

【更新】さらば H-IIA ロケット、種子島から最後の旅立ち。いぶき GW 打上げ成功

掲載日 2025/06/29 01:37 更新日 2025/06/29 05:35 著者：マイナビニュース テクノロジー編集部

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は6月29日、H-IIA ロケット 50 号機を打ち上げた。種子島宇宙センター 大型ロケット発射場から1時33分3秒に離昇した50号機は順調に飛行を続け、打上げ後約16分07秒に地球観測衛星「いぶき GW」を正常に分離、所定の軌道への投入に成功した。



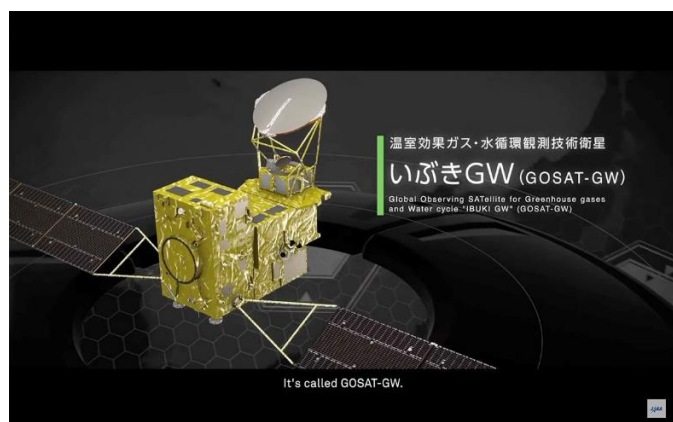
H-IIA ロケット 50 号機の離昇直後の姿 (撮影：大塚実氏)

種子島宇宙センターを後にする、H-IIA ロケット最終号機 (撮影：大塚実氏)

H-IIA50 号機は、日本の基幹ロケットとして20年余りにわたって運用を続けた H-IIA シリーズの最終号機。宇宙航空研究開発機構(JAXA)や三菱電機らが開発した、温室効果ガス・水循環観測技術衛星「いぶき GW」(GOSAT-GW)の軌道投入が最後のミッションとなる。

2001 年の初号機打ち上げ以来、H-IIA は「はやぶさ 2」などの探査機や、日本の重要な人工衛星、海外の商業衛星など、さまざまなペイロードを宇宙へ送り届け、日本の宇宙開発における重要な役割を果たしてきた。今回の 50 号機をもって退役し、H3 にその役割を引き継ぐ。

いぶき GW は、海面水温など水循環に関わる状況や、温室効果ガスの種類や濃度を、宇宙から観測する機器を搭載した“ハイブリッド衛星”。高性能マイクロ波放射計 3(AMSR3)と、温室効果ガス観測センサ 3 型(TANSO-3)を積んでおり、衛星本体と各搭載センサは主に三菱電機が開発を担っている。



いぶき GW(GOSAT-GW) (JAXA 公式 YouTube チャンネルのライブ配信より。以下同)

2012 年に打ち上げられた「しずく」(GCOM-W) (同)

いぶき GW の位置づけは、2012 年に打ち上げられた「しずく」(GCOM-W)の水循環変動観測ミッションと、2009 年に打ち上げられた「いぶき」(GOSAT)、2018 年打ち上げの「いぶき 2 号」(GOSAT-2)の温室効果ガス観測ミッシ

ョンを発展的に継続するものとされている。

同衛星の詳細については、秋山文野氏による[レポート記事](#)を参照のこと。また、「いぶき GW」という愛称に込められた意味については、H-IIA 50 号機の打ち上げ前ブリーフィング取材した大塚実氏の[連載記事](#)で報じている。



2009 年に打ち上げられた「いぶき」(GOSAT)、2018 年打ち上げの「いぶき 2 号」(GOSAT-2) (同)

JAXA は打ち上げ後、いぶき GW からの信号を同日 1 時 51 分(日本標準時)にオーストラリアのミンゲニュー局で受信し、太陽電池パドルの展開が正常に行われたことを確認。続いて 2 時 12 分(同)に南極大陸のトロール局でも信号を受信し、衛星の太陽捕捉制御が正常に行われたことを確認した。

現在のいぶき GW の状態は正常であり、JAXA では引き続き、プライムメーカーである三菱電機をはじめ、衛星運用に携わる企業、機関等とともに着実に取り組むとしている。なお、マイナビニュース TECH+では、種子島で現地取材を続けている大塚実氏の連載「[H-IIA ロケット最終号機現地取材](#)」と、鳥嶋真也氏が H-IIA ロケットのこれまでの歩みを振り返る連載「[翔べ H-IIA 技術の粋と不屈の情熱が拓いた宇宙への道](#)」を掲載中だ。どちらの連載も、ぜひ一読いただきたい。H-IIA ロケット 50 号機による温室効果ガス・水循環観測技術衛星の打上げ成功について(阿部俊子 文部科学大臣の談話) 本日、H-IIA ロケット 50 号機の打上げに成功し、搭載していた温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)が所定の軌道に投入されたことを確認いたしました。H-IIA ロケットは今回の 50 号機が最終号機であり、この打上げ成功により、2001 年の運用開始以降 50 機中 49 機が打上げ成功となり、高い信頼性を示すことができました。技術的に難易度の高い新型エンジンを開発し、2003 年の 6 号機打上げ失敗を技術者が一丸となって乗り越え、現在に至るまで絶え間なく改善を重ねて、有終の美を飾ることができたことを大変喜ばしく思います。これまで努力を重ねてきた関係者の皆様に、心から敬意を表したいと思います。また、H-IIA ロケットは、これまで地球観測衛星「だいちシリーズ」や測位衛星「みちびき」、気象衛星「ひまわり」、深宇宙探査機「はやぶさ 2」など、防災・減災から宇宙科学に至るまで、幅広い分野で価値を創出する多様な衛星を打ち上げてまいりました。これにより、国民生活の向上や、我が国の宇宙開発利用の発展に大きく貢献したと考えています。更に、民間移管を経て、国内の政府衛星のみならず、企業・大学や海外機関が開発した衛星など、様々な主体に輸送手段を提供することができ、我が国の国際競争力の強化にも貢献したと考えています。今回打上げた GOSAT-GW は、JAXA と環境省が共同で開発した衛星であり、温室効果ガス濃度や、海面水温等の高度な測定を可能とするものです。気候変動や防災・減災、水産業など、幅広い分野で貢献することを期待しています。文部科学省としては、今後は後継となる H3 ロケットの打上げや高度化を着実に進め、我が国の宇宙活動の自立性確保や技術力向上、産業振興、国際競争力強化等につながるよう、引き続き、宇宙開発利用を積極的に推進してまいります。

<https://forbesjapan.com/articles/detail/80066>

2025.06.23 10:30

地球の自転が加速中、「最も短い 1 日」に備えよう



Shutterstock.com

地球の自転速度がまもなく史上最速を記録するかもしれない。

2020 年以降、地球の自転は加速傾向が続いており、国際原子時（TAI）のアルゴリズム ALGOS が 1973 年に導入されて以来「最も短い 1 日」を毎年のように更新している。自転 1 周期の時間（自転時間）の最短記録は昨年、2024 年 7 月 5 日に観測されているが、世界時計アプリ timeanddate.com によると、今年 7 月 9 日、7 月 22 日、8 月 5 日にも、1 日の長さが最短記録に迫ることになりそうだ。

地球の自転に基づく 1 日の長さは平均 24 時間になるよう定められており、これは 8 万 6400 秒に相当する。2020 年まで地球の自転は徐々に減速する傾向にあり、自転時間の最短記録は 8 万 6400 秒より 1.05 ミリ秒短いただけだった。しかし、2020 年 7 月 19 日の地球は、基準より 1.47 ミリ秒も短い時間で 1 回転した。2024 年 7 月 5 日は、1.66 ミリ秒とさらに短かった。2020 年以降、1 日の長さが 8 万 6400 秒より短い日は 28 回観測されている。そして、timeanddate.com のほか、地球の自転や基準座標系にまつわるデータを取りまとめる国際機関である国際地球回転・基準系事業（IERS）や米海軍天文台も、地球は来月 9 日、同 22 日、8 月 5 日に再び速く自転すると予測している。地球の自転速度が変わるのには月の位置が関係している。地球は月の引力に引っ張られており、月の位置によって潮の満ち引き（潮汐）が起こる。赤道付近ではこの潮汐力が引き起こす潮汐摩擦（海水と海底との摩擦）の影響が大きくなり、自転に対するブレーキとして作用する。したがって長期的にみると、月は地球の自転速度を徐々に遅らせていることになる。1 日の長さの正確な測定は、原子時計と IERS によるモニタリングによって行われている。

