
宇宙分野の 主要トレンドと課題

第4版

strategy&

Part of the PwC network

本レポートは、PwCとそのグローバル戦略コンサルティング部門であるStrategy&が協力して制作したものです。PwCのパーパス(Purpose)は、「社会における信頼を構築し、重要な課題を解決する」ことです。

Strategy&は、クライアントの最善の将来像を描くことに特化したグローバル戦略コンサルティング部門であり、戦略実現のため徹底した差別化を図るとともに、各クライアントの要望に応じた提案を行っています。PwCの一員としてStrategy&は、成長の核となる「勝つための仕組みづくり」に日々取り組んでおり、私たちが持つ先見性と、ノウハウやテクノロジー、規模の力を融合させることにより、クライアントがこれまで以上に革新的な戦略を直ちに策定できるようサポートします。

Strategy&はプロフェッショナルサービスを提供するPwCのグローバルネットワークの一角を成す戦略コンサルティング部門として、他に類を見ない規模を誇り、クライアントが目指すべき方向性や目標達成のために取るべき選択肢、実現の道筋を提示できるよう、PwC全体への戦略策定ケイパビリティの浸透を図っています。

<https://www.strategyand.pwc.com/jp/ja.html>

序文

宇宙は、単純な市場原理を超えたマクロレベルの力学を推進力とする複雑な分野であり、専門性の高い複数の領域・セグメントで構成されている。宇宙を取り巻く規制・政策環境は絶え間なく変化しており、宇宙分野の将来を大いに左右している。宇宙分野は、その技術やサービスを通じて他の産業分野にも大きな影響を与えており、国家戦略や社会・経済に与える影響も大きいことから、国家は多額の公的資金を宇宙分野に投資している。



Luigi
Scatteia

パートナー、PwC Space
Practiceグローバルリード
PwCフランス

宇宙の謎を読み解くには、包括的な視点が必要である。

宇宙は、飛躍的な成長と大きな変化を経験してきた。宇宙分野は長らく、さまざまな組織の思惑に翻弄され、いち早く宇宙に進出した少数の国々が開発の主導権を握ってきた。しかし、直近20年間で、宇宙分野への新規参入者が増加したことにより、状況は大きく変わってきた。宇宙分野に流入する民間資本が増え、「NewSpace」パラダイムやデジタル技術が大きな進化と破壊をもたらしたことにより、官民双方にとって参入障壁は大幅に低下し、ビジネスモデルの変化が起きている(例えば、最近では生成AIなどの新たなAI技術による大きな進展があった)。その結果、宇宙活動に参加する国が増えただけでなく、宇宙関連スタートアップから隣接分野での事業展開を狙う非宇宙企業まで、さまざまな企業が宇宙市場に参入した。

知識を基盤とする社会において、宇宙が果たす役割が認識されたことにより、関連機関や政策立案者は、技術主導型の経済発展にむけた宇宙市場拡大のための環境整備を求められるようになった。宇宙が経済全体に与える効果を最大化するために、スペースエコノミー主導型の政策を取り入れる国も増えている。

宇宙分野における変化は、新規、既存問わず民間の事業者にも新たな機会と課題をもたらしている。企業が競争力を維持するためには、こうした機会を捉えるとともに、事業環境の変化がもたらす課題に対応することが欠かせない。

宇宙の特長や特殊性、多様な領域、経済全体に与えるインパクトを理解するためには、宇宙分野のトレンドや課題を包括的に捉える必要がある。PwCは、グローバルな宇宙活動に注力することにより、戦略・政策・技術ロードマップの作成、市場評価、財務・技術・商業デューデリジェンス、経済性評価などを通じて官民の事業体を支援してきた。PwCの支援は、あらゆる宇宙領域(ロケット、衛星サービス、宇宙領域把握、軌道上経済)およびバリューチェーン全体(上流から宇宙データの活用まで)にわたっている。こうした活動を通じて、PwCは宇宙分野に影響を与えている主要な課題や変化を注視できるようになった。また、PwCは宇宙関連製品・サービスを採用している非宇宙系の組織や業界の観点からのインサイトも提供している。2019年以降、PwC Space Practiceは宇宙分野の主要なトレンドと課題に対する見解をマクロトレンドと領域別トレンドの観点からまとめたレポートを刊行しており、本レポートはその第4版である。

宇宙分野に精通した専門家と、宇宙分野への新たな参入者のどちらにも本レポートが役に立てることを願っている。本書の内容についてさらに詳しい情報が必要な場合は、ご連絡いただきたい。宇宙に対する純粋な熱意をもとに、PwCは今後も宇宙のバリューチェーンを構成する当社のクライアントに実効性のある支援を提供しながら、新たな課題の解決に力を注いでいく。

PwCのSpace Practiceは、宇宙の真価の発掘にむけた幅広い活動を支援

PwC Space Practiceの概要

PwCは、世界最大級のプロフェッショナル・サービス・ネットワークである。160年余りの歴史を持ち、世界151カ国に36万4,000人を超える従業員を擁する。このネットワークの一員である**Strategy&**は、経営コンサルティングの黎明期から続く戦略コンサルティングファームであり、航空宇宙・防衛分野で輝かしい伝統を持つ。

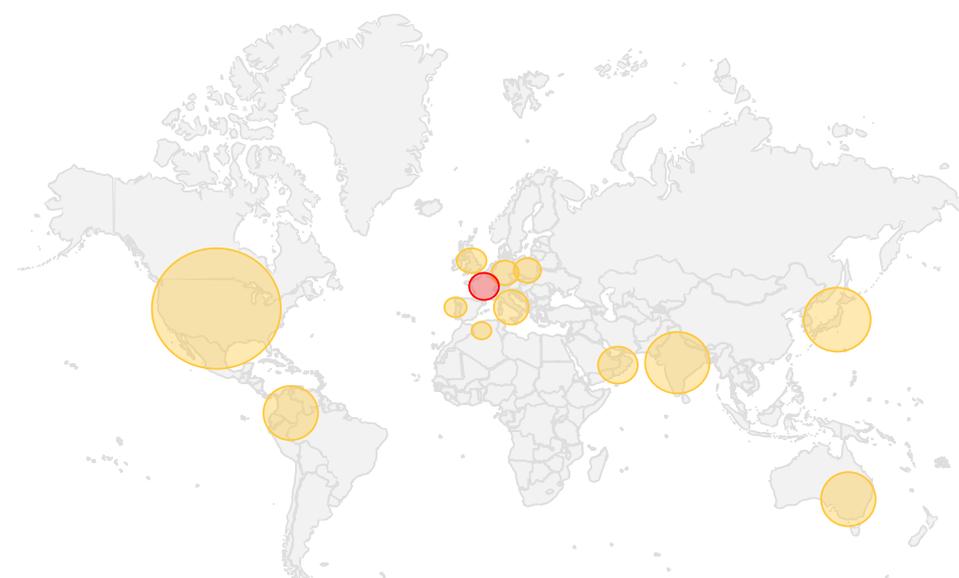
PwCは宇宙分野の専門部門である「**Space Practice**」を持ち、戦略・変革志向の部隊が全世界に展開している。大規模なプロフェッショナル・サービス・ファームの中でも、**PwC Space Practice**はユニークな存在であり、宇宙に特化した専門知識に加え、広範な下流領域へのリーチを備えている。

世界中に展開している「**Space Practice**」は、**戦略・政策・経済学、ガバナンス、技術、人材・組織、規制評価**といった幅広い分野を対象としており、宇宙分野の特殊性を踏まえ、各クライアントの要望に応じた支援を提供している。

「Space Practice」は、宇宙活動全体を支える存在として、**監査・保証、税務、技術・運用**などのサービスラインを含む幅広い分野でシームレスに活動している。

私たちは、ユニークな視点とエンゲージメントを通じて、PwCの伝統的なサービス(監査、税務、ビジネス改革、市場分析)を宇宙企業に提供する一方、従来の航空宇宙・防衛分野や宇宙分野以外に属しながら「宇宙の真価の発掘」に取り組む全ての企業に宇宙関連サービスを提供している。

私たちのグローバルネットワーク



主要地域における
宇宙チームの拠点

- ・フランス
- ・米国
- ・英国
- ・中東
- ・インド
- ・日本
- ・オーストラリア

● PwC Strategy&のグローバル宇宙ハブ(フランス) ● PwC Strategy&の国際宇宙チーム

宇宙バリューチェーンを構成する主要な組織・企業との豊富な協業実績

1.



宇宙分野の戦略、市場、政策、ガバナンス、規制に対する支援実績

- 宇宙開発に向けた**国家の戦略、政策、支援体制**の規定、および**国家レベルのガバナンス体制や規制の枠組み**の規定を支援
- 宇宙企業のみならず、宇宙産業および隣接分野への参入を検討している非宇宙企業に対しても、**成長戦略、市場参入戦略、事業性評価、モデリング、デューデリジェンス**を提供
- 主要な**宇宙分野の国際組織**の政策・戦略・経済研究を継続的に支援

2.



宇宙バリューチェーン全体と全ての宇宙領域にまたがる豊富なプロジェクト実績

- 最先端分野を含む全ての宇宙領域の**バリューチェーン**において、他に類を見ない独自の経験を保有
- **宇宙分野の幅広いステークホルダー**（宇宙機関・組織、政府、従来型企业、NewSpace企業、投資ファンド、世界各国の規制当局）との協業経験を保有
- **世界各国の主要な宇宙計画・政策**に精通

3.



幅広い実行支援実績

- PwCネットワークが**デジタルトランスフォーメーションとITトランスフォーメーション**の領域で積み上げてきた貴重な経験を活かし、企業が**AI、IoT、デジタルツイン、アジャイル手法**を活用しながら将来を見据えたビジネスを構築できるよう支援
- 新たな市場状況に基づく**企業の再建や、合併後の統合**、および新たなターゲットオペレーティングモデルの設定に関する豊富な実績を保有





目次

1. はじめに

宇宙のバリューチェーン	10
宇宙のインパクト	14

2. マクロトレンド

地政学的情勢と国際貿易	21
環境と社会	24
技術とイノベーション	31
資金調達	35

3. 領域別トレンド

地球観測	43
衛星通信	49
ナビゲーション	55
宇宙へのアクセス	61
宇宙の安全保障	67
地球外経済	73

4. 政策・規制・ガバナンス

政策・規制	82
ガバナンス	89





はじめに

スペースエコノミーの基本的分類と定義、
市場規模推計、および社会経済的影響

宇宙は、さまざまな領域と特殊性を持つ複雑な分野である。

スペースエコノミーには明確な境界がないため、その正確な価値を測定することは難しい。
しかし、宇宙が社会と経済に与える影響は大きく、世界経済全体に及んでいる。

宇宙産業は複数の領域からなり、バリューチェーンに沿ってさまざまな特徴を有する

バリューチェーンの理解

バリューチェーンの図は、左から右に、バリューチェーンのセグメント、宇宙の領域、および各領域のバリューチェーンに対応する主な活動をまとめたものである(12,13ページ参照)。宇宙分野には一義的な分類法がないため、そのバリューチェーンを整理することは容易ではない。しかしながら、本レポートで提示しているバリューチェーンのセグメントと領域区分は、一般に受け入れられている分類に沿ったもので、宇宙に関する主要な国際条約とも整合している。

バリューチェーンのセグメント



上流

宇宙システム、サブシステム、コンポーネント、インフラの**開発、製造、試験**
(例:衛星・ロケット・地上システムの製造、組立、統合、試験)



中流

宇宙システムと宇宙インフラの可用性と安全性を確保し、サービスを確実に提供するための**運用**(例:打ち上げ・輸送、衛星TT&C^{*}、宇宙ステーションの制御)

※衛星運用におけるテレメトリー、追跡、指令の3つの主要機能を指す頭字語



下流

宇宙を利用した製品・サービス(例:衛星通信ブロードバンド、放送、地球観測による付加価値サービス)を含む宇宙システムと宇宙インフラの**利用**。これはユーザーへのサービス提供に必要な機器(例:GNSS(衛星測位システム)チップセット、衛星放送受信アンテナ)の製造も含む。



エンド
ユーザー

幅広い業種・業界(エネルギー、インフラ、農業、海洋、防衛・安全保障、位置情報サービス等)で宇宙を活用したサービス・製品を使用する**ユーザー**

宇宙のバリューチェーン

宇宙の領域

地球観測

地球観測衛星を用いたデータの取得、およびさまざまな業種・業界に対し付加価値を提供するためのデータ処理

宇宙へのアクセス

オービタル飛行およびサブオービタル飛行のための打ち上げ機や地上施設の開発・運用

衛星通信

静止軌道(GEO)衛星、中軌道(MEO)・低軌道(LEO)衛星コンステレーションを利用したDTH(direct-to-home)通信、固定回線通信、移動体通信による通信サービス

宇宙の安全保障

宇宙環境の状況把握を目的とした衛星やデブリの軌道上での活動のモニタリング(宇宙領域把握とも言う)

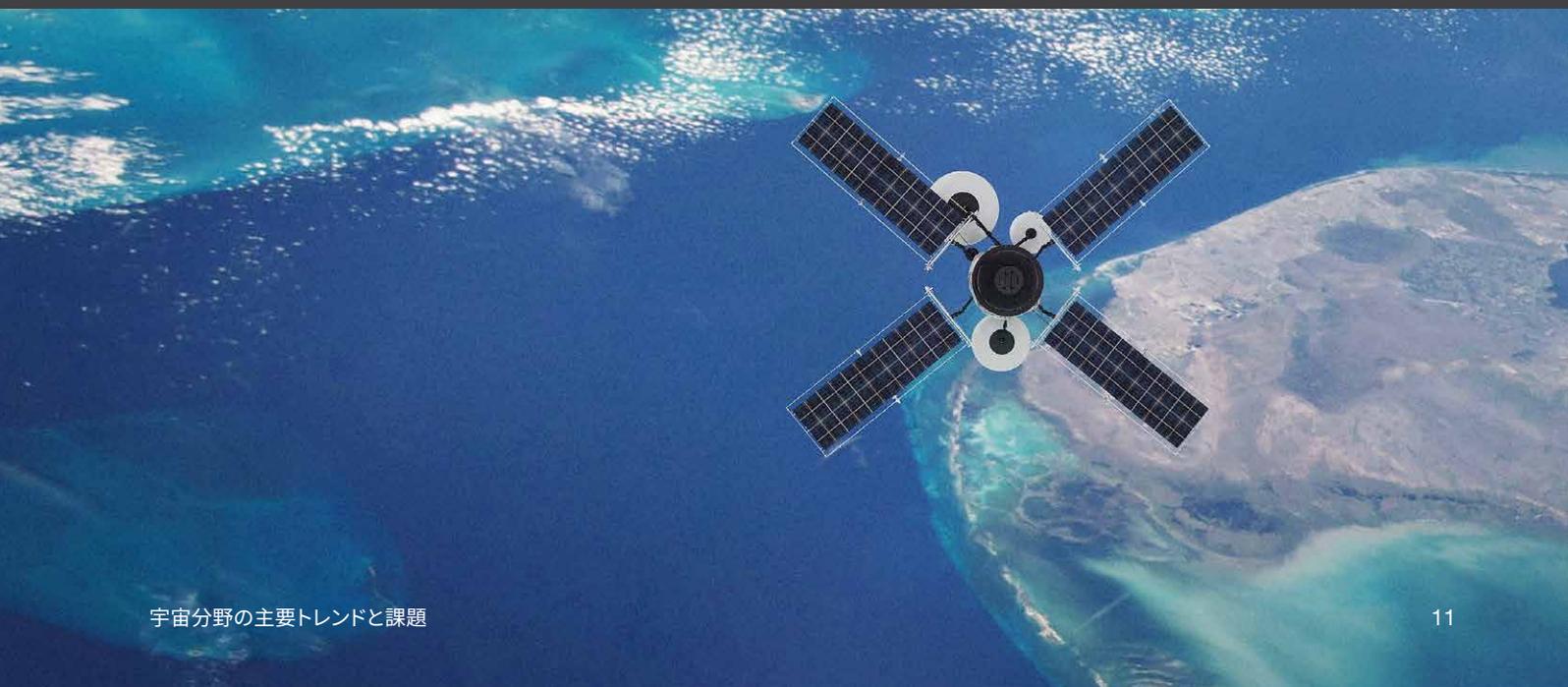
衛星ナビゲーション

MEO・LEO衛星コンステレーションを利用した地球・地域規模の測位・航法・タイミング(PNT)サービス

地球外経済

低軌道(有人宇宙飛行、宇宙ステーション)および宇宙空間(月、深宇宙)における探査・商業活動

この数年間、宇宙産業のバリューチェーンは、上流主導の技術推進から、下流(市場の需要)主導の技術開発に変化している。上流で生み出されたサービスを下流市場が利用するのではなく、新しいサービス・製品に対するエンドユーザーのニーズが宇宙産業のさらなる発展を牽引している。伝統的な宇宙企業が下流のサービス提供を行い、非宇宙企業が宇宙関連技術の開発を行うなどの垂直統合が進んだ結果、上流の活動と下流の活動の境界があいまいになりつつある。



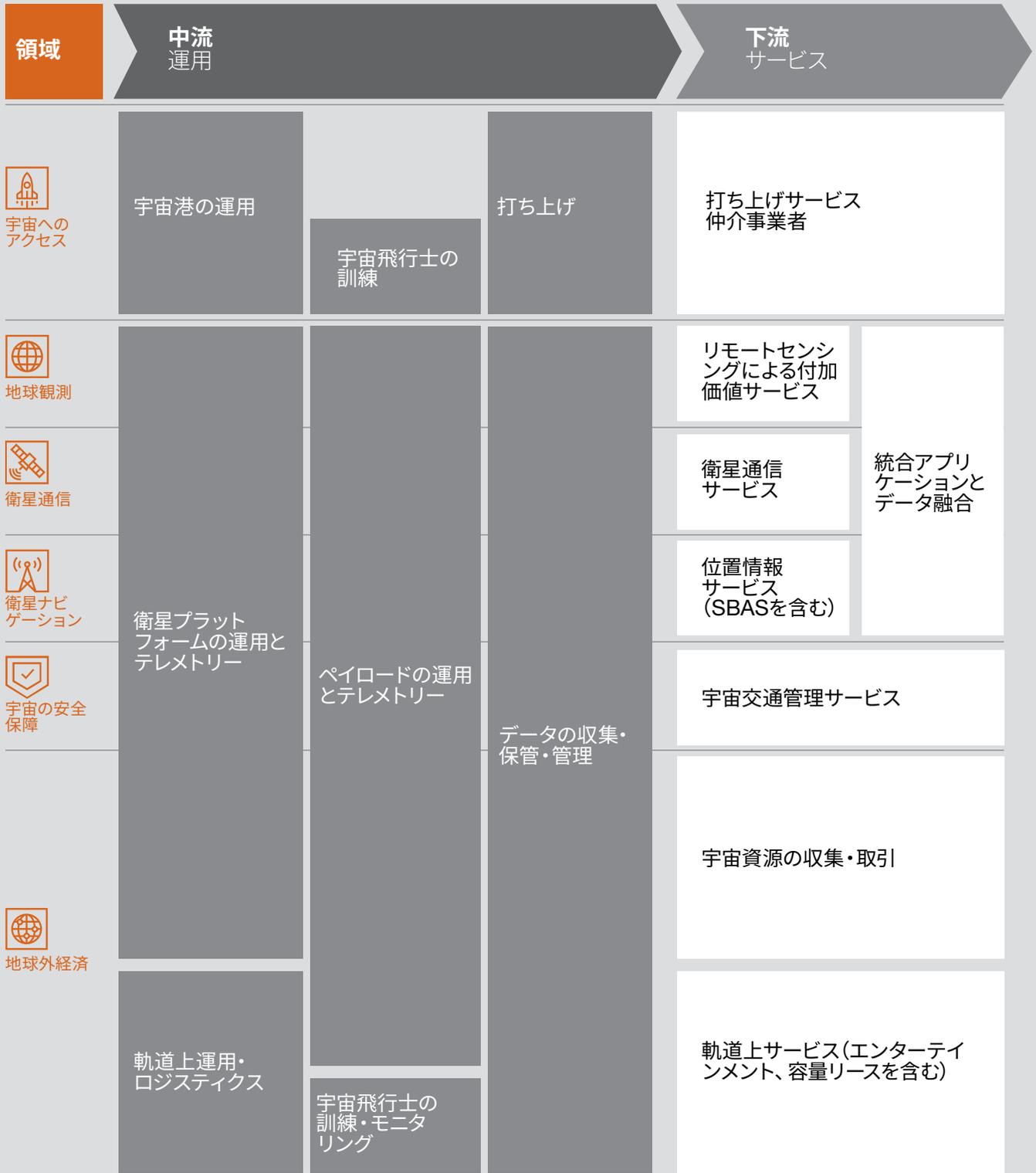
宇宙のバリューチェーン

宇宙のバリューチェーン

領域	上流 開発・製造・実証			
 宇宙へのアクセス	無人宇宙船	宇宙港インフラ		
	有人宇宙船 (有人宇宙飛行: HSF)			
 地球観測	衛星プラットフォーム	リモートセンシング・ペイロード(能動式・受動式のリモートセンシング)	地上セグメント	
 衛星通信		衛星通信ペイロード (量子通信、深宇宙通信を含む)		
 衛星ナビゲーション		衛星測位・航法・タイミング(PNT)ペイロード		
 宇宙の安全保障		宇宙状況把握(SSA)ペイロード		地上セグメントと地上望遠鏡
 地球外経済		宇宙探査ペイロードと探査機		深宇宙地上セグメントネットワーク
	ミッション固有のペイロード(SBSP)			
	軌道上製造・サービス	地上セグメント		
	軌道ステーション	HSFミッション管制センター		

宇宙のバリューチェーン

宇宙のバリューチェーン



宇宙のインパクト

スペースエコノミーには世界共通の分類法がなく、 下流の境界もあいまいなため、市場規模の算出は 複雑である

スペースエコノミーの市場規模推計

スペースエコノミーは、「宇宙の探査、研究、理解、管理、利用の過程で人類に対する価値と利益を創出する、あらゆる活動と資源利用」と定義されている(OECD, 2012)。

スペースエコノミーの定義は広いため、世界全体のスペースエコノミーの市場規模を正確に算出することは困難である。これは、宇宙分野には国際的に標準化された産業の分類法がなく、市場規模を算出する際に使用する定義・分類、境界、方法論が統一されていないためである。



スペースエコノミーには明確な分類法がなく、特に下流領域の境界を明確に設定するのは難しい



宇宙を活用した製品・サービスとこれらを利用するエンドユーザーの利益の直接的な因果関係は測定しにくい

したがって、スペースエコノミーを世界規模、地域規模で数値化するためには、スペースエコノミーに含まれる要素を理解することがきわめて重要となる。とはいえ、推計方法にかかわらず、上流・中流と下流の市場規模は桁違いとなることが想定される。

スペースエコノミーの市場規模推計

下流は上流・中流よりも
一桁市場規模が大きい

上流・中流
(100億米ドル超)

下流
(1,000億米ドル超)



4,030億
米ドル

- 上流(260億米ドル): 打ち上げサービス、衛星製造
- 中流(410億米ドル): 地上インフラとその運用、フリート運用
- 下流(2,430億米ドル): 消費者向け機器、宇宙を活用したサービス
- 研究機関予算(930億米ドル): 研究・科学、宇宙探査、軍事など

市場調査

2022年の宇宙経済の市場規模



3,840億米ドル(2023年)



4,240億米ドル(2023年)



5,960億米ドル(2023年)

金融機関

宇宙経済の市場規模が1兆米ドルに達する年



2030年(2023年)



2040年(2023年)



2040年(2023年)

注:「スペースエコノミー」には産業部門としての宇宙分野が含まれるが、その範囲ははるかに広く、工学・科学専門分野を宇宙空間(地球の大気圏外、通常は高度100kmのカーマンラインを超えた領域)の探査や活用に体系的に利用している組織・企業の総体と定義される。

宇宙産業の社会経済的効果を計測し、発信することはきわめて重要である

社会経済的効果の理論的根拠

宇宙産業への投資は、宇宙分野そのものにとどまらない大きな経済効果を生み出しており、世界のスペースエコノミーの大部分がそうした投資に支えられている。実際、宇宙産業への投資がもたらす社会経済的効果は非常に**広範囲で、あらゆる宇宙領域に及んでいる**。さらに、宇宙産業は、**知識の創造、労働者の能力向上、戦略的独立性**にも貢献している。

宇宙開発は公的資金に支えられているため、投資の意義に対する説明を求められることが少なくない。政府からの資金援助を必要としている分野や政策は他にもあるからである。これらの理由により、宇宙計画の社会経済的効果を評価することは、**宇宙分野に投資するメリットを明確化するとともに、他にも優先度の高い公共政策がある場合に、宇宙分野への投資を正当化し、その意思決定を支援するための重要な手段**となる。

以下は、社会経済的効果の評価において、一般に評価対象となる**効果指標を例示したものであり**、過去にPwCが実施した複数の宇宙領域（衛星サービス、ロケット、有人宇宙飛行、宇宙の安全保障、宇宙科学・探査など）に関するさまざまな調査結果をもとに、関連する主要な指標と乗数の一般的な値の範囲とともに記している。

