

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610155

研究課題名(和文)超臨界流体は沈み込むスラブから難溶性元素を運べるか？

研究課題名(英文)Chemical compositions transferred in supercritical fluids from subducting slabs

研究代表者

川本 竜彦(Kawamoto, Tatsuhiko)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00303800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込むプレートから堆積岩質超臨界流体がマントルに加わり、さらに水流体とメルトに分離しマグマを生成する。沈み込み帯のカンラン岩捕獲岩には塩水を含む流体包有物がある。超臨界流体の化学組成や、メルトと水流体に分離時の元素分配を知ることは重要なので、高温高压条件下でメルトと水流体を共存させ放射光蛍光X線分析を行い、微量成分元素の分配係数を求めた。その結果、超臨界流体は塩素を含み、塩水とメルトに分離する時、アルカリ元素とアルカリ土類元素は塩水に、超臨界流体に含まれる堆積岩を特徴づける元素のうち水流体に分配されない元素はマグマによって運ばれると提案する。このモデルは島弧玄武岩の化学的特徴を説明できる。

研究成果の概要(英文)：Recent findings of saline fluids from sub-arc mantle peridotite leads us to determine the effect of Cl on the trace element partitioning between aqueous fluids and melts. Synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis is conducted to know trace elements partitioning between aqueous fluids and melts. Two slab-derived components, melt and fluid components, are suggested to explain trace element characteristics of arc-basalts. The fluid component is characterized by enrichment of alkali and alkali earth elements and can be explained if the fluid component is a saline fluid, because alkali earth elements and Pb are much less mobile with Cl-free fluids than Cl-rich fluids. Slab-derived components have compositional features consistent with a saline fluid and a melt, which can be formed through a separation of a slab-derived supercritical fluid. Slab-derived supercritical fluids contain Cl, and aqueous fluids inherit much of the Cl and some of the large-ion lithophile elements.

研究分野：地球惑星科学

キーワード：マグマ 沈み込み帯 水流体 元素分配 マントルウェッジ 微量成分元素 塩水 不適合元素

## 1. 研究開始当初の背景

一般に水流体に溶けやすいとされる元素(アルカリ元素、アルカリ土類元素)や難溶性(たとえば、希土類元素)が高温高压条件下で水流体にどの程度溶解するのか、マグマと共存する時に水流体にどの程度分配されるのか知ることが重要と考えた。なぜなら、私たちは2012年にスラブ由来の水にとむ流体は超臨界流体で、上昇する際にマントルウェッジで水流体とマグマに分離する仮説を提案していたからである(文献1)。さらに、2013年に私たちはマントルウェッジのカンラン岩捕獲岩中に塩水からなる流体包有物を発見した(文献2)ので、塩濃度が沈み込むプレートからの元素移動に与える影響を理解したいと考えた。

### 文献1

Kawamoto T., Kanzaki M., Mibe K., Matsukage K. N., Ono S., Separation of supercritical slab-fluids to form aqueous fluid and melt components in subduction zone magmatism. Proc. Nat. Acad. Sci., U. S. A., 109, 18695-18700, 2012

### 文献2

Kawamoto, T, Yoshikawa, M, Kumagai, Y, Mirabueno, MHT, Okuno, M, Kobayashi, T, Mantle wedge infiltrated with saline fluids from dehydration and decarbonation of subducting slab. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 110, 9663-9668, 2013

## 2. 研究の目的

水流体とマグマを高温度高压力条件下で共存させ、蛍光X線分析法を用いてその各々に含まれる微量成分元素の存在量を知ることが目的とした。高温高压条件下においてその場観察するためには2種類の高温高压発生装置を用いた。かこう岩質マグマを用いた実験はダイヤモンドアンビルセル型高温高压発生装置を、より高温度高压が必要な高マグネシウム安山岩を用いた実験ではマルチアンビル型高温高压発生装置を用いて、放射光X線源を組み合わせるにより水流体とマグマ中の微量成分元素の蛍光X線スペクトルを採集した。

