

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01298

研究課題名(和文) 集束イオンビームを用いたルミネッセンスイメージングの開発と鉱物組織の三次元観察

研究課題名(英文) Development of luminescence imaging system using Focused Ion Beam microscope and three-dimensional observation of microtextures in minerals

研究代表者

鹿山 雅裕 (Kayama, Masahiro)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：30634068

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：本計画では集束イオンビーム装置にルミネッセンス検出器を組み込んだイメージングシステムを開発するに至り、鉱物組織の三次元画像観察から惑星科学・地球科学への様々な応用を実現した。従来の光学・電子顕微鏡と比べて高空間分解能であることから、天体衝突に由来する衝撃変成組織を容易に可視化し、その存在形態から隕石やクレーターが経験した衝突の規模を評価することができる。地球での変成作用により生じた包有物からは、そろばん状の累帯構造を有する石英を発見し、これは高温相の特徴であることから、高温からの急冷に伴い生じたことを解明した。このように、本システムにより鉱物が経験した変成史を詳細に解明することが可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

このイメージングシステムはFIBを基盤としているため、従来の手法では困難であった1マイクロメートル以下の空間分解能での観測を実現する。サブミクロンオーダーでの組織・構造を非破壊かつ容易に観察が可能であり、いくつかの新奇な地球・惑星学的応用を達成した。さらにルミネッセンスは物理学において半導体の評価や発光デバイスの開発などに必要な常套手段であり、本システムの流用から学際的なさらなる成果が期待される。

研究成果の概要(英文)：High-resolution luminescence imaging system, Focused Ion Beam microscope combined with luminescence detector, was newly developed to visualize microtextures and structures in constituent minerals. This system enables us to find planar deformation features (PDFs), microstructure formed by shock metamorphism, in quartz more easily than the conventional methods. Existence of PDFs in minerals place constraints on shock pressure that meteorite and impactite have experienced, estimating the scale of impact events on impact craters. Rhombus-shaped microtextures was observed in high-temperature metamorphic quartz in felsite inclusion by the luminescence imaging system and it reflects the external shape of high-temperature quartz. This suggests that the felsite inclusion formed by high-temperature metamorphism with rapid cooling. Our luminescence imaging system provides various new application to the evaluation of thermal and shock-metamorphic histories in planetary science and geosciences.

研究分野：鉱物学、隕石学、惑星科学、地球科学

キーワード：ルミネッセンス 鉱物 集束イオンビーム 微細組織 石英 長石 インパクト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ルミネッセンスは、各種エネルギーによって励起した物質中の電子がエネルギーを発光として放出する現象である。地球・惑星科学の分野では主に、電子線を励起源としたカソードルミネッセンス (Cathodoluminescence: CL) が積極的に利用されており、電子顕微鏡と組み合わせることで構造欠陥を数 μm の空間分解能で検出できる。このような背景から、ルミネッセンスは幅広く応用がなされており、例えば、電子顕微鏡や X 線構造解析、各種分光分析では難しい鉱物の微細組織・構造の観察に用いられている。鉱物などを対象に、石英ではマグマの熱変遷史を反映する累帯構造を観察することで地質温度計 (Ti-in-Quartz やドフィーネ双晶の欠陥密度評価) に応用できる。また、天体の衝突現象により生じる隕石クレーターには、ラメラ状の特徴的な衝撃変成組織 (PDFs) を有する石英や長石がしばしば認められ、その結晶学的方位との関係から衝突時の圧力を推定することが試みられている。しかしこれらの微細組織・構造の多くはサブミクロンスケールで化学組成や結晶構造の変化を伴っていることから、現状の CL 装置では鮮明な画像を観察することが難しいことが多く、微細組織・構造の特徴を十分に捉えることが難しいケースも多いことから、地質温度計や年代測定の結果と鉱物組織の観察事実が一致しないことも多い。

