

問題に以下の訂正があります。

II-1 問題2 問3

(誤) 接線方向の速度 u を l, g, θ を用いて表せ.

(正) 接線方向の速度 u を l, g, θ, u_0 を用いて表せ.

II-3 問題3 問3

(誤)とのエントロピーの変化量 dS を求めよ.

(正)とのエントロピーの変化量 ΔS を求めよ.

II-3 問題3 問4

(誤) 問3の結果より, dS が最大となる

(正) 問3の結果より, ΔS が最大となる

2024年8月8日

令和7年度(令和6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 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。
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 行列 $A = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ について, 以下の問いに答えよ.

問1 行列 A の固有値とそれに対応する固有ベクトルをすべて求めよ. 導出過程も記せ.

問2 $P^{-1}AP = \begin{pmatrix} r & 0 \\ 0 & s \end{pmatrix}$ を満たす正方行列 P , および r, s を求めよ.

問3 A^n を計算せよ. ただし, n は正の整数とする. 導出過程も記せ.

問題2 行列 $B = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 & 5 \\ 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 3 \end{pmatrix}$ について, 以下の問いに答えよ.

問1 B の転置行列を求めよ.

問2 B の逆行列を求めよ.

問題3 次の4元1次連立方程式を解け.

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 5x_4 = 5 \\ x_1 + 2x_2 + x_3 + 3x_4 = 9 \\ x_1 + x_2 + x_3 + 2x_4 = 6 \\ 2x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 3x_4 = 3 \end{cases}$$

I-2 (必須)

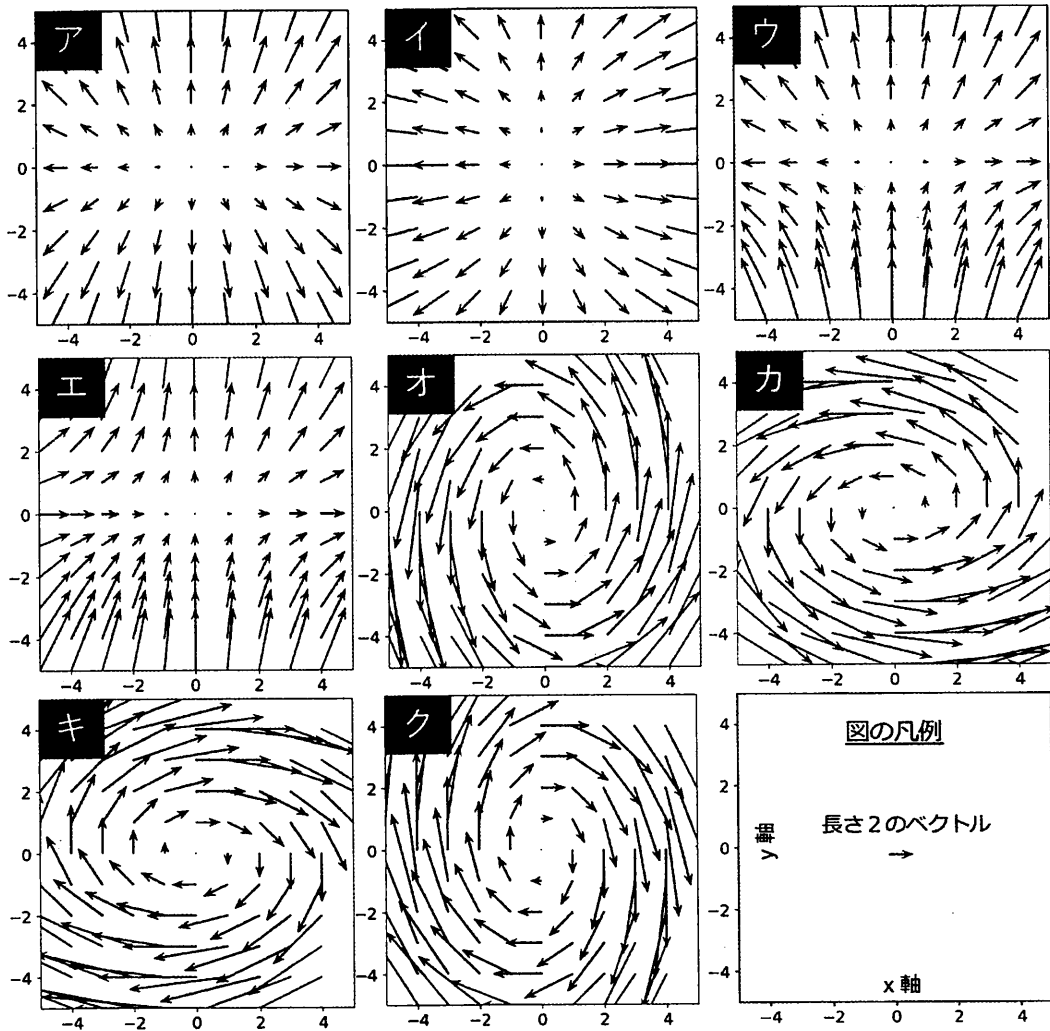
デカルト座標系でベクトル A と B を次のように定義する。

$$A = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} x/2 \\ y \\ z^3 \end{pmatrix}$$

ここで, x, y, z はそれぞれ実数とする. 以下の問題に解答せよ.

問題1 $A \times B$ を計算せよ.

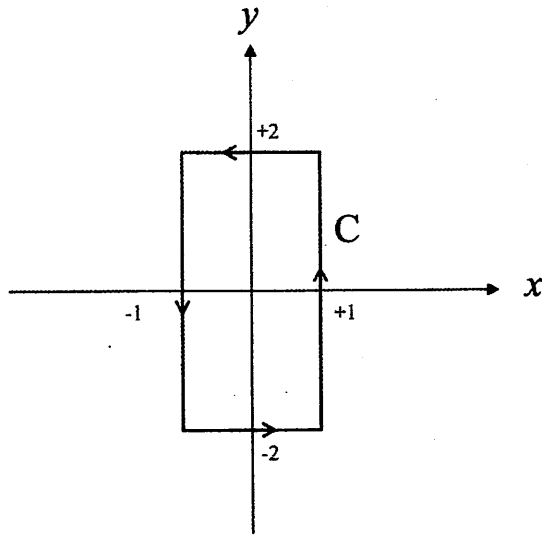
問題2 xy 平面 ($z=0$) におけるベクトルの分布を矢印で示した図として最も適切なものを, $A \times B$ と B についてそれぞれ選び, ア〜クの記号で答えよ. ただし, 右下のパネルは図ア〜クの凡例である.



問題3 $z=0$ の面内にある下図の長方形で示した経路Cについて,

$$\oint_C (\mathbf{A} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

を計算せよ。ただし、 $d\mathbf{l}$ は経路Cに沿った線素ベクトルである。結果だけでなく導出過程も記せ。



問題4 直方体 ($|x| \leq 1$, $|y| \leq 2$, $|z| \leq a$, ただし a は正の実数)の表面Sについて,

$$\int_S (\mathbf{B} \cdot \mathbf{n}) dS$$

を計算せよ。ただし、 \mathbf{n} は面Sの単位法線ベクトルで、外向きを正とする。結果だけでなく導出過程も示せ。

I - 3 (必須)

以下の問題に解答せよ.

問題 1 関数 $f(x)$ に対するフーリエ変換 $F(k)$ は次式のように表わされる.

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx$$

ここで x と k はそれぞれ実数である.

$F(k)$ から関数 $f(x)$ を得る次式は逆フーリエ変換とよばれる.

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(k)e^{ixk} dk$$

また, 次式を関数 $f(x)$ と関数 $g(x)$ の畳み込み積分とよび, $f(x) * g(x)$ と表す.

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x-y)g(y)dy$$

以下の問いに答えよ.

問1 a を実定数とするととき, $f(x-a)$ のフーリエ変換を, $f(x)$ のフーリエ変換 $F(k)$ で表せ.

問2 次の関数 $f(x)$ のフーリエ変換を求めよ.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (|x| \leq x_0) \\ 0 & (|x| > x_0) \end{cases}$$

ここで x_0 は正の実数である.

問3 $f(x)$ と $g(x)$ の畳み込み積分のフーリエ変換が, $f(x)$ のフーリエ変換 $F(k)$ と $g(x)$ のフーリエ変換 $G(k)$ の積で表せることを示せ.

問題 2 一次元空間 x と時刻 $t (t > 0)$ で定義された関数 $u(x,t)$ に関する次の偏微分方程式の初期値問題はフーリエ変換を使って解くことができる.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad u(x,0) = u_0(x)$$

以下の問いに答えよ.

- 問1 関数 $u(x, t)$ の空間変数 x に対するフーリエ変換 $U(k, t)$ を問題 1 になら
って定義し, 上の偏微分方程式から $U(k, t)$ の微分方程式を導け.
- 問2 時刻 $t = 0$ において $U(k, 0) = U_0(k)$ として, 問 1 の解 $U(k, t)$ を記せ.
- 問3 前問の解を逆フーリエ変換して $u(x, t)$ を畳み込み積分で表せ. ただし
 e^{-ax^2} ($a > 0$) のフーリエ変換が $\sqrt{\frac{\pi}{a}} \exp\left(-\frac{k^2}{4a}\right)$ であることを利用せよ.

