

2023. 8. 22

神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻
博士課程前期課程入学試験問題

専 門 科 目

解答時間 9 : 30 ~ 12 : 30

注意事項

- 1) 合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。
- 2) 「はじめ」の合図があったら、先に解答用紙に受験番号と氏名を記入してから、解答を始めなさい。
- 3) 問題 1 ~ 問題 7 の中から 2 つ問題を選び、解答しなさい。各問題は 150 点満点です。
- 4) 問題ごとに別々の解答用紙を使いなさい。 解答用紙が足りない場合は、監督者に申し出なさい。

1. (数学 A)

1-1/1

以下の問い (1) ~ (4) に答えなさい . 解答にあたっては結果だけでなく , 自ら導入した記号の定義や , 導出過程等も記すこと .

(1) 次の極限を求めなさい .

$$(i) \lim_{x \rightarrow \infty} x^2 e^{-x^2} \qquad (ii) \lim_{x \rightarrow +0} x^{\frac{1}{x}}$$

(2) 次の x の関数の導関数を求めなさい . a, b は定数とする .

$$(i) x e^{-x} \qquad (ii) \log_a(bx) \quad (a > 0, a \neq 1, bx > 0) \qquad (iii) \arccos x \quad (-1 < x < 1)$$

(3) x, y を実数とする 2 変数関数 $f(x, y)$ を以下のように定義する .

$$f(x, y) = (x^2 + y^2) e^{-(x^2 + y^2)}$$

- (i) $\frac{\partial f}{\partial x} = 0$ かつ $\frac{\partial f}{\partial y} = 0$ となる点 (x, y) をすべて求めなさい .
- (ii) 条件 $x^2 + y^2 = r^2$ の下で (x, y) が動くとき , $f(x, y)$ が極値をとる点 (x, y) の個数を答えなさい . ここで r は定数 ($r > 0$) とする .
- (iii) xy 平面全体を積分領域とする関数 $f(x, y)$ の重積分 V を求めなさい .

$$V = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy$$

(4) z を複素数とする関数 $g(z) = z^n$ を複素平面内のある経路に沿って積分すること (経路積分) を考える . ここで n は整数 , r は正の実定数とする .

- (i) 積分経路 C を複素平面上の原点を中心とする円 $|z| = r$ とする . 経路 C は実変数 θ ($0 \leq \theta \leq 2\pi$) を用いて $z(\theta) = r e^{i\theta}$ と表すことができるものとする . 以下の経路積分を求めなさい .

$$\oint_C g(z) dz$$

- (ii) 積分経路 D を複素平面上の点 z_0 を中心とする円 $|z - z_0| = r$ とする . ただし $|z_0| \neq r$ とする . 以下の式が成り立つような条件を n, r, z_0 を用いて答えなさい .

$$\oint_D g(z) dz \neq 0$$

2. (数学 B)

2-1/2

以下の問い (1) ~ (2) に答えなさい。解答にあたっては結果だけでなく、自分で導入した記号の定義や、導出過程等も記すこと。

(1) A を 3 行 2 列の行列

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

とし、 A の転置行列を $A^{\top}$ で記すことにする。

- (i) 行列 $A^{\top}A$ の固有値と固有ベクトルを計算しなさい。ただし、固有値は絶対値の大きいものから順にならべて λ_i (ただし $i = 1, 2, \dots$)、それぞれに属する固有ベクトルは v_i と表記することとし、固有ベクトルの大きさは 1 に規格化すること。
- (ii) 行列 $AA^{\top}$ の固有値と固有ベクトルを計算しなさい。ただし、固有値は絶対値の大きいものから λ'_i (ただし $i = 1, 2, \dots$)、それぞれに属する固有ベクトルは u_i と表記することとし、固有ベクトルの大きさは 1 に規格化すること。
- (iii) Av_i を u_k で表しなさい (ただし $i, k = 1, 2, \dots$)。
- (iv) $A^{\top}u_k$ を v_i で表しなさい (ただし $i, k = 1, 2, \dots$)。
- (v) 行列 A は、3 次の直交行列 U 、2 次の直交行列 V 、3 行 2 列の行列 Δ によって

$$A = U\Delta V^{\top}$$

と表されることを、行列の具体的表現を与えることで示しなさい。ただし、自明な表現、すなわち、 U および V がそれぞれの次元の単位行列の実数倍で、 Δ が A の実数倍となる場合を除くものとする。

- (2) 本問では, 行列の階数を, 行列の列ベクトルのうち 1 次独立なものの個数と定義することにする.

(i) 行列

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

の階数を求めなさい.

- (ii) (i) の行列 B とその転置行列 B^T の積からなる行列 $B^T B$ の階数を, (i) で用いたのと同様の行列計算によって, 求めなさい.
- (iii) C を n 行 m 列の実行列とし, その階数を $\text{rank}(C)$ と書くことにする.

$$\text{rank}(C) = m - \dim(\text{Ker}(C))$$

であることを証明しなさい. ただし, $\text{Ker}(C)$ は $Cx = 0$ となる m 次元ベクトル x からなる空間であり, $\dim(\text{Ker}(C))$ はその次元である.

- (iv) (iii) の行列 C とその転置行列 C^T について

$$\text{rank}(C^T C) = \text{rank}(C C^T) = \text{rank}(C)$$

であることを証明しなさい. ただし, $\text{rank}(C) = \text{rank}(C^T)$ が成り立つことは既知であるとして良い.

