

平成24年10月及び平成25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24年 8月24日 13:30~16:30

注 意 事 項

1. 以下の用紙が配付されている。

問題用紙（表紙を含む）	12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。
3. 解答は各問題ごとに必ず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、解答用紙のみを提出すること。

平成24年10月及び平成25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にすべて答えよ。

問1 Sm, Nd をそれぞれ 9.024 ppm, 28.84 ppm 含む岩石がある。

- (1)  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  値を求めよ。答えのみでなく、計算の途中経過も記すこと。
- (2) この岩石の全岩の  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  値を 0.516000, その初生値を 0.513541 とするとき、この岩石の形成年代を求めよ。答えのみでなく、答えを導く途中経過も記すこと。  
なお、本計算にあたって以下の条件を用いよ。  
原子量: Sm=150.4, Nd=144.2,  $^{147}\text{Sm}$  の壊変定数  $\lambda=6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$   
Nd, Sm の現在における各同位体組成 (atomic %)  
 $^{142}\text{Nd}=27.1$ ,  $^{143}\text{Nd}=12.2$ ,  $^{144}\text{Nd}=23.9$ ,  $^{145}\text{Nd}=8.30$ ,  $^{146}\text{Nd}=17.2$ ,  $^{148}\text{Nd}=5.70$ ,  $^{150}\text{Nd}=5.60$   
 $^{144}\text{Sm}=3.10$ ,  $^{147}\text{Sm}=15.0$ ,  $^{148}\text{Sm}=11.2$ ,  $^{149}\text{Sm}=13.8$ ,  $^{150}\text{Sm}=7.40$ ,  $^{152}\text{Sm}=26.7$ ,  $^{154}\text{Sm}=22.8$

問2 図1は核図表 (chart of nuclides) の一部であり、安定同位体のみを記してある。

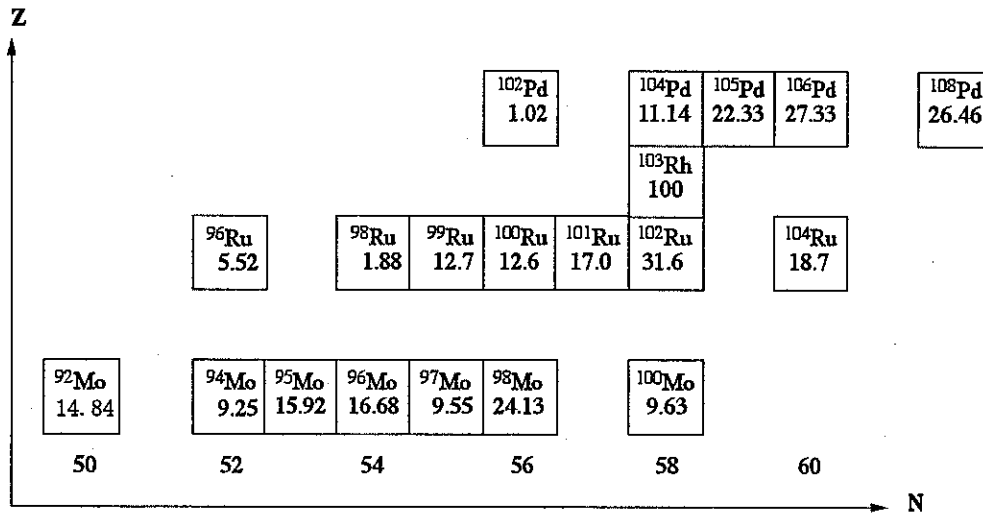


図1

- (1) 鉄よりも質量の大きい元素の原子核は主に p-過程, r-過程, s-過程の3つによって生成される。各々の過程について簡潔に説明せよ。
- (2) 図1を参照しながら,  $^{98}\text{Ru}$ ,  $^{99}\text{Ru}$  が各々どのような過程によってどのような経路で合成されるかについて説明せよ。
- (3)  $^{92}\text{Mo}$  は p-過程で合成される核種である。p-過程合成核種の安定同位体存在度は他の合成過程核種のそれにくらべて極端に低いのが通例であるにもかかわらず,  $^{92}\text{Mo}$  の存在度 (Mo 全体の中の 14.84%) は低くない。その理由として考えられることを記せ。

