

問題に以下の訂正があります。

II-2 問題 5

(誤) . . . E_{min} と最小となるような . . .

(正) . . . E_{min} が最大となるような . . .

V-3 図

(誤) . . . (Heary, 1994 改変) . . .

(正) . . . (Heaney, 1994 改変) . . .

V-3 問題 1 問 4

(誤) . . . (Shishov and Popova, 1961) . . .

(正) . . . (Stishov and Popova, 1961) . . .

2021年2月9日

令和3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 14:30 ~ 17:30

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7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, V 地球科学II は4枚, その他の分野は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, および余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。解答にあたっては、結果だけでなく導出過程も記せ。

I - 1 (必須)

以下の問題に解答せよ。なお、 i は虚数単位を示す。

問題1 複素数 $z = x + iy$ に関し、以下の問いに答えよ。ただし、 x および y は実数である。

問1 z の複素共役を z^* とするとき、 $|z|^2 = z \cdot z^*$ となることを示せ。

問2 $e^{iz} = 1$ を満たす解 z をすべて求めよ。

問題2 次の行列に対し、以下の問いに答えよ。

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 2i \\ -2i & 3 \end{pmatrix}$$

問1 A の固有値および正規化された固有ベクトルをすべて求めよ。

問2 問1の固有ベクトルが互いに直交していることを示せ。

問3 問1の固有ベクトルを列として並べた行列を U として、 A を対角化せよ。

問4 A^n を求めよ。ただし n は正の整数とする。

I - 2 (必須)

以下の問題に解答せよ.

問題1 次の関数を $x = 0$ のまわりでテーラー展開し, 5次の項まで示せ.

問1 $\cos x$

問2 $\sin x$

問3 e^x

問題2 オイラーの公式 $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$ を用いて, 以下の問いに答えよ. ただし, θ は実数とする.

問1 三倍角の公式 $\cos 3\theta = 4 \cos^3 \theta - 3 \cos \theta$, $\sin 3\theta = 3 \sin \theta - 4 \sin^3 \theta$ を示せ.

問2 $|a| < 1$ のとき, 無限級数 $A = \sum_{k=0}^{\infty} a^k \cos k\theta$, $B = \sum_{k=0}^{\infty} a^k \sin k\theta$ が

$$A = \frac{1 - a \cos \theta}{a^2 - 2a \cos \theta + 1}, \quad B = \frac{a \sin \theta}{a^2 - 2a \cos \theta + 1} \text{ となることを示せ.}$$

I - 3 (必須)

関数 $x(t)$ に関する定数係数の2階線形常微分方程式 $\frac{d^2x}{dt^2} + a\frac{dx}{dt} + bx = f(t)$ について、以下の条件における初期値問題を解け。

問題1 $a = -1, b = -6, f(t) = 0$. ただし、初期条件は $x(0) = 5, \frac{dx}{dt}(0) = 0$ とする。

問題2 $a = -4, b = 4, f(t) = 0$. ただし、初期条件は $x(0) = 1, \frac{dx}{dt}(0) = 0$ とする。

問題3 $a = 0, b = \omega^2, f(t) = 0$. ただし、初期条件は $x(0) = 0, \frac{dx}{dt}(0) = \omega$ とし、 ω は正の定数とする。

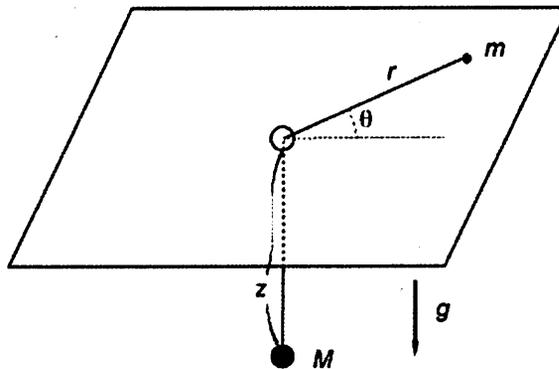
問題4 $a = 0, b = \omega^2, f(t) = \cos\omega_0 t$. ただし、初期条件は $x(0) = 0, \frac{dx}{dt}(0) = \omega$ とし、 ω_0 と ω は正の定数で異なる値とする。

II 物理学

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)

図のように, 固定した水平板の中央に開いた穴から長さ L の糸を通し, 糸の板上の端に質量 m , 垂れ下がる端に質量 M の質点をそれぞれ付ける. この系の運動, すなわち板上の糸の長さ r と板から垂れ下がった長さ z の時間変化について, 以下の問題に解答せよ. ただし, 板・質点や糸・穴の間の摩擦はなく, 糸の重さと穴の大きさは無視する. 重力加速度 g は一定とし, 質点 m が穴に届くまでの時間のみを考える.



問題1 板上の質量 m の質点が $t=0$ で静止し, その後, 静かに運動を始めたとする. この時の板上の糸の長さの時間変化 $r(t)$ を求めよ. ただし, $r(0) = r_0$ とする.

問題2 外力を除くと, 位置ベクトル $\mathbf{r}(t)$ の質量 m の質点にかかる「見かけの力」の大きさと向きは, その慣性力ベクトル $m d^2\mathbf{r}/dt^2$ の符号を逆にしたものである. 半径 a で角速度 ω の等速円運動における見かけの力 (遠心力と呼ばれる) は, 外向きに mv^2/a になることを示せ. ただし, v は質点の速度とする.

(ヒント: 実部を $x(t)$, 虚部を $y(t)$ とする複素数 $r(t)$ を使って, 上の等速円運動は

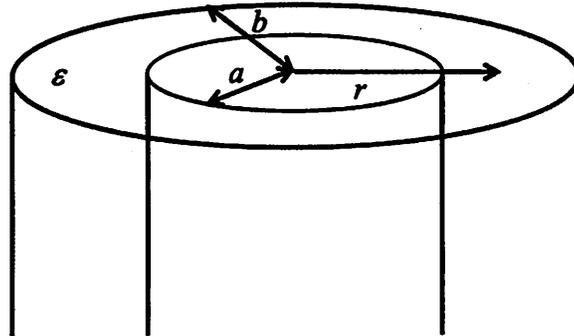
$$r(t) \equiv x(t) + iy(t) = ae^{i\omega t}$$

の形式で表現できる.)

