

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540509

研究課題名（和文） ホウ素による西南日本弧火山の沈み込み成分マッピング

研究課題名（英文） Mapping of subduction component in Southwest Japan arc using boron content of volcanic rocks

研究代表者

長谷中 利昭（HASENAKA TOSHIAKI）

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：50202429

研究成果の概要（和文）：

九州の島弧火山岩に含まれるホウ素濃度を即発ガンマ線分析で求めて、マグマが生成する深部マントル物質に与える海洋プレートの沈み込みによる影響の度合いを見積もった。北部九州では沈み込みの影響は明瞭ではないのに対し、南部九州ではこれが顕著で、海溝近くで大きく内陸で減少する島弧横断方向の変化が認められた。これらの結果から沈む込むプレートの熱構造や、沈み込み成分の挙動について重要な制約条件が得られた。

研究成果の概要（英文）：

I estimated the influence of oceanic plate on the composition of the mantle materials where magmas for island arc volcanoes are generated. Boron contents in volcanic rocks from Kyushu island were determined by prompt gamma-ray analysis (PGA), and used as a representative subduction component. Contribution of subduction component is little for northern Kyushu, whereas it is relatively large for southern Kyushu, in which across-arc variation is observed. These results give an important restriction on the thermal structure of subducting plate and behavior of subduction component elements.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：ホウ素，沈み込み帯，火山，即発ガンマ線分析，島弧玄武岩，海洋堆積物，物質循環，マントル

1. 研究開始当初の背景

島弧玄武岩のホウ素含有量（10-15ppm）が海洋島玄武岩（0.9-3ppm）や海洋底玄武岩

（0.3-3ppm）と比べて一桁ないし二桁大きい値を示すことは、沈み込み帯において生成するマグマの組成において、海洋堆積物や変質

海洋底玄武岩の寄与が大きいことを示している(図1).従ってホウ素は島弧マグマにおける沈み込みの影響を見る最適の元素といえる.同じように海洋堆積物に濃集する ^{10}Be と比べると放射壊変を起こさないホウ素は古い時代の島弧における沈み込みの影響をも見積もることができる利点がある.また,しばしば沈み込み帯の印として引用される Nb の負異常は,それが生成するプロセスが必ずしも明確でないのに対して,ホウ素の場合は沈み込みに伴うプロセスがわかっており,沈み込み帯における物質循環を追跡できる良い指標元素となりうる.島弧横断方向のマグマの組成変化をみると,海溝から遠ざかるにつれてホウ素の濃集度(B/K, B/La など)が下がっていくこと(Ryan et al., 1995 = 千島弧, Sano et al., 2001 = 東北本州弧)も,ホウ素が沈み込みプレートによって島弧下部マントルに運び込まれるモデルと調和的である.

しかしホウ素は通常の化学分析操作では汚染を受けやすく分析が難しい元素である.これに対して原子炉を利用した即発線分析は,試料に直接中性子照射をし,その場で発生するガンマ線を測定するので,汚染の心配なくホウ素を測定することが可能である.福岡,佐野,長谷中のグループは限られた原子炉のマシントイムで多くの試料を高い確度で測定する方法を開発した(Sano et al., 1999).現在,即発線分析法によるホウ素分析に取り組んでいるのは我々とアメリカの Leeman ら(1996, 2004, 2005)のグループだけである.

2. 研究の目的

島弧横断方向のマグマ組成変化が明瞭で沈み込みプロセスモデルが立てやすい東北本州弧に比べると,西南日本弧では島弧横断方向のマグマ組成変化が必ずしも明瞭ではなく,いくつかの異なる物質循環プロセスが起こっていると考えられる.本研究課題では,西南日本弧の火山において,火山岩に含まれるホウ素の濃集度の時間的,空間的マッピングを試みる.その結果によって西南日本弧の沈み込みプロセス,マグマ生成プロセス,物質循環プロセスのモデルに重要な制限を加えることを目的とする.対象試料として中国,四国,九州地方の中新世から現世までに噴火し,年代の制限が与えられている火山の玄武岩,安山岩をできるだけ密に採集し,分析する.西南日本弧においては沈み込み帯火山(阿蘇など,三好ら, 2005),沈み込みの影響を受けていない火山(永尾ら, 1999),アダカイト(Morris, 1995),サヌキトイド(巽, 2003)など多様な組成の火山岩が産し,おそらく多様なマグマの生成プロセスがあると予想される.それらの異なるプロセスをホウ

素の分別濃集過程を通して整理分類することが目標である.

