

2012（平成 24）年度

地球惑星科学専攻 修士課程入学試験

試 験 問 題

基 礎 科 目
---------

- \* 解答時間は 3 時間.
- \* 問題冊子は表紙を含めて 2 3 頁.
- \* 問題 1～12 の 12 題のうちから 3 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、問題の番号（1～12）を記入すること.
- \* 電卓の使用は禁止.
- \* 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。また追加の解答用紙を希望する場合は、試問時間中に挙手し、監督者に申し出ること.

## 基礎科目（問題 1）

以下の問 [1] ~ [5] に答えよ。ただし、導出過程も示すこと。

[1] 次の計算をせよ。

$$\frac{d}{dx} \int_1^x (t-x) \log t dt$$

ここで  $\log$  は自然対数である。

[2]  $y = y(x)$  に関する次の微分方程式を、 $y(1) = 0$  の条件のもとに解け。

$$x \frac{dy}{dx} - 3y = 2x$$

[3]  $y = y(x)$  に関する次の微分方程式の一般解を求めよ。

$$x^2 \frac{d^2y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} - 4y = x$$

[4]  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  とするとき、 $\operatorname{div}(\operatorname{grad} f(r)) = 0$  を満たす関数  $f(r)$  を求めよ。

[5] 次の方程式を満たす複素数  $a$  を求めよ。

$$\cos a = 2$$

(問題 1 終わり)

## 基礎科目（問題2）

以下の問 [1] ~ [5] に答えよ。上添字の  $t$  は転置を表す。行列の成分は実数とする。

[1]  $\mathbf{A}$  を  $m \times n$  の行列とする。  $\mathbf{A}'\mathbf{A}$  が  $n \times n$  の対称行列となることを成分計算に基づいて示せ。

[2] 転置行列と逆行列が等しい行列を直交行列と呼ぶ。  $\mathbf{B}$  を直交行列とするときその行列式を求めよ。導出過程も簡単に示すこと。

[3] 次の行列の逆行列を求めよ。

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 3 \\ 2 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

[4] 次の行列の行列式を求めよ。答は因数分解の形で示せ。

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} x & y_1 & y_2 & y_3 \\ y_1 & x & y_2 & y_3 \\ y_1 & y_2 & x & y_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 & x \end{pmatrix}$$

[5]  $\mathbf{S}$  を  $n \times n$  の対称行列、  $\mathbf{x}$  を  $n$  行の列ベクトルとするとき、以下の積分

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(\mathbf{x}'\mathbf{S}\mathbf{x}) d\mathbf{x} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} \exp(\mathbf{x}'\mathbf{S}\mathbf{x}) dx_1 dx_2 \cdots dx_n$$

が無限大に発散しないためには、  $\mathbf{S}$  の固有値が全て負でなければならないことを示せ。但し、任意の対称行列は、適当な直交行列により対角化できることは証明なしで用いてよい。

(問題2 終わり)

## 基礎科目 (問題 3)

以下の問 [1], [2] に答えよ.

- [1] 体積  $V$ , 圧力  $P$ , 絶対温度  $T$  の気体を考える. この気体の内部エネルギーを  $U$ , エントロピーを  $S$  とすると, これらの熱力学関数を結びつける微分形式は

$$TdS = dU + PdV$$

と書ける. この気体の状態方程式が

$$PV = RT \quad (R \text{ は気体定数})$$

と表せるとき, 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

- (1) この気体の  $U$  を  $T$  と  $V$  の関数とみなした場合,

$$\frac{\partial U}{\partial V} = 0$$

となることを示せ. ここで,  $S$  を  $T$  と  $V$  の関数とみなした場合,

$$dS = \frac{\partial S}{\partial T} dT + \frac{\partial S}{\partial V} dV$$

と表すことができ, さらに

$$\frac{\partial}{\partial V} \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right) = \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right), \quad \frac{\partial}{\partial V} \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right) = \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)$$

が成り立つことを用いてもよい.

- (2) この気体の  $U$  が

$$U = cRT \quad (c \text{ はある定数})$$

と表せるとき,  $dS = 0$  なる準静的断熱過程において,  $T^c V$  が変化しないことを示せ.

- (3) この気体を体積  $V'$  ( $V' > V$ ) の真空の断熱容器に入れて, 体積  $V'$  になるまで断熱自由膨張させたとする. このとき, 断熱自由膨張させた前後でのこの気体のエントロピー  $S$  の増分  $\Delta S$  の値を,  $V, V'$ , および  $R$  を用いて表せ.

(問題 3 次ページに続く)

[2] 以下の方程式で記述される非粘性非圧縮流体の運動を考える.

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0\end{aligned}$$

ここで,  $t$  は時刻,  $(x, y)$  は 2次元のデカルト座標,  $(u, v)$  は  $(x, y)$  方向の流速,  $p$  は流体の圧力,  $\rho$  は流体の密度である.  $\rho$  は定数とする. なお, この流体の運動は 2次元的で,  $(x, y)$  に垂直な方向の座標を  $z$  とした場合, 運動は  $z$  に依存せず, かつ  $z$  方向の流速  $w$  は 0 であるとする. このとき, 以下の小問 (1), (2) に答えよ.

(1) この流体の運動が定常で, かつ

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

を満たすとき,

$$\frac{1}{2}(u^2 + v^2) + \frac{p}{\rho}$$

の値が  $x$  および  $y$  に依存しないことを示せ.

