

[2024104103]

アンデス弧および西南日本弧の火山岩の スラブ由来成分の検討

Study on the slab-derived component of the volcanic rocks in the Andean arc and the southwest Japan arc

新正裕尚^{A)}, 折橋裕二^{B)}

Hironao Shinjoe^{A)}, Yuji Orihashi^{B)}

^{A)} Center for General Education, Tokyo Keizai University

^{B)} Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University

Abstract

We carried out prompt gamma analysis (PGA) for Quaternary volcanic rocks of the Southern Volcanic Zone of the Andean arc in Chile, Miocene Setouchi Volcanic Zones in the southwest Japan arc, and Miocene and Quaternary volcanic rocks of the northeast Japan arc to obtain boron and chlorine contents using the thermal neutron beamline attached to the JRR-3. In this report, we summarize the results of our analysis and future implications for the tectonic setting of magmatism in those arcs.

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

1. はじめに

島弧・海溝系におけるマグマ生成の議論においては、沈み込んだ海洋プレートに由来する成分の理解が欠かせない。そのため、火山岩試料の化学組成からマントルウェッジに付加したスラブ由来成分を評価する研究が広く行われている。スラブ由来成分は火山岩のさまざまな微量元素、特に不適合元素の組成や同位体組成に基づいて検討されるが、ホウ素はマントルのかんらん岩中の濃度が極めて低いのに対して、沈み込むプレートを構成する変質玄武岩や海洋底堆積物には豊富に含まれるので、沈み込むスラブに由来する成分の検出に適している。さらに他の不適合元素との関係により、変質玄武岩と海洋底堆積物それぞれの寄与を評価する試みもある。即発ガンマ線分析 (PGA) は岩石中のホウ素濃度を高感度かつ非破壊で分析できるので、このような目的の研究にはきわめて重要な分析法であると言える。

報告者はこれまでも、南米アンデス弧の第四紀火山岩および西南日本弧の新第三紀火成岩について即発ガンマ線分析によるホウ素・塩素含有量の測定を実施してきた。西南日本弧の新第三紀火成岩は拡大直後の四国海盆の沈み込みに関連するものとされる。一方、南米アンデス弧についても南部のチリ海嶺に近いところでは、若いプレートの沈み込みが見られる。その後年齢の古い太平洋プレートの沈み込みの見られる東北日本弧の第四紀、新第三紀火山岩についても分析対象を広げてきた。これらの研究対象は沈み込み年齢の差異による火山岩へのスラブ由来物質の付加の差異を検討することに加え、それぞれの地域のテクトニックな環境とマグマ成因の関連を検討することも目的として選択している。本報告書ではこれらの地域の火山岩試料について 2024 年度に実施した分析結果の概要について述べる。

2. 南米アンデス弧の火山岩分析

南米のアンデス弧は volcanic gap により隔てられた北から Northern Volcanic Zone, Central Volcanic Zone, Southern Volcanic Zone, Austral Volcanic Zone の 4 つの火山帯に区別される、われわれは、 33.3° - 46° S にわたり分布する Southern Volcanic Zone の第四紀火山岩を対象とした研究を行ってきた。Southern Volcanic Zone (SVZ) は北を Juan Fernandez ridge, 南を Chile Rise で隔てられる。Juan Fernandez ridge は非震性で火成活動の見られない海山列からなり、Chile Rise はナスカプレートと南極プレートの間の拡大軸である。従って SVZ の南端部では年齢が 0 に近い海洋底が沈み込んでいるのに対し、北部では約 35 Ma の海洋底が沈み込んでおり、火山弧に沿って沈み込むプレート年齢が北から南に若くなるという特徴がある。そこに着目して Shinjoe et al. (2013)[1] 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 PGA で定量したホウ素を含む微量元素組成のデータセットに基づきチリ海嶺から遠い中部 SVZ のマグマにはスラブ由来流体相の寄与が大きく、チリ海嶺に近く若いプレートの沈み込む南部 SVZ のマグマには堆積物由来メルトの寄与の可能性があることを論じた。この沈み込むプレート年齢の相違に加え、火山の位置する大陸地殻の厚さも北部では 55 km, 中部以南では 35 km 以下と変化する。そのため火山体に乗る基盤の標高も北部では 3000 m を超えるのに対し中部以南は 1000 m 以下となり、火山自体の標高もたとえば北部のサンホセ山では 5880 m にも及ぶのに対して南部では標高が減ずる。それにもかかわらず緯度が高くなるため山岳氷河の発達した南部 SVZ の火山はアプローチの困難なものが多く、これまで地球化学的な研究例は北部、中部 SVZ に比べて極めて少ない。Shinjoe et al. (2013)の研究でも南

[2024104103]

