

[21021]

## アンデス弧と中新世西南日本弧火山岩のホウ素量による

### スラブ由来成分の検討

#### Study on the slab-derived component of the volcanic rocks in Andean arc and Miocene SW Japan arc by boron content

新正裕尚<sup>A)</sup>, 折橋裕二<sup>B)</sup>

Hironao Shinjoe<sup>A)</sup>, Yuji Orihashi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Center for General Education, Tokyo Keizai University

<sup>B)</sup> Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University

#### Abstract

We carried out prompt gamma analysis (PGA) for volcanic rocks of the Southern Volcanic Zone of the Andean arc and Miocene Setouchi Volcanic Zones in southwest Japan to obtain boron and chlorine contents using the thermal neutron beamline attached to the JRR-3. Since boron is the element that is abundant in the materials composing the subducting slab, it is usually used as the tracer of the slab-derived component in the arc magma. In this report, we describe a brief summary of our analysis and future implications for the tectonic setting of magmatism in those arcs.

**Keyword:** arc magmatism, boron, PGA, slab-derived component

#### 1. はじめに

沈み込み帯におけるマグマ成因を考える上で、マントルウェッジに付加したスラブ由来の物質の評価は重要な論点である。沈み込んだ物質、たとえば海洋堆積物に由来する物質が島弧マグマにリサイクルしていることは、<sup>10</sup>Be の検出により直接的に証明されている<sup>[1]</sup>。しかし、その媒体をはじめとする物質付加のプロセスについてはさまざまな議論があり、沈み込み帯の物理的条件により多様であると考えられる。たとえば、島弧下マントルに付加された物質がスラブ由来の流体であるのか、スラブが融解したメルトであるのかについても、古くから多くの議論が行なわれ、さらにスラブ由来の超臨界流体の付加による、沈み込み帯マグマの生成も提案されている<sup>[2]</sup>。

ホウ素はマントルかんらん岩中の含有量が乏しいのに対し、沈み込むプレート上の堆積物、変成玄武岩、蛇紋岩化したマントルには豊富に含まれ、かつ流体相により移動しやすい元素であることから、スラブ由来成分の検討に好適な元素である<sup>[3]</sup>。たとえば日本国内の島弧火山岩についての例として、東北日本弧のフロント上火山につき詳細な検討が行われ、スラブ由来流体の中でも、沈み込んだ堆積物、変成玄武岩それぞれの寄与の見積りがなされている<sup>[4]</sup>。

スラブ由来成分の付加のプロセスには沈み込み帯の温度構造が大きく影響する。そこで、海嶺沈み込みが見られ、海嶺からの距離に応じて沈み込むプレートの年齢が変化するため、沈み込み帯の温度構造の変化が追えることが期待される。南米アンデス弧の南部火山地域の第四紀火山岩を対象としてホウ素を含む全岩化学組成に基づく検討を行ってきた。2021 年度 JRR-3 の運転再開により、即発ガンマ線分析によるホウ素分析を実施し、まだ数は多くないが

新規のデータを付け加えることができたので、過去の研究結果とあわせて報告する。また、並行して、高温のプレート沈み込みによる火成活動と推定されている中新世西南日本弧の火山岩類についての分析も実施しているので、それらの分析結果についても簡単に述べる。

#### 2. アンデス弧と中新世西南日本弧の火成活動とホウ素含有量

##### 2.1 アンデス弧南部火山地域 (Southern Volcanic Zone) の島弧火山

アンデス弧は南米大陸の西海岸に南北およそ 7500 km にわたり分布し、そこには 200 以上の第四紀火山が存在する。火山弧は沈み込むスラブの傾角が小さい領域や海嶺衝突域に対応する volcanic gap で分断され、北より Northern Volcanic Zone, Central Volcanic Zone, Southern Volcanic Zone, Austral Volcanic Zone に区分される。

南部火山地域 (Southern Volcanic Zone, 以下 SVZ) は南緯 33.3 度から 46 度まで 1400 km にもわたる火山帯であり、北側は Pampean flat-slab segment, 南側はチリ海嶺の衝突帯に対応する volcanic gap により他の火山帯と隔てられている。SVZ には 70 以上の複合火山、9 個以上のカルデラ複合岩体をはじめとして、数百以上のスコリアコーンなどの小規模な噴出中心を含む<sup>[5]</sup>。上記の通り SVZ の南端の volcanic gap はチリ海嶺からの拡大直後のスラブ沈み込みに対応し、一方北端では約 45 Ma のナスカプレートが沈み込んでいる。このように沈み込むプレートの年代が北に向かって古くなるため、北側ほど低温の熱構造を持つスラブが沈み込んでいるものと考えられる。そこで Shinjoe et al. (2013)<sup>[6]</sup>は SVZ の第四紀フロント火山試料について JRR-3 を利用した即発ガンマ

[21021]

線分析で定量したホウ素を含む微量元素組成のデータセットを提示し、B/Nb 比の高い中部 SVZ の火山にはスラブ由来流体相の寄与が大きいことを示した。一方若いプレートの沈み込む南部 SVZ の火山は B/Nb 比が低い、他の微量元素組成からスラブ由来成分の寄与が見られるので、流体相ではなく、沈み込んだ堆積物由来メルトの付加の可能性について議論している。

