

地球科学

【第10問】

I 図1は、大気圧下での MgO-SiO₂ 系の状態図である。これをもとに、次の問いに答えよ。図から読み取る数値の精度は 10°C, 2 重量%程度で良い。

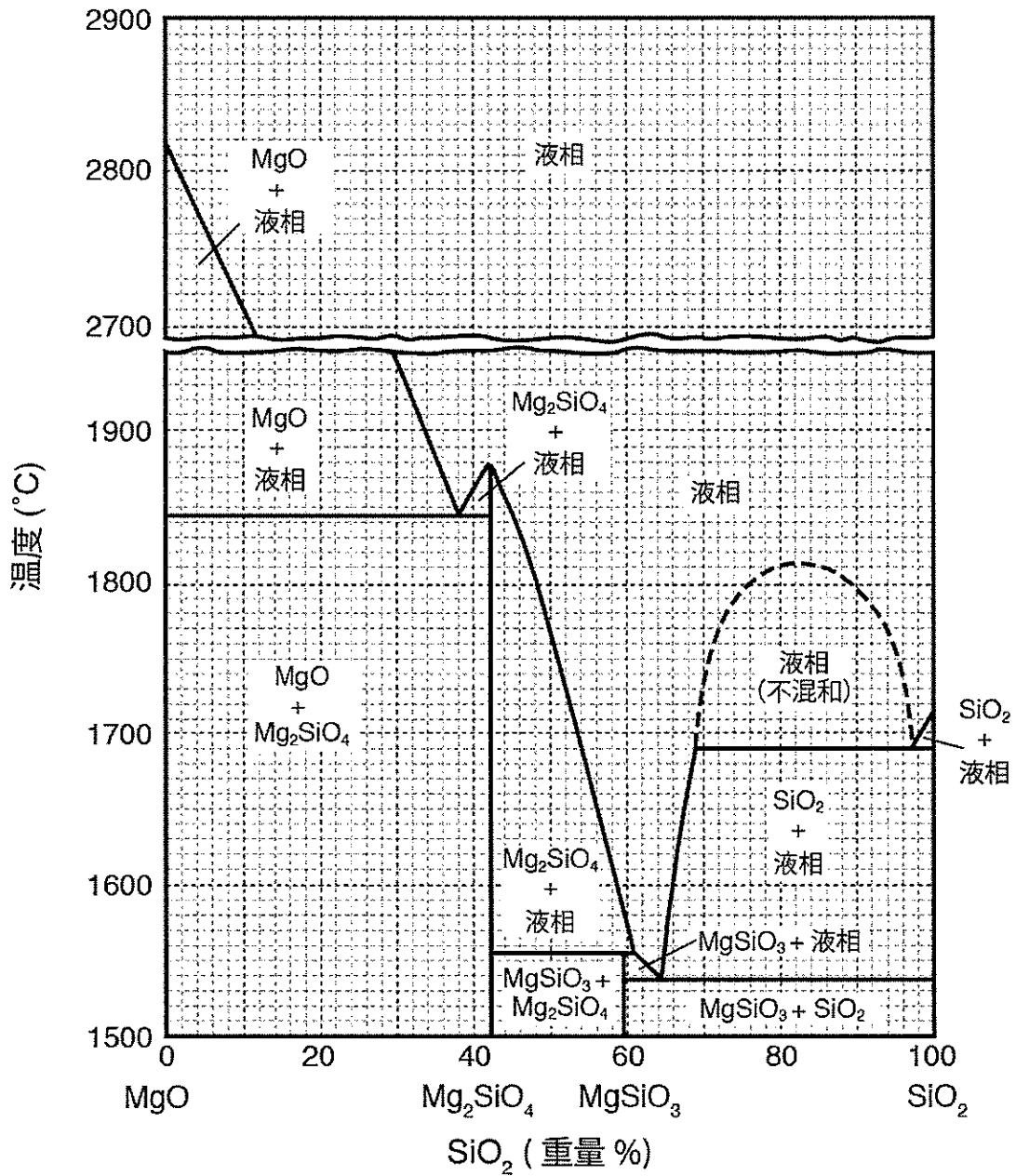


図 1

- (1) SiO_2 のみからなる鉱物の名を3つ挙げよ。
- (2) $\text{MgO} : \text{SiO}_2 = 1 : 1$ (重量比) の化学組成をもつ岩石を加熱した。(ア) 融解が始まる温度, (イ) 液相のみになる温度, (ウ) 1700°C における固相と液相の組成 (SiO_2 の重量%) を答えよ。
- (3) (2)で述べた岩石には, 部分融解前に微量元素 A が重量濃度 100 ppm で含まれていた。部分融解後に生じる固相-液相間の A の平衡分配係数が 0.4 である時, 1700°C における液相の A の重量濃度を求めよ。計算式も記せ。ここで平衡分配係数は, 固相中の重量濃度を液相中の重量濃度で割ったものとする。

- (4) 図2のように重量比 4 : 1 の MgO 単結晶と SiO_2 単結晶を接触させ, 1520°C にて加熱実験を行った。実験の初期段階には, 接触部に反応相が形成され, 最終的に反応は完了した。この反応過程における相とその分布の変化を, 図2の様な模式図を用いて, 200字程度で説明せよ。

