

[22023]

海洋プレートと環太平洋火山岩の即発ガンマ線分析

Prompt Gamma Neutron Analysis of Oceanic Plate and Pacific Rim Volcanic Rocks

佐野貴司^{#A)}, 三好雅也^{B)}

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

^{A)} National Museum of Nature and Science

^{B)} Fukuoka University

Abstract

We determined boron (B) and chlorine (Cl) contents in volcanic rocks from Pacific seamounts and Japanese arc. The seamounts form Papanin Ridge and Ojin Rise that located north and northeast of Shatsky Rise. Enrichments of B and Cl in seamounts indicate degree of low- and high-temperature hydrothermal alteration in the volcanic rocks, respectively. Our data shows that the B enrichment of seamount basalts are nearly identical to those of Shatsky Rise basalts. In contrast, Cl enrichment like Shatsky Rise basalts could not be confirmed in the seamount basalts. For the Japanese arc samples, B concentrations and B/Nb ratios of the alkaline basalts from the coastal area of northern Kyushu are significantly low, and they are similar to those of the oceanic island basalts.

Keyword: boron, chlorine, volcanic rock, oceanic crust

1. はじめに

日本列島を含む環太平洋 (Pacific Rim) の下には海洋プレートが沈み込んでおり、火山噴火を引き起こしている。沈み込んだ海洋地殻に含まれていた水が大陸下のマントルに付加して融点を下げ、マグマを発生させるからである。つまり火山として噴出するマグマには、海洋プレートと一緒に地下深くまで沈み込んだ水が含まれている。この島弧での水循環のモデルは信じられるようになってきた。しかし「どのくらいの量の水が循環しているのか？」という定量的な議論はほとんど行われていない。この理由は、火山の噴出の際、水の大部分は蒸発してしまい、正確な量が分からないためである。そのため水の定量の代わりにホウ素 (B) や塩素 (Cl) を使用する研究が行われている。この B および Cl は即発ガンマ線分析により高精度に定量可能である。そこで我々は、

(1) 沈み込む海洋プレート中の含有量と (2) 火山中の含有量の比較を行った。具的的には (1) のターゲットとして太平洋プレートを構成する海洋地殻、

(2) のターゲットとして九州から採取した火山岩を選んだ。2022 年度は 3 ヶ年計画の最終年度であった。

2. 試料および分析方法

2.1 試料

先述の (1) について、海洋底をつくる地殻には通常の玄武岩 (中央海嶺玄武岩) だけではなく、特殊な玄武岩としてハワイ等のホットスポットと呼ばれる火山の噴出物がある。中央海嶺玄武岩の B や Cl 含有量は、これまでにはほぼ分かったので [1,2]、今回は特殊な玄武岩の分析を行った。日本の太平洋沖にはシャツキー海台 (Shatsky Rise) という巨大なホットスポット火山の噴出物が存在し、数千万年後には島弧の下に沈み込むはずである (図 1)。我々の先行研究により、シャツキー海台の玄武岩は、通常の海洋地殻よりも多量の B および Cl が含まれることが分かった [3]。つまり、シャツキー海台は、未来の日本列

島のマグマ活動の際に、多量の B および Cl を供給すると考えられる。一方、シャツキー海台の北東側には、パパンイン海嶺 (Papanin Ridge) と応神ライズ海山群 (Ojin Rise Seamounts) という多数の海山が存在し、これら海山も多量の B および Cl を含んでいる可能性がある。我々は、これまでの研究航海により、これら海山群の岩石を採取した [4,5]。本研究では、日本の調査船「かいらい」の KR14-07 航海で採取した 27 試料、ドイツの調査船「ゾンネ」の SO265 航海で採取した 52 試料、合計 79 試料の定量を行った。

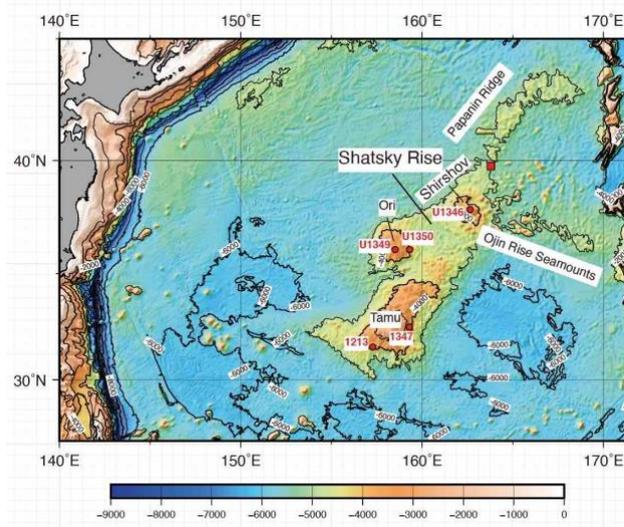


Figure 1. Map of Shatsky Rise, Papanin Ridge and Ojin Rise Seamounts. ODP and IODP drilling sites after [6].

