

平成20年度大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
修士課程入学試験問題（一般教育科目）

地球科学

【注意事項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはならない。
2. 解答には、必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用すること。
3. 問題は全部で8問ある。任意の3問を選び解答せよ。
4. 解答用紙は、各問につき1枚、合計3枚であるから、確実に配布されていることを確かめること。
5. 各解答用紙の所定欄に、科目名・問題番号・受験番号および氏名を必ず記入すること。
6. 解答は、各問ごとに所定の解答用紙を使用すること。
7. 解答用紙は点線より上部が切り取られるから、裏面も使用する場合には、点線の上部を使用しないこと。
8. 解答用紙には、解答に関係ない文字、記号、符号などを記入してはならない。
9. 解答できない場合でも、解答用紙に科目名・問題番号・受験番号および氏名を記入して提出すること。
10. 解答用紙を草稿用紙として使用してはならない。草稿用紙は問題より後のページにある。

地球科学

【第1問】

以下の文章を読み、設問（1）～（5）に答えよ。

海洋表層には、海表面からある深さまで鉛直方向に水温がほぼ一定である層がある。ここではこの層を混合層と呼ぼう。この混合層内の水温の変動過程を考える。混合層内の平均水温を T 、混合層の厚さを h とすると、混合層内の水温の時間変化率は、拡散の影響を無視すれば

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\bar{u} \cdot \nabla T - w \frac{\Delta T}{h} + \frac{Q}{\rho_0 C_p h} \quad (\text{A})$$

と表される。ここで、鉛直軸は上向きを正とし、 t は時間、 \bar{u} は水平流速ベクトル、 w は混合層下端での鉛直流速、 ΔT は混合層下端を挟んだ鉛直方向の水温変化量、 ρ_0 は海水の密度、 C_p は海水の定圧比熱、 Q は海表面での大気から海洋への熱フラックス、 ∇ は水平微分オペレーターである。

- (1) 右辺第1項と第2項はどのような物理過程を表している項か。それぞれ20文字程度で答えよ。
- (2) 今、簡単のため混合層の厚さは変化しないものとし、右辺の第1項と第2項の寄与が第3項の影響に比べて無視できるとする。熱フラックス Q が図1のように正弦関数で近似できる変動をしているとき、 Q と T の変動の位相関係を表すグラフを描け。ただし、 Q の変化を示す図1を解答用紙に写し、その図に重ねて T の変動を記入すること。また、 ρ_0 および C_p は一定とする。なお、 $t=0$ における水温を T_0 とし、振幅は任意とする。
- (3) 一般的には、混合層厚 h も時間とともに変化する。上記のような Q の変動が1年を周期とする季節変化だと考えよう。 Q が正となる夏季、および負となる冬季では、 T と h がそれぞれ時間とともにどのように変化するか。

夏季と冬季に分け、物理過程の説明も含めてそれぞれ 80 文字程度で記せ。

本来、海水の密度は水温とともに塩分 (S) によっても変化するため、混合層とは密度のほぼ一様な層とすべきである。例えば図 2 に示すような、水温一様な層 (等温層) の中に塩分の成層構造がある場合に、海面での風応力によって等温層内の密度を一様にするを考える。今、海上風が等温層に対して行う単位面積当たりの仕事 W [kg/s^2] が以下の式で記述できるとする。

$$W = \alpha U_a^3 \Delta t \quad (\text{B})$$

ここで U_a は海上風の強さ、 Δt は海上風の吹き続ける時間であり、変換パラメータ α を $1.0 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$ とする。この時、混合層と等温層の深さが等しくなるためには、 10 m/s の海上風が何日以上吹かなければならないかを推定してみよう。

- (4) 図 2 のように密度成層をしている場合 (混合前) と、風の効果により 80 m 以浅で密度が一様な状態 (混合後) を考え、 80 m 以浅での単位面積当たりの位置エネルギーについて、混合後と混合前の差を求めよ。ただし、重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。
- (5) このエネルギーの差が風による仕事で与えられると考えた場合、一様に混ざるまでの時間 Δt を [日] の単位で求めよ。

