

JAXA 2020年度宇宙探査オープンイノベーションフォーラム

2021年2月2日 15:35

発表時間：12分、質疑応答3分

近赤外分光による 月氷資源探査

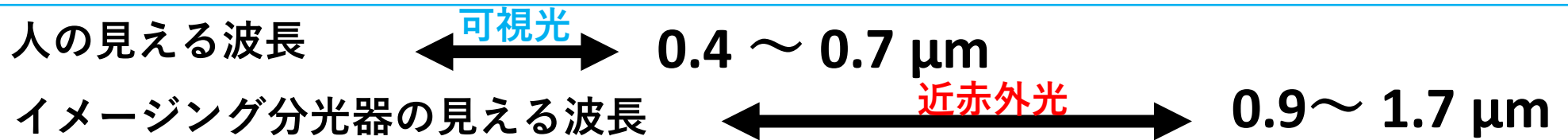
佐伯和人（大阪大学）

イノベーションハブ研究概要（その1）

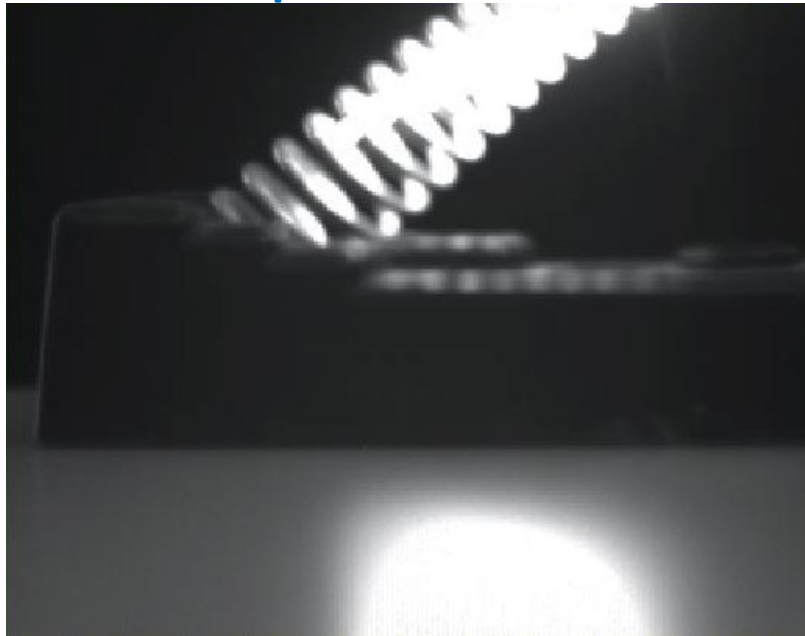
課題解決型：平成28年3月～平成30年3月

「**小型 2 次元イメージング分光器**の開発による水氷センシング技術の研究」

大前宏和（株式会社センテンシア）、佐伯和人（大阪大学）、大嶽久志（JAXA）

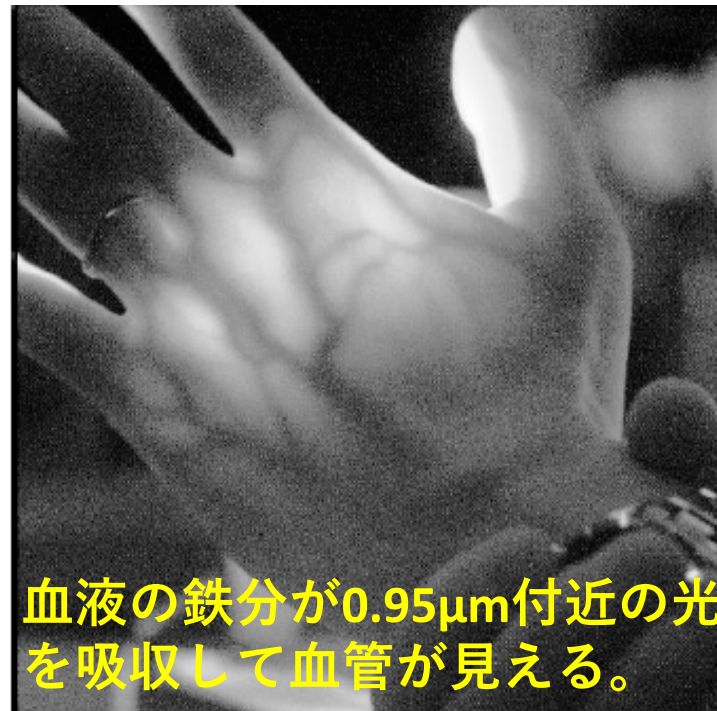


1.7 μm で見える世界



ハンダゴテと台が熱で光って見える。

0.95 μm で見える世界



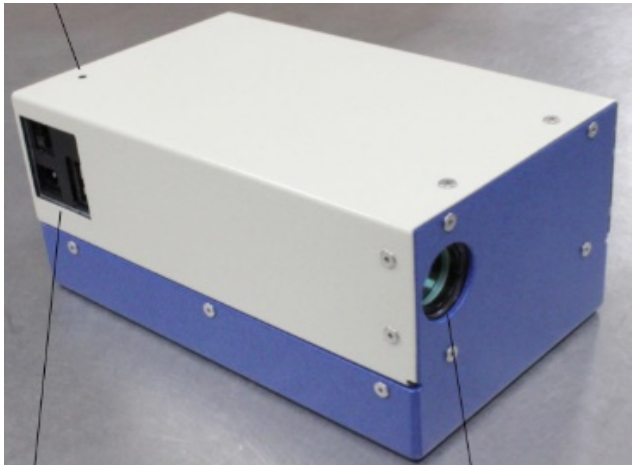
血液の鉄分が0.95 μm 付近の光を吸収して血管が見える。

イノベーションハブ研究概要（その1）

「小型 2 次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究」

大前宏和（株式会社センテンシア）、佐伯和人（大阪大学）、大嶽久志（JAXA）

自動車搭載の小型結露識別カメラを開発



サイズ:

163mm(d) x 99mm(w) x 75mm(h)

見える波長:

