

2020（令和 2）年度 地球惑星科学専攻 大学院修士課程入学試験

試 験 問 題

基 礎 科 目

- * 試験時間は3時間.
- * 試験終了時刻前の退出は不可.
- * 問題冊子は、表紙を含めて27頁.
- * 問題1～7の7題のうちから2題を選択して解答すること.
- * 解答は、問題毎にそれぞれ別の解答用紙に記入すること.
それぞれの解答用紙の上部の所定欄に、受験番号、氏名、問題番号（1～7）を記入すること.
- * 解答用紙が不足する場合には、解答用紙裏面に解答を続けて記入してよい。その場合は解答が続くことを明示すること。追加の解答用紙を希望する場合は、試験時間中に挙手し、監督者に申し出ること.
- * 解答用紙は、白紙の場合も、すべてを提出すること.
- * 黒鉛筆または黒い芯のシャープペンシルを使用すること.
- * 時計類、定規類、電卓類の持ち込みは禁止.
- * 解答は日本語で行うこと.

基礎科目（問題 1）

以下の問 [1] ～ [3] に答えよ。導出過程も示すこと。

[1] 以下の小問 (1) ～ (4) に答えよ。

(1) xyz 直交座標系におけるスカラー関数 $\phi = 4x^3yz^2$ について、 $\nabla \cdot (\nabla\phi)$ および $\nabla \times (\nabla\phi)$ をそれぞれ求めよ。

(2) 次の定積分を求めよ。

$$\int_0^1 \log(1 + \sqrt{x}) dx$$

ここで \log は自然対数である。

(3) 関数 $f(x) = (1 - x^2)^{-1}$ について、 n 階導関数を求めよ。ただし、 n は任意の正の整数とする。

(4) 次の行列 A について、 $\lim_{n \rightarrow \infty} A^n$ を求めよ。ただし、 n は正の整数とする。

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} \\ \frac{3}{4} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

(問題 1 次ページに続く)

[2] 実関数 $f(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ は, $i = \sqrt{-1}$ として,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

と定義されるものとする. 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

- (1) $F(\omega)$ の実部を $X(\omega)$, 虚部を $Y(\omega)$ とするとき, $F(\omega)$ の絶対値 (振幅) $A(\omega)$ と偏角 (位相) $\phi(\omega)$ を $X(\omega)$ と $Y(\omega)$ を用いて表せ.
- (2) $F(\omega)$ の位相を ωt_0 だけ遅らせたときの関数 $\tilde{F}(\omega)$ を, $A(\omega)$ と $\phi(\omega)$ を含む関数形で表せ. ただし, t_0 は正の定数とする.
- (3) $\tilde{F}(\omega)$ をフーリエ逆変換して得られる関数 $\tilde{f}(t)$ を, $f(t)$ を含む関数形で表せ. また, $\tilde{f}(t)$ が $f(t)$ とどのような関係にあるか説明せよ.

[3] 関数 $f(x)$ に関する次の微分方程式を考える.

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} + 4 \frac{df(x)}{dx} + 4f(x) = R(x)$$

以下の小問 (1), (2) に答えよ.

- (1) $R(x) = 0$ のときの一般解を求めよ.
- (2) $R(x) = e^{2x}$ のときの一般解を求めよ.

(問題1 終わり)

基礎科目（問題2）

以下の問 [1] ~ [3] に答えよ.

[1] 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

- (1) 波長 $4.7 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光の振動数は何 Hz か. 光の速さはおよそ $2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ である.
- (2) 半径 R , 質量 M の密度一様な球がある. この球の中心軸に関する慣性モーメントを求めよ.
- (3) 質量 M の大砲が, なめらかな水平面上で質量 m の砲弾を水平に発射する. 大砲を固定した場合と固定しない場合との砲弾の初速度の比を求めよ. ただし, 火薬の質量は無視でき, 火薬のエネルギーはすべて大砲と砲弾の運動エネルギーに変換されるものとする.

(問題2 次ページに続く)

- [2] 質量 $2M$ 、長さ $2L$ で密度一様な棒 AB を中心 O で直角に折り曲げる．これを図1のように、鉛直な壁に水平方向に距離 a ($a < \sqrt{2}L$) だけ離して打った2つの釘 P 、 Q に引っ掛ける． O 、 A 、 B は常に壁に接し、 OA 、 OB はそれぞれ P 、 Q に接して運動するものとする． OA と PQ とのなす角度を θ 、重力による位置エネルギーを U とする．なお、重力加速度を g 、位置エネルギーの基準は PQ の高さとする．また、棒と釘の太さと変形は無視し、棒はなめらかで摩擦力は働かないとする．以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ．

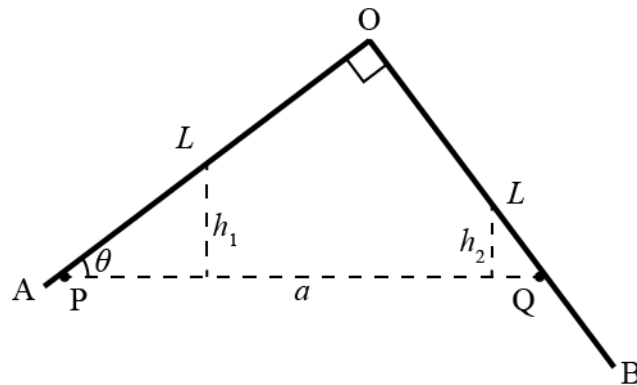


図1

- (1) OA および OB の重心の PQ からの高さをそれぞれ h_1 、 h_2 とする． h_1 、 h_2 、および U を M 、 L 、 a 、 θ 、 g のうち必要なものを用いて表せ．
- (2) 仮想的に θ が微小量 $\delta\theta$ だけ変化したとき、 U は微小量 δU だけ変化する． δU を M 、 L 、 a 、 θ 、 $\delta\theta$ 、 g のうち必要なものを用いて表せ．
- (3) 釣り合いの位置の θ を全て求めよ．ただし、 $0 < \theta \leq \pi/4$ の場合のみを考える．導出過程および解の存在条件も示すこと．

(問題2 次ページに続く)

[3] 地球は自転しているため、地表で測った重力の値は緯度とともに変わる。周期 2.00 秒の振り子（秒振り子という）によってある地点で正確に時を刻む振り子時計は、異なる緯度の地点にもっていくと進んだり遅れたりする。ただし、秒振り子の振幅は、秒振り子の長さに比べ十分小さいとする。また、円周率は $\pi = 3.14$ とし、地球を半径 R の密度一様な球とみなす。以下の小問（1）～（3）に答えよ。

