

2026 (令和 8) 年度 4 月入学

愛媛大学大学院理工学研究科 博士前期課程

理工学専攻 自然科学基盤プログラム

地球科学分野

入学試験問題

解答時間 9:00 – 12:00

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いけません。
2. この問題冊子 (8 問) の中から 4 問を選択して解答しなさい。
3. 決められた番号の解答用紙に解答し、4 枚を提出のこと。
4. 提出するすべての解答用紙に受験番号を記入しなさい。

Ⅰ 以下の問いに答えよ。

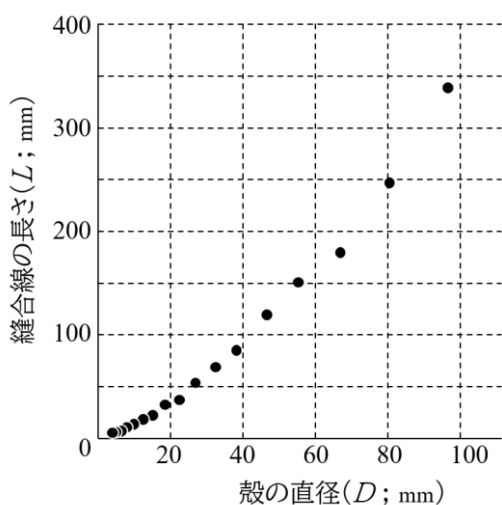
問 1. 四国の基盤地質を構成する地帯構造区分を中央構造線より南の部分について、北から順に述べよ。

問 2. 付加体の層序を復元する時に「海洋プレート層序」がよく使われる。海洋プレート層序を構成する岩石を、層序的下位から順に述べよ。

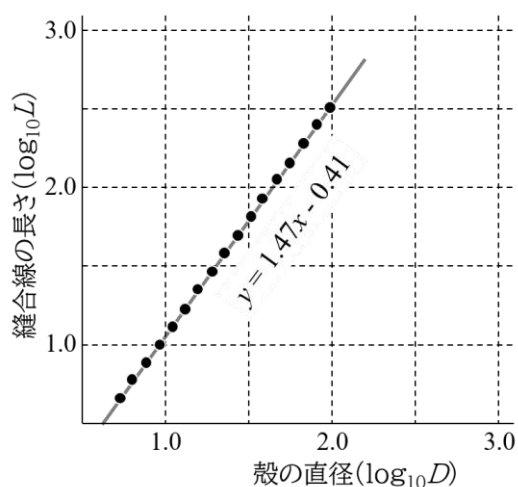
問 3. 問 2. で述べた「海洋プレート層序」を構成する岩石のうち、堆積岩を 2 つ選び、それぞれの堆積物の起源について説明せよ。

2 古生物学に関連する以下の問1および問2に答えよ。

問1. 成長の記述法には、絶対成長と相対成長があるが、① 古生物学では後者の方法が採られることが多い。あるアンモナイト種（1個体）について、殻の直径（ D ）と縫合線の長さ（ L ）との関係（相対成長）を調べた。以下の問いに答えよ。なお、アンモナイトの縫合線とは、殻（気房部）を内側から支える隔壁と外側の殻との間の接合部の曲線のことである。



【図 A】



【図 B】

- (1) 先ず、計測値をそのまま2変数として散布図を作ったところ、図Aのような結果が得られた。このアンモナイトの縫合線の長さは、殻の大きさに対して正比例せず、サイズの増加とともに長くなっていく（複雑化するという意）ように見える。このような状態を何というか。下の空欄を埋める適切な語を答えよ。

縫合線の長さは殻の直径に対して を示す。

- (2) この現象をさらに詳しく解析するために、計測値の両（常用）対数をとった散布図を作った（図B）。なお、回帰直線の傾き α を計算したところ $\alpha = 1.47$ を得た（直線の方程式は図中に示されている）。通常、形態が成長を通じて相似形を保つなら $\alpha = 1$ になる。縫合線が相似形として予想される成長量から大きく外れて複雑化しているのはなぜだと考えるか述べて。 (答えにくい場合は、縫合線の機能的側面から考察しよう。)

