

衛星の大量打ち上げによる汚染物質が、上層大気に急速に蓄積していることが推定

される

2026-07-12 2026-07-12



彩恵りり

現在の地球の周りには全地球的な通信を目的とした、それぞれが数千機以上の衛星から成る「衛星コンステレーション」を構成する衛星が多数存在します。SpaceX 社の「スターリンク (Starlink)」は特に有名ですが、他の企業や国家が主導する衛星コンステレーションも開始または計画されており、ロケットの打ち上げ回数と衛星の大気圏再突入の数は共に増え続けています。しかし、この大量の打ち上げによる悪影響はないのでしょうか？ ユニバーシティ・カレッジ・ロンドンの Connor R. Barker 氏や Eloise A. Marais 氏などの研究チームは、成層圏などの高層大気に対する影響を推定しました。論文自体は軽微な影響を推定していますが、研究チーム自身が、論文で示された結果はかなりの過小評価であると考えています。なぜなら、打ち上げ規模の拡大ペースが、研究当時の予測をはるかに上回っているためです。Barker 氏は「その影響力の強さを考えれば、取り返しのつかない被害が生じる前に、対策を講じる必要があります。」と発言しています。

今回の研究は、内容を額面通り受け止めるのではなく、今後起き得る悪影響に対し、早めの対策を促す警鐘を鳴らしていると考えられるでしょう。

衛星コンステレーションによる上層大気への影響は？



【▲ 図 1: スターリンク衛星を搭載して打ち上げられたファルコン 9 ロケット (Credit: SpaceX)】

現在の地球の周りには全地球的な通信を目的とした、それぞれが数千機以上の衛星から成る「衛星コンステレーション」を構成する衛星が多数存在します。SpaceX 社の「スターリンク (Starlink)」は特に有名ですが、Eutelsat 社の「ワンウェブ (OneWeb)」、Amazon 社の「アマゾンレオ (Amazon Leo)」、中国政府の「国網 (GuoWang)」など、他の企業や国家が主導する衛星コンステレーションも開始または計画されています。

通信網の整備は私たちの生活を便利にしてくれますが、規制のない中での衛星配備には悪影響も指摘されています。特に、天文観測は既に無視できない影響が現れ始めています。スターリンク単独ですら、人類が打ち上げた過去全ての衛星数を上回っています。この影響で、望遠鏡の視野に衛星が入り込む状況が増加していますからです。望遠鏡は技術の向上で、これまでよりも微弱な信号を得られるようになっていきます。このため、衛星による太陽光の反射や電波の発信は、たとえ微弱なモノであっても打ち消すことのできない強いノイズとして現れます。これまでは衛星が少なかった関係で稀なケースであったのが、日常茶飯事となりつつあるのです。これについて詳しくは、sorae の記事『合計 170 万機以上の衛星打ち上げ計画に天文学者が警鐘 「天文学にとって壊滅的な結果に」』をご覧ください。これに加え、大気汚染の影響に関する懸念も指摘されています。ロケットは燃料を燃やすことで得られる推進力で宇宙へと飛ぶことができますが、そのためにはどうしても物質を放出する必要があります。また、ロケット本体の一部は大気圏への再突入で燃え尽きますが、これは文字通り消えてしまうのではなく、目に見えない細かな粒子として大気中を漂うことを意味します。これは定義上、大気の汚染物質となります。再突入による影響は、衛星本体にも似たようなことが言えます。衛星コンステレーションを構成する衛星は、軌

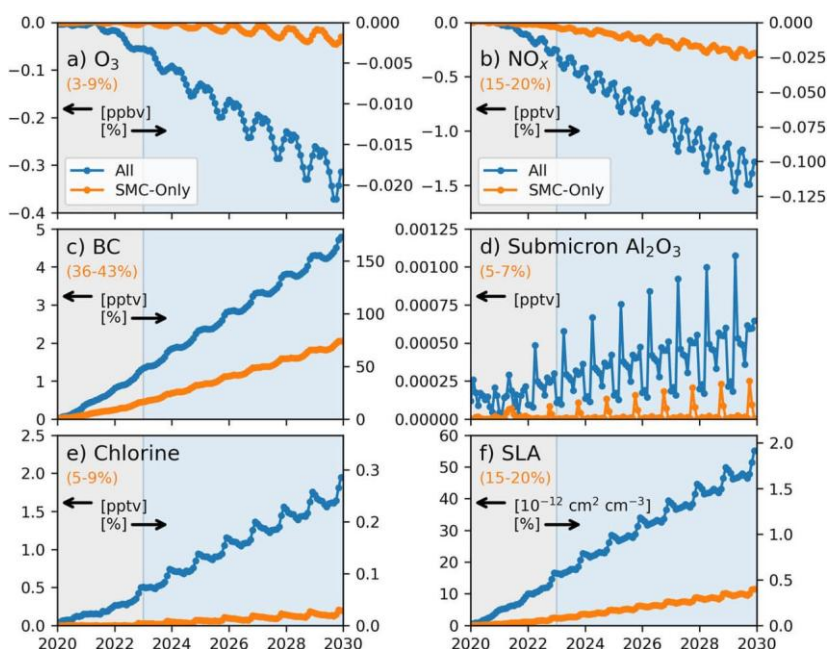
道変化による衝突の懸念の回避のために、軌道上の寿命を5年程度として設計されています。また、燃え尽きずに地上に大きな破片が落下しないよう、意図的に脆く設計されています。このことから、衛星本体に由来する物質も大気中を漂うことになり、これも汚染物質として計上されます。

ロケットや衛星に由来する物質は、主に成層圏などの大気上層部に影響を与える懸念があります。大気の上層部は下層部と比べて大気循環がとても遅いため、かつてロケットや衛星であった物質の粒子は数年以上大気中に留まります。そして、大気上層部にはオゾン層のように、汚染物質に対して敏感に反応するようなものも含まれています。ただし、過去にこれほどまでのペースで衛星を打ち上げた実績がないことや、上層大気に関する知見の少なさから、大気に対する正確な影響についてはあまり理解されていませんでした。

研究者の想定を实际が上回ったことによる“過小評価”が発生

ユニバーシティ・カレッジ・ロンドンの Connor R. Barker 氏や Eloise A. Marais 氏などの研究チームは、2029 年までのロケット打ち上げに伴う汚染物質による影響に関する推定を行いました。この推定の元となった研究では、2020 年から 2022 年までの打ち上げ実績を元に、2029 年までに打ち上げられる衛星の数を 6 万 5000 機と推定しています。なお、2020 年から 2022 年までの衛星コンステレーション関連の打ち上げや再突入は、全 446 回のロケット打ち上げの中の 86 回を占め、全 3623 個の大気圏再突入物の中の 959 個を占めています。

今回の影響分析では、ロケットや衛星の打ち上げおよび再突入で放出される汚染物質として炭素質の煤（ブラックカーボン）、水蒸気、塩素、酸化アルミニウムなどを検討しました。汚染物質の組み合わせは打ち上げごとに変化するため、その違いも考慮に入れています。



【▲ 図 2: 成層圏における物質の増減を示したグラフ。青色は全ての打ち上げ、オレンジ色は衛星コンステレーション関連のみでの増加を示します。ただし後述する通り、この値は過小評価であると考えられます。(Credit: Connor R. Barker, et al.)】

研究の結果、注目される影響の1つとして炭素質の煤が挙げられました。今回の分析で主要な影響を与えたのはスターリンクですが、スターリンクを打ち上げるロケットである「ファルコン9 (Falcon 9)」は、燃料にケロシンを使っています。ケロシンは広い意味での灯油ですので、燃焼時には煤が生じます。

今回の研究では、2029 年までに、衛星コンステレーション関連の打ち上げによって、成層圏には約 870t の煤が排出されることが推定されました。これは、宇宙分野全体での煤の排出量のうち、2023 年までの 36%、2029 年までの 43%を占めています。成層圏への煤の排出で、懸念される点は2つあります。成層圏の煤は中々落下せず、最長で4年間そこに留まることと、成層圏の煤は地上付近の煤よりも540倍も気候変動に与える影響が大きい

いという点です。

一方で、この懸念がどのように影響するのか、明確に結論付けることは困難です。煤は太陽光を吸収すると同時に遮る効果もあるため、熱を吸収する効果と遮断する効果の両方があるためです。今回の研究では、大気上層部の気温をわずかに上げ、大気下層部の気温をわずかに下げる効果があることが推定されています。ただし後述する通り、この評価は注意して受け止める必要があります。もう1つ注目されたのは塩素の効果です。塩素はオゾン層を破壊する性質が強いため、ロケット打ち上げによる影響が最も強く現れる懸念がありました。しかし、少なくとも Falcon 9 は塩素をほとんど含まない燃料を使っているため、その影響は今のところは少ないことが分かりました。今回の分析では、衛星コンステレーション関連の打ち上げは、宇宙分野全体でのオゾン層破壊の9%を占めるに過ぎないことが推定され、他の排出源によるオゾン層破壊と比べれば、影響が小さめです。

ただし Barker 氏らは、今回の研究で推定された影響は過小評価であり、数値を額面通りに受け取ることはできないと考えています。今回の研究では、2020 年から 2022 年までの打ち上げ実績を下に、2029 年までに 6 万 5000 機の衛星が打ち上げると推定していましたが、既に翌 2023 年の時点で、推定値を上回るペースで打ち上げが進んでいたからです。今回の研究では、煤の影響でわずかに大気下層部の気温が下がると見積もられましたが、これを単純に受け止め、地球温暖化対策になると早とちりしてはいけません。私たちは高層大気の知識に乏しく、本当にこの推定が正しいのかどうか分からないためです。また、温室効果ガスを減らさないままの気温の低下が、地球温暖化対策になるのかも未知数です。研究を行った Barker 氏は次のように発言しています。

“Rocket launches are a unique source of pollution, injecting harmful chemicals directly into the upper layers of the atmosphere and contaminating Earth's last remaining relatively pristine environment. Though this soot's impact on climate is currently much smaller than other industrial sources, its potency means we need to act before it causes irreparable harm.” — Connor R. Barker

「ロケットの打ち上げは、有害物質を上層大気に直接放出し、地球上に最後に残された、比較的汚染されていない環境を汚染する、特異な汚染源となっています。この煤が気候に及ぼす影響は、現時点では他の産業活動と比べるとはるかに小さいですが、その影響力の強さを考えれば、取り返しのつかない被害が生じる前に、対策を講じる必要があります。」 Connor R. Barker 氏 また、Marais 氏も次のように発言しています。

“The cooling effect from the reduction in sunlight that we calculate with our models may sound like a welcome change against the backdrop of global warming, but we need to be extremely cautious.” — Eloise A. Marais

「私たちのモデルによって算出された、日射量の減少に伴う冷却効果は、地球温暖化という状況下では歓迎すべき変化のように聞こえるかもしれませんが、極めて慎重に考える必要があります。」 Eloise A. Marais 氏

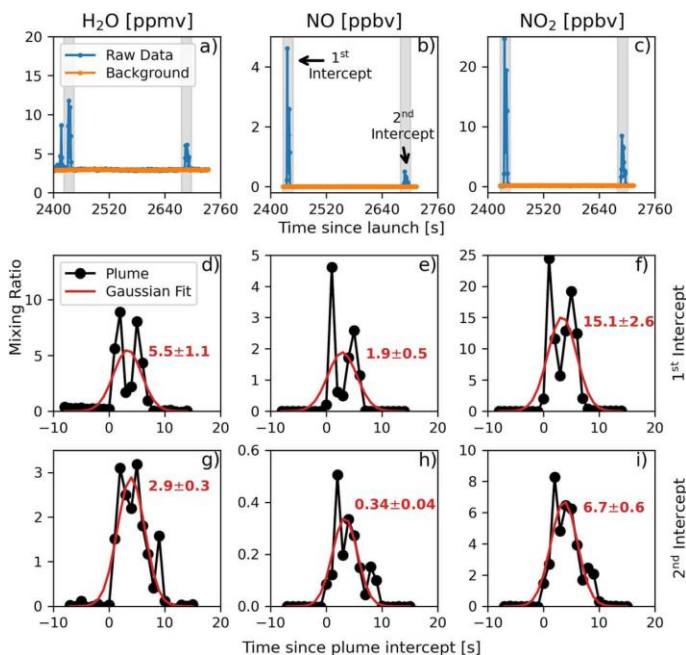
野放図な衛星コンステレーションの拡大に警鐘を鳴らす研究結果

さらに言うと、今回の研究では打ち上げの大半を占めるファルコン 9 のケロシンの影響で推定を行いましたが、この状況は大きく、恐らく悪い方向に変わる可能性があります。アマゾンレオや国網の打ち上げでは固体ロケットブースターも使用されていますが、これは大量の塩素を放出するため、オゾン層破壊の影響が深刻化する恐れがあります。また、スターリンクやアマゾンレオの打ち上げの一部では液体メタンと液体酸素を使用するメタルックス推進剤が使用されています。これはケロシンよりも煤の排出量が少ないと謳われていますが、数値面の検証が進んでおらず、影響は未知数です。そして、打ち上げ重量（ペイロード）が増加する新型ロケットへの切り替えも検討されていますが、ペイロードが増えれば燃料の消費量も増加するため、影響の小ささを相殺する恐れがあります。

さらに、たとえロケットの燃料が比較的“クリーン”であったとしても、大量の衛星の軌道投入自体が成層圏に悪影響を及ぼす恐れがあります。ファルコン9の打ち上げやスターリンク衛星の再突入の状況を監視すると、その周辺に大量の窒素酸化物（NOx）が生成されることが観測されているからです。

窒素は化学反応しにくい分子として知られていますが、高いエネルギーを与えれば酸素と反応して窒素酸化物が

生成されます。ロケットの高温の排気熱や、超音速で大気圏に再突入する時に発生する衝撃波は、窒素を化学反応させるのに十分なエネルギーを与えます。



【▲ 図 3: 高層大気の観測により、ファルコン 9 の打ち

上げ直後に水蒸気、一酸化窒素、二酸化窒素の急激な増加が観測されています。水は燃料由来ですが、窒素酸化物は大気中の化学反応で生成されたと考えられます。(Credit: Connor R. Barker, et al.)】