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)

以下の問題に解答せよ。

問題1 図1のように平面内の x, y 座標系に対して、原点 O から $x-y$ 平面上の位置 A に向かうベクトルを \mathbf{r} ($r=|\mathbf{r}|$)、その速度を \mathbf{v} 、加速度を \mathbf{a} 、 OA の x 軸からの偏角を θ とすると、以下の問いに答えよ。

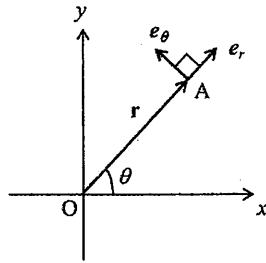


図1

問1 x, y, r, θ それぞれの方向の単位ベクトルを $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta$ とすると、 $\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\theta$ は $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y$ を用いて、それぞれ式(1), (2)のように表せる。

$$\mathbf{e}_r = \mathbf{e}_x \cos \theta + \mathbf{e}_y \boxed{\text{(ア)}} \quad (1), \quad \mathbf{e}_\theta = \boxed{\text{(イ)}} + \mathbf{e}_y \cos \theta \quad (2).$$

式(1), (2)を時間で微分すると、それぞれ式(3), (4)のように表せる。

$$\frac{d\mathbf{e}_r}{dt} = -\mathbf{e}_x \sin \theta \frac{d\theta}{dt} + \mathbf{e}_y \boxed{\text{(ウ)}} = \boxed{\text{(エ)}} \mathbf{e}_\theta \quad (3),$$

$$\frac{d\mathbf{e}_\theta}{dt} = \boxed{\text{(オ)}} - \mathbf{e}_y \sin \theta \frac{d\theta}{dt} = -\frac{d\theta}{dt} \mathbf{e}_r \quad (4).$$

空欄 $\boxed{\text{(ア)}} \sim \boxed{\text{(オ)}}$ に当てはまる適切な数式を答えよ。

問2 速度 \mathbf{v} 、加速度 \mathbf{a} がそれぞれ式(5), (6)のように表せることを示せ。

$$\mathbf{v} = \frac{dr}{dt} \mathbf{e}_r + r \frac{d\theta}{dt} \mathbf{e}_\theta \quad (5),$$

$$\mathbf{a} = \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \mathbf{e}_r + \left[2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right] \mathbf{e}_\theta \quad (6).$$

問題2 図2のように長さ l のひもに質量 m の質点を取り付け、固定された支点 O の周りに質点が回転する運動を考える。質点の接線方向の速度を u 、ひもの鉛直方向からのなす角を θ 、ひもの張力を T 、重力加速度を g とする。 $\theta=0$ で初速 u_0 を与える。ただし、ひもは伸び縮みせず、空気抵抗やひもの質量は無視できるとし、紙面と垂直な方向の運動はないとする。以下の問いに答えよ。

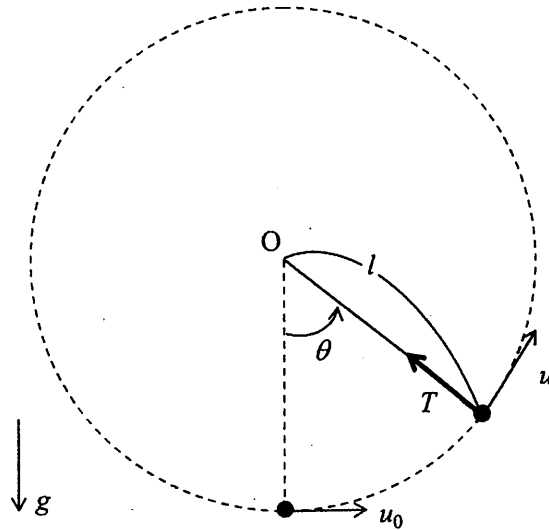


図2

- 問1 接線方向とそれに直交する動径方向の質点の運動方程式をそれぞれ示せ。
- 問2 接線方向の速度 u と θ の関係を表せ。
- 問3 接線方向の速度 u を l , g , θ を用いて表せ。
- 問4 ひもの張力 T を m , l , g , θ , u_0 を用いて表せ。
- 問5 問4の結果より、ひもがたるまず軌道上を1周できるための条件を求めよ。

II-2 (必須)

電場ベクトル \mathbf{E} 、磁束密度(磁場)ベクトル \mathbf{B} の電磁場中の荷電粒子の運動を考える。電荷 q を持った質量 m の質点の運動方程式は、次式のように表せる。

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \mathbf{F} \quad (1)$$

ただし、 \mathbf{v} は速度ベクトル、 \mathbf{F} は電磁力以外の外力を表す。以下の問題に解答せよ。

問題1 式(1)の右辺の $q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$ の力を何と呼ぶか答えよ。

問題2 $\mathbf{E} = \mathbf{F} = 0$ で、直交座標系の z 方向にのみ一様な磁場($B_x = B_y = 0, B_z = B$)がある場合の荷電粒子の運動を考える。以下の問いに答えよ。

問1 速度ベクトルの三成分を v_x, v_y, v_z として、運動方程式の三成分を記せ。

問2 $v_z \neq 0$ のとき z 方向にはどのような運動をするか答えよ。

問3 虚数単位 $i = \sqrt{-1}$ を用いて $\mathbf{v}_\perp \equiv v_x + iv_y$ と定義したとき、 \mathbf{v}_\perp を時間 t の関数として求めよ。ただし、 $t=0$ のときの \mathbf{v}_\perp を $\mathbf{v}_\perp^0 = v_x^0 + iv_y^0$ とする。

問4 問3から、磁場に垂直な面に投影した荷電粒子の軌跡は回転運動をすることが分かる。その回転運動の角振動数 ω を答えよ。

問題3 $\mathbf{F} = 0$ のまま、問題2の z 方向の一様な磁場に加えて、 y 方向に一様な電場($E_x = E_z = 0, E_y = E$)も加わったときの荷電粒子の運動を考える。以下の問いに答えよ。

問1 このときの運動方程式の三成分を記せ。

問2 $v'_x \equiv v_x - E/B$ を用いると前問の運動方程式は問題2問1と等価であることを示せ。

問3 荷電粒子の運動が問題2からどのように変わるか、70字程度で説明せよ。

問題4 電磁力以外の外力 \mathbf{F} の例を二つ述べよ。

II-3 (必須)

理想気体 1 モルの定積熱容量は C_v , 気体定数は R として, 以下の問題に解答せよ.

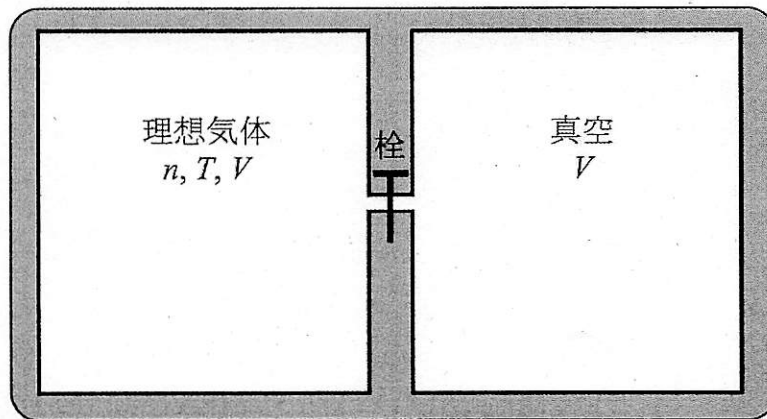
問題 1 熱力学の第 1 法則は, 熱量 Q , 気体の内部エネルギー U , 気体の体積 v , および気体の圧力 P を用いて式(1)のように書ける. 空欄 (ア) に当てはまる適切な数式を答えよ.

$$dU = dQ - \boxed{\text{(ア)}} \quad (1)$$

問題 2 理想気体 n モルのエントロピーの変化量 dS が, n , C_v , R , 気体の体積 v , および温度 T を用いて式(2)のように書けることを示せ.

$$dS = nC_v \frac{dT}{T} + nR \frac{dv}{v} \quad (2)$$

問題 3 図のように断熱壁で囲まれた体積 V の同じ 2 つの容器を, 栓を閉じた状態をつなぎ, 片方に温度 T の理想気体 n モルを入れ, もう一方は真空の状態にする. 栓を静かに開けて, 左の容器の気体を断熱的に右の容器に移動させる. この時, 気体の移動はゆっくりと行われ, 左と右の容器の気体は熱平衡を保ちながら移動するものとする. 以下の問いに答えよ.



問 1 栓を開けて気体が右の部屋に移動した時, 温度が変化しない (すなわち $dT=0$) 理由を答えよ.

問 2 一定の時間が経過し, 右側の容器に N モルの気体が移動したとする. 移動した N モルの気体と, 左側の容器に残った $n-N$ モルの気体が, 移動前に占めていたそれぞれの体積を求めよ.

問3 問題2と問1, 問2の結果より, 一定の時間が経過した時と, 栓を開ける前とのエントロピーの変化量 dS を求めよ.

問4 問3の結果より, dS が最大となる N の条件を求めよ.

