

地球科学

【第10問】

I 地球内部の溶融体に関する以下の問いに答えよ。

(1) 現在の地球内部では、地球史の長期間にわたって全球的に溶融状態（液体）である部分は外核に限られている。なぜ外核だけが溶融状態になっているのか、地球内部の温度構造と物質の融点を考慮し、200字程度で説明せよ。

(2) 火山噴火として我々が地球表面で見ることができるマグマ活動は、地球内部が地球史の限られた時間内で局所的に溶融して形成された珪酸塩メルトによるものである。全球的に溶融している外核とは異なり局所的に珪酸塩メルトが生成される機構に関して、以下の問いに答えよ。

なお、図1には、無水上部マントルが溶け始める温度を実線、完全に溶融する温度を破線で示し、溶融度が同じ温度圧力をその数値とともに点線で示した。また、上部マントルを構成する鉱物成分で最も多い鉱物のMg端成分である Mg_2SiO_4 相の溶融曲線を一点鎖線で示した。

(2-1) 図1の範囲で安定な Mg_2SiO_4 相の鉱物名を答えよ。

(2-2) 上部マントルを構成する主要な岩石名を答えよ。

(2-3) 実線と破線は、それぞれ何と呼ばれているか答えよ。

(2-4) Mg_2SiO_4 相は同じ圧力であれば、無水マントルに比べて溶けにくい。

また Mg_2SiO_4 相は一点鎖線上で完全溶融するが、天然マントルは液体と固体の広い共存領域を持つ。このような対照的な性質がなぜ生じるのか、200字程度で説明せよ。

- (2-5) マントル物質が断熱的に上昇することで珪酸塩メルトが生成される。
図1の星印A (1460°C, 5.8 GPa) で示したマントルが断熱上昇した場合、熔融開始のおおよその温度と圧力を求めよ。ただし、固体マントルの断熱勾配は 10°C/GPa である。
- (2-6) 熔融開始後さらに上昇する場合、その断熱勾配は 30°C/GPa になる。
熔融開始後の断熱勾配が固体マントルの断熱勾配より大きい理由を 50 字程度で答えよ。
- (2-7) 深度 10 km でマグマが分離するとした場合、マントルが何%熔融するか推定せよ。
- (2-8) 図1の丸印B (1120°C, 4.4 GPa) で示した低温のマントル物質は、断熱上昇しても熔融しない。しかし、B のようなマントル物質でも水を含む条件では熔融するようになる。図1の概略図を答案用紙に描いた上で、水に飽和しているマントルの熔融開始曲線を描き、B の条件にあるマントルでも熔融する可能性があることを 100 字程度で説明せよ。
- (2-9) 以上の設問への解答に基づいて、なぜマグマ (珪酸塩メルト) が局所的に生成されるのかを 100 字程度で説明せよ。

