

# 宙を拓くタスクフォース

## 報告書（案）

そら ひら  
宙を拓くタスクフォース

## 目次

はじめに	1
第1章 宇宙産業の変容と政府の取組	3
1-1 閉鎖された宇宙産業から開かれた宇宙産業へ	3
1-2 宇宙産業における政府の取組	13
第2章 宇宙産業の市場規模・動向	18
2-1 国内外における宇宙産業の市場規模	18
2-2 宇宙産業の動向	22
第3章 宇宙利用において目指すべき将来像	30
3-1 2030年代以降の宇宙利用の将来像	30
3-2 宇宙産業の市場予測	37
第4章 宇宙利用の将来像を実現するための課題	44
4-1 将来像実現のための25課題	44
4-2 喫緊に取り組むべき課題の整理	58
第5章 将来像の実現に向けてICT分野において取り組むべき事項	60
5-1 5つの事項（9課題）の問題意識と対応方針	60
5-2 宇宙×ICT事業化促進プログラム	67
おわりに	68

はじめに

人類初の人工衛星「スプートニク 1号」が1957年に打ち上げられてから、既に60年以上が経過した。また、日本初の人工衛星「おおすみ」が1970年に鹿児島県の内之浦町から打ち上げられてからも、半世紀が経過しようとしている。

この間、人工衛星は通信、放送、気象の分野から実用化が始まり、今では、地球観測、測位、太陽・天文観測等へとその活用の幅が広がるとともに、人工衛星以外にも月・惑星探査、国際宇宙ステーションなど、宇宙空間における人類の活動領域も飛躍的に拡大してきた。

そして、今世紀に入り、世界的に、ベンチャー企業や異業種からの参入によって宇宙に関わるプレイヤーが大きく変容してきており、それに伴って宇宙産業市場も活性化してきている。具体的には、従来は民間企業が政府からの公的事業として、国家主導の宇宙開発プロジェクトを受託することで宇宙産業を牽引してきたが、近年の技術進歩などを背景に、米国を中心に、衛星活用サービスや輸送システムなどの分野に、様々な民間企業が独自のサービスを展開するに至っている。

また、現在、地球上では、人口問題、資源・エネルギー枯渇、環境汚染等多くの課題が山積している状況である。こうした課題に対して、宇宙利用の推進は、先駆的なイノベーションによる打開策を導き出すために有効であると同時に、人類を新たな高みへと引き上げる可能性を秘めており、その期待は極めて大きい。

このような現代社会が抱える社会的課題の解決を図っていくことを目的に、2017年12月に「宇宙利用の将来像に関する懇話会」を立ち上げ、宇宙利用におけるイノベーションによりもたらされる将来像について幅広く懇話することにより、短期的及び長期的に取り組むべき方策について検討することとした。

短期的方策としては、衛星データのより一層の利活用が必要と考え、2018年2月から、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」の下で、「4次元サイバーシティの活用に向けたタスクフォース」を開催し、AIを活用した効率的な時間差分抽出等が衛星データ利活用拡大の鍵であると認識し、シーズ発ではなくニーズや実証実験等から得られた知見を踏まえた研究開発を新たに開始するなど、関係府省庁・機関のリソースやスキームを総動員し、民間企業とも協働して衛星データの利活用促進を進める必要がある旨をとりまとめた報告書を2018年7月に公表した。

長期的方策については、同懇話会の下で、今般、「宙を拓くタスクフォース」を開催し、日本においても、宇宙を新たなビジネスフロンティアとして捉え、ベンチャー企業等における新しい活力の参入を促し、社会的課題の解決と市場の活性化を合わ

せて実現していくために何をしなければならないか、2030年以降を想定した宇宙利用の将来像を描き、その実現のための課題、そしてICT分野において喫緊に取り組むべき事項等について、鋭意調査・検討を進めてきたところである。

本報告書は、2018年8月から精力的に取り組んできた本タスクフォースにおける調査・検討の結果について、とりまとめたものである。

## 第1章 宇宙産業の変容と政府の取組

近年の宇宙産業は世界的に大きな転換期を迎えており、ベンチャー企業等が台頭するとともに、各国政府も市場活性化に向けた取組を推進している。

### 1-1 閉鎖された宇宙産業から開かれた宇宙産業へ

#### 1-1-1 従来の宇宙産業の潮流

従来の宇宙産業開発は、高度な技術と多額の開発費が必要であるため、利益回収が難しく、また、民間企業が自らサービスを提供するには参入障壁が高い分野であった。そのため宇宙産業といえば、民間企業が公的事業という位置付けで、政府等（NASA（アメリカ航空宇宙局）、ESA（欧州宇宙機関）、JAXA（宇宙航空研究開発機構）等）の宇宙開発プロジェクトを受託し、衛星を開発・製造・運用したり、ロケットを打ち上げたりするという産業モデルが一般的であった。例えば、米国ではLockheed Martin社やBoeing社、Northrop Grumman社、Space Systems Loral社、欧州ではAirbus社やThales Alenia Space社、Arianespace社など、ロケットや人工衛星の開発を担当する企業が牽引してきた。日本のロケット開発も、液体燃料ロケットであるN-ロケット、H-Iロケット、H-IIロケットなどの開発・生産・打上げを三菱重工業（株）が、小型の固体燃料ロケットであるイプシロンロケットを（株）IHIが担ってきた。このように、官需に牽引されて発展してきた宇宙関連の民間企業は、Established Space（Old Space）と呼ばれている。

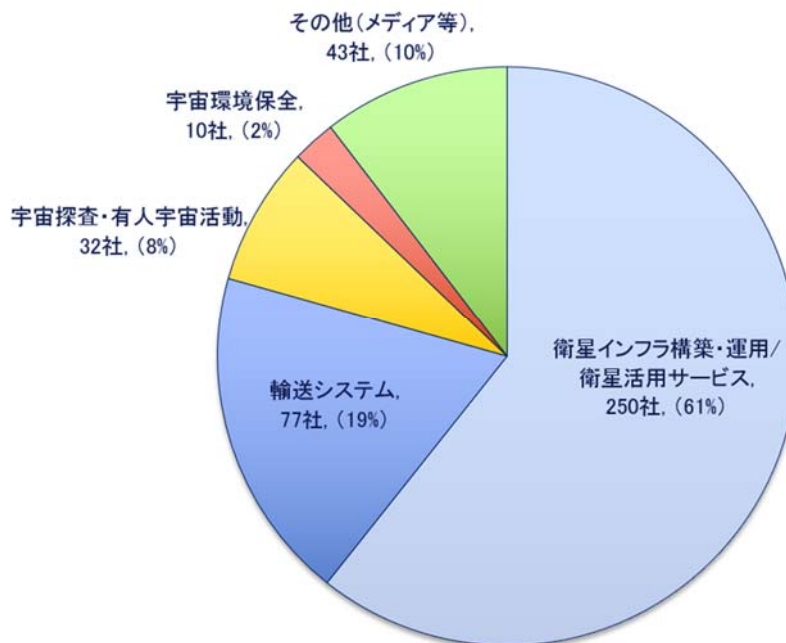
#### 1-1-2 ベンチャー企業の台頭

一方、これまでは国主導の宇宙開発プロジェクトが一般的であったのに対し、ここ数年、世界中でEstablished Spaceとは異なる民間企業の宇宙産業への参入が活発化し、宇宙産業をリードするプレイヤーが変化してきている。その背景としては、技術の進歩により、ロケットや人工衛星の開発や打上げにかかるコストが下がったこと、低コスト化が進んだことでベンチャー企業が参入しやすくなったこと、宇宙産業が参入するに値する分野と認知されてきたこと等が挙げられる。このように、宇宙分野に参入してきた異業種やベンチャー企業は、従来の官需によって支えられてきたEstablished Spaceと対比し、New Spaceと呼ばれている。

このNew Spaceの企業数は2000年頃から増加してきており、欧米を中心に、既に1,400社以上のベンチャー企業が参入しているとも言われている。米国の

Space Angels社<sup>1</sup>の調査によると、直近10年間で資金調達を行ったスタートアップ起業は400社以上あり、衛星インフラ構築・運用/衛星活用サービス、輸送システムで約8割を占めている（図1-1）。一方、（一社）SPACETIDE<sup>2</sup>の資料によると、図1-2のとおり、日本では企業数こそ少ないが、幅広い事業領域のスタートアップ企業が生まれていることが分かる。

このように多くのNew Spaceが参画してきている宇宙産業の世界市場において、従来型の国等が関連するものは、市場全体のわずか25%にも満たない状況であるとも言われるなど、純粋な民間の商業ベースのサービスや事業分野が占める割合が拡大してきている。このNew Spaceの代表例としては、世界的にはOneWeb社、Urthecast社、SpaceX社等が、日本では（株）ALE、インターステラテクノロジーズ（株）、（株）アストロスケール等が、それぞれ挙げられる。

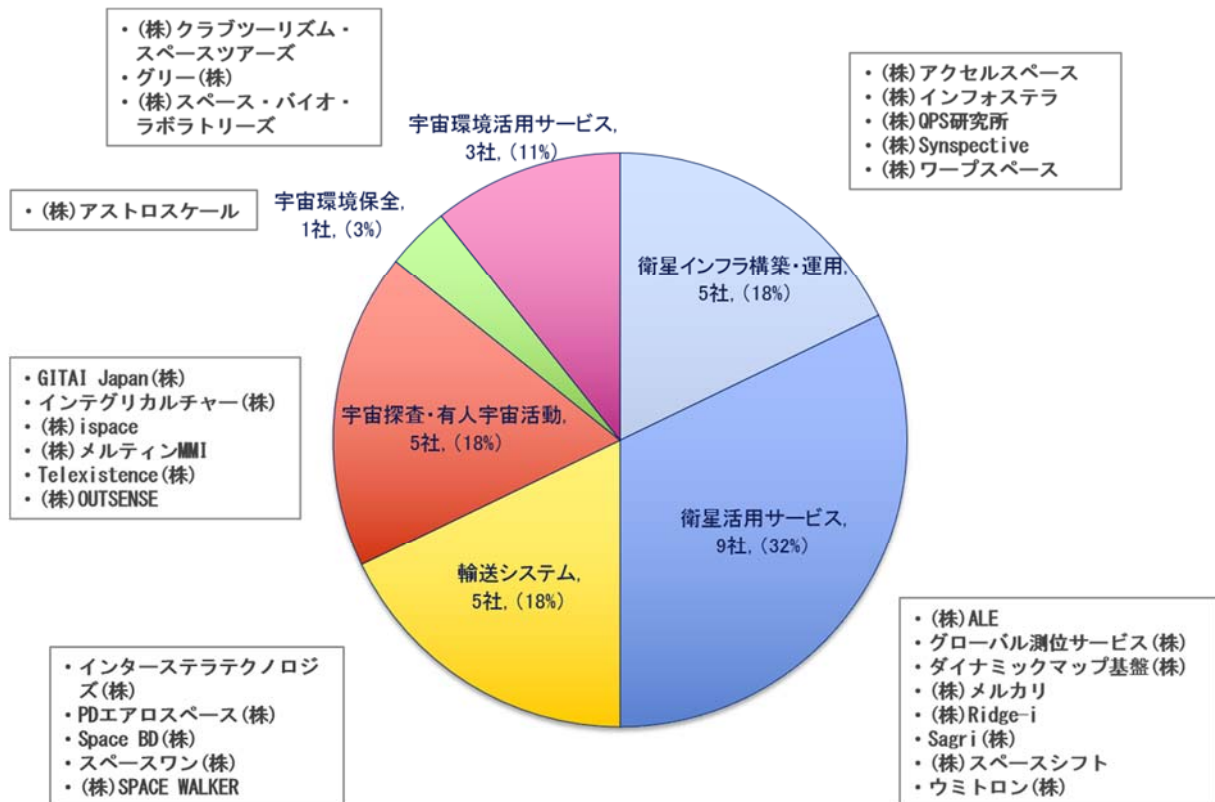


出典：Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」を基に作成

図1-1 事業領域別のスタートアップ企業数（世界）

<sup>1</sup> Space Angels 社ウェブサイト(URL: <https://www.spaceangels.com/post/space-investment-quarterly-q4-2018>)

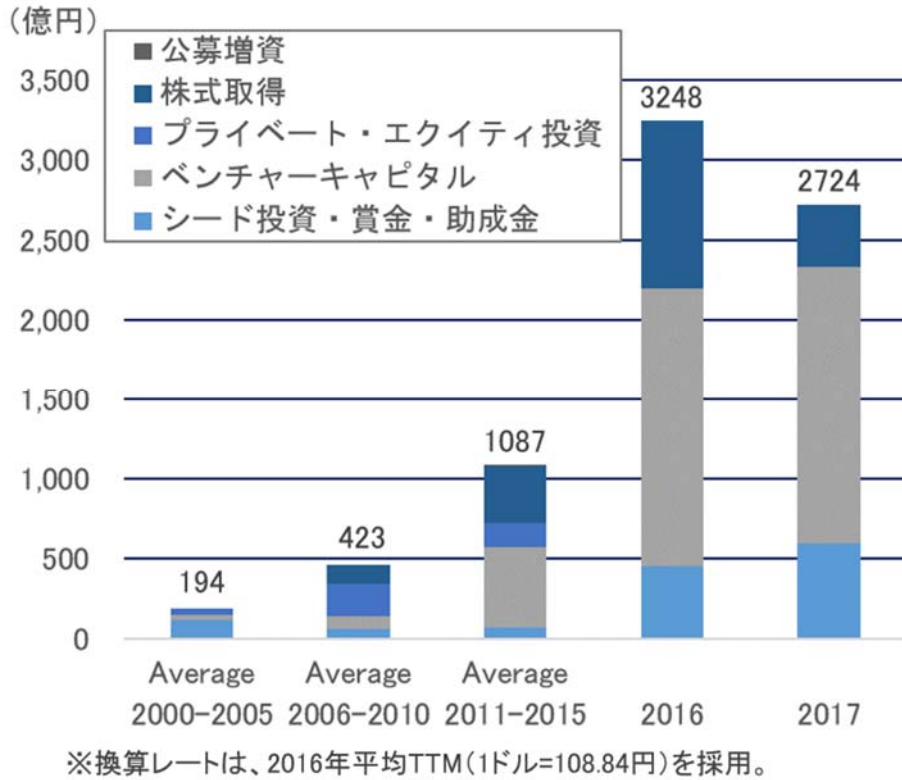
<sup>2</sup> （一社）SPACETIDE ウェブサイト(URL: <https://www.spacetide.org/>)



出典:(一社) SPACETIDEが公表している資料を基に作成

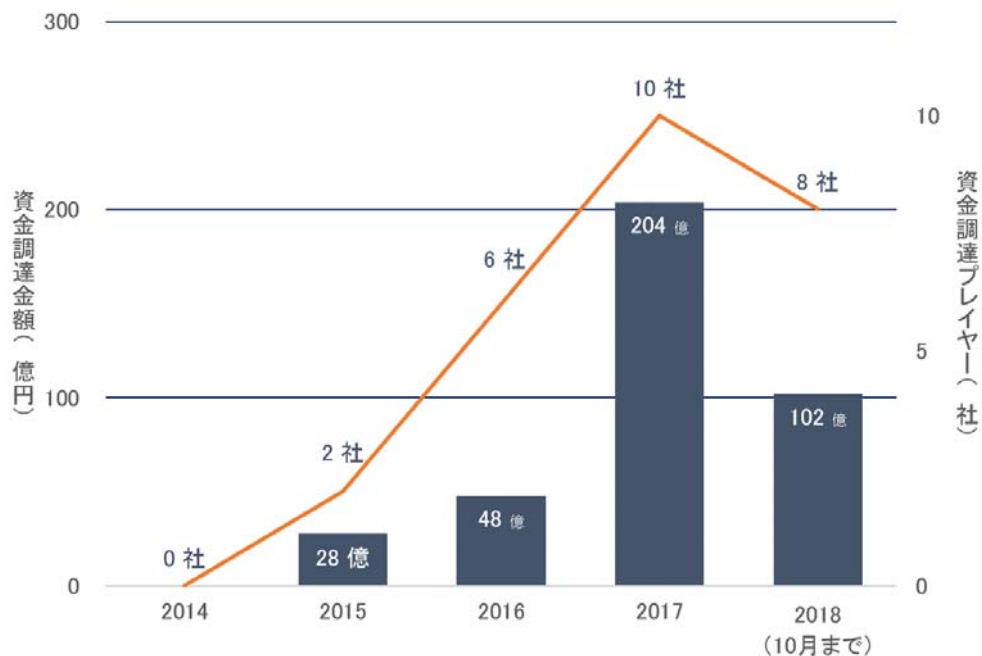
図1-2 事業領域別のスタートアップ企業数 (日本)

また、世界と日本の資金調達額の推移のグラフ(図1-3及び図1-4)を見ると、ともに資金調達額が増加傾向にあることが分かる。特に世界では、ベンチャーキャピタル(投資ファンド)からの調達額が急増している状況となっている。



出典:BRYCE「Start-up Space (2016-2018)」<sup>3</sup>を基に作成

図1-3 資金調達額の推移 (世界)



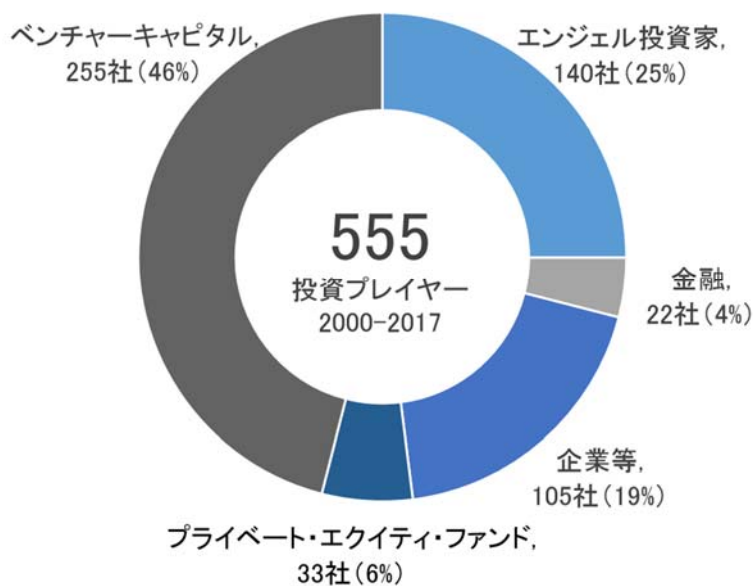
出典:(一社) SPACETIDEが公表している資料を基に作成

図1-4 資金調達額の推移 (日本)

<sup>3</sup> BRYCE「Start-up Space (2016-2018)」(URL: <https://brycetech.com/reports.html>)

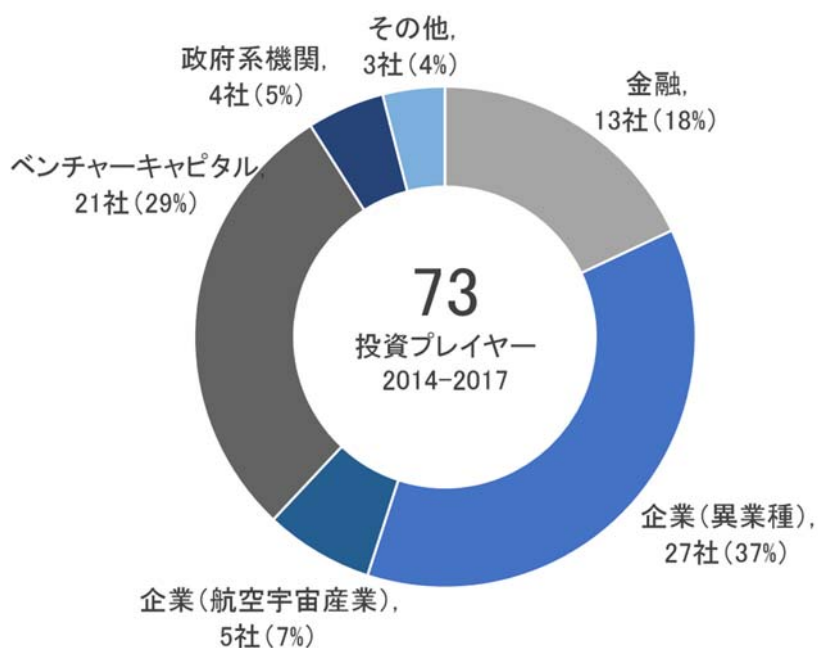


さらに、投資の状況について、投資プレイヤーの構成比からみてみると、世界（図1-5）的にはベンチャーキャピタルが半数を占め、その後に、エンジェル投資家、企業等と続く。一方、日本（図1-6）では投資による資金回収だけでなく、大企業などが外部の技術・人材を自社に取り込む、又は新規事業を創出するなどの目的もあり、異業種企業が主たる投資プレイヤーとなることが多いのが特徴である。



