

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

令和5年 8月24日 9:00~12:00

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）	17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別々の用紙を用い、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。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

[1] 以下の問1～問3に答えよ。

問1 Group I の岩石に対応する構成鉱物の組み合わせを Group II から選べ。

[Group I]

- A. Diorite
- B. Amphibolite
- C. Gabbro
- D. Harzburgite

[Group II]

- 1. Olivine + Orthopyroxene
- 2. Quartz + Alkali Feldspar
- 3. Plagioclase + Hornblende
- 4. Pyroxene + Plagioclase + Quartz
- 5. Plagioclase + Pyroxene

問2 紅柱石、藍晶石および珪線石に関する以下の問（1）～（3）に答えよ。

（1）図は、同じ化学組成( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )を持つ紅柱石、藍晶石および珪線石の安定領域を示した相平衡図である。図中の A, B, C の領域は、紅柱石、藍晶石、珪線石のどれに対応するか答えよ。その際、以下の鉱物の物性や産状を参考にすること。

- ・紅柱石（密度  $\rho = 3.15 \text{ g/cm}^3$ ）：日本では領家帯の結晶片岩、泥質岩起源の変成岩などに産する。さらに、ペグマタイト中に宝石級の結晶が産出する。
- ・藍晶石（密度  $\rho = 3.61 \text{ g/cm}^3$ ）：日本では三波川帯の結晶片岩、エクロジャイトなどに産する。
- ・珪線石（密度  $\rho = 3.24 \text{ g/cm}^3$ ）：片麻岩や比較的高温で生じた泥質岩起源の結晶片岩、接触変成岩などに産する。

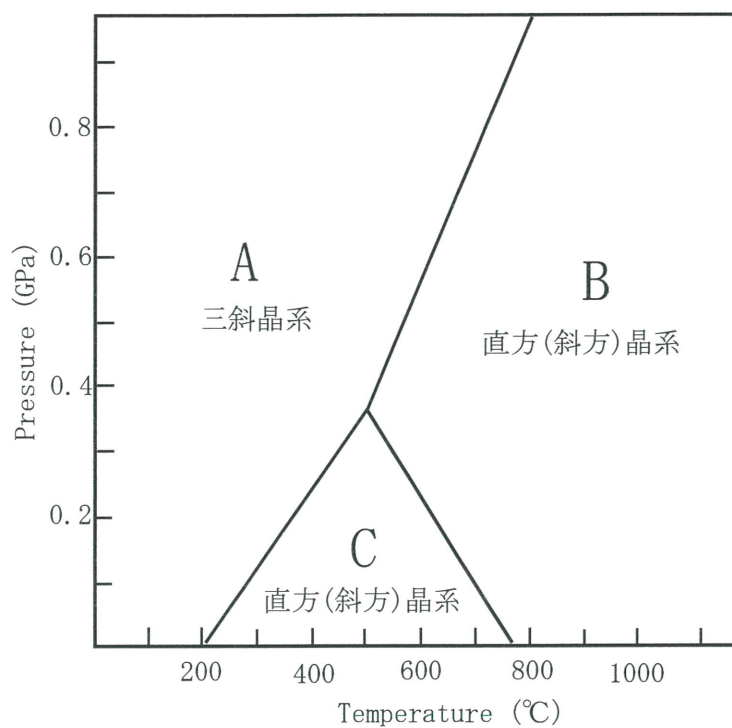
（2）鉱物の熱力学において、自由度を F, 成分の数を C, 相の数を P とする時、ギブスの相律を表わす式を答えよ。

（3）図中の三重点、相境界線と 1 相安定領域における自由度をそれぞれ答えよ。また、求めた自由度から何が分かるか答えよ。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目



図

(Holdaway, 1971, Am. J. Sci.から引用)

令和5年10月及び令和6年4月入学  
 広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム	専門科目
----------------	------

問3 鉱物に関する次の文章を読み、問（1）～（6）に答えよ。

鉱物は、決まった **ア** と **イ** を有している。地殻やマントルを構成する鉱物のほとんどは、**ウ** と **エ** からなる、ほぼ正四面体に近い四面体を基本構造としており、これらは **オ** 鉱物とよばれている。**オ** 鉱物における四面体の結合様式は、孤立構造、1重鎖構造、2重鎖構造、層構造などを持つ。**カ** は1重鎖構造、**キ** は2重鎖構造、**ク** は層構造の代表的な鉱物である。

