

宇宙科学・探査の意義・価値及び今後の方向性・将来像について

令和 5 年 2 月 24 日
宇宙科学・探査小委員会

1. 宇宙科学・探査の意義・価値及び波及効果

1. 1 宇宙科学・探査の意義・価値

① 人類の知の創出

- 宇宙科学・探査は、地上では十分に観測できない様々な現象について、宇宙空間から宇宙望遠鏡等を用いて観測し、宇宙の起源や構造・進化等の理解を進めること、及び深宇宙の未知の惑星や小天体等に探査機を送り、その場での観測やサンプルリターン等によって太陽系等の成り立ち等の理解を進めることで、人類共通の知を創出し、蓄積することを目的とする。
- 上記を目指した理学研究と、それを可能とする先進的な工学研究とが一体となることにより、我が国として、これまで国際的な成果を挙げてきている。
- 我が国が主導する宇宙科学・探査ミッションには、太陽系科学探査分野のサンプルリターン技術に代表される、世界的に評価が得られるような強みがある。このような強みと研究者の独創的なアイデアとをあわせて、卓越した知の創出を目指し、長期的な視点を持って取り組む。

② 人類の活動領域の拡大

- 宇宙科学・探査は、人類の知の創出に加え、宇宙空間における人類の活動領域を拡大するという価値を有している。
- 特に近年においては、火星有人探査を見据え、月面での持続的な有人探査の実現を目指す「アルテミス計画」が推進され、人類の恒常的な活動領域が地球上から地球低軌道、月面へと拡大することが視野に入ってきている。
- 宇宙科学・探査の成果は、宇宙開発利用全体の基礎となるものであり、人類の活動領域の拡大に活かされるとともに、月面等における有人活動の実現により、活動範囲や探査方法が拡充し、宇宙科学・探査分野における知の創出の充実につながっていく。

1.2 宇宙科学・探査の波及効果

① 国民への夢と希望の提供・人材育成

「はやぶさ」「はやぶさ2」による世論の盛り上がり等、宇宙科学・探査ミッションは、学術的な成果に加え、宇宙というフロンティアを切り拓くことによって、知的好奇心を喚起し、広く国民、特に青少年に夢や希望、誇りをもたらしている。

青少年の知的好奇心を喚起し、自然科学や技術開発への興味関心を高めることは、STEM分野において次世代を担う人材育成にも貢献している。

② 国際協力の進展及び国際的なプレゼンスの向上

宇宙科学・探査ミッションは国際協働により進められることが多いが、これにより宇宙科学・探査の互いの能力を補完・向上させるだけではなく、協働する国との良好な協力関係の構築にも寄与している。

また、フロンティアに挑戦してこそ獲得できる宇宙科学・探査分野に関する優れた研究成果は、国際的に高い評価・注目を受け、国際社会における我が国のプレゼンスの向上につながっている。そのためには、研究成果に関する、一般国民を含む国内外への広報・発信も、重要な役割を担う。

③ 総合的かつ革新的な技術開発による幅広い科学技術分野や産業の発展促進

宇宙科学・探査の研究開発や成果は、宇宙分野だけではなく幅広い分野の科学技術をけん引・強化するとともに、民間等との協働による産業競争力の強化にも寄与している。

2. 宇宙科学・探査を巡る状況変化と課題

① 米欧等におけるミッションの大規模化

世界の宇宙科学・探査ミッションは、欧米において中・小型規模のミッションに加え、数千億から1兆円を超えるミッションが進められる等、大規模化が進んでおり、中国も例外ではない。我が国の宇宙科学・探査ミッションにおいては、欧米の大規模計画に対してどのように競争・協調するか、もしくは、我が国単独では実施できない規模の計画を、欧米との国際協力によりどのように実現していくか等、我が国の強みを活かした独創的・先端的な成果を創出し、併せて国際的なプレゼンスをいかに維持・向上させていくかが課題となっている。

② これまでの高度な研究成果の創出と技術的優位性の低下傾向

これまで我が国は、独自の研究領域を見だし、そのための工学技術を磨くことで、低リソースでも実施可能な理工融合の未開拓領域を切り拓いてきた。この独自性に基づき、過去15年、「はやぶさ」シリーズを代表に高い成果を挙げ、国民に夢や希望を与え、国際的なプレゼンスの向上に寄与してきた。「はやぶさ」は、当時、欧米による着目以前に、太陽系形成当時の状態を

保持している可能性のある小惑星「イトカワ」をターゲットとし、我が国が独自の小惑星サンプルリターン技術により成果を挙げた例である。

しかし 2030 年代を見据えると、国際的なプレーヤーの増加や、例えば、我が国が得意としてきた小惑星サンプルリターン分野での米国等による参入が進むことで、我が国の持つ技術的優位性が失われる可能性がある。新たな研究領域の開拓や先鋭的な技術開発は、我が国が今後
も高度な研究成果を創出するための重要な課題である。

