

2023年8月9日

令和6年度(令和5年10月入学を含む)
北海道大学大学院理学院自然史科学専攻
(地球惑星ダイナミクス講座, 地球惑星システム科学講座,
および地震学火山学講座)
博士前期(修士)課程入学試験

専門科目試験問題
試験時間 13:00 ~ 16:00

以下の注意事項をよく読むこと。

1. 問題冊子1冊(この冊子), 解答用紙6枚, 草案紙2枚を配布する。
2. 専門科目試験の問題は, I 数学, II 物理学, III 化学, IV 地球科学I(地球史・テクトニクス・堆積学), および V 地球科学II(岩石学・鉱物学・火山学)の5分野から出題される。なお, 今回, III 化学の出題はない。このうち, 出願時に申請した2分野を必ず選択して解答せよ。
3. 各分野の出題は, 例えば II-1, II-2 のように, いくつかの問題からなる。解答の方法については, 各分野の問題に与えられている指示をよく読むこと。
4. 解答は, II-1, II-2 などの問題ごとに別々の解答用紙(1枚)を用い, 指定された欄に, 数学などの科目名, II-1 のように問題番号, そして受験番号を記入すること。氏名は記入しないこと。
5. 解答は解答用紙の裏面に及んでもよい。
6. 解答用紙, 草案紙が足りないときは, 試験監督者に申し出ること。
7. 解答用紙は選択した分野ごとに回収する。回収する解答用紙の枚数は, 分野毎に3枚ずつである。解答の如何に関わらず受験番号を記入し, これらの枚数の解答用紙を必ず提出すること。なお, 3分野以上にわたって提出しないこと。
8. 問題冊子と草案紙は持ち帰ってもよい。
9. 試験時間が終了し, 監督員の指示があるまで退出することはできない。試験時間中, トイレや体調不良がある受験生は挙手の上, 監督員に知らせること。

I 数学

以下の4問 (I-1, I-2, I-3, I-4) から3問を選択して解答せよ. 解答にあたっては, 結果だけでなく導出過程も記せ.

I-1 (選択)

次の行列 \mathbf{A} について以下の問題に解答せよ.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6 \\ -2 & 3 & 7 \\ 2 & 3 & -4 \end{bmatrix}$$

問題1 行列 \mathbf{A} の行列式の値を求めよ.

問題2 ある行列 \mathbf{X} の転置行列を ${}^T\mathbf{X}$ としたとき, $\mathbf{X} = -{}^T\mathbf{X}$ を満たす行列を交代行列とよぶ. 交代行列の対角成分はゼロとなることを示せ.

問題3 行列 \mathbf{A} を対称行列 \mathbf{B} と交代行列 \mathbf{C} の和で表せ.

問題4 行列 \mathbf{C} の固有値を求めよ.

問題5 問題4で求めた固有値に対応する規格化した固有ベクトルをそれぞれ求めよ.

問題6 一般に実交代行列の固有値の実部はゼロとなることを示せ.

I - 2 (選択)

以下の問題に解答せよ.

問題 1 関数 $f(x)$ についての次の常微分方程式の一般解を求めよ.

問 1
$$\frac{d^2 f}{dx^2} - 4 \frac{df}{dx} + 3f = 0$$

問 2
$$\frac{d^2 f}{dx^2} - 4 \frac{df}{dx} + 3f = 3x^2$$

問題 2 関数 $f(x)$ と $g(x)$ についての次の連立微分方程式の一般解を求めよ.

$$\begin{aligned} \frac{df}{dx} &= f + g \\ \frac{dg}{dx} &= -f + 3g \end{aligned}$$

問題 3 関数 $f(x)$ についての次の常微分方程式の一般解を求めよ.

$$\frac{df}{dx} - 4f + 4f^2 = 0$$

I - 3 (選択)

以下の問題に解答せよ. なお, $z = x + iy$ のうち x と y は実数を, i は虚数単位を表す.

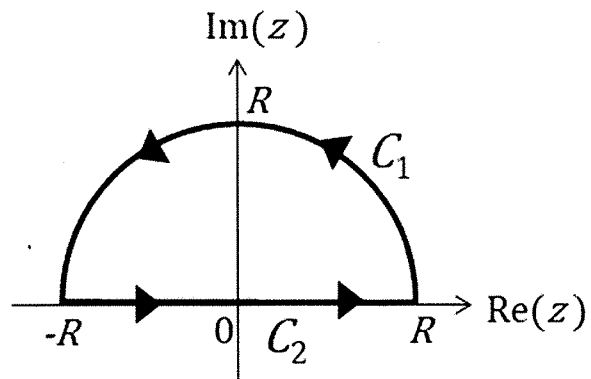
問題 1 以下の問いに答えよ.

問 1 \sqrt{i} を求めよ.

問 2 $\cos(z) = 2$ を満たす z を求めよ.

問題 2 複素関数 $f(z)$ について以下の問いに答えよ. 積分経路を下図のように半円周部分 C_1 と直線部分 C_2 に取り, $R > 1$ とする.

$$f(z) = \frac{e^{iz}}{1+z^2}$$



問 1 $f(z)$ のすべての極と留数を求め, 次の積分を求めよ.

$$\oint_{C=C_1+C_2} f(z) dz$$

問 2 図に示す積分経路のうち C_1 において以下を示せ.

$$\left| \int_{C_1} f(z) dz \right| \leq \frac{\pi R}{R^2 - 1}$$

問 3 以上の結果を用いて以下の実積分を求めよ.

$$\int_0^{\infty} \frac{\cos(x)}{x^2 + 1} dx$$

I - 4 (選択)

以下の問題に解答せよ.

問題 1 x と y を極座標変換して以下の積分を求めよ.

$$\iint_D x^3 y dx dy, \quad D = \{x^2 + y^2 \leq 4, 0 \leq x \leq y\}$$

問題 2 関数 $f(x)$ に対するフーリエ変換は次のように表される. 以下の問いに答えよ.

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx$$

問 1 関数 $h(x) = e^{-a|x|}$ のフーリエ変換を求めよ. a は正の定数とする.

問 2 以下の関数 $g(x)$ のフーリエ変換を求めよ.

$$g(x) = \begin{cases} 1 - x^2 & (-1 \leq x \leq 1) \\ 0 & (|x| > 1) \end{cases}$$

問 3 パーシバルの等式 $\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega$ と, 問 1 の結果を用いて以下の積分を求めよ.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(\omega^2 + 1)^2} d\omega$$

II 物理学

以下の4問(II-1, II-2, II-3, II-4)から3問を選択して解答せよ。解答にあたっては、結果だけでなく導出過程も記せ。

II-1 (選択)

軽い棒におもりをつないだ振り子の運動について、以下の問題に解答せよ。なお、棒は伸縮せずその質量は無視できるとし、時間を t 、重力加速度を g とする。また、振り子は鉛直面内でのみ運動するものとする。

問題1 図1のように、長さ l の棒につながれた質量 m の質点の運動を考える。以下の文中の ~ にあてはまる数式を答えよ。

座標軸を図1のようにとると、質点の位置 (x, y) は、 l および θ を用いて、 $x =$, $y =$ と書ける。ここで、質点の運動エネルギー K と、ポテンシャルエネルギー V は、 θ および $\dot{\theta} (= d\theta/dt)$ を用いて、 $K =$, $V =$ となる。なお、原点 O をポテンシャルエネルギーの基準とする。