走査型電子顕微鏡を用いると、鉱物の特性を調べることができる。電子線を鉱物に照射すると、鉱物から X 線や様々な電子が放出される。これらのうち、鉱物の原子番号効果による **ア** を反映して放出されるものは **ケ** 電子である。また、鉱物の **ア**，特に構成元素を明らかにするためには **コ** を用いる。**コ** は、構成原子中の電子がはじき出される電離現象によって生じる。

鉱物の **イ** を調べるためには **サ** を利用する。**サ** は、鉱物に X 線や電子線を入射させたときに、(a) 入射線の波長と鉱物の結晶面間隔との関係でブラッグの条件を満たす方向に強い反射を起こす現象である。

- (1) 文中の **ア** ～ **サ** に当てはまる最も適切な語を答えよ。
- (2) 単位格子のうち、基本単位格子とは何か答えよ。
- (3) 以下に示されている (A) ～ (G) の単位格子の結晶系の名称を答えよ。 $\alpha$ ， $\beta$ ， $\gamma$  はそれぞれ、b 軸と c 軸間、a 軸と c 軸間、a 軸と b 軸間の角度である。

	a 軸, b 軸, c 軸の単位長	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ の角度
A	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
B	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
C	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$
D	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$
	あるいは $a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
E	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
F	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \quad \beta \neq 90^\circ$
G	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

- (4) 図1と図2は、基本ベクトル  $a$ ,  $b$ ,  $c$  を持つ単位格子である。斜線を引いた面をミラー指数で表せ。
- (5) 図1と図2に示された結晶方位 A と B を指数で表せ。

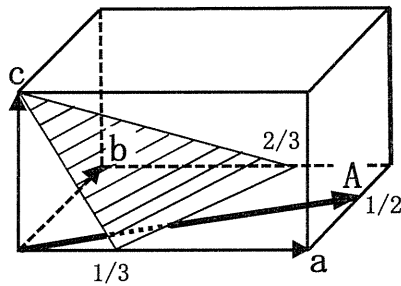


図1

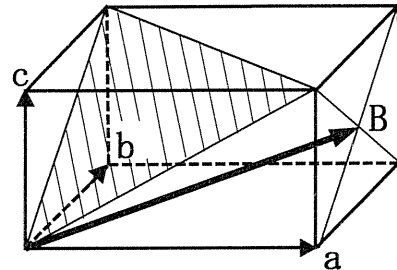


図2

- (6) 下線 (a) に関して、エwald球にのる逆格子点は全てブラッグの条件を満たす。図3の円と黒丸はエwald球と逆格子点を表している。黒丸  $hkl$  は、鉱物中の結晶面  $(hkl)$  (面間隔  $d$ ) の逆格子点である。なぜエwald球にのる逆格子点は全てブラッグの条件を満たすか答えよ。入射電子線 (X線) の波長は  $\lambda$ , エwald球の中心を  $S$ , 入射電子線 (X線) 方向と  $S$  から逆格子点  $hkl$  にのびる線とのなす角度を  $2\theta$  とする。必要なら解答欄に図を描いてもよい。

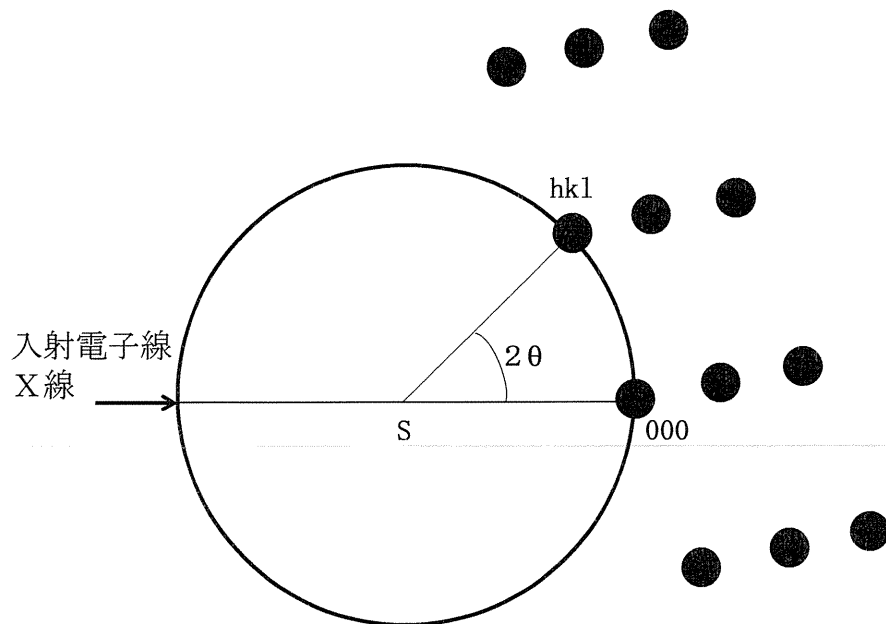


図3

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム 専門科目

[2] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 地球内部の固体の変形に関する次の文章を読み、以下の問(1)～(3)に答えよ。