(2) この流体中に,  $(x, y) = (0, 0)$  を中心軸とする半径  $a$  の円柱を置くことを考える. 円柱は  $z$  方向に無限にのびているものとする. この円柱のまわり ( $r = \sqrt{x^2 + y^2} \geq a$ ) で, 流体が以下の流速分布で定常状態にあるとする.

$$\begin{aligned}u &= U - \frac{Ua^2(x^2 - y^2)}{r^4} - \frac{\Gamma y}{2\pi r^2} \\ v &= -\frac{2Ua^2xy}{r^4} + \frac{\Gamma x}{2\pi r^2}\end{aligned}$$

ここで,  $U$  および  $\Gamma$  はある定数とする. このとき, この円柱が  $z$  方向の単位長さあたりに流体から受ける力の  $y$  成分を求めよ.

(問題 3 終わり)

## 基礎科目（問題 4）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

- [1] 図 1 のような, 質量  $m$  の原子 A と質量  $M$  の原子 B の 2 種類の原子が, それぞれ奇数番目と偶数番目に交互に並んだ 1 次元格子の振動について考えよう. ただし,  $m < M$  である. 原子間はばね定数  $c$  のばねで連結されており, 平衡状態における原子間距離は  $a$  である. また, 振動方向は格子に対して平行な方向とする. 原子は質点とみなせるとして, 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

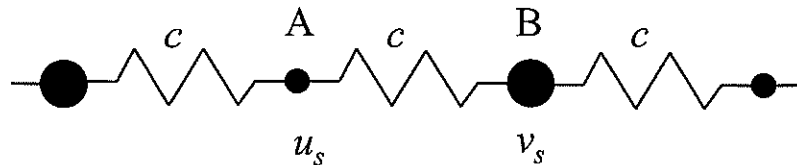


図 1

- (1)  $2s - 1$  番目の原子 A と  $2s$  番目の原子 B の平衡状態からの変位をそれぞれ  $u_s, v_s$  とする. このとき, これらの原子に対する運動方程式を書け.
- (2) 運動方程式の解として

$$u_s = U \exp[i\{(2s - 1)ka - \omega t\}], \quad v_s = V \exp[i\{2ska - \omega t\}]$$

という形の解を考えよう. ここで,  $\omega (\geq 0)$  は角振動数,  $k$  は波数,  $t$  は時刻,  $i$  は虚数単位である. 振動として存在できるのは,  $k$  が  $\omega$  とある関係 (分散関係) を満たす場合に限られる. 分散関係式を求め,  $k$  が実数であれば, 1 つの  $k$  の値に対して対応する実数の角振動数が必ず 2 つ存在することを示せ.

- (3)  $ka = 0$  における 2 つの角振動数のうち, 値が大きいものを求めよ. また, その振動に対して  $U$  と  $V$  の関係を求め, 振動の振幅と位相の特徴を述べよ.

(問題 4 次ページに続く)

- [2] 質量が  $M$  で密度が一様な薄い剛体の円板 (半径  $a$ ) が、水平面との角度が  $\alpha$  の摩擦のある斜面上を運動している。運動は図 2 に示した  $x-y$  平面内に限られている。重力加速度を  $g$ 、円板と斜面の接触点に作用する垂直抗力を  $R$ 、摩擦力を  $F$  とするとき、以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

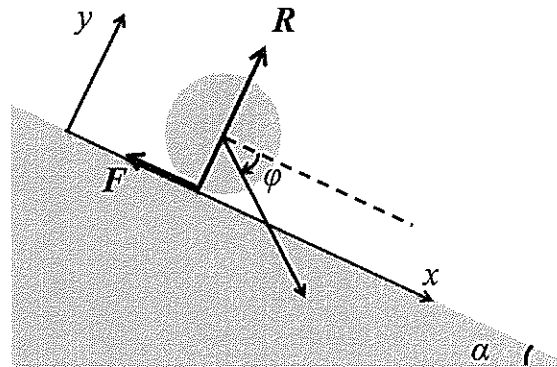


図 2

- (1) 円板の重心軸のまわりの慣性モーメント  $I$  を求めよ。
- (2)  $x-y$  平面における円板の重心点の座標を  $(x, a)$ 、回転角を  $\varphi$ 、回転角速度を  $\omega = \dot{\varphi}$  とするとき、円板の運動方程式を書け。
- (3) 斜面と円板の間の静止摩擦係数を  $\mu$  とする。円板が斜面上を滑らずに転がるための条件は、 $\tan \alpha < 3\mu$  であることを示せ。

(問題 4 終わり)

## 基礎科目（問題5）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

- [1] 均質で等方な線形弾性媒質中を伝わる弾性波に関する以下の小問 (1) ~ (4) に答えよ. ただし, 体積力は無視し, デカルト座標系  $(x_1, x_2, x_3)$  を用いる.

- (1) 媒質中の任意の点  $(x_1, x_2, x_3)$  における変位を  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)$ , 応力テンソルを  $\sigma_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) とするとき, 図1を参考に, この点の近傍の微小な直方体についての運動方程式が以下の式①のように表されることを説明せよ.

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{i1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{i2}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{i3}}{\partial x_3} \quad (i = 1, 2, 3) \quad \text{①}$$

ここで,  $\rho$  は媒質の密度である.

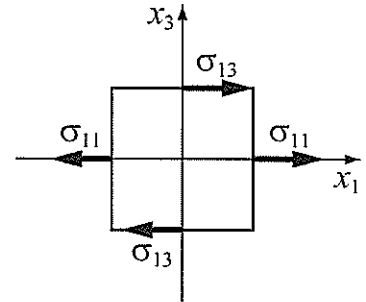


図1 微小な直方体の  $x_2 = 0$  における断面図. その面内の  $x_1$  方向の応力を示す.

- (2) 等方な線形弾性媒質中では, 応力テンソル  $\sigma_{ij}$  と歪テンソル  $e_{ij} = (\partial u_i / \partial x_j + \partial u_j / \partial x_i) / 2$  とは以下の式②で表される一般化されたフックの法則により関係づけられている.