地球の自転、なぜ加速？

2020 年以降に地球の自転が加速している理由は、科学的に解明されていない。地球のコアやマンツルの動き、氷床や氷河の融解による質量の移動、海流や大気の動きの変化など、さまざまな要因が関係していると考えられており、これらはすべて 1 日の長さにミリ秒単位で影響を及ぼし得る。また、地球の自転軸（地軸）が極付近でわずかに振動する「チャンドラー揺動（チャンドラーウォブル）」と呼ばれる現象が原因の可能性もある。

「負のうるう秒」が必要になる？

原子時計が刻む「原子時」と、地球の自転に基づく時刻とのズレを解消するため、世界は国際的な取り決めによって「うるう秒」を追加して時刻を調整してきた歴史がある。しかし現在、地球の自転は遅くなるどころか加速しつつあるため、1 秒を追加するのではなく、逆に削除する「負のうるう秒」の導入が検討されている。

IERS は今月初め、2025 年 6 月末にうるう秒による調整を行わない方針を[確認した](#)。前回のうるう秒実施は 2016 年 12 月末で、1 秒が追加されている。現在の自転の加速は一過性のものにすぎず、長期的な減速傾向は変わらない可能性もあるため、科学者らも対応に迷っているのが実情だ。

なぜこれが重要なのか

地球の自転が加速し、1 日の長さがミリ秒単位で短くなったところで、大した違いはないと感ずるかもしれない。だが、この事実は、正確な時刻を世界中で維持するためには非常に重要なのだ。GPS（全地球測位システム）や衛星測位システム、正確なタイムスタンプを必要とする金融システムの運用や、世界中のネットワークの同期には、地球の自転に基づく時刻と原子時の整合性を保つことが不可欠なのである。（forbes.com 原文） 翻訳・編集＝荻原藤緒

光合成をしない植物が「葉」をもつ理由が明らかに

進化の過程で光合成をやめた植物の一種であるギンリョウソウには、いまでも葉が退化した器官が残っている。その謎に東京都市大学の研究チームが迫った。



Photograph: rockptarmigan/Getty images

Photograph: PICCOLOGEOGRAPHIC/Getty images

純白の鐘のような花を咲かせる「ギンリョウソウ（銀竜草）」は、アジア固有の菌従属栄養植物だ。東アジアから東南アジア、さらには日本全土に広く分布し、針葉樹林や広葉樹林の湿った腐植上に生育している。地上に顔を出すのは4月から8月の開花期のみで、その部分は5cmから20cmほどに成長する。菌従属栄養植物とは、自身では炭素を合成せず、地下に共生する菌類から間接的に樹木由来の栄養を受け取って生きる植物を指す。つまり、光合成をなくても生きていける植物だ。世界には約530種、日本には約70種の菌従属栄養植物が分布しているとされる。葉緑素をもたないギンリョウソウは全体的に色が白く、葉は小さな魚のうろこのように薄く平たい器官へと退化している。この鱗片葉には光合成能力がない一方、地上部の17%もの質量を占めている。本来なら必要ないはずの“葉”がそれだけ残されているわけだが、その理由は長らく謎に包まれていた。そしてこのほど、東京都市大学の研究チームはギンリョウソウの地上部に含まれる各器官の形態と質量を精緻に測定し、鱗片葉が担う役割を明らかにしたのだ。

花との関連性

研究チームは今回、静岡県内の森林に生育するギンリョウソウの41個体を対象に、花弁や萼（がく）、雌しべ、雄しべといった花器官と、鱗片葉のサイズの相関を調べた。すると、花の花器官と鱗片葉のサイズには、有意な正の相関があることがわかった。小さな鱗片葉をもつ個体は小さな花を、大きな鱗片葉をもつ個体は大きな花をつけていたのだ。



PHOTOGRAPH: TOKYO CITY UNIVERSITY

PHOTOGRAPH: TOKYO CITY UNIVERSITY

Photograph: Shohtaroh Iwasaki/Getty Images

Photograph: Yusuke Naraki/Getty Images

さらに、研究者たちが鱗片葉と萼、花弁の表皮細胞を比較したところ、鱗片葉の細胞はほかの器官よりも明らかに小

さく、発達が抑制されていることが確認できた。つまり、鱗片葉は形としては残っているものの、組織レベルですでに光合成機能をもたない状態へと退化していることが裏付けられたのである。それでも鱗片葉が完全に失われていないのは、花器官との発生的なつながりが残っているからだと考えられる。研究者たちによると、植物の花は進化的には葉が変化したものであり、花弁や萼、さらには雄しべと雌しべも、かつては葉と同じ器官だったという。このことから、花を形成するには、その発生過程である一定の葉の組織が必要とされるという仮説が導かれる。こうした視点は、植物発生学で広く知られる「ABC モデル」とも論理的に整合するという。これは花の各器官の特徴が特定の遺伝子の組み合わせによって決まるという考え方で、花器官をつくる遺伝子がもともと葉の形成にも関与していたことから、遺伝子の働きを完全には切り離せない——。つまり、光合成をしないからといって葉の形成が完全に失われるわけではないという遺伝的制約を受けるのだと、研究者たちは考えている。実際、ギンリョウソウの花はマルハナバチ類のような訪花昆虫（植物の花を訪れて蜜や花粉を集める昆虫）によって受粉する。昆虫を引き寄せるには、ある程度の大きさと適切な形態の花を維持する必要がある、そのために鱗片葉を維持していると解釈できるのだという。研究チームは今後、ギンリョウソウ以外の菌従属栄養植物や、同じツツジ科の近縁種、さらにはラン科などの完全非光合成植物にも対象を広げて、花器官と葉状器官の関係性を解析していく計画だという。こうした比較研究が進めば、植物の進化における器官の保存と機能の分化に関する理解がより深まるかもしれない。

このように、光合成をやめた植物でも、花を咲かせる以上は葉の役割を完全に放棄したわけではない。かつて炭素を固定していた器官は、花を支える構造基盤として、ひっそりとその使命を果たしているのである。ギンリョウソウの鱗片葉に刻まれた進化の痕跡は、決して無意味なものはないと静かに語っているようだ。

<https://sorae.info/esn/20250625-moon.html>

月の表面が表と裏で違うのは“塩素”の影響？ 2025-06-252025-06-25 [ソラノサキ](#)

表側と裏側では表面の特徴が異なる、地球の月。

その違いをもたらした理由に迫る研究成果を、愛媛大学の研究者らのチームが発表しました。

月の表側では“塩素”の影響が強かった可能性



【▲ NASA の木星探査機「ガリレオ」が 1990 年 12 月の地球スイングバイ時に撮影した月。向かって右が表側、左が裏側（Credit: NASA/JPL）】

月は、原始地球に火星サイズの「ティア」と呼ばれる天体が衝突したことで誕生したと考えられています。

当時の月の高温・高圧環境を模倣して実験を行った研究チームは、月の表側の地殻では裏側と比べて塩素が多く含まれている可能性を突き止めました。

この違いは、気化した塩化化合物が表側の地殻に取り込まれたことで生じたと研究チームは結論付けました。

塩素は揮発しやすく、マグマには溶解みにくい特徴があることから、月の表側で広大な「海」を形成した火山活動

や、天体衝突にともなうガスの放出に関連しているのではないかと考えられています。

また、月の裏側の地殻はこうした塩素の影響を受けておらず、より始原始的な月の状態が保存されている可能性があると考えられています。

アポロ計画などで採取されたサンプルは月の表側に集中していることから、月の裏側に着陸した中国の「嫦娥 6 号」が持ち帰ったサンプルの分析に研究チームは期待を寄せています。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

- [“第 2 の月” だった小惑星「2024 PT5」が、本当に月の破片であると判明](#) (2025 年 2 月 8 日)
- [中国の月探査機「嫦娥 6 号」が月の裏側で採取したサンプルは 1935.3 グラム](#) (2024 年 6 月 29 日)

参考文献・出典

- [愛媛大学 - ハロゲンが解き明かす月地殻の形成過程](#)
- [Jing et al. - Halogen abundance evidence for the formation and metasomatism of the primary lunar crust \(Nature Communications\)](#)

