

2025. 8. 26

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 5 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)

1-1/2

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なく導出過程も記しなさい。

- (1) e_x, e_y, e_z を、それぞれ x 軸, y 軸, z 軸方向の単位ベクトルとする。このとき、2つのベクトル $\mathbf{a} = 2\mathbf{e}_x - \mathbf{e}_y + 3\mathbf{e}_z$ および $\mathbf{b} = -\mathbf{e}_x + \mathbf{e}_y + 2\mathbf{e}_z$ について、次のものを求めなさい。

(i) \mathbf{a} と \mathbf{b} のなす角を θ とするとき、 $\cos \theta$ の値

(ii) \mathbf{a} と \mathbf{b} に垂直な単位ベクトル \mathbf{n}_\perp

(iii) \mathbf{a} を、 \mathbf{b} に平行な成分 \mathbf{a}_\parallel と \mathbf{b} に垂直な成分 \mathbf{a}_\perp に分解するとき、 \mathbf{a}_\perp

- (2) x - y 平面上の曲線 C で囲まれた領域 R を考える。関数 $P(x, y)$, $Q(x, y)$ とその偏微分 $\partial P/\partial y$, $\partial Q/\partial x$ は領域 R 内で一価連続であるとする。このとき、次式の関係が成り立ち、平面におけるグリーンの定理と呼ばれる。

$$\oint_C [Pdx + Qdy] = \iint_R \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy$$

これについて、以下の問い (i)~(iii) に答えなさい。

- (i) 領域 R 内の2点を A , B とするとき、線積分 $\int_A^B [Pdx + Qdy]$ が AB 間を結ぶ経路によらないための必要十分条件は、 R 内で恒等的に

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial x}$$

が成り立つことであることを、上の定理を用いて示しなさい。

- (ii) 始点を $(0, 1)$, 終点を $(3, 2)$ とする x - y 平面上の曲線 C' に対して、線積分

$$\int_{C'} [(2xy + x^2y^3 - y^3)dx + (x^2 + x^3y^2 - 3xy^2)dy] \quad (\text{A})$$

の値は途中の経路の選び方によらないことを示しなさい。

- (iii) 式 (A) で与えられる積分の値を求めなさい。

(3) 関数 $u(x, t)$ のフーリエ変換および逆フーリエ変換は次式で与えられる.

$$\hat{u}(k, t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(x, t) e^{-ikx} dx$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{u}(k, t) e^{ikx} dk$$

これらを用いて, $u(x, t)$ に関する以下の偏微分方程式 (B) を初期条件 (C) の下で解くことを考える.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (t > 0) \quad (\text{B})$$

$$u(x, 0) = \delta(x) \quad (\text{C})$$

ただし $\alpha > 0$ とし, $x \rightarrow \pm\infty$ で $u(x, t) \rightarrow 0$, $\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \rightarrow 0$ とする. また $\delta(x)$ は

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & (x \neq 0) \\ \infty & (x = 0) \end{cases}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$$

で与えられるディラックのデルタ関数であり, c を実定数とするとき $x = c$ の付近で連続な関数 $f(x)$ について次式が成り立つ.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x - c) dx = f(c)$$

このとき, 以下の問い (i)~(iii) に答えなさい.

(i) $u(x, t)$ が (B) の解であるとき, $\hat{u}(k, t)$ は次式を満たすことを示しなさい.

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial t} = -\alpha k^2 \hat{u} \quad (\text{D})$$

(ii) (D) を解いて (C) を用いることにより, $\hat{u}(k, t)$ を求めなさい.

(iii) (ii) の結果を用いて $u(x, t)$ を求めなさい. ただし, $a (> 0)$, b を実数とすると, 次の関係式が成り立つことを使ってよい.

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ak^2 + ibk} dk = \sqrt{\frac{\pi}{a}} e^{-\frac{b^2}{4a}}$$

2. (物理学)

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、導出過程も記しなさい。

(1) 質量が M_0 、半径が R_0 で密度が一様な球がある。この球が時刻 $t = 0$ に密度を空間的に一様に保ったまま膨張を始めた。以下の問いに答えなさい。

(i) 密度を空間的に一様に保ったまま膨張するため、時刻 $t = 0$ で球の中心から距離 r_0 ($0 < r_0 \leq R_0$) にあった点の位置は、時刻 t には $r(t) = r_0 a(t)$ と表すことができる。ここで $a(t)$ は時間だけの関数である。時刻 t における球の表面 $R(t)$ の膨張速度 $V(t)$ を、 $da(t)/dt$ を用いて表しなさい。

