

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00712

研究課題名(和文) 太陽型から地球型への星間ダストの変身

研究課題名(英文) Transformation of Solar dust to Earth dust

研究代表者

橘 省吾 (Tachibana, Shogo)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：50361564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,800,000円

研究成果の概要(和文)：非晶質ケイ酸塩ダストと円盤ガスとの酸素同位体交換速度の温度依存性と反応メカニズムを低圧実験で決定した。非晶質ケイ酸塩ダストと円盤ガスとの酸素同位体交換は、ダスト中の拡散が律速することが明らかとなった。定常降着する原始惑星系円盤内を運動するダストの化学反応が効果的に起こる温度を予測する理論式を構築し、サブミクロンサイズの非晶質ケイ酸塩ダストの酸素同位体交換温度を決定した。フォルステライト・エンスタタイト・かんらん石組成の非晶質ケイ酸塩ダストについて、650-800, 750-900, 500-600 Kで同位体交換が完了し、太陽型ダストの酸素同位体組成が地球型ダストへと進化することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球や月、火星、小惑星の構成物質の酸素同位体組成は、太陽とは異なり、太陽と同じ酸素同位体組成をもつ太陽系初期ダストが、原始惑星系円盤ガスと酸素同位体交換を起こし、地球型の酸素同位体に変化したと考えられている。本研究では、実験で非晶質ケイ酸塩ダストと円盤ガスとの酸素同位体交換速度を求めた。また、原始惑星系円盤でダストの化学反応が効率的に起こる温度を決定する理論式を構築し、フォルステライト・エンスタタイト・かんらん石組成の非晶質ケイ酸塩ダストについて、それぞれ 650-800, 750-900, 500-600 K で酸素同位体交換が完了し、太陽型ダストが地球型ダストへと進化しうることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The oxygen isotope exchange rate between amorphous silicate dust and disk gas was determined by low-pressure experiments along with the temperature dependence of the exchange rate and the reaction mechanism. The oxygen isotope exchange between amorphous silicate dust and disk gas was found to be controlled by diffusion in the amorphous silicate. A theoretical equation predicting the temperature at which chemical reactions effectively occur in dust moving in a protoplanetary disk with steady accretion was constructed, and the oxygen isotope exchange temperature of submicron-sized amorphous silicate dust was determined. Oxygen isotope exchange is completed at 650-800 K and 750-900 K for amorphous forsterite and amorphous enstatite dust, respectively, indicating that the evolution of oxygen isotope composition from solar-type dust to Earth-type dust occurred in the early Solar System.

研究分野：宇宙化学

キーワード：原始惑星系円盤 非晶質ケイ酸塩 ダスト 酸素同位体 反応速度論

1. 研究開始当初の背景

地球、月、火星、小惑星など太陽系固体天体の酸素同位体が「太陽型」でないという事実は、CAI ができた太陽近傍を除き、初期太陽系（太陽系の原始惑星系円盤）の大部分において「太陽系原材料の恒星周・星間再生産ダスト（以降、太陽型ダスト）」が「地球や惑星の材料ダスト（以降、地球型ダスト）」に変身する化学過程があったことを意味する。

このように太陽系最初の大規模物質進化といえるダスト酸素同位体組成の進化（「太陽型」の星間ダストから「地球型」へのダストの変身）があったはずであるが、どのような条件で進行したのかはいまだわかっていない。すなわち、太陽系・地球の物質の起源という地球惑星科学分野の本質的課題に関連し、「太陽系の材料はなにか」「地球や惑星の材料はなにか、そしてどのように誕生したのか」「初期太陽系（太陽系の原始惑星系円盤）はどのような物理化学条件の場で、太陽型から地球型へのダストの変身を可能にしたか」という未解明の本質的問題が存在する。近年、観測が進む太陽系外の惑星系形成領域において「多様な原始惑星系円盤で惑星材料がどのように進化するのか」という本質的問いに対しても、太陽系で起こったプロセスの実例がいまだ提示できていないとも言える。

