

資料13-3

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第13回)H27.4.13

国際宇宙探査に関する これまでの議論の整理(案)

平成27年4月13日(月)

文部科学省
研究開発局

目次

1. 宇宙探査の意義
2. 宇宙探査に関する国際動向分析
3. 我が国における国際宇宙探査の重要性
4. 我が国の国際宇宙探査への考え方

参考1: 宇宙探査に関する国際動向分析

参考2: 宇宙探査の将来展望

参考3: 月探査のステップ(案)

第11回 ISS・国際宇宙探査小委員会 資料11-1 国際宇宙探査の進め方について(JAXA案)

1. 宇宙探査の意義

- 宇宙探査は、人類のフロンティアの探求であり、人類に新たな知見をもたらすとともに、我々の活動領域を拡大し、更なる宇宙の活用の可能性を切り拓くもの。
- 我が国として宇宙探査への取り組みは大きく以下のような意義がある。

1. 人類の活動領域の拡大

- 人間の高度な知識・判断能力を活かした他天体での研究、探査、利用等を実施し、人類の存在領域、宇宙利用等の範囲を拡大。

2. 科学的・社会的・経済的価値の創出

- 生命起源の探求・惑星科学の知見など、人類全体の知的資産の増大・蓄積に貢献。
- 新たな技術のブレークスルーを生み出し、我が国の科学技術イノベーションを牽引するとともに、社会経済活動に大きな変革をもたらすことが期待。
- 過酷な宇宙環境へ挑戦することによって、環境・生命維持、健康管理、究極の省エネルギー等に取り組み、地上における課題解決に貢献。

3. 国際的優位性の確保

- 我が国の宇宙分野での国際的な発言力を維持し、宇宙空間におけるルール形成等の国際社会の重要課題を先導。
- 宇宙探査は無限の可能性を持った未開拓の領域であり、将来の脅威を抑制に加えて、パワーバキューム(力の空白)の極小化の観点から重要。

2. 宇宙探査に関する国際動向分析

■ 月(周辺を含む)探査の国際的な競争・協力が活発化

- 月面着陸やサンプルリターンによる現地における詳細調査が主流となり、民間を含めた国際的な競争・協力が活発化する見込み。
- 我が国の参画の遅れは、将来の月面利用活動の場や権益、科学的成果の獲得の機会を失うとともに、国際発言力の低下を招く恐れ。

■ 火星探査は他国がリード

- 米国は大規模な予算を投入し大型着陸機・探査機による無人探査を推進。欧州・ロシアも我が国を一步リード。インドも火星周回軌道投入に成功しており日本を一步リードしている。
- 我が国が他国と同様のアプローチで競争することは効果的ではない。

■ 小惑星探査は日本がリード

- 我が国は小惑星探査の経験や技術で世界をリード。
- 今後の国際宇宙探査においてもこの利点を最大限活かすことが効果的。

■ 月近傍に有人滞在拠点の可能性

- 月近傍にポストISSとしての有人滞在拠点が設置される可能性。
- 引き続き国際動向に注視するとともに、我が国も引き続き有人宇宙技術の獲得を進めることが必要。

■ 低軌道のステークホルダーの多様化

- 米国・ロシア・中国はポストISSを見据えた取り組みを実施。
- 仮にISSが延長されなければ、中国の台頭により、宇宙分野のアジアにおけるパワーバランスが大きく変動する可能性。
- 米国は将来の低軌道の民生利用拡大に向けた取組を実施。

3. 我が国における国際宇宙探査の重要性(1/2)

■ 国際ルール形成における主導権の確保及びパワーバキューム(力の空白)の極小化

- 月における資源利用調査の活発化や低軌道のテークホルダーが多様化することにより、それらに関する国際的なルール形成に進展する可能性。我が国も実際に利活用の最前線にいて、発言力を保持し、主導権を確保することができる。
- ポストISSの有人宇宙拠点やロシアに加え中国、インドなどの新興国が準備を進めている月面への着陸は国際的なパワーバランスを崩すリスクを有しており、宇宙分野にとどまらずアジア外交における我が国の地歩の低下を招きかねない。

