

## 月探査における当面の取組と進め方について（素案）

ISS・国際宇宙探査小委員会

### 1. 国際宇宙探査の基本的な考え方

ISS・国際宇宙探査小委員会においては、これまで「国際宇宙探査の在り方」※1、「国際協力による月探査計画への参画について」※2、「今後の我が国の地球低軌道活動及び国際宇宙探査の在り方（中間とりまとめ）」※3等において、国際協力による有人宇宙探査に向けた取組（国際宇宙探査）についての考え方をまとめてきており、国際宇宙探査への参画は、フロンティアの開拓や人類の活動領域の拡大とともに、外交・安全保障、産業競争力強化、科学技術イノベーション及び人材育成の観点で重要であるとしている。また、国際宇宙探査の進め方として、有人宇宙活動の先頭集団としての位置づけを国際協力の枠組みへの参加を通じて確保すること、費用対効果の観点からも我が国の独自技術の獲得も視野に入れつつ国際協力の下で効率的に進めること、宇宙科学探査を通じて得られる知見・技術を国際宇宙探査で効果的に活用するとともに国際宇宙探査が科学的な成果の創出の場ともなるよう連携すること、月・火星へのステップ・バイ・ステップアプローチを基本とすることなどを提言している。また、深宇宙補給技術、有人宇宙滞在技術、準力天体離着陸技術、重力天体探査技術などや優位性波及効果等の高い技術の獲得を進めることや、スタートアップや非宇宙産業を含む多様な民間企業の参画拡大を図ること、新たな国際協調体制やルール作りにあたってイニシアティブを発揮していくことの必要性も指摘している。

### 2. 月探査に関する動向

このような考え方の下、我が国は、2019年10月に米国が主導する月探査計画であるアルテミス計画に参画することを決定した。米国は、将来の火星有人探査も見据え、国際パートナーと共に、月面での持続的な探査を目指すこととしており、月面への有人着陸に向けて打上げロケットや宇宙船の開発を進めている。月周回有人拠点（ゲートウェイ）※4については、国際宇宙ステーション（ISS）に準拠した国際協力の枠組みの下で開発が進められており、我が国は環境制御・生命維持システムや補給機による物資輸送を提供することとしている。また、国際協力を進めるミッションとして、インドと共同で、水資源を探査する月極域探査機の開発を進めている。

月探査の将来像としての月面経済圏の規模やその発展の道筋、将来のインフラ構築は、月面での燃料製造等が可能な資源の有無に加え、宇宙輸送に係るコストの低下など今後の宇宙開発全体の進捗や蓄電技術などの技術革新等にも大きく影響されるため、現時点で明確化することは難しく、アルテミス計画においても、有人基地の規模を含め活動の全体像は段階的に明らかにされていくこととされている。米国 NASA が2022年に発表した「Moon to Mars Architecture」※5においては、月面への着陸、基礎的な探査活動、持続的な活動、火星探査に向けた取組の順に、段階的に検討を進化させるとしており、毎年更新が行われている。我が国においても、昨年度、月面活動に関するアーキテクチャについて、内閣府を中心に関係者による検討に着手したところである。

一方、月面での探査活動は、既に各国で本格化しており、今後、加速度的に活発化

1 していくと考えられる。近年では、月面着陸について、2013年に中国、2023年にイン  
2 ド、2024年に日本、更には米国の民間企業が成功している。また、現在、中国が月の  
3 裏側からのサンプルリターンを目指すミッションを実施しているほか、年末には米国  
4 の民間企業による月面における水資源探査が計画されている。アルテミス計画におい  
5 ては、本年1月の「Moon to Mars Architecture」の改訂において、月面上の具体的  
6 なインフラとして与圧ローバ※6と曝露ローバ※7が追加され、4月には、日本が与圧  
7 ローバを開発することを発表するとともに、NASAは曝露ローバの開発事業者候補を選  
8 定したところである。