このホウ素含有量の高いマグマを噴出する中部 SVZ, 特にビジャリカ火山周辺は、ナスカプレートの断裂帯が沈み込んだ付近にあり、断裂帯で発達した加水マントルから、マントルウェッジへの流体相の供給が促進されているという見解がある<sup>17)</sup>。そこで折橋らはビジャリカ火山周辺の火山から採取された試料についてホウ素を含む全岩化学分析を実施し、マグマソースについての検討を進めてきた<sup>18)</sup>。JRR-3 運転停止期間中はホウ素定量には ICP-MS をもちいていたが、2021 年度に実施した即発ガンマ線分析では、同じくビジャリカ火山周辺の Calbuco 火山、Casablanca 火山をはじめとする数カ所の火山から得た玄武岩や玄武岩質安山岩についてホウ素や塩素含有量の定量をおこない新規データを付け加えた。これらのデータにもとづくマグマ成因論についての学術論文を現在準備中である (Sato, Orihashi, et al., in prep.)。

## 2.2 中新世西南日本弧の瀬戸内火山岩類

2500 万年前から 1600 万年前ごろに日本海の拡大が起こり、その結果西南日本弧は時計回り回転をして、ユーラシア大陸から離れたとされる<sup>19)10)</sup>。回転の結果、拡大終焉期の高温の四国海盆スラブが西南日本弧に沈み込んだため、海溝寄りの地域で多様な火成活動が起こった。これらの海溝寄り火成活動は西南日本の回転と「ほぼ」同時期のものとされていたが、詳細な古地磁気研究による回転時期の絞り込み<sup>10)</sup>と、近年のジルコンを用いたウラン・鉛法による活動年代の再検討<sup>11)</sup>により、西南日本弧の回転直後に開始したものとみられている。なかでも瀬戸内地域にはマントルに由来する高 Mg 安山岩や玄武岩を含む瀬戸内火山岩類が分布し、その分布域は古典的に三河地域の設楽を東端とし<sup>12)</sup>、九州東部の大野<sup>13)</sup>に至るまで、島弧伸長方向におよそ 600 km の広がりを持つ。

マントル由来の高 Mg 安山岩マグマについては、高温の四国海盆スラブの部分融解液がマントルウェッジと反応することで生成したことが、主に瀬戸内海東部に位置する小豆島の岩石試料についての詳細な地球化学的検討により提案されている<sup>14)</sup>。しかし広域的な微量元素組成データが整っていないこと、および高 Mg 安山岩と共存する玄武岩の成因について不明な点が多いことから、これらマントル起源マグマに由来する岩石について紀伊半島から九州東部まで代表的な試料を採取し即発ガンマ線分析によるホウ素の定量を含む全岩組成分析を進めてきた<sup>15)</sup>。2021 年度は JRR-3 の運転再開により新規データを付

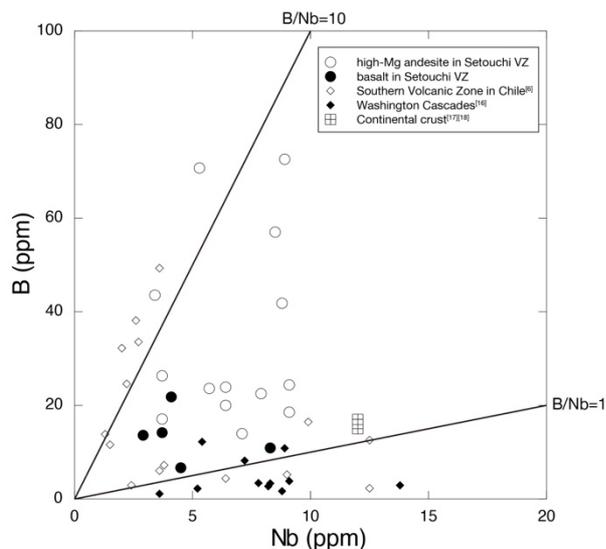


Fig. 1 Boron vs. niobium plot of the high-Mg andesites and basalts in the Setouchi Volcanic Zone. Data from arc volcanic rocks of the Southern Volcanic Zone in Chile and Washington Cascades in the western USA are plotted for comparison.

