

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：16401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0083

研究課題名（和文）炭酸塩試料を用いた長期間かつ高解像度の古環境復元

研究課題名（英文）Long-term and high-resolution environmental reconstruction using natural carbonate

研究代表者

佐野 有司（Sano, Yuji）

高知大学・海洋コア国際研究所・特任教授

研究者番号：50162524

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では鍾乳石・二枚貝など付加成長する炭酸塩試料について、高精度年代決定法と高解像度元素・同位体分析法を融合させることにより、過去の環境を長期間かつ高精度で復元することを目的とした。具体的には、炭酸塩試料のウラン-トリウム年代測定法の権威である台湾大学の沈教授との共同研究を通じて、鍾乳石試料の年代を高精度で決定するとともに、二次イオン質量分析計(NanoSIMS)等を用いて高解像度の微量元素分析を行なった。その結果、東ティモールの鍾乳石から約7万4千年前に起きたインドネシア・スマトラ島のトバ火山の噴火という環境激変イベントが検出された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今から約7万4千年前に起きたとされるインドネシア・スマトラ島のトバ火山噴火という環境激変イベントを復元するため、東ティモールの鍾乳石の解析を進めた。国立台湾大学において試料の形成年代をウラン-トリウム非平衡法により正確に求めた後、噴火を示す部位について東京大学のNanoSIMSを用い、Mg, Sr, Ba, Al, Si, K, Fe, Mnを分析した。その結果、鍾乳洞内の滴下水の酸化還元状態が変化したことを示唆する結果が得られた。破局的噴火が地球環境を激変させる証拠として鍾乳石の研究例を増やすことで、将来の火山防災に役立つ可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to reconstruct the past environment using stagalmites, bivalves, and other accretionary growth carbonate samples over a long period of time. We measured them with high precision by integrating high-precision dating methods with high-resolution elemental and isotopic analysis methods. Specifically, through joint research with Professor SHEN of National Taiwan University, an authority on uranium-thorium dating of carbonate samples, we determined the ages of stagalmitite samples with high precision and conducted high-resolution trace element analysis using a secondary ion mass spectrometer (NanoSIMS). As a result, an environmental cataclysmic event, the eruption of Toba volcano in Sumatra, Indonesia, which occurred about 74,000 years ago, was detected in the East Timorese stagalmitite.

研究分野：地球化学

キーワード：古環境復元 二次イオン質量分析計 ウラン-トリウム年代測定 炭酸塩

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでの研究によって鍾乳石・サンゴ骨格・二枚貝殻・魚類の耳石などゆっくり成長する炭酸カルシウムを主成分とする炭酸塩には、成長時の環境情報が記録されることがわかっている。この古環境復元のためには、精密で正確な炭酸塩の年代測定と数マイクロンレベルの局所領域の微量元素や同位体組成の測定が必要である。過去数万年という地質学的には新しい炭酸塩の年代測定には、放射性炭素¹⁴Cによる年代が応用されるが、サンゴ骨格や二枚貝殻のような海洋生物が関連する試料では、海洋レーザー効果によって正確な年代が得られない問題がある。一方、ウラン-トリウム年代測定法はウラン-238系列の放射壊変を利用するもので、海成の炭酸塩では放射性炭素年代測定法より正確な年代を与える。ただし、ウラン-トリウム法では、濃縮した長寿命の放射性核種(同位体スパイクと呼ぶ)が必要であるが、日本では放射性物質の規制により研究目的であっても入手及び利用が困難であった。そこで、本国際共同研究では、国立台湾大学地球科学教室の沈教授の研究グループに依頼して、炭酸塩のウラン-トリウム年代測定を実施する計画であった。一方、炭酸塩の数マイクロンレベルの局所分析では、東京大学大気海洋研究所のグループはサンゴ骨格、二枚貝殻、有孔虫殻、魚類の耳石などで、国際的にも顕著な業績を上げており、台湾側と協力することで、重要な古環境情報を引き出す予定で研究を開始した。