地球内部の岩石の変形機構は、変形、変形、変形の3つに大きく分けられる。変形は可逆的な変形で、岩石は外力が取り除かれると元の形態に戻る。一方、変形及び変形は不可逆的な変形で、岩石は外力を取り除いても元の形態には戻らない。変形は主に結晶中のの拡散やの動きにより生じる。この変形は、温度依存性が大きい。などの地球内部で生じている現象は、変形によると考えられる。変形は岩石中に新しい面を作る、もしくは<sup>(a)</sup>既存の面を使ってすべる様な変形である。この変形は、圧力依存性が大きい。は、変形を起因として生じる現象である。一般に、の発生帯の下限は、岩石の主要な変形機構が変形から変形へ遷移する領域（-遷移領域）により規定されている。どの変形機構においても水の効果は大きく、水の存在は岩石を力学的にする。

(1) 文中の～に当てはまる最も適切な語を以下から一つずつ選べ。

弾性、原子、転位、温度、強く、マンテル対流、脆性、圧力、地震、水、火山噴火、石英、流動、熱、粒径、降伏、二酸化炭素、弱く、塑性

(2) 下線部(a)の変形を記載する経験則としてByerlee則が挙げられる。Byerlee則に従う鉱物と従わない鉱物の名称をそれぞれ一つ答えよ。

(3) 一般的な地温勾配を考え、深さ30 km程度までの岩石強度の変化を図示せよ。縦軸は深さ、横軸は岩石強度とすること。また同じ図に、岩石中に流体が存在し間隙水圧がはたらいっている場合の岩石強度の変化を図示せよ。岩石中の間隙は地表までつながり、かつ水で満たされており、異常間隙水圧は存在しないとする。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

問2 岩石の破壊は、モール円から考察することができる。モール円は、岩石中の応力状態を表し、横軸を主応力 $\sigma$ （圧縮を正）、縦軸を剪断応力 $\tau$ とする図中に表す（図）。図中の太線は、グリフィスの破壊基準（ $\sigma < 0$ ）及びモール・クーロンの破壊基準（ $\sigma \geq 0$ ）である。モール円と断層運動に関する以下の問（1）～（3）に答えよ。なお、 $\theta$ は、最大主応力 $\sigma_1$ と破壊された面とのなす角度を表す。モール円①とモール円②の $2\theta_1$ と $2\theta_2$ はともに $60^\circ$ である。モール円①、②、③が横軸と接する $\sigma_2$ は、鉛直方向に作用する上載岩圧とする。また、モール円②とモール円③の差応力は同じで、中間主応力は考えないこととする。

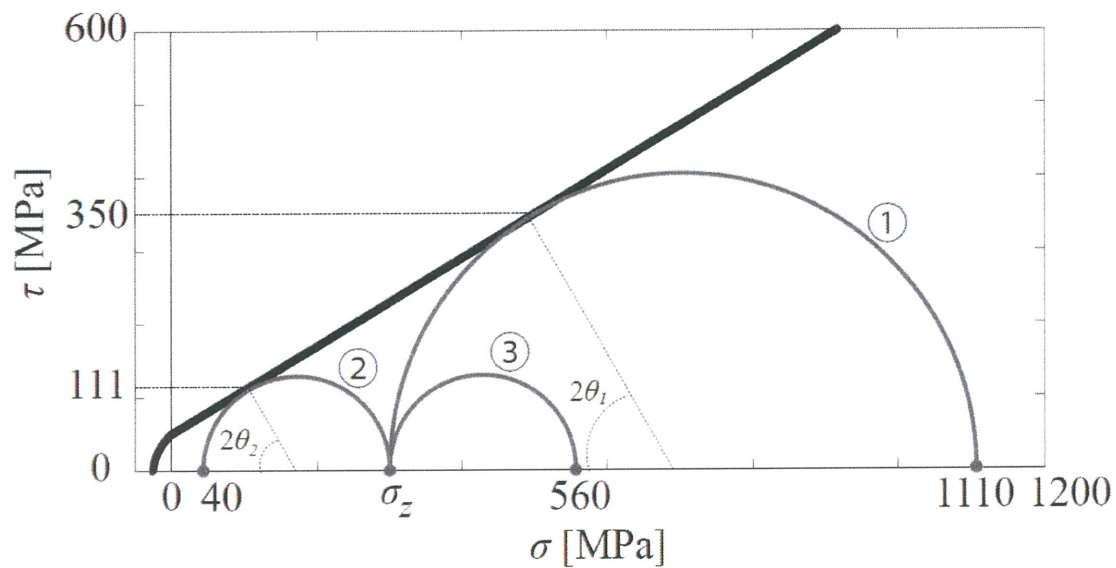
（1）図中のモール円①とモール円②は、破壊が生じた際の応力状態を表している。それぞれの状態で生じた破壊は、正断層あるいは逆断層として成長するのか答えよ。また、それぞれの断層面の傾斜角を答えよ。