3. (物理学 A)

3-1/2

真空中に、 z 軸下向きに重力加速度 g (定数) が働いている。以下の問い (1)~(2) に答えなさい。解答にあたっては結果だけでなく導出過程も記しなさい。

- (1) xy 平面に平行で無限の広さの導体面が $z = \pm D$ ($D > 0$) に設置されている。この $z = \pm D$ の導体面それぞれには、 y 軸方向単位長さあたり i の電流が $\pm x$ 軸方向に流れている (図 1)。

- (i) $z = \pm D$ の導体面に流れる電流によって周囲に生じる磁場の向きは y 軸方向である。磁束密度の y 成分 B が下のようになることを示しなさい。

$$B = \begin{cases} \mu_0 i & (|z| < D) \\ 0 & (|z| > D) \end{cases}$$

ここで、 μ_0 は真空中の透磁率である。

- (ii) 質量 m 、電荷 q ($q > 0$) を持つ荷電粒子を、 $t = 0$ に原点 O から初速度 v_0 で x 軸方向に放出する。以下の問いの解答においては、 $|z| < D$ における磁束密度の y 成分を B としてよい。また、荷電粒子の運動による周囲の電磁場への影響は無視できるものとする。

- (a) 荷電粒子の速度を $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ とするとき、荷電粒子の運動方程式の x , y , z 成分をそれぞれ答えなさい。
- (b) 運動する荷電粒子が $z = \pm D$ の導体面に衝突しないための v_0 の条件を答えなさい。
- (c) 荷電粒子が導体面に衝突しない場合、荷電粒子の速度は周期的に変化するが時間平均では一定値になる。この時間平均速度を求めなさい。

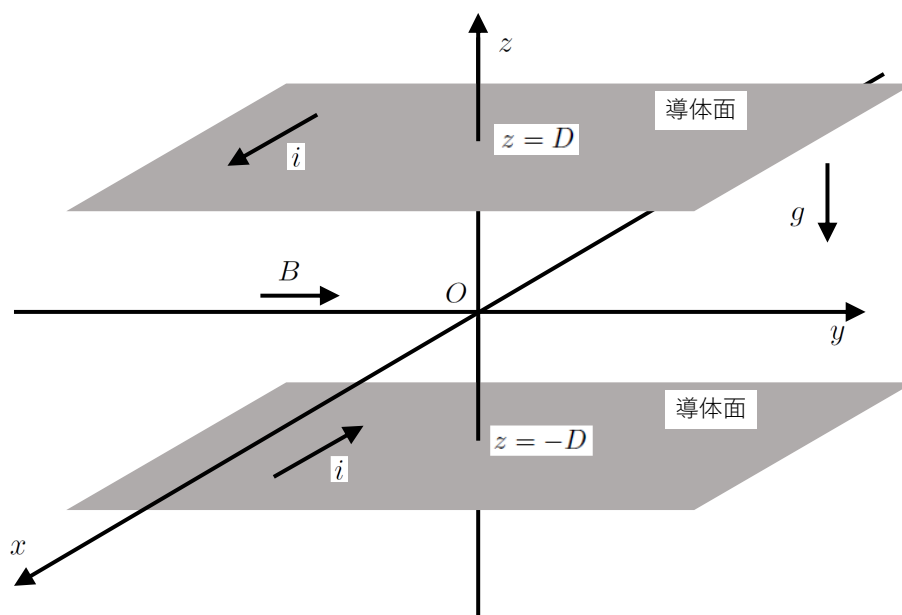


図 1

- (2) y 軸方向に磁束密度 B の一様な磁場が生じている. このとき電気抵抗の無視できるコの字型の導体を, 短辺が x 軸に平行で長辺が y 軸正方向に下り xy 平面と θ ($0 \leq \theta < \pi/2$) の角をなすように固定する (図 2). コの字型導体の短辺の長さは a であり, 長辺は十分に長い. そして二つの長辺に, 質量 M の抵抗 (電気抵抗値 R) を短辺に平行に渡すことで回路を構成する. コの字型導体の長辺が下る向きに座標軸 l を取り, 短辺の位置を $l = 0$ とし, $t = 0$ において抵抗は $l = l_0$ の位置に静止しているとす. なお, コの字型導体と抵抗の間には摩擦が働かず, 回路に流れる電流による周囲の電磁場への影響は無視できるものとする.

(i) $t = 0$ において, コの字型導体と抵抗が囲む面を貫く磁束の大きさを答えなさい.

(ii) 抵抗が l 軸方向に速度 v_l で運動する時, 回路に流れる電流の大きさ $|I|$ が,

$$|I| = \frac{aBv_l \sin \theta}{R} \quad (\text{I})$$

となることを示しなさい.

(iii) 抵抗の l 軸方向の運動方程式を答えなさい.

(iv) 抵抗の l 軸方向の速度を時間の関数として求めなさい.

(v) 十分に時間が経過した後, 抵抗は l 軸方向に等速運動する. このとき, 回路に生じる単位時間あたりのジュール熱が, 抵抗に対して重力がする単位時間あたりの仕事と等しいことを示しなさい.

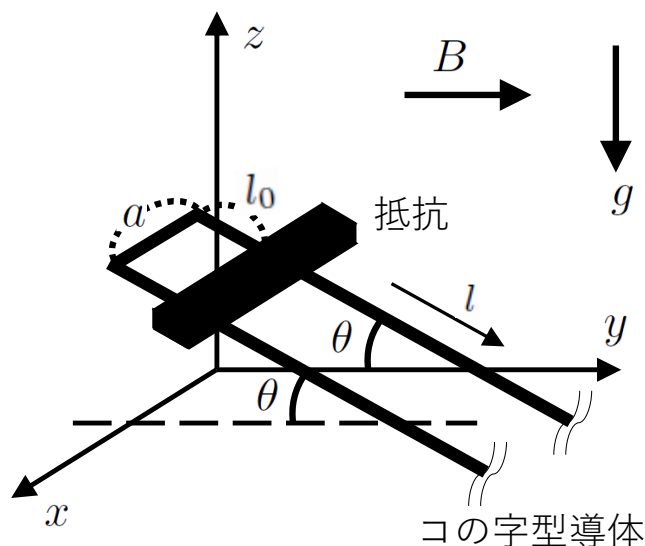


図 2 コの字型の導体と抵抗の配置.

