

2025 年 2 月 12 日

令和 7 年度
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 9:00 ～ 12:00

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。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。ただし, 一つの問題には1枚の解答用紙のみを用いること。
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 I, II, III は 3 枚ずつ, 分野 IV, V は 2 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, および使用しなかった解答用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3問 (I-1, I-2, I-3) すべてに解答せよ.

I-1 (必須)

以下の問題に解答せよ.

問題1 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ は xyz 直交座標系における位置ベクトルで, $r = |\mathbf{r}| \neq 0$ である. 以下の問いに答えよ.

問1 ∇r を計算せよ.

問2 $\nabla \cdot \mathbf{r}$ を計算せよ.

問3 $\nabla \times \mathbf{r}$ を計算せよ.

問4 $\nabla \cdot \left(\frac{\mathbf{r}}{r^2} \right)$ を計算せよ.

問題2 以下の等式のうち, 恒等式として成り立つものをすべて選び, アからカの記号で答えよ. ただし, $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ はベクトル, ϕ はスカラーである.

ア. $\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0$

イ. $\nabla \times \nabla \phi = 0$

ウ. $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \mathbf{B} \times \mathbf{A}$

エ. $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = -\mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$

オ. $(\mathbf{A} \times \mathbf{B}) \times \mathbf{C} = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})\mathbf{B} - (\mathbf{B} \cdot \mathbf{C})\mathbf{A}$

カ. $\mathbf{A} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{C}) = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})\mathbf{B} + (\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})\mathbf{C}$

問題3 3次元空間に (x, y, z) の直交座標をとり, 領域 $D: x^2 + y^2 \leq z \leq 2$ を定義する. 以下の積分を計算せよ. 解答にあたっては導出過程も記せ.

$$\iiint_D z^2 dx dy dz$$

I - 2 (必須)

x を実数, z を複素数として, 以下の問題に解答せよ.

問題1 $e^z = ai$ を満たす z を求めよ. ただし, a は正の実数とする.

問題2 e^z をマクローリン展開せよ.

問題3 e^z を, $z = 1$ のまわりでテイラー展開せよ.

問題4 複素平面の実軸上に点 $P(z = r > 0)$ と点 $Q(z = -r)$ をおく. 点 P から点 Q まで原点に中心を持つ円の円周に沿って反時計回りに進み, 点 Q から実軸上に沿って点 P に戻る経路 C をとる. 次の積分 I を計算せよ. なお, 解答にあたっては導出過程も示せ.

$$I = \int_C |z| dz$$

問題5 次の積分 I を計算せよ. 解答にあたっては導出過程も示せ.

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{1+x^2} dx$$

I - 3 (必須)

以下の問題に解答せよ.

問題1 関数 $f(t)$ を $0 \leq t < \infty$ で定義された実変数 t の関数とするとき, ラプラス変換 $F(s)$ は次式のように定義される.

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

ここで s は複素数で, $\operatorname{Re}(s) > 0$ である. また, 記号 $\mathcal{L}$ を用いて $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$ と表す. 以下の問いに答えよ.

問1 次の関数 $H(t)$ のラプラス変換 $\mathcal{L}[H(t)]$ を求めよ.

$$H(t) = 1 \quad (t \geq 0)$$

問2 関数 $f(t)$ の一階微分 $df(t)/dt$ のラプラス変換 $\mathcal{L}[df(t)/dt]$ が $sF(s) - f(0)$ となることを示せ.

問3 関数 $f(t)$ の二階微分 $d^2f(t)/dt^2$ のラプラス変換 $\mathcal{L}[d^2f(t)/dt^2]$ が $s^2F(s) - sf(0) - df/dt|_{t=0}$ となることを示せ.

問4 α を実定数とする実数 t の三角関数 $g(t) = \sin \alpha t \quad (t \geq 0)$ のラプラス変換 $\mathcal{L}[g(t)]$ が次式のようになることを示せ.

$$\mathcal{L}[g(t)] = \frac{\alpha}{s^2 + \alpha^2}$$

問題2 実数 t の関数 $y(t) (t > 0)$ に関する以下の二階微分方程式の初期値問題を考える. ただし, ω は $\omega \neq \pm 1$ の定数とする.

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = \sin t, \quad y(0) = 0, \quad \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = 0$$

問1 上の微分方程式から, $y(t)$ のラプラス変換 $\mathcal{L}[y(t)] = Y(s)$ を求めよ. 問題1の結果とラプラス変換の線形性を用いること.

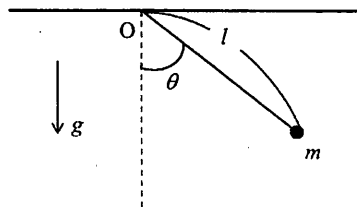
問2 前問の結果に対して, 逆ラプラス変換 $\mathcal{L}^{-1}[Y(s)] \equiv y(t)$ を用いて $y(t)$ を求めよ.

Ⅱ 物理

以下の3問(Ⅱ-1,Ⅱ-2,Ⅱ-3)すべてに解答せよ. 解答にあたっては, 結果だけでなく導出過程も記せ.

Ⅱ-1 (必須)

支点 O から吊り下げた質量を無視できる変形しない長さ l の棒と, その先端に質量 m の物体をつけた振り子の系を考える. 重力加速度を g , 紙面と垂直な方向の運動はないとして, 以下の問題に解答せよ.



問題1 物体を質量 m の質点とする. 以下の問いに答えよ.

問1 θ 方向の運動方程式を示せ.

問2 θ が十分小さいとき, 単振動となる. この振動の角速度 ω_p と周期 T_p を求めよ.

問題2 物体を質量 m の半径 a の密度一様な球とし, O から球の中心までの距離を l とする. 以下の問いに答えよ. ただし, この球の中心まわりの慣性モーメント I_0 は $I_0 = (2/5)ma^2$ である.

問1 系全体の慣性モーメントを示せ.

問2 θ 方向の運動方程式を示せ.

問3 θ が十分小さいとき, 単振動となる. この振動の角速度 ω_s と周期 T_s を求めよ.