3. 研究の方法

調査対象は九州本土全域の新生代火山岩試料で,地殻の混染の影響が少ない玄武岩,安山岩を選んで試料採集を行った.試料採集を行った火山は,北部九州では北松浦玄武岩,姫島,由布,鶴見,鬼箕,耶馬溪,豊肥火山岩類,久重,阿蘇,金峰,大矢野,天草,雲仙,福江島,南部九州では,肥薩火山岩類,北薩火山岩類,霧島,桜島,始良,開聞,南薩火山岩類である.玄武岩,安山岩を産しない火山ではマフィック包有物を採集した,微量元素の分析は北九州自然史博物館の蛍光 X 線分析装置を利用した蛍光 X 線法で行い,ホウ素や他のいくつかの微量元素は原子力研究開発機構(東海研究所)の原子炉を用いた即発ガンマ線分析で行った.希土類元素, Hf, Th, Ta などの微量元素は原子力研究開発機構(東海研究所)の原子炉を用いた中性子放射化分析で行った.即発ガンマ線分析,中性子放射化分析は東京大学大学院工学系研究科原子力専攻の原子力研究開発機構施設利用,共同利用研究で行った.すべての分析の試料準備作業(蛍光 X 線分析のガラスビード作成,放射化分析試料のポリエチレンバイアル封入,即発ガンマ線分析試料の FEP フィルム封入),岩石薄片作成,岩石粉碎,粉末作成は熊本大学理学部の NAA 実験室等で行った.

ホウ素は試料準備過程における汚染が起こりやすいので,非破壊の即発ガンマ線分析法を採用した.ホウ素は海洋堆積物や変質海洋底玄武岩に濃集しており(60-120ppm),海洋プレートの沈み込みによって島弧および陸弧深部に運びこまれ,高压での含水鉱物の脱水分解反応によって流体相に分配されて,マントルかんらん岩に付加すると考えられている.マントルかんらん岩の部分熔融,マグマの上昇,マグマ溜りでの結晶分化作用などのプロセスにおいては他の液相濃集元素(Rb, K, Zr, La など)と同じ挙動をするので,それらの元素との比(B/K, B/La など)を取り,起源マントル物質でのホウ素の濃集度を見積もった.

4. 研究成果

九州におけるホウ素マッピング結果は大変興味深いものであった.まず九州の火山岩類のホウ素(上に記したように実際にはホウ素と他の液相濃集元素の比で論じる)を世界の他の島弧や陸弧と比べると,非常に低い値を示す.これはアメリカ西部(Cascade)やメキシコ横断火山帯の火山岩と同じレベルで,東北日本弧,千島弧,カムチャッカなどよりずっと低い.この違いはそれぞれの島弧

に沈み込んでいる海洋プレートの年代と関連している。すなわち、より古く冷たいプレートはホウ素を含む含水鉱物をマンツルのより深部まで運び込めるのに対して、より新しく熱いプレートは浅い深度で含水鉱物の脱水分解を起こしてしまい、ホウ素など沈み込み成分元素を失ってしまい、火山の直下、約 100km の深度まで運べないからだと考えられる。

北部九州においては、フィリピン海プレートの沈み込みが始まった 600 万年前を境として、それ以前には沈み込みの影響はほとんど見られなかったのが、600 万年以降には沈み込みの影響が現れ始めた。沈み込み成分が顕著なのは日向灘に近い火山フロントの火山のみで、背弧側に位置する火山においては沈み込み成分は見られなかった。このことは地震波によって求められた沈み込みプレートの形状が火山フロント付近で急角度に折れ曲がってしまい、背弧側まで達していないことと調和的である。

北部九州と南部九州では沈み込み成分の濃集度に大きな違いが見られた。すなわち島弧縦断方向のホウ素の変化に着目したところ、姫島、由布鶴見、鬼箕、北部九州の火山は沈み込み成分が非常に少ないのに対し、阿蘇、霧島、桜島、開聞など南部九州の火山は沈み込み成分が多いことがわかった。これは沈み込むフィリピン海プレートの年代が北部と南部で異なることと関連づけられる。北部九州では若い年代のプレートが沈み込んでいるのに対し、南部九州は比較的古い年代のプレートが沈み込んでいる。両者の境をなす九州パラオリッジが沈み込む阿蘇、霧島火山は特に沈み込み成分が顕著である。若いプレートは比較的熱いために、火山の直下、約 100km の深さに達する前に沈み込み成分が失われてしまうという説明が南北九州の比較でも適用できる。

