

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13609

研究課題名(和文) 太陽系円盤における高温形成ダストの凝縮生成プロセスの年代学的研究

研究課題名(英文) A chronological study on condensation processes of refractory dusts in the solar protoplanetary disk

研究代表者

川崎 教行 (Kawasaki, Noriyuki)

北海道大学・理学研究院・助教

研究者番号：50770278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：隕石に含まれる、CaとAlに富む難揮発性包有物(CAI)は、初期太陽系において1800から1400 K程度の高温のガスから凝縮したダスト、もしくはそれらを材料とした、太陽系最古の物質である。本研究では、高温のガスから凝縮して形成したとされるCAIの系統的な高精度年代測定を行い、太陽系円盤における高温形成ダストの凝縮生成プロセスが、太陽系最初期の少なくとも約40万年間続いていたことを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽系進化の歴史解明は、我々の住む太陽系がどのように形成したかを知るのみならず、宇宙空間に無数に存在する惑星系の進化を解明する手がかりとなる、宇宙惑星科学における重要課題の一つである。本研究では、太陽系最初期の固体形成プロセスの年代を、隕石中の物質を測定することで、直接明らかにした。約1500 Kから1700 Kの高温のガスから鉱物が凝縮する現象が、太陽系誕生時から少なくとも約40万年間続いていたことが示された。

研究成果の概要(英文)：Ca-Al-rich inclusions (CAIs) are composed of minerals that predicted to be high-temperature equilibrium condensate minerals from the solar nebular gas and the oldest objects formed in our Solar System. In this study, we conducted high-precision dating of condensate CAIs and revealed that condensation processes of refractory dusts occurred for at least ~0.4 Myr at the very beginning of the Solar System.

研究分野：同位体宇宙化学

キーワード：隕石 CAI (難揮発性包有物) 年代測定 二次イオン質量分析法 初期太陽系

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球に飛来する隕石の多くは、小惑星を起源にもつことが知られている。中でも、未分化の小惑星から飛来したコンドライト隕石は太陽系円盤のダストの集合体であり、その構成物からは当時の情報を紐解くことができる。コンドライト隕石に含まれる、Ca と Al に富む難揮発性包有物「CAI (Ca-Al-rich Inclusion)」は、初期太陽系星雲において 1800 から 1400 K 程度の高温のガスから凝縮したダスト (Grossman 1972, *GCA*), もしくはそれらを材料とした、太陽系最古の物質である (Connelly et al. 2012, *Science*)。CAI は、高温のガスから凝縮したダストが、円盤内で再加熱 (1700 から 1500 K 程度) され熔融・再固化したもの (ここでは火成 CAI と呼ぶ) と、再加熱による熔融を免れた結果、凝縮したままの状態を保持したもの (凝縮 CAI と呼ぶ) とに大別される (Yurimoto et al. 1998, *Science*; Krot et al. 2002, *Nature*)。すなわち、火成 CAI と凝縮 CAI の形成した年代は、初期太陽系で起きていた高温の再加熱プロセスの年代と、高温のガスからのダスト凝縮生成プロセスの年代にそれぞれ直接対応する。このうち火成 CAI は、U-Pb 絶対年代測定法 (Connelly et al. 2012, *Science*) と Al-Mg 相対年代測定法の組み合わせにより、約 45.67 億年前を始点として、約 20 万年間にわたり形成し続けていたことがわかっている (MacPherson et al. 2017, *GCA*)。つまり、太陽系円盤におけるダストの高温の再加熱プロセスが、少なくとも約 20 万年間続いていたことを示す。一方で凝縮 CAI については、高精度の年代測定データが乏しく、その形成年代の分布が不明なままであった。すなわち、高温形成ダストの凝縮生成プロセスがいつからいつまで起きていたのかは未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では、凝縮 CAI の系統的な高精度年代測定を行い、その形成年代の分布を明らかにすることで、太陽系円盤における高温形成ダストの凝縮生成プロセスがいつからいつまで起きていたかを解明した。

