

平成23年10月及び平成24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23年 8月23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、解答用紙を提出すること。

平成23年10月及び平成24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2にすべて答えよ。

問1 ある岩石中に含まれる2種の鉱物A, BについてRbとSrの分析をした結果, 以下のデータを得た。

鉱物種	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
鉱物A	256.5	1.752	1.41968
鉱物B	119.7	70.08	0.73879

以下の(1)～(4)に答えよ。(1)～(3)においては解答のみでなく, 解答を導くための過程も記すこと。

なお, 計算にあたり必要であれば以下の条件を用いよ。

^{87}Rb の壊変定数 $\lambda=1.42\times 10^{-11}\text{ yr}^{-1}$

Rbの原子量=85.50, ^{87}Rb の同位体存在度(atomic%)=27.86

Srの原子量および ^{86}Sr 同位体存在度は厳密には個々の試料によって固有の値を持つことになるが, ここでは便宜上共通の値として以下の数値を用いよ。

Srの原子量=87.60, ^{86}Sr の同位体存在度(atomic%)=9.95

- (1) 鉱物A, Bの $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ を各々求めよ。
- (2) この岩石の形成年代および $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の初期値を求めよ。
- (3) 仮にこの岩石が30.0 wt.%の鉱物Aと70.0 wt.%の鉱物Bのみから構成されているとした場合, この岩石全体のRb濃度, Sr濃度および $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を求めよ。
- (4) ここでとりあげている ^{87}Rb - ^{87}Sr 壊変系以外の放射壊変系を利用した年代測定法の例をあげ, 両者を比較して各々の特徴について簡単に述べよ。

問2 以下の問いに答えよ。

- (1) ケプラーの3法則について, 図を用いて説明せよ。
- (2) 2011年7月12日, 太陽系第8惑星の海王星は, 1846年の発見後初めて太陽の周りを1周した。公転周期を165年として, 海王星の軌道長半径を求めよ。ただし, 地球の軌道長半径を1天文単位, 公転周期を1年とする。有効数字2桁で答えよ。

地球惑星システム学専攻	専門科目
-------------	------

[2] 以下の問1～問3のうち、2問を選択して答えよ。

問1 堆積構造は、地層の上下判定や古流向、古斜面の指示者として古くから利用されてきた。現在では、個々の堆積構造を形成した流れの物理的条件の解明も可能になりつつある。

下図は水深18・22 cmでの流れにおける粒径と堆積構造の関係が示されている。この図が示す堆積物の粒径と流速、および堆積構造（ベッドフォーム）の関係を、堆積構造を説明しつつ述べよ。

