

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01959

研究課題名(和文)木星の形成は原始太陽系星雲を分裂させたのか？ -分化隕石からのアプローチ-

研究課題名(英文) Did the Formation of Jupiter Break Up the Primordial Solar Nebula? -An Approach from a Differentiated Meteorite

研究代表者

山口 亮 (Yamaguchi, Akira)

国立極地研究所・先端研究推進系・准教授

研究者番号：70321560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,450,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、エコンドライトに着目し、初期太陽系に存在した原始惑星の形成過程を明らかにしようとした。内側および外側太陽系起源とされる玄武岩質隕石や安山岩質隕石などのエコンドライトの鉱物学的あるいは年代学的研究を行った。これらの隕石は、形成後、衝撃変成作用などよく似た動的進化過程を経験していることを明らかにした。安山岩質隕石は、コンドライトの物質が原岩である可能性が高いことを示した。アングライト隕石中に酸素同位体の不均質性があることを発見した。これは、初期太陽系において二つの分化天体の大規模衝突による可能性が高いことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、エコンドライトの元素組成、年代情報、同位体組成、熱史などの情報がばらばらに議論されてきた。特に、熱的イベントの強度や頻度の比較に関する議論は見落とされてきた。本研究では、これらを統合的に議論しようとした。年代、形成位置や形成条件を検討する品質の良いデータを提供することで、理論や数値シミュレーション精度の向上に貢献する。

研究成果の概要(英文)：We studied petrology, geochemistry, and chronology of differentiated achondrites to elucidate the evolutionary process of differentiated proto-planets. Achondrites such as basaltic and andesitic meteorites derived from the inner Solar System and the NWA 011 meteorite, known as the outer solar system origin, were analyzed. We found that these meteorites experienced similar secondary processes, such as shock metamorphism, after their formation. EC 002 is an andesitic meteorite formed by partially melting the chondritic source. Several angrites have heterogeneity of oxygen isotopes, indicating large-scale collisions of differentiated protoplanets shortly after the formation of the Solar System.

研究分野：隕石学、鉱物学

キーワード：隕石 エコンドライト 原始惑星 熱履歴

1. 研究開始当初の背景

原始太陽系星雲の構造と進化を理解することは、太陽系の形成過程や各天体の成り立ちを解明する上で重要である。隕石や惑星の組成、同位体、年代データをもとにした研究は、これらの過程を詳細に探る手がかりとなる。初期太陽系において、微惑星は短寿命核種である ^{26}Al の壊変熱によって加熱されたとされる。太陽に近いほど微惑星の衝突頻度が高く、集積が早く進んだため、より強い加熱を受けたと考えられている。この仮説は、メインベルト小惑星が太陽に近いほど強く加熱されているという観測結果と一致している。そのため、太陽系の内側には加熱を受けた分化隕石、外側には非加熱の始原隕石が分布するという図式が描かれる。地球や火星、コンドライトの元素組成から、太陽に近づくにつれて揮発性元素が欠乏する傾向が見られる。これは、原始太陽近傍が非常に高温であったというモデルと一致する。例えば、地球や火星、小惑星は揮発性成分に欠乏している一方で、始原隕石(コンドライト)はそれほど欠乏していない。近年、隕石の同位体学的研究から、固体太陽系物質が大きく二つのタイプに分けられることが明らかになった。一つは炭素質コンドライトを主体とする「炭素質型」、もう一つは「非炭素質型」である。炭素質型は外側太陽系に分布し、非炭素質型は地球や火星などの物質に属する。これは、原始木星の急速な成長によって物質の混合が阻害されたためと考えられている。このモデルは数値シミュレーションや系外惑星観測とも整合性があり、多くの研究者に支持されている。始原隕石(コンドライト)に関しては、古典的モデルと二分性モデルは調和的に見えるが、非炭素質型エコンドライトを考慮すると整合性がない。炭素質型にも揮発性元素に欠乏し、強い加熱を受けたと考えられるエコンドライトが存在する。この点が二つのモデルの調和を妨げる問題の核心であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、炭素質型および非炭素質型に属するエコンドライトの特徴からそれぞれグループの形成過程を比較検討することである。それぞれのグループから選定した分化エコンドライトを鉱物科学的手法を用いて熱履歴を読み解くと同時に、年代測定を行い、母天体(分化原始惑星)の形成過程を詳細に明らかにする。太陽系の異なる場所で形成した炭素質型および非炭素質型エコンドライト母天体の形成過程を比較検討することで、初期太陽系進化過程に関する知見を得ることを目標とする。