出典:BRICE「Start-up Space (2018)」を基に作成

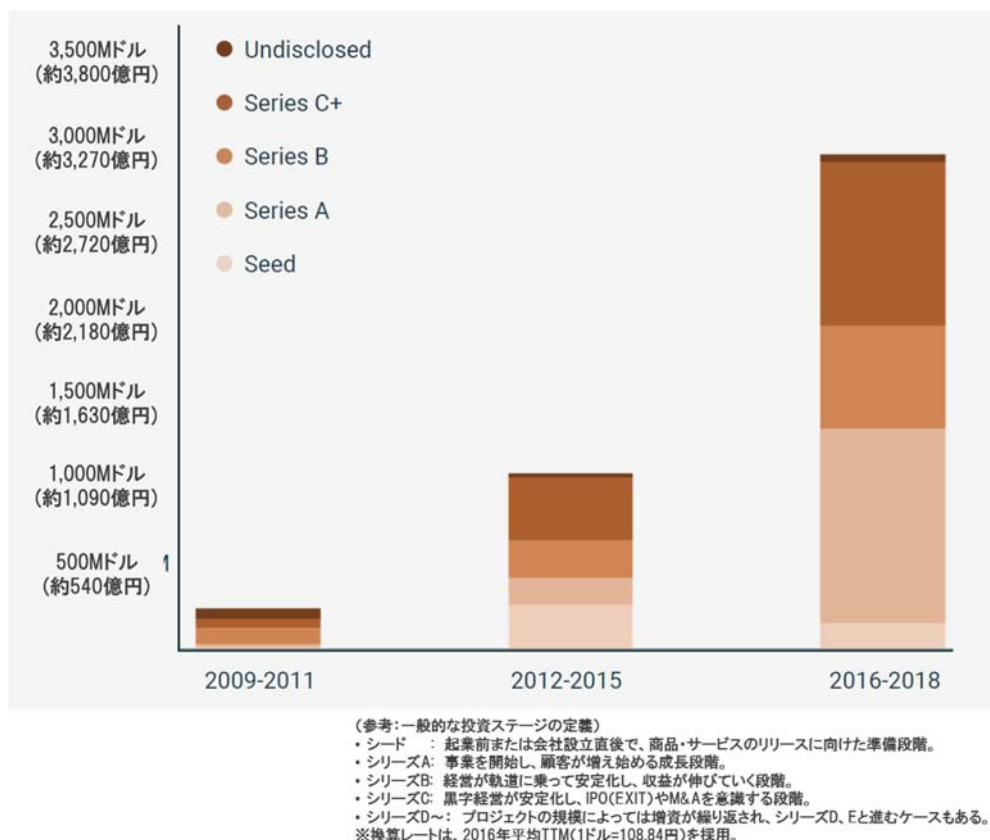
図1-5 投資プレイヤーの構成比（世界）



出典:(一社) SPACETIDEが作成している資料を基に作成

図1-6 投資プレイヤーの構成比（日本）

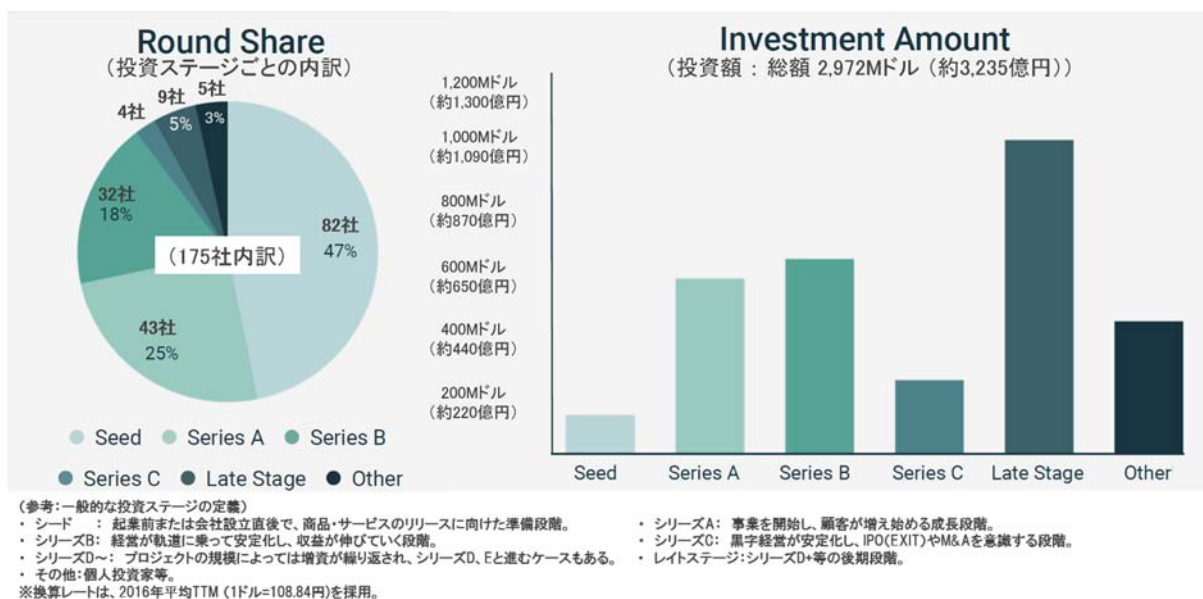
次に、世界でのステージ別の投資動向をみってみる。既に世界的には、シリーズC（黒字経営が安定化し、株式公開やM&Aを意識する段階）以降においても、投資額が増加傾向にあり、着実に事業が成功し、投資に値すると判断されたスタートアップ企業が出現していることが分かる（図1-7）。



出典:Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」

図1-7 ステージ別のベンチャーキャピタルによる投資額の推移（世界）

また、2018年の状況では、投資件数としてはシード（起業前又は会社設立直後で、商品・サービスのリリースに向けた準備段階）やシリーズA（事業を開始し、顧客が増え始めている成長段階）など、アーリーステージに向けた投資が約7割を占めるが、投資額としてはレイトステージ（成熟段階）が最も多くなっている（図1-8）。ここから、宇宙産業を今後担っていく存在となるシード段階の企業が多数育っていること、及びレイトステージ段階まで成長した企業への投資額は、アーリーステージと比較して大きいことが分かる。



出典:Space Angels社「Space Investment Quarterly Q4 2018」を基に作成  
 図1-8 2018年におけるステージ別の投資件数及び投資額（世界）

このように宇宙産業への投資が増加している理由としては、様々なベンチャー企業が育っている中、SpaceX社等の従来企業からシェアを奪うようなユニコーン企業（企業としての評価額が10億ドル以上で、設立10年以内の非上場のベンチャー企業を指す。）が出現していること、及び投資者が投資回収を完了する（EXIT）事例が出始めたことにより、宇宙産業が投資に値する分野であるという認識が投資家の中で高まり始めたことなどが考えられる。

### 1-1-3 宇宙関連のコンテストの勃興

アイデアや技術を持ったベンチャー企業が台頭してきた分野では、その分野を更に盛り上げるために、参加者が実施目的に合わせて、様々なアイデアを出し合い、その優劣を競うビジネスコンテストも活発に開催される傾向にある。宇宙分野でもビジネスコンテストが近年多く開催されており、前項で説明したベンチャー企業の台頭に一役買いつつある。

本項では、現在宇宙分野において実施されているビジネスコンテストについて、「技術革新」、「オープンイノベーション」、「事業創出」及び「人材育成」の4つの分野に分けて概説する。

1つ目の「技術革新」のコンテストは、技術革新をスピードアップさせるために、困難な課題を提示しチャレンジを促すものであり、入賞者には賞金が授与されることも多い。例えば、2007年から2018年にかけて、Xプライズ財団によって開催されたGoogle Lunar XPRIZEは、Google社がスポンサーとなり開催

されたもので、民間による最初の月面無人探査を競うコンテストとして有名である。一方、日本では、2009年から（一社）宇宙エレベータ協会により、宇宙エレベータ向けに開発された自立昇降機の性能を競うSPEC（Space Elevator Challenge）と呼ばれる競技会が開催されている。

2つ目の「オープンイノベーション」のコンテストは、コンテスト主催者又は協賛社が自事業への活用を前提に技術やアイデアを募集するものであり、入賞者には賞金のほか、協働プロジェクトに参画できる権利が与えられることも多い。Xプライズ財団は、ANAホールディングス（株）をスポンサーとして、2020年代での地球低軌道での実証実験実施を目標に、先端技術を用いて遠隔で周りの環境や人々と対応ができるAVATARロボットを開発するANA AVATAR XPRIZEを2018年から開催しており、本コンテストを活かしたサービス化に向け、実証事業が進行中である。また、世界中のデータサイエンティスト向けに、Planet社やDSTL（米国国防科学技術研究所）等の企業や政府機関がスポンサーとなり、データセットと課題を無料で提示するKaggle Competitionが開催されており、入賞者は賞金を手にすると同時に、大手IT企業内で本実績が高く評価されるため、活躍の機会を広げることにつながっているといわれている。

3つ目の「事業創出」のコンテストは、事業創出や市場活性化を目的として、ビジネスアイデアやソリューション・サービスを募集するものであり、入賞者には賞金のほか、アイデアを事業化するための支援を受けられるものが多い。例えば、ESAの主催する衛星データ活用領域のビジネスコンテストであるCopernicus Mastersでは、入賞者は賞金とともにビジネスコーチングプログラムを受けることができる。また、日本では、内閣府が、宇宙のアセットを活用した新たなビジネスアイデアを募集するS-Boosterを開催しており、メンターからメンタリングを受けられるだけでなく、スポンサー企業や投資家とのビジネスマッチングの機会を提供することで、その後の事業化に向けた支援を行っている。

最後の「人材育成」のコンテストは、若年層や異分野の人材が宇宙領域に関心を持ち、技術を研鑽する機会を提供するために開催するものである。こちらは人材育成を目的としているため賞金がないことが多い。日本では、経済産業省が衛星データ活用の促進を図るとともに、衛星データを分析・活用できる人材を育成・発掘するために、衛星データ分析コンテスト「Tellus Satellite Challenge」を2018年から開催している。

以上のとおり、宇宙分野においても様々なコンテストが開催されており、その状況を「衛星開発・運用」、「衛星活用」等の事業領域を軸に整理（図1-9）

すると、「衛星活用」の分野では、アルゴリズム高度化と事業創出の両面で多様なコンテストが、「宇宙探査」の分野では、必要な要素技術の革新を目的としたコンテストが多く開催されていることが分かる。一方、「宇宙環境保全」に関するコンテストは国内外ともに事例が少なく、また日本で実施されているコンテストは、事業創出や人材育成を目的としたものに主眼が置かれており、技術革新やオープンイノベーションを目的としたものは少ないように見受けられる。

	地球近傍		深宇宙		輸送	宇宙環境保全
	衛星開発・運用	衛星活用	宇宙環境活用	宇宙探査		
技術革新		DEEPGLOBE CVPR (CVPR) SpaceNet Challenge (SpaceNet on AWS)	持続的な深宇宙探査に必要な要素技術について、民間の力を活用してイノベーションを促進するためのコンテスト開催が活発化している。		宇宙エレベーターチャレンジ (宇宙エレベーター協会) Ansari X PRIZE (Xプライズ財団) Google Lunar X Prize (Xプライズ財団)	
オープンイノベーション	衛星データから特定の対象を自動抽出するアルゴリズムの精度を競うコンテストは、官民間問わず活発に開催されている。	DIUx xView 2018 Detection Challenge (DIUx) Functional Map of the World Challenge (ARPA) Kaggle Competition (Kaggle上で各機関が主催)		ANA AVATAR XPRIZE (Xプライズ財団) The Moon Race (The Moon Race NPO gGmbH) Centennial Challenges (NASA) Space Exploration Masters (ESA) The NASA Earth & Space Air Prize (NASA) DARPA Launch Challenge (DARPA)		
事業創出		MASC ビジネスプランコンテスト (岡山県倉敷市水島地域への航空宇宙産業クラスターの実現に向けた研究会) Copernicus Masters (ESA) European Satellite Navigation Competition (GSA)	欧州では、衛星データやGNSSを活用するビジネスプランを競うコンテストで、受賞者が事業化に向けた事業画/技術画の多様なサポートを実施。			
人材育成	衛星設計コンテスト (日本宇宙フォーラム) ※ 国内外とも事例は少ない	Fellus Satellite Challenge (経済産業省)			ARLISS (UNISEC) 種子島ロケットコンテスト (JAXA) Base 11 Space Challenge (Base 11)	※ 国内外とも事例は少ない

凡例：赤枠の施策は日本国内のもの

出典：「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図1-9 事業領域ごとのコンテストの開催状況

#### 1-1-4 地域を挙げての産業化の取組

宇宙産業はベンチャー企業等の台頭により、市場の活性化が進展してきていることは、これまで述べてきたとおりであるが、これに呼応するように地方公共団体における地域に密着した取組としても盛り上がりを見せている。

ここでは、現在実施されている地域の取組事例について、「産業集積」、「地域解決課題」、「地域振興/教育等」といった軸で分類している。

1つ目は、地場のものづくり産業、研究機関等、従来の強みを活かした「産業集積」を目的とした取組である。例えば、福井県では、地方発の革新的なビジネスモデルの創出を目的とした福井県民衛星プロジェクトが発足している。福井県内の企業が主体となり、地域の高度なものづくり技術を活かした衛星製造や衛星データの利活用を行っている。アクセルスペース(株)と共同で超小型人工衛星の製造を行い、ロシアのソユーズロケットに搭載し、2020年4月以降に打ち上げる計画を発表した。



2つ目は、農業などの地域ニーズに着目し、衛星データ活用などによるソリューション開発に活かすことで「地域課題解決」を目的とした取組みである。例えば、石川県羽咋市<sup>はくい</sup>では、民間企業と連携して人工衛星の画像データを活用して、米の食味を測定するシステム「羽咋市方式人工衛星測定業務」を開発した。この方式は山形県や京都府などのJAや自治体などに採用され、技術料は羽咋市の収入になっているため、地域の活性化に一役買っている。

3つ目は、ロケット打上げや新宇宙探査など、話題性の高い事業と連携することで「地域振興や教育」などに結びつけることを目的とした取組である。例えば、鳥取県では、日本初の民間月面探査チーム「HAKUTO」との間で、鳥取砂丘でのフィールド走行試験の実施などについて、相互に連携・協力していくこととした連携協力協定を2016年に締結した。また、北海道の大樹町は、1984年に宇宙産業基地構想を発表し、宇宙関係施設の誘致や1000m滑走路を整備するなど、「宇宙のまちづくり」をコンセプトに掲げ、町おこしを行ってきており、2013年にはインターステラテクノロジズ(株)が、日本初の純民間商業ロケット「ポッキー」を大樹町で打ち上げ、新たなロケット射場の候補地の1つとしても有名である。また、和歌山県の串本町は、2018年に「民間ロケット射場誘致推進室」を開設するなど、国内初の民間企業によるロケット発射場建設の誘致活動を進めており、2019年3月には、(株)SPACE ONEの2021年に打上げ予定のロケット射場建設予定地に選定された。

このように、衛星開発・運用や衛星活用のような地球近傍の領域だけでなく、多方面にわたる領域で地域宇宙産業が活性化してきており、地域の課題やニーズを解決する手段として、宇宙産業に期待が寄せられている(図1-10)。

	地球近傍			深宇宙	輸送	宇宙環境保全
	衛星開発・運用	衛星活用	宇宙環境活用	宇宙探査		
産業集積	県民衛星プロジェクト (福井県)	衛星データ解析 技術研究会 (山口県産業技術センター)  宇宙ビジネス創造 拠点プロジェクト (茨城県)	宇宙映像利用による 科学文化形成ユニット (三鷹市)		飯田航空宇宙 プロジェクト (多摩川精機)  岡山県倉敷市 水島地域への航空宇宙 産業クラスターの実現に 向けた研究会(倉敷市)  秋田宇宙開発研究所 (秋田大学)	
地域課題 解決		北海道衛星データ利用 ビジネス創出協議会 (北海道)  羽咋市方式 人工衛星測定 (米の食味測定) (石川県羽咋市)	ANA AVATAR VISIONへの 実証フィールド提供 (大分県)			
地域振興/ 教育等			VR空間上の 宇宙ミュージアム 建設プロジェクト (肝付町)	チームHAKUTOとの 連携協力協定 (鳥取県)	宇宙のまちづくり・ 純民間商業ロケット 打上げ (大樹町)  民間ロケット射場誘致 (和歌山県)	

出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図1-10 事業領域ごとの地域宇宙産業の事例

## 1-2 宇宙産業における政府の取組

### 1-2-1 米国・欧州

米国では、オバマ大統領政権時の2010年6月に発表された、「新国家宇宙政策 (U. S. National Space Policy)」において、商業宇宙分野の成長を促進することで宇宙産業の活発化を図ることを目標の一つに掲げた。この政策が示すとおり米国では、宇宙開発能力の維持・向上を効率的に進めるために、民間活力を積極的に採用してきている。例えば、NASAは、ISSまでの物資等の輸送の商業化を進めるため、2005年からISSに貨物を輸送することに対する民間の能力開発支援策 (COTS: Commercial Orbital Transportation Services、商業軌道輸送サービス) を、2010年からNASAが顧客としてISSへの物資輸送サービスを購入するための支援策 (CRS: Commercial Resupply Services、商業補給サービス) を、それぞれ講じている。これらの支援策は、NASAが資金投入を行うものの、一定の民間負担を必須とすることで、企業自身の成長を促すとともに、定常業務である宇宙輸送部分を民間に移転することで、コスト削減を図り、より政府主導で行うべき高度な開発・探査ミッションにNASAの資金を注力するという狙いがある。そして、実際にこれらの支援策は、SpaceX社による貨物輸送船「Dragon」や、Orbital Sciences社 (現Northrop Grumman社) の貨物輸送船「Cygnus」等のベンチャーを含む民間企業の成長に繋がっている。

欧州では、EC (欧州委員会) により、研究及び革新的技術開発を促進するため「Horizon2020」という史上最大規模のEU研究助成プログラムが2014年から開始されており、2020年までの7年間にわたり、約800億ユーロに上る助成金が投入される予定である。「卓越した科学」、「産業技術におけるリーダーシップ」及び「社会的な課題への取組」の3つの柱のうち、「産業技術におけるリーダーシップ」の中で、宇宙を中心とした産業競争力の確保がテーマに掲げられている。その1つの取組として、欧州の中小・ベンチャー企業や研究機関を対象とした「Low-Cost Space Launch」コンテストが立ち上げられており、2018年6月から3年間の募集期間を経て、2021年11月に受賞者 (賞金1000万ユーロ) が発表される予定となっている。

また、ESAでは、設立当時は自身でロケット開発を行っていたものの、1980年にCNES (フランス国立宇宙研究センター) が中心となってロケット打上げを専門に行うArianespace社を設立することで、打上げを商業化した。Arianespace社は、ロケット製造自体は行わず、ESAやAirbus社などが製造するロケットの販売や打上げ業務のみを担当しており、ロケット製造と打上げサービスを三菱重工業 (株) が一体で担当し、JAXAがサービスを調達する体制を取ることで商業化を図った日本とは異なる。その他、ESAがロケット開発費の出資を行い、各国が打上げ事業に関する補助や打ち上げ失敗の際の損害補償負担をするなど、

積極的に法整備や予算を投入し、支援を実施している。このような支援も背景にあり、Arianespace社は、現在世界の商業打上げのシェア 1 位を獲得している。

## 1-2-2 中国等

中国では、衛星やロケットから有人宇宙飛行・深宇宙探査に至るまで、宇宙の各分野において、政府自らが包括的な取組を進めている。2000年11月に、中国の宇宙活動の目的と原則、発展の現状、短期的目標、長期的目標、国際協力等についてまとめた宇宙白書「中国的航天」が発行され、その後も2006年、2011年及び2016年にも改訂版が発表されている。2016年度版「中国的航天」では、宇宙開発の4原則を、革新的発展・協力的発展・平和的発展・開放的発展と定め、その後の5年を目処とした宇宙ミッション計画を宇宙輸送・宇宙インフラ・有人宇宙活動等の10項目に分類して、それぞれの目標を掲げている。また、国籍を問わずハイレベルな人材を中国の大学や企業等に好待遇で招聘するプログラム「千人計画」を2008年に、その後続となる「万人計画」を2012年に発表し、科学的発展に貢献させるため人材育成の底上げを図ってきている。さらに、2015年5月には、中国における今後10年間の製造業発展のロードマップをまとめた「中国製造2025」を発表し、重点的に推進する10分野の1つに航空・宇宙設備が掲げられている。中国ではこうした施策が宇宙産業を牽引していると考えられ、例えば、今後ハッキングや盗聴等のサイバーテロ対策として有用とされている量子暗号技術に関しては、2016年に世界初の量子科学実験衛星「墨子号」を打ち上げ、2017年には世界初の宇宙・地上間通信に成功している。また、米国GPSに依存しない独自の衛星測位システム「北斗」を打ち上げており、2018年12月には世界を対象にしたサービスを無償で開始している。その他、独自の宇宙ステーションの開発にも取り組んでおり、2016年には無人宇宙実験室「天宮2号」を打ち上げている。このように中国は、世界の宇宙技術・産業の中心的存在となることを目指し、宇宙産業技術の強化を図っている。

インドでも、政府自らが宇宙開発を行っているが、その強みは、圧倒的なコスト管理であり、2014年にアジアで初めて、米国の10分の1程度の予算で、火星周回軌道に探査機を投入したとされている。また、インドの宇宙関連技術の開発とその応用を目的とする国家機関であるISRO（インド宇宙研究機関）が、宇宙分野における多国間枠組みを強化しているとされ、2017年12月からJAXAと将来の月の極域における無人の着陸調査に関する共同研究を開始している。



### 1-2-3 日本

日本では2008年5月に日本の宇宙開発利用に関する基本方針を示した「宇宙基本法」が成立、同年8月27日に施行された。この法に基づき、今後20年程度を見据えた10年間の長期的・具体的整備計画として、2009年4月に「宇宙基本計画」が策定され、宇宙政策を巡る環境変化を踏まえた改訂が行われている（改訂は、過去2度実施。2013年1月に宇宙開発戦略本部決定、2016年4月に閣議決定）。

また、日本における民間企業の宇宙活動の進展に伴い、事業の予見可能性を高め、民間事業を後押しするための制度インフラとして、「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」（宇宙活動法）及び「衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律」（衛星リモセン法）の宇宙関連二法が整備された（2016年11月16日二法公布、衛星リモートセンシング法は2017年11月15日、宇宙活動法は2018年11月15日完全施行）（図1-11及び図1-12）。

宇宙活動法は、宇宙開発利用の果たす役割を拡大するとの宇宙基本法の理念に則り、①人工衛星及びその打上げ用ロケットの打上げに係る許可制度、②人工衛星の管理に係る許可制度、③第三者損害の賠償に関する制度の創設の3つの要素で構成される。本宇宙活動法の整備によって、宇宙諸条約を的確かつ円滑に実施するとともに、公共の安全を確保しつつ、日本の民間事業者に対して、遵守すべき基準に関する予見性を確保することにより、日本の宇宙開発利用を推進することが期待される。

衛星リモートセンシング法は、衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いを確保するため、①衛星リモートセンシング装置の使用に係る許可制度、②衛星リモートセンシング記録保有者の義務、③衛星リモートセンシング記録を取り扱う者の認定等の3つの要素から構成される。本衛星リモートセンシング法の整備によって、高分解能の衛星リモートセンシング記録が悪用の懸念のある国や国際テロリスト等の手に渡らないよう管理することが可能となるとともに、リモートセンシング事業者に対して、遵守すべき基準等を明確化し事業の予見性を向上させることによって、日本のリモートセンシング事業が推進されることが期待される。

## 人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律の概要(通称:宇宙活動法)

### 1. 法律の必要性及び背景

- 我が国における民間による宇宙活動の進展に伴い、これに対応した宇宙諸条約の担保法が必要(背景)
  - ・ 宇宙諸条約に基づけば、自国の非政府団体の宇宙活動に対しては、国の許可及び継続的監督が必要(宇宙条約第6条)。
  - ・ 我が国以外の世界21か国(米仏露中韓等)においては、担保法を制定済み。
- 我が国の民間事業を推進するためにも、予見性を高めるため制度インフラとして法整備が必要(背景)
  - ・ 米国では商業打上げ法により、遵守すべき基準等の明確化、政府の補償制度の導入を行い、事業リスクの低減化を実施。SpaceX社等が商業打上げ市場へ新規参入。



