

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

平成30年8月23日 13:30~16:30

注 意 事 項

1. 以下の用紙が配布されている。
問題用紙(表紙を含む)14枚
解答用紙4枚
2. 問題は全部で[1]~[6]の6問ある。この中から4問を選んで解答せよ。ただし、[1]と[2]から1問、[3]と[4]から1問、[5]と[6]から1問を必ず選び、残りの1問は未選択の問題から選ぶこと。
3. 解答は問題ごとに必ず1枚ずつ別々の解答用紙を用い、それぞれの解答用紙に受験番号および問題番号を記入し解答せよ。紙面が不足した場合は裏面を使用してよい。
4. 試験終了時には、解答用紙を提出すること。

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻 専門科目

[1] 以下の問1～問3に答えよ。

問1 偏光顕微鏡を用いた岩石薄片の観察における干渉色について解説した以下の文章の
[ア] ～ [コ] に適切な語、数値または数式を補い、その原理に即した正しい文
章を完成させよ。

偏光顕微鏡の光源から発した光は、下方ポーラ（下方ニコル）を通過すると直線偏
光となる。この光は薄片中の特定の物質に進入すると、その物質の光学的性質に応じ
て様々に変化する。その物質が非晶質のガラスや [ア] 晶系の結晶などの光学的
[イ] 体である場合には、屈折したり特定の波長域の光が吸収されたりする他は特
段の変化を生じることはない。しかし、その物質が光学的 [ウ] 体である場合には
振動方向が互いに直交した二つの光にわかれる。この二つの光は、それぞれの振動方
向に応じて速度が異なるので屈折率も異なっている。速い方の光に対する屈折率を
 n_1 、遅い方の光に対する屈折率を n_2 、薄片の厚さを d とし、二つの光が薄片を抜け
出たときの速い方の光に対する遅い方の光の遅れた距離を R とすると、

$$R = \text{[エ]}$$

となる。この R は [オ] と呼ばれる。また、一つの結晶中を進む光に対する最大の
屈折率と最小の屈折率の差は [カ] と呼ばれる。二つの光がその結晶の最大の屈折
率と最小の屈折率を持つような状況は [キ] 性結晶では光が光軸と直交する方向
へ進む際にあらわれ、このとき R は最大となる。二つの光波は R に相当する位相差を
生じているので、これらが上方ポーラ（上方ニコル）を通過して下方ポーラの振動方
向と直交する直線偏光へ合成されるとき干渉が生じる。同じ振動方向の二つの波の合
成では、位相差がゼロまたは 2π の整数倍となるとき強め合い、そこから π だけずれ
ると打ち消し合うが、振動方向が互いに直交していると逆になる。そこで例えば厚さ
が $0.05 \text{ mm} (= 50000 \text{ nm})$ の薄片の面に平行な C 軸を持つ石英結晶 ($n_1 = 1.544$, n_2
 $= 1.553$) を対角位で観察すると、 $R = \text{[ク]} \text{ nm}$ となるので、干渉によって

[ケ] 色の光が弱められ、結果的に [コ] 色の干渉色が観察されるのである。

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻 専門科目

問2 三次元の結晶格子とその対称性に関する以下の問(1)～(3)に答えよ。

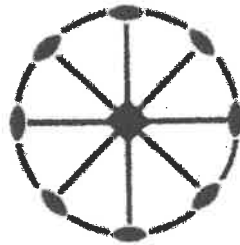
(1) ブラベ格子は計 種類あり、そのうち単純格子が 種類、複合格子が 種類である。

(A) ～ にあてはまる数値を答えよ。

(B) 複合格子とはなにか。簡単に説明せよ。

(2) 6回回反の対称操作は異なる二つの対称操作に分解できるため独立した対称操作ではない。該当する二つの対称操作の名称を答えよ。

(3) 下図はある晶族における対称要素のステレオ投影である。



(A) 図の晶族が属する結晶系の名称を答えよ。

(B) 図の晶族を表すヘルマン・モーガン記号は以下のどれか。一つだけ選べ。

{ $2/m$, 222 , mmm , $4/m$, 422 , $4mm$, $\bar{4}2m$, $4/m\bar{3}m$, $\bar{4}3m$, $m\bar{3}m$ }