- 問題3 板上の質量 m の質点が、 $t=0$ で上から見て穴に対して反時計周りに回転する方向に、速度 v_0 で動かされるとする。ただし、 $r(0)=r_0$ とする。
- 問1 v_0 および回転の角速度 $\dot{\theta}(0) = \dot{\theta}_0$ を用いて、板上の質点の $t=0$ での角運動量 A_0 を表せ。
- 問2 板から垂れ下がった質点が落下していく場合、板上の質点の角運動量 $A(t)$ はどのように変化するか、答えよ。また、この質点の位置の角成分の時間変化 $\theta(t)$ を、板上の糸の長さの時間変化 $r(t)$ 、 $\theta(0) = \theta_0$ および A_0 を用いて表せ。
- 問3 この質点の運動によって新たに生じる糸の長さ方向（動径方向）の見かけの力（遠心力）を、角速度 $\dot{\theta}(t)$ を用いて答えよ。
- 問4 問題1の運動方程式に問3の遠心力を加え、 $z(t), r(t)$ および角速度 $\dot{\theta}(t)$ を用いて、この系の運動方程式を答えよ。
- 問5 問4の運動方程式を、時間変化する変数を $r(t)$ だけにして表せ。
- 問6 問5の運動方程式から、この運動の保存量（時間変化しない量）の一つを求め、答えよ。また、その保存量を構成する要素を簡単に説明せよ。

II-2 (必須)

図に示すように半径 a と b の二本の無限に長い同軸導体円筒があり、その間に誘電率 ϵ の誘電体が一様に満たされている。この2つの円筒間に電圧 $V(\equiv V_b - V_a)$ をかける。円筒の中心から動径方向の距離を r ($a < r < b$) とした時、以下の問題に解答せよ。



問題1 電場や電位は軸対称であることを用い、内側の円筒表面の軸方向の単位長さあたりの電荷を λ とし、 $a < r < b$ における電場の動径成分 $E(r)$ が式(1)で表せることを示せ。

$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r} \quad (1)$$

問題2 電場 E と電位 ϕ の間には、 $E = -\nabla\phi$ の関係がある。電圧 V を用いて、式(1)より単位長さあたりの電荷 λ を表せ。

問題3 電場の動径成分 $E(r)$ を V , a , b , r を用いて表せ。

問題4 図のような系を同軸円筒コンデンサとみなした時、軸方向の単位長さあたりの電気容量を求めよ。

問題5 問題3で求めた $E(r)$ を用いて、誘電体内部の電場の絶対値が最小となる r と最小値 E_{min} を求めよ。また、 $V (>0)$ と b を一定として、内側の円筒の半径 a のみを変化させる時、 E_{min} が最小となるような a の条件を示せ。

II-3 (必須)

1 mol の理想気体が温度 T , 体積 V , 圧力 P で熱平衡にある状態を考える。以下の問題に解答せよ。気体定数は R とする。

問題 1 気体の状態方程式を示せ。また、熱力学第 1 法則より、体積の変化量 dV , および系に与えられる熱量 dQ を用いて、その系の内部エネルギーの変化量 dU を表せ。

問題 2 気体の分子運動論より $U = (3/2)PV$ の関係が成り立つ。このことと問題 1 の結果から、 R を用いて定積比熱 C_v を表せ。

問題 3 問題 1, 2 の結果から、 R を用いて定圧比熱 C_p を表せ。

問題 4 問題 1 の内部エネルギーの変化量 dU を、エントロピーの変化 dS を用いて表せ。

問題 5 問題 2~問題 4 の結果を合わせて、定数 C を用いてエントロピー S が式(1) で表されることを示せ。

$$S = C_v \ln T + R \ln V + C \quad (1)$$

問題 6 1 mol の体積 V_1 , 温度 T_1 をもつ理想気体が、真空中を準静的に断熱膨張して体積 V_2 に変化する場合を考える。以下の問いに答えよ。

問1 問題 5 の式(1)より、この膨張が起こった時のエントロピーの変化を、体積が V_2 の時の温度を T_2 と表すとき、 V_1, V_2, T_1, T_2 を用いて表せ。

問2 真空中を膨張しているので、気体は外部の系に対して仕事をしない。このことから、 T_1 と T_2 の関係を求めよ。

問3 問 2 で求めた T_1 と T_2 の関係を用いて、エントロピーの変化を求めよ。

IV 地球科学 I

以下の3問(IV-1, IV-2, IV-3)すべてについて解答せよ。

IV-1 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

炭酸塩岩は、地球上での最大の炭素のリザーバー(貯蔵庫)である。地球上に生命が誕生してから、大気中の二酸化炭素が岩石圏に炭酸塩岩として貯蓄されてきた過程では、海洋における生物の(ア)作用に加えて、陸上の岩石が受ける(イ)作用が重要な役割を果たしてきた。一方で、比較的短い時間スケールにおける炭素循環においては、(ア)作用における(ウ)化学種の挙動や生物による有機炭素生産が重要である。(ウ)化学種のうち、海洋に最も多く存在するのは(エ)イオンであり、①地球史において海洋のpHによりその濃度は変化する。炭酸塩岩は、陸上から深海底まで地球表層の様々な環境下で形成される。浅海域においては、炭酸塩の殻を持った生物が礁を形成するが、例えば、現世では六射サンゴが、白亜紀には(オ)が礁を形成した。サンゴ礁にはその成因から②いくつかの地形としての名称がある。外洋においては、植物プランクトンである(カ)や動物プランクトンである(キ)が形成する。炭酸塩の殻が沈降、堆積、固結することにより炭酸塩岩が形成される。ただし、(ク)深度よりも深い水深では、炭酸塩が溶解するために炭酸塩岩は形成されない。炭酸塩岩は、③形成時の様々な環境が記録されるため過去の地球環境の復元に用いられる。

問題1 文章中の空欄(ア)～(ク)にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。ただし、同じ記号にはおなじ語句が入るものとする。

問題2 炭酸塩岩を構成する主要な炭酸塩鉱物を3つ答えよ。

問題3 下線部①について、海洋のpHが変化する要因として考えられるものを一つ挙げ、そのメカニズムについて100字程度で説明せよ。

問題4 下線部②について、サンゴ礁の地形としての名称を下記からどれか一つ選び、その成因について100字程度で述べよ。

裾礁, 離礁, 堡礁

問題 5 下線部③について、炭酸塩岩に記録される地球環境の例を一つ挙げ、それを復元するための手法と原理を 150 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。

図はある地域のルートマップを地形図に示したものである。本地域では地形は残丘を除いて平坦で、河川に沿って地層が連続的に露出している。楕円は残丘の等高線で、等高線上の数字は標高 (m) を示す。本地域は海成の堆積岩層とそれを被覆する河川堆積物で構成される。河川堆積物は残丘の標高 200 m 以上にのみ分布する。堆積岩層は、下位より①れき岩層、②砂岩層、③凝灰岩層および④泥岩層が重なる。調査地域を通して堆積岩層の走向はすべて南北で同一であるが、傾斜方向は中央部の南北方向の破線を境に西側では東傾斜、東側では西傾斜となっている。ただし、傾斜方向にかかわらず堆積岩層の傾斜はすべての地点で 30° で、傾斜方向に上位層が重なる。さらに、本地域西部に南北走向で東に 45° 傾斜する断層が存在し、同一の③凝灰岩層が 2 回繰り返して露出している。