Ⅱ－２（必須）以下の問題に解答せよ。

問題１ 図１のように、半径 a の厚さの無視できる球殻に単位面積あたり σ の電荷が一様に分布しているとする。中心からの距離を r とするとき、球殻の内部と外部の電場 E を r の関数として求めよ。ただし電場ベクトル E と単位体積あたりの電荷密度 ρ （および真空の誘電率 ϵ_0 ）に関するマクスウェル方程式

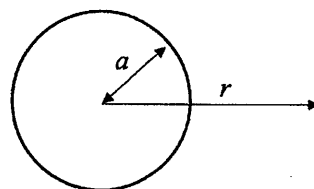


図 1

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

とガウスの発散定理

$$\iiint_V \nabla \cdot E dV = \iint_S E \cdot n dS$$

を用いること。ここで n は体積 V の領域を囲む閉曲面 S における外向き法線ベクトルである。

問題２ 電場ベクトル E と磁場ベクトル B に関するマクスウェル方程式

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

を閉曲面 S 内で面積分するとき、以下のストークスの定理

$$\iint_S (\nabla \times E) \cdot n dS = \oint_C E \cdot dl$$

を適用して得られる電場 E の S の縁 C に沿った線積分は (あ) を表す。ただし、 n は閉曲面 S の法線ベクトルで、 dl は C に沿った線素ベクトルである。一方、式(2)の右辺の面積分は (い) の時間変化を示すことから、式(2)は (う) の法則を一般化したものである。空欄 (あ) ～ (う) にあてはまる適当な語句を答えよ。

問題３ マクスウェル方程式は式(1)と式(2)のほかに、以下の式(3)(4)からなる。

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

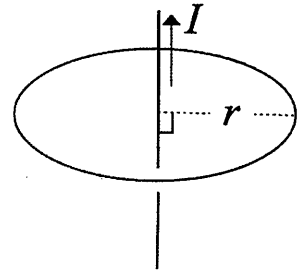
$$c^2 \nabla \times B = \frac{j}{\epsilon_0} + \frac{\partial E}{\partial t} \quad (4)$$

ここで c は真空中の光速、 j は電流密度である。以下の問いに答えよ。

問1 式(3)を式(1)と比べると、磁場 B は常に発散がゼロであるであることを示している。このことから、電場と磁場の違いについて「電荷」と「磁荷」の二つの用語を用いて 40 字程度で説明せよ。

問2 式(4)で定常状態にあるときの $c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \mathbf{j} / \epsilon_0$ が示す法則名を記せ.

問3 図2のように太さの無視できる電線に定常電流 I が流れているとき、電線から距離 r だけ離れたところでできる磁場 $\mathbf{B}$ の大きさを求めよ.



問4 図2を解答用紙に写して、磁場 $\mathbf{B}$ の向きを示せ.

図2

II-3 (必須)

一定の体積 V の立方体の容器を考える。この容器のそれぞれの辺は x , y , z 軸に平行である。この容器に 1 種類の気体分子が一様に入っており、この容器の単位体積内に含まれる気体の分子数を n , 気体分子 1 個の質量を m とする。気体定数を R , アボガドロ数を N_A として、以下の問題に解答せよ。

問題 1 容器に含まれる気体分子の運動を単純化し, x , y , z 軸それぞれに平行な正と負の計 6 方向のみに運動しているとする。また, それぞれの方向には, 同じ数の分子が同じ速度 v で動いているとする。以下の問いに答えよ。

問 1 x 軸に垂直な容器の壁に x 軸に対して正の速度を持つ分子の分子数を答えよ。

問 2 分子 1 つが x 軸に垂直な容器の壁に弾性的に衝突して跳ね返ったとき, 衝突による分子 1 個の運動量の変化を答えよ。

問 3 x 軸に垂直な容器の壁 1 つに単位時間に単位面積あたりに衝突する分子数を答えよ。

問 4 問 1, 2, 3 の結果より容器に含まれる気体の圧力 P を求めよ。

問 5 この容器に含まれる気体の運動エネルギーの総和 E を求め, P と E の関係を求めよ。

問題 2 容器に含まれる気体が温度 T の理想気体 1 mol であるとする。以下の問いに答えよ。

問 1 問題 1 の問 4, 5 の結果より v を R , N_A , T を用いて表せ。

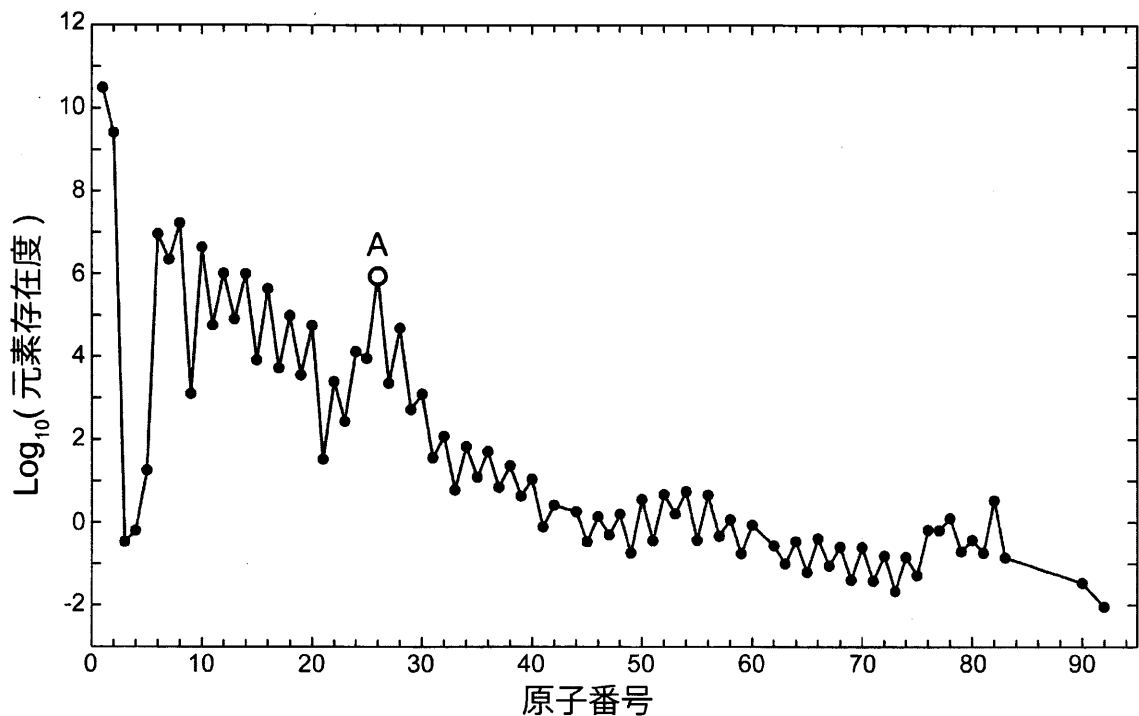
問 2 この理想気体が温度 7°C の酸素分子の場合と, 温度 47°C の窒素分子の場合を考える。この 2 つの場合の速度の違いを求めよ。ただし, 酸素分子と窒素分子のモル質量はそれぞれ 32 g mol^{-1} , 28 g mol^{-1} とする。