窒素酸化物は温室効果ガスであり、オゾン層破壊物質です。衛星コンステレーションによる窒素酸化物の影響は最近評価が始まったばかりであり、現時点でははっきりとした影響を算出することはできません。ただし少なくとも、今回の研究で示された数値が過小評価であることだけは間違いないでしょう。

翻って見れば、地球温暖化やオゾン層の破壊といった環境問題は、利便性を優先し、適切な規制がなされないまま進んだ結果起きた問題とも言えます。これらの環境問題は、現在では利便性と環境保護を両立させた規制が行われています。こうした先例に倣えば、野放図な衛星打ち上げを抑え、高層大気的环境保護に先手を打つことは可能であると筆者は考えています。

ひとことコメント 私の言いたいことは、研究者がダイレクトに述べているのよ。強調して規制が求められていると感じているよ。(筆者)

文／彩恵りり 編集／soraie 編集部

関連記事

- [合計 170 万機以上の衛星打ち上げ計画に天文学者が警鐘 「天文学にとって壊滅的な結果に」](#) (2026 年 7 月 6 日)
- [成層圏エアロゾル中の金属粒子の約 10%は燃え尽きた宇宙機由来と判明](#) (2023 年 10 月 30 日)
- [衛星コンステレーションに新たな課題? “意図的ではない電磁放射”を電波望遠鏡が捉えた](#) (2023 年 7 月 13 日)
- [宇宙望遠鏡にも影響が? ハッブルの画像に写り込む人工衛星は増加傾向にあることが判明](#) (2023 年 3 月 27 日)

参考文献・出典

- [Connor R. Barker, et al. “Radiative Forcing and Ozone Depletion of a Decade of Satellite Megaconstellation Missions”. \(Earth’s Future\)](#)
- [Michael Lucibella. “Satellite launch pollution rapidly accumulating in the upper atmosphere”. \(University College London\)](#)
- [Andy Tomaswick. “Are Satellite Megaconstellations Accidentally Geoengineering the Earth?”. \(Universe\)](#)

合計 170 万機以上の衛星打ち上げ計画に天文学者が警鐘 「天文学にとって壊滅的

な結果に」 2026-07-062026-07-06  [ソラノサキ](#)

こちらは、2025 年 10 月 15 日に南米・チリのアタカマ砂漠北部で 1 時間にわたって撮影されたタイムラプス映像を 1 枚に合成した画像です。天の川の美しさとともに、無数の光の筋が縦横無尽に交差する様子が捉えられています。



【▲ 2025 年 10 月 15 日にアタカマ砂漠北部で撮影された 1 時間のタイムラプスから作成された画像。空を横切る光の大半は人工衛星の光跡で、一部に航空機の光跡が捉えられている（点滅する灯火によって点線状の光跡になっている）。中央の山は ESO の次世代大型望遠鏡 ELT が建設中のセロ・アルマゾネスで、その向こうから空に伸びているのは 22km 先のパラナル天文台にある VLT から照射された補償光学用のレーザービーム。（Credit: F. Kamphues, ESO/M. Kornmesser）】

一見すると幻想的にも思えるこの光景、中央の山の向こうから上に向かって幾筋も伸びるオレンジ色の光は天文観測用に照射されたレーザービーム（※）ですが、空を横切る光の筋のほとんどは、地球の軌道上を飛び交う人工衛星の光跡です。この画像は、現代の天文学が直面している深刻な「光害（ひかりがい）」の現状を物語っています。ESO（ヨーロッパ南天天文台）の天文学者 Olivier Hainaut 氏による最新の研究成果によれば、現在世界中で計画されている大量の人工衛星の打ち上げが、現代の天文学にとって壊滅的な結果をもたらす可能性が明らかになりました。

急増する人工衛星と夜空への影響

ESO によると、アメリカ企業 SpaceX（スペース X）社の「Starlink（スターリンク）」に代表される通信衛星群の展開などによって、地球を周回する人工衛星の数は 2019 年以降急増しており、現在では 1 万 4000 機を超えています。さまざまな企業などの提案をもとに試算すると、今後はその 100 倍以上となる 170 万機以上の人工衛星が軌道に投入される計画です。地上から観測を行う天文学者たちは、これまでも取得した画像に人工衛星が写り込んでしまう問題に対処する取り組みを行っており、企業側も衛星の反射光を抑制する対策などを講じてきました。それでも、現在立案されている衛星打ち上げ計画は、天文学が耐えられる限界を超えていると Hainaut 氏は指摘します。人工衛星が天文観測に与える影響は、主に 2 つあるといいます。1 つは冒頭の画像でも示されている直接的な影響で、太陽光を反射した衛星が視野を横切ることで生じる明るい光跡です。

もう 1 つは間接的な影響です。ひとつひとつの衛星は見えないくらい暗くても、反射した光によって空全体に幕を張るような拡散光が生み出されます。また、反射した光が地球の大気で散乱することで生じる散乱光によって、夜空全体の明るさが押し上げられてしまう問題もあります。

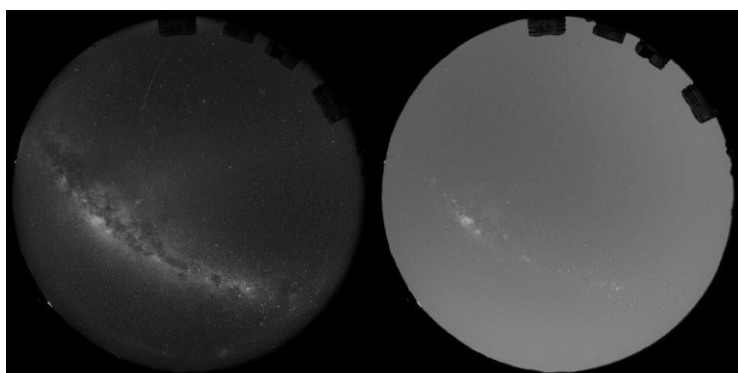
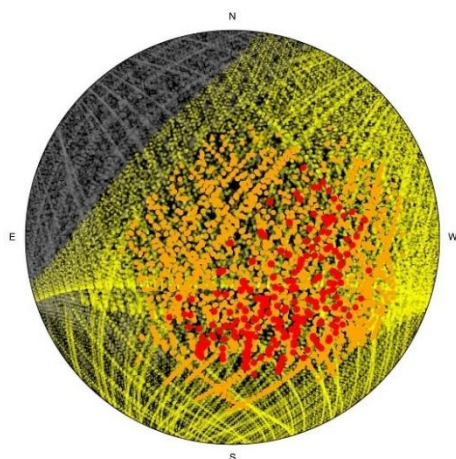
軌道上データセンターや反射鏡衛星がもたらす影響

学術誌「Astronomy & Astrophysics」に受理された論文の中で、Hainaut 氏はこれらの衛星打ち上げ計画がもたら

す影響の詳細なシミュレーションを行っています。

Hainaut 氏の予測によると、SpaceX が AI 向けに計画している「Orbital Data Center（軌道上データセンター）」の人工衛星 100 万機が軌道に投入された場合、衛星が肉眼では見えないほど暗かったとしても、ESO の VLT（超大型望遠鏡）が取得する画像には多数の光跡が写り込み、視野の最大 28% が失われます。

さらに大きな影響が懸念されているのは、アメリカのスタートアップ企業「Reflect Orbital」が計画している反射鏡衛星です。同社は夜間の地上に太陽光を届けるために、2035 年までに大型の反射鏡衛星を 5 万機展開する計画を進めています。Hainaut 氏のシミュレーションによると、すべての反射鏡衛星が軌道に投入された場合、観測施設を直接照らさなかったとしても、夜空全体の明るさが最大で 3~4 倍に跳ね上がります。ひとつひとつの衛星は明けの明星／宵の明星である金星と同等の明るさになり、もともと光害のある都市部の夜空で見える「星」は、これらの衛星だけになってしまう可能性もあるといいます。



【▲ SpaceX の軌道上データセンター衛星 100 万機が軌道に投入された場合の、VLT 上空のシミュレーション結果。色は、黄色：太陽光を反射している衛星、オレンジ色：7 等級よりも明るい衛星、赤色：5 等級よりも明るい衛星、灰色：地球の影に入っている衛星をそれぞれ表している。（Credit: ESO/O. Hainaut）】

【▲ Reflect Orbital の反射鏡衛星 5 万機が軌道に投入された場合の、VLT 上空のシミュレーション結果。左は 2026 年 5 月 16 日に撮影された実際の夜空で、右はすべての反射鏡衛星が展開された状況を再現したもの。直接照射されることはなくとも、拡散光と散乱光によって夜空全体が 3~4 倍の明るさになる可能性が指摘されている（Credit: ESO/O. Hainaut）】

こうした人工衛星の影響は、先日 10 年間のサーベイ計画「LSST」が正式始動したばかりのベラ・ルービン天文台などに対して、重大な影響をおよぼす可能性があります。

Hainaut 氏によると、ルービン天文台のシモニー・サーベイ望遠鏡に搭載されている 32 億画素の「LSST カメラ」のように、高感度で複雑な電子機器である観測装置が人工衛星の強烈な反射光を捉えると、本来の光跡だけでなく、飽和した検出器の内部で信号が漏れ出すクロストーク（ゴースト）が引き起こされてしまうといいます。そのため、SpaceX の軌道上データセンター衛星の明るさが前述のシミュレーションの想定より少しでも明るければ、こうした観測機器で毎晩数時間取得される画像の大半が使用不能になる可能性があります。

また、Reflect Orbital の反射鏡衛星がすべて軌道上に展開されて、太陽に照らされるようになれば、こうした観測機器が取得するすべての画像を失うことになることも懸念されています。

夜空を守るための提言と今後の課題

こうした未来を避けるために Hainaut 氏は、人工衛星による観測への影響を機材トラブルと同程度の許容可能なレベルに抑えるための条件を提示しています。Hainaut 氏によれば、軌道上の人工衛星の総数を 10 万機以下に制限したうえで、すべての衛星の明るさを肉眼で見える限界よりもさらに暗い視等級 7 よりも暗く保つことが極め

て重要だとしています。この基準よりも明るい衛星が含まれる場合は、許容される人工衛星の総数はさらに減少します。現在、大規模な人工衛星打ち上げを計画している企業は、アメリカの FCC（連邦通信委員会）へ事業許可の申請を行っています。ESO は今回の研究成果をもとに、王立天文学会や IAU（国際天文学連合）と協力して、FCC に対して規制を求める意見書を提出したということです。

宇宙空間の利用は私たちの生活に恩恵をもたらす一方で、人類共通の財産と言える“暗い夜空”を失わせてしまう可能性もあります。次の世代に美しい夜空を引き継ぐためには、衛星事業者、天文学界、そして規制当局が協調した、厳格なガイドラインの策定と技術的な対策が急務と言えそうです。

脚注 ※...パラナル天文台の VLT から補償光学（AO）のために照射されたレーザー。詳しくは以下の記事をご参照ください。 [タランチュラ星雲が輝く天空へ向けて照射された 4 本のレーザービーム ESO の天文台で撮影](#)（2026 年 4 月 20 日） 文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

- [4 分の 3 が人工光の影響を受けている？ 世界の主要な天文台に対する光害の影響を調査](#)
- [観測への影響は？ 衛星コンステレーションの「光害」を評価した研究成果](#)
- [衛星コンステレーションの「光害」高度や季節によっては一晩中影響も](#)

参考文献・出典

- [ESO - "Beyond the limit": one million satellites and mirrors in space pose grave threat to the night sky](#)

<https://sorae.info/space/20260713-jaxa-rv-x.html>

JAXA の小型実験機「RV-X」が約 40 秒の飛行試験を実施 基幹ロケット再使用化

への新たな一歩

2026-07-132026-07-13



[ソラノサキ](#)

JAXA（宇宙航空研究開発機構）は 2026 年 7 月 11 日、小型実験機「RV-X」による再使用ロケット実験の初めての飛行試験を秋田県の能代ロケット実験場にて実施しました。

JAXA によると、機体は離陸から着陸まで正常に飛行し、飛行試験は成功を収めました。宇宙輸送コストの抜本的な低減を目指すうえで、日本の基幹ロケットの再使用化に向けた重要な一歩となります。



【▲ 2026 年 7 月 11 日に能代ロケット実験場で実施された飛行試験にてホバリングする JAXA の小型実験機「RV-X」(Credit: 高畑 颯人)】

【▲ 2026 年 7 月 11 日に能代ロケット実験場で実施された飛行試験にて上昇を始めた JAXA の小型実験機「RV-X」(Credit: JAXA)】

【▲ 2026 年 7 月 11 日に能代ロケット実験場で実施された飛行試験にて上昇する JAXA の小型実験機「RV-X」(Credit: JAXA)】

延期を乗り越えて 23 年ぶりの離着陸成功

現在のロケットは 1 回限りの使い捨てが主流ですが、将来的な宇宙利用の拡大には、アメリカの SpaceX（スペース X）社が運用している「Falcon 9（ファルコン 9）」ロケットや開発中の「Starship（スターシップ）」のよう

に、繰り返し使用できる宇宙輸送システムの確立が不可欠と言えます。

JAXA による再使用型ロケットの飛行試験は、2003 年に実施された「RVT-9」以来、実に 23 年ぶりとなります。今回の RV-X 飛行試験は当初 2026 年 3 月に予定されていましたが、機体からケーブル等を切り離す地上設備（クイックディスクコネク）の不具合によって、直前で延期されていました。

当日の記者説明会に登壇した JAXA 研究開発部門の伊藤隆さんによると、チームは約 3 か月半をかけて設備の改修やソフトウェアの改善を行うとともに、習熟度を高める訓練を重ねて今回の実験に臨んだということです。

