

[2023104109]

特異的な島弧火山岩の即発ガンマ線分析 Prompt gamma-ray analysis of atypical arc volcanic rocks

佐野貴司^{#A)}, 三好雅也^{B)}, 川口允孝^{C)}

Takashi Sano^{#A)}, Masaya Miyoshi^{B)}, Masataka Kawaguchi^{C)}

^{A)} National Museum of Nature and Science, ^{B)} Fukuoka University, ^{C)} The University of Tokyo

Abstract

We determined boron (B) and chlorine (Cl) contents in atypical volcanic rocks such as adakitic rocks and alkaline basalts from Japanese and Myanmar arcs. The adakitic rocks from Popa volcano in Myanmar are depleted in B (i.e., low B/Nb) compared to high-K rocks from the same volcano. This fact indicates that the effect of slab-derived fluid in the adakitic rocks is smaller than that in the high-K rocks. The basaltic rocks from Nansei islands of the southern Kyushu show clear across-arc depletion trend of the B/Nb. This presumably reflect the stepwise dehydration and decomposition of hydrous minerals depending on the depth of the subducted Philippine Sea plate slab.

Keyword: boron, chlorine, volcanic rock, adakite

1. はじめに

日本列島などの島弧の深部には海洋プレートが沈み込んで水に富む流体を供給している。この流体が島弧深部の融点を下げて島弧マグマを発生させ、水が溶け込んだマグマが噴火することによって玄武岩や安山岩からなる成層火山がつくられている。島弧マグマに含まれる海洋プレート由来の流体の存在については、玄武岩や安山岩に含まれるホウ素 (B) や塩素 (Cl) を調べることによって明らかにされてきた[1,2]。海洋プレートには多量のBやClが含まれ、島弧マグマにも多く含まれているからである。

一方、島弧には成層火山とは異なる特異な火山も存在する。カルデラや単成火山群などである。さらにアダカイトやボニナイトなどの特殊な火山岩も産出する。しかし、これら火山への海洋プレート由来の流体の影響については、不明点が多い。そこで、これら特異な火山から採取した火山岩を対象としてBやClを高確度で定量可能な即発ガンマ線分析を行う。そしてマグマ生成時の海洋プレートの影響を調べる。

日本などの島弧に存在するカルデラや単成火山群などの特異な火山は、成層火山と比べて、無視できない数があるが、そのマグマ生成メカニズムについては、あまり分かっていない。また、アダカイトやボニナイトのマグマ成因については、不明点が多い。BとClはマグマ生成時の海洋プレート由来の流体の影響を知る上で最も有効な元素であるが、特異な火山に含まれる量については、成層火山に比べると調べられていない。本研究で特異な火山岩中のBとClの含有量を決定することで、数多く存在する特異火山のマグマ成因を明らかにする手がかりを得られると考えている。

2023年度は(1) ミャンマーのポパ火山をつくるアダカイト質火山岩、(2) 九州南西諸島の玄武岩～安

山岩、(3) 霧島火山をつくる火山岩、を対象として即発ガンマ線分析を行った。

2. 試料および分析方法

2.1 試料

先述の(1)について、ミャンマーの地下深部には、ベンガル湾沖から沈み込んだインドプレートが存在し、地震が多い国であることが知られている。最近10年間の研究により、ミャンマーの中央部には3つの第四紀火山(ポパ、モンユワ、シング)が存在することが知られてきた(図1)。そして最大のポパ火山は成層火山であり、約33万年前に噴火活動を開始し、約8000年前にも噴火を行っていた活火山であることが分かった[3]。さらに成層火山の主要部分はアダカイト質火山岩からつくられていることが判明した(図3A)。

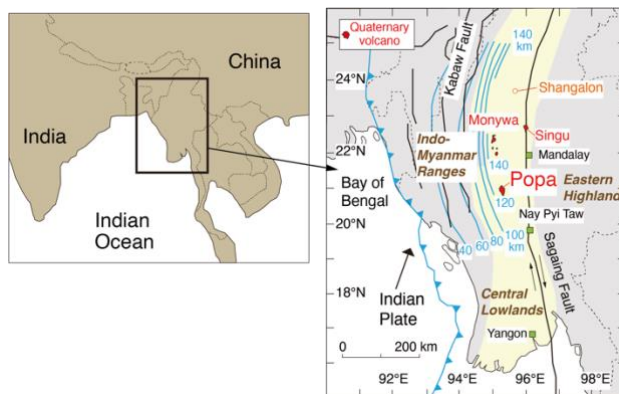


Figure 1. Locations of Quaternary volcanoes in Myanmar with main tectonic features and depth contour lines of the upper surface of the subducting slab [3].