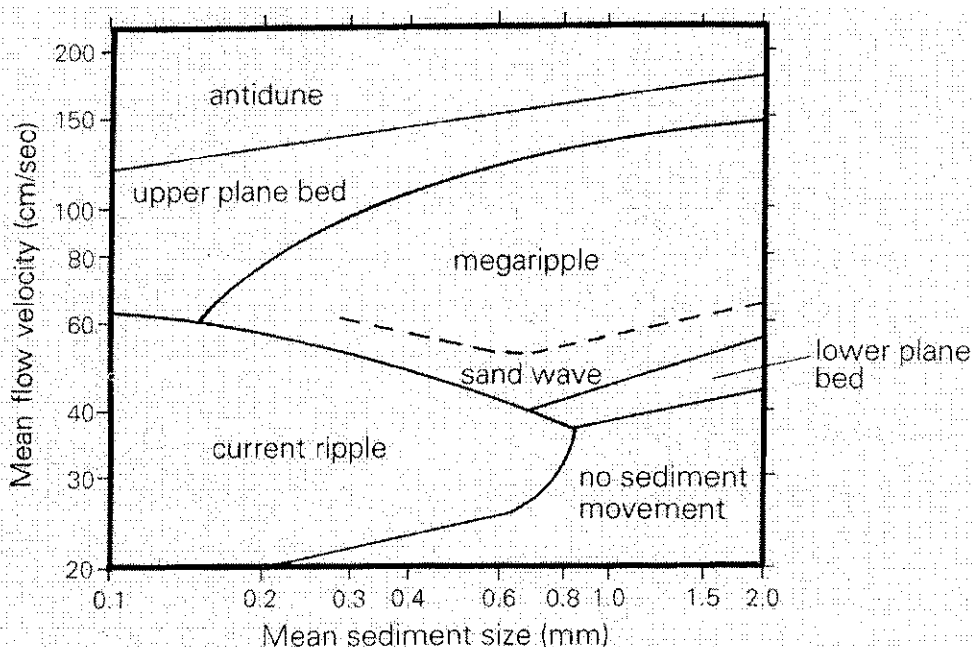


図 流速と粒径およびベッドフォームの相関性 (R. C. Lindholm, 1987)

平成23年10月及び平成24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 日本列島が長い間プレート収斂境界に位置し続けてきたことは、その基盤地質が、基本的にはいろいろな時代に形成された付加体（＝沈み込み付加コンプレックス：accretionary complex）および付加体を原岩とする変成岩類から成っていることで明らかである。しかし、このような理解に至るには、そもそも、それが付加体起原であるというゆるぎない認識が必要であった。付加体の認識はどのように構築されてきたか、日本のジュラ紀付加体を例に次の語句をすべて用いて説明せよ。

【語句】 メランジュ、オリストストローム、海洋プレート層序、緑色岩、チャート、遠洋、半遠洋、陸源碎屑岩、コノドント、放散虫

問3 鉱物に関する以下の問いに答えよ。

(1) ケイ酸塩鉱物は SiO_4 四面体の結合様式により分類され、かんらん石とざくろ石は同一の構造群に属する。

(a) その構造群の名称を答えよ。

(b) その構造群における SiO_4 四面体の結合様式を述べよ。

(2) 次の文中の にあてはまる組成式を答えよ。

かんらん石族のうち、普通に出現するものは、forsterite (ア)
— fayalite (イ) の連続固溶体である。超塩基性火成岩中のかんらん石は forsterite 成分が 85~95% くらいのことが多い。

(3) 次の文中の にあてはまる数字を答えよ。

ざくろ石族の組成は一般式で、 $\text{X}_{\text{a}}\text{Y}_{\text{b}}\text{Si}_{\text{c}}\text{O}_{12}$ で表される。X 席は カ 配位、Y 席は キ 配位である。

(4) 次の文中の にあてはまる元素名（元素記号）を答えよ。

ざくろ石族はきわめて複雑な固溶体を形成する。X 席を ク が占める andradite や grossular は石灰質の堆積岩が変成作用を受けた岩石などに産する。イオン半径の小さな ケ が X 席を占める pyrope は高压で安定な鉱物であり、高压でできた岩石中に産する。

(5) 鉱物の多形 (polymorphism) について具体的な例（鉱物名および化学組成）を挙げて説明せよ。

平成23年10月及び平成24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のうち、1問を選択して答えよ。

問1 以下の問いに答えよ。

(1) 図1は1300 Kから1500 Kの温度条件で行ったダナイトの定歪速度実験の結果（応力-歪曲線）である。地球を構成する岩石は他の固体物質と同様に弾性変形する。図1中の1300 Kの温度条件における応力-歪曲線に弾性変形領域を図示せよ。

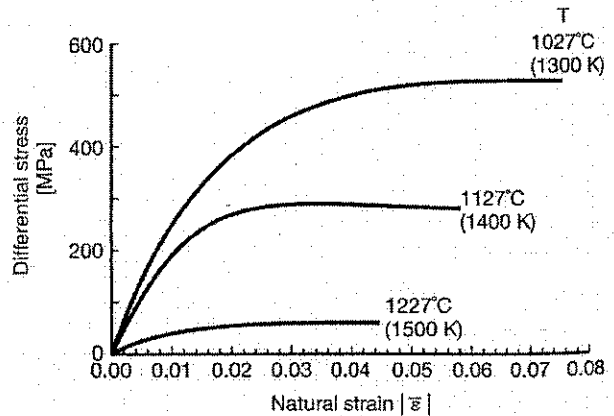


図1：ダナイトの定歪速度実験の結果
 Twiss and Moores (2007)から引用
 実験条件は
 歪速度： 2.7×10^{-4} /s, 封圧： 10^3 MPa

