

# 宇宙探査のもたらす ベネフィット

2013年9月



国際宇宙探査協働グループ

空白

## 目次

エグゼクティブ・サマリ .....	1
1. はじめに .....	3
2. 宇宙探査の基本的ベネフィット .....	5
2.1. 科学・技術の革新 .....	7
科学・技術における進歩 .....	8
世界の技術的労働力発展 .....	9
経済圏拡大 .....	10
2.2. 文化とインスピレーション .....	11
2.3. 地球規模の課題への新たな解決策 .....	12
3. 今後 10 年の探査ミッションから期待できるベネフィット .....	15
3.1. 科学・技術の革新 .....	15
3.2. 文化とインスピレーション .....	19
3.3. 地球規模の課題への新たな解決策 .....	20
4. 結論 .....	21
イメージ著作権 .....	22

空白

## エグゼクティブ・サマリ

50 年以上に渡って行われてきた有人宇宙活動は、地上の人々の生活の質を改善するという社会的ベネフィットをもたらしてきている。地球周回低軌道の宇宙環境計測と人工衛星の初期機能試験を行うために設計された最初の人工衛星は、衛星通信、全地球測位、あるいは天気予報などの衛星利用開発へつながる、重要な知識および技術をもたらした。宇宙探査は、宇宙における経済発展を引き起こし、今日では、宇宙への投資に対する大きな見返りが年々もたらされている<sup>1</sup>。宇宙探査への挑戦は、私たちの宇宙と私たちが生きている太陽系についてのよりよい理解をもたらし、人類が生来求めている新しい科学と技術の知識の口火となっている。知識は創意工夫となり、世界の人々に、便利な製品およびサービスと共に新たな解決策をもたらしている。宇宙探査により得られた知識はさらに、宇宙における私たち個人および人類としての存在の新しい見方ももたらしている。

宇宙探査の長期目標は、地球低軌道以遠に人間および無人探査機を送り、月、小惑星および火星への探査を持続的に行うことである。国際宇宙探査協働グループ (ISECG)<sup>2</sup>に参加している宇宙機関は、ISECGの国際宇宙探査ロードマップ<sup>3</sup>にまとめられた、これらの目標を達成するための国際的な進め方について議論している。国際宇宙探査は国際宇宙ステーション (ISS) から始まり、火星表面の有人探査へと発展していく。

有人-無人システムの相補う能力を活用して、人類はこの非常に野心的な宇宙探査に挑戦し、宇宙探査から社会へベネフィットをもたらすことが出来るであろう。これらのベネフィットは次の 3 つの基本的分野 (科学・技術の革新、文化とインスピレーション、および地球規模の課題への新たな取組) へ分類することが出来る。

**科学・技術の革新** 宇宙探査が社会へのベネフィットとしてもたらす新しい知識と技術には多数の例がある。宇宙探査は、太陽電池パネル、埋め込み式心臓モニタ、ガン治療、軽量材、水浄化装置、計算機の進歩、全地球搜索救難システム<sup>4</sup>、など様々な面で日常生活に寄与している。前述したような野心的な将来の探査目標が達成できれば、さらに宇宙探査の経済的関わりも拡張されていくであろう。宇宙探査は、引き続き科学・技術に新しい領域を開くための本質的な役割を果たし、宇宙分野と

<sup>1</sup> OECD Handbook on Measuring the Space Economy, March 2012.

<sup>2</sup> ISECG 宇宙機関 (アルファベット順): ASI (イタリア)、CNES (フランス)、CNSA (中国)、CSA (カナダ)、CSIRO (オーストラリア)、DLR (ドイツ)、ESA (欧州)、ISRO (インド)、JAXA (日本)、KARI (韓国)、NASA (アメリカ)、NSAU (ウクライナ)、Roscosmos (ロシア)、UKSA (イギリス)

<sup>3</sup> 国際宇宙探査ロードマップは下記の URL よりダウンロード出来る: [www.globalspaceexploration.org](http://www.globalspaceexploration.org)

<sup>4</sup> NASA 刊行のスピノフ資料 (例: スピノフ・データベース、[spinoff.nasa.gov/spinoff/database](http://spinoff.nasa.gov/spinoff/database); スピノフ 2012、[spinoff.nasa.gov/Spinoff2012](http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012));

他の分野との共同研究・開発が進められていくであろう。これにより、材料、発電とエネルギー貯蔵、廃棄物の再利用と管理、先進ロボティクス、健康および医学、輸送、エンジニアリング、コンピュータとソフトウェアなどの地上分野で近い将来のベネフィットがもたらせるであろう。更に、小型化などの宇宙探査に必要な革新は、他の宇宙システムおよびサービスをより高機能で低コストなものに改良して行くであろう。これらは、次には地球上のより良いサービスにつながり、結果的に官民の宇宙活動に対する投資のよりよい成果となっていくであろう。更に、宇宙探査によってもたらされる刺激は、科学、技術、エンジニアリングおよび数学での仕事に若い人々を引きつけ、科学・技術の革新へと世界を導いている。

**文化とインスピレーション.** 宇宙探査は、共有財産としての宇宙における人類の存在に対するユニークな視点をもたらし、さらにそれは発展し続けている。宇宙探査ミッションは、千年来の深遠な質問への答えに私たちを近づけるような、太陽系に関する新たな知識を日々作りだし、人々の好奇心を満たそうとしている：宇宙とはどんなものなのか？人類活動の限界は地球に留まるのか？人類と惑星地球はユニークな存在なのか？宇宙のどこか他のところにも生命がいるのか？

**地球規模の課題への新たな解決策.** 宇宙探査によって得られた国際協力と宇宙技術は、地球規模の課題への新たな解決策にもある。宇宙探査は国家間の信頼と外交にも貢献できる世界的な試みである。国際協力関係と探査技術の強化により、小惑星衝突のような大惨事から地球を保護し、宇宙天気の研究を進展させ、宇宙ゴミ除去の新しい手段を開発し宇宙機を保護するための国際的活動を支援する可能性がある。宇宙探査からもたらされる知識は環境を保護しつつ持続可能な開発政策の実現にも貢献できるだろう。

要約すると、これまで多くの挑戦を乗り越えてきた宇宙科学者およびエンジニアにも、彼らのもたらした科学・技術の革新が他の分野でどう活用されるかという全体像を予測することはできなかったのである。したがって、宇宙探査の将来ベネフィットを詳しく予測することは困難ではあるが、これまでの傾向からは、新素材、健康および医学、輸送およびコンピュータ技術のような分野で著しい利点が生み出されるかもしれないとは言えるであろう。より低コストで、より高信頼性で、その結果、より持続的でより有益な宇宙探査を実現する方法を求めて、民間企業は宇宙探査への投資を増やしつつあり、それにより雇用の創出と経済成長の新しい機会が作られている。

ユニークな挑戦として宇宙探査に匹敵するような地上活動は何もない。宇宙活動の最初の 50 年は、世界の人々のためのベネフィットを生み出し続けた。このようなこれまでの実績は、宇宙探査への更なる投資が将来世代のために同様の積極的なインパクトをもたらすだろうという確信を支える強い理由となるであろう。

