囲め。

(a) Al_2O_3 (b) ZnO (c) Na_2O (d) SO_2 (e) BaO (f) PbO

- 問 5 硫酸を接触法で製造する際に、640 g の単体の硫黄を原料とした場合、98% (質量パーセント濃度) の硫酸は何 g 得られるかを算出し、有効数字 2 桁で書け。ただし硫黄はすべて硫酸になるものとする。

- 問 6 下線部 c) について、硫化水素が二酸化硫黄と反応して硫黄の単体を生じる反応式を書け。

問 7 硫酸 H_2SO_4 の第一電離は完全電離であるが、第二電離は電離平衡状態である。第二電離における電離定数を $2.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ として、 0.100 mol/L の硫酸の水素イオン濃度を有効数字 2 桁で書け。導出過程も簡潔に記せ。

問 8 下記の文章において に入る語句を、次の (a) から (e) のうち、最も適切なものを一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

濃硫酸を水で薄める場合、冷却しながら水に濃硫酸を少しずつ加えなければいけない。これは濃硫酸と水を混ぜると多量の が発生するためである。

(a) 蒸発熱 (b) 生成熱 (c) 融解熱 (d) 溶解熱 (e) 中和熱

令和7年度（2025年度）
東北大学理学部地球科学系
AO入試II期

筆記問題
(問題I・問題II)

試験時間 9:15 – 11:15
(120分)

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、電源を切ってカバンの中に入れること。
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、この問題冊子とすべての解答用紙に受験記号番号および氏名を記入すること。
5. ページの脱落や印刷の不鮮明などがある場合には試験監督者に申し出ること。
6. 試験時間120分で、問題Iと問題IIに解答すること。
7. 解答は、すべて該当する問題の解答用紙に記入すること。
8. 問題冊子の余白は、必要に応じてメモや計算に使用して良い。
9. 解答用紙を持ち帰ることはできません。無記入の場合でもすべての解答用紙を提出すること。
10. 問題について質問がある場合は、発言せずに挙手して、試験監督者に知らせること。
11. 試験終了後、この問題冊子は回収します。

受験記号番号： _____

氏 名： _____

このページは余白

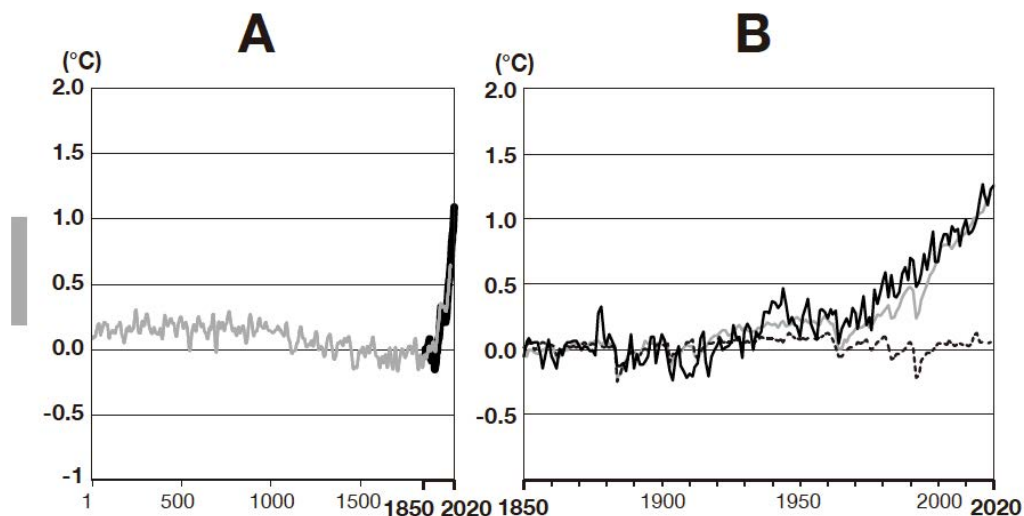
問題 I

次の文章を読み、以下の問い（問1～問6）に答えよ。

Global surface temperature has increased faster since 1970 than in any other 50-year period over at least the last 2000 years. Temperatures during the most recent decade (2011–2020) exceed those of the most recent multi-century warm period, around 6500 years ago (0.2 °C to 1 °C relative to 1850–1900). Prior to ^{a)}that, the next most recent warm period was about 125,000 years ago, when the multi-century temperature (0.5 °C to 1.5 °C relative to 1850–1900) overlaps the observations of the most recent decade.