部 SVZ の多くの火山については代表的試料の分析値のみが与えられており、個別の火山のバリエーションなどはほとんど不明であった。そこで、南部 SVZ の個別火山からの複数試料について順次即発ガンマ線分析を進めており、2023 年度には Chaiten, Yanteles, Corcovado 火山の試料を分析したのに引き続き、2024 年度は Melimoyu 火山 (Fig. 1; 約 44° S, 標高 2400 m) の玄武岩および安山岩 15 試料の分析を行った。Corcovado 火山については石川(2023MS)[2]が堆積物・変成玄武岩質由来流体の付加でホウ素を含む微量元素組成比を説明する議論を行ったが、Melimoyu 火山についても同様の検討を行うべく、ホウ素以外の微量元素組成等の分析を現在準備している。

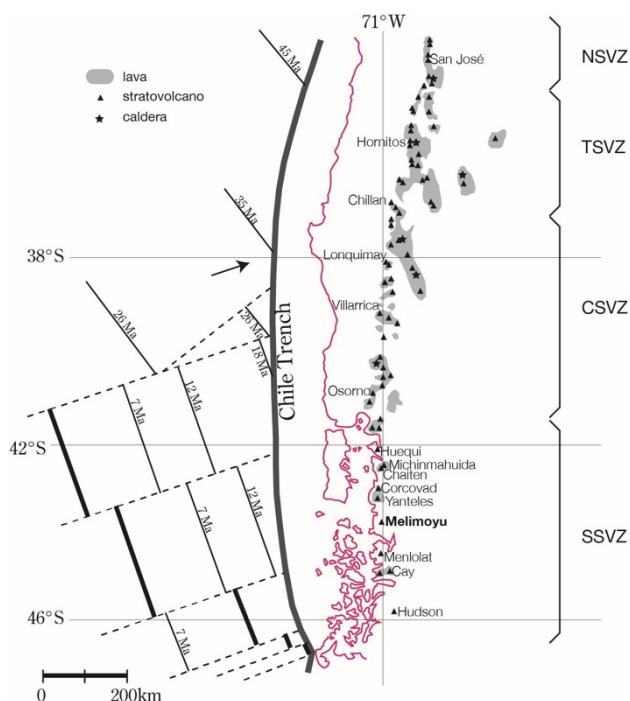


Fig.1 Index map of the Southern Volcanic Zone of the Andean Arc (modified from Shinjoe et al., 2013).

3. 中新世西南日本弧の瀬戸内火山岩分析

日本海の拡大モードについては諸説あるが、西南日本弧は日本海形成の末期に時計回り回転を経験し、その回転の終了は近年の詳細な古地磁気学研究により 1600 万年前ごろとされる。時計回り回転とほぼ同時期に広域的に西南日本弧の海溝寄り地域で見られた火成活動については、近年放射年代の見直しが進み、すべて回転後の活動であることが明確になった [3]。これら海溝寄り地域火成活動の中でも瀬戸内地域に分布する瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩や玄武岩などマントルかんらん岩と平衡にあったと考えられる初生的なマグマに由来する岩石群は、とりわけスラブ由来成分の議論に好適である。しかしこれらの岩石群について詳細な全岩化学組成の検討が行われているのは、東部瀬戸内海の小豆島に産するものなど一部に限られる。そこで、瀬戸内火山岩類の高

Mg 安山岩や玄武岩を広域的にサンプリングし、即発ガンマ線分析によるホウ素、塩素量を含む微量元素組成を中心とする全岩化学分析を継続的に進めてきた。2024 年度は大阪南部の汐ノ宮安山岩と九州西部天草地域の試料を新たに採取し分析を行った。過年度までの結果に新規の分析結果を加えた B-Nb 図を Fig.3 に示す。瀬戸内火山岩類の分布域西端は従来九州東部の大分県大野地域に分布するものとされてきたが [4]、近年さらに西方の天草地域まで広がること示唆されており [5][6]、今回新規に高 Mg 安山岩相当の試料を得て分析を試みた。Fig.3 では若いスラブ沈み込みの見られる島弧であるカスケード弧、南米チリ弧の南部 SVZ、九州西南日本弧 (由布, 鶴見火山) のデータは B/Nb が 1 に近いホウ素に乏しい領域にプロットされるのに対し、ある程度年齢の経過したスラブ沈み込みが見られる東北日本弧やチリ弧中部 SVZ のデータは B/Nb が 10 に近いホウ素に富む領域にプロットされる。瀬戸内火山岩類は両者にまたがってプロットされる。今回新規に分析した大阪南部の汐ノ宮安山岩はおよそ 50 $\mu\text{g/g}$ の高い B 濃度を持ち B/Nb=10 付近にプロットされる。分析済みの試料の中で同様の高 B 濃度をもつ岩石としては同様に大阪南部に産する鍋山安山岩があった。天草地域の高 Mg 安山岩組成岩脈は 5.7 $\mu\text{g/g}$ と B 濃度が低く B/Nb=1 付近にプロットされる。このように B 濃度や B/Nb 比には地域による差が見られる。瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩についてはほぼ小豆島の試料のデータのみに基づいて提案されている、沈み込んだ陸源堆積物を主体とするスラブ融解メルトがマントルかんらん岩と反応して生成したマグマに由来するという成因論 [7]が、このような B 濃度あるいは B/Nb の地域による大きなバリエーションを整合的に説明可能であるかについて今後検討を進めたい。