Ⅲ 化学

以下の3問（Ⅲ－1，Ⅲ－2，Ⅲ－3）すべてに解答せよ。

Ⅲ－1（必須）

図は、Si 原子を 10^6 個としたときの太陽系の元素存在度を示している。以下の問題に解答せよ。



問題1 水素，ヘリウム，リチウム，酸素，マグネシウムを，太陽系の元素存在度が大きいものから順に答えよ。

問題2 太陽系の元素存在度の決定法を50字程度で答えよ。

問題3 図中のA点の元素名を答えよ。また，この元素の存在度が周辺の原子番号を持つ元素と比較して大きい理由を100字程度で答えよ。

問題4 地球で最も存在度の大きい元素名を答えよ。また，地球でその元素の存在度が最大である理由を100字程度で答えよ。

III-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

地球の大気には二酸化炭素が含まれるため、(a)雨には二酸化炭素が溶解し、液性は酸性となっている。そのため、雨が地下にしみ込むと、鉱物が少しずつ溶解され、地形が改変されてゆく。とくに、石灰岩からなる地域では、降水や地下水により石灰岩が大規模に溶解し、起伏のあるカルスト地形が発達する。(b)石灰岩の内部に空洞が生じ、地底湖が作られることもある。

問題 1 下線部(a)について、水に二酸化炭素が溶解し酸性の溶液となる反応は、炭酸が生成する反応(1)、炭酸が解離し炭酸水素イオンが生成する反応(2)、炭酸水素イオンがさらに解離する反応(3)、の3段階からなる。反応式はそれぞれの次のとおりである。以下の問いに答えよ。



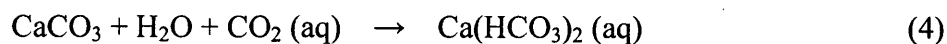
問 1 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ 、 $\boxed{\text{イ}}$ 、 $\boxed{\text{ウ}}$ 、 $\boxed{\text{エ}}$ に当てはまる化学式を答えよ。

問 2 大気中の二酸化炭素濃度が増加すると、雨の pH は上昇するか、それとも低下するか。理由とともに答えよ。ただし、大気と雨の間で化学平衡が維持されているものとする。

問 3 気温が上昇すると、反応(1)は右辺側に進むか、それとも左辺側に進むか、理由とともに答えよ。ただし、大気組成と気圧は一定である。また、化学平衡が維持されているものとする。反応(1)の各成分の標準生成エンタルピー $\Delta_f H^\circ$ は次のとおりであり、温度によらず一定とする。

成分	$\Delta_f H^\circ$ (kJ mol ⁻¹)
H ₂ O	-286
CO ₂	-394
ア	-700

問題2 下線部(b)について，二酸化炭素を溶解させた地下水が地底湖に連続的に流入し，石灰岩を溶解しながら排水されてゆく過程を考える（図1）．石灰岩（炭酸カルシウムのみからなるものとする）の溶解反応は式(4)で表される：



地底湖に流入する地下水の流量は $q [\text{L s}^{-1}]$ ，二酸化炭素（ $\text{CO}_2(\text{aq})$ ）の濃度は $C_0 [\text{mol L}^{-1}]$ とする．湖内では，反応(4)により地下水中の二酸化炭素は速度 $r [\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}]$ で消費され（ $r < 0$ ），濃度は $C [\text{mol L}^{-1}]$ となっている．出口からは，二酸化炭素濃度 $C [\text{mol L}^{-1}]$ の地下水が，流量 $q [\text{L s}^{-1}]$ で排水されている（即ち，流入と流出の流量は等しい）．湖内では，地下水はよく混ざっており，二酸化炭素濃度は均質とみなせる．また，二酸化炭素濃度は時間変化をせず，定常状態となっている．地底湖の容積（ $V [\text{L}]$ とする）は，時間変化しないものとする．このとき，以下の問いに答えよ．

