

## 特集「月揮発性成分の研究による科学と探査」

# 水氷の資源利用可能性評価を目的とする 月極域探査の紹介

大竹 真紀子<sup>1</sup>, 星野 健<sup>1</sup>, 井上 博夏<sup>1</sup>, 唐牛 謙<sup>1</sup>, 白石 浩章<sup>1</sup>,  
金森 洋史<sup>1</sup>, 月極域探査ミッション定義チーム<sup>1</sup>

(要旨) 本論文ではJAXAで現在検討中の、月極域探査の概要と検討状況を紹介します。これまでの月探査の成果から、月の85度以南、以北の高緯度地域には、水が氷の状態で存在している可能性が示唆される。ただし、いずれの観測も間接的であったり局所的であったり、観測データの信頼性に疑問が呈されているなど、水氷の存在について、確定的な情報が得られているわけではない。そこで本探査では、月極域に着陸し、ローバによる周辺地域の探査でその場観測を行うことによって、水氷が本当に存在するかどうか、また存在する場合に資源として将来の探査に利用可能なかどうか、を判断するための観測データを取得することを目的とする。現在はインド宇宙局との協働での実施を検討しており、近くミッション定義審査(Mission Definition Review ; MDR)を行う予定。

## 1. 探査検討の背景

近年、日本をはじめ米国、ヨーロッパ、中国、インドなど各国による月探査の成果から、月極域<sup>1</sup>の太陽光の照射が無いような低温領域に、月に外部から供給されたと考えられる水<sup>2</sup>が、氷(ないし霜)として存在することが、様々な観測データから指摘されている[1-3]。ただし、従来の観測データはリモートセンシング手法による(水分子でなく)水素原子の観測や[4]、衝突物を月面に衝突させて放出された気体を観測した[5]など、間接的または局所的な情報である。また近赤外波長域の分光観測においては、水氷に起因する反射スペクトルの吸収が存在するとの報告があるものの[6]、極域では太陽高度が低く、信号強度が弱いためにノイズの影響が無視できず、吸収の判別が困難であるなど、観測上の難易度の高さもある。また、一部のデータの解釈に疑問を持つ報告もある[7, 8]。これらの理由から、極域に水氷が本当に存在するかどうか、また存在するとしても、その量や存在形態(水氷とし

て存在するのか水酸基としてか、また吸着水なのか構造水なのか、など)、また表面に存在するのか地下に存在するのか、などの点で、多くの研究者が認めるような、直接的・確定的な情報は得られていない(本特集号の他の論文を参照)。

月に外部由来の水が存在しているとするれば、その起源(太陽風に含まれる水素原子を起源とするのか、または彗星などの天体を起源とするのか)や量から、地球・月近傍への水の供給起源や量の推定に繋がり、太陽系内における水を含む物質の輸送過程や、地球の水の起源を理解する上で、科学的な意義が大きい。一方、もし月極域に本当に水氷が分布し、かつそれが利用しやすい形で存在するならば、将来の月探査やその先の火星等への探査を行う上で、燃料資源として利用できる可能性がある。そのような観点から、現在、複数の国において、独自および国際協力・協働によって、月極域の水氷や揮発性成分の探査を実施する検討が行わ

1. 宇宙航空研究開発機構  
ohtake.makiko@jaxa.jp

1. この論文では、緯度85度以上の領域を極域と定義する。  
2. この論文では、H<sub>2</sub>O分子だけでなく水酸基についても水と呼ぶ。従って、水の存在形態としては吸着水、結晶(構造)水、層状の水氷などがあり得る。

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
中国	嫦娥4 着陸/裏	嫦娥5 SR/表		嫦娥P1 SR/極					
カナダ									有人月探査準備 HERACLES SR
欧州						Luna27 着陸/極		ISRU DEMO	有人月探査準備 HERACLES SR
インド	チャンドラヤー ン2号 周回/着陸					JAXAと協働 ミッション			
韓国				KPL0 周回					
米国		SLS相乗 3機周回			Resource Prospector 着陸/極	民間打 上に切替			
ロシア			Luna25 着陸/表		Luna26 周回	Luna27 着陸/極			Luna28 SR/極
日本		OMOTENASHI 着陸/表	SLIM 着陸/表			月極域探査 着陸/極			有人月探査準備 HERACLES SR

図1：月探査の国際動向。

2020年には上記のように数多くの極域の水氷探査が計画されている。  
SR：サンプルリターンを行うミッション。ハッチは月域の探査ミッション。

れている(図1)。加えて、ISECG<sup>3</sup>の活動の一環として行われた月極域探査の国際協働の議論においては、個々の探査をあらかじめ議論の上、協調して実施することにより、各国が行う極域探査による成果を最大化するための議論が行われている。2017年に行われた各国の研究者・宇宙機関が参加した会議では、(複数

の探査機が同じ場所に着陸・探査を行うのでは無く)各国の探査が複数の異なる着陸点を目指す方針が提案され、またどの探査においても同じく取得すべき基礎データを識別した。基礎データとは、着陸点周辺における揮発性成分の化学種と量、揮発性成分が存在する領域のレゴリス・岩石の化学組成をはじめとする地