<https://wired.jp/article/tiny-glass-beads-on-the-moon-reveal-ancient-explosive-eruptions/>

2025.06.23

月面で発見された“ガラスビーズ”の謎が、半世紀ぶりに解き明かされた

かつてアポロ 17 号の宇宙飛行士が採取した月面のガラスビーズの正体が、このほど解き明かされた。表面に残されていた目に見えない鉱物の痕跡から明らかになったこととは？



1972 年の「アポロ 17 号」で月面に到着した宇宙飛行士による探査活動の様子。Photograph: Universal History Archive/Universal Images Group/Getty Images

月面で発見されたガラスビーズの顕微鏡写真。Photograph: Katharine Robinson and G. Jeffrey Taylor, Nature Geoscience, 2014

1972 年に[月面](#)への最後の有人着陸を果たした「[アポロ 17 号](#)」の宇宙飛行士たちは、月面のクレーターで予想外の光景を目の当たりにした。モノクロの岩石や塵に混じって、まばゆいオレンジ色のガラスビーズが無数に散らばっていたのである。直径 1mm にも満たないこれらのビーズは、数十億年前の火山噴火によって飛散したマグマが真空中で急冷されてできたものである可能性が、のちに明らかになっていた。

このガラスビーズのサンプル採取から半世紀以上を経て、その表面に残されたナノ鉱物の詳細を初めて読み解くことに、米国の研究チームが[成功した](#)。アポロ計画で最初に人類がサンプルを手にした当時には存在しなかった分析技術を駆使することで、ビーズの表面に形成された微細鉱物の構造を精密に観察したのである。その結果、これらのビー

ズは単なる“記念品”ではなく、月の内部や大気に相当する火山ガスの情報を封じ込めた天然のカプセルとして再評価されている。「これらのビーズは月面下の記憶をとどめる貴重な資料なのです」と、研究チームのメンバーであるワシントン大学セントルイス校准教授で物理学が専門の[ライアン・オグリオーレ](#)は説明する。

元素が語る噴火当時の様子

研究チームは今回、アトムプローブトモグラフィー（APT）や走査電子顕微鏡（SEM）、透過型電子顕微鏡（TEM）、エネルギー分散型 X 線分析装置（EDS）、[高分解能二次イオン質量分析計（NanoSIMS）](#)といった複数の最新分析技術を組み合わせて、月面で採取されたガラスビーズを分析した。その結果、ビーズの表面には厚さがわずかに数十ナノメートルの揮発性元素の層が沈着していることがわかった。この層は硫化亜鉛（ZnS）を主成分とする盛り上がった微小な突起構造で、その基底部には鉄（Fe）が集積していた。これは高温高压の火山ガスが急速に冷却されて減圧していく過程で、鉄が沈着した後に亜鉛が析出（液体や気体の状態から固体が分離して現れる現象）したことを示している。APT を使った微量元素分析では、亜鉛（Zn）と硫黄（S）が 1 対 1 の割合で結びついて、硫化亜鉛を形成していることが確認された。また、極めて微量の銅（Cu）も存在していた。研究者たちによると、これらの元素が沈着した場所や順番を調べることで、噴火後のガス雲の中でビーズが晒されていた環境の変化が明らかになるという。さらにビーズ表面の構造は一様ではなく、針状の結晶や不定形の塊、薄膜状の構造体など、多様な沈着形態が観察できた。これらの形状の違いは、それぞれが異なる温度や圧力の条件下で形成された可能性を示唆している。つまり、個々のビーズが噴火雲の内部でたどった軌道や滞留時間が大きく異なっていたということだ。

惑星進化の新たな手がかり

特筆すべきは、硫黄同位体の分布にも明瞭な傾向が見つかったことである。NanoSIMS を用いた測定では、外縁部に近いほど軽い硫黄同位体が優勢であり、内側に向かって徐々に重い同位体が増えていた。この違いはガスの希薄化や酸素分圧の変化に伴うもので、凝縮過程における時間の推移を反映している。ちなみに NanoSIMS とは、高エネルギーのイオンビームで微小試料を破碎して、元素や同位体の組成を高精度で測定する装置だ。ワシントン大学では、惑星間の塵や隕石に含まれる始原粒子、太陽系起源の微細なデブリの研究に数十年にわたって[活用されてきた](#)。

このほか、化学的な沈着順序には揮発性成分の比率が関与していることも明らかになった。なかでも、亜鉛が塩化亜鉛（ ZnCl_2 ）ではなく硫化亜鉛のかたちで析出していたことから、火山ガスのなかでは塩素やフッ素よりも水素が優勢だったと推測できる。これは月のマントルが地球と同様に、水素を含む可能性を強く示唆する重要な知見である。

今回の成果は、単に月面のガラスビーズの微細構造を解明したことにとどまらない。太古の月面で起きた火山活動は爆発的な規模であり、なおかつ揮発性元素を豊富に含んでいた事実を、鉱物学と熱力学の観点から裏付けるものでもある。特に硫化亜鉛や硫化鉄といった鉱物の沈着条件は、噴火時のガス圧や温度、酸化還元状態を高精度で再現するための鍵を握っている。地球外の火山活動を解析する新たな手法を確立した意義も大きいといえる。わずか数ナノメートルの沈着層から、数億年単位の惑星進化の手がかりを引き出すという手法は、今後の火星探査や水星観測にも応用できるかもしれない。月は沈黙して久しいが、その表面に刻まれた記録は、いまでも雄弁に語り続けている。

<https://soraie.info/space/20250625-inspace.html>

inspace、軟着陸に失敗した月着陸機「レジリエンス」に関する報告会を開催

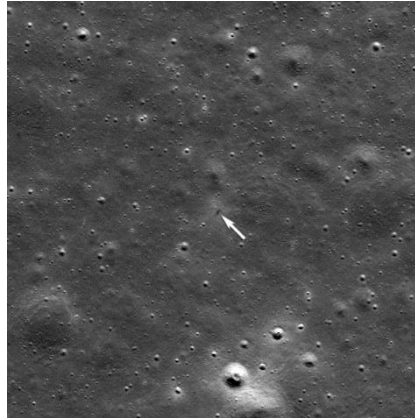
2025-06-25 2025-06-25 [soraie 編集部](#)

日本の株式会社 inspace は 2025 年 6 月 24 日、同社の月面探査プログラム「HAKUTO-R」のミッション 2「SMBC x HAKUTO-R VENTURE MOON」について、月着陸機「RESILIENCE（レジリエンス）」の月面着陸が失敗に終わった技術的な要因の分析結果に関する報告会を開催しました。

RESILIENCE による月の北半球にある「寒さの海（Mare Frigoris）」の中央付近へのソフトランディング（軟着陸）は日本時間 2025 年 6 月 6 日未明に試みられましたが、高度約 100km の月周回軌道を離れて降下に移った後、着陸

目前で通信が途絶。ispace は同日中にミッションの終了を発表しており、RESILIENCE は月面にハードランディング（硬着陸）したとみられています。

2025 年 6 月 20 日には NASA＝アメリカ航空宇宙局が、月周回衛星「LRO（Lunar Reconnaissance Orbiter、ルナ－・リコネサンス・オービター）」に搭載されている光学観測装置「LROC」の狭角カメラを使って観測された画像を公開。RESILIENCE の月面への衝突によって生じたとみられる、幅約 16m の地形変化が捉えられていました。



【▲ ispace の月面探査プログラム「HAKUTO-R」ミッション 2 の月着陸機「RESILIENCE（レジリエンス）」
（Credit: ispace）】

【▲ NASA の月周回衛星 LRO が観測した、ispace の月着陸機 RESILIENCE の衝突地点（矢印）（Credit: NASA/GSFC/Arizona State University）】

