

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05336

研究課題名(和文)ベリリウム-10による西南日本弧第四紀マグマにおける物質循環の解明

研究課題名(英文)10Be for Quaternary volcanic rocks from southwest Japan arc: role of subducted sediments

研究代表者

土谷 信高 (Tsuchiya, Nobutaka)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：50192646

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)：西南日本の大山、三瓶山、青野山火山群の火山岩類、および東北日本の岩手山、寒風山の火山岩類について、主成分元素、微量元素、Sr-Nd同位体比組成を測定し、さらにBe同位体比の測定を行った。その結果、 $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 同位体比は大山・三瓶・青野山が $0.3\text{--}17 \times 10^{-3}$ であった。以上のことから、西南日本の第四紀火山岩類からも堆積物混入の指標となる ^{10}Be が検出された。しかしながら、今回測定された岩手山の焼け走り溶岩流試料のBe同位体比は先行研究の値よりも2桁程度低く、Beの抽出過程に問題があった可能性がある。この点は今後十分に検討し、さらに精度良い測定値が得られるよう努める予定である。

研究成果の概要(英文)：We investigate Be isotopic ratios for Daisen, Sambe, Aonoyama volcanic rocks in the southwest Japan arc, and Iwate and Kanpu volcanic rocks in the northeast Japan. Be isotopic ratios ($^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$) for the volcanic rocks from Daisen, Sambe, and Aonoyama were $0.3\text{--}17 \times 10^{-3}$, indicate the incorporation of a component derived from subducted sediments in the southwest Japan arc magmas. However, our result of Iwate volcano was extremely lower than those from previous results, further investigation will be necessary for precise determination of Be isotopic ratios.

研究分野：地質学

キーワード：ベリリウム-10 西南日本 第四紀火山岩 アダカイト

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通) (電子申請システム対応用)

1. 研究開始当初の背景

宇宙線生成核種の ^{10}Be は、放射壊変で失われるために地球内部にはほとんど存在しないが、海洋堆積物中には微量 (10^8 – 10^9 atoms/g 程度) に存在することが知られている。一方、島弧の火山岩からは、有為な量の ^{10}Be がしばしば検出される。 ^{10}Be が検出されることは、海洋プレートと共に沈み込んだ海洋堆積物が島弧のマグマ生成に影響を及ぼしている直接的な証拠であると考えられる。また、 ^{10}Be は放射性同位元素 (半減期: 150 万年) であることから、沈み込み帯の物質循環に時間的な制約を与えることも可能である。

わが国では、古い太平洋プレートが沈み込む東北日本弧や北海道の第四紀火山岩の ^{10}Be が測定されており (Morris and Tera, 1989; Morris *et al.*, 1990; 佐野ほか, 2000), これらのマグマの生成に海洋堆積物が寄与していることが示されている。これに対して、フィリピン海プレートの一部をなす若い四国海盆が沈み込んでいる西南日本弧の火山岩については、 ^{10}Be の定量はまだ行われていない。若い沈み込みの特徴である西南日本弧では、スラブメルトリングで形成されたと考えられる大山、三瓶等の第四紀アダカイト質岩が出現することが特徴である (Morris, 1995; Kimura *et al.*, 2005)。アダカイトは、初生的な大陸地殻成分の候補として注目されている岩石であるが、わが国以外でも ^{10}Be の検討はほとんど行われていない。

(1). 山陰地方の第四紀火山岩類

山陰地方には大山 (大山-^{ひるぜん}蒜山火山群) を代表とした第四紀火山が分布するが、それはデイサイトを主体とすることで東北日本弧のものとは著しい対照をなす。Morris *et al.* (1995) は、山陰地方の大山および^{さんべ}三瓶山の火山岩類の岩石化学的性質を検討し、それらがスラブ溶融によって形成されたアダカイトであることを明らかにした。Kimura *et al.* (2003; 2005) は、後期中新世のアルカリ岩からなる背弧火山活動の後、フィリピン海プレートのスラブ溶融によって、アダカイト質火山活動が起こったことを明らかにした。また Kimura *et al.* (2005) は、大山の^{からすがせん}烏ヶ山溶岩ドームの詳細な地質学的検討を行なうとともに、大山-蒜山溶岩が 1 Ma にわたって莫大な量 (100^3 km 以上) のほぼ均質なアダカイト質マグマを噴出したことから、フィリピン海スラブの様な均質な起源物質が想定されるとした。

