資料３

先端的な宇宙開発利用の推進について
（宇宙科学、有人宇宙活動、宇宙太陽光発電等）

平 成 ２ １ 年 ３ 月 ６ 日
宇宙開発戦略本部事務局

目　　次

基本的な考え方

１．先端的な宇宙科学、有人宇宙活動の推進
　１．１　宇宙天文学
　１．２　太陽系探査
　１．３　月探査・有人宇宙活動
　１．４　宇宙環境利用

２．環境・エネルギー対策等に貢献する先端的技術開発の推進
　２．１　宇宙太陽光発電
　２．２　環境の保全対策（スペースデブリ）

基本的考え方

【先端的な宇宙開発利用への取組について】

○宇宙科学、有人宇宙活動などの先端的な宇宙開発利用は、人類に残されたフロンティアである宇宙の真理を探究するとともに、人類の活動領域を拡大するためのものであり、これらの取組を通じて活力ある社会の創造に資することが重要。

これに加え、人類が直面している世界的な環境問題やエネルギー問題などの解決に資するためにも、先端的な宇宙技術開発に取組むことが重要。

○我が国がこれまで培った技術力をベースに、最先端技術への取組に戦略的に先行投資していくことを通じて、科学技術創造立国としての日本の国際的な地位をより確固たるものにすることが重要。

○今後の計画を立案するにあたっては、我が国が主体的に計画し、国際協力を主導していける立場を重視することが重要。

1. 先端的な宇宙科学、有人宇宙活動の推進

（1）先端的な宇宙科学、有人宇宙活動の状況

○ 宇宙天文学、太陽系探査等の研究を行う宇宙科学、及び国際宇宙ステーション（ISS）を利用して宇宙環境利用研究等を行う有人宇宙活動は、世界を先導する先端的な科学技術への取組であり、科学技術創造立国の実現を目指す我が国にとって重要な分野である。

○ 宇宙科学は、太陽系や宇宙そのもの、及びそこに誕生した生命の成り立ちの謎を解き明かすことを目指した理学研究と、それを可能とする観測機や探査機などの先進的な工学研究とが一体となって、常に世界の最先端の成果を挙げてきている。そこで生み出される先端的技術は、宇宙科学以外の宇宙開発利用分野や産業などへ貢献している。

○ 有人宇宙活動としては、「きぼう」等の有人対応技術の高さや日本人宇宙飛行士の活躍により先進国の中での地位を確立すると共に、宇宙環境利用において、高齢者医療等への宇宙医学研究成果等の応用により、骨粗しょう症、尿路結石などの対策研究や宇宙での高品質蛋白質結晶化による創薬への応用など、成果が出つつある状況にある。

（2）考えられる進め方

○ 大学の拠点を通じた幅広い研究分野との融合など体制の強化も含め、引き続き世界をリードする科学的成果を目指すことを目標に取組む。

○ 実施すべき科学研究のテーマ・内容等は、理工一体となった評価・選定プロセスを尊重し決定する。

○ 宇宙科学の推進により得られる最先端技術成果を、宇宙科学以外の宇宙開発利用分野や産業などに積極的に展開する。

○ 有人宇宙活動については、ISS計画を通じた活動による成果を活かし、長期的視点に立って取組む。

1．1　宇宙天文学

（1）宇宙天文学の目的と現状

○ 宇宙天文学は、宇宙が出来た初期の状態、宇宙がどのように進化してきたか、宇宙が現在どのような状態にあるか、などを解明することを目指しており、最終的には宇宙そのものの理解につながるものである。

○ 我が国が得意な分野を伸ばし成熟した分野として、磁気圏や高エネルギー天文学分野があり、近年X線観測衛星「すざく」によるブラックホールのまわりの時空のゆがみの高精度な観測など、世界をリードする成果を挙げている。また、赤外線や電波天文学分野なども育ちつつあり、近年赤外線観測衛星「あかり」による赤外線で輝く全天のカタログ作成など、優れた成果を挙げている。

（2）考えられる進め方

○ 宇宙天文学に関しては、今後も世界をリードする科学的成果を創出することを目指し、X線観測、赤外線観測、電波観測、その他の観測（小型飛翔体などによる）などの分野での研究を引き続き推進する。

