

# 国際宇宙ステーションを活用した有人宇宙探査に関する 調査研究

(一財)日本宇宙フォーラム 企画室長 小林 功典

## 1. 調査研究のバックグラウンドと目的

宇宙の起源や宇宙の構造を理解することは人類の知的好奇心や科学技術にとって最大のテーマの一つである。また、有人探査を含めた宇宙探査は、人類の英知の結集であり、知的資産を創出するとともに、宇宙空間における人類の活動領域の拡大につながるものである。平成26年1月には宇宙探査協業を目指す35か国・地域が参加して、政府レベルでの「国際宇宙探査フォーラム (ISEF)」が開催され、人類の活動範囲を小惑星、月及び火星を含む多様な太陽系の目的地へと広げるための取組を協力して進めていく他、国際宇宙ステーション (ISS) が今後の宇宙探査に向けた協力の枠組作りや技術開発の基礎基盤として貢献することが示された。また、ISEFに先立ち、宇宙機関レベルで将来的な国際協働による有人宇宙探査に向けて技術検討を行うためのメカニズムである「国際宇宙探査協働グループ (ISECG)」で協力ロードマップが策定され、ISSでの実験を活用しつつ、無人の太陽系探査を行い、最終的には有人火星探査を目指すとしている。我が国においては、これまで「はやぶさ」などの無人宇宙探査において、世界的な成果を多くあげてきている他、ISSプロジェクトにも参画し、微小重力環境を利用した各種の実験を行ってきている。先に挙げたISEFやISECGにもそれぞれ日本政府と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が参加し、将来的な宇宙探査の国際協業に貢献する意思を示している。一方、平成27年1月に策定された新しい宇宙基本計画にも記載の通り、「国際有人宇宙探査については、計画が今後国際的に検討されるものであることから、他国の動向も十分に勘案の上、その方策や参加の在り方について、外交、産業基盤維持、産業競争力強化、科学技術等に与える効果と要する費用に関し、厳しい財政制約を踏まえつつ、厳格に評価を行った上で、慎重かつ総合的に検討を行う。」とし、有人の宇宙探査について実施するかどうか我が国としては決定していない。

このような背景の下、既に有人宇宙探査を推進しているNASAなどではISSを有人月・火星探査のための“テストベッド”として位置付け、探査に必要な生命科学、宇宙医学、物理・化学の基礎データとなる実験を実施・計画しており、ISSの「有人探査の準備・実験場としての活用」が進められている。現在我が国のISS利用が所謂、微小重力環境利用による研究開発に留まっている現状に鑑み、既に推進しつつあるNASA等の有人宇宙探査のためのISS活用実態を調査し、今後の我が国のISS利用計画策定に資する情報を整理・分析し、有人月・火星探査に必要となる技術開発・研究を目指すための“我が国独自のISS利用”のための提言をまとめる。これらの提案は、ISS利用の産業利用が停滞する我が国の産業界への目標を提示することでもある。

## 2. 調査内容と方法

- ①NASAにおける有人探査に向けたISS利用の文献調査
- ②ISS利用成果発表会合での情報収集
- ③有人探査に向けたISS活用事例の整理
- ④今後の我が国の有人探査ISS利用に向けた提言

### 3. 調査結果

#### (1) 有人探査に向けた ISS 利用の文献調査と ISS 活用事例の整理

ISS の活用事例について以下の通り、整理した。各実験の概要・詳細は報告書本文参照。

<p>医学・生理学</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Repository 実験(NASA Biological Specimen Repository)</li> <li>➤ Ocular Health 実験 (Prospective Observational Study of Ocular Health in ISS Crews)</li> <li>➤ Space Headaches 実験</li> <li>➤ Hapstics-1</li> <li>➤ 微小重力実験用グローブボックス MSG(Microgravity Science Glove Box)</li> <li>➤ 宇宙居住の安全・安心を保証する「きぼう」船内における微生物モニタリング (Microbe-IV)</li> <li>➤ 植物細胞の重力受容装置の形成分化とその分子機構の研究 (Plant Gravity Sensing)</li> <li>➤ 宇宙環境における線虫の老化研究 (Space Aging)</li> <li>➤ 前庭-血圧反射系の可塑性とその対策 (V-C Reflex)</li> <li>➤ 国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価(Myco)</li> <li>➤ 長期宇宙飛行時における心臓自律神経活動に関する研究(Biological Rhythms 48hrs)</li> <li>➤ マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価 (Mouse Epigenetics)</li> <li>➤ 宇宙環境を利用した植物の重力応答反応機構および姿勢制御機構の解析 (Auxin Transport)</li> <li>➤ 宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価 (Multi-Omics)</li> <li>➤ Fluid Shifts (体液シフト) 実験</li> <li>➤ ESA の宇宙医学実験「Airway Monitoring (エアウェイ・モニタリング)」</li> <li>➤ ESA の「Straight Ahead」実験</li> <li>➤ ESA の Circadian Rhythms (サーケイディアン・リズム) 実験</li> <li>➤ ESA の Muscle Biopsy (筋肉生検) 実験</li> <li>➤ NASA の宇宙医学系実験 Cardio Ox</li> <li>➤ Ocular Health 実験 (Prospective Observational Study of Ocular Health in ISS Crews)</li> </ul>
<p>宇宙放射線被爆による人体への影響</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ JEM 船内定点放射線環境計測実験 (Area PADLES)</li> <li>➤ 宇宙飛行士の個人被ばく線量計測 (Crew PADLES)</li> <li>➤ リアルタイム線量当量計測技術の確立 (PS-TEPC)</li> <li>➤ 「きぼう」船外の宇宙放射線環境モニタリング (Free-Space PADLES)</li> <li>➤ ISS 搭載凍結胚から発生したマウスを用いた宇宙放射線の生物影響研究 (Embryo Rad)</li> <li>➤ ほ乳類の繁殖における宇宙環境の影響 (Space Pup)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 遺伝子資源の宇宙での保存の可能性に挑戦</li> </ul>
微小重力が人体に与える影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manual Control 実験(Assessment of Operator Proficiency Following Long-Duration Space Flight)</li> <li>➤ Functional Task Test 実験 (Physiological Factors Contributing to Postflight Changes in Functional Performance)</li> <li>➤ Sprint 実験 (Integrated Resistance and Aerobic Training Study)</li> <li>➤ Journals 実験(Behavioral Issues Associated with isolation and Confinement: Review and Analysis of Astronaut Journals)</li> <li>➤ Reaction Self Test 実験(Psychomotor Vigilance Self Test on the ISS)</li> <li>➤ 無重力ストレスの化学的シグナルへの変換機構の解明 (Cell Mechanosensing)</li> <li>➤ 無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立 (Intracranial Pressure &amp; Visual Impairment)</li> <li>➤ 長期宇宙滞在飛行士の姿勢制御における帰還後再適応過程の解明 (Synergy)</li> <li>➤ NASA の Fine Motor Skills (ファインモータースキルズ) 実験</li> <li>➤ カナダ宇宙庁 (CSA) の Vascular Echo (ヴァスキュラー・エコー) 実験</li> <li>➤ ESA の ENERGY (エナジー) 医学実験</li> </ul>
宇宙での食料	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ロシアの植物栽培実験装置 Lada</li> </ul>
技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ロボノート 2 (R2)</li> <li>➤ RRM (Robotic Refueling Mission)</li> <li>➤ CIR (Combustion Integrated Rack)</li> <li>➤ 簡易曝露実験装置 (ExHAM) を用いたミッション</li> </ul>

