渡島大島と竹島海山(仮称)のかんらん岩捕獲岩の成因とその意義：日本海背弧海盆の上部マントルプロセス

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2017-10-05
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 二ノ宮, 小満
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26772

氏　　名	二ノ宮　小満
学 位 の 種 類	博士(理学)
学 位 記 番 号	博甲第９３４号
学位授与の日付	平成１９年３月２２日
学位授与の要件	課程博士（学位規則第４条第１項）
学位授与の題目	渡島大島と竹島海山（仮称）のかんらん岩捕獲岩の成因とその意義:日本海背弧海盆の上部マントルプロセス
論文審査委員（主査）	荒井　章司（自然科学研究科・教授）
論文審査委員（副主査）	石渡　明（自然科学研究科・教授），木原　國昭（自然科学研究科・教授），奥野　正幸（自然科学研究科・教授），長谷部　徳子（自然科学研究科・助教授）

Abstract

This paper presents new petrological data on the upper mantle of the Sea of Japan, one of the back-arc basins (= BAB). I obtained peridotite xenoliths from two localities; the Oshima-Oshima volcano and the Takeshima seamount (Fig. 1). Mantle peridotite xenoliths from the latter can be classified into two types (Types 1 and 2) in terms of REE pattern of clinopyroxene (= cpx). Type 1 Takashima peridotites (Cr# of spinels, 0.4-0.5) are similar to abyssal peridotites in terms of their major element chemistry and middle- to heavy-REE concentrations of cpx while cpx shows slight enrichment of LREE (= light REE). The Oshima-Oshima harzburgite (Cr# of spinels, 0.52) is similar to Type 1 Takashima peridotite in terms of REE pattern of cpx. Type 2 Takashima peridotites have high-REE cpx with flat to slightly LREE-enriched patterns and are quite similar to subcontinental peridotites xenoliths from China. Type 2 Takashima peridotites are a remnant of the continental lithospheric mantle rifted and thinned during the Japan-Sea opening.

The mantle diapir involved in the Japan-Sea opening is similar to the MORB source, and was affected by a flux from the downgoing slab. Deep magma processes for the BAB basalts genesis beneath the Sea of Japan are similar those of MORB.

1. はじめに

背弧海盆（縁海）とは，海洋底拡大により形成された背弧地域の盆地のことを指す．

背弧海盆拡大に関与したマントル物質や深部マグマ過程などに関しては不明な点が多い．背弧海盆の拡大は，現象としては「海洋底拡大」と同様であるが，プレートの沈み込みを伴うことから，関与したマントル物質は海嶺下のものとは異なることが予想される．また，オフィオライトの起源を背弧海盆に求める人も多い（例えば，Pearce *et al.*, 1984）が，背弧海盆リソスフェアの性質が未解明であるため，両者の直接の比較は今後の課題である．

そこで，日本海北部，北海道渡島半島西部に位置する渡島大島火山（北緯 41°30′，東経 139°22′）と，日本海南部，大和堆西側の対馬海盆上に位置する竹島海山（仮称，以下省略：北緯 38°12′，東経 132°34′）から得られたマントルかんらん岩捕獲岩から，日本海の上部マントルの性質および拡大に伴う上部マントルプロセスについての考察を行なった．マントルかんらん岩捕獲岩類は，渡島大島のものは，1741 年以降に噴出した安山岩に捕獲されたハルツバーガイトであり，竹島海山のものは，8.09 Ma の年代を示すアルカリ玄武岩中のレールゾライト～ハルツバーガイトである．

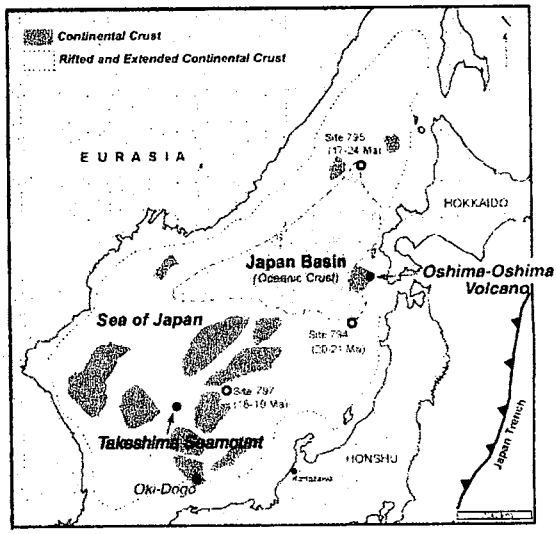

Fig. 1. Locality map of the "Oshima-Oshima volcano" and "Takeshima seamount". Division of the basement of the Sea of Japan is after *Jamaki et al.* (1992).