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

問3 以下の問（1）～（3）に答えよ。

（1）Group I の岩石に対して、その成因を表わす分類をGroup II から選べ。

【Group I】

- A. Granite
- B. Basalt
- C. Gneiss
- D. Sandstone

【Group II】

- 1. Extrusive igneous rock
- 2. Biochemical sedimentary rock
- 3. Intrusive igneous rock
- 4. Metamorphic rock
- 5. Clastic sedimentary rock

（2）泥質岩のGranulite相に産出する鉱物組み合わせを下記の（ア）～（エ）から選べ。

- （ア） staurolite - muscovite - sillimanite - Kfeldspar
- （イ） phengite - garnet - chloritoid - biotite
- （ウ） garnet - clinopyroxene - orthopyroxene - plagioclase
- （エ） garnet - cordierite - Kfeldspar - sillimanite

（3）次の英単語を日本語に訳せ。

- 1. Cleavage 2. Granodiorite 3. Recumbent fold 4. Schist 5. Thrust 6. Dyke
- 7. Frictional coefficient 8. Radiolaria 9. Phase transition 10. Back-arc basin

平成30年10月及び平成31年4月入学
 広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

[2] 以下の問1～問4に答えよ。

問1 図は、粒径を変えて行ったオリビン多結晶体の塑性変形実験の結果である。横軸と縦軸は「オリビンの粒径」と「定常状態時の差応力値（流動応力値）」である。実験は温度 1573 K, 歪速度 $1 \times 10^{-5}/s$ とし、乾燥した条件と含水条件で行った。以下の問(1)～(7)に答えよ。

(1) この様な実験をなんと呼ぶか答えよ。

(2) 図中の白丸と黒丸のどちらが含水条件下での実験結果であるか答えよ。

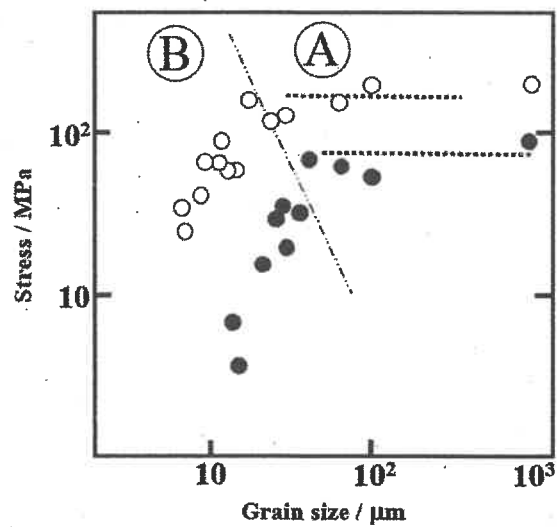
(3) 水はオリビン多結晶体の流動応力とともに、変形微細組織にも影響を与える。水の存在の有無に影響をうける微細組織の例をあげよ。

(4) 図中の領域 A と B の各々における、卓越する変形メカニズムを答えよ。

(5) 領域 A での「塑性変形における定常状態」とはどのような状態か、微細組織の見地から答えよ。特に、形成される典型的な微細組織名を用いて答えること。

(6) 領域 B の卓越する変形メカニズムが、効果的に進行するために必要な鉱物中の欠陥構造を答えよ。

(7) 上部マントルでは、一定の温度と一定の歪速度の条件下であっても、領域 A から領域 B への遷移が生じうる。その理由を述べよ。



図：オリビン多結晶体の変形実験結果
 Karato et al. 1986 を改変

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
 広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

問2 多結晶体である岩石の変形現象を考える上で問題になるのは、同一鉱物であっても岩石中では異なる強度を持つことである。このようなことはなぜ生ずるのか「すべり面」「シュミット因子」「分解剪断応力」という語を用いて答えよ

問3 上部マントル起源のペリドタイトを構成するオリビンの「粒径」と「転位密度」から応力値を求めたところ、前者の方が大きな値を示した。この結果から考えられる事を答えよ。

問4 図1はH₂O-CO₂系流体の沸騰面上の相図をP(圧力) - T(温度)面に投影したものである。この図に関する以下の問(1)～(5)に答えよ。なお、相の略号は次の通りとする。
 L1: H₂Oに富む液相; L2: CO₂に富む液相;
 V1: H₂Oに富む気相; V2: CO₂に富む気相;
 S1: H₂O固相(氷); S2: 包接化合物(クラスレート)