(3) この種は殻の直径 10 cm でほぼ成熟し、成長が止まる。もしこの種が同様の成長様式を維持しつつ過形成 (hypermorphosis) を起こして直径 100 cm まで成長したとしたら、縫合線の長さはおよそ何 cm になるか。また、このアンモナイトは同様の方法で際限なく巨大化が可能だと考えるか、根拠とともに予想せよ。

(4) 下線部①に関連して、生物の成長を解析する際に、相対成長を用いる利点は何だと考えるか述べてよ。

問 2. 以下の語を説明せよ。

(1) 適応景観 (適応地形; adaptive landscape)

(2) 相同形質 (homology)

(3) 異物同名 (homonym)

3 次の文章を読み、下記の問いに答えよ。

鉱物は原子が規則正しく配列した **ア** を持ち、一定の化学組成を有する。ほとんど端成分組成にしかない種や、ある程度組成の幅を持ち **イ** を形成する種も存在する。**イ** では①組成に応じて格子定数が大きく変化する場合がある。

普通輝石では 6-8 配位の多面体席には主に **A**、**B**、**C** などの陽イオンが入り、4 配位の四面体席には **D** が入る。普通輝石の 6-8 配位の多面体席中の **ウ** の陽イオンが Na^+ で置換される場合には電荷のバランスを補うように等量の **ウ** の陽イオンが Al^{3+} に置換される。このような電荷のバランスを補うような置換関係は角閃石スーパーグループの鉱物でも普通に認められ、端成分組成の透閃石について②チェルマック置換がなされると、苦土普通角閃石、チェルマック閃石と連続的に鉱物種名が変わる。ひすい輝石や③藍閃石などのナトリウムとアルミニウムを多く含む輝石や角閃石は比較的 **エ** の環境下で形成された変成岩中に産出する。

問 1 **ア** から **エ** に入る適切な語句を次の中から選択し、(a)から(i)の記号で答えよ。

- (a) 低温高压, (b) 高温低压, (c) 周期律, (d) サブソリダス, (e) 固溶体,
- (f) 結晶構造, (g) 2 価, (h) 3 価, (i) 4 価

問 2 下線部①について、組成に応じて格子定数が変化する理由を説明せよ。

問 3 **A** から **D** に入る適切な陽イオンを次の中から選択し、(a)から(h)の記号で答えよ。

- (a) Al^{3+} , (b) Ca^{2+} , (c) Fe^{2+} , (d) Fe^{3+} , (e) K^{2+} , (f) Mg^{2+} , (g) Si^{3+} , (h) Si^{4+}

問 4 下線部②について、チェルマック置換とはどのような置換か透閃石の置換を例に説明せよ。

問 5 下線部③の鉱物を伴うような鉱床として最も適切なものを次の中から選択し、(a)から(d)の記号で答え、その鉱床がどのようにして形成されるか説明せよ。

- (a) キースラーガー, (b) ゼノサーマル型鉱脈鉱床, (c) 正マグマ鉱床,
- (d) 風化残留鉱床

4 以下の問いに答えよ。

問1 変成岩に関する以下の用語について簡潔に説明せよ。

(1) 片理面 (2) 斑状変晶 (3) グラノブラスティック組織

問2 石英とアルカリ長石の斑晶を持つ火山岩試料について、石英、アルカリ長石、石基の化学組成を調べたところ、表のデータが得られた。これらの化学組成がマグマ溜まり中で平衡共存する結晶とメルトの組成を保持しており、またメルトがH₂Oに飽和していたとすると、マグマ溜まりが位置した深度(km)はどの程度であったと考えることができるか。ただし、解答用紙に示したQz-Ab-Or-H₂O系における、共融線(cotectic line)と圧力との関係を示した相平衡図に、適切なデータを星印(★)でプロットした上で、解答すること。なお、地殻内の深度(km)の増加に対する圧力(MPa)の増加率を26 MPa/kmとし、小数点第1位まで解答すること。