4. (物理学 B)

4-1/2

以下の問い (1)~(3) に答えなさい。解答にあたっては結果だけではなく、導出過程も記しなさい。

(1) エンタルピー H とエントロピー S について、以下の問いに答えなさい。

- (i) H を圧力 P , 体積 V , 内部エネルギー U , 温度 T を用いて表しなさい。ただし、全ての記号を用いるとは限らない。
- (ii) H と S のそれぞれの準静的な微小変化 dH と dS を P , V , U , T を用いて表しなさい。ただし、全ての記号を用いるとは限らない。
- (iii) H と S の単位を kg, m, s, K を用いて示しなさい。

(2) ギブスの自由エネルギー G が $G = H - TS$ と表されることを用いて、以下の問いに答えなさい。

- (i) ギブスの自由エネルギーの準静的な微小変化 dG を P , V , S , T を用いて表しなさい。
- (ii) エントロピーと体積の不連続を伴う相転移を一次相転移と呼ぶ。ある物質の A 相と B 相間の一次相転移における G , S , V の温度変化の一例を、図 1 に示す。添え字は相を示し、 T_{tr} は相転移を起こす温度である。この図 1 を参考に、横軸に温度、縦軸に圧力を示した相図において、相境界の勾配 dP/dT をエントロピーと体積の変化量 ΔS , ΔV を用いて表しなさい。
- (iii) H_2O の相図を考えた場合、液相（水）と固相（氷）の境界の勾配 dP/dT が負となることを、(ii) で示した式を用いて説明しなさい。
- (iv) 相転移に必要な潜熱を ΔS を用いて表しなさい。

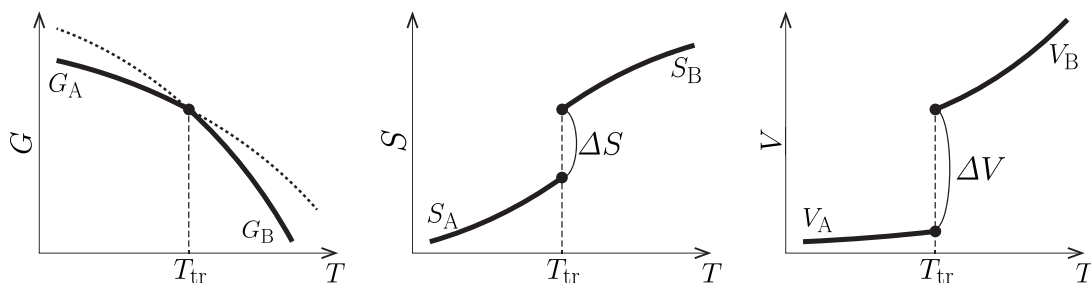
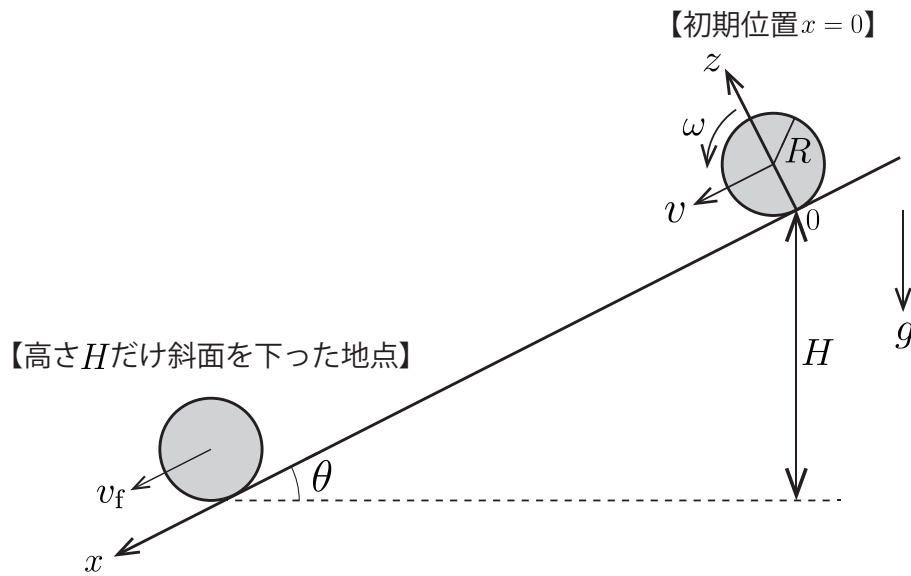


図 1 一次相転移に伴う物理量の変化の一例

- (3) 剛体球が斜面を転がる場合を考える (図 2). 剛体球の質量を M , 半径を R , 慣性モーメントを I , 斜面の角度を θ , 重力加速度を g とする. 斜面方向を x 軸として斜面に沿って下向きを正, 斜面に垂直な方向を z 軸として上向きを正とする. 初期位置 ($x = 0$) では剛体球は静止しているとし, 初期高さを H とする. 剛体球は滑らずに転がり, 剛体球の x 方向の移動速度を v , 回転の角速度を ω とする. 以下の問いに答えなさい.



