

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 8 日現在

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21340160
 研究課題名（和文） 沈み込み帯の流体学：流体とマグマの間の元素分配
 研究課題名（英文） Study of fluids in subduction zones: Partitioning between aqueous fluids and magmas
 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

研究成果の概要（和文）：放射光 X 線を用いて、高温高压条件下でのマグマと水流体の間の元素分配を決定した。特に、微量成分元素の分配係数に与える圧力と塩濃度の効果を理解した。また、マントル捕獲岩に含まれる流体包有物に含まれる塩濃度を決定した。その結果、(1) 島弧マントルには海水に似た塩水が存在し、(2) 炭酸ガスを含むことを示した。これらの研究により、沈み込むスラブから炭酸ガスを含んだ塩水流体がマントルに付加され、マグマ生成や元素循環においてを何らかの役割を果たしていることを示した。

研究成果の概要（英文）：Using synchrotron x rays, we determined elemental partition between magmas and aqueous fluids under high-temperature and high-pressure conditions. We investigated effects of pressure and salinity on the partition behaviors. In addition to this experimental study, we analyzed fluid inclusions recorded in mantle peridotite xenoliths collected from subduction zones. We showed that seawater-like saline fluids hydrate fore-arc mantle wedge, and the fluids are mixtures of H₂O and CO₂, which can be formed through dehydration and decarbonation of subducting slabs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2010 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	11,000,000	3,300,000	14,300,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：マグマ、水、スラブ、沈み込み帯、超臨界流体、マントル、放射光蛍光 X 線、流体包有物

1. 研究開始当初の背景

かんらん岩、玄武岩、高マグネシウム安山岩、海洋堆積岩の組成をもつメルトと、水に富む流体の間の区別がなくなる温度圧力条件（臨

界終端点）の圧力は、これまで想像されてきた圧力よりも低く、火山フロントの下のスラブ直上ではすでに水に富む流体とマグマの区別はつかない。つまり、火山弧の下ではた

つぷりとケイ酸塩成分を溶かし込んだ超臨界流体が、スラブからマントルウェッジに放出される。そして、そのような濃い超臨界流体はマントルウェッジで、水に飽和したマグマと、マグマ成分を溶かした水流体に分離する。マグマと水流体の間での元素分配を理解することは、沈み込み帯における水流体の移動やマグマの発生にとって重要な鍵になると考える。

2. 研究の目的

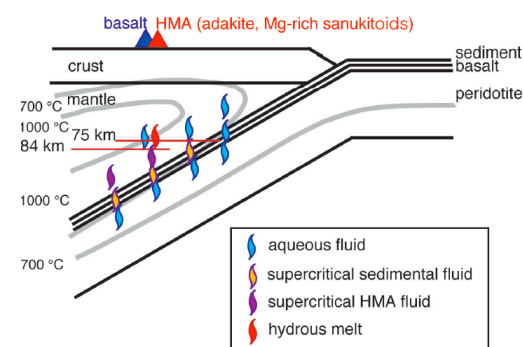
沈み込むスラブから放出される水に富む流体（スラブ流体）は、プレート境界の地震や低周波微動を引き起こし、マントルウェッジを上昇し前弧では湧水となり、より深部ではマグマを作る。本研究は、高压放射光実験と天然試料の解析を行うことで、スラブ流体の化学的役割を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) マルチアンビル型高温高压発生装置、または、ダイヤモンドアンビルセル型高温高压発生装置内で、マグマと流体を共存させ、放射光 X 線を照射することにより蛍光 X 線分析をする。(2) 高温高压その場観察実験と並行して、マントル捕獲岩の流体包有物の分析を行う。この解析によりスラブ起源流体によるマントルウェッジの交代作用の実態を理解できる。また、(3) 島弧マグマはこれまで考えられた以上に水に富んでいて、地殻内を上昇する際に、飽和した水をどんどん逃がしている可能性を検討したい。

4. 研究成果

(1) 沈み込み帯の水流体の移動とマグマの発生に関して新しい仮説を提案した (図)。

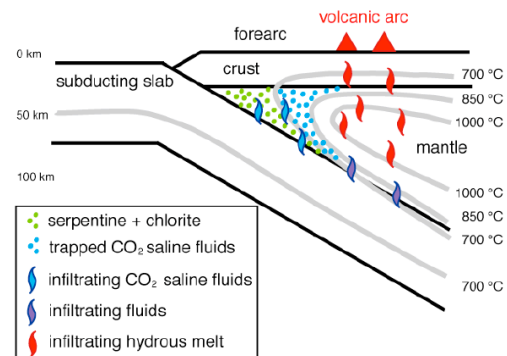


私たちの提案する臨界終端点の圧力は、堆積岩-水では 75km で、高 Mg 安山岩-水では 90km である。これらの深さは火山フロント直下のプレートの深度よりも浅い。つまり、沈み込むプレートの最上部にある堆積岩から放出される水にとむと考えられる流体は超臨界流体になっている。そのような超臨