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} \lambda(e_{11} + e_{22} + e_{33}) + 2\mu e_{ij} & (i = j) \\ 2\mu e_{ij} & (i \neq j) \end{cases} \quad \text{②}$$

ここで,  $\lambda$  と  $\mu$  はラメの定数である. この関係を用いると, 式①の運動方程式は, 次の式③となることを示せ.

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad \text{③}$$

- (3) 式③から  $\nabla \cdot \mathbf{u}$  と  $\nabla \times \mathbf{u}$  についての波動方程式を導け. 必要なら, 以下の関係式④を用いてもよい.

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{u}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \nabla^2 \mathbf{u} \quad \text{④}$$

- (4) P波(縦波, 疎密波)とS波(横波, せん断波)の速度をラメの定数を用いて表せ.

(問題5 次ページに続く)



[2] 地震波の屈折に関する以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。必要に応じて、図を書いて説明してよい。

(1) ホイヘンスの原理とは、「ある時刻の波面から射出される素元波の包絡面が新しい波面になる」というものである。いま、図 2 に示すように平面波が、伝播速度  $v_1$  の媒質 1 から伝播速度  $v_2$  の媒質 2 へ屈折して伝播するとき、入射角  $\theta_1$  と屈折角  $\theta_2$  の間に成り立つスネルの法則をホイヘンスの原理から導け。

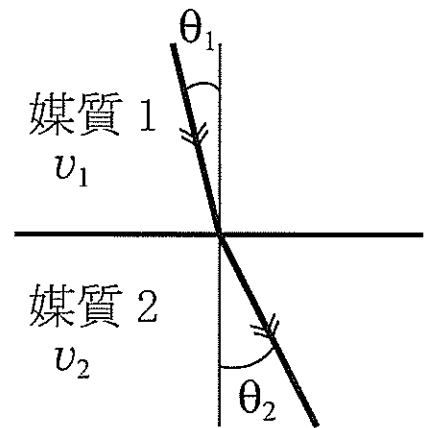


図 2 平面波の屈折

(2) 地震波の伝播経路は波面に垂直であり、ひとつの波面上のどの点においても地震波の伝播時間は等しい。図 3 において層 1 の P 波速度を  $\alpha_1$ 、S 波速度を  $\beta_1$ 、厚さを  $h$ 、層 2 の P 波速度を  $\alpha_2$ 、S 波速度を  $\beta_2$  とする。点 R からおろした垂線と層境界との交点を Q とする。平面 P 波が下方から層境界に入射角  $i$  で入射し、平面 P 波として層 1 に伝播するとき、あるひとつの波面が点 Q を通過する時刻からこの波面が点 R に達する時刻までの伝播時間を求めよ。

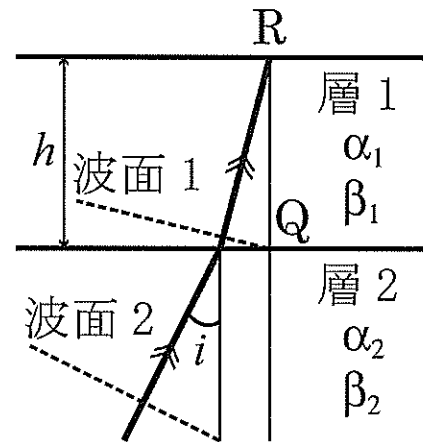


図 3 平面 P 波の入射と屈折

(3) 小問 (2) と同じ条件のもとで、層境界を透過する際に平面 P 波から平面 S 波へ変換した波と平面 P 波のまま透過した波が、点 R に達するまでの伝播時間の差を求めよ。

(問題 5 終わり)

## 基礎科目（問題 6）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

- [1] 地球の磁気圏や電離圏における荷電粒子の運動を理解するために, 図 1 に示すような  $x, y, z$  座標系において,  $z$  軸方向に空間的に一様な磁場  $\mathbf{B} = (0, 0, B_0)$  が存在する系を考える. いま, 原点  $O$  に初速度が  $(0, 0, 0)$  で, 質量  $m$ , 正の電荷  $q$  の粒子を置き, さらに, 次のように時間変化する  $y$  軸の正方向を向いた電場  $\mathbf{E}(t) = (0, E_y(t), 0)$  を与える.

$$E_y(t) = \begin{cases} (E_0/\tau)t & (0 \leq t < \tau) \\ 0 & (t \geq \tau) \end{cases}$$

ただし,  $\tau = 4\pi/\Omega$ ,  $\Omega = qB_0/m$  で  $E_0$  を正の定数とする. このとき, 以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ.

- (1) 荷電粒子の運動方程式を  $x, y, z$  成分ごとに分けて求めよ. 解答では, 荷電粒子の速度ベクトルを  $(V_x, V_y, V_z)$ , 電場を  $E_y(t)$  とせよ.
- (2) 前問で求めた式を解き, 時刻  $t$  が, (i)  $0 \leq t < \tau$  および (ii)  $t \geq \tau$  の条件を満たすそれぞれの区間における, 荷電粒子の  $x, y$  方向の速度ベクトル  $(V_x, V_y)$  と位置ベクトル  $(X, Y)$  を求めよ.
- (3)  $q > 0$  に注意して, 時刻  $t = 0$  から  $t = 8\pi/\Omega$  の間の  $x$ - $y$  平面上での荷電粒子の軌道を図示せよ. また,  $x$  軸,  $y$  軸と粒子軌道が交わる点の座標を与えられた記号を用いて図中に記せ.

