

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01953

研究課題名(和文) 月惑星探査のための岩石組織に対応した可視近赤外分光データ解析モデルの構築

研究課題名(英文) Construction of a visible near-infrared spectroscopic data analysis model for lunar and planetary exploration targeting rock samples.

研究代表者

佐伯 和人 (SAIKI, Kazuto)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50292363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：月着陸実証機SLIMでは岩石を可視近赤外分光観測する。人工岩石の観測等により深成岩の鉱物粒界は有効な反射面でないことがわかった。一方天然の火成岩では分光観測の感度を上げる反射も多く見られる。岩石組織と吸収特徴の関係を整理した。また、月極域探査LUPEX計画の準備として鉱物表面に微小氷粒を着氷させる技術確立した。人工凍土の分光観測により、レゴリスの反射スペクトルと粒径から、氷の検量線を推定する手法を提案した。さらに、真空中での着氷実験により氷が粒状に着くことが確認され、水分子が着氷時に地下に潜り込む可能性も示唆された。成果は、SLIMのマントル物質観測技術やLUPEXの氷検出技術に還元される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

JAXAがこれから行う二つの月探査計画、小型月着陸実証機(SLIM)と月極域探査計画(LUPEX)には本研究代表者が開発リーダーを務める地質探査用の可視近赤外分光カメラが搭載されている。前者は月のマントル物質の化学組成推定、後者は月の凍土の氷の定量が目的であるが、その両者において、観測精度を上げ月の起源の解明や月氷資源の分布の解明に貢献することができる。また、可視近赤外分光法を活用する他の月惑星探査の既存のデータ解釈や、今後のデータ取得の質を向上させる効果がある。

研究成果の概要(英文)：In the SLIM mission, rocks would be observed by visible and near-infrared spectroscopy. We found that grain boundaries of plutonic rocks are not effective reflecting surfaces through observations of artificial rock. On the other hand, natural igneous rocks often exhibit reflections that enhance the sensitivity of spectroscopic observations. The relationship between rock texture and absorption characteristics was organized. Furthermore, for the LUPEX mission, a technique to make small ice particles on mineral surfaces was established. Through spectroscopic observations of the artificial permafrost, a method was proposed to estimate the ice calibration curve based on the reflectance spectrum and particle size of regolith. Additionally, ice was confirmed to adhere in a granular form through icing in a vacuum, suggesting the possibility of water molecules infiltrating underground during icing. These achievements will contribute to the mantle material observation of future lunar missions.

研究分野：惑星科学

キーワード：月 月探査 近赤外分光 リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

従来の月・惑星リモートセンシングの可視・近赤外分光データの解析は、地表がレゴリスすなわち粉体の試料に覆われているという仮定のもとに解析されている。実際のところ、惑星科学の分野で「反射スペクトル」と呼ばれているものは、本来の意味での「反射スペクトル」ではなく、鉱物表面の散乱や鉱物内部の透過が複雑に繰り返された、「拡散反射スペクトル」である。入射光が試料により反射・吸収を繰り返しながら、様々な光路を通った後に反射光として観測される。光の経路は複雑であるが、数学的には逆に取り扱い易く、粉体の拡散反射スペクトルの場合は、化学分野で Kubelka の理論的研究(文献①)や Kortum の粉体試料をモデルにした定量的な研究(文献②)によって 1960 年代にほぼ確立した。さらに Hapke(文献③)によって固体天体表面のリモートセンシング手法として活用可能になった。

Hapke のモデルは経験的に決めるパラメータを巧みに組み込んでおり、本来の疎に分散した粉体でなくても、それなりに近似的な値を出してくれるため、現在の可視・近赤外分光による月・惑星リモートセンシングのデータ解析には不可欠なモデルとなっている。

しかし、研究代表者は月探査用の分光カメラ開発の基礎研究として、粉体だけでなく岩石試料の分光測定もしてきたが、岩石中の鉱物の反射スペクトルは、やはり粉体と異なる挙動をとる。

たとえば、「かんらん石の単結晶は、表面を鏡面状態に磨いたものは、1 ミクロン付近の吸収ピークがはっきり出ないが、表面が荒れているとピークが出やすい傾向がある」とか、「岩石に埋まった単結晶は単結晶の中心部よりも、マトリックスと接している境界付近の方が吸収ピークが出やすい傾向があるらしい」とか、「岩石表面は表面粗さが粗いと長い波長の強度が強くなる」など、漠然とした経験則は蓄積されているが、系統的に説明するモデルは存在しない。