計画通りの安定した飛行を実施

今回の試験では、再使用型ロケットの実現に向けた関連要素技術の検証や、飛行環境におけるシステムの健全性検証が主目的とされました。JAXA が公開した速報値によれば、2026 年 7 月 11 日 6 時 14 分 55 秒に離陸した RV-X は、約 40 秒間飛行した後に無事着陸に成功しました。最高到達高度は約 11m、水平移動距離は約 16m を記録しており、すべて事前の計画値（飛行時間約 40 秒、高度 10m 程度、水平移動 15m 程度）とほぼ合致する精度の高い飛行でした。また、伊藤さんによれば搭載されたエンジンはこれまでに 165 回もの燃焼試験を耐え抜いたものであり、着陸後の機体も脚部周辺の断熱材に想定内の熱ダメージ（焦げ跡）が見られる程度です。今回のデータ分析や機体の点検が行われた後に、2 回目の飛行試験実施も検討されています。



【▲ 2026 年 7 月 11 日に能代ロケット実験場で実施された飛行試験にて降下する JAXA の小型実験機「RV-X」
(Credit: JAXA)】

【▲ 2026 年 7 月 11 日に能代ロケット実験場で実施された飛行試験にて着陸する JAXA の小型実験機「RV-X」
(Credit: JAXA)】

【▲ 1 段再使用飛行実験「CALLISTO」実験機の着陸時の形態を示した図 (Credit: JAXA)】

データは日仏独の共同プロジェクト「CALLISTO」へ

RV-X の飛行で得られたデータは一連の試験終了後に評価解析等が行われる予定となっており、JAXA が CNES（フランス国立宇宙研究センター）や DLR（ドイツ航空宇宙センター）と共同で開発を進めている 1 段再使用飛行実験プロジェクト「CALLISTO（カリスト）」に直接フィードバックされます。

CALLISTO はロケット 1 段目の再使用化を目指し、重要技術に関する知見の蓄積を目的とした日仏独の取り組みで、フランス領ギアナのギアナ宇宙センターにて、より実践的な大気上層や超音速域での飛行試験が予定されています。誰もが気軽に宇宙を行き来できる未来へ向けて、RV-X の飛行試験で得られたデータの詳しい評価解析と、CALLISTO の進展に期待が高まります。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

- [ホンダ子会社が再使用型ロケットの垂直離着陸実験に成功 約 1 分間飛行](#)
- [JAXA が「H3」ロケット 9 号機の打ち上げ予定日を再設定 「みちびき」7 号機を搭載](#)
- [JAXA が新型補給機「HTV-X1」大気圏再突入を発表 物資輸送・技術実証の両ミッションを完遂](#)

参考文献・出典

- [JAXA - 再使用ロケット実験 RV-X（小型実験機）の飛行試験結果（速報）の報告 \(YouTube\)](#)
- [JAXA - 基幹ロケットの再使用化による打ち上げコストの低減](#)

- [JAXA - 1 段再使用飛行実験（CALLISTO）プロジェクト](#)

<https://japan.hani.co.kr/arti/culture/56699.html>

日本も「再使用型ロケット」への第一歩…11メートル上昇、水平移動して着陸

登録:2026-07-15 06:19 修正:2026-07-15 08:21

クァク・ノピルの未来の窓 JAXA、地上燃焼試験から6年を経て実証段階へ突入

中国に続き日本も参入、ロケット再使用競争が激化



Experimental Reusable Rocket

2025.06.17



日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）が開発中の再使用型小型実験機「RV-X」が、11日に実施した飛行試験で、着陸に向けて垂直降下している＝JAXA 提供//ハンギョレ新聞社

日本のホンダが昨年実施した再使用型ロケットの飛行試験。ホンダは高度300メートルまでの垂直離着陸に成功したと発表した＝ホンダ提供//ハンギョレ新聞社

2003年、高度42メートルまで垂直離着陸に成功した日本のRV79号機＝JAXA 提供//ハンギョレ新聞社

中国が最近、ロケットの再使用に向けた中核技術である第1段目の推進体（ブースター）の回収に成功したのに続き、日本も再使用型ロケットの開発に関して意義深い最初のマイルストーンを刻んだ。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は11日、日本北東部の秋田県にある能代ロケット実験場で、再使用型小型実験機「RV-X（Reusable Vehicle eXperiment）」の初の垂直離着陸飛行試験に成功したと発表した。

今回の飛行は、中国が再使用技術を適用した「長征10B」ロケットのブースターの回収に成功した翌日に実施された。中国航天科技集団（CASC）が開発した再使用型ロケットは、着陸脚を使用する米国のスペースXの「ファルコン9」とは異なり、ネットを利用してロケットを4つのループで捉える。長征10Bは、衛星を目標軌道に投入することにも成功した。高さ7.3メートル、直径1.8メートルの日本の小型実験機RV-Xは、飛行試験で炎を噴き上げながら地上から約11メートルの高さまで上昇した。その後、空中で一時停止する「ホバリング飛行」を披露した後、約16メートル水平に移動した。最後に、機体下部に装着された4本の着陸脚を開き、垂直着陸した。目標としていた10メートルの上昇、15メートル水平移動を上回る成果だ。打ち上げから着陸までに要した時間は40秒だった。飛行試験が記録した数値自体は素朴なものだが、JAXAは再使用に必要な垂直離着陸と着陸、水平移動、エンジン出力の調整、着陸脚の制御など、主要な技術を検証する成果を収めた。これは2018年夏に初の地上燃焼試験に成功してから8年ぶりの成果であり、再使用技術が実際にロケットを空中に浮かべて垂直着陸させる実証段階に入ったことを意味する。

■ホンダも独自開発中…高度300メートルの飛行試験に成功

JAXAの研究チームは、今回の飛行に先立ち、エンジン燃焼試験だけで165回以上実施し、再使用型ロケットの中核となる「エンジンの耐久性」の確保に力を注いだ。日本の再使用型ロケット開発は、JAXAが日本最大の防衛・宇宙企業である三菱重工業（MHI）と共同で進めている。

この実験機は、JAXAがフランス国立宇宙研究センター（CNES）、ドイツ航空宇宙センター（DLR）と共同で進めている、実験機のブースター回収技術の革新を目指す国際共同プロジェクト「カリスト（CALLISTO）」に向

け、日本独自に進めている先行研究活動の結果だ。JAXA は、今回の飛行試験の結果をカリストの設計にも活用すると明らかにした。JAXA の次の目標は、高度を 100 メートルまで引き上げることだ。

日本では、JAXA や三菱重工業のほか、ホンダ自動車の子会社であるホンダ R&D も再使用型ロケットを開発している。ホンダは昨年 6 月、全長 6.3 メートル、直径 85 センチメートルのロケットが高度 300 メートルまで上昇し、1 分後に垂直着陸することに成功したと発表した。2029 年に準軌道への到達を目指している。

■30 年前に始めた日本…韓国はまだ構想段階

実はあまり知られていないが、日本の再使用型ロケットの研究開発の歴史は 30 年近くに及ぶ。現在は JAXA に統合された宇宙科学研究所が、1998 年から開発を始めた垂直離着陸ロケット実験機 RVT (Reusable Vehicle Testing) がその先駆けだ。円錐形のこの実験機は、2003 年に地上 42 メートルの高さまで垂直離着陸に成功した。2010 年代にはこの技術を基に再使用型観測ロケットの開発が進められたが実を結ばず、2016 年に JAXA の再使用型ロケット実験機「RV-X」プロジェクトが発足し、今日に至っている。

現在、日本の主力ロケットは、JAXA と三菱重工業が共同開発した「H3」だ。高さ 63 メートルの 2 段式ロケットの H3 は、液体酸素と液体水素を推進剤として使用し、6.5 トンの貨物を静止トランスファ軌道 (GTO) に打ち上げることができる。2024 年に初打ち上げに成功した H3 は、その後失敗と成功を繰り返したが、6 月の 7 回目の打ち上げは成功した。世界の衛星打ち上げ市場に本格的に参入するために開発された同ロケットは、20 年以上使用されてきた H2A の後継機種であり、H2A よりも部品点数を削減し、3D プリンティング技術を採用するなどの方法で打ち上げコストを下げた。韓国は「ヌリ号」の後継となる次世代ロケット開発事業として、再使用型ロケットの開発を推進している。2032 年の開発を目標とする次世代ロケットは、メタンエンジンを搭載した全長 70 メートル、直径 4.2 メートルの 2 段式ロケットとする方針が固まった。現在は予備設計段階にある。来る 11 月にエンジン予備設計検討会 (PDR) を開き、開発の方向性を点検する予定だ。

クァク・ノピル先任記者 (お問い合わせ japan@hani.co.kr)

<https://www.hani.co.kr/arti/science/technology/1268121.html> 韓国語原文入力 : 2026-07-14 18:07 訳 H.J

<https://wired.jp/article/china-long-march-10b-net-recovery/>

2026.07.12

中国がロケットを“網”で回収に成功、再使用技術で示した独自路線の勝算

中国が新型ロケット「長征 10 号 B」の打ち上げに成功し、空中で切り離した 1 段目を網のような機構を使って回収することに成功した。ロケットの再使用技術で先行する米国とは異なる方式を採用した強みとは？



Photograph: CASC

JAXA による小型実験機「RV-X」の飛行試験の様子。実験機は地上 11m の高度まで垂直に上昇してから空中で静止し、水平移動してから降下、着陸に成功した。Video: JAXA

中国が新型ロケット「長征 10 号 B」の打ち上げに成功し、海上に展開した網のような機構で 1 段目を回収することに成功した。 奇しくも同じ週に、日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) も、将来の再使用ロケットに向けた実験機の飛行試験に成功しており、宇宙輸送をめぐる競争は新たな局面を迎えつつある。

長征 10 号 B は、海南商業宇宙発射場から現地時間の 7 月 10 日 12 時 15 分に打ち上げられた。1 段目と 2 段目を切り離した 6 分後、1 段目はそのまま洋上に動力降下。大型の回収船「領航者」が 4 本のケーブルを「井」の字型に広げた状態で待機し、この格子状の網に引っかけるようにして「捕獲」した。このような機構で 1 段目の回収に成功した事例は世界初だという。

長征 10 号 B は全長 63m、直径 5m の 2 段式ロケットで、打ち上げ時の質量は 760 トンになる。1 段目はケロシンと液体酸素を用いたエンジン 7 基を搭載しており、合計 890 トンの推力を生み出す。再使用状態で地球低軌道に 16 トンのペイロードを運搬する能力をもつ。

垂直着陸とは異なる回収方式

これまで軌道打ち上げロケットの回収に成功していたのは、いずれも米国企業だった。垂直着陸という手法を確立した米国の [スペース X](#) の「ファルコン 9」は、陸上や海上の台船に自力で降り立つための着陸脚を備えており、すでに 600 回以上の着陸実績を [積み重ねている](#)。[ブルーオリジン](#) の「ニューグレン」も着陸脚を用いる方式を採用しており、2025 年 11 月に洋上の回収船へ 1 段目を [初着陸させ](#)、26 年 4 月に再使用機体の着陸にも [成功している](#)。長征 10 号 B が採用した網による捕獲方式は、この垂直着陸とは発想が異なる。1 段目には着陸脚の代わりにフックのような機構が取り付けられており、海上の回収船が 4 本のケーブルを「井」の字型に張りめぐらせて待ち構える。そこに降下してきた 1 段目の位置に合わせてケーブルを調整しながら、フックごと受け止める仕組みだ。1 段目に着陸脚を装備する必要がないことから、機体の軽量化につながり、ペイロードの容量を圧迫しにくいという利点がある。一方で、ケーブルを張りめぐらせる大型の支柱や緩衝装置などを備えた巨大な回収船が必要になるデメリットがあるほか、降下してくる 1 段目と回収船は正確に協調制御しなければならない。過去には中国でも、着陸脚を用いた垂直着陸に挑んだ例はある。「長征 12 号 A」や、民間企業ランドスペース（藍箭航天）の「朱雀 3 号」は着陸脚を備えていたが、いずれも 25 年 12 月の初打ち上げで軌道投入こそ計画通りに成功したものの、第 1 段の着陸試験は降下中に失敗している。

中国が再使用技術を確立する意味

軌道打ち上げロケットの回収は、これまで米国企業の独壇場だった。[スペース X](#) が繰り返し着陸を成功させたことなどで打ち上げコストは大幅に下がり、米国は市場で常に優位に立ってきた。中国が網方式での回収技術を確立したことは、この分野に事実上の競争相手が現れたことを意味する。

中国航天科技集団（CASC）は、今回使用した 1 段目を年内に再使用する意向を示しており、「今後もロケットの性能を最適化し、再使用型ロケット技術の反復的なアップグレードを加速させていく」と [表明している](#)。

長征 10 号 B は、低軌道への衛星インターネット網の展開や大型商業衛星の打ち上げにも対応するとされ、再使用によるコスト低減は中国の商業打ち上げ需要の獲得にもつながる可能性がある。

さらに、この打ち上げは中国の有人月面探査計画とも結びついている。今回の打ち上げは、新型有人宇宙船「[夢舟](#)」に使われる「長征 10 号 A」の 1 段目の実証飛行という位置づけでもあった。中央の本体の両側に同じ太さのブースターを 2 本取り付けた大型仕様の長征 10 号は、2030 年までに宇宙飛行士を月面に立たせるという中国の計画において、有人宇宙船と着陸船を月へと運ぶ役割を担う予定だ。

日本も大きな一歩を踏み出した

再使用ロケットの実現に向けて動き出したのは中国だけではない。日本の JAXA も 7 月 11 日に、秋田県能代市の施設で再使用ロケットの開発に向けた小型実験機「[RV-X](#)」の飛行試験を実施し、着陸に成功したのだ。実験機は、白い煙を上げながら地上 11m の高度まで垂直に上昇してから空中で静止。水平移動してから降下し、着陸するという一連の動作を披露した。

RV-X は上部が鉛筆のようにとがった円筒形の機体で、直径約 1.8m、全長約 7.3m。着陸用の脚を 4 本備えている。今回得られたデータは、ドイツとフランスと共同開発中で RV-X と同型のエンジンを搭載する実験機「[CALLISTO](#)」や将来の基幹ロケット再使用化に活用される予定だ。CALLISTO は 2026 年度中の飛行試験を予