## 1. はじめに

50 年以上人類は宇宙を探査し続け、それにより継続的に社会へベネフィットをもたらしてきた。宇宙探査は本質的に、太陽系の全体にわたる人間の知識と存在領域を拡張するものである。また、この宇宙探査は有人活動と無人活動を組み合わせて進められてきた。人類が共通のフロンティアである宇宙を探査するという挑戦に取り組む限り、多くの有形の社会ベネフィットが産み出されることは経験的に示されてきた。また、これらの一般的なベネフィットに加えて、発見ということの常として、極めて多様な価値のある科学・技術の革新も偶然もたらされている。

宇宙飛行の初期段階から、宇宙探査が基礎科学と技術を効率的に推進することは明白であった。新しい挑戦は新しいアプローチを呼び起こした。高い打上コストは、宇宙機用コンピュータの設計者に、最高の性能と信頼性を保ちつつ、より軽量で、より小型なものにすることを求めてきた。太陽電池、バッテリーおよび燃料電池は宇宙での必要に応えるべく開発が進められたが、地上の多くの分野でも役立つ<sup>5</sup>。宇宙環境の研究や宇宙技術の獲得を目指して開発された初期の人工衛星は、宇宙通信、全地球測位システム (GPS) の開発への貴重な知識や天気予報の進歩をもたらした。初期ミッションは、さらに高度な宇宙探査の技術基盤となり、初めての月への無人・有人探査を可能にし、高機能な惑星探査機と有人宇宙ステーションを可能にした。

時とともに、世界各国は、宇宙での成果を拡大するためには国際協力関係が重要であることを実証し、複雑な宇宙ミッションをより協働して実施するようになってきた。

宇宙探査の成功は深い感銘を与え続けてきた。宇宙システムは科学・技術の革新を推進し、世界一級の科学を支え、極めて重要なサービスを提供し、一般市民の毎日の生活の一部となっている。宇宙を利用したサービスは今日の宇宙活動の圧倒的な部分を占めている<sup>6</sup>。更に、これらの高度で有益な技術の開発と国際協力関係の構築という努力の成果は今日のさまざまな探査計画に生かされており、その好例は、人類に著しいベネフィットをもたらしている国際宇宙ステーション (ISS)<sup>7</sup> にみることが出来る。ISSでの長期有人飛行に伴う問題を解決する技術・研究は、地上におけるさまざまな応用につながるとともに、ISSは生命科学と物理科学研究を支えている。

---

<sup>5</sup> 宇宙探査に使われ始める技術は、今日、しばしば地上の大規模市場で開発される。宇宙部門はその後効果的にその技術を導入する。野心的な将来の探査目標の達成への新たな投資は、宇宙探査の革新要因を増加させるだろう。

<sup>6</sup> 例: 2000 年 1 月から 2013 年 7 月の間のアリアン 5 の 67 回の打上の内 59 回 (88%) は商用打上でした。

<sup>7</sup> “International Space Station Benefits for Humanity”, Ed. J. Robinson, developed by members of the Canadian Space Agency (CSA), European Space Agency (ESA), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), and Russian Federal Space Agency (Roscosmos), 2012. Accessed at [http://www.nasa.gov/pdf/626862main\\_ISS\\_Benefit\\_for\\_Humanity.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/626862main_ISS_Benefit_for_Humanity.pdf).

宇宙探査の目的として、地球低軌道(LEO)以遠に人と無人探査機を送り、月、小惑星および火星などの宇宙探査目標への持続的なアクセスを確立することが目指されている。国際宇宙探査協働グループ(ISECG<sup>8</sup>)に参加している宇宙機関は、ISECGの国際宇宙探査ロードマップ<sup>9</sup>に描いた、これらの目的達成のための国際的なアプローチについて議論している。それはISSから始まり、まさに、火星表面上の有人探査に結がる有人-無人探査を進めるものである。

このような野心的な探査目標の達成には、新しい挑戦課題を乗り越え、有人探査技術と無人探査技術をバランスよく開発する研究者が必要である。これまでも示されてきたように、有人宇宙システムと無人宇宙システムのユニークで相補的な技術の展開は、太陽系探査にとって不可欠だけでなく、地上の人々に提供出来る多くのベネフィットを拡張することにもつながっている。

宇宙探査が人類に有益な影響を及ぼすだろうと初期の宇宙科学者と技術者達は期待してはいたが、彼らの仕事からもたらされる個々の社会的・経済的ベネフィットの全てを予想することまではできなかった。同様に、現世代も、どのようなベネフィットがその努力の結果として実際にもたらされるかを詳しく予想することはできない。過去 50 年間の予想外の有益な結果は、宇宙ベースの経済をさらに拡大するような広範囲の応用と知識を宇宙探査がもたらし続けるだろうと言う大きな可能性を示している。

ISECG 参加宇宙機関代表の協働作業によってまとめられた本文書は、宇宙探査計画のベネフィットの性格と重要性、および将来もたらされるであろうベネフィットの可能性について、共通の理解を明確にしたものである。本文書では、前述したような将来の野心的な探査目標の達成に宇宙機関が協力して取り組むことによってもたらされる人類への基本的ベネフィット(第2章)をまとめている。本文書では、さらに今後 10 年に実現される可能性のある具体的ベネフィットの見通しについても述べている。(第3章)

本文書の目的は、将来の宇宙探査の社会的妥当性への結論的見解を示すことではなく、宇宙探査が必ずや社会にベネフィットをもたらすであろうということへの宇宙機関による確約を示すものである。また、宇宙探査から社会へのベネフィットの流れをさらに強めるための利害関係者との議論において、本文書は活用されるであろう。

---

<sup>8</sup> ISECG 宇宙機関(アルファベット順): ASI(イタリア)、CNES(フランス)、CNSA(中国)、CSA(カナダ)、CSIRO(オーストラリア)、DLR(ドイツ)、ESA(欧州)、ISRO(インド)、JAXA(日本)、KARI(韓国)、NASA(アメリカ)、NSAU(ウクライナ)、Roscosmos(ロシア)、UKSA(イギリス)

<sup>9</sup> 国際宇宙探査ロードマップは下記の URL よりダウンロード出来る: [www.globalspaceexploration.org](http://www.globalspaceexploration.org)

## 2. 宇宙探査の基本的ベネフィット

宇宙探査のベネフィットの多くは、その最初の成果であり人類固有の価値でもある新しい知識の獲得からもたらされる。困難な宇宙ミッション課題に取り組むための高性能の宇宙システムを開発する中で得られる技術的知識は、人々に役立つ多くの科学・技術の革新をもたらす。宇宙で得られた科学的知識は、自然についての人類の理解を深めるとともに、地上社会においてもしばしば創造的で有用な形で応用される。多くのミッションによって蓄積された知識と太陽系の中への人類の活動領域の拡大は、長期的には、宇宙において生命が脆弱で極めて希な存在であること、その中で人類がなしたこと、人類に可能であること、および人類の運命、などについて人々に考えさせるだろう。

