

A (地球環境学)

以下の問題 1～問題 4 を全て解答しなさい。

問題 1 黄砂は、春先、東アジアの砂漠域（ゴビ砂漠、タクラマカン砂漠など）や黄土帯から強風により大気中に舞い上がった砂塵が浮遊しつつ降下する現象である。近年、中国や韓国では黄砂による被害が拡大しており、2005 年 10 月に開催された日中韓 3 カ国環境大臣会合では、北東アジア地域最大の環境問題として、黄砂問題が取り上げられた。以下の問を全て解答しなさい。

問 1 黄砂による被害にはどのようなものがあるか、述べなさい（100 字程度）。

問 2 近年、黄砂の発生域が拡大している。その理由について、考えられることを述べなさい（150 字程度）。

問題 2 図 1 は、アジアにおける大気中の PM2.5（直径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質）濃度の分布を示したものである。図 1 をふまえて、以下の問を全て解答しなさい。

問 1 地域ごとの濃度分布の特徴から、PM2.5 の発生源にはどのようなものがあるか述べなさい（100 字程度）。

問 2 日本では冬季から春季にかけて、PM2.5 濃度の突発的増大がしばしば観測される。この理由について説明しなさい（100 字程度）。

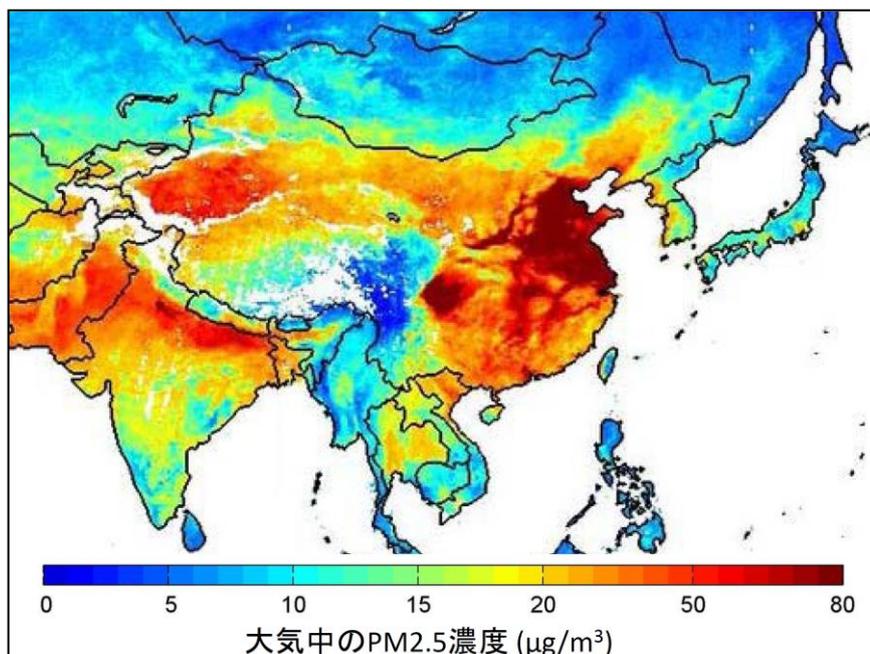


図 1 衛星観測から推定された地表面付近の大気中における PM2.5 濃度の分布（2001-2006 年の平均値）（NASA ホームページ <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/health-sapping.html>）。図の空白域は、データのない領域である。

問題3 窒素酸化物と硫黄酸化物に関する以下の問を全て解答しなさい。

問1 図2は、アジアにおける窒素酸化物（図2上）と硫黄酸化物（図2下）の国および地域別の年間排出量の経年変化（1980-2000年）を示したものである。窒素酸化物と硫黄酸化物それぞれについて、日本、中国、インドの排出量の経年変化の特徴を挙げ、国により経年変化の違いが生じる理由を説明しなさい（300字程度）。

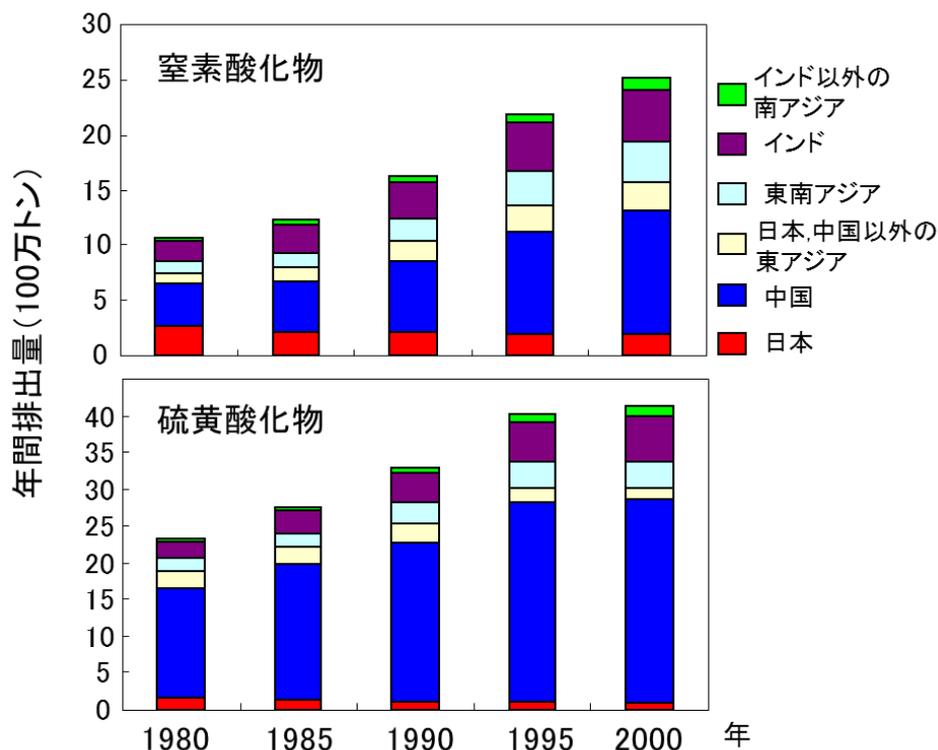


図2 アジアにおける窒素酸化物（上）と硫黄酸化物（下）の国および地域別の年間排出量の経年変化（国立環境研究所ホームページ，環境展望台のデータを使用して作図）

問2 窒素酸化物や硫黄酸化物は、しばしば酸性雨をもたらす。アジア大陸から運ばれる黄砂粒子には、それを緩和する効果があるとされている。そのメカニズムについて、考えられるところを述べなさい（100字程度）。

問題4 問題1から問題3を参考にして、わが国の大気環境を改善するためには、何が必要と考えられるかを述べなさい（300字程度）。

B (地球科学 I)

以下の問題 1～問題 2 を、それぞれ別の解答用紙に分けて、すべて解答しなさい。

問題 1 図 1 に示される地域には付加体が分布し、岩相や年代に基づいてユニット A からユニット E の 5 つのユニットに区分されている (図 1)。各ユニット境界は衝上断層 (スラスト) で境され、断層面は三角マークのついている方向に傾斜している。図 2 の柱状図 1 と柱状図 2 はそれぞれユニット B とユニット C の層序を表している。その他のユニット内で復元された層序は柱状図 1 と類似している。これらを踏まえて以下の問 1～問 8 のすべてを解答しなさい。