先述の (2) について、九州に沈み込むフィリピン海プレートは火山フロント直下において急角度で沈み込んでいるため、背弧側には海洋プレート起源の水が供給されていない可能性が指摘されている [7]。九州北部の沿岸域には 4~1 Ma に活動したアルカリ玄武岩が分布しており、これらの年代は九州へのフィリピン海プレートの沈み込み開始 (6~4 Ma) 以降

[22023]

である。これらの北部九州沿岸域におけるアルカリ玄武岩火山活動に対する海洋プレート起源の水の影響を調査するため、本研究では佐賀県唐津市、福岡市、山口県下関市から合計 28 試料を採取し、B の定量を行った。

2.2 分析手法

試料は粉末化し、質量 0.6-1.0g を直径 12mm、厚さ 2-3mm の円盤状にプレス錠剤化した[8]。未知試料の他に B の標準試料として JB-2、Cl 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、3,000-5,000 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 He 雰囲気を満たした。

3. 結果

3.1 海洋底試料

海洋底試料のホウ素含有量は、パパンン海嶺が 38-132 ppm、応神ライズ海山群が 11-243 ppm と、変質の少ない海洋底 (<2 ppm) よりも有意に高い値を示した。そして、これら含有量は、変質の指標の 1 つである、強熱減量 (LOI) との相関が、ある程度確認できる (図 2)。

一方、塩素含有量は、パパンン海嶺が 3-230 ppm、応神ライズ海山群が 13-541 ppm であり、多くは変質の少ない海洋底の値 (<200 ppm) の範囲内[2]であった。強熱減量との相関も見ることができない(図 2)。

3.2 九州の火山岩

北部九州沿岸域に分布するアルカリ玄武岩類のうち、佐賀県唐津市の試料からは 0.7-3.3 ppm、福岡市の試料からは 1.8-4.1 ppm、山口県下関市の試料からは 3.0-4.3 ppm ホウ素含有量が得られた。

4. 考察

4.1 海洋底試料

パパンン海嶺と応神ライズ海山群のホウ素は低温 (<150°C) で生じる変質鉱物 (スメクタイト、イライト、緑泥石、沸石など) に多く含まれていると推定できる。これは、これまでに報告されているシャツキー海台の値と類似する[3]。

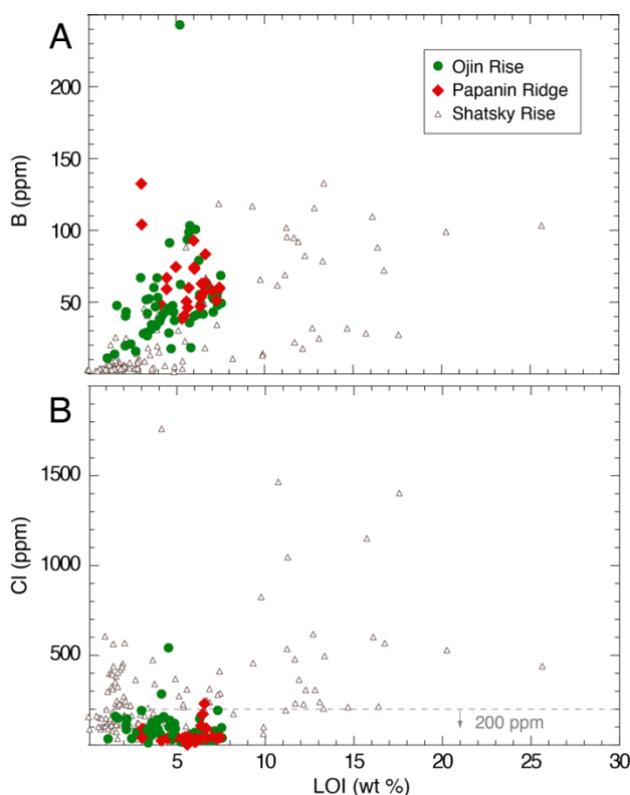


Figure 2. Plots of B and Cl versus LOI for Papanin Ridge, Ojin Rise, and Shatsky Rise [9]. Note that Shatsky Rise data are from [3].