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)

表は、地球に天然に存在するウランの同位体の半減期と天然存在比を示している。以下の問題に解答せよ。

| 質量数 | 半減期 (年) | 天然存在比 (%) |
|-----|-------------------|-----------|
| 234 | 2.5×10^5 | 0.005 |
| 235 | 7.0×10^8 | 0.720 |
| 238 | 4.5×10^9 | 99.274 |

問題1 ^{235}U は放射壊変して安定な鉛の同位体となるが、その鉛の同位体の質量数は207と208のいずれであるか答えよ。

問題2 ^{235}U が放射壊変して問題1の鉛の同位体となるまでに、1核種あたり何原子の ^4He が放出されるか答えよ。

問題3 ^{234}U は短寿命核種であるにも関わらず、常に天然に存在する。その理由を30字程度で答えよ。

問題4 コンドライト隕石に含まれる、ある白色包有物を測定し、次のデータが得られた。以下の問いに答えよ。

$$\text{データ 1 : } ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb} = 370, ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 379$$

$$\text{データ 2 : } ^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb} = 521, ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 530$$

問1 この白色包有物が形成した時点の $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比を求めよ。

問2 この白色包有物が形成した年代を求めよ。

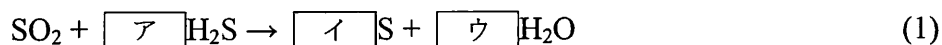
問題 5 天然サンプルの U-Pb 年代測定法に用いられる質量分析法を 1 つ挙げよ.

問題 6 実際の年代測定において, 異なる放射壊変系列を利用した年代系の間で (例えば Al-Mg 系と U-Pb 系など), 求まる年代値が互いに異なる場合がある. どのような原因で年代値の不一致が生じるか, 1 つ例を挙げ 30 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。

ある火山の山腹において、火山ガスと熱水の活動が観察された。火山ガスは、複数の噴気孔から放出されており、(a)その周りには自然硫黄の結晶が形成されていた。ガスを採取し、分析した結果、ガスには硫黄成分が高濃度で含まれ、その化学種は H_2S と SO_2 の両方であることが判明した。これらの化学種は、(b)地下深部の高温環境では自然硫黄を形成しない。噴気孔の付近では熱水活動も活発であり、大きな熱水湖が形成されていた。熱水湖では、(c)湖底から酸性の熱水が湧き出し、周囲の岩石を溶解しながら湖外へ流出していた。

問題1 下線部(a)について、自然硫黄 (S) は、地表付近の低温環境で次の化学反応により形成される：



空欄 $\boxed{\text{ア}}$ 、 $\boxed{\text{イ}}$ 、 $\boxed{\text{ウ}}$ に当てはまる整数をそれぞれ答えよ。

問題2 下線部(b)について、 H_2S と SO_2 は、地下の高温環境で次の化学反応を起こす：



この反応が化学平衡に達しているとき、 SO_2 成分と H_2S 成分の物質量の比 ($\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比) は、ガスの全圧が増加すると増加するか、それとも低下するか、理由とともに答えよ。ただし、温度は一定とする。

問題3 下線部(c)について、湖底から湧出した熱水が湖を作り、周囲の岩石を溶解しながら流出する状況を図1のようにモデル化する。そして、ある溶存成分(成分 j とする)の収支を次のように設定する。すなわち、熱水湖には、成分 j の濃度が C_0 [mol L⁻¹]の熱水が、流量 q [L s⁻¹]で流入している。湖内では、熱水と岩石の化学反応が起こることで、成分 j は反応速度 r [mol L⁻¹ s⁻¹]で生成している(または消費されている)。その結果、湖内の成分 j の濃度は C [mol L⁻¹]となり、湖の出口からは、同じ濃度 C [mol L⁻¹]の熱水が流出している。流出の流量は q [L s⁻¹]と仮定する(すなわち、流入の流量と等しい)。そして、成分 j の収支に差がある場合には、成分 j は湖内に蓄積する(または枯渇してゆく)。湖内では、溶存成分の濃度は均質とみなせるものとする。熱水湖の容積(V [L]とする)は十分に大きく、周囲の岩石が溶解しても変化しないものとする。また、湖面からの熱水の蒸発や雨の影響は無視できるものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

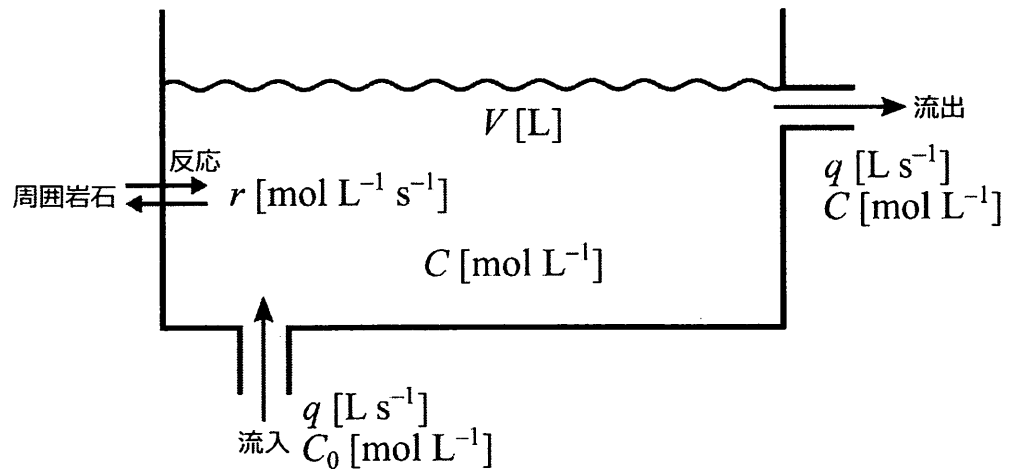


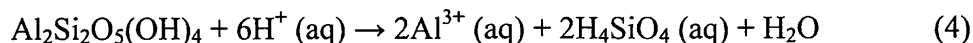
図1 熱水湖における溶存成分 j の収支モデル

問1 熱水湖内の成分 j の濃度の時間変化 $\frac{dC}{dt}$ [mol L⁻¹ s⁻¹] は

$$\frac{dC}{dt} = \frac{q}{V}(C_0 - C) + r \quad (3)$$

と表されることを示せ。

問2 熱水湖の周囲の岩石は、カオリナイト ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) からなり、その溶解反応は次の式で表されるものとする：



成分 j を水素イオンとする。反応(4)が進行すると、水素イオンは消費される。その際の反応速度は、水素イオン濃度に比例するものとする、 r は式(5)で表される：

$$r = -kC \quad (5)$$

ここで、 $k[\text{s}^{-1}] (> 0)$ は速度定数である。

熱水湖の水質を継続的に測定したところ、水素イオン濃度は時間変化をせず、定常状態に達していることが判明した。このとき、熱水湖の水素イオン濃度 C は

$$C = \frac{C_0}{1 + \frac{V}{q}k} \quad (6)$$

と表されることを示せ。

問3 流入する熱水の水素イオン濃度指数は $\text{pH} = 1.0$ 、流量は $q = 1.0 \times 10^3 \text{ L s}^{-1}$ であった。また、熱水湖の容積は $V = 1.0 \times 10^9 \text{ L}$ であり、反応(4)の速度定数は $k = 9.99 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ であった。岩石の溶解反応が定常状態に達しているとき、流出する熱水の水素イオン濃度指数の値はいくらか。有効数字2桁で答えよ。計算過程も示すこと。

- 問4 この熱水湖から1年間に流出する水素イオンの物質量 [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、熱水の水素イオン濃度指数、流量、熱水湖の容積、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。岩石の溶解反応は、定常状態に達しているものとする。1年 = 3.2×10^7 s とする。
- 問5 この熱水湖から、1年間に熱水に溶解し、流出するカオリナイトの質量 [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、熱水の水素イオン濃度指数、流量、熱水湖の容積、速度定数、岩石の溶解反応式は、問3での設定と等しいものとする。岩石の溶解反応は、定常状態に達しているものとする。カオリナイトのモル質量は 0.26 kg mol^{-1} とする。

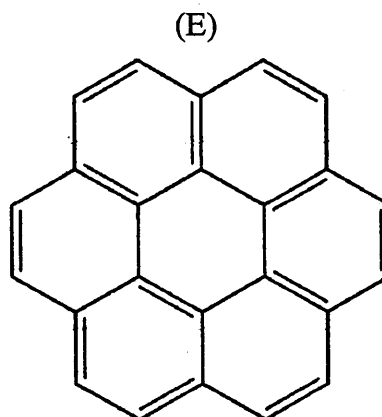
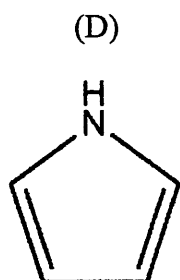
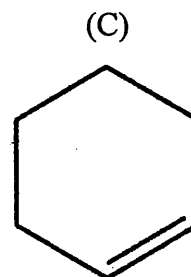
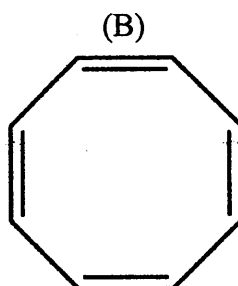
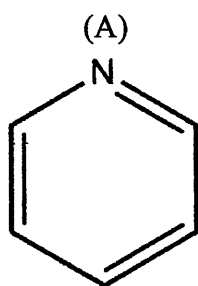
Ⅲ-3 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