図2：JAXAの目標とする国際宇宙探査。

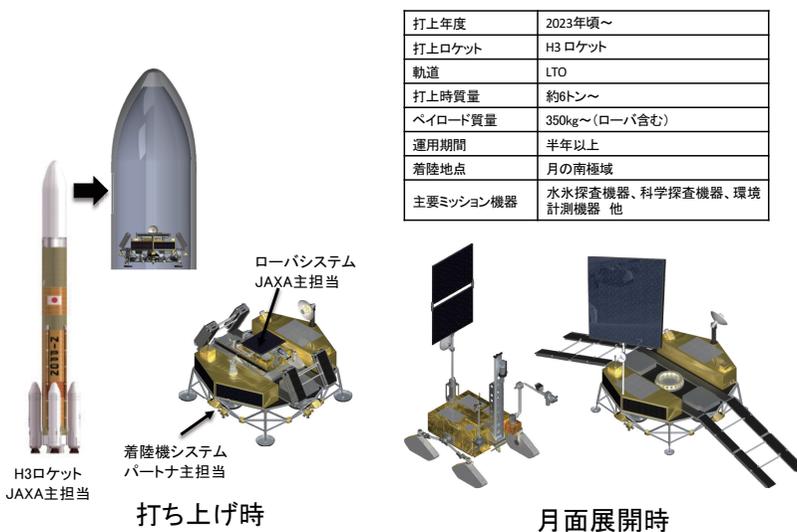


図3：月極域探査機の構成。探査機システムは、着陸機システム+ローバシステムで構成する。

質情報と定義している。実際の探査実施時には、極域の複数点にそれぞれの探査機を着陸させ、取得した基礎データを互いに共有・統合的に解析することにより、単独の探査では取得しきれない、より広域で幅広い環境条件下での、水氷を含む揮発性成分に関する情報を得る。

日本では、国際宇宙探査の枠組みで行うシリーズ探査<sup>5</sup>の、最初のミッションとして月極域探査の実施を検討している(図2)。政策的には、本探査は内閣府の作成する宇宙基本計画工程表(平成30年度改訂)に「月着陸探査活動(インド等との協力)」として記載されており、2019年度以降の取組として、「国際協力による月への着陸探査活動の実施等についても国際調整や具体的な技術検討を行う」ことが予定されている<sup>4</sup>。そのような状況を受け、JAXAでは現在、月極域探査をインド宇宙局(ISRO)との協働ミッションとして行うことを検討している。この探査の主目的は純粋な科学的課題の解明では無く、月極域に水氷が存在するのかどうか、また存在した場合に、将来の探査において資源

としての利用が可能かどうか、を評価するためのデータを取得する(資源利用可能性の評価を行う)ことである。このミッションは科学課題の解明を主目的とする従来の探査とは異なり、将来の月・火星探査や有人宇宙探査を見据え、日本の同分野における戦略・計画に基づき、トップダウン方式で行う探査として検討されている。このような方式による月・火星探査を実施する体制づくりを目的に、JAXAでは2018年7月に国際宇宙探査センターを創設した。このセンターは将来の月・火星探査や有人宇宙探査を目指して行う一連の探査の実現を担当し、月極域探査をはじめ、その先の有人月面探査のプリカーサーの意味合いをもつ実証ミッションHERACLES(Human-Enhanced Robotic Architecture and Capability for Lunar Exploration and Science, 月からのサンプルリターンを計画している)や、火星衛星探査計画MMX(Martian Moons eXploration; 火星衛星からのサンプルリターンを計画)も担当している。月極域探査は、日本初のピンポイント着陸を行う月面着陸実証機SLIM(2021年度に打ち上げ予定)の実行によって取得される、高精度着陸技術を基に実施し、加えて月面におけるローバによる移動技術やその場観測技術、長期滞在技術の獲得を目指す。本探査の次にはMMXとHERACLESミッションの実施により、重力天体からのサンプルリターン技術を獲得し、将来の月・火星有人探査において必須となる重力天体からの離脱、地球への帰還技術の獲得

3. 国際宇宙探査の具体化にむけて、国際宇宙探査ロードマップ(GER; Global Exploration Roadmap)を検討している、10を超える世界の宇宙機関が参加する国際宇宙探査協働グループ(ISECG; International Space Exploration Coordination Group)。  
 4. 宇宙基本計画工程表(平成30年度改訂)については、内閣府のウェブサイト<https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>を参照。  
 5. JAXAでは、ISECGでの議論を受けて、国際協働で行う探査を、シリーズ化して複数行う計画としている。