1．2　太陽系探査

（1）太陽系探査の目的と現状

○ 太陽系探査は、太陽系が出来た当時（初期条件）の状態、太陽系の諸天体がどのように進化してきたか、太陽系が現在どのような状態にあるか、などを解明することを目指しており、最終的には我々の地球の理解や太陽系惑星等の利用にもつながるものである。

○ 近年「ひので」による太陽観測、「はやぶさ」による小惑星探査や「かぐや」による月探査などの目覚しい活躍が行われているが、探査技術の進歩により多様な科学的観測が可能となってきたことから、「かぐや」のようにプロジェクトが大規模となるものがある。

（2）考えられる進め方

○ さらなる太陽系の未知の課題を解き明かし、今後も世界をリードする科学的成果を創出することを目指し、太陽、月、地球型惑星（水星、金星、火星）、さらには木星やその衛星、小惑星などを対象として、地殻構造、大気、磁気圏観測や地球外生命探査などを目的とした研究を推進する。

○ 特に大規模な探査プロジェクトに関する今後の計画立案にあたっては、研究者からのボトムアップによる科学目的を保持しつつ、トップダウンによる国家戦略としての政策的な観点とのすり合わせも踏まえ、決定する必要がある（これらを勘案した月探査計画は次項に示す）。

1．3　月探査・有人宇宙活動

1.3.1　月探査・有人宇宙活動を連携して推進する考え方

○ 太陽系の起源と進化の科学的解明において、地球に近い成り立ちを持つ月が当面の重要な目標と考えられる。また、月は資源についても未解明であり、その利用の可能性に向けた探査も期待される。これら本格的な探査には、無人探査と高度なその場判断等を可能とする有人探査を組み合わせることが必要との議論もある。

○ 将来に亘って有人宇宙活動を自在に行う能力を、現在のISSでの活動を基盤として更に高めていくことは、宇宙先進国としての我が国の地位を確固たるものとするために極めて重要である。このため、技術基盤の構築を図りつつ、総合的な観点から適時適切に検討し、将来の有人宇宙活動の能力向上に向けた取組を進めることが重要である。

○ このため、我が国が推進するプログラムとして当面月探査に重点を置き、まず第１段階として我が国の強いロボット技術を活かした探査、第２段階としてロボットと有人の連携による探査を行うというアプローチで月探査計画を検討することが考えられる。

1．3　月探査・有人宇宙活動

1.3.2　ロボット・有人技術の連携による月探査計画

（1）月探査計画の検討

我が国が世界をリードして月の起源と進化を解明し、資源利用の可能性を探るため、本格的かつ長期的な月探査計画を、具体的なスケジュールも含めて検討することが考えられる。

第１段階（２０２０年頃）

✓ 科学探査拠点構築に向けた準備として、我が国の得意とするロボット技術による高度な無人探査

（クリアすべき技術課題：月面への軟着陸技術、必要な場所に行って探査を行う宇宙ロボット技術、約2週間に及ぶ月の夜の間のエネルギーを確保する技術、月のサンプルを地球に持って帰ってくる技術など）

第２段階（２０２５～２０３０年頃）

✓ 有人対応の科学探査拠点を活用し、人とロボットの連携による本格的な探査

（クリアすべき技術課題：月まで行って帰ってくる技術、月面で人が活動するための船外活動技術、月面に滞在するための生命維持技術など）

（2）主な意義

○ 科学の先端性の発揮と人類の知的資産の蓄積（世界をリードする科学的成果、人類の活動領域の拡大）
○ 最先端技術力の蓄積（将来産業力の蓄積、人材の育成）
○ 国益の確保、国際的プレゼンスの向上（ソフトパワー、先進国としての外交力、有人活動への地歩を構築）
○ 国民の夢（国民の自信、希望、誇り）

（3）主な課題

○ 一国で全てを賄うには巨額な資金
○ 有人活動に伴うリスク

1．3　月探査・有人宇宙活動

（4）考えられる進め方

○ 総合的な観点から、シナリオや内容等について、具体的に検討を行う。

○ 検討に当たっては、ＪＡＸＡ、大学、民間企業等の総力を挙げた体制により、１～２年程度をかけて意義、目標、目指す成果、重要な技術開発項目、目標達成に向けた技術的ステップ、中長期的スケジュール、資金見積りなどの明確化を図る。必要に応じ、我が国独自の目標を保持しつつ、主要なメンバとして実施する国際協力の可能性も検討する。

