

宇宙開発と国益を考える研究会
～宇宙探査の意義～

報告書

平成 20 年 3 月

宇宙開発と国益を考える研究会

巻頭言

平成 19 年度の「宇宙開発と国益を考える研究会」の報告書が完成した。研究会としては第 3 回目の報告および政策提言となる。

第 1 回目（平成 17 年度）は、日本が宇宙開発を行う意義について、科学技術上の成果を超えて、安全保障や外交という観点からの「国益」に合致していたのかという点を根本的に問い直した。その結果、最先端の軍民両用技術である宇宙開発を行う経済力が、国際社会に対して日本の国力の反映と認められ、国際交渉を支える力として働いてきたことが確認された。また、宇宙先進国のコミュニティでの発言力や政策決定における影響力という観点からも、日本の宇宙開発能力は有益であったことが認められた。しかし、同時に、日本の宇宙開発利用における成果が日本の文化、価値観や魅力を体現したものとして広く国際的に認知され、日本の外交政策の達成に役立ってきた、といえるところまでは到達していないこともまた、痛感されることとなった。

そこで第 2 回目（平成 18 年度）は、日本の宇宙開発利用の過程や成果を、政府が遂行する外交政策実現のためにいかに活用することができるのか、「宇宙外交」の具体的方策を探ることとした。その際、日本が多国間外交において最も重視するアジア・太平洋地域に焦点を当て、日本が実施すべき方策を検討した。その結果、さまざまなタイプの「宇宙外交」の中で、日本の国力、政治体制、地政学的条件等に鑑みて適切なものは、地球規模で展開される政府間・非政府間の国際フォーラムを通じての国際貢献型であるとされ、このような貢献を通じて、日本の国益に合致した規範の設定に影響力を行使する方法を模索すべきである、という点にまず見解の一致がみられた。そして、その条件を満たした上で、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が 1993 年以来展開しているアジア太平洋宇宙機関会議(APRSAF)を日本外交の目的に資する確固たる存在に成長させていくことが、日本の宇宙外交戦略として、望ましい選択肢であるという結論が得られた。また、APRSAF の枠組で「センチネル・アジア」型の具体的なプロジェクトを継続的に実施し、地域の国際協力の礎石とすることが現在の最重要課題であるという点が強調された。

第 3 回目となる今年度は、近年、「はやぶさ」や「かぐや」をはじめとして、日本の宇宙探査の成果が世界で注目を浴びていること、世界的に宇宙機関の活動の中核が地球近傍での宇宙物体運用から月・火星を含めた深宇宙の探査に重点を移しつつあることなどを背景として、国益に資する宇宙探査のあり方について検討を行った。平成 18 年度の研究が地域という切り口からのものであるとすると、平成 19 年度は、探査という主題による切り口からの宇宙外交の方策の検討、ともいえるかもしれない。

もとより、宇宙探査は、宇宙応用と異なり、基本的には、人類が根源的にもつ知への欲求や好奇心、人類のフロンティア拡大への種として潜在的な意思などの要素に導かれて行

うものであり、国益をそこに結びつけることにはふさわしくないという考え方があるいは支配的であるかもしれない。しかし、歴史的に宇宙探査は、普遍的な人類の欲求の発露であるとともに、その時々国際情勢や国家政策の賜物としての側面を鋭く示してきたこともまた事実である。莫大な国家予算を投入して行う宇宙探査において、知の探求のみならず、その成果を日本の国益に合致するものと位置づけられるようなものとして探査を実施する方途を見出そうとするのは、むしろ当然であるともいえ、それは、探査の純粹さをいささかも損なうものではない。

このような前提にたって、2007 年度に 3 回の会合をもち、本報告書の作成を行った。(メンバーの詳細については 31 頁参照)。3 回の会合は、それぞれ約 2 時間半を通常の研究会に当て、それ以降も残ることができるメンバーで軽食を取りつつ議論の続きに没頭した。この点は、前 2 回の研究会と同様であり、むしろ懇親会を兼ねた自由討論の中に示唆に富む発言が飛び出してきたこともまた、前回と同様である。ご多忙の中、長時間の研究会にご参加くださり、資料を用意し議論を尽くしてくださったメンバーの方々に厚く御礼申し上げます。

また、外部有識者として、京都大学名誉教授の木下富雄先生に宇宙探査の意義についてのヒアリングを行い、ご専門の社会心理学、リスク科学の観点からの貴重な御意見と、御提言を頂いた。木下先生の卓抜なご見解については、是非、報告書の当該箇所を熟読していただきたい。ヒアリング結果の掲載を快くお許しくださった木下先生に厚く御礼申し上げます。

最後に、事務局として、研究会準備、ヒアリング、報告書とりまとめにご尽力下さった(財)日本宇宙フォーラムのみなさまに厚く御礼申し上げます。どうもありがとうございました。

平成 20 年 3 月

「宇宙開発と国益を考える研究会」 主査 青木節子

目 次

はじめに	1
1. 各国の宇宙探査の現状	
(1) 新宇宙探査構想をめぐる国際協力の動向	1
(2) 世界各国の宇宙探査政策とねらい	2
2. これまでの宇宙探査の実績と評価	
(1) アポロ計画	7
(2) 月・惑星探査	10
(3) 天体観測	13
3. 宇宙探査の意義	
(1) 科学的意義	15
(2) 社会的意義	16
(3) 経済的意義	17
(4) 本質的な意義	17
4. 宇宙探査と日本の国益	
(1) 国益と人類益／宇宙益	18
(2) 国の威信や矜持の向上	18
(3) 世界における日本の地位の向上	19
(4) 先行者としての利益	20
(5) 交渉力を支えるバックグラウンド	21
5. 今後の検討課題	
(1) 宇宙探査の商業的価値	22
(2) 広報普及活動	22
(3) 効果的な宇宙探査の継続	23
(4) 科学ドリブンと政治的プライオリティのバランス	23
(5) 宇宙探査の軍縮への活用	24
(6) 宇宙探査を外交政策につなげるための制度作り	25
(参考資料) 報告書概要	27

(研究会会合資料)

【第1回会合資料】

- ・ 「今年度の進め方と方針について」(青木節子) 35
- ・ 「今年度国益研究会とその他の枠組みとの比較」(事務局) 37
- ・ 「宇宙探査の現状と将来計画」(JAXA) 39
- ・ 「アメリカ宇宙政策としてのアポロ計画」(渡邊浩崇) 61
- ・ 「天文観測／惑星探査の意義」(寺門和夫) 71

【第2回会合資料】

- ・ 「各国の政策文書に見る宇宙探査の意義」(事務局) 83
- ・ 「アポロ計画の成果について」(事務局) 87
- ・ 「探査機科学センサの性能比較資料」(JAXA) 97
- ・ 「月・惑星探査に関する意識調査結果(アンケート結果)」
(JAXA) 101
- ・ 「宇宙探査の意義について：ブレスト用資料」(村山裕三) 107
- ・ 「第2回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題」
(渡邊浩崇) 109
- ・ 「第2回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題」
(寺門和夫) 113

【第3回会合資料】

- ・ 「先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力
確保」(青木節子) 119
- ・ 「宇宙探査の意義について－2月8日提出資料の説明」
(村山裕三) 123
- ・ 「アポロ計画の国益への貢献」(渡邊浩崇) 125

はじめに

米国はブッシュ大統領の宇宙探査ビジョンにより、月・火星などの探査に次第に重点を移しつつあり、欧州も将来の火星探査を目指して積極的に宇宙探査活動が続けている。また、中国やインドも更なる月探査機の打ち上げを控えているなど、国際的に月・火星を含む宇宙探査への関心が高まりつつある。これらの国を始め、宇宙探査を宇宙活動の大きな柱の一つと捉えている国も多い。各国はそれぞれの国情に即した宇宙探査に係る政策を持っており、同政策に基づいて宇宙探査活動を計画・立案し、実施している。

このような国際的背景、科学的意義や国民的関心の高さという観点から、我が国においても、宇宙探査を宇宙開発の中核として推進していく環境が整いつつある。宇宙探査の意義や今後の方向性を議論することは、日本の宇宙探査戦略に一貫性を持たせていくために不可欠であり、宇宙探査がどのように日本の国益につながるのかを考える上で重要である。

本研究会では、月に限らず他の惑星や天体など全てを対象とし、宇宙探査そのものの意義、目的を中心に本質的な議論を行い、日本の国益となる宇宙探査とは何かについて検討した。

「アポロ計画」、「月・惑星探査」、「天体観測」の各ミッションがこれまで社会に与えた影響や当初の国益的意図の分析を参考に、今後の日本の宇宙探査のあり方について模索した。なお、議論の過程で、いくつかの課題や具体的な提言につながる方向性が出たものの、時間的制約もあり、より詳細に検討すべき事項は今後の課題としてまとめるにとどめた。

1. 各国の宇宙探査の現状

(1) 新宇宙探査構想をめぐる国際協力の動向

2004年1月に米国のブッシュ大統領が米国新宇宙探査構想¹を発表したことを契機として、宇宙探査をめぐる国際協力の動きが大きく進展した。米国は世界の宇宙機関に国際協力を呼びかけ、2006年8月にはそれに応じて14機関²か

¹ 2004年1月14日付米ホワイトハウス・プレスリリース

<<http://www.whitehouse.gov/news/releases/2004/01/20040114-3.html>>

² ASI（イタリア宇宙機関）、BNSC（英国国立宇宙センター）、CNES（フランス国立宇宙研究センター）、CNSA（中国国家航天局）、CSA（カナダ宇宙庁）、CSIRO（オーストラリア連邦科学産業研究機構）、DLR（ドイツ航空宇宙研究センター）、ESA（欧州宇宙機関）、ISRO（インド宇宙研究機関）、JAXA（宇宙航空研究開発機構）、KARI（韓国航空宇宙研究

らなるグローバル探査戦略（Global Exploration Strategy : GES）検討グループが結成され、国際協力枠組等の検討が開始された。14 機関は宇宙探査を基本的に国際協力で行っていく方針であり、各国の独自性を発揮しつつ全体として統一されたいわゆる、「プログラム・オブ・プログラムズ (Program of Programs)」³による緩やかな分業が志向されている。

GESでの検討を経て、日本の京都で開催された第4回GES会合において、グローバル探査戦略（フレームワーク文書）⁴が合意された。現在は、主として国際協力調整メカニズムの構築に向けた検討を進めている。

（2）世界各国の宇宙探査政策とねらい

①米国

米国は新宇宙探査構想により 2010 年頃までに国際宇宙ステーション（International Space Station : ISS）を完成・スペースシャトルを引退させ、2008 年までに無人月探査、2015 年から 2020 年までにその後の火星探査を見据えた有人月探査を実現するという地球低軌道以遠における宇宙探査のビジョンを明確にした。これにより、米国は ISS を従来の多目的な軌道上施設という位置づけから、有人宇宙探査のための研究を行う場としての利用に方向転換し、長期宇宙飛行のための科学的知見の取得、技術実証のための医学や有人技術に関する研究のために重点的に活用することとしている。

新宇宙探査構想に沿った形で、NASAは 2006 年末に有人月面拠点構想⁵を発表している。米国は国際協力によるGES検討を呼びかけた国であり、有人月面拠点構想の国際調整は、GESの枠組みを活用する一方、並行して二国間協力に向けた話し合いも進めている。米国の探査の特徴としては、有人探査に力を入れているということが挙げられ、無人着陸探査は優先度が低く、日本など他国のミッションとの協力を積極的に進めている。また、米国は当面の宇宙探査目標を有人月探査としているが、将来的には有人火星探査を目標としている。

新宇宙探査構想発表時にブッシュ大統領は宇宙探査の意義として「米国の

所)、NASA (米国航空宇宙局)、NSAU (ウクライナ国立宇宙機関) FSA (ロシア連邦宇宙局)

³ 各国による分業が相互に依存し合うことにより米国による計画変更の影響を受けた、ISS に対する反省から生まれた概念で、各国が自己完結的に対応できるプログラムを持ち、相互依存性にあまり重きを置かないものの、全体としては統一されたプログラムとなるプロジェクトの進め方。

⁴ 2007 年 5 月 31 日付 JAXA プレスリリース
<http://www.jaxa.jp/press/2007/05/20070531_ges_j.html>

⁵ 2006 年 12 月 27 日付 NASA プレスリリース
<http://www.nasa.gov/home/hqnews/2006/dec/HQ_06376_Year_Ender.html>

リーダーシップ」と「開拓精神」を挙げており、宇宙探査の目的を科学技術力の向上、安全保障能力の向上、経済への貢献であるとしている。

また、2006年10月6日に発表された米国の国家宇宙政策では、宇宙探査・利用の政策目標として、指導力強化、安全保障、宇宙科学、商業部門の強化、安全保障・商業部門を支える科学技術基盤の維持強化、国際協力を挙げており、宇宙科学の目標を、(ア)太陽系に人間活動を拡大するという目的で、革新的な有人およびロボットによる探査プログラムを実施し続けること、および(イ)民生探査、科学的発見および環境活動の利益を増加させること、としている。国際宇宙協力においては、宇宙応用についての国際協力の促進を進めており、宇宙探査を国際協力の対象として用いることにより、他国が米国の政策を支持するようになり、かつ、米国の宇宙産業進展に資するというねらいが記述される。

米国では現在、月有人探査のための次世代有人宇宙船「オライオン(Orion)」、月着陸船「アルテア(Altair)」の開発が急ピッチで進められており、その先には火星への有人探査も見据えているものとみられる。米国の当面の無人月探査は、着陸場所の選定(南極のシャクルトン・クレーターに決まりつつあるようである)と、その場所の環境調査が主な目的になると思われる。「かぐや」のデータを有効に使いながら、「Lunar Reconnaissance Orbiter(LRO)」で着陸候補地点の重点的な観測を行う。

米国は2005年に新しい火星周回機「Mars Reconnaissance Orbiter(MRO)」を打ち上げ、現在、高解像度撮像装置「High Resolution Imaging Science Experiment(HiRISE)」などでの観測を行っている。2007年には着陸機「フェニックス(Phoenix)」が打ち上げられており、本年5月に着陸予定である。2009年には次世代の火星ローバ「マーズ・サイエンス・ラボラトリー(Mars Science Laboratory)」が打ち上げの予定である。これらの意欲的なミッションによって、火星の科学的探査は大きな進展をみせることはまちがいない。また、これらの科学ミッションは、将来の火星有人探査に向けた事前調査(着陸地点の選定、着陸場所の環境調査等)の側面も持っていると思われる。

②欧州

欧州委員会(European Commission:EC)と欧州宇宙機関(European Space Agency:ESA)長官の共同文書として2007年4月に発表された初の欧州宇宙政策⁶の中で、宇宙探査の意義として「新知識獲得への貢献」、「イノベーションの創出」、「宇宙関連の新たな企業や研究機関の創出」を挙げている。欧州の宇

⁶ Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - European Space Policy <http://ec.europa.eu/enterprise/space/doc_pdf/com_en.pdf>

宇宙探査活動においては、宇宙の産業化も一つの大きな目的として掲げられている。同政策は欧州の国際協力保持をいかにして維持向上させるかに力点をおいた文書であり、宇宙システムにおけるリーダーシップ、国際プログラムに対して第一流の貢献をする国際パートナーとしての立場を保持しなければ欧州の戦略的利益を確保し得ないという前提に立って目標が立てられており、宇宙探査も欧州が重要でない（“irrelevant”）立場に追いやられないよう、必ず先端集団の一員となっておかなければならない活動として位置づけられていると考えられる。

ESAの有人宇宙探査活動は「オーロラ計画（Aurora Programme）」⁷の中で、それ以外の宇宙探査・科学ミッションは「Cosmic Vision」⁸の中で実施されている。オーロラ計画は有人火星探査に主眼をおいており、その前段として月探査を位置づけている。

欧州各国はESAの枠内で宇宙探査に取り組んでいる国が多いが、いくつかの主要宇宙活動国は独自の宇宙探査プログラムも有している。例えば、ドイツは月探査計画「Mona Lisa」の一環として月周回機と着陸機ミッションを検討しており、イタリアは月周回探査やロボット月面天文台建設の構想を持っている。英国はペネトレータを積んだ月周回機「MoonLite」や着陸機「MoonRaker」を計画している。また、欧州各国は概してGES活動に積極的であり、国際協力を重視して宇宙探査を進める方針を持っている。

欧州はこれまで、太陽系の探査に関していくつもの意欲的な、また、ニッチ（隙間）を狙った存在感のある探査計画を実施しており、今後も積極的な探査計画を行っていくと見られる。水星については、日本と共同の「ベピコロombo（BepiColombo）」が2013年打ち上げの予定である。金星については「ビーナス・エクスプレス（Venus Express）」が軌道上にある。月については、「かぐや」をはじめとする各国の探査機に先駆けてイオンエンジン推進の「スマート（Smart-1）」を月に送った。火星では「マーズ・エクスプレス（Mars Express）」が軌道上にある他、2013年には生命探査を目的としたローバ「ExoMars」を打ち上げの予定である。土星を探査する米国のカッシーニ計画では、欧州開発の「ホイヘンス・プローブ（Huygens probe）」を衛星タイタンに投下した。彗星については2004年に「ロゼッタ（Rosetta）」を打ち上げ、彗星表面への着陸を目指している。

⁷ ESA Aurora Exploration Programme Web Site
<http://www.esa.int/esaMI/Aurora/ESA9LZPV16D_0.html>

⁸ Cosmic Vision: Space Science for Europe 2015-2025
<<http://www.esa.int/esapub/br/br247/br247.pdf>>

③中国

中国は「経済力の増強／経済の整備」、「科学技術の発展／社会進歩」、「国防力の強化」、「民族の団結力」を宇宙探査の意義として列挙しており、目的の一つが明確に国威発揚にあることが見て取れる。第 11 次五カ年計画（2006－2010）では、経済整備、国家安全保障、科学技術発展と社会進歩の要求に合致するよう宇宙技術、宇宙応用、宇宙科学を発展させるために、特に重点科学技術プロジェクトのブレークスルーを実現することが重視されている。具体的目標の中で宇宙科学研究が挙げられているが、そのねらいは重点的な基礎研究で達成されるブレークスルーを通じて、製品供給保証能力を始めとする宇宙科学技術や全体のインフラ整備、運用能力向上を達成し、それを経済目的のための宇宙利用に応用することと考えられる。また、それを国家の外交政策と組み合わせ、国際協力プロジェクトやアジア太平洋宇宙協力機構（Asia Pacific Space Cooperation Organization：APSCO）での活動を通じて宇宙製品の輸出を拡大し、先端技術の導入と消化吸収に力を入れている。協力領域として挙げられている 10 部門のトップが「宇宙天文、宇宙物理、微小重力科学、宇宙ライフサイエンス、月惑星探査」であり、宇宙科学は、中国の国家政策を遂行するために用いる国際協力に資するものという位置づけもなされていると思われる。

中国は、国策として月探査を進め、2007 年 11 月に月周回機「嫦娥 1 号」を打ち上げ、その後、同周回機による月面の撮影に成功した。今後の宇宙探査計画では、2012 年頃にローバを搭載した着陸機を、2017 年頃には月サンプルリターンミッションを計画している。中国は月探査の目的の一つとして、月の資源の利用を念頭においている模様である。他国との協力では、ロシアの無人火星探査「Fobos-Grunt」への参加等があるが、GES 活動においては、活動内容や各国の状況の様子を見守っている状況である。

嫦娥 1 号のカメラの解像力や各センサの性能については不明の点もある。また、これらのデータが中国の月・惑星科学者にどれだけの貢献を果たすのかも不明である。嫦娥シリーズは科学観測が目的ではあるが、将来のローバやサンプル・リターンを含め、独自の月探査能力を保有することに大きな意味があるものとみられる。

④インド

中国と同様にこれまで地球低軌道以遠に探査機を送る宇宙探査活動を行ってこなかったが、最近になって無人月探査計画を実施している。同計画の中で、月周回機「チャンドラヤーン 1（Chandrayaan-1）」及び月着陸機「チャンドラヤーン 2（Chandrayaan-2）」を開発する計画であり、2008 年にチャンドラヤー

ン1を打ち上げる予定である。

インド宇宙省の市民憲章にみられるように、国民の経済的利益のための宇宙政策という側面が強く、宇宙科学、宇宙応用ともに経済利益に直接貢献するものと捉えていると考えられる。

インドの月探査機開発の特色としては、国際協力を前提として他国が開発したセンサを多く搭載し、高度な科学データの取得を目指していることが挙げられる。また、有人宇宙往還機の研究開発に着手するなど有人活動は実施しているものの、有人月探査についての具体的な計画はない。GES活動においては、中国と同様、活動内容や各国の状況の様子を見守っている状況である。

インドは宇宙探査にきわめて積極的な姿勢を見せている。「チャンドラヤーン1」に続き、2009年にはインド初のX線天文衛星「アストロサット(Astrosat)」を打ち上げる予定である。現在検討されているその後の科学ミッションには、「チャンドラヤーン2」でのローバによる月面探査や現場でのサンプル分析、火星探査機、小惑星または彗星フライバイ、太陽コロナ観測望遠鏡での可視光および赤外線観測などがある。国際協力をベースに科学的成果を着実に上げ、自国の探査技術を向上させていくことを目指すと思われる。

⑤ロシア

ロシア連邦宇宙局(FSA)が策定し、ロシア政府が2005年10月に承認した「2006年―2015年のロシア連邦宇宙プログラム」(政府令第635号)では、宇宙開発利用の目的は、国民生活の質の向上、経済成長、潜在力の創設、国家安全保障向上という、大統領教書で述べられたロシアの戦略的目標を実現するための道具と位置づけている。戦略目標を達成するための2015年までのプログラムとしては、環境観測、災害監視、気象観測、通信放送などの宇宙応用分野に力を注ぐとし、文書の中にみられる基礎科学研究(「太陽、太陽系惑星、太陽・地球関係及び地球を取り巻く宇宙空間の研究」)や「有人宇宙飛行学の成果の向上」も、「イノベーション的ロシア経済」に奉仕するものと考えられている。宇宙探査については、「社会・経済分野、科学、国際協力、国防および国の安全の要求を満たすための民生、汎用の宇宙設備の開発」と書かれている。また、同プログラムの中には「米国、欧州諸国および中国は、月、火星への有人飛行の準備、ならびにそれに続くこれら惑星の開発をめぐる活動を大きく活性化させている。これらの問題の解決にあたり開発される技術は飛躍的なものになるであろう。こうした状況は有人宇宙飛行分野でのわが国の優先課題に損失をもたらしかねず、また科学・技術関連分野におけるロシアの遅れにつながりかねない。」と記載されており、先行者としての利益を失わないためにも、宇宙探査は、国益の問題として欠かすことが出来ないと捉えていると考えられ

る。

ロシアは独自の有人輸送と有人月面拠点を含む月・火星探査計画を持っている模様で、有人技術の優位性を背景に、幅広い国際協力調整を進めている。過去に多くの無人月探査などの宇宙探査を行ってきた実績があり、二国間での国際協力では存在感を維持している。GES 活動に参加して存在感を維持しつつも、NASA や ESA と一定の距離をとっているのが現状である。

ロシアは宇宙開発初期の時代に月や金星の積極的な探査活動を行ない、金星表面の撮影や月からのサンプル回収などの成果をあげた。また、1986 年のハレー彗星接近時には、探査機「ベガ (Vega)」を打ち上げた。しかし火星については目だった成果がなく、1988 年打ち上げの 2 機の「フォボス (Phobos)」探査機は 1 機が火星到達前に通信途絶、1 機が火星周回軌道到達後 2 か月で通信途絶となった。1996 年には「マーズ 96 (Mars 96)」の打ち上げに失敗。以降、独自の惑星探査は行っていない。当面、自国のハードウェアや得意な分野のセンサ技術と、海外の技術を組み合わせた宇宙探査という現実的な方向を目指すと思われる。

2. これまでの宇宙探査の実績と評価

(1) アポロ計画

これまでの代表的な宇宙探査の例として、人類初の有人月面着陸を成し遂げた米国の「アポロ計画」がある。1961 年から 1972 年の計画終了までに約 230 億ドル（現在の価値にして 1200 億ドル）の資金と 40 万人の人材が投じられた。同計画では合計 12 人が有人月面着陸に成功し、約 380kg の月の石を地球へ持ち帰る等の成果があった。

アポロ計画は、元々 1960 年 7 月に NASA が内部計画として立案したものだったが⁹、1961 年 4 月の 2 つのショック（ガガーリン・ショックとピッグズ湾・ショック）を契機に、米ソ冷戦下における当時のケネディ政権の中で政治外交的利用が検討され、わずか 20 日間のうちに実施が決定された¹⁰。そして 1961 年 5 月

⁹ アポロ計画の起源（年表）については、Ivan D. Ertel and Mary Louise Morse, *The Apollo Spacecraft: A Chronology, Volume I, Through November 7, 1962* (NASA SP-4009, 1969). Available at <<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4009/v1p1.htm#1960-b>>.

¹⁰ ケネディ政権は 1961 年 4 月、ソ連の宇宙飛行士ユーリ・ガガーリン (Yuri A. Gagarin) による人類初の有人宇宙飛行の成功と、その直後の自らのキューバ・ピッグズ湾でのカストロ政権転覆計画の失敗という 2 つのショックによって、米国の国際的威信を完全に失墜させてしまった。ケネディ政権によるアポロ計画の決定と実施の過程については、渡邊浩

25 日、ケネディ大統領は異例の第二次一般教書演説の中で、10 年以内に有人月面着陸を実現させるというアポロ計画の開始を宣言したのである。

当時、米国はアポロ計画を実施し着実に技術開発を進める一方、ソ連との月探査における協力の可能性についても並行して模索していた。1964 年 1 月のジョンソン大統領の一般教書演説では「可能ならば協力、必要ならば単独で月探査」という協力と競争の中間姿勢をとっていた。当時旧ソ連の情報を入手するのは一般的に難しかったため、協力することで情報を出来るだけ入手しようという米国の戦略も垣間見られた。

米ソ両国間で通信や気象といった宇宙利用分野での協力が実現し、月探査協力につながる機運も何度かあったものの、結局、米ソ月探査協力は実現しなかった。米国は、1968 年 12 月にジョンソン政権下でアポロ 8 号により人類初の有人月周回飛行（初めて「地球の出」を撮影）に成功し、1969 年 7 月にニクソン政権下でアポロ 11 号による人類初の有人月面着陸に成功した。

こうした成功の一方で、アポロ計画はジョンソン政権末期から縮小され、NASA 予算の削減や 1970 年 4 月のアポロ 13 号の事故の結果、アポロ 18 号、19 号、20 号の中止が決定された。その後、1972 年 12 月のアポロ 17 号による最後の有人月面着陸、アポロ計画のロケットや宇宙船を利用した宇宙実験室「スカイラブ (Skylab) 計画」(1973 年 5 月) や冷戦の緊張緩和 (デタント) の象徴となった「アポロ・ソユーズ試験計画 (Apollo-Soyuz Test Project : ASTP)」(1975 年 7 月) などが実施されたが、1972 年 1 月にスペースシャトル計画が決定されたことで、NASA の宇宙活動の中心はその開発へとシフトしていったのである。

①政治外交的意義

アポロ計画の政治外交的意義として、米国は宇宙分野だけでなく総合的に国際社会における地位を回復したことが挙げられる。これにより、米国は宇宙開発を競争から協力へ、探査から利用へ、月から地球へと転換する契機となった。アポロ計画の国際社会に対する政治的・心理的影響は、第二次大戦後の現代社会において最大のものの一つであり、アポロ計画が人類初の有人月面着陸を実現することにより、米国の国際的地位および国内の求心力を回復・向上させた。米国の世論調査でも、1965 年には宇宙活動における国民の意識がソ連先行から米国先行に逆転した他、1970 年には大学生の 78% が米国人であることに誇りを持っているという結果が出ている¹¹。

崇「ケネディ政権とアポロ計画—宇宙政策における競争と協力—」(一)、(二・完)、『阪大法学』、第 56 巻第 5 号、2007 年 1 月、103-125 頁、第 56 巻第 6 号、2007 年 3 月、149-175 頁。

¹¹ George H. Gallup, *The Gallup Poll: Public Opinion 1935-1971, Volume Three 1959-1971* (New York: Random House, 1972), pp. 1952, 2283.

また、アポロ計画は国際関係における競争と協力の交錯の中から決定され、推進された宇宙政策であり、アポロ計画における競争と協力は国際関係（冷戦）の安定性向上に貢献したという主張もある¹²。ただ、歴史学者や国際政治学者の間では、アポロ計画に国際政治的意義は少なかったという意見もある¹³。確かに、直接的・短期的な軍事的・経済的影響という点では、スパイ衛星やインテルサットなどの実用衛星の方が大きかったと言うべきであろう。しかし間接的・長期的には、アポロ計画によって生み出された宇宙技術と軍事技術の連携、宇宙技術のスピンオフ、システム工学の発展など、軍事的・経済的影響は非常に大きかったと言うべきである。

そもそも、アポロ計画は軍事でもない、商業でもない、科学でもない、「民生の (civilian)」計画として、そして冷戦の流動的な最前線での戦闘の一部として決定された。その一方で、アポロ計画の科学技術的意義を最大限に高める努力が行われており、また、その軍事的あるいは商業的可能性が否定されていたわけではない。したがってアポロ計画の目的は、もちろんその中で優先順位があってそれこそが重要であるが、多様なものだったのである。

この目的の多様性と経費の莫大さを理由として、アポロ計画は定量的な評価が難しく、抽象的で定性的評価にとどまってきたのも事実であろう。しかしだからと言って、アポロ計画の政治外交的意義を過小評価することはできない¹⁴。

②技術発展／産業界への貢献

アポロ計画により信頼性を上げるための技術や高度な制御技術などが発展し、産業界に広がっていったと言われている。日本が宇宙開発に導入している信頼性やシステムエンジニアリングの手法は、米国のアポロ計画等で築き上げられてきたもので、宇宙分野では国際宇宙ステーション（ISS）などのプロジェクトを米国と協力して実施してきたため、比較的導入が早かった。現在では、様々な大学でシステムエンジニアリングの講座が立ち上がり、産業の中にも浸透しつつある。

アポロ計画は巨額を投じたプロジェクトであったため、大きな経済的効果が生み出された可能性も否定できない。当時 NASA でアポロ計画に従事してい

¹² 渡邊浩崇「ケネディ政権とアポロ計画—宇宙政策における競争と協力—」(一)、(二・完)。

¹³ 一例として、Walter A. McDougall, ... *The Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age* (New York: Basic Books, 1985), pp. 411-414.

¹⁴ 政治外交史（宇宙政策史や冷戦史）、科学技術史、人類史などの観点から、アポロ計画の歴史的総括を試みたものとして、John M. Logsdon, Walter A. McDougall, Daniel J. Boorstin, and Frank White, *Apollo in Its Historical Context*, Edited Version of Remarks Presented at a July 19, 1989 Symposium (Washington, DC: Space Policy Institute, George Washington University, April 1990).

た科学者や数学者が、アポロ計画の終結によりウォール街に進出し、投資の世界に科学的な手法や高度なコンピュータ技術をもたらしたのが金融工学の始まりと言われている。また、アポロ計画の誘導コンピュータには初期の集積回路（IC）が数多く使われており、半導体の発展にも大きく寄与した。IC 創成期において市場に出回る価格が高い時期に NASA や国防総省などがかなりの部分を買取り、最初に NASA で信頼性のテストが行われた。それが民間で活用されることにより、信頼性や極小化に貢献したといわれている。最先端の科学技術を牽引し、間接的・長期的に軍事技術にも貢献した。

③教育／人材育成への貢献

アポロ 11 号の月着陸を見て、当時の世界の若い世代がインスパイアされた。実際に多くの人のその後の人生を決めていく根源的な要因になったと考えられる。米国におけるアポロ計画／NASA 予算と理科系 Ph. D の学生の数との関係を見ると、アポロ計画の開始前後から理科系 Ph. D 学生が増え始め、人類初の月着陸の数年後にピークに達し、アポロ計画が縮小・中止されると共に減少している。特に物理科学系 Ph. D 学生と工学系 Ph. D 学生数はその傾向が顕著に出ており、アポロ計画と Ph. D 学生の数で因果関係があると考えられる。ただし、米国においてはスプートニクショックの後に国防教育法（1958 年）が制定され、教育に投資を増やした背景もあり、アポロ計画と時を同じくして理科系 Ph. D 学生が増えたのはその影響も考慮する必要がある。

④経済的利益

具体的な経済的なリターンについては、アポロ計画単独での評価はほとんどないものの、1959 年から 1969 年までに NASA が拠出した研究開発支出 250 億ドル（ほとんどがアポロ計画への支出）に対し、1959 年から 1987 年までに得られる利益は 1810 億ドルに達すると予測した報告もある¹⁵。

（2）月・惑星探査

太陽系の天体を地上から望遠鏡で観測するだけでは、得られる情報はきわめて限られたものでしかない。その天体を科学的に調べるためには、人間が行くか、観測機器を搭載した探査機を送りこむ必要がある。月については、アポロ

¹⁵ “Economic Impact of Stimulated Technological Activity,” Final Report, Midwest Research Institute, Contract NASW-2030, 15 October 1971, in John M. Logsdon, et al. eds., *Exploring the Unknown: Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program, Volume III: Using Space* (Washington, DC: NASA SP-4407, 1998), pp. 408-414.

