

人類発「宇宙で醸造」の清酒 100ml=1.1 億円で売れる——全額宇宙開発に寄付



水上彩 | Official Columnist WSET Level 4 Diploma/J.S.A 認定ワインエキスパート

旭酒造社長 桜井一宏氏

醸造装置プロトタイプ

「人類初、宇宙で酒造りに挑戦します」。

一昨年 12 月にとてつもなく壮大なプロジェクトを発表した、「獺祭」で知られる山口県の酒蔵・旭酒造。将来的には月に獺祭を造ることを目指し、そのための 1 歩として、2025 年中に醸造装置を飛ばし、ISS（国際宇宙ステーション）で酒造りの実験を行う宇宙プロジェクトを進めている。今年 2 月には伊勢丹新宿店で、その宇宙で造られた人類初の清酒（100ml）の購入権が 1.1 億円で販売され、すでに買い手が付いている。売り上げは、全額が宇宙開発に寄付されるという。

「月に酒蔵を作る」夢への第一歩

グラス 1 杯 1.1 億円は、まちがいなく世界一高い酒といえるが、「宇宙と日本酒の可能性を応援したい、未来を共に見たいという感覚で購入してくれた方がいらっしゃる」と社長の桜井一宏氏はほほ笑む。

宇宙プロジェクトが立ち上がったのは約 3 年前。名古屋の部品メーカー高砂電気工業と三菱重工から「宇宙で何かやらないか」と持ちかけられたことに端を発する。並みの会社なら、「いやいやそんな大それた……」と引き下がりそうなものだが、桜井氏の返事は「まずはやってみましょうか」。その後のキャッチボールのなかで浮かび上がってきたのが、「月に酒蔵を作る」という夢だった。すでに月への移住計画は各国が取り組んでおり、2040～50 年代には数千人単位で月に人が住み始める可能性がある。人が住むなら人生の楽しみとしてお酒は必要だ。

「月での獺祭造りを目指し、その可能性を検証するのが酒蔵として最善」と考えたのだ。

実は、この「まずはやってみる」姿勢こそが、旭酒造がこの 30 年で急成長してきた核にあるという。

「獺祭は父が立ち上げたブランドですが、当時は会社も小さく、資金もありませんでした。このままでは落ちていく一方という状況からのスタートで、試してダメなら引き返す、を繰り返してきました。そのピボットの速さ一状況に応じて素早く方向修正しながら進んできた結果、今の形になったのです」と桜井氏は振り返る。

[次ページ > 予算 2 億円の宇宙プロジェクト](#) 予算 2 億円の宇宙プロジェクト

月での酒造りへの第一歩として、まずは月の環境で清酒が醸造可能なのか確認する必要がある。そこで ISS の有償利用制度を利用し、宇宙で醸造試験をすることにした。過去には本制度を利用して、焼酎酵母が宇宙を旅した事例はあるが、実際に宇宙空間でお酒を発酵させた成功例はない。ISS 専用の醸造装置は、各社の協力を得て開発。装置は山田錦、麴、酵母をセットした状態で打ち上げられ、宇宙飛行士が水を投入するだけで発酵が始まる仕組みだ。装置内では月と同じ 1/6G を作り出し、発酵が始まれば、装置付属の小型コンピュータから地球に遠隔で情報を飛ばし、地上で発酵条件を確認する。アルコールの生成は、発生した二酸化炭素量から判断する。打ち上げにかかるコストは、当初の予算からかさんで予想約 2 億円弱だという。



2025 年「アジアのベストレストラン 50」パーティーにて日本チェアマン中村孝則氏、受賞シェフとともに筆者（左）と桜井社長、食とワインのエキスパート瀬川あずさ氏

ソウルでのシェフ向けのイベント「Metizen Night」にて

醸造装置を搭載したロケットは、2025 年内に打ち上げ予定だ。打ち上げられる予定のグラス 2 杯分のうち 1 杯分はすでに予約売却済み、残りは分析に回し、今後月で酒造りをするための糧となる。

「将来月に行くことを、密かによこしまな夢として持っています。月に酒蔵ができれば、オーナーとして視察に月に行かざるをえませんか」と笑いながら、目を輝かせる桜井氏。そう遠くない未来に、月で酒を飲む、そんな夢のような話が現実には迫っている。

「山口の山奥の小さな酒蔵」から世界、そして宇宙へ

2023 年 9 月には米国ニューヨーク州に酒蔵「DASSAI BLUE Sake Brewery」を建設し、2024 年 11 月には仏三つ星シェフのヤニック・アレノ氏と共同でパリに「ル・イザカヤ・ダッサイ」をオープンするなど、獺祭の勢いには驚かされるばかりだ。海外イベントのスポンサーにも積極的で、先日も、米アカデミー賞パーティーで「獺祭 BLUE Type23」が提供され、初の日本酒提供の快挙として話題になった。

さらに食のアカデミー賞といわれる「ベストレストラン 50」世界版・アジア版においては 2021 年から日本唯一の公式スポンサーを務めている。世界中のトップ・シェフやフーディー、インフルエンサー等が集うセレモニーでは、鏡開きのパフォーマンスでパーティーに華を添えてきた。

[次ページ > 「遊びなら本気で」 4 万円の日本酒と韓国牛のペアリング](#)

「遊びなら本気で」 4 万円の日本酒と韓国牛のペアリング

2025 年 3 月にソウルで開かれた「アジアのベストレストラン 50」オフィシャルパーティーの 2 日前には、韓国のシェフ向けのイベント「Metizen Night」で獺祭を振舞った。じゅうじゅうと香ばしい香りと煙を上げる韓国牛とともに、ゲストが手にしているのは、もちろん獺祭のグラス。しかも「磨き その先へ（税込 41800 円）」「未来へ 農家と共に（税込 18700 円）」といった 1 本数万円もする日本酒までぽんぽん開いている。「ペアリングは、ある意味遊びみたいな部分もある。遊びなら本気でやったほうが楽しいので、一番いい酒を出しました」と桜井氏。Netflix の料理ドキュメンタリー『白と黒のスプーン』に出演した有名シェフなども参加し、夜中まで盛り上がったという。桜井氏といえば、2006 年に入社後、海外での営業を担当し、草の根的に獺祭を世界に広めてきた立役者だ。社長自らテーブルをまわり、名刺交換し言葉を交わす謙虚な姿に、アメリカ市場開拓時代から地を這うようにして草の根活動をしていた若き桜井氏の姿が目には浮かぶようだった。

「日本酒には大きな可能性があると感じています。同時にまだまだ知られておらず、『日本食と一緒にしか飲まないもの』というイメージが根強いのを実感しています」と話す桜井氏。そのため「さまざまなアプローチを試しながら、多くの人に日本酒を楽しんでもらう機会を増やしていきたい」と考えている。

「日本酒は日本食だけじゃない」。伝えた先に 1000 億

24 年度には売上高が過去最高となる 195 億円を達成、約半分が海外の売上を占める同社。アメリカ、中国、シンガポールなどを中心に輸出先は 40 カ国以上に増加し、今では日本酒全体の輸出の 2 割を占める。

さらなるブランド力強化のため、2025 年 6 月 1 日より旭酒造株式会社から「株式会社獺祭」へと社名変更し、獺祭 1 本で勝負する、という「本気の本気」を世に示した。外国人でも発音のしやすい「Dassai」というネーミング、磨き率の「23」や「39」という数字でランク分けされたラインナップは、海外にも受け入れられやすいだろう。公式発表の売上目標は、1000 億円―。内訳は国内 300 億円、海外 700 億と海外に比重をシフトする。「目標」とは銘打っているものの、売上は「世界の中で存在感をきちんと得るブランドになる」ための手段の一つだ。

「『日本酒は日本食だけじゃない』というメッセージを伝え、新しい食文化を作っていくことが、さらに日本酒や日本のモノづくりの可能性を広げ、世界でのブランド認知にもつながっていくと思います」と桜井氏は力を込める。失敗を恐れぬ挑戦で破竹の成長を続け、酒好きなら誰もが読み方を知っている現在、社員は約 300 人（うち製造メンバが 210 名）、年間生産本数は約 850～900 万本（750ml 換算）にまで成長した。2028 年にはプレミア

ム日本酒のみを醸す第三蔵も完成する予定だ。「小さな」酒蔵から、世界、そして宇宙へー。瀬祭の進化は止まらない。
文＝水上彩 編集＝石井節子

<https://wired.jp/article/miso-made-in-space-has-deeper-flavor/>

2025.04.20

みそを宇宙で発酵させたら、独特の“テロワール”が表れた

みそを国際宇宙ステーション（ISS）で発酵させることに、国際研究チームが初めて成功した。宇宙特有の条件が発酵過程に影響を及ぼすことで、いったいどんな香りや味わいになったのか。



Photograph: maple's photographs/Getty Images

研究チームは ISS で発酵させたみそを地球上の対照群と比較し、香りや味、微生物群の構成、麹菌の遺伝子配列の変異などを多角的に分析した。Photograph: Maggie Coblentz

国際宇宙ステーション（ISS）で発酵させることに成功したみそ。Photograph: J.D.E.

みそはゆでた大豆と麹と塩を合わせて、時間をかけて発酵させてつくる日本の伝統的な調味料である。その発酵過程を[国際宇宙ステーション（ISS）](#)で再現することに、このほど米国とデンマークの科学者による国際研究チームが[初めて成功した](#)。「地球低軌道上の宇宙空間はほぼ無重力だけでなく、放射線量が地球上よりはるかに高くなります。こうした環境条件が微生物の成長や代謝といった発酵プロセスに及ぼす影響を調べるのが目的です」と、デンマーク工科大学の研究者であるジョシュア・D・エヴァンスは[説明する](#)。エヴァンスらの研究チームは、ISS で発酵させたみそを地球上の対照群と比較し、香りや味、微生物群の構成、麹菌の遺伝子配列の変異などを多角的に分析した。その結果[宇宙](#)産のみそはナッツのような香ばしさがわずかに強く、香り成分の総量も地球のみそよりも格段に多いことがわかった。この違いは宇宙空間での発酵環境に起因すると考えられるという。

放射線で麹菌が変異

研究者たちは今回、みその原料を3つの容器に分けて、ISS のほかにマサチューセッツ州ケンブリッジとデンマークのコペンハーゲンで30日にわたって発酵させた。この間、ISS とケンブリッジの容器には環境センサーを取り付けて、温度や湿度、気圧、放射線量を常時モニターした。

研究チームによると、ISS の容器内の平均温度は 36.3℃で、ケンブリッジの 23℃よりはるかに高温だった。また、放射線量も地球上の120倍に達していたという。なお、この温度は発酵のために意図的に設定されたものではなく、ISS 内部の設備環境によって発酵容器が晒されていた本来の室内温度である。

さらに、みその中で生育した微生物群をメタゲノム解析したところ、ISS のみそには地球のみそとは異なる菌構成が確認できたという。特に皮膚の常在菌として知られるブドウ球菌の一種である「*Staphylococcus epidermidis*」や「*Staphylococcus warneri*」が多く、「*Bacillus velezensis*」という発酵食品に関連する菌もISSのみそにだけ検出された。それと同時に麹菌（*Aspergillus oryzae*=ニホンコウジカビ）の残存量が多かったことから、環境要因による微生物間の競合は地球上ほど活発ではなかったことを示唆している。

このほか、みその発酵に不可欠な麹菌のゲノムにも変化が生じていた。ISS のみそに含まれる麹菌は、地上由来の菌株と比較して120以上の変異を示しており、特に第8染色体に変異が集中していたという。これらの変異は、宇宙空間に特有の放射線環境がDNAの損傷と修復過程に影響を及ぼした結果であると考えられる。こうした遺伝的な変化が発酵機能や代謝に及ぼす影響については、さらなる調査が求められる。

宇宙特有のテロワール

香りと味に関する分析では、ISSのみそがエステル(酸とアルコールの脱水縮合によって生成される有機化合物)や、ピラジン類(アミノ酸と糖質が加熱された際に発生する香ばしい匂いの成分)の香気成分を地上のみその数倍多く含んでいることがわかった。特に焼き菓子やナッツを思わせる香ばしさが際立っている。

研究者たちがガスクロマトグラフ質量分析(気化しやすい化合物の原子や分子をイオン化して、質量スペクトルから化合物の情報を得る手法)でみそに含まれる香り成分の種類と量を測定したところ、ISSのみそにはフェニル酢酸メチルエステルなどの甘い香りをもたらす成分が地上のみそよりも多く含まれていたという。