Kimura *et al.* (2009) は、それまでのデータをまとめて漸新世以降の山陰地方の火山活動発達史を明らかにした。それによれば、漸新世以降の火山活動は、第 I 期 (25–17/Ma): 背弧リフト形成期火山活動、第 II 期 (17–12/Ma): 背弧海盆拡大期火山活動、第 III 期 (12–4/Ma): 背弧火山活動、第 IV 期 (4–0/Ma): 島弧火山活動に区分される。第 II 期には、それまでトランスフォーム断層で接していた四国海盆が、西南日本弧に沈み込み始めた。これに伴い、上昇したアセノスフェアから海洋島型アルカリ岩と海洋島型ソレアイトの活動が背弧海盆内に発生し、四国海盆のスラブ溶融によって瀬戸内帯に高 Mg 安山岩類が活動した。第 III 期にはアセノスフェア上面の深化に伴ってマグマ発生深度が深くなり、背弧側火山岩にアルカリ岩が卓越するようになった。また背弧海盆拡大に伴って上昇した背弧側アセノスフェアが西南日本弧下まで流入し、山陽帯までアルカリ岩石区が拡大した。第 IV 期になると、深度 100 km 等深線付近に達したフィリピン海スラブの先端が融解を開始し、大山-蒜山火山群、三瓶山、大江高山、青野山火山群などのアダカイト質デイサイトの活動が始まった (Kimura *et al.*, 2009)。

佐藤ほか (2011) は、和久羅山デイサイトがアダカイトであることを明らかにし、その全岩 K–Ar 年代が 6.34 ± 0.19 Ma と 4.96 ± 0.25 Ma, 4.99 ± 0.25 Ma であることから、アダカイトの活動開始が 6 Ma 頃まで遡る可能性を示した。Feinmann *et al.* (2013) は、大山火山の主成分および微量成分化学組成と Sr–Nd–Pb および U–Th 同位体比の検討から、大山アダカイト質デイサイトを形成したスラブ溶融は、最大 25% に達する著しい南海トラフの堆積物の影響を受けたことを述べた。また Kimura *et al.* (2014) は、Arc Basalt Simulator (Kimura *et al.*, 2009) version 4 を使用し、西南日本弧の新生代火成活動の成因の統一的な説明を試みた。それによれば、火山岩類の多様性の原因としてもっとも重要なのはマントルに加わるスラブメルト成分の割合であり、アダカイト質岩では 3.5–15wt% でもっとも高く、高 Mg 安山岩では 1.5–10wt% でこれに次ぎ、シヨシヨナイト、アルカリ玄武岩、サブアルカリ玄武岩では 0.5–4wt% で最も低くなる古都を示した。Arc Basalt Simulator による検討で、西南日本弧の新生代火山岩類全般にスラブ溶融の影響が確認されたことは注目に値する。なお大山火山に関して Tamura *et al.* (2003) は、地殻内で固化した中性マグマが再融解してデイサイトが発生したというスラブ溶融によらない成因論を述べている。

以上の様に山陰地方の第四紀火山岩類に関してはスラ

ブ溶融起源という成因論が多いが、次に他の地域のものと同様に簡単な成因の検討を行う。山陰地方の第四紀火山岩類は、アダカイト判別図では典型的なアダカイトの領域に、また $\epsilon_{Nd}-\epsilon_{Sr}$ 図ではマントルアレイのやや右側にプロットされており、スラブ溶融起源という結論と矛盾はない。Fig. 2-A は、大山火山と青野山火山群 (Kimura *et al.*, 2014) の La/Yb-Sr/Y 図である。図に示されるように、大山・青野山のいずれも La/Yb 比と Sr/Y 比には明瞭な相関があり、スラブ溶融起源であることがはっきりと示される。また北上山地のアダカイト質花崗岩と微量元素組成を比較すると (Fig. 2-B), その特徴は大変よく類似している。以上のことから、山陰地方の大山・青野山火山岩のアダカイト質岩は、北上山地のものと同様の起源物質から同様のスラブ溶融過程を経て形成された可能性が高い。