主要元素 (wt%)	石英	アルカリ長石	石基
SiO ₂	99.85	66.43	73.40
Al ₂ O ₃		18.87	11.75
Na ₂ O		3.12	4.21
K ₂ O		11.47	4.44
Total	99.85	99.89	93.80
ノルム鉱物の重量比 (wt%)			
Quartz (Qz)	-	-	34.0
Albite (Ab)	-	-	38.0
Orthoclase (Or)	-	-	28.0
Total	-	-	100.0

問3 火山の噴火様式の多様性について説明せよ。また、噴火による大規模災害について、過去の事例を挙げて述べよ。ただし、以下の語句を全て用いること。

<語句>

プリニー式噴火、ブルカノ式噴火、ハワイ式噴火、玄武岩質マグマ、安山岩質マグマ、流紋岩質マグマ、火砕流、粘性、SiO₂含有量

5 以下の問1～6に答えよ。

金属や岩石などの固体を一軸圧縮して変形させる際には、応力-歪曲線を用いてその変形挙動を評価する。一般的に、低い歪の領域では「ア」変形が試料の変形を支配する一方で、より高い歪の領域では「イ」変形が試料の変形を支配する。「ア」から「イ」へ切り替わる点を「ウ」点という。「ア」変形領域では、格子が歪むことに起因して試料が変形するため、応力と歪は直線関係を示す。一方、「イ」変形領域では結晶内の一次元の欠陥構造である「エ」が増殖及び移動することによって試料が変形する。「イ」変形領域において相対的に歪が低い領域（遷移クリープ領域）では、「エ」が増殖し続けることにより、歪の増加とともに試料の強度は増加し続ける。これを「オ」と呼ぶ。一方、より歪の高い領域（定常クリープ領域）では増殖しすぎた「エ」が消滅あるいは再配列することにより、「エ」密度の上昇は抑制される。その結果、「エ」密度は一定の値をとるようになるため、定常状態では強度は歪によらず一定の値（定常クリープ強度）に達するようになる。

問1. 図1を参照して、文中の「ア」から「オ」に適切な語句を入れよ。

問2. 図1は某金属の応力-歪曲線である。図1に示した「ア」変形領域（歪0-0.01の領域）におけるヤング率を求めよ（単位はGPa）。

問3. 図1に破線で示した除荷曲線（荷重を低下させていく過程にて得られる応力-歪曲線のこと）にて、荷重を低下させると共に歪が減少するのはなぜか、その理由を答えよ。

