

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：84502

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14780

研究課題名(和文)火星の角礫岩隕石Black Beautyには火星の有機物が保存されているのか？

研究課題名(英文)Martian organics have still preserved in Black Beauty?

研究代表者

菅 大暉 (Suga, Hiroki)

公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光推進室・研究員

研究者番号：70827568

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)：火星角礫岩隕石Black Beautyから火星表層由来の有機物を見つけて、その形成・進化過程を解明するため、有機物汚染を制御した状況で研磨された隕石試料をSEM-FIB-STXM-TEM-NanoSIMSを用いた一連の複合顕微分析手法を用いて分析して、有機物の形態・産状・結合状態・化学組成・同位体情報を得た。結果、鉱物粒子に包有された産状とマトリクス中に点在する産状という2タイプの有機物が発見された。鉱物中の有機物は火星での火山活動に由来すると考えられているMMCと類似の特徴を示した。一方でマトリクス中の有機物は同位体的に火星表層由来と考えられ、水質活動に起因した微小鉱物をその中に含んでいた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去には水が疑いなく存在したとされる火星における有機物の存在やその特徴付けは、火星での生命発生の可能性を探る手掛かりであり、今後の生命存在可能性(ハビタビリティ)を議論する上でも非常に重要な知見となる。本研究が国際誌に掲載されれば、「火星の表層同位体情報を有する有機物を火星隕石から明確に見つけ出して特徴づけた」世界で初めての成果となる。また将来、火星表層試料が地球へ帰還して実験室や放射光施設で詳細な分析が行われた際には、本研究で特徴づけられたマトリクス中の有機物( $^{13}\text{C} = 15 \pm 7 \%$ 、 $\text{D} = 373 \pm 68 \%$ )が実際の帰還試料から見つかるだろう。

研究成果の概要(英文)：This study aims to find organic matter derived from the Martian surface in the Martian basaltic breccia meteorite called Black Beauty (NWA 7034) to elucidate its formation and evolution processes. Meteorite samples polished under organic contamination-controlled conditions were analyzed by the combined microanalytical techniques based on SEM-FIB-STXM-TEM-NanoSIMS to obtain the morphology, distribution, chemical composition, and isotopes of organic matter in the Black Beauty. As a result, organic matter was found in two distributions: encapsulated in mineral grains and isolated distribution in the matrix. Those in minerals showed characteristics of organic matter thought to originate from volcanic activity on Mars, similar to the MMC found in the SNC meteorites. On the other hand, the organic matter in the matrix was considered to be Martian surface-related organics isotopically; they contained fine minerals formed by the aqueous alteration process in the Martian surface environment.

研究分野：惑星科学、地球化学、放射光、

キーワード：火星隕石 有機物 水-岩石相互作用 STXM STEM NanoSIMS SFXM 顕微分光

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

有機物は太陽系構成物質の重要なビルディングブロックの1つであり、微惑星の集積の促進や、我々生命の発生・進化に重要な役割を果たした。ゆえに、惑星物質の中で不均一に分布している有機物を見つけ出し、個々の有機物の物理化学状態や共存する鉱物との相互作用をマイクロスケールで詳細に解き明かすことは、有機物の起源や進化過程のみならず、太陽系進化における有機物の普遍的な役割や、生命の発生・進化過程の理解につながる。

火星にはかつて地球と同じように豊富な水が存在し、生命が発生した可能性が指摘されている。近年、多くの探査機が火星に到達し、その内の幾つかは火星に降り立ち、現在も探査を続けている。火星探査機は多くの貴重な情報をもたらした。火星表層を覆うアモルファス物質や有機物(クロロベンゼン・塩化メチル)の存在もその1つである(Grotzinger et al., 2015)。特に有機物の存在は火星での生命発生の可能性を探る手掛かりとして非常に重要なものである。しかし、現在の技術では火星表層から表層試料を地球へ持ち帰り、実験室で詳細な分析を行うことはできない。一方で、近年火星表層から地球に飛来した火星起源隕石にも有機物が次々と発見されている。火星起源隕石中の有機物としては(i)鉱物中の包有物として含まれる高分子炭素(Macromolecular Carbon: MMC)(Steele et al., 2012)、(ii)鉱物中の割れ目を埋める有機物(Lin et al., 2014)がある。しかし、これらの有機物の官能基組成、同位体比に関する情報は少なく、その起源や形成過程も解明されていない。