(ii) 時刻 t におけるこの球全体の運動エネルギーを M_0 と $V(t)$ を用いて表しなさい。

(iii) 半径 r の球殻の微小質量 Δm が持つ重力ポテンシャルエネルギーは

$$\Delta E_G(r) = -\frac{GM}{r} \Delta m$$

と書くことが出来る。ここで G は重力定数であり、 M は半径 r より内側の質量である。また無限遠での重力ポテンシャルエネルギーをゼロとしている。これを用いて、時刻 t におけるこの球全体の重力ポテンシャルエネルギーを G 、 M_0 、 $R(t)$ を用いて表しなさい。

(iv) 今考えている系の全エネルギーは運動エネルギーと重力ポテンシャルエネルギーの和であるとする。エネルギー保存の式を書きなさい。

(v) 全エネルギー E が 0 であるとして t の関数としての $a(t)$ の具体的な形を求めなさい。

(vi) 全エネルギー E が負の場合、球はある時刻で最大となったあと、収縮に転じる。球が取る最大の半径 $R_{\max} = R_0 a_{\max}$ を G 、 M_0 、 E を用いて表しなさい。

(2) 静磁場についての以下の問いに答えなさい。すべて真空中であるとし、真空中の透磁率を μ_0 とする。

(i) 位置 \mathbf{r}' にある微小線要素 $\Delta l'$ の電流素片 $I\Delta l'$ が位置 \mathbf{r} に作るベクトルポテンシャル $\Delta \mathbf{A}$ は

$$\Delta \mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\Delta l'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$$

のように表される。ここで I は電流を表す。従って電流全体が位置 \mathbf{r} に作るベクトルポテンシャルは

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{l}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}$$

となる。ベクトルポテンシャルの回転を取り、ビオ・サバールの法則

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{l}' \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}$$

を導きなさい。

(ii) x - y 平面内に原点を中心とする有限の半径 b を持つ円型導線があり、電流 I が流れている。以下ではこれを円電流と呼ぶ。 z 軸上の点 P $(0, 0, z)$ での磁場を以下の指示に従い求めなさい。

- (a) 円電流上の位置を $\mathbf{r}' = (b \cos \theta, b \sin \theta, 0)$ としたとき、円電流に沿う微小線要素 $\Delta l'$ を微小角度要素 $\Delta \theta$ を用いて表しなさい。
- (b) 点 P の位置を \mathbf{r} とする。 \mathbf{r} と \mathbf{r}' の間の距離 $|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|$ を求めなさい。
- (c) 円電流が点 P に作る磁場を求めなさい。

3. (岩石学・鉱物学)

3- 1/4

以下の問い(1)～(4)に答えなさい。

(1) 次の文章を読んで、以下の問い(i)～(iv)に答えなさい。

地球上でマグマが発生し火山活動が起こる場所は、主に次の3つに区別される。1つ目は、プレートの発散境界で、特に海底にあるものを と呼ぶ。2つ目は、プレートの収束境界である である。3つ目は、プレートの境界とは関係なく火山が分布する (A) ホットスポット である。これらの地域の深部ではマントル物質であるカンラン岩が 溶融して、主に 質マグマを生成する。例えば、 ではマントルは断熱的に上昇し、マントルの を超えて 溶融する。こうして生成されたマグマは、地表に到達するまでに様々な過程を経てその組成を変化させる。その代表的な過程の1つが である。これは、マグマの冷却過程で、晶出した鉱物がマグマから分離されることで、残されたマグマの組成が変化していく過程である。このほかにも、異なる組成のマグマが混ざり合う (B) マグマ混合 や、周囲の岩石が取り込まれてマグマの組成が変化する などが知られている。このような過程の結果生じる (C) マグマの組成の変化は火山の噴火様式や火山体の形状などに影響を与える。

- (i) 本文中の ～ にあてはまる適切な語句を答えなさい。
- (ii) 地球上の下線部(A)ホットスポットを2つ答えなさい。
- (iii) 下線部(B)マグマ混合を経たマグマが固結した岩石において、観察されることが期待される岩石学・鉱物学的特徴を2つ答えなさい。
- (iv) 下線部(C)について、珪長質マグマは苦鉄質マグマと比べ、一般的に噴火様式が爆発的になることが多い。この理由を「粘性」と「揮発性成分」の2語を用いて説明しなさい。