界流体はマントルと反応して高 Mg 安山岩質のケイ酸塩を溶け込ませる超臨界流体になる。そのようなスラブ由来のケイ酸塩成分を溶かした超臨界流体は、マントルウェッジを上昇する際に臨界終端点を超え、再び水流体とマグマに分離する。

(2) SPring-8 (兵庫県) と SOLEIL (フランス) で放射光 X 線を用いて、それぞれマルチアンビル型高压発生装置と高温型ダイヤモンドアンビル装置を用いて、高温高压条件下でのマグマと水流体の間での元素分配を決定する実験を行った。その結果、マグマと水の間の微量成分元素の分配係数に与える圧力と塩濃度の効果を理解した。その結果、島弧マグマにはスラブ由来のメルト成分の特徴と、スラブ由来の水流体成分の特徴を併せ持つ可能性を指摘する。これらが天然のマグマの化学組成とどのような対応関係にあるかは、今後の重要な課題である。

(3) 実験的研究と並行して、マントル捕獲岩に含まれる流体包有物に含まれる塩濃度をラマン分光法と加熱冷却実験により決定した。その結果、(1) 島弧マントルには海水と同程度かそれよりも濃い塩水が存在すること、(2) その塩水は炭酸ガスを含むことを示した (図)。



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 5 件)

① Martin, A. M., Laporte, D., Koga, K. T., Kawamoto, T., Hammouda, T., Experimental study of the stability of a dolomite + coesite assemblage in contact with peridotite: implications for sediment/mantle interaction and diamond

formation during subduction. *Journal of Petrology*, 53, 391-417 (2012) 査読あり
doi: 10.1093/petrology/egr066

②Hamada, M., Kawamoto, T., Takahashi, E., Fujii, T., Polybaric degassing of island arc low-K tholeiitic basalt magma recorded by OH concentrations in Ca-rich plagioclase. *Earth and Planetary Science Letters*, 308, 259-266 (2011) 査読あり
doi:10.1016/j.epsl.2011.06.005

③Mibe, K., Kawamoto, T., Matsukage, N. K., Fei, Y., Ono, S., Slab melting versus slab dehydration in subduction-zone magmatism. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A.*, 108, 8177-8182, 2011. 査読あり
doi: 10.1073/pnas.1010968108

④Hamada, M., Laporte, D., Cluzel, N., Koga, K., Kawamoto, T., Simulating bubble number density of rhyolitic pumices from Plinian eruptions: constraints from fast decompression experiments. *Bulletin of Volcanology*, 72, 735-746, (2010). 査読あり
DOI: 10.1007/s00445-010-0353-z

⑤Yoshikawa, M., Kawamoto, T., Shibata, T., Yamamoto, J., Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics and P-T estimates of mantle xenoliths from the French Massif Central: evidence for melting and multiple metasomatism by silicate-rich carbonatite and asthenospheric melts. *Coltorti, M., Downes, H., Grégoire, M. and O'Reilly, S. Y. (eds) Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle. Geological Society of London Special Publication 337, 153-175 (2010). 査読あり*
doi: 10.1144/SP337.8

[学会発表] (計 20 件)

①川本竜彦, メルトと水流体の間の元素分配に与える圧力と塩濃度の影響, 変成岩などシンポジウム 2012, 2012 年 3 月 24 日, 京都市関西セミナーハウス

②T. Kawamoto, K. Mibe, K. Kuroiwa, T. Kogiso, Synchrotron radiation x-ray fluorescence analysis of aqueous fluids and highmagnesian andesite melt under high-temperature and high-pressure conditions, Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2, 2012 年 3 月 20 日, 鳥取県三朝町ブランカート

③川本竜彦, 三部賢治, 小野重明, 小木曾哲, マントルウェッジ流体の化学的特徴: 塩濃度の重要性, 日本火山学会, 2011 年 10 月 25 日, 旭川市大雪クリスタルホール

④川本竜彦, 三部賢治, 小野重明, 小木曾哲, マントルウェッジ流体の化学的特徴: 塩濃度の重要性, 新学術領域研究「地殻流体」研究会・サマースクール, 2011 年 9 月 18 日, 岩手県花巻市ホテル志戸平

⑤川本竜彦, 三部賢治, 吉岡貴浩, 黒岩健一, 小木曾哲, 放射光蛍光 X 線によるマグマと水流体の間の元素分配のその場観察: スラブ流体は塩水か?, 日本鉱物科学会, 2011 年 9 月 11 日, 水戸市茨城大学

⑥川本竜彦, 三部賢治, スラブ由来超臨界流体が水流体とマグマに分離し 2 つのマグマ系列を作る, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 26 日, 千葉市幕張メッセ

