

地球科学

【第10問】

I 地球を構成する物質（例えば，岩石，マグマなど）は，現象の時間スケールによって，近似的に弾性体として振る舞う場合と粘性流体として振る舞う場合がある．このような振る舞いを示す物質を「粘弾性体」と呼ぶ．粘弾性体に関する応力と歪みの関係は，弾性体をバネ，粘性流体をダッシュポットとモデル化し，それらを組み合わせることによって表現することができる．ここでは，岩石が図1のようにバネとダッシュポットを直列につないだ「マックスウェル粘弾性体」として仮定して，以下の問いに答えよ．

なお，計算問題については，計算の過程を示した上で，有効数字2桁で解答すること．

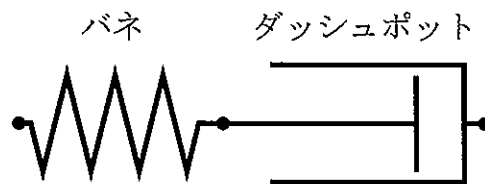


図1 マックスウェル粘弾性体の概念図

(1) 応力を σ ，歪みを ε とすると，弾性体の応力と歪みの関係は

$$\sigma = \mu\varepsilon$$

粘性流体の応力と歪み速度の関係は

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}$$

と表すことができる．ここで， μ は弾性率， η は粘性率， t は時間である．これらの記号を用いることによって，マックスウェル粘弾性体における応力と応力の時間変化率と歪み速度の3者間の関係を，時間を独立変数とする微分方程式の形で記せ．

(2) マックスウェル粘弾性体に対して，応力を負荷していない状態から， $t = 0$ に σ_0 の応力を負荷することによって ε_0 の歪みを与え，その後，歪みを固定した場合を考える．このとき，応力は図1のダッシュポットの動きによって緩和され，時間とともに減少する．

(2-1) (1) で求めた微分方程式を解くことによって、応力 σ を時間 t の関数として求めよ。

(2-2) 上記の条件で応力の値が σ_0 の $1/e$ (e は自然対数の底) まで緩和する時間を「マックスウェルの緩和時間」と呼ぶ。マックスウェルの緩和時間を μ と η を用いて表せ。

(3) 次に、同じマックスウェル粘弾性体に対して、応力を負荷していない状態から、 $t = 0$ に σ_0 の応力を負荷し、その後、その応力を負荷し続けた場合について考える。

(3-1) 粘弾性体の歪み量 ε を時間 t の関数として表せ。

(3-2) この条件で、マックスウェルの緩和時間が経過した時の、弾性変形による歪み量と粘性流動による歪み量の比を求めよ。

(4) マントルが弾性体として振る舞うような、短い時間スケールの現象の例として、地震波伝播が挙げられる。マントル中の地震波の伝播速度（横波速度） c を、岩石の弾性率（剛性率） μ と、密度 ρ を用いて表せ。また、マントル中の横波速度を 4500 m/s 、マントルの密度を 3300 kg/m^3 として、マントルの弾性率（剛性率）を求めよ。

(5) マントルが粘性流体に近似できるような、長い時間スケールの現象の例として、氷河期が終了し大陸内の氷床が短期間に消滅した後の大陸の隆起運動が挙げられる（図2）。

