

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21540496

研究課題名（和文）玄武岩の斑晶のホウ素とリチウム同位体比：南九州マントル・ウェッジの不均質性の解明

研究課題名（英文）Boron and lithium isotopic compositions of phenocrysts in basalts: insight into heterogeneity of mantle wedge beneath South Kyushu, SW Japan

研究代表者

新城 竜一（SHINJO RYUICHI）

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：30244289

研究成果の概要（和文）： 岩石からのホウ素の効率的な分離のため、「マイクロ昇華法」の適用を試み、ほぼ100%の回収率が得られる条件を確定した。斑晶の微小領域のサンプル採取法としてマイクロミルを使用した。作業中にホウ素のブランク値の増大がみられ、満足できるサンプルの回収方法を確立できなかった。標準岩石を分析し分析精度の評価を行ったが、推奨値と一致した値とならず、さらなる改良の必要がある。現時点では天然試料に適用できない。

研究成果の概要（英文）： Micro-sublimation method was applied for separation of boron from silicate rocks. Suitable experimental condition was established. Micro-mill technique was utilized for sampling of small area like phenocryst in volcanic rock. Significant increase in boron blank level during milling was found. Analytical result for rock standards was disagree with recommended values, requiring further analytical improvement. It is too early to apply to natural samples.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：火成岩岩石学、地球化学

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、島弧、マグマ、マントル、同位体比

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯で発生するマグマの源物質であるマントルの情報、具体的には組成不均質性を解明するためには、できるだけMgOに富みマントルと平衡共存できる未分化な岩石を研究対象にする必要がある。しかし、地表で手に入る火山岩は地殻浅所でのプロセ

ス（結晶分化作用、マグマ混合、地殻物質の混染など）を受けて、マグマがマントルで発生したときの化学組成が改変されている場合が多い。そこでマントルの情報を得るため、比較的未分化な玄武岩中のカンラン石や単斜輝石の斑晶に注目し、斑晶そのものやその中に含まれるメルト包有物を微小領域分析

に特化した分析装置を用いて分析する研究が活発になってきた。これらの斑晶はマグマ分化の最初期の化学組成を保っている可能性があるためである。

沈み込み帯のマグマは、中央海嶺やホットスポットで発生するマグマと比較すると、特異な化学組成を有している。イオン半径が大きいため液相濃集元素として振る舞う Rb, K, Ba などの LIL 元素に富み、価数が大きくイオン半径が小さいために液相濃集元素として振る舞う Ti, Zr, Nb などの HFS 元素に乏しい特徴をもつ。LIL 元素の濃集は、沈み込むプレートから脱水分解反応によって「沈み込み成分」がマントルウェッジに選択的に移動したからと解釈されている。

ホウ素やリチウムは、マントルにはほとんど含まれず、LIL 元素と同様に「沈み込み成分」として、沈み込むプレートからマントルウェッジへ移動しやすい元素である。すなわち、これらの元素は「沈み込み成分」の情報を提供してくれる重要なトレーサーとして近年、注目されている。またこれらの元素は、脱水分解過程では同位体分別を起こすが、堆積物やマントル等の融解では分別を起こさない特異な性質を有する。変質した海洋地殻や堆積物はもともと異なるホウ素、リチウム同位体比を持ち、島弧下のマントルウェッジへ付加される「沈み込み成分」が脱水による流体主体なのか、堆積物融解物をどの程度含むのか等について、ホウ素とリチウムの同位体比データは、「沈み込み成分」の状態の特定と定量化に有効である。

しかし、分析の困難さからホウ素やリチウムの同位体比のデータは、日本および世界の沈み込み帯の火山岩ではほとんど報告されておらず、データも「全岩」分析に基づくものが多い。

本研究で、微小領域のサンプリングに特化した「マイクロミル」を用いて、斑晶の目的部分をサンプリングし、得られた極微量のホウ素、リチウムから同位体比を測定する分析手法を確立できれば、独創的な研究につながる事が期待された。