- (i) 剛体球が斜面から受ける摩擦力を F , 垂直抗力を N とする. 斜面方向 (x 軸) と斜面垂直方向 (z 軸) のそれぞれの剛体球の重心の運動方程式を書きなさい.
- (ii) 剛体球の回転の運動方程式を用いて, 回転の角加速度 $d\omega/dt$ を I , F , R を用いて表しなさい.
- (iii) 剛体球が斜面を転がるときの x 方向の加速度 dv/dt と回転の角加速度 $d\omega/dt$ の関係を示しなさい.
- (iv) 斜面方向の加速度 dv/dt を, 重力加速度 g と斜面の角度 θ を用いて表しなさい. ただし, 剛体球の慣性モーメントは $I = 2MR^2/5$ とする.
- (v) 剛体球が初期位置から高さ H だけ斜面を下った地点での速度 v_f を, 重力加速度 g と初期高さ H を用いて表しなさい.

5. (岩石学・鉱物学)

5 - 1/5

以下の問い(1)～(4)に答えなさい。

(1) 次の文章を読み下線部について問い(i)～(vi)に答えなさい。

固体地球の約7割の質量を占めるマントルはカンラン岩組成の岩石で構成される。上部マントルの岩石であるカンラン岩では、その約7割の質量をカンラン石が占めている。カンラン石は、主として(A)2つの端成分からなる(B)固溶体を形成する。カンラン石の結晶構造は酸素がほぼ(C)六方最密充填構造(図1)をとり、その隙間にSi、Mg、Feの陽イオンが位置する。

図2は、2つの異なる圧力下におけるカンラン石(ol)、単斜輝石(cpx)、直方輝石(opx)の相平衡図であり、図中に相境界の一部、およびカンラン岩の組成(Pで示した★印)を示した。この相平衡図からマントルカンラン岩が部分融解してできるマグマは玄武岩質であることが判る。

一方で、マントルで発生した玄武岩質マグマがマントルから分離して、地殻浅部で結晶化する場合、(D)最初にカンラン石が晶出し、多くの場合次に単斜輝石が晶出する。ただし、(E)まれに直方輝石が単斜輝石よりも先に晶出する場合もある。

(i) 下線部Aについて、2つの端成分の名称と化学組成を答えなさい。

(ii) 下線部Bについて、一般に固溶体を形成するためには置換しあう元素にどのような条件が必要か答えなさい。

(iii) 下線部Cについて、六方最密充填構造の充填率を有効数字2桁で求めなさい。

(iv) 下線部Cについて、六方最密充填構造と、同じ最密充填構造である立方最密充填(面心立方)構造との違いを説明しなさい。図を用いてもよい。

(v) 下線部Dについて、解答用紙に図2の相平衡図の概形を描き、それを用いてその理由を説明しなさい。

- (vi) 下線部 E について、解答用紙に図 2 の相平衡図の概形を描いて、どのような場合にそれが起こるかを説明しなさい。

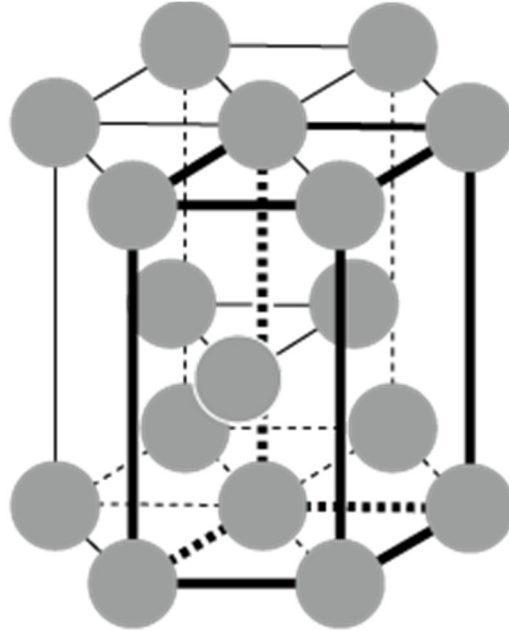


図 1．六方最密充填構造。太線の平行六面体が単位格子である。

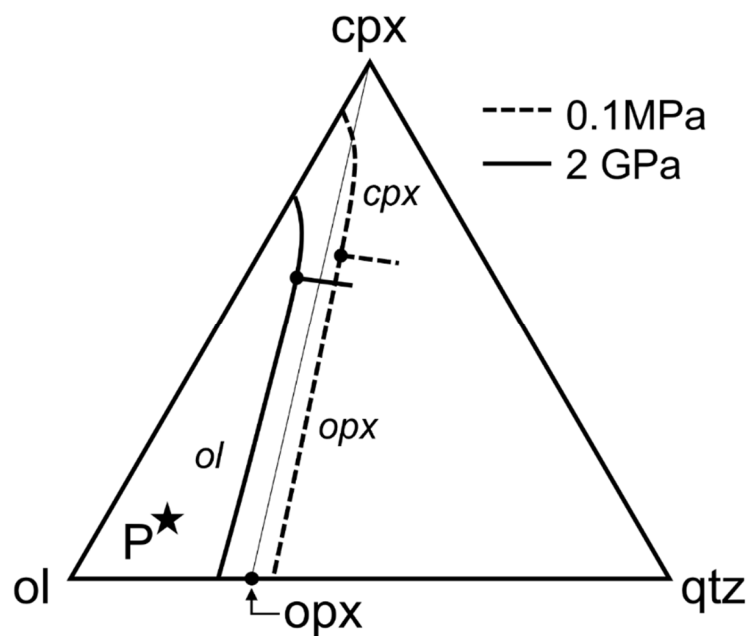


図 2．2 つの異なる圧力下におけるカンラン石 (ol)、単斜輝石 (cpx)、直方輝石 (opx) の相平衡図。図中に相境界の一部、およびカンラン岩の組成 (P で示した★印) を示した。