（2）モール円③の応力状態にある岩石中に、逆断層となる破壊が生じることを考える。モール・クーロンの破壊基準は変化しない場合、以下の2つの応力変化で破壊が生じる。1) 最小主応力は一定で差応力が変化する。2) 差応力は一定で、間隙水圧の影響で最小主応力が変化する。深さ10 kmの場所を考え、1)と2)の場合の最大主応力 $\sigma_1$ と最小主応力 $\sigma_3$ の値を答えよ。2)に関しては、間隙水圧の値も答えよ。上載岩圧は、岩石の密度（ $\rho = 3000 \text{ kg/m}^3$ ）、重力加速度（ $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）、深さの積として求めることができる。応力の単位はMPaとし、小数点以下第一位を四捨五入すること。計算の過程も示すこと。必要なら解答欄に図を描いてもよい。

（3）地球内部における破壊は、モードII、III破壊（剪断破壊）で生じることが多く、モードI破壊（引張破壊）では生じにくい。その理由を、モール円を用いて答えよ。モードI破壊によって形成された面は常に、 $\sigma_1$ と平行であるとする。必要なら解答欄に図を描いてもよい。

地球惑星システム学プログラム

専門科目



図



令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

[3] 以下の問1～問3に答えよ。

問1 次の文章を読み、問(1)に答えよ。

約138億年前、宇宙はビッグバンと呼ばれる火の玉の爆発的膨張により誕生した。誕生直後の宇宙でのビッグバン元素合成により、および少量のリチウム、ベリリウムまでの軽い元素の原子核が作られた。より重い元素の合成は、後に誕生する恒星内部で行われる。現在の太陽は主系列星と呼ばれるステージにあり、中心部での核融合反応により原子核から原子核が作られている。恒星が古くなると、最大で鉄までの重い元素が合成される。さらに、鉄より重い元素は、恒星終末期の中性子捕獲反応により連続的に合成される。

新しい恒星が生まれると、その周りにはガスと塵でできた円盤が形成される。コンドライトは原始太陽系円盤内で生成した様々な物質が集積したものである。コンドライトには球状の、CAIs、金属鉄、有機物、粒子などが含まれる。コンドライトはその構成鉱物の種類・組み合わせ、化学組成や酸素同位体比により大きくコンドライト、炭素質コンドライト、エンスタタイトコンドライトに分けられる。地球上で最も発見数が多いのはコンドライト、有機物や含水鉱物を多く含むのは炭素質コンドライト、環境下で生成したのはエンスタタイトコンドライトである。

コンドライトが集積して出来上がったのがコンドライト母天体である。母天体内部はAl-26といった放射性核種の崩壊熱による熱変成作用が起きる。或いは、母天体が別の天体と衝突し、その際に高温となり熔融する。コンドライトが熔融し、冷えて固まってできたのが核・マントル・地殻構造を持つ天体である。このような分化天体に由来する隕石はと呼ばれる。

粒子は、太陽系形成前の情報を持つ固体物質である。粒子は核合成起源の同位体異常を示し、酸素などの安定同位体比がやとは著しく異なる。一方、安定同位体の差に応じた同位体比変動を依存同位体分別と呼ぶ。依存同位体分別は、太陽系や地球のあらゆる物理化学プロセスで見られる。特に、水の蒸発による同位体比分別などの非平衡系での変動は、分別モデルで表すことができる。

(1) 文章中の～に入る最も適切な語を書け。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

問2 次の文章を読み、問（1）～（4）に答えよ。

顕生代において、生物由来の有機物は一般的に酸素を用いたア呼吸によって分解されるが、有機物の供給量が分解量を（A）場合には、大量の有機物が地層中に残存する。例えば白亜紀では、気候の温暖化によって海水の鉛直混合が（B）、それによって海水中の酸素濃度が低下した。そのため、ア呼吸による生物遺骸の分解が抑制されたことで、(a)石油のもととなる大量の有機物が地層中に残存した。一方の石炭紀では、酸素濃度の低い水で浸されたイに大森林が発達した。そのため、ア呼吸による生物遺骸の分解が抑制されたことなどにより、(b)石炭のもととなる大量の有機物が地層中に残存した。