3 - 2/4

(2) 上部マントルの主要構成物質やその物性に関する理解は、地球内部の構造やマグマの生成過程の解明に不可欠である。以下の問い (i) ~ (v) に答えなさい。

- (i) 上部マントルは主にカンラン岩で構成されていると考えられている。上部マントル起源のカンラン岩が地表に露出している地質的産状を2つ答えなさい。
- (ii) カンラン岩であるハルツバージャイトとレールゾライトについて、構成鉱物の違いを説明しなさい。
- (iii) カンラン岩の薄片を偏光顕微鏡で観察したところ、クロスニコル下でステージを回転させても常に消光状態の鉱物が確認された。この鉱物として考えられるものを1つ答えなさい。
- (iv) カンラン岩にはカンラン石と輝石が含まれる。カンラン石と輝石の結晶構造における SiO_4 四面体のつながり方について違いを述べなさい。
- (v) 図1は Mg_2SiO_4 - SiO_2 系の1気圧および2.5 GPaにおける相図である。この相図に基づき、以下の (a) ~ (d) に答えなさい。

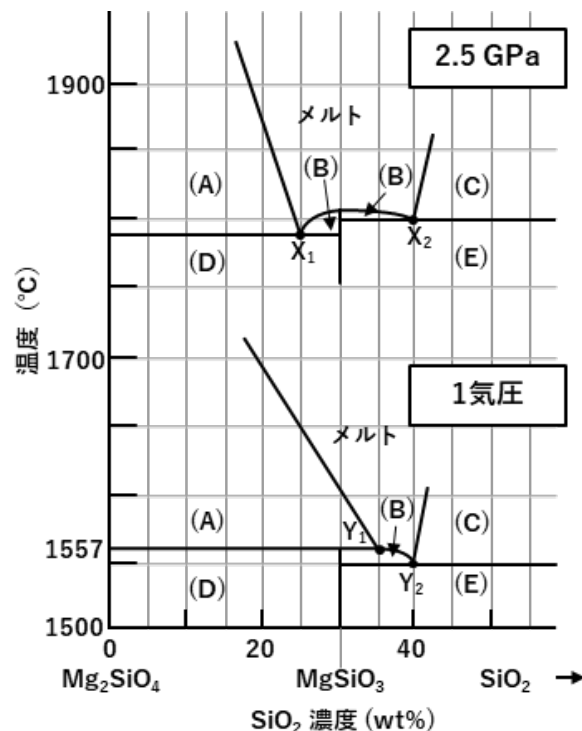


図1. Mg_2SiO_4 - SiO_2 系の1気圧および2.5 GPaにおける相図（問題のため実際の相図を見やすいように改変した）。 MgSiO_3 の組成は SiO_2 濃度30 wt%、 Mg_2SiO_4 濃度70 wt%である。この相図域に現れる相はフォルステライト、エンスタタイト、シリカ鉱物である。

3 - 3/4

- (a) 領域 (A) ~ (E) それぞれにおいて安定な相の組み合わせを答えなさい。
- (b) SiO_2 濃度20 wt%、 Mg_2SiO_4 濃度80 wt%の岩石について、2.5 GPaで平衡溶融が生じた場合に最初に生じるメルトの組成を答えなさい。
- (c) (b) で生じたメルトが上昇して1気圧で平衡結晶作用により冷却し完全に固結する際、温度の低下による共存する相の組み合わせの変化を説明しなさい。また完全に固結した時の、相の組み合わせとそれらの重量割合を答えなさい。
- (d) (b) で生じたメルトが上昇して1気圧で分別結晶作用により冷却し完全に固結した。固結するまでに晶出した鉱物の種類とそれらの重量割合を答えなさい。

