

宇宙科学・探査部会委員からの質問に対する回答

1. 日本として ISS を通じて何を獲得すべきか、何を求めようとしているのか。具体的な戦略や目標は何か。..... 3
2. 有人活動そのものに価値を見いだせるのか、科学的成果など有人活動によって生み出されるものに価値を見出すのか。..... 5
3. 我が国の厳しい宇宙関係予算の中で、ISS に 1 割以上の予算をかける意義や目的は何か、ISS を他の計画と比較して相対的にどの程度重視すべきか、宇宙探査・宇宙活動という観点からの重要性や低軌道無人衛星と比較した得失はどうか。..... 6
4. 特に 2020 年までの取り組みについて、戦略を持って発展性のあるべきものにするとしたら何になるのか。..... 7
5. ISS や HTV で培った技術を、HTV への帰還機能の追加など、次のプログラムにどのようにつなげようとしているのか。..... 7
6. 費用対効果として、各国比較をして我が国のそれは優位性があるとの説明を受けたが、その比較に当たっての具体的根拠等は何か。..... 8
7. ISS での実験・研究について、公募の際の透明性を高める方策及び成果を国民にわかりやすく周知するための方策如何。..... 10
8. ISS 運用に係る共通的な経費について、宇宙関係全般を踏まえた日米協力の在り方や ISS に参加する我が国としての意義や目的を勘案した負担割合の根拠は何か。..... 11
9. 将来の我が国独自の有人宇宙輸送について、関係各社がどのような展望、計画を持っているか(差し障りのない範囲で紹介願いたい。)..... 12
10. 9 月 30 日の部会資料 3(ISS に関する検討項目)の p.6(習得・実証しつつある有人技術・ノウハウ)の表は、必要事項が網羅されているのか。日本独自で有人輸送活動を実現するための必要事項を記載した表をお示しいただきたい。..... 13
11. 日本として有人宇宙探査を通じて何を獲得すべきか、何を求めようとしているのか、国際宇宙探査へ参画する必要性や目的さらにその行き先について、どう考えているのか。..... 14
12. 現段階で日本として計画可能な宇宙探査のフロンティアは何か、有人でないとできない宇宙探査は何か、無人でないとできない宇宙探査は何か、両方で宇宙探査ができる場合にどちらが効率的か。 14
有人宇宙探査を重視するのではなく、日本は無人技術に集中し、無人の科学探査を重視するべきではないか。無人探査の成果や実績を十分に踏まえた上で、有人探査の議論を行うべきではないか。..... 14
13. 14
14. 人類の活動領域拡大の観点から、陸・海・空に次いで宇宙空間をどのように捉えるべきか。 15
15. プロジェクトを遂行する際の手段としての観点から、(1) 低軌道宇宙環境利用(ISS など)(2) 宇宙輸送(サブオービタル、低軌道周回、軌道間輸送等)(3) 深宇宙有人探査(月、小惑星、火星探査など)に人がそれぞれ介在する意義は何か。..... 16
16. 国際協力で無人月探査を行う場合など、想定される貢献に応じた予算規模はどの程度になると考えられるのか。それは ISS 計画の予算枠内となるのか、それとは別の新規要求となるのか。

17.	もしも無人探査について学術的な意義を重視するのであれば、有人宇宙探査のために実施する無人探査とはどのような位置づけになるのか。.....	18
18.	国際宇宙探査については、参加形態、コスト、成果やメリットが明確にならない限り、参加の意思を表明すべきではないのではないか。.....	19
19.	有人宇宙探査が、日米の関係にどの程度の寄与を為すと考えるのか。.....	20

1. 日本としてISSを通じて何を獲得すべきか、何を求めようとしているのか。具体的な戦略や目標は何か。

ISSを通じて獲得する技術は以下の通り。

(1) 有人宇宙技術の獲得

- 将来の国際的な宇宙探査の中で日本が主体的・中核的な役割を担えるよう、ISS計画における「きぼう」「こうのとりの運用管制を通して、国際協働による長期有人オペレーション技術(*1)及び宇宙輸送技術(*2)の習熟・向上に努めると共に、これらを担う技術者・運用者の能力を次世代に継承し、国際的な交渉・調整力を有する人材・運用能力を確保する。