レーザーレンジファインダーのハードウェア異常が原因か

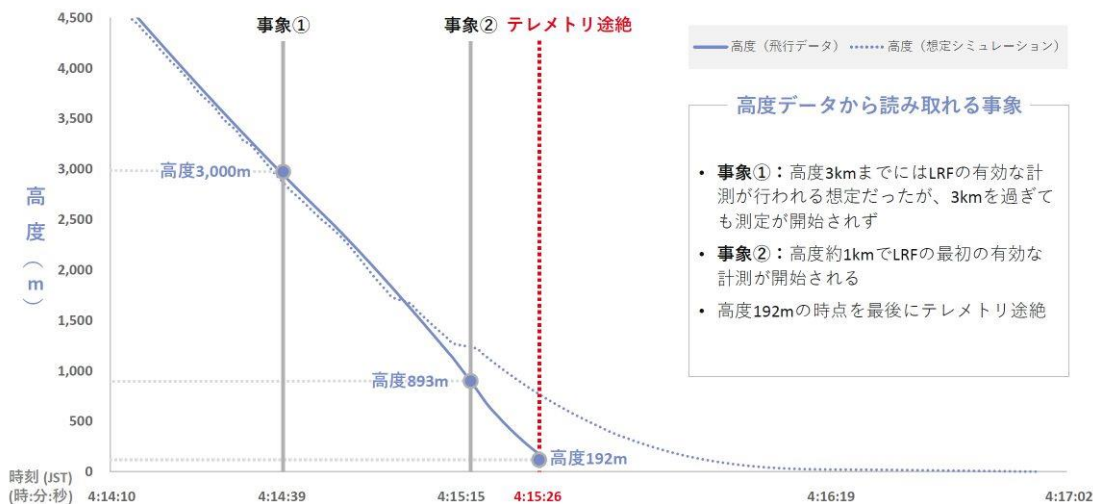
24 日の報告会では、月面までの距離を測定するレーザーレンジファインダー（LRF）による有効な計測値の取得開始が遅れたことが、RESILIENCE の着陸失敗の原因に挙げられました。

LRF による測距は本来であれば高度 3km に達するまでに開始されるべきだったものの、実際には高度約 1km まで有効な計測が始まらず、結果として降下速度の減速が間に合わなかったということです。

RESILIENCE は高度 650m まで降下した日本時間 4 時 15 分 16 秒の時点で急減速を開始したものの、この高度における想定上の垂直方向の速度は毎秒 44m であったのに対し、実際には 1.5 倍の毎秒 66m（飛行データから）で機体は降下していました。その 10 秒後、高度 192m・秒速 42m の時点でテレメトリ信号が消失しました。

ispace が配布した資料によれば、高度 3km 付近から速度の想定値と実際の値の乖離が始まっていることに加えて、高度 1500m 付近からは高度でも想定値と実際の値が乖離し始めていました。急減速が始まった時点における高度の想定値は 1200m 付近であり、実際の高度はその半分に近かったことになります。レーザーレンジファインダーの測定値が期待通りに得られなかったことで、急減速を開始した時点では速度と高度の両方が想定値から大きく乖離しており、十分に減速できないまま月面に衝突するに至ったことがわかります。

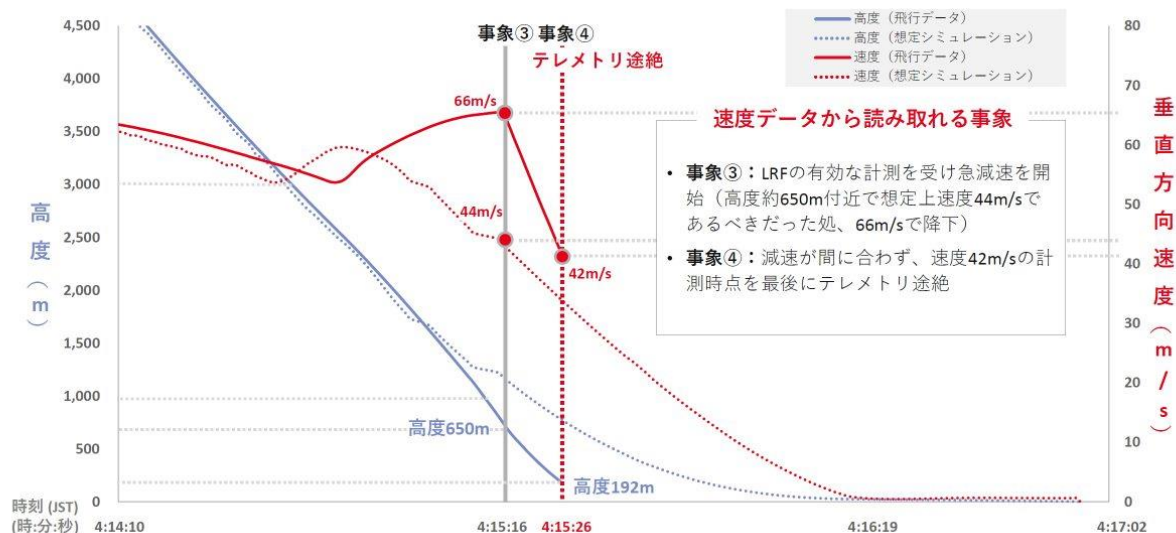
当初の計画では最低でも高度3km地点までにLRFの測距が開始されるべきところ、高度約1km付近まで有効な計測が開始されず。その後高度192mを最後にテレメトリが途絶



【▲

RESILIENCE の高度（飛行データから）と想定値の推移を示した図。ispace の配布資料から引用（Credit: ispace）】

LRFの有効な測定開始を受け急減速を開始したものの、想定より速い速度からの減速だったため、最終的に減速が間に合わずランダーは月面にハードランディングをしたものと考えられる



【▲

RESILIENCE の高度および速度（飛行データから）と想定値の推移を示した図。ispace の配布資料から引用（Credit: ispace）】

測距が予定の高度までに行われなかった要因としては、ソフトウェア上の問題ではなく、ハードウェアの異常だった可能性が挙げられています。レゴリス（月の土壌）の想定外の特性や、レーザーの入射角が浅かったことで月面からの反射が低かった可能性、速度が速すぎて有効な測定ができなかった可能性、宇宙環境による影響が生じた可能性が考えられるといい、今後のミッションに備えた着陸センサー（レーザーレンジファインダーを含む）の検証計画の見直しや選定・運用の見直しなどを行う方針だということです。また、レーザーレンジファインダーの計測値が使えなかったとしても、想定よりも速く降下していることは予想できたのではないかというメディアの質問に対して、ispace の日達佳嗣氏は、推定される高度が低い（＝実際の高度が想定値よりも高い）場合に備えて、計測ができなかった場合は一定の速度で降下し続ける設計だったと回答しました。

この挙動は、2023 年 4 月に軟着陸に失敗した HAKUTO-R ミッション 1 の教訓を踏まえています。ミッション 1 ではソフトウェアの問題により、高度約 5km で機体がホバリング状態を続けてしまい、推進剤が尽きたことで月面に落下・衝突しました。RESILIENCE では高度 3km までにレーザーレンジファインダーの計測値が得られることを前提に、秒速 50~60m で降下するよう設定されていたといいますが、実際には高度約 1km まで有効な計測が行われず、結果として減速が間に合わず月面に衝突することになりました。

そのうえで日達氏は、レーザーレンジファインダーの測距開始前は慣性計測装置（IMU）による推定値を用いていたものの、累積誤差が拡大していくという特徴があるため、慣性計測装置の値だけを信頼するリスクは避ける設計になっていたとも回答しています。

文・編集／soraе 編集部

<https://forbesjapan.com/articles/detail/80139>

2025.06.25 13:00

ispace 袴田 CEO インタビュー、墜落までの状況と後続ミッションの新たな戦略



鈴木喜生 | Official Columnist フリー編集者



(C)ispace [全ての画像を見る](#)

6 月 24 日に開催された「技術要因分析の報告会」では、着陸に臨んだレジリエンスの機速や高度などのテレメトリデータの推移が詳細に報告された(C)ispace

日本の宇宙ベンチャーである ispace は 6 月 6 日、月着陸船「レジリエンス」による同社 2 度目の月面着陸に挑戦した。しかし、着陸直前に機体の降下速度が落ちず、[あえなく失敗](#)。同社による初の月面着陸は、2027 年予定のミッション 3 に持ち越されることになった。

6 月 24 日には「技術要因分析の報告会」が開催され、着陸失敗の要因が「レーザーレンジファインダー」（LRF）と呼ばれる高度計測機器にあったことが報告された。今後はその検証をさらに進めるとともに、後続ミッションにその経験を活かすという。