この実験とは別に予備実験では、ウランやトリウムに富む鉱物を利用して、かこう岩質超臨界流体にこれらの鉱物を溶存させ、それらの溶存量を理解するための実験を試みた。しかし、これらの鉱物種の溶解度が小さいため、すべてを溶かすことが難しかった。さらに分析するためにより高いエネルギーのX線も必要で、本研究期間内に成功することはなかった。今後再挑戦したい。

また、水流体中で蛇紋石が溶解する様子を観察する予備実験も開始した。これは蛇紋石が脱水する際に多くの水流体を出す、その時に蛇紋石や脱水反応によって生成され

る鉱物とその水流体に溶存する可能性を確認することを目的とした。

## 3. 研究の方法

水流体とメルトをダイヤモンドアンビルセル型高温高压発生装置、および、マルチアンビル型高温高压発生装置内で高温高压条件下におき、放射光X線を照射し微量成分元素の蛍光X線スペクトルを採集することにより、水に富む流体とマグマの間の微量成分元素の分配を、広い温度・圧力範囲で観察する。微小領域のその場分析をおこなうためには、元素のエネルギー領域のよく集光された放射光X線が必要であるため、放射光実験設備で行った。

ウランとトリウムの鉱物を加えた実験は実験室と放射光実験施設で上記のダイヤモンドアンビルセル型高温高压発生装置、および、マルチアンビル型高温高压発生装置内で高温高压条件下において予察的に行った。

蛇紋石を水流体中において溶解するその場観察実験はダイヤモンドアンビルセル型高温高压発生装置を用いて行った。

## 4. 研究成果

高温高压条件下における蛍光X線分析実験によって、マグマと水流体からの蛍光X線スペクトルの測定に成功した。以下の3点が明らかになった。(1) 水流体/マグマの間の微量成分元素の分配係数は圧力とともに増大する。(2) アルカリ土類金属と鉛は塩水には多く分配されるが塩素を含まない水流体にはほとんど分配されない。(3) ランタンよりも重い希土類元素はメルトのみに分配される。

この研究成果より、次のことを提案する。超臨界流体は塩素を含み、マントルウェッジ内で塩水とメルトに分離する時、アルカリ元素とアルカリ土類元素は塩水に、超臨界流体に含まれる堆積岩を特徴づける元素のうち水流体に分配されない元素はマグマによって運ばれる。島弧玄武岩の化学的特徴は、沈み込むプレートからの水流体成分とメルト成分を持つとされてきた(文献3)。私たちの提案は、この2つのプレート由来成分が火山弧の下で共存することを説明できる。

ウランとトリウムを用いた実験では公表できる成果は得られなかった。

蛇紋石の水流体への溶解現象では、実験した圧力範囲(0.8GPa、600°C以下)では、シリカにとむ流体ができることを確認した。今後、より詳細な研究を行いたい。

### 文献3

Pearce J. A., Stern R. J., Bloomer S. H., Fryer P., 2005, Geochemical mapping of the Mariana arc-basin system: Implications for the nature and distribution of subduction components. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 6, Q07006

5. 主な発表論文等

(研究代表者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

Kawamoto, T., Mibe, K., Bureau, H., Reguer, S., Mocuta, C., Kubsky, S., Thiaudière, D., Ono, S., Kogiso, T., Large ion lithophile elements delivered by saline fluids to the sub-arc mantle, Earth, Planets and Space, 66, 61 (2014). (査読有).

Kumagai, Y., Kawamoto, T., Yamamoto, J., Evolution of carbon dioxide bearing saline fluids in the mantle wedge beneath the northeast Japan arc, Contributions to Mineralogy and Petrology, 168, 1056 (2014). (査読有).

川本竜彦, マントルウェッジ流体の化学組成, 地学雑誌, 印刷予定 (2015年6月) (査読有).