Panel A: Changes in global surface temperature reconstructed from paleoclimate archives (solid grey line, years 1–2000) and from direct observations (solid black line, 1850–2020), both relative to 1850–1900 and decadal averaged. ^{b)}The vertical bar on the left shows the estimated temperature during the warmest multi-century period in at least the last 100,000 years, which occurred around 6500 years ago during the current interglacial period. The Last Interglacial, around 125,000 years ago, is the next most recent candidate for a period of higher temperature. These past warm periods were caused by slow (multi-millennial) orbital variations.

Panel B: Changes in global surface temperature over the past 170 years (solid black line) relative to 1850–1900 and annually averaged, compared to Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) climate model simulations of the temperature response to both human and natural drivers (grey line) and to only natural drivers ([c], dashed black line).



(Adapted from “IPCC, 2021: Summary for Policymakers”) (IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson□Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.)

(参考)

global surface temperature: 世界平均気温（地表面温度と海洋表層水温から算出した平均）

paleoclimate: 古気候 interglacial: 間氷期 multi-millennial: 数千年にわたる

Coupled Model Intercomparison Project: 結合モデル相互比較プロジェクト（気候予測を開発し提供する国際的な研究プロジェクトで、Phase 6 は2016年に発表された）

問1 下線部 a) が指す年代について、文章中から語句を抜き出して英語で答えよ。

問2 下線部 b) を和訳せよ。

問3 6500 年前の世界平均気温について、文章中の数値を用いながら日本語で、2 行以内で説明せよ。

問4 [c] 内に入る最も適切な語句を、以下のア～エのうちから一つ選べ。

- ア) solar and volcanic activity
- イ) carbon dioxide and methane
- ウ) warming and ocean acidification
- エ) ice-sheet melting and sea-level rise

問5 パネル A・B の 2 つからわかることを説明している題名として最も適切なものを、以下のア～エのうちから一つ選べ。

- ア) Orbital elements that have caused rapid global warming in recent years
- イ) Changes in global temperatures and effects of recent global warming on human society
- ウ) How global temperature change affects human activity during the Last Interglacial
- エ) History of global temperature change and causes of recent warming

問6 過去 50 年間 (1970–2020 年) の世界平均気温について、本文および図に基づき、以下の語句をすべて用いて、英語で 3 行以内で述べよ。なお、1 文でなくともよい。

[human influence, relative to 1850–1900, warming rate]

このページは余白

問題 II

次の文章を読み、以下の問い（問1～問5）に答えよ。

放射性同位体は α 線、 β 線、 γ 線を放出して放射壊変する。 α 壊変は α 線という陽子2個と中性子2個からなる[ア]原子核を放出する現象、 β 壊変は β 線という電子を放出する現象、 γ 壊変は γ 線という[イ]を放出する現象である。放射性同位体の数(N)は時間(t)の経過とともに以下の式に従って減少する。

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

ここで、 N_0 は壊変開始時の放射性同位体の数、 $T_{1/2}$ は半減期である。半減期の2倍の時間が経過したときの N は N_0 の[ウ]倍である。

放射壊変は地球で普遍的に起こる現象であり、カリウム(K)やウラン(U)の放射壊変は地球を温める熱源の一つである。放射性同位体であるカリウム40(^{40}K)の半減期は12.5億年であり、 β 壊変してカルシウム40(^{40}Ca)またはアルゴン40(^{40}Ar)になる。
a) ウラン238(^{238}U)の半減期は45億年であり、 α 壊変と β 壊変を繰り返して鉛206(^{206}Pb)になる。