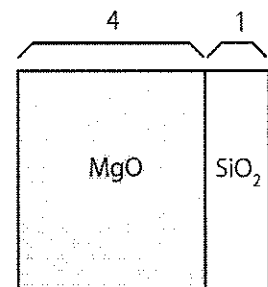


図2

- (5) 図2の MgO 結晶はペリクレーズと呼ばれ, ウスタイトと呼ばれる FeO 結晶と完全固溶体の関係をもつ。ウスタイトの融点は大気圧下で 1370°C である。図3は大気圧下での $\text{MgO}-\text{FeO}$ 系の状態図を示している。(ア) から (ウ) に入る化学式もしくは語句と, (エ) と (オ) に入る数値を答えよ。

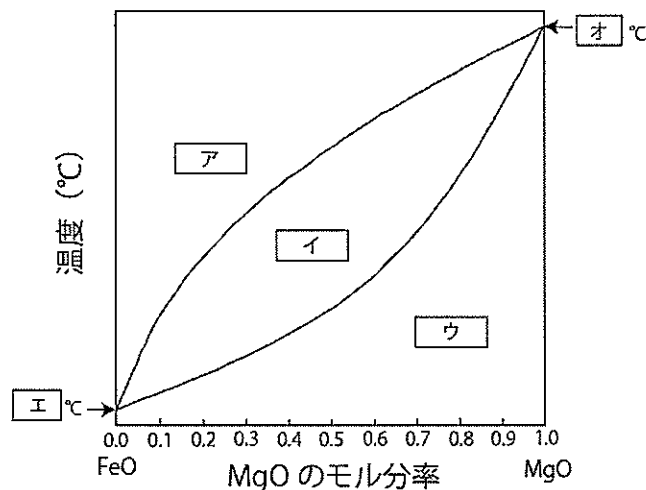


図3

(6) ペリクレーヌは、NaCl型の構造をもつ立方晶系で、格子定数は0.42 nmである。原子配列の最も密な格子面の間隔を求めよ。

II 以下の文章を読み、問いに答えよ。

岩石に応力が負荷されると、歪みが生じる。以下では、応力のある成分（例えば $\sigma = \sigma_{zz}$ ）と対応する歪みの成分（ $\varepsilon = \varepsilon_{zz}$ ）のみに注目した一次元問題を考える。岩石の応力・歪み・時間の関係を図4に示す。