(*1) 有人システム統合運用能力、有人宇宙システムの維持管理・運用に係るノウハウ、開発・運用上の安全を評価・管理する能力等
(*2) 物資輸送に関わる自律航行、ランデブー等

- 将来の有人宇宙探査で必要となる技術のうち、特に、これまでに獲得してきた我が国の強み、そして持続的な探査活動の鍵となりうる有人長期滞在技術(*3)、宇宙輸送技術(*4)を技術の優先順位を明確にしつつ強化する。

(*3) 有人滞在技術要素、宇宙医学・健康管理技術、放射線被曝管理技術、高効率・高信頼性の居住環境制御技術など
(*4) サンプル回収技術など

(2) 微小重力研究開発プラットフォームの安定運用を通じた科学的知見等利用成果創出

- 公募・提案型研究の積み上げというこれまでの取り組みを通じて絞り込んできた微小重力環境の特徴を効果的に活用できる分野(*5)に重点化するとともに、国の戦略的施策に合った課題解決型の研究を取り入れていくことで、「きぼう」利用成果の社会や経済への波及を拡大する。

(*5) 骨・筋肉・免疫等に関する生命科学研究やタンパク質結晶生成を通じた創薬研究等

- 国の戦略的施策にあった課題解決型研究の取り込みにおいては、これまでの生命科学分野での成果を踏まえ、国の健康・医療施策に関連した研究開発のプラットフォームとして戦略的な利用(インフルエンザや癌、アルツハイマー等、革新的な薬剤開発に向けた社会へのインパクトの高いタンパク質を対象とした国の創薬事業等との連携や、加齢や老化に係るメカニズム解明やエピジェネティクス等の最先端の研究等)を進める。

(船外利用)

- 高エネルギー宇宙線の観測や暗黒物質の探索。多種多様な材料に関する宇宙環境における利用実証実験装置(ExHAM)等。
- 船外実験環境基盤の充実により、人工衛星等に用いる機器や部品の耐放射線・熱環境の確認に資する等、長期に渡り宇宙環境を提供できる「きぼう」ならではのメリ

ットを活かし、宇宙用機器、材料開発を推進する。更に曝露部を利用するミッションとして、先進ミッションを検討。

(3) 産業振興

- 「きぼう」「こうのとり」を継続して運用すること及び我が国の基幹ロケットである「H2A/B」のアンカーテナントとして機能することにより、日本の宇宙産業基盤の維持・向上・成熟、国内企業における各種技術の継承に貢献する。
- 高品質たんぱく結晶生成実験による宇宙創薬や、新材料創製等の分野において、微少重力環境の民間利用の拡大を図る。

(4) 外交・安全保障

- ISS 計画を通じて獲得した宇宙先進国としての地位を維持し、国際的競争環境の中で日米協力を堅持しつつ、日本が優位性を確保できる技術を獲得し、将来の国際宇宙探査計画等での日本の主導的役割を果たし宇宙先進国としての地位を確保する。
- 中国やインドがそれぞれ、有人宇宙開発や宇宙探査においても著しい伸長を見せており、この分野における我が国の優位性及びアジア地域におけるプレゼンスが相対的に低下することが懸念される。こういった状況下において、科学技術外交・宇宙外交における重要な手段の一つとして「きぼう」、「こうのとり」を着実に運用し、我が国の国際的プレゼンスの堅持・向上を図る。

