

太陽系科学探査プログラムについて
(案)

平成 30 年 11 月 5 日
宇宙科学・探査小委員会

※青字は事務局修正案

・前回議論・指摘を踏まえた
追記・修正

1. プログラム策定の背景

宇宙基本計画（平成 27 年 1 月 9 日宇宙開発戦略本部決定、平成 28 年 4 月 1 日閣議決定）では、「太陽系探査科学分野については、効果的、効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づくだけでなく、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。」とされている。

一方で、現在の太陽系科学探査を含む科学探査については、プロジェクトの相互連関が乏しいことによる開発のための資金や体制等の分散への懸念や長期的、戦略的な技術開発への対応が十分でない等の課題が指摘されているところであるが、特に太陽系科学探査については、他の科学探査分野よりも長期的な取組が必要であることから、これらの課題への対応が一層求められている。

以上の状況を踏まえ、太陽系科学探査について、従来の科学コミュニティによるボトムアップの議論のみに基づくのではなく、ボトムアップの議論も踏まえつつ、国際的な観点、財政的な観点も含めた戦略的見地から長期的に取り組むためのプログラムを策定することとする。

2. 太陽系科学探査分野をめぐる状況とプログラム化の対象

太陽系科学探査は「太陽系生命環境の誕生と持続に至る条件としての前生命環境の進化の理解」と「太陽の影響を受ける多様性に満ちた地球・惑星系の大気圏・電磁気圏の理解」を目標とし、月・火星等をはじめとする重力天体、小天体を対象に、我が国単独の探査や国際協力による科学探査（以下、「国際協力探査」という。）という形で実施しており、月周回衛星「かぐや」や小惑星探査機「はやぶさ」等の成果を上げてきたところである。

近年、この太陽系科学探査に関しては、特に月、火星については、欧米、中国が相当な実績を挙げつつあるほか、インド、UAE（アラブ首長国連邦）といった国々も具体的な探査計画を実行に移してきており、国際的な競争が激しくなっている。さらに、第 2 回国際宇宙探査フォーラム（ISEF 2）が開催されて国際宇宙探査の機運が高まるなかで、国際宇宙探査における月・火星探査に関する議論が具体化してきている。

この動きに対し、我が国としての月・火星探査に関する長期的な取組の考え方を示すことが重要となっている。

このため、今回のプログラム化の検討にあたっては、当面の対象は月・火星とし、探査の形態としては、従来の太陽系科学探査（我が国単独探査、国際協力探査）に国際宇宙探査の機会の活用も加えることとする。また、科学探査において今後とも優れた成果を創

コメントの追加 [A1]: 倉本委員・並木委員ご提出意見を反映。

出することは、安全保障や民生利用等宇宙開発利用全体の活動の基盤強化につながるものであることに留意し、太陽系科学探査にとどまらず科学探査全体に共通する重要な課題である工学技術の研究開発及び人材の確保・育成も検討の対象とする。

コメントの追加 [A2]: 山崎委員ご提出意見を反映。

3. 月・火星探査等の進め方について

(1) 当面の月・火星探査

月・火星をはじめとする重力天体探査では、以下のような流れで探査技術の実証を進めながら、探査を行うことが想定されている。

- ①周回探査（周回軌道上からの網羅的観測）
- ②局所探査（具体的な探査対象の近傍に着陸しての「その場」観測）
- ③移動探査（対象領域へ移動しての「その場」観測・分析）
- ④広域・回収探査（長距離移動による複数対象領域探査、サンプルリターン）

コメントの追加 [A3]: 市川委員ご提出意見を踏まえて修正。また、下記部分における①～④を付記。

このうち、月探査に関しては、かぐや（2007年打上げ）による月周回探査（①）の後、SLIM（Smart Lander for Investigating Moon：小型月着陸実証機。2021年度打上げ予定）による着陸地点周辺の月面撮像観測（②）が予定されている。

さらに、現在、以下の通り、JAXAにおいて月極域の水氷の資源探査が計画され、また、その次の計画としてHERACLESが予定されている状況であるが、これらの探査計画においても科学的な知見の獲得に貢献することも目指しているところである。

このため、当面の月の科学探査は、これらの探査の機会を利用して進めることとする。

- 月極域探査（③移動探査）（2023年度打上げ目標）
 - ・月極域における水の存在量や資源としての利用可能性の確認。
 - ・地球・月系にもたらされた水の起源（生命の起源）の解明への寄与等を目指す。
- HERACLES（④月広域・回収探査（サンプルリターン））（2026年度打上げ目標）
 - ・月面の複数の領域へ移動し、広範囲から大量のサンプルを詳細分析のために地球に持ち帰る技術を確立。

将来的には、後述の Gateway も利用した多様な着陸機会を捉えて上記①から④までの探査を踏まえた本格全球探査のための観測ネットワークを国際協力のもとに実現することを検討する。このため、複数の小型探査機による観測ネットワークの構築に加え、月極域探査とHERACLESもネットワークの一部として機能するように着陸機の長期利用なども視野に入れて、着陸地点の選定を行う。

コメントの追加 [A4]: 倉本委員・並木委員ご提出意見を踏まえて修正。

火星探査については、MMX（Martian Moons eXploration：火星衛星探査計画。2024年度打上げ予定）による火星衛星観測・サンプル採取に向けた準備が着手されている。MMXでは、火星における「有機物・水の移動、天体への供給」過程と「惑星の形成」過程の解明へ貢献する。加えて、火星探査において重要な役割を果たす火星衛星の表層及び周辺空間の環境が解明される点からも、その探査に各国が期待しているところである。