問3 以下の用語 (1) ~ (3) のすべてについて簡潔に説明せよ。必要であれば図や式を用いても構わない。

- (1) CHUR (2) 消滅核種 (3) ランキン-デュプレの蒸気圧式

平成24年10月及び平成25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2にすべて答えよ。

問1 図1はカンラン石 (Ol), 斜方輝石 (Opx), 単斜輝石 (Cpx) からなる上部マントルのかんらん岩を模した三成分共融系の相図で, 点Eは共融点である。また, 図2は, カンラン石組成から投影して三成分系とした相図で, 1気圧下において, カンラン石に飽和したいろいろな組成の玄武岩質マグマが冷却・固結するとき, カンラン石の次に斜長石 (Pl), 単斜輝石 (Cpx), 斜方輝石 (Opx) をそれぞれ晶出するようなマグマの組成範囲の境界を, 点Eで交わる曲線で示したものである。これら二つの図についての以下の文章を, (1) ~ (12) の中に適切な語句や記号を補って完成させよ。ただし, 同じ番号のものは同一の語句や記号を表すものとし, 解答はその番号とともに記すこと。

上部マントルを構成するかんらん岩は, 図1の点Xで代表されるような, カンラン石>斜方輝石>単斜輝石の組成となっている。この中で主成分元素として(1)を含むのは(2)だけである。この三成分系の共融点Eの組成は, (2)に近い位置にあるので, 部分溶融の初期段階においては(2)の融け出す割合が高く, (1)に富んだ共融点組成のメルトが形成される。部分溶融が進行するとやがて(2)は消失し, 残りの成分がメルトに付加されるので, その組成は次第に(1)に乏しいものに変化する。したがって, 始原マグマの(1)の含有量はマントルの部分溶融度を示す良い指標になると考えられる。

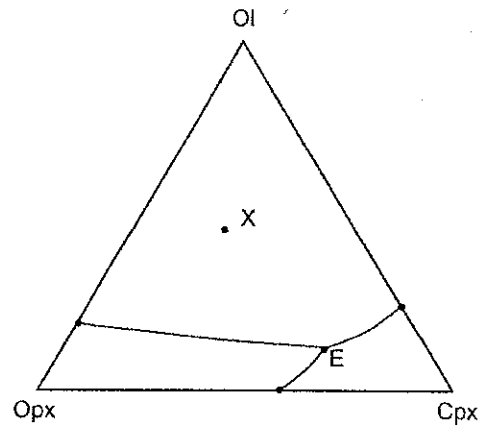


図1

一方, 始原的な玄武岩質マグマが冷却・固結する際には, 最初にカンラン石が晶出するが, カンラン石の次に単斜輝石, 斜方輝石, 斜長石の何れが晶出するかはマグマの組成によって異なり, 図2に示される通りである。さらにそれぞれのケースにおいて, 三番目に晶出する鉱物の組み合わせが2通りあるので, 全体としての鉱物の晶出順序は6通りとなり, 図2中の点a, b, c, d, e, fはこの6通りの代表的な組成を例示している。ただし, 地球上の玄武岩組成には点(3)と点(4)で代表されるような組成のものは存在しないので, 天然においては4通りの晶出順が出現する。このうち, 点(5)は最も(1)に富み, 点(6)は最も(1)に乏しい組成を, 残りは中間の組成を代表している。

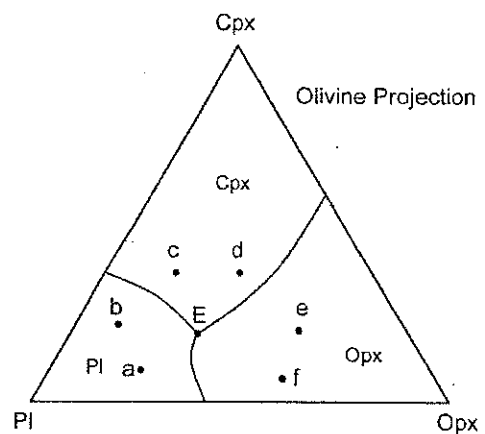


図2

以上のことから分かるように, 玄武岩における鉱物の晶出順序の観察によって, そのマグマを形成したマントルの部分溶融度を知ることができる。例えば, 図2の点bのようにカンラン石の次に斜長石が晶出しているような玄武岩は, 部分溶融度が最も(7)い条件下で形成され, この  
 (次ページに続く)

