

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400523

研究課題名(和文)ウラン-トリウム放射非平衡による九州の火山の成因の研究

研究課題名(英文)The constraints from U-Th radioactive disequilibrium on genetic processes of volcanoes in the Kyushu arc

研究代表者

中井 俊一 (Shun'ichi, Nakai)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：50188869

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、九州弧の火山が、沈み込むスラブからの流体の付加に起因する火成活動を起源とするか、あるいは沈み込むスラブや堆積物の溶融による火成活動を起源とするかを、ウラン-トリウム放射非平衡分析から検討した。45試料を分析した。分析した火山岩は、 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$ が1に近く、放射平衡に近い試料が多い。 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$ が1.05より大きい試料は、鬼箕、阿蘇の一部、雲仙、福江島、開聞の一部に見られ、Tb/Yb比などが高い傾向があり、ザクロ石の存在下での融解が示唆される。流体の付加に起因する火成活動で見られる $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$ が1より小さい試料はほとんど存在しないようである。

研究成果の概要(英文)：We examined whether the volcanisms in Kyushu island are related to the addition of slab derived fluids or the melting of slab or sediments with the index of radioactive disequilibrium between  $^{230}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$ . Forty five samples from Yufudake, Kuju, Oninomi, Aso, Kirishima, Kaimon, Unzendake and Fukue-jima were analyzed. The results of the analyses indicated most of the samples have  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  of close to unity. Samples of Oninomi, a part of Aso, Unzendake, Fukue-jima and a part of Kaimon have  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  larger than 1.05, suggesting melting under the presence of residual garnet. The results also indicated the absence of  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  less than 1.0, which is commonly observed among the volcanic rocks originated by the volcanisms triggered by the addition of slab derived fluids.

研究分野：地球化学

キーワード：九州弧 ウラン-トリウム放射非平衡 火山岩 スラブ溶融 堆積物溶融 沈み込み流体

## 1. 研究開始当初の背景

(1)九州には火山が数多く分布しているが、最近活動しているものでも流体の寄与が顕著な典型的な沈み込み帯火山のほかにスラブ溶融を原因とすると考えられている火山も混在している。本研究では特にウラン - トリウム放射非平衡分析から、流体付加火山、スラブ溶融火山を区別することを第一の目的とした。日本などの沈み込み地域では沈み込むスラブからの流体がマグマの発生の引き金をひくと考えられている。沈み込み地域の火山岩では $^{238}\text{U}$ の壊変系列に放射非平衡が見られ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ )の放射濃比が1以下であることが多い。これはウランが流体とともにマグマに付加したことを原因とすると理解されている。この種類の火山は日本では伊豆、東北の沈み込み帯に多い。一方で沈み込む海洋スラブの溶融により生じる火山も存在し日本では若いフィリピン海プレートが沈み込んだ大山の例がある。研究代表者のグループは大山火山のいくつかの火山岩が1以上の( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ )を持つことを報告し、スラブ溶融を議論した(Tokunaga et al., 2010)。由布鶴見火山の論文(Sugimoto et al., 2006)はこの火山がスラブ溶融起源であることを主張しており、これが正しければ九州にはこの二つの種類の火山が混在していることになる確認がいそがれる。この二種類の火山の分別にはウラン - トリウム放射非平衡分析が有効である。

(2)研究開始当初は、上記の放射非平衡に加えて、ウラン同位体比( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ )を指標として流体の寄与を検出することも試みた。流体により運ばれるウランは $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比が放射平衡の値より高いことが一般的であるが、沈み込み地域の火山が高い $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比を持つことは確認されていなかったからである。

## 2. 研究の目的

上記の背景をふまえて、本研究では九州の若い火山岩を分析し、放射非平衡の程度から火山の成因に制約をつけることを主な目的とした。すなわち( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ )の放射濃比が1より大きい小さいかに注目した。1より小さい場合は、伊豆島弧に見られるような沈み込み流体の寄与によるマグマ生成が考えられ、1より大きい場合は流体の影響よりも沈み込むスラブや堆積物の溶融、下部地殻の溶融などの影響が大きいと考えられる。また、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比が放射平衡に達しているかにも着目した。