マーチソン隕石に代表される炭素質隕石からは、多様な有機化合物が見つかった。その大部分は不溶性有機物と呼ばれる複雑な分子構造をもつ高分子化合物であり、^(a)芳香族化合物を骨格に、脂肪族炭化水素や^(b)様々な官能基が含まれる。一方で、水や溶媒に溶ける有機物も発見されており、^(c)アミノ酸などの生体を構成する有機物も含まれる。

問題1 下線部(a)について、以下の問いに答えよ。

問1 フェナントレンは3つの芳香環からなる化合物である。フェナントレンと同様に3つの芳香環からなり、同じ化学組成を持つ異性体について、その構造式を図示し、化合物名を答えよ。

問2 以下の(A)~(E)の化合物のうち芳香族化合物はどれか、すべて選び記号で答えよ。



問3 芳香族化合物には蛍光を示すものが多くある。蛍光に関して説明した以下の文について、空欄（ア）～（ウ）に当てはまる適切な語句を答えよ。

物質に紫外・可視光領域の光を照射すると、（ア）状態の電子が一時的にエネルギー準位の高い励起一重項状態へと遷移することがある。そこから電子がもとの（ア）状態に緩和される際に差分のエネルギーが蛍光として観察される。励起三重項状態から（ア）状態へと緩和する時に見られる発光は、特に（イ）と呼ばれる。芳香族化合物の共役系が広がると、 π 軌道の（ア）状態と励起状態のエネルギー差が小さくなり、蛍光スペクトルは（ウ）波長側へシフトする。

問題2 下線部(b)について、以下の問いに答えよ。

問1 ベンゼンの水素原子1個を①カルボキシ基、②ヒドロキシ基、③アミノ基、④メチル基で置き換えた化合物の名称をそれぞれ答えよ。

問2 問1の化合物が溶解した有機溶媒を分液漏斗に入れ、希塩酸水溶液を加え良く混合した。2層に分離した溶液のうち、主に水層に含まれる化合物として最も適切なものを1つ選び、問1の①～④の記号で答えよ。

問題3 下線部(c)について、アミノ酸は、陽イオン、双性イオン、陰イオンとして水溶液に溶け、その割合は溶液のpHによって変化する。以下の問いに答えよ。

問1 アミノ酸の一種であるグリシンにおける(1)陽イオンと双性イオン間の平衡式、(2)双性イオンと陰イオン間の平衡式をそれぞれ答えよ。なお、各イオンは構造式の形で示すこと。

問2 等電点におけるアミノ酸溶液中の各イオンの割合について、50字程度で説明せよ。

問3 グリシン（等電点 6.0）、グルタミン酸（等電点 3.2）、リシン（等電点 9.7）が混合した水溶液がある。この溶液をpHが6.0の緩衝液で湿らせた細長い紙の中央に少量滴下し、両端に電極をつなぎ、電場をかけた。この時、3種類のアミノ酸は、それぞれ紙のどこに移動するか、あるいは留まるか。その理由とともに100字程度で答えよ。

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 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

海洋の表層水は炭酸塩については過飽和であり、炭酸塩は溶解することはない。しかし、炭酸塩が深海に沈降すると、水温の低下、水圧の増大、(ア)の分解による(イ)の低下により不飽和となり、溶解し出す。炭酸塩が深海において溶解する水深を示す用語として、^aリソクライン (Lysocline) と炭酸塩補償深度 (Carbonate compensation depth; CCD) が使われる。図1のとおり、炭酸塩の溶解する水深は太平洋と大西洋の海水では大きく異なる。

珪酸塩、特に生物がつくる無定形珪酸 (オパール) については、海洋表層水から深層水において不飽和である。したがって、珪酸塩は溶解するはずであるが、比較的溶解速度が小さいので、海底で溶け残って珪酸塩の堆積物となる。海洋表層における生物の(ウ)が高いと沈降する珪酸塩および有機物のフラックスに影響して、より海底での珪酸塩の溶け残りが多くなる。

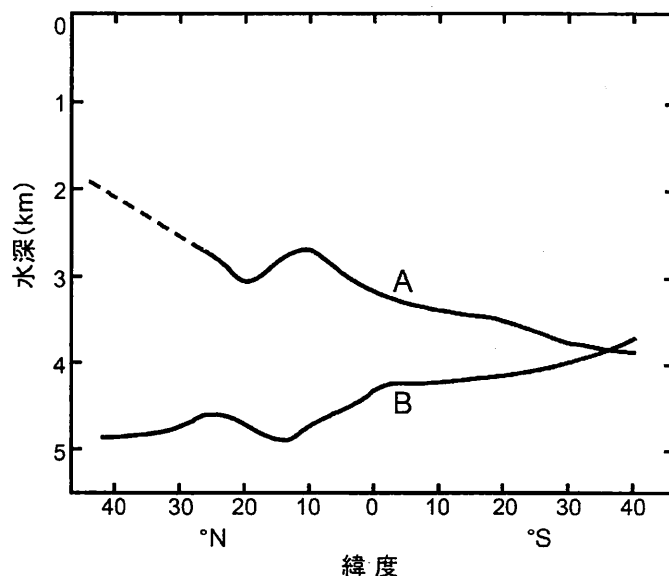


図1 太平洋と大西洋における炭酸塩の溶解する水深 (リソクラインの水深) の緯度分布。転線部はデータが不確定 (角皆静男著「海洋化学」(1989) の図をもとに作成)。

問1 文章中の空欄 (ア) ~ (ウ) にあてはまる適切な語句を答えよ。

問2 下線部 a の2つの用語のそれぞれの定義を答えよ。

問3 図1において、曲線 A, B は太平洋, 大西洋のいずれのリソクラインの深度の緯度分布を示しているのか答えよ。

問4 太平洋と大西洋で炭酸塩の溶解の特徴が異なる理由を150字程度で説明せよ。

問題2 海洋の2ボックスモデルの説明を参考にして、以下の問いに答えよ。

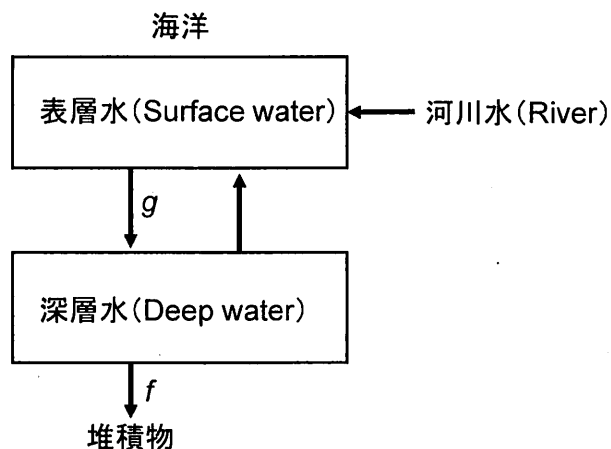


図2 海洋の2ボックスモデル。定常状態でのフラックスを示す。

2ボックスモデルの変数

f : 粒子状物質として表層水から深層水へ運ばれる成分量のうち、分解を免れて堆積物中に除去される割合。

g : ある物質が表層水から粒子の形で除去される割合。

τ : ある物質の海洋における滞留時間。 T_{mix} : 深層水循環が1周するのに必要な時間。

$C_{\text{river}}, C_{\text{deep}}, C_{\text{surface}}$: 河川水 (river), 深層水 (deep), 表層水 (surface) の水 1L あたりの成分のモル濃度 (mol/L)。

$$f = 1 / \{ 1 + 20 (C_{\text{deep}} / C_{\text{river}} - C_{\text{surface}} / C_{\text{river}}) \} \quad g = 1 - (20 C_{\text{surface}} / C_{\text{river}}) / (1 + 20 C_{\text{deep}} / C_{\text{river}})$$

$$\tau = T_{\text{mix}} / (fg)$$

- 問1 図2の深層水から表層水へと移動する海水の流れを何と呼ぶか、またその流れのある海域の表層では生物生産が高いが、その理由を30字程度で答えよ。
- 問2 海洋表層水中の成分Qのモル濃度は、河川水中のその25%、深層水中の50%であることがわかった。上記の2ボックスモデルの説明にある f 、 g の値を求めよ。
- 問3 問2の f 、 g の値から、成分Qは生物制限元素、非生物制限元素、半生物制限元素のいずれか、その理由とともに答えよ。
- 問4 T_{mix} を1800年として、成分Qの τ を求めよ。
- 問5 図2では海洋表層水に陸域からの物質が河川水をとおして供給されることが示されているが、実際の海洋—陸域間ではそれとは異なる物質輸送系があることが知られている。その輸送系を2つ答えよ。