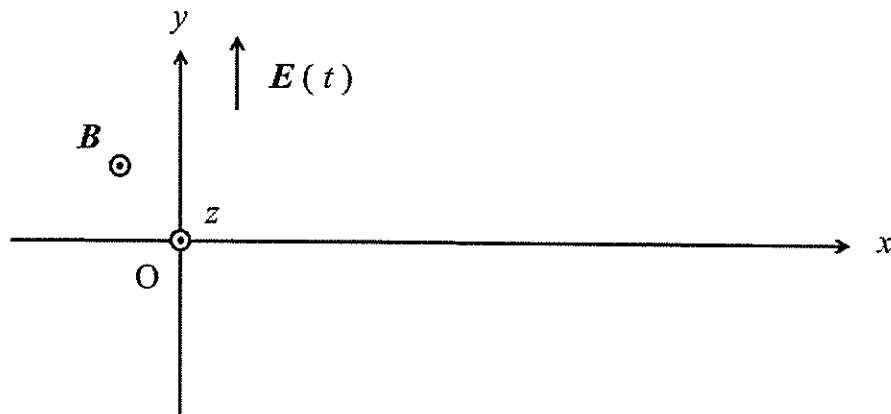


図 1

(問題 6 次ページに続く)

[2] 地球の磁場は外核のダイナモ作用によって生成維持されており，N 極が南を向いた磁気双極子で近似される．いま，図 2 に示すように，地球を半径  $a$  の球とし，その中心を原点とする極座標系を考え，大きさ  $M$  の磁気双極子モーメントを原点に置く．このとき，以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ．

(1) 磁気双極子の作る磁束密度ベクトルは，磁気ポテンシャル

$$\Phi_m = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^2} \cos \theta$$

を用いて， $-\nabla\Phi_m$  で与えられる．このとき，余緯度  $\theta$  の地表の観測点における磁束密度の大きさ  $B_a(\theta)$  を計算せよ．ただし， $\mu_0$  は真空の透磁率である．

(2) 地球の外側には，それを取り巻くリングカレントと呼ばれる高温プラズマの領域が存在する．いま，その領域に流れる電流を，図 2 に示すように原点を中心を持つ半径  $b$  の円に沿って，大きさ  $I_b$  で矢印の方向に流れるものと仮定する．このとき，円形ループ電流が地球表面の北磁極に作る磁束密度の大きさ  $B_b$  を求めよ．

(3)  $B_b / B_a(0)$  の値が 0.01 のとき， $I_b$  の値を有効数字 2 桁で求めよ．ただし， $a = 6.4 \times 10^6$  (m)， $b = 6a$ ， $M = 8.1 \times 10^{22}$  (A · m<sup>2</sup>) =  $6.3 \times 10^8 \times \pi a^2$  (A · m<sup>2</sup>) である．

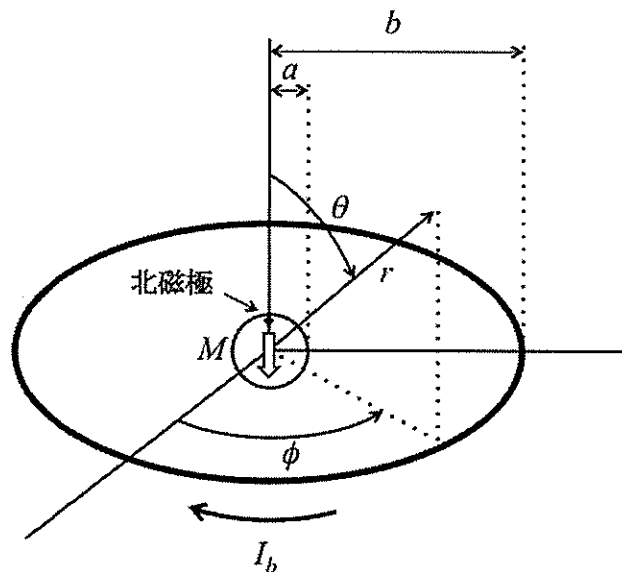


図 2

(問題 6 終わり)

## 基礎科目（問題7）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 次の文章を読み, 以下の小問 (1)~(4) に答えよ.

地上に近い環境では, すべての分子は, 気体, 液体, または固体として存在し, その状態は圧力  $P$ , 体積  $V$ , 温度  $T$  で決まる. 図1は  $0\sim 50^\circ\text{C}$  における  $\text{CO}_2$  の等温線である. 例えば,  $20^\circ\text{C}$  の  $1\text{ mol}$  の  $\text{CO}_2$  を曲線 A-B-C に沿って等温可逆的に圧縮していくと, 点Cで  ア  が起こり, 体積が減少する. 点Dでは  イ  と  ウ  が共存している. 点Eにおいて  $\text{CO}_2$  は完全に  ア  し, 体積は  エ  によってあまり変化しなくなる. 水平な部分 C-E の長さは, 温度が高いほど短くなり,  $31.04^\circ\text{C}$  では一つの点Fになる. 点Fのことを  オ  点という. これより高温では  ア  しない.

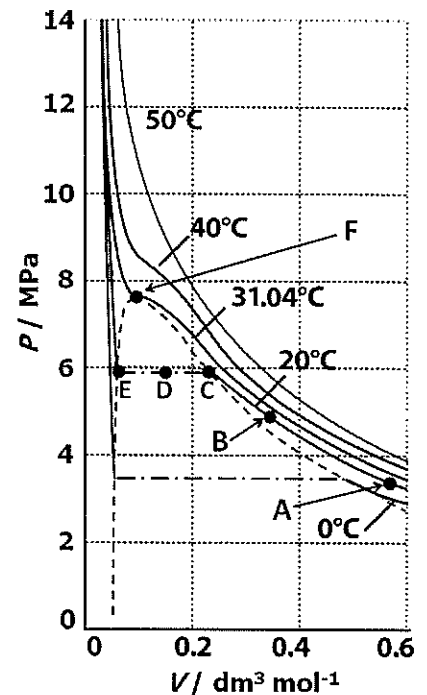


図1

(1) 空欄  ア  ~  オ  に入る適切な語句を以下の語群から選べ.