3. 研究の方法

本研究では、最も分化の進んだ非炭素質型および炭素質型エコンドライト(分化エコンドライト)隕石を対象とし、その文献情報を網羅すると同時に、データの不足しているエコンドライトの分析を行なった。研究試料としては、ユークライト、特異なユークライト(Northwest Africa (NWA) 011、NWA 2976 など)、アングライト(Asuka 12209 など)また安山岩質エコンドライト(Erg Cech (EC) 002)の研究を行なった。本研究期間内では、特に安山岩質エコンドライト、アングライトおよび特異なユークライトについての研究を行なった。後者二つのタイプのエコンドライトについては現在も研究が続いている。また、これらのエコンドライトの原岩とされる炭素質コンドライトの分析も行なった。

これらの隕石試料を、光学顕微鏡、走査電子顕微鏡で詳細に観察し、また、主要元素を電子線マイクロアナライザ、レーザーアブレーション ICP 質量分析計などで元素分析を行なった。他方で、イオンプローブなどを用いて精密な年代決定を行なった。鉱物科学的手法で解析した、熱衝撃履歴、また、冷却速度と年代データを比較し、母天体での形成過程を解明しようとした。

4. 研究成果

(1) 主要な分化エコンドライトであるユークライトは、推定された太陽系組成(CI コンドライト組成)に比べ揮発性元素が欠乏しており、コンドライト的物質からの単純な火成プロセスでは形成させるのは難しい。コンドライト的な物質を部分溶融した場合、Si やアルカリ元素に富む(安山岩質)メルトが生じると予想されていた。

本研究()では、最近発見された安山岩質エコンドライト EC 002 の研究を行なった(図1)。このエコンドライトは角礫化を受けていない結晶質な隕石である。主に長石および輝石からなり、数%の空隙をもつ。比較的細粒な基質中に輝石やカンラン石のゼノリスを含む。その全岩主要元素組成は、ユークライトと比較して、Si やアルカリ元素(Na, K)に富む。主要元素組成に基づいた地球の岩石の分類からすると、安山岩に分類される。この隕石は、他のエコンドライト(下記)とは異なり、コンドライト的物質が部分溶融を起こしたときに生じるメルトに近い組成であることがわかった。

エコンドライト EC 002 の詳細な熱史を検討すると同時に年代決定を行なった。全岩 MgO の含有

量から推定された固化温度は 1224 ± 20 で、基質に含まれる普通輝石の組成から推定された平衡温度 ($1149-1229$) とほぼ一致する。他方、直方輝石のゼノリスには Mg-Fe ゾーニングが残されており、比較的早く冷却したことを示す。そのゾーニングプロファイルから冷却速度を推定するとおよそ 5 /yr ($1200-1000$) で、比較的厚い溶岩や表面付近の貫入岩の冷却速度に相当する。シリカ鉱物はトリディマイト (PO) と石英であり、この鉱物組み合わせは、 <900 で急冷 ($>0.1-1 \text{ /day}$) されたことを示す。以上から、EC 002 は、地表に噴出、もしくは、地表付近に貫入した後に数 /yr で冷却し、 1000 付近から急冷したとされる。おそらく、冷却中に衝突により放出され急冷したのであろう。

イオンプローブで斜長石の Al-Mg 年代を測定したところ、CAI 形成から $2.255 \pm 0.013 \text{ Myr}$ の年代を示した。EC 002 はこれまで知られているエコンドライトの中で最も古い年代を示すことがわかった。EC 002 は、現在知られている太陽系最古の火山岩であることは間違いない。現在までこのような安山岩質エコンドライトは数個しか見つかっていない。また、観測研究からも安山岩質の小惑星はほとんど見つかっていない。よって、現在の太陽系に安山岩質な地殻をもつ小惑星はほとんど生き残っていないと考えられる。