0.9 ~ 1.7 μm

の内、好きな波長

氷が、1.5 μm 付近の光を吸収することを利用して、道路の結露した部分を見分けるカメラができた。



道路管理会社用機器として
製品化検討中

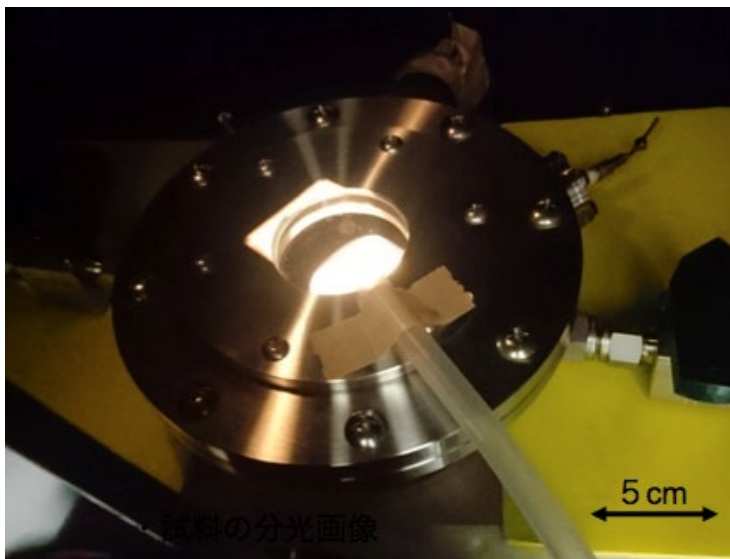
食品の糖度を測るカメラも
製品化検討中

イノベーションハブ研究概要（その2）

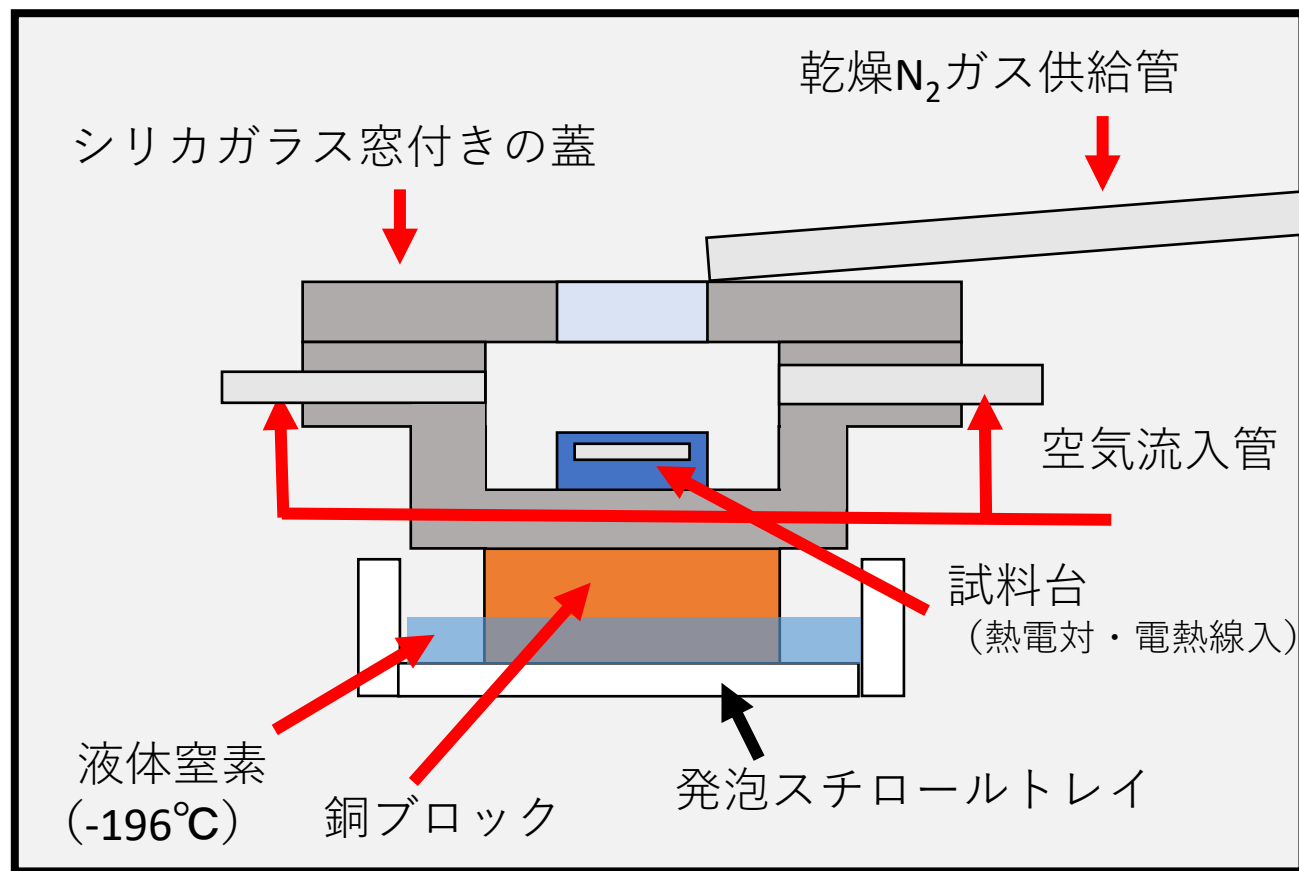
「小型 2 次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究」
大前宏和（株式会社センテンシア）、佐伯和人（大阪大学）、大嶽久志（JAXA）

真空対応、冷却ステージの開発

氷を溶かさないうで観察するための装置



冷却ステージの写真



冷却ステージ断面略図

ところで、

月で水1リットルを買ったら
いくらでしょう！

答え：水1リットル1億円

月にものを運ぶのに、
1kg あたり 1億円かかります。



金 1 kg 約700万円
月に金があっても持って帰れない

月の砂からレンガをつくれば
1 kg 1億円の価値！

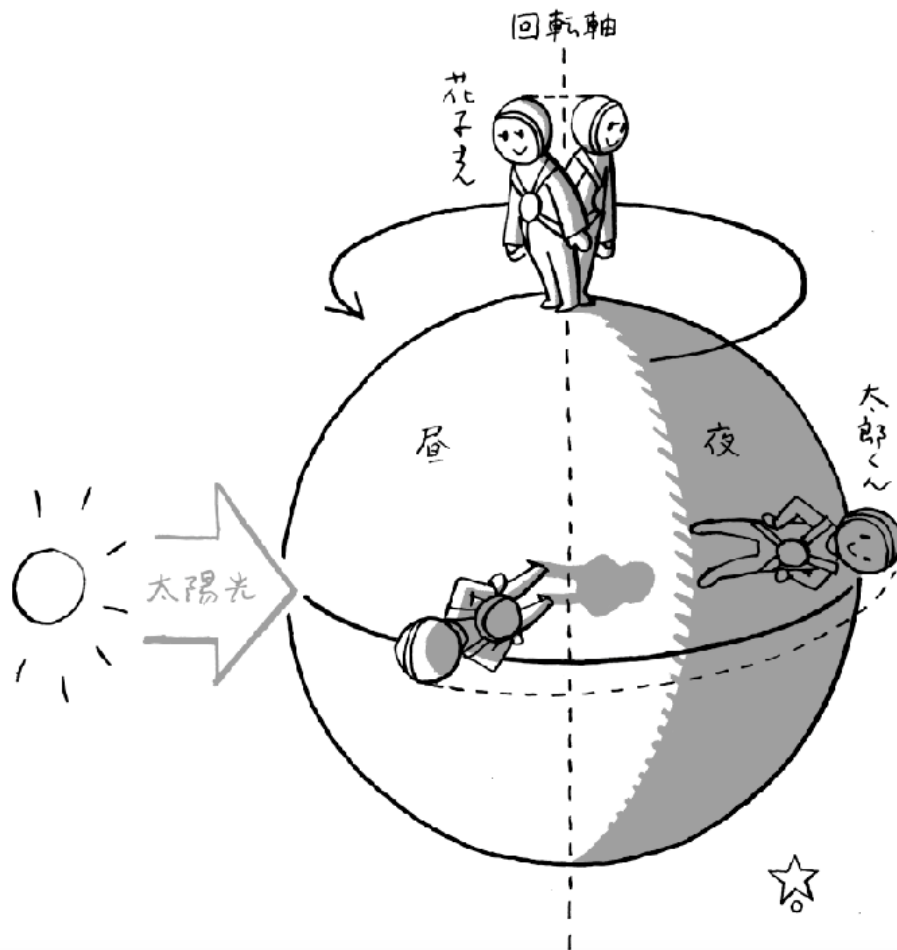
月の石から酸素を取り出せば、
1 kg 1億円の価値！

月の石には、鉄やアルミも
数%以上含まれる！

結論：月の資源は、宇宙で使う！

永久影領域に氷があるかも？

- ・ 飲み水
- ・ 酸素の元
- ・ 燃料の元



永久影のできる理由

「月はぼくらの宇宙港」 (新日本出版社)
より



永久影の一つ、南極の
シャクルトンクレータ
(直径21 km)

近赤外画像分光装置

Advanced Lunar Imaging Spectrometer (ALIS)