(2) 以下の文章を読み問い(i)～(v)に答えなさい。

惑星学的現象の研究において、元素の同位体組成から有用な情報を得ることができる。岩石学や地球化学の分野では、しばしば Sr 同位体である ^{87}Sr と ^{86}Sr の比の値が注目される。 ^{87}Sr と ^{86}Sr はどちらも壊変して別の元素にはならない

ア 同位体である。 ^{86}Sr はその量が時間の経過により変化しないが、 ^{87}Sr は イ 同位体である ^{87}Rb の原子核が電子を放出することにより起こる放射壊変 (ウ 崩壊) により時間とともにその量が増加する。

ある時間においてある固体物質に、 ^{87}Rb が R_0 個、 ^{87}Sr が S_0 個、 ^{86}Sr が T_0 個含まれているとする。そこから時間 t が経過した後の ^{87}Rb の個数 R は、

$$R = R_0 \exp(-\lambda t) \quad (\text{式 1})$$

により表される。 λ は壊変定数であり、 ^{87}Rb のそれは 1.420×10^{-11} (1/year) である。この時の ^{87}Sr の個数 S は、 R_0 、 R 、 S_0 を用いて、

$$S = \text{ A } \quad (\text{式 2})$$

と表される。式 1 と式 2 から、時間 t における $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比、すなわち、 S/T_0 は、 R_0 を含まない式として、

$$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = S/T_0 = \text{ B } \quad (\text{式 3})$$

として表される。

(i) 空欄 ア ～ ウ にあてはまる適切な語句を入れなさい。

(ii) A および B に当てはまる式を書きなさい。

(iii) ^{87}Rb の半減期を有効数字 1 桁で求めなさい。 $\ln 2 = 0.69$ とする。

(iv) 10 億年前に形成したカコウ岩を採取して分析を行った。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は 0.7200 で、Rb と Sr の濃度比 Rb/Sr は 0.5000 であった。現在における ^{87}Rb の Rb に占める割合は 0.3000、 ^{86}Sr の Sr に占める割合は 0.1000 である (これらの値は計算を簡単にするために実際の値を簡単にした)。このカコウ岩の形成時の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を求めなさい。なお、 $x \ll 1$ の場合、 $\exp(x) = 1+x$ という近似を用いてよい。

(v) 同じ時代に形成した古い玄武岩とカコウ岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を比べると、一般的にカコウ岩の方が高い値を示す。この理由を説明しなさい。ただし、説明には「分配係数」という言葉を用いなさい。

(3) 図3は鹿児島県と宮崎県にまたがって位置する霧島火山新燃岳のハザードマップである。ハザードマップに関連した以下の問い(i)～(iv)に答えなさい。

(i) 火砕サージとはどのようなものか説明しなさい。

(ii) 図3に示されたA地域では、噴火の際に、火砕流と溶岩流がともに流れてくると予想されているのに対して、B地域では、火砕流は流れてくるが溶岩流は流れてこないと予想されている。この理由を推定して説明しなさい。

(iii) 図3のハザードマップを作成するにあたり、噴石の火口における初期速度をどのくらいと見積もっているか求めなさい。ただし、見積もるにあたり、地形の起伏の影響および空気抵抗は無視してよい。

(iv) 今から約33万年前、霧島火山から北西約20km離れた地域で超巨大噴火が発生し、加久藤カルデラが形成した。この噴火における広域火山灰はカルデラの北から東の方向に主として広がり、約900km離れた場所に達したことが確認されている。この場所は、おおよそ日本の何県に当たるか。一つ答えなさい。