(3) 溶岩について、以下の問い (i) ~ (vi) に答えなさい。

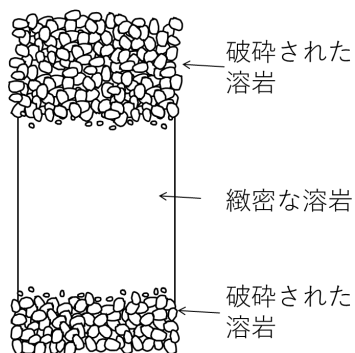


図2. アア溶岩の鉛直断面。

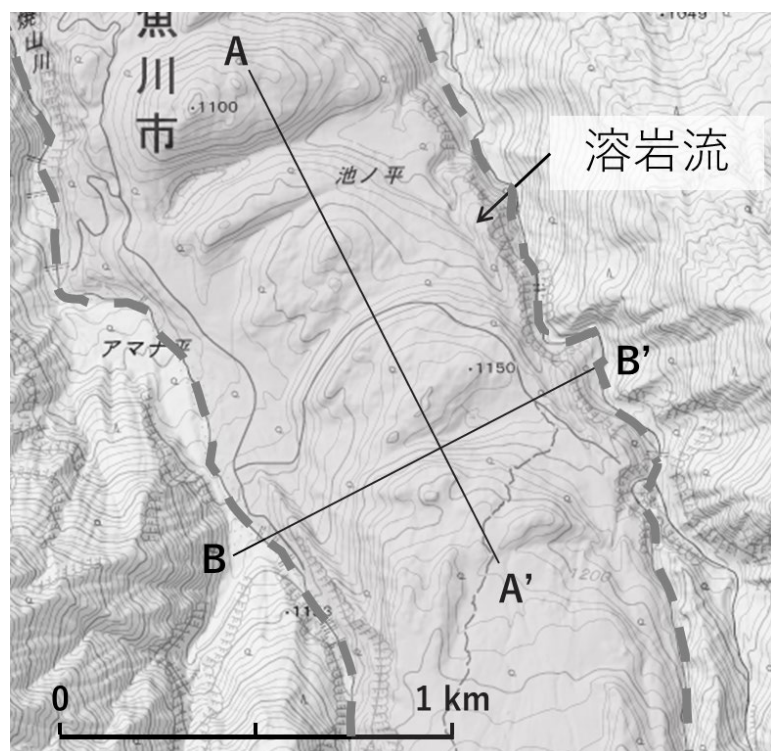


図3. 溶岩流の地形図。溶岩流は中央の灰色で塗られた部分で、境界は太破線で示されている。地形の起伏を明瞭に示すために陰影起伏図を重ねている。

- (i) 図2のアア溶岩の鉛直断面図の上部と下部にある破碎部の名称を答えなさい。また、上部および下部の破碎部の形成過程をそれぞれ説明しなさい。
- (ii) 図3の溶岩流について、直線A-A' と直線B-B' での鉛直断面の概形を描きなさい。また、それぞれの地形の起伏の形成過程を説明しなさい。
- (iii) 厚さ h が一定の溶岩流が、ニュートン流体として層流状態で火山体の斜面を流れる時、上面からの深さ z における流速 v は以下の式 (1) で表される

$$v = \frac{\rho g(h^2 - z^2)\sin\alpha}{2\eta} \quad (1)$$

ρ は溶岩の密度、 g は重力加速度、 α は斜面の傾斜角、 η は粘性係数である。厚さ 20 m の溶岩流の上面が傾斜 30 度の斜面を 1 時間に 200 m の速度で流下するのが観測された。このとき、溶岩の密度を 3000 kg/m^3 、重力加速度を 10 m/s^2 とし、粘性係数が一様と仮定して粘性係数 η を求めなさい。

- (iv) 溶岩流の地形はマグマの粘性によって変化する。マグマの粘性を決定する要因を 4 つ答えなさい。
- (v) 溶岩が冷えて固まるとき、しばしば柱状節理が形成される。柱状節理がどのようにして冷却面に対して垂直に形成されるか説明しなさい。
- (vi) 柱状節理は、溶岩だけでなく溶結凝灰岩でも形成される。露頭において、どのような記載的特徴が見られれば、溶結凝灰岩と判断できるか答えなさい。
- (4) 次の用語群 (i) ~ (vi) の中から 2 つ選び、岩石学、鉱物学、または火山学的観点から 3 行程度で説明しなさい。
- (i) 火山爆発指数 (ii) 三波川変成帯
- (iii) マグマ水蒸気噴火 (iv) 蛍光X線分析装置
- (v) ミラー指数 (vi) 花崗岩

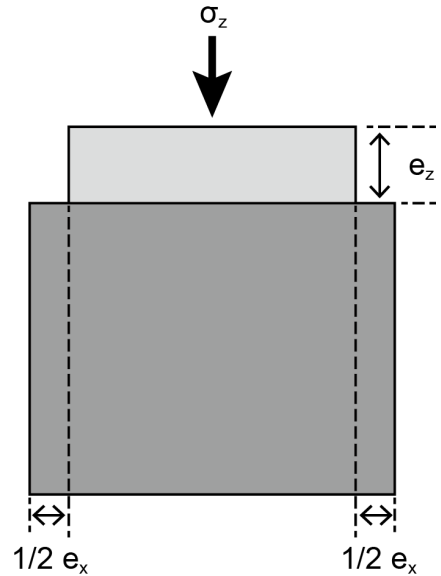
4. (地質学)

4 - 1/2

以下の問い (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) 惑星表層の応力場と物質の変形について、以下の問い (i)、(ii) に答えなさい。