計画による有人探査がおこなわれた。1965年には、「マリナー4号 (Mariner-4)」がはじめて火星表面の近接撮影に成功し、クレーターだらけの表面の写真を送ってきた。これは、惑星観測における「望遠鏡時代」の終わりを告げる象徴的な出来事であった。現在、人類はすべての惑星およびいくつかの小天体に探査機を送っている。

アポロ計画および各探査機の成果によって、太陽系に関する教科書の記述はほとんど書き換えられたといってよい。以下に、アポロ計画および惑星探査の成果を簡単にまとめる。

①アポロ計画の科学的成果

アポロ計画の最大の科学的成果は地球に持ち帰られた約 380kg の月の石にある。これらのサンプルの成分分析や放射性同位元素による年代測定によって、採取された場所（海や高地）の岩石組成や年代が明らかになり、月の歴史や初期の太陽系についての基本的なプロセスが明らかになった。また、採取場所の岩石の絶対年齢とその場所のクレーターの数との相関関係が明らかになり、クレーター年代学が成立した。これによって、他の天体についてもクレーターの数を観測することによって、表面の古さを推定することが可能になった。

アポロ 17 号のハリソン・シュミット (Harrison H. Schmitt) 宇宙飛行士は地質学者であった。サンプル採取は無人でも可能だが、採取すべき岩石をその場で選ぶことや表面下を掘って採取することは現在でも困難である。この点は、有人探査の優位性を示すものである。アポロ計画ではこの他、月面に設置した地震計や、軌道上からのカメラ撮影、鉱物分布観測などにより、多くの成果が得られた。

なお、アポロ宇宙船の着陸地点決定のために、「レンジャー (Ranger)」、「サーベイヤー (Surveyor)」、「ルナー・オービター (Lunar Orbiter)」等の月無人探査機による事前調査が行われた。月に関する科学的知見の多くが、これらの探査機によってもたらされた。

総じて、アポロ計画による科学探査によって、月ばかりでなく、太陽系の起源や進化についての人類の知見が飛躍的に増加した。

②水星

1974 年と 1975 年に「マリナー10号 (Mariner-10)」が接近し、表面の観測を行った。それ以後、長い間、探査機は打ち上げられなかったが、2004 年に「メッセンジャー (MESSENGER)」が打ち上げられ、2011 年に水星周回軌道に入る予定である。2008 年 1 月には 1 回目の水星フライバイを行い、観測画像を送ってきている。

③金星

金星は不透明の雲におおわれているため、望遠鏡では表面を見ることはできない。ソ連は早い時期からベネラ探査機シリーズを送りこみ、表面のデータや写真を送ってきた。米国の「パイオニア・ビーナス (Pioneer Venus)」(1978 年) と「マゼラン (Magellan)」(1990 年) は表面をレーダーで観測し、金星全体の地形を明らかにした。また、その表面が全面にわたって地質学的にきわめて新しいことも明らかにされた。2006 年にはヨーロッパの探査機「ビーナス・エクスプレス」が金星周回軌道に入り、主に大気の観測を行っている。

④火星

1976 年に 2 機の「バイキング (Viking)」探査機が到達し、オービターが軌道上から表面を観測すると同時に、ランダーが着陸した。ランダーは表面の写真を地球に送ってくるとともに、火星の土壤中に生物が存在するかどうかのテストも行った。

近年、米国は「マーズ・グローバル・サーベイヤー」、「マーズ・オデッセイ (Mars Odyssey)」などの周回機を火星に送り込む一方、「マーズ・パスファインダー (Mars Pathfinder)」の「ソジャーナ (Sojourner)」に続き、2004 年に「スピリット (Spirit)」と「オポチュニティー (Opportunity)」という 2 機の本格的な火星探査ローバ (Mars Exploration Rover : MER) を着陸させた。その主目的は、火星に水が存在した証拠の直接的な発見である。この目的は達成され、2 機のローバは現在も活動中である。

欧州は着陸機「ビーグル 2 (Beagle-2)」のミッションには失敗したが、高解像度ステレオカメラを搭載した「マーズ・エクスプレス」が火星を周回中である。

⑤木星

「パイオニア 10 号、11 号 (Pioneer-10, 11)」に続いて 1979 年に木星を訪れた「ボイジャー 1 号、2 号 (Voyager-1, 2)」は、木星とその衛星を間近から観測し、データを送ってきた。多数の新発見がもたらされ、4 大衛星もその姿が明らかになった。木星に薄いリングがあることも明らかになった。1995 年に到達した「ガリレオ (Galileo)」は、木星を周回して観測するとともに、そのプローブを木星大気中に投下した。

⑥土星

「パイオニア 11 号」に続き、1980 年には「ボイジャー 1 号」が、1981 年には「ボイジャー 2 号」が土星を訪れ、土星の輪や衛星などに多数の新発見があった。

2004年には「カッシーニ」が土星周回軌道に入った。2005年には「ホイヘンス・プローブ」が衛星タイタンに降下し、はじめてその表面を撮影した。カッシーニの観測は現在も続いており、衛星エンケラドスからの水の噴出など、興味深い現象を観測している。

⑦天王星

これまで、天王星を訪れたのは1986年の「ボイジャー2号」のみである。横倒しの惑星の環や衛星を観測した。

⑧海王星

これまで、海王星を訪れたのは1989年の「ボイジャー2号」のみである。衛星トリトンでは、氷の火山が発見された。

⑨太陽系外縁天体

太陽系外縁部ではいわゆるエッジワース・カイパーベルト天体の発見が続いており、科学的関心が高まっている。冥王星を含む太陽系外縁天体を観測した探査機はないが、2006年打ち上げの「ニューホライズンズ (New Horizons)」が2015年に冥王星に到達する予定である。

⑩小惑星

木星へ向かうガリレオは小惑星アイダ、ガスプラを近接撮影した。「ニア・シューメーカー (NEAR Shoemaker)」は2000年に小惑星エロスを周回軌道から探査、最終的には表面に到達した。

日本の探査機「はやぶさ」は2005年イトカワに到着、サンプル回収を試み2010年に地球帰還の予定。イトカワはその質量が小さいため、微小天体が集積して一体化する前の段階で進化が止まってしまった原始的天体の可能性があり、太陽系の進化の解明に大きな知見を与えるものである。

⑪彗星

2004年に彗星ビルト2に接近した「スターダスト (Stardust)」は、彗星のちりを回収し、2006年に地球に帰還した。2005年、探査機「ディープインパクト (Deep Impact)」はテンペル1彗星を近接観測するとともに、インパクトを彗星に衝突させる実験を行った。

(3) 天体観測

天文学は地上から光学望遠鏡で宇宙を観測することによって発展してきた。しかしながら、地上から観測できる波長は可視光と赤外線の一部、それに電波の領域のみである。これを「大気の窓」といい、これ以外の電磁波、すなわち赤外線、紫外線、X線、ガンマ線などは大気中の分子や水蒸気などによって吸収され、地上に届くことはない。電波の領域もサブミリ波あたりになると、大気の影響を受けはじめる。

このため、天体をさまざまな波長で観測するには、観測装置を宇宙に打ち上げなくてはならない。一方、光学望遠鏡も大気のゆらぎなどの影響を受けるので、より高精度の観測を行うには、ハワイやチリなど観測に適した場所に大望遠鏡を設置するか、望遠鏡を宇宙にもっていく必要がある。

天文学にとって宇宙からの観測が必要な理由は以上による。

以下に、主な宇宙望遠鏡と天文観測衛星について簡単にまとめる。

①可視光

1990年に打ち上げられ、1993年から本格的な観測を開始したハッブル宇宙望遠鏡は、それまで大気の間を通ってしか見ることのできなかった諸天体を、驚くほどの解像度で観測することに成功した。星の誕生から死、銀河の構造、遠方の銀河などについて、多くの知見が得られた。また、望遠鏡の本来の目的の1つであったハッブル定数（宇宙膨張の定数）の決定も行われた。ハッブル宇宙望遠鏡では可視光のほか、近赤外、紫外の領域での観測も可能である。

②赤外線

1983年に打ち上げられた世界初の赤外線天文衛星 IRAS は、赤外線での全天サーベイを行い、宇宙には多数の赤外線源（ちり、星や銀河の形成領域など）があることを明らかにした。現在運用中の日本の「あかり」は、この全天サーベイをより高感度、より高解像度で行い、星や銀河の形成プロセスを解明するものである。

スピッツァー宇宙望遠鏡は、ハッブル宇宙望遠鏡やチャンドラ X 線望遠鏡（後述）とともに「宇宙望遠鏡」シリーズの1つをなすもので、2003年に打ち上げられた。各天体の赤外領域での高解像度観測が可能で、可視光では見えていなかったさまざまな現象が明らかになった。

③紫外線

2003年に打ち上げられた紫外線天文衛星 GALEX は、主に銀河の進化や星の形成領域などの観測を行っている。

紫外線望遠鏡は太陽の観測にも必要で、現在運用中の「ひので」も活躍して

いる。

④X線

X線の領域はブラックホールの観測などに欠かせない。日本はX線天文衛星について、1979年の「はくちょう」から現在の「すざく」にいたるまで、世界に誇ることでできる実績をもっている。

1999年打ち上げのチャンドラX線望遠鏡は、各天体のX線領域での高解像度観測が可能で、X線天体の観測だけでなく、ハッブル宇宙望遠鏡やスピッツァー宇宙望遠鏡とのコラボレーションにより、観測対象の構造やそこで起きている現象を多角的に理解することにも役立っている。

⑤ガンマ線

1991年に打ち上げられたガンマ線観測衛星コンプトンは、なぞの多いガンマ線バーストの観測などに大きな成果をもたらした。

⑥電波

1997年に打ち上げられた「はるか」は、地上の電波望遠鏡との連携で、「宇宙VLBI（超長基線電波干渉計）」を形成し、電波源の観測を行う世界初の試みであった。地上のVLBIよりも基線が長くなるので、高解像度の観測が可能になった。

宇宙の年齢や初期の歴史を研究するには、ビッグバンのなごりである宇宙背景マイクロ波放射を観測する必要がある。2001年打ち上げのWMAPは宇宙背景放射を高精度で観測し、宇宙の年齢が137億年であることを明らかにした。

3. 宇宙探査の意義

（1）科学的意義

宇宙探査の意義として真っ先に考えられるのは科学的な成果である。自然科学の最大の目的は人間の知的探求心を満足させ、人間を取り巻く環境である自然界を理解することにある。宇宙、太陽系、生命の起源を知りたいというのは人類共通の欲求であり、新しい知見を得て起源を解明することは科学的に重要である。

また、人類が追求しているものの1つに地球外生命の存在の可能性がある。地球外生命を調査することは生命の進化を知る上で重要であり、人間とは何かということを考えるための一つの方法である。地球外生命が発見されれば、我々

の現在の価値観を根本から覆すような大きな変革をもたらす可能性がある。

宇宙探査は宇宙の起源や進化の解明、地球外生命の調査などに必須な手段であり、「宇宙に行かなければ分からないことが非常に多い」という点で、科学において宇宙探査はなくてはならないものである。

加えて、地球近傍天体（Near Earth Object:NEO、地球に接近する軌道を持つ彗星や小惑星等の総称）対策としても宇宙探査は重要である。将来、地球に飛来する、または地球に衝突しうる可能性が考えられるNEOを早期に探知し、その回避のための措置に関する国際合意を形成する必要に迫られるとの見解もある¹⁶。

（２）社会的意義

アポロ計画のところで既に述べたとおり、アポロ 11 号の月着陸は、当時の世界の若い世代を感化し、同世代の多くの人のその後の人生に大きな影響を与えた。宇宙探査の成果に影響を受けた人が、やがて新しい地球観・価値観を持ち、地球規模の問題を解決するような人材になる可能性は大きい。アポロ宇宙船が撮影した地球の画像は、地球が閉鎖系であり、資源は有限であることを、何よりも雄弁に人類に語りかけた。バックミンスター・フラーの造語「宇宙船地球号（Spaceship Earth）」や、「かけがえのない地球（Only One Earth）」という言葉は、アポロ宇宙船が撮影した地球の写真によってポピュラーなものになった。

JAXA が行ったアンケートによれば、日本が月面拠点を建設するためにどれくらいのお金を支払っても良いかという設問で、他の年代に比べて 50 代以上が突出して多い支払い意思額となっている。他のアンケートと比べ、50 代以上でこれほど突出することは珍しく、明らかにアポロ計画による影響といえる。ただし、宇宙探査が人々に与える心理的影響は少なからず確実にあるものの、実際に宇宙探査の成果がどのくらいの影響を与えているのか、あるいはどのような活動が効果的なのかを捉えるのは非常に難しく、今後何らかの手段を用いて検証してみる必要があろう。

宇宙探査は宇宙活動の中でも一般の人にとって「よく目に見えるもの」の一つであり、一般による宇宙のより良い理解のためには非常に重要である。

地球外生命の発見などの価値観を覆すような成果は別として、多くの人にとって宇宙探査の細かな科学的内容はほとんど意味をもたないだろう。ただし、「世界初」や「世界最高」などの形容詞のつく成果は、一般へのアピール度が

¹⁶ Rusty Schweickart, “The NEO Challenge”, a presentation made at the National Defense University on April 26, 2007, in Washington, D.C.

高く、多くの人が宇宙に親近感を持ち、宇宙活動への理解を高める。日本の月周回衛星「かぐや」が撮影した「地球の出」などは、一般の人が宇宙をより良く理解するのに効果がある。また、「かぐや」の CM のような企業活動も宇宙の理解普及に効果があると考えられる。

また、宇宙探査の成果物の 1 つとして複雑なシステムの管理が挙げられる。巨大技術はリスクの塊だが、宇宙はそのリスクガバナンスの典型的なものである¹⁷。アポロ計画の成果としてのシステム工学の他、宇宙食の「食の安全性」確保の観点から考案された食品管理技術「HACCP」¹⁸なども宇宙探査から社会に派生した管理手法として有名である。組織の設計・維持のための宇宙で培ったそのようなシステムは、例えば地方自治体の経営や企業のマネジメントなど、社会システムを動かす際の参考になる可能性がある¹⁹。

（3）経済的意義

経済の視点から考えると、宇宙探査への投資に対するリターンという考え方が重要である。宇宙探査からのリターンは複層的なものであり、科学・学術面でのリターン、政治・安全保障上のリターン、社会的リターンの他に、経済・ビジネス上のリターンが考えられる。

「はやぶさ」や「かぐや」の影響もあり、宇宙探査への一般の関心が高まりを見せていることに加え、地球環境問題の大きな盛り上がりもあり、それらが衛星写真などの商業的な価値を引き上げていることは注目されるべきところである。民間はテレビコマーシャルに宇宙からの画像を活用するなど、宇宙の裏にあるブランドの価値をうまく商業利用している。

（4）本質的な意義

未知の世界を探査するというのは人間の本質である。個の欲求としての地球以外の場所を探査したい、宇宙を見たいという思いが集まることにより、個の欲求の集合体となり、それが宇宙探査の意義となる。個のレベルでは合理性よ

¹⁷ この部分については、木下富雄京都大学名誉教授のインタビューを参考にした。詳細については 5 年前から実施されている（財）国際高等研究所と JAXA との共同研究を纏めた報告書「木下富雄編 2008 宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」（9 月刊行予定）を参照のこと。

¹⁸ HACCP は従来から行われてきた最終製品の検査に重点を置く衛生管理方法とは異なり、食品の安全性をより高めるために、製造における重要な工程毎に管理（危害の分析、予測）することで、より安全性を高めるための手法。

¹⁹ 前述の註 18 と同様、木下富雄京都大学名誉教授のインタビュー

りも、何かをやりたいということが実際の行動を左右する。

好奇心はDNAに組み込まれた基本的なものであり、人類の進歩を支えている根本的なものである。人間だけでなく猿の世界でも、食や性よりも、好奇心の方がより強い動機付けになるという心理学の実験データもある。²⁰

このように知能を持った生物にとって、好奇心や知的欲求というものは少なからず普遍的な存在としてあるが、特に先進諸国では宇宙探査で知的な好奇心を追求することが必要になってくるであろう。若者の就業意識を見ても、これまでの経済的な利益の追求よりも、社会的な貢献といった意識が強くなってきており、時代的に考えてもそういった知的な好奇心の追求が今後重要になってくると思われる。

4. 宇宙探査と日本の国益

(1) 国益と人類益／宇宙益²¹

国益ということを考えた場合、その使い方に充分留意する必要がある。宇宙探査の国益というと資源の獲得や軍事的優位性というものが必ず入ってくることになるが、それらが意図せずとも前面に出てしまえば国際的な非難を受ける可能性がある。したがって、場合によっては国益に代えて人類益や宇宙益という表現を使っていくことも必要であり、特に、国際場裏では、人類益や宇宙益という平和的な表現を効果的に用いることは重要といえる。宇宙を特定の覇権国家のものにしてはならず、発展途上国も含めた人類共通の財産にするべきだという見解は、平和憲法を持つ日本であるからこそ言えることであり、それが内向きには国益になると考えられる。

一方、人類益や宇宙益というのは抽象的なもので、短期に考えた場合、それに対する具体的なリターンが見えにくい部分があることも事実である。国益という、より具体的な概念の方が説明し易い場合もあり、その時々によって国益と人類益／宇宙益をうまく使い分けていく必要があろう²²。

(2) 国の威信や矜持の向上

国の威信や矜持の向上は、間違いなく国益となるであろう。国家威信とは、

²⁰ 前述の註 18 と同様、木下富雄京都大学名誉教授のインタビュー

²¹ 前述の註 18 と同様、木下富雄京都大学名誉教授のインタビュー

²² 前述の註 18 と同様、木下富雄京都大学名誉教授のインタビュー

国家が国際社会の中で立派な一員として、他から侮られることなく信頼と尊敬を受けることであり、一方、国家の矜持とは国家としての誇りや自尊心であり求心力である。そのような威信や矜持を向上させるためには、政治的、軍事的、経済的、社会的、科学技術的などの総合的な国力（他の国家に対する優位性）、そしてその国家としての理念・価値観を国内外に誇示することが必要となる。

その最も効果的な手段の一つとして国家が選択してきたのが、宇宙活動であり、有人・無人を含めた宇宙探査であった。宇宙探査は宇宙活動の根本であり、宇宙活動の中でも国際的・地球的・人類的活動としての側面が強い。また、宇宙探査は最先端の宇宙科学技術を必要とする場合が多く、現代の科学技術を牽引するものの一つである。一方で、宇宙探査は宇宙活動の中でも、直接的・短期的に国民一人一人の利益につながりにくく、科学技術力はもちろんとして経済力などに余裕がなければ積極的に取り組むことはできない。加えて、最先端の宇宙探査に取り組んでいる国家は、人類と地球の発展のためという理念・価値観を持ち、なおかつそれを実現する豊かな国力を持った国家というイメージを持たれることが多い。もちろん、その裏に宇宙をわが物にしたい、軍事的・経済的利益を先取りしたいという野望を疑われることもある。特に、宇宙探査から宇宙利用の段階に移行してゆく過程において、それらがより深刻な問題に発展しうるであろう。

したがって、宇宙探査が国際社会に対して、潜在的・間接的ハードパワーとソフトパワーの両方を同時に誇示することができるという点で、宇宙活動の中だけでなく他の政策と比較してもこれに代わるものは少ない。米国が1960年代にアポロ計画に取り組んだ理由はまさにこれである。現在においても、米国や中国が宇宙探査に積極的に取り組んでいるのは、宇宙というフロンティア領域が近い将来に地政学的に重要になるからということもあるが、それよりも宇宙探査がその国の普遍的理念・価値観及び総合的な国力を国際社会に示すのに最も効果的な手段の一つであると考えているからではなかろうか。

こうして宇宙探査によって、その国の普遍的理念・価値観及び総合的な国力を国際社会に示すことができ、その国の威信や矜持を向上させることができるのである。では、そのような威信や矜持によって、より具体的にはどのような利益がその国にもたらされるのであろうか。主として、世界における日本の地位の向上、先行者の利益、そして交渉力を支えるバックグラウンドの3つが考えられる。

（3）世界における日本の地位の向上

「かぐや」が捉えたハイビジョンカメラによる「地球の出」、「地球の入」の

映像は人類にとって大きなインスピレーションを与えた。そのような成果が出れば世界における日本の地位が上がり、それが国益となる。その際極めて重要なポイントとなるのはミッションのコンセプトである。他国でもできることをやっていたのでは、評価は高くない。「はやぶさ」が海外で高く評価されている理由の1つは、それがNASAやロシアのような宇宙大国では考えないようなチャレンジングなミッションだったことにあると言える。つまり、「かぐや」や「はやぶさ」のように、コンセプトが先進的で、新たな発見の要素に富み、優れた技術が投入されたミッションを進めていけば、日本国民が世界に誇れる宇宙探査が可能なのである。

また、宇宙探査は宇宙活動の原点であり、宇宙に限らず現代の科学技術を牽引するものの一つであり、宇宙コミュニティ内における発言力強化のためにも宇宙探査は極めて大きく貢献する。ロシアを例に挙げると、ロシアは旧ソ連時代に極めて多くの宇宙探査の実績を有しているものの、最近までは、逼迫した予算のために単独での宇宙探査活動を遂行できない状況にあった。しかし、独自の計画はないものの、火星探査機フォボスを中国と協力して実施するなど、いろいろな国に働きかけて宇宙探査協力をアプローチしている。各国でロシアとの協力を模索する動きは数多く見られ、いまだ宇宙コミュニティ内において、強い発言力を持っている²³。

宇宙探査の分野において、日本はX線天文衛星、太陽観測衛星、「はやぶさ」「かぐや」のように、世界に誇れる実績を持っている。こうした探査計画を進めていけば、日本の科学に対する総合的な評価を高めることに貢献できるであろう。更に、こうした探査計画をになう科学者や技術者も、巨大科学と国際協力という時代の要請にこたえられる資質を身につけることができるであろう。

宇宙に限らず、生物学、物理学、地球科学などさまざまな分野において現在の科学は巨大化しており、一方では競争しながらも、国際協力が必須となっている。したがって、自国の科学の優位性を保ち、リーダーシップを発揮しながら、国際協力を進めていくことが必要である。

(4) 先行者としての利益

宇宙空間や天体に対して、そこに行ったことがある、そこについてよく知っている、そして今も行くことが出来るという事実による先行者の利益が考えら

²³ ロシアでは、最近の好況を反映して、民生分野の宇宙予算は21世紀最初の5年間で4倍となっており、今後のプログラムの活性化が予想される。兵頭慎治「ロシアにおける宇宙開発政策の立案プログラム—2006-2015年のロシア連邦宇宙プログラム」『国際安全保障』第35巻第1号、2007年6月、116頁。

れる。現在までに日本は予算を費やして宇宙開発を行ってきたが、先に宇宙開発を行うことで既得権を確保するということは国益につなげる上で重要な要件である²⁴。ある程度体制が固まった後に国際協力プロジェクトに参加するのと、提供する資金は少なくとも最初から参加しているのでは、国際社会の日本に対する視線、評価は、相当異なるであろう。既に述べた通り、かつて米国と共に宇宙探査を牽引してきたロシアも、他国が相次いで宇宙探査活動を活性化させていることから、有人飛行分野でのロシアの先行者の利益を失わないためにも宇宙探査を行うということを掲げている。

また、例えば月について、他国が月の資源や資源が濃集している地域の領有権を主張するような場合を考えると、「かぐや」がその前に月面を徹底的に調べ、そのデータを取得し、科学的データとして発表していれば、領有権の否定を規定する国際法（宇宙条約第 II 条）の擁護者として、国際社会において日本は大きな発言力を持つための必要条件となりうる。

（5）交渉力を支えるバックグラウンド

国の威信や矜持の向上はそのまま交渉力を支えるバックグラウンドとなる。現在、国際社会において日本の置かれている状況を考慮すれば、宇宙活動は、ハードパワー的側面から間接的に、ソフトパワー的側面から直接的に、日本外交に貢献することが望ましく、そのために宇宙活動の中でも宇宙探査は絶好の分野である。

また、科学的成果に目を向ければ、その厳密な評価は科学コミュニティの中で行われるが、その国がどのような探査計画をもっているか、探査機がどれだけの性能をもっているか、ミッションが成功し、どれだけの科学的発見がなされたかなどについては、その国の象徴としての側面も持つ。ただし、宇宙探査の場合、地球温暖化問題について日本に影響をもたらす「温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）」²⁵などの地球観測ミッションとは異なり、その成果は直接、われわれの生活に役立つという性格のものではないので、すぐに外交的効果が現れるわけではない。したがって、その探査計画がいかに優れたものであり、人類の知の領域拡大に貢献するかを積極的にアピールしなければ、この効果は生まれてこないだろう。国際交渉や会議の場で、日本の宇宙探査の成果を的確にアピールできる政治家や外交官が増えれば、より効果が出るであろうと考えら

²⁴ 前述の註 18 と同様、木下富雄京都大学名誉教授のインタビュー

²⁵ GOSAT は、JAXA、環境省及び国立環境研究所が共同で進めている計画。宇宙からの温室効果ガスの濃度分布を観測する衛星で、温室効果ガスの吸収排出状況の把握など、温暖化防止への国際的な取り組みに貢献することを目的としている。2008 年度の打上げ予定。

れる。

5. 今後の検討課題

(1) 宇宙探査の商業的価値

宇宙探査の商業的な価値を引き上げる努力をする必要がある。従来の宇宙への参加者は限られた内部のものだけであったが、これを外へと広げ、今まで宇宙と関係の薄かった人や企業を宇宙へ引き入れるべきである。また、宇宙探査はオリンピックやサッカーのワールドカップなどと同じように、「世界の日本代表」であるという意識を持ち、この視点から外へ向けた広報活動を行うべきである。更には、宇宙探査から得られた映像を科学的な資産として捉えるだけでなく、映像的な資産、アーティスティックな資産などとして捉え、これを外部の人が評価する仕組みを作るべきであると考えられる。より具体的には、①探査技術をより広く経済界から求める：「宇宙でも使われる当社の技術」となることにより、参加企業には大きな宣伝効果が得られる、②日本代表として見える部分で日本のデザインを使う（日本人のアイデンティティの発揚、宇宙への参加者の和み、などの効果）、③宇宙映像をデザインの的に活用できる道を開く、などが考えられる。

このようにして、新たなプレーヤーや発想を取り入れて、宇宙の価値を引き上げることにより、宇宙へ幅広い範囲の企業が参加できるようになれば、将来的には宇宙探査への資金を企業から引き出させることが可能になるだろう。そして、それが宇宙探査における新たな PPP（官民連携）の形に発展することも考えられる。これは、企業側からも CSR（企業の社会的責任）の視点から魅力的である。また、このようなアプローチが、従来の科学的探究、国同士の競争、国の政治上の Prestige などと代わる（あるいは、加わる）、社会やビジネスに役立つ宇宙探査というイメージ構築につながる。

(2) 広報普及活動

宇宙探査は子供の夢であり、天文ファンなどの層を広げていくことが出来る分野である。子供が興味を持ち、層が広がれば、将来宇宙を支える層に厚みが出てくるため、そういう層をいかにつかんでいくかが重要となる。現在、JAXA は「はやぶさ」の DVD を作りプラネタリウムや科学館に配布しているものの、まだまだ広報・マーケティングが充分ではない面があり、さらに充実させる必

要がある。例えば、「かぐや」についての手に触れられるキット（プラモデルや模型）を制作・販売することや、教育用のビデオを作り、全国の小学校に配布・提供することなどによる広報・教育的インパクトは非常に大きいように思われる。また、理科の教科書は昔とほとんど変わっておらず、宇宙探査や最近の天体観測の成果はほとんど載っていない。「はやぶさ」や「かぐや」を教科書に載せる他、太陽のところの記述で「ひので」を載せることなどにより、若い世代へのインスパイアという意味で非常にインパクトがあると考えられる。

（３）効果的な宇宙探査の継続

アポロ計画のところで既に見てきたとおり、アポロ計画／NASA 予算と理科系 Ph.D の学生の数とは密接に関係しているように思われる。逆に考えると、アポロ計画のような大きなプロジェクトが盛んに行われているときは教育的効果が持続するが、一旦プロジェクトが途切れてしまったときには効果が減少すると考えられる。アポロ計画のような大きなプロジェクトを継続することは難しいが、教育に大きく影響を及ぼすような効果的な宇宙探査を継続して行っていくことが必要であろう。

（４）科学ドリブンと政治的プライオリティのバランス

NASA では科学ミッションを選定する場合、公募で科学的なプライオリティで選ぶ場合と、政策的なプライオリティで決める場合と両方の機会を持ち合わせている。科学者からのボトムアップの場合、計画自体は国が考えるのではなく、まずは科学者がやりたいことを提案し、最終的に審査に通ったミッションに予算が与えられる。トップダウンで決定したミッションの例としてはアポロ計画が挙げられる。アポロ計画においては、当初 NASA が内部計画として策定したため、ある意味、下から上がってきた計画ともいえるが、その時は実施には結びつかず、1961 年 4 月の 2 つのショック（アポロ計画の箇所（2（1））で既述）が引き金となり、政策的プライオリティに基づいて実施が決定された。

宇宙探査を科学が牽引するか、政治的要因が牽引するかのバランスについては、その時代に応じて常に変化しているといえる。組織のプライオリティに合わせて上層部の人事も変化し、それによって宇宙探査のミッションの傾向が変化する。米国において以前はボーイジャーやパイオニアのように必ず 2 機ずつ探査機を打ち上げていたが、ゴールドフィン元 NASA 長官時代には「Faster, Better, Cheaper（より早く、より良く、より安く）」を掲げたディスカバリー計画での惑星探査が行なわれるようになった。しかしその後、火星については、火星ロ

ーバ（MER）を再び2機体制にするなど力を入れ、多少のリスクがあってもチャレンジするという方針に転換している。その後も次々に火星着陸機の計画が策定され、大型化していることから、火星探査については政治的なレベルでの意図もあると考えられる。

従来から日本では、全国から科学・探査ミッションの提案を募集し、全国の専門家が提案を審査し、競争原理を働かせて実際に実施するミッションを選定するという方法が採られてきた。これはある意味でオリンピックの日本代表選手を選定するようなものであると言える。近年は、そのようなボトムアップに加えて、社会的背景や日本の置かれている立場からトップダウンでミッションを実施するという動きも出始めている。宇宙探査を科学が牽引するか、政治的要因が牽引するかのバランスについては、車の両輪のようなものであり、日本の宇宙開発にとっても両方バランスよく取り入れながら宇宙探査を実施していく必要があるだろう。

（5）宇宙探査の軍縮への活用

宇宙探査の軍縮への活用として、宇宙からの宇宙兵器の配備や他の宇宙物体への武力の行使の監視が考えられる。国際社会では、国連軍縮特別総会の結果設立された「軍縮会議」（Conference on Disarmament : CD）（1984年以前は「軍縮委員会」（CD）という名称であった）、欧州審議会等をはじめとするさまざまなフォーラムで長年カナダやフランスなどが主張している信頼醸成措置である。フランスは、1978年以来、国際衛星監視機関（ISMA）を提案し、カナダは1986年以来、パクサット計画を推進する。パクサット計画とは、カナダが1986年に軍縮会議（CD）内外で発表した検証措置で、パクサットAとパクサットBの2つのプログラムからなる。パクサットAは、宇宙から宇宙を監視し、宇宙兵器の実験や配備がないことを証明することを目的とする。完全な検証ができない場合でも、宇宙での兵器実験の敷居を高くすることが期待されている。パクサットBは、地上の軍事行動勃発の予防監視や武力紛争時の事実調査、多国間軍備管理条約（南極条約、核不拡散条約、海底非核化条約、化学兵器禁止条約など）検証の一手段として用いることを予定する²⁶。1980年代には、民生のリモート・センシング衛星の解像度では、特に宇宙から宇宙の監視に不十分であるとされ、導入に向けての真剣な議論に入ることはなく、その後、パクサットについて言及されることは、ほとんどなかった。しかし、解像度0.6メートル程度にまで向上した最近の商用画像の性能に鼓舞されて、カナダ外務省は、21世紀初期より、パクサット案の研究を再開した。2006年6月21日にカナダがCDに提出した文書

²⁶ CD/PV.367 (1986), pp.28-29.

CD/1785 は、宇宙技術の格段の向上、現在は冷戦構造が存在しないため、宇宙の監視について主要な宇宙大国がより寛容であり得ることなどを理由に、宇宙での兵器実験などを監視するための検証措置として、パクスATT Aを再提案するものであった²⁷。

現在のところ、CD においてパクスATT A 案を進める具体的な計画はないが、中国の衛星破壊 (anti-satellite: ASAT) 実験のような行動が起きたこともあり、国際情勢次第では、宇宙の監視は、必要な方策として真剣な議論が開始する可能性もある。日本としても、日本の技術を用いて、宇宙の軍事利用を監視するシステムなど、軍縮に資する提案を行い、国際的な合意の下で同システムを開発し得る可能性があり、軍縮の促進を積極的にリードしていく立場からも国益に適うと考えられる。

(6) 宇宙探査を外交政策につなげるための制度作り

宇宙外交に関して、日本は宇宙政策を他の分野の政策と連動させて、交渉上の取引材料の一つとして活用することが時には必要である。宇宙探査は、日本が比較優位を持つ分野として交渉上の取引材料となりうる。

宇宙外交の例として、1969 年日米交換公文を考えてみたい。1960 年代前半から半ばにかけて、日本は旧ユーゴスラビアやインドネシアに固体燃料による観測ロケットを輸出し、輸出拡大に意欲を示していた²⁸。米国は日本の固体ロケット技術の輸出が、輸出先で弾道ミサイルに転換されることを警戒し、日本の輸出に歯止めをかけることが必要であると考えていた。当時また、1964 年 10 月、中国が核実験に成功して核兵器国となったことから、日本も核武装を考えるのではないかということ、および他のアジア諸国が共産主義の方が優れたシステムと考えるのではないかということも米国の懸念材料であった。日本が中国よりも早く地球周回軌道にロケットを打ち上げることができれば、米国にとっても自由主義諸国の科学技術の優位を示すことができ、また、日本も国家威信が保たれたと考え、核武装という選択肢を捨てることができるであろう、というのが米国の見通しであった。そこで、米国の液体燃料ロケットの技術を日本に移転するかわりに、固体ロケットの輸出を差し控えさせ、かつ、非核兵器

²⁷ Canada, *Space-based Verification : PAXSAT A Then and developments since*, CD/1785 (21 June 2006).

²⁸ 1964 年 2 月、佐藤栄作首相は、国会において、「東大のほうは、カップロケットならば、これはもうユーゴスラビアに行ったとか、あるいはパキスタンというように、各国にも出ております。」と述べ、ロケット輸出を有望な輸出品目ととらえていた。衆議院科学技術振興対策特別委員会議録第 6 号、昭和 39 年 2 月 26 日、12 頁。また、青木節子『日本の宇宙戦略』334-335 頁および 349 頁参照。

国にとどまらせるよう努めたのである。佐藤内閣は、この交換条件を日本の国益に合致するものと判断し、米国との取引に応じ、厳格な輸出管理、宇宙の平和利用、インテルサットシステムの支援などに応じることになった。その結果、1969年7月に日米交換公文が締結された²⁹。

したがって、この日米交換公文は、米国の日本に対する核・ミサイル（ロケット）の不拡散政策と共産主義の封じ込め政策の一環という側面が強い。しかしながら、他の外交案件との取引という面もあったようである。今後のさらなる検証が必要であるが、米国から日本への宇宙技術移転の交渉は、沖縄返還や経済摩擦の交渉と重なっている部分が多く、日本側が技術移転を受け入れたことが、米国側から沖縄返還などに関して好意的対応を引き出すことにプラスに作用したと考えられるのである。このような意味では、過去にも日本の宇宙活動がその外交政策に貢献していたとすることができるだろう。ただし、概して日本は宇宙探査において、日本の国益となるよう国際社会にアピールできるものを持っているにもかかわらず、うまく外交政策につなげられていない現状がある。先行者としての日本の技術的比較優位がなくなる日が来るかもしれないということを考えた場合、日本に有利な段階で、法制度形成や発言力の確保、交渉力を支えるバックグラウンドという観点から幅広く日本の外交力の一要素となるよう、宇宙探査を位置づけていく努力が重要である。

宇宙活動における日本のリーダーシップが一般に知られていない主要な理由の一つに、日本はボトムアップの政策形成・決定であり、米国のように国家・政府のトップレベルの決定として開始されることが少ないために、国内外への発信力が弱くなってしまっていることが考えられる。米国においては当初ホワイトハウスで意思決定を行い、省庁間ワークショップなどで各省庁の利害調整をした上で、NASA や国務省などが動くという制度になっている。日本ではそれとは制度が異なり、必ずしも省庁・政府機関間の調整が迅速に行かない面もあり、日本の宇宙探査を外交力につなげる契機を失わせる結果となる一面が指摘できそうである。今後は、日本がリーダーシップを発揮できる国際会議等の場を活用し、宇宙探査をうまく外交政策に結びつけることができるような制度作りが期待される。その目的を達成するためにはまず、行政における省庁間のさらなる連携が必要であろう。

²⁹ 日米交換公文が成立するまでの政治外交過程については、黒崎輝『核兵器と日米関係—アメリカの核不拡散外交と日本の選択 1960-1976』（有志舎、2006年）、108-146頁。

「宇宙開発と国益を考える研究会」

～宇宙探査の意義～

報告書概要

平成20年3月

宇宙開発と国益を考える研究会

「宇宙開発と国益を考える研究会」報告書概要(1/5)

【今年度研究会の目的】

- 平成17年度の研究会(外交や安全保障の視点も含めた国益としての宇宙開発の意義について検討): 我が国の宇宙開発能力は、ソフトパワー的効果の多くは発揮されておらず、戦略的に展開する必要がある、宇宙政策と外交政策の連携強化等、宇宙開発活動を国内外にアピールする必要がある。
- 平成18年度の研究会(より実践的な「宇宙外交」の具体的方策について「アジア太平洋」地域に特化して検討): 国際緊急援助活動などの現場の声から、宇宙応用技術利用の可能性があること、我が国の宇宙外交は国際フォーラムを通じた国際貢献型等が中心とならざるを得ず、APRSAFの成長が望ましいが、外交政策決定者と宇宙機関関係者の情報共有の仕組みづくりが急務。
- 平成19年度は、日本の宇宙探査戦略に一貫性を持たせるべく、国益の観点から、我が国の宇宙探査の意義や目的を中心に本質的な議論を行う。
- 昨年度と同様、今年度の成果についても、政府等における宇宙政策検討の参考に供する他、広く一般にも公開し、世論形成に資する資料とする。

【検討の体制】

- 慶應義塾大学青木節子教授を主査とする5名の研究会メンバーによる検討(JAXAが協力)

【検討の経緯】

- 平成19年12月に第1回の会合を開催し、その後2月、3月と合計3回の会合を行い、更に外部有識者へのインタビューを行い、今回報告書を取りまとめた。

「宇宙開発と国益を考える研究会」報告書概要(2/5)

【1. 各国の宇宙探査の状況】

(1) 国際協力の動向: 米国新宇宙探査構想を契機に14機関からなるグローバル探査戦略検討グループ(GES)

(2) 各国の宇宙探査政策のねらい

米国: 将来的には有人火星探査 欧州: オーロラ計画(有人宇宙探査活動)、ニッチな太陽系探査

中国: 国威発揚、国際協力、資源利用 インド: 経済利益への直接貢献

ロシア: 有人技術の優位性を背景に、存在感を維持

【2. これまでの宇宙探査の実績と評価】

(1) アポロ計画

- 宇宙分野だけでなく総合的に国際社会における米国の地位の回復に貢献(政治外交的意義)
- 信頼性技術や高度な制御技術、金融工学、半導体技術の発展等に貢献(技術発展／産業界への貢献)
- 若い世代への刺激、理科系学生の増加(教育／人材育成への貢献)
- NASA研究開発支出(1959～1969)に対する経済的リターン(1959～1987)は約7倍との報告(経済的利益)

(2) 月・惑星探査

- 地上から望遠鏡で観測するよりも探査機を送りこんだ方が多くの情報が得られる。
→「望遠鏡時代」が終わり、太陽系の各惑星、太陽系外縁天体、小惑星、彗星の観測
- アポロ計画および各探査機の成果によって、太陽系に関する教科書の記述はほとんど書き換えられた。

マリーナ10号、メッセンジャー(水星)、パイオニアビーナス、マゼラン、ビーナスエクスプレス(金星)、マリーナ4号、パイキング、マーズ・グローバル・サーベイヤー、マーズ・オデッセイ、マーズ・パスファインダー、ソジャーナ、スピリット、オポチュニティ、マーズ・エクスプレス(火星)、パイオニア1、2、ボイジャー1、2、ガリレオ、カッシーニ、ホイヘンス・プローブ(木星、土星、天王星、海王星)、ニア・シューメーカー、はやぶさ(小惑星)、スターダスト、ディーピンバクト(彗星)

(3) 天体観測

- 宇宙からの天体観測は大気で吸収される電磁波(赤外線、紫外線、X線、ガンマ線)を観測すること、「大気のゆらぎ」などの影響を受けない可視光の高精度の観測が可能

ハッブル宇宙望遠鏡(可視光)、IRAS、あかり、スピッツァー宇宙望遠鏡(赤外線)、GALEX、ひので(紫外線)、はくちょう、すざく、チャンドラン(X線)、コンプトン(ガンマ線)、はるか(電波)

「宇宙開発と国益を考える研究会」報告書概要(3/5)

【宇宙探査の意義】

(1) 科学的意義

- 宇宙、太陽系、生命の起源を知りたいという人類共通の欲求
 - 地球外生命を調査することは生命の進化を知る上で重要
 - 将来地球に衝突しうる地球近傍天体(NEO)対策としても重要
- 宇宙に行かなければ
分からないことが多い
- 宇宙探査はなくてはならない