味の要素では、いずれのみそも旨味成分のグルタミン酸を豊富に含んでおり、みそとしての完成度は高かった。違いは、いずれもアミノ酸の一種であるヒスチジンとアスパラギンの濃度差に表れたという。初期のタンパク質分解の指標とされるヒスチジンは、地球で発酵させたみそのほうが多かった。一方でISSのみそはアスパラギンの含有量が多く、より熟成が進んでいることを示唆していた。なお、ISSのみそは地球のものより色が明らかに濃かった。これは高温環境がメイラード反応(食品を加熱した際に糖とアミノ酸などの間で褐色物質が生成される化学反応)を促進したことによるものと考えられる。官能評価でも、ISSのみそを試食した人の多くが好意的な反応を示した。宇宙空間という特殊な環境で発酵させたみそならではの強いロースト香と深い風味について、研究者たちは“宇宙テロワール”の産物であると表現している。テロワールはワインやコーヒーの分野で使われる用語で、産地特有の気候や土壌といった農産物の品質や特徴を決定する要素を指す。今回の研究の意義は、単に宇宙でみその発酵に成功したという事実にとどまらず、宇宙探査における食文化の価値について議論を促すきっかけになったことにあると、マサチューセッツ工科大学の[マギー・コブレンツ](#)は語る。この成果が将来的に宇宙飛行士の健康維持とパフォーマンスの向上につながることを、研究者たちは期待している。

(Edited by Daisuke Takimoto)

<https://sorae.info/esn/stellar-classification.html>

星の色が違うのは表面の温度が違うから？

2025-04-21 2025-04-21 [ソラノサキ](#)



夜空では様々な色の星が輝いています。こうした恒星の色は、表面温度の違いに左右されます。

【▲ 恒星の色と温度の関係を示した図です。スペクトル型(ローマ字で M、K、G、F、A、B、O)によって恒星が分類されており、太陽は G 型の恒星に分類されます (Credit: ESO/Kheider)】

中心で水素の核融合反応が起きている壮年期の星(主系列星)には、色が青いほど温度は高く、色が赤いほど温度は低い、という関係があります。また、温度が高い恒星ほど重くて寿命が短く、温度が低い恒星ほど軽くて寿命が長い、という関係もあります。赤色超巨星に進化して超新星爆発を起こすことがあるのは、太陽 8 個分よりも重い恒星。その時には中性子星やブラックホールが誕生することがあります。それよりも軽い恒星は赤色巨星に進化して、超新星爆発を起こさないままガスと塵を放出して、白色矮星に進化すると考えられています。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

<https://wired.jp/article/terraform-mars-by-throwing-asteroids/>

2025.04.22

人類は火星に住めるようになる？ 小惑星をぶつけて“地球化”する計画

人類が火星に移住し、宇宙服なしで生き延びたいと望むなら、地球に近い大気環境をつくり出さねばならない。解決策のひとつとなるかもしれないのが、水資源に富む小惑星を火星に激突させる方法だ。



Photograph: GETTY IMAGES

[イーロン・マスクがNASAのアルテミス計画を批判し、「わたしたちは火星へ直接向かう」と言った真意](#)

By Eric Berger

地球外の惑星に関する研究と解明が進むほど、そこに人類が移住できる望みが薄れていくことはよくある。例えば、[火星](#)がそうだ。さまざまなデータが示すように、地球に最も近い天体でありながら、火星の環境はあらゆる生き物にとって極端なまでに過酷だ。それでも、[米航空宇宙局 \(NASA\)](#) は「赤い惑星」と呼ばれるこの星に宇宙飛行士を送る[計画](#)を進め、[イーロン・マスク](#)は人類の火星移住を声高に提唱している。実現に向けた短期的な方策としては、閉鎖型の特殊な居住設備の建造が挙げられる。一方、長期的な視点から、より野心的な戦略を提案する人々もいる。宇宙コロニー化の熱烈な支持者たちが提言するのは、火星を地球に似た環境の惑星に生まれ変わらせる「テラフォーミング（地球化）」だ。火星のテラフォーミングに関するいかなる提案も、実現までに数十年の歳月を要することは多くの科学者が認めているが、この遠大な計画の実行手段を精査する作業はすでに始まっている。ポーランド科学アカデミー地球物理学研究所の教授であるレシェク・チェコウスキは、この赤茶けた星を、人間が宇宙服なしで歩き回れる場所に変える方法を[提案している](#)。その方法とは、太陽系から遠く離れた場所にある小惑星を、火星に衝突させるというものだ。

人間が生きていける状態にするために

酸素がほとんど存在せず、大気が薄すぎるせいで地表に水を貯めておけない火星は、荒涼とした“砂漠の惑星”だ。何よりもまず、大気圧の不足という課題に取り組まない限り、この環境は決して変わらない。人間が何の装備もなしに火星に降り立てば、即死は免れない。しかし、それは窒息死や凍死ではない。大気が希薄なせいで瞬時に全身の血液が沸騰し、死に至るのだ。地球の大気圧は、その濃密な大気中に含まれるさまざまな気体の総量によって決まる。地球の海面における大気圧が 1,013 ヘクトパスカルであるのに対し、火星の大気圧はその 1%にも満たない 6 ヘクトパスカル未満だ。ゆえに、テラフォーミングの第一段階として科学者たちがとるべき行動は、火星の大気濃度を上げることなのだ。極端な気温変動への対策、太陽放射の防護策、水の確保といったその他の主な課題については、その後に順を追って対策することになるだろう。火星のテラフォーミングの可能性を探る科学者たちは、一様に同じ結論にたどり着く。大気を変えられるほどの資源は火星に存在しないし、地球から運び込もうとすれば過去に類のない莫大なエネルギーが必要になる、ということだ。この難問に対するチェコウスキの解答が、火星に小惑星を衝突させることなのだ。彼は、火星の南半球に位置する「ヘラス平原」と呼ばれる巨大な衝突クレーター（隕石の衝突により形成されたクレーター）の真上に、大型の小惑星を衝突させる方法を提言している。彼の学説によると、居住可能な環境に変えるために必要な元素を含む大型小惑星を激突させることで、その衝撃が火星の気温と大気濃度を上げるはずだという。カイパーベルトからの“資源調達”ただし、どんな小惑星でもいいわけではない。水と窒素を豊富に含んでいることが絶対条件だ。そうなると、木星と火星の間

に広がる太陽系の小惑星帯に属する惑星はいずれも即座に除外される。必然的に、太陽系外縁部に沿って円盤状に分布し、さまざまな氷結物質と原始から存在する豊富な水に恵まれた「カイパーベルト」の大型小惑星を使うことになる。未来の人類は、地球から遠く離れたこのカイパーベルトに出向かなければならないだろう。そこで目的に合った小惑星を選び、ロケット燃料を装着する。そうすることで、軌道上を回る小惑星の速度を低下させ、太陽の引力を借りて小惑星を太陽系の内側に引き寄せる。そこでロケットを再噴射させると同時にほかの惑星の重力場の作用を利用し、火星に小惑星を衝突させるのだ。この小惑星は、衝突までに29～63年間に及ぶ旅路をたどる見込みだという。衝突により小惑星内の各種元素が火星の環境にとけ込み、より密度の高い、生命の維持に適した大気の形成を助ける火山活動を誘発することが期待されている。2025年の月・惑星科学会議（LPSC 2025）で発表された論文の中で、チェコウスキは「ほかの天体から資源を取り込むことで、人類の生存に適した大気を生み出せる」と明言している。彼の試算によると、カイパーベルトに到達し、小惑星を動かして火星に衝突させるまでに要するエネルギーの量は、地球の総エネルギー消費量の数年分に匹敵するという。このミッションは「莫大なエネルギーを必要とするため、地域内で入手可能な水素を使った核融合原子炉での発電とイオンエンジンの活用が、最も適切な選択肢と考えられる」とチェコウスキは述べている。

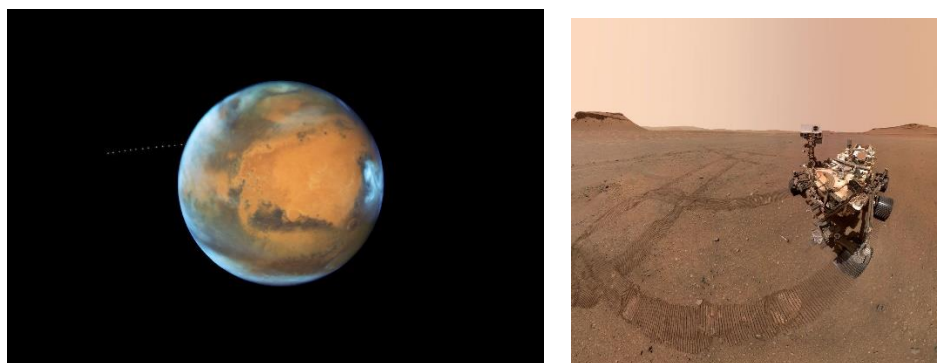
(Originally published on es.wired.com and wired.com, translated by Mitsuko Saeki, edited by Mamiko Nakano)

<https://wired.jp/article/nasa-mars-rover-strange-rocks-discoveries/>

2025.04.23

NASAの探査車が火星で発見した“奇妙な岩石”の数々

米航空宇宙局（NASA）の火星探査車「パーサヴィアランス」が火星で奇妙な岩石を発見した。しかし、実は火星で奇妙な岩石が発見されたのは今回が初めてではない。そこで、これまでに見つかった奇妙な岩石を写真で紹介していこう。



火星全体の様子。2017年12月に米航空宇宙局（NASA）のハッブル宇宙望遠鏡が撮影した。なお、左側に見えるのは火星の衛星「フォボス」の連続写真である。PHOTOGRAPH: [NASA/ESA/Z. Levay \(STScI\)](#)

NASAの火星探査車「パーサヴィアランス」による“自撮り”。パーサヴィアランスは、太古の火星に存在した可能性がある微生物の痕跡の探査などをミッションとして、2020年7月に打ち上げられた。カメラやレーザー、分光計を使って火星の地表を調べる「SuperCam」のほか、特殊なフィルターで解像度を高めたカメラ「Mastcam-Z」などの [7つの科学機器を搭載](#)し、現在もジェゼロ・クレーターを探査している。この写真は搭載されたカメラ「WATSON」で撮影した59枚の画像を合成したものだ。PHOTOGRAPH: NASA/JPL-CALTECH/MSSS

米航空宇宙局（NASA）の [火星探査車「パーサヴィアランス」](#) が、このほど [火星](#) で奇妙な岩石を発見した。この岩石は数百ミリメートルの小さな丸い石からできているという。 [NASA](#) の研究チームが起源などを探っているが、まだはっきりとしたことはわかっていない。火星でこのような奇妙な岩石が発見されたのは、実は今回が初めてではない。これまでもNASAの火星探査車は、火星でいくつもの奇妙な岩石を発見してきた。これらの岩石は、火星の地質学的な歴史をひもとくうえで重要な手がかりになるとされている。今回はパーサヴィアランスをはじめとするNASAの火星探査車が発見してきた“奇妙な岩石”を、実際に現地で撮影された画像に基づいて紹介して

いこう。

パーサヴィアランスが発見した奇妙な岩石

パーサヴィアランスがジェゼロ・クレーターの縁にある丘「ウィッチ・ヘーゼル・ヒル」のブルーム・ポイントに到着したのは 2025 年 3 月上旬のことだった。



ジェゼロ・クレーターの縁にある丘「ウィッチ・ヘーゼル・ヒル」は、この図の左下に位置している。青い線はパーサヴィアランスが移動した跡を示す。PHOTOGRAPH: [NASA/JPL-CALTECH/UNIVERSITY OF ARIZONA](https://www.nasa.gov/jpl-caltech-university-of-arizona)
この地域には、明るい色の地層と暗い色の地層が交互にしま模様になって存在していることが、衛星軌道からの観測でわかっていた。そして 3 月下旬、パーサヴィアランスはそのうちの明るい色の地層のひとつを掘削し、サンプルを採取した。奇妙な岩石は、この地点から発見されたのである。

ブルーム・ポイントで発見された奇妙な岩石「セント・ポールズ・ベイ」の写真。右側の中心あたりにあり、周りの岩石に比べて暗い色調で浮き上がって見えている。パーサヴィアランスのサイエンスチームによると、セント・ポールズ・ベイは、この場所に存在するはずがない岩石（float rock）だという。なお、この写真はパーサヴィアランスが 2025 年 3 月 13 日に Mastcam-Z を使って撮影した。PHOTOGRAPH: NASA/JPL-CALTECH/ASU
この大きさが数百ミリメートルの暗い灰色の小さな丸い石でできているように見える岩石は、パーサヴィアランスのサイエンスチームによって「セント・ポールズ・ベイ」と名付けられた。

セント・ポールズ・ベイを形づくっている小さな丸い石の形状は、さまざま。楕円形をしたもの、とがった縁をもつもの、なかには小さな穴が空いているものもある。

「セント・ポールズ・ベイ」を拡大した様子。多数の奇妙な形をした丸い小石でできていることがわかる。この写真はパーサヴィアランスが、SuperCam に搭載したリモート・マイクロ・イメージャー（RMI）で 2025 年 3 月 11 日に撮影した。PHOTOGRAPH: NASA/JPL-CALTECH/LANL/CNES/IRAP.