また殆どの火星起源隕石(シャーゴッタイトなど、以降 SNC と表記)は火成岩である一方、Black Beauty は火星表層の堆積岩(玄武岩質角礫岩)である。Black Beauty は角礫岩であるため、火星表層の物質を取り込み保持している貴重な試料である(Santos et al., 2015)。火成岩由来の他の火星起源隕石と比べて、Black Beauty のバルクで炭素含有量は1桁以上高い。これは Black Beauty が堆積(角礫化)する過程で、有機物を取り込んだ可能性を示唆している。

火星起源隕石中の有機物研究は同位体ベースで進んでおり、火星の有機物の炭素・水素同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta\text{D}$ )が取りうる値の範囲が予測されている。Black Beauty に含まれるバルクと鉱物の包有物として含まれる有機物の  $\delta^{13}\text{C}$  はそれぞれ  $-3.0 \pm 0.16 \%$  と  $-23.4 \pm 0.73 \%$  である(Agee et al., 2013)。鉱物中の包有物としての有機物は、他の火星起源隕石からも見つかっており(Steele et al., 2012)、それらと近い  $\delta^{13}\text{C}$  の値を示す。Steele et al. (2012)は、この有機物(MMC)が火山性の還元的炭素起源と主張している。しかし、Black Beauty のバルク有機物の  $\delta^{13}\text{C}$  の値は、Steele et al. (2012)が示した MMC の値とは一致せず、予測される火星表層物質の  $\delta^{13}\text{C}$  の値と鉱物に包有された有機物( $\delta^{13}\text{C} = -23.4 \pm 0.73 \%$ )の混合を考えるとうまく説明がつかない。報告者はこれらの背景から、Black Beauty には火星表層に存在していた有機物を取り込まれていると確信し、これを発見して特徴づけるべく本研究を推進した。

## 2. 研究の目的

上記のように火星表層に存在していた有機物を取り込まれている可能性が非常に高い Black Beauty から火星表層由来の有機物を見つけ、その形成・進化過程を解明することが本研究の目的である。火星表層に存在する有機物の起源としては1)宇宙空間から火星に降り注ぐ惑星間塵、2)火山性の還元的炭素、3)生物が関与した有機物の3つが予想されている。本研究課題では、高分解能の走査型電子顕微鏡(FE-SEM)、透過型電子顕微鏡((S)TEM)や集束イオンビーム(FIB)加工といったその場微細組織観察・分析に加え、走査型透過X線顕微鏡法(STXM)やNanoSIMSによる化学種分析・同位体イメージングを通して、Black Beauty の有機物のキャラクタリゼーションと、有機物の形成・進化過程の解明を試みた。

## 3. 研究の方法

Black Beauty に含まれる有機物の分布を FE-SEM 及びレーザーラマン分光分析で把握した。次に有機物を FIB で超薄切片化して、有機物の官能基組成・産状・同位体情報( $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{17}\text{O}$ )と、有機物と共存する鉱物の種類・産状・同位体情報を STXM、NanoSIMS 及び(S)TEM/EDS を用いて取得した。これら一連の複合顕微分析により、有機物の官能基組成、炭素/窒素/水素同位体比、共存鉱物との共進化過程を議論した。

## 4. 研究成果

Black Beauty の鏡面研磨片を FE-SEM/EDS にて観察したところ、有機物には鉱物中とマトリクス中という大きく分けて2種類の産状があると判明した(図1)。その一部をレーザーラマン分光分析にて分析し G-バンドを解析したところ、いずれも火星隕石(SNC)の有機物範囲に大まかに収まることを確認した(図2)。マトリクス中の有機物に関しては G-band center ( $\text{cm}^{-1}$ )が 1580-1595 の範囲で、G-band width (FWHM)が 90-140 の間に収まっている。一方で、鉱物中の値は2ヶ所に分かれてプロットできた。その一部は前述したマトリクス中の有機物のプロット範囲に近かった。

その後、それぞれの産状から約 10 枚の FIB 薄膜を作製し、これらに STXM-NanoSIMS-(S)TEM/EDS による複合分析を行った。未だ論文として未報告のため概略のみの説明とするが、