問題3 以下の図3を参考にして、次の問いに答えよ。

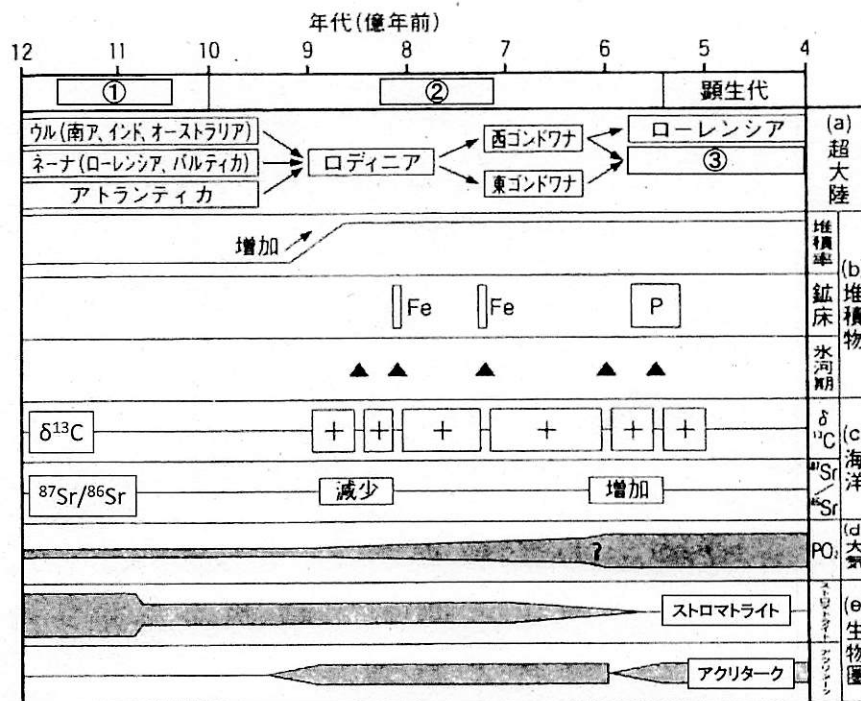


図3 12~4億年前の地球環境の変遷と生物進化 (川上・大野, 1998)。

問1 空欄①～③の語句を答えよ。なお、①～②は地質時代名である。

問2 図3の「(b)堆積物」の項目において、氷河期の時期が示されているが、このような氷河期（氷河の発達）を示す具体的な地質学的証拠を1つ答えよ。

問3 図3の「(c)海洋」の項目において、炭酸塩中のストロンチウムの同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) が約6～5億年前、炭酸塩の炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) が約9～5億年前の期間に増加したことが示されている。次の問いに答えよ。

(1) 炭酸塩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はそれが堆積した当時の海水の同位体比であると考えられている。この $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が増加した要因を50字程度で答えよ。

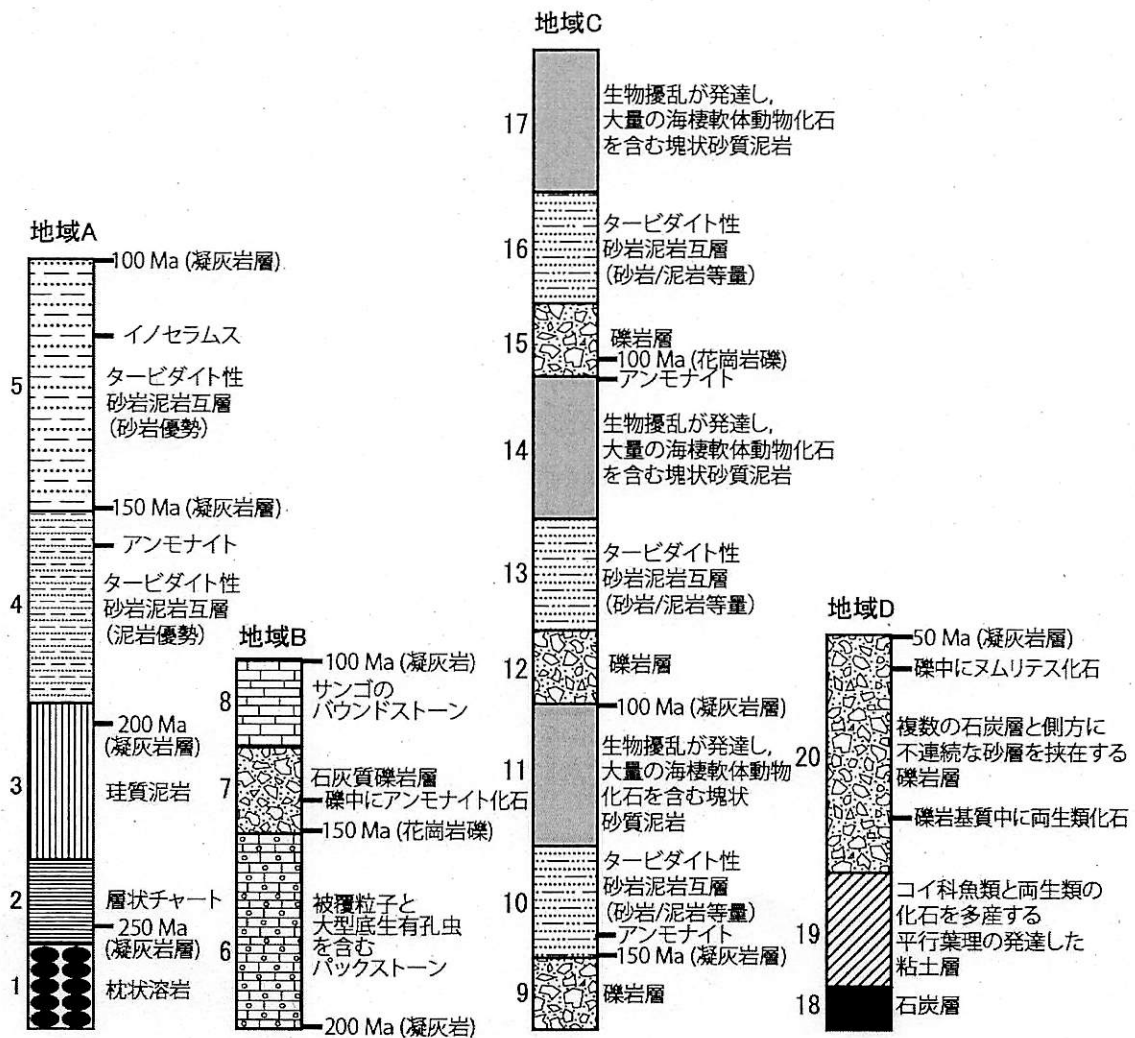
(2) 炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}$ 値が増加した約9～5億年前の海洋において、海洋表層での有機物生産の増大と堆積物への有機物の埋積量の増加が起こったことが推察されている。そのようなことが起こるとなぜ $\delta^{13}\text{C}$ 値が増加するのか、50字程度で答えよ。

問4 図3の「(d)大気」の項目において、約6億年前に大気中の酸素濃度 (PO_2) が急激に増加した結果、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が増加したと考えられている。大気 PO_2 の増加がなぜ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を増加させるのか、30字程度で説明せよ。

問5 図3の「(e)生物圏」の項目において、2つの代表的な生物化石（ストロマトライト、アクリターク）の産出頻度の年代変化が示されているが、それらは何の生物に由来する化石か、また、それらの形態的な特徴をそれぞれ答えよ。

IV-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

下の図は、地域A～Dにおける層序調査の結果をまとめ、断層による地層の欠如を補完した模式柱状図である。柱状図の各地層には番号が付され、岩相と産出化石、年代測定結果が示されている。年代測定には、薄い凝灰岩層もしくは礫岩中の花崗岩礫が用いられた。調査は全て陸上で行われ、それぞれの地域は、1000 km 以上地理的に離れている。なお、全ての地域の層序において不整合の存在は認められなかった。



問題1 地域Aの地層1～5までの岩相変化は、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 2 地域 A の層序を得るには、何と呼ばれる地質体を調査すればよいか、答えよ。また、その地質体はどのようにして形成されたものか 80 字程度で述べよ。なお、調査対象は、陸上に限ることとする。
- 問題 3 地域 B～D の層序は、どのような環境で堆積したと考えられるか、その理由とともに、それぞれ 50 字程度で述べよ。
- 問題 4 地域 C において、地層 9～11 の組み合わせは地層 11 より上位にも繰り返し観察できる。このような繰り返し層序を形成する主な要因について答えよ。
- 問題 5 地域 B～D には、礫岩層が発達している。礫岩層の堆積環境や堆積プロセスを復元する際に、観察すべき事項 3 つとそれによってわかることについてそれぞれ答えよ。
- 問題 6 地層 5 に年代対比可能な地層を番号で答えよ。なお、地層番号が連続する場合は、それらをまとめて記すこと（例：地層 1～3）。
- 問題 7 ジュラ系と白亜系に確実に対比できる地層はそれぞれどれか、その理由と共に番号で答えよ。なお、地層番号が連続する場合は、それらをまとめて記すこと。
- 問題 8 地層 2 において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 つ挙げよ。
- 問題 9 地層 8 と地層 20 の最上部において、花崗岩の貫入が観察された。地層 8 と地層 20 それぞれについて花崗岩が貫入した年代として、可能性のあるものを下記より全て選べ。