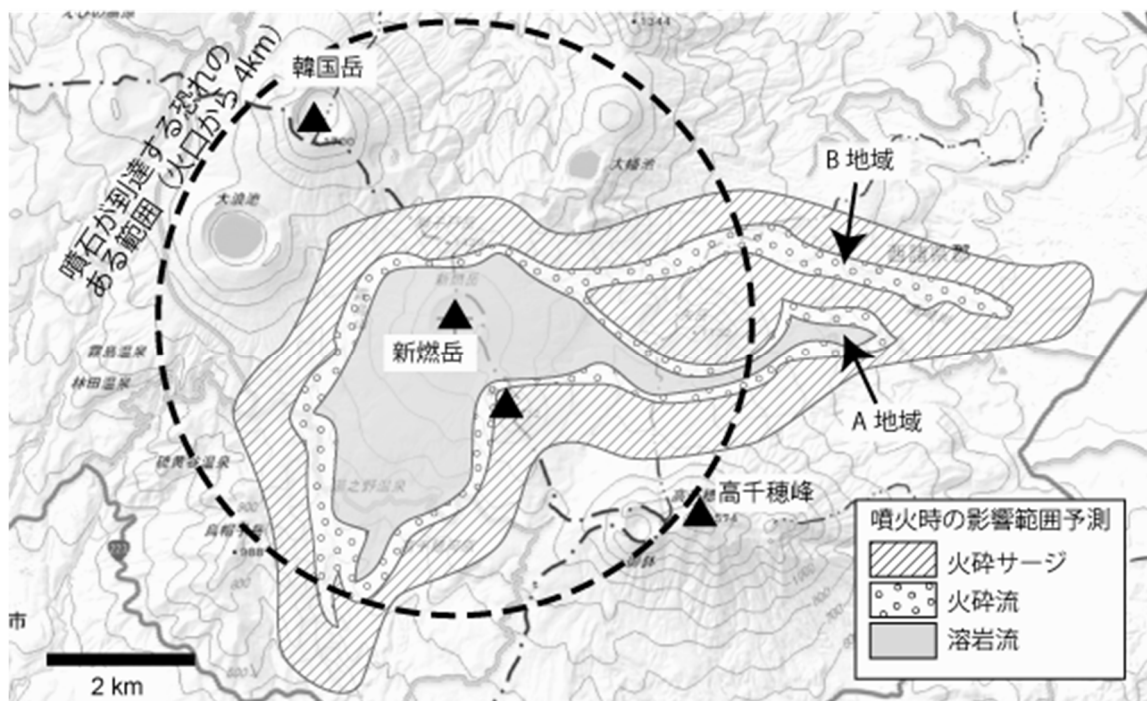


図3. 新燃岳噴火ハザードマップ。気象庁作成のハザードマップをもとに一部改変した。

(4) 次の用語群 (i) ~ (vi) の中から 2 つ選び、それぞれについて岩石学・鉱物学・火山学的観点から 3 行程度で説明しなさい。

(i) High field strength (HFS) 元素 (ii) 核形成における臨界核半径

(iii) ミラー指数 (iv) ストロンボリ式噴火

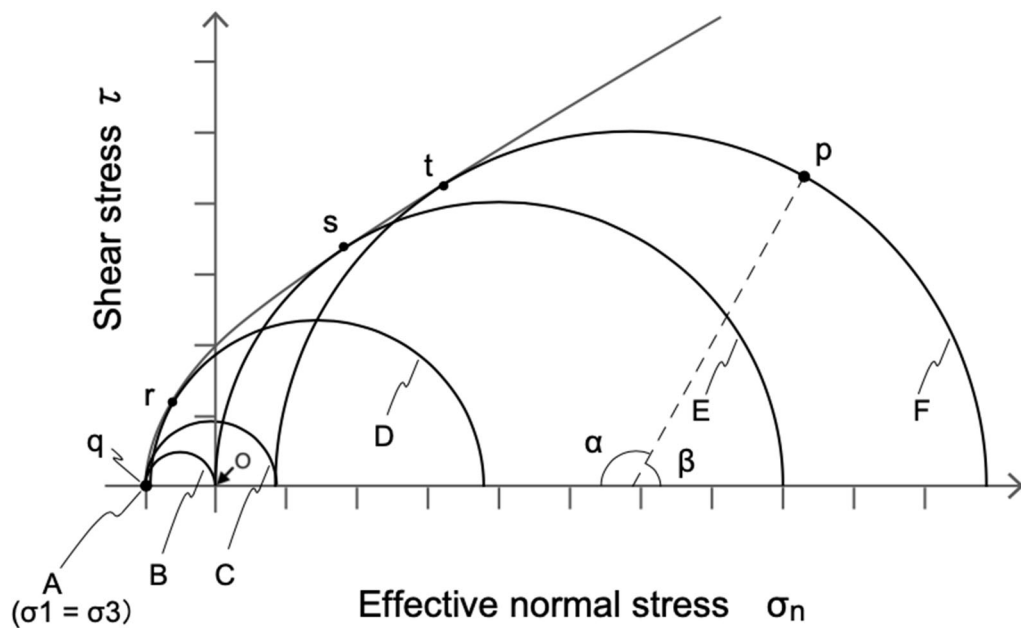
(v) アイソグラッド (vi) 結晶格子欠陥

6. (地質学)

6 - 1/2

以下の問い (1) ~ (3) に答えなさい。

- (1) 下の図は、ある岩石試料の破壊特性を表している。点Oは原点である。
岩石の破壊条件と強度に関する以下の問い (i) ~ (v) に答えなさい。問い
(iii) ~ (v) は、必要であれば図を描いても良い。



- (i) モー爾円F上のp点とモー爾円の中心が点線で結ばれている。その点線と $\tau=0$ の線がなす角度を α と β とする。このとき、p点の座標は、最大主応力軸から何度傾いた面に働く応力を示すか、答えなさい。
- (ii) 図には、一軸引張試験、一軸圧縮試験、それに三軸圧縮試験の結果が含まれている。それらの試験結果を示すモー爾円を、図中のA~Fから選びなさい。
- (iii) 図中のq, r, s, t 点で破壊線に接するモー爾円C~Fの破壊の特徴を記述しなさい。
- (iv) 図中のq点で破壊線に接するモー爾円A, B, Cについて、差応力が大きくなるにつれて破壊の特徴がどのように変化するか、記述しなさい。
- (v) 野外で観察できる、主応力方向を示す地質構造（指標）を3つ挙げなさい。ただし、その地質構造がどのように形成されるのか、主応力方向との関係を示して答えなさい。

- (2) 地球史に関する以下の問い(i)～(ix)に答えなさい。
- (i) 地球は今から何年前に誕生したと推定されるか、根拠とともに答えなさい。
 - (ii) 冥王代の原始大気と現在の大気の異なる点とその理由を答えなさい。
 - (iii) 太古代（始生代）の原始海洋と現在の海洋の異なる点とその理由を答えなさい。
 - (iv) 原生代におきた真核生物の出現と多細胞生物の出現は、どちらが先に起きたと考えられるか答えなさい。また、真核生物と多細胞生物の特徴も答えなさい。
 - (v) カンブリア紀前期からシルル紀後期における、主な生物界の変遷と地球環境の変遷（大陸移動や造山運動も含む）を答えなさい。
 - (vi) デボン紀前期からペルム紀後期における、主な生物界の変遷と地球環境（大陸移動や造山運動も含む）の変遷を答えなさい。
 - (vii) 中生代における、主な生物界の変遷と地球環境の変遷（大陸移動や造山運動も含む）を答えなさい。
 - (viii) 古第三紀前期から新第三紀後期における、主な生物界の変遷と地球環境の変遷（大陸移動や造山運動も含む）を答えなさい。
 - (ix) これから起きると推定される、主な地球環境の変遷を一つ答えなさい。その自然科学的根拠も答えなさい。
- (3) 以下の問い(i)～(iii)に答えなさい。
- (i) 生痕化石と化学化石（分子化石）から得られる古生物学的情報を、それぞれ答えなさい。
 - (ii) 平らな地形において、その地形に褶曲軸が平行な場合と、傾いている場合（プランジ褶曲の場合）を考える。各場合の地質平面図はどのように異なるか、図を描いて答えなさい。図はフリーハンドでよい。
 - (iii) 海進と海退はどのような場合に起きるのか、それぞれ答えなさい。さらに、各場合の海における堆積相の特徴もそれぞれ答えなさい。