(I) 鉱物中の有機物のほとんどは MMC と同様のものと思われる。(II) マトリクス中に存在する有機物は同位体的に火星の有機物と考えるのが妥当 ( $\delta^{13}\text{C} = 15 \pm 7 \text{‰}$ 、 $\delta\text{D} = 373 \pm 68 \text{‰}$ ) であるという結果を得た (図 3)。

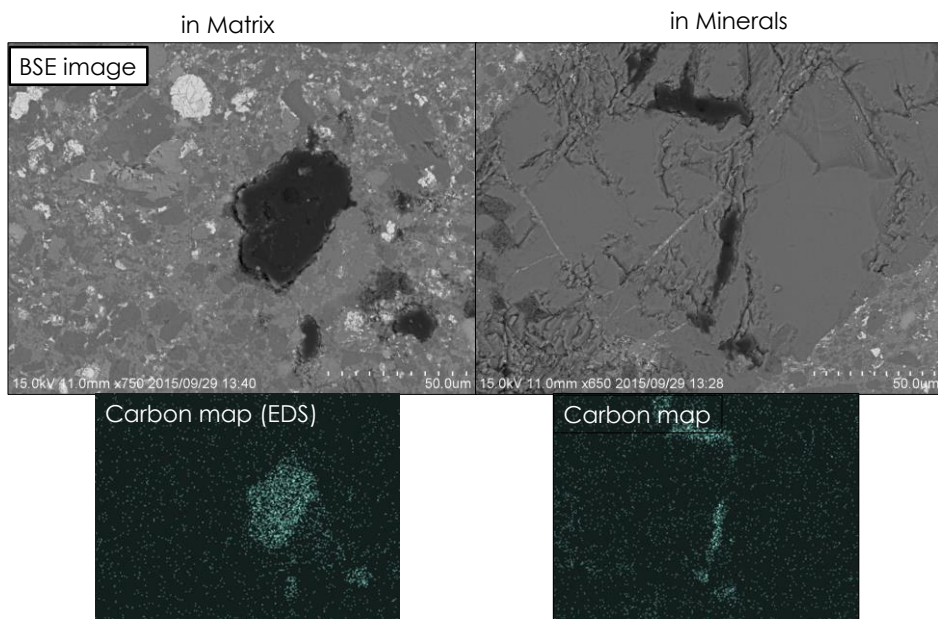


図 1. 本研究によって発見された Black Beauty 中の有機物の産状。鉱物中に包有されたもの (右) とマトリクス中に独立して存在するもの (左) の 2 タイプに分けられた。

(I)は産状的や化学分析の結果から先行研究で見つっている火山性の還元的炭素に類似したものであると考えられ、角礫化の際に鉱物ごと取り込まれて角礫岩になったと考えられる。また (I)の内、前述の通り、ラマン分析の結果がマトリクス中に存在する有機物に近かったものもあったが、これらは同位体的にはマトリクス中有機物に近かった。ゆえに鉱物の割れ目にマトリクス中の有機物と同様のものが入り込み、これを観測した可能性が考えられる。本研究では 3 次元的分析は実施していないため、これ以上の議論は難しい。

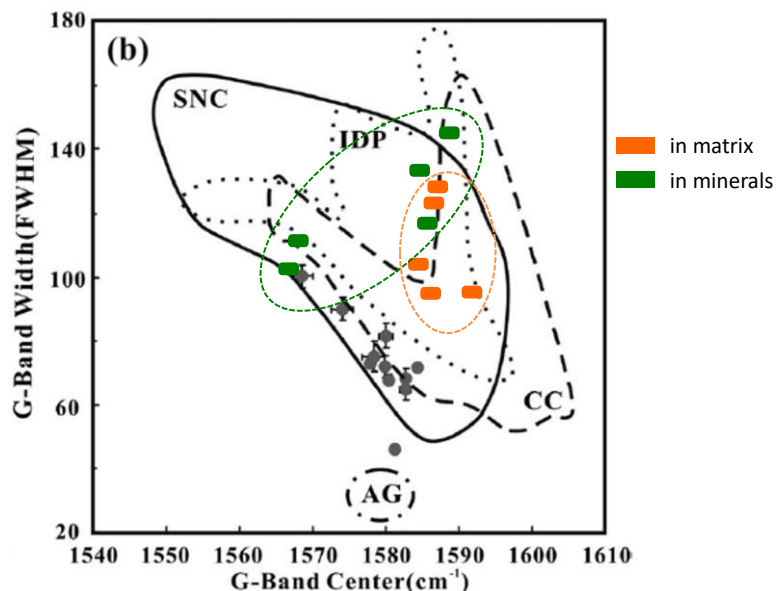


図 2. 本研究によって発見された Black Beauty 中の 2 つのタイプの有機物のラマンスペクトル解析結果を Lin et al. (2014) の図にオーバープロットしている。鉱物中に包有された有機物 (緑色) とマトリクス中に独立して存在する有機物 (オレンジ) は共に SNC の範囲に大まかに一致した。