- (1) 重力加速度が $g = 9.80 \text{ m s}^{-2}$ の地点での秒振り子の長さを求めよ。
- (2) 重力加速度が g_A である A 地点で正確に時を刻む振り子時計を B 地点にもっていったところ、時計の表示は 1 日が経過した時点で t 秒遅れた。1 日の長さを T 秒として、B 地点の重力加速度 g_B を、 g_A 、 t 、 T を用いて表せ。
- (3) 地心緯度 α (図 2) における地表面上の重力加速度 g を求めよ。なお、北極点、南極点での重力加速度を g_0 とし、地球の自転の角速度を ω とする。

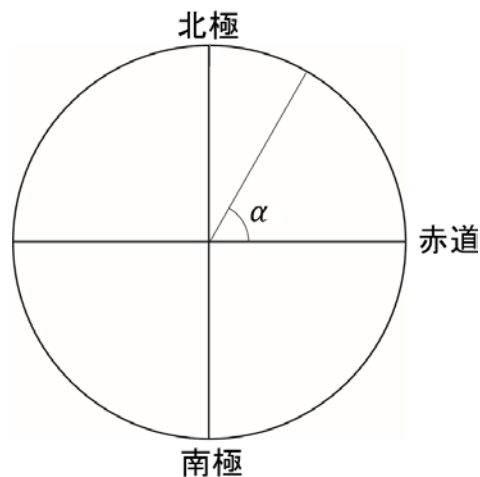


図 2

(問題 2 終わり)

基礎科目（問題 3）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 次の文章を読み, 下の小問 (1) ~ (4) に答えよ.

SI 単位系において, 媒質中のマックスウェル方程式は,

$$\text{rot } \vec{E} = \boxed{\text{ア}} \quad \text{①}$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{②}$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \quad \text{③}$$

$$\text{div } \vec{B} = \boxed{\text{イ}} \quad \text{④}$$

と表される. ただし, \vec{E} , \vec{H} , \vec{D} , \vec{B} は, それぞれ電場, 磁場, 電束密度, 磁束密度, ρ と t は, 体積電荷密度と時刻である. 伝導電流密度 \vec{j} は, 電気伝導度 σ の媒質が速度 \vec{v} で運動している場合には,

$$\vec{j} = \boxed{\text{ウ}}$$

と書ける. また, \vec{E} と \vec{D} , および, \vec{H} と \vec{B} の間には, 誘電率 ε と透磁率 μ を介し,

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad \text{⑤}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad \text{⑥}$$

の関係が成り立っているとする. ただし, σ , ε , μ は, いずれも定数とする.

(1) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ~ $\boxed{\text{ウ}}$ を埋めよ.

(2) 式②で右辺第二項が無視できるとき, 磁束密度 \vec{B} に対する誘導方程式が次式で与えられることを, その導出過程と共に示せ. ただし, 式中 Δ は, ラプラシアンを表す.

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{1}{\sigma \mu} \Delta \vec{B} + \text{rot}(\vec{v} \times \vec{B})$$

(問題 3 次ページに続く)

(3) 二つの比 $\frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|}$ と $\frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|}$ が、それぞれ電気抵抗と速度の次元を持つことを示せ。

(4) 式 ① ~ ⑥ を用い、電磁場のエネルギーに関して次の式 (A) が成り立つことを、その導出過程と共に示せ。また、この式の各項の物理的な意味も簡潔に記せ。

$$-\frac{\partial W}{\partial t} = \iiint_V \vec{E} \cdot \vec{j} dV + \iint_S (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} \quad (\text{A})$$

ただし、 S はある体積 V の表面を表し、 $d\vec{S}$ と dV は、それぞれ面積要素と体積要素であり、 $d\vec{S}$ の向きは V の外向きを正とする。また、 W は、

$$W = \frac{1}{2} \iiint_V (\epsilon |\vec{E}|^2 + \mu |\vec{H}|^2) dV$$

で定義される。必要なら、任意のベクトル場 \vec{P} , \vec{Q} に対して成り立つ公式、

$$\text{div}(\vec{P} \times \vec{Q}) = \vec{Q} \cdot \text{rot} \vec{P} - \vec{P} \cdot \text{rot} \vec{Q}$$

を使ってよい。

(問題 3 次ページに続く)

[2] xyz 直交座標系において, 質量 m , 電荷 q ($q > 0$) を持つ質点が真空中を運動するとき, 以下の小問 (1), (2) に答えよ. ただし, 重力の影響は無視できるものとする.

(1) 磁束密度 $\vec{B} = (0, 0, B_0)$ で与えられる一様な静磁場中において, この質点が磁場に垂直な面内を速さ v_0 で運動している. 電場は存在しないとして, 質点の回転半径と周期を求めよ. ただし, B_0 は正の定数とする.

(2) 磁束密度 $\vec{B} = (0, 0, B_0)$ で与えられる一様な静磁場と静電場 $\vec{E} = (kx, ky, -kz)$ が存在するとき, 以下の問 (i) ~ (iii) に答えよ. ただし, B_0 と k は正の定数とする.

(i) 質点の運動方程式を座標成分ごとに記せ.

(ii) (i) の運動方程式に基づき, 質点の z 方向の運動について簡潔に説明せよ.

(iii) 質点の運動を xy 平面に投影したとき, 質点の取る軌道を導出し, その概略を説明せよ. ただし, 質点の初期速度は零ではなく, $B_0^2 > \frac{4km}{q}$ であるとする.

(問題3 終わり)

基礎科目（問題 4）

以下の問 [1] ～ [4] に答えよ。なお、任意の物質 A の濃度は [A] と表記する。

[1] 以下の小問 (1) ～ (3) に答えよ。

(1) $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ の氷 0.2 kg をすべて融解させて、 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ の液体の水にするために必要なエネルギーを、単位をつけて小数点以下第一位まで答えよ。ただし、氷の比熱は $2.1\text{ kJ K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$ 、液体の水の比熱は $4.2\text{ kJ K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$ 、氷の融解熱は 334 kJ kg^{-1} とする。

