

平成29年度愛媛大学大学院理工学研究科

博士前期課程入学試験

数理物質学専攻地球進化学コース

専門

解答時間 9 : 0 0 — 1 2 : 0 0

注意事項

1. 専門科目 8 問の中から4問 (各50点) を選択して解答すること
4 問を超えて解答した場合, すべて0点となるので注意
2. 指定された解答用紙を使用し解答すること
3. 解答用紙には, 必ず受験番号を記入すること
4. 電卓の使用は認めない

1

次の文章を読み、次ページの間1～間4に答えよ。

ある浅海域で形成された地層では、化石二枚貝A種が下位のX層から産出し、化石二枚貝B種が上位のY層から産出する。A種が時間Tで絶滅した後、B種という近縁種が出現した(図1)。B種は、A種に比べて、殻に肋や棘がより発達している。これらのB種の形態的特徴は、殻の強度を増したり、他者が殻をつかみにくくしたりすることに役立っている。

注1: 二枚貝では、より新しい殻が外縁に沿って現れる。

注2: 季節によって食物などの資源が限られる場合は、年輪が見られる。

注3: 図1のA種とB種のスケッチは、どちらも成体に達した時点のもので、大きさはほぼ同じである。

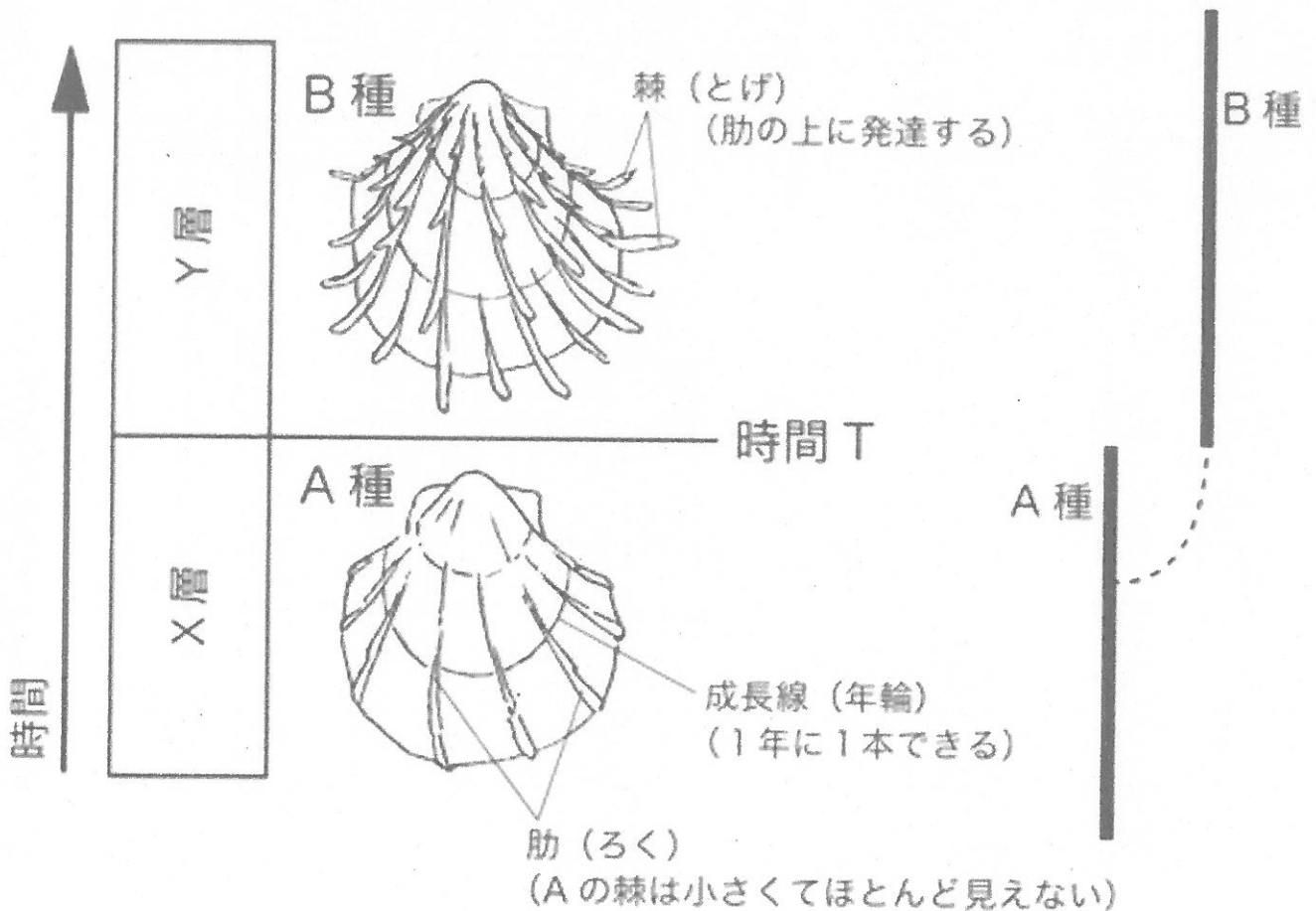


図1 化石二枚貝A種とB種の形態と、その層序および系統関係。

- 問1 B種の殻の酸素同位体比($\delta^{18}O$)を計ったら、A種の殻の酸素同位体比よりも相対的に低い値を示した。これは、時間Tの前後で、古環境的に何が起こったことを意味するか説明せよ。
- 問2 A種からB種への棘・肋の形態変化を、図2に示すヘテロクロニー(異時性)のモデルに当てはめたとき、①~⑥のどれに当たるか、番号で示せ。また、なぜそう考えられるのか、理由を書け。
- 問3 A種とB種とでは、捕食者に対する防御の生態が成長にしたがってどのように変化するのか形態から推定し、その違いを述べよ。
- 問4 時間Tの前後で、これらの化石二枚貝類に対してどのような生態環境の変化があったと考えられるか、A種とB種との形態の違いから予測されることを述べよ。