2. 研究の目的

本研究では、(1) マグマの分化初期に形成された斑晶（カンラン石と単斜輝石）中の微量なホウ素とリチウム同位体比を精度よく分析するための技術開発を行い、(2) この手法を南九州に産する比較的未分化な玄武岩の斑晶に適用して、マントル・ウェッジの不均質性を解明（「沈み込み成分」の特定と定量化）することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) マイクロミルを用いた斑晶部分からの分析サンプルの採取

マイクロミルは、特定ポイントの同位体比測定のためにサンプリングを行うシステムで、やや厚めの岩石薄片からサンプリングが可能である。またサブミクロン精度のサンプルステージ・コントロールにより複雑な構造の領域からサンプリングが可能である。微小径ドリル（デンタル・ドリル刃を使用）を用いて目的の微小領域を研削し、生じた研削粉を採取し、分析に供する。

(2) ホウ素・リチウムの分離に関する実験

同位体分析のためには、ホウ素やリチウムを岩石から高純度で分離・抽出する必要がある。この過程では、特にホウ素において、実験室環境からの汚染を最小限に抑える必要がある。このため、ホウ素を除去したフィルター類を使用したクリーン環境での作業と高純度試薬類の使用が不可欠である。ホウ素について、本研究では従来の研究に比べて、より簡便な分離方法を開発する。すなわち、内部が三角円錐形状で蓋付きのテフロン製ビーカー（5mL 容量）を用いて、マイクロ昇華法を火成岩に初めて適用する。リチウムについては、イオン交換カラム法を用いるが、溶離液の種類や濃度の検討を行い効率化できるように改良を加える。

(3) 微量ホウ素の同位体比分析

表面電離型質量分析計（TIMS）を使用して、ホウ素およびリチウムの同位体比を測定する。ホウ素では、使用量が少なくすむ negative-TIMS 法を適用し、陰イオンとして測定を行う。またリチウムは陽イオンとして測定する。

4. 研究成果

(1) 本研究では岩石中（岩石薄片中）の微小領域のサンプル採取法の開発を行った。岩石から目的の鉱物だけを効率よく採取するため、マイクロメートル単位で制御できるサンプルステージを備えた全自動マイクロミル装置を利用した。これを火山岩の斑晶（カンラン石や普通輝石）へ適用し、微小領域のサンプル採取に成功した。マイクロドリルによってできた粉末を回収するのに、特殊な吸引トラップ装置を導入し、効率よく粉末を回収する技術を検討したが、回収率をあげることができなかった。また、ブランク値の増大もみられた。

(2) ケイ酸塩（火山岩）と炭酸塩（サンゴ骨格試料）から、ホウ素を効率的に分離する技術（マイクロ昇華法）の開発を行った。マイクロ昇華には、三角錐型のテフロン製密閉容器を用いた。100%近い回収率を得るために、昇華温度や昇華時間などの条件を変えて実験を行った。ケイ酸塩岩石には玄武岩（JB-1, JB-2, JB-3）、安山岩（JA-1, JA-2, JA-3）、流紋岩（JR-1, JR-2）などの標準岩石を、炭酸塩では JCp-1 サンゴ標準物質を用いた。まず、四重極 ICP-MS を用いたホウ素の定量分析では、推奨値とほぼ一致する定量結果が得られた。ホウ素の分離実験では、塩酸溶液を用い、100°Cで10時間程度の昇華を行うことで、両タイプの試料から、高純度でホウ素の分離に成功し、回収率も100%近い結果が得られた。本法は、従来の多段階のカラム分離を必要とせず、ブランク値を抑え分離時間も短縮され、作業も簡便であることから、画期的な方法である。

(3) 極微量のホウ素で同位体比の分析ができるように分析方法の検討を行った。100~200 pgの極微量ホウ素を効率よく分析できそうなトータル・エバポレーション法を検討した。ホウ素標準物質（NBS951）に関しては再現性のよいデータが得られた。一方、表面電離型質量分析計（TIMS）にかわり、平成23年度末に本研究室に導入されたマルチコレクターICP質量分析計（MC-ICP-MS）を用いて、ホウ素同位体比の分析も行った。TIMS法に比べ、分析にかかる手間と時間の短縮化、および分析に必要なとされるサンプル量の最小化が見込めたからである。