問4. 図1に示した除荷曲線を直線と仮定し、ヤング率を求めよ（単位はGPa）。

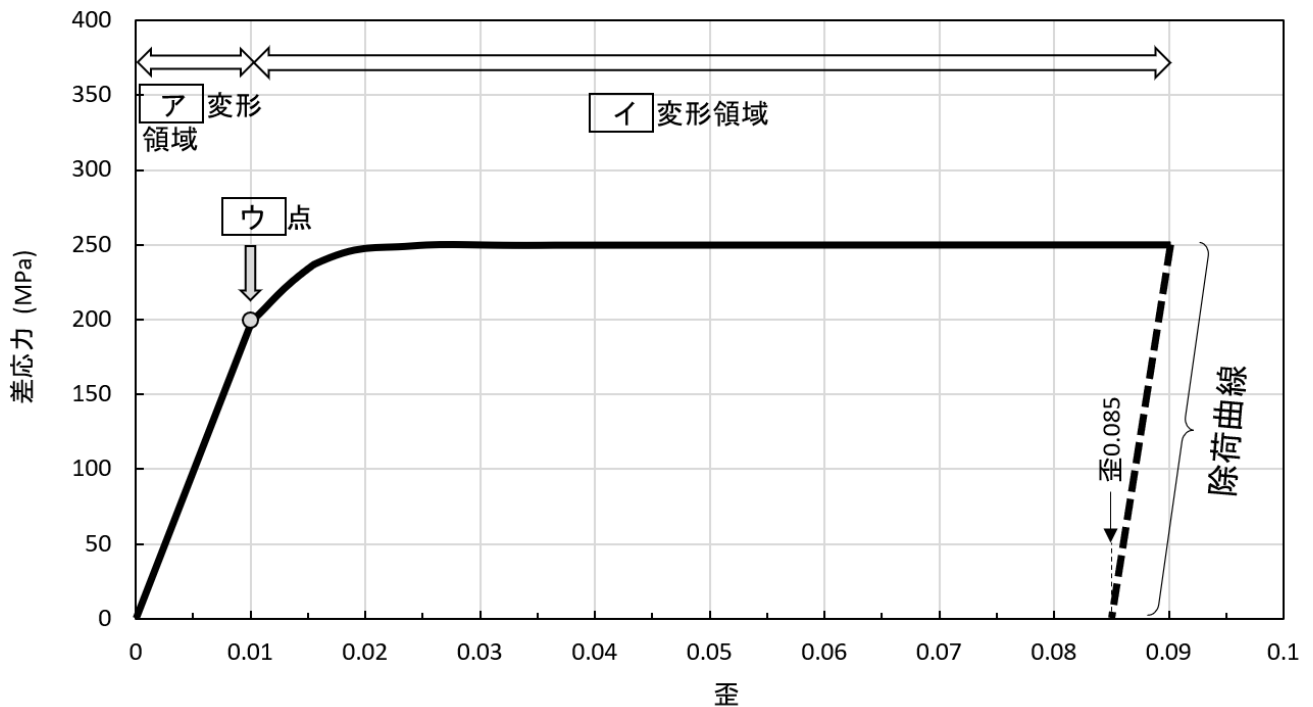


図1：某金属の応力-歪曲線

問5. 地球の上部マントル（特にアセノスフェア）では地質学的タイムスケールにて 変形が十分に進行するため、その変形は定常状態に達しているものと考えられている。定常状態における変形（クリープ）強度 σ と歪速度 $\dot{\epsilon}$ との関係は、一般的に下記の式（流動則）で表される：

$$\dot{\epsilon} = A \frac{\sigma^n}{d^p} \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

A 、 n 、 p は定数、 d は鉱物の平均粒径、 Q は活性化エンタルピー、 R は気体定数、 T は温度である。ここで地球の上部マントルはカンラン石のみからなり、その 変形は クリープ ($n = 3$, $p = 0$) または粒界拡散クリープ ($n = 1$, $p = 3$) のみによって支配されるものと仮定する。任意の平均粒径と差応力にて、いずれが変形を支配するのかわを示す変形機構図を両対数プロットで描く場合、両クリープ領域の境界線の傾きが図2のA~Bのうちいずれかの様式をとるのかわを答えよ。また、その根拠と流動則に基づいた計算経過も併記せよ。なお図2A~2Bにおける太線は、両クリープ領域の境界を示す。