ここで、ラグランジアンを $L = K - V$ とおく。 θ に関するオイラー・ラグランジュの方程式は、 $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$ と書ける。これに L を代入すると、 θ に関する運動方程式、 が得られる。なお、微小振動 ($|\theta| \ll 1$) のとき、 $\sin \theta \cong \theta$ と近似でき、振り子の周期 T は、 $T =$ となる。

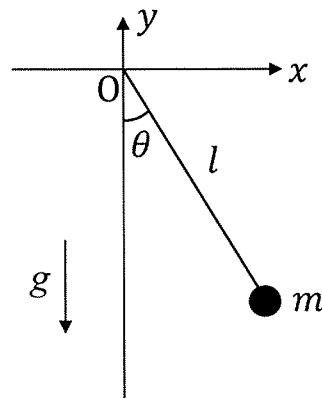


図1

問題2 図2のように、長さ l の二つの棒につながれた二つの質点（質量 m_1, m_2 ）からなる二重振り子について考える。以下の文中の (キ) ~ (ツ) にあてはまる数式を答えよ。

まず、問題1と同様に、質点 m_1 の位置 (x_1, y_1) と、質点 m_2 の位置 (x_2, y_2) を、 l, θ_1 および θ_2 を用いて表すと、 $x_1 = \text{(キ)}$ 、 $y_1 = \text{(ク)}$ 、 $x_2 = \text{(ケ)}$ 、 $y_2 = \text{(コ)}$ と書ける。このとき、 $\theta_1, \dot{\theta}_1, \theta_2, \dot{\theta}_2$ を用いて、系の全運動エネルギー K は (サ)、全ポテンシャルエネルギー V は (シ)と表せる。なお、原点 O をポテンシャルエネルギーの基準とする。

この系のラグランジアン $L = K - V$ を、オイラー・ラグランジュの方程式、

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = 0 \quad (i = 1, 2)$$

に代入し、微小振動 ($|\theta_1| \ll 1, |\theta_2| \ll 1$) の場合を考えると、この系に関する二つの運動方程式、 (ス)、(セ) が得られる。

ここで、質量が $m_1 = 3m, m_2 = m$ の場合を考える。系の固有振動数を ω として、 $\theta_1 = A_1 \exp(i\omega t), \theta_2 = A_2 \exp(i\omega t)$ とおく。これらを運動方程式に代入して得られる ω に関する固有方程式から、二つの固有振動数 $\omega_1 = \text{(ソ)}$ 、 $\omega_2 = \text{(タ)}$ が求まる（ただし、 $\omega_1 < \omega_2$ ）。

さらに、 $Q_1 = 2\theta_1 + \theta_2, Q_2 = 2\theta_1 - \theta_2$ とおいて変数変換すると、 Q_1 および Q_2 に関する単振動の解が得られる。これらより、 θ_1 および θ_2 に関する一般解は、 $\theta_1 = \text{(チ)}$ 、 $\theta_2 = \text{(ツ)}$ となる。

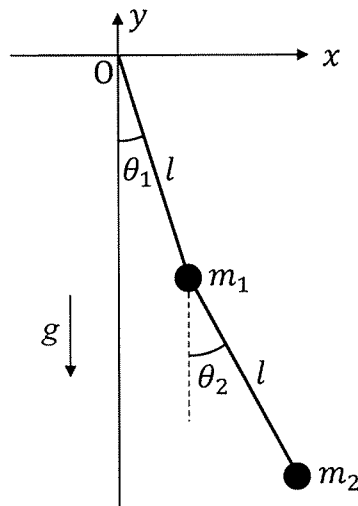


図2

II-2 (選択)

以下の文章を読み、問題に解答せよ。

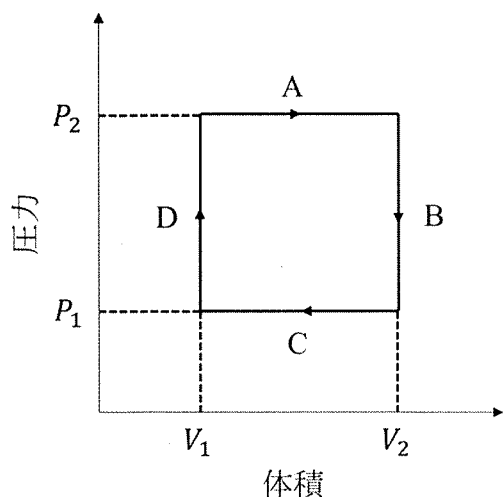


図1

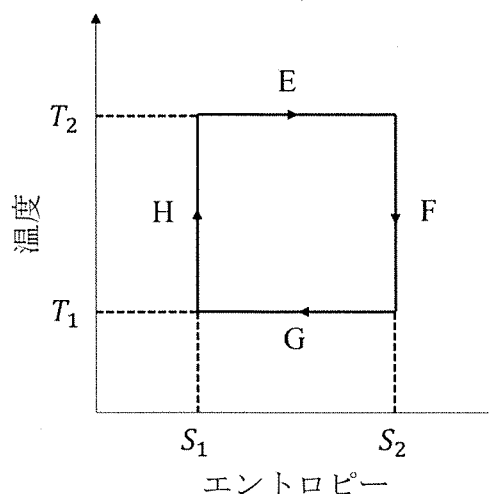


図2

単原子分子 1 mol の理想気体を図 1 に示す熱力学サイクルにより準静的に状態変化させた。サイクルは、圧力 P_2 のまま体積を V_1 から $V_2 (> V_1)$ に膨張させる過程 A、体積 V_2 のまま圧力を P_2 から $P_1 (< P_2)$ に減圧させる過程 B、圧力 P_1 のまま体積を V_2 から V_1 に圧縮させる過程 C、及び体積 V_1 のまま圧力を P_1 から P_2 に加圧させる過程 D からなる。過程 A で気体が系の外部になした仕事は であり、過程 C で気体が系の外部になした仕事は である。したがって、このサイクルを時計まわりに 1 周したとき、気体が系の外部になした仕事は である。サイクルを 1 周したとき、気体の内部エネルギーの変化は であることから、気体が吸収した熱量と放出した熱量の差し引きは、吸熱を正とすると である。各過程のうち、気体が熱を吸収するのは過程 と過程 であるから、このサイクルの熱効率は と計算できる。

次に、単原子分子 1 mol の理想気体を図 2 に示す熱力学サイクルにより準静的に状態変化させた。サイクルは、温度 T_2 のままエントロピーを S_1 から $S_2 (> S_1)$ にさせる過程 E、エントロピー S_2 のまま温度を T_2 から $T_1 (< T_2)$ にさせる過程 F、温度 T_1 のままエントロピーを S_2 から S_1 にさせる過程 G、及びエントロピー S_1 のまま温度を T_1 から T_2 にさせる過程 H からなる。この熱力学サイクルは、熱機関の中でもっとも効率が良く、 サイクルと呼ばれる。過程 E で気体が吸収する熱量は (> 0) であり、過程 G で気体が放出する熱量は (> 0) である。よって、このサイクルの熱効率は と計算できる。

問題 1 空欄 ~ にあてはまる適切な語句または数式を答えよ。ただし、 と は、A, B, C, D のいずれかの記号で答えよ。

問題 2 圧力を P 、体積を V としたとき、過程 F 及び過程 H では $PV^{5/3}$ が一定となることを証明せよ。

II - 3 (選択)

真空中の電磁場に関する以下の問題に解答せよ. なお, E は電場, B は磁束密度, ϵ_0 は真空の誘電率, μ_0 は真空の透磁率とする.