③ 「アルテミス計画」への参加

外交・安全保障、産業競争力の強化、科学技術イノベーション及び我が国の国際的なプレゼンスの向上の観点も踏まえ、国際協力で実施される宇宙探査である「アルテミス計画」への参加が決定し、推進されている。2040 年代を見据え、月・火星への段階的な国際宇宙探査が政策的に推進される中で、研究者の独創的な発想に基づく無人探査計画等とも最大限に有効な連携を図る。

3. 今後の宇宙科学・探査の方向性・将来像

(1) 今後に向けた基本的な方向性

今後の宇宙科学・探査において、我が国は、限られたリソースの中で、独創的なアイデアを生み出し、特長ある技術を発展させることによって、いかにして独創的・先端的な研究成果を創出するか、危機感をもって取り組んでいかなければならない。このため、我が国の強みと弱みを十分に認識し、引き続き理工一体となり、20 - 30 年後を見据えた長期的視野に立って、宇宙物理学、太陽系科学（月・火星を含む）、宇宙工学という宇宙科学・探査の重要分野において、独創的・先端的な研究成果の創出に向けて積極的に取り組んでいく。その際、国際的な研究の潮流や目覚ましい研究成果、民間の最新の技術動向等を常に注視し、国際協力ミッションでの実施も視野に入れ、臨機応変に計画の改善を図る。

(2) 今後の推進に当たっての配慮事項

① 技術のフロントローディングの更なる強化

宇宙科学・探査ミッションを着実に実施するために重要なのは、フロントローディングの考え方により、重要な要素技術の研究開発を事前に行うことであり、プロジェクト化にあたっては、その成果に基づき、円滑にマネジメントでき、かつ経費の増大などのメーカーのリスクが低減することを可能な限り確認する。また、新たな研究領域の開拓を見据え、科研費等による基礎的な研究の成果や産業界における技術の進展等から、将来の宇宙科学・探査ミッションにおいて、獲得すべき重要技術を早めに見極め、政策的な優先度を勘案して戦略的に研究開発を行い、その成果の蓄積を図っていく。

② 日本主導のミッション実施の際の様々な側面への配慮

中型を超えるスケールとなる宇宙科学・探査ミッションの実施にあたっては、国際協力を基本とする。実施の判断を行う際には、中・小型計画を含む宇宙科学・探査の計画全体や、宇宙科学分野における人材育成等への影響などについても勘案する必要がある。

また、中・小型規模の JAXA 主導の計画においては、国際大型計画への発展性や国際計画との相補性に留意しつつ、独創的・先端的なアイデアに基づくものであり、かつ人材育成にも貢献するようなミッションを柔軟に検討する必要がある。

科学的な知の創出に加え、国民への夢・希望の提供、経済社会、外交等の側面にも配慮し、広く国民の支持と理解を得る努力を行いながら、宇宙科学・探査ミッションを推進していく。

③ 「アルテミス計画」との連携強化

月及び火星をターゲットに実施される「アルテミス計画」に関し、「月面における科学」([i] 月面からの天体観測(月面天文台)、[ii] 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・分析、[iii] 月震計ネットワークによる月内部構造の把握)や他の天体等への探査にも共通する技術を発展させる観点で連携を深め、国際宇宙探査への貢献を図るとともに、この機会を通じた独創的・先端的な研究成果の創出を進める。

(3) 各分野別の世界の潮流、我が国の強み・弱み及び長期的な方向性について

① 宇宙物理学分野

- 宇宙物理分野では、現在の宇宙物理学の共通のテーマである、宇宙の起源の理解や宇宙における生命の可能性の探求を大きな目的としている。
- 世界的な潮流として、より遠くまで、より鮮明に対象天体等を観測するため、衛星の大型化の方向性が顕著である。100 億ドル以上の経費が投入され 2021 年に打ち上げられた NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)は科学史に残るような顕著な成果を挙げつつある。JWST の成功も踏まえ、今後も欧米中による大型望遠鏡計画が進行している。これに対して、我が国の主導する宇宙物理学ミッションは、世界的に見れば中・小型に留まり、かつ JWST のような大型の国際協力への参加も未だ実現していない。観測手法・科学目的の多様性も増しているなか、限られたリソースのなかで、国際協力も選択肢に含めつつ、どのように成果を出していくかが課題である。
- 今後の戦略として、世界的な潮流や限られたリソースを踏まえると、我が国単独では実施が困難な大型の国際計画への参画を進めることが、我が国の宇宙物理学分野において一層重要となる。大型の国際計画に存在感をもって参画することにつなげるため、参画に向けた長期戦略の立案、先行的かつ戦略的な技術開発、JAXA やコミュニティが一体となった国際協力体制の構築等、長期的な視点に立った積極的な事前準備を、NASA・ESA 等の国際的な情報を積極