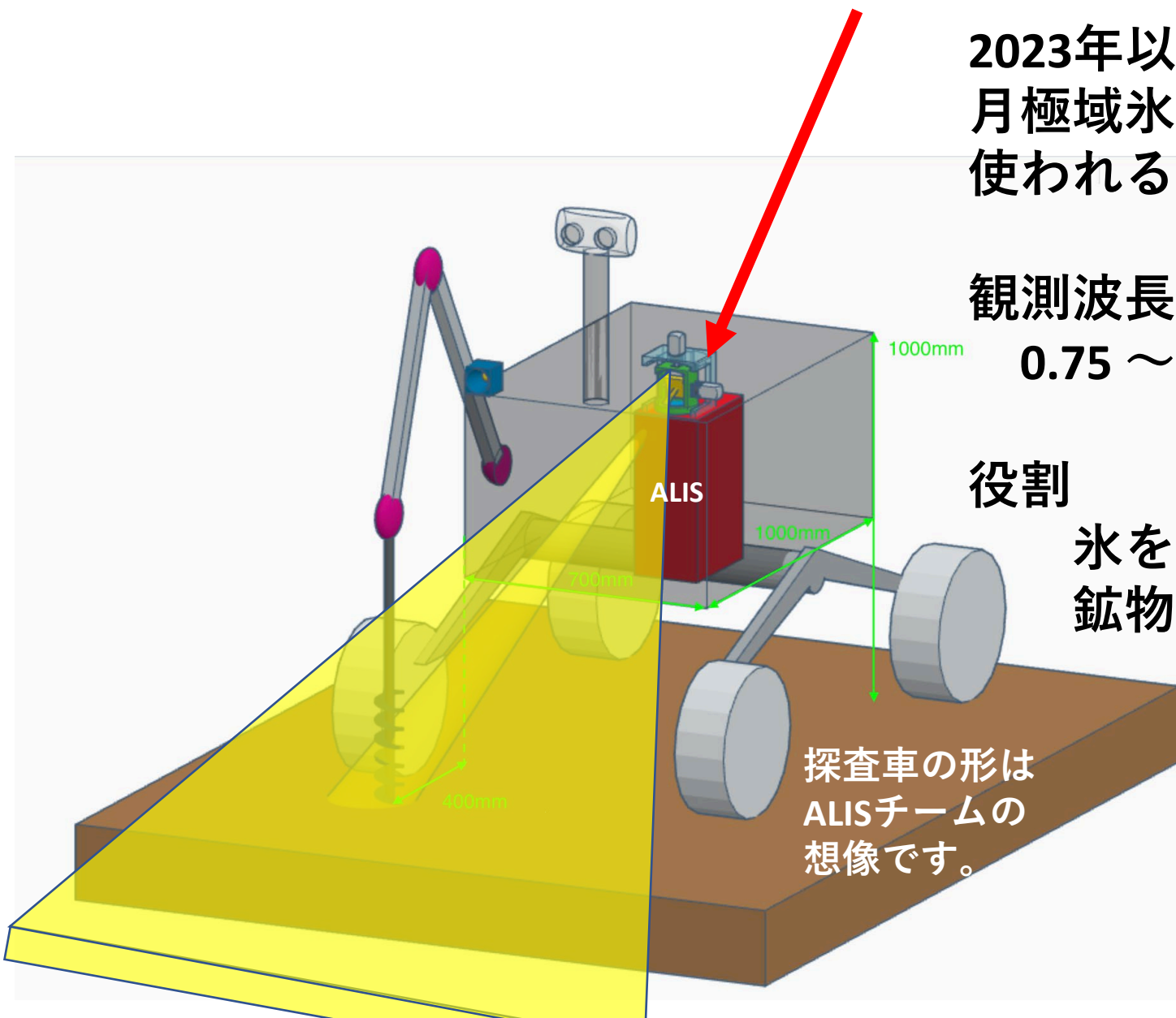
2023年以降打ち上げ予定の
月極域氷探査の探査車に
使われる予定

観測波長

0.75 ~ 1.65 μm

役割

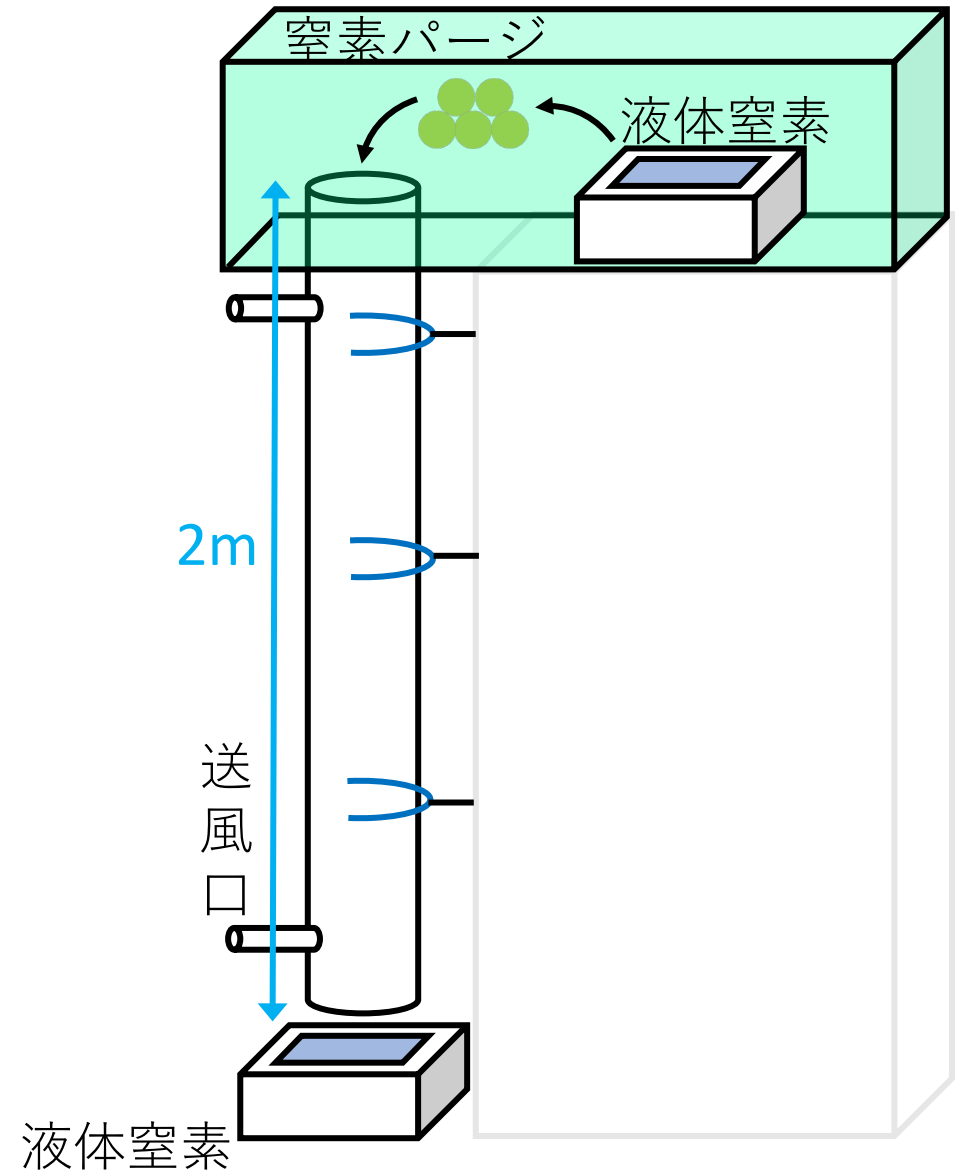
氷を探す
鉱物の種類を見分ける



探査車の形は
ALISチームの
想像です。

月の極域の凍土を再現する装置

着氷装置の写真

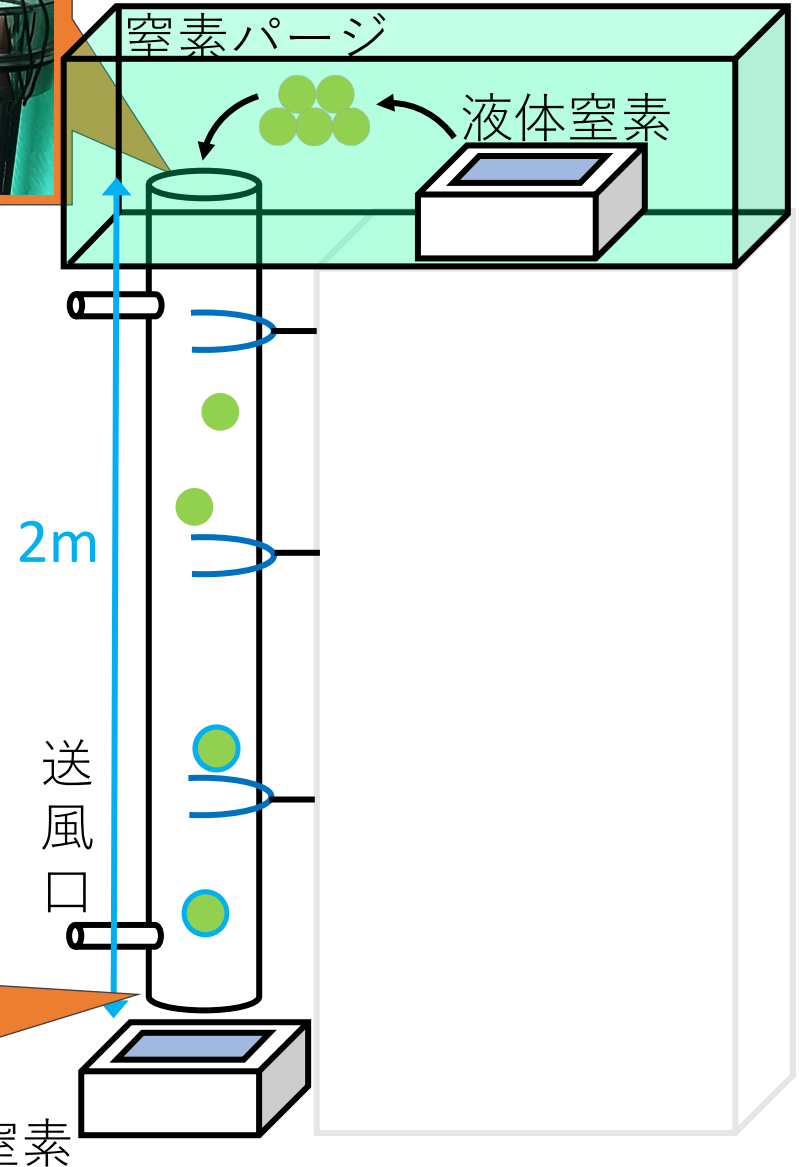


着氷手順

①水蒸気で飽和した
空気を送り込む

②低温の試料を落下させる

③落下サイクルを
数回繰り返す

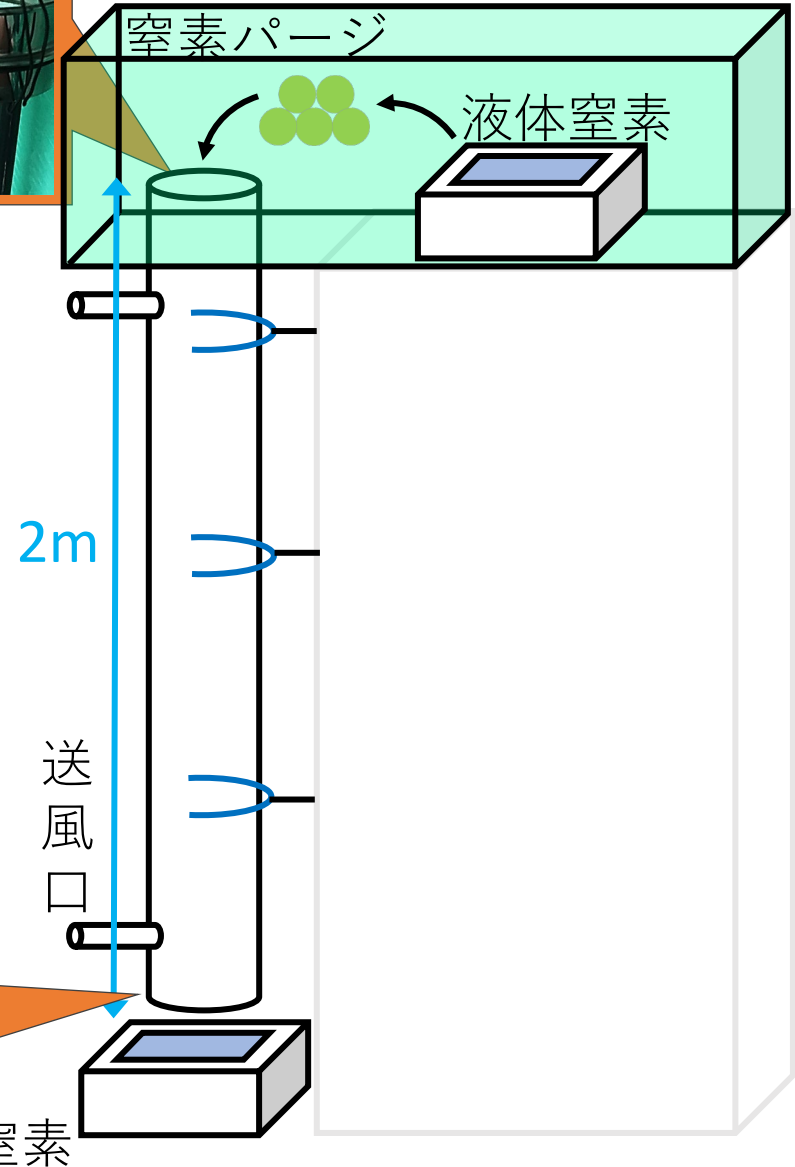


着氷手順

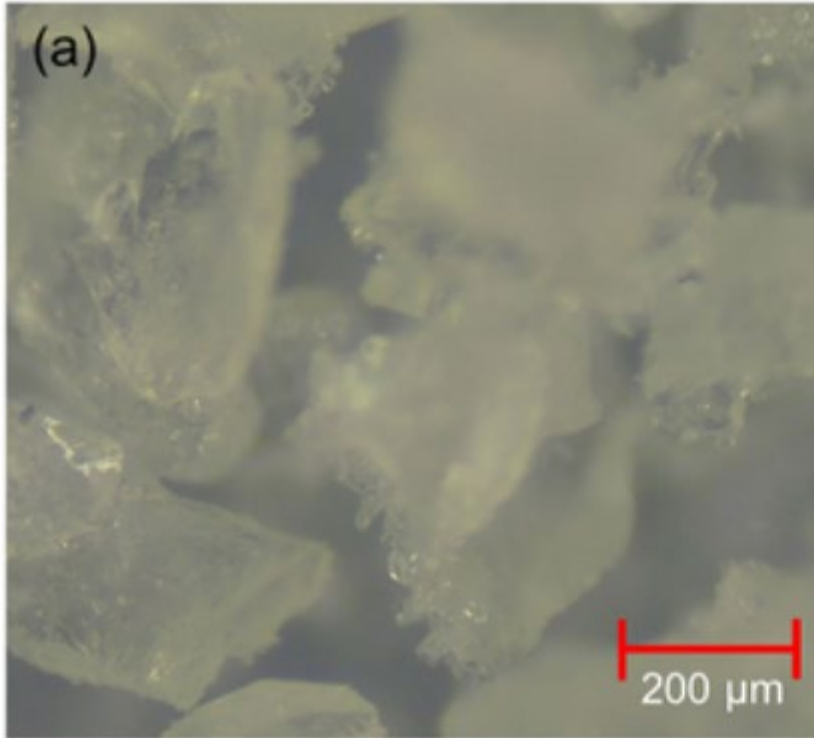