なお、詳細な国際宇宙探査の取り組み方については小委員会で検討中。

2. 有人活動そのものに価値を見いだせるのか、科学的成果など有人活動によって生み出されるものに価値を見出すのか。

- 有人活動としての ISS から得られた成果は下記のように整理しているところ。
 - 有人・無人宇宙技術の獲得・発展
 - ◇ 参加しなければ獲得できなかった様々な宇宙技術を獲得。これにより、国際協力で行う有人宇宙活動において中核的な役割を担えるレベルに到達。
 - 宇宙環境利用による社会的利益
 - ◇ 微小重力環境等 ISS の特徴を活用し、地上では得られない研究成果を創出(創薬につながる蛋白質結晶生成、次世代半導体に関する材料創製、超小型衛星放出技術等)。
 - 産業の振興
 - ◇ ISS への物資輸送(ISS 予算の約 2/3(約 240 億円:平成 26 年度))を通し、我が国の宇宙産業の基盤強化、自在な宇宙活動能力の確保に貢献。関連技術の海外輸出やスピンオフにも実績。
 - 国際プレゼンス(国際的地位)の確立
 - ◇ 「きぼう」、「こうのとり」の開発と安定運用等を通して、宇宙先進国としての地位を確立。信頼出来るパートナーとして米国を始めとする ISS 参加国から高い評価を受けると共に、アジア唯一の ISS 参加国としてアジア諸国との協力関係を形成。
 - 青少年育成
 - ◇ 有人宇宙活動国のみが可能な自国宇宙飛行士による青少年育成を実施。宇宙への興味、「夢」への努力をかきたて、理系人材、次世代を担う人材の輩出に貢献。
- 人類の活動領域の拡大は、有人宇宙活動によってしか為しえないものであり、有人宇宙活動そのものに価値があると考えられる。また、科学的成果は、有人宇宙活動を通じて得られる重要な成果の1つである。

3. 我が国の厳しい宇宙関係予算の中で、ISSに1割以上の予算をかける意義や目的は何か、ISSを他の計画と比較して相対的にどの程度重視すべきか、宇宙探査・宇宙活動という観点からの重要性や低軌道無人衛星と比較した得失はどうか。

- 今年7月にまとめたISS・国際宇宙探査小委員会では、ISSから得られた成果として以下の5項目を整理しており、これらを継続的に獲得し成果を拡大させていくことが引き続きISS計画に参加することの意義と言える。
 - ① 有人・無人宇宙技術の獲得・発展
 - ② 宇宙環境の利用による社会的利益
 - ③ 産業の振興
 - ④ 国際プレゼンスの確立
 - ⑤ 青少年育成
- 我が国は、ISS計画に参加したことによって、有人技術をはじめとする宇宙技術を獲得するとともに軌道上の実験プラットフォームを初めて保有した。軌道上プラットフォームとしては、人工衛星のセンサ等のミッション機器等の先行実証(例:次世代赤外線天文衛星 SPICA、次期 X 線国際天文衛星 ASTRO-H の観測機器用の超低温冷凍機)や、低軌道の宇宙環境の実測(例:SEDA による各種宇宙環境データの蓄積)、宇宙用材料の検証(例:耐原子状酸素フィルムの実証)などにも利用することが可能。電源や通信機器など共通的なリソースをISS側から得ることができるため、多様かつ期間設定の自由度が高い実験が可能であること、機器故障時の交換等人の手による対応も可能であることなど、低軌道の無人衛星では実現できない機動性、柔軟性を有している。
- ISS計画への参加によって得られる便益は他の手段では代替することができないと考える。

4. 特に 2020 年までの取り組みについて、戦略を持って発展性のあるべきものにする
としたら何になるのか。
5. ISS や HTV で培った技術を、HTV への帰還機能の追加など、次のプログラムにど
のようにつなげようとしているのか。

「きぼう」「こうのとり」の長期運用による技術取得・継承を図るとともに、その運用の中
で、テストベッドとして有効活用することにより、新たな技術(生命維持・居住環境制御
(水再生技術等))の獲得を図る。

例えば、「こうのとり」の運用機会を活用して、小型の回収機体を用いた帰還回収技
術の実証をすることによって打上～利用～回収までの ISS 利用のための効率性向上・
自在性確保への発展、「こうのとり」によって培った技術を活用して低軌道以遠探査の
ためのインフラ技術の実証・獲得などが考えられる。