結晶が密に接している火成岩組織や、鉱物粒のまわりを取り囲むように着氷した凍土について、適切な光学モデルを提案できれば、粉体ではなく岩石の観測データからも、構成鉱物の量比や、鉱物粒径や、表面粗さなどの追加情報が得られる期待がある。

2023 年度に予定されている月着陸探査 SLIM では、月のマントル物質、すなわち深成岩の分光観測が予定されている。また、2024 年度以降の月極域探査では、永久影領域に 0.5wt% 以上の氷が含まれるかどうかを調べる探査をする計画がある。これらの探査の前に、岩石用や凍土用の光学モデルを整備しておきたい。

研究代表者は、日本の大型無人月探査機「かぐや」に搭載された 3 種類の地形・地質カメラの開発運用グループに所属していた。その際、解析結果として解析モデルの性格上、鉱物の粒径の推定値も算出される。論文著者グループでそれを表面岩石の粒径として採用していいかどうかは、常に議論となった。著者グループの中では参考データという扱いにすることにした。しかし、実際に分光データを取り扱っていない研究者は、逆に推定粒径を信じてしまう傾向があり、岩石の粒径が推定可能であるかを明確にする必要を感じていた。

また、研究代表者は現在、2023 年度打ち上げ予定の小型月着陸実証機 SLIM に搭載される分光カメラの開発チームの代表をしている。このカメラの開発審査会議でしばしば問われるのが、粉体ではなく岩石を測定して、そもそも吸収ピークが見えるのか？本当に鉱物組成を推定できるか？ということである。本研究を通じて、測定可能であることや吸収ピークの位置はほとんど変化しないことを示す必要もある。

さらに、研究代表者は 2024 年度以降に日本とインドとの共同で打ち上げる予定の月面極域探査(LUPEX)計画において、極域の永久影で着氷しているかもしれない微量な水氷を、可視・近赤外分光カメラで検出するというアイデアを提案している。研究開始時には、インド側と計画の相談をするためのモデルミッション機器という位置づけで JAXA に情報提供しているが、搭載機器公募にも応募するに当たり、氷の定量可能性を示す必要もあった。

2. 研究の目的

月惑星探査の次なる段階に必要な観測技術として、これまでの粉体とは異なる、火成岩の岩体や、氷付きレゴリスなどの近赤外分光観測を精度良く行うために、基礎研究に必要な、火成岩の人工岩石、人工着氷凍土を系統的な比較試料として製造する方法を確立し、それら人工試料と天然試料とを近赤外分光撮像することで系統的なデータを蓄積する。そして最終的にそれらを説明するモデルを構築する。具体的には、2023 年度に打ち上げられる月着陸探査機 SLIM で、研究代表者のグループがマントル由来の深成岩を可視・近赤外カメラで分光観測する予定であるが、その際の構成鉱物の体積分率を 5%程度以内の精度で推定できるようにしたい。また、人工着氷凍土に関しては 1 wt%前後の様々な微小着氷量の均質な凍土を製造する装置を完成させ、含水量を変えた着氷試料を分光測定することで、鉱物と氷の比率を推定できるモデルを完成させる。2024 年度以降に計画されている日本とインド共同の月極域探査計画では、0.5wt% 以上の水氷の検出を要求されているが、本研究では、0.1wt%の水氷を± 0.02wt%程度以内の誤差で検出することをめざす。

3. 研究の方法

本研究の実施は3段階に分かれている。

第一段階は、「人工岩石の合成」である。合成するのは人工火成岩と人工凍土の2種類である。人工火成岩に関しては鉱物が密に接合した岩石の分光データをどう解釈すべきかを知るため、人工凍土は氷が付着したレゴリスの分光データから含水量を精度良く推定するためである。人工火成岩は粒径1 mm以上の試料については、純度の高い地球産鉱物を購入し、ダイヤモンドカッターで厚さ1~3 mmほどにスライスした後、結晶方位がバラバラになるように重ねて電気炉にて焼結接着することで作成する。構成鉱物粒径が1 mm未満の人工岩石については、材料鉱物を研究室所有の粉砕機で粉砕したのち、ふるいで選別し、それらを焼結させる。ただ、不規則形状の粒を焼結して空隙をなくしてしまうには、長時間の加熱が必要となるので、短時間で密な岩石組織をつくることができるよう、ピストンシリンダーという高圧装置を使って、加熱圧縮成形を行う。なお、ピストンシリンダーによる加熱圧縮は、京都大学にある装置を、小木曾哲教授の協力の元に使用する。微量氷を含む人工凍土試料の合成に関しては、氷の含有量が1wt%前後の微量でも均質な試料をつくることのできる装置を開発する。具体的には1 m程度のパイプの中に、湿潤大気を導入しておき、そこを氷点下に冷却した鉱物粉末を落下させることで、複数粒子が凝集することなく、均一に着氷する「落下式着氷装置」を開発する。