従って、整合しない大量のデータは活用されず、調和的な結果のみを選定する統計学的手法が主流である。その他にも、ルミネッセンスはフィッション・トラック法や転移密度による冷却速度の推定など様々な用途での実用が近年期待されている。しかし、これらに関わる物理現象もサブミクロンスケールで発生するため、発光効率や空間分解能の問題から多くは実現には至っていない。このような背景から、ルミネッセンスの発展と利便性の向上については地球科学分野の活性化には、ナノメートルオーダーでの画像解析を可能とする分析技術の実現が重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究計画では、高空間分解能での鉱物組織の画像観察を実現するべく、既存の集束イオンビーム (Focused Ion Beam: FIB) 装置にルミネッセンス検出器 (MiniCL GATAN) を新たに組み込んだイメージングシステムを開発する。FIB 装置は研究分担者の三宅准教授が管理する京都大学の走査顕微鏡型 Helios NanoLab G3 CX を使用し、発生したルミネッセンスの検出と分布解析を行う。このシステムを用いて、下記に示す新奇的かつ独創的な地球・惑星科学への応用を実現する。

(1) 累帯構造の三次元的復元

石英の結晶形態や欠陥密度は生成温度に依存することから、マグマの地質温度計として利用が図られている。しかし、既存の観察手法で得られる情報は粒子の外形のみであり、また鉱物粒子内の欠陥を検出する手法が限られていることから、欠陥密度の定量的評価はあまり進んでいない。そのため CL と Ti-in-Quartz を組み合わせた手法が現在の主流となっているものの、サブミクロン以下の対象、例えばマグマ過程初期の熱史を記録するナノインクルージョンなどへの応用は実現に至っていない。従って、ここで開発するルミネッセンスイメージングシステムを適用することにより、粒子の中心から外形に至るまでの結晶形態を高空間分解能で把握することが可能となり、欠陥密度を本システムから評価することでマグマの初期から末期までの温度履歴を読み解くことができる。また、推定された温度を Ti-in-Quartz と比較することで、信頼性の高い地質温度計が確立する。

(2) 衝撃変成組織の観察

隕石やクレーターに分布する岩石であるインパクトイトには、天体衝突時の極限的な温度・圧力条件により、通常ではみられない特徴的な微細組織を有することが知られている。特に、隕石やインパクトイトの主要構成鉱物である石英や長石には、PDFs と呼ばれるラメラ状の微細構造がしばしば観察され、サブミクロンオーダーでガラス状の直線的な領域と結晶質の領域が交互に繰り返す組織を示す。この PDFs の特徴は衝撃圧力と結晶学的方位に依存することから、天体衝突のスケールを把握するための圧力計として広く用いられている。一方で、PDFs の多くは微細なサブミクロンオーダーの組織であることから光学顕微鏡での観察には限界があり、一方で微小領域のガラス化をサブミクロンオーダーで容易に観察する手法は少ない。そこで本研究で開発するイメージングシステムを用いて、高空間分解能で PDFs の組織的特徴を把握するとともに、ルミネッセンス画像観察とスペクトルデータとを組み合わせることで、発光中心の特定と発行領域の定量化から衝撃圧力の推定を試みる。

3. 研究の方法

ルミネッセンスによるナノイメージングシステムの開発に使用する FIB 装置は数百 nm の空間分解能を有することから電子顕微鏡と比べてより鮮明な画像観察が可能である。また、イオンミリングによる鉱物粒子の掘削、ダメージ層の除去、観察を繰り返すことで、シリアルセクションングによるルミネッセンスの三次元画像構築を実施する。電子銃と各種検出器を併設することからルミネッセンスの他にも、EDS や EBSD も同時に取得でき、グリッドを共通とすることから