2. 研究の目的

太陽系の原材料となったダストは、太陽より前世代の恒星周囲でつくられたダスト（恒星周ダスト）や、星間空間で破壊され、再生産されたダスト（星間再生産ダスト）と考えられる。恒星周ダストは、特異な同位体組成を持つ微粒子として隕石や彗星塵などに僅かに発見される。一方、星間再生産ダストは、太陽と同じ同位体組成を持つはずであるが、ダストの集積でつくられた地球や隕石の酸素同位体組成は、太陽とは異なっている。本研究では、太陽系原材料となった「太陽型ダスト（恒星周ダストと星間再生産ダスト）」が、太陽系最初期にダストとガスとの酸素同位体交換反応を経て、地球や隕石の材料である「地球型ダスト」へと変身する過程に注目する。本研究ではダストとガスとの酸素同位体交換反応を実験で明らかにし、酸素同位体交換反応に必要な原始太陽系円盤の物理化学条件を定量的に決定する。

3. 研究の方法

【実験】 非晶質ケイ酸塩（エンスタタイト組成・オリビン（Fe/(Mg+Fe)=50%）組成）、非晶質アルミナの結晶化および H₂O または CO ガスとの酸素同位体交換速度を、原始惑星系円盤を模した低圧条件で決定し、反応速度の温度依存性ならびに反応メカニズムを決定する。結晶化については、酸素同位体交換を妨げるため、その速度の決定をおこなった。

【理論】 定常的に中心星に降着する原始惑星系円盤モデルにおいて、移流と拡散で移動するダストの不可逆化学反応（結晶化や酸素同位体交換はこれに相当する）を三次元モンテカルロシミュレーションで調べ、反応が効果的に起こる温度を半理論的に決定する。実験で求めた反応速度を用いて、ダストの酸素同位体交換反応（太陽型から地球型への変身）に必要な原始太陽系円盤の物理化学条件を定量的に決定する。

4. 研究成果

【酸素同位体交換】

非晶質ケイ酸塩（エンスタタイト組成）の H₂O との酸素同位体交換速度は、非晶質フォルステライト（Yamamoto, Tachibana et al., 2018）に比べて、遅いことが判明した。成果は国際誌 *Meteoritics and Planetary Science* にオープンアクセス論文として発表した（Yamamoto, Tachibana, Kawasaki, and Yurimoto, 2020）。また、かんらん石組成非晶質ケイ酸塩の H₂O との酸素同位体交換速度は、非晶質フォルステライト（Yamamoto, Tachibana et al., 2018）に比べて、速いことがわかった。非晶質ケイ酸塩ダストと CO ガスとの酸素同位体交換実験もおこない、低温では CO との同位体交換が H₂O ガスとの反応より先に起こる可能性が示された。これらの成果は国際学会で発表し、現在、投稿論文としてまとめている。

【結晶化】

かんらん石組成非晶質ケイ酸塩の結晶化は酸素同位体交換と同様、非晶質フォルステライト

(Yamamoto and Tachibana, 2018) に比べて、3-4 桁速いことが判明した。これらの理由として、かんらん石組成非晶質ケイ酸塩の粘性の低さが考えられる。非晶質アルミナの遷移アルミナへの相転移、遷移アルミナから α アルミナへの相転移の速度も決定した。これらの成果も国際学会で発表し、現在、投稿論文としてまとめている。

【原始惑星系円盤反応ライン予測】

原始惑星系円盤において、ダスト粒子の運動を追跡する 3D モンテカルロシミュレーションをおこなった。 α 粘性モデルを採用し、乱流粘性係数 α は 10^{-2} , 10^{-3} , 質量降着率は 10^{-6} , 10^{-7} , $10^{-8} M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$ とし、計 6 通りの円盤について、シミュレーションをおこなった。各パラメータセットに対し、10000 個のダスト粒子をスノーライン中心面から放出した。Johnson-Mehl-Avrami 方程式で表され、200-1500 K 程度で効率的に進行する仮想的な不可逆反応の進行を調べた。