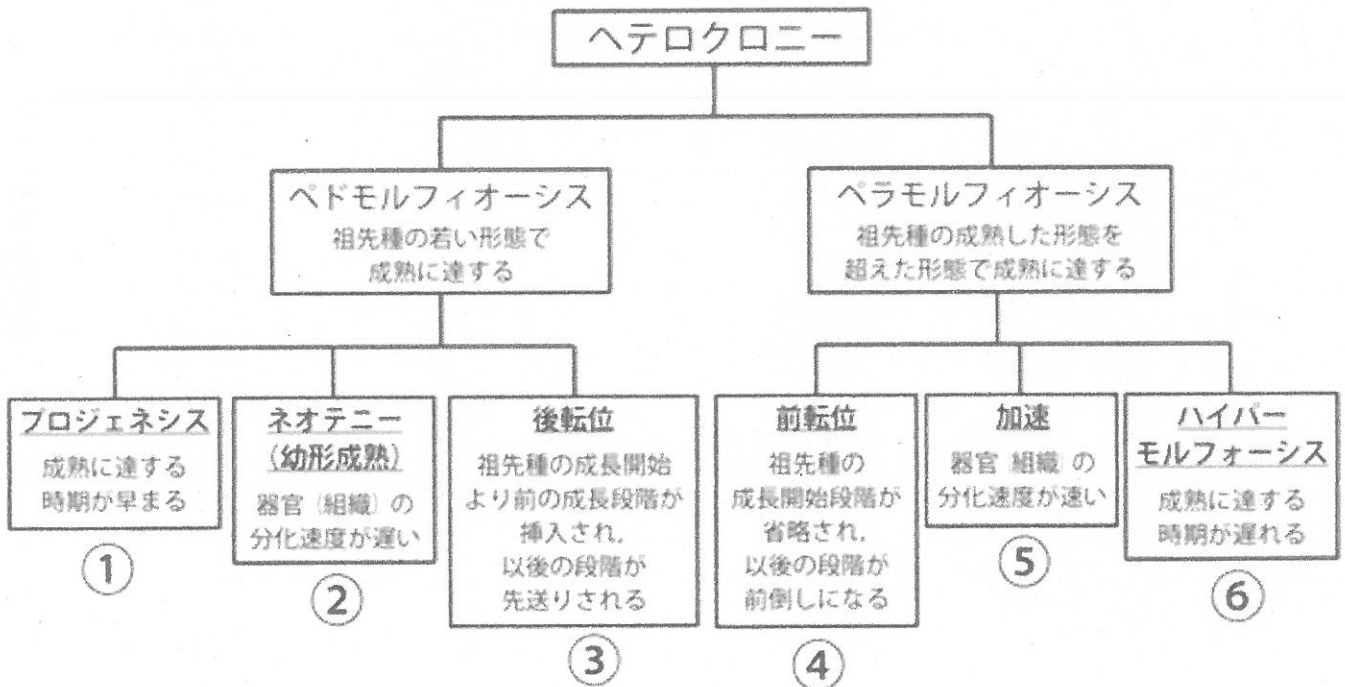


図2 ヘテロクロニー(異時性)のモデル。

次の文章を読み、以下の問1～問7に答えよ。

Fさんは、ある地域の地質を調査・研究しています。その地域には(A)中生代白亜紀後期に大陸棚縁辺および深海で形成された半遠洋から遠洋堆積岩層が分布しています。大陸棚縁辺堆積岩層は岩相変化が著しく、(B)大型化石を多数産出する砂岩が優勢な地層から大型化石をほとんど含まないシルト岩層まで変化するのが観察されます。遠洋堆積岩層には、(C)様々な岩石がブロックとなって泥岩層の中に含まれているものが多く、一方では、(D)数十mの厚さのチャート層が砂岩や泥岩と密着して繰り返している産状も観察されました。

問1 (A)の下線で示している中生代の古環境の特徴について説明せよ。

問2 (B)の下線でみられる化石について、どのようなものが産出すると想定されるか。化石名を2つあげよ。

問3 (C)のような岩相をなんと呼ぶか。適切な名称を答えよ。

問4 (C)にかかれているブロックにはどのような岩石があると想定されるか。2つあげよ。

問5 Fさんは、観察した地層を層序区分しようと考えた。一般的な地層の層序区分にはどのような方法(区分)があるか。3つ答えよ。

問6 大型化石をほとんど含まないシルト岩の層序区分はどのように検討すればよいか、説明せよ。

問7 (D)のような繰り返しはどのように形成されるか、説明せよ。

以下の問1および次ページの問2に答えよ。

問1 図1は1気圧下での Mg_2SiO_4 - SiO_2 系の相平衡図である。図1中のX印の組成のmelt(液相)の冷却過程を平衡結晶作用と分別結晶作用の場合で考える。以下の問いに答えよ。

- (1) 図1中のX印のmeltの組成はどのような組成か化学式で答えよ。
- (2) このmeltを冷却していくと何°Cで結晶が晶出し始めるか答えよ。また晶出する結晶は何か答えよ。
- (3) 平衡結晶作用の場合を考える。何°Cでmeltが完全になくなり結晶化するか答えよ。また生成する結晶を答えよ。
- (4) 続いて分別結晶作用の場合を考える。その冷却の際の結晶化の様子を1600°C, 1600°C~1557°C, 1557°C, 1557°C~1543°C, 1543°Cでの現象で分けて説明せよ。説明には図1中の文字, m, p, eを用いること。

