

令和5年度 AO入試問題集 (理学部)

公表期限：2026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、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 実数からなる2つの数列 $\{a_n\}, \{b_n\}$ は

$$a_1 > b_1 > 0,$$

$$a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2} \quad (n = 1, 2, \dots),$$

$$b_{n+1} = \sqrt[3]{\frac{(3a_n^2 + b_n^2)b_n}{4}} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

を満たすとする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $a_n > b_n > 0$ ($n = 1, 2, \dots$) を示せ。
- (2) $a_n > a_{n+1}$ ($n = 1, 2, \dots$) を示せ。
- (3) $b_n < b_{n+1}$ ($n = 1, 2, \dots$) を示せ。
- (4) 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n - b_n)$ を求めよ。

2 複素数 α, β は $|\alpha| > |\beta| > 0$ を満たし、それらの積 $\alpha\beta$ が正の実数であるとする。複素数 z に対して、

$$f(z) = \alpha z + \beta \bar{z}$$

とおく。ここで、 \bar{z} は z に共役な複素数である。さらに、

$$\omega = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i$$

とおき、

$$z_1 = 2, \quad z_2 = 2\omega, \quad z_3 = 2\omega^2, \quad w_1 = f(z_1), \quad w_2 = f(z_2), \quad w_3 = f(z_3)$$

とおく。ここで、 i は虚数単位である。このとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 頂点が z_1, z_2, z_3 である三角形と、単位円 $|z| = 1$ を同じ複素数平面上に図示せよ。
- (2) 点 z が単位円 $|z| = 1$ 上を動くとき、 $w = f(z)$ で表される点 w はどのような図形を描くか。
- (3) 実数 x に対して

$$g(x) = (x - w_1)(x - w_2) + (x - w_2)(x - w_3) + (x - w_3)(x - w_1)$$

とおくとき、 $g(x) = 0$ を満たす実数 x を α, β を用いて表せ。

3 以下の問いに答えよ.

- (1) 等式 $\sin(\sin x) = \cos(\cos x)$ を満たす実数 x が存在するかどうか, 理由とともに述べよ.
- (2) 等式 $\sin(\sin(\sin x)) = \cos(\cos(\cos x))$ を満たす実数 x が存在するかどうか, 理由とともに述べよ.

なお, 必要ならば不等式 $0.8 < \sin 1 < 0.9$ を用いてよい.

4 実数 x 全体で定義された関数

$$f(x) = \frac{1}{4}(1 - x^2)^2 + |x(x - 1)(x + 1)|$$

が極値をとる x の値はいくつあるか答えよ.

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、質量 M の台が水平な床の上に2本の平行なレールにはさまれて置かれている。台は、水平面 $OPQR$ と、水平面に対して角度 α をなす斜面 $ORST$ を持つ。台の点 O を原点とし、斜面に沿って水平な方向に x 軸、斜面に沿って上向きに y 軸をとる。

はじめに、図1のように台に固定具を取り付けて台が動かないようにした。原点 O に大きさが無視できる質量 m の物体を置き、原点 O から時刻 $t=0$ に図1の角度 θ の方向に初速 v_0 を与えたところ、物体は斜面に沿って破線で示すような運動をした。物体が斜面内を運動しているとき、以下の問いに答えよ。ただし、物体と台の摩擦および空気抵抗は無視できる。また、重力加速度の大きさを g とする。

- (1) 物体にはたらく力の x 成分 F_x 、および y 成分 F_y をそれぞれ $v_0, m, g, \alpha, \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) 時刻 t における物体の座標 x および y を $v_0, m, g, \alpha, \theta, t$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 物体が達する最高点 A の y 座標 y_A を $v_0, m, g, \alpha, \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

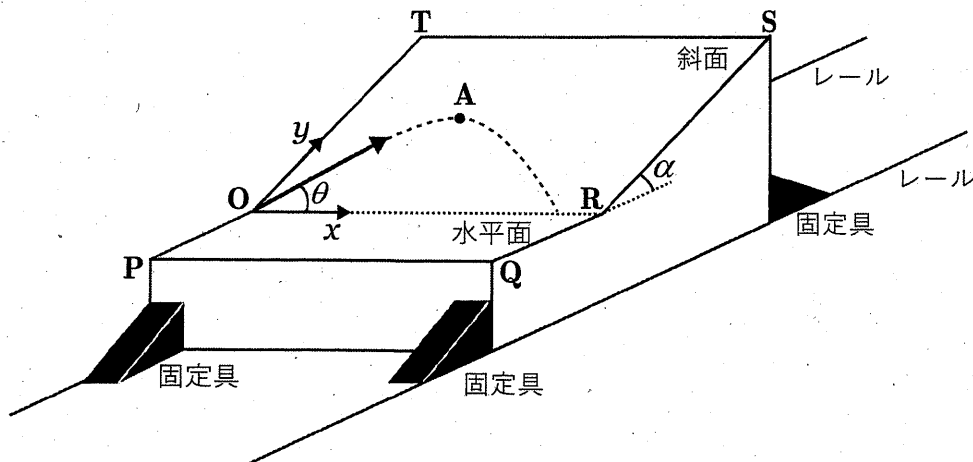


図 1

(次ページにつづく)

次に、台の固定具をはずして図2のように台がレールに沿ってなめらかに動けるようにした。台の運動方向を Y 軸とする。台が静止した状態で斜面上の y 座標が l である点 B に物体を置き、静かに手をはなしたところ、物体、台ともに運動をはじめた。台の斜面と水平面は非常に狭い領域でなめらかに接続しており、物体は台から離れずに運動を続ける。台と床およびレールとの摩擦が無視できるとき、以下の問いに答えよ。

- (4) 物体が台の水平面からとび出る瞬間の台の速度 V および物体の速度 v をそれぞれ M, m, g, l, α を用いて表せ。ただし速度は図2の Y 軸正の向きを正とする。

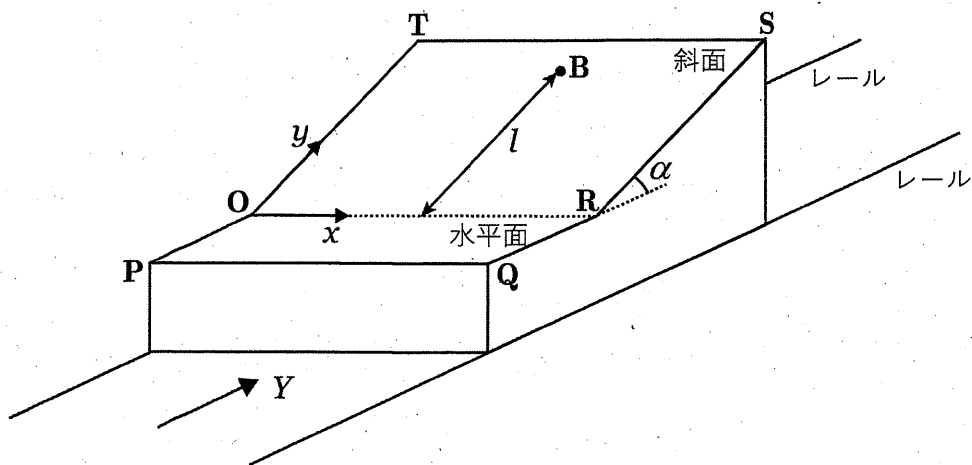


図2

問 2 図3のように、穴のあいた質量 m の小球が半径 R のリングに通されている。小球はリングに沿ってなめらかに動くことができ、リングと小球はリングの中心 O を通る鉛直軸まわりに回転させることができる。いま、リングと小球をこの鉛直軸まわりに一定の角速度 Ω ($\Omega > 0$) で回転させた場合を考える。リングの最下点 P から測ったリングの中心 O のまわりの角度を θ (単位はラジアン) とし、 P を原点としてリングに固定した座標として、水平方向に x 軸、リングの中心を通る鉛直軸に沿って上向きに z 軸を取る。ただし、リングは変形することはない、空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 小球が角度 θ (ただし $-\pi < \theta \leq \pi$ とする) の位置にあるとき、リングとともに運動する人から見たときの、小球にはたらくリングに沿った方向の力の成分 F を m, R, Ω, g, θ の中から必要なものを用いて表せ。ただし F は θ の増える向きを正とする。
- (2) 回転の角速度 Ω がある値 Ω_c より小さいとき、点 P の十分近くで、小球にはたらく力は点 P への復元力となる。 Ω_c を m, R, g の中から必要なものを用いて表せ。なお θ が微小なとき、 $\sin \theta \approx \theta, \cos \theta \approx 1$ と近似できることを用いてよい。

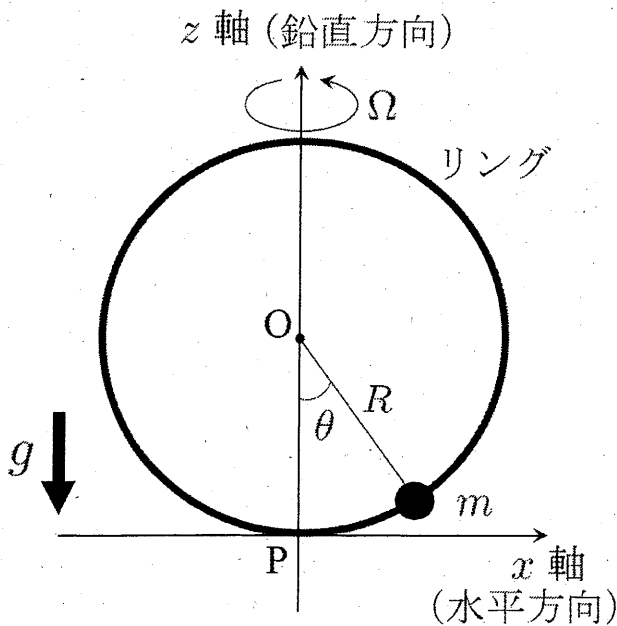


図 3

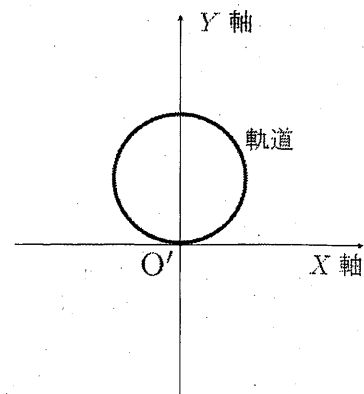


図 4

(次ページにつづく)

