

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

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：19KK0091

研究課題名（和文）太古代から原生代への地球大気変動に果たしたマントルの役割

研究課題名（英文）The role of mantle for atmospheric transition from Archean to Proterozoic

研究代表者

上野 雄一郎 (Yuichiro, Ueno)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：90422542

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）：太古代・原生代のコマチアイトおよび花崗岩類を対象として硫黄同位体異常と白金族元素の高精度分析を行った。その結果、太古代コマチアイトの一部に沈み込んだ海洋リソスフェアの硫黄成分が認められることが明らかになった。同様の太古代海水成分は一部の花崗岩類にも含まれることが判明した。また、年代の異なるコマチアイトの白金族組成の分析から、太古代末期にマントル内部の活動が活発化したことが示された。これらの結果は、太古代末から原生代初期にかけて火成活動が活発化し、表層環境へのインパクトをもたらした可能性を示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は地球表層の酸化還元状態等の環境変動を解釈するにあたってこれまで重視されてこなかった火成岩類の地球化学的分析が有用であることを示したものである。高精度の多種硫黄同位体と共振鉄製元素の分析を用いて、地殻物質のリサイクル、太古代マグマ成因論、およびマントルの化学組成特に酸化還元進化とその表層環境への影響を評価するための新たな方法論を提示した学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：High-precision analysis of multiple sulfur isotope anomalies and platinum-group elements were performed on Archean and Proterozoic komatiites and granitoids. The results showed that sulfur components from subducted oceanic lithosphere were found in some Archean komatiites. Similar Archean seawater components were also found to be present in some granites. On the other hand, the HSE analysis of different ages of komatiites showed that igneous activity within the mantle increased at the end of the Archean. These results suggest that intense volcanism at around Archean/Proterozoic boundary may have significant role for the chemistry of Earth's surface environment.

研究分野：地球化学

キーワード：GOE コマチアイト 硫黄同位体異常 白金族元素

様式 C-19、F-19-1 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

大気酸素濃度の上昇時期については、還元大気下でのみ保存される碎屑性閃ウラン鉱の存在、縞状鉄鉱床の休止時期、古土壌の鉄元素保持率などから、前期原生代(約20億年前)に上昇したと半定量的に考えられてきた一方、20億年より前から高い酸素濃度であったとする異論もあり古くから論争が続いていた。その後、無酸素大気下での光化学反応により生じる硫黄の非質量依存同位体分別(Sulfur Mass Independent Fractionation: S-MIF)が太古代堆積物に発見され、この異常がおよそ24億年前以降の堆積物には見られないことから、この時期を境に大気は急激に酸化されたことが判明した。さらに近年、S-MIFの解析が進んだことにより、当時の酸素濃度は単調に増加したわけではなく、GOEを挟んだ10億年間で増減を繰り返しつつ酸化還元状態が激変した時代であることも明らかになってきた。また研究代表者らのグループはS-MIFの実験的研究を精力的に推進しており、その結果、GOE直前の数億年間の大気がむしろ超還元的で、一酸化炭素(CO)を含んでいたとする独自の仮説を提示している。

しかし太古代・原生代境界頃の大気変動がなぜ引き起こされたのか、そのメカニズムについては理解が進んでいない。大気酸素は光合成生物により供給されるものの、酸素発生型の光合成生物は遅くとも27億年前には登場していたらしく、GOE前後の大気変動・酸化事件は、生物進化のみでは説明することができない。そこで、大陸面積増加による光合成生産・有機物埋没率の上昇(例えばDesMarais, 1994)、宇宙への水素散逸(例えばCatling et al., 2001)、火山ガス組成変化(例えばHolland, 2009)などがGOEの要因として提案されたが、いずれも実証には至っていない。そのような状況の下、S-MIFの研究等により大気変動の詳細が明らかになり、その変動様式が火成活動の強弱と対応することが指摘され始めた。さらに近年では、GOEの前後でマン托ルの微量元素組成や酸化還元度が変動したことも指摘され始め(例えばMaier et al., 2009)、マン托ルの化学進化と大気組成変動の対応関係は見直すべき重要な研究課題になりつつある。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、太古代末から原生代にかけてのマン托ルを含めた物質循環に着目し、固体地球の変動が大気の酸化還元変動の駆動力となっているのではないかという作業仮説の検証を試みる。これまでの研究において、約24億年前に大気酸素濃度が急速に上昇したメカニズムやその引き金となった地質学/進化学的要因について議論がなされているが、固体地球の変動との因果関係については諸説入り乱れており未だ定説がない。そこで本研究では、GOE前後での大気-地殻-マン托ル間の物質移動の理解を目的に、マン托ルの化学的变化と大気変動の時間的前後関係が記録されている岩石試料を対象とした研究を進める。具体的には、太古代から原生代にかけて活動したコマチアイト質溶岩および付随する苦鉄質-超苦鉄質岩類に記録された硫黄同位体異常と白金族元素濃度変動の解析を行う。

