

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03729

研究課題名（和文）太陽系最初期段階の熱履歴解明のための物質科学的研究

研究課題名（英文）Research on the thermal history of the earliest stage of the solar system

研究代表者

木村 眞（Kimura, Makoto）

国立極地研究所・先端研究推進系・特任教授

研究者番号：20142226

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：太陽系初期に起こった現象やその段階における物質進化については観測や理論的解析により概略が明らかになってきている。しかし、その詳細を知るためには物質科学的研究が欠かせない。これまでは、太陽系の特に最初期段階を直接知る手がかりは少なかったが、本研究では炭素質コンドライトに着目した。本研究ではまず分類学的検討を行い、ついでこれに含まれる構成物質を観察・分析し、その鉱物学的、地球化学的特徴を明らかにした。また年代や同位体測定も実施することにより、太陽系最初期の時間的制約、物理条件などに知見を与えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽系の形成過程の概略は原始惑星系円盤の観測や理論的解析により近年明らかになってきた。しかし原始太陽系の進化過程や物理条件の詳細を観測や理論のみによって明らかにすることは困難である。そのため、原始太陽系段階で形成された隕石の研究が欠かせない。その中でも炭素質コンドライトは元素存在度等の特徴から太陽系の始源物質と考えられている。本研究の意義は炭素質コンドライトを直接分析して太陽系最初期の情報をそこから得るところにある。

研究成果の概要（英文）：Observations and theoretical analysis have revealed the outlines of the phenomena that occurred in the early solar system and the material evolution at that stage. However, material science research is essential to understand the details. Until now, there have been few direct clues to know about the solar system, especially its earliest stage, but this study focused on carbonaceous chondrites. In this study, we first conducted a taxonomic study, then observed and analyzed the constituent materials contained within them and clarified their mineralogical and geochemical characteristics. Furthermore, by carrying out age and isotope measurements, we have provided insight into the time constraints and physical conditions of the earliest solar system.

研究分野：惑星科学

キーワード：太陽系 隕石 コンドライト 分類 鉱物

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来のコンドライトの研究では原始太陽系の最初期段階の過程を十分明らかにすることに関してはいくつかの問題があった。特に真に始源的な試料の分類学上の位置付け、そのような試料の十分な発見がなされていなかったため始源物質の特徴は必ずしも明らかではなかった。これはほとんどのコンドライトが二次的な変成作用や変質作用を被ったためである。そのため、コンドライトから太陽系の最初期段階の描像を明確にすることは難しく、この問題の解決の必要性があった。

2. 研究の目的

本研究では始源的コンドライトの特徴を明らかにし、形成過程の詳細を解明することを目的とする。特に以下の点が明らかにできることが期待される。

1) コンドライトの被った二次的作用の程度を定量的に明確にし、その程度を反映する従来からの基準を再検討する。

2) 二次的作用を被っていない始源的コンドライトを見出し、その特徴、特に含まれる構成物質の鉱物学的特徴や化学組成を明らかにする。

3) これらの情報に基づいて、太陽系最初期の熱履歴の詳細を解明する。特に鉱物の安定性、拡散、元素分配等から温度、冷却速度を定量的に検討し、太陽系最初期の物理化学条件の詳細を明らかにする。

4) 内外の研究者と共にこれらのコンドライトの同位体組成の特徴や年代を明らかにし、太陽系初期の物質進化の過程を検討する。

3. 研究の方法

本研究の実施や分析などの方法は以下の通り。

1) 極地研究所所蔵の試料を中心に始源的コンドライトを見出す。

2) これらの試料を極地研究所に設置されている光学顕微鏡、及びフィールドエミッション型走査型電子顕微鏡で調査し、組織や鉱物の特徴を明らかにする。

3) 試料の構成鉱物を極地研究所の電子プローブマイクロアナライザーを用いて高精度で分析する。これにより構成鉱物の詳細な化学組成が明らかになる。

4) 鉱物の相同定を極地研究所のラマン分光装置を用いて行う。

5) 共同研究者に依頼して酸素同位体組成や年代の測定を行う。

6) 全ての結果を総合して、始源的コンドライトの形成過程を明らかにする。

4. 研究成果

本研究で得られた主要な成果を以下にまとめる。

(1) 始源的コンドライトは原始太陽系で生じた物質を知るために最も重要な試料である。しかし多くの始源的とされてきたコンドライトは熱変成作用や変質作用を被っている。とくに CM グループのコンドライトは従来全ての試料が変質作用を被っているとされてきた。研究代表者らは極地研究所所蔵の CM コンドライトの中に変質作用をほぼ被っていない試料を発見した。その構成物質、鉱物、化学組成、酸素同位体組成を測定し、これが最も始源的な試料であることを明らかにし、論文として発表した (Kimura et al., 2020)。この論文では CM コンドライトの分類体系も新たに提唱した。この論文は多く引用され、重要性が国際的に認識された。