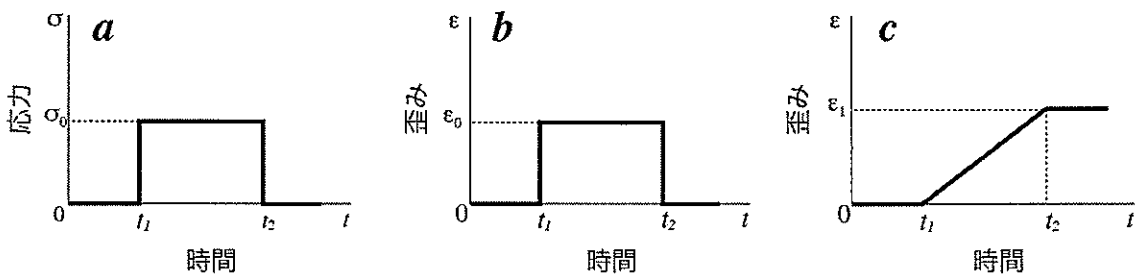


図4

応力 σ_0 を時間 t_1 から t_2 まで負荷した時（図4a）、歪みの応答は図4bと図4cで異なる。図4bでは、応力が一定の時、歪みも一定（ ε_0 ）である。この性質を弾性と呼ぶ。一方図4cでは、応力が負荷される間、歪みは線形に増加し、 t_2 に応力が取り除かれても歪み（ ε_1 ）は残留する。この性質を粘性と呼ぶ。

岩石の力学的性質は、弾性と粘性の複合モデルで近似できる。弾性と粘性の両方の性質をもつ物体を（ア）と呼ぶ。（ア）の簡単な例を2つ、図5に示す。ここでは、弾性をバネで、粘性をダッシュポットで表す。

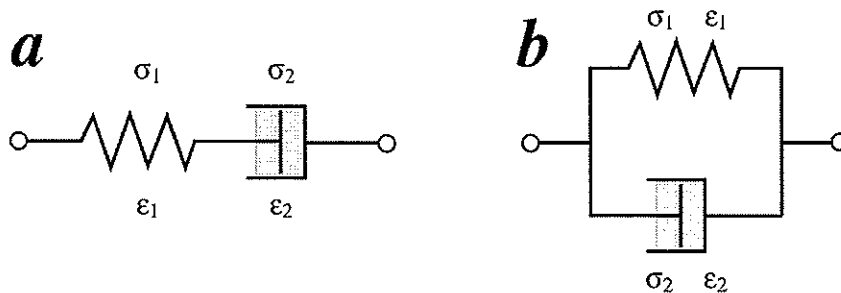


図5

図 5 a はバネとダッシュポットを直列に繋いだモデルで、(イ)モデルと呼ばれ、図 5 b は両者を並列に繋いだモデルで、(ウ)モデルと呼ばれる。図 5 a のモデルでは全応力は各要素の応力に等しく、全歪みは各要素の歪みの和に等しい。図 5 b のモデルでは、全応力は各要素の応力の和に等しく、全歪みは各要素の歪みに等しい。

(A)ここで長さ L の岩石 m を考え、 m の長さ方向への変形を見ていく (図 6)。岩石 m の中には、球形の物質 (図 6 中の黒丸) が含まれ、その力学的性質は m と等しい。時間 $t < T_1$ では、 m は静岩圧下において、 $t = T_1$ において長さ L の辺に平行な方向から $\Delta\sigma$ の圧縮差応力が負荷された。その瞬間に m は ΔL_1 短縮した (図 6 b)。 $t > T_1$ において、引き続き $\Delta\sigma$ が負荷されると、 m は一定速度で短縮し、 T_1 から T_2 までに ΔL_2 短縮した (図 6 c)。 $t = T_2$ において $\Delta\sigma$ が除荷されると、 ΔL_1 伸張し (図 6 d)、それ以後は変形しなかった。