(4) 炭酸塩標準物質（JCp-1）から分離したホウ素の同位体比をMC-ICP-MSで測定した結果、平均値（ $\delta^{11}\text{B}=24.5$ ）は文献値と一致したが、繰り返し再現性が少し悪い結果となった。一方、火成岩標準試料（JB-2）について、分離したホウ素の同位体比 $\delta^{11}\text{B}$ は9.1~9.5となり、文献値（ $\delta^{11}\text{B}=7$ ）に比べてやや高い値となり、正確度に問題がある。同位体分別の原因がどこにあるのか、昇華条件の再検討も含めて、分析の最適化を図る必要がある。

(5) レーザーアブレーション-MC-ICP-MS法を適用する実験も行った。これが確立されれば、従来のマイクロミルでの微小領域サンプル採取作業が省略され、懸案であった作業時のブランク増大の大幅な軽減も期待できる。今回はマトリックスが単純な炭酸塩試料を用いた。JCp-1のプレス・ペレットをスタンダードとして、現世と化石サンゴの分析を試みた。 $\delta^{11}\text{B}$ を使って復元されたpHは8.7~

9.0であり、予想されるpHの値（8.1）よりも少し高い値であった。レーザー照射条件やサンプル表面の前処理の検討が必要である。以上のように、精度の高い信頼性のあるデータを得るための技術開発に時間を費やしたが、炭酸塩についてはほぼ満足できる技術開発を確立した。一方、火成岩についての技術開発は確立できておらず、開発途上の段階にある。

(6) 以上のように分離・測定技術の開発に時間がかかり、当初の目的である天然試料（南九州の火山岩）への応用まで研究を進展させることができなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計28件)

- 1) Rahman, M.A., Halfar, J., Shinjo, R. (2013) X-Ray diffraction is a promising tool to characterize coral skeletons. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 3, 120-125. doi: 10.4236/ampc.2013.31A015. 査読有
- 2) Yeganehfar, H., Ghorbani, M.R., Shinjo, R., Ghaderi, M. (2013) Magmatic and geodynamic evolution of Urumieh-Dokhtar basic volcanism, Central Iran: major, trace element, isotopic, and geochronologic implications. *International Geology Review*, 55, 767-786. doi: 10.1080/00206814.2012.752554. 査読有
- 3) Rahman M.A., Shinjo, R., 他2名 (2013) Analysis of the Proteinaceous Components of the Organic Matrix of Calcitic Sclerites from the Soft Coral *Sinularia* sp. *PLoS ONE* 8(3): e58781. doi: 10.1371/journal.pone.0058781. 査読有
- 4) Wijaya, A.R., 他6名5番目 (2013) Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas, Bangkok. *Journal of Geochemical Exploration*, 126-127, 45-54. doi: 10.1016/j.gexplo.2012.12.009. 査読有
- 5) Osozawa, S., Shinjo, R., 他9名 (2012) Geochemistry and geochronology of the Troodos ophiolite: An SSZ ophiolite generated by subduction initiation and an extended episode of ridge subduction? *Lithosphere*, 4, 497-510. doi:10.1130/L205.1. 査読有
- 6) Osozawa, S., Shinjo, R., 他4名 (2012)