問題1 図1のように, 半径 a の円周上に一様に分布する正の電荷 Q (円周上の総電荷) について考える. 以下の問いに答えよ.

問1 円周上の電荷線密度を求めよ.

問2 円周上の電荷 Q が, 点 $P(0,0,z_P)$ に作る電場 E を求め, a, Q, z_P を用いて表せ. また, 点 P に正の点電荷 q_1 があるとき, q_1 の受ける力 F を求めよ.

なお, 点電荷 q_0 が, そこから r ($r = |\mathbf{r}|$) の位置に作る電場 E は, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 \mathbf{r}}{r^3}$ と書ける.

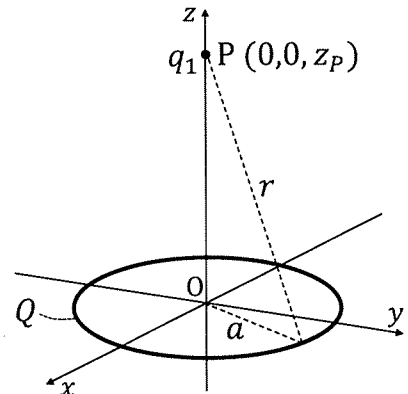


図1

問題2 無限に長い直線電流 I が作る磁場について考える. 電流 I の微小部分 ds が, そこから r ($r = |\mathbf{r}|$) の位置に作る磁束密度 $d\mathbf{B}$ は, ビオ-サバールの法則により,

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I ds \times \mathbf{r}}{r^3}$$

で与えられる. 以下の問いに答えよ.

問1 図2のように, 直線電流 I から垂直に測った距離 b の位置 M での磁束密度 B の大きさを, ビオ-サバールの法則を用いて求めよ.

問2 平行な二本の細い直線導線を流れる電流 (I_1 および I_2) を考える. 導線間の距離は R とする. 電流が, (a) 同じ向きに流れる場合, (b) 逆向きに流れる場合, のそれぞれについて, 各導線の単位長さあたりにかかる力の大きさを求め, 力の向きを図示せよ.

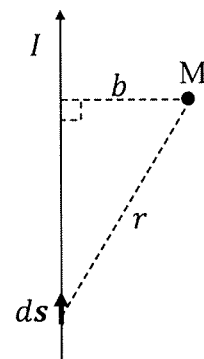


図2

問題3 真空中のマクスウェルの方程式は一般に次のように表される。

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (4)$$

ここで、 ρ は電荷密度、 \mathbf{j} は電流密度、 t は時間である。今、電荷と電流が存在しない空間での電磁場について考える。以下の問いに答えよ。

問1 電磁場が次の波動方程式を満たすことを示せ。

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$

また、真空中での波の速さ c を、 ϵ_0 および μ_0 を用いて求めよ。なお、任意のベクトル \mathbf{A} に関する関係式 $\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$ を用いてよい。

問2 電磁場の波が x 方向に伝播する平面波であり、 \mathbf{E} と \mathbf{B} が x と t の関数として、

$$\mathbf{E}(x, t) = (E_x(x, t), E_y(x, t), E_z(x, t)) = \mathbf{E}_0 \sin \{ \omega (t - x/c) \}$$

$$\mathbf{B}(x, t) = (B_x(x, t), B_y(x, t), B_z(x, t)) = \mathbf{B}_0 \sin \{ \omega (t - x/c) \}$$

と表されるものとする。ここで、角振動数 ω とベクトル $\mathbf{E}_0 = (E_1, E_2, E_3)$ および $\mathbf{B}_0 = (B_1, B_2, B_3)$ の各成分は定数とする。このとき、電磁波が横波であることを示せ。また、 \mathbf{E} と \mathbf{B} が直交することを示せ。

II-4 (選択)

以下の文章を読み、問題に解答せよ。ただし、 $i = \sqrt{-1}$ である。

密度 $\rho_1 = 1.25 \text{ kg/m}^3$ 、音速 $c_1 = 340 \text{ m/s}$ の空気から、密度 $\rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、音速 $c_2 = 1500 \text{ m/s}$ の水に向けて垂直に音波を入射させたところ、反射波と透過波が生じた。空気と水は均質で流れがなく、水面は平坦とする。また、音波は水面に垂直な方向に1次元的に進むものとし、入射波は空気 ($x < 0$) から水 ($x > 0$) に向かうとする。すると、入射波、反射波、透過波それぞれの音波に伴う粒子速度を

$$v_I(x, t) = A_I \exp\left\{i\omega_I\left(t - \frac{x}{c_1}\right)\right\} \quad (x \leq 0) \quad (1)$$

$$v_R(x, t) = A_R \exp\left\{i\omega_R\left(t + \frac{x}{c_1}\right)\right\} \quad (x \leq 0) \quad (2)$$

$$v_T(x, t) = A_T \exp\left\{i\omega_T\left(t - \frac{x}{c_2}\right)\right\} \quad (x \geq 0) \quad (3)$$

と表すことができる。ここで、入射波、反射波、透過波それぞれの複素振幅を A_I 、 A_R 、 A_T (すべて絶対値は微小) とし、入射波、反射波、透過波それぞれの角振動数を ω_I 、 ω_R 、 ω_T とする。

問題1 $x = 0$ における粒子速度の連続性より、任意の時間 t に対して

$$v_I(0, t) + v_R(0, t) = v_T(0, t) \quad (4)$$

が成り立つ。このとき、 $\omega_I = \omega_R = \omega_T$ かつ $A_I + A_R = A_T$ を示せ。

問題2 音波に伴う粒子速度 v と圧力 p との間に

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho \frac{\partial v}{\partial t} \quad (5)$$

が成り立つ。ただし、 ρ は媒質の密度である。以下の問いに答えよ。

問1 $x = 0$ における圧力の連続性を用いて、反射係数 (粒子速度における入射波の振幅に対する反射波の振幅の比) を求めよ。解答は ρ_1 、 ρ_2 、 c_1 、 c_2 を用いて表すこと。

問2 $x = 0$ における入射波と反射波は、粒子速度において逆位相であることを示せ。

問題3 透過係数 (粒子速度における入射波の振幅に対する透過波の振幅の比) を有効数字2桁で求めよ。

IV 地球科学 I

以下の3問(IV-1, IV-2, IV-3)すべてに解答せよ。

IV-1 (必須) 図は過去約6億年間の気候変動と地質学的・古生物学的イベントを示したものである。図に関連する以下の問題1~7に解答せよ。

問題1 図中の(A)から(E)の地質時代名(紀)を答えよ。

問題2 地質時代(D)において氷室期①に向かう寒冷化をもたらした要因として考えられるものを2つ挙げ、各50字程度で説明せよ。

問題3 氷室期には極域を中心に大陸氷床が発達した。大陸氷床はその規模や分布範囲において、山岳氷河とは異なる特徴を持つ。このことに留意して、過去の大陸氷床の存在を示す地質学的証拠とその分布について100字程度で説明せよ。