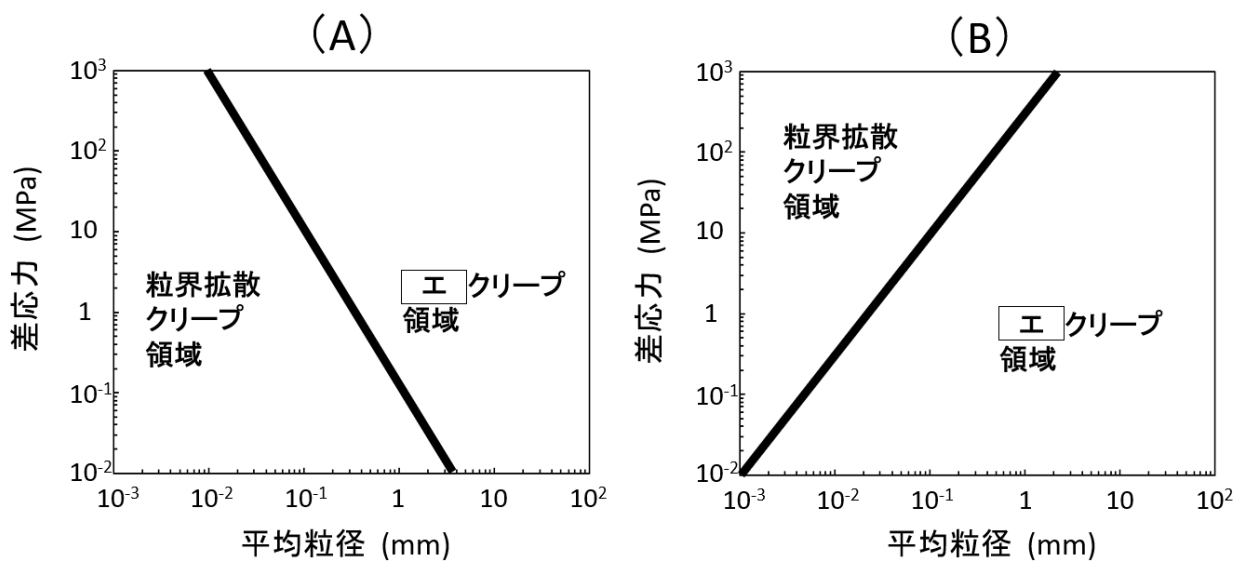


図2：地球の上部マントルの温度圧力条件下におけるカンラン石の変形機構図

問6. エクリープが進行し定常状態に達すると、動的再結晶による細粒化も並行して進行するようになる。ここで、図2のカンラン石の変形機構図が成り立つ条件下にて、動的再結晶によってカンラン石の平均粒径が1 mm (図3の白丸) から0.01 mm (図3の黒丸) へ瞬間的に低下したとする。その時の差応力が10 MPaで一定である場合、エクリープから拡散クリープへの遷移は平均粒径0.1 mmにて起きることとなる(図3A及び3B)。これらの条件下にて、動的再結晶が起きた前後で実効粘性 $\sigma/(2\dot{\epsilon})$ は何倍増加(または低下)するかを答えよ。