まず、リングの回転の角速度 Ω が Ω_c より小さい場合を考える。

- (3) 小球を、点 P からのずれが十分小さい位置で静かにはなすと、リングとともに回転する人から見た小球の運動は点 P を中心とした単振動となる。単振動の周期 T を m, R, Ω, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 問 (3) の小球の運動を鉛直上方 (z 軸の正方向) から観察したところ、その軌道は図 4 に示したような原点 O' を通る閉じた軌道となった。ここで X, Y 軸は空間内に固定された平面上の座標であり、原点 O' は z 軸と一致している。また、時刻 $t = 0$ において X 軸がリングに固定された x 軸と一致し、このとき XY 平面上における小球の位置は原点 O' であるとする。小球の位置は Y 軸上で原点 O' から最も遠ざかることに注意して、このような軌道となるための Ω の値を m, R, g の中から必要なものを用いて表せ。

次にリングの回転の角速度 Ω が Ω_c より大きい場合を考える。

- (5) 小球を $\theta = \theta_1$ ($\theta_1 > 0$) の点 Q に移動させ、そっと手をはなしたとき、小球はリングとともに動く人から見て、静止したままであった。 $\cos \theta_1$ の値を m, R, Ω, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (6) 小球に外力を加えて、小球を点 P からリング上の他の点 P' まで移動させる。リングとともに動く人から見た、点 P' の座標を (x, z) とする。リングとともに動く人から見て、外力がした仕事の総和 W はある定数 α を用いて、 $W = \alpha x^2 + mgz$ と表すことができる。 α を m, R, Ω, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (7) 問 (6) の仕事 W の値は点 P を基準とした小球の位置エネルギー U とみなすことができる。 U を角度 θ の関数として、そのグラフの概形を $-\pi < \theta \leq \pi$ の範囲で図示せよ。点 Q ($\theta = \theta_1$) でのふるまいに注意すること。
- (8) リングとともに動く人から見て、点 Q からリングに沿って下向きに初速 v_0 で小球を打ち出した際、小球が点 P を通過するには v_0 がある値 v_c より大きくなければならない。 v_c を m, R, Ω, g 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

物理 課題 2

試験時間 10:40～11:40

注意

- ・問題用紙 2 枚 (表紙を含め 3 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 のような回路がある。ダイオードは、電流が図 1 の点 b から点 d の方向に流れる場合の抵抗は 0 であるが、その逆方向に流れる場合の抵抗は無限大であるとする。電池の起電力は V_0 で、その内部抵抗は無視できるとする。抵抗 1 と 2 の抵抗値は等しく、 R とする。コンデンサー 1 の電気容量の値は C とする。コンデンサー 2 は電気容量を変えることができ、その最初の値は $2C$ とする。どちらのコンデンサーも最初の電気量は 0 とする。スイッチ 1 とスイッチ 2 は最初は開いているとして、以下の問いに答えよ。

- (1) はじめにスイッチ 1 を閉じた。その後、十分時間が経過したときを考える。
 - (a) 点 e を基準としたときの点 d の電位 V_{de} を求めよ。
 - (b) コンデンサー 1 と 2 に蓄えられた静電エネルギーの総和 U を求めよ。
- (2) 問 (1) に引き続いて、スイッチ 2 を閉じた。スイッチ 2 を閉じた直後にダイオードに流れる電流についての記述で正しいものを次の (ア)~(ウ) から選択せよ。選択した理由も説明すること。

(ア) $b \rightarrow d$ の電流が流れる (イ) $d \rightarrow b$ の電流が流れる (ウ) 電流は流れない
- (3) 問 (2) で、スイッチ 2 を閉じた後、十分時間が経過したときを考える。
 - (a) 抵抗 1 を流れる電流 I_1 を求めよ。
 - (b) コンデンサー 2 の点 d 側の極板に蓄えられた電気量 Q_2 を求めよ。
- (4) 問 (3) に引き続いて、スイッチ 2 を開いた後、コンデンサー 2 の電気容量をゆっくり $2kC$ ($1/2 \leq k < 1$) に変えた。その後、再びスイッチ 2 を閉じた。スイッチ 2 を閉じた直後にダイオードに流れる電流についての記述で正しいものを次の (ア)~(ウ) から選択せよ。選択した理由も説明すること。

(ア) $b \rightarrow d$ の電流が流れる (イ) $d \rightarrow b$ の電流が流れる (ウ) 電流は流れない
- (5) 問 (4) でスイッチ 2 を閉じてから十分時間が経過した後でスイッチ 1 と 2 を同時に開いた。 $k = 1/2$ としたとき、スイッチ 1 と 2 を同時に開いた直後から十分時間が経過するまでに抵抗 2 で発生したジュール熱 J_2 を求めよ。

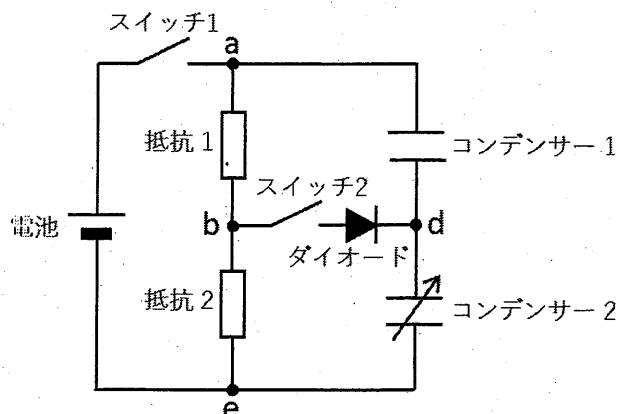


図 1

問 2 図 2 のように xy 平面内を運動する荷電粒子を考える。紙面表から裏向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場がかけられている。荷電粒子の質量を m 、電荷を q ($q > 0$) とする。重力の影響および荷電粒子の運動による電磁波の放射は無視できるとする。以下の問題では、粒子の速度および加速度が粒子の位置 (x, y) の時間 t による微分を用いて、 $(v_x, v_y) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}\right)$ および $(a_x, a_y) = \left(\frac{dv_x}{dt}, \frac{dv_y}{dt}\right)$ と与えられることに注意すること。

- (1) xy 平面内での荷電粒子の速度が (v_x, v_y) 、加速度が (a_x, a_y) のとき、荷電粒子の運動方程式を $m, a_x, a_y, v_x, v_y, q, B$ を用いて表せ。
- (2) 荷電粒子の時刻 $t = 0$ での速度が $(v_x, v_y) = (V, 0)$ であるとき、一般の時刻 t ($t > 0$) での速度は $(v_x, v_y) = (V \cos \omega t, V \sin \omega t)$ となる。ここで ω, V は定数である。この式を問 (1) の運動方程式に代入することにより ω を求めよ。

次に図 3 のように、一様磁場に加えて、大きさ E の一様な電場を y 軸の正の向きに加える。

- (3) 荷電粒子が時間によらない一定の速度 (u_x, u_y) で運動しているとき、その速度 (u_x, u_y) を B, E で表せ。
- (4) 問 (3) の一定速度 (u_x, u_y) で動く観測者からみた荷電粒子の速度を (v'_x, v'_y) 、加速度を (a'_x, a'_y) とするとき、運動方程式を $m, a'_x, a'_y, v'_x, v'_y, q, B, E$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 問 (4) において、時刻 $t = 0$ での速度が $(v'_x, v'_y) = (V', 0)$ であるとする。問 (2) の結果に注意して、一般の時刻 t ($t > 0$) での (v'_x, v'_y) を t, ω, V' を用いて表せ。ここで ω は問 (2) の解である。
- (6) 静止している人から見て、荷電粒子が時刻 $t = 0$ において位置 $(x, y) = (0, 0)$ から初速度 $(v_x, v_y) = (0, 0)$ で運動をはじめた。
 - (a) 時刻 t ($t > 0$) での荷電粒子の速度 (v_x, v_y) を t, ω, B, E で表せ。
 - (b) 時刻 t ($t > 0$) での荷電粒子の位置 (x, y) を t, ω, B, E で表せ。
 - (c) 荷電粒子は x 軸 ($y = 0$) から離れたあと、時刻 $t = T$ ($T > 0$) で再び x 軸上に戻った。 $t = 0$ から $t = T$ までの荷電粒子の軌跡の長さ L を ω, E, B で表せ。

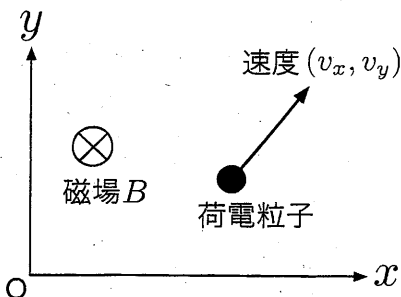


図 2

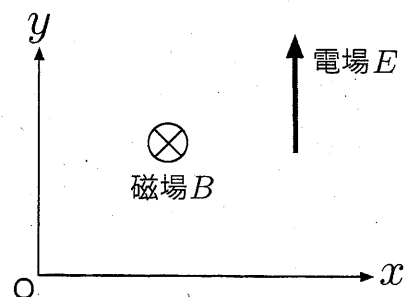


図 3

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 6 枚 (表紙を含め 7 枚), 解答用紙 3 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 半径 a の球形の容器に、質量 m の単原子分子 1 モルからなる温度 T の気体を満たす。容器は固定されており、容器の壁への分子の衝突は弾性衝突とする。気体は理想気体であり、分子どうしの衝突や重力の影響は無視してよい。また、容器の壁の厚さは無視できる。ボルツマン定数を k 、アボガドロ定数を N_A として以下の問いに答えよ。