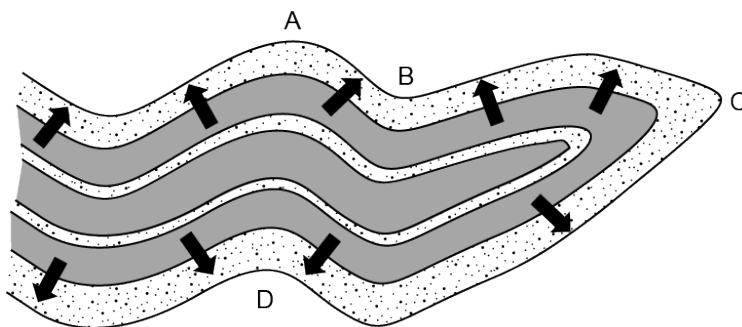
- (i) ある物質を鉛直方向に主応力 σ_z で圧縮したとき、圧縮方向に縮み (歪: e_z)、それと直交方向に膨張した (歪: e_x)。今、圧縮前に圧縮方向の長さが15 cmだったものが圧縮後に9 cmになった。同様に、その直交方向に10 cmだったものが11 cmになった。この時の、縦歪と横歪、ポアソン比をそれぞれ答えなさい。



- (ii) この物質で構成されている一軸歪状態が期待できる堆積盆において、ある深度における上載荷重が45 MPa相当であった。この時の側方主応力を応力と歪みのつり合いから計算しなさい。計算の過程も示すこと。ただし、この物質は均質であり、ポアソン比とヤング率に異方性はないものとする。最大主応力軸方向は上載荷重方向で、側方の主応力は一様であるとする。

- (2) 褶曲に関する問い (i) ~ (iii) に答えなさい。

- (i) 下の図はある垂直断面の露頭で観察された褶曲構造と地層の上位方向 (矢印) を示している。A~Dの褶曲構造の名称をそれぞれ答えなさい。



- (ii) 褶曲を形成するコンピテント層とインコンピテント層について、それぞれ簡潔に説明しなさい。
- (iii) 褶曲には、スレート劈開が確認された。スレート劈開とは何か (どのように形成され、その存在と方向は何を示すのか)、説明しなさい。

- (3) いわゆるカンブリア爆発とよばれる現象に関する以下の問い(i)～(iii)に答えなさい。
- (i) カンブリア爆発の年代と、それがどのような古生物学的現象であったのかを答えなさい。
 - (ii) カンブリア爆発が、古生物学の研究において、なぜ重要な意味を持つとされているのかを答えなさい。
 - (iii) 現在の研究において、カンブリア爆発が生じた主な原因としてどのような説が挙げられているか。2つ以上述べ、それぞれ簡単に答えなさい。
- (4) 地質学における岩石の基本的分類に関する以下の問い(i)～(iii)に答えなさい。
- (i) 火成岩・堆積岩・変成岩は、それぞれどのような地質環境で形成されるか。簡潔に答えなさい。
 - (ii) 上記の3種類の岩石は互いに変化する。その基本的なサイクルを簡潔に答えなさい。
 - (iii) 上記の岩石変化のサイクルを理解することが、地質学においてどのような意義を持つか。1つ以上の具体例を挙げながら論じなさい。

5. (固体地球物理学)

5 - 1/5

以下の問い(1)～(4)に答えなさい。解答にあたっては、結果だけでなく導出過程も記しなさい。

(1)、(2)の解答は、(3)、(4)の解答とは別の答案用紙に記すこと。

(1) 地震計の基本構造は、慣性の法則を利用して、地面の動きと相対的に静止しようとするおもりの動きを記録するものである。地震計の応答に関する以下の問い(i)～(v)に答えなさい。

(i) 図1に示す鉛直動地震計において、おもりの質量を m 、ばね定数を k 、速度に比例する減衰の係数を c 、地面の変位を $U(t)$ 、地震計の箱に対するおもりの平衡点からの変位を $X(t)$ として、おもりの運動方程式を導出しなさい。

(ii) (i)で導出された運動方程式をフーリエ変換して、おもりと地面の変位の関数比 $\tilde{X}(\omega)/\tilde{U}(\omega)$ は次式になることを示しなさい。

$$\frac{\tilde{X}(\omega)}{\tilde{U}(\omega)} = \frac{\omega^2}{-\omega^2 + \omega_0^2 - 2ih\omega\omega_0}$$

ここで、 ω は地震動の角周波数、 $\omega_0 \equiv \sqrt{k/m}$ は地震計の固有角周波数、 $h \equiv c/(2\sqrt{km})$ は減衰定数、 i は虚数単位である。また、ここでは時間関数 $F(t)$ の角周波数関数 $\tilde{F}(\omega)$ へのフーリエ変換は、次式で表されるものとする。

$$\tilde{F}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t)e^{i\omega t} dt$$