これまでの硫黄同位体異常の研究はほとんどが太古代の堆積岩を対象としており、火成岩類を時系列的に研究した例は皆無である。この研究により、前述した負の同位体異常( $\Delta^{33}\text{S} < 0$ )をもつMissing Sulfurがどこへ消えたのかが明らかになると期待される。現在の海洋島玄武岩の一部からS-MIFが報告され(Cabral et al., 2013)、沈み込んだ太古代地殻物質が現在のマン托ル中に存在していることが実証されているが、同様の研究を過去のコマチアイトに関連した苦鉄質-超苦鉄質岩類に適用することで、表層地殻物質がいつからマン托ル中に混入したのかを明らかにできることが本研究の独創的な点である。

また本研究では、マン托ルの酸化還元状態と密接に関わる硫黄の物質移動に着目しており、それと相関するはずの白金族元素とRe-Os年代の解析を行う。これまでの研究により、太古代から原生代にかけてコマチアイトの起源マン托ルの白金族元素濃度が徐々に上昇した可能性が議論されているが、データの質を含めた再検証が必要である。本研究では、Re-Os年代と合わせて、コマチアイトだけでなく苦鉄質-超苦鉄質岩類も含めた分析を行い、高い時間解像度および高精度データを取得する。これにより、太古代から原生代にかけて大気-地殻-マン托ル間の物質循環モデルを検討し、最終的にはマン托ル化学進化と大気変動の前後関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### 【太古代—原生代コマチアイトのサンプリング】

本研究では太古代緑色岩帯—原生代変動帯に産するコマチアイトと苦鉄質-超苦鉄質岩類を網羅的に精査した。これまでの研究活動により、西オーストラリア・ピルバラ地塊に産する Camel Creek ( ~3.35 Ga, Kelly Group ) Ruth Well ( ~3.18 Ga, Roebourne Group ) Pyradie ( ~2.7 Ga, Fortescue Group ) のコマチアイト溶岩試料に加えて、南アフリカ・バーバートン地塊に産する Buffalo River ( ~3.47 Ga ) 南アフリカ・ジンバブエ地塊に産する Belingwe ( ~2.7 Ga ) に対して岩石採取は完了している。これらに加えて、世界的に最も連続的な記録が残る西オーストラリアにおいてデータを補完するため、西オーストラリア・イルガルン地塊を研究対象に加え、新たに地質調査を行い、試料を採取した。

#### 【岩石記載・鉱物組成分析・全岩主要/微量元素分析】

太古代緑色岩帯—原生代変動帯に産するコマチアイトと苦鉄質-超苦鉄質岩類は、マグマの結晶化に伴い広範な組成バリエーションが形成されている。また、マグマ定置後に生じた変質・変成作用に伴う元素移動についても評価する必要があるため、薄片観察や鉱物化学組成から地球化学的解析に用いる試料を選定した。また、鉱物組織と全岩主要/微量元素組成との相関関係を精査することにより、コマチアイトが一連の結晶分化作用として調和的な化学組成バリエーションを保持するのか検討した。

#### 【強親鉄性元素分析・オスミウム同位体分析】

これまでに行われたコマチアイトの分析結果によると、マグマ定置後に生じた変質・変成作用や大陸成分の混染作用により強親鉄性元素組成が大幅に改変されることはないらしい。しかし、オスミウムの親核種であるレニウムは、他の強親鉄性元素と異なりコマチアイトマグマには枯渇しているため、レニウムの移動に伴うオスミウム同位体比の改変は十分生じることが知られている。また本研究では、より移動度の高い硫黄同位体異常に着目するため、なるべく多くの試料の強親鉄性元素パターン、オスミウム同位体比とともに硫黄濃度データを同分解試料から得ることにより、コマチアイトマグマに対する二次的変質の影響を評価した。これらを既得データと共に解析し、各地域のコマチアイトマグマの活動年代や結晶分化トレンドから、マンツルの化学組成の経年変化の有無を検討した。