反応進行度 X がある特定の値 (0.8, 0.9, 0.99) を超える以前に経験した最高経験温度が対数正規分布によってよくフィッティングされる分布をもつ、すなわち、反応が効率的に進行する特有の温度範囲を示していることがわかった。この最高経験温度分布を、4 つの反応パラメータ (アブラミ指数、前指数因子、活性化エネルギー、反応進行度) ならびに 2 つの円盤パラメータ (乱流粘性係数、質量降着率) から予測することができる反応ライン予測式を開発した。この「反応ライン」予測式は、結晶化や同位体交換といった円盤でのダスト進化を議論するための強力なツールになり得るもので、*Astrophysical Journal* に投稿し (Ishizaki, Tachibana et al.), 現在査読中である。

【太陽型から地球型へのダストの変身：まとめ】

本研究では、非晶質ケイ酸塩ダストと円盤ガスとの酸素同位体交換速度の温度依存性と反応メカニズムを低圧実験で決定した。非晶質ケイ酸塩ダストと円盤ガスとの酸素同位体交換は、ダスト中の拡散が律速することが明らかとなった。定常降着する原始惑星系円盤内を運動するダストの化学反応が効果的に起こる温度を予測する理論式を構築し、サブミクロンサイズの非晶質ケイ酸塩ダストの酸素同位体交換温度を決定した。フォルステライト・エンスタタイト・かんらん石組成の非晶質ケイ酸塩ダストについて、650-800, 750-900, 500-600 K で同位体交換が完了し、太陽型ダストの酸素同位体組成が地球型ダストへと進化することが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Yamamoto Daiki, Kawasaki Noriyuki, Tachibana Shogo, Kamibayashi Michiru, Yurimoto Hisayoshi | 4. 巻 336 |
| 2. 論文標題 Oxygen isotope exchange kinetics between CAI melt and carbon monoxide gas: Implication for CAI formation in the earliest Solar System | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta | 6. 最初と最後の頁 104 ~ 112 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.09.006 | 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 Yamamoto Daiki, Kawasaki Noriyuki, Tachibana Shogo, Kamibayashi Michiru, Yurimoto Hisayoshi | 4. 巻 314 |
| 2. 論文標題 An experimental study on oxygen isotope exchange reaction between CAI melt and low-pressure water vapor under simulated Solar nebular conditions | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta | 6. 最初と最後の頁 108 ~ 120 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.09.016 | 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 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Kouchi Akira, Tsuge Masashi, Hama Tetsuya, Oba Yasuhiro, Okuzumi Satoshi, Sirono Sin-iti, Momose Munetake, Nakatani Naoki, Furuya Kenji, Shimonishi Takashi, Yamazaki Tomoya, Hidaka Hiroshi, Kimura Yuki, Murata Ken-ichiro, Fujita Kazuyuki, Nakatsubo Shunichi, Tachibana Shogo, Watanabe Naoki | 4. 巻 918 |
| 2. 論文標題 Transmission Electron Microscopy Study of the Morphology of Ices Composed of H ₂ O, CO ₂ , and CO on Refractory Grains | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 The Astrophysical Journal | 6. 最初と最後の頁 45 ~ 45 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0ae6 | 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 Kamibayashi Michiru, Tachibana Shogo, Yamamoto Daiki, Kawasaki Noriyuki, Yurimoto Hisayoshi | 4. 巻 923 |
| 2. 論文標題 Effect of Hydrogen Gas Pressure on Calcium-Aluminum-rich Inclusion Formation in the Protosolar Disk: a Laboratory Simulation of Open-system Melt Crystallization | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters | 6. 最初と最後の頁 L12 ~ L12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac3c41 | 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 Yamamoto Daiki, Kawasaki Noriyuki, Tachibana Shogo, Kamibayashi Michiru, Yurimoto Hisayoshi | 4. 巻 314 |
| 2. 論文標題 An experimental study on oxygen isotope exchange reaction between CAI melt and low-pressure water vapor under simulated Solar nebular conditions | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta | 6. 最初と最後の頁 108 ~ 120 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.09.016 | 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 Thuillet Florian, Michel Patrick, Tachibana Shogo, Ballouz Ronald-L, Schwartz Stephen R | 4. 巻 491 |