⑦川本竜彦, 三部賢治, 黒岩健一, 小木曾哲, マルチアンビル型高温高压発生装置を用いた蛍光 X 線分析によるマグマと水流体の間の元素分配に与える圧力と塩濃度の影響, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 25 日, 千葉市幕張メッセ

⑧浜田盛久, 川本竜彦, 高橋栄一, 藤井敏嗣, 水に飽和した島孤低カリウムソレアイト玄武岩マグマ: 斜長石斑晶の OH 含有量からの制約 (招待講演), 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 25 日, 千葉市幕張メッセ

⑨T. Kawamoto, K. Mibe, K. Kuroiwa, T. Shibata, T. Kogiso, Elemental partitioning between aqueous fluids and magmas: First synchrotron XRF analysis with large volume HPHT apparatus, The 2nd TANDEM Symposium on Deep Earth Mineralogy, 2010 年 11 月 6 日 China University of Geoscience at Wuhan

⑩川本竜彦, 三部賢治, 黒岩健一, 柴田知之, 小木曾哲, 高温高压蛍光 X 線その場分析による塩水流体とマグマの元素分配, 日本鉱物科学会, 2010 年 9 月 23 日, 島根大学

⑪川本竜彦, スラブ流体は塩水か? 新学術領域研究「地殻流体」研究会・サマースクール, 2010 年 9 月 11 日, ラフォーレ修善寺

⑫熊谷仁孝, 芳川雅子, 川本竜彦, 小林哲夫, ピナツボ 1991 年噴出物から採取されたカンラン岩中の CO₂ を含む塩水包有物, 日本地球

惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 25 日, 千葉市幕張メッセ

⑬川本竜彦, 三部賢治, 黒岩健一, 柴田知之, 小木曾哲, 水流体とマグマの間の元素分配: 高温高压における蛍光 X 線その場分析, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 2010 年 5 月 25 日 幕張メッセ

⑭芳川雅子, 川本竜彦, Ma. Hannah T. Mirabueno, 奥野充, 小林哲夫, フィリピンピナツボデイサイト中の含角閃石・金雲母かんらん岩捕獲岩に産する水包有物と鉱物組成, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 2010 年 5 月 24 日 幕張メッセ

⑮熊谷仁孝, 川本竜彦, 分子動力学計算による氷 VI から氷 VII への相転移の観察, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 23 日, 幕張メッセ

⑯三部賢治, 川本竜彦, 小野重明, ペリドタイト-CO₂-H₂O 系の第 2 臨界端点について, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 2010 年 5 月 23 日 幕張メッセ

⑰ Kawamoto, T., Elemental partitioning between aqueous fluids and magmas: First synchrotron XRF analysis with large volume HPHT apparatus. Global network Symposium on Earth's Dynamics. 2010 年 3 月 3 日-5 日, 宮城県仙台市ニュー水戸屋

⑱ Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Matsukage, K. N., Ono, S., Supercritical fluids from downgoing slab beneath volcanic arcs: critical endpoints in sediment - H₂O and high Mg andesite - H₂O systems. Goldschmidt conference 2009, June 21 - 26, Davos, Switzerland

⑲浜田盛久, 川本竜彦, 藤井敏嗣, 斜長石の水素含有量分析: 島弧深部の玄武岩マグマは水に富む. 地球惑星科学連合大会 (2009 年 5 月 16 日幕張メッセ)

⑳石丸聡子, 荒井章司, 川本竜彦, 山本順司, 火山フロント下マントル中の流体: アバチャかんらん岩のかんらん石・斜方輝石中の包有物. 地球惑星科学連合大会 (2009 年 5 月 16 日幕張メッセ).

[その他]

アウトリーチ活動 (川本竜彦)
日本地球化学会講師派遣事業による授業と体験実験

① 大分市立滝尾中学校「暖かい氷を作る」
2012 年 3 月 5 日
<http://kyouiku.oita-ed.jp/gimu/滝尾中学校出前授業.pdf>

② 広島県私立鈴峰女子高等学校「あたたかい氷をつくろう」2011 年 11 月 18 日
<http://www.suzugamine.ac.jp/high/tokushoku/event1111.html#s20111118>

③ 長崎県佐世保市立広田中学校「地球の中のマグマと水を目で見よう～あたたかい氷をつくろう～」2011 年 10 月 14 日
<http://www.city.sasebo.ed.jp/jh-hiroda/04653-DEFAULT-00000000.html>

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

(2) 研究分担者

小木曾 哲 (Kogiso Tetsu)
京都大学・大学院人間・環境学研究科・准教授
研究者番号: 60359172

山本 順司 (Yamamoto Junji)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 60378536

三宅 亮 (Miyake Akira)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 10324609