問 1 柱状図 1 のように玄武岩からチャート、珪質泥岩、泥岩、タービダイトと重なる付加体に特徴的な層序を何と呼ぶか答えなさい。

問 2 図 1 中の斜線で示した部分にはユニット A からユニット E のどのユニットが分布するか答えなさい。各ユニットは数 10 km の広がりをもったシート状の形態をなすものとする。

問 3 図 1 の南部地域で、ユニット E が孤立した分布をなしている部分がある。この部分にみられる地質構造名を答えなさい (ただし、アンチフォームは除く)。

問 4 付加体中には多くの衝上断層が存在している。この理由を、付加体の形成場とプレート運動に関係づけて 3 行程度で答えなさい。

問 5 図 2 の柱状図 1 において、a, b, c の層準から微化石が産し、その年代が明らかになった。a, b, c の年代には、地層形成や付加体形成のどのような現象がおこったかを、プレート運動と関連づけて答えなさい。

問 6 ユニット A, D, E では柱状図 1 と類似した層序が復元されている。ユニット A, D, E の中で柱状図 1 の b に相当する地層から微化石を抽出し、それぞれの年代を調べた。それらの年代とユニット B の b の年代をあわせて比較した場合、どのような傾向がみられると考えられるか。理由をつけて 3 行程度で答えなさい。

問 7 ユニット C のみ他と異なった柱状図 2 の層序をもつ。石灰岩は浅海性の化石

を多く含んでいる。柱状図2を構成する岩石はどのように形成されたと考えられるか3行程度で答えなさい。

問8 ユニット境界をなす衝上断層は未固結時変形を伴っており、一方、断層 X は破砕帯を伴っていた。これらの特徴および図1から、衝上断層と断層 X の形成過程について考えられることを5行以内で答えなさい。

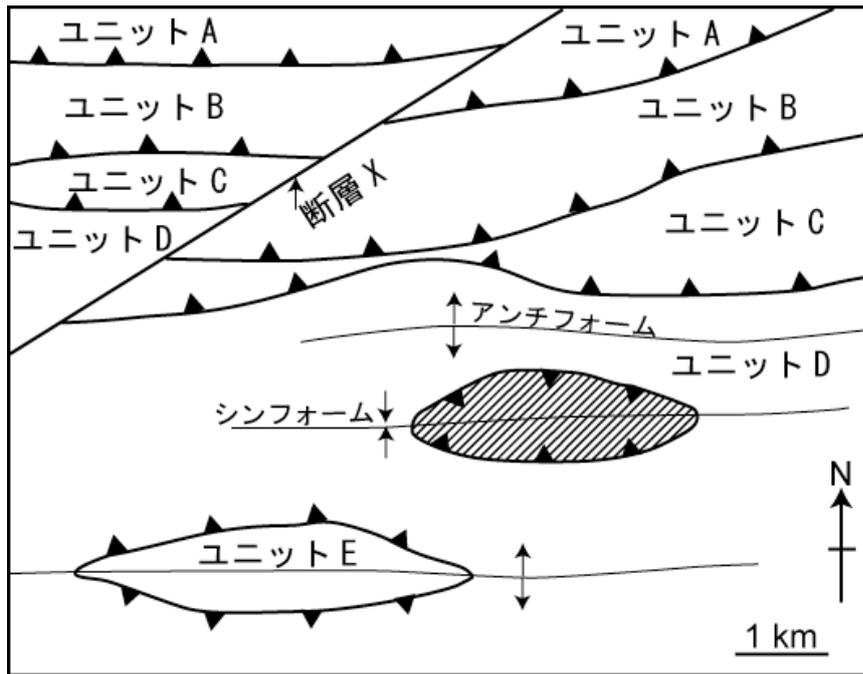


図1 地質概略図

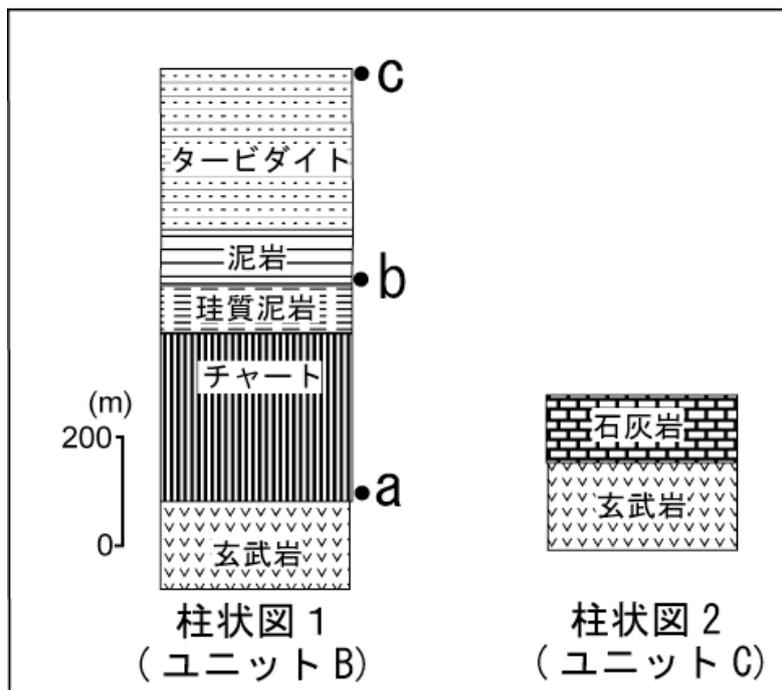


図2 柱状図

問題 2 化石を用いて地史を解明しようとする際には、古生物の生活様式の違いを考慮し、研究目的に応じて適切な化石が材料として選ばれている。多くの海洋古生物は、現生生物の生態との比較や化石の形状と産出状況などから現生生物と同様に、生活様式の違いによって、(a) 浮遊生物、(b) 遊泳生物、および(c) 底生生物に分けられる。以下の問 1～問 4 のすべてを答えなさい。

問 1 外洋の地層を対比する場合、(a) や (b) の化石が使われることが多い。その理由を 1 行程度で答えなさい。

問 2 (c) の化石を用いて古水深を推定する場合、異地性の産状を示す化石はあまり用いられない。その理由を 3 行程度で説明しなさい。

問 3 (a)、(b)、(c) のいずれかの化石を選び、古生物学的に古海水温を推定する方法について、5 行程度で説明しなさい。

問 4 (a)、(b)、(c) のいずれかの化石を選び、古生物学的に大陸間の海路の閉鎖時期を推定する方法について、5 行程度で説明しなさい。

C (地球科学II)