平成24年10月及び平成25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

ようなマグマからは、(8)と(9)からなるトロクトライトと呼ばれる深成岩が形成されたりもする。また、火成活動が長期間継続する島弧下のマントルにおいては、繰り返し部分溶融がおこって、(1)に乏しい玄武岩質マグマが形成されるので、点(6)のように、カンラン石の次に(10)が、その次に(11)が晶出するようになり、融け残りマントルは、ダナイトや単斜輝石を含まない(12)となる。

問2 以下の問(1)、問(2)にすべて答えよ。

(1) 堆積構造の中には、堆積時の水流の向き(古流向)を知ることができるものがある。そのような堆積構造名を2つ記し、それらについて説明せよ。

(2) 堆積岩の層序対比には、しばしば化石帯が用いられる。化石帯の種類とそれに適した化石の特徴、および化石帯による層序対比の長所と短所について説明せよ。

平成24年10月及び平成25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～問3にすべて答えよ。

問1 衝撃波に関する以下の文を読み、図1を参照して空欄(1)と(2)に入る式を答えよ。

高速衝突により衝撃波が発生すると、その伝播で媒体中には高圧力状態や高密度状態が実現する。衝撃波が媒体中を一定の衝撃波速度  $U_s$  で伝播するとき、媒体中の物質は同一方向に一定の粒子速度  $U_p$  で運動する。ある時間  $t$  だけ経つと、衝撃波面は  $U_s \cdot t$  だけ進み、 $(U_s - U_p) \cdot t$  だけ圧縮された部分の全体が運動したことになる。従って、媒体の最初の密度を  $\rho_0$ 、圧縮時の密度を  $\rho$  とすると、波面前後での質量保存則から時間  $t$  のときの密度の関係式は

(1)

となる。

また、圧力を  $P$ 、初期圧力を  $P_0$  とおくと、力積（力と時間の積）は運動量に等しいので、単位面積当りで考えると

$(P - P_0) \cdot t =$  (2)

となる。

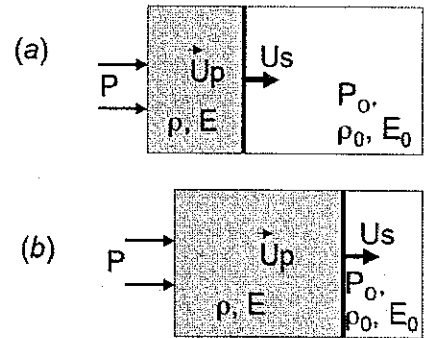


図1 (a)はある時間での状態であり、時間  $t$  後に(b)に変化する。圧力  $P$  は一定で、 $E$  は内部エネルギーである。

問2 アルバイトの分解反応  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 (\text{Ab}) = \text{NaAlSi}_2\text{O}_6 (\text{Jd}) + \text{SiO}_2$  について、表1の値（温度 1000 K）を用いて、以下の (1) と (2) に答えよ。ただし、圧縮による体積変化は無視できるとする。また、 $\text{J}/\text{bar} = 10 \text{ kJ}/\text{GPa} = 10 \text{ cm}^3$  の関係がある。

表 1

成分	Ab	Jd	SiO <sub>2</sub>		
			石英 Qz	コーサイト Coe	スティショバイト St
$\Delta G_{1000} (\text{kJ}/\text{mol})$	-172.671	-122.318	0	+6.850	+63.619
$V (\text{cm}^3/\text{mol})$	100.07	60.40	22.688	20.641	14.014