### 10 3. 月探査等に関する当面の取組

12 月面探査が本格化している状況を踏まえ、1.の基本的な考え方の下、我が国とし  
13 て、アルテミス計画への貢献を着実に実施するとともに、将来的な月面開発にも資す  
14 る調査研究や技術実証を戦略的に推進し、そのための月面実証の機会を確保していく  
15 必要がある。また、持続的な活動のための基盤の構築やアルテミス計画による将来の  
16 火星探査を視野に入れた取組も推進していくことが重要である。

17 月探査に関し文部科学省として当面取り組むべき項目とその進め方については、以  
18 下の通りである。

#### 20 (1) 月面における調査活動

##### 21 ①水資源等に関する調査

22 月面活動を今後活発化させていくためには、地球からの輸送に頼らず、月において  
23 その場で資源を調達することが必要になると考えられる。月には水や金属の存在が確  
24 認されているが、水は資源としての可能性が高く、電気分解等により水素と酸素を得  
25 ることができれば、月面活動のエネルギー源や有人活動の資源、火星探査等に向けた  
26 ロケットの推進薬の製造に利用できる可能性がある。

27 これまで、月周回からの探査機の観測により月極域の地下1m程度に水素の存在を  
28 示すデータが得られているなど、月には、水素あるいは水氷が存在すると考えられて  
29 いる。一方で、その存在量や存在形態などは明らかになっておらず、資源としての利  
30 用可能性や適切な利用方法については分かっていない。このため、含水率、環境条件  
31 による水の分布、水の抽出し易さ(吸着水、水酸基)を定量的に調査し、水の現地資  
32 源としての利用可能性を判断することは重要な課題である。米国、欧州、中国、イン  
33 ド等の諸外国においても、水資源に注目が集まっており、探査に向けた着陸機等の開  
34 発も進んでいる。

35 我が国においては、水資源を探査する月極域探査機(LUPEX:Lunar Polar  
36 Exploration)を国際ミッションとして進めており、JAXAが打上げと探査ローバの開発  
37 を行い、インド宇宙研究機関(ISRO)が着陸機を提供するほか、NASAと欧州宇宙機関  
38 (ESA)が観測機器を提供する予定である。このミッションでは、月極域において月面  
39 を掘削し、深さ最大約1.5mからサンプルを採取し、その場で分析を行うことが予定さ  
40 れており、含水率の直接計測や高精度な水の垂直分布のマッピングなど世界初の成果  
41 が期待されている。また、水資源のマッピングについては、月面を周回軌道から観測  
42 し、水平分布を明らかにするセンシング技術の開発も総務省を中心に進められてい  
43 る。

44 LUPEXについては、早期に基本設計以降の具体的な共同開発に移行し、2020年代中頃  
45 の打上げを実現することで、他国に先駆けて水資源の利用可能性を明らかにすること

1 が重要である。また、水資源に関して国際的なリーダーシップを発揮していくことも  
2 含めて、LUPEX 後を見据え、今後の戦略的な水資源の調査の在り方を関係省庁と連携し  
3 つつ検討しておくことは重要である。あわせて、金属資源等の水以外の資源の存在量  
4 や場所、活用方法の調査に関する検討を進めていくことが望まれる。

## 6 ②科学的知見の創出

7 科学的知見の創出の観点からは、月そのものの調査分析を通じた月の起源や進化・  
8 分化の解明や太陽系形成の過程の解明、月面から天文観測など月面を活用した観測に  
9 による宇宙の理解の深化などが期待されている。さらに、月面において工学的な実証を  
10 行うことは、月以遠での科学探査技術の獲得のためにも必要である。

11 科学コミュニティにおいては、「月面3科学」(①月面からの天体観測(月面天文  
12 台)、②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、③月震計ネット  
13 ワークによる月内部構造の把握)を取り組むべき目標として挙げており、宇宙基本計  
14 画でもその具体化を進めることとしている。

15 月そのものの観測については、サンプル採取に加えて、月震計により内部構造を把  
16 握することが可能となる。また、月面を活用した観測としては、月面天文台が検討さ  
17 れている。月面の裏側は、大気がないことに加え、地球からの電波妨害もないため、  
18 天体観測において良好な環境である。このため、月面の裏側に、低周波(1~50MHz)  
19 の電波を受信するアンテナを設置することにより、宇宙誕生初期の理解等に向けた観  
20 測を行うことができる。