(2) 社会的意義

- 宇宙探査の成果に影響を受けた人が、やがて新しい地球観・価値観をもち、地球規模の問題を解決するような人材になる可能性は大きい。
- 「世界初」「世界最高」等の成果は、一般の人へアピールし、親近感、宇宙活動への理解につながる。
- システム工学、食品管理技術などの宇宙で培った管理手法は、地方自治体の経営や企業のマネジメントなど、他のシステムに応用される可能性がある。

(3) 経済的意義

- 宇宙の成果物により商業的な価値を引き上げている(例: テレビコマーシャルでの衛星画像の利用)。
→ 経済・ビジネス上のリターン

(4) 本質的意義

- 未知の世界を探査するというのは人間の本質。
- 好奇心はDNAに組み込まれた基本的なもので、人類の進歩を支えている根本的なもの。
→ 特に先進諸国では宇宙探査で知的な好奇心を追求することが必要

「宇宙開発と国益を考える研究会」報告書概要(4/5)

【3. 宇宙探査と日本の国益】

(1) 国益と人類益／宇宙益

- 国益と人類益／宇宙益を使い分ける必要
「国益」＝資源の獲得や軍事的優位性 → 国際的な非難を受ける可能性
場合によっては国益に代えて「人類益」や「宇宙益」という平和的な表現を国際場裏で用いることが日本の国益に資する。

(2) 国の威信や矜持の向上

- 宇宙探査により、その国の普遍的理念・価値観・総合的国力を国際社会に示すことができる。
→ その国の威信や矜持を向上させることができる。
→ 世界における日本の地位の向上、先行者の利益、交渉力を支えるバックグラウンドとなる。

(3) 世界における日本の地位の向上

- 人類に大きなインスピレーションを付与 → 日本の地位が上がり国益となる。(例: はやぶさ、かぐや)
↳ 他国がやらない、先進的なコンセプトで、新発見の要素に富み、優れた技術によるミッションが必要
- 現代の科学技術を牽引する宇宙探査は、日本の科学に対する総合的な評価のアップ、宇宙コミュニティ内の発言力強化に貢献。

(4) 先行者としての利益

- 先に宇宙開発を行うことで既得権を確保 → 日本の国益
- 体制固定後の国際協力プロジェクト参加⇔最初から参加 … 国際社会からの評価は大きく異なる。

(5) 交渉力を支えるバックグラウンド

- ハードパワー的側面から間接的に、ソフトパワー的側面から直接的に日本外交に貢献できる可能性があり、宇宙探査は絶好の分野。
- ただし、宇宙探査の成果は直接われわれの生活に役立つという性格のものではないので、外交的効果を生むためには、探査計画がいかに優れたものであり、人類の知に貢献するかを積極的にアピールする必要がある。

「宇宙開発と国益を考える研究会」報告書概要(5/5)

【今後の検討課題】

(1) 宇宙探査の商業的価値

- 今まで宇宙と関係の薄かった人や企業を宇宙へ引き入れるべき。
- 宇宙探査は「世界の日本代表」という意識の視点から外へ向けた広報活動を行うべき。
- 宇宙探査から得られた映像を、アーティスティックな資産として捉え、外部の人が評価する仕組みを作るべき
↳ 新しいプレーヤーや発想を取り入れることで、宇宙の価値を引き上げる: 新たなPPP(官民連携)につながる可能性

(2) 広報普及活動

- 広報・マーケティング活動を充実させる必要。(例: 手に触れられるキットの制作・販売、教育用ビデオなど)
- 昔からほとんど変わっていない理科の教科書に、「はやぶさ」、「かぐや」など、宇宙探査や最近の天体観測の成果を載せれば、若い世代へのインスパイアとなる。

(3) 効果的な宇宙探査の継続

- 教育に大きく影響を及ぼすような効果的な宇宙探査を継続して行っていく必要。
→ アポロ計画時、プロジェクト最盛時は持続した当初教育的效果が、一旦プロジェクトが途切れてしまった時には効果が減少。

(4) 科学ドリブンと政治的プライオリティのバランス

- 宇宙探査のミッション選定に際して、公募による科学的なプライオリティで選ぶか(ボトムアップ)、政策的なプライオリティで選ぶか(トップダウン)のバランスを考慮すべき。
→ 日本では従来から主にボトムアップで選定してきたが、近年は社会的背景や日本の置かれている立場から、トップダウンでミッションを実施する動きもある。

(5) 宇宙探査の軍縮への活用

- 日本の技術を用いて、宇宙の軍事利用を監視するシステムなど、軍縮に資する提案を行い、国際的な合意の下で同システムを開発していくことができる可能性。

(6) 宇宙探査を外交政策につなげるための制度作り

- 宇宙探査は、日本が比較優位を持つ分野として外交交渉上の取引材料となりうる。(例: 1969年日米交換公文)
- 宇宙探査をうまく外交政策に結びつけるために、行政における省庁間のさらなる連携が必要。
→ 日本は国益となるよう国際社会にアピールできるものを持っているにもかかわらず、うまく外交政策につなげられていないのが現状

「宇宙開発と国益を考える研究会」について

○ メンバー（順不同）

青木節子 慶應義塾大学総合政策学部 教授（主査）
村山裕三 同志社大学大学院ビジネス研究科 教授
渡邊浩崇 大阪大学大学院法学研究科 特任研究員
古川勝久 （独）科学技術振興機構 社会技術研究開発センター 主任研究員
寺門和夫 科学ジャーナリスト

○ インタビュー

木下富雄 （財）国際高等研究所 フェロー
京都大学 名誉教授

○ その他オブザーバ

山田秀幸 文部科学省
佐藤雅彦 （独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）
佐藤正章 JAXA
小川眞司 JAXA
佐々木薫 JAXA
遠藤 敬 JAXA
菊地耕一 JAXA

事務局：財団法人日本宇宙フォーラム

「宇宙開発と国益を考える勉強会」

第1回 平成19年12月20日（木） 資 料

- ・「今年度の進め方と方針について」（青木節子） 35
- ・「今年度国益研究会とその他の枠組みとの比較」（事務局） 37
- ・「宇宙探査の現状と将来計画」（JAXA） 39
- ・「アメリカ宇宙政策としてのアポロ計画」（渡邊浩崇） 61
- ・「天文観測／惑星探査の意義」（寺門和夫） 71

平成 19 年 12 月 20 日

宇宙開発と国益を考える研究会
今年度の進め方と方針について

慶應義塾大学 青木節子

1 昨年度までの成果

(1)平成 17 年度 研究会の目的 日本が国家としてなぜ、宇宙開発を行うのか、という点を根本的に検討すること。

日本における「国力」を「交渉力」に近似するものと捉え、交渉力を構成する要素として「ハードパワー」、「ソフトパワー」の概念(Joseph S. Nye, Jr.)を導入して、考察した。その結果、①交渉力を支えるバックグラウンド、②自律性の確保による安全保障への貢献、③情報収集能力の確保、④先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力確保、⑤地球規模の問題解決に貢献し、日本の外交力を高めること、などに宇宙開発が有益であることが確認された。また、⑥国の威信や矜持の向上という効果も、決して無視することができないことも確認された。⑧宇宙コミュニティ内での交渉力や発言力を強化するためにも、宇宙開発を進めることは重要であるという認識も共有された。

(2)平成 18 年度 研究会の目的 アジア・太平洋地域において宇宙開発を日本の交渉力向上に結びつける方法を探ることとした。アジア・太平洋地域では、日本と同じく、自律的な宇宙能力をもつ国は、中国とインドであり、韓国がこの三国を追いかけ、射場を整備しロケットを開発中である。そのうち中国が APSCO の設立、「資源外交」を含む二国間経済関係深化のための宇宙利用など、宇宙能力を交渉力の一要素として積極的に活用している。インドも宇宙の実利用に力を入れ、リモート・センシング画像販売で実績をもち、商業打ち上げにも乗り出した。そのような状況下、日本としては、どのような「宇宙外交」ー宇宙能力を交渉力に転化ーを行うべきかを検討した。その結果、価値観を共有する諸国との協力の重要性、日本の置かれた地政学的・歴史的な位置から国連で展開する宇宙プログラムで指導力を発揮し、それを基盤としてアジアへの貢献を実施することの意義が再確認された。また、APRSF が地球規模協力からのシームレスなつながりをアジア太平洋諸国との間で確固とするための場であり、今後具体的プロジェクトを通じてその実効性を高めていくことの重要性が指摘された。

2 今年度の課題「宇宙探査」

(1)目的: 宇宙開発・利用活動の中で、特に「宇宙探査」を進めることの意義および必要性を検討する。宇宙探査を行うことで得られる日本の国益という観点から検討するが、特に社会へのインパ

トを可能な限り定量的に測る適切な指標を見出す努力をして、宇宙探査の意義を、より客観的に抽出できるように努める。

(2) 研究会の実施計画

2007 年 12 月 20 日 第1回 現状確認および疑問点等の洗い出し

2008 年 X月X日 第2回 各委員からの報告 事務局が実施した有識者インタビューの結果発表を入れる。

2008 年 X月X日 第3回 報告書作成に向けた議論および整理

以上

	グローバル探査戦略（GES）	月探査国際枠組み勉強会	宇宙開発委員会 月探査 WG	平成 19 年度宇宙開発と国益を考える研究会
概要	世界 14 の宇宙機関による宇宙探査の長期的展望や国際協働の共通認識をまとめる	今後の月探査計画の進展を鑑み、月の開発・利用に関して法的枠組み・ガバナンスの観点から日本がとるべき対応・戦略を検討する	宇宙探査／月探査の現状を理解した上で、JAXA 中期計画のもととなる「宇宙開発に関する長期的な計画」の審議に資する我が国の月探査のあり方を検討する	日本の宇宙探査戦略に一貫性を持たせるため、国益の観点から、我が国の宇宙探査の意義や目的を中心に本質的・概念的なレベルの議論を行う
検討対象	- 幅広く宇宙探査 - 通信・測位、環境監視、気象予報、自然災害対応などの実証済みの且つ良く管理された宇宙利用は対象外	月探査	月探査	- 幅広く宇宙探査 - 宇宙からの地球観測は対象外
検討範囲	国際協働の共通認識となる概念の検討	法的枠組み・ガバナンスの観点から見た日本がとるべき月探査戦略	我が国の月探査のあり方 - 我が国の月探査の基本的考え方 - 我が国の月探査の具体的展開	宇宙探査を進める意義・必要性／宇宙探査を行うことで得られる日本の国益について、既存の各ミッションが世の中に与えた影響や当初の国益的意図の分析を参考に、日本の宇宙探査のあり方についての方向性を模索
検討成果	- 未知の世界を探査したいという好奇心は人間の本質（月→火星→それ以遠） - 有人と無人探査は相補関係にあり、人類の目的は無人探査機により支援された地球外における持続的で自給自足の人間の滞在 - 持続可能な探査は一ヶ国ではなしえない（拘束力のない緩やかな協調） - 宇宙探査推進の過程において、新たな知識と技能を獲得できる —革新的技術による新知見の獲得 —フロンティアの拡大 —経済発展とビジネス機会実現 —グローバルな協調の強化 —若い世代への感化と教育	- 宇宙は広義の安全保障にとって極めて重要であるため、月探査活動において日本が主導権を発揮できるかどうかは重要な意味を持ちうる - アジア太平洋地域におけるリーダーの立場を維持するためには月探査活動に主要なアクターとしてコミットを続けていくことが重要 - 月のガバナンス構築に積極的かつ建設的な関与を続けていくことによりイニシアティブを発揮していくことが重要 - 国際枠組みにより守られるべき日本の利益を明確に認識し、牽制・抑止、競争、協調の 3 つの施策のバランスをいかにとって、国益を追求していくか、が今後検討すべき課題 - 日本としては、まず実際に月探査の推進に必要な調整は GES の場でソフトローを活用して行っていく、状況を見ながら日本の国益に適うよう COPUOS 等の場において日本が加入する国連宇宙条約（ハードロー）の活用により月ガバナンスの構築を目指していくことが適当 - イニシアティブ確保に向けた提言 —実績の積み重ねによる国際的プレゼンス向上 —比較優位を有する技術分野（ジャパン・エッセンシャル）の確立 —国際法の忠実な履行者として振舞うと共に、国際法遵守の検証、解釈・適用に関する紛争解決についての創意工夫に富む仕組みを提言し得るメンバーとして行動 —マルチな場へのコミットメント拡大、リージョナルな国際枠組みと APRSAF との連携強化 —月探査枠組の外に日本を支援する国を持つ —国内関係省庁との連携強化	我が国にとっての宇宙探査の意義 - 人類の発展に貢献 - 我が国の宇宙開発の発展、技術革新に寄与 - 探査の実績が我が国の立場に大きく影響 月探査のあり方 - 我が国の国際的な地位にふさわしく、月探査に積極、果敢に取り組んでいく —科学技術の新しい知見の獲得とフロンティアの拡大を両輪として推進 —国際協力の枠組みの中での協調と連携を主軸とし、我が国の主体性と独自性を発揮できる課題に選択・集中 —当面は無人活動を中心とし、将来の国際協働における有人活動については、個別具体的に検討 具体的展開 2010 年代中頃までに、国際的な協調との連携の下で、以下を目的とした無人機による月表面着陸を遂行 —「かぐや」による全球表面観測データを踏まえ、より詳細な化学組成や月深部の情報をその場観測で取得し、月の起源と進化の謎に迫る —将来の月面・火星以遠での我が国の自律的で自在な探査を実現する手段をシステムとして獲得すべく、高精度着陸技術、表面移動技術、越夜技術の開発と習得を目指す —将来の月利用を見据えた月面環境の調査、月資源の調査を実施する	（TBD）

宇宙探査の現状と将来計画

第1回 国益研究会

平成19年12月21日

JAXA月惑星探査推進グループ
小川眞司

目次

. 日本における宇宙探査の現状と将来計画

- 1. 我が国の探査の実績
- 2. 宇宙探査のJAXA構想
- 3-1. 月探査プログラムのロードマップ
- 3-2. SELENE-X計画(構想案)について
- 3-3. 有人月探査計画について
- 3-4. JAXA Strategy for International Human Lunar Exploration
- 3-5. 月探査プログラムの全体像
- 4-1. 太陽系探査プログラムのロードマップ(案)
- 4-2. 太陽系探査への考え方
- 4-3. 太陽系探査プログラムとその進め方

. 海外における宇宙探査の現状と将来計画

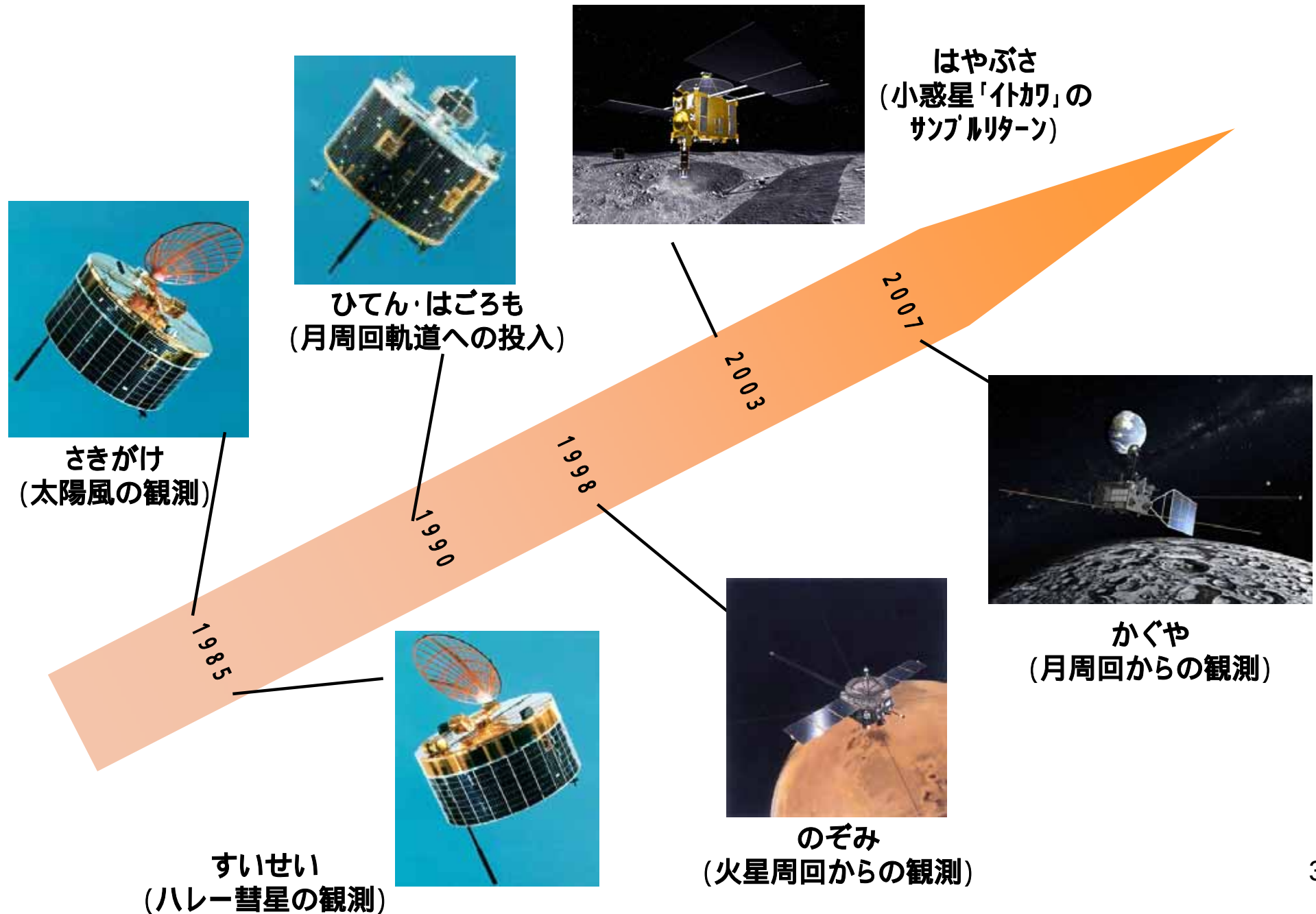
- 1. 新宇宙探査構想をめぐる国際協力の動向
- 2. 諸外国の宇宙探査の進め方
- 3-1. 各国の月探査に関わる計画
- 3-2. 各国の月探査プログラムの特色
- 3-3. 各国の太陽系探査の計画(1/2)
- 4. 各国の協力関係

. 各国の技術レベルの比較

- 1. 日本と外国の探査実績比較
- 2. 我が国の探査技術の実績

. 日本における宇宙探査の現状と将来計画

-1. 我が国の探査の実績



-2. 宇宙探査のJAXA構想

宇宙探査の意義目的を具現化するための、JAXAの宇宙探査プログラムの概要

月探査プログラム：→ 国際貢献、発見と革新

- 科学的成果や、新規技術、宇宙先進国としての貢献を吟味し、自在で自律的な探査を実現し、JEM / HTVなどでの有人宇宙技術を活用・発展させて、国際的な位置に応分の早期に日本人の月面到達と月面活動を目指し、必要な技術を着実に蓄積する
- 無人月探査から、有人月探査へと継続的に実施し、効率的に探査技術を発展させる。

太陽系探査プログラム：→ フロンティアの拡大、発見と革新

- 太陽系とその諸天体の構造と進化を探り、また、地球・惑星環境の現在・進化を探るとともに、人類が火星以遠への探査を行うための知見を得る。
- 始原天体探査と、惑星環境探査を実施し、持続可能な探査活動を実現する。

宇宙探査プログラム

■月探査プログラム

無人月探査

[ひてん、SELENE、SELENE-2、…]

有人月探査

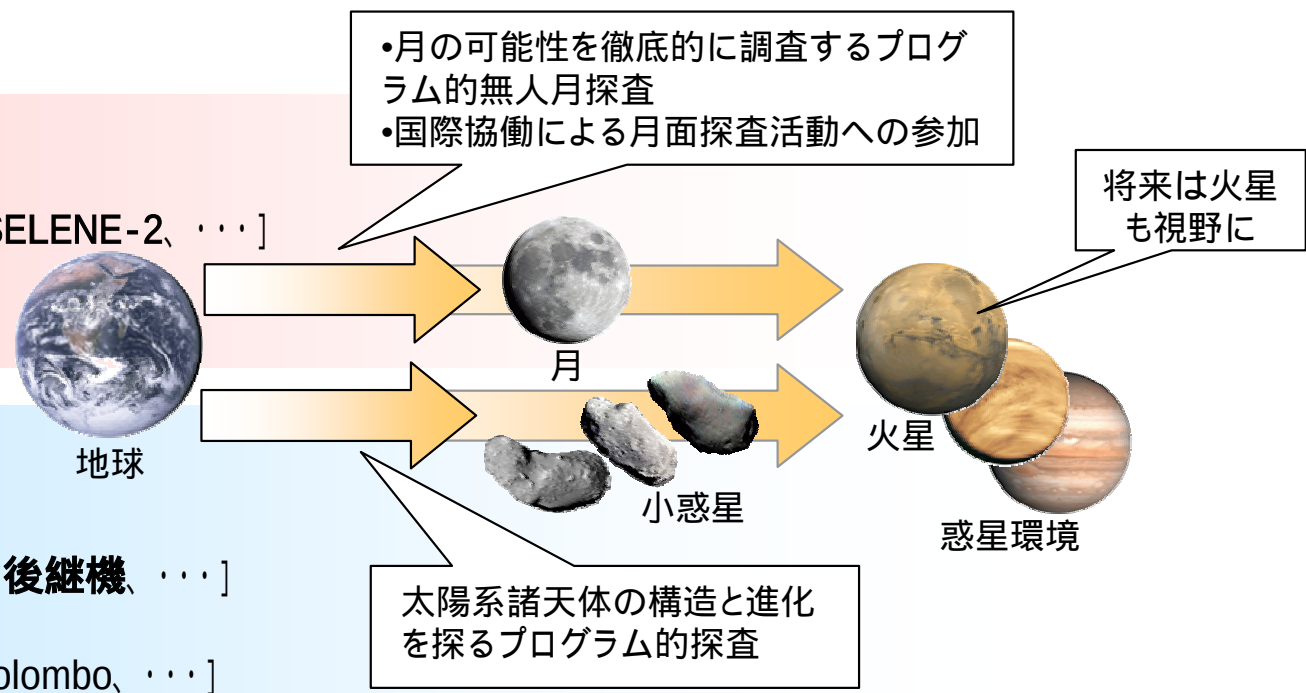
■太陽系探査プログラム

始原天体探査

[はやぶさ、はやぶさ後継機、…]

惑星環境探査

[PLANET-C、BepiColombo、…]



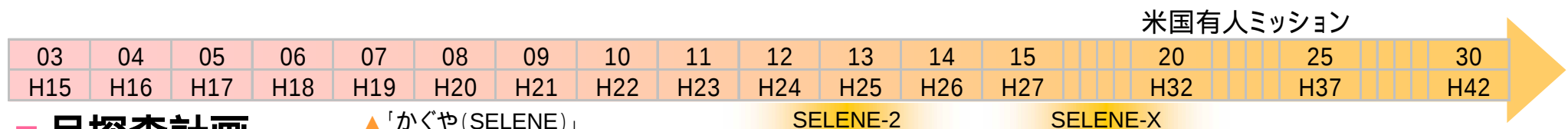
実施頻度：概ね4～5年に1機の月探査機、および概ね4～5年に1機の太陽系探査機を打上げ、
小型技術実証、小型観測実証機を組み合わせる

-3-1. 月探査プログラムのロードマップ(1/2)

「かぐや(SELENE)」に続く、JAXAが構想する月探査プログラム(SELENEシリーズ)

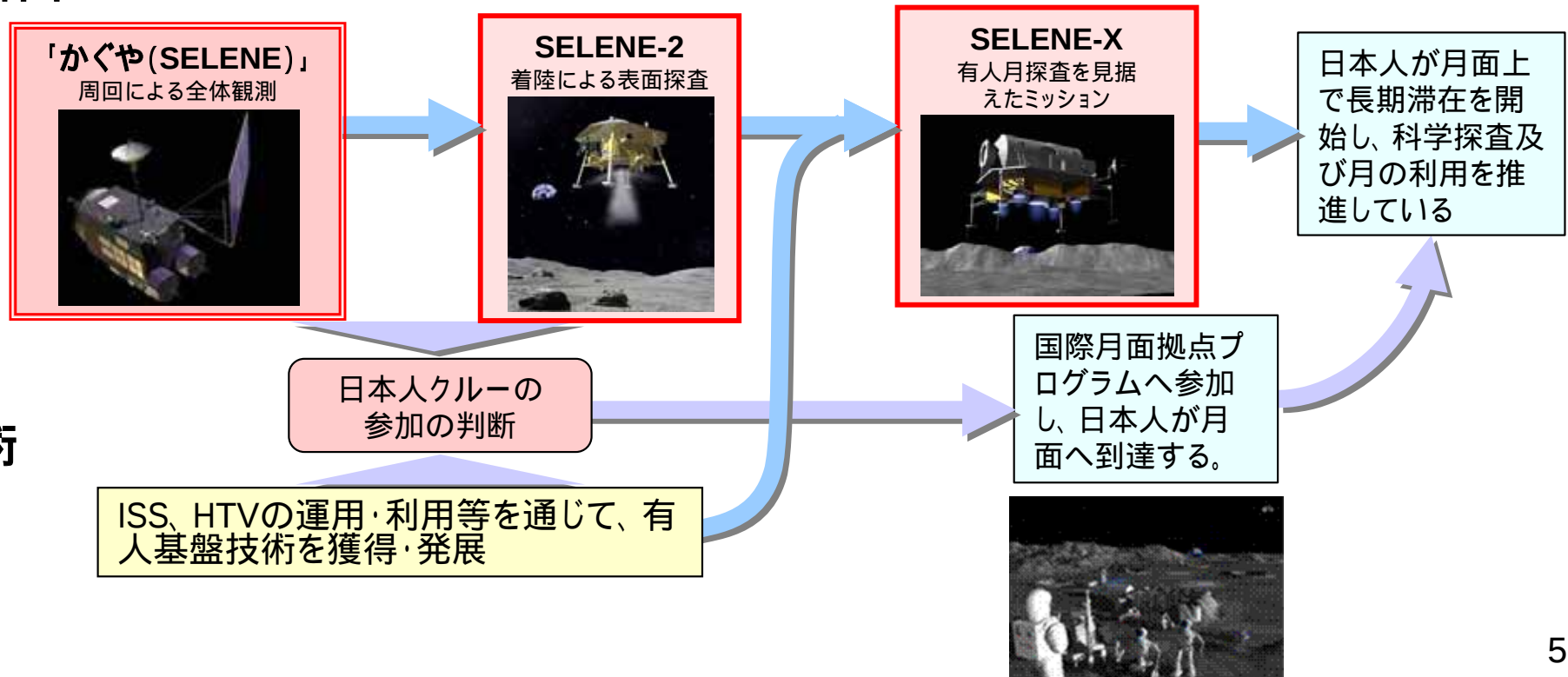
SELENE-2計画(案)(2010年代前半): 月着陸探査ミッション

SELENE-X計画(案)(2010年代後半): 将来の有人月探査の持続的発展を促すためのミッション



■ 月探査計画

▲「かぐや(SELENE)」



■ 有人技術

-3-1. 月探査プログラムのロードマップ(2/2)



JAXAが構想する月探査プログラムの各計画の詳細と、目標を以下に示す。

		月探査計画 目標	「かぐや(SELENE)」 2007年	SELENE-2 2010年代前半	SELENE-X 2010年代後半	有人月探査 2020年以降
技術開発		自在で自立的な宇宙開発の能力・基盤技術を確保・維持	・月周回軌道到達	・着陸技術(ランダ) ・表面移動技術(ローバ) ・長期滞在技術	状況に応じた最適なミッションの選定	・ISS等の有人技術の継承と発展
月の調査	科学	固体惑星の起源と進化の全体像を把握	・リモートセンシングによる表層物質の同定	・その場観測 月表層物質調査	・月面拠点建設技術実証	・有人によるその場観測、及び利用への準備
	利用	月および月資源を人類の活動に利用するための可能性調査	・リモートセンシングによる月面環境・物質の同定	・その場観測 環境計測 資源利用可能性調査	・物資輸送用の着陸機の技術確立 ・無人科学探査(サンプル取得、帰還技術)	・日本人宇宙飛行士の月面探査
国際協働		国際協働を行うことで、月探査を効率的に実施	・取得データの国際的公開や利用等 ・以降の月探査計画への貢献	・国際ペイロードの搭載を検討		

-3-2 . SELENE-X計画(構想案)について



以降の計画については、国際有人月面活動の進捗等により実施の優先順位は異なるが、現時点では以下のオプションが想定される。

- オプションA: 我が国が月面拠点への物資輸送で国際貢献する場合
 - 月面への大型構造物や物資の輸送に必要な大型の着陸機を開発する。
 - これにより、月面天文台や有人拠点などの構築の基盤技術とする。
- オプションB: 我が国が月面拠点建設作業で国際貢献する場合
 - 月面天文台や月面有人拠点の構築に必要な、月面上での作業や建設を実証する。(整地、掘削、構造物輸送、埋設、組立、建設等)
- オプションC: 無人科学探査を優先させる場合
 - 月面の土壌や岩石のサンプルを取得し、地球へ送ることにより、大型の分析機器で年代測定や詳細な分析を実施することが可能となる。
 - 同時に自在で自律的な探査に必須な技術である月からの帰還技術の実証を行う。

) SELENE-X計画(案)により獲得できる技術は、将来の有人月探査の基盤となる。

-3-3 . 有人月探査計画について



・世界の宇宙探査の流れ

- 世界は、有人月探査、更には、地球近傍天体や火星以遠の有人探査を目指す。

・有人月探査に期待する成果・意義

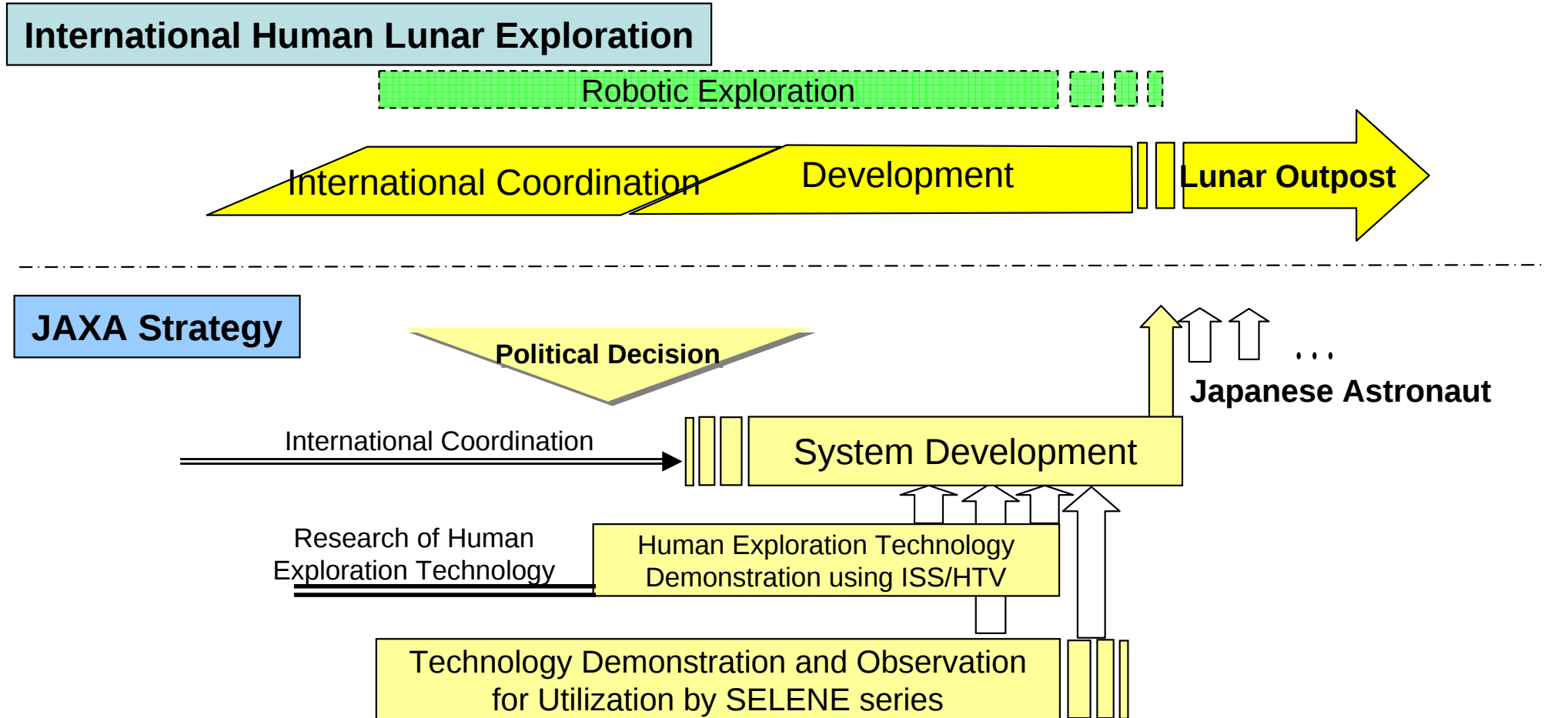
- 究極のその場観測・判断。有人だからなしうる発見がある。
- 新たな活動圏・文明に通ずる将来の基本技術を獲得する。
- 国際社会におけるリーダーシップの維持と次世代教育へ寄与する。

・JAXAの月探査プログラムにおける有人月探査構想(案)

- 日本の有人月探査は、以下のステップで進める。
 - ・ 国際有人月探査に相応の貢献をもって参加し、日本人の月探査を国際協働で実現
 - ・ 更に将来は、国際協働で得た技術を発展させ、独自で自在な有人月探査を実現
- JAXAは、当面、以下を実施し、国際有人月探査計画への参加判断に備える。
(今後数年程度で判断が必要となる可能性が高い。)
 - ・ 無人探査での国際協力の推進と、日本人の月探査実現に向けた国際調整の実施
 - ・ SELENE後継機シリーズによる月の利用調査、有人月探査に必要な基本技術の確立
 - ・ 有人の重要技術の研究と、JEM・HTV等を利用した宇宙実証の準備

-3-4 . JAXA Strategy for International Human Lunar Exploration

03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15			20			25			30
H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27			H32			H37			H42



-3-5 . 月探査プログラムの全体像

月探査プログラム：→ 国際貢献、発見と革新

• 無人月探査：

2010年代中頃までは、月の本格的な利用活動への展開の判断を行うために、無人月探査により、科学探査、利用調査を行う。

• 有人月探査：

自在で自立的な探査を実現し、「きぼう」(JEM)及びHTVなどでの有人宇宙技術を活用・発展させて、早期に応分の国際的地位を確保するため、日本人の月面到達と月面活動を目指し、必要な技術を蓄積する。

-) 国際協働での有人月探査への日本人クルーの参加については、判断の時期がきている。
-) 我が国独自の有人月探査への本格的な計画については、適切な時期に国としての判断を仰ぐ。

無人月探査では、

- 世界的な科学観測と利用調査に応えるべく未踏峰的な探査を実現
- 有人月探査に必要なとなる基幹技術の段階的な取得(まずは着陸技術)

無人月着陸 / 探査を目指す

有人月探査では、

- 国際協働で日本人宇宙飛行士を月面に到着させ、「人が他天体に滞在し活動するためのデータやノウハウ」を獲得

国際クルーの一員として日本人宇宙飛行士の月面到達を目指す

-4-1. 太陽系探査プログラムのロードマップ(案)

▼ はやぶさ

はやぶさ2

はやぶさMk-II

03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15			20			25			30
H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27			H32			H37			H42

PLANET-C
ソーラ電力セイル

ベピ・コロンボ

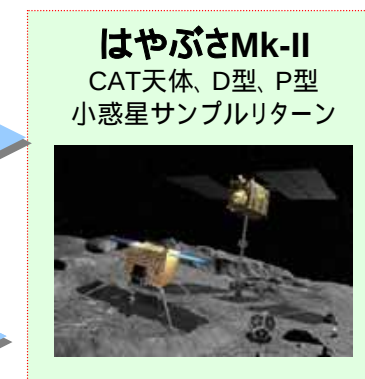
木星圏探査ミッション

■ 始原天体探査

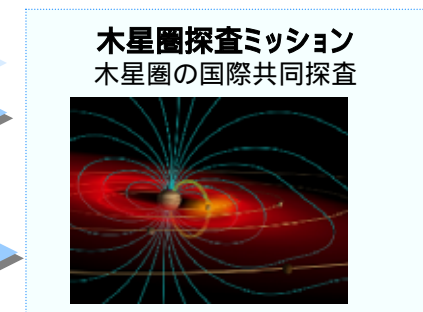


■ 小型実証機

ソーラ電力セイル
7つの世界初の工学実証機



■ 惑星環境探査



-4-2 . 太陽系探査への考え方(1/2)

- 太陽系諸天体(惑星、衛星、太陽系小天体)の構造と進化を探る。
- 地球・惑星環境の現在・進化の多様性とその根源を探る。
- 人類が火星およびそれ以遠への探査を行うための知見を得る。
- 太陽系探査は、その設計から成果を得るまでの期間が長大であり、優に十数年にも達しうる。数年程度をサイクルとして推進する。
- JAXA は、国際的に優位性を保てる対象・分野を選択・集中して実施する。

-4-2 . 太陽系探査への考え方(2/2)

