

令和元年6月8日現在

機関番号：87101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05352

研究課題名(和文) ヒスイ輝石岩に包有されたスラブ起源流体の塩濃度

研究課題名(英文) Salinity of slab-derived fluid in jadeitites

研究代表者

重野 未来 (Shigeno, Miki)

北九州市立自然史・歴史博物館・自然史課・受託研究生

研究者番号：90749558

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：日本各地のヒスイ(ヒスイ輝石岩類)と、その鉱物中の微小な流体包有物(数マイクロン)の内容物と塩濃度を調査した。プレート収束域で生成したヒスイには、沈み込んだ花こう岩類が変成作用を受け、沈み込むスラブ表面に沿って上昇する経路を経たものと、スラブ流体から生成した(スラブ表面から離れる経路の)ものがあった。スラブ表面に沿って上昇したヒスイ輝石岩とその曹長岩反応縁は薄い塩水を取り込み、スラブ流体から生成したものは濃い塩水を取り込んだ。これはスラブ表面付近の塩水が薄いことを示唆する。これよりヒスイの2つ成因を共に説明した新しいモデルと、成因の異なるヒスイに取り込まれたスラブ流体の2つの循環経路を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球規模の物質循環の中で、プレート収束域において過去にヒスイの生成や発達に関わる物質移動に重要な役割を果たした、海水起源とされる塩水の情報を捉えた。プレート収束域の地殻-マントル境界付近において、過去に地下深く沈み込んだヒスイ(日本産)と、その鉱物中に数マイクロンの微小な包有物としてカプセルのように保存された塩水を調べた。塩水の内容物と塩濃度の違いから、ヒスイの2つの成因を共に説明する新たなモデルを考案した。さらに、成因の異なるヒスイに封じ込められて運ばれた、地下深部の水の2つの循環経路を提唱し、国石としても知られるようになったヒスイの成因と科学的意義を示した。

研究成果の概要(英文)：Major components and salinity of fluid inclusions (liquid + gas bubble) in jadeite-quartz rocks, quartz-bearing jadeitite with albitite rind, albite-jadeitites from Japan were examined to find traces of slab-derived fluids in subduction-zone channels between the subducting slab and the mantle wedge.

The quartz-bearing jadeitite with albitite-rind developed along the slab-surface. Fluid inclusions in the both specimens showed low salinity (less than 5 wt% NaCl eq.). On the other hand, albite-jadeitites were formed by precipitation, when the slab-derived fluids went into the mantle wedge. Fluid inclusions in the albite-jadeitites showed higher salinity (more than 6 wt% NaCl eq.) and have small amount of methane. These results explain process of petrogenesis (origin, metamorphic condition and different appearance) of two types of jadeitite and two circulating paths of slab-derived fluids in subduction-zone channels.

研究分野：岩石・鉱物・構造

キーワード：流体包有物 流体包有物の塩濃度 スラブ流体 ヒスイ輝石岩 曹長岩 蛇紋岩メランジ 沈み込み帯

1. 研究開始当初の背景

(1) マントル捕獲岩の塩水包有物はスラブとともに沈み込んだ海水

フィリピン島のピナツボ火山や東北日本の一ノ目湯火山のマントル捕獲岩には、NaCl 換算で 4~5 重量%の塩濃度を示す塩水包有物が含まれる (Kawamoto et al., 2013; Kumagai et al., 2014)。この塩水の起源は、ハロゲン元素の比率からスラブとともに沈み込んだ海水と考えられる (小林ほか, 2013)。そうであればスラブの脱水でできる変成流体も塩水のはずである。塩水は真水より多くの物質を溶解できるうえ、塩濃度が流体-岩石間の元素分配に影響を与える (Keppler, 1996)。このように変成流体の塩濃度は沈み込み帯の物質循環モデルにおいて重要であるが、その実態やスラブからマントルへの塩水の移動過程はあまり分かっていなかった。

(2) なぜヒスイ輝石岩や曹長岩に着目するのか？

ヒスイ輝石岩は主にヒスイ輝石でできた岩石である。主に曹長石でできた曹長岩を伴って低温高圧型変成帯の蛇紋岩メランジに産することが多い。近年の研究は、ヒスイ輝石岩が流体からの沈殿や流体と岩石の交代反応でできることや、生成条件を示す鉱物、石英を含むものと曹長石を含むものがあることを明らかにした (Tsuji-mori & Harlow, 2012)。このことは、ヒスイ輝石岩が生成深度に応じた流体組成を記録した可能性を示していると考えた。