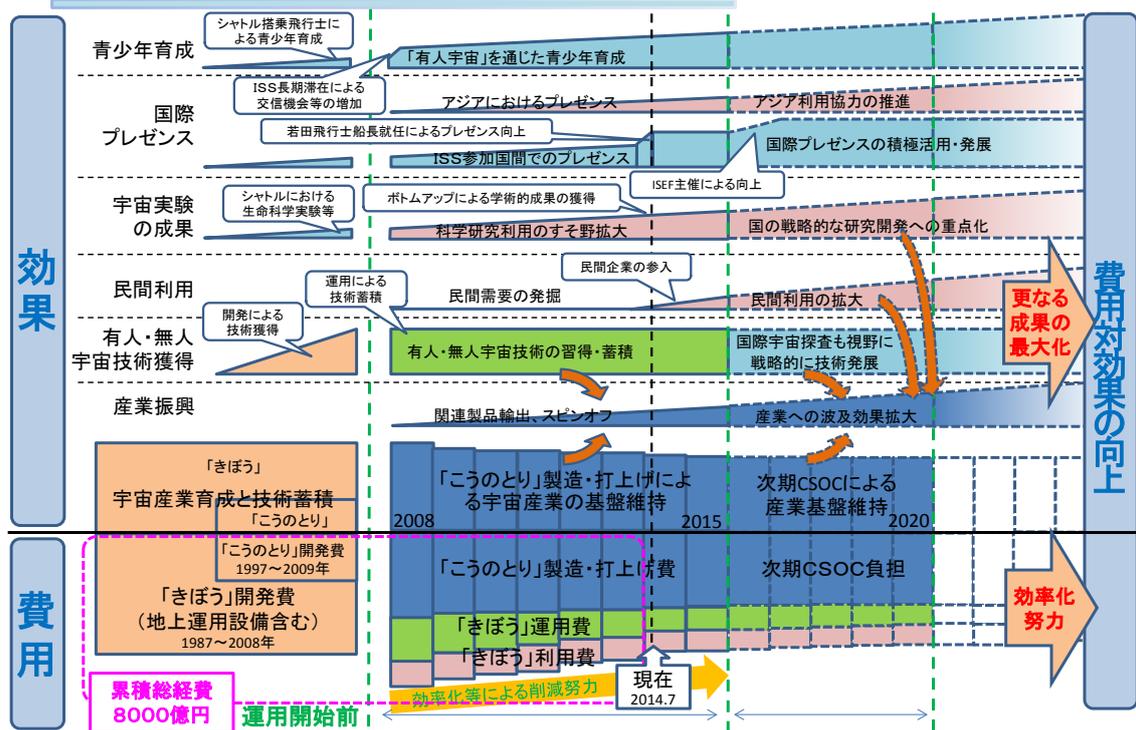
(参考)国際宇宙ステーション・宇宙探査小委員会－中間とりまとめ－(平成 26 年 7 月)
付録 4 今後の ISS 利用の取り組み方(P41,42 抜粋)

- ① **国際協働による有人システムにおける長期有人オペレーション技術の習得と継承**
 - ・ 「きぼう」の継続的運用を通じて、世界でも数カ国しか持ち得ない有人宇宙シ
ステムの維持管理・運用に係るノウハウの獲得を図る。
 - ・ 開発・運用上の安全評価・管理能力を高める。
 - ・ この中で次の「国際協働による宇宙探査」を担う国際的な交渉・調整能力を有す
る人材・運用能力を確保する。
- ② **「きぼう」「こうのとり」を活用した高度な探査関連技術の実証**
 - ・ 有人閉鎖居住系のテストベッドとして有効活用し、将来の低軌道以遠の探査に
向けた革新的な有人滞在技術要素の実証を進め、長期滞在の実現に一定の目
処を得る。
 - ・ 日本の中核的研究機関と連携し、有人宇宙滞在技術を支える基礎研究を実施。
 - ・ 「きぼう」「こうのとり」を宇宙技術実証の場として活用し、将来の低軌道以遠の
探査に向けた先端的インフラ技術の実証を進める。
- ③ **参加企業の国内外への事業拡大を促進**
 - ・ 競争力の高い宇宙技術を実証・習得することにより、参加企業による製品や技
術の海外輸出、国内利活用など、民間企業の事業拡大を促進する。