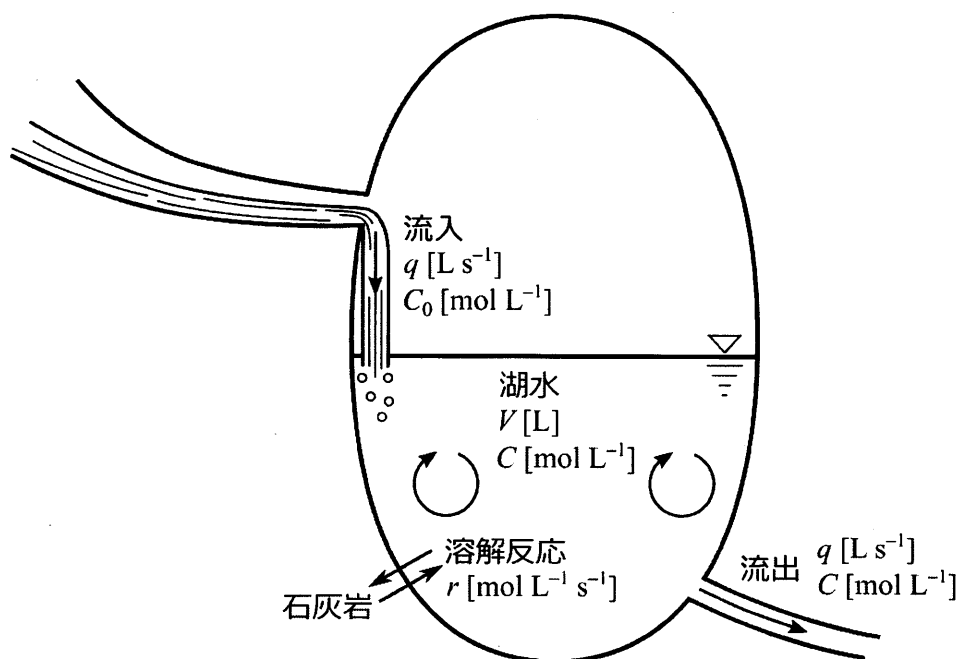


図1 地底湖における二酸化炭素（ $\text{CO}_2(\text{aq})$ ）の収支

- 問 1 地底湖内では、二酸化炭素の収支に基づき、 C, C_0, q, V, r の間に式(5)が成り立つ：

$$qC_0 - \boxed{A} + Vr = 0 \quad (5)$$

空欄 A に当てはまる式を答えよ。ただし、湖内では二酸化炭素は消費されるため、 $r < 0$ である。

- 問 2 反応(4)について、反応速度 r は、地下水の二酸化炭素濃度に比例するものとする、 r は式(6)で表される：

$$r = -kC \quad (6)$$

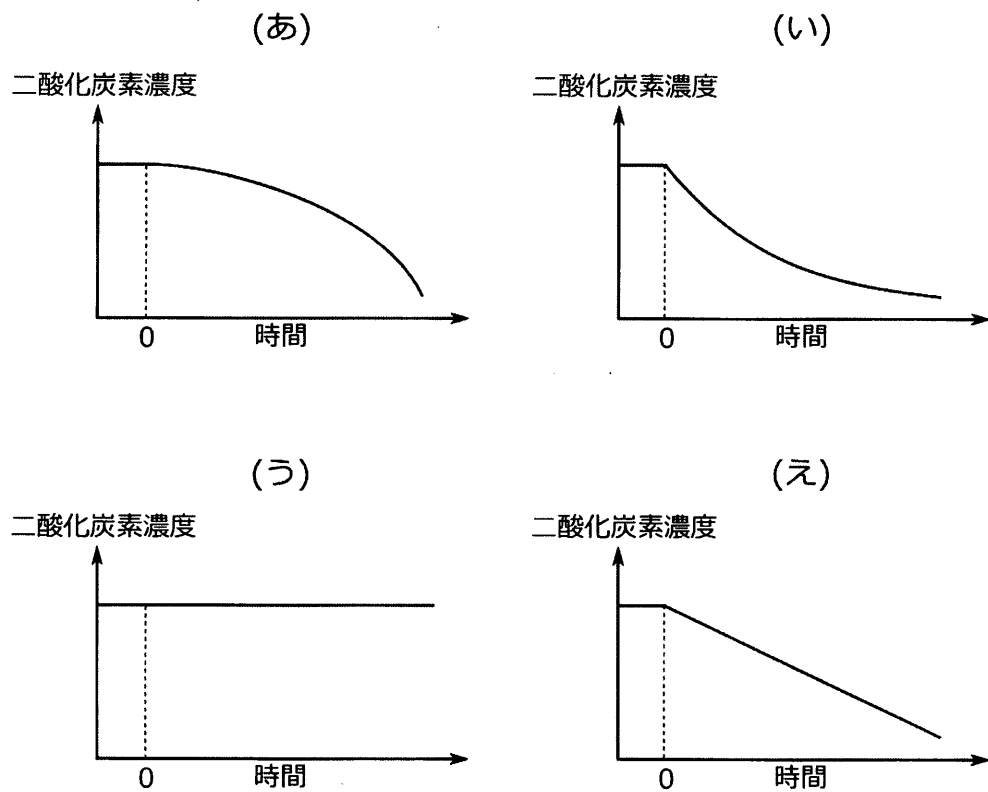
ここで、 $k [\text{s}^{-1}]$ (> 0) は速度定数である。このとき、 C を C_0, V, q, k を用いて表せ。

- 問 3 地底湖に流入する地下水の二酸化炭素濃度は $C_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ 、流量は $q = 10 \text{ L s}^{-1}$ であった。また、地底湖の容積は $V = 1.0 \times 10^8 \text{ L}$ であり、速度定数は $k = 1.0 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ であった。このとき、流出する地下水の二酸化炭素濃度 $C [\text{mol L}^{-1}]$ はいくらであるか。有効数字 2 桁で答えよ。計算過程も示すこと。

- 問 4 地底湖において 1 年間に反応(4)で消費される二酸化炭素の物質質量 $[\text{mol}]$ を計算し、有効数字 2 桁で答えよ。計算過程も示すこと。ただし、地下水の二酸化炭素濃度、流量、地底湖の容積、速度定数は問 3 での設定値と等しく、時間変化しないものとする。1 年 $= 3.2 \times 10^7 \text{ s}$ とする。

- 問 5 地底湖から 1 年間に溶解・流出する石灰岩の質量 $[\text{kg}]$ を計算し、有効数字 2 桁で答えよ。計算過程も示すこと。ただし、地下水の二酸化炭素濃度、流量、地底湖の容積、速度定数は問 3 での設定値と等しく、時間変化しないものとする。1 年 $= 3.2 \times 10^7 \text{ s}$ とする。炭酸カルシウムのモル質量は 0.10 kg mol^{-1} とする。

問 6 ある日地震が発生し、地下水の流入口および流出口が閉鎖され、地底湖は物質の出入りが無い状態（閉鎖系）になったとする。その後、湖水の二酸化炭素濃度はどのように変化してゆくと考えられるか。最も適切なものを次の（あ）～（え）から 1 つ選び、理由とともに答えよ。ただし、地底湖が閉鎖系になった時刻を 0 とする。なお、グラフの縦軸・横軸はともに線形軸である。



Ⅲ－3（必須）以下の問題に解答せよ。

問題 1 以下の文章を読み、問いに答えよ。

化石燃料の代替エネルギーとしてバイオマスエネルギーが注目されている。その中で、バイオディーゼルはエステル交換反応により動物性または植物性の油脂を脂肪酸メチルエステルに変換して利用する。油脂は長鎖脂肪酸の末端の（ア）基とグリセリンの（イ）基がエステル結合した構造であり、一つのグリセリン分子に対して最大（ウ）個の脂肪酸が結合することができる。①動物性油脂は常温常圧で固体となりやすく、植物性油脂は液体であることが多い。