(5-1) 大陸の隆起速度を推定する地質学的または地球物理学的手法について一例をあげ、その原理を 100 字以内で述べよ。

(5-2) 大陸の隆起の主要因がマントルの粘性流動であると仮定し、氷床が消滅した後の大陸の隆起運動のモデルを立てたところ、隆起速度 v が時

間 t とともに

$$v = v_0 \exp\left(-\frac{L\rho g t}{4\pi\eta}\right)$$

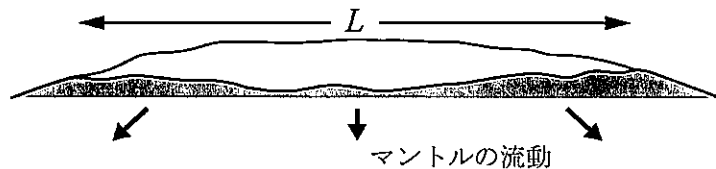
という関係式に従って変化することが分かった。ここで、 v_0 は氷床が完全に消滅した直後の隆起速度、 L は氷床が発達した領域の幅（図2参照）、 ρ はマンツルの密度、 g は重力加速度、 π は円周率、 η はマンツルの粘性率である。また、地質学的手法などを用いた観測から、図2中の $L = 3000 \text{ km}$ にわたる領域で発達した大陸氷床が消滅した後、その地域で隆起が起こり、その隆起速度が10000年の間に1/10に減少したという結果が得られた。これらの結果を用いて、マンツルの粘性率を求めよ。なお、10の自然対数は2.3、 ρ は 3300 kg/m^3 、 g は 10 m/s^2 、1年は $3.1 \times 10^7 \text{ s}$ 、 π は3.1としてよい。

- (6) (4)と(5)の結果を用いて、マンツルのマックスウェルの緩和時間を求めよ。単位は年とする。

(I) 氷河期以前の地表面



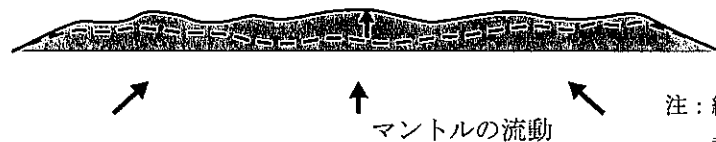
(II) 氷床の荷重による沈降



(III) 氷河期が終了し、氷床が消滅した直後の地表面



(IV) 隆起運動による地表面の復元



注：縦横比については誇張されている。

図2 氷床の発達・消滅とその後の隆起運動による地表面の復元過程の概念図

II マグネシウム (Mg) を含む 6 種類の鉱物の特徴を述べた (ア) ~ (カ) の文を読み、設問に答えよ。

(ア) Mg, Al, O を主成分とし、立方晶系である。

(イ) K, Mg, Al, Si, O, H を主成分とする。へき開が顕著に見られる板状の形態が多い。

(ウ) Mg, Si, O を主成分とし、直方 (斜方) 晶系と単斜晶系の多形が存在する。

(エ) Mg, Si, O を主成分とし、立方晶系である。地球マントル中などの高温高圧下で安定領域をもつ。

(オ) かんらん石の熱水変質などにより形成され、その組成式は $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ である。

(カ) Ca, Mg, C, O からなり、Ca/Mg 比がほぼ 1 となっている。

(1) (ア) ~ (カ) に相当する鉱物名 (英語名, 和名どちらでもよい) をそれぞれ答えよ。

(2) これらの鉱物の中には 4 つの珪酸塩鉱物が含まれる。その中で SiO_4 四面体の重合度 (共有される頂点の数) が同じものは、どれとどれか。また、その重合度が珪灰石 (wollastonite) と同じものはどれか。(ア) ~ (カ) の記号で答えよ。

(3) (ア) ~ (カ) の鉱物で、Mg の配位数が他と違うものはどれか。(ア) ~ (カ) の記号で答えよ。

(4) 鉱物の元素組成を決定するために、EPMA (電子プローブ X線マイクロアナライザー, あるいは XMA と呼ぶ) がよく用いられる。EPMA を用いて岩石薄片中の鉱物の組成を定量分析するために必要な、岩石薄片表面の処理方法を 80 字程度で説明せよ。

(5) EPMA を用いて (オ) の鉱物を、酸化物を標準試料として定量分析した場合、その総重量%は 100%にならない。期待される総重量%を求めよ。こ

ここで Mg, Si, O, H の原子量をそれぞれ 24, 28, 16, 1.0 とする (解答には計算過程も記すこと).

地球科学

【第11問】

I テクトニクスに関する以下の問いに答えよ。

変成岩中の細粒な基質の中に認められる、比較的大きく成長した結晶をポーフイロブラスト（斑状変晶）という。

- (1) 泥質片岩中で斑状変晶組織を示す鉱物について、代表的なものを3種類あげよ。
- (2) 一般的に斑状変晶は基質より固く、塑性変形しないと仮定される。この仮定を支持する微細構造を一つあげ、その成因を150字程度で説明せよ。
- (3) 図1の(a), (b), (c)は、異なる微細構造の斑状変晶と、その周囲の面構造を示したものである。斑状変晶は、その成長時期と、岩石の変形の時期との関係によって、変形前成長 (pre-tectonic), 変形同時成長 (syn-tectonic), 変形と変形の間の変形 (intertectonic), そして変形後成長 (post-tectonic) に分類することができる。図1の(a), (b), (c)の斑状変晶は、それぞれのタイプに相当するかを答え、そのように考えた理由をそれぞれ100字程度で説明せよ。