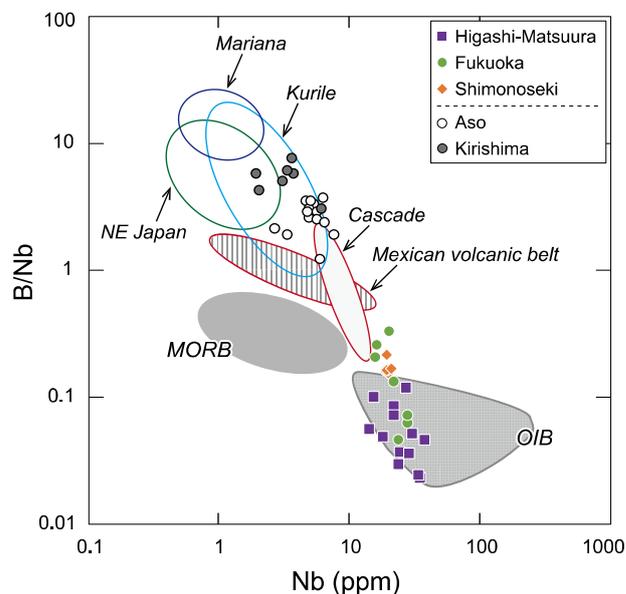


Figure 3. Nb versus B/Nb diagram for basaltic rocks from Kyushu and other volcanic arcs [11, 12, 13, 14, 15]. MORB and OIB compositions [16] are plotted for comparison.

一方、塩素は、高温 (>400°C) で生じる熱水変質鉱物である角閃石等に濃集するため、パパンン海嶺や応神ライズ海山群の岩石は、熱水変質の少ないものであると推定される。そして、熱水変質の影響の

[22023]

ある 1,000 ppm を越える塩素含有量を持つシャツキー海台の火山岩とは異なることが判明した。

高塩素含有量の海洋地殻は、高速拡大軸の玄武岩に見られ、これは浅いマグマ溜まり中での塩水の混染の結果であると推定されている[2]。シャツキー海台が形成された時期にも、同様の浅いマグマ溜まりが存在していたことが提唱されている[6,9]。パパニン海嶺と応神ライズ海山群の塩素濃度が低い事実は、恐らく浅いマグマ溜まりが存在しなかったことを示唆している[10]。

4.2 九州の火山岩

図 3 を用いて、北部九州沿岸域のアルカリ玄武岩類と九州の第四紀火山フロントの玄武岩類（阿蘇、霧島）と他地域の島弧玄武岩類（マリアナ弧、千島弧、東北日本弧、カスケード弧、メキシコ火山帯）の組成を比較する。古く冷たい太平洋プレートが沈み込むマリアナ弧、千島弧、東北日本弧の玄武岩類は比較的高 B/Nb 比であるのに対し、若く熱い海洋プレートが沈み込むカスケード弧、メキシコ火山帯の玄武岩類は比較的低 B/Nb 比である。この違いは、古く冷たい海洋プレートが火山フロント直下のマントルまで多量の水（とホウ素）を供給可能であるのに対し、若い海洋プレートは高温のためマントル浅部でほとんど脱水を完了し、火山フロント直下のマントルまで多量の H₂O（と B）を供給できないことを反映していると解釈されている [17]。

九州の第四紀火山フロントの玄武岩類（阿蘇・霧島）の大部分は、古く冷たい太平洋プレートが沈み込む地域の玄武岩類の組成範囲にプロットされる。一方、北部九州沿岸域のアルカリ玄武岩類の大部分の B/Nb 比は若く熱い海洋プレートが沈み込む地域の玄武岩類よりも低 B/Nb 比側にプロットされる。また、それらのプロットは OIB の組成領域と重複する。この結果から、北部九州沿岸域のアルカリ玄武岩の活動時期（4~1 Ma）はフィリピン海プレートの沈み込み開始（6~4 Ma）後であるが、そのマグマの成因に海洋プレート由来の水は関与しなかったと考えられる。