1. 宇宙アセットの創造による効果

取引による効果：宇宙分野への投資が創出するGDP、雇用、税収への効果

1	GDP：宇宙関連事業への投資が創出する効果の総額(粗付加価値ベース)	<ul style="list-style-type: none"> - 直接的効果：宇宙産業に関連する粗付加価値 - 間接的効果：宇宙産業に対する支出が支える、サプライチェーンの下層(Tier1,2等)での支出に関連する粗付加価値(例：他の産業分野からの材料・機器の調達) - 誘発的効果：消費支出(宇宙産業・非宇宙産業の労働者が国家経済および地域経済において個人の収入をもとに購入した商品・サービスなど)に関連する粗付加価値
		乗数と指標の標準値 粗付加価値のタイプII乗数：投資の 1.4~2.2倍 粗付加価値のタイプII乗数は、宇宙関連支出が粗付加価値全体に与える影響の総量を定量化したもので、当該投資が生み出した直接的、間接的、誘発的経済活動を含む。
	2 宇宙活動への投資が創出する雇用 ：宇宙関連の雇用に投入された資金は、経済全体を活発化させ、宇宙産業の内部およびそのバリューチェーン全体で雇用を創出する。	乗数と指標の標準値 雇用：投資によって創出された雇用の数。 100万ユーロの支出は年間12人に値する。
3	政府の税収 ：宇宙計画への投資に伴う経済活動がもたらす政府の(税)収入	
	乗数と指標の標準値	税(%) ：全ての宇宙関連事業に対する当初投資額の相当部分(通常は35%を大幅に超える)

宇宙アセットの活用により、 宇宙アセットの創造がもたらす経済的な効果は 大幅に拡大する

1. 宇宙アセットの創造による効果

波及効果:宇宙産業への公的投資の一環として締結された契約は、後に他の顧客との契約にもつながる可能性がある(例:企業が宇宙関連事業の一環として製造した製品を他の顧客に販売する)。	
経済的効果	1 市場への波及効果: 宇宙関連事業の一環として製造した製品で使用された技術や専門知識が他の産業分野での売上増、資金調達、コスト削減に寄与。
	2 ネットワークへの波及効果: 宇宙関連事業を支援する組織の評判が高まることで、新たなパートナーシップの締結や顧客開拓につながり、当該組織の増収やコスト削減が実現。
	3 組織への波及効果: 宇宙関連事業を通じて、標準化などの優れた組織開発手法を既存プレイヤーから小規模な組織に継承することにより、当該組織の生産性向上、増収、コスト削減が実現。
乗数と指標の標準値	波及率(1.8~3.2倍):波及効果による売上高と投資金額の比率。

2. 宇宙アセットの活用による効果

宇宙アセット活用による売上高:宇宙アセットを活用することにより生じた売上高。	
経済的効果	1 宇宙アセット活用による売上高 とは、宇宙計画に対する投資から創出された宇宙アセットの活用により生じた売上高推計である。例:衛星サービスの提供や付加価値製品・サービスの販売による売上高。
	乗数と指標の標準値

宇宙のインパクト



3. 宇宙アセットの創造・活用に伴う効果

産業競争力

- 1 最先端技術へのアクセス: 宇宙活動の発展が国内産業の発展に寄与する度合い。
- 2 国内の中小企業に対する支援: 宇宙活動の活性化により創出される中小企業数の推計。
- 3 隣接分野に対する支援: 宇宙市場の創出や宇宙産業の活性化に伴い成長が見込まれる宇宙分野と非宇宙分野のマッピング。

戦略的効果

国家のリーダーシップ

- 1 宇宙活動のハブの創設: 国内の宇宙関連施設・サービスが誘致する外国企業数。
- 2 ポジショニング: 宇宙関連事業のために開発した技術(例: 宇宙港)をバーター取引の手段として利用できる度合い。

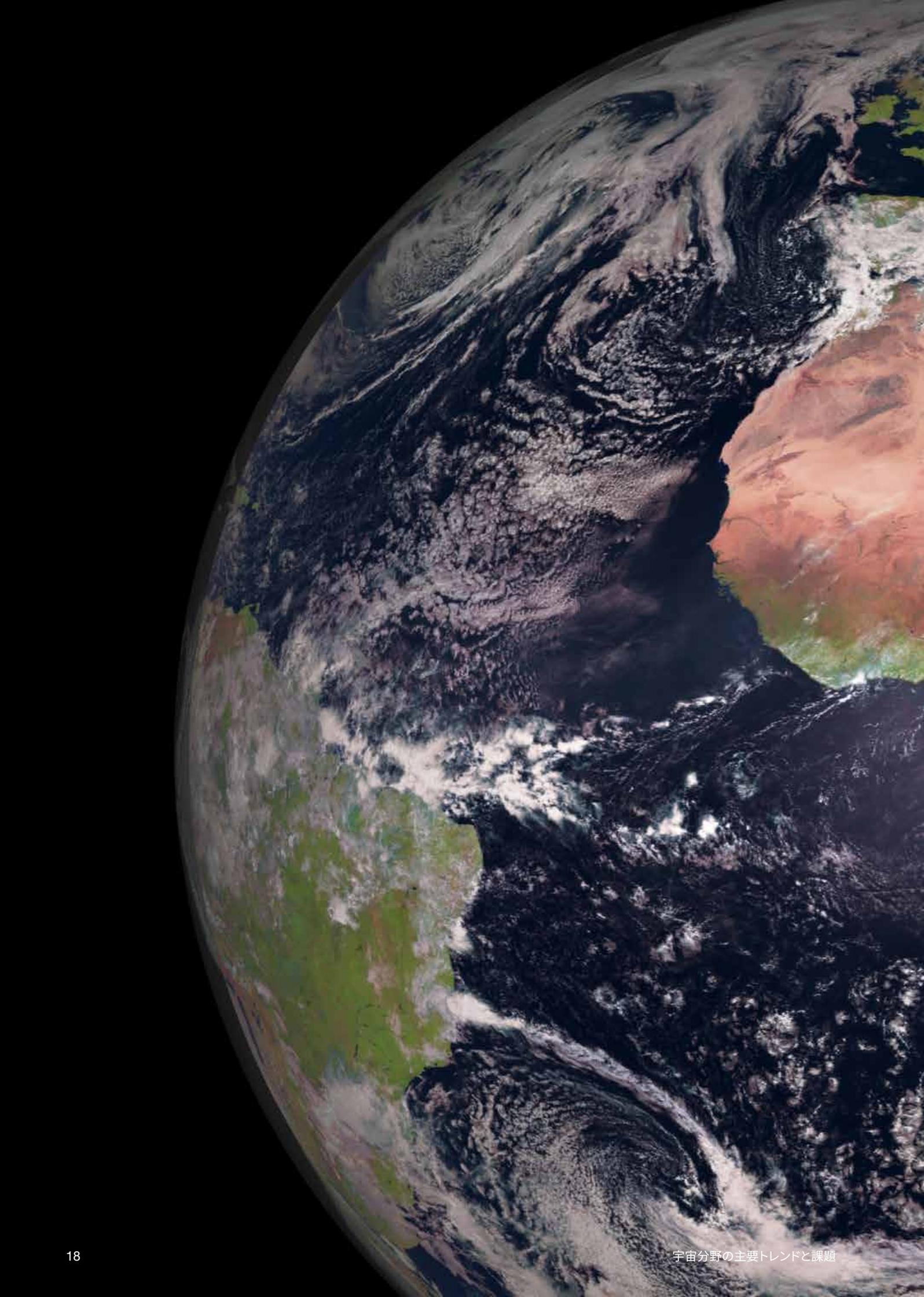
国際協調・宇宙外交

- 1 国際的なパートナーとの協力: 宇宙関連事業や宇宙関連技術の創出により、事業者や組織が協力関係を構築する国際的なパートナーの数。

環境面のメリット

環境的効果

- 1 **環境指標:** ある取り組みやプロジェクトが環境に与える影響を評価するための指標。環境への影響を評価することは、プロジェクトが環境に与え得るメリットを理解し、悪影響が生じるリスクとの比較検討を行ううえで役立つ。
指標の例:
 - 排出削減量
 - 資源利用効率
 - 廃棄物削減量
 - 大気質や水質





マクロトレンド

宇宙分野全体に影響を与えている領域横断的な
トレンド

宇宙では地域化が進展し、国家間の競争が激化している。

宇宙分野でもESG(環境・社会・ガバナンス)への考慮が求められるようになった一方、宇宙自体が環境政策やESG目標の達成において大きな役割を果たすという見方も広がりつつある。

技術は引き続き、宇宙のバリューチェーン全体におけるイノベーションを推進する。

宇宙分野への民間投資は世界規模では減少しているものの、その戦略的価値から、依然として宇宙分野の見通しは良好であり、宇宙分野に対する市場の関心は強い。

宇宙分野に影響を及ぼす領域横断的な4つの主要マクロトレンド

地政学的情勢と国際貿易

- 国際協力の下で進められている宇宙計画がある一方で、国家間・地域間の覇権争いも生じており、宇宙の地域化の影響は国際貿易にも及んでいる
- 宇宙の軍事化が進み、「防衛のための宇宙利用」という考え方から「宇宙における防衛」へと拡大しつつある
- 宇宙分野における新興国は宇宙開発計画に注力することで、国際社会における自国の役割を強化している

資金調達

- 宇宙分野への民間投資は世界全体では減少しつつある
- 宇宙分野におけるSPACは期待外れの結果に終わった
- 資金取引量は増加し続けている
- 株式市場では、防衛・安全保障分野に関連する伝統的な宇宙企業が高く評価されている



環境と持続可能性

- 宇宙に関するデータは、環境政策やESG戦略にますます活用されるようになってきている
- 宇宙開発におけるESG対応や、宇宙活動（打ち上げ等）の環境負荷軽減に向けた取り組みが進んでいる

バリューチェーンの上流・下流の技術とイノベーション

- バリューチェーンのデジタル化は、インダストリー4.0から地球デジタルツインへと着実に進展している
- データの管理・処理やコンステレーション管理の最適化にAIを活用する動きが広がっている
- 5GとIoTの活用が進んだ結果、新たなビジネスチャンスが生まれている
- 衛星製造の内製・外製へのアプローチは変わりつつある。全事業者共通の標準的なアプローチ方法はないが、差別化の要となる要素は内製化を目指す事業者が多く、特にコンステレーションにおいてはプラットフォームの標準化が内製化を促しているとみられる

地政学的情勢の変化は宇宙分野の地域化や軍事化につながり、グローバルサプライチェーンと貿易に影響を与えている

世界の多極化と地域化

米国・中国・ロシア間の緊張が再び高まったことにより、国際的な同盟が持つ戦略的な影響力が高まり、NATO(スウェーデン、フィンランドが加盟)やBRICS(2024年に6カ国が新規加盟予定)への加盟を新たに検討する国が増えている。しかし、経済関係は依然として場当たりに機会をうかがう色合いが強く、第三国が他国と協力して国際情勢に影響を与えようとする動きも見られる。

戦略上重要なセクターを保護する国家主義的な施策

グローバル化とサプライチェーンの国際化により、重要な製品・サービスの供給を他国に依存することのリスクが浮き彫りになった。各国は、半導体や兵器システム、人工知能(AI)、サイバーセキュリティツール、戦略上重要な原材料といったコンポーネント・資源の保護を強化する国家主義的な施策を導入し、敵対国を弱体化させるための長期的な投資計画や経済戦争の準備を進めている。

自国の防衛力に対する関心の復活

欧州地域で戦争が再燃し、その影響が他の地域、特にエネルギー産出国に波及したことにより、多くの国が国際同盟で担保される防衛力を補完するために、国防力強化を目指すようになった。設備を最新化し、最先端の戦争技術に対応するために、多くの国が国防予算を拡大した。

宇宙分野への影響



宇宙分野における新興国は宇宙開発計画に注力することで、**国際社会における自国の役割を強化している**。各国は長期的な戦略を策定し、宇宙企業の発展を後押しするための枠組みを整備するとともに、いち早く宇宙に進出した国々と国際協力関係を築くための大規模な投資を計画している。



軍事化の波は宇宙にも広がり、「防衛のための宇宙利用」から「宇宙における防衛」という発想の転換が見られる。軌道付近のスパイ活動、信号妨害、光学衛星の活動妨害や物理的破壊といった攻撃の有効性はほぼ実証されている。現時点では、こうした攻撃はほとんど発生していないが、ロシアが核兵器の宇宙配備計画を進めているとの噂が流れるなど、地政学上の勢力争いに宇宙が利用されるケースが増えている。



宇宙分野では、**東西対立はまだ終わっていない**。国際宇宙ステーション(ISS)の運用終了を見越して、地球低軌道に宇宙ステーションを設置するための2つの動き(中国による天宮宇宙ステーションと、米国による宇宙ステーション)がみられる。月探査では、アルテミス計画の一環として月面の研究基地と月周回軌道上プラットフォームゲートウェイを建設するプロジェクトとは別に、月の南極に国際月面研究ステーション(ILRS)を構築するプロジェクトが進んでいる。



宇宙開発に野心を示す国が増え、多くの国が他国に依存しない宇宙開発や、宇宙開発に必要な技術・システムの確保に向けた大規模な取り組みを政府主導で進めている。国家の宇宙開発計画はより野心的になり、国防を担当する省庁は民間の宇宙機関との連携を強化している。

システムのレジリエンス性を最大化する 概念としての「レスポンススペース」が 国防の点から注目されている

地球が大きく変動し、宇宙システムへの依存度が高まり、宇宙の脅威が深刻化する時代において、**レジリエンス性のある宇宙インフラを整備することは最優先の課題となる。**

レジリエンス性のある宇宙システムは、耐久性があり、混乱が起きても迅速に回復し、稼働し続けられるように設計されている。レジリエンス性のあるシステムは**レスポンススペースの基盤**であり、アジャイルかつ適応力が高い技術である。この技術は新たな脅威やニーズに応じて迅速に配置・再構成されるため、攻撃を受けてもサービスの提供が中断されることはない。競争が激化する宇宙空間で**世界規模の通信、ナビゲーション、安全保障**を維持するには、こうした高水準のレジリエンス性と即応性が不可欠となる。

レスポンススペース

レジリエンス性のある宇宙システムを構築するためには、宇宙分野の**全てのステークホルダーを包含するアーキテクチャ**が必要である。基盤となる宇宙インフラは即応性が高く、新たなアセットに対する**拡張性と統合力**を備えていなければならない。

レスポンススペース戦略の焦点は、(1) 既存アセットの再プログラミングと再構成、(2) 新たなアセットの迅速な稼働、(3) アセットのプロプライエタリシステムへの迅速な統合である。

特に3つ目の領域では、**多様なビジネスモデル**と幅広いアセット・サービスを特徴とする「NewSpace」が、バリューチェーン全体における「アズ・ア・サービス」モデルの提供などにより**迅速な運用**を促進している。これは**分野横断的な協力機会**を生み出す。

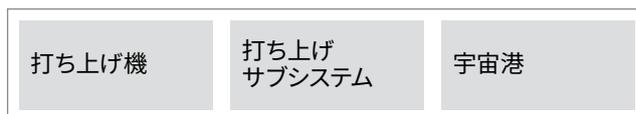
宇宙セグメント



地上セグメント



打ち上げセグメント



センサーデータ Nバンド
制御チャンネルがSバンドでデータを送信

レスポンススペースのボトルネック

宇宙システムのバリューチェーン



1 製造のモジュール化

速やかな統合と打ち上げ準備軽減のために衛星とペイロードを標準化し、適応性と拡張性を向上

2 軌道アクセスの増加

利用できる宇宙港や打ち上げロケットを増やすことで、軌道にアクセスする方法を多様化

3 規制の簡素化

宇宙関連の規制(打ち上げライセンスや周波数割り当てなど)を標準化することで、運用を効率化

経済の地域化は国際貿易と宇宙のサプライチェーンに甚大な影響を与えた

2008年と2009年に起きた世界金融危機以降、**グローバル化の進行は鈍化**している。また、近年のさまざまな危機により、グローバル化がサプライチェーンのレジリエンスに影響を及ぼすことが示されたことから、当面、グローバル化の進行は現在の水準にとどまることが想定される。

コロナ危機	新型コロナウイルスの世界的流行により、サプライチェーンに深刻な混乱が生じ、原材料や先端材料の不足、港湾の混雑などが発生した。
ロシア・ウクライナ戦争	ロシアとウクライナが供給していた金属、エネルギー、食品などの価格が高騰した。

EU

- 欧州CHIPS法：欧州の半導体市場の強化を目指す
- EU炭素税：産業が環境に与える負荷を低減する

米国

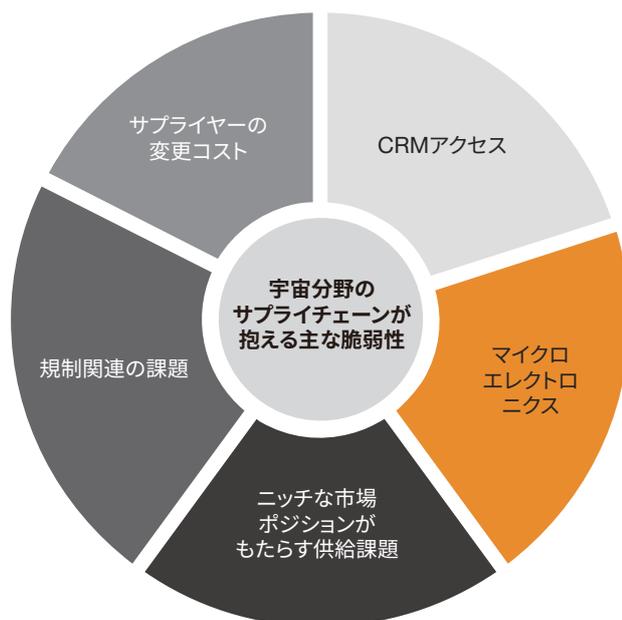
- 米CHIPSおよび科学法：半導体の製造と研究を米国内に維持する

中国

- 中国の双循環戦略：国内消費を重視する
- 輸出規制

上記と対照的に、既存の地域協定（例：EU、USMCA、CETA、RCEP、AfCFTA、メルコスール、CPTPP）は貿易障壁を削減しており、新たな協定（例：EU-メルコスール、EU拡大）を導入する動きも進んでいる。

宇宙分野の課題



サプライヤーの変更コスト

重要な宇宙コンポーネントのサプライヤーを変更すると、（規格の再確認や新たな生産ラインの必要性などにより）コストの上昇やプロジェクトの遅延が発生する可能性があるため、サプライチェーン戦略を強化する必要がある。

CRMアクセス

中国やロシア等の主要生産国からの供給が途絶えるリスクを回避し進歩を持続するために、宇宙分野は供給方法を多様化し重要な材料のイノベーションを推進する必要がある。

マイクロエレクトロニクス

高性能コンピューティングやチップの小型化を外国に依存することは、自国の宇宙分野の自立性や将来の進歩を脅かしかねない。中国と台湾が緊張関係にあることを考えると、台湾に依存するリスクは高い。

ニッチな市場ポジションがもたらす供給課題

ニッチな宇宙分野が重要な技術の供給における課題に対処するためには、パートナーシップの締結や能力の分散が必要である。

規制関連の課題

宇宙分野は、厳しい環境規制や、エネルギー産出国に対する制裁がもたらすエネルギーコストの上昇といった課題に直面している。さらに、新しい規制に適應するには時間とリソースを要する。

宇宙産業の活性化により、宇宙分野が環境に与える影響を考慮する必要性が生じるとともに、宇宙データを気候変動対策やESGに活用する機会も生まれる

環境と社会への関心の高まり

あらゆる産業界で、ESG（環境・社会・ガバナンス）が重視されるようになってきている。ESGスコアカードをアニュアルレポートに組み込む企業が増えるとともに、政府は規制や政策を強化し、社会・環境への配慮を促進する取り組みを主導している。

宇宙分野での議論は、宇宙環境の持続可能性が中心になることが多いが、より広範なテーマを論じる必要があるという認識も広がりつつある。宇宙分野と環境・社会要素との関係は、次の2つの観点から捉えることができる。

宇宙活動は、地球環境だけでなく、労働現場における多様性や包摂性といった社会課題にも影響を与えている（宇宙関連事業がサプライチェーンを通じて地域社会に与える広範な影響を含む）。

宇宙分野は、非宇宙分野がESG基準の順守状況を検証・モニタリングするためのアプリケーションやサービスを実現し、地球規模の課題を解決するためのデータを提供できる。

宇宙活動が地球環境に与える影響

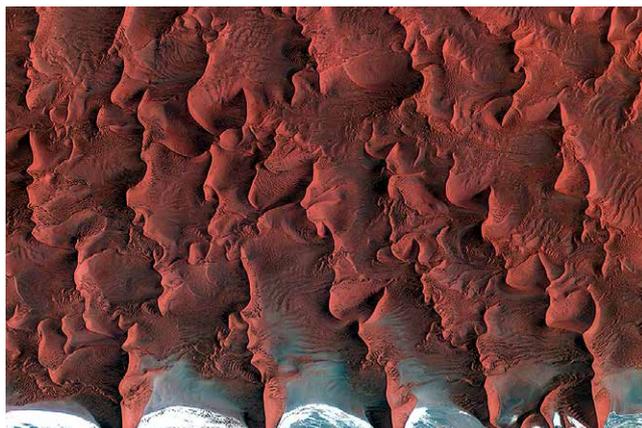
宇宙分野の発展に伴い、宇宙企業はESGパフォーマンスに対する責任を問われるようになり、事業を推進するうえでESGへの包括的な対応が求められるようになってきている。

年間の打ち上げ回数が増加や衛星コンステレーション開発の進展が示すとおり、宇宙活動は急速に活発化していることから、その重要性はますます高まっている。一部の組織・企業はすでに日々の業務においても、このマクロトレンドを意識するようになってきている。

新たなトレンドとして、データの不足やライフサイクル分析の複雑さから、宇宙活動がもたらす環境負荷を評価しづらいという問題も浮上しつつある。



宇宙データは、全ての産業のESGモニタリングと地球規模の課題解決において不可欠



宇宙分野は、さまざまなユースケースを通じて、非宇宙分野のESGモニタリングや地球規模の課題解決に必要なデータも提供している。

温室効果ガス排出量、カーボンフットプリント、生態系の変化や森林破壊といった環境要因のモニタリング、および水や廃棄物の効率的な管理において、衛星データが強力なツールとなる。

また、衛星データは、社会的要素のモニタリングにも活用でき、企業の人権侵害や違法な労働慣行のリスクを特定できる。衛星データを位置データと融合すると、こうした重要な課題の解決に役立つインサイトを得られることが多い。この統合的なアプローチにより、現状をより包括的に捉えられるようになる。

宇宙活動がもたらす環境負荷を把握し、 負荷軽減にむけた対応が進められている

各国政府は環境保護に重点を置き、パリ協定や地域レベルの環境政策、気候戦略の実施状況を管理している。高まる規制圧力に対応するために、世界中の宇宙機関や民間企業が、宇宙活動が環境に及ぼす負荷を評価し、軽減するための取り組みを行うようになった。一部の組織は、具体的な温室効果ガス排出量削減目標も掲げている。

宇宙分野が脱炭素化するためには、主に2つの課題を解決する必要がある。

- 宇宙産業が各領域・セグメントに与える全体的な影響の評価と理解の促進
- 設計段階からの環境配慮、および持続可能な宇宙技術開発におけるイノベーション

影響の継続的なモニタリング

温室効果ガス排出量

カーボンフットプリント評価では、組織が直接および間接的に排出する温室効果ガスを定量化することにより、組織のカーボンフットプリントを計測する。

評価は、複数のスコープに分けて行われる。

- スコープ1(直接排出)
- スコープ2(エネルギー関連の間接排出)
- スコープ3(その他の間接排出)

温室効果ガス排出量を正確に計測することは、的確な削減方法を実施するうえで役立つ。

取り組みの例:

Lockheed Martinは、2020年を基準として、スコープ1とスコープ2の絶対的な二酸化炭素排出量を36%削減することを目標に掲げている。

ライフサイクル分析

ライフサイクル分析は、製品が環境に与える影響をきわめて高い精度で定量化できる。

しかし、分析は非常に複雑である。宇宙は防衛分野との関連性が高いため情報開示に制約があり、また市場競争の観点からも情報が十分に共有されていないことから利用できるデータが限られるためだ。

また、宇宙分野の製品にはさまざまなコンポーネントや実証フェーズがあること、そして設計、製造、運用において携わる人材が多いことも、ライフサイクル分析が複雑になりやすい原因となっている。

取り組みの例:

SESは、自社の製品・サービスの影響を明らかにするために、技術パートナーと協力して、2030年までに全製品・サービスのライフサイクル分析を完了することを目標に掲げている。

大気中への排出

宇宙活動が環境に与える実質的な影響を定量化するには、大気圏上層部での排出量も定量化することが欠かせない。しかし、産業の環境への影響評価は複雑であり、大気圏上層部は高度が高いため、排出量の推定は依然として難しい。大気圏上層部の高度での煤煙、アルミナ、水蒸気の影響測定は不十分であり、その影響は二酸化炭素がもたらす影響よりも大きい可能性がある。

取り組みの例:

フランス国立宇宙研究センター(CNES)は高層大気への二酸化炭素排出に関する重要な研究に資金を提供しており、2025年に研究結果が得られる予定である。研究の成果は、CNESが開発中のオープンソースOASISエココンセプトソフトウェアに盛り込まれ、宇宙分野の全てのプレイヤー、特に独自のツールを開発するリソースがない新興企業が、環境に配慮した方法で事業を推進することを促す見込みである。