を目指しており、長期的計画に基づいた着実な技術のステップアップを行う(図2)。

## 2. 月極域探査の概要

本探査は2023年頃の打ち上げを目指しており、月の極域に着陸し、ローバによる周辺のその場観測を6カ月にわたり行う。検討は、JAXA国際宇宙探査センター、月極域探査ミッション定義チームが母体となっており、ミッションは図3の様な構成で、探査機の打ち上げとローバの開発・運用をJAXAが担当し、着陸機の開発・運用をインド宇宙局が担当することを予定している。観測機器は主にローバに搭載し、着陸機が月面到着後、スロープを用いてローバを展開し、周辺(数百m × 数百m程度を想定)を移動しながら観測を行う。通常運用時には観測したデータをローバからダイレクトに地球に送信する。ローバに加え、着陸機への観測機器の搭載もあり得るが、ローバ・着陸機共に、搭載する観測機器については未選定である。現在の質量配分は図4のようになっており、ローバに搭載可能な観測機器を含むペイロード重量は、現状約50 kgと見積もられている。

本探査の主目的は、前述のように資源利用可能性の評価を行うことであり、そのために1)探査領域における水氷の質と量を把握すること、2)水氷の集積・濃集原理を明らかにすること、の2つを観測目標としている。月極域に存在する可能性のある揮発性成分の中

でも、本探査では水氷の利用を考え、水分子をレゴリスから抽出して電気分解し、生成した水素と酸素を液体にし、これを将来的に着陸機等で燃料として利用することを想定している。ある物質を利用するために必要なリソース(エネルギーや設備、コストなど)を超えて、該当物質の採掘・利用にメリットがある場合に、初めて資源であると言える。そのため、前述のような手順で燃料として利用することを想定した場合に、地球上から水素や酸素を持ち込む場合に比べて、月面上の水氷を使うことの方にメリットがある場合に初めて、資源と考えることができる。そのような観点で、1)の水氷の質の把握とは、水の化学種を観測すること、および水以外に含まれる揮発性成分(二酸化炭素やメタンなど)の化学種と量、さらにはどの深さに水氷が分布するのか(これは掘削の難易度に関係する)、を把握することを意図している。また量については、水氷が存在していたとしても、その濃度が低すぎる場合には、月面上の水氷を利用するよりも、地球から同物質を輸送することの方が有利になる場合があり得る。そのため、水氷の利用までの全作業工程を考えた上で、どの程度の濃度もしくは量であれば資源と考えられるのか、判断の閾値が必要であり、それと比較するために、水氷の分布濃度を知ることが非常に重要となる。さらに、着陸点およびその周辺において水氷の質と量を把握したとしても、それだけでは月極域全体の水氷の総量を推定することは困難である。そのため、2)では探査領域において、どのような条件(深さ、温度、分布領域

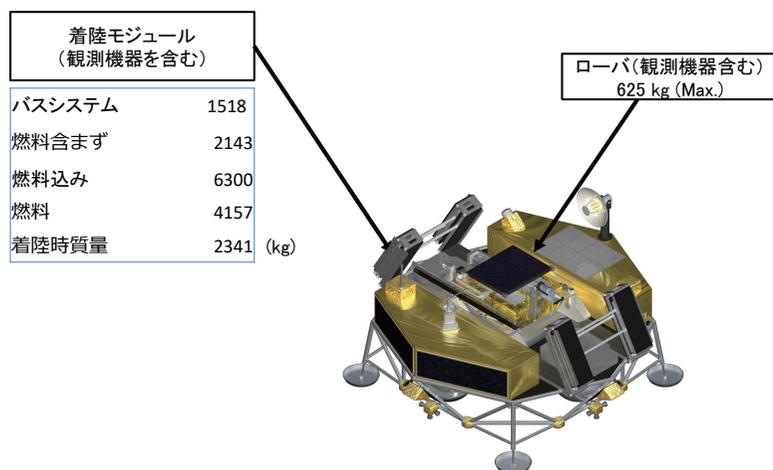


図4：探査機の質量配分の例。LTO軌道への直接投入の場合。

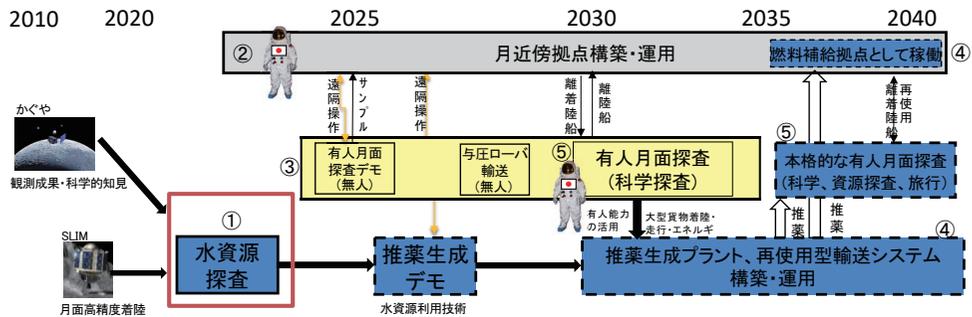


図5：JAXAの国際宇宙探査シナリオにおける資源利用構想

- ① 月極域探査：「かがや」の観測成果をもとに国際協働で月極域の水氷探査を行い、燃料利用の可能性を判断する。
- ② 並行して米国の「月近傍拠点 (Gateway)」計画に参画し、深宇宙での有人宇宙飛行の機会を獲得する。
- ③ 2025年頃から準備が始まる国際協働での有人月面探査にキー技術で参画し、日本人宇宙飛行士の月面到達権利を得る。(ヘラクレスミッションによる月サンプルリターンを想定)
- ④ 国際協働でロボティクスと有人活動により、月南極域に推薬生成プラントや月面～月近傍拠点間の再利用型輸送システムを構築し、「月近傍拠点」を推薬補給拠点として稼働させる。
- ⑤ 一連の有人月面探査や推薬生成プラント構築作業の機会を活用し、南極周辺の科学探査を実施。推薬生成プラント構築後は、その探査範囲を拡大する。