問題4 気候が変化するときには、その変化を増幅させる正のフィードバックや減衰させる負のフィードバックが働く。地球の表面温度の変化に対して働く正と負のフィードバックそれぞれについて、一例を挙げ、各100字以内で説明せよ。

問題5 海洋無酸素事変(Oceanic Anoxic Event, OAE)は広範囲にわたる有機炭素に富む黒色頁岩の堆積で特徴付けられる。大規模な火成活動による気候の温暖化をきっかけとして海洋底の広範囲に有機物に富む堆積物が堆積する過程について、海面水温や海洋循環などの要素に着目して100字程度で説明せよ。

問題6 図1中の絶滅率のピーク(★1~★5)で示される5大絶滅のうち、陸上生態系における絶滅が顕著な2つのイベントに関連する以下の説明文aおよびbに対応するピークをそれぞれ選べ。
a. その後、数百万年にわたり石炭の形成が途絶えた。
b. 恐竜を含む多くの陸上生物が絶滅した。

問題 7

次に挙げる代表的な微化石のうち、中生代における石油資源の形成に最も寄与した生物の化石を以下から選べ。

有孔虫 コノドント 石灰質ナanno化石（円石藻） 貝形虫

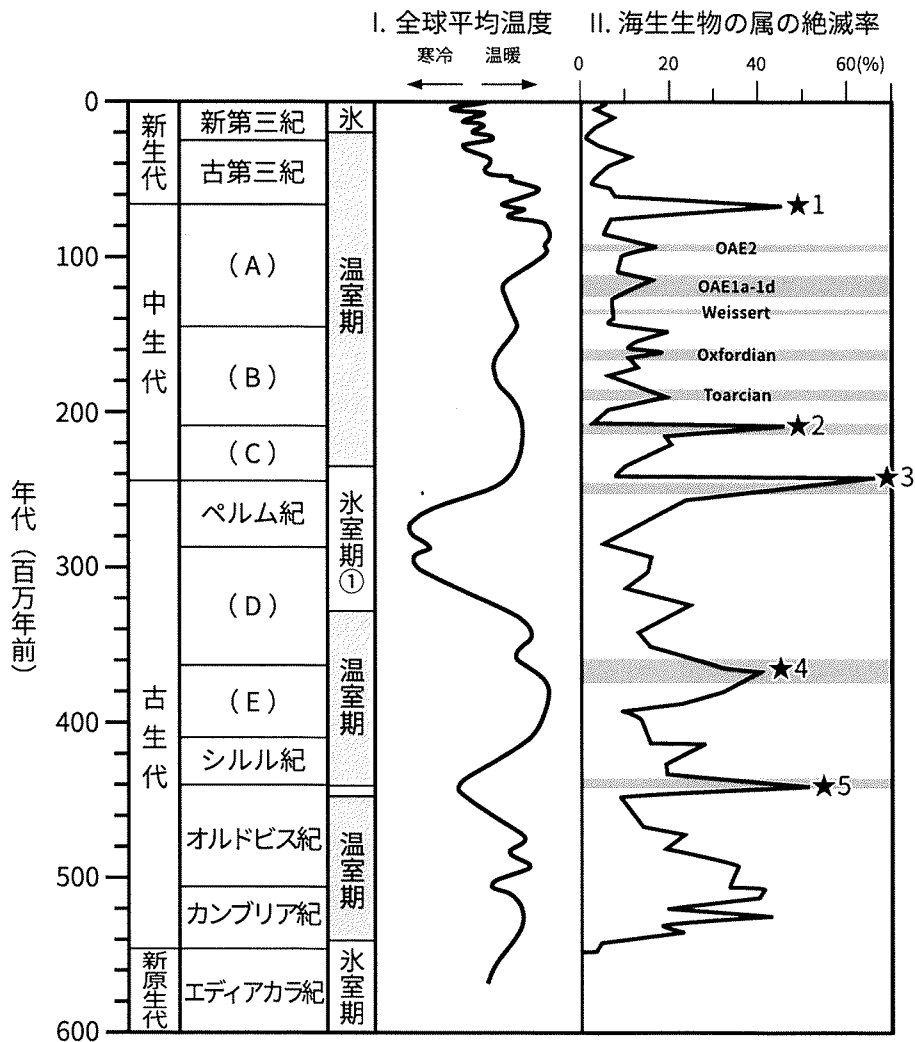


図 過去約 6 億年間の気候変動と地質学的・古生物学的イベント (Takashima et al., 2006 を改変). I は推定全球平均温度の相対変動を, II は海生生物の属の絶滅率の変化を示し, II の網掛け部は海洋無酸素事変の発生時期を示す.

IV-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

日本の中部地方の河川に露出する堆積層を調査し、図 1 に示すルートマップを得た。露頭 A と D には凝灰岩層 1 が、露頭 B には凝灰岩層 2 が、それぞれ露出する。また、露頭 A-B 間および露頭 C-D 間には連続的に堆積物が観察されたが、露頭 B-C 間には地層の露出が認められなかった。

なお、ルートマップ中の地層の傾斜は地層の上下を考慮せずに示されている。また、凝灰岩層 1 と 2 については、それぞれ約 1650 万年前、1550 万年前の年代値が推定されている。

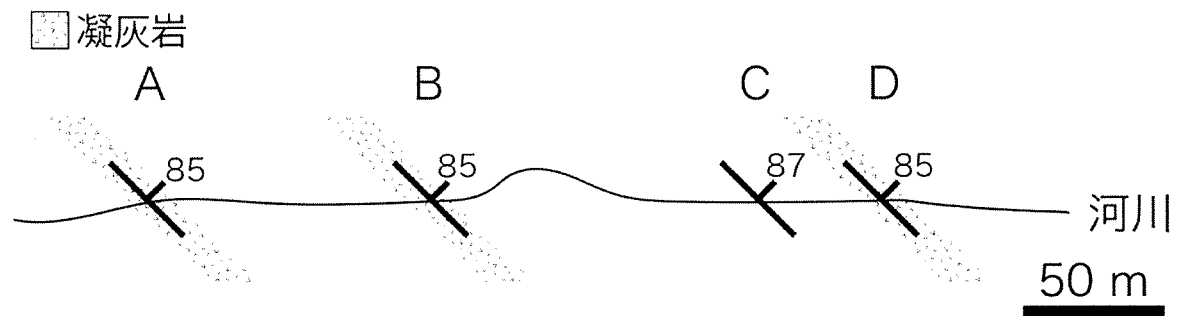


図 1 中部地方のある地域のルートマップ

問題 1 図 1 のルートマップに基づき、露頭 B-C 間に存在すると推定され得る地質構造を 2 つ答えよ。なお、図 2 に示したデータは考慮しないこと。

問題 2 図 2 は、露頭 C で観察された堆積層のスケッチであり、見かけ上の上位を上にして示されている。シルト-極細粒砂岩層と石炭層との境界は平坦であったが、細粒砂岩層とシルト-極細粒砂岩層との境界は平坦ではなかった。また、シルト-極細粒砂岩層には、シルトの基質中にリップル葉理がレンズ状に発達する Lenticular bedding や、リップル葉理を泥質の薄層が覆う Flaser bedding が観察された。図 2 の観察結果を加味すると、問題 1 で答えた地質構造のうち、露頭 B-C 間にはどの構造が存在すると推定されるか、答えよ。また、そのように考えた根拠を 2 つ挙げ、それぞれ 100 字以内で述べよ。