210 Ma, 180 Ma, 150 Ma, 120 Ma, 90 Ma, 60 Ma, 30 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) 以下の文章を読み, 問題に解答せよ。

アイスランドは^(a)中央海嶺とホットスポットの火成活動が重合している場所であり, 島の北部から南西部にかけて, プレーートの拡大軸が縦断している(南西部では2つに分岐している)。図1は, アイスランドの表層に分布する火成岩の年代区分を示す。プレート拡大軸の周囲には新しい火成岩が分布し, そこから東西の両方向に向かって, より^(b)古い火成岩が分布する。このプレート拡大軸の西側は(ア)プレート, 東側は(イ)プレートである。

アイスランドでは苦鉄質な火成活動が支配的であり, 流動性に富んだ大量の溶岩流が幾重にも水平に積み重なって形成された(ウ)や, 傾斜の緩い大規模な火山体である(エ)が見られる。その一方で, 珪長質な火成活動を伴う火山も存在する。例えば^(c)Askja火山では, 苦鉄質な火成活動が卓越する中で, 1875年に流紋岩質マグマの^(d)爆発的噴火が起きている。

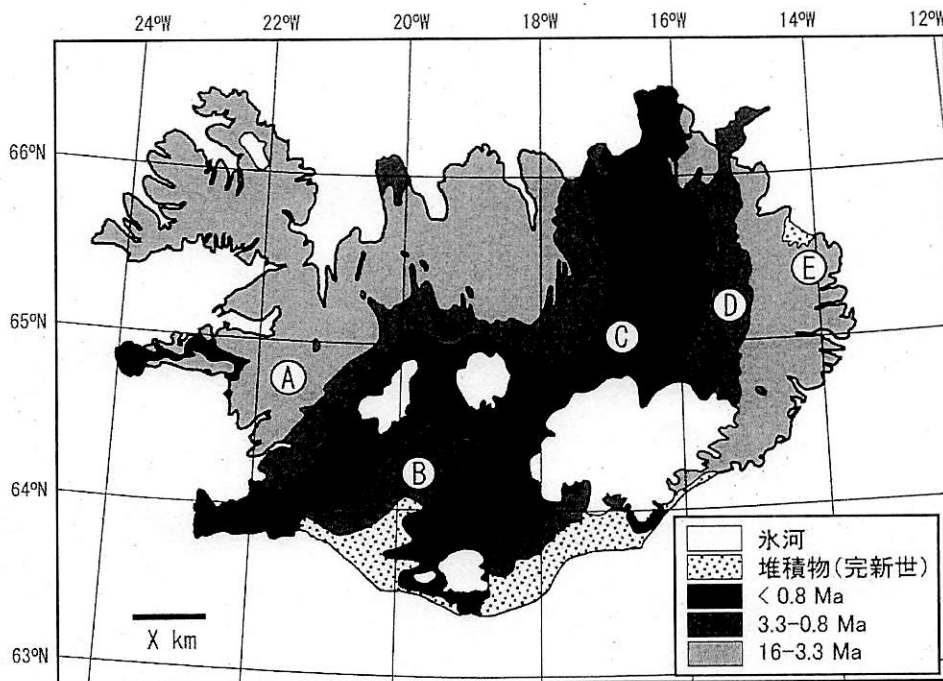


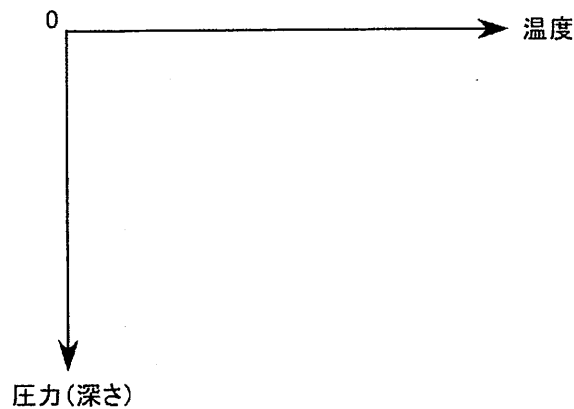
図1 アイスランドの表層に分布する火成岩の年代区分 (Jóhannesson & Sæmundsson, 1998 を一部改変)。

問題 1 空欄 (ア) ~ (エ) に入る適切な語句を答えよ。

問題 2 図 1 中の左下方に示されている距離スケール X の数値として最も適当なものを以下から選び、答えよ。

10 20 50 100 200 500 1000

問題 3 下線部(a)に関して、中央海嶺直下のマントルでマグマが生成する仕組みについて、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、50 字程度で説明せよ。



問題 4 下線部(a)に関して、中央海嶺とホットスポットの火成活動の駆動力には共通点が多いが、両者のマントルポテンシャル温度は大きく異なる。マントルポテンシャル温度とは何か、50 字程度で説明せよ。

問題 5 下線部(b)に関して、0.8 Ma から 16 Ma の苦鉄質な火成岩の年代を決定するにあたり、最も適切な年代測定法を挙げよ。

問題 6 下線部(c)の Askja 火山の場所を、図 1 の A~E から選べ。

問題 7 下線部(d)に関して、苦鉄質マグマと比較して珪長質マグマが爆発的な噴火を起こしやすい理由について、50 字程度で説明せよ。

問題 8 アイスランドの内陸部の火山には、枕状溶岩が見られることがある。これらの枕状溶岩は、どのように形成されたと考えられるのかを説明せよ。

問題9 図2は、Askja火山の1875年噴火の噴出物について、火山近傍における模式柱状図を示したものである。この図に関する以下の問いに答えよ。

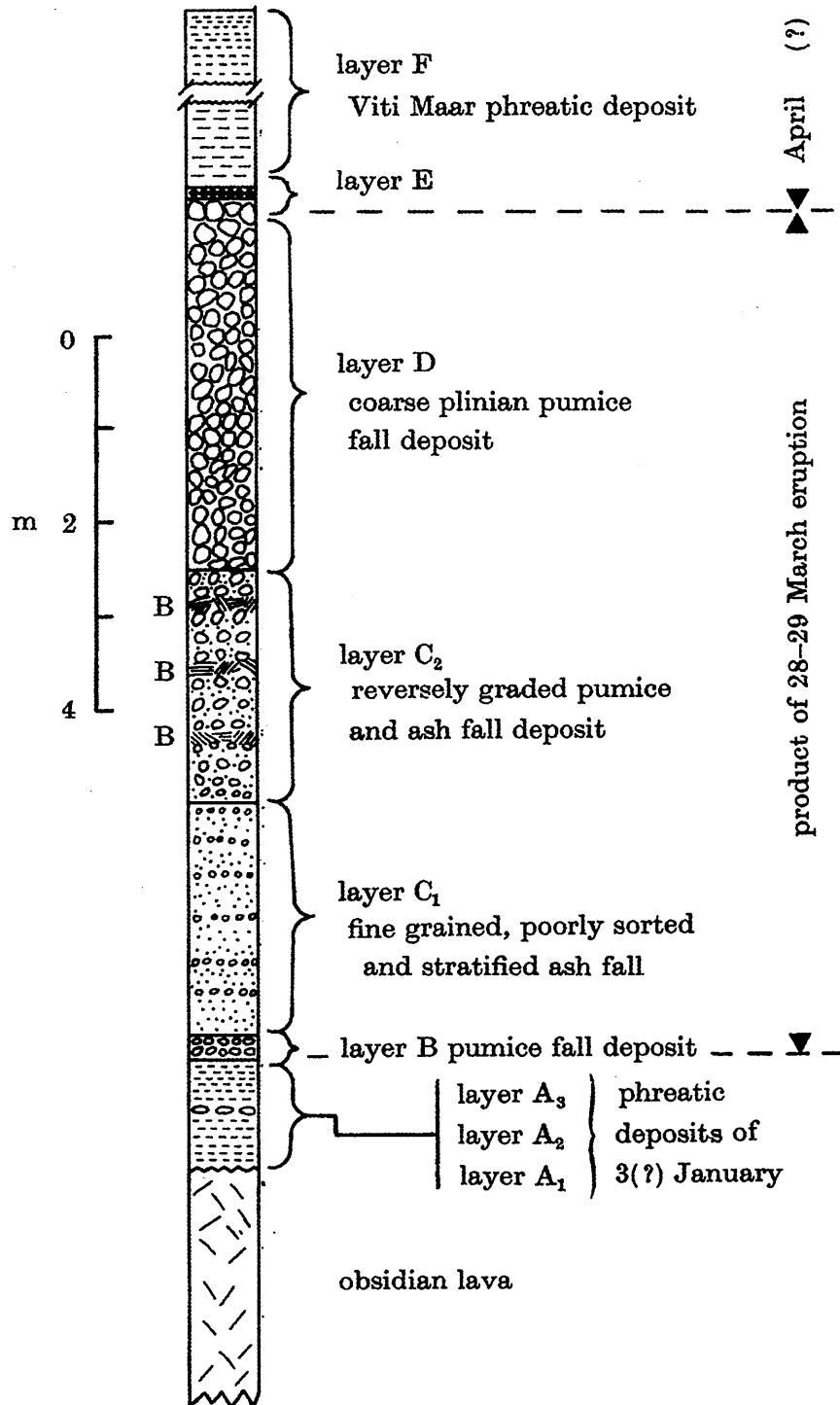


図2 Askja火山1875年噴火噴出物の模式柱状図(Sparks et al., 1981).