- 問題 1 れき岩層は地質過程について多くの情報を持っている。れき岩層について観察すべき事項を 2 つ答え、推定可能な情報についてそれぞれ答えよ。
- 問題 2 本地域では堆積岩層は褶曲しているが、本地域に分布している褶曲の部位の名称を答えよ。
- 問題 3 断層には断層の走向と垂直方向の条線 (断層すべりの跡) が認められた。本断層の型を答えよ。また、断層は地表面で③凝灰岩層の基底と接している。断層のすべり方向に平行な真の変位量を答えよ。ただし、 $\sqrt{2} \approx 1.41$ および $\sqrt{3} \approx 1.73$ とし、有効数字 3 桁で答えよ。
- 問題 4 ④泥岩層からイノセラムスの化石が産出した。この事実に基づき、泥岩層の地質年代を紀で答えよ。
- 問題 5 残丘に分布する河川堆積物中の層理面はほぼ水平で、レンズ状に挟まれる泥の薄層からメタセコイアの葉の化石が産出した。また、河川堆積物とその下位の④泥岩層の境界面は凹凸に富むが、破碎帯は認められない。この境界の名称を答えよ。

問題 6 河川堆積物に共通する特徴を 150 字以内で述べよ。また、本河川堆積物には巨れき層が挟まれ、巨れき層中ではれきのインブリケーションが認められた。れきのインブリケーションをれきの断面を描いて図示し、古流向を矢印で示せ。

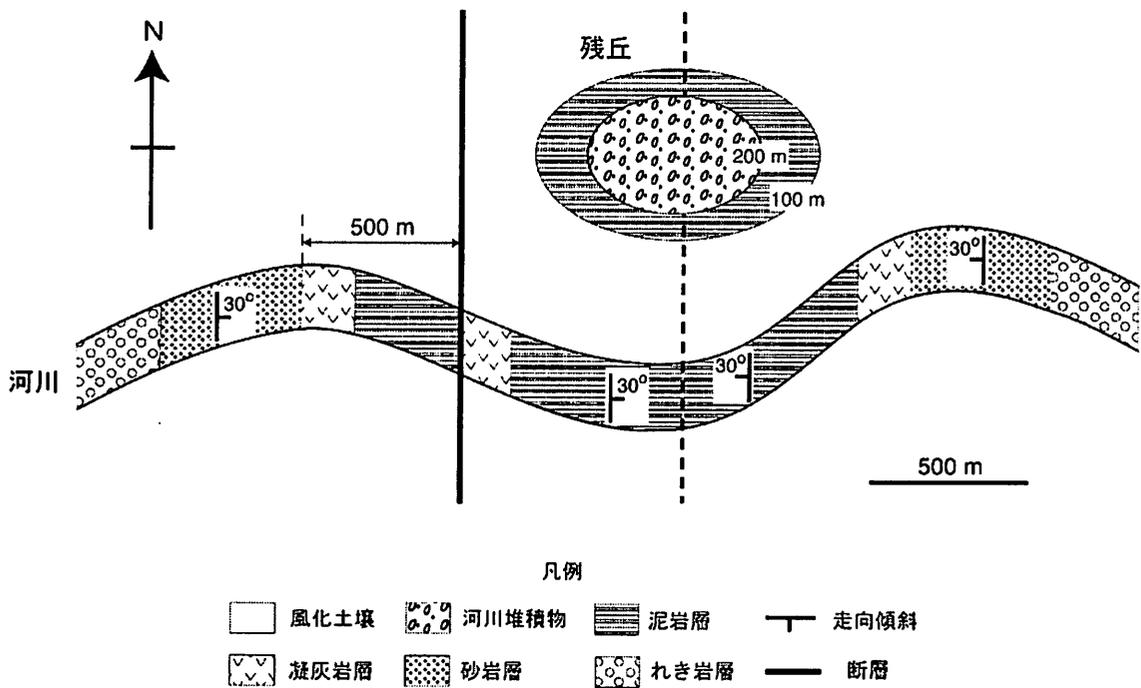


図 ある地域のルートマップ

IV-3 (必須) 以下の文章を読み、問題に解答せよ。

プレートテクトニクス理論は、地表でのリソスフェアのプレート移動を説明することができる。

問題1 プレート（リソスフェア）の構成岩石と力学的な特性を100字程度で答えよ。

問題2 プレートの間にある3つのタイプの境界の名称をすべて答えよ。また、それぞれの境界で生じている現象を1つずつ答えよ。

問題3 プレートテクトニクスはマントル対流に駆動されるが、この駆動力のもとになる地球内のエネルギー源を2つ答えよ。

問題4 図1は千島列島下のマントルトモグラフィ（地震波速度構造）モデルを示す。以下の問いに答えよ。

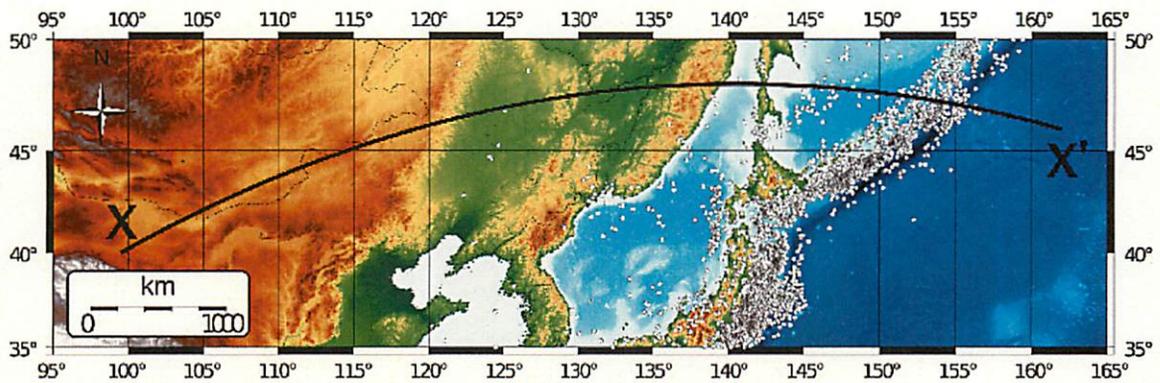
問1 図1(B)に示す地震波速度構造において地震波速度の空間変化の原因を100字程度で述べよ。

問2 図1(B)に示されるように、震源が帯状に分布する理由を述べよ。

問題5 図2の(A)と(B)は2つのシステムのマントル対流計算モデルに基づき得られた温度（色）と移動速度（黒矢印）を示す。以下の問いに答えよ。

問1 計算された(A)と(B)のマントル対流の様式の違いを100字程度で説明せよ。

問2 (A)と(B)は地球あるいは金星のマントル対流の計算結果を示す。(A)と(B)はどちらの計算結果か、およびその理由を合わせて150字程度で答えよ。



(A)