(2) 本実験を室温で行ったとする。どのような応力-歪曲線が期待できるか図示せよ。

(3) 弾性変形を超える外力を加えられた固体物質は塑性変形を開始する。塑性変形が開始する応力の事を何と呼ぶか答えよ。

(4) この実験結果から、ダナイトは一定の荷重下で歪が増大する塑性変形挙動を示す事が分かる。このような塑性変形（クリープ）状態の事を何と呼ぶか答えよ。

(5) 岩石の塑性変形を進行させるメカニズムには幾つかのものがある。次の文章で説明されている塑性変形のメカニズムの名称を答えよ。

(a) 地殻における主要な変形メカニズムであり、鉱物粒間に流体が存在する事が必須である。

(b) 鉱物の相転移直後などの様に構成鉱物の粒径が非常に小さな（～数 μm ）状態の時に生じる。沈み込む海洋プレートがマントル遷移層付近に到達した際に本メカニズムは重要となり、プレート強度に強く影響している可能性が指摘されている。

(6) 上部マントルにおける主要な塑性変形のメカニズムは転位クリープであると考えられている。その理由を説明せよ。その際、“オリビン”と“格子選択配向”の2語を必ず使用すること。

(7) 転位クリープによって塑性変形が進行しているダナイトでは、オリビン中に転位が導入（生成）され続けることで弾性歪エネルギーが蓄積される。その一方で、この弾性歪エネルギーを放出させる現象も同時に進行する。弾性歪エネルギーの蓄積と放出といった2つの現象がバランスをとる事で(4)の状態が生じる。弾性歪エネルギーを放出させる現象の1つは、転位がオリビンの結晶粒界まで到達する事であるが、その他の主要な現象は何か答えよ。

平成23年10月及び平成24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 地震波の走時に関する以下の問いに答えよ。

図2は、地殻とマントルからなる水平2層構造を伝わる直達波と屈折波（ヘッドウェーブ）の波線の模式図である。ただし、震源は地表にあると仮定する。ここで、 v_1 と v_2 はそれぞれ地殻とマントルのP波速度（各層で一定）、 d は地殻の厚さ、 i は臨界角である。

- (1) 震源距離 x における直達波の走時 t_D の式を示せ。
- (2) 屈折の法則（またはスネルの法則）より、 $\sin i$ を v_1 と v_2 で表わせ。
- (3) 震源距離 x における屈折波の走時 t_H は、 C を構造で決まる定数として $t_H = x/v_2 + C$ と表わされることを示せ。
- (4) 実際の解析で震源距離に対して走時をプロットする場合、縦軸には走時 t の代わりに Reduced Traveltime $t' = t - x/v_0$ を用いることが多い。ここで、 x は震源距離、 v_0 はある適当なP波速度である。直達波と屈折波のそれぞれの Reduced Traveltime t_D' と t_H' の式を示せ。
- (5) 図3は、ある地域で観測された浅い地震のP波初動について、 $v_0 = 6.4 \text{ km/s}$ として Reduced Traveltime をプロットしたものである。図2のような状況を仮定したとき、この地域の地殻およびマントルのP波速度を有効数字2桁で求めよ。