6. 費用対効果として、各国比較をして我が国のそれは優位性があるとの説明を受けたが、その比較に当たっての具体的根拠等は何か。

第 16 回 宇宙科学・探査部会(資料 3 P.55)で説明した下記の費用対効果の各項目について、その根拠を例示する。

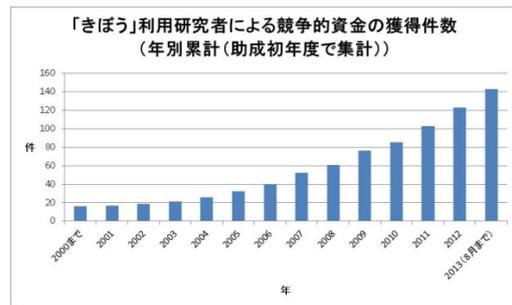
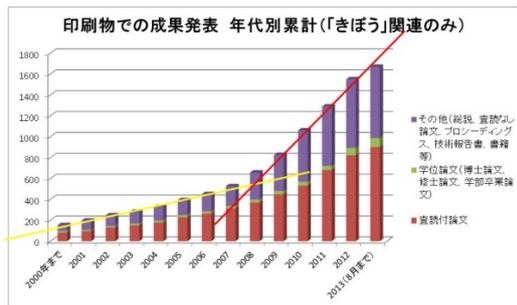
(5. 参考) ISS計画への参加に関する費用対効果



<宇宙実験の成果の観点の例>

● 論文数・外部資金獲得件数

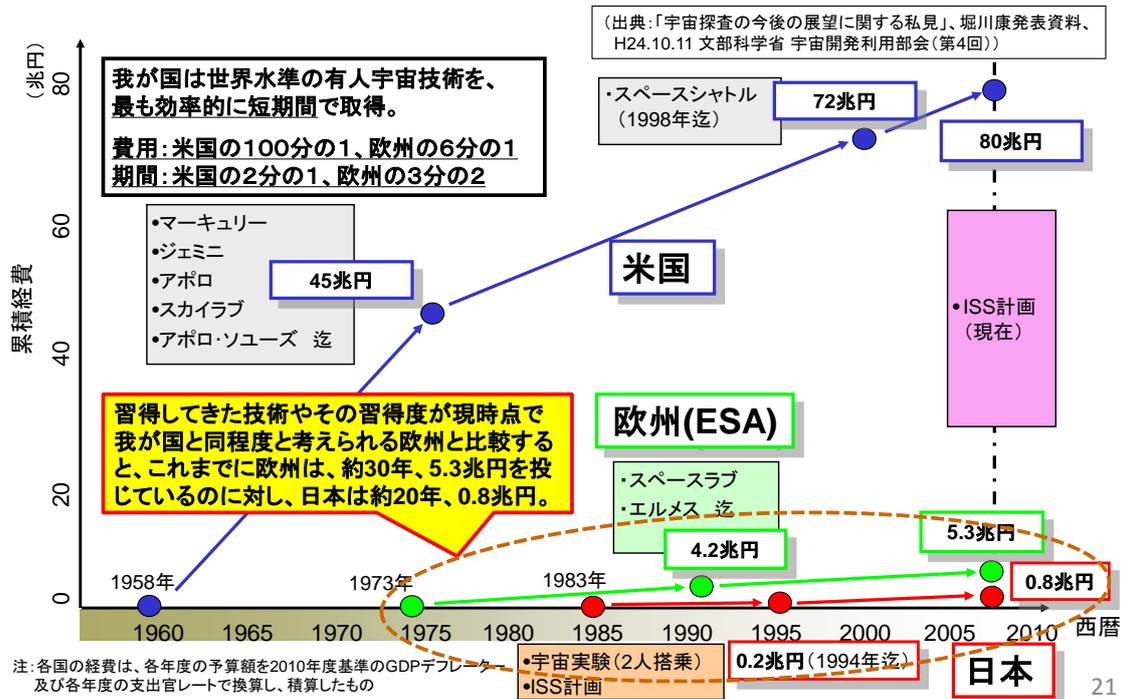
ISS 計画の学術的成果は、船外の X 線天文観測における科学誌 Nature や Science への掲載をはじめ、約 900 件に上る査読付き論文として発表されている。特に「きぼう」の利用が開始された 2008 年以降、急増。また、関連する外部資金獲得件数も伸びている。