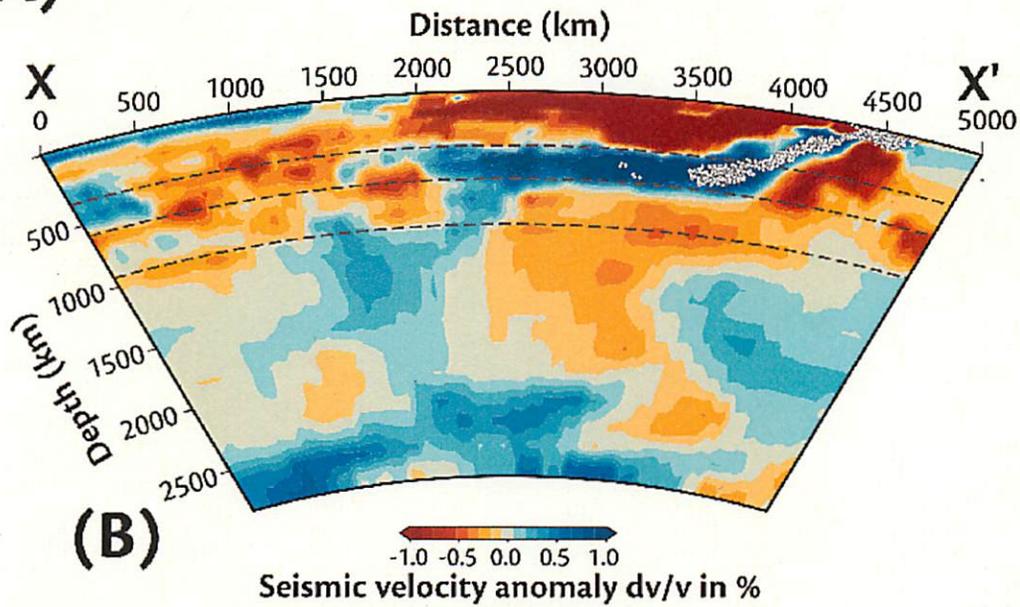


図1 (A) 千島列島～ロシアの地形図. 白点: 1950～2010年の地震の震央. (B) X-X'断面 (図1(A), 黒線) のマントルトモグラフィ (地震波速度) モデル. 青い部分は地震波速度が速く, 赤い部分は遅い. 白点: 上記の地震の震源 (modified from Hosseini et al., 2018; Amaru, 2007; Becker & Boschi, 2002 and seismic data from *USGS earthquake catalog*)

Mantle speed & temperature

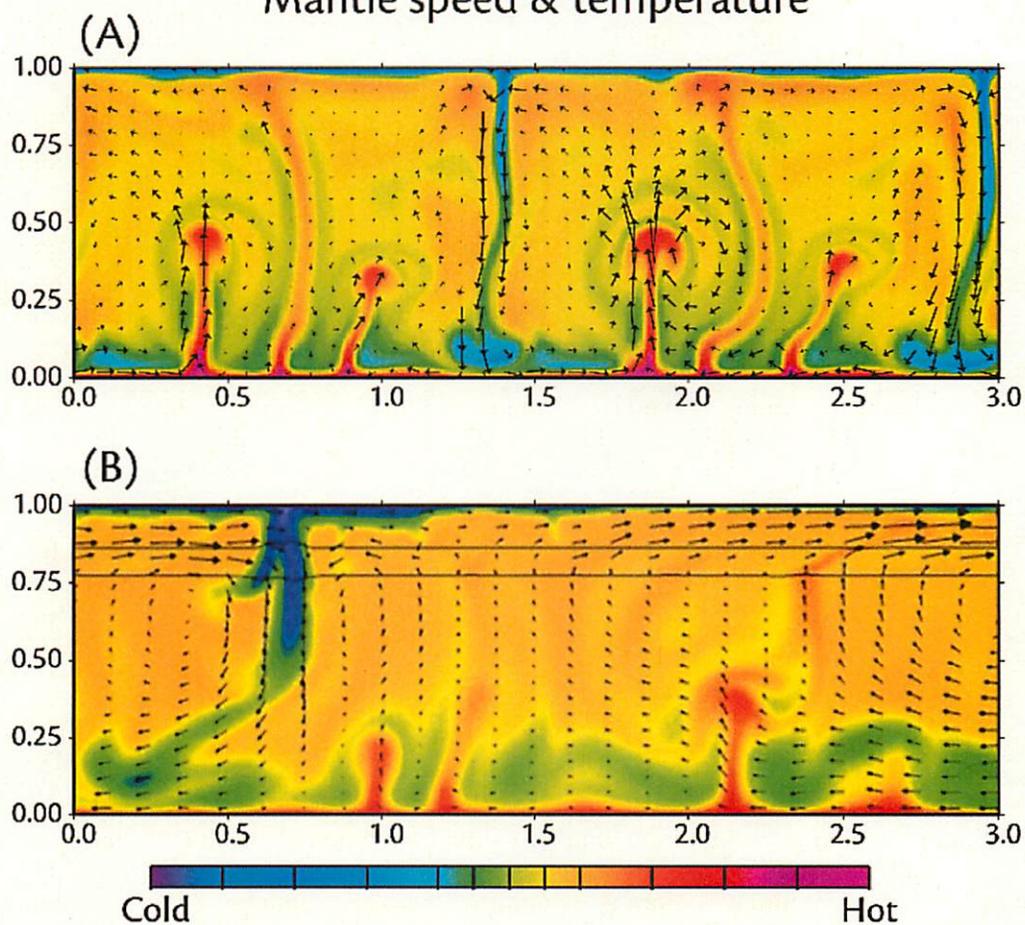


図2 2つのシステム ((A)および(B)) のマンテル対流計算モデル. 縦軸は深さ, 横軸は水平距離である. いずれも無次元で示す. 矢印の長さは移動速度に比例する. Modified from (A) Robin et al., 2007, and (B) Bobrov & Baranov, 2019.