定しており、今回よりも高い位置からの着陸に挑む計画だという。日本の主力ロケット「H3」はコスト半減を目指して開発されたものの、飛ばすたびに機体を廃棄する“使い捨て”であり、再使用機が台頭する市場で価格競争力をどう保つかが課題となっている。機体を再使用できれば、打ち上げ頻度の増加とコストの大幅な抑制につながり、海外の人工衛星の打ち上げ需要を獲得するうえでも強みになるとされる。今回は再使用ロケットの分野における垂直着陸というひとつの“答え”に対して、網による捕獲という別解が示されたかたちだ。米国が切り拓いた技術に中国が異なるアプローチで追随し、日本も独自に一步を踏み出した。ロケットを使い捨てにせず何度も飛ばすという発想は、もはや一部の企業だけのものではなくなりつつある。(Edited by Daisuke Takimoto)

<https://forbesjapan.com/articles/detail/100896>

2026.07.14 17:00

三大流星群のひとつペルセウス座流星群が到来、2026 年は当たり年 今週の夜空



[Jamie Carter | Contributor](#)



ペルセウス座流星群。2020 年 8 月 13 日撮影 (Jim Vajda from Oxford, Ohio, USA, CC BY 2.0

<<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>>, via Wikimedia Commons) [全ての画像を見る](#)

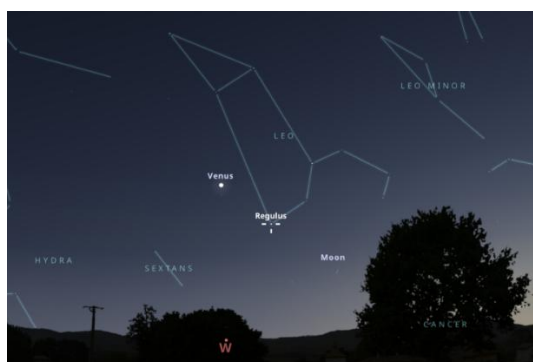
今週はいよいよ、夏を代表する流星群が三日月の宵に降り始める。

14 日は新月で、月が地球と太陽の間に入って私たちの目から姿をくらます。その後、月は日没後の宵の空に細く儚い姿で戻ってきて、しし座の 1 等星レグルス、「宵の明星」の金星と共演する。月の影の部分（夜側）がうっすら光って見える「地球照」と呼ばれる現象を肉眼で観察できる絶好の機会だ。折しも「三大流星群」のひとつで [見逃したくない夏の風物詩](#)となっている「ペルセウス座流星群」の活動も始まる。

2026 年 7 月 14 日からの 1 週間の夜空の見どころを紹介しよう。

7 月 14 日（火）：新月

新月の瞬間「朔」が訪れるのは日本時間午後 6 時 44 分。月は地球と太陽の間に位置し、太陽光に照らされた「昼」の側は地球に背を向けている。深宇宙の天体（星雲や星団、銀河）を観察するなら、この 1 週間で今夜が最も理想的だ。月明かりがないため、光害の影響の少ない場所では天の川が昇ってくる様子がよく見える。夜遅く～夜半過ぎの眺めはとりわけ見事だ。



大台ヶ原の天の川 (stock.adobe.com)

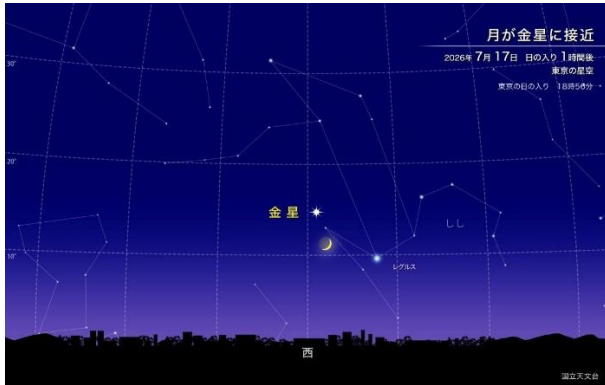
2026 年 7 月 16 日、日の入り約 45 分後（東京：午後 7 時 44 分）の西の空（Stellarium）

7 月 16 日（木）：三日月と地球照

日の入り約 45 分後に西の低空に目を凝らしてみよう。月齢 2 の繊細な三日月がかかっている。影の部分がうっすらと淡い光を伴っているのが見えるだろうか。これは、地球が反射した太陽の光が月面の夜の部分を照らしているもので、「地球照」と呼ばれる現象だ。三日月の左上方には、「宵の明星」の金星が明るく輝いている。

7 月 17 日（金）：細い月と宵の明星

日没後の西の空で、地球照を伴った細い月と明るい金星が接近して見える。金星はこの夏の間ずっと、宵の空の主演として輝き続ける。



夕方の空で細い月と金星が並ぶ（国立天文台）

ペルセウス座流星群 (Gabriel Gonzalez (noctografia) /500px/Getty Images)

[次ページ > 今年「当たり年」、ペルセウス座流星群がいよいよ到来](#)

ペルセウス座流星群が始まる

毎夏の恒例、ペルセウス座流星群が今週、活動期に入る。[米国流星学会](#) (AMS) によれば、流星の出現は 7 月 17 日から 8 月 24 日まで続くが、最も多くの流星が流れる極大夜は 8 月 12 日夜から 13 日未明にかけてとなる。13 日が新月のため、月明かりのない完璧な闇夜で流れ星が降り注ぐ注目一夜となるだろう。

スウィフト・タットル彗星 (109P/Swift-Tuttle) が太陽系内に残した塵や破片を起源とするペルセウス座流星群は、高速の明るい流星が多く、「火球」と呼ばれる特に明るく輝く流星が時折見られることで知られている。理想的な条件の整った暗い空の下では、深夜以降に 1 時間あたり 60~100 個の流星を観測できる。流星の出現率が最も高くなるのは夜明け前だ。今年は月明かりの干渉がないため「当たり年」とみていい。特に光害の影響の少ない場所では、ここ数年で最高のペルセウス座流星群が見られそうだ。なお、極大時刻（日本時間 8 月 13 日午前 11 時頃）の数時間前に、グリーンランド、アイスランド、スペインでは[皆既日食](#)が見られる。北米や欧州のその他地域では部分日食となる（日本では残念ながら見られない）。

満ちゆく三日月を観察しよう

今週は、日頃あまり星空を意識しない人であっても、新しい天体観測の習慣を始める絶好の機会だ。それは、新月から儚い三日月を経て、半月へと満ちてゆく月を観察することである。



地球照を伴った上弦の細い月 (stock.adobe.com)

「夏の三大角」と、その一角を占めること座。中央左上にひとときわ明るく輝くのがこと座の1等星ベガで、右下に暗い星が小さな平行四辺形を形づくっている (stock.adobe.com)

月は15日以降、きらめく星々を背景に夜ごと東へと移動しながら少しずつ高度を上げ、徐々に明るさを増してゆく。この動きは、月が地球の周りを約27日かけて公転しているのを反映している。

今週の星座：こと座

こと座は小さな星座だ。全天でも屈指の明るい星である1等星ベガ（織姫星、織女星）を主星とし、その傍らに暗い星がかわいらしい平行四辺形をかたちづくっている。ベガは天文学史において特別な存在といえる。約1万2000年前、この星は「北極星」、すなわち真北を示して動かない星だった。そして約1万2000年後には、再び北極星となる。これは地球の自転軸（地軸）が円を描くようにゆっくりと揺れているために起こる現象で、この地軸の動きを「歳差運動」という。また、ベガは「測光標準星」でもある。すべての星の明るさは、「0等星」であるベガを基準に測定される。(forbes.com 原文) 翻訳・編集＝荻原

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35250731.html>

冥王星フライバイを行った「ニューホライズンズ」、過去最長の眠りから目覚める

地球から 95 億キロの彼方で 2026.07.17 Fri posted at 15:40 JST



2015年7月、探査機「ニューホライズンズ」が冥王星と最大の衛星カロンに接近する様子を描いた想像図/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute

(CNN) 冥王星や太陽系の遠方の天体がかつてなく詳しく調査した米航空宇宙局(NASA)の探査機「ニューホライズンズ」が、過去最長の眠りから目を覚ました。ニューホライズンズはいま、地球から95億キロ離れた場所を飛行している。ニューホライズンズが予定通り休止モードに入ったのは2025年8月7日。先月23日になり、メインコンピューターに保存されていたコマンドを使って活動を再開した。

米ジョンズホプキンス大学応用物理学研究所のミッション管制官は、ニューホライズンズの状態は良好で、休眠中に収集したデータを氷の天体が集まる領域「カイパーベルト」から送信する準備が整っていると確認した。

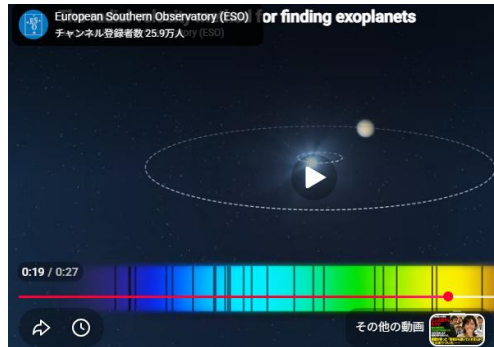
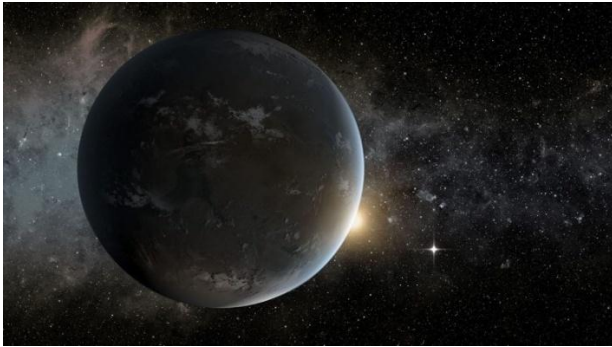
<https://sorae.info/astronomy/20260714-gj-3378-b.html>

25 光年先の太陽系外惑星「GJ 3378 b」ハビタブルゾーンを公転する岩石惑星の可

能性高まる 2026-07-14 2026-07-14  ソラノサキ

地球から約25光年先の太陽系外惑星「GJ 3378 b」が、これまで考えられていたよりも地球に似た環境を持つ可能性が浮上しました。カリフォルニア大学アーバイン校のPaul Robertson氏を筆頭とする研究チームによると、最新の高精度な観測によってGJ 3378 bの質量と公転周期が大幅に修正されたことで、生命を育み得る有望な候

補のひとつとして期待が高まっているといいます。研究チームの成果をまとめた論文は学術誌「The Astrophysical Journal」に掲載されています。



【▲ スーパーアースに分類される太陽系外惑星の想像図（Credit: NASA）】

【▲ 参考動画：太陽系外惑星の公転にともなって主星のスペクトルが変化する様子（Credit: ESO/L. Calçada）】

厚い大気に覆われていると考えられていた惑星

GJ 3378 b は、きりん座の方向にある赤色矮星「GJ 3378」を公転している太陽系外惑星です。質量は地球よりも大きくて海王星よりも小さく、ハビタブルゾーン（※）に位置するとみられることから、地球外生命探査のターゲットのひとつとして注目されてきました。※...大気を持つ惑星の表面に液体の水が存在し得る、恒星から一定の範囲にある領域。童話「3びきのくま」にちなんで「ゴルディロックゾーン」とも呼ばれる。テキサス大学オースティン校マクドナルド天文台の発表によれば、2024 年に初めて惑星候補として報告された当初、GJ 3378 b は質量が地球の約 5 倍、公転周期が約 25 日であると推定されていました。質量がこれほど大きな惑星は分厚いガスの大気を保持しやすく、地表は大気圧が強い過酷な環境である可能性が高いと考えられていました。

最新の観測で質量は地球の約 2.3 倍に下方修正

研究チームは今回、マクドナルド天文台のホビー・エバリー望遠鏡（HET）に搭載された赤外線分光器「HPF（Habitable-zone Planet Finder）」や、キットピーク国立天文台の WIYN 望遠鏡に搭載された分光器「NEID」などを用いて、GJ 3378 b の主星である GJ 3378 を詳細に観測しました。赤色矮星の GJ 3378 は表面温度が低く、主に赤外線を放射するため、HPF のように赤外線観測に特化した高精度な機器が威力を発揮します。

論文によると、これらの観測装置によって、公転する惑星の重力によって生じる恒星のわずかな動きが極めて高い精度で捉えられました。データを分析した結果、GJ 3378 b の公転周期は約 21.45 日へと短くなり、視線速度法（後述）で算出される最小質量（惑星の質量の理論上の下限値）も地球の約 2.3 倍へと下方修正されました。最小質量がこれまでの半以下になったことで、GJ 3378 b は分厚いガスに覆われた惑星ではなく、地球よりも質量の大きな岩石惑星、いわゆるスーパーアースである可能性が高まったのです。

大気の有無は？ 鍵を握る次世代の望遠鏡

従来の想定よりも地球に似た惑星である可能性が高まった GJ 3378 b ですが、直ちに生命の存在に結びつくわけではありません。研究チームによれば、GJ 3378 b は主星に近いため、恒星からの強い X 線や紫外線に長期間さらされています。そのため、強力な放射線によって大気が宇宙空間へ剥ぎ取られるかどうかを左右する境界線、いわゆる「Cosmic Shoreline（宇宙の海岸線）」の上に位置していると推測されています。

GJ 3378 b が現在も大気を保持しているか否かは、今回の研究ではわかっていません。この謎を解明する鍵となるのが、ESO（ヨーロッパ南天天文台）の ELT をはじめとする地上の次世代大型望遠鏡や、NASA（アメリカ航空宇宙局）が構想中の「ハビタブル・ワールド・オブザバトリー（HWO）」のような次世代宇宙望遠鏡です。