■ 始原天体探査プログラム

- 太陽系形成初期の状況を維持する小惑星や彗星などの天体 (= 始原天体) 探査
- 有機物や水などの生命前駆物質の化学的進化も始原天体探査で手がかりを得る
- 「はやぶさ」での技術と経験を発展させ、イトカワより、さらに始原的な小惑星や彗星核からのサンプルリターンを将来実施することを目指す

■ 惑星環境探査プログラム

- 惑星大気や惑星磁気圏の構造・組成・運動を解明。惑星表層・内部構造研究とも結合させ、惑星環境の現在・進化と根源を探求。
- 惑星間空間から恒星・銀河間スケールの空間に共通な宇宙の普遍的現象を解明
- 地球観測や月探査で培う探査技術を火星、金星及びそれ以遠の天体に応用

-4-3 . 太陽系探査プログラムとその進め方

- 我が国に優位性のある分野を選択・集中し、太陽系とその諸天体の構造と進化を探り、また、地球・惑星環境の現在・進化の多様性とその根源を探るとともに、人類が火星以遠への探査を行うための知見を得る。
- これらとともに、新技術を実証、パイロット探査の実施を、小型機により先導し、国際協力による、観測器を供給、搭載する機会を見いだしていく。

太陽系探査プログラム： → フロンティアの拡大、発見と革新

• 始原天体探査：

太陽系の起源や進化を知るため、始原的な太陽系小天体(始原天体)を探査する。「はやぶさ」で培った技術と経験を発展させ、さらに始原的な小惑星や彗星核からのサンプルリターンを行っていく。

• 惑星環境探査：

惑星大気 of 構造・組成・進化等、惑星磁気圏のメカニズムとその太陽風との相互作用等を中核とし、関連する惑星表層・内部構造観測をあわせ太陽系における惑星環境の現在・進化とその根源を探る。



はやぶさ後継機の立ち上げを目指す

・海外における宇宙探査の現状と将来計画

-1. 新宇宙探査構想をめぐる国際協力の動向



2004年 1月:ブッシュ大統領は、米国新宇宙探査構想を発表した。これに続き米国は、世界の宇宙機関に国際協力を呼びかけた。

2006年 8月: この米国の呼びかけに応じ、14機関からなるGES検討グループを結成し、国際協力枠組等の検討を開始した。14機関は、宇宙探査を基本的に国際協力に進めていく方針である。これまでの地球観測やISSにおける国際協力の経験をもとに、各国の独自性の発揮しつつ全体として統一されたいわゆる、「プログラム オブ プログラムズ」による進め方を志向している。

2007年 3月: GESでの検討を経て、日本の京都で開催された第4回GES会合において、グローバル探査戦略(フレームワーク文書)が合意された。現在は、主として国際協力調整メカニズムの構築に向けた検討を進めている。

なお、米国は、GESと並行して、2006年12月に有人月面拠点構想を発表した。この構想をもとに、具体的な協力について、NASA副長官らによる各国訪問・2国間協議を開始した。これに応じ、英国は協力協定を締結する等、積極的な対応がみられる。

14ヵ国宇宙機関: ASI(イタリア宇宙機関)、BNSC(英国国立宇宙センター)、CNES(フランス国立宇宙研究センター)、CNSA(中国、国家航天局)、CSA(カナダ宇宙庁)、CSIRO(オーストラリア連邦科学産業研究機構)、DLR(ドイツ航空宇宙研究センター)、ESA(欧州宇宙機関)、ISRO(インド宇宙研究機関)、JAXA(宇宙航空研究開発機構)、KARI(韓国航空宇宙研究所)、NASA(米国航空宇宙局)、NSAU(ウクライナ国立宇宙機関)、Roscosmos(ロシア連邦宇宙局)

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(1/10)



米国 (NASA)

探査計画の特徴

- 有人月面拠点を当面の目標としている。最終目的としては、有人火星探査を目指している。
- 新型有人宇宙船(オリオン)の開発に集中している。
- 優先されるプロジェクトはHuman Mission, Vehicle, Landerであり、無人着陸探査は優先度が低く、そのため、有人探査のために必要な調査などは、外国ミッションとの協力を検討。
- 大統領選挙は探査計画の進捗に影響を与える可能性はあるが、有人月探査のスケジュールは維持したい模様。

国際協力の考え

- 2006年末 有人月面拠点構想を発表し、国際協力を各国に呼びかけた。
- NASAは、基幹技術(有人輸送、大型着陸機)の提供を行うと表明した。
- 有人月面拠点構想の国際調整は、GESの枠組みを活用するとともに、並行して2国間の話し合いも進めている。

日本へのアプローチ

- NASA月周回機(LRO)とSELENEとの間でデータ交換等の協力を合意した。
- 無人月探査では、SELENE-2との協力を模索中。
- 有人月面探査に対し、日本の積極的な参加を期待している。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(2/10)



欧州宇宙機関 (ESA)

探査計画の特徴

- 有人火星探査を最終目的とした「オーロラプログラム」が開始されている。
- オーロラプログラムでは、火星着陸探査機 (ExoMars) に注力している。
- 有人火星探査の前段としての月探査が再認識され、ExoMarsの次期ミッション (NEXT) として月周回・着陸機が有力候補となっている。
- 2015～25年に行う宇宙科学ミッション案「Cosmic Vision 2025」が公募され、現在選考中。

国際協力の考え

- GESの主導的役割を果たすべく積極的に活動を展開している。
- 有人月面拠点構想に対しては、NASAとの協力を念頭に置いている。
- 有人宇宙船 (CSTS) 計画をロシアと共同で進めている。

日本へのアプローチ

- 無人火星探査と無人月探査への相互協力の検討を進めている。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方 (3/10)



中国 (CNSA)

探査計画の特徴

- 嫦娥1号は2007年11月に打上げた。ローバを搭載した着陸探査機を2012年に、2017年頃にはサンプルリターンも計画されている。
- 独自の有人月探査も進めている。
- 月探査の目的として、国威発揚と、将来の資源利用を念頭に置いている模様。

国際協力の考え

- GES活動においては、活動内容や各国状況の様子を見守っている。
- NASAの有人月面拠点構想に対しては、静観している。
- ロシアの無人火星探査 (Fobos-Grunt) に参加している。
- ASIとの交渉も展開している。

日本へのアプローチ

- とくになし

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(4/10)



インド (ISRO)

探査計画の特徴

- 無人月探査計画として、チャンドラヤーン1(月周回)、チャンドラヤーン2(月着陸)を展開中である。
- 低軌道での有人活動は計画しているが、有人月探査については、計画していない模様である。
- 火星無人探査の計画もある。

国際協力の考え

- 国際協力を前提にした月探査計画となっている。
- GES活動においては、活動内容や各国状況の様子を見守っている。
- Chandrayaan-2では月面サンプル採取用機器のロシアとの共同開発を計画している。

日本へのアプローチ

- 日本と協力したいという意向を示している。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(5/10)



イタリア (ASI)

探査計画の特徴

- 独自の月探査ロードマップを検討しており、月周回探査やロボット天文台建設の構想もある。
- ESAのオーロラプログラムの主たる出資国である。

国際協力の考え

- 月探査は国際協力で進める方針を明確化している。

日本へのアプローチ

- 日本との協力に向けて情報交換をしている。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(6/10)



イギリス (BNSC)

探査計画の特徴

- 月探査では、ペネトレータを積んだ月周回機 (MoonLite)、さらに着陸機 (MoonRaker) を計画している。
- ESA探査計画において、ロボット探査などで貢献している。

国際協力の考え

- GES活動では、フレームワーク文書の原案を草起するなど積極的に取り組んでいる。
- NASAとの間で、月探査に関する協力協定を結んだ。

日本へのアプローチ

- 月周回機 (MoonLite) において、日本の ペネトレータに興味を示している。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(7/10)



フランス (CNES)

探査計画の特徴

- 探査に関しては科学探査を中心に進めているが、フランス独自の探査プログラムは予算が厳しく難しい模様である。
- 火星探査に重点を置いている。

国際協力の考え

- GES活動には、積極的に取り組んでおり、国際協力を重視している。
- 1990年代より、NASAと協力して火星サンプルリターンの技術検討を推進している。

日本へのアプローチ

- SELENE-2に対し、広帯域地震計ペイロードでの協力打診がある。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(8/10)



ドイツ (DLR)

探査計画の特徴

- 独自の月探査計画”Mona Lisa”の一環として月周回機と着陸機ミッションを検討中である。
- オーロラプログラムに積極的に参加している。

国際協力の考え

- GESに積極的に参加し、国際協力を重視している。

日本へのアプローチ

- SELENE-2について、日本との協力に向けて情報交換をしている。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(9/10)



カナダ (CSA)

探査計画の特徴

- NASA提案の月拠点参加に対して積極的であり、カナダ人クルーの参加を重要視している。
- 単独の宇宙探査計画は持たず、国際協力をベースとしている。

国際協力の考え

- 技術的優位性(ロボットアーム等の技術)を発揮する形で参加する。
- GES活動やESAのオーロラプログラムに対して、積極的である。

日本へのアプローチ

- 日本との協力に向けて情報交換をしている。

-2. 諸外国の宇宙探査の進め方(10/10)



ロシア (ROSKOSMOS)

探査計画の特徴

- 独自の有人輸送と有人月面拠点を含む月・火星探査計画を持っている模様である。

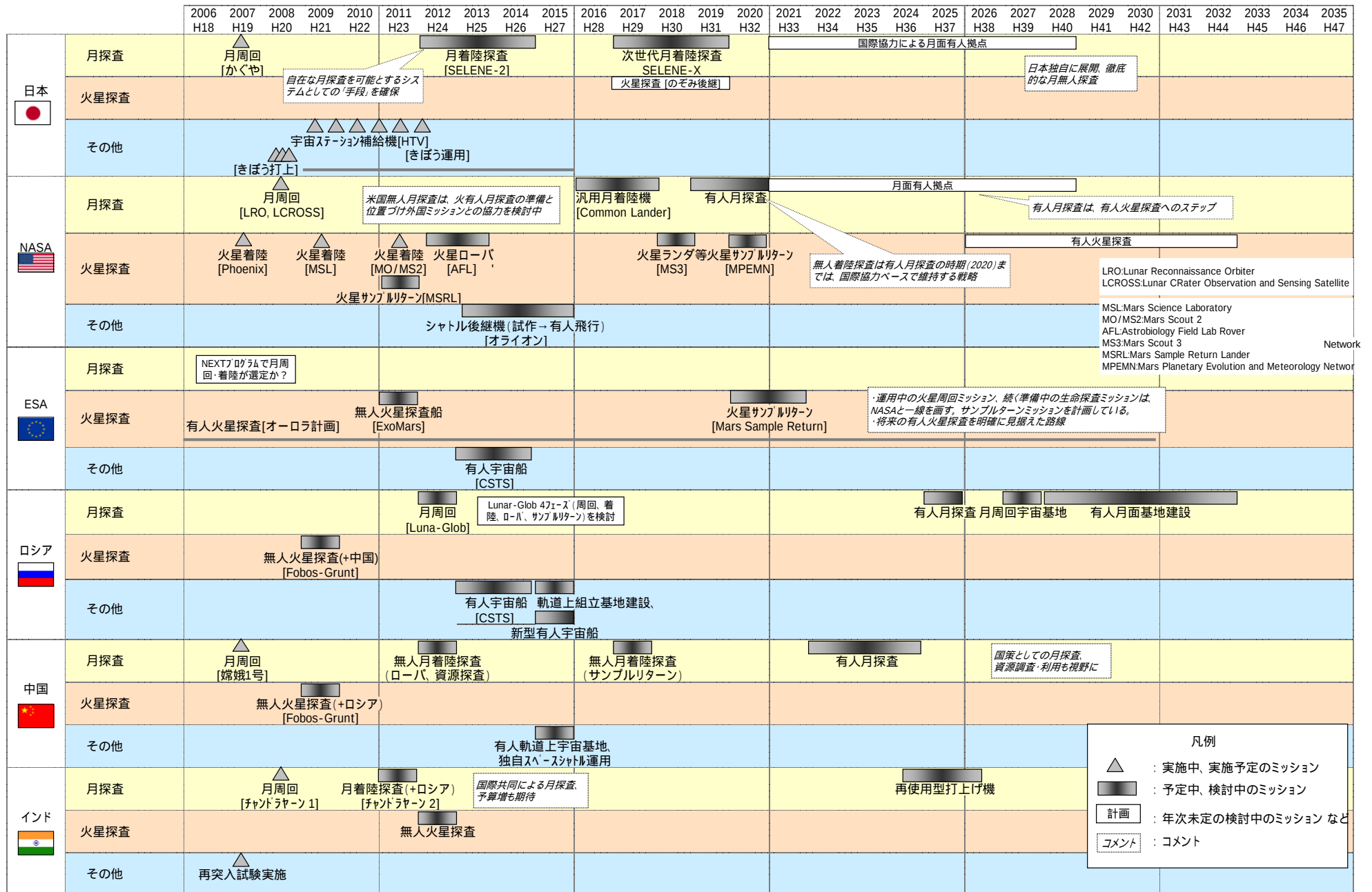
国際協力の考え

- 有人技術の優位性を背景に、幅広い国際協力調整を進めている。
- GES活動に参加して存在感を維持しつつ、NASA/ESAとは一定の距離を維持している。
- NASA有人月面拠点構想に対しては静観している。
- 有人宇宙船(CSTS)計画をESAと進めている。
- 火星探査についてはFobos-Gruntを2009年に打上げる(中国周回機の搭載を検討)。

日本へのアプローチ

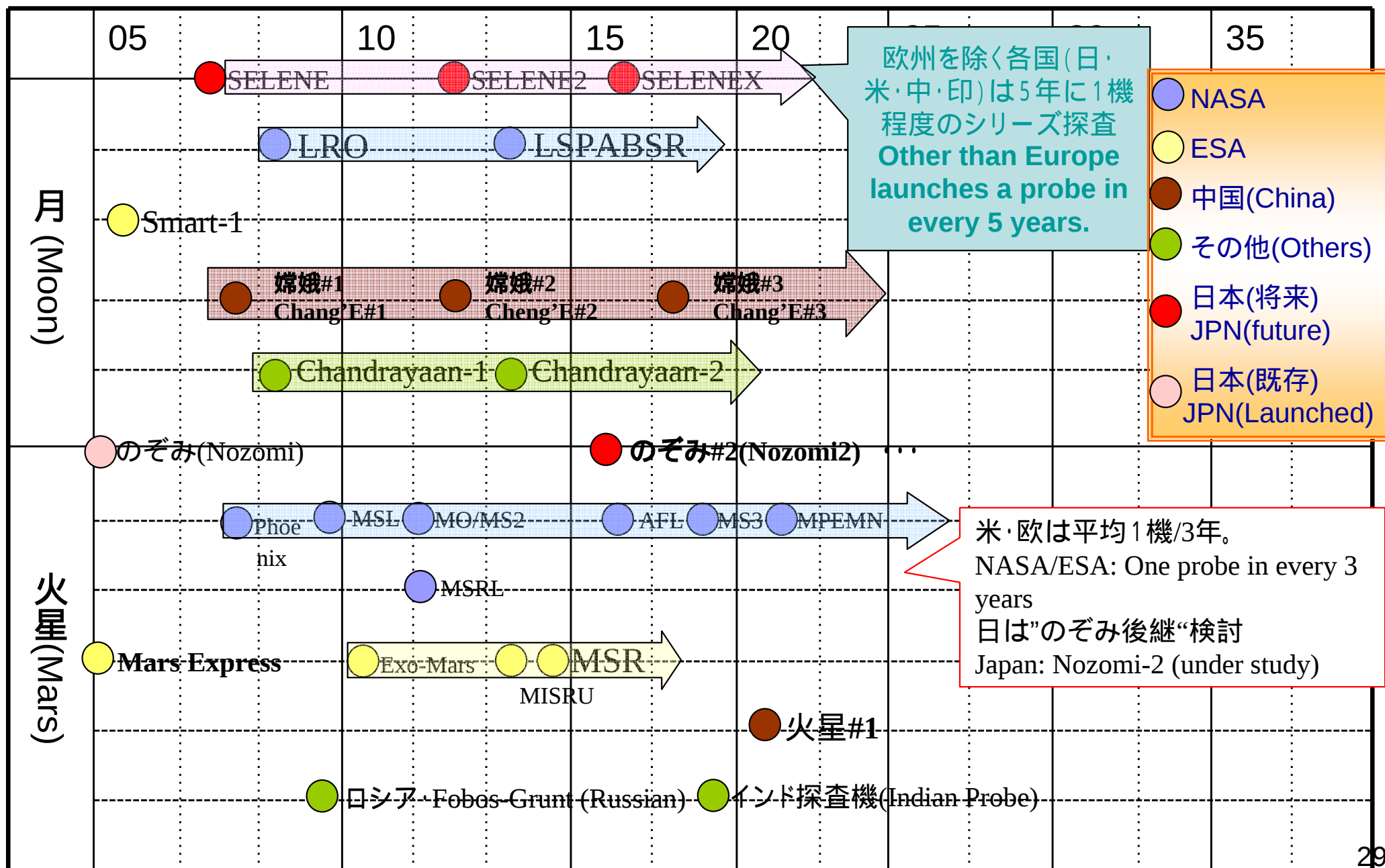
- 月周回着陸探査機(Luna-Glob)へのペネトレータ提供を期待している。

-3-1. 各国の月探査に関わる計画

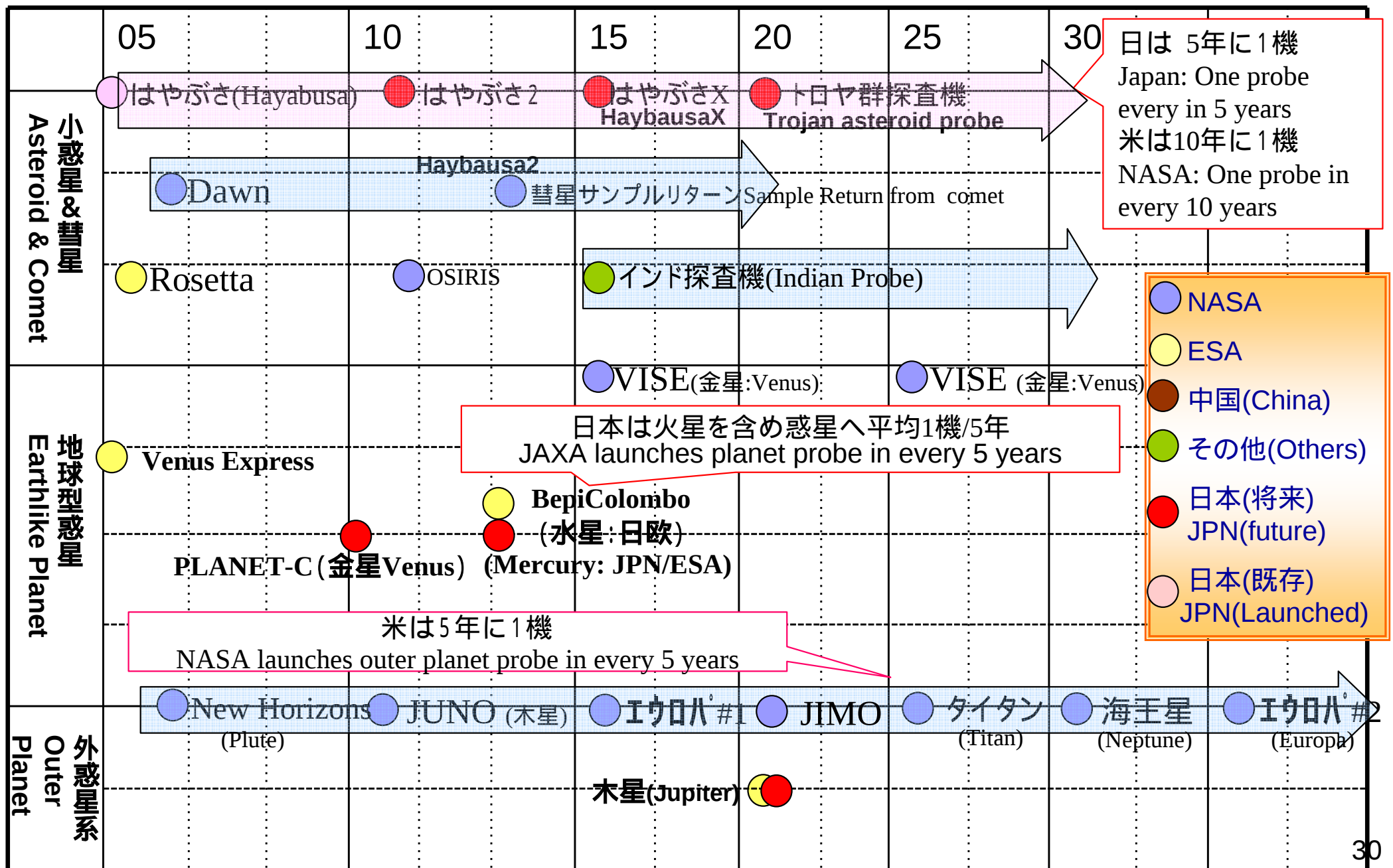




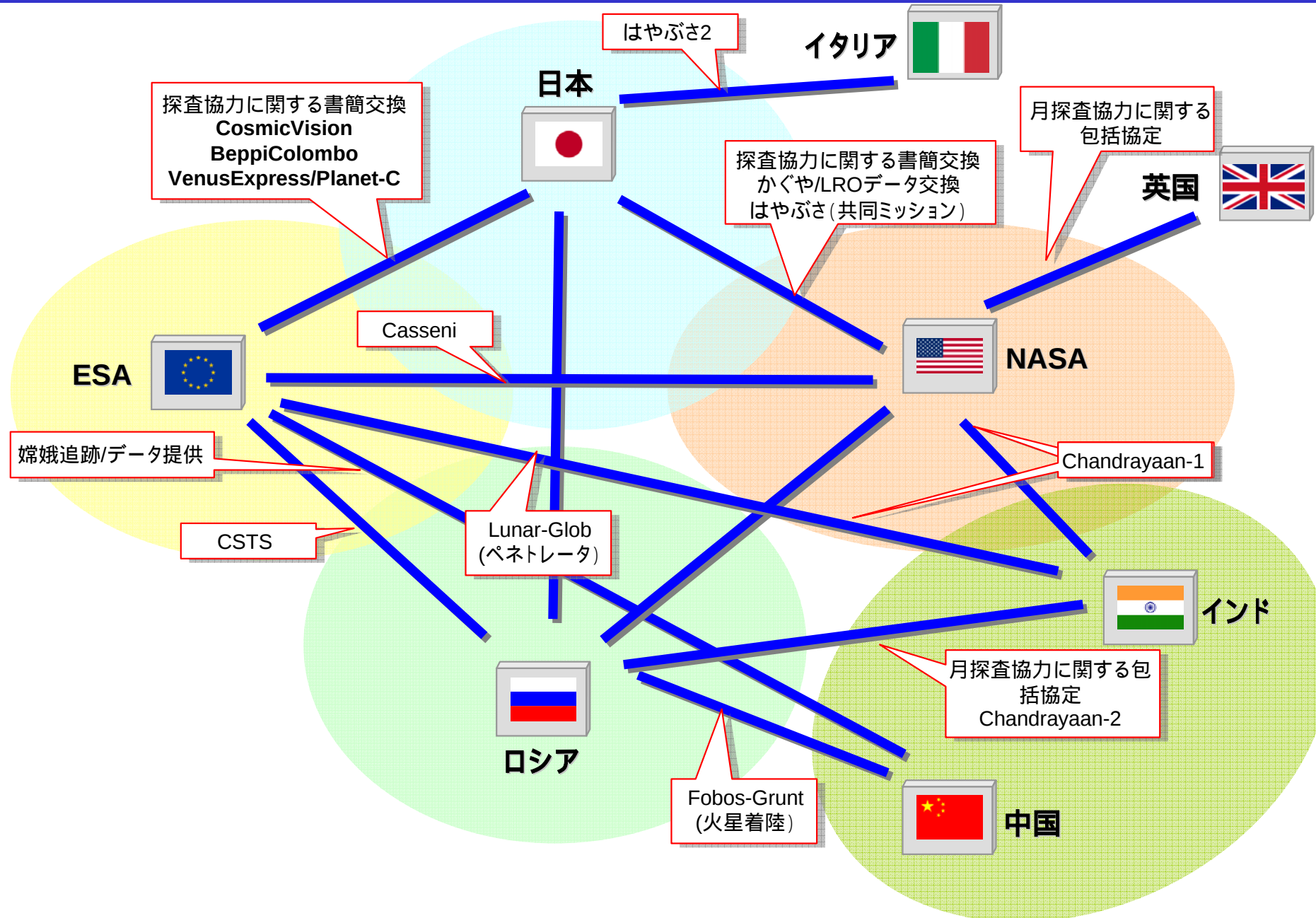
-3-3 . 各国の太陽系探査の計画(1/2)



-3-3 . 各国の太陽系探査の計画(2/2)



-4. 各国の協力関係



・各国の技術レベルの比較

-1 . 日本と外国の探査実績比較

	月探査	火星探査	月・火星以外の惑星	小惑星・彗星
日本	ひてん、はごろも、かぐや(無人月周回)	のぞみ(火星接近)		さきがけ、すいせい(彗星)、はやぶさ(小惑星サンプルリターン)
米国	・パイオニア、レインジャー(無人月周回)、サーベイヤー(無人月着陸) ・アポロ計画で6回の有人月面着陸を実施。サターン V の巨大な有人輸送機。有人月面車。 ・LRO で無人月周回	バイキング(火星着陸)、マーズパスファインダー(火星着陸、火星ローバ)、マーズサーベイヤー(火星周回)	バイオニア(木星・土星へ接近)、マリナー(金星・水星・火星へ接近)、ボイジャー(木星・土星・天王星・海王星へ接近)、ガリレオ(木星周回)、カッシーニ(土星接近、タイタン着陸)	ディープインパクト(彗星衝突)、ガリレオ(小惑星接近)、NEAR シューメーカー(小惑星着陸)
欧州	スマート1(無人月周回)	マーズエクスプレス(火星周回)	カッシーニ(土星接近、タイタン着陸)	ジオット(彗星)
ロシア	ルナ計画で無人月周回、無人月着陸、無人月面車、無人サンプルリターン		ベネラ(金星着陸)	ベガ(彗星)
中国	嫦娥(無人月周回)			
インド				
その他				

-2. 我が国の探査技術の実績



探査機4機を地球の重力圏外に送り出し、1機を月面に到達させた実績は、米露に次ぎ、欧州に並ぶ。

世界有数の実績をささえる世界第一級の技術の例

着陸技術

他の天体に安全で確実に着陸するための技術。小惑星への着陸は実証されており、月着陸については研究実績、FTB実験の蓄積がある。

ミッション解析

限られたリソースの元で、多くの条件に縛られながら、無数の工学技術を総合的にトレードオフして、最大の成果を狙う最適のシナリオを作成する技術。

深宇宙軌道決定

地上からの電波による追跡だけでなく、天体の光学画像も使用して、地球から数億kmはなれた位置にある探査機の軌道を精密に決定する技術。

搭載機器の軽量化

限られたリソースの元で、大きな打上げエネルギーが必要となるミッションを実現するため、すべての搭載機器について追求・実践されてきた軽量化技術。

ロボティクス技術

ロボットアームやローバによる作業能力や移動能力などの探査の汎用性、活動範囲を拡大する技術。また、日本産業界の得意とする分野である。

軌道設計・運用技術

月・地球などの天体を使ったスイングバイ技術や、電気推進等の高効率推進系を駆使した軌道設計、およびそれを実践する運用技術。

自律化技術

通信に時間が掛かる遠距離にある探査機を、効率よく安全に運用するために、搭載計算機により自律的に判断・運用ができるよう工夫する智能化技術。

超遠距離通信

最大3億7000万kmにもおよぶ超遠距離で、安定的に通信を実現するための通信機器技術と運用技術。

參考資料

参考 - 「さきがけ」「すいせい」



「さきがけ」(1985年1月8日 打上げ)

- 日本で初めて地球重力圏から脱出した探査機。
- ロケットの特性測定と、探査機の工学的試験。
- ハレー彗星に接近、太陽風磁場・プラズマ活動等を観測。
- 1999年の運用停止までの14年間、太陽風プラズマ波動の観測を継続。

「すいせい」(1985年8月19日 打上げ)

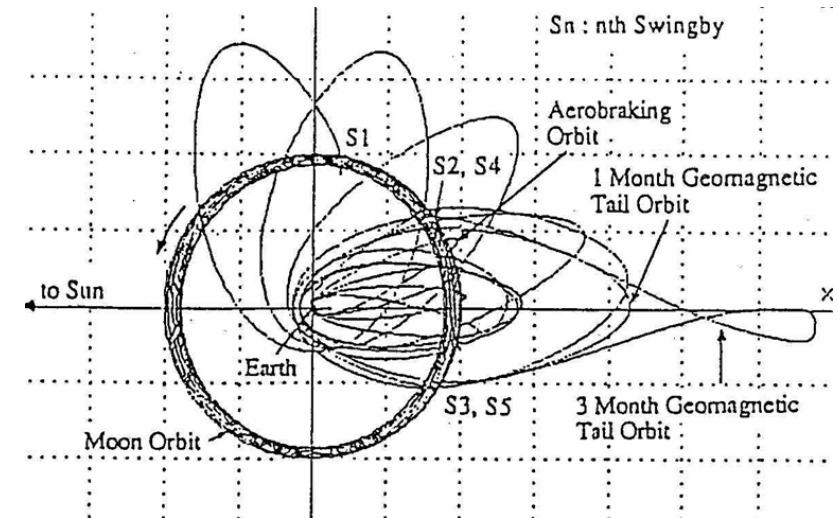
- 76年ぶりに接近したハレー彗星の観測。
- 国際協力探査計画として、ヴェガ(旧ソ連)・ジョット(ヨーロッパ)・アイス(アメリカ)と協力して、ハレー彗星を観測。
- 1986年3月8日、ハレー彗星に15万kmまで接近。
- ハレー彗星の自転周期、水放出率の変化の測定等、多くの観測成果。



参考 - 「ひてん」「はごろも」

「ひてん」(1990年1月24日 打上げ)

- 将来の惑星探査計画に必要となる軌道の精密標定・制御・高効率データ伝送技術等の実験。
- 10回におよぶ月スイングバイ実験、高度120kmの地球大気によるエアロブレーキ実験。
- 孫衛星を月周回軌道に投入、「はごろも」と命名。
- 1992年2月に「ひてん」も月周回軌道に投入、1993年4月11日に月のフレネリウス・クレーターに落下。



「ひてん」のミッション軌道
(地球中心太陽方向固定回転座標系、白道面内)



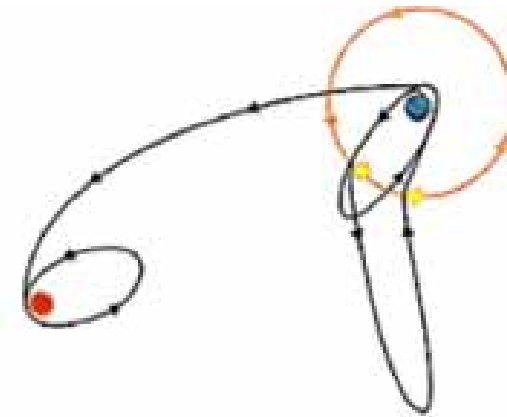
フレネリウス・クレーター

「ひてん」の着地点

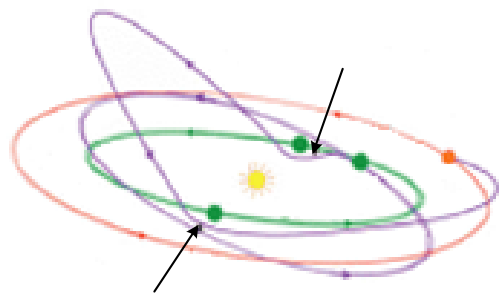


「のぞみ」(1998年7月4日 打上げ)

- 日本初の火星探査機。
- 目的は、火星の上層大気と太陽風との相互作用の研究。
- 2回の月スイングバイよりエネルギーを獲得するも、地球パワードスイングバイにおいてスラスタバルブ不具合。
- 軌道計画の大幅な変更により、2回の地球スイングバイを経て2004年1月に火星に到着する軌道に投入。
- 2003年4月に通信系・熱制御系に不具合が発生、最終的にすべてを復旧させることができず、2003年12月に火星軌道への投入を断念。



当初の「のぞみ」の軌道計画(概念図)



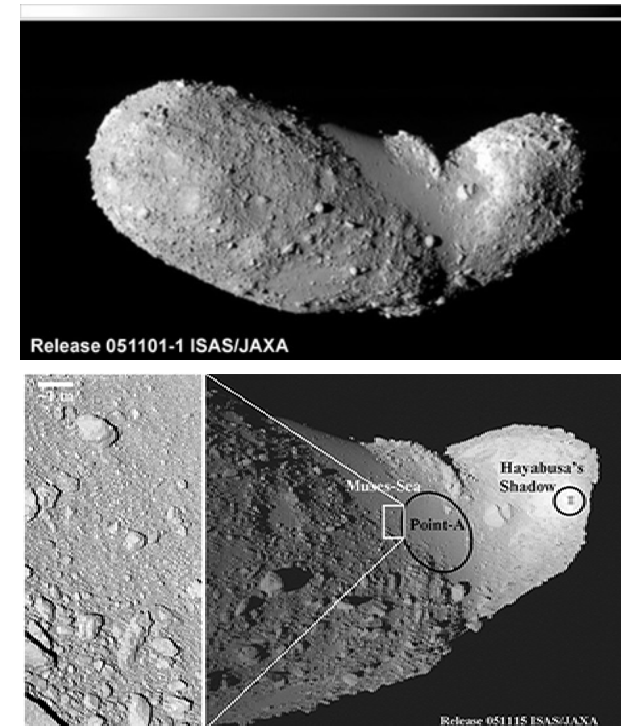
計画変更後の「のぞみ」の軌道計画(概念図)



参考 - 「はやぶさ」

「はやぶさ」(2003年5月9日 打上げ)

- 日本初の小惑星探査機。
- サンプルリターンに必要な4つの重要技術(電気推進、自立航法、サンブラ、再突入カプセル)の実証。
- 2005年9月に地球から約3億kmの小惑星イトカワに到着。同11月イトカワに着陸。
- 2005年9～11月にかけておこなわれた小惑星イトカワの科学観測の結果は、小惑星の形成過程を考える上で、まったく新しい知見をもたらし、その科学観測成果は、日本の惑星探査では初めて米科学誌「サイエンス」から特集号として発表された。
- 2005年11月、サンプル採取のための2度目のタッチダウン後、燃料漏洩により化学エンジン機能が復旧不能となり、地球への帰路の軌道計画の大幅な変更を余儀なくされる。
- 現在、2010年6月の地球帰還を目指して運用中。



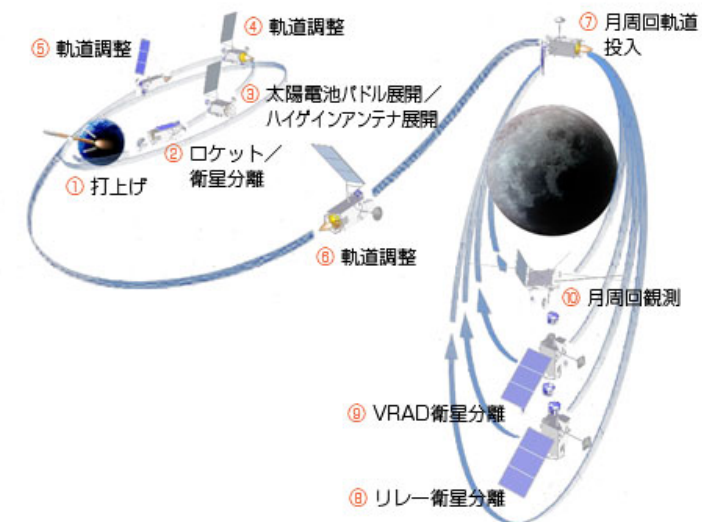
「はやぶさ」が明らかにした小惑星イトカワの姿



参考 - 「かぐや」

「かぐや」(2007年9月13日 打上げ予定)

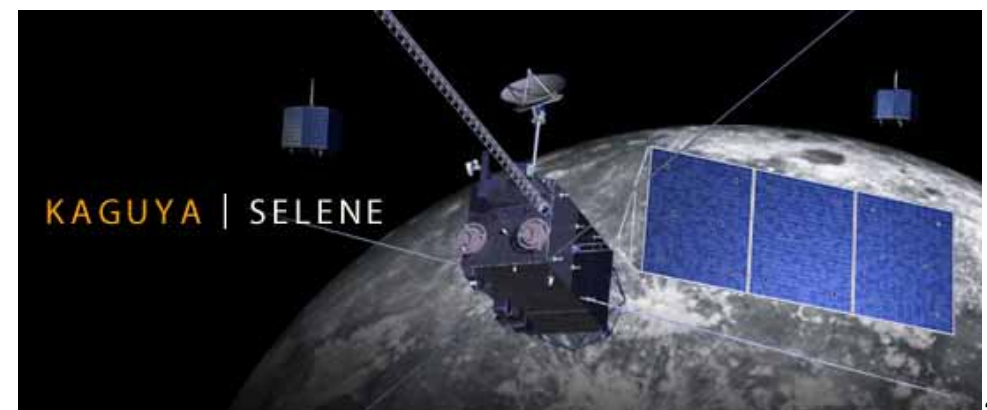
- アポロ以来、最大の月探査機。
- 目的:
 - 月全表面の元素組成、鉱物組成、地形、表面付近の地下構造、磁気異常、重力場を、高精度、高分解能で観測し、月の起源と進化の解明および月の利用可能性調査のためのデータを取得する。
 - 月周回軌道への投入や月周回軌道上での三軸制御・軌道制御技術、熱制御技術を確立する。
 - 将来の月面軟着陸技術開発のための基礎データを取得する。