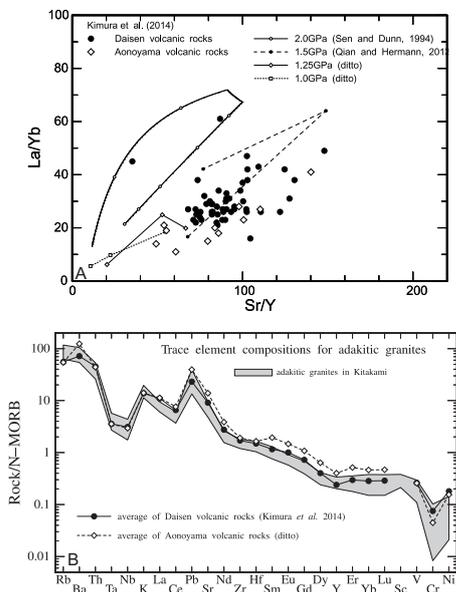


図 1: 上: 西南日本第四紀火山岩類のアダカイト判別図。下: 西南日本第四紀火山岩類の Sr/Y-La/Yb 図。

2. 研究の目的

研究代表者の土谷は、これまで北上山地の白亜紀花崗岩類を主な対象として、スラブメルティングの研究を行ってきた (Tsuchiya *et al.*, 2005; 2007 など)。その結果、アダカイト質マグマの生成には、かなりの量の海洋性堆積物の関与の可能性が示唆されている。この問題を解決するためには、第四紀アダカイト質岩を対象として、海洋性堆積物の関与の直接の証拠である ^{10}Be の検討を行なう必要がある。

西南日本の第四紀火山岩マグマの場合、沈み込んだ海

洋地殻がマグマの発生現場に到達するまでの時間は、 ^{10}Be の半減期の 5 倍程度と見積られる。このことから、島弧マグマ中に含まれるであろう ^{10}Be は、加速器質量分析による超高感度分析で分析可能だと考えられる。本研究では、若い海洋プレートの沈み込みで特徴づけられ、火成活動の時間的・空間的変遷が高い精度で明らかにされている (例えば、Kimura *et al.*, 2005) 西南日本の第四紀火山岩類について、 ^{10}Be の定量分析を行なう。これを含めた岩石化学的検討によって、フィリピン海プレートの沈み込みによってもたらされた海洋堆積物の、アダカイト質マグマの生成への寄与率を明らかにしてそのリサイクル時間に制約を与え、西南日本弧の物質循環と火成活動のメカニズムの解明を目指す。

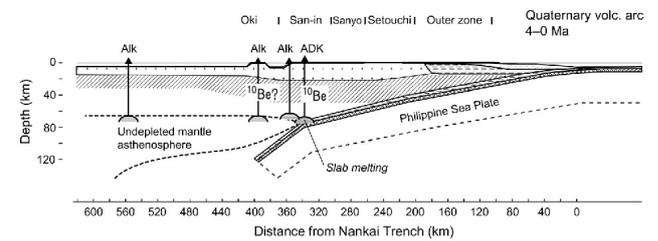


図 2: 西南日本弧のマグマ生成へのフィリピン海プレートの寄与の概念図。アダカイトマグマには ^{10}Be が混入すると思われるが、アルカリ玄武岩には ^{10}Be の寄与があるかどうかは不明。Kimura *et al.* (2003) に一部加筆。

3. 研究の方法

西南日本の大山、三瓶、青野山などの第四紀火山について、2015~2016 年度に新たに地質調査と試料の採取を行い、岩石記載と主成分・微量元素の定量分析を行なった。また山陰のアルカリ玄武岩のうち比較的年代が若いと思われる片俣の含金雲母玄武岩についても試料採取を行った。さらに東北日本の第四紀火山の代表として、岩手火山および寒風火山について、基盤花崗岩類も含めての試料採取を行い、岩石記載と主成分・微量元素の定量分析を行なった。