け加えることができた。具体的には瀬戸内海西部の松山地域の高 Mg 安山岩および関連試料、讃岐平野および周辺島嶼部の玄武岩試料についての分析を実施した。

分析結果の一例を Fig.1 に示した。瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩および玄武岩の全岩ホウ素含有量について過去の分析結果と 2021 年度の即発ガンマ線分析による結果をニオブ量に対して示したものである。比較のためにアンデス弧 SVZ<sup>16)</sup>および北米西部ワシントン州の Cascades 弧の文献値<sup>16)</sup>もあわせて示した。瀬戸内火山岩類の B/Nb 比は地域による分散が大きく、B/Nb 比の高い (>10) 中部 SVZ に近いものから、B/Nb 比の低い (~1) Washington Cascades に近いものまでである。一般的に同地域では高 Mg 安山岩の方が玄武岩より B/Nb 比が高い。地域による B/Nb 比の分散の原因はあきらかでないが、より空間的な密度を上げて収集した試料について分析を行うことで、単純にばらついているのか、島弧横断方向に傾向を持つのか見極めてゆきたい。

## 3. おわりに

最後に、本報告を受けた今後の研究計画について簡単に説明する。2022 年度からの新規 3 年計画として一般共同研究を申請しており、引き続き南米アンデス弧の第四紀火山岩および中新世西南日本弧の火山岩類をおもなターゲットとした即発ガンマ線分析を計画している。アンデス弧については SVZ の火山岩について、島弧伸長方向のデータの密度を上げるとともに、単独の火山で全岩組成にバリエーションの見られるものについて、スラブ流体の寄与の評価の指標としてホウ素含有量を求めてゆくことを考えて

[21021]

いる。西南日本弧の中新世火成岩については、高 Mg 安山岩や玄武岩について瀬戸内火山帯の全域にわたり密度を上げて分析を進め、島弧伸長方向の組成バリエーションが見られないか検討を加える。瀬戸内火山帯の拡がり、西南日本弧の時計回り回転直後の西南日本とフィリピン海プレートの位置関係等についての拘束条件を与え、西南日本の中新世テクトニクスについての情報をもたらすものである<sup>[19]</sup>。地質学的、地球年代学的データに加え、マントル起源マグマの生成条件の空間的な差異についての情報を得ることで沈み込んだ四国海盆スラブの温度構造等のバリエーションを見出すことを目指している。

## 参考文献

- [1] Tera, F. et al. (1986) Sediment incorporation in island-arc magmas: inferences from <sup>10</sup>Be. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50, 535–550.
- [2] Mibe, K. et al. (2011) Slab melting versus slab dehydration in subduction-zone magmatism. *Proc. National Acad. Sci.* 108/20 8177–8182.
- [3] De Hoog, J.C.M. and Savov, I.P. (2018) Boron isotopes as a tracer of subduction zone processes. In: Marschall, H. and Foster, G. (eds.), *Boron Isotopes the fifth element*, pp. 217–247.
- [4] Sano et al. (2001) Boron contents of Japan trench sediments and Iwate basaltic lavas, Northeast Japan arc: estimation of sediment-derived fluid contribution in mantle wedge. *Earth Planet. Sci. Lett.* 186, 187–198.
- [5] Stern, C.R. (2004) Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Rivista Geológica de Chile*, 31, 161–206.
- [6] Shinjoe, H. et al. (2013) Boron and other trace element constraints on the slab-derived component in Quaternary volcanic rocks from the Southern Volcanic Zone of the Andes. *Geochemical Journal*, 47, 185–199.
- [7] Manea, V.C. et al. (2014) Subduction of fracture zones controls mantle melting and geochemical signature above slabs. *Nat. Comm.*, 5, 5095, doi.org/10.1038/ncomms6095.
- [8] 佐藤亜樹・折橋裕二ほか (2021) アンデス南部火山地帯、第四紀島弧火山岩類のマグマ成因:ホウ素を含む全岩化学組成の特徴からの制約. *日本地球化学会第68年会予稿集*, p.118.
- [9] Otofujii, Y. et al. (1985) Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of Northeast Japan-rifting process of the Japan Arc. *Earth Planet. Sci. Lett.* 75, 267–277.
- [10] 星博幸 (2018) 中新世における西南日本の時計回り回転. *地質学雑誌*, 124, 675–691.
- [11] Shinjoe, H. et al. (2021) U-Pb ages of Miocene near-trench granitic rocks of the Southwest Japan arc: implications for magmatism related to hot subduction. *Geol. Mag.*, 158, 47–71.
- [12] 久野久 (1954) 火山及び火山岩, 岩波書店, 255 p.
- [13] Tatsumi, Y. et al. (2003) The petrology and geochemistry of high-magnesium andesites at the western tip of the Setouchi Volcanic Belt, SW Japan. *J. Petrol.*, 44, 1561–1578.
- [14] Tatsumi, Y. (2006) High-Mg andesites in the Setouchi Volcanic Belt, Southwestern Japan: Analogy to Archean magmatism and continental crust formation? *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 467–499.
- [15] 新正裕尚ほか (2017) 瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩の全岩微量元素組成. *日本火山学会 2017 年度秋季大会予稿集*. p.24.
- [16] Leeman, W.P. et al. (2004) Boron and lithium isotopic variations in a hot subduction zone—the southern Washington Cascades. *Chem. Geol.*, 212, 101–124.
- [17] McLennan, S.M. (2001) Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochem. Geophys. Geosys.* 2, 1021.
- [18] Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003) Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1–64.
- [19] Tatsumi, Y. et al. (2020) Contrasting volcano spacing along SW Japan arc caused by difference in age of subducting lithosphere *Sci. Rep.*, 10, 15005, doi.org/10.1038/s41598-020-72173-6