7. (固体地球物理学)

7 - 1/4

以下の問い(1)～(4)に答えなさい。

(1)、(2)の解答は、(3)、(4)の解答とは別の解答用紙に記すこと。

(1) 図1は2019年6月18日に発生した山形県沖の地震(M_{JMA} 6.7)の余震分布を、図2はメカニズム解(下半球投影)を示す。これについて、以下の問いに答えなさい。

※ただし図2のメカニズム解は、解答での作図を容易にするために、防災科学技術研究所によるメカニズム解のパラメータをわずかに改変したものである。

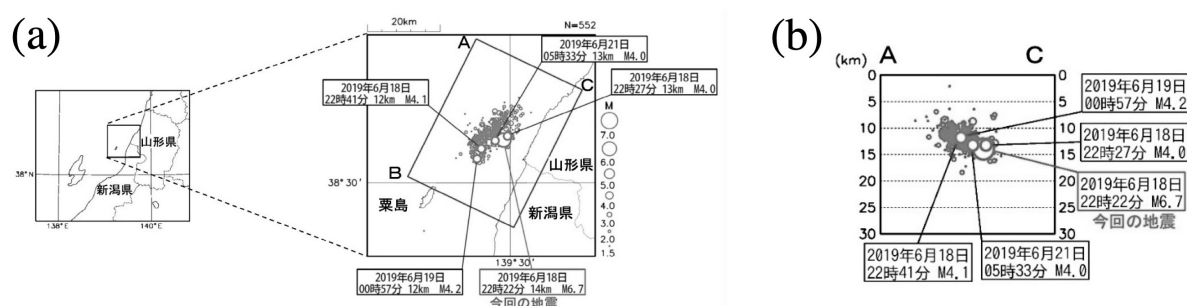


図1. 2019年6月18日の山形県沖の地震(M_{JMA} 6.7)の余震分布(気象庁の報道発表資料による)。(a) 余震の震央分布。(b) 図(a)のA-C断面で見た余震の深さ分布。

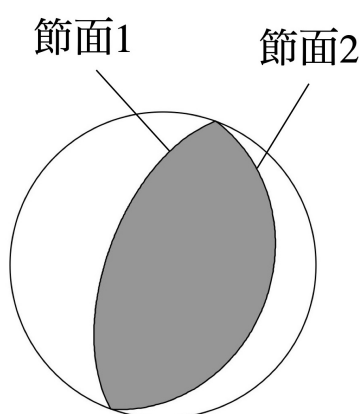


図2. 2019年6月18日の山形県沖の地震(M_{JMA} 6.7)のメカニズム解(下半球投影)。

- (i) この地震の震源断層面は、メカニズム解の節面 1 と節面 2 のいずれであるかを、理由をつけて答えなさい。
- (ii) 震源断層面の走向として最も適切な値を以下から選びなさい。ただし、走向は北から時計回りに測り、震源断層面は走向に向いて右手方向に傾き下がるように取るものとする。
(a) 20° (b) 110° (c) 200° (d) 290°
- (iii) 震源断層面の傾斜角として最も適切な値を以下から選びなさい。
(a) 5° (b) 30° (c) 55° (d) 80°
- (iv) 解答用紙に自分でメカニズム解の図を描き写し、その図中に震源球上の P 軸と T 軸の位置を下半球投影で描き入れなさい。
- (v) 下半球投影した P 軸の方位角として最も適切な値を以下から選びなさい。ただし、方位角は北から時計回りに測るものとする。
(a) 20° (b) 110° (c) 200° (d) 290°
- (vi) 下半球投影した P 軸の傾斜角として最も適切な値を以下から選びなさい。ただし、傾斜角は水平面から下向きに測るものとする。
(a) 15° (b) 35° (c) 55° (d) 75°
- (vii) 下半球投影した T 軸の方位角として最も適切な値を以下から選びなさい。
(a) 20° (b) 110° (c) 200° (d) 290°
- (viii) 下半球投影した T 軸の傾斜角として最も適切な値を以下から選びなさい。
(a) 15° (b) 35° (c) 55° (d) 75°
- (ix) 深さ断面で見たメカニズム解の図を描きなさい。このメカニズム解の null 軸 (B 軸) は北北東-南南西方向を向くが、南南西から見た深さ断面の図を描くこと。また、2 つの節面のうち、震源断層面は太線で描きなさい。更に、断層運動を表す矢印、すなわち震源断層面の両側の媒質のそれぞれの動きを表す矢印を図に描き入れなさい。

(2) 地震のマグニチュードに関する以下の問いに答えなさい。

- (i) 表面波マグニチュードと実体波マグニチュードについて説明しなさい。
- (ii) これらのマグニチュードが持つ欠点を 1 つ挙げなさい。
- (iii) 上記の欠点を持たないマグニチュードとして定義されるマグニチュードについて説明しなさい。