TEM 観察も容易である。ルミネッセンスに関しては対象とする鉱物のスペクトルデータを参照し、検出器にバンドパスフィルターを備え付けることで、350 nm から 800 nm までの波長領域を 50 nm ごとに単色化した高空間分解能でのルミネッセンス画像を撮影できる。すなわち、ここで目指すナノイメージングシステムは単色化した各種ルミネッセンス画像を同時取得した元素濃度や結晶学的方位と比較することで、発光中心の帰属や鉱物組織の成因解明が可能とするものである。このシステムの構築により、従来のルミネッセンス技術では成し得なかったナノイメージングの実現と地球科学へ先端技術を導入する独自性かつ創造性の高い先駆的研究が推進できる。

試料には、大陸衝突型造山帯での地殻深部過程により高温を経験したグラニュライト中のフェルサイト包有物を用いる。この包有物には、事前観察によりマイクロメートルオーダーの石英や長石が粒子として存在することが判明している。さらに、巨大隕石の衝突により恐竜を含む生物の大量絶滅の原因となったチクシュルーブ・クレーターに産するポーリングコア試料も対象とした。このインパクトの主要構成鉱物は石英と長石であり、光学顕微鏡観察から衝突により生じる固有の光学的特徴を有することが事前観察により把握している。

4. 研究成果

FIB に MiniCL を組み込んだナノイメージングの技術確立と鉱物の画像分析について、二次元画像撮影による地球科学への応用のいくつかを実現した。一段式火薬銃で高圧を発生させた石英並びに地球上の天然の隕石クレーターに産する石英に対してナノイメージングによる高分解能ルミネッセンス画像撮影を試み、衝撃波の発生に伴い生じる PDFs を鮮明に観察するに至った。従来の CL 画像撮影装置は走査型電子顕微鏡に搭載しており、それと比べて FIB に搭載している本装置はサブミクロンのラメラ状の石英ガラスと結晶質の石英の基質部分の差が明瞭にみられた(図1)。そのため衝撃変成組織の探索が非常に容易である。本研究で開発したナノイメージング装置により発見された複数の衝撃変成組織を CL スペクトル測定と組み合わせることで圧力を決定し、試料内での石英の圧力分布を解析した。これにより衝撃波が鉱物内を伝わる二次元的な分布解析が可視化され、これは隕石の衝突により生じる衝撃変成作用を解明する重要な鍵である。その一例としてユカタン半島に位置するチクシュルーブ・クレーターのポーリングコアサンプルに含まれる石英に対してもナノイメージング撮影及び圧力推定を実施しており、深さごとに圧力の分布が大きく異なることを見出した。

さらに本研究で開発したナノイメージング装置については、地質温度計に応用することも試みた。地球上のテクトニックな変成作用により再結晶化したフェルサイト包有物に含まれる極微小の石英に対して CL 画像撮影を試みたところ、石英の外形とは異なるそろばん状の累帯構造を可視化することに成功した(図2)。これは高温型石英の面影であり、再結晶化した直後の結晶化温度を反映していると解釈できる。このそろばん状の発光領域は Ti に由来する CL の発光強度が強いことから高温での形成が示唆される。さらに、CL 画像で石英に残存するドフィーネ双晶を発見し、変成作用は急速な冷却過程に伴う事象であったことを判明した。これにより、地質温度計への応用としてテクトニックな変成作用により再結晶化したナノインクルージョンに含まれる石英の累帯構造を撮影することに成功した。

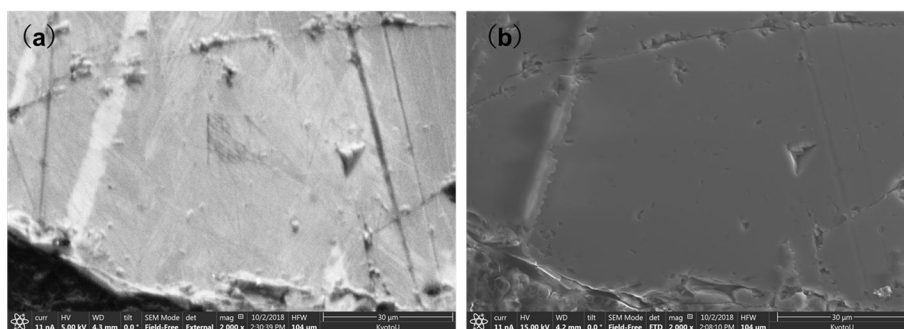


図1 : (a) チクシュルーブ・クレーターに産する石英のルミネッセンス像と (b) 二次電子像ルミネッセンス像にのみ特有のラメラ状の極微小な PDFs が観察される