○ なお、実行に当たっては、大型の計画に対する適切な評価体制の下で進める。

ロボット・有人技術の連携による月探査のイメージ

素材出典：JAXA

1．4　宇宙環境利用

（1）宇宙環境利用の目的と現状

○ 宇宙環境利用は、宇宙環境の特徴である微小重力，真空，太陽エネルギー，宇宙線などを利用して、科学的課題等の解決を図る活動である。

- ✓ 特に微小重力環境利用では，熱対流による物質移動がなく、比重の異なる物体が均一に混合されるなどの特徴を活かし、地上では得ることが難しい均質な結晶の生成などが可能。
- ✓ また、微小重力下では、骨量減少・尿路結石，筋萎縮・筋力低下など、地上における寝たきりに近い状態となるため、これらを研究する宇宙医学は、地上の高齢者医療等に応用可能。

○ 国際宇宙ステーション（ISS）については、今年「きぼう」が完成予定であり、これから本格的な利用を行っていく段階。その初期の利用については、世界トップレベルの科学的成果を狙った研究を中心に利用準備を進めており、必ずしも実用化に直結する課題に重点は置いていなかった。

○ 一方、骨粗しょう症の予防薬の効果確認などの高齢者医療等への応用や、宇宙での高品質蛋白質結晶化による創薬への応用など、実用化に繋がる宇宙環境利用の成果が出つつある状況にある。

○ ISSの運用については、国際的に2016年以降の計画が具体化されておらず、参加各極（日、米、露、欧、加）の宇宙機関間で、運用延長について議論が開始された段階。

（2）考えられる進め方

○「きぼう」の利用は始まったばかりではあるものの、我が国として成果の出つつある創薬・医療分野や、食料、エネルギー、ナノ材料など社会のニーズに対応した実用化を目指した課題に重点化しつつ、衣食住や高齢者社会における排泄の問題など生活に密着した利用や、アジア唯一のISS参加国として「きぼう」のアジア利用などを推進。

○ 微小重力を利用した科学研究については、引き続き世界をリードする成果を目指した課題を選定し推進。

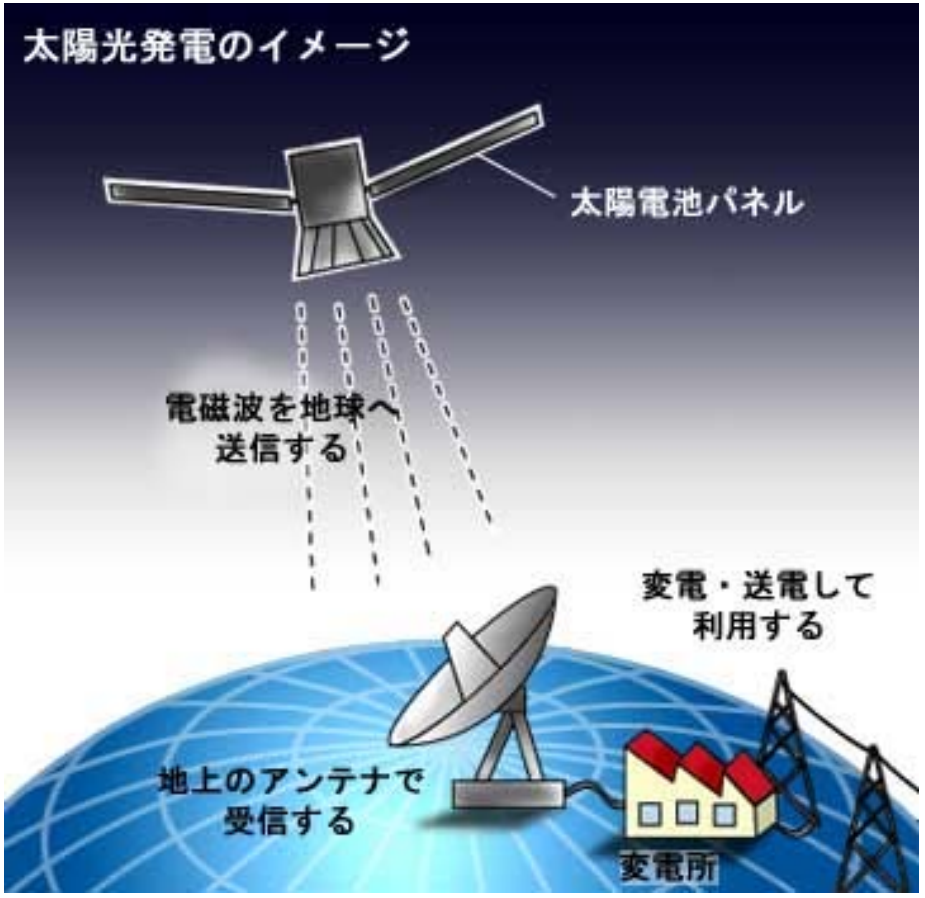
○ 2016年以降のISSの運用延長は、それまでの利用の成果や、我が国の将来の有人宇宙計画、諸外国の状況などを総合的に勘案して判断。