第二段階は、「人工岩石と天然岩石の分光観測」である。研究代表者が過去の科学研究で開発した画像分光装置をより精度良く計測できるよう改良する。この画像分光装置は、岩石を撮像した画像の1ライン分をスリットで導入し、グリズムで分光して、空間情報x波長情報の2次元画像として撮像する装置である。この装置は、月探査用の分光カメラの設計や運用計画の作成のための基礎データ出しに活用されているが、研究目的にあわせて改良する。開発当時の近赤外(NIR)の分光カメラは、可視域の感度がなく950ミクロンから1700nmまでという範囲のものを採用した。鉱物種の区別や、鉱物に含まれる鉄の量を推定するために重要な900-1000nmの領域が可視光学系と近赤外光学系に分断されるために、そのギャップをつなげる過程でデータの精度が落ちていた。しかし、今回採用する新世代のNIRカメラは、700nmから1700nmまで感度があるために、重要な波長領域を一度に正確に測定することができる。また、今回採用するNIRカメラは、月着陸計画SLIMで採用しているものと撮像素子が同一なので、実際の月探査データとの比較もしやすくなる。観測は、人工火成岩に関しては、鉱物粒径、表面粗さ、鉱物組み合わせを変えたものを系統的に分光測定する。また、人工火成岩に類似した岩石を天然岩石から選出し、比較用のデータとして測定する。天然岩石の選出と貸し出しに関しては、東京大学総合研究博物館の三河内岳教授に協力をお願いし、博物館所蔵の試料を使用する。

人工凍土試料に関しては、各種鉱物粉末の単体や混合物に着氷させたもの、玄武岩質月模擬レゴリスや斜長岩質月模擬レゴリスに着氷させたもの等を測定して、それぞれに氷の含有量を測定するための検量線を導くとともに、ホストのレゴリスや鉱物の種類によって変化する氷検量線を鉱物種同定をもとに推定する方法も検討する。

第三段階は、「モデル化」である。これまでの可視・近赤外分光を利用して行われてきた月惑星リモートセンシング探査は、実験室で測定した鉱物粉体のスペクトルデータと比較することで、固体天体の表面の岩石や鉱物を推定してきた。隕石薄片などを分光測定する試みはすでに始まっているが、それらも粉体の拡散反射スペクトルのモデルに基づいて解釈されている。本研究の最後の目的は、火成岩や凍土のような構成鉱物が密に接合した物質に対応した光学モデルをつくり、これからの月・惑星探査に貢献することである。これまでの拡散反射モデルを参考にしつつ、岩石組織の幾何光学的特徴をモデルに組み込み、光線追跡などを組み合わせて火成岩や凍土の反射スペクトルデータ解析に適した光学モデルを構築する。