2. 岩石記載

扱ったかんらん岩捕獲岩は，大きさは数ミリ～3 cm と非常に小さいものである．後述するように，単斜輝石の微量元素組成の違いから，これらを 2 つのタイプ（タイプ 1 と 2）に分類する．

両地域のかんらん岩捕獲岩は，かんらん石（ol），単斜輝石（cpx），斜方輝石（opx），クロムスピネル（sp）よりなり，粗粒等粒状～ポーフィロクラスティック組織を呈する．かんらん石の大きさは細粒なもの（0.1 mm）から粗粒なもの（2 mm）まで多様であるが，比較的粗粒なものにのみ変形組織が観察される．Opx は ol と同様の大きさで，最大 2 mm 程度と粗粒であり，竹島海山のものは，捕獲岩の縁辺部では母岩との反応によ

り一部分解して細粒鉱物の集合体となっている．両地域のものとも，稀に粗粒な opx にも変形組織が観察される．流体包有物は，比較的粗粒な ol や opx 中に観察される．Cpx は少量含まれ，細粒（0.5 mm 以下）で他形～やや丸みを帯びて産する．Sp もごく少量含まれ，鏡下で淡褐色～褐色で，細粒で丸みを帯びたものからやや粗粒で他形を呈するものも認められる．Sp は，必ず両輝石に伴って産する．

3. 鉱物化学組成

3-1. 主要元素組成

竹島海山の 1 試料 (101-33) を除いては，両地域のかんらん岩中のolのFo値 (= 100Mg#) は 90～92，NiO含有量は 0.35～0.40 wt%である．SpのCr#は 0.2～0.5 で，多くは 0.4～0.5 に集中する．SpのMg#は 0.7～0.8 で，Cr#とMg#には負の相関が見られ，海洋底かんらん岩の領域内（Dick and Bullen, 1984）に収まる．OlのFoとspのCr#の関係から，両地域のかんらん岩は，1 試料を除いて，溶け残りスピネルかんらん岩に期待される領域（olivine-spinel mantle array: OSMA; Arai, 1994）内に収まる．Opxは，Mg#は 0.91～0.92 で，Al_2O_3を 2.0～3.5 wt%，Cr_2O_3を 0.4～0.6 wt%含む．Cpxは，Cr_2O_3を 0.8～1.2 wt%含むクロムディオプサイドで，Mg#は 0.92～0.93，TiO_2は 1 wt%以下，Na_2Oは 0.2～0.8 wt%である．SpのCr#とcpxのAl_2O_3量には負の相関が，spのCr#とcpxのCr_2O_3量には緩やかな正の相関が認められる．

3-2. 微量元素組成

CpxのREEパターンの違いから，竹島海山のかんらん岩は 2 つのタイプに分類される．1 つはHREEからMREEにかけて左下がりでMREEからLREEは左上がりで，全体としてU字形を示すものである．他方は，HREEからLREEにかけて左上がりのパターンを示すものである．それぞれを，タイプ 1，2 とする（Fig. 2）．渡島大島のハルツバーガイトは，タイプ 1 に属する．1 試料（102-06）を除くと，これら 2 つのタイプのcpxの組成領域は重ならない．Cpxの微量元素組成の違いは，spのTiO_2量やCr#，cpxのNa_2O量などの主要

元素組成と相関している．タイプ１のcpxはNa_2O量が低く（0.1～0.5 wt%），共存するspはTiO_2に乏しい（< 0.2 wt%）．一方，タイプ２のものはNa_2O量が比較的高く（0.5～1 wt%），共存するspはTiO_2に富む（0.2～1 wt%）．