3. 研究の方法

炭素質コンドライト隕石の一種である、CV reduced コンドライトの Efremovka, Vigarano, TIL 07007, NWA 8613 隕石研磨試料を作成または借用し、走査型電子顕微鏡を用いて凝縮 CAI を数十個探し出した。その中から、高精度での年代測定に適した化学組成と粒子径をもつ鉱物を含む凝縮 CAI を、走査型電子顕微鏡を用いた詳細観察をもとに、9 個選びだした。内訳は「fluffy Type A CAI」を 2 個と「細粒 CAI」7 個である。本研究では、それらの凝縮 CAI 試料についての Al-Mg 相対年代測定を行った。 ^{26}Al は ^{26}Mg へと半減期 70.5 万で放射壊変する短寿命核種であり、太陽系形成初期に存在していたことが知られている (e.g., Kita et al., 2012, *MaPS*)。したがって、凝縮 CAI が形成時に含んでいた ^{26}Al 量 (初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比) を求めることにより、初期太陽系物質の相対的な形成年代を見積もることが可能である。本研究では、凝縮 CAI を構成する鉱物の Mg 同位体比 ($^{26}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ 比と $^{25}\text{Mg}/^{24}\text{Mg}$ 比) と $^{27}\text{Al}/^{24}\text{Mg}$ 比を、マルチコレクター型二次イオン質量分析計 (北海道大学設置の Cameca ims-1280HR) を用いて局所分析した。得られた Mg 同位体比から、 ^{26}Al 放射壊変起源の ^{26}Mg 量 (エクセス ^{26}Mg 量) を計算し、エクセス ^{26}Mg 量と $^{27}\text{Al}/^{24}\text{Mg}$ 比の関係から、形成時の ^{26}Al 量 (初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比) を求めた。

4. 研究成果

二次イオン質量分析法による測定の結果、凝縮 CAI 形成時の ^{26}Al 量を示す初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比は、 $(5.19 \pm 0.17) \times 10^{-5}$ から $(3.35 \pm 0.21) \times 10^{-5}$ の間で連続的な広がりを示した。この $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 初

生比の広がり、 44 ± 7 万年の形成年代幅に相当し、凝縮 CAI が約 45.67 億年前を始点として、約 40 万年間にわたり形成し続けていたことが明らかになった。これは、太陽系円盤における高温形成ダストの凝縮生成プロセスが、太陽系最初期の少なくとも約 40 万年間続いていたことを示す。これまで、CAI などの高温形成ダストの凝縮生成プロセスは、太陽系最初期の約 2 万年以内に完了していたという仮説が提唱されていたが、本研究の結果は、これを完全に覆すものである。またこれは、ダストの再加熱による溶融および再固化した火成 CAI の形成年代幅である 20 万年よりも長い。今回明らかになった、太陽系円盤における高温形成ダストの凝縮生成プロセスの 40 年以上という継続期間は、高温ダスト形成場である初期太陽系円盤の最内縁部における凝縮生成プロセス自体の継続期間、もしくは、形成場から微惑星形成領域へのダスト輸送プロセスの継続期間のいずれかを示すものである。本研究成果は、「fluffy Type A CAI」と「細粒 CAI」についてそれぞれ、「Kawasaki et al. (2019) “Variations in initial $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ratios among fluffy Type A Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites” *Earth and Planetary Science Letters*, 511, 25–35」と「Kawasaki et al. (2020) “Variations in initial $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ratios among fine-grained Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 279, 1–15」として論文発表した。