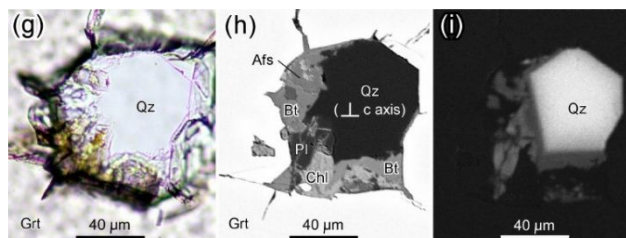


図2 : (g) フェルサイト包有物の石英の顕微鏡像、(h) 後方散乱電子像、(i) ルミネッセンス像ルミネッセンス像にのみそろばん状の発光する組織が認められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hiroi Yoshikuni, Hokada Tomokazu, Kayama Masahiro, Miyake Akira, Adachi Tatsuro, Prame Bernard, Perera Keerthi, Satish Kumar Madhusoodhan, Osanai Yasuhito, Motoyoshi Yoichi, Ellis David J., Shiraishi Kazuyuki	4. 巻 29
2. 論文標題 Zoned quartz phenocrysts in supercooled melt inclusions in granulites from continental collision orogens	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12374	査読の有無 無
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 Nagaoka Hiroshi, Fagan Timothy J., Kayama Masahiro, Karouji Yuzuru, Hasebe Nobuyuki, Ebihara Mitsuru	4. 巻 7
2. 論文標題 Formation of ferroan dacite by lunar silicic volcanism recorded in a meteorite from the Moon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-0324-8	査読の有無 無
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 Matsumoto Toru, Harries Dennis, Langenhorst Falko, Miyake Akira, Noguchi Takaaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Iron whiskers on asteroid Itokawa indicate sulfide destruction by space weathering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-14758-3	査読の有無 無
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 Nagaya Takayoshi, Okamoto Atsushi, Oyanagi Ryosuke, Seto Yusuke, Miyake Akira, Uno Masaaki, Muto Jun, Wallis Simon R.	4. 巻 105
2. 論文標題 Crystallographic preferred orientation of talc determined by an improved EBSD procedure for sheet silicates: Implications for anisotropy at the slab?mantle interface due to Si-metasomatism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 873 ~ 893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2020-7006	査読の有無 無
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 Taguchi Tomoki, Kouketsu Yui, Igami Yohei, Kobayashi Tomoyuki, Miyake Akira	4. 巻 558
2. 論文標題 Hidden intact coesite in deeply subducted rocks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116763 ~ 116763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2021.116763	査読の有無 無
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 Matsumoto Toru, Noguchi Takaaki, Tobimatsu Yu, Harries Dennis, Langenhorst Falko, Miyake Akira, Hidaka Hiroshi	4. 巻 299
2. 論文標題 Space weathering of iron sulfides in the lunar surface environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 69 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.02.013	査読の有無 無
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 Tsuchiyama Akira, Miyake Akira, Okuzumi Satoshi, Kitayama Akira, Kawano Jun, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa, Nakano Tsukasa, Zolensky Michael	4. 巻 7
2. 論文標題 Discovery of primitive CO ₂ -bearing fluid in an aqueously altered carbonaceous chondrite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabg9707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abg9707	査読の有無 無
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 Matsuno Junya, Tsuchiyama Akira, Watanabe Takayuki, Tanaka Manabu, Takigawa Aki, Enju Satomi, Koike Chiyo, Chihara Hiroki, Miyake Akira	4. 巻 911
2. 論文標題 Condensation of Glass with Multimetal Nanoparticles: Implications for the Formation Process of GEMS Grains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 47 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abe5a0	査読の有無 無
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 H. NAGAOKA, T. J. FAGAN, M. KAYAMA, Y. KAROUJI, N. HASEBE, M. EBIHARA	4. 巻 7
2. 論文標題 Formation of ferroan dacite by lunar silicic volcanism recorded in a meteorite from the Moon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-0324-8	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 鹿山雅裕	4. 巻 28
2. 論文標題 外来天体の衝突に由来する月の揮発性成分	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 遊・星・人	6. 最初と最後の頁 14-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14909/yuseijin.28.1_14	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 鹿山雅裕, 橋爪光	4. 巻 28
2. 論文標題 月内部に存在する揮発性成分	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 遊・星・人	6. 最初と最後の頁 24-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14909/yuseijin.28.1_24	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 Y. igami, S. Ohi, T. Kogiso, N. Furukawa, A. Miyake	4. 巻 104
2. 論文標題 High-temperature structural change and microtexture formation of sillimanite and its phase relation with mullite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1051-1061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6732	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 T. Taguchi, S. Endo, Y. Igami, A. Miyake	4. 巻 28
2. 論文標題 A new occurrence of retrogressed eclogite from the Sanbagawa belt of southwest Japan and its significance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12317	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 N. Akizawa, T. Kogiso, A. Miyake, A. Tsuchiyama, Y. Igami, M. Uesugi	4. 巻 58
2. 論文標題 Formation process of sub-micrometer-sized metasomatic platinum-group element-bearing sulfide in Tahitian harzburgite xenolith	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Canadian Mineralogist	6. 最初と最後の頁 99-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3749/canmin.1800082	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 鹿山雅裕	4. 巻 28
2. 論文標題 外来天体の衝突に由来する月の揮発性成分	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本惑星科学会誌「遊・星・人」	6. 最初と最後の頁 14-23
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 -

