

平成 17 年度 (2005 年度)

東北大学大学院理学研究科 地学専攻

博士課程前期 2 年の課程 入試問題

専門科目

C 群 (地球惑星物質科学・比較固体惑星学分野)

平成 16 年 9 月 1 日 13 : 00 ~ 16 : 00 実施

注意事項 (共通)

1. 机の上には受験票、筆記用具、時計以外は置いてはいけません。
2. 合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。
3. 試験時間は 13 : 00 から 16 : 00 までです。
4. 問題は A 群 6 問 (問題 A1 ~ A6 : 地圏進化学・環境動態論分野)、B 群 8 問 (問題 B1 ~ B8 : 環境地理学・環境動態論分野)、C 群 10 問 (問題 C1 ~ C10 : 地球惑星物質科学・比較固体惑星学分野) の計 24 問が出題されています。
受験生はこのうちから 5 問を選択して解答します。選択にあたっては、志望分野から少なくとも 3 問を選択し、残り 2 問は志望分野を含むいずれの分野から選択しても構いません。
5. 解答はすべて解答用紙に記入します。解答は大問 1 題毎に解答用紙を別にします。
解答用紙の所定の欄に受験番号・氏名・志望分野および問題番号を明記します。
6. 試験終了後、地圏進化学・環境動態論分野および環境地理学・環境動態論分野を志望する受験生は入学後の抱負などについて 20 分程度で作文してもらいます。なお、これらの作文の際には、参照物などの持ち込みは不可です。地球惑星物質科学・比較固体惑星学分野を志望する受験生は志望研究室の調査があります。

問題 C1

一種類の原子が立方最密充填してできる単体の結晶構造を考える。原子を球とみなし、最近接原子間の距離が 2.54 \AA のとき、以下の問いに答えよ。

- a. 格子定数の値（計算式でよい）を示せ。
- b. 空間群を Hermann-Mauguin の記号で記せ。
- c. 単位胞中に含まれる原子の数を記せ。
- d. 原子の配位数を示せ。
- e. 原子を球とみなしたとき、球によって囲まれた間隙は何種類あるか。各々の間隙の対称を点群の記号で記せ。

問題 C2

問1 閃亜鉛鉱(sphalerite)は立方晶系で $a=5.42\text{\AA}$ である。単位格子中において亜鉛原子ならびに硫黄原子はそれぞれ次の位置する。

Zn: $1/4, 1/4, 1/4$; $3/4, 3/4, 1/4$; $1/4, 3/4, 3/4$; $3/4, 1/4, 3/4$.

S : $0, 0, 0$; $0, 1/2, 1/2$; $1/2, 1/2, 0$; $1/2, 0, 1/2$.

- (a) 結晶構造を描き、その結晶構造の特徴について説明せよ。
- (b) 一つの単位格子内に含まれるそれぞれの原子の数を求めよ。また、Zを求めよ。
- (c) 閃亜鉛鉱の密度を求めよ。尚、亜鉛と硫黄の原子量はそれぞれ 65.4、32.1、また、アボガドロ数は 6.02×10^{23} である。
- (d) 亜鉛原子と硫黄原子の最近接距離を求めよ。
- (e) 閃亜鉛鉱の結晶はしばしば正四面体の結晶として産出する。この正四面体を形成する4つの面の面指数を答えよ。

問2 珪酸塩鉱物に対してはその結晶構造の特徴に基づいて分類する方法が現在広く用いられている。この珪酸塩鉱物の分類の方法について説明せよ。尚、次の語句を必ず1度は使用すること。

- | | | |
|-----------------------|-----------|------------|
| 1) SiO_4 四面体 | 2) テクト珪酸塩 | 3) サイクロ珪酸塩 |
| 4) ネソ珪酸塩 | 5) フィロ珪酸塩 | 6) イノ珪酸塩 |
| 7) ソロ珪酸塩 | 8) 角閃石 | 9) カンラン石 |
| 10) 輝石 | 11) 雲母 | 12) 長石 |
| 13) 緑柱石 | 14) ザクロ石 | 15) ローソナイト |

問題 C3

問1 火山岩は地球上の各地に産出するが、テクトニックな場所に応じてどのような種類の火山岩が出現するか、どのような組み合わせで出現するかを表にすると以下のようなになる。空白になっている部分にふさわしい用語を答えよ。解答用紙には番号をふってそこに解答を記入せよ。但しきわめて例外的なものは解答から除外してよい。