宇宙探査は、人類に有形・無形のベネフィットをもたらしている。有形のベネフィットには、市場へスピノフする新しい装置や新サービスといった技術革新の応用やそれらへの投資から生まれるベネフィットのすべてが含まれる。さらに、宇宙探査は科学と技術を進展させ、労働力を高め、工業力を高めることにより民間企業や産業を振興させて、宇宙開発国の経済発展に大きく貢献している。宇宙探査はまた、若い人々を科学・技術分野に引きつけることで、社会・経済への基盤的なベネフィットともなっている(2.1 章参照)。宇宙探査は、人の生命の本質や意義に関わる社会的・哲学的側面へ様々な無形の影響も及ぼしている。無形のベネフィットとして、宇宙探査は文化を豊かにし、人々を刺激し、さらには宇宙開発国間の国際協力の結果による相互理解の構築にもつながっている。

宇宙探査によってもたらされる基本的ベネフィットは、この文書では以下のようにグループ化されている：(i) 科学・技術の革新；(ii) 文化およびインスピレーション；そして(iii) 地球規模の課題への新たな解決策。社会へこれらのベネフィットをもたらすことが、宇宙探査に投資することの主な理由である。これらのベネフィットが宇宙機関によってどのようにもたらされているかの構図を、以下の囲みに示す。

2011年11月にイタリア・ルッカに集まった世界のハイ・レベルの政府代表らは、宇宙探査が人類に著しいベネフィットをもたらし続ける可能性を認め、宇宙探査について下記のように結論した：

*地上の人々にベネフィットをもたらす空前の機会である・・・これらのベネフィットには以下のようなものがある；将来の発見の加速；革新的な技術による宇宙および地上における世界的規模の課題解決；困難で平和な目標を共有することによる国際協力*

*関係の構築: 全体的および個別的活動による一般市民、特に若い世代への刺激; そして、経済成長と新事業機会の拡大。<sup>10</sup>*

### 宇宙探査はどのようにベネフィットをもたらすか

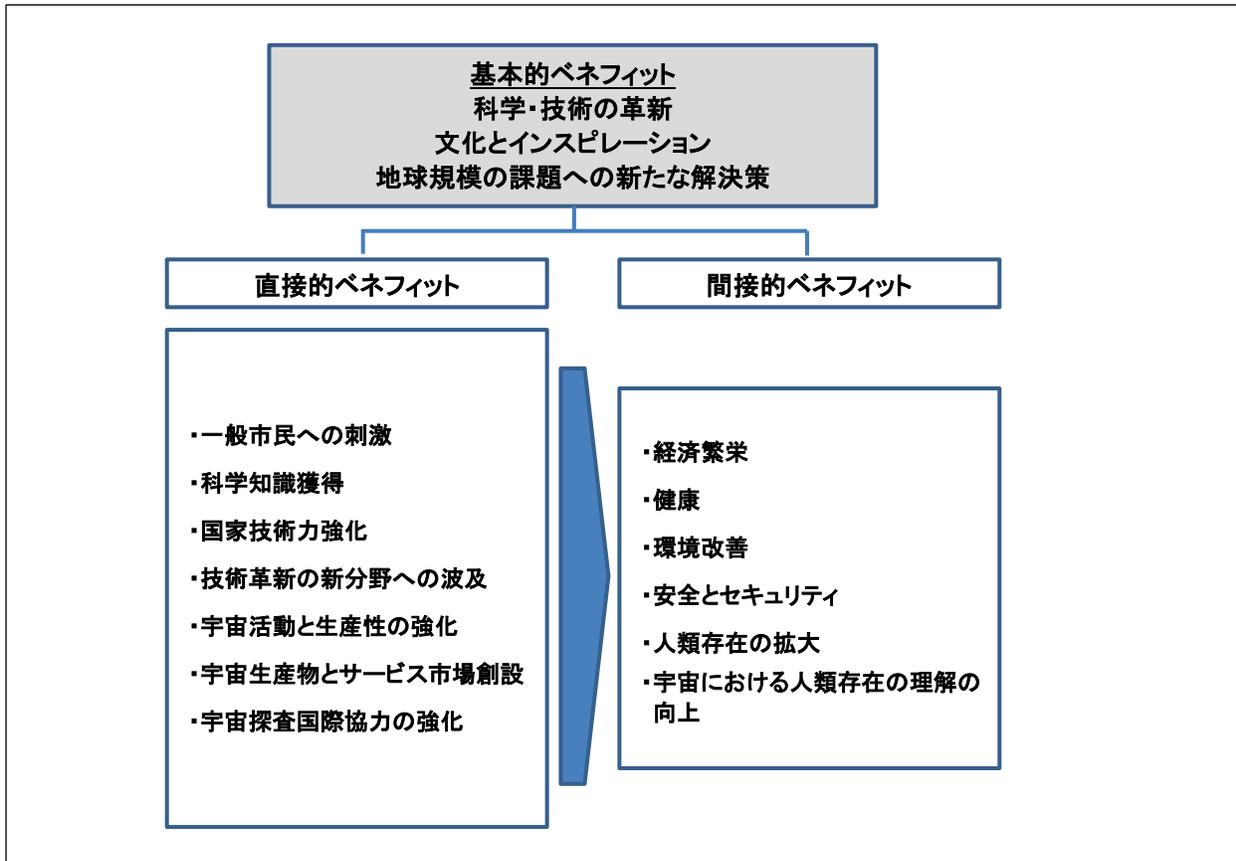
宇宙探査のベネフィットは直接、間接の二種類に分けることができる。探査の直接的ベネフィットには、科学知識の獲得、技術革新の広まりと市場の生成、世界の人々のインスピレーション、および探査に参加した国家間の協定などがある。

時間をかけて生じてくる間接的ベネフィットには、経済の発展、健康の向上、環境改善、安全性およびセキュリティの強化などのような有形の生活の質の改善がある。さらに、間接的ベネフィットには、宇宙における人類の個人もしくは集団としての存在に関する深遠な理解や新しい見方をもたらすような無形の哲学的ベネフィットも含まれる。

宇宙探査の成果が他の分野における想像力や創造性と触れ合うと、ベネフィットが増大する可能性が高くなる。文化的ベネフィットは、社会に幅広く普及していく探査ミッションのストーリーとイメージに時として依存する。人々が宇宙探査の重要性を理解し、そのよさを認めるには、教育機関やマスコミ関係者が探査の成果を分かりやすく説明する重要な役割を担う。社会的影響を最大限にするために、宇宙機関は研究所、企業、大学、学校、博物館および他の関係者と、宇宙探査成果を共有し、協力しなければならない。

下図は、宇宙活動と最終的な社会ベネフィットの関係モデルを表わす。また、この図は、宇宙探査と人類のためのベネフィットの独特の関係について宇宙機関が説明したり、評価するためのものでもある。

<sup>10</sup> “Final Declaration of the First meeting of the Highlevel International Space Exploration Platform”, Lucca, Italy, 2011, [www.luccaexplorationconference2011.org](http://www.luccaexplorationconference2011.org).