袴田 CEO に対するこのインタビューは、その報告会より以前に行われたもの。着陸失敗の要因解析が進むなか、ミッション 2 の成果と後続ミッションの進捗を聞いた。

ミッション 2 を振り返る

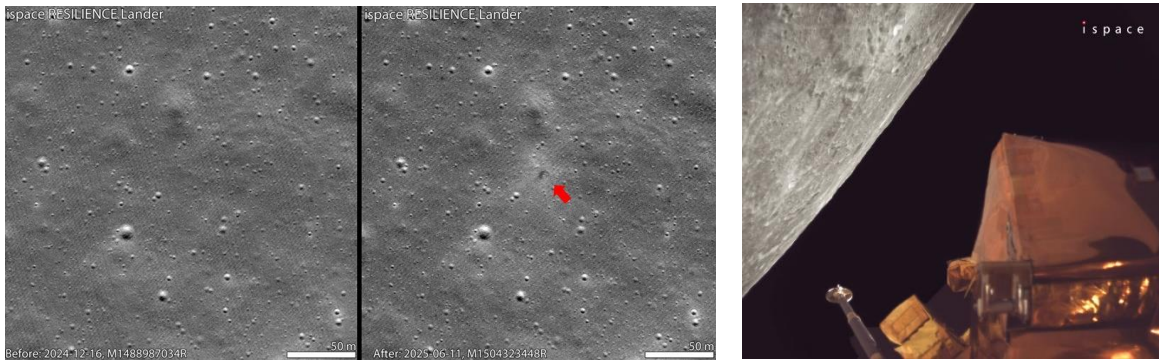
——6 月 24 日にはミッション 2（以下、「M2」）の結果報告会を開くとのことですが、かなり早いですね？

みなさまに少しでも早く報告できればと思い、早期に報告の場を設けました。宇宙の場合は現地調査をするわけではなく、主にテレメトリーの解析によるので、その意味では解析しやすい面もあります。その限られたデータからわかることは多く、原因は特定できると考えています

——NASA の月探査機 LRO（ルナー・リコネサンス・オービター）を使って、墜落ポイントを撮影する予定は？

NASA 次第だと思います。ミッション 1 のときも私たちが依頼したわけではありませんが、NASA によって LRO による画像が公開されました。M2 でもあり得ると思います。

（編注：このインタビューのあとの 6 月 20 日、レジリエンスの墜落地点の画像が NASA によって公開された。左は墜落以前、右は 6 月 11 日に LRO によって撮影された画像。赤い矢印が指すドットは、月面に衝突したレジリエンスがレゴリス（月の砂）を巻き上げて形成されたもの。その周辺のレゴリスも削り取られた結果、明るい「ハロー」として観測できる）



NASA の LRO が撮影したレジリエンスの墜落ポイント(C)NASA

5 月 26 日、レジリエンスのオンボードカメラによって月周回軌道上から撮影された画像(C)ispace

——高度 100km の月周回軌道（円軌道）から離脱するまで（サクセス 8）は、非常にスムーズに進んだように思えますが、その間、特別な対処が必要な事態は？

テレビ番組（毎日放送『情熱大陸』）でも紹介されたように、打ち上げから 2 カ月後に低エネルギー軌道上、つまり地球からの遠地点（約 100 万 km）のポイントで、レジリエンスにコマンドが送信できないという事態になりましたが、再起動によって最悪の事態を回避することができました。それ以外は機材、プログラム、航法など、すべてにおいて非常にスムーズでした。それはミッション 1 で培った経験から得られた結果だと考えています。当然、宇宙のことですら他にもさまざまな事象がオペレーション上で発生しましたが、それぞれの局面でしっかり対処でき、今後に課題が残るようなことはありませんでした。

[次ページ > ミッション 3 以降に変更が出る可能性は？](#)

ミッション 3 とドライパー研究所

——M2 の事案を受け、ミッション 3（以下、「M3」）以降に変更が出る可能性は？

M2 の原因究明次第ですが、その可能性は否定できません。M3 で使用する機体「APEX 1.0」（エイペックス 1.0）は、M2 の「レジリエンス」よりも大型になり、仕様が異なる部分も多分にありますが、どちらも米国のドライパー研究所の航法誘導システムが深く関わっています。そのため M1 と M2 で得られた知見は APEX 1.0 に引き継がれることになり、つまり今回の M2 の結果は M3 に影響します。



ミッション 3 で使用される機体「APEX 1.0」(C)ispace

APEX 1.0 に搭載予定のエンジン「VoidRunner」。アジャイル・スペース・インダストリーズ（コロラド州）が開発 (C)ispace

ispace が構想するムーンバレーのイメージイラスト(C)ispace

——M3 では、NASA の CLPS（商業月面輸送サービス）に採択され、NASA から 6200 万ドル（89 億 2800 万円）補助金を獲得しています。同ミッションでは、ドライパー研究所をプロジェクトの主体し、米国法人である ispace-U.S. が開発した米国製の機体「APEX 1.0」を提供するという座組みになっています。ドライパーとタッグを組むという発想はどの段階で生まれましたか？

CLPS に採択されたのが 2018 年 11 月で、その前年です。M1・M2 の計画時に、誘導制御システムをどうしようかと考えていました。弊社にはその知見がなかった所以他社から買う必要があったのです。ただ、当時は月面着陸なんてどこもやっていませんでした。私はドライパーにお願いできないかと考えていました。ドライパーは 60 年前、アポロの誘導制御システムを開発した事業体です。でも、なかなかコンタクトできず、一時は他のサプライヤーも検討していました。そんなとき、着陸船の開発をリードしていた弊社の米国籍スタッフが、以前にドライパーと仕事をしたことあると。それで彼にコンタクトを依頼したら、ドライパーがすごく関心を持ってくれたのです。その時期、ドライパーもさまざまな改革に迫られていたようです。同社は東海岸（マサチューセッツ州ケンブリッジ）にありますが、宇宙産業においては人材が西海岸に流れる状況にもありました。そんなとき我々がコマーシャルで月に行く話を持ちかけたら、これは良いプロジェクトだと。

当時の社長はグーグルから来た方で、私たちはその時期、「Google Lunar XPRIZE」に参加していました。

（編注・XPRIZE 財団が主催し、グーグルがスポンサーを務めた史上初の民間月面探査国際賞金レース。2007-18 年にかけて開催され、民間チームが低予算な月面無人探査機の開発を競い、ispace が運営した HAKUTO はファイナリストの 5 チームに入った）そのコンテストにはドレイパーが関連するチームも参加していましたが、月へのミッションは資金が必要となります。当時、私たちは資金調達ラウンドで 100 億円を獲得した直後でしたので、その参加者のなかでもっとも資金が潤沢でした。その結果、ispace といっしょに月を目指すべきだと、ドレイパーの社長が判断してくれたのです。

——ドレイパーが開発した航法誘導システムの権利は、御社も持っている？

はい、契約上、エクスクルーシビティ（独占契約）を持っています。

[次ページ > 2027 年度を目標に、民間としては初めて放射性同位体電源を機体に載せる](#)

M3 の新型エンジンと放射性同位体電源

——M3 で APEX 1.0 に搭載されるエンジンが、当初予定のものから同じアジャイル社の別のエンジン「VoidRunner」に換装されることになり、ミッション自体が 2027 年に後ろ倒しになりました。当初予定のものは尖がったスペックでしたか？

そうではないと私は考えています。比推力（ロケットエンジンにおける燃費に該当する指標）は、実は新型の「VoidRunner」のほうが若干良くなっています。なので、当初予定のエンジンのほうが高いスペックを目指して難しい技術に挑戦したというより、設計が複雑すぎたかもしれません。そのために開発が遅れたと考えています。関係者を集めて議論しつつ、新たなソリューションを探りました。新しいエンジンといってもすべてがガラッと変わったわけではなく、スラスター部分はほぼ同じで、その違いは ispace-U.S. が独自開発したバルブを含むコントロール部分にあります。そこを変更した結果、部品点数が 4 分の 1 に減って、比推力も落ちないという結果になりました。

——2027 年度を目標に、放射性同位体電源システム（RPS）を機体に載せるとのことですが、これは民間では初めて？

初めてと認識しています。RPS は太陽光に頼らず発電できるため、月面で越夜を実現するためには優位性の高いシステムといえます。

——NASA の深宇宙探査機「ボイジャー」や、火星探査車「パーサヴィアランス」が搭載している RTG（放射性同位体熱電気転換器）との違いは？

RPS と RTG は、どちらも放射性同位体を使って発電する装置で、RPS は放射性同位体の崩壊によって発生するエネルギー、主にその熱を利用して電力を供給するシステムの総称です。一方で RTG は、RPS の一種といえ、熱を直接的に電気に変換する素子を使用した装置だといえます。

