

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18740346

研究課題名 (和文)

上部マントルにおけるホウ素循環経路の解明：実験岩石学的アプローチ

研究課題名 (英文) Experimental study on boron cycling in the upper mantle

研究代表者

太田 努 (OOTA TSUTOMU)

岡山大学・地球物質科学研究センター・助手

研究者番号：80379817

研究成果の概要：

地球という惑星の大部分はマントルで占められている。このマントルの活動によって形成された表層の物質は、プレート運動によって沈み込み帯からマントルへと戻っていく。その際、ある特定の化学成分は表層物質に濃集し、沈み込む際には表層物質から取り去られてマントルには戻ってこない。このような物質循環によって地球は進化してきた。本研究では、表層物質の沈み込み過程を高温高压実験によって再現したり、マントル深部へ沈み込んだ岩石の化学組成を分析したりして、表層物質がマントル深部へ沈み込んでいく際に、ホウ素（およびリチウム）という元素がどのような挙動をするのかを明らかにし、地球マントルの化学進化の理解に貢献した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,600,000	0	1,600,000
2007 年度	600,000	0	600,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	180,000	2,980,000

研究分野：地球化学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：地球化学，岩石鉱物学，地殻・マントル物質，電気石，ホウ素，リチウム，二次イオン質量分析装置 (SIMS)

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯で起こる物質分化は、地球内部

物質循環を理解する上で重要な素課程の一つである。沈み込み帯変成作用による含水鉱物

の脱水反応は、沈み込んだ地殻物質の化学成分が分配された流体を放出してウェッジマンントルを汚染する。一方で、沈み込む地殻物質の化学組成は、放出される流体との間の元素分配によって順次変化していく。また、沈み込み帯深部の温度構造、すなわち沈み込む地殻物質中でおこる脱水反応の様式は、地球の熱史に関連して、特に原生代末を境に大きく変化したと考えられている。したがって、沈み込み帯での物質分化も、地球史を通じて変化してきたと考えられる。

このような、沈み込み帯における地殻-マンントル相互作用を経て進行する物質分化を定量的に解明し、地球史上でのその変遷をモデル化するためには、沈み込む地殻物質に濃集していて、かつ、流体が関与する過程での移動性が高い軽元素の挙動を調べる必要がある。

ホウ素はそのような特性を備えた元素であり、大陸地殻を構成する花崗岩や変成岩には、少量ではあるが普遍的に含水ホウ珪酸塩鉱物である電気石が産する。沈み込む地殻物質中のホウ素は、沈み込み変成作用の進行と共に電気石の成長に消費され、電気石としてマンントル深部まで移送され得ることが、高压変成岩の研究によって確認されている。しかし、本申請者が行った多成分系（泥質岩中）での高压実験によれば、石英に飽和した地殻組成の系における電気石の安定領域は800°C以下および4-4.5GPa以下の条件に限られる。一方で、最上部マンントルを起源とする中央海嶺玄武岩が、より深部のマンントル物質の寄与を受けている海洋島玄武岩よりもホウ素に枯渇しているという傾向が知られており、地殻物質中のホウ素が、沈み込み帯での連続的な脱水反応とともに起こった同位体分別を経て、海洋島玄武岩の起源物質に付加されている可能性が示唆されている。

本申請者のこれまでの研究によれば、電気

石として固定された地殻物質中のホウ素は、プレート沈み込みによって約150kmの深度まで移送されうるが、より深部まで沈み込んだ地殻物質中のホウ素分配や同位体分別に関しては、白雲母（フェンジャイト）が最も重要な役割を果たしていると考えられている。また、ウェッジマンントルや沈み込むプレート側のリソスフェリックマンントル中に存在しうる、蛇紋石やクリノヒューマイトもホウ素のホスト鉱物として注目されている。海洋島玄武岩の起源物質に地殻物質由来のホウ素を供給する経路において、これらの鉱物が重要な役割を果たしている可能性がある。特にクリノヒューマイトは、マンントル中の他の含水鉱物よりも低压高温の条件下で安定で、蛇紋石の分解によって放出される流体やこれに分配された微量元素を取り込むことが可能である。