(iii) (ii)で示された関数比を $A(\omega)e^{i\delta(\omega)}$ と表すとき、 $A(\omega)$ と $\delta(\omega)$ はそれぞれ次式になることを示しなさい。

$$A(\omega) = \frac{\omega^2}{\sqrt{(-\omega^2 + \omega_0^2)^2 + 4h^2\omega^2\omega_0^2}}$$

$$\delta(\omega) = \tan^{-1} \frac{2h\omega\omega_0}{\omega^2 - \omega_0^2} \quad (0 < \delta(\omega) < \pi)$$

(iv) 地震動の角周波数 ω の地震計の固有角周波数 ω_0 に対する二つの極限帯域、 $\omega \gg \omega_0$ および $\omega \ll \omega_0$ のそれぞれにおいて、(iii)で示された $A(\omega)$ および $\delta(\omega)$ の値を求めなさい。

(v) (iv)で与えられた二つの極限帯域のそれぞれにおいて、地震動に対するこの地震計の応答を説明しなさい。

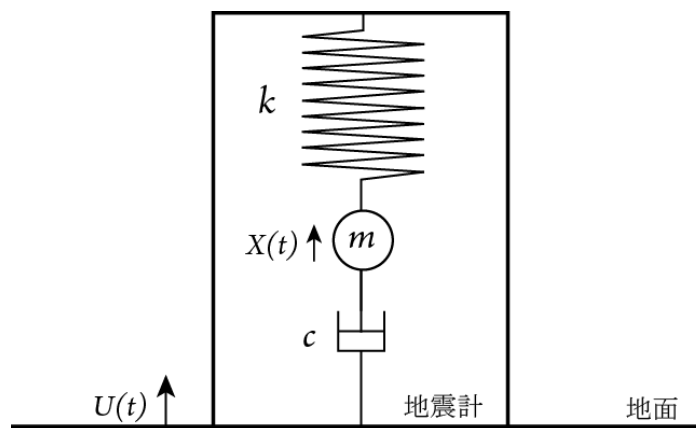


図 1. 鉛直動地震計の模式図。地震計の箱の中のばね（ばね定数 k ）に支持されたおもり（質量 m ）の鉛直振動を検出する。箱に対するおもりの平衡点からの変位 $X(t)$ を測定し、箱が置かれた地面の変位 $U(t)$ を推定する。地震計にはおもりの運動を抑えるために、速度に比例する減衰機構（減衰係数 c ）がついている。

(2) 火星のある一地点における地震観測によって、図2に示すような走時曲線が得られた。惑星内部の地震波速度構造に関する以下の問い(i)～(iii)に答えなさい。

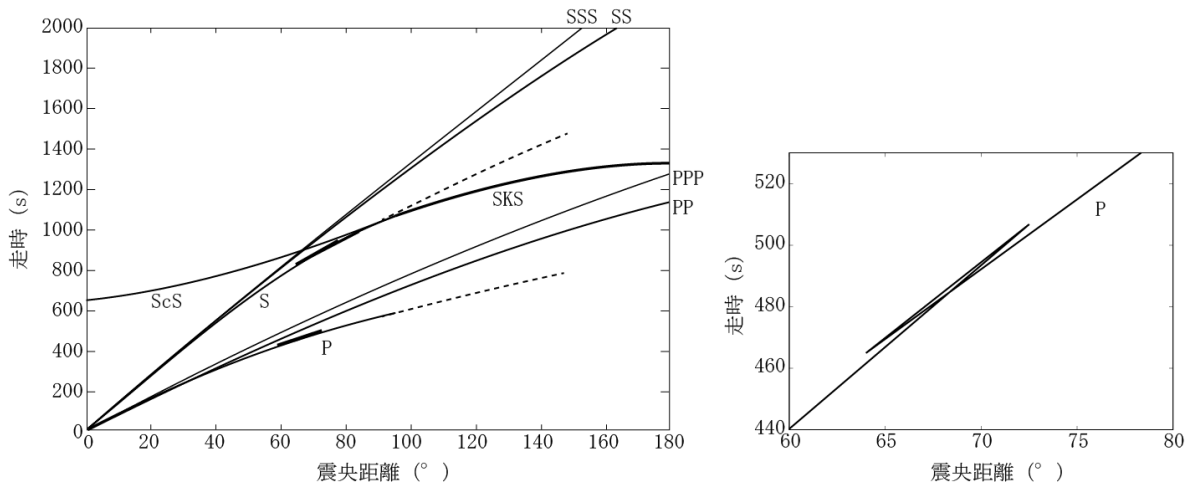


図2. (左) 火星における走時曲線 (Lognonné et al. (2023) に基づく)。P: マントル内伝播P波、S: マントル内伝播S波、K: 外核内伝播P波、c: マントル・外核境界での反射波、破線: 回折波。(右) 震央距離60～80°におけるP波走時曲線の拡大図。ただし、地震波相の表記は地球のそれに準ずるものとする。