(2) 炭素質コンドライトには 8 つのグループが含まれるが、分類未詳の試料も含まれることが知られていた。本研究では極地研究所所蔵の分類未詳の試料も研究した。その中の 3 つの試料の特徴は岩石学的には普通コンドライトと同様にコンドルールが多く、マトリックスは少ないが、炭素質コンドライトに特有の難揮発性包有物が多く含まれることであった。また化学組成、酸素同位体組成を測定し、これらが従来知られていた炭素質コンドライトのどれにも該当しない新しいグループに属することを明らかにした。成果は Kimura et al. (2022) で発表した。

(3) コンドライトの多くのものは天体衝突による角礫岩化作用を被っていることが知られていた。この角礫岩はさまざまな分析装置による詳細なデータによる基準により分類されてきたが、極地研究所のように膨大な試料を所有する研究機関では個々の試料を種々の機器を用いて分類することは困難であった。そこで本研究では光学顕微鏡のみで効率よく分類する体系を新たに提唱した (Kimura and Yamaguchi, 2022)。

(4) 始源的コンドライトは岩石学的タイプ 3 に分類されているが、さらにサブタイプ 3.0-3.9

に区分されてきた。また変質したものはサブタイプ 2.9-2.0 に分類されている。この中ではサブタイプ 3.0 が最も重要で始源的と考えられる。しかしサブタイプ 3.0 と 3.1, 2.9 との相違は従来必ずしも明瞭ではなかった。本研究では文献として公表されているデータや研究代表者のデータを集約することにより、この区別を明確にすることを試みた。その結果新たな基準を提唱することができた。その成果は Kimura et al. (2024) で公表した。

(5) エンスタタイト・コンドライトは還元的環境下で生じた特異なコンドライトであるが、その熱履歴は他のコンドライトと比べて複雑であるとされてきた。本研究では特異な特徴を持つエンスタタイト・コンドライトを分析した。その結果、エンスタタイト・コンドライトには始源的特徴を保持しながら、天体衝突により短時間加熱を受けたものがあることが明らかになった。これは小惑星の衝突現象を考える上で重要な知見と思われる。成果は Kimura et al. (2021) で発表した。

(6) メソシデライトは分化隕石の一種であるが、従来知られていたものは全て天体上で変成作用を受けたものであった。本研究で初めて変成作用を被っていない試料を見出し、その特徴を記載するとともにメソシデライトの分類基準を新たに示した。成果は Kimura et al. (2020) で報告した。

さらに国内外の研究者に協力して以下の成果を挙げた。

(1) 炭素質コンドライトおよび普通コンドライト中のコンドルールの酸素同位体や年代を測定し、原始太陽系でコンドルールおよびその始源物質がどのような過程で変化してきたかを明らかにした (Hetwig et al., 2019; Nakashima et al., 2020; Fukuda et al., 2022; Siron et al., 2022)。

(2) 始源的な CM コンドライトのプレソーラー粒子を研究し、この試料には多量の粒子が含まれることを見出した。この結果はこの CM コンドライトが変質作用を被っていないことを支持するものとなった (Xu et al., 2022)。

(3) 衝撃を受けたコンドライトを X 線回折装置で研究し、衝撃の度合いと鉱物の特徴を関連付けた (Imae and Kimura, 2021)。

(4) 小惑星リュウグウ試料の分析グループの一員として研究に協力し、試料の特徴、同位体組成、天体進化などについて知見を得た (Ito et al, 2022, Yamaguchi et al., 2023)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 21件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Siron Guillaume, Fukuda Kohei, Kimura Makoto, Kita Noriko T.	4. 巻 324
2. 論文標題 High precision 26Al-26Mg chronology of chondrules in unequilibrated ordinary chondrites: Evidence for restricted formation ages	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 312 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.02.010	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., Yamaguchi A.	4. 巻 32
2. 論文標題 Chondritic breccias: An optical microscopic classification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100847 ~ 100847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2022.100847	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 Xu Yuchen, Lin Yangting, Hao Jialong, Kimura Makoto, Hu Sen, Yang Wei, Liu Yang, Zou Yongliao	4. 巻 334
2. 論文標題 Abundant presolar silicates of the CM chondrite Asuka 12169: Implications for the thermal and aqueous alteration of the CM parent body	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 45 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.07.016	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 Ito M., Tomioka N., Uesugi M., Yamaguchi A., Shirai N., Ohigashi T., Liu M.-C., Greenwood R.C., Kimura M. et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 A pristine record of outer Solar System materials from asteroid Ryugu's returned sample	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 1163 ~ 1171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01745-5	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 A., Tomioka N., Ito M., Shirai N., Kimura M., Greenwood R. C. 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