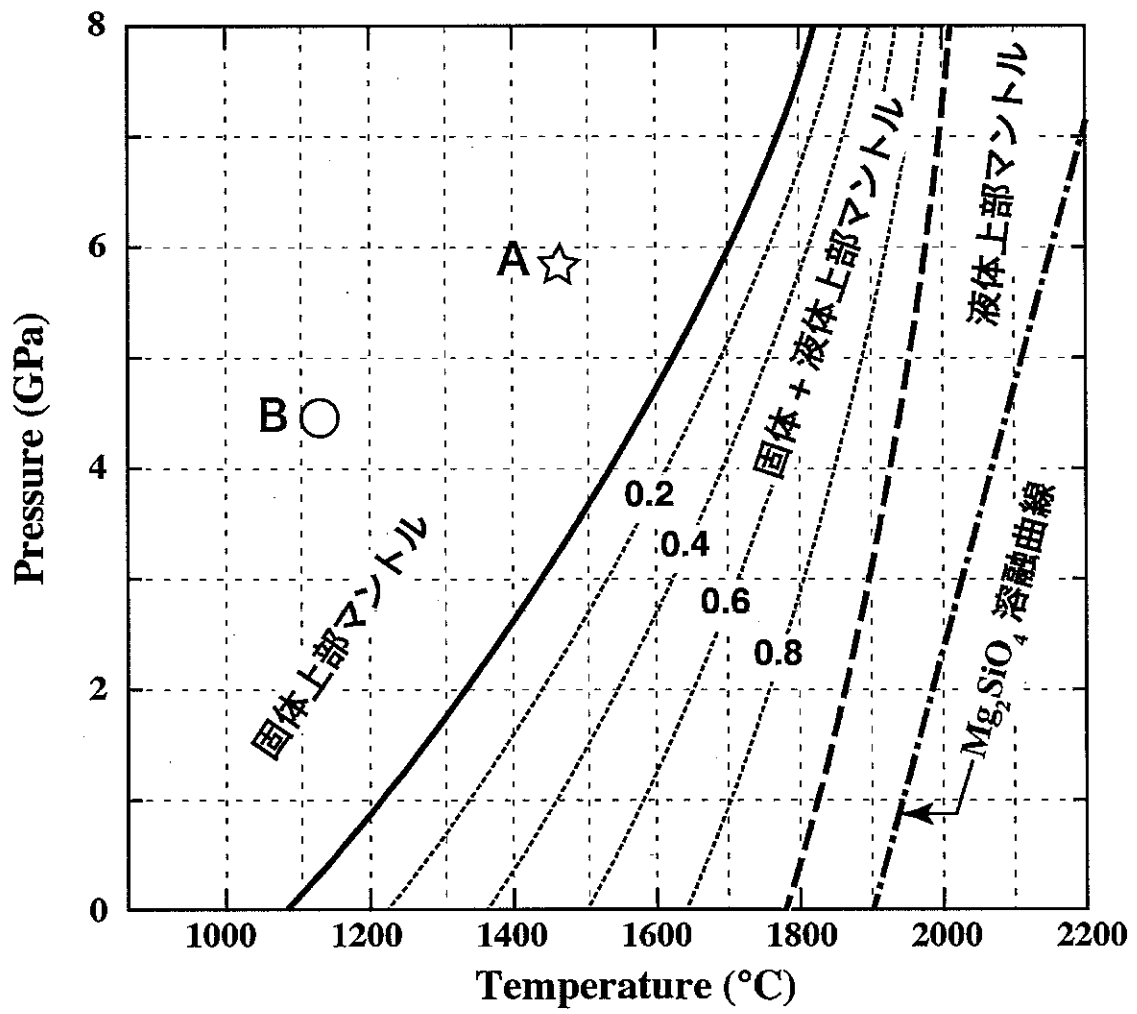


図 1

II 岩石中には多数の空隙が含まれており、弾性率等の力学的特性に大きな影響を及ぼす。また、空隙を通して流体が移動することから、輸送特性にも影響する。岩石中の空隙に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 岩石の全体積 V に対する空隙の体積 V' の割合を空隙率 ϕ という。空隙率を推定するために、まず岩石を完全に乾燥させて空隙中を空気のみたして岩石の質量 M を測定する。次に岩石を密度 ρ の液体中に長時間沈め、空隙中を液体が完全にみたした状態で質量 M' を測定する。空気の密度は液体の密度に比べ十分に小さく無視できるとして、 ϕ を M, M', ρ, V を用いて表せ。ただし、全ての空隙は外部とつながっているものとする。
- (2) 岩石の空隙中に流体が満たされているときの、空隙を流れる流体の移動（飽和浸透流）について考えよう。流体の圧力を P とし、 x 方向に圧力勾配 dP/dx があるとき、岩石中を流れる流体については Darcy 則に従うことが知られている。 x 軸に垂直な岩石の単位断面積あたりの、流体の x 方向の体積流量 q は次のように書ける。

$$q = -\frac{k}{\eta} \frac{dP}{dx}$$

ここで k は浸透率、 η は流体の粘性係数である。岩石の浸透率を測定するために、次の実験を行う（図2）。長さ 10 cm、断面積 1 cm^2 の円柱形の岩石試料を用意し、側面から流体が漏れないように円筒状のゴムで覆った。岩石試料の両端での圧力差が 1 MPa であったとき、体積流量は $10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ であった。流体の粘性係数は $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ である。浸透率 k を計算せよ。

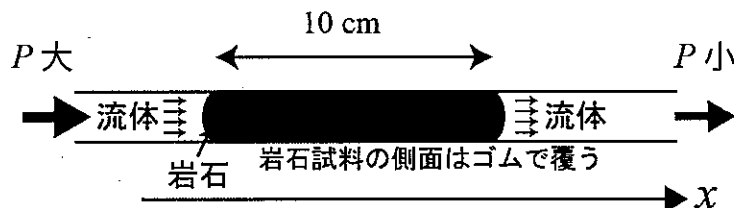


図2

(3) 岩石の空隙率が大きいほど浸透率が大きくなる傾向があるが、ばらつきは非常に大きい。これは、浸透率は空隙率だけではなく、空隙の形状等に強く影響を受けるためである。空隙の形状は浸透率にどのような影響を及ぼすのか、100字程度で説明せよ。