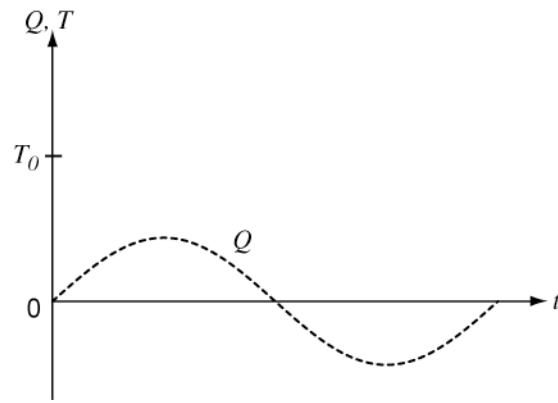


图 1

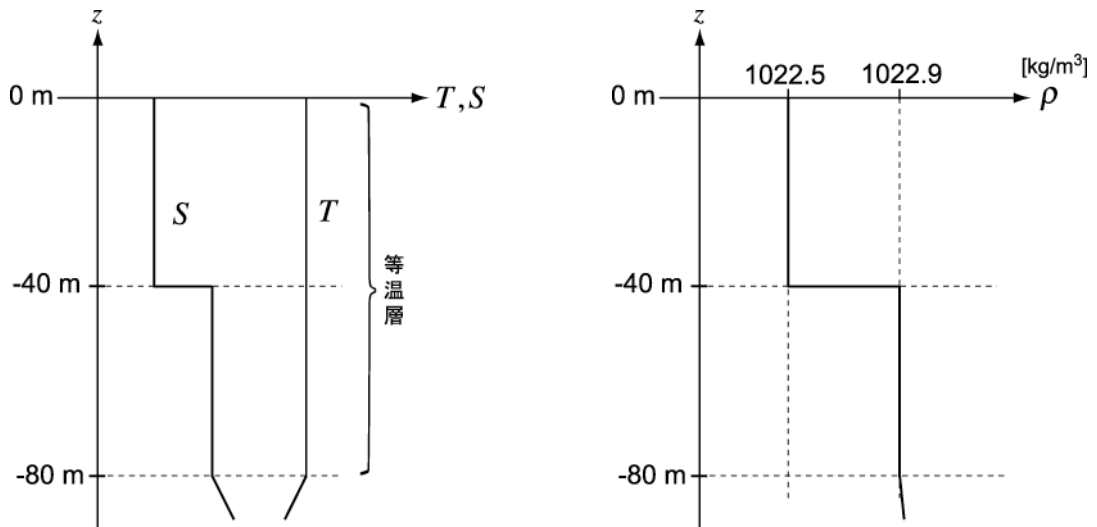


图 2

地球科学

【第2問】

地下の温度構造が1次元定常状態であるとする、地表からの深さ z における温度 $T(z)$ は、熱伝導の式

$$\frac{d}{dz} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + H = 0 \quad (\text{A})$$

に従う。ここで、 k は熱伝導率、 H は単位体積・単位時間あたりの発熱量（放射性元素の崩壊による発熱）である。

式 (A) に基づいて地下温度構造を推定するには、地表面における熱流量の観測値が必要である。熱流量は、単位時間・単位面積あたりの熱の流れであり、この場合は、鉛直方向の温度勾配と熱伝導率の積 $k \frac{dT}{dz}$ として求められる。

以下では、1次元定常の仮定が成り立つものとし、式 (A) を用いて地下温度構造と熱流量について考えることにする。

まず、地表面近くの温度構造について考えてみよう。通常、厚さ数百 m の層に含まれる放射性発熱の総量は、熱流量に比べて小さいため、式 (A) において H の項を無視することができる。

- (1) 熱伝導率 k が一定、発熱量 H が 0 の場合について、地下の温度分布 $T(z)$ を、地表面 ($z=0$) における温度 T_s と熱流量 q_s 及び k を用いて表せ。

- (2) 図1のように、熱伝導率の異なる3つの層があり、各層の厚さと熱伝導率は順に 30, 75, 100 m 及び 1.5, 2.5, 2.0 W/m/K であるとする。最上層の上面の

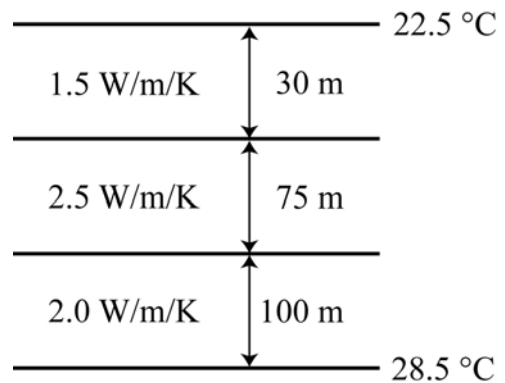


図1

温度が 22.5°C , 3 層目の下面の温度が 28.5°C であるとき, 熱流量の値を求め, mW/m^2 を単位として答えよ. ただし, $H=0$ とする.