### 2. 法律の概要

人工衛星等の打上げに係る許可制度	人工衛星の管理に係る許可制度	第三者損害賠償制度
1. 人工衛星等の打上げを許可制とし、飛行経路周辺の安全確保、宇宙諸条約の的確かつ円滑な実施等について事前審査。 2. ロケットの型式設計、打上げ施設の基準への適合性について事前認定制度を導入。	人工衛星の管理を許可制とし、①宇宙諸条約の的確かつ円滑な実施、②宇宙空間の有害な汚染等の防止、③再突入における着地点周辺の安全確保等について事前審査。	1. 人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に伴い地上で発生した第三者損害を無過失責任とし、打上げ実施者については責任を集中する。 2. 打上げ実施者に第三者損害を賠償するための保険等の締結を義務づけ。 3. 2の民間保険でカバーできない損害について、政府が補償契約を締結できる制度を導入。
<p>安全の確保</p> <p>義務化する民間保険の保険金額(右図①) ⇒ 200億円 (H+A/E/Q/K/A、I/A/D/R/K/Kの場合) ・ 政府補償上限額(右図②) ⇒ 3,500億円 (I/A/Kの種類のI/Aに一定額)</p> <p>打上げ実施者の負担</p> <p>☑ 政府補償契約</p> <p>☑ 民間保険契約(義務)</p>		

### 3. スケジュール

- 平成28年11月16日 : 公布
- 平成29年11月15日 : 一部施行(申請受付開始)、政令・府令公布(技術基準公表)
- 平成30年10月26日 : 府令改正(第三者賠償制度に係る金額等を規定)
- 平成30年11月15日 : 法律全面施行

図1-11 人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律の概要

## 衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律(通称:衛星リモセン法)

- ◇ 宇宙開発利用の果たす役割を拡大するとともに宇宙基本法の理念にのっとり、我が国における衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いを確保するため、①衛星リモセン装置の使用に係る許可制度、②衛星リモセン記録保有者の義務、③衛星リモセン記録を取り扱う者の認定等必要な事項を定める。

### 1. 法律の必要性及び背景

- 高分解能の衛星リモセン記録が悪用の懸念のある国や国際テロリスト等の手に渡らないよう管理する制度が必要。(背景)
  - ・ 近年の急速な高分解能化(空間・時間)・低コスト化により、衛星リモセン記録がテロリスト等に渡った場合のリスクが増大。
  - ・ 米独仏加4ヶ国では、民間事業者による衛星リモートセンシングのシステム運用や画像配布を制限する法制度を整備済み(英西も検討中)。
- リモセン事業者が遵守すべき基準等を明確化し、事業の予見可能性の向上を図ることが必要。(背景)
  - ・ 今後、農業、防災・減災、鉱物資源、社会インフラ整備・維持等の分野で、衛星リモセン記録を一層活用した新産業・新サービスの創出の期待が高まっている。こうした中で、新規リモセン事業者の事業リスクを低減し、参入を後押しする。



### 2. 法律の概要

①衛星リモセン装置の使用に係る許可制度	②衛星リモセン記録保有者の義務	③衛星リモセン記録を取り扱う者の認定
○高分解能の衛星リモセン装置の使用を許可制とし、①不正使用防止措置、②申請受信設備以外での使用禁止、③申請軌道以外での停止、④使用終了時の措置等の義務を課す。	○衛星リモセン記録保有者は、本法の認定を受けた者、特定取扱機関に適正な方法により行う場合等を除き、高分解能の衛星リモセン記録を提供してはならない。 <small>※内閣総理大臣は、国際社会の平和の確保等に支障を及ぼすおそれがある場合は、範囲及び期間を定めて、提供の禁止を命ずることができる。</small>	○衛星リモセン記録を取り扱う者は、記録の区分に従い、衛星リモセン記録を適正に取り扱うことができる旨の認定を受けることができる。
<p>操作無線設備</p> <p>衛星リモセン装置</p> <p>衛星リモセン装置使用者</p> <p>受信設備</p>	<p>認定を受けた者</p> <p>衛星リモセン記録</p> <p>衛星リモセン記録保有者</p> <p>特定取扱機関</p>	<p>認定を受けた者</p> <p>認定の申請</p> <p>認定</p> <p>内閣総理大臣</p>

### 3. スケジュール

- 平成28年11月16日 : 公布
- 平成29年 8月15日 : 一部施行(申請受付開始)、府令公布(衛星リモセン装置・衛星リモセン記録に係る基準公表(8/9))
- 平成29年11月15日 : 法律全面施行、政令公布(規制対象外となる特定使用機関及び特定取扱機関等を規定)

図1-12 衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律の概要

また、2012年に設置され、内閣総理大臣の諮問に応じて宇宙開発に関する施策について審議を行う宇宙政策委員会は、2017年5月、日本における宇宙産業への新規参入を促進し宇宙利用を拡大するための総合的取組として、宇宙機器・利用産業の将来動向や政府の関与の在り方に関する基本的視点についてとりまとめた「宇宙産業ビジョン2030」を策定し公表した（図1-13）。

この宇宙産業ビジョン2030では、現在の日本の宇宙産業の市場規模1.2兆円を2030年代早期に倍増を目指すとの目標を提示した上で、その包括的な実現方策として、衛星データの利活用方策等からなる宇宙利用産業の振興、技術開発を含む国際競争力確保や新規参入支援策からなる宇宙機器産業の振興、海外展開の振興、宇宙資源探査に対応する制度整備等新たな宇宙産業を見据えた環境整備についてとりまとめている。



図1-13 宇宙産業ビジョン2030のポイント



## 第2章 宇宙産業の市場規模・動向

宇宙産業を取り巻く状況の変化は、国内外の市場規模の活性化に大きく貢献しており、2016年までの10年間で、宇宙産業の世界市場規模が2倍程度まで拡大している。

### 2-1 国内外における宇宙産業の市場規模

国内外における宇宙産業の市場規模について、(一社)日本航空宇宙工業界(SJAC)<sup>4</sup>の「平成29年度宇宙産業データブック」及びThe Satellite Industry Association(SIA)の「State of the Satellite Industry Report」<sup>5</sup>を基に本タスクフォースとして独自に算出した。

その際、国内外の宇宙産業の市場規模を算出するにあたって、各国政府予算分については、上記のSJACの資料に記載のある日本、米国、欧州、ロシア及びカナダの政府予算を使用している。また、日本の民間企業等による売上高については、上記のSJACの資料における「宇宙機器産業データ集」、「宇宙利用サービス産業データ集」及び「宇宙関連民生機器産業データ集」の売上高を、同様に米、欧、露及び加における民間企業等による売上高については、上記のSIAの資料にある「Satellite Manufacturing」、「Launch」、「Satellite Services」及び「Ground Equipment」を、それぞれ参考に行っている。

なお、「宇宙機器産業データ集」、「宇宙利用サービス産業データ集」及び「宇宙関連民生機器産業データ集」に記載されている各産業には、それぞれ以下の項目が含まれている。

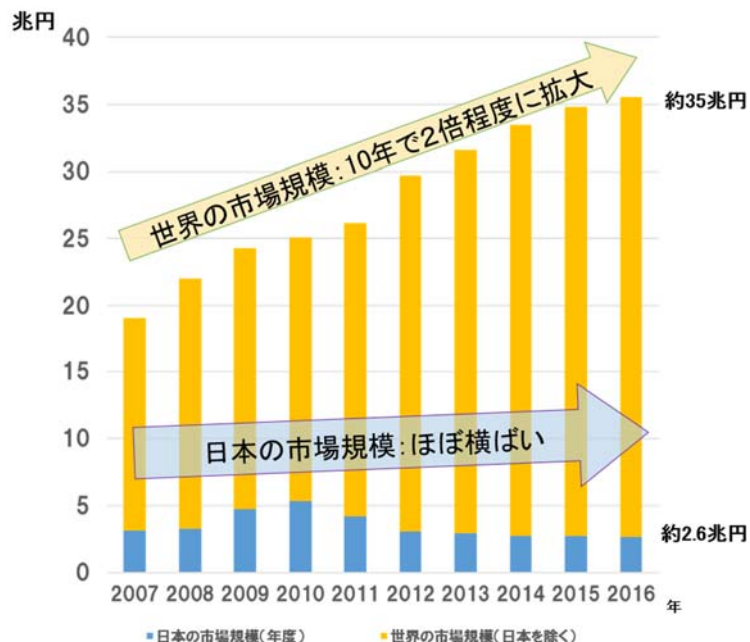
- 宇宙関連民生機器産業：テレビ、アンテナ、チューナー、VTR、DVD、BDレコーダ（BS・CS放送に係るアンテナやチューナーを搭載しているため。）カーナビゲーション、GPS携帯電話
- 宇宙機器産業：宇宙航空研究開発機構、その他政府機関、宇宙関連団体、衛星通信放送関連会社、宇宙専門特殊会社、大手ロケットメーカー、大手衛星メーカー、輸出等
- 宇宙利用サービス産業：衛星通信放送（電気通信事業）、衛星通信放送（BC・CS放送事業）観測分野等

<sup>4</sup> (一社)日本航空宇宙工業界ウェブサイト(URL:<http://www.sjac.or.jp/index.html>)

<sup>5</sup> SIA「State of the Satellite Industry Report」(URL:<https://www.sia.org/annual-state-of-the-satellite-industry-reports/2017-sia-state-of-satellite-industry-report/>)

## 2-1-1 世界の宇宙産業の市場

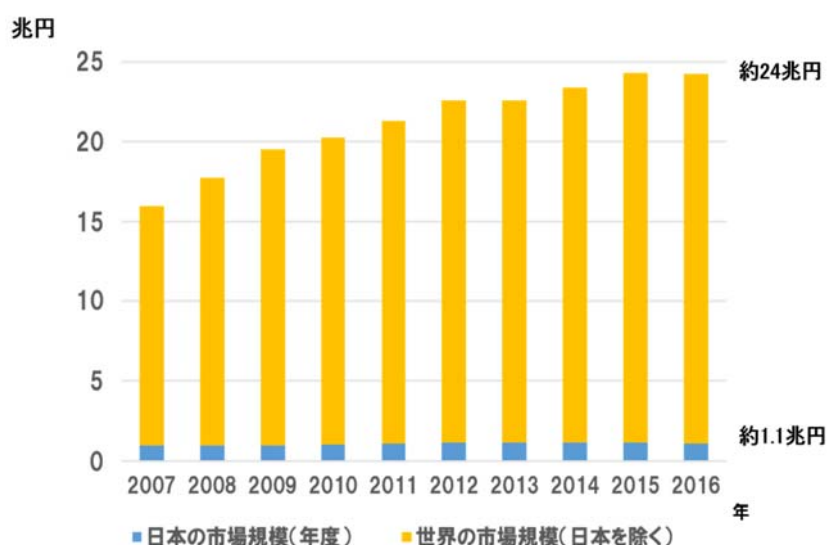
世界の宇宙産業の市場動向は、図2-1に示すとおりである。2007年時点では20兆円弱であった世界の宇宙産業の市場規模が、2016年には約35兆円となり、その10年で2倍程度に拡大している。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第3回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図2-1 世界の宇宙産業の市場規模

また、その中でも、世界の宇宙機器・宇宙利用サービス産業の市場規模(図2-2)は2016年には約24兆円となり、市場全体が約35兆円となる中で、宇宙機器・宇宙利用サービスが大きな割合を占めていることが分かる。

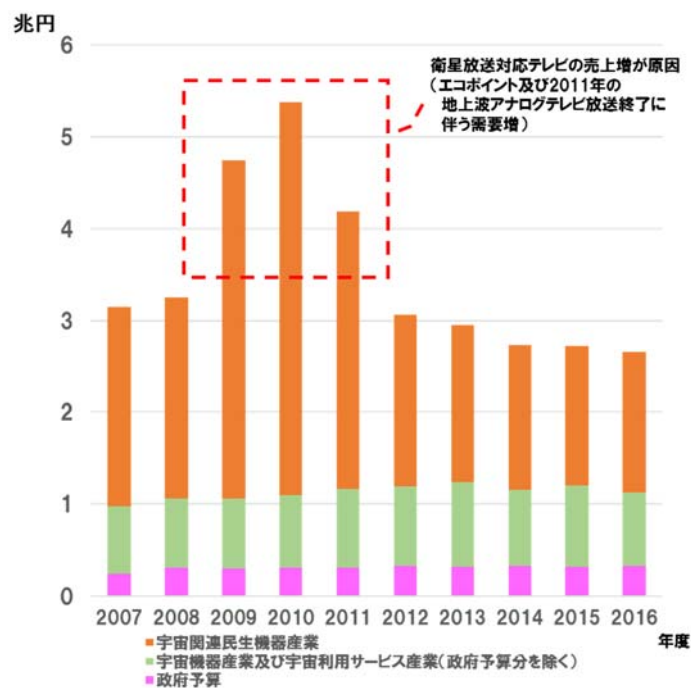


出典:「宙を拓くタスクフォース(第3回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図2-2 世界の宇宙機器・宇宙利用サービスの市場規模

## 2-1-2 日本の宇宙産業の市場

日本の宇宙産業の市場規模（図2-3）は、約3兆円のままほぼ横ばい状態が長らく継続している。なお、前述の「宇宙産業ビジョン2030」では、2017年時点の日本の市場規模を1.2兆円（緑とピンク色部分の合計）としているが、ここでは波及的な領域（オレンジ色部分）も含めた市場規模を示している。また、2009年～2011年に掛けての伸びについては、衛星放送対応テレビの売上の増加が原因である。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第3回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

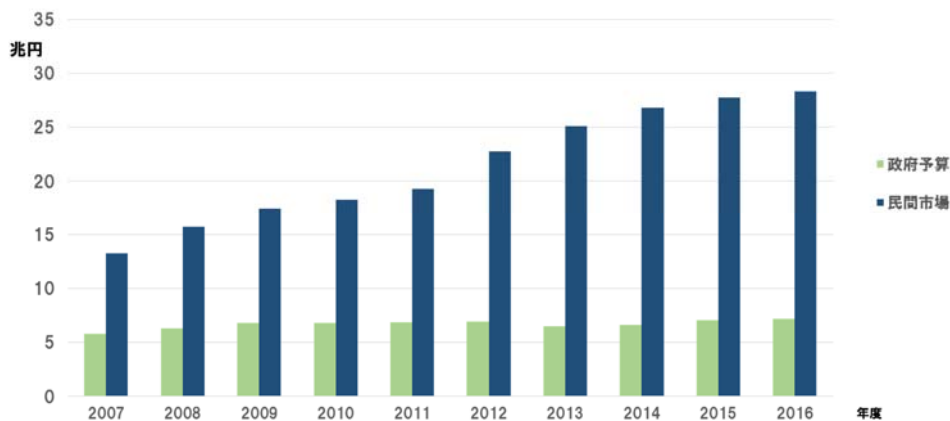
図2-3 日本の宇宙産業の市場規模

### 2-1-3 世界及び日本の政府予算・民間市場

ここでは図2-1で記載した世界の宇宙産業の市場規模の伸びについて、日本と比較しつつ考察する。

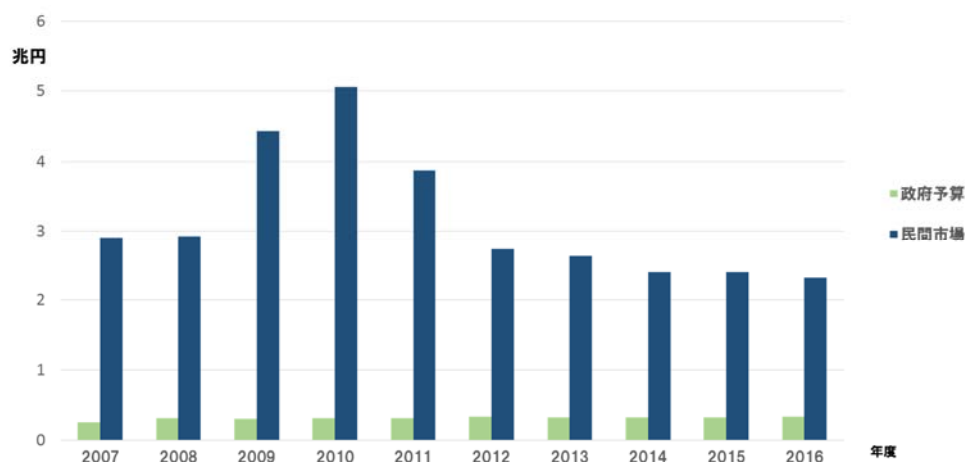
世界の宇宙産業の市場規模を政府予算と民間市場に分けたものが図2-4である。これを見ると、政府の予算は横ばいである一方で、民間市場が大きく伸びており、民間市場の伸びが宇宙産業の市場規模の伸びを牽引していることが分かる。民間市場が大きく伸びた一因として、NASAによる「商業軌道輸送サービス（COTS）」などの調達等を利用した政府の民間支援策による民間企業の成長とその後のビジネス展開が考えられる。

一方で、日本の宇宙産業の市場規模を政府予算と民間市場に分けたものが図2-5であるが、日本は政府予算、民間市場ともに横ばいとなっており、将来の民間市場拡大が求められる。



出典: SJAC及びSIA資料から独自計算

図2-4 世界の政府予算と民間市場



出典: SJACから独自計算

図2-5 日本の政府予算と民間市場

## 2-2 宇宙産業の動向

宇宙産業の動向について、宇宙産業を図2-6に示す6つに分類し、その分野ごとに、各国やベンチャー企業などの取組みを交えて概観する。

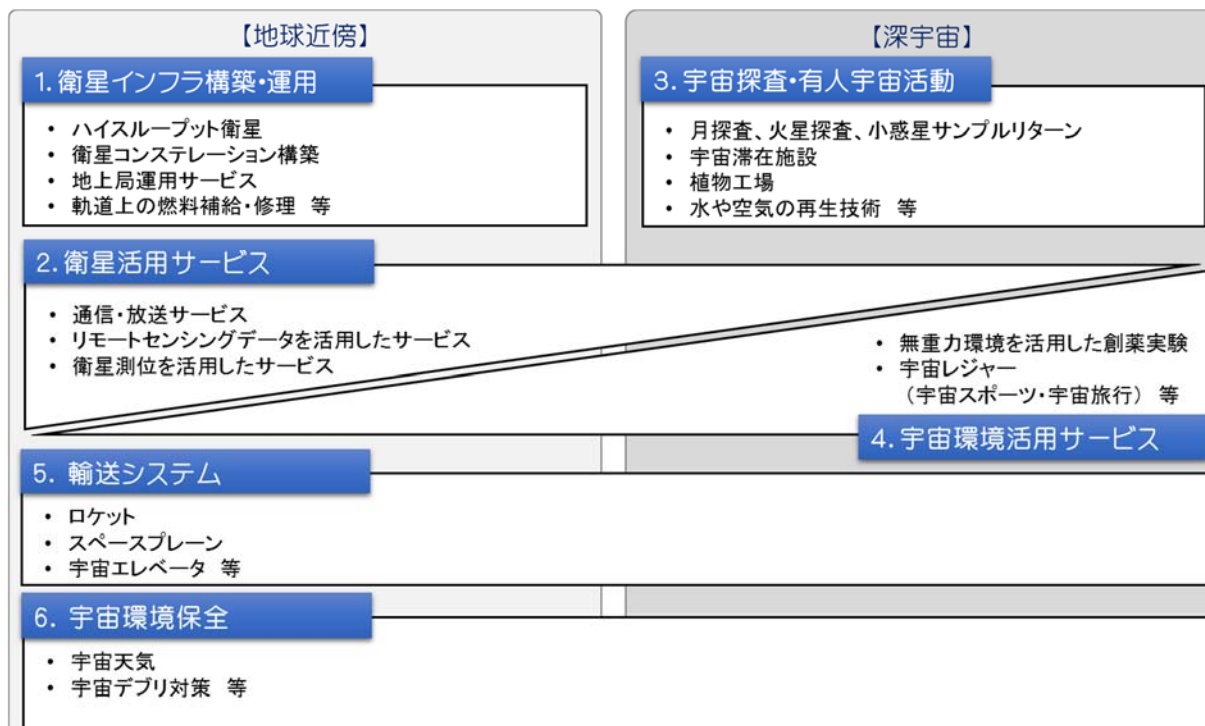


図2-6 宇宙産業の分類

### 2-2-1 衛星インフラ構築・運用

ここでは、衛星インフラを、地球近傍の静止軌道や低中軌道に打ち上げた人工衛星だけでなく、地上側のシステムを含め、衛星でサービスを行う上で必要なインフラ群として捉えている。

従来、通信衛星は、例えば日本全国をカバーできる広域性、点在する複数の受信拠点に対して同一の情報を提供できる同報性等の特徴を利用し、静止軌道から地球の一定エリアに向けたサービスを行うものが主流であった。また、災害などにより地上ネットワーク網が寸断されたとしても、被災地の迅速な通信回線確保のための地上回線の補完として重用されてきた。昨今は、それらに加え、現在主流となっているKu帯よりも高い周波数帯域であるKa帯を使用して多数のマルチビームと中継器を装備し、大容量衛星通信を実現するHTS (High Throughput Satellite : ハイスループット衛星) が実用化されてきている。

HTSの開発については各国が鎬を削っている中、日本では、HTSの更なる高度化を目指し、2021年度の打上げ予定の技術試験衛星9号機(ETS-9)に関する研



究開発において、総務省・文部科学省・NICT（情報通信研究機構）・JAXAが連携して取り組んでいる。ETS-9に搭載される衛星通信システムとしては、近年の航空機ブロードバンド環境や海洋資源開発のための船舶通信需要、災害時の通信手段確保等の衛星通信需要、衛星寿命である約15年間における需要変動に対応するため、①周波数帯幅を動的かつ柔軟に変更するデジタルチャネライザ技術、②衛星ビームの照射地域を動的に変更可能なデジタルビームフォーミング技術、③衛星・地上間において超大容量光ファイダリンクを実現するための光通信技術の3つの技術実証を行うこととしている。