[2023104109]

ポパ火山の下に存在する沈み込んだインドプレート
の深度は120 kmを越えることが知られている
(図1)。ポパ火山をつくったマグマへのインドプレ
ート由来の流体の影響を知るために、31個の火
山岩を分析試料として選出した。

先述の (2) について、南九州の火山のマグマの
成因と沈み込むフィリピン海プレート由来の流体
との関係を調べるために、南西諸島の薩摩硫黄島
(鬼界カルデラの外輪山) の火山岩8試料と、黒島
の火山岩5試料を分析対象とした (図2)。

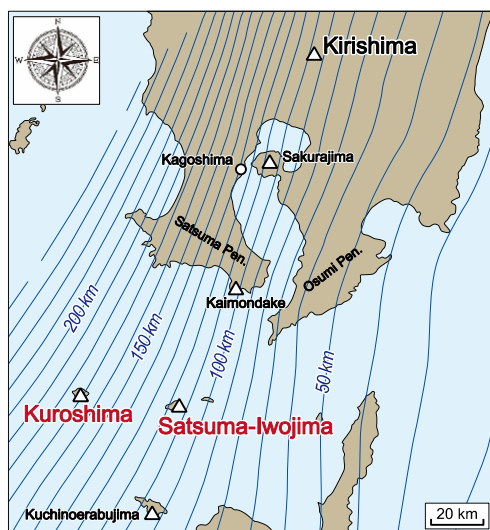


Figure 2. Location of Satsuma-Iwojima and Kuroshima with depth contour lines of the Philippine Sea plate slab.

先述の (3) について、カルデラ火山におけるマグ
マの成因を評価する為に、霧島火山後カルデラ期
の新燃岳、御鉢岳、硫黄山、御池の火山岩 12 試料
を分析対象とした。

2.2 分析手法

試料は粉末化し、質量 0.5-1.0 g を直径 12 mm、厚
さ 2-3 mm の円盤状にプレス錠剤化した[4]。未知試
料の他に B と Cl の標準試料として JB-2、その他微
量元素 (Gd, Sm 等) の標準試料として JB-1a もプレ
ス錠剤化した。これらをフッ化エチレンプロピレン
(FEP) フィルムで作製した袋中に融封した。

中性子照射とガンマ線測定は、日本原子力研究開
発機構東海研究所の JRR-3M 炉の熱中性子ガイドビ
ームに設置された即発ガンマ線分析装置で行った。
試料は PEFE 製の保持具の中央に PTFE 製の糸ひも
で結びつけて固定した。この保持具を自動交換装置
に設置した後、自動分析モードにて試料室に保持具
を挿入し、熱中性子を照射した。照射時間は、標準
試料については、7000 秒、未知試料については、
4,500-5,200 秒にした。即発ガンマ線はゲルマニウム
(Ge) 検出器とそれを覆うゲルマニウム酸ビスマス