(3) これまでの研究成果と着想に至った経緯

本研究では、長崎変成岩類の蛇紋岩メランジから石英包有物を含むヒスイ輝石岩を発見し、その形成過程を明らかにした (Shigeno et al., 2005, 2012)。すなわち、石英包有物のあるヒスイ輝石結晶のコアは高圧下の曹長石の分解 (曹長石 = ヒスイ輝石 + 石英) ででき、リムは岩塊が蛇紋岩メランジに取り込まれた際に流体との交代反応でできたと考えた。この研究過程でリムに多くの流体包有物を認めたとともに (図 1) 全岩化学分析により、ヒスイ輝石岩を包む曹長岩反応縁が塩水に溶けやすい Pb を含むことを明らかにした (Shigeno et al., 2012)。この成果から、流体包有物を分析してスラブ-マントル境界における流体の塩濃度を直接的に読み取る本研究を着想した。

< 引用文献 >

Kawamoto et al. (2013) PNAS, 110, 9663-9668.

Keppler (1996) Nature, 380, 237-240.

小林ほか (2013) 日本地球化学会年会要旨集, 60, 54.

Kumagai et al. (2014) Contrib. Min. Petrol., 168, 1056.

Shigeno et al. (2005) JMPS, 100, 237-246.

Shigeno et al. (2012) Eur. J. Mineral., 24, 289-311.

Tsuji-mori & Harlow (2012) Eur. J. Mineral., 24, 371-390.

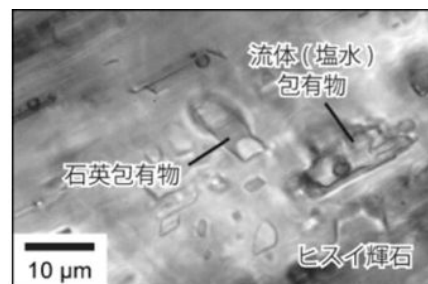


図 1. 長崎産ヒスイ輝石岩中の石英包有物と流体(塩水)包有物

2. 研究の目的

本研究は地球規模の物質循環のうち、プレート収束域の沈み込み帯における物質移動の解明を目指して、蛇紋岩メランジに含まれる構造岩塊の一種、ヒスイ輝石岩類を対象として、その生成時に関わった地下深部の流体の実態を知ることが目的としたものである。

3. 研究の方法

- (1) 野外調査による試料採取、博物館や大学の所有する標本調査を実施した。試料採取が困難な場合には標本を購入した。
- (2) 観察用岩石薄片および分析用両面研磨片を作成し、顕微鏡観察 (偏光顕微鏡および SEM) を行い、流体包有物の産状と岩石組織を観察した。
- (3) 構成鉱物の鉱物化学分析を SEM/EDS を使用して行った。
- (4) ラマン分光光度計 (顕微ラマン) を使用し、鉱物中の流体包有物の内容物の主成分を調べた。
- (5) 氷点降下法の原理で、加熱・冷却ステージ付き偏光顕微鏡を使用して、流体包有物の氷点を測定し、塩濃度 (重量%NaCl 換算) を求めた。

4. 研究成果

4-1) 日本産の石英ヒスイ輝石岩(北海道神居古潭、関東山地寄居)、曹長石ヒスイ輝石岩(糸魚川、中国山地大屋)中の流体包有物の内容物、流体包有物の塩濃度の測定結果が得られた。

日本産のヒスイ輝石岩についても海外の研究例と同様に、沈み込み帯における生成深度が深い石英ヒスイ輝石岩のほうが曹長石ヒスイ輝石岩よりも塩濃度が低い(最頻値 4~5 重量%NaCl 換算)傾向が見られた。つまり、全体的な傾向として、到達深度の深いヒスイ輝石岩の方が塩分の薄い塩水を取り込んで上昇したことがわかった。石英ヒスイ輝石岩の流体包有物の塩濃度の値が広い範囲を示したことから、上昇過程の複雑な地質現象を反映している可能性がある。

一方、前者に比べて生成深度が浅い曹長石ヒスイ輝石岩については、組織観察の結果、原岩が存在した証拠は見られなかったため、流体起源と考えられる。これらは塩濃度が高く(最頻値 6 重量%NaCl 換算以上)、少量のメタンを含む。また、産地不詳の寄贈標本の曹長石ヒスイ輝石岩のいくつかを予備実験に使用しており、内容物、流体包有物の塩濃度の測定結果は同様の傾向を示した。

その他のヒスイ輝石岩(若桜、大佐山)、オンファス輝石岩類(長崎、高知)、曹長岩(神居古潭、大屋、下仁田)などの試料の分析を試み、少数の結果が得られたものもある。

4-2) 本研究者らの独自の視点から、長崎産の石英包有物を含むヒスイ輝石岩に加えて、それを取り巻く曹長岩反応縁中の流体包有物についても研究対象とし、それらの内容物と流体包有物の塩濃度の分析結果を得た。