21 「月面3科学」については、段階的に調査を進めていくことが現実的である。ま  
22 た、それぞれの活動が相乗効果を生み出すとともに、アルテミス計画の進展とも相乗  
23 効果を生み出すものとなるよう具体化を図っていくことが重要である。また、月面天  
24 文台や月震計については、本格的な観測の実現には複数の機器の設置が必要になるた  
25 め一国で担うのは困難であり、国際協力による推進が必要不可欠である。

26 学術的な価値を世界に先駆けて創出するだけでなく、国際協力に向けた議論のリー  
27 ドや観測機器の国際スタンダードの獲得、産業競争力への貢献の観点からは、他国よ  
28 り早く月面における実証を行うことが必要である。広範な月面探査を可能とする有人  
29 与圧ローバの打上げ時期を踏まえると、2020年代後半を目標として、月面における技  
30 術実証を実現することが重要である。

## 32 (2) アルテミス計画の構成要素の提供

### 33 ①有人与圧ローバの開発

34 本年4月に、アルテミス計画において、国際パートナーによる月面活動での具体的  
35 な協力としては初めてとなる「与圧ローバによる月面探査の実施取決め」※8に文部  
36 科学大臣とNASA長官が署名した。この実施取決めでは、日本による有人与圧ローバの  
37 提供と米国による日本人宇宙飛行士の2回の月面着陸の提供等を規定している。ま  
38 た、あわせて、日米共同首脳声明においては日本人宇宙飛行士が「米国人以外として  
39 は初めて月面に着陸する」という共通の目標も発表され、国内外で大きな注目を集め  
40 た。

41 有人与圧ローバは、月面における長距離の移動機能と居住機能を兼ね備え、有人の  
42 月面探査範囲を飛躍的に拡大するなど、唯一無二の重要な役割を果たすことが期待さ  
43 れている。10年間という長い期間、安定的に運用するためには複数の新たな技術開発  
44 が必要となる。例えば、地上とは異なる重力や地表面に対応する月面走行システム、  
45 月面の長い夜を乗り越えるために必要な大容量のエネルギーを高密度で蓄電するシス

1 テム、大きな面積を有しつつ収納可能な太陽電池パネルなどの技術開発である。これ  
2 らの技術については、月面をはじめとする宇宙探査に応用可能なだけでなく、自動運  
3 転や再生型燃料電池など地上への波及効果も期待できる。また、このような革新的・  
4 挑戦的な技術開発を通じて、我が国の技術力や開発プロセスそのものの底上げにもつ  
5 ながることが期待できる。

6 現在、全体のシステムの実現に向けたフロントローディングとして、開発上の重要  
7 な技術について要素試作試験等を実施しているところであるが、その結果を踏まえつ  
8 つ、2031年の打上げを目指し、早期に本格的な開発に着手することが必要である。

## 9 10 ②月測位システムの確立に向けた技術開発

11 月面の着陸や探査活動を効率的に実施するためには、探査機等が自己位置を正確に  
12 把握するための月測位システムが必要となる。将来の月探査における測位インフラの  
13 構築に向けては、欧米の宇宙機関を中心に検討が進んでいる LunaNet 構想※9と呼ば  
14 れる国際的検討があり、この検討には日本も初期段階から参画している。当該構想に  
15 においては、月測位インフラの相互運用性を確保するための仕様やフォーマット、要求  
16 等の検討・調整が進められており、シナリオ案としては、2028年頃を目標に欧米と共  
17 同で月測位システムに関する技術実証を実施するとともに、2030年代半ばを目途に  
18 ELF0※10の2軌道面に計8機の衛星コンステレーションを構築することが提案されて  
19 いる。