(II)に関しては、有機物の炭素同位体比が  $\delta^{13}\text{C} = 15 \pm 7 \text{‰}$  であり、明らかに地球の有機物 ( $\delta^{13}\text{C} = -40 \sim +3 \text{‰}$  程度) ではない。また先行研究結果や標準物質の分析結果と比べると、有機物の化学組成は水質変性により形成された有機物の持つ化学組成に近いことがわかった。また (S)TEM/EDS 分析によりこれらの有機物の中に包埋された微細な粘土鉱物(長さ 500 nm 程度、層

厚 20 nm 程度)や約 100 nm 粒径の NaCl が数多くみつかった。この有機物の有する平均水素同位体比は上記の通り  $\delta D = 373 \pm 68 \text{ ‰}$  であり明らかに地球 ( $\delta D = \sim +$ 数 10 ‰程度)のものではないが、粘土鉱物や NaCl 含有部分においては  $\delta D = 1000 \text{ ‰}$  に達するさらに高い値が得られており、火星表層の水 (表層下の水/氷:  $\delta D = 1000 \sim 2500 \text{ ‰}$ 程度、表層水や水蒸気:  $\delta D > 2500 \text{ ‰}$ ) との反応で形成されたことの証拠となる。ゆえに、これは火星表層に由来する有機物であると言えよう。

これらの結果から、Black Beauty には、主に 2 種類の産状の有機物が含まれており、全岩として分析する際にはこれら (鉱物に包埋された有機物:  $\delta^{13}\text{C} = -23.4 \pm 0.73 \text{ ‰}$ とマトリクス中の有機物:  $\delta^{13}\text{C} = 15 \pm 7 \text{ ‰}$ ) のミキシングの値をみているため、Agee et al. (2013)が示したバルクの炭素同位体比  $\delta^{13}\text{C} = -3.0 \pm 0.16 \text{ ‰}$  をうまく説明することが出来た。現在これらの結果を論文にまとめているところである。

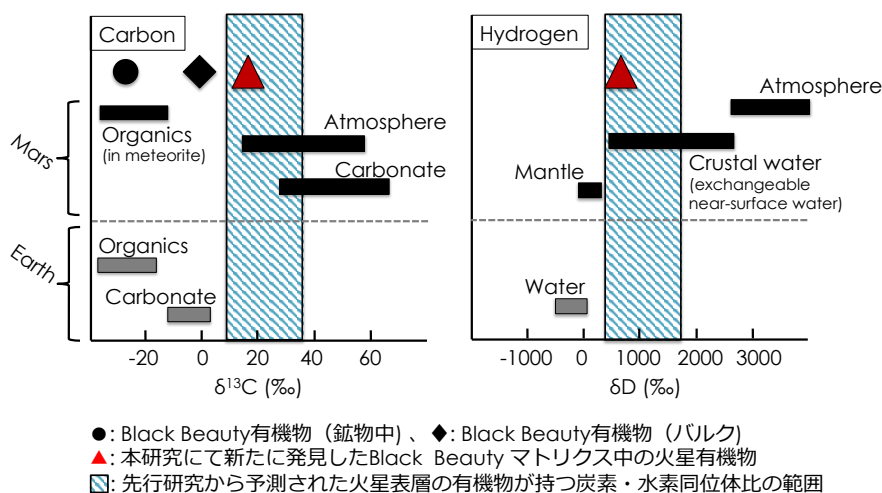


図 3. 火星と地球の代表的な炭素同位体比(左)と水素同位体比(右)。各成分の値は Agee et al. (2013)と、Lin et al. (2014)および、Usui et al. (2015)から引用している。