■ 世界トップレベルの惑星科学の発展

- 月は地球に近い成り立ちを持ちながら、火山活動や地殻変動などが早期に終了したため、進化の初期過程の痕跡が残っており、地球を含む固体惑星の誕生と進化の解明にとって重要な研究対象の一つ。我が国の「かぐや」による成果をさらに発展し、人類の知的資産の蓄積に貢献。
- 火星は、初期に現在の地球に近い表層環境を保持していた惑星であり、地下熱水環境・大気散逸・光化学反応のそれぞれにおいて、前生命環境進化の探求には欠かせない研究対象の一つ。

■ 太陽系探査発展のための宇宙技術の確立

- 月は地球に最も近い天体であり、今後の太陽系探査を発展させるために必要な新たな技術(重力天体への着陸・帰還技術、惑星探査ロボット等)を確立するための実証の場として最適。将来の自在な太陽系探査への重要なステップ。

3. 我が国における国際宇宙探査の重要性(2/2)

■ 次世代のロボット技術やエネルギー技術等の革新の促進

- 昼夜の激しい温度差など月の過酷環境への対応や様々な状況やミッションに対応できる高度な自律型システムなど、高い要求水準に挑戦することで、次世代のロボット技術やエネルギー技術等の革新を促し、我が国の科学技術力、産業競争力を維持・向上させるとともに、社会的課題の解決に貢献する。
- 有人宇宙活動の技術は、地上生活にかかわる技術との相似性が高く、自律化がキーとなる。自律的な健康診断、遠隔医療、高効率な水・空気再生など、有人宇宙技術の成果を地上に還元することで、社会的課題の解決に貢献することが可能。

■ 産業基盤維持・向上への貢献

- 低軌道や月における民間セクターの動きが活発化する中、我が国においても、低軌道や月に関する今後の市場拡大の可能性を見据え、宇宙探査のキー技術を抑えておくことにより、我が国の将来の産業基盤の維持・向上へ備える。

4. 我が国の国際宇宙探査への考え方(1/3)

- 我が国も月探査に着手し、国際的な取組の中で主体的な地位を確保。
 - 国際的な競争・協力の活発化や月探査の重要性を踏まえ、我が国も早期に月探査に着手し、国際的な取組の中で主体的な地位を確保する。
 - 月周回軌道からのリモートセンシングにより全球観測は完了したことから、今後は、①科学探査・利用可能性調査、②利用可能性実証、③本格的利用の3段階での探査を想定。
 - 当面は、調査対象の優先順位を明確にしつつ、無人機による月面着陸や現地の科学探査・利用可能性調査を想定。
- 火星探査は、我が国の優位性を活かした独自の無人機による科学探査を基本。
 - 当面は、火星の理解を深めるための無人機による科学探査を想定。
 - 国際動向を踏まえ、我が国の利点である小惑星探査の経験や技術を活かした独自の取組を想定。
- EML2拠点や将来の有人月・火星探査を見据え、引き続きISS計画を通じた有人宇宙技術を獲得。
- 上記については、国際協働を効果的・効率的に組み合わせて取り組むことを基本。

4. 我が国の国際宇宙探査への考え方(2/3)

月探査においては、探査候補地が複数存在することから、目的を精査しながら、科学コミュニティでの議論状況、国際動向などを踏まえて総合的に候補地を決定する。

月探査候補地	利用可能性	月の科学	国際動向
南極域	<ul style="list-style-type: none"> ・将来の有人拠点形成の資源として期待される水氷の存在可能性が指摘されている。 ・長期間の日照が確保でき、多様で長期にわたる探査や宇宙技術実証が可能。 	揮発性成分(水)の調査とともに、月裏側で発生した地震の直接計測ができる可能性があり、 <u>月震計等を使った月内部構造探査</u> としての価値も高い。	長期間の日照が確保できる地点は限られており、 <u>他国も月南極探査の計画を構想中</u> 。
月の海(表側)	<ul style="list-style-type: none"> ・常に地球を向いており<u>常時直接通信</u>が可能。 ・長期間の越夜によるエネルギー確保・昼夜の温度差に課題。 ・水氷は可能性は低い。 	<u>月の年代決定探査や熱源元素量の測定に最適</u> であり、科学的意義は高い。	
月の表面(裏側)	<ul style="list-style-type: none"> ・常に地球から見えないため、通信確保や長期間の越夜によるエネルギー確保・昼夜の温度差に課題 	<u>直接月の裏側の岩石を採取可能</u> であり、また <u>地殻調査に最適</u> であることから科学的意義は高い。	
縦孔(表側・月の海)	<ul style="list-style-type: none"> ・地下空洞であるため、<u>放射線防護が容易</u>であり、<u>昼夜の温暖差が小さい</u>。 ・月面拠点に適している(溶岩チューブの存在が確認出来ることが前提) ・大量の水氷は存在しない可能性が高い ・長期間の越夜によるエネルギー確保が課題。 	月の海に位置しており、放射能を多く含むPKT領域に含まれるため、科学的意義もある。	