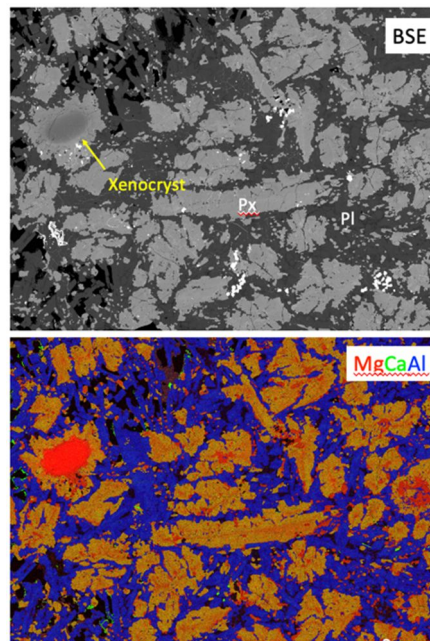


図1. 安山岩質エコンドライト EC 002 の走査電子顕微鏡像 (上図) および化学組成像 (Mg:赤, Ca:緑, Al:青) (下図)。左上に外来結晶 (Xenocryst) が観察される。

(2) アングライトは太陽系最古の火成岩の一種で、分化した原始惑星を起源とする。ここでは、9つのアングライトの新しいバルク酸素同位体比測定と組織観察、また、鉱物組成の定量を行い、その形成過程を明らかにしようとした()。3つの急冷アングライトから得られたカンラン石の外来結晶と基質に酸素同位体組成に違いがあることを明らかにした。これは、これらのアングライトが、衝突溶融岩であるという事実と調和的である。A 12209、A-881371、NWA 12320 急冷アングライトの基質部分の酸素同位体組成の平均 ^{17}O 値が $-0.003 \pm 0.020\%$ であった。NWA 12320 のバルク値と、衝突体によって汚染されたすべての基質部分を除くと、アングライト母岩の平均 ^{17}O 値は $-0.066 \pm 0.016\%$ であった。NWA 12320 の微細組織を調べた結果、再結晶化をうけたカンラン石と未変形のカンラン石の存在が明らかになった。これらのカンラン石が高温変成作用過程を受けたことを示す。太陽系初期に形成した巨大惑星 (木星など) の移動に誘発された、微惑星や原始惑星の軌道が攪乱された結果起こった衝突によるが起こったことシミュレーション研究から提案されている。アングライトに見られる大規模衝突の証拠は、これらの仮説と調和的である。

(3) ユークライトやダイオジェナイトは、その同位体的特徴 ($\Delta^{17}\text{O}$ の均質性) から一つの HED 母天体 (ベスタ) 起源であることされる。HED 母天体以外起源のエコンドライトは存在しないのか、というのは長い間の疑問であった。NWA 011 が通常の HED 母天体以外を起源とする隕石であることが知られている。その後の研究で、NWA 011 (とペアの隕石) は、その安定同位体的特徴から、炭素質隕石と同じ特徴を持つことがわかった (炭素質エコンドライト)。岩石学的には、高温変成作用を受けた玄武岩質ユークライトと同じ特徴を持つ。また、通常のユークライトに比べ親鉄元素の含有量が非常に高い。この隕石の母天体地殻は、形成直後、鉄隕石を主体とするプロジェクトイルによる大規模衝突があった可能性が高いことを示した()。本研究では、さらに分析を行い、シリカ鉱物の産状から、高温 (1000) から急冷したことを示した。これは、高温の地下深部から放出されるなどの大規模衝突の痕跡であると考えられる。今後、年代測定からこの衝突イベントの年代および規模を推定し、内側起源 (普通ユークライト) の形成過程と比較する必要がある。

< 引用文献 >

Barrat, J.A., Chaussidon, M., Yamaguchi, A., Beck, P., et al. (2021): A 4,565-My-old andesite from an extinct chondritic protoplanet. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 118, e2026129118.

Rider-Stokes, B.G., Greenwood, R.C., Anand, M., White, L.F., et al. (2023): Impact mixing among rocky planetesimals in the early Solar System from angrite oxygen isotopes. Nat. Astron., 7, 836-842