(BEO) 検出器により測定した。また、試料室内は
CO₂ 雰囲気を満たした。

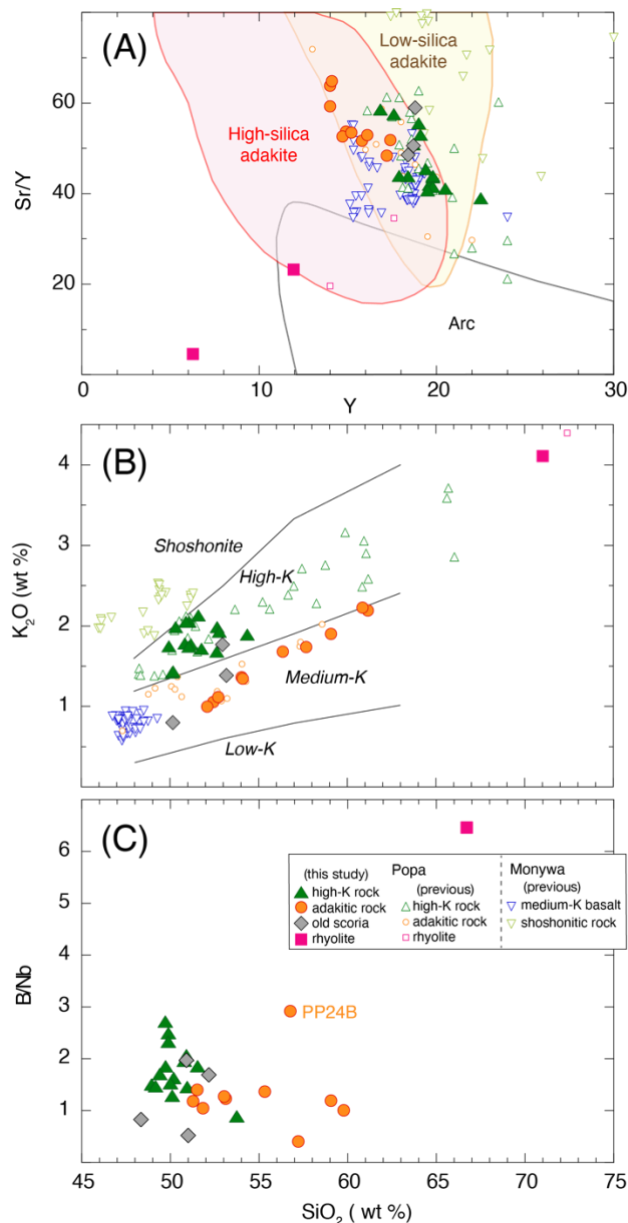


Figure 3. (A) Sr/Y versus Y, (B) SiO₂ versus K₂O, and (C) B/Nb versus SiO₂ diagrams for the Quaternary volcanic rocks in Myanmar.

3. 結果

3.1 ポパ火山岩

ポパ火山岩は主にアダカイト質と高カリウムの 2
種類に分けられている (図 3B)。1 個の試料 (PP24B)
を除くと、アダカイト質火山岩は大多数の高カリウ
ム火山岩に比べて低い B/Nb 比を持つことが判明し

[2023104109]

た (図 3C)。また、Cl 分析も行い、80~3600 ppm の定量値を得た。

3.2 九州南西諸島の玄武岩～安山岩

南西諸島の火山岩は、いずれも中央海嶺玄武 (MORB) や海洋島玄武岩 (OIB) よりも高い B/Nb 比を示す (図 4)。火山フロントに位置する薩摩硫黄島の火山岩の B/Nb 比 (2.5~4) は、背弧側に位置する黒島の火山岩 (0.8~1.5) よりも高い (図 4)。

3.3 霧島火山の後カルデラ期火山岩

霧島火山の火山岩は玄武岩質安山岩～デイサイト質で、中カリウム～高カリウム系列に分類される。B 含有量について 16~53 ppm の定量値を得た。SiO₂ 含有量が高いほど液相濃集元素 (Sm, Gd など) が直線的に増加する傾向がある。B も同様の傾向をもつが、御池試料のみ他試料が作るトレンドから外れたやや低い値をもつ (図 5)。

4. 考察

4.1 ポパ火山岩

高カリウム火山岩に比べて多くのアダカイト質火山岩の B/Nb 比が低いという事実は、以下の 2 つの可能性を示唆する。(1) アダカイトは高カリウム火山岩に比べて角閃石の分別結晶作用を多く受けた。ホウ素は角閃石に多く含まれるからである。(2) 相対的にアダカイト質マグマ中には沈み込んだインドプレート (スラブ) 起源の流体の影響が少ない。先行研究によると、高カリウム火山岩とアダカイト質火山岩は、どちらも同じアセノスフェアが部分熔融して生成したマグマに起源を持つと推定されている[3]。しかし、高カリウム火山岩の方がスラブ流体を多く含むアセノスフェアに起源を持つ可能性があることが判明した。

塩素(Cl)は噴火時に一部が揮発するため、火山岩中に残存する濃度を調べただけでは、マグマの分化や起源に関する議論を行うことができない。そのため、ここでは Cl 濃度を用いた議論は行わない。