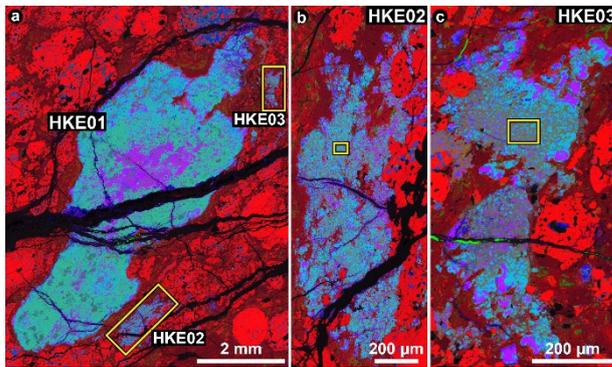


図 1 走査型電子顕微鏡+エネルギー分散型 X 線分光器 (SEM-EDS) を用いて取得した、凝縮 CAI の Mg を赤、Ca を緑、Al を青とした合成 X 線元素カラーマップ。(a) fluffy Type A CAI, (b) および (c) 細粒 CAI。

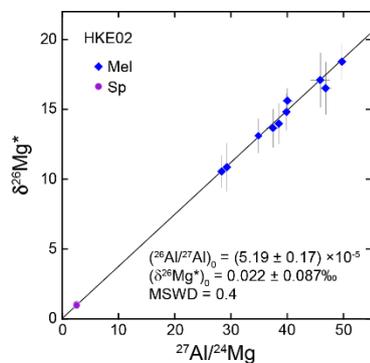


図 2 細粒 CAI の測定例。横軸は構成鉱物の $^{27}\text{Al}/^{24}\text{Mg}$ 比、縦軸は放射壊変起源の ^{26}Mg 量 (‰)。回帰直線の傾きが細粒 CAI 形成時の ^{26}Al 量 (初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比) に対応する。

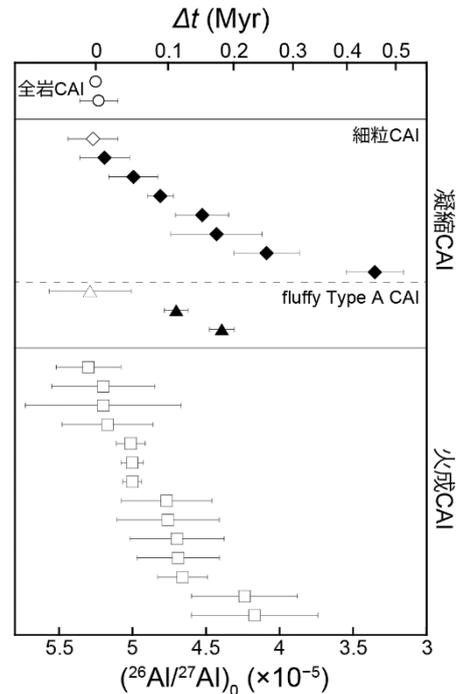


図 3 凝縮 CAI と火成 CAI の初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比および形成年代分布。黒塗りのプロットが、本研究で取得したデータ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Bollard Jean, Kawasaki Noriyuki, Sakamoto Naoya, Olsen Mia, Itoh Shoichi, Larsen Kirsten, Wielandt Daniel, Schiller Martin, Connelly James N., Yurimoto Hisayoshi, Bizzarro Martin	4. 巻 260
2. 論文標題 Combined U-corrected Pb-Pb dating and 26Al-26Mg systematics of individual chondrules ? Evidence for a reduced initial abundance of 26Al amongst inner Solar System chondrules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 62 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.gca.2019.06.025	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 Yamamoto Daiki, Tachibana Shogo, Kawasaki Noriyuki, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 in press
2. 論文標題 Survivability of presolar oxygen isotopic signature of amorphous silicate dust in the protosolar disk	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meteoritics & 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) doi.org/10.1111/maps.13365	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 Zhang Ai-Cheng, Kawasaki Noriyuki, Kuroda Minami, Li Yang, Wang Hua-Pei, Bai Xue-Ning, Sakamoto Naoya, Yin Qing-Zhu, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 275
2. 論文標題 Unique angrite-like fragments in a CH3 chondrite reveal a new basaltic planetesimal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 48 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.gca.2020.02.014	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 Zhang Ai-Cheng, Kawasaki Noriyuki, Bao Huiming, Liu Jia, Qin Liping, Kuroda Minami, Gao Jian-Feng, Chen Li-Hui, He Ye, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Evidence of metasomatism in the interior of Vesta	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) doi.org/10.1038/s41467-020-15049-7	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 Kawasaki Noriyuki, Wada Sohei, Changkun Park, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 279
2. 論文標題 Variations in initial 26Al/27Al ratios among fine-grained Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	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) doi.org/10.1016/j.gca.2020.03.045	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 Kawasaki Noriyuki, Park Changkun, Sakamoto Naoya, Park Sun Young, Kim Hyun Na, Kuroda Minami, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 511
2. 論文標題 Variations in initial 26Al/27Al ratios among fluffy Type A Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 25~35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.01.026	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 Sas May, Kawasaki Noriyuki, Sakamoto Naoya, Shane Phil, Zellmer Georg F., Kent Adam J.R., Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 513
2. 論文標題 The ion microprobe as a tool for obtaining strontium isotopes in magmatic plagioclase: A case study at Okataina Volcanic Centre, New Zealand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 153~166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.03.016	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