| 2. 論文標題 Numerical modelling of medium-speed impacts on a granular surface in a low-gravity environment application to Hayabusa2 sampling mechanism | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society | 6. 最初と最後の頁 153 ~ 177 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3010 | 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 Kuroda Minami, Tachibana Shogo | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Effect of Structural Dynamical Property of Melt on Water Diffusion in Rhyolite Melt | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry | 6. 最初と最後の頁 2058 ~ 2062 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.9b00133 | 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 Grott M., Knollenberg J., Hamm M., Ogawa K., Jaumann R., 他 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Low thermal conductivity boulder with high porosity identified on C-type asteroid (162173) Ryugu | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Astronomy | 6. 最初と最後の頁 971 ~ 976 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-019-0832-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 Hamilton V. E., the OSIRIS-REx Team, Simon A. A., Christensen P. R., 他 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Evidence for widespread hydrated minerals on asteroid (101955) Bennu | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Astronomy | 6. 最初と最後の頁 332 ~ 340 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-019-0722-2 | 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 該当する |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Scheeres D. J., The OSIRIS-REx Team, McMahon J. W., French A. S., 他 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 The dynamic geophysical environment of (101955) Bennu based on OSIRIS-REx measurements | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Astronomy | 6. 最初と最後の頁 352 ~ 361 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-019-0721-3 | 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 DellaGiustina D. N., The OSIRIS-REx Team, Emery J. P., Golish D. R., 他 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Properties of rubble-pile asteroid (101955) Bennu from OSIRIS-REx imaging and thermal analysis | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Astronomy | 6. 最初と最後の頁 341 ~ 351 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-019-0731-1 | 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 Hergenrother C. W., The OSIRIS-REx Team, Maleszewski C. K., Nolan M. C., 他 | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 The operational environment and rotational acceleration of asteroid (101955) Bennu from OSIRIS-REx observations | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 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) 10.1038/s41467-019-09213-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 Walsh K. J., The OSIRIS-REx Team, Jawin E. R., Ballouz R.-L., Barnouin O. S., 他 | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Craters, boulders and regolith of (101955) Bennu indicative of an old and dynamic surface | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Geoscience | 6. 最初と最後の頁 242 ~ 246 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-019-0326-6 | 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 Barnouin O. S., The OSIRIS-REx Team, Daly M. G., Palmer E. E., Gaskell R. W., 他 | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Shape of (101955) Bennu indicative of a rubble pile with internal stiffness | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Geoscience | 6. 最初と最後の頁 247 ~ 252 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-019-0330-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 Lauretta D. S., The OSIRIS-REx Team, DellaGiustina D. N., Bennett C. A., 他 | 4. 巻 568 |
| 2. 論文標題 The unexpected surface of asteroid (101955) Bennu | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature | 6. 最初と最後の頁 55 ~ 60 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1033-6 | 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 Daiki, Tachibana Shogo, Kawasaki Noriyuki, Yurimoto Hisayoshi | 4. 巻 55 |
| 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 1 ~ 12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13365 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