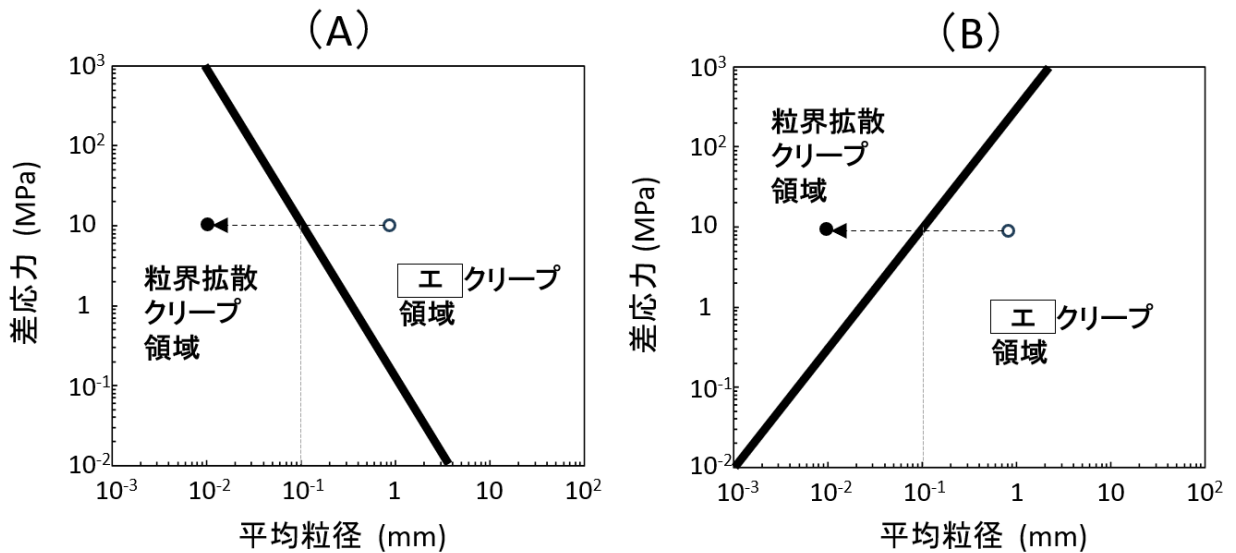


図3：カンラン石の動的再結晶による細粒化（差応力は10 MPaで一定）が起きる場合の平均粒径の変化を示した図（図2に追記したもの）。図3A及び3Bはそれぞれ図2A及び2Bに対応する。

6 以下の問 1～問 3 に答えよ。

問 1 2 個の質点からなる系の運動を調べる。いま、2 個の質点が中心力を互いに及ぼし合いながら運動するものとする。これらの質点 P、Q の位置ベクトルをそれぞれ \mathbf{r}_1 および \mathbf{r}_2 、質量を m_1 および m_2 とする。また、両質点間の距離を $r = |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|$ 、両質点間に働く力の大きさを $F(r)$ とする。

(1) これら 2 つの質点が満たす運動方程式は以下のようにかける。

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 \mathbf{r}_1}{dt^2} &= F(r) \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{r} \\ m_2 \frac{d^2 \mathbf{r}_2}{dt^2} &= F(r) \frac{\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2}{r} \end{aligned}$$

このとき、2 つの質点の重心の位置ベクトル $\mathbf{R} = \frac{m_1 \mathbf{r}_1 + m_2 \mathbf{r}_2}{m_1 + m_2}$ が、 $\frac{d^2 \mathbf{R}}{dt^2} = \mathbf{0}$ を満たすことを示せ。このことから、互いに中心力を及ぼしあう 2 質点系の重心は静止または等速度直線運動をすることがわかる。

(2) 2 つの質点 P および Q の相対的な運動を調べる。質点 P に対する質点 Q の相対的な位置ベクトル $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ を考える。このとき、 $\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$ で与えられる相対運動の加速度が、

$$\mu \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -F(r) \frac{\mathbf{r}}{r}$$

を満たすことを示せ。ただし、 $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ とする。この結果から、P に対する Q の運動は、P が空間に固定され、Q の質量が換算質量 μ である場合の運動と等しいことがわかる。

(3) 2 つの質点 P および Q のもつ運動エネルギーを考える。これらはそれぞれ $K_1 = \frac{1}{2} m_1 \left| \frac{d\mathbf{r}_1}{dt} \right|^2$ および $K_2 = \frac{1}{2} m_2 \left| \frac{d\mathbf{r}_2}{dt} \right|^2$ で定義できるが、両者の総和 $K \equiv K_1 + K_2$ は

$$K = \frac{1}{2} M \left| \frac{d\mathbf{R}}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} \mu \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|^2$$

と等しいことを示せ。ただし $M = m_1 + m_2$ である。このことから、2 質点系の運動エネルギーは、重心の運動エネルギーと相対運動の運動エネルギーの和となることがわかる。(ヒント: 2 つの質点 P、Q の位置ベクトル

$$r_1 \text{ および } r_2 \text{ は、} \mathbf{R} \text{ と } \mathbf{r} \text{ を用いて } r_1 = \mathbf{R} - \frac{m_2 \mathbf{r}}{m_1 + m_2}, r_2 = \mathbf{R} + \frac{m_1 \mathbf{r}}{m_1 + m_2}$$

とかける)

問 2 地球と月を、互いに中心力 (万有引力) を及ぼしあう 2 質点系とする。地球および月の質量をそれぞれ M 、 m とし、地球から月までの距離を r 、円周率を π 、万有引力定数を $G \approx 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ とする。このとき、以下の問いに答えよ。問 1 で得られた結果を用いて良い。