## 3. 研究の方法

( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ )の放射能比は噴火後40万年程度経つと放射平衡に達する。九州の火山岩で40万年より若い試料を分析した。また、当初沈み込むスラブからの流体により $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比が変化するかを検証することも研究の目的としていたため、流体の関与が大きいと考えられる試料を優先して選択した。試料は研究分担者の三好が過去にホウ素の分析に使用した物から、流体寄与の指標となるホウ素/ニオブ濃度比が大きい物を用いた。研究の進展とともに、九州の火山岩は放射平衡に近いものが多く、放射非平衡度の判定に年代効果の補正の影響が大きく影響することが明らかになったため、研究期間の最終年度は1万年より若い阿蘇の火山岩試料を集中的に分析した。対象とした火山は、火山フロントに位置する由布岳、九重、阿蘇、霧島、開聞岳、および背弧側に位置する雲仙岳、多良岳、福江火山である。放射非平衡分析は人工の同位体 $^{236}\text{U}$ 、 $^{229}\text{Th}$ をスパイクとして使用し、U、Thの濃度測定と同時に、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 、 $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ 比の同位体測定を行った。岩石からの、U、Thの抽出・精

製は当初 Fukuda et al. (2008) の方法に従ったが、精製が不十分なことがあるため、分析法を改良した。まず岩石分解液から eichrom 社の溶媒抽出クロマトグラフィー樹脂の UTEVA によりウラン、トリウムを分離し、ウランは UTEVA 樹脂、トリウムは陰イオン交換樹脂による 2 回目の精製を行う方法を確立した。精製したウラン、トリウムは多重検出型 ICP 質量分析計 (GV instruments 社製 IsoProbe) を用い、同位体比測定を行った。 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  の精度は数%と考えられる。いくつかの試料については、微量元素分析濃度測定と、ストロンチウム、ネオジウム、鉛の同位体比分析を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 九州の火山岩はホウ素/ニオブ比が比較的大きな試料でも  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  が 1 以下の物は見られなかった。当初計画していた、沈み込み流体の付加により  $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$  が変化するかの検証には不適當な試料であることが明らかになった。したがって、 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  から、マグマ成因の検討を行うことに研究目的を絞り込んだ。

(2) 今回分析した 45 試料程度の九州の火山岩は、まず U、Th 濃度が高い特徴がある。沈み込み流体の寄与が顕著である伊豆島弧の火山岩では、Th 濃度は 0.2 から 1.3ppm のものが多かったが、今回分析した九州弧の試料は 1 から 6ppm であった。また  $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$  放射能比は伊豆島弧の試料 (1.0 から 1.4) と比べると低く 0.7 程度のものが多い。以上の分析結果は、九州弧の火山の親マグマは大陸地殻物質の影響を、伊豆島弧試料と比べるとより大きく受けているためと解釈できる。また、 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  が 1 に近く放射平衡に近い試料が多い。 $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  が 1.05 より大きい試料は、

鬼箕、阿蘇の一部、雲仙、福江島、開聞の一部に見られた。伊豆島弧で見られる  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  が 1 より小さい試料は稀のようである。今回測定した九州の火山岩は、ウラン - トリウム放射非平衡プロット (横軸を  $(^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})$ 、縦軸を  $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th})$  とする) において、 $(^{238}\text{U}/^{232}\text{Th})$  が 0.7 付近に放射平衡線のやや左側にプロットされる物が多いということになる。放射非平衡の大きさの指標となる  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  比が大きい試料は、Tb/Yb 比などが高い傾向があり、ザクロ石の存在下での融解が示唆される。成因としては沈み込むスラブの融解、スラブ上の堆積物の融解などが考えられる。また下部地殻の関与の可能性もある。ただし、九州の火山岩の Sr/Y 比、Tb/Yb 比などは典型的なアダカイト試料ほどは大きくない。火成活動のメカニズムについて、他の元素の同位体比や微量元素組成と組み合わせで解析中である。

#### (3) 総合考察

九州の若い火山活動がほとんど  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U})$  が 1 以上になることを発見した。古い太平洋プレートが沈み込む、東日本の火成活動では多くの火山が  $(^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}) < 1$  に放射非平衡を持つ。この差は、九州弧へ沈み込んでいるフィリピン海プレートが若く、海洋地殻そのものか、あるいは海洋地殻とともに沈み込む堆積物が溶融しやすい条件に置かれていることを示唆している。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件) (下記は全て査読有)

1. Agashev, A. M., Y. Orihashi, N. P. Pokhilenko, I. V. Serov, A. V. Tolstov and S. Nakai, Age of Mirny field kimberlites