的に収集しながら行っていく必要がある。

- また、我が国の強みは、国内外から、優れたセンサ技術や、我が国の世界最先端の宇宙搭載冷却技術等をミッションにあわせて結集させ、中型・小型の範疇ではありながらも、X線・太陽・赤外線分野等において、世界に先駆けた独自のミッションを高い機動性で実現してきたことである。世界最先端の地上天文学も強みであり、共通的な技術等での連携等、地上天文学と宇宙天文学で相乗効果を発揮していくことが重要である。
- 上記を踏まえ、今後の戦略的中型計画立案に向けて、我が国が世界をリードする宇宙搭載冷却技術を活用した銀河進化・惑星系形成を観測するミッションや、新たな X 線撮像技術を用いた高エネルギー帯域の観測計画がコミュニティにおいて検討されている。国際的な大型計画とも相補的であり、かつユニークな科学目的に特化した計画として、独創的・先鋭的な技術を活用した国際的にもインパクトのあるミッションを具体化することが重要である。

②-1 太陽系科学探査分野

- 太陽系科学分野では、太陽系と生命がどの様に生まれ、進化して、現在に至ったかを解明することを目的に掲げている。
- 世界的な潮流として、惑星探査分野では火星が注目されるが、米欧中では火星サンプルリターンという超大型計画に集中し、現在、火星の水循環や現存生命の探査といった重要な科学テーマは手つかずとなっている。小天体探査については、その場観測やサンプルリターン等により惑星系形成過程や地球を生命惑星たらしめた過程の理解が進んでいる。太陽圏科学分野では、太陽-惑星間空間のシステム科学や宇宙天気予報の研究が推進され、太陽系外惑星観測分野とリンクして、恒星の活動が地球のような生命が生存できる環境の実現とどのように関連しているか、総合的な理解を得る、というテーマが立ち上がっている。
- 我が国の強みは、「はやぶさ」シリーズで培われた深宇宙の対象天体にピンポイントで到着し、地球に帰還する航行技術、世界最先端のサンプルリターン技術、またそれに続くサンプル分析技術である。また、電磁場、プラズマ粒子をその場で観測する技術、光学観測技術についてもこれまで実績を積み重ねてきており、惑星科学、太陽圏科学分野における強みである。太陽観測分野においては、「SOLAR」シリーズにより確立してきた国際協力体制と、高分解能・高精度観測を可能にする太陽観測に係る望遠鏡技術等が強みである。ただし、現在世界レベルにある分析技術の維持・発展させるため、JAXA を中心に、サンプル分析を担う中核的研究者の育成を急ぐ必要がある。
- 今後の戦略として、JAXA やコミュニティにおいて、小天体探査については、「はやぶさ」シリーズで獲得した世界でのリーダーとしての地位の維持・向上させるため、探査機を更に高度化し、活動的な小天体や外惑星の氷衛星などの探査を行うことが検討されている。また、太陽観測・

太陽圏科学分野では複数衛星による多地点観測等、先鋭的な観測技術・手法を用いた観測・探査計画が検討されている。

- 今後の戦略的中型計画としては、太陽系の起源に関する知見と、地球が生命居住可能な惑星に至った初期太陽系で発生したプロセスの理解を深めるため、「はやぶさ 2」の技術を高度化したうえで、未踏のターゲットからのサンプル採取を行う、次世代の小天体サンプルリターン計画が、JAXA やコミュニティにおいて検討されている。これらの計画と並行して、彗星探査等の海外大型ミッションに本格参加することも議論されている。将来の大型の国際協力への参画と合わせて、我が国の強みに基づく独創的・先鋭的な技術を活用した国際的にもインパクトのあるミッションを具体化することが重要である。

②-2 月・火星における科学探査

○ 月における科学探査

世界的な潮流としては、米欧は「アルテミス計画」において月面探査における科学的発見を一つの目的に据え、中国は月面裏に天文観測が行えるローバを送り観測を開始しており、月における科学成果創出が各国の狙いとなっている。

我が国としては、宇宙科学の観点から、「アルテミス計画」による月面活動の機会（有人と圧ローバの活用を含む）を活用し、「月面における科学」（[i] 月面からの天体観測（月面天文台）、[ii] 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・分析、[iii] 月震計ネットワークによる月内部構造の把握）の具体化を進める。

JAXA では、月面での活動能力の向上にも資する、ピンポイント着陸等の重力天体離着陸技術、高走破性ローバを含む重力天体探査技術の獲得・発展に取り組んでいるが、月・火星探査プログラムにおいて、「月面における科学」の研究の実施及び、必要な要素技術の開発のため、小型月着陸実証機（SLIM）技術を維持・発展させた月探査促進ミッション（LEAD）と、可能な限り民間サービスを活用していくことについて検討を進める。宇宙科学は、この動きと連携して「月面における科学」の実現に向けた検討を加速させる。