ホウ素を含む沈み込み成分の「感度」を比較した (B/Nb, Ba/Nb, Rb/Nb など)。精度をあげたマッピングの結果、海溝から内陸に入るに従って沈み込み成分が減少する島弧横断方向の変化が見られるのは、九州南部だけで、しかもホウ素のみであった。九州弧は総じて沈み込み成分が少ないので、マンツルの流体相におけるモビリティ (Mobility) が大きいホウ素のみで、感度良く沈み込み成分の影響が見られることが確認された。

ホウ素など沈み込み成分の寄与は海溝に近い火山フロントで大きく、背弧側に進むにつれて寄与が小さくなる。この現象は本研究の南部九州弧をはじめ他の島弧でも確認されている (東北日本弧、カムチャッカなど)。ホウ素を運ぶ流体相の組成は大部分が水と考えられるので、本研究結果は火山フロントのマグマは水の寄与が大きく、背弧側で水の

寄与が小さいことを示している。従来、東北日本弧で考えられていたマグマ成因モデルは火山フロントのマグマは含水量が小さく、背弧側で含水量が大きいというものであった。本研究はそれらと正反対の結果を示すので、島弧のマグマ成因モデルの検討が今後必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

Miyoshi, M., Shimono, M., Hasenaka, T., Sano, T., Mori, Y. and Fukuoka, T. (2010) Boron systematics of Hisatsu and Kirishima basaltic rocks from southern Kyushu, Japan. *Geochemical Journal*. 査読有, v. 44. in press.

三好雅也・古川邦之・新村太郎・下野まどか・長谷中利昭 (2009) 阿蘇カルデラ外輪山に分布する先阿蘇火山岩溶岩類の岩石記載と全岩化学組成。地質学雑誌, 査読有, v. 115, p.672-687.

Chapman N, Apted M, Beavan J, Berryman K, Cloos M, Connor C, Connor L, Hasenaka T., Jaquet O, Kiyosugi K, Litchfield N, Mahony S, Miyoshi M., Smith W, Sparks S, Stirling M, Villamor P, Wallace L, Goto J, Miwa T, Tsuchi H, Kitayama K (2009) Development of methodologies for the identification of volcanic and tectonic hazards to potential HLW repository sites in Japan --The Kyushu case study-- . NUMO Technical Reports. 査読無, v. 09-02, 186 p.

Miyoshi, M., Shimono, M., Hasenaka, T., Sano, T., Fukuoka, T. (2008) Determination of boron contents in volcanic rocks by prompt-gamma ray analysis: an application to magma genesis in Kyushu island, SW-Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 査読有, v. 278, p. 343-347 .

Miyoshi, M., Nasu, T., Tajima, T., Kido, M., Mori, Y., Hasenaka, T., Shibuya, H., Nagao, K. (2008) K-Ar ages of high-magnesian andesite lavas from northern Kyushu, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, v. 103, p. 183-191 .

Miyoshi, M., Fukuoka, T., Sano, T., Hasenaka, T. (2008) Subduction influence of Philippine Sea plate on the mantle beneath northern Kyushu, SW Japan: an examination of Boron contents in basaltic rock, *Journal of Volcanology and*

Geothermal Research, 査読有, v. 171, p. 73-87.

新村太郎・荒川洋二・三好雅也・長谷中利昭 (2008) 熊本県西原村権現山に産する高マグネシア安山岩の K-Ar 年代. 熊本学園大学論集『総合科学』, 査読無, v. 14, p. 23-37.

[学会発表](計 19 件)

Hasenaka, T. Coexistence of shield volcanoes and small cones from the Michoacan-Guanajuato volcanic field: their distribution, age, magma output rate, and composition of magmas. 250th anniversary of Volcan Jorullo's birth in Michoacan, Mexico (September 29, 1759-2009) 2009. 9. 28, Morelia, Michoacan, Mexico, Centro Cultural Universitario of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

田村智弥, 阿蘇火山中央火口丘群, 往生岳および中岳火山噴出物の岩石学的研究, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2009. 5. 17, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

関口悠子, 始良カルデラ火山に見られる 3 回のマグマ活動サイクル, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2009. 5. 18, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

三好 雅也, 阿蘇火山における先カルデラ期から後カルデラ期へのマグマ組成の時間変化, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2009. 5. 18, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

Hasenaka, T., Subduction influence of Philippine Sea plate on the mantle beneath Kyushu, SW Japan: An examination of boron contents in basaltic rocks. 18th Goldschmidt Conference, 2008. 7. 17, Vancouver, Canada, University of British Columbia.