（1）文章中のア、イに入る最も適切な語を書け。

（2）文章中の（A）、（B）に入る語の組み合わせとして適当なものを以下の選択肢から選び、番号で答えよ。

- ① A：下回る，B：弱まり                      ② A：下回る，B：強まり  
③ A：上回る，B：弱まり                      ④ A：上回る，B：強まり

（3）下線部（a）に関して、海水中の酸素濃度が低下して黑色頁岩が形成されるようなイベントを何と呼ぶか答えよ。

（4）下線部（b）に関して、石炭紀では大量の有機物が地層中に残存したことに伴って、大気中の酸素濃度増加と気候の寒冷化が起きたと考えられている。これら2つの現象が起きた理由を説明せよ。ただし、以下の語句を全て用い、それらの語句には下線をつけること：「光合成」、「有機物の分解」、「二酸化炭素の放出」、「大気中に蓄積」、「温室効果」。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

問3 次の文章を読み、問（1）～（3）に答えよ。

微量元素のうち固相／液相間の分配係数が1より小さい元素を [ア] という。マントルで部分溶融が起きたときメルト中の [ア] の濃度は元のマントル中の濃度と比べ [イ] くなる。中央海嶺玄武岩 (MORB) と海洋島玄武岩 (OIB) の微量元素組成を比較すると、MORBの微量元素組成は OIB に比べて [ウ] している。これは、大陸地殻を形成することで微量元素に [ウ] した上部マントルが部分溶融することで MORB が生成されるためである。

[ア] は電荷とイオン半径の関係から、電荷が小さくイオン半径が大きい [エ] と電荷が大きくイオン半径が小さい [オ] に分けられる。沈み込み帯のマグマは [オ] の濃度が [エ] に比べて低い傾向を示す。これは [オ] が沈み込むスラブから放出される [カ] にほとんど溶け込まないためである。

（1）文章中の [ア] ～ [カ] に入る語として最も適当なものを、次の a～m から選べ。

a: large ion lithophile element, b: 肥沃, c: インコンパチブル元素, d: 高, e: コンパチブル元素, f: 流体相, g: ガス, h: 低, i: trace element, j: 枯渇, k: high field strength element, l: major element, m: 親鉄元素

（2）上の文章で述べられている形成過程とは異なる過程でも、沈み込み帯のマグマは形成される。その過程とは何か答えよ。

（3）（2）で問われた過程は、どのような事実を基にして考えられたのか答えよ。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

[4] 以下の問1に答えよ。

問1 次の文章を読み、問(1)～(5)に答えよ。

揮発性成分と有機物に富むC型小惑星は、地球の水の主な供給源の一つであった可能性がある。C型小惑星“リュウグウ”の表面は大きな転石が積み重なった構造をなし、破壊と再集積をへて形成された天体であることを示唆している。探査機「はやぶさ2」が小惑星“リュウグウ”から持ち帰ったリュウグウ粒子はほぼ細粒のマトリックス物質から構成され、100  $\mu\text{m}$ 以上の粗粒な物質をほとんど含まない。マトリックスは主に層状ケイ酸鉱物、硫化鉄、マグネタイト、炭酸塩鉱物、リン酸塩鉱物、炭素質物質から構成される。(a)リュウグウ粒子のバルク密度は1.79  $\text{g}/\text{cm}^3$ と小さい。(b)リュウグウ粒子には約7 wt.%の $\text{H}_2\text{O}$ が含まれるが、その大半は水酸基(OH)として存在している。現在の小惑星“リュウグウ”は地球近傍物体軌道上にあるが、小惑星“リュウグウ”のもととなった小惑星(母小惑星)は別の軌道上で誕生した。硫化鉄に $\text{CO}_2$ を含む流体包有物が発見されたことから、母小惑星は $\text{H}_2\text{O}$ と $\text{CO}_2$ が氷として存在していた太陽系外縁部で形成されたことを示している。母小惑星の内部では、消滅核種の崩壊熱によって $\text{H}_2\text{O}$ の氷が融解し、(c)水と岩石の反応によって初期の無水鉱物が徐々に変化し、大部分が含水鉱物となった。今から10億年前には大規模な衝突が起こり、母小惑星を破壊した。衝突地点から離れた場所で発生したいくつかの破片は、その後再び集まって現在の小惑星“リュウグウ”を形成した。

(1) 下線部(a)に関し、小惑星“リュウグウ”の平均密度は1.2  $\text{g}/\text{cm}^3$ と見積もられている。リュウグウ粒子と小惑星“リュウグウ”の間で何故密度の差があるのか、その理由を上の記事から読み取り答えよ。