次に, 陸域において, モホ面までの温度構造を求めてみよう. 深さ数十 km 程度までの温度構造を考える場合は, 放射性発熱量 H の効果が重要となる. 大陸地殻中の放射性発熱量は上部に濃集しており, 深さとともに指数関数的に減少すると考えられている. 地殻内で熱伝導率 k は一定であり, 発熱量の深さ分布は

$$H(z) = H_s \exp\left(-\frac{z}{b}\right) \quad (\text{B})$$

で与えられるとして, 以下の設問に答えよ. ここで, H_s , b は定数である.

(3) 地表面における熱流量が q_s である時, 式 (A) を積分することにより, 深さ z における熱流量 $q(z)$ を求めよ. さらに, マントルからの熱流量 (モホ面における熱流量) q_M を, 地殻の厚さ (モホ面の深さ) D 及び b , H_s , q_s を用いて表せ.

(4) 地殻内の温度分布 $T(z)$ を, 地表面の温度 T_s と q_s , k , b , H_s を用いて表せ.

(5) 地表面での熱流量が $q_s = 80 \text{ mW}/\text{m}^2$, 発熱量が $H_s = 3.0 \mu\text{W}/\text{m}^3$, 地表面温度が $T_s = 15^{\circ}\text{C}$ であるとき, $k = 3.0 \text{ W}/\text{m}/\text{K}$, $b = 10 \text{ km}$ として, モホ面 (深さ 30 km) における温度を求めよ. また, 発熱量の存在を無視した場合に得られるモホ面温度との差を求めよ. ただし, $e = 2.7$ として計算せよ.

このようにして求められる温度構造は, 地下で起こるさまざまな現象と密接な関係を持っている. 図 2 は, 地殻内で発生する地震の下限深度 (その地域で起こる地震の最大の深度) を地表面における熱流量に対してプロットしたものである.

(6) 地震の下限深度と熱流量にはどのような関係があり, それはどのように説明することができるか, 100 文字程度で述べよ.

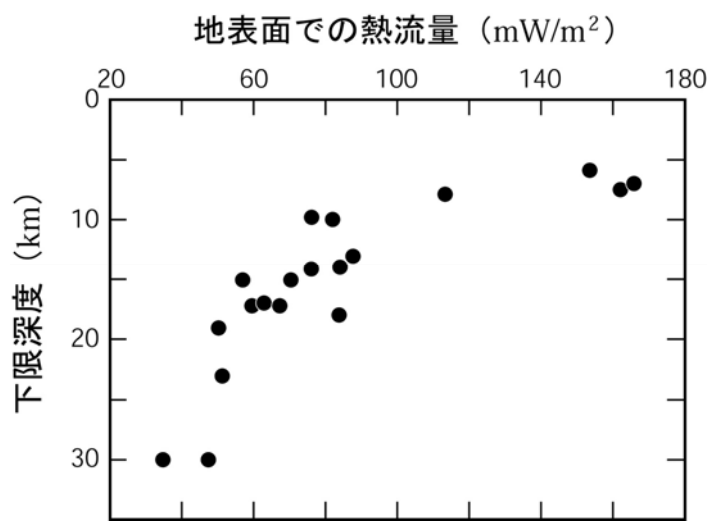


図 2

地球科学

【第3問】

海洋底の堆積作用およびその変形に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図1は世界の海底表層堆積物の分布を示した図である。赤色粘土，珪質堆積物，陸源性堆積物，炭酸塩堆積物は，A～Dのどの海域に分布するかを答えよ。解答は上記4種の堆積物名とA～Dの組み合わせで示せ。
- (2) 図1のAの分布を規制する要因を100文字程度で述べよ。
- (3) 図1の矢印で示した2つの海域では，堆積速度が非常に大きくなっている。その原因となる地質現象について50文字程度で説明せよ。
- (4) 陸源性の砕屑物を深海底へ輸送する主な機構を挙げ，その堆積構造の特徴について100文字程度で説明せよ。補助的に図を用いても良い。
- (5) 日本列島に分布するジュラ紀や白亜紀の付加体は，海洋プレート層序と呼ばれる，ある岩相の組み合わせからなる地層が，沈み込み帯へもたらされて形成された地質帯である。図1を参考に，海洋プレート層序とはどのようなものかを100文字程度で説明せよ。
- (6) 図2は海域で得られた反射法地震探査断面の模式図である。地層の厚さに注目し，X層堆積時からZ層堆積後までの間の断層運動について50文字程度で説明せよ。