問 1 （ア）～（ウ）に当てはまる語句、数字を答えよ。

問 2 下線部(i)の理由を 50 字程度で説明せよ。

問題 2 以下の文章を読み、問いに答えよ。

メタンを主成分とする天然ガスの多くが生物起源とされている。②生物起源の天然ガスはさらに熱分解起源と微生物起源に分けられる。熱分解起源の天然ガスはケロジェン等の熱クラッキングや触媒クラッキング反応によって生成する。微生物起源の天然ガスはメタン生成菌の代謝生成物を起源とする。③メタン以外の炭化水素が含まれる割合によって天然ガスの起源を調べることもできる。

問 1 下線部(ii)について、メタン以外の炭化水素の割合が比較的高い天然ガスは熱分解起源と微生物起源のどちらか答えよ。

問 2 以下の(a)～(c)のうち、微生物起源の天然ガスについて説明したものとして最も適切でないものを 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 熱分解起源の天然ガスと比較すると安定同位体 ^{13}C の割合が高い。
- (b) 酢酸発酵によってつくられるものがある。
- (c) 二酸化炭素を水素で還元してつくられるものがある。

問 3 下線部(iii)について、 C_4H_{10} の炭化水素には複数の構造異性体がある。この構造異性体の化合物名と構造式をすべて示せ。

- 問 4 炭化水素のうち，直鎖アルカンの沸点と融点は分子量が増えるに従って規則的に高くなる．その理由を 20 字程度で答えよ．
- 問 5 メタン分子を構成する 4 本の炭素—水素結合はすべて等価であり，正四面体構造の各頂点の方向を向いている．メタン分子の正四面体構造を構成する電子軌道を何と呼ぶか答えよ．
- 問 6 メタンと塩素の混合物に光を照射すると(a)塩素を 1 つ，(b)塩素を 2 つ，(c)塩素を 3 つ含む化合物が順次生成する．(a)~(c)の化合物名をそれぞれ答えよ．

IV 地球科学 I

以下の2問（IV-1, IV-2）すべてを解答せよ。

IV-1（必須） 以下の問題に答えよ。

問題1 図1は石炭紀から三畳紀にかけての大陸の分布を示したものである。図中のA～Dは、それぞれある化石の産出する地理的範囲を示している。以下の問題に解答せよ。

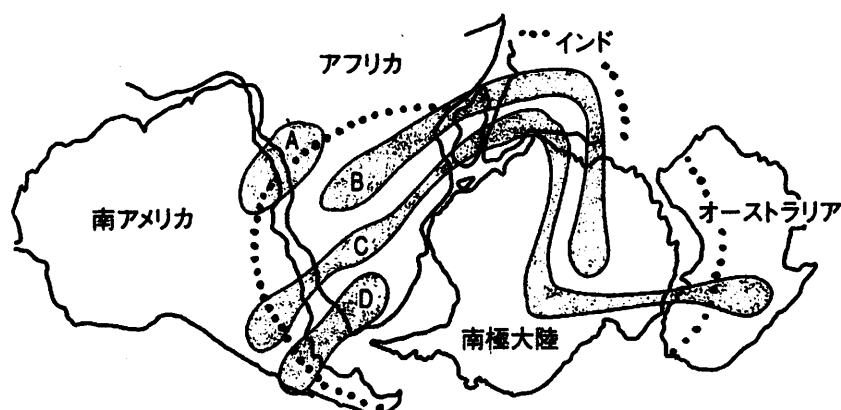


図1 石炭紀から三畳紀にかけての大陸の分布および陸生生物の化石の産出範囲（池谷・北里, 2004）。

問1 図1のA, Bは、三畳紀前期において陸域に生息したキノグナトゥスおよびリストロサウルスの化石の産出範囲をそれぞれ示している。これらは同じ種類の四肢動物に括られるが、その分類群名を答えよ。また、リストロサウルス化石の産出範囲が比較的広いが、考えられる理由を50字程度で答えよ。

問2 図1のCは、ある植物化石の産出範囲を示す。この化石の分類群名を答えよ。また、この植物を含む植物群は図1の大陸名がつけられている。その植物群の名称を答えよ。

問3 図1の点線で囲まれた地域には古生代末期の氷河性堆積物が分布している。その具体的な氷河性堆積物の名称を答えよ。

問4 図1のように現在の大陸が集合していた時代に、顕生代史上で最大級の生物大量絶滅が起こった。その生物大量絶滅イベントについて、それが起こった地質年代、そのときに絶滅した生物群、その原因を含めて100字程度で記述せよ。

問題2 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

複数の海域から収集された海底堆積物に含まれる全有機炭素量（TOC）から、最終氷期における基礎生産量が見積もられる。図2では、最終氷期に〔ア〕に覆われたために基礎生産が低下した海域（ノルウェー海）や、現在になって〔イ〕の流出やaモンスーンの影響で基礎生産が増加した海域（それぞれアフリカ西海岸沖とアラビア海）を除くと、氷期にはほとんどの海域で基礎生産が高く、特に低緯度海域で高かったことを示している。海底堆積物中のTOCについては、海洋底層の酸化還元条件によっても変化することが指摘される。この酸化還元条件の要因が考慮され、最終氷期には〔ウ〕の形成が衰退して深層水循環が滞り、深海への〔エ〕供給が低下したために還元的な状態になり、深海底に沈降してきた有機物があまり分解されずに堆積してTOCが高くなるという仮説もあり、議論されている。しかし、2000年代以降の研究では、堆積物中のTOCと深海底の〔エ〕濃度との相関性は小さく、TOCは海洋表層の基礎生産量を反映しているという考えが支持されている。