- (1) 1000 K で平衡状態を仮定したとき、コーサイト及びスティショバイトが出現する圧力値をそれぞれ求めよ。
- (2) 1000 K で圧力が 10 GPa まで変化したとき、平衡状態で安定相がどう変化するかを答えよ。その根拠も記せ。

平成24年10月及び平成25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 地震波に関する以下の問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 屈折の法則について説明せよ。
- (2) 図2(a), (b)は、2種類のP波速度構造を伝わる波線の模式図である。それぞれの構造について分かることを述べよ。
- (3) 図2(a), (b)のそれぞれの構造について得られる走時曲線を模式的に示せ。
- (4) 図3は地球のマントルと核を伝わるP波の走時曲線と波線の模式図である。マントルと核のP波速度構造に注意して、なぜ図のような走時曲線になるのか説明せよ。

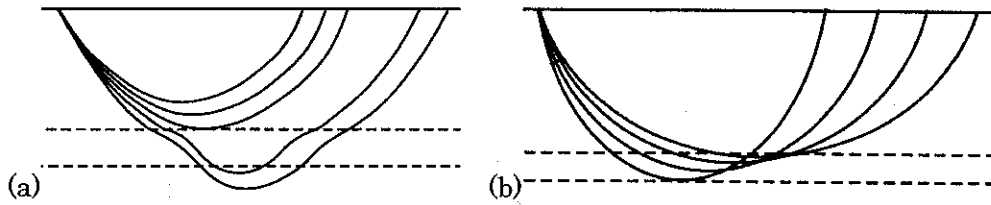


図2

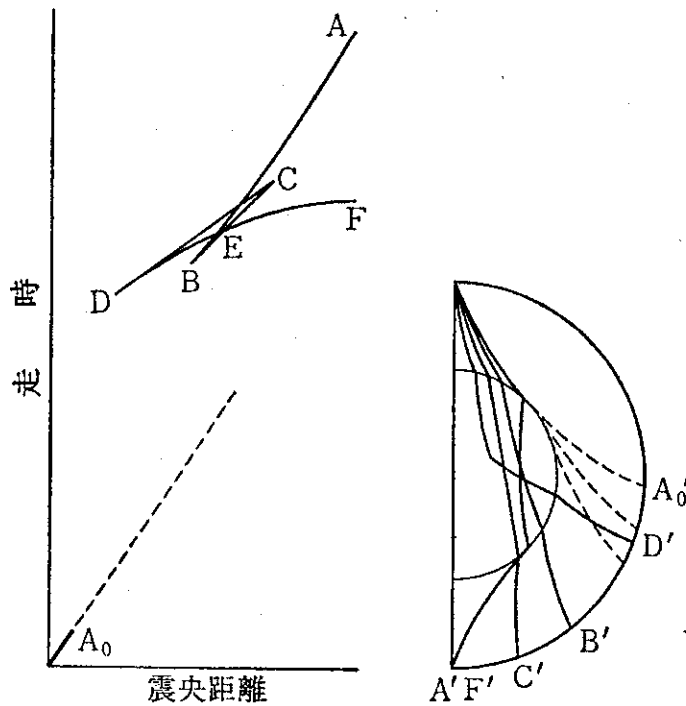


図3

平成24年10月及び平成25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] 以下の問1と問2に答えよ。

問1 鉱物の変形メカニズムに関する以下の問(1)～(8)に答えよ。

- (1) 図1は粒径が数100 $\mu\text{m}$ のオリビン多結晶体で卓越する変形メカニズムを温度-差応力平面上に表したものである。この様な図を何と呼ぶか答えよ。
- (2) 図1を得る為には、変形実験を行い各変形メカニズムの変形構成式(式(i))を求める必要がある。式(i)の変形構成式を何と呼ぶか答えよ。

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^n L^m \exp(-H/RT) \quad \text{式 (i)}$$

$\dot{\epsilon}$  : 歪速度, A, n, m : 定数,  $\sigma$  : 応力, L : 粒径, R : ガス定数, T : 絶対温度, H : 活性化エネルギー