論文の共著者であるテキサス大学オースティン校の Michael Endl 氏は「究極の目標はバイオシグネチャー（生命の兆候）の発見です」と述べており、こうした次世代の手段による将来の直接観測に向けて、太陽系近傍の惑星をリストアップしておくことの重要性を強調しています。

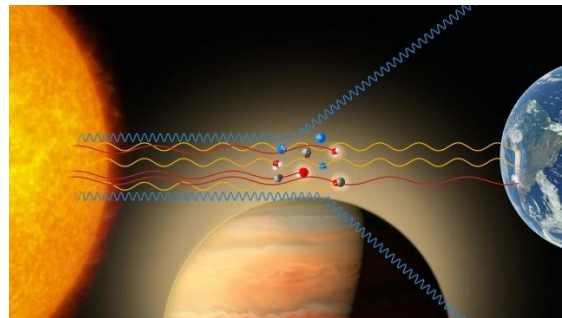
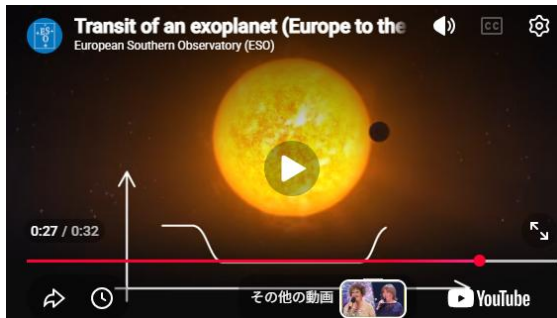
大気を保持しているのか、それとも剥き出しの大地が広がるのか。GJ 3378 b は、“人類は宇宙で孤独な存在なのか”という根源的な問いに答えるための、重要な道標のひとつとなるかもしれません。

参考：太陽系外惑星の観測方法について

太陽系外惑星の観測では「視線速度法（ドップラーシフト法）」および「トランジット法」という 2 つの手法が主に用いられています。「視線速度法」とは、太陽系外惑星の公転にともなって円を描くようにわずかに揺さぶられる主星の動きをもとに、惑星を間接的に検出する手法です。

惑星の公転にともなって主星が揺れ動くと、光の色は主星が地球に近づくように動く時は青っぽく、遠ざかるように動く時は赤っぽくといったように、ドップラー効果によって周期的に変化します。こうした主星の色の変化は、天体のスペクトル（電磁波の波長ごとの強さの分布）を得る分光観測を行うことで検出されています。

視線速度法の観測データからは、太陽系外惑星の公転周期や最小質量を求めることができます。



【▲ 参考動画：太陽系外惑星のトランジットによって恒星の明るさが変化する様子（Credit: ESO/L. Calçada）】

【▲ 参考画像：恒星（左）の光を利用して太陽系外惑星（中央下）の大気組成を調べる手法のイメージ図。太陽系外惑星の大気を構成する物質が一部の波長を吸収するため、大気を通過して地球（右）に届いた主星の光のスペクトル（透過スペクトル）を分析することで、惑星の大気組成を調べることができる。また、大気にヘイズ（もや）がある場合は青い光が散乱して、通過した光は少し赤くなる（Credit: ESO/M. Kornmesser）】

もう一つの「トランジット法」とは、太陽系外惑星が主星の手前を横切る「トランジット（transit）」を起こした際に生じる主星の明るさのわずかな変化をもとに、太陽系外惑星を間接的に検出する手法です。

繰り返し起きるトランジットを観測することで、その周期から惑星の公転周期を知ることができます。トランジット時の主星の光度曲線（時間の経過にあわせて変化する天体の光度を示した曲線）をもとに、惑星の直径や大気の有無といった情報を得ることも可能です。近年では、トランジットの周期に生じるわずかな変動をもとに、重力を介して相互作用する別の惑星を検出する手法「トランジットタイミング変動法（TTV 法）」も用いられるようになってきました。また、太陽系外惑星がトランジットを起こしている時の主星の光には、惑星の大気（存在する場合）を通過してきた光もわずかに含まれています。惑星の大気を通過してから届いた主星のスペクトルは「透過スペクトル」と呼ばれていて、惑星の大気に含まれる物質が特定の波長の電磁波を吸収したことで生じる暗い線「吸収線」が現れます。透過スペクトルを通常のスペクトルと比較すればどのような吸収線が現れているのかがわかるので、惑星の大気組成を調べることができます。 文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

- [どうやって生き延びた？ 白色矮星を公転する太陽系外惑星「WD 1856 b」をウェブ宇宙望遠鏡が観測](#)
- [「はやぶさ2」のカメラが太陽系外惑星を検出 口径 15mm での成功は最小記録](#)
- [ケンタウルス座で新たに2つの太陽系外惑星を確認 トランジット法では最長クラスの公転周期](#)

参考文献・出典

- [The McDonald Observatory - Nearby “Super Earth” May Be a Better Candidate for Life Than Previously Thought](#)
- [Robertson et al. - A Revised Mass and Period for the Habitable Zone super-Earth GJ 3378 b: A Planet](#)

https://sorae.info/astrophysics/20260718-beta-pictoris-d.html#google_vignette

がが座 β 星で 3 番目の太陽系外惑星を発見 10 年以上前から直接観測されていた

ことも判明

2026-07-18 2026-07-18

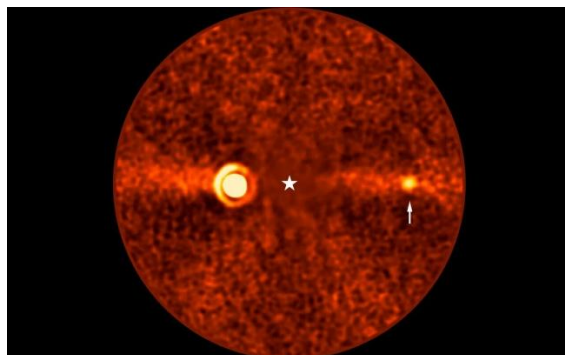


[ソラノサキ](#)

地球から約 63 光年の距離にある「がが座 β (ベータ) 星 (Beta Pictoris)」は、若い星の周囲でどのように惑星が形成されるのかを知る上で、天文学者たちが注目し続けてきた天体のひとつです。

今回、独立して研究を進めていた 2 つの研究チームが、がが座 β 星で 3 番目となる太陽系外惑星「がが座 β 星 d (Beta Pictoris d)」を発見したとする研究成果を発表しました。各チームの研究成果は、どちらも学術誌「The Astrophysical Journal Letters」に掲載されています。

ESO (ヨーロッパ南天天文台) や NASA (アメリカ航空宇宙局) によると、直接撮像によって 3 つ以上の惑星が確認された惑星系は、HR 8799 系に次いでがが座 β 星系が観測史上 2 例目となります。



【▲ がが座 β 星と 3 つの太陽系外惑星のイメージ図。中央右に描かれているのが今回発見されたがが座 β 星 d (Credit: Illustration: NASA, ESA, CSA, STScI, Ralf Crawford (STScI))】

【▲ ESO の VLT (超大型望遠鏡) が直接観測したがが座 β 星 d (矢印)。中央左の明るい天体はがが座 β 星 b で、★印の位置にあるがが座 β 星からの光はデータ処理時に除去されている (Credit: ESO/B. Sutcliffe, M. Bonse et al.)】

既知の惑星よりも暗くひっそりと輝く

誕生から約 2300 万年と若いのがが座 β 星の周囲には、惑星形成時の残骸といえる岩石や氷、それに塵 (ダスト) からなる「デブリ円盤」が広がっており、これまでも「がが座 β 星 b」および「がが座 β 星 c」という 2 つの巨大惑星が直接撮像されていました。

- [63 光年先の太陽系外惑星「がが座ベータ星 c」の直接観測に成功](#) (2020 年 10 月 10 日)

今回新たに見つかったがが座 β 星 d は、これまでの 2 つとは少し特徴が異なります。

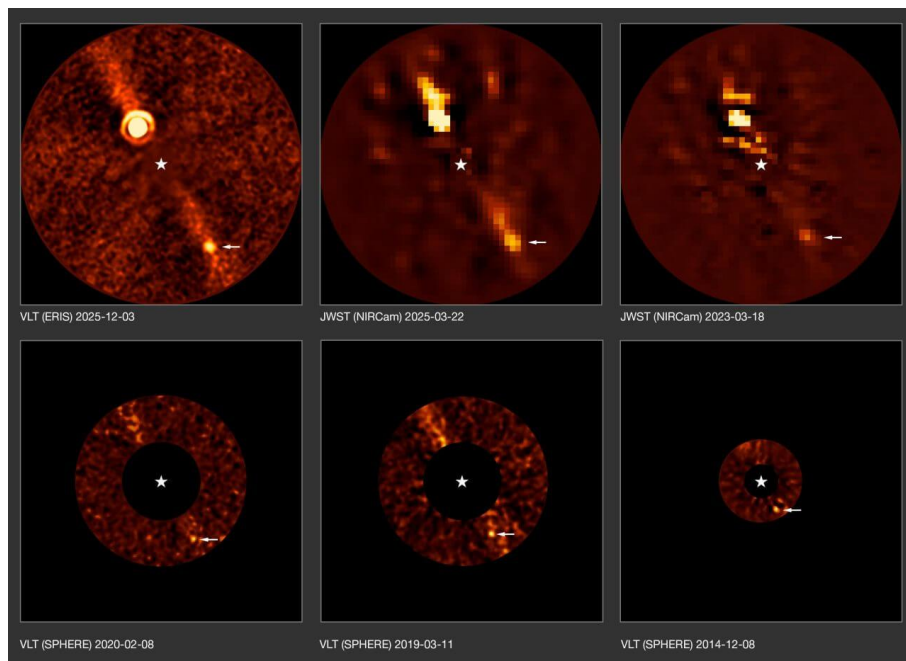
エディンバラ大学の Ben Sutcliffe 氏を筆頭とする研究チームの推定によれば、がが座 β 星 b とがが座 β 星 c の推定質量はどちらも木星の約 8.7 倍ですが、今回発見されたがが座 β 星 d の推定質量は木星の約 2.4 倍であり、これまで地上から直接撮像された太陽系外惑星の中ではかなり軽い惑星です。一方で、カリフォルニア大学サンディエゴ校の Aidan Gibbs 氏を筆頭とする研究チームの分析では、がが座 β 星 d の質量は木星の約 2~4 倍と推定されています。興味深いのは、その軌道と温度です。公転軌道の半径について、Sutcliffe 氏らは約 26 天文単位 (※太陽系でいえば天王星と海王星の公転軌道の間に相当)、Gibbs 氏らは約 30 天文単位 (※海王星の公転軌道付近に相当) と推定していますが、いずれにしても既知の 2 つの惑星よりも外側を公転していることになります。

また、表面温度について、Sutcliffe 氏らは約 600 ケルビン (約 330℃)、Gibbs 氏らは約 600~800 ケルビン (約

330～530℃）と推定していますが、これは他の太陽系外惑星と比べて相対的に低温です。そのため、がが座β星系で最初に発見されたがが座β星bと比べると100倍も暗く、きわめて微弱な光しか放っていません。

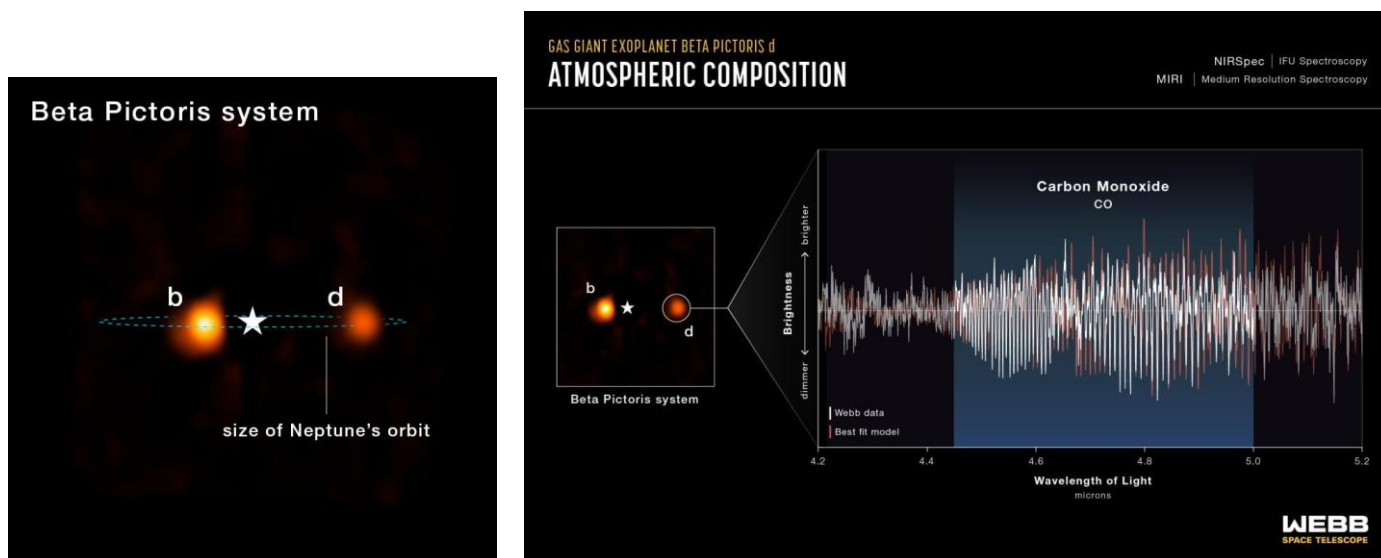
偶然に導かれた10年越しの発見

がが座β星は世界中の天文学者が観測してきた有名な星ですが、どうして今まで3番目の惑星が見つかっていなかったのでしょうか。Sutlieff氏らの論文タイトルを借りれば、10年越しの「かくれんぼ（Hide-and-seek）」だったと言えます。実は、2つの研究チームは両方とも、既知の惑星であるがが座β星bを調査する目的で観測データを分析していました。今回のがが座β星dの発見は、どちらも偶然の産物だったのです。