- Palaeogeographic reconstruction of the 1.55 Ma synchronous isolation of the Ryukyu Islands, Japan, and Taiwan and inflow of the Kuroshio warm current. *International Geology Review*, 54, 1369-1388. doi: 10.1080/00206814.2011.639954. 査読有
- 7) Rahman, M.A., Shinjo, R. (2012) Control of CaCO₃ Crystal Growth by the Acidic Proteinaceous Fraction of Calcifying Marine Organisms: An InVitro Study of Biomineralization. in Jong Seto (Ed.) "Advanced Topics in Biomineralization" ISBN 978-953- 51-0045-4, InTech, pp.. 49-62. 査読有
- 8) Wijaya, A.R., Ouchi, A.K., Tanaka, K., Shinjo, R., Ohde, S. (2012) Metal contents and Pb isotopes in road-side dust and sediment of Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, 118, 68-76. doi: 10.1016/j.gexplo.2012.04.009. 査読有
- 9) Aratake, S., 他 10 名 7 番目 (2012) Soft Coral Sarcophyton (Cnidaria: Anthozoa: Octocorallia) Species Diversity and Chemotypes. *PLoS ONE* 7(1): e30410. doi: 10.1371/journal.pone.0030410. 査読有
- 10) Islam, M. S., Shinjo, R. (2012) The Dauki fault at the Shillong plateau-Bengal basin boundary in northeastern India: 2D finite element modeling. *Journal of Earth Science*, 23, 854-863. doi: 10.1007/s12583-012-0297 -7. 査読有
- 11) Wang, K.-L., 他 8 名 5 番目 (2012) Age and geochemical characteristics of Paleogene basalts drilled from western Taiwan: Records of initial rifting at the southeastern Eurasian continental margin. *Lithos*, 155, 426-441. doi: 10.1016/j.lithos.2012.10.002. 査読有
- 12) Wang, K.-L., 他 6 名 6 番目 (2012) Age and geochemical features of dredged basalts from offshore SW Taiwan: The coincidence of intra-plate magmatism with the spreading South China Sea. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 23, 657-669, doi: 10.3319/TAO.2012.07. 06.01(TT). 査読有
- 13) Rahman M.A., Shinjo, R. (2011) Biocalcification of Corals and their Response to Global Climate Change. *BIONATURE 2011: The Second International Conference on Bioenvironment, Biodiversity and Renewable Energies*. pp. 51-54. ISBN: 978-1-61208-138-0. 査読有
- 14) Rahman, M.A., Fujimura, H., Shinjo, R., Oomori, T. (2011) Extracellular matrix protein in calcified endoskeleton: a potential additive for crystal growth and design. *Journal of Crystal Growth*, 324, 177-183. doi: 10.1016/j.jcrysgro.2011.03.021. 査読有
- 15) Islam, M.S., Shinjo, R., Kayal, J.R. (2011) Pop-Up Tectonics of the Shillong Plateau in Northeastern India: Insight from Numerical Simulations. *Gondwana Research*, 20, 395-404. doi: 10.1016/j.gr.2010.11.007. 査読有
- 16) Islam, M.S., Shinjo, R., Kayal, J.R. (2011) The Tectonic Stress Field and Deformation Pattern of Northeast India, the Bengal Basin and the Indo-Burma Ranges: A Numerical Approach. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40, 121-131. doi: 10.1016/j.jseaes.2010.08.015. 査読有
- 17) Noguchi, T., Shinjo, R., 他 3 名 (2011) Barite geochemistry from hydrothermal chimneys of the Okinawa Trough: insight into chimney formation and fluid/sediment interaction. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 106, 26-35. doi: 10.2465/jmps.090825. 査読有
- 18) Nohda, S., 他 3 名 3 番目 (2011) New supplemental activator for lead isotope analysis with TIMS. *Geochemical Journal*, 45, 169-174. 査読有
- 19) Shinjo, R., 他 4 名 (2011) Geochemistry and geochronology of the mafic lavas from the southeastern Ethiopian rift (the East African Rift System): Assessment of models on magma sources, plume-lithosphere interaction and plume evolution. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 209-230. doi: 10.1007/s00410-010-0591-2. 査読有
- 20) Meshesha, D., Shinjo, R., Matsumura, R., Chekol, T. (2011) Metasomatized lithospheric mantle beneath Turkana depression in southern Ethiopia (the East Africa Rift): geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 889-907. doi:10.1007/ s00410-011-0630-7. 査読有
- 21) Armid, A., 他 8 名 7 番目 (2011) Seawater temperature proxies based on D_{Sr}, D_{Mg}, and D_U from culture experiments using the branching coral *Porites cylindrica*.