- (3) 図1中の①から④に当てはまる変形メカニズムの名称を答えよ。
- (4) 変形のメカニズム③と④を比較すると、相対的に高温側で④のメカニズムが卓越する。その理由を述べよ。
- (5) 岩石が②の変形メカニズムによって進行している際に、それまでよりも大きな差応力が加えられると構成鉱物の粒径が減少する。この粒径減少を何と呼ぶか答えよ。
- (6) 粒径が数100 $\mu\text{m}$ のオリビンから構成される岩石を温度1500 $^{\circ}\text{C}$ 、差応力100MPaの条件のもとで変形させるとする。  
 (a) この岩石はどのような変形を行うと予想できるか“変形のメカニズム”“歪速度”の2語を用いて説明せよ。  
 (b) また、実験の温度と差応力条件は同じで、試料を構成しているオリビンの粒径を2倍にした実験を行うとする。その際の歪速度はどのような様になると考えられるか理由を含めて説明せよ。
- (7) 一般的に式(1)によって記述できる変形は“高温クリープ”と呼ばれている。一方、温度条件が低くなると岩石試料は“低温クリープ”と呼ばれる変形挙動を示す様になる。低温クリープと高温クリープ中に生じている現象で最も異なる点は何か説明せよ。
- (8) 図2は変形したオリビンの偏光顕微鏡写真である。単結晶内部に消光位の違いに起因する黒色バンドが認められる。  
 (a) 変形した鉱物に存在するこの様な組織を何と呼ぶか答えよ。  
 (b) この組織は図1のどのメカニズムによって変形した時に形成されるか答えよ。  
 (c) 何故(b)の変形メカニズムによってこの組織が形成され得るのかミクロな見地から説明せよ。

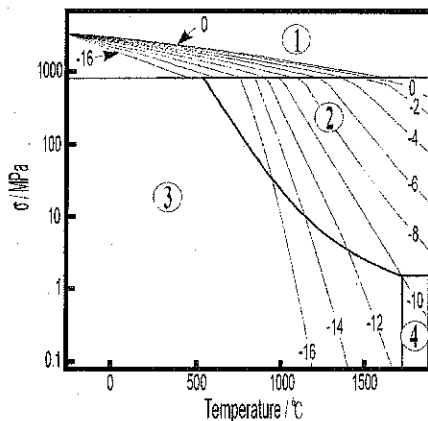


図1

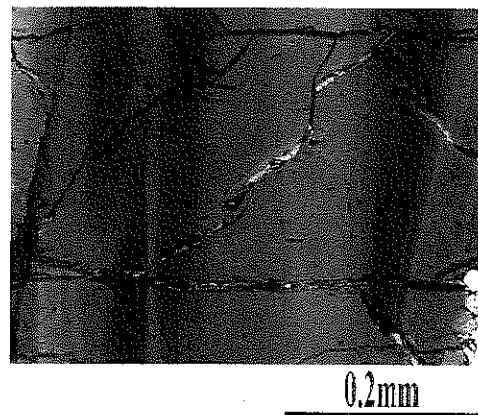


図2

平成24年10月及び平成25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 プレーートの熱的進化に関する以下の問（1）～（4）に答えよ。

- （1） プレーートの熱的進化に関する観測について記せ。
- （2） （1）の観測事実を説明するため提案された2つのプレーートの熱的進化モデルについて述べよ。
- （3） プレーートの熱的進化モデルは1次元熱伝導方程式の解として表わすことができる。2つのモデルを表現するために必要な初期条件と境界条件を式に表せ。
- （4） プレーートの熱的構造とマントル対流の関係について論ぜよ。



平成24年10月及び平成26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] 以下の問1, 問2にすべて答えよ。