Yamaguchi, A. (2022): Petrology of anomalous eucrites, NWA 011 and NWA 2976: Implications for the evolutionary history of differentiated planetesimals in the outer solar system. Japan Geoscience Union Meeting.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ono Haruka, Takenouchi Atsushi, Mikouchi Takashi, Yamaguchi Akira, Yasutake Masahiro, Miyake Akira, Tsuchiyama Akira	4. 巻 56
2. 論文標題 Association of silica phases as geothermobarometer for eucrites: Implication for two stage thermal metamorphism in the eucritic crust	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1086 ~ 1108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13664	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 Hayashi Hideyuki, Mikouchi Takashi, Kim Nak Kyu, Park Changkun, Sano Yuji, Takenouchi Atsushi, Yamaguchi Akira, Kagi Hiroyuki, Bizzarro Martin	4. 巻 57
2. 論文標題 Unique igneous textures and shock metamorphism of the Northwest Africa 7203 angrite: Implications for crystallization processes and the evolutionary history of the angrite parent body	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 105 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13776	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 Barrat Jean-Alix, Chaussidon Marc, Yamaguchi Akira, Beck Pierre, Villeneuve Johan, Byrne David J., Bradley Michael W., Marty Bernard	4. 巻 118
2. 論文標題 A 4,565-My-old andesite from an extinct chondritic protoplanet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2026129118	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 Haba Makiko K., Lai Yi-Jen, Wotzlaw Jorn-Frederik, Yamaguchi Akira, Lugaro Maria, Schonbachler Maria	4. 巻 118
2. 論文標題 Precise initial abundance of Niobium-92 in the Solar System and implications for p-process nucleosynthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2017750118	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 Kimura M., Sugiura N., Yamaguchi A., Ichimura K.	4. 巻 55
2. 論文標題 The most primitive mesosiderite Northwest Africa 1878, subgroup 0	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1116 ~ 1127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13474	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 Kanemaru Rei, Imae Naoya, Yamaguchi Akira, Takenouchi Atsushi, Nishido Hirotsugu	4. 巻 26
2. 論文標題 Estimation of shock degrees of eucrites using X-ray diffraction and petrographic methods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100605 ~ 100605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100605	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 Rider-Stokes B. G., Greenwood R. C., Anand M., White L. F., Franchi I. A., Debaille V., Goderis S., Pittarello L., Yamaguchi A., Mikouchi T., Claey s P.	4. 巻 7
2. 論文標題 Impact mixing among rocky planetesimals in the early Solar System from angrite oxygen isotopes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 836 ~ 842
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-023-01968-0	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 YAMAGUCHI Akira	4. 巻 53
2. 論文標題 初期太陽系における分化天体の進化に関する鉱物科学的研究	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/gkk.240110	査読の有無 無
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 Tomioka Naotaka, Yamaguchi Akira, Ito Motoo, Uesugi Masayuki, Imae Naoya, Shirai Naoki, Ohigashi Takuji, Kimura Makoto, Liu Ming-Chang, Greenwood Richard C. et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 A history of mild shocks experienced by the regolith particles on hydrated asteroid Ryugu	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 669 ~ 677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-023-01947-5	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 Maeda Ryoga, Goderis Steven, Yamaguchi Akira, Van Acker Thibaut, Vanhaecke Frank, Debaille Vinciane, Claeys Phillippe	4. 巻 58
2. 論文標題 Fluid mobilization of rare earth elements, Th, and U during the terrestrial alteration of H chondrites	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1018 ~ 1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.14034	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 Jourdan F., Kennedy T., Forman L., Mayers C., Eroglu E., Yamaguchi A.	4. 巻 365
2. 論文標題 A slowly cooled deep crust on asteroid 4 Vesta and the recent impact history of rubble pile vestoids recorded by diogenites	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 35 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2023.11.027	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 Yamaguchi Akira, Tomioka Naotaka, Ito Motoo, Shirai Naoki, Kimura Makoto, Greenwood Richard C., Liu Ming-Chang et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Insight into multi-step geological evolution of C-type asteroids from Ryugu particles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 398 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-023-01925-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