これまでも見つかった奇妙な岩石たち

これ以外にも NASA の火星探査車は、いくつもの奇妙な岩石を発見してきた。そのうちのいくつかを以下に紹介していこう。最初は NASA の[火星探査車「オポチュニティ」](https://www.nasa.gov/jpl-caltech-university-of-arizona)が発見した「ブルーベリー」と呼ばれる岩石だ。着陸地点のイーグル・クレーターからエンデュランス・クレーターへと向かう途中で通過したフラム・クレーターのすぐそばで発見した。酸化鉄（ Fe_2O_3 ）の一種であるヘマタイトを豊富に含んでいるという。



「ブルーベリー」の愛称で呼ばれる火星の岩石。NASA の火星探査車「オポチュニティ」が 2004 年 4 月にフラムクレーターの近くで顕微鏡イメージャー（MI）とパノラマカメラを使って撮影した。オポチュニティは、03 年 6 月に打ち上げられた NASA の火星探査車「スピリット」に続いて 03 年 7 月に打ち上げられ、04 年 1 月にメリ

ディアニ平原に着陸した後、19 年 2 月にミッションを終了するまで 15 年以上にわたって火星の探査を続けた。

PHOTOGRAPH: [NASA/JPL-CALTECH/CORNELL/USGS](https://www.nasa.gov/images/content/1234567main/curiosity_0001.jpg)

NASA の火星探査車「キュリオシティ」が、ゲールクレーター内に位置する浅い盆地「イエローナイフ湾」で撮影した地層の様子。キュリオシティに搭載された右側のマストカメラ（Mastcam）を使って撮影された。イエローナイフ湾内にある露出した地層にたくさんの小さな丸い石が見えている。キュリオシティは 2011 年 11 月に打ち上げられ、現在も火星の探査を続けている。PHOTOGRAPH: [NASA/JPL-CALTECH/MSSS](https://www.nasa.gov/images/content/1234567main/curiosity_0001.jpg)

ジェゼロ・クレーター内に位置するネレトヴァ溪谷で発見された、まるでポップコーンのような石質をもつ堆積岩の様子。パーサヴィアランスが 2024 年 6 月に右の Mastcam-Z を使って撮影した。

PHOTOGRAPH: [NASA/JPL-CALTECH/ASU](https://www.nasa.gov/images/content/1234567main/curiosity_0001.jpg)

続いては NASA の [火星探査車「キュリオシティ」](https://www.nasa.gov/images/content/1234567main/curiosity_0001.jpg)が発見した、多くの小さな丸い石が見える地層だ。この地層は、火星のイエローナイフ湾と呼ばれる地域に露出した「シープベッド」と呼ばれる地層の一部で、このような小さな丸い小石はシープベッドの他の部分でもよく見られるという。

最後はパーサヴィアランスが発見した“ポップコーン”のような質感をもつ堆積岩だ。ウォッシュバーン山での探査を終えたパーサヴィアランスは北へと向かい、ネレトヴァ溪谷に位置する「ブライトエンジェル」と呼ばれる層状に堆積した明るい色調の岩石が地表に露出した地域に到達した。ここでパーサヴィアランスは、この奇妙な質感をもつ岩石を発見したという。

これらの 3 つの事例で見られる小さな丸い石は、岩石と岩石に空いた小孔を循環する地下水との相互作用によって形成されたと考えられている。このような岩塊をコンクリーションと呼ぶ。このようなメカニズムで小さな丸い小石が形成されたことは、太古の火星に豊富な液体の水が存在していたことを示唆しているという。

ただ、このような小さな丸い石が形成された原因は、ほかにもいくつか考えられる。たとえば、地球では噴火で吹き上げられた溶けた岩石の滴が急速に冷却されたときや、隕石の衝突によって気化した岩石が冷えて凝集するときにも、このような小さな丸い小石が形成されることがわかっている。

なお、セント・ポールズ・ベイを形づくっている小さな丸い小石の形成原因については、まだ確定していない。パーサヴィアランスのサイエンスチームは、セント・ポールズ・ベイを形づくる小さな丸い石の形成原因を探るべく、セント・ポールズ・ベイが衛星軌道からの観測によって確認された暗い色の地層に由来する可能性を視野に入れながらも、セント・ポールズ・ベイの起源を調べているところだ。（Edited by Daisuke Takimoto）

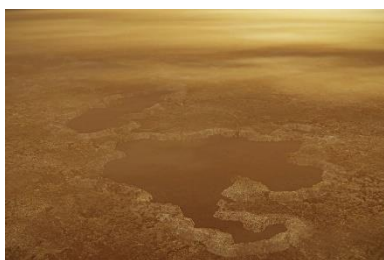
<https://forbesjapan.com/articles/detail/78664>

2025.04.22 18:00

土星衛星タイタン、生命存在の可能性も生物量は「わずか小型犬 1 匹」程度か



[Jamie Carter | Contributor](#)



土星の衛星タイタンの北極域にある炭化水素の湖を描いた想像図（NASA/JPL-Caltech）[全ての画像を見る](#)

土星最大の衛星タイタンに、地球外生命は存在するだろうか。地球以外で表面に気象現象と液体が存在する太陽系唯一の天体であるタイタンは以前から、生命を育てている可能性のある場所の候補に挙がっている。ドローン型無人機でタイタンを調査する心躍る探査ミッション「[ドラゴンフライ](#)」の打ち上げが 2028 年 7 月に予定され

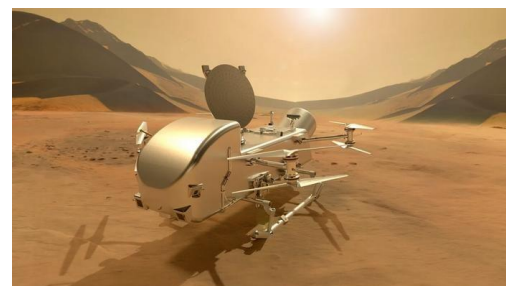
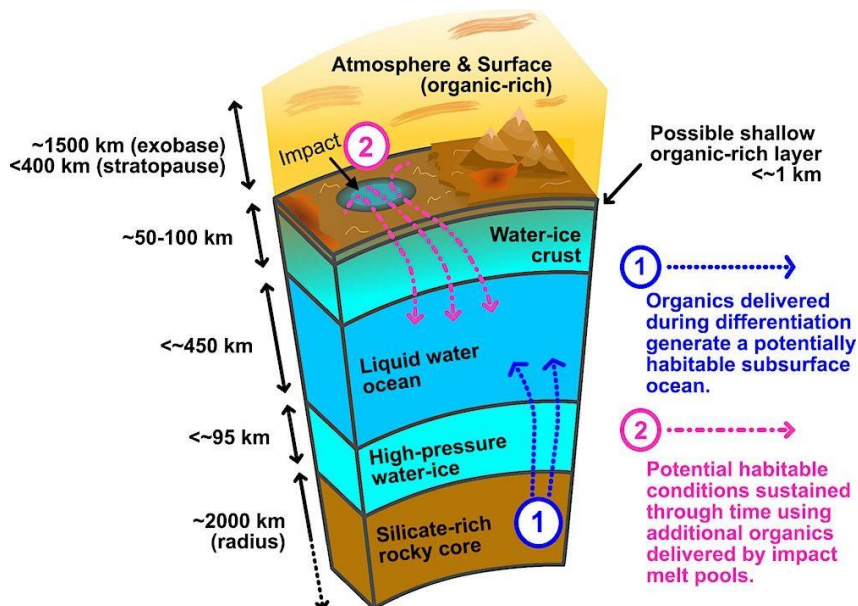
ている中、どのような探査結果が期待できるかに関する現実的な評価を試みた最新の研究結果が発表された。

タイタンが特異な理由

2008 年には、米航空宇宙局（NASA）の土星探査機カッシーニの観測で、タイタンに水とアンモニアからなる内部海が存在することが示唆された。太陽系の氷天体、特に木星と土星の氷衛星は氷殻の下に海があり、そこに生命が存在することは理論的には可能と考えられているが、タイタンの状況は他と異なる。今回の研究をまとめた論文の筆頭執筆者で、米アリゾナ大学生態学進化生物学部の博士課程修了研究員のアントニン・アフホルダーは「この研究で重点的に取り組んでいるのは、タイタンが他の氷衛星と比べて特異な状況にある理由についてだ」と話す。タイタンには、窒素を豊富に含む大気、液体メタンの雨や湖や海、汀線（湖や海と陸との境界線）、溪谷や尾根、氷の岩、メサ（卓状台地）、砂丘などがあるだけでなく、生命そのものの構成要素になるかもしれない奇妙な前生物化学が存在している。大気中でメタンや窒素から生成される複雑な有機化合物が、タイタンの表面に蓄積しているのだ。これは食物、そして生命を意味するのかもしれない。あるいは、そうではないかもしれない。

タイタンで生命存在の可能性がある場所

科学誌 The Planetary Science Journal に掲載された今回の論文によると、タイタンには単純な微生物が生息している可能性がある。だが、全体としての生物量（バイオマス）は、せいぜい数 kg にすぎない可能性が高い。なぜなら、タイタンで生命が存在する可能性が最も高い内部海は深さが 450km 以上あり、有機化合物が存在する表面との相互作用があまりないからだ。アフホルダーは「タイタンは有機物が非常に豊富なので、生命を支えられる食物源はいくらでもあると、これまで考えられてきた」として「有機分子がすべて食物源を構成するわけではないかもしれず、内部海は非常に大きいうえに、内部海と表面との間の物質のやり取りが限られている」と説明する。しかし、だからといって生命が存在しないというわけではなく、起こり得るメカニズムが変わるだけだ。



土星の衛星タイタン内部の層状構造を示した概略図。表面の厚さ 1km の有機物に富む層と厚さ 50～100km の氷殻の下に深さ 450km の内部海がある。1 と 2 は今回の研究で検証した内部海への有機物の供給経路（Antonin Affholder et al 2025 Planet. Sci. J. 6 86）

土星の衛星タイタンを探査する無人離着陸機ドラゴンフライを描いたイラスト。2028 年に打ち上げられ 2034 年にタイタンに到着する予定（NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben）

次ページ > 生命存在の最も可能性の高いシナリオ

タイタンの生命存在の最も可能性の高いシナリオ

タイタンの生命の存在を後押しする最も可能性の高いシナリオは発酵だと、研究チームは考えている。地球ではパンやワイン、ビールやキムチなどの製造過程としてよく知られている発酵は、微生物による物質の分解作用であり、必要なのは有機分子だけで、酸素のような「酸化剤」は不要だ。発酵は呼吸とはまったく異なる。呼吸は、

植物から動物までの地球の生物のあらゆる細胞で行われている化学反応の1つだ。

アフホルダーによれば、地球の生命は地球形成の残りの有機分子を食物とする生物として最初に出現した可能性があり、発酵によって「タイタンで発生したかどうか分からない未知の、あるいは推測されるメカニズムへと可能性を広げる必要がなくなる」という。