エコデザイン

エコデザインとは、宇宙関連のシステムや機器の設計、製造、運用を環境に配慮したものにするための取り組みである。

このような取り組みは、製品が環境に与える影響を設計段階初期から考慮することにより、製品が環境に与える負荷を軽減することを目指す。

取り組みの例:

欧州宇宙機関(ESA)は、欧州の宇宙産業が利用できるエコデザインの統一的な枠組みを策定することにより、宇宙活動が環境に与える負荷を軽減し、グリーンテクノロジーの利用を促進することを目指している。

ロケットの打ち上げ増加により、持続可能なロケット推進剤の必要性が高まっている

ロケット推進剤を持続可能な方法で製造することにより、打ち上げによって排出される二酸化炭素量を削減

打ち上げにおいて排出される温室効果ガスの大部分は、推進剤の使用とその製造により生じる。持続可能なロケット推進剤(SRP)、すなわち(グレーな代替物ではなく)「グリーン」な推進剤の開発により、ケロシン(RP-1)、水素、メタンを含む一般的な推進剤が持続可能な方法で生産可能になり、宇宙分野の二酸化炭素排出量の削減につながる。

SRPへの切り替えに伴い打ち上げ事業者が負担するコストは基本的でない

SRPの開発は、宇宙産業全体の脱炭素化を推進する上で、非常に大きな影響力を持つ可能性がある。これは、単に現在の化石燃料を用いる推進剤と比較して二酸化炭素排出を最大93%削減できるからだけではない。持続可能なロケット燃料に切り替えても、宇宙へ輸送されるペイロード1kg当たりの総コストに与える影響はほとんどないからである。実際、燃料費が打ち上げ費用全体に占める割合はわずかで、通常は2%にも満たない。このため、SRPへの切り替えが総コストに与える影響は限定的である。SRPの量は可能であり、実現すれば業界全体に影響を与える。

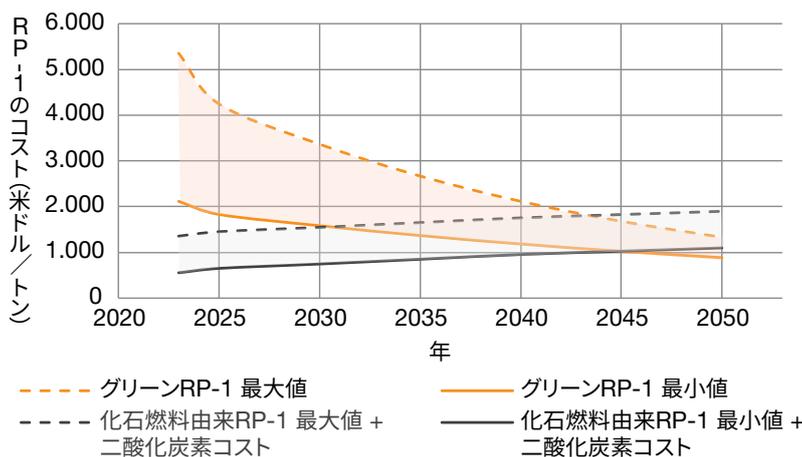
宇宙港には重要な役割がある

将来的には、宇宙港には再生可能エネルギー発電所と燃料処理施設を併設し、SRPの生産に必要な再生可能エネルギーを供給できるようにする必要がある。すでに一部の宇宙港では変化が起きている。ガイアナでは、クールーにあるフランスの宇宙港に2基の太陽光発電所が建設されるなど、環境に配慮した基地への転換が進められている。同基地は、アリアン6用の水素と、将来のエンジンである「プロメテ」用のメタンの両方を生物資源から製造することを目指している。開発中の宇宙港も、SRPの生産に適したインフラをあらかじめ設計に組み込むことで、このSRPへの切り替えに貢献できる。つまり、将来の宇宙港は、宇宙分野の組織・企業が持続可能な技術を広範に利用できるようにし、宇宙分野で排出量ネットゼロを実現する過程において、重要なインフラとして活用される。

政府レベルの取り組み

各国政府は、研究開発機関を通じてSRPの開発に取り組んでいる。こうした取り組みの例としては、欧州宇宙機関(ESA)の革新的推進・横断イニシアティブ(IP CCI)、インド宇宙研究機関(ISRO)が推進している環境負荷の少ないロケットグレードのケロシン(ISROSENE)に関する研究などがある。こうした取り組みは、フランス航空宇宙協会(3AF)の「宇宙推進に関する国際会議」など、研究・業界団体の作業部会と結びついていることが多い。

グレーRP-1とグリーンRP-1のコスト比較



2023年から2050年における化石燃料由来RP-1のコスト(+二酸化炭素価格)と合成燃料由来RP-1のコストの最小値と最大値の推計

衛星技術は、ESGデータ(特に環境データ)の不足を補う上で重要な役割を果たす

ユースケース



サステナブルファイナンス

サステナブルファイナンス開示規則(SFDR)、タクソノミー規則など、金融分野の規制要件が増加していることから、投資会社や投資ファンドの間では、ESG要件を評価するための信頼性の高い定量的なソリューションが求められている。

33兆ユーロ

2022年の世界のESG運用資産(2030年までに40兆ユーロに達する見込み)。投資の約半分を欧州が占める¹。



ESGのための環境データ

地球観測により計測可能な環境要素としては、温室効果ガス排出量、カーボンフットプリント、水・廃棄物管理などがある。



リスク評価

地球観測データは、資産リスク算定の一環として、地上のリスクを特定し、自然災害や気候変動の予測に使うことができる。



資産モニタリング

投資ポートフォリオを構築する際に、あらかじめESGの要素を組み込んでおくと、新しい持続可能な投資機会を特定しやすくなる。



サステナブルツーリズム

ツーリズム(観光)は、気候変動や汚染、生物多様性の破壊、劣悪な労働慣行の大きな原因となっている。

そのため、観光業界は、長期的な社会経済的利益を確保するために、バリューチェーン全体でサステナブルツーリズムの実現に取り組んでいる。

2.2兆米ドル

2023年のサステナブルツーリズムの市場規模。2030年には8.7兆米ドルに達する見込み²。



環境モニタリング

衛星データから気候変動や汚染に関連する観光指標を抽出し、旅行者の行動の把握や定量分析に活用できる。



用地計画

地球観測データは、特に遠隔地における生物多様性のモニタリングや持続可能なインフラの構築に活用できる。



デスティネーションマネジメント

旅行者が訪れる土地を定期的にモニタリングすることで、変化を検知し、観光のトレンドを把握し、旅行者の行動がもたらす影響を評価できる。

1. <https://www.bloomberg.com/company/press/global-esg-assets-predicted-to-hit-40-trillion-by-2030-despite-challenging-environment-forecasts-bloomberg-intelligence/> | 2. Global News Wire

宇宙データはESG指標の追跡など、さまざまな用途に活用できる一方、宇宙データの活用においては考慮すべき制限事項もある

技術的な制限事項



データ
バイアス

データバイアスは、アルゴリズムレベルで対応しない限り、人々（特に社会の発展から取り残されている人々）に不利益をもたらす恐れがある。



解像度

解像度（空間、時間、スペクトルの解像度）は、一部のユースケースでは制限事項となることがある。ただし、稼働している宇宙船数の増加により、こうした制限事項は減りつつある。



コスト

コストが問題となることがある。一般に、データの入手にかかるコストはそれほど高くないが、分析にかかるコストが高いため、価格に敏感なユーザーにとっては障壁となる可能性がある。



統合

宇宙分野と非宇宙分野では標準化やデジタル化の水準が異なるため、既存のソリューションに宇宙データをそのまま**統合**することは難しい。

技術的な制限事項はビジネス上の制限事項よりも少ないが、特に**サステナビリティに関するユースケースにおいては弱い立場の人々を危険にさらす恐れがあるため、宇宙データは慎重に扱う必要がある**。したがって、宇宙データの利活用は公平で公正なものであることが重要である。

ビジネス上の制限事項



認知度の
低さ

おそらく最大の障壁は**認知度の低さ**である。非宇宙コミュニティのユーザーはそもそも宇宙データの利点に気づいていない。**ステークホルダーやユーザーの関与度が低い**ことも認知度の低さを助長している。



価格設定
モデル

用途によってニーズが異なることが多いため、**価格設定モデル**の構築は難しい。従量モデル、サブスクリプションモデルのいずれでも、顧客の要求を完全に満たすことはできない可能性がある。



ビジネス
ケースの構築

宇宙技術の絶対価格は必ずしも高くないものの、非技術分野のユーザーが宇宙の付加価値を理解することは容易ではないため、**ビジネスケースの構築**は複雑になりやすい。

サステナビリティ領域のエンドユーザーの多くが必ずしも技術に詳しくない「意思決定者」であることはあまり問題ではない。問題は、**宇宙データの「信頼度」**である可能性がある。つまり、宇宙データが人間のアナリストを「支援するもの」ではなく、人間のアナリストに「取って代わるもの」と見なされるかどうか――。

地球課題の拡大において、 環境分野以外でも衛星サービスが 重要な役割を果たす



衛星データはさまざまな応用が可能であり、正確な情報を適時提供することで、世界規模の環境・社会問題の解決に寄与する。

衛星データは、さまざまな分野における意思決定者の意思決定、および効果的なソリューションの実行を支援する。



人道支援

近年の地政学的状況、特にウクライナ戦争を機に、多くの国が人道問題への関心とコミットメントを高め、支援や予算への投資を増やした。

宇宙技術はさまざまな用途に活用できる。以下にその例を示す。

- **人流モニタリング**: 人流を長期にわたりモニタリングする。
- **脆弱性評価**: 危機発生時に効果的に対処できるよう特定の人口集団のリスクを予測する。
- **環境影響評価**: 支援そのものが環境に与える影響を把握する。



気候変動モニタリング

地球温暖化のパターンや傾向を把握し、その影響を低減するには、気候変動をモニタリングすることが非常に重要である。

衛星データは、森林伐採や氷の融解といった環境変化を追跡し、研究や政策立案に必要な情報を提供するため、災害管理のプロセスやシステムの有効性を向上させることができる。



災害管理

宇宙技術は、信頼性の高いデータを適時意思決定者に提供することにより、災害管理サイクル全体で重要な役割を果たしている。

宇宙技術は、次のような方法で自然災害や人為的災害の予測・対応に活用できる。

- (地球観測衛星の活用により) 気候変動や自然災害をモニタリングし、自然災害リスクを予測することで、自然災害に対する**関心を高め、対策を強化する**。
- (GNSSにより) 被災地のマッピング精度を高め、(通信衛星により) 関係者間の通信を円滑化し非常時対応を行うことで、**災害により効果的に対処する**。



農業と食料安全保障

増加する食料需要量に対応するには、食料安全保障を確保し、持続可能な農業を普及させることが不可欠である。下記の例のように、宇宙技術は農業の最適化を可能にする。

- **作物の状態**を正確に測定・予測する。
- **収穫量**を正確に測定・予測し、食料安全保障の不確実性を減らす。
- **土壌の水分量**をモニタリングし、水資源の管理を改善する。

社会の動向を踏まえ、宇宙分野の組織・企業も多様性や包摂性を重視するようになってきている

宇宙分野における社会的包摂の推進状況



各国政府は新たな政策や要件の導入により、労働力の多様性、公平性、包摂性、アクセス可能性(DEIA)の重要性を唱えている。こうした動きに感化され、DEIAを戦略に組み込む動きが活発化しており、その影響は宇宙産業全体に及んでいる。このような変化を主導しているのは、一部の民間企業と非営利組織である。



多くの技術主導分野と同様に、宇宙分野もDEIAに関する課題に直面しており、過去30年間に大きな改善は見られていない¹。世界の宇宙分野で働く労働者に占める女性の割合は約20%にとどまり、マイノリティや障害者の割合も非常に低く、変革が求められている。

DEIA推進のために進められている取り組みの例



- 連邦政府機関に対しDEIAの推進を命じた2つの大統領令²を踏まえ、米国航空宇宙局(NASA)はDEIA実現のための新たな戦略計画(2022~26年)を策定した。
- NASAの監察総監室は2023年の報告書³において、過去10年間にNASAでDEIAが進展しなかった根本原因を分析し、一貫性と信頼性を備えたデータの欠如が阻害要因であると認めた。
- 2023年、NASAは初の多様性アンバサダーを任命し、既存の多様性・機会均等室を改組した。



- 欧州委員会(EC)は政策ガイドライン(2019~24年)において初めて「平等」を優先事項に掲げた。その後、2021年にEC全体を対象とするジェンダー平等戦略が始まった⁴。
- その結果、ECの防衛産業・宇宙総局(DG DEFIS)は2022年、欧州と各国の機関、組織、学術機関における雇用者と被雇用者のDEIAの現状を評価する平等・多様性・包摂性に関する調査を開始した。



- 欧州宇宙機関(ESA)は「ESAアジェンダ2025」を発表し、「より若く、より多様な組織」となり、「管理職レベルを含めて女性の比率を高める」ことにより、「ESAの有効性と魅力を高める」ことを目標に掲げた。
- 2022年、ESAは欧州宇宙飛行士団のメンバーに初めてパラストロノート(身体障害者の宇宙飛行士)を任命した。ESAは、「パラストロノート実現可能性プロジェクト」を通じて、多様な人々が宇宙飛行士になるための技術的課題を解消する研究を進めている。



UNOOSA



SPACE 4 WOMEN

- 国連宇宙部の「Space4Women」は、宇宙における女性のエンパワーメントを推進するプロジェクトである。近年は国連加盟国の支持を得て活動が活発化している。同プロジェクトの目標は、持続可能な開発目標に沿ったもので、宇宙の恩恵が女性と女兒にももたらされ、宇宙分野の科学、技術、イノベーション、探査において、女性が男性と同等の積極的な役割を果たすことを目指す。
- 国連宇宙部は毎年、開催国や加盟国とともに、こうしたテーマについて議論する会議を開催している。この会議は、これまでにカナダ(2023年)、韓国(2022年)、アラブ首長国連邦とブラジル(2012年)で開催された。



ASTROACCESS

- 2021年に設立されたAstroAccess (SciAccessの一部)は、有人宇宙探査への障害者の参加を推進する非営利組織である。Zero Gravity Corporationと協力して、これまでに5回の微小重力ミッションを実施し、障害者の放物線飛行を実現させた。これは有人宇宙飛行の民主化に向けた第一歩である。

1 <https://news.un.org/en/story/2021/10/1102082>

2 大統領令第13985号「Advancing Racial Equity and Support for Underserved Communities Through the Federal Government」(2021年1月20日)、大統領令第14035号「Diversity, Equity, Inclusion, and Accessibility in the Federal Workforce」(2021年6月25日)

3 <https://oig.nasa.gov/docs/IG-23-011.pdf>

4 欧州委員会「The Gender Equality Strategy 2020-2025」

宇宙産業はテクノロジートレンドの影響を受けて変化しながら、分野横断的なイノベーションに寄与している

製造



産業と製造

- 「インダストリー4.0」は宇宙分野にも広がり、宇宙分野の開発・製造を根底から変えつつある。
- 例えば、**積層造形法(アディティブマニファクチャリング)**はシステムのラピッドプロトタイピングを可能にするだけでなく(ロケットのコンポーネントなどの)製造工程の主流になっており、**デジタル化された最先端の製造プロセス(アドバンスドマニファクチャリング)**は、ネットワークと接続された「スマート」工場を実現している。
- その他、バリューチェーンの上流に影響を与えている技術・製造分野のトレンドとしては、**IoT、サイバーセキュリティ、クラウドコンピューティング、ビッグデータ分析(BDA)、先進ロボティクス、デジタル設計、スケールドマニファクチャリング、スマート製品、コネクテッド製品**などがある。
- **事業者が衛星、特にSmallSat(小型通信衛星)を内製するか外製するかを判断する際の基準も変わりつつある。**

通信



ネットワーク

- 地上の**5Gネットワーク**を活用し、ハイブリッドネットワークを構築する。
- **低遅延で高速な通信**を人口の少ない地域やアクセスが難しい地域(例:戦場、自然災害の被災地、海上)で利用できるようにする。
- **地球低軌道(LEO)衛星通信**を5Gネットワークに統合する。
- 「**ノードとしての宇宙**」のパラダイムを推進する。



IoT

- IoTに**宇宙ネットワーク**を統合することで、通信の遅延を減らし、通信距離を伸ばす動きが広がっている。
- 民間企業は、IoTに活用可能な**SmallSat(小型通信衛星)コンステレーション**の運用を検討している。主な課題は、**ユーザーセグメント用チップセットの小型化、省エネルギー、レジリエンス性**である。

データ分析



人工知能(AI)とディープラーニング

- 大量の**データ分析**やオンボードでの直接的な**データ処理**など、データ分野での利用が広がりつつある。
- バリューチェーンの他の部分での用途としては、**高度なミッション運用、革新的なセキュリティコンセプト、画質の向上、地球観測のための検出・追跡機能、GNCハイブ学習**などがある。
- その他、**言語処理、生成AI、研究開発**など、宇宙産業に間接的な影響を与える分野横断的な用途に使われるケースも多い。
- **ビッグデータ分析(BDA)**は、データ統合を通じて、**地球観測データの活用範囲**を広げており、農業、都市計画、環境モニタリングなどの分野で高度な応用が展開されている。
- 複雑な宇宙ミッションでは、**予測モデリングとディープラーニング**が**ミッションパラメーターの最適化**と**リスクの削減**に寄与している。
- 宇宙観測機器から得られる**膨大なデータセットの処理**も、BDAの重要な用途である。



ビジネスモデルの進化や事業リスクの回避により、衛星開発におけるアウトソーシングは多様化している

衛星事業者やインテグレーターが、内製・外製を戦略的に判断するための標準的な方法はない。ミッションの**コスト競争力**と**リスク管理のバランス**が重要であることに変わりはないが、「コンステレーション事業者か、単一ミッションの事業者か」、「安価で拡張性のあるソリューションか、リスク回避型の長期資産か」等の市場での役割も判断材料となる。



コスト

多くの大規模コンステレーション事業者は垂直統合を 선호しているが、これは衛星のリダンダンシーコストが大きな原因であることが多い(設計、製造、打ち上げ、運用を含む)。



製造活動に関する社内の重要なノウハウ

一部の事業者は、衛星製造の中核技術を競争力の源と捉え、この分野の技術に投資している。



重要な技術の保護(IP)

多くの事業者は、まず(特に地球観測における)革新的なペイロードを開発し、その後それを衛星プラットフォームに統合している。



製造の遅延と柔軟性

新規参入事業者は柔軟な調達を必要とする。製造業者が打ち上げ準備の整ったCubeSat(超小型衛星)を受注・製造・納入するまでの期間は1年未満(ほとんどの場合は数カ月)である。



外部パートナーへの依存

垂直統合型の事業者は、衛星の重要なパーツを外部パートナーに依存することはきわめてリスクが高いと考えている。

地球観測に関する説明



光学ペイロード

民間事業者は、CubeSat(超小型衛星)から、より大規模な(リスクの高い)プラットフォームに移行する際に外製を選択することが多い。

標準化されたCubeSat(超小型衛星)を製造できる企業は、規模の経済を活かし、他社への依存度を下げるために内製化に関心を持つ。



SAR(合成開口レーダー)ペイロード

衛星事業者は、ソフトウェアなどの重要な差別化要素に全てのケイパビリティ(人材や資金)を集中させるために、バリューチェーン上の上流工程のアウトソーシングに強い関心を示す。

民間事業者は、競争優位性を確保するために製造工程の大半を内製化することを目指す。

ノードとしての宇宙：スペースエコノミーの台頭が新たなデータ主導の事業を促進する

概念の定義

「ノードとしての宇宙」とは、宇宙分野の価値の中心が衛星インフラからデータや付加価値コンテンツに完全に移行した状態を指す。非地上系ネットワークが広がり、宇宙インフラが急速に成熟しつつあるなか、新興企業は衛星を「ノード」として利用することで、以下を実現することを目指している。

- 情報収集
- アクセスポイント構築
- データの作成と輸送
- アプリケーション開発
- 新たなビジネスモデルやサービス提供

未来を見据えて：ネットワークノードの開発

宇宙技術を地球上の経済に統合する取り組みが、大陸横断的な地上システム、海底ケーブル、衛星利用システムなど、ネットワークへの複数のアクセスポイントを介して進められている。総合的に見て、このような動きは、世界の産業、技術、経済インフラに新たなハブを生み出す可能性がある。

宇宙のバリューチェーンの進化：データのパラダイムシフト

宇宙データのライフサイクル
(生成～応用)

先進的なビジネスモデルへの移行

産業発展のプロセス

宇宙分野はデータの提供からインサイトの提供へと軸足を移しつつある。この移行は「サービスとしてのインサイト」を実現するための基盤となる。

宇宙分野が提供するの単なる情報ではなく、行動の規範となる情報であり、ステークホルダーが情報に基づいて行動し、意思決定を下すための指針である。

宇宙企業は、データをどれほど効果的に戦略的資産に変えられるかによって差別化を図っている。この戦略は、データを処理する企業から知識を提供する企業への移行を意味する。

「ノードとしての宇宙」の出現は、宇宙分野の全ての組織・企業が価値と成長の新たなパラダイムの創造に貢献する可能性をもたらしている。

設計から打ち上げ、そしてその先まで ——AIによって宇宙産業は著しく加速している

宇宙AIの動向とユースケース



エンジニアリングの加速

- 生成AIによる工学設計、分析、知識移転の支援
- 機械学習を利用した飛行科学分析
- 生成AIによるパーツの合理化
- デジタルツインとAIシミュレーション



予測プログラム管理

- 合成プログラムインテリジェンス
- 財務予測
- リソースと生産性のトラッキング
- リスクモデリングとシナリオモデリング
- 生成AIによるプログラムインサイト



衛星とセンサー

- コンピュータービジョンとセンサーのための生成AIソリューション
- 衛星データの合成とノイズフィルタリング
- 組み込みAIとIoTエッジAIサービス
- 地上局のデータ分析



ペイロードと打ち上げ

- 機械学習による需要予測
- 生成AIによるペイロード設定
- リソース配分
- 燃料と打ち上げのリアルタイム分析
- リスクの評価と緩和

NewSpace経済におけるAI

人工知能(AI)の登場によって宇宙産業は急速に変化しており、イノベーション、効率性の向上、商業的成長において前例のない好機が生まれている。このホワイトペーパーは、AIが宇宙船の設計や地球観測、自律的な宇宙活動、宇宙領域把握、AI利用の規制環境に与える重大な影響を、政府による利用と民間事業者による利用の両方に注目して分析したものである。

宇宙産業では、AIはフォースマルチプライヤー（戦力増強手段）の役割を果たしており、主に以下の分野で技術力の大幅な向上に貢献している。

- **宇宙船の設計と分析の合理化**: AIを利用することで、ラピッドプロトタイピングによる反復設計プロセスを加速させ、重量・性能・レジリエンス性を最適化し、過酷な宇宙環境における宇宙船の挙動をシミュレーションできる。

- **衛星・センサーデータからのインサイトの抽出**: AIにより、膨大な地球観測データセットからパターンと傾向を見つけ出すことができ、精密農業や自然災害対応、環境モニタリング、資源マッピングといった分野における画期的な応用が推進される。
- **自律システムの進化**: AIは、自律型の宇宙船、ローバー、ロボットシステムによる宇宙探査と資源利用を支える技術である。これらのシステムは人間の介入を減らしても稼働し、予測不可能な環境に適応・対処できる。
- **宇宙領域把握の改善**: AIは、宇宙物体の追跡、衝突の予測、軌道操作の分析、宇宙の脅威の評価には欠かせない技術であり、安全で持続可能かつ責任ある宇宙環境の実現に貢献している。

規制コンプライアンス



データとAI倫理

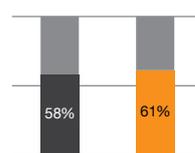
- 責任あるAI
- AIとデータのガバナンス
- 説明可能なAI文書
- 人種や性別に関する偏見