問1 上記文章中の[ア]～[ウ]に入る最も適切な語句または数値を下記の選択肢のうちからそれぞれ一つ選べ。
[紫外線、赤外線、電磁波、水素、ヘリウム、リチウム、1/2、1/4、1/8]

問2 図1は放射線源から α 線、 β 線、 γ 線が放出され、磁石の間を通過した後の各線の取る軌道を示している。①から③の軌道に該当する放射線を答えよ。

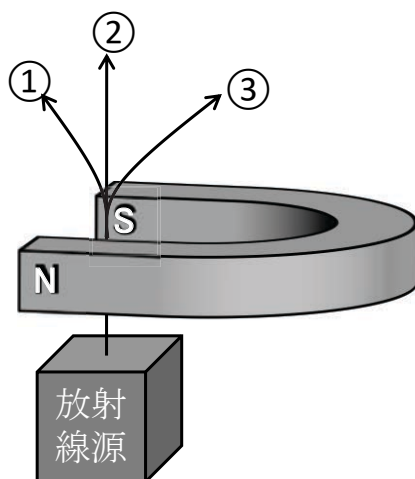


図1：放射線源から放出される放射線の軌道。

①、②、③の軌道は同一平面状にある。

- 問3 下線部a) について、 ^{238}U は α 壊変と β 壊変をそれぞれ何回行って ^{206}Pb になるか、計算過程も示して答えよ。ただし、ウランと鉛の原子番号は、それぞれ92と82である。
- 問4 現在の地球のすべての ^{40}K と ^{238}U から得られる単位時間当たりのエネルギー(W)は、それぞれおよそ 4×10^{12} (W)と 8×10^{12} (W)である。地球誕生直後の45億年前では、 ^{40}K と ^{238}U から得られる単位時間当たりのエネルギーはどちらが何倍大きいか、計算過程も示して有効数字2桁で答えよ。
ただし、放射壊変によって発生する単位時間当たりのエネルギーは放射性同位体の数に比例し、また、 $2^{3.6} = 12$ とする。
- 問5 放射性同位体の壊変熱によって地球の内部は温められている。これによって、人間の生活に大きな影響を与えるどのような自然現象が起こるか。地球内部の活動を踏まえて、あなたの考えを5行以内で述べよ。

このページは余白

このページは余白

令和7年度（2025年度）
東北大学理学部地球科学系
AO入試II期

筆記問題
(問題III)

試験時間 11:45 – 12:45
(60分)

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、電源を切ってカバンの中に入れること。
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、すべての解答用紙に受験記号番号および氏名を記入すること。
5. ページの脱落や印刷の不鮮明などがある場合には試験監督者に申し出ること。
6. 解答は、すべて該当する問題の解答用紙に記入すること。
7. 問題冊子の余白は、必要に応じてメモや計算に使用して良い。
8. 解答用紙を持ち帰ることはできません。無記入の場合でもすべての解答用紙を提出すること。
9. 問題について質問がある場合は、発言せずに挙手して、試験監督者に知らせること。
10. 試験終了後、この問題冊子は回収します。

受験記号番号： _____

氏 名： _____

このページは余白

問題 III

次の文章を読み、以下の問い（問1～問4）に答えよ。

自由課題研究で、地球のマントルの層構造の様子や構成鉱物を詳しく調べることにした。その結果、岩石や鉱物の物質科学的な性質を調べることで、地球や惑星の内部構造が研究されていることがわかった。特に、地球の内部構造の解明には、岩石や鉱物中を伝わる地震波速度が鍵になっていることがわかり、以下の情報を入手することができた。