2. 環境・エネルギー対策等に貢献する先端的技術開発の推進
2．1　宇宙太陽光発電

【宇宙太陽光発電とは】

　宇宙太陽光発電は、宇宙空間において太陽エネルギーを集め、そのエネルギーを地上へ伝送して、地上において電力等として利用する新しいエネルギーシステムである。

　環境に優しい自然エネルギーを利用した低CO_2発電システムのうち、太陽光発電は、住宅の屋根に設置されるなどの普及が進んでおり、今後大規模な発電所も検討されているが、宇宙での太陽光発電は、地上における太陽光発電に比べ昼夜・天候に左右されず安定的に発電が可能で、約１０倍効率が良くなることが期待されている。



出典；JAXA

大きさのイメージ
１００万ｋW規模の発電所をイメージすると、２ｋｍ四方程度の大きさになる可能性があると言われている

2．1　宇宙太陽光発電

（１）実現に必要な技術

地上での太陽光発電や他のエネルギーシステムと比べ、経済的にも見合う宇宙太陽光発電の実現には、以下のような技術等が必要となる。

- 宇宙空間において効率的にエネルギーを集める技術
  - ✓　効率的に太陽光を集光する技術
  - ✓　高効率な太陽光からのエネルギー変換技術
  - ✓　宇宙での放射線による劣化を低減する技術

  など

- 宇宙から地上に効率的かつ安全にエネルギーを伝送する技術
  - ✓　効率的かつ安全に宇宙から地上に伝送する技術
  - ✓　安全性を確保するためピンポイントで伝送する技術
  - ✓　地球の大気圏を通過する際の影響の把握

  など

- 宇宙空間に大規模な構造物を建築する技術
  - ✓ 大量の物資を宇宙空間に経済的に運ぶ宇宙輸送技術
    （現在のロケットの１／１００の低コスト化目標）
  - ✓ 大規模な構造物を宇宙空間で安全かつ経済的に組み立てる技術、修理するための技術（ロボット技術や有人技術）

  など

2．1　宇宙太陽光発電

（2）研究開発の現状

○ 我が国では、米国等との情報交換を進めながら、経済産業省、文部科学省／JAXAや大学などが、それぞれ宇宙太陽光発電の実現に必要な技術研究を進めてきている。

○ 米国では、2002年までNASAが研究開発を推進。それ以降公式なプログラムはなかったものの、2007年に国防省が開発計画を発表。地上で送電実験などを実施。欧州においても、ESAなどで検討が進んでいる。

○ 宇宙太陽光発電に必要な技術の原理確認は完了、技術的には実現可能と言われており、安全性や経済性の実現も含めた個々の技術の開発や実証を段階的に実施。

（3）考えられる進め方

○ 関係機関が連携し、経済性、安全性等も含む総合的な観点からのシステム検討と並行して、エネルギー伝送技術について地上での技術実証を進める。地上技術実証結果等を踏まえ、十分な検討を行った上で、３～５年後を目処に、大気圏での影響の確認やシステム的な確認を行うための、小型衛星による軌道上実証に進む。

○ 実用化に向けた開発段階への移行については、システム検討の結果、軌道上実証による技術的見極め、他の競合技術との比較、所要経費等についての検討を踏まえた上で判断する。