4. 我が国の国際宇宙探査への考え方(3/3)

■ 火星探査

- 「はやぶさ」「はやぶさ2」等にて培った我が国の深宇宙探査技術の優位性を活かして、当面は、JAXA宇宙科学研究所がとりまとめる宇宙科学・探査ロードマップと整合をさせる形で、無人機による科学探査を行うことを基本とする。

■ 低軌道・月近傍

- 当面は、ISSの2024年までの運用を通じて、有人宇宙技術を獲得することを基本とする。
- ISSの次のステップの候補として検討されているEML2拠点又は有人月拠点を見据え、また、地上が抱える社会的課題の解決への波及効果を踏まえ、水・空気再生技術、放射線防護技術、宇宙医学・健康管理技術、深宇宙輸送技術を中心に取り組むことを基本とする。

参考1

宇宙探査に関する国際動向分析

低軌道に関する国際動向分析

＜現状＞

- ◆ 日本・米国・ロシア・欧州・カナダの協力による国際宇宙ステーション(ISS)を運用中。各極ともに少なくとも2020年まで運用を継続する意向。これまでに83か国以上がISSでの宇宙実験等に参加している。
- ◆ 中国は、2012年と2013年に、有人宇宙船「神舟」が宇宙実験室「天宮1号」にドッキングし、低軌道における短期宇宙滞在を実現。2016年に「天宮2号」を打ち上げ低軌道ステーションの新技术実証を行った後、2022年に独自の常時滞在型有人ステーション「天宮」を完成させることを計画中。ISEFや国連において「天宮」を通じた他国(特に途上国)への実験機会提供をアピールしている。
- ◆ 米国は、2024年までのISS運用継続を決定、ISS参加各極に対し2021年以降の参加継続を呼びかけている。
- ◆ ロシア連邦宇宙庁(ロスコスモス)科学技術評議会は、2024年までのISS参加継続と、24年以降に独自の高緯度ステーションを建設する計画を含む「有人宇宙飛行開発コンセプト」を承認。現在、ロシア政府内にて、昨年、連邦宇宙庁から提出された「2025年までの国家宇宙プログラム案」について審査中であり、今後、政府として決定される。
- ◆ 欧州のISS延長への参加是非については、2016年のESA閣僚級理事会までに決定される見通し。
- ◆ NASAは、将来の民間を主体とした活動の活発化(いわゆる低軌道の商業化)を目標とし、民間企業による物資輸送サービスの調達、有人機開発の支援及び滞在モジュール開発への協力を行っている。



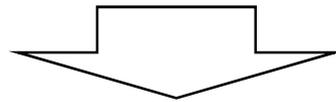
【分析】

- 仮にISSが延長されない場合、2022年以降は中国のみが宇宙空間に人を滞在させる能力を有することになり、宇宙開発分野のパワーバランスが大きく変動する可能性。
- ポストISSや将来の低軌道の民生利用を見据えた取組を各国が実施。