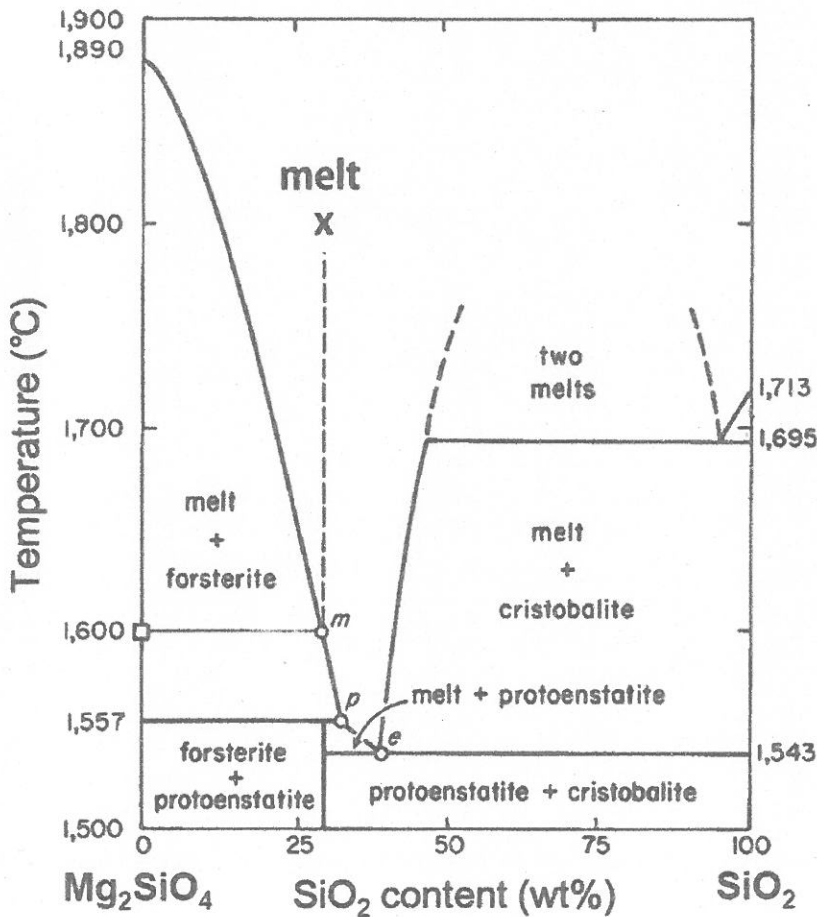


図1 1気圧下での Mg_2SiO_4 - SiO_2 系の相平衡図。

問2 写真1は1991年雲仙岳溶岩中の斜長石の反射電子像である。コアの部分のCaに富みNaに乏しい明るい部分から、外側へCaに乏しくNaに富む暗い部分に変化している。一番明るい部分の組成はAb30An70、一番暗い部分の組成はAb60An40である。途中何度かシャープな逆累帯構造を繰り返しているが、基本的にこの組成間での変動を繰り返している。図2は1気圧のalbite - anorthite系の相平衡図を示している。以下の問いに答えよ。尚、Ab30An70とはalbite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)組成が30wt%、anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)組成が70wt%ということを示す。

- (1) 図2よりmeltと共存するAb30An70組成の斜長石は約何°Cで生成されるか答えよ。
- (2) 図2よりAb30An70組成の斜長石と共存するmeltの組成をAb**An##の表記で答えよ。
- (3) 写真1の斜長石の結晶化の温度変化(マグマ溜まりの温度変化)について議論せよ。