以下の問題1～問題3を、それぞれ別の解答用紙に分けて、全て解答しなさい。

問題1 地球の内部は、図1に示すように化学組成や力学的性質の違いにもとづいて、いくつかの層に分けられている。以下の問1～問4の全てに答えなさい。

問1 化学組成の違いからみた地殻、マントルと核の特徴を、あわせて100字程度で述べなさい。

化学組成による区分	力学的性質による区分
地殻	
マントル	
核	

図1. 地球内部の模式的層状構造。それぞれの層の厚さは定性的である。

問2 地殻は、大陸地殻と海洋地殻に区分される。海洋地殻由来の岩石が分布する地域では、しばしば、図2のような露頭が見られる。以下の(1)～(3)に答えなさい。



図2. ある露頭の写真(写真の縦方向の長さは、およそ1.5 m)。

(1) このような組織・形状を持つ岩石は特に何とよばれるか。

(2) このような組織・形状はどのようにして形成されるかを100字程度で説明しなさい。

(3) この露頭の岩石が形成されたときの上位方向は、一般に写真で示した露頭のどの方向にあたると考えられるか。そのように判断した理由を含めて「上」、「下」、「左」または「右」のいずれかで答えなさい。

問3 深さ約200 kmまでのマントルには、深さによって物性や力学的性質が大きく異なる2つの層が存在する。それはどのような違いであるのか。また、その違いはどのような観測事実から推定されているかを簡潔に述べなさい。

問4 沈み込み帯は、地殻物質がマントル内に沈み込んでゆく特異な場所である。図3は、海洋地殻とマントルを構成する物質の密度と深さの関係を示している。以下の(1)～(3)に答えなさい。

(1) 海洋地殻を構成する火成岩は、深さがおよそ40～50 km以深になると、再結晶して主にザクロ石と輝石からなるエクロジャイトに変わる。その輝石は再結晶する以前の輝石とは異なる化学組成を持つ。その化学組成の特徴と、そのように変化する理由を簡単に説明しなさい。

(2) 図3に示すように、マントルの平均密度は、深さ約410 kmで急激に増加する。これは、主にカンラン石が多形の関係にあるワーズレイ石に変化するためと考えられている。多形とは何か説明しなさい。

(3) 海溝から沈み込んだ海洋地殻は、その後マントル内でどのような挙動をするか。図3をもとに、そのように判断した理由を含めて100字程度で述べなさい。

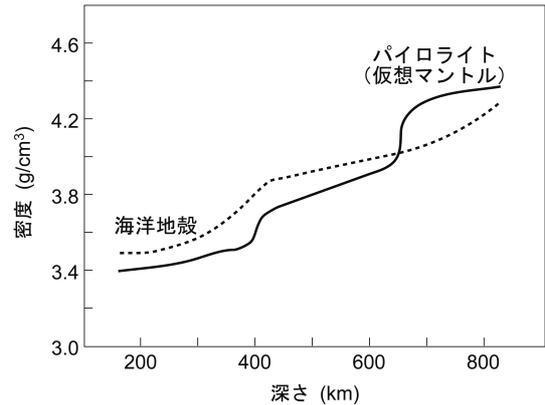


図3. 海洋地殻(点線)と仮想マントル(実線)の密度変化と深さ(圧力)の関係 [Irifune and Ringwood (1993)を簡略化].

問題2 次の文章を読み、問1～問5を全て解答しなさい。

最大主応力「 σ_1 」および最小主応力「 σ_2 」を持つ2次元応力場では、任意の面に働く剪断応力「 σ_s 」と垂直応力「 σ_n 」と主応力との関係を次の式で表すことができる

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\theta, \quad \sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2} \cos 2\theta.$$

尚、ここでは、 θ は面の垂線と σ_1 がなす角度である。ある地域の東西断面における均質な応力場は次の特徴を示すとする。主応力軸 σ_1 と σ_2 はそれぞれ水平と鉛直方向にあり、 $\sigma_1 = 130 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_2 = 70 \text{ MPa}$ である。

問1. 任意の方向の面にかかる剪断応力と垂直応力を直交座標(σ_n , σ_s)にプロットすると円の形をなす。この円をモール円という。上記の情報から円の式を求めなさい。

問2. 上記の応力状態を示すモール円図を用意された解答用紙に作図しなさい。尚、1cm = 10 MPaの縮尺を用いるとよい。また、円はフリーハンドでもよい。

問3. 同じ地域に存在する断層「F」の断層面は水平から30°傾斜する。断層Fにかかる剪断応力と垂直応力を示す点を問1で作成したモール円図に示しなさい。

問4. 断層Fが滑る応力条件は $\sigma_s = 40 \text{ MPa}$ とする. 断層が滑る条件をモール円と同じ図に示しなさい.

問5. 最大主応力 σ_1 はどこまで増加したら, 断層Fは滑るかをモール円図などを用いて推定しなさい.

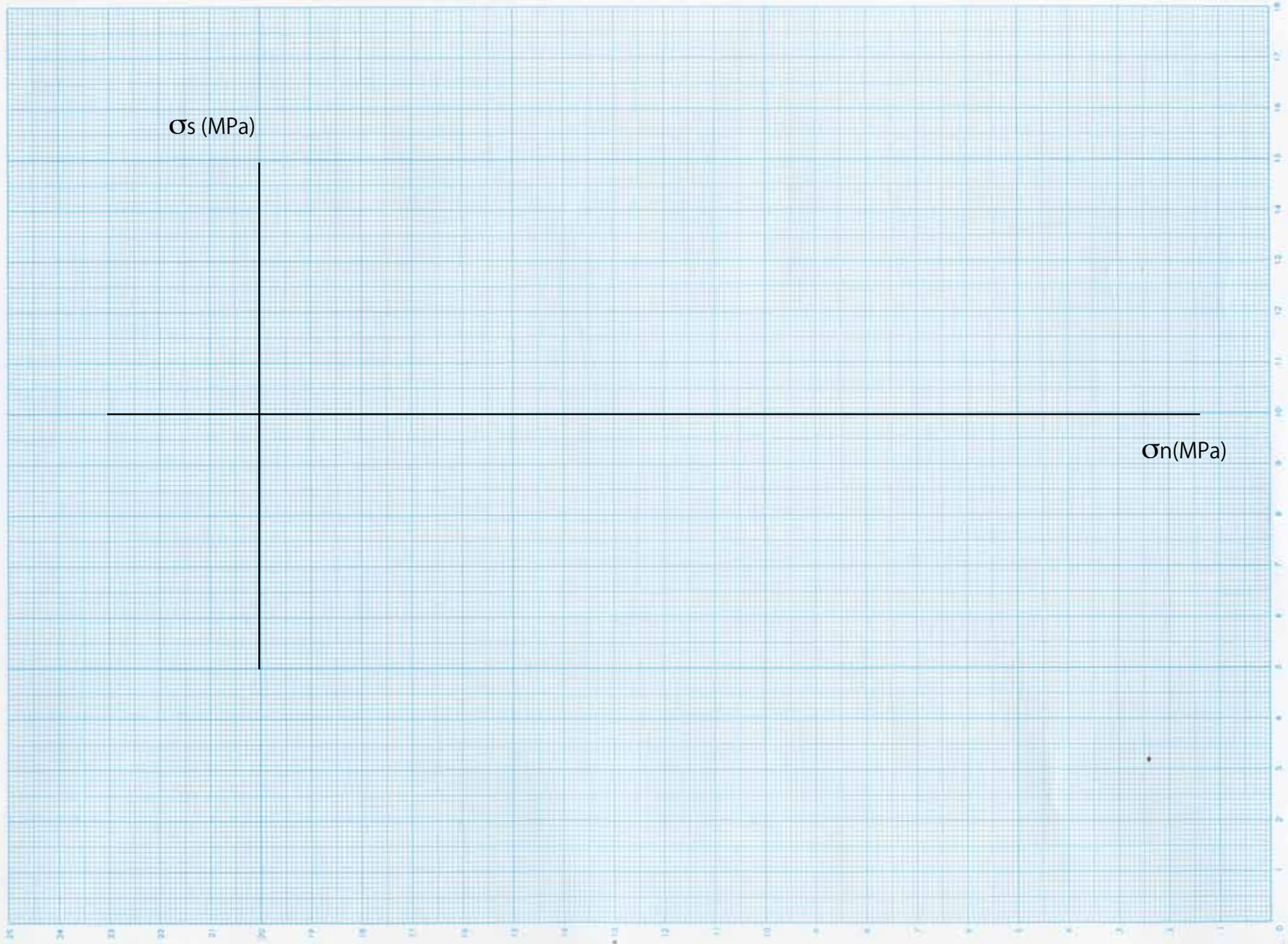
問題3 以下の問1及び問2を全て解答しなさい.

問1. 高压変成帯が, 沈み込み帯で形成されたと考えられる根拠を, 主にその構成岩石と変成条件に注目して, 具体例を挙げて答えなさい.

問2. 変成岩で, 特に大きく成長した鉱物を斑状変晶, それらの間を埋める相対的に細粒な結晶からなる部分を基質と呼ぶ. ある変成岩には, 基質の鉱物配列によって形成される面構造とその後成長した斑状変晶が発達している. 以下の(1)および(2)に答えなさい.

(1) この変成岩が示していることが期待される微細組織を模式的に図示しなさい.

(2) 上記(1)の微細組織が形成された後に, 再び強い延性作用を被った場合, それまで持っていた微細組織は, どのように変化するかを説明しなさい. なお, 必要があれば図を用いてもよい. また, 斑状変晶は歪まないと仮定する.



σ_s (MPa)

σ_n (MPa)

D (地球科学Ⅲ)

以下の問題 1, 問題 2 を全て解答しなさい。

問題 1 図 1 の白丸は、地球の顕生代における大気中の CO_2 濃度比 (過去 100 万年間の大気中 CO_2 濃度の平均を現在値とし、それとの比で示したもの)、黒丸は海成炭酸塩の炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$) の時系列変動を示したものである。図 1 中の A~K は地質時代を「紀」の単位で区分したものである (ただし、第四紀については省略した)。以下の問 1 ~ 問 3 に答えなさい。

問 1 中生代に属する地質時代を図 1 中の記号で示し、名称とともに答えなさい。

問 2 E の地質時代の前半においては、陸上では広大な森林が形成され、昆虫や両生類が繁栄したと考えられている。この地質時代 E に関する以下の (1) ~ (3) に全て答えなさい。

(1) 図 1 から、この時代においては、大気中 CO_2 濃度が大きく減少し、海成炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ が上昇していることがわかる。このような変動を引き起こす原因としてどのようなことが考えられるか、説明しなさい。

(2) この時代を通じて、大気中 O_2 濃度はどのような変化をしたかを推測し、理由とともに答えなさい。

(3) この時代の後半は、前半に比べて寒冷であったか温暖であったかを推測し、理由とともに答えなさい。

問 3 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ は、地球の古環境変動を知る上で重要な指標の 1 つである。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ の他に、古環境変動を知るために重要な指標となるものを 1 つあげなさい。また、それからどのような情報が得られるか、答えなさい。

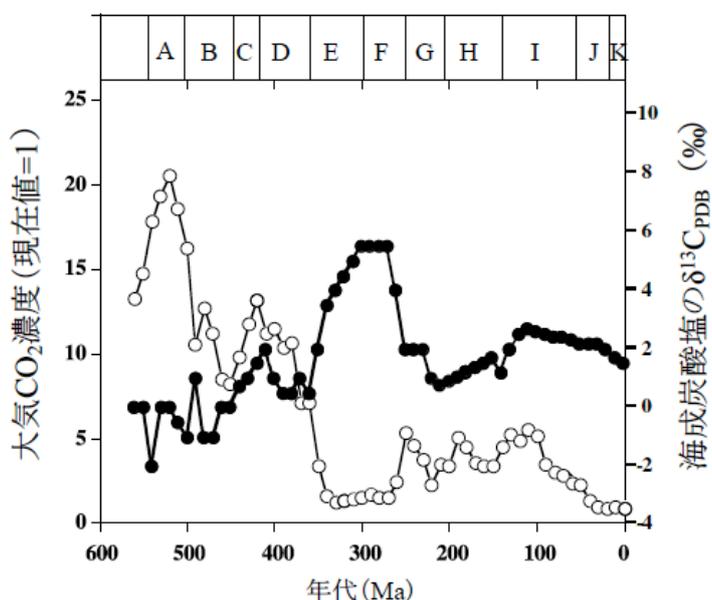


図 1. 大気中の CO_2 濃度比 (○) および海成炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (●) に関する時系列変動 [Berner (2006)の図を改変]

問題2 火成岩の化学組成に関する以下の問1～問3に答えなさい。

問1 マグマの発生、冷却、固化等の過程で、マグマ中の元素は化学的な分別を起こす。マグマ中の液相（メルト）の元素組成は、分別の際のメルトと固相（メルトから晶出した鉱物）間の元素分配から決まる。Ba, 希土類元素, K, Rb, Cs, U, Thなどのイオン半径の大きい元素は、固相に入りにくいいため、マグマの分化とともに液相中に濃縮していく。このような性質をもつ元素のことを何と呼ぶか、答えなさい。

問2 地球には、大陸地殻と海洋地殻という2つの地殻が存在し、構成する岩石が異なる。次の(1)～(3)について、大陸地殻と海洋地殻の違いを説明しなさい。

- (1) 平均密度
- (2) 形成年代の分布
- (3) 放射性核種の量

問3 希土類元素（ここでは $_{57}\text{La}$ から $_{71}\text{Lu}$ までの15元素を指す）は、化学的性質は類似しているが、元素によってイオン半径が異なるため、いろいろな反応過程においてイオン半径の効果が大きく現れる。希土類元素に関する以下の(1)～(4)に答えなさい。

(1) 希土類元素について、原子番号が大きくなるにしたがってイオン半径がどのように変化するかを、理由とともに答えなさい。

(2) コンドライトの10倍の希土類元素存在度をもつ仮想的なマントル物質が部分熔融したとする。部分熔融後の液相および固相の希土類元素パターンがそれぞれどのようなようになるか、パターンの概略を専用の解答用紙に示しなさい。また、そのようなパターンとなる理由を説明しなさい。