Kawamoto, T., Nakajima, J., Reynard, B., Toh, H., Special issue "Geofluid processes in subduction zones and mantle dynamics". Earth, Planets and Space (2015) 67, 46 (査読有).

Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Separation of supercritical slab-fluids to form aqueous fluid and melt components in subduction zone magmatism. SPring-8 Research Frontiers 84-85 (2013) (2014年に発行) (査読無).

[学会発表] (計 24 件)

川本竜彦, 熊谷仁孝, スラブ流体: 前弧では塩水で火山弧下では超臨界流体, 地球惑星科学連合大会, 千葉市幕張メッセ, 2013年5月22日

小林真大, 角野浩史, 齋藤健彦, 長尾敬介, 石丸聡子, 荒井章司, 芳川雅子, 川本竜彦, 熊谷仁孝, 小林哲夫, Ray Burgess, Chris J. Ballentine, アジア東縁の沈み込み帯に産するマントルかんらん岩中の間隙水起源ハロゲンと希ガス, 地球惑星科学連合大会, 千葉市幕張メッセ, 2013年5月23日

西崎遼, 川本竜彦, Antigorite の水流体中での脱水分解反応における分解溶解のその場観察, 地球惑星科学連合大会, 千葉市幕張メッセ, 2013年5月22日

川本竜彦, 三部賢治, 黒岩健一, 小木曾哲, 圧力と塩濃度を関数にした高 Mg 安山岩と水流体の間の元素分配, 地球惑星科学連合大会, 千葉市幕張メッセ, 2013年5月22日

Yoshikawa, M., Kawamoto, T., Kumagai, Y., Arai, S., Tamura, A., Kobayashi, T., Okuno, M., Mantle wedge metasomatism recorded in LREE-depleted calcic amphibole in the Pinatubo harzburgite xenoliths, Goldschmidt conference, Firenze, Italy, 2013年8月26日

Kawamoto, T., Mibe, K., Kuroiwa, K.-I., Kogiso, T., Synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis of aqueous fluids and high-Mg andesite melt under high-temperature and high-pressure conditions, Goldschmidt conference, Firenze, Italy, 2013年8月27日

Nishizaki, R., Kawamoto, T., *In situ* observation of dehydration and incongruent dissolution of serpentine (antigorite) into aqueous fluids. Goldschmidt conference, Firenze, Italy, 2013年8月27日

Kobayashi, M., Sumino, H., Nagao, K., Ishimaru, S., Arai, S., Yoshikawa, M., Kawamoto, T., Kumagai, Y., Kobayashi, T., Burgess, R., Ballentine, C. J., Subducted halogens and noble gases in the mantle wedge peridotites, Goldschmidt conference, Firenze, Italy, 2013年8月29日

Mibe, K., Kawamoto, T., Ono, S., Convergence in chemical compositions between aqueous fluid and silicate melt in the peridotite-H<sub>2</sub>O System, Goldschmidt conference, Firenze, Italy, 2013年8月30日

川本竜彦, スラブ流体は塩水って, 誰が気にする? 日本鉱物科学会, 筑波大学, 2013年9月11日

小林真大, 角野浩史, 長尾敬介, 石丸聡子, 荒井章司, 芳川雅子, 川本竜彦, 熊谷仁孝, 小林哲夫, マントルウェッジかんらん岩に捕獲された沈み込み起源のハロゲンと希ガス, 日本地球化学会, 筑波大学, 2013年9月11日

Kawamoto, T., Mibe, K., Kuroiwa, K.-I., Kogiso, T., Synchrotron radiation x-ray fluorescence analysis of aqueous fluids and high-mg andesite melt under high-temperature and high-pressure conditions, Geofluids 3, 東京工業大学, 2014年3月2日 招待講演