語群: 圧力, 温度, 固体, 液体, 気体, 固化, 液化, 臨界, 三重

(2) 実在気体の状態を近似的に示す式の一つに, 以下の van der Waals 方程式がある.

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

ここで,  $R$  は気体定数,  $a$  と  $b$  は分子によって異なる正の定数である.  $a$  と  $b$  の物理的な意味を, それぞれ 20 字以内で説明せよ.

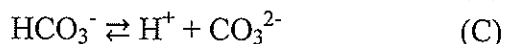
(3) 点Fにおける圧力  $P_F$ , 温度  $T_F$ , 体積  $V_F$  を  $a, b, R$  を用いて表せ. ただし,  $\text{CO}_2$  は van der Waals 方程式に従うものとする.

(4) 下線部について,  $\text{CO}_2$  が体積  $V_A$  から  $V_B$  ( $< V_A$ ) へ圧縮されたときに,  $\text{CO}_2$  が外から受けた仕事量  $W$  を,  $V_A, V_B, a, b, R, T$  を用いて表せ. ただし,  $\text{CO}_2$  は van der Waals 方程式に従うものとする.

(問題7 次ページに続く)

[2] 次の文章を読み、以下の小問(1)～(3)に答えよ。

CO<sub>2</sub>は水に溶ける性質を有する。地球大気においてCO<sub>2</sub>が雨に溶ける現象を考えよう。必要があれば、 $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$ ,  $\log_{10}5 = 0.70$  を使ってよい。また、物質Mの濃度は[M]と表記することにする。CO<sub>2</sub>が水に溶ける過程は、以下のような化学反応により平衡状態にあるとして扱える。



ただし、大気中では(C)は無視してよく、(A)と(B)を考えればよい。一般に、一定温度で一定量の液体に溶解する揮発性気体の量は、その気体の分圧に比例することが知られており、の法則と呼ばれている。よって、化学反応(A)の平衡定数 $K_A$ は、大気中のCO<sub>2</sub>の分圧 $P_{\text{CO}_2}$ 、雨水中のH<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>濃度を用いて、と書くことができる。一方、化学反応(B)の電離平衡定数 $K_B$ はと書くことができる。ゆえに、雨水中の水素イオン濃度は、 $K_A$ ,  $K_B$ ,  $P_{\text{CO}_2}$ を用いて、と書き下すことができる。平衡定数は $K_A = 4.0 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$ および $K_B = 2.5 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$ であり、大気中に含まれるCO<sub>2</sub>の分圧を近似的に40 Paとすると、CO<sub>2</sub>が溶解した雨水のpH値はと算出される。

- (1) 空欄～に入る適切な字句や数値を答えよ。ただし、数値は有効数字2桁で答えよ。
- (2) 過去10年程度の間、日本各地で観測された降水のpH値は、約4.6-4.7程度に分布していたことが知られている。この観測値と、空欄の値を比較し、差異を生じる理由として考えられることを簡潔に説明せよ。
- (3) 炭酸イオンCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>は平面構造をとる。この理由を混成軌道の考え方で説明せよ。

(問題7 終わり)

## 基礎科目（問題8）

以下の問〔1〕～〔3〕に答えよ。

〔1〕過去に起こった地球磁場の逆転に関する以下の小問（1）～（3）に答えよ。

- （1）岩石が形成される時に、当時の地球磁場方位が岩石磁化として記録されることがある。磁化はどのような機構により記録されるか、一つ例を挙げて簡潔に説明せよ。
- （2）1960年代の研究により、地球磁場逆転の歴史は現在から約400万年前までさかのぼって復元された。どのような岩石を用いて、どのような測定とデータ解析が行われたか、その概要を次のキーワードを用いて100字程度で述べよ。  
キーワード：定方位試料，カリウム-アルゴン法
- （3）その後、地球磁場逆転の歴史は、現在からおよそ2億年前まで復元されている。それはどのようなデータに基づき、どのように復元されたか、次のキーワードを用いて200字程度で説明せよ。  
キーワード：地磁気異常，海嶺軸，海洋底拡大速度

〔2〕フィッシュントラック年代測定法に関する以下の小問（1）～（3）に答えよ。

- （1） $^{238}\text{U}$ の放射壊変により、結晶内にフィッシュントラックを生じる過程を簡潔に記述せよ。
- （2）フィッシュントラック年代の測定において、アイソクロン法は用いる必要がない。それはなぜか説明せよ。
- （3）フィッシュントラック法をジルコンなどの鉱物に適用する場合、それぞれの鉱物粒ごとに年代値を求めることができる。この特徴を利用してある砂岩の年代決定を行う場合、どのような地質学的情報が得られるか説明せよ。

（問題8 次ページに続く）

[3] 以下の用語群 (a) ~ (e) から3つを選択し、それぞれ100字程度で説明せよ。

- (a) アイソスタシー (isostasy)
- (b) 半減期 (half life)
- (c) 共役断層 (conjugate faults)
- (d) ルビジウム-ストロンチウム法 (rubidium-strontium method)
- (e) 覆瓦構造 (imbricate structure)

(問題8 終わり)

## 基礎科目（問題9）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 下に示す相図 (図1) について, 小問 (1) ~ (4) に答えよ. A, B は固溶体の端成分であり,  $A_{ss}$  は A に B が少量溶け込んだ固溶体,  $B_{ss}$  は B に A が少量溶け込んだ固溶体を表す.  $T_1 \sim T_5$  は温度 ( $T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5$ ) を表す.