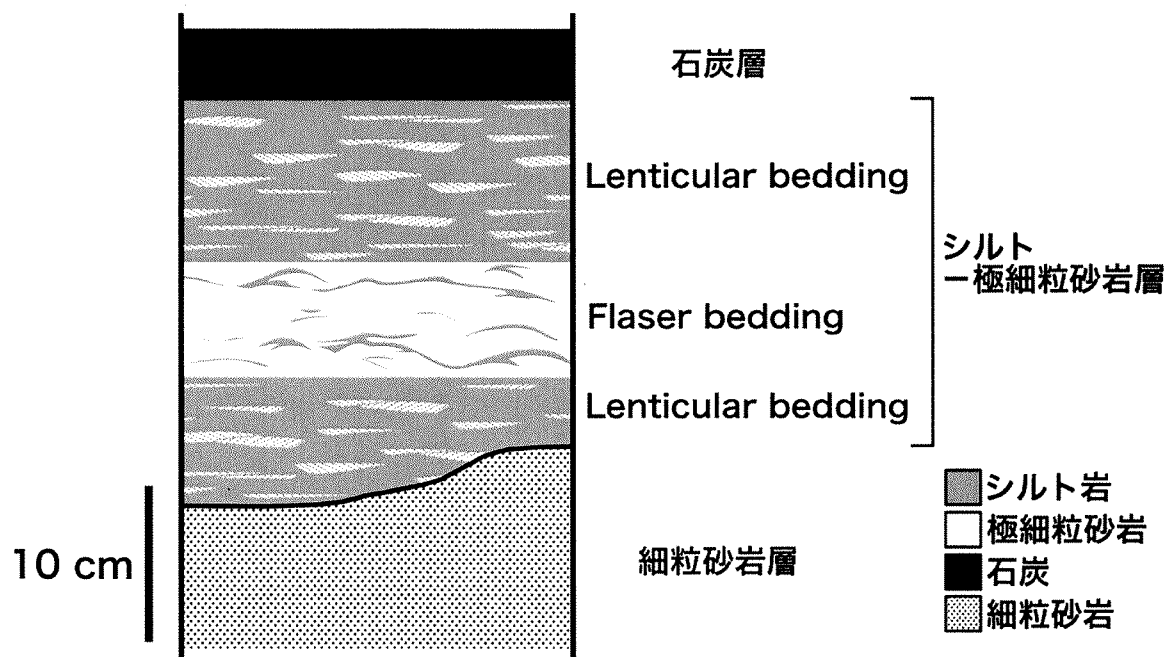


図2 露頭Cにおける堆積層のスケッチ

問題3 露頭C-D間において動物化石が多産した。その組み合わせとして最も適当なものを、以下の1~5から1つ選べ。また、そのように考えた理由を、動物化石の生息環境という観点を踏まえ、100字程度で述べよ。

1. ホタテガイと腕足類
2. サンゴと腕足類
3. シジミガイとカキ
4. アンモノイドとカキ
5. アンモノイドとサンゴ

問題4 露頭A-Dで観察される堆積物と同時期の日本には、特徴的な軟体動物群と植物群が生息した。

問1 これら軟体動物群と植物群の組み合わせとして最も適当なものを、以下の1~9から1つ選べ。

1. 門ノ沢動物群と台島型植物群
2. 門ノ沢動物群と阿仁合型植物群
3. 門ノ沢動物群と三徳型植物群
4. 芦屋動物群と台島型植物群
5. 芦屋動物群と阿仁合型植物群
6. 芦屋動物群と三徳型植物群
7. 大桑・万願寺動物群と台島型植物群
8. 大桑・万願寺動物群と阿仁合型植物群
9. 大桑・万願寺動物群と三徳型植物群

問2 これらの軟体動物群と植物群を代表する軟体動物と植物の組み合わせとして最も適当なものを，以下の1～9から1つ選べ．

1. ブラウンスイシカゲガイとコンプトニア
2. ブラウンスイシカゲガイとシキシマブナ
3. ブラウンスイシカゲガイとハイマツ
4. タカハシホタテとコンプトニア
5. タカハシホタテとシキシマブナ
6. タカハシホタテとハイマツ
7. ビカリアとコンプトニア
8. ビカリアとシキシマブナ
9. ビカリアとハイマツ

問3 これらの動植物群が生息した気候の特徴を，その時期における全球的な傾向と関連づけながら，50字程度で述べよ．

IV-3 (必須) 以下の問題に解答せよ。

問題1 図1は、ある活断層をトレンチ調査して観察された地層(A~G)の様子を示している。また1~7で示す黒丸は地層中の木片を示す。以下の問いに答えよ。

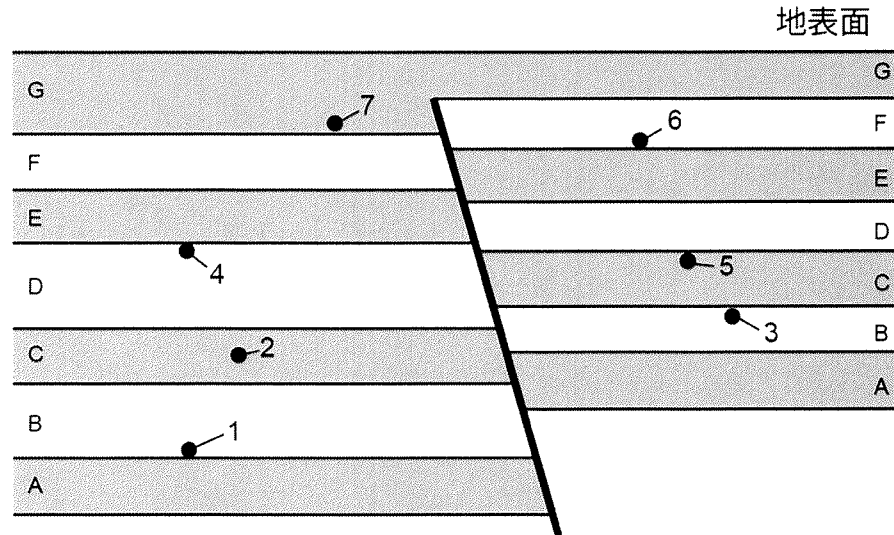


図1 トレンチ調査で観察された活断層と地層の様子

問1 活断層の定義を30字程度で答えよ。

問2 調査の結果、この活断層は同規模の地震を繰り返し起こしていたことがわかった。図からは何回の地震活動が読み取れるか答えよ。

問3 地層中の木片の年代はどのような手法で測定されるか、測定法を1つ答えよ。また、図中の木片1~7のうち、問2で解答した断層の活動時期に近い年代を示すと考えられるものを、数字ですべて答えよ。