20 月測位システムは、我が国の産学官の活動においても重要となる可能性が高く、我  
21 が国がその一翼を担う可能性があるインフラの一つである。具体的には、我が国の民  
22 間企業等が月周回測位衛星の開発や運用サービスを受託することが考えられる。この  
23 ためには、月測位システムに関する技術実証を欧米と同時期に実施し、我が国の強み  
24 を更に明確化し、国際的な構想の議論の中で、我が国としても技術要求等を積極的に  
25 示し貢献していくことが求められる。宇宙戦略基金においては、このような考え方  
26 の下、「月測位システム技術」が技術開発テーマとして設定されているが、この技術の実  
27 証を早期に実施し、戦略的に国際的な議論に参加していくことが必要である。

28 なお、上記のシナリオ案では、月測位システムと月通信システムとを一体として整  
29 備していく考え方が示されており、既に月-地球間の通信システムについて検討を開始  
30 している関係省庁と連携しつつ進めていくことは重要である。

## 31 32 (3) 月面への輸送能力・機会の確保

33 前述の月面における調査活動や測位衛星等の技術実証を行うとともに、今後の月面  
34 開発に向けた技術開発を1.の基本的な考え方に沿って実施するためには、観測機器  
35 や実証機器等のペイロードを月面に自立性・自在性を持って輸送することが重要であ  
36 る。

37 月面着陸技術については、各国で開発が進んでおり、近年では、中国が2013年に、  
38 インドが2023年に無人探査機による月面着陸を成功させている。また、米国において  
39 は、自国の民間企業による月面輸送サービスの確立が持続的かつ効率的な米国の月面  
40 探査活動に不可欠であるとの考え方の下、2017年からNASAが商業月面ペイロード輸送  
41 サービス (CLPS:Commercial Lunar Payload Services) プログラム※11を実施してい  
42 る。このプログラムでは、観測機器などのペイロードの月面への輸送サービスを複数  
43 の米国の民間企業から調達することを通じて、民間参入の促進等を目指しており、本  
44 年2月には米国の民間企業が開発した着陸機が、民間企業としては世界初、米国にと  
45 っても1972年以来の月面着陸を果たしている。

1 我が国においては、本年1月に JAXA の小型月着陸実証機 (SLIM) が世界初の月面に  
2 おける 100m 精度のピンポイント着陸に成功するとともに、その後も月面において過酷  
3 な温度環境となる夜を越えて運用を継続する越夜に複数回成功している。また、民間  
4 事業として、米国の民間企業と共同で CLPS に参加するなど、月面輸送の事業化を目指  
5 す民間企業が現れている。

6 このような状況に鑑み、日本の企業が国際的な競争力を確保しつつ月面輸送サービ  
7 スを提供することを通じて、自立的・持続的な月面活動を実施していくことを我が国  
8 としても目指すべきである。

9 また、例えば、今月2日には世界初となる月の裏側からのサンプルリターンを目指  
10 す探査機である中国の「嫦娥6号」が月面着陸に成功するなど、各国において月面に  
11 おける活動機会を確保する動きが活発化するなかで、将来の市場形成に向けた規範・  
12 ルール形成も必要となってくると考えられる。現在、複数のミッション間での活動の  
13 重複や衝突を防止するため、情報提供による透明性の確保や、安全区域の設定につ  
14 いては、米国を中心に我が国も参画するアルテミス合意※12において検討が進められて  
15 いるが、国際的な規範・ルール形成では、先行して多くの活動実績を積み重ねた国が  
16 実質的に大きな影響を有することになると考えられる。月面において民間活動が活発  
17 に実施されることは、今後の国際的なルールづくりにおける我が国の発言力の確保の  
18 観点からも重要である。

19 事業化を成功させるためには、国の事業だけではなく、民間や世界各国から受注を  
20 得ることが不可欠であり、国際競争力の強化が鍵となる。世界的にも注目度が高い高  
21 精度着陸技術と越夜技術について、SLIM で得られた技術や知見を我が国の民間企業に  
22 移転しつつ更に発展させ、世界に先駆けて実証することは、大きな優位性になると考  
23 えられる。このため、月極域にピンポイント着陸し一定期間継続して探査活動を行う  
24 ことを目標とする取組を民間主導で早期に実施できるよう検討が必要である。あわせ  
25 て、輸送ロケットを含め継続的な輸送サービスの在り方についても、関係省庁と連携  
26 しつつ検討していくことが必要である。