[学会発表] 計25件(うち招待講演 1件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Kanemaru R., Yamaguchi A., Imae N., Takenouchi A.
2. 発表標題 Thermal and shock history of diogenites based on the occurrence of silica minerals
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 遼, 竹之内 惇志, 三河内 岳, 山口 亮, 杉浦 直治
2. 発表標題 メソシデライトを用いたシリカ鉱物が記録する冷却速度の推定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ono H., Takenouchi A., Mikouchi T., Yamaguchi A., Sugiura N.
2. 発表標題 Silica minerals in Northwest Africa 1878 mesosiderite
3. 学会等名 Annual Meeting of the Meteoritical Society 84 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamaguchi A., Takenouchi A., Barrat J.A.
2. 発表標題 Thermal history of andesitic achondrite Erg Chech 002
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mikouchi T., Takenouchi A., Abe D., Yamaguchi A., Irving A.J.
2. 発表標題 Olivine petrofabrics of ungrouped olivine-rich achondrites Northwest Africa 6077, Northwest Africa 6962 and Northwest Africa 13446
3. 学会等名 Annual Meeting of the Meteoritical Society 84 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamaguchi A., Barrat J.A., Chaussidon M., Beck P., Villeneuve J., Byrne D.J., Broadley M.W., Marty B.
2. 発表標題 Petrology and geochemistry of Erg Chech 002, the oldest andesite in the Solar System
3. 学会等名 Lunar and Planetary Science Conference 52 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chaussidon M., Barrat J.A., Yamaguchi A., Beck P., Villeneuve J., Byrne D.J., Broadley M.W., Marty B.
2. 発表標題 26Al chronology of Erg Chech 002, the oldest andesite in the Solar System
3. 学会等名 Lunar and Planetary Science Conference 52 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mikouchi T., Takenouchi A., Yasutake M., Hasegawa H., Yamaguchi A., Miyake A., Tsuchiyama A.
2. 発表標題 Olivine petrofabric analysis of brachinites: Implications for petrogenetic diversities
3. 学会等名 Lunar and Planetary Science Conference 52 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hayashi H., Mikouchi M., Yamaguchi A.
2. 発表標題 Olivine xenocrysts and cooling rates of quenched angrites: Implications for the stratigraphy of their igneous body
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamaguchi A., Barrat, J-A., Shirai N.
2. 発表標題 Shock and thermal history of ureilites and implications of Zn depletion
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口 亮, Barrat, Jean-Alix, 白井 直樹
2. 発表標題 ユレイライトの衝撃史と熱史について
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金丸 礼, 今栄 直也, 山口 亮, 竹之内 惇志
2. 発表標題 岩石学的手法およびXRD分析を用いたユークライトの衝撃変成度推定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamaguchi A., Barrat J.A., Shirai N.
2. 発表標題 Petrogenesis of Yamato-75032 type diogenites
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (Antarctic Meteorites session, Symposium on Antarctic meteorites 42) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanemaru R., Imae N., Yamaguchi A., Nishido H.
2. 発表標題 Cathodoluminescence imaging and X-ray diffraction analysis of shocked eucrites
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (Antarctic Meteorites session, Symposium on Antarctic meteorites 42) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野 遼, 竹之内 惇志, 三河内 岳, 山口 亮
2. 発表標題 非集積岩ユークライト中シリカ多形が示す熱変成履歴
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋期講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金丸 礼, 山口 亮, 今栄 直也, 西戸 裕嗣
2. 発表標題 ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽場 麻希子, J-F. Wotzlaw, Y-J. Lai, 山口 亮, M. Schonbachler
2. 発表標題 小惑星ベスタでの巨大衝突によるメソシデライトの形成
3. 学会等名 地球化学会年会2019年度
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miyahara M., Yamaguchi A., Ohtani E.
2. 発表標題 Complex Shock History in the Eucrite Padvarninkai
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamaguchi A., Imae N., Kimura M., Noguchi T.
2. 発表標題 Japanese Antarctic meteorites: Past, current, and future
3. 学会等名 Annual Meeting of the Meteoritical Society 82 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutake M., Yamaguchi A., Greenwood R.C., Hibiya Y., Iizuka T., Franchi I.A.
2. 発表標題 Olivine chemical features and O-Cr-Ti isotopic compositions of northwest africa 7312 unique differentiated meteorite: comparing to other meteorite groups
3. 学会等名 Annual Meeting of the Meteoritical Society 82 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamaguchi A.
2. 発表標題 Petrology of anomalous eucrites, NWA 011 and NWA 2976: Implications for the evolutionary history of differentiated planetesimals in the outer solar system.
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口 亮
2. 発表標題 初期太陽系における分化天体の進化に関する鉱物科学的研究
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会 (招待講演)
4. 発表年 2023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 直樹 (Shirai Naoki) (00599805)	神奈川大学・理学部・准教授 (32702)	
研究分担者	岡崎 隆司 (Okazaki Ryuji) (40372750)	九州大学・理学研究院・准教授 (17102)	
研究分担者	飯塚 毅 (Iizuka Tsuyoshi) (70614569)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (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
---------	---------