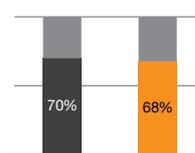
ガバメントクラウド

- FedRAMPの順守
- ITAR/EARの順守
- DoD ILの機密性
- データ分類
- エアギャップ型のAI

2024年AIに関する世界CEO意識調査の結果



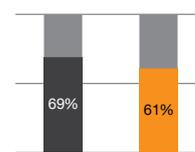
今後12カ月間で、生成AIによって自社の製品・サービスの質は向上する



今後3年間で、生成AIによって自社が価値を創出・提供・獲得する方法は大きく変わる



今後3年間で、生成AIによって自社が属する業界の競争は激しくなる

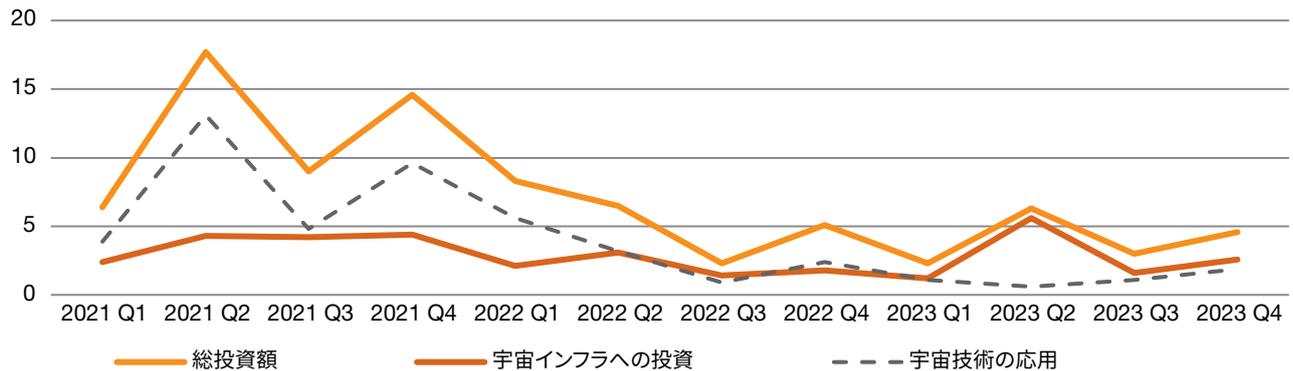


今後3年間で、生成AIによって自社の従業員のほとんどが新たなスキルの習得を求められる

■ 米国のCEO ■ 世界全体のCEO

政治・経済の不確実性と業界全体の合理化により、宇宙への民間投資は減りつつある

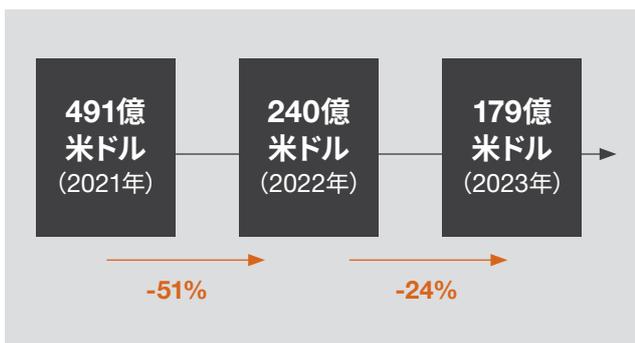
宇宙に対する世界の民間投資額 (10億米ドル)



上流領域への投資は安定傾向にある。2023年は投資家が慎重な投資判断をしており、堅実な基盤を持つ企業や政府・防衛関連の契約を持つ企業に投資が集中した。

投資の概況

民間投資は過去3年間で大幅に減少

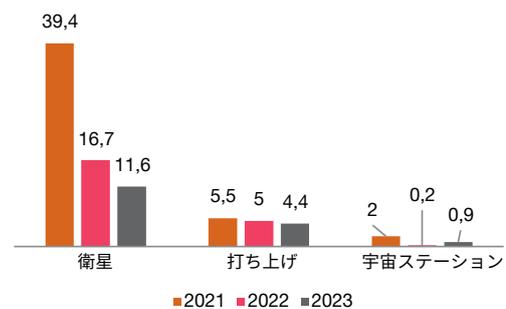


一般投資家が投資先を判断するようになった結果、宇宙企業への投資は鈍化し、ラウンド数とユニーク企業数も減少し続けている。

応用用途(特にGPS分野)への投資が急激に減少しており、2021年から2022年の間に200億米ドル近く減少した。

セグメント別投資額

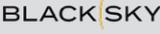
主要サブセクターへの投資 (10億米ドル)



2021	2022	2023
ラウンド数: 603	ラウンド数: 438	ラウンド数: 417
ユニーク企業数: 505	ユニーク企業数: 387	ユニーク企業数: 395
企業投資: 149億米ドル	企業投資: 17億米ドル	企業投資: 21億米ドル
ベンチャー投資: 180億米ドル	ベンチャー投資: 130億米ドル	ベンチャー投資: 68億米ドル

資金調達

SPAC企業は設定した高い目標を達成できず、市場の脅威に対抗するための各種取り組みが進んでいる

領域	企業	SPAC上場時の評価額(100万米ドル)	時価総額(100万米ドル) 2024年4月2日	2022年売上高(100万米ドル)	2023年売上高(100万米ドル) 企業情報/予測
 宇宙へのアクセス	 Virgin Orbit	3,800	破産	33.1	-
	 Momentus	1,500	5.68	0.3	1.7(半期)
	 ASTRA Astra	2,600	15.92	9.3	0.96(第3四半期まで)
	 Rocket Lab	4,800	2,025.04	211	244.6
 地球観測	 Satellogic	1,100	142.56	6	10~20
	 Planet Labs	2,800	647.16	170	220.7
	 BlackSky	1,500	197.45	65.4	94.5
	 Spire	1,600	299.55	80.3	105.7
 衛星製造	 Terran Orbital	1,800	264.47	94.2	135.9
 衛星通信	 AST SpaceMobile	1,800	659.19	13.8	-(第3四半期まで)
	 SatixFly	365	52.90	10.6	8.9(第3四半期まで)
 月面経済活動	 Intuitive Machines	1,200	811.23	85.9	48.9(第3四半期まで)
 軌道上の経済活動	 Redwire	675	286.58	160.5	235

高い現金燃焼率

2022年と2023年の宇宙分野ではSPAC取引数が激減した。SPAC企業の中には、株式の非公開化を検討しているところもある。SPAC企業の時価総額は買収後に大幅に下落し、そのほとんどがレイオフや株式併合を発表した。

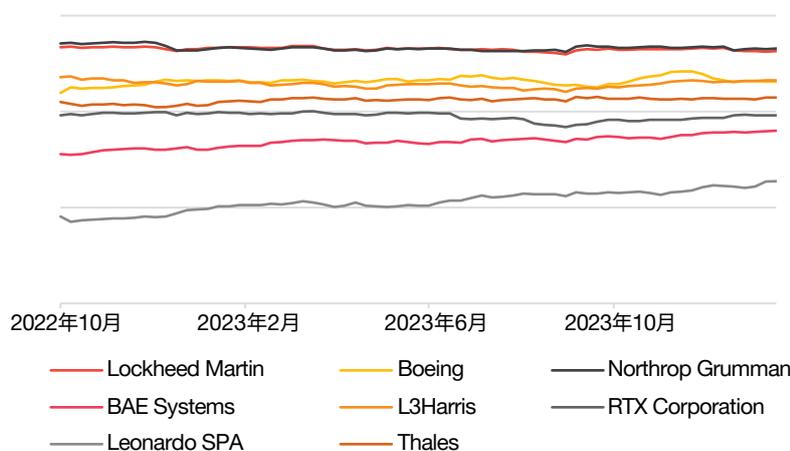
成長と実証

大多数のSPAC企業が過去2年間で売上高が増加したと報告し、収益性の向上にむけたコスト削減策を模索している。一部のSPAC企業は、まだ技術の実証段階にある。政府との契約を獲得した企業は、民間投資も獲得している。

伝統的な宇宙企業は上場のメリットを引き続き享受しているが、NewSpace企業は時価総額の維持に苦勞している

伝統的な宇宙企業の株価推移(対数目盛) *

(2022年10月～2024年2月)



28%の成長

2022年10月から2024年2月の平均株価成長率について、分析対象の伝統的な宇宙企業間では28%となった。

これらの伝統的な宇宙企業は一般的に防衛分野との関わりが深く、大型の政府契約を多く獲得している。

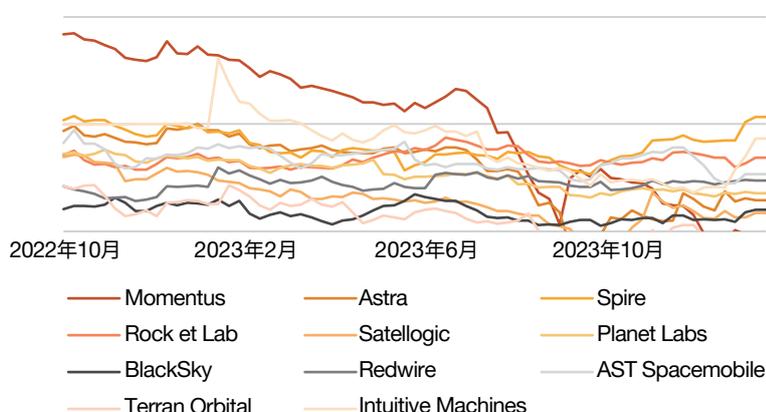
2024年2月19日時点の最高値と最安値

450.96米ドル Northrop Grumman

18.77米ドル Leonardo S.p.a

NewSpace SPAC企業の株価推移(対数目盛) *

(2022年10月～2024年2月)



39%の下落

SPACを通じて上場したNewSpace企業の株価は、2022年10月から2024年2月で平均39%下落した。

一部の企業は株価を維持するために株式併合を実施した。

2024年2月19日時点の最高値と最安値

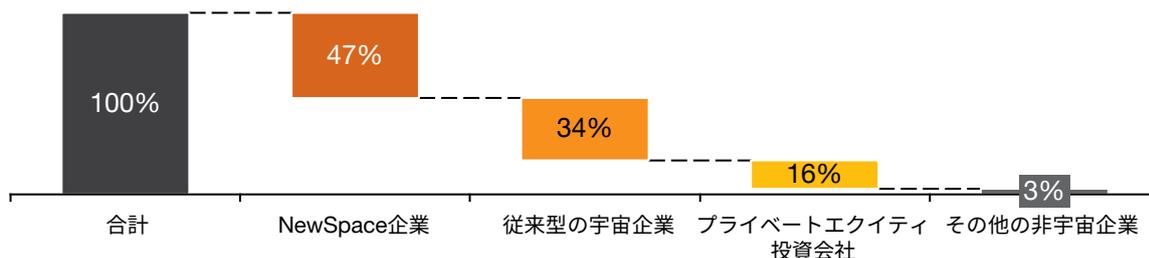
11.74米ドル Spire Global

0.82米ドル Momentus

*異なる株価を同じチャート上で比較するために、単一の株価の変動チャートではなく、株価の伸び率を明示する対数目盛チャートを利用した。

競争の激化と資産の過少評価が 宇宙分野における取引を促進している

2023年に宇宙分野で行われたM&A：約35～40件
買収企業のタイプ別内訳

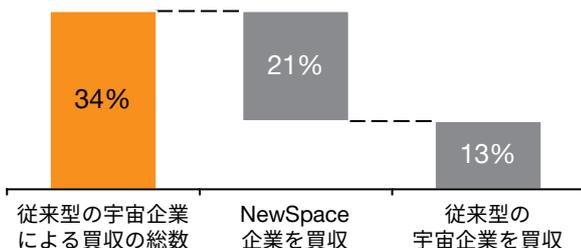


2023年の宇宙分野のM&Aに見られた4つの主要トレンド

1. SpaceXのインパクト

伝統的な宇宙企業が生き残りをかけて連帯

Old Space企業による買収先の内訳
(NewSpace企業と従来型の宇宙企業)



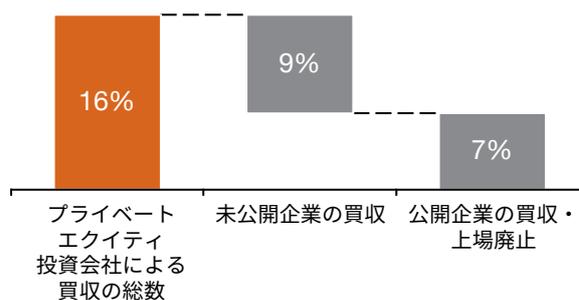
SpaceXの徹底したイノベーション志向と費用対効果の高い打ち上げ能力は、伝統的な宇宙企業の市場ポジションを根底から揺るがし、宇宙分野での競争が激化した。その結果、長い歴史を持つ宇宙通信企業(最近では伝統的な宇宙企業全般)は、競争力を維持するうえで連帯が必要だと考えるようになった。

例：Viasat – Inmarsat (評価額：73億米ドル)、Eutelsat – Oneweb(評価額：34億米ドル)

2. プライベートエクイティの役割

過少評価された資産への投資

プライベートエクイティによる買収の取引タイプ別内訳
(未公開企業、上場廃止)



2023年、プライベートエクイティは資金調達に苦戦し、収益性に対する投資家からの圧力にさらされていた宇宙企業が持つ過小評価された資産を活用して、M&Aを実施した。買収先には非公開会社だけでなく、公開会社も含まれる。その多くは上場後に期待に応えられなかったSPAC企業であり、取引完了後に上場廃止された。

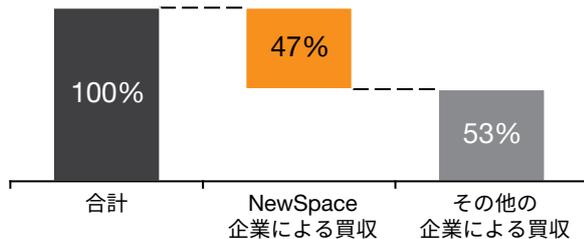
例：AE Industrial Partners – Firefly Aerospace、Redwire、York Space Systems、Advent – Maxar(上場廃止)

NewSpace企業は買収により自社のポジショニングを強化しており、近年は国際的な取引を増やしている。

3. 統合

NewSpace企業による買収が増加

買収企業のタイプ別内訳(NewSpace企業とその他)



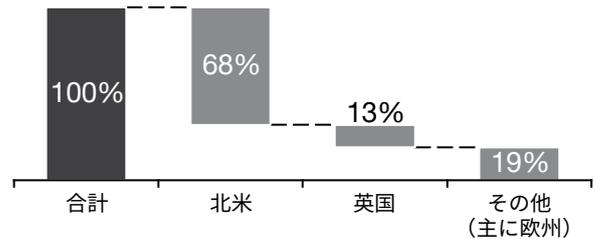
2023年、宇宙企業は自社のポジショニングを強化するためにM&Aを活用するようになった。既存企業は有利な市場環境と低い評価額を活用し、重要なケイパビリティ、組織、技術を獲得した。注目すべきは、NewSpace企業による買収が増加していることである。これは業界の今後の進路を方向づける上で、NewSpace企業の影響力が強まっていることを示している。

例：Fireflight – Spaceflight、Redwire – Qinetiq Space、Voyager Space – ZIN technologies、Planet Lab – Salo Sciences

4. 米国外にも広がる取引

過小評価された資産への投資

買収先の地域別内訳



宇宙分野の大型M&Aは、これまで米国や中国の企業を対象とするものが多かったが、近年はカナダ、英国、ドイツ、フランスなどの企業も増えている¹⁾。これは業界の均衡が取れ、宇宙分野におけるM&Aの国際化が進んでいることの証である。宇宙空間の国家主権に対する懸念を抱く一部の有力な新興企業は、独自の強みを活かし、米国の競合企業に対して長期にわたる優位性を獲得できる可能性がある。

例：KKR – OHB(ドイツ、上場廃止)、Viasat – Inmarsat(英国)、CNH Industrial – Hemisphere GNSS(カナダ)





領域別トレンド

各宇宙領域の主な動向と課題



宇宙分野を構成する6つの主要領域について、 主な動向と課題を解説する



地球観測

政府による戦略的地球観測アセットの整備

安全保障・防衛を目的とした地球観測イニシアティブが登場し、観測データ・アセットを入手するための活動が盛んになるなど、地球観測の領域では政府が市場を牽引している。市場は新規ユーザーにも広がりつつあるが、普及を阻害する障壁が存在する。



衛星通信

端末間通信(D2D)が潜在市場規模を拡大

何十億台もの端末をつなぐD2D通信は、衛星事業者が開拓し得る市場の規模を大きく拡大する可能性がある。



ナビゲーション

ナビゲーション技術の進歩

全てのGNSSが強化され、新たなユースケースが生まれつつある一方、GNSSに依存しない、低軌道衛星コンステレーションによるPNTが実現に近づき、さまざまな機関の関心を集めている。



宇宙へのアクセス

求められる変化

ロケット開発はリスクが高いことから、ロケット市場は供給過多となっており、宇宙業界の企業は生き残りにむけたビジネスモデル改革を迫られている。小型ロケットの開発が、特定の国・企業への依存から脱却するための戦略的な手段だとみられている。



宇宙の安全保障

軌道の混雑を回避するための新たな枠組み

小型衛星の急増により、低軌道では宇宙の交通状況が悪化している。全てのステークホルダーが連携して宇宙交通管理やデブリ削減に取り組むことにより、宇宙の持続可能性と安全性を確保することが急務となっている。



地球外経済

実証ニーズの高まり

投資対効果はまだ不明だが、軌道上経済では新たな技術の実証が進んでいる。民間宇宙ステーションに関するプロジェクトが進展し、官民の事業体が月面着陸に成功した。

地球観測

主要トレンドの概観

地球観測を牽引しているのは、引き続き政府による需要(軍・政府)である。

地政学的リスクの高まりや不安定な世界情勢を受けて、世界各地で安全保障と防衛を目的とした政府主導の地球観測イニシアティブが生まれている。

地球観測データを自然資源管理や環境、サステナビリティに応用する動きも拡大している。

地球観測データの活用は産業やサービスといった新規ユーザーの間でも進みつつあるが、認知度の低さや提供方法、価格設定のばらつきといった障壁により、普及には至っていない。

地球観測市場の成長は、 下流領域の製品・サービスが牽引している

地球観測のバリューチェーン



エンドユーザー



防衛・
安全保障



農業



エネルギー



環境



気象



金融
サービス



産業

主な数値

約50億米ドル
地球観測の下流市場の推定売上高
(2023年)

**CAGR
(複合年間成長率)
8~10%**

今後10年間の地球観測の下流市場の推定成長率

約40億米ドル
商用の地球観測の下流市場への累計投資額
(2018~22年)

地球観測

地球観測は主に軍・政府・環境関連の用途で活用されている一方、新規ユーザー間での広範な利用にはまだ障壁がある



需要の動向

国家主導の地球観測ミッションの増加

政府系顧客(軍・政府)が依然として需要全体の大半(約50~60%)を占める。不安定な地政学的状況も、国家が主導する地球観測ミッションや衛星コンステレーションの登場を後押ししている。

特に環境に特化した商品やインサイトへの関心

環境、サステナビリティ、排出量モニタリング分野での応用が引き続き関心を集めている。気候変動への対応が急務となっていることから、民間企業は公開されている気象データを補完するための技術を開発している。

新たな規制がもたらす好機

新規規制の導入により、地球観測データの利用が大きく広がる可能性がある。例えば森林破壊防止規則が成立したEUでは、木材サプライヤーの位置情報を集め、対象地域の森林破壊状況をモニタリングするために、企業が地球観測データを活用する可能性がある。



供給の動向

新たなビジネスモデルの登場

市場の細分化とソリューションの多様化により、下流市場では、衛星画像を単品で販売する従来の形式から、サブスクリプションや従量課金方式へとビジネスモデルが変わりつつある。新しい「アズ・ア・サービス」モデルも登場している(例: CaaS)。

新たな技術の登場

非画像技術(例: 熱赤外、電波掩蔽、AIS(船舶自動識別装置)、ハイパースペクトル)が登場し、多額の投資を集めている。衛星コンステレーションの計画も増加している。しかし、現時点では特定のユースケースでの使用が大半を占めており、広範な需要はまだ顕在化していない。

地上セグメントと処理におけるイノベーション

安価で拡張性が高く、データ提供が容易なクラウドベースのサービスが広がりつつあるが、機密データの取り扱いには懸念が残る。事業者はオンボード処理など、機械学習やAIのアルゴリズムを活用する方法も模索している。

市場の課題:さまざまな障壁により、依然として新規ユーザーによる利用は進んでいない

衛星データはもはやニッチな技術ではなく、地球観測の民主化が進みつつある。しかし、市場の発展を促し、サービスや産業における新規ユーザーを引きつけるためには、次のような障壁を乗り越える必要がある。



認知度の低さ:宇宙分野に精通していないユーザーは地球観測の可能性や価値を十分に認識していない



標準化の欠如:プラットフォーム間のデータインターフェースが標準化されていないため、エンドユーザーが容易にデータにアクセスできない



価格の高さ:SARやVHR(超高分解能)のような最先端技術は画像1枚あたりのコストが高く、用途によっては障壁となる可能性がある



モバイル・ワイヤレス・サービス事業者は、帯域幅の拡大とデータ伝送速度の向上を求める声に対応するために、利用可能な無線周波数帯域の拡大を要求している。2027年の世界無線通信会議(WRC-27)では、主に地球観測用途で使用されている周波数帯域で、5G・6G事業者に分配される周波数帯を拡大することが議題の1つとなっている。これは地球観測衛星センサーや地上局の受信機(特に7~10GHz帯)との無線周波数干渉を引き起こす恐れがある。WRC-27に向けて、欧州宇宙機関(ESA)が主導する「European Scientists on Spectrum for Earth Observation(ESSEO)」や業界関係者がアドボカシー活動を開始している。

国防と安全保障に重点を置く政府システムは、戦略資産に対する各国の思惑を反映している

地政学的リスクの高まりや不安定な世界情勢を受けて、世界各地で政府主導の地球観測イニシアティブが生まれている

地政学的状況の変化とそれに伴う宇宙分野の軍事化・地域化は地球観測にも影響を及ぼした。ウクライナにおける紛争は、防衛分野はもちろん、幅広い組織・企業による衛星画像への需要を高め、状況把握や情報収集を目的に衛星画像を活用することへの関心を浮き彫りにした。主権の保持、需要格差の解消、データの独立性の重要性も、安全保障と防衛を目的とした政府主導の地球観測イニシアティブが生まれる一因となっている。

主な例



欧州委員会による「EU全域を対象とした地球観測政府サービス(EOGS)」の実現可能性調査

背景と目的

- EUの「安全保障・防衛に関する宇宙戦略」(2023年3月)は、EUの安全保障と防衛を支援し、意思決定を行う上で、地球観測は重要な役割を果たすと指摘している。
- EUの地球観測プログラム「Copernicus」も安全保障サービスを提供しているが、国防要件を満たすものではない。
- そのため、欧州委員会は地球観測に関する政府サービスを新たに導入することで、加盟国やEU機関に補完的な地球観測能力を提供し、安全保障・防衛用途での活用を可能にすることを目指している。

現在の状況

- 実現可能性評価において2つのコンソーシアムに調査研究を委託。
- 2024年末までに試験的なサービス(または先行サービス)のテストが始まる見込み。



米国家偵察局(NRO)の衛星コンステレーション

背景と目的

- SpaceXのStarshield部門は、低軌道で稼働する数百基の地球観測衛星コンステレーションを構築していると報じられている。
- 報道¹⁾によれば、契約総額は18億米ドルに達する。
- 成功すれば、米国の政府・軍の地球観測能力は大幅に向上するという。

現在の状況

- SpaceXは2021年に契約を締結し、現在は製造段階にあると報じられている¹⁾。

一部の国々は地球観測アセットの開発に取り組み、データやサービスの獲得に力を入れている

各国は地球観測をさまざまな用途に役立てるために、衛星コンステレーションを通じて地球観測の上流領域のアセットの拡大・開発に取り組んでいる

一部の国々は新たな地球観測コンステレーションの構築に投資している。こうしたコンステレーションは、必ずしも安全保障・防衛用途を強化するためのものではなく、ESG報告やインフラ監視、市民の保護、沿岸監視など、幅広い用途を対象にしている。

主な例

	IRIDE	イタリアはマルチペイロードの地球観測コンステレーション(SAR、光学、ハイパースペクトル)を開発しており、予算の一部はEUの「国家レジリエンス回復計画(PNRR)」の資金でまかなわれている。
	ATLANTIC	スペインとポルトガル、最近では英国が欧州宇宙機関(ESA)とともに、地球観測衛星と通信衛星からなる大西洋コンステレーションの開発に参加している。
	CAMILLA	ポーランドは初の地球観測コンステレーションCamillaを打ち上げるESAとの協定に署名した。打ち上げは2027年に予定されている。
	SIRB	アラブ首長国連邦宇宙局は近年、2026年に打ち上げ予定のSAR衛星コンステレーションSirbの開発に関する覚書を同国の防衛コングロメリット、EDGEグループと締結した。
	GISTDA	MHESIとGISTDAは2023年に新しい地球観測衛星THEO-2を打ち上げた。THEO-2はさまざまな分野で重要な役割を果たすと期待されている。

各国は、産業界から地球観測データやサービスの取得にむけた取り組みを拡大し、下流領域を開発するための投資も行っている。

一部の政府は上流だけでなく、下流領域の技術開発(例:データプラットフォームの開発)にも投資し、商用データを直接購入することで地球観測市場を支える重要な顧客となっている。

主な例

	NASA	NASAは、「商用小型衛星データ取得(CSDA)」プログラムを通じて、最大総額4億7,600万米ドルの商用地球観測データおよびサービス契約を締結することを目指している。
	NGA	米国の国家地理空間情報局(NGA)は、新プログラム「Luno」の下で、商用地球観測データを提供する事業者の募集を開始した。最大契約額は2億9,000万米ドルとなる見込み。
	ESA	欧州宇宙機関(ESA)とEUは、Copernicus貢献ミッションに参加する商用データ提供事業者の拡大に取り組んでいる。2023年には9つのNewSpace企業が初めて同プログラムに参加した。
	JAXA	日本は衛星データを活用した新たな市場の創出を目指して、2019年に衛星データプラットフォーム「Tellus」を公開した。地球観測データはJAXAが提供する。
	ISRO	インドの国家リモート・センシング・センター(NRSC)と国家地理空間プログラム(NGP)の目的は、インドの地球観測能力を強化し、さまざまなユーザーセクターでの研究開発を促進することである。

地球観測データはサステナビリティの分野でも活用されている



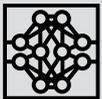
温室効果ガス モニタリング

気候への関心が高まるにつれて、地球観測が果たす役割も大きくなっている。さまざまな企業が温室効果ガス排出状況をモニタリングし、温室効果ガスの排出量や排出源の特定などを行っている。