2. 研究の目的

サンゴ骨格・鍾乳石・二枚貝などの炭酸塩試料について、高精度年代決定法と高解像度化学分析法を融合させることにより、過去の環境を長期間かつ高解像度で復元することを目的とした。特に、氷期・間氷期サイクルや地球温暖化に対し、アジアモンスーン・エルニーニョ・太平洋十年規模振動がどのように応答してきたのかに注目した。大規模な火山噴火が気候変動に及ぼした影響についても評価する。長期間かつ高解像度というのは本来両立が困難であるが、国立台湾大学と東京大学大気海洋研究所の研究室が有する世界トップクラスの分析技術を融合させることでブレイクスルーを狙う。具体的には、ウラン-トリウム年代測定法の世界的権威である沈教授の研究室に出向いて炭酸塩試料の高解像度の年代を決定し、本計画を通して国立台湾大学と長期にわたる共同研究体制の構築を目指す。年代が決定された試料について高解像度化学分析を実施することで超高時間解像度の古環境情報を復元する。

3. 研究の方法

炭酸塩試料のウラン-トリウム年代測定については、鍾乳石・サンゴ骨格・二枚貝殻・魚類の耳石など幅広い試料の中では、特に過去の巨大火山噴火を記録していると思われる鍾乳石の分析に重点をおいた。国立台湾大学地質科学教室の沈教授の研究室において、鍾乳石のいくつかの層をマイクロドリルで削り、粉末を回収した。精密な定量分析を行うため、ウランとトリウムの同位体スパイクを用意した。クリーンラボにおいて鍾乳石の粉末を高純度硝酸で分解し、同位体スパイクを添加した。作成した溶液からイオン交換樹脂を用いてウランとトリウムを精製した。さらに、過塩素酸溶液を加えて、煮沸還流することで質量分析の妨害となる有機物を除去した。生成したウランとトリウムはさらに硝酸・フッ酸混合液で溶解し、マルチコレクターICP質量分析計(Thermo-Fischer NEPTUNE)でウラン同位体とトリウム同位体の組成を分析し、鍾乳石試料のU-234とTh-230の放射非平衡年代を計算した。

炭酸塩試料の局所領域分析では、質量分析としてマイクロドリルによる試料採取と酸分解、ICP質量分析計による定量分析、レーザーサンプリングとICP質量分析計を組み合わせたレーザーアブレーションICP質量分析法、二次イオン質量分析法がある。分光分析として走査型電子顕微鏡付属のX線分析(SEM-EDS)、電子線マイクロプローブ法(EPMA)、X線分析顕微鏡、レーザー誘起ブレイクダウン分光分析法がある。本研究では鍾乳石の分析に当たって、試料の前処理として高知大学海洋コア国際研究所にて鍾乳石試料を一部切り取り、エポキシ樹脂のディスクに埋め込んだ。さらに樹脂ごとダイヤモンドペーストにより表面研磨した。炭素蒸着のあとで、高知大設置のEPMAにより試料の観察を行った。次に、試料ディスクを東京大学大気海洋研究所に

持ち込み、炭素蒸着を剥がし、金蒸着に変更してから二次イオン質量分析計 (NanoSIMS50) で微量元素の分析を行った。ビーム径を $1\mu\text{m}$ まで絞り、 $50\mu\text{m}$ 間隔から最小 $2\mu\text{m}$ 間隔で分析を行なった。

4. 研究成果

今から約7万4千年前にインドネシアのスマトラ島にあるトバ火山が大噴火を起こして、気候の寒冷化を引き起こし、その後の人類の進化に大きな影響を与えたと報告されている。この噴火は火山爆発指数では最大のカテゴリー8であり、破局噴火と定義され、噴出した火山物質は体積で 2000 km^3 に達したとされる。この噴火の記録は火山灰の地層として、東南アジア・南アジアを中心に残されており、インド・パキスタンにおいても 2 m に達する火山灰層が確認されている。鍾乳石は東チモール島の東部にある Lekiraka Cave で採取された。図1に示すようにトバ火山からの距離は約 1400 km あるが、7万4千年前に起きた破局噴火の影響が残されている可能性は高い。