問題2 図2では、岩脈とそれを切断する断層の関係を平面図で示している。岩脈の走向傾斜はEW 60°Nであり、断層は走向がNSで傾斜は90°である。断層面には、(a) 断層の活動によって形成された擦り傷のような線構造が水平線から80°南に傾斜(南の方角に80°プランジ)した方向に発達していた。以下の問いに答えよ。

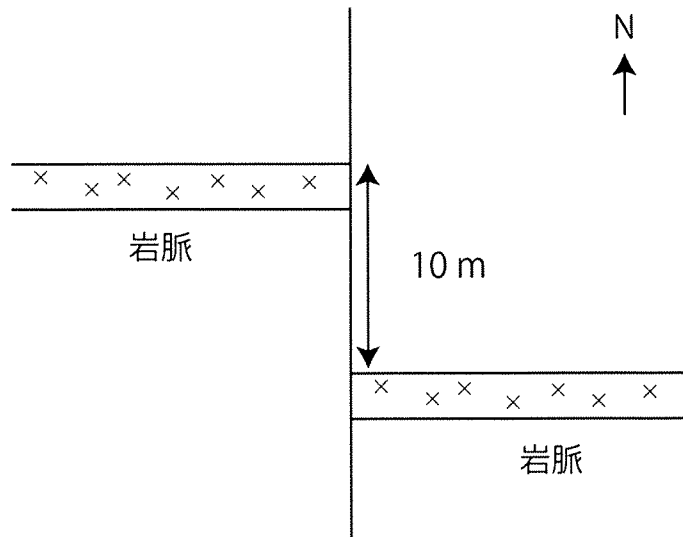


図2 岩脈と断層の関係を示す平面図

問1 下線 (a) の名称を答えよ。

問2 断層活動によって相対的に上方に移動したのは西側，東側の岩盤のいずれであるか答えよ。また断層の実変位 (net slip) を有効数字2桁で答えよ。導出過程も示すこと。また以下の値を参考にせよ。

$$\sin 40^\circ = 0.643, \sin 50^\circ = 0.766, \sin 60^\circ = 0.866, \sin 70^\circ = 0.940, \sin 80^\circ = 0.985$$

問3 この断層の変位が地震を起こすような高速の変形（一般的には 1 m/s 程度）であったかどうかを，断層に沿って形成されている岩石（断層岩）を用いて調べたい。どのような観点で検討するのが良いか，理由を含めて 80 字程度で説明せよ。

V 地球科学 II

以下の3問 (V-1, V-2, V-3) すべてに解答せよ。

V-1 (必須) 図1は、火山Xから数km離れた地点Yにおける、巨大カルデラの形成を伴った大規模珪長質マグマ噴火の噴出物層序を含む柱状図である。この図について、以下の問題に解答せよ。

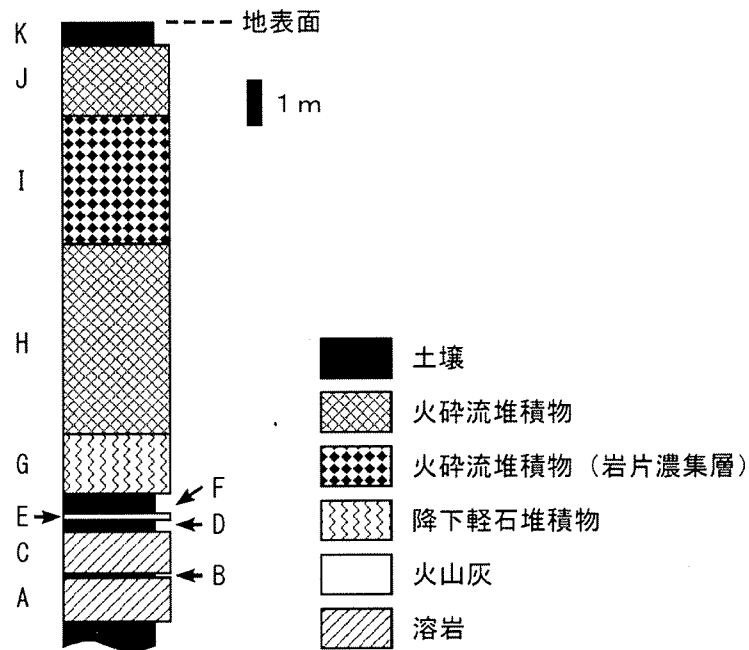


図1 火山Xから数km離れた地点Yにおける柱状図。火山灰層E以外の全ての火山噴出物は、火山Xに由来する。

- 問題1 火山Xの一連の大規模噴火は、同火山における直前の噴火活動から数千年以上の間隙をおいて発生したことが分かっている。この大規模噴火活動に伴う火山噴出物のうち、地点Yに最初に定置したのものとして最も適当なものを図1のA~Kから選び、答えよ。また、解答した根拠を50字程度で述べよ。ただし、地層は侵食されていないものとする。
- 問題2 火砕流堆積物層Iには、本質物質である軽石とともに、火山Xの基盤岩の岩片が多量に含まれていた。この層は、噴火に伴うどのようなプロセスによって形成されたと考えられるか、30字程度で説明せよ。

問題 3 降下軽石堆積物 G と火砕流堆積物 H に関する以下の問いに答えよ。

問 1 降下軽石堆積物 G と火砕流堆積物 H は、それぞれ主に火山砕屑物から構成されるが、両者の火山砕屑物の堆積構造は大きく異なっていた。両者の堆積構造にはどのような違いが見られるか、50 字程度で説明せよ。

問 2 降下軽石堆積物 G は、大規模な噴煙柱が生じるような爆発的な噴火に伴って堆積したと考えられる。このような噴火の様式は何とよばれるか、答えよ。

問 3 大規模な噴火では、噴煙が成層圏まで到達することがある。噴煙が高い高度まで上昇する主な要因を 2 つ挙げよ。

問 4 火砕流堆積物 H は、噴煙柱の崩壊に伴って発生した火砕流によって生じたと考えられる。火砕流の発生機構として、噴煙柱の崩壊以外のものを 1 つ挙げよ。

問題 4 火山灰層 E に関する以下の問いに答えよ。

問 1 火山砕屑物の中で、火山灰とよばれるのは粒径が何 mm 以下の粒子のことか、答えよ。

問 2 連続体として火道を上昇するマグマが、火口から放出される際に火山灰（火山砕屑物）となるのは、どのようなプロセスによるか、50 字以内で説明せよ。

問 3 火山灰層 E は、火山 X とは異なった火山に由来する。この火山灰の給源である火山を特定するためには、どのような調査、解析、分析などを行えばよいか、考えられる方法を 2 つ挙げよ。

問題 5 降下軽石堆積物 G に含まれるデイサイト質の軽石と、玄武岩質である溶岩 C には、ともに斜長石斑晶が含まれていた。両者の斜長石には、化学成分の特徴に、どのような違いがみられると考えられるか、答えよ。

問題6 図2は、降下軽石堆積物Gにみられる軽石と同様のデイサイト組成の系について、水に飽和した状態での相平衡図を表す。この図に関する以下の問いに答えよ。ただし軽石中の斑晶は、マグマの平衡状態を反映しているものとする。