「小型犬1匹」相当の微生物

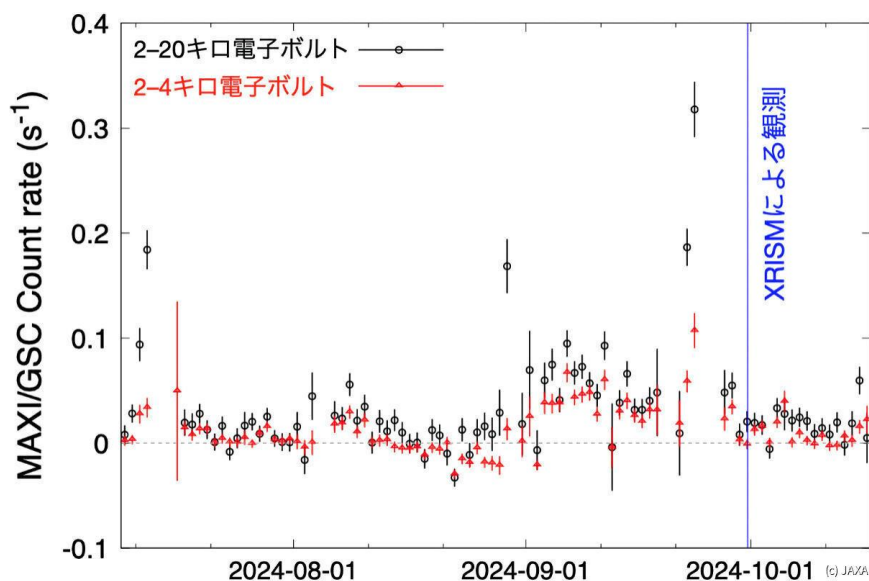
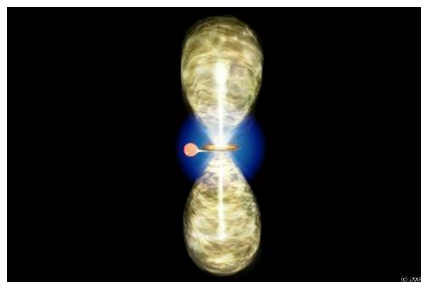
アフホルダーと研究チームは特に、アミノ酸の一種のグリシン ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) に着目した。グリシンはタイタンの大気中で合成されて表面に堆積し、内部海にまで到達する可能性がある。内部海中の微生物がグリシンを食物とすることができたのだろうか。これは、偶然の選択ではなかった。グリシンは彗星や小惑星で見つかっているほか、星形成や惑星形成の材料になるガス雲にも存在する。原始太陽系にも豊富にあった。だが、内部海に到達するグリシンの量はほんのわずかであることが、研究チームが実施したコンピューターシミュレーションで明らかになった。アフホルダーは「この供給量では、ごくわずかな個体数の微生物を支えることしかできないかもしれない。微生物の総重量にしてせいぜいわずか数 kg、小型犬1匹分の質量に相当するにすぎない」として「このように極めて小さい生物圏は、タイタンの広大な海全体で平均すると水1リットル当たり単細胞生物1個足らずとなる」と説明した。NASAのドラゴンフライ探査機は、2034年にタイタンに到着する予定で、探査期間は2年の見通しだ。ミッション期間中は、回転翼を持つドローン型離着陸機がタイタンの1日(16地球日に相当)ごとに新たな場所へと飛行し、表面にある有機化合物の試料の採取、化学的なバイオシグネチャー(生命存在指標)の探索、タイタンの活発なメタン循環の調査などを実施する。(forbes.com 原文) 翻訳＝河原稔

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20250421-3209280/>

JAXA、ブラックホール連星に天然の粒子加速器としての証拠を観測

掲載日 2025/04/21 11:31 著者：波留久泉

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は4月18日、X線分光撮像衛星「XRISM(クリズム)」によるブラックホール連星「V4641 Sgr」の観測結果から、通算2例目となる、ブラックホール近傍に広がった、宇宙線を生み出す粒子加速に伴う暗いX線放射を検出したことを発表した。



ブラックホール連星 V4641 Sgr のイメージ。(c) JAXA(出所:XRISM Web サイト)

国際宇宙ステーション搭載のX線観測装置 MAXI による V4641 Sgr の光度変動。XRISM の観測期間は青い帯で表示されている。(c) JAXA(出所:XRISM Web サイト)

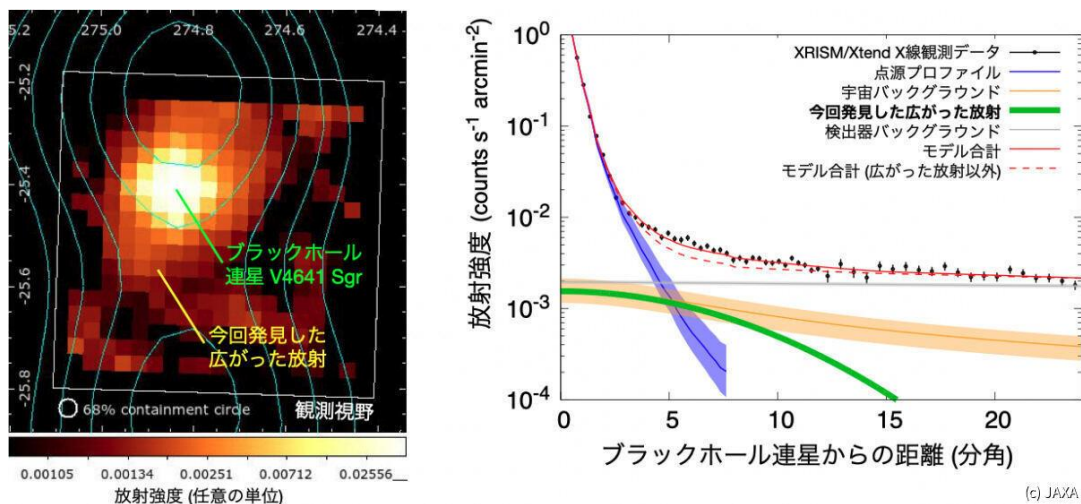
同成果は、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)の鈴木寛大特任助教らの国際共同研究チームによるもの。詳細は、[米天体物理学専門誌「The Astrophysical Journal Letters」に掲載された。](#)

近年、太陽系外から飛来する銀河宇宙線の研究が進み、これまでは不明だった起源として、超新星残骸などいくつかの天体が候補として挙げられている。その候補天体の1つとして近年浮上しているのが、太陽質量の数倍程度のブラックホールと恒星からなる連星系だ。その代表例は、わし座の方向にある超新星残骸「W50」(別名「マナティー星雲」)内に位置する特異天体「SS433」である。高速ジェットを噴出するSS433/W50のようなブラックホール連星は、天然の粒子加速器として機能すると考えられている。

いて座の方向、2万光年前後の彼方に位置するV4641 Sgrは、そうしたブラックホール連星の1つだ。近年のガンマ線観測では、ブラックホール連星の中でもトップクラスの粒子加速性能を持つことが判明している一方で、粒子加速環境を詳細に理解するためには、空間的に広がったX線成分を捉える観測が必要不可欠だった。研究チームは今回、これまでに十分なX線の観測データが得られていない状況を踏まえ、2023年9月に打ち上げられた日本の7番目のX線天文衛星XRISMによる観測を実施したという。

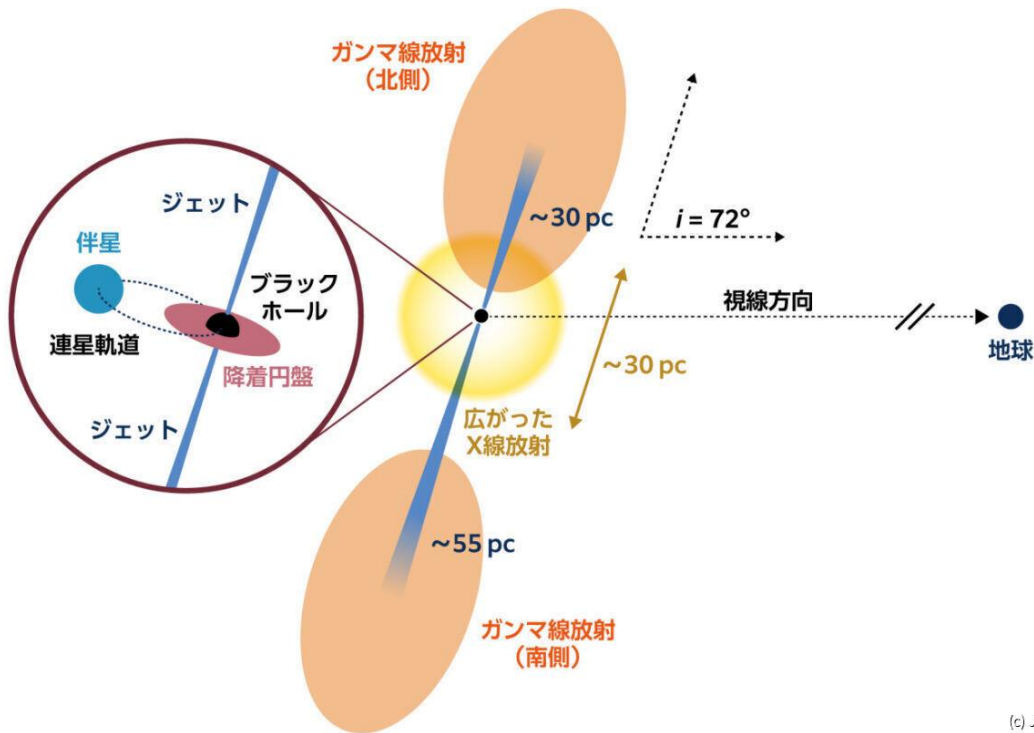
今回の観測では、近傍の超新星爆発をはじめとする突発天体などの稀な天文現象を捉えるために使用される特殊な観測枠である「Director's Discretionary Time」(DDT)が用いられた。これは、2024年9月ごろからV4641 Sgrが数年に1度のX線バースト活動を始めたための観測である。

観測は、ブラックホール近傍の精密分光を主目的として、軟X線分光装置「Resolve」のマイクロカロリメータを用いて実施されたと同時に、広視野と低バックグラウンド性能を特長とする軟X線撮像CCDカメラ「Xtend」による観測も行われた。その結果、ブラックホール近傍に広がる暗いX線放射成分が初めて検出された。これまで、日本の5番目のX線天文衛星「すざく」(運用期間:2005年7月～2015年8月)などによる観測データは存在したもの、視野が狭く、広がった暗いX線放射とバックグラウンド放射を区別することが困難だったため、広がった放射成分の検出は実質的に不可能であったことから、今回のXRISMによる観測が初検出となった。



(左)Xtend による V4641 Sgr 周辺の X 線画像。等高線はガンマ線放射の分布。(右)V4641 Sgr を中心とした半径方向の放射プロファイル。(c) JAXA(出所:XRISM Web サイト)(出所:)

今回のX線放射は、近年のガンマ線観測から推測されていた高エネルギー粒子の分布とは異なり、ブラックホール近傍に集中していた。これは、天然の粒子加速器として働くメカニズムが、ブラックホール中心の極近傍という限られた環境で活発に作用していることを明確に示すものだという。



(c) JAXA

V4641 Sgr の概念図。(c) JAXA(出所:XRISM Web サイト)

さらに、XRISM のデータを用いて天体方向のバックグラウンド放射成分を精密にモデル化し、約 20 年前の米国航空宇宙局(NASA)の X 線天文衛星「チャンドラ」による観測データへの適合が行われた。その結果、今回の発見と完全に整合する、同レベルの広がった X 線放射成分が確認できたとのこと。研究チームはこの事実について、V4641 Sgr のようなブラックホール連星において、強力な粒子加速は活動的なバースト期だけでなく、静穏期にも起きている可能性を強く示唆するものとし、ブラックホール連星における粒子加速メカニズムに関する従来の理論予想を大きく覆す発見といえるとした。

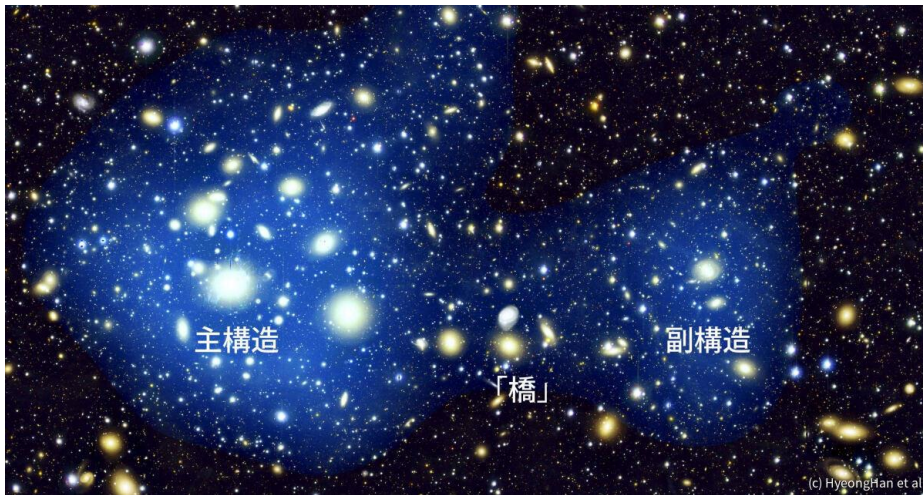
今回の研究は、Xtend を主として用いた最初の科学成果であり、これまでは Resolve の補助として用いることが多かった Xtend の単体としての強みを示すことができたという。高感度に X 線を観測することで、これまで限られていたブラックホール近傍の粒子加速器としての素性に迫る貴重なデータを拡張していくことができる可能性が示された点も重要とする。今回の観測で静穏期に粒子加速が起きていることが示唆された点は、粒子加速現象がジェットを伴う活動的なブラックホールだけでなく、これまで考えられていなかった静穏な状態のブラックホールでも一般的に起きている可能性もあるとのこと。今回の成果は、V4641 Sgr の今後の詳細な観測や理論研究を活発化させるだけでなく、ブラックホール天体での粒子加速や、さらには銀河全体での宇宙線生成の物理的理解を観測・理論の両面で大きく躍進させる契機となるとしている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20250424-3234461/>

