



# 月極域探査ミッションで行う観測項目の検討:1

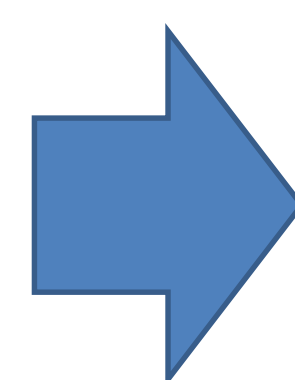
唐牛讓, 大竹真紀子, 白石浩章, 星野健(宇宙航空研究開発機構),  
月極域探査検討チーム



**月極域探査ミッションの目的:** 将来、人が月や火星で安全に長期間活動するためには、放射線環境や地盤、利用可能な資源などを事前に調べ、それらを利用するための技術を獲得しておくことが必要である。中でも、水などの資源がどこにどの程度あるのか、またそれら資源を利用可能かどうかを調べておくことは、本格的な月、火星探査を行う上で特に重要である。水は、人間の活動に必要なだけでなく、酸素と水素に電気分解すれば探査機の燃料として使用できるため、無人探査にとっても有用である。このような理由から、本探査では無人の探査機を月面に着陸させ、利用可能な水(資源としての水)の有無を調べることを計画している。

ただし、水が存在するとしても以下のような場合は、探索や採取にエネルギー(コスト)がかかり資源としての利用メリットが低い。

- i) 濃度が低すぎる
- ii) 分布領域の予測が困難
- iii) 存在場所が地下深くにある
- iv) 不純物がある程度の量含まれる
- v) 同じ水でも、鉱物内部に取り込まれている
- vi) 水の全存在量が少なすぎる