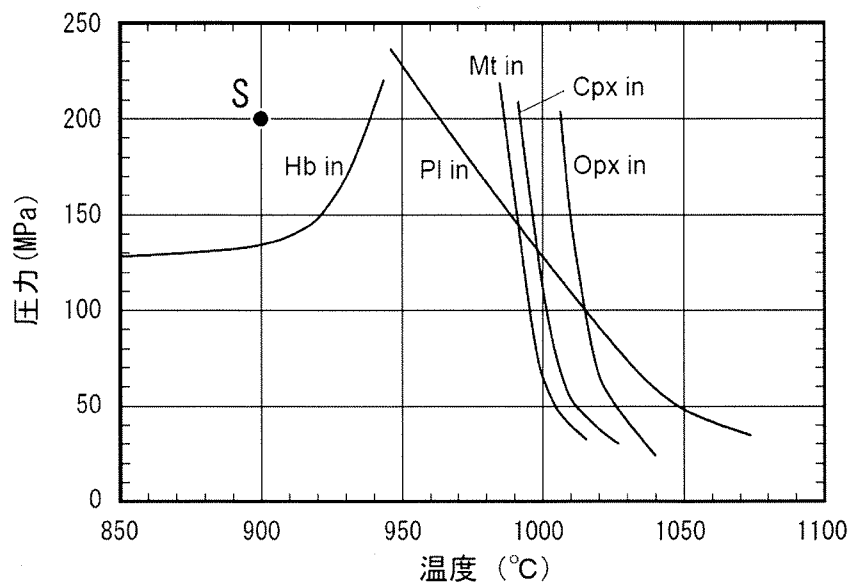


図2 水に飽和したデイサイト組成の系の状態図 (Hammer et al., 2002 を一部改変)。Opx は直方輝石, Cpx は単斜輝石, Mt は磁鉄鉱, Pl は斜長石, Hb は角閃石を表す。「鉱物名 in」は、その線で示される温度よりも低温側で、その鉱物が晶出することを意味する。

- 問1 軽石に含まれる単斜輝石斑晶の含水量を測定したところ、980 ppmであった。単斜輝石とメルト間の、水の濃度についての分配係数（単斜輝石/メルト）が0.02であるとき、単斜輝石斑晶が結晶化した圧力 (MPa) を答えよ。メルトは水に飽和していたものとし、水のメルトへの飽和溶解度は $C [\text{wt.}\%] = 0.35 P^{0.5} [\text{MPa}^{0.5}]$ で近似できるものとする。
- 問2 軽石には、単斜輝石に加え、直方輝石、磁鉄鉱、斜長石の斑晶が存在していた。このとき、問1の圧力条件でのマグマの温度として考えられる、おおよその範囲を答えよ。
- 問3 図2で示されるマグマSが、200 MPa相当の深さから急速に上昇して、地表で固結したとする。この岩石の薄片を偏光顕微鏡の直交ニコルで観察した際、顕著な双晶が観察される可能性がある鉱物を全て挙げよ。

問題 7 溶岩 A と溶岩 C の全岩化学組成を表 1 に示す. この表に関する以下の問いに答えよ. かんらん石は $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ の組成式で表わされるものとし, SiO_2 , FeO , MgO のモル質量は, それぞれ 60, 72, 40 であるとする.

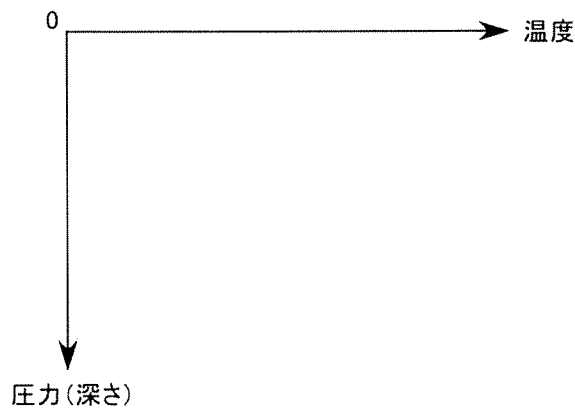
表 1 溶岩 A と溶岩 C の全岩化学組成

質量%	SiO_2	FeO	MgO	その他	Total
溶岩 A	50.2	6.7	7.2	35.9	100.0
溶岩 C	51.1	6.1	3.8	39.0	100.0

問 1 溶岩 C のマグマは, 溶岩 A のマグマから, かんらん石のみが分別して生成したとすると, 分別したかんらん石の, 溶岩 A のマグマに対する質量分率 (%) を計算し, 整数値で答えよ. 導出過程についても示すこと.

問 2 問 1 において, 溶岩 A のマグマから分別したかんらん石の平均的な Fo 値 ($= \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) \times 100$) を計算し, 整数値で答えよ. 導出過程についても示すこと.

問題 8 火山 X は沈み込み帯に属する. 以下のようなグラフを解答用紙に描き, マントルの融解温度と地球内部の温度の関係を模式的に示しながら, 沈み込み帯のマントルで初生マグマが生成する条件について, 50 字程度で説明せよ.



V-2 (必須) 下の表は、ある岩石に含まれるざくろ石と鉱物 A の主要 10 元素の組成を電子プローブマイクロアナライザーで分析した結果を示す。以下の問題に解答せよ。

質量%	ざくろ石	鉱物 A
SiO ₂	37.32	35.03
TiO ₂	0.00	2.53
(ア)	21.23	19.46
Cr ₂ O ₃	0.05	0.15
FeO*	35.98	18.61
MnO	1.43	0.07
MgO	3.07	10.60
CaO	0.99	0.00
Na ₂ O	0.03	0.33
K ₂ O	0.00	7.77
Total	100.10	94.55

FeO*は、全鉄を FeO とした組成を表す。

- 問題 1 表の空欄 (ア) にあてはまる酸化物を化学式で答えよ。
- 問題 2 鉱物 A の名称として最も適当なものを以下から選べ。
黒雲母 斜長石 石英 直方輝石 カリ長石
- 問題 3 薄片中のざくろ石と鉱物 A を偏光顕微鏡の直交ニコルでステージを回転させながら観察した場合、それぞれどのように見えるか答えよ。
- 問題 4 ざくろ石の主要元素組成の合計は約 100 質量%に対し、鉱物 A のそれは 100 質量%を有意に下回っている。これは、鉱物 A のどのような化学的特徴を主に反映していると考えられるか答えよ。
- 問題 5 ざくろ石と鉱物 A はそれぞれ固溶体を形成する。固溶体とは何か、60 字程度で説明せよ。

問題 6 りくろ石と鉱物 A は平衡に共存する場合、両者の間で Fe と Mg の交換反応を起こす。りくろ石と鉱物 A の Fe-Mg 交換反応は温度依存性が大きく、次の関係式で表される (Ferry & Spear, 1978)。