<情 報>

- ・地球内部の構造は、地震波速度の不連続面の存在により、地殻・マントル・核の三層構造を取ることがわかっていて、より詳しい解析から、マントルや核はさらに区分される。
- ・図1aは、地球内部の地震波速度（P波）と密度分布を示した図であり、図1bと1cは、それぞれ図1aの一部を拡大したものである。
- ・図2は、深さ3000 km付近までの地球内部の温度分布を示した図である。
- ・地球のマントルは、鉱物の集合体である岩石で構成されている。また、マントルは、温度および圧力が非常に高い環境であり、そこに存在する岩石中の鉱物は、温度と圧力の条件に応じて、結晶構造が変化し、地表の鉱物とは異なる性質をもっている。
- ・地震波速度だけでは、岩石を構成している鉱物が何かまでは決められない。
- ・図3は、地球の地殻とマントルの主要な構成鉱物である鉱物Fの温度と圧力に応じた鉱物種の変化を示した図であり、マントルで観察される比較的明瞭な地震波速度の不連続な変化は、これらの鉱物種の変化でほぼ説明されている。
- ・表1は、図3中の各鉱物の大気圧下での密度をまとめたものである。

上記情報に基づいて、以下の問1～問4に答えよ。

- 問1 地球のマントルでは、およそどのような圧力条件で、どの程度の地震波速度の不連続な変化および密度の不連続な変化が生じているか、適切な図から数値を読み取って、4行以内で説明せよ。なお、マントルにおけるある深さ h での圧力 P は、 $P = \rho g h$ で近似できるものとする。ただし、 P は圧力 [$\text{Pa} = \text{N/m}^2 = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$]、 ρ は密度 (g/cm^3)、 g は重力加速度 (9.8 m/s^2)、 h は深さ (km) である。解答における圧力の単位には GPa (= 10^9 Pa)を用いよ。
- 問2 地球のマントルの深さ 250–1000 km 付近までの温度と圧力に相当する領域を解答用紙の図中に記入し、マントルで観察される地震波速度の不連続な変化を、鉱物種の変化と関連させて4行以内で説明せよ。ただし、解答用紙の図には、圧力値が 30 GPa を超える領域を記入する必要はない。

問3 複雑な地震波速度の不連続な変化が観察される地球のマントルを上部と下部に分けるとしたらどのように区分するか、そのように判断する理由を含めて、あなたの考えを4行以内で記述せよ。

問4 地球のマントルで観測される地震波速度の不連続な変化をより詳しく理解して、マントルの構造を議論するためには、前述の情報に加えてどのような情報をさらに入手すべきか、その情報を追加する理由と合わせて、あなたの考えを4行以内で記述せよ。

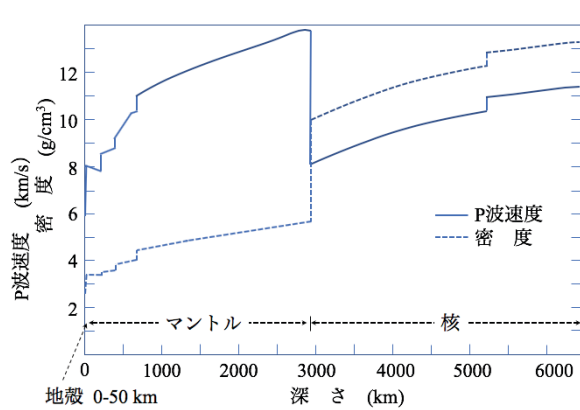


図1a 地球内部のP波速度と密度分布

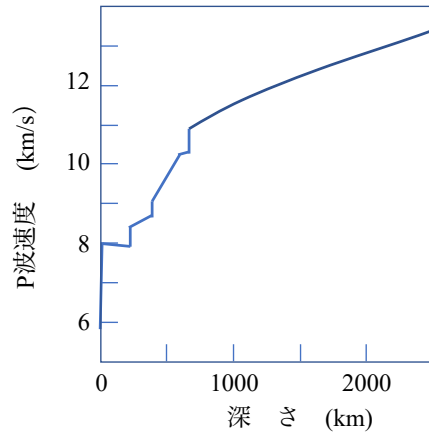


図1b 図1aの一部拡大図 (P波速度)

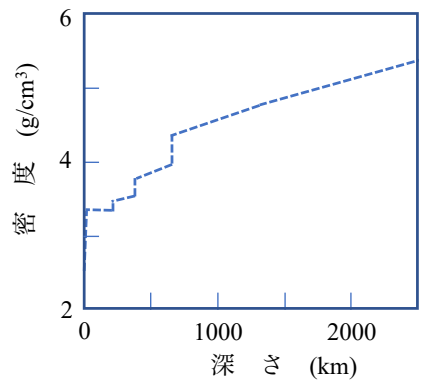


図1c 図1aの一部拡大図 (密度分布)