## 2.1. 科学・技術の革新

宇宙探査への挑戦には、極限までの創意が必要な、これまでにないほど、高性能・高信頼性で、効率的なシステムを設計しつづける努力が必要である。宇宙探査ミッションは、野心的な探査目標を達成するために、人の能力(例えばその場判断、認識の適応性、万能性)とロボットの能力(例えば正確さ、センサー精度、信頼性および使い捨て性)、の、それぞれの特有の能力を利用する。人と機械の組み合わせを有効に活用して、これらのミッション成果を最大限にすることによって、人の健康問題、ロボティクス、自動化およびその他の領域における進歩がもたらせる。

宇宙探査は、世界の科学技術力を高め、科学と技術における進歩をもたらすことによって、革新と経済繁栄を支え、人類の経済活動圏を拡大する。



図 2. 下半身不随患者の歩行を支援する、宇宙ロボットシステム由来のエクソスケルトンシステム

## 科学・技術における進歩

宇宙で作業するためのさまざまな課題を克服することにより、多くの科学・技術が進歩し、健康・医学、輸送、安全、消費財、エネルギー・環境、情報技術そして工業生産力を向上などの分野で、地上社会へベネフィットをもたらしている。

技術的ベネフィットとしては、改良型太陽電池パネル、埋め込み式心臓モニタ、レーザ癌治療、コードレス道具類、ジェットエンジンの軽量耐熱合金タービン、携帯電話用カメラ、コンパクト浄水装置、GPSによる全地球搜索救難システム、バイオ医学、などの幅広い例があげられる。<sup>11 12 13 14 15</sup>

宇宙で得られたデータに基づく科学研究は、さらに地上の生命にもベネフィットのある発見にも結びついている。ISS の宇宙環境で進められている研究は、人間生理学、植物生物学、材料工学および基礎物理の分野で、社会に役立つ発見をもたら

し続けている。例えば、ISS での長期微小重力環境への人体反応研究 は、人の老化作用の理解を向上させている。火星環境の基礎科学研究では、火星の進化と現状が固体惑星進化の重要な指標となり、地球気象の変動過程についての理解を深めるモデルともなっている。

技術波及で出来る製品が欲しいなら、技術波及が起きるのを待つ代わりに、直接投資したほうが良くありませんか？と人々はしばしば尋ねます。しかし、答えは違うのです。仮に、あなたが世界的な熱力学の専門家であって、私があなたに、もっとよいオーブンを作ってくれるように依頼するとしましょう。あなたは熱対流型オーブン、あるいはもっと断熱され、あるいはオーブン内部へ簡単にアクセス出来るようなオーブンを発明するかもしれません。しかし、どれほど多くの資金をあなたに与えたとしても、電子レンジは発明しないでしょう。なぜなら、電子レンジは別の研究であるレーダーと通信の研究の産物なのです。電子レンジは、熱力学ではなく、軍事研究にその系譜を見るべきなのです。

ニール グラッセ タイソン(宇宙クロニクル)、W.W.Norton & Company、2012年、p.210。

<sup>11</sup> Down to Earth: Everyday Uses for European Space Technology, European Space Agency, 2001, [www.esa.int/esapub/br/br175/br175.pdf](http://www.esa.int/esapub/br/br175/br175.pdf)

<sup>12</sup> NASA 刊行のスピノフ資料(例: スピノフ・データベース, [spinoff.nasa.gov/spinoff/database](http://spinoff.nasa.gov/spinoff/database); スピノフ 2012, [spinoff.nasa.gov/Spinoff2012](http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012));

<sup>13</sup> 日本の航空宇宙技術のスピノフ, [aerospacebiz.jaxa.jp/en/spinoff](http://aerospacebiz.jaxa.jp/en/spinoff); Aerospace Biz 2012, Japan

<sup>14</sup> “neuroArm: Robotic arms lend a healing touch”, Canadian Space Agency, [www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/benefits\\_01\\_neuroArm.asp](http://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/benefits_01_neuroArm.asp).

<sup>15</sup> “From Space to Earth”, B. Feuerbacher and E. Messerschmid, Schiffer Publisher, March 2011.

## 世界の技術的労働力発展

1960年代のアポロ月探査計画への投資額は、その後の学生の技術教育レベルと高い相関性を示し（図3）、アポロへの世間の関心の高さとその劇的な成果が米国の技術教育レベルに広範な影響があったことを示している。

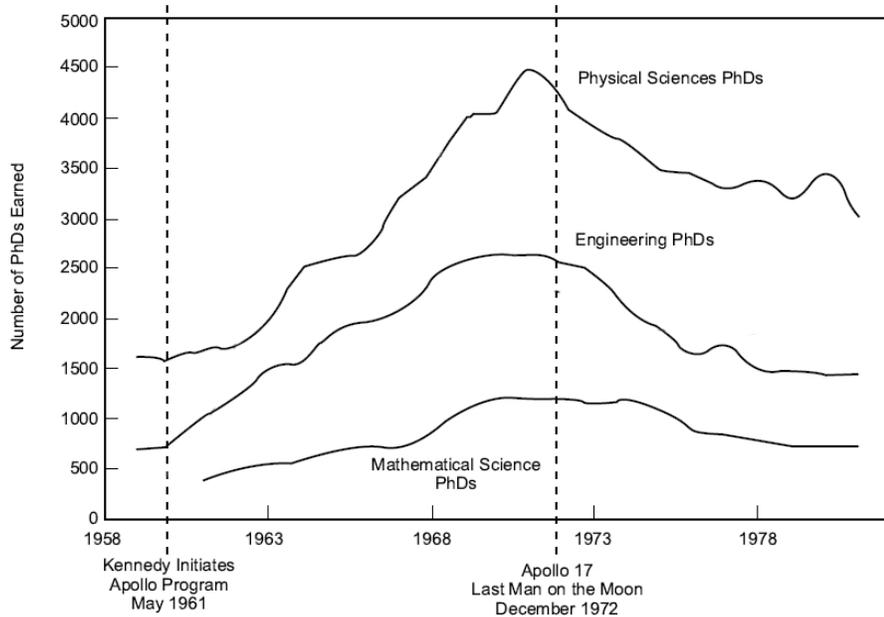


図3. 宇宙探査の教育成果への影響<sup>16</sup>

2009年の調査では、直近3年間に著名論文誌ネイチャーに論文発表した国際的にも高名な科学者の50%が、科学者になるきっかけがアポロによってもたらされたと回答している。回答者の89%は、さらに有人宇宙飛行が、若い世代が科学を勉強する気を起こさせていることを認めている。<sup>17</sup>

アポロの教訓の一つは、目に見える宇宙探査計画が、科学、技術、エンジニアリングおよび数学（STEM）分野を目指す有望な若い人々を励ますのに重要だということである。そのような宇宙探査計画は、科学・技術分野に長期の魅力的な仕事があるというメッセージを学生たちに送るであろう。

<sup>16</sup> Siegfried, W.H., "Space Colonization—Benefits for the World", Space Technology and Applications International Forum, 2003.