また、従来のサービスは衛星1機で運用を行うものが主流だったが、複数の小型衛星を利用して、中・低軌道で協調させて使用する新たなサービス（以下「衛星コンステレーション」という。）の実用化に向けた動きが活発になっている。衛星コンステレーションのメリットとしては、①従来型の衛星サービスは、静止軌道上に配備され、ある一定のエリアに対してサービスを行うのに対し、様々な軌道に多数の小型衛星を配備し、地球全体を包囲することで全球対応のサービス網を構築できる、②一機当たりの製造コストが30～50億に上るのが主流である大型衛星と比べ、小型衛星を使用することにより、製造コストを数千万～数億円程度に抑えることができる、③同スペックの衛星を複数製造するため、部品が共通化され低コストで製造が可能となることなどが挙げられる。衛星コンステレーションを利用することで、地上で光ファイバ網が整備されていないなどの条件不利地域を含めた全世界に通信環境を提供できるほか、リモートセンシング技術と組み合わせることによって、高解像・高頻度な衛星データ利用なども可能になるため、大きな期待が寄せられている。（この衛星コンステレーションを利用したサービス例については、次節で紹介している。）

加えて、衛星は打ち上げ後に軌道上での故障修理や燃料補給が困難であるという課題があるが、近年、衛星の寿命を延ばすための軌道上サービスを展開する企業も出てきている。米国のOrbital ATK社（2018年にNorthrop Grumman社の一部門（Northrop Grumman Innovation Systems）として買収。）は、「MEV（Mission Extension Vehicle）」と呼ばれる機体を、すでに静止軌道上にある衛星にドッキングすることで軌道維持を行うサービスの契約を、2016年及び2018年に米国Intelsat社との間で締結している。

衛星側のHTS化やコンステレーション化に期待が寄せられる一方、人工衛星の運用を支える地上設備の拡充も必要である。例えば、コンステレーション衛星は低軌道を周回するため、複数の地上アンテナを配備することで、衛星との通信時間を確保するなどしなければ、リアルタイム性が大幅に失われてしまう。また、地上設備を配備するためには高額な初期投資が必要となるため、宇宙産

業へ進出する上での大きな障壁となっている。日本の(株)インフォステラは、人工衛星と地上設備間通信を低価格・高頻度で利用できる環境を提供することで衛星運用者のサービス展開をサポートするため、地上局共有プラットフォームであるStellarStationを提供するサービスを一部展開している。StellarStationとは、既に周回衛星用地上設備を所有している企業が、地上アンテナの非稼働時間を利用して、他の衛星事業者に貸出・利用させることができるプラットフォームのことである。このプラットフォームを利用することで、衛星事業者がより多くのアンテナの利用機会及び通信時間を確保することが出来る上に、地上設備の高額な初期投資を抑えることが可能とされている。

今後、宇宙利活用空間が更に広がり、様々な新しいサービスが展開されることが予想される中、ニーズに合わせた特徴を持つ衛星インフラを選択し、又は組み合わせてサービス提供ができることが重要である。

## 2-2-2 衛星活用サービス

日本では、2018年12月1日から、BS及び東経110度CSで新4K8K衛星放送が開始され、高精細で臨場感のある衛星放送サービスが楽しめるようになった。特に8K衛星放送は世界初の試みである。東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2020年には、「4K・8K放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで4K・8K番組を楽しんでいる」ことなどを目標に、NHK、民放を含む9社がサービスを開始している。

また、通信分野では、静止衛星を用いてサービスを行うものが主力ではあるが、衛星コンステレーションによりサービス提供を構想する企業が出始めている。米国のOneWeb社は、全世界で安価かつ高速なインターネットの利用を可能とするため、低軌道衛星約600機による衛星コンステレーション計画を実施している。2020年以降のサービス開始を目指し、2019年3月には最初の衛星6機を打ち上げた。本計画は世界中から注目されており、2016年12月にソフトバンクグループから10億ドル、2019年3月には、ソフトバンクグループの他、Grupo Salinas社、Qualcomm社、ルワンダ政府から、総額約1400億円の資金調達に成功している。その他、衛星コンステレーションに関する計画を持つ会社として、4000機以上の衛星を打上げる「Starlink」計画を進めるSpaceX社や、最大108機の低軌道衛星を打上げることを計画しているLeoSat社などが、様々な企業が衛星コンステレーションサービスへ参入しており、競争が生まれている。

さらに、衛星からセンサを使用して地球等の情報を観測するリモートセンシングサービスにも低・中軌道の複数の小型衛星を利用する動きが出ている。米国のPlanet社はすでに、世界最大規模である100機以上の人工衛星群を所有しており、世界中の写真を撮影している。またカナダのUrthecast社は、国際宇宙ステーションに配備したカメラを使ってリアルタイム動画ストリーミングの

提供サービスを計画しており、2015年には60秒程度のフルカラーHD動画を公表している。

衛星測位システムは、人工衛星から送信される信号を用いて、時刻情報や位置情報を配信するシステムであり、現在、カーナビゲーションや徒歩・自動車ナビゲーションアプリ、船舶や航空機の航法支援などに幅広く活用されている。米国のGPSに代表される衛星測位システムは、ロシア（GLONASS）、欧州（Galileo）、中国（BeiDou）及びインド（NAVIC）においても整備が進められており、日本では、2006年より、ビルや山陰等の影響を受けにくく高精度な測位が可能な「準天頂衛星システム（みちびき）」の開発に着手し、2018年11月1日より4機体制でのサービスを開始した。今後、衛星測位システムは、社会経済活動を支える重要なインフラとして、交通、建築、通信、防災、金融等の様々な分野で利用されることが期待されている。

これらに加え、衛星を活用したユニークなエンターテインメント事業を計画するベンチャー企業も現れている。(株)ALEIは、エンターテインメントとサイエンスの両立による宇宙技術の革新を目標に、世界初の人工流れ星事業「Sky Canvas」を計画しているベンチャー企業である。特殊な素材の粒を軌道上の人工衛星から宇宙空間に放出して、大気圏に突入させることで、流れ星を人工的に再現することを目指している。2019年1月にJAXAの革新的衛星技術実証プログラムを活用し、実証衛星「ALE-1」の打上げを行い、軌道投入の後、地上局と通信ミッションを無事完了している。2020年春には、広島瀬戸内地方で、世界初人工流れ星実証実験を行うことが計画されている。

このように、衛星を活用したサービスは、様々な分野の産業に活かされ、裾野が広がってきていることが伺える。

### 2-2-3 宇宙探査・有人宇宙活動

20世紀の人類は、宇宙への第一歩として月を目指してきたが、近年は火星等、深宇宙と呼ばれる更に地球から遠い惑星を調査するために探査機などを飛ばす構想が始まっている。

月面着陸には過去、旧ソ連（1959年）及びアメリカ（1969年）が成功しているが、中国が第3番目の月面着陸国として、探査機「嫦娥四号」を、2019年1月に世界で初めて月の裏側への着陸に成功させている。

また、米国は、人類の活動領域を月、さらには火星へと拡大するために、月の周回軌道上に新たな有人拠点「Gateway」を国際パートナーや民間企業と協力して構築する構想を発表し、技術検討や分担調整等に関する国際的な議論が

進められている。我が国においても、Gatewayへの我が国の強みを活かした参画の方針に関する議論が進められるとともに、月への着陸探査についてJAXAとインド宇宙研究機関（ISRO）との間で共同ミッションの実現性について検討が進められている。

深宇宙探査では日本は、小惑星からのサンプルリターンに強みを持っており、小惑星探査機「はやぶさ」は、2010年6月に小惑星「イトカワ」の表面物質搭載カプセルを地球に持ち帰ることに成功した。後継機である「はやぶさ2」は2019年2月に小惑星リュウグウへのタッチダウンに成功し、2019年末にリュウグウを出発するスケジュールで小惑星探査作業が進められている。

これまで政府主導で進められてきた宇宙探査にも、近年、民間企業の参入の兆しが見え始めている。

例えば、2019年2月にイスラエルのSpaceIL社が、月面探査機「Beresheet」を打ち上げた。2019年4月に同国及び民間主導初を目指した月面軟着陸は失敗したものの、7か国目となる月周回軌道投入を成功させた。一方、米国でも、月面探査のためのローバー開発を行っているMoon Express社が、2016年に米国政府の許可を得て、民間企業として初めて月探査を実施することを発表している。

また、探査だけでなく、月や火星を第2の地球として人類が居住するための構想も進んでいる。日本では、例えば、(株)OUTSENSが「折り紙」技術を用いて、小さく折り畳んだ状態の建造物を打上げ、宇宙空間で展開することで居住空間を作ること計画している。2030年には月面施設の開発を目指す予定とされている。

#### 2-2-4 宇宙環境活用サービス

宇宙環境には微少重力、高真空など、地上とは異なる特徴があり、その特徴を利用することで、新たな成果・サービスを生み出す構想も広がってきている。

日本では、ペプチドリーム(株)が、微少重力環境を利用し、創薬を加速しようとしている。微小重力下では対流が抑制されるため高品質なタンパク質結晶を生成でき、タンパク質の構造を詳細に明らかにすることができる。詳細な構造情報は薬の候補化合物が疾病に関係するタンパク質にどのように結合し作用するのかを可視化できるため、候補化合物の改良を効率化するなど、創薬のサイクルを大幅に短縮することができる。2017年6月には、宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟を利用した高品質タンパク質結晶生成実験を行う戦略的なパートナーシップ契約（同年9月から3年間）をJAXAと締結している。

また、一般人向けの宇宙旅行サービスを展開する企業も出てきている。米国

のVirgin Galactic社は宇宙旅行ビジネスを手がける企業である。弾道宇宙飛行によって、宇宙空間での滞在時間は4分、全体で2時間程度のプログラムを検討しており、料金は25万ドル（約2700万円<sup>6</sup>）程度だが、既に世界中で約700名が支払いを済ませているとのことである。また、同社は2005年には、(株)クラブツーリズム・スペースツアーズと独占契約を結び、日本人向けの宇宙旅行サービスを開始しており、既に19人の日本人が予約をしている旨、報道されている。

米国のBlue Origin社も、同様に弾道宇宙飛行による宇宙旅行ビジネスを計画している。ロケットの先端に宇宙船カプセルを搭載し、上空で宇宙船を切り離すことで弾道旅行を行うことを検討しており、既に帰還テストにも成功している。2019年に宇宙旅行のチケットを売り出す予定であるとされている。

その他、米国のElysium Space社は、遺灰の一部を宇宙へ送る宇宙葬サービスを実施している。2018年12月には、SpaceX社のFalcon 9により、世界で初めて約100人の遺灰を乗せた人工衛星が宇宙に運ばれ、軌道投入に成功した。

このように、地上では得ることの出来ない結果や体験を求め、様々な企業がそれぞれユニークなサービス提供していくものと考えられる。

## 2-2-5 輸送システム

ここで、輸送システムとは、宇宙への打上げ・輸送を行うシステム全般を指しており、従来は人工衛星などのペイロードを宇宙空間まで輸送するための大型ロケットの開発が主流であった。米国のUnited Launch Alliance社やBoeing社、仏のArianespace社やAirbus社、日本では三菱重工業(株)などのEstablished Spaceが牽引してきた分野であり、各国政府からの受注を受けて発展を遂げてきた。

一方、ベンチャー企業により信頼性と共に低価格化を兼ね備えた大型ロケット開発が進んできている。従来、ロケットは打上げ後に分離した各パーツを破棄、または大気圏で燃やすなど、使い捨てが前提で製造されてきたが、打ち上げたパーツを回収することで低コスト化を図る狙いである。米国のBlue Origin社は、再利用ロケット「ニュー・シェパード」の開発を進めており、2015年11月には世界で初めて、ブースターの垂直着陸・回収に成功した。同社は2019年内に有人宇宙飛行の実現を目指しており、同年1月にも10回目の試験飛行を行うなど、着々と準備を進めている。また、米国のベンチャー企業であるSpaceX社も、再利用ロケット「Falcon9」の開発を進めており、2018年5月と8月の2

<sup>6</sup> 換算レートは、2016年平均TTMを採用。(1ドル=108.84円)

度上げた再利用ロケットの再度の打上げ・回収を2018年12月に成功させた。このように再利用による低コスト化を武器に、2社は急激な成長を遂げている。

また、キューブサットと呼ばれる超小型衛星などを打ち上げるための、小型ロケット市場にも様々なベンチャー企業が参入してきている。大型ロケットに比べて搭載容量は小さいが、低価格で打ち上げられるのが特徴である。米国のロケット・ラボ社は、3Dプリンタを活用して、低コストで信頼性の高いロケットエンジンを開発しており、2018年11月には、小型ロケット「エレクトロン」による世界初の商業打上げに成功した。日本でも、インターステラテクノロジズ(株)が、民間企業単独開発の日本発小型ロケット「MOMO」の開発を進めている。

さらに、宇宙と地球を結び、人や物を運ぶ輸送システムである宇宙エレベータを計画する企業も出てきている。カナダのThoth Technology社は、空気注入式のセグメントを組み合わせた、高さ20km程度の宇宙エレベータを計画しており、2015年には宇宙エレベータ「ThothX Tower」の特許を取得している。(株)大林組は、2050年の宇宙エレベータ実現の可能性があると見て、宇宙エレベータの資材になると期待されるカーボンナノチューブの研究等を進めており、2018年3月には、ISSの暴露部に設置したカーボンナノチューブの試験体を回収、耐久性等の検証も行っている。このような宇宙エレベータが実現されれば、輸送コストが安く、安全に物資等を届けることが出来るようになると期待される。

## 2-2-6 宇宙環境保全

宇宙環境保全とは、微小重力、高真空、良好な視野、宇宙放射線などの地上では容易に得ることのできない特徴を持つ宇宙環境で、安定的に宇宙産業を発展させるために必要な環境保全サービスのことを指している。

地球は太陽から比較的近い惑星であり、太陽の活動状況が変化することで、太陽から到来するX線や紫外線などの電磁波や、太陽風とよばれる電気を帯びた高温の気体の一部が地球上に到達してしまうことがある。これらの現象が発生することによって、大気圏外の人工衛星や国際宇宙ステーションが制御不能になる等、直接影響を受けることが分かっている。また、電離圏の擾乱により電波が異常伝搬してしまうことで、衛星を利用した通信・放送・測位サービスや、地上の通信・放送サービスの提供がサービスエリアに届かなくなる等の影響も知られている。さらに、電力線に過電流を発生させるなどの不具合も知られている。

米国では、宇宙天気を地震や津波と同様に戦略的国家危機評価（US Strategic National Risk Assessment : SNRA）の一つとして検討しており、2014年から「Space Operations Research and Mitigation (SWORM)」というタスクフォースを立ち上げ、国家宇宙天気戦略（National Space Weather Strategy）及び宇宙天気アクションプラン（Space Weather Action Plan）の検討を行った。2016年には同アクションプランを加速させるための大統領令が發布されている。また、国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）の設立50周年となった2018年に開催された「第1回国連宇宙会議」開催50周年記念会合（UNISPACE+50）においては、7つの優先主題の1つとして「宇宙天気サービスのための国際枠組み」について議論されるなど、世界中で優先度が高い課題と認識されてきている。

日本ではNICTが、太陽フレア等の太陽活動による影響の予測・現状把握（宇宙天気予報）に関する業務を実施している。太陽風等の観測データに基づき、平日14時30分から宇宙天気予報会議を行い、現状と予報について、ウェブや電子メール等で配信を行っている。また、現在は平日に限って有人で行っている宇宙天気予報を配信するサービスを、夜間・休日を含めた24時間運用に拡充する予定である。

また、安定的な宇宙産業の発展を妨げるものとして、宇宙デブリの存在も課題である。宇宙デブリとは、宇宙の軌道上にある不要な人工物体の総称であり、故障した人工衛星やロケットの上段や、それらが、爆発・衝突することで発生した破片等のことである。宇宙デブリは、米国を中心にその監視、軌道の把握が行われており、カタログ化（物体が特定）されているものの数は、米国Space Trackによると2019年時点で19,538個であり、年々増加している。これら宇宙デブリの衝突速度（相対速度）は秒速約10~15kmと非常に高速となる場合もあり、人工衛星や宇宙ステーションに衝突すると大きな被害をもたらす場合がある。このような、宇宙デブリの増加によるリスクは深刻化しており、宇宙空間の安定的利用を確保していくことが喫緊の課題となっている。こうした問題に対し、日本では、宇宙デブリの観測能力向上を図るため、新しいSSA（Space Situation Awareness : 宇宙状況把握）システムの構築を政府が一体となって進めており、2023年からの本格運用開始を見据えて、レーダ・光学望遠鏡の整備等を実施している。その上で、同盟国等とSSA情報の共有を進めることにより、宇宙デブリとの衝突等を回避するために必要となる能力を構築することとしている。さらに、民間企業においても宇宙デブリに関する取組が行われており、(株)アストロスケールが、世界初の宇宙デブリ除去サービスの提供に向け、デブリ除去実証衛星「ELSA-d」の開発・製造等を実施しており、当該衛星は、2020年初頭に打上げ予定である。

### 第3章 宇宙利用において目指すべき将来像

前章までの宇宙産業の動向等の分析を踏まえ、日本における宇宙産業の今後のさらなる発展を期待し、2030年代以降から2050年代頃までをターゲットとして、宇宙利用の将来像を描くとともに、2050年における日本の宇宙産業の市場予測を行った。

将来像については、ベンチャー企業や異業種の参入の促進、宇宙利用の有効性・潜在性に関する投資家や社会への理解増、さらにはその時代に活躍する小中高生や大学生への宇宙に関する興味の誘起等を想定して、実現が期待される像を描いている。

また、2050年における日本の宇宙産業（広義）の市場規模は、約59兆円になるものと期待される。

#### 3-1 2030年代以降の宇宙利用の将来像

将来像は、第2章で分類した6つの分野のうち、「1. 衛星インフラ構築・運用」「2. 衛星活用サービス」「3. 宇宙探査・有人宇宙活動」及び「4. 宇宙環境活用サービス」の4つについて描いている（図3-1）。

なお、「5. 輸送システム」及び「6. 宇宙環境保全」については、これらの将来像の実現に必要な不可欠な基盤であり、実現にあたっての課題を検討する際に考慮している。

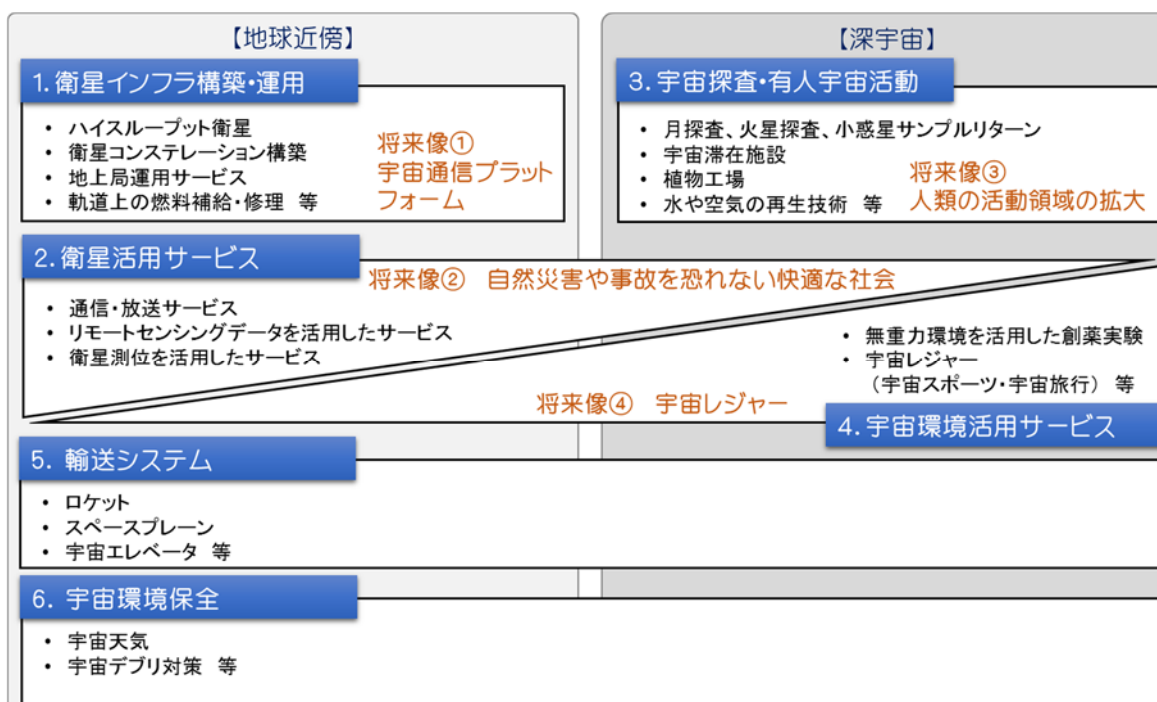


図3-1 宇宙産業の分類と将来像との関係



### 3-1-1 宇宙通信プラットフォーム（ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大） 【将来像①】

現在、静止軌道上にある通信衛星により実現されているサービス提供は、その広域性・同報性・耐災害性等の特長から、地球から利用するネットワーク基盤として重要な位置を占めているが、それらは地球表面のネットワークと有機的に結合しているとは言えず、インターネット等の通信ネットワークのほとんどが、地球の表面に偏在している状況である。

2030年代になると、静止衛星、低中軌道衛星は、通信のノードとして、更にはデータの格納や解析のノードとして機能するようになり、地上系のネットワークと区別なく利用されるようになる。このようにして統合されたネットワーク基盤は、地球表面、低軌道衛星、中軌道衛星、静止衛星というように、ジオスペース（地球近傍の宇宙空間）において多層をなし、シームレスに宇宙空間に拡大していく。このネットワーク基盤は、格差のないフラットな世界的ICTインフラである「宇宙通信プラットフォーム」を形成し、誰もが利用できるようになる。

また、衛星等は、単にネットワークの中継ノードとしての役割を担うだけでなく、例えば、リモートセンシング衛星は、自らが取得したセンシングデータの格納に加え解析機能を有するようになり、データを地球に伝送することなく、データを付加価値がある情報へと昇華させ、それを宇宙空間に蓄えることが可能となる。

これにより、地球上のみならず、宇宙空間を含め、任意の場所から必要な時に必要な情報に容易にアクセス可能となる世界が実現され、これらを前提としたサービスが提供されるようになる。



図3-2 将来像①：宇宙通信プラットフォーム（ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大）

### 3-1-2 自然災害や事故を恐れない快適な社会【将来像②】

現在、IoTにより地上のセンサ情報が容易に収集・利用され、また、公的機関や民間企業が打ち上げたリモートセンシング衛星により取得されたデータが様々な用途やビジネスに利用されることが期待されている。これらのデータは、安心・安全や付加価値創出に資するために利活用されることになるが、現状ではその解像度や精度、頻度等は限定的である。また、衛星通信については、その広域性等から災害時において利用され、衛星測位については、準天頂衛星システム「みちびき」の4機体制によるサービス提供が開始されたが、それらの潜在能力が十分に発揮されているとは言えない状況である。