4.2 九州南西諸島の玄武岩～安山岩

薩摩硫黄島、黒島直下のスラブ深度は、それぞれ約 120 km、約 170 km である (図 2)。比較のために、薩摩硫黄島と同じく南九州火山フロントに位置する霧島火山群の玄武岩類のデータ[5]を図 4 に示す。霧島火山群直下に沈み込むスラブの深度は約 90~100 km である。

図 4 において、火山フロントの火山岩の方が背弧側の黒島の火山岩に比べて明瞭に高い B/Nb 比を示す。また、霧島火山群の玄武岩類は薩摩硫黄島の火山岩類よりもやや高い値を示す。いずれの火山岩も MORB および OIB よりも明らかに高い B/Nb 比を有するため、マグマの成因にはスラブ由来の流体が関与したと考えられる。

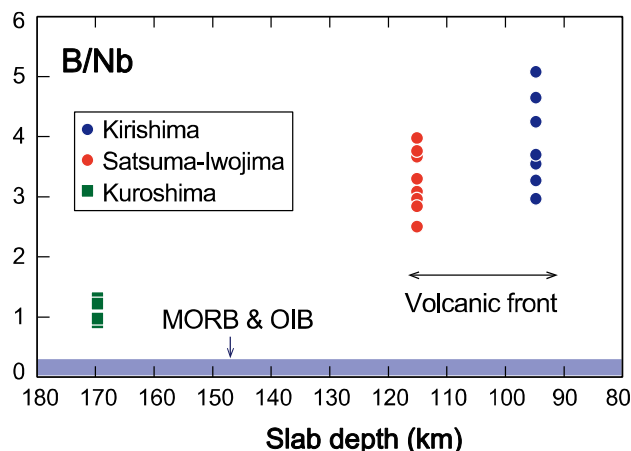


Figure 4. Plots of B/Nb ratios of the volcanic rocks for across-arc transects in the Nansei islands, southern Kyushu. The MORB and OIB compositions are from [6].

霧島火山群、薩摩硫黄島、黒島の火山岩の B/Nb 比が示す島弧横断方向変化 (図 4) は、スラブの段階的な脱水[7]を反映している可能性がある。即ち、火山フロント (霧島火山群、薩摩硫黄島) 直下の深度 90~120 km ではスラブの岩石を構成する角閃石・緑泥石が、背弧側火山 (黒島) 直下の深度 170 km では金雲母が、それぞれ脱水分解したと考えられる。同じ火山フロントでも薩摩硫黄島よりも霧島火山群の火山岩の B/Nb 比がやや高い理由については現時点では不明であるが、より浅い深度の側でスラブの角閃石・緑泥石の脱水分解が開始したのかもしれない。

4.3 霧島火山の後カルデラ期火山岩

珧長質火山岩が玄武岩質火山岩よりも高い B/Sm 比 (または B/Nb 比、B/Gd 比) をもつ事実は、両者の親子関係を単純な結晶分化で説明できないことを意味する。ホウ素 (B) は角閃石に多く分配される元素として知られるが、仮に角閃石の分別でホウ素が取り去られる場合、珧長質マグマの B/Sm 比は苦鉄質マグマよりも低くなることが予想され、観察事実と矛盾する。先行研究によると、今回分析した新燃岳試料は御鉢岳試料に類似した玄武岩質マグマと高カリウム珧長質マグマの混合により生じたことが知られている[8]。そのため、図 5 における御鉢岳、硫黄山、新燃岳の組成変化トレンドはマグマ混合に起因すると考えられる。

他方、珧長質火山岩においては、高カリウム火山岩で B/Sm 比が高く、中カリウム火山岩で B/Sm 比が低い。この違いは中カリウム火山岩で B 濃度が系統的に低いことに由来し、以下の要因が考えられる。

(1) 両者は共通の珧長質マグマに由来し、中カリウム系列ほど多くの角閃石の分別結晶作用を受けた。御池試料には角閃石斑晶の存在が報告されており、両者の違いは角閃石の分別結晶作用で説明できる可能性がある。(2) 両者は異なる起源物質に由来し、

[2023104109]