<sup>17</sup> Nature 460, 314-315 (2009); [www.nature.com/news/2009/090715/full/460314a.html](http://www.nature.com/news/2009/090715/full/460314a.html)



図 4. 宇宙探査は学生を刺激する

今日、多くの宇宙探査ミッションには、若い人々のSTEMに対する興味を高めるための要素が備えられている。49 か国 200 万人を超える教師と 4300 万人の学生が、ISSでの学生実験および活動に参加している<sup>18</sup>。あるケースでは、科学者がISS での実験研究を行なうために学生の支援を募集したり、別のケースでは、学生自身が宇宙実験を設計したりしている。例えば、ISS での科学実験装置の設計を学生から募集するプログラムは、数万もの若い人々の興味を引きつけている。<sup>19</sup>

## 経済圏拡大

初期の宇宙活動が私たちの経済圏を地球低軌道から静止軌道までの宇宙へ拡大させていることは疑いようがない。近年においては、月、小惑星および火星さえも目指した個人事業も立ち上がり、経済圏が拡大されようとしている。これらは、重量級打上ロケット、人-ロボットの協調作業、自律宇宙運用など、新技術および新機能の開発を進めている宇宙探査に期待している。人の判断力、問題解決力および柔軟性を組込んだ信頼できる宇宙探査システムが開発されれば、民間の投資によって推進される宇宙経済発展の強化の可能性も期待される。(例えば、宇宙利用や科学目的の宇宙インフラストラクチャー運用などの新事業もあり得るだろう。)

さらに、公共投資による宇宙探査によって、人や機械がどのように宇宙で機能するかが理解され、また宇宙探査技術が開発され、宇宙に出て作業することに伴う危険とコストが低下された。その結果、宇宙輸送システム、地球周回居住モジュール、宇宙旅行、さらには小惑星に存在すると考えられる貴重資源<sup>20</sup>を採掘する惑星探鉱などのような宇宙事業への民間投資が増えている。宇宙事業への投資

<sup>18</sup> "Inspiring the Next Generation: ISS Education Opportunities and Accomplishments 2000-2012", ref: [http://www.nasa.gov/pdf/696998main\\_ISS\\_Education\\_Publication\\_2012\\_final\\_100512.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/696998main_ISS_Education_Publication_2012_final_100512.pdf)

<sup>19</sup> 学生宇宙飛行実験計画, 国立地球・宇宙科学教育センター主催、ナノラックス LLC、NASA 協力, [ssep.ncesse.org](http://ssep.ncesse.org).

<sup>20</sup> See initiatives as those of Planetary Resources (<http://www.planetaryresources.com/>) and Deep Space Industries(<http://deepspaceindustries.com/team/>)

は個人投資家にも十分魅力的になりつつあるようだ。人類は「太陽系を人類の経済圏に組込む」ことの準備を整えつつあるのかもしれない。<sup>21</sup>

### 経済圏の拡大

2012年5月、初の民間宇宙船<sup>22</sup>によるISSへの補給ミッションが行われた。数億ドルの民間資本が、観光旅行および資源採掘のような潜在的な将来の宇宙産業を目指して、有人宇宙輸送および居住システムの開発に投じられている。ISSを支える貨物輸送機とは別に、民間有人宇宙船と宇宙ステーションの開発への初期投資も行われている。英国では、民間の投資により再使用スペースプレーン用のエンジン技術開発が進められている。宇宙探査への民間投資を刺激するような国際的な懸賞金競技会も始まっている<sup>23</sup>。

## 2.2. 文化とインスピレーション

宇宙探査ミッションは、私たちの好奇心を満たし、驚異を見せてくれると共に、宇宙における人類の存在について独特な見方をもたらしている。宇宙探査は、「宇宙の本質は何か」「人類活動の限界は地球に留まるのか」「人類と惑星地球はユニークな存在なのか」そして、「宇宙のどこか他のところにも生命がいるのか」などの問いに関わる最善の機会となっている。

有人宇宙活動の最初の50年は人類社会の発展に深遠な影響を及ぼした。ユーリー・ガガーリンの最初の宇宙飛行とニール・アームストロングの月面第一歩の瞬間は、まさに「人類のための偉大な跳躍」であった。二人は、人類がどこまで旅することが出来るのかについての我々の見方を拡大し、地球を越えて人間の存在がどこまで可能なのかを考えさせ始めた。ステファン・ホーキングは、「地球上の問題へ私たちの関心を制限することは、人間の精神を制限することだ」と主張している<sup>24</sup>。地球軌道以遠で持続的な有人活動が実際に可能かどうかを理解することは、世界の文化的・知的生活、および人類の自らの見方・期待に深遠な影響があるであろう。

<sup>21</sup> Marburger, J., keynote address, 44th Robert H. Goddard Memorial Symposium, American Astronautical Society, Greenbelt, MD, 2006.

<sup>22</sup> See: <http://www.spacex.com>

<sup>23</sup> For example, the Ansari X-Prize, [space.xprize.org/ansari-x-prize](http://space.xprize.org/ansari-x-prize); and the Google Lunar X-Prize, [www.googlelunarxprize.org](http://www.googlelunarxprize.org).

<sup>24</sup> Stephen Hawking, Foreword to *The Physics of Star Trek*, by L.M. Krauss, Basic Books, 2007.

太陽系のどこか他のところに生命がいたことがあるというニュースがまもなくあるかもしれない。2013年初頭、火星探査車キュリオシティは、火星環境がかつて生命を支える条件を満たしていたという基本的証拠を得た。太陽系(あるいはその先<sup>25</sup>)での過去あるいは現在の生命のしるしの発見は、地球生命が唯一であるという認識に予測不能の影響を与えるであろう。哲学、文化、宗教および政治へもたらすその衝撃は、コペルニクスの地動説にも匹敵するだろう。

### 宇宙探査の文化的影響



図5. 月軌道から見た地球の出((a)アポロ8号、(b)かぐや)、および14億キロメートル以上離れた土星周回軌道上のNASA カッシーニ探査機から得られた地球の写真(c)

宇宙での人の存在に関して人々の意識を変える宇宙探査の影響力を象徴する映像は、1968年アポロ8号ミッションの「地球の出」写真(図5)である。月の軌道から見た私たちの母なる地球は、か弱く孤独であった。この写真は、多数の人々に宇宙における私たちの存在について新しい認識をもたらし、環境問題への世界的な解決策の必要性を気づかせた。地球は国境のないシームレスな一体と見えた。

宇宙探査は、様々な映画、ベストセラー書籍、歌、写真および絵画の製作に結びついてきた。文化的成果は、社会がどのように宇宙探査に関わっているのかの非常に明確な象徴でもある。

## 2.3. 地球規模の課題への新たな解決策

有人宇宙探査を通して構築された国際協力関係と宇宙技術は、地球規模の課題に対する解決策への新しいチャンスにもなる。宇宙探査は、困難で長期的な地球規模の課題への取組により社会を支えるような知識、技術および協力関係を作りだし、広い国際的な興味を引きつけ地球全体の人々に影響を与える、本質的に世界的な活動でもある。宇宙探査は相互の理解と信頼を構築する国家間の触