2030年代になると、多数のリモートセンシング衛星が低軌道等で運用されるとともに、地上のセンサの数も増加の一途を辿り、こうした衛星や地上のセンサ群により、多種多様な地球観測データが高解像かつ高頻度で取得されるようになる。また、それらのデータを効率的・効果的に解析する技術が進展することで、自然災害の予測精度は飛躍的に向上し、災害の発生後の迅速な状況把握等が可能となる。

さらに、災害や事故の発生時における被災地等での地上系ネットワークの寸断や通信トラフィック急増、イベント等における一時的な人口の集中等において

も、容量やエリアを柔軟に切り替えることで、快適な通信を実現することが可能となる。

このように、災害予測の高度化により災害弱者が大幅に減少するとともに、現に発災した場合においても、被災者の救済が迅速に実現されるようになる。

くわえて、測位情報が、安定的に、また他の地上系の情報と組み合わせて高度に利用されることなどにより、高精度な位置情報による安心・安全な、かつ効率化された無人又は自動の輸送システムが実現される。

そのほか、宇宙由来のデータを、地上のセンサやSNS等の様々な情報と組み合わせて利用することにより、干ばつや台風等の影響を最小化した農作物の効率的な栽培等の一次産業の生産性向上や、海洋資源の正確な位置や埋蔵量の把握等による新たな資源開発、インフラ管理等の社会課題の解決、さらには金融やマーケティングなど、課題解決だけでなく、地球観測データを活用したビジネスの付加価値や新ビジネスの創出が実現される。



図3-3 将来像②: 自然災害や事故を恐れない快適な社会

### 3-1-3 人類の活動領域の拡大【将来像③】

現在、地球以外の天体等における探査や有人活動を行う場合には、地球から必要な物資や機器を全てロケットで一度に打ち上げることが必要であり、宇宙機やランダー・ローバーの動作も、自律航行を除けば、(通信が中継されることはあるが、)地球から制御している。

今後、宇宙空間にベースステーションが構築され、物資や機器、人の輸送のほか、通信の基盤が形成される。

これにより、有人宇宙活動は、地球と直接通信するほか、活動場所と距離的に近くに位置するベースステーションとも通信・経由しながら効果的・効率的に実施される。また、危険な場所や深宇宙での作業は、ベースステーションからロボットを遠隔操作し、又はAIによりローバーの自律航行も活用することにより、無人で実現される。一方、有人飛行は真に必要な領域・場面に対して行われることになり、費用及びリスクの低減が図られる。

また、これまで資源は、太陽エネルギーを除けば地球上に存在するものに限定されていたが、上述のようにロボットやAIを活用することにより、月、火星、火星と木星の間に広がる無数の小惑星等に在る資源を利用できるようになる。さらに、ロボット等を利用して建造された宇宙基地での生活においては、水や食料等が「宙産宙消」され、長期にわたる滞在を可能とするとともに、必要な物資の輸送の量が削減されるため、費用が軽減される。さらに、ベースステーションやAIの活用により、深宇宙探査の精度や到達可能距離、通信可能量が大幅に向上していく。

このように、2050年代には、地球以外の資源の獲得や居住領域の確保、など、地球上と同レベルの生活環境が確保できるようになり、人類の活動範囲が拡大する。

これら有人活動領域の拡大や居住領域の拡大により、この将来像③のみでなく、将来像の①から④に表れるサービスの多くが宇宙を舞台に提供出来るようになり、これまでにない新しい様々な就労機会が創出される。



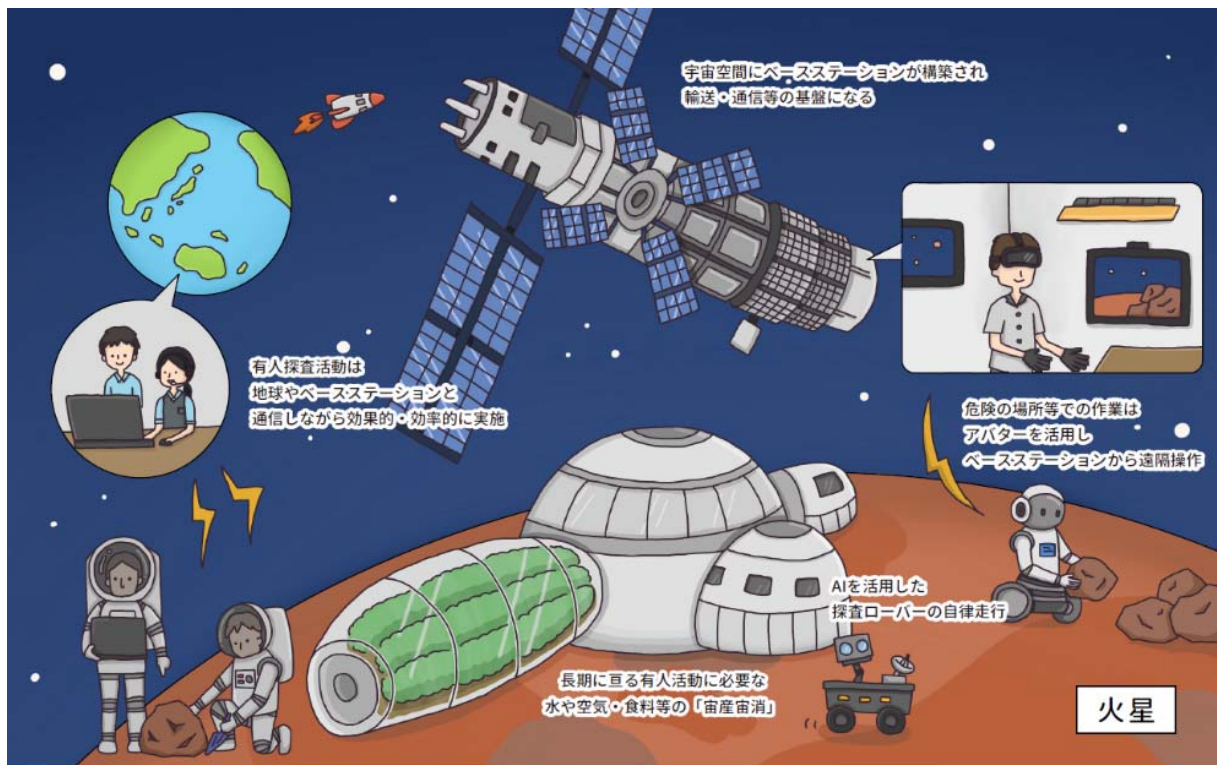


図 3-4 将来像③：人類の活動領域の拡大

### 3-1-4 宇宙レジャー【将来像④】

現在、宇宙旅行や無重力体験ができるのは、様々な特殊な訓練を経た宇宙飛行士や億万長者等に限られる。また、その機会は、国際宇宙ステーション滞中に付随したものや、弾道飛行により実現されるごく限られた無重力体験のみである。

今後、一般の人もロケット等に搭乗したり、宇宙ホテルに滞在したりするほか、映画の「聖地」訪問、宇宙アミューズメントパーク等を含めた宇宙旅行を楽しむようになる。また、月面オリンピック・パラリンピック（仮称）が開催され、低重力という特殊な競技環境におけるパフォーマンスが話題を呼び、宇宙旅番組による宣伝効果も相まって、観戦ツアーや地球上でのリアルタイム観戦が人気を博すようになる。

さらに、人類未踏のエリアであっても、人類が送り込んだ人工物が取得したデータ等を利用したアバターやVRによるバーチャル旅行も人気となる。そのようにして培われた技術は、宇宙飛行士の育成・派遣の一部を代替するとともに、地球上の秘境など人類が到達困難なエリアへの旅行や、旅行をするのが難しい人でも、自宅に居ながらにして臨場感ある観光気分を味わうことができるようになる。

くわえて、ロケットやスペースプレーンの発射場や宇宙エレベータのアース・ポートなど、旅行のゲートウェイとなるスペースポート周辺には、打上げ

見学や宇宙関連ショッピング、宇宙タイムカプセルなどが楽しめる統合型リゾートが形成され賑わいをみせる。

このように、2050年代には、宇宙飛行士や億万長者だけでなく、一般の人も宇宙をレジャーとして楽しめるような世界になるとともに、地球か宇宙か、リアルかバーチャルかを問わない「ユニバーサル旅行」が当たり前となる世の中になる。そして、現在は、遠隔で仕事やレジャーをすることが真新しいものとして受け止められているが、逆に「実際に足を運ぶ」ことが贅沢・特別になる時代が来る。



図3-5 将来像④:宇宙レジャー

### 3-2 宇宙産業の市場予測

第1章において、世界の宇宙産業の市場規模は、この10年で2倍程度に拡大し、2016年には約35兆円に達していることを示したところであるが、今後の宇宙産業の市場はどのような傾向となるのだろうか。

今後の市場予測については、複数の大手投資銀行がレポートを発表している。例えば、米ゴールドマン・サックスは、ロケットや衛星のコスト低下が、宇宙ビジネスへの参入障壁を下げることとなり、既存の通信衛星サービスが伸張するとともに、宇宙観光、小惑星における資源探査、軌道上サービス等の新しい産業が誕生することで、2040年代に世界の宇宙産業の市場規模が1兆ドル（約108.8兆円<sup>7</sup>）に達すると予測している。

また、米モルガン・スタンレーは、再利用ロケットや衛星技術の成熟が、衛星打上げコストを下げることに伴い、衛星ブロードバンド通信の拡大が期待されるとともに、宇宙旅行の機会も期待されるとして、2040年に世界の宇宙産業の市場規模が1.1兆ドル（約120.2兆円<sup>7</sup>）に達すると予測している。

米バンク・オブ・アメリカ・メリルリンチは、再利用ロケット等民間企業により打上げコストが下がり、また、新興国の宇宙ビジネスへの参入等が容易になることにより、官需だけでなく民需も拡大するとして、2045年までに世界の宇宙産業の市場規模が2.7兆ドル（約293.9兆円<sup>7</sup>）に達すると予測している。

これらの予測は、いずれも、ロケットや衛星の技術が進展することにロケット・衛星や打上げのコストが低下し、通信事業を含め、宇宙産業の市場規模が拡大していくというものである。

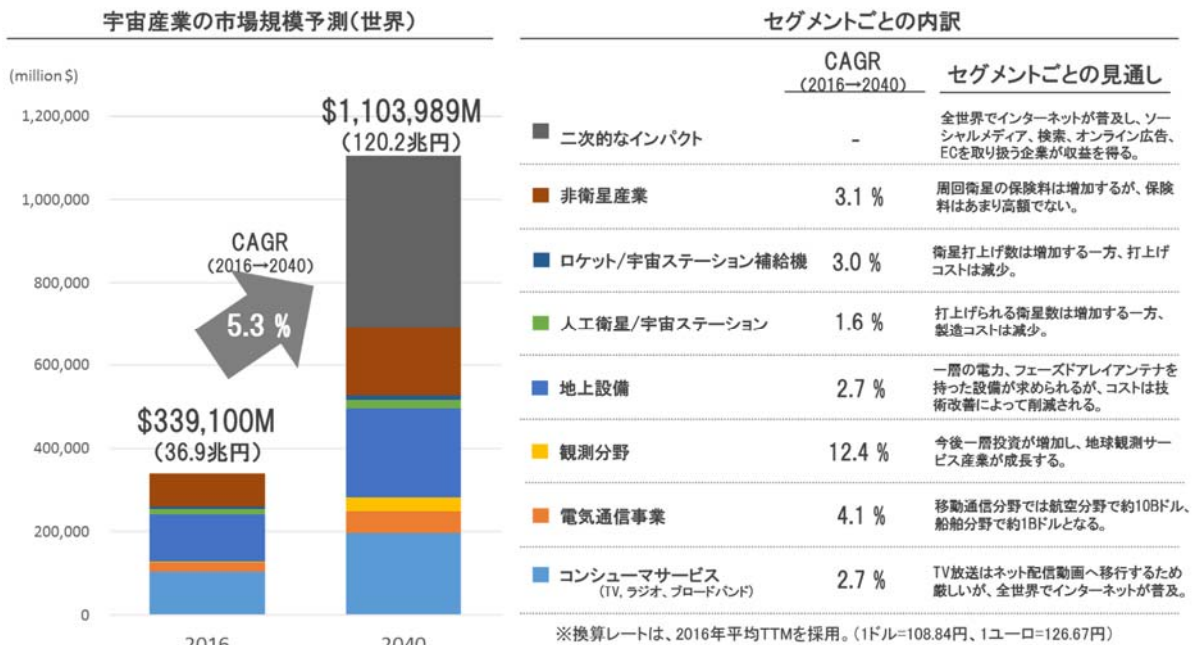
このように宇宙産業の世界市場規模は大きく拡大していくものと予測される中、日本における市場規模はどうなっていくのか、セグメントごとの内訳や根拠が示されている米モルガン・スタンレーの予測を参考に、2050年における日本における宇宙産業の市場規模を以下の手順に沿って試算した。

初めに、米モルガン・スタンレーによる2040年における世界の宇宙産業の市場規模の予測（図3-6）をもとに、この予測における各セグメントのCAGRが2050年まで維持されると仮定し、2050年時点の世界の市場規模を算出した。その結果、2050年における世界の宇宙産業の市場規模は、200.7兆円<sup>7</sup>に達するものとなった（図3-7左）。

この試算の内訳となる「ロケット/宇宙ステーション補給機」等の各セグメントは、第2章で示した日本市場の分類に沿って「(1) 宇宙関連産業」及び「(2)

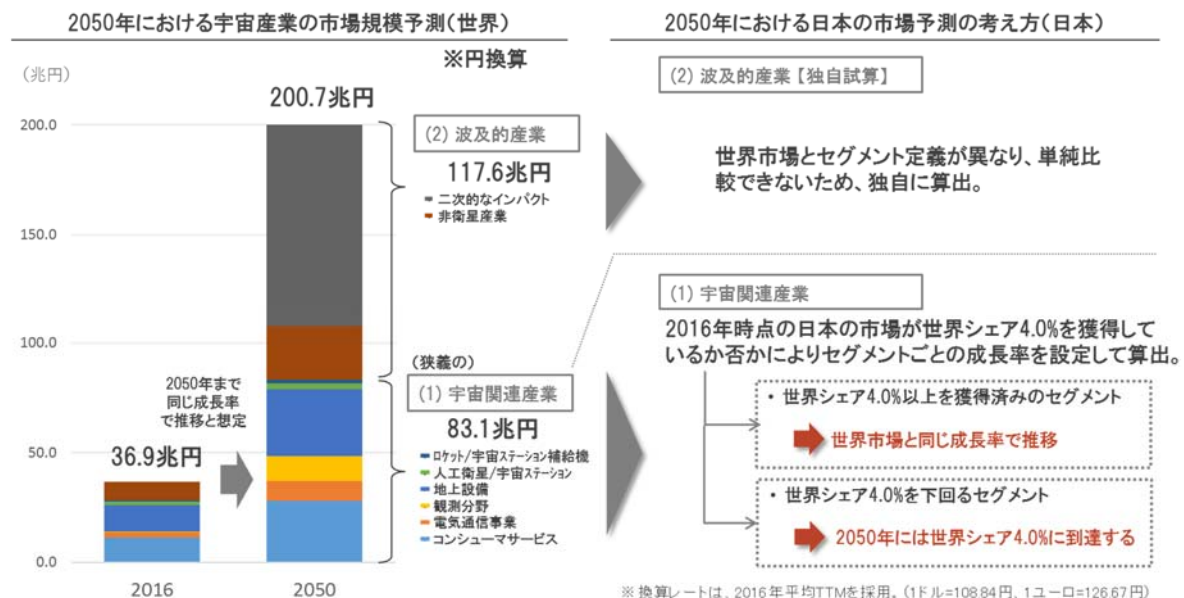
<sup>7</sup> 換算レートは、2016年平均TTMを採用。(1ドル=108.84円)

波及的産業」と分類することができることから、ベースとなる「(1) 宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模については、日本市場の世界シェアを元に算出している。一方、「(2) 波及的効果」については、そこに含まれる産業が明確でないことから、独自の試算をしている（図3-7右）。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-6 米モルガン・スタンレーによる2040年における宇宙産業の市場規模予測(世界)



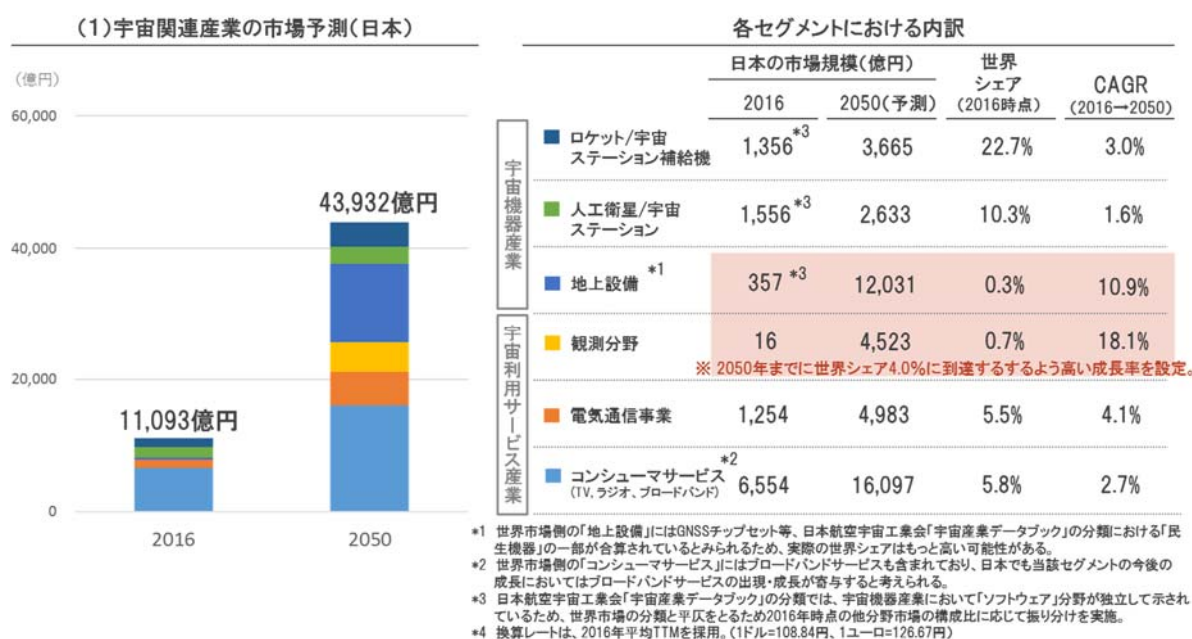
出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-7 米モルガン・スタンレーの2040年の宇宙産業の世界市場規模を基に算出した2050年における宇宙産業の世界市場規模予測、及び日本の市場予測の考え方



まず、「(1) 宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模の試算については、2016年での各セグメントにおける日本市場が占める世界シェアが、4.0%（2050年における日本のGDPの世界シェアの予測値として、OECD(2018) Economic Outlook No. 103を元に算出したもの）以上を獲得している場合には、当該セグメントのCAGRが2040年以降も維持されるものとし算出している。具体的には、「ロケット/宇宙ステーション補給機」、「人工衛星/宇宙ステーション」、「電気通信事業」、及び「コンシューマサービス」のセグメントが該当し、それぞれのCAGRが3.0%、1.6%、4.1%及び2.7%を維持されるものとしている。一方の日本の世界シェアが4.0%を下回っている場合（「地上設備」及び「観測分野」が該当。）には、2050年に世界シェアが4.0%に到達するようにCAGRを設定している。

この条件のもとに、「(1) 宇宙関連産業」の2050年における日本の市場規模を算出すると、約4.4兆円になると予測された。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-8 2050年における日本の「(1) 宇宙関連産業」の市場規模予測

次に、独自の試算を加えとした「(2) 波及的産業」の2050年における日本の市場規模について考察を行う。

第2章において「(2) 波及的産業」には、BS・CS対応のテレビやアンテナ、衛星測位技術を利用したカーナビゲーションや携帯電話端末等の民生機器からなる産業である「宇宙関連民生機器産業」のみが含まれていた。しかしながら、「3

ー 1 2030年代以降の宇宙利用の将来像」で記載したように、将来は様々なサービス・事業が創出される。このため、将来の「(2)波及的産業」の市場を考える際には、宇宙利用サービス産業群から提供される各種サービスや宇宙関連民生機器産業から提供される民生機器を購入・利用することによって、自らの事業の効率化・差別化を図り事業を行っている産業である「ユーザ産業」(例、衛星から送られたデータを用いたエリアマーケティング)や、宇宙旅行やVRを用いたバーチャル旅行などの「宇宙関連エンタメ産業」を「(2)波及的産業」に含めて考えることが適当である。

上記の考えから、ここでは「(2)波及的産業」には「①宇宙関連民生機器産業」「②ユーザ産業群」「③宇宙レジャー産業」が含まれるものとして再定義し、将来の市場規模を考察する。なお、この際の市場規模は第2章で述べた「市場規模」と区別するため「宇宙産業(広義)の市場規模」と本報告書では記載する。

「①宇宙関連民生機器産業」は、BS・CS対応のテレビやアンテナ、衛星測位技術を利用したカーナビゲーションや携帯電話端末等の民生機器からなる産業であり、「(1)宇宙関連産業」に対する当該産業の比率が、現状(2012~2016年の平均)の1.43倍を維持すると仮定して、2050年の市場規模を算出した。その結果、約6兆円の市場規模になると予測された。

「②ユーザ産業群」は、宇宙利用サービス産業群から提供される各種サービスや、宇宙関連民生機器産業から提供される民生機器を購入・利用することによって、自らの事業の効率化及び差別化を図り事業を行っている産業であり、上記の「①宇宙関連民生機器産業」の試算と同様、現状(2012~2016年の平均)の比率である4.36倍を維持すると仮定した算出結果とし、その上で、宇宙産業のインフラが整備されることによりユーザ産業群による事業が10.6倍程度まで拡大すると想定して算出したものを加えることで試算している。その結果、2050年における②ユーザ産業群の市場は、約47兆円になると試算された。

なお、ユーザ産業群による事業が10.6倍まで拡大すると仮定した根拠は、図3-9にあるとおり、データセンタ市場とクラウド市場の比率等のICT3分野の比率を参考にしており、これらの平均をとることで求めたものである。