(2) 大気中に含まれる水蒸気量を表す諸量の一つに比湿がある。比湿とは、湿潤空気（乾燥空気と水蒸気の混合気体）の密度に対する、湿潤空気に含まれる水蒸気の密度の比である。比湿を q 、水蒸気圧を e 、大気圧を p とすると、

$$q \cong 0.62 \frac{e}{p}$$

という近似式が成り立つことを示せ。ただし、大気分子は理想気体とみなす。また、乾燥空気の分子量は 29、水の分子量は 18 とする。

(3) 実在気体の振る舞いは、低圧かつ高温になるほど、理想気体の状態方程式によって近似的に表すことができる。その理由を二つ簡潔に述べよ。

[2] 以下の小問 (1) ～ (3) に答えよ。

(1) 少量の NH_3 を水に溶かした。 NH_3 の塩基解離定数を K_b 、 NH_4^+ の酸解離定数を K_a 、水のイオン積を K_w とする。 $K_b \times K_a = K_w$ であることを示せ。

(2) 安息香酸 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OOH}$) とフェノール ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) の酸解離定数は、それぞれ 6.3×10^{-5} および 1.3×10^{-10} である。 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- (\text{aq})$ と $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^- (\text{aq})$ のどちらが強い塩基か答えよ。

(3) X と Y の混合液を X / Y と表すとき、以下に示す (ア) ～ (オ) のうち緩衝液に分類されるものをすべて答えよ。

- (ア) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 / \text{NaH}_2\text{PO}_4$ (イ) $\text{KNO}_2 / \text{HNO}_2$ (ウ) $\text{NH}_3 / \text{NH}_4\text{NO}_3$
(エ) KCl / HCl (オ) $\text{KHSO}_4 / \text{H}_2\text{SO}_4$

(問題 4 次ページに続く)

[3] 主要族元素の第一イオン化エネルギーと原子番号の関係を図1に示す。下の小問(1)～(5)に答えよ。

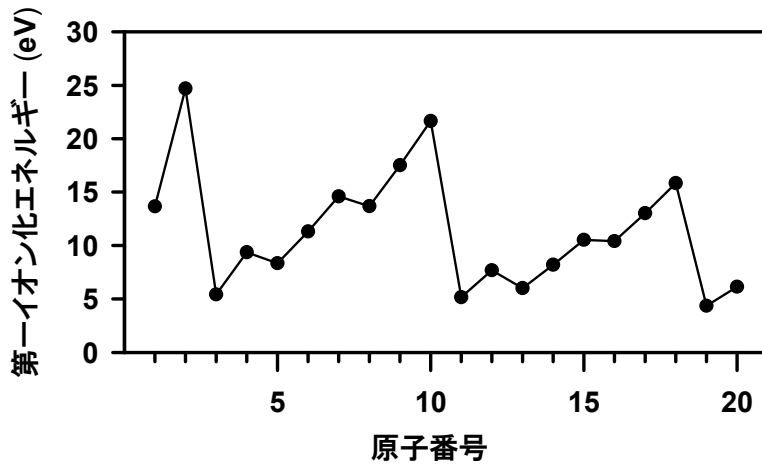


図1

- (1) 周期表の同じ族では、原子番号が大きいほど、第一イオン化エネルギーが減少する傾向がある。この理由を簡潔に述べよ。
- (2) 周期表の同じ周期では、原子番号が大きいほど、第一イオン化エネルギーが増加する傾向がある。この理由を簡潔に述べよ。
- (3) 上記の小問(2)の傾向については例外も認められる。その一つとして、ホウ素の第一イオン化エネルギーはベリリウムのそれよりも小さい。この理由を簡潔に述べよ。
- (4) 原子番号 Z の水素類似原子における主量子数が n のエネルギー E_n (eV) は

$$E_n = -13.6 \frac{Z^2}{n^2}$$

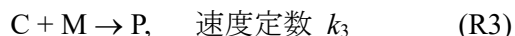
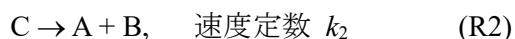
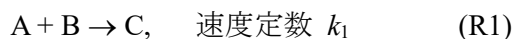
で与えられる。He 原子の第二イオン化エネルギーを求めよ。

- (5) Li 原子の第一イオン化エネルギーは 5.39 eV である。一方、Li 原子の炎色反応で検出される 671 nm の発光は、2p 軌道から 2s 軌道への遷移に起因する。Li 原子の 2p 軌道のエネルギーを求めよ（実際には、671 nm の発光は近接した二波長の光を含むが、ここでは単色として扱う）。なお、光のエネルギーと波数の換算式として $1 \text{ eV} = 8065 \text{ cm}^{-1}$ を用いよ。

(問題4 次ページに続く)

[4] 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

- (1) ある温度において分子 A, B から生成物 P が生成するには, 次に示す三つの反応 R1~R3 を経る. 下の問 (i), (ii) に答えよ.



- (i) R1 により C が生成する速度, および, R2 により C が分解する速度を与える式をそれぞれ書け.

- (ii) [C] の時間変化が無視できるとき, $k_2 \ll k_3 \times [M]$ の条件での P の生成速度は [M] の何次反応か. 理由とともに答えよ.

- (2) 速度定数がアレニウスの式に従う二つの反応 R4 と R5 がある. 温度 300 K における R4 と R5 の速度定数は等しく, かつ, R4 のほうが活性化エネルギーが大きいことがわかっている. 温度 250 K における速度定数が大きいのはどちらの反応か答えよ.

- (3) 炭酸カルシウムの反応 $\text{CaCO}_3 (\text{固体}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{固体}) + \text{CO}_2 (\text{気体})$ は, 温度によって進む向きが変わる. 高温 (例えば 900 °C) では右向きに進み, 室温では左向きに進む. この反応は右向きに進むときは吸熱反応である. 以下の問 (i), (ii) に答えよ.

- (i) 右向きに進む反応のエンタルピー変化, および, エントロピー変化は, それぞれ正負のどちらであるか答えよ.

- (ii) 温度により反応の方向が変わる理由を, エンタルピー変化, エントロピー変化, ギブス自由エネルギー変化という三つの術語を用いて簡潔に説明せよ.

(問題 4 終わり)

基礎科目（問題 5）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 次の文章を読み, 下の小問 (1) ~ (7) に答えよ.

海嶺は, プレートが新たに生産される場所, すなわち 型プレート境界である. アフリカとアラビア半島西岸の間の海である や, その南に位置するアデン湾の海洋底にも海嶺が見られる. これらの海は, 海洋底拡大の初期の段階にある. 型プレート境界が陸上に現れている部分を, 例えばアフリカ東部に見ることができる. そこには, と呼ばれる谷状の地形が 南端から全長 4000 km 以上に及んで断続的に連なって発達する.