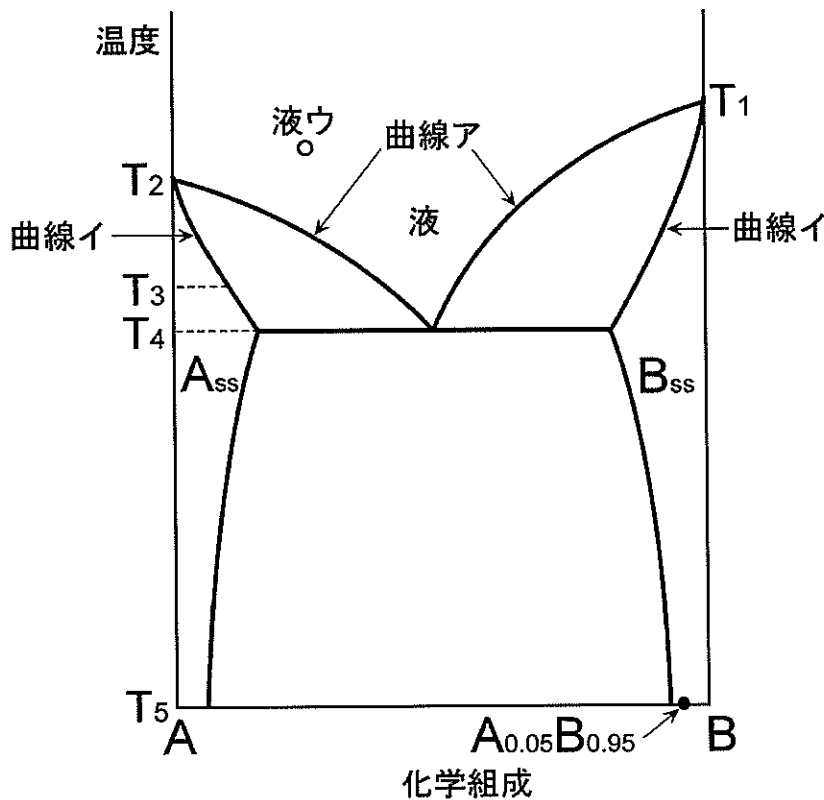


図1

- (1) 曲線アと曲線イの名称と, それぞれがもつ意味を簡潔に説明せよ.
- (2) 組成 (モル比, 以下同様) が  $A_{0.05}B_{0.95}$  の混合物 (図中の黒丸) を加熱していく.
  - (a) 融解が始まる温度と, 生成する液の組成を図1を用いて求める方法を, 相図を解答用紙に書き写し, 説明せよ.

(問題9 次ページに続く)



- (b) (a) の温度を超えて温度  $T_1$  まで加熱する場合を考える。生成した液が常に固相と化学平衡にあるならば、固相と液相の組成は温度の上昇に伴ってどのように変化するか。解答用紙に相図の必要部分を拡大して書き写し、説明せよ。
- (c) (a) の温度を超えて温度  $T_1$  まで加熱する場合を考える。生成した液がすぐに取り除かれ続ける場合、生成される液の組成はどのように変化するか。解答用紙に相図の必要部分を拡大して書き写し、説明せよ。
- (3) 液ウ（相図中の白丸）を温度  $T_5$  まで平衡結晶作用でゆっくり冷却する場合、温度の低下とともに、各相の組成はどのように変化するか。図を用いて説明せよ。また、温度  $T_3$  における各相の量比の求め方も説明せよ。
- (4) (3) の過程でできると期待される岩石組織のスケッチを描き、その組織が形成される理由を相図に基づき説明せよ。

[2] 以下の用語群 (a) ~ (e) から 3 つを選択し、それぞれ 100 字程度で説明せよ。

- (a) ホルンフェルス (hornfels)
- (b) 交代作用 (metasomatism)
- (c) 片理 (schistosity)
- (d) 斑状変晶 (porphyroblast)
- (e) 多色性ハロー (pleochroic halo)

(問題 9 終わり)

## 基礎科目（問題10）

以下の問 [1], [2] に答えよ.

[1] 次の文章を読んで、以下の小問 (1) ~ (6) に答えよ.

造岩鉱物の多くは  $\text{SiO}_4$  四面体を結晶構造の基本単位とした珪酸塩である. 珪酸塩鉱物の中には、①構造中の全ての  $\text{SiO}_4$  四面体が独立している鉱物もあるが、 $\text{SiO}_4$  四面体の頂点の酸素を共有して 2 つの  $\text{SiO}_4$  四面体が結びついた鉱物や、 $\text{SiO}_4$  四面体が延々と連なって鎖状やシート状に結合した複雑な構造をとる鉱物もある. このような  $\text{SiO}_4$  四面体同士を結び付ける酸素は架橋酸素 (bridging oxygen) と呼ばれる. 例えば、単鎖構造や環状構造では  $\text{SiO}_4$  四面体の 4 つの酸素のうちの 2 つが架橋酸素となっており、シート状構造では 3 つが架橋酸素である. さらに、頂点の 4 つの酸素が全て架橋酸素となって、 $\text{SiO}_4$  四面体が三次元的に繋がりあったフレームワーク構造をつくっているものもある.

$\text{SiO}_4$  四面体は 4 価の錯陰イオンとみなせるが、②三次元的なフレームワーク構造となることで、他の陽イオンがなくても電気的に中性を保つこともできる. しかし、同様のフレームワーク構造をしている③長石族の場合には、四面体中の  $\text{Si}^{4+}$  が一定の割合で  $\text{Al}^{3+}$  に置き換わっているため、全体の電気的中性を保つためには、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  などの陽イオンがフレームワークの隙間に含まれることが必要になる.