本研究が国際誌に掲載されれば、「火星の表層同位体情報を有する有機物を火星隕石から明確に見つけ出して特徴づけをした」世界で初めての研究となり、高い学術的意義を持つ。また近い将来、火星表層試料を地球へ持ち返って、実験室や放射光施設を用いた詳細な分析を行うことができるようになれば、本研究で発見・特徴づけられたような有機物が実際の火星帰還試料から見つかること期待される。

本研究の比較標準として行った「火星隕石ナクライト中のイデイングサイト脈に含まれる 2 次鉱物の分析研究」は上記の Black Beauty 研究に先立って Suga et al. (2021)として Minerals 誌に論文が掲載された。加えて、本研究から得られた知見を含めた試料準備・複合顕微分析プロトコルは小惑星リュウグウ帰還試料分析にも応用されており、これらの結果は Science 誌に 2 報の論文として掲載された。また微量な有機成分や含有元素分析のために SPring-8 の BL17SU にある走査型軟 X 分光顕微鏡 (蛍光検出が可能な STXM 装置) にて進めてきたメソドロジー的研究結果に関しても現在論文にまとめているところである。さらに、本研究推進に関連して上記以外にも複数の共著論文が創出された。このように、本研究を構築された技術と得られたノウハウは今後も放射光顕微鏡を基盤とする複合顕微分析を行う際に活用されていくだろう。

#### <引用文献>

- ① Grotzinger John P., Joy A. Crisp, Ashwin R. Vasavada, and the MSL Science Team, Curiosity's Mission of Exploration at Gale Crater, Mars Mineralogy of Mars in Elements, Volume 11, Number 1, February 2015.
- ② Steele, A. et al. A Reduced Organic Carbon Component in Martian Basalts. Science 337, 212-215 (2012).
- ③ Lin, Y. et al. NanoSIMS analysis of organic carbon from the Tissint Martian meteorite: Evidence for the past existence of subsurface organic-bearing fluids on Mars. Meteorit Planet Sci 49, 2201-2218 (2014).
- ④ Santos, A. R. et al. Petrology of igneous clasts in Northwest Africa 7034: Implications for the petrologic diversity of the martian crust. Geochimica et Cosmochimica Acta 157, 56-85 (2015).
- ⑤ Agee, C. B. et al. Unique Meteorite from Early Amazonian Mars: Water-Rich Basaltic Breccia Northwest Africa 7034. Science 339, 780-785 (2013).
- ⑥ Usui, T., Alexander, C. M. O., Wang, J., Simon, J. I. & Jones, J. H. Meteoritic evidence for a previously unrecognized hydrogen reservoir on Mars. Earth and

Planetary Science Letters 410, 140-151 (2015).