- (1) 図 1 に示すような容器の壁への 1 つの分子の衝突を考える。衝突する直前の分子の速さは v 、入射角は図のように θ であった。
 - (a) この衝突によって分子が容器の壁に与える力積の大きさ I を求めよ。
 - (b) 分子が容器の壁に衝突してから次に壁に衝突するまでの時間 Δt を求めよ。
 - (c) 時間 t の間に 1 つの分子が容器の壁に衝突する回数 n および、1 つの分子が容器の壁におよぼす平均の力の大きさ F を求めよ。ただし $t \gg \Delta t$ とする。
- (2) 容器内の分子はさまざまな速度をもって運動している。速度の x 成分が v_x から $v_x + \Delta v_x$ (Δv_x は微小量) の間にある分子の個数を $G(v_x)\Delta v_x$ とすると、

$$G(v_x) = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} N_A e^{-mv_x^2/(2kT)}$$

となることが知られている。ここで e は自然対数の底である。次の公式を用いて分子の速さの 2 乗平均 $\overline{v^2}$ を求めよ。

$$\int_{-\infty}^{\infty} s^2 e^{-s^2} ds = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

- (3) 容器内の気体全体の性質を考える。
 - (a) 気体の圧力を p 、密度を ρ とするとき、 $p = \rho kT/m$ が成り立つことを、問 (1)、(2) の結果を用いて示せ。
 - (b) 問 (2) の結果を用いて気体の内部エネルギー U を求めよ。

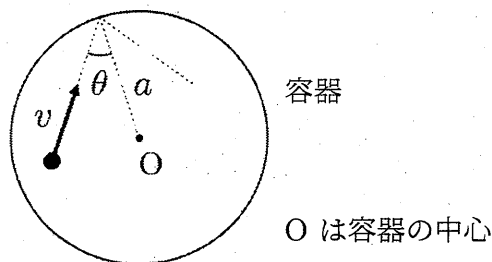


図 1

(次ページにつづく)

次に、容器が薄い膜でできていて、球形を保ちながら伸び縮みできる場合を考える。膜の面積を ΔS だけ増加させるのに必要な仕事は $\gamma\Delta S$ (γ は定数) で与えられるとする。膜は断熱材でできており、膜の熱容量は無視できる。容器の外側は圧力 p_0 、温度 T の大気で満たされているとして、以下の問いに答えよ。

(4) 容器内の気体をゆっくり熱して気体に ΔQ の熱量を与えたところ、気体の温度は T から $T + \Delta T$ に、容器の半径は a から $a + \Delta a$ にそれぞれ変化した。ここで ΔQ , ΔT , Δa は微小量とする。

(a) 容器内の気体が行った仕事 ΔW は、容器が大気にした仕事と、膜の面積を増加させるために気体が行った仕事の和に等しい。 ΔW を、 p_0 , γ , a , Δa のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 $(\Delta a)^2$ に比例する項は無視すること。

(b) 容器内の気体の圧力を p 、体積の変化量を ΔV とすると、気体が行った仕事は $\Delta W = p\Delta V$ と表せる。問 (4)(a) の結果を用いて圧力 p を求め、 p_0 , γ , a のうち必要なものを用いて表せ。

(c) 比熱 $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ を求め、 N_A , k , p_0 , γ , a のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 図 2 に示すような 2 層の媒質中での波の伝わりを考える. 2 層の媒質の境界面に
 対して垂直に z 軸をとる. $z = H$ を境界とし, $z > H$ での波の速さを V , $z < H$ での波の
 速さを U とする. 以下の問いに答えよ.

- (1) 波が点 $(0, h)$ ($h > H$) にある波源から点 (x, H) を経由し, 点 $(L, 0)$ に伝わると
 したときの時間 T を, h, H, L, U, V, x を用いて表せ.
- (2) 問 (1) の状況において, x の値を変化させると T の値も変化する. 入射角 i と屈折
 角 r の間に $\frac{\sin i}{V} = \frac{\sin r}{U}$ の関係が成り立つように x の値を定めるとき, T が最小
 となることを示せ.

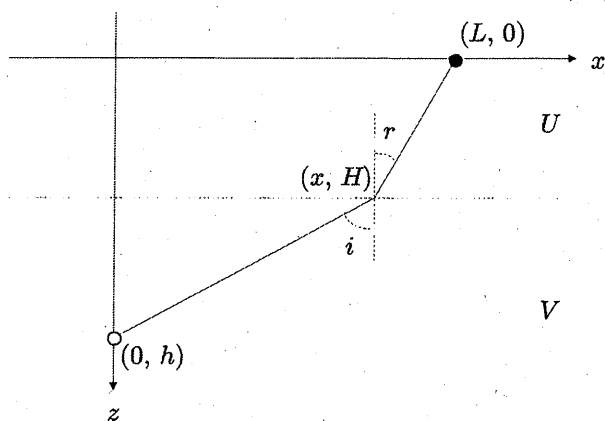


図 2

問 3 地中を伝わる地震波について考える。地震の震源域はある有限の広がりを持ち、その中で移動する波源からさまざまな方向に地震波が放出される。以下では地震のモデルとして、1つの波源が一定の方向に同じ速さで移動する場合を考える。

地表に座標原点をとり、鉛直下向きに z 軸をとる。振動数 f_0 の地震波を放出する波源 S が、深さ h の点 ($h > 0$) に位置し、水平方向に速さ w で移動する。観測者 O は地表 (xy 平面上) に位置する。観測した地震波の地表での入射角を鉛直下向きに対して r とする。深さ H より下での地震波の速さを V 、上での速さを U とする。

例として、図 3 のように、波源 S が地震波の速さの境界より浅い、すなわち $h < H$ の場合を考える。 x 軸の正の向きに移動する波源から、波が波源の進む向きから斜め上に θ_1 の角度に進み、 x 軸上の観測者 O に到達した。このとき、観測者が観測する地震波の周波数 f_1 が $f_1 = f_0 \frac{U}{U - w \cos \theta_1}$ であることを用いて、以下の問いに答えよ。

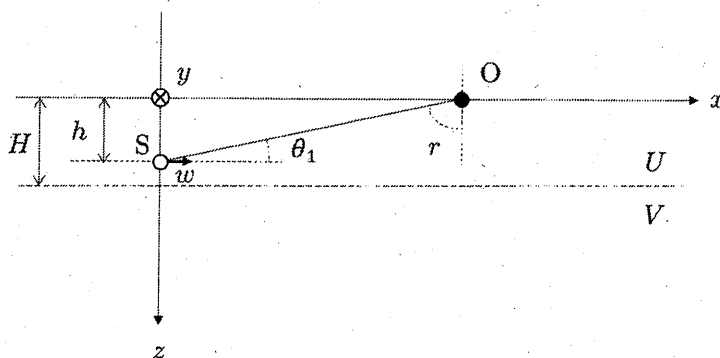


図 3

- (1) 図 4 のように 波源 S が地震波の速さの境界より深い、すなわち $h > H$ の場合を考える。 x 軸の正の向きに移動する波源から、波が波源の進む向きから斜め上に θ_2 の角度に進み、 x 軸上の観測者 O に到達した。このとき、観測者が観測した地震波の周波数 f_2 を、 f_0 、 r 、 U 、 w を用いて表せ。

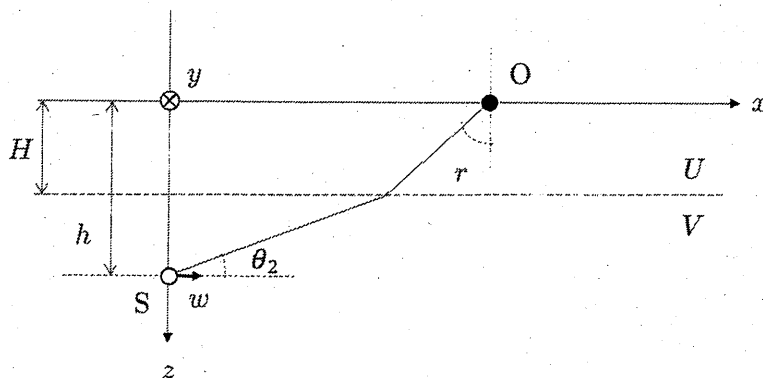


図 4

(次ページにつづく)

(2) 波源 S が地震波の速さの境界より深い, すなわち $h > H$ である場合を考える. 図 5 のように, 水平に移動する波源を鉛直上方から見たとき, 波源の移動する向きは x 軸正方向より反時計回りに角度 ϕ_0 である. S' は波源の地表への投影を示す. また, 観測者 O は, x 軸正方向より反時計回りに角度 ϕ の方位に静止している. 以下の問いに答えよ.

- (a) $\phi - \phi_0 = 0^\circ$ のとき, 観測者 O が観測する地震波の周波数は問 (1) と同じく f_2 である. $\phi - \phi_0 = 180^\circ$ および $\phi - \phi_0 = 90^\circ$ のとき, 観測者 O が観測した地震波の周波数をそれぞれ f_3, f_4 とする. f_3 および f_4 を, f_0, r, U, w のうち必要なものを用いて, それぞれ表せ.