【▲2014年12月から2025年12月までの11年間にVLT（超大型望遠鏡）とジェームズ・ウェッブ（James Webb）宇宙望遠鏡で観測したがが座β星周辺の様子。★印の位置にあるがが座β星そのものからの光はデータ処理時に除去されているか、観測時に遮蔽されている。Sutlieff氏らによって、矢印の位置にがが座β星dが写っていたことが確認された（Credit: ESO/B. Sutlieff, M. Bonse et al.）】

Sutlieff氏らのチームは、ESOが運用するパラナル天文台のVLT（超大型望遠鏡）で取得したデータを分析していたところ、がが座β星bとは異なる微かなシグナルに気がつきました。そこで、過去11年分のアーカイブデータを徹底的にチェックした結果、主星であるがが座β星や、既知の惑星であるがが座β星bの明るい輝きにまぎれるようにして、がが座β星dは何年にもわたって写り込んでいたことが明らかになったのです。



【▲ ジェームズ・ウェッブ（James Webb）宇宙望遠鏡の NIRSpec（近赤外線分光器）のデータから再構成されたがか座 β 星 b とがか座 β 星 d。水色の破線は海王星の公転軌道のサイズを示す（Credit: Image: NASA, ESA, CSA, STScI; Science: Aidan Gibbs (UC San Diego), Jean-Baptiste Ruffio (UC San Diego); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI)）】

【▲ ジェームズ・ウェッブ（James Webb）宇宙望遠鏡の NIRSpec（近赤外線分光器）で観測したがか座 β 星 d のスペクトル。特徴的な一酸化炭素の連続した吸収線が現れており、視線速度の算出を通じてがか座 β 星と重力で結びついていることも確認された（Credit: Image: NASA, ESA, CSA, STScI, Leah Hustak (STScI); Science: Aidan Gibbs (UC San Diego), Jean-Baptiste Ruffio (UC San Diego), Alexis Bidot (STScI); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI)）】

一方、Gibbs 氏らのチームは、ジェームズ・ウェッブ（James Webb）宇宙望遠鏡の「NIRSpec（近赤外線分光器）」を使ってがか座 β 星 b を調査していた時に、予期せぬシグナルに遭遇しました。

巨大惑星の大気でよく見られる一酸化炭素の存在を示すスペクトル（※電磁波の波長ごとの強さの分布）の特徴を見出した Gibbs 氏らは、視線速度（※運動する天体における観測者の視線方向に対する速度）の算出を通じてがか座 β 星と重力で結びついていることを確認するとともに、ウェッブ宇宙望遠鏡の「MIRI（中間赤外線観測装置）」による追加観測の結果、がか座 β 星 d の水蒸気とメタンを検出することに成功しています。

惑星形成を理解する上で重要な観測対象に

今回の発見の意義は、「がか座 β 星系で既知の惑星がひとつ増えた」というだけに留まりません。がか座 β 星の周囲に広がるデブリ円盤は、星から約 30~50 天文単位的位置で、内縁部がくっきり途切れているという特徴があります。この構造は、星から約 2.7 天文単位および約 10 天文単位を公転する、既知の 2 つの惑星による影響だけでは説明できません。NASA によれば、天文学者は以前から、今回発見されたがか座 β 星 d のような惑星が存在するはずだと予測していたといいます。今回発見が報告されたがか座 β 星 d の質量と公転軌道はデブリ円盤の構造を説明できる可能性があり、円盤の内縁部を削り出した原因である可能性が示唆されています。ただし、がか座 β 星 d の発見をもって円盤のダイナミクスをすべて説明できると結論づけるのはまだ早く、今後のさらなる観測が必要とされています。がか座 β 星 d よりもさらに外側に、別の惑星が存在する可能性も排除されていません。



【▲ 公転するがか座 β 星 d の位置が 11 年間で変化する様子を示した動画（英語）（Credit: ESO/B. Sutcliffe, M. Bonse et al.）】

同じ環境で生まれた 3 つの太陽系外惑星を比較できるようになったがか座 β 星系は、惑星がどのように形成され、大気がどう進化していくのかを解き明かす上で、非常に貴重な観測対象となります。

今後は、ウェッブ宇宙望遠鏡による継続的な観測や、ESO が建設を進めている次世代の大型望遠鏡「ELT」の登場によって、がか座 β 星系のさらなる秘密が明らかになるかもしれません。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

- [25 光年先の太陽系外惑星「GJ 3378 b」ハビタブルゾーンを公転する岩石惑星の可能性高まる](#)
- [どうやって生き延びた？ 白色矮星を公転する太陽系外惑星「WD 1856 b」をウェブ宇宙望遠鏡が観測](#)
- [「はやぶさ 2」のカメラが太陽系外惑星を検出 口径 15mm での成功は最小記録](#)

参考文献・出典

- [ESO - Faintest planet ever imaged from Earth found after more than 10 years of hide-and-seek](#)
- [NASA Science - NASA's Webb Discovers Hidden Planet in Famous Star System](#)
- [Sutcliffe et al. - Direct Imaging Discovery of Giant Exoplanet \$\beta\$ Pictoris d: A Decade-long Game of Hide-and-seek \(The Astrophysical Journal Letters\)](#)
- [Gibbs et al. - Discovery of an Exterior Third Planet Orbiting \$\beta\$ Pictoris \(The Astrophysical Journal Letters\)](#)

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35250586.html>

星間空間で初めて糖を検出、生命の鍵握る化合物 新研究

2026.07.15 Wed posted at 11:38 JST



スピッツァー宇宙望遠鏡の赤外線カメラが捉えた、天の川銀河

の中心部/NASA/Caltech/Susan Stolovy (SSC, Caltech)

(CNN) 天文学者たちが、ラズベリーにも含まれる天然の糖を星間雲の塵（ちり）とガスから検出した。当該の星間雲は天の川銀河の中心付近に存在する。この甘い発見は、生命に不可欠な化合物が恒星間の広大な空間でも形成され得ることを初めて示す事例となった。これを受けて、生命の起源にとって重要な他の分子も宇宙で見つかる可能性があるとの期待が高まっている。スペインの宇宙生物学センターの天文学者が率いる研究チームが今回検出した糖はエリトルロースと呼ばれ、炭素原子4個を含む。糖は生命システムにおいて重要な役割を果たす。具体的にはエネルギーの供給や、生体構造の構築、RNA や DNA などの遺伝物質の一部を形成するのに寄与する。観測には、マドリード北部のイエベス天文台にある電波望遠鏡と、スペイン南部シエラネバダ山脈にあるミリ波電波天文学研究所（IRAM）の電波望遠鏡の2基を使用。銀河中心付近にある G+0.693-0.027 として知られる分子雲を観測した。研究者たちは、分子雲から得られた電波データに含まれる分子の特徴的なシグナルを実験室で測定したエリトルロースの波長パターンと比較することで、この糖を特定した。当初、研究チームは炭素原子3個からなるより単純な糖を探したが、発見には至らなかった。研究結果は13日、学術誌「ネイチャー・アストロノミー」に掲載された。マドリードの宇宙生物学センターおよびスペイン国立研究評議会の天文学者、イサク・クン・ヒメネスセラ氏は電子メールで取材に答え、「我々の発見は、恒星や惑星が誕生する前の星間空間ですでに、比較的複雑な糖が合成され得ることを示している」と述べた。

この研究は、エリトルロースが宇宙空間の氷に覆われた塵の粒子上で比較的単純な分子から生成され、その後さらに複雑な化学系の一部となる可能性があることを示唆している。研究によれば、科学者たちはこれまで天の川

銀河の星間空間に存在する物質やガスの中から 340 種類を超える分子を検出しているが、糖は見つかっていなかった。科学者たちは長年にわたり、糖分子が地球上で最初にどのように形成されたのかについて疑問を抱いてきた。実験室での研究では、地球の歴史のごく初期に存在したと考えられる極限環境下において、糖は容易には形成されないことが示されている。リボースやグルコースといった糖が、原始的な隕石（いんせき）や 2020 年に小惑星ベンヌから採取した試料から検出されたことにより、一部の糖は宇宙に起源を持つ可能性があるとして科学者たちは考えるようになった。インペリアル・カレッジ・ロンドンで地球科学・工学科の教授を務めるマーク・セプトン氏は糖について、小惑星が形成される過程で取り込まれ、その後隕石によって地球表面へ運ばれた可能性があるとして指摘した。同氏は今回の研究には関与していない。東北大学大学院理学研究科地学専攻の古川善博教授は、ベンヌのサンプルから糖を発見した研究チームの一員として、糖が彗星（すいせい）や小惑星の塵を介して地球や他の惑星に到達し得ることには同意する一方で、生命がどのように誕生したのかという過程は依然として不明だと述べた。研究者らの推定によると、「後期重爆撃期」として知られる時期にはこうした糖が 50 万～5000 万トン分地球表面に降り注いだ可能性がある。これは約 40 億年前、小惑星が太陽系の中心寄りの惑星を激しく襲った時期を指す。ただこのような「重爆撃」が実際に起こったかどうかについては、依然として科学的な議論が続いていると米航空宇宙局（NASA）は指摘している。エリトルロースはラズベリーやその他のいくつかの果物にごく微量含まれている。また肌の表面層と反応して日焼けしたような見た目をもたらすことから、セルフタニングやブロンジング製品など化粧品の成分としても製造されている。「エリトルロースの検出は非常に胸躍る成果だ。というのも、RNA の構成要素であるリボースや、生命の起源にとって重要な他の分子など、別の糖類が宇宙空間で発見される可能性に道を開くからだ」。論文の共同著者であり、スペイン国立研究評議会および宇宙生物学センターの分子進化研究者を務めるカルロス・ブリオネス氏は声明でそう述べた。

<https://www.bbc.com/japanese/articles/ckgdn4ypyk5o>

遠い恒星の地球型惑星で大気を初確認、生命居住可能領域の内側



画像提供, Melissa Weiss/Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian

画像説明, 系外惑星 LHS1140b の想像図

Published 2026 年 7 月 18 日

パラブ・ゴーシュ 科学担当編集委員

地球から遠くにある恒星のハビタブルゾーン（生命居住可能領域）内を公転する、地球に似た岩石惑星で、初めて大気存在が確認された。研究者らはこの発見について、地球に似た環境を持つ惑星が太陽系外にも存在する可能性を示す、これまでで最も強力な証拠だと述べている。この惑星の大気からは、生命維持には適さないヘリウムが検出された。しかし、他のガスも存在している可能性がある。同研究の筆頭著者、米ハーヴァード大学のコリン・チェルビム博士は、この発見を「大変なことだ」と評した。

「他の恒星のハビタブルゾーンにある岩石惑星で、初めて大気が発見された事例だ」

「LHS1140b」と呼ばれるこの惑星は、地球から 48 光年離れた場所にある。私たちの太陽よりもはるかに小さく低温の、赤い恒星の周りを公転している。遠方の恒星を周回する惑星は、これまでに 6000 個以上発見されている。しかし、今回の新発見は、科学における最大の目標の一つ、「別の惑星における生命の発見」に一歩近づくと

いう意味で、非常に重要な意義を持つ。科学誌「サイエンス」に掲載された論文で研究者らは、少なくとも今のところは、この目標はまだ実現していないと明言している。

ハビタブルゾーンとは、地球と似た生命が存在できるとされる天文学上の領域のこと。生命の存在には水が必要で、そのためには、惑星が恒星から適切な距離にある必要がある。近すぎると暑くなりすぎ、遠すぎると寒くなりすぎる。その中間、つまり「ちょうど良い」距離でなくてはならない。そのため宇宙研究者らはこの領域を、童話「三匹のくま」に登場する、おかゆの温度にこだわる少女「ゴルディロックス」にちなみ、「ゴルディロックスゾーン」とも呼んでいる。これまでに数百もの惑星が、それぞれの恒星のハビタブルゾーンで発見されているが、そのうち、地球のように小さく岩石質の惑星はわずか数十個しかない。この性質も、惑星の生命をはぐくむ能力を示す証拠の一つだ。しかし、こうした惑星に大気が存在することは確認されていなかった。

これまでは。だが、これまでに大気中で発見された気体は、おそらく上層大気に存在しているヘリウムだけだ。ヘリウムだけでは、生命を維持することはできない。しかし、もっと生命維持に適したガスが、より低い層に存在する可能性もある。ハーヴァード大のデイヴィッド・シャルボノー博士は、重要なのは、太陽系外に大気を持つ地球型惑星が発見されたことだと述べた。「多くの人はいたい、根本的な大疑問に関心を持っている。つまり、私たちは孤独なのか？ 地球外、あるいは太陽系の外に生命は存在するのか？——という疑問について」

「今回の研究は、太陽系外の恒星のハビタブルゾーンにある岩石惑星で、初めて大気が見つかったことを示すものだ」と、シャルボノー博士は述べた。「LHS1140b」は、生命探査の対象となっている唯一の天体ではない。2019年には、サブ・ネプチューン（質量が地球と海王星の中間の惑星）の「K2-18b」で、[史上初めて大気中から水蒸気が検出された](#)。2023年には、[地球上では生物からしか生成されない硫化ジメチル（DMS）が発見されたこと](#)で、再び話題となった。しかし、2025年に米航空宇宙局（NASA）主導で行われた再分析では、その痕跡は弱すぎて確認できず、DMSガスは生物の関与なしに形成される可能性があることが示された。

赤色矮星（わいせい）「TRAPPIST-1」の七つの岩石惑星も、依然として興味深い存在だ。NASAのジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は、そのうちの一つ「TRAPPIST-1d」に地球のような大気は存在しないと結論づけた一方、「TRAPPIST-1e」のデータについては依然として決定的な結論が出ていない。

（英語記事 [First atmosphere found on Earth-like planet in habitable zone of distant star](#)）

<https://forbesjapan.com/articles/detail/101176>

2026.07.19 09:09

スペースXの先にある、はるかに大きな宇宙経済

[Charlotte Kiang | Contributor](#)