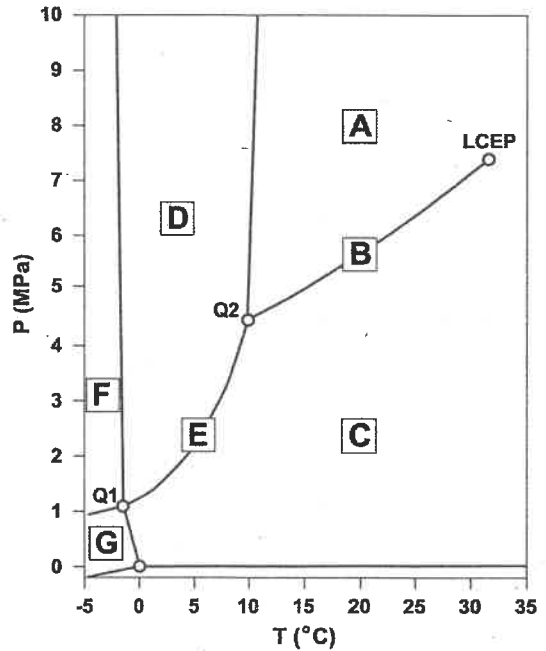


図1

- (1) 図1のLCEP点をなんというか答えよ。
- (2) 図1のQ2点で安定なすべての相を、上記の略号で記せ。

(3) 図2はある温度におけるH₂O-CO₂系流体包有物のスケッチを示しており、X相、Y相およびZ相はいずれも固相ではない。このような流体包有物が観察されるのは、図1の相図のA～Gのどこであるかを答えよ。

(4) X相、Y相およびZ相を、上記の略号で答えよ。

(5) この流体包有物を加熱したところ、Y相が消滅し、X相とZ相のみとなった。この状態は、図1の相図のA～Gのどの領域にあるかを答えよ。

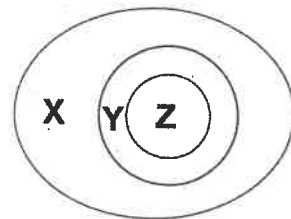


図2

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻 専門科目

[3] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 以下の文を読み、問(1)～(3)に答えよ。

先カンブリア時代において、シアノバクテリアは **ア** を放出することで海水中に溶存していた二価鉄を酸化し、 **イ** の形成に寄与した。(a) 古原生代初期には大気 **ア** 分圧が急上昇したことが推定されており、この現象は **ウ** と呼ばれる。大規模な **イ** の形成は古原生代で終了するが、(b) 一部は新原生代後期の氷河性堆積物中にも産する。この氷河性堆積物については、地球全体が氷に覆われた証拠とする考え方があり、それは **エ** 仮説と呼ばれる。シアノバクテリアはまた、葉理組織を持った微生物性堆積物である **オ** の形成にも関与したと考えられている。

- (1) **ア** ～ **オ** に当てはまる最も適当な語を答えよ。
- (2) 下線部 (a) について、この現象は炭素同位体比の正異常を伴う。その原因について説明せよ。
- (3) 下線部 (b) について、 **イ** の成因を **エ** 仮説に基づいて説明せよ。

問2 以下の問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 微量元素の固相とメルト間の分配係数 (Kd) は、 $Kd = C_{solid}/C_{melt}$ と定義される。ただし C_{solid} と C_{melt} は、それぞれ、ある微量元素の固相中の濃度とメルト中の濃度を示す。この式はある法則から導かれるが、その法則の名称を答えよ。
- (2) 固相とメルト間の分配係数 (Kd) が1より小さい元素のことをなんというか答えよ。
- (3) 岩石が部分溶融したり、マグマが結晶分化したりするときの微量元素の分配係数は、その元素の特徴によって決まる。この特徴の中で最も重要なものはなにか答えよ。
- (4) ある起源物質中の微量元素 A の濃度が 10 ppm であるとする。この起源物質が 10% 部分溶融し固相 - メルト間で化学平衡に達したのち、マグマが分離した。このときのマグマ中の微量元素 A の濃度を有効数字 3 桁で答えよ。ただし微量元素 A の固相に対する分配係数は 0.1 であるとする。答えだけでなく、計算過程も示すこと。

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻 専門科目

[4]以下の文を読み、問1～問6に答えよ。

火星は太陽系の地球型惑星の中で、地球を含めて [ア] 番目に大きい赤い惑星である。火星の地形は南半球と北半球で大きく異なり、これは火星の地形の [イ] と呼ばれる。 [ウ] 半球は高度が低く盆地状の地形で、クレーター数密度は [エ] い。一方、 [オ] 半球は高地状の地形で、クレーター数密度は [カ] い。^(a)火星表層の絶対形成年代は不明だが、 [キ] 年代学に基づき、大きくノアキアン、ヘスフェリアン、 [ク] の3つの年代に区分されている。