V 地球科学 II

以下の4問 (V-1, V-2, V-3, V-4) 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。

ある火山は, (a)およそ 12000 年前に噴火を起こし, 珪長質の溶岩流を流出させた。溶岩流は途中で分岐しながら南西の方向へ流れ, 長さ約 1 km, 厚さ数 10 m の溶岩ローブを形成した (図 1)。溶岩流の南側の側面には (b)えぐられたような窪地があり, これは, 高温の溶岩流が当時存在した湖の水と接触し, 相互作用を起こすことによって形成されたものと考えられている。この溶岩流の上面には, 「溶岩じわ」と呼ばれる, ほぼ一定間隔の凹凸地形が流れの方向とほぼ垂直な方向に発達している。溶岩じわは, 溶岩流の速度が上流で大きく下流で小さい場合に流れの方向に圧縮応力が作用し, 溶岩流が押し縮められることで形成されるものであり, (c)しわの形状や大きさは溶岩流のレオロジーと深く関係する。

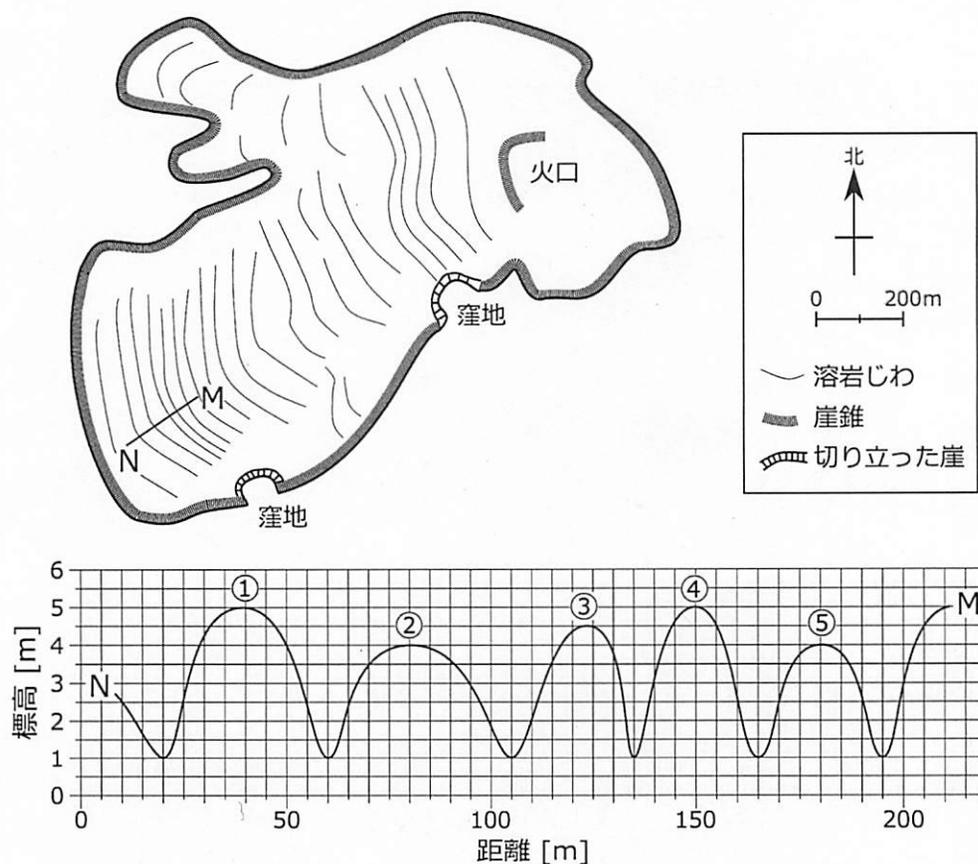


図 1 溶岩流の地形と線分 MN に沿った地形断面図

問題1 下線部(a)について、この溶岩流の噴火年代を¹⁴C年代測定法で調べるには、どのような試料を対象として分析を行えばよいか。以下の(ア)～(オ)から最も適切なものを1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 溶岩流の上面に生えている樹木
- (イ) 溶岩流を構成する火山岩そのもの
- (ウ) 溶岩流の直下から採取された炭化木片
- (エ) 溶岩流の内部で見つかった堆積岩の捕獲岩
- (オ) 溶岩流の付近で見つかった貝殻

問題2 下線部(b)の名称として最も適切なものを以下の(ア)～(オ)から1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) カルデラ (イ) 溶岩トンネル (ウ) 溶岩塚
- (エ) 甌穴 (オ) 爆裂火口

問題3 下線部(c)の関係を利用し、溶岩じわの形成時間を推定する。以下の問いに答えよ。

問1 図2に示すように、1つの溶岩じわの端から端までの水平距離を「波長」と呼び、溶岩じわの最下部と最上部の標高差を「高さ」と呼ぶ。図1の地形断面図において、5つの溶岩じわ①～⑤の波長および高さを読み取り、波長の平均値 λ [m] および高さの平均値 h [m] をそれぞれ有効数字2桁で答えよ。

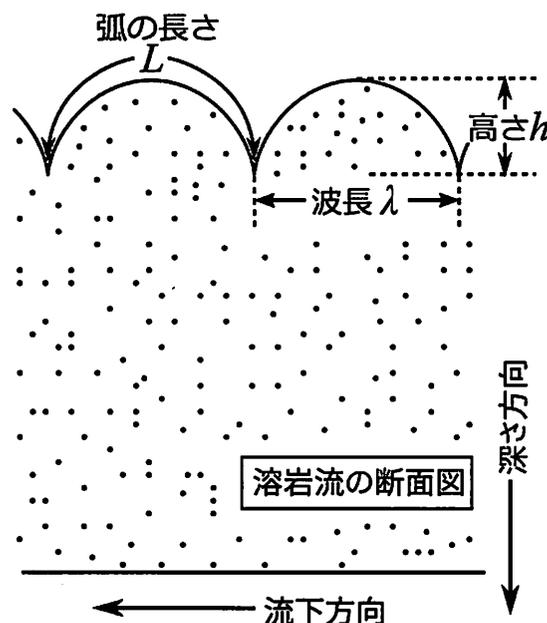


図2 溶岩じわの波長、高さ、弧の長さ

問2 図2に示すように、溶岩じわの表面に沿った曲線部分を「弧」と呼び、

その長さ L は $L = \lambda \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 \right]$ で近似できるものとする。このとき、溶

岩流が受けたひずみ $\varepsilon = \frac{L - \lambda}{L}$ を計算し、有効数字2桁で答えよ。

問3 図3は、珪長質マグマの粘性係数と温度の関係を示したものである。溶岩流の上面温度を 730°C 、内部の温度を 850°C とするとき、上面での粘性係数 $\eta_{\text{上面}}$ [Pa s] および 内部の粘性係数 $\eta_{\text{内部}}$ [Pa s] の値を読み取り、

それぞれ有効数字2桁で答えよ。また、粘性比 $R = \frac{\eta_{\text{上面}}}{\eta_{\text{内部}}}$ を計算し、有効数字2桁で答えよ。