——その進捗は？ 2027 年度を目標とのことですが、つまり M3 の APEX 1.0 への搭載を目指していますか？

早ければ 2027 年に搭載するというアナウンスをしましたが、現時点では未定です。というのは技術的な難しさもあると同時に、承認プロセスが大きな障壁になっています。ヒアリングをしてみたところ、FAA（連邦航空局）が統合的に許可を出すわけではなく、さまざまな規制当局から 100 程度の承認を集める必要があるらしい。ただ、スペース X もスターシップに載せようとしているらしく、それをきっかけに民間での使用が本格的に進むかもしれません。

[次ページ > 水素エネルギーなどのバリューチェーンをいかに構築していくかが、今後の事業のひとつの軸に](#)

レッドワイヤとの提携

——ドレイパーと同じように米レッドワイヤ社（フロリダ州）とも組んで、NASA の CLPS に採択されることを目指すと 2025 年 4 月に発表されました。どのミッションで提携することになりそうですか？

時期は未定ですが、CLPS の入札は年 2 回程度あります。可能性としては、米国製の機体である APEX 1.0 によるミッション、つまり M5（2028 年予定）と M7（2029 年予定）が該当します。

レッドワイヤは、ISS（国際宇宙ステーション）の太陽光パネルなどを製造していて、NASA からの信頼も厚い企業です。また、彼らを支えるプライベート・イクイティ（非公開企業に投資するファンド）が、太陽電池パネルやセンサなど、宇宙機に関わるさまざまなコンポーネントをこの企業に集積しようとしているなど、非常にユニークな企業といえます。彼らとタッグを組むことは、今後の ispace の事業に大きな可能性をもたらすと考えています。

——ドレイパーと同様、レッドワイヤに対しても ispace から声をかけましたか？

レッドワイヤとは昔から取引があり、私自身も同社の経営陣とは旧知の仲で、その縁といえます。その一人が NASA の上級管理職に就いていた方で、アメリカの宇宙資源に関する法整備にも関わり、私たちの事業にも関心を持ってくれ、以前から議論をしてきたという経緯があります。

月の水

——2025 年に入ってから、「月の水資源」に関するリリースが数多く出ています。宇宙戦略基金の「月面の水資源探

査技術」への採択、栗田工業の「月面水処理実証試験装置」の輸送に関する締結、高砂熱学工業との「月面におけるサーマルマイニング技術」に関する締結のほか、ispace 欧州法人が ESA（欧州宇宙機関）と極域氷探査ミッション「MAGPIE」で締結しています。これらは御社のビジネスにおいて、次のステップを示していますか？

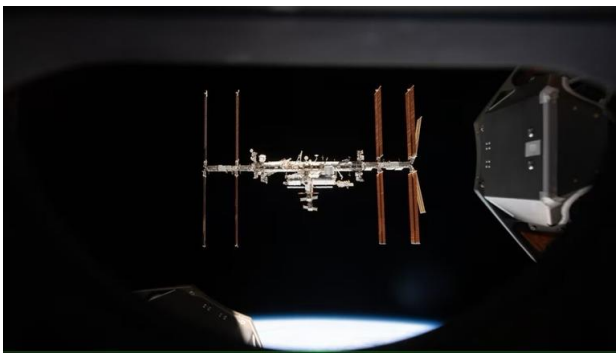
私たちが将来のビジョンとして「Expand our planet. Expand our future（人類の生活圏を宇宙に広げ、持続性のある世界を目指す）」を掲げているように、人類が宇宙に生活圏を築いていくためには経済圏が必要だと考えていて、その経済を回す最初のドライバーとして「月の水」に注目しています。

ただ、月の水の存在は確認されていますが、その所在と量を突きとめる探査は今後の課題といえます。それを実現するにはみなさんとの協力が必要です。同時に、水から得られる水素エネルギーなどのバリューチェーンをいかに構築していくかが、今後の事業のひとつの軸になると考えています。編集＝安井克至

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35234734.html>

民間有人飛行ミッション「A x—4」打ち上げ、I S Sの「空気漏れ」問題は奇妙な

展開に 2025.06.25 Wed posted at 19:07 JST



スペースXのクルードラゴン・エンデバーから見た I S S/NASA

N A S Aのケネディ宇宙センターから打ち上げられる「A x—4」ミッション/Giorgio Viera/AFP/Getty Images

（CNN）米アクシオム・スペースの有人飛行ミッション「A x—4」が米東部時間25日午前2時32分、フロリダ州のケネディ宇宙センターから打ち上げられた。このミッションは国際宇宙ステーション（I S S）の懸案となっている空気漏れに関する調査が原因で、大幅な遅れが出ていた。

I S Sではここ数年、ステーションの他区画と隔離されているロシアモジュールから空気がゆっくりと漏れ続けている。ところが最近、I S Sの運用者は徐々に続いていた空気漏れが止まったことを確認。これを受け、さらに大きな懸念が浮上した。可能性としては、ロシアモジュールの外壁の亀裂をふさぐ作業がうまくいき、補修作業によって想定通り空気が閉じ込められている可能性もある。だが米航空宇宙局（N A S A）によると、技術者の間では、ロシアモジュールの圧力が安定しているのは、内壁に新たな漏出箇所が生じ、他の区画の空気が損傷部に流入し始めたためではないかとの懸念も広がっているという。要するに、I S Sの運用担当者はステーション全体で空気が失われ始めたことを懸念しているのだ。この問題に関しては不明点も多い。N A S Aは今日14日の声明で懸念を公表し、問題の特定に取り組む間、米宇宙企業スペースXとアクシオム・スペースが共同で実施する民間ミッション「A x—4」の打ち上げを延期すると発表した。N A S Aの声明では「移送トンネル内の圧力を変化させて経過観測を行うことで、トンネルとハッチシールの状態を評価中だ」と述べていた。それから1週間以上が経過したものの、調査結果は完全には明らかになっていない。23日夜に25日という新たな打ち上げの日程を公表した後、N A S Aは24日の声明で、ロスコスモスの当局者と協力して調査に乗り出したと説明した。声明によると、両宇宙機関は移送トンネル内の圧力を下げることで合意し、「チームは今後も評価を続ける」という。N A S Aは追加コメントについてはロスコスモスに照会するよう求めたものの、ロスコスモスはメールで送付された質問リストに回答しなかった。

空気漏れが最初に確認されたのは2019年。ロシアの「ズベズダ」モジュールと、貨物宇宙船を迎えるドッキングポートとを結ぶトンネル内で見つかった。

微細な亀裂は肉眼ではほぼ見えず、補修作業は難航している。

昨年には、漏出率が過去最高の数値を記録し、状況は一段と緊迫した。NASAのISS諮問委員会のカバナ委員長によれば、正確な原因をめぐり米ロ双方の技術チームの見解が一致していないことも明らかになったという。

<https://sorae.info/space/20250627-ax4.html>

民間ミッション「Ax-4」のクルーを乗せた宇宙船がISSに到着

2025-06-27 2025-06-27 [sorae 編集部](#)

日本時間 2025 年 6 月 26 日、アメリカ企業 Axiom Space（アクシオム・スペース）による 4 回目の有人宇宙飛行ミッション「Axiom Mission 4（Ax-4）」の宇宙船が、ISS＝国際宇宙ステーションに到着しました。

Ax-4 は Axiom Space による 4 回目の有人宇宙飛行ミッションです。元 NASA 宇宙飛行士で現在は Axiom Space に所属する Peggy Whitson（ペギー・ウィットソン）さんをはじめ、インド、ポーランド、ハンガリーから 1 名ずつが参加した合計 4 名のクルーは、ISS で最大 14 日間にわたって科学実験などに従事する予定です。

Ax-4 ミッションのクルーが搭乗した「Crew Dragon（クルードラゴン）」宇宙船は、日本時間 2025 年 6 月 25 日 15 時 31 分にケネディ宇宙センターから打ち上げられ、ちょうど 28 時間後の日本時間 2025 年 6 月 26 日 19 時 31 分に ISS の「Harmony（ハーモニー）」モジュールの上方へドッキングすることに成功。ドッキングからおよそ 2 時間が経った日本時間 2025 年 6 月 26 日 21 時 14 分には宇宙船と ISS 船内を隔てるハッチが開放され、4 名は第 73 次長期滞在クルーの 7 名と無事に合流しました。