○ 火星における科学探査

火星衛星探査計画（MMX）により、世界初の火星圏からのサンプルリターンを目指し、この成果により、米欧中に先行される火星探査でプレゼンスを示していく。

さらに、「アルテミス計画」の最前線が 2040 年代には火星に移行すると見込まれることを踏まえると、2030 年代には国際火星探査における役割分担の議論が開始される可能性がある。我が国として有利なポジションの獲得及び火星探査に関する高い科学的意義を見据え、火星本星の探査に対する我が国の取組の方針を検討することが重要である。

具体的には、米中による大規模な計画が先行するなか、2040 年代までの長期的視点を持って、火星本星への探査に関して、我が国が実施する意義・価値、技術面及びリソース面での実現可能性等について、JAXA 及びコミュニティにより、産業界とも連携し、検討を実施すべきである。その際、着陸技術や惑星保護等の我が国が有していない必須技術の獲得必要性や、展開

型膜面エアロシェル技術(密度の薄い火星大気への突入に有効な技術)といった米中をはじめ他国が有していない我が国の独創的・先鋭的な技術の実証等について考慮すべきある。

③ 宇宙工学分野

- 宇宙工学分野では先進的な技術開発・実証を通し、より広範囲に、より自在に宇宙空間を航行できる宇宙航行・輸送システムを発展させると共に、より多様かつ高度な科学観測や探査活動を実現することにより、宇宙開発利用全体の発展に向け、技術的に先導することを目指す。
- 世界的な潮流として、国際的な月探査が進展し、主要国は探査技術実証から、科学成果の創出や月資源活用等の月面利用技術の開発へとシフトし、さらに民間と宇宙機関の協働による事業創出へと動き出している。また、2030年代のNASAは、有人火星探査機を見据えた無人探査機の実証を行い、2040年代の火星有人探査という「アルテミス計画」を着実に進めると考えられる。その結果、欧米の探査計画は月・火星にフォーカスされ、その他の探査については、小・中規模の高性能・低コストな探査機が数多く投入されると予想される。
- 我が国の強みは、ロケット打上げ能力や衛星・探査機規模といったリソースが限られるなか、独自の科学・ミッション領域を見だし、優れたプロジェクトリーダーのもと、理工学一体で、適度なスケールの独創的・先鋭的な技術を活かした新しいミッションを切り拓いてきた点にある。小惑星サンプルリターンを可能とする一連の技術と、それらのミッションを支えたイオンエンジン等の独自の輸送系を持つことはその好例である。
- 今後の戦略として、現状の強みである小惑星等のサンプルリターン探査は、我が国にとって、リソースと期待される成果とのバランスがとりやすい分野であり、今後も競争力の向上に務めることが重要である。これに加え、ミッション領域を拡張するという観点から、重力天体、更には外惑星域の本格探索等への取組が考えられる。世界的な潮流を踏まえると、スケールの拡大が予想され、それに対応できる次世代のプロジェクトリーダーの育成や産業界を含めた体制の充実が急務である。一方で、小型宇宙機やキューブサット等について信頼性や寿命を高め、我が国として深宇宙探査やネットワーク運用などで効果的・戦略的に活用していくことも検討すべき課題である。また、高度なミッション実現のための最先端技術(例えば、太陽光推進技術、IoTによる革新的アーキテクチャ、大気圏突入・減速・着陸技術、表面探査技術、越夜・外惑星領域探査に向けた半永久電源等)により、宇宙開発全体を牽引する成果創出を目指す。
- 次期戦略的中型計画として、太陽系科学分野と連携し、JAXA やコミュニティにおいて検討されている構想は、地球ー目標小天体間の輸送を担当する往還宇宙機と、現地での着陸探査を行う小型の着陸機から構成される探査システムを開発し、火星以遠の未踏域の天体から世界初のサンプルリターンを目指す次世代の小天体サンプルリターン探査である。我が国

の強みに基づく独創的・先鋭的な技術を活用した国際的にもインパクトのあるミッションを具体化することが重要である。

4. 宇宙科学・探査ミッションを実施するための適切なフレームワークについて

今後、宇宙科学・探査ミッションを推進するにあたり、近い将来、想定される上述のようなミッションの実施や、他国が主導する大規模なミッションに現在よりも大きな規模で機器提供等を可能とするために、JAXAの宇宙科学・探査ロードマップとフレームワークについて必要な見直しを行うべきである。検討に当たっては、世界の宇宙科学・探査の状況変化や人材育成機会の提供等に留意しつつ、研究成果の最大化を目指す観点から必要な見直しを行うことが重要である。

以上