の岩石組成、レゴリスの粒子サイズなど)の場所に水氷が分布しているのかを把握し、また水氷の起源を知る。それによって、極域への水氷の集積・濃集原理を明らかにし、その知見を用いて極域における資源としての水氷の総量の推定を目指す。これら目的達成のために搭載する観測機器の選定は、今後、本探査がプリプロジェクトに移行後に行われるが、従来の探査で水氷の同定に用いられている、中性子分光計や地中レーダー、熱重量分析計、光学分光カメラ、質量分析計のような機器が、候補の例としてあげられる。

JAXAでは、本探査によって月極域に水氷が存在し、かつそれを資源として利用できることが分かった場合に、その後の長期的なシナリオを図5のように考えている。本探査以降、後続のミッションにより、推薬生成システムのデモンストレーションを行うミッションを経て、推薬生成プラントや再利用型の輸送システムの構築・運用を行う(図の最下段の①→④)。またこれと並行し、月サンプルリターンや与圧ローバによる有人月面探査の技術実証を行なった後、有人月面探査のための技術を獲得し(図②→③→⑤)、先のプラントや輸送システムと組み合わせ、最終的には2030～2040年頃までに本格的な有人月面探査の実現を目指す。

### 3. 着陸点の検討

極域における水素の分布領域は、米国の探査機ルナ

ーレコネッサンスオービターに搭載された観測機器 LEND (Lunar Exploration Neutron Detector)[9]による、中性子観測データを用いた解析から推定されている[4]。それによれば水素は月の南極、北極の両方に分布し、また緯度85度以南、以北においては、ほぼ全域に存在している(濃度は水に換算した場合で最大0.5 wt%と推定される)。ただし、同データで直接観測しているのは水素原子であって、これが実際に水分子の形で存在するかどうかについては、これまでのところ判断材料が無い。また同データの空間分解能は10 km程度であるため、該当データから、本探査で想定している探査範囲の数百mからkmの空間スケールで、実際に、どの場所にどれくらいの濃度で水氷が分布しているのかを知ることは困難である。この情報を得るためには、着陸探査を実施する必要がある。水氷の分布域を考える上で重要なのが温度条件であり、例えば、月面の真空条件下において115 Kの条件で、水氷は1億年あたり1g/cm<sup>2</sup>の速度で昇華する[10]。ルナーレコネッサンスオービター搭載の観測機器 Diviner (Lunar Radiometer Observations)[11]で得られた月面の温度との比較によると、水素の濃度が高い領域は低温の領域におおよそ対応している。ただし、前述のように水分布の源泉となる中性子観測データと表面温度測定データの空間分解能が大きく異なるため、数百mからkmのスケールで表面温度と水氷の濃度に相関があるかどうか、正確には分からない。

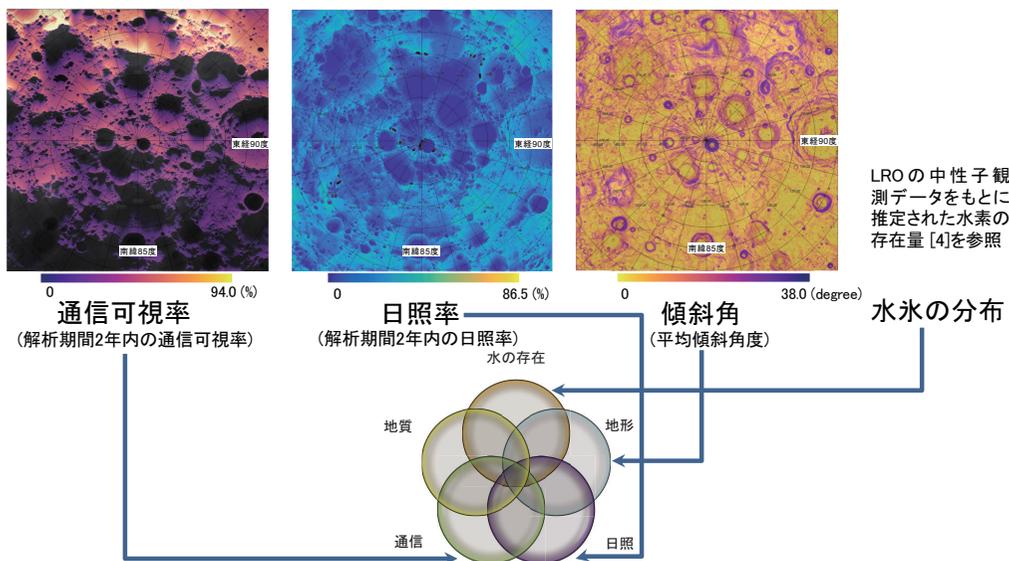


図6：南極域における着陸候補地点選定のための解析例。  
 左から地球との通信可視率マップ、DEMをもとにして日照をシミュレーションした日照率マップ、地形の傾斜角を求めたマップを作成。これらと従来の観測データによる水素濃度マップを重ね合わせ、着陸地点の候補選定を進めたポーラーステレオ投影による図。地図のグリッドは緯度は1度、経度は1°度毎。

