

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540504

研究課題名（和文） 高温高压実験による沈み込むスラブ由来流体の化学組成の理解

研究課題名（英文） Understanding of chemical composition of subducting slab derived fluids under high temperature and high pressure conditions

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：

水に富む流体と(1)堆積岩、および、水に富む流体と(2)高マグネシウム安山岩との間の臨界終端点を決定した。その結果、(1)火山フロントの下のスラブ直上では、沈み込む堆積岩層からマントルに付加される流体は、たつぷりとケイ酸塩成分を溶かし込んだ超臨界流体で、(2)マントルウェッジ内を上昇する高マグネシウム安山岩質成分を溶かし込んだ超臨界流体は、マグマと水流体に分離しマントルとそれぞれ反応し、2種類のマグマを作る仮説を提案する。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,800,000	540,000	2,340,000
20年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

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、臨界現象、高温高压、マントル

## 1. 研究開始当初の背景

(1)沈み込むスラブから放出される水に富む流体は、スラブ内では含水鉱物に含まれているが、高温高压条件になるに従い脱水し、浅いところでは、プレート境界の地震や低周波微動を引き起こし、深いところではマントルウェッジを上昇し温度の低い比較的前弧では湧水となり、より深部ではマグマを作る。沈み込むスラブからの流体が、沈み込み帯でのマントルの融解を引き起こしていると考えられている。

(2)マグマと水を主成分とするフルイドの2種類の流体は低圧条件においては、マグマと

フルイドとして独立に存在するが、地下深部の高温高压条件下では両者の性質は近づく。臨界終端点よりも高压では、マグマと水の区別がつかず超臨界流体になる。定性的には50年前からこのように考えることが可能であったが、臨界終端点がどのくらいの圧力になるのかは多くの研究者にとって想像がつかなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、堆積岩と高Mg安山岩マグマと水に富む流体の間の臨界終端点の圧力条件を決定することを目的とした。その理解に

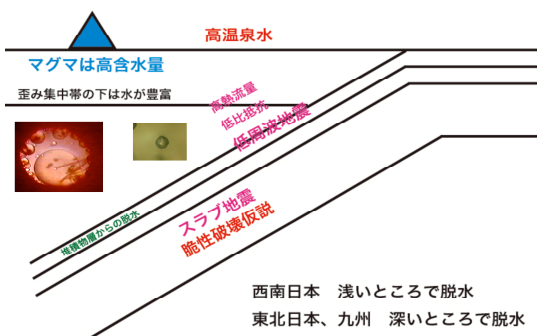
よって、マグマ成因に新しい考え方を導入することをめざした。

### 3. 研究の方法

大型放射光実験設備である SPring-8 のビームライン 04B1 に設置されているマルチアンビル型高圧発生装置 SPEED1500 を用いた。高圧発生装置の中心に試料を置き、高圧高温条件におき、高温高圧状態下にある試料に放射光を通過させ、その透過像を X 線カメラによりリアルタイムで観察する。最初に圧力を上げ、目的圧力に到達した後に温度を上げる。マグマのソリダス温度以上に昇温するとメルトが生じ、メルトとフルイドでは X 線吸収係数が異なるため、透過像において 2 相は区別できる。圧力が臨界終端点よりも高くなると、温度上昇にともなって、2 相を観察することはもはや出来なくなり、その条件を臨界終端点とした。

### 4. 研究成果

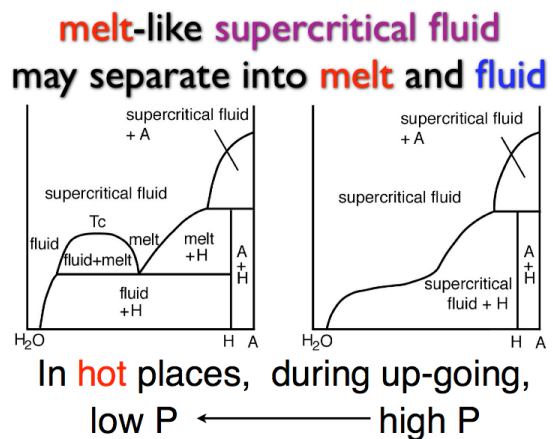
(1) 本研究によって、海洋堆積岩と高マグネシウム安山岩の組成をもつメルトと、水に富む流体の間の区別がなくなる温度圧力条件（臨界終端点）の圧力は、これまで想像されてきた圧力よりも低く（深さ 75km（堆積岩）-90km（高マグネシウム安山岩）であることを確認した。火山フロントの下のスラブの最上部にある堆積岩層では、水に富む流体とマグマの区別はつかない。つまり、火山弧の下ではたつぷりとケイ酸塩成分を溶かし込んだ超臨界流体が、スラブ最上部からマントルウェッジに放出される。