[学会発表] 計36件(うち招待講演 0件/うち国際学会 25件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 L. Ishizaki, S. Tachibana, S. Ida, T. Okamoto and D. Yamamoto |
| 2. 発表標題 PREDICTION OF REACTION LINES IN A PROTOPLANETARY DISK: 3D MONTE CARLO SIMULATION |
| 3. 学会等名 54th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 R. Sakurai, D. Yamamoto, A. Takigawa, and S. Tachibana |
| 2. 発表標題 CRYSTALLIZATION KINETICS OF AMORPHOUS FERROMAGNESIAN SILICATE WITH OLIVINE- LIKE COMPOSITION |
| 3. 学会等名 54th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Kobayashi, D. Yamamoto, A. Takigawa, and S. Tachibana |
| 2. 発表標題 KINETICS OF CRYSTALLIZATION OF AMORPHOUS ALUMINA AND PHASE TRANSITION OF GAMMA-ALUMINA |
| 3. 学会等名 54th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Dust Chemical Reactions in Accreting Protoplanetary Disks |
| 2. 発表標題 S. TACHIBANA, A. TAKIGAWA, D. YAMAMOTO AND L. ISHIZAKI |
| 3. 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. INADA, S. TACHIBANA, K. NAGASHIMA, AND G. R. HUSS |
| 2 . 発表標題 Evaporation of Forsterite in the Presence of Water Vapor |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 R. SAKURAI, D. YAMAMOTO, A. TAKIGAWA, AND S. TACHIBANA |
| 2 . 発表標題 Kinetic Study on Crystallization of FeO-bearing Amorphous Silicate in Protoplanetary Disks |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 K. KOBAYASHI, D. YAMAMOTO, A. TAKIGAWA, S. TACHIBANA |
| 2 . 発表標題 Crystallization/Phase Transition Kinetics of Presolar Alumina Dust in the Protosolar Disk |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 D. YAMAMOTO, N. KAWASAKI, S. TACHIBANA, H. YURIMOTO |
| 2 . 発表標題 O-Isotopic Evolution of Amorphous Silicate Dust in the Protosolar Disk |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 L. ISHIZAKI, S. TACHIBANA, S. IDA, T. OKAMOTO AND D. YAMAMOTO |
| 2. 発表標題 Prediction of Reaction Lines: 3D Monte Carlo Simulation of Dust Particles in Protoplanetary Disks |
| 3. 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2023 (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 稲田 菜里、橘 省吾 |
| 2. 発表標題 宇宙化学への応用をめざした遷移状態理論に基づく蒸発速度および同位体効果の導出 |
| 3. 学会等名 同位体比部会2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石崎 梨理、山本 大貴、橘 省吾 |
| 2. 発表標題 原始太陽系円盤における非晶質ケイ酸塩ダストの酸素同位体交換と結晶化: モンテカルロシミュレーション |
| 3. 学会等名 JpGU2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本 大貴、橘 省吾、川崎 教行、上林 海ちる、坂本 尚義 |
| 2. 発表標題 CAI-CO-H ₂ O間の酸素同位体交換速度論から制約される原始太陽系円盤の物理化学条件 |
| 3. 学会等名 JpGU2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 櫻井 亮輔、小林 航大、山本 大貴、瀧川 晶、橘 省吾 |
| 2. 発表標題 非晶質Mg-Feケイ酸塩ダストの結晶化：初期太陽系における熱過程への応用 |
| 3. 学会等名 JpGU2021 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 D. Yamamoto, S. Tachibana, N. Kawasaki, M. Kamibayashi, and H. Yurimoto |
| 2. 発表標題 O-ISOTOPE EXCHANGE KINETICS BETWEEN CAI MELT AND CARBON MONOXIDE GAS IN THE PROTOSOLAR DISK |
| 3. 学会等名 53rd Lunar and Planetary Science Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本 大貴、川崎 教行、橘 省吾、上林 海ちる、塚本 尚義 |
| 2. 発表標題 難揮発性包有物メルトとCOガスとの酸素同位体交換実験 |
| 3. 学会等名 鉱物科学会2021年年会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本 大貴、橘 省吾、川崎 教行、上林 海ちる、塚本 尚義 |
| 2. 発表標題 非晶質ケイ酸塩ダストとCOガスとの酸素同位体交換速度論：初期太陽系における酸素同位体進化への示唆 |
| 3. 学会等名 JpGU2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 櫻井 亮輔、小林 航大、山本 大貴、瀧川 晶、橘 省吾 |
| 2. 発表標題 非晶質Mg-Feケイ酸塩ダストの結晶化:初期太陽系における熱過程への応用 |
| 3. 学会等名 JpGU2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 上林 海ちる、橘 省吾、川崎 教行、山本 大貴、坂本 尚義 |
| 2. 発表標題 Chemical and isotopic fractionation of Type B CAI caused by evaporation: An experimental study |
| 3. 学会等名 JpGU2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石丸 夏奈、橘 省吾 |
| 2. 発表標題 小惑星での含水鉱物の熱進化; Ryugu, Bennuの熱史の理解に向けて |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合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、坂本 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2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 香内 晃、木村 勇気、大場 康弘、羽馬 哲也、渡部 直樹、橘 省吾、土山 明、延寿 里美、大坪 貴文 |