海洋 モニタリング

地球観測の領域では海洋モニタリングに対する注目が増している。2023年11月以降、中国航天科技集団(CASC)、NASA、インド宇宙研究機関(ISRO)が海洋監視衛星を打ち上げ、気候変動に対する理解の向上、汚染の追跡、海洋生物のモニタリングなどの用途に活用している。



スマート シティ

宇宙データと高度なモデリング能力を組み合わせることで、都市のスマート化やクライメイトニュートラル(温室効果ガスの実質的排出量がゼロの状態)を実現し、インターネットとの接続を強化する重要なイノベーションが生まれている。デジタルツインから都市のヒートアイランド(UHI)現象まで応用範囲は広く、市民に与える影響も大きい。

スマートシティの事例

「アーバン・ヒート・レポート」はヒートアイランド問題に取り組む都市を支援するツールであり、PwCスロバキアが地球観測データをもとに開発した。



「アーバン・ヒート・レポート」は、衛星熱画像を使用して都市の中で周囲よりも大幅に高熱になっているエリアを分析する。リモート・センシング・データを土地利用、人口密度、気候感度などのレイヤーと組み合わせることにより、過大な発熱の原因と、それが都市と住民に与える影響を明らかにすることを目指す。

多くの都市では熱波がかつてない頻度と規模で発生し、無防備な市民を襲うようになっている。これを受けて都市の気候レジリエンスが注目され、その重要性が急速に高まっている。

市民の意識を高め、問題や対応策を示す上でも、地球観測データは重要な役割を果たす。「アーバン・ヒート・レポート」は、都市のヒートアイランド現象をさまざまな側面から可視化することにより、この問題を理解しやすくしている。衛星画像は特定の都市や地域のみでなく、世界中にインサイトを提供することができる。



「アーバン・ヒート・レポート」のプレビューは以下のウェブサイトを参照
urbanheatreport.sk.pwc.com

衛星通信

主要トレンドの概観

各機関は、インターネット接続に対するニーズを満たすために、国内の衛星通信の強化に力を入れるようになっている。

技術分野で起きている分野横断的な連携により、衛星と地上の機器をつなぐ端末間通信(D2D)サービスが実現しつつある。

静止軌道衛星の事業者はM&Aを通じて低軌道衛星市場に進出し、この市場での存在感を戦略的に高めようとしている。

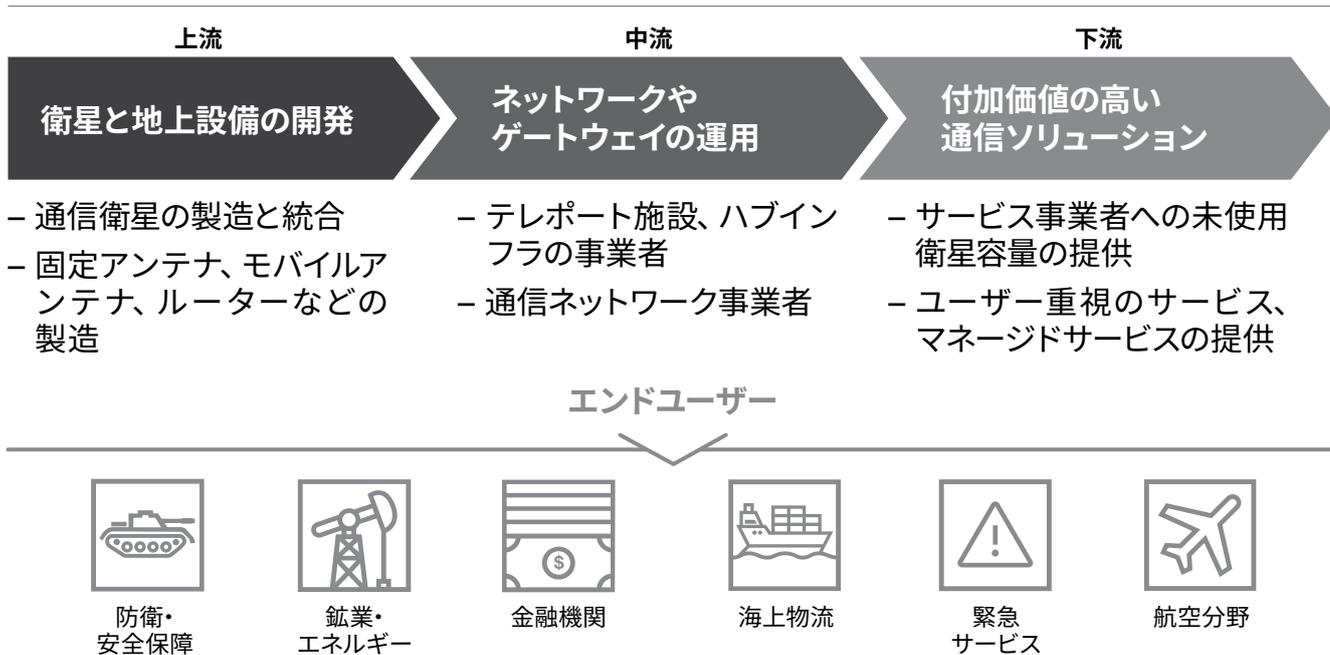
消費者向けブロードバンド市場では、Starlinkのような低軌道衛星事業者のサービスがシェアを伸ばし、柔軟な契約形態、価格競争力、帯域幅の高さ、低遅延を武器に顧客を集めている。



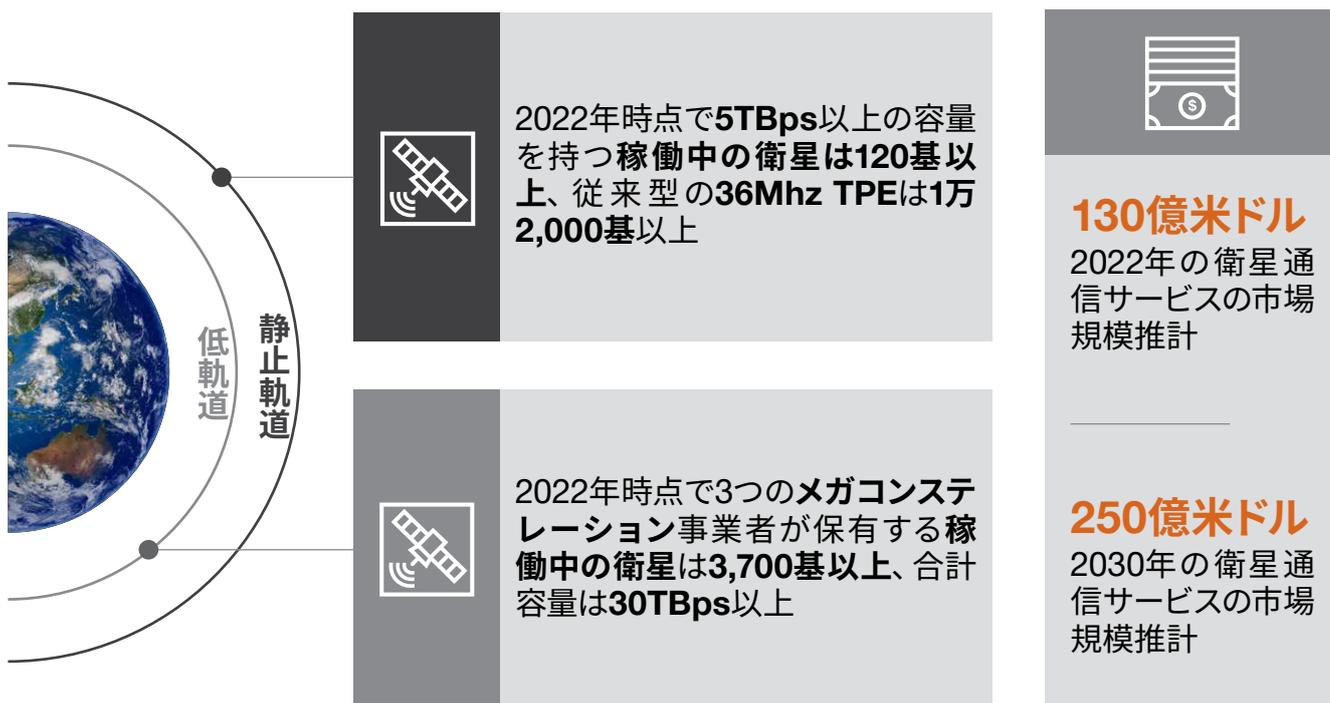
衛星通信

低軌道衛星を利用した衛星通信事業者が 静止軌道衛星の6倍に達し、衛星通信の主流に なっている

衛星通信バリューチェーンの概要



重要な事実と数値



衛星通信市場は、供給過多の状態にありながらも急速に拡大している



供給の動向

供給過多の状況が継続

- 2020年以降、低軌道衛星通信の容量は110倍に拡大したが、使用率は1桁台にとどまっている。
- 低軌道衛星通信容量のCAGRは2023年までに20%と想定(2022年は30TBps)。

制度化された衛星通信プログラムの復活

- EUは通信衛星コンステレーションIRIS²を通じて、欧州の高速通信の確保を目指す。
- 米国は宇宙開発庁(SDA)を通じて、軍用衛星コンステレーション「拡散型戦闘宇宙アーキテクチャ」(PWSA)の開発を推進。PWSAのトランシェ2(トランスポートレイヤー)は216基の低軌道通信衛星で構成されると予想されている。

M&Aによる低軌道市場への参入

- ViasatがInmarsatを推定73億米ドルで買収。
- EutelsatとOnewebの合併が34億米ドルで実現。
- IntelsatとSESの合併交渉が検討されたが、実現せず。



需要の動向

ビデオサービスの需要減がさらに顕著に

- OTTプラットフォームの急速な普及により、先進国および途上国において有料テレビの需要が急減。
- 組み込み型または補助金付きのOTTサブスクリプションを有料テレビと組み合わせたハイブリッドモデルにより需要の減少を抑制している。

低軌道コンステレーションを使った衛星通信サービス利用世帯が増加

- 契約形態の柔軟性、安価な価格、高帯域幅、低遅延の接続といった特長から、低軌道衛星ブロードバンドサービスを利用する消費者が増えている。
- AmazonのProject KuiperとTelesatのLightspeedの台頭が競争を促進し、さらなる需要が掘り起こされる見通し。

端末間通信(D2D)に対する新たな需要

- さまざまな機器・ハードウェアメーカー、衛星通信事業者、移動体通信事業者(MNO)が協力の機会を模索。
- 短期的には緊急サービスや低データレートのIoTアプリケーション、長期的にはデータや音声のローミングサービスなどへの応用が期待される。

MNOやチップセットメーカーの後押しにより、D2D技術が衛星通信の普及を牽引している

端末間通信(D2D)市場は、衛星通信事業者や移動体通信事業者(MNO)、各種デバイスやハードウェアのメーカーに商機をもたらすとされている

- IoT機器やスマートフォンのさらなる普及は、MNOや機器メーカーに対し、緊急時接続の機能を備える優れた製品を提供し、市場にアピールする機会をもたらすと予測されている。
- D2D通信は衛星事業者にとっても、これまで参入が難しかった消費者市場で存在感を強める重要な機会となる。
- D2D市場に参入する方法として、2種類のパートナーシップが生まれつつある。



衛星事業者がD2D市場に参入するためには、MNOまたは機器メーカーとパートナーシップを結ぶ必要がある

モバイルネットワーク事業者と衛星通信事業者のD2Dパートナーシップ



- 規制のハードルと電波干渉が宇宙からセルラー周波数を伝送する際の障壁と見なされている。
- 適切なタイミングで世界市場に参入するには、各国のMNOとのパートナーシップ締結が条件となる。
- MNOとのパートナーシップでは、既存のスマートフォンとの後方互換性が大きな優位性をもたらす。
- Starlinkのような衛星コンステレーションでは宇宙アセットのアップグレードが必要となる。

ハードウェアメーカーと衛星通信事業者のD2Dパートナーシップ

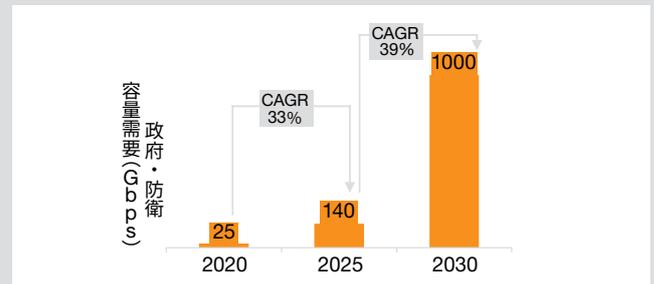


- 新しい機器で既存の移動衛星サービスのスペクトラムを利用することで、迅速な市場参入が可能。
- 既存の端末との後方互換性は、開拓可能な市場を制限し、チップセットメーカーへの依存度を強める。
- 将来的に衛星電話とのカニバリゼーションが起きるリスクはあるが、現時点ではD2D通信と衛星電話のユーザーは重複していない。
- 基本的なメッセージ送信以外に活用範囲を広げるための帯域幅がない。

宇宙に進出している国々は低軌道通信能力の強化に対する戦略的な取り組みを進めている

世界の行政・防衛分野における衛星通信容量に対する需要は2020年の25Gbpsから2030年には1,000Gbpsになり、CAGRは40%に達すると予想されている

- 近年、欧州で起きている地政学的紛争は、多くの国が商業プロバイダー、特に重要な通信インフラを管理している低軌道プロバイダーに依存していることを浮き彫りにした。これを受けて、EUと米国は行政・防衛分野の通信容量への需要増加に対応するために、自国の通信能力の強化に注力するようになった。
- 中国も低軌道資産の戦略的重要性を認識しており、宇宙を利用した通信能力の確保を重要な優先課題と位置づけている。



米国宇宙軍



拡散型戦闘宇宙アーキテクチャ (PWSA)



サービスの
タイムライン

2024
初期サービス

2028
カバレッジの拡大

2030
高度なサービス



契約額



+25億米ドル
発注済みの契約額



発注先



欧州委員会



衛星による耐久性、相互接続性、およびセキュリティのインフラストラクチャ (IRIS²)



サービスの
タイムライン

2025
初期サービス

2027年半ば
フルサービス



予算配分



24億ユーロ
配分されたEU予算



コンソーシアム
のメンバー



SASAC¹



国網 (衛星コンステレーション)



サービスの
タイムライン

2028~2029年
初期サービス²

2032~2036年
フルサービス²



資本金



約100億元
設立時の資本金



発注先



SASAC傘下の中国衛星ネットワーク集团有限公司が衛星コンステレーションの設計、製造、運用を手がける予定。

1 国务院国有资产监督管理委员会

2 国際電気通信連合 (ITU) への提出資料およびITUの衛星打ち上げ条件が順守されるとの見込みに基づく。

メガコンステレーションの開発がユーザー端末・アンテナ市場に影響を与えている

マルチ周波数対応端末

マルチビーム、マルチ周波数に対応した端末は、KuバンドとKaバンドの両方にアクセスできる。現在、静止軌道、中軌道、低軌道衛星は新たなユーザーニーズと要件に適合するように開発されている。

フラット・パネル・アンテナ市場の成長

フラット・パネル・アンテナは従来のアンテナよりも小型で目立たないため、メガコンステレーションのユーザーに好まれやすい。また、フェーズドアレイによって静止状態でも衛星を電子的に追跡できる。

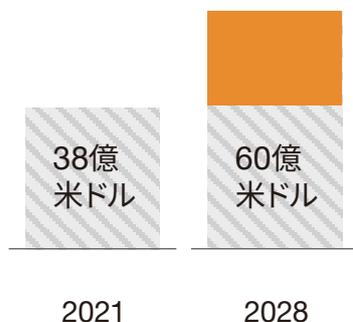
海事・軍事用のモビリティ機能

海事・軍事領域では、途切れない通信というモビリティ条件を満たすことが要求される。衛星を利用した移動中通信(COTM)は、時速130kmで走行中の車内でも通信を維持できる。

妨害電波対策に対する需要の高まり

ウクライナでの紛争が始まる数日前、ロシアはウクライナ東部のUHF・VHF通信を妨害するサイバー攻撃を実施した。電波妨害対策に対するニーズは軍事面でも商業面でもますます高まっている。

衛星通信端末市場の発展



2021年から2028年にかけてCAGR6.5%の成長が見込まれる

ユーザー端末とアンテナに関する新技術

フェーズドアレイ

コンピューターでスキャン・制御されたアンテナを組み合わせ、制御可能な電波ビームを生成

メタマテリアル

無線周波数を散乱させ、ホログラフィックビームを生成

光ビーム生成

アクティブコンポーネントとパッシブコンポーネントを組み合わせ、空中で無誘導データを伝送

ナビゲーション

主要トレンドの概観

衛星測位システム(GNSS)の精度は、GPS III、Beidou 3、第2世代Galileo衛星の展開によって、さらに向上すると見られている。

一方、GNSSに依存しない低軌道の測位衛星コンステレーション(LEO PNT)によるPNTの商用化も進みつつある。

特に欧州と中国では、政府系機関の間でLEO PNTへの関心が高まっている。

GNSSの活用範囲も広がっている。特に航空分野では、計器着陸システム(ILS)でなく衛星データを活用した空港への進入方法が登場するなど、人命の安全に関わる用途でもGNSSは活用されつつある。



供給側が改善を続ける一方、下流領域では新たなユースケースが生まれている



上流領域の動向

LEO PNT衛星コンステレーションの打ち上げ開始

- 一部の事業者が宇宙船の実証と運用を開始。
- LEO PNTへの投資額は確認されているだけで6,500万米ドル超であり、実際の投資額ははるかに大きいと考えられている。
- EU、米国、中国政府がLEO PNTに関心を示している。

専門機関用のGNSSの進化

- 最初の10基のGPS III衛星の打ち上げが完了。2026年にはより高度なBlock IIIF衛星の打ち上げが始まる見込み。
- 第1世代Galileo衛星の最終バッチは2024年、第2世代は数年後に打ち上げ予定。
- BeiDou 3は2020年に完成しており、段階的に追加機能が展開される予定。

衛星補強システムの使用範囲の拡大

- EGNOS(EU)、WAAS(米国)、GAGAN(インド)、MSAS(日本)に加えて、中国、韓国、ロシア、ASECNA、英国、オーストラリア、ニュージーランドも独自のSBASの開発を進めている。
- Galileo HASのようなPPPサービスにより、世界中のユーザーが高精度の測位サービスを利用可能になる見込み。



下流領域の動向

消費者向けデバイスの圧倒的な設置数

- 消費者向けデバイスは設置容量の80%以上を占める。トラックやスマートフォン、腕時計などのGNSS機器の購入者が世界中で増加するにつれて、この割合はさらに高まる見通し。
- 複数の衛星コンステレーションにアクセスできる機器が増加し、多周波GNSS機器も誕生。

人命の安全に関わるケースにおける衛星ナビゲーションの要件の厳格化

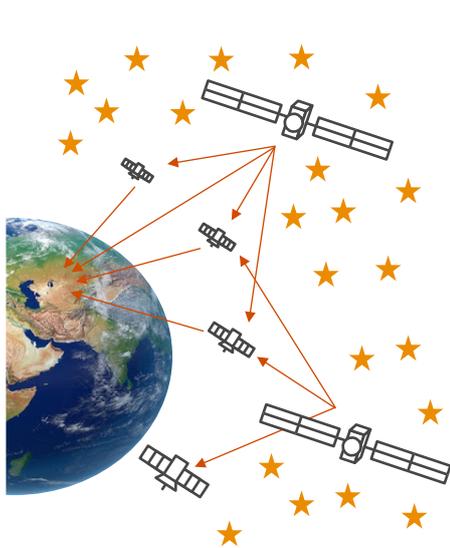
- 人命の安全に関わる様々なケースにおいて要件は厳しくなりつつあるが、特にカテゴリIアプローチが一般化している航空分野では顕著である。
- 鉄道・海運分野では、安全が最重要視されるケースにおけるGNSS、SBASの活用に関心が集まっている。

データ融合に関するユースケース

- 位置情報サービス(LBS)では、ウェアラブルデバイスのバッテリー駆動時間を延ばすために加速度計のデータとGNSSを組み合わせている。
- 自律走行車では、慣性計測装置(IMU)のデータにGNSS(Galileo HASを含む)を組み合わせるケースがある。

LEO PNTは、低軌道衛星コンステレーションを測位に活用する新たなアプローチである

LEO PNT



LEO PNTは、中軌道GNSSを利用して、低軌道コンステレーションを構成する多数の衛星からPNTを提供することを目指している。低軌道衛星は、他の軌道の衛星と比べてエンドユーザーにはるかに近い場所を高速で移動している。

中軌道GNSSをLEO PNTで補完することによって、右記のようなメリットが得られる。



制約の多い環境や緯度での利用可能性が大幅に向上



信号強度が強いため、電波妨害やなりすましの影響を受けにくい



マルチレイヤー構造によりレジリエンス性が向上



周波数・信号の多様化と強化により、屋内での信号受信が向上



地上に依存しないcmレベルの精度ときわめて短い収束時間



多数の低軌道衛星コンステレーションをホステッドペイロードとして活用可能



米国の取り組み

Xonaは300基のCubeSat(超小型衛星)からなるコンステレーションを開発しており複数の実証衛星の打ち上げが完了している。同社は特許取得済みの「分散型クロックアーキテクチャ」をもとにGNSSに依存しない衛星測位システムの構築に取り組んでおり農業、建設、測量分野での活用を目指す。

TrustPointは300基以上の衛星で構成されたコンステレーションの構築を進めており1基の実証衛星の打ち上げが完了している。GNSSに依存しないシステムを構築し、自動車、航空、インフラ、防衛分野での活用を目指す。

Satellesは2016年からイリジウム衛星にペイロードを搭載している。現在稼働中である唯一のLEO PNTサービスであり通信、電力網、金融サービス、海運など、さまざまな領域で活用されている。

米軍宇宙開発庁(SDA)は軍用衛星コンステレーション「拡散型戦闘宇宙アーキテクチャ」(PWSA)のトランシェ2(トランスポートレイヤー)を開発している。PWSAは、216基の衛星で構成され、低軌道測位ペイロードなどを搭載できる。

xona
space systems

TRUSTPOINT

Satelles

UNITED STATES
SPACE FORCE



欧州の取り組み

欧州宇宙機関(ESA)はLEO PNTインフラを承認した。今後は10基の衛星を使ったPoCに取り組む予定であり、すでに入札の募集が始まっている。

Porscheと**VWグループ**は2021年に自律走行用の衛星コンステレーションを独自に構築することを発表したが、その後の進捗や具体的な計画は公表されていない。



中国の取り組み

CentiSpaceはBeiDouのシステム強化を目的とした衛星であり、5秒で50cm、1分で10cmの精度を目指す。2018年に1基の衛星が打ち上げられた。

Geely傘下の**Geespace**は、モジュール式衛星GeeSAT-1バスを用いた240基の衛星からなるコンステレーションを計画している。Ivtは自律走行、物流、ドローンの支援を目的としたハイブリッドPNT地球観測通信衛星であり、まずは中国市場、後にグローバル市場で展開予定。これまでに20基の衛星が打ち上げられている。

GalileoとBeiDouはどちらも独自性の高いサービスを提供しており、従来のGNSSよりもはるかに広い領域で活用可能

GPS

GPSは現在、最も普及しているGNSSであり、ほぼ全ての受信機が「GPS優先」のアーキテクチャを採用している。GPS機器の数は世界全体で70億台と推定されている。

- GPS IIIのブロック1はまもなくサービスを開始する。精度とレジリエンス性が向上し、新しい民間向け信号(L2C、L5、新たにL1C)が追加される。
- GPSの高精度・堅牢性サービス(HARS)を使って、インターネット上でPPP・認証サービスを提供する可能性が検討されている。

Galileo

GalileoはEUのGNSSであり、唯一の民間向けGNSSとして、独自性の高い多様な機能を提供している。Galileoの信号に対応した受信機は世界全体で約20億台に上る。

- Galileoの高精度サービス(HAS)はE6信号を介して世界中でPPPサービスを無料で提供している。
- OS NMAによりレジリエンス性を向上している。
- 捜索・救助サービス(SAR)はリターンリンク機能を搭載しており、ビーコンで応答信号を受信可能。
- 政府規制サービス(PRS)は承認されたユーザーを対象としたサービス。耐久性が高く緊急時にもサービスを継続できる。
- EUと欧州連合宇宙計画庁(EUSPA)のプログラムを通じて下流領域の開発を促進。

BeiDou

BeiDouはインフラとして、「一帯一路」構想の下で融資を受け、他のインフラプロジェクトとともに遂行されている。中国は下流領域における自らの立場(特に5Gの展開)を活用して、BeiDouの普及に取り組んでいる。

- BeiDouにはショート・メッセージ・サービス(SMS)があり、アジア太平洋地域(APAC)の外では40文字、同域内では1,000文字を送信できる。BeiDouの捜索・救助サービスと合わせて使用可能。
- 中国による世界中でのインフラ投資により、BeiDouの基準が広まりつつある。
- PPP B2BサービスはBDSとGPSを補強。
- 北京にあるBeiDouの研究拠点のような「工業団地」構想を通じて、下流領域の開発を促進。