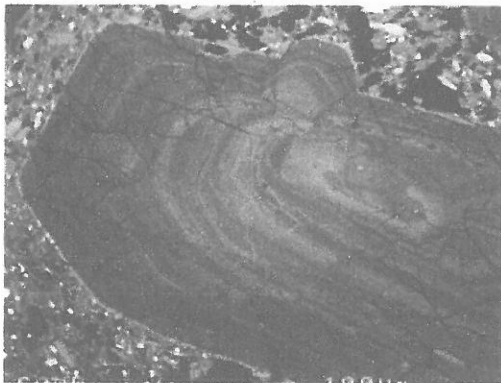


写真1. 1991年雲仙岳溶岩中の斜長石の反射電子像。

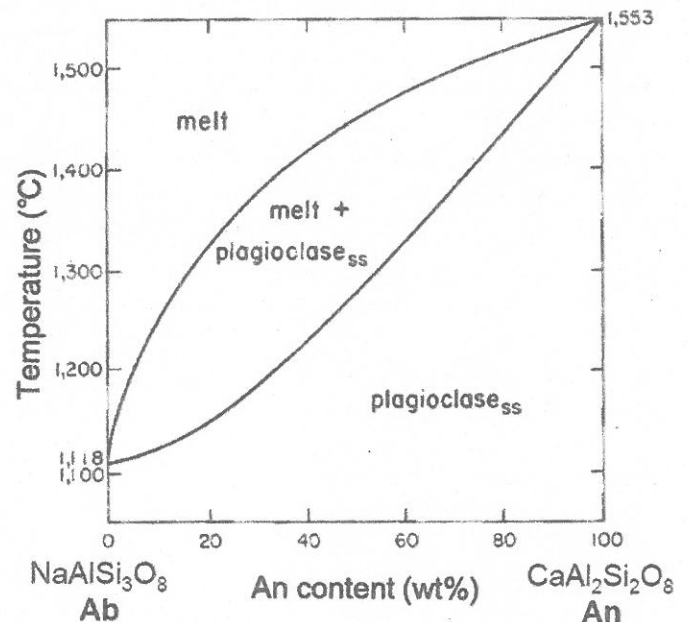


図2. 1気圧下でのalbite - anorthite系の相平衡図. sslはsolid solution (固溶体)を表わす。

4

次の問1～問5に答えよ.

- 問1 立方晶系に属する結晶が正8面体の外形を示す時, 8つの結晶面の面指数を答えよ.
- 問2 面心立方格子の充填率が74%であることを示せ.
- 問3 イオン結晶において6配位サイトの限界半径比が0.414であることを示せ.
- 問4 立方晶系に属し, 単位胞の大きさ $a = 0.377\text{nm}$ の結晶が $2\theta = 60.0^\circ$ の位置でX線の回折を起こした. この回折線に対する面指数(hkl)を求めよ. ただし, 用いたX線の波長は 0.154nm である.
- 問5 Diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) は単斜晶系に属し, $a = 0.975$, $b = 0.890$, $c = 0.525\text{nm}$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta = 106^\circ$ の格子定数を持ち, 単位胞中に4個の分子を含む. Ca, Mg, Si, Oの原子量をそれぞれ40, 24, 28, 16, アボガドロ定数を 6×10^{23} として, Diopsideの理論密度は何 g/cm^3 か, 計算せよ. ただし, $\sin 106^\circ = 0.961$ とする.

以下の問1および次ページの問2に答えよ。

- 問1 高温高圧下での物質の密度(体積)を明らかにすることは地球深部を研究するうえで重要である。物質の圧力-温度-体積の関係を記述する式を一般に状態方程式といい、その一つに2次のBirch-Murnaghanの状態方程式がある。この式は距離 r だけ離れた原子間の相互作用ポテンシャルエネルギー ϕ を

$$\phi(r) = A \left(\frac{a}{r}\right)^2 + B \left(\frac{a}{r}\right)^4$$

と仮定することで得られる(Birch1952)。図1に $\phi(r)$ の概形を示す。ここで A, B は未知パラメータであり、 a は平衡原子間距離である。以下では簡単のため系の全エネルギー E を $E = \phi(r)$ 、結晶の体積 V を $V = r^3$ 、 $a = 1$ 、 $B = 1$ とする。このとき下の文章中の [ア] ~ [キ] に入る適当な数値を求めよ。