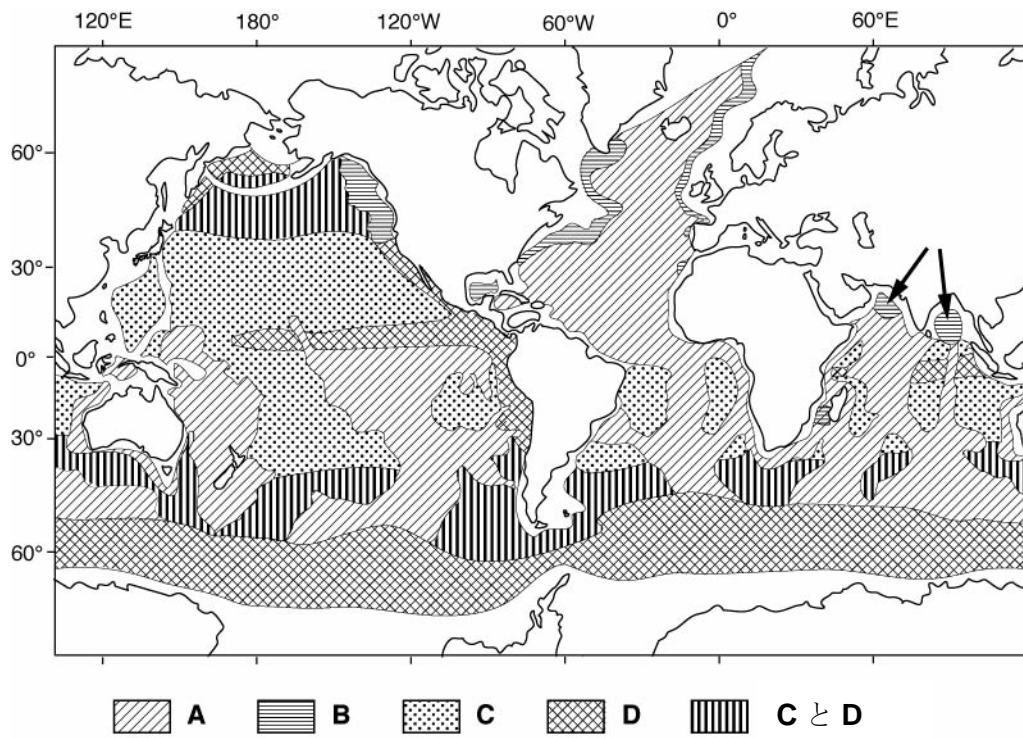


図 1

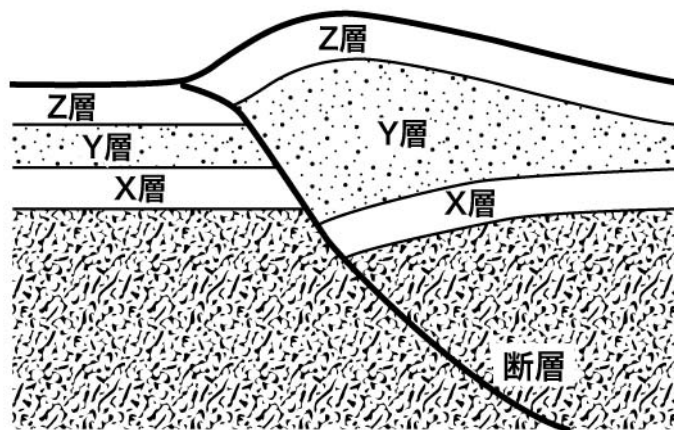


図 2

地球科学

【第4問】

図1は、成分Aと成分Bとからなる2成分系の、ある圧力下での液相（ほぼ理想溶液とみなせるL相）と2つの異なる固相（成分Aのみからなる α 相と成分Bのみからなる β 相）の相平衡図である。横軸は各相中の成分Bのモル分率 [B/(A+B) 比]、縦軸は温度を示す。温度が T_1 以下における点線は、準安定相の相境界を表す。図2は、図1の温度= T_3 の条件に対応する各相の1モルあたりのギブス自由エネルギー（G）を示す。図2の縦軸に沿って示されている μ_i^\ominus 、注目する温度・圧力における純相（端成分の純粋な組成をもつ相）中の各成分の化学ポテンシャルを表し、上付きの添え字は相を、下付きの添え字は端成分を示す（例えば、 $\mu_A^{\ominus L}$ は成分AのみからなるL相中の成分Aの化学ポテンシャルを表す）。