以上のことを踏まえて、沈み込む地殻中の白雲母や、上部マンントル中でホウ素のホスト鉱物になり得る、蛇紋石やクリノヒューマイトに注目した研究を計画した。

2. 研究の目的

水惑星地球の化学的進化やその素過程である地球内部物質循環を理解するにあたって、沈み込み帯で起こる物質分化を解明する必要がある。地球表層で形成され、含水化した物質が沈み込み帯からマンントル深部に沈み込んでいく過程で、流体を媒介とした地殻-マンントル相互作用や沈み込んでいく表層物質それ自体の化学組成変化が進行する。したがって、沈み込む地殻物質に特徴的であり、かつ、流体が関与する過程での移動性が高い軽元素の挙動を調べることで、上述した物質分化の解明に寄与することができる。この点を踏まえて、本研究ではホウ素に注目し、以下のことを明らかにする。

(1) 様々な化学組成を持つ表層物質は、沈み込み過程における温度圧力条件の変化によって多様な鉱物の集合体となる。本研究で注目するホウ素は、ある特定の鉱物、特に含水鉱物に濃集することが分かっている。そこでまず、そのような特定の含水鉱物に注目し、上部マントルに相当する温度圧力条件下で、これらの含水鉱物と流体の間でどのようなホウ素分配および同位体分別が起こるのかを明らかにする。

(2) 天然の岩石は、多様な鉱物の集合体として沈み込んでいくため、ホウ素を含む鉱物の安定性は共存する鉱物群との相互作用によって変化する。また、ホウ素を含む含水鉱物が高温高压条件下で不安定になっても、他の無水鉱物にホウ素が再分配されれば、より深部まで表層物質由来のホウ素が移送されることになる。そこで、天然の岩石を想定した多相系で、鉱物間および鉱物-流体間におけるホウ素の分配および同位体分別を明らかにする。

(3) 沈み込み帯深部の温度構造は、現世では主に沈み込み帯プレートの年代によって変化する。また、地球の冷却史を反映して変化してきたことも知られている。したがって、ホウ素を含む含水鉱物の安定性やその他の鉱物あるいは流体との間で起こるホウ素（同位体）の分配関係も、沈み込み帯によって、あるいは地球史を通じて多様であった可能性がある。以上の点を踏まえ、地球史を通じてどのような地殻-マントル相互作用が進行して、沈み込み帯マントルが進化してきたのか、モデル化を試みる。

3. 研究の方法

本研究では、地殻-マントル相互作用を含む、沈み込み帯での物質分化の解明を目指し、次のような実験および化学分析を行う。

(1) 泥質岩、玄武岩、カンラン岩中において、

上部マントルの条件下で安定な含水鉱物、白雲母、蛇紋石、クリノヒューマイトを、様々な量比でホウ素を加えた出発物質（酸化物および水酸化物試薬の混合物）から、ピストンシリンダー型およびマルチアンビル型高压発生装置を用いて合成する。出発物質と合成鉱物のホウ素濃度および同位体組成をICPMS、TIMSおよびSIMSを用いて分析し、流体のホウ素同位体組成はマスバランス計算によって求める。得られた結果から、各鉱物-流体間におけるホウ素の分配係数および同位体分別係数を求める。

(2) 天然の泥質岩、玄武岩、カンラン岩試料に様々な量比でホウ素を加えた出発物質を用いて上部マントルに相当する条件下で高压実験を行い、SIMSを用いて実験生成物（鉱物）のホウ素濃度および同位体組成を分析して、鉱物間におけるホウ素の分配係数および同位体分別係数を求める。