- (1) 下線部①の鉱物 (もしくは鉱物グループ) の例を 2 つ挙げよ.
- (2) 下線部②の鉱物の例を 1 つ挙げ、その鉱物名および化学組成を答えよ.
- (3) ある珪酸塩鉱物では、構造中の半分の  $\text{SiO}_4$  四面体においては架橋酸素が 3 つで非架橋酸素が 1 つ、残り半分の  $\text{SiO}_4$  四面体については架橋酸素と非架橋酸素が 2 つずつ、といった結合となっている. このような鉱物の例を 1 つ挙げ、その  $\text{SiO}_4$  四面体の結合様式を示した模式的な図を描き、鉱物名 (もしくは鉱物グループ名) を答えよ.
- (4) 正四面体が属する結晶系を答えよ. また、正四面体がもつ対称要素をすべて挙げよ. さらに、それらの対称要素がどのように組み合わせられているかを説明せよ. なお、正四面体の模式図もしくはステレオ投影図を描いて示してもよい.

(問題10 次ページに続く)

(5)  $\text{SiO}_4$  四面体を正四面体とみなしたとき、その重心に位置する珪素 (Si) は 4 つの頂点にある酸素 (O) とそれぞれ等しい距離で結合している。1 つの Si-O 結合と別の Si-O 結合との間の角度 (O-Si-O 角) を  $\theta$  としたとき、 $\cos \theta$  を求めよ。ただし、途中の計算の過程もしくは考え方も示すこと。

(6) 長石族の結晶格子中の四面体席はフレームワーク状に 3 方向に連結しているが、例えば  $c$  軸に平行な方向に注目すると、図 1 に模式的に示すように二重鎖とみなすことができる。図中の白丸部が四面体席であり、下線部③で述べたように  $\text{Si}^{4+}$  や  $\text{Al}^{3+}$  が占有している。長石族の結晶格子を比較すると、カリ長石 ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) やアルバイト ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) に対してアノーサイト ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) の単位格子は  $c$  軸の長さがほぼ 2 倍の長さとなっているが、その理由をアルミニウム排除則の概念を用いて説明せよ。なお、必要なら、図 1 を解答用紙に書き写して説明してもよい。

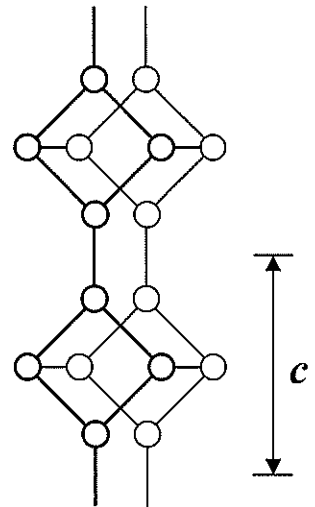


図 1 長石の結晶構造における四面体席の分布を示した模式図。酸素の位置は省いてある。

[2] 次の小問 (1) ~ (4) から 2 つを選び、答えよ。必要なら模式的な図を描いて説明してもよい。

- (1) ポーリングの第 2 規則 (静電原子価則) とはどのような規則か。岩塩 ( $\text{NaCl}$ ) の構造を例にして説明せよ。
- (2) 1 次の相転移とはどのような相転移であるか。2 次の相転移との違いを明確にして説明せよ。
- (3) らせん転位とはどのような転位であるか、刃状転位との違いを明確にして説明せよ。さらに、らせん転位が結晶成長に果たす役割について記述せよ。
- (4) 炭素質コンドライト隕石に含まれる CAI と呼ばれる物質は何か。また、その惑星物質科学的な意義に関して記述せよ。

(問題 10 終わり)

## 基礎科目（問題 1 1）

以下の問 [1] ～ [3] に答えよ。

[1] 火山砕屑物に関する次の文章を読んで、以下の小問 (1) ～ (3) に答えよ。

火山砕屑物は、火山噴火により噴出した破片状の堆積物の総称である。大規模な火山噴火では、最初に火山ガスを伴って火山砕屑物が噴出する。噴煙は成層圏にまで達することもあるが、その後火山砕屑物は大気の流れに沿って側方に広がり、粗粒で重いものから順次降下し、降下火砕堆積層を形成する。

通常、降下火砕堆積物の噴出後に火砕流が噴出する。高温の火山ガスと火山砕屑物が混合した火砕流は山腹を高速で流れ下る。

このような火砕流堆積物や降下火砕堆積層は、地層の年代決定や地質構造解析の際に鍵層として使われている。

- (1) 粒径に基づく火山砕屑物の分類について述べよ。
- (2) 火砕流堆積物と降下火砕堆積層の分布状態、層相、組織の違いを、断面図を描いて説明せよ。
- (3) 降下火砕堆積層が鍵層として利用される理由について述べよ。

[2] 断層に関する次の文章を読んで、以下の小問 (1) ～ (3) に答えよ。

断層に沿って上盤が下盤に対し相対的につき上がる運動をした断層を  と呼び、その中でも断層面の傾斜が  $45^\circ$  以下のものを  と呼ぶ。水平な地層が側方から圧縮を受けると側方には  し、上方には厚層化する。

地層は異方性を持っているため、 は地層に平行な  と地層を斜めに切り上がる  が連なって、一連の階段状の構造を呈することがある。

水平変位量が大きな低角の  に沿って、上盤が下盤を構造的に覆ったシート状の地塊はナップと呼ばれ、その基底の断層は  と呼ばれる。ナップが削剥・侵食により孤立した岩体はクリッペと呼ばれ、上盤の侵食によって下盤の地層が窓状に露出した部分をフェンスター、あるいはテクトニック・ウインドウと呼ぶ。アルプスやヒマラヤなどの造山帯では、ナップの水平変位量が 100 km に達するものもある。

(問題 1 1 次ページに続く)