月探査に関する国際動向分析

<現状>

- ◆ リモートセンシングによる月表面探査は、かぐや(日)、LRO、LADEE(米)により十分なデータが蓄積されつつある。
- ◆ 米国は、月を火星探査技術の実証の場とし、「その場」資源抽出技術に重点。露は、有人月面基地の準備としての月探査に重視。
- ◆ 欧州は、露との協力による月着陸探査を志向。日本との協力も視野。
- ◆ 中国は、主導権確保のための無人月着陸・サンプルリターン技術の獲得を重視。将来的は有人月面基地を目指すとしている。
- ◆ インドは、独自の月面着陸ミッションを計画している。
- ◆ 民間レベルの月探査として、月着陸、月面移動、地球への動画配信等ミッションを達成したチームに順位等に応じて賞金が与えられるGoogle Lunar X-Prizeが運営されており、17のチームが参加中。期限の2016年末に向けてローバー、ランダー等開発が進められている。



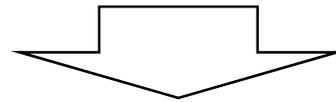
【分 析】

- 月面着陸やサンプルリターンによる現地における詳細調査が主流となり、民間を含めた国際的な競争・協力が活発化する見込み。
- 我が国の参画の遅れは、将来の月面利用活動の場や権益、科学的成果の獲得の機会を失うとともに、国際的発言力の低下を招く恐れ。

月近傍に関する国際動向分析

<現状>

- ◆ 米国の小惑星捕獲ミッションにおいて、捕獲した小惑星をEML2に運ぶことが計画されている他には、現在のところEML2での活動に関して具体的な計画を保有している国はない。
- ◆ ISS参加国の宇宙機関間では、2020年代前半のEML2に新たな有人滞在施設を建設することの技術的な実現性等についての検討が行われている。



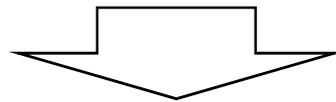
【分析】

- 我が国にとって有利なISSの枠組みをベースとした新たな有人滞在拠点形成の可能性。
- 引き続き国際動向に注視するとともに、我が国も引き続き有人宇宙技術の獲得を進めることが必要。

小惑星探査に関する国際動向分析

<現状>

- ◆ 「はやぶさ」のイトカワへの着陸、イトカワからのサンプルリターンの実績により、日本が一步リード。
- ◆ 2014年12月3日、「はやぶさ2」の打ち上げに成功。2018年夏頃小惑星「1999JU3」へ到着後、1年ほどかけて科学観測・試料採取を行い、2020年末に地球帰還を予定。
- ◆ 米国初の小惑星探査ミッション「OSIRIS-REx」(2016年9月打上げ予定)と協力関係を締結。
- ◆ 米国は、有人火星探査に繋がるステップの一環として小惑星捕獲ミッションを計画中で、最新の計画によると、無人捕獲機を最速で2020年に打ち上げ、小惑星においてサンプルを捕獲した後、5年ほどかけて電気推進により月軌道に移動させ、2020年代半ばにSLS/Orionにより有人探査を行う予定。なお、行先の候補は現在3つに絞られており、「はやぶさ」の到達した「イトカワ」、「OSIRIS-REx」の行先である「Bennu」も含まれている。行先は2019年に決定される見込み。



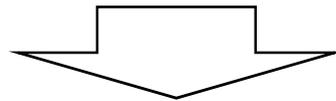
【分析】

- 小惑星の分野では他国をリードしているが、他国も追従。
- 世界をリードする我が国の小惑星探査の経験や技術を、今後の国際宇宙探査においても最大限活かすことが効果的