(2) 下線部(b)に関し、リュウグウ粒子中の $\text{H}_2\text{O}$ はマトリックス構成物質のなかで、主にどの鉱物中に存在するか、下のi~viの中から1つ選べ。また、OHはその鉱物中でどのように存在するか答えよ。

i) 層状ケイ酸鉱物, ii) 硫化鉄, iii) マグネタイト, iv) 炭酸塩鉱物, v) リン酸塩鉱物, vi) 炭素質物質

(3) リュウグウ粒子はコンドライトに類似している。コンドライトは変成作用の度合いに基づき、岩石学タイプ1～6に分類される。リュウグウ粒子の岩石学タイプとして最も適するものを上の記事に書かれた情報から読み取り答えよ。

(4) 下線部(c)に関し、母小惑星で水と岩石の反応が生じた年代は、リュウグウ粒子中の炭酸塩鉱物を用いて、マンガン-クロム(Mn-Cr)年代測定により求められている。Mn-Cr年代とは、太陽系初期に存在した消滅核種 $^{53}\text{Mn}$ の壊変により生じた安定同位体 $^{53}\text{Cr}$ の存在度に基づく相対年代測定法である。 $^{53}\text{Mn}$ の半減期を $3.70 \times 10^6$ 年としたとき、Mn-Cr年代の壊変定数 $\lambda$ を有効数字2桁で求めよ。計算の過程も示すこと。ただし、必要に応じて以下の近似を用いて良い。

$$\ln 2 = 0.693, \quad \ln 3 = 1.10$$

(5) 太陽系初期のある時刻T1に形成した物質AのMn, Cr同位体比には、以下の関係式が成り立つ。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
 広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム	専門科目
----------------	------

$$\left(\frac{{}^{53}\text{Cr}}{{}^{52}\text{Cr}}\right)_{\text{Present}} = \left(\frac{{}^{53}\text{Cr}}{{}^{52}\text{Cr}}\right)_{T_1} + \left(\frac{{}^{55}\text{Mn}}{{}^{52}\text{Cr}}\right)_{T_1} \left(\frac{{}^{53}\text{Mn}}{{}^{55}\text{Mn}}\right)_{T_1}$$

ただし、下付きの添字( $_{\text{present}, T_1}$ )はそれぞれ現在および時刻  $T_1$  での同位体比を表す。ここで、物質 A の Mn-Cr 年代は、時刻  $T_1$  における初生 Mn 同位体比、および、時刻  $T_0$  に形成した基準となる物質（アンカー）の同位体比を用いて、以下の式で求められる。

$$\left(\frac{{}^{53}\text{Mn}}{{}^{55}\text{Mn}}\right)_{T_1} = \left(\frac{{}^{53}\text{Mn}}{{}^{55}\text{Mn}}\right)_{T_0} \exp(-\lambda \Delta T)$$

ただし、 $\Delta T$  は時刻  $T_0$  を基準とした相対年代

$$\Delta T = T_0 - T_1$$

を表す。

リュウグウ粒子中の炭酸塩鉱物の初生 Mn 同位体比が  $\left(\frac{{}^{53}\text{Mn}}{{}^{55}\text{Mn}}\right)_{T_1} = 2.55 \times 10^{-6}$  であったとき、(4) で求めた壊変定数  $\lambda$  を用いて相対年代  $\Delta T$  を計算せよ。ただし、時刻  $T_0$  のアンカーには D'Orbigny 隕石の同位体比  $\left(\frac{{}^{53}\text{Mn}}{{}^{55}\text{Mn}}\right)_{T_0} = 3.24 \times 10^{-6}$  を用いること。解答は有効数字 2 桁とし、単位もつけること。必要に応じて以下の近似を用いて良い。

$$\ln 2.55 = 0.936, \quad \ln 3.24 = 1.176, \quad \ln 37 = 3.61$$

令和5年10月及び令和6年4月入学  
 広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム	専門科目
----------------	------

[5] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 ある理論に基づいて、海洋プレートの温度は、深さ  $z$ 、プレートの年代  $t$  の関数として

$$T(z, t) = T_0 + (T_M - T_0) \operatorname{erf} \left[ \frac{z}{2\sqrt{\kappa t}} \right] \quad (1)$$

と予測される。ここで、 $\operatorname{erf}[x]$  は誤差関数

$$\operatorname{erf}[x] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp[-\xi^2] d\xi \quad (2)$$