- 問 1 図の最下層の「obsidian」とは黒曜石のことである。この岩石試料の薄片を作成し、偏光顕微鏡の直交ニコル下で観察した。ステージを 360° 回転させたとき、どのような像が観察されるかを記せ。
- 問 2 Layer A ($A_1\sim A_3$) の「phreatic deposits」とは、水蒸気爆発の堆積物を意味する。図 2 の作者が、Layer A の噴火イベントがマグマ水蒸気爆発ではなく、水蒸気爆発であると判断するにあたり、何に着目して堆積物を調べたと考えられるか、答えよ。
- 問 3 Layer C_2 の 3 ヶ所に「B」と示されている層は、ベースサージ堆積物を表す。サージとはどのようなものか、50 字程度で説明せよ。
- 問 4 Layer C_2 の「reversely graded pumice」とは、堆積物中の主要な構成物質である軽石が逆級化していることを意味する。一連の噴火活動に伴う軽石堆積物が逆級化したのは、どのようなプロセスによるか、考えられるシナリオを 2 つ挙げよ。
- 問 5 プリニー式噴火の降下堆積物である Layer D の厚さの空間分布を広域的に調べた結果、この噴火で放出された軽石の総体積は 0.6 km^3 と見積もられた。軽石の平均密度が 0.6 g/cm^3 、流紋岩物質の平均密度が 2.3 g/cm^3 であるとするとき、Layer D の噴火における軽石の総噴出量の DRE (dense rock equivalent) 換算体積 (km^3) を計算し、小数点以下 2 桁で答えよ。導出過程についても示すこと。
- 問 6 Layer E の堆積物には岩片が高い割合で含まれることから、ブルカノ式噴火である可能性が指摘されている。ブルカノ式噴火とはどのようなものか、50 字程度で説明せよ。
- 問 7 Layer F は、マール (Maar) 起源の堆積物である。マールとはどのような地形か、簡潔に説明せよ。
- 問 8 Layer A~F に相当する各降下堆積物の分布を広域的に調べたところ、大部分の堆積物の分布は、火山の東方に主軸をもつことが分かった。降下堆積物が主に火山の東方に分布する理由を説明せよ。

問題 10 図 3 は, Askja 火山に産する代表的な火山岩の全岩化学組成である. これらの火山岩の組成多様性は, 一連の結晶分画作用によって形成されたと考えられている. この図に関する以下の問いに答えよ.

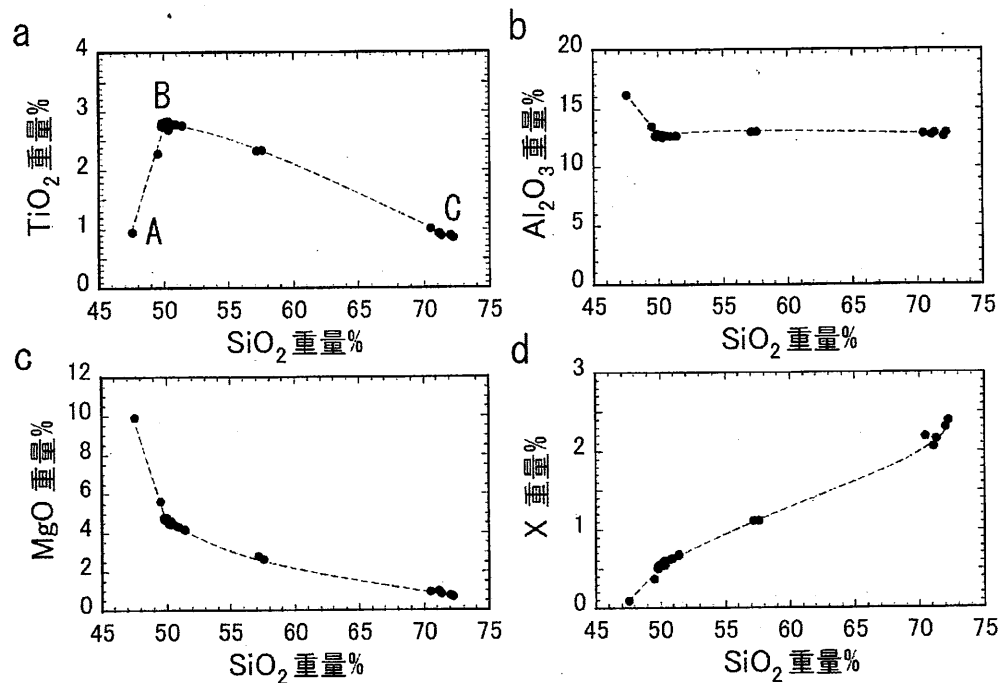


図 3 Askja 火山の火山岩の全岩化学組成. 点線は組成進化曲線を表す.

- 問 1 A から B のマグマに進化した際に分別したと考えられる鉱物を 2 つ挙げよ. それぞれの解答の根拠についても説明せよ.
- 問 2 B から C のマグマに進化した際に, 問 1 で解答した鉱物に加え, 新たに分別した鉱物を 1 つ挙げよ. 解答の根拠についても説明せよ.
- 問 3 図 3d の X にあてはまる酸化物もしくは元素として最も適当なものを, 以下から 1 つ選べ.

CaO K₂O MnO Ba La Ni Sr Y Zr

- 問 4 岩石 A と C の Pb の濃度は, それぞれ 260 ng/g, 4.12 μg/g であった. 分別された各種鉱物に含まれる Pb 濃度が無視できるとき, A から C のマグマに進化する際に分別した結晶の, A のマグマに対する重量分率 (%) を計算し, 整数値で答えよ. 導出過程についても示すこと.

問題 11 図 4 は、沈み込み帯と中央海嶺のある玄武岩、および Askja 火山の玄武岩の微量元素濃度を、始原的マンタルの濃度で規格化して示したものである。この図について、問いに答えよ。

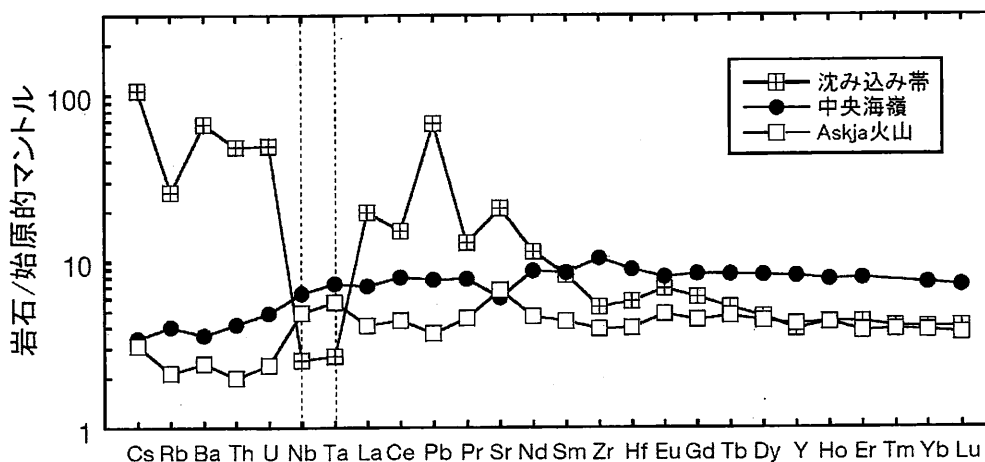
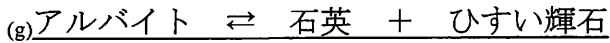


図 4 沈み込み帯・中央海嶺・Askja 火山の玄武岩の微量元素濃度

- 問 1 図 4 の横軸の元素の中から、LIL (large ion lithophile) 元素を 2 つ選び、元素記号で答えよ。
- 問 2 図 4 の横軸の元素の中から、HFS (high field strength) 元素を 2 つ選び、元素記号で答えよ。
- 問 3 図 4 の横軸の元素の中から、HRE (heavy rare earth) 元素を 2 つ選び、元素記号で答えよ。
- 問 4 ホットスポットの火成活動が関与している Askja 火山の玄武岩の微量元素濃度パターンには、Nb と Ta において正異常 (凸み) がみられるが、その考えられる要因について、沈み込み帯の玄武岩のパターンに両元素の負異常 (凹み) がみられることと関連付けて説明せよ。

V-2 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

石英や長石は、(a)SiO₄四面体がすべての角を共有して3次元的なネットワークを形成するような構造をもつ。低温型石英は、常温常圧で安定な(b)SiO₂の多形である。長石の結晶構造中では、SiO₄四面体を形成するSi⁴⁺のいくつかがAl³⁺で置換されており、電荷のバランスを保つようにK⁺や、Na⁺、Ca²⁺を構造中に含むようになるが、かんらん石などに見られるような、(c)その中心にMg²⁺やFe²⁺が存在できる多面体のサイトは存在しない。このうち斜長石は、アルバイト(曹長石)とアノーサイト(灰長石)を端成分とする(d)固溶体である。高温では、(e)この両者の間で完全な連続固溶体を形成するが、低温になると、Si⁴⁺とAl³⁺の配置が変化することなどにより相転移が起こり、(f)複雑な相関係を示す。石英と斜長石が関係する