すばる望遠鏡、ペルセウス座銀河団と衝突したダークマターの塊を発見

掲載日 2025/04/24 17:11 著者：波留久泉

国立天文台は 4 月 23 日、すばる望遠鏡を用いて、これまで“静穏な銀河団の典型例”と考えられていた「ペルセウス座銀河団」に関する詳細な分析を行った結果、同銀河団の中心部から約 140 万光年離れた位置に、太陽質量の約 200 兆倍というダークマターの巨大な塊(副構造)を特定し、それが約 50 億年前に同銀河団と衝突し、その重力的に相互作用した痕跡と考えられる「橋」のような構造を捉えることに成功したと発表した。



ペルセウス座銀河団で検出されたダークマターの分布(青色)。背景はすばる望遠鏡によって撮影された画像。今回発見されたダークマターの塊(副構造)は、銀河団中心部(主構造)から約 140 万光年離れた位置に存在していた。さらに、副構造と主構造を結ぶ橋のような構造も発見された。(c) HyeonHan et al.(出所:すばる望遠鏡 Web サイト)

同成果は、韓国・延世大学のキム・ヒョンハン博士らの国際共同研究チームによるもの。詳細は、[英科学誌「Nature」系の天文学術誌「Nature Astronomy」に掲載された。](#)

銀河団は、重力によって結びついた数千もの銀河からなる、宇宙における巨大な構造の 1 つだ。我々の天の川銀河も単独で存在しているわけではなく、隣のアンドロメダ銀河と共に周辺の矮小銀河を重力的に束縛して 50～60 個の銀河で「局所銀河群」を構成している。さらに、同銀河群は、地球から約 5900 万光年と最も近くにある「おとめ座銀河団」に重力的に束縛され、それら全体を含めて銀河団の上位構造である「局所超銀河団」を構成している(さらにその上に、完全に重力では結びついていないが、「ラニアケア超銀河団」という超々銀河団ともいべき構造もある)。おとめ座銀河団の場合、およそ 3260 万～8150 万光年の範囲内に、史上初めて観測された超大質量ブラックホールの母銀河である巨大楕円銀河「M87」を中心に、大小合わせて 3000 個以上の銀河が密集している。その質量は研究によって 1 桁ほど異なり、太陽質量の 600 兆～2000 兆倍とされる。銀河団とは、銀河の密集地域といえ、そこでは衝突・合体も起きやすく、また銀河はそうして成長していく。

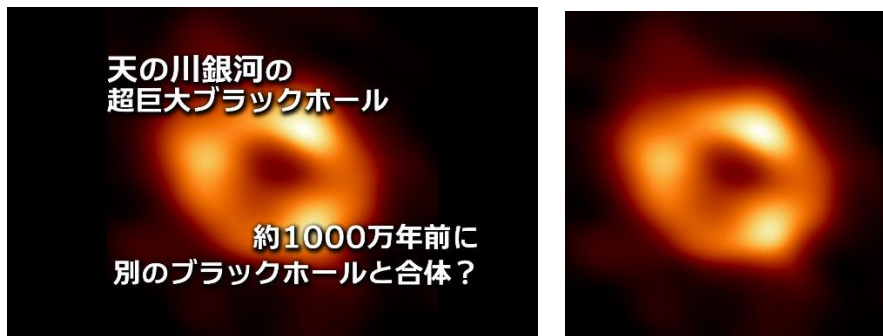
今回の観測ターゲットとなったペルセウス座銀河団は、地球からおよそ 2 億 4000 万光年の距離に位置し、質量は太陽の約 600 兆倍だ。これまでの研究から、同銀河団では合体の痕跡が見られないことから、銀河の衝突・合体が終了し、安定した状態にある「静穏な銀河団の典型例」と考えられてきた。ところが近年、観測技術が発達したことで、同銀河団の構造をより詳細に観測できるようになり、その結果、かすかながらも説得力のある、過去のかく乱の証拠が発見された。しかし、もしそれが間違いなく過去の衝突の痕跡だとした場合、衝突した相手がいなくてはならないが、これまで確認できていなかった。そこで研究チームは今回、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ「Hyper Suprime-Cam」(ハイパー・シュプリーム・カム)で取得された撮像データを詳細に分析することにしたという。銀河団などの巨大な質量が、背後の銀河の光を曲げ、同じ銀河が増光したり、複数に分裂して見えたりする現象は、「重力レンズ効果」として知られている。遠方天体の観測に有効であると同時に、重力以外では検知できないダークマターの分布を探る強力な手段でもある。今回の研究では、独自開発された「重力レンズ解析手法」を用いて詳細な撮像データの分析が行われた。同解析手法は、背景にある銀河の形が、ペルセウス座銀河団のダークマターの存在によって極めてわずかに歪められる「弱重力レンズ効果」の影響を精密測定して、ダークマターの分布を調べるという手法であるその結果、ペルセウス座銀河団の中心部から約 140 万光年離れた位置に、太陽質量の約 200 兆倍というダークマターの巨大な塊である副構造が特定された。また、この副構造とペルセウス座銀河団の中心部が、淡いながらも統計的に有意な“橋”のような構造で結ばれていることも発見された。このダークマターの橋は、両者に重力的な相互作用があったことを直接的に示すものだ。数値シミュ

レーションの結果、このダークマターの橋は、約 50 億年前にペルセウス座銀河団と衝突した痕跡であることが示唆された。この衝突の痕跡は、現在も銀河団の構造に影響を及ぼしていることが考えられるという。これまで、ペルセウス座銀河団では非対称な構造やガスの渦などが観測されていたが、銀河団の大規模な衝突の証拠と考えると、すべてがきれいに説明できるとした。今回の研究成果については、2023 年 7 月に打ち上げられた欧州宇宙機関(ESA)のサーベイ観測用衛星「ユークリッド」や、その 2 か月後に打ち上げられた宇宙航空研究開発機構(JAXA)の X 線分光撮像衛星「XRISM」による観測結果からも、裏付ける観測データが得られたとしている。

<https://sorae.info/esn/sgr-astar-imbh.html>

1000 万年前に天の川銀河の中心でブラックホールが合体？

2025-04-18 2025-04-18 [ソラノサキ](#)



天の川銀河の中心には、太陽約 400 万個分の質量がある超大質量ブラックホール「いて座 A* (いてざえーすたー)」があります。

【▲ 電波で観測された天の川銀河の超大質量ブラックホール「いて座 A*」の画像 (Credit: EHT Collaboration)】
詳しい内容を知りたい方は、こちらの元記事をぜひご覧ください。

このブラックホールが約 1000 万年前、別のブラックホールと合体した可能性があるという研究成果を、北京大学物理学院の研究者らのチームが発表しました。合体した可能性があるのは、太陽約 1 万 5000 個分の中間質量ブラックホールです。2 億 5000 万～5000 万年前にかけて、天の川銀河の中心を周回していたと考えられています。研究チームは、天の川銀河中心のブラックホールによって秒速数百 km 以上で放出されたとみられる超高速度星の発見数が予想よりも少ないことに着目して、今回の結論にたどり着きました。

[天の川銀河の超大質量ブラックホールは約 1000 万年前に別のブラックホールと合体していた？](#) (2025 年 4 月 2 日)
文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

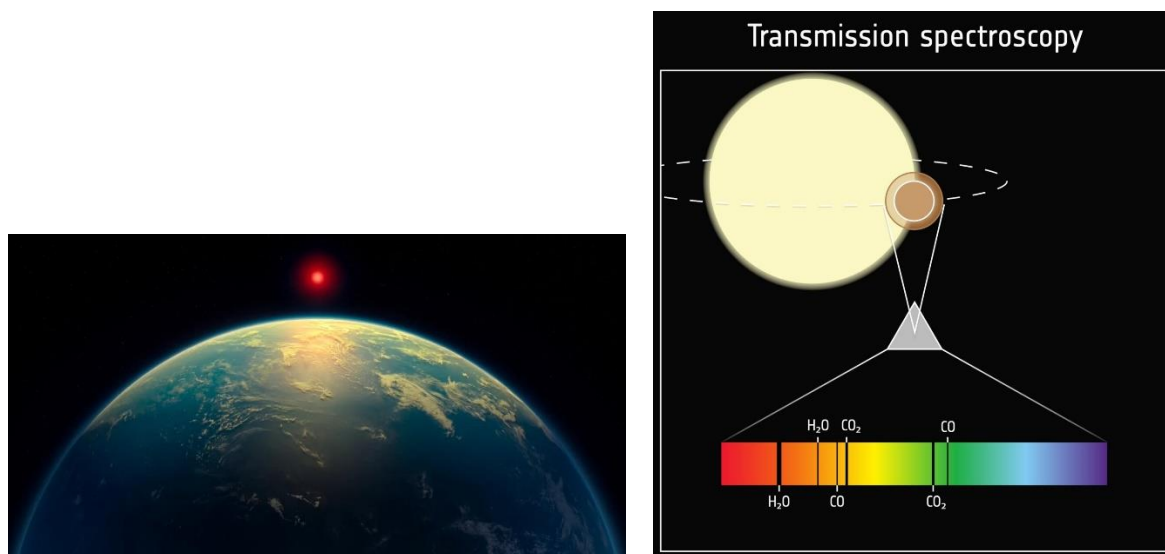
<https://sorae.info/astronomy/20250420-biosignature-k2-18b.html>

惑星「K2-18b」で生命関連分子を観測？ どのように受け止めれば良いかを解説

2025-04-20 2025-04-20 [彩恵りり](#)

地球から約 124 光年の距離にある太陽系外惑星「K2-18b」は、生命がいてもおかしくない環境を持つことが推定されており、地球外生命体の探索において関心の高い惑星の 1 つです。仮に K2-18b に生命がいるとすれば、生命活動に関連して生成される化学分子「バイオシグネチャー」が、惑星の大気中に見つかるかもしれません。ケンブリッジ大学の Nikku Madhusudhan 氏などの研究チームは、「ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST)」による観測結果から、K2-18b の大気中に「ジメチルスルフィド (DMS)」と「ジメチルジスルフィド (DMDS)」のどちらか、または両方の分子を発見したことを発表しました。DMS と DMDS は、生命活動に関連して合成されることが知られている代表的なバイオシグネチャーです。論文は 2025 年 4 月 17 日付で The Astrophysical Journal Letters 誌に掲載されました。K2-18b における DMS の検出は以前の研究でも主張されていましたが、今

回の発見は以前の研究とは異なる観測データを使用し、以前の研究と比べて確証の高い結果を得たと研究チームは主張しています。今回の研究結果が、極めて興味深い発見であることは間違いありませんが、注意しなければならないのは、今回の研究結果だけでは「地球外生命やその兆候の発見」と呼ぶことはできないということです。今回の研究結果自体が覆される可能性は残されていますし、発見された分子が、本当に生命活動で生成されたか証明されていないためです。そして、生命に関連付けられる他の証拠は見つかっていません。K2-18b に生命がいるかどうかを考えるにあたっては、少なくとも今のところは懐疑的・慎重な立場にいる方が良いでしょう。



【▲ 図 1: 恒星 K2-18（奥側）の周りを周回する惑星 K2-18b（手前）の想像図。（Credit: A. Smith & N. Mandhusudhan）】

【▲ 図 2: 惑星の背後に恒星があれば、恒星の光の一部は惑星の大気を通過します。大気に含まれる分子は、特定の波長の光を吸収するため、光の波長成分を調べると特定の波長のみが暗くなります。この図の場合、大気に水、一酸化炭素、二酸化炭素が含まれることを表しています。（Credit: ESA）】