#### 【多種硫黄同位体分析】

太古代コマチアイトおよび花崗岩類合計 100 試料以上について、Cr 還元法を用いた硫黄の抽出を行った。抽出された硫黄は硫化銀として回収し、これをさらにフッ化法を用いて SF<sub>6</sub> に変換することで高精度四種硫黄同位体比計測を行った。

### 4. 研究成果

#### 【オスミウム同位体/強親鉄性元素存在度/硫黄存在度の同時分析手法の確立】

火成岩中の硫黄濃度は、通常の主要・微量元素濃度測定とは異なる粉末試料からペレットを作成し XRF 法により定量する場合や、熱加水分解法などで他の揮発性元素と共に測定される場合が多い。本研究では硫黄濃度のルーチン測定をより簡便かつ高精度で行うことを目的に、オスミウム同位体比測定や強親鉄性元素濃度測定と同時に硫黄濃度を同位体希釈 ICP-MS 法で測定する分析プロトコルを確立した ( Fujita et al., 2024 )。この手法によりスミソニアン・アエンデ粉末試料 ( 4-20 mg ) の繰り返し測定 ( n=10 ) を行った結果、硫黄濃度 ( 1.97 wt% , RSD 4.5% ) とともにオスミウム同位体比や強親鉄性元素濃度に関しても先行研究と良い一致することが示され、分析手法の有用性が確認された。また、超苦鉄質岩の標準試料 ( JP-1, UB-N, OKUM ) の分析においても、精度・確度とも良好な結果が得られており、コマチアイトの解析に役立つことが期待される。

#### 【オーストラリア・イルガルン地塊に産する 2.7 Ga コマチアイト】

当初は西オーストラリア・ピルバラクラトンにおける野外調査を初年度に行うことを計画していたが、新型コロナウイルスの感染拡大が長期化したことにより予定の大幅変更を余儀なくされた結果、最終年度にイルガルン地塊の Agnew-Wiluna 緑色岩帯に産するコマチアイト ( **2.7 Ga** )

の野外調査のみ実施することができた。スピニフエックス組織を呈するコマチアイト溶岩層の記載がなされているおよそ 15 地点を訪れ、関連する苦鉄質 超苦鉄質岩試料およそ 650 試料を採取した。またサンプリング調査後には、西オーストラリア大学にて保管されているドリルコア試料の観察・記載を行い、選別された 67 試料を東京工業大学に発送した。露頭試料とドリル試料の岩石記載を行った結果、多くの試料において表層由来の硫黄の混染が認められ、起源マンツルの特徴を見出すことが困難であることが判明したが、今後、二次的影響が比較的少ないと思われる試料についてオスミウム同位体/強親鉄性元素存在度を用いた検討を行う予定である。

#### 【イルガルン地塊花崗岩類の硫黄同位体ゾーニング】

イルガルン地塊を構成する 7 つの地質体について、太古代花崗岩類 4 9 試料の多種硫黄同位体分析を行ったところ、それら花崗岩のほとんどが小さいながらも明瞭な硫黄同位体異常(MIF)を示すことが明らかになった(Caruso, Fiorentini, Ueno et al., 2022)。さらに分析した 7 つの岩体のうち、Youanmi Terrane および Yamarna Terrane の花崗岩類は負の同位体異常( $\Delta^{33}\text{S} < 0$ )を、その他の地質体では正の同位体異常を示し、多種硫黄同位体組成の特徴が地質体ごとに明瞭に異なることが明らかになった。また、これら岩体ごとの差異は Nd 同位体組成にもあらわれており、それらのデータと照合して解析した結果、正の異常を持つ花崗岩マグマは堆積物由来成分を多く含む一方で、負異常を持つ花崗岩には海水由来の成分が含まれることが明らかになった。これらの結果は、大気-海洋-地殻-マンツルを通して循環した硫黄のうち、これまで失われた成分とされてきた負異常を持つ硫黄は、プレート運動を通してマンツル内に存在し、その一部が花崗岩類として広く存在する可能性を示唆している。