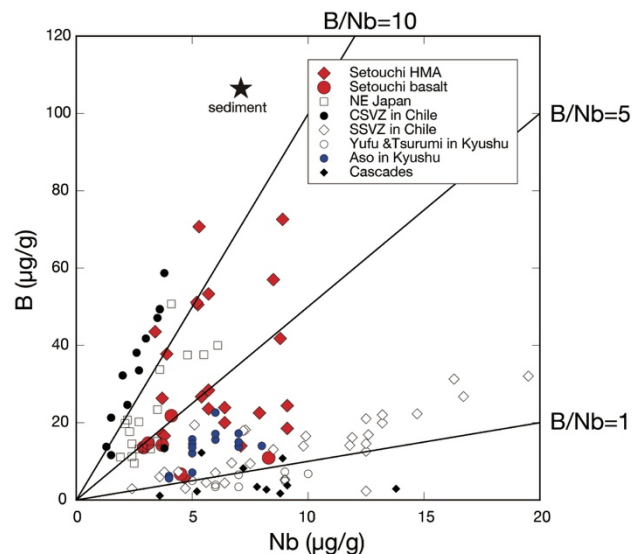


Fig. 3 Boron vs. niobium plot of the high-Mg andesites and basalts in the Setouchi Volcanic Zone. Arc volcanic rocks of NE Japan [8], Southern Volcanic Zone in Chile [1], Kyushu [9], and Washington Cascades in the western USA [10] are plotted for comparison. Star shows the average of Japan trench sediment [8].

[2024104103]

4. 東北日本弧の第四紀・新第三紀の火山岩分析

東北日本弧では中新世以降現在まで島弧火成活動が見られ、ホウ素を用いた島弧火山のスラブ由来成分の研究には好適な対象であり PGA による分析結果を活かした Sano et al. (2001)[8]による先駆的研究が行われている。アンデス弧と西南日本弧との比較のため、昨年度までの研究においては恐山火山および岩木山火山の試料の分析を行っていた。これらは島弧横断方向の位置が異なり、前者は第四紀フロント火山を形成する脊梁火山列よりやや海溝寄りに分布する火山を繋いだ青麻一恐火山列を形成するものであり、後者は脊梁火山列より背弧側に分布する森吉火山列に属する。2024 年度においては恐山火山の追加試料約 10 点の分析を実施した。これら分析を行った試料については弘前大学の昨年度卒業研究(若山, 2023MS)[11]を引き継いだ修士課程研究で Sr-Nd 同位体組成等を含めた地球化学データの分析を進めてスラブ由来成分の評価やそれを火山の活動史に関連づけた研究を継続中である。PGA の結果に関しては、B/Nb をスラブ由来流体の付加したマグマ端成分の検出に適用している。岩木山火山の研究結果の一部については国内学会で報告した[12]。

さらに 2024 年度においては、分析対象を中新世火山岩にも広げている。その一例として、下北半島の北西部に分布する中期中新世の易国間安山岩類の安山岩からデイサイト 23 試料の分析を行った。弘前大学の卒業研究、修士研究において下北半島の火山岩類の詳細な調査が実施されているが、その一環として易国間安山岩類の研究が行われており、マグマ成因の議論に供するために PGA によるホウ素、塩素分析も地球化学的研究の一環として実施した。基本的には地域の地史の解明およびマグマ成因の議論を企図する研究であるが、第四紀火山岩のマグマ成因と比較することで時間経過にともなうマグマ生成環境の変遷についての知見が得られる可能性もある。

参考文献

- [1] Shinjoe, H. et al. (2013) *Geochemical Journal*, 47, 185–199.
- [2] 石川創士 (2023) 弘前大学卒業論文 (手稿)。
- [3] 新正裕尚ほか (2024) 日本地質学会第 131 年学術大会。
- [4] Tatsumi et al. (2003) *J. Petrol.*, 44, 1561–1578.
- [5] Ushimaru, K. & Yamaji, A. (2023) *J. Struct. Geol.*, 173, 104894.
- [6] Shinjoe, H. et al. (2024) *Island Arc*, 33, e12506.
- [7] Tatsumi, Y. (2006) *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 467–499.
- [8] Sano T. et al. (2001) *Earth Planet. Sci. Lett.* 186, 187–198.
- [9] Miyoshi, M. et al. (2008) *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 171, 73–87.
- [10] Leeman, W.P. et al., (2004) *Chem. Geol.*, 212, 101–124.
- [11] 若山知真 (2023) 弘前大学卒業論文 (手稿)。
- [12] 若山知真ほか (2024) 日本地球化学会第 71 回年会。