①水蒸気で飽和した空気を送り込む

②低温の試料を落下させる

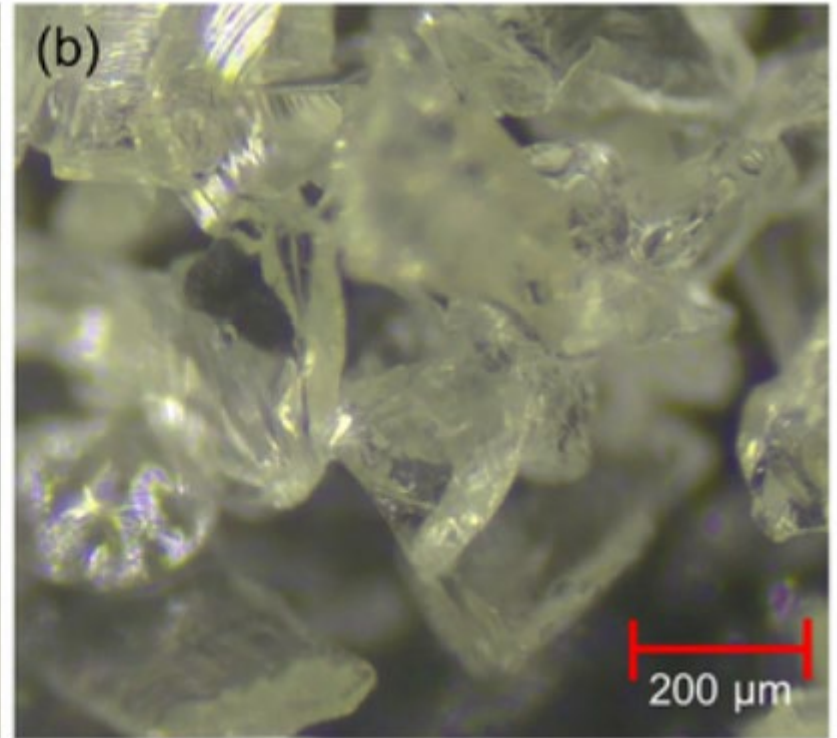
③落下サイクルを数回繰り返す



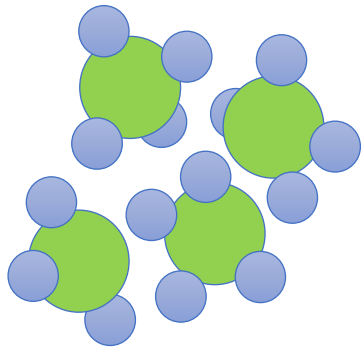
着氷状態



着氷したカンラン石

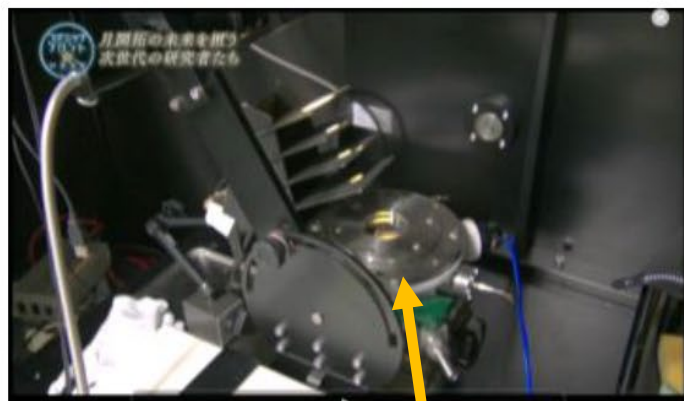


解凍・乾燥したカンラン石

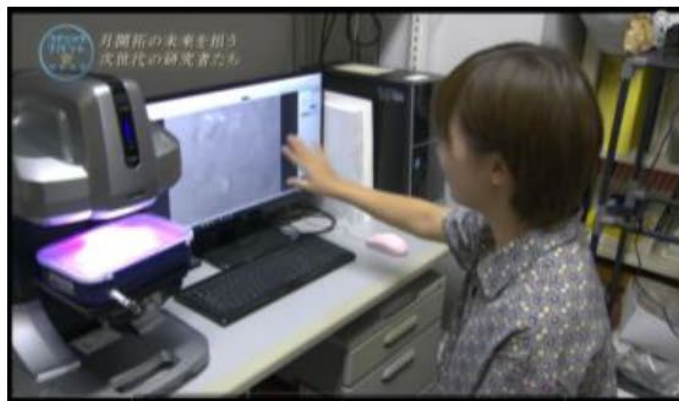


数～数十ミクロンの氷の粒が鉱物表面に付着

月の凍土をつかって近赤外カメラで測定する様子が、NHKの番組で紹介されました。



イノベーションハブで
作ったクーリングステージ
に凍土を入れて測定



凍土をつくる大学院生

NHK BS
コズミックフロント☆NEXT