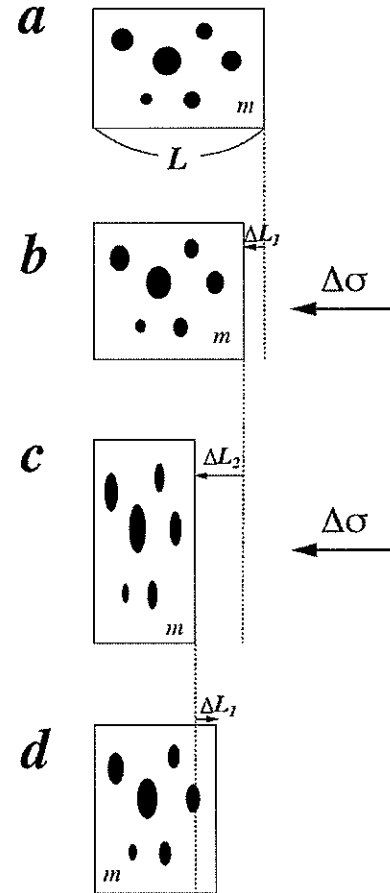


図 6

- (1) (ア) から (ウ) に適切な語句を入れよ。
- (2) 図 4 a と図 4 b で示される弾性体について、応力 σ と歪み ϵ が線形の関係であるとしてその関係式を記述せよ。
- (3) 図 4 a と図 4 c で示される粘性体について、応力 σ と歪み速度 $d\epsilon/dt$ が線形の関係であるとしてその関係式を記述せよ。
- (4) 図 5 b のモデルの全応力 σ と全歪み速度 $d\epsilon/dt$ の関係式を、バネ要素の弾性定数を γ 、ダッシュポット要素の粘性率を η として導け。
- (5) 下線部 (A) の観察結果から、
 - (5-1) 図 4 を参考に、岩石 m の応力と歪みの時間変化をそれぞれ描け。
 - (5-2) この性質を示すモデルは、図 5 の a と b のどちらが適切か答えよ。

(5-3) バネ要素の弾性率 γ ，ダッシュポット要素の粘性率 η を， $\Delta\sigma, T_1, T_2, \Delta L_1, \Delta L_2, L$ を用いて表せ。ただし， $\Delta L_1 \ll L, \Delta L_2 \ll L$ とする。

(6) 岩石 m の歪みは， m に含まれる球形物質（図 6 中の黒丸）の変形に反映される。このように歪みの指標となるものを，歪みマーカーと呼ぶ。天然岩石中では，どのような物質が歪みマーカーとして用いられるか，また，歪みマーカーを選ぶ上でどのような注意を払う必要があるか，200 字程度で答えよ。

地球科学

【第11問】

I 地球史における大気海洋中の酸素濃度は、図1に示すようないくつかの酸化還元状態の異なるステージを経て進化してきたと考えられている。このような酸素濃度の変遷に関して、以下の問いに答えよ。

(1) ステージ1から2への変遷は、約25～20億年前に起きたと考えられている。このことを示唆する以下の観測事実から2つを選び、どのような理由から、これらが大气酸素濃度の上昇を示唆すると解釈されるのか、それぞれ60字程度（合計120字程度）で説明せよ。

- (a) 縞状鉄鉱床の形成
- (b) 碎屑性ウラン鉱床・黄鉄鉱鉱床の消失
- (c) 堆積物中の硫化物および硫酸塩に見られる硫黄の質量非依存同位体分別の消失
- (d) 硫酸還元バクテリアの活動を示唆する、著しい硫黄の同位体分別を受けた堆積物中の硫化物および硫酸塩
- (e) 無機炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) の正異常

(2) ステージ2から3への変遷は、約7～5億年前に生じたと考えられている。これを示唆する観測事実の1つとして、黒色頁岩層中のモリブデン濃度変化が挙げられる（図2）。モリブデンは、海洋の酸化還元状態に敏感な元素であり、酸化的環境ではイオンとなって海洋に溶存しているが、還元的環境では溶存しにくくなり堆積物に取り込まれやすい。現在の海洋では、海洋に供給されたモリブデンは、黒海などの局所的な貧酸素海域において還元されて、堆積物に取り込まれている。このことを踏まえて、図2に見られる約7～5億年前の黒色頁岩層中のモリブデン濃度変化が、ステージ2から3への変遷を示唆すると解釈される理由を、150字程度で説明せよ。

(3) ステージ3である顕生代においても、海洋深層の大部分が一時的に貧酸素状態に陥る海洋無酸素事変が何度か生じていた。特に、白亜紀中期やペ

ルム紀末の海洋無酸素事変は、大規模な火成活動が引き金となって生じたと考えられている。火成活動が活発になると、海洋が貧酸素状態に陥ると考えられる理由を100字程度で説明せよ。