Adobe Stock スペースXが上場企業となって4週間が経つが、その評価額に対する審判はまだ下されていない。株価が135ドル（約2万円）のIPO価格から日中最高値の225ドル（約3万円）超まで上昇し、その後150ドル（約2万円）付近まで戻すなか、その時価総額はおおむね1.9兆ドル（約308兆円）から2.3兆ドル（約373兆円）の間で乱高下している。この株価変動の一部は、浮動株の3分の1近くが空売りされているという需給面によるものだが、残りは真の謎を反映している。すなわち、スペースXには市場で比較できる明確な競合が存在しないということだ。同社は宇宙企業として知られているが、そのバリュエーションはロケットや人工衛星をはるかに超え、AI企業の買収や、AT&Tとベライゾンに対抗する消費者向けモバイルネットワーク計画の報道にま

で及んでいる。これは、私たちが購入するもののどれだけ多くが、宇宙企業とは決して呼ばないような企業を通じてであっても、すでに宇宙を経由しているかを思い起こさせる。

2026 年において「宇宙」企業であることには、どのような意味があるのだろうか。スペース X の成功が市場の他の部分にどのような影響を及ぼすかは、「宇宙」がどれほど広く定義されるかによって決まる。大半の人々はロケットの打ち上げや宇宙飛行士のミッションを思い浮かべるが、そこにおけるスペース X の圧倒的な優位性は言わずもがなである。しかし、宇宙はそれほど単一なものではなく、宇宙がもたらすものの多くは打ち上げ台から遠く離れた場所で起きている。地図アプリを支えるナビゲーション、天気予報の背景にあるデータ、国家安全保障を支える人工衛星などだ。その広大な市場において、スペース X の役割は多様だ。一部のセグメントを完全にリードする一方で、所有はせずとも他社を支援する立場に回るセグメントもあり、さらに別のセグメントではバリューチェーンにほとんど関与していない。この分野の大半の企業にとって、スペース X は脅威というよりも、自社が基盤とするインフラの一部である。同社に真っ向から挑もうとする企業はほとんどなく、その成功によって直接的・間接的に恩恵を受けている企業の方がはるかに多い。フロンティア技術の市場は一般的にこのように成熟していく。民間航空の歴史は有用な前例だ。1950 年代後半から 1960 年代のジェット機時代には、ボーイング、ダグラス、コンベアといった多くのアメリカの製造業者が参入したが、その後の数十年間で淘汰が進み、米国で圧倒的な地位を築いたメーカーはボーイング 1 社となり、1970 年にはヨーロッパからエアバスがこれに加わった。しかし、トップ企業が統合される一方で、周辺産業は拡大を続け、エンジンメーカー、アビオニクス（航空電子機器）サプライヤー、リース会社、整備ネットワーク、あらゆる規模の航空会社からなる巨大なエコシステムが形成された。そして、機内 Wi-Fi のように、かつては誰も予想し得なかったビジネスが今や当たり前のものとなっている。宇宙ビジネスも同じ軌道の初期段階にあり、今後さらなる成長の余地が残されている。

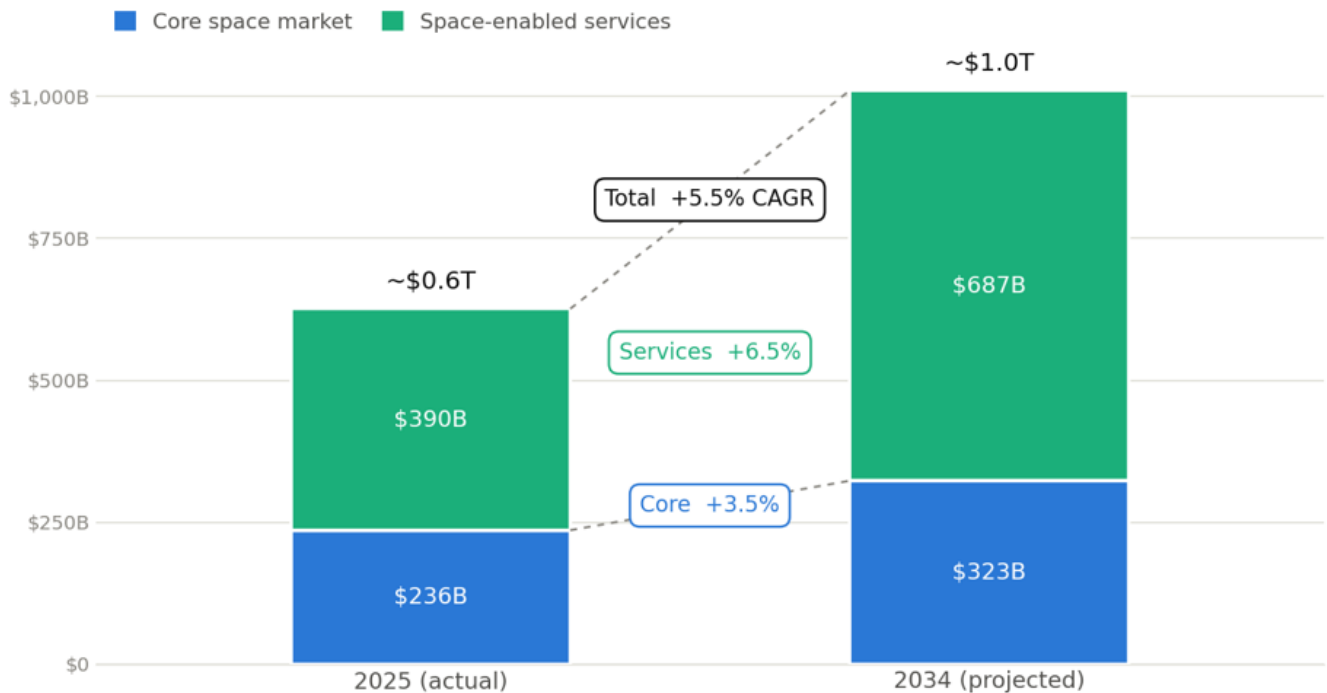
今日の投資家や事業者にとって、これらすべてが示唆するのは、宇宙における機会はスペース X よりもはるかに大きいということだ。そして、どこでどのように勝負するかを選択するには、いくつかの次元で市場を理解する必要がある。すなわち、機会の大きさ、需要が伸びている分野、スペース X や他の既存企業の周辺にある隙間（オープニング）、そして何が勝者を分かつのか、という点だ。

グローバルな宇宙経済の規模を測る

世界の宇宙経済の規模はすでに巨大だ。ノバスペース（Novaspace）の最新の宇宙経済レポートによると、2025 年時点で 6260 億ドル（約 102 兆円）に達しており、2034 年までに 1 兆ドル（約 162 兆円）を突破すると予測されている。しかし、より示唆に富むのは、その価値がどこにあるかだ。ノバスペースは、この経済を 2 つのレイヤーに分類している。ロケット、人工衛星、地上システムからなる「コア市場」と、その上に構築される、衛星ナビゲーションやブロードバンド、地球観測画像などに代表される、はるかに規模の大きい「宇宙応用サービス」のレイヤーだ。サービスレイヤーはすでに全体の 3 分の 2 近くを占めており、コア市場の年率約 3.5% の成長に対し、約 6.5% とより急速に成長すると予想されている。

Global space economy expected to surpass \$1T USD by 2034

Annual revenue, with compound annual growth 2025-2034



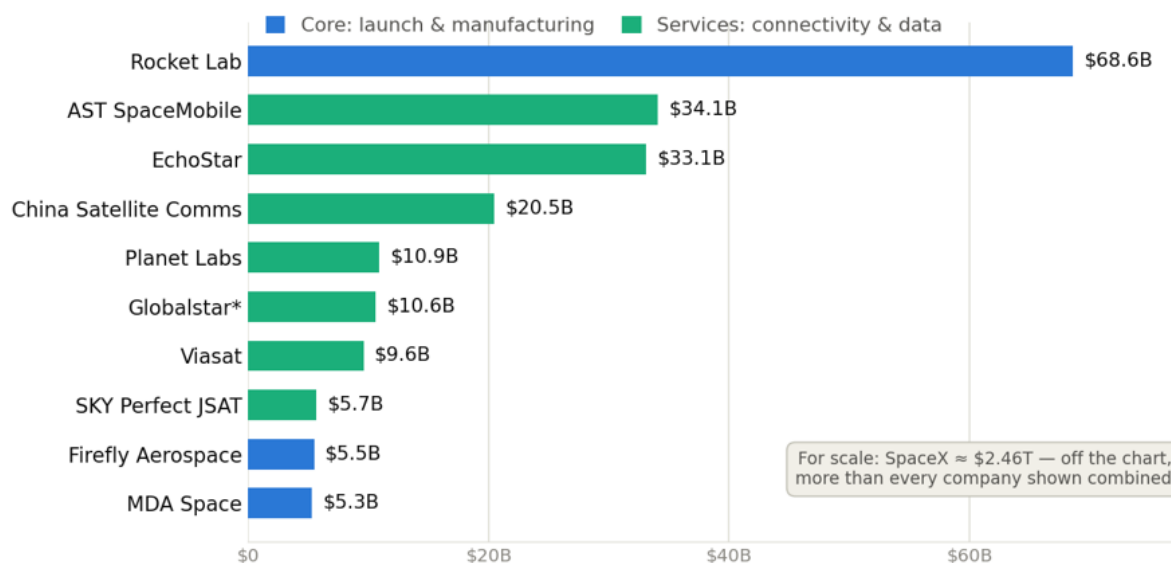
Source: Novaspace, Space Economy Report. 2025 actual; 2034 projected. Services figures derived as total minus core space market.

世界の宇宙経済の成長予測（2025～2034 年）Charlotte Kiang

コアレイヤーは、これまで何年もそうであったように、今後も着実に成長し続けるだろう。政府の防衛支出は常にそのアンカー（支え）であり、現在もそれは変わらない。今日の最も明確な例は、計画されている 1850 億ドル（約 30 兆円）規模の米国のミサイル防衛シールド「ゴールデン・ドーム（Golden Dome）」である。その最も費用がかかる構成要素は、宇宙を基盤とする追跡・迎撃衛星のレイヤーだ。こうした支出は信頼できるものの、政府の予算枠によって上限が画されており、これほど成熟したセグメントで指数関数的な成長を遂げることは考えにくい。今後も進化し続ける可能性を秘めているのは民間資本の信頼だ。政府だけでなく民間産業も大規模な打ち上げや製造を必要としていることを投資家が認識するにつれ、民間資金の流入が加速している。スペース・キャピタル（Space Capital）の集計によると、民間投資家は 2009 年以降、コア市場に 1280 億ドル（約 20 兆 8000 億円）以上を投じており、そのうち約 260 億ドル（約 4 兆 2200 億円）は過去 1 年間だけで投入されたものだ。しかし、サービスは、新規バイヤーの流入や、かつては宇宙を二の次と考えていたものの現在はその足跡を拡大している大企業に後押しされ、今後の市場の真の成長エンジンになると予想されている。一例を挙げると、かつては主に政府やインテリジェンス（情報機関）のツールだった地球観測画像は、現在では、作物の生育状況を追跡する農家や、パラメトリック気象保険の価格設定を行う保険会社、軌道上からサプライチェーンを読み取る金融機関に対して、サブスクリプション型の分析サービスとして販売されている。スペース X のようなエンドツーエンドの宇宙企業にとって、この新たな需要は直接的および上流（アップストリーム）の双方にメリットをもたらす。なぜなら、サービスが増えれば、より多くの人工衛星と打ち上げが必要になり、成長速度はより緩やかであるにせよ、その恩恵を受けてコア市場が成長するからだ。このパターンは何年も前から形成されており、現在の公開市場においては疑いようのない事実となっている。スペース X を除けば、上場している最大規模の宇宙企業のほとんどは、ハードウェアメーカーではなくサービス事業者なのだ。これらの企業が上場を果たしたこと自体、このトレンドが何年もかけて定着しもはや単なる予測の段階をはるかに過ぎていることを反映している。

Top 10 publicly listed space companies by market cap (excluding SpaceX)

Market capitalization, US\$ billions — as of June 15, 2026



Source: CompaniesMarketCap (market capitalizations as of June 15, 2026). Core vs. services classification by author.

Excludes SpaceX (≈\$2.46T) and diversified defense primes (Boeing, Lockheed Martin, RTX, Northrop Grumman).

*Globalstar has agreed to be acquired by Amazon, expected to close in 2027.