問1 大気中の二酸化炭素は、過去の地球大気の進化や現在の地球温暖化問題などでみられるように、地球史の中で常に重要な役割を演じてきている。以下の問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 地球大気の進化は、主に二酸化炭素濃度の減少と酸素濃度の増加で特徴づけられる。二酸化炭素濃度の減少の原因を2つ挙げよ。またその2つの現象を特徴づける化学反応式をそれぞれ示し、どのような相互作用で二酸化炭素濃度が減少してきたと考えられているかを説明せよ。
- (2) 大気中の二酸化炭素は、温室効果を引き起こす。この温室効果が含まれるパラメータ  $\varepsilon$  (=地表からの地球放射のうち大気に吸収されずに宇宙に放出されるものの割合) は、シュテファン・ボルツマンの法則を用いると、地表温度  $T$  (K) と以下の関係にある。

$$T = \left[ \frac{S(1-A)}{4\varepsilon\sigma} \right]^{1/4}$$

この等式を証明せよ。このうち  $S$  は太陽定数、 $A$  はアルベド、 $\sigma$  はシュテファン・ボルツマン定数を表す。

また  $\varepsilon=1$  の場合の  $T$  を求めよ。有効数字は2桁とし、 $S=1.4 \times 10^3$  (W/m<sup>2</sup>)、 $A=0.30$ 、 $\sigma=5.7 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>) とする。得られた  $\varepsilon=1$  の場合の  $T$  と、現在の平均的な地表温度  $T_A$  とを比較し、分かることを述べよ。

- (3) 二酸化炭素の海洋への溶解について調べたい。大気中の二酸化炭素分圧を  $P_{\text{CO}_2}$  とし、以下の平衡定数が与えられた場合、溶存炭酸化学種  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  の濃度の総和 (=  $[\text{CO}_2\text{-total}] = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$ ) は、以下に示す平衡定数、 $P_{\text{CO}_2}$ 、 $[\text{H}^+]$  を用いてどのように書けるか。

大気中の  $\text{CO}_2$  の水への溶解平衡定数  $K_0 = [\text{H}_2\text{CO}_3]/P_{\text{CO}_2}$

$\text{H}_2\text{CO}_3$  の酸解離反応の平衡定数  $K_1$

$\text{HCO}_3^-$  の酸解離反応の平衡定数  $K_2$

- (4) カルサイトの溶解度積は  $K_{\text{sp}} = 10^{-8.5}$  (M<sup>2</sup>) である。 $[\text{Ca}^{2+}] = 10^{-4.0}$  (M)、 $[\text{HCO}_3^-] = 10^{-3.0}$  (M)、 $\text{pH} = 7$  の水溶液中でカルサイトの沈殿は生成するかどうかを答えよ。ただし、(3) で述べた  $K_1 = 10^{-6.4}$  (M)、 $K_2 = 10^{-10.3}$  (M) とし、計算過程も示すこと。

平成24年10月及び平成25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 以下の問(1)～(3)に答えよ。

- (1) 図1は玄武岩中のオリビンと石基の間の元素の分配係数（オリビンの斑晶/石基）である。各元素のイオン半径および価数に着目して、この図から分かることを述べよ。
- (2) 地殻および上部マントルの希土類元素パターンの特徴を述べると共に、図1を参考にして、そのようなパターンになる理由を説明せよ。
- (3) イオン半径は、水溶液中の錯生成反応でも重要なパラメータである。例えば、ハードな配位子とハードな金属イオンの錯生成反応を考えてみる。ハードな金属イオンである  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  の中で、ハードな配位子との錯生成定数が最も大きなイオンはどれか。理由と共に答えよ。