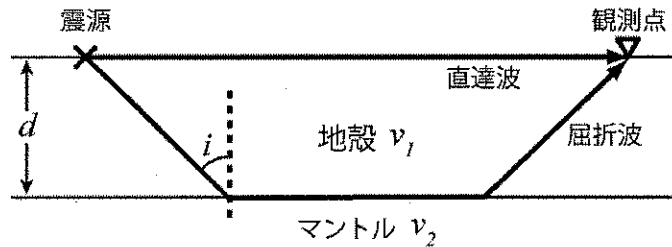


図2

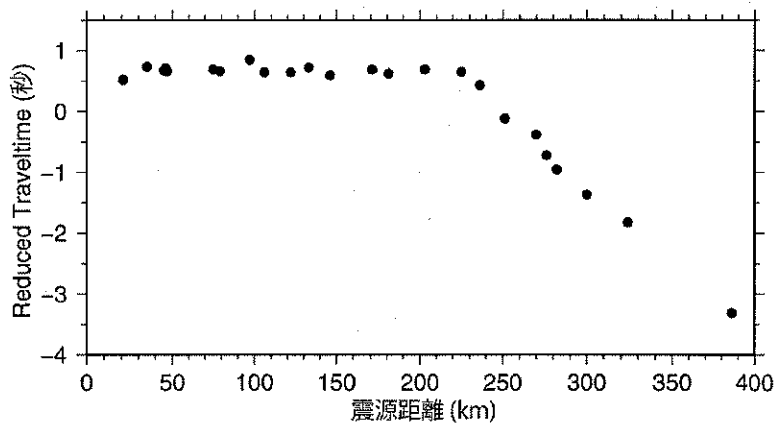


図3

平成23年10月及び平成24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] 問1と問2のうち、1問を選択して答えよ。

問1 以下の問いに答えよ。

地球内部の状態は、地球規模での地震波の解析や高温高压実験に基づく情報から推定されている。このような研究から地球の内部構造は、地殻、マントル、外核及び内核の層構造である。この層構造のうちマントルには、深さ約 410 km、約 520 km 及び約 660 km に地震波速度の急激な変化が認められている。これらの要因は、高温高压実験の結果との対応で (1) マントルを構成する主成分であるケイ酸塩の相変化と極めて良い一致を示す。また、地殻の岩石の典型的な鉱物である (2) 斜長石は、高压相に変化して、マントルには存在しない。

(1) 下線部(1)を3つの場合に分けて簡潔に説明せよ。

- (a) 深さ約 410 km
- (b) 深さ約 520 km
- (c) 深さ約 660 km

(2) 下線部(2)の斜長石の端成分の変化について簡潔に述べよ。

隕石衝突で発生する衝撃波は、衝撃波速度 U_s 、粒子速度 U_p 、初期密度 ρ とすると圧力 P は $P = \rho U_s U_p$ と書ける。この関係式から、地表岩石が同一だとすると、隕石の種類が鉄隕石の場合と石質隕石の場合とでは、(3) 同一の衝突速度の場合、鉄隕石の方が衝撃圧として大きくなる。また、(4) 同一圧力が地表岩石に発生する時の鉄隕石の衝突速度 v と石質隕石の衝突速度 w とには、ある関係が見出される。

一般的に U_s と U_p との関係は、一次の関係で近似でき、 $U_s = C + \lambda U_p$ (C と λ は定数) が知られている。また、自由表面速度近似ができるものとし、地表岩石の衝撃特性は石質隕石のそれで近似できるものとする。ただし、鉄隕石では $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$, $C = 4.6 \text{ km/s}$, $\lambda = 1.5$ で、石質隕石では $\rho = 3.3 \text{ g/cm}^3$, $C = 4.0 \text{ km/s}$, $\lambda = 1.4$ を用いよ。

(3) 下線部(3)を上記の値や式を使って説明せよ。

(4) 下線部(4)の関係式を求めよ。

平成23年10月及び平成24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 以下の問いに答えよ。

(1) 次のベクトル解析の公式を証明せよ。

$$\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0$$

$$\nabla \times \nabla \phi = 0$$

(2) 歪みの小さな一様等方弾性体の運動方程式は

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \quad (\text{i})$$

と表される。ここで、 λ と μ はラメの弾性定数である。上式の発散と回転を取ることにより、

$$\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \theta \quad (\text{ii})$$

$$\rho \frac{\partial^2 \boldsymbol{\omega}}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \boldsymbol{\omega} \quad (\text{iii})$$