<有人・無人宇宙技術獲得の観点>

ISS 計画参画で我が国が獲得した世界水準の技術に要した費用・期間は、欧州と比較して期間は 3 分の 2、費用は 6 分の 1 であり、大幅に効率的に獲得したといえる。

(参考) 有人宇宙技術を習得するまでの経費と時間 (各国との比較)



7. ISS での実験・研究について、公募の際の透明性を高める方策及び成果を国民にわかりやすく周知するための方策如何。

(公募透明性について)

- 「きぼう」での実験・研究は公募し、広く情報発信するとともに、外部の専門家を交えた透明性の高い選考プロセスを設定している。
 - 公募にあたっては、JAXA のホームページ公開のほか、学会誌や科学関連情報サイト、これらのメルマガなどを通じて周知活動に努めている。また、前回の公募時には、大学や独法・学会などでの説明会を開催し、関心・喚起に努めた。
 - 選考にあたっては、民間やアカデミアにおける有識者や領域の専門家から構成される外部委員会を設置し、書面評価(ピアレビュー)・技術評価・面接評価等、数段階の評価を経て公正かつ透明性を持って選考している。
 - 今後、JST(科学技術振興機構)やJSPS(日本学術振興会)等の競争的資金制度との連動など、よりJAXA 外部の視点を強化したテーマ設定の仕組みを導入していく予定。

(成果周知について)

- 「きぼう」での実験・研究の概要や成果について、HP やプレスリリース、シンポジウム、講演活動、テレビ・新聞などのメディアと連携した科学番組・教育番組・科学特集記事などを通じて国民や社会に周知・普及させる活動努力を行っている。
 - プレスリリース、お知らせ実績、HP での情報公開
 - 「きぼう」成果集の制作、配布。

8. ISS 運用に係る共通的な経費について、宇宙関係全般を踏まえた日米協力の在り方や ISS に参加する我が国としての意義や目的を勘案した負担割合の根拠は何か。

- 各極が利用できる資源の割合及び共通的経費(共通システム運用経費)の負担割合は、各国が提供する要素(我が国の場合は「きぼう」)の規模などをもとに、計画当初に協議を行い、米国との間で締結している政府間の協定(MOU)に定義されている(12.8%)。
- 我が国は、国際協力の枠組みへの参加を通し、自由に利用できる有人宇宙施設を保有し、全体の約1割強の費用負担でISS計画全体からの便益(ISS計画全体からの便益利用権や日本人宇宙飛行士の搭乗権等)を効率的に享受することができたと言える。
- 小委員会中間とりまとめにおいては、コスト効率化努力と成果最大化により費用対効果向上を図ることが重要とされたところである。

9. 将来の我が国独自の有人宇宙輸送について、関係各社がどのような展望、計画を持っているか(差し障りのない範囲で紹介願いたい。)

製造側と利用側の意見として以下のものがある。

● A 社(製造側)