どのように遠く離れた天体の生命の兆候を見つけるか？

太陽以外の天体の周りを公転する「太陽系外惑星」は、発見されているだけでも 6000 個近く見つかっており、その中には地球と似たような環境を持つことが推定されている候補も複数含まれています。これだけあれば、1 個くらいは独自の生命がいる惑星があってもおかしくはないかもしれませんが、どのようにしてそれを証明すればいいのでしょうか？ 実際にその惑星を訪れることが一番ですが、もちろんそれは当面の間不可能な話です。しかし、地球にいながら遠く離れた惑星の生命の兆候を見つける方法があります。それは、惑星の大気を通過した光を観測し、大気成分を調べる方法です。観測者から見て、観測する惑星の背後に恒星がある場合、恒星の光の一部は大気を通過して観測者に届きます。分子はその種類ごとに特定の波長の光を吸収するため、光の波長成分（吸収スペクトル）を調べれば、その特定の波長だけが、他の波長と比べて暗くなる様子を観察できます。暗くなる度合いが強ければ強いほど、大気に含まれる分子の濃度は高いことになります。分子がどの波長の光を吸収するのかはすでに調べられているため、吸収された波長から分子を逆引きすることができるのです。この方法で生命の兆候を見つける際、研究者は「バイオシグネチャー」を探します。もし、観測した惑星に生命がいるならば、生命活動に関連して様々な分子が合成されます。その中には、生命活動でしか生成しない、あるいは生命活動でないと大量の生成を説明しにくい分子もあるはずです。このような分子がバイオシグネチャーです。

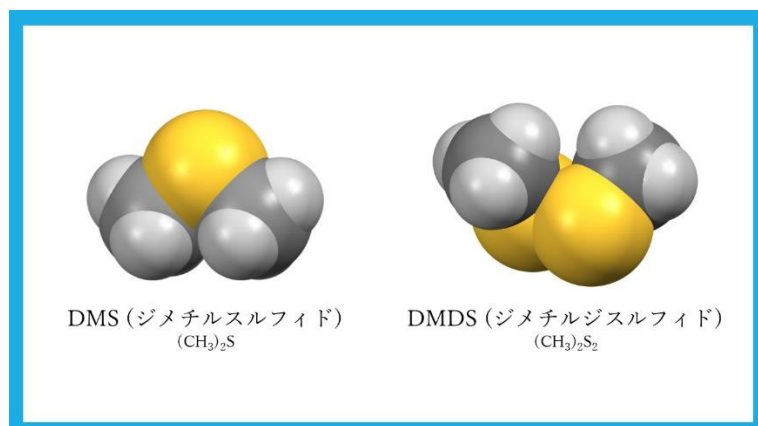
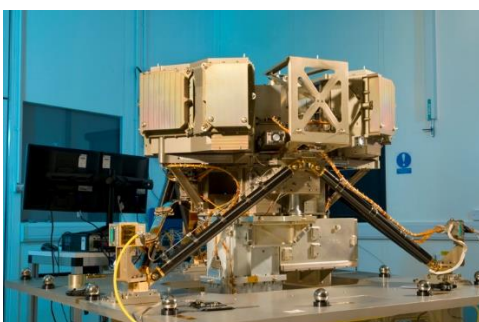
私たちは今のところ地球の生命しか知らないため、研究で着目するバイオシグネチャーは地球の生命によって生み出される分子と同じものとなります。もちろん、この宇宙には地球の生命とは全く異なる生理学を基盤とした生命がいるかもしれません。しかし、「生命の定義」が定まっていない現状においてこれを考慮すれば、明らかに議論の収集がつかなくなってしまう。このため地球外生命の研究においては、何か特別な但し書きが無い場合、地球の生命と同じ生理学を基盤とする生命に限定して考察することが暗黙の了解となっています。

生命がいるかもしれない惑星「K2-18b」

生命がいるかもしれない太陽系外惑星の候補の中でも、近年注目を集めているのが、2015年に発見された「K2-18b」と呼ばれる惑星です。K2-18bは地球から見て「しし座」の方向に約124光年離れた位置にあり、地球の約2.7倍の直径と約8.6倍の質量を持つ、地球と海王星の中間的な大きさを持つ惑星であると推定されています。また、K2-18bは恒星からの距離がちょうどよく、表面に液体の水を保持できる「ハビタブルゾーン」の中にある惑星です。過去の観測結果は、K2-18bに生命がいるかもしれない可能性を示しています。2019年には「ハッブル宇宙望遠鏡」の観測データの分析により、ハビタブルゾーン内の惑星として初めて大気中に水蒸気が見つかりました。2023年9月には、「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）」の2つの観測装置、近赤外線撮像・スリットレス分光器「NIRISS」と近赤外線分光器「NIRSpec」による観測データの分析結果が発表されています。この研究を行ったのは、今回主題とする研究と同じ研究者である Nikku Madhusudhan 氏を筆頭著者としています。それによると、大気中には豊富なメタンや二酸化炭素が含まれている一方、アンモニアが見つからなかったことから、K2-18bは水素が1%程度含まれている分厚い大気と、その下に海が広がる「ハイセアン惑星（Hycean planet）」の性質を持っているのではないか、と推定されます。K2-18bがハイセアン惑星の場合、面積でも体積でも地球をはるかに凌駕する、広大な海が存在するでしょう。さらにこの研究は、大気に「ジメチルスルフィド（DMS）」が含まれているかもしれないと言及したことで大きな話題となりました。この有機硫黄化合物は、地球ではほぼ生命活動でのみ生成されることを特徴としています（※1）。様々な生物がDMSを作り出しますが、特に海に生息する植物プランクトンで大量に生成されていて、海で感じる磯の香りの原因にもなっています。さらにDMSは、地球大気中では1日以内に分解してしまうほど不安定であるため、大気中で検出されるためには、DMSの継続的な供給源が必要です。生命以外に大量の供給源がないとすれば、地球以外の惑星で見つかるDMSの源は生命である、と仮定することができます。

※1...地球上でのDMSの生成について、論文では「生命活動でのみ生成される」と断定的な表現が使用されていますが、実際の自然界の化学反応は驚くほど複雑です。後述する通り、地球以外の環境では明らかに生命が作り出していないDMSが見つかったため、地球でも非生命活動由来のDMSが存在する可能性は排除できません。このため本記事では念の為、「ほぼ生命活動でのみ生成される」と、わずかに断定的ではない表現を使用しています。ただし2023年9月の研究では、DMSの存在を示唆する信号は弱いため、研究者自身ですら存在を確定させることはなく、発見は予備的なものであると注意しています。ウェッブ宇宙望遠鏡の性能が高いとはいえ、観測時間が短かったため、発見は幻なのではないかとする反論もありました。実際、2024年5月に公表されたシミュレーション研究では、ウェッブ宇宙望遠鏡がK2-18bの大気からDMSを見つけるには、少なくとも地球の20倍以上の濃度が必要だと仮定しています。K2-18bの海に生息している生命は地球の何十倍もいるのか、それとも地球の生命と比べて大量のDMSを作る生命なのか、あるいはK2-18bの環境ではDMSやDMDSが分解しにくいのかは分かりませんが、いずれにしても極端な状況の仮定が必要となるでしょう。

独立した証拠でバイオシグネチャーとなり得る分子を発見！



【▲ 図 3: 今回の研究で観測に使われた、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の中間赤外線観測装置「MIRI」。

(Credit: NASA)】

【▲ 図 4: DMS (ジメチルスルフィド) と DMDS (ジメチルジスルフィド) の分子模型。(Credit: Benjah-bmm27)】
ケンブリッジ大学の Nikku Madhusudhan 氏などの研究チームは今回、2024 年 4 月下旬にウェブ宇宙望遠鏡の中間赤外線観測装置「MIRI」によって取得された約 6 時間分の観測データを分析しました。2023 年 9 月発表の研究で使われた NIRISS と NIRSpec は $0.8\sim 5\mu\text{m}$ の近赤外線領域をカバーするのに対し、MIRI は $5.8\sim 12\mu\text{m}$ の中赤外線領域をカバーします。異なる波長領域での観測・分析を行うことで、2023 年 9 月の研究とは独立した観測証拠を得ることが狙いです。今回の分析では、全部で 20 種類の分子の存在を考慮して分析を行いました。分析の結果、K2-18b の環境でバイオシグネチャーの候補となる 4 種類の分子のうち、DMS と DMDS の 2 種類が大気中に含まれている可能性のある分子として残りました (※2)。DMS (ジメチルスルフィド) は 2023 年 9 月の研究でも取り上げられた分子ですが、DMDS (ジメチルジスルフィド) は名前が似ていることから分かる通り、分子構造も生成方法も似た分子です。

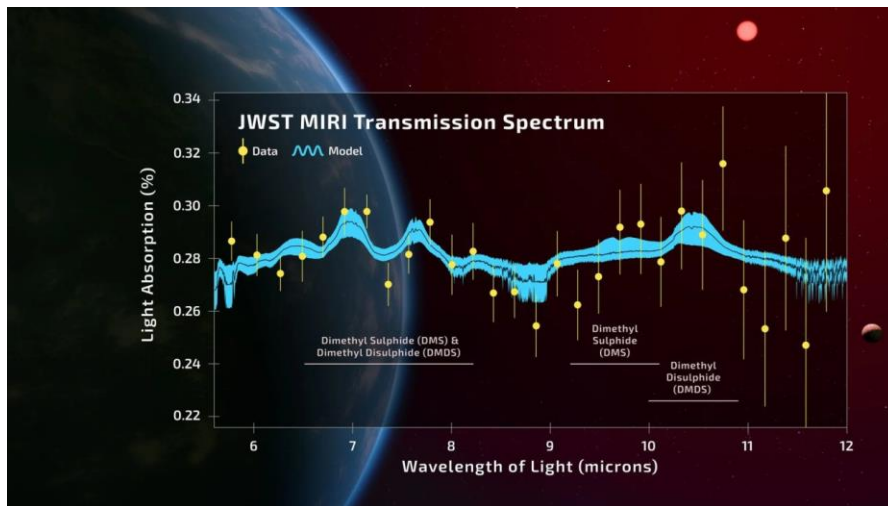
※2... 今回の分析でバイオシグネチャーの候補となっていたのは DMS、DMDS、メタンチオール、亜酸化窒素ですが、メタンチオールと亜酸化窒素は検出できませんでした。

Madhusudhan 氏らは、DMS と DMDS が両方とも含まれないと仮定すると、今回得られたデータを説明することは難しいと考えています。一方で今回の観測データと分析手法では、大気中に DMS と DMDS の両方が含まれているのか、それとも片方だけが含まれているのかを区別することはできません。このため Madhusudhan 氏らは、K2-18b の大気には DMS か DMDS のどちらか、あるいは両方が含まれている、と結論付けています。Madhusudhan 氏らによれば、この分析結果は 3σ の有意性を示しています。これは、無関係の現象でこの結果が偶然得られた可能性は 0.3% であることを意味しています。また、K2-18b に含まれる DMS と DMDS の大気中の濃度は、体積当たり 0.001% 以上 (10ppmv) です。この濃度は地球大気の数千倍に匹敵するため、K2-18b の空気は磯の香りどころか、腐ったキャベツやニンニクのような強烈な悪臭を感じるほどになるでしょう。

Madhusudhan 氏らの主張が正しければ、2023 年 9 月発表の研究とは独立した、新たなバイオシグネチャーの発見であるため、かなり注目される発見となります。

「生命やその兆候を発見した」とまでは言えない

ただし、今回の研究結果を受け止める上で注意しないといけないのは、今回の証拠だけでは「K2-18b に独自の生命、あるいはその兆候を発見した」とは言えないということです。確かに、ケンブリッジ大学のプレスリリースのタイトルは「Strongest hints yet of biological activity outside the solar system (太陽系外での生物活動のこれまでで最も強い兆候)」ですが、ここでいう「これまでで最も強い兆候」とは、あくまで過去の観測証拠との比較論であり、絶対的な証拠の確かさを主張しているわけではありません。実際、2023 年 9 月の研究ではプレスリリースを発表した NASA は、今のところプレスリリースを発表していません。また、NASA がワシントンポスト紙に向けた声明では、「生命の発見」や「真のバイオシグネチャー」であるという憶測から距離を置いていることが伺えます。では、どの点が今回の研究結果の弱みとなるのでしょうか？まず先述した通り、今回の分析結果は 3σ の有意性、つまり偶然である可能性は 0.3% です。一見すると十分な確証があるように見えるかもしれませんが、実際には科学的な発見と主張するのに必要な最低値をギリギリ満たしているに過ぎません。今回の発見をより強く主張するには、ゴールドスタンダードとされる 5σ 以上の有意性、つまり結果が偶然である可能性が 0.00006% を下回る必要があります。今回の観測データだけでは、この水準を満たすことはできません。



【▲ 図 5: MIRI による観測結果を表した

グラフ。縦線のついた黄色い点が実測値で、水色の太線がモデルに基づくスペクトルデータ、白い横線で示されているのが DMS と DMDS を示すスペクトルデータがある領域を表しています。グラフに示された値の一致度合いから、今回の研究では「K2-18b の大気中にバイオシグネチャーを高い確証で発見した」と主張していますが、これは分析手法が妥当なことを前提としています。(Credit: A. Smith & N. Mandhusudhan)】