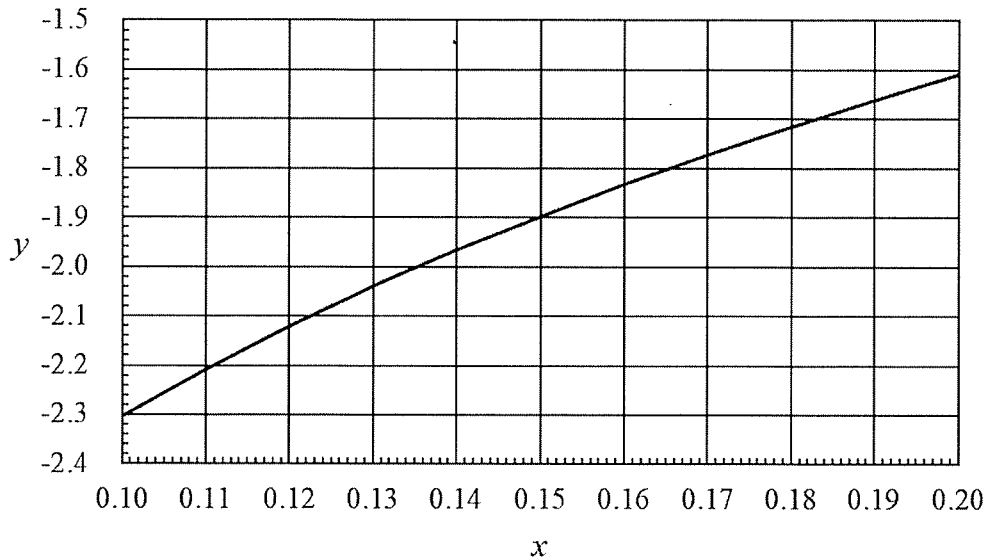
$$12454 - 4.662T + 0.057P + 3RT \ln(K_D) = 0$$

ただし、 T は温度 (K)、 P は圧力 (bar)、 R は気体定数で、分配係数 K_D は $(\text{Mg/Fe})_{\text{りくろ石}} / (\text{Mg/Fe})_{\text{鉱物 A}}$ と表される。以下の問いに答えよ。

問 1 りくろ石と鉱物 A に含まれる Mg と Fe のモル比 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ は、それぞれ 0.132 および 0.504 である。分配係数 K_D を求めよ。

問 2 $P = 5000$ bar における、りくろ石と鉱物 A の Fe-Mg 交換反応の平衡温度 ($^{\circ}\text{C}$) を計算し、整数値で答えよ。導出過程も記すこと。ただし、 $R = 1.987$ cal $\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ である。計算にあたって下のグラフを用いてもよい。

$$y = \ln(x)$$



V-3 (必須) 以下の問題に解答せよ。ただし、計算には必要に応じて以下の値を使い、有効数字3桁で答えよ。また、導出過程も記すこと。

$$\sqrt{2} = 1.41, \quad \sqrt{3} = 1.73, \quad \sqrt{5} = 2.24,$$
$$\sin 26^\circ = 0.438, \quad \cos 26^\circ = 0.899, \quad \sin 13^\circ = 0.225, \quad \cos 13^\circ = 0.974$$

問題1 NaClは図1のような岩塩型の結晶構造をもつ。この構造について、以下の問いに答えよ。

問1 Na^+ は、何個のClに配位されているか、答えよ。

問2 Na^+ とClは、単位格子中にそれぞれ何個含まれるか、答えよ。

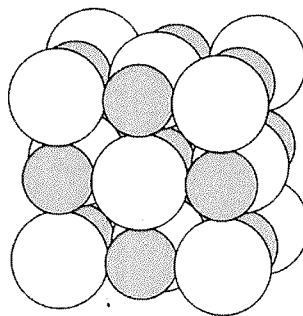


図1 岩塩型構造。大きい白球がCl⁻、小さい黒球がNa⁺を模式的に示している。

問題2 NaClとKClの含有量のモル比が不明な(Na, K)Cl固溶体Sについて調べるため、以下のような実験を行った。次の問いに答えよ。

問1 この固溶体SについてX線回折実験を行ったところ、回折角 $2\theta = 26.0^\circ$ の位置に回折指数111のピークが出現することがわかった。本実験で用いたX線の波長が $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) のとき、固溶体Sの{111}面の面間隔 d_{111} (Å) を求めよ。

問2 固溶体Sの格子定数 (Å) を求めよ。

問3 固溶体 S の組成を求めるために、NaCl と KCl の粉末を割合を変えて混合し、炉に入れて熔融させたのち急冷して、混合した組成の固溶体を作ろうとした。ある割合で混合した粉末を用いた際、冷却時に誤って 400°C 程度で長時間保持してしまったところ、生成物は 2 相に分離していた。これら 2 種類の生成物のおおよその NaCl 含有量 (モル%) はどれくらいか、それぞれ整数値で答えよ。ただし、NaCl-KCl 系の相図は図 2 に示されたとおりであり、得られた結晶の組成は 400°C のときの状態を維持しているとする。

問4 問3の実験を正しい方法で行って作成した様々な組成の固溶体に対して、X線回折実験を行って{111}面の面間隔 d_{111} (Å) を測定したところ、図3のようになった。固溶体 S の NaCl 含有量 (モル%) は、以下のうちどれに近いのか、記号で答えよ。

- (a) 10% (b) 20% (c) 50% (d) 60% (e) 80%

問5 問4で求めた NaCl 含有量をもつ固溶体 S の密度 (g cm^{-3}) を求めよ。ただし、NaCl の分子量を 58.4、KCl の分子量を 74.6、アボガドロ定数を $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ とする。

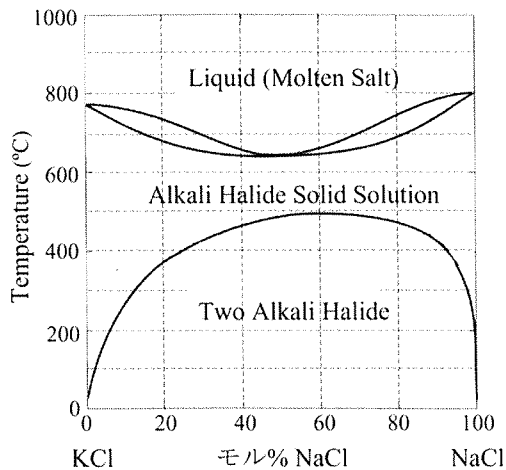


図2 NaCl-KCl 系の相図
(Brady, 1997 を一部改変)

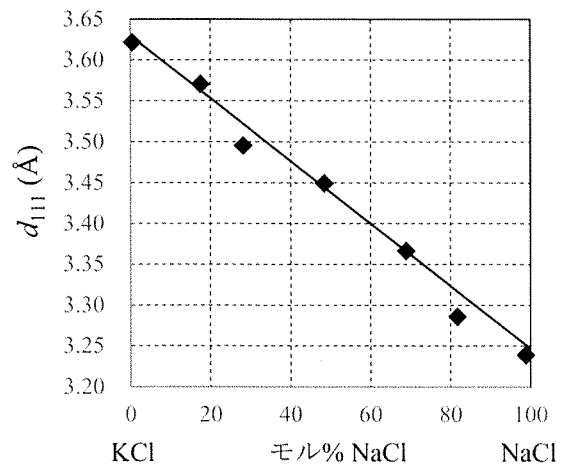


図3 d_{111} と NaCl 含有量との関係