#### 【コマチアイトの硫黄同位体が示すプレート沈み込み開始時期】

太古代試料のうち、ジンバブエ・ベリングウェー緑色岩帯に産する 27 億年前のコマチアイトおよびそれらに関連する特定の火山岩試料から硫黄同位体異常( $-0.20\text{‰} < \Delta^{33}\text{S} < -0.12\text{‰}$ )を発見した(Kubota, Ueno, Ishikawa et al., 2022)。このコマチアイトには噴出時に結晶化した Ni に富むカンラン石や輝石が残存し、硫黄は主に磁硫鉄鉱として針状単斜輝石の結晶間に分布しており、結晶化の最終段階に晶出したものであることが明らかになった。また、同地域の火山岩類を微量元素組成および Sr, Nd 同位体組成を用いて分類したところ、硫黄同位体異常を持たない試料には地殻成分の混染が認められるのに対し、硫黄同位体異常を示すコマチアイトは枯渇した組成を示し、リソスフェア由来のマグマが同位体異常を持つ硫黄を含んでいたことが明らかになった。さらに検出された負の硫黄同位体異常は太古代海水硫酸の特徴と一致していることを元に Nd および Sr 同位体組成との相関を解析したところ、このコマチアイトには海洋底の変質により海洋リソスフェアに取り込まれた海水由来の硫黄成分を含んでいるとの結論に至った(Kubota et al., 2022)。これは 27 億年前にはすでに地球表層物質が沈み込みを通してマンツルへもたらされ、コマチアイトとして再び地表にもたらされる物質循環が存在していたことを意味する。

#### 【オーストラリア・ピルバラ地塊に産するコマチアイトの強親鉄性元素存在度】

西オーストラリア・ピルバラ地塊に産する Camel Creek (~3.35 Ga, Kelly Group) Ruth Well (~3.18 Ga, Roebourne Group) Pyradie (~2.7 Ga, Fortescue Group) のコマチアイト溶岩試料の解析を行った結果、Pyradie (~2.7 Ga, Fortescue Group) をのぞくコマチアイトの起源マンツル物質は、現在のマンツルと比べて強親鉄性元素存在度が 20-30%程度乏しいことが明らかとなった。また比較のため、南アフリカ・バーバートン地塊に産する Buffalo River (~3.47 Ga) コマチアイトおよび、コロンビア・ゴルゴナ島に産する顕生代コマチアイト (90 Ma) の強親鉄性元素存在度を調べたところ、同様に強親鉄性元素存在度に乏しいことが判明した。このことは、1) 地球内部は現世のマンツルにおいても不均質であり、顕生代コマチアイトを表層に供給した地球深部リザバーは浅部マンツルと比べて 20-30%程度、強親鉄性元素に乏しい特徴を持つ、2) 同様の深部マンツルリザバーはコマチアイトの起源マンツルとして太古代 (32-34 億年前) からすでに存在していた、という 2 つの新知見を与えるものである。