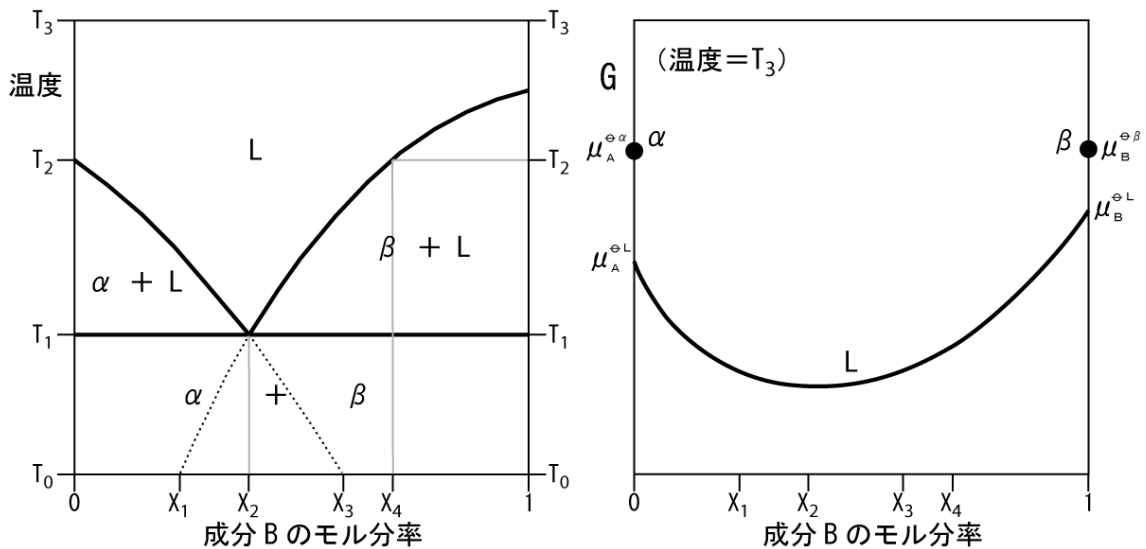


図1

図2

- (1) 図1において、 (X_2, T_1) の点を何と呼ぶか。
- (2) 組成 X_1 の岩石を加熱し、相平衡関係を保ちながらその温度を T_0 から T_2 にゆっくり変化させたとする。この加熱過程における反応（温度、相組み合わせ、各相の組成と量比の変化）を、200文字程度で記述せよ。

- (3) 図1の (X_2, T_1) の点において、液相と固相の化学平衡を表す関係式を $\mu_A^{\ominus L}, \mu_A^{\ominus \alpha}, X_2, T_1, R$ (気体定数) を用いて表せ. 同様に $\mu_B^{\ominus L}, \mu_B^{\ominus \beta}, X_2, T_1, R$ が満たす関係式を表せ. また, このときL相のGを $\mu_A^{\ominus \alpha}, \mu_B^{\ominus \beta}, X_2$ を用いて表せ.
- (4) 図2にみられるL相のギブスの自由エネルギー曲線は, 下に凸である. この主な理由を50文字程度で説明せよ.
- (5) 図2にならって (すなわち横軸に成分Bのモル分率, 縦軸にGをとり), 温度が(a) T_0 , (b) T_1 , (c) T_2 のときの, L相1モルあたりのギブス自由エネルギー (G) 曲線と2つの固相のGの関係を解答用紙にそれぞれ図示せよ. (a)の場合には, 組成 X_1 と X_3 の位置を明示すること. 同様に(b)では X_2 , (c)では X_4 の位置を明示すること. 手書きの定性的な図でよい.

地球科学

【第5問】

Olivine (カンラン石) は斜方晶系で, $Pbnm$ の空間群をもっている. 図 1(a)と図 1(b)は, olivine をそれぞれ[010]と[001]の方向から見たときに予想される電子回折パターンを作図したものである. 以下の問いに答えよ.