が成立することを示せ。ただし、

$$\theta = \nabla \cdot \mathbf{u}$$

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u}$$

である。このとき必要なら、等式

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$$

を使用せよ。

(3) 式(ii)、式(iii)は何を表すのか、それぞれについて説明せよ。

(4) 核・マントル境界の温度を推定する方法を述べよ。

平成23年10月及び平成24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 地球の大気と海洋は、46億年前に地球が誕生して以来、互いに影響しあいながら進化してきており、その相互作用の結果として大気や海洋の現在の姿がある。この大気-海洋系に関する以下の問いに答えよ。

(1) 以下の文章の空欄(a)~(c)に当てはまる適当な数字や核種名を答えよ。

アルゴンは、大気中の濃度が窒素、酸素について多く、現在の大気中の体積濃度はおよそ (a) % である。このアルゴンの大部分を占める質量数 (b) のアルゴンは、地球誕生時にはほとんど存在せず、(c) の放射壊変で生成し大気中に放出されたものである。

(2) (1) の説明文から分かる通り、アルゴンの同位体比を用いることで、地球の脱ガスによる二次大気の生成過程を議論することができる。アルゴン同位体比に基づき、地球の脱ガスによる大気生成にはどのような特徴があると推定されているか、簡単に述べよ。

(3) 地球（球体を仮定）の半径をRとし、地球表層の温度がどこでもT(K)とした場合に、地球に供給される太陽放射エネルギーと地球から放出される地球放射エネルギーがつりあっているとすると、Tは以下のS, A, σ , ε を用いてどのように書けるか。なお、地球から宇宙へと放射される単位時間単位面積当たりのエネルギーは、シュテファン・ボルツマンの法則により、 T^4 に比例するとする。

S : 地球軌道における単位面積単位時間当たりの太陽放射エネルギー（太陽定数）

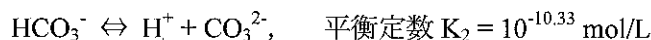
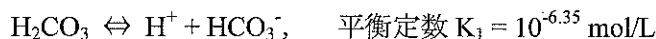
A : アルベド

σ : シュテファン・ボルツマン定数

ε : 地表放射のうち大気に吸収されることなく宇宙に放出されるものの割合

(4) 最近の大気中のCO₂濃度の増加に伴い、大気中の¹³C/¹²C比はどのように変化したか。その理由も含めて説明せよ。

(5) 大気中に放出されたCO₂の一部は海水に溶解する。海水に溶解したCO₂は、炭酸(H₂CO₃)となり、次の反応で2段階に解離する。



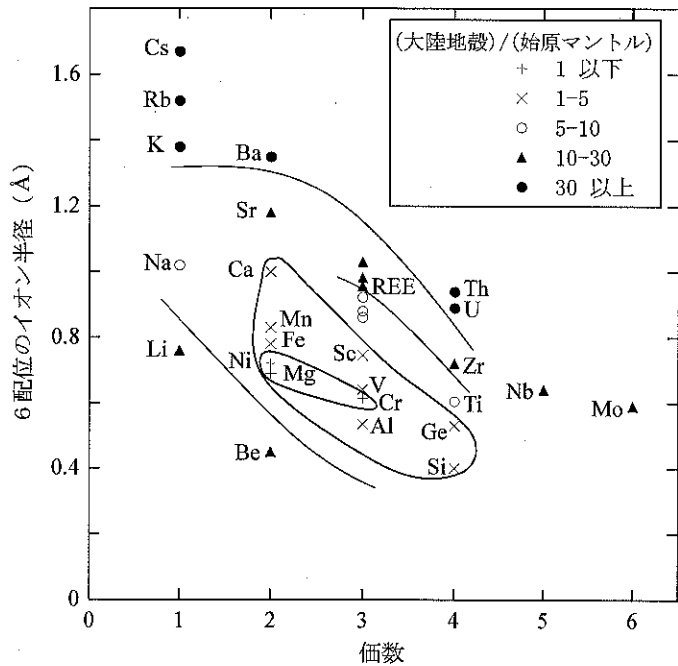
海水のpHを8.2としたとき、海水中の炭酸の主要成分はH₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻のいずれであるかを上の平衡定数を用いた平衡計算から説明せよ。