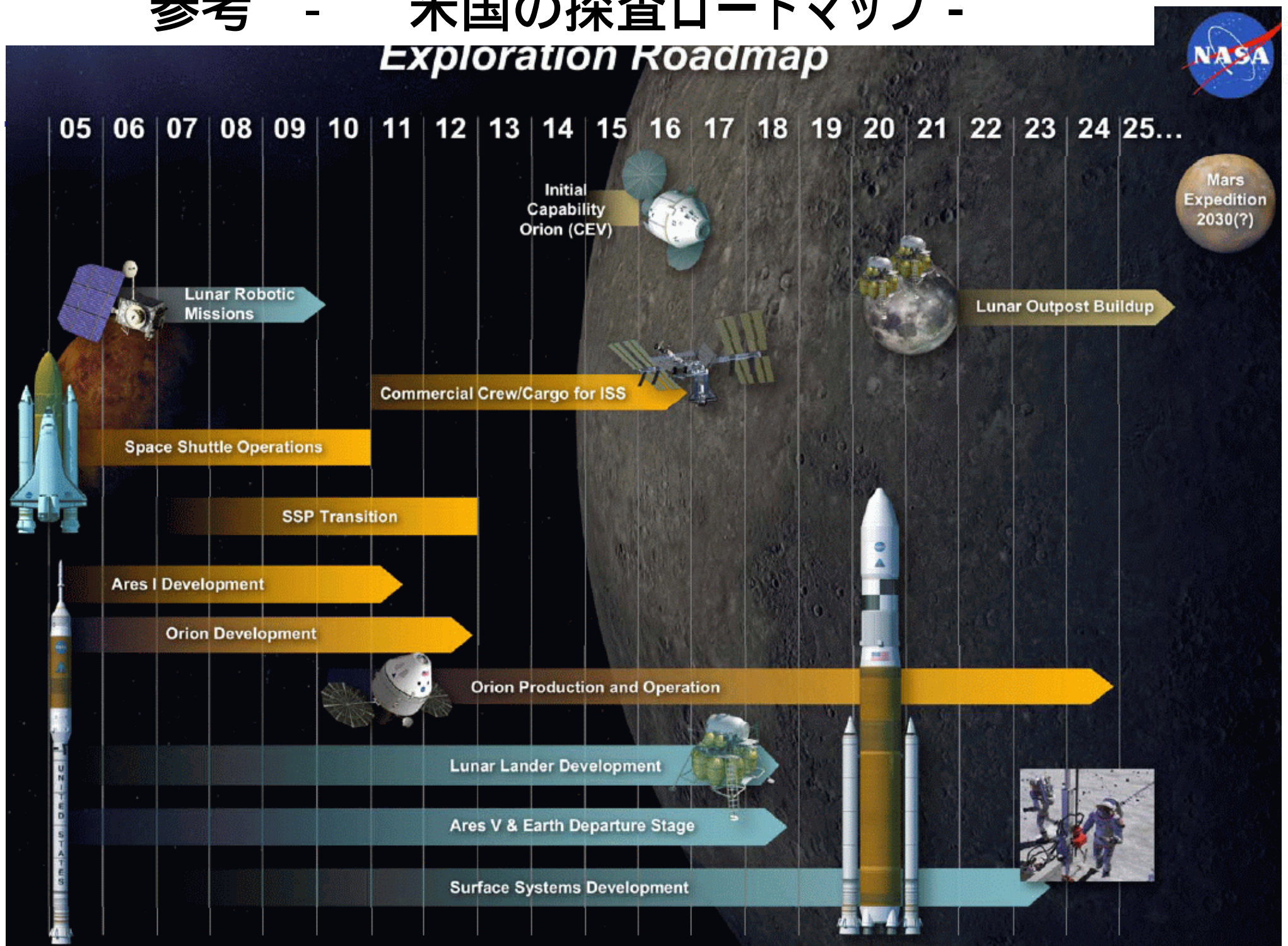
「かぐや(SELENE)」のミッションシーケンス



打上げを目前に控えた「かぐや」

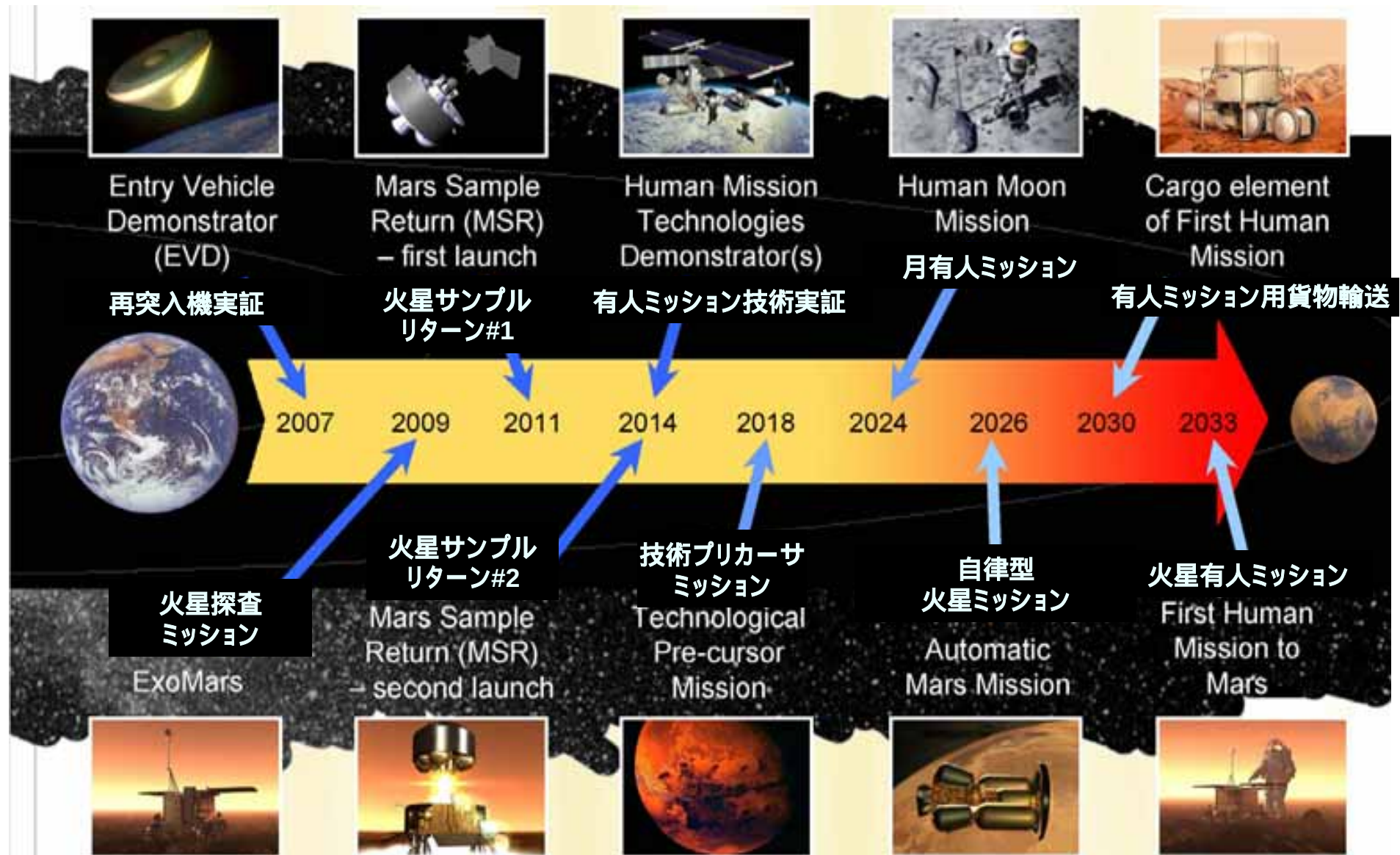


参考 - 米国の探査ロードマップ -



- (1) 月面拠点(Outpost)建設を2020年までに開始すると宣言した。当面は、短期滞在型から着手する。
- (2) 月面拠点(Outpost) 建設地は、極域のクレータ縁の日照地とした。極域の地域に特化した探査としており、クレータ中央丘や低緯度帯の調査、ネットワーク観測などには実施が難しいものもある。
- (3) 月への有人輸送、着陸機などの建設開始時の短期滞中に必須の基幹要素は、NASA が単独で担う。一方、その他の無人プリカーサ、居住モジュール、電源、利用調査などの 要素や、長期滞在で必要な要素については、国際パートナーの参加を期待。

参考 - ESAの探査計画(オーロラ計画)



アメリカ宇宙政策としての アポロ計画

渡邊 浩崇

大阪大学大学院法学研究科
特任研究員

E-mail: hirotaka@law.osaka-u.ac.jp

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

1

目 次

1. はじめに
2. ケネディ政権におけるアポロ計画①～④
3. ジョンソン政権におけるアポロ計画①～⑥
4. ニクソン政権におけるアポロ計画
5. おわりに
6. 参考文献

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

2

1. はじめに

■ アポロ計画の概要

- 目的: 人類初の有人月面着陸・探査
- 期間: 1961年5月(決定)～1972年12月(終了)
- 費用: 230億ドル(現在価値1200億ドル)
- 人材: 40万人(NASA職員35000人)
 - マーキュリー計画: 3.6億ドル
 - ジェミニ計画: 12億ドル
 - ベトナム戦争: 戦費1500億ドル、戦死傷者36万人(アメリカ)
- 成果: 月面着陸12人、月の石380kg

■ アポロ計画の評価・意義

- 政治外交的: 国際政治、国内政治 → 本発表(アポロ計画の決定・実施過程)
- 経済的: 経済効果、商業的価値
- 社会的: 人類史、世論調査
- 科学技術的: 月の科学、スピンオフ

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

3

2. ケネディ政権におけるアポロ計画①

■ スプートニク・ショック(1957年10月)

- ミサイル・ギャップ: 核戦略
- スペース・ギャップ: 宇宙科学技術
- アメリカ航空宇宙局(NASA)と国家航空宇宙会議(NASC)の設立

■ 1960年大統領選挙

- 民主党ケネディ: ギャップの克服、戦略的宇宙競争に勝利 → 追い風で勝利
- 共和党ニクソン: アイゼンハワー政権の宇宙成果(科学、実用)を評価

■ ケネディ政権の誕生(1961年1月)

- 宇宙政策担当者
 - NASC議長: ジョンソン副大統領(競争派)
 - 大統領特別補佐官(科学技術担当): ウィズナー(協力派)
 - NASA長官: ウェッブ(競争派)
 - 国務長官: ラスク
 - 国防長官: マクナマラ
- 最初の基本宇宙政策 ← 第三世界における冷戦の緊張
 - アメリカ宇宙科学技術力の向上: ギャップ(ロケット推進力)の克服
 - 国際宇宙協力(国際協調)の推進: 冷戦の緊張緩和

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

4

2. ケネディ政権におけるアポロ計画②

- 2つのショック(1961年4月)
 - ガガーリン・ショック:ソ連の人類初の有人宇宙飛行
 - ピッグズ湾・ショック:キューバ・カストロ政権転覆計画の失敗
 - 2つのショックの組合せ →新宇宙政策の早急な策定
- アポロ計画の決定過程(20日間)
 - ケネディ:NASC議長ジョンソンに命令(4月20日)
 - ジョンソン:政府・議会・専門家の合意形成
 - ウェブ:科学技術的意義が損なわれないように努力
 - アメリカ初の有人宇宙飛行(5月5日) →国内外世論への影響
 - ウェブとマクナマラの共同覚書(5月8日):有人月面着陸
 - 軍事でもない、商業でもない、科学でもない、「民生の(civilian)」計画
 - 冷戦の流動的な最前線での戦闘の一部
 - アポロ計画の決定(5月10日):10年以内に有人月面着陸を実現
 - 経済顧問:反対、アポロ計画の経済効果は小
- アポロ計画の発表(1961年5月25日)
 - 第二次一般教書演説「国家の緊急課題」 →冷戦におけるソ連との対決姿勢
 - 純粋な科学的宇宙競争から政治的・心理的宇宙競争へ

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

5



平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

6

2. ケネディ政権におけるアポロ計画③

- ウィーン米ソ首脳会談(1961年6月)
 - 準備交渉: 極秘の非公式ルート(5月9日開始)
 - ケネディ: アポロ計画の莫大な経費と米ソ関係への悪影響を憂慮
 - アメリカ側: 米ソ宇宙協力を提案
 - ソ連側: 拒絶、アメリカの意志と能力を軽視 → アポロ計画による対決
 - 本会談(6月3日、4日): 対決的雰囲気(ベルリン、ラオス、核実験禁止)
 - ケネディ: 米ソ共同月探査を提案(アポロ計画に対する反応を確認)
 - フルシチョフ: 一度応諾後、拒絶
- ケネディ政権の二重の宇宙政策
 - 米ソ宇宙科学協力: 米ソ関係の改善
 - ケネディとフルシチョフの直接意見交換(1962年2月開始)
 - 気象・地磁気・通信衛星に関する米ソ宇宙協力協定(1962年6月)
 - アポロ計画: 米ソ宇宙競争に勝利
 - ケネディのライス大学演説(1962年9月): “We choose to go to the moon.”
- キューバ・ミサイル危機(1962年10月)
 - アメリカの意志と能力を明示する必要性: アポロ計画の重要性
 - 米ソ間の緊張緩和の必要性: 国際協調(国際宇宙協力)の促進

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

7

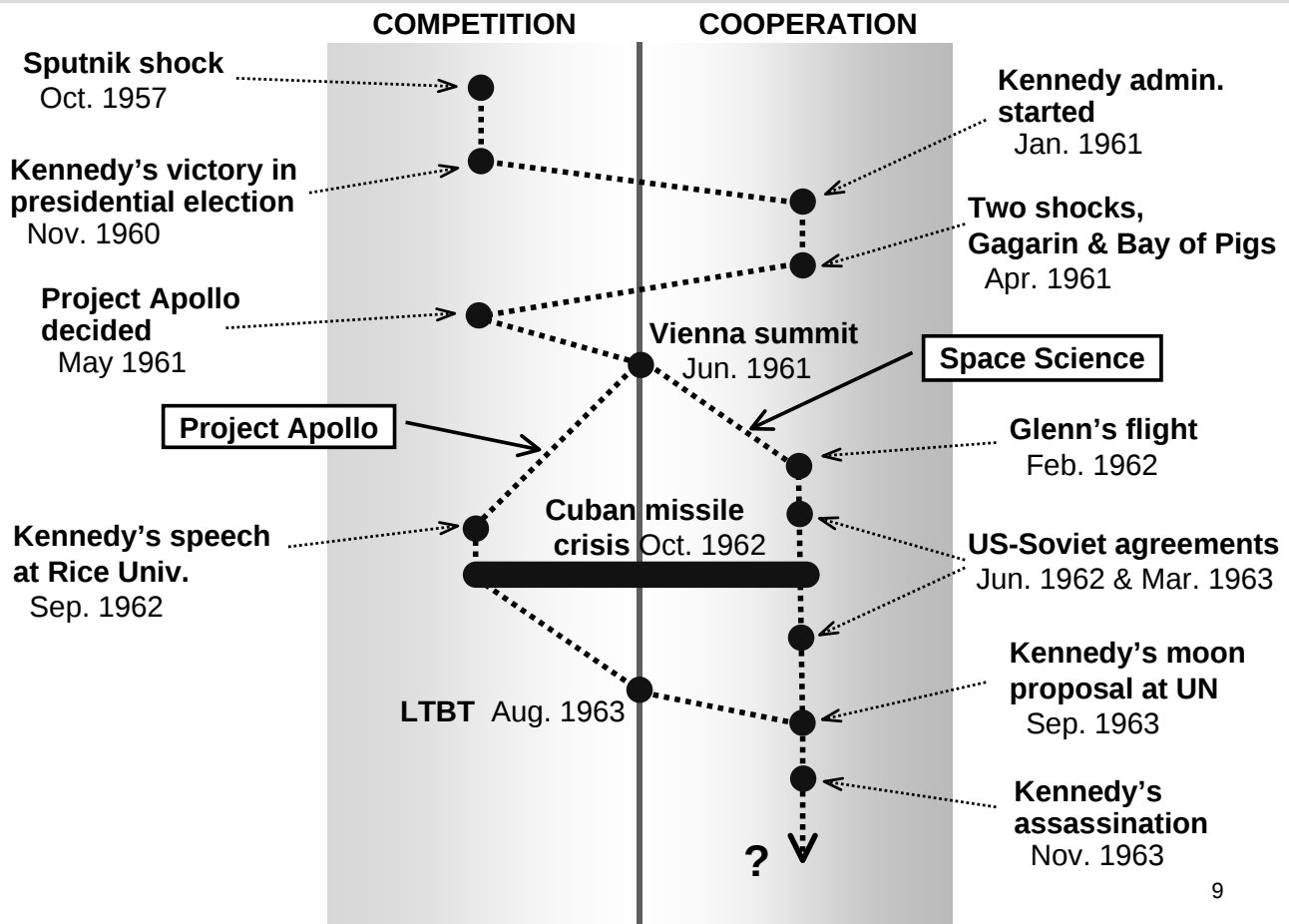
2. ケネディ政権におけるアポロ計画④

- 米ソ共同月探査構想
 - ケネディの国連総会演説(1963年9月20日)
 - 背景
 - ソ連情報: 独自の有人月探査計画なし、協力に前向き?
 - 部分的核実験禁止条約(LTBT)(1963年8月)
 - アポロ計画に対する批判: 予算と組織
 - 米ソ宇宙科学協力の「第一次了解覚書」(1963年3月、8月)
 - 反応
 - アメリカ国内に驚きと混乱: 政府・議会・専門家との事前調整なし
 - ソ連の曖昧な反応: フルシチョフやソ連宇宙飛行士の発言
 - ケネディ: アポロ計画と米ソ宇宙協力は一つの政策を支え合うもの
 - 「国家安全保障行動覚書(NSAM)第271号」(1963年11月12日)
 - ケネディ: NASAに米ソ共同宇宙計画の作成を命令
 - 具体案: 有人月面着陸のための無人月面探査や補給支援
- ケネディ暗殺(1963年11月22日)
 - ジョンソン副大統領、大統領に昇格

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

8

Changes in the Priority of Kennedy's Space Policy



9

3. ジョンソン政権におけるアポロ計画①

- 米ソ共同月探査構想の継続
 - スティーブンソン国連大使: ケネディ提案を再喚起(1963年12月2日)
 - ジョンソン: 最初の一般教書演説(1964年1月8日)
 - 可能ならば協力、必要ならば単独で月探査 → 協力と競争の中間姿勢
 - 共同月探査に関して「待ち」の姿勢
 - ウェッブ報告書「宇宙研究計画における米ソ協力」(1964年1月31日)
 - ① 段階的協力アプローチ: データ交換から共同宇宙飛行まで
 - ② 1962年以来のNASAとソ連科学アカデミーの交渉経路を継続
 - ③ ソ連側の反応があるまで、新たな提案なし
 - 「国家安全保障行動覚書(NSAM)第285号」(1964年3月3日)
 - ジョンソン: ウェッブ報告書を承認
- 米ソ宇宙科学協力の継続
 - NASA副長官ドライデンとソ連科学アカデミー会員ブラゴンラボフ
 - ソ連側: 米通信衛星「エコー2号」のデータを転送(1964年1月) → 初の協力
 - アメリカ側: 気象衛星のデータ交換や打ち上げ調整を提案(1964年3月)
 - ソ連側: 共同月探査と宇宙科学協力の両提案に反応なし

3. ジョンソン政権におけるアポロ計画②

- 「偉大な社会」構想(1964年5月)
 - 国民生活とアメリカ文明の質を向上
 - アポロ計画:偉大な社会の一部(経済成長を誘引)
- 米ソ宇宙科学協力の「第二次了解覚書及び付属書」(1964年6月)
 - ①ワシントンとモスクワ間の気象データ網「コールド・ライン」の設立と使用
 - ②宇宙生物学及び宇宙医学における協力(11月に削除)
- ソ連の変化
 - 独自の有人月面着陸計画の開始(1964年8月3日)
 - フルシチョフ解任(10月14日)
 - ブレジネフとコスイギンの新指導部:イデオロギー戦略優先
- 1964年大統領選挙
 - 民主党ジョンソン:米ソ共同月探査に言及せず、アポロ計画の遂行を主張
 - 共和党ゴールドウォーター:軍事宇宙計画の推進、米ソ宇宙協力を批判
 - 1964年秋の世論調査:国民の4分の3がアポロ計画を支持
→ジョンソンの大勝(11月3日)

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

11

3. ジョンソン政権におけるアポロ計画③

- ジョンソンの決意
 - NASA長官ウェッブ:ソ連最高指導部との接触を提案(1964年12月)
 - ジョンソン:却下
 - ジョンソン政権の基本宇宙政策(競争と協力のバランス)
 - ①アポロ計画の推進:ソ連との協力の可能性を残しつつも競争
 - ②米ソ宇宙科学協力の模索:NASAとソ連科学アカデミーの交渉経路
 - 米ソ宇宙協力の言及なし
 - 2回目の一般教書演説(1965年1月4日)
 - 大統領就任演説(1965年1月20日)
 - 宇宙政策担当者
 - NASC議長:ハンフリー副大統領(政治利用派)
 - 大統領特別補佐官(科学技術担当):ホーリング
 - NASA長官:ウェッブ(純粹推進派)
 - 国務長官:ラスク
 - 国防長官:マクナマラ
- ベトナム戦争の激化
 - アメリカの北爆開始(1965年2月7日):ソ連首相コスイギンのハノイ訪問中

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

12

3. ジョンソン政権におけるアポロ計画④

- アメリカの協力とソ連の競争
 - アメリカ側の提案(1965年3月5日)
 - 惑星汚染防止や火星などへの無人探査機打ち上げ調整
 - ソ連側: 拒絶、米ソ二国間協力からの撤退示唆
 - レオノフ: 人類初の宇宙遊泳(1965年3月18日) → アメリカは6月3日
- アメリカ国務省報告書(1965年4月26日)
 - 海外世論: 宇宙活動、原子力、科学発展においてアメリカよりもソ連が先行
 - アメリカ宇宙活動の推進を勧告
 - 有人宇宙飛行計画(ジェミニ、アポロ)
 - 宇宙実用分野における国際協力
- 米ソ共同月探査の再検討(1965年6月)
 - ジョンソン: 国連20周年演説のためにNASA副長官ドライデンに指示
 - ドライデンの提案
 - ① 国連月探査委員会の設立(各国月探査の管理・調整)
 - ② 米ソ共同月探査委員会の設立(現状報告、共同計画立案、条約締結)
 - ジョンソン: 却下 → 米ソ共同月探査の可能性が事実上消滅

3. ジョンソン政権におけるアポロ計画⑤

- 米ソ宇宙協力の模索続行
 - ジョンソン: ジェミニ打ち上げにソ連代表団を公式招待(1965年8月)
 - ソ連側: 拒否、理由①ベトナム戦争の悪化、②返礼は不可能
 - ウェッブ(ドライデン急死): ソ連金星探査機のデータ共有を提案(1966年1月)
 - ブラゴンラボフ: 情報提供の権限なし、開発責任者コロリョフ死亡
 - ソ連側: コールド・ラインで気象データをアメリカ側に送信(1966年9月)
→ 2度目の米ソ宇宙協力
- 最後の機運
 - 宇宙条約(OST)署名(1967年1月27日)
 - アメリカ: アポロ1号火災事故、宇宙飛行士3名死亡(同日)
 - ソ連: ソユーズ1号地面激突、宇宙飛行士1名死亡(4月23日)
 - ウェッブ: 半年毎の進捗状況の相互報告を提案(1967年6月)
 - ブラゴンラボフ: ソ連側の専門家の出席を調整できず
 - ジョンソンの提案(1967年10月10日)
 - 宇宙条約発効の祝賀会で、米ソ宇宙協力の再生を提案
 - ソ連側: 何ら反応なし → 米ソ宇宙協力の行き詰まり

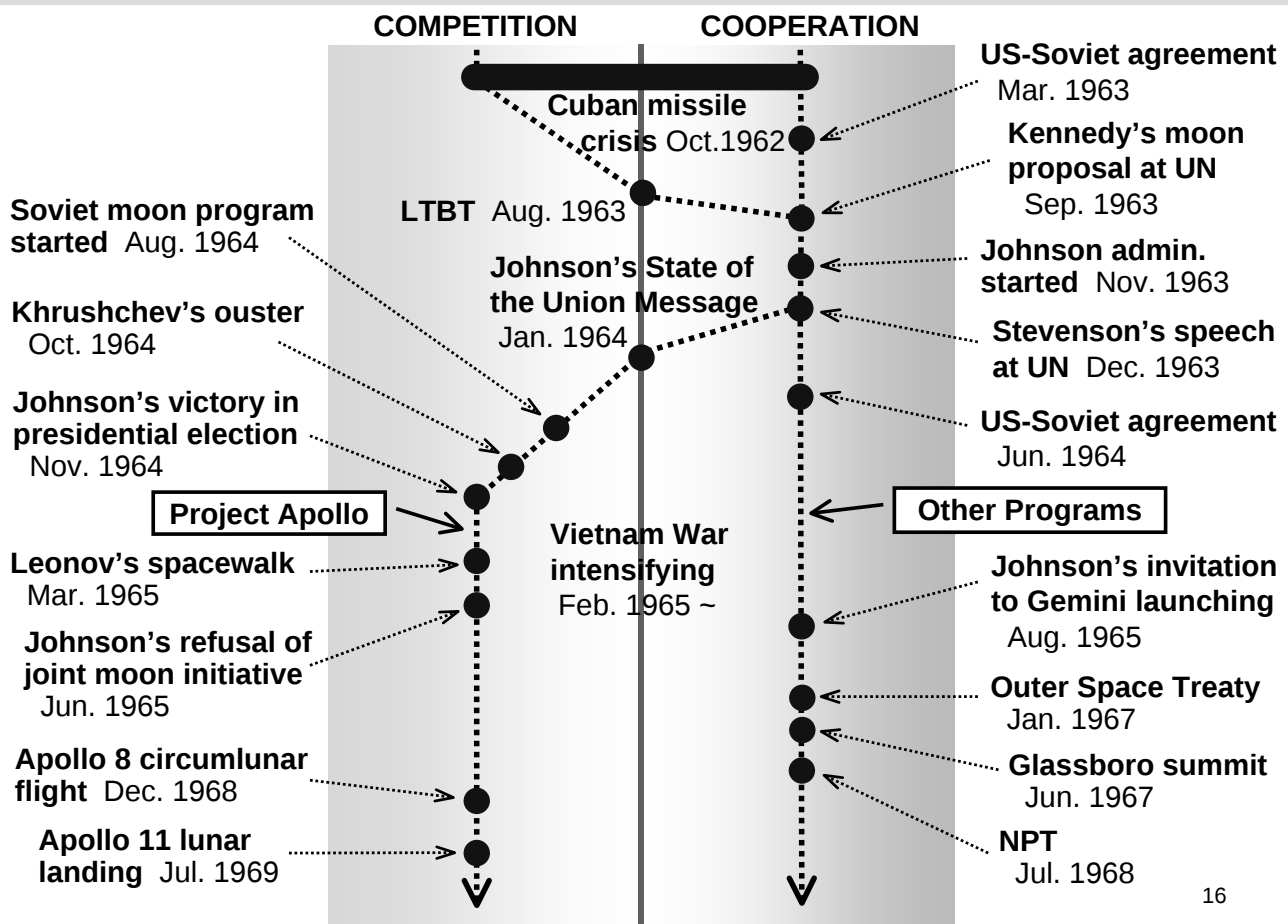
3. ジョンソン政権におけるアポロ計画⑥

- 米ソ関係の改善
 - グラスボロ米ソ首脳会談(1967年6月23日～25日)
 - ジョンソンとコスイギン: 軍縮問題などを協議
 - 核不拡散条約(NPT)(1968年7月1日署名、1970年3月5日発効)
 - 宇宙救助返還協定(1968年4月22日署名、12月3日発効)
 - ソ連: チェコスロバキア侵攻(1968年8月)
 - アメリカ: 事実上容認、米ソ関係を悪化させず ←ベトナム戦争
- NASA予算削減
 - 1965年度52.5億ドル以後削減 ←アポロ火災+ベトナム戦争
 - NASA長官ウェッブの努力+ジョンソン大統領のアポロ計画に対する支持
 - ウェッブ辞任(1968年11月): 予算獲得の駆引き?
- 米ソ月競争
 - アポロ8号: 人類初の有人月周回飛行(「地球の出」)(1968年12月21日)
 - NASA: ソ連に先行されないように急遽計画を変更して実施
- ジョンソン退陣
 - ベトナム戦争泥沼化 →ニクソン政権の誕生(1969年1月20日)

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

15

Changes in the Priority of Johnson's Space Policy



16

4. ニクソン政権におけるアポロ計画

- アポロ計画の継続と中止 (ジョンソン政権末期から縮小開始)
 - アポロ11号: 人類初の有人月面着陸 (1969年7月20日)
 - アポロ12号~20号の日程発表: アポロ12号 (11月、予定通り実施)
 - 1971年度NASA予算の削減 + アポロ13号事故 (1970年4月)
 - アポロ18号~20号: 中止決定 (1970年1月、9月)
- アポロ応用計画 (アポロ計画のロケット・宇宙船を利用)
 - スカイラブ計画 (1973年5月~1974年2月): 宇宙実験室
 - アポロ・ソユーズ試験計画 (1975年7月): ドッキング共同飛行
 - 準備交渉 (1970年10月開始): NASAとソ連科学アカデミー
 - ニクソン・ブレジネフ首脳会談で合意 (1972年5月)
 - 冷戦の緊張緩和 (デタント) の象徴 ← ケネディとジョンソンによる下地
- ポスト・アポロ計画の策定 (ジョンソン政権発足時から検討)
 - ニクソン政権の宇宙特別委員会 (STG) 報告書 (1969年9月)
 - シャトル、ステーション、タグ、有人火星探査
 - スペースシャトル計画の決定 (1972年1月)
 - 80年代の唯一の宇宙輸送システム (有人、部分的再使用、軍民両用)

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

17

5. おわりに

- アポロ計画の評価・意義 (政治外交的)
 - アメリカは宇宙分野だけでなく総合的に国際社会における地位を回復
 - 転換点: 競争から協力へ、探査から利用へ、月から地球へ
 - 宇宙政策としてのアポロ計画の目的の変化
 - ケネディ政権
アメリカの国力と理念の誇示 + 冷戦の緊張緩和
 - ジョンソン政権 (ニクソン政権)
アメリカの国力と理念の誇示 (他の宇宙政策で冷戦の緊張緩和)
 - 国際関係における競争と協力の交錯の中から決定され推進された宇宙政策
 - アポロ計画における競争と協力は国際関係 (冷戦) の安定性に貢献
- 宇宙探査という宇宙政策
 - 「軍事でもない、商業でもない、科学でもない、『民生の (civilian)』計画」
 - 目的・意義: 総合的、潜在的、政治外交的 + 科学技術的
 - 宇宙政策の最高決定機関の必要性
 - 日本: 宇宙開発委員会、宇宙戦略本部、日本版国家安全保障会議?
 - 今後の宇宙探査: 競争と協力の交錯 (バランス) の中で進展 (例) 米中関係

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

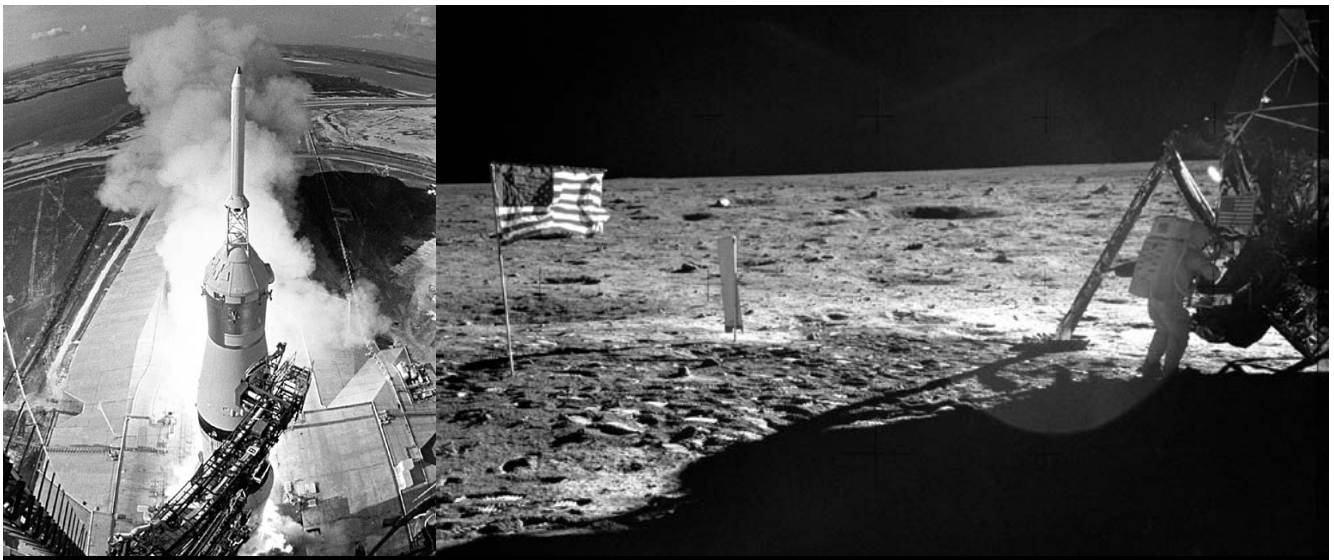
18

6. 参考文献

- 渡邊浩崇、「ケネディ政権とアポロ計画—宇宙政策における競争と協力—」(一)、(二・完)、『阪大法学』、56巻5号、2007年1月、56巻6号、2007年3月。
- Hirotaka Watanabe, “The Kennedy Administration and Project Apollo: International Competition and Cooperation through Space Policy,” paper presented at 57th International Astronautical Congress (IAC), Valencia, Spain, October 2006.
- Hirotaka Watanabe, “The Space Policy of the Johnson Administration: Implementation of Project Apollo,” paper presented at 58th International Astronautical Congress (IAC), Hyderabad, India, September 2007.
- John M. Logsdon, “The Evolution of U.S. Space Policy and Plans,” in John M. Logsdon, et al. eds., *Exploring the Unknown: Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program, Volume I: Organizing for Exploration* (Washington, DC: NASA SP-4407, 1995), pp. 377–393.
- NASA History Series Publications at <<http://history.nasa.gov/series95.html>>.

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

19



Photos from the Great Images in NASA (GRIN)
at <<http://grin.hq.nasa.gov/index.html>>

Thank you.