- (1) パラメータに関する条件を考慮すると $\phi(r) = A \left(\frac{1}{r}\right)^2 + \left(\frac{1}{r}\right)^4$ とかける。このとき、原子間距離 r による一次導関数 $\frac{d\phi}{dr}$ は $-2A r^{-3} - 4r^{-5}$ であり、二次導関数 $\frac{d^2\phi}{dr^2} = \frac{d}{dr} \left(\frac{d\phi}{dr}\right)$ は $6Ar$ [ア] + $20r^{-6}$ となる。
- (2) r が平衡原子間距離($r = a$)のとき $\frac{d\phi}{dr} = 0 = a^{-3}(-2A - 4a^{-5})$ となる。 $a = 1$ であるから、 A の値は [イ] となる。
- (3) 原子間距離が r のとき、絶対零度、体積 V の系における圧力 P は $P = -\frac{dE(r)}{dV(r)} = \frac{d\phi(r)}{dV(r)} = -\left(\frac{d\phi(r)}{dr}\right) / \left(\frac{dV(r)}{dr}\right)$ により与えられる。 $V = r^3$ より、 $r = V^{\frac{1}{3}}$ とかけるので、 P を V の関数として求めると $P(V) = \frac{4}{3}(V^{-\frac{7}{3}} - V$ [ウ]) となる。これが2次のBirch-Murnaghanの状態方程式である。
- (4) 体積弾性率 K は、 $K = -V \frac{dP(V)}{dV}$ で与えられる。ここで、 $\frac{dP(V)}{dV} = \frac{4}{9}(-7V^{-\frac{10}{3}} + 5V$ [エ]) であるから、 K は $\frac{4}{9}(7V^{-\frac{7}{3}} - 5V$ [オ]) とかける。
- (5) 体積弾性率 K の圧力 P による一次導関数 $K' = \frac{dK}{dP} = \left(\frac{dK(V)}{dV}\right) / \left(\frac{dP(V)}{dV}\right)$ を考える。 $\frac{dK(V)}{dV} = \frac{4}{27}(-49V$ [カ] + $25V^{-\frac{8}{3}}$) となることに注意し、(4)で求めた $\frac{dP(V)}{dV}$ を用いると、平衡体積下($V = a^3 = 1$)における K'_0 の値は [キ] となる。

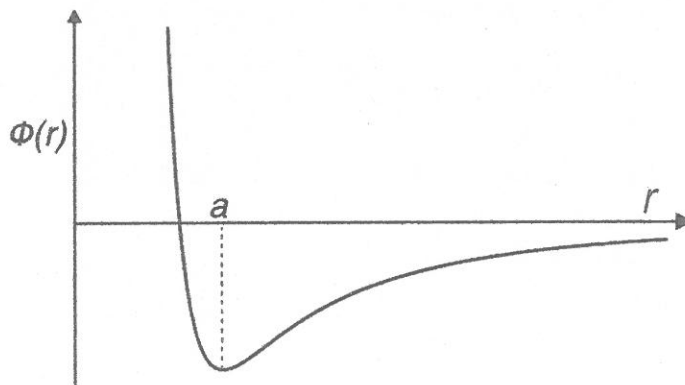


図1 $\phi(r)$ の概形。 r を変数、 η を実数とすると、 $dr^\eta/dr = \eta r^{\eta-1}$ が成り立つ。

問2 体積弾性率が K_1 と K_2 の物質の圧縮挙動を考える。ここで $K_1 > K_2$ とする。

- (1) 解答欄に図2のような P - V/V_0 面を描き、それらの圧縮の違いがわかるように曲線を記入せよ。ここで、 P は圧力、 V/V_0 は体積を1気圧下の体積で規格化したものである。
- (2) また、これらの物質をダイヤモンド(C)とカンラン石 (Mg_2SiO_4)とした場合、 K_1, K_2 はそれぞれどの物質に対応するか答えよ。