| 2. 発表標題 アモルファスMg ₂ SiO ₄ 微粒子を覆った氷の光化学反応によるフォルステライト結晶の生成 |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 N. Matsuda, N. Sakamoto, S. Tachibana, H. Yurimoto |
| 2. 発表標題 Heating history of igneous RIM formation deduced from micro-scale migration of oxygen isotopes |
| 3. 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Kobayashi, D. Yamamoto, S. Tachibana |
| 2. 発表標題 Structure and crystallization of amorphous enstatite synthesized by induced thermal plasma and sol-gel method |
| 3. 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Ishimaru, S. Tachibana, D. Yamamoto |
| 2. 発表標題 Dehydration and recrystallization experiments of serpentine for understanding thermal history of hydrated asteroids |
| 3. 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 D. Yamamoto, S. Tachibana, N. Kawasaki, M.Kamibayashi, H. Yurimoto |
| 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 Meteoritical Society (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 R. A. Mendybaev, P. S. Savage, M. Kamibayashi, R. B. Georg, S. Tachibana |
| 2 . 発表標題 Silicon isotopic fractionation during evaporation of CAI-like melts in low-pressure conditions |
| 3 . 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 M. Kamibayashi, D. Yamamoto, S. Tachibana, H. Yurimoto |
| 2 . 発表標題 Crystallization of type B cai melt in low-pressure hydrogen gas and implications for formation conditions of igneous CAIs |
| 3 . 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Ishikubo, S. Tachibana, N. Kawasaki, D. Yamamoto, M. Kuroda, H. Yurimoto |
| 2 . 発表標題 Effect of water fugacity for oxygen self-diffusion in gehlenite |
| 3 . 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Tachibana, T. Kamizuka, T. Hirota, N. Sakai, Y. Oya, A. Takigawa, S. Yamamoto |
| 2 . 発表標題 Spatial distribution of aluminum monoxide molecules in a ahigh mass protostar candidate orion source I |
| 3 . 学会等名 82nd Annual Meeting of Meteoritical Society (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Ishikubo, N. Kawasaki, D.Yamamoto, S.Tachibana, H. Yurimoto |
| 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 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 R. Sakurai, K. Kobayashi, D. Yamamoto, S.Tachibana |
| 2 . 発表標題 Synthesis and Crystallization of Olivine-like Amorphous Fe-Mg-silicate Dust Analogues |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Tachibana, D.Yamamoto, M. Kamibayashi, H. Yurimoto |
| 2 . 発表標題 Conditions of the Solar Protoplanetary Disk deduced from Chondritic Components |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 M.Kamibayashi, S.Tachibana, D.Yamamoto, H.Yurimoto |
| 2 . 発表標題 Evaporation Effect on Crystallization of Type B CAIs |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 K. Kobayashi, R. Sakurai, D.Yamamoto, S.Tachibana |
| 2 . 発表標題 Synthesis and Crystallization of Fe-Mg-Silicate Dust Analogues with Pyroxene Composition |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Nagahisa, S. Tachibana, Y. Takano |
| 2 . 発表標題 Hydrothermal Organic Synthesis with the Solar O/C/N Ratio and Comparison with Soluble Organic Molecules in Murchison |
| 3 . 学会等名 Solar system symposium in Sapporo 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 D. Yamamoto, S. Tachibana, N. Kawasaki, M.Kamibayashi, H. Yurimoto |
| 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 2020 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020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 | 瀧川 晶 (Takigawa Aki) (10750367) | 東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601) | |
| 研究分担者 | 川崎 教行 (Kawasaki Noriyuki) (50770278) | 北海道大学・理学研究院・准教授 (10101) | |
| 研究分担者 | 圀本 尚義 (Yurimoto Hisayoshi) (80191485) | 北海道大学・理学研究院・教授 (10101) | |

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 | シカゴ大学 | ハワイ大学 | |