渡邊 浩崇

E-mail: hirotaka@law.osaka-u.ac.jp

平成19年度宇宙開発と国益を考える研究会
2007年12月20日

20

国益研究会 第1回会合

天文観測／惑星探査の意義

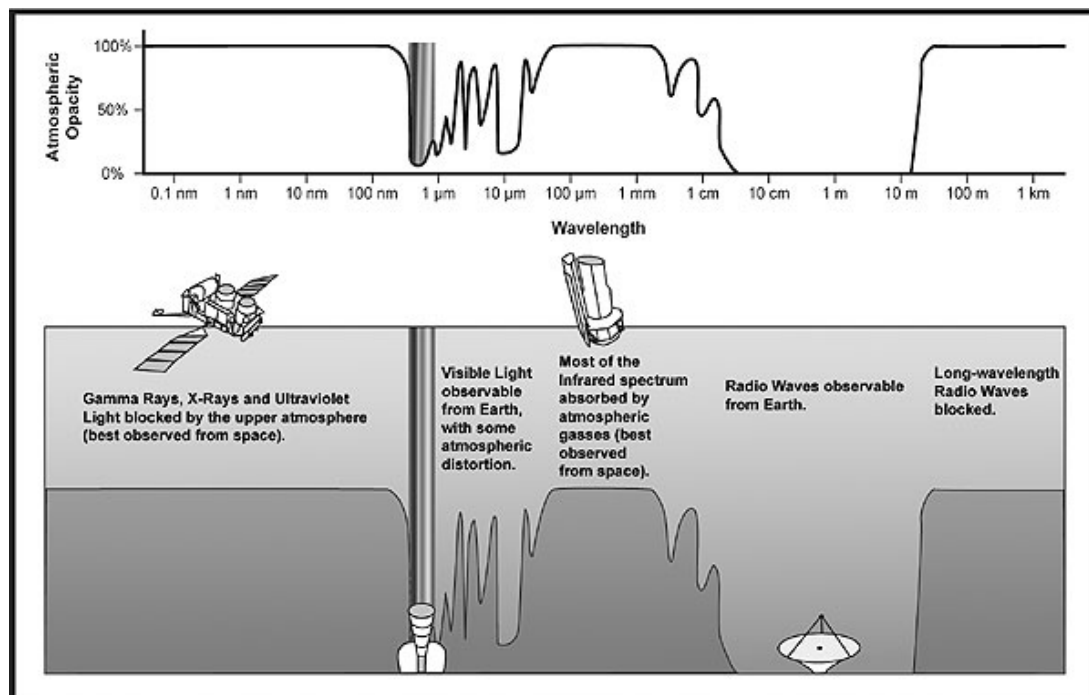
～ハッブル、すばる、はやぶさ、ボイジャー、火星探査など～

平成19年12月20日

寺門和夫

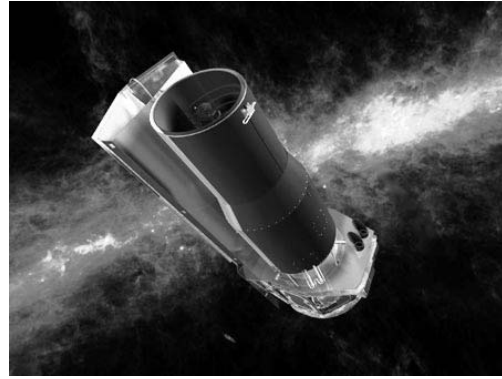
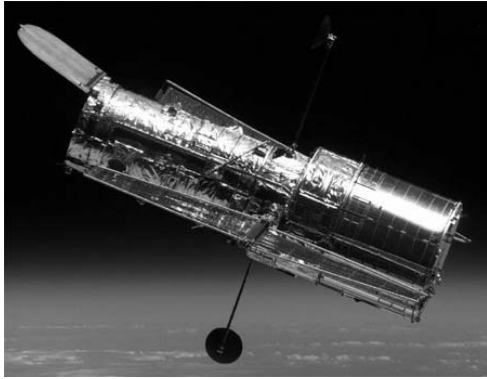
1

天文学の分野における宇宙探査の必要性



大気の窓: 地上から観測できるのは可視光、赤外線の一部、電波の領域
地上からに観測も大気の揺らぎや大気中の分子、水蒸気等によって邪魔される。

主な宇宙望遠鏡

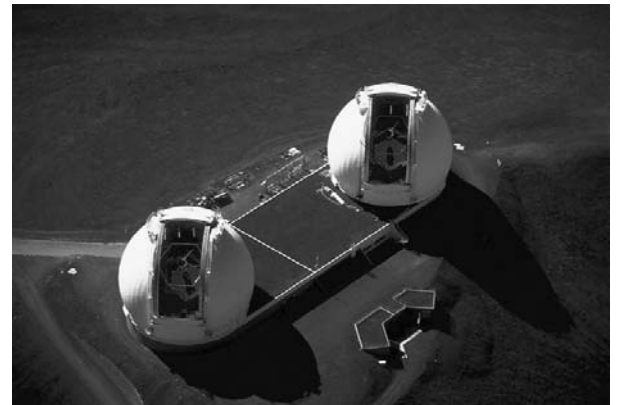


ハッブル宇宙望遠鏡(可視光・近赤外)
スピッツァー赤外線望遠鏡(赤外線)
チャンドラX線望遠鏡(X線)
Swift(ガンマ線)
WMAP(宇宙背景放射マイクロ波)
あかり(赤外線)
すざく(X線)
はるか(電波)
ひので(X線、可視)



3

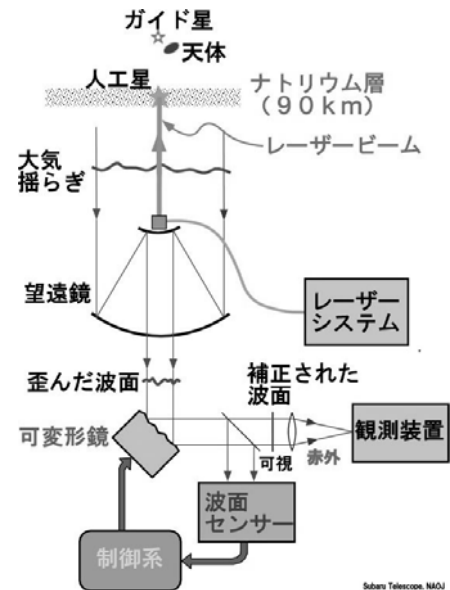
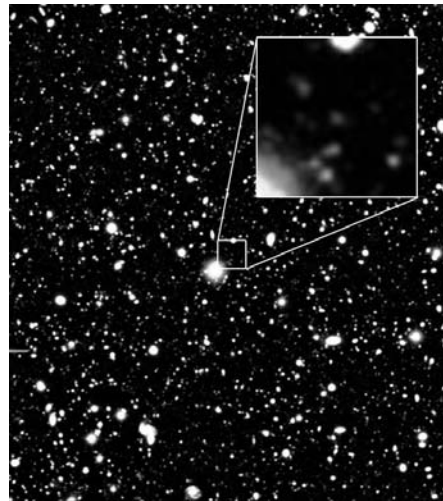
主な地上望遠鏡



すばる(ハワイ)8.2m
KECK(ハワイ)9.96m × 2
HET(アメリカ)9.2m
LBT(アメリカ)8.4m × 2
VLT(ESO)8.2 × 4
GEMINI(ハワイ、チリ)8m × 2



すばる望遠鏡の性能向上



1990年代後半36素子補償光学系導入

2006年、「レーザーガイド補償光学系」導入

(188素子補償光学系とレーザーガイド星生成システム)

5

今後の地上望遠鏡計画



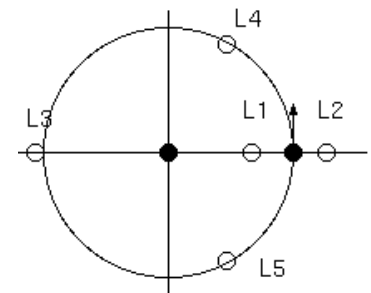
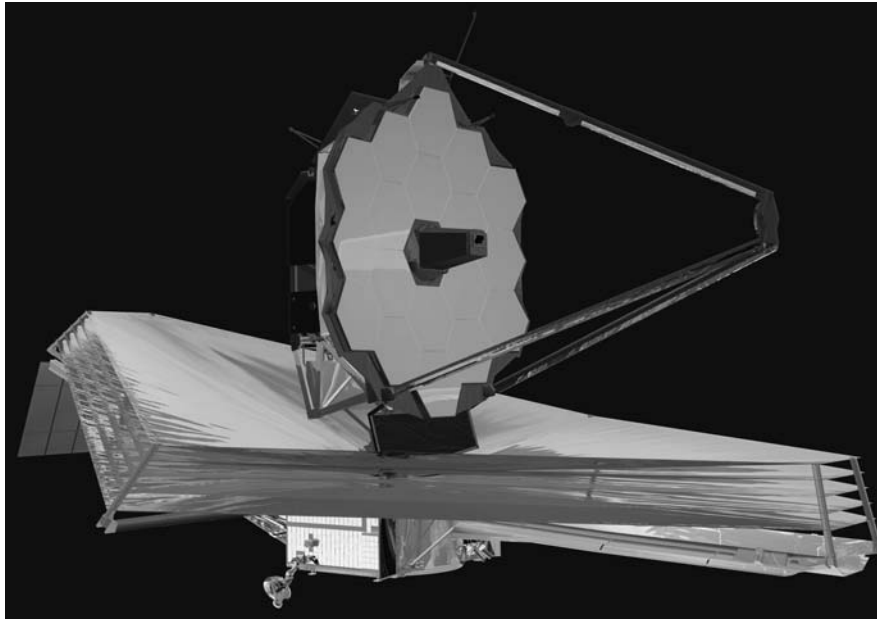
SALT(南アフリカ)10.2m(建設中)

ラ・パルマ10.4m(建設中)

(参考)ESOのAWL計画(100m)

6

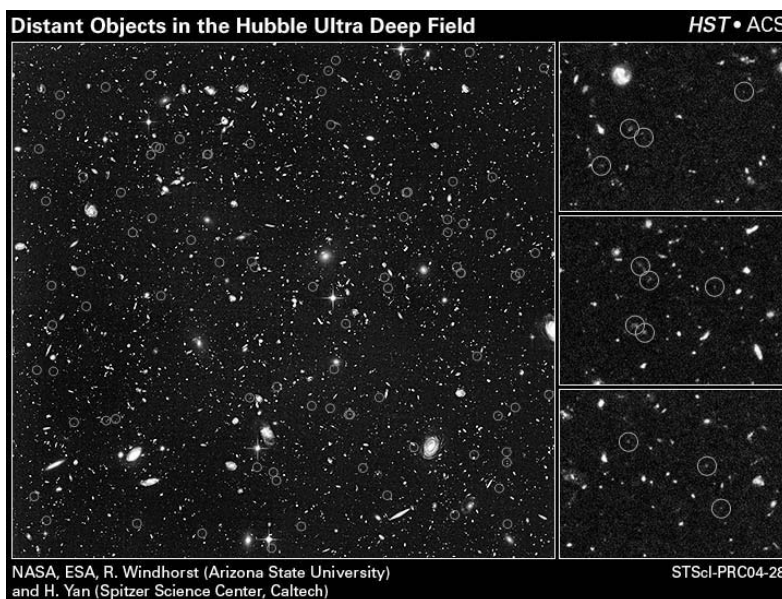
次期宇宙望遠鏡



ハッブル宇宙望遠鏡の次世代望遠鏡、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は2013年打ち上げの予定。
主鏡は口径6.5m(ハッブルは2.4m)、赤外線で観測、L2に置かれる。

7

宇宙望遠鏡および大型地上望遠鏡の成果



NASA, ESA, R. Windhorst (Arizona State University)
and H. Yan (Spitzer Science Center, Caltech)

STScI-PRC04-28



天文学の教科書は書き換えられた。
望遠鏡観測の新しい時代。

8

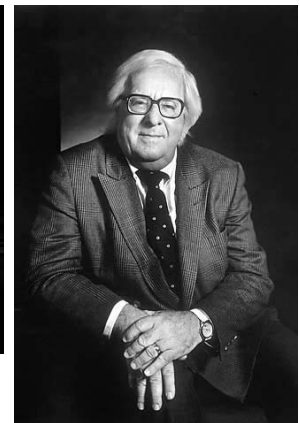
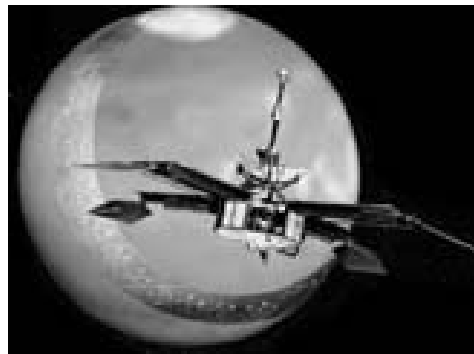
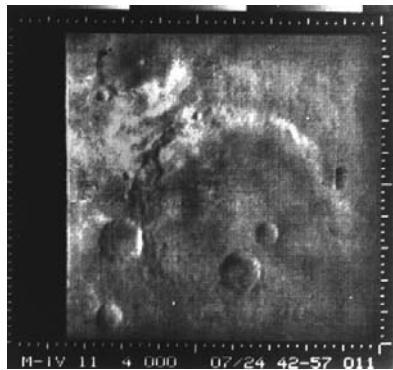
「ハビタブルゾーン」の岩石型惑星には生命存在の可能性。

ナトリウム、マグネシウム、リン、硫黄、塩素、カリウム、カルシウム

9

「子午線の湾」、「大シルチス」、「サバ人の湾」、「オリンポス雪原」など、詳細な地名がつけられた。

惑星探査の時代



1965年、マリナー4号がはじめて火星表面の近接撮影に成功。クレーターだらけの表面の写真を送ってきた。
惑星観測における「望遠鏡時代」の終わり。

11

主な惑星探査機



水星	マリナー10号、メッセンジャー
金星	ベネラシリーズ、パイオニア・ビーナス、マゼラン
月	アポロ、クレメンタイン、かぐや
火星	バイキング、MGS、MER、MRO、マーズエクスプレス
木星	ボイジャー1号、2号、ガリレオ
土星	ボイジャー1号、2号、カッシーニ
天王星	ボイジャー2号
海王星	ボイジャー2号
冥王星	カイパーベルト天体 ニュー・ホライゾンス
小惑星	はやぶさ、NEAR

惑星科学の教科書は書き換えられた。

12

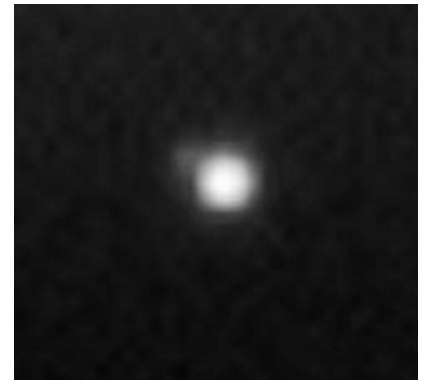
はるか彼方から見た地球



Pale Blue Dot
ボイジャー1号
1990年



You are here
MER
2004年



Pale Blue Orb
カッシーニ
2006年

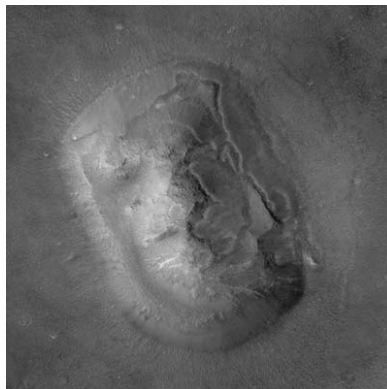
地球という天体を客観的に見る視点

13

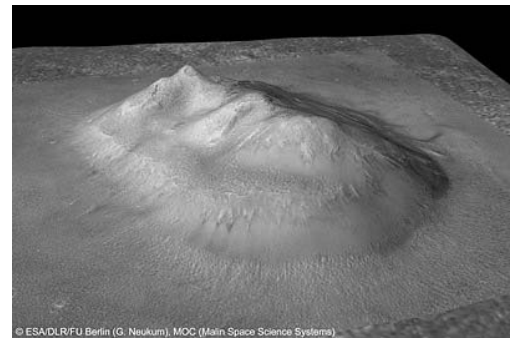
「反科学」「オカルティズム」との対決



バイキング
1976年



MGS
2001年

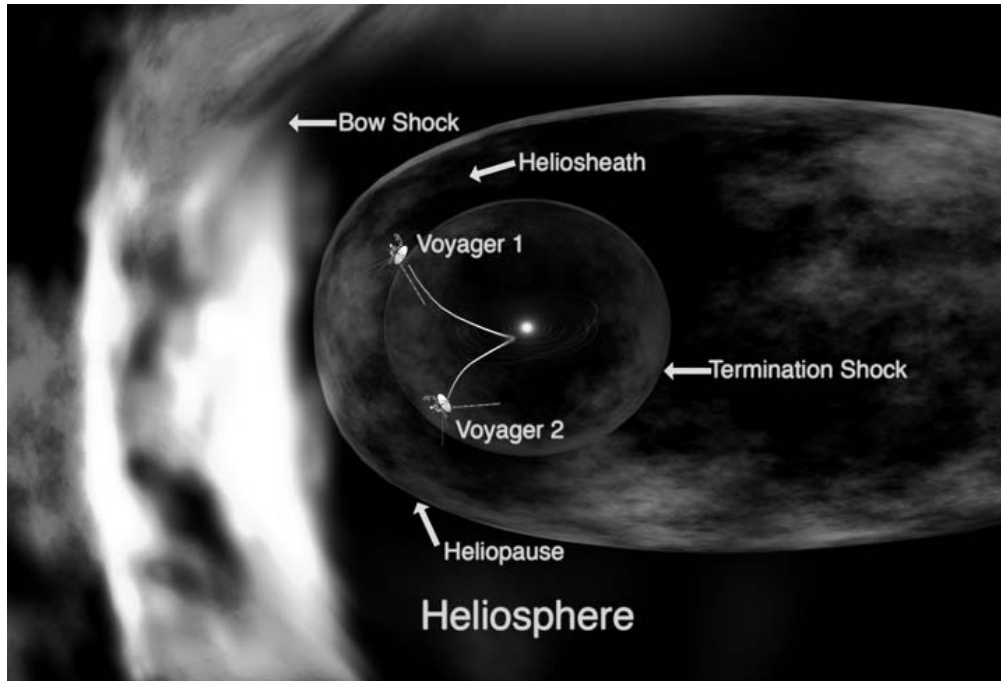


マーズ・エクスプレス
2006年

カール・セーガン『科学と悪霊を語る』

14

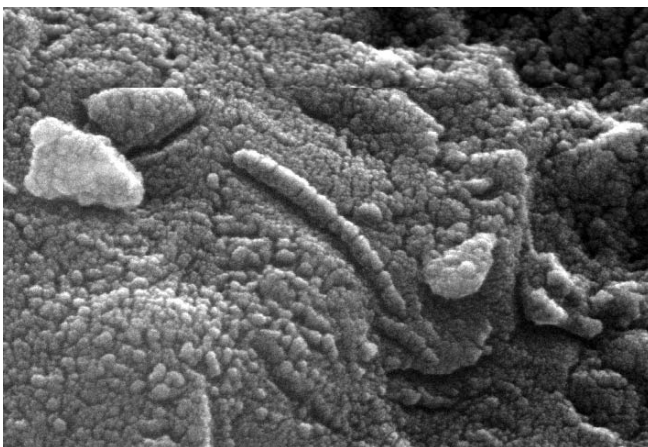
ボイジャーの恒星間ミッション



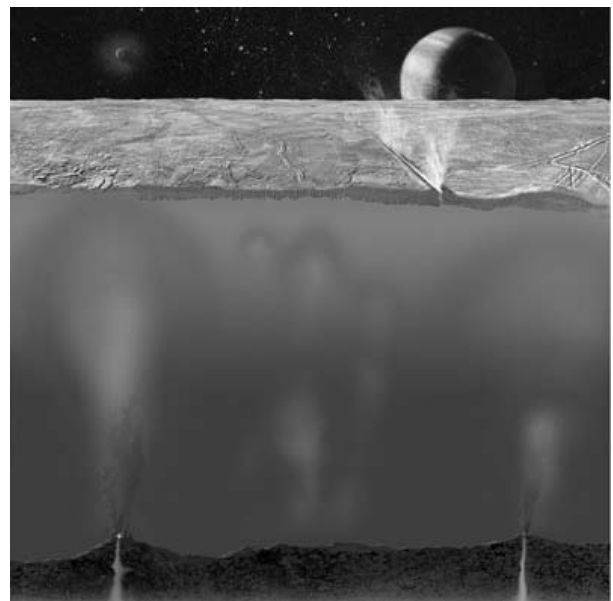
ボイジャー1号、2号は現在もミッションを継続中。
人類の知識は恒星間空間へ。

15

太陽系における惑星探査



火星の微生物？



エウロパの熱水鉱床

16

宇宙探査の目的

最大の目標は自然界の理解

最近は生命探査への指向が強くなっている。

銀河系内における知的生命の数 N を求めるドレークの方程式

$$N=R \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L$$

R =銀河系内に存在する恒星の数

f_p =その恒星が惑星系をもつ確率

n_e =惑星の中で地球型惑星がある確率

f_i =その惑星に生命が発生する確率

f_c =そうした生命が人類のような高等生命に進化する確率

L =その高等生命が他の星に対して通信を行なえるよう等文明を構築する確率

L =高等文明の寿命

17

結論

自然界を探求し、深く理解するには、

宇宙に出て行かなければならない。

宇宙に出ていかない限り、何もわからない。

18

「宇宙開発と国益を考える勉強会」

第2回 平成20年2月8日（金） 資 料

- ・「各国の政策文書に見る宇宙探査の意義」（事務局） 83
- ・「アポロ計画の成果について」（事務局） 87
- ・「探査機科学センサの性能比較資料」（JAXA） 97
- ・「月・惑星探査に関する意識調査結果（アンケート結果）」
(JAXA) 101
- ・「宇宙探査の意義について：ブレスト用資料」
(村山裕三) 107
- ・「第2回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題」
(渡邊浩崇) 109
- ・「第2回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題」
(寺門和夫) 113

各国の政策文書に見る宇宙探査の意義まとめ

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙探査は人類の好奇心 ● 教育・人材育成 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 教育効果 ➢ 人材育成（能力あるエンジニア・科学者など） ➢ 若い世代への感化 ➢ 一般への宇宙の理解の普及 ● 科学的成果 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 新しい科学的知識の獲得、起源の解明 ● 産業への貢献 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 宇宙産業の発展 ➢ 新たなビジネス機会、新しい企業の創出 ➢ 新たな技術やサービスのニーズ創出 ● 技術の向上 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 科学技術力の向上 ➢ イノベーション、ブレークスルー ➢ 技術スピノフ | <ul style="list-style-type: none"> ● 国の矜持・威信 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 国のリーダーシップの確保 ➢ 民族・国の団結 ➢ 国際社会における地位の維持 ● 安全保障 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 安全保障能力・国防力の向上 ➢ グローバルセキュリティ強化 ● 国際貢献 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 国際パートナーシップの強化 ➢ 国際交流による利益 ● グローバル社会への貢献 <ul style="list-style-type: none"> ➢ グローバルな課題の解決 ➢ 宇宙探査技術の地上への応用、実用サービスへの貢献 ➢ 新たな資源の獲得 ➢ 社会の活性化 ➢ 人類の存在の拡大、開拓精神 |
|---|--|

1

(参考)

各国の政策文書に見る宇宙探査の意義

グローバル探査戦略(GES):国際協働のための共通認識

社会的利益	・共通の目標による国際的なパートナーシップの強化 ・平和活動の共有によるグローバルセキュリティの強化 ・若い世代への感化 ・社会の活性化 ・生み出される技術による一層持続的な社会の建設 ・グローバルな課題の解決 ・宇宙への人類の存在の物理的・文化的な恒久的拡大
知的利益	・未知の探求に駆り立てる好奇心は人間の特性 ・革新的技術による新知識の獲得、新知識の解明
経済的利益	・新たな技術やサービスのニーズ創出 ・経済の拡大と新たなビジネスの創出 ・世界の技術・経済活動の革新を刺激

各国の政策文書に見る宇宙探査の意義

米国

意義	・宇宙プログラムは米国の誇り(米国のリーダーシップ) ・人類にとって未開拓地探査や海洋開拓と同じ意味(開拓精神)
目的	・科学技術力の向上 ・安全保障能力の向上 ・経済への貢献
具体的利益	・実用化された様々なシステム →GPS、衛星通信、気象予報、救難救命、電子技術、ロボティックス、医療技術など ・教育的効果(将来の優秀な人材の育成) ・月・火星における新資源の発見

* ブッシュ大統領の新宇宙探査ビジョン

* ビジョン発表時の大統領演説

3

各国の政策文書に見る宇宙探査の意義

欧州

意義	・新知識獲得への貢献 ・イノベーションの創出 ・宇宙関連の新たな企業や研究機関の創出
----	--

* 欧州宇宙政策

英国

科学的意義	・宇宙の起源、生命の起源の解明 ・他の世界を知りたいという好奇心は宇宙探査への一般の興味を掻き立てるもの
技術的意義	・能力の高いエンジニアの創出 ・宇宙探査技術の地上への応用
商業的利益	・マーケット機会の創出(衛星通信、GPS、ロボティックス探査、貨物輸送、人員輸送など)、商業市場の創出(宇宙旅行などの川下産業) ・惑星資源(エネルギー、鉱物) ・技術スピノフ
社会的意義	・教育、人材育成 ・一般への理解の普及、正しい理解の促進 ・世界における英国の地位の維持

4

各国の政策文書に見る宇宙探査の意義

中国

意義	・経済力の増強／経済の整備 →宇宙製品供給能力の強化、実用サービス能力の向上、産業の発展、宇宙活動促進環境の構築、人材育成、国際交流による利益 ・科学技術の発展／社会進歩 →重点科学技術プロジェクトの遂行、キーテクノロジーのブレークスルー、人類の知の拡大 ・国防力の強化 ・民族の団結力
目的	・宇宙と地球についての理解を深める

* 宇宙開発における第11次五ヵ年計画

* 2006年中国宇宙白書

平成 20 年 2 月 8 日

アポロ計画の成果について

事務局

アポロ計画の成果について、一般的には「政治的目的の達成」、「システム工学の実証・発展への寄与」、「実用製品へのスピノフ」、「新たな視点（地球の出など）の提供」が有名だが、興味深い成果について以下に紹介する。

1. リモートセンシング技術の発展への貢献

ジェミニプログラムにおいて、陸域・気象撮像実験の一部として 70mm カメラによる地球の撮影が行われた。1965 年当時、気象衛星の画像は珍しくはなかったが、ジェミニの撮影画像はより鮮明であった。その後、アポロ 7 及び 9（地球周回軌道を周回）において、世界初の非軍事地球観測衛星 Landsat の実験用マルチスペクトル撮像機器を搭載し、その後の Landsat の成功に大きく貢献した。米国地質調査所（USGS）の当時の所長 Bill Pecora 氏によると、ジェミニ及びマーキュリーによる画像は 1966 年に内務省が EROS プログラム（Landsat の旧名称）を提案するための刺激となったという。

また、アポロ計画においては、月面着陸に向け、月周回軌道から月面の撮像を行う必要があり、NASA ジョンソン宇宙センター（JSC）は航空機カメラやその他の機器を用いた様々なリモートセンシングプログラムを実施した。これにより、リモートセンシング技術の飛躍的な発展に貢献した。

（出典： “In Their Own Words: Our First Lunar Program: What did we get from Apollo?”, Paul D. Lowman Jr., 6 September 2007

<http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/series/moon/first_lunar_program.html>）

2. アポロ計画への投資と理科系Ph.D学生の数との関係（別紙参照）

1960 年代、当時のケネディ大統領がアポロ計画を開始した直後から科学、数学、工学の分野において、博士を目指す米国の学生数が急激に増加した。その後、アポロ計画が終了し、NASA 予算が削減されると、NASA の予算に比例するような形でそれらの分野の学生数が減少している。これはいかに NASA がジェネレーションをインスパイアできるかを示したものである。

（出典： “Humans to Mars: A feasibility and cost-benefit analysis”, Bethany L. Ehlmann et al, Acta Astronautica）



PERGAMON

SCIENCE @ DIRECT®

Acta Astronautica III (III) III-III

ACTA
ASTRONAUTICAwww.elsevier.com/locate/actaastro

Humans to Mars: A feasibility and cost–benefit analysis[☆]

Bethany L. Ehlmann^{a,*}, Jeeshan Chowdhury^b, Timothy C. Marzullo^c, R. Eric Collins^d,
Julie Litzenberger^e, Stuart Ibsen^f, Wendy R. Krauser^g, Brandon DeKock^h,
Michael Hannonⁱ, Jessica Kinnevan^j, Rebekah Shepard^k, F. Douglas Grant^l

^aDepartment of Earth and Planetary Sciences, Washington University, St. Louis, Missouri 63130, USA

^bSchool of Medicine, University of Alberta, Canada

^cNeuroscience Program, University of Michigan, USA

^dSchool of Oceanography, University of Washington, USA

^eDepartment of Mechanical Engineering, Biomedical Engineering Division, Stanford University, USA

^fDepartment of Zoology, University of Hawaii, Manoa, USA

^gNASA Ames Research Center, Moffett Field, California, USA

^hDepartment of Mechanical Engineering, University of Oklahoma, USA

ⁱDepartment of Mechanical Engineering, University of Notre Dame, USA

^jDepartment of Electrical Engineering, University of New Hampshire, USA

^kDepartment of Geology, University of California, Davis, USA

^lDepartment of Geological Sciences, Arizona State University, USA

Abstract

Mars is a compelling astrobiological target, and a human mission would provide an opportunity to collect immense amounts of scientific data. Exploration alone, however, cannot justify the increased risk. Instead, three factors drive a human mission: economics, education, and exploration. A human mission has a unique potential to inspire the next generation of young people to enter critically needed science and engineering disciplines. A mission is economically feasible, and the research and development program put in place for a human mission would propel growth in related high-technology industries. The main hurdles are human physiological responses to 1–2 years of radiation and microgravity exposure. However, enabling technologies are sufficiently mature in these areas that they can be developed within a few decade timescale. Hence, the decision of whether or not to undertake a human mission to Mars is a political decision, and thus, educational and economic benefits are the crucial factors.

© 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Mars; Human; Mission; Feasibility; Technical; Political

[☆] Group report of the 2002 NASA Astrobiology Academy.

* Corresponding author. Campus Box 1169, 1 Brookings Drive, St. Louis, Missouri 63130, USA, Tel.: +1 314 541 4241; fax: +1 314 935 4998.
E-mail address: bethanyehlmann@wustl.edu (B.L. Ehlmann).

1. Introduction

In the past decade, we have monitored the Martian weather, constructed a geologic history, are presently characterizing the radiation environment [1], and have learned that water ice is likely to be present underground [2]. Presently, NASA's Mars exploration program includes orbiters, rovers, and in the distant future, a sample return mission. However, we consider a new direction for Mars exploration: preparation for a *human* mission.

As a result of our analysis of the mission's technical and political feasibility, the 2002 Astrobiology Academy proposes that NASA adopt a human mission to Mars as a clear and articulated goal of the agency. Since the 1960s, NASA's paradigm has shifted from destination-focused missions, i.e. "We will put a man on the Moon", to research-driven goals, including space-based monitoring of Earth and the study of life in extreme environments. The Astrobiology Academy advocates a return to a more mission-centric NASA, namely a human mission to Mars, driven by scientific objectives. By coupling science to a human Mars mission, the United States will create a program of exploration that excites the world and is an investment, not only in basic scientific knowledge, but also in strengthening the global economy and creating technologies that improve life around the world.

Below we present a rationale for the choice of a human mission to Mars. Of all the world's space agencies, NASA is the one with the most mission experience; presently, it is the one most capable of initiating a human mission to Mars. For this reason, our analysis focuses on those factors which will enable NASA to undertake such a mission. We examine the state of science and engineering education in the US today, using reports from the National Science Foundation and Congressional commissions, and investigate the effects that a human mission to Mars would have on the science and engineering disciplines. We explore the likely costs of a human mission to Mars in the context of other federal expenditures. The extent of the research and development initiative that would be needed and "spinoff" technologies that might emerge from a human mission are identified. Throughout, we assess the advantages and disadvantages of going to Mars, focusing not only on the science benefits of a human mission, but on broader societal implications.

2. Exploration

2.1. Why Mars?

Mars presents a feasible destination by virtue of its relative proximity to Earth and its analogous surface conditions. It has neither the crushing gravity nor the noxious atmosphere that make human exploration of other solar system bodies all but impossible. Furthermore, Mars is a compelling target that is both scientifically interesting and appealing to the public at large. Since earliest Greek mythology, Mars has intrigued humans and continues to do so as evidenced by numerous recent "pop-culture" movies and books. Four decades of US and Russian robotic exploration have led us to understand that Mars, at least in the past, was a planet not very different from our own.

The robotic science program has focused on understanding Mars' geologic and climatic past, especially understanding why it diverged from that of Earth. The current strategy of NASA Mars exploration is "Follow the Water". Liquid water is essential to living organisms, and the history of a planet's water is used to assess paleohabitability. We are relatively certain that Mars' climate several billion years ago was warm enough that liquid water would have existed on the surface (e.g. [3 and 4]). This may have been the case even within the past few million years due to periodic obliquity changes in the orientation of Mars' axis [5]. Recent Mars Global Surveyor and Mars Odyssey data have shown that liquid water may be present ephemerally on the surface today as discharge into gullies [6] or meltwater in snowpacks [7]. Frozen water has also been found in the top one meter of soil at abundances of up to 35% [1].

On Earth over the past several decades, researchers of life in extreme environments have found microbes growing in quite inhospitable conditions, indeed, almost anywhere that liquid water is present [8]. Coupled with what we now know of the abundance of water on Mars, this suggests that life was, and is, possible on Mars. Additionally, the study of Mars habitability helps us to answer the fundamental questions "Where did we come from?" and "Are we alone?" and to understand better those factors shaping the history of life on our own planet. Mars is then an ideal target for NASA exploration.

2.2. Why humans?

It is argued that machined missions are less expensive and are thus the preferred method of exploration, following the NASA's former "faster, cheaper, and better" motto. However, if machined missions are subject to technical limitations and fail to inspire the next generation of scientists and engineers, then are they really the better method of exploration?

Even as machines become more autonomous and self-sustaining, a machine will not soon have the ability to behave as an innovative and adaptive scientist, quickly synthesizing information and shifting from one pursuit to another [9]. With training, a human can operate tens to hundreds of pieces of equipment. This can be compared to the Mars Exploration Rovers that landed in 2004 and carry a payload of five scientific instruments and a rock abrasion tool. By virtue of superior mobility, planning and analytical capability, and an ability to shift context, for example from microscopic sand grains to cliff rock strata, a human Mars explorer would greatly increase scientific data volume. Sending humans does increase the magnitude of the negative effects of a mission failure, however. This fact increases the hesitancy of political leaders to underwrite a mission. For that reason, further justification for a human mission to Mars than simply science objectives is required.

3. Education

Educating and inspiring America's youth has long been a priority of NASA. Hence, we investigate the likely effects of a human mission to Mars on education in the United States.

The Bureau of Labor predicts a 20% employment increase in engineering and a 15% increase in the physical sciences in the next 10 years, but as the Hart–Rudman Commission report states simply, the "US need for the highest quality human capital in science, mathematics, and engineering is not being met" [10]. In physics and advanced mathematics, American seniors score significantly below the international average on tests. While this is usually attributed to problems within the schools themselves, a general disinterest in math and science also contributes to American high school students' poor performance.

The trend continues at the undergraduate level. Comparing degrees granted between 1975 and 1999, the United States has a poor percentage increase compared to other nations. This decline is also reflected in the downward trend of the US relative to other nations in science and engineering degrees granted per capita to 24-year-olds [10]. At the graduate level, it is apparent that the number of doctoral degrees in natural sciences and engineering attained in Europe and Asia has increased rapidly compared to that of the United States. In 1975, the US granted approximately 13,000 science and engineering doctoral degrees compared to Europe's 7,000 and Asia's 4500. In 1999, the US granted approximately 18,000 science and engineering Ph.D.s while Europe granted 23,000 and Asia 19,000 [10]. Additionally, within US universities, 25% of graduate students in the sciences and nearly 40% of the graduate students in engineering, mathematics, and computer science are foreign born [10]. Based on this data, we see that decreasing production of scientists and engineers is not a global trend, but an area of particular concern for policy-makers in the United States.

Some argue that money put into the space program could be better spent by putting it directly into the educational system to encourage students in the sciences and engineering. This is an unfortunate misconception. The United States is already one of the top spenders per student in the world [10]. Although more funding could always be useful to the American educational system, it does not promise the sustained effort needed to increase the number of Americans pursuing advanced degrees in science or engineering. The government cannot simply buy more computers, fund more scholarships, and lower teacher-to-student ratios enough to convince an 18-year-old freshman to invest at least 8 years in the pursuit of a science and engineering advanced degree. Students need something to inspire their efforts.

The idea of space exploration significantly influencing youth is not without precedent. During the Apollo era of the 1960s, there was a dramatic increase in the number of American students pursuing advanced degrees in science, math, and engineering shortly after President Kennedy's initiation of the Apollo program (Fig. 1). Furthermore, after the Apollo program was dismantled and NASA's funding cut, the number of students going into these fields decreased with a down-

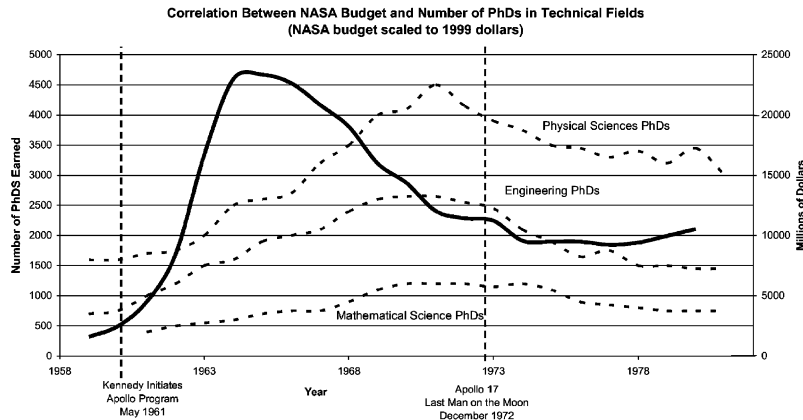


Fig. 1. NASA Budget and Technical Ph.D.s. An increase in the number of science and engineering Ph.D.s [10] is concurrent with the rise of NASA budget [26]. Note that the 9 year lag time in maxima is equivalent to the education time from high school senior to Ph.D.

ward trend of NASA's budget. The figure is only a correlation; numerous other significant historical events, including the Vietnam War, also occurred at this time. However, anecdotal accounts of science and engineering professionals entering their disciplines inspired by the Apollo program "To the Moon" goal indicate how NASA can inspire a generation.

Indeed, "To inspire the next generation of human explorers" [11] is the most compelling reason for the US policy-makers to support a human mission to Mars. The United States counts on advanced technology for economic stability and national security, which in turn depends on the ability of American universities to supply the science and engineering workforce. As the technological demands of the American lifestyle steadily increase, inspiration of the next generation of scientists and engineers becomes critical. A human mission to Mars has the unique ability to invigorate future scientists and engineers and create a program that operates in tandem with existing educational programs, adding an inspirational vision to supplement the efforts of teachers.

4. Economics: costs–benefits

4.1. What is the cost?

One common argument against a human mission to Mars is the expense. We will not attempt to put a price tag on a mission in this document since such a figure requires a detailed mission architecture, but

it is instructive to place a range of cost estimates in context. In general, costs for a human Mars mission range from a low of \$20 billion [12] to a high of \$450 billion [13]. The latter estimate includes use of the moon as a launch point. Here we examine the relative costs of each by assuming an order of magnitude price range, between \$30 billion and \$300 billion.