図は沈み込み帯の断面図。沈み込むスラブから放出される水に富む流体は、高温高圧条件になるに従い脱水し、沈み込み帯でのマントルの融解を引き起こしている。

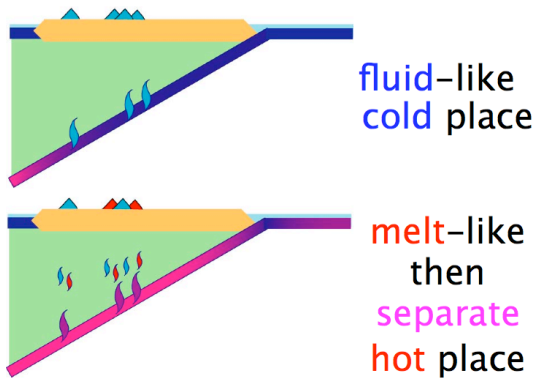
(2) どの程度のケイ酸塩成分を溶け込ませているかは、温度条件に依存している。すなわ

ち、西南日本弧のような暖かい沈み込み帯ではより多くのケイ酸塩成分を溶け込ませているが、東北日本弧のような冷たい沈み込み帯ではケイ酸塩成分はすくないと予想する。暖かい沈み込み帯では、沈み込む堆積岩中の含水鉱物の脱水分解によって放出される濃い超臨界流体は、マントルウェッジに移ると、マントルと反応し化学組成を高マグネシウム安山岩に変化すると考えられる。これは、この圧力条件でかんらん岩と共存する水流体に溶け込むケイ酸塩成分が高マグネシウム安山岩組成を持ちうるという研究結果から推定できる (Ayers et al. 1997, Earth and Planetary Science Letters)。その高マグネシウム安山岩質のケイ酸塩成分を溶かし込んでいる超臨界流体は、上昇する際に臨界終端点である 90km 程度の深度で、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（下の図の右から左へ）。



図は岩石 A と水との間の相平衡図で縦軸は温度。図右の高圧条件では超臨界流体のみが存在するが、濃い超臨界流体が上昇すると、図左のようにマグマと水流体に分離する。

(3) このように分離したマグマと水流体はそれぞれがマントルと反応し、2 種類のマグマを作る可能性がある。沈み込み帯の火成活動では、「カルクアルカリ系列とソレイト系列」、「アダカイトマグマと非アダカイトマグマ」また「高マグネシウム安山岩と玄武岩」など 2 種類の独立なマグマ系列が共存していることが多く、この 2 系列のマグマの共存は、スラブ起源流体がマグマと水流体へ分離することが原因と考える。



図の上が低温の沈み込み帯でスラブからは薄い水流体が放出される。図の下は高温の沈み込み帯で濃い超臨界流体がスラブからマントルに放出され、そのような超臨界流体は上昇に伴い水流体とマグマに分離する。

(4) 以上述べたことをまとめ、今後の展望を示す。本研究では、高温高压条件下で、X線ラジオグラフィ法を用いて実験を行ない、(1) 堆積岩と水に富む流体と(2) 高マグネシウム安山岩と水に富む流体の間の臨界終端点を決定した。その結果、火山フロントの下のスラブ直上では、沈み込む堆積岩層からマントルに付加される流体は、たつぷりとケイ酸塩成分を溶かし込んだ超臨界流体であることを示し、このケイ酸塩成分を溶かし込んでいた超臨界流体は、マントルウェッジと反応して高マグネシウム安山岩質に組成を変化すると提案する。そして、マントルウェッジ内を上昇する際に高マグネシウム安山岩質の成分を溶かし込んだ超臨界流体は、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可能性があると考えられる。このように分離したマグマと水流体はマントルとそれぞれ反応し、2種類のマグマを作るという仮説を提案する。この仮説により、暖かい沈み込み帯に特徴的に産出する「アダカイトマグマと非アダカイトマグマ」や「高マグネシウム安山岩と玄武岩」など、時間と空間を同じくする2種類のマグマの共存関係を説明できる。この仮説は、水流体とマグマの間での鍵になる元素の分配関係が高温高压条件下で理解されることによって検証される。

#### 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5件)

1. Yoshikawa, 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. Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle: From Archaean to Present Day. Geological Society of London (in press)

2. 川本童彦, 高松尚久, 黒岩健一, 高压下の氷の分子模型をつくる一水の構造を理解するために— 現代化学, 444, 51-54, 2008. (査読なし)

3. Andrault, D. Bolfan-Casanova, N., Bouhifd, M.A., Guignot, N., Kawamoto, T., The role of Al-defects on the equation of Al-(Mg,Fe)SiO<sub>3</sub> perovskite, Earth and Planetary Science Letters, 263, 167-179 (2007)

4. Fukui, H., Huotari, S., Andrault, D., Kawamoto, T., Oxygen K-edge fine structures of water by x-ray Raman scattering spectroscopy under pressure conditions. Journal of Chemical Physics, 127, 134502(1-4) (2007)