4. 研究成果

研究課題の三つの段階「人工岩石の合成」、「人工岩石と天然岩石の分光観測」、「分光データ解析モデル構築」それぞれについて研究成果をまとめる。

「人工岩石の合成」では人工火成岩と人工凍土の2種類の合成を試みた。人工火成岩に関して、まずは構成鉱物粒径が1 mm未満の人工岩石の合成を試みた。材料鉱物を粉砕機で粉砕した後ふるいで選別し、さらに短時間で密な岩石組織をつくるためにピストンシリンダー高圧装置を使って、加熱圧縮成形を試みた。しかし鉱物粒間の空隙がなくなる前に試料密封に使っている鉛が流入し、現状の設定ではうまく合成岩石がつかれないことがわかった。そこで、ブロック状に成形した単結晶を電気炉で焼結させる方法にて、人工深成岩を作成した。この方法は、結晶方位を制御して焼結させることで理論モデルとの比較がしやすいというメリットもあった。微量氷を含む人工凍土試料の合成に関しては、2mのパイプの中に、湿潤空気を入れ、そこを液体窒素温度に冷却した鉱物粉末を落下させることで、複数粒子が凝集することなく、均一に着氷する「落下式着氷装置」を開発することに成功した(図1、図2)。さらに、発展研究として、気圧を数パスカル程度まで下げた状態で水分子を低温レゴリスシミュラントに衝突させて着氷させる方式(真空衝突式)についても装置を作成し、落下式と真空衝突式のそれぞれで着氷形態が異なるかどうかを確認した。これまで実験した200パスカル程度の水蒸気全圧では、大気中と同様に氷は粒状に着氷していることが確認された。さらに月の永久影でレゴリス中に水分子がコールドトラップされる際に数cmは地下に潜り込める可能性があることを示唆するデータも得た。

これは今後月面での水分子のコールドトラップ機構の解明という新しい研究テーマに発展させる。落下式着氷装置を活用して鉱物の種類や混合比を変えた模擬土壌に着氷させたり、着氷する鉱物の粒径を変化させたりして、多様な凍土の氷を定量できるようにするための系統的なデータを集めた。

二本目の柱の「人工岩石と天然岩石の分光観測」に関しては、まずは過去の科学研究で開発した画像分光装置を改良した。具体的には、近赤外域のみに感度があった従来のカメラから、可視光から近赤外域まで感度がある新世代のカメラに取り替えて、重要な波長領域を一度に正確に測定することができるようにした。また、波長全域にわたってフォーカスの精度を向上させるように撮像素子の取り付け角度を調整した。さらに、ミクロンスケールの表面粗さを測定できる岩石表面凹凸解析システムを導入し、岩石の表面粗さと反射スペクトル形状との関係を比較できるようにした。焼結によって作り出した人工深成岩を測定した結果、その鉱物境界面は強い反射面にはならず、屈折率の違いによるわずかな反射しかないことがわかった。一方で、東京大学総合博物館から借りた天然火成岩の分光観測を行ったところ分光学的な吸収特徴が観察されるものが多いことや吸収ピーク位置に変化がないこともわかり、複数の含橄欖石試料について、岩石組織の特徴と吸収特徴の観察の難易度についての関係を整理した。人工凍土試料に関しては、カンラン石粉末に着氷させたもの、斜長石粉末に着氷させたものを測定して、それぞれに氷の含有量を測定するための検量線を導き、月極域氷探査のための近赤外分光測定装置に必要な性能仕様を提案した（文献④）。この成果によるところが大きいと推定するが、研究代表者の提案する近赤外画像分光装置 ALIS が月極域探査 LUPEX 計画に採用された。さらに氷の量や着氷する鉱物種を変化させた実験データを蓄積した。2024 年度以降に予定されている LUPEX 計画の準備のために、月高地レゴリス模擬物質への着氷実験も行い、分光データを蓄積した。

以上のデータから三本目の柱である「分光データ解析モデル構築」を行った。まず、人工岩石の分光データについては結晶光学モデルで計算した時の結晶方位の異なる結晶が完全に結合した状態がほぼ再現されていることが確認され、深成岩組織に関しては幾何光学的に光線追跡するモデルが有効であることがわかった。一方、過去論文で行われていた、リモートセンシングデータから深成岩の粒径を推定する試みは誤りであることがわかり、深成岩の構成鉱物量比を反射スペクトルデータのみで推定することも原理的に不可能であることがわかった。つまり、天然岩石で強い近赤外吸収があるものは、内部の割れや、結晶同士の不完全な接合など、火成岩の結晶粒界とは異なる散乱場所を持つことが強く示唆される。2023 年度打ち上げ予定の月着陸実証機 SLIM ではマントル由来と思われる岩石の鉄含有量を可視近赤外分光によって推定する計画である。本研究により SLIM の探査において望遠光学系により一種類の鉱物を空間的に分離して観測することの重要性が確認された。今年度は複数の含橄欖石試料について、岩石組織の特徴と吸収特徴の観察の難易度についての関係を整理した。

人工凍土については、微小氷粒を鉱物表面に着氷させる技術が確立し、氷の量や着氷する鉱物種を変化させた実験データを蓄積した結果、乾燥状態のレゴリスの反射スペクトルとレゴリス粒径から、着氷した際の氷吸収量から氷の量を導出する変換係数を推定する新たな手法を提案した。