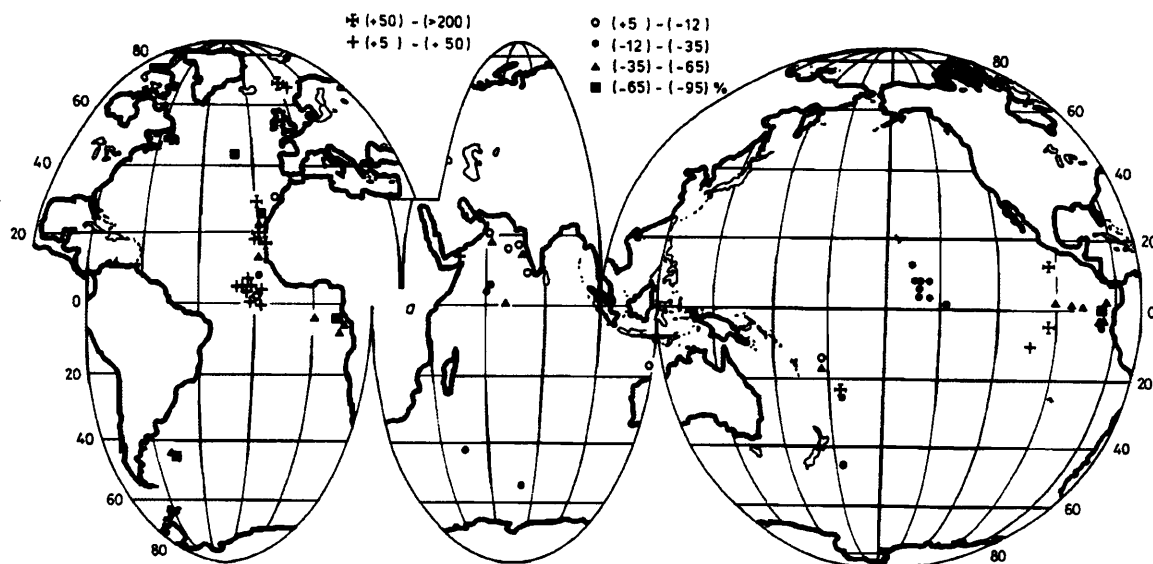


図2 最終氷期最盛期（LGM）の海洋基礎生産量に対する現在の海洋基礎生産量の増加率（%）を示した地理的分布（Sarnthein et al., 1987）。

問 1 文章中の空欄 (ア) ～ (エ) にあてはまる適切な語句を答えよ。

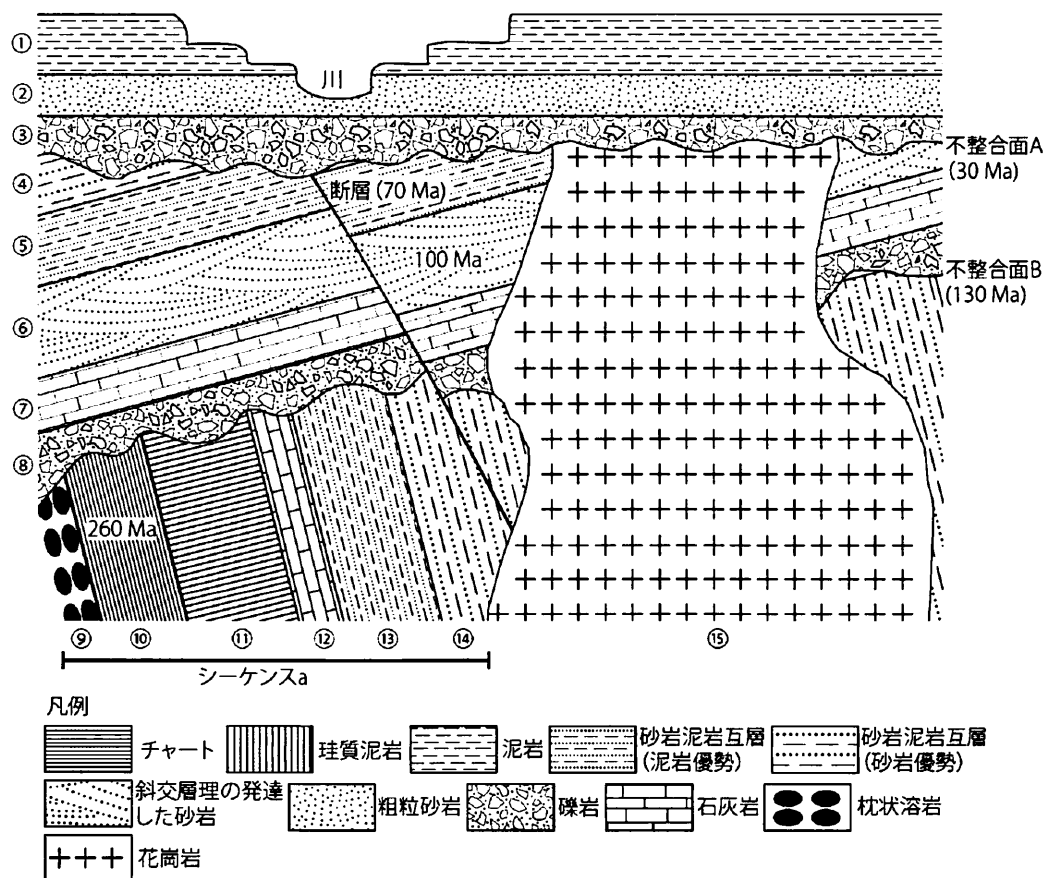
問 2 下線部 a について、そのメカニズムを 70 字程度で説明せよ。

問 3 図 2 の海洋基礎生産量の見積もりは、基本的に沿岸域では行われていない。それは特に沿岸域では TOC がある要因で変化することが考慮されているためであるが、その要因を 20 字程度で答えよ。

問 4 海洋基礎生産の変化が氷期の寒冷気候を引き起こした一因とされているが、そのメカニズムを 50 字程度で説明せよ。

IV-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

下の図は、ある地域における地層断面図である。断面図の各地層には番号が付されている。図中の全ての砂岩泥岩互層中の砂岩はタービダイトである。地層③、⑧からは大量の植物化石、地層④からはアンモナイト、地層⑦からは厚歯二枚貝とサンゴ、地層⑫からはフズリナとサンゴ、地層⑬からはモノチスが産出している。年代が明らかにされている地層、断層、(ア)不整合面においては、図中にその結果が示されている。