	プレート端		プレート内部	
テクトニック セッティング	コンバージェント 破壊的	ダイバージェント 建設的	<input type="text" value="1"/>	イントラコンチネンタル
火山としての 特徴 (火山の ある位置はなんと 呼ばれているか)	<input type="text" value="2"/> 活動的大陸縁	<input type="text" value="3"/> 背弧拡大中心	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/> 大陸洪水玄武岩地帯
特徴的なマグマ系列	ソレアイト <input type="text" value="7"/> アルカリ	<input type="text" value="6"/>	ソレアイト <input type="text" value="8"/>	ソレアイト アルカリ
SiO ₂ の範囲	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="10"/>	玄武岩とその分化物	玄武岩とその分化物

問2 含水鉱物を含まない超苦鉄質岩の分類を図示して、各岩石の名前を記入せよ。更に、現在の地球のマントル上部を構成していると考えられている岩石は、どのあたりになるか楕円でおよそその位置をしめせ。

問3 偏光顕微鏡で火山岩の薄片を観察したとき、普通輝石と普通角閃石、黒雲母の3つの有色鉱物が斑晶として含まれていた。この3つを偏光顕微鏡で区別する方法を具体的に述べよ。但しこれらの鉱物はすべてこれらを含んでいるマグマから晶出したもので、特別異常な事態を考慮しなくてよい。

問4 コンドライト質隕石の化学的グループ(コンドライトグループ)による分類と、岩石学的分類を組み合わせた表をつくり、存在しないタイプのコンドライトの四角は斜線を引け。但し岩石学的タイプ7は存在しないという仮定で解答して構わない。また化学的グループ(コンドライトグループ)は簡単な略称をもちいてよい。

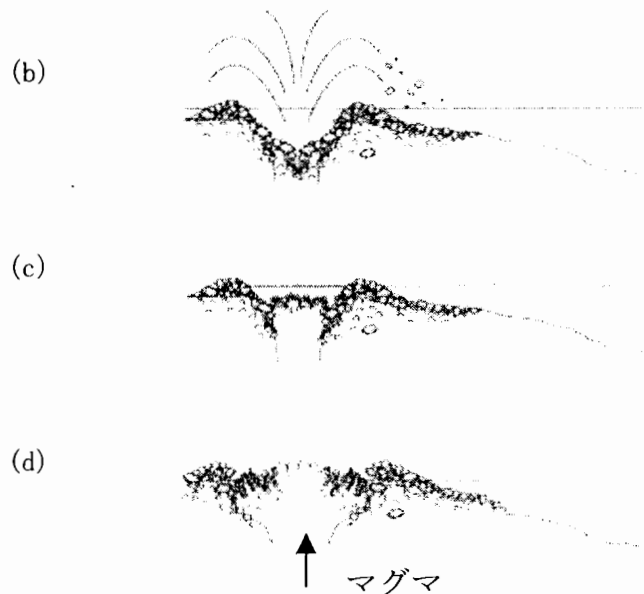
問5 AFM diagram とは何であるか図を描いて詳しく説明せよ。図にはA、F、Mそれぞれ何を示しているか、この図の目的は何かについても詳しく説明すること。

問題 C 4

問1 九州南方沖合いにある鬼界カルデラでは、1934年から薩摩硫黄島付近の浅海域で流紋岩質マグマによる海底噴火が始まり、約半年間にわたって活動が継続した後、小さな島・昭和硫黄島を形成した。付図は、マグマが地下深部から上昇し、海底に到達した後 (b)、海底上に溶岩の姿を現し (c)、成長を続け (d)、そして活動が終了するまでのプロセスの主要部を簡略化して示している。一般に噴火の様式はマグマ中に溶け込んだ水の量の変化によって支配されるが、今回のように周囲に海水がある場合、水との接触程度の変化によっても噴火様式は左右される。

a. マグマが上昇して海底に到達する直前 (a)、マグマが海底に到達し周囲海水との接触を繰り返している最中 (b-c)、そしてマグマと海水との接触が絶たれた後 (d) の3つの期間に分類し、各々の期間において海面上において観察される事が期待される現象を、マグマ中の水と周囲環境の水との役割に着目しつつ、知れる限りの知識を用いて説明しなさい。

b. マグマと水とが接触すると爆発的な噴火が発生する場合がある。この爆発的な噴火の機構として、産業界で提唱されている FCI 理論を用いて説明されることがある。爆発的な噴火について、この FCI 理論を用いて説明を行ないなさい。ただし、理論で識別されている4つの素過程「素混合」、「膜沸騰」、「トリガリング」、「現象の拡大」に着目した説明を行なう事。