The lower number represents twice NASA's annual budget of about \$15 billion [14]. If we spread human Mars mission costs over ten years, this would account for only 20% of NASA's annual budget per year, spending \$3 billion per year. The current budget for the Mars Exploration Program is 15% of this value, at about \$450 million per year [14]. Placing mission cost in a different context, the annual cost of the high-end number, spread over 30 years, is approximately the same amount that the tobacco industry spends on advertising each year, around \$8.2 billion [15].

A commonly expressed fear is that money for a Mars mission would take away money from the human services sector. The budget for the Department of Health and Human Services (HHS) tallies almost \$490 billion annually, with a FY2003 increase of 6.3%. The HHS increase alone, \$30 billion FY2003, is equivalent to the low-end cost estimate of a human Mars mission. Putting it another way, a Mars mission would be cost-equivalent to 0.5% of the HHS annual budget. We conclude then that a human mission to Mars is not barred by cost considerations. Indeed, cost is relatively small compared to other federal government endeavors and the mission's considerable benefits.

Table 1

Areas of technology development from a human Mars mission [27]

Challenge to a human Mars mission	Technology development	Terrestrial applications
Harmful effects of microgravity and radiation on human health.	Pharmacological and mechanical prevention treatments.	Prevention, detection, and treatment of illnesses ranging from osteoporosis to cancer.
Limited air, water, and food resources.	Closed loop life-support systems.	Conservation, recycling, waste management.
Limited energy supply.	Alternative energy sources low energy-use technologies.	Renewable efficient energy sources; energy-conserving consumer products.
Human safety and health is threatened in space.	Automation and robotics.	Remote or automated robotics to reduce human risk in hazardous environments.
Hardware impaired by extreme conditions of space.	Extended life, low maintenance materials, hardware, and systems.	Stronger, smaller, more reliable products for consumers.

4.2. What are the benefits?

The health of a nation's economy and its international competitiveness are in part a measure of the national investment in research and development in science and engineering. NASA has devoted its facilities, labor force, and expertise to generating innovative technologies that overcome the challenges of space and to sharing mission technologies with US industries [16]. These countless technologies have successfully contributed to the growth of the US economy. For example, satellite technology has created an \$85 billion industry that improves our daily lives through a myriad of communication, navigation, and weather-forecasting services [17].

A human Mars mission would direct and focus the resources and infrastructure of NASA into the research and development of the high-technology industries listed in Table 1. The product of these investments in innovation would result in gains in the US market share, create new markets, use resources more productively, expand business, and create high-wage jobs (e.g. [10,18]). Such technologies also have the potential to improve the quality of life throughout the world.

5. Feasibility analysis

5.1. Propulsion and transit times

Orbital and landing craft have been developed for human lunar missions; however, the creation of interplanetary propulsion for a human system is a new un-

dertaking. Propulsion is central to the success of any planned Mars mission, and minimizing transit time will limit astronaut exposure to radiation and microgravity. More fuel is required to increase the speed of the rocket, but additional fuel also increases the spacecraft mass and thus the launch cost. Liquid, solid, and nuclear propulsion technologies are all sufficiently well-understood that they could be further developed and employed for a propulsion system. An optimum trade-off between cost and transit time (one-way trip times range from a month to a year) must be selected [19]. Techniques such as aerobraking and a split mission architecture, where cargo is sent first and astronauts are sent later on a faster spacecraft, can be utilized to reduce fuel costs and increase speed of transit. The use of Mars carbon dioxide to produce return fuel has also been pilot tested [12].

5.2. Hazards

Some argue that a human mission to Mars is not within our current technological capabilities. Before a human crew is sent on a voyage to Mars, NASA must ensure that it can adequately protect astronauts from health hazards they face on the journey, such as radiation exposure and prolonged microgravity conditions, and prevent planetary cross-contamination by microorganisms. Below, we discuss these oft-cited hazards and address the technologies needed to overcome them. We further explore how investigations into the effects of space travel on the human body may lead to new technological advances here on Earth.

5.2.1. Radiation Exposure

Once astronauts leave Earth orbit, protective measures are necessary to block ubiquitous galactic cosmic rays and high-intensity bursts of radiation resulting from solar proton events [20]. The Martian Radiation Environment Experiment (MARIE) on the Mars Odyssey spacecraft has measured radiation levels both in transit between Earth and Mars and within lower Mars orbit. Radiation above Mars is about 2.5 times that in the International Space Station, though levels received by a crew member over the duration of a Mars mission would not exceed NASA career dose limits [1].

Several shielding technologies exist to address radiation challenges. Passive shielding employs no energy but uses an enormous shielding mass of hydrogen in the form of water. This passive shielding unfortunately increases mission costs by increasing payload size. Active shielding methods, which work in much the same way as the Earth's electromagnetic field by deflecting interstellar charged particles, are promising alternatives but have a failure risk and require energy [20]. A hybrid system combining aspects from both types of shielding optimizes both the level of protection afforded to the crew and the size of the payload mass. Certain types of shielding technology are nearing maturity given what we know about the radiation environment; however, we agree with the recommendations of others [21,22] that further radiation level measurements on Mars' surface are needed.

5.2.2. Microgravity

In the course of a human mission to Mars, the crew will experience the zero-gravity environment of interplanetary space, the 0.38g environment of Mars, the zero gravity of space on the return trip, and a return to normal Earth gravity. Research on microgravity effects has been conducted using space-based data as well as ground-based simulations like water immersion. Pharmaceuticals, exercise, conditioning, and artificial gravity are promising strategies that mitigate the effects of microgravity on humans in space. Exercise and conditioning are considered effective means of countering the physiological effects of microgravity, though the amount of time devoted to an exercise program must be weighed against time taken away from required daily tasks and functions.

Another possible countermeasure is the production of artificial gravity by techniques ranging from suits worn by astronauts that provide magnetic or pressure loading, to spacecraft centrifuges [12,20]. A rotational spacecraft shows the most promise by providing a constant gravity environment. Pharmaceutical research is also ongoing. For example, hibernating bears produce a regulatory substance similar to a human bone-growth factor that promotes the formation of bone despite the absence of mechanical skeletal loading [20]. If we can isolate and replicate this substance, it may be useful both in treating bone demineralization in space and helping to treat or prevent osteoporosis here on Earth.

5.2.3. Avoiding cross contamination

Robotic missions to Mars already have strict Planetary Protection protocols. Protection strategies developed for a human Mars mission will be even more stringent and have important applications outside of the space program. Clean room and sterilization research will help us to understand and cope with the continuing mutation and evolution of pathogens in our hospitals. Technologies developed will aid in our attempts to prevent the movement of pathogens such as the malarial parasite and West Nile virus into higher latitudes and combat biological terrorism. These are clearly important investments for the United States to make in the next decade.

5.2.4. International Cooperation

While there are some inherent difficulties to international efforts—variable and uncertain funding, communication problems, and technical interfacing difficulties—these problems will be outweighed by the tremendous worldwide benefits associated with an international endeavor to Mars. The experience of other space-faring nations exceeds that of the United States in specific technical areas, e.g. the Canadians in large-scale robotics and the Russians in extended duration human space flight and heavy-lift rocketry. Thus, it is nearly inevitable that a NASA-directed human mission to Mars would have international partners.

A United States commitment to leading a human Mars mission would have substantial positive repercussions in international relations. Despite the incredible achievements of the Apollo program, the program did have shortcomings. The primary (some say

the only) goal of the Apollo program was that the United States beat the Soviets to the moon. In retrospect, a more long-term planning effort for exploration might have allowed a permanent human presence on the moon or its use as a stepping point to other destinations in the solar system. An international human mission to Mars has the potential to be a more sustained exploration effort because it will not be subject to the whims of a single nation. Other nations have expressed their desire for a human mission to Mars, including Russia [23], China [24], and the European Space Agency in their Aurora program, which indicates that the US will have eager allies if it chooses to undertake a human mission.

6. Conclusions

We have shown that exploration, education, and economics are the driving factors justifying a human mission to Mars. A human mission to Mars is technologically feasible, cost effective, and safe for our astronauts. The scientific findings that would result are significant. However, far more compelling to US policy-makers is the mission's benefit to the future of the United States as a nation since the mission would be generating innovative technologies, improving international relations, and inspiring the scientists and engineers of the next generation. This would be done at a relatively small cost.

There will be challenges, some of which we cannot fully evaluate until we have embarked on a mission. The technological aspects can be planned and debated only to a certain point in advance. The way to develop a technology is to actually invest resources and begin developing it. By setting the goal of a human mission to Mars, the development process can begin for the technologies that will actually take us there. This goal-driven developmental concept extends back to the Apollo era in a prescient analysis by the Space Studies Board examining the feasibility of a human mission to the Moon. They concluded that unless humans are explicitly included in the technical planning for exploration of solar system bodies, they inevitably will be excluded because the measures necessary to ensure their safety will not have been addressed [25]. Hence, unless humans are explicitly designated as an essential part of the NASA Mars exploration strategy,

the technologies needed for them to make the Mars trip are unlikely to be developed. Thus, we urge that NASA in conjunction with the international community begin planning now for a human landing on Mars within the next few decades.

Acknowledgements

We thank the staff of the Astrobiology Academy D. O'Handley, D. Lamb, and E. Schaller for their guidance during our research and initial manuscript development. The comments of R. Zimmerman were also invaluable. We are grateful to NASA and our respective state space grants for support during this project.

References

- [1] C. Zeitlin, et al., Results from the Mars radiation environment experiment MARIE, Lunar & Planetary Sciences Conference XXXIV, Houston, Abstract 1878, 2003.
- [2] W. Boynton, et al., Distribution of hydrogen in the near surface of Mars: evidence for subsurface ice deposits, *Science* 297 (2002) 81–85.
- [3] M.H. Carr, *Water on Mars*, Oxford University Press, New York, 1996.
- [4] B. Jakosky, R. Phillips, Mars' volatile and climate history, *Nature* 412 (2001) 237–244.
- [5] B.M. Jakosky, B.G. Henderson, M.T. Mellon, Chaotic obliquity and the nature of the martian climate, *Journal of Geophysical Research* 100 (1995) 1579–1584.
- [6] M.C. Malin, K.S. Edgett, Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars, *Science* 288 (2001) 2330–2335.
- [7] P.R. Christensen, Formation of recent Martian gullies through melting of extensive water-rich snow deposits, *Nature* 422 (2000) 45–48.
- [8] M.T. Madigan, B.L. Marrs, Extremophiles, *Scientific American* 276 (1997) 82–87.
- [9] D. Dean, The Benefits and Necessity of Manned Exploration of Frontiers as Compared to Unmanned Efforts, *American Society of Mechanical Engineers News* (1998).
- [10] National Science Foundation, Science and Engineering Indicators—2000, Washington DC, 2000, <http://www.nsf.gov/sbe/srs/seind00/start.htm> (website referenced 25 February, 2004).
- [11] NASA, NASA Vision and Mission Paper, 2002, <http://www.hq.nasa.gov/office/codez/plans/Vision02.pdf> (website referenced 12 May, 2003).
- [12] R. Zubrin, W. Wagner, *The Case for Mars*, Simon & Schuster Publishing, 1997.
- [13] NASA, Report of the Ninety Day Study on Human Exploration of the Moon and Mars, Washington, DC, 1989.

- [14] NASA, FY2003 Budget, NASA Space Science Overview, 2002 <ftp://ftp.hq.nasa.gov/pub/pao/budget/2003/spacescience.pdf> (website referenced May 12, 2003).
- [15] Federal Trade Commission, Federal Trade Commission Report to Congress for 1997 Pursuant to the Cigarette Labeling and Advertising Act. Washington DC, 1999. <http://www.ftc.gov/os/1999/9907/1997cigarettereport.pdf> (website referenced May 12, 2003).
- [16] NASA. Spinoff 2001. Washington DC, <http://www.sti.nasa.gov/tto/> (website referenced May 12, 2003).
- [17] Synthesis Group, America at the Threshold, Report of the Synthesis Group on America's Space Exploration Initiative, US Government Printing Office, Washington, DC, 1991.
- [18] J. Aaron, Beyond Earth's Boundaries, NASA Office of Exploration, Washington DC, 1988.
- [19] RAND (T. Garber), A Rand Note: Space Transportation Systems, Launch Systems, and Propulsion for the Space Exploration Initiative, Santa Monica, CA, 1991.
- [20] RAND (J. Aroesty, R. Zimmerman, J. Logan). A Rand Note: Human Support Issues and Systems for the Space Exploration Initiative: Results from Project Outreach, Santa Monica, CA, 1991b.
- [21] National Research Council, Safe on Mars: Precursor Measurements Necessary to Support Human Operations on the Martian Surface, National Academy Press, Washington DC, 2002.
- [22] R. Greeley, (Ed.), Scientific Goals, Objectives, and Priorities, Mars Exploration Program/Payload Analysis Group (MEPAG), 2 March, 2002.
- [23] British Broadcasting Corporation, Russia plans to put people on Mars. 2002, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2101861.stm> (website referenced 12 May, 2003).
- [24] D. McElroy, China Aims High with Mars Mission, Washington Times, 19 August, 2002.
- [25] Space Studies Board (SSB) of the National Research Council, Man's Role in the National Space Program, Letter to James Webb, NASA Administrator, 1961.
- [26] National Aeronautics and Space Administration, Aeronautics and Space Report of the President, Fiscal Year 2000 Activities. Washington, DC, 2000, Appendix E1B, http://history.nasa.gov/presrep00/pdf_files/appndx_e1b.pdf (website referenced February 25, 2004).
- [27] International Academy of Astronautics, Mars Cosmic Study Report, Acta Astronautica, 31 (2002) 1–103.

探査機科学センサの性能比較資料

観測対象	探査機	国	主なセンサの観測目的概要	主なセンサの性能／JAXAセンサとの比較
水星	BepiColombo(2013)	JAXA・ESA		
	水星表面探査機(MPO)	(ESA)	レーザ高度計、複合カメラ(地形)加速時計、磁力計(内部構造)紫外線分光計、赤外分光計、ガンマ線・中性子検出器、X線分光計、中性子・イオン検出器(鉱物・元素分布)太陽モニター	
	水星磁気圏探査機(MMO)	(JAXA)	電子スペクトル計測器、イオン質量分析器、太陽風イオン計測器、高エネルギー電子計測器、高エネルギーイオン計測器、高速中性粒子計測器(磁気圏)、磁場計測器、電場・波動・電波計測器(電磁場)、水星大気カメラ(大気)、ダスト検出器(太陽近傍環境)	(粒子計測)10eV～1MeV、(電磁場計測)電場DC-3MHz、磁場DC-100KHz
	メッセンジャー(2004-)	NASA	水星撮像システム、レーザ高度計(地形)ガンマ線・中性子検出器、X線分光計(元素分布)磁力計、エネルギー粒子・プラズマ計測器、(近傍環境)大気・表面組成分光計(大気・表面)電波科学実験	
金星	PLANET-C(2010)	JAXA	近赤外1μmカメラ、赤外線2μmカメラ、中間赤外カメラ、紫外イメージャ、雷・大気光カメラ(大気循環)電波科学実験	(大気循環)1μm帯×5波長、2μm帯×5波長
	Venus Express (2005-2007)	ESA	高波長分解能赤外フーリエ分光計、可視・赤外分光計、直下視/掩蔽観測用紫外-赤外分光計、紫外/可視カメラ、プラズマ/高速中性粒子分析器、磁力計、電波科学実験	(プラズマ分析)測定範囲0.01-40keV、分解能0.07(磁気)測定範囲32n-8knT、分解能1p-128pT(紫外赤外)測定範囲0.25μ-5μm
月	かぐや(2007-)	JAXA	蛍光X線分光計、ガンマ線分光計(元素分布)、マルチバンドイメージャ、スペクトルプロファイラ(地質・鉱物分布)、地形カメラ、月レーダサウンダ、レーザ高度計(地形)、磁力計、粒子線計測器、プラズマ観測機、電波科学(月面環境)、リレー衛星、衛星電波源(月の重力分布)、HDTV(衛星取得)	(元素分布)エネルギー分解能140eV、空間分解能100km、(鉱物分布)分解能20m、(地形)分解能10m

観測対象	探査機	国	主なセンサの観測目的概要	主なセンサの性能／JAXAセンサとの比較
	嫦娥(2007-)	中国	CCD立体カメラ、レーザ高度計(地形)、X線分光計、ガンマ線分光計(元素分布)、太陽高エネルギー粒子測定器、太陽風粒子測定器(月面環境)画像分光器、マイクロ波測定器(地質・鉱物分布)	(元素分布)△エネルギー分解能600eV、(鉱物分布)△分解能200m、(地形)△分解能120m
	チャンドラヤーン(2008)	インド	地形ステレオカメラ、レーザ高度計、SAR(地形)スペクトルイメージャ、近赤外分光計、鉱物分布計(地質・鉱物分布)X線分光計(元素分布)放射線量計(月面環境)	(元素分布)○エネルギー分解能140eV、(鉱物分布)△分解能80m、(地形)◎分解能5m、
	SMART-1(2003-2006)	ESA	X線分光計(元素分布)、赤外線分光計(地質・鉱物分布)、高精度月カメラ(地形)	(元素分布)△エネルギー分解能200eV、(鉱物分布)△300m、(地形)△分解能30-80m
	LRO(2008)	NASA	月面温度分布測定器、放射線環境測定器、中性子測定器(月面環境)、地表面探査カメラ、レーザ高度計(地形)暗視カメラ？(地質・鉱物分布)	(地形)◎0.5m(地質・鉱物分布)300m
彗星	Rosetta(2004-	ESA	【周回機】紫外線画像分光計、イオン分量測定装置、衝突分析・ダスト収集装置、赤外分光計、核構造分析器、元素分析装置、磁場計測器、プラズマ環境・太陽風測定器、電波科学実験、ダスト量測定器【着陸機】α/陽子/X線測定器、広視野・拡大カメラ、電波核断面測定装置、ガス成分分析装置、磁場・プラズマ測定器、掘削・サンプル回収装置	
	スターダスト(1999-2006)	NASA	サンプルリターンカプセル、ダスト量測定器、彗星・星間物質分析装置、ナビゲーションカメラ	彗星のちりを採取して地球に帰還
	ディーピンパクト(2005)	NASA	可視光カメラ、赤外線分光計、プルーブ	(地形)1.4m-7m@700km
	Deep Space 1(1998-2001)	NASA	工学系探査機(イオンエンジン、集光太陽電池、自律航法、高性能通信機器等)、小型カメラ、イオン・電子測定器、	本来は小惑星ブライユの探査。追加ミッションとしてボレリー彗星に接近し、核の撮影を行った。
小惑星	はやぶさ(2003-)	JAXA	可視分光撮像カメラ、レーザ高度計(地形・表面)近赤外分光計、蛍光X線分光計(鉱物分布・元素分析)サンプルリターンカプセル	(地形・表面)観測域7帯域
	Dawn(2007-)	NASA	フレーミングカメラ、マッピング分光計、ガンマ線分光計	

観測対象	探査機	国	主なセンサの観測目的概要	主なセンサの性能／JAXAセンサとの比較
	NEAR(1996-2001)	NASA	マルチスペクトルカメラ、近赤外分光計、X線/ガンマ線分光計、レーザー高度計、磁力計、電波科学実験	
火星	Mars Express (2003-)	ESA	【周回機】高解像度ステレオカメラ、可視光・赤外線鉱物分光計、地下探査レーダ高度計(地形・鉱物分布)全球フーリエ分光計、紫外・赤外大気分光計、エネルギー中性原子解析装置(大気・電離圏)電波化学実験【着陸機】質量分析器、カメラ、メスバウワー分光計、X線分光装置、火星環境測定装置	(地形)分解能2m
	マーズオデッセイ(2001-)	NASA	熱放射映像システム(地質・鉱物分布)ガンマ線分光計(元素分析)放射線環境実験装置(環境測定)	(鉱物分布)分解能18m、範囲20km×20km
	Mars Global Surveyor (1996-2006)	NASA	軌道上カメラ、レーザー高度計(地形・気候)熱放射測定器(大気・鉱物分布)磁力計、電波科学実験	(地形)分解能0.5m
	MRO(2005-)	NASA	高解像度撮像装置、広範囲カメラ(地形)小型観測撮像分光計、浅部レーダ(地質・鉱物分布)火星カラーイメージャ、火星気候サウンダ(大気・気候)	(地形)分解能1m、広範囲400m、(鉱物分布)18m
(ローバー)	MER(スピリット、ポチュニティ)(2003-)	NASA	パノラマ画像撮影カメラ(地形)、掘削・研磨装置、熱赤外線分光計、 α 線/X線分光計、メスバウアー分光計(地質・鉱物分布・元素成分分析)	(重量)185kg、(走行範囲)105km ² 、(寿命)3.5年以上
	フェニックス(2007-)	NASA	地表ステレオ撮像装置(地形)、熱・ガス分析装置、気象観測装置(大気・気候)、電気化学・電気伝導測定装置、ロボットアーム	(重量)670kg、(寿命)3ヶ月(予定)
	Mars Science Laboratory(2009)	NASA	3Dカメラ、ハンドレンズ撮影機(地形)、 α 線/X線分光計、化学・鉱物X線回析・蛍光装置、サンプル分析装置(地質・鉱物分布・元素分析)、放射線測定器、アルベド中性子線量計(環境測定)	(重量)800kg、(平均移動速度)30m/h、(走行距離)6km以上、(寿命)2年以上

(注) ・センサ名称はなるべく共通的な表現にしているために、他の資料では別名称で表現されている可能性があります。
・公式情報、非公式情報の区別を意識せずに情報収集していますので、不正確な情報が含まれている可能性があります。
・電波科学: 探査機が惑星の背後に隠れるときと背後から出てくるとき、惑星大気を水平方向に通過してくるによる電波の周波数や強度の変化により、気温の分布や、雲の原料となる硫酸の蒸気の分布、電気を帯びた高層大気(電離層)の構造などがわかる。

月探査WG 資料1-3-1

月・惑星探査に関する意識調査結果 (アンケート結果)

2007年9月6日(木)

宇宙航空研究開発機構
月・惑星探査推進グループ

報告内容

本報告「月・惑星探査に関する意識調査結果(アンケート結果)」は、平成19年度 JAXA 月・惑星探査推進グループの調査依頼に基づき、株式会社三菱総合研究所が実施した調査結果の報告である。

アンケート結果

1. アンケート調査概要
2. 月・惑星探査に関する意識調査結果
 - － 探査の推進について
 - » フロンティア拡大の意義について
 - » 国際パートナーシップの意義について
 - » 創発と教育の意義について
3. 投資価値に関する調査

1. アンケート調査概要

(アンケート実施期間:2007/7/20～23)

月・惑星探査に関する意識調査

- 調査対象:10代～60代の男女
 - アンケート会社の登録会員(約26万人)から無作為抽出
 - 目標回収数:1920
- 対象者条件
 - 性別:男女半数
 - 年齢階層:10代、20代、30代、40代、50代、60代以上の6層構造
 - 地域:北海道・東北、関東、北陸・中部、近畿、中国・四国・九州の5ブロック
- 平成17年国勢調査の地域別人口構成比にあわせ抽出
- 月・惑星探査に関わる質問を約40問
 - テーマ毎に意識調査



回収結果

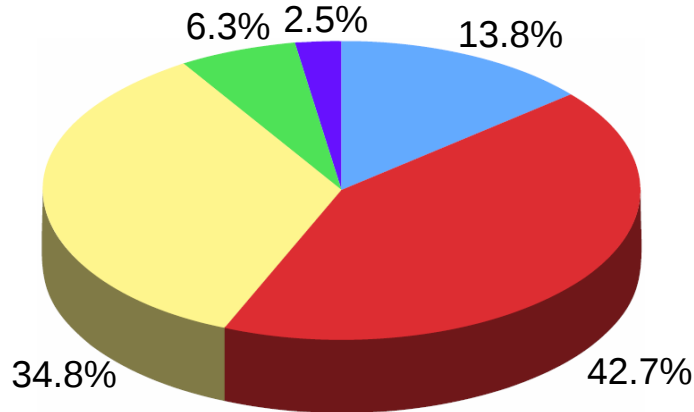
	10代	20代	30代	40代	50代	60以上	合計
男性	174	172	176	176	171	172	883
女性	174	172	172	173	172	175	1038
合計	348	344	348	349	343	347	2079

2. 月・惑星探査に関する意識調査結果(1/4)

・ 探査の推進について

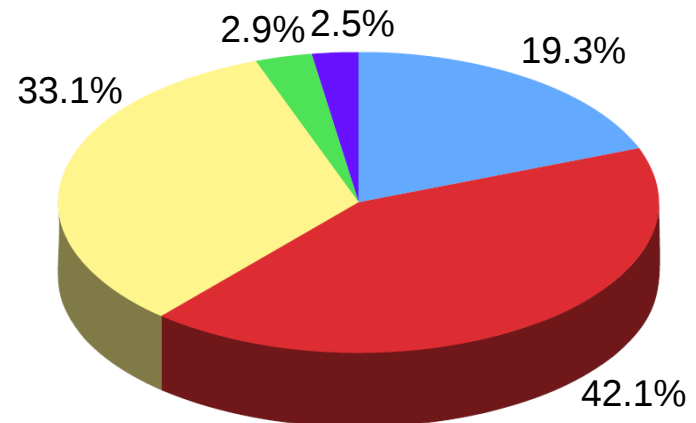
- 月・惑星探査活動については、57%の人が推進すべきと考えている。
- 探査計画においては、61%の人が有人活動を推進すべきと考えている。

諸外国が推進する中、今後、日本は月・惑星探査を推進していくべきだと思いますか



- 諸外国に先んじて月・惑星探査を積極的に推進すべき
- 諸外国に遅れを取らないように月・惑星探査を推進すべきである
- 現状のままでよい
- 月・惑星探査は諸外国にまかせ、日本は中心的に推進すべきでない
- 推進すべきでない

日本の有人宇宙活動



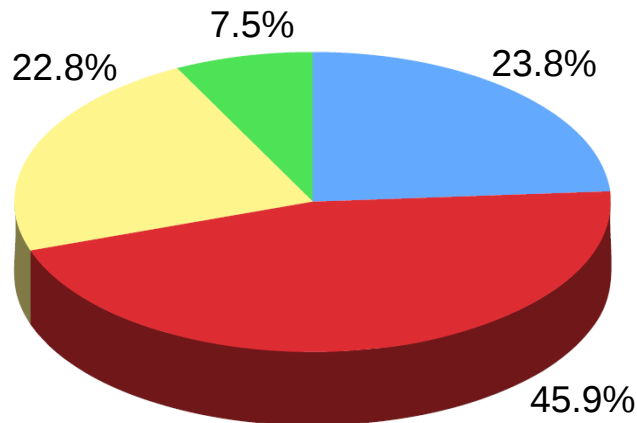
- 積極的に推進すべきである
- 推進すべきである
- 現状のままでよい
- あまり推進すべきでない
- 推進すべきでない

2. 月・惑星探査に関する意識調査結果(2/4)

・フロンティア拡大の意義について

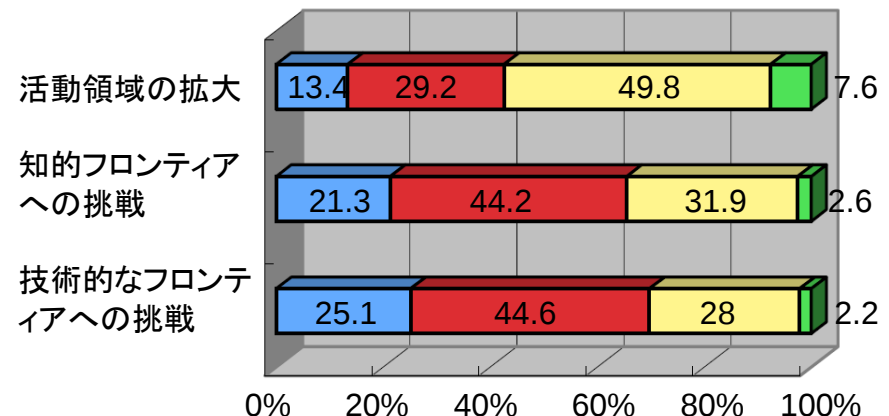
- 「フロンティア(未知なる領域)への挑戦」に関して、約7割の人が興味を抱いており、関心が高い。
- フロンティアの3つの側面では、「技術的フロンティアへの挑戦」、「知的フロンティアへの挑戦」、「活動領域の拡大」の順である。

フロンティアへの挑戦について興味がありますか



■ とても興味がある
■ 興味がある
■ あまり興味がない
■ 全く興味がない

フロンティア拡大の3つの側面の必要性



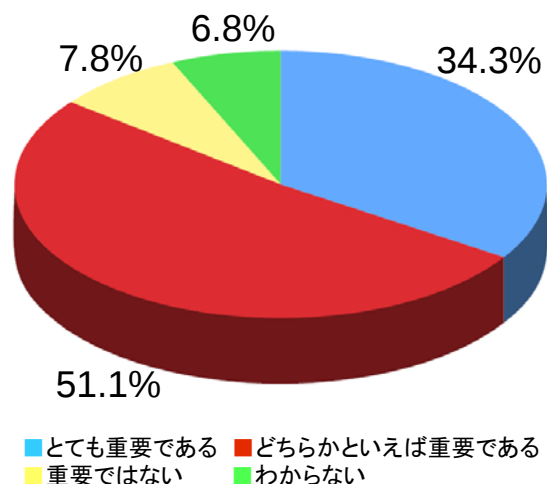
■ 絶対に必要だと思う
■ 必要だと思う
■ 状況によっては必要になると思う
■ 必要ないと思う

2. 月・惑星探査に関する意識調査結果(3/4)

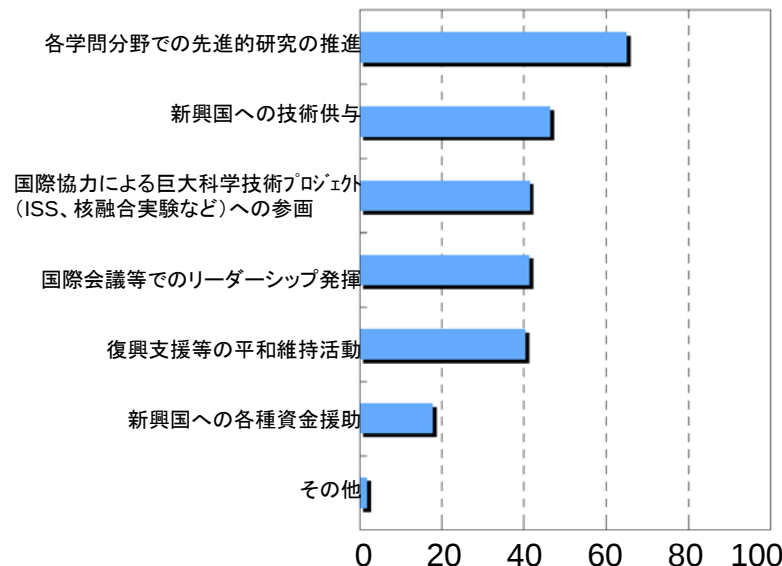
● 国際パートナーシップの意義について

- 85%の人が、日本にとって国際的な地位を確保することは重要であると考えている。
- 国際的地位の確保のために推進すべき取り組みとしては、「学問分野での先進的研究の推進」が最も重要視され、「国際的なビッグサイエンスプロジェクトへの参画」も比較的重要視されている。
- 91%の人が、対話・信頼醸成を通じた国際協働による世界平和への貢献は重要であると考えている。

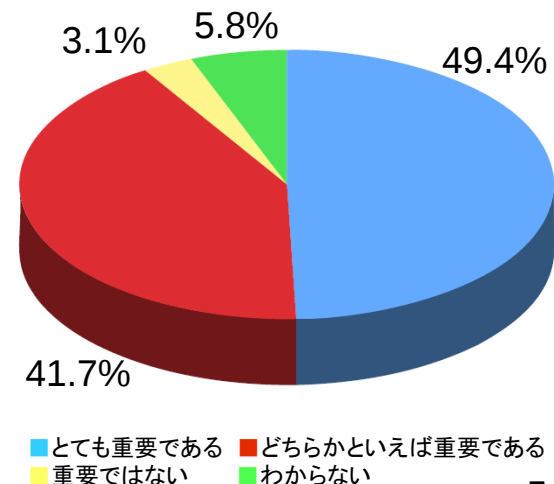
国際的地位確保の重要性



国際的地位確保のために重要な取り組み



対話・信頼醸成を通じた世界平和への貢献の重要性

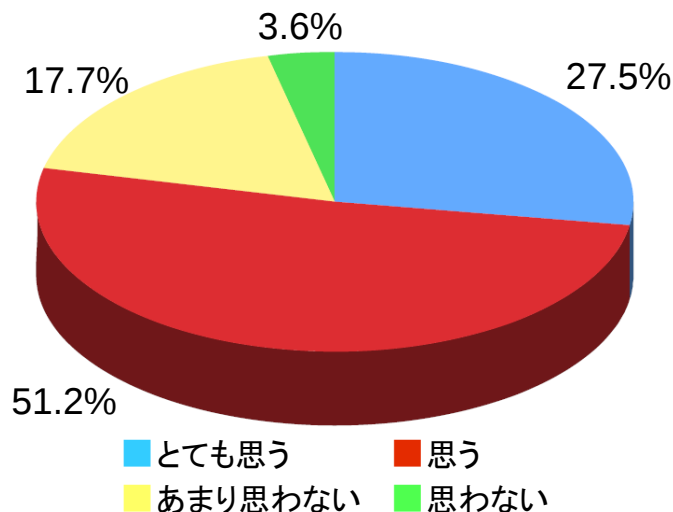


2. 月・惑星探査に関する意識調査結果(4/4)

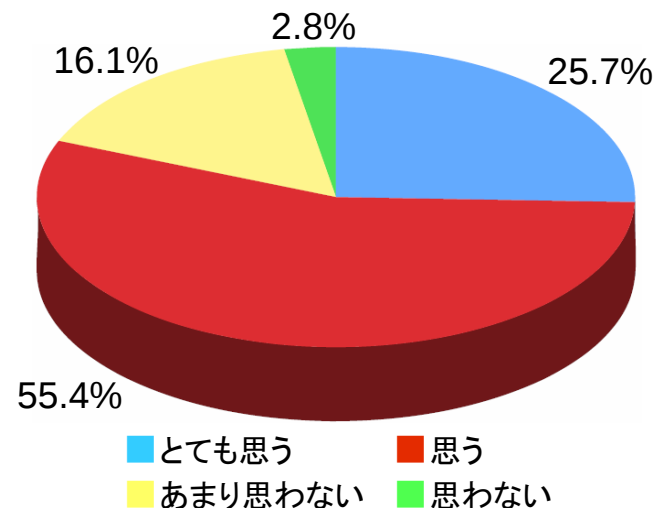
• 創発と教育の意義について

- 約8割(学生では約7割)の人が、宇宙探査プロジェクトの成果が理科の教材として用いられていたら、理科に(より一層)興味を持ったと回答。
- 約8割の人が、最先端の科学技術関係の学問やプロジェクト成果が理科離れの対策として有効と考えており、その中でも宇宙(特に地球観測と月・惑星探査)への期待が最も大きい。

宇宙探査プロジェクト成果が用いられた場合、小学校／中学校時代に理科に対して興味を持ったと思いますか



小学校／中学校時代に最先端の科学技術関係の学問やプロジェクト成果に触れることは、理科離れの対策として効果が高いと思いますか



3. 投資価値に関する調査

仮定シナリオ：日本人月探査プロジェクト

- 我が国ではこれまでに、毛利宇宙飛行士などがスペースシャトルに搭乗したり、野口宇宙飛行士が国際宇宙ステーションの建設に参加したりして、人間が宇宙で活動するために必要な宇宙技術の蓄積を行ってきました。
- 一方、月は、人類の活動領域が地球周辺から月、そして月以遠へと展開していく21世紀宇宙開発活動の中心を担う、宇宙探査がもっとも近い将来にとりくむべき天体です。月探査により切り拓かれる宇宙開発には、「科学の発展」、「人類の活動の場の拡大」、そして「国際社会の中における国の発展」が考えられます。
- ここでは、月面に日本の拠点（基地）を建設するため、2020年頃に日本が開発した輸送機（ロケット）で月に日本人を送り込むためのプロジェクト（日本人月探査プロジェクト）を新規に立案すると仮定します。
- そして、その価値の計測のために、仮想的にこの日本人月探査プロジェクトを実施する組織を皆様からの寄付による基金により設立・活動するとします。また、日本人月探査プロジェクトの実施に必要な資金は、今後10年間かけて全国の世帯から募るものと仮定します。
- 皆様には、この日本人月探査プロジェクトに対して年間いくらのお金をご寄付いただけるかについてお聞きします。

金額設定

ダブルバウンド方式で4パターンを準備

	最初の提示	Yesの場合	Noの場合
パターン1	500	1,000	100
パターン2	1,000	2,500	500
パターン3	2,500	5,000	1,000
パターン4	5,000	10,000	2,500

支払い意思額と総便益評価額(価値認知)

- 月面に日本の拠点(基地)を建設するため、2020年頃に日本が開発した輸送機(ロケット)で月に日本人を送り込むためのプロジェクト(日本人月探査プロジェクト)に対して、年間一世帯当たり3,087円の支払い意思額が示された。
- 総便益評価額では、日本人月探査プロジェクトには、約1兆4000億円の価値があると試算される。

- WTP(支払い意思額)の算出
 - ワイブルモデルの中央値を使用
 - 支払い意思額は年間3,087円／世帯
- TWTP(総便益評価額)
 - $WTP(3,087\text{円／世帯}) \times \text{約}4900\text{万世帯}$
 - $\times \text{価値認知割合}(92.4\%) \times 10\text{年}$
 - 約1兆4000億円