問題1 最も古い地層の堆積から最も若い地層の堆積まで、断層と不整合も含めてその順番を答えよ。なお、地層番号が連続する場合は、古い順にそれらをまとめて記すこと（解答例：地層③～①⇒断層⇒地層⑦⇒）。

問題2 現地地形面には、川の両側に階段状の地形が観察される。この地形は何と呼ばれているか答えよ。また、その形成プロセスを100字程度で述べよ。

問題 3 下線部(ア)を認定する上で重要な地質学的証拠を 2 つ答えよ。

問題 4 地層⑦は、地層⑮との境界付近において大理石となっていた。これは何とよばれる作用によってできたものか答えよ。また、この作用について 50 字程度で説明せよ。

問題 5 地層⑤のタービダイトを用いて地層の上下判定を行う場合、どのような堆積構造に注目すればよいか、2 つ答えよ。

問題 6 地層⑦と地層⑫は同じ石灰岩であるが、その堆積場は大きく異なる。それぞれどこで堆積したと考えられるか答えよ。

問題 7 シーケンス a は、堆積場の地理的な移動プロセスを示している。それはどのようなものか、証拠となる岩相やその変化を含めて 100 字程度で述べよ。

問題 8 地層④と地層⑩の地質年代を紀で答えよ。

問題 9 地層⑩で生層序学的研究を行う場合、どの分類群を用いるのがよいか、2 つ答えよ。

問題 10 地層⑮が貫入した年代として、可能性があるものを下記より 2 つ選べ。

250 Ma, 150 Ma, 125 Ma, 50 Ma, 40Ma, 15 Ma, 5 Ma

V 地球科学 II

以下の2問（V-1，V-2）すべてに解答せよ。

V-1（必須）以下の問題に解答せよ。

問題1 下の図は，Forsterite-Diopside-Anorthite 系の1気圧での状態を示した相平衡図である．この図に関する以下の問いに答えよ．必要に応じて，モル質量は $\text{SiO}_2 = 60 \text{ g/mol}$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3 = 102 \text{ g/mol}$ ， $\text{MgO} = 40 \text{ g/mol}$ ， $\text{CaO} = 56 \text{ g/mol}$ を用いること．

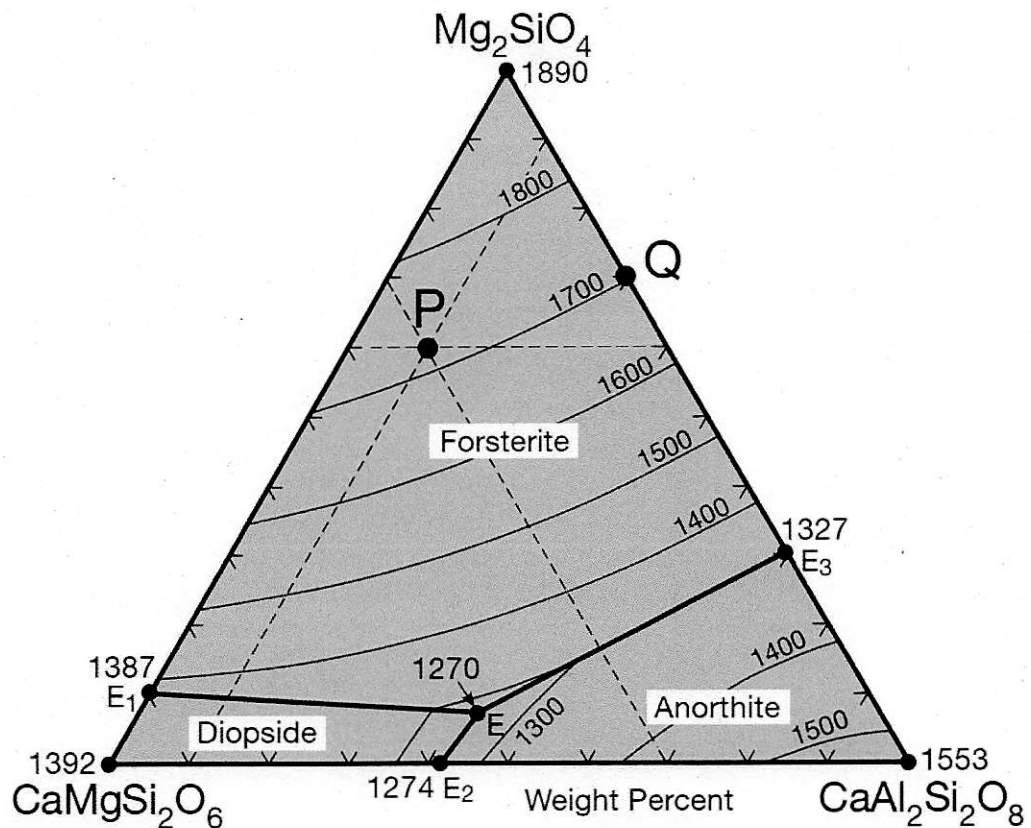


図 Forsterite-Diopside-Anorthite 系の1気圧における状態図
(数字の単位は°C)

- 問 1 図中の点 E の名称, および点 E₁ と点 E を結ぶ線の名称をそれぞれ答えよ.
- 問 2 点 P の成分をもつ岩石の SiO₂ 含有量 (重量%) を計算し, 整数値で答えよ. 導出過程も示すこと.
- 問 3 点 P の成分をもつ岩石を加熱したとき, 融解が開始する温度を答えよ.
- 問 4 点 P の成分をもつ岩石を, 問 3 の状態からさらに加熱したとき, 最初に消滅する相を答えよ.
- 問 5 点 P の成分をもつ岩石を, 完全な分別融解作用を経ながら加熱したとき, 固相が完全に消滅する温度を答えよ.
- 問 6 点 Q の成分をもつ岩石を加熱したとき, 融解が開始する温度を答えよ.
- 問 7 点 Q の成分をもつメルトが平衡結晶化作用を経ながら冷却したとき, 1500℃における, 結晶のおおよその重量分率 (%) を整数値で答えよ. 導出過程も示すこと.

問題 2 安山岩質マグマは, 様々なプロセスによって生成しうるということが知られており, その中で主要なものとして, 結晶分化作用とマグマ混合が挙げられる. 安山岩質マグマに関する以下の問いに答えよ.