問2 0°Cに近い水に圧力を加えると、1000気圧程度までは粘性率は減少し、その後、粘性率は増加する。流紋岩質マグマの模擬物質として、アルバイト ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) 融体がしばしば使用される。アルバイト融体においても定温条件下では、圧力増加に従って粘性率は減少することが知られており、さらなる高压下では水と同様に粘性率の増加が期待されている。このような圧力増加にともなう粘性率の変化は、融体構造の変化の視点に基づく

とどのように理解されるのか、水の場合と比較しながら説明を行ないなさい。ただし、文章中において「網目構造」、「結合強度」、「配位数」、「自由体積」の単語は一度は必ず使用すること。

問題 C5

問1 問題を読んで以下の(1)～(4)の問いに答えよ。

- (1) 過飽和状態の気体から結晶が核形成することを考える。過飽和気体の化学ポテンシャル(過飽和度 σ)は、平衡状態より $\Delta\mu = kT \ln(p/p_e)$ だけ高い。したがって、分子体積を Ω とすると、半径 r の結晶核が形成されることで $(4\pi r^3/3\Omega)\Delta\mu$ だけの自由エネルギーが減少する。これが核形成の駆動力である。しかし、新たに生じた表面の自由エネルギーの不利 $4\pi r^2\gamma$ だけ系の自由エネルギーは増加する。以上をあわせると、半径 r の結晶核形成にともなう自由エネルギー変化、 ΔG はどのように表せるか。ただし固気界面張力を γ とする。必要ならばグラフで表せ。ただし、 k 、 T 、 p/p_e はそれぞれボルツマン常数、絶対温度、蒸気圧比とする。
- (2) $d\Delta G/dr = 0$ より臨界核半径 r_c と核の生成自由エネルギー ΔG^* を求めよ。
- (3) 以上のようにして計算した ΔG^* は界面張力 γ に大きく依存することが分かる。この関係を用いて、 0°C 以下の過飽和水蒸気環境でも、氷よりも水滴が先に核形成することも多いことを説明せよ。
- (4) 最初サイズが不揃いであった微細な鉱物も時間とともにサイズが揃ってくる。この現象はオストワルド・ライプニングとして知られており、粘土鉱物ではよく見られる。この現象を臨界半径 r_c の概念を用いて説明せよ。

問2 以下の語句を結晶成長の観点から説明せよ。必要なら図示せよ。

- (1) 樹枝状結晶
- (2) Jacksonのアルファファクター
- (3) 光干渉法による濃度勾配の測定
- (4) 2次元核形成による成長
- (5) らせん成長

問題 C6

以下の文章を読み問題に回答せよ。

地球表層部では様々な元素が循環し大気—海洋—大陸および生物との間の「つながり」を形成している。硫黄も地球表層を循環している典型的な元素である（図1）。現在の海洋には 28mM の(a)イオンが溶存している。(a)イオンは、大陸などの硫黄を含む鉱物の風化によって主に生じる。(a)イオンを作るための風化は雨水が時間をかけて岩石と反応しあい進行する。雨水の pH は理論的には 5.66 と考えられている。(1) この pH は大きく気温や大気二酸化炭素濃度に依存し風化の度合いをコントロールする。すなわち(a)イオンの生成量に大気の組成も大きく影響している事になる。

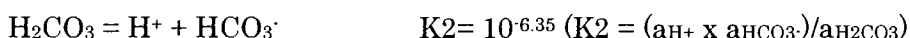
いったん海水に蓄えられた(a)イオンは、主に海底熱水活動、蒸発岩の形成、海洋堆積物の中での微生物活動によって海洋から取り去られる（図1）。特に海底熱水活動が起こっている環境では海水の(a)イオンなどが海洋地殻内を循環する。その多くは海洋地殻に固定され、一部は無機的に還元され多くの金属元素とともにブラックスモーカーとして海底に噴出する。(2) ブラックスモーカー噴出孔周辺ではチムニーと呼ばれる構造物が形成される。こうした海洋底での岩石・水反応は海洋から(a)イオンを取り除く重要な作用として機能する。

その一方で海洋に溶存している(a)イオンを還元する微生物が海洋堆積物中に多く生息している。この微生物の活動の結果、(3) 数ミクロン単位の微細結晶が集合した黄鉄鉱を形成する。こうした微生物活動も海洋から硫黄を取り除く作用として機能する。海洋から取り去られた(a)イオンは、プレートテクトニクスなどにより一部はマントルにもたらされ、一部は大陸にもたらされる。こうして硫黄の元素循環が完了する。