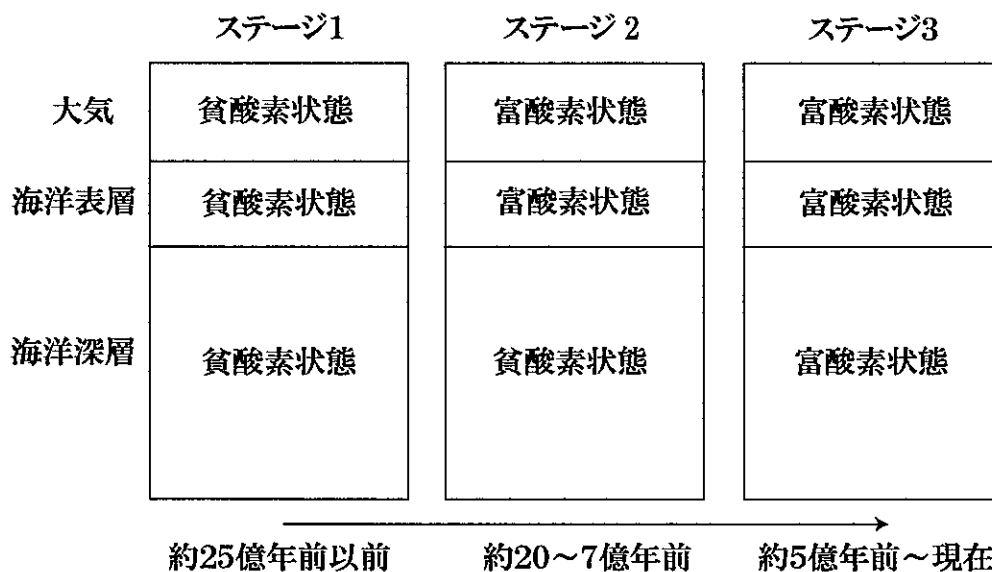


図1 地球史における表層環境中の酸素濃度進化 (Kasting, 1993 に基づく)

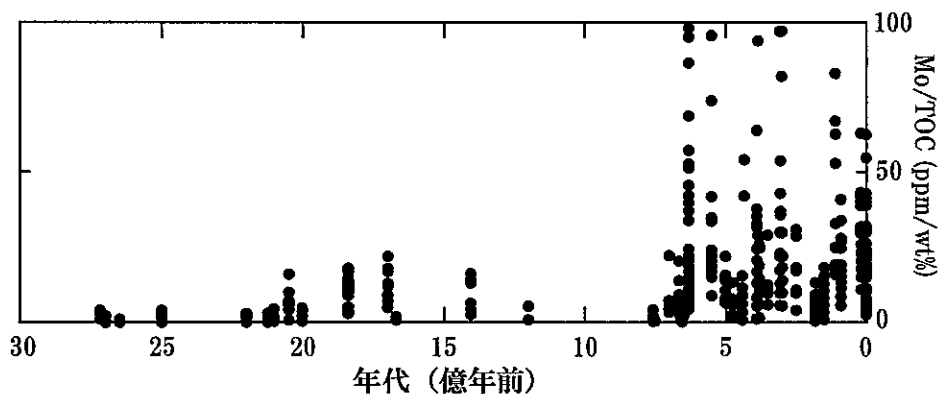


図2 世界各地の黒色頁岩層における、全有機炭素量 (TOC) で規格化したモリブデン量 (Mo) の時間変化 (Sahoo et al., 2012 に基づく)

II 図3は、テキサス州南東部の河川に沿って発達する複数の河岸段丘の地形と表層地質を調査した結果を示す。段丘面の上には当時の河川の河道の跡が残っており、その形状の計測や、段丘が形成されたときに堆積した堆積物の収集・分析が可能である。以下の(1)～(3)の問いに答えよ。