- Geochimica et Cosmochimica Acta, 75, 4273-4285. doi: 10.1016/j.gca.2011.05.010. 査読有
- 22) Meshesha, D., Shinjo, R. (2010) Hafnium isotope variations in Bure volcanic rocks from the northwestern Ethiopian volcanic province: a new insight for mantle source diversity. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 101-111. doi:10.2465/jmps.090427a. 査読有
- 23) Shinjo, R., Ginoza, Y., Meshesha, D. (2010) Improved method for Hf separation from silicate rocks for isotopic analysis using Ln-spec resin column. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 297-302. doi: 10.2465/jmps.091011. 査読有
- 24) Islam, M.S., Shinjo, R. (2010) Neotectonic stress field and deformation pattern within the Zagros and its adjoining area: An approach from finite element modeling. *Journal of Geology and Mining Research*, 2, 170-182. 査読有
- 25) Matsumoto, T., Shinjo, R., 他 3 名 (2009) Submarine active normal faults completely crossing the southwest Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, 466, 289-299. doi: 10.1016/j.tecto. 2007.11.032. 査読有
- 26) Matsumoto, T., Shinjo, R., 他 5 名 (2009) Submarine, across-arc normal fault system in the southwest Ryukyu arc triggered the 1771 tsunami hazard?: field evidences from multibeam survey and in-situ observation by ROV. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, 123-129. 査読有
- 27) Islam, M.R., Shinjo, R. (2009) Mining-induced fault reactivation associated with the main Conveyor Belt Roadway and safety of the Barapukuria Coal Mine in Bangladesh: constraints from BEM simulations. *International Journal of Coal Geology*, 79, 115-130. doi: 10.1016/j.coal. 2009.06.007. 査読有
- 28) Islam, M.R., Shinjo, R. (2009) Numerical simulation of stress distributions and displacements around an entry roadway with igneous intrusion and potential sources of seam gas emission of the Barapukuria coal mine, NW Bangladesh. *International Journal of Coal Geology*, 78, 249-262. doi: 10.1016/j.coal. 2009.03.001. 査読有
- [学会発表] (計 23 件)
- 1) 新城竜一 他 2 名 (2013) 単一カラムによる地質試料からの Hf-Nd 分離方法の開発. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
 - 2) 護得久奈央, 新城竜一 (2013) 西フィリピン海盆北西部玄武岩の Hf 同位体組成の特徴. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
 - 3) 伊計杏, 新城竜一 (2013) オマーンオフイオライト溶岩層における Nd および Hf 同位体比の特徴. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
 - 4) 遅沢 壮一, 新城竜一 他 9 名 (2013) 沈み込み開始と連続的海嶺沈み込みによるトルードス SSZ オフィオライトの形成、その溶岩層序、化学組成、Ar-Ar 年代の新資料. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
 - 5) Shinjo, R. (2013) Temporal pH variation of the western Pacific revealed by boron isotope composition of carbonates. International workshop on IODP proposal writing for the western Pacific drilling. 5 月, 箱根.
 - 6) 新城竜一 (2013) 琉球大学における LA-MC-ICP-MS を用いた分析技術の革新. 新潟大学超域研究機構プロジェクト「日本地球掘削科学の拠点形成: 海洋マントル掘削の実現を目指して」主催シンポジウム「オマーンプロジェクトの到達点と新たな展開」, 3 月, 新潟大学自然科学研究科.
 - 7) 伊計杏, 新城竜一 (2013) オマーンオフイオライト溶岩層における Nd および Hf 同位体比の特徴. 新潟大学超域研究機構プロジェクト「日本地球掘削科学の拠点形成: 海洋マントル掘削の実現を目指して」主催シンポジウム「オマーンプロジェクトの到達点と新たな展開」, 3 月, 新潟大学自然科学研究科.
 - 8) 新城竜一, 田中健太郎 (2013) レーザーアブレーション-MC-ICP-MS を使ったサンゴ骨格中ホウ素同位体比のその場分析法の開発. 3 月, サンゴ礁ハブ研究プロジェクト成果発表. 琉球大学理学部.
 - 9) 田中健太郎, 他 5 名 5 番目 (2013) タイランド湾ハマサンゴ骨格中の微量元素含量と酸素同位体比の関係. 3 月, サンゴ礁ハブ研究プロジェクト成果発表. 琉球大学理学部.
 - 10) 新城竜一 他 4 名 (2011) サンゴのホウ