である。また、 $T_M$  はアセノスフェアの温度、 $T_0$  は地表の温度である。プレートの熱的進化モデルを検証するための重要な観測量の1つは地殻熱流量であり、地殻熱流量の予測値は、プレートの年代の関数として、

$$q(t) = k \frac{T_M - T_0}{\sqrt{\pi \kappa t}} \quad (3)$$

と求められる。これらに関する以下の問(1)～(5)に解答せよ。

- (1) この海洋プレートの熱的進化モデルの名称を答えよ。
- (2) この海洋プレートの熱的進化モデルはどのようなモデルであるのか説明せよ。
- (3) 等温線の深さはどのような時間依存性を持つと考えられるか。理由とともに述べよ。
- (4) 式(1)(3)で使用されている物理量  $\kappa$  および  $k$  の名称を答えよ。
- (5) 地殻熱流量の観測では、観測量の1つとして温度勾配が測定される。それにもかかわらず、プレートの熱的進化モデルを検証するには、温度を直接比較するのではなく、図1のように地殻熱流量を用いる。その理由を述べよ。

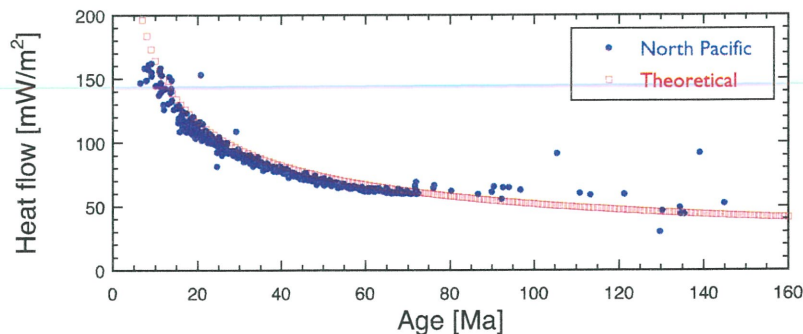


図1 地殻熱流量の北太平洋における観測値と理論値

令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

問2 地球内部物性に関する以下の問（1）～（5）に答えよ。

- (1)  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  組成のカンラン石の格子体積が  $290 \text{ \AA}^3$  であり,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  組成のカンラン石の格子体積が  $307 \text{ \AA}^3$  であるとする。このとき, 格子定数  $a = 4.76 \text{ \AA}$ ,  $b = 10.23 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.00 \text{ \AA}$  であるカンラン石の化学組成を化学組成式  $(\text{Mg}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{SiO}_4$  の形で答えよ。 $x$  の有効数字は2桁とする。計算の過程も示すこと。
- (2) カンラン石固溶体の  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  が変化するとその格子体積が変化する。その理由を説明せよ。
- (3) カンラン石固溶体の化学組成が変化するとその密度が変化する。カンラン石の  $\text{Fe}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  が増加するとその密度はどのように変わるか, 理由とともに説明せよ。
- (4) カンラン石固溶体の化学組成が変化するとその高压相が変化する。 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  組成のカンラン石の高压相と  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  組成のカンラン石の高压相について, それぞれの結晶構造の名称を答えよ。
- (5) カンラン石固溶体の化学組成が変化するとその高压相へ相転移する圧力が変化する。カンラン石の  $\text{Fe}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  が増加するとその高压相へ相転移する圧力はどのように変わるか, 理由とともに説明せよ。

令和5年10月及び令和6年4月入学  
 広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム	専門科目
----------------	------

[6] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 地球の浅い部分を伝播する地震波に関する次の文章を読み、以下の問(1)～(5)に答えよ。

下図は水平二層構造における直達波・反射波・屈折波（ヘッドウェイブ）の走時曲線と波線の模式図である。ここで震源は地表にあり、表層は速度 $v_1$ および厚さ $d$ 、その下の半無限層は速度 $v_2$ とする。また $v_1, v_2$ はそれぞれ一定で $v_1 < v_2$ とする。なお解答の過程で臨界面角 $\theta_c$ に関する次の式を用いてよい。

$$\frac{1}{\cos \theta_c} = \frac{v_2}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}, \quad \tan \theta_c = \frac{v_1}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}$$

- (1) 直達波の走時 $t_D$ を $v_1, v_2, d, x$ より必要な文字を選んで表せ。ここで $x$ は震央距離である。
- (2) 反射波の走時 $t_R$ を $v_1, v_2, d, x$ より必要な文字を選んで表せ。
- (3) 屈折波の走時 $t_H$ を $v_1, v_2, d, x$ より必要な文字を選んで表せ。
- (4) 初動の走時曲線の概形を描き、水平二層構造のパラメータ $v_1, v_2, d$ を求める方法を説明せよ。
- (5) 走時曲線の縦軸として走時 $t$ ではなく任意の Reduced Velocity  $v_0$ にもとづく Reduced Travel Time  $t' = t - x/v_0$ を用いることが多い。その理由を述べよ。