- (i) 震央距離約100～150°では、地震波が直接到達しない影の領域(シャドーズーン)が出現し、回折波が到達する(図2(左)破線)。シャドーズーンを生じさせる速度構造を述べなさい。
- (ii) 震央距離約60～80°では、走時曲線が三つに分岐する現象(トリプリケーション)が出現する(図2(右))。これは深さ1000 km付近のマントルにおける速度構造の変化に伴う現象である。どのような変化であるか述べなさい。
- (iii) 火星の深さ1000 kmより浅いマントル上部では、速度構造は単調で、走時曲線は連続的である。一方、地球のマントル上部では、深さ100～250 km付近の速度構造の変化に伴い、シャドーズーンが出現する。これらの観測事実から推定される、マントル上部の速度構造とそれに関連するテクトニクスにおける両者の違いについて論じなさい。

(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) 海嶺からの距離と水深の関係は、アイソスタシーの概念と半無限一様媒質冷却モデルを用いて、熱境界層としての海洋リソスフェアの厚さ変化として理解できるとする。図3(a)はその概念図である。これに関する以下の問い(i)～(iii)に答えなさい。

(i) アイソスタシーが成立する場合、図3(a)の水深 d を、 L 、 ρ_w 、 ρ 、 ρ_a 、 d_0 を用いて表しなさい。

(ii) 図3(b)は、太平洋と大西洋におけるそれぞれの海嶺からの距離と水深の観測結果を示している。この図において、同じ水深における、太平洋と大西洋それぞれの海嶺からの距離に注目すると、大西洋に対する太平洋の海嶺からの距離の比は、水深の値に関わらず概ね一定になっている。図3(b)から、この比を、複数の水深で得られた値を平均することで求めなさい。

(iii) 半無限一様媒質冷却モデルでは、海洋リソスフェアの厚さ L は、 $L = a\sqrt{\kappa t}$ と表せる。ここで、 κ は熱拡散率、 t は時間、 a は比例定数である。このとき、(ii)のように、大西洋に対する太平洋の海嶺からの距離の比が概ね一定になることは何を意味するか、その比の値の意味を含めて、説明しなさい。

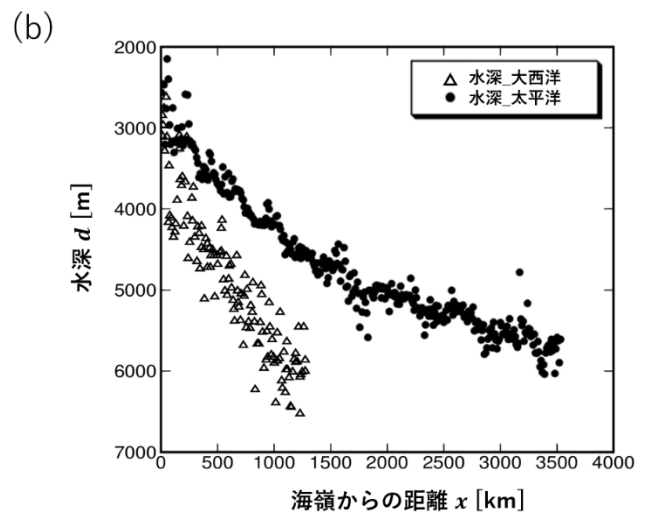
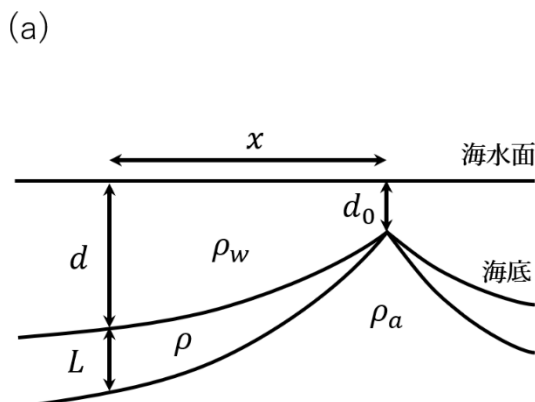


図3. (a) 海嶺からの距離と水深、海洋リソスフェアの厚さの概念図。 x は海嶺からの距離、 d と L はその場所における水深と海洋リソスフェアの厚さ、 d_0 は海嶺における水深、 ρ_w 、 ρ 、 ρ_a はそれぞれ、海水、海洋リソスフェア、アセノスフェアの密度を表す。(b) 太平洋と大西洋におけるそれぞれの海嶺からの距離と水深の観測結果。