図2はウラン-トリウム年代測定に供した鍾乳石の切り取ったスラブの断面写真である。試料の全長は約 15 cm である。始めに断片全体の成長過程を見るために、6箇所マイクロドリルにより炭酸塩試料を削り取り、そのウラン-トリウム年代を正確に分析した。本研究の測定誤差は年代にすると約300年である。その結果、この試料には約10万年前から7万2千年前までの鍾乳石の成長記録が残されていることが分かった。

次に、トバ火山噴火の年代である約7万4千年前を含む部分に注目した。図2の最上部の 2 cm 部位) を切り取り、約7万2千年前から7万6千年前の部分をさらに4分割して、詳しくウラン-トリウム年代測定を行なった。その後、 2 cm の炭酸塩の部位を直径1インチのエポキシ樹脂のディスクに埋め込んだ。図3はこのように作成した試料とそのウラン-トリウム年代を示したものである。成長速度は明らかに不均一であり、最上部では約670年間で 3 mm の幅となっているが、2段目では、同じ 3 mm の成長に約2000年かかっている。また、最下位では年代の逆転が起きているが、どちらも年代の誤差が200年以上あることを考えるとこの間の成長速度が速かったと思われる。



図1 東チモール鍾乳石の採取点とインドネシア・トバ火山の地理的關係



図2 東チモール鍾乳石の断面写真とウラン-トリウム年代測定の結果

成長速度は明らかに不均一であり、最上部では約670年間で 3 mm の幅となっているが、2段目では、同じ 3 mm の成長に約2000年かかっている。また、最下位では年代の逆転が起きているが、どちらも年代の誤差が200年以上あることを考えるとこの間の成長速度が速かったと思われる。

次に、噴火を記録すると思われる部分について、EPMAを用いて硫黄、リン、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウムの元素マッピングを行なったが、マグネシウムを除くと元素濃度の大きな変動はみられなかった。このターゲット層に対して、NanoSIMSを用い、マグネシウム、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、ケイ素、カリウム、鉄、マンガンを対象とした分析を行った。まず大まかな傾向を見るために樹脂に埋め込んだ試料のうちターゲット層を含む10mm分を50 μ m間隔で分析したところ、年代から噴火を記録すると考えられる部分にいくつかの濃度以上が見つかった。次に異常のあった部分を中心に分析間隔を2 μ m間隔まで狭くして分析を行なった。2000年で3mm成長すると仮定すると、2 μ m間隔は約一年の時間スケールに相当する。その結果、ターゲット層にて、アルミニウムとケイ素が多く含まれる小さな部位が存在し、そこでは、カルシウム、ストロンチウム、バリウムといったアルカリ土類元素が比較的低い濃度となっていた。鉄やマンガンは当該部位で高くなっており、同時期に、鍾乳洞内で滴下水の酸化還元状態が変化したことを示唆する結果が得られている。この変化はトバ火山の破局的噴火が約1400km離れた地点の東チモールにおいて、長期にわたる環境変動を起こした結果と思われる。今後は、硫黄やハロゲン元素など、火山性物質の変動を当該部位で分析をすることで、この試料に刻まれたトバ火山の大噴火による環境変動史を詳細に読み取ることができる