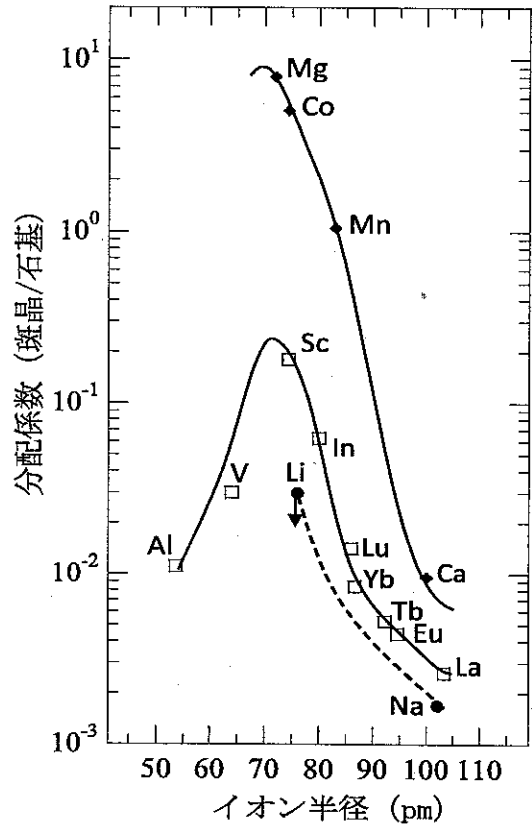


図1. オリビンの斑晶と石基の間の元素の分配係数. 但し、Liの値は上限値である。

平成24年10月及び平成25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と問2のうち、1問を選択して答えよ。

問1 地下に存在する流体について、以下の問（1）～（6）に答えよ。

- (1) 地下での多孔質媒体中を流体が流れる場合、その移動はダルシーの法則に支配されることが多い。ダルシーの法則では、流体移動の駆動力は何になるか答えよ。
- (2) 流体が深さ方向のみに移動する場合、ダルシーの法則から流体の上昇速度は次の式で与えられる。

$$v = \frac{k}{\phi\mu} (\rho_{rock} - \rho_{fluid})g$$

ここで、 $\mu$ は流体の粘性率、 $\rho_{rock}$ 、 $\rho_{fluid}$ はそれぞれ岩石と流体の密度、 $g$ は重力加速度である。流体速度に影響を与える $k$ と $\phi$ は何か、それぞれ答えよ。

- (3) 地下1000m地点に水を注入した場合、地表まで水が到達するのにかかる時間（年）を求めよ。計算には以下の物性を用いよ。なお、これらの物性値は深さによらず、一定とする。 $k=10^{-16} \text{ m}^2$ 、 $\phi=0.01$ 、 $\mu=10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、 $\rho_{rock}=3.0 \text{ g/cm}^3$ 、 $\rho_{fluid}=1.0 \text{ g/cm}^3$ 、 $g=9.8 \text{ m/s}^2$
- (4) 地下での流体にかかる圧力を計測したところ図1のような傾向を示した。地下深部で流体圧が急に上昇するのはなぜか、説明せよ。
- (5) 地下に流体が存在すると、岩石の摩擦強度が低下し、破壊が起きやすくなる。摩擦強度と流体圧の関係を式を用いて説明せよ。
- (6) 図1に示す流体圧分布から、地下での摩擦強度を計算し作図せよ（縦軸に深さ、横軸に摩擦強度をとること）。なお、上述の密度を用い、垂直応力は静岩圧に等しいとして計算せよ。摩擦係数は0.6とする。

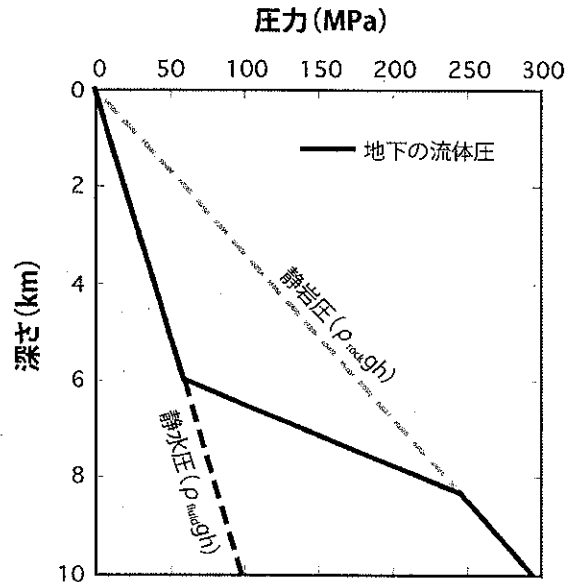


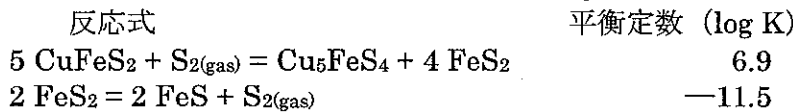
図1

平成24年10月及び平成25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 以下の資源地球科学に関する問(1)～(5)に答えよ。