- (1) 地球と月に働く万有引力の大きさ $F(r)$ を M 、 m 、 r 、 G を用いて表し、地球に対する月の相対位置ベクトル \mathbf{r} が満たす運動方程式を求めよ。
- (2) 月は地球の周りで等速円運動を行うとする。(1) の運動方程式を利用して、地球から見た月の公転周期 T を M 、 m 、 r 、 G を用いて表せ。(ヒント: 半径 r で等速円運動をする質点の加速度ベクトルは、質点の速さ v を用いて $-\frac{v^2 \mathbf{r}}{r}$ と表される)
- (3) 地球の質量を $M = 5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、月の公転周期を $T = 27.32 \text{ 日}$ 、そして地球から月までの距離を $r = 3.844 \times 10^8 \text{ m}$ とする。(2) の結果を利用して地球と月の質量比 m/M を有効数字 2 桁で見積もれ。必要であれば以下の定数近似値を用いてよい。

$$4\pi^2 r^3 \approx 2.242 \times 10^{27} \text{ m}^3, GT^2 M \approx 2.216 \times 10^{27} \text{ m}^3$$

問 3 月を質量 m 、半径 a の完全な球体と近似して、以下の問いに答えよ。

- (1) 月の内部の密度 ρ が深さによらず一定と仮定した場合の、月の重心を通る軸のまわりの慣性モーメント I を求めよ。結果は m と a を用いて表すこと。(ヒント: 内部の密度が ρ で一定の球の慣性モーメント I は、密度分布の対称性を仮定することにより $I = (2/3)\rho \int_V r'^2 dV$ とかける。この定積分の積分領域 V は半径 a の球全体、 r' は球の中心からの距離 ($0 \leq r' \leq a$)、微小体積要素 $dV = 4\pi r'^2 dr'$ は半径が r' で厚みが dr' の球殻の体積である)
- (2) (1) の結果を用いて、 $\frac{I}{ma^2}$ を求めよ。その結果を観測値 ($\frac{I}{ma^2} \approx 0.39$) と比較し、月の内部の密度構造にはどのような特徴があると考えられるかを述べよ。

7

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。

問1 下記の文章で [ア] から [コ] に入る適切な語句を答えよ。

将来、地球温暖化が原因で、気候や海水準等、地球に不可逆的な変化が起こることが予想されている。不可逆的変化の代表的なものとして [ア] 氷床融解に伴う気候ジャンプがある。氷床は、[イ] が高く、太陽光の 6～9 割を反射するため、極域を冷温に保つ機能を持つ。しかし、気温がある限界値に達すると、氷がすべて溶けるまで融解が停まらず、[イ] の低い土壌の面積が増えるため、北半球を冷温に保っていた極域が温暖化し、1000 年の時間スケールで気候が温暖なまま、元の状態には戻らない可能性がある。これが気候ジャンプである。それが起こり始める臨界点は、世界平均地上気温の [ウ] 以前からの増加分が [エ] °C 付近にあると考えられ、2024 年現在、その温度に近づきつつある。[ア] 氷床消滅に伴う気候ジャンプは最大の警戒が必要である。

もう一つの不可逆的変化は、[オ] 氷床に関連して起こる。[カ] は陸上氷床の氷の流出を物理的に抑える働きをしている。海洋の温暖化に伴って [カ] の下位に暖水が侵入すると、[カ] が崩壊し、氷床の底部が融けて、[キ] が内陸側へ後退する。その結果、氷の接地面が減少するために、氷床底面で [ク] が低下するので、[ケ] が速くなり、海洋への氷の流出に伴って氷床の質量が減少する。それによって、氷床の厚さが薄くなるので、[キ] の上の氷が浮いて、さらに海水が氷床底部へ侵入し、[キ] が後退する。このように、[カ] の崩壊が引き金となって、一旦 [キ] の後退が始まると、氷床が加速度的に [コ] して、元の氷床量に戻らないということが起こる。また、陸上の氷の消失は、不可逆的な海水準上昇をもたらすことになる。このような [オ] 氷床の不可逆的変化は、世界平均地上気温の [ウ] 以前からの増加分が [エ] °C で起こる可能性があるという報告があり、やはり最大の警戒が必要である。