中央海嶺付近の海洋底には, 海嶺軸にほぼ直交して発達する直線的な急崖が多数見られ, 断裂帯と呼ばれている. ①この断裂帯を境にして, 海嶺軸にずれが見られること, また, 中央海嶺近傍の海洋底に記録された地磁気異常の縞模様についても, この断裂帯を境にずれが見られることなどから, 断裂帯は横ずれ断層だと考えられていた. 1960 年代になってトランスフォーム断層という新しい断層の概念が提唱され, 海嶺にみられるこうした不連続は, トランスフォーム断層によって説明された.

異なるプレート間の相対運動は, 地球の中心を通る軸まわりの回転として記述される. 回転軸と地球表面の交点である回転極を とよぶ. 相対運動速度ベクトルは, 回転ベクトル (角速度ベクトル) と, 計測する地点の位置ベクトルとの外積 (ベクトル積) で表される. トランスフォーム断層の方向や, そこで発生する地震の記録は, プレート間相対運動における回転極の位置を推定するための貴重な情報である. 一方, 地磁気異常の縞模様が記録した地磁気逆転の情報を利用することで, プレート間の相対運動速度を推定することができる. このとき必要な時間の尺度として, 例えば, およそ 400 万年前までの時代について②陸上の火山岩を調べて明らかになっている古地磁気編年を用いればよい. さらに, 深海底掘削研究により, より古い海洋底の年代も明らかになっている. 北大西洋西部や北西太平洋の海洋底では, 海洋底の地磁気異常の縞模様として最も古いもので, に形成されたものが見られる.

(問題 5 次ページに続く)

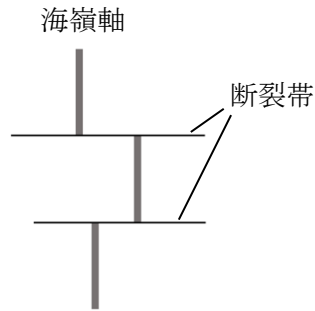


図 1

- (1) 空欄 ~ に入る適切な語を答えよ.
- (2) 空欄 に入る適切な年代を以下の語群から選べ.

【語群】 1 億 6000 万年前 (ジュラ紀後期) 2 億 8000 万年前 (ペルム紀前期)
3 億年前 (石炭紀後期)

- (3) 図 1 に示した海嶺軸, 断裂帯の模式図において, トランスフォーム断層はどの部分に相当するか. 解答用紙に図 1 と同様の図を描き, その範囲を図示せよ.
- (4) 下線部①の内容について, 海嶺軸の見かけ上のずれは, トランスフォーム断層の実際のずれの向きと逆であることが知られている. なぜこのような状況が生じるのかを説明せよ.
- (5) あるプレート A とプレート B との境界上の北緯 60° の地点における相対運動速度は, 5.0 cm/年 であることがわかった. プレート AB 間の相対運動の回転極は北極点であるとする. 地球を半径 6400 km の球とするとき, この二つのプレート間相対運動の回転ベクトルの大きさ (角速度) はどの程度になるか. 単位を $^\circ/100 \text{ 万年}$ として有効数字 1 桁で値を求めよ.

(問題 5 次ページに続く)

- (6) あるプレート C とプレート D との境界について、赤道上の二つの地点で以下のデータが得られた。経度 0° の地点には収束型境界があり、そこで発生した地震のスリップベクトルの方位が、北から時計回りに 105° であった。一方、東経 90° の地点には、子午線に平行に発達する海嶺軸を持つプレート境界があり、海嶺に直交するトランスフォーム断層が観察された。以上のデータを用いて、この二つのプレート間相対運動の北半球における回転極の緯度・経度を求めよ。
- (7) 下線部②の陸上の火山岩を用いた古地磁気編年においては、K-Ar 法による年代測定の結果が利用されている。K-Ar 法においては、試料中の Ar についてある仮定をおくことで、一つの試料から年代値を計算できる。どのような仮定がおかれるか、簡潔に説明せよ。

(問題 5 次ページに続く)

[2] 次の文章を読み、下の小問（1）～（6）に答えよ。

プレートテクトニクスの基本的な考えは、地球の表面がいくつかの固いプレートで覆われ、それらが①軟らかく変形しやすい層の上を互いに運動しているというものである。このプレートの下の軟らかい層は、主に固体物質より構成されるが、地質学的な長い時間スケールの中ではあたかも流体のようにふるまう。一方、プレートも完全な剛体ではなく、地震時に弾性体のようにふるまうとともに、長い時間スケールでは流動的な挙動を示す。ここでは簡単な例として、弾性と粘性の2つの物性を考えよう。現実の3次元の物体の応力および歪^{ひずみ}には、それぞれ 個の独立なテンソル成分があるが、ここでは1次元で表現し、単一の応力成分 σ と単一の歪成分 ε で代表させる。歪 ε が応力 σ に比例する理想化された物体を 固体といい、図2 (a) のバネで模型的に表わす。比例定数を P とすると、その挙動は次の式で表される。

$$\sigma = P\varepsilon$$

一方、歪速度 $\dot{\varepsilon} (= d\varepsilon/dt)$ が応力 σ に比例する物体を 流体とよび、図2 (b) のダッシュポットで表わす。式で表わすと比例定数 Q を用いて

$$\sigma = Q\dot{\varepsilon}$$

のように書ける。これらの要素を図2 (c) のように直列につないだ 物体、および図2 (d) のように並列につないだ 物体は粘弾性を示し、一定の応力をかけると共にクリープを起こす。

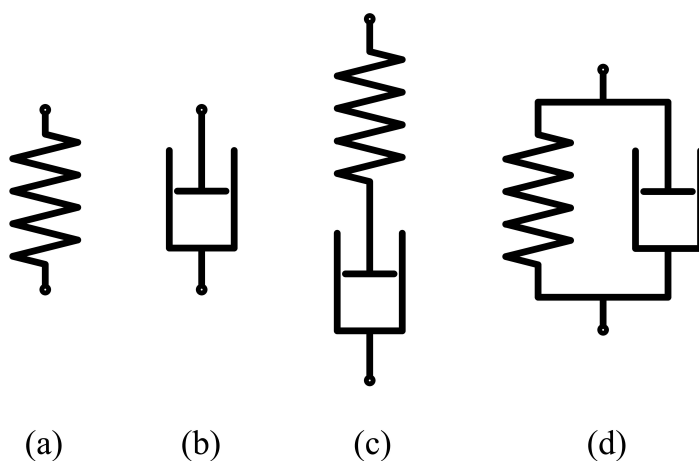


図2

(問題5 次ページに続く)