宇宙へのアクセス

主要トレンドの概観

新型ロケット開発の遅延や打ち上げの失敗から分かるとおり、ロケット開発は既存企業にとっても新規参入企業にとっても依然としてリスクの高い事業である。

世界全体の打ち上げ数は過去最高を記録したにもかかわらず、ロケットの供給不足に直面している。特に中型・大型のペイロードにおいてはその傾向が顕著である。

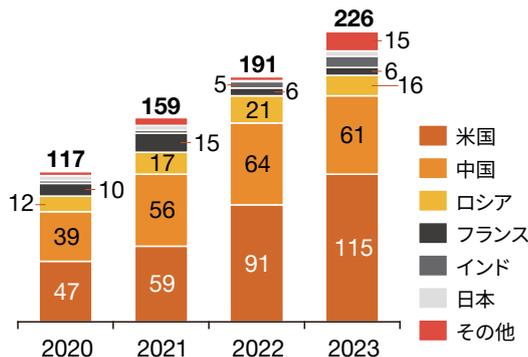
レガシー企業と新規参入企業はどちらも厳しい市場環境に直面しており、生き残るためにはビジネスモデルを刷新する必要がある。

各国は外国への依存を減らすための活動を強化している。超小型・小型ロケットは、自国の独立性を確保するための戦略的なステップと見なされており、ロケット市場の不確実性を低減する役割を果たす。

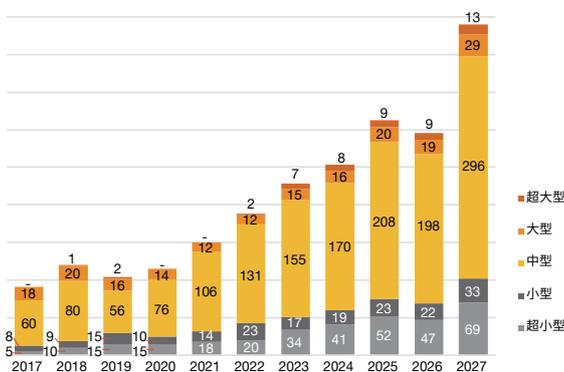
宇宙へのアクセス

ここ数年のトレンドが定着し、米国と中国が市場でのリーダーシップを強化している

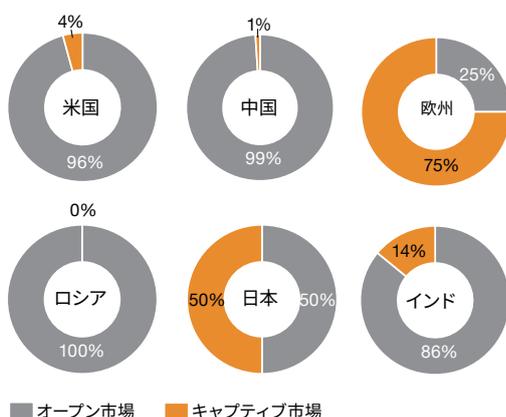
軌道打ち上げ



打ち上げの実績と予測



キャプティブ市場とオープン市場(2023年)



ロケットが不足し、打ち上げコストが上昇するなか、打ち上げ数では米国が首位を維持

市場の集中度は依然として高く、米国と中国の2国で世界の打ち上げ数の75%超を占める。今後も中心となるのは中型ロケットと予想されており、特にStarlinkは2024年にFalcon 9ロケットを140回以上打ち上げる計画を明らかにしている。

打ち上げ頻度が増加する一方、全体としてはロケットの不足が生じており、衛星事業者が打ち上げを延期するケースも増えている。同時に、打ち上げ事業者はこれまでのインフレ率に対応するため、打ち上げ価格を引き上げている。

SpaceXに続き、ロケットの再利用を検討する事業者が増加

Rocket LabのElectronのような超小型ロケットからBlue OriginのNew Glennのような大型ロケットまで、多くの打ち上げ機の開発が再利用の可能性を念頭に置くようになり、再利用性は徐々にロケットの基本設計に組み込まれつつある。

しかし、全てのロケットが再利用のメリットを享受できるわけではない。再利用時には性能が低下するため(超小型ロケットでは3分の2まで低下する可能性がある)、開拓できる市場の規模は大幅に制限される。それでも多くの企業や宇宙機関が戦略上の観点から、将来的な可能性としてロケットの再利用を検討している。

世界情勢の混乱を機に多くの国が宇宙にアクセスする力の強化を検討

ウクライナにおける戦争はロケットの国際的なサプライチェーンに大きな影響を与え、ロシア製ロケットのみならず、VegaやVega-Cのような欧州の打ち上げ機でもコンポーネントの不足が生じた。

宇宙にアクセスする力がなければ、各国は軌道上の戦略的資産に対する主導権を維持できない。欧州は2024年に計画しているGalileo衛星の打ち上げをSpaceXのFalcon 9に頼らざるをえない状況にあり、これは宇宙へのアクセスを他国に依存するリスクを浮き彫りにしている。

メタンエンジンの発展

2023年、中国のロケット朱雀2号がメタン燃料を活用した打ち上げを世界で初めて成功させた。2024年初頭には米ULAのVulcanが後に続いた。メタンエンジンを採用するロケットは今後も増えていくと予想されており、Blue OriginのNew Glenn、SpaceXのStarship、Rocket LabのNeutron、ArianeGroupのPrometheusエンジン、Avioの超小型・小型ロケット用エンジンM10とM60など、複数の取り組みが進んでいる。

宇宙へのアクセス

レガシー企業と新規参入企業はどちらも厳しい市場環境に直面しており、生き残るためにはビジネスモデルを刷新する必要がある

宇宙へのアクセスは依然として困難であり、経験豊富な既存企業も宇宙分野固有の甚大なリスクにさらされている



生き残るためには政府機関と大型契約を結び、商業市場に移行することが不可欠

- 米ULAはAtlas Vがロシア製RD-180エンジンを搭載していたことなどから、米空軍との契約をSpaceXに奪われ、シェアが低下
- 新型ロケット、Vulcan Centaurの開発に合わせて社内改革を実施
- 2020年に米空軍のNSSLフェーズ2の契約を獲得した他、事業計画をAmazonのProject Kuiper関連の商業ベースの収益にシフト



新型ロケットの技術的課題とリスクの再確認

- 三菱重工はH3ロケットの初号機打ち上げが2年以上遅れたうえ、技術的な問題により打ち上げに失敗し、衛星を喪失
- LE-9エンジンのトラブルが示しているように、新型ロケットの開発にはリスクがつきものであることが改めて顕在化



New Glennの打ち上げ延期とNASAの資金への依存

- Blue OriginのNew Glennは設計に10年以上を要し、初号機の打ち上げにおいては数年の遅れが発生
- 2018年にはJeff Bezos氏による個人的な投資をもとに有人着陸システム(HLS)契約の獲得を目指すも獲得できず、資金難に直面
- 打ち上げ、有人月面着陸、低軌道メガコンステレーションなど、あらゆる市場セグメントでSpaceXと競合

将来的には超大型ロケットが出現し、市場に変革をもたらす可能性がある

2022年、NASAのArtemis 1ミッションにおいて巨大ロケットSLSの初号機が打ち上げられた。一方、SpaceXは2024年に超大型宇宙輸送システムStarship/Super Heavyの実証実験に取り組み、完全に再利用可能なシステムの実現を目指している。長期的には、中国も超大型ロケット長征9号(CZ-9)の開発に取り組んでいる。2030年代には運用が始まり、政府の月面計画を支援する予定である。

Starshipが市場に与える影響

圧倒的なサイズと性能を誇るSpaceXのStarship/Super Heavyによって、1kgあたりのロケット発射コストは飛躍的に下がると見られている。

Starship/Super Heavyが具体的にどのような用途で使われるかはまだ不明だが、大規模な衛星コンステレーションの構築に適している可能性が高い。

衛星コンステレーションが今後10年間で開拓可能な市場の85%以上を占めると予想されていることを踏まえると、Starshipの稼働は市場集中度とSpaceXの覇権を大きく強化する可能性がある。

各国政府の反応

各国政府は、特定の国・企業が市場を独占することを回避するため、調達先の分散と国内事業者の支援に努めている。

- NASAは、特定の事業者への依存度を下げることを理由に、有人月面着陸船の開発を32億米ドルでBlue Originに発注
- 国家安全保障輸送プログラム(NSSL)のような国防総省の案件では、2社以上のサプライヤーに分散発注
- 欧州はArianeGroupに補助金を提供

宇宙へのアクセス

EUの打ち上げ計画の失敗やトラブルが、 欧州諸国の野心的な国家戦略を復活させている

欧州の打ち上げ市場が直面する供給課題

欧州の宇宙開発計画は厳しい状況にあり、2022年末以降、稼働中の宇宙船は1機のみとなっている。

- ArianeGroupの新型ロケットAriane 6は計画の遅れにより、初号機の打ち上げが2024年半ばに延期された*。
- 2022年12月にはVega-Cの打ち上げが失敗。2023年の調査試験でも問題が発生したことから、欧州では稼働中のロケットがVega1機のみとなり、2022年末以降、中型・大型ロケットを打ち上げられていない状況にある。

*2024年3月時点の情報

- 欧州委員会は2024年のGalileo衛星の打ち上げに向けてSpaceXと合意。これは欧州の宇宙開発計画が現在、外国のロケットに依存していることを示している。
- Ariane 6は当初、打ち上げ1回あたり7,000万ユーロというコスト目標を掲げ、Ariane 6の成功を後押しする要因となっていたが、現在は公的補助金への依存度が高まっている。これはArianeGroupの親会社であるAirbusとSafranによる直近の支援要請からも明らかである。

野心的な国家戦略への転換

こうした不安定な状況を踏まえ、欧州諸国は欧州宇宙機関(ESA)が管轄する活動と並行して、各国が国家主義的とも言える戦略を推進するようになった。

- 2023年、イタリアの製造会社Avioは、ArianespaceがArianeロケットシリーズとともに管理していたロケットVegaを自社で販売・運用する許可をESAから取得した。
- Avioは中型ロケット用に開発していたメタンエンジンM10の開発ノウハウを活かし、政府から新たなロケット開発を受注したことを発表した。新ロケットの性能の詳細はまだ明らかになっておらず、将来のVega-Eに関する欧州の計画との関係も不明である。

フランス、ドイツ、スペインなどのEU加盟国や英国も、超小型ロケット開発にむけて、国内の主要企業を支援しており、国際水準との差を縮めようとしている。

- すでに15を超える事業者が超小型ロケットの開発に意欲を示しているが、完成にこぎつける事業者はごく一部となる可能性が高い。市場投入までの時間とコスト競争力が成否を分ける鍵となる。
- 欧州の超小型ロケット事業者は、公的機関からの投資(フランスとイタリアのコロナ復興基金、英国宇宙局によるHyImpulseとOrbexへの投資)、民間投資ラウンド(Isarは現在までに3億3,000万ユーロ、RFAは2023年に3,000万ユーロ、Latitudeは現在までに4,200万ユーロ)、および親会社(ArianeGroup、OHB)からの支援に支えられている。

欧州諸国が超小型ロケットの打ち上げを成功させるためには、他の欧州諸国との協力が引き続き重要になる。

- ESAと欧州委員会は超小型ロケットの開発に取り組む欧州諸国を支援し、「Boost!」プログラムを通じて資金や支援を提供している。ベンチャーキャピタルも宇宙分野のスタートアップ企業への投資に力を入れている。
- 欧州諸国の連携は宇宙港の分野でもきわめて重要である。一部の欧州諸国はAndoya(ノルウェー)、SaxaVord(英国)、Kourou(フランス領ギアナ)といった宇宙港の開発を共に支援し、契約を締結している。



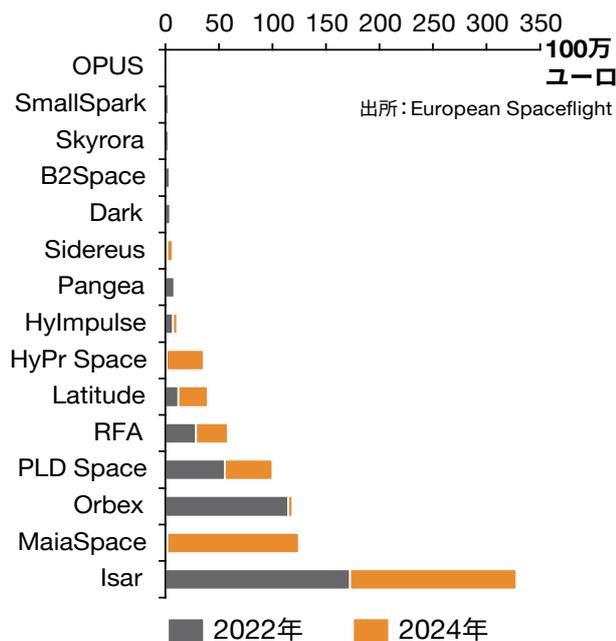
宇宙へのアクセス

超小型ロケットプロジェクトと 打ち上げインフラ整備は、打ち上げ事業参入の 足がかりとなっている

超小型ロケット

- 一部の事業者は、超小型ロケットの開発をより大きなロケットの開発への足がかりと捉えている。
- 欧州では2023年と2024年初頭に打ち上げ分野のスタートアップ企業への投資が大幅に増加した。
- 欧州には打ち上げインフラがすでにあり、今後は需要の増加が予想されることから、大きな先行者利益がある。
- 近年、投資が活発化しているため、初飛行が増えると予想される。
- 初飛行を成功させることは非常に重要である。打ち上げが失敗したことで破産に追い込まれたVirgin Orbitの例が示しているように、打ち上げの失敗は財政状況の悪化につながる。
- ESAは、打ち上げサービスを手がける欧州の新企業に徐々に門戸を開いており、将来の国際宇宙ステーションの供給に向けた契約を各社と結んでいる。
- ロケットの打ち上げのみを目的とするビジネスモデルはSpaceXが提供する安価なライドシェア(相乗り)サービスに圧迫されつつあり、各社は可用性、柔軟性、カスタマイズ性に投資している。

打ち上げ分野の各スタートアップの資金調達額



宇宙港

- 欧州は超小型ロケットの打ち上げインフラが整っているが、利用可能なロケットが不足しており、市場には開拓の余地がある。
- 規制やライセンスの枠組みが整備されている点は差別化要素である。
- ロケット製造企業は(専用か共用かにかかわらず)発射台の使用を交渉しているが、不確定要素が大きく、最終的な契約はまだ固まっていない。
- ロケットの打ち上げが遅れる場合、収入不足により運用困難となる宇宙港が発生する可能性がある。

主な動き



2023年にスウェーデンとノルウェーが宇宙港を開港



英国のSpaceport CornwallでVirgin Orbitが打ち上げに失敗、Saxavord Spaceportがライセンスを取得



ドイツの洋上宇宙港が2024年初頭にサブオービタルロケットの打ち上げを実施すると発表



ポルトガルが宇宙関連法を承認、スペインがEl ArenosilloからMiura-1を打ち上げ



フランス領ギアナにあるディアマン発射台の改修工事を発注



米国には20の宇宙港があり、うち15港は連邦航空局(FAA)の認可を取得



中国の海南省に新しい民間発射場が完成



オマーンが新しい宇宙港の建設計画を発表



オーストラリアのアーネム宇宙センターが打ち上げに関する覚書を締結

宇宙へのアクセス

サブオービタル旅行はまだ本格化していないが、商業宇宙ステーションの登場は宇宙旅行時代の幕開けを予感させている

サブオービタル旅行の売上高は引き続きロケットと宇宙飛行機が牽引する見込み

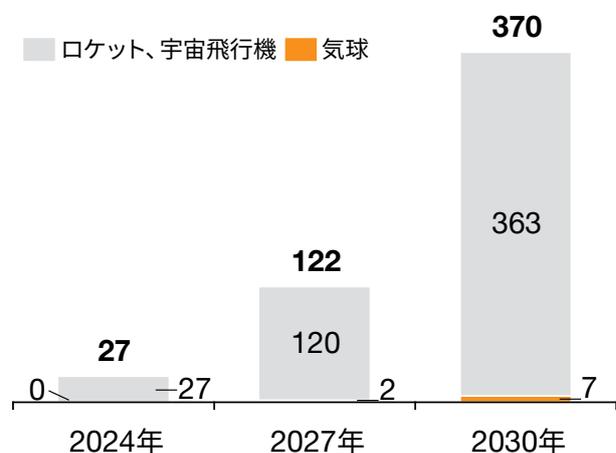
サブオービタルロケットや宇宙飛行機（スペースプレーン）を利用した旅行は伸び悩んでいるが、中期的には大きな商機がある

- Blue OriginのロケットNew Shepardは2022年に打ち上げに失敗し、15カ月間運用停止となった。
- 商業宇宙飛行は、2024年は四半期に1便に減り、2024年1月には飛行事故が発生した。
- 最近のBlue Originの有人飛行再開とVirginの新型宇宙飛行機開発計画は、市場の見通しが好転していることを示唆している。

気球（スペースバルーン）を利用した宇宙旅行は、顧客基盤は大きいものの、費用が安い（ロケットや宇宙飛行機の10分の1）ため、市場シェアはきわめて小さい

- 成層圏気球は訓練不要の円滑な飛行から、より長く快適な宇宙遊覧、手頃な価格で楽しめる高度30kmの低空飛行まで、さまざまな宇宙体験を幅広い層に提供することを目指している。
- 成層圏気球で高い評価を得ているスタートアップ企業のSpace Perspectiveは、2024年に気球を利用した初の商業飛行を計画している。一方、World Viewは引き続き気球を利用した有人宇宙飛行に取り組んでいるが、特別目的買収会社（SPAC）との合併計画に遅れが生じている。

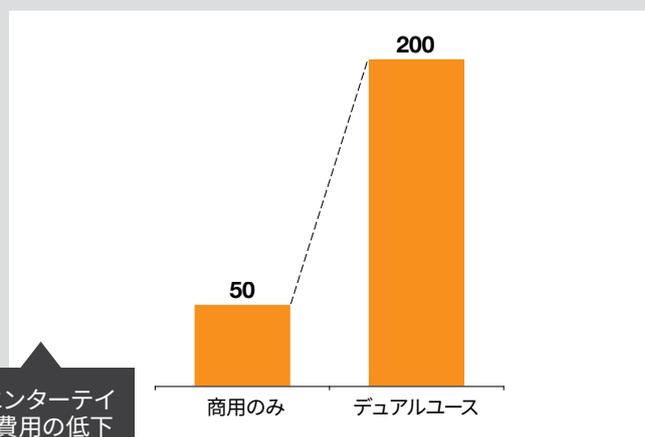
弾道旅行の市場規模(100万米ドル)



軌道宇宙旅行は依然としてニッチな市場

- 国際宇宙ステーションに滞在する宇宙旅行を自費で経験した民間人は、2001年に世界初の宇宙旅行者となったDennis Tito以降、20年間で13人に上る。
- Axiom Spaceは2022年5月以降、SpaceXの宇宙船Crew DragonでISSを訪問する民間のミッションを3度成功させ、軌道宇宙旅行の実現に向けた動きを一気に加速させた。しかし、こうした宇宙旅行の参加費用は数千万米ドルに上り、価格は依然としてこの市場の成長を妨げる大きな障壁となっている。打ち上げ費用が徐々に下がることで状況は改善することが想定される。
- 商業用宇宙ステーションが誕生すれば、官民両方の顧客を対象とする「デュアルユース」のビジネスモデルにより、より価格が安くなる可能性がある。
- 宇宙旅行にはリピートの需要がないため（基本的には一生に一度の経験）、ニッチ市場であることに変わりはない。

宇宙ステーションのビジネスモデルがもたらすインパクト：宇宙旅行が獲得可能な顧客基盤（累積、2040年まで）



ISSの運用終了後、宇宙空間での製造、研究開発、技術実証、エンターテインメントの領域で官民両方の顧客が生まれることで、打ち上げ費用の低下や民間宇宙旅行への補助金支給が実現する

宇宙の安全保障

主要トレンドの概観

小型衛星の急増は、地球低軌道の交通の混雑状況を悪化させ、持続可能性を脅かし、宇宙交通管理を強化する必要性を浮き彫りにしている。

宇宙環境保全のバリューチェーンはデータ収集からサービス提供まで広がり、既存組織から新規参入者まで、さまざまなプレイヤーが関与している。

宇宙の安全保障に協力して取り組むためには、データの共有と機密情報の保護を両立させることが依然として重要な条件となる。

安全な宇宙環境を維持することは地球全体にとって必要である。したがって、スペースデブリの問題を認識していない一部のNewSpace企業を含め、宇宙に進出する全ての国や企業がスペースデブリの問題を認識し、行動を起こすことで、宇宙活動の安全性を確保していかなければならない。

宇宙の安全保障

スペースデブリとは、既に運用を終了しているものの自力で軌道を脱出できない人工物のことである

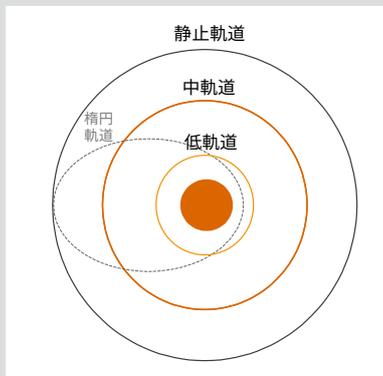


3万2,540

地球を周回している観測可能な物体の数
2022年

宇宙船の打ち上げや関連する宇宙事業の数が急増するなか、特に低軌道では今後、衛星コンステレーションプロジェクトが大幅に増加すると予想されている。宇宙の交通量を拡大しているのは、現実的な市場機会であるとみられている小型衛星開発である。宇宙に存在する物体の増加により、宇宙環境の持続可能性が脅かされ、宇宙交通管理システムを検討する必要性が高まっている。

出所：「ESA's Annual Environment Report」(地球を周回している物体の数)、2023年



楕円軌道	41
低軌道	8,408
中軌道	149
静止軌道、対地同期軌道、 静止トランスファー軌道	582

9,180

運用中の衛星の数
2024年3月時点

出所：UCSUSA、PwCによる分析

対応策

新規ミッションでは、デブリ低減のための実用的で適用可能かつ拘束力のあるガイドラインに従う。

運用中の衛星などとデブリが衝突するリスクをモニタリングし、低減する。

積極的デブリ除去(ADR)に必要な技術を開発する。

EU宇宙法はデブリの低減と軌道の安全性の向上に寄与すると期待されている

まもなく成立するEU宇宙法は、スペースデブリの低減に重点を置いており、宇宙の持続可能性の向上のうえで大きな役割を果たすと見られている。同法は、デブリの発生を防止し、宇宙活動の安全性向上にむけた統一的な規制を定めることにより、人類が長期にわたって宇宙を利用できるようにすることを目指す。この積極的なアプローチは、宇宙活動の継続的な成功にとって重要な、よりクリーンで安全な軌道環境の確保に寄与する。

宇宙の安全保障

データ収集からサービス提供まで、宇宙環境 保全のバリューチェーンには、既存プレイヤーと 新規プレイヤーの両方が関与している

 データ収集

宇宙物体に関する生データを収集する(物体の監視・追跡)。地上のレーダーや望遠鏡、宇宙空間にある人工衛星などのセンサーを利用する。

 データ
ベース管理
ソフトウェア

収集したデータを専用ソフトウェアで管理する。収集データの保管、整理、更新、維持などを通じて、データの正確性、アクセス性、安全性を担保する。

 分析ソフト
ウェア

分析ソフトウェアを活用してデータ解析、軌道予測、衝突可能性の検出などの分析を行い、現在と未来の宇宙の状況を把握する。

 サービス
提供

分析データをもとにサービスを提供する。衛星事業者に対する衝突可能性の警告、衛星マナー計画の支援、科学研究や商用利用のためのデータ提供などが含まれる。

データプロバイダー

- SDA
- ExoAnalytic Solutions
- LeoLabs
- ArianeGroup
- North Star
- ALDORIA(旧Share My Space)

データベース
管理ソフトウェア

- AGI
- Applied Analytics Solutions
- Omitron
- Solers
- ExoAnalytic Solutions
- Schafer
- A.I. Solutions
- Lockheed Martin
- LeoLabs
- ArianeGroup
- ALDORIA (旧Share My Space)

分析ソフトウェア

- AGI
- Applied Analytics Solutions
- Omitron
- Solers
- Schafer
- A.I. Solutions
- Lockheed Martin
- North Star
- ExoAnalytic Solutions
- Applied Defence Solutions, Inc.
- ArianeGroup
- ALDORIA (旧Share My Space)

サービス提供

- AGI
- Lockheed Martin
- Schafer
- North Star
- LeoLabs
- ExoAnalytic Solutions
- Applied Defence Solutions, Inc.
- ArianeGroup
- ALDORIA(旧Share My Space)

データの共有と機密情報の保護の両立が、引き続きこの領域における協力体制の構築に影響を与えている

安全保障のパラドックス



データの機密性

宇宙物体の監視・追跡(SST)活動から、戦略性の高い情報が得られることは少なくない。SSTのオペレーターは、物体を監視・追跡する過程で機密性の高い宇宙船を検出する可能性がある。



除去活動の二面性

スペースデブリの除去に用いられる能力は、理論上他の衛星を破損させ、運用不能にすることもできる。

独立性の戦略的メリット

- 1) 独立したSST能力を持つ国は、国際情勢に関係なくデータを確実に入手できる。
- 2) 独立したSST能力は、契約を通じて他の事業者ともデータを共有できるが、共有量はネットワークの所有者が決定できる。
- 3) 独立したSST能力があれば、他国から提供された情報を検証できる。初期の衝突事例では、米国が一時的な主張を展開した。
- 4) 独立したSSTネットワークは、国家安全保障の取り組みや防衛にも活用できる。