例1: データセンター市場とクラウド市場の比率	例2: 移動体通信サービス市場とモバイルサービス(Mコマース、アプリ、広告)市場の比率	例3: IoT市場とIoT実現による経済価値創出																																
<ul style="list-style-type: none"> <li>データセンターは年平均7.6%(2014-2020)で推移</li> <li>クラウドサービスは年平均31.2%(2014-2020)で推移</li> </ul> <p>世界のデータセンター/クラウドサービスの市場推移 (百万ドル)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2014</th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> <th>2020</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>データセンター売上高</td> <td>17,774</td> <td>18,729</td> <td>20,532</td> <td>22,571</td> <td>23,440</td> <td>25,446</td> <td>27,510</td> </tr> <tr> <td>クラウドサービス売上高</td> <td>60,600</td> <td>93,200</td> <td>125,900</td> <td>168,400</td> <td>217,000</td> <td>265,900</td> <td>309,100</td> </tr> <tr> <td>クラウドサービスの比率</td> <td>341%</td> <td>498%</td> <td>613%</td> <td>746%</td> <td>926%</td> <td>1045%</td> <td>1124%</td> </tr> </tbody> </table> <p>サービス産業がインフラの11.2倍まで拡大</p> <p>出所: 総務省「平成29年度版情報通信白書」</p>		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	データセンター売上高	17,774	18,729	20,532	22,571	23,440	25,446	27,510	クラウドサービス売上高	60,600	93,200	125,900	168,400	217,000	265,900	309,100	クラウドサービスの比率	341%	498%	613%	746%	926%	1045%	1124%	<ul style="list-style-type: none"> <li>移動体通信サービス市場は成熟化が進んでいる <ul style="list-style-type: none"> <li>移動体通信サービス(端末除く)の市場は年平均1.9%(2016-2018)で推移。成熟国ではほぼ横ばい。</li> <li>同程度の推移を遂げると想定すると、2021年の移動体通信サービス市場は7,293億ドルとなる。</li> </ul> </li> <li>モバイルサービス市場は年平均37.3%(2016-2021)で推移し、<b>2021年には移動体通信市場の8.7倍となる6兆3500億ドルに到達する見込み。</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>モバイルアプリストアにおける消費者支出額は年平均18%で成長し、2021年に1390億ドルに到達。</li> <li>アプリ内広告への全世界支出額は年平均25%で成長し、2021年に2010億ドルに到達。</li> <li>モバイルコマースは年平均38%で成長し、2021年には6兆ドルを超える。</li> </ul> </li> </ul> <p>出所: GSMA「The Mobile Economy (2017-2019)」 出所: App Annie「収益モデル別アプリ市場規模予測」</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IDCによれば、IoT市場は年平均13.6%(2017-2022)で成長し、2022年に1.2兆ドルに到達すると予測。</li> </ul> <p>出所: IDC「Worldwide Semiannual Internet of Things Spending Guide」(2017)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ciscoは、IoTの活用によって企業や業界において創出される経済価値は2022年までに<b>全世界の企業で14.4兆ドルと予測。これは2022年のIoT市場の12.0倍にあたる。</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>IoTの活用によって創出される経済価値の要因として、資本効率の改善、労働生産性向上、サプライチェーンとロジスティクスの効率化、カスタマーエクスペリエンス向上、イノベーションの時間短縮が挙げられている。</li> </ul> </li> </ul> <p>出所: Cisco「Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion」(2013年2月)</p>
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020																											
データセンター売上高	17,774	18,729	20,532	22,571	23,440	25,446	27,510																											
クラウドサービス売上高	60,600	93,200	125,900	168,400	217,000	265,900	309,100																											
クラウドサービスの比率	341%	498%	613%	746%	926%	1045%	1124%																											

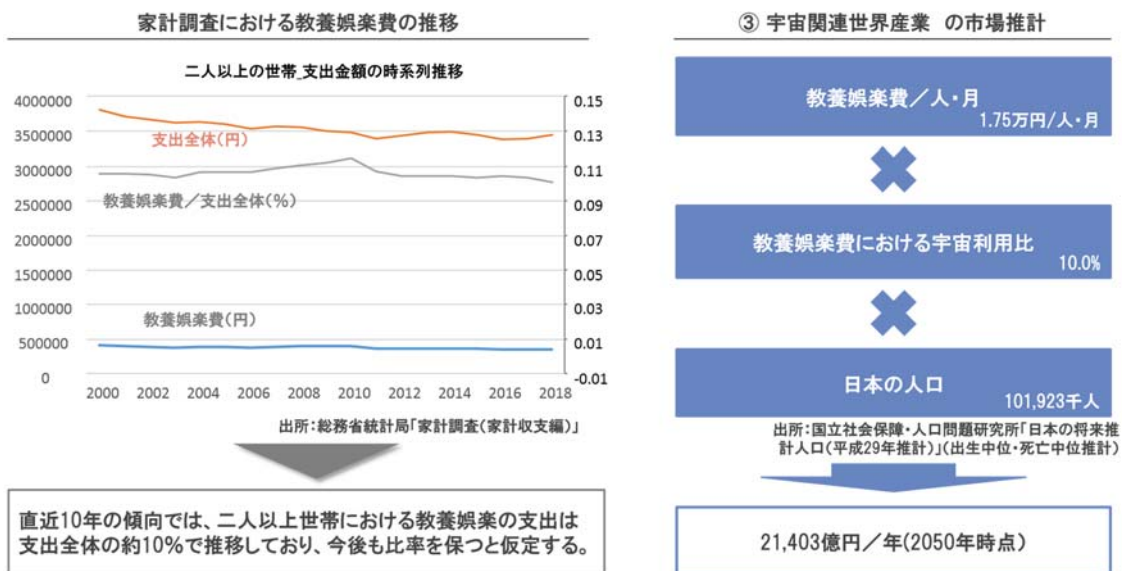
宇宙利用の環境が整備されることにより、宇宙関連産業の**10.6倍程度**(上記3例の比率の平均値)までユーザ産業群による事業が拡大するものと仮定。

出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-9 「②ユーザ産業群」における事業拡大の仮定

「③宇宙レジャー産業」は、映画・アニメ・漫画・ゲームソフト等のコンテンツや、テーマパーク等の娯楽事業のほか、今後普及すると想定される宇宙旅行からなる産業である。

このうち、娯楽事業については、2050年に一般的な世帯における教養娯楽費のうち10%が消費されると仮定することで、約2.1兆円の市場が創出される結果となった(図3-10)。



出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-10 「③宇宙レジャー産業」のうち娯楽事業の市場規模予測

また、宇宙旅行については、日本の富裕層127万世帯の1%が宇宙旅行を希望すると仮定した上で、富裕層の平均旅行消費額が176万円であること及び宇宙旅行の適正価格が600万円と考えられていることから、当該1%の富裕層が3～4年に1回（富裕層の消費額と宇宙旅行の単価から算出。）は宇宙旅行に行くものとして算出した。その結果、474億円の市場規模となった（図3-11）。

「③宇宙レジャー産業」の市場規模は、娯楽事業と宇宙旅行の試算を合算することで約2.2兆円となる。

宇宙旅行(サブオービタル)の個人需要見込み	富裕層旅行の実態調査結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>● ヴァージンギャラクティック社の取扱宇宙旅行客数は、運航開始後10年間で累計3万人と予測しており、そのうち日本からの参加を約900人と想定。</li> <li>● 参加料金は1人25万米ドル(約2500万円)で、現在世界で約600人、うち日本人18人が予約している。</li> <li>● クラブツーリズムの調査によると、600万円が宇宙旅行の「適正価格」と考える人が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 英国、ドイツ、フランス、オーストラリア、米国の5カ国の旅行者3億4100万人(年間)のうち1.0%の340万人が富裕層。</li> <li>● 富裕層の旅行消費は一人あたり平均約176万円。 <small>出所:Travel Vision「富裕層のニーズが多様化、誘致に向けネットワークを活用—ツーリズムEXPO」(2018年10月22日)</small></li> </ul>
<small>出所:クラブツーリズム・スペースツアーズ、JAXA「宇宙旅行市場調査」(2014年6月)等</small>	<p style="text-align: center;">日本の富裕層の世帯数</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2017年における日本の富裕層(金融資産保有額1億円以上)は127万世帯、超富裕層(金融資産保有額5億円以上)は8.4万世帯。 <small>出所:NRIニュースリリース(2018年12月)</small></li> </ul>



仮に2050年時点でサブオービタル飛行が一人あたり600万円、日本からのツアーへの参加者が年間で7,900人\*とすると、年間売上は474億円。

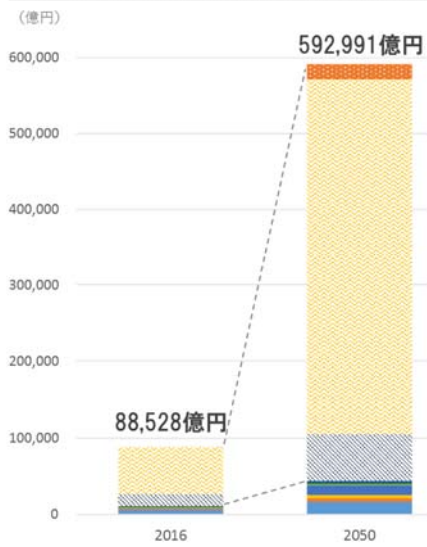
\* 日本の富裕層127万世帯(2人世帯と想定)の1.0%が、3.4年に1回(富裕層の旅行消費額と宇宙旅行の単価から算出)宇宙旅行に行く想定

出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-11 「③宇宙レジャー産業」のうち旅行の市場規模予測

上記の結果を踏まえ、「(1)宇宙関連産業」、並びに「(2)波及的産業」の①宇宙関連民生機器産業、②ユーザ産業群、及び③宇宙レジャー産業の各試算を合計することで、2050年の日本の宇宙産業(広義)の市場規模は約59兆円まで成長するとの予測となった。

2050年における宇宙産業(広義)の市場規模(日本)



各セグメントにおける内訳

	日本の市場規模(億円)		CAGR (2016-2050)		
	2016	2050(予測)			
【独自試算】 (2)波及的市場	宇宙レジャー産業	—	21,877	—	約54.9兆円
	ユーザ産業群	62,208	465,677	6.1%	
	※ 宇宙関連民生機器	15,227	61,505	4.2%	
(1)宇宙関連産業	宇宙機器産業				約4.4兆円
	ロケット/宇宙ステーション補給	1,356	3,665	3.0%	
	人工衛星/宇宙ステーション	1,556	2,633	1.6%	
	地上設備	357	12,031	10.9%	
	観測分野	16	4,523	18.1%	
	電気通信事業	1,254	4,983	4.1%	
	コンシューマサービス (BS-CS放送事業)	6,554	16,097	2.7%	

出典:「宙を拓くタスクフォース(第6回)」株式会社NTTデータ経営研究所発表資料

図3-1-2 2050年における日本の宇宙産業(広義)の市場規模予測

以上のように、宇宙産業は、市場規模・成長率ともに大きい成長産業であり、今後の日本の経済成長にとって極めて重要な位置を占める産業分野になるものと期待される。

なお、宇宙空間や惑星での人類の生活領域が広がることによって必要となる衣食住や生活インフラ等、今回試算した分野以外にも宇宙産業が拡大することにより、より大きな市場が形成されていくことも期待される。

## 第4章 宇宙利用の将来像を実現するための課題

前章で描いた将来像を実現するためには、ICT分野に限定することなく、また既に取り組んでいる課題を含めて、幅広く洗い出しを行ったところ、ここに示す25課題に取り組むことが必要であると整理された。(各課題が、主にどの将来像に該当するか、又は将来像実現のための基盤であるかを付記している。)

その上で、特にICT分野において喫緊に取り組むべき課題を、宇宙利用分野での事業化や社会実装を促進していくことに力点をおいて、5つの事項(9課題)を導き出している。

### 4-1 将来像実現のための25課題

課題1：宇宙を地球と遜色なく利用するための、衛星の十分な電力の確保、省電力技術や低コスト温度管理技術の獲得【将来像①】

将来像①では、静止軌道衛星及び低中軌道衛星を含んだ基盤を構築することにより、宇宙を地球と遜色なく利用の様子が描かれている。この実現のためには、ストレージやサーバ、ネットワークの機能を有する多数の衛星を、地球周回軌道等に打ち上げ、効率的に運用する必要がある。

ストレージやサーバ、ネットワークの機能の実現には、地上におけるデータセンタやネットワークセンタがそうであるように、電力の確保が鍵となる。しかし、衛星の電力は、ミッション系機器ほか衛星バスでも使用するものであり、特に、小型衛星の電力は非常に限られていることから、ミッション等を実現するための省電力技術の確立が重要な位置を占める。

さらに、データセンタ等では、コンピュータが発する熱を如何に逃がすかが、機能の安定性、コスト等に大きく影響するところ、宇宙空間では、対流や伝導による廃熱処理効果が極めて乏しく、放射による温度管理に頼らざるを得ないため、地上よりも遥かに厳しい温度管理が必要となる。くわえて、多数の衛星により宇宙通信プラットフォームを形成することに鑑みれば、当該温度管理を安価に実現する技術の獲得が必要である。

課題2：衛星等の製造期間の更なる短縮及び製造・運用費用の低廉化【将来像①②】

将来像①や②の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げ、運用することが前提となるため、衛星等の製造及び運用に関する改善が必要である。

衛星の製造については、実際に宇宙空間に打ち上げるフライト・モデル(FM)の製造の前に、基本設計・詳細設計、エンジニアリング・モデル(EM)



やプロトタイプ・モデル（PM）等の試作・検証を経るのが一般的である。これらは、サービスの要求条件や打上げロケット等の制約を踏まえて、一品ものとして製造するためである。また、ミッション系機器と衛星バスとの噛み合わせを調整する必要もある。これらの過程を効率化し、製造期間の短縮を実現するには、ミッション部分をデジタルペイロード化することにより、宇宙空間での運用を開始した後であっても、その動作内容を変更可能とすることで、製造の前に要する衛星個別の設計・試作の過程の多くを省略することなどが必要である。

また、実際の製造においては、デバイスや機器の汎用化やモジュール化、さらには、ミッションクリティカルでないデバイスや機器にはCOTS（既製品の採用）の考え方を取り入れることで、その製造期間や製造費用を削減することが必要である。

さらに、運用についても、そのために必要な地上設備を自ら保有するには、高額な初期投資が必要であることから、このボトルネックを解消していくことなどが必要である。

### 課題3：通信衛星やリモートセンシング衛星、輸送システムや地上設備の世界的な融通【将来像①②】

将来像①や②の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げ、運用することなどが必要である。

現在、通信衛星やリモートセンシング衛星の多くは、特定の目的のために、開発・製造・打上げ・運用がなされている。これらの衛星は、当該目的や運用をする者以外にも有用である場合が多く、衛星に係る費用の負担を分散し、資産の有効利用のためには、これらの衛星を融通していくことが必要である。

また、ロケット等の輸送システムについては、あるペイロードを打ち上げるための専用の打上げサービスを購入することが一般的であるが、射場や打上げ可能重量を有効利用するためには、輸送システムそのものの技術や打上げ技術の進展に加え、同時に複数の衛星等を打ち上げるなど輸送システムを融通することが必要である。

さらに、地球の上空を周回する衛星については、自ら保有する地上設備のみで運用することが困難・非効率であることから、地上設備を相互に融通し、多くの衛星を共同して運用する体制を構築していくことなどが求められる。



課題4：新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性を踏まえた、より周波数利用効率に優れた通信技術の確立や、通信の安全性等を向上させるための秘匿性・抗たん性の確保【将来像①②③】

将来像①②では、通信衛星や測位衛星を活用して、ネットワーク基盤の宇宙空間への拡大やこれにより実現される社会が描かれている。これらを現実のものとするためには、まず、地上系との連携によるシームレスかつグローバルな高速・大容量の通信ネットワークを構築する必要がある。今後、新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性が増すことを踏まえ、大容量通信が可能なKa帯等の電波や、更なる大容量化が可能となる光通信を利用する技術を高度化することが必要である。また、通信容量の絶対量を増加させるこれらの取組に加え、その容量を最大限に活用すべく、事故や災害、イベント等による通信トラフィックの急増、人口の偏在等の影響を吸収するため、通信需要に最適かつ動的に対応可能な通信制御技術の確立が求められる。

さらに、衛星通信により伝送される情報の重要性や、衛星測位システムの社会への浸透度が増すに連れて、通信路の安全性向上が必須となってきており、衛星通信に対する第三者による通信内容の盗聴や改ざん、制御の乗っ取りといったサイバー攻撃、測位衛星システムへのジャミングやスプーフィングといった脅威が想定される中、その対策が必要である。

将来像③の宇宙探査についても、例えば、火星探査の場合には、同じタイミングで同じ向き（地球から探査機、及び探査機から地球）に電波の需要が発生することが想定される。また、Gatewayが月周回軌道に構築されれば、Gatewayと地球や月との間での双方向で電波が混み合うことが想定される。そのため、地球近傍に限らず、宇宙探査や宇宙活動においても、必要な周波数の確保や周波数利用効率の向上が必要である。

課題5：衛星をデータの格納・解析や通信におけるノードにするための、宇宙空間に耐えうる機器の開発、格納データの適切な管理等のためのルール整備やアーキテクチャの設計【将来像①③】

将来像①及び③では、ネットワーク基盤が地上から宇宙空間へと多層かつシームレスに拡大し、宇宙空間であっても、必要なときに必要な情報を容易にアクセス可能な環境が描かれている。これを実現するためには、複数の衛星が通信ネットワークのノードの役割を果たすとともに、宇宙空間上でのデータの格納や解析等の機能を有する必要がある。

衛星がノードとなり、宇宙空間上で多層のネットワーク基盤を構築するためには、地上との通信の他、複数の軌道との間での衛星間通信の実現が不可欠である。特に、低軌道衛星については上空を通過する速度が非常に速く、衛星の

追尾等が困難であるため、衛星と地上局間や衛星間で確実に通信できる技術の実現が重要となってくる。

また、衛星にデータの格納や解析の機能を搭載する上で、電子部品への放射線による影響は無視できない問題の一つである。特に、放射線の影響により、ソフトウェアやファームウェア、メモリに保存されたデータのビットが反転し、衛星の不具合のほか情報の書き換えり等の問題が発生する。そのため、データの格納や解析等を行う機器に対しては、放射線耐性が強く信頼性の高いデバイスや放射線によるエラーの検出・修正を可能とする技術等が重要となる。

さらに、衛星で格納される大量のデータには、個人データや安全保障等に関する機微な情報も含まれることが予想され、漏えい対策やバックアップ対策、衛星が故障し又は寿命となった場合のデータの処理等を踏まえた適切な管理ルールや、データを複数の衛星で分散管理するなどのアーキテクチャの設計が必要である。

#### 課題6：大量の物資をエネルギー効率の良い方法で宇宙空間に輸送する仕組み【将来像①④】

将来像①の実現には、地球近傍に多数の衛星を打ち上げることや、将来像④では、宇宙機に加えて様々な物資を宇宙空間に輸送することなどが必要である。また、将来像①では、単に現状の衛星を打ち上げることに加え、ストレージ、サーバ、ルータ等のネットワーク機器、さらにはその動作に必要な電力供給や温度管理を実現する装置も必要になるため、より効率よく、物資を軌道に投入することが必要である。

現在、弾道飛行を除けば、宇宙空間に物資等を輸送する唯一の手段はロケットである。ロケット製造の期間・費用の低減には、再使用ロケットの開発・利用等が必要である。また、地球の大気と重力の特性を踏まえた効率的輸送の実現には、スペースプレーンと空中発射を組み合わせることなどが必要となる。

さらに、地球の重力から逃れるための秒速数万kmに及ぶ高速度を不要とするためには、国内外に建造に向けた計画がある宇宙エレベータを選択肢に入れた検討を行う必要がある。

#### 課題7：地球観測データのデータフォーマットの統一や継続的なデータ取得の可能な環境の整備【将来像②】

将来像②では、リモートセンシング衛星により、多種多様の地球観測データを高解像度で取得することで、ビジネス、農業、防災・減災、輸送システムが高度化される様子が描かれている。この実現のためには、多種多様な衛星デー

タを一元的に処理するためのデータフォーマットの統一や、継続的なデータ取得を可能とする環境整備が必要である。

データフォーマットの統一については、衛星やセンサの諸元ごとに、分解能・観測幅・回帰日数等が異なるため、データ取得の際にこれらの条件を統一する、又は取得後に一次処理するなどしつつ、地上系データとの連携も図りながら進めていく必要がある。

継続的なデータ取得について、リモートセンシング衛星は、従来、政府機関が主となって打ち上げることが多いため、衛星データを将来に亘って計画的・継続的に取得できるか否かは、その意向に左右される状況にあるほか、特定の目的に対して民間企業が個別に衛星を打ち上げるのは、コスト面からも困難な場合もある。そのため、政府機関が企画するリモートセンシング衛星の打上げ・運用の計画の長期的な見通しを示すことで、ALOSのようにシリーズ化した衛星の打上げを継続するようしたり、民間企業が容易にビジネスとしてリモートセンシング衛星を打ち上げられるようしたりする環境作りが有効である。

#### 課題8：より高解像な衛星データの取得や、多分野のデータから目的のトレンド等を割り出すAI処理・解析の更なる高度化・効率化【将来像②】

将来像②では、リモートセンシング衛星により、多種多様の地球観測データを高解像度取得し、処理・解析することで、ビジネス、農業、防災・減災、輸送システムが高度化される様子が様子かかれている。この実現のためには、衛星による地球観測データ等をより高解像度化するとともに、いわゆる“オルタナティブデータ”の有効活用において、多岐にわたる膨大なデータから目的のトレンド等を割り出すAI処理・解析の更なる高度化・効率化が必要である。

また、高解像度な衛星を適時に利用するためには、リモートセンシング衛星からのダウンリンク回線の可用性や伝送速度の増強を図る必要がある。

AI処理・解析の高度化・効率化については、新たなマーケティング、新サービス、新産業を実現するにあたり、時間の経過による変化情報の分析を可能とし、予測精度の向上やニーズの変化に応じた解析を可能とすることも必要である。

課題9：探査機の比推力の向上やエネルギーの現地調達の実現、確実な通信の確保等、深宇宙探査における活動領域の拡大を実現するために必要な技術の確立【将来像③】

将来像③には、人類の活動領域が深宇宙にまで拡大した際の宇宙活動や惑星探査の様子が描かれている。

現在、JAXAの小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星「リュウグウ」のタッチダウンに成功するなど、人類の活動領域は拡大されつつある。将来的に、活動領域の更なる拡大を図るためには、探査機による深宇宙探査が重要となる。しかし、惑星探査を実施するためには、探査機を深宇宙まで到達させる必要がある上、フライバイによる探査を除けば、探査対象である天体を周回する軌道への投入・維持や、又は天体にランダ若しくはローバーを着陸させ、さらにミッションによっては地球に帰還させる必要があるため、比推力の向上やエネルギーの現地調達の実現が鍵となる。