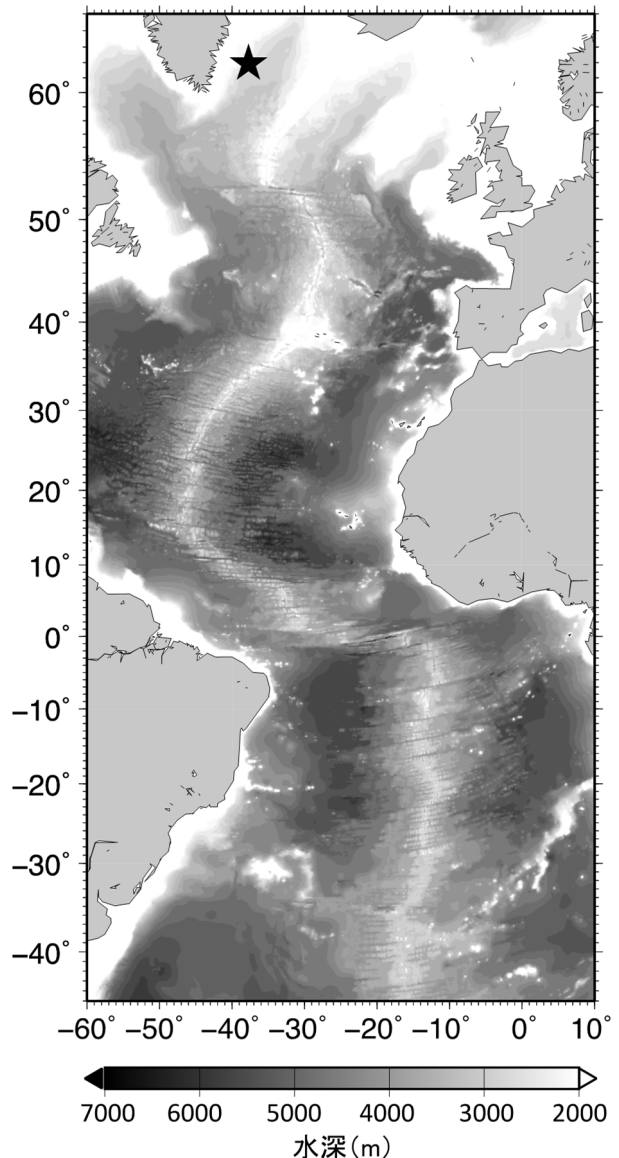
(3) (4) の解答は、(1) (2) の解答とは別の答案用紙に記すこと。

(3) 2つのプレートの相対運動は、球面上の剛体運動として、オイラー極とそのまわりの回転角速度で表現できる。南米プレートに対するアフリカプレートの相対運動は、観測データをもとに、オイラー極が図3の★印の位置で、角速度が0.32度/Myr (Myrは百万年)と求められている。これに関する次の問い(i)(ii)に答えなさい。

(i) オイラー極の位置は、どのような観測データからどのようにして求めることができるのかを、具体的にかつ詳しく述べなさい。

(ii) 南米プレートとアフリカプレートの境界で、プレート間の相対運動が最も速い場所での相対運動速度の大きさを有効数字2桁で求めなさい。また、その場所の緯度と経度を有効数字1桁で示しなさい。それぞれの導出過程も示すこと。

図3. 大西洋の海底地形図。★印は、南米プレートに対するアフリカプレートの相対運動のオイラー極を示す。図はメルカトル図法による。



(4) 図4のような標高 3.0km、0.0km、水深 3.0km と 3つの異なる高度をもつ地形を示す地域があったとする。この地域に関する次の問い (i) (ii) に答えなさい。

(i) この地域では、アイソスタシーが成り立ち、海水、地殻、マンツルの密度は均質で、それぞれ $\rho_w (=1000\text{kg/m}^3)$ 、 $\rho_c (=2700\text{kg/m}^3)$ 、 $\rho_m (=3300\text{kg/m}^3)$ とする。また、標高 0.0km の地点での地殻の厚さは 20.0km であった。この場合、標高 3.0km と水深 3.0km のそれぞれの地点での地殻の厚さ D_1 、 D_2 を有効数字 2 桁で求めなさい。導出過程も示すこと。

(ii) (i) のようなアイソスタシーが成り立つ地下構造の場合、下図の測線 A-B に沿ったブーゲー重力異常の空間的な相対変化をグラフで示しなさい。重力異常の変化と地形の変化との対応が分かるように、地形も同時に描くこと。重力変化の具体的な数値を示す必要はない。また、ブーゲー重力異常がそのように描ける理由も述べなさい。

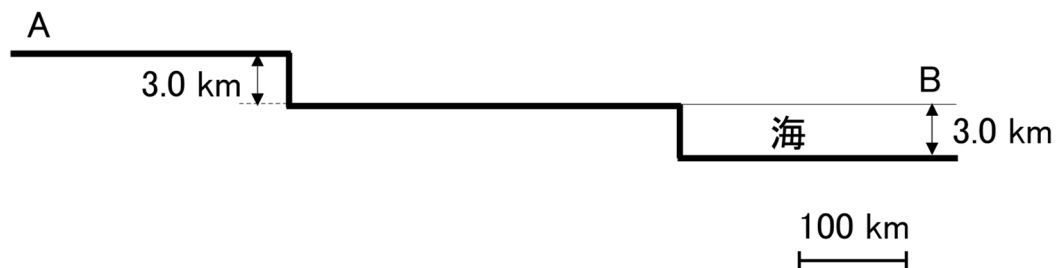


図 4.