データの共有がもたらす課題

スペースデブリに世界全体で対応

するためには、国家間の協力がきわめて重要である。
 その一方で、国内に独立したSST能力を保持し、
 他国の情報に全面的に依存しないことも重要である。

スペースデブリは世界的な問題であり、その解決には国境を越えた協調が求められる



スペースデブリ問題に対する認識の共有

安全な宇宙環境を維持することは、全人類に関わる世界的な課題である。そのため、宇宙に進出している国だけでなく、宇宙活動のバリューチェーンに関与している全ての事業者がスペースデブリの問題を認識しなければならない。



データの機密性への対応

データ共有のための適切な国際ネットワークを定義し、データの機密性に関する問題を解決することは、効率的で持続可能な宇宙交通管理システムを構築するうえで重要である。



持続可能なADRモデルの支援

積極的デブリ除去(ADR)活動の長期的な発展と運用を支援するためには、適切かつ効果的なビジネスモデルを構築しなければならない。ADRソリューションを推進・構築することは、宇宙環境を保護し、宇宙の持続可能性を確保するための基盤となる。



新しいプレイヤーの教育

これまで非宇宙分野で慣行やプロセスを構築してきたNewSpace企業の一部は、スペースデブリに関する問題を認識していない可能性がある。新規参入企業がベストプラクティスを実践できるよう支援することは、スペースデブリ問題がもたらす脅威の軽減に確実に寄与する。



法的措置の実施

デブリの低減や発生防止にむけた法的措置は、衛星の製造・運用事業者がルールを守るインセンティブとなり、宇宙の持続可能性をさらに高める。ただし、規制は宇宙企業の事業活動の発展を妨げるものであってはならない。

地球外経済

主要トレンドの概観

地球周回軌道にある衛星の増加と月探査計画の発展は、軌道上支援サービスに新たな機会をもたらす。

低軌道衛星コンステレーションの構築においては、衛星を軌道上に正確に投入する必要があるため、状況を正確に把握する能力の向上が求められる。

スペースデブリの管理はますます重要性を増しており、軌道離脱を実現するサービスの必要性が高まっているが、こうしたサービスのビジネスモデルはまだ確立されていない。

月探査は企業に収益向上の機会をもたらしているものの、市場の中心は依然として各国の国家機関であり、特に上流領域のサービスについて、投資家は慎重な姿勢を崩していない。

地球外経済

宇宙探査の商業化は、地球低軌道から 月面経済まで幅広い分野で 経済的・戦略的機会を生み出す

地球外経済

地球外経済を牽引してきたのは、宇宙の探査ミッションやISSを用いた軌道ステーションの運営に資金を提供してきた宇宙機関である。月面に恒久的な有人拠点を建設する計画への関心が世界規模で高まるなか、宇宙機関の財源に対する圧力が強まり、資源の再配分を求める声が広がっている。軌道上の活動を維持するために、商業セクターの参加を促進する動きも見られる。その結果、地球外経済はさまざまな活動を対象に加えており、今後、民間企業は多くの機会を獲得できる可能性がある。地球外経済の活動を主導するのは宇宙関連機関だが、営利企業も各機関の取り組みを支援するために次のようなサービスを提供できる。

軌道上サービス(IOS)

宇宙空間に存在する衛星が急増したことでデブリに対する危機感が高まっている。また、衛星事業者はコスト削減を迫られている。

民間企業が提供できる宇宙船サービスには次のようなものがある。

- 宇宙船の寿命延長(例:燃料補給、保守)
- スペースタグ
- 積極的デブリ除去(ADR)
- 宇宙状況把握(SSA)

軌道上の宇宙ステーション

ISSは運用終了が予定されているため、軌道上の宇宙ステーション活動を維持する必要性が生じている。

軌道上の宇宙ステーションは、研究用と商用の両方の目的(宇宙空間での製造、研究、娯楽、マーケティング)に対応する。中心となるのは宇宙飛行士計画と微小重力実験である。

月面(シスルナー)経済

国際宇宙機関が定めた戦略・政策目標をもとに、月周回軌道や月面上に恒久的な有人拠点と研究基地を建設する計画が進められている。

こうした活動は宇宙関連機関が主導する予定だが、民間企業も次のようなサービスを通じて各機関を支援できる。

- 月面輸送
- 月面通信と測位
- 宇宙資源の活用

143億米ドル

2021~31年の軌道上サービスの推定累積売上高(衛星サービス、ADR、SSAを含む)*

5億5,600万米ドル

NASAが商業宇宙ステーションのコンソーシアムに提供した累積資金**

1,420億米ドル

2040年までの月面輸送と現地資源の累積市場規模***

現在の状況

- 2020年にNorthrop Grummanが初の実証ミッションMEV-1を打ち上げ
- スペースタグや宇宙空間でのSSA利用から始まる技術の発達

- ISSは2031年に運用終了する見通し
- 中国の宇宙ステーションでは2021年から宇宙飛行士が活動
- NASAの資金をもとに4つの米国主導のコンソーシアムが商用宇宙ステーション構想に取り組んでいる。いずれも2027~28年に打ち上げを実施し、運用を開始する予定

- Artemisが月周回軌道で初の無人ミッションに成功
- 今後は月周回軌道上でArtemis IIIによる有人ミッション(2025年)、Artemis IIIによる有人月面着陸(2027年ごろ)を実施予定

* 2022年のNSR報告書「In-Orbit Services:Satellite Servicing, ADR and SSA, 5th Edition」

** Orbital Reef, Axiom, Northrop Grumman, Starlab

*** PwC「Lunar Market Assessment, Market trends and challenges in the development of a lunar economy」、2021年

軌道上サービスは技術実証レベルに 発達しつつあるものの、一部の市場機会は まだ実現していない

軌道上サービス活動

ミッション管理	<p>正確な軌道投入のための宇宙船の位置調整、宇宙船への介入によるミッション寿命の延長、燃料補給、保守、重要部品の改修など。衛星への接近、グラブプル、ドッキング、接続には近接操作が必要。</p>
宇宙状況把握 (SSA)	<p>地上からの状況把握能力を補完するために、SSAは宇宙船の軌道周囲をモニタリングし、物体の検知・監視を行い、衝突回避のための計算を精緻化することを可能にする。SSAはスパイ対策にも活用できる。</p>
軌道離脱	<p>寿命に達した宇宙船の軌道を外部の宇宙船の操作によって変更し、軌道から離脱させるサービス。運用中の衛星や軌道上のデブリ(ロケットステージや自力では動けない大型インフラを含む)にも適用可能。</p>

市場推進要因

- 静止軌道衛星と非静止軌道衛星の両方で最も必要とされているサービスは引き続きSSAである。
- コンステレーションモデルと衛星全体の数が増加していることが、正確な軌道投入に対するニーズを高めている。
- 依然として拘束力はないものの、一部のガイドラインの影響でデブリ対策に取り組む事業者が増えている。こうしたガイドラインの例としては、米国の宇宙政策指令(2018年)、EUのSSA・STM戦略(2021~27年を対象とするEU宇宙プログラム)などがある。
- 宇宙の安全保障を保つだけでなく、機密性の高い衛星の周辺でスパイ行為が疑われる活動が検知されており、宇宙空間におけるSSA能力へのニーズは高まっている。

市場の課題

- 技術開発はまだ初期段階であり、初期的な実証が始まった段階のため、乗り越えなければならない技術的課題は多い。
- 修理などのサービスは、ビジネスとしての実現可能性や市場としての魅力度がまだ確認されていない。
- 軌道離脱やデブリ除去のミッションに関するスポンサー(政府もしくは政府以外)は依然としてあいまい。
- 国際的に統一された拘束力のある法的枠組みがないため、将来事業者が従うべきルールが不明確。
- 最も高い収益を生み出しているのは静止軌道衛星の寿命延長サービスだが(市場の3分の1)、世界全体でも年に数回のミッションに集中している。

軌道上サービス(IOS) ミッションの事例



地球外経済

ISSの運用終了を控え、 これまで科学・研究活動が中心であった市場に 民間企業が参入しつつある

現在：国際宇宙ステーション

国際宇宙ステーション(ISS)は寿命を迎えつつあり、**2031年に運用を終了する予定**。ISSの所有権や利用は政府間の条約や協定で定められているため、ISSの運用終了はさまざまな領域・分野の関係者に課題と機会をもたらすことになる。

課題

- ISSの軌道離脱には多額の費用がかかるため、全ての関係者の協力が不可欠。
- ISSの運用終了時に他のステーションの準備が整っていないければ、**地球低軌道での有人飛行**は中断するか、中国の宇宙ステーションに頼らざるを得なくなる。
- **ビジネスケースの不確実性**から、複数の商業ステーションが共存する可能性は疑問視されている。

機会

- ISS運用終了後も、宇宙機関の宇宙飛行士が地球低軌道からいなくなるわけではないため、**商業ステーションは継続的に収入を得られる可能性がある**。
- 市場が商業化するにつれて、**新たな事業戦略や機会が生まれる**。
- 2023年9月、NASAは**米国の軌道離脱用宇宙機(USDV)**に関する提案の募集を開始した。

未来：市場と取り組み

このように市場は成長が見込まれるため、多くの取り組みが始まっている。

商業宇宙ステーションが2025年から2040年の間に**開拓可能な市場**の規模は合わせて**150億~400億ユーロ**。年間売上高では10億~26億ユーロ。



市場の売上高の約**66%**は宇宙飛行士用の施設



市場の売上高の約**22%**は実験のための施設



市場の売上高の約**11%**は宇宙観光



米国

Axiomステーション

Axiomは現在、ISSへの飛行ミッションを複数実施している。数カ国と覚書を締結しており、ISSに商用のモジュールを取り付け、将来的には独立して運用することを計画している。

プログラム：NextSTEP
資金：1,400億米ドル



Starlabステーション

コンソーシアムを率いるVoyager SpaceはNanoRacksの親会社である。近年、AIRBUSが技術パートナーとして参加した。Northrop Grummanは自社プロジェクトを中止してStarlabに参加し、貨物輸送を担う。

プログラム：CLD
資金：2,175億米ドル



Orbital Reef

コンソーシアムの主要メンバーが注力分野の変更を明らかにしている。新たな注力分野はBlue Originが月着陸船、New Glenn、New Shepard、Sierra Spaceが居住モジュール「LIFE」とDream Chaserである。

プログラム：CLD
資金：1,720億米ドル



Vast

回転により人工重力を発生させる宇宙ステーションを開発しており、Starshipを使って打ち上げる予定。

プログラム：CCSC-2
資金：なし



Think Orbital

宇宙空間での溶接の実証というアイデアがNASAの関心を引いている。

プログラム：CCSC-2
資金：なし



中国

ISSを除くと、天宮ステーションは現在軌道上にある唯一の宇宙ステーションである。

- 現在は3つのモジュール(天和、問天、夢天)で構成されるが、**6つのドッキングポート**を備えた多機能**拡張モジュール**が間もなく打ち上げられる予定。
- 中国载人航天工程弁公室(CMSEO)は、天宮ステーションの**将来的な商用利用の促進**を検討している。



欧州

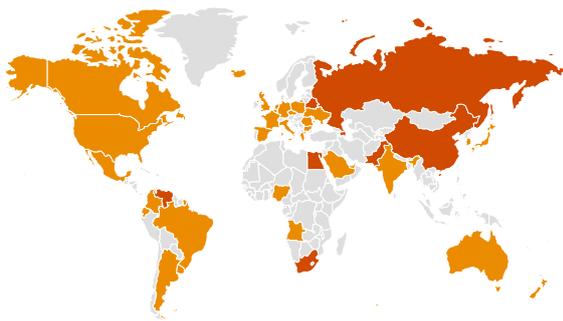
欧州宇宙機関(ESA)はこの分野に積極的に取り組んでいる。

- 「Terrae Novae 2030+」戦略は、産業振興を目的とした**SciHab**コンセプトを掲げている。最近商業貨物船開発のコンペの実施が発表された。
- ESAは**Starlabと覚書を締結**し、宇宙ステーションの将来的な使用方法を評価している。

地球外経済

月面市場を牽引しているのは主に政府の取り組みだが、民間産業も成長しつつある

月探査協定マップ



- アルテミス合意(米国)の参加国
- 月面基地計画ILRS(中国)の参加国

欧州の取り組み

- EUの戦略**は、アルテミス計画への支援の比重が高く、同計画に大きく依存している
- 主要プロジェクト**: Moonlight、Lunar Pathfinder、月着陸機Argonaut、欧州が開発したOrionのサービスモジュール

米国の取り組み

アルテミス計画には、宇宙船Orion、SLS、ゲートウェイ、有人月着陸システム、Artemisベースキャンプが含まれる。この他、商業月面輸送サービス(CLPS)にも注力している。



- アルテミス計画**: 約600億米ドル(2012~23年)
- Artemis Iの打ち上げは成功(2022年)したが、Artemis IIIの打ち上げは2027年にずれ込む可能性がある
- アルテミス合意には2024年8月時点で43カ国が参加している

中国の取り組み

国際月面研究ステーション(ILRS)計画の一環として月面基地を建設し、2030年までに宇宙飛行士を送り込む予定。

- 2023年12月7日時点で8カ国6団体とパートナーシップを締結
- 現在、運用中の月探査機「嫦娥」に続き、2024年3月には月探査のための通信衛星「鵲橋2号」が打ち上げられる予定

月面市場のバリューチェーン



懸念事項

- 市場を主導しているのは宇宙関連機関であり、投資家はまだ月関連のビジネスモデルに出資する状況にない。
- ビジネスケースは未成熟であり、企業はビジネスモデルの多様化と製品・サービス(推力、軌道上サービスなど)の信頼性向上に取り組んでいる。
- 最もプレイヤーの多いサブセグメントは、物流、通信、ISRU(月面資源の現地利用)である。

月面着陸成功：インドが4カ国目、日本が5カ国目の月面着陸を達成



2023年8月、インド宇宙研究機関 (ISRO) が打ち上げた月面探査機Chandrayaan 3号が世界で初めて月の南極地域に着陸した。この成功により、インドは米国、旧ソ連、中国に次いで4番目に月面に着陸した国となった。

月の南極への着陸

- Chandrayaan 3号は、世界で初めて月の南極に着陸するという歴史的偉業を成し遂げた。
- 月の南極には水が氷の状態が存在する可能性があると考えられており、長年にわたって宇宙機関や科学者の関心を集めてきた。
- 地形が険しいことから、月の南極への着陸は困難を極めると考えられていた。
- 2019年のミッションでは、Chandrayaan 2号の着陸機が月面に墜落した。インドはこの失敗を糧に今回のミッションを成功させた。

インドの低コストな宇宙計画

- Chandrayaan 3号の月面着陸は、インドの宇宙開発能力が向上していることを証明しただけでなく、コストの圧倒的な低さをはっきりと示した。
- Chandrayaan 3号ミッションの総費用は、インド政府の発表によればわずか7,400万米ドル(約60億ルピー)であり、他国の水準をはるかに下回る。

インドと日本 | 月極域探査ミッション(LUPEX)

- 2025年以降、アルテミス計画の中心メンバーであるインドと日本は共同で月極域探査ミッション(LUPEX)に取り組む予定である。
- この共同探査では、インドが月面着陸機を開発し、日本がロケットと月面探査機の開発を担当する。インドの着陸機は2023年に月の南極への着陸に成功した。このプロジェクトに使用される予定の日本のH3ロケットも2024年2月に打ち上げに成功している。



2024年1月19日、日本の小型月探査機SLIMが月面に着陸した。これは宇宙航空研究開発機構(JAXA)のプロジェクトで、高精度な着陸技術の実証に成功し、ミッションの科学的価値を高めた。この成功により、日本は月面に着陸した5番目の国となった。

高精度なピンポイント着陸技術

- SLIMは、月面の特定の地点にピンポイントで着陸し、月の起源を調査することを目的とした小型探査機である。
- 日本の月周回衛星SELENEのデータをもとに作成された地図を搭載した光学ナビゲーションシステムを使うことで、高精度の着陸に成功した。
- SLIMは事前に準備した画像と、降下中に収集したデータを照合し、自身の位置を特定することで、目標着陸地点にむけて進路を調整した。
- JAXAによると、この着陸技術を活用することで、燃料、水、酸素の源があると考えられている起伏の多い極地エリアの探査が将来可能になるという。

おもちゃの技術を利用した探査ロボット

- SLIMは着陸直前に、これまでにない小型ローバーLEV-1とLEV-2を月面に放出した。
- LEV-1とLEV-2は、世界初の完全自律型月探査ロボットであり、特にLEV-2は世界最小・最軽量のロボットである。
- LEV-2は、日本の大手玩具メーカーである株式会社タカラトミーが開発に関わっており、「SORA-Q」とも呼ばれる。
- SORA-Qは球体として放出されると、瞬時に左右に開いて変形する。
- ロボットを変形させるというアイデアは、玩具づくりの技術から生まれた。

- LUPEXプロジェクトは、水資源が存在する可能性があると考えられている月の「極域」を調査する。

地球外経済

深宇宙探査ミッションは、太陽系のさまざまな天体を対象としており、目的も多岐にわたるが、火星の研究が最大の焦点である

主な深宇宙ミッションの近況（一部）

 <p>太陽</p>	<p>Aditya(2023年) 2024年1月25日にL1点に無事到達。現在は太陽の特性と惑星間磁場を調査している。</p> 	<p>Proba-3(2024年) 2基の人工衛星が太陽のコロナと周辺の大気を調査する予定。</p> 
 <p>水星</p>	<p>BepiColombo(2018年) 2024年9月に4回目の水星フライバイを予定。本ミッションの探査機2機が2025年12月に水星への到達を目指す。</p>  	
 <p>金星</p>	<p>DAVINCI(2029年) DAVINCI(希ガス、化学、イメージングの深層大気金星調査)は、金星の大気の探査を行うNASAのミッション。</p> 	<p>EnVision(2030年代初頭) 金星の中心核から大気上層までを調査するミッション。</p> 
 <p>地球 と地球近傍天体</p>	<p>Hera(2024年) 目的は、無人探査機DARTが衝突した後に小惑星ディモルフォスとディディモスに起きた変化の調査。</p> 	<p>JWST(2021年) ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の打ち上げに成功。同望遠鏡はすでに観測を開始しており、6.5m径の主鏡で宇宙の歴史を調査している。</p>  
 <p>火星</p>	<p>その他の実施中の火星ミッション: 探査機PerseveranceとCuriosityは現在もMars Reconnaissance Orbiter, Mars Odysseyとともに稼働中。ヘリコプターIngenuityは2023年にミッションを終了。</p> 	<p>EXOMARS(2028年) 欧州宇宙機関(ESA)とロシアのROSCOMOSが参加しているため、ウクライナにおける戦争の勃発を機に延期された。</p> 
	<p>火星サンプルリターン(2027年8月) 火星サンプルリターン計画は延期され、予算が3億米ドル削減された。NASAジェット推進研究所は2024年に530人のレイオフを実施。</p>  	<p>MMX(2026年) 火星の2つの衛星を探査し、サンプルの採取を目指すJAXAのプロジェクト。</p>  <p>Mangalyaan 2(2024年) 火星の2つの衛星を探査し、サンプルの採取を目指すインド宇宙研究機関(ISRO)のプロジェクト。</p> 
 <p>木星</p>	<p>JUICE(2023年) 2023年に探査機JUICEの打ち上げに成功。今後は木星と木星の衛星(ガニメデ、カリスト、エウロパ)の詳細な観測を行う予定。木星到着は2031年7月の予定。</p> 	<p>Europa Clipper(2024年) 数回のフライバイを通じて、木星の衛星エウロパの氷の殻と海、およびその成分や地質を調査する予定。</p> 
 <p>土星</p>	<p>Dragonfly(2027年) Dragonflyはプルトニウムを動力源とする垂直離着陸が可能なドローン。目的は、土星の衛星タイタンのさまざまな場所での居住可能性の調査。</p> 	



政策・規制・ガバナンス

主要トレンドの概観

各国が制定する宇宙の法的枠組みの重要性が増している。従来の宇宙開発国も新規の宇宙開発国も、宇宙分野の発展に対応するために宇宙法や関連する規則の改正・制定に取り組んでおり、規制の違いが各宇宙開発国の魅力度を左右するようになっている。

宇宙活動の持続可能性は、新たなEU宇宙法の3本柱の1つであり、宇宙関連の政策や規制を考える上での重要なテーマとなっている。

宇宙探査、特に月探査に関する規範と基準の策定は、アルテミス合意や中国・ロシアが主導する国際月面研究ステーションプロジェクトなどに参加する国・組織の増加による影響を受ける可能性がある。

宇宙機関は、官民パートナーシップの拡大、働き方改革、内部組織の再編に取り組むと同時に、環境・社会・ガバナンス(ESG)に関する活動を優先することにより、宇宙分野を取り巻く近年の変化への対応を進めている。また、各国政府は宇宙の影響力拡大に対応するために、分散型ガバナンスに徐々に移行しつつある。

宇宙活動に関する国内規制は 国際法の影響を受ける

国際法

1967年宇宙条約(OST):

国家の監督と責任

宇宙空間の占有の禁止と
探査の自由

宇宙の軍事化と
大量破壊兵器の禁止

国際連合決議:

直接放送(1982年)、リモートセンシング
(1986年) などに関する原則

主な国際協定:

1972年:宇宙物体により引き起こされる
損害についての国際責任に関する条約

1975年:宇宙空間に打ち上げられた物体
の登録に関する条約

1979年:月やその他の天体における国家
活動を律する協定

国連宇宙空間平和利用委員 会(UNCOPUOS) の ガイドライン:

2010年:スペースデブリ低減ガイドライン

2019年:宇宙活動の長期持続可能性ガイ
ドライン

国際電気通信連合(ITU):

ITU憲章・条約

ITU無線通信規則および周波数分配

主な二国間・多国間協定:

2020年:アルテミス合意(2024年8月時
点で43カ国が参加)

地域レベルの宇宙作業部会

宇宙機関と宇宙企業間の協定
(SpaceXとNASAの協定)

国内法規

国際法・ガイドラインの順守



スペースデブリ低減



環境保護



第三者への賠償責任と
宇宙保険



人体と財産の安全性



認証と登録

国内法は宇宙物体
の運用に関する
規制に直接的な
影響を与える

宇宙物体の運用



観測ロケットと
サブオービタル
打ち上げ



無人軌道打ち上げ



有人軌道打ち上げ



人工衛星の運用

規制の差別化は宇宙開発国としての魅力度に影響を及ぼす

宇宙関連の規制は国ごとに異なる傾向にある

宇宙法を制定している国のアプローチの仕方はそれぞれ大きく異なる。

- 一般的な宇宙法を制定している国もあれば、特定の宇宙事業やそれに関連する問題に対応した複数の法律を定めている国もある。
- 各国は、自国の宇宙産業の状況や実際の商業宇宙活動、または国家ガバナンスの観点から、法規制の枠組みを規定している。
- 異なる管轄機関の間で責任をどう分担するかといったガバナンスは国によって異なる(内閣、省庁、1つまたは複数の政府機関など)。

魅力度を左右する要因

宇宙開発に従事する組織にとって、規制はその国の魅力度に何らかの影響を及ぼす可能性がある。

宇宙規制を左右する要因：

- 手続きの期間
- 申請費用
- 申請者が負担する保険額

過去に影響を与えてきた主な法規：

- 税法
- 会社法(破産法を含む)
- ビジネスのしやすさに影響を与える経済法全般

許認可プロセスの魅力度に影響を与える要素

ライセンスの取得に要する時間

- 手続きに要する時間は1カ月から半年超までさまざま。
- 政府機関は動的プロセスやフィードバックループの活用により期間の短縮に努めている。

事前相談プロセス

あり・なし

- 事前相談は申請の遅れを短縮できる。
- 宇宙機関にとって魅力的な手段となっている。

省庁間プロセス

あり・なし

- 省庁間プロセスは申請の遅延を拡大する。
- 手続きの標準化に向けた取り組みが行われている。

迅速な承認手続き

あり・なし

- 迅速な承認手続きは申請の遅延を短縮する。
- 小型衛星が増えているため、重要性が高まっている。

保険加入条件

- カスタマイズ可能な場合もあれば、6,000米ドル超で固定の場合もある。
- 中小企業にとっては参入障壁となる可能性がある。

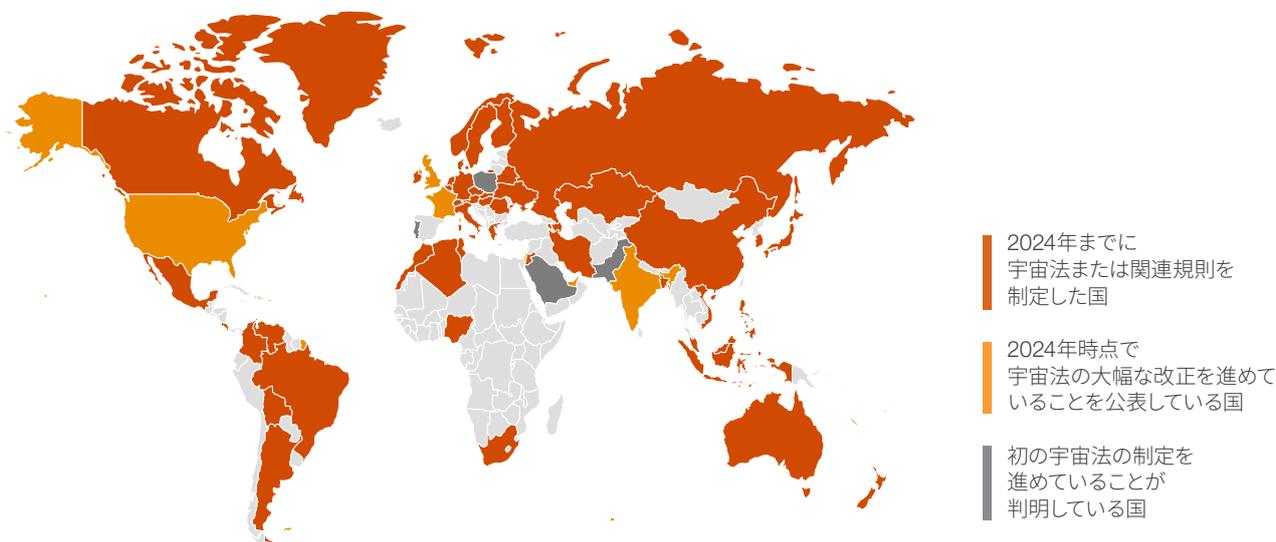
手数料

- カスタマイズ可能な場合もあれば、6,000米ドル超で固定の場合もある。
- 中小企業にとっては参入障壁となる可能性がある。

各国が宇宙に関するライセンス、監視、イノベーションを改善・改良している

宇宙法に関する取り組みは増加の一途をたどっている。これは宇宙活動の複雑化に対応する上で、法的枠組みが果たす役割の重要性が高まっていることを示している。

各国の宇宙法マップ



規制に関する注目すべき動向

米国

宇宙規制の先駆者である米国は最近、宇宙規制の枠組みを大きく進化させることを発表(提案)した。

- 新しい宇宙活動の監督を運輸省と商務省で分担する法案を提出
- 軌道ステーションと軌道有人宇宙飛行活動に関する規制についての法案を提出

米国は、宇宙観光に対するインセンティブを提供し続けるために、モラトリアムの延長を決定した。宇宙観光は現在、Blue OriginやVirgin Galacticによる観光宇宙飛行の再開が期待されており、成層圏バルーン技術を持つ新しい企業も登場するなど、活気を取り戻しつつある。