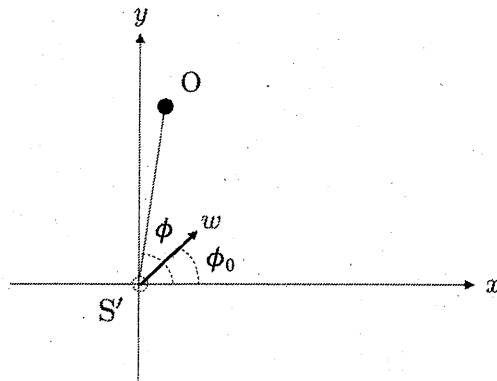


図 5

(次ページにつづく)

- (b) 図6のように波源からの距離が一定でさまざまな方位 ϕ にいる観測者が地震波を観測した。観測された地震波の周波数 f と ϕ との関係を図7に示す。このときの ϕ_0, f_0 を求めよ。

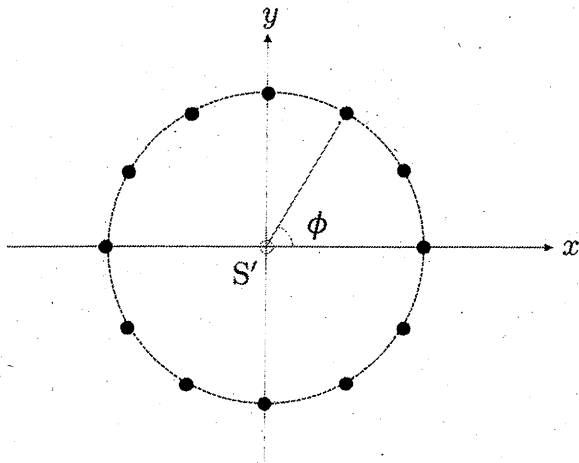


図6

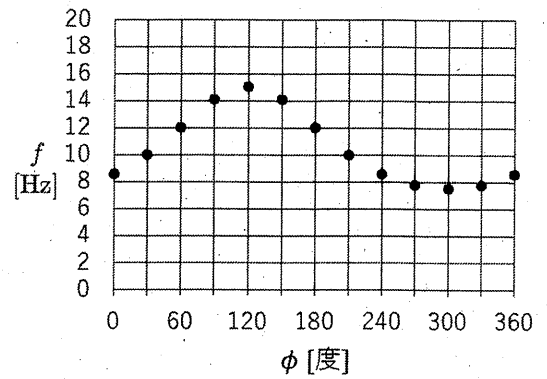


図7

- (c) 方位 $\phi = \phi_0$ のさまざまな距離にいる観測者が観測した f と入射角 r との関係を図8に示す。また, $U = 3.0$ [km/s] であった。問(2)(b)の結果を用いて, このときの w を求めよ。

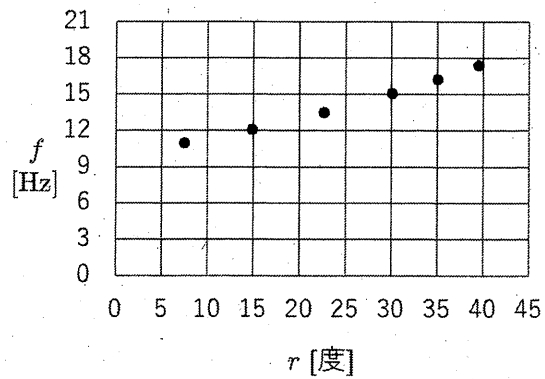


図8

令和5年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 A

令和4年11月5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 次の①から⑧の分子やイオンに関する以下の問 1 から問 6, および原子の電子配置に関する次ページの間 7 に答えよ。

① H₂O ② NH₃ ③ CH₄ ④ C₂H₆ ⑤ HF ⑥ CO₂ ⑦ H₃O⁺ ⑧ NH₄⁺

問1 極性を持つ分子を①から⑥の中からすべて選び、解答欄の数字を○で囲め。

問2 正四面体構造を持つ分子やイオンを①から⑧の中からすべて選び、解答欄の数字を○で囲め。

問3 分子②と③のうち沸点が高い方を選び、解答欄の数字を○で囲め。また、その理由を書け。

問4 分子③と④のうち沸点が高い方を選び、解答欄の数字を○で囲め。また、その理由を書け。

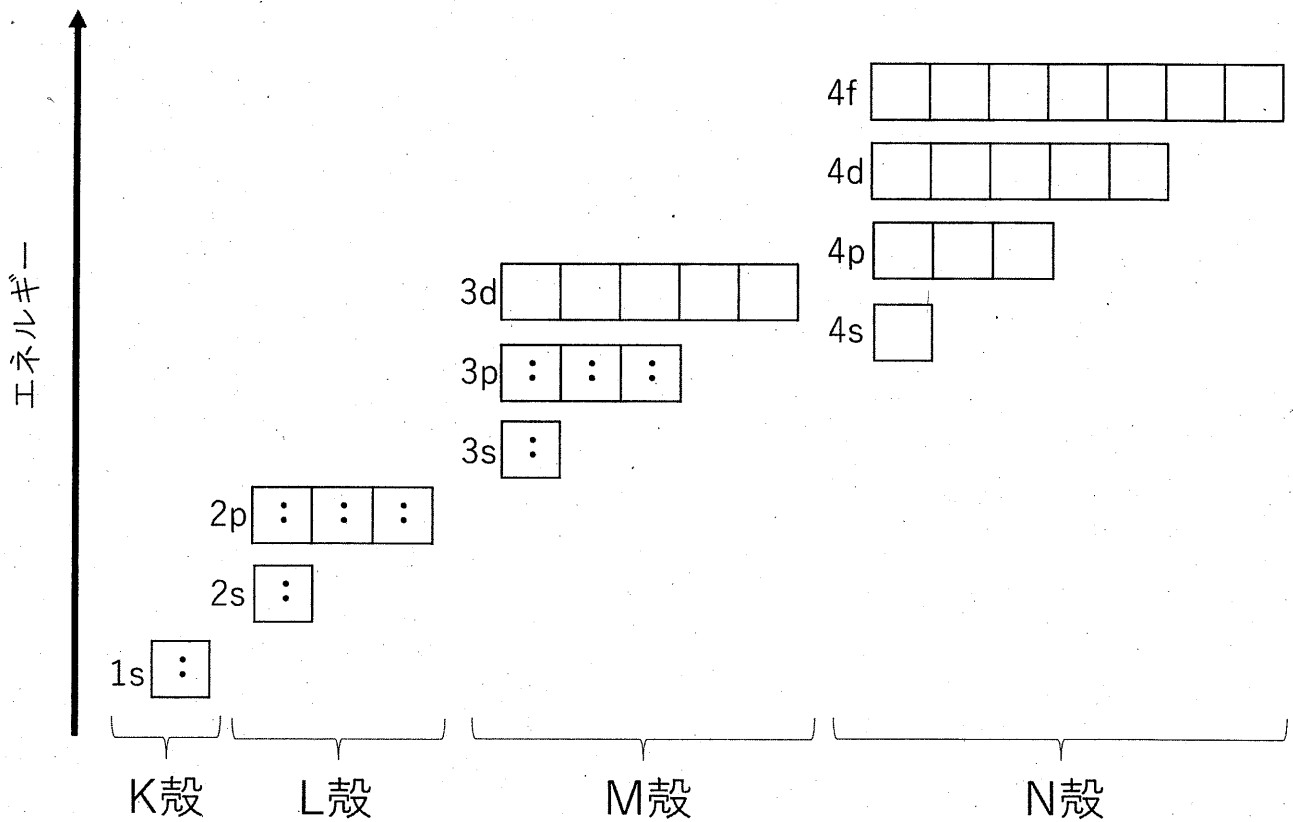
問5 特殊な条件下で冷却した場合に、水は規則的な構造を取らずに不規則な構造を持つ固体となることが知られる。大気圧でこのような不規則な構造を持つ氷を得るためには、どのように冷却すればよいか答えよ。

問6 分子①の H-O-H の角度と分子②の H-N-H の角度は、どちらが大きくなると考えられるか。以下の考察をもとに、角度が大きい方を選び、解答欄の数字を○で囲め。また、その理由も書け。

共有電子対で形成される共有結合が分子の特定の方向を向くのと同じように、非共有電子対も分子内の他の非共有電子対や共有電子対と反発し合い、それらから出来るだけ離れた配置を取ろうとする。また、非共有電子対は、共有電子対よりも空間的に大きな部分を占める傾向がある。このことから、非共有電子対を持つ分子②の H-N-H の角度は、非共有電子対を持たない分子③の H-C-H の角度よりも小さくなる。

問7. 下図は、アルゴンの電子配置を表す模式図である。図に示した通り、K殻は1sという記号で表される1つの軌道で構成され、L殻は2sという記号で表される1つの軌道と2pという記号で表される3つの軌道で構成される。M殻、N殻を構成する軌道についても、同様に図に示している。図では電子は・で示している。電子はエネルギーの低い軌道から順番に入り、各軌道には2つまでしか入らない。ただし、原子は最も安定な状態にあるものとする。下図を参照し、以下の問に答えよ。

- (1) ナトリウム原子の対電子が入っている軌道を図の中から全て選び、軌道の記号を答えよ。
- (2) 原子番号21のスカンジウムと22のチタンの最外殻電子は、どちらもN殻に入る2個の電子である。このようになる理由を説明せよ。



(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8に答えよ。

鉄筋コンクリートは様々な建造物を構築するために広く用いられている。コンクリートは圧縮に強く引張に弱い一方、鉄筋は引張に強く圧縮に弱い。両者を組み合わせることで、互いの弱点を補い合い、圧縮・引張に耐える物理的に強固な材料となる。コンクリートと鉄筋の組み合わせは、化学的にも合理的なものとなっている。以下、そのメカニズムと問題点を考察しよう。

純水は一種類の化合物 (H_2O) からなる純物質であるが、コンクリートは様々な物質からなる **ア** である。コンクリートに含まれる最も多い金属元素はカルシウムであり、これは酸化カルシウム CaO に由来する。a) CaO に水を加えると水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生成する。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は強い塩基性を示し (飽和水溶液としての pH は 12~13)、この条件下では鉄筋 (通常は鋼であるが、ここでは鉄の単体とする) の表面に酸化被膜が生成する。この酸化被膜は緻密であるため、鉄筋は化学的に安定な **イ** となる。

しかしながら、コンクリートは風雨に晒^{さら}されることで劣化が進行する。コンクリートには微小な孔が存在し、そこから水や大気が浸透する。コンクリートを形成する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の一部は水に溶解し、さらに大気中の二酸化炭素と反応し、不溶性の **ウ** を生成する。このため $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と二酸化炭素との反応は進行し続け、やがてコンクリート内の水の pH は低下する。その結果、水に触れる鉄筋の酸化被膜は消失し、鉄筋の化学的安定性が失われる。