時価総額順の主な上場宇宙企業 Charlotte Kiang

このような文脈において、スペース X のサービス分野への拡大は抜け目のない動きである。市場で最も急速に成長しているレイヤーに足がかりを得ることで、リカーリング（継続的な）収益を生み出し、打ち上げビジネス単体よりもはるかに大きな野望の資金源とすることができる。スペース X がダウストリーム（下流）への展開を続けるなか、すべての事業者や投資家は、自社のポジションをどこに築き、どのように守るかを検討するにあたり、これと同じ市場背景に対峙しなければならない。

次なる波が起きている場所

宇宙における活動は何年も前から加速しており、5 年前なら不条理に思えたほどのペースで、新興企業がユニコーン企業の評価額を達成している。これらの企業の一部は、スペース X のおかげで存在している。同社が主導した安価で日常的な打ち上げへの移行により、10 年前には存在し得なかった、まったく新しいビジネスのカテゴリーが成立するようになったからだ。また別の企業は、同社が残した隙間（ギャップ）を埋めている。スペース X の目標は常に人類を火星に送ることであり、その旅の資金を調達するために、スターリンクなどいくつかの焦点を絞った収益源を利用している。そのため、市場の残りの部分は他社に開かれたままになっているのだ。市場が成長するにつれて、機会も拡大する。市場の拡大は、単一の企業が埋められるよりも早く、また 1 社が賢明にカバーしようとする範囲を超えて、ホワイトスペース（未開拓領域）を創出する。

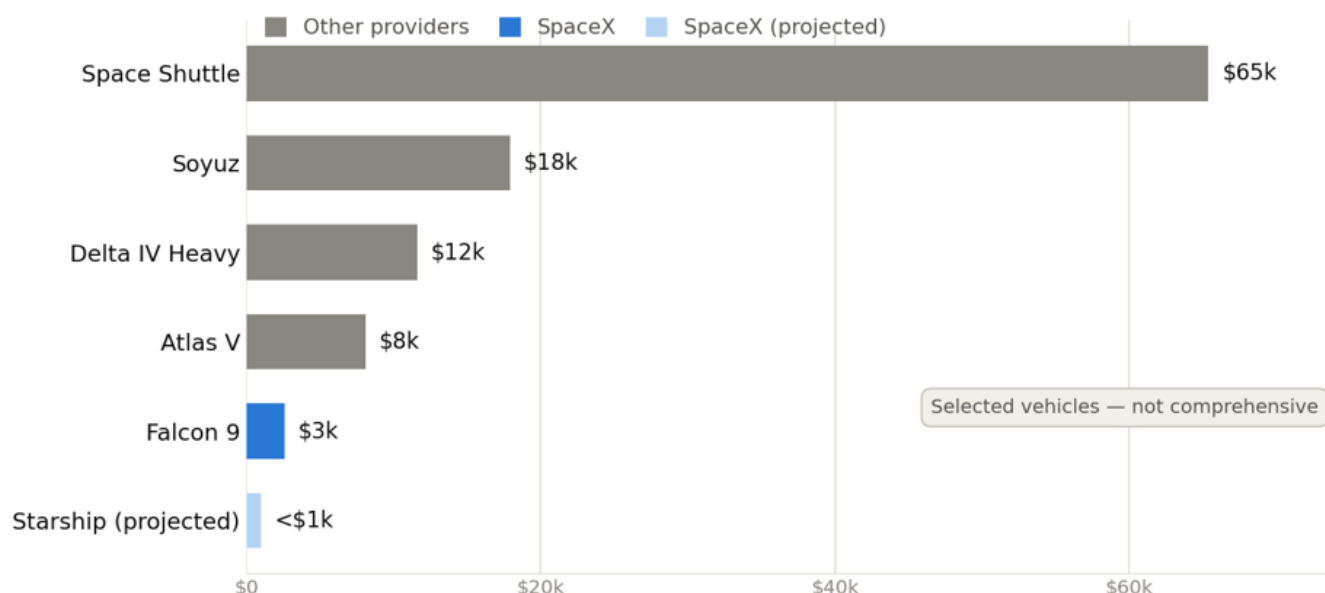
1. 打ち上げコストの低下によって開かれた市場

軌道に到達するためのコストは、スペースシャトル時代の 1 キログラムあたり約 6 万 5000 ドル（約 1060 万円）から、現在では 3000 ドル（約 48 万円）未満へと劇的に低下しており、スターシップ（Starship）はそれをさらに引き下げることを約束している。打ち上げが安価になり、ハードウェアが標準化されるにつれて、企業はハードウェアを極めたり、所有したりすることすらなく、宇宙に進出できるようになっている。例えば K2 スペース（K2 Space）のように、他社のためにハードウェアを製造する企業もある。同社は、スターシップが実現する予定の重量物打ち上げ能力に合わせてサイズ設計された、異例の大型かつ低コストの人工衛星用バスを設計している。また、リースが一般的な航空業界の手法を取り入れた企業もある。現在、衛星リースによって事業者は宇宙

機を所有する代わりにレンタルできるようになり、新規参入企業に資金面での余裕をもたらしている。さらに、軌道上にある既存のフリート（群）の維持管理を行い、衛星の燃料補給や位置調整、寿命延長、混雑した軌道に残されたデブリ（宇宙ゴミ）の回収を行う企業もある。コスト低下というこれと同じ論理が、民間宇宙ステーション、宇宙空間での製造、軌道上データセンター、宇宙太陽光発電などへの投資の背景にあり、それぞれが軌道上での実現可能性を確保するために、より安価なアクセスをあてにしている。

Launch costs have fallen over 90% since the Shuttle era

Cost to launch 1 kg of mass to low Earth orbit, by launch vehicle



Source: CSIS Aerospace Security Project (constant 2021 US\$, unit flyaway cost). Starship reflects SpaceX's stated target, not yet demonstrated.

低軌道（LEO）への 1kg あたりの打ち上げコスト Charlotte Kiang

2. 規模よりも専門性が活きるユースケース

宇宙において規模は強力な武器であり、上場している最大手事業者の多くは、その執拗な追求によって現在の市場価値を築いてきた。しかし多くのユースケースは規模を報いない。軍事、科学、企業向けの買い手は、大衆市場向け数量には至らず、スループットよりカスタマイズを重視する専用システムを引き続き必要とするからだ。静止軌道はその一例で、単一地域を固定的に見渡すという特性から、コンステレーションが低軌道に押し寄せてもなお不可欠であり続けている。両技術は次第にマルチオービット（複数軌道）ネットワークへと統合されつつあり、ビアサット（Viasat）からアストラニス（Astranis）まで、既存および新規の事業者が活躍できる余地がある。他にも、月面探査車のように独自ニッチを切り拓いた専門事業者がいる。ハードウェアの打ち上げが日常化するにつれ、こうしたオーダーメイド能力への需要は、誰が製造するかにかかわらず伸び続ける可能性が高い。

3. 既存の主カロケットが想定していないペイロード

重量、目標軌道、ペイロード（積載物）の容積、スケジュールなど、すべてがどのロケットが適しているかを決定づけるため、あらゆるミッションに最適な単一のロケットというものは存在しない。スペース X は現在、世界の軌道上への打ち上げの約半分（2025 年は 165 回、軌道に運ばれた重量の 80% 以上）を担っているが、同社の輸送機は自社のミッション向けに製造されている。ファルコン 9（Falcon 9）は単一の小型衛星にとっては過剰性能（オーバースペック）であり、スターシップは平たく梱包されたスターリンク端末向けに設計されたディスプレイを通じてペイロードを放出するため、効率的に対応できる寸法や軌道が制限される。特定の軌道を目指す小型衛星が、他社の都合に合わせたルートの相乗り（ライドシェア）を何ヶ月も待つ理由はほとんどない。ロケット・ラボ（Rocket Lab）の「エレクトロン（Electron）」はまさにその隙間を埋め、専用のペイロードを顧客

独自のスケジュールで正確な軌道へと運んでいる。需要は高まっており、エレクトロンは2025年に前年の16回から増加して過去最多の21回のミッションを飛行し、100%の成功を収めた。

次なる勝者はいかにして差別化を図るか

機会があることと、容易に勝てることは同じではなく、宇宙セクターにおける競争は依然として激しい。勝者を分かつ強み（希少な資源、構築に何年もかかる社内能力、そして企業の拠点や誰に報告義務を負うかによって決まる立場など）を迅速に揃えることは困難であり、だからこそ、近年の相次ぐM&Aの多くは、これらを獲得するための競争のように感じられるのだ。

1. 有限の資源

最もシンプルな強みは、競合他社が作り出すことのできない希少な資源を支配することだ。現在、最も顕著な例が周波数帯（スペクトラム）であり、最近の取引は、買い手がそれを確保するためにどれほどの資金を支払うかを示している。スペースXは、スターリンクの「ダイレクト・トゥ・セル（携帯端末との直接通信）」サービスを強化するために、エコスター（EchoStar）のAWS-4およびHブロックのライセンスをおおよそ170億ドル（約2兆7600億円）で買い取った。また、アマゾンもグローバルスター（Globalstar）を約116億ドル（約1兆8800億円）で買収することに合意したが、これも主に他では入手できない周波数帯を獲得し、規制当局の審査待ちという何年ものプロセスを回避するためだ。一度ある周波数帯が認可されると、買収でもしない限り、他のすべての企業はそれを手に入れることができなくなる。そのため、現在の保有企業を買収することが唯一の参入経路となることが多い。周波数帯だけでなく、軌道上の位置（軌道スロット）も同様の希少性に支配されている。これらは先着順で割り当てられるため、最大手のコンステレーション事業者は競合他社に先んじて申請を行うべく競い合っている。打ち上げサイトの容量や、規制当局が新たな打ち上げを認可するペースも同様の制約を受ける。業界が混雑し大手プレーヤーがそれぞれのシェアを確保するにつれてこれらの資源の希少性は高まっていく。

2. 構築に長いリードタイムを要する能力

人命の安全に関する認証や、機密性の高い業務に求められるセキュリティクリアランス（適性評価）など、一部の強みは確立し、認証を受け、顧客との信頼関係を築くまでに、どうしても何年もの歳月がかかる。実績のある大手の防衛プライム企業は、自らの分野でその地位を確立するために何十年も費やしてきた。一方で、いくつかの新規参入企業は、アンドゥリル（Anduril）が自社の自律制御技術やセンシング技術を宇宙部門に持ち込んでいるように、隣接する分野からそれを取り入れている。新しいシステムの認証も同様のパターンを辿る。アイレオン（Aireon）は、欧州の規制当局から認可されている唯一の宇宙ベースの航空交通監視サービスであり、イリジウム（Iridium）が今年、同社を完全に子会社化しようとしているのもそれが理由の一部だ。大規模な製造能力も同じリストに挙げられる。大規模な生産ラインを立ち上げるには、工場の建設と従業員の習熟（経験曲線効果）の双方において何年もかかるからだ。このラインを内製化することは、単一の事業者が打ち上げ、製造、そしてその上に重なるサービスまでを支配する「垂直統合」への広範な動きの一部である。バリューチェーン全体を統制することは、それを構築するために要する年月と資本に十分見合う価値があると賭けているのだ。これらの強みを構築するには非常に長い時間がかかるため、すでにそれらを保有している企業を買収することが、多くの場合、より迅速な近道となる。

3. 主権と国家的なアライメント

米国のビジネス報道は国内のプロバイダーに焦点を当てがちだが、宇宙市場がインフラとして扱われるようになるにつれ、その多くは、システムがどこで構築され、どの国の法律が適用されるかを重視する政府によって資金提供され、または支えられている。最近の動向がこれを証明している。中国は、スターリンクや米国のサプライヤーに依存しなくて済むよう、独自の巨大コンステレーション（メガコンステレーション）のエコシステムを構築している。また、近年の紛争を経て海外のネットワークへの依存を警戒する欧州は、完全にEUの管轄下にある安全なコンステレーション「IRIS²」に106億ユーロを投じている。これと同じ本能が政府の調達方法を変え

ており、各国の軍は独自のクローズドなシステムよりも、相互運用可能な 3GPP ベースの標準規格を義務付ける傾向を強めている。適切な国に拠点を置き、同盟国の標準規格に準拠し、機密業務を託されるだけの信頼を得ている企業は、他社が容易に構築できない強みを持っている。外部の企業が参入するための最も確実な方法は、国内企業を買収して現地子会社として運営することだ。英国の BAE システムズ (BAE Systems) は、米国の宇宙受託企業ボール・エアロスペース (Ball Aerospace) を 55 億ドル (約 8930 億円) で買収した際に、まさにこれを行った。買収された同社は現在、親会社の関与が及ばないようファイアウォールで保護された体制が敷かれており、機密性の高い業務を保護することで、引き続き米国政府へのサービス提供を行っている。

次に来るもの

その歴史の大半において、宇宙はビジネスである前に研究課題であった。ロケットを再利用したり、ビジネスを立ち上げられるほど安価に飛行させたりすることはおろか、確実に軌道に到達させることができるかどうかが問われていた。クリスチャン・ダベンポートは著書『宇宙を夢見る大富豪たち (原題: The Space Barons)』の中で、スペース X やブルーオリジン (Blue Origin) を含む一世代の企業が、ごく少数の大富豪たちが、一般の投資家なら誰も支援しないような未証明の技術に個人資産を注ぎ込んだからこそ存在し得たのだと描写している。今、取り払われつつある障壁は「確信 (belief)」、すなわち、宇宙が本当に持続可能なビジネスになり得るのかという、長年にわたる疑問である。宇宙企業が公開市場で世界最高峰の評価額を記録した IPO は、その疑念が薄れつつあることを示すこれまでに最も明確な兆候だ。その成功は、スペース X と競争しているか、あるいはその傍らでビジネスを構築しているかに関わらず、分野全体の水準を引き上げている。民間資本も同じ結論を導き出している。四半世紀にわたりジェフ・ベゾスが保有するアマゾンの株式のみによってほぼ資金を賄ってきたブルーオリジンは、1300 億ドル (約 21 兆 1000 億円) の評価額で 100 億ドル (約 1 兆 6200 億円) という初の外部資金調達を発表した。大富豪による絵に描いたような無謀な挑戦 (ムーンショット) でさえ機関投資家からの資金を受け入れるようになった今、かつての疑念が解消されつつあるのは明らかだ。宇宙が単なる実証の場ではなく「市場」となった今、勝つために必要な要素は変化している。かつてはゲームのすべてであったエンジニアリングは、今や参入コスト (最低条件) に過ぎず、それだけで企業を際立たせるには不十分である。ここからの勝者は、どこで勝負し、どのように勝つかについて明確なビジョンを持つ企業、すなわち、どのような隙間に向けて自社が構築され、どの強みを守り抜くことができるかを理解している企業になるだろう。より多くの資本が流入するなか、今日の創業者たちは前世代よりも大きな夢を描くことができる。小惑星の採掘は途方もない計画に聞こえるかもしれないが、少し前までは再利用型ロケットも同様だった。そして両者のケースにおいて、疑念の本質は技術的な問題よりも深い部分にあった。ライト兄弟が初めて空を飛んだとき、本当に問われていたのは機械が作動するかどうかではなく、飛行という行為が見世物以上のものになり、いつの日か一般の人々が何も考えずに利用するものになり得るかということであった。宇宙ビジネスは何十年もの間、これと同じ「中間」の状態、つまり「素晴らしいが、まだ当たり前ではない」という状態に置かれていた。今、変わりつつあるのは、宇宙技術が私たちをどこへ連れて行ってくれるかをようやく想像できる段階に達したこと、およびそれを形にするための資本と確信が、史上初めて揃ったことである。(forbes.com 原文)