地球の歴史を通しての硫黄循環の変遷史に関しては、分かっていない事が多い。しかし初期地球環境でも海底熱水活動が起こっていた事が知られている。その活動域では海洋地殻内部を硫黄が熱水と共に循環していた。こうした海底熱水場が初期生命体の進化に重要だったと考える研究者は多数存在する。それは海底熱水環境で起こる化学反応が、そこに生息する微生物（独立栄養 (b) 細菌と呼ばれる）にエネルギーを容易に与えてくれるからである。現在の陸上温泉や海底熱水にも、(4) 独立栄養 (b) 細菌は多く生息し、初期生命体の情報を与えてくれると考えられている。特に生物の持つリボゾームの RNA の構造比較の研究から熱水環境には「共通の (c)」とよばれる仮想生物に近い生命体が生息していると考えられている。

問1 (a)イオンの化学式を書け。および(b)、(c)に相当する日本語名を書け。

問2 上の文章中の下線(1)に関する問いである。雨水(天水)の pH は以下の化学反応式(K1,K2 はそれぞれの反応式の平衡定数であり不変であると仮定する)で決る。



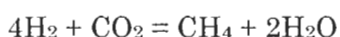
現在の大气の P_{CO_2} を $10^{-3.5} \text{atm}$ とすると $a_{\text{H}^+} = 10^{-5.66}$ となる。 P_{CO_2} が $10^{-2.5} \text{atm}$ になると天

水の pH はどうなるか計算せよ。

問 3 上の文章中の下線 (2) に関する問いである。ここに述べられているチムニーを形成する典型的な鉱物を 3 つあげよ。それら鉱物の日本語名、英語名、化学組成も記せ。

問 4 上の文章中の下線 (3) に関する問いである。海洋堆積物中に普通に見られる微生物由来の微細黄鉄鉱が集合した結晶は、しばしばフランボイダル黄鉄鉱と呼ばれる。硫黄には S^{32} , S^{33} , S^{34} , S^{36} などの安定同位体が存在する。硫黄安定同位体比を表現するために用いられる $\delta^{34}S$ は $\delta^{34}S = ((S^{34}/S^x)_{\text{試料}} / (S^{34}/S^x)_{\text{標準試料}} - 1) \times 10^3$ と定義される。この S^x に相当する安定同位体はどれか答えよ。また微生物が形成したフランボイダル黄鉄鉱は、硫黄安定同位体に関してどのような特徴を持っているか説明せよ。

問 5 上の文章中の下線 (4) に関する問いである。独立栄養 (b) 細菌の一つであるメタン生成細菌は以下の反応からエネルギーを得る事が可能である。



この反応で生じる自由エネルギーを計算せよ。それぞれの分子の G^0 は以下の通りとする(温度 25 度で一定と仮定)。 $H_2 = 0$, $CO_2 = -394$, $CH_4 = -50$, $H_2O = -237$ (kJ/mol)