1. 著者名 鹿山雅裕、橋爪光	4. 巻 28
2. 論文標題 月内部に存在する揮発性成分	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本惑星科学会誌「遊・星・人」	6. 最初と最後の頁 24-36
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24件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 M. MURANUSHI, M. KAYAMA, T. MIYAMOTO, S. KAMADA, H. NAGAOKA, A. SUZUKI,
2. 発表標題 High-pressure and -temperature experiments simulating the lunar KREEP layer and constraint on its water content
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 M. KAYAMA, D. Kaushik, Y. Tsuchiy
2. 発表標題 Chemical and optical evaluation of zircon synthesized by Li-Mo flux method
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 東 佳徳、馬殿直樹、三宅 亮
2. 発表標題 AFM-IRによる鉱物中微量水酸基検出の試み
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅 亮、奥村 翔太
2. 発表標題 火山ガラスからの鉱物の晶出過程その場観察実験
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村 翔太、無盡 真弓、土山 明、三宅 亮
2. 発表標題 3D crystal size distributions of pyroxene nanolites based on nanoX-ray CT analyses
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 無盡 真弓、中村 美千彦、三宅 亮
2. 発表標題 火山砕屑物中に含まれるナノスケール磁性鉱物
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 秋澤 紀克、三宅 亮、土山 明、横山 祐典、阿瀬 貴博、浅沼 尚
2. 発表標題 Deep-seated hydrothermal circulation beneath the ridge axis: a case study of crustal diopside from Oman ophiolite
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 多田 賢弘、鹿山 雅裕、常 ヌイ、三宅 亮、伊神 洋平、多田 隆治、Carling Paul、Songtham Wickanet、田近 英一
2. 発表標題 Evaluation of shock deformation of the basement sandstone around the probable impact site of Australasian Tektite Event using synchrotron X-ray diffraction analysis
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 H. NAGAOKA, T.J. FAGAN, M. KAYAMA, Y. KAROUJI, N. HASEBE, M. EBIHARA
2. 発表標題 Mineralogic and petrologic characterization of a new silicic clast in lunar brecciated meteorite, Northwest Africa 2727
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 M. KAYAMA
2. 発表標題 Discovery of moganite in a lunar meteorite as a trace of H ₂ O ice in the Moon's regolith
3. 学会等名 JSPS Japanese-German graduate externship International Workshop on Volatile Cycles (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿山雅裕
2. 発表標題 Moganite in a lunar meteorite as a trace of H ₂ O ice in the lunar regolith
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿山雅裕
2. 発表標題 Shock barometer using cathodoluminescence and synchrotron angle-dispersive x-ray diffraction analyses of minerals