着陸点の候補として、a) 地球との直接通信が可能なこと、b) 長期の日照が得られること、c) 地形的に着陸とその後のローバ探査が可能であること、d) 中性子観測により水氷の存在が推定されていること、の全ての条件が重なる場所を解析により求め、これまでに南極域において、複数の候補地点を識別している(図6)。解析は、これまでの月周回探査により取得した月面地形と、時刻毎の太陽および月の位置等を用いて、JAXA 宇宙科学研究所に2016年4月に発足した、月惑星探査データ解析グループ(JLPEDA)<sup>6</sup>を中心として実施している。極域では太陽高度が低く、地形による影が長く伸びる。このため、上記の条件(長期の日照が得られ、かつ地球から直接通信可能な時間が長く、比較的傾斜が小さい)の全てを満たす場所のごく限られている。着陸候補地点はいずれも、クレータのリムや丘状地形の尾根に相当し、各点の着陸可能な領域の面積は非常に小さい。そのため、本探査の実現には、月着陸実証機SLIMで取得する高精度着陸技術が非常に重要となる。中性子観測の結果からは南極、北極の両方で水氷の存在が推定されており、着陸点をどちらの極とすべきか、着陸点の選定については今後の議論が必要である。水氷の分布以外の地質的な観点では、南極

側は、明確な地形として残る月面上の最大の天体衝突盆地である、South Pole-Aitken盆地の2つのリングの間に南極点があり、この領域には同盆地形成時に掘削・放出された地下深部の物質が、広く分布すると考えられる[12]。一方で、北極側は高地領域であるが、月周回衛星「かぐや」の分光観測データを用いて、高地地殻である斜長岩に含まれる苦鉄質ケイ酸塩鉱物の鉄とマグネシウムの比から、従来の探査で試料が得られている表側低緯度帯に比べ、この領域には、より始源的な性質を持つ地殻がある(より先にマグマオーシャンから固化した領域である可能性がある)と推定される[13]。このような地質的な違いと、水氷の分布や量との間に関連性があるのかどうか不明だが、レゴリス組成により水氷の保持力に差がある可能性もあり、今後はこれらレゴリスの組成や粒子サイズ等の観点での考慮も必要であろう。

#### 4. ローバによる観測運用概念

図7に着陸点周辺におけるローバによる探査とその

6. JAXA Lunar and Planetary Exploration Data Analysis Group. (<http://jlpeda.jaxa.jp>)

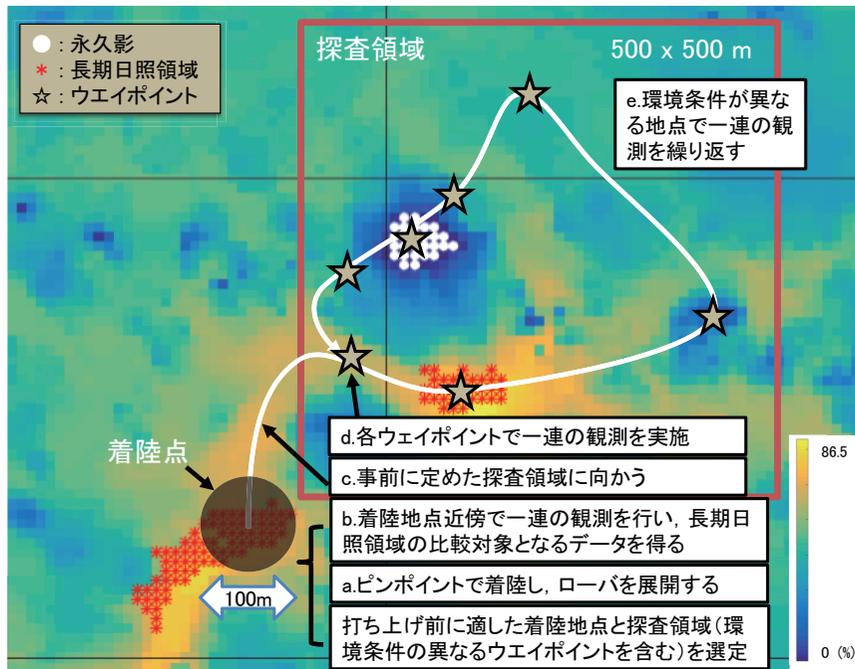


図7：ローバの走行・運用概念例。

灰色の円を着陸点とした場合の例。マップのカラーは解析期間2年内の日照の割合(日照率。解析条件やカラースケールは図6と等しい)、白線はローバの探査経路を示す。a-eはローバの走行・運用の手順概要。