鉄筋の強度が損なわれる機構の一つとして、腐食が挙げられる。腐食は局所的に形成される電池に由来する。すなわち、腐食とは一組の酸化および還元反応が電解液中で自発的に進行する現象である。コンクリート中における鉄筋の腐食については、雨由来の水が電解液として機能し、b) 負極では鉄筋中の Fe が Fe^{2+} に酸化される一方、 c) 正極では大気中の酸素が水酸化物イオンへと還元される。 電池全体では、**エ** の反応が進行し、鉄筋中の Fe は緑白色の $\text{Fe}(\text{OH})_2$ として鉄筋表面に析出する。最終的に $\text{Fe}(\text{OH})_2$ は酸化鉄 (鉄さび) へと変化する。鉄さびは原子の配列に規則性がない **オ** であり、さらなる鉄筋の腐食を防止する被膜としては機能せず、鉄筋の強度低下が進行する。

問1 文中の空欄 **ア** に入る適切な語句を書け。

問2 下線 a) の化学反応式を書け。またこの反応は発熱反応か吸熱反応かを書け。

問3 文中の空欄 **イ** に入る適切な語句を書け。

問4 文中の空欄 **ウ** に入る適切な化学式を書け。

問5 は水に対し不溶性だが，ここに過剰の二酸化炭素を吹き込むと の沈殿は溶解する。この化学反応式を書け。

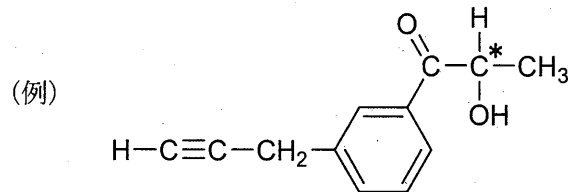
問6 下線 b) および c) の電子 e^- を含むイオン反応式をそれぞれ書け。

問7 に入る適切な化学反応式を書け。

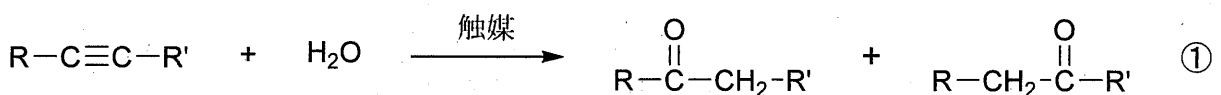
問8 文中の空欄 に入る適切な語句を書け。

(解答用紙 **3** に解答せよ)

3 アルキンについての以下の文章 [I] および [II] を読み、問 1 から問 7 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、下記の例にならって書け。ただし、光学異性体は区別しない。



[I] アルキンは炭素原子間に三重結合をもつ化合物であり、反応性に富むことから、様々な化合物を合成する原料として利用されている。例えば、最も単純なアルキンであるアセチレン 1 分子に、白金やニッケルなどの触媒を用いて水素 2 分子を付加させると **ア** が生じる。また、アセチレンに適当な触媒を用いて水を付加させると、不安定な **イ** を経て、ただちに異性体の **ウ** に変わる。アセチレンを赤熱した鉄に触れさせると、アセチレン 3 分子が結合して、芳香族炭化水素の **エ** を生じる。これらの反応は、アセチレンのみならず様々なアルキンに適用することができる。①式に示したアルキンのように、三重結合の二つの炭素原子に異なる原子または原子団が結合したアルキンの反応では、複数の化合物が生成する場合がある。例えば、水を付加させると、①式に示したように、酸素原子が三重結合の炭素原子のどちらに結合するかによって、2 種類のカルボニル化合物が生成する。分子式 C_4H_6 のアルキンは 2 種類存在するが、これらをアルキン **A** とアルキン **B** とすると、アルキン **A** への水の付加反応では 1 種類のカルボニル化合物 **C** が生じるのに対して、アルキン **B** への水の付加反応では 2 種類のカルボニル化合物 **C, D** が生じる。



R, R' は炭化水素基,
または水素原子
($R \neq R'$)

問 1 文中の空欄 **ア** から **エ** に入る化合物の名前を書け。

問 2 化合物 **A, B, C, D** の構造式を書け。

[II] 分子式 C_8H_{14} のアルキン **E**, **F** がある。アルキン **E** は不斉炭素原子をもたないがアルキン **F** は不斉炭素原子を1つもつ。アルキン **E**, **F** および関連する化合物について以下の実験 1 から実験 11 を行った。

実験 1 アルキン **E** 1 分子に触媒を用いて水素 2 分子を付加させると、化合物 **G** が得られた。化合物 **G** は直鎖状の分子であることがわかった。

実験 2 アルキン **E** に触媒を用いて水を付加させると、化合物 **H**, **I** が得られた。

実験 3 化合物 **H** をフェーリング液とともに加熱すると、赤色沈殿が生じた。

実験 4 アルキン **E** を赤熱した鉄に触れさせると、3 分子のアルキン **E** が結合した芳香族化合物 **J**, **K** が生じた。

実験 5 化合物 **J** を過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると、分子式 $C_9H_6O_6$ の化合物 **L** が得られた。

実験 6 化合物 **L** を加熱すると、分子内で脱水がおこり、化合物 **M** が得られた。化合物 **M** は 5 個の原子からなる環状構造をもつことがわかった。

実験 7 化合物 **K** を過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると、分子式 $C_9H_6O_6$ の化合物 **N** が得られた。

実験 8 不斉炭素原子を1つもつアルキン **F** 1 分子に触媒を用いて水素 2 分子を付加させると、化合物 **O** が得られた。化合物 **O** は不斉炭素原子をもたないことがわかった。

実験 9 アルキン **F** に対して触媒を用いて水を付加させると、化合物 **P**, **Q** が得られた。

実験 10 化合物 **P**, **Q** をフェーリング液とともに加熱したが、赤色沈殿は生じなかった。

実験 11 化合物 **P** にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を反応させると、黄色沈殿が生じた。

問 3 アルキン **E** の構造式を書け。

問 4 化合物 **M** の構造式を書け。

問 5 化合物 **N** の構造式を書け。

問 6 アルキン **F** の構造式を書き、不斉炭素原子に*印をつけよ。

問 7 化合物 **P** の構造式を書け。化合物 **P** が不斉炭素原子をもつ場合は、その不斉炭素原子に*印をつけよ。

令和5年度 東北大学理学部 AO 入試Ⅱ期 (化学系)

適性試問 B

令和4年11月5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

(解答用紙 4 に解答せよ)

4 次の実在気体に関する文章を読み、以下の問1から問3に答えよ。

実在の物質の気体での状態方程式は、理想気体からのずれが生じる。以下ではその性質を考察する。気体の圧力を p 、体積を V 、温度を T 、物質量を n 、気体定数を R と表記する。単位体積当たりの物質量 $c = \frac{n}{V}$ は、物質量 n を一定で体積 V を変えることで変化させることができる。また特にことわりがない限り、温度は $T = 350 \text{ K}$ に保つとする。

理想気体では $Z = \frac{pV}{nRT}$ が常に 1 となるが、実在気体では 1 からずれる。そこで実在の3種類の気体 (ア) から (ウ) についてそれぞれ c を変えて Z を求めると、図1の異なる曲線が得られた。

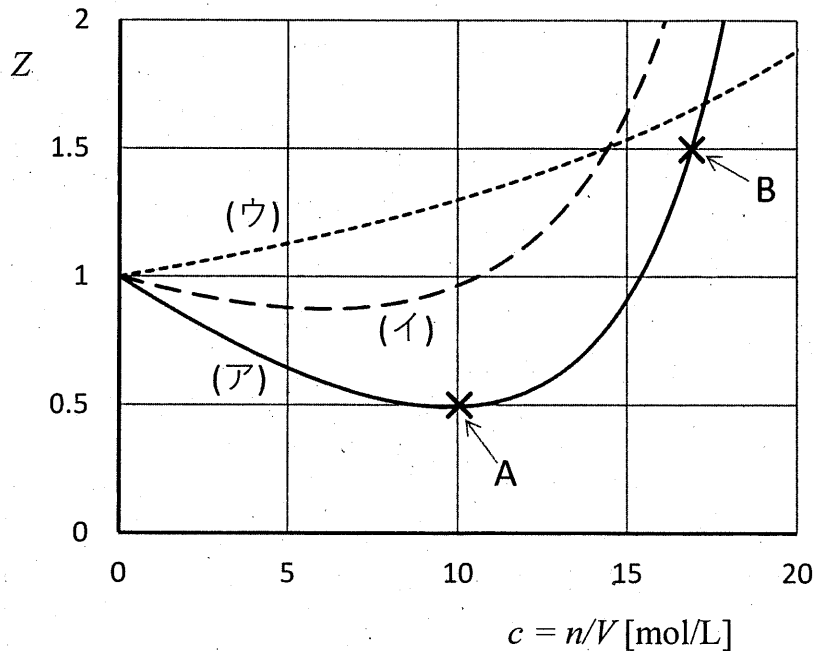


図1

問1 以下の文章をもとに、(1)と(2)に答えよ。

多くの実在気体では、 c が非常に小さいときには $Z=1$ とみなせるが、気体 (ア) や (イ) のように c が増加するにつれて一旦 $Z < 1$ となり、さらに $Z > 1$ となる。 c が大きくなると、分子間の距離が近づいて引力が働くが、さらに c が大きくなると分子が密集し、自身の大きさのため接近を妨げるように反発力が働くと考えられる。

(1) 一般に下線部 a) の振る舞いが見られる理由を簡潔に説明せよ。

(2) 図1の(ア)から(ウ)は、下の①から③のどれかの物質に対応する。それぞれ対応する物質を答えよ。またそう判断した理由も答えよ。

- ① CH₄ ② CO₂ ③ He

問2 Z<1 と Z>1 の例として、図1の気体(ア)の状態A ($c=10$ mol/L) と状態B ($c=17$ mol/L) をとりあげ、以下の(1)と(2)の操作を考える。