問2 以下の(1)と(2)について答えよ。

(1) 海洋は、人為起源炭素放出量の 4 割弱を大気から吸収し、温室効果を緩和している。

海の炭素の吸収量は、年間何 Gt か、その値を答えよ。

(2) 吸収された炭素が海のどこにどのように吸収されているのかについて、5 つの海の炭素ポンプ機能を考慮して説明せよ。ただし、次の語句を含めること。

含める語句：リザーバー、炭酸イオン、重炭酸イオン、北大西洋深層水

<問題は次ページに続く >

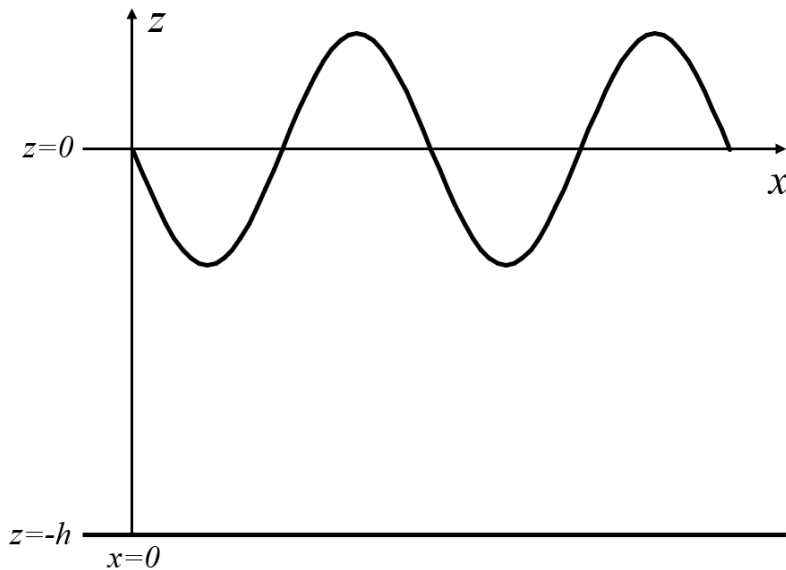
問 3

海の炭素吸収機能が地球温暖化によって低下することが、研究者の間で懸念されている。どの海域のプロセスがどのように変化することで炭素吸収能の低下につながるかについて、熱塩循環に関連させて解説せよ。

8

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。

下図のような水深 h が一様な海において、水平方向（ x 方向）にのみ長波が伝搬する場合を考える。ここで、長波に伴う海面の変位 η は $\eta(x, t) = A \cos(\omega t + kx)$ とする。 A は振幅、 t は時間、 ω は角周波数、 k は角波数である。



問1 上図中の黒太曲線は、時刻 $t = t_1$ における長波の波形 $\eta(x, t_1)$ を示している。この時の ωt_1 の値を答えよ。なお、 $0 < \omega t_1 < 2\pi$ とする。

問2 線形長波の運動方程式を用いて、長波に伴う流速 $u(x, t)$ を導出せよ。なお、地球の回転効果と摩擦は考慮しないこととする。また、海水の密度と大気圧は一定とする。

問3 $kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$ における流速を解答用紙の図中に矢印で描き、その流速分布から海水の収束域・発散域を図中に表示せよ。さらに収束・発散から微小時間 Δt 後の水位分布を描き、波の進行方向を説明せよ。なお、微小時間 Δt は、 $\omega \Delta t < \frac{\pi}{3}$ を満たすものとする。

問4 長波の角周波数 ω と角波数 k がそれぞれ $\omega = 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$ 、 $k = 10^{-5} \text{ rad m}^{-1}$ の時、この長波の周期、波長、波速、およびこの波が長波として存在できる水深 h を求めよ。なお、重力加速度は 10 m s^{-2} 、円周率 π は3.14とする。