以上の成果を SLIM 計画におけるマントル物質観測技術や、LUPEX 計画における氷検出技術にフィードバックするとともに、火成岩や凍土の反射スペクトルデータ解析に適した可視近赤外分光データの解析法を提案する成果発表を行った。今後も順次、国際誌に成果論文を発表していく。

引用文献

- ① P. Kubelka (1948) J. Opt. Soc. Am. 38, 448.
- ② G. Kortum and M. Kortum-Seiler (1947) Z. Naturforsch. 29, 652.
- ③ B. Hapke (1981) J. Geophys. Res. 86, 3039.
- ④ Aoi Ogishima and Kazuto Saiki (2021) Development of a micro-ice production apparatus and NIR spectral measurements of frosted minerals for future lunar ice exploration missions, *Icarus*, 357, DOI:10.1016/j.icarus.2020.114273.

Frosting procedure

- ① Send air saturated with water vapor into the pipe.
- ② Drop the mineral grains cooled at liquid nitrogen boiling temperature (77K).
- ③ Repeat the falling several times

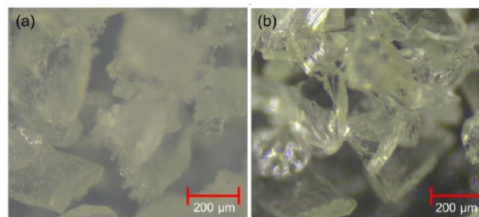
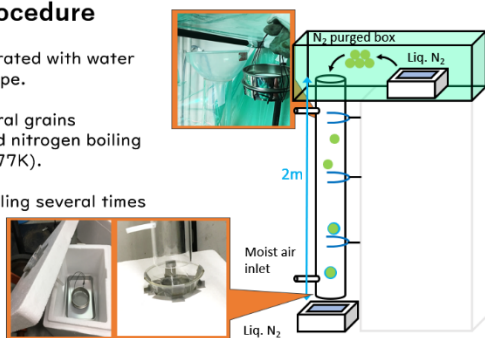


図2 着氷装置により着氷したカンラン石 (a) と氷を蒸発させた後のカンラン石 (b)