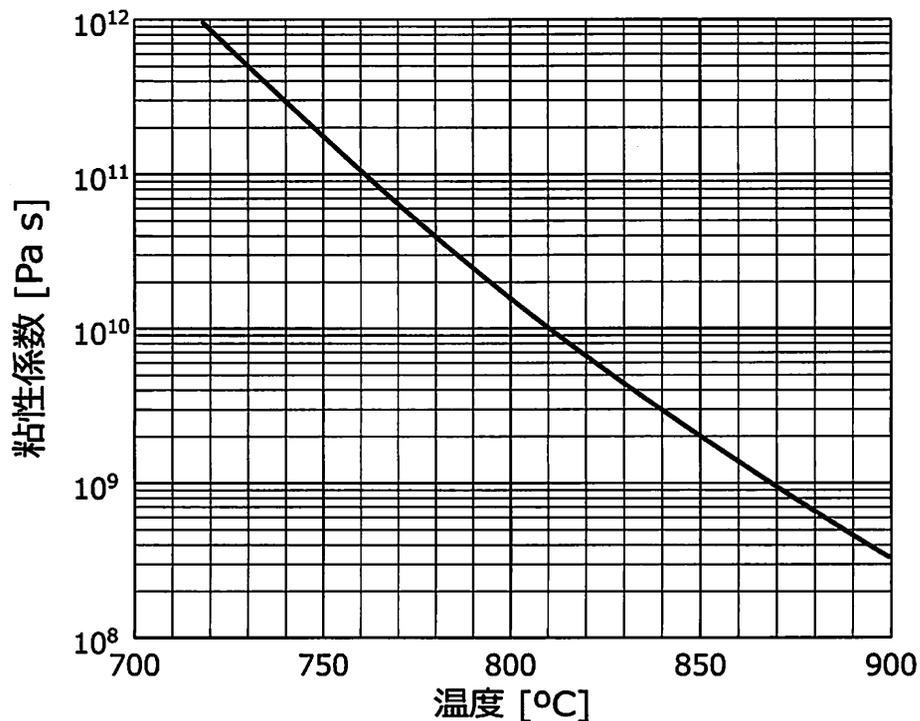


図3 珪長質マグマの粘性係数と温度の関係

問 4 溶岩じわは、流下方向に圧縮応力が作用することで発達する一方、重力が作用することで平滑化される。溶岩じわが時間と共に発達してゆくのは、これらの競合を表す無次元パラメタ $S = \frac{\rho gh}{4\eta_{\text{上面}} \ln R} \left(\frac{d\varepsilon}{dt} \right)^{-1}$ が

$S \leq 0.02$ を満たすときである。この条件をもとに、溶岩じわを形成するのに必要なひずみ速度 $\frac{d\varepsilon}{dt}$ [s^{-1}] の下限の値を計算し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、 g は重力加速度 (10 m s^{-2})、 t [s] は時間、 ρ は溶岩の平均密度 ($2.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$) である。自然対数の計算には、常用対数のグラフ (図 4) および $\ln x = 2.3 \log_{10} x$ (ただし x は正の実数) の関係を用いてもよい。

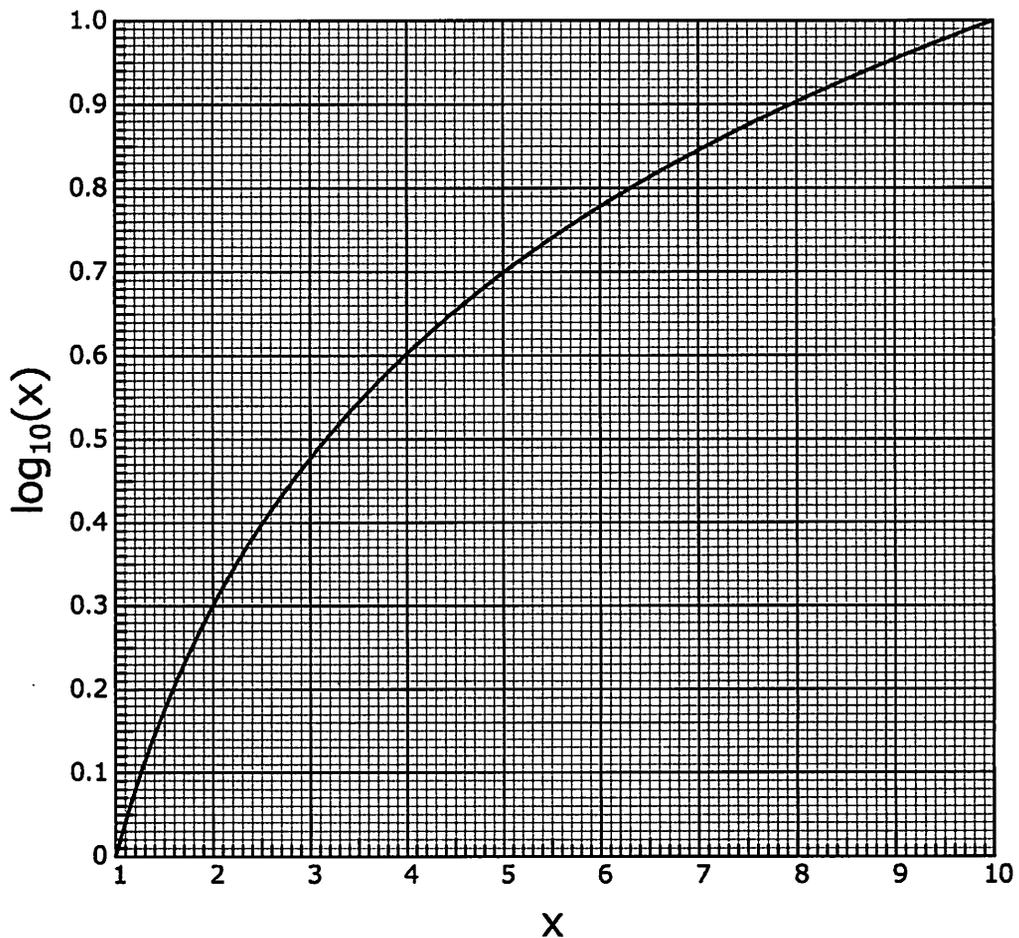


図 4 常用対数のグラフ

問 5 溶岩じわが形成されるのにかかった時間 [h] の上限の値を計算し、有効数字 2 桁で答えよ。

V-2 (必須) 以下の表は、異なった火山から採取された火山岩 A と火山岩 B の全岩主要元素組成を示したものである。この表について、以下の問題に解答せよ。

表 火山岩 A と火山岩 B の全岩主要元素組成

重量%	火山岩 A	火山岩 B
SiO ₂	48.08	50.45
TiO ₂	0.89	0.81
Al ₂ O ₃	16.72	17.45
FeO*	9.20	10.07
MnO	0.18	0.17
MgO	11.18	8.67
(ア)	10.60	10.37
Na ₂ O	2.09	1.82
K ₂ O	0.86	0.09
P ₂ O ₅	0.20	0.10
Total	100.00	100.00