1. 著者名 Fukuda Kohei, Tenner Travis J., Kimura Makoto, Tomioka Naotaka, Siron Guillaume, Ushikubo Takayuki, Chaumard Noel, Hertwig Andreas T., Kita Noriko T.	4. 巻 322
2. 論文標題 A temporal shift of chondrule generation from the inner to outer Solar System inferred from oxygen isotopes and Al-Mg chronology of chondrules from primitive CM and CO chondrites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 194 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.12.027	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 Kimura M., Greenwood R. C., Komatsu M., Imae N., Yamaguchi A., Sato R.	4. 巻 57
2. 論文標題 Petrology and classification of A 9003, A 09535, and Y 82094: A new type of carbonaceous chondrite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 302 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13704	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 Fujiya Wataru, Higashi Hisato, Hibiya Yuki, Sugawara Shingo, Yamaguchi Akira, Kimura Makoto, Hashizume Ko	4. 巻 924
2. 論文標題 Hydrothermal Activities on C-Complex Asteroids Induced by Radioactivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L16 ~ L16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac448f	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 Kimura M., Weisberg M. K., Takaki A., Imae N., Yamaguchi A.	4. 巻 8
2. 論文標題 An Almahata Sitta EL3 fragment: implications for the complex thermal history of enstatite chondrites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary 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) 10.1186/s40645-021-00447-2	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 Imae Naoya, Kimura Makoto	4. 巻 106
2. 論文標題 Quantitative determination of the shock stage of L6 ordinary chondrites using X-ray diffraction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1470 ~ 1479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7554	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 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 Kimura M., Imae N., Komatsu M., Barrat J.A., Greenwood R.C., Yamaguchi A., Noguchi T.	4. 巻 26
2. 論文標題 The most primitive CM chondrites, Asuka 12085, 12169, and 12236, of subtypes 3.0-2.8: Their characteristic features and classification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100565 ~ 100565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100565	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 Nakashima Daisuke, Kimura Makoto, Yamada Kouichi, Noguchi Takaaki, Ushikubo Takayuki, Kita Noriko	4. 巻 290
2. 論文標題 Oxygen isotope study of the Asuka-881020 CH chondrite I: Non-porphyrific chondrules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 180 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.09.003	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 Fukuda Kohei, Brownlee Donald E., Joswiak David J., Tenner Travis J., Kimura Makoto, Kita Noriko T.	4. 巻 293
2. 論文標題 Correlated isotopic and chemical evidence for condensation origins of olivine in comet 81P/Wild 2 and in AOA's from CV and CO chondrites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 544 ~ 574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.09.036	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 Imae Naoya, Kimura Makoto	4. 巻 56
2. 論文標題 New measurement technique for characterizing small extraterrestrial materials by X ray diffraction using the Gandolfi attachment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 174 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13491	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 Siron Guillaume, Fukuda Kohei, Kimura Makoto, Kita Noriko T.	4. 巻 293
2. 論文標題 New constraints from 26Al-26Mg chronology of anorthite bearing chondrules in unequilibrated ordinary chondrites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 103 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.10.025	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 Ushikubo Takayuki, Kimura Makoto	4. 巻 293
2. 論文標題 Oxygen-isotope systematics of chondrules and olivine fragments from Tagish Lake C2 chondrite: Implications of chondrule-forming regions in protoplanetary disk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 328 ~ 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.11.003	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 Hertwig A.T., Kimura M., Ushikubo T., Defouilloy C., and Kita N.T.	4. 巻 253
2. 論文標題 The 26Al-26Mg systematics of FeO-rich chondrules from Acfer 094: two chondrule generations distinct in age and oxygen isotope ratios	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 111-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.02.020	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 Tenner T.J., Nakashima D., Ushikubo T., Tomioka N., Kimura M., Weisberg M.K., and Kita N.T.	4. 巻 260
2. 論文標題 Extended chondrule formation intervals in distinct physicochemical environments: Evidence from Al-Mg isotope systematics of CR chondrite chondrules with unaltered plagioclase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 133-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.06.023	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 Hertwig A.T., Kimura M., Defouilloy C., and Kita N.T.	4. 巻 54
2. 論文標題 Oxygen isotope systematics of chondrule olivine, pyroxene, and plagioclase in one of the most pristine CV3Red chondrites (Northwest Africa 8613)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 2666-2685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13379	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 Imae N., Kimura M., Yamaguchi A., and Kojima H.	4. 巻 54