- (1) 図 1(a)と図 1(b)中にある数字は, いくつかの回折点の指数である. これより×印で記した A から D の回折点の指数をそれぞれ求めよ.
- (2) このような2つの回折パターンをフィルム上に記録し, 回折点の間の距離を計測したところ, 000 と 400 との間が 20.7 mm, 000 と 004 との間が 16.9 mm, 000 と 080 との間が 19.5 mm であった. これより olivine の格子定数 a, b, c を nm の単位で有効数字3桁で求めよ. なお, 電子線の波長は 0.00250 nm, カメラ長は 1000 mm であった. ただし, フィルム上の回折点と原点 000 との距離 (x), その回折点に対応する格子面間隔 (d), 電子線の波長 (λ), 及びカメラ長 (L)との間には, $\lambda L = dx$ の関係がある.
- (3) 上記空間群は mmm の点群をもつ. hkl の指数をもつ回折点から mmm の対称操作により得られるすべての同価な回折点の指数を h, k, l を用いて示せ. なお, 点群 mmm の最初の m の対称操作により, 同価な回折点の指数として $-h, k, l$ が得られる.
- (4) 上記空間群は, b 軸に垂直な面に n 映進をもつため, 図 1(a)における回折点には, その回折強度が規則的にゼロになっているものがある. このような回折点の指数の条件を h と l を用いて表せ.
- (5) hkl の指数の回折強度は, 結晶構造因子 $F(hkl)$ の絶対値の2乗に比例する. また, $F(hkl)$ は次式で表される.

$$F(hkl) = \sum_{j=1}^Q f_j \exp\{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)\}$$

ここで Q は単位格子中のすべての原子の数, f_j は j 番目の原子の電子散乱能, x_j, y_j, z_j は j 番目の原子の単位格子中の座標である. (4) の指数の条件での回折点の強度がゼロになることをこの $F(hkl)$ の式より導け. ただし, $Pbnm$ の n 映進では, 単

位格子内の (x, y, z) に原子があれば、必ず $(1/2 + x, -y, 1/2 + z)$ にも同じ原子が存在する。これより $h0l$ の指数をもつ $F(h0l)$ は次のように表される。

$$F(h0l) = \sum_{j=1}^{Q/2} f_j [\exp\{2\pi i(hx_j + lz_j)\} + \exp\{2\pi i(h/2 + hx_j + l/2 + lz_j)\}]$$