これらの長崎産の試料は、岩塊の生成条件(Shigeno et al., 2005)と原岩の火成作用年代(Mori et al., 2011)生成発達時の交代作用の特徴(Shigeno et al., 2012)とその年代(Mori et al., 2007, 2011)が既に明らかなため、その形成史にスラブ流体の情報を加えることができた。

石英包有物を含むヒスイ輝石岩は、元の岩石は花こう岩類(ヒスイ輝石岩中のジルコンコア年代: 130Ma 頃)であったがプレート収束域で沈み込み、高圧条件下(ヒスイ輝石+石英の安定領域)で変成作用を受けてヒスイ輝石岩となった。一方、ウェッジマントルではマントル物質が蛇紋岩化して蛇紋岩メランジを形成し、同時に蛇紋岩メランジに取り込まれたヒスイ輝石岩塊は 80-90Ma 頃(ジルコンリム年代)に 4 重量%NaCl 換算程度の塩分を含むスラブ流体の交代作用を受け、さらに 3 重量%NaCl 換算程度の塩分と少量のメタンを含むスラブ流体の交代作用を受けながら曹長岩反応縁を形成して上昇した。これらの交代作用ではシリカをはじめ、多くの化学成分の移動があった。

4-3) 特筆すべき成果として、長崎産の石英包有物を含むヒスイ輝石岩と取り巻く曹長岩反応縁中の流体包有物は、共に塩濃度は低いという興味深い結果から、次のような研究の発展があった。

図2のように、この岩塊はスラブ表面に近い経路(黒矢印)を経てスラブ表面に沿うように上昇したことが分かった。このことは言い換えれば、スラブ表面付近の流体は塩濃度が低いことを示唆する。さらに、4-1)の述べた各地の曹長石ヒスイ輝石岩類についての結果を加え、プレート収束域でスラブ流体から直接沈殿してできた曹長石ヒスイ輝石岩類はスラブ表面から離れる経路(白矢印)を経て上昇したとすると、本研究の流体包有物の内容物とその塩濃度の結果をうまく説明できる。

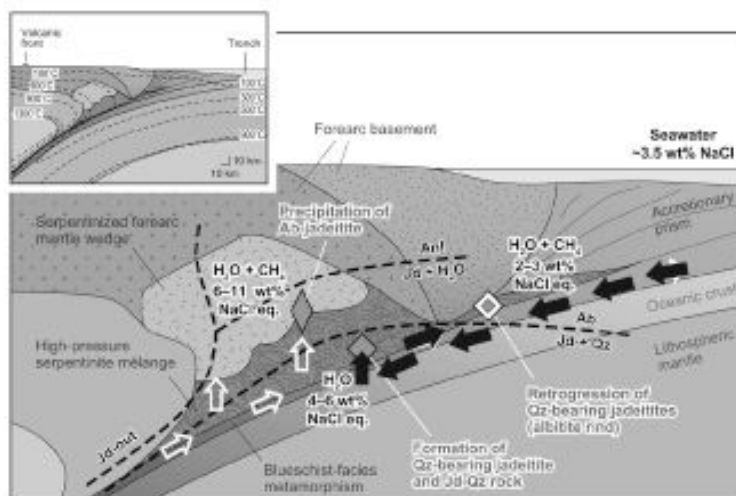


図2. 沈み込み帯断面におけるヒスイ輝石岩類の生成・発達過程、流体包有物の主成分とその塩濃度およびスラブ流体の移動経路(Harlow et al., 2015; Shigeno et al., 2017 に加筆)

4-4) 本研究で対象とした岩石の流体包有物の内容物、流体包有物の塩濃度の違いが、これらの上昇経路だけでなく、ヒスイ輝石岩の異なる主な2つの成因((1)流体からの沈殿、(2)原岩の変成・交代作用)に結びつくことが明らかになり、2つの既存のヒスイ輝石岩の成因論を共に説明し得る、新たなモデルを考案した。つまり、(1)のタイプは流体がスラブ表面から離れるような流路を上昇し、脈状に沈殿して生成する。一方、(2)のタイプは沈み込んだ地殻物質がブロックとなって地下深くに到達し、ヒスイ輝石+石英の安定領域の変成作用を受け、マントル物質から蛇紋岩となってできた蛇紋岩メランジに取り込まれたのち、長崎産の試料のようにスラブ表面に沿って上昇すると反応縁を形成しつつ上昇する。従来、ヒスイ輝石岩の2つの成因とその必然性を共にうまく説明したモデルはなかったため、これは本研究の重要な成果の1つである。

<引用文献>

Mori et al. (2007) Abstract of JpGU, G122-P009. Mori et al. (2011) JMG, 29, 673-684.
Harlow et al. (2015) Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2015. 43:105-38.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