日本

日本は軌道上サービスのガイドラインと安全基準を策定するなど、規制改革を積極的に進めている。こうしたガイドラインや基準が、この領域における日本の意欲的な取り組みを支えるものとなることは間違いない。こうした取り組みには、AstroscaleやiSpaceといった企業によるものも含まれる。iSpaceは最近、軌道上での燃料補給サービスで米Orbit Fabと提携した。

インド

インドは数十年にわたって宇宙開発分野で多くの成果を挙げてきたが、2023年に宇宙戦略を刷新した。有望な事業を誘致するためには包括的な規制の枠組みが重要であるとの認識に基づき、今後数カ月をかけて規制の枠組みの整備に取り組む。

中東では宇宙政策・規制に関する動きが活発化している

中東諸国は石油・ガスへの依存から脱却するための新たな開発戦略において、宇宙を重要な産業と位置づけており、特に湾岸協力会議（GCC）を通じたシナジーの可能性に強く期待している。

カタール：

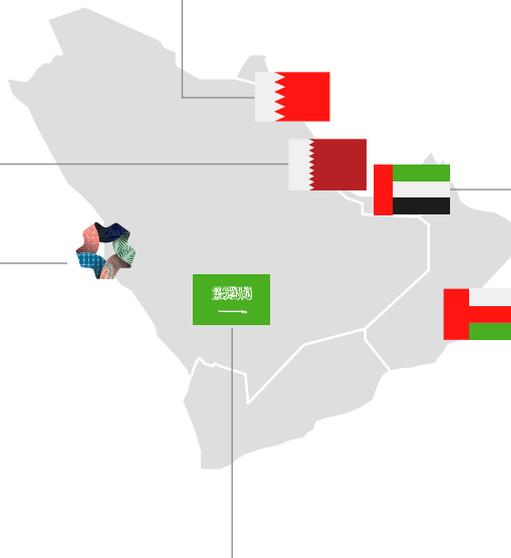
カタールは最近、アメリカ宇宙コマンドと宇宙状況把握(SSA)に関する戦略的パートナーシップを締結したことを発表した。

バーレーン：

国家宇宙科学庁(NSSA)は衛星画像を含む下流領域のサービスの国内での提供に主眼を置き、主要パートナーと複数の覚書を締結した。

アラブ首長国連邦(UAE)：

他の中東諸国に先駆けて2019年に宇宙法を採択し、最近はより詳細な規定を発表した(2023年)。探査ミッションを成功させるなど、宇宙開発計画を積極的に展開しており、宇宙企業の誘致にも着手している。



NEOM(サウジアラビア)：

サウジアラビアが開発を進める未来都市「NEOM」は、宇宙に関する大胆な構想のもと、戦略的な計画を策定している。計画には宇宙観光はもちろん、月や火星を彷彿させる同国の景観を利用した没入型の体験も含まれる。NEOMは潤沢な投資資金を活用し、宇宙ビジネスの集積地となることを目指す。

サウジアラビア：

サウジアラビアは現在、宇宙戦略と宇宙法の制定を進めており、国内に事業を誘致するための詳細な規則の策定に取り組んでいる。規制機関である通信宇宙技術委員会(CST)は、ITUの信頼できるパートナーとして認められており、サウジアラビア宇宙庁は世界各国の政府機関と連携している。サウジアラビアは政府系ファンドである公共投資基金(PIF)からの資金も活用できる。

オマーン：

オマーンは現在、同国の立地を生かした宇宙港の建設を計画している。打ち上げを行う顧客を引きつけるために、本取り組みに関連する規則がまもなく整備されることが予想される。

EU宇宙法の目的は、宇宙活動に関する 共通ルールを定めることである

EU宇宙法は「宇宙版EU単一市場」の実現に貢献すると期待されている

宇宙法は、宇宙関連のプレイヤーに法的な 予見可能性をもたらす

EU宇宙法は、統一された枠組みを整備することにより、国ごとの宇宙法の違いが引き起こしている分断を緩和しようとしている。

国籍を問わず、全てのプレイヤーに適用される

EU宇宙法は、欧州の産業エコシステムの競争優位性を強化することを目指しているため、同法の規定は、第三国の企業を含め、欧州で活動するどの企業にも適用される。公平な競争を促すために、欧州企業にも欧州以外の企業にも同じルールが適用される。

EU宇宙法の3つの柱は宇宙規制の動向と一致している



安全性の柱: EU宇宙法は、宇宙物体と周囲の物体との衝突、および衝突がもたらす損傷リスクを低減することを目指す。



レジリエンス性の柱: EU宇宙法は、特にサイバー攻撃等の脅威からEUと各国の宇宙インフラおよび宇宙アセットを保護する際に、整合性と一貫性を持たせ、EU全体のレジリエンス性を高めることを目指す。



持続可能性の柱: EU宇宙法は、宇宙活動の長期的な持続可能性を確保し、クライメイトニュートラルの活動を促進することにより、宇宙が長年にわたり公平かつ平等に利用されることを目指す。

EU宇宙法に関する投票は、2024年6月に予定されている次のEU選挙後に行われる。

2023年9月

欧州委員会のVan Der Leyen委員長が趣意書でEUの宇宙法に言及

2023年11月

対象となるステークホルダーとの協議が終了

2024年4月

EU宇宙法案を提出(予定)

EU宇宙法の成立に向けた投票

いくつかの政策・規制イニシアティブでは、宇宙の持続可能性が重要なテーマとなっている

宇宙活動の活発化と差し迫った衝突の脅威に対応するために、宇宙コミュニティ全体が持続可能な宇宙を実現するための枠組みの考案に取り組むようになった。これは国連や、国連のスペースデブリ低減ガイドライン(2010年)および宇宙空間の長期持続可能性ガイドライン(2018年)が長年取り組んできたテーマだが、現在は世界中の国・組織もそれぞれが行動を起こし、持続可能な宇宙環境の整備に貢献している。



英国が民間セクターを対象とした枠組みを発表

Astra Cartaは、持続可能な宇宙活動にむけた官民連携を促すプロジェクトで、国内規制の見直し、宇宙の持続可能性に関する基準の策定、スペースデブリ除去プログラムに対する資金提供を呼びかけている。



宇宙交通の問題のための ネットゼロ・スペース・イニシアティブ

宇宙産業内外のステークホルダーが集まり、軌道環境の保護に対する緊急性を訴えるプラットフォーム。2022年に発足し、宇宙の持続可能性と宇宙交通問題に関する政策立案に取り組んでいる。



パリ平和フォーラムはスペースデブリ問題の解決には 適切なガバナンスが重要だと宣言

グローバルガバナンスを大きなテーマに掲げたパリ平和フォーラムでは、国際協力の分野でスペースデブリ問題が深刻化していることを示すため、年次会議でデブリ問題を議論し、「ネットゼロスペース」などの取り組みを発表した。



SSCが衛星事業者向けのガイドラインを更新

新ガイドライン「宇宙運用の持続可能性に関するベストプラクティス」の目的は、衝突リスクを低減することである。宇宙交通の安全性を確保するため、軌道上の交通を整備するための規則を導入し、オブジェクトクラスごとに「ギブウェイ(道を譲る)」ルールを定めた。しかし、こうしたルールは事業者間の調整に取って代わるものではない。



米国連邦通信委員会(FCC)は、スペースデブリの撤去を怠った企業に罰金を科した。これは、デブリ除去が優先課題であるという明確なメッセージを業界関係者に示している。今後は他国でも同様の措置が講じられるようになる可能性がある。

宇宙探査をめぐる国際協力は大きく変わりつつある

アルテミス合意への参加に関心を持つ国が増える一方、宇宙資源の利活用という考え方が広がりつつある

- アルテミス合意は宇宙探査、科学、商業宇宙活動の分野で世界中の国々が協力する場となっている。
- 月協定や宇宙条約のような国際協定のあいまいさとは対照的に、アルテミス合意は、宇宙資源の採掘と利用は可能であるという姿勢を明確に打ち出しており、宇宙利用を促す革新的かつ穏健な動きであると見なされている。
- サウジアラビアは月協定から離脱し、アルテミス合意に参加した最初の国となった。これは国際的な宇宙協定に参加するよりも、強制力のない原則に従うことを選ぶ国が増えていることを示している可能性があり、国際協定に影響を与える恐れがある。



アルテミス合意の参加国が合計**43カ国**に(2024年8月時点)

参加国は宇宙開発大国から新興国まで、**全ての大陸**に広がっている

新たな宇宙開発競争が始まるなか、中国とロシアが主導する国際月面研究ステーション(ILRS)プロジェクトは、アルテミス合意の代替策を提供する予定

- ILRSの参加国は増えており、中国、ベラルーシ、パキスタン、アゼルバイジャン、ロシア、ベネズエラ、南アフリカ、エジプトなどが参加している。
- 新たなパートナー：アジア太平洋宇宙協力機構、nanoSPACE AG、国際月面天文台協会、タイ国立天文研究所



ROSCOSMOS

この2つのプロジェクトに参加する国・組織の増加は、月探査に関する規範と基準の策定に影響を及ぼす可能性がある。

ガバナンス

状況の急速な変化に適応する形で、 宇宙機関の役割も変わりつつある

技術が急激に発達し地政学的な不確実性が高まる中、宇宙機関は変化の最前線に立ち、探査とイノベーションの限界を広げながら、膨大な数の課題に取り組んでいる。



新たな 協力関係

予算の制約とコストの高騰に直面している宇宙機関は、民間セクターとのパートナーシップを通じてプロジェクトを加速させており、効率性の向上を試みている。スタートアップ企業との協力は新たな視点と技術力をもたらし、限られたリソースで先駆的な進歩を成し遂げることに繋がる。こうした協力関係はタレントプールを拡大し、イノベーションの文化を育む。宇宙機関同士の国際協力は依然としてきわめて重要だが、この変革の時代に必要とされているのは高い適応能力であり、宇宙機関はさまざまなパートナーと柔軟に協力し、新たな課題に対応しながら進化するように促されている。



近代化

サイバー攻撃やスペースデブリなど、さまざまな分野で新たな脅威が出現している。宇宙機関は防衛力を高め、リスク軽減対策を強化し、世界が一丸となって行動することの重要性を強調している。研究からビジネス、政策立案まで、宇宙データの用途は多岐にわたる。宇宙企業が保有する貴重なデータは、さまざまな産業で変革をもたらす可能性がある。宇宙機関はこのデータへの自由なアクセスに優先的に取り組み、データの広範な利用を促進している。

宇宙計画に対する信頼(営利のみを追求するのではなく、人類全体の利益にかなうものであるという信頼)を得ることも重要である。責任ある行動と包摂性に重点を置くことで、広く一般市民の信頼と信用を得る必要がある。



組織再編

宇宙機関は、変化する状況に適応し、新たなパラダイムを取り入れるために、包括的な組織再編を進めている。そこでは、よりスリムで、機敏で、柔軟な組織の必要性が重視されると同時に、各機関は効率性と有効性を高めるために現在の業務構造を抜本的に見直すことを求められる。組織変革の要となっているのは、官僚の手続きの簡素化であり、その目的は、迅速な意思決定を妨げ進歩を阻害している冗長なプロセスやボトルネックを排除することである。各機関はワークフローを見直し、組織の階層・構造をフラットにすることで、あらゆるレベルの職員が迅速に意思決定を行えるようにしている。宇宙機関は、宇宙分野の商業化を積極的に推進しており、最先端のデジタルツールとプロセスを取り入れることで、プロジェクト管理とコミュニケーション様式をアップデートしている。宇宙機関は、クラウドベースの協力プラットフォーム、仮想現実シミュレーション、人工知能(AI)を活用したアナリティクスなどの技術を活用することで、離れた場所にいるチーム同士の協力、情報共有、意思決定を支援している。



気候変動と ESG

人類は気候変動の危機に直面している。この問題に対応するうえで宇宙機関が重要な役割を果たす。将来の変化を正確に把握し必要な対策を行うために、先進的な人工衛星を打ち上げ、地球の気候をモニタリングしている。気候変動を緩和するための革新的な技術の開発、エビデンスに基づく政策立案への協力、持続可能な組織運営を通じて、宇宙機関は環境負荷低減にも貢献している。

ESGは宇宙機関の運営においても重視されるようになってきている。ESGを組織の理念や意思決定プロセスに組み込むことは、責任ある資源管理や労働環境の包摂性と公平性を促進し、より強固で社会的責任のある宇宙産業の基盤を作る。

国家レベルで分散型ガバナンスへの移行が進むなか、宇宙機関においても他の組織とともに役割を補完する機会が増えつつある

宇宙環境の変化とともに、宇宙機関も新たな役割を求められるようになってきている

- 宇宙分野は下流領域の産業や関連するバリューチェーンに活動を広げている。
- その結果、**スペースエコノミー**という概念が生まれた。スペースエコノミーとは一般に、中核となる宇宙活動とこうした活動に起因する全ての売上高、サービス、利益、応用領域を組み合わせた広範な経済を指す。
- 宇宙分野では、関連産業や潜在顧客が増加していることから、**スペースエコノミーの成長を最大化しながら各国のガバナンスを構築する**ことがますます必要になっている。



「宇宙機関」の変遷

主に技術・宇宙アセットを開発・調達する機関から…

…市場の開拓、市場のニーズ、市場経済に注目する機関へ



分散型ガバナンスへの移行

宇宙以外の領域も担当する(あるいは非宇宙領域を担当する)省庁や機関が、宇宙経済の一端を担うようになった

国家レベルで密に連携する必要がある

宇宙機関の分散化に向けた動き

宇宙機関の「分散化」が進み、特定の目的のための組織が次々と設立されている。特定の領域や活動を支援するビジネスアクセラレーターは、その一例である。

例えば、ESAの宇宙事業成長ネットワーク(BSGN)には、ライフサイエンス、先端材料、食品・農業分野に加えて、最近では宇宙資源に関するアクセラレーターも参加している。BSGNのアクセラレーターモデルは他の領域にも広がりつつある。

こうした組織構造は、宇宙機関の柔軟な運営を可能にし、宇宙分野の新たな動向にも適している。

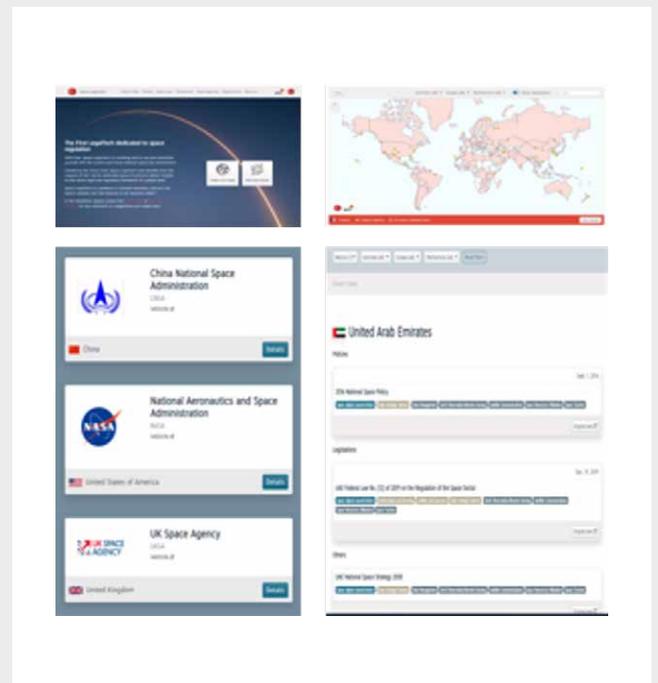
PwCは「Space LegalTech」というプラットフォームを通じて、宇宙の規制状況に対する独自の見解を示している

政策・規制に関するインサイト

- **Space LegalTechの目的は、世界各国の宇宙政策・規制をマッピングし、インタラクティブなユーザーインターフェースを通じてユーザーが選択した国の全ての宇宙法規制およびその国が批准した条約を見つけられるようにすることである。**
- **政策・規制は、法律文書や規定文書の種別、規制対象の活動、使用される法的メカニズムをもとに分類されている。**
- Space LegalTechには、**国際条約や月活動に関する規制の情報も含まれる。**
- Space LegalTechは、**定評のあるトゥールーズ第1キャピトル大学シリウス宇宙法学的講座と共同で開発された。**

規制以外のインサイト

Space LegalTechには、宇宙港に関する情報（場所や活動内容を含む）も掲載されている。その他、主要な宇宙機関やライセンス手続き、主要な国際宇宙組織（その参加国を含む）に関する情報も扱う。



Space LegalTechは継続的にアップデートされており、今後も新機能の追加が予定されている。詳細は<https://spacelegaltech.com>を参照

クレジット:

本レポートの作成にあたっては以下の方々の協力を得た。

- Alessandro Calzi(フランス)
- Andre Keller(ドイツ)
- Beatrice Sabbatinelli(フランス)
- Dan Osrin(フランス)
- Dillon Borges(フランス)
- Edoardo Giacobbe(イタリア)
- Fabia Höhne(ドイツ)
- Gonçalo Vera-Cruz(フランス)
- Hannah Müller(ドイツ)
- Hashmita Koka(フランス)
- Joe Schurman(米国)
- Luigi Scatteia(フランス)
- Marie Sulaberidze(フランス)
- Mathieu Luinaud(フランス)
- Matteo Emanuelli, Airbus(ドイツ)
- Mehdi Tabsissi(フランス)
- Miraslava Kazlouskaya(フランス)
- Morgane Royer(フランス)
- Natsuho Suda(日本)
- Nicholas Noble(イタリア)
- Paolo Ariaudo(フランス)
- Robin Pradal(フランス)
- Siddharth Shihora(フランス)
- Tim Ford(米国)
- Victoria Carter-Cortez(フランス)
- Yann Perrot(フランス)
- Yosuke Enomoto(日本)

本レポートで使用した画像は以下のとおりである

- ベルリン(17ページ) : Copernicus Sentinel衛星のデータ(2015年)、ESA
- 地球(19ページ) : EUMETSAT/ESA
- ナミブ砂漠(24ページ) : KARI/ESA
- NGC 5468(39ページ) : NASA、ESA、CSA、STScI、A.Riess(JHU/STScI)
- サハラ砂漠(43ページ) : JAXA、ESA
- Galileo衛星(55ページ) : ESA、P. Carril
- SSA-NEO(67ページ) : ESA、P. Carril
- NGC 604(69ページ) : ESA、NASA、CSA、STScI
- GAIA(70ページ) : ESA/GAIA/DPAC
- カトマンズ(83ページ) : Copernicus Sentinel衛星のデータ(2015年)、ESA

© 2024 PwC. All rights reserved. 本報告書をPwCの許可なく再配布することはできません。「PwC」とは、PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCIL)のメンバーファームのネットワーク、または文脈によってはPwCネットワークに属する個別のメンバーファームを指します。各メンバーファームは独立した法人組織であり、PwCILまたは他のいかなるメンバーファームの代理人として行動することはありません。PwCILはクライアントに対し、いかなるサービスも提供していません。PwCILは、メンバーファームの行為または不作為について責任を負わず、メンバーファームの専門的判断の行使に影響を及ぼしたり、いかなる形式でもメンバーファームを拘束したりすることはありません。いかなるメンバーファームも、他のメンバーファームの行為または不作為について責任を負わず、他のメンバーファームの専門的判断に影響を及ぼしたり、いかなる形式でも他のメンバーファームやPwCILを拘束したりすることはありません。

PwCグローバルネットワーク

宇宙分野、および宇宙分野の課題に関するご質問等がございましたら、PwCの宇宙チームのリーダーや宇宙チームにご連絡ください。

Dr. Luigi Scatteia

パートナー、フランスPwC
宇宙プラクティス グローバルリード

+33 6 42 00 71 67
scatteia.luigi@pwc.com

Paolo Ariaudo

マネージングディレクター、
フランス

+33 6 77 61 39 78
paolo.x.ariaudo@pwc.com

Beatrice Sabbatinelli

シニアマネージャー、
フランス

+33 6 80 45 72 91
beatrice.sabbatinelli@pwc.com

Scott Thompson

グローバル航空宇宙・防衛
リーダー、米国

+1 413 4412702
scott.thompson@pwc.com

欧州

Dr. Jan H. Wille

パートナー、EMEA航空宇宙・防衛
リーダー、Strategy& ドイツ

+49 17 0223 8898
jan.h.wille@pwc.com

Dr. Cesare Battaglia

パートナー、イタリア

+39 340 469 7913
cesare.battaglia@pwc.com

Andy Lison

ディレクター、
Strategy& 英国

+44 7483 361999
andy.lison@pwc.com

Joe Schurman

パートナー、米国

+1 281 468 4191
joe.schurman@pwc.com

Andre Keller

パートナー、
Strategy& ドイツ

+49 151 26662881
andre.keller@pwc.com

Gabriele Capomasi

パートナー、
Strategy& イタリア

+39 366 6123428
gabriele.capomasi@pwc.com

Dan Osrin

シニアマネージャー、
Strategy& 英国

+44 7483 352978
dan.osrin@pwc.com

John May

パートナー、米国

+1 413 4412702
john.may@pwc.com

Laurent Probst

パートナー、ルクセンブルク

+352 621 332 199
laurent.probst@pwc.lu

Siemon Smid

ディレクター、
ルクセンブルク

+352 621 334 056
siemon.smid@pwc.lu

Marco Cattadori

マネージャー、
Strategy& オランダ

+31 622 791 989
marco.cattadori@pwc.com

Tim Ford

シニアマネージャー、
Strategy& 米国

+1 720 3652823
tim.ford@pwc.com

APAC

Vishal Kanwar

マネージングディレクター、
インド

+91 9167745719
vishal.kanwar@pwc.com

Yusuke Nakabayashi

パートナー、日本

+81 70 1375 2875
yusuke.nakabayashi@pwc.com

Fadi Komati

パートナー、中東

+966 56 944 0900
fadi.komati@pwc.com

Cem Ulgen

ディレクター、
Strategy& 中東

+971 56 688 1982
cem.ulgen@pwc.com

Niharikka Puri

シニアマネージャー、インド

+91 98119 64723
niharikka.p.puri@pwc.com

Yosuke Enomoto

シニアマネージャー、日本

+81 70 1184 1999
yosuke.enomoto@pwc.com

Sami Salem

ディレクター、中東

+971 56 682 0557
sami.salem@pwc.com

Oliver Menge

ディレクター、中東

+971 50 346 0979
oliver.menge@pwc.com

中東

日本のお問い合わせ先

PwC Japanグループ

www.pwc.com/jp/ja/contact.html



www.pwc.com/jp

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwC Japan有限責任監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む）の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびブローダーアシュアランスサービス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約12,700人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。PwCは、社会における信頼を構築し、重要な課題を解決することをPurpose（存在意義）としています。私たちは、世界151カ国に及ぶグローバルネットワークに約364,000人のスタッフを擁し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は www.pwc.com をご覧ください。

本報告書は、PwCメンバーファームが2024年4月に発行した『Main Trends & Challenges in the Space Sector 4th Edition』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

オリジナル（英語版）はこちらからダウンロードできます。 <https://www.pwc.fr/en/industrie/secteur-spatial/pwc-space-team-public-reports-and-articles/main-trends-and-challenge-in-the-space-sector-4th-edition.html>

日本語版発刊年月：2024年10月 管理番号：I202404-07

©2024 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.