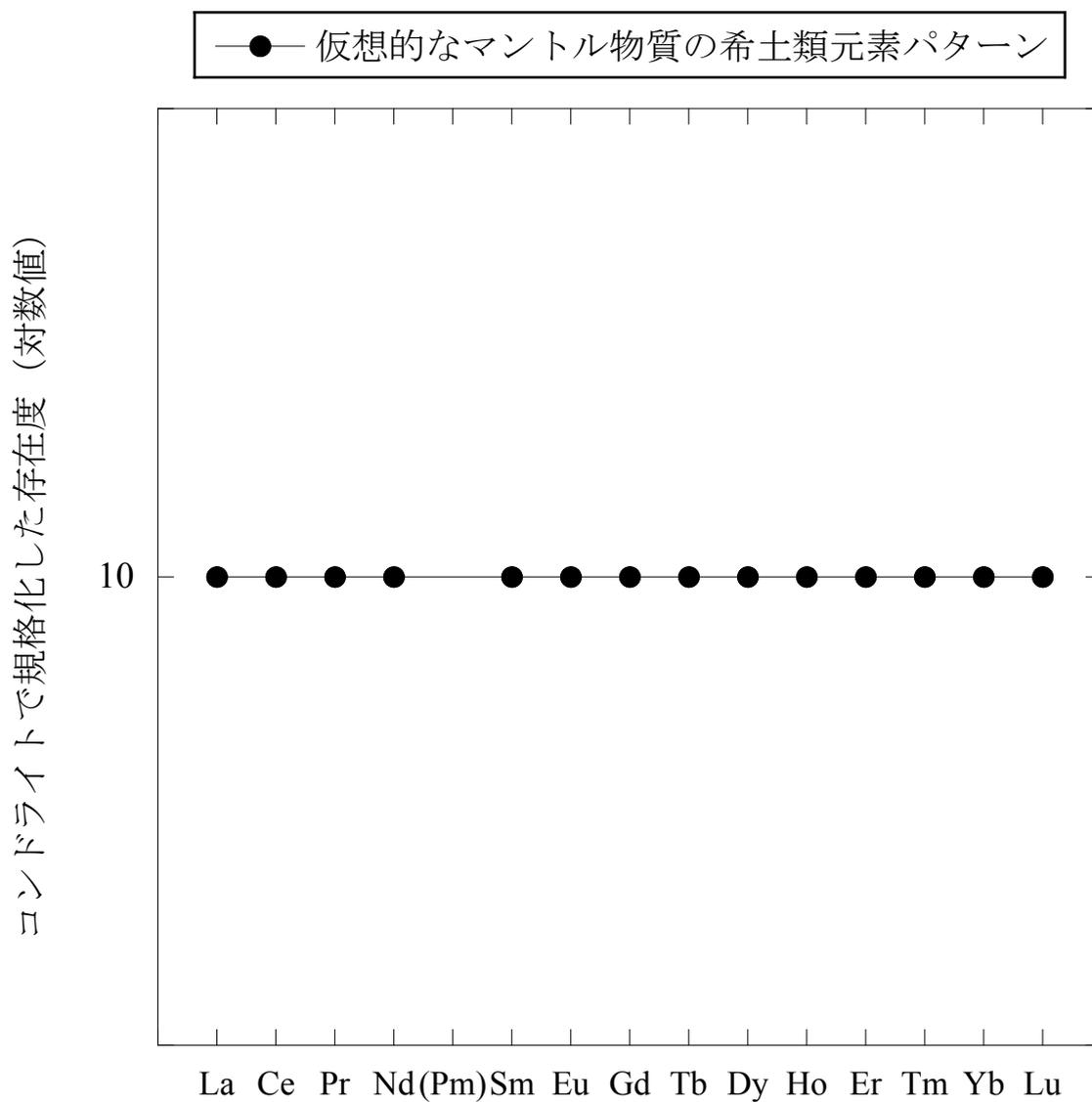
(3) カンラン岩と花こう岩のどちらが高い希土類元素存在度を示すか、理由とともに答えなさい。

(4) ^{147}Sm - ^{143}Nd 放射壊変系により変化する $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比は、マントル進化の同位体トレーサーとして広く利用されている。地球初期にマントルの分化が起こり、上部マントル物質と大陸地殻物質が生成したとすると、現時点においてどちらが高い $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比をもっているか、(2)で示された希土類元素パターンをふまえて、理由とともに答えなさい。

D (地球科学Ⅲ)

受験番号

問題2の問3 (2) 解答用紙



E (物理学)

以下の問題1～問題3を、それぞれ別の解答用紙に分けて、全て解答しなさい。

問題1 図1のように x 軸上に並ぶ3質点系の一次元運動を考える。質量 m の質点Cの両側に、質量 M の質点1, 2が、自然長 l 、バネ定数 k のバネでそれぞれ結合されているものとし、バネの質量や重力、および摩擦は無視する。質点C, 1, 2の座標を、それぞれ x_C , x_1 , x_2 とする。以下の問1～問3に答えなさい。

問1 3質点の運動方程式をそれぞれ求めなさい。

問2 質点Cから見た質点1, 2の相対的な座標を、それぞれ X_1 , X_2 とする。

(1) X_1 , X_2 を、 x_C , x_1 , x_2 を用いて表しなさい。

(2) X_1 と X_2 の線形結合でつくられる基準座標 $y_1 = X_1 - X_2$, $y_2 = X_1 + X_2$ で記述される運動を考えることで、この系の2つの固有角振動数 ω_1 , ω_2 を求めなさい。ただし、 $\omega_1 < \omega_2$ とする。

問3 ω_1 , ω_2 に対応する固有振動は、それぞれどのような振動であるか説明しなさい。必要であれば、図を用いてもよい。

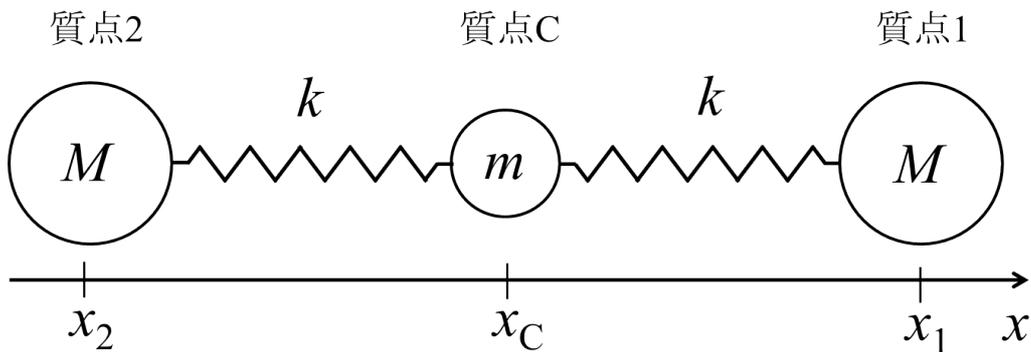


図1

問題2 図2のように、半径 R 、質量 M の剛体球が水平面とのなす角 θ の粗い斜面上を下向きに滑らずに転がり落ちることを考える。球の中心を通る軸のまわりの慣性モーメントを I_G 、斜面に沿って働く摩擦力の大きさを F 、重力加速度の大きさを g 、斜面に沿って下向きを x 軸とする。以下の問1～問6に答えなさい。