(1) 状態Aの気体(ア)で、 T と n を保って V を2倍にすると、 p はどう変化するか。下の①から③の中から選んで解答欄の正しい番号に○をつけ、そう考えた理由も答えよ。

- ① 1/2倍より大きくなる。 ② 1/2倍になる。 ③ 1/2倍より小さくなる。

(2) 状態Bから同様に T と n を保って V を2倍にすると、 p はどう変化するか。①から③の中から選び、その理由も答えよ。

- ① 1/2倍より大きくなる。 ② 1/2倍になる。 ③ 1/2倍より小さくなる。

問3 気体の内部エネルギーは、気体分子の運動エネルギー(熱運動)と分子間の位置エネルギーの和からなる。そこで、図2で示す以下の実験(1)と(2)を考察してみよう。図2の箱の壁は熱を通さず、したがってこの場合には、中の気体は外と同じ温度に保たれるとは限らない。

(1) 状態Aにある気体(ア)を、左図の箱の左半分を満たした後で、真ん中の仕切りに穴をあけると、気体(ア)の占める体積は右図のように自然に2倍になった。この過程では熱のやりとりも仕事もないため、気体の内部エネルギーは変わらないことに注意せよ。

膨張前の気体の温度が $T=350$ K であったとき、膨張後の温度はどうなるだろうか。下の①から③の中から選んで解答欄の正しい番号に○をつけ、そう考えた理由も答えよ。

- ① 350 K より高くなる。 ② 350 K のまま。 ③ 350 K より低くなる。

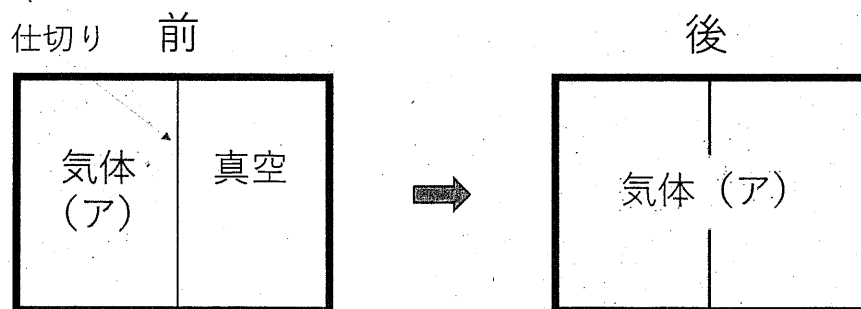


図2

(2) 同じ実験を状態Bにある気体(ア)から行った。このとき、膨張後の温度はどうなるか。

①から③の中から選び、その理由も答えよ。

- ① 350 K より高くなる。 ② 350 K のまま。 ③ 350 K より低くなる。

(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7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 Al=27 ファラデー定数 $F=9.7 \times 10^4 \text{ C/mol}$ $\sqrt{2} = 1.4$ $\sqrt{3} = 1.7$

ケイ素およびアルミニウムは、地球表層部を構成する元素として、それぞれ2番目および3番目に存在量の多い元素である。a)両元素は周期表で隣同士にあり、価電子の数が、ケイ素が **ア**、アルミニウムが **イ** であるため、その単体や化合物の性質に違いがみられる。

ケイ素の単体は、石英として自然界に存在する二酸化ケイ素を、炭素と共に電気炉中で加熱することで得られる。b)ケイ素の結晶は、**ウ** としての性質をもつため、集積回路や太陽電池に用いられている。二酸化ケイ素は、**エ** 性酸化物であるため、c)通常酸とは反応しないのに対し、強塩基と反応する。例えば、水酸化ナトリウムと高温で反応し、ケイ酸ナトリウムが生成する。ケイ酸ナトリウムの水溶液を煮沸すると、**オ** とよばれる粘性の大きな液体が得られ、次いで、**オ** に酸を加えるとゲル状のケイ酸が生成する。ケイ酸を加熱して脱水すると、シリカゲルが得られる。d)シリカゲルは、大小さまざまな空洞を有するのに加えて、図1のような部分構造をもち、乾燥剤として利用されている。

一方、アルミニウムの単体は、鉱石であるボーキサイトから純度の高い **カ** を得た後、氷晶石(組成式: **キ**)を融解させたものに **カ** を溶かし、e)溶融塩電解を行うことで製造されている。アルミニウムの単体や **カ** は、酸とも強塩基とも反応する。

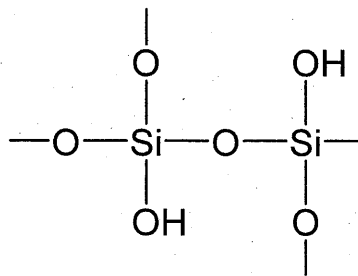


図1 シリカゲルの部分構造 (模式図)

問1 文中の空欄 **ア** から **キ** に入る適切な数、語句または組成式を書け。

問2 下線部 a) に関して、ケイ素とアルミニウムでは、どちらのイオン化エネルギーが大きいかを、元素名で答えよ。

- 問3 下線部 b) に関して、ケイ素の結晶は、図2のような立方体の単位格子（ダイヤモンドと同じ構造）をもつ。ケイ素の結晶での単位格子の一辺の長さを $5.4 \times 10^{-10} \text{ m}$ として、結晶中のケイ素の原子間距離を m 単位で算出し、有効数字2桁で書け。計算過程も簡潔に示せ。

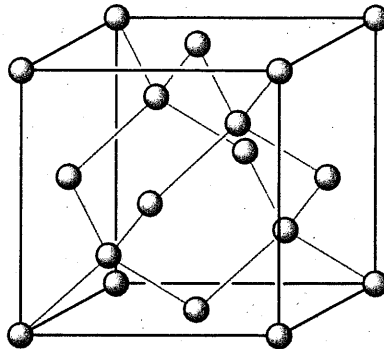


図2 ケイ素の結晶の単位格子

- 問4 下線部 c) の例外として、二酸化ケイ素はフッ化水素酸と反応する。この反応の化学反応式を書け。
- 問5 下線部 d) に関して、シリカゲルは少量でも水蒸気を大量に、かつ強く吸着する性質をもつ。この理由を説明せよ。
- 問6 下線部 e) に関して、アルミニウムイオンの水溶液の電気分解ではなく、熔融塩電解を行う必要があるのはなぜか。理由を書け。
- 問7 熔融塩電解には大量の電力が必要となる。アルミニウムの単体 5.4 g を得るには、 5.0 A の電流を何秒間流す必要があるかを計算し、有効数字2桁で書け。計算過程も簡潔に示せ。ただし、すべての電流がアルミニウムの生成に用いられるものとする。

令和5年度(2023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

地球温暖化と熱帯低気圧に関する次の文章を読み、以下の問い（問1、問2）に答えよ。

Various mechanisms underlie the tropical cyclones (TC)-induced rainfall changes caused by climate change. a) On the basis of the Clausius–Clapeyron (CC) relation, it is known that the atmosphere can hold more water vapor in warmer climates, which increases rainfall intensity. The rainfall rate associated with TCs is projected to increase under climate warming. Although modelling studies suggest that climate warming will reduce the total number of TCs in the Western North Pacific (WNP) basin in the future, the ratio of intense TCs to the total number of TCs may increase. Furthermore, projected changes in TC tracks, such as the poleward shift of the TC track density, will affect human exposure to TC rainfall.

In the WNP region, observational studies have shown an increase in TC-related rainfall intensity and intense TC rainfall frequency in the central coast of Vietnam, southeast China, around Taiwan and South Korea in recent decades. An increasing trend of the average TC rainfall rate over the WNP has also been observed. In contrast, the accumulated total rainfall along the TC track in the region has decreased during 1988–2007 and a decreasing trend of total TC rainfall amount was reported as well in the coastal region of Vietnam.

However, b) despite the observational evidence of the changes in TC-related rainfall, it has not yet been determined whether anthropogenic forcing has contributed to the observed changes in TC heavy rainfall. TC activity and TC-related rainfall are substantially affected by various climate modes such as El Niño/Southern Oscillation, Pacific Decadal Oscillation and Interdecadal Pacific Oscillation, which hinder the detection of anthropogenic impacts from natural variability. Limitations in the lengths of observational records also make it difficult to identify long-term anthropogenic impacts.

Used with permission of Springer Nature BV, from "Observed influence of anthropogenic climate change on tropical cyclone heavy rainfall" by Nobuyuki Utsumi & Hyungjun Kim, Copyright © 2022, Nobuyuki Utsumi & Hyungjun Kim, under exclusive licence to Springer Nature Limited ; permission conveyed through Copyright Clearance Center, Inc. 一部改変

- (参考) anthropogenic: 人為起源の tropical cyclone (TC): 熱帯低気圧
Clausius–Clapeyron (CC) relation: クラウジウス–クラペイロンの関係
El Niño/Southern Oscillation: エルニーニョ・南方振動
Pacific Decadal Oscillation: 太平洋十年振動
Interdecadal Pacific Oscillation: 太平洋数十年振動

問1 以下の小問（1）、（2）に答えよ。

（1）下線部 a)を和訳せよ。

（2）下線部 b)の理由として、筆者はどのように述べているか。本文の内容に基づき、日本語で答えよ。

問2 熱帯低気圧の下層は非常に暖かく湿っているため、積乱雲が発達しやすい。図1はある湿潤な空気塊が自由対流高度まで持ち上げられ、最終的に積乱雲となった時の温度と高度の関係を実線で示したグラフである。太い点線は、周囲の大気の気温と高度の関係(気温減率)を示している。空気塊は、未飽和であれば乾燥断熱減率、飽和であれば湿潤断熱減率に従って高度を上げていくものとする。表1と図2は気温と飽和水蒸気量の関係を数値およびグラフにてそれぞれ示したものである。以下の小問(1)、(2)に答えよ。

