



## Nakauchi Yusuke

仲内 悠祐

総合科学技術研究機構 准教授

2012年東京理科大学 理工学部 物理学科 卒業、2017年総合研究大学院大学 物理科学研究科 宇宙科学専攻 博士課程 修了。博士(理学)。2017年会津大学 客員研究員、2018年国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 SLIMプロジェクト研究開発員、日本大学 工学部 非常勤講師、東京大学 理学部 非常勤講師等を経て、2023年より現職。専門は惑星探査。小惑星探査機はやぶさ2プロジェクト、小型月着陸機SLIMプロジェクトにおいて可視・近赤外分光器の開発に携わり、月極域探査機LUPEXプロジェクトにおいて可視・近赤外分光器の開発サブリードを務める。

- 1) Nakauchi et al., The formation of H<sub>2</sub>O and Si-OH by H<sub>2</sub><sup>+</sup> irradiation in major minerals of carbonaceous chondrites, Icarus, Volume 355, 114140, 2021
- 2) Kitazato et al., The surface composition of asteroid 162173 Ryugu from Hayabusa2 near-infrared spectroscopy, Science, Vol 364, Issue 6437, pp. 272-275, 2019
- 3) 仲内悠祐:近赤外分光観測から得られた月の水の証拠, 日本惑星科学 会誌遊星人, 28巻, 1号, p45-52, 2019
- 4) M. Makiko et al., Plumes of Water Ice/Gas Mixtures Observed in the Lunar Polar Region, The Astrophysical Journal, 963:124 (23pp), 2024
- 5) T. Noguchi et al., A dehydrated space-weathered skin cloaking the hydrated interior of Ryugu, Nature Astronomy, vol. 7, pp. 170 - 181, 2023

## 自分の分身となる「目」を月へ

### 近赤外分光カメラで月表面の物質組成を推定する

物質に赤外線を照射して透過光や反射光のスペクトルから構成元素の同定や定量を行う赤外分光法は、月や惑星の表面物質を推定する有力な手段の一つです。しかし月のような大気を持たない天体では太陽風や宇宙線、微小隕石が表面に直接降り注ぎ、光学特性を変化させる「宇宙風化」を起こしています。惑星表面からの可視・近赤外線反射光スペクトルの正しい解釈には宇宙風化作用の影響の把握が不可欠です。近年、宇宙風化作用によって月面にも多く存在する珪酸塩鉱物から水分子が生成されることが確認され、この現象自体に対する注目も高まっています。私たちは月着陸機に搭載する赤外分光カメラの開発や模擬太陽風の岩石表面への照射実験により、宇宙風化作用の理解と、月面に存在が示唆される水の観測を目指しています。

### 月探査機に搭載する近赤外分光カメラの開発

2024年1月に月面着陸に成功した月着陸実証機SLIMに搭載した、近赤外マルチバンドカメラ(MBC)を開発しました。着陸地点の近傍でマントル由来と考えられる鉱物を探索し組成を推定することを目的としたものです。着陸後のSLIMは移動や姿勢の変更ができないため、日本の惑星探査機では初めてカメラのミラーやフォーカスレンズに駆動システムを組み込んでいます。駆動系には開発中から複数の惑星探査プロジェクトから問い合わせをいただき技術提供もっており、今後の着

陸探査にも長く使える技術の基礎ができたものと考えています。月の極域に水が存在することは、2000年代以降の赤外観測によりほぼ確実視されています。MBCは二次元的な写真の撮れるマルチバンドタイプカメラでしたが、2024年以降にインドと共同で打ち上げ予定の月極域探査ミッションLUPEXでは水の存在を捉えるため、空間情報1次元+スペクトル情報1次元でより詳細な色情報の取得が可能なハイパーイメージングタイプのカメラの開発を進めています。

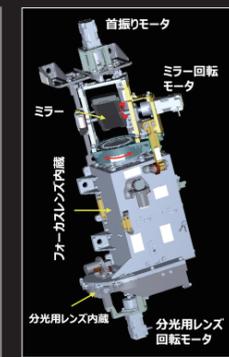


図1: SLIM搭載のマルチバンド分光カメラ(MBC)の外観

### 宇宙風化を再現し、H<sub>2</sub><sup>+</sup>イオン照射による水の生成を確認

太陽風を模擬したH<sub>2</sub><sup>+</sup>イオンを複数の珪酸塩鉱物に照射して、照射前後の赤外線スペクトルを比較しました。その結果、水が選択的に吸収する波長である3μmで反射光強度の低下がみられ、水が生成されていることが確認できました。水素イオンの照射のみによって水を生成することができた世界初の成果であり、H<sub>2</sub><sup>+</sup>が珪酸塩鉱物の中のSiとOの原子間結合を壊した結果と解釈しています。太陽系内の珪酸塩鉱物のほぼすべてが同

じ結合を持っていることを考えると、宇宙風化作用による水の形成は小惑星や岩石惑星に一般的な現象なのかもしれません。H<sub>2</sub>O生成の時間スケールはおおよそ数千年で、小惑星探査機「はやぶさ」がサンプルリターンを行った小惑星イトカワの表層の年代にほぼ一致し、イトカワに於いても水の生成があったことが示唆されました。その後2021年にイトカワの粒子から水の存在が報告されています。

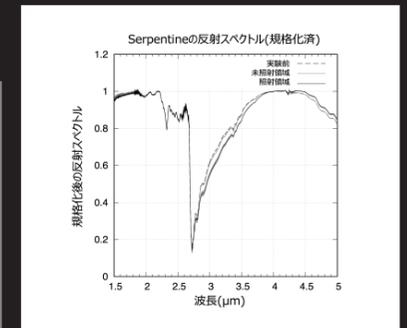


図2: 水の存在を示唆する赤外線反射スペクトルの変化。照射後(太線)に波長3μm付近のエネルギーが低下している

### 理学系・工学系研究者の架け橋として

太陽風を模擬した実験装置は学外の方にも解放しています。1keV程度の低エネルギーで水素イオンの照射ができる装置は珍しく、模擬的な月面環境に対する材料の暴露試験などに活用いただけると考えていま

す。私の元々の専門は理学ですが、総合研究大学院大学やJAXAなど、理学系と工学系の研究者の交流が密な組織に長く在籍していたため、エンジニアリ

ングサイドの方々の考え方も理解しやすいと感じます。これまでの観測機器開発の経験から、宇宙機への搭載に必要な基準や行うべき試験についてのご相談にも応じられるかと思います。次の世代の観測