コメントの追加 [A5]: 倉本委員・並木委員ご提出意見を踏まえて修正。

将来的には、月着陸探査で培う着陸技術、表面探査技術等を活用・応用し、さらに展開型柔軟エアロシェル（バリユート）等新たな探査技術を活用した火星着陸探査を実現することを検討する。

コメントの追加 [A6]: 倉本委員・竝木委員ご提出意見を踏まえて修正。

(2) 国際宇宙探査への対応

月探査に関連しては、米国は、2018年2月に予算教書において、月の周回軌道に、国際協力・民間協力によって設置する有人拠点「Gateway」を構築していくことを発表したところであり、日本に対しても参画を呼び掛けている状況である。

この Gateway 構想に関しては、月面のローバへの通信や月のサンプル回収等に Gateway を活用することにより、我が国の月探査を効果的・効率的に行うことが期待できるほか、Gateway 内での実験・実証・観測や Gateway に貢献する HTV-X を活用した探査（月面への小型探査機やペネトレータの放出、月面の広域詳細観測等）も考えられる。

コメントの追加 [A7]: 山崎委員ご提出意見を反映

このため、Gateway に我が国が参画する場合には、我が国の科学探査にも資する形で活用できるようにすることを考えるべきであり、早急に科学コミュニティの意見を踏まえて、JAXA としての考え方をとりまとめるべきである。

コメントの追加 [A8]: 倉本委員・竝木委員ご提出意見を反映

なお、我が国はこれまで太陽系科学探査で世界的に優れた成果を上げているところであり、国際宇宙探査の機会を利用した科学探査においても、引き続き世界に先駆けてチャレンジングな探査を行うことを期待する。

4. 今後の科学探査の強化に必要な工学技術の研究開発・推進

月・火星探査をはじめとする今後の科学探査を支える工学技術については、

- ① 我が国として実績を有し優位性（“強み”）が見込まれる技術
 - ② 土星以遠の探査や波及効果の大きさから我が国として獲得すべき技術
- があり、JAXA が大学、他の公的研究機関、民間企業と連携して、研究開発を進めていくことが重要である。具体的には、現在推進中の宇宙探査イノベーションハブ事業における技術の開発研究と連携して宇宙科学研究所で研究開発を実施する必要がある。

コメントの追加 [A9]: 小野田委員ご提出意見を踏まえて修正

- ① 我が国として実績を有し優位性（“強み”）が見込まれる技術
 - ・ サンプルリターンカプセル（SRC）技術
 - ・ 展開型柔軟エアロシェル（バリユート）による大気圏突入技術
 - ・ 薄膜軽量太陽電池/電力セイル技術
 - ・ 検出器を極低温に冷却する冷凍機技術
 - ・ 画像処理解析等による航法誘導技術
- ② 我が国として獲得すべき技術—探査機の小型化技術—
 - ・ 耐低温姿勢制御用推進系技術
 - ・ 安定性を確保した半永久的発電技術
 - ・ 極小待機電力システム技術等

このほか、国際宇宙探査において、国際協力により効率的に進めることに加え、我が国として実績を有し優位性が見込まれ、波及効果が大きい4つの技術（重力天体離着陸技術、重力天体表面探査技術、深宇宙補給技術、有人宇宙滞在技術）の開発に取り組まれているが、これらの開発成果は月・火星探査をはじめとする科学探査にも積極的に活用していくこととする。

5. 人材確保・育成

科学探査を担う人材の確保・育成に関しては、中長期的な観点はもとより現時点でも大きな課題であるが、2018年度から JAXA 宇宙科学研究所にテニユアトラック制度が導入され、若手研究者の育成のみならず確保方策として期待されている。

今後、同制度の状況についてフォローアップするとともに、以下の点について検討して、可能な限り速やかに成案を得ることが重要である。その際、人材を宇宙科学コミュニティのみでなく、他分野の科学コミュニティや民間企業にも求めていくことも検討すべきである。

- ① 大学共同利用機関としての JAXA 宇宙科学研究所の活用
- ② 大学生・大学院生が JAXA 宇宙科学研究所で研究を行うことができる環境の整備
- ③ 宇宙科学研究者のキャリアパスのモデルケースの構築
- ④ 若手技術者がプロジェクトに参加することにより探査技術に関する知見・プロジェクトマネジメントの経験の取得
- ⑤ **宇宙科学に関するワークショップへの他の科学コミュニティや民間企業の研究者の参加**

コメントの追加 [A10]: 市川委員ご提出意見を反映

6. 今後の課題

(1) 科学探査における資源の取扱い

科学探査において資源は、科学的アプローチによって解析し、その結果を論文に発表する重要な研究対象であり、科学探査としての資源に関する活動は、惑星や小天体上の資源の存在や量の推定、確認を行うための調査研究活動が主となると考えられる。

一方で、資源は今後の商業利用の観点からも重要視されていることから、今後の商業利用における資源を対象とした探査活動との関係を明確にする必要がある。

なお、JAXA の国際宇宙探査では、宇宙機関としての探査活動を効率的に進めるために利用する原材料を資源としているところである。

(2) プログラム化の検討の今後について

今後、小天体やその他の科学探査も対象として、探査機の小型化技術等、今後我が国として開発していく技術とその技術により実現される探査プロジェクトを盛り込んだ、**高い科学価値を持つ、より具体的な科学探査プログラムを策定することとする。**

JAXA においては、その**科学探査プログラムを踏まえ、科学コミュニティと連携しつつ具体的なプロジェクトの検討や技術開発を進めるべきである。その際、科学コミュニティからのプロジェクト提案段階の基盤経費を用いたブラッシュアップや、探査**

コメントの追加 [A11]: 倉本委員・並木委員ご提出意見を反映

実現のキーとなる技術についてフロントローディングを行い、プロジェクトの着実な実施を目指すことを期待する。