「ムーンラッシュ」

放送日:2020年1月16日

NHKビデオオンデマンドで現在も視聴可能

月開発による人類の宇宙進出に興味をもった方は、ぜひご一読ください。



新日本出版社
2017年の青少年読書感想文
全国コンクール(中学生の部)課題図書



中公新書

ご清聴ありがとうございました。

謝辞

本研究は、以下の助成の元に行われました。感謝いたします。

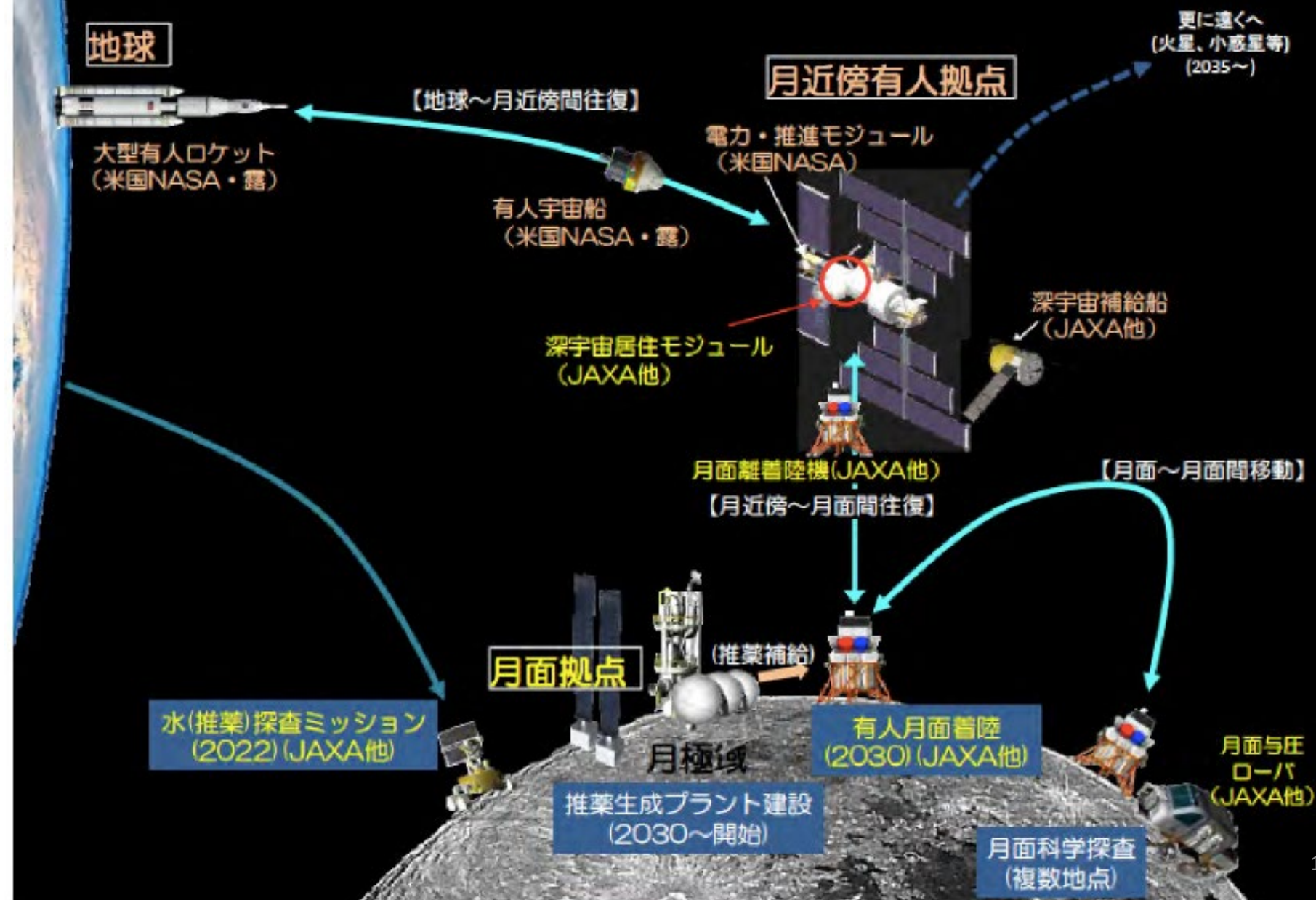
- ・宇宙探査イノベーションハブ課題解決型：「小型2次元イメージング分光器の開発による水氷センシング技術の研究」
- ・JAXA受託研究「月極域探査のための観測機器の検討-ハイパースペクトルカメラの概念検討-」
- ・科研費基盤研究B「月惑星探査のための岩石組織に対応した可視近赤外分光データ解析モデルの構築」