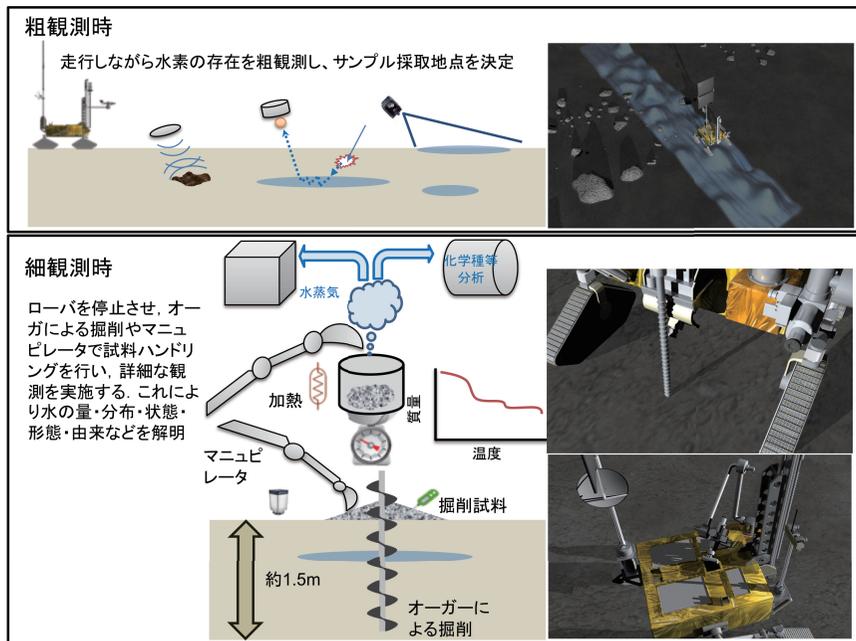


図8：ローバによるその場観測の概念。

搭載する観測機器は決まっておらず、観測の概念であるまずローバで走行しながら粗観測を行い水氷の存在が推定される場所で走行を停止、細観測を行う。

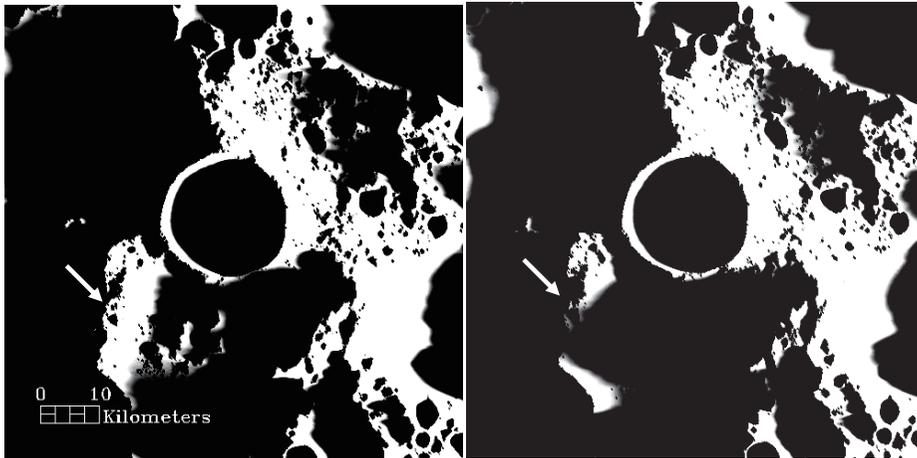


図9：月南極域の日照条件例。  
南極点周辺の時間差による日照条件の違いを示す。左図の地球時間で24時間後の日照条件が右図。中央のリムが日照を受けているクレータがシャックルトン。左図でシャックルトンの左下の日照領域(白矢印)について、右図では大部分が影に覆われていることがわかる。左右ともにポーラステレオ投影による図。