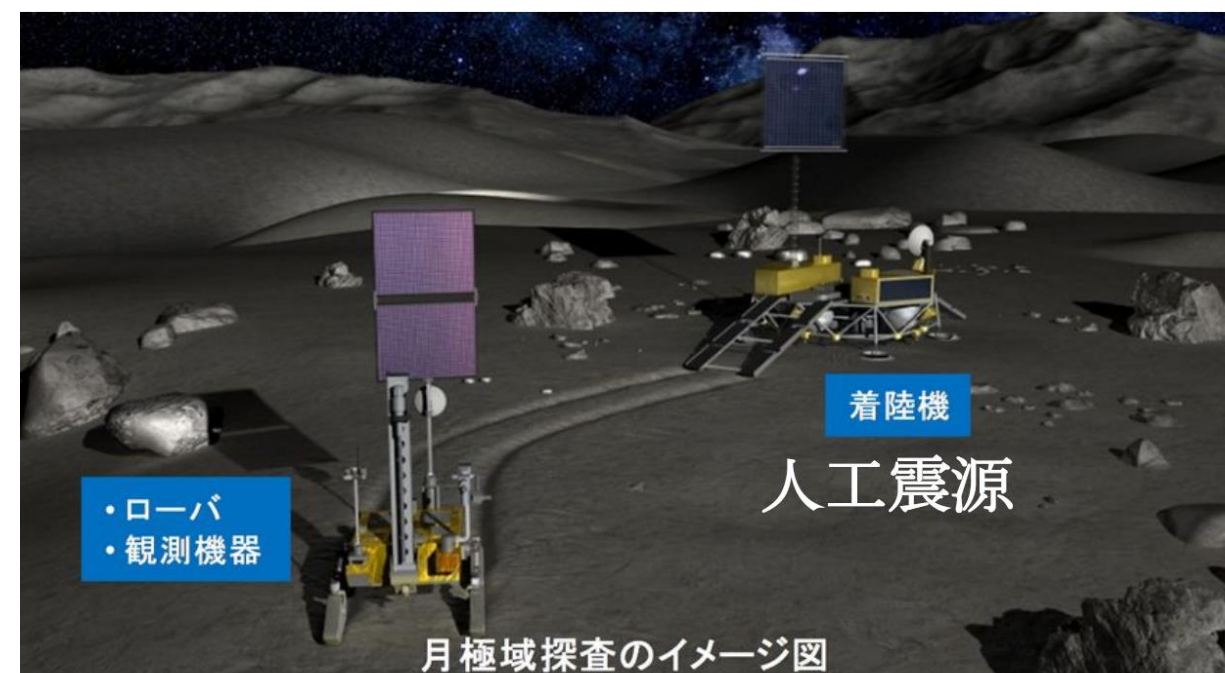
よって、資源利用の観点から以下の「その場観測」を行うことが必要。

- **水の濃度("どれだけ")に関する観測データを取得**→資源利用の観点から濃度が0.5wt%以上でメリットがあるため、これ以上かどうかを調べる。
- **水の水平、垂直の分布("どこに")を把握**→資源利用の観点から比較的探査の容易な領域内での分布を評価する、また地下1.5m程度までに水が分布する場合にメリットが大きいため、500x500m領域、深さ1.5mまで0.25mおきに水の分布を調べる。
- **水の質("なにが")に関する観測データを取得**→CO<sub>2</sub>など化学種の有無、H<sub>2</sub>Oかどうかで前処理方法が異なるため、存在量が多い可能性のある質量数100程度までの化学種の有無、量比を調べる。
- **水の全存在量("どれだけ")を推定する**→水の起源と濃集原理を知る。水の同位体を調べる。どのような地質領域・物理環境の領域に分布しているかを調べる。

## 観測項目およびモデルミッション機器の例



ローバ走行中の地中観測  
(~1.5m)



着陸機とローバを用いた  
広域地下構造探査

- 資源(水)が存在するとしたらどの程度の深さに存在するのかを調べる。
- 資源(水)が存在するとしたらどのような産状で存在するのかを調べる。

→ミッション機器の例として、レーダー観測器が有効。

これまでもアポロ17号、「かぐや」ではレーダーサウンダーによる広域地下探査が行われており、Chang'E-3搭載LPRによって地下360mまでの層序観測が行われている。

より高周波のGPR(Ground Penetrating Radar)を用いることで、表層付近(~2m)における地下構造を高速・高精度でマッピングできるため、資源の濃集している有望な場所を探すのに適している。ただし、氷かどうかの判断には別の機器が必要。

### モデルミッション機器の例

番号	観測機器	測定量・制度	備考
①	レーダー観測機	水氷が存在する可能性のある領域を識別 深度2mまでを探索 周波数1GHz~15GHz	ローバ走行中に簡単に識別。 火星探査用に検討、ラボモデル試作実績あり。
②	可視~赤外イメージング分光計	水氷の吸収を測定 波長範囲: 750~3400 nm	探査ハブで水氷センサとして研究中。
③	中性子分光計	Hの存在量を測定 水素含有量: 100ppm(水0.1wt%)	SELENE-2で研究実績あり。 MMXIに提案あり。
④	熱重量分析計	揮発性物質の含有量を測定 試料質量: 1g 測定分解能: 1mg 温度範囲: ~900K	計量の部分は未開発。
⑤	質量分析計	化学種の特定 質量範囲: 100	質量分析部は「かぐや」をはじめ探査機搭載実績あり。イオン源など本機器の課題も研究進行中。
⑥	微量水分計(CRDS)	水の含有量、DH比を測定 検出限界:(数ppb)	探査ハブで微量水分計として研究中。
⑦	アクティブ月震計	水氷が存在する可能性のある領域を識別 深度1~2mまでを探索	着陸機に震源、ローバに月震計を設置する。国内で長く月震計の開発実績あり。