一方、27 億年前に活動した Pyradie コマチアイトに関しては、現性のマンツル存在度とほぼ同

等であることが我々の解析により明らかとなったが、同時期に活動した Belingwe や Agnew-Wiluna のコマチアイトを解析した先行研究によると、それ以前のコマチアイトと同様に 20-30% 程度、強親鉄性元素に乏しいことが示唆されている。したがって、強親鉄性元素存在度の地域性を説明するシナリオとして、1) マントル対流の活発化に伴い深部マントルの侵食が進んだ結果、混合マントル領域が深部へ広がった、あるいは、2) マントル内部の温度上昇に伴いコマチアイトの生成条件がより浅部まで進出した、という2つの可能性が考えられる。どちらの仮説が正しいかについてはさらなる検証を要するが、いずれのシナリオにおいても太古代末にマントル内部の活動が活発化したことが想起されるため、固体地球が火山活動を通じて当時の表層環境へ大きな影響を及ぼしたことに疑いはない。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yusuke Kubota, Fumihiro Matsuura, Kenji Shimizu, Akira Ishikawa, Yuichiro Ueno	4. 巻 598
2. 論文標題 Sulfur in Archean komatiite implies early subduction of oceanic lithosphere	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 117826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2022.117826	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 Hammerli Johannes, Greber Nicolas D., Martin Laure, Bouvier Anne-Sophie, Kemp Anthony I.S., Fiorentini Marco L., Spangenberg Jorge E., Ueno Yuichiro, Schaltegger Urs	4. 巻 579
2. 論文標題 Tracing sulfur sources in the crust via SIMS measurements of sulfur isotopes in apatite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 120242 ~ 120242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2021.120242	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 Caruso Stefano, Fiorentini Marco L., Champion David C., Lu Yongjun, Ueno Yuichiro, Smithies Robert H.	4. 巻 326
2. 論文標題 Sulfur isotope systematics of granitoids from the Yilgarn Craton sheds new light on the fluid reservoirs of Neoproterozoic orogenic gold deposits	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 199 ~ 213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.03.023	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 Endo Yoshiaki, O. Danielache Sebastian, Ogawa Moeko, Ueno Yuichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Absorption spectra measurements at ~1 cm <sup>-1</sup> spectral resolution of 32S, 33S, 34S, and 36S sulfur dioxide for the 2067220 nm region and applications to modeling of the isotopic self-shielding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 40 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.GJ22004	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 Akizawa Norikatsu, Yamaguchi Asuka, Tani Kenichiro, Ishikawa Akira, Fujita Ryo, Choi Sung Hi	4. 巻 59
2. 論文標題 Highly refractory dunite formation at Gibbs Island and Bruce Bank, and its role in the evolution of the circum-Antarctic continent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Canadian Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1731 ~ 1753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3749/canmin.2100030	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 Sato Honami, Ishikawa Akira, Onoue Tetsuji, Tomimatsu Yuki, Rigo Manuel	4. 巻 586
2. 論文標題 Sedimentary record of Upper Triassic impact in the Lagonegro Basin, southern Italy: Insights from highly siderophile elements and Re-Os isotope stratigraphy across the Norian/Rhaetian boundary	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 120506 ~ 120506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2021.120506	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 Toyama Chiaki, Sumino Hirochika, Okabe Nobuaki, Ishikawa Akira, Yamamoto Junji, Kaneoka Ichiro, Muramatsu Yasuyuki	4. 巻 106
2. 論文標題 Halogen heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle revealed by I/Br ratios in kimberlites and their mantle xenoliths from South Africa, Greenland, China, Siberia, Canada, and Brazil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1890 ~ 1899
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7332	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 SANO Takashi, TEJADA Maria Luisa G., NAKANISHI Masao, HANYU Takeshi, MIURA Seiichi, SUETSUGU Daisuke, TONEGAWA Takashi, ISHIKAWA Akira, SHIMIZU Kenji, SHIMIZU Shoka	4. 巻 130
2. 論文標題 Testing the Ontong Java Nui Hypothesis: The Largest Supervolcano Ever on Earth	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geography (Chigaku Zasshi)	6. 最初と最後の頁 559 ~ 584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.130.559	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 Warke Matthew R., Di Rocco Tommaso, Zerkle Aubrey L., Lepland Aivo, Prave Anthony R., Martin Adam P., Ueno Yuichiro, Condon Daniel J., Claire Mark W.	4. 巻 117