- ⑦ Suga H, Suzuki K, Usui T, Yamaguchi A, Sekizawa O, Nitta K, Takeichi Y, Ohigashi T, Takahashi Y. A New Constraint on the Physicochemical Condition of Mars Surface during the Amazonian Epoch Based on Chemical Speciation for Secondary Minerals in Martian Nakhilites. Minerals 11 514 (2021).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Barosch Jens, Nittler Larry R., Suga Hiroki et al.	4. 巻 935
2. 論文標題 Presolar Stardust in Asteroid Ryugu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L3~L3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac83bd	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 Nakamura T., Matsumoto M., Amano K., Enokido Y., Suga Hiroki et al.	4. 巻 379
2. 論文標題 Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 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) 10.1126/science.abn8671	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 Li Wenshuai, Yamada Shinya, Suga Hiroki et al.	4. 巻 1240
2. 論文標題 High-sensitive XANES analysis at Ce L2-edge for Ce in bauxites using transition-edge sensors: Implications for Ti-rich geological samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Analytica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 340755 ~ 340755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aca.2022.340755	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 Yabuta Hikaru, Cody George D., Engrand Cecile, Kebukawa Yoko, De Gregorio Bradley, Suga Hiroki et al.	4. 巻 379
2. 論文標題 Macromolecular organic matter in samples of the asteroid (162173) Ryugu	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 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) 10.1126/science.abn9057	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 Dartois Emmanuel, Kebukawa Yoko, Yabuta Hikaru, Mathurin Jeremie, Engrand Cecile, Suga Hiroki et al.	4. 巻 671
2. 論文標題 Chemical composition of carbonaceous asteroid Ryugu from synchrotron spectroscopy in the mid-to far-infrared of Hayabusa2-returned samples	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A2 ~ A2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202244702	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 Yoshida Masashi, Miyahara Masaaki, Suga Hiroki, Yamaguchi Akira, Tomioka Naotaka, Sakai Takeshi, Ohfuji Hiroaki, Maeda Fumiya, Ohira Itaru, Ohtani Eiji, Kamada Seiji, Ohigashi Takuji, Inagaki Yuichi, Kodama Yu, Hirao Naohisa	4. 巻 56
2. 論文標題 Elucidation of impact event recorded in the Iherzolithic shergottite NWA 7397	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1729 ~ 1743
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13735	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 Suga Hiroki, Suzuki Keika, Usui Tomohiro, Yamaguchi Akira, Sekizawa Oki, Nitta Kiyofumi, Takeichi Yasuo, Ohigashi Takuji, Takahashi Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 A New Constraint on the Physicochemical Condition of Mars Surface during the Amazonian Epoch Based on Chemical Speciation for Secondary Minerals in Martian Nakhilites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 514 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min11050514	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 Yamada Shinya, Ichinohe Yuto, Tatsuno Hideyuki, Hayakawa Ryota, Suda Hiroataka, Ohashi Takaya, Ishisaki Yoshitaka, Uruga Tomoya, Sekizawa Oki, Nitta Kiyofumi, Takahashi Yoshio, Itai Takaaki, Suga Hiroki 他	4. 巻 92
2. 論文標題 Broadband high-energy resolution hard x-ray spectroscopy using transition edge sensors at SPring-8	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013103 ~ 013103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020642	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 Noguchi Takaaki, Takase Minako, Matsumoto Rikako, Kebukawa Yoko, Suga Hiroki, Kondo Masashi, Takahashi Yoshio, Takeichi Yasuo, Yabuta Hikaru	4. 巻 10
2. 論文標題 An Another Protocol to Make Sulfur Embedded Ultrathin Sections of Extraterrestrial Small Samples	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 135 ~ 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life10080135	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 Shiraishi Fumito, Omori Takeru, Tomioka Naotaka, Motai Satoko, Suga Hiroki, Takahashi Yoshio	4. 巻 285
2. 論文標題 Characteristics of CaCO <sub>3</sub> nucleated around cyanobacteria: Implications for calcification process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 55 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.06.033	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 Imada Saki, Isshiki Toshiyuki, Tatemizo Nobuyuki, Nishio Koji, Mamishin Shuichi, Suzuki Yuya, Ito Katsuji, Nitta Kiyofumi, Sekizawa Oki, Suga Hiroki, Tamenori Yusuke	4. 巻 Accepted