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Kawasaki N., Itoh S., Sakamoto N., Simon S. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Al - Mg systematics for partial melting of an Allende type B CAI, Golfball
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sakamoto N., Kawasaki N. and Park C.
2. 発表標題 Oxygen isotope distributions of a compound CAI-chondrule object in TIL 07007 chondrite
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamamoto D., Tachibana S., Kawasaki N., Kamibayashi M. and Yurimoto H.
2. 発表標題 O-isotope Exchange between Amorphous Silicates and Carbon Monoxide Gas in the Solar System
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ishikubo S., Kawasaki N., Yamamoto D., Tachibana S. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Effect of Water Fugacity for Oxygen Self Diffusion in Gehlenite
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wada S., Kawasaki N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Evidence for an 16O-poor gaseous reservoir during formation of a fine-grained CAI from Northwest Africa 8613
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawasaki N., Park C., Sakamoto N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Variations in Initial ^{26}Al Abundances among Fine-Grained Ca-Al-Rich Inclusions in the Reduced CV Chondrites
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wada S., Kawasaki N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Oxygen and Al-Mg Isotope Systematics of a Hibonite-Melilite-Rich Fine-Grained CAI in the Reduced CV Chondrite Northwest Africa 8613
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakamoto N. and Kawasaki N.
2. 発表標題 Extreme ^{16}O -Rich Refractory Inclusions in the Isheyevo Chondrite
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Park C., Sakamoto N., Wakaki S., Kobayashi S., Kawasaki N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Constraints on the Cooling Rate from ^{16}O -Rich Perovskite in a Compact Type A CAI from Allende
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamamoto D., Tachibana S., Kawasaki N., Kamibayashi M. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Oxygen Isotope Exchange Between CAI Melt and Water Vapor: An Experimental Study
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishikubo S., Tachibana S., Kawasaki N., Yamamoto D., Kuroda M. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Effect of Water Fugacity for Oxygen Self Diffusion in Gehlenite
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhang A. C., Kawasaki N., Kuroda M., Li Y., Wang H., Bai X. N., Sakamoto N., Yin Q. Z. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Unique Angrite-Like Fragments in a CH3 Chondrite Reveal a New Basaltic Planetesimal
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the Meteoritical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎教行, 朴昌根, 坂本直哉, 坂本尚義
2. 発表標題 Reduced CVコンドライトに含まれる細粒CAIの初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比の分布
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本大貴, 橘省吾, 川崎教行, 黒田みなみ, 坂本直哉, 冨本尚義
2. 発表標題 非晶質ケイ酸塩と水蒸気との酸素同位体交換速度論から制約される始原的ケイ酸塩ダストの原始惑星系円盤での熱的プロセス
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田壮平, 川崎教行, 冨本尚義
2. 発表標題 NWA8613隕石中のヒボナイトとメリライトに富む細粒難揮発性包有物の酸素同位体分布とAl-Mg年代
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本直哉, 川崎教行
2. 発表標題 Isheyevo隕石中の非常に160に富むCAI