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 火山岩 A と火山岩 B のそれぞれについて、最も適切な岩石名を以下から選び、答えよ。

安山岩 コマチアイト 閃緑岩 玄武岩 カンラン岩 斑レイ岩

問題 3 火山岩 A と火山岩 B はそれぞれ、ある島弧の火山フロント上に位置する火山 P、および背弧側に位置する火山 Q の、いずれかに由来する。火山岩 A は、火山 P と火山 Q のどちらに由来すると考えられるか、答えよ。また、その判断理由を 30 字程度で述べよ。

問題 4 火山岩 A は火山砕屑物であり、黒色の多孔質であった。このような物質は何と呼ばれるか、答えよ。

- 問題 5 図 1 は、火山岩 A で観察されるカンラン石微斑晶の反射電子像である。外形は基本的に自形を示しつつも、一部が凹んだ不完全な面に囲まれており、この結晶が比較的急成長して形成されたことが示唆される。このような結晶の形状は何と呼ばれるか、答えよ。



図 1 火山岩 A で観察されるカンラン石の微斑晶 (反射電子像).
写真の横幅は約 0.5 mm である.

- 問題 6 図 2 は、火山岩 B の岩石薄片を偏光顕微鏡のクロスニコルで撮影した写真である。この写真中で最も多くみられる斑晶の鉱物名を答えよ。



図 2 火山岩 B の偏光顕微鏡写真 (クロスニコル).
写真の横幅は約 5 mm である.

問題 7 図 3 は、火山岩 A と火山岩 B の微量元素濃度を、始原的マンツ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、以下の問いに答えよ。

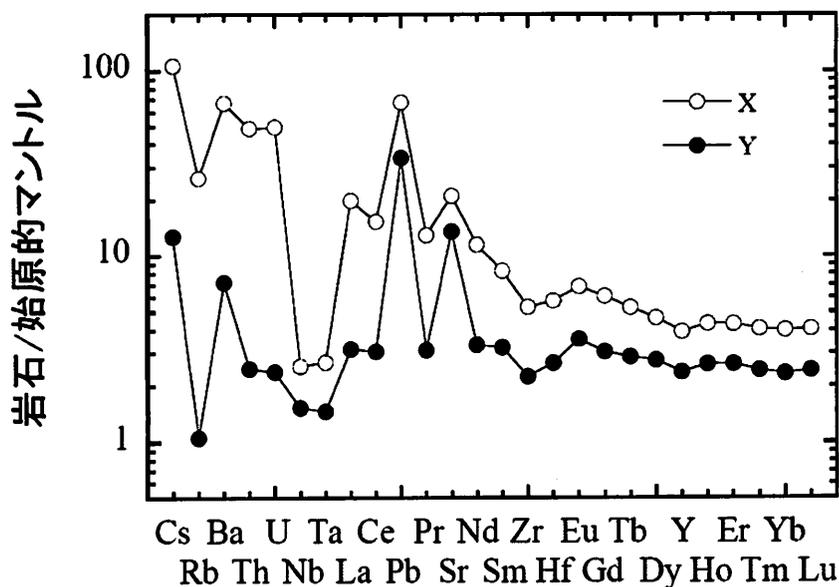


図 3 火山岩 A と火山岩 B の微量元素の規格化濃度。

- 問 1 横軸の元素の中から希土類元素を 3 つ挙げよ。
- 問 2 元素濃度の規格化に用いた「始原的マンツル」とはどのようなものか、30 字程度で説明せよ。
- 問 3 火山岩 A の濃度は、X と Y のどちらであると考えられるか、答えよ。また、その判断理由を 30 字程度で述べよ。
- 問 4 島弧起源である火山岩 A と B の微量元素濃度パターンは、ともに Nb, Ta, Zr などの HFS 元素に枯渇する特徴を示す。島弧起源の火山岩が相対的に HFS 元素に枯渇する理由を 50 字程度で答えよ。

問題 8 図 4 は、マントル物質が平衡融解作用を経て初生メルトが生成する過程を、ボックスモデルで示したものである。 M_0 , M_S , M_L は、それぞれ融解前のマントル物質、融解後のマントル物質およびメルトの質量を表し ($M_0 = M_S + M_L$ である), C_0^i , C_S^i , C_L^i は、それぞれ融解前のマントル物質、融解後のマントル物質およびメルトの、ある元素 i についての平均濃度を表す。以下の問いに答えよ。

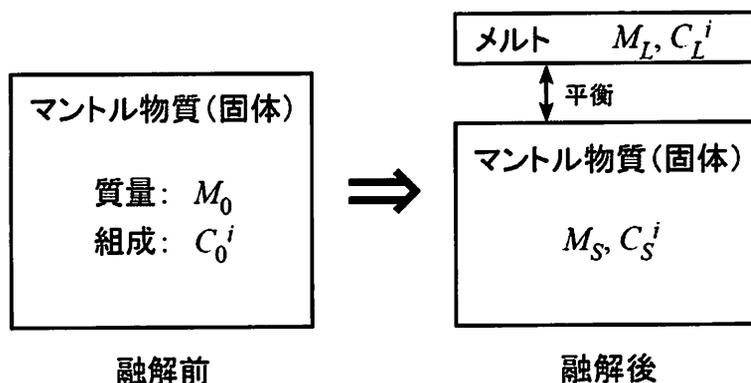


図 4 マントル物質の平衡融解過程についてのボックスモデル。

- 問 1 融解後のマントル物質とメルトの間で平衡が成立しているとき、部分溶融度 $F (= M_L/M_0)$ を、 C_0^i , C_L^i , および全岩分配係数 $D^i (= C_S^i / C_L^i)$ を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- 問 2 表の火山岩 A の化学組成が初生メルトの組成を表しているとするとき、このメルトが生成した際のマントル物質の部分溶融度 (F) を、 TiO_2 含有量を用いて計算し、小数第 3 位を四捨五入した数値を答えよ。ただし、融解前のマントル物質の TiO_2 含有量は 0.13 重量%、 TiO_2 の全岩分配係数 (D^{TiO_2}) は 0.04 であるとする。