(1) 下線部 ① を表わす術語を以下の語群から選べ。

【語群】 マントル, アセノスフェア, リソスフェア, 和達-ベニオフ帯

(2) 空欄 に入る数字を答えよ。

(3) 空欄 ~ に入る適切な語を以下の語群から選び, カナまたは英字で答えよ。

【語群】 フック (Hooke), マクスウェル (Maxwell), ニュートン (Newton),
フォークト (Voigt)

(4) 図3のように, 時刻 t_0 において急に応力を与え, そのまま一定の応力をかけ続けた。
このときの 物体および 物体のふるまいを図4の A ~ F からそれぞれ選べ。

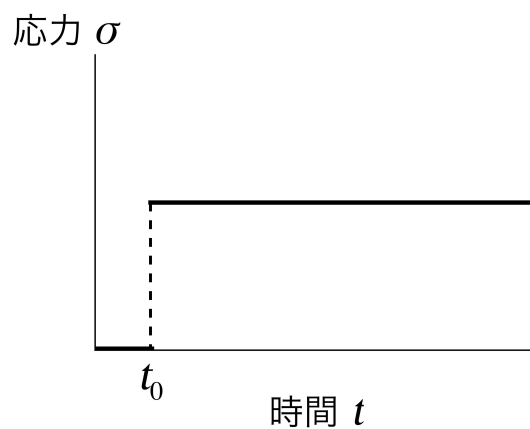


図3

(問題5 次ページに続く)

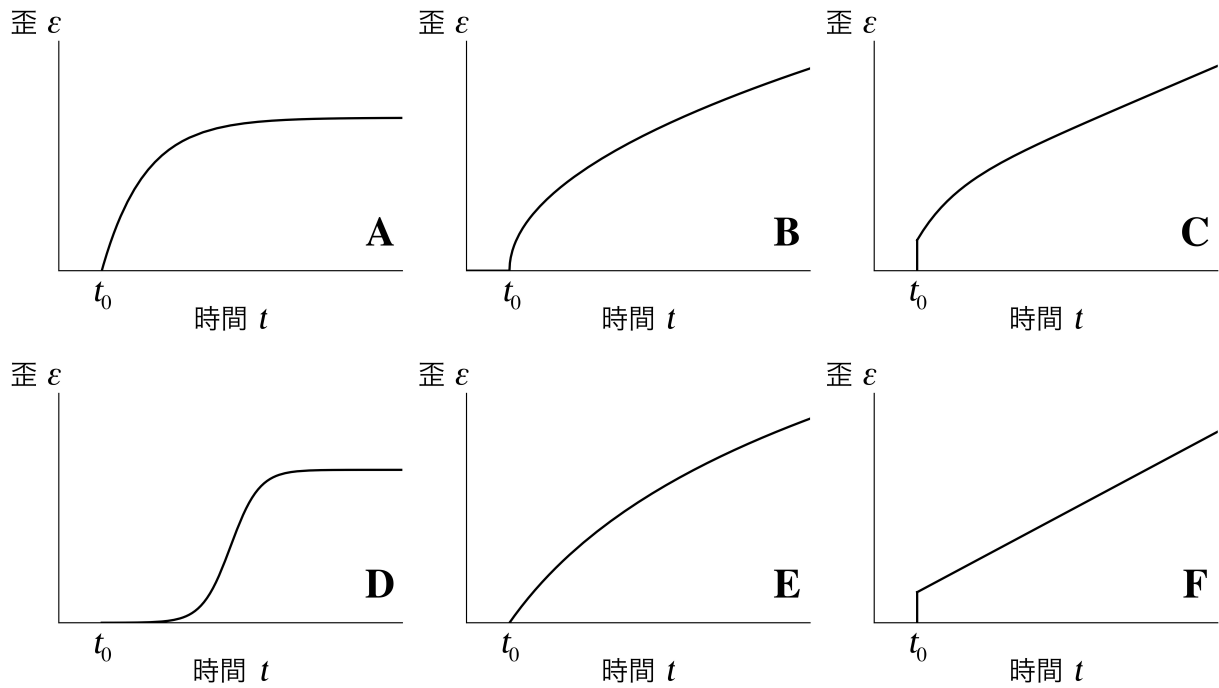


図4

- (5) 歪を一定に保った場合、 物体は応力緩和を示す。応力 σ が初期応力の $1/e$ にまで減少するのに要する時間 t_e を導出せよ。ただし、 e は自然対数の底を表わす。
- (6) 地殻やマントルを構成する物質を実験室で高温高圧下で変形させると、 流体のような挙動でなく、 σ が $\dot{\epsilon}$ の^{べき}乗であらわされる流動を示すことがある。このときの流動メカニズムを表わすクリープの名称をひとつあげよ。ただし、3次元応力では σ は差応力に対応する。

(問題5 終わり)

基礎科目（問題6）

以下の問 [1] ~ [4] に答えよ。

[1] 主な炭酸塩鉱物の鉱物名，化学式を表1に示す。下の小問（1）～（3）に答えよ。

表1

鉱物名	方解石 (calcite)	あ	マグネサイト (magnesite)	い
化学式	う	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	え	FeCO_3

(1) 表1中の ~ にあてはまる語を，以下のそれぞれの語群から選べ。

【語群（鉱物名）】 ジプサム (gypsum) ドロマイト (dolomite)
 バライト (barite) シデライト (siderite)

【語群（化学式）】 CaSiO_3 CaCO_3 MgCO_3 MnCO_3

(2) 方解石と多形（同質異像）の関係にある鉱物を一つ答えよ。

(3) 表1に示した炭酸塩鉱物 を化学分析したところ表2の結果を得た。表2中の ~ に入る数値を答えよ。

表2

	重量%	原子量	モル比
C	ア	12	2
O	イ	16	6
Mg	ウ	24	1
Ca	エ	40	1
合計	100		

(問題6 次ページに続く)

[2] 次の文章を読み、下の小問（1）～（9）に答えよ。

二種類の陽イオン A、B と一種類の陰イオン X からなるイオン結晶には、図 1 に示す結晶構造を持つものがある。この結晶構造では、一辺の長さが a の立方体単位格子の中心に B が、頂点に A が位置し、X は立方体のすべての面の中央にある。この構造は、一般的に ア 構造と呼ばれる。

組成式が イ とあらわされるケイ酸塩 ア（ブリッジマナイト）は、地球の ウ を構成すると考えられている。このケイ酸塩 ア の構造は、厳密には図 1 に示す構造からはずんでおり、その結果、空間群 $Pbnm$ ($P2_1/b2_1/n2_1/m$) になる。