問1 球の重心の x 座標上での位置を x_G として、球の回転に関する運動方程式を立てなさい。

問2 球の重心の加速度 \ddot{x}_G を M 、 R 、 I_G 、 g 、 θ を用いて表しなさい。

問3 摩擦力 F を M 、 R 、 I_G 、 g 、 θ を用いて表しなさい。

問4 斜面との静摩擦係数を μ_s としたとき、球が滑らずに転がり落ちるための μ_s に関する条件を求めなさい。

問5 半径 R 、質量 M の剛体球について、密度が一様な球の場合と、厚さが十分に薄い球殻の場合の I_G をそれぞれ求めなさい。必要に応じて、 $\sin^3 \alpha = \frac{3}{4} \sin \alpha - \frac{1}{4} \sin 3\alpha$ の関係を用いてよい。

問6 密度が一様な球の場合と、厚さが十分に薄い球殻の場合で、滑らずに転がり落ちるための条件をみたます斜面の最大角度はどちらがより小さいか答えなさい。ただし、斜面との静摩擦係数 μ_s は同じとする。

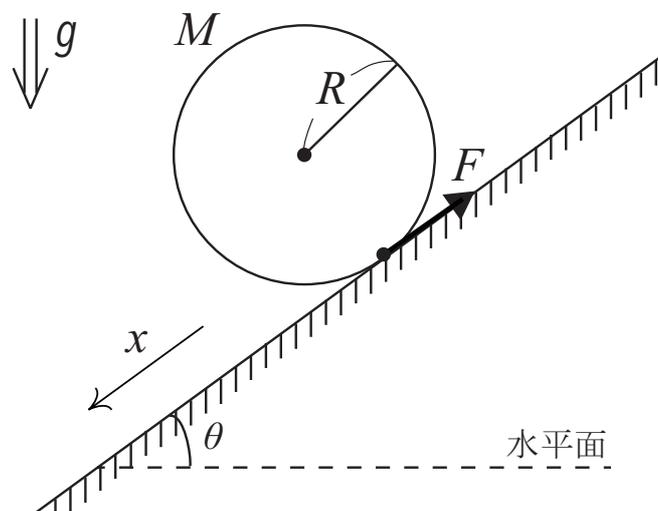


図2

問題3 以下の問1～問4に答えなさい。

問1 準静的変化において、内部エネルギー E の完全微分 dE は温度 T 、圧力 P 、エントロピー S 、体積 V を用いて $dE = -PdV + TdS$ となる。これから、ギブス自由エネルギー $G = E - TS + PV$ の完全微分 dG を求めなさい。

問2 以下の2つの偏微分係数

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P, \quad \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$$

をそれぞれ熱力学変数で表しなさい。括弧の下の P 、 T はそれぞれ微分が一定の P 、 T のもとで行われることを示す。

問3 相1、および相2の間の平衡を考える。2つの相の相平衡の条件は以下の3つである。

1. 相1の温度 T_1 と相2の温度 T_2 が等しい。
2. 相1の圧力 P_1 と相2の圧力 P_2 が等しい。
3. 相1のギブス自由エネルギー G_1 と相2のギブス自由エネルギー G_2 が等しい。

P - T 平面上の2相共存線に沿って圧力 P と温度 T を微小変化させた際の相1、相2のギブス自由エネルギーの変化量をそれぞれ dG_1 および dG_2 とする。相平衡の条件 $dG_1 = dG_2$ から共存線の勾配 dP/dT を求めることができる。相1および相2の体積 V_1 、 V_2 、相転移させるのに必要な潜熱 $Q = T(S_2 - S_1)$ (ここで S_1 、 S_2 はそれぞれ相1および相2のエントロピー) と温度 T を用いて共存線の勾配 dP/dT を表しなさい。

問4 0°C 、1気圧 ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) における氷 (H_2O) の融解熱は $3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ 、氷の比体積は $1.09 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 、水の比体積は $1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ である。100気圧における氷の融点を問3で求めた dP/dT から求めなさい。ただし、 dP/dT の P 、 T 依存性は無視できるほど小さいと仮定する。

F (化学)

以下の問題 1～問題 4 の全てに解答しなさい。

問題 1 水は地球表層に多量に存在し、地球環境を維持する上で重要な化合物である。以下の水に関する問に解答しなさい。

問 1 周期表で 16 族元素に含まれる酸素、イオウ、セレンの水素化物 (H_2O , H_2S , H_2Se) の沸点は、1 気圧においてそれぞれ 100°C , -59.6°C , -41.3°C である。 H_2O は他の水素化物に比べて特異的に高い沸点を示す。 H_2O がこのように高い沸点を示す理由を説明しなさい。

問 2 水は凝固し氷になると、密度が小さくなる。他の多くの物質が凝固により密度が大きくなるのに対して、氷の密度が水よりも小さくなるのはなぜか、その理由を説明しなさい。必要であれば、図を用いてもよい。

問題 2 岩石に含まれる鉱物中のストロンチウムは、鉱物の種類によって同位体組成が異なっている。また、雨水中の水素の安定同位体組成は、雨水を採取する場所や季節によって変動することが知られている。このように天然試料中の同位体組成が変動する要因を、以下の二つの元素の同位体組成について説明しなさい。

(1) 鉱物中のストロンチウム

(2) 雨水中の水素

問題 3 pH 3.0 の HCl 溶液中の CaF_2 の溶解度 (mol/L) を計算しなさい。ただし、 CaF_2 の溶解度積 $K_{\text{sp}} = 4.0 \times 10^{-11}$ 、HF の解離定数 $K_{\text{a}} = 6.0 \times 10^{-4}$ とする。

問題 4 海水中の塩分を塩化物イオン濃度で代用することがある。以下の比色法による塩化物イオンの定量方法を読み、各問に解答しなさい。

原理：塩化物イオンを含む溶液にチオシアン酸水銀 (II) を加えると、塩化物イオンは難溶性の塩化水銀 (II) を生成する。この反応により生成したチオシアン酸イオンは鉄イオン (III) と反応して、チオシアン酸鉄 (III) の呈色を生ずる。この呈色した溶液を波長 460 nm で透過率を測定する。

- 試薬：1) チオシアン酸水銀 (II) 溶液：チオシアン酸水銀 (II) 0.2 g をメチルアルコール 50 mL に溶解する。
- 2) 硝酸鉄 (III) – 硝酸溶液：硝酸鉄 (III) 20 g を 5 mol/L 硝酸 50 mL に溶解する。
- 3) 塩化物イオン標準溶液 500°C で乾燥した①塩化ナトリウム 0.165 gをはかり，純水で 200 mL に溶かす。

操作： 共栓付き試験管に 1000 倍に希釈した海水試料 10 mL をとり，硝酸鉄 (III) – 硝酸溶液 2.0 mL とチオシアン酸水銀(II)試薬 1.0 mL を加えて混合する。10 分後，透過長 10 mm のセルを用いて波長 460 nm で②透過率を測定する。塩化物イオン標準溶液を用いて同様の方法で作成した検量線により試料の濃度を求める。この方法により，0.2～20 ppm の塩化物イオンを迅速に定量できる。