火星探査に関する国際動向分析

<現状>

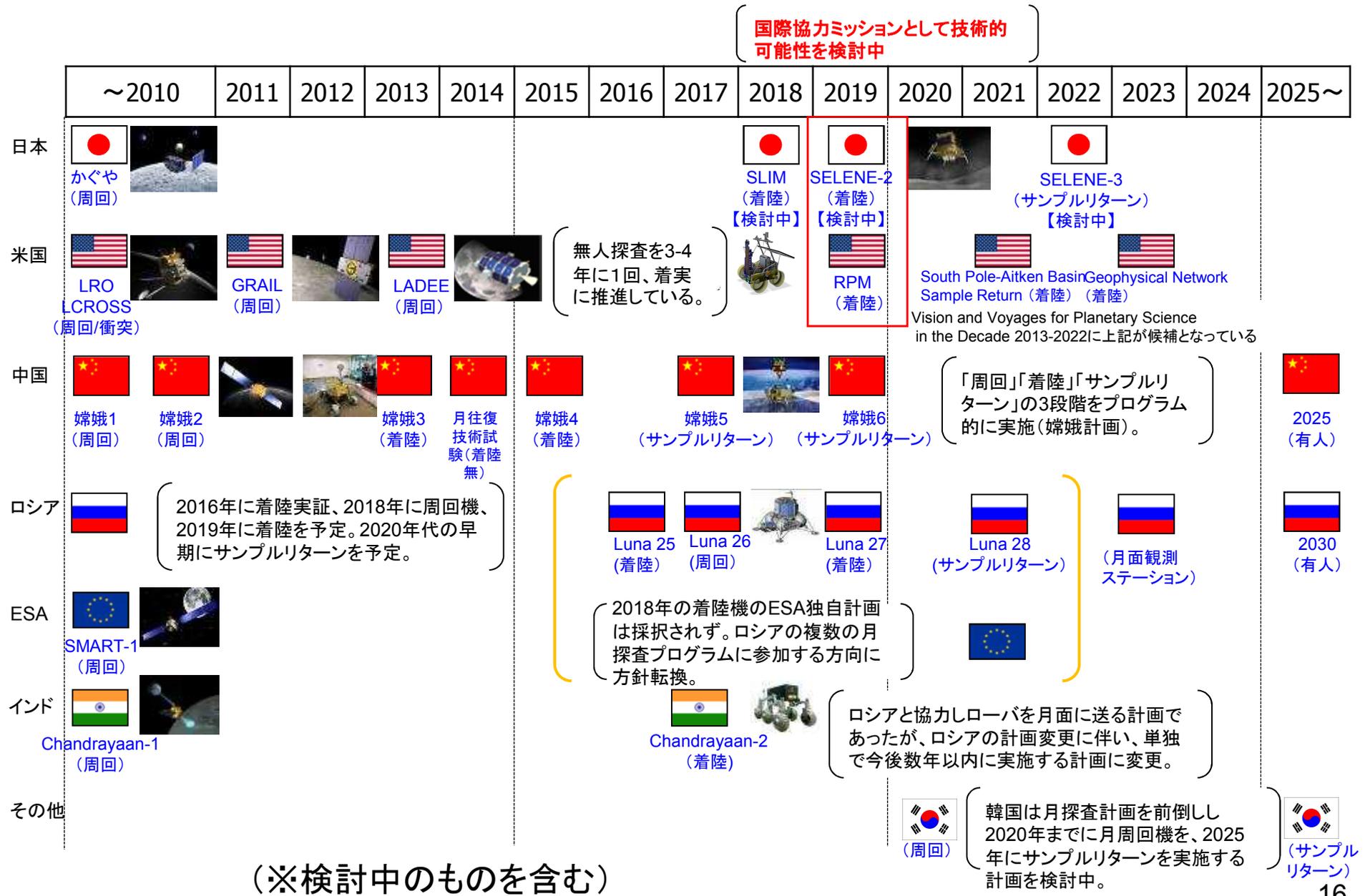
- ◆ リモートセンシング、無人着陸／表面移動による科学探査において、数の面でも規模の面でも米国が圧倒的に世界をリード（例えば、探査機キュリオシティは打上げと運用費を含む総額は25億ドル）。他国は欧州、露、インドが火星周回軌道へ到達したのみ。
- ◆ 米国は、火星における生命や水の探索に主眼をおいた科学探査とともに、将来の有人探査に向けたデータを蓄積している。火星からのサンプルリターンは構想の段階。
- ◆ 無人火星着陸技術は米国のみが有しているが、欧州、露、中国が火星への着陸を目指している。欧州は露と協力。
- ◆ 将来の有人火星探査に向けた着陸技術については、大型着陸船の着陸技術の開発が必要であるため、米国がインフレーターブル突入機などの要素技術を研究中。