現在、主に利用されている推力系である化学推進は、エネルギー効率の観点から長距離の航行には不向きであるとされている。一方、電気推進は、「はやぶさ2」に搭載され「リュウグウ」到達の実績を上げているイオンエンジンや、技術試験衛星9号機(ETS-9)で実証予定のホールスラストなどがあり、これらの更なる高効率化や高信頼化を目指す必要がある。

また、太陽の光子の圧力(太陽光圧)により物体が加速されることを利用した「光子加速」、太陽エネルギーを電気に変換する「高度ソーラー電気推進」(SEP)、外部からのレーザー等によりエネルギー供給をする「レーザー推進」など、様々な推進系の技術を確立し、その特性や成熟度に応じて利用することが適当である。

さらに、エネルギーの現地調達については、月面や火星等での採掘により得られる水を電気分解して生成する水素及び酸素の有効利用に期待が高まっているところ、この技術の確立や応用が必要である。

そのほか、地球やベースステーションと探査機との確実な通信手段の確保に向けた通信技術の高度化など、活動領域の拡大に向けた様々な課題への対応が必要である。

課題10：高解像かつ広域・長距離、小型・省電力等、探査衛星の高度化に必要なセンシング技術の確立【将来像③】

将来像③では、費用が低減された資源探査が可能となる様子が描かれている。この実現のためには、探査衛星に搭載可能な、高解像かつ広域・長距離、小型・省電力等を実現する高度なセンシング技術の確立が重要であり、これにあわせ、地球へのデータ伝送手段の高性能化も重要である。

小型・省電力のセンシング技術は、打上げコストの削減や長期的な運用を可能とするものであり、当該技術の確立には、センサの集積回路等のチップ化を視野に入れた開発が重要である。

#### 課題11：長期の放射線下や無重力下、閉鎖空間における精神的・肉体的負担の軽減や生活環境の持続可能性向上【将来像③】

将来像③における費用やリスクが低減された有人活動を可能にするためには、その任務に伴う精神的・肉体的負担の軽減が求められる。

例えば、宇宙飛行士がISSに滞在できる期間は、放射線による被曝や、無重力・低重力下における筋力や骨の衰えを考慮する必要がある。今後、長期滞在中が前提となる有人活動を実現するには、極めて高い放射線遮へい性能を有するコンテナや、地下洞窟のような分厚い壁に覆われた空間の確保が必要である。

また、そのような閉鎖空間に長期滞在すると、精神心理的に影響をきたすおそれがあるとされており、ストレス耐性のある人員の選抜や、雑談を楽しめるAIロボットの活用を含め、精神的負担の軽減に関する検討が必要である。

さらに、ISSの飛行士は、週6日間、1日約2時間の運動を行って筋肉・骨の機能を維持しており、より短時間で効率的に、楽しく継続できる運動プログラムのほか、筋肉や骨の衰えを抑制する化学的・電気的な技術の開発や、薬剤、機能性食品の利用などを含め、様々な選択肢を検討することが重要である。

そのほか、地球以外での長期滞在を実現させるためには、持続可能な生活環境を整備する必要がある。衣食住には、「水」と「酸素」が欠かせないことから、氷として存在している場合も含め、「水」を確保するための技術の確立が必要である。

#### 課題12：宇宙空間における人的作業の負担軽減のための、ロボット、アバター、VR技術等の確立【将来像③】

宇宙空間で人的作業を行う場合、宇宙線をはじめ宇宙空間の地形や温度そのものが危険であり、作業者は肉体的にも精神的にも多大な負荷がかかる。また、人的作業を開始するまでには、作業場所までの移動時間、作業者の安全性の確保、惑星に建設した居住場所やベースステーションとの通信インフラの整備等が必要となる。そのため、人類が宇宙空間において安全かつ効率的に作業を行うには、ロボット、アバター、VR技術等の活用が必要である。

また、ロボットよりも緻密な動作や、負傷者・病人の手術等の複雑な医療行為等を行うためのアバター技術の確立が必要である。さらに、人が直接行う作

業に必要なスキルの習得や作業工程の確認・シミュレーション等を効果的に行うためのVR技術の確立等が必要である。

### 課題13：宇宙空間でも、地上と同様に位置が特定できる測位システムの構築 【将来像③】

人類の活動領域が地球外へ拡大される様子が描かれている将来像③を実現するためには、宇宙空間における測位システムが必要である。

現在、宇宙空間で活動を行う際に、宇宙機が自らの位置を把握するために地球との通信を行っている。自律的に測位を行うための取組として、NASAやCAST（中国空間技術研究院）において、パルサー（超新星爆発後に残される超高密度の天体である中性子星の一種であり、発する可視光線、電波、X線等が規則正しい周期で脈動する天体の総称。）を活用した測位システムの開発が行われているものの、実用化には至っていない。

現在、国際的な検討が進展している月近傍の有人拠点（Gateway）においては、効率的なGatewayの活用のみならず、何らかの原因で地球との通信が困難になった場合の安全性確保のためにも、月周辺の測位システムが必要になる。また、宇宙機が、地球から誘導されずに遠く離れた惑星等の目的地へ向かうためにも、自律的に測位を行うシステムが必要である。

### 課題14：有人飛行を実現させるための輸送システムや宇宙船、宇宙基地の安全性の向上【将来像③④】

将来像③④では、深宇宙における有人宇宙活動や、レジャーとして一般の人が宇宙旅行を体験する将来が描かれている。その実現のためには、目的地と地球との往復のための移動手段や、目的地での安全性が確保されていることが必要となる。

移動手段のうち、まず、ロケット打上げ成功率を飛躍的に向上させることが必要である。

また、6日ほどで往復できる月と異なり、例えば火星は、最も少ない燃料で飛行するホーマン軌道を選択した場合であっても、片道に約250日を要する。そのため、宇宙線等の過酷な宇宙空間に長期間耐えうる強靱な宇宙船が必要となる。その際、強力な宇宙線等への対策として、ソフトエラーに強い回路構成の選定や、運航に支障がないよう複数の半導体を搭載するなど、考え得るリスクに備える必要がある。



さらに、宇宙基地を取り巻く環境は、放射線による被曝、昼夜の激しい温度差、隕石、砂嵐などが考えられ、特別な防護壁を備えた避難所の設置や地下洞窟のような空間等の確保が必要である。

#### 課題15：物理的な距離の壁（移動に要する時間、通信の遅延時間、長距離通信での切断等）を克服する技術の獲得【将来像③④】

将来像③④では、宇宙活動や宇宙探査、リアル及びバーチャル双方での宇宙旅行を実現する様子が描かれているところ、これらの実現のためには物理的な距離の壁を克服する必要がある。

例えば、地球から火星を目指す場合など、その移動に要する時間が大きな壁となっている。このため、高効率な推進機構の開発による時間の短縮、ロボットやVRを活用した地球から作業用ロボットの遠隔操作による有人宇宙活動の一部代替等が求められる。

また、長距離通信では、物理的な距離に伴う遅延や途絶に関する対策として、例えば、ローカルで自律的に動作するエッジコンピューティングや、遅延・途絶耐性ネットワーク (DTN) 等の技術の発展が必要である。そのほか、万が一通信の途絶等によりトラブルが発生しても、安全な方向にシステムが動作するフェールセーフと呼ばれる設計思想の適用も重要である。

#### 課題16：アンカーテナンシーとしての政府利用等の拡大【基盤】

民間による技術開発等を進展させ、産業基盤の安定化を図るためには、当初から、その開発された技術やサービスの実用化を企図して進めることが必要であり、米国では宇宙分野において、政府が一定の調達を保証するアンカーテナンシーの考え方を取り入れ、ベンチャー企業等の育成を図っているとされている。日本においても、政府機関等によるアンカーテナンシーとしての役割を拡大していくことが重要である。

これにより、政府機関等における課題解決の手段として宇宙利用を促進すること、及びその事業実施者に対する信頼性、事業に対する有効性等を高めることが可能となる。

#### 課題17：ロケットの打上げ等の輸送システムの利用機会の更なる増大及び費用の低廉化【基盤】

ジオスペースの更なる活用や、宇宙空間における人類の活動領域が益々拡大していく状況の中、ロケット打上げ等の輸送システムに対する需要の増加が見込まれるなど、物資・人員等の輸送手段は、より一層重要な鍵となっていく。

物資の輸送に関しては、民間企業による小型衛星の大量打上げが予定されていることに加え、有人拠点の構築に必要な大型物資の輸送のため、小型ロケットの生産技術の向上や大型ロケット1機あたりの積載量の向上を図る必要がある。また、人員の輸送に関しては、有人宇宙探査に加え、一般の人による宇宙旅行が開始・普及するためには、ロケットに加え弾道飛行用宇宙船を含めた輸送システムの打上げ回数の増加が必要である。

このように、宇宙空間への物資輸送に向けたロケットの量産や打上げ回数の増加が実現されれば、打上げコストの低廉化に繋がると考えられる。また、これらと並行して、ロケットエンジンの再利用技術の実用化・拡大により、更なる輸送システムの費用の低廉化を図ることが必要である。さらに、開発が進展しつつあるスペースプレーンや空中発射ロケット、民間企業により発表されている宇宙エレベータ構想を含め、新たな輸送手段の登場を促すなどして、適時に輸送システムを利用できる機会を提供することを可能とするとともに、既存のロケット打上げとの価格競争を起こすことも必要である。

#### 課題18：宇宙デブリ、小惑星、彗星、宇宙塵や衛星同士等による衛星等の軌道制御、通信等の運用や地上インフラ設備への影響の解明、予測及び対策【基盤】

宇宙空間において、数多くの衛星等による活動が拡大していく中、衛星等の制御や取得データの送信等における無線通信はますます重要となる。

他方、衛星コンステレーションに代表されるように、数百、数千といった多くの衛星による運用が開始された場合、軌道制御や通信等で使用される電波が急増し、相互に混信するなど電波の利用に影響を及ぼすことが予想される。また、小惑星群、彗星や宇宙塵に加え、今後増加が懸念されるスペースデブリによる電波伝搬への影響も無視できなくなるおそれがあり、これらへの対策を講じていくことが必要である。

また、「みちびき」等の衛星測位システムは、社会基盤を支える重要なインフラとして、今後も更に、高精度な測位情報を活用した新産業・サービス等の創出が期待されているが、端末の受信電力は小さいことから、出力の小さな他の無線設備や、いたずらやテロ等のジャミング（電波による意図的な妨害）によ

るサービスの停止や事故等が発生するおそれがあり、適切な対策を講じていくことが必要である。

#### 課題19：太陽活動による衛星等の人工物、人体及び各種の地上系インフラ・サービスへの影響の解明、予測及び対策【基盤】

太陽フレア等の太陽活動により、太陽から比較的近い惑星である地球を含め、太陽系の広範囲に様々な影響が生じている。

例えば、地球においては、電離圏への影響により電波の伝搬状況に大きな支障を来すほか、地磁気の変動を通じて送電線に移動電流を発生させるなど、地上系のインフラやサービスは、太陽活動の変動に晒されている。

一方、中・低軌道や静止軌道では、大気密度が極めて小さいことから、太陽線の影響を直接受けるため、衛星等の人工物のほか、人体への被爆も考慮する必要がある。また、低軌道付近では、衛星コンステレーション計画の本格化に伴い、大気密度が上昇することによる衛星の動作への悪影響に対する対策が必要である。

#### 課題20：宇宙関連の多様なアイデアについて容易にチャレンジできる機会の確保【基盤】

宇宙利用は、非常に多くの潜在力を秘めており、多様なアイデアが考え出され、それらが実現されていくことにより、社会的課題の解決や経済成長に大きく貢献することが期待される。このため、研究開発等において、政府が予め課題を設定するのではなく、柔軟やアイデアを有する者による提案を促す取組を充実していくことが必要である。

また、宇宙分野の技術開発は、地上系よりも技術的・費用的なハードルが高いとされているところ、多様なアイデアを吸い上げる仕組みと合わせ、アイデアを実証する機会や、有望なアイデアの事業化への道筋をつける取組を充実させることが必要である。

課題21：宇宙関連の研究開発及び産業に従事する人材の拡大及び継続的な人材確保【基盤】

近年、世界の宇宙産業では、欧米を中心に1,400社以上のベンチャー企業が参入し、市場の活性化に大きく寄与していると言われる一方、日本では、参入するベンチャー企業数等が少ないほか、宇宙産業に関わる人材が少ないとの指摘がある。そのため、日本における宇宙市場の活性化には、宇宙関連の研究開発に従事する人材、宇宙産業の特殊性を理解して開発された技術等を事業化する人材、自ら起業する人材など、人的基盤の総合的な強化が必要である。

また、これまで官需を中心として培われた宇宙関連の技術等に関して、そのノウハウを伝承・改良していくため、公的機関やEstablished Spaceにおいても、人材の量と質とを確保していくことが必要である。

さらに、今後の宇宙産業の成長を支える人材の発掘や育成に関する長期的かつ継続的な取組が必要である。

課題22：宇宙関連の研究開発と医療・医薬分野、化学分野、農業分野等の他分野との連携・融合の強化、学際領域の研究開発の活性化及び他分野からの人材流入【基盤】

民間事業者の参入により多様なビジネスが生まれ、宇宙産業の領域が拡大している中、宇宙系と非宇宙系の分野を横断した連携・融合によりエコシステムが成長していくことが期待される。このため、宇宙関連の研究開発については、非宇宙系の医療・医薬分野、化学分野、農業分野等の他分野の利用ニーズを十分に把握して、その課題解決や価値創造に結びつけることが重要である。

また、日本の宇宙産業を支える研究開発人材が必ずしも潤沢ではないとされている状況において、様々な利用ニーズに応え、かつ、日本の宇宙産業における国際競争力を強化するためには、国内外の組織間の垣根を越えた人材交流を行い、宇宙分野に関する専門知識を有する人材を確保するとともに、破壊的イノベーションの創出に繋がる長期的視点を踏まえた研究開発が実施可能な環境を構築するなど、学際領域の研究開発を一層活性化することが求められる。

さらに、昨今の米国のICT企業経営者等による宇宙ビジネスへの参入に見られるように、宇宙産業の担い手は、航空宇宙工学を専攻した人材に限られるものではない。新たなアイデアやビジネスを創出し、宇宙産業の更なる発展を促進するためには、他分野からの人材を積極的に流入させていくことが必要である。

課題23：宇宙利用に関する科学的・社会的な理解の増進や若年層の興味の誘起のため、小中学校における宇宙関連の教育の機会の増大や、宇宙の魅力伝えるコンテンツ等による情報発信【基盤】

将来像の実現によって得られる技術的及び科学的な知見は、人々の暮らしに様々な革新をもたらすとともに、地球に対する理解を深めることにも繋がる。また、新たなサービスやレジャーを生み出し、日々の生活をより豊かなものにするとともに、災害や事故から身を守るためのインフラとして機能すると期待されるものであり、こうした宇宙利用のあり方について、広く国民の理解が得られるような取組を進めていくことが必要である。

また、子どもたちにとっては、宇宙は夢を抱けるテーマであると同時に、理解が難しいものでもある。宇宙へ関心を持つ人材の裾野を広げるため、リモートセンシング衛星によって得られたデータを教育現場で活用するなど、宇宙利用がより身近でかつ興味深く感じられる教育の継続的な提供や、映画やVR等も活用したコンテンツによる宇宙の魅力の継続的な情報発信などが必要である。また、このような人材裾野を広げる活動とともに、宇宙飛行士を目指すための特別プログラムなど、宇宙に特に興味を持つ子供が宇宙の魅力をさらに見いだすための機会が提供される必要がある。

課題24：様々な宇宙ビジネスが円滑に行われるようにするための制度のあり方の検討、及び衛星同士の衝突や接近によるリスクに対する補償のあり方の整理や保険制度などの必要に応じた事業環境の充実【基盤】

宇宙ビジネスは初期投資が大きくリスクが高い事業であるため、日本では、民間事業者の予見性を高める宇宙関連二法（「人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律」及び「衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律」）が2016年に成立した。衛星リモートセンシング法が2017年11月に、宇宙活動法が2018年11月に全面施行されたことにより、これらが全面的に施行されたことにより、様々な宇宙ビジネスが円滑に行われるようになるための環境が整備された。

一方、宇宙ビジネスの形態は多様であり、ビジネス環境の変化も早いことから、今後も国際情勢の変化に留意しつつ、必要に応じ、時機を捉えて制度のあり方を検討することが求められる。

また、民間事業者の宇宙ビジネスへの参入の増加等に伴い、小型衛星や宇宙デブリなど軌道上に存在する宇宙物体の数が、今後ますます増加していくことが見込まれている。このような状況下において、打上げ時のロケットの落下等により地上等で発生した損害については、主として被害者救済の観点から政府補償制度が導入され、人工衛星等の打上げにあたり打上げ実施者には第三者損

害を賠償するための保険等の締結を義務づける措置が講じられている。軌道上の衛星同士の衝突や接近によるリスクに対しても、今後の事故等の発生リスクや国際的なルール形成の状況、民間保険市場の需給の動向などを注視しつつ、補償のあり方の整理や保険制度などの必要に応じた事業環境の充実が求められる。

課題25：宇宙探査を含み、課題とそれを解決するための民間企業等が有する宇宙関連技術とのマッチングの機会の充実、また、そのために必要な情報共有の促進【基盤】

現在、人類は様々な社会的課題を抱えていると言われていたが、それらの課題は、宇宙も含めて幅広い視点で解決していく姿勢が重要である。

そのため、課題を有する者と、それを解決するための技術を有する者とのマッチングの機会の充実という観点から相互に必要な情報の共有を促進することが重要である。

その際、国立研究開発法人やベンチャー企業等が有する技術を活用していくことを十分に考慮した仕組みとすることも必要である。

また、現在の地球近傍における宇宙空間の利用のほか、将来的に宇宙での活動領域が拡大することに伴って獲得する資源探査技術等が持つ社会的課題や経済成長に対する貢献の可能性も併せて、情報発信していくことが重要である。



## 4-2 喫緊に取り組むべき課題の整理

宇宙利用の将来像を実現するためには、前節において洗い出した25の課題を含み、多くの課題に取り組むことが必要であり、各分野における早急な対応が期待される。その上で、基盤技術の1つであるICT分野において喫緊に取り組むべき課題について、米国等におけるベンチャー企業や異業種からの参入拡大により、民間需要を喚起した宇宙市場が活性化していることを踏まえ、日本においても、宇宙を新たなフロンティアと捉え、ベンチャー企業等の新しい活力の参入を促進することで、宇宙利用の将来像をいち早く実現し、日本が抱える社会的課題の解決と日本の宇宙市場の活性化を併せて達成することを目指し、宇宙利用分野での事業化や社会実装を促進していくことに力点を置き、以下に示す基本的な考え方（図4-1）に基づいて整理した。

- 宇宙において様々な民間ビジネスの起業や事業拡大が進展するよう、**宇宙空間というまだ十分に解明されていない環境に関連する基盤的・共通的な課題の解決に注力**
- 同様に、宇宙ビジネスの展開に必要な周波数や衛星軌道といった資源を能率的に利用するよう、**宇宙通信技術の更なる高度化、様々な軌道の衛星の利用・共存を可能とする方策等を推進**
- 宇宙分野において、ICTに関する民間の持つ**独創的なアイデア、新技術や活力を最大限引き出し、迅速な事業化を支援する取組を強化**
- **地域やユーザのニーズを的確に捉え、社会実装を加速化**
- 「宇宙産業ビジョン2030(2017年5月:宇宙政策委員会)」に基づく関連の取組を継続及び強化

図4-1 ICT分野において喫緊に取り組むべき課題を整理するに当たっての基本的考え方

なお、上記の基本的考え方の最後の項目である「『宇宙産業ビジョン2030(2017年5月:宇宙政策委員会)』に基づく関連の取組を継続及び強化」とは、将来像の実現のために、前節で洗い出した主要な課題について、宇宙政策委員会が策定した「宇宙産業ビジョン2030」に基づき、引き続き、関係府省が連携して、関連の取組を継続及び強化していくことが必要という主旨である。

この基本的な考え方に沿って抽出された課題は9課題であり、それらはまた、課題やその対応方針の類似性から5つにまとめることが可能である（図4-2）。これら5つの事項（9課題）については、その解決に向け、早急に適切な対策を講じていくことが必要である。

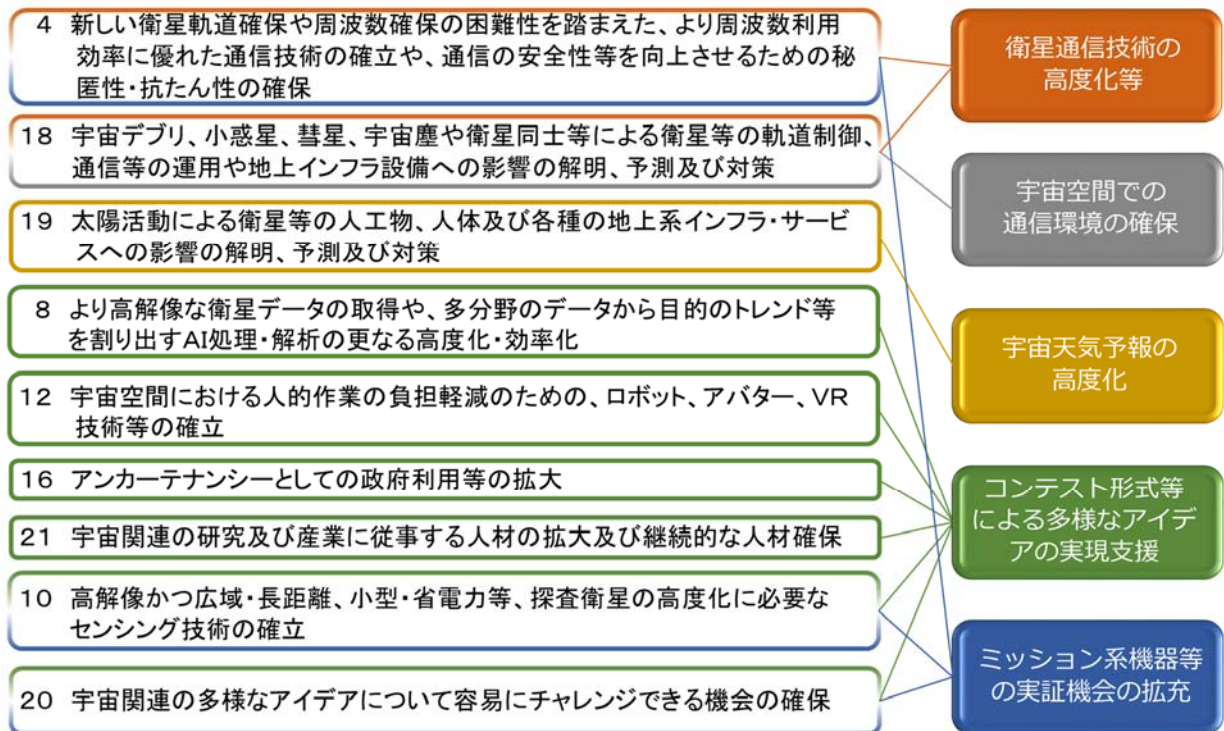


図 4 - 2 ICT分野において喫緊に取り組むべき課題の整理

## 第5章 将来像の実現に向けてICT分野において喫緊に取り組むべき事項

将来像を実現するために、ICT分野において喫緊に取り組むべき課題として洗い出し、グループ化した5つの事項（9課題）について、その対応の方向性と、施策群を統合して一体的に推進していく方針を、本タスクフォースの提言としてとりまとめている。