(4) 岩石の空隙が乾燥している場合と液体で満たされている場合とでは岩石中を伝播する弾性波速度に違いがある。P波速度 V_P と S波速度 V_S の比 V_P/V_S について、乾燥している場合と液体で満たされている場合の違いを100字程度で説明せよ。

(5) 岩石の空隙が液体で満たされている場合、流体の質量保存を表す連続の式は、 x 方向の変化のみを考えたとき、次のように書ける。

$$\frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho q)}{\partial x} = 0$$

ここで ρ は流体の密度である。空隙率の変化は無視できるものとし、流体の圧縮率 β を

$$\beta = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP}$$

とするとき、Darcy 則と連続の式から、流体の拡散を表す次の式

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2\rho}{\partial x^2}$$

が成り立つことを示し、 D を求めよ。なお、 k , η , β は定数とする。

地球科学

【第11問】

I 以下の文章を読んで、(1)～(5)の設問に答えよ。

西南日本の南海トラフ沈み込み帯では(ア)の沈み込みに伴い、海溝充填タービダイト層と(イ)に堆積した半遠洋性泥岩層が陸側に運ばれ、前弧域に大規模な(ウ)が発達する。

(1) 文中の(ア)、(イ)、(ウ)に入る適切な語句を記せ。

(2) 図1Aに、南海トラフの陸側斜面で掘削して得られた間隙率と岩相の深度変化を示した。プレート境界断層は深度950m付近で発達する。図1Bには、図1Aと同じ掘削孔における深度に対する静水圧(実線)と静岩圧(破線)の模式的関係を示した。図1Aのプレート境界断層付近の間隙率変化に留意し、図1Bを答案用紙に描いた上で、そこに間隙水圧と深度との関係を模式的に描け。

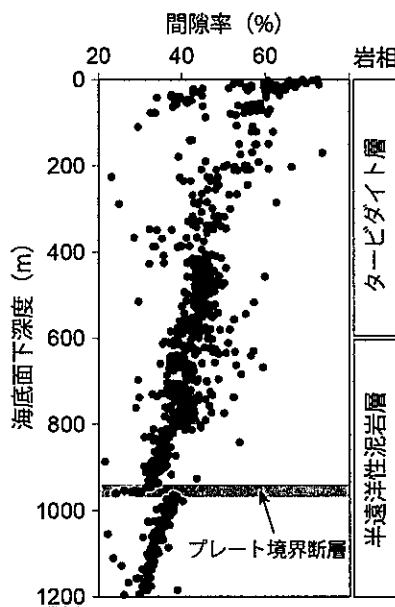


図1A

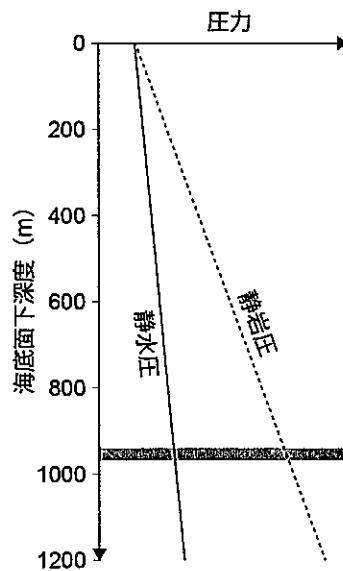


図1B

- (3) プレート境界断層を挟んで、その下位の沈み込む堆積物で間隙率が一時的に増加する(図1A)。その要因を150字程度で説明せよ。ただし、説明には以下四つの語句を最低1回は使用すること。

上載圧, 透水性, 排水, 過剰間隙水圧

- (4) 南海トラフのような圧縮テクトニクスの場合では、堆積層が水平に近い面ですべり面を作り、それより上の岩体はすべり面に沿って移動することがある。こうした面をデコルマ面と言い、図1Aのプレート境界断層がこれに相当する。デコルマ面の発達プロセスについて、間隙水圧と剪断応力との関係を考慮し、100字程度で説明せよ。
- (5) プレートテクトニクスによると、地球上のプレート境界は一般的に三つの境界(収束境界, 拡大境界, 横ずれ境界)に分類できる。三つのプレート境界の構造的特徴について、断層の種類に着目し、それぞれ50字程度で述べよ。