到着後のウェルカムセレモニーにて、2025 年 4 月から ISS の船長（コマンダー）を務めている JAXA＝宇宙航空研究開発機構の大西卓哉宇宙飛行士は、「皆さんの到着によって、ここに 6 か国からの 11 名の宇宙飛行士が集まりました。私たちは皆、人類の宇宙探査と科学研究を推進するためにここにいます、国際協力の象徴です。この瞬間から、皆さんも第 73 次長期滞在クルーの一員です」と、歓迎の言葉を述べていました。

関連画像・映像



【▲ ISS に接近する Ax-4 ミッションの Crew Dragon（クルードラゴン）宇宙船（Credit: NASA）】

【▲ ISS にドッキングした Ax-4 ミッションの Crew Dragon（クルードラゴン）宇宙船（Credit: NASA）】



【▲ Ax-4 のウェルカムセレモニーで集まった 11 名のクルー。マイクを持っているのは第 73 次長期滞在クルーのコマンダーを務める JAXA の大西卓哉宇宙飛行士 (Credit: NASA)】 文・編集／sorae 編集部

関連記事 [民間有人宇宙飛行ミッション「Ax-4」打ち上げ成功 ISS 到着予定は 6 月 26 日](#) (2025 年 6 月 25 日)

参考文献・出典 [NASA - Axiom Mission 4 Astronauts Enter Station, Begin Research Mission](#)

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35234657.html>

ベラ・ルービン天文台、史上最大級のカメラで撮影した画像を公開 数百万の銀河が明らかに

2025.06.24 Tue posted at 17:44 JST

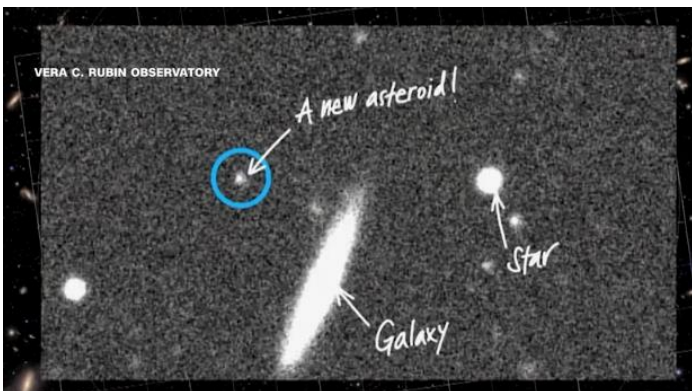


ベラ・ルービン天文台が捉えたおとめ座銀河団の全体画像の一部。右下に二つの渦巻き銀河と右上に三つの合体銀河が見える/NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory

三裂星雲の近くにある散開星団メシエ 21 は若くて小さく、暗い星の集まりだ
/RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA

(CNN) 米国立科学財団 (NSF) は 23 日、ベラ・ルービン天文台で史上最大級のカメラによって撮影された多くの画像と動画を同財団のユーチューブチャンネルで公開した。天文台の名前は先駆的な天文学者ベラ・ルービン氏にちなんで名付けられている。

映像はわずか 10 時間の試験観測で撮影されたもの。これまでにない規模で数百万もの遠方の恒星や銀河からの光を捉え、数千もの未知の小惑星を明らかにした。この天文台の最初の成果の一つは、2104 個の小惑星を発見したことだ。これには太陽系でこれまで観測されたことのない七つの地球近傍小惑星が含まれる。天文台の科学者によると、新たに発見された地球近傍小惑星はどれも地球に危険をもたらすものではない。

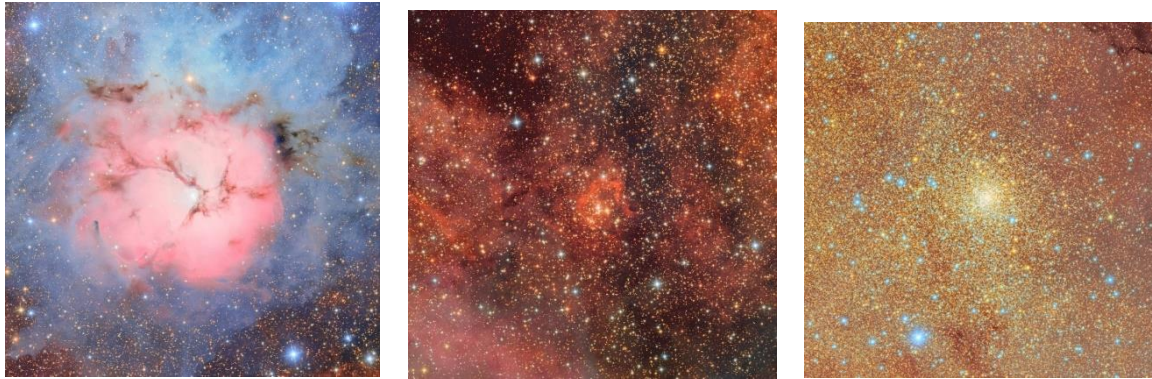


Vera C. Rubin Observatory

合成画像は678枚の別々の画像を組み合わせ、三裂星雲（右上）と干潟星雲のガス雲や塵のような細部を示している/NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory

地上および宇宙に設置された望遠鏡が毎年約2万個の小惑星を発見している一方で、ルービン天文台は最初の2年間で数百万個を発見するとみられている。同天文台の望遠鏡は、太陽系を通過する可能性のある恒星間天体を発見する最も効果的な方法とも考えられている。

望遠鏡の鏡の設計や速度、高感度カメラは、いずれもこの種のものとしては初めてのものであり、小惑星のような小さくぼんやりとした天体を発見できる。財団によると、同天文台は毎晩数千枚の画像を継続的に撮影し、明るさの変化を記録することで、地球に衝突する可能性のある地球近傍小惑星など、隠れた天体を明らかにする予定だ。



三裂星雲は、散開星団、自ら発光するガス雲と塵の放射星雲（ピンク色の領域）、近くの星の光を反射する反射星雲（青色の領域）、背後の物体からの光を遮るほど密度の高い暗黒星雲（暗黒領域）が組み合わさった珍しい星雲
/RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA

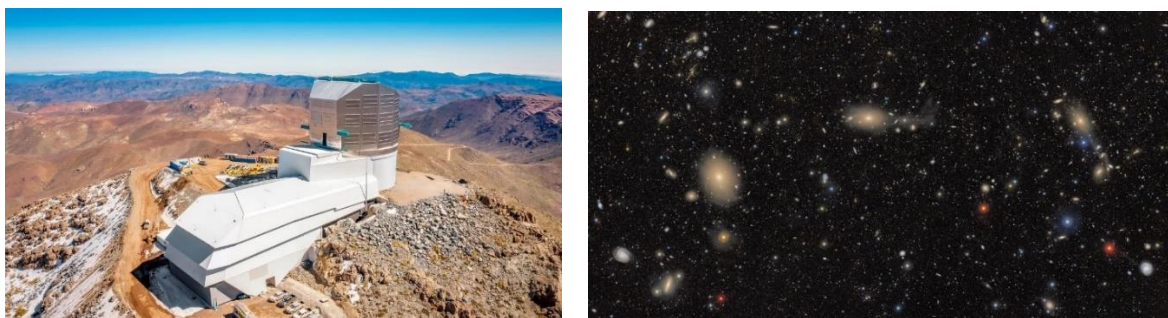
散開星団B o c h u m 14には同一の巨大分子雲から形成された数千個の星が含まれる
/RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA

球状星団N G C 6 5 4 4の輝く数万個の星/RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA

23日に先行公開された映像には、撮影された1100枚超の画像から作成された動画が含まれている。動画は詳細に捉えられた二つの銀河から始まり、その後、ズームアウトして、カメラの広視野角で撮影された約1000万個の銀河を映し出す。これは、ルービン天文台が10年間で観測する200億個の銀河の約0.05%に相当する。

観測チームは、いて座にある星雲に似た星形成領域である三裂星雲と干潟星雲の合成写真も公開。写真はわずか7時間で撮影された678枚の画像から作成され、地球から数千光年離れたこれらの星雲内のガス雲や塵（ちり）など、これまで見えなかったかすかな細部を捉えている。

チリ・アンデス山脈にあるセロ・パチョン山の山頂に位置するこの天文台は、約20年にわたる建設期間を経て、完成に近づいている。7月4日には、口径8.4メートルのシモニー・サーベイ望遠鏡を用いて、南半球の空における初の科学観測を実施する予定。ルービン天文台のプログラムオフィサーであるエドワード・アジャール氏によると、この望遠鏡は南半球に位置しているため、天の川銀河の中心部を鮮明に観察できる。