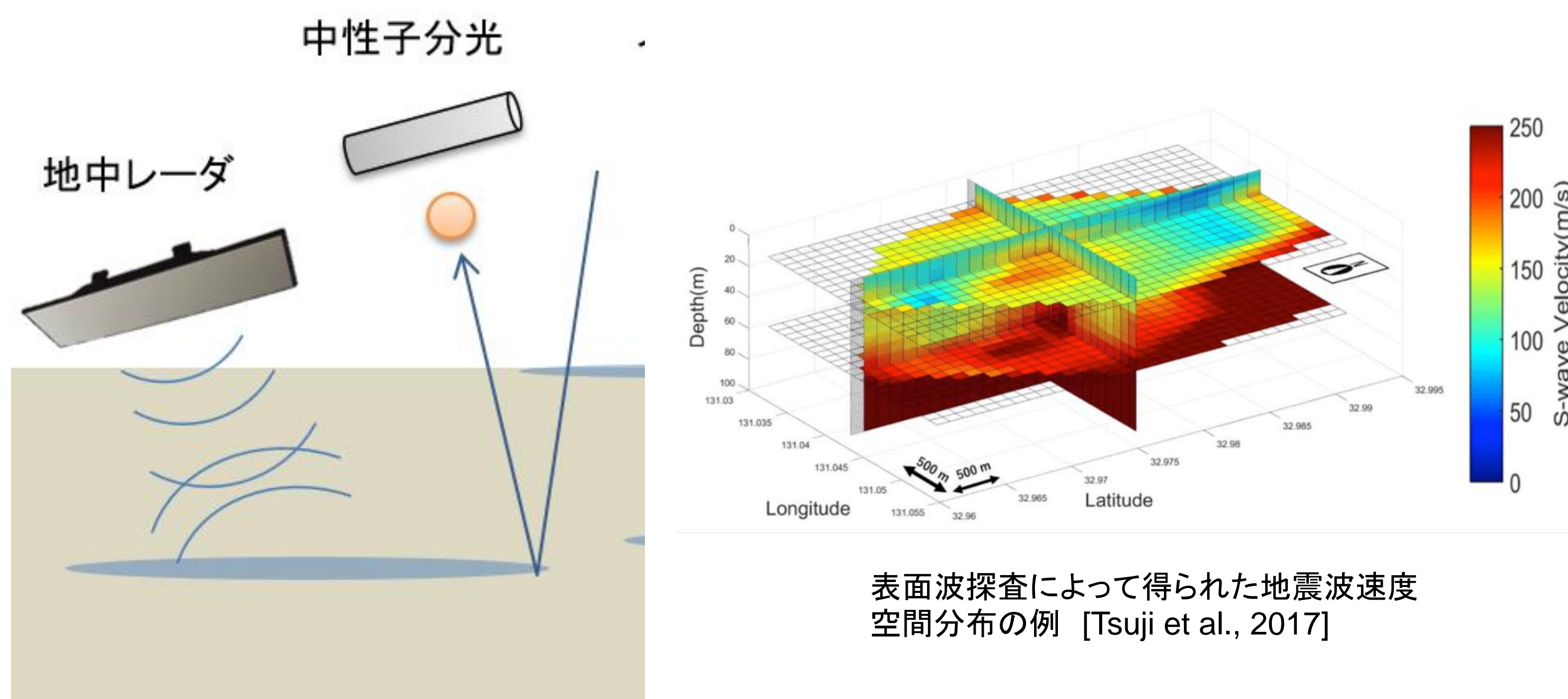
- 中性子強度は水素濃度の影響を受けて変動するため、中性子強度の地域差を調べることで、間接的に水素存在量を導出することができる。

→ミッション機器の例として、中性子分光計が有効。

ローバの走行中に中性子計測を行い、数秒~数十秒ごとに観測された信号を取得し、中性子強度(特に熱外中性子強度)が変化した場合、その場所を長時間(数分~数十分)観測する。熱中性子・熱外中性子・高速中性子の強度から変化の原因を特定し、水素の濃度変化に起因する場合、その存在量を見積もることを想定。(地形などの要因によっても中性子強度は影響を受ける)

これまで、Lunar Prospector NS, LRO LEND, Messenger NS, Dawn GRaNDなどで宇宙実績があり、月や水星、ベスタなどにおける全球水素分布を明らかにしてきた。ローバに搭載することで高解像度の水素分布地図を作成することができる。

ただし、観測できるのはあくまでも「水素」であり「水」ではない。



- 組成の不均質(岩石組成、氷層)や状態の変化(破碎層or岩盤、圧密、氷の融解層)を調査する。
- 地下の不均質構造を調査することで氷層、含氷層の存在する可能性が高い地域を調査する。

→ミッション機器の例として、アクティブ月震計が有効。

着陸機に人工震源、ローバに地震計を搭載することで、ローバ直下の地下構造を調査することができる。

ただし、観測できるのは地震波速度の違いであり、水の存在を直接観測できるわけではない。