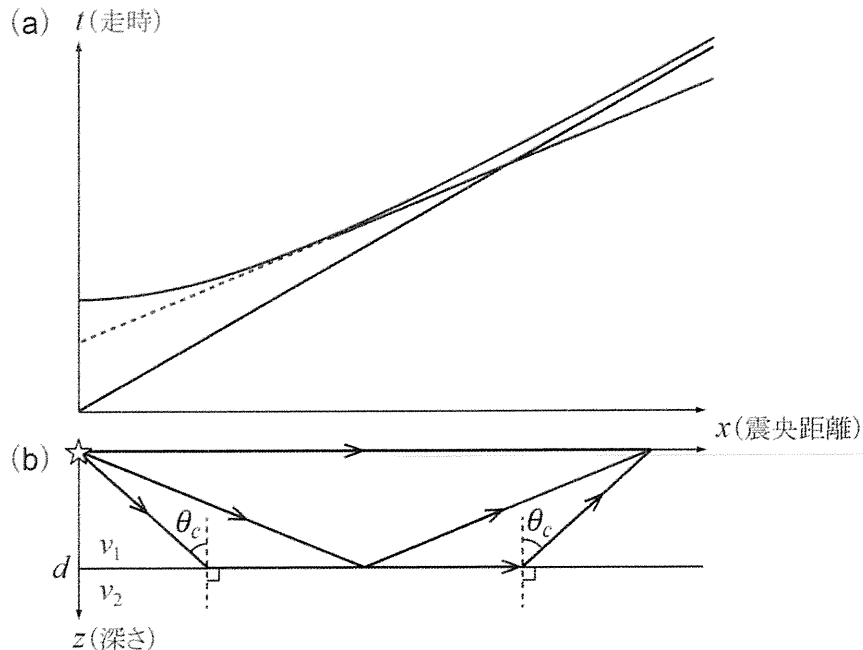


図 水平二層構造における(a)直達波・反射波・屈折波（ヘッドウェイブ）の走時曲線と(b)ある震央距離に対する波線の模式図。 $v_1, v_2$ は各層の地震波速度、 $d$ は表層の厚さ。 $\theta_c$ は臨界面角。



令和5年10月及び令和6年4月入学  
広島大学大学院先進理工系科学研究科（博士課程前期）入学試験問題

地球惑星システム学プログラム

専門科目

問2 地球内部における地震波速度の不連続面に関する以下の問（1）～（5）に答えよ。下図はマントルの層構造を表した地球の模式的な断面図である。

- （1）地球内部の深さ約 660 km でみられる地震波速度の不連続面で起こる相転移の反応式を書け。
- （2）相転移における二相間の単位質量当たりの体積差及びエントロピー差をそれぞれ  $\Delta V$ ,  $\Delta S$  とする。 $\Delta V$  と  $\Delta S$  を用いて相転移のクラペイロン勾配  $dP/dT$  を表せ。
- （3）相転移のクラペイロン勾配には、傾きが正である場合と負である場合がある。このクラペイロン勾配における正負の違いは、何によると考えられるか説明せよ。
- （4）深さ約 410 km と約 660 km の地震波不連続面に挟まれた領域は、マントル遷移層と呼ばれる。マントル遷移層の厚さが通常よりも厚いとき、その地域はどのような特徴をもつと考えられるか、クラペイロン勾配を用いて説明せよ。
- （5）マントル遷移層の厚さが通常よりも厚いとき、その地域の深さ約 410 km 付近の領域には、正の浮力と負の浮力のどちらがはたらくか、理由とともに答えよ。

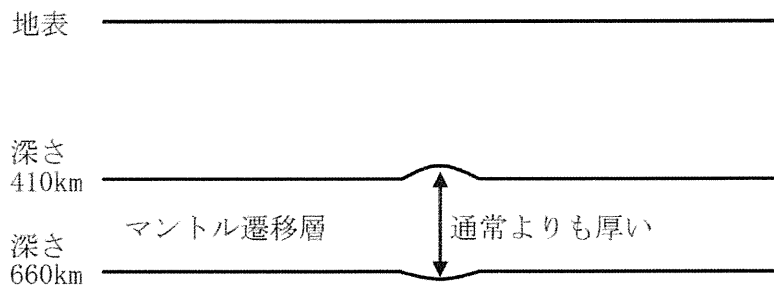


図 マントルの層構造を表した地球の模式的な断面図。