また、分析結果の確実性を数値で表すのは分かりやすい表現とはなりませんが、注意しなければ誤解を招く恐れもある表現です。今回のような研究結果を得るには、様々な仮定を元に分析を行う必要があります。もし、仮定や分析手法に誤りがあった場合や、偶然にも DMS や DMDS と同じようなスペクトルデータを示す“他人の空似”な分子の組み合わせがあった場合は、どんなに確実性が高くなったとしても、実際には DMS や DMDS が存在しない、ということも十分に考えられます。今回の分析結果の手法などが妥当であるかを判断するには、第三者による検証が必要となります。そして、仮に K2-18b の大気中に DMS や DMDS が実際に含まれていることが間違いではなかったとしても、直ちに K2-18b 独自の生命と結びつく訳ではありません。確かに、地球において DMS や DMDS は、ほぼ生命活動でのみ生成されることは間違いありませんが、環境が大きく異なる他の天体でも、生命以外が生成することがないとは限りません。2023 年 9 月の研究が発表されて以降、科学者は生命活動とは関係ない DMS の合成ルートが本当になのかを探索しました。その結果として、明らかに生命がいらないと考えられる宇宙空間の星間物質や、チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星の大気から DMS を見つけています。また、実験室で疑似的に再現された惑星の大気中で、紫外線の作用で DMS などの有機硫黄化合物が合成されることも確認されています。とはいえ、K2-18b の DMS や DMDS の濃度は、地球の数千倍というかなりの高濃度です。Madhusudhan 氏らは、彗星や星間物質による供給や、大気中での紫外線による生成では、状況的にこれほどの高濃度を説明できないと考えています。一方で DMS や DMDS の供給源が生命活動によるものならば、K2-18b の生命が相当豊富なのか、それとも DMS や DMDS をかなり積極的に作る生態なのか、あるいは K2-18b 大気中では DMS や DMDS が分解しにくいのか……と言った具合に、高濃度である事を説明する理由を考える必要があります。最後に、いくら DMS や DMDS が存在する証拠のみを集めても、それだけでは生命やその兆候について言及することはできないことに注意しないといけません。たとえば過去には、ホスフィンや遊離酸素がバイオシグネチャーとして注目されていた時代もありましたが、現在では非生命活動で大量に生成するルートが判明したことで、単独の発見ではバイオシグネチャーと見なされなくなっています。このことを教訓に、現在では生命の兆候を主張するには、1 つのバイオシグネチャーではなく、複数のバイオシグネチャーの組み合わせが必要であると考えられるようになっていきます。DMS と DMDS はお互いに似ており、まとめて 1 つのバイオシグネチャーとしてカウントされるため、いずれにしても今回の証拠だけをこねくり回しても、生命の兆候だと主張するには弱いことになります。興味深い研究なのは間違いありません。

前章では否定的な見解を多く書きましたが、当然ながらこれは今回の研究そのものの価値を毀損するものではありません。非常にインパクトがある研究だからこそ、内容の受け止めには慎重さが必要であるということです。

なによりこれらの否定的な見解は、研究の限界を認識している Madhusudhan 氏ら自身が論文やプレスリリースで言及している内容です。少なくとも今回の研究が、地球以外の惑星に生命がいるかどうかを探る上での重要な一歩であることは間違いありません。しかしながらこの歩みを二歩三歩と進めるためには、さらなる観測と研究が求められます。少なくともまずは、ウェブ宇宙望遠鏡による K2-18b の観測時間を 8~24 時間と、現在の 1.4~5 倍まで増やす必要があります。その上で、分析対象となる分子の種類を 20 種類からさらに増やすことで、偶然の結果である可能性を減らしていく必要があります。これと並行する形で、K2-18b や他の惑星の環境において、DMS や DMDS が生命活動以外の方法で生成するののかも検証する必要があります。このためには、理論的なシミュレーションと実験室による実験の両方が必要になるでしょう。これらの研究を進めれば、K2-18b や他の惑星で、さらなるバイオシグネチャーが見つかるかもしれません。今回の研究は、地球以外の惑星で生命を探す研究における重要なマイルストーンであることは間違いありません。数十年後には、この研究が重要な転換点の 1 つとして評価されるようになる時代が来るのかもしれません。文／彩恵りり 編集／soraie 編集部

<https://ispace-inc.com/jpn/news/?p=7286>

ispace、ミッション 2 マイルストーン Success 6「月周回軌道投入前 すべての深宇宙軌道制御マヌーバ」に成功！

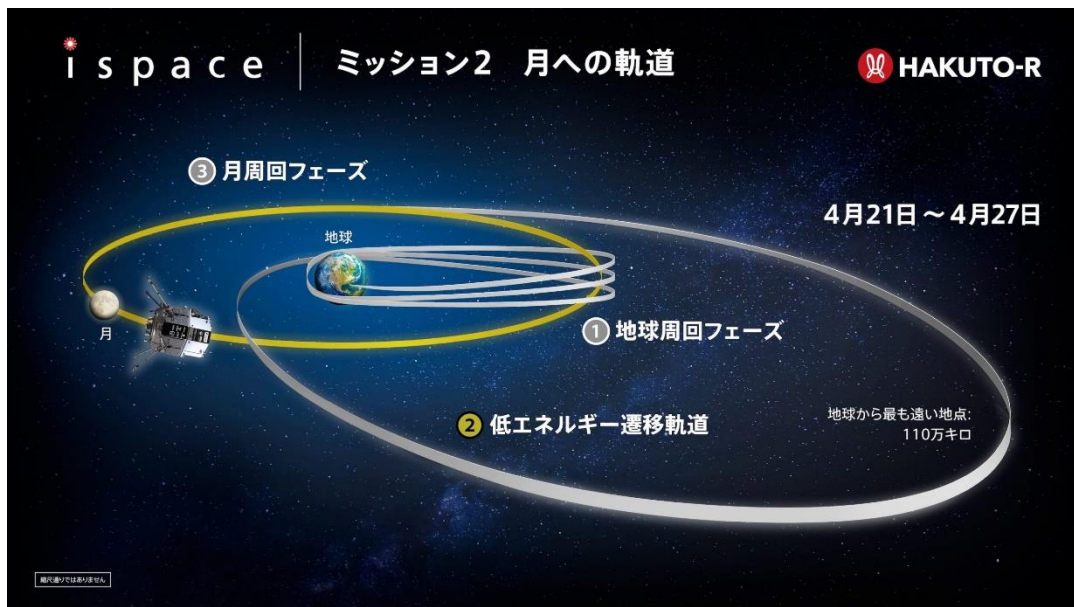
2025 年 4 月 24 日

株式会社 ispace（東京都中央区、代表取締役：袴田武史、以下 ispace）（証券コード [9348](#)）は Mission 2 “SMBC x HAKUTO-R VENTURE MOON”（以下ミッション 2）において、2025 年 4 月 24 日（木）午後 7 時 00 分（日本時間）に、月周回軌道投入（Lunar Orbit Insertion：LOI）前に予定していたすべての深宇宙軌道制御マヌーバを完了しました。これにより、ミッション 2 マイルストーン の Success 6 を完了したことをお知らせいたします。ispace のエンジニアは東京の日本橋にあるミッション・コントロール・センター（管制室）から午後 7 時 00 分（日本時間）にミッション運用計画に沿って、8 回目の軌道制御マヌーバを実施しました。本マヌーバの成功を以て、RESILIENCE ランダーを月周回軌道へ投入する前に予定していた、すべての軌道制御マヌーバを完了しました。現在、RESILIENCE ランダーは計画通りの軌道で安定した状態を保っており、この後 5 月 7 日に控えるミッション 2 マイルストーン Success 7「月周回軌道への到達」に備えます。今後、月周回軌道投入マヌーバ実施に向けた最終調整を経て、RESILIENCE ランダーは月周回軌道（月の重力圏）へと入る予定です。

● 株式会社 ispace 代表取締役 CEO & Founder 袴田武史のコメント

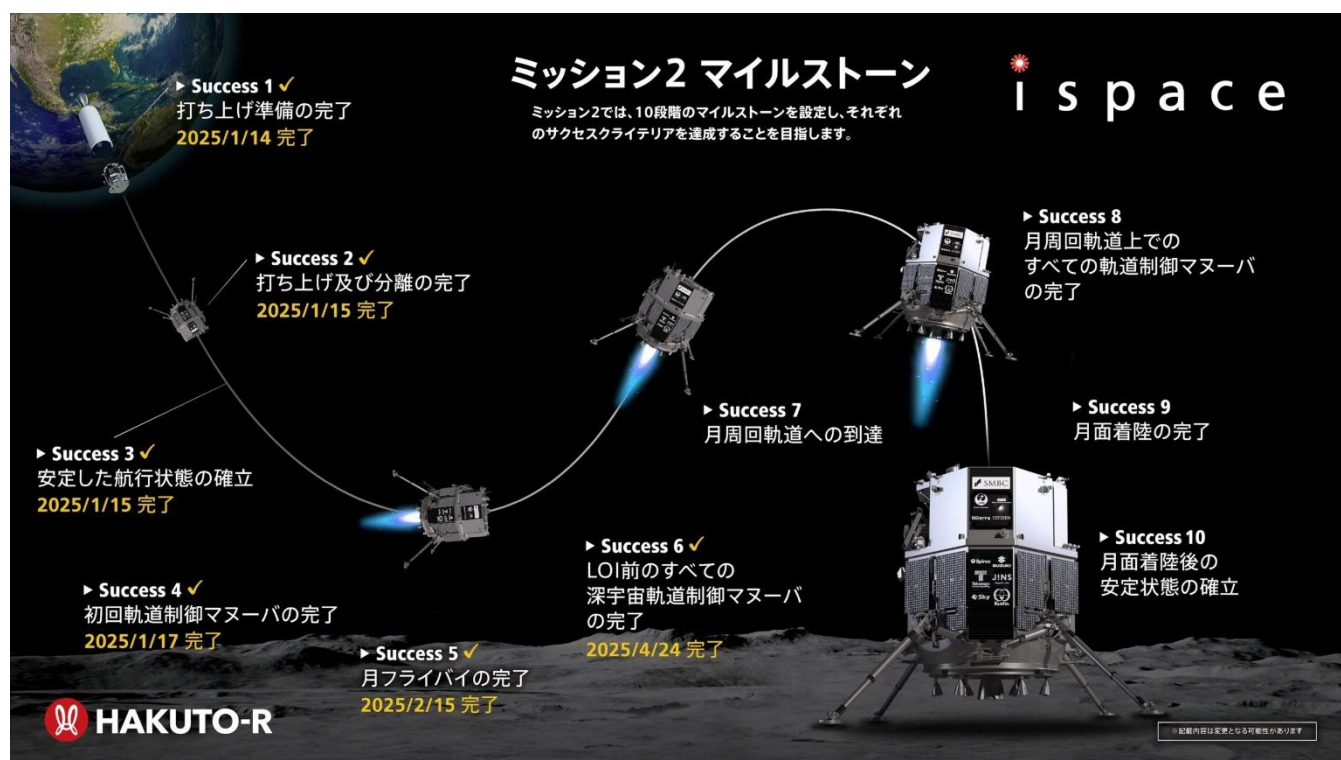
「月フライバイに成功し低エネルギー遷移軌道に入ってからおよそ 2 か月間、宇宙空間を想定通り順調に航行してきた RESILIENCE ランダーは、本日、予定通りにすべての軌道制御マヌーバを終え、月へのアプローチ体制に入る準備が整いました。いよいよ月に向かいます！今後着陸までの約 1 か月半、皆さまの期待に応えられるよう集中して進行してまいります。」

ミッション 2 の RESILIENCE ランダーは、2025 年 1 月 15 日（水）15 時 11 分（日本時間）に打ち上げられた SpaceX 社の Falcon9 により、所定の軌道に投入され、同日、午後 4 時 44 分（午前 7 時 44 分 24 秒 協定世界時）にロケットから分離されました。地球周回フェーズ（下図①）を経て 2025 年 2 月 15 日（土）午前 7 時 43 分（日本時間）には月表面から高度約 8,400 km の地点を通過し、民間企業による商業用の月着陸船としては史上初となる「月フライバイ」に成功。その後、低エネルギー遷移軌道上（下図②）を約 2 カ月の長い期間をかけて、地球から最も離れた距離で約 110 万 km の地点まで到達する深宇宙の旅を続けておりましたが、いよいよ RESILIENCE ランダーが月へと帰ってまいりました。