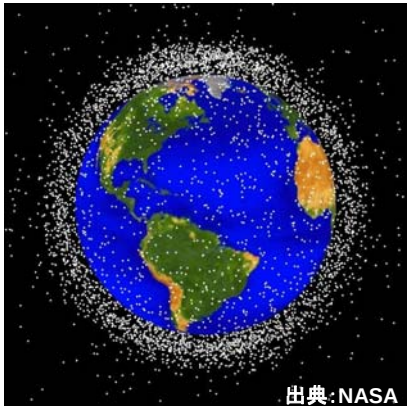
2．2　環境の保全対策（スペースデブリ）

【スペースデブリとは】

スペースデブリとは、運用を停止した人工衛星や打ち上げたロケットの上段、爆発や衝突により発生した破片などの人工物（いわゆる宇宙ゴミ）をいう。

デブリは低高度であれば大気圏内に落下し消滅するが、ある高度以上では落下せず宇宙空間に永久に存在してしまうため、衝突などの問題となる。現在、周回軌道上に12,000個以上のデブリがあるといわれている。

０７年の中国の衛星破壊実験や０９年の米露衛星衝突によってデブリはさらに増大。今後、デブリ同士の衝突連鎖によって破片数が急増することも予想され（いわゆるデブリ・シンドローム）、デブリとの衝突による人工衛星の機能停止や国際宇宙ステーション等の有人宇宙活動への影響が懸念される。



周回軌道上のデブリ　（白点がデブリ）

{ 10cm以上のデブリの場合、約1km²あたり年間1個程度通過（出典;NASA） }

（１）環境保全の意義

我が国の宇宙開発利用は、気象や通信・放送など国民の日常生活に深く浸透し、既に不可欠な存在。今後、宇宙の利用機会は益々増大する傾向。他方、軌道上に存在するデブリは宇宙開発利用の環境に影響を及ぼす要因。安全かつ安定して宇宙を利用できるように宇宙環境を保全することは、宇宙利用を推進する我が国としての責務。そのため、我が国は宇宙の環境に配慮した施策を講じる必要がある。

（２）考えられる進め方

○スペースデブリ等の状況把握（JAXA等の機能や、今後防衛省等の機能を含めた有効活用 など）

○デブリ発生の最小化措置（国連等のガイドライン※１への対応、デブリ除去技術に関する研究開発　など）

※１　スペースデブリ削減ガイドラインには、例えば通常運用時のデブリ放出制限、衛星運用終了後の廃棄、意図的破壊の回避などが示されている。

○デブリ発生を低減するための国際的な枠組み（国連、IADC※２やISO※３など）への参加

※２　IADC：国際機関間スペースデブリ調整会議　　※３　ISO：国際標準化機構

我が国のスペースデブリ観測施設（例）

美星スペースガードセンター

直径１ｍ級光学望遠鏡

出典：JAXA

（参考）宇宙基本計画の基本的な方向性について（抜粋）

【宇宙基本計画の基本的な方向性について（抜粋）　（H20.12.2）】

５．人類の夢・次世代への投資

○我が国の宇宙科学については、地球から約３億キロメートル離れた小惑星イトカワへの離着陸に成功した「はやぶさ」や、アポロ計画以来最高の解像度による月表面探査に成功した「かぐや」等が数々の科学的成果を上げているところである。宇宙における未知の課題を解き明かし科学的発見へ挑戦する月・惑星の探査、宇宙天文学等、及びこれらを可能にする工学研究などについて、我が国の強みを生かして世界をリードする宇宙科学を、自主、民主、公開、国際協力を原則とした科学コミュニティーの体制を尊重しつつ、推進する。

○国際宇宙ステーションにおける有人宇宙活動は、国民、特に次世代を担う子供達に夢を与えるものであり、引き続き着実に進めることが必要である。これら宇宙科学や国際宇宙ステーション等の取組や、関連施設の一般公開等を通じて、宇宙の魅力を伝える効率的・効果的な広報活動等を充実していく。

○ロボット技術等の我が国の得意とする技術を活かした、日本らしく、かつ国際的なプレゼンスを高める月・惑星探査プロジェクトや宇宙太陽光発電など環境・エネルギー問題への貢献に資するプロジェクト等の検討を進める。

○また、将来の有人宇宙活動の在り方についても、しっかりとした技術基盤の構築も含め検討を進める。