の反応は、これらの鉱物を含む岩石が形成された温度圧力条件を見積もるのによく用いられる。

問題1 SiO₄四面体の結合様式に基づく分類では、下線部(a)のような構造をもつケイ酸塩鉱物のグループのことを何というか、答えよ。

問題2 図1は、下線部(b)に関するSiO₂の平衡状態図である。これに関して、以下の問いに答えよ。

問1 火山灰中には、図2のような両六角錐柱状の形態の結晶がよく観察されるが、この形態は三方晶系である低温型石英の結晶系からは説明できない。この石英はどのように形成したと考えられるか、低温型と高温型石英の結晶構造の特徴も踏まえて、100字程度で説明せよ。

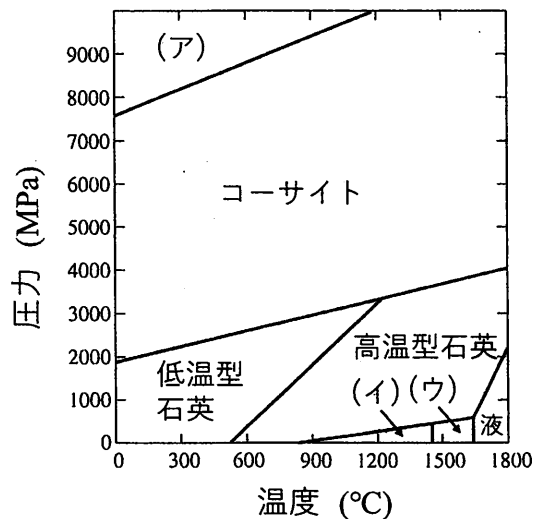


図1 SiO₂多形の相関係
(Wenk and Bulakh, 2004 を改変)

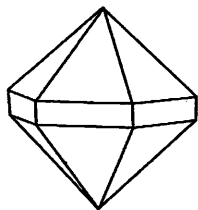


図2 火山灰中で観察される石英の形態

- 問2 図1に示された多形の中には、Siとその最近接に存在する酸素がSiO₄四面体を形成しないものが1つある。それは図1中の(ア)~(ウ)のうち、どの記号であらわされる鉱物か、答えよ。また、その鉱物名を答えよ。
- 問3 問2で答えた鉱物中では、Siの最近接に存在する酸素の数(配位数)はいくつになるか、答えよ。
- 問4 下部マントルにおいて最も存在量が多いと考えられているケイ酸塩鉱物も、Siの配位数が問3で答えたものと同じである。この鉱物名を答えよ。また、この鉱物がMg, Si, Oのみからなる場合の化学式を答えよ。
- 問5 地殻中では、問4で答えた化学式をもつ鉱物はどのような結晶構造をもつか。SiO₄四面体の結合様式の特徴を答えよ。
- 問題3 下線部(c)について、かんらん石の構造中に存在するMg²⁺の配位数を答えよ。また、そのMg²⁺の最近接に存在する酸素が形成する多面体は何面体になるか、答えよ。
- 問題4 下線部(d)について、固溶体とはどのようなものか、斜長石の場合を例として80字程度で説明せよ。

問題 5 下線部(e)について, 図 3 は, 斜長石の 1 気圧における高温領域での平衡状態図である. 以下の問いに答えよ.

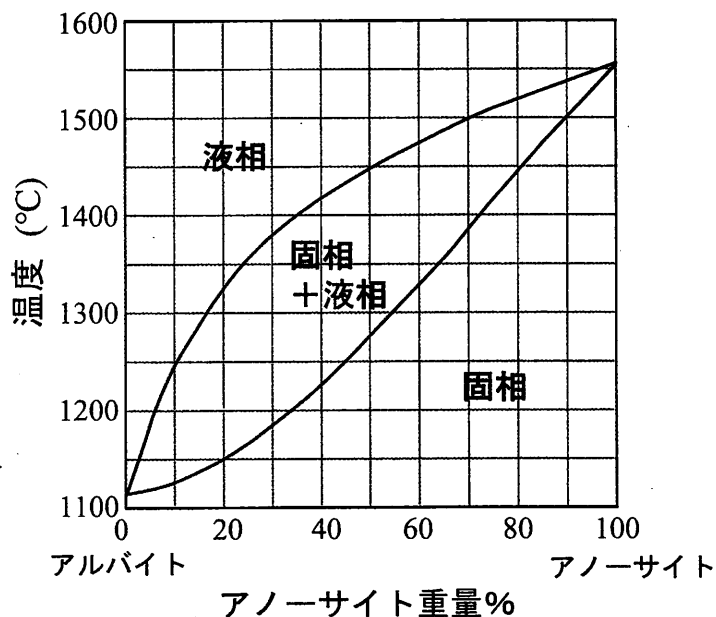
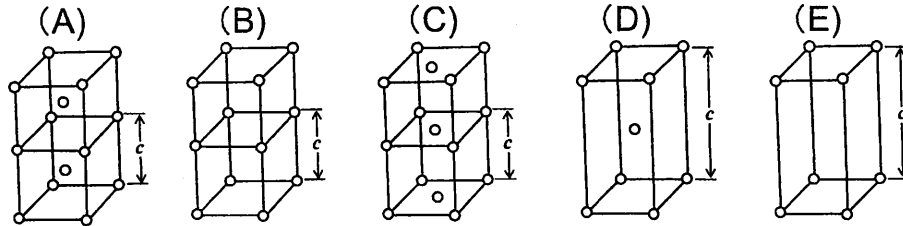


図 3 アルバイト—アノーサイト系の 1 気圧における相平衡図

- 問 1 アノーサイト端成分の融点 (°C) を, おおよその値で答えよ.
- 問 2 アノーサイト 60 重量%の組成をもつ 1600°Cのメルト A を, 平衡を保ちながら冷却することを考える. 結晶化が始まる温度 (°C) と, このとき晶出する結晶の組成 (アノーサイト重量%) を答えよ.
- 問 3 メルト A を平衡を保ちながら 1450°Cまで冷却したとき, 共存する結晶とメルトの量比と, その時のそれぞれの組成 (アノーサイト重量%) を答えよ.
- 問 4 メルト A を平衡を保ちながら冷却する際, 結晶化が完全に終了するおおよその温度 (°C) を答えよ.
- 問 5 メルト A を冷却する過程で形成した結晶が系から取り除かれたとき, 結晶化が完全に終了する温度は, 問 4 のときと比べてどのようになるか. 理由とともに答えよ.

問題6 下線部(f)に関して、長石の構造中では、高温ではランダムな（無秩序化した）配置をとっていた Si と Al が、低温になると周期的な（秩序化した）配列になることが一般的である。これに伴い、アノサイト組成に近い一部の長石では、高温では C 格子だったブラベ格子が、c 軸方向の周期が 2 倍の I 格子に変化する。このような変化を示す無秩序相および秩序相のブラベ格子の模式図として最も適当なものを、それぞれ以下から選んで答えよ。



問題7 図4は、下線部(g)の反応の相図である。以下の問いに答えよ。

問1 図4の範囲における温度一定の条件において、石英+ひすい輝石と、アルバイトそれぞれのギブスの自由エネルギーの圧力変化を、図5のような縦軸にギブスの自由エネルギー、横軸に圧力をとったグラフに模式的に示せ。

問2 アルバイトにおいて Si, Al の秩序化が起こることによりエントロピーが小さくなると、反応が起きる圧力は高くなるか、低くなるか、変わらないか、理由とともに答えよ。図を用いて説明してもよい。ただし、秩序化によりエンタルピーは変化しないと考えるよとする。

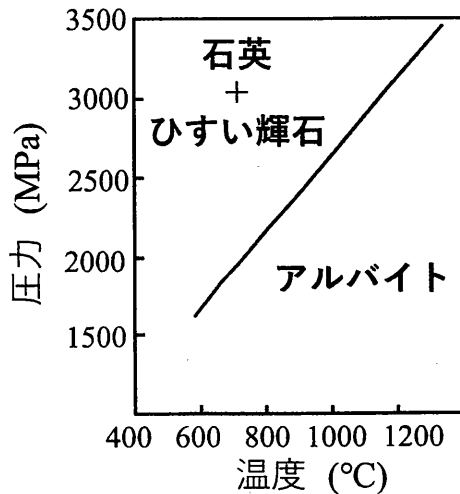


図4 アルバイト⇌石英+ひすい輝石の反応の相図 (Putnis, 1992 を改変)

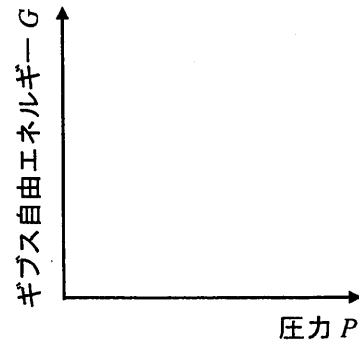


図5 ギブスの自由エネルギーGの圧力依存性を表すグラフ