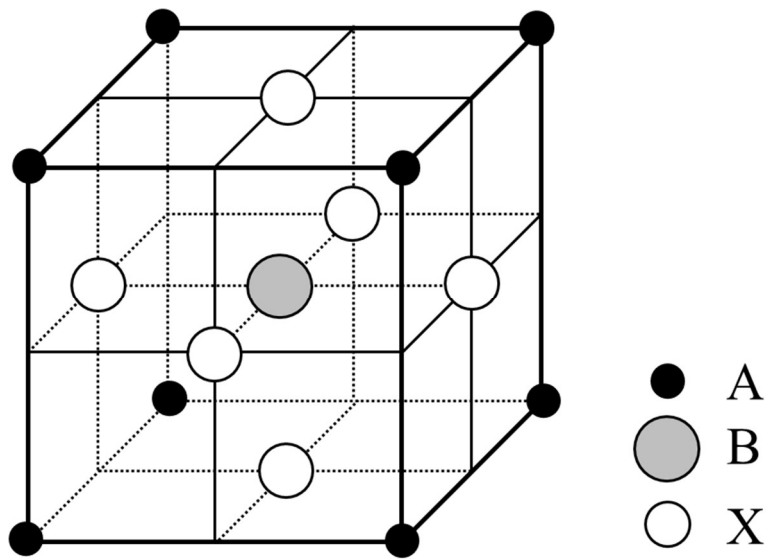


図 1

- (1) 図 1 に示すイオン結晶の組成式を、A、B、X を用いて表わせ。
- (2) A および B の配位数をそれぞれ答えよ。
- (3) 図 1 のイオン結晶の単位格子の一辺が $a = 0.38 \text{ nm}$ であるとする。イオン半径 0.14 nm を持つ X が、A および B に接していると仮定して、各陽イオンの半径は何 nm か、小数点以下第二位まで求めよ。
- (4) 図 1 のイオン結晶の結晶系は何か、その理由とともに答えよ。
- (5) 図 1 のイオン結晶のブラベー格子の種類を答えよ。

(問題 6 次ページに続く)

(6) 図1のイオン結晶の空間群として最も適しているものを、以下から選べ。

【空間群】 $Pm\bar{3}m$ $Im\bar{3}m$ $Fm\bar{3}m$ $Pmma$ $Cmma$ $Imma$ $Fmmm$
 $P4bm$ $I4cm$

(7) 文中の ア ~ ウ にあてはまる適切な語を、以下の語群からそれぞれ選べ。

【語群】 ペロブスカイト イルメナイト オリビン 地殻 上部マントル
 下部マントル 外核 内核 $MgSiO_3$ Mg_2SiO_4 $MgAl_2O_4$ $CaTiO_3$

(8) 下線部の空間群 $Pbnm$ ($P2_1/b2_1/n2_1/m$) の結晶系と点群をそれぞれ答えよ。

(9) 下線部の空間群 $Pbnm$ ($P2_1/b2_1/n2_1/m$) をもつ鉱物について X 線回折実験を行った際に出現する回折線を、次の中から全て答えよ。表3, 4には, 2_1 らせん軸および映進面による消滅則を示している。

100 200 010 020 001 002 011 013 023
 102 201 103 110 210 220 312 224 243 135

表3 2_1 らせん軸による消滅則 (h, k, l は整数)

らせん軸の方向	a 軸に平行	b 軸に平行	c 軸に平行
注目する反射	$h00$	$0k0$	$00l$
2_1	$h = \text{奇数}$	$k = \text{奇数}$	$l = \text{奇数}$

表4 映進面による消滅則 (h, k, l は整数)

映進面の位置	a 軸に垂直	b 軸に垂直	c 軸に垂直
注目する反射	$0kl$	$h0l$	$hk0$
a -映進面	—	$h = \text{奇数}$	$h = \text{奇数}$
b -映進面	$k = \text{奇数}$	—	$k = \text{奇数}$
c -映進面	$l = \text{奇数}$	$l = \text{奇数}$	—
n -映進面	$k + l = \text{奇数}$	$h + l = \text{奇数}$	$h + k = \text{奇数}$

(問題6 次ページに続く)

[3] 下の図2に示される A-B 2成分系に鉱物 α , β , γ が存在する場合の圧力一定の相図について、下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

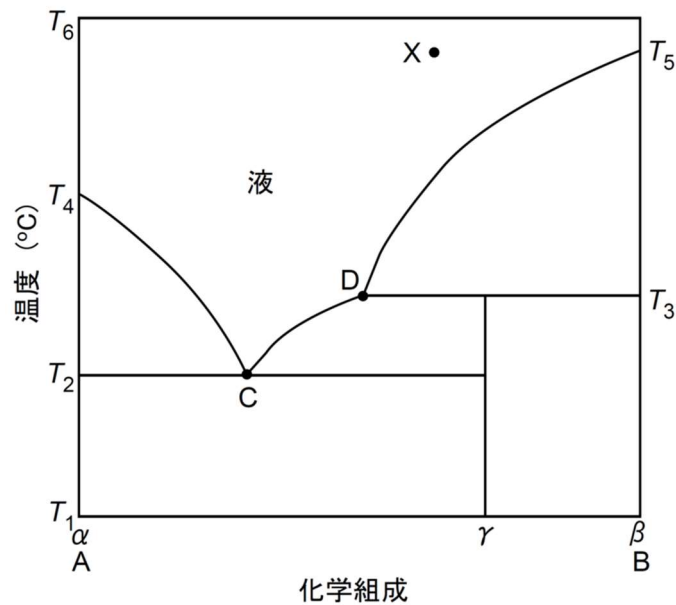


図 2

- (1) 点 C および点 D をさす術語は何か、それぞれ答えよ。
- (2) 点 X の液を温度 T_1 まで冷却する場合の平衡結晶作用を考える。このとき以下の問(i), (ii)に答えよ。
- (i) 液はどのような結晶化プロセスをたどるか。結晶化する鉱物の種類および液の組成の変化がわかるように 250 字程度で説明せよ。
- (ii) 温度 T_2 で固相とわずかな量の液が平衡共存するときの、系の自由度を求めよ。考え方も説明すること。
- (3) 鉱物 β と γ の混合物を温度 T_1 から加熱する場合の平衡融解作用を考える。このとき以下の問(i), (ii)に答えよ。
- (i) 温度 T_3 で起こる反応について、液の組成を明示しつつ簡潔に説明せよ。
- (ii) 温度 T_3 より高温で起こる液の組成変化について簡潔に説明せよ。