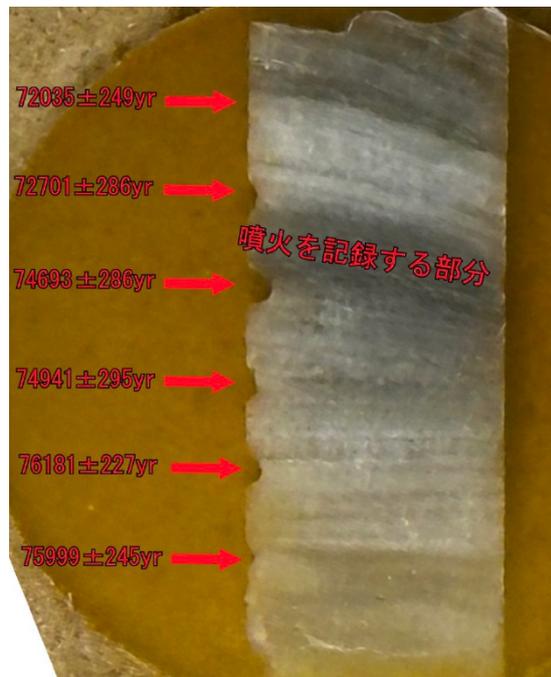


図3 東チモール鍾乳石先端部分の断面写真とウラン-トリウム年代測定の結果

ことができると期待できる。

本研究では、日本と台湾の若手研究者の育成と長期にわたり持続可能な共同研究ネットワークの構築が重要な目的であった。しかし、研究開始後すぐにコロナ禍による海外渡航の中止が勧告され、若手研究者や博士研究員、大学院学生の対面による交流が不可能となった。そのため、ズーム等でのリモート、会議を多用して研究の推進を図った。また、研究期間を1年間延期して、ようやく最終年度にいたって、共同で鍾乳石試料のNanoSIMS分析を行うことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Zhang Maoliang, Xie Xian Gang, Liu Wei, Liu Yi, Wang Linan, Sano Yuji, Lang Yun Chao, Liu Cong Qiang, Xu Sheng	4. 巻 51
2. 論文標題 Hydrothermal Degassing Through the Karakoram Fault, Western Tibet: Insights Into Active Deformation Driven by Continental Strike Slip Faulting	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023GL106647	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Teresa Nakajima Ma, Takahata Naoto, Obata Hajime, Kagoshima Takanori, Sano Yuji	4. 巻 58
2. 論文標題 An easier approach for helium isotope flux estimation in a submerged caldera	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 46 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.GJ24004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Rehman Hafiz U., Kagoshima Takanori, Takahata Naoto, Sano Yuji, Barou Fabrice, Mainprice David, Yamamoto Hiroshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Electron backscatter diffraction analysis combined with NanoSIMS U-Pb isotope data reveal intra-grain plastic deformation in zircon and its effects on U-Pb age: examples from Himalayan eclogites, Pakistan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Mineralogy	6. 最初と最後の頁 1079 ~ 1090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/ejm-35-1079-2023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Jungpyo, Kim Heejun, Lee Wonhee, Yu Jeongyeon, Fischer Tobias P., Takahata Naoto, Sano Yuji, Lee Hyunwoo	4. 巻 231
2. 論文標題 Fault-related basins as carbon reservoirs: Soil CO2 emissions in the SE Korean Peninsula	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 107300 ~ 107300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2023.107300	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Liu Wei, Zhang Maoliang, Chen Biying, Liu Yi, Cao Chunhui, Xu Wang, Zheng Guodong, Zhou Xiaocheng, Lang Yun-Chao, Sano Yuji, Xu Sheng	4. 巻 620
2. 論文標題 Hydrothermal He and CO2 degassing from a Y-shaped active fault system in eastern Tibetan Plateau with implications for seismogenic processes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 129482 ~ 129482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydrol.2023.129482	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mitsutome Yuki, Toki Tomohiro, Kagoshima Takanori, Sano Yuji, Tomonaga Yama, Ijiri Akira	4. 巻 13
2. 論文標題 Estimation of the depth of origin of fluids?using noble gases in the surface sediments of submarine mud volcanoes off Tanegashima Island	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-31582-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chung Ming Tsung, Kitagawa Takashi, Murakami Sugihara Naoko, Tanaka Kentaro, Miki Shiono, Shirai Kotaro	4. 巻 37
2. 論文標題 Pre treatment methods for stable oxygen and carbon isotope analyses of structural carbonates of bones in marine teleost fishes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.9609	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Conner Kyle, Sharma Shiv, Uchiyama Ryohei, Tanaka Kentaro, Murakami-Sugihara Naoko, Shirai Kotaro, Kahng Samuel	4. 巻 108
2. 論文標題 Raman analysis of octocoral carbonate ion structural disorder along a natural depth gradient, Kona coast, Hawaii	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials	6. 最初と最後の頁 999 ~ 1013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2022-8406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhao Liqiang, Harvey Ben P., Higuchi Tomihiko, Agostini Sylvain, Tanaka Kentaro, Murakami-Sugihara Naoko, Morgan Holly, Baker Phoebe, Hall-Spencer Jason M., Shirai Kotaro	4. 巻 873
2. 論文標題 Ocean acidification stunts molluscan growth at CO2 seeps	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 162293 ~ 162293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2023.162293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Brosset Cornelia, Hoche Nils, Witbaard Rob, Nishida Kozue, Shirai Kotaro, Mertz-Kraus Regina, Schone Bernd R.	4. 巻 10