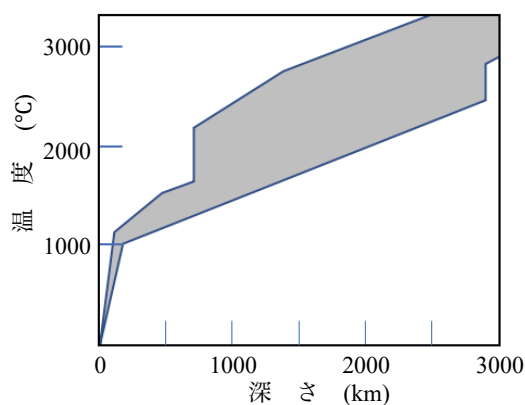


図2 地球内部の温度分布 (灰色部：推定される地球内部の温度)

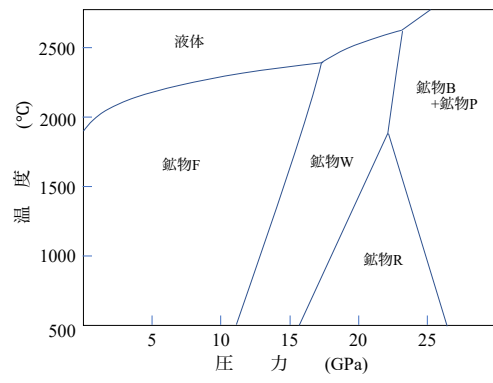


図3 温度と圧力の変化に応じた鉍物種の変化

表1 各鉍物種の大気圧下での密度

鉍物種	密度 (g/cm ³)
鉍物F	3.22
鉍物W	3.47
鉍物R	3.55
鉍物B	4.10
鉍物P	3.58

このページは余白

このページは余白

令和 7 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 次の文章は、2019 年にイグ・ノーベル物理学賞を受賞した研究に関する記事である。これを読み、以下の問いに答えよ。

Wombats are an animal native to Australia perhaps best-known for being quite cute. Recently, you might have seen that these charming animals use their hard butts^{*1} to defend themselves. That's not all their behinds are famous for: wombats are the only animals in the world that produce cube-shaped poop^{*2}.

While their droppings have sparked much interest and debate, actual research into the intricacies^{*3} of wombat scat^{*2} has been scant^{*4}. That's left scientists largely in the dark about the phenomenon—until recently. Here's what we know about their cube-shaped poop and the other interesting way they use their back-ends.

In 2018, Patricia Yang, a researcher at the Georgia Institute of Technology who specializes in bodily fluids, started to look into the topic more closely after hearing about it at a conference. “I didn't really believe it,” Yang says. A after confirming that it is, indeed, a fact, she began trying (a) to figure out why, and how, wombats poop in cubes.

“People have had all sorts of theories,” says Mike Swinbourne, a wombat expert at the University of Adelaide in Australia. One popular hypothesis is that wombats make cubes so that they can pile them up to mark their territory, without the pieces rolling away. But Swinbourne says that's a misconception. While wombats do use their scat to mark territory, “it's not like they're trying to build little brick pyramids,” he says. “They just poop where they poop.”

Instead, Swinbourne says the cubic shape is more likely related to the dry environments that most wombats live in. “They have to really squeeze every drop of moisture out [of their food],” he said. And sometimes, in zoos, where the animals have readier access to hydration^{*5}, Swinbourne says their scat is less cubic. Being dry helps the scats form more rigid shapes with sharper angles. Moisture plays a role, but “it's also a factor of the primary digestive tract,” adds Bill Zeigler, senior vice president for animal programs at Brookfield Zoo in Chicago, which has had wombats since 1969. Peter Clements, the president of the organization Wombats SA in Southern Australia, concurs, speculating that it's a combination of (b) the two.