- 素同位体組成から復元される北西太平洋熱帯表層の pH 変動. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
- 11) 新城竜一 他 4 名 (2010) サンゴ骨格年輪のホウ素同位体比を用いた北西太平洋の表層海水 pH 復元. 日本サンゴ礁学会. 12 月, 筑波.
 - 12) Shinjo, R. (2010) 火山岩試料・堆積構造に基づく沖縄トラフ北端部・南端部の発達史の違い. KOJD/IODP Workshop. 10 月, 琉球大学 50 周年記念館.
 - 13) 新城竜一 (2010) 琉球弧の海底地形と火山. 沖縄科学の最前線 2010. 9 月, 沖縄県立博物館・美術館.
 - 14) Meshesha, D., Shinjo, R. (2010) Geochemical feature of the Afar mantle plume and geodynamic implications. 57th Annual Meeting of the Geochemical Society of Japan. 9 月, 立正大学熊谷キャンパス.
 - 15) Shinjo, R. 他 4 名 (2010) Boron isotope variability in an annually-banded coral skeleton from the northwest tropical Pacific Ocean. IGBP/PAGES 1st Asian 2K Workshop. 8 月, 名古屋大学.
 - 16) 新城竜一 (2010) にらいかないの海底調査. 名護市・ゴードックセミナースペシャル「美ら海のかがく～海から地球がみえてくる～」 沖縄の海底で繰り広げられる地球研究の最前線. 8 月, 名護市民会館.
 - 17) 新城竜一 (2010) 宮古島の成り立ち (地質) と地殻変動. 琉球大学同窓会宮古支部総会特別講演会. 7 月, 宮古島市.
 - 18) 松本剛, 新城竜一 他 4 名 (2010) これまでの精密測深調査に基づく台湾東方の南西琉球弧・西フィリピン海盆の精密海底地形. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
 - 19) 新城竜一 (2010) 海洋環境解析のためのサンゴ骨格への同位体地球化学的アプローチ. 「サンゴ礁生物源炭酸塩の形成メカニズムと応用に関するワークショップ」, 1 月, 琉球大学.
 - 20) Senda, R., Suzuki, K., Shimizu, K., Shinjo, R. (2009) Evolution of picritic basalts in arc settings: Implication from Os isotopes of Cr-spinel & whole-rocks from Kume-jima, central Ryukyu arc. Goldschmidt 2009, 6 月, Davos, Switzerland.
 - 21) Shinjo, R. 他 3 名 (2009) Magmatic geochemistry and geotectonic

configuration of the southern Okinawa Trough and the northern Taiwan volcanic zone. Goldschmidt 2009, 6 月, Davos, Switzerland.

- 22) 仙田量子, 鈴木健二, 鈴木勝彦, 新城竜一 (2009) 琉球弧久米島に産するピクライト玄武岩の起源～全岩・スピネル Os 同位体比組成からの考察. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会. 5 月, 幕張メッセ.
- 23) 松本剛, 新城竜一 他 4 名 (2009) 琉球島弧・石垣島東方沖海底活断層の発達・伝播過程. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会. 5 月, 幕張メッセ.

[その他]

<http://w3.u-ryukyu.ac.jp/earthsci/area-petrology.html>

<http://kenkyushadb.lab.u-ryukyu.ac.jp/profile/ja.8QfrQZxZq.Ardi3M-X--Fg==.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新城 竜一 (SHINJO RYUICHI)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：30244289