図1 落下式着氷装置概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Aoi Ogishima, Kazuto Saiki	4. 巻 357
2. 論文標題 Development of a micro-ice production apparatus and NIR spectral measurements of frosted minerals for future lunar ice exploration missions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Icarus	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） 10.1016/j.icarus.2020.114273	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 佐伯和人	4. 巻 58
2. 論文標題 月資源開発から始まる人類の宇宙フロンティア進出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 宇宙航空環境医学	6. 最初と最後の頁 6-9
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 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 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 2件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 佐伯和人、仲内悠祐、大竹真紀子、佐藤広幸、石原吉明、長岡央、本田親寿、白石浩章、山中千博、前田孝雄、西谷隆介、荒木亮太郎、加藤礼也、坂井真一郎、澤井秀次郎、福田盛介、櫛木賢一
2. 発表標題 SLIM着陸機搭載マルチバンドカメラMBCの開発完了報告
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木亮太郎、佐伯和人
2. 発表標題 月極域氷探査のための着氷鉱物粉体の近赤外分光観測：鉱物種と粒径の差異が氷吸収強度に与える影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐伯和人
2. 発表標題 月の永久影領域における水分子のコールドトラップシミュレーション
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒木亮太郎, 佐伯和人
2. 発表標題 月極域水の含水量を推定するためのレゴリス反射率から水氷検量線を求める手法の開発
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤礼也、佐伯和人
2. 発表標題 月極域探査にむけた着氷月レゴリスシミュラントの近赤外スペクトル測定
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryotaro Araki and Kazuto Saiki
2. 発表標題 Method for Estimating the Slope of the Ice Calibration Curve for Lunar Frosted Regolith from the NIR Spectrum of Dry Regolith
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐伯和人
2. 発表標題 近赤外画像分光装置ALIS: Advanced Lunar Imaging Spectrometer
3. 学会等名 Lunar Polar Exploration Workshop No.5 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuto Saiki, Yusuke Nakauchi, Noboru Ebizuka, Takayuki Okamoto, Yoshiko Ogawa, Masahiro Kayama, Kohei Kitazato, Minoru Sasaki, Hirohide Demura, Hiroshi Nagaoka, Teruyuki Hirano, Takashi Mikouchi, Yutaka Yamagata, Yoshiaki Ishihara, Ryusuke Nishitani, Hiroyasu Mizuno, and Dai Asoh
2. 発表標題 Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS) for Lunar Polar Exploration (LUPEX) project
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2023 50th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐伯和人
2. 発表標題 月着陸実証計画 SLIM および月氷探査計画 LUPEX における可視近赤外分光観測の戦略
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井俊樹, 佐伯 和人
2. 発表標題 月面に露出した深成岩の観測のための、焼結人工岩石の鉱物境界面の分光学的性質の研究
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木亮太郎, 佐伯和人
2. 発表標題 月極域氷探査に向けた、粒径と種類が異なる鉱物粉体に付着した氷の近赤外スペクトルによる定量
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木亮太郎, 荻島葵, 佐伯和人
2. 発表標題 月極域氷探査のための微量氷着氷実験装置の活用と月模擬土壌を用いた近赤外スペクトル観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Saiki, M. Ohtake, Y. Nakauchi, H. Shiraishi, Y. Ishihara, H. Sato, C. Honda, T. Maeda, C. Yamanaka, H. Nagaoka, S. Sakai, S. Sawai, S. Fukuda, K. Kushiki, N. Ebizuka, M. Sasaki, T. Okamoto, M. Kayama, H. Demura, K. Kitazato, Y. Ogawa, T. Mikouchi, and T. Hirano
2. 発表標題 Development of Two Types of NIR Spectral Camera for Lunar Missions SLIM and LUPEX
3. 学会等名 52nd Lunar and Planetary Science Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐伯 和人, 仲内悠祐, 小川佳子, 鹿山雅裕, 北里宏平, 出村裕英, 長岡央, 平野照幸, 三河内岳, 海老塚昇, 岡本隆之, 佐々木実, 山形豊, 石原吉明, 唐牛讓, 水野浩靖
2. 発表標題 月極域探査のための画像分光カメラALISの開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐伯和人, 仲内悠祐, 海老塚昇, 岡本隆之, 小川佳子, 鹿山雅裕, 北里宏平, 佐々木実, 出村裕英, 長岡央, 平野照幸, 三河内岳, 山形豊, 石原吉明, 唐牛讓, 水野浩靖
2. 発表標題 月極域探査のための画像分光カメラ ALIS の仕様と開発状況
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒木亮太郎, 佐伯 和人
2. 発表標題 月極域探査のための鉱物種と粒径が異なる着氷鉱物粉体の近赤外分光観測
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐伯和人, 仲内悠祐, 海老塚昇, 岡本隆之, 小川佳子, 鹿山雅裕, 北里宏平, 佐々木実, 出村裕英, 長岡央, 平野照幸, 三河内岳, 山形豊, 石原吉明, 唐牛讓, 水野浩靖
2. 発表標題 近赤外分光による月の水氷資源探査の試み
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐伯和人, 荻島葵, 大前宏和, 三宅俊子, 天野高
2. 発表標題 月極域探査のためのハイパースペクトルカメラの開発
3. 学会等名 第63回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荻島葵、五十嵐優也、佐伯和人
2. 発表標題 着氷模擬月土壤の近赤外スペクトル観察
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒木亮太郎、佐伯和人、小木曾哲
2. 発表標題 月リモートセンシングのための人工火成岩の合成と分光観測
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋季講演会
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 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Saiki, M. Ohtake, Y. Nakauchi, H. Shiraishi, Y. Ishihara, H. Sato, C. Honda, T. Maeda, C. Yamanaka, H. Nagaoka, S. Sakai, S. Sawai, S. Fukuda, and K. Kushiki
2. 発表標題 Preparation status of Multi-Band Camera onboard SLIM lander
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 佐伯和人
2. 発表標題 月で火山探査を実現するための戦略
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐伯和人	4. 発行年 2019年
2. 出版社 中央公論新社	5. 総ページ数 220
3. 書名 月はすごい	

〔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
研究協力者	荻島 葵 (Ogishima Aoi)		
研究協力者	荒木 亮太郎 (Araki Ryotaro)		
研究協力者	松井 俊樹 (Matsui Toshiki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	加藤 礼也 (Kato Reiya)		
研究協力者	三河内 岳 (Mikouchi Takashi)		
研究協力者	小木曾 哲 (Kogiso Tetsu)		

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