5. Mibe, K., Kanzaki, M., Kawamoto, T., Matsukage, K. N., Fei, Y., Ono, S., Second critical endpoint in the peridotite-H<sub>2</sub>O system, Journal of Geophysical Research, 112, B03201 (1-8). (2007)

[学会発表] (計18件)

1. T. Kawamoto, Fluids in subduction zone 1: significance of elemental partitioning between aqueous fluids and silicate melts. 1st TANDEM Workshop 2008, 2008年11月, GRC, Ehime University

2. 川本童彦, 神崎正美, 三部賢治, 松影香子, 小野重明, スラブ由来流体相が超臨界流体であることの意義, 日本地質学会, 日本鉱物科学会, 2008年9月, 秋田大学

3. 川本童彦, 沈み込み帯でのマグマ作りに二酸化炭素は重要か? 地球化学会年会, 2008年9月, 東京大学教養学部

4. 浜田盛久, 川本童彦, 藤井敏嗣, 火山フロントに産する玄武岩質マグマのCaに富む斜長石斑晶の含水量. 日本地球惑星科学連合大会, 2008年5月, 幕張メッセ

5. 浜田盛久, Didier Laporte, Nicolas Cluzel, Kenneth Koga, 川本童彦, 高速減圧実験により得られる珪長質マグマの気泡数密度. 日本地球惑星科学連合大会, 2008年5

月，幕張メッセ

6. 水上知行，荒川雅，山本順司，鍵裕之，榎並正樹，川本竜彦，小林記之，平島崇男，小山内康人，石橋秀巳，Madhusoodhan Satish-Kumar，ラマン密度計のための二酸化炭素標準試料．日本地球惑星科学連合大会，2008年5月，幕張メッセ

7. 川本竜彦，神崎正美，三部賢治，松影香子，小野重明，臨界終端点を探す：ミベセルを用いたX線ラジオグラフィは不当に低い圧力を提案しているのか？日本地球惑星科学連合大会，2008年5月，幕張メッセ

8. 川本竜彦，高松尚久，黒岩健一，モル・タロウで高圧の氷の分子模型を作る．日本地球惑星科学連合大会，2008年5月，幕張メッセ

9. 川本竜彦，熊谷仁孝，中越邁，佐藤良祐，黒岩健一，高松尚久，高圧条件における水と氷6と氷12のその場観察とラマン分光．日本地球惑星科学連合大会，2008年5月，幕張メッセ

10. Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Matsukage, K. N., Ono, S., Looking for critical endpoints between silicate melts and aqueous fluids using x-ray radiography MISASA-III 2008年3月 鳥取県三朝町

11. Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Matsukage, K. N., Ono, S., Looking for Critical Endpoints in Aqueous Fluids and Rocks: Input and Then Separation of Supercritical Fluids Underneath Volcanic Arcs アメリカ地球物理学連合 2007年12月 サンフランシスコ 合衆国

12. 川本竜彦，神崎正美，炭酸塩マグマとケイ酸塩マグマの不混和現象の直接観察，日本鉱物科学会，東京大学 2007年9月

13. 浜田盛久，藤井敏嗣，川本竜彦，島弧の火山フロントに産する玄武岩質マグマのCaに富む斜長石斑晶の含水量とメルト包有物の含水量の比較，京都大学 21世紀COEプログラム「活地球圏の変動解明」別府シンポジウム2007(2007年9月，別府市B-conプラザ)

14. 浜田盛久，藤井敏嗣，川本竜彦，島弧の火山フロントに産する玄武岩質マグマのCaに富む斜長石斑晶の含水量とメルト包有物の含水量の比較，日本鉱物科学会 2007年度年会(2007年9月，東京大学)

15. 川本竜彦，神崎正美，三部賢治，松影香子，小野重明，火山弧のスラブ由来流体は超臨界状態で，上昇中に水流体と含水メルトに分離する，日本地球惑星科学連合大会，2007年5月，幕張メッセ

16. 川本竜彦，芳川雅子，山本順司，フランス中央山塊のマントル捕獲岩：温度圧力条件とフロゴパイトにとむ脈が部分融解してできた発泡したガラス，日本地球惑星科学連合大会，2007年5月，幕張メッセ

17. Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Matsukage, K. N., Ono, S., Second critical endpoint between aqueous fluids and high-magnesian andesite/ oceanic sediment, 第7回高圧地球科学セミナー(HPMS)2007年5月 宮城県松島

18. 熊谷仁孝，神崎正美，川本竜彦，ラマン分光実験と分子動力学計算から見た純水とアルカリ塩化物水溶液の水素結合の違い，日本地球惑星科学連合大会，2007年5月，幕張メッセ

#### 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

なし

##### (3) 連携研究者

なし