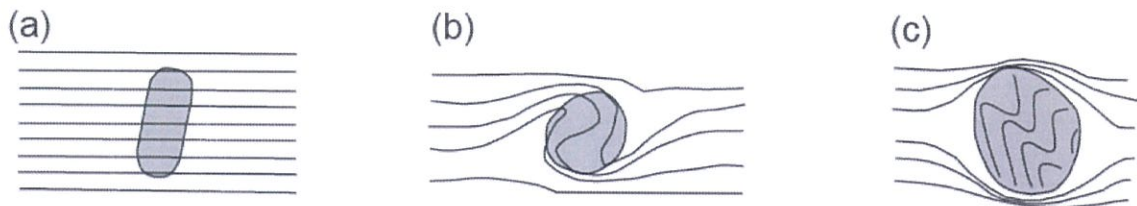


図1 斑状変晶の微細構造の例。灰色部が斑状変晶に相当。

- (4) 岩石の延性変形 (ductile deformation) 機構および面構造の形成機構について、以下の三つの語句を全て用いて200字程度で説明せよ。

転位 拡散 機械的回転

(5) 付加体では、全体として見かけの上位ほど堆積物の年代が古くなる構造が一般的に認められる。このような見た目の層序の逆転が生じる理由について、付加体の構造と衝上断層の形成との関係を踏まえて200字程度で説明せよ。

II 古気候学に関する以下の問いに答えよ。

1970年代に行われたCLIMAPプロジェクト(Climate: Long-range Investigation, Mapping, and Prediction)では、さまざまな古気候学的、古海洋学的データを基に、氷期のグローバルな気候が復元された。図2は、復元された最終氷期最盛期(約2万年前)における気候区分と北半球夏季(8月頃)の表層水温の分布図である。また、図3は、深海堆積物を掘削し、その柱状試料から抽出した、海底近くに生息する有孔虫(底生有孔虫)の殻の酸素同位体比変動記録である。