#### 27 28 (4) 将来の火星探査に向けた取組

29 火星における有人探査については、米国においても具体的な進め方はまだ明確にな  
30 っていないが、将来的なアルテミス計画の目標として明示されており、月面活動が進  
31 む中で、具体化されていくと考えられる。また、火星は地球と比較的類似した惑星で  
32 あり、過去に水が存在していたこと等を示す調査結果が得られている。このため、将  
33 来の人類にとっての資源や有人活動といった意義だけでなく、生命やその痕跡の発見  
34 や、火星の環境変化の過程の理解を通じた惑星科学の進展が期待でき、探査による科  
35 学的意義も大きい。

36 このため、我が国においては、火星において科学的な目的の調査研究を実施しつ  
37 つ、将来の有人探査への活用にも資するキー技術の開発を進めていくことが望ましい  
38 と考えられる。

39 各国の現在の取組としては、米国は、2033年の火星からのサンプルリターンを目指  
40 す Mars Sample Return 計画※13を進めているほか、中国も2030年頃の火星サンプル  
41 リターンミッションを計画している。また、日本は、火星圏の観測と2031年の火星衛  
42 星フォボスからのサンプルリターンを目指す火星衛星探査計画 (MMX) ※14を進めてい  
43 る。

44 火星衛星探査計画 (MMX) の次として、中長期的には MMX で獲得した技術を発展させ  
45 て火星本星の探査を実施することが考えられるが、まずは必要かつ重要な技術を、こ

1 れまでの深宇宙探査等における技術的蓄積を基に、我が国の民間企業の強みもいかし  
2 つつ、段階的に開発・獲得することが重要である。

3 将来の有人探査にも活用が期待でき、かつ、日本独自の革新的な技術となり得るも  
4 のとしては、大気突入・着陸技術であるエアロシェル技術※15 が考えられる。当該技  
5 術については、宇宙戦略基金において「大気突入・空力減速に係る低コスト要素技  
6 術」がテーマとして設定されており、着実に開発を進めることが重要である。また、  
7 宇宙空間での探査機等の輸送を担う軌道間輸送技術※16 についても、火星をはじめと  
8 した今後の深宇宙探査に必要な不可欠な技術であり、国際競争力確保の観点で早期の取  
9 組開始について検討すべきである。

#### 11 (5) 持続的な活動のための基盤整備

12 月面活動を持続的かつ効果的に進めるためには、非宇宙分野からの参画も含め、機  
13 関や人材の裾野を拡大し、産学官の多様なプレーヤーが支える基盤を構築していく  
14 ことが不可欠である。

15 非宇宙分野の民間企業の参入の促進については、JAXA において、2015 年に宇宙探査  
16 イノベーションハブ事業を立ち上げ、民間企業の技術シーズを宇宙探査へ応用するこ  
17 とを目指して JAXA と民間企業が共同研究を行うオープンイノベーションの仕組みを構  
18 築してきた。この 10 年間で約 250 機関以上が同事業に参画するなど、新規参入促進に  
19 ついては一定の成果が挙がってきている。月探査の本格化を踏まえれば、今後は、あ  
20 るべき月面活動のニーズを明確にした上で、地上の技術をいかした技術開発を進めて  
21 いくことが効果的であると考えられる。

22 また、大学等は、人材育成や先端的な技術開発、学術的な知識基盤の確保などを通  
23 じて、宇宙活動を支える重要な役割を担うことが期待される。一方で、個々の大学等  
24 が有するリソースは限られており、より効果的・効率的に宇宙活動を支える取組を展  
25 開するためには、各大学等の特徴や強みをいかした拠点形成とそのネットワーク化を  
26 進めることが重要となる。また、長期的な視点に立って戦略的に、必要な施設整備や  
27 留学生受入れ等の体制整備を進めていくことが重要である。