有人宇宙輸送については、我が国の実績や技術的な成熟度等を考えますと国が主体的に取り組んで行くことが必要と考えています。

しかし、現状の予算規模では、有人宇宙輸送を実施するには、難しいと考えており、開発を行う場合は宇宙関係の予算の増額が必須であると考えています。

我が国の厳しい財政事情を考え、有人輸送まで行うのか有人ミッションに留めるか。また、我が国単独で行うのか国際協力で行いのか検討が必要と考えます。

この様な状況であるものの、会社としてはキーになる技術の開発は長期的な観点で実施しています。例えば、再突入技術、生命維持装置、将来エンジンの開発等を行っているところです。しかし、これらを世界のトップレベルとして行く為には今後相当の予算が必要と考えます。

● B 社(利用側)

JAXA との共同研究で実施したアンケート調査結果(宇宙旅行市場調査概要:541 名)に基づき、以下の見解を示している。

「安全性の実証と価格の低下が実現すれば、宇宙旅行は将来大きな宇宙利用産業のひとつになり得る。日本初の、特に軌道宇宙旅行が実現すれば、このことをさらに加速させる可能性がある。」

10. 9月30日の部会資料3(ISSに関する検討項目)のp.6(習得・実証しつつある有人技術・ノウハウ)の表は、必要事項が網羅されているのか。日本独自で有人輸送活動を実現するための必要事項を記載した表をお示しいただきたい。

- 低軌道の有人輸送活動に必要な技術は、記載の仕方に濃淡はあるものの基本的に網羅されている。
- 日本独自で有人輸送活動を実現するための技術について、より詳細な表は以下の通り。

○有人ロケット技術

- エンジン等の安全化技術
 - フェールセーフ設計
 - 緊急脱出技術
- 等

○有人宇宙船技術

- 安全帰還技術
 - 生命・環境維持技術
 - ドッキング技術
- 等

11. 日本として有人宇宙探査を通じて何を獲得すべきか、何を求めようとしているのか、国際宇宙探査へ参画する必要性や目的さらにその行き先について、どう考えているのか。
12. 現段階で日本として計画可能な宇宙探査のフロンティアは何か、有人でないとできない宇宙探査は何か、無人でないとできない宇宙探査は何か、両方で宇宙探査ができる場合にどちらが効率的か。
13. 有人宇宙探査を重視するのではなく、日本は無人技術に集中し、無人の科学探査を重視すべきではないか。無人探査の成果や実績を十分に踏まえた上で、有人探査の議論を行うべきではないか。

- 我が国が国際宇宙探査に取り組む意義は、①人類の活動領域・知的資産の拡大、②科学技術・イノベーションの発展、③産業・社会へのインパクト、④国際プレゼンスの発揮(国際的地位の向上)、⑤青少年育成が挙げられる。
- 人類の活動領域拡大等を目的とする月や火星を対象とした探査は有人でなければできない。また、そのため、有人探査の前には事前の調査や技術実証のために無人探査が行われる。有人探査がそもそも不可能な天体については無人探査のみ可能性がある。
- 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会において、ISS の運用継続、月周辺での有人探査、そしてさらには有人火星探査というステップのなかで、有人探査と無人探査をどのように整理して推進することが適切なのか、自主開発と国際協力のバランスはどうあるべきなのか等の今後の議論の必要性が指摘されている。

14. 人類の活動領域拡大の観点から、陸・海・空に次いで宇宙空間をどのように捉えるべきか。

これまで人類は歴史的に見て、陸・海・空とその活動領域を広げ、現在は地球低軌道にまで至っている。今後、国際宇宙探査という取り組みを通じて低軌道以遠にその活動領域を拡大していこうとしている段階を迎えていると理解している。

15. プロジェクトを遂行する際の手段としての観点から、
- (1) 低軌道宇宙環境利用(ISS など)
 - (2) 宇宙輸送(サブオービタル、低軌道周回、軌道間輸送等)
 - (3) 深宇宙有人探査(月、小惑星、火星探査など)
- に人がそれぞれ介在する意義は何か。