Finding a more concrete answer, however, hasn't been easy. (c) 研究用のウォンバットを入手するだけのために、彼女は数ヶ月を要した。 No zoos in North America had any, so Yang had the intestines^{*6} of two roadkill wombats shipped from Australia. She wasn't sure what to expect when they arrived.

“At first I thought they maybe have square anus^{*7}, or maybe [the cube] forms right around the stomach,” she said. But (d) neither of those hypotheses turned out to be the case. What she found

<次のページに続く>

to be more important was how the wombat intestines stretched. As food is digested it moves through the gut^{*6}, and pressure from the intestine helps form the feces^{*2}—meaning that the shape of the intestine will affect the shape of a dropping. So Yang and the team expanded both wombat and pig intestines with a balloon to measure and compare their elasticities (or stretchiness). The pig intestine had a relatively uniform elasticity, which would explain the animal's rounder poo. The wombat intestines, however, had a much more irregular shape. Yang observed two distinct grooves^{*8}, where the intestine is stretchier, which she believes helps shape wombat feces into cubic scat.

“It's really the first time I've ever seen anybody come up with a good biological explanation,” said Swinbourne, who reviewed the draft. Clements, who also read the early study, added, “I think this is a useful contribution, B more explanation of a possible mechanism would be helpful.” Yang agrees that there are still a host of questions to answer and says her research is ongoing. ^(e)She has published a study on how the wombat's soft intestine can mold the faces into these sharp-cornered cubes. But even the initial findings imply broader implications for sectors such as manufacturing.

Cubes, Yang says, are very rare in nature. “We currently have only two methods to manufacture cubes,” she said, explaining that humans either mold cubes from soft materials, or cut them from harder objects. “Wombats have ^(f)a third way.”

(Copyright © National Geographic; Tik Root. Wombats have buns of steel—and they poop in cubes. Here's why. 2024. 一部改訂) (Used with permission of Royal Society of Chemistry, from Soft matter, "Intestines of non-uniform stiffness mold the corners of wombat feces.", by Patricia J. Yang, et al., Vol.17, 2021; permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc.)

Notes: ^{*1}**butt**: the part of your body that you sit on, ^{*2}**poo(p)/scat/feces**: solid waste from the body, ^{*3}**intricacy**: the state of containing a large number of parts or details, ^{*4}**scant**: not enough, ^{*5}**hydration**: the process of making the body absorb water, ^{*6}**intestine/gut**: a long tube through which food passes from the stomach, ^{*7}**anus**: the opening at the end of the digestive tract through which solid waste leaves the body, ^{*8}**groove**: a long, narrow space in the surface of a body part

<次のページに続く>

問 1 A と B に共通する適切な接続詞は何か、英語 1 語で答えよ。

問 2 下線部(a) について、以下の問いに答えよ。

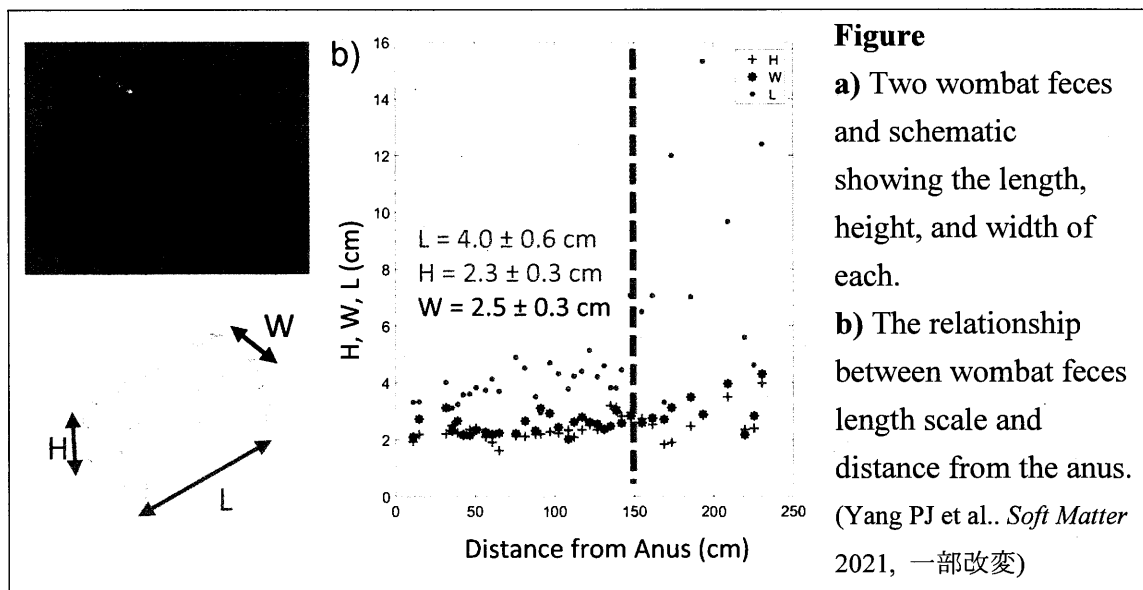
- 1) why に関して、Swinbourne は従来の仮説に対しどのような見解を示したか。日本語で述べよ。
- 2) how に関して、Yang らの研究チームはどのような発見をしたか。50 字程度の日本語で述べよ。