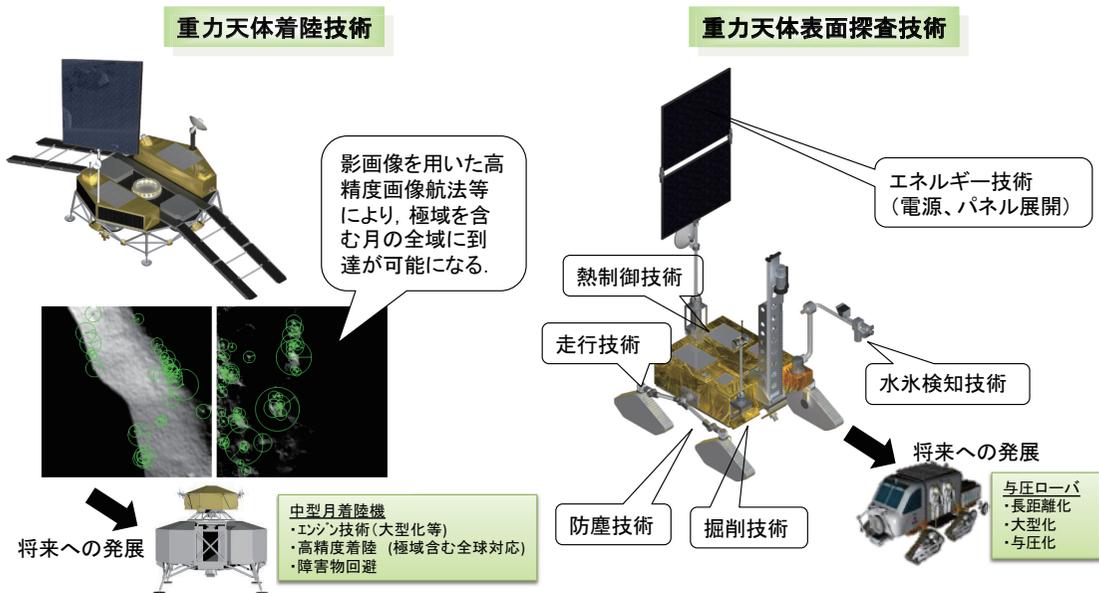


図10：月極域探査を実施することで獲得できる技術。  
着陸技術と表面探査技術の両方を獲得することができる。表面探査技術には、移動・作業手段であるローバ技術と、月面でのその場観測の技術が含まれる。各構造の紙面上でのサイズは実際のスケール比とは異なる。

場観測運用の概念を示す。図の色は日照期間の割合を示し、赤いハッチは特に長期日照が得られる地点、白いハッチは永久影領域を示す。あらかじめ選定した地点に着陸し、ローバを展開した後、水氷の分布位置や量の把握に向け、温度や日照の環境条件が異なる複数

地点を移動しながら、その場観測を行う。低温な領域ほど長期間水氷を保持可能であるため、水氷は緯度と地形の効果により、直接太陽光が当たらない、永久影の領域に集積していることが推定されることから、水氷の資源利用可能性を評価するためには、永久影領域

における観測が重要である。一方で、影領域ではローバは太陽光による電力確保ができず、太陽光に頼る限り長時間の探査は不可能である。そのため本探査では、比較的小さな、数十m規模の永久影領域に短時間(数時間程度)だけ入って探査を行い、電池の電力を使い果たす前に、日照領域に戻るような運用を考えている。ローバは走行しながら、中性子観測やレーダー観測などにより水素の存在を粗観測し、最適な地点を選んで試料採取を行う。試料採取地点ではローバを停止させ、オーガ(ドリル)による掘削と試料採取、観測機器への試料運搬、一連の観測を行う(図8)。従来の水氷濃集過程の理論的研究[14]や、中性子観測データを元にした推定から、地下1 m程度までに水氷が分布すると推定されていることから、掘削の深度は1.5 m程度を目指しており、深さ方向の水氷の分布状態を把握するために、25 cm毎に試料採取と分析を行う。また掘削ホルの壁面の観察も検討している。

ローバによる探査領域や探索経路を選定するためには、着陸点周辺のクレータや、大型の岩石片、傾斜の大きな領域や周辺の地形によってできる影など、様々な障害物を避けつつ、最短で各ウェイポイント(細観測を行う地点として選定する場所)に到達できる経路の検討が必要となる。また極域では、探査の実施日によっても影の形状が大きく異なるため、探査候補日毎(より詳しくは時刻毎)に経路の検討を行う必要がある(図9)。

## 5. 月極域探査の実施により獲得できる技術

本探査の実現には、いくつかの鍵となる技術の獲得が必要となる。着陸においては、SLIMのピンポイント着陸技術を発展させることで、極域のように影の多い領域であっても、ピンポイントでの着陸が可能な影画像航法を実現し、月全域への着陸を可能にする。この技術により、本探査の先に将来の有人着陸船に向けて、中型の月着陸機の開発が可能となる。一方で、表面探査技術の観点では、重力天体の表面を自在に探査する移動・作業手段として、世界の主流である数百kg級のローバによる探査技術を獲得する。この技術は将来の有人探査で使用すると圧ローバや、推進プラント等の建設に役立つ。また本探査によって、月面での水検知や掘削技術など、その場観測を行うために必

要な技術を獲得することができる(図10)。

極域での探査に特徴的な技術として、太陽電池タワーや、永久影探査用の高いエネルギー密度を持つ電池があげられる。極域では太陽高度が低いために、月面に太陽光が照射する時間が相対的に短い。ただしその場合でも、月面から数m高い位置に太陽電池パネルを立てることができれば、電力の確保ができる時間帯を、格段に長くすることが可能であり、進展できるタワー型の太陽電池パネルが有効である。また、永久影の探査を行うためには、太陽光による発電が不可能な期間に使用する電力を、電池で賄う必要がある。そのために、できるだけエネルギー密度が高い電池の搭載が望ましい。現在JAXAでは、これら技術の獲得に向けた検討・試作・評価を行なっている(第62回宇宙科学技術連合講演会、国際宇宙探査セッションの月極域探査関連講演参照)。

## 6. これまでの検討経緯と今後のスケジュール

本探査は、2013年からSELENE-2の派生であるミッション(当時はSELENE-Rと呼んでいた)として検討を実施した経緯がある(同検討は2015年3月に終了)。その後2013年6月からは、NASAのRESOLVE(現Resource Prospector)と協働して実施する可能性の検討(2017年3月に検討を終了)を経て、2017年12月からインドとの協働実施について検討を開始している。