参考文献

- [1] Sano, T., M. Miyoshi, S. Ingle, N.R. Banerjee, M. Ishimoto, and T. Fukuoka (2008) Boron and Chlorine Contents of Upper Oceanic Crust, Basement Samples from IODP Hole 1256D, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9, Q12O15, doi:10.1029/2008GC002182.
- [2] Sano, T., S. Yamashita (2019) Evolution, hydrothermal assimilation, and ascent of magma inferred from volatile contents in MORB glasses: An example from thick lava pile at IODP Site 1256, *Lithos*, 346-347, 105143. doi:10.1016/j.lithos.2019.07.010.
- [3] Miyoshi, M., T. Sano, K. Shimizu, A. Delacour, T. Hasenaka, Y. Mori, T. Fukuoka (2015) Boron and chlorine contents of basalts from the Shatsky Rise, IODP Expedition 324: Implications for the alteration of oceanic crust, In Neal, C. R., W.W. Sager, T. Sano, E. Erba, (Editors), *The Origin, Evolution, and Environmental Impact of Oceanic Large Igneous Provinces, Geological Society of America Special Publications*, 511, 69–84, doi:10.1130/2015.2511(04).
- [4] Sano, T., H. Hanyu, M. L. G. Tejada, A. A. P. Koppers, S. Shimizu, T. Miyazaki, Q. Chang, R. Senda, B. S. Vaglarov, K. Ueki, C. Toyama, J.-I. Kimura, M. Nakanishi (2020) Two-stages of plume tail volcanism formed Ojin Rise Seamounts adjoining Shatsky Rise. *Lithos*, 372-373, 105353, doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105652.
- [5] Dürkefälden, A., J. Geldmacher, M. Portnyagin, D. Garbe-Schönberg, R. Werner, D. Müller, F. Hauff, K. Hoernle (2021) Papanin Ridge and Ojin Rise Seamounts (Northwest Pacific): Dual Hotspot Tracks Formed by the Shatsky Rise. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22, <https://doi.org/10.1029/2021GC009847>.
- [6] Sano, T., K. Shimizu, A. Ishikawa, R. Senda, Q. Chang, J.-I. Kimura, M. Widdowson, and W. W. Sager (2012) Variety and origin of magmas on Shatsky Rise, northwest Pacific Ocean, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 13, Q08010, doi:10.1029/2012GC004235.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Sano, T., Y. Nishio (2015) Lithium isotope evidence for magmatic assimilation of hydrothermally influenced crust beneath oceanic large igneous provinces, In Neal, C. R., W.W. Sager, T. Sano, E. Erba, (Editors), *The Origin, Evolution, and Environmental Impact of Oceanic Large Igneous Provinces, Geological Society of America Special Publications*, 511, 173-183, doi:10.1130/2015.2511(09).
- [10] 佐野貴司・三好雅也・大澤崇人・ゲルドマッハーヨルグ (2022) ホウ素と塩素から紐解く太平洋海山の変質度合い。2022年度日本地球化学会第69回年会, PR0039, 2022.9.7. 高知大学.
- [11] Ishikawa, T., Tera, F. (1997) Source, composition and distribution of the fluid in the Kurile mantle wedge: constraints from across-arc variations of B/Nb and B isotopes. *Earth Planetary Science Letters*, 152, 123-138.
- [12] Ishikawa, T., Tera, F. (1999) Two isotopically distinct fluid components involved in the Mariana arc: evidence from Nb/B ratios and B, Sr, Nd, and Pb isotope systematics. *Geology*, 27, 83-86.
- [13] Moriguti, T., Shibata, T., Nakamura, E. (2004) Lithium, boron and lead isotope and trace element systematics of Quaternary basaltic volcanic rocks in northeastern Japan: mineralogical controls on slab-derived fluid composition. *Chemical Geology*, 212, 81-100.
- [14] Leeman, W.P., Tonerini, S., Chan, L.H., Borg, L.E. (2004) Boron and lithium isotopic variations in a hot subduction zone — the southern Washington Cascades. *Chemical Geology*, 212, 101-124.
- [15] Hochstaedter, A.G., Ryan, J.G., Luhr, J.F., Hasenaka, T. (1996) On B/Be ratios in the Mexican volcanic belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 613-628.
- [16] Ryan, J.G., Leeman, W.P., Morris, J.D., Langmuir, C.H., 1996. The boron systematics of intraplate lavas: implications for crust and mantle evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 415-422.
- [17] Peacock, S.M., Wang, K. (1999) Seismic consequences of warm versus cool subduction metamorphism: examples from southwest and northeast Japan. *Science*, 286, 937-939.