2. 論文標題 Formation of various-axes-oriented wurtzite nuclei and enlargement of the a-axis-oriented region in AlFeN films deposited on Si(100) substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 Accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ma01026j	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 Okumura Taiga, Yamaguchi Noriko, Suga Hiroki, Takahashi Yoshio, Segawa Hiroyo, Kogure Toshihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Reactor environment during the Fukushima nuclear accident inferred from radiocaesium-bearing microparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-58464-y	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 Kebukawa Yoko, Zolensky Michael E., Ito Motoo, Ogawa Nanako O., Takano Yoshinori, Ohkouchi Naohiko, Nakato Aiko, Suga Hiroki, Takeichi Yasuo, Takahashi Yoshio, Kobayashi Kensei	4. 巻 271
2. 論文標題 Primordial organic matter in the xenolithic clast in the Zag H chondrite: Possible relation to D/P asteroids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 61~77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.12.012	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 橋本洋平, 小林和樹, 菅大暉 武市泰男, 高橋嘉夫	4. 巻 37
2. 論文標題 フランボイダルパイライトへのヒ素の集積	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PHOTON FACTORY NEWS	6. 最初と最後の頁 15-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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15件(うち招待講演 3件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 菅 大暉、関澤 央輝、安武 正展、山添 康介、大浦 正樹、為則 雄祐
2. 発表標題 地球惑星科学試料分析に最適な新たなX線顕微鏡の紹介とその実分析結果の報告
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (Japan Geoscience Union Meeting 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藪田 ひかる、Cody George、Engrand Cecile、癸生川 陽子、De Gregorio Brad、Bona I Lydie、Remusat Laurent、Stroud Rhonda、Quirico Eric、Nittler Larry、橋口 未奈子、小松 睦美、Dartois Emmanuel、他(菅 大暉は27番目に記載)
2. 発表標題 Hayabusa2 Initial Analysis of Macromolecular Organic Matter in the Asteroid Ryugu Samples
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (Japan Geoscience Union Meeting 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅 大暉
2. 発表標題 放射光X線顕微鏡を駆使して火星隕石の変質史を紐解く
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季講演会（招待講演）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅 大暉、菊池 早希子、丹 秀也、山下 翔平、武市 泰男、若林 大佑、木村 正雄、高橋 嘉夫、関根 康人
2. 発表標題 高エネ研フォトンファクトリーにおける水惑星STXMを用いたリュウグウサンプルへの準備：模擬物質分析結果の報告
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 綾花、宮原 正明、菅 大暉、山口 亮、若林 大佑、山下 翔平、武市 泰男、高橋 嘉夫、大谷 栄治
2. 発表標題 Aqueous alteration in the nakhlites Y 000802
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上 皓介、福士 圭介、森田 康暉、菅 大暉、高橋 嘉夫
2. 発表標題 地球外試料中の粘土鉱物に対する新たな鉱物学的キャラクタリゼーション法の開発
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅大暉
2. 発表標題 X線顕微分析を用いて火星隕石から火星の水情報を引き出す
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅大暉
2. 発表標題 STXM を基盤としたサブマイクロスケール顕微分析プロトコルとその応用
3. 学会等名 J-DESC Workshop “ Scientific Ocean Drilling beyond 2023 ” 「科学掘削の未来: 2023年からその先へ」（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅大暉、長澤真、関澤央輝、山田真也、早川亮大、大井かなえ、須田博貴、竜野秀行、岡田信二、奥村拓馬、橋本直、一戸悠人、林佑、今井悠喜、野田博文、神代暁、宇留賀朋哉、高橋嘉夫
2. 発表標題 希土類元素のK・L 吸収端へのXAFS 分析の試み: 高エネルギー-XAFSと超伝導転移端センサー検出器 (TES) を用いた分析との比較
3. 学会等名 2019年度日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Fukushi, Yasuo Takeichi, Hiroki Suga, Yoko Kebukawa, Daisuke Wakabayashi, Shohei Yamashita, Masao Kimura, and Yoshio Takahashi
2. 発表標題 Photon Factory BL-19: a new STXM beamline with wide energy range for Aquaplanetology
3. 学会等名 Asteroid Science in the Age of Hayabusa2 and OSIRIS-REx Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Suga, Sakiko Kikuchi, Shuya Tan, Shohei Yamashita, Yasuo Takeichi, Daisuke Wakabayashi, Masao Kimura, Yoshio Takahashi, and Yasuhito Sekine
2. 発表標題 The Preparation for Return Sample from Asteroid Ryugu by STXM at KEK-PF
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋嘉夫, 山田真也, 関澤央輝, 板井啓明, 田中雅人, 栗原雄一, 柏原輝彦, 坂田昂平, 三浦輝, 栗栖美菜子, 長澤真, 早川亮大, 大井かなえ, 須田博貴, 竜野秀行, 岡田信二, 奥村拓馬, 橋本直, 一戸悠人, 林佑, 今井悠喜, 野田博文, 神代暁, 宇留賀朋哉, 菅大暉
2. 発表標題 超伝導転移端センサー検出器(TES)を用いた蛍光XAFS法による地球化学・環境化学試料中の微量元素の化学種解析
3. 学会等名 2019年度日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 皓介, 福士 圭介, 森田 康揮, 菅 大暉, 高橋 嘉夫
2. 発表標題 地球外試料中のスメクタイトに対する新たな鉱物学的キャラクタリゼーション法の開発
3. 学会等名 2019年度日本地球化学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayaka Nakamura, Masaaki Miyahara, Hiroki Suga, Akira Yamaguchi, Wakabayashi Daisuke, Shohei Yamashita, Yasuo Takeichi, Yoshio Takahashi, Eiji Ohtani
2. 発表標題 Aqueous alteration in the nakhlite Y 000802
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Inoue, Keisuke Fukushi, Koki Morida, Hiroki Suga, and Yoshio Takahashi
2. 発表標題 Development of novel characterization method for extraterrestrial clay mineral
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 宮原正明、菅大暉 (第3章22節「火星隕石の有機物」分担執筆)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 400
3. 書名 生命起源の事典 (印刷中)	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------