2. 論文標題 The Great Oxidation Event preceded a Paleoproterozoic "snowball Earth"	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 13314 ~ 13320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2003090117	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 Stueken E. E., Som S. M., Claire M., Rugheimer S., Scherf M., Spro? L., Tosi N., Ueno Y., Lammer H.	4. 巻 216
2. 論文標題 Mission to Planet Earth: The First Two Billion Years	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-020-00652-3	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 Saitoh Masafumi, Nabhan Sami, Thomazo Christophe, Olivier Nicolas, Moyen Jean-Fran?ois, Ueno Yuichiro, Marin-Carbonne Johanna	4. 巻 10
2. 論文標題 Multiple Sulfur Isotope Records of the 3.22 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 145 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geosciences10040145	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 Goderis, S., Sato, H., Ferrire, L., Schmitz, B., Burney, D., Kaskes, P., Vellekoop, J., Wittmann, A., Schulz, T., Chernonozhkin, S.M., Claeys, P., de Graaff, S. J., Dehais, T., de Winter, N.J., Elfman, M.F., Ishikawa, A., et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Globally distributed iridium layer preserved within the Chicxulub impact structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabe3647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abe3647	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 Sawada Hikaru, Sawaki Yusuke, Sakata Shuhei, Ishikawa Akira, Muteta Brian, Isozaki Yukio, Maruyama Shigenori	4. 巻 173
2. 論文標題 New geochronological constraints on the middle Archean Shurugwi greenstone belt toward an understanding of the crustal evolution of the Zimbabwe Craton	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of African Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 104021 ~ 104021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jafrearsci.2020.104021	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 Yoshida Satoshi, Ishikawa Akira, Aoki Shogo, Komiya Tsuyoshi	4. 巻 30
2. 論文標題 Occurrence and chemical composition of the Eoarchean carbonate rocks of the Nulliak supracrustal rocks in the Saglek Block of northeastern Labrador, Canada	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 12381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12381	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 Goto Kosuke T., Sekine Yasuhito, Shimoda Gen, Hein James R., Aoki Shogo, Ishikawa Akira, Suzuki Katsuhiko, Gordon Gwyneth W., Anbar Ariel D.	4. 巻 280
2. 論文標題 A framework for understanding Mo isotope records of Archean and Paleoproterozoic Fe- and Mn-rich sedimentary rocks: Insights from modern marine hydrothermal Fe-Mn oxides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 221 ~ 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.04.017	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 Akizawa Norikatsu, Ishikawa Akira, Kogiso Tetsu	4. 巻 54
2. 論文標題 A simple determination of whole-rock major- and trace-element composition for peridotite by micro-XRF spectrometer and ICP-MS using fused-glass bead	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 81 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0587	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 Nakamura Hitomi, Sano Ayane, Kagami Saya, Yokoyama Tetsuya, Ishikawa Akira, Komiya Tsuyoshi, Iwamori Hikaru	4. 巻 347
2. 論文標題 Compositional heterogeneity of Archean mantle estimated from Sr and Nd isotopic systematics of basaltic rocks from North Pole, Australia, and the Isua supracrustal belt, Greenland	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precambrian Research	6. 最初と最後の頁 105803 ~ 105803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precamres.2020.105803	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 Arai Shoji, Miura Makoto, Tamura Akihiro, Akizawa Norikatsu, Ishikawa Akira	4. 巻 10
2. 論文標題 Hydrothermal Chromitites from the Oman Ophiolite: The Role of Water in Chromitite Genesis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 217 ~ 217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min10030217	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