長谷中利昭, 阿蘇中岳北東麓に分布する玄武岩質火砕流堆積物の岩石学的特徴, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2008. 5. 26, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

Miyoshi, M., Boron and trace element systematics of Quaternary basaltic rocks from Kyushu, Southwestern Japan, American Geophysical Union, 2008 fall meeting, 2008. 12. 16, San Francisco, USA, Moscone Convention Center.

Miyoshi, M., Subduction influence of Philippine Sea plate on the mantle beneath Kyushu, SW Japan: An examination of boron contents in basaltic rocks, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior General Assembly, 2008. 8. 18, Reykjavik, Iceland, University of Iceland.

Sekiguchi, Y., Relationship between felsic and mafic magmas representing pre-caldera stage of Aira caldera volcano in southern Kyushu, Japan, American Geophysical Union, 2008 fall meeting, 2008. 12. 15, San Francisco, USA, Moscone Convention Center.

関口悠子, 始良カルデラ形成に至る前駆的なマグマ活動: マグマ混合の可能性, 日本火山学会 2008 年秋季大会, 2008. 10. 11, 岩手県岩手市. 岩手大学.

長谷中利昭, 阿蘇草千里ヶ浜火山噴出物の岩石学的特徴, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2007. 5. 12, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

長谷中利昭, 北部九州に産する高マグネシア安山岩の K-Ar 年代, 地球惑星科学関連学会合同大会, 2007. 5. 12, 千葉幕張, 幕張メッセ 国際会議場.

三好雅也, 北部九州玄武岩類中のホウ素含有量の時間的・空間的变化, 日本鉱物科学会, 2007. 5. 21, 東京大学.

Miyoshi, M., The evolving fluid flux from the subducting plate beneath Aso area: evidence from Boron in volcanic products, Cities on Volcanoes 5 2007. 11. 22, Shimabara, Mt.Unzen Disaster Memorial Hall.

Miyoshi, M., Temporal changes of the subduction components in volcanic products from Aso area, SW Japan, The 17th Goldschmidt Conference 2007. 8. 21, Cologne, Germany, University of Cologne.

Shimono, M., The influence of Philippine Sea plate on the composition of mantle beneath Kyushu, SW Japan arc: Along-arc variation of B data, The 17th Goldschmidt Conference, 2007. 8. 21, Cologne, Germany, University of Cologne.

Shimono, M., Along-arc variation of Boron data: the influence of Philippine Sea plate on the composition of mantle beneath Kyushu, SW Japan arc, Cities on Volcanoes 5, 2007. 11. 22, Shimabara, Mt.Unzen Disaster Memorial Hall.

Hasenaka, T., Kusanrigahama pumice cone from Aso volcano, Kyushu, Japan: Petrological characteristics of pumice and coeval volcanic products representing one of the largest eruption after caldera-formation, Cities on Volcanoes 5, 2007. 11. 22, Shimabara, Mt.Unzen Disaster Memorial Hall.

Miyoshi, M., Determination of boron contents in volcanic rocks by prompt-gamma ray analysis: an application to magma genesis in Kyushu island, SW-Japan, The

12th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis, 2007. 9. 18, Tokyo Metropolitan University.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

長谷中 利昭 (HASENAKA TOSHIAKI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：50202429

(2)研究分担者

(3)連携研究者

渋谷 秀敏 (SHIBUYA HIDETOSHI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：30170921
(H19 は研究分担者)

三好 雅也 (MIYOSHI MASAYA)
京都大学・大学院理学研究科附属地球熱学
研究施設・研究員
研究者番号：50557353

(4)研究協力者

下野 まどか (SHIMONO MADOKA)
熊本大学・大学院自然科学研究科・大学院
生

関口 悠子 (SEKIGUCHI YUKO)
熊本大学・大学院自然科学研究科・大学院
生

田村智弥 (TAMURA TOMOHISA)
熊本大学・大学院自然科学研究科・大学院
生