火星起源隕石は火星から飛来したエコンドライトの1種である。火星起源隕石が火星由来とされる根拠は、火星大気と隕石中のガラスに含まれる [ケ] の組成が互いに類似していることと、隕石の形成年代が [コ] いことである。火星起源隕石は岩石学的には [サ]、 [シ]、 [ス] に分けられ、その頭文字をとって SNC 隕石と呼ばれている。SNC 隕石以外に、斜方輝石岩である ALH 84001 と玄武岩質角礫岩 NWA 7034 も存在する。

火星探査の歴史は長く、今日に至るまで欧米を主とした代々の探査機が50年以上にわたり探査をつないできた。その間、火星表面から水の存在を示唆する^(b)地形学的、鉱物学的証拠が複数発見された。また最近では、NASAの火星探査機キュリオシティにより、火星表面から [セ] をはじめとする有機物の存在が確認され、生命存在可能性が一層高まっている。

火星の [セ] の起源については、非生物起源説と、生物起源説がある。前者は、(i) 火山活動、(ii) [ソ] による外因的な供給、(iii) 火星表面における複雑な有機物の光分解、(iv) ^(c)含水条件下でのオリビンの [タ] 化反応で発生した [チ] が二酸化炭素等と反応して [セ] を生じるプロセスが考えられている。後者については、 [セ] 生成菌などによる微生物活動が考えられている。

問1 文章中の [ア] ～ [チ] に最も適当な語を答えよ。

問2 火星起源隕石の中で形成年代が最も古いのはどれか、またその年代は、3つの年代区分の何れに属するか答えよ。

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

- 問3 下線(a)について、なぜ絶対年代を得ることができていないのか、理由を述べよ。
- 問4 下線(b)について、適切な地形学的証拠、および鉱物学的証拠の例を、それぞれ1つずつ挙げよ。
- 問5 現在の火星表層では液体の水が存在することは難しい。その理由を H_2O の状態図を書いて説明せよ。
- 問6 下線(c)の過程は地球の海底熱水噴出孔においても普遍に見出されている。海底熱水噴出孔は最初の地球生命が誕生した環境の1つとして期待されているが、それはなぜか、理由を述べよ。地質学、地球化学、微生物学の観点から、総合的に説明すること。

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

[5] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 以下の問(1)～(4)に答えよ。

(1) 正弦波 $\phi(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$ は以下の波動方程式を満たすことを示せ。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

ここで k は波数, ω は角周波数, v は波の速度である。

(2) 原点にある質量 M の質点による距離 r における重力の大きさ g は

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

と表される。ここで G は万有引力定数である。重力の大きさ g の鉛直勾配 dg/dr を g, r を用いて表せ。

(3) 図1は、リソスフェアを角柱の集まりとして表したモデルの断面図である。ここで、 ρ_L はリソスフェアの密度, ρ_A はアセノスフェアの密度, ρ_I は氷の密度である。アイソスタシーが成り立っているとして、角柱(A)の b と角柱(B)の H' を図中のその他の文字で表せ。