- 問 1 上記の 2 つのプロセスで生成された安山岩の試料を, 顕微鏡観察や機器分析によって解析した. 両者の試料の観察・分析結果には, どのような違いがあると考えられるか, 200 字程度で説明せよ.
- 問 2 上記の 2 つ以外の安山岩質マグマの生成プロセスを 1 つ挙げよ.

問題3 火山噴火に伴って発生する重力流としては、火砕流、岩屑なだれ、火山泥流がよく知られている。これらの現象および火山性の堆積物に関する以下の問いに答えよ。

問1 上記の3つの現象はどのようなものか、それぞれ50字程度で説明せよ。

問2 火山噴火に伴って生じる堆積物には、重力流堆積物以外に降下堆積物がある。重力流堆積物と降下堆積物について、火山体周辺における分布の特徴の違いを50字程度で説明せよ。

問題4 以下の問いに答えよ。

問1 ある深成岩は4種類の鉱物A, B, C, Dから構成され、それらの重量比は5:2:2:1である。この岩石の元素*i*の平均濃度は50 ppmであり、元素*i*についての鉱物AとD, BとD, CとD間の分配係数はそれぞれ $(C_A^i/C_D^i) = 2$, $(C_B^i/C_D^i) = 3$, $(C_C^i/C_D^i) = 4$ である (C_A^i , C_B^i , C_C^i , C_D^i は、それぞれ鉱物A, B, C, Dの元素*i*の濃度を表す)。このとき、鉱物Aにおける濃度 C_A^i を計算せよ。なお元素*i*は各鉱物に平衡に分配されているものとする。導出過程も示すこと。

問2 水を含むマグマが上昇する際、マグマの温度がほぼ一定であっても結晶化が活発に起きることがある。この理由を50字程度で説明せよ。

問3 ある玄武岩には金が2 ppb 含まれる。この岩石1 kgに含まれる金の質量を答えよ。

問4 ケイ酸塩メルトの粘性は一般に、含水量の増加とともに低下する。含水量の増加によって、メルトの粘性が低下する理由を50字程度で説明せよ。

問5 現在の地球においては一般に、地殻を構成する岩石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、マントルを構成する岩石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比よりも高い。この理由を150字程度で説明せよ。

V-2 (必須) 下記のリストに示す鉱物について、以下の問題に答えよ。

鉱物リスト：

あられ石	黄鉄鉱	エンスタタイト	石墨
灰長石	方解石	曹長石	ディオブサイド
鉄ばんざくろ石	苦土かんらん石	コランダム	滑石

問題1 鉱物リストに記された鉱物を、元素鉱物、硫化鉱物、酸化鉱物、炭酸塩鉱物、ケイ酸塩鉱物に分類せよ。

問題2 問題1で選んだケイ酸塩鉱物の中から、ネソケイ酸塩鉱物に属する鉱物を2つ選んで名称で答えよ。また、これらの鉱物の結晶構造における、 SiO_4 四面体の結合様式の特徴を、30字程度で説明せよ。

問題3 鉱物リストに記された鉱物の中から、化学組成は同じであるが、結晶構造が異なる鉱物の組み合わせを選び、名称で答えよ。また、このような関係のことを何というか、答えよ。

問題4 問題3のような関係の鉱物を区別するための有効な手法として、X線回折法がある。これについて、以下の問いに答えよ。

問1 この手法では、回折角 2θ と結晶面間隔 d の間に一定の関係があることを利用して、結晶構造に関する情報を得ることができる。用いたX線の波長が λ であるとき、この関係を式で表せ。

問2 問題3のうちの一方の鉱物の、回折指数 hkl と、 (hkl) で表される結晶面の間隔 d との関係は、格子定数 a, b, c を用いて、以下のように表される。

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

この鉱物についてX線回折実験を行って得られた結果が以下の表のようになったとき、このうちのいずれかの値を用いて a 軸の長さ[Å] を小数点第二位まで求めよ。

表 当該の鉱物のX線回折データ

d (Å)	強度	hkl	d (Å)	強度	hkl
3.40	100	111	2.73	10	121
3.27	52	021	2.70	52	012
2.87	5	002	2.48	35	200

問題 5 鉱物リストに記された鉱物を、透過光を用いた偏光顕微鏡観察により光学的等方体と光学的異方体に分類することを考える。以下の問いに答えよ。

問 1 光学的等方体にはどのようなものが含まれるか、下記の語群からすべて選んで答えよ。

語群： 立方晶系の結晶 直方晶系の結晶 単斜晶系の結晶
六方晶系の結晶 正方晶系の結晶 非晶質相

問 2 偏光顕微鏡下では、光学的等方体と光学的異方体の違いはクロスニコル下でどのように観察されるか、説明せよ。

問 3 問 2 のような違いが現れるのは、光学的異方体の中を 1 つの方向に進む光が通過すると、2 つの直線偏光に分かれることによる。これらの 2 つの偏光の関係について、振動方向と速度に着目して 20 字程度で説明せよ。

問 4 鉱物リストの鉱物の中から、問 2 の方法により光学的等方体と分類されるものを一つ選べ。

問 5 鉱物リストの中には、偏光顕微鏡で問 2 のような透過観察をするのに適さない鉱物がある。その鉱物を選び、理由を簡潔に説明せよ。

問 6 光学的異方体は、さらに 1 軸性と 2 軸性に分類できる。上記の語群に記されたものの中から、1 軸性のものをすべて選べ。

問 7 同じ鉱物グループに属する鉱物の中でも、偏光顕微鏡のクロスニコル下での見え方により、鉱物種の分類ができる場合がある。どのような違いで分類できるか簡潔に述べ、それにより識別できる鉱物の組み合わせを鉱物リストから選べ。

問 8 光学的異方性をもつ鉱物では、光の吸収の傾向が方位によって異なることにより、オープンニコルで観察できる性質がある。その性質のことを何と云うか、答えよ。

問題 6 鉱物リストの中から，両者を端成分として連続固溶体をつくる鉱物の組み合わせを選び，答えよ．またこれらの鉱物の間では，どのような元素の置換が起こっているか，答えよ．

問題 7 鉱物リストに記された鉱物の中で，モース硬度が一番高いものを答えよ．