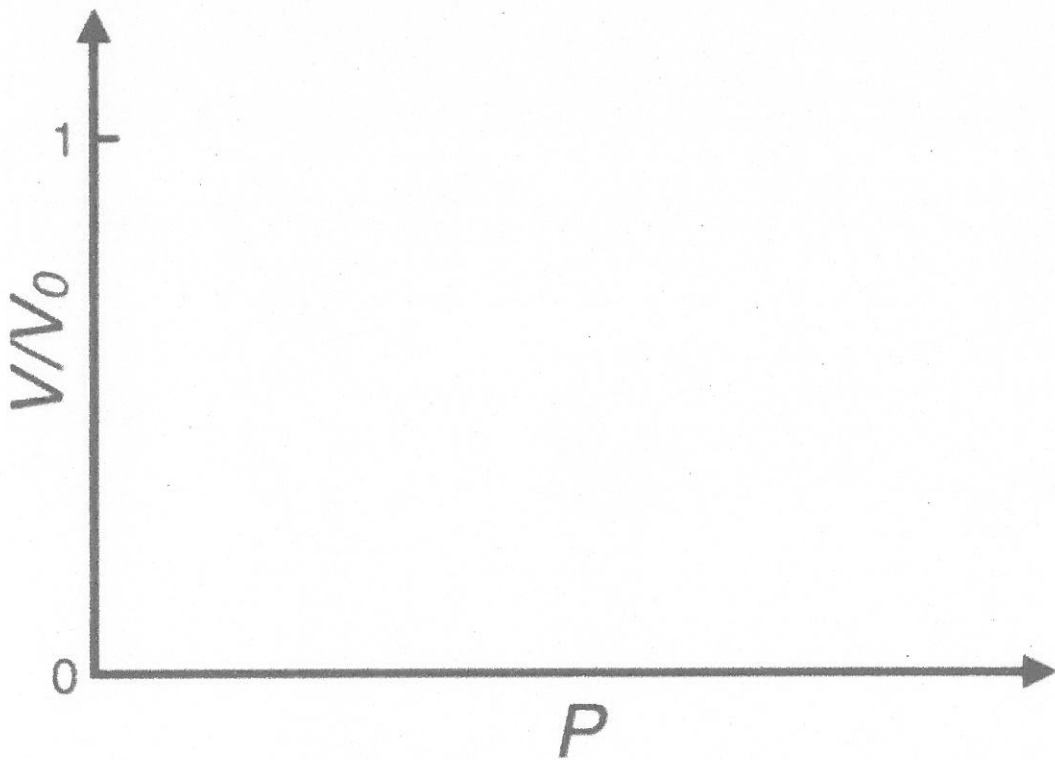


図2 P - V/V_0 面。

6

地球の大きさなどに関して、以下の問1～問6に答えよ。ただし解答には計算の途中経過を示すとともに、全ての数値には適切な単位を付し、かつ有効数字2桁で答えること。また簡単のため、地球の形は完全な球であると仮定し、円周率 $\pi = 3.14$ 、万有引力定数 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$ として計算せよ。

問1 地球を一周するとほぼ4万 km である。地球の半径 R を計算により求めよ。

問2 地球の自転による遠心力の効果が無視できる場合 (北極や南極に相当) には、地球の表面に置かれた質量 m の物体が受ける重力は地球の質量 M による万有引力のみで決まり、その大きさ F は

$F = G \frac{Mm}{R^2}$ で与えられる。地球の表面における重力加速度 g を G , M , R を用いて表わせ。

問3 地球の表面での重力加速度を $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とし、前問の結果を用いて地球の質量 M を計算により求めよ。