II 以下の文章を読んで、(1)～(4)の設問に答えよ。

(ア)法は、火山灰などの年代測定に用いられる放射年代測定法の一つである。火山から噴出された鉱物粒子に ^{238}U が含まれる場合、それが自発核分裂する際に鉱物中に(ア)を作る。鉱物中の ^{238}U 濃度が判れば、(ア)の密度と自発核分裂の(イ)から、鉱物粒子が形成してからの(ウ)が推定できる。(ア)の密度は、鉱物粒子を研磨した後エッチングして、研磨面に現れた(ア)を数えることで求められる。

放射年代測定法においては、鉱物の種類により閉鎖温度が異なることが知られている。例えば、(ア)法においては、アパタイトは 120°C 、ジルコンは 310°C 程度である。このような閉鎖温度の鉱物による違いを利用して、火成岩の熱履歴を推定する試みがなされている。

(1) 文中の (ア), (イ), (ウ) に入る適切な語句を記せ.

(2) 図2は, ある高原の南北方向の地質断面の模式図である. 図のA地点で, 地殻熱流量は 70 mW/m^2 であった. また, 花崗岩の熱伝導率は 3.5 W/m/K である. この地点における熱伝導は定常状態にあると仮定して, この地点の地温勾配を求めよ.

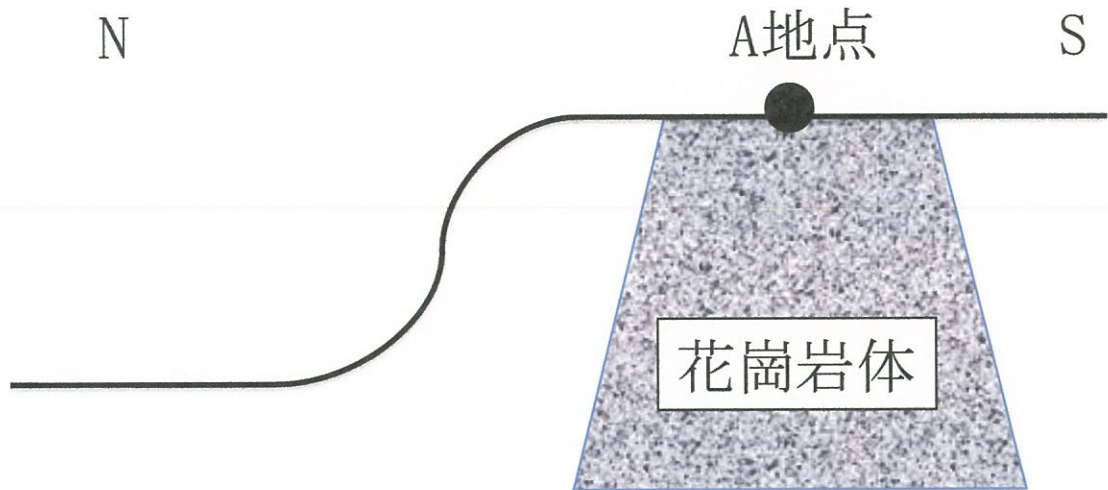


図2

(3) 花崗岩には, 単一試料中に閉鎖温度が異なる複数の鉱物が含まれている. これらを組み合わせることにより, その試料の冷却履歴を推定することが出来る. A地点から採取された花崗岩試料について, それに含まれるアパタイトとジルコンの (ア) 年代を測定したところ, それぞれ 1500 万年前, 2000 万年前であった. また, 同じ試料に含まれる白雲母の Rb-Sr 年代 (閉鎖温度を 500°C とする) と角閃石の K-Ar 年代 (閉鎖温度を 530°C とする) を測定したところ, それぞれ 2500 万年前, 4000 万年前であった. この地点の地表面温度が 4000 万年間を通じてずっと 10°C であったと仮定して, 横軸に年代, 縦軸に温度をとって, この試料の過去 4000 万年間の冷却履歴を図示せよ.

(4) A地点の地表に露出した花崗岩の冷却が高原の地表面での継続的侵食により起こったとして, 4000 万年前以降のA地点での総侵食量を推定せよ.

また、(3)で求めた冷却履歴を基に、侵食速度とその時代変化を推定せよ。ただし、地温勾配は深度によらず一定で、過去4000万年間を通じて変わらなかったとする。