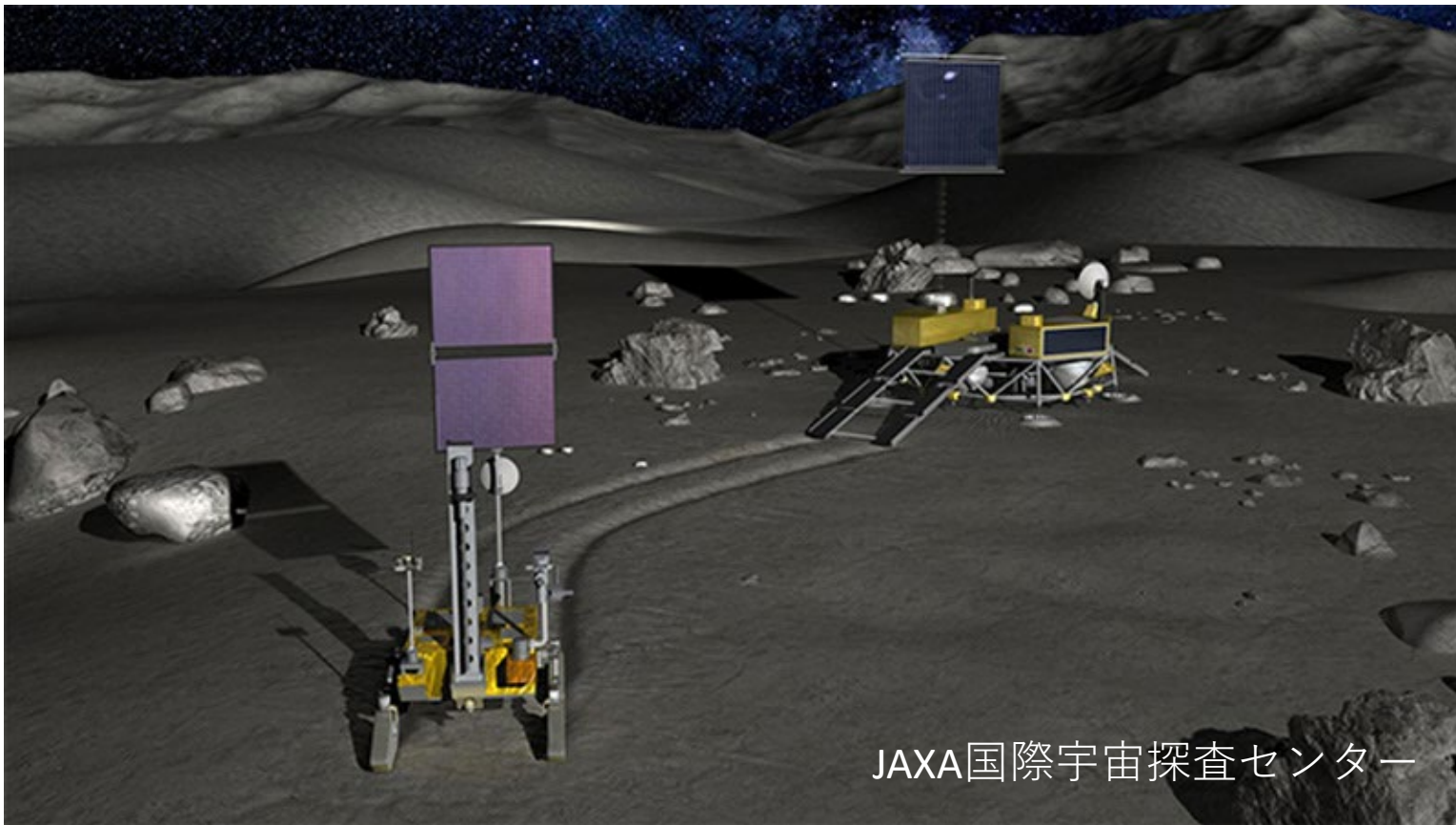
以下、予備スライド

項目	仕様値
焦点距離	25mm
分光器F値	F2.5
光学系F値	F62.5
観測波長範囲	900nm~1700nm
波長分解能	約25nm
波長精度	± 5nm
作動距離	1 m
観測範囲	200mm × 200mm
サイズ	163mm(d) × 99mm(w) × 75mm(h)
重量	1.5kg
駆動電力	10W
駆動ソフト	PCによるUSB接続にて駆動
使用環境	温度：-20℃~40℃、湿度：20%~80%（結露無き事）
その他	防水機能はあるが、水没は不可

JAXAの国際宇宙探査シナリオ(案)(1/2)

別添-1





JAXA国際宇宙探査センター

月極域探査ミッション（LUPEX）

月極域における水の存在量や資源としての利用可能性を確認するインド宇宙研究機関（ISRO）とJAXAの国際協働ミッション（2023年度以降打ち上げ）。

イノベーションハブ研究をベースに提案した近赤外画像分光装置が、2020年4月24日に他の2機器と共にLUPEXローバ搭載機器として採択される。

JAXA提示の機器提案の目安は、0.5wt%の氷を検出すること

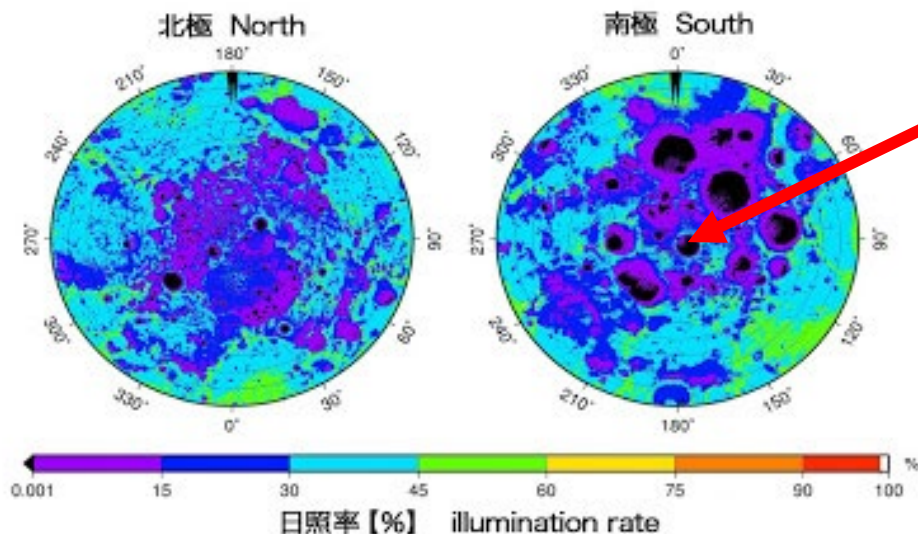
$$\frac{7500 \times 7500 \times 3.14 \times 1 \times 2 \times 0.5}{100} = 1,766,250$$

シャクルトンクレーターに含まれる水の量

永久影クレーターシャクルトン（直径21 km）のうち、直径15 km、深さ1 m分の円筒の体積が氷を含む層だと考えると、0.5 wt%の水含有量でも180万トンの水があることになる。

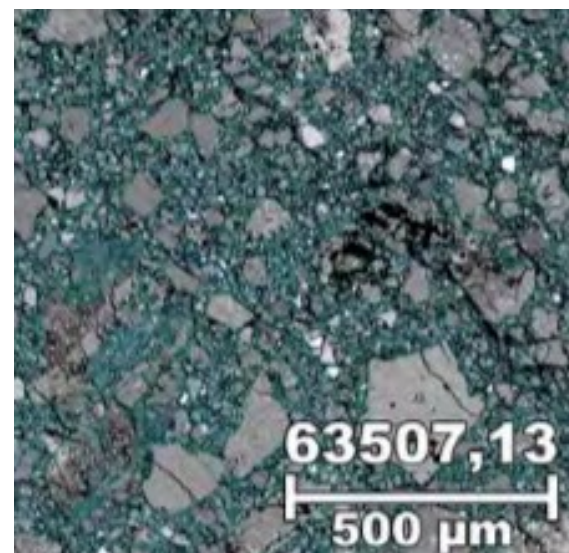
5 wt% (10 vol%)の H₂Oが
月高地のレゴリスブレ角礫岩に
存在するイメージ