問4 前問までの結果を用いて、地球の平均密度 ρ_{ave} を計算により求めよ。

問5 半径 R の球の内部の密度 ρ の分布が、中心からの距離 r のみで決まる場合、その球の慣性モーメント I は

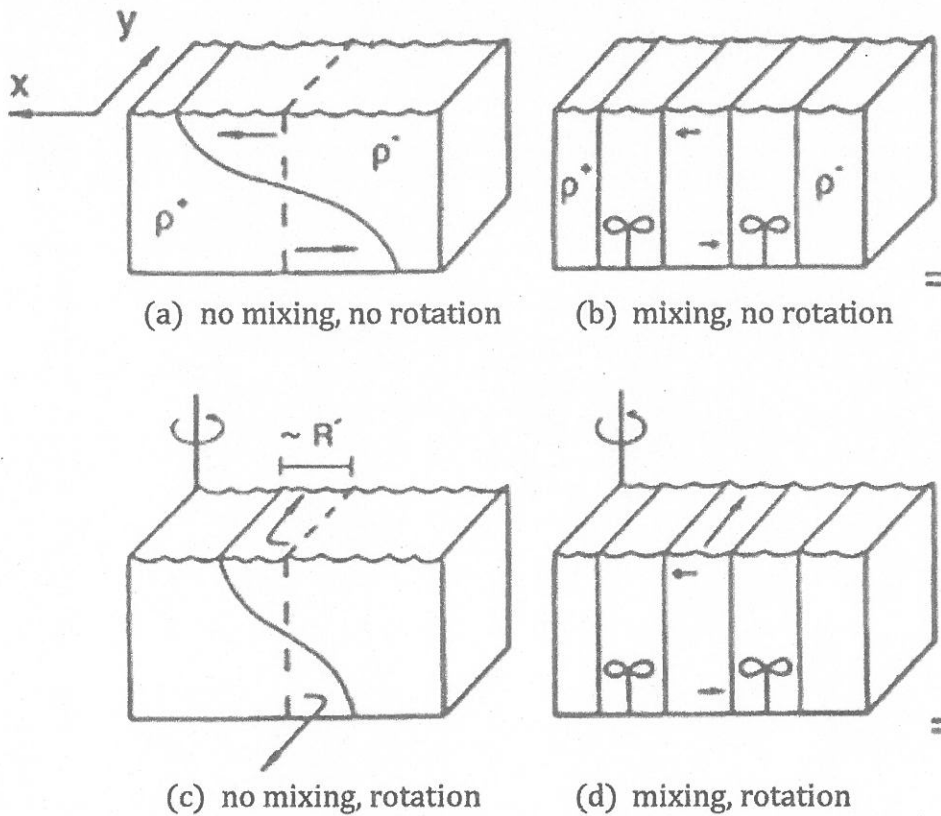
$I = \frac{8}{3} \pi \int_0^R r^4 \rho(r) dr$ で与えられる。これを利用して、内部の密度 ρ が ρ_{ave} で一定である球の慣性モーメント I を、球の質量 M と半径 R を用いて表わせ。

問6 地球の慣性モーメントは、地球と同じ質量と半径をもち、密度が一定の球の慣性モーメントと比べて大きいか小さいか、理由とともに答えよ。

以下の問1および問2に答えよ。

問1 海水の平均密度 ρ の値を答えよ。その平均密度 ρ を用いて、水深 h (m)における圧力 p を求めよ。また、圧力の単位をdbarとする場合は、圧力 p は水深 h (m)の同じぐらゐの数字になることを証明せよ。

問2 密度流に対する鉛直混合 (mixing) と地球回転 (rotation) の役割について、下図の (a), (b), (c), (d) の密度場に対応する流れを説明しながら論述せよ。 ρ^+ と ρ^- は密度の大きい海水と密度の小さい海水を意味している。また、 R' は内部変形半径である。



生態学および進化学に関する以下の問1～3に答えよ。

問1 個体群の増殖が個体群密度(N)に影響を受けるモデルとしてロジスティック曲線のモデルが知られている。ロジスティック曲線では、時間(t)に対する個体群密度の変化率(個体群全体の増加率)は、

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K-N}{K} \right)$$

で表される。このモデルについて以下の問いに答えよ。

- (1) この数式における r と K のそれぞれの名称を述べよ。
- (2) この数式における $\left(\frac{K-N}{K} \right)$ は生態学的に何を意味しているか説明せよ。
- (3) 個体群の進化を説明する r/K 選択説によると、個体群はどのような環境下でどのような生態的形質を進化させると考えられるか。

問2 進化について以下の問いに答えよ。

- (1) 自然選択説によると生物集団(個体群)がある条件を満たすとその集団は進化するという。その条件を3つ挙げよ。
- (2) 中立進化とはどのような進化過程であるか。上記(1)で挙げた条件と関連させて説明せよ。

問3 共生について以下の問いに答えよ。

- (1) 共生とは何か、定義せよ。
- (2) 相利的な内部共生は寄生者(病原菌を含む)と宿主の関係を起源として進化するという仮説がある。この説によると、寄生者が子孫を垂直感染により宿主生物に伝えていく場合(寄生者の子が今の宿主の子に伝達される)において、寄生者は宿主に利益を及ぼす方向に進化する、と説明する。垂直感染による伝達では、なぜ寄生者と宿主は相利関係に進化しやすいか説明せよ。

(計算・メモ用紙)