2. 論文標題 Sr/Ca in shells of laboratory-grown bivalves (<i>Arctica islandica</i>) serves as a proxy for water temperature - implications for (paleo)environmental research?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2023.1279164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xu Sheng, Guan Lufeng, Zhang Maoliang, Zhong Jun, Liu Wei, Xie Xian'gang, Liu Congqiang, Takahata Naoto, Sano Yuji	4. 巻 65
2. 論文標題 Degassing of deep-sourced CO2 from Xianshuihe-Anninghe fault zones in the eastern Tibetan Plateau	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science China Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 139 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11430-021-9810-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sano Yuji, Kagoshima Takanori, Zhang Maoliang, Takahata Naoto, Onoue Tetsuji, Shibata Tomo, Nishio Yoshiro, Chen Ai-Ti, Lee Hyunwoo, Fischer Tobias P., Zhao Dapeng	4. 巻 4
2. 論文標題 Older magma at Aso caldera than at Unzen stratovolcano in south west Japan as recorded through helium isotopes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-022-00649-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakajima Ma, Teresa Escobar, Takahata Naoto, Shirai Kotaro, Kagoshima Takanori, Tanaka Kentaro, Obata Hajime, Sano Yuji	4. 巻 317
2. 論文標題 Monitoring the magmatic activity and volatile fluxes of an actively degassing submarine caldera in southern Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 106 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.10.023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sano Yuji, Okumura Tomoyo, Murakami-Sugihara Naoko, Tanaka Kentaro, Kagoshima Takanori, Ishida Akizumi, Hori Masako, Snyder Glen T., Takahata Naoto, Shirai Kotaro	4. 巻 11
2. 論文標題 Influence of normal tide and the Great Tsunami as recorded through hourly-resolution micro-analysis of a mussel shell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-99361-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lin Jian-Wei, Lee Chi-Yu, Chen Cheng-Hong, Kato Takenori, Sano Yuji, Naoto Takahata	4. 巻 218
2. 論文標題 Buchan type metamorphism in the Pingtan-Dongshan metamorphic belt, SE China: Evidence from combined EMP monazite and U-Pb zircon ages of mica schists	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 104891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2021.104891	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Escobar Ma, Teresa, Takahata Naoto, Obata Hajime, Sano Yuji	4. 巻 77
2. 論文標題 Observation of the deep Indonesian throughflow using helium isotopes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 93 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-020-00560-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Park Jin-Oh, Takahata Naoto, Jamali Hondori Ehsan, Yamaguchi Asuka, Kagoshima Takanori, Tsuru Tetsuro, Fujie Gou, Sun Yue, Ashi Juichiro, Yamano Makoto, Sano Yuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Mantle-derived helium released through the Japan trench bend-faults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 12026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-91523-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chen Ai-Ti, Sano Yuji, Byrne Timothy B., Takahata Naoto, Yang Tsanyao Frank, Wang Yunshuen, Shen Chuan-Chou	4. 巻 4
2. 論文標題 Helium Isotopic Signature of a Plate Boundary Suture in an Active Arc?Continent Collision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 1237 ~ 1246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.0c00038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Yung-Hsin, Lee Der-Chuen, You Chen-Feng, Takahata Naoto, Iizuka Yoshiyuki, Sano Yuji, Zhou Chuanming	4. 巻 349
2. 論文標題 In-situ U-Pb dating of monazite, xenotime, and zircon from the Lantian black shales: Time constraints on provenances, deposition and fluid flow events	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precambrian Research	6. 最初と最後の頁 105528 ~ 105528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precamres.2019.105528	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chung Chuan-Hsing, You Chen-Feng, Schopf James William, Takahata Naoto, Sano Yuji	4. 巻 349