<sup>25</sup> 太陽系外の惑星世界—Exoplanets—の探査。特に生命存在の可能性がある地球型に力点がある。

媒となり、国際協調により共通の探査目標に向かうことで、国家の利害関係の調整や外交の振興に役立つ。後述する ISS や月、小惑星および火星への有人探査のように、計画がより野心的になるとともにより広範な国際協力が必要になり、それにより宇宙および地上で平和な国際協働活動が強められていく。複雑で過酷な探査ミッションには幅広いパートナーからの貢献が役立つであろう。将来の国際協力は ISS のような既存の協力関係の上に構築されていくであろうが、新しいパートナーを取り込むことにも開かれているであろう。ニーズとシーズ(技術、資金)に関する協力関係は、宇宙開発途上国間だけでなく宇宙先進国間でも必要となるであろう。

### ISS と国際協力関係

ほぼ 30 年来の ISS 協力関係は、成功し、継続している宇宙探査国際協力の卓越した例である。15 の国々が協力の枠組みを確立する政府間協定に署名した(図 6)。また、国際協力関係は年々拡大し、今日では ISS の活動に参加した国は総数 68 にまで拡大している。ISS の国際協力関係は、どんなパートナーにも単独では調達できないこのユニークな研究所へ、投資レベルが異なるパートナーが国際協力によってアクセスできるようにし、そのベネフィットを共有できたということ、国際協力例として実証している。

ISSは、探査の政治的側面も見せてきた。ISS建設というミッションを達成するために、ISS協力は様々な政治的・経済的課題を克服してきた。ISSは、宇宙における国際協力の外交的価値も実証している。ISSに搭乗したある宇宙飛行士は、ISSが「技術的成果であるのと同じくらい、外交政策の成果でもある」と語っている<sup>26</sup>。



図 6. 国際宇宙ステーションのような国際協力は、国家間の信頼を構築する。

宇宙探査で培った国際協力関係と技術能力は、宇宙活動こそがユニークな解決策を提供できるような、地球規模の課題を解決出来る新しい対応策の開発につながっていく。このような課題には、危険な地球接近小惑星への対応と、宇宙や地上の人々および設備への太陽フレアによる脅威への対処がある。国際協力関係と探査技術はさらに発展し、スペース・デブリ除去の新しい手段の開発によっ

<sup>26</sup> Payette, Julie, “Research and Diplomacy 350 Kilometers above the Earth. Lessons from the International Space Station,” Science and Diplomacy, December 2012.

て、人工衛星も保護出来るようになる可能性もある。更に、宇宙探査で得られる知識は、環境的に持続可能な地球開発に関する政策の実現にも貢献できる。地球は私たちの太陽系に浮かぶ宇宙船とも言える。持続可能性、再利用あるいは稀少資源の効率的な使用などの多様な課題が、探査ミッションで解決されなければならない、これらの解決策は地上システムにも適用していくことができる。

### 地球保護技術の発展

宇宙探査によって開発された技術と蓄積された知識によって、地球に対する小惑星の脅威を理解し、かつ惑星地球を保護するための手段の研究が現在も進められている。科学者は、約 6500 万年前に 1 つあるいは複数の大型小惑星が地球に衝突し、地上のほとんどの動植物種の急速な大量絶滅を引き起こしたと信じている<sup>27</sup>。

2013 年 2 月の直径約 40 メートルの小惑星の接近と、同日起きた、幅約 17 メートル、重さ 10,000 トンと推定された隕石のロシア上空での突然の爆発によって、小惑星の危険が世界的に認知された。爆

風により、1,000 人以上が怪我をし、4,000 戸以上の建物が損傷した。地球をわずか 27,000 キロメートルの距離でかすめた 40 メートル級の小惑星は、もし大気中に突入していた場合には、破滅的な損害を引き起したと考えられるほど十分に大きいものであった<sup>28</sup>。

これらの出来事は、小惑星衝突からどのように地球を保護するかに関する人々の懸念を引き起こした。さらに、これらの出来事は、国連(UN)大気圏外平和利用委員会の地球接近天体ワーキンググループによって最近設立が了承された、国際宇宙グループの作業の重要性を裏付けることとなった<sup>29</sup>。

宇宙飛行士および宇宙探査機に太陽フレアの早期警報を出すために必要となる宇宙システムは、地上の人々にも直接的なベネフィットをもたらす。太陽フレアによって引き起こされる地磁気異常は、地上の送電網とラジオ放送網に深刻なダメージをおよぼすことがある。1989 年には、磁気嵐が、カナダ



図 7. ロシアチェリャビンスク上空の隕石爆発

<sup>27</sup> Alvarez, LW, Alvarez, W, Asaro, F, and Michel, HV (1980). "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction". Science 208 (4448): 1095-1108; "Time Scales of Critical Events Around the Cretaceous-Paleogene Boundary", by Paul. R. Renne et. al., Science, Vol. 339 no. 6120 pp. 684-687, February 8, 2013; "Two large meteorite impacts at the Cretaceous-Paleogene Boundary," by David Jolley, et. al., Geology, Vol. 38, no. 9, pp. 835-838, September 2010.

<sup>28</sup> "NASA Releases Radar Movie of Asteroid 2012 DA14", [www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-101](http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-101).

<sup>29</sup> "Recommendations of the Action Team on Near-Earth Objects for an international response to the near-Earth object impact threat", United Nations Office for Outer Space Affairs, 20 Feb 2013, [www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/stsc2013/2013neo-04E.pdf](http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/stsc2013/2013neo-04E.pdf).

ケベック州の送電網を停止させ数百万人に影響を及ぼし、原子力発電所変圧器の破壊<sup>30</sup>など、米国の送電網の問題を引き起こした。宇宙の悪天候は、社会がこれまで以上に頼りはじめた、世界にまたがる通信網、ナビゲーションシステム、および救難・救助などの宇宙サービスに混乱を引き起こす。

### 3. 今後 10 年の探査ミッションから期待できるベネフィット

各機関が地球低軌道以遠の有人探査実現への準備を進めるに伴い、近い将来にもベネフィットがもたらされるであろう。火星を含めた月、小惑星などの地球低軌道以遠の目的地への一連の有人－無人探査ミッション計画を、宇宙機関は共同して公表してきた<sup>31</sup>。次の 10 年は、各機関はこれらの目的地へ無人探査機を送るであろう。各機関は、次世代技術および新有人宇宙輸送システムの開発と技術実証を進め、宇宙での人の健康およびパフォーマンスを確保するための研究を地上と宇宙で進め、世界各国の探査技術、システム技術および運用構想の研究・試験にISSを利用していく。地球低軌道以遠への初期有人ミッションは 2020 年代初頭に始まると考えられる。今後の 10 年は、宇宙探査の野心的な目標達成に必要な国際協力関係の構築にとって非常に重要な期間となる。

本章では、この見通しを念頭において、第 2 章で導入された 3 つの基本的ベネフィットについて、近い将来の宇宙探査から期待できるいくつかの社会的・経済的なベネフィットについて述べる。

#### 3.1. 科学・技術の革新

野心的な探査目標達成へ挑戦するには、宇宙の過酷な環境において有人宇宙機および無人宇宙機を高信頼で、安全で、持続的に運用出来ることが大変重要である。これらの挑戦に必要な解決策は、宇宙探査で使用される前にも地上でベネフィットをもたらす得るものが多い。それらには以下のものが考えられる：

- 地上および宇宙において、ほぼメンテナンス無しで相補的に機能を補いつつ稼動する極めて高信頼な有人－無人協働システムの開発
- とともに閉鎖空間である宇宙船およびシェルター内での長期滞在と運用
- 新しい輸送能力(打上、ランデブー、結合、燃料補給、着陸など)
- 極端に過酷な環境の中での運用

<sup>30</sup> “Severe Space Weather Events--Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report”, National Research Council, National Academy of Sciences, 2008 (page 109). Accessed at [www.nap.edu/catalog/12507.html](http://www.nap.edu/catalog/12507.html).

<sup>31</sup> “The Global Exploration Strategy. The Framework for Coordination”, 2007.

- 地球からの限られた通信と補給での自律運用
- コンポーネントの小型化および新しい現地資源利用技術の開発

### 閉ループ生命維持装置

再利用は、地球低軌道の有人システムの長期運用コスト削減に大変重要であるが、地球低軌道以遠の有人ミッションを可能にするためには再利用は絶対的の要求である。将来の深宇宙ミッションの生命維持装置には、ほぼ 100%の再利用技術が必要であろう。

ヨーロッパのMELiSSAプロジェクト(Micro-Ecological Life Support System Alternative<sup>32</sup>マイクロ生態学を利用した生命維持システム)は、持続可能な閉ループ居住施設開発の知識・経験獲得を目指したプロジェクトの 1 例である。MELiSSAでは、では、企業と共同して、数百の町で使用する 1 日あたり数百万立方メートルの水の浄化技術を開発している<sup>33</sup>。更に、MELiSSAで開発された再利用プロセス監視センサーは、現在では地上の食品加工プロセスで使用されている。

様々なバクテリアがMELiSSAプロジェクトでの応用を目指して研究された。それらのバクテリアの 1 つは、LDLコレステロール-悪玉コレステロールのレベルを下げる効果を示しており、このバクテリアの研究は、現在は民間企業によって引き継がれている<sup>34</sup>。

宇宙探査ミッションに次世代技術を応用するのとまさに同様の解決策が、民間衛星市場のより効率的な解決策につながり、新しい応用も可能にしていくであろう。予想される科学・技術の革新には次のものが考えられる:

- 小型化(質量、電力、体積)
- 長寿命と過酷環境での強固な運用性
- 低コスト打上
- 電力効率向上
- 軽量で高効率な太陽発電パネルとラジエータ
- 軽量構造材
- 高エネルギー密度蓄電装置

有人宇宙飛行を数ヶ月にわたって行うには、現場医療従事者が殆ど不在の閉鎖空間でも使える、革新的な健康管理、医療診断および治療ツールが必要であろう。

<sup>32</sup> <http://www.esa.int/SPECIALS/Melissa/index.html>

<sup>33</sup> <http://www.veoliawaterst.com/biostyr/en/>

<sup>34</sup> [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/Research/Red\\_bacteria\\_fighting\\_cholesterol\\_for\\_you](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/Red_bacteria_fighting_cholesterol_for_you)

## 遠隔医療

数ヶ月あるいは数年にわたる地球低軌道以遠の探査ミッションを実施する際に、宇宙飛行士の健康を維持するには、より洗練された手法が必要であろう。遠隔医療は、医療機関からはるか遠くにいる患者への医療を行う手法である。遠隔医療は、宇宙探査の成功にとって大変重要であり、宇宙機関は、宇宙探査の当初からずっとこの分野で多くの科学・技術の革新を先導してきた。他の都市にいる医者に診断用画像を送ったり、患者を田園地帯や各家庭に滞在させたまま病院の看護婦が心拍数や血圧のような生理パラメーターをモニタしたり、問診で健康診断や診断措置を行なったりするために、人々は遠隔医療技術をますます使用するようになってきている。遠隔医療の便利さと効率性は、社会の目に見えるベネフィットとして、世界の人々の生活の質を改善している。

デトロイトの病院の協力でNASAが開発した先進微小重力超音波診断装置(ADUM)は、探査がもたらした遠隔医療の革新技術の1例である。ISS上でテストされているこの携帯超音波装置は、いつか火星ほどの遠方にいるクルーを助けるかもしれないし、地上では特に救急医療スタッフの役に立つかもしれない。ADUMは、腹部疾患、気胸、歯感染症など様々な病気を診断でき、健康管理コストを下げつつ命を助けられると考えられている<sup>35</sup>。



図 8. 国際宇宙ステーションの宇宙飛行士が、内臓や骨格構造の高画質画像を撮影し地球に送信するコンパクトな超音波装置の技術実証を行っている。この技術は、地上では遠隔地の人々が専門家の診断と医療を効率的に利用する技術となる。

<sup>35</sup> [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/133.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/133.html)

技術革新を宇宙から地上の市場へもたらす流れは、技術移転プログラムとして宇宙機関によって行われているのと同時に、宇宙と地上の両方で事業を行っている企業によっても進められるであろう。

ISS での継続的なミッションと同様に、月、小惑星、火星など地球低軌道以遠へ計画された有人ミッションや無人ミッションは、惑星科学、宇宙生物学、宇宙物理学、基礎物理、ライフサイエンス、および社会科学の分野における、科学知識の源になるであろう。例えば、骨・筋肉減少、免疫効果低下、傷治療率低下および認識効率低下のような、人間への生理学的・生物学的な宇宙の影響を解明する研究が ISS で行われ続けるであろう。その成果は、過疎地や高齢者層によりよい健康管理を医学会が提供するのに役だっている。

概して言えば、ハッブル宇宙望遠鏡のメンテナンス作業のような精巧で繊細な修理と組立作業に熟達し、あるいは人の健康と安全への危険の管理方法について深く理解するなど、長期間宇宙で人間が活動するための能力を拡大することにより、宇宙規模の経済へより一層の投資が呼び込まれるだろう。特に、推進、輸送およびインフラストラクチャー・システムの開発は、宇宙へのアクセスと利用のコストを低下させ、宇宙貨物輸送、宇宙旅行および資源活用への民間投資拡大を可能にするであろう。

## 3.2. 文化とインスピレーション

太陽系の過去と現在に関する新しい知識を発見し、生命がどのように地球で始まったかを人類が知る手掛かりを提供するための無人宇宙探査ミッションを、多くの宇宙機関が近年進めてきた<sup>36</sup>。次の10年、月、小惑星および火星<sup>37</sup>への様々な新しいミッションが、さらにこれらの理解を深め、さらに太陽系のどこかでの過去または現在の生命の可能性に光明をあてるであろう。

### 火星探査:人類へのインスピレーション

地球外での過去もしくは現在の生命の可能性は、人類の宇宙における存在意義について人々に考えさせ続けている。1970年代以来、宇宙機関はその答えを求めて、一連の火星探査機を打ち上げてきた。



図 9. NASA 探査車キュリオシティから:過去に水が存在を示す鉱物を研究者が発見した、イエローナイフ湾近くのシャープ山方向の火星の景観。

現在、科学者は、かつては水が表面を流れており、火星の初期状態は生命を維持することができた、と考えている。2012年以來、火星のイエローナイフ湾地域を探索している NASA 探査車キュリオシティは、火星が古代に微生物生命を維持することができたという新しい証拠を発見している。2016年と2018年の ESA と Roscosmos の ExoMars 計画および NASA の火星 2020 ローバ計画は、生命の痕跡の探索をさらに進めるであろう。これらのミッションにより、火星生命がかつて存在していたかどうかをさらに明確にするための、地球への火星サンプル・リターン・ミッションに科学者が合意する環境が整えられるだろう。

地球低軌道以遠への有人ミッションによりもたらされる、宇宙探査への新たな関心には大変期待されるものがある。これらの有人ミッションでは、予測しえない状況に対してもその場で判断し適応できる人間本来の能力を活用して、太陽系の探査と発見を促進するであろう。

<sup>36</sup> 近年の月探査ミッション: CNSA's Chang'e 1 and 2, ESA's SMART-1, ISRO's Chandrayaan-1, JAXA's Kaguya, and NASA's LRO, LCROSS, and GRAIL. 近年の小惑星探査ミッション: ESA's Rosetta, JAXA's Hayabusa, and NASA's Dawn. 近年の火星探査ミッション: ESA's Mars Express, and NASA's Phoenix, Mars Reconnaissance Orbiter, and Curiosity.

<sup>37</sup> 計画中の月ミッション: CNSA's Chang'e 3, ISRO's Chandrayaan-2, NASA's LADEE, and Roscosmos's Luna-Glob (Luna-25 and 26) and Luna-Resurs (Luna-27). 計画中の小惑星ミッション: JAXA's Hayabusa-2 and NASA's OSIRIS-REx. 計画中の火星ミッション: ESA-Roscosmos's ExoMars, ISRO's Mangalyaan, and NASA's MAVEN, InSight, and Mars 2020 mission.

次の10年の計画として検討されている月近傍有人ミッションは、より遠方の目的地の探査への基礎を築くであろう。

### 小惑星探査:人類へのインスピレーション



©20 世紀フォックス

JAXA のはやぶさ2

図 10.(a)はやぶさミッションを描いた日本の映画ポスター (b)JAXA はやぶさ2 ミッション概念図

JAXA はやぶさミッションが2010年に、史上初めて小惑星からのサンプル試料を地球へ持ち帰った後、日本世論はかつてないほど盛り上がった。はやぶさがいくつもの絶望的技術課題を乗り越え、ミッションを復活させた英雄的な努力に人々は感激し、その年のトップ・ニュースとなり、3本の一般公開映画が作られた。小惑星イトカワから持ち帰った試料は、日本、アメリカおよび世界の研究所によって分析されている。

その後継ミッションのはやぶさ2は、小惑星1999JU3を目指して2014年打上の予定である。はやぶさ2は、小惑星上に人工クレータを作る衝撃装置を搭載し、小惑星内部からのサンプル試料採取を試みる。さらに、はやぶさ2には日本のローバと独一仏共同の着陸機を搭載する。はやぶさ2は、2020年に地球にサンプルを持ち帰る予定である。はやぶさ2は、太陽系の有機物および水の起源を探り、地球の海の水と生命の由来を探るであろう。

### 3.3. 地球規模の課題への新たな解決策

次の10年は探査の国際協力関係を構築する上で非常に重要な期間であろう。この期間は、宇宙先進国と新興宇宙開発国にそのニーズと技術能力に応じてどのように寄与していくかを定める機会となるであろう。

月近傍で有人活動・運用を行う能力は、惑星保護や宇宙施設保守の新しい手法につながるであろう。NASAは、小型小惑星を月軌道に曳航し、宇宙飛行士がその小惑星を訪れることを可能にする無人ミッション計画を始めている。このような宇宙探査ミッションは、現在は殆ど地上あるいは宇宙ベースの望遠鏡によって行われている、地球に対する小惑星の脅威を理解する活動と、惑星を保護するための手段の発明につながるであろう。更に、宇宙探査に向けたより強固な国際協力活動は、スペース・デブリ管理および宇宙天気モニタリングのような問題での国際的協働・協力を強化するであろう。

困難な宇宙プロジェクトへ様々な国家が協力することは、共通的な目的に向けた国際協力の好例になるばかりでなく、外交関係の改善や国家間の相互理解に寄与するであろう。

#### 4. 結論

宇宙探査は、人類のためのベネフィットを生み出すという実績を残してきた。本書では、将来の宇宙探査のベネフィットの可能性を、科学・技術の革新、文化とインスピレーション、および地球規模の課題への新たな解決策の3つにまとめ、また重要な具体例を示した。

宇宙探査は、世界の人々の日々の生活に役立つ、**科学・技術の革新**をもたらしてきた。宇宙に人間と機械を送り込むには、極限までの創意工夫によって挑戦的な課題を克服していかなければならない。この挑戦への取り組みにより、劇的で、予測不能とも言うべき形で、地上で役立つ新知識と技術革新がもたらされる。

世界を理解し、生命の起源と宇宙の成り立ちに関する疑問に応え、人間であることの意味を拓ける、という深遠な課題に応えることによって、宇宙探査は**文化とインスピレーション**に貢献している。

宇宙探査が世界的な投資や国際協力関係を喚起するとともにし、最先端技術の開発を要するという極めて挑戦的な事業であるため、社会が今日直面している**地球規模の課題**のうちのいくつかについて取り組む良い機会ともなる。各国が挑戦的な宇宙ミッションへ共に取り組む時、宇宙という分野を超えた国際協力が促進される。宇宙探査は各国を連携させ、地球の平和と安定を推進する協力関係を作り出す。

ユニークな挑戦的課題に取り組む宇宙探査に匹敵する地上活動は何もない。宇宙活動の最初の50年は、世界の人々のためのベネフィットを生み出し続けた。このような宇宙探査の実績は、宇宙探査への更なる投資が将来世代のために同様のポジティブなインパクトをもたらすという確信を強く支えている。

## イメージ著作権

図 2: エクソスケルトン(NASA and the Florida Institute for Human and Machine Cognition)

図 4: 宇宙飛行士(NASA)、学生(ウィキメディア・コモンズ)

図 5: アポロ地球の出(NASA)、かぐや地球の出(JAXA)、カッシーニ(NASA)

図 6: ISS の第 20 遠征隊(NASA) (ISS) (NASA)

図 7: チェリャビンスク隕石(AP 写真/Nasha gazeta、www.ng.kz)

図 8: NASA

図 9: NASA

図 10: JAXA、20 世紀フォックス

空白