● ミッション2 マイルストーン

inspace は打ち上げから月面着陸まで、10 段階のマイルストーンを設定しました。各マイルストーンには基準を設け、達成を目指します。基準に基づき評価された結果は、後続する開発中のミッションに適宜フィードバックされます。なお、各マイルストーン達成の進捗状況等は適時に公開を予定しております。



マイルストーン		クライテリア
Success 1 (完了)	打ち上げ準備の完了	・ RESILIENCEランダーすべての開発工程を完了 ・ 打ち上げロケットへの搭載が完了 ・ 世界の多様な地域で柔軟にランダーを組み立てることが出来る能力の実証
Success 2 (完了)	打ち上げ及び分離の完了	・ ロケットからランダーの分離が完了 ・ ランダーの構造が打ち上げ時の過酷な条件に耐えられること、および設計の妥当性を再確認するとともに、将来の開発 ・ ミッションに向けたデータを収集
Success 3 (完了)	安定した航行状態の確立	・ ランダーと管制室との通信を確立し、姿勢の安定を確認するとともに、軌道上で安定した電源供給を確立
Success 4 (完了)	初回軌道制御マヌーバの完了	・ 初回の軌道制御マヌーバを実施し、ランダーを予定軌道へ投入
Success 5 (完了)	月フライバイの完了	・ 打ち上げ約1か月後に、月フライバイを完了・深宇宙航行を開始
Success 6 (完了)	LOI前全ての深宇宙軌道制御マヌーバの完了	・ 太陽の重力を利用した全ての深宇宙軌道制御マヌーバを完了し、月周回軌道投入マヌーバの準備を完了
Success 7	月周回軌道への到達	・ 最初の月周回軌道投入マヌーバによるランダーの月周回軌道投入の完了 ・ ランダーとペイロードを月周回軌道に投入する能力を再実証
Success 8	月周回軌道上でのすべての軌道制御マヌーバの完了	・ 着陸シーケンスの前に計画されている全ての月軌道制御マヌーバを完了 ・ ランダーが着陸シーケンスの開始準備が出来ていることを実証
Success 9	月面着陸の完了	・ 月面着陸を完了させ、今後のミッションに向けた着陸能力を実証
Success 10	月面着陸後の安定状態の確立	・ 着陸後の月面での安定した通信と電力確保を確立

● ミッション2で輸送するペイロードについて

ispace はミッション2の RESILIENCE ランダーに6つのペイロードを搭載し、輸送します。

HAKUTO-R のコーポレートパートナーである高砂熱学工業株式会社の月面用水電解装置

株式会社ユーグレナの月面環境での食料生産実験を目指した自己完結型モジュール

台湾の国立中央大学宇宙科学工学科が開発する深宇宙放射線プローブ

株式会社バンダイナムコ研究所の「GOI 宇宙世紀憲章プレート」

ispace の欧州法人 ispace EUROPE が開発したマイクロローバー” TENACIOUS”

スウェーデンのアーティストによるムーンハウスと呼ばれる赤い小さな家

また、RESILIENCE ランダーには、人類の言語と文化遺産を保護したユネスコのメモリーディスクも搭載しています。ispace は、日・米・欧の3法人でそれぞれの地域の文化や多様性を活かしながら、1つの統合的なグローバル企業として宇宙開発を進めてまいりました。2025年1月15日に日本法人が主導するミッション2の打ち上げを完了。続いて2026年には米国法人が主導するミッション3を順次実行していく計画です。また、2027年には、現在日本で開発中のシリーズ3ランダー（仮称）を用いたミッション4（旧ミッション6）を予定しています。世界中の政府、企業、教育機関からの高まる需要に応えるため、ispace はミッション3およびそれ以降のミッションのペイロードサービス契約とデータサービスを提供してまいります。

● 株式会社 ispace (<https://ispace-inc.com/jpn/>)について

「Expand our planet. Expand our future. ~人類の生活圏を宇宙に広げ、持続性のある世界へ~」をビジョンに掲

げ、月面資源開発に取り組んでいる宇宙スタートアップ企業。日本、ルクセンブルク、アメリカの3拠点で活動し、現在約300名のスタッフが在籍。2010年に設立し、Google Lunar XPRIZE レースの最終選考に残った5チームのうちの1チームである「HAKUTO」を運営した。月への高頻度かつ低コストの輸送サービスを提供することを目的とした小型のランダー（月着陸船）と、月探査用のローバー（月面探査車）を開発。民間企業が月でビジネスを行うためのゲートウェイとなることを目指し、月市場への参入をサポートするための月データビジネスコンセプトの立ち上げも行う。2022年12月11日にはSpaceXのFalcon9を使用し、同社初となるミッション1のランダーの打ち上げを完了。続くミッション2は2025年1月15日に打ち上げを完了し、最短2025年6月6日に、月面着陸へ再挑戦の予定。ミッション3は2026年ⁱⁱ、ミッション4（旧ミッション6）は2027年にⁱⁱⁱ打ち上げを行う予定。ミッション1の目的は、ランダーの設計および技術の検証と、月面輸送サービスと月面データサービスの提供という事業モデルの検証および強化であり、ミッション1マイルストーンの10段階の内Success8まで成功を収めることができ、Success9中においても、着陸シーケンス中のデータも含め月面着陸ミッションを実現する上での貴重なデータやノウハウなどを獲得することに成功。ミッション1で得られたデータやノウハウは、後続するミッション2へフィードバックされている。更にミッション3では、より精度を高めた月面輸送サービスの提供によってNASAが行う「アルテミス計画」にも貢献する計画。

● HAKUTO-R (<https://ispace-inc.com/jpn/m1>)について

HAKUTO-R は、ispace が行うミッション1およびミッション2を総称する、民間月面探査プログラム。独自のランダー（月着陸船）とローバー（月面探査車）を開発して、月面着陸と月面探査の2回のミッションを行う。SpaceXのFalcon9を使用し、2022年にミッション1（月面着陸ミッション）のランダーの打ち上げを完了。2025年1月15日にミッション2（月面探査ミッション）の打ち上げを完了し、最短2025年6月6日に、月面着陸へ再挑戦の予定。

オフィシャルパートナーである株式会社三井住友銀行により命名されたMission2 “SMBC x HAKUTO-R VENTURE MOON” には、新たな始まりやチャンスの意が込められている。

HAKUTO-R はオフィシャルパートナーとして株式会社三井住友銀行、コーポレートパートナーとして、日本航空株式会社、三井住友海上火災保険株式会社、日本特殊陶業株式会社、

シチズン時計株式会社、スズキ株式会社、高砂熱学工業株式会社、SMBC 日興証券株式会社、S k y 株式会社、Epiroc AB、株式会社ジンズ、栗田工業株式会社が参加している。

ⁱⁱ 2025年4月時点の想定 ⁱⁱⁱ 2025年4月時点の想定

<https://uchubiz.com/article/new60780/>

ispace 着陸船「レジリエンス」、月周回軌道投入前のマヌーバ完了-月着陸まで1カ

月強 2025.04.25 14:30 [UchuBiz スタッフ](#)

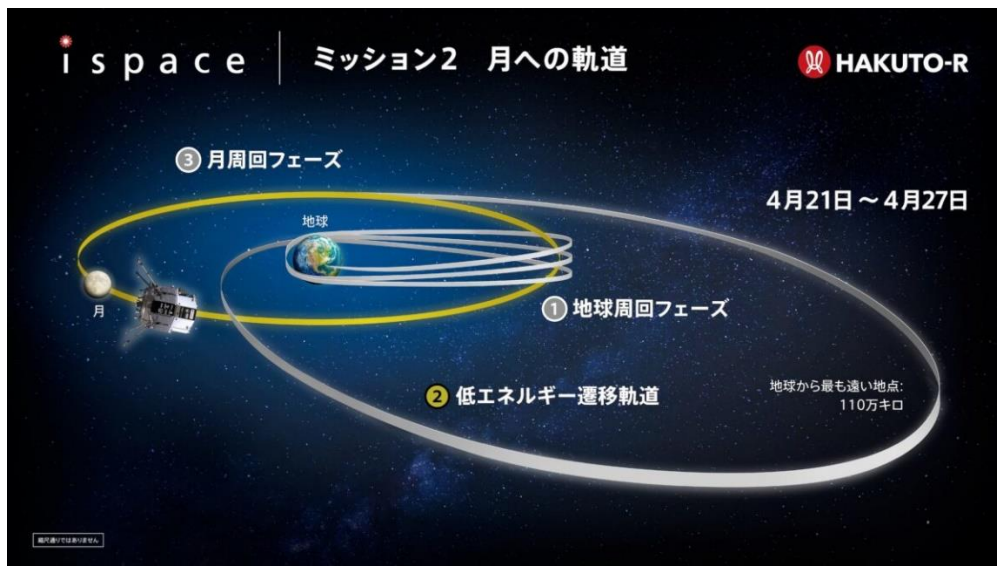
[ispace](#)（東京都中央区）が進める民間月探査計画「[HAKUTO-R](#)」のミッション2「SMBC×HAKUTO-R [VENTURE MOON](#)」で日本時間4月24日午後7時に月周回軌道投入（Lunar Orbit Insertion：LOI）前に予定していたすべての深宇宙軌道制御マヌーバが完了した。ミッション2のマイルストーンのサクセス6を完了したことになる。

東京・日本橋にあるミッション・コントロール・センター（管制室）からispaceのエンジニアが運用計画に沿って、午後7時に8回目の軌道制御マヌーバを着陸船（ランダー）「[RESILIENCE](#)」に指示。このマヌーバでRESILIENCEを月周回軌道に投入する前に予定していた、すべての軌道制御マヌーバが完了した。

現在RESILIENCEは計画通りの軌道で安定した状態を保っており、5月7日に予定している、マイルストーンのサクセス7である「月周回軌道への到達」に備える。今後、月周回軌道投入マヌーバに向けた最終調整を経て、RESILIENCEは月を周回する軌道（月の重力圏）に入る予定。月着陸は[6月6日を予定している](#)。

RESILIENCE は、日本時間 1 月 15 日午後 3 時 11 分に打ち上げられた米 Space Exploration Technologies (SpaceX、スペース X) のロケット「Falcon 9」で所定の軌道に投入され、同日午後 4 時 44 分に分離された。

地球周回フェーズを経て 2 月 15 日午前 7 時 43 分には月表面から高度約 8400 km の地点を通過し、民間企業による商業用ランダーとしては史上初となる「月フライバイ」に成功した。その後、低エネルギー遷移軌道上を約 2 カ月間、地球から最も離れた距離で約 110 万 km の地点まで到達する深宇宙の旅を続けている。



現在は低エネルギー遷移軌道を

飛行している（出典：ispace）

ミッション 2 は、前回のミッション 1 と同様に月面に着陸するまでの 10 段階のマイルストーンが設定されており、マイルストーンごとの成功基準（サクセスクライテリア）を決めている。ミッション 1 と同様にミッションに途中で課題が発生しても、その事象だけを捉えて、単なる失敗と評価しないという考えがあるからだ。

サクセス 1=打ち上げ準備の完了（-2~3 日前）=成功

ランダーすべての開発工程の完了 打ち上げロケットへの搭載完了

世界のさまざまな地域で柔軟にランダーを組み立てられる能力を実証

サクセス 2=打ち上げと分離の完了（+1 時間後）=成功

ロケットからランダーの分離完了

ランダーの構造が打ち上げ時の過酷な条件に耐えられること、設計の妥当性を再確認するとともに将来の開発やミッションに向けたデータを収集

サクセス 3=安定した航行状態の確立（+数時間後）=成功

ランダーと管制室の通信を確立し、姿勢の安定を確認するとともに軌道上での安定した電源供給を確立

サクセス 4=初回軌道制御マヌーバの完了（+1~2 日後）=成功

初回の軌道制御マヌーバを実施、ランダーを予定軌道に投入

サクセス 5=月スイングバイの完了（+1 カ月後）=成功

打ち上げ後 1 カ月で月スイングバイを完了 深宇宙航行を開始

サクセス 6=月周回軌道投入（Lunar Orbit Insertion : LOI）前にすべての深宇宙軌道制御マヌーバの完了（+3~3.5 カ月後）=成功

太陽の重力を利用したすべての深宇宙軌道制御マヌーバを完了し、月周回軌道投入マヌーバの準備を完了

深宇宙でのランダー運用能力と航行軌道計画を再実証

サクセス 7=月周回軌道への到達（+4 カ月後）

最初の月周回軌道投入マヌーバによるランダーの LOI 完了

ランダーとパイロードを月周回軌道に投入する能力を再実証

サクセス 8=月周回軌道上でのすべての軌道制御マヌーバの完了（+4.5 カ月後）

着陸シーケンスの前に計画されているすべての月軌道制御マヌーバを完了