(問題 6 次ページに続く)

[4] 変成岩や変成作用に関する以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) ザクロ石と黒雲母の間の Fe-Mg 交換反応が地質温度計に使われる理由を、「分配係数」という語を用いて 50 字程度で説明せよ。
- (2) 図 3 は、ある地域の泥質変成岩にみられる鉱物の組成共生関係を示すトンプソンの AFM 図である。化学組成が図中の点 P であらわされる変成岩が図 3 (a) の状態から、図 3 (b) の状態に等温減圧過程を経て変化したとき、岩石中にはどのような反応組織が形成されると期待できるか。形成が期待される反応組織について、理由とともに簡潔に説明せよ。

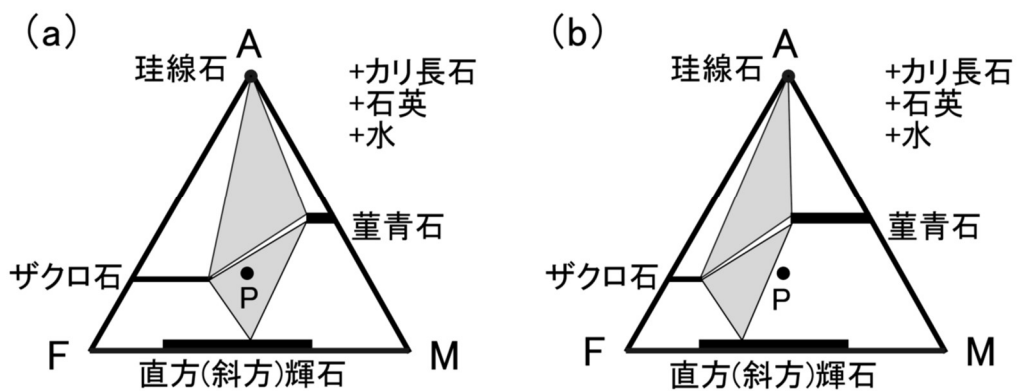


図 3

- (3) 図 4 は、1 成分 3 相系の相平衡図としてありえない例を示している。この図のどのような特徴から、ありえないと判断できるか、簡潔に説明せよ。なお、a, b, c は鉱物相を、破線は準安定な反応曲線をそれぞれ表す。

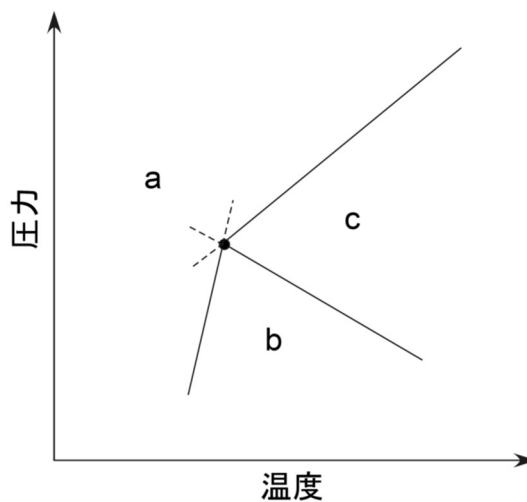


図 4

(問題 6 終わり)

基礎科目（問題 7）

以下の問 [1] ～ [4] に答えよ。

[1] 以下の文章を読み、下の小問（1）～（5）に答えよ。

地形が比較的平坦なある地域では、高台に石灰岩が分布する。この地域の地質図を図 1 に示す。石灰岩からはヌムリテス（カヘイ石）を産し、砂岩からは筆石を、シルト岩からはモノチスの化石を産する。凝灰岩は、この地域の鍵層になっている。ここに描かれた南北走向と北西走向の 2 条の断層 F1、F2 のほかに断層は存在しない。F1 の断層面は直立している。F2 は F1 に切られているが、F1 による変位を戻すと、F2 の断層面は一枚の平面になる。

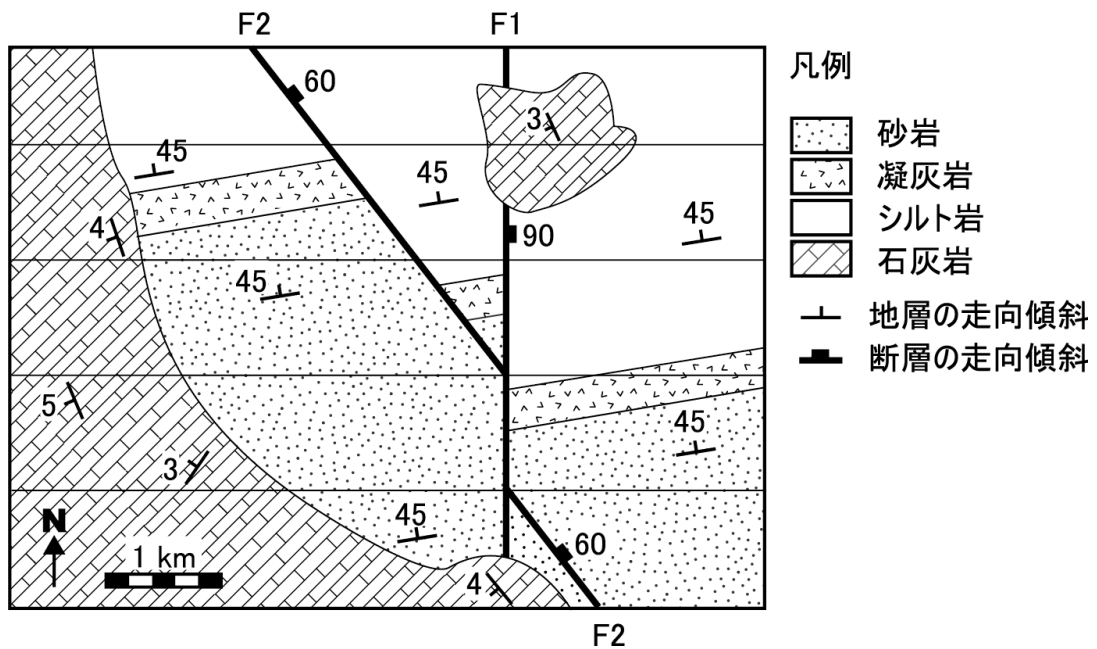


図 1 ある地域の地質図。東西方向の細線は 1 km 間隔で描かれている。

- (1) 堆積年代は古生代・中生代・新生代のいずれであるか、砂岩・シルト岩・石灰岩のそれぞれについて述べよ。
- (2) 石灰岩は、その他の地層とどんな関係にあるか、理由を含めて 100 文字以内で述べよ。
- (3) 砂岩・凝灰岩・シルト岩は一定方向に一樣に傾いている。こうした地質構造を指す術語は何か述べよ。