2. 論文標題 Primordial, thermal, and shock features of ordinary chondrites: Emulating bulk X-ray diffraction using in-plane rotation of polished thin sections	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 919-937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13257	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 Komatsu Mutsumi, Fagan Timothy J., Krot Alexander N., Nagashima Kazuhide, Petaev Michail I., Kimura Makoto, Yamaguchi Akira	4. 巻 115
2. 論文標題 First evidence for silica condensation within the solar protoplanetary disk	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 7497 ~ 7502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1722265115	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., Weisberg M. K., Yamaguchi A.	4. 巻 59
2. 論文標題 Subtype 3.0 chondrites: Petrologic classification criteria	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 858 ~ 877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.14129	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 Tomioka Naotaka, Yamaguchi Akira, Ito Motoo, Uesugi Masayuki, Imae Naoya, Shirai Naoki, Ohigashi Takuji, Kimura Makoto 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 Weisberg M. K., Zolensky M. E., Kimura M., Howard K. T., Ebel D. S., Gray M. L., Alexander C. M. O'D.	4. 巻 58
2. 論文標題 Nanophase magnetite in matrix of anomalous EL3 chondrite Northwest Africa (NWA) 8785	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1693 ~ 1706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.14092	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 McCain Kaitlyn A., Matsuda Nozomi, Liu Ming-Chang, McKeegan Kevin D., Yamaguchi Akira, Kimura Makoto et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Early fluid activity on Ryugu inferred by isotopic analyses of carbonates and magnetite	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 309 ~ 317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01863-0	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 Greenwood Richard C., Franchi Ian A., Findlay Ross, Malley James A., Ito Motoo, Yamaguchi Akira, Kimura Makoto et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Oxygen isotope evidence from Ryugu samples for early water delivery to Earth by CI chondrites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 29 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01824-7	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 Liu Ming-Chang, McCain Kaitlyn A., Matsuda Nozomi, Yamaguchi Akira, Kimura Makoto et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Incorporation of 16O-rich anhydrous silicates in the protolith of highly hydrated asteroid Ryugu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 1172 ~ 1177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01762-4	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13件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 M. Kimura, A. Yamaguchi, M. Ito, and N. Tomioka
2. 発表標題 Primordial abundance of chondrule in CI chondrite
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村 眞
2. 発表標題 What kinds of the meteorite are CM chondrites?
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 眞
2. 発表標題 What is type 3.0 of chondrites?
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 M. Kimura, R. C. Greenwood, J. A. Barrat, N. Imae, M. Komatsu, A. Yamaguchi, and T. Noguchi
2. 発表標題 The oxygen isotopic and chemical composition of the primitive Asuka CM chondrites
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 Kita N, Fukuda K., Siron G. and Kimura M.
2. 発表標題 Younger Al-Mg ages of chondrules in CO chondrites than L/LL chondrites
3. 学会等名 Goldschmidt conference, Hawaii (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kimura M., Imae N., Yamaguchi A., Greenwood R.C., Komatsu M., Noguchi T.
2. 発表標題 Primitive CM-related chondrites: their characteristic features and classification
3. 学会等名 82nd Meteoritical Society, Sapporo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimura M., Komatsu M., Ushikubo T., Imae N., Yamaguchi A.
2. 発表標題 Early condensation history from two ultrarefractory inclusions
3. 学会等名 Goldschmidt conference, Barcelona (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimura M.
2. 発表標題 Formation of ultrarefractory and related inclusion
3. 学会等名 中国科学院地球化学研究所、貴陽 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimura M.
2. 発表標題 A New Carbonaceous Chondrite Grouplet, “CA”
3. 学会等名 中国科学院地質学地球物理学研究所、北京（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimura M., Imae N., Komatsu M., Yamaguchi A., Noguchi T.
2. 発表標題 Petrologic subtypes of CM chondrites: Reinvestigation and proposal of subtypes 3.0 to 2.8
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 眞、小松 睦美、山口 亮、今榮 直也
2. 発表標題 特異な難揮発性包有物の形成過程
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 眞、Weisberg M.K.、山口亮
2. 発表標題 コンドライトのサブタイプ3.0分類の検討
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Kimura, R.C. Greenwood, A. Yamaguchi
2. 発表標題 CY chondrite: A tentative classification criteria
3. 学会等名 The 14th Symposium on Polar Science (国際学会)
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	堀江 憲路 (Horie Kenji) (00571093)	国立極地研究所・研究教育系・助教 (62611)	
研究分担者	小松 睦美 (Komtsu Mutsumi) (50609732)	総合研究大学院大学・教育開発センター・助教 (12702)	
研究分担者	今栄 直也 (Imae Naoya) (60271037)	国立極地研究所・研究教育系・助教 (62611)	
研究分担者	山口 亮 (Yamaguchi Akira) (70321560)	国立極地研究所・研究教育系・准教授 (62611)	

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			
米国	Wisconsin University			
英国	Open University			
米国	New York City University			
中国	中国科学院地質学地球物理学研究所			
米国	University of California, Los Angeles			