問 1 下線部①に関して，作成した塩化物イオン標準溶液の濃度を mol/L で求めなさい。ただし，ナトリウムの原子量を 23.0，塩素の原子量を 35.5 とする。

問 2 下線部②のように本操作では透過率を求める。検量線作成には吸光度が必要であるが，透過率 T (%)から吸光度 A を求める式を示しなさい。

問 3 吸光度測定では，ランベルト–ベール (Lambert-Beer) の法則が適用される。この法則を表す式を示しなさい。なお，その式に用いた定数ならびに変数の説明を加えなさい。

G (生物学)

以下の問題 1～問題 3 のうちから 2 問題を選択して，解答しなさい。

問題 1 生物の化石化過程に関する以下の問いに答えなさい。

問 1 動物は大別して硬組織と軟組織からなり，さらに硬組織は鉱物で作られている場合と非鉱物（タンパク質など）で作られている場合がある．硬組織を形成することが知られている鉱物名を 2 つ挙げ，その組成（化学式）と，それを持つ動物の分類群名を答えなさい。

問 2 化石として見つかる動物は，ほとんどの場合硬組織のみが保存されているが，例外的に軟組織の構造が保存されている場合がある．そのような例はなぜ生じるのか，100 字程度で述べなさい。

問 3 動物の硬組織を構成していた鉱物種が堆積後の続成過程で変化することがある．このような例を一つあげ，かつ具体的にどのような鉱物がどの別の鉱物に変化するのかを答えなさい。

問 4 アンモナイトやウミユリ等の化石は，地層の上面側（化石の上側）に比べて地層の下面（化石の下側）の保存状態が良好である場合が多い．このような保存状態の差はなぜ生じるのか，堆積時の海底での状況を考慮しながら 100 字程度で述べなさい。

問 5 始生代（太古代）や原生代の地層から，かつての生命体が残した分子や有機物が見つかることがある．このように化石の形態を持たないが，特定の生命体が存在した証拠として用いられる分子や有機物を何と呼ぶか答えなさい．またこのような分子や有機物を，かつての生命体が存在した証拠として用いる場合，どのような注意が必要となるか，100 字程度で説明しなさい。

問題2 下図にさまざまな脊椎動物の右腕の骨格を示した。ここに示した動物のうち、ワニやハリモグラの腕は歩行のために用いられる。ウミガメやペンギン、アシカ、クジラの腕はヒレ状になっており、遊泳のために用いられる。一方、ヨクリュウやハト、コウモリの腕は翼状になっており、飛翔のために用いられる。上腕骨(H)、尺骨(U)、橈(とう)骨(R)はいずれも相同な(ア)骨であることが分かっている。図中に示した枠は、枠内の動物種間の類縁関係が近いことを示す。これについて以下の問1～問7に答えなさい。なお、A～Dの動物群は単系統であることが支持されており、A～Dそれぞれの動物群の祖先種はいずれも飛翔能力も遊泳能力も持っていなかったことが分かっていると仮定する。

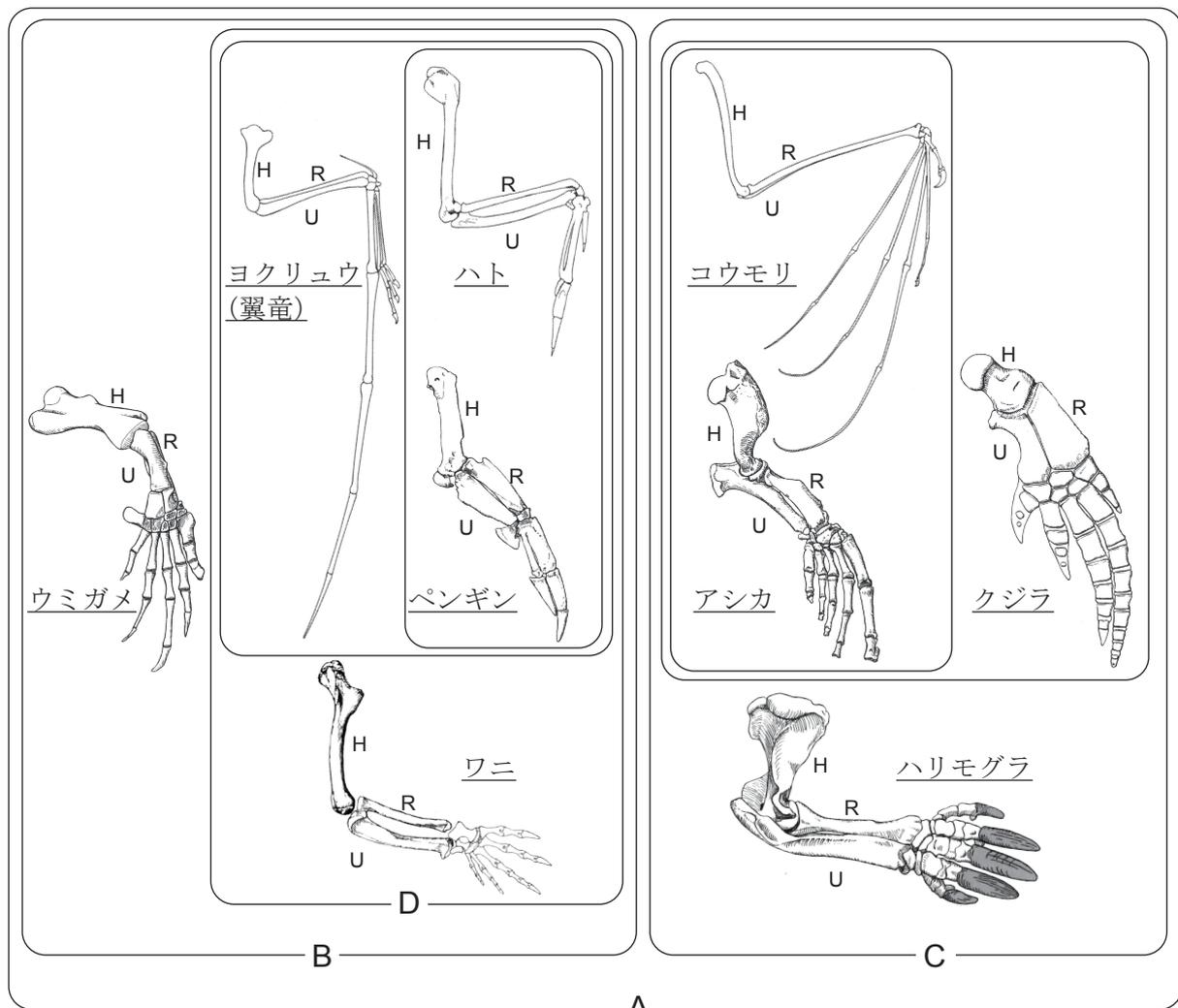


図. さまざまな脊椎動物の腕の骨格. Cong et al. (1998) および Hildebrand & Goslow (2001) を改変. H, 上腕骨 (humerus); U, 尺骨 (ulna); R, 橈 (とう) 骨 (radius).