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Yusuke Kubota, Shun Nakano, Akira Ishikawa, Yuichiro Ueno
2. 発表標題 The compositional dichotomy of ca. 3.3 Ga komatiites from the West Pilbara
3. 学会等名 Goldschmidt2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ihara Yuta, Akira Ishikawa, Kenji Shimizu, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 Mantle sources of Phanerozoic komatiite from Gorgona Island, Colombia: Implication from osmium isotope heterogeneity
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shun Nakano, Akira Ishikawa, Yuichiro Ueno, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 Siderophile elements in Paleoproterozoic Camel Creek komatiites from East Pilbara Terrane, Western Australia: implications for secular evolution of Archean-Proterozoic mantle
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiaki Endo, Yasuhito Sekine, Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Sulfur mass-independent fractionation patterns during SO <sub>2</sub> photolysis under low temperature and low pressure atmosphere: implication for Archean atmospheric composition
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno, Koudai Taguchi, Toshiki Katsuta, Mayuko Nakagawa, Naohiro Yoshida, Alexis Gilbert
2. 発表標題 Application of fluorination method to isotopologue biogeochemistry
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiki Katsuta, Yuichiro Ueno, Mayuko Nakagawa, Riho Aoki, Naohiro Yoshida
2. 発表標題 34S/32S systematics of modern sulfate
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Kubota, Fumihiro Matsu'ura, Kenji Shimizu, Akira Ishikawa, Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Missing negative <sup>33</sup> S reservoir in mantle inferred from 2.7 Ga komatiite
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shun Nakano, Akira Ishikawa, Yuichiro Ueno, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 Highly siderophile elements behavior in the Paleoproterozoic Camel Creek komatiites from East Pilbara Terrane, Western Australia
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Ancient Organic Material and Improving Detection Confidence Using Stable Isotopes
3. 学会等名 NAS Committee on Astrobiology and Planetary Sciences 2021 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Atmospheric CO <sub>2</sub> in prebiotic Earth-like planet
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Ishikawa, Natsuki Nakamura, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 Highly siderophile element mobility during serpentinization of mantle wedge peridotite
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Thendo Netshidzivhe, Sebastian Tappe, Allan Wilson, Akira Ishikawa, Fanus Viljoen
2. 発表標題 The Paleoproterozoic Buffalo River Komatiites: Evidence for Progressive Melting of a Single Large Mantle Plume beneath the Growing Kaapvaal Continent
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maria Luisa Garcia Tejada, Takashi Sano, Takeshi Hanyu, Anthony Koppers, Masao Nakanishi, Akira Ishikawa, Takashi Miyazaki, Kenichiro Tani, Shoka Shimizu, Qing Chang, Bogdan Vaglarov
2. 発表標題 Sampling source heterogeneities that bind the Ontong Java Nui puzzle together
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Ishikawa, Keiko Koshida, Katsuhiko Suzuki, Tetsuya Yokoyama, Tsuyoshi Komiya
2. 発表標題 Highly siderophile elements in Earth's oldest rocks from Acasta Gneiss Complex, Canada: an impact melt origin or not?
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Warke M. R., Di Rocco T., Zerkle A. L., Lepland A., Prave A. R., Martin A. P., Ueno Y., Condon D. J., Claire M. W.
2. 発表標題 New constraints on atmospheric oxygenation
3. 学会等名 GSA Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsuta T, Ueno Y, Nakagawa M, Aoki R, Yoshida N
2. 発表標題 A Development of SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Method to Measure Sulfate Isotopologues
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Warke M, Di Rocco T, Zerkle A, Lepland A, Prave A, Martin A, Ueno Y, Claire M
2. 発表標題 The Great Oxidation Event Preceded a Paleoproterozoic 氷?snowball Earth氷?
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ueno Y, Nakagawa M, Katsuta T, Aoki R, Yoshida N
2. 発表標題 Equilibrium and Kinetic Fractionation on S-O Clumping of Sulfate
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yagi H, Itoh S, Ishikawa A, Shibuya T, Ueno Y
2. 発表標題 In situ Hydrogen Isotope Analysis of Pyroxenes in Precambrian Gabbro
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 MITSUDE Yuri, NISHIZAWA Tatsuji, NAKAMURA Hitomi, CHURIKOVA Tatiana, GORDEYCHIK Boris, ISHIKAWA Akira, FUJITA Ryo, IWAMORI Hikaru, SAKATA Shuhei
2. 発表標題 Re-Os systematic of volcanic rock from East Cone, Kamchatka Peninsula
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Natuski Nakamura, Akira Ishikawa, Tetsuya Yokoyama
2. 発表標題 Highly siderophile element mobility during serpentinization of forearc mantle peridotite
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田村 達也, 横山 哲也, 石川 晃
2. 発表標題 神津島流紋岩及び玄武岩質捕獲岩の地球化学的研究
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 藤田 遼, 石川 晃, 横山 哲也, Michael Garcia
2. 発表標題 ハワイ諸島産マントル捕獲岩の全岩オスミウム同位体と強親鉄性元素組成
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sano Takashi, Tejada Maria Luisa, Neal Clive, Coffin Millard, Nakanishi Masao <sup>5</sup> , Michael Peter, Geldmacher Jörg, Hanyu Takeshi, Miura Seiichi, Timm Christian, Koppers Anthony, Suetsugu Daisuke, Tonegawa Takashi, Ishikawa Akira, Shimizu Kenji, Castillo Paterno
2. 発表標題 Exploring the World's Largest LIP: Testing the Ontong Java Nui hypothesis
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kubota Y., Ueno Y., Shimizu K., Ishikawa A., Matsuura F.
2. 発表標題 Sulfur isotope anomaly of igneous sulfides in the Belingwe komatiites: Implication for the onset of subduction
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
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	石川 晃  (Ishikawa Akira)  (20524507)	東京工業大学・理学院・准教授    (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	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	青山 慎之介  (Aoyama Shinnosuke)  (50814232)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・日本学術振興会特別 研究員   (12701)	
研究分担者	青木 翔吾  (Aoki Shogo)  (60801967)	秋田大学・国際資源学研究科・助教   (11401)	

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