(4) 図2に大西洋域のプレート境界を示す。以下の問(A), (B)に答えよ。

(A) 実線が海嶺軸を表すとき、破線で表される断層の一般的な名称を答えよ。

(B) 図中の(a)~(c)で示されたプレート境界で起こると考えられる地震の震源メカニズム解をそれぞれについて描け。

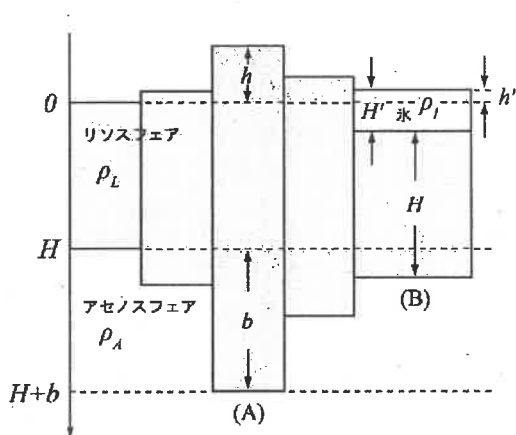


図1

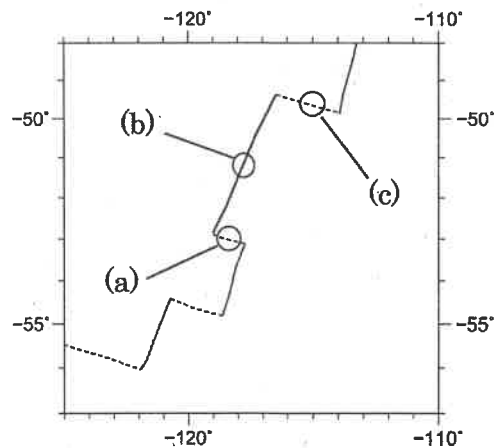


図2

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
 広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

問2 図のような、ばねで結ばれた2つの質点（質量 m ）の運動を考える。

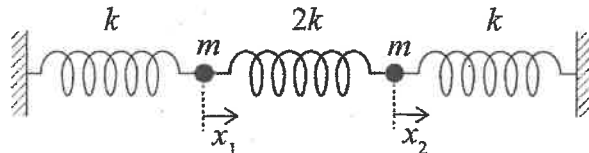
運動方程式は

$$m\ddot{x}_1 = -3kx_1 + kx_2$$

$$m\ddot{x}_2 = kx_1 - 3kx_2$$

と書かれる。

ただし $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$, $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$ である。



以上を踏まえて以下の問（1）～（4）に答えよ。

（1）運動方程式は $\frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = -\frac{k}{m} \mathbf{A} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ の形に書き直すことができる。行列 \mathbf{A} を答えよ。

（2）行列 \mathbf{A} の固有値 λ_1, λ_2 , および長さ 1 の固有ベクトル $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$ を求めよ。

（3）新たな座標 $\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \mathbf{P} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ を導入することで、運動方程式を独立な単振動の式

$$m\ddot{y}_1 = -\lambda_1 ky_1$$

$$m\ddot{y}_2 = -\lambda_2 ky_2$$

に書き直すことができる。適切な正則行列 \mathbf{P} を答えよ。

（4）初期条件を $x_1(0) = x_2(0) = a$ かつ $\dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0$ とするとき、 $x_1(t)$ および $x_2(t)$ を求めよ。

平成30年10月及び平成31年4月入学
 広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

[6] 以下の問1または問2のいずれか一方を選択して答えよ。

問1 以下の問(1)～(6)に答えよ。

(1) 図1は各層でP波速度が一定の球殻構造におけるP波の屈折を示す。屈折の法則を用いて

$$\frac{r_1 \sin \theta_1}{v_1} = \frac{r_2 \sin \theta_2}{v_2}$$

であることを示せ。

(2) 図2の(A)はコア-マントル境界(CMB)をかすめるようにマントルからコアへ入射して屈折したP波の波線、(B)は内核へ臨界角で入射して屈折したP波の波線である。マントルとコアを波線(A)、(B)のように通過したP波の名称をそれぞれ答えよ。

(3) 図2の波線(A)においてマントルからコアへ入射するときの屈折角を 36° ($\sin 36^\circ \approx 0.59$)、CMBのマントル側のP波速度を 13.7 [km/sec]とする。CMBのコア側のP波速度 v_c を有効数字2桁で求め、単位とともに答えよ。

(4) 図2の波線(A)の波線パラメータ $p = (r \sin \theta) / v(r)$ の値を有効数字3桁で求め、単位とともに答えよ。ここでCMBの半径を 3480 [km]とする