- (1) Miyazaki, K., Mori, Y., Nishiyama, T., Suga K., Shigeno, M., Determination of reaction kinetics using grain size: An application for metamorphic zircon growth. Terra Nova, 査読有, 30(2), 2018, 162-168, DOI:10.1111/ter.12322
- (2) Nishiyama, T., Mori, Y., Shigeno, M., Jadeitites and associated metasomatic rocks from serpentinite mélanges in the Nishisonogi metamorphic rocks unit, Nagasaki Metamorphic Complex, western Kyushu, Japan: a review. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読有, 112, 2017, 197-216 DOI:10.2465/jmps.1703222017
- (3) 西山忠男・森部陽介・森康・重野未来・湯口貴史, 開いた系における変成反応と物質移動の解析: 特異値分解法の新しい応用. 地質学雑誌, 査読有, 123, 2017, 717-731,
- (4) Nishiyama, T., Yoshida-Shiosaki, C., Mori, Y., Shigeno, M., Interplay of irreversible reactions and deformation: a case of hydrofracturing in the rodingite-serpentinite system. Progress in Earth and Planetary Science, 査読有, 4, 1. DOI 10.1186/s40645-016-0115-4

[学会発表](計14件)

- (1) Mori, Y., Shigeno, M. & Nishiyama, T., Mixing and reaction of rocks facilitate fluid flow along the forearc slab-mantle interface. JpGU Annual Meeting 2018
- (2) 重野未来・森康・宮崎一博・西山忠男, 炭質物ラマン地質温度計で推定した西彼杵変成岩類の変成温度構造. 日本地質学会第125年学術大会(札幌大会), 2018
- (3) 森康・重野未来・西山忠男, 沈み込みメランジにおける蛇紋岩の脱水交代作用: 深部スロースト地震との関連. 日本地質学会第125年学術大会(札幌大会), 2018
- (4) 宮崎一博・菅賢志・森康・重野未来・岩野英樹・檀原徹・八木公史・大林秀行・西山忠男・平田岳史, 高压型変成作用の継続時間と速度定数: 長崎変成コンプレックス西彼杵ユニットの例. 日本地質学会第125年学術大会(つくば大会), 2018

- (5) Mori, Y., Shigeno, M., Nishiyama, T., Fluid flow, fluid-rock interaction and slow earthquakes at the forearc mantle corner. JpGU-AGU Joint Meeting 2017
- (6) Shigeno, M., Mori, Y., Kawamoto, T., Nishiyama, T., Major components and salinity of slab-derived fluids: insights from fluid inclusions in jadeitites and jadeite-quartz rocks. JpGU-AGU Joint Meeting 2017
- (7) Nishiyama, T., Nishi, U., Yoshiasa, A., Ishimaru, S., Terauchi, M., Arai, S., Mori, Y., Shigeno, M., Ohfuji, H., Deep subduction and the ultrahigh-pressure metamorphism of a Cretaceous accretionary prism, the Nishisonogi metamorphic rock, western Kyushu, Japan: Finding of diamond-graphite aggregates. JpGU-AGU Joint Meeting 2017
- (8) 森康・重野未来・西山忠男, 沈み込み帯メランジュにおける流体移動メカニズムと深部スロー地震の関連(予察), 日本地質学会第124年学術大会, 2017
- (9) 森康・重野未来・西山忠男, 蛇紋岩メランジュにおける流体岩石相互作用と反応促進型透水性: 深部スロー地震との関連, 日本地質学会第123年学術大会, 2016
- (10) 重野未来・森康・川本竜彦・西山忠男, ヒスイ輝石岩類と曹長岩類の流体包有物からのスラブ流体へのアプローチ, 日本鉱物科学会, 2016
- (11) 西山忠男・吉田千里・森康・重野未来, 不可逆反応と変形の連結現象: ロジン岩-蛇紋岩系における水圧破碎の事例, 地球惑星科学連合大会, 2015
- (12) 重野未来・森康・川本竜彦・西山忠男, ヒスイ輝石岩の流体包有物の塩濃度~深さによる違いは見られるか?~, 日本鉱物科学会, 2015
- (13) 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, International Eclogite Conference, 2015
- (14) 宮崎一博・西山忠男・森康・重野未来・檀原徹・岩野英樹・八木公史・平田岳史, 西彼杵半島泥質片岩の変成岩組織, ジルコン U-Pb 年代, およびフェンジャイト K-Ar 年代. 日本地質学会第122年学術大会, 2015

〔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〕なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者

森 康 Mori Yasushi

北九州市立自然史歴史博物館・自然史課・学芸員

研究者番号：20359475

(2)研究協力者

西山忠男 Nishiyama Tadao

川本竜彦 Kawamoto Tatsuhiko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。