(4) 以下の問い (i) ~ (ii) に答えなさい。

(i) 地磁気を大きさ (全磁力) で測定し、標準磁場モデルによる背景磁場の全磁力を差し引いた値は、地磁気異常 (全磁力異常) と呼ばれ、 $\Delta = |\mathbf{B}| - |\mathbf{F}|$ の式で表される。ここで、 Δ は地磁気異常の値、 $|\mathbf{B}|$ は観測された全磁力値、 $|\mathbf{F}|$ は背景磁場の全磁力値である。

観測される全磁力値 $|\mathbf{B}|$ は、図4の関係から、磁気異常源が作る磁場ベクトル \mathbf{b} と背景磁場ベクトル \mathbf{F} を用いて、 $|\mathbf{B}| = |\mathbf{F} + \mathbf{b}|$ と表される。 $|\mathbf{b}| \ll |\mathbf{F}|$ のとき、地磁気異常の値は、 $\Delta \sim (\mathbf{F} \cdot \mathbf{b}) / |\mathbf{F}| = |\mathbf{b}| \cos \theta$ と表せる。ここで、 θ は \mathbf{F} と \mathbf{b} の成す角である。地磁気異常の値がこのように表せる理由を、図もしくは式を用いて説明しなさい。

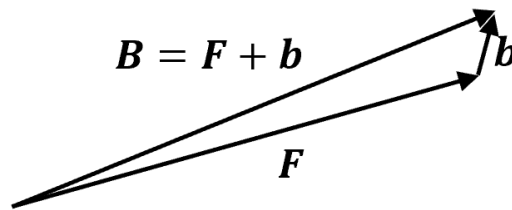


図4. 観測される磁場 \mathbf{B} 、背景磁場 \mathbf{F} 、磁気異常源が作る磁場 \mathbf{b} の関係。

(ii) 背景磁場 \mathbf{F} の伏角が 90° の領域の地磁気異常 Δ を、真北方向を x 、真東方向を y 、下向きを z とする座標系において考える。磁気異常源は、 xz 平面において長方形であり、 y 方向に無限の長さを持つものとする。磁気異常源の磁化が $\mathbf{m} = (0, 0, -m)$ (ただし $m > 0$) の場合、地磁気異常 Δ は x 軸に沿った測線において図5(a)のように観測される。同じ条件で、磁気異常源の磁化が $\mathbf{m} = (m, 0, 0)$ の場合の地磁気異常を、図5(b)のような図を答案用紙に描いたうえで、図5(a)の例にならって、グラフで示しなさい。

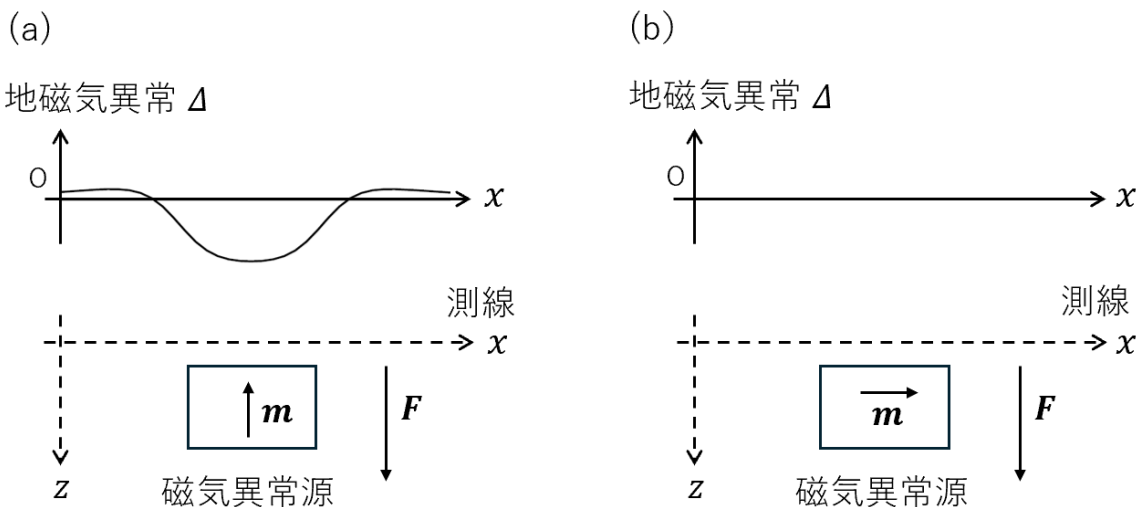


図5. 磁気異常源がつくる地磁気異常。