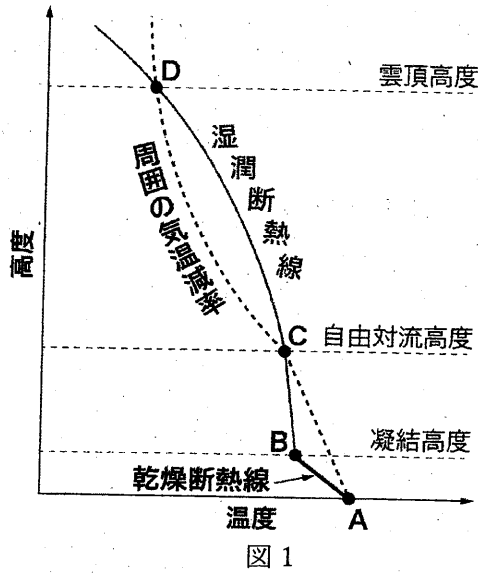


図1

表1

気温 (°C)	飽和水蒸気量 (g/m³)	気温 (°C)	飽和水蒸気量 (g/m³)
0	4.8	17	14.5
1	5.2	18	15.4
2	5.6	19	16.3
3	6.0	20	17.3
4	6.4	21	18.3
5	6.8	22	19.4
6	7.3	23	20.6
7	7.7	24	21.8
8	8.3	25	23.0
9	8.8	26	24.4
10	9.4	27	25.8
11	10.0	28	27.2
12	10.7	29	28.8
13	11.7	30	30.4
14	12.1	31	32.0
15	12.8	32	33.8
16	13.6	33	35.6

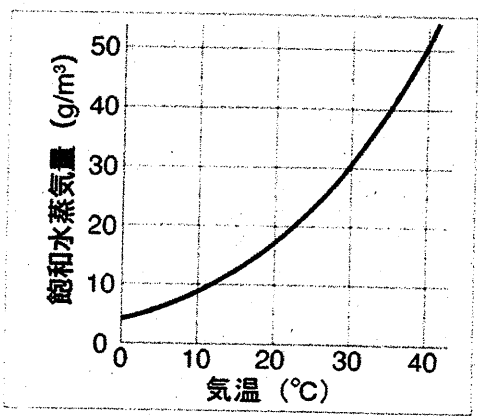


図2

- (1) 海上 A の空気塊の温度が 30°C、湿度が 60.2% だったとする。この空気塊の凝結高度 B は何 m か。乾燥断熱減率を 100 m あたり 1°C として計算せよ。なお、気温と飽和水蒸気量の関係は、表1の数値を用いること。
- (2) 小問(1)と同様の空気塊における自由対流高度 C の温度と高度は、それぞれ何°C、何 m か。小数点以下1桁まで答えよ。なお、気温減率は 100 m あたり 0.65°C、空気塊が凝結高度 B から自由対流高度 C に上昇する際の湿潤断熱減率は 100 m あたり 0.50°C とする。

令和5年度(2023年度)
東北大学理学部地球科学系
A0入試II期入試

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

地球内部の熱に関する次の文章を読み、以下の問い（問1～問5）に答えよ。

地球は、太陽周辺を周回する (ア) が衝突・合体を繰り返すことで、46億年前に形成されたと考えられている。その形成過程で蓄えられた熱と、地球内部にあるウラン、トリウム、カリウムなどの (イ) の崩壊に伴って発生する熱によって、地球内部は高温に保たれている。地球内部において a) 岩石が溶融しマグマが生成される時、ウランなどの元素は鉱物よりもマグマに取り込まれやすい。そのため、それらの元素はマグマが冷却・固化することで形成された (ウ) に多く含まれる。地球内部の熱は、地表から宇宙へと放出されており、その地表から損失する熱と地球内部で発生する熱のバランスにより地球内部の熱進化が決定づけられている。

問1 上記の(ア)～(ウ)に入る適切な語句を以下の語群から選び、それぞれ答えよ。

[安定同位体、イオン、衛星、核、恒星、地殻、放射性同位体、微惑星、変成岩]

問2 下線部 a)について、岩石が溶融してできたマグマは多くの場合、地球内部を地表へ向けて上昇する。マグマが上昇する理由を岩石とマグマの物理的性質に基づいて説明せよ。

問3 地球内部のマントル中では、対流により熱が効率的に輸送されている。マントル中で対流が発達する理由について、あなたの考えを2行以内で説明せよ。

問4 1年間に地球表面から放出される熱を 1.3×10^{21} J とする。一方で、地球内部で発生する熱は、地球全体で年間 1×10^{14} J/kg である。地球の全質量が 6×10^{24} kg ならば、地球内部の温度は将来どう変化するか。理由と合わせて3行以内で説明せよ。

問5 地球よりも小さな天体の内部温度は、時間が経過すると地球と比べて高くなるか、低くなるか。理由と合わせて4行以内で説明せよ。ただし、天体を構成する物質や単位質量あたりの熱の発生量、初期温度など、天体の大きさ以外の条件はすべて同じとする。

令和5年度(2023年度)
東北大学理学部地球科学系
A0入試II期入試・

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

地球表層環境に関する以下の問い（問1、問2）に答えよ。

問1 次の図1は、世界の生物群系（バイオーム）を示したものである。この図を見て、以下の小問（1）、（2）に答えよ。

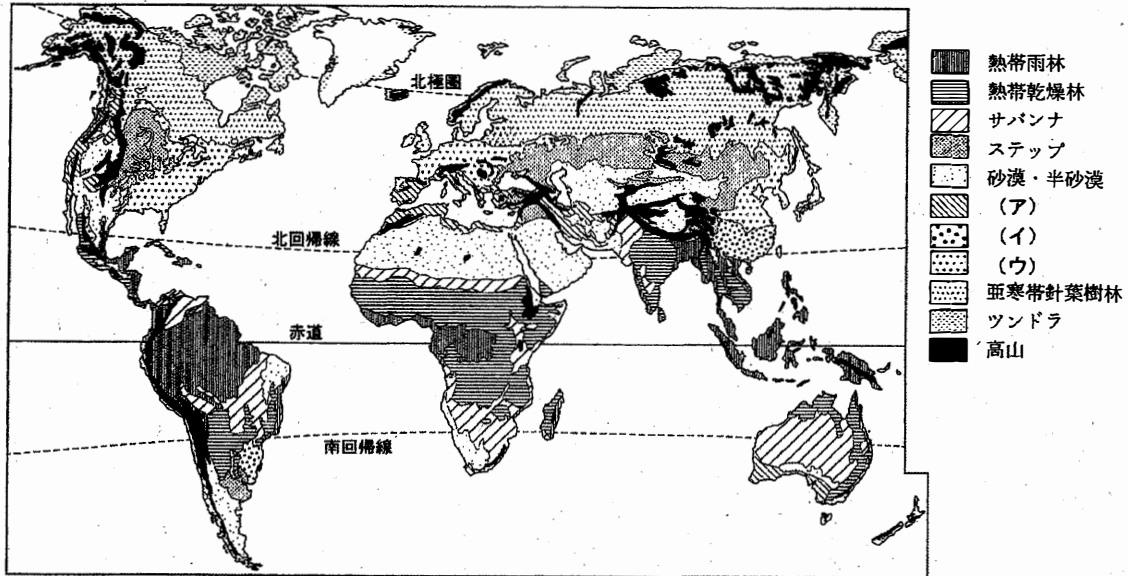


図1

(小野映介・吉田圭一郎編「みわたす・つなげる自然地理学」より『世界の生物群系(バイオーム)の分布』)

(1) 図1中の凡例(ア)、(イ)、(ウ)に当てはまる生物群系を、以下の語群の中からそれぞれ選べ。ただし、同じものを二度選んではならない。

[硬葉樹林、常緑広葉樹林、落葉(夏緑)広葉樹林]

(2) 熱帯雨林および砂漠・半砂漠の分布が図1のようになる理由について、7行以内で説明せよ。

問2 次ページの図2は、明治時代発行の2万分の1地形図（原寸、一部改変）であり、等高線は5m間隔で引かれている。この図を見て、以下の小問（1）～（3）に答えよ。

- （1） 図中の地点Aと地点Bの間の河川の幅として最も適当なものを、以下の選択肢の中から一つ選び、また、その選択肢を選んだ理由についても説明せよ。

[50 m、100 m、200 m、500 m]

- （2） 図中の地点Cから地点D付近には、河川に沿って伸びる細長い地形が分布している。地点Cと地点Dの標高差を答えよ。
- （3） 図中の地点Cから地点D付近にみられる地形は砂丘である。この砂丘の成因を5行以内で説明せよ。