また、 $\exp(i\theta) = \cos\theta + i\sin\theta$ である。

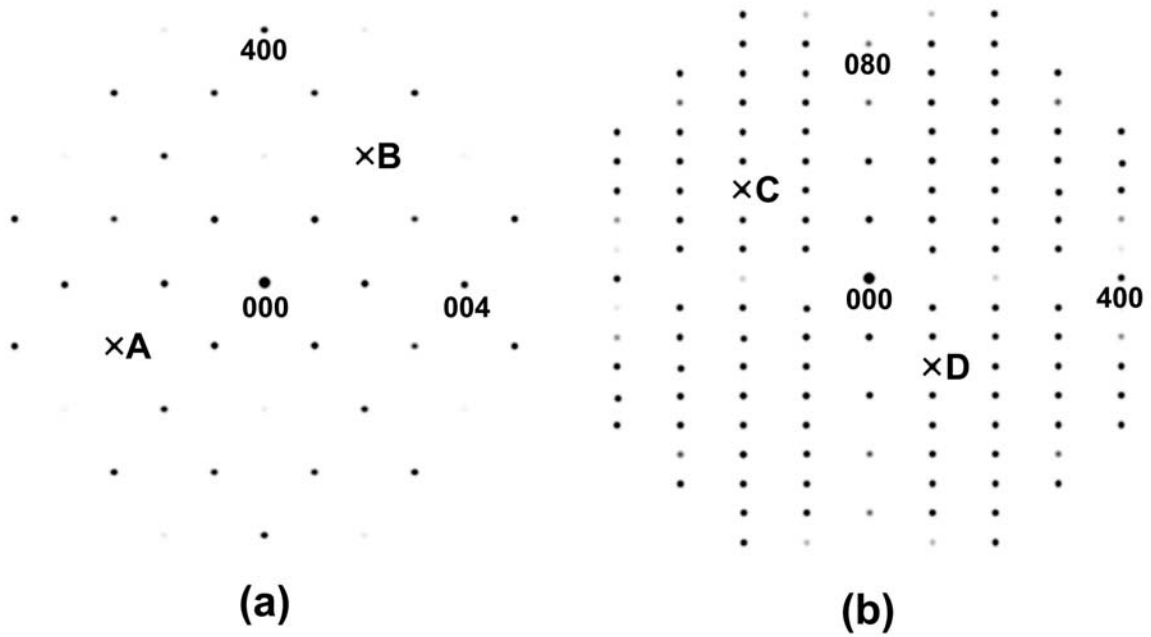


図 1

地球科学

【第6問】

図1は一般的な長石 (feldspar) の三角ダイヤグラムである。これについて以下の問いに答えよ。

(1) 以下の文章の () に入る語句を答えよ。

この三角ダイヤグラムで B の鉱物名は (ア), C の鉱物名は (イ), また BC 間の固溶体系列は (ウ), AB 間の固溶体系列は (エ) と呼ばれる。

(2) A, B, C のモル比が 1:3:6 となるのは, 図1の三角ダイヤグラムのどこか。答案用紙に図1の概略を描いて, その位置を示せ。

(3) 図1の3つの組成中に含まれているアルカリ金属イオン及びアルカリ土類金属イオンのイオン半径の大小関係を記せ。

(4) BC 間の固溶体の組成式は, B の成分の比を x ($0 \leq x \leq 1$) とすると, どのように表現されるか。

(5) A の鉱物は, 異なる温度条件で安定な構造の結晶系が変化する。この結晶系が変化する原因を 100 文字程度で説明せよ。

(6) AB 間の組成をもつ長石を透過電子顕微鏡で観察したところ, 図2のような微細構造が見られ, 組成分析の結果, ①の部分は B に近い組成, ②の部分は A に近い組成を持っていることがわかった。このように組成が異なる2つの領域ができた原因を 100 文字程度で説明せよ。

(7) Mg は地殻中で非常に豊富な元素であるが, 地殻の 60% を占めると言われる長石にはほとんど含まれない。Mg が長石の構造に入りにくい理由について, Pauling の静電原子価則 (electrostatic valence principle) や配位数の概念を用いて 200~300 文字程度で説明せよ。

図1

図1

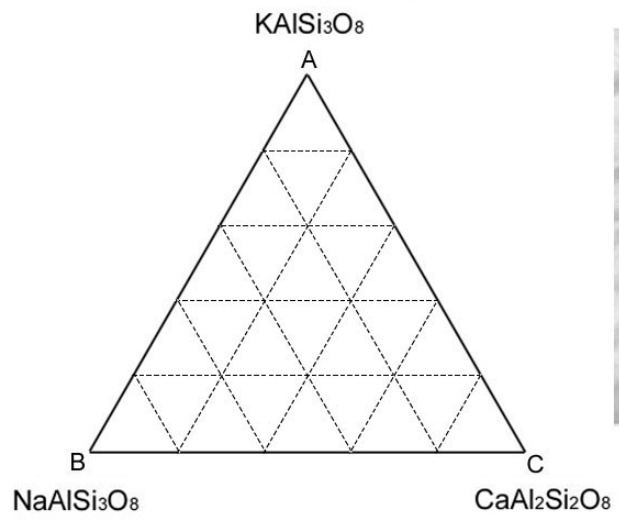


图 1

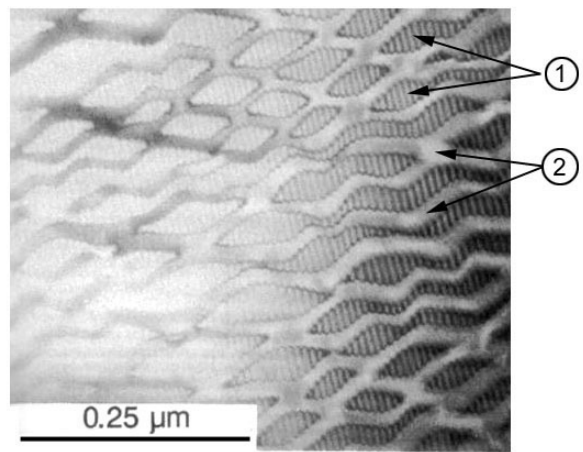


图 2

地球科学

【第7問】

以下の図1は、ある隆起サンゴ礁の地形断面の模式図であり、括弧の中の数字は採取された試料の年代（1 ka = 1000 年前）と標高である。この地域で最終間氷期（125 ka）のサンゴ化石が採取された標高は 375 m であった。海水や氷床の荷重が変化することによって生じる固体地球の変形の影響は無視できると仮定し、サンゴの生息深度が海水準（低潮位）を示すとする。また、隆起速度は最終間氷期から現在まで一定であると仮定する。