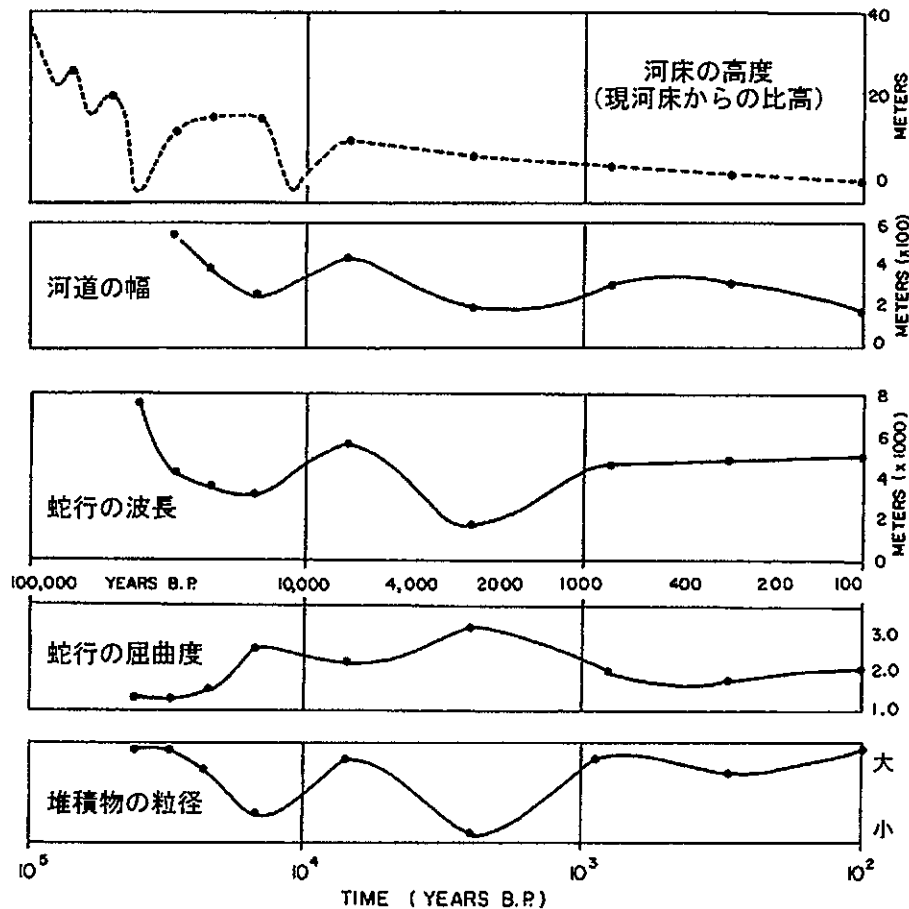


図3 テキサス州南東部の河岸段丘上に残された河道において計測した、河道の高度・形状および堆積物の特徴。河道高度は現在の河床からの相対値。横軸は西暦1950年から過去へ遡った年代値を示す。(Baker and Pentead-Orellana, 1977 に加筆)

- (1) 図3によると、河道の幅、蛇行の波長、堆積物の粒径は正の相関を示し、それらは蛇行の屈曲度（流路に沿って計測した河道の長さと、河道の始点と終点を結ぶ直線の長さとの比）とは負の相関を示す。このような相関は他地域でも広くみられる。これらの相関が普遍的に生じる水理学的な理由を、150字程度で記述せよ。

- (2) 図3に示した調査を行った地域は、現在は半乾燥気候下にあるが、約3千年前および約2万年前には植生がより密であったことが判明している。この情報を踏まえて、約2万年前以降の河道の地形と堆積物の特徴の変化をもたらした原因を、気候および地表の状態の変化と関連づけて200字程度で説明せよ。ただし人為活動の影響が強いと考えられる各グラフの右端の点は無視せよ。
- (3) 過去数万年間の地球規模の気候変化は、日本の地形変化にも強い影響を及ぼしている。東北から中部日本の山間の河谷とその下流の盆地について、最終氷期後半と完新世に河川が形成した地形の特徴の一般的な違いを、2つの時期の豪雨頻度の違いに注目して200字程度で説明せよ。