平成23年10月及び平成24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 以下の問いに答えよ。

(1) 右図は大陸地殻と始原マンツルの元素濃度比である。この図の特徴を簡単に述べよ。またこの図を基に、地殻とマンツルの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比にはどのような違いがあるかを説明せよ。その際、 Rb/Sr の濃度比や放射壊変について必ず触れること。



(岩波講座 地球惑星科学 第5巻「地球惑星物質科学」より引用)

- (2) 様々な金属イオン M^{2+} と水酸化物イオン OH^- との錯生成定数 $\beta_{\text{M-OH}}$ について考える。 K^+ (イオン半径 $r = 1.38 \text{ \AA}$), Ba^{2+} ($r = 1.35 \text{ \AA}$), Sr^{2+} ($r = 1.18 \text{ \AA}$) などのイオンの場合、 OH^- (球体と見なした場合 $r = 1.40 \text{ \AA}$) との錯生成は、静電引力が主因で錯生成すると考えられる。 $\log\beta_{\text{K-OH}} = -0.4$, $\log\beta_{\text{Sr-OH}^+} = 1.1$ のとき、 $\log\beta_{\text{Ba-OH}^+}$ を求めよ。またその際、錯生成反応による標準反応自由エネルギー変化 ΔG_r^0 と $\log\beta_{\text{M-OH}}$ はどのような関係にあるかを述べよ。
- (3) (2) の $\beta_{\text{M-OH}}$ について Sr^{2+} と Pb^{2+} を比較すると、 Sr^{2+} と Pb^{2+} はイオン半径も価数もほぼ等しいのに、 $\beta_{\text{M-OH}}$ は Pb^{2+} の方が5桁以上大きい。この Pb のような元素が示す化学結合の特徴を述べよ。また、このような特徴を持つ Pb 以外の元素を2つ挙げ、これらの元素は、地球表層ではどのような場所に多く見出されるかを答えよ。

平成23年10月及び平成24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、以下の問いに答えよ。

- (1) 水は地球表層のみならず、地下にも存在する。地殻中の水の起源について、考えられるものを3つ挙げよ。
- (2) 図1に示すように、地下1000 m地点に地表まで連結した水溜りと孤立した水溜りが存在する。それぞれの水溜りにかかる流体圧[Pa]を計算せよ。なお、上載圧は ρgh で与えられ(ρ は密度, g は重力加速度, h は深さ)、水の密度 1.0 g/cm^3 、岩石の密度 3.0 g/cm^3 、重力加速度 9.8 m/s^2 を用いて計算せよ。(参考: $[\text{Pa}] = [\text{N/m}^2]$, $[\text{N}] = [\text{kg}\cdot\text{m/s}^2]$)

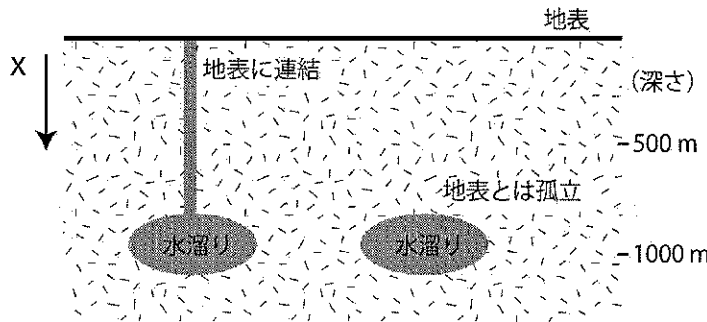


図1 地下での水溜りの模式図

- (3) デンバー地震のように、地下に水を注入すると破壊が起きることが知られている。間隙水圧が岩石強度に与える影響について、式を用いて説明せよ。
- (4) 地下での流体の移動はダルシー則に支配されることが多く、流体速度は次の関係で与えられる。