主成分・微量元素の定量分析については、土谷ほか (2015) による花崗岩類の分析と同様の処理を行った。岩石記載とこれらの分析結果から試料を選定し、大山、三瓶山、青野山火山群の火山岩類、片俣のアルカリ玄武岩、および東北日本の岩手山、寒風山の火山岩類について、Sr-Nd 同位体分析と Be 同位体分析を行った。

Sr-Nd 同位体分析は、新潟大学理学部の表面電離型質量分析装置を使用し、高橋俊郎氏の指導で実施した。Be 同位体分析については、岩石表面等に二次的に付着していた Be を除去するためのリーチング、細粉化、酸分解

およびイオン交換による Be の抽出を経て、東濃地科学センターの速器質量分析装置で測定した。リーチングは、Shimaoka (1999) および Shimaoka *et al.* (2004) を参考にして、50 メッシュ程度に粉碎した試料に 1 mol の HCl を 20 ml 加え、1 時間ごとに酸を交換して計 4 時間の超音波洗浄を行った。その後試料の細粉化を注意深く行い、酸分解および Be の抽出は Shimaoka *et al.* (2004)、同位体比測定は Saito-Kokubu *et al.* (2013) に従って行った。実際には、リーチング、細粉化、酸分解および Be 抽出についてはそれらの方法を確立するまでに時間がかかったため、同位体比測定を実行できたのは 2017 年度末であった。

4. 研究成果

(1). Sr-Nd 同位体比

西南日本の大山、三瓶山、青野山火山群の火山岩類、および東北日本の岩手山、寒風山の火山岩類について、Sr-Nd 同位体比の測定を行った。測定結果は $\epsilon_{Nd}-\epsilon_{Sr}$ 図に示した (図 3)。図には先行研究である Feineman *et al.* (2013) および Kimura *et al.* (2014) の値も比較のためにプロットされている。今回得られた値は、青野山のものがやや ϵ_{Nd} 値が低いほかは先行研究とほぼ一致する。

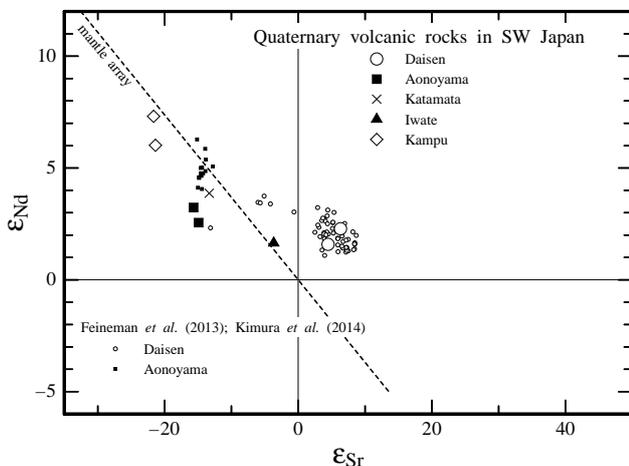


図 3: 今回測定した試料の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}-\text{Be}$ 図. Shimaoka *et al.* (2016) による北海道および東北日本弧のデータと比較している。

(2). Be 同位体比

西南日本の大山、三瓶山、青野山火山群の火山岩類、および東北日本の岩手山、寒風山の火山岩類について、Be 同位体比の測定を行った。その結果、 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 同位体比は大山が 0.3, $17 (\times 10^{-13})$ 、以下指数部分は省略)、三瓶山

が 0.4, 9, 青野山が 1.9, 東北日本の岩手山が 0.7, 寒風山が 2.5, 4.3 であった (いずれもブランク補正を行った値)。また片俣のアルカリ玄武岩についても測定を行ったが、 $0.4 (\times 10^{-13})$ と小さな値であった。これらの値はブランクの測定値である $0.26 (\times 10^{-13})$ よりも十分に大きく、西南日本の火山岩と東北日本の火山岩の値に大きな差がないことが分かる。以上のことから、西南日本の火山岩類からも ^{10}Be が間違いなく検出されていると考えられる (図 4)。このことは、スラブメルティングで形成されたと考えられる西南日本の火山岩類にも、沈みこんだ堆積物の痕跡が認められることを意味する。