本探査では、大学や研究機関に加えて民間の企業などとも協力しての探査の実施を目指しており、そのような観点から、情報共有や議論の場として、月極域探査に特化したワークショップを2017年12月(その1)(2日間実施)と2018年2月(その2)を実施した。それぞれ199名、150名の参加者があった[15]。またこれらワークショップと連動し、本探査に有効な探査技術の情報を幅広く集めるため、「月極域探査技術に関する情報提供要請(RFI)」を2017年12月に発出した。これに対して、回答提案が23件あり、技術項目としては38件があった。その内訳は、観測装置やサンプリング装置に関する提案が21件、着陸機、ローバに関する提案12件、資源利用、地産地消探査の提案が5件であり、広い分野からの関心の高さを示している。これらに加え、2018年1月の宇宙科学シンポジウム、5月の地球惑星科学連合大会、9月の国際宇宙探査ワーク

ショップ、10月の惑星科学会秋期講演会、宇宙科学連合大会などでも検討の状況等を紹介している。また12月中旬には、3回目となる月極域探査ワークショップを開催した。今後も宇宙科学シンポジウムや、その後のワークショップ開催も予定しており、これら機会を通じて、広く惑星科学やその他のコミュニティーからの理解と協力を得たい。

現在の本探査の検討フェーズとしては、論文投稿の時点で、本探査に対するMDR(Mission Definition Review)の実施に向けたJAXA内検討およびインド宇宙局との議論・調整を行っており、JAXA-インド宇宙局による共同MDRを12月下旬に実施し、2019年初頭にJAXA内のMDR、年の半ば頃にシステム要求審査(System Requirement Review; SRR)を予定している。

本探査についてはJAXAによる検討に加え、宇宙理工学委員会のもとに作られた国際宇宙探査専門委員会において「月極域探査タスクフォース」が立ち上げられ、国立天文台の並木氏をリーダーとする検討チームにより、本探査で実施する観測項目や、本探査の機会を利用した科学観測に関する提言がまとめられている(本特集号、並木、他による論文を参照)。観測機器の選定は、SRR後にRFP(Request For Proposal)を发出して決定する予定であり、それに先立ち、JAXA国際宇宙探査センターと国際宇宙探査専門委員会から、水氷の資源利用可能性を評価するための「観測機器の検討提案」を募集した。この公募では同時に、水氷の資源利用可能性の評価の目的だけでなく、上記タスクフォースからの「月極域探査の機会を利用した科学観測の実施を検討すべき」との提言を受け、今後そのような目的での観測機器の搭載可能性を検討する目的で、観測機器の搭載希望調査も実施した。11月末で公募は締め切られており、応募の総数は、観測機器の検討提案が10件11器(提案参加者は延べ70名)、観測機器の搭載希望が6件となっており、大学や民間企業を含む多くからの提案を得た。今後、国際宇宙探査専門委員会等からの推薦を受けた評価委員による評価・選定を行う。

## 7. 終わりに

本探査の主目的は、将来の探査に繋がる資源利用可

能性の評価であり、純粋な科学課題の解明とは異なる。また国際宇宙探査の枠組みで行うことが検討されており、従来の科学探査と異なる点も多い。一方で、国際宇宙探査の枠組みでシリーズ化し、長期的な探査計画の下に探査を検討する点や、国際協働での実施により、観測機器の開発などで実績を持つ国外の研究チームとの協力がより促進される点など、メリットも考えられる。そのような観点で、本探査についても科学探査と同様に、月面に着陸し、その場観測の技術実証や観測データを得ることのできる、貴重な機会と捉えることができるであろう。このような機会を、今後の惑星科学の発展のために積極的に活用したい。

## 参考文献

- [1] Lawrence, D. J., 2017, *J. Geophys. Res. Planets* 122, 21.
- [2] Pieters, C. M. et al., 2009, *Science* 80, 568.
- [3] Gladstone, G. R. et al., 2012, *J. Geophys. Res. E Planets* 117, 1.
- [4] Sanin, A. B. et al., 2017, *Icarus* 283, 20.
- [5] Colaprete, A. et al., 2010, *Science* 80, 463.
- [6] Li, S. et al., 2018, *PNAS* 115, 8907.
- [7] Haruyama, J. et al., 2013, *J. Geophys. Res.* 40, 1.
- [8] Thomson, B. J. et al., 2012, *Geophys. Res. Lett.* 39, 2.
- [9] Mitrofanov, I. G. et al., 2010, *Science* 80, 483.
- [10] Andreas, E. L., 2007, *Icarus* 186, 24.
- [11] Paige, D. A. et al., 2010, *Science* 80, 479.
- [12] Uemoto, K. et al., 2017, *J. Geophys. Res. Planets* 122, 1672.
- [13] Ohtake, M. et al., 2012, *Nat. Geosci.* 5, 384.
- [14] Schorghofer, N. and Taylor, G. J., 2007, *J. Geophys. Res. Planets* 112, E02010.
- [15] 長岡央ほか, 2018, *遊星人* 27, 103.