Fagan and Kring (2013)に加筆



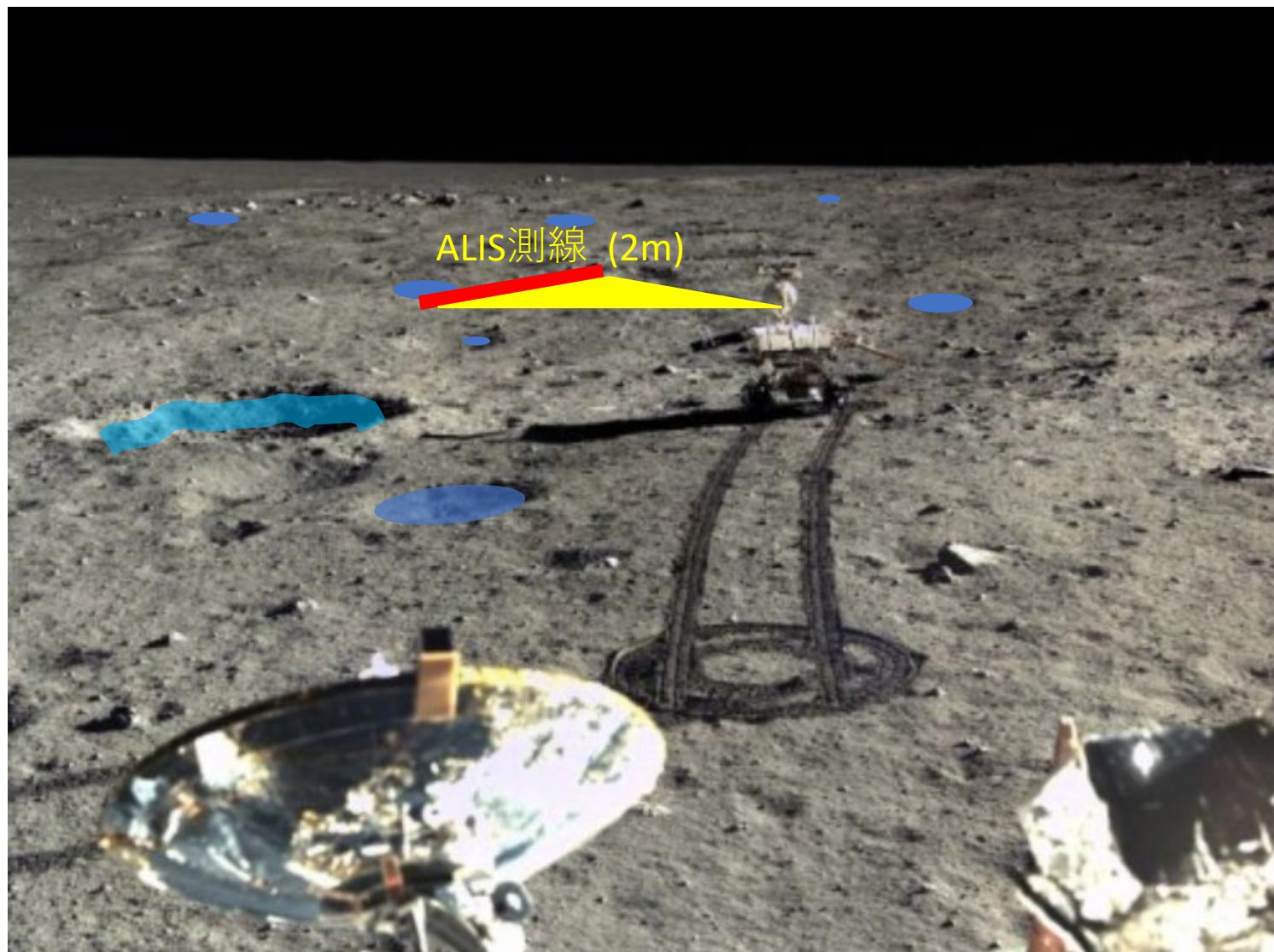
シャクルトン

永久影領域
(JAXA/KAGUYA)
北極周辺と南極周辺
(緯度85度以上)の日照率マップ。黒い部分が永久影領域。
提供 / 野田寛大(国立天文台)/JAXA



レゴリス粒子の間に
存在する場合

大雑把な氷の観測イメージ



一度に連続スペクトルが観測できるので、
永久影で光源を短時間点灯させて弱い吸収帯を探すという運用が可能

嫦娥4号の画像に加筆

着氷実験・観測装置

試料 かんらん石(San Carlos産, Fo90)

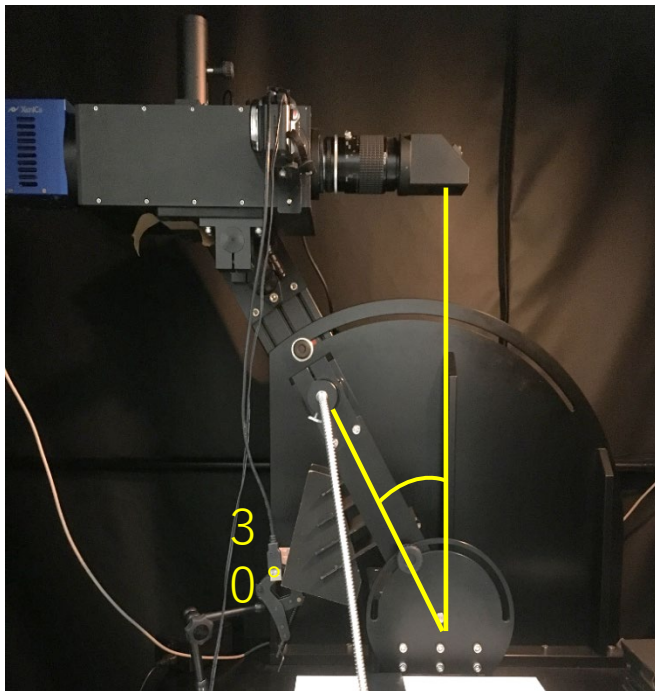
斜長石(Casas Grandes産, Ab30An70~Ab10An90)