- (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochem. J.* 50, 5, 431-438. 2016
2. Brenna, M., S. Nakada, D. Miura, K. Toshida, H. Ito, N. Hokanishi and S. Nakai, A trachyte-syenite core within a basaltic nest: filtering of primitive injections by a multi-stage magma plumbing system (Oki-Dōzen, south-west Japan), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 170, 2, doi:10.1007/s00410-015-1181-0, 2015
  3. Nakamura, H., K. Chiba, Q. Chang, S. Nakai, K. Kazahaya and H. Iwamori, Rare Earth Elements of the Arima Spring Waters, Southwest Japan: Implications for Fluid - Crust Interaction during Ascent of Deep Brine, *J. Geol. Geosci.*, 4:217, doi:10.4172/2381-8719.1000217, 2015.
  4. Sakuyama, T., S. Nakai, M. Yoshikawa, T. Shibata and K. Ozawa, Progressive Interaction between Dry and Wet Mantle during High-temperature Diapiric Upwelling: Constraints from Cenozoic Kita-Matsuura Intraplate Basalt Province, Northwestern Kyushu, Japan. *Journal of Petrology*, 55, 6, 1083-1128, 2014.
  5. Hanyu, T., H. Kawabata, Y. Tatsumi, J. Kimura, H. Hyodo, K. Sato, T. Miyazaki, Q. Chang, Y. Hirahara, T. Takahashi, R. Senda and S. Nakai, Isotope evolution in the HIMU reservoir beneath St. Helena: Implications for the mantle recycling of U and Th. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 143, 15, 232-252, 2014.
  6. Yamazaki, E., S. Nakai, Y. Sahoo, T. Yokoyama, H. Mifune, T. Saito, J. Chen, N. Takagi, N. Hokanishi, and A. Yasuda, Feasibility studies of Sn isotope composition for provenancing ancient bronzes., *Journal of Archaeological Science*, 52, 458-467, 2014.
- [学会発表] (計6件)
1. 三好雅也, 阿蘇火山のマグマ供給系の変遷, 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究「噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作」研究集会, 2017年03月03日 ~ 2017年03月03日, 熊本大学 (熊本県熊本市)
  2. 三好雅也, 阿蘇のマグマ供給系の変遷, 国際火山噴火史情報研究集会, 2017年01月21日 ~ 2017年01月22日, 福岡大学 (福岡県福岡市)
  3. S. Nakai, A. Takamasa, R. Yoshizumi, T. Urabe, T. Fujiwara, S. Toyoda and J. Ishibashi, The influence of U, Th mobility in hydrothermal fluids on U-Th radioactive disequilibrium dating of sulphide minerals, Goldschmidt 2016 (国際学会) 2016年06月26日 ~ 2016年07月01日 横浜国際平和会議場 (神奈川県横浜市)
  4. 中井 俊一, 賞雅 朝子, 藤原 泰誠, 豊田 新, 石橋 純一郎, 浦辺 徹郎, 吉住 亮人, 海底熱水鉱床の硫化鉱物のウラン - トリウム放射非平衡について, 日本地球惑星科学連合連合大会2016年大会(招待講演), 2016年05月22日 ~ 2016年05月26日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)
- [図書] (計8件) (下記は全て査読有)

1. Miyoshi, M., T. Sano, K. Shimizu, A. Delacour, T. Hasenaka, Y. Mori, and T. Fukuoka, Geological Society of America, Boron and Chlorine contents of basalts from Shatsky Rise, IODP Expedition 324: implications for the alteration of oceanic plateaus. In: "The Origin, Evolution, and Environmental Impact of Oceanic Large Igneous Provinces (eds. Neal C.R., Sager W., Sano T., Erba E), 2015, p68-84.
2. Kumagai, H., H. Watanabe, T. Yahagi, S. Kojima, S. Nakai, S. Toyoda and J. Ishibashi. Springer, Evaluating Hydrothermal System Evolution Using Geochronological Dating and Biological Diversity Analyses, In "Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems. (Eds. Ishibashi, J., Okino, K. and Sumamura, M.) ", 2014, p49-59.
3. Ishibashi, J., K. Shimada, F. Sato, A. Uchida, S. Toyoda, A. Takamasa, S. Nakai, H. Hyodo, K. Sato, H. Kumagai, and K. Ikehata, Springer, Dating of Hydrothermal Mineralization in Active Hydrothermal Fields in the Southern Mariana Trough, In "Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems (Eds. Ishibashi, J., Okino, K. and Sumamura, M.) ", 2014, p289-300.
4. Fujiwara, T., S. Toyoda, A. Uchida, J. Ishibashi, S. Nakai, A. Takamasa, Springer, ESR Dating of Barite in Sea-Floor Hydrothermal Sulfide Deposits in the Okinawa Trough. In "Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems. (Eds. Ishibashi, J., Okino, K. and Sumamura, M.)",

2014, p369-386.

## 6 . 研究組織

### ( 1 ) 研究代表者

中井 俊一 (NAKAI, Shun'ichi)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号 : 50188869

### ( 2 ) 研究分担者

三好 雅也 (MIYOSHI Masaya)

福井大学・学術研究院教育・人文社会  
系部門・准教授

研究者番号 : 50557353