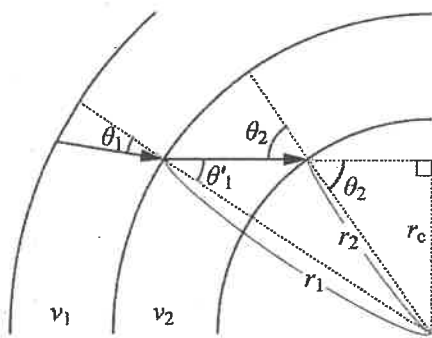


図1 球殻構造におけるP波の屈折。 v_1, v_2 は各層でのP波速度。

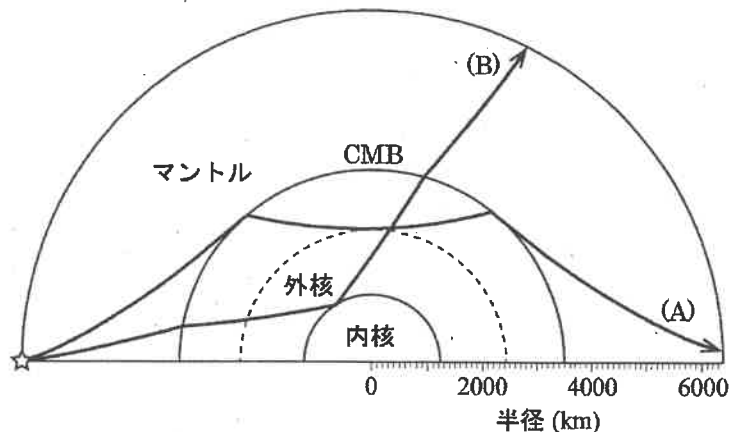


図2 (A) コア-マントル境界(CMB)をかすめるようにマントルからコアへ入射して屈折したP波の波線。(B) 内核へ臨界角で入射して屈折したP波の波線。星印は震源を表し、点線は波線(A)の最深点の半径 r_D を半径とする半円である。

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
 広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻 | 専門科目

- (5) 図2の波線(A)の最深点における半径 r_D を図から読み取り、そこでのP波速度 v_D の値を有効数字2桁で求め、単位とともに答えよ。
- (6) 図2の波線(B)よりも大きな入射角で内核へ入射して地表へ到達するP波の名称を理由とともに答えよ。

問2 オリビンを出発物質として高圧実験を行ったところ、高圧相転移を起こした回収相AとBの共存相が確認された(写真1)。さらに、出発物質及び回収相AとBの化学組成を分析したところ、表1の結果が得られた。以下の問(1)～(6)に答えよ。なお、計算や式の展開の間では途中の過程も記述すること。

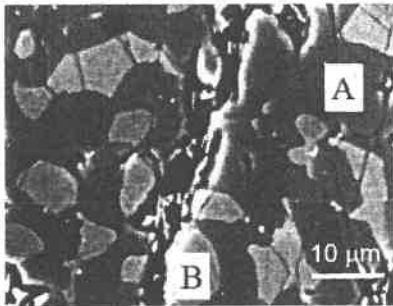


表1. 化学組成(重量%)

	出発物質	回収相	
		I	II
MgO	49.2	52.3	46.9
FeO	9.8	6.0	12.6
SiO ₂	41.0	41.7	40.5
total	100.0	100.0	100.0

写真1 回収試料の反射電子像

- (1) 写真1の反射電子像において、A相とB相に顕著なコントラストの違いがみられている。反射電子像の原理を説明して、その違いがみられる理由を述べよ。
- (2) 表1の回収相I及びIIは、写真1のA、Bどちらに対応するか答えよ。
- (3) 出発物質及び回収相の化学式を $(Mg_x, Fe_y)_2SiO_4$ の形で表せ。 x, y の値は少数第2位までとする。計算には必要に応じて以下の原子量を用いること。

Mg=24, Fe=56, Si=28, O=16

(次項に続く)

平成30年10月及び平成31年4月入学
広島大学大学院理学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

- (4) この相転移に対応する Mg_2SiO_4 端成分の低圧相と高圧相の熱量測定を行ったところ、相転移のエンタルピー変化(ΔH)、エントロピー変化(ΔS)及び体積変化(ΔV)は次のようであった。

$$\Delta H = 30.0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S = -7.70 \text{ J/K/mol}$$

$$\Delta V = -3.16 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

相転移境界ではギブスの自由エネルギー差 $\Delta G=0$ であることを基に、1700 K での相転移圧を計算し有効数字 3 桁で答えよ。単位は GPa を用いること。必要に応じて、次の単位の関係を用いよ。

$$[\text{Pa}][\text{m}^3] = [\text{N/m}^2][\text{m}^3] = [\text{Nm}] = [\text{J}]$$

- (5) 相転移境界の温度圧力勾配 dP/dT を ΔS と ΔV で表せ。また、この高圧実験における相転移境界の温度圧力勾配を有効数字は 3 桁で求め答えよ。単位は MPa/K とする。
- (6) この相転移境界は地球内部のどの不連続面に対応していると考えられるか答えよ。またこの相転移の温度圧力勾配から、地球内部で想定される現象について考察せよ。