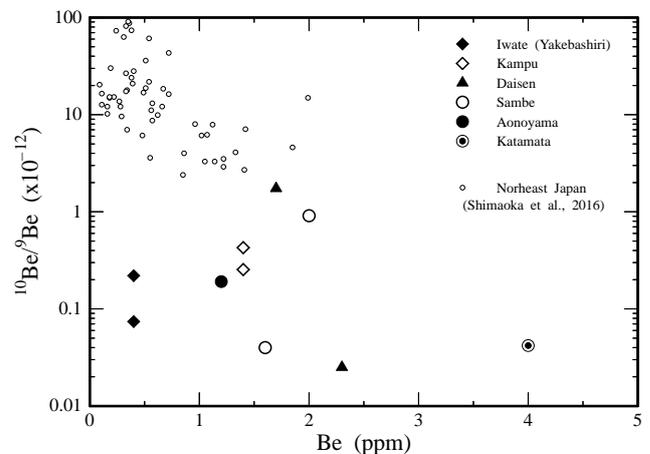


図 4: 今回測定した試料の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}-\text{Be}$ 図. Shimaoka *et al.* (2016) による北海道および東北日本弧のデータと比較している。

しかしながら、今回測定された岩手山の焼け走り溶岩流の試料の Be 同位体比を先行研究の値 (Shimaoka *et al.*, 2016) と比較すると 2 桁程度低い値であり、Be の抽出過程に問題があった可能性がある。この点は今後十分に検討し、さらに精度良い測定値が得られるよう努める予定である。

これまでの先行研究からは、西南日本の火山岩類では大山および三瓶山のものよりも青野山の火山岩類の方がより枯渇的な同位体組成を示す。これについては、青野山のものよりも大山・三瓶山のものの方が沈みこんだ堆積物成分を多く含むことで説明されている (Feineman *et al.*, 2013, Kimura *et al.*, 2014)。しかしながら、今回得られた Be 同位体比からは、青野山と大山・三瓶山の火山岩類の生成に関与した堆積物の量比にはそれほど差がないことになる。今後さらに精度の高い Be 同位体比が得られれば、西南日本の第四紀火山岩類の成因をさらに詳しく検討することが可能となろう。

<引用文献>

1. Kimura, J.-I., Kunikiyo, T., Osaka, I., Nagao, T., Yamauchi, S., Kakubuchi, S., Okada, S., Fujibayashi, N., Okada, R., Murakami, H., Kusano, T., Umeda, K., Hayashi, S., Ishimaru, T., Ninomiya, A. and Tanase, A., 2003, Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction. *Island Arc*, **12**, 22–45.
2. Kimura, J.-I., Tateno, M. and Osaka, I., 2005, Geology and geochemistry of Karasugasen lava dome, Daisen-Hiruzen Volcano Group, southwest Japan. *Island Arc*, **14**, 115–136.
3. Morris, P.A., 1995, Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwestern Japan. *Geology*, **23**, 395–398.
4. Morris, J.D. and Tera, F., 1989, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 3197–3206.
5. Morris, J.D., Leeman, W.P., and Tera, F., 1990, The subducted component in island arc lavas: constraints from Be isotopes. *Nature*, **344**, 31–36.
6. Saito-Kokubu, Y., Nishizawa, A., Suzuki, M., Ohwaki, Y., Nishio T., Matsubara, A., Saito, T., Ishimaru, T., Umeda, K. and Hanaki, Current status of the AMS facility at the Tono Geoscience Center of the Japan Atomic Energy Agency. *T. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., B, Beam Interact. Mater. Atoms.*, 294, 43–45, 2013.
7. 佐野貴司ほか, 2000, 日本火山学会講演予稿集, **2**, 78–78.
8. Shimaoka, A.K., 1999, Be Isotopic Ratios in Island-arc Volcanic Rocks From the North-East Japan: Implications for Incorporation of Oceanic Sediments Into Island-arc Magma (Ph. D. Thesis) Univ. Tokyo, Japan. 102p.
9. Shimaoka, A., Sakamoto, M., Hiyagon, H., Matsuzaki, H., Kaneoka, I., Imamura, M., 2004. Meteoric 10Be in volcanic materials and its behavior during acid-leaching. *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B* 223-224, 591–595.
10. Tsuchiya N., Suzuki, S., Kimura, J.-I. and Kagami, H., 2005, Evidence for slab melt/mantle reaction: petrogenesis of Early Cretaceous and Eocene high-Mg andesites from the Kitakami Mountains, Japan. *Lithos*, **79**, 179–206.
11. Tsuchiya, N., Kimura, J.-I. and Kagami, H., 2007, Petrogenesis of Early Cretaceous adakitic granites from the Kitakami Mountains, Japan. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, **167**, 134–159.
12. 土谷信高・武田朋代・足立達朗・中野伸彦・小山内康人・足立佳子, 2015, 北上山地の前期白亜紀アダカイト質火成活動とテクトニクス. 岩石鉱物科学, **44**, 69–90.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 平原由香・仙田量子・高橋俊郎・土谷信高・加々島慎一・吉田武義・常 青・宮崎 隆・ボグダン ステファノフ ヴァグラロフ・木村純一, 2015, 東北日本弧に分布する白亜紀～古第三紀の花崗岩類の Sr・Nd・Hf 同位体組成の空間分布. 岩石鉱物科学, 査読有, **44**, 91–111. 10.2465/gkk.130830
2. 土谷信高・武田朋代・足立達朗・中野伸彦・小山内康人・足立佳子, 2015, 北上山地の前期白亜紀アダカイト質火成活動とテクトニクス. 岩石鉱物科学, 査読有, **44**, 69–90. 10.2465/gkk.131228