問1 「収斂 (しゅうれん) 進化」とはなにか、50 字程度で説明しなさい。

問2 ここに示した動物 (動物群 A) は、腕が遊泳や飛翔など全く異なる適応を示

しているにも関わらず，単系統であることが支持されている．それはどのような特徴によって支持されるか，図から読み取れる情報を使って解答しなさい．また，このように動物群を特徴付ける形質は何と呼ばれるか解答しなさい．

問3 ここに示した動物の系統関係を分岐図で示しなさい．

問4 下線部（ア）について，相同な器官とはどういうものか50字程度で説明しなさい．

問5 問3で描いた分岐図をもとに判断した場合，ヒレを用いた遊泳能力は脊椎動物の中で少なくとも何回獲得されたと判断できるか答えなさい．

問6 問3で描いた分岐図をもとに判断した場合，以下の動物の組み合わせの中で，腕の骨格が遊泳または飛翔いずれかの機能への収斂であると確実に言えるものはどれか，当てはまるものを全て答えなさい．また，それらの組み合わせが収斂だと言える理由を150字程度で述べなさい．

「コウモリとヨクリュウ」

「ウミガメとペンギン」

「ハトとヨクリュウ」

「ペンギンとクジラ」

「アシカとクジラ」

問7 問6について，腕の形態が収斂であると確実に言えない動物の組み合わせがある場合，これらの腕が収斂であることを示すためにはどのようなことが分かればよいか，150字程度で答えなさい．

問題3 以下の問1～問3を全て解答しなさい。

問1 種概念に関する以下の問いに答えなさい。

- (1) 生物学的種概念の定義を100字以内で記述しなさい。
- (2) 生物学的種概念を化石種に直接適用することは、どのような理由から難しいか、100字以内で説明しなさい。

問2 生物の分布に関する以下の問いに答えなさい。

- (1) 固有種とはどういうものか、50字以内で説明しなさい。
- (2) 初期固有と遺存固有の違いについて、100字以内で説明しなさい。

問3 以下の文を読んで(1)～(3)の問いに答えなさい。

学生Aさんは、あるガ(蛾)の種内多型について研究することにした。このガには成虫の体が黒い個体と白い個体がある。このガは幼虫のとき、Bという植物の葉を食べて育つ。このガは成虫になると、よく木の幹に止まっている。このガの天敵はヒヨドリであり、この鳥は成虫になったこのガを捕まえて食べる。

Aさんがこのガの成虫を調査したところ、C地域に生息している集団はその84%の個体で体が黒かった(ア)。20年前に同じ地域で調査した記録が残っているが、そのころ体の黒い個体は50%しかいなかったという。C地域では、この20年の間に大気汚染が進み、木の幹が以前より黒ずんでいることもわかっている。

Aさんは、「20年の間にこのガで体の黒い成虫が増えたのは、Bの葉についての汚染物質をガが食べ、その物質がガの体に直接作用して黒くなったためである」という仮説を立てた。Aさんはこの仮説を検証しようと次の実験を行なった。まず、黒い体の成虫と白い体の成虫を50匹ずつ捕獲し、両方を合わせて1つの広いケージに放して飼育した。卵が生まれ幼虫が孵化(ふか)したので、これらの幼虫全てに汚染物質をつけたBの葉だけを餌として与えた。幼虫が成虫になったときに確認したところ、全体の80%は黒い体を持っていた。このことからAさんは、自分の仮説は正しかったと考えた。

しかし、後からAさんは、自分の実験には欠陥があり、この実験だけでは上の仮説が正しいかどうかはわからないことに気づいた(イ)。現在ではAさんは、「黒い個体が増えたのは、鳥の捕食を介した自然選択の結果なのかもしれない」(ウ)と思っている。

- (1) 下線部(イ)について、Aさんの実験にはどのような欠陥があると考えられるか。もっとも重要と思われる欠陥を挙げて100字以内で説明しなさい。

(2) 下線部(ウ)について、具体的にはどのような仮説が考えられるか。100字以内で書きなさい。

(3) Aさんの実験の後、このガの色の違いは1つの優性遺伝子の有無に基づいており、この遺伝子をホモあるいはヘテロで持つと成虫の体は黒くなるということがわかった。下線部(ア)のC地域の集団における、「体が黒い」という表現形をもたらす優性遺伝子の頻度と、ヘテロ接合体の頻度をそれぞれ答えなさい。

H (数学)

以下の**問題1**～**問題5**を全て解答しなさい。答案には計算過程も書きなさい。

問題1 次の行列について、行列式と逆行列を求めなさい。

$$\text{問 1} \quad \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \varphi & \sin \theta \sin \varphi & \cos \theta \\ \cos \theta \cos \varphi & \cos \theta \sin \varphi & -\sin \theta \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \end{pmatrix} \quad \text{問 2} \quad \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 3 \end{pmatrix}$$

問題2 次の定積分の値を計算しなさい。

$$\text{問 1} \quad \int_0^{\sqrt{3}} \frac{1+x}{1+x^2} dx \quad \text{問 2} \quad \int_0^{2\pi} e^{-x} |\sin x| dx$$

問題3 $|x| < 1$ のとき、次の関数のマクローリン展開を求めなさい。

$$\text{問 1} \quad \frac{1}{1-x} \quad \text{問 2} \quad \log_e(1-x)$$

注：関数 $f(x)$ が $x=0$ を含む開区間で無限回微分可能であり、 $x=0$ の近傍で収束する無限級数の和 (*) で表されるとき、この展開を $f(x)$ のマクローリン展開とよぶ。ここで、 $f^{(n)}(x)$ は $f(x)$ の n 次導関数を表す。また、 $0! = 1$ と定義する。

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n \quad \dots \dots \dots (*)$$

問題4 常微分方程式に関する次の問1～問2に答えなさい。

問1 ベルヌーイの微分方程式 $dy/dx = p(x)y + q(x)y^\alpha$ (α : 整数, $\alpha \neq 0, 1$) は、変換 $z = y^{1-\alpha}$ によって線形微分方程式に帰着することを示しなさい。

問2 問1の方法を用いて、次の常微分方程式の一般解を求めなさい。

$$\frac{dy}{dx} + \frac{y}{x} = 2y^2 \log_e x$$

問題5 3次元空間内に、 N 個の点 P_1, \dots, P_N がある。 n 番目の点 P_n の座標を (x_n, y_n, z_n) と

するとき、次の問1～問4に答えなさい。

問1 N 個の点の平均の座標 $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ を数式で示しなさい。

問2 N 個の点の x 軸方向, y 軸方向, z 軸方向のばらつきを示す分散 s_{xx} , s_{yy} , s_{zz} および xy 平面内, yz 平面内, zx 平面内でのばらつきを示す共分散 s_{xy} , s_{yz} , s_{zx} を数式で示しなさい。必要ならば、各座標値の平均を \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} としてよい。

問3 分散共分散行列 \mathbf{C} が次のように与えられたとき、 \mathbf{C} の固有値とその単位固有ベクトルを求めなさい。

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{zx} \\ s_{xy} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{yz} & s_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 10\sqrt{3} & 0 \\ 10\sqrt{3} & 30 & 0 \\ 0 & 0 & 20 \end{pmatrix}$$

問4 問3の結果を考慮して、 N 個の点の分布の特徴を答えなさい。