(問題 7 次ページに続く)

(4) 断層 F1 の変位量を述べよ。また、答えを導く過程を説明せよ。

(5) ここまでに提示された情報では、断層 F2 の変位量を一意に決定することはできない。その理由を述べよ。

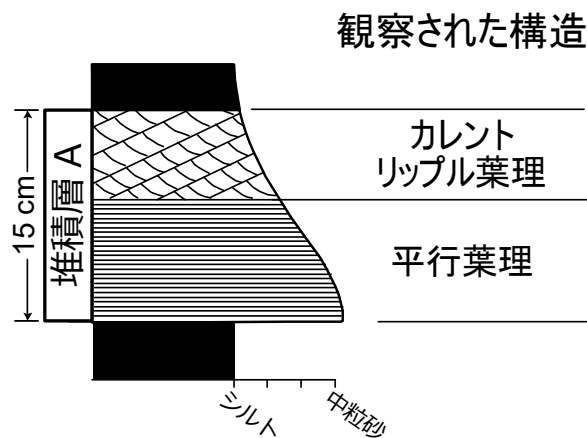
[2] 以下の文章を読み、下の小問 (1) ~ (4) に答えよ。

図2は、ある地域で観察された堆積層 A の岩相を示す柱状図である。この層 A の内部では堆積物粒子の直径が鉛直方向に変化しているが、このような粒度変化は、水中における堆積物粒子の沈降速度の違いと関連している。

粒子の沈降速度を決定する要因について考えてみよう。いま、粒子が球体であると仮定し、その直径を D 、密度を ρ_s としよう。また、水の密度を ρ_f 、動粘性係数は ν とし、重力加速度は g とする。移動する粒子が周囲の静止した水から受ける抗力は、水の動圧 ($\rho_f w_s^2 / 2$) と粒子の最大投影面積、そして抵抗係数 C_D との積となる。ここで、 w_s は粒子の沈降速度である。抵抗係数 C_D については、礫サイズの粒子の場合はほぼ一定の値となるが、シルトサイズより細粒な粒子の場合は以下の式に従うことが知られている。

$$C_D = \frac{24\nu}{Dw_s}$$

水中に浮遊した粒子は、重力を受けて沈降する。沈降し始めた当初は水の抗力が小さいため、沈降速度は次第に増加していく。しかし、やがて沈降速度が増加することで水の動圧が増し、抗力と重力が釣り合うようになって、粒子は一定の速度で沈降するようになる。このときの粒子の沈降する速度を終端沈降速度とよぶ。



(問題7 次ページに続く)

- (1) 礫サイズの粒子の場合、粒子の終端沈降速度は粒径の何乗に比例するか答えよ。計算過程も記すこと。
- (2) 直径 $10\ \mu\text{m}$ の粒子の終端沈降速度を有効数字 1 桁で計算し答えよ。ただし、 v は $1 \times 10^{-6}\ \text{m}^2\text{s}^{-1}$ 、 ρ_s および ρ_f はそれぞれ $3 \times 10^3\ \text{kg m}^{-3}$ および $1 \times 10^3\ \text{kg m}^{-3}$ 、重力加速度 g は $10\ \text{m s}^{-2}$ とする。計算過程も記すこと。
- (3) 図 2 の堆積層 A のような鉛直方向に粒度が変化する構造は、何と呼ばれるか記せ。また、このような構造を堆積物中に形成する流れにはどのようなものがあるか、一つ例を挙げよ。
- (4) 図 2 の堆積層 A の葉理構造は、砂が堆積している最中に流れの流速がどのように変化したことを示しているか、判断した理由も含めて記せ。

[3] 古生物に関する次の文章を読み、下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

古生代・中生代・新生代には、それぞれ特徴的な海洋の生物群がみられる。古生代にはすでに二枚貝も出現していたものの、二枚の殻をもつ大型の底生動物としてこの時代に繁栄していた主要な分類群は 類であった。この 類は 紀末の大量絶滅においてかなりの種が絶滅し、中生代以降は二枚貝類が繁栄するようになった。サンゴ類についても、古生代には現在と異なるグループである床板サンゴ類や 類が繁栄していたが、 紀末にこれらのグループはやはり絶滅した。また、頭足類の中で外骨格をもつ や は古生代より登場していたが、中生代になるとより種数を増やしたのは の方である。 は 紀末において絶滅し、現在では のみが一部の地域で生息している。

- (1) 空欄 ~ に当てはまる適切な語を答えよ。
- (2) 二枚貝と 類は、一見するとよく似ているものの、実際には体制に大きな違いがみられる。その違いについて説明せよ。
- (3) 分類群 は示準化石としてよく用いられるが、このような示準化石として用いられる分類群はどのような性質を持つ必要があるか説明せよ。

(問題 7 次ページに続く)

[4] 第四紀の気候変動に関する次の文章を読み、下の小問(1)～(5)に答えよ。

第四紀に入って地球全体の気候が寒冷化し、はっきりとした①周期的な気候変動がみられるようになった。この気候変動において、寒冷な時期を氷期とよび、温暖な時期を間氷期とよぶ。氷期・間氷期サイクルの周期として卓越するのは、当初は 万年であった。これは、地球の公転や自転の様子を示すパラメーターのうち の変化の周期に対応している。その後、100～80 万年前ごろからは 万年周期の気候変動が卓越するようになった。これは、上記のパラメーターのうちで の変化の周期と対応している。これらの周期的な気候変動に伴って、②汎世界的な海水準も周期的に変動するようになった。この周期的海水準変動は、③現在みられる地形にも大きな影響を与えている。

(1) 空欄 ， に当てはまる適切な数値を答えよ。

(2) 空欄 ， に当てはまる適切な語句を以下の語群から選べ。

【語群】 公転軌道の傾斜角、公転軌道の離心率、自転軸の傾き、自転軸の歳差運動、
自転速度

(3) 下線部①に関連して、どのような証拠から周期的な気候変動の存在を読み取ることができるのか、一つ例を挙げ、その理由も含めて説明せよ。

(4) 下線部②に関連して、更新世後期の氷期に海水準が低下した原因について述べよ。

(5) 下線部③に関連して、海水準変動の影響として形成される地形としてどのようなものがあるか、一つ例を挙げ、その形成プロセスを説明せよ。

(問題7 終わり)