一方、これまで  と考えられてきたものの中には、上盤が下盤に対してずり落ちた、デタッチメントと呼ばれる低角度の断層が含まれていることが分かってきている。

- (1) 文章中の  ～  に適切な語句を入れ、文章を完成させよ。
- (2) ナップとクリッペ、フェンスターの関係が分かるように、平面図と断面図を描け。
- (3) 上盤が下盤に対してずり落ちたデタッチメントの具体例を1つ取り上げ、断面図を描いて、デタッチメントと認定された根拠を述べよ。

[3] 酸素同位体比と古気候に関する次の文章を読んで、以下の小問(1)、(2)に答えよ。

高緯度地域に降った雪の酸素同位体比  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  の値は、赤道地域に降った雨の酸素同位体比より 。そのため極域に降った雪が固まり大陸氷床となると、そこには  に富んだ水が氷として蓄積され、その結果、海洋の水は相対的に  に富むようになる。氷河期には大陸氷床の体積が増加し、海水の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  の値は  なる。一方間氷期には大陸氷床が融けて縮小し、 に富んだ水が海水中に増えるので、海水の  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  の値は  なる。

- (1) 文章中の  ～  に適切な語句を下記の語群から選び、文章を完成させよ。なお語句は、複数回選択しても良い。

語群：低い、高い、低く、高く、 $^{16}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_2$

- (2) 高緯度地域で降った雪の酸素同位体比と赤道地域で降った雨の酸素同位体比は、なぜ異なった値を示すのか、その理由を述べよ。

(問題 1 1 終わり)

## 基礎科目（問題12）

以下の問〔1〕,〔2〕に答えよ.

〔1〕 古生代の生物に関する以下の小問(1)～(3)に答えよ.

(1) 次の図1 A～Cは,カナダ西部で発見されたカンブリア紀中期のバージェス化石群(バージェス頁岩化石群)に含まれる3種の化石動物の復元図である.それぞれの動物が所属すると考えられる高次分類群(門レベル)を答えよ(例:脊椎動物).ただし,現生の主要なグループに当てはまらないものは所属不明と記せ.

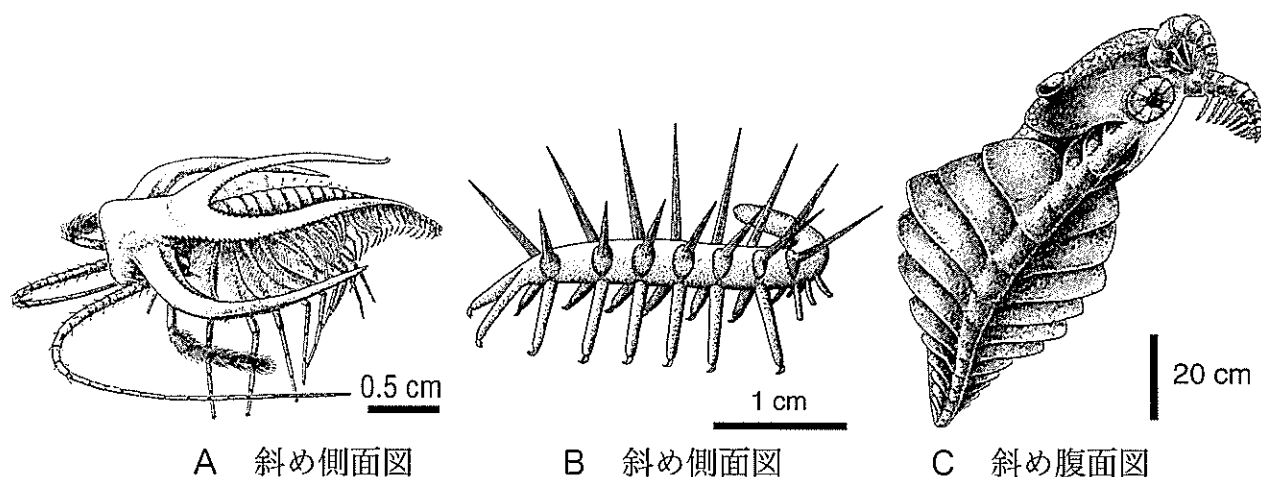


図1 化石動物復元図 [Briggs ほか (1994) に基づく].

(2) 先カンブリア時代と異なり,カンブリア紀以降の地層からは,かたい殻や骨格をもつ動物の化石が数多く見つかる.この現象を説明する現時点で最も有力な仮説を,下のキーワードを使って簡潔に説明せよ.また,その仮説を裏付ける化石の証拠は,上の図1 A～Cのうちどれか.記号で答えよ.

キーワード: エディアカラ生物群 (Ediacara biota)  
SSF (small shelly fauna: 有殻微小化石動物群)

(問題12 次ページに続く)

(3) バージェス頁岩化石群以外のカンブリア紀の重要な化石群をひとつあげ、その名称、産地、およびその時代（カンブリア紀前期、中期、後期）を答えよ。また、なぜそれが古生物学的に重要とみなされているのかを簡潔に説明せよ。

[2] 以下の用語群（a）～（i）から5つを選択し、その意味、および進化・地球史における意義を簡潔に説明せよ。

- (a) 単弓類 (Synapsida)
- (b) 肉鱗類 (Sarcopterigii)
- (c) ロストロコンク類 (Rostroconchia)
- (d) 側系統群 (paraphyletic group)
- (e) メゾン・クリーク化石群 (Mazon Creek fossil biota)
- (f) 化学合成生物群集 (chemosynthetic community)
- (g) 頭足類の縫合線 (suture line of cephalopods)
- (h) ライエルの斉一説 (C. Lyell's uniformitarianism)
- (i) 中生代の海洋革命 (Mesozoic marine revolution)

(問題 1 2 終わり)