有人宇宙活動におけるプロジェクト遂行手段としての有人の意義を整理すれば以下の通りである。

(1) 低軌道宇宙環境利用(ISS など)

ISS をはじめとする活動において、有人滞在技術を実証するという意味があると同時に、ISS での実験やメンテナンスをより機動的かつ柔軟に対応できるという意義がある。

(2) 宇宙輸送(サブオービタル、低軌道周回、軌道間輸送等)

- ・ 軌道上で構造物を組み立てるミッションの場合には、大半の組み立てを無人化しても、細部の組み立てや修理・維持などで有人の介在が必要になる(ハッブル宇宙望遠鏡の船外活動による修理・機能アップグレードの例)。
- ・ 旅客としての人が存在することを想定した場合は、より高度な安全性や危機管理を求められるため、有人宇宙輸送システムの制御に人が介在することによって、より安全性を高める意義がある。

(3) 深宇宙有人探査(月、小惑星、火星探査など)

手段としての観点に限れば、(1)と同様に、有人滞在技術の実証を行うこと、探査活動そのものに加えトラブル対応、メンテナンス、科学実験等でより柔軟かつ多機能な対応ができることが、人が介在する意義である。

16. 国際協力で無人月探査を行う場合など、想定される貢献に応じた予算規模はどの程度になると考えられるのか。それは ISS 計画の予算枠内となるのか、それとは別の新規要求となるのか。

国際協力で無人月探査を行う場合、探査活動の規模などその内容や参加負担方法などによってかなり変動する。尚、国際宇宙探査協働グループ (ISECG) / 国際宇宙探査ロードマップ (GER) においては「持続的かつ現実的な予算で」とされている。

17. もしも無人探査について学術的な意義を重視するのであれば、有人宇宙探査のために実施する無人探査とはどのような位置づけになるのか。

有人宇宙探査の前段階、準備としての無人探査は、有人探査のための技術実証や事前の環境調査などを目的とすることになると考えられるが、学術的な意義のある成果も獲得できるものとする。尚、学術的な意義のみから行う無人探査というものがあることは当然である。

18. 国際宇宙探査については、参加形態、コスト、成果やメリットが明確にならない限り、参加の意思を表明すべきではないのではないか。

- 国際宇宙探査に関して国際協力を行うにあたっては、種々の条件を明確にした上で参加の意思表明をすべきというのをご指摘の通りである。
- 国際宇宙探査については、現在、具体的なプロジェクトや枠組みを議論しようとしている段階であり、正式なコミットメントという意味での参加する・しないという意思表明をする状況ではないと認識している。
- したがって、小委員会では国際宇宙探査協働グループ(ISECG)によって作成された国際宇宙探査ロードマップ(GER)を踏まえ、有人火星探査を将来の目標と見据え、段階的にプロジェクト化(将来目標を視野に入れつつ具体化・限定化された目標設定、期間や参加国の決定、コスト負担を含む役割分担調整、開発・実証すべき技術の同定等)して取り組んでいく、すなわち「段階的なアプローチ」により推進していくことが適当という考え方が示されたところである。
- なお、国際的なミッションの定義とその役割分担の検討の議論に加わって、日本にとって有利な役割を得るためには、プロジェクトの具体化や枠組みに関して国際的な協議の場に加わる必要性があると認識している。

19. 有人宇宙探査が、日米の関係にどの程度の寄与を為すと考えるのか。

- 米国から次回 ISEF のホストを要請されるなど、国際協力における安定した国際宇宙探査への日本の参加に対する米国の期待は大きい。これは ISS を通じて築いてきたパートナーとしての信頼感や実証してきた技術力の高さに基づくものである。
- NASA 予算(168 億ドル/2013 年)の約半分は有人宇宙探査の取組み(74 億ドル/2013 年)であり、米国の民生宇宙活動における枢要となっている。米国の民生宇宙活動の半分(宇宙活動全体で 1/5 と推定)を占める主要活動領域において日米協力が継続されることは大いに意義がある。