- (1) ある鉱石中では、斑銅鉱 ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) - 黄銅鉱 ( $\text{CuFeS}_2$ ) - 閃亜鉛鉱 ( $(\text{Zn,Fe})\text{S}$ ) が共生し、黄鉄鉱 ( $\text{FeS}_2$ ) と磁硫鉄鉱 ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) は伴わない。また、閃亜鉛鉱中の FeS 成分のモル分率は 0.01 であった。この鉱石の形成時の硫黄 fugacity ( $\log f_{\text{S}_2}$ ) を求めよ。ただし、閃亜鉛鉱中の FeS 成分の活量係数は 2.0 とする。また、必要な反応式と、固相の濃度はモル分率、気相の分圧はバール (bar) とする熱力学データによる平衡定数は、次の通りである。  $\log 2.0 = 0.3$  として計算せよ。



- (2) 図2は、気相に飽和した  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$  系の相図であり、図中の実線は相境界を示し、Lは液相を示している。図中のA～Cに該当する固相を、次の中から選べ。

[氷 (ice:  $\text{H}_2\text{O}$ ), 岩塩 (halite:  $\text{NaCl}$ ),  
 ハイドロハライト (hydrohalite :  
 $\text{NaCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , nは水和数)]

- (3) 図2中の点 Pp は包晶点 (peritectic point :  $0.1^\circ\text{C}$ , 26.3 wt. % NaCl) である。図中の点 Ep ( $-21.2^\circ\text{C}$ , 23.2 wt. % NaCl) を何と呼ぶか答えよ。
- (4) ハイドロハライトの水和数 n はいくつか答えよ。ただし、n は整数で、 $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{NaCl}$  のモル質量は、それぞれ 18.02 g/mol と 58.44 g/mol とする。

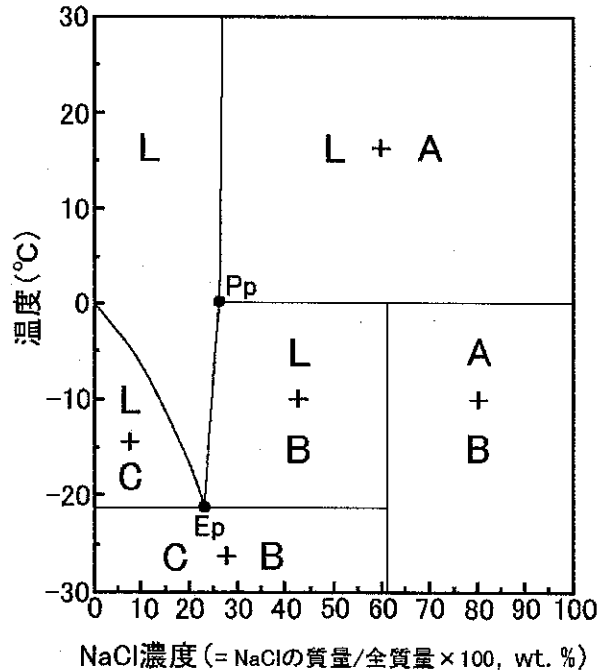


図2

- (5) 下記の (a)～(c) の文章は、NaCl 濃度が 10 wt. % の  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$  系流体を十分に冷却した後、 $-30^\circ\text{C}$  でしばらく保持し、その後ゆっくりと加熱した時の気相に飽和した相変化を、低温側から順に記述している。(ア)～(カ) に当てはまる言葉または数字を答えよ。
- (a) 温度が (ア)  $^\circ\text{C}$  まで上昇すると、(イ) と (ウ) が溶解し始める。この時の液相の NaCl 濃度は (エ) wt. % である。
- (b) (イ) が溶解し終わると、(ウ) の溶解を伴いながら温度は再び上昇し、液相の NaCl 濃度は (オ) する。
- (c) 更に温度が上昇し、 $-6.6^\circ\text{C}$  に達すると (ウ) が消滅する。この時の液相の NaCl 濃度は (カ) wt. % である。