(3) 上記の実験から得られたホウ素の分配係数および同位体分別係数をもとに、プレート沈み込みによる地球表層から上部マントルへのホウ素の循環経路、また、ホウ素同位体組成からみた地殻-マントル相互作用とその結果としての島弧マントルの発達過程を、沈み込み帯の温度構造の多様性を含めてモデル化する。

(4) 本研究においては、SIMSを用いた定量分析におけるマトリクス効果を評価するために、分析対象に応じて標準試料を準備する必要がある。そこで、泥質岩の系において上部マントルの条件下で安定な白雲母と同様の化学組成を持つ珪酸塩ガラスを、様々な量比でホウ素を加えた出発物質から、ピストンシリンダー-高压発生装置を用いて合成する。そのホウ素濃度、同位体組成をICPMSやTIMSを用いて分析し、SIMS分析用の標準試料とする。

4. 研究成果

本研究では、実験岩石学的手法を用いて地殻・上部マントル中で安定な含水鉱物と流体との間のホウ素分配を明らかにすることを目指し、ホウ素同位体組成のSIMS分析用標準試料準備も計画した。しかしながら、実験生成物として分析可能なサイズ、あるいはSIMS用標準試料として活用可能なサイズと組成均質性を有する含水鉱物の合成には、今のところ成功していない。そこで、ホウ素と同様な振る舞いをするリチウムにも注目し、コクchetav超高压変成帯に産する泥質片岩および花崗岩質変成岩中の電気石のホウ素およびリチウム同位体をSIMSで分析した。その結果、プレート沈み込みによって地下150-200kmの深部にもたらされた、最高変成度岩の電気石のみが、地球表層の環境に特徴的な同位体組成を示した。この結果を踏まえ、沈み込むリソスフェリックマントル中の含水鉱物(蛇紋石)が表層由来ホウ素をマントル深部へ移送したという、新しいモデルを学術誌に発表した。

また、代表的なマントル鉱物であるカンラン石と流体との間での、リチウム同位体分配を明らかにするため、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いた含リチウムカンラン石の合成実験を行った。実験は、沈み込み帯マントルと沈み込んだスラブ物質の脱水分解に由来する流体との反応を想定し、2GPa, 900°Cの温度条件下で行った。(カンラン石+水)組成の出発物質はICPMS, 合成カンラン石はSIMSを用いてリチウムの濃度と同位体比を分析し、共存した流体の同位体組成をマスバランス計算によって求め、カンラン石-水間におけるリチウム同位体分別係数を計算した。その結果、合成カンラン石のリチウム同位体比は、共存する流体よりもカンラン石の方が約5パーミル低くなることが確認され、沈み込んだ表層物質由来の流体で汚染されるようにな

った顕生代以降の上部マントル(沈み込み帯マントル)が、どのような化学進化を経てきたかを議論する上で有用な情報が得られた。

沈み込み帯マントルを想定した、カンラン石-水間のリチウム同位体分別に関する実験岩石学的研究は、国内外ともに未だ報告例がなく、先駆的な成果である。この研究をさらに発展させることによって、地殻-マントル相互作用を含む、沈み込み帯での物質分化の定量的解明に大きく貢献できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

著者名 Ota T., Kobayashi K., Kunihiro T., Nakamura E.

論文標題 Boron cycling by subducted lithosphere; insights from diamondiferous tourmaline from the Kokchetav ultrahigh-pressure metamorphic belt

雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta
査読の有無 有

巻 72

発行年 2009

ページ 3531 - 3541

[学会発表] (計1件)

発表者名 太田 努, 小林 桂, 中村栄三

発表標題 プレート沈み込みによるマントルへのホウ素輸送: 含ダイヤモンド電気石のホウ素同位体組成とその意義 (招待講演)

学会等名 日本地球化学会

発表年月日 2008年9月17日

発表場所 東京

[その他]

ホームページ等

<http://homepage.mac.com/otatsutomu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 努 (OTA TSUTOMU)

岡山大学・地球物質科学研究センター・助手

研究者番号：80379817

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし