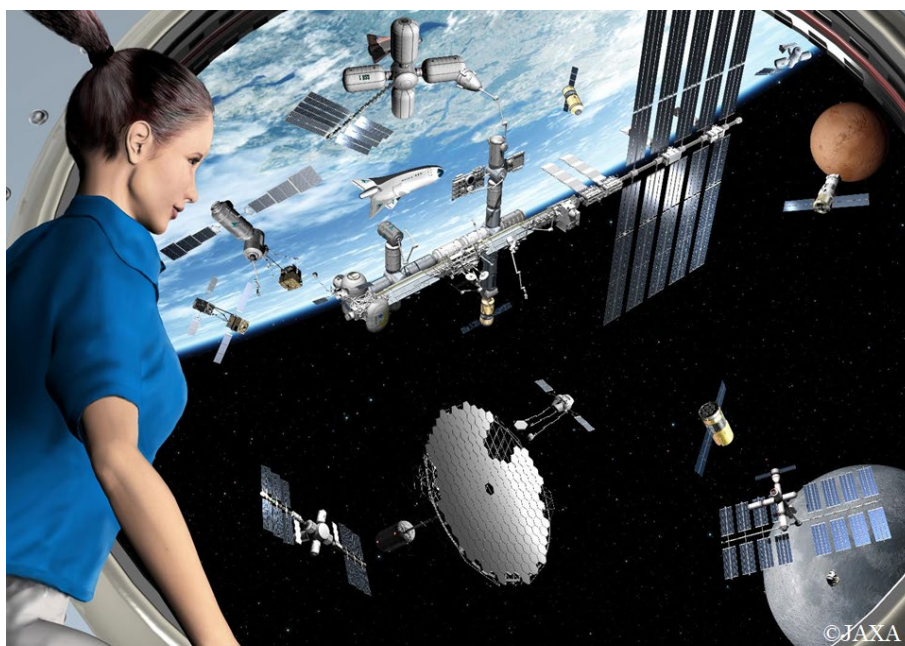


JSASS 宇宙ビジョン 2050

2020 年 4 月 日本航空宇宙学会

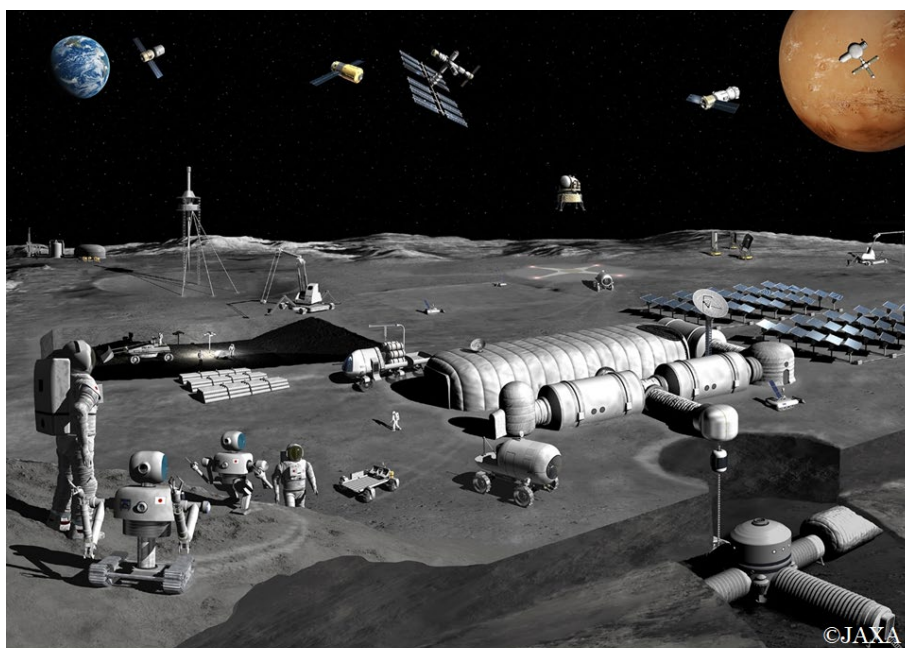


JSASS 宇宙ビジョン 2050 では地球近傍活動, 月・火星圏の活動, 深宇宙探査と科学活動の発展性, を科学技術と総合政策ロードマップとともに示した。以下には, 本ビジョンのハイライトを3枚のイメージ図として示す。



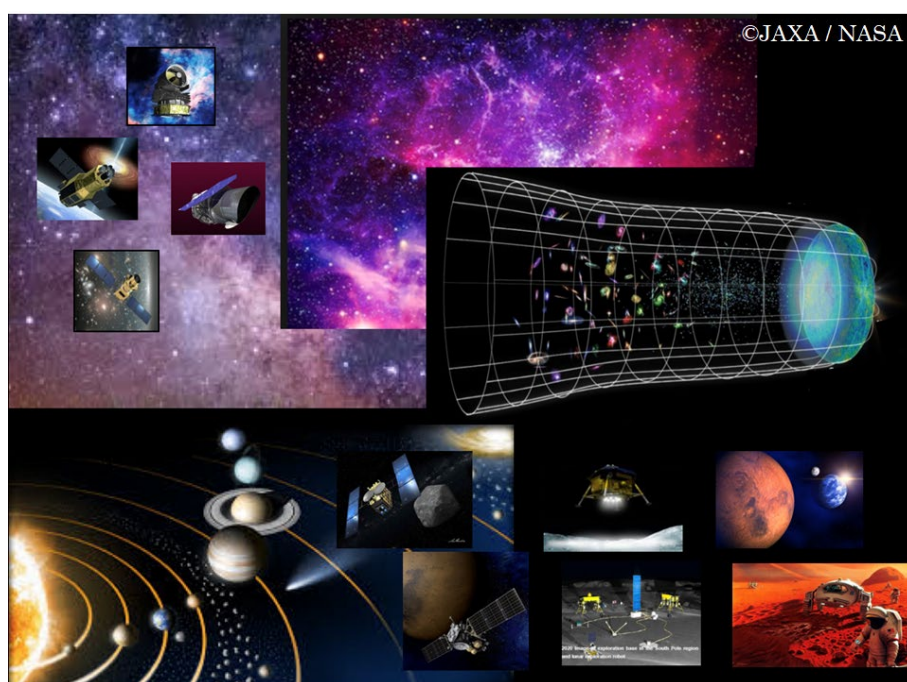
2050年における地球近傍の宇宙利用

地球近傍(低軌道, 静止軌道等)における宇宙活動が加速している。弾道飛行宇宙旅行が一般になり, 国家資本・民間資本による複数の有人拠点がビジネスで活用されている。革新的な再使用型宇宙機の実現により観光用の弾道飛行と地球近傍軌道への頻繁なアクセスの両方を活性化させている。宇宙輸送ネットワークは, 複数の有人基地, 燃料補給港, 宇宙船整備港などからなり, それらの建設は軌道上サービスドローン(ロボット)によって実現される。従来はロケットの寸法制約のために実現できなかった規模の大型観測センサが軌道上で組み立てられている。



2050年における月面基地における宇宙活動

宇宙に進出した人口が指数関数的に増大し、地球近傍から月、火星圏の宇宙空間において、人類が水・エネルギー・推薬等の資源を地産地消しながら生活している。



2050年における宇宙科学発展

火星以遠の太陽系領域の無人探査や、宇宙の果てと始まり、生命の誕生プロセスを観測・解明する科学衛星群が、太陽系と宇宙の真理を明らかにし、国際的な協調のもと豊かな知性と科学のさらなる発展が続いている。

目次

1. はじめに	p.4
2. 宇宙ビジョン2050	p.6
3. 宇宙ビジョン2050を達成するためのロードマップ	
a) 宇宙科学技術ロードマップ	p.10
b) 宇宙総合政策ロードマップ	p.29
4. おわりに	p.54
【資料】 日本の宇宙活動の歩み	p.56

1. はじめに

日本航空宇宙学会は1968年7月に前身の日本航空学会から名称を変更して、2018年に50年目を迎えた。学会名に「宇宙」を取り入れてからの50年であることを機に、第50期理事会は「宇宙長期ビジョン」を学会から提言する決定を行った。2019年4月に開催される年会講演会で公表することを目標に設定し、航空宇宙ビジョン委員会が中心となり、その検討を行うこととなった。臨時委員会である航空宇宙ビジョン委員会は航空と宇宙の二分野のビジョンを検討する委員会であり、それぞれの分野に二つずつ小委員会を有している。今回は宇宙に特化したビジョンを検討することから、宇宙分野に関連する宇宙科学技術ビジョン小委員会と宇宙総合政策ビジョン小委員会が協力して、議論を進めることとした。

今回策定する宇宙長期ビジョンの目標とする年代は2050年およびそれ以降とした。2050年は現在から約30年後である。逆に、現在から30年前を思い浮かべれば、その間に様々な社会的ならびに技術的な発展があったことが理解できる。30年後を想定することで、数多くの発展が予想できるので、2050年およびそれ以降を念頭においた検討を行うこととした。従って、策定する宇宙長期ビジョンの名称は2050年を意識して「宇宙ビジョン2050」とした。さらに、学術の学会であるから研究者・実務者を対象とするビジョンの策定とし、研究者・実務者に新たな研究開発・新規事業に取り組んでいただくことを学会は願っている。

宇宙ビジョン2050を策定するだけでなく、それに至る開発の道筋を示すロードマップも策定することとした。ロードマップは、科学技術の発展を念頭に置いた「宇宙科学技術ロードマップ」と法律や国際関係などの人文社会科学の課題を念頭に置いた「宇宙総合政策ロードマップ」の二本立てとすることとした。従って、今回策定する宇宙ビジョンと各ロードマップは右図

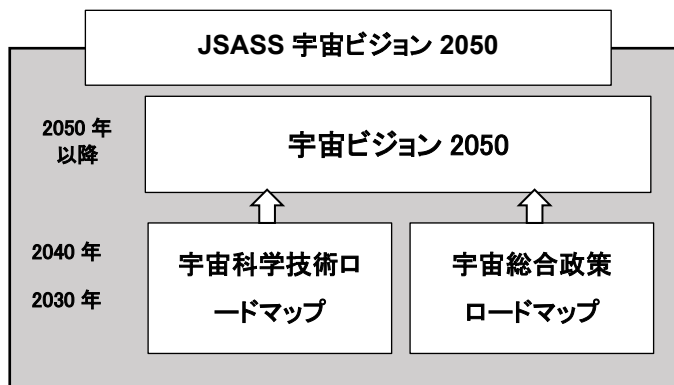


図1 JSASS 宇宙ビジョン 2050 の構成

に示す構成とし、全体を「JSASS宇宙ビジョン2050」と呼ぶこととした。宇宙ビジョン2050は、専門分野に限らない有識者の意見を取り入れて、理想の2050年以降の宇宙活動を描くものである。従って、トップダウンの検討を行った。一方、二つの宇宙ロードマップは専門家の現在の認識から10年後や20年後に実現可能な内容を示すものである。こちらはボトムアップの検討を行った。そして、両者を連続的につなぐことで「JSASS宇宙ビジョン2050」を完成させた。

将来のことを予測することは非常に難しいことである。もしあれが開発されれば、この課題が解決できたという仮定を前提に急激な進展が予測されることもある。今回のJSASS宇宙ビジョン2050にはこのような詳細な仮定は含めておらず、仮定を提案・実現するのはこのJSASS宇宙ビジョン2050の読者である研究者・実務者が担うものと信じている。地道な努力が発展を築くこともあれば、思わぬ挑戦結果が急激な進展を生むこともある。様々な分野で将来の希望に満ちた社会を導く研究者・実務者が、このJSASS宇宙ビジョン2050を活用して、人々の豊かさに向けた挑戦を続けていただければ幸いである。

2. 宇宙ビジョン2050

1) 宇宙ビジョン2050の構成

宇宙ビジョン2050は、2050年に人類がどこでどのような宇宙活動を行っているのか、その活動が何をもたらしているのか、をイメージするところを出発点として、それぞれを構成する項目についてその概要を記述する。尚、宇宙長期ビジョンの中で用いる言葉の定義を以下にまとめる。

【1】研究者・実務者

研究者とは理系・文系を問わず宇宙に関連する学問の研究を専門職とする人であり、技術者を含む。実務者とは宇宙に関連した実際の業務に関わる人。

【2】宇宙労働者

操縦士、技術者、科学者等、地球近傍を含む宇宙での仕事をなりわいにする人。国や民間の制度で認定された宇宙飛行士も含まれる。

【3】宇宙旅行者・宇宙に滞在している宇宙労働者の家族

仕事以外の目的で、宇宙に滞在する人。

I. 人類はどこで活動しているか？

【地球近傍】

地上に限定されていた人間社会が地球近傍の宇宙に広がっている。様々な方法で宇宙にアクセスできるようになり、宇宙労働者や研究者・実務者以外の人も宇宙活動に参加している。

【月】

国家資本・民間資本により建設・運用されている月面基地が複数存在し、宇宙労働者を中心とした宇宙滞在者による人間社会が形成されている。宇宙労働者や研究者・実務者以外の人も宇宙旅行者として月に短期滞在している。

【火星】

宇宙飛行士により火星探査計画が推し進められ、人類の活動する宇宙領域を拡大している。

【太陽系】

人類は無人探査機を利用して太陽系のどこにでも行ける能力を獲得している。また、情報技術の発展により探査能力が格段に向上している。

【太陽系外】

人類は太陽系外への移動手段の開発に挑戦している。

II. 誰が宇宙活動を行っているか？

【国・宇宙機関】

国・宇宙機関は、月や火星に滞在する宇宙飛行士を定期的に送り込んでいる。太陽系全域に人類の宇宙領域が拡大し、更に太陽系外へと広がりを見せている。

【研究者・実務者】

研究者・実務者は互いに協力し、宇宙活動の持続的発展に向けて尽力している。研究者は深

化・拡大した様々な学問領域に取り組み、新しい視点・論点を提供している。また、先端的な技術開発を行っており、時として想定外の変革を社会にもたらしている。実務者は新技術の社会実装に取り組み、新しい課題を解決している。

【宇宙滞在者】

宇宙にいる宇宙労働者が人類の活動領域を拡大すべく地球近傍、月や火星の表面や軌道上で活躍している。特に月面基地においては宇宙労働者とその家族が人間社会を形成しており、宇宙旅行者が定期的に訪れている。

【産業界】

全ての人が宇宙活動に参加することをサポートするビジネスが展開している。民間企業が地上のスペースポート、地球低軌道や月を拠点として複数のビジネスを展開し、宇宙労働者が働いている。新しい輸送システムの確立による人や物資の大量輸送が実現することで、宇宙で生産されたデータ・物・エネルギーに基づく産業が様々な分野に展開しており、全ての人がその恩恵を受けている。

【宇宙労働者や研究者・実務者以外の人】

宇宙旅行に興味がある人にとっては、弾道飛行体験や低軌道有人宇宙ステーションに滞在することが日常的になり、月の短期滞在も可能になっている。また、宇宙に直接的な興味のない人も様々な情報機器を通じて宇宙活動に参加しており、その恩恵を受けている。

III. 宇宙活動は何をもたらしているか？

【人類の課題解決】

宇宙活動は持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals, SDGs)の実現に貢献している。また、次世代の産業界の課題を解決し、人間生活の利便性・快適性の向上に役立っている。

【産業構造の変革】

地上と宇宙空間間の大量輸送や、情報・ロボット技術の進化等が、産業構造に変革をもたらしている。異業種企業や新興企業の参入だけではなく既存企業の新規分野開拓を、様々な民間資本が後押しするとともに、関連した法整備等が進んでいる。

【新しい価値観の醸成】

人の生活圏が地上から地球近傍に広がることにより、「人類の宇宙進出」や「地球環境の保護」等に対する、新しい価値観が醸成されている。

【知の獲得】

太陽系外を含めた宇宙活動を通して、学問領域が深化・拡大し、生命や宇宙の起源に対する理解が深まっている。科学、工学、人文社会科学の専門家が知見を持ち合い、人類の宇宙活動(地球上の活動を含む)の推進・発展に貢献している。

【人類の生活圏拡大】

地球から離れた月や火星の滞在者は、地球外における人間社会の確立に向けた第一歩を踏み出している。

【宇宙活動の持続性確保】

宇宙活動の結果として顕在化した問題や宇宙環境の保護に取り組むことで、我々は持続可能な人類の宇宙活動を実現している。国の枠を超えた統一的な宇宙交通管制が実現し、誰もが安全に宇宙活動を行っている。

IV. まとめ

宇宙ビジョン2050では、2050年に人類がどこでどのような宇宙活動を行っているのか、その活動が何をもたらしているのか、をイメージするところを出発点として、その概要をまとめた。2050年には宇宙に対する興味のありなしに関わらず、全ての人類が宇宙とつながりを持ちながら暮らしている、そのような未来を想像してみた。

研究者・実務者は、新しい産業の創出や人類の課題解決を通じて、研究成果を広く社会に還元するように努めることが望まれる。刺激的で挑戦し甲斐のある宇宙活動にチャレンジするにあたっては、研究者・実務者は社会からのサポートを積極的に求め、一体となって取り組むことが大切である。そのためには研究成果を挙げるだけでなく、「研究の面白さ」や「宇宙開発が人々に恩恵をもたらしていること」を社会に向けて発信する必要がある。宇宙活動の意義を伝えるコミュニケーターを養成することも大切である。

宇宙ビジョン2050は国際的な協力なしには実現できない。私たちは宇宙活動の持続可能な発展を人類として実現するために、私たちの宇宙ビジョンを示すことで、国際的なパートナーと宇宙活動の展望を共有したい。

謝辞

宇宙ビジョン2050の作成にあたっては、以下の外部有識者の方に議論にご参加頂き、貴重なご意見を頂きました。ここにお名前を記載させていただきますとともに、感謝の意を表します。

川端 裕人	科学ジャーナリスト
中野 不二男	科学ジャーナリスト
金山 秀樹	シー・エス・ピー・ジャパン株式会社
Courtney Covington	英語講師

(敬称略)

参考) 航空宇宙ビジョン委員会メンバーの構成:

上野 誠也(委員長)	横浜国立大学
今村 太郎(幹事)	東京大学
渡辺 重哉	宇宙航空研究開発機構
千葉 一永	電気通信大学
小木曾 望	大阪府立大学
荻原 慎二	東京理科大学
川崎 繁男	宇宙航空研究開発機構
藤本 秀	(株)IHI
西本 光男	(株)SUBARU
藤川 貴弘	九州工業大学
藤田 将一郎	川崎重工業株式会社
西脇 賢	全日本空輸(株)
小室 卓磨	川崎重工業株式会社
越岡 康弘	宇宙航空研究開発機構
武市 昇	首都大学東京
河野 功	宇宙航空研究開発機構
関口 毅	宇宙航空研究開発機構
豊嶋 守生	情報通信研究機構
船木 一幸	宇宙航空研究開発機構

ビジョン小委員会兼任

平子 敬一	慶応義塾大学
船木 一幸	宇宙航空研究開発機構
水野 素子	宇宙航空研究開発機構
菊地 耕一	宇宙航空研究開発機構

JSASS理事会兼任

大林 茂(会長)	東北大学
渡辺 重哉(担当理事)	宇宙航空研究開発機構

3. 宇宙ロードマップ

a) 宇宙科学技術ロードマップ

1) JSASS宇宙科学技術ロードマップの構成

宇宙ビジョンで描く2050年代には、宇宙輸送と宇宙機システムの発展が、宇宙建築やロボット・情報アーキテクチャの発展と互いにリンクしながら成熟し、様々なサービスが提供されているだろう。各関連分野の発展状況は、「宇宙利用」と「宇宙探査活動」の二つの進展状況を描いたマップに従って予測することとした。これら二つのマップは、宇宙ビジョンが実現する道筋、あるいは、宇宙ビジョンとシステム・アーキテクチャとの接続を示す。

1-1) 宇宙利用の発展マップ

宇宙利用ならびに探査の状況は、地球からの距離を基準に整理すると解釈しやすいことから、距離を基準に整理した。図3a.1のように、低軌道往還・滞在者が加速的に増加し、市民活動が宇宙領域へ展開している。

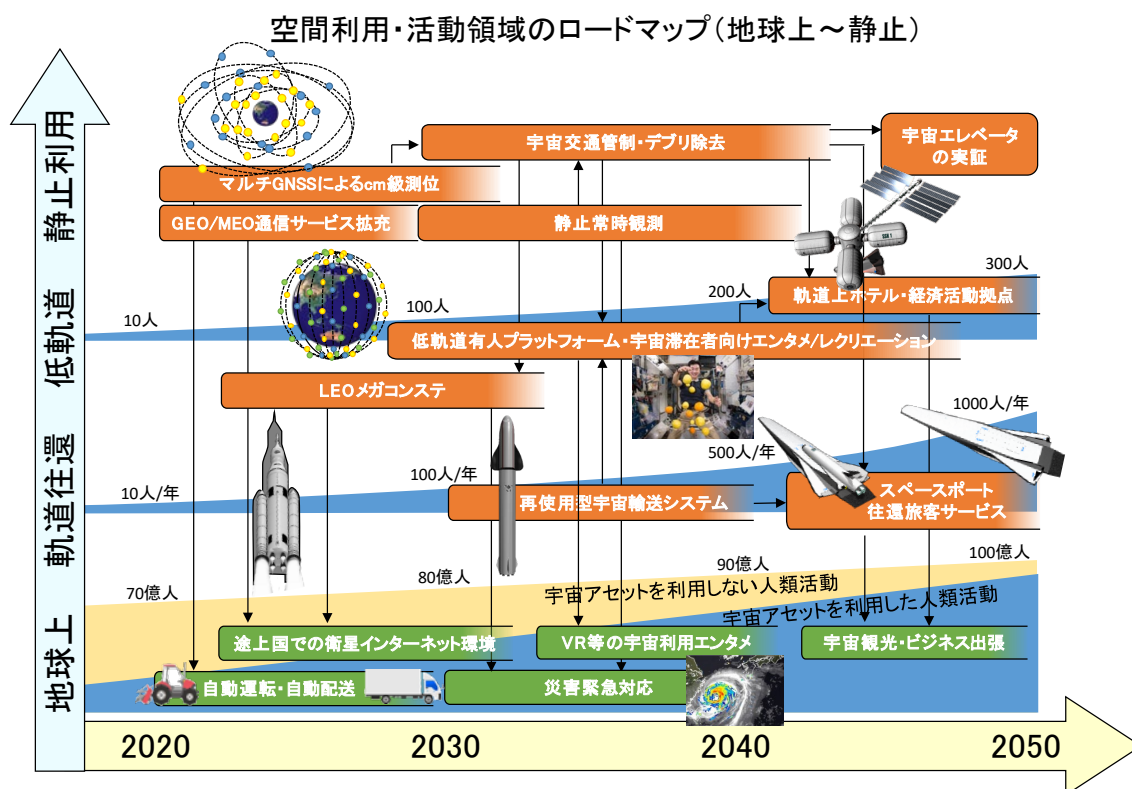


図3a.1. 宇宙利用の発展マップ

まず、静止軌道も含めた地球近傍における宇宙利用については、再使用輸送系の発展によって2020年以降急激に増加し、観光が盛んになり、ビジネスユースが広まる。2040年には低軌道への往還飛行は年千人規模となり、低軌道プラットフォームへは年数百人規模が利用するようにな

ると想定する。その結果宇宙輸送系ビジネスが更に活性化し、また、スペースポートや低軌道上での建築物や通信等のインフラ整備が進むであろう。これらに伴い、活動圏としての月利用が2020年代後半から広がり、月周回居住モジュールに2040年に数十名が、月面拠点には10名程度が常駐するようになるだろう。2050年には月への観光目的の短期滞在も可能となり、その頃には火星における居住技術も確立することから、医療を含むインフラと「エンターテインメントを含む」サービスが月・火星空間まで広がる。具体的な発展イメージを下記に記した：

地球上

- 2020年代にはGNSSの高精度化、衛星通信サービスのグローバル展開とAI技術の進歩により、自動運転・自動配送サービスが開始される。自動運転は陸域・海域・空域で広がり、地球上の移動・輸送のコストが低減する。
- 2030年代までには途上国の開発が進み、世界人口の多くは衛星インターネット環境や宇宙利用エンターテインメント等、宇宙アセットの利用を意識せずに行うようになる。
- 2040年までにはLEOメガ・コンステレーション、及びGEOからの常時観測により、災害時の緊急対応が迅速化する。また、環境変動や災害予兆などの常時モニタ環境が整備され、災害被害は減少する。

低軌道（滞在、及び、地上との往還）

- 再使用型宇宙輸送システムなどの宇宙輸送技術の進歩により、軌道上への物資輸送コストが下がり、大型宇宙構造物の整備が進む。
- 2040年頃までには、大型宇宙構造物の整備や静止以遠の活動拠点として、低軌道には常時数百人規模の滞在者があり、宇宙旅行者向けのエンタメコンテンツや長期滞在者向けのレクリエーション環境が整備される。
- 更にTSTO/SSTOなどの宇宙輸送技術の進歩により、地上-軌道間の往還者が急増する。

静止軌道

- GEO/MEO利用によるGNSS、通信衛星、及び、GEO常時観測衛星は増加の一途を辿る。
- その一方で、軌道上が混雑し、また、軌道上の人類の滞在者数が増えることで、宇宙交通管制や宇宙デブリ除去の要請が高まる。

1-2) 宇宙探査活動の発展マップ

宇宙探査活動の発展マップを以下に記した。2050年代の火星は有人探査活動の最前線となるが、これとは相補的に月・火星の極限領域を自在に探査するロボットや外惑星等太陽系内のより遠くの空間を目指した無人探査が、国際的な協調のもとで盛んになっている。月面長期居住・火星有人探査へ向けて、インフラ整備と医学面の研究が発展すると共に、広い太陽系内を自在に航行してその場の探査のための技術開発が進歩する他、探査ロボットと地球での操作者を繋ぐVR技術が飛躍的に向上して遠隔での宇宙探査活動が実現する。またこの技術を活用して多くの人が探査をリアルタイムで楽しむことができるようになっている。

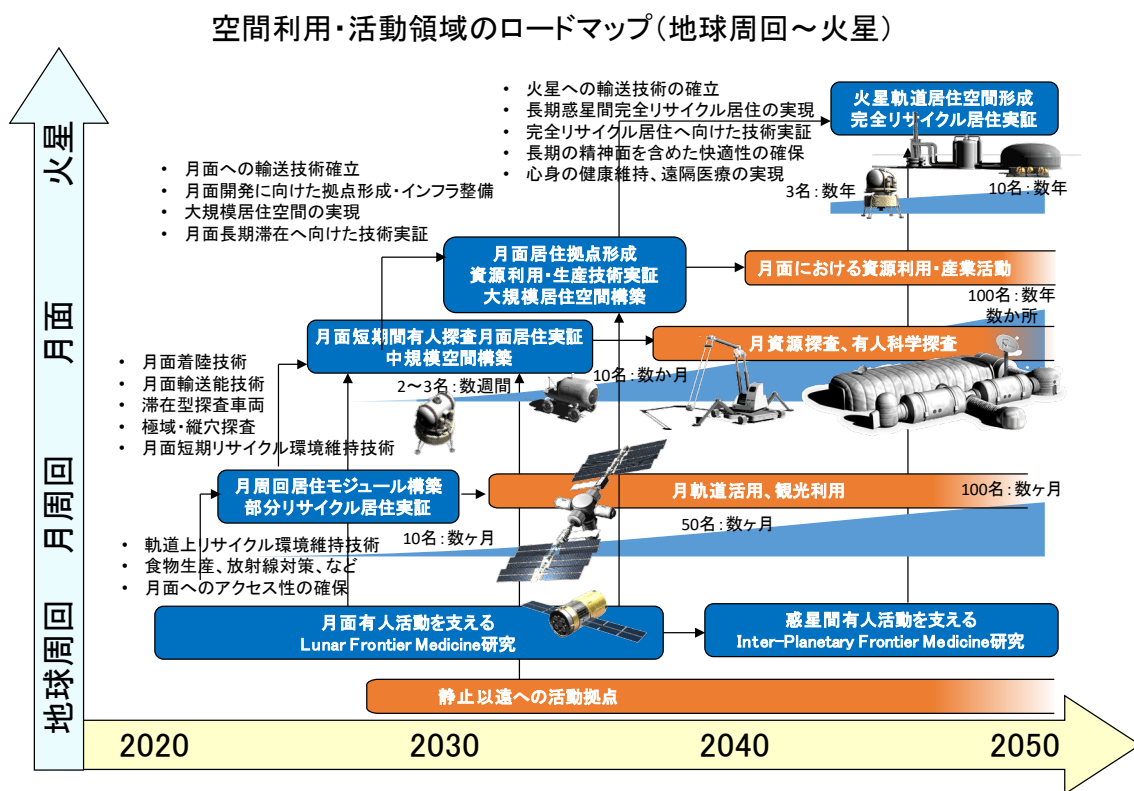


図3a.2. 宇宙探査活動の発展マップ

具体的な発展イメージを下記に記した:

- 2020年代に構築が進む月周回プラットフォームを中心として、2030年代に月面の有人探査が展開する。
- 2040年代には、月面への到達技術の成熟に合わせて、月面での本格的な産業活動が実現する。
- 月周回プラットフォームを拠点として、2050年代には火星の有人宇宙探査が開始する。
- 低軌道利用は観光などの利用に加えて、月・火星へのインフラとして規模を拡大していく。
- 月面有人探査に呼応する形で、1/6 G環境やレゴリスの健康影響など 月面居住に特化し、

月面長期居住を実現するための医学(Lunar Frontier Medicine)が発展する。

- 火星への有人探査実現へ向けて、遠隔医療、遠隔診断、長期孤立の健康影響など、惑星間長期移動を実現するための医学(Inter-Planetary Frontier Medicine)が発展する。
- 宇宙と生命の起源を探る観測技術も、国際的な協力のもとで更に進展し、多くの新しい物理的かつ根源的な発見が実現している。

2) 宇宙科学技術ロードマップの概要

2050年代の宇宙利用と宇宙探査の発展を予測した上で、本文書では、宇宙利用と宇宙探査のそれぞれの発展を支える宇宙輸送・宇宙建築・宇宙機・宇宙情報の各展望を、技術ロードマップとしてまとめた。以下は各分野の概要である：

宇宙輸送	使い捨てロケットに置き換わる形で低コストかつ信頼性の高い再使用ロケットへと技術革新が進み、地球近傍の宇宙活動の活性化と、月から太陽系内の活動が拡大する原動力となっている。
宇宙建築	宇宙への大量輸送の発展は、地上から宇宙へと物資を運んで各種構造物を製造・構築する宇宙アーキテクチャ(宇宙建築)の革新へと繋がり、さらには部材や材料を宇宙で用意して再利用する循環型製造技術へと発展して広がっていく。
宇宙機	衛星等の発展を支える宇宙機技術は、小型・分散と大型高性能の2方向で成熟化し、宇宙と地上の双方のインフラとしての重要度を増している。
宇宙ロケット・情報	宇宙輸送技術と宇宙機技術の双方の発展は、情報通信技術の発展と融合して無人探査活動を活性化し、特にロボティクスやAI、VR等の活用により、探査の質とリアルタイム性が向上し、研究者・実務者以外の人も直接的かつリアルタイムで探査に参加可能になっている。
宇宙科学・探査	月・火星圏の極限領域を「より自在」に、土星圏や外惑星衛星などに向けて「より遠く」へ、無人機による宇宙探査活動は拡充していく。
関連分野	これらシステムやアーキテクチャを補完する形で、宇宙における医療の充実やエンターテインメントの重要性も指摘されており、人間社会が宇宙空間へと広がる過程において、宇宙におけるサービスや文化的活動が盛んになっていく。

3) 宇宙科学技術ロードマップの詳細

3-1) 宇宙輸送系ロードマップ

輸送効率の向上による地球近傍の大衆化と太陽系内活動領域の拡大が生じ、これらを再使用化と安全性向上による高頻度大量輸送及び高性能化による深宇宙領域への高速アクセスが支える。宇宙輸送系は宇宙開発利用の根幹をなすインフラである。本ロードマップでは輸送系再使用化の道筋に絞った。

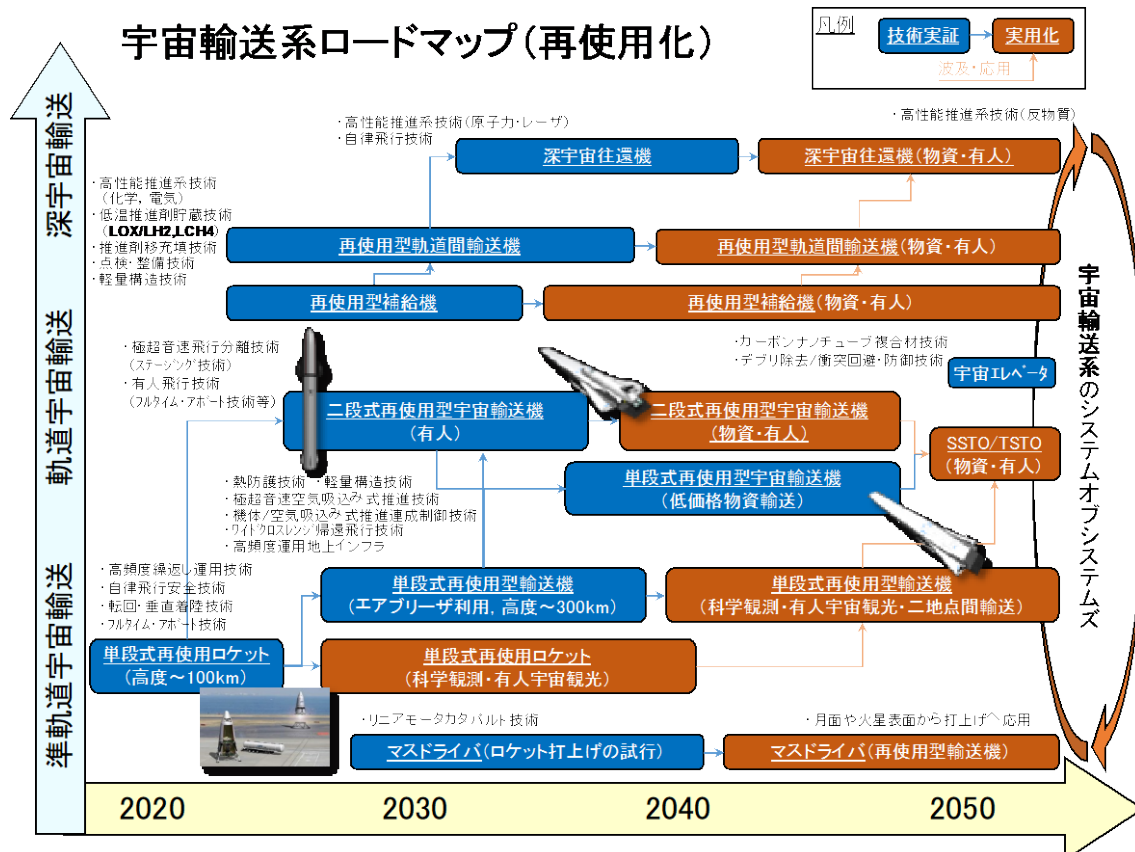


図3a.3.宇宙輸送系ロードマップ

- 2020年代に新しい技術（推進系，構造系，熱防護系）の研究が加速して再使用型宇宙輸送機実現の見通しがつく。
- 2020～2030年代は使い捨て輸送系と再使用型輸送系を適切に組み合わせて運用する時代である。
- 2040年代末までに、地上から深宇宙（火星）をつなぐ輸送系ネットワークが構築される（高性能推進系技術が鍵）。
- 2050年頃の高頻度大量輸送の実現の鍵は、再使用型宇宙輸送システム（SSTO/TSTO）の構築である。
- 地上のマズドライバ（ここではリアモーターカーの技術を応用した飛翔体の加速射出装置

＝電磁カタパルトをイメージ)は、航空機による空中発射方式と競合するが、月や火星表面からの打上げに重要な技術となる。

3-2) 宇宙建築(宇宙アーキテクチャ)ロードマップ

宇宙での製造・構築技術の確立と、部材・材料の再利用による、循環型宇宙構造システムが実現する。

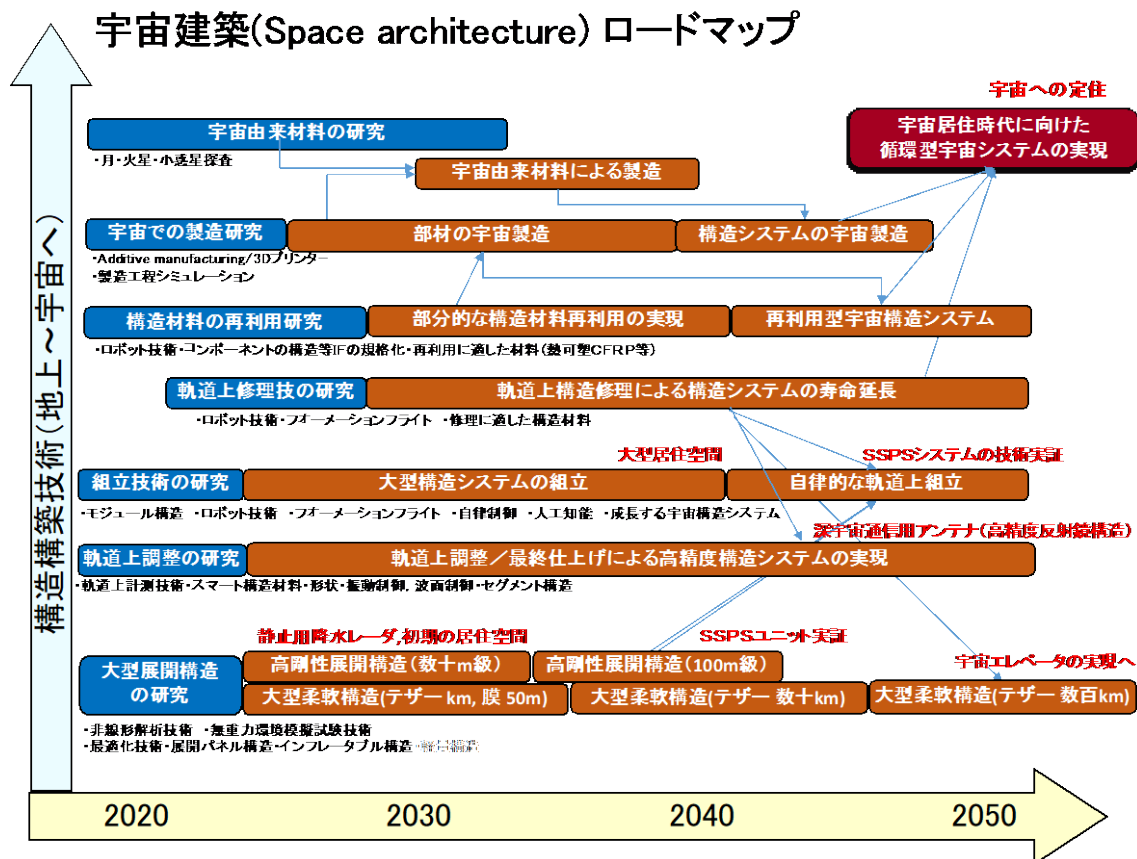


図3a.4. 宇宙建築(宇宙アーキテクチャ)ロードマップ

- 地上での製造から宇宙での製造へ 現在は地上で構造物を製造、宇宙に打ち上げ後、利用しているが、将来的には宇宙で行われる構造物に対する作業の割合が増加する(軌道上調整⇒軌道上組立⇒軌道上製造)。さらに宇宙由来材料(月のレゴリスなど)を用いた建築の実現が期待される。
- 循環型の宇宙構造システム 宇宙ゴミの低減のため、ミッションを終了した宇宙機のコンポーネント(大型アンテナ構造など)や材料を再利用する技術が求められる。
- 展開構造と組立構造の融合 SSPSなどの、より大型の構造システムを建築するために、大型展開構造物ユニットを軌道上で組立てる技術が必要となる。

- 軌道上仕上げ 将来の宇宙構造物は大型化、軽量化、高精度化の要求が厳しく、重力の影響が大きい地上での実証が困難である。そこで軌道上仕上げ(最終的な形状調整、組立など)が近々の課題として、実用化が望まれている。

3-3) 宇宙機ロードマップ

規模の拡大高性能化と小型分散化の二つのアプローチにて、低軌道～静止軌道の活動が拡大する。

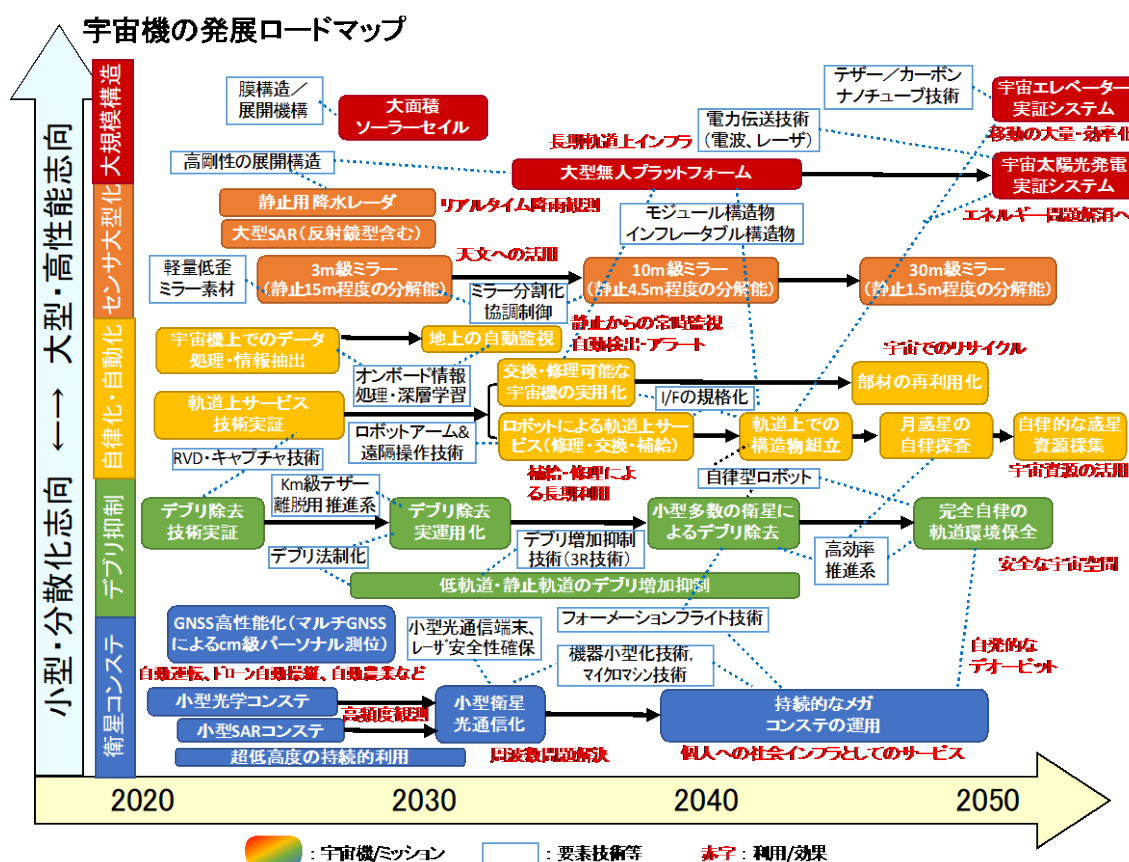


図3a.5. 宇宙機ロードマップ

- 大規模宇宙構造物の利用 軌道上プラットフォーム等から、宇宙太陽光発電プラントや宇宙エレベータにつながる大規模宇宙機を構築・利用する流れ。ロボット等を用いた軌道上組立技術や、大規模構造物に搭載する観測装置や通信機器技術との連携により、有益なものとなる。
- センサの大型化・静止観測 地上の常時観測・監視能力向上には、静止軌道上に大型・高性能な装置(10m超規模の光学系、レーダー等)が必要だが技術課題も多い。これらを長期安定的に利用するには、従来のセンサ技術だけでなく、宇宙構造物の構築・保持技術や軌道

上サービス技術の助けも必要とする。

- 自律化・自動化の推進 宇宙構造物の構築から小型宇宙機や宇宙デブリの除去といった様々な宇宙インフラを支える技術である。ロボットなどメカ技術や確実・正確な動作を確保するための自律的・知能的に制御する技術を高度化し、宇宙機上で活用させられるかが鍵となる。
- 宇宙デブリ抑制の取り組み 宇宙空間を安全に持続的に活用するためには、宇宙活動拡大に伴い深刻化する宇宙デブリ問題への対策が不可欠となる。発生・増加の抑制や衝突回避のみならず、積極的に除去することや、自らデブリ化しない方策の適用が重要である。今後、衛星コンステレーションの台頭で重要度はさらに増す。
- 衛星コンステレーション 小型宇宙機を多数配置して高いパフォーマンス(観測、通信等)を狙うアプローチは、ベンチャー企業にも新規参入しやすく、将来は多くの大規模コンステレーションの展開が予想される。その成否には、要素技術の発展だけでなく周波数問題解決(光通信化)や宇宙デブリ問題への対処もポイントになる。

3-4) ロボット・情報ロードマップ

VR技術の活用により、宇宙ロボットが探査で得た知見がHMDや小型端末等で広く共有できるようになり、VR宇宙体験の大衆化や商業利用が進む。

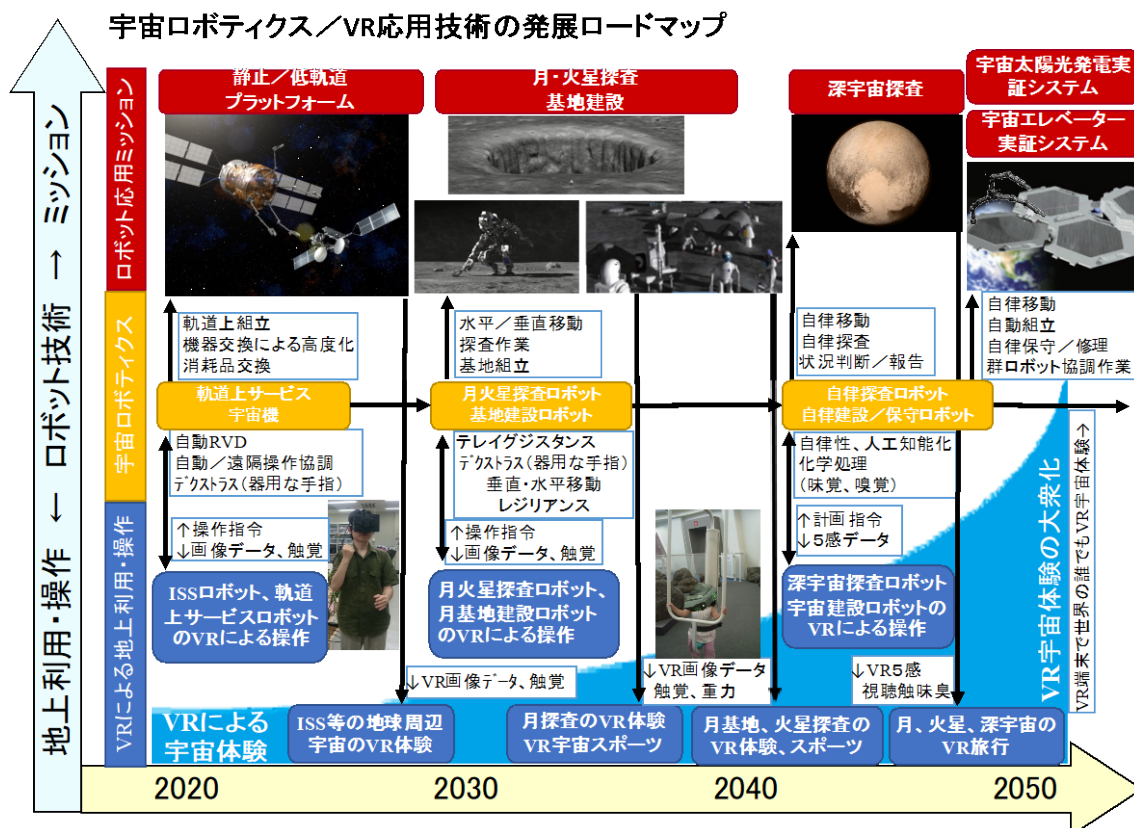


図3a.6.宇宙ロボット・情報ロードマップ

- 宇宙ロボティクスを応用したミッションは、地球周回低軌道/静止軌道プラットフォームの建設から軌道上サービス、月/火星探査や月面基地建設、さらには深宇宙探査へと活動領域を拡げている。
- 宇宙ロボット技術の発展により、得られる情報が視覚中心から触覚、さらには化学処理が可能な(味覚や臭覚を含む)五感ロボットへと発展する。また、活動領域の拡大に伴い、ロボットの自律化や人工知能化が進む。
- 宇宙ロボットから得られた五感情報は、VR技術により地上の操作者に伝えられ、没入感のあるテレプレゼンスロボットを自動/遠隔操作で融合制御して、器用な作業ロボットが実現する。軌道上サービスや基地建設、探査などのミッションで人間の代替/支援で活躍している。
- 探査や基地建設で得られた五感情報は、VR技術によりVR宇宙体験ゲームなど大衆による地上の利用が進む。探査の高度化とIT技術の高度化により、地球上の過半がスマホのような小型端末でVR宇宙旅行を体験可能になり、一大産業になっている。

3-5) 宇宙科学・探査ロードマップ

月・火星圏の極限領域を「より自在」に、土星圏や外惑星衛星などに向けて「より遠く」へ、無人機による宇宙探査活動は拡充していく。

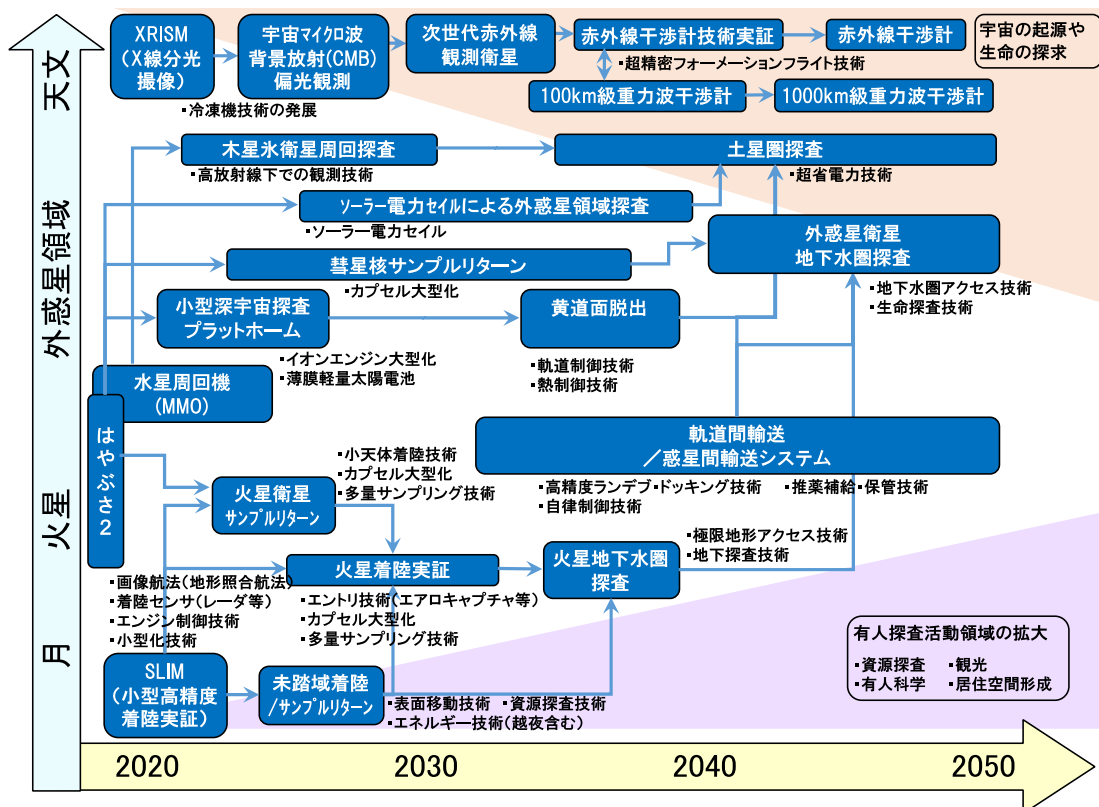


図3a.7. 宇宙科学・探査ロードマップ

- 2050年には有人探査の活動領域が火星圏にまで拡がり、月・火星の無人探査は有人探査のプリカーサ的な役割に加え、有人がアクセスしにくい極限領域(急斜面や地下など)で活躍している。
- また、より遠方を開拓する無人探査は、ソーラー電力セイルや軌道間/惑星間輸送システムなどのインフラ技術を獲得し、土星圏探査や外惑星衛星の地下水圏探査などに乗り出している。
- これらの探査は、超精密フォーメーションフライト技術による干渉計システムを獲得した天文分野と融合しつつ、宇宙の起源や生命の探求において大きな役割を果たしている。

4) JSASS宇宙科学技術ロードマップ2050 まとめ

宇宙ビジョンで描く2050年代には、宇宙輸送と宇宙機システムの発展が、宇宙建築や情報・ロボットアーキテクチャの発展と互いにリンクしながら成熟し、様々なサービスが提供されているだろう。本ロードマップでは、各関連分野の発展状況を、「宇宙利用」と「宇宙探査活動」の二つの進展状況を描いたマップに従って予測した。これら二つのマップは、宇宙ビジョンが実現する道筋、あるいは、宇宙ビジョンとシステム・アーキテクチャとの接続を示す。その上で、宇宙利用と宇宙探査のそれぞれの発展を支える宇宙輸送・宇宙建築・宇宙機・宇宙情報の各展望を、技術ロードマップとしてまとめた。ロードマップの中には、既存技術の延長線上にあるものもあるが、技術が不連続的に発展する際には、いわゆるイノベーションと波及効果による機能性能の不連続的向上が期待される。変革的で不連続的な技術の発展と利用の拡大が、2050年代の様々な宇宙活動を支えていくであろう。

なお、本技術ロードマップを検討した宇宙技術ビジョン小委員会のメンバーは、所属する組織の意向の影響を受けないような公共機関・大学等から選出し、種々の分野から宇宙長期ビジョンの到達を目標とする種々の分野のロードマップを中立的な視点で議論した。また、宇宙輸送、宇宙機、有人活動など、宇宙活動全域をカバーするメンバーに参加いただくと共に、有人活動の観点からは、宇宙飛行士にヒアリングしてその意見を取り入れた。

本ロードマップは目指すべきシステムまたはアーキテクチャ毎に作成しており、各技術分野における将来研究の課題識別の機会を提供できることを期待している。

参考) 宇宙科学技術ビジョン小委員会メンバーの構成:

平子 敬一(主査)	慶應義塾大学
船木 一幸(副主査)	宇宙航空研究開発機構
上森 規光	宇宙航空研究開発機構
河野 功	宇宙航空研究開発機構
木村 真一	東京理科大学
田中 宏明	防衛大学校
徳留 真一郎	宇宙航空研究開発機構
中島 佑太	宇宙航空研究開発機構
中村 揚介	宇宙航空研究開発機構
福田 盛介	宇宙航空研究開発機構
森馬 純一	宇宙航空研究開発機構

5) 人間が定住する月面拠点建設へのロードマップ【2019 年度増補】

第2章に示した宇宙ビジョン2050では、宇宙探査活動が有人・無人に関わらず地球低軌道を超え、飛躍的にその範囲を拡大する発展ビジョンを描いた。中でも月面に関しては、有人での本格的探査に留まらず、拠点形成などのインフラ整備を踏まえた産業活動の開始も視野に入れるなどその項目は多岐にわたる。そこで2019年度に、月面での長期滞在・資源利用・産業活動を支える上で必須の人類の定住地、「有人拠点の建設」について、より具体的な技術ロードマップを策定することを目的とした有識者の参加を得て検討した。研究会に参加したメンバーは本項の最後に示す。人類が月＝「地球と大きく異なる環境」で永続的に生存し発展を続けていくためには、その生命活動を維持する様々な「人が月で生きるための技術」が必要となる。その中で本文では、宇宙科学技術ロードマップ(2018年度版)では言及されていない、有人拠点建設・発展に必要な技術課題にフォーカスし、「ロボット」「建設」「エネルギー」「放射線防護」「健康管理」「物質循環(水・空気・廃棄物処理)」「食糧生産」の各項目について、その展望をまとめている。

ここで想定している「有人拠点」は、一般的に想像されるいわゆる「月の表面」ではなく、マリウスヒル等に点在する「月の縦穴」とそれに繋がる地下空洞に建設することを想定している。月には地球のような大気がないため、日照と日陰での温度差が非常に大きく、また多量の宇宙放射線が降り注いでいることは周知の事実である。研究会ではまず、このような過酷な状況を月面で基地を建設したうえで回避する方法を検討した。その結果、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)サイズの居住モジュール1基を月面に設置し、その4分の3の表面を厚み 60cm のレゴリスで覆う

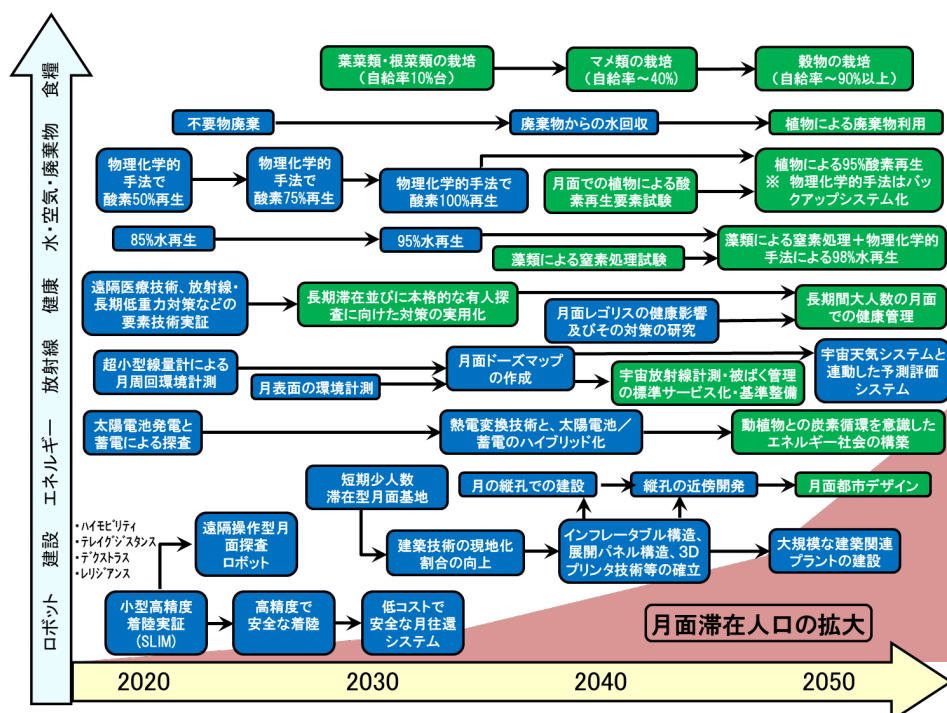


図 3a.8 人間が定住する月面拠点建設へのロードマップ

(残り4分の1は埋没させることを前提)ことで軽度の宇宙放射線遮蔽を実現すると仮定しても数100トンのレゴリスが必要となることが明らかとなった。すなわち重度の放射線遮蔽を前提に厚さ数mの遮蔽レゴリスドームを建造することは、拠点建設としては非常に困難と言える。これに対して、地下空洞は放射線防御のためにシールドが必要なくインフレータブル構造をそのまま使用できるなど構造材の重量・体積を桁違いに軽減できる。また静の海の縦孔の場合温度環境は-20℃程度で安定している事が予想されており、地球上の寒冷地と同程度の温度環境を獲得できる可能性がある。以上のような検討から、月の地下空洞を活用しながら有人拠点を確立していくことは、今後恒久的に人類が生存可能な拠点を月に建設するための第一歩として妥当と考えこれを前提として次項の各技術課題の展望を検討した。

【ロボット】

宇宙輸送技術と宇宙機技術の双方の発展は、情報通信技術の発展と融合して無人探査活動を活性化し、特にロボティクスや AI、VR 等の活用により、探査の質とリアルタイム性が向上し、研究者・実務者以外の人も直接的かつリアルタイムで探査に参加可能になっている。月面基地を建設し、維持するためには種々のロボットが必要になり、以下のような機能をもったロボットが必要になると考えられる。

- ・探査ロボット: 月移動探査機、投擲ロボット(月の縦孔へ物を投げ入れる)、軽作業ロボット(基地外部での艀装、修理作業、月資源の採集、小物の設置)
- ・基地建設ロボット: 重作業ロボット(着陸機上のペイロードの月面までの移送、ペイロードを着陸地から月面基地まで輸送、指定位置へのペイロードの設置作業、月面土木作業)
- ・インフレータブル建設ロボット(インフレータブルモジュールを接続するロボット)
 - ・基地維持ロボット(居住、食糧生産、実験など、多様な作業に対応する): 移動ロボット(自立歩行系(走行系)を有し、モジュール内の搬送やモジュール間の輸送に使用される、一般作業ロボット(レール走行により広い作業領域と高速の移動を両立させ、モジュール内の機器交換等の重作業に使用する)、精密作業ロボット(食糧生産モジュールや製造実験モジュール内での細かな作業を行う)

【建設(有人拠点としての観点から)】

- ・2020 年代には、現在の ISS における微小重力環境で蓄積された建築技術を、低重力環境にも対応できるよう技術開発を進める。
- ・ISS では考慮することの無かった月面のレゴリスに関わる建築的な対応策、より頻繁となる外部空間との出入りに関わる導線計画などの技術開発を進める。
- ・地球から輸送された建築物のモジュール設置に留まらず、現地で建設工事作業の一端を担うことのできるインフレータブル、及び展開パネル型の建設技術を発展させる。最終的には3Dプリンティング技術も含め、建築技術の現地化割合の向上を目指す。
- ・2040 年代以降、本格的な建設活動が行われ、探査拠点や居住エリアに加え、建設工事関連施

設、農業関連施設、エネルギー、及びライフラインに関わる施設の拡充を進め、安全、且つ快適で、美しい宇宙建築物の構築を目指してゆく。

【エネルギー】

- ・2020年代は、ECLSS技術との物質およびエネルギー収支を考慮した発電／蓄電デバイスの適正化を図る。特に、月面での生命維持に特化し、月面レゴリスからの酸素製造が可能な月特有事象を考慮した物質収支の最適化検討が進む。
- ・2030年代以降の長期滞在向けに、夜間の保温技術としてレゴリスの有効利用を図る。特に熱電変換技術の導入により、太陽電池での発電が困難な長期越夜に対して、バッテリー／燃料電池／熱電変換の複合化による自立型滞在を可能にする。
- ・2040年代以降、食糧生産を含めた植物利用へとシフトし炭素の循環を進めた完全循環型ECLSSが達成されていく中で、エネルギー利用による水素／酸素製造、植物を含む生体活動による炭酸ガス生成、炭酸ガス固定化によるエネルギー再生産を循環系としてとらえたエネルギー社会を実現する。
 - 月ではレゴリスが酸素を固定している。このレゴリスを適度に加熱することで、還元体と酸素を同時に生成できる。太陽光が利用可能な日中に酸素を分離回収しておき、これを貯蔵することで、酸素は呼吸に利用できるうえ、発電の酸化剤としても使用可能である。
 - 酸素製造時に発生している還元体は、月の真空環境では長期にわたり還元状態を維持し続けることができる。これを夜間には適宜酸化することで、酸化反応に伴う発熱を用いた夜間保温が可能になる。
 - 夜間の月面の低温と、酸化反応時の発熱との間の温度差は、熱電変換により電力に変換することも可能である。
 - 水を電気分解することで酸素／水素を生成させ、これを燃料電池や呼吸に用いる試みはISS等の宇宙空間では想定されてきた。月面という特殊環境は、従来の発想に縛られない熱生成が可能な環境であり、これを利活用する社会構成が進むものと期待する。

【放射線防護】

- ・2020年～2030年代は、ISS宇宙実証(新型計測機器の軌道上実証、生体・生物影響評価、惑星探査に向けた被ばく管理手法の確立検討)および月・火星近傍の周回ミッションへの新型計測機器の軌道上実証を実施し、宇宙放射線計測および防護関連技術を用いた産業界への応用・利用を促進させる。並行して、日本人宇宙飛行士および日本の産業利用で使用する放射線計測機器および被ばく管理の手法を確立する。
- ・2030年代以降、非与圧ローバーによる月面(縦穴および地形・場所によるドーズマップ作成)のための実環境計測の実施。ISSおよび衛星による軌道上実証の結果から、月面ローバー内の放射線計測システムの提案および被ばく管理手法を提案する。さらに、1/6Gの影響、放射線や低線量長期被ばく影響の検討・対策から、経口や摂取による放射線影響の低減ができる放

射線防護剤の軌道上実証を計画・実施する。

- ・2040 年代以降, これまでの地磁気圏外の実測環境およびシミュレーション技術を基にした宇宙滞在者への宇宙放射線計測・被ばく管理の標準サービス化・基準整備を開始。並行して, 宇宙天気システムと連動した評価予測システムを実装する。

【健康管理】

- ・2020 年代は, 現在の ISS での実験などを活用しながら, 遠隔医療技術, 放射線の健康影響対策, 長期低重力対策などについての研究を展開し, 得られた知見を月周回プラットフォーム及び月面探査に活用する。
- ・2030 年代以降の長期滞在並びに本格的な有人探査に向けて, 遠隔医療技術, 放射線の健康影響対策, 長期低重力対策を実用化するとともに, 月面のレゴリスの健康影響及び対策技術など月面開拓医学についての研究を進める。
- ・2040 年代以降, 月面拠点建設によってより大きな空間を確保・維持していく段階で, 長期間大人数の月面での健康管理を実現するとともに, 長期滞在に関する精神面を含めた健康対策を実用化する。

【物質循環(水・空気・廃棄物処理)】

- ・有人基地の建設には環境制御・生命維持技術 ECLSS(Environmental Control Life Support System)の技術開発が重要となってくる。
- ・2020 年代は, 現在の ISS 宇宙実証を踏まえた物理化学的手法による ECLSS 技術の月周回プラットフォームへの適用を進める。
- ・上記と並行して, 空気・水の再生率を向上させる新技術の実用性向上を図り, 2030 年代以降の長期滞在向けに, 順次手法・システムを更新することで, 再生率を向上させる。最終的には物理化学的に酸素再生率 100%, 水再生率 95%を目指す。
- ・2040 年代以降, 月面拠点建設によってより大きな空間を確保・維持していく段階で, 食糧生産を含めた植物利用へとシフトし炭素の循環を進めた完全循環型システムの確立を達成する。ただし月面での実用化にあたっては, それまでの周回軌道すなわち微小重力に対して 1/6G の環境になることから, システムにも重力に対応した補器・レイアウト・機能が必須となる。
 - 空気再生では物理化学的手法をバックアップシステムとして機能させることで, 生物システム固有のエラーにも対応可能な, ロバスト性の高いシステムを構築する。
 - 水再生は, 植物(藻類)による含有窒素分の分解ののち, 物理化学的な処理を行う2段階構成とすることで, それぞれの機能のメリットを生かしたシステムとすることを想定している。
 - 廃棄物処理は, 圧縮しての廃棄ないし水分回収の後廃棄が主な手段であるが, 月面拠点を建設し, そこでの植物の生産が本格的に稼働した場合は, 堆肥としての活用が可能となる。これにより, より完全な物質循環を達成する。

【食糧生産】

- ・2020年代はISS, 月周回軌道, 月面探査いずれにおいても食糧自給を必要とするような長期ミッションとはならず, また食糧生産に必要なスペース確保も難しいことから, 食糧生産は実施されず地球からの補給に頼ることになる。その間, 宇宙環境でも生育可能な品種開発や閉鎖環境下での効率的な栽培方法などの研究・実証を実施する。
- ・2030年代以降, 拠点が建設されることで長期滞在並びに食糧生産可能なスペースやシステムが実現, 食糧生産が開始される。
- ・生産する食糧の品種及び生産量は, 滞在人数の増加とともに段階的に拡大される。並行して, 自律農作業ロボットによる栽培等, 効率的な生産体制を確立していく。
- ・2040年代以降, 穀物の栽培を開始し, 最終的な食糧自給率は90%以上を達成する。

《参考: 水素エネルギーを利用した食料生産システムを含む生命維持システムの検討》

宇宙探査活動の発展マップに基づき, 月面での探査人数を2020年代2~3人, 2030年代10人, 2040年代50人, 2050年代100人と設定する。

表3a.1に示すように5つの月面食料自給率について物質の再生率と必要電力を比較した。食料生産と生命維持システムの関係については, 月面農場WGのデータとモデルを用いた。食料生産に必要な電力は一人当たり25kWと仮定した。生活に必要な電力と合わせ, 全体で一人当たり30kWと設定する。水の使用量を1日一人当たり10Lと設定すると月面食料自給率14%(No.2)で水再生率100%を超える。一方, 食料生産による酸素の再生率は必要量の20%にとどまり, 物理化学的な再生が必要である。必要な酸素をすべて食料生産により再生するためには, 廃棄物処理による酸素の消費がない場合で, 月面食料自給率60%程度(No.3とNo.4の間)が必要である。

次に, 表3a.2に示す通り食料生産システムを含む生命維持システムのための自立型電力供給システムの仕様を東芝の自立型水素エネルギー供給システムの仕様を基準に求めた。全体システムは, 発電システム, 水素生産設備, ソーラーパネル(将来の軽量化を含む)の3つのサブシステムからなる。表3a.2は, No.4(月面食料自給率92%)で100人の食料を生産するための3MW型水素エネルギー供給システムである。昼用の発電は3MWであるが, 2週間の越夜用の水素製造に8MWの発電が必要となり, ソーラーパネルは11MW相当の設備が必要である。このときソーラーパネルの面積は7万平方メートルになる(月面に大気がないことを考えると30%程度減らせる可能性はある)。2週間の越夜を考慮したシステム全体の質量は837トン, 水素61トンである。水素は地球から供給し再利用し, 酸素は月面資源から製造する。仮に, 小型原子炉SP-100(発電量2MW, 質量25トン)を利用した場合, 越夜用の蓄電が不要になり, 3MWのみの供給で済み, 3MW級小型原子炉の質量は比例計算で37.5トンとなる。発電設備の質量のみ比較しても22(=837/37.5)倍の差があり, 原子力発電なしでの食料生産は難しいといえる(図3a.1)。物質の再生には大きく貢献しないが, 葉菜類のみの生産であれば, 水素エネルギー供給システム利用の検討余地はある。

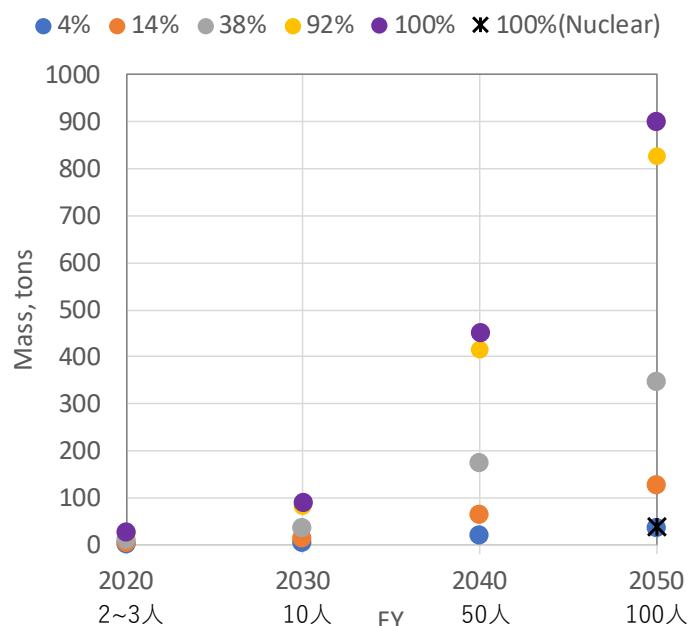
表 3a.1 月面食料自給率と生命維持システム(一人当たり)

No.	月面食料 自給率	摂取エネル ギー kcal	水再生率 (10kg 比)	酸素再生率 (0.835kg 比)	必要電力 kW	作物群
1	4%	106	0.4	0.1	1	作物群1:キュウリ, トマト, レタス, イチゴ
2	14%	370	1.4	0.2	3	作物群1 + 作物群2: ジャガイモ, サツマイモ
3	38%	1,017	3.9	0.7	10	作物群1 ~ 2 + 作物群 3:ダイズ
4	92%	2,439	10.6	1.6	23	作物群1 ~ 3 + 作物群 4:イネ
5	100%	2,650	—	—	25	作物群1 ~ 4 + 動物性 たんぱく

表 3a.2 No.4(月面食料自給率 92%)100 人のための 3MW 自立型水素エネルギー供給システム

東芝 H2Rex 次世代 100kW, 水素生産設備 H2 One (200kW 級 SOEC),
ソーラーパネル H2 One の仕様を参考に計算

		仕様	単位
発電システム	発電量	3	MW
	発電効率	0.5	
	容積	435	m ³
	質量	174	t
	本体	174	m ²
	設置	435	m ²
	消費純水素体積	2,010	Nm ³ /h
	14 日間越夜用水素体積	675,360	Nm ³
	14 日間越夜用水素質量	61	t
水素生産設備	水素製造原単位	8	MWh
	水素製造量	2,010	Nm ³ /h
	消費電力	8	MW/h
	質量	603	t
ソーラーパネル	発電量	8	MW
	面積	51456	m ²
	質量	44	t
	面積(昼用 3MW + 越夜用 8MW)	70,656	m ²
	質量(昼用 3MW + 越夜用 8MW)	60	t
システム合計質量		837	t
消費水素質量		61	t



横軸は年代・居住人数，縦軸は発電システムの質量，凡例は月面食料自給率を示す。発電システム質量は，自立型水素エネルギー供給システムを基に算出しているが，100%(Nuclear)のみ小型原子炉 SP-100 を基に算出した。

図 3a.9 宇宙探査活動の発展マップを基にした月面食料自給率と発電システム質量の関係

【人間が定住する月面拠点建設へのロードマップ(増補)まとめ】

JSASS 宇宙ビジョン 2050 のハイライトの 1 つは「宇宙に進出した人口が指数関数的に増大し，地球近傍から月，火星圏の宇宙空間において，人類が水・エネルギー・推薬等の資源を地産地消しながら生活している」と想定している。本増補では，これを実現する人類の拠点に必要な要素について検討するとともに，いくつかの技術についてそのロードマップを策定した。しかしながら，ここで示した展望はごく限られた期間・参加者による検討であり，輸送や拠点建設手法など，十分に議論できなかった技術分野が数多くあることもまた事実である。これはひとえに，宇宙に向けた人類の生存圏拡大が，現在の科学技術力をもってしても非常にチャレンジングであることを端的に表すとともに，その実現に向けた研究開発の「伸びしろ」の大きさ，従来の「航空宇宙工学」ではカバーしきれない，まさに総合科学としての在り方を示すものと言える。

有人月面基地建設は SDGs(Sustainable Development Goals)社会実証のプラットフォームともなり得、月からの地球観測視座獲得にもつながるなど、その効用も広範囲にわたる事が予想される。本検討を端緒に，宇宙ビジョン実現に向けて，今後も学際的な交流や新たな研究分野からの参入を含め，幅広い研究開拓や技術開発の促進など，日本航空宇宙学会が主導的な役割を積極的に果たすことを目指したい。

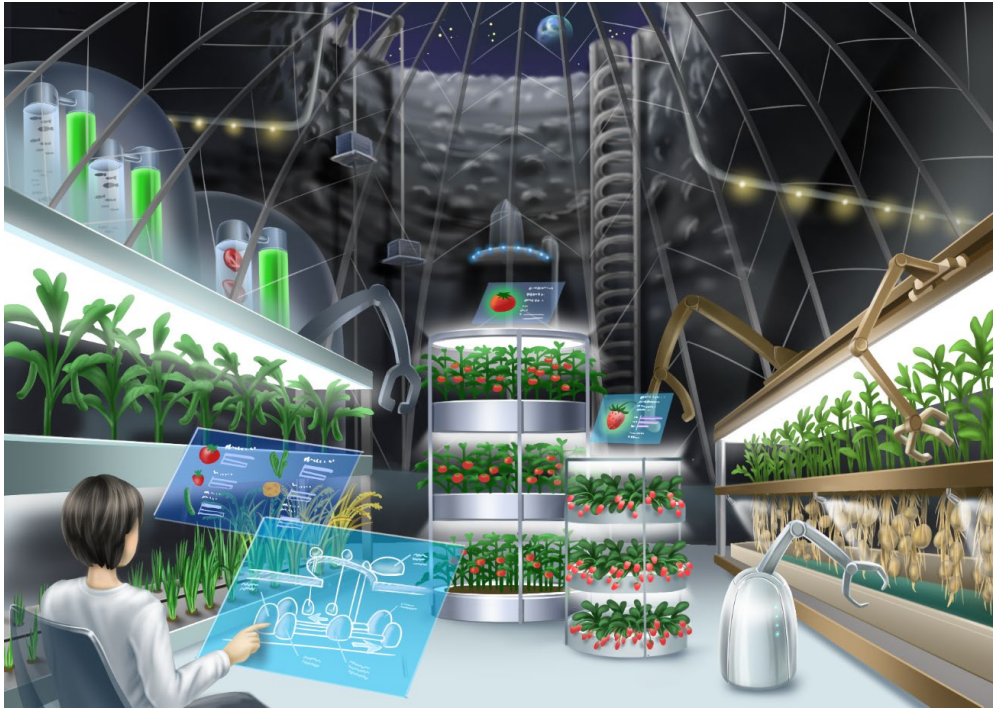


図3a.10 人間が定住する月面拠点想像図

月表面と縦孔底部は二台のエレベータにより行き来する。溶岩チューブの内部では放射線から防御され月表面に比較して穏やかな温度環境が得られる。左上には藻類培養装置と魚および培養肉の装置が見える。植物工場ではシーケンス栽培されたイネ、ミスト栽培されたジャガイモなどが見える。栽培、収穫などは自動化・自立化したロボットが行う。

参考) 人類が定住する月面拠点建設へのロードマップ検討メンバーの構成(五十音順):

池田博英	宇宙航空研究開発機構【推進系】
石濱直樹	宇宙航空研究開発機構【ロボット】
河野功	宇宙航空研究開発機構【全体企画、ロボット】
木村真一	東京理科大学【健康管理】
桜井誠人	宇宙航空研究開発機構【主査、全体企画】
島明日香	宇宙航空研究開発機構【幹事、物質循環、編集】
十亀昭人	東海大学【建設】
曾根理嗣	宇宙航空研究開発機構【エネルギー】
永松愛子	宇宙航空研究開発機構【放射線防御】
春山純一	宇宙航空研究開発機構【全体企画】
宮嶋宏行	国際医療福祉大学【全体企画、食糧生産】
向井千秋	東京理科大学【健康管理】

b) 宇宙総合政策ロードマップ

1) 宇宙総合政策ロードマップの構成と概要

宇宙総合政策ロードマップは、宇宙に関する政策と法(宇宙法政策)の歴史を振り返ることから検討を開始した。宇宙活動の発展・拡大に対して、法政策はどのように展開してきたのか。その歴史を踏まえて、今後、JSASS宇宙ビジョン2050を実現するために、どのような議論と研究が必要になるのか。さらには、法政策以外の人文社会科学は、宇宙活動にどのように寄与しうるのか。総合政策ロードマップは、法政策の他、広く人文社会科学の研究者・実務者に向けて、今後必要になると考えられる研究の方向性を示すものである。

2) 宇宙活動と法政策の歴史と展望

2-1) 米ソ宇宙競争の時代:1950年代～1970年代

第2次世界大戦後の東西冷戦初期は世界の宇宙活動の黎明期にあたる。米国は1958年に米国航空宇宙局(NASA)を設立、フランスは1962年に国立宇宙研究センター(CNES)を設立、日本は1969年に宇宙開発事業団(NASDA)を設立し、国の宇宙機関による宇宙開発が始まった。この時代は、1957年の人工衛星スプートニク1号打上げ(ソ連)、1961年のガガーリン宇宙飛行士による有人宇宙飛行(ソ連)、1969年のアポロ11号による有人月着陸(米国)など、人類初の宇宙活動と併せ、国際法体系の構築が急速に進んだ時代でもある。宇宙関連条約としては、1967年署名の宇宙条約をはじめとして、1968年の宇宙飛行士救助返還協定、1972年の宇宙損害賠償条約、1975年の宇宙物体登録条約という、現在の宇宙活動の原則・基盤を形成する条約が次々と成立した。宇宙開発を行う国が少なかったとはいえ、条約の成立、各国の批准に必要なエネルギー(労力×時間)を考えると、これらの条約の成立は、人類の大きな成果であると言える。

宇宙関連条約の成立を主導したのは、スプートニク打上げを機に1958年に国際連合の暫定委員会として設立され、1959年に正式に常設委員会として設立された宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)である。全会一致による意思決定を特徴とするCOPUOSであるが、当初参加国は24か国と少なかったこと(現在は87か国)、また、冷戦における米ソ宇宙競争の過熱に対する東西両陣営の危機意識を背景に、「宇宙は平和目的に限り、人類の利益のために利用される」とする宇宙条約をはじめとする宇宙関連条約の成立に至ったものである。なお、核兵器・ミサイル開発関係では、1963年に部分的核実験禁止条約が、1968年に核兵器不拡散条約が米英ソ三か国により、1977年には環境改変兵器禁止条約が国連において成立している。宇宙関連条約の成立は、冷戦という時代背景と宇宙科学技術の発展の両方を併せて考える必要があろう。

一方で、1979年に成立した月協定は、日本を含む主要な宇宙活動国の賛同・批准を得られておらず、現在まで実質的に機能していない。また、現在は、宇宙条約が前提としていた国単位の宇宙活動に加えて、民間企業も主体的に宇宙活動を行う時代に入っている。今後は、宇宙条約をはじめとする宇宙関連条約に基づくレジーム(宇宙条約レジーム)の見直しが必要となると考えら

れる。

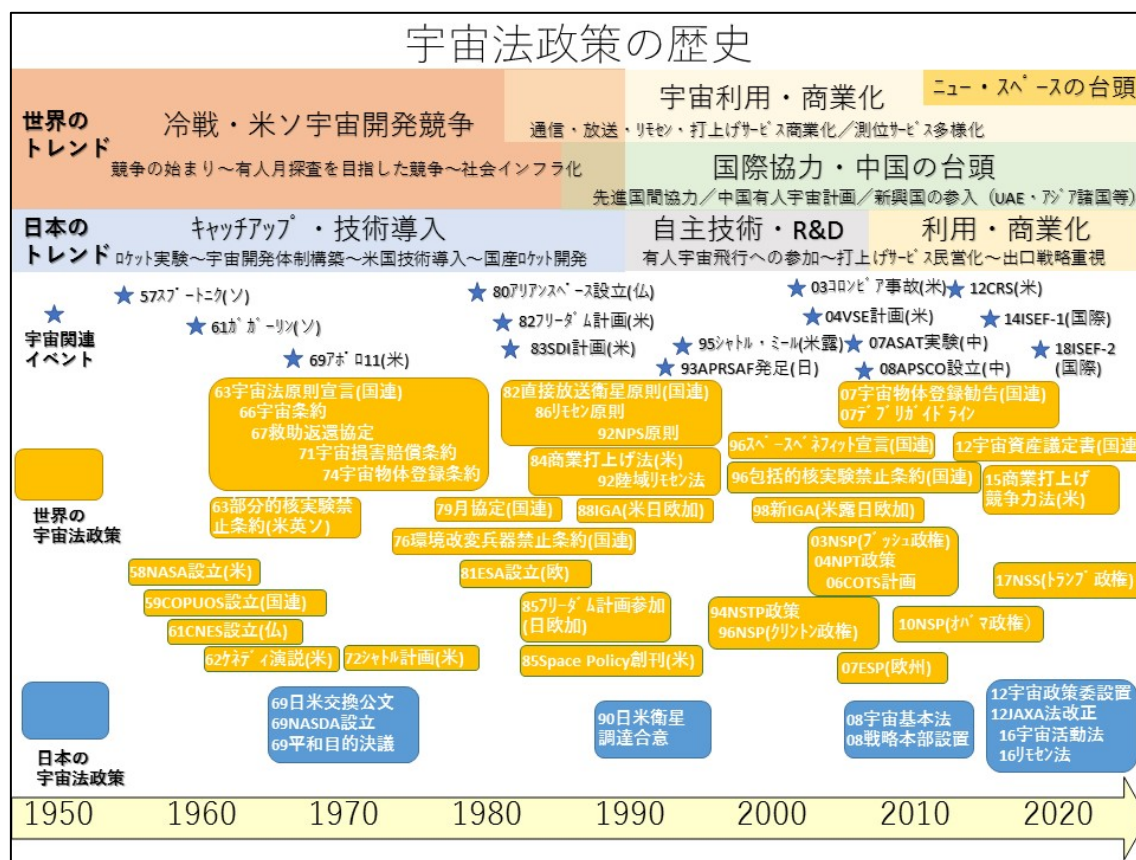


図3b.1. 宇宙法政策の歴史

2-2) 国際協力・商業化の時代: 1980年代～1990年代

冷戦時代の米ソの宇宙活動は、米国が(あるいはソ連が)行っているからソ連も(米国も)行うという構図であり、競争相手国の存在、イデオロギーの勝利が宇宙活動の理由となり得た。一方で、1970年代は、アポロ計画後、1975年のアポロ・ソユーズ計画に象徴されるように米ソ間でも宇宙協力を行うようになり、米国のスペースシャトル計画に西側先進国は参加し始め、1980年代にはスペースシャトル計画、そして宇宙ステーション計画に本格的に参加するようになった。

米国が1984年のロンドン・サミットにおいて、フリーダム宇宙ステーション計画への参加を日欧加の国々に呼び掛けたことは、宇宙活動が米ソだけでなく他の先進国によっても行われるようになり、外交や国際政治の文脈で議論されるようになった表れであった。宇宙政策に関する研究も、スプートニク・ショックやアポロ計画などに関する先駆的な研究がそれまでにも行われていたが、この頃から本格化し、1985年には国際学術雑誌『Space Policy』が刊行されている。フリーダム計画は1985年に日欧加が参加を表明し、その後、冷戦終結後にロシアの参加を得て国際宇宙ステーション計画に発展した。スペースシャトルによる実験ミッションや、1994年から1998年まで実施さ

れたシャトル・ミール計画を含め、有人宇宙飛行の分野は国際協力の舞台となった。

地球観測の分野では、1984年にG7サミットの下で地球観測衛星委員会(CEOS)が設立され、地球観測に関する政策・計画の情報共有や調整が行われてきた。現在、CEOSは、第3回地球環境サミットの下で設立された地球観測に関する政府間会合(GEO)が構築する全球地球観測システム(GEOSS)の衛星部分の構築を担っている。

国連では、関係国の増加に伴って条約の制定が難しくなる中、それに代わるものとして、1982年に直接放送衛星原則、1986年にリモートセンシング原則、1992年に原子力電源利用(NPS)原則が採択され、宇宙活動の原則の設定が進んだ。これらの原則は、各国の宇宙活動の基盤になるとともに、特に前者の二つの原則は、国際協力と商業化の基盤にもなった。

フランスでは、1980年にアリアンスペース社、1982年にスポットイメージ社が設立され、それぞれ商業宇宙輸送、商業衛星画像販売の国際市場で大きなシェアを獲得した。欧州は、1975年に設立した欧州宇宙機関(ESA)を通じた地理的再配分方式(ジオグラフィカルリターン)により出資国に利益を還元する一方で、特定の企業を育成するナショナルチャンピオン政策を推進して、宇宙活動の商業化を牽引することとなった。

米国では、1984年に商業打上げ法、1992年に陸域リモートセンシング商業化法、1998年に商業宇宙法が成立。クリントン政権は、1994年に国家宇宙輸送政策、1996年に国家測位政策を策定して、宇宙活動の商業化と商業市場の拡大を進めた。米国は商業市場でのシェア確保を目指した政策を推し進めたが、一方で、国際武器取引規則(ITAR)により、衛星やロケット技術の輸出を厳しく制限したことから、輸出規制と輸出拡大のあいだでジレンマを抱えることとなった(その後、2009年からのオバマ政権において、輸出拡大政策の一環として商業衛星の輸出規制が緩和された)。

競争相手国の存在が宇宙活動の理由となり得た時代を経て、冷戦終結後の1990年代に入り、民生宇宙活動はイデオロギーの勝利以外の国の政策課題への貢献(科学技術の発展、経済的な波及効果、教育など)を一層求められるようになった。一方、軍事宇宙活動は、湾岸戦争において、軍事作戦に必要な活動となり、その後、アフガン戦争、イラク戦争を経て、宇宙活動は軍事作戦の一部となった。

2-3) 多様なプレイヤーの時代: 2000年代～2010年代

2003年のスペースシャトル・コロンビア号墜落事故を経て、2004年に米国ブッシュ大統領は宇宙探査ビジョン(VSE)を発表し、有人で月・火星を目指すとして、コンステレーション計画(Aresロケット、Orion宇宙船の開発)を開始した。しかし、続くオバマ政権は、同計画のコストとスケジュールに

疑義を呈したオーガスティン委員会の報告書を踏まえ、計画の中止を決定。2010年の国家宇宙政策では、米国の有人宇宙飛行の次の目的地を小惑星とした。しかし、次世代の国際宇宙探査計画を議論する国際宇宙探査協働グループ(ISECG)の参加国の多くは月を志向し、米国内でも宇宙関連議員や有識者の間から月に戻るべきとの声が上がった。2013年には小惑星捕捉ミッション(ARD)計画が発表されたが、議会は同計画に予算を付与せず、NASAの方向性が定まらない時期が続いた。2017年にトランプ政権は次の有人宇宙飛行の目的地を月に戻し、NASAは月近傍のDeep Space Gateway計画を発表した。現在、日欧加は同計画を利用した月着陸ミッションを検討しており、NASAの大型ロケットSLS、Orion宇宙船も活用した、次世代の有人宇宙探査の方向性が見え始めている。

宇宙活動の商業化に関しては、ISSへの商業物資・クルー輸送を実現するため、NASAは2006年に商業軌道輸送サービス(COTS)計画を開始。2011年にはSpaceX社が初のISSへの商業物資輸送に成功し、その後の同社の躍進を後押しすることとなった。今後、ISS運用の商業化を含め、地球低軌道(LEO)は商業活動の場になっていくことが期待されている。

2000年代初期は、SpaceX社に代表されるNew Spaceと呼ばれる新興宇宙企業の躍進により特徴付けられる。New Spaceは、独自のビジョンをもって宇宙活動を推進し、IT起業家など、政府以外からも資金を得ることによって、国の政策目標に縛られない新たな宇宙活動のプレイヤーとなっている。現在、New Spaceは、火星移住や月探査などのビジョンを掲げ、再使用型輸送機や有人宇宙船の開発、数千機の小型衛星によるメガ・コンステレーション計画、宇宙資源探査計画などを提案、事業を展開している。

欧州は、欧州宇宙機関(ESA)が宇宙機の研究・開発・運用を担い、欧州連合(EU)が衛星測位のGalileo計画や地球観測のCopernicus計画など欧州の政策実現のための宇宙活動に資金拠出することで、欧州において宇宙利用の拡大を図る仕組みを構築し、2007年にEUとESAは欧州宇宙政策を策定した。また、欧州は、国連を通じてアフリカ諸国との協力を進めている。

中国は、独自の測位衛星計画や有人宇宙計画・月探査計画を進め、急速に宇宙活動国としての地位を向上させた。さらに、国際協力の面では、2003年にアジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)を設立して、小型衛星開発などの分野で東南アジア諸国との連携を進めている。

日本は、2000年代初頭に相次いだロケット・衛星の不具合を経て、H-II A/H-II Bロケットの着実な打上げ、ISS計画における有人宇宙活動、小惑星探査機「はやぶさ」による宇宙探査などを通じて、宇宙先進国としての地位を確立した。国際協力の面では、1993年に開始したアジア太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF)の枠組みを通じて、人材育成や災害監視(センチネルアジア)などの国際協力を進めている。

インドは従前、発展途上国の宇宙活動として宇宙利用に特化するとしていたが、現在では月探査・火星探査計画や有人宇宙飛行計画を進めている。

その他、新興国の宇宙活動への参入も活発化しており、アラブ首長国連邦(UAE)の火星探査、新興国の超小型衛星開発など、新たなプレイヤーの出現が続いている。

他方、2007年の中国による衛星破壊実験(ASAT)、2009年の米国Iridium衛星とロシアのCosmos衛星の衝突事故を契機として、宇宙デブリ問題への国際的な関心・懸念が急速に高まっている。2007年に国連で宇宙物体登録勧告とデブリガイドラインが採択され、また、透明性信頼性醸成措置(TCBM)、行動規範(Code of Conduct)、長期持続性(LTS)ガイドラインなどが議論されてきた。現在のCOPUOSにおいては、全会一致による条約の採択は難しくなっており、既存のハードローと新規のソフトローを組み合わせた法基盤の整備が現実的であると考えられている。一方、米国は宇宙状況認識(SSA)の能力増強に取り組んでおり、豪、加、仏、独、英、日との机上演習を実施するなど、監視網の拡大を図っているほか、国家宇宙戦略に基づき、宇宙交通管理(STM)構築の検討を始めている。

以上のように、宇宙活動とプレイヤーの拡大・多様化が進む中で、宇宙活動の活性化と規則・規制のバランスをどう取るか、世界の宇宙活動のガバナンスの在り方が、今後の宇宙法政策の課題になるであろう。

2-4) 日本の宇宙法政策

宇宙法政策の黎明期における日本の役割は小さくない。松平康東国連常駐大使は1958年に国連の宇宙空間平和利用の暫定委員会(1959年にCOPUOSとして設立)の議長を務め、東京大学の畑中武夫教授(天文学)は科学技術小委員会の設立準備会合のメンバーを務めた。

その後は委員会のメンバーとしての役割が中心であったが、2012年～2013年には元JAXA理事の堀川康氏がCOPUOS議長を務め、2017年の第54期科学技術小委員会では宇宙飛行士の向井千秋氏が議長を務めた。宇宙基本法の理念に従って、今後も日本発の国際人材の活躍が期待されている。

国内法政策としては、1969年に日米交換公文により米国の技術を導入しつつ、ロケット・衛星技術の国産化を図った。1985年に参加を決定した米国のフリーダム計画とその後のISS計画においても、有人宇宙技術の効率的な獲得に繋げるなど、日本はロケット・衛星・有人宇宙技術を戦略的に獲得してきた。1994年にはH-IIロケットにおいて国産化率100%を達成し、米国の技術に頼らずに開発利用を行えるようになった。

一方で、日本は、日米通商摩擦に関連して、1990年の日米衛星調達合意により、政府及び関係機関が実用衛星を国際競争入札により調達する自主的措置を決定した。世界貿易機構(WTO)を中心とした国際自由貿易体制の構築に向けた流れがあったとはいえ、当該合意は日本の宇宙活動の商業化に楔を打ち込むこととなった。それでも、世界レベルに到達したロケットの国際市場参入を見据え、1998年には宇宙開発事業団法を改正し、宇宙開発事業団(NASDA)が民間企業からロケット打上げを受託する制度を導入した。これにより、第三者損害賠償責任についても米欧の例にならって保険が義務づけられるとともに、保険でカバーできない損害は国家予算で対応することでビジネスリスクを低減した。

2003年には宇宙開発事業団(NASDA)と宇宙科学研究所(ISAS)、航空技術研究所(NAL)を統合して宇宙航空研究開発機構(JAXA)を設立し、宇宙科学と航空を含め、宇宙航空分野の研究開発を一体的に推進する体制を整えた。さらに、2007年にはH-II Aロケットの打上げサービス事業の民間移管を実現した。

日本は宇宙条約をはじめ宇宙関連条約(月協定を除く)を批准しているが、政府及び政府の宇宙機関が中心となって宇宙活動を実施してきたことから、民間企業を含めた宇宙活動に関する国内法の整備は遅れていた。宇宙活動とプレイヤーの拡大・多様化が進む中で、2008年、宇宙基本法が成立し、日本は、宇宙開発戦略本部が司令塔となって国全体で宇宙活動を推進する体制に移行し、研究開発中心の宇宙開発から利用を重視する宇宙開発に舵を切った。また、同時に平和目的に限るとしていた宇宙活動について、安全保障利用の道を拓いた。今後はSSAなど安全保障当局間の協力や情報共有の促進などが期待される一方、デュアルユース技術の扱いなどの議論が必要になると考えられる。

2016年には宇宙活動法が成立し、民間企業も含め、宇宙活動を実施するための法的基盤が整備された。現在、日本においてもNew Spaceと言えるベンチャー企業が出現してきており、政府金融機関や民間企業等からの投資・支援を受けて事業を展開している。宇宙活動の規制の一方で、宇宙産業基盤の維持と宇宙産業の振興は、引き続き法政策上の課題となるであろう。



図3b.2. JSASS宇宙ビジョン2050の実現に向けた法政策上の課題

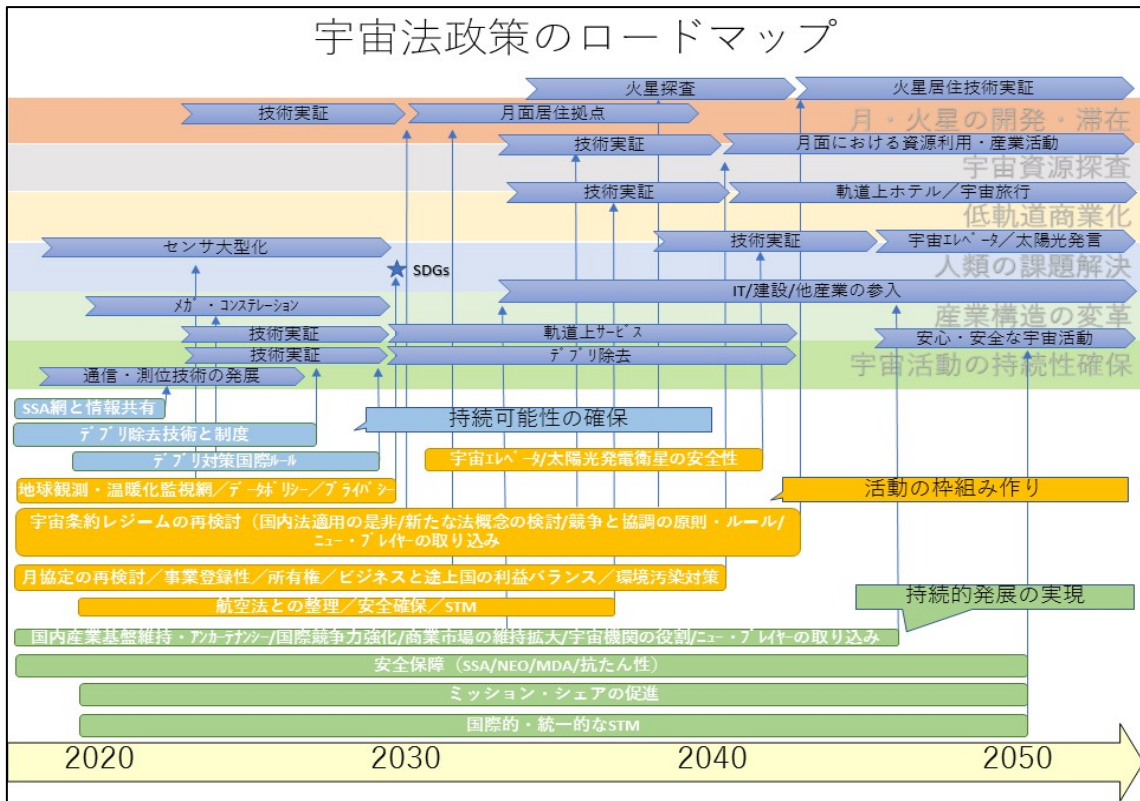


図3b.3. 宇宙法政策ロードマップ

3) JSASS宇宙ビジョン2050の実現に向けた研究課題

JSASS宇宙ビジョン2050を実現するためには、技術のみならず法政策の発展が不可欠である。本項では、宇宙ビジョン2050の実現に向けて研究の推進が望ましい研究課題の例をいくつか紹介する。

3-1) 法規形成メカニズム

今日の宇宙活動を律する宇宙条約レジームは、米ソ宇宙競争を背景として1960年代を中心に国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)で作成されており、宇宙開発利用の進展に伴い、実態との乖離が生じている。しかし、COPUOSはコンセンサス方式のため、宇宙諸条約の改正や新たな条約の作成は困難な状況にある。

そのため、宇宙活動のガバナンスについて、COPUOSをはじめとする国際機関の役割を明らかにし、機能を強化する可能性についての研究があり得るだろう。COPUOSでは近年、法的拘束力のない国連総会決議等のソフトローを作成し、国際社会の共通理解を示し国家に一定の行動を促す取組みがなされているが、どの程度実効性があるのかは興味深い研究テーマである。また、COPUOSは平和目的の宇宙活動のみを対象としており、安全保障目的の宇宙活動は別途の場で国際的な話し合いがなされている。また、宇宙活動に不可欠な周波数調整は国連の専門組織である国際電気通信連合(ITU)が調整を担っている。そのため、国際組織法の観点から、国連での宇宙活動に係る国際調整を効果的に行うための示唆も有益だろう。

さらには、国連とは別の場での法規形成の可能性、例えば、宇宙活動当事国が合意を積み重ねる形で宇宙開発利用の普遍的なスキームを形成していく可能性について、他分野との比較を含む研究も求められるだろう。

3-2) 民間事業者を対象とした国際レジーム

2050年には宇宙開発利用の主役は民間事業者になっているだろう。しかし、今日の宇宙活動を律する宇宙諸条約は、1960年代を中心に作成され、当時の状況から国の活動を主たる対象として制度設計がなされている。すなわち、非政府団体の宇宙活動については、国が許可及び継続的監督の責任を負い(宇宙条約6条)、一般に国内法を経由する形で間接的に規制されている。

宇宙条約を受容して作成された各国の国内法にはどの程度の共通性や相違点があるだろうか。宇宙条約第6条(非政府団体への許可及び継続的監督)の受容として、国内法を制定して許可(ライセンス)制度を導入する事例が多くみられるが、ライセンスを義務付ける対象や許可条件等の詳細は各国の国内法に依存している。そのため、海運における便宜置籍船のように、国内法の不在や規制内容によりビジネスの本拠地を選択するフォーラムショッピングの懸念もある。そのような事態を避けるため、各国の関連国内法を比較分析し、国内法での規制の均質化を促す研

究も有益であろう。

コンセンサス方式のCOPUOSでは宇宙諸条約の改正や新条約の作成が困難であるため、国連とは別の枠組みで、宇宙交通管理(STM)の概念などにより、民間宇宙活動を直接的に規制する手法の研究も求められている。

3-3) 新たな宇宙事業に対応した国内立法

測位衛星を活用した自動運転技術や、サブオービタル宇宙旅行など、新たな民間宇宙事業を実現するためには、法制度の制定・改廃が必要となる。

例えば、米国では宇宙旅行や宇宙資源探査等の新たなベンチャーに対応した先導的な国内立法を迅速に行って、将来の有望産業として促進している。サブオービタル宇宙旅行用機体は新たな技術であるため一般に安全基準の検討には時間を要するが、米国ではその時点で最善のものを定め、事後的な技術発展に対応して改訂を重ねていく手法を取っている。また、政府が機体の安全性を完全に保証できない段階でも、その旨を搭乗者に適切に書面で説明して事前合意を得るインフォームド・コンセント方式により、いわば搭乗者の自己責任に基づく形で宇宙旅行事業を可能とし、世界に先駆けて宇宙旅行市場を拓いた。

日本は宇宙条約に1967年に加盟したが民間宇宙活動を律する宇宙活動法の成立は2016年であり、少なくとも米国との比較において、新規立法に慎重な傾向が見られる。また、インフォームド・コンセントのように国家の責任と個人の責任を明確に切り分けて、政府が安全を保障できない段階で自己責任を前提として事業を認可する制度も一般に見られない。このような法文化の違いは、どのような背景によるのかを明らかにする研究も興味深い。また、国内外における技術の発展に対応した法政策事例(ベストプラクティス)の蓄積や、新規技術を用いた前例のない事業をタイムリーに認可するための法技術に関する研究も有益だろう。

3-4) 民間宇宙事業促進に資する法制度や官民連携手法

多くの国においては今日でも、宇宙企業の最大の顧客・スポンサーは国・公的機関であり、民間宇宙事業を促進するための行政手法についても研究が必要だろう。

米国ではスペースシャトルの事故による引退を受けて、地球近傍の宇宙輸送(有人を含む)について、政府は民間が開発する機体の顧客となるとの政策を打ち出した(2004年宇宙探査ビジョン)。この新たな市場を目指して、有人宇宙ロケットという事業に多くのベンチャーが挑戦し、SPACE-Xのような革新的な成功事例が生まれた。米国ではさらに近年、ISSを含む地球低軌道全体について、国・宇宙機関は開発者ではなく民間が開発したサービスを購入する方式に移行する方針を打ち出し、地球低軌道の新たな市場を創出し、商業化を進めている。

このように、民間産業を促進し先導するための法政策について、他国・他分野のベストプラクティスを蓄積する研究も求められる。また、PPP・PFIなどの具体的な産業連携手法や、国・公的機関における新たな契約手法・調達技術の開発について、契約法・行政法・経営学・金融工学などの視点も含めた研究が必要だろう。また、知的財産権や標準化に関する法政策や、技術マネジメントやナレッジマネジメントの手法について、他国との比較を含む研究も必要である。さらには、技術開発を支える高度な人材を継続的に育成・排出するための教育学・経営学などの観点での検討も必要である。

3-5) 宇宙デブリ問題への対応

近年、宇宙デブリ問題が深刻化している。希少な環境である静止軌道の有効活用のために宇宙デブリ対策は重要である。近年宇宙デブリは急激に増加しており、宇宙活動全体の持続性への大きな脅威となっている。2050年の地球低軌道では、メガ・コンステレーションや宇宙旅行を含む様々な宇宙活動が増加し、宇宙デブリ問題のさらなる深刻化が懸念される。宇宙活動の持続性を確保するため、産業の振興に配慮した上で、宇宙デブリを適切に管理するレジームが緊急の課題である。

主要宇宙機関は自らの活動に起因する宇宙デブリの発生を抑止する対策を講じているが、民間宇宙活動も対象としたユニバーサルな対策が必要である。COPUOS科学技術小委員会で宇宙活動の長期持続性(LTS)のためのガイドラインが検討されたが、コンセンサスが成立せず不調に終わった。そのため、宇宙交通管理(STM)の概念から実務的なルールやベストプラクティスを積み上げていく手法も提案されている。ISOの宇宙デブリ標準が商業市場での競争力の源泉として普及すれば、事実上の拘束力持つガイドラインとなる可能性があるだろう。また、宇宙環境の汚染問題ととらえて、環境保全の観点からサステナブルな宇宙開発利用のあり方について示唆を得ることも有益だろう。

3-6) 月・火星等への基地の建設

宇宙条約では月その他の天体上の基地の建設は一般に認められている(第12条等。なお、軍事基地・軍事施設・防備施設の設置、軍事實験・軍事演習は禁止(第4条))。

一方、宇宙条約2条により月を含む天体の取得は明確に否定されており、基地を建設し一定の区域を占拠したとしても、天体(月)の一部を自国領土として主張することはできない(民間事業者も、天体の土地等の所有権を主張することはできない)。

宇宙条約9条は、他の当事国の活動に潜在的に有害な干渉を及ぼすおそれがある場合の国際協議義務を規定するが、具体的にどのような場合に協議が必要なのかなどの詳細は示されてい

ない。基地の建設は長期的な土地の占有を伴うものであり、紛争を生じさせないための調整メカニズムを形成していく必要がある。例えば水資源が期待される月の極付近などでは複数国（およびその管轄下の民間事業者）による資源探査プラントの開発競争の可能性がある。月等の天体・宇宙空間における恒常的施設の建設に関する具体的な調整メカニズムの研究が求められる。

3-7) 宇宙資源の開発利用

近年米国をはじめ、複数の国・企業が月・火星などへの宇宙探査を積極的に推進している。宇宙探査には大量の物資が必要であり、地球からの輸送コストに鑑み天然資源をいわば地産地消として宇宙空間で開発・販売するビジネスが現実味を帯びている。特にロケットのエネルギー源としても活用できる水資源をめぐる争奪戦が予想される。米国は宇宙資源の獲得と販売等を目論む米国の民間事業者の権利を守りビジネスを促進する法律を早くも2015年に制定し、新たな宇宙ベンチャーを歓迎して積極的に保護育成する姿勢を明らかにしている。これに、宇宙ベンチャーの誘致に積極的なルクセンブルグなどが続いている。

本来、国内法での対応の前提として、宇宙資源開発に関する国際ルールが必要である。宇宙条約上、天体と分離された天然資源の獲得や販売について否定はされていないが、商業的な宇宙資源探査の扱いについて、早急な明確化が必要である。なお、月協定は、主要宇宙活動国も参加しておらず、締約国が少ないため、一般に実効性がないものとされているが、発効はしているため慎重な分析が必要である。また、COPUOSが作成して1996年に国連総会決議として採択された「スペース・ベネフィット宣言」や近年、有識者・産業界等が構成した「ハーグ宇宙資源ガバナンスワーキンググループ」が作成した宇宙資源開発を促進するための国際ルールの草案も研究対象となるだろう。

また、宇宙条約9条に基づく、宇宙資源による地球環境汚染対策としては、一般に国際学会（COSPAR）が作成したガイドラインが一般に遵守されている。しかし学会のガイドラインでは拘束力に課題があり、民間活動の増加を踏まえて有効な対策の研究が必要であろう。

3-8) 新たな法概念の可能性

人工衛星や月基地等の宇宙物体・施設及びその乗員に対しては、宇宙条約第8条及び登録条約に基づく登録により、登録国が管轄権および管理の権限を確保することができる。民間事業者が国に頼らず自身の資金と技術で宇宙探査や月・火星基地の建設を行う場合でも、当該宇宙物体・施設の打上げ国による登録が、宇宙物体に対する所有権などの私的な権利に対する国内法上の権利について他国に対抗するための前提となる。このように、これまでは、宇宙条約に基づく登録により取得した管轄権をもとに、登録国の国内法を宇宙空間の活動に適用していく方式で対処されてきている。

しかし、月・火星で人類の恒久的な居住地域の開発運用が始まっている2050年には、地球とは独立的に運営発展していくコミュニティに恒常的に居住する市民の間で、宇宙条約の前提を超えたコミュニティ独自の新たな法が誕生する可能性がある。つまり、2050年の社会では、現在の地球という生存圏が低軌道まで拡大するのに伴って、地上の法概念も拡大すると同時に、月や火星のように、地上の延長とまでは考えられない新しい生存圏においては、新しい法概念の芽生えもあるのではないだろうか。そのような新たな法の理念、合意形成方法やそれを支える立法・行政機構など、国際法のみならず行政学・社会学を含む幅広い人文社会分野の知見も得た学際的な研究が必要であろう。

3-9) 小括

社会の発展において、技術と法政策・制度の発展は両輪である。近年宇宙法政策の研究に関心が高まっているが、いまだに国際法の一領域である宇宙法を中心とした分析が中心である。さらに幅広い分野と連携した学際的な研究により、実務にも資する様々な示唆や法政策上の選択肢を得ることができるだろう。

4) 宇宙開発に関する人文社会科学系領域の研究について

4-1) 今後必要になる宇宙開発における人文社会科学領域の役割と主なアジェンダ例

宇宙ビジョン2050では、例えば、月・火星の居住が実現したり、宇宙旅行がレジャーの一つになったり、民間活動が拡大し誰もが宇宙におけるプレイヤーとなり得るとしていたり、端的に言えば、人間の生活圏たる社会が地球から宇宙に広がることを基礎に想定をされている。新たに広がる社会を「豊か」にするための考え方・方針・実施案の示唆や方策の創出が人文社会科学領域に求められていることだとすると、具体的に、どのようなことがアジェンダとして考えられるのだろうか。

社会の豊かさ(幸福)とは何か、そしてそれは測定可能か、ということについてはさまざまに議論しうるところであるが、近年では国際的に調査研究も進展しており、社会の豊かさ・幸福のフレームワークや測定手法についての具体的な提案も行われるようになってきている。注目すべき社会の「豊かさ」の構成要素についての考え方として、2009年9月に出された「経済パフォーマンスと社会の進歩の測定に関する委員会(CMEPSP)報告¹⁾」がある。報告書では主に8つの観点で社会の豊かさを議論している。すなわち、「物質的生活水準」・「健康」・「教育」・「仕事を含めた個人活動」・「政治的発言と統治」・「社会的関係性」・「環境」・「経済的不安・物理的危険」である。報告書では、各観点の趣旨や各観点における各国・各地域の評価結果などを議論しているが、委細は割愛し、これら観点を新たに広がりつつある人間社会としての宇宙、として読替えてみると次のようなことが言えるのではないだろうか(表3b.1.)。

表3b.1. 「豊かさ」の8つの観点と宇宙領域への読替えの例

8つの観点	宇宙領域での目標
1. 物質的生活水準	宇宙における経済社会機能の確立
2. 健康	宇宙における健康の維持
3. 教育	宇宙生活のノウハウの一般化
4. 個人活動(仕事含)	宇宙における活動の自由の担保
5. 政治的発言と統治	宇宙における活動のガバナンス
6. 社会的関係性	宇宙活動の意義の多様化と相互理解
7. 環境(現在・過去)	宇宙活動の継続的な安全性
8. 経済的不安・物理的危険	宇宙における権利の担保と保護

¹ Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress (CMEPSP)フランスのサルコジ大統領主導で2008年に作られた。GDPに代表される現在の統計では経済社会の実態を正確に捉えていないのではないかという問題意識の下、社会の豊かさ・幸福度を測定するにふさわしい指標を創出することを目的に提言。委員長は、コロンビア大学のジョセフ・スティグリッツ教授がつとめ、ハーバード大学のアマルティア・セン教授がアドバイザーの他アメリカ、イギリス、フランス、インドの専門家25名で構成。

4-2) 今日までの宇宙開発における人文社会科学領域が果たしてきた役割

宇宙開発領域は自然科学領域の研究だけでなく、人文社会科学領域の研究も従前から進められており、近年になり特にその多様性が広がってきている。例えば、古くは1984年に「社会科学と宇宙開発²」として宇宙開発と人文社会科学各7分野(経済学・歴史学・国際関係学・哲学・政治学・心理学・社会学)について、宇宙開発にどう貢献してきたのか、そして、宇宙からどう影響を受けたのかを先行研究を整理し総括している。

今回、今日までの宇宙開発における人文社会科学領域が果たしてきた役割を概観するにあたり、本邦において、どのような研究が宇宙開発文脈の下各人文社会科学分野で行われてきたか代表的な研究を整理した。人文社会科学領域においても多くの分野で宇宙開発と社会の関係性について多様な研究が行われていることがわかる。その上で、前項目で提示を試みた社会の豊かさの8つの観点の内特にどの観点に関係する研究が行われているかを把握するために代表的な研究をプロットした(表3b.2)。

実績は少ないものの各分野の代表的な研究がそれぞれ、社会の豊かさの中で特にどの観点で注目していたかをこの方法で考察すると、特に、人文科学系統において「なぜ人は宇宙開発を進めるのか」、「宇宙活動とは何なのか」といった宇宙活動の意義について比較的多くの考察が行われていることがあった(一例として、宇宙と人の関係性の研究の一環として作成された「宇宙芸術年表」を参照。人類は太古の昔から、宇宙に対する畏敬の念と未知の世界へ挑む対象として宇宙芸術も生み出してきた。<http://space-art-tanegashima.jp/pdf/chronology.pdf>)。一方で、JSASS宇宙ビジョン2050の実現に向けては、実業に近い領域である社会科学系統や学際系統でも研究の一層の促進が望ましい。

4-3) 今後、宇宙開発における人文社会科学領域が果たすべき役割

これまでの70年間の歴史の中で、限定的な政府原資を宇宙開発に配分するべきなのか、あるいは、宇宙へのアクセスが安定的に運用される公共インフラとしてどのように開発を進めるべきなのか、という段階では宇宙活動の目的そのものや、あるべき姿についての議論は必要だった。しかし、近年の民間主体の宇宙活動の広がりを見れば、政府の政策方針があろうとなかろうと、人間社会の宇宙への継続的な伸長は確実なものになってきている。そのためには、そうした哲学的な議論からさらに踏み込んで、人間社会が宇宙に存在することをそもそも所与とした場合に、そうした社会における人間活動を直接支える研究が必要なのではないだろうか。

具体的には、宇宙活動にどのような秩序が必要か、どのように秩序や活動の安全性を確立するべきなのか、或いは、人類が地球を離れ宇宙へと活動領域を広げた場合心身の健康はどのように維持されるべきか、といった研究は、近年その萌芽が多数見受けられるようになったものの、

² NASA “Social Science & Space Exploration” (1984)

依然研究業績の積算が求められると考えられる。宇宙ビジョン2050を実現するために、宇宙に広がる人間社会をいかに豊かにするかという観点において、宇宙に行くことの意義の研究から、より実質的な段階へと人文社会科学系領域の研究の発展の方向性が求められている。当然ながら、そうした新たな段階の研究を進める上でも、また、宇宙ビジョン2050実現のためにも、更なる関心・プレイヤーの増加が望まれるのは確かである。

表3b.2. 宇宙における社会の「豊かさ」に求められる項目と現在の研究業績例の関係

			生活水準	健康	教育	仕事/ 個人活動	発言・ 統治	社会的 関係	環境	不安・ 危険
宇宙文脈として			経済活動 確立	健康維持	ノウハウ 一般化	自由の担保	ガバナンス 確立	活動意義 多様化	継続的 安全性	権利の 保護・担保
カウント			8	1	5	4	5	11	3	5
(領域)			(代表研究例)							
人文 科学 系統	文化人類学	宇宙人類学						○		
	倫理学	宇宙倫理学						○		
	宗教学	宇宙研究と宗教研究	○					○		
	哲学	宇宙を哲学する	○					○		
	教育学	宇宙箱舟ワークショップ			○			○		
	考古学	宇宙考古学						○		
学際 系統	情報学	ビックデータの適用	○						○	
	総合科学	宇宙開発分野ジャーナリスト					○	○		○
	国際関係論	宇宙開発と国際政治	○				○		○	○
	心理学	宇宙航空心理学		○	○					
	芸術	宇宙芸術	○			○		○		
	経営学	宇宙開発社会・経済波及効果	○			○		○		
社会 科学 系統	統計学	統計計算宇宙物理学			○					
	法学	宇宙基本法				○	○		○	○
	政策学	科学技術ガバナンス			○			○		○
	社会学	宇宙開発世論の分析				○	○	○		
	経営学	訓練マネジメント能力開発	○		○					
	金融論	宇宙機器リース	○				○			○

参考) 宇宙総合政策ビジョン小委員会メンバーの構成:

水野 素子(主査)	宇宙航空研究開発機構
菊地 耕一(副主査)	宇宙航空研究開発機構
相原 素樹	宇宙航空研究開発機構
青木 節子	慶應義塾大学
岩城 陽大	宇宙航空研究開発機構
岩下 明弘	三宅・今井・池田法律事務所
岩渕 泰晶	宇宙航空研究開発機構
大久保 倫子	宇宙航空研究開発機構
落合 美佳	宇宙航空研究開発機構
金山 秀樹	シー・エス・ピー・ジャパン(株)
川口 淳一郎	宇宙航空研究開発機構
北村 尚弘	センチュリー法律事務所
楠本 維大	楠本法律事務所
栗山 育子	宇宙航空研究開発機構
小菅 敏夫	デジタルハリウッド大学
小塚 莊一郎	学習院大学法学科教授
小山田 裕彦	種子島宇宙芸術祭事務局
坂本 香子	宇宙航空研究開発機構
相良 由里子	中村合同特許法律事務所
佐藤 雅彦	宇宙航空研究開発機構
竹内 悠	宇宙航空研究開発機構
永井 希依彦	有限責任監査法人トーマツ
橋本 靖明	防衛研究所
羽生 哲也	三菱総合研究所
村山 裕三	同志社大学
吉富 由稀	宇宙航空研究開発機構
渡邊 浩崇	大阪大学
城山 英明	東京大学
中谷 和弘	東京大学
龍澤 邦彦	立命館大学
堀川 康	宇宙航空研究開発機構
山北 和之	日本航空宇宙工業会
宇治 勝	日本航空宇宙工業会

5) 宇宙の人文・社会科学研究のロードマップ【2019 年度増補】

5-1) 背景及び検討の目的

第 2 章に示す「宇宙ビジョン 2050」の実現に向けて人文・社会科学と宇宙との関わりについての検討を 2019 年度に行った。宇宙法政策委員会の下部組織である人文・社会科学小委員会での検討を行うことになり、同小委員会の有志と外部有識者の参加を得て開催された研究会で本項がまとめられた。研究会に参加したメンバーは本節の最後に示す。

研究会では、まず宇宙の人文・社会科学研究に関連する各方面のこれまでの活動を総括し、「月の人間社会」が 22 世紀後半には実現すると想定した際に不可欠になる人文・社会科学分野の主要な研究課題を抽出、これを基にして、「宇宙の人文・社会科学研究のロードマップ」を構想することを主な目的とした。なお、本項は短期間における試行的検討であるが、宇宙の人文・社会科学研究の重要性が浮き彫りになっている。

5-2) 宇宙の人文・社会科学研究への期待³—宇宙物理学や天文学の視点から

古来より人は星や宇宙への関心を持ち続けて天文学が育まれ、算術、幾何、音楽とともに人類が取り組んだ最も古い学問と言われる。人は天を読んで暦を編み出し、為政者は暦を祭祀と政治に活用し、人々は農業を始めとした日常生活に暦を利用した。人は夜空の星を見上げて悠久の宇宙に思いをはせた。星の光は宇宙の森羅万象を示す言葉であり、天文学はこの言葉を読み解こうとする営みでもあった。

20 世紀後半、人類に新たな視点が加わった。それはアポロ計画の月面着陸がもたらした人文的インパクトというべきものであった。宇宙空間に浮かぶ地球の姿が「宇宙船地球号」を彷彿とさせ、地球人類に新たな地球観や生命観を育んだ。そして 1995 年以降の数々の系外惑星の発見、特にハビタブルゾーンに位置している多数の系外惑星の発見が、我々の宇宙観や生命観に衝撃的なパラダイムシフトをもたらそうとしている。地球外生命体の発見と交流による「地球人類を俯瞰する新たな視点」の獲得に近づいているという期待である。このパラダイムシフトは理工学上の発見を遥かに超えて、生命に関する根本的な課題を提起し、地球人類の文化や営みにも根源的な影響がもたらされるだろう。そのような宇宙時代を迎えている今、「宇宙の生命原理」と「地球生命の歴史と将来」を総合的に追究するために、理学(宇宙物理学や天文学)・工学(多様な技術開発)・生命科学(医学を含む)の研究のみならず宇宙に関連した人文・社会科学研究をも組み込んだ「文理融合の総合的取り組み」が不可欠な時代が到来している。

³ 縣秀彦『ヒトはなぜ宇宙に魅かれるのか 天からの文を読み解く』(2019)

5-3) 「宇宙の人文・社会科学研究」の分野開拓の試み⁴

ー宇宙への人類の活動領域拡大の視点から

(i) 「宇宙の人文・社会科学」の検討の流れ

ISS「きぼう」利用を中心に推進されてきた宇宙環境の利用，その初期利用段階の裾野拡大を目指して，次の方向で「宇宙の人文・社会科学分野」の取り込みが模索されてきた。（図 3b.4.）

- 「宇宙と人間との関係がより身近なものに感じられる文化，芸術，人文科学等の活動を推進する」という国の方針⁵（1996）を踏まえて，宇宙環境の人文社会的利用に対する可能性が検討された（1996～1999）。（国際高等研究所への委託研究として実施された。）
- その結果を踏まえ，芸術を人文社会的利用の先導的分野と位置付けた「きぼう」利用準備が進められ，当該分野では世界初の宇宙実験ミッションが実施された（2003～2012）。
- 一方，人文・社会科学全般に対しては，国際高等研究所の課題研究「宇宙開発・宇宙環境利用の問題ー人文・社会科学からのアプローチ」⁶が進められた（2003～2009）。
- その後，「有人宇宙活動に対して人文・社会科学研究が担うべき役割と当該分野の活動の望ましいあり方」についての検討が行われた（2012～2016）⁷。

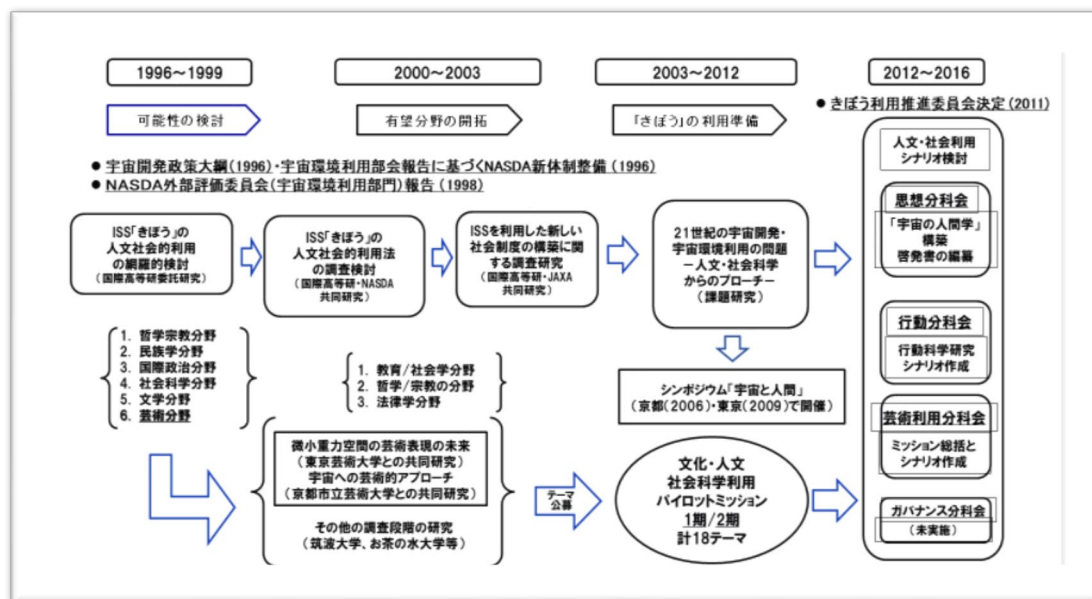


図 3b.4. 「宇宙の人文・社会科学」の検討の流れ

⁴ ISS「きぼう」利用に関わる NASDA/JAXA の取り組み

⁵ 宇宙開発政策大綱（1996 改定）を踏まえた宇宙開発委員会「宇宙環境利用部会報告」

⁶ 高等研報告『宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ』高等研報告書 0804（2009）（代表研究者：京都大学名誉教授・国際高等研究所フェロー 木下富雄）

⁷ JAXA 特別資料『「宇宙の人間学」研究会記録（その1）』（2016）

（<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/561720>）

(ii) 「宇宙の人文・社会科学研究」の位置づけ(ISS「きぼう」利用)

2009 年に「きぼう」の本格的な軌道上運用が開始されたのを受けて、2020 年までの約 10 年間の「きぼう」利用の重点課題の検討が行われて“「きぼう」利用シナリオ 2020”がとりまとめた(2010)。そのシナリオでは、「宇宙環境利用の研究領域」として図 3b.5.に示す分野の広がりがある前提とされた。

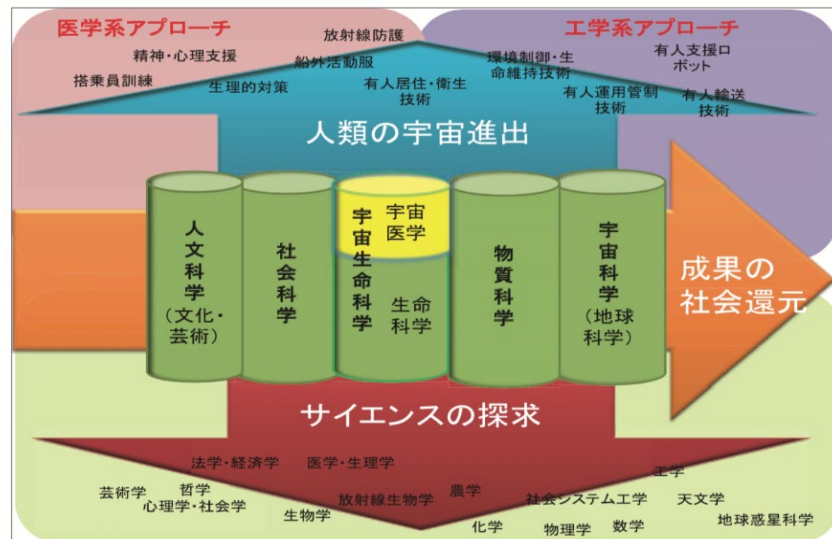


図 3b.5. 宇宙環境 (@ISS) を利用した研究領域

(iii) 宇宙芸術の芽生えー「きぼう」初期利用段階の人文社会の取り組みー

「きぼう」利用(「重力がない世界」という環境場の利用)の成立性も考慮され、下記の考え方に沿って、芸術という切り口で初期段階の ISS「きぼう」の人文社会的利用の取り組みが進められた。

- 「重力の無い世界」では地上における五感の働きが阻害されるために、人の認識、感覚、感情や記憶のプロセスが変化する。
- 芸術の創作活動で重要な環境認識や自己認識が地上とは異なる「重力がない世界」において、環境の受容や芸術表現がどのような形式を取るのかという疑問の本質に迫るために、精神・心理を含む分野横断の課題を、芸術を軸として検討する。

その流れを図 3b.4.の下段に示すが、具体的には、準備段階での複数の大学と NASDA/JAXA との共同研究や利用多様化のためのフィジビリティスタディ(アイデア公募と、提案者と NASDA/JAXA との共同研究)が実施された。その成果を踏まえ、「文化・人文社会科学利用パイロットミッション」⁸として2回のアイデア募集が行われ、ISS 利用として世界初の人文社会分野の宇宙実験ミッション(計 18 テーマ)が実施された(2008～2012)。この実験ミッションは、「芸術家(テーマ提

⁸ JAXA 特別資料『文化・人文社会科学利用パイロットミッション成果報告書』(2015)
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/559609>

案)」、「JAXA 技術者(実験準備)」、「宇宙飛行士(実験実施)」の三者が協働して創り上げた、全く新しい概念の「芸術共同実験」であった。

(iv) 多彩な活動の展開

JAXA での ISS「きぼう」での宇宙芸術実験を皮切りに、宇宙芸術を中核とした人文・社会科学分野の様々な取り組みが加速した。また、国立天文台でも独自の科学文化創造事業が推進されてきた。これらの活動に参加したアーティスト、キュレーター、宇宙機関職員などの有志を中心に宇宙芸術の研究と実践を行う宇宙芸術コミュニティ「beyond⁹」も 2010 年に結成され、東京都現代美術館『ミッション[宇宙×芸術]』展(2014)¹⁰、種子島宇宙芸術祭(2017-)、宇宙芸術年表¹¹の作成等、芸術を切り口に宇宙と社会・人類をつなぐ多彩な活動が様々な場面で展開されている。

5-4) 宇宙滞在の普及がもたらす意識や社会の変化

歴史的にも地動説の「コペルニクスの転回」など、科学技術の進歩により、人類は新たな視座を得てきた。JSASS2050 が実現する未来では市民が宇宙に滞在しており、人類の意識と社会に以下のような様々な変革をもたらすだろう。

(i) 地球近傍の宇宙旅行～重力・地球環境からの解放～

地球周回低軌道の大型宇宙構造物等を訪れる人々は、重力から開放された環境でレクリエーションやアクティビティを楽しむだろう。芸術には人をリラックスさせる効果があり、物理法則の違いを実感できる墨流し水球や舞踊などの芸術体験は、感性にも強く訴えるだろう。そして、地球に帰還した際は、重力や大気などの地球の環境や現象に新鮮な認識を持つだろう。

(ii) 月旅行～「俯瞰的な視点」の広まり～

アポロ計画で人類が目の当たりにした宇宙空間に浮かぶ閉じた系としての儚い地球は、「宇宙船地球号」に象徴される俯瞰的な視点を提起し、地球環境問題への意識向上につながった。多くの人が月から地球を眺め、人為的な国境のない地球、漆黒の中に青く美しく輝く儚い姿を目の当たりにし、俯瞰的な視座を得る実体験が一般に広まれば、地球環境や平和の大切さへの認識が高まるだろう。

(iii) 宇宙における人類の生活様式の変容～宇宙生活デザインの形成～

われわれは暮らしの中に求められる道具・日常品のデザインを最適化し適応してきた。月での生活で、地上とは異なる環境要件が求められる中で、新たな「月生活」を想定したデザインを提唱し、適合するように努める必要がある。

⁹ <https://www.facebook.com/beyond.spaceart>

¹⁰ <https://www.mot-art-museum.jp/exhibitions/cosmology/>

¹¹ <http://space-art-tanegashima.jp/pdf/chronology.pdf>

(iv) 地球外生命体の発見～人類概念や宇宙の連続性・一体性の認識～

利休は、想像力により狭い茶室に無限の世界(宇宙)を見出した。また、ISS 宇宙実験「光跡を伴う彫刻 Spiral Top」(2008-11)は、DNA の二重らせんと宇宙のスパイラル構造のつながりを視覚化した¹²。天文学の発展で地球外生命体が発見されるなら、理工学を超えて、哲学や宗教を含む人類の社会・文化に根源的な影響をもたらすコペルニクス以来の新たなパラダイムシフトとなる可能性がある。そして、地球外生命体と対峙する存在として人類全体を俯瞰的にとらえ、人類共通の価値観や平和を重視する「人類概念」が構築される可能性がある。一方、地球外生命体と人類に科学的な共通点が確認された場合、地球上の生命の起源に新たな可能性を提示する。さらに、元素レベルの物理的な組成では、地球もヒトも宇宙の一部であること、すなわち、宇宙(universe)とは「神羅万象」に象徴されるように、地球と対峙する存在ではなく本来地球との連続性を有することも再認識するだろう。

(v) 「宇宙社会」の建設～国家概念を超えたコスモポリタンの形成～

様々な国籍の人々が国家・文化の違いを超えて月に社会を形成すれば、領土や国民を前提とする従来の国家概念と異なる新たな領域概念(宇宙社会、コスモポリタン)が生まれる可能性がある。そのような社会の統治はどのような形で形成されるのか、法政策分野での検討が必要となる。宇宙社会のガバナンスを適切に行うためには、宇宙環境での行動の変容について、生物学・社会学・心理学などを含む総合的な検討も必要となるだろう。宇宙社会においては地球の環境・文化から解放された新たな芸術も創造され、やがて新たな文化や文明が形成されるだろう。

5-5) 「宇宙に対する人類の取組み」と「月の人間社会」構築の道筋

ー「月の人間社会」構築に向けた「宇宙の人文・社会科学研究」のビジョン(案)ー

「人類の宇宙進出」で人文・社会科学研究が担うべき役割は何か？ この問いに答えるには、「宇宙と人間の関わり」を文理融合の立場から総合的に捉える適切な視座が必要になる。この目的から、「宇宙への人類の(当面の)取組み」の姿を鳥瞰的に捉える試みがなされた(第 5-3)項の脚注 7 参照)。それが「図 3b.6. 宇宙への人類の取組み(宇宙曼荼羅図)」ある。人類の宇宙進出の流れを示すこの図から、①「人類の宇宙進出」の発展段階の可視化、②各段階における「自然科学・工学・技術開発面での課題」、そして、③各段階で顕在化する「人文・社会科学面の課題」を示し、「自然科学・工学・技術開発」と「人文・社会科学」の協働の取り組みとして進められるべき「人類の宇宙進出」の姿が浮き彫りになってくる。「月の人間社会」についても、その構築の段階的取り組みをこの図に投影することで、「宇宙の人文・社会科学研究」の位置付け(役割)がイメージしやすくなる。

¹² 逢坂卓郎「光跡を伴う彫刻 Spiral Top」(2008-2011)

https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=28818&item_no=1&attribute_id=17&file_no=1

(i) 宇宙曼陀羅図

宇宙を対象とした自然科学・工学系と人文・社会科学系の連携した活動の様相を把握しやすくするために、密教の「曼荼羅図」の名を借りて「宇宙曼陀羅図」と称したが、その概要は：

- 縦軸は 18 世紀末から 300 年程度の範囲で、「憧れ/好奇心/パイオニア精神」が端緒となる。
- 左端の「宇宙システムの発展」は宇宙機や運用システムなどインフラ群の発展段階を示す。
- 「低軌道往還」や「月面探査」の宇宙システムが稼働し始めた頃、地上の活動では、自然科学と人文科学それぞれの分野で様々な可能性追究の試みがなされた。
- これら諸活動が、宇宙システムへの新たな要求になって次の段階への発展を後押しし、その結果、自然科学・工学活動と宇宙システム開発並びに人文・社会科学活動とが「共進」的に発展した。
- 次の「低軌道常時滞在」の段階では、活動規模の拡大に伴って自然科学・工学系と人文・社会科学系の連携活動が不可欠となり、地球と宇宙の協調行動がより一層強調されるだろう。
- 更に進んで月や火星を含む「深宇宙の探索活動」の段階では、宇宙滞在が常態となり、「生存・活動圏の拡大、地球と宇宙の調和、人類の福祉」などの諸課題への取り組みがなされるだろう。

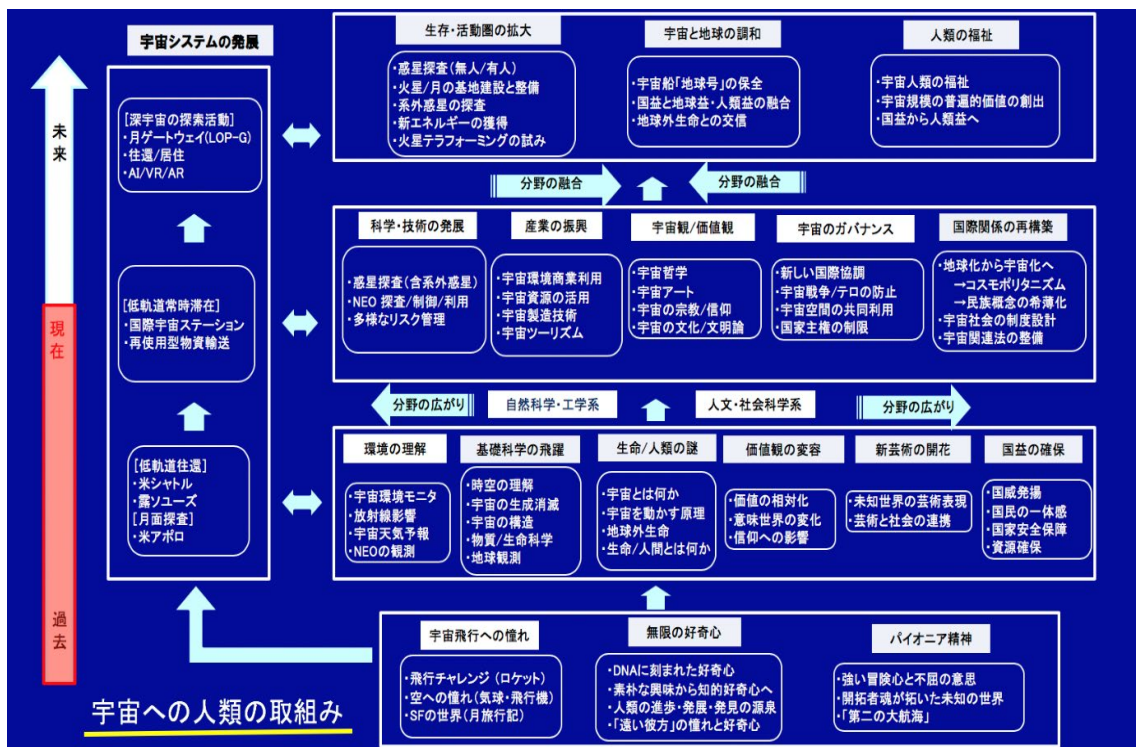


図 3b.6. 宇宙への人類の取り組み(宇宙曼陀羅図)

(ii)「月の人間社会」構築への道筋と人文・社会科学研究のロードマップ(案)

「月の人間社会」がどのように構築されるのか、その道筋に対応した人文・社会科学面の研究課題を抽出するために、「参考文献」¹³を踏まえて、次の4つの段階をその道筋として仮定した。

【第1段階】「ロボット探査ミッション」の実施,「前哨基地」の建設

【第2段階】最初の「月面基地」の建設,「月資源利用」着手,南極域での「人間活動」の展開

【第3段階】「月資源利用」の物資製造,南極域の「社会インフラ」の整備拡充,「居住環境」整備

【第4段階】南極周辺域の「居住環境」整備,全球での「社会インフラ」整備拡充,「人間の移住」

一方,「JSASS 宇宙ビジョン 2050」の「月面基地」構築は、概ね【第1段階】の初期に相当し、それに先立つ【準備段階】を追加想定した上で、宇宙ビジョン 2050 に対応する人文・社会科学研究の主要課題を抽出、当面のロードマップ(案)として集約した。これを表 3b.3 にとりまとめる。

5-6) まとめ(「宇宙の人文・社会科学研究」推進のビジョン)

第2章の宇宙ビジョン 2050 はその延長線上に「“地球を含む”宇宙の人間社会」(「月の人間社会」建設は、その最初の取り組み)を想定している。その実現には人間が介在し、宇宙の環境問題を包含する SDGs を含めた人文・社会科学研究の取り組みが不可欠なものとなるだろう。

レオナルド・ダ・ヴィンチが科学者・技術者であり同時に芸術家(アーティスト)でもあったように、かつて科学技術と芸術(アート)は共にあった。近年は異なる学問・職業として発展を遂げたが、宇宙の人間社会を実現するためには文理を融合した総合的な検討が不可欠である。すなわち、これまで宇宙開発利用に関する研究の中核をなしてきた理学・工学・技術開発・医学の分野、および、近年研究が進む宇宙法・国際政治や宇宙芸術の分野だけでなく、人文・社会科学の多彩な分野も本質的に関わってくる。

本項は、日本航空宇宙学会が初めて「宇宙の人文・社会科学」に関する検討を行った成果であるが、ごく限られた期間・参加者による検討であり、検討はまだ端緒に過ぎない。今後も日本航空宇宙学会が人文・社会科学分野の研究開拓や研究推進に取り組むとともに、学際的な交流も促進し、人類が英知を結集して宇宙の人間社会を実現するための役割を積極的に果たすことが期待されている。

¹³ 「参考文献」 David Schrunk / Burton Sharpe / Bonnie Cooper / Madhu Thangavelu : “THE MOON-Resources, Future Development, and Settlement” 2nd Ed. Springer PRAXIS (2008)

表 3b.3. 「宇宙の人文・社会科学研究」のビジョン(案)＜当面の研究課題の展望＞

分野	現在までの活動実績 (ISS 等での活動)	【準備段階】の主要課題 現在～2030 頃	【第 1 段階】(初期)の主要課題 2030 頃～2050 頃
ガバナンス	1. 宇宙条約(1967) 2. 月条約(1979) (その他、国連の「宇宙の平和利用に関する委員会」の活動が継続中) 3. 宇宙ステーション計画 IGA(1988) 及び MOU(1989) 4. JSASS 宇宙法政策委員会の活動	「月のガバナンス」の理念構築と法体系整備 1. 宇宙開発利用の法体系に関わる国際合意 2. 月資源利用の国際取り決め 3. 民間事業者の月開発利用の国際協働プロジェクト参入に関わる法律整備並びに国際合意 4. 「月のガバナンス」の理念構築 5. 「月政府」の理念並びに概念の提案	1. 「月のガバナンス」設立の準備活動 2. 専門要員の養成確保(専門教育・人員養成のための国際教育機関の設置と運営) 3. 「地球と月の連携活動」(NGO・NPO・各種民間事業者の参入を含む)を可能にする法体系の整備 4. 「月から地球への貢献」に関わる法的枠組み整備
人文学	1. 国際高等研究所の取り組み(1996-2008) 2. NASDA/JAXA の取り組み(1996-2015) 3. 京都大学の取り組み(宇宙総合学ユニット:人文学を含む総合的な取り組み)(2008-) 4. 宇宙人類学の挑戦 5. (日本文化人類学会)	主として、「月への生活圏拡大」、「地球社会と月社会の協力連携」、及び「地球と月の持続的発展」のための理念構築(「月のガバナンス」の理念に反映) 1. 「人類の宇宙進出」・「月の開発利用」・「月の人間社会の建設」に関わる基本理念の構築 2. 「地球への貢献」に関わる基本理念の構築	主として、人文学に関わる地球と月の連携活動の促進 1. 文化・教育面での地球と月の連携 2. 月から地球への貢献(新たな「宇宙の視座」、「観光資源としての月の価値」等) 3. 月の文化創生の取り組み 4. 月を足場にした「宇宙と人間」の取り組みの模索
社会科学	(これまで宇宙や月に特化した取り組みはない) (地球の南極基地の越冬隊員に関するに社会科学的研究の実践実績あり)	地球外人間社会のガバナンス構築のための社会科学実験(月社会を中核とした地球外人間集団の社会ルール構築) 1. 「軌道上施設」での小規模人間集団に関する行動科学研究(精神・心理学を含む) 2. 「月面基地」並びに「月の人間社会」を想定した大規模人間集団に関する行動科学研究(精神・心理学を含む)	「月の人間社会」の成立のための社会科学の実践的取り組み(科学実験) 1. 月の閉鎖環境での滞在に対する精神・心理問題の対処 2. 月の居住環境・生活環境・レクリエーション環境の提案(バックミンスター・フラーの活動と類似の活動の模索) 3. 「月の人間社会」を想定した異文化交流の試み
芸術	1. 「きぼう」利用の文化・人文社会科学利用パイロットミッション(2009-2012) 2. 宇宙芸術を対象とした展覧会(企画展)等 (その他、多様な取り組みが存在)	新たな「アート概念」の提案・創出の試み 1. 月での芸術活動を視野にいった「宇宙芸術」の模索 2. 人類が宇宙で生活することを前提とした「宇宙生活デザイン」領域の研究	初期の月面基地での「月アート」実践 1. アーティストによる月での宇宙芸術の取り組み 2. 「宇宙生活デザイン」の実践と研究開発 3. 旅行者への普及啓発
月のSDGs	「月」に特化した SDGs の取り組み実績なし (Sustainable Development Goals)	「月の SDGs」の設定に向けた活動 1. 「地球の SDGs」に対応した「月の SDGs」の概念構築 2. (「月の社会的共通資本」の概念検討)	1. 「地球と月」を人間の活動圏・生活圏と見なした際の「包括的 SDGs」の設定 2. (「地球と月」を包括した「社会的共通資本」の理論構築の試み)

参考) 宇宙の人文・社会科学研究のロードマップ検討研究会のメンバーの構成(五十音順):

縣秀彦	国立天文台【話題提供】
逢坂卓郎	筑波大学【話題提供】
大塚成志	宇宙航空研究開発機構
内丸幸喜	高エネルギー研究所
坂本香子(幹事)	宇宙航空研究開発機構【5-4)執筆・全体編集】
清水順一郎	元宇宙航空研究開発機構【5-3), 5-5)執筆】
中島史朗	宇宙航空研究開発機構
堀川康	元宇宙航空研究開発機構
水野素子(主査)	宇宙航空研究開発機構【全体企画・編集】
室山哲也	元NHK
森山朋絵	東京都現代美術館【話題提供】
森脇裕之	多摩美術大学【話題提供】
柳川孝二	元宇宙航空研究開発機構【5-3), 5-5)執筆】

4. おわりに

2050年を念頭に置いて宇宙空間で展開が期待される「宇宙ビジョン」を描いた。そこには地球近傍の宇宙はすでに人類の活動の場としての地球社会の一部となっており、月や火星には人類が定常的に滞在する世界が見えた。人々が宇宙を観光旅行することが日常的となり、人類は様々な場面で宇宙活動の恩恵を受けている社会が築かれていた。知の探究活動である宇宙探査では、研究者のみならず多くの人々から新たな発見に期待が寄せられており、多数の探査機が太陽系内を移動していた。宇宙活動の発展により、人類は豊かな世界を手中にしていた。このような宇宙ビジョンの世界は突然現れるものではなく、各分野の発展により実現するものである。科学技術領域ならびに人文社会科学領域での発展の道筋をロードマップとして示した。

科学技術領域では、宇宙活動の成果が人々の暮らしの豊かさに還元される社会を生み出す「宇宙利用」と人間の持つ知の探究への欲望が人々の好奇心を騒ぎ立てる「宇宙探査」の二本柱の発展状況を示した。この発展を支える分野として、宇宙輸送、宇宙建築、宇宙機、宇宙ロボット・情報、宇宙科学探査の各展望を技術ロードマップとしてまとめた。これらの分野が互いにリンクしながら成熟し、様々なサービスを生み出すことで宇宙利用と宇宙探査活動の発展を支え、宇宙ビジョンに繋がる道筋を示した。既存技術の延長線上にある継続的向上もあれば、急激な発展による不連続的向上もある。出口を見据えた技術開発の重要性を示すとともに、第六感が生み出すイノベーションに期待する萌芽研究の重要性も見えてきた。豊かな宇宙社会を構築するためには、成果重視の深みを評価する開発研究のみならず、発想重視の広さを評価する萌芽研究も同等に発展させることを期待したい。

法政策をはじめとした人文社会科学領域でも意欲的な研究の推進が不可欠である。近年の宇宙法政策分野の研究への関心の高まりに伴い、JSASSは2017年度に宇宙法政策委員会を臨時委員会として新設し、研究の促進に向けた環境の整備に着手している。今後より幅広い法政策分野でも研究が推進されることにより、宇宙法政策に関する研究が質量ともに高まり、宇宙法政策の実務にも資することが期待されている。未来の宇宙開発利用を支える新しい法政策の形成のためには、多様な分野の視点を取り込む必要があり、学際的な研究が求められている。人文社会科学領域の全てが法政策・行政実務や経済・実業に直接的につながるものではないが、人と宇宙の関わりを根源的に探求する研究は、宇宙開発利用の理念を明らかにして活動の支柱となる普遍的な価値も有することを忘れてはならない。本ビジョンを契機に、法政策分野はもちろん、幅広い人文社会科学分野において、宇宙に関する研究への関心が高まり、様々なバックグラウンドのプレイヤーが連携し切磋琢磨し、実りある研究成果が多く創出されることを期待したい。

様々な分野の研究開発を支えているのは、やはり人である。描いた宇宙ビジョンならびにロードマップを実現する主役は人である。人無くして、発展なし。宇宙活動の発展を支える研究者・実務者を育てる人材育成が重要であることは周知の事実であるが、この活動を広く人々に伝えるコミュ

ニケーターの育成も強化しなければならない。人々が宇宙活動の恩恵を受けていることを知り、宇宙活動への期待を膨らませるには、情報伝達の担い手であるコミュニケーターが重要な役割を担っている。宇宙活動は人類の共通したひとつの土俵の上で展開されている。人類が一丸となるには、研究者・実務者は国際的な活動を強化して国境なき活躍舞台を構築し、その成果や効果を情報発信することで世界中の人々が宇宙活動に関心を持つことが必要である。宇宙活動を通して、地球上の人々が共通の認識を持ち、全ての人々が豊かな社会を手中にすることを期待している。

宇宙における人類の活動は過去50年間に目覚ましい発展を遂げた。その発展の速度は今後も加速していくことが予想される。この発展を継続させるためには常に新たな宇宙ビジョンを持つことが必要不可欠である。当「JSASS宇宙ビジョン2050」は2018年度に議論した内容に、増補版である第3章a)5)項と第3章b)5)項を2019年度に追加したものである。今後も宇宙活動が発展を持続し続けるならば、日本航空宇宙学会としても新たな宇宙ビジョンを発信し続ける必要がある。次の宇宙ビジョンの発信は5年後あるいは10年後になるかは現時点では断言できない。しかし、宇宙活動の発展に応じて宇宙ビジョンを改訂して頂くことを将来の学会にお願いしたい。

【資料】 日本の宇宙活動の歩み

日本航空宇宙学会が日本航空学会から名称を変更して半世紀が経った。その間に日本の宇宙活動は目覚ましい進展を遂げた。当資料では、日本の宇宙開発の歴史を創成期から現在に至るまでをまとめたものである。

表A.1 日本の宇宙活動の歩み(1955年～1984年)

打上げ実績		関連事項	
1955	ペンシルロケットの飛翔実験が行われ、宇宙時代が幕開け	1957	国際地球観測年に日本が参加し、宇宙活動の国際協力が開始
		1959	国内で開催される宇宙関係の国際会議ISTS ⁽¹⁾ が開催
1960	カッパ8型ロケットが高度200kmを越えて、電離層を観測	1960	宇宙科学技術シンポジウム(後の宇宙科学技術連合講演会)が開催
		1963	日米間TV中継が開始され、放送への衛星利用が開始
1966	ラムダ3H型ロケットが高度1800kmを達成し、バンアレン帯などを観測	1967	日本航空学会がIAF ⁽²⁾ へ加盟し、国際的な宇宙関係学会へ進出
		1968	日本航空学会が日本航空宇宙学会へ名称変更し、翌年に社団法人化
		1969	宇宙開発事業団が設立され、本格的な宇宙事業が展開
1970	日本初の人工衛星「おおすみ」がラムダロケット(L-4S-1)で打上げ	1972	開発から運用の中心となる宇宙開発事業団の筑波宇宙センターが開設
1975	2段目に初の液体エンジンLE-3を搭載したN-1ロケットが打上げ	1977	実用衛星(気象:ひまわり、通信:さくら、放送:ゆり)の打上げが開始
1977	初の静止衛星となる技術試験衛星きくⅡ型が打上げ		
1982	技術試験衛星きくⅣ型が打上げられ、イオンエンジンの動作実験を実施	1984	NHKがBSによる衛星放送(1987年から24時間放送)を開始

ISTS:宇宙技術および科学の国際シンポジウム

IAF:国際宇宙航行連盟

表A.2 日本の宇宙活動の歩み(1985年～2018年)

打上げ実績		関連事項	
1985	初の人工惑星となるハレー彗星探査機「さきがけ」「すいせい」が打上げ	1989	宇宙科学研究所が東京都から相模原市へ移転
1990	初の月周回衛星「ひてん」が打上げられ、月スイングバイを実施	1990	民間人の秋山氏による宇宙飛行が実施され、日本人宇宙飛行士が誕生
		1992	CS放送が開始され、民間企業による衛星放送事業がスタート
1994	初の国産ロケットであるH-IIロケットが打上げ	1993	衛星設計コンテストが開催され、アマチュア衛星による宇宙活動が展開
1998	火星探査機「のぞみ」が打上げられ、2003年に火星へ到達・観測		
1998	技術試験衛星きくⅦ型が打上げられ、ランデブードッキング実験を実施		
2003	小惑星探査機「はやぶさ」が打上げられ、サンプルリターンを実施	2003	宇宙三機関を統合して宇宙航空研究開発機構が発足
		2003	東大・東工大が小型衛星を打上げ、大学等の小型衛星製作が活性化
2005	衛星「きらり」が打上げられ、欧州衛星ARTIMESと光通信実験を実施		
2007	月周回衛星「かぐや」が打上げられ、2009年まで月観測を継続	2009	国際宇宙基地の「きぼう」実験棟が完成し、本格運用を開始
2010	金星探査機「あかつき」が打上げられ、2015年に金星周回軌道へ投入		
2010	「イカロス」が打上げられ、ソーラーセイル推進を実証		
2010	小惑星探査機「はやぶさ」が帰還し、小惑星「イトカワ」の岩石を回収		
2013	固体ロケットのイプシロンが内之浦の鹿児島宇宙空間観測所から打上げ	2012	日本航空宇宙学会は一般社団法人へ移行