2. 論文標題 NanoSIMS U-Pb dating of fossil-associated apatite crystals from Ediacaran (~570?Ma) Doushantuo Formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precambrian Research	6. 最初と最後の頁 105564 ~ 105564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precamres.2019.105564	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Snyder Glen T., Sano Yuji, Takahata Naoto, Matsumoto Ryo, Kakizaki Yoshihiro, Tomaru Hitoshi	4. 巻 535
2. 論文標題 Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 119462 ~ 119462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2020.119462	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamamoto J., Takahata N., Sano Y., Yanagita M., Arai S., Prikhod'ko V.S.	4. 巻 534
2. 論文標題 Nitrogen and noble gas isotopic compositions of mantle xenoliths from Far Eastern Russia: Implications for nitrogen isotopic characteristics of mantle wedge fluid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116109 ~ 116109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2020.116109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Snyder Glen T., Matsumoto Ryo, Suzuki Yohey, Kouduka Mariko, Kakizaki Yoshihiro, Zhang Naizhong, Tomaru Hitoshi, Sano Yuji, Takahata Naoto, Tanaka Kentaro, Bowden Stephen A., Imajo Takumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Evidence in the Japan Sea of microdolomite mineralization within gas hydrate microbiomes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-58723-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fukuyama Ko, Kagi Hiroyuki, Inoue Toru, Kakizawa Sho, Shinmei Toru, Hishita Shunichi, Takahata Naoto, Sano Yuji	4. 巻 10
2. 論文標題 High nitrogen solubility in stishovite (SiO ₂) under lower mantle conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67621-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muirhead James D., Fischer Tobias P., Oliva Sarah J., Laizer Amani, van Wijk Jolante, Currie Claire A., Lee Hyunwoo, Judd Emily J., Kazimoto Emmanuel, Sano Yuji, Takahata Naoto, Tiberi Christel, Foley Stephen F., Dufek Josef, Reiss Miriam C., Ebinger Cynthia J.	4. 巻 582
2. 論文標題 Displaced cratonic mantle concentrates deep carbon during continental rifting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 67~72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-020-2328-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kim Heejun, Lee Hyunwoo, Lee Jaemin, Lee Hyun A., Woo Nam Chil, Lee Youn-Soo, Kagoshima Takanori, Takahata Naoto, Sano Yuji	4. 巻 2020
2. 論文標題 Mantle-Derived Helium Emission near the Pohang EGS Site, South Korea: Implications for Active Fault Distribution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geofluids	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/2359740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanabe Kazushige, Miyaji Tsuzumi, Murakami-Sugihara Naoko, Shirai Kotaro, Moriya Kazuyoshi	4. 巻 167
2. 論文標題 Annual shell growth patterns of three venerid bivalve mollusk species in the subtropical northwestern Pacific as revealed by sclerochronological and stable oxygen isotope analyses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Biology	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00227-019-3637-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kagoshima, T., Sano, Y., Takahata, N., Lee, H., Lan, T. and Ohba, T.	4. 巻 20
2. 論文標題 Secular variations of helium and nitrogen isotopes related to the 2015 volcanic unrest of Mt. Hakone, central Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 4710~4722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GC008544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lee Hyunwoo, Kim Heejun, Kagoshima Takanori, Park Jin-Oh, Takahata Naoto, Sano Yuji	4. 巻 9
2. 論文標題 Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-51719-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chang, Jih-Hsin, Park, Jin-Oh, Chen, Tzu-Ting, Yamaguchi, Asuka, Tsuru, Tetsuro, Sano, Yuji, Hsu, Ho-Han, Shirai, Kotaro, Kagoshima, Takanori, Tanaka, Kentaro, Tamura, Chiori	4. 巻 -