### 5-1 5つの事項（9課題）の問題意識と対応方針

5つの事項（9課題）について、背景となる問題意識、及びそれを踏まえた課題への具体的な対応の方向性を示す。

#### 5-1-1 衛星通信技術の高度化等

昨今の新しい衛星軌道確保や周波数確保の困難性を踏まえ、周波数利用効率に優れた通信技術の確立のため、マルチビームの各ビームに割り振る周波数帯域・エリアを衛星打上げ後に変更する技術として、デジタルチャネライザやデジタルビームフォーミングといった技術の研究開発が進められている。これらの研究開発を着実に推進することが重要であるが、くわえて、HTSの能力を最大限に引き出し、更なる周波数有効利用や伝送速度の向上、国際競争力のあるビット単価の低廉化を実現するためには、100ビーム級以上のマルチビームの実用化に向けた取組が必要である。

100ビーム級のマルチビームの実用化には、膨大な情報を分析してリソース制御や地球局選択を行う必要があることから、AIを利用することにより、通信需要等の変化に最適・動的に対応できるネットワーク制御技術を確立することが有効である。その際、衛星通信を取り巻く状況として、5GやIoTといった様々な通信プロトコルや要求条件のサービスが普及しつつある中、これらを効率的に収容していくことも考慮する必要がある。

また、衛星用周波数が限られている状況下において、宇宙利用の活性化により増大が見込まれる衛星通信の需要を満たしていくためには、衛星のサービスリンクとともにフィーダリンク回線の容量を確保することが必要であり、電波に加え、光通信を利用していくことが有効である。しかし、光や利用・開発が進展しているKa帯の電波は、降雨等の気象条件によって通信品質に大きな影響を受けるため、フィーダリンクが不安定になることや、回線が切れることが課題として挙げられている。こうしたことから、大容量光通信の実現において、AIによる気象データ等のリアルタイム予測、適応変調、電波・光の切替え、

サイトダイバーシティ技術等を含む拡張ダイバーシティ技術の確立が必要である。

さらに、衛星通信が避けて通れないデータ送受の遅延により、実効速度が頭打ちになってしまうことを防ぐために、HTSに適したデータ送信のプロトコルを開発することも、その能力を活かすために必要である。

一方、今後、一層の衛星利用の拡大が見込まれる中、衛星通信に対するサイバー攻撃が現実のものとなってきており、光空間通信技術や量子暗号通信技術など、安全な衛星通信ネットワークを構築する技術の確立に向け、着実に関連する施策を実施していくことが必要である。

くわえて、社会基盤を支える重要インフラであり、新産業やサービス等の創出が期待される衛星測位システムについては、電波の弱さや技術情報が開示されているなどの要因から、ジャミングやスプーフィングによる妨害を受け、サービス停止等の機能不全・事故が発生するおそれがある。しかし、妨害による影響の程度は把握出来ておらず、検知や抑制は困難な状況である。今後の更なる発展に向けて、まず実地調査を実施し、その結果や諸外国の法制度の状況（米国、欧州等の法制度については、次段を参照）を踏まえ、ジャミングやスプーフィングへの具体的な対応策の検討を進めることが必要である。

#### 【衛星測位信号受信機への妨害機器に係る諸外国の法制度について】

我が国と同様に衛星測位システムを運用している米国、ロシア、欧州、中国及びインドにおける、衛星測位信号の受信機へ無線妨害を可能とするジャミング装置（ジャマー）に関する、製造、販売、輸出、購入、所有、使用の観点についての法制度の概要は図5-1に示すとおりである。






GPSを運用する米国では、無線通信への妨害や干渉等を目的に作られた送信機の製造、販売、輸入、使用は、同国の通信法（The Communications Act of 1934）において禁じられている。輸出、（輸入を除く）購入、所有については特段の規制が存在しないものと考えられる。

Galileoを運用する欧州では、欧州の無線機器指令（RE（2014/53/EU））により、域内におけるジャマーの製造、販売、輸入、使用は違法であるとされており、2016年6月までに加盟国に対して国内立法等の措置を講じることを求めている。2019年3月現在、フランス主導で、加盟国における国内法の整備状況を調査するアンケートが実施されている。なお、ジャマーの輸出及び所有に関しては特段の規制は存在しないようである。

GLONASSを運用するロシアでは、無線受信機に干渉を与えるものの製造、販売、輸出、購入、使用は同国の通信法の下で禁じられている。

また、BeiDouを運用する中国では、合法的なサービスに対する有害な妨害を防ぐ観点から、有害な干渉を起こす無線送信機については、製造、販売、輸出、購入、所有、使用に至るまで同国の電波法において禁じている。

NAVICを運用するインドでは、政府利用以外のジャマーの製造、販売、購入、使用は、同国の内閣官房通達において禁じられている。

	米国 	欧州 	ロシア 	中国 	インド 
製造	違法※1	EU指令に基づき 違法※3	違法	違法	違法※5
販売	違法※1	EU指令に基づき 違法※3	違法	違法	違法※5
輸出	規制無し※6	規制無し※6	違法	違法	規制無し※6
購入	輸入は違法※2	EU指令に基づき 輸入は違法※3, ※4	違法	違法	違法※5
所有	規制無し※6	規制無し※6	規制無し※6	違法	規制無し※6
使用	違法	EU指令に基づき 違法※3	違法	違法	違法※5

※1 一部政府利用のみ合法  
※2 購入は規制無し  
※3 詳細は各国内法により異なる  
※4 購入は規制無し  
※5 政府利用のみ認可  
※6 文献調査において規制が確認できなかった項目

出典：株式会社NTTデータ経営研究所資料を基に作成

図5-1 ジャマーに係る諸外国の法制度

以上のとおり、諸外国ではジャマーの製造、販売及び使用については、原則違法とされている。

一方、日本では、ジャマーの使用に関しては、電波法において、総務大臣の免許を受けずに無線局を開設し又は運用した者に対して刑事罰を科している。また、同法に定める技術基準に適合しない設計により製造された無線設備を使用したことで無線局に妨害を与えた場合など、無線局の運用に重大な悪影響を与えるおそれのある場合には、当該無線設備の製造業者又は販売業者に対し、製造の中止、設備の改修等の勧告等を求めることができる旨を規定している。

### 5-1-2 宇宙空間での通信環境の確保

地球を取り巻く宇宙空間においては、運用中の衛星のほかに、運用を終えた衛星や使用済みロケットの残骸、衛星から外れた部品、爆発等により飛び散った破砕物等の宇宙デブリが無数に存在している。これら宇宙デブリについて、現在カタログ化されたものは約2万個とされているが、カタログ化されていない物体を含めると、地球軌道上にある1mm以上の物体は1億個以上と見積もられている。また、軌道上物体の数は増加傾向にある中、近年の小型衛星の利用の拡大や衛星コンステレーション等により、宇宙デブリの増加がますます懸念される場所である。こうした状況を踏まえ、世界的には宇宙デブリの除去等に関する技術開発やデブリ除去に向けた国際的なルール作り等が検討されている状況である。

また、前述の衛星コンステレーションは、数百、数千機からなる衛星群を構成するものであるが、同様な周波数諸元を有するこれら多数の衛星が通信を行った場合、これらコンステレーションを構成する衛星間における干渉が発生するおそれや、帯域外の不要発射による影響も無視できなくなる可能性がある。

このように、宇宙空間において、今後、宇宙デブリ等の増加や多数の衛星が、これまで以上に多様な高度や複雑な軌道等で活動することを考慮すると、衛星等の活動に必要な無線通信は、デブリの軌道を捉えた上での精密な衛星軌道計算や、システム間等における影響を織り込んだ回線設計や運用が必要となる。

しかしながら、現状、宇宙空間での電波の利用状況は詳細には把握されておらず、混信・妨害の予測や原因究明も困難な状況である。また、将来的に、宇宙空間における電波の管理のあり方は、国際的にも重要な政策的課題となると考えられる。

こうしたことから、宇宙空間の衛星等の物体の電波諸元、軌道といった活動状況を、衛星や地上設備を活用して実態を観測・把握する技術、これらの活動状況を模擬して電波の混信の原因究明等を可能とするシミュレータ技術など、宇宙空間を飛び交う電波の可視化に必要な基盤技術を確立するとともに、宇宙空間における電波状況等を常時観測する体制についても検討することが重要である。これにより、宇宙空間における適切な周波数共有がなされ、円滑な衛星通信やリモートセンシング等が実現される。

### 5-1-3 宇宙天気予報の高度化

太陽活動は、人工衛星、通信システム、人体等に影響を与えるものである。宇宙活動が活性化する中、宇宙空間での安全性の確保は宇宙活動に関与する者にとっての共通の課題であり、未知の宇宙環境、特に太陽フレア等の太陽活動による影響（宇宙天気）の把握・分析等を、より一層強化する必要がある。

これまでも、宇宙天気に関しては、NICT等の公的機関が中心となり、電離層等の現況把握及び予測並びにその情報提供（宇宙天気予報）に取り組んできており、今後も、絶えずその高度化に取り組むことが重要である。

特に、低軌道周回衛星等に対するものとして、数百km上空において顕著に表れる大気の抵抗（大気ドラッグ）の影響が挙げられる。これは、太陽フレア等に起因する近紫外線により地球の「昼間」の上空にある広域の大気が加熱されることや、太陽から放出されたプラズマ粒子（太陽風）により引き起こされるオーロラ現象が原因となって、極域近辺を中心に不均一な大気加熱が起こることから、大気が膨張し、大気密度が変化する現象である。

今後、低軌道周回軌道に多数の打上げが予定されている衛星は、この大気ドラッグの変化により、周回速度の減少による高度の低下、衛星の向きの歪み、衛星の予期せぬ回転、太陽パネルの発電量低下など、衛星そのものの運用に支障を来すと考えられているが、その影響の分析等については不十分な状況である。そのため、低高度の衛星や落下球を用いた上空数百kmの大気密度の効率的な測定技術の開発や、大気密度の変動が衛星運用に与える影響の解明等が必要である。

また、地球の電離圏は、太陽フレアや磁気嵐により、局所的に電離圏の大気密度が低くなる擾乱（プラズマバブル）が発生し、衛星通信の障害や測位信号の精度低下を招く原因となっている。特に、プラズマバブルの内部や付近では、急激に電子密度が変化していることから、そこを通過する測位信号等に多大な影響を与え、航空機や船舶等の運用に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。

そのため、特に準天頂衛星システムの利用が期待される日本、東南アジア等において、プラズマバブルの正確な位置の把握を行うことで、高精度測位の安定的な利用を確保することが必要である。

以上のように、人工衛星や通信システム等に影響を与える太陽活動について、宇宙活動における安定性の確保の観点から「宇宙天気予報」を高度化し、大気膨張により衛星運用に与える影響の把握や予測が可能な体制を構築するとともに、測位衛星に対する電離圏擾乱の補正技術を確立し、電離圏の擾乱が顕著な低緯度地域国との連携を検討することが必要不可欠である。さらに、このような宇宙天気の発生の原因である太陽活動等の観測について、グローバルな連携を考慮しつつ、日本独自での実施を検討することが適当である。



#### 5-1-4 コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援

宇宙空間においても、地球上と同様、ICTをいかに利用するかが重要になっている。通信技術以外にも、AIやロボット・アバター、XR（VR、AR、MR）のほか、衛星によるセンシング技術や得られたデータの利活用等が期待されている。こうした中、参加者がアイデア等を出し合い、その優劣を競うコンテストが、近年、宇宙分野において開催されているのは、多様なアイデアや技術の種を持つ挑戦者を後押しし、社会実装に繋げるための方策として有効であることの証左である。欧米では、特に、技術革新や事業化促進のスピードアップの手段として、コンテストの開催や活用が活発化しているところである。

現在、日本においては、人材育成や事業創出を主目的としたコンテストや、研究課題自体を提案させる競争的資金を活用し、国の課題設定に因らない取組が一部で行われはじめている。今後は、既存のコンテスト等による人材育成や事業創出の促進は継続しながら、多様なアイデアの実現やオープンイノベーションを促進する仕組みとして、技術開発等におけるコンテストや競争的資金の活用を充実させていくことが適当である。

また、開発された技術やサービスの実用化を企図して進めることが、民間による技術開発等の進展や産業基盤の安定化に必要であるため、政府機関等によるアンカーテナンシーとしての役割を拡大していくことが重要である。これにより、その事業実施者に対する信頼性、事業に対する有効性等を高めることが可能となる。

例えば、総務省が事業化支援の仕組みとして実施しているI-Challengeや、公募提案型の研究開発のスキームであるSCOPEにおいて、候補者の選考過程に際し、地方公共団体やユーザの参画を重視することなどにより、社会実装に繋がる蓋然性を高める仕組みとしたり、コンテスト形式を採用したりすることも検討に値する。

#### 5-1-5 ミッション系機器等の実証機会の拡充

宇宙利用分野の技術開発においては、その動作や有効性を地上で確認するだけでなく、実際に宇宙空間の軌道上で実証することが重要である。しかしながら、開発したミッション系機器を軌道上で実証するためには、機器の動作に必要な電力を供給し、宇宙空間における姿勢・軌道の制御を行う衛星バス（人工衛星としての基本機能を提供する機器と衛星の主構造の総称）の製造や、衛星を打ち上げるためのロケットの調達等に多大な時間やコストが発生することになる。

そのため、実証機会の確保が、ベンチャー企業等における開発及びその実用化にあたっての大きなボトルネックとなっている。については、様々な機会を捉

えて、実証機会の増加や費用の低廉化を図り、多様なアイデアの実証や迅速な事業化を実現することが重要である。例えば、現在JAXAが実施している革新的衛星技術実証プログラムや「きぼう」日本実験棟による衛星放出や宇宙空間での暴露実験を活用していくことや、総務省やNICTが今後開発や打上げを計画する衛星について、通信ミッション等のホステッドペイロードへの相乗りを予め想定したプロジェクトとして企画すること、などが考えられる。さらに、これらに限らず、衛星バスへのミッションの相乗りや、打ち上げられるロケットへの衛星の相乗り等について、様々な機会を捉えて実現していくことが重要である。

また、衛星通信技術は高度化の一途を辿っているが、それを活用したアプリケーションの実証機会が不十分であり、衛星通信の有効性に関するユーザの理解が不足しているとの指摘がある。そのため、例えば、2021年度に打上げを予定している技術試験衛星9号機(ETS-9)を最大限活用し、アプリケーション実証の機会を広くテストベットとして提供することなどにより、これまでよりも容易に、多様なアイデアを実証できる機会や、5GやIoT等の地上システムとの連携を実証する機会を確保・提供することが適当である。

## 5-2 宇宙×ICT事業化促進プログラム

前節で提示した5つの事項は、それぞれ単独で取り組むことでも成果は得られるが、相互に連携して取り組むことで、その効果を著しく押し上げることが可能となる。3章の4つの将来像を迅速かつ着実に実現するために、図5-2に示すように、「宇宙×ICT事業化促進プログラム」として、施策群を統合して一体的に推進することが肝要である。

また、「コンテスト形式等による多様なアイデアの実現支援」及び「ミッション系機器等の実証機会の拡充」については、宇宙分野に限らず、事業化・社会実装を促進する際の環境整備という点において有効であると考えられることから、ICT全体の施策として捉えることが重要である。

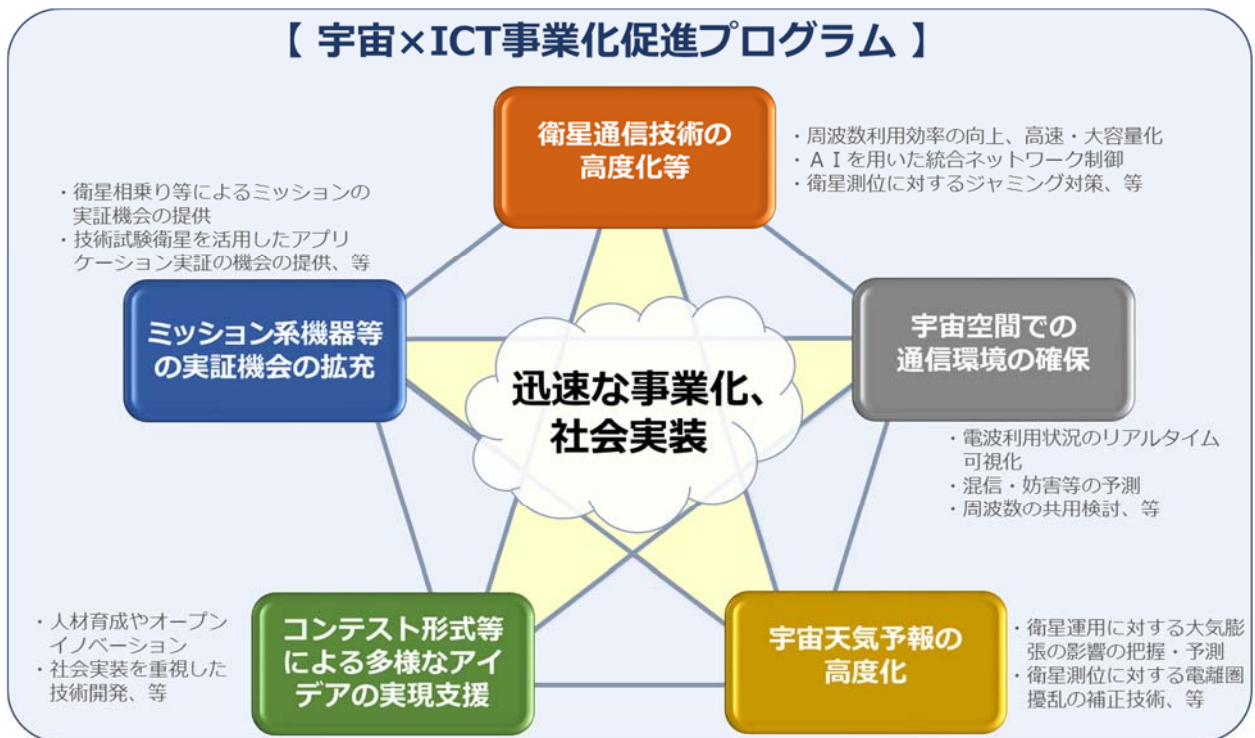


図5-2 宇宙×ICT事業化促進プログラム

おわりに

宇宙産業を取り巻く状況は、今まさに、大きな変革期を迎えている。今世紀初め頃から欧米を中心にベンチャー企業や異業種の参入が始まり、ロケットの製造・打上げや人工衛星の製造等における従来型の産業構造に変革をもたらすとともに、これまでにない新しい宇宙関連市場の創出・拡大に繋がってきている。

本タスクフォースでは、諸外国におけるこうした状況を踏まえ、今後の日本における宇宙産業が、諸外国に匹敵する、又は凌駕する発展を成し遂げ、日本の経済成長のキーファクターとなることを目指して、現状の宇宙産業の動向分析、2030年代以降の宇宙利用の将来像、将来像実現のための課題、ICT分野において喫緊に取り組むべき課題とその対応方針等の検討を進め、ここにとりまとめた。特に、「宇宙×ICT 総合推進戦略」の流れを踏まえ、ICT分野に重きを置いて、宇宙産業における迅速な事業化と社会実装を促進するための5つの事項を「宇宙×ICT 事業化促進プログラム」として統合して一体的に推進することを提言したものである。関係府省庁との連携のもと、総務省における「宇宙×ICT 事業化促進プログラム」に即した政策の着実な執行を強く望む。

また、本タスクフォースにおいて調査・検討した事項について、国内外のコンテスト等の各種施策に関する進捗状況等のフォローアップ・定点観測を継続し、常に最新の状況把握及び評価をすることにより、日本における新たな施策の展開や既存施策の見直し等を定期的を実施していくことが必要である。

さらに、宇宙分野における事業化・社会実装を実効性のあるものとするため、諸外国の政策や施策の実施状況、総務省等の政府機関や国立研究開発法人等において実施するもので宇宙関連の技術開発や事業化等に活用できる各種施策の情報、国内における地域の取組状況、宇宙関連の事業者や技術開発動向等の最新情報を総合的に情報発信・閲覧・共有できる場を設けることで、地域ニーズと宇宙関連の技術や事業のマッチングの促進等を図っていくべきである。またこれと並行して、人々が宇宙の魅力に触れる機会を増やすとともに、宇宙分野の人材強化に繋げるため、宇宙に関する活動やデータを活用したカリキュラムなど、宇宙教育のあり方について継続的に検討を行う必要がある。

くわえて、「宇宙利用の将来像に関する懇話会」又は本タスクフォースでの議論・検討が一過性のものとならないように、通信・放送業界、宇宙関連のベンチャー企業や投資家、非宇宙関係企業、教育機関、政府機関など、幅広い領域の方々が集うコミュニティを形成・維持し、日本における宇宙分野の更なる発展のための戦略を

継続的に検討していくことが必要である。

本タスクフォースで描いた 2030 年代以降の宇宙利用の将来像は、決して夢語ではない。むしろ、昨今の ICT をはじめとした様々な技術開発の進展スピード等を推し量ると、本タスクフォースの予測よりも早く、あるいは想像を超えたより高度な事業やサービスが実現される可能性もあると考えられる。こうした将来像にある宇宙利用分野における様々な事業やサービスが実現するに伴って、様々な課題解決が促進されるとともに、宇宙産業市場が大幅に拡大していくことで、我々の生活が豊かで実り多きものとなることを切に期待したい。