#### 29 4. その他

30 国際宇宙探査を継続、発展させてくためには、国民からの理解と支持が必要不可欠  
31 であり、月探査の意義や成果について積極的に発信することが必要である。また、国  
32 際協力を効果的に実施していく観点からは、日本の貢献について協力の相手国に対す  
33 る発信も重要である。月探査を通じて、子供たちに夢と希望を与えるとともに、次世  
34 代の人材育成につなげる観点から、日本人宇宙飛行士の月着陸等の機会を最大限活用  
35 することも重要である。引き続き、米国、欧州、アジアの各国と連携しつつ取組を進  
36 むていくことも重要であり、現在の ISS「きぼう」におけるアジア協力の取組も参考に  
37 しつつ、アジア・太平洋地域宇宙機関会議 (APRSAF) 等を活用しながら、月探査を目  
38 指す国々との協力の取組を検討することも考えられる。

42 ※1 国際宇宙探査の在り方～新たな国際協調体制に向けて～（平成 29 年 12 月 6 日宇宙開発利用  
43 部会）

44 ※2 国際協力による月探査計画への参画に向けて（令和元年 8 月 27 日宇宙開発利用部会）

45 ※3 今後の我が国の地球低軌道活動及び国際宇宙探査の在り方（中間とりまとめ）（令和 5 年 4 月  
46 28 日宇宙開発利用部会）

- 1 ※4 アルテミス計画において、持続的な月面探査に向けた中継基地として、月周回軌道の上に構築  
2 される有人拠点。2022年11月にNASAと文部科学省との間で署名された実施取決めにおい  
3 て、我が国がゲートウェイ居住棟への機器提供（環境制御・生命維持システム等）や物資補  
4 給を行い、NASAが日本人宇宙飛行士のゲートウェイ搭乗機会を1回提供することが規定され  
5 た。
- 6 ※5 与圧空間を持ち宇宙飛行士が宇宙服無しで搭乗できる月面探査車。
- 7 ※6 与圧空間を持たず宇宙飛行士が宇宙服を着用して搭乗する月面探査車。
- 8 ※7 NASAが月・火星における有人探査の目標として定めた「Moon to Mars Objectives」につい  
9 て、Objectivesを実現するために必要となる様々な構成要素や構成要素間の関係性をまとめ  
10 たもの。2022年からNASA内にて検討が開始され、2023年4月に初版の文書が公表された。
- 11 ※8 2023年6月に発効された「日・米宇宙協力に関する枠組協定」のもと、アルテミス計画にお  
12 ける与圧ローバを使用した月面探査に関して、日米の協力事項の詳細を規定した実施取決  
13 め。2024年4月に盛山文部科学大臣及びビル・ネルソンNASA長官によって署名された。
- 14 ※9 月面及び月周回において通信、ナビゲーション、測位等のサービスを提供する構想。
- 15 ※10 Elliptical Lunar Frozen Orbitの略で、安定した運用が可能な月周回の長楕円軌道。
- 16 ※11 小型科学実験機器等のペイロードの月面への輸送を米国企業からサービスとして調達する  
17 NASAのプログラム。
- 18 ※12 アルテミス計画を含む、広範な宇宙空間の各国宇宙機関による民生探査・利用の諸原則につ  
19 いて、関係各国の共通認識を示すことを目的とした法的拘束力の無い政治的宣言。日本は  
20 2020年に、米国をはじめとする7か国とともに署名。
- 21 ※13 NASAの火星探査車「Perseverance」によって採取された火星表面のサンプルを地球へ持ち帰  
22 ることを目標としてNASA及びESAにて検討が進められている計画。
- 23 ※14 Martian Moons eXplorationの略で、火星の衛星であるフォボスのサンプルを世界で初めて地  
24 球に持ち帰り含水鉱物・水・有機物等を解析することにより、原始太陽系における「有機  
25 物・水の移動、天体への供給」過程の解明に貢献し、水や有機物の存在を明らかにするとと  
26 もに、火星衛星の由来を解明することを目標とする計画。
- 27 ※15 探査機等が大気突入時に受ける熱と圧力から機体を保護し、突入速度を減少させる熱シール  
28 ドシェル。
- 29 ※16 多様な軌道に対応し物資輸送を効率的に行うための輸送技術。軌道間輸送機（OTV:Orbital  
30 Transfer Vehicle）の活用などが考えられる。