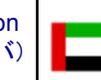
【分 析】

- 米は大規模な予算を投入し大型着陸機・探査機による無人探査を推進。欧・露も我が国を一步リード。
- 我が国が同様のアプローチで競争することは効果的ではない。

参考：月探査の各国動向



参考：火星・小惑星探査の各国動向

探査対象	2010 ~	2011 ~	2015 ~	2020 ~
火星	  Phoenix (着陸)   MRO (周回)   ME (周回)	  MSL (ローバ)   MAVEN (周回)   Mangalyaan (周回)	  InSight (着陸)   Mars Mission (周回、ローバ)   ExoMars2016 (周回)    ExoMars2018 (ローバ)	 Mars2020 (ローバ)  Mars Orbiter (周回) (米・欧が主導。平均 3年の一機程度。)
小惑星	  はやぶさ (小惑星・サンプルリターン)   Dawn (小惑星・周回)   Rosetta (彗星・着陸)	 はやぶさ2 (小惑星・サンプルリターン)	  OSIRIS-REx (小惑星・サンプルリターン)	(日本が世界をリード。)  ARM (小惑星・捕獲/有人サンプルリターン) ※無人ミッションは2020頃 有人ミッションは2020年代半ば予定

参考2

宇宙活動に関する将来展望

宇宙活動に対する将来展望

■ 短期的な視点(10~20年程度)

- ◆ 新たな宇宙活動の段階に向け、無人探査機による月・火星の科学探査と月の利用可能性(資源、場)の調査、月周辺における有人探査技術の実証が活発化すると想定。
- ◆ 低軌道利用は、徐々に民間主体に移行。

■ 長期的な視点(30年以降)

- ◆ 低軌道利用の次の段階として、人類の活動領域を更に拡大し、月以遠へと新たな宇宙活動が展開され、長期的には月の有人滞在が定着(※)するとともに、火星における有人活動が本格的に行われることが想定。

(※) 月面有人滞在

以下を考慮すると、月以遠の拠点の候補地として、月面が最も可能性のある対象地。

- ◆ 惑星科学へ資する科学知見の獲得
- ◆ 「資源」の利用(鉱物、エネルギー等)
- ◆ 「場」としての利用(科学観測、天文観測)
- ◆ 宇宙観光等、民間企業の参加による月への経済圏の拡大



図1-1. 将来の宇宙活動イメージ(30年後)

参考3

月探査のステップ(案)

(出典)

第11回 ISS・国際宇宙探査小委員会

資料11-1 国際宇宙探査の進め方について(JAXA案)

月探査のステップ(案)

【済】

フェーズ①: 月表面の全球観測

- 月周回軌道からのリモートセンシング

資源調査

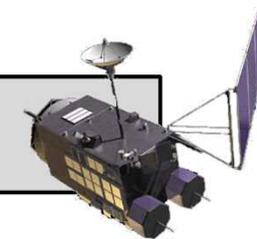
- 表面分布調査

環境調査

- 月面の数値標高モデルの作成
⇒ 月面の日照条件の推定等
- 放射線、ダスト等

科学探査

- 月のグローバルな物質・地形・重力・磁場探査



かぐや(月周回)

- ◆ かぐや等の成果から、エネルギー確保・水存在可能性から南極域に最有力の候補地点を識別

フェーズ②: 無人月面着陸探査による月利用の可能性調査・実証

- 揮発性物質(水・氷)等の、
- 形態、存在量、特性の調査
 - 抽出・利用の実証・評価

- 日照状況、エネルギー確保(太陽発電)実証
- 放射線環境、ダスト環境、地盤調査

- 月科学の課題例(*)
- 裏側地殻探査
 - 地震計ネットワーク
 - 極域探査

フェーズ③に向け戦略的に実施



ロボティクス月着陸探査

(*)資料10-2「月探査の意義について」より

- ◆ 調査結果をもとに、月面長期有人滞在の可能性、方法、地点を検討

- ◆ 検討結果や国際情勢を反映して月の本格的利用について判断

フェーズ③: 月の本格的利用(国際宇宙探査における月での有人活動)

国際協力で実施

オプションA: 月面有人長期滞在 + 軌道上有人拠点

- 有人滞在・利用拠点を月面に構築
- 短期滞在から長期滞在へ発展

オプションB: 月面有人短期滞在 + 軌道上有人拠点

- テレロボティクスによる月面探査
- 短期の有人月面探査

2020

2025

2030