2. 論文標題 Structural-morphological and sedimentary features of forearc slope off Miyagi, NE Japan: implications for development of forearc basins and plumbing systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geo-Marine Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00367-020-00636-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chen Ai-Ti, Shen Chuan-Chou, Byrne Timothy B., Sano Yuji, Takahata Naoto, Yang Tsanyao Frank, Wang Yunshuen	4. 巻 9
2. 論文標題 Mantle fluids associated with crustal-scale faulting in a continental subduction setting, Taiwan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-47070-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Murakami-Sugihara Naoko, Shirai Kotaro, Hori Masako, Amano Yosuke, Fukuda Hideki, Obata Hajime, Tanaka Kiyoshi, Mizukawa Kaoruko, Sano Yuji, Takada Hideshige, Ogawa Hiroshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Mussel Shell Geochemical Analyses Reflect Coastal Environmental Changes Following the 2011 Tohoku Tsunami	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 1346 ~ 1352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.9b00040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 M. Zhang, S. Xu, Y. Sano, N. Takahata, Z. Guo, P.H. Barry, A. Caracausi
2. 発表標題 Deeply-sourced volatile emissions in the continental collision setting of the Tibetan Plateau and adjacent region.
3. 学会等名 JpGU meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Tomonaga, M.S. Brennwald, E. Engelhardt, S.B. Wirth, J.-O. Park, J. Ashi, N. Takahata, Y. Sano, R. Kipfer
2. 発表標題 Noble-gas geochemistry in the pore fluids of unconsolidated sediments: potential and challenges
3. 学会等名 JpGU meeting 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kagoshima, T., Park, J.O., Yamano, M. and Sano, Y.
2. 発表標題 Variations of $3\text{He}/4\text{He}$ ratios in pore water and fluid circulations at the outer slope of the Japan Trench
3. 学会等名 JpGU meeting 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A.-T. Chen, Y. Sano, C.-H. Chen, N. Takahata, C.-H. Lo, T.F. Yang, T.-K. Liu, Y. Wang
2. 発表標題 Helium isotopic signature in the Ilan Plain, NE Taiwan: geochemical evidences of a magmatic source
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Sano, T. Kagoshima, N. Takahata, K. Shirai, J.-O. Park, G.T. Snyder, T. Shibata, J. Yamamoto, Y. Nishio, A.-T. Chen, S. Xu, D. Zhao and D.L. Pinti
2. 発表標題 Groundwater anomaly related to CCS-CO injection and the 2018 Hokkaido Eastern Iburu earthquake in Japan
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kagoshima, J.-O. Park, M. Yamano, Y. Sano
2. 発表標題 High $3\text{He}/4\text{He}$ ratios in pore fluids at the outer slope of the Japan Trench
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須藤克誉, 鹿児島涉悟, 高畑直人, 佐野有司, 澤木佑介, 小宮剛, David Bekaert, Michael Broadley, Bernard Marty
2. 発表標題 カナダ・ラブラドル地方の堆積岩の年代測定
3. 学会等名 JpGU 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sano, Y., Kagoshima, T., Takahata, N., Onoue, T., Shibata, T., Lee, H. and Fischer, T.P.
2. 発表標題 Helium isotope variation around a caldera-type volcano
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sano, Y., Shirai, K., Takahata, N. and Ishida, A.
2. 発表標題 High resolution analysis of bivalve shell by NanoSIMS
3. 学会等名 The 29th Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chen, A., Shen, C.-C., Byrne, T.B., Sano, Y., Takahata, N., Yang, T.F. and Wang, Y.
2. 発表標題 Helium isotopic signature of the plate boundary suture in an active arc-continent collision setting, eastern Taiwan
3. 学会等名 The 29th Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kagoshima, T., Sano, Y., Takahata, N., Lee, H., Lan, T. and Ohba, T.
2. 発表標題 Temporal variations of He and N isotopes related to the 2015 hydrovolcanic eruption at Hakone volcano, central Japan
3. 学会等名 DINGUE VI 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三木翼, 高畑直人, 杉原奈央子, 白井厚太郎, 植村立, Chuan-Chou Shen, 佐野有司
2. 発表標題 沖縄県南大東島の石筍の高解像度微量元素分析によるイベント記録解析
3. 学会等名 2019年度 日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	白井 厚太郎 (Shirai Kotaro) (70463908)	東京大学・大気海洋研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	鹿児島 涉悟 (Kagoshima Takanori) (70772284)	富山大学・学術研究部理学系・特命助教 (13201)	
研究分担者	高畑 直人 (Takahata Naoto) (90345059)	東京大学・大気海洋研究所・助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------