男女間の意識の違い

- 男性: 4,029円
- 女性: 2,452円

年代別の意識の違い

- 10代+20代: 2,216円
- 30代+40代: 2,644円
- 50代以上: 4,994円

2008年2月8日

宇宙探査の意義について：ブレスト用資料

同志社大学 村山裕三

1. 意義の歴史的位置づけ

- ・ Haese 論文は興味深い－歴史的にみても、新たな意義付けが必要な時代を迎えている－世界各国は模索中
- ・ Logsdon 論文に見られる EU のアプローチには、注意を払う必要
 - ＊ 宇宙探査を投資と位置づけ、そのリターンをいかに最大化するか？、という問いかけ－”space application” の重要性
- ・ ただの科学的、知的探究にとどまらない新たな位置づけが必要－この研究チームの役割

2. 考える枠組み

- ・ ビジネス的な発想からは、EU のアプローチが面白い
- ・ 宇宙探査からのリターンは複層的
 - ①探査そのものからの科学的なリターン
 - ②政治・安全保障上のリターン
 - ③経済的・ビジネス的なリターン
 - ④社会的なリターン
- ・ この中で、日本はどのような優先順位をつけて、どのような絵を描くか？

3. User-driven からのアプローチ

- ・ ③経済的・ビジネス的、④社会的、な側面から考えてみる
- ・ 宇宙への社会の関心度は上昇中－地球環境、TV コマーシャル

- ・ 宇宙探査は日本代表メンバーという発想
- ・ 参加メンバーを「宇宙むら」から、外へ広げる必要性
- ・ 宇宙のビジネス的な価値を引き上げる－「かぐや」からの地球映像の活用
ホンダの衛星写真 TV コマーシャル
- ・ 宇宙探査の活用例
例 1) 探査技術をより広く経済界から求める－成功すれば大きな宣伝効果
例 2) 見える部分で日本のデザインを活用、日本の強みを活用
例 3) 映像を広く活用できる道を開く－「だいち」+ 環境 + α
- ・ このようなアプローチで宇宙探査を進めると、経済からも宇宙探査の資金が期待できる (EU の発想)
- ・ 宇宙探査の部分でも PPP (官民連携) の可能性を探るべきか？
- ・ ビジネス分野からは、宇宙探査の一つの表ストーリーを描ける可能性

平成 20 年 2 月 8 日

第 2 回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題

大阪大学 渡邊浩崇

1. 日本の宇宙探査について、一昨年度国益研究会の成果の中で「宇宙開発は国力にどのように貢献しているか」で挙げられた 6 項目（実際には 7 項目ですが、地球観測に特化した項目は除きました）及びいくつか追記した以下の項目それぞれの観点から言えると思われることをご記述下さい。

① 交渉力を支えるバックグラウンド

この点における宇宙探査の貢献は非常に大きいと考えられる。宇宙探査は宇宙活動の根本であり、宇宙活動の中でも国際的・地球的・人類的活動としての側面が強い。また、宇宙探査は最先端の宇宙科学技術を必要とする場合が多く、現代の科学技術を牽引するものの一つと言っても過言ではない。ただその一方で、宇宙探査は宇宙活動の中でも、直接的・短期的に国民一人一人の利益につながりにくく、科学技術力はもちろんとして経済力などに余裕がなければ積極的に取り組むことはできない。

このような意味で、最先端の宇宙探査に取り組んでいる国家は、人類と地球の発展のためという理念（価値観）を持ち、なおかつそれを実現する豊かな国力を持った国家というイメージを持たれることが多い。もちろん、その裏に宇宙をわが物にしたい、軍事的・経済的利益を先取りしたいという野望を疑われることもある。しかし、それらが本当に問題となるのは、宇宙探査を終えた次の利用の段階である。

したがって、宇宙探査が国際社会に対して（潜在的、間接的）ハードパワーとソフトパワーの両方を同時に誇示することができるという点で、宇宙活動の中だけでなく他の政策と比較してもこれに代わるものは少ない。アメリカが 1960 年代にアポロ計画に取り組んだ理由はまさにこれである。現在においても、アメリカや中国が宇宙探査に積極的に取り組んでいるのは、宇宙というフロンティア領域が近い将来に地政学的に重要になるからということもあるが、それよりも宇宙探査がその国の普遍的理念（価値観）及び総合的国力を国際社会に示すのに最も効果的な手段の一つであると考えているからである。

宇宙開発（宇宙活動）のハードパワーとソフトパワーに関して、一昨年度国益研究会の議論に補足するならば、宇宙活動は、ハードパワー的側面から間接的に、ソフトパワー的側面から直接的に、日本外交に貢献することが望ましく、そのために宇宙活動の中でも宇宙探査は絶好の分野と考えられる。

② 自立性の確保による安全保障への貢献

この点における宇宙探査の貢献は比較的小さいと考えられる。しかし、宇宙探査が最先端の科学技術を牽引することや宇宙技術の軍民両用性から、技術的・軍事的安全保障への間接的な貢献は少なくない。

③ 先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力確保

この点における宇宙探査の貢献は大きいと考えられる。宇宙空間や天体に対して、国際法上の「先占」（国家が無主地、いずれの国家領域にも帰属していない地域、を自国の領土とするためにそれを支配すること）が行われる可能性は低いであろうが、そこに行ったことがある、そこについてよく知っている、そして今も行くことができるという事実による「先行者の利益」はあると考えられる。ただ、国内向けに宇宙探査に取り組む理由の一つとして挙げるのはよいかもしれないが、国際社会に向けては宇宙探査が進んでいく段階で自然な形で発言力を確保していく方がよい。

④ 地球規模の問題解決に貢献し、日本の外交力を高めること

この点における宇宙探査の貢献は小さいと考えられる。もちろん、宇宙探査の最終目的としては、新たな資源エネルギー探し、人類の移住のための第二の地球探しということもあるが、現時点ではかなり未知数であり、この点で日本の外交力を高めるとするのは難しいであろう。

⑤ 国の威信や矜持の向上

この点における宇宙探査の貢献は非常に大きいと考えられる。国家威信とは、国家が国際社会の中で立派な一員として、他から侮られることなく信頼と尊敬を受けることであり、一方、国家矜持とは国家としての自尊心であり求心力である。

これらを向上させるためには、政治的、軍事的、経済的、社会的、科学技術的などの総合的な国力（他の国家に対する優位性）、そしてその国家としての理念（価値観）を国内外に誇示することが必要となる。

①で既に述べたように、宇宙探査はその国の普遍的理念（価値観）及び総合的な国力を国際社会に示すのに最も効果的な手段の一つである。

⑥ 宇宙コミュニティ内での交渉力や発言力の強化

⑨ 世界の科学コミュニティの中でのリーダーシップ

これら点における宇宙探査の貢献は、宇宙探査は宇宙活動の根本であり、宇宙に限らず現代の科学技術を牽引するものの一つと考えられるので、言うまでもなく大きい。

⑦ 自国の教育／若い世代へのインスピレーション（科学的成果による貢献は除く）

⑧ 国内一般への啓蒙／意識の醸成

この点における宇宙探査の貢献は大きいと考えられる。マスコミ報道も含めて伝え方・教え方が大きな問題であるが、宇宙探査は宇宙活動の中でも「よく目に見えるもの」の一つである。

前回の会合で議論があったように、宇宙活動における日本のリーダーシップが一般に知られていない大きな理由の一つに、日本はボトムアップの政策形成・決定であり、アメリカのように国家・政府のトップレベルの決定として開始されることが少ないために、国内外への発信力が弱くなっていることが考えられる。

⑩ 産業への貢献／商業機会の創出／技術スピンオフ

この点における宇宙探査の貢献は小さいと考えられる。一回限りの宇宙探査は産業にも商業にもなりにくく、宇宙探査に主としてお金を出す国家・政府が宇宙探査を長期的に継続させることができた上での話である。しかし、技術スピンオフには可能性があるのではないだろうか。

⑪ その他、上記以外の宇宙探査の貢献について

2. 「宇宙探査の意義」について、その他ご意見をご自由に記述下さい。

前回の第1回の会合で、アポロ計画に国際政治的意義はあまりないという見解を紹介したが、直接的・短期的な軍事的・経済的影響は少なかったという意味である。周知の通り、間接的・長期的には、宇宙技術と軍事技術の連携、宇宙技術のスピンオフ、システム工学の発展など、軍事的・経済的影響は非常に大きい。また、アポロ計画の国際社会に対する政治的・心理的影響は、第二次大戦後の現代社会において最大のものの一つである。ただ、その定量的評価は、アポロ計画の目的の多様性と経費の莫大さを理由として難しく行われていないために、抽象的で定性的な評価に留まっているような感もある。しかし、アポロ計画が人類初の有人月面着陸を実現することにより、アメリカの国際的地位および国内の求心力を回復・向上させたという事実を否定することはできない。定量的指標は重要であり必要であるが、個別具体的な事実としての歴史のような定性的指標と相互補完的なものと考えるべきではないだろうか。

「宇宙外交」に関して、昨年度の国益研究会の議論に補足するならば、日本は宇宙政策を他の分野の政策と連動させて、交渉上の取引材料の一つとして活用することは積極的にとは言わないまでも、時には必要である。宇宙探査は、日本が比較優位を持つ分野として交渉上の取引材料となりうる。1969年日米交換公文に関しては、アメリカの日本に対する核・ミサイル（ロケット）の不拡散政策と共産主義の封じ込め政策の一環という側面が強いが、他の外交案件との取引という面もあったと考えられる。今後のさらなる検証が必要であるが、アメリカから日本への宇宙技術移転の交渉は、沖縄返還や経済摩擦の交渉と重なっている部分が多く、日本側が技術移転を受け入れたことが、アメリカ側から沖縄返還などに関して好意的対応を引き出すことにプラスに作用したと考えられる。このような意味では、過去にも日本の宇宙活動がその外交政策に貢献していたと言えることができる。

また、宇宙政策と外交・安全保障戦略とが緊密に連携されるような制度的枠組みが必要という議論に補足するならば、現在の宇宙基本法の中の宇宙戦略本部では国家的宇宙政策の形成・決定に不十分と考えられる。なぜならば、宇宙政策と、外交政策、安全保障政策、産業政策などを担うそれぞれの組織が対等な立場にないため、宇宙戦略本部で調整を行うと言っても、宇宙政策の中でも外交・安全保障や実用産業の分野が強くなりやすく、国民への利益という点で間接的・長期的な宇宙探査などの科学分野は弱くなりやすい。アメリカの制度が必ずしもよいわけではないが、NASA、国務省、国防総省、商務省などが基本的に対等な立場で議論することで国家的宇宙政策が形成・決定されている。言い換えれば、宇宙コミュニティから見た外交・安全保障政策と、外交・安全保障コミュニティから見た宇宙政策とが対等に議論・検討される制度が存在しているかどうかである。そうすると今後、宇宙活動全体の調整をしながら積極的に宇宙探査に取り組むためには、設立当初の環境省のように小規模であっても、宇宙活動を総轄する一つの独立した「宇宙省」が必要なのではないだろうか。

（以上）

平成 20 年 2 月 8 日

第 2 回「宇宙開発と国益を考える研究会」準備課題

寺門和夫

1. 日本の宇宙探査について、一昨年度国益研究会の成果の中で「宇宙開発は国力にどのように貢献しているか」で挙げられた 6 項目（実際には 7 項目ですが、地球観測に特化した項目は除きました）及びいくつか追記した以下の項目それぞれの観点から言えると思われることをご記述下さい。

※このフォーマットをお使いになる場合はご自由に改行し、適宜セルを延ばしてお使い下さい。

① 交渉力を支えるバックグラウンド

科学的成果の厳密な評価は科学コミュニティの中で行われるが、その国がどのような探査計画をもっているか、探査機がどれだけの性能をもっているか、ミッションが成功し、どれだけの科学的発見がなされたかなどについては、その国の象徴としての側面ももつであろう。したがって、広い意味では、対外的な交渉力をささえるバックグラウンドになるはずである。

地球を対象にした観測の場合、たとえば GOSAT のミッションは地球温暖化問題に対する日本の影響力を増すことに寄与する。ただし、宇宙探査の場合、その成果は直接、われわれの生活に役立つという性格のものではないので、すぐにこのような効果が現れるわけではない。したがって、その探査計画がいかに優れたものであり、人類の知の領域拡大に貢献するかを積極的にアピールしなければ、この効果は生まれてこない。

「かぐや」を例にあげれば、このミッション自体がどれだけ先進的なものであるかは、科学者や関係者は理解できるが、それが国際社会ですぐに認められるわけではない。単に「優れている」といっても、理解は容易ではない。そこで、他国の同じようなミッションや過去のミッションとの比較が必要になる。「かぐや」のケースでいえば、アポロ計画の成果や、中国の「嫦娥」やインドの「チャンドラヤーン」との比較をすることによって、日本の探査計画の特長を説明することができる。

国際交渉や会議の場で、日本の宇宙探査の成果をそれとなく発言したりする政治家や外交官が増えれば、より効果は出るかもしれない。

② 自立性の確保による安全保障への貢献

宇宙探査機の打ち上げロケット、追跡・管制技術、探査機の開発、探査機に搭載されるセンサー、データ処理のアルゴリズムなどは、純粋に科学目的ではあっても、「自立性の確保による安全保障」の潜在力を示すものとなる。

③ 先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力確保

具体的なケースがあまり思い浮かばないが、たとえば月について、某国が月の資源や資源が濃集している地域の領有権を主張するような場合を考えると、「かぐや」がその前に月面を徹底的に調べ、そのデータを取得し、科学的データとして発表していれば、国際社会において日本は大きな発言力をもつであろう。

④ 地球規模の問題解決に貢献し、日本の外交力を高めること

月や惑星の探査、系外惑星の観測は、地球の誕生や進化のプロセスの解明に寄与する。火星や木星の衛星エウロパでの生命の探査、宇宙における有機物の観測などは、生命の起源の研究に寄与する。SETI（地球外知的生命の探査）は、地球文明を客観的に評価することに役立つかも知れない。また、宇宙ステーションの建設や他の天体への有人飛行が、人類のフロンティアを広げ、将来の人口問題を解決する手段となるという考えもある。

しかしながら、現実的には、こうした成果が地球温暖化のような切迫した地球規模の問題解決に直接貢献することはそれほど多くはなく、日本の外交力を高めることにはなるとはあまり考えられない。

太陽観測衛星のデータは磁気嵐による通信系の被害や宇宙飛行士の放射線被爆の防止などに、月惑星探査機のセンサーや画像処理技術は地球観測に、小惑星の探査、サンプル採取技術などは地球に衝突する小惑星の軌道変更に役立つかもしれない。

また、宇宙探査の成果に影響を受けた人が、やがて新しい地球観をもち、地球規模の問題を解決するような人材になる可能性は大きい。アポロ宇宙船が撮影した地球の画像は、地球が閉鎖系であり、資源は有限であることを、何よりも雄弁に人類に語りかけた。

⑤ 国の威信や矜持の向上

国の威信のための宇宙探査という考え方は、中国やインドなど宇宙新興国においては、重要な位置づけが与えられていると推測できる。また、実際に、こうした競争という発想を根底においた宇宙計画は、これらの国の政治、外交、経済、社会などに効果もたらすであろう。宇宙開発の歴史の中で、各国が通ってきた道であるが、日本はその段階をとうに過ぎており、より洗練された、「品格」のある宇宙探査活動で、国の威信や矜持の向上をはかるべきである。

コンセプトが先進的で、新たな発見の要素に富み、優れた技術が投入されたミッションを進めていけば、日本国民が世界に誇れる宇宙探査が可能となるだろう。その良い例は「はやぶさ」である。おそらく「かぐや」もそうなるであろう。

⑥ 宇宙コミュニティ内での交渉力や発言力の強化

上記のような優れた宇宙探査が行われていけば、おのずから宇宙コミュニティ内での交渉力や発言力が強化されていくだろう。この際、きわめて重要なポイントは、ミッションのコンセプトであろう。他国でもできることをやっていたのでは、評価は高くない。「はやぶさ」が海外で高く評価されている理由の1つは、それがNASAやロシアのような宇宙大国では考えないようなチャレンジングなミッションだったことにある。

⑦ 自国の教育／若い世代へのインスピレーション（科学的成果による貢献は除く）

宇宙探査の意義として、必ず書かれている。④にも触れたように、宇宙探査の成果に影響を受けて新しい価値観をもった人材が育ち、科学や技術に限らず、さまざまな方面で日本の将来を担っていく可能性はある。

ただし、そのためには、それなりの教育や広報活動が必要である。また、実際に宇宙探査の成果が若い世代にどのくらいの影響を与えているのか、あるいはどのような活動が効果的なのかなどを検証してみる必要がある。

⑧ 国内一般への啓蒙／意識の醸成

多くの人にとって、宇宙探査のくわしい科学的内容はほとんど意味をもたないであろう。ただし、「世界初」や「世界最高」などの形容詞のつく成果は、アピール度が高く、多くの人が宇宙に親近感をもち、宇宙開発への理解を高めるであろう。「地球の出」などもそうである。

また、「かぐや」のCMのような企業の活動も効果があると考えられる。

ただし、宇宙探査についての広報活動の方法と効果も検証してみる必要がある。

⑨ 世界の科学コミュニティの中でのリーダーシップ

宇宙に限らず、生物学、物理学、地球科学などさまざまな分野において現在の科学は巨大化しており、一方では競争しながらも、国際協力が必須となっている。したがって、自国の科学の優位性を保ち、リーダーシップを発揮しながら、国際協力を進めていることが必要である。

宇宙探査の分野において、日本はX線天文衛星、太陽観測衛星（「ようこう」「ひので」）、「はやぶさ」のように、世界に誇れる実績をもっている。こうした探査計画を進めていけば、日本の科学に対する総合的な評価を高めることに貢献できるであろう。

さらに、こうした探査計画をになう科学者や技術者も、巨大科学と国際協力という時代の要請にこたえられる資質を身につけることができる。

⑩ 産業への貢献／商業機会の創出／技術スピンオフ

これもまた、宇宙探査（宇宙計画全体）の意義として必ず掲げられるものであるが、その実態はくわしく検証する必要がある。

その場合、経済規模だけでなく、先進的な技術の波及効果、優秀な人材の育成などの観点も必要である。また、信頼性工学やシステム工学、ソフトウェア技術など、産業の基盤を支える領域への貢献なども検証してみると面白いデータがでてくるかもしれない。

⑪ その他、上記以外の宇宙探査の貢献について

2. 「宇宙探査の意義」について、その他ご意見をご自由に記述下さい。

（以上）

「宇宙開発と国益を考える勉強会」

第3回 平成20年3月7日（金） 資 料

- ・「先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力確保」
(青木節子) 119
- ・「宇宙探査の意義について－2月8日提出資料の説明」
(村山裕三) 123
- ・「アポロ計画の国益への貢献」(渡邊浩崇) 125

平成 20 年 3 月 7 日

宇宙探査と日本の国益 先行者として、日本に有利な法制度形成のための発言力確保

慶應義塾大学 青木節子

1 結論

各国はどういう目的で宇宙開発利用を行っているのでしょうか。米国、ロシア、中国、欧州、インドの最近の宇宙政策を比較した。そして、探査がそのなかでどのように位置づけられているのかを検討した。各国とも「宇宙探査」が宇宙科学技術全体の水準を上げることに必須であり、自国の外交政策を実現する手段として、宇宙探査についての国際協力が重要な役割を果たすと考えている（ようである）。

1 米国

2006 年 8 月 31 日に大統領が最終的に了承し、10 月 6 日に公開版が発表された。

米国の宇宙プログラムの原則（第 2 節）は、宇宙を主として安全保障追求の場ととらえ、自由な宇宙の探査・利用を妨害しようとする勢力には、断固とした姿勢で臨むことを明言するものである。宇宙プログラム原則として、具体的には以下のものを挙げる。すなわち、①防衛・情報収集、②いかなる国の宇宙に対する主権の主張や自由な宇宙活動を否定する動きをも拒絶すること、③宇宙の平和利用において国際協力を行うこと、④宇宙資産への干渉の排除、⑤干渉に対して必要なときにはそれを拒否する行動をとること、⑥宇宙での自由な活動を制限する国際合意（軍備管理協定を含む）の拒否、⑦国家安全保障に沿った商業化の奨励および促進、である。原則に続いて述べられている宇宙探査・利用の政策目標（第 3 節）は、①指導力強化、②安全保障、③宇宙科学、④商業部門の強化、⑤安全保障・商業部門を支える科学技術基盤の維持強化、⑥国際協力とされる。宇宙科学の目標は、具体的には、（ア）太陽系に人間活動を拡大するという目的で、革新的な有人およびロボットによる探査プログラムを実施し続けること、および（イ）民生探査、科学的発見および環境（関連）活動の利益を増加させること、とされる。政策目標についての一般的なガイドライン（第 4 節）、国家安全保障ガイドライン（第 5 節）に続いて民生宇宙ガイドライン（第 6 節）の中で宇宙科学の任務も詳述されているが、宇宙目標にいかに関与するか、という説明はみられない。

国際宇宙協力（第 8 節）のなかで、米国の安全保障に合致する範囲で、相互に利益とな

り、宇宙の平和利用を進めるものであり、国家安全保障、国土安全保障、および外交政策目的を前進させるための国際協力を行うと書かれている。そして、国際宇宙協力分野として次のものを含むとして挙げられているのが宇宙探査である。(例示は宇宙探査のみ)。もっともここでいう宇宙探査は「安全保障上の要求、米国の国家安全保障および外交政策上の利益に合致する宇宙偵察情報を提供、および地球観測システムの開発・運用」、とされ宇宙科学協力ではなく、宇宙応用についての国際協力であることに、一定の注意を払うことは必要である。この節の最後では、国務長官は、同盟国や友好国が米国の宇宙政策を理解し支援し、米国の宇宙システムを利用するようになるよう外交努力をする必要が述べられている。

国際協力の項目が例示列举であることから、惑星探査のような科学協力も当然国際協力の候補として考えられているとする。であれば、そのような宇宙探査を国際協力の対象として用いることにより、外国が米国の政策を支持するようになり、かつ、米国の宇宙産業進展に資する、という論理構成は取り得るかもしれない。そうであれば、この場合、宇宙探査は、交渉力を支えるバックグラウンド、および宇宙コミュニティ内での交渉力や発言力の維持強化のための宇宙探査のためのものである、というまとめかたが一応はできるのではないか。

2 ロシア

ロシア連邦宇宙局(FAS)が策定し、ロシア政府が2005年10月に承認した「2006-2015年のロシア連邦宇宙プログラム」(政府令第635号)(以下、仮訳による)では、FASが従事する宇宙開発利用の目的は、国民生活の質の向上、経済成長、潜在力の創設、国家安全保障向上という、大統領教書で述べられたロシアの戦略的目標を実現するための道具と位置づけられている。戦略目標を達成するための2015年までのプログラムとしては、環境観測、災害監視、気象観測、通信放送などの宇宙応用分野に力を注ぐとし、文書のなかにみられる基礎科学研究(「太陽、太陽系惑星、太陽・地球関係及び地球を取り巻く宇宙空間の研究」)や「有人宇宙飛行学の成果の向上」も、「イノベーション的ロシア経済」に奉仕するものと考えられているようである。

宇宙探査については、「社会・経済分野、科学、国際協力、国防および国の安全の要求を満たすための民生、汎用の宇宙設備の開発」と書かれているところが唯一、宇宙探査を目的としている部分であるが、これ以上掘り下げられてはいない。この文書が、宇宙活動の経済効果の試算で締めくくられていることからわかるように、宇宙の商業化・産業化に大きな価値をおいた文書であり、行間を読み取ることも難しい。

ただし、ヒントになる箇所がないわけではない。「プログラムが解決をめざす問題の特徴」という節で、次のように書かれている箇所がある。「アメリカ、欧州諸国および中国は、月、火星への有人以降の準備、ならびにそれに続くこれら惑星の開発をめぐる活動を大きく活

性化させている。これらの問題の解決にあたり開発される技術は飛躍的なものになるであろう。こうした状況は有人宇宙飛行分野でのわが国の優先課題に損失をもたらしかねず、また科学・技術関連分野におけるロシアの遅れにつながりかねない。」

先行者としての利益を失わないためにも、宇宙探査は、国益の問題として欠かすことができないと捉えられているようである。

3 中国

国防科学工業委員会(COSTIND)が、2007年2月に第11次5カ年計画(2006-2010)中の宇宙開発計画を公表した。(2006年3月に全人代で採択された国家全体の5カ年計画に基づいて作られた各分野の5カ年計画の1つである。)

宇宙5カ年計画によると、経済整備、国家安全保障、科学技術発展と社会進歩の要求に合致するように宇宙技術、宇宙応用、宇宙科学を発展させることである。そのために、特に重点科学技術プロジェクトのブレークスルーを実現することが重視されている。具体的目標は、9つ挙げられるが、そのうち5番目の重点科学技術プロジェクトは「有人宇宙プロジェクト、月探査プロジェクト、高分解地球観測システム、北斗航行測位衛星システム、次世代打上げロケットプロジェクト」であり、「宇宙探査」と宇宙応用の双方を含む。これらのプロジェクトを次々に開始し、あるいは継続実施し、汎用性・牽引性をもつキーテクノロジーおよび核心技術を獲得して、独自の知的財産を有するハイテク産業群を育成することが目標とされる。6番目が宇宙科学研究で、「天文観測、惑星探査、微小重力および宇宙ライフサイエンスなどの方面でオリジナリティのある成果を得る。基本的な宇宙環境監視・予報体制を構築」することが2010年までの目標である。宇宙科学研究については「人類の知を拡大する」という目標が具体的任務を記載する箇所(3.6)で書かれているが、真の目的は、宇宙応用に適する基盤を整備することのようである。すなわち、重点的な基礎研究で達成されるブレークスルーを通じて製品供給保証能力をはじめとする宇宙科学技術を全体のインフラ整備、運用能力向上を達成し、それを経済目的のための宇宙利用に応用する、という方式である。

それを国家の外交政策と組み合わせ、国際協力プロジェクトやAPSCOでの活動を通じて「宇宙製品の輸出を拡大し、先端技術の導入と消化吸収に力を入れる」とする。協力領域として挙げられている10部門のトップが「宇宙天文、宇宙物理、微小重力科学、宇宙ライフサイエンス、月惑星探査」であり、宇宙科学は、中国の国家政策を遂行するために用いる国際協力に資するもの、という位置づけもなされているようである。

2006年10月に公表された第2回中国宇宙白書においては、宇宙開発の目的の1つには、中国人民の科学能力を向上させ、中国の国益と権利を守り、総合的国力を強化するということが挙げられる。イノベーション(自主创新)を重視する表現も随所にみられ、基礎科学が宇宙応用技術を向上させ、宇宙市場の確保、中国の外交政策に有利な方向に行動する

力の源泉を与える、中国の国際的地位を高め、中国人民の凝集力のもととなる、という思考経路のようである。

「宇宙探査」が実利に結びつく、国益実現に結びつく、という意味では米政策よりも直線的思考がみえそうである。（米国のように国家安全保障のための宇宙軍事利用を前面に出さないため、いっそうそのような印象を与えるということもあるであろう。）また、基礎科学と応用の境界についての意識が米国よりも薄いようである。基礎科学は応用のためである、という姿勢がより強いためであるのかもしれない。

4 欧州

2007 年 4 月に欧州委員会と ESA 長官の共同文書という形で採択された初の欧州宇宙政策は、新規参入勢力の台頭に対して、欧州市民に対する経済的かつ戦略的利益を確保するための方策を詳述する。宇宙活動の目的は、宇宙応用（GALILEO、GMES）、安全保障・防衛、宇宙産業、宇宙科学、新規・重要技術へのアクセスを確保するためであるとされる。

欧州の国際協力保持をいかにして維持向上させるかに力点をおいた文書であり、宇宙システムにおけるリーダーシップ、「国際プログラムに対して第 1 流の貢献をする国際パートナーとしての立場を保持しなければ」欧州の戦略的利益を確保しえないという前提にたつてた目標であり、「宇宙探査」も欧州が「irrelevant」にならないために必ず先端集団の一員となっておかなければならないものとして位置づけられている、と考えられる。

宇宙科学と宇宙技術についての特記事項として欧州以外の国からの重要技術の依存を低減することを検討すべきであるとする（附属書 I）地域の自律性確保のためには、自主努力による科学技術の発達が必要であり、宇宙科学はその礎ということであろう。

5 インド

宇宙委員会が政策策定をし、宇宙省がその政策を履行する。宇宙省の下にある 4 つの研究開発機関の 1 つが ISRO である。宇宙省は、1992 年には ANTRIX という特殊会社を設立し、宇宙活動の商業化、宇宙活動支出を回収するための打上げサービスの輸出を任務とする。宇宙省の「市民憲章」にみられるように、国民の経済的利益のための宇宙政策という側面が強く、宇宙科学、宇宙応用ともに経済利益に直接貢献するものと、とらえられているようである。

原子力の経験から、宇宙技術応用を発展させるための能力を自国で涵養、蓄積しておく必要には敏感であると思われる。

6 日本

2008 年 2 月の「宇宙開発に関する長期的計画」参照。宇宙探査が制度構築における先行者利益として必須のものであることについて、最も自覚的と思える。

以上

平成 20 年 3 月 7 日

宇宙探査の意義についてー2 月 8 日提出資料の説明

同志社大学 村山裕三

- 宇宙探査の意義を考えるにあたり、Haese 論文はきわめて興味深い視点を提供している。これは、サイエンス・ミッション、国同士の競争やprestigeを求めた宇宙探査の時代は終わり、これに代わる新たな位置づけが必要とされている、という点である。また、Logsdon 論文に見られる EU の宇宙探査へのアプローチは、新たな視点として興味深い。これは、宇宙探査を投資として位置づけ、ここからのリターンをいかにして極大化するか、という経済学的な発想である。これらの論文から学ぶべき点は、宇宙探査の意義を考えるにあたり、新たなアプローチが必要であり、ここには、経済学的な視点、社会全体から見た視点が含まれなければならない点である。
- 宇宙探査を経済学、ビジネスの視点から考えてみると、宇宙探査への投資に対するリターンという考え方が重要となる。しかし、これを純粋に経済学的にとらえるのではなく、リターンについて、その幅を広げて考えなくてはならない。すなわち、宇宙探査からのリターンは、①科学・学術面でのリターン、②政治・安全保障上のリターン、③経済・ビジネス上のリターン、④社会的なリターン、という複層的なものであることを認識する必要がある。このなかで、今、日本に問われているのは、この四つのリターンにどのような優先順位をつけ、どのような宇宙探査の全体像を描くか、ということであろう。
- ここでは、上記のリターンのうち、③と④について検討を加える。まず、注目されるのは、「いとかわ」や「かぐや」の影響もあり、宇宙探査への一般の関心が高まりを見せている点である。これに加えて、地球環境問題の大きな盛り上がりもあり、これが衛星写真などの商業的な価値を引き上げていることにも注目しなければならない。このような変化を反映して、ホンダが TV コマーシャルに地球の衛星画像を使うなど、宇宙と地球環境を関係させたような構図のコマーシャルが増加している。
- この好機会をとらえて、JAXA としても、宇宙探査の商業的な価値を引き上げる努力をしなければならない。これは、具体的には、①従来の宇宙への参加者は限られた内部のもの（宇宙むら）だけであったが、これを外へと広げ、今まで宇宙と関係の薄かった人や企業を宇宙を引き入れるべき、②宇宙探査はオリンピックやサッカーのワールドカップなどと同じように、「世界の日本代表」であるという意識を持ち、この視点から外へ向けた広報活動を行なうべき、③宇宙探査から得られた映像を科学的な資産としてとら

えるだけではなく、映像的な資産、アーティスティックな資産などとしてとらえ、これを外部の人が評価する仕組みを作るべき、であると考えられる。

- 具体的には、①探査技術をより広く経済界から求める一参加企業には大きな宣伝効果が得られる（「宇宙でも使われる当社の技術」といった価値）②日本代表であるため、見える部分で日本のデザインを使う（日本人のアイデンティティの発揚、宇宙への参加者の和み、などの効果）、③宇宙映像をデザイン的に活用できる道を開く、などが考えられる。
- このようにして、新たなプレーヤーや発想を取り入れて、宇宙の価値を引き上げることにより、宇宙へ幅広い範囲の企業が参加できるようになれば、将来的には宇宙探査への資金を企業から引き出せることが可能になるかもしれない。そして、これが宇宙探査における新たな PPP（官民連携）の形に発展することも考えられる。これは、企業側からしてみると、CSR（企業の社会的責任）の視点からも魅力的である。
- このようなアプローチが、従来の科学的探究、国同士の競争、国の政治上のprestigeなどに代わる（あるいは、加わる）、社会やビジネスに役立つ宇宙探査というイメージ構築につながる。宇宙探査には、安全保障上の意味合いや国際政治の裏ストーリーはもちろん存在すると思われるが、経済・社会のニーズに合う形の宇宙探査という表ストーリーで進めたほうが、国民の支持は得やすいし、より潤沢な資金が得られる可能性もある。

以上。

平成 20 年 3 月 7 日

第3回「宇宙開発と国益を考える研究会」

アポロ計画の国益への貢献

大阪大学 渡邊浩崇

1. 国益への貢献

- ①政治外交的:アメリカの普遍的理念(価値観)と総合的国力を国際社会に誇示して、
国際的地位と国内求心力を回復・向上
例)世論調査:国民意識が宇宙活動におけるソ連先行からアメリカ先行に逆転(1965)
大学生の 78%がアメリカ人であることに誇り(1970) →文献1
- ②経済的:確実な経済効果(?),アポロ計画単独での評価はほとんどない
例)250 億ドル(NASA研究開発支出、1959-1969)⇒1810 億ドル(利益、1959-1987)
“A seven-to-one return on NASA expenditures and a projected 33-percent discounted rate of return from 1958 through 1987” →文献2
- ③社会的:人類史に残る偉業を達成、理科系の教育・人材の強化
- ④科学技術的:最先端の科学技術を牽引、間接的・長期的に軍事技術に貢献

⇒アポロ計画は、アメリカという国家の総合的安全保障に貢献。

2. アポロ計画の教訓

(1)見習うべき点

- ①国家の活性化(国際的地位と国内求心力の向上)
人類初の有人月面着陸の実現という目標の下に、賛否両論がありながらも、アメリカという国家が一致団結して、国際的にも国内的にも活気を取り戻した。
- ②国家的宇宙政策のための組織・制度
国家航空宇宙会議(NASC)において、NASA長官が国務長官、国防長官、大統領補佐官と対等の地位であったために、NASC自体の機能・運用性に問題があったものの、宇宙政策と外交・安全保障政策の連携・調整の上で、アポロ計画が決定された。
- ③予算の維持(国民の支持)
アポロ計画へとつながるマーキュリー計画とジェミニ計画を含めて、目の見える成果を段階的・定期的に挙げることで国民の支持を保ち、必要な予算の維持に成功した。
- ④科学技術的意義の最大化
アポロ計画は、軍事でもない、商業でもない、科学でもない、「民生の(civilian)」計画として、そして冷戦の流動的な最前線での戦闘の一部として決定されたが、その一方で、アポロ計画の科学技術的意義を最大限に高める努力が行われていた。

(2) 回避すべき点

① 組織と人材の膨張

肥大した組織と投入された 40 万人 (NASA 職員 35,000 人) の後処理が、アポロ以後の NASA の最大の問題であった。科学技術が NASA の外に波及していくように、人材も他へ移っていくことができる仕組みができないだろうか。

② 他の宇宙計画や他の国家政策との関係

アポロ計画 (有人月面着陸) が NASA だけでなく、国防を除いた政府にとっての最優先事項であったために、他の宇宙計画はもちろんとして他の国内問題が後回しにされたのは事実である。ただ、アポロ計画ほど総合的で潜在的な目的・意義を持った国家政策が他にあっただろうか。

③ 莫大な予算

アポロ計画も予算を削減され続けた結果、有人月面着陸の実現が 1967 年から 1969 年になり、20 号までの予定が 17 号で打ち切りになった。しかし、時間と予算の使い方に解決策があるのではないか。

④ 有人宇宙計画の科学技術的意義の不足

アポロ計画に投入された資源を、無人宇宙計画や他の科学技術計画に投入していたならば、より多くの科学技術的成果を挙げていたという意見も少なくない。有人宇宙計画を科学技術計画という枠組みの中で考えた場合、この点が問題となることが多い。しかし、有人宇宙計画の総合的潜在性によって克服できるのではないか。

⇒アポロ計画の長所と短所の両面性 (投入資源と時代背景を理由に例外扱いをする前に！)

文献1: George H. Gallup, *The Gallup Poll: Public Opinion 1935-1971, Volume Three 1959-1971* (New York: Random House, 1972), pp. 1952 and 2283.

文献2: “Economic Impact of Stimulated Technological Activity,” Final Report, Midwest Research Institute, Contract NASW-2030, 15 October 1971, in John M. Logsdon, et al. eds., *Exploring the Unknown: Selected Documents in the History of the U.S. Civil Space Program, Volume III: Using Space* (Washington, DC: NASA SP-4407, 1998), pp. 408-414.

(以上)

宇宙開発と国益を考える研究会 報告書

平成 20 年 3 月

発行：宇宙開発と国益を考える研究会

本資料に関するお問い合わせ先：

財団法人日本宇宙フォーラム 広報・調査事業部
〒100-0004
東京都千代田区大手町 2-2-1 新大手町ビル 7 階
TEL.03-5200-1302

無断複写、転載を禁ずる