チリのセロ・パチョン山の山頂に位置するベラ・ルービン天文台/Alirio Pizarro Díaz/NSF-DOE Vera C. Rubin

Observatory チリ中部の同地域には、ルービン天文台以外にも複数の地上天文台がある。乾燥した大気と暗い空が天文観測に適した環境を作り出している。

地球から約5500万光年離れたおとめ座銀河団。赤や青に輝く星のほか、近くの青い渦巻き銀河や遠方の赤い銀河群も見える/RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA

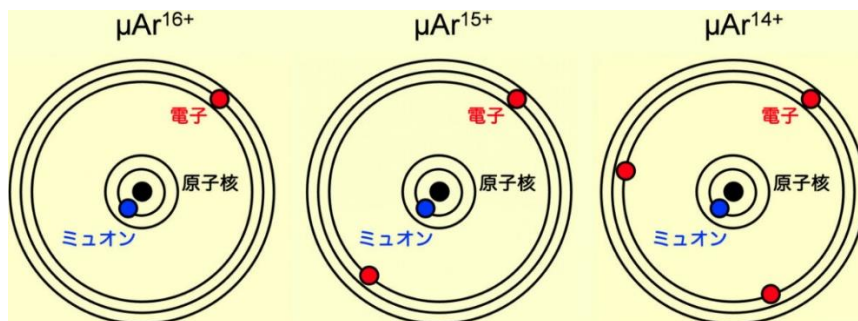
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20250623-3361441/>

都立大など10者、エキゾチック原子系「多価ミューオンイオン」を初観測

掲載日 2025/06/23 17:21 著者：波留久泉

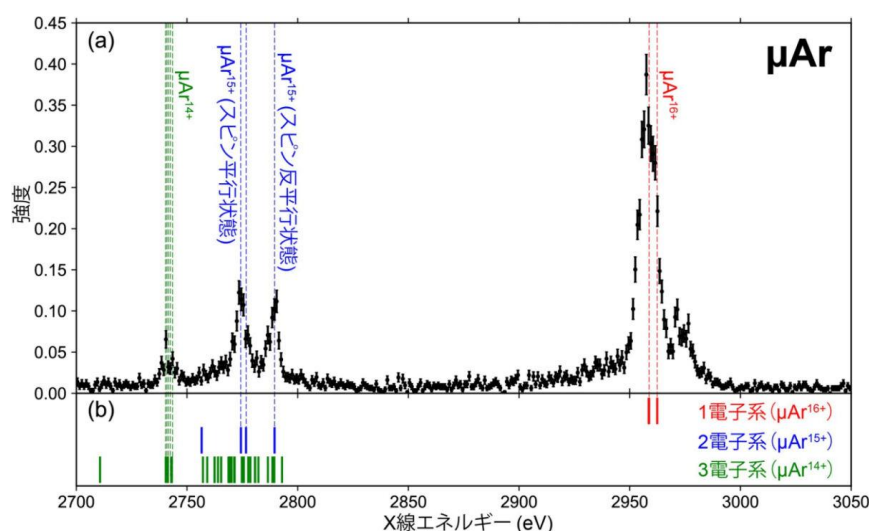
東京都立大学(都立大)、理化学研究所(理研)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)、核融合研究所(核融合研)、東北大学、立教大学、中部大学、東京大学(東大)、筑波大学、J-PARC センターの10者は6月20日、最先端のX線検出器「超伝導転移端センサマイクロカロリメータ」(TES)を駆使し、「多価ミューオンイオン」という、1つの原子核が少数の電子と負電荷を帯びた素粒子「負ミューオン」(負ミュー粒子)を同時に束縛した新たなエキゾチック原子系の直接観測に成功したと共同で発表した。

同成果は、都立大の奥村拓馬准教授、理研の東俊行主任研究員(KEK 特任教授兼任)、同・橋本直 理研 ECL 研究チームリーダー、KEK の早川亮大研究員、同・下村浩一郎特別教授、核融合研の加藤太治教授、東北大の木野康志教授、同・野田博文准教授、立教大の山田真也准教授、中部大の岡田信二教授、同・外山裕一特任助教、東大の高橋忠幸特任教授、筑波大の Tong Xiao-Min 准教授らの共同研究チームによるもの。詳細は、[米国物理学会が刊行する機関学術誌「Physical Review Letters」に掲載された。](#) 電子の仲間の荷電レプトン(軽粒子)の第2世代である負ミューオンが原子核に束縛された多価ミューオンイオンは、これまで理論的に予測されていた。負ミューオンは電子と同様に負電荷を持つものの、質量は電子の約207倍もあり、より原子核に近い軌道を巡ると考えられている。この多価ミューオンイオンを実験的に確認し、その性質を解明することが求められていた。十分に減速された負ミューオンビームを原子に衝突させると、負ミューオンは原子核に捕獲され、周囲の電子を弾き飛ばしながら段階的に内側軌道へと遷移する。多価ミューオンイオンは、この「ミューオンカスケード」現象中で形成されるとされる。しかし、多価ミューオンイオンは周囲の物質の電子を引き寄せやすく、生成直後に再び電子を取り込む「電荷移行反応」を起こすに加え、電子状態を調べる適切な分光観測法も存在しなかった。多価ミューオンイオンの観測には、周囲の物質からの電荷移行反応抑制が不可欠だ。そのため、原子数密度が小さい低圧気体標的を実験に用いる必要があるが、今度は標的中での負ミューオンの静止が困難になり、多価ミューオンイオンの生成量が減少する。そこで研究チームは今回、世界最高強度の低速負ミューオンビームを用いて多価ミューオンイオンの生成量を増やしてその課題を解決することで、放出される電子特性X線エネルギーの精密測定を目指したという。電子特性X線のエネルギーは原子内の電子の個数や状態により異なるため、多価ミューオンイオンの電子状態識別には正確な測定が不可欠だ。微細なエネルギー差識別には結晶分光器を用いるが、検出効率が極めて低く、生成量の少ない多価ミューオンイオン観測には不向きだった。そこで今回は、優れたエネルギー分解能と高い検出効率を両立し、広いエネルギー領域にも対応するTESを導入。TESは数千eVのX線に対して0.1eVの精度でエネルギーを測定でき、多価ミューオンイオンの有効な分光観測が実現された。0.1気圧のアルゴン原子(Ar)を標的としたX線スペクトル計測の結果、2700~2850eVの範囲に3本、2900~3050eVの範囲に1本のピークが確認された。それぞれのX線エネルギーを電子状態計算の結果と比較したところ、高エネルギー側のピークは束縛電子を1個有する多価ミューオンアルゴンイオン(μAr^{16+})、低エネルギー側の3本のピークは束縛電子が2個の μAr^{15+} 、3個の μAr^{14+} が放出した電子特性X線とエネルギーが一致。特に、 μAr^{15+} によるX線は2つのピークに分かれており、それぞれスピンの向きが異なる電子状態に対応。これにより、束縛電子のスピンの向きまで踏み込んだ、多価ミューオンイオンの詳細な観測が達成された。



今回の研究で観測された多価ミュオンイオン(左から μAr^{16+} 、 μAr^{15+} 、 μAr^{14+})の模式図。これらは、負ミュオンに加えて電子をそれぞれ1～3個束縛している(出所:都立大 Web サイト)

多価ミュオンイオンでは、負ミュオンと電子の相互作用により、通常の原子では現れない性質が発現する可能性がある。今回の研究でも、負ミュオンがアルゴン原子に捕獲される際、通常のと異なる特殊な「軌道崩壊」現象が重要な役割を果たすことが理論的に判明。この特殊な軌道崩壊は、電子と負ミュオンの相互作用および負ミュオンの大質量に起因しており、多価ミュオンイオン特有の現象と推定された。



(a)TES で測定された μAr の X 線スペクトル。(b) μAr が放出する電子特性 X 線エネルギーの理論計算の結果(出所:都立大 Web サイト)

多価ミュオンイオンの分光で得られる情報は、ミュオンカスケードのダイナミクス分析を可能とする。近年、負ミュオンは、自然科学の多くの分野で応用が期待されており、中でもミュオンカスケードは最も基本的な過程であるため、研究チームは、その詳細なダイナミクスの解明が今後ますます重要性を増すと予想。そして今回の分光技術の確立は、負ミュオンの新たな応用展開を広げる礎となることが期待されるとしている。