両タイプのものは，spのCr#が増加するに従いcpxのHREE $(Yb)_N$が減少する傾向が見られ，両者の組成領域は重ならない．

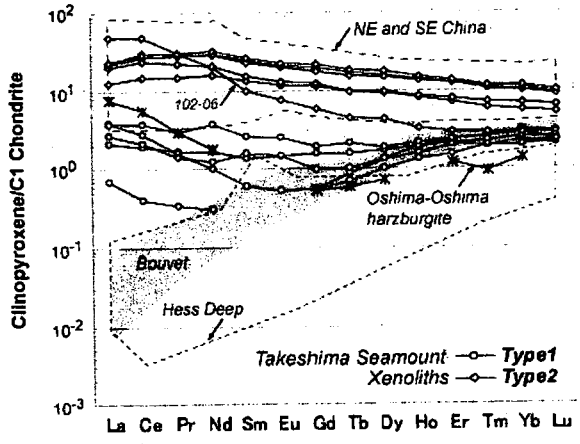

Fig. 2. Rare-earth element distribution patterns of clinopyroxenes in peridotite xenoliths from the Oshima-Oshima volcano and the Takeshima seamount. The Oshima-Oshima harzburgite and Type 1 Takashima peridotites compared with the abyssal peridotites (Bouvet: Johnson *et al.*, 1990; Hess Deep: Dick and Natland, 1996). (c) Type 2 peridotites compared with the peridotite xenoliths from China (NE China: Zhang *et al.*, 2000; Xu and Bodinier, 2004; SE China: Xu *et al.*, 2000).

4. 議論

日本海の基盤を構成する背弧海盆海玄武岩（= back-arc basin basalts, BABB）の形成年代は北部と南部で若干異なるものの，概ね 17～24 Ma である（Kaneoka *et al.*, 1992）．渡島大島，竹島海山の母岩の形成年代は，日本海南部の拡大時期（中新世）よりも有意に若い．つまり，両地域のかんらん岩捕獲岩は，日本海拡大時に形成されたリソスフェアに由来するものであり，日本海拡大時もしくは拡大後のプロセスを記録しているものと考えられる．これらは，上部マントルの溶け残りかんらん岩の組成範囲（OSMA）に収まり，日本海拡大時に形成された BABB の溶け残りかんらん岩である可能性がある．

4-1. タイプ１かんらん岩（以下で，渡島大島ハルツバーガイトを含む）

タイプ１かんらん岩は，spのCr#が比較的高く，概ね 0.4～0.5 に集中する．低いcpxのNa_2O量，spのCr#とMg#の関係，olのFo値とspのCr#の関係などの点で，海洋底かんらん岩と類似する（Dick and Bullen, 1984; Arai, 1991）．海洋底かんらん岩は，主としてメルト抽出（部分溶融）の影響のみを受けた溶け残り岩に近いため，部分溶融の程度が増すに従い固相に不適合な元素（REE，Ti，Zrなど）は減少する．海洋底かんらん岩中のものと比較して，タイプ１の単斜輝石はLREEが高く，REEパターンは全体としてU字形を

示す（Fig. 2）．しかし，M～HREE濃度は，ホットスポット近傍に位置する低速拡大軸系のBouvet断裂帯や高速拡大軸系のHess Deepなどで形成された枯渇度の高い海洋底かんらん岩の領域に収まる（Johnson *et al.*, 1990; Dick and Natland, 1996）．従って，REEパターンは異なるが，かんらん岩の枯渇度を示すHREE濃度の点からも，メルト成分に乏しい海洋底かんらん岩（Hellebrand *et al.*, 2001）と類似していると言える．単斜輝石のTi，Zr量の関係からも，Bouvet断裂帯やHess Deepなどの海洋底から得られる溶け残り岩と類似する．

しかし，タイプ1かんらん岩の単斜輝石は，海洋底かんらん岩中のものよりもLREE量が高い（Fig. 2）．テクトニックセッティングや日本海BABB形成時の流体の流入の影響（Allan and Gorton, 1992）を考慮すると，タイプ1かんらん岩は，ソースの溶融時にメルト抽出とLREEの富化を同時に受けて（Ozawa and Shimizu, 1995による開放系溶融プロセス）生成されたと考えられる．HREEは流体により動きにくく（Keppler, 1996; Bizimis *et al.*, 2000），かんらん岩中のHREE含有量は主として部分溶融度により支配される．タイプ1の単斜輝石のLREE量のばらつきは，溶融時におけるLREEに富むメルト／フルイドの流入率の違いによるものであろう．N-MORBと似た日本海BABBにはHFSE（Ta）の枯渇が認められる点（Allan and Gorton, 1992; Chen and Lee, 1996）や，高Cr#のスピネル（Cr# = 0.75, Fe^{3+}# = 0.05; Allan, 1992）の存在が示唆する高融解度などから，日本海BABBは，スラブ起源物質が流入し島弧環境下で背弧海盆リソスフェアが形成されたことが示唆される．