} 125 ~ 250 μm

分光機器

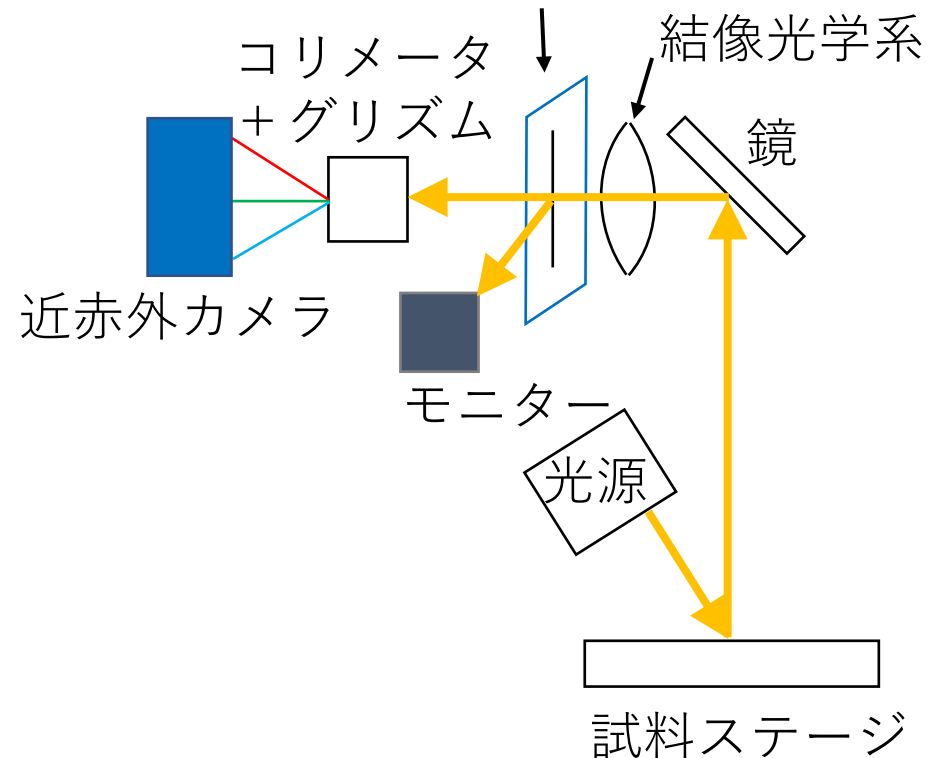
波長範囲：950-1600nm

入射角/観測角：30° / 0°



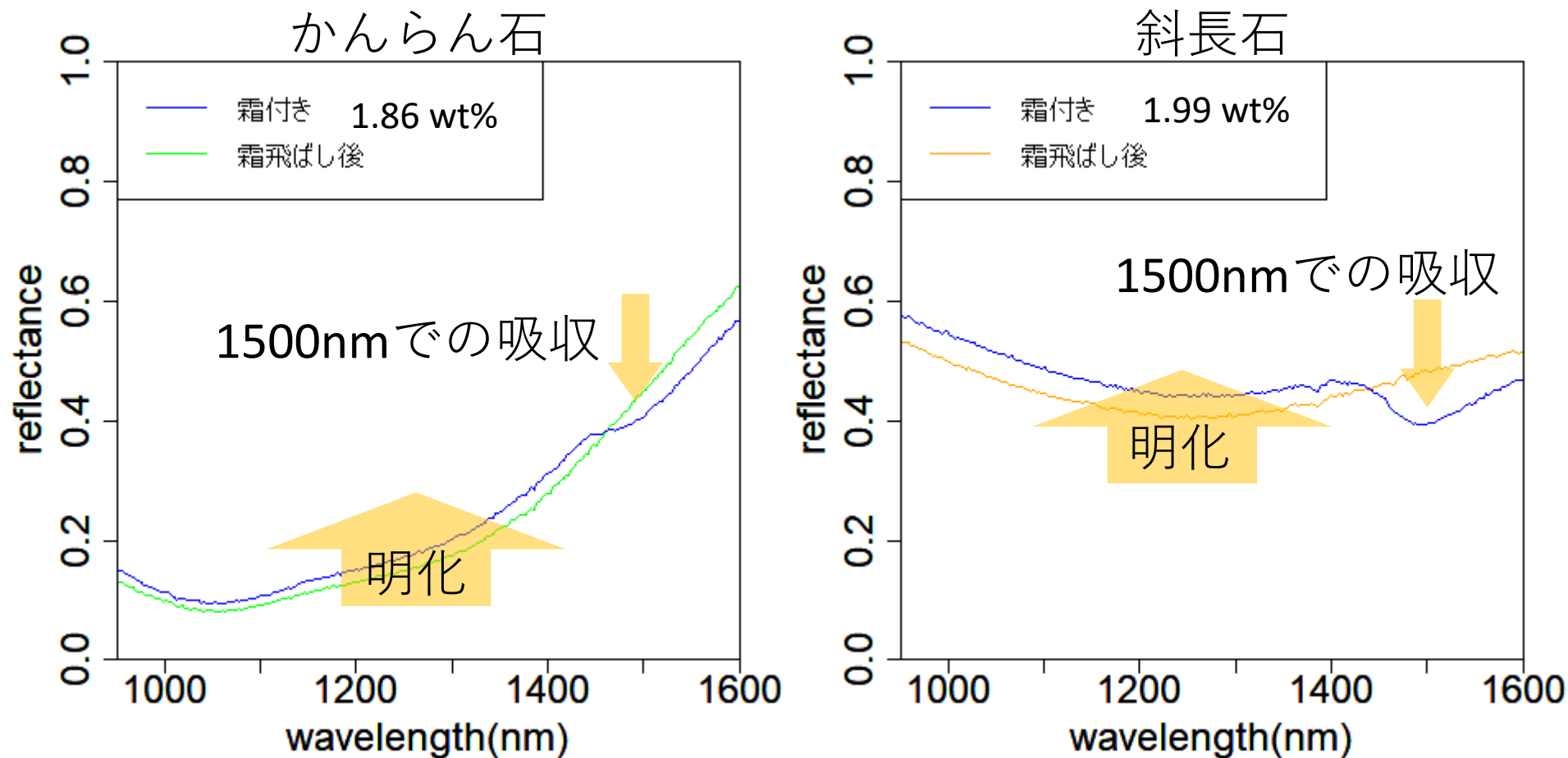
スリットつき鏡

(大部分は反射しモニターへ
スリットを抜けた光は直進)



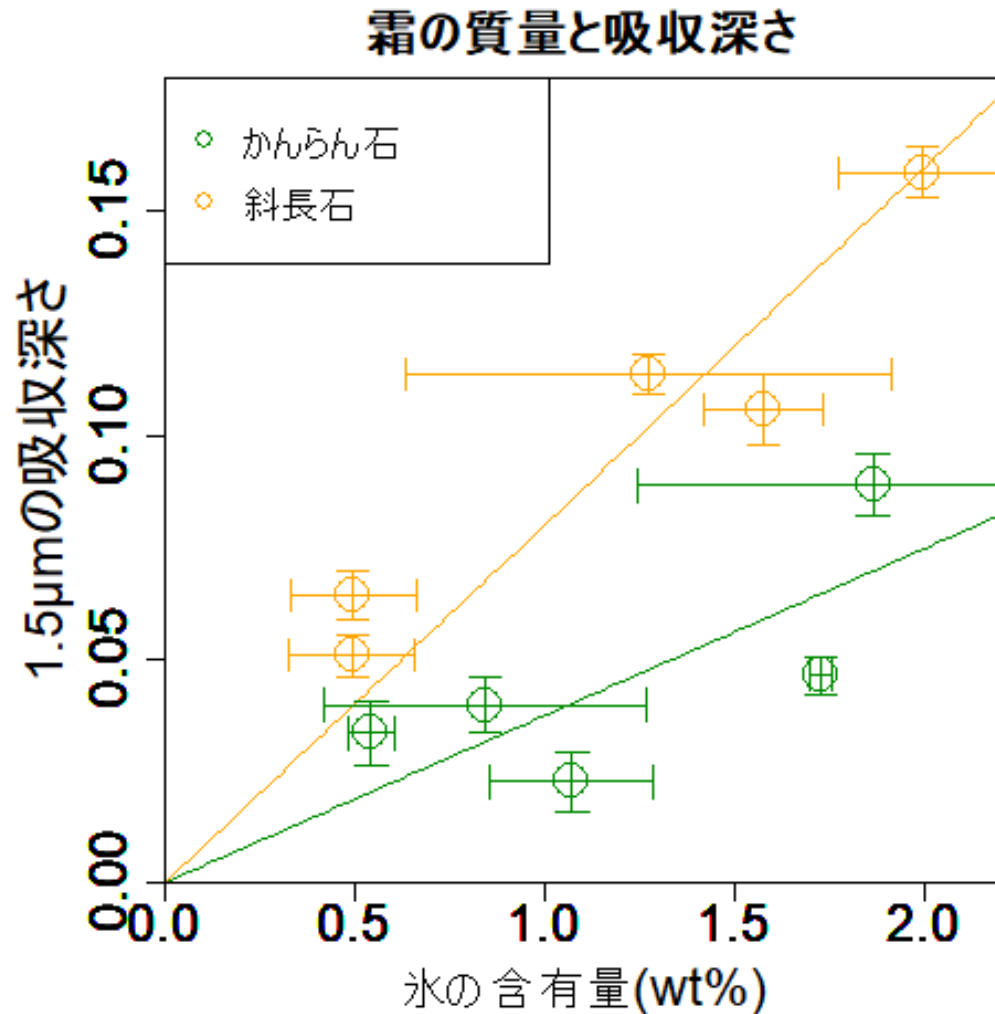
着氷スペクトル

着氷スペクトルの特徴



全体的な明化・O-H伸縮振動による吸収(1500nm)が見られた

氷の量と吸収深さ



斜長石
吸収深さ
 $= 0.080 \times \text{氷の量 [wt\%]}$

⇒ 0.5 wt%の氷なら
SNR > 250

かんらん石
吸収深さ
 $= 0.037 \times \text{氷の量 [wt\%]}$

⇒ 0.5 wt%の氷なら
SNR > 120

同程度の氷の量なら、かんらん石より斜長石(月の高地をつくる鉱物)に付着しているほうが検出しやすい (Ogishima & Saiki (2021))