

月面における科学(その2)

令和3年(2021年)5月21日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

経緯

- 日本が主導する月面活動に関して、2030年代で実現すべきことは何か、という議論が展開されている。
- その視座を持つとき、第一級の成果を目指した科学探査が先導する部分は小さくないものと理解する。
- ついては、月面を舞台とした第一級の科学テーマとは？、言い換えれば、アポロが現代惑星科学を誕生させたのと同じインパクトを持つ成果とは何か？という観点からの議論を整理したい。
- インパクトとしては、若手選抜チームを編成し10年間をかけてプログラムを実現する体制の構築へと動かすレベル、そこから日本の宇宙開発のリーダー人材育成が駆動されることも想定する。

以下では、月面天文台、初期衝突盆地の年代決定、月震計ネットワークからの月内部構造把握の3つを「日本が月面で実施すべき第一級の科学テーマ」とし、その実現に向けてのステップを考察する。

科学的意義

月面天文台

月面では大気に妨害されずに観測ができ、また、月裏側の電波環境は良好である。これらに着目し、地上では不可能な低周波電波天文観測により初期宇宙へと迫ることを月裏側で実施する。

初期衝突盆地の年代決定

天体進化が早い段階で止まった月の表面には、太陽系形成時（冒頭7億年の大動乱時代）における天体衝突の記録が残されている。それら衝突盆地の年代決定から、ダイナミックであったとされる太陽系形成過程の理解を実証的に進めるための知見を獲得する。

月震計ネットワークからの月内部構造把握

天体進化が早い段階で止まった月は、天体進化の基本過程を理解する上で最適の研究対象である。この観点から、月の内部構造を把握することは第一級の成果をもたらす。

月面天文台

• アクセスする月面領域

電波環境を考えれば、裏側（その中で永久影はデバイスの冷却にとっては有利だが、隣接長期日照領域からの電力供給が必要）。

• 実施の最終形態

有人と圧ローバーで多くの拠点を設置。各拠点は小規模なアンテナ、それらが長距離光ファイバケーブルで接続される。

• 鍵となる技術

裏側かつ夜間の観測（夜側はプラズマキャビティが存在し200kHzまでの観測にて十分な分離）。(1)寒冷対応、越夜時の電力確保、(2)裏側へのアクセス。

• 2030年までに実証すべきこと

- ポストSLIM**： 裏側へのピンポイント着陸と越夜の実績獲得、電波環境調査。
- データサイエンス**： 「裏側高地は未知天体と同等」というスタンスでの研究。
- CLPS等の海外機会**： ローバーを二台繋げての小規模試験（アンテナなど要素レベルの越夜能力試験、簡便な電波環境調査。宇宙飛行士の作業を期待。）
- その他**： 月面活動の活発化による電波環境劣化が課題。NASA概念検討(FAR SIDE)において多くのポイントが押さえられていること。

初期衝突盆地の年代決定

- **アクセスする月面領域**

39億年よりも古い、サイズ300km超の衝突盆地（45個がリストアップ済）。裏側にも分布。ネクタリス（表）とSPA*（裏）がトップ候補。

- **実施の最終形態**

有人と圧ローヴァを活用したサンプルリターン。年代決定に適するサンプル（衝突時に生じたインパクトメルト）を露頭から取得、その際に有人探査であることのメリット大。

- **鍵となる技術**

長距離ローヴァ（荒地走破能力）、サンプリング手法（最適なサンプルを選定する手法も含む）、裏側へのアクセス（ただし、ネクタリスは表側）

- **2030年までに実証すべきこと**

-**ポストSLIM**： インパクトによる対象領域での新規クレーター形成（そこからの表面に掘り出されるフレッシュなサンプルを採取へ）

-**データサイエンス**： サンプリング最適領域の絞り込み（インパクトメルトシートの同定等）、ローヴァのルーティング検討（荒地走破への対応）

-**CLPS等の海外機会**： サンプリング装置や関連装置（最適サンプルを見出すためのハンディ分光装置等）を2020年代の有人月面活動において試行

*SPA: South Pole-Aitken

月震計ネットワークからの月内部構造把握

- **アクセスする月面領域**

裏側高地にも設置することが重要。今まで（アポロ）は、表にしか設置していない。

- **実施の最終形態**

有人と圧ローヴァを活用し、月面全球に分散させて多数設置。丁寧に設置作業を行うことが重要、有人作業のメリット大。

- **鍵となる技術**

越夜、長距離ローヴァ、裏側へのアクセス、適正な帯域を持つ地震計（アポロでの課題）

- **2030年までに実証すべきこと**

-**ポストSLIM**： 表側と裏側、それぞれにひとつずつ新設計の地震計を（必ずしも最適でない方法であっても）設置して観測（越夜技術の実証も含む）。

-**CLPS等の海外機会**： 新設計の地震計を2020年代の有人月面活動において丁寧に設置し観測を実施。

-**その他**： 日本が地震計担当しつつ、国際協力を展開

まとめ：

裏側へアクセスする能力を獲得することの価値

- 「月であっても裏側であれば、その探査は新しい天体の探査に匹敵」と考えてもよい。その観点から、裏側へアクセスする能力を獲得することの価値は大きい。
- 裏側高地・SPAでのサンプル取得、裏側高地に月震計を設置することが、第一級の成果をもたらすものの代表例である。
- 裏側において拠点的形成して継続的活動を展開することへの興味（月面天文台、月面サンプルキュレーション設備）もあり、そのトリガーとしての位置づけもある。

まとめ：

有人与圧ローヴァの日本が担当することの価値

- この文書で狙うべきであると整理した第一級の成果創出には、長距離走破と有人探査のメリットが大きく生かされる。
- 特に裏側にアクセスした場合には、価値の高いサンプルを同時に取得することも可能となる（代表例として、SPAでの深い地下からのサンプル、裏側高地での古い地殻サンプル）。
- 長距離走破するのであれば、浅部地下探査を可能にする地下レーダーも同時運用することが見込まれ、本格月面活動に向けた基本的な情報を獲得する機会ともなる。
- 連動して整備されるであろうゲートウェイ経由月面往復交通インフラを利用して、サンプルを地球へ輸送することも考えられる。

まとめ：
ポストSLIMの観点から

- SLIM的な手法により、2020年代に実現したい先行ミッションとして：

月面天文台→ 「未知の天体」である裏側高地へのアクセス。

初期衝突盆地の年代決定→ インパクターによりインパクトメルトシートにフレッシュクレーターを形成、最適なサンプルを表面に露出させる（e.g., はやぶさ2衝突実験）

月震計ネットワークからの月内部構造把握→ 表側と裏側に、アポロでの課題を解決した新設計の月震計をペアで設置。裏側において月震を初めて（かつ、表側と比較しつつ）観測することの意義は高い。