V-3 (必須) 以下の問題に解答せよ。

問題1 図は、 SiO_2 の相平衡図である。以下の問いに答えよ。

問1 図中の鉱物(ア)に当てはまる鉱物名を答えよ。

問2 図中の SiO_2 の多形の中で、Si原子に最近接する酸素の個数が鉱物(ア)と異なるものをすべて答えよ。

問3 高温型石英が天然で産出しない理由を結晶構造の観点から50字程度で述べよ。

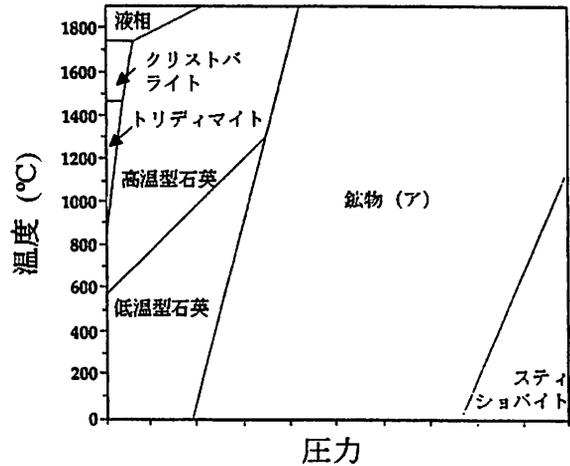


図 SiO_2 の相平衡図 (Heary, 1994 改変)
(圧力目盛値は問題2に関係するので未記載)

問4 ステイショバイトは、初めに実験室の高圧下で合成され (Shishov and Popova, 1961), 後に天然で発見された (Chao et al., 1962). どのようなところで発見され、どのようにして生成したと考えられるか、50字程度で述べよ。

問題2 以下の表は、問題1の低温型石英と鉱物(ア)の298 K, 0.1 MPaにおけるエントロピー S^0 , ギブス自由エネルギー G^0 , モル体積 V^0 である。これらの値を用いて、以下の問いに答えよ。なお、各相におけるエントロピーとモル体積は温度圧力条件に関わらず一定とする。

	$S^0(\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	$G^0(\text{kJ mol}^{-1})$	$V^0(\text{cm}^3 \text{mol}^{-1})$
低温型石英	41.5	-856.5	22.7
鉱物(ア)	40.4	-850.9	20.6

問1 低温型石英と鉱物(ア)の298 K, 0.1 MPaにおける密度 $[\text{g cm}^{-3}]$ を有効数字2桁で答えよ。なお、 SiO_2 の分子量を60とする。

問2 温度298 Kにおいて、低温型石英と鉱物(ア)が平衡に共存する圧力 $[\text{MPa}]$ を、計算過程とともに有効数字2桁で答えよ。なお、任意の圧力 P における低温型石英—鉱物(ア)転移に伴うギブス自由エネルギーの変

化 ΔG は、 $\Delta G = \Delta G^0 + P\Delta V^0$ と表され、 $[\text{MPa}] = [\text{J cm}^{-3}]$ である。

- 問 3 問 2 の圧力に相当する地表からの深さ[km]を、計算過程とともに有効数字 2 桁で答えよ。なお、重力加速度を 10 m s^{-2} 、地下の岩石の平均的な密度を 3 g cm^{-3} とし、 $[\text{MPa}] = [10^6 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}]$ である。また、地表からある深さにおける圧力は、その上を覆う岩石柱の底面にかかる圧力に等しいとする。
- 問 4 一般に、温度 T が一定の時のギブス自由エネルギー G の圧力 P に対する変化には、 $(\partial G / \partial P)_T = V$ (V はモル体積) の関係がある。縦軸 G 、横軸 P としてグラフを解答用紙に描き、温度 298 K における低温型石英と鉍物 (ア) のギブス自由エネルギー G の圧力変化を、それぞれの変化の特徴と相対的な関係がわかるように概略を図示せよ。
- 問 5 低温型石英と鉍物 (ア) の相境界線の温度 298 K における傾き dP/dT [MPa K^{-1}] を、計算過程とともに有効数字 2 桁で答えよ。なお、温度 T 、圧力 P における低温型石英—鉍物 (ア) 転移に伴うギブス自由エネルギーの変化 $\Delta G_{P,T}$ は、 $\Delta G_{P,T} = \Delta V^0 dP - \Delta S^0 dT$ と表される。

V-4 (必須) ケイ酸塩鉱物の分類に関する以下の文章を読んで、問題に解答せよ。

地殻に見られるケイ酸塩鉱物の結晶構造の基本構造は SiO_4 四面体である。化学組成中の SiO_2 成分の割合が高いほど、互いに SiO_4 四面体の頂点の酸素を共有している。共有されない酸素があるときは、(A) の電荷をもつイオンが SiO_4 四面体の間に入り電荷が中和される。 SiO_4 四面体のすべての頂点が互いに共有され、3次元的なネットワークを形成したものがテクトケイ酸塩であり、石英や長石などが分類される。長石では一部の Si^{4+} が主に (B) に置換されている。 SiO_4 四面体の4つの頂点のうち (C) つが共有された (D) 構造をもつのがフィロケイ酸塩であり、雲母などが含まれる。輝石や角閃石は (E) ケイ酸塩に分類される。 SiO_4 四面体の頂点を1つも共有しないネソケイ酸塩にはカンラン石が分類される。

問題1 空欄 (A) ~ (E) に当てはまる語句または数字を答えよ。

問題2 ネソケイ酸塩に含まれる鉱物 (または鉱物グループ) を以下からすべて選べ。

ザクロ石、蛇紋石、滑石、緑柱石

問題3 輝石と角閃石はともに (E) ケイ酸塩に分類されるが、 SiO_4 四面体の結合の仕方は異なる。それぞれの SiO_4 四面体の結合の仕方を図示せよ。

問題4 角閃石の薄片を偏光顕微鏡のオープンニコルで観察した時、ステージを回転させると色の変化が見られた。このような性質を何というか、答えよ。

問題5 カンラン石は Mg に富む端成分と Fe に富む端成分の間で連続固溶体をつくる。Si に対する酸素原子の配位数は4であるのに対し、Mg や Fe に対する酸素原子の配位数は6である。 以下の問いに答えよ。

問1 カンラン石の Mg に富む端成分と Fe に富む端成分の鉱物名とその組成式をそれぞれ答えよ。

問2 下線部について、イオン結晶において配位多面体の配位数は何に依存して変化するか、20字程度で答えよ。

問3 あるカンラン石の粉末 X 線回折パターンを測定して格子定数を算出したところ、 $a = 4.780 \text{ \AA}$, $b = 10.290 \text{ \AA}$, $c = 6.014 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ となった。カンラン石が属する結晶系を答えよ。

問4 問3のカンラン石の結晶格子面(002)の格子面間隔 d_{002} を小数点以下第3位まで求めよ。

問5 さまざまな化学組成のカンラン石について、粉末 X 線回折パターンを測定して格子面間隔 d_{002} を調べたところ、以下の表のような結果が得られた。下図を参考に解答用紙にカンラン石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ と d_{002} のグラフを描け。そのグラフをもとに、問3のカンラン石の $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ を小数点以下第2位まで答えよ。

$\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$	1.00	0.90	0.75	0.45	0.30	0.10
$d_{002} [\text{\AA}]$	2.990	2.995	3.003	3.018	3.025	3.035