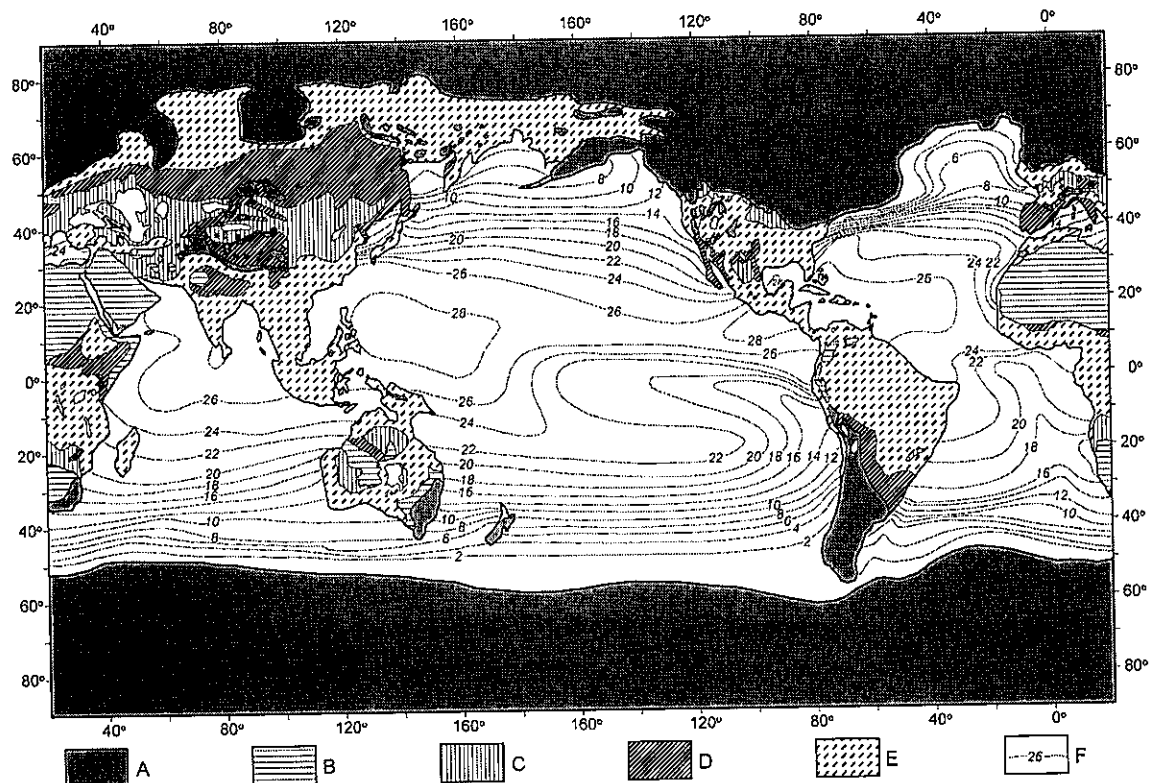


図2 約2万年前の気候復元図 (CLIMAP Project Members, 1976)。海水準が現在より85m低下した状態を想定している。AからEの気候区分はケッペンの気候区分とは異なる。凡例Fは海と湖を示し、海には2℃ごとの表層水温の等温線を示す。

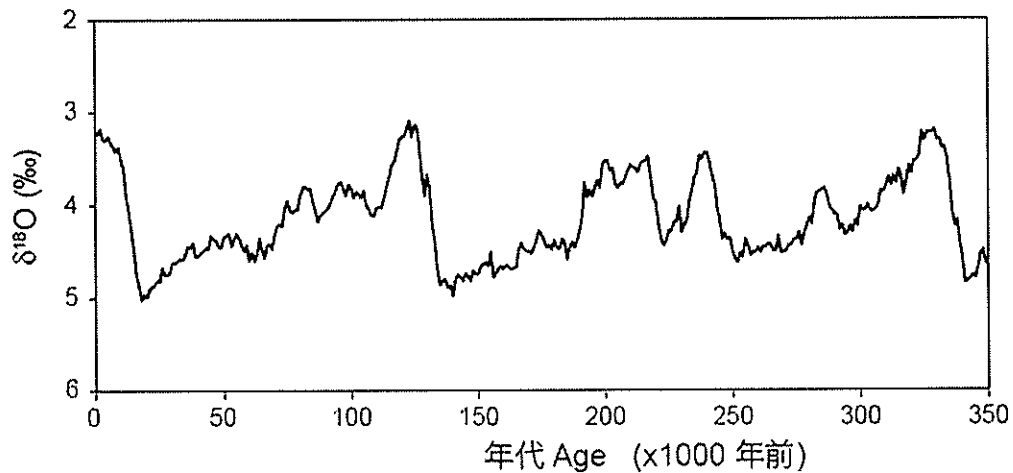


図3 海底堆積物に含まれる底生有孔虫殻の酸素同位体比の時系列変動 (Lisiecki and Raymo, 2005). 縦軸は, 同位体比が高い方が下方になっていることに注意.

(1) 図2の凡例AからEに相当するものを, 以下の(ア)から(オ)の中から選べ.

- (ア) 砂漠
- (イ) 森林または厚く植生に覆われた土地
- (ウ) 氷または雪
- (エ) サバンナまたは乾燥草原
- (オ) ステップまたは半砂漠

(2) 図2に示した最終氷期の表層水温を現在の表層水温と比べると, その差は低緯度と高緯度のどちらで大きいのか, 理由とともに100字程度で答えよ.

(3) 過去の海洋の表層水温を復元する方法を2つあげ, それぞれ100字程度で説明せよ.

(4) 図3に示される底生有孔虫殻の酸素同位体比は, 大陸氷床の大規模な拡大および縮小に伴って変動すると考えられる. その理由を250字程度で説明せよ.

- (5) 図3に示されるようなデータによって、大陸氷床の拡大・縮小を伴う全球的な気候変動が、約2万年、4万年、および10万年周期で繰り返し起こっていることが明らかになった。それぞれの周期について、このような気候変動を引き起こす主な原因を、あわせて200字程度で説明せよ。