問 3 下線部(b) は何と何を指すか、本文中から適切な語句をそれぞれ英語 4 語以内で抜き出せ。

問 4 下線部(c) を英訳せよ。

問 5 下線部(d) を和訳せよ。

問 6 下線部(e) について、以下の図は実際の論文に掲載されたデータである。グラフ b) の点線は何を表しているか、20 字程度の日本語で述べよ。



問 7 下線部(f) は何を指すか、20 字程度の日本語で述べよ。

問題 2 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

北アメリカには昆虫のミバエの一種が生息している。このミバエは、幼虫が在来植物であるサンザシの成熟した果実を餌としていた。オスもメスも成熟した果実の匂いに誘引され、果実の上で交尾する。その後、メスは果実内に産卵する。

17 世紀以降、北アメリカにヨーロッパからリンゴの木が導入された。リンゴとサンザシは果実の成分と成熟の時期が異なっている。ところが、それまでサンザシの実を餌としていた一部のミバエ集団が、リンゴの果実を餌とするようになった。そしてこの集団の成虫のメスは、成熟したリンゴの果実に産卵していた。リンゴ果実を餌とするミバエ集団を調べてみると、サンザシの実を餌とするミバエ集団よりも、成虫がリンゴの果実の匂いに強く惹きつけられる性質をもち、リンゴ果実の成熟時期に合わせて成虫が発生していた。

リンゴを利用するミバエの遺伝子の発現調節の仕組みを調べてみると、リンゴの果実の香り成分がミバエの^(a)嗅細胞を刺激し、シグナル伝達経路が活性化されていた。これにより、特定の^(b)調節タンパク質（転写因子）が活性化し、嗅覚受容体分子の遺伝子の転写が促進される。また生活史を調節する遺伝子の作用で、^(c)発生と繁殖の時期がリンゴ果実の成熟に同期するようになっていた。

リンゴを利用する集団とサンザシを利用する集団の間では、^(d)生殖的隔離が進行し、種分化の初期段階が観察されるようになった。この事例は、環境の変化と人間活動が生物の進化に与える影響を示す例である。

問 1 下線部(a)について、一般的にシグナル分子が細胞膜上の受容体と結合した後、細胞内でどのように情報が伝達されるか、G タンパク質の役割に注目して 100 字以内で述べよ。

問 2 下線部(b)について、一般的に調節タンパク質がどのようにして特定の遺伝子の転写を促進するか、その機構を 100 字以内で説明せよ。

問 3 下線部(c)について、ミバエの発生と繁殖の時期がリンゴ果実の成熟に同期するよう進化した過程で、突然変異と自然選択はどう作用したと考えられるか、100 字以内で説明せよ。

問 4 下線部(d)の生殖的隔離が生じている理由は何か。100 字以内で説明せよ。

問 5 人間活動が生物の進化に与える影響を示す例を、ここに示した事例の他に、ふたつ挙げよ。