川本竜彦, スラブ流体は塩水, 日本地球惑星科学連合 2014年大会, 横浜市パシフィコ横浜, 2014年5月2日

芳川雅子, 田村明弘, 荒井章司, 小林哲夫, 川本竜彦, 奥野充, Payot Betchaida, Rivera J. Danikko, Bariso B. Ericson, Mirabueno Ma. Hannah T., ピナツボ火山かんらん岩捕獲岩の岩石学的特徴と沈み込む海洋地殻による交代作用, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜市パシフィコ横浜, 2014 年 4 月 28 日

森康, 重野未来, 川本竜彦, 西山忠男, 西南日本の沈み込み帯メランジュ中のヒスイ輝石岩に記録された塩水, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜市パシフィコ横浜, 2014 年 4 月 28 日

川本竜彦, 三部賢治, 塩水による島弧下マントルへのイオン半径の大きな親石元素の移動, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜市パシフィコ横浜, 2014 年 4 月 28 日

小林真大, 角野浩史, 長尾敬介, 石丸聡子, 荒井章司, 芳川雅子, 川本竜彦, 熊谷仁孝, 小林哲夫, ハロゲンと希ガスから明らかになった堆積物中間隙水起源のマントルウェッジ中流体, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜市パシフィコ横浜, 2014 年 5 月 2 日

Mibe, K., Kawamoto, T., Chemical compositions of coexisting aqueous fluid and silicate melt in the vicinity of second endpoint in the system peridotite-H<sub>2</sub>O and their bearing on the possible origin of komatiite and boninite by liquid-fluid immiscibility, 国際鉱物学会総会 ヨハネスブルグ(南アフリカ)サントン会議センター, 2014 年 9 月 1 - 5 日

Kawamoto, T., Mibe, K., Slab-fluids contain chlorine: fluid inclusions in sub-arc mantle peridotites and partitioning experiments between aqueous fluids and magmas, 国際鉱物学会総会 ヨハネスブルグ(南アフリカ)サントン会議センター, 2014 年 9 月 1 - 5 日

Kawamoto, T., Yoshikawa, M., Kumagai, Y., Mirabueno, M. H., Okuno, M., Kobayashi, T., Mantle wedge infiltrated with saline fluids from dehydration and decarbonation of subducting slab, 国際鉱物学会総会, ヨハネスブルグ(南アフリカ)サントン会議センター, 2014 年 9 月 1 - 5 日

川本竜彦, 三部賢治, Bureau Hélène, Reguer Solenn, Mocuta Cristian, Kubsky Stefan, Thiaudiere Dominique, 小野重明, 小木曾哲, 塩水が島弧下マントルへイオン半径の大きい親石元素を運ぶ, 日本鉱物科学会, 熊本大学, 2014 年 9 月 1 9 日

芳川雅子, 荒井章司, 田村明弘, 川本竜彦, 小林哲夫, 奥野充, Danikko Rivera, Ericson Bariso, ピナツボハルツバージャイト捕獲岩と母岩デイサイト中の角閃石の化学組成と Sr-Nd 同位体組成, 日本鉱物科学会, 熊本大学, 2014 年 9 月 1 9 日

Kawamoto, T., Partitioning of Large-ion Lithophile Elements Between Aqueous Fluids and Melts: Role of Saline Fluids in Sub-arc Mantle, アメリカ地球物理学連合秋季大会, 合衆国サンフランシスコ市モスコーンセンター, 2014 年 12 月 15 - 19 日

Kawamoto, T., Role of saline fluids in sub-arc mantle and subducting slab, 国際エコロジャイト会議, ドミニカ共和国サンフアン バイア プリンチペホテル, 2015 年 2 月 2 - 5 日

Mori, Y., Shigeno, M., Kawamoto, T., Nishiyama, T., Saline fluid inclusions in jadeitites from southwest Japan: Records of slab-derived fluid composition in subduction-zone channels, 国際エコロジャイト会議, ドミニカ共和国サンフアン バイア プリンチペホテル, 2015 年 2 月 2 - 5 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川本 竜彦 (KAWAMOTO TATSUHIKO)  
京都大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号: 00303800