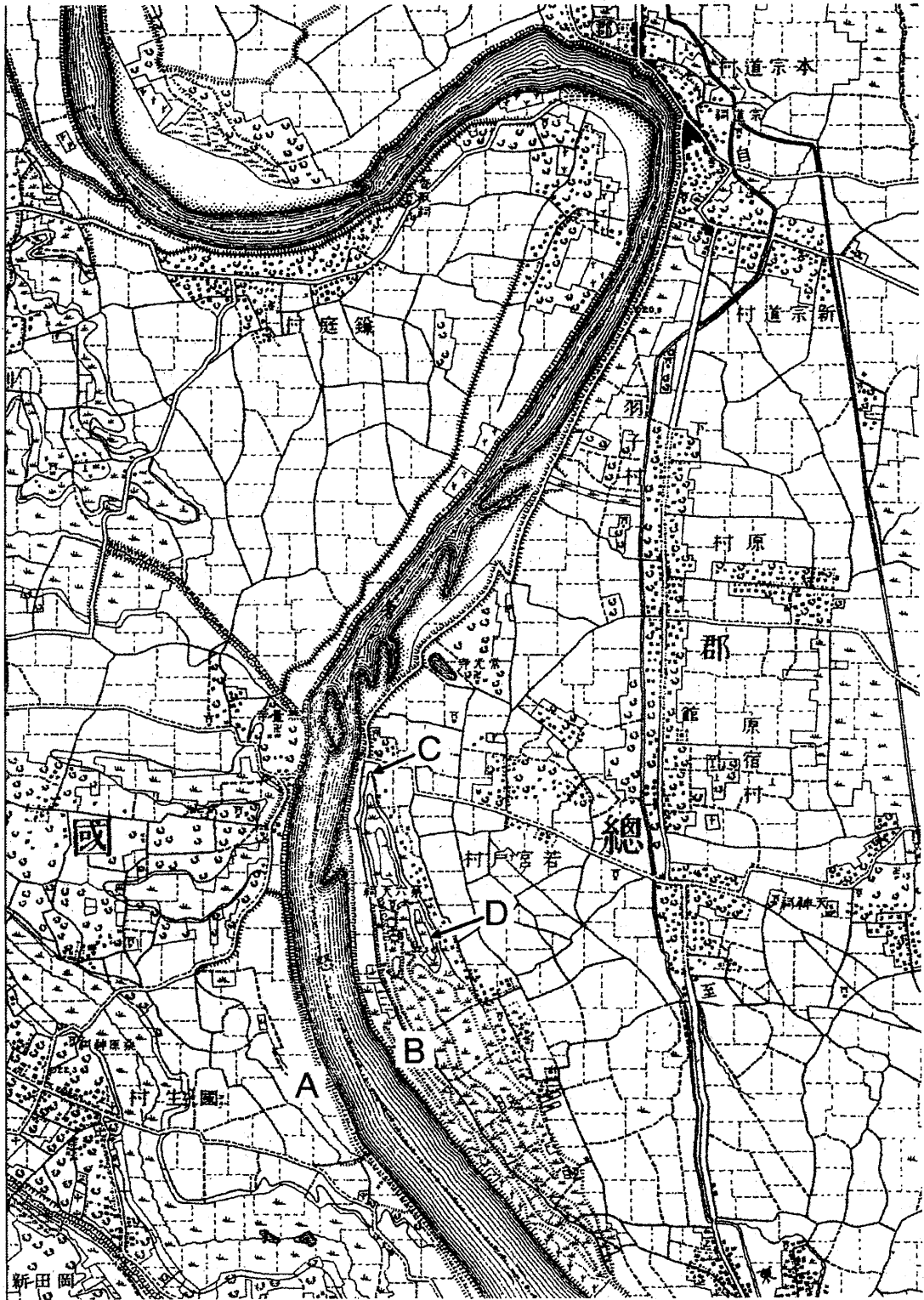


図 2

令和5年度
東北大学理学部
AO入試Ⅱ期

生物系 適性試験

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3枚あります。3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 David Julius 博士と Ardem Patapoutian 博士は、それぞれ、温度感覚および触覚を生じさせる仕組み明らかにして、2021 年のノーベル生理学・医学賞を受賞した。ノーベル委員会により発表された受賞に関する次の文章（一部改変）を読み、以下の問いに答えよ。

In the latter part of the 1990's, David Julius at the University of California, San Francisco, USA, saw the possibility for major advances by analyzing how the chemical compound capsaicin causes the burning sensation we feel when we come into contact with chili peppers. Capsaicin was already known to activate nerve cells causing pain sensations, but how this chemical actually exerted this function was an unsolved riddle. Julius and his co-workers created a library of millions of DNA fragments corresponding to genes that are expressed in the sensory neurons which can react to pain, heat, and touch. Julius and colleagues hypothesized that the library would include a DNA fragment encoding the protein capable of reacting to capsaicin. They expressed individual genes from this collection in cultured cells that normally do not react to capsaicin. After a laborious search, a single gene was identified that was able to make cells capsaicin sensitive. ^(a)The gene for capsaicin sensing had been found! Further experiments revealed that the identified gene encoded a novel ion channel protein and this newly discovered capsaicin receptor was later named TRPV1. When Julius investigated the protein's ability to respond to heat, he realized that he had discovered a heat-sensing receptor that is activated at temperatures perceived as painful.

The discovery of TRPV1 was a major breakthrough leading the way to the unravelling of additional temperature-sensing receptors. Independently of one another, both David Julius and Ardem Patapoutian used the chemical substance menthol to identify TRPM8, a receptor that was shown to be activated by cold. Additional ion channels related to TRPV1 and TRPM8 were identified and found to be activated by a range of different temperatures. ^(b)Many laboratories pursued research programs to investigate the roles of these channels in thermal sensation by using genetically manipulated mice that lacked these newly discovered genes. David Julius' discovery of TRPV1 was the breakthrough that allowed us to understand how differences in temperature can induce electrical signals in the nervous system.

While the mechanisms for temperature sensation were unfolding, it remained unclear how mechanical stimuli could be converted into our senses of touch and pressure. ^(c)Researchers had previously found mechanical sensors in bacteria, but the mechanisms underlying touch in vertebrates remained unknown. Ardem Patapoutian, working at Scripps Research in La Jolla, California, USA, wished to identify the elusive receptors that are activated by mechanical stimuli.

Patapoutian and his collaborators first identified a cell line that gave off a measurable electric signal when individual cells were poked with a micropipette. It was assumed that the receptor activated by mechanical force is an ion channel and in a next step 72 candidate genes encoding possible receptors were identified. These genes were inactivated one by one to discover the gene responsible for mechanosensitivity in the studied cells. After an arduous search, Patapoutian and his co-workers succeeded in identifying a single gene whose silencing rendered the cells insensitive to poking with the micropipette. (d) A new and entirely unknown mechanosensitive ion channel had been discovered and was given the name Piezo1, after the Greek word for pressure (i; píesi). Through its similarity to Piezo1, a second gene was discovered and named Piezo2. Sensory neurons were found to express high levels of Piezo2 and further studies firmly established that Piezo1 and Piezo2 are ion channels that are directly activated by the exertion of pressure on cell membranes.

The breakthrough by Patapoutian led to a series of papers from his and other groups, demonstrating that the Piezo2 ion channel is essential for the sense of touch. Moreover, Piezo2 was shown to play a key role in the critically important sensing of body position and motion, known as proprioception. In further work, Piezo1 and Piezo2 channels have been shown to regulate additional important physiological processes including blood pressure, respiration and urinary bladder control.

(© The Nobel Assembly at Karolinska Institutet)

注 : chemical compound: 化合物、capsaicin: カプサイシン、exert: 発揮する、riddle: 謎、cultured cells: 培養細胞、laborious: 骨の折れる、menthol: メントール、poke: 突く、arduous: 根気強い

問 1 下線部 (a) について、カプサイシンに反応するタンパク質の遺伝子がどのように同定されたのか、問題文中の記述に基づいて具体的に説明せよ。

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) について、Piezo1 と名付けられた機械刺激 (圧力) に反応するイオンチャネルがどのように発見されたのか、問題文中の記述に基づいて具体的に説明せよ。

問題 2

問 1 真核生物における転写について以下の文章を読み、空欄に適切な語句を当てはめよ。また、転写に関する以下の問いに答えよ。

遺伝子には、転写開始部位の近くに転写の開始に関わる塩基配列が存在する。この配列は（ ① ）と呼ばれ、基本転写因子と呼ばれる複数のタンパク質がここに結合する。転写は、基本転写因子とそれを認識した（ ② ）が DNA に結合し、基本転写因子・（ ② ）・DNA の複合体が形成されることで開始される。一方で、すべての遺伝子がいつも転写をしているわけではなく、環境条件や発生・成長の段階によって転写は適切に制御されている。DNA には、この制御に関わる塩基配列が存在し、この配列を（ ③ ）と呼ぶ。この配列には（ ④ ）と呼ばれるタンパク質が結合し、転写を促進したり抑制したりする。

問 1-1 上記②の転写におけるはたらきを説明せよ。

問 1-2 上記配列③は、通常、転写開始部位より離れた DNA 上に位置する。配列③に結合するタンパク質④が、転写開始部位から離れた位置にありながら、転写の調節に作用する方法を 70 字以内で説明せよ。

問 1-3 転写の適切な制御により、細胞は、特定の形やはたらきをもつ分化した細胞になる。この過程で、タンパク質④は、複数の異なる特定の遺伝子の転写を制御する。なぜ特定の遺伝子だけを選択的に転写することができるのか、また、なぜ 1 つのタンパク質④が複数の遺伝子を転写できるのか、冒頭の転写について述べた文章の内容を参考に、それぞれの機構について 50 字以内で説明せよ。

問2 花の各器官の形成についての以下の文章を読み、問いに答えよ。

被子植物の花の各器官の形成においては、がく片、花弁、おしべ、めしべの違いをつくる際に、Aクラス、Bクラス、Cクラスに属する各遺伝子が単独または共同ではたらくことが知られ、この機構はABCモデルで説明される。すなわち、Aクラス遺伝子のみがはたらくところではがく片が、Aクラス遺伝子とBクラス遺伝子が共にはたらくところでは花弁が、Bクラス遺伝子とCクラス遺伝子が共にはたらくところではおしべが、Cクラス遺伝子のみがはたらくところではめしべができる。

問2-1 Bクラス遺伝子に突然変異が生じそのはたらきが失われた場合の花器官の構成を述べよ。

問2-2 Aクラス遺伝子に突然変異が生じそのはたらきが失われた花では、がく片と花弁が形成されなくなるだけでなく、代わりにそれぞれめしべとおしべが形成される。そのようになる理由を、各クラス遺伝子間の関係に着目して120字以内で説明せよ。

問2-3 Aクラス遺伝子のみがはたらく時と、Aクラス遺伝子とBクラス遺伝子が共にはたらく時で、形成される花器官が異なるということは、これらの遺伝子が指定するタンパク質は、単独か共同かの違いで、選択的に転写を行っていると考えられる。この選択的転写がどのように行われているのか、その考えられる機構について、問1の転写について述べた文章の内容を参考にして、150字以内で説明せよ。