[学会発表] (計 9 件)

1. 土谷信高・山崎大輔, 2017, スラブメルトとマントルかんらん岩の反応についての実験岩石学的研究. 日本鉱物科学会 2017 年年会.
2. 土谷信高・佐々木 惇・足立達朗・中野伸彦・小山内康人, 2017, 南部北上山地, 神楽複合岩類に伴われる珪長質岩類のジルコン U-Pb 年代と岩石化学的特徴日本地球惑星科学連合 2017 年大会.
3. 土谷信高・加々島慎一・平原由香・高橋俊郎・仙田量子・常 青・宮崎 隆・ボグダン ステファノフ・原口 悟・木村純一, 2016, 北上山地の前期白亜紀アダカイト質花崗岩類の Sr-Nd-Pb-Hf 同位体岩石学. 日本鉱物科学会 2016 年年会.

4. 土谷信高・足立達朗・中野伸彦・小山内康人, 2016, 南部北上山地, カンブリア紀甫嶺珪長質岩類の産状について日本地質学会第 123 年学術大会
5. Tsuchiya, N., Kagashima, S., Hirahara, Y., Takahashi, T., Senda, R, Qing Chang, Miyazaki, T., Bogdan Stefanov Vaglarov, Haraguchi, S., and Kimura, J.-I., 2016, Role of subducted sediment in Sr-Nd-Pb-Hf isotopic evolution for Early Cretaceous to Paleogene granitic rocks from northeast Japan. Goldschmidt 2016, Yokohama.
6. 佐々木 惇・土谷信高・足立達朗・中野伸彦・北野一平・小山内康人・足立佳子, 2016, 南部北上山地, 氷上花崗岩類の結晶作用と成因. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会,
7. 土谷信高・佐々木 惇・足立達朗・中野伸彦・小山内康人・足立佳子, 2015, 後期石炭紀～前期ペルム紀花崗岩類の年代学のおよび岩石化学的特徴. 日本鉱物科学会 2015 年年会
8. 土谷信高・足立達朗・中野伸彦・小山内康人・荒戸裕之, 2015, 基礎試錐「気仙沼沖」花崗岩コアのジルコン U-Pb 年代と全岩化学組成の特徴. 日本地質学会第 122 年学術大会
9. 土谷信高・佐々木 惇・足立達朗・中野伸彦・小山内康人, 2015, 北上山地の前期白亜紀火成岩類のジルコン U-Pb 年代の特徴. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会.

3. 研究協力者

佐々木 惇 (SASAKI Jun)

6. 研究組織

1. 研究代表者

土谷 信高 (TSUCHIYA Nobutaka)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：50192646

2. 研究分担者

國分 陽子 (SAITO-KOKUBU Yoko)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・研究副主幹

研究者番号：10354870

梅田 浩司 (UMEDA Koji)

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60421616