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿山雅裕, 橋爪光, 長岡央, 佐伯和人, 山中千博, 晴山慎, 大竹真紀子
2. 発表標題 月極域探査ミッションの推進に向けた科学的アプローチ
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 4)唐牛謙, 長岡央, 石原吉明, 鹿山雅裕, 山本聡, 長谷部信行, 橋爪光, 小川佳子, 矢田達, 春山純一, 安部正真, 大竹真紀子
2. 発表標題 HERACLESサイエンスワーキンググループ, HERACLES国際科学定義チーム, HERACLES mission: Returning to the Moon by an ESA-JAXA-CSA Joint Study
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 鹿山雅裕
2. 発表標題 鉱物のカソードルミネッセンスと地球惑星科学への応用
3. 学会等名 Gatan 製品技術セミナー2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅 亮、奥村 翔太
2. 発表標題 高温加熱ホルダーを用いた桜島火山ガラスからの鉱物晶出 その場観察
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 K. Yoshida, A. Miyake
2 . 発表標題 Application of FIB-microsampling for cryo-FIB- SEM analysis of fluid inclusions
3 . 学会等名 13th International Eclogite Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. TANI, N. TOMIOKA, M. KAYAMA, Y. CHANG, H. NISHIDO, K. DAS, A. RAE, L. FERRIERE, S.P.S GULICK, J.V. MORGAN, the IODP-ICDP Expedition 364 Scientist
2 . 発表標題 Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation
3 . 学会等名 AGU FALL MEETING (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. KAYAMA
2 . 発表標題 Shock barometer using cathodoluminescence and synchrotron angle-dispersive x-ray diffraction analyses of minerals
3 . 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. KAYAMA
2 . 発表標題 Moganite in a lunar meteorite as a trace of H ₂ O ice in the lunar regolith
3 . 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 村主 樹、鈴木 昭夫、鹿山 雅裕、宮本 毅
2. 発表標題 Evaluation of the influence of alkali elements on hydrogen solubility of clinopyroxene for estimating water content of lunar mantle
3. 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿山 雅裕、橋爪 光、長岡 央、佐伯 和人、山中 千博、晴山 慎、大竹 真紀子
2. 発表標題 月極域探査ミッションの推進に向けた科学的アプローチ
3. 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿山 雅裕、大谷 栄治、宮原 正明、金子 詳平、関根 利守、小澤 信、平尾 直久
2. 発表標題 ザイフェルタイトのラマン分光分析
3. 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 唐牛 謙、長岡 央、石原 吉明、鹿山 雅裕、山本 聡、長谷部 信行、橋爪 光、小川 佳子、矢田 達、春山 純一、安部 正真、大竹 真紀子、HERACLES サイエンスワーキンググループ、HERACLES 国際科学定義チーム
2. 発表標題 HERACLES mission: Returning to the Moon by an ESA-JAXA-CSA Joint Study
3. 学会等名 日本惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019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	三宅 亮 (Miyake Akira) (10324609)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	

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