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴村明政, 川崎教行, 瀬戸雄介, 冨本尚義, 伊藤正一
2. 発表標題 Compact Type A CAIに局所的に存在するAkermanite成分に富んだメリライトの成因
3. 学会等名 2019年度 日本地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎教行, 和田壮平, 朴昌根, 坂本直哉, 垠本尚義
2. 発表標題 CVコンドライト隕石の凝縮CAIの初生 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比
3. 学会等名 2019年度 日本地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田壮平, 川崎教行, 垠本尚義
2. 発表標題 NWA8613隕石中のヒポナイトとメリライトに富む細粒難揮発性包有物の酸素同位体分布
3. 学会等名 2019年度 日本地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎教行, 坂本直哉, 垠本尚義
2. 発表標題 CVコンドライト中の難揮発性包有物のAl-Mg形成年代分布
3. 学会等名 日本質量分析学会同位体比部会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田壮平, 川崎教行, 垠本尚義
2. 発表標題 NWA8613隕石中の細粒CAIの局所酸素・マグネシウム同位体分析
3. 学会等名 日本質量分析学会同位体比部会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎教行
2. 発表標題 二次イオン質量分析法を用いた太陽系の起源と進化の研究
3. 学会等名 日本質量分析学会イオン反応研究部会 第73回イオン反応研究会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Greenwood J. P., Itoh S., Kawasaki N., Sakamoto N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Hydrogen isotopes, volatile, and refractory trace element composition of melt inclusions and apatite in a consanguineous suite of Apollo 12 olivine basalts
3. 学会等名 50th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Greenwood J. P., Itoh S., Sakamoto N., Kawasaki N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 D/H and high volatile content of the Moon: Synthesis of 2009-2019 Hokudai SIMS studies of Apollo Rocks
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishikubo S., Kawasaki N., Tachibana S., Yamamoto D., Kuroda M. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Oxygen self diffusion in gehlenite: Effect of water fugacity
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawasaki N., Park C., Sakamoto N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 26Al - 26Mg systematics of fine-grained CAIs and an AOA in the reduced CV3 chondrites
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakamoto N. and Kawasaki N.
2. 発表標題 Extreme 160-rich CAIs in Isheyevov chondrite
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wada S., Kawasaki N. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Oxygen and Al-Mg isotope systematics of a hibonite-melilite-rich fine-grained CAI in the reduced CV chondrite NWA 8613
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamamoto D., Kamibayashi M., Kawasaki N., Mori M., Tachibana S. and Yurimoto H.
2. 発表標題 Oxygen isotope exchange between refractory inclusion melt and water vapor
3. 学会等名 Solar-System symposium in Sapporo 3S 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yurimoto H. and Kawasaki N.
2. 発表標題 Oxygen Isotope Distribution of the Early Solar System at CAI Formation Age
3. 学会等名 15th Annual Meeting Asia Oceania Geoscience Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎教行, 朴昌根, 坂本直哉, 朴善英, キム ヒュンア, 黒田みなみ, 坂本尚義
2. 発表標題 太陽系星雲における高温凝縮物と火成CAIの同時期形成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂本直哉, 横納好岐, 川崎教行
2. 発表標題 Acfer094隕石中の難揮発性新鉄元素に乏しいメタル
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢田達, 川崎教行他 (13人中8番目)
2. 発表標題 「はやぶさ」から「はやぶさ2」へ - JAXAサンプルリターンミッション帰還試料キュレーションの現状と計画
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川崎教行, 坎本尚義
2. 発表標題 最初期太陽系におけるダストの高温凝縮と溶融プロセスの年代学
3. 学会等名 2018年度 日本地球化学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本大貴, 上林海ちる, 川崎教行, 橘省吾, 坎本尚義
2. 発表標題 原始太陽系円盤における難揮発性包有物CAIメルトと水蒸気との酸素同位体交換速度論
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----