## (2) ISS 商業利用

米国は近年、低高度軌道 (LEO) への打上・利用サービスは基本的に民間によるサービスの購入や移管方策を採っている。輸送系では、SpaceX 社、Orbital ATK が代表される企業である。

一方、ISS 利用についても、2011 年、NASA は国の研究機関 (NASA、NHI 等) による実験を除き、民間、大学等向けサービスを非営利団体である CASIS (Center for the Advancement of Science in Space) に、軌道上のリソース利用権を 1/2 程度渡すと共に、地上での予備実験研究費、軌道上サービス、機関後のデータ解析支援等を移管した。(http://www.iss-casis.org/Home.aspx)

移管に伴い、NASA から運用資金として、毎年 20~30 億円程度支給されている。CASIS は、宇宙実験のために必要な科学的・技術的サービスを提供する“サービス・プロバイダ” 31 社を選定して、ディレクトリーを公表している。(詳細は報告書本文参照)

## 4. 今後の我が国の有人探査のための ISS 利用に向けた提言

### ①持続的な有人・無人宇宙探査に必要な国際的な協力

国際宇宙探査は息の長いプロジェクトとして継続性が必要である。我が国では、ISS 計画への参画

を通じた多くの有人探査に必要な技術を獲得してきたが、まだまだ新たに技術開発すべき課題が多くある。一方で、「はやぶさ」、「はやぶさ 2」で得られた無人宇宙探査技術は世界をリードしてきた。更に、「イノベーションハブ」プログラムでは、今まで宇宙開発に参入してこなかった企業の参加を宇宙探査分野への参入を促す活動も進めている。これらの技術的背景の下、有人・無人宇宙探査に必要な国際協力を我が国がリードしながら国際協力できる方法等について知見を集約する必要がある。

#### ②国際宇宙探査を進めるに当たって日本としてのアジア貢献（例えば、人材育成）

ISS 計画は、アジアで唯一の日本は参加国として多くの有人技術を獲得してきましたが、ISS 利用面では必ずしも日本がアジア諸国に対して貢献できているとは言いがたく、2024 年までの ISS 運用延長に米国と合意するに当たり、「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム（JP-US OP3）」の枠組みで「ISS 資源を活用したアジア太平洋地域の宇宙途上国との協力の増進」のための活動が期待される。従って、今後の国際宇宙探査プログラムに日本が参加するにあたっては、当初からアジア貢献、例えば国際宇宙探査に参加できる技術者等を育成するための人材育成について知見を集約することが必要である。

#### ③国民の理解増進に資するためのアウトリーチ活動

国際宇宙探査計画に日本が参加するためには、ISS 計画で投入された予算以上の規模が必然となることを想定すると、国民的理解を得ることが必須と考える。国民的理解・増進を得るために必要な活動として何をなすべきか等について、欧米等の取組を参考として意見集約することが必要である。

◎国際協力を我が国がリードするうえでの方策検討

◎アジア諸国の望むべき人材育成と国際宇宙探査

◎国民的理解を売る上でのアウトリーチ活動について他国での現状や他のインフラ（例えば国際天文、原子力など）を参考とする。

#### ④ヒトに係る研究の持続的推進

最後に、今後の火星への有人探査に日本人宇宙飛行士が将来参加することを想定すると、現在実施している、宇宙飛行士の健康維持・回復に関する研究と併せて、「日本人宇宙飛行士の長期宇宙滞在に伴う対策」は基本的には我が国が自ら対応することを前提に、ヒトに係る今後の研究は幅広い分野での研究を持続的に進めるために、JAXA が外部の大学等との連携により、人材育成を含めて研究体制を構築し、研究を推進すべきと考える。

以上