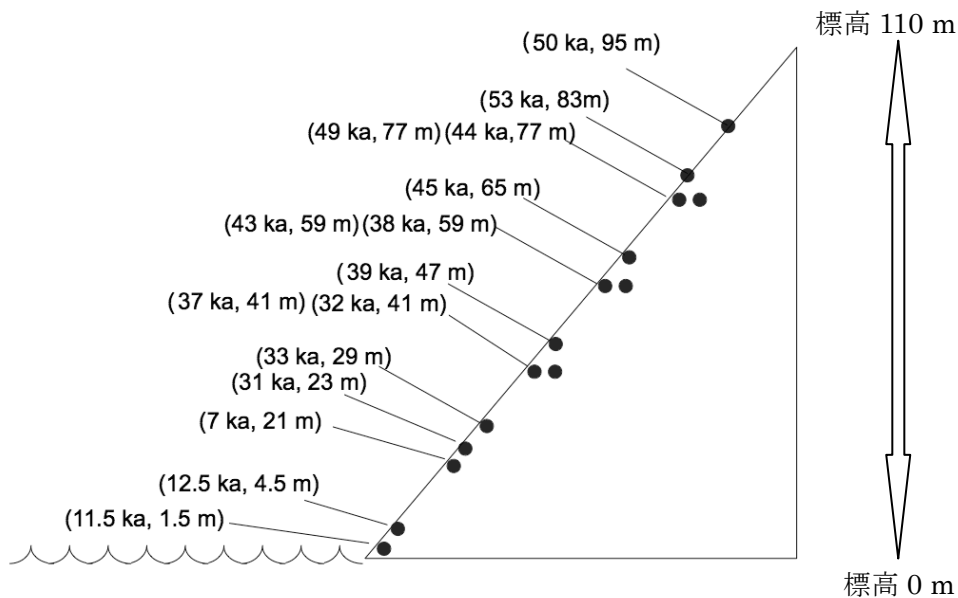


図1

- (1) 与えられた情報を用いて 50 ka から 11.5 ka までの海水準変動曲線を作成せよ。
- (2) 50 ka から 31 ka までの海水準変動は、氷期の北半球の気候変動と密接に関連していたことが、グリーンランド氷床コアの解析結果から明らかになってきた。どのような気候変動であったかを、海水準、氷床、海洋などの関わりも含めて 150 文字程度で説明せよ。

- (3) 図1の試料のうち、標高1.5 mと4.5 mから採取された試料は、最終氷期終焉後の融氷期に起こった最も大規模な寒冷イベントを示す。このイベントとは何か。北半球および南半球のどちらでもみられる現象か。海水準、氷床、海洋などとの関わりや気温変化の幅を含めて、150文字程度で説明せよ。

地球科学

【第8問】

地球の気候を支配しているエネルギー源は太陽放射であり，地球軌道要素に対応して地球上にそのエネルギーが配分されている．大気の組成も気候に大きく影響しており，それが最近の地球温暖化の要因と言われている．気候や地球温暖化に関する以下の設問に答えよ．

- (1) 太陽定数（地球大気表面において，太陽に対して垂直な面に単位時間・単位面積あたりに入射する太陽のエネルギー量）を S ，地球の半径を R ，地球の反射率を A として，単位時間あたりに全地球が吸収する太陽放射量を求めよ．また，地球表面が黒体で，大気が存在しないと仮定したときの地表面温度 T_g を求めよ．ここで，温度 T の黒体表面からの単位時間・単位面積あたりの放射量は， σT^4 で表せるものとする（ σ はステファン・ボルツマン定数）．
- (2) 地球温暖化の原因である温室効果とは何かを 100 文字程度で説明せよ．
- (3) 気温の季節変化がどのようにして生じるかを 100 文字程度で説明せよ．
図を用いてもよい．
- (4) 一般に大陸の東と西では気候が大きく異なる．ユーラシア大陸の北緯 40 度付近を例にとり，気温の季節変化や降水量が大陸の東西でどのように異なるかを，相違をもたらす理由とともに 100 文字程度で説明せよ．
- (5) 横軸に緯度，縦軸に降水量のグラフを作成して緯度による降水量分布の大局的な違いを示し，その概要を 100 文字程度で説明せよ．