$$v = -\frac{k}{\eta\phi} \frac{dP}{dx}$$

この式で、 η は流体の粘性率であり、流体速度は圧力勾配 (dP/dx) に比例する。流体速度に影響を与える k と ϕ は何か、それぞれ答えよ。

- (5) 地下での流体移動が岩石と水の密度差 ($\Delta\rho \cdot g$) を駆動力とする場合、この流体の上昇速度[m/s]を求めよ。ただし、 $k = 10^{-18} \text{ m}^2$ 、 $\phi = 0.01$ 、 $\eta = 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ を用いて計算せよ。
- (6) 上記の流体速度を用い、地下1000 mに存在する水が地表に到達するまでにかかる時間[year]を答えよ。

平成23年10月及び平成24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2は、ある条件下における主要な硫黄の溶存種の領域（太い破線）、Fe-S-O系鉱物の安定領域（細い破線）及び自然金の溶解度（重量モル濃度）の対数値（実線）を、酸素フガシティー（ $\log f_{O_2}$ ）とpHの図に示したものである。この図に関する以下の問いに答えよ。

(1) 図2中の太い破線で区切られたS1, S2, S3及びS4のそれぞれの領域で主要な硫黄の溶存種を、下記の中から選べ。

【 SO_4^{2-} , H_2S , HSO_4^- , HS^- 】

(2) 図2中の細い破線で区切られたF1, F2, F3及びF4のそれぞれの領域で安定なFe-S-O系鉱物を、下記の中から選べ。

【磁鉄鉱, 磁硫鉄鉱, 赤鉄鉱, 黄鉄鉱】

(3) 図2中のAとBは、それぞれ石英安山岩中の熱水鉱床であるA鉱床とB鉱床を形成した鉱液の条件を示している。また、図に示した条件下では、

主な金の溶存種は、 $AuCl$, $AuCl_2^-$, $AuCl_3^{2-}$ 及び $Au(HS)_2^-$ であった。

$Au(HS)_2^-$ が主要な金の溶存種である鉱液は、AとBのどちらか。また、その理由も述べよ。

(4) 図2中のAとBの鉱液が、それぞれ矢印で示された条件変化を伴って鉱床を形成した場合、金の鉱化作用を生じた鉱液はAとBのどちらか。また、その理由も述べよ。

(5) 母岩の変質に強い溶脱型の硅化作用がみられる鉱床は、AとBのどちらか。また、石英に飽和した溶液中での灰長石（ $CaAl_2Si_2O_8$ ）の溶解反応式を示して、その理由も述べよ。

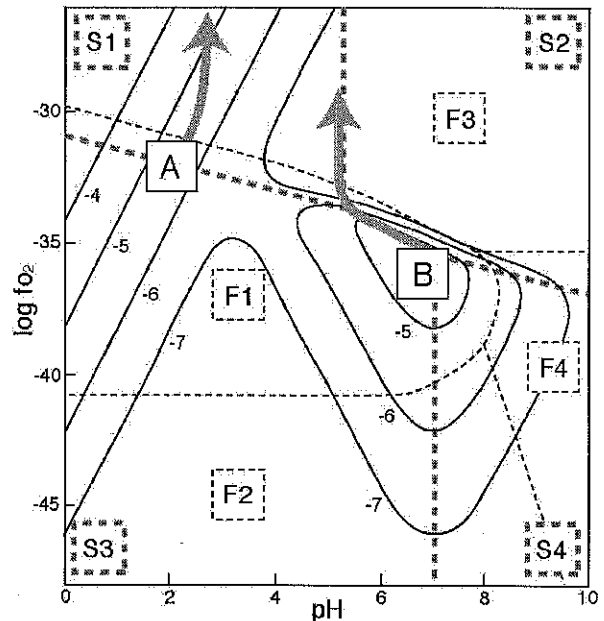


図2