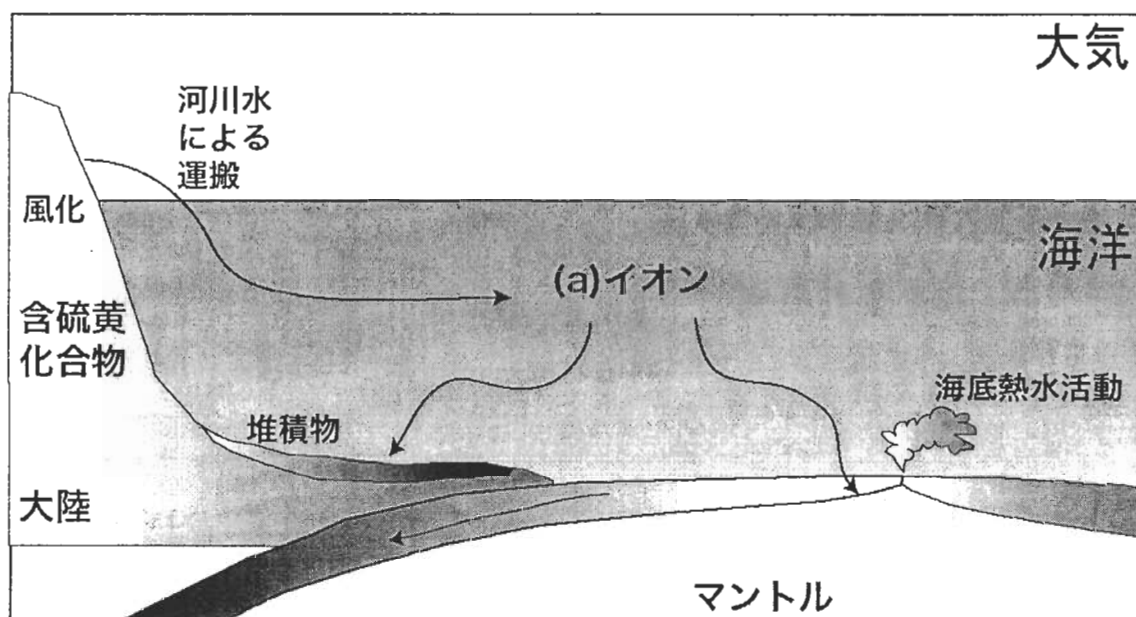


図 1 : 現在の地球表層における硫黄サイクルの模式図。海洋環境における主だった硫黄のフラックスを矢印で表示した。

問題 C 7

問1 下の表は平均密度の大きい順に、月および地球型惑星の密度、慣性モーメントファクター (I/MR^2)、及び中心圧力をまとめたものである。天体A、B及び天体D、Eの平均密度はそれぞれ類似しているが、内部構造(核と地殻・マンツルの体積比)は大きく異なっている。

- (A) 天体Bの内部構造は天体AおよびCと比べてどのような特徴があるか。
- (B) BとCの天体については、慣性モーメントファクターの値がまだ知られていない。密度から推定した核と地殻・マンツル比にもとづくとBおよびCの天体の慣性モーメントファクターは天体A、D、Eのいずれに最も近い値を持つか示せ。また、そのように考えた理由を記せ。
- (C) 最も小さい天体Eは平均密度と慣性モーメントファクターの値から内部構造についてどのような特徴が予想されるか、他の天体の値と比較して述べよ。
- (D) 火星、水星、金星は表のAからEの天体のいずれに相当するか示せ。また、そのように判断した理由を記せ。

表

	A天体	B天体	C天体	D天体	E天体
平均密度(g/cm ³)	5.514	5.435	5.245	3.93	3.344
慣性モーメントファクター I/MR^2	0.3315	-	-	0.345-0.375	0.391
中心圧力(GPa)	360	30	300	40	5

問2 以下の問いに答えよ。

- (1) マンツルの化学組成においてニッケルのパラドックスとは何か。また、そのパラドックスの特徴はどのように説明されているのか記せ。
- (2) 強親鉄元素には、どのような種類があるのか。代表的な元素を3つ挙げよ。この元素のマンツルの存在度にはどのような特徴があるか。また、その特徴はどのように説明されるのか記せ。
- (3) 断熱温度勾配について100字程度で説明せよ
- (4) Birchの法則について100字程度で説明せよ。

問題 C8

惑星の中心には一般に核と呼ばれる上層部とは異なる性質の領域が存在している。しかしながら、現状ではこの領域を直接観察する方法がないため、様々な方法を用いて核の性質を間接的に推定してきた。以下の項目の中から地球型惑星の核に関する何らかの情報が得られると考えられる項目を4つ選び、そのデータから核のどのような情報がどのように推察できるかについて、それぞれ100字程度で述べよ。

アルベド、惑星磁場、公転軌道、表面のクレーター密度、表面温度、大気の組成、自由振動、小惑星体のサイズ分布、彗星の周期、隕石の組成、岩石の残留磁化、高圧下における鉄合金の融点、高圧下における玄武岩質マグマの粘性、かんらん石の変形速度

問題 C9

問 1 マグマが地下に貫入または地表に噴出して冷却固化するとき、種々の鉱物がすべて同時に結晶するのではなく、マグマの組成や温度圧力条件に応じて、順を追って晶出する。この順序を晶出順序という。晶出順序は火成岩の組織に反映されている。火成岩の様々な組織から晶出順序を推定する場合の規準を4点以上あげて、それぞれについて説明せよ。

問 2 以下の用語について、日本語で簡明に説明せよ。

Fabric, Restite, Critical melt fraction, Cataclasite, Evaporite

問 3 脆性—延性遷移について、説明せよ。

問題 C10

次の図は 850°Cにおける流紋岩質メルト中への水の溶解度を示す。圧力 0.2GPa(2kbar)のマグマ溜りで飽和していた 850°Cの無斑晶質の流紋岩質マグマが断熱的に上昇し、0.05GPaで急冷して軽石となったとき、発泡度(気泡の体積分率)は最大で約何%となるか答えよ。解答は有効数字2桁でよい。但しマグマの上昇途中での温度変化は無視し、無水流紋岩質メルトの1気圧での密度を 2.5g/cm³、気体定数を 0.082 (atm・L / mol・K) とする。