源岩を構成する角閃石相の割合や熔融条件が異なる。近年、両者に同位体組成の違いが報告されており、要因(1)のみで全て説明することは難しい[9]。今後ホウ素と各種微量元素のデータが蓄積し系統性が明らかになることで、角閃石が関与する珪長質マグマ生成過程の詳細な議論が可能になるだろう。

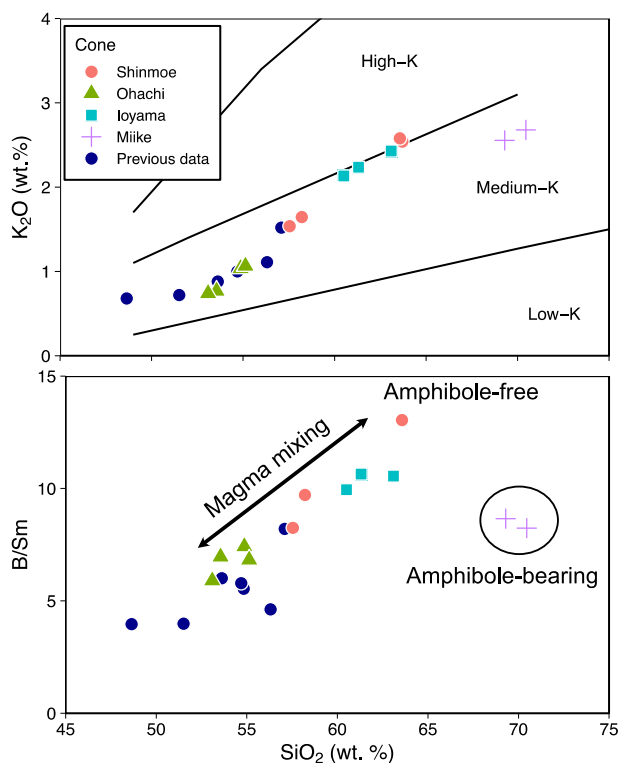


Figure 5. Variations in K_2O concentration and B/Sm ratio of Kirishima volcanic rocks. Previously reported values of basaltic lavas [5] are also shown for comparison.

参考文献

- [1] Miyoshi, M., T., Fukuoka, T., Sano, T., Hasenaka (2008) Subduction influence of Philippine Sea plate on the mantle beneath northern Kyushu, SW Japan: An examination of boron contents in basaltic rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 171, 73-87.
- [2] Sano, T., T. Hasenaka, A. Shimaoka, T. Fukuoka, H. Nagai (2017) Low ratio of sediment recycling at Northeast Japan Arc: Constrains from ^{10}Be isotopes and B-Ba-K-Be systematics, *Geochemical Journal*, 51, 277-291.
- [3] Sano, T. et al. (2022) Petrogenesis of isotopically enriched Quaternary magma with adakitic affinity associated with subduction of old lithosphere beneath central Myanmar. *Scientific Reports*, 12, 3137.
- [4] 佐野貴司・福岡孝昭・長谷中利昭・米沢伸四郎・松江秀明・澤幡浩之 (1998) 即発γ線による火山岩中ホウ素の分析：ケイ素を用いた内部標準法. *RADIOISOTOPES*, 47, 735-744.
- [5] Miyoshi, M., Shimono, M., Hasenaka, T., Sano, T., Mori,

- Y., and Fukuoka, T. (2010) Boron systematics of Hisatsu and Kirishima basaltic rocks from southern Kyusyu, Japan. *Geochemical Journal*. 44, 359-369.
- [6] Ryan, J. G., Leeman, W. P., Morris, J. D. and Langmuir, C. H. (1996) The boron systematics of intraplate lavas: Implications for crust and mantle evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 415-422.
- [7] 巽好幸 (1995) 沈み込み帯のマグマ学. 東京大学出版会, 186p.
- [8] Suzuki, Y., Yasuda, A., Hokanishi, N., Kaneko, T., Nakada, S., Fujii, T. (2013) Syneruptive deep magma transfer and shallow magma remobilization during the 2011 eruption of Shinmoe-dake, Japan—Constraints from melt inclusions and phase equilibria experiments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 257, 184-204.
- [9] 川口允孝・前野 深・安田敦・田島靖久・佐野貴司・米田成一 (2023) 霧島火山岩類の Sr-Nd 同位体組成 (速報). 日本火山学会 2023 年度秋季大会講演予稿集, B1-07.