4-2. タイプ2かんらん岩

竹島海山のタイプ2かんらん岩は，タイプ1のものと比べてspのTiO_2量やcpxのNa_2O量がやや高く，cpxのREEパターンは左上がりを示し（Fig. 2），タイプ1かんらん岩と明確に区別される．これらは，鉱物の主要元素組成の点では西南日本や中国大陸，韓国から得られるかんらん岩捕獲岩類と類似するが，spのCr#とcpxのHREEの関係や，cpx中のTi，Zrなどの微量元素組成を考慮すると，中国大陸東部から得られる顕生代に形成さ

れたとされる大陸下リソスフェアマントルのかんらん岩（Griffin *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 2000）と概ね一致する．

一般に，大陸性かんらん岩は，始原的かんらん岩よりもLREEなどの微量元素濃度が高く，交代作用を示す二次鉱物（角閃石などの含水鉱物）が形成されているものもあり，メルト抽出の効果のほかに交代作用を被っていると解釈されている（Xu *et al.*, 2000; Xu and Bodinier, 2004）．タイプ2かんらん岩中に二次的な含水鉱物は確認されないが，タイプ2に分類される試料の多くに流体包有物が認められ，タイプ分けができない4試料のうち3試料（cpxのNa_2O量が高いもの）にも同様の組織が見られる．

4-3. 両地域のかんらん岩捕獲岩が示す日本海拡大時の上部マントルプロセス

日本海の地殻は，渡島大島火山近傍の北部は海洋地殻で構成されているのに対して，竹島海山近傍の南部は伸張薄化した大陸地殻により構成される（Tamaki *et al.*, 1992）．大和堆周辺には，大陸性を示す基盤がブロック状に点在しており地形の起伏が激しいが，南部に位置するサイト797（Fig. 1）からもN-～E-MORB組成を有する日本海BABBが見出されている（Allan and Gorton, 1992; Chen and Lee, 1996）．よって，ソースの上昇により新たな海洋底リソスフェアが形成されたものの，南部では大陸地殻の伸張薄化によるプロセスが卓越したため，海洋性，大陸性の両方のリソスフェアが混在しているのであろう．つまり，タイプ2かんらん岩は，かつてのアジア大陸に存在していた大陸性マントルの名残である．タイプ1かんらん岩と日本海BABBの関係から，日本海背弧海盆リソスフェアの形成過程には，ソースの溶融時にLREEに富むメルト／フルイドの付加が関与していると考えられる．

背弧海盆の起源は多様である（Tamaki and Honza, 1991）ので，形成史に応じて様々なマントルかんらん岩が背弧海盆リソスフェアを構成しうる．日本海背弧海盆の拡大をもたらしたソースの上昇は，少なくとも竹島海山周辺（二ノ宮ほか，2007）から日本海盆の範囲を超えて，日本海東縁（二ノ宮・荒井，1992；Arai and Ninomiya, 2006）まで達している．上昇物質の付加により大陸縁はリフティングを起こし，大陸リソスフェアは

侵食される（Griffin *et al.*, 1998）．日本海南部では，大陸リソスフェアの伸張薄化が卓越したため，これらの一部は背弧海盆内に取り残される．

学位論文審査結果の要旨

二ノ宮小満さんの提出論文および，平成19年2月6日の口頭発表の結果をもとに審査委員会を開催し，以下の結論を得た。二ノ宮さんは，日本海の上部マントル構成およびマグマ過程を明らかにするために，渡島大島火山および竹島海山（仮称）から得られるかんらん岩捕獲岩を岩石学的に詳細に検討し，以下のような重様な知見を得た。（1）かんらん岩は単斜輝石のREEの特徴から二つのタイプに分けることが可能である。（2）一つは，比較的枯渇度の高いハルツバーガイトであり，HREEや主要元素鉱物組成からは海嶺かんらん岩に類似するが，LREEにやや富み，フラックス導入を伴う溶融作用の溶け残り岩であり，日本海を作った背弧海盆玄武岩マグマ生成と関係がある。（3）他はレールゾライトーハルツバーガイトであり，単斜輝石がLREEに富む。中国大陸から得られる大陸性かんらん岩に類似し，大陸リソスフェアの断片である。これらの二ノ宮さんの結果は，従来のテクトニックな日本海生成モデルをマントル岩石学的に支持するものである。本研究では，無人島である渡島大島火山の調査および竹島海山玄武岩からの捕獲岩発見など，研究試料の入手にも二ノ宮さんのきめ細かな作業が功を奏した。本研究の，従来手薄だった背弧海盆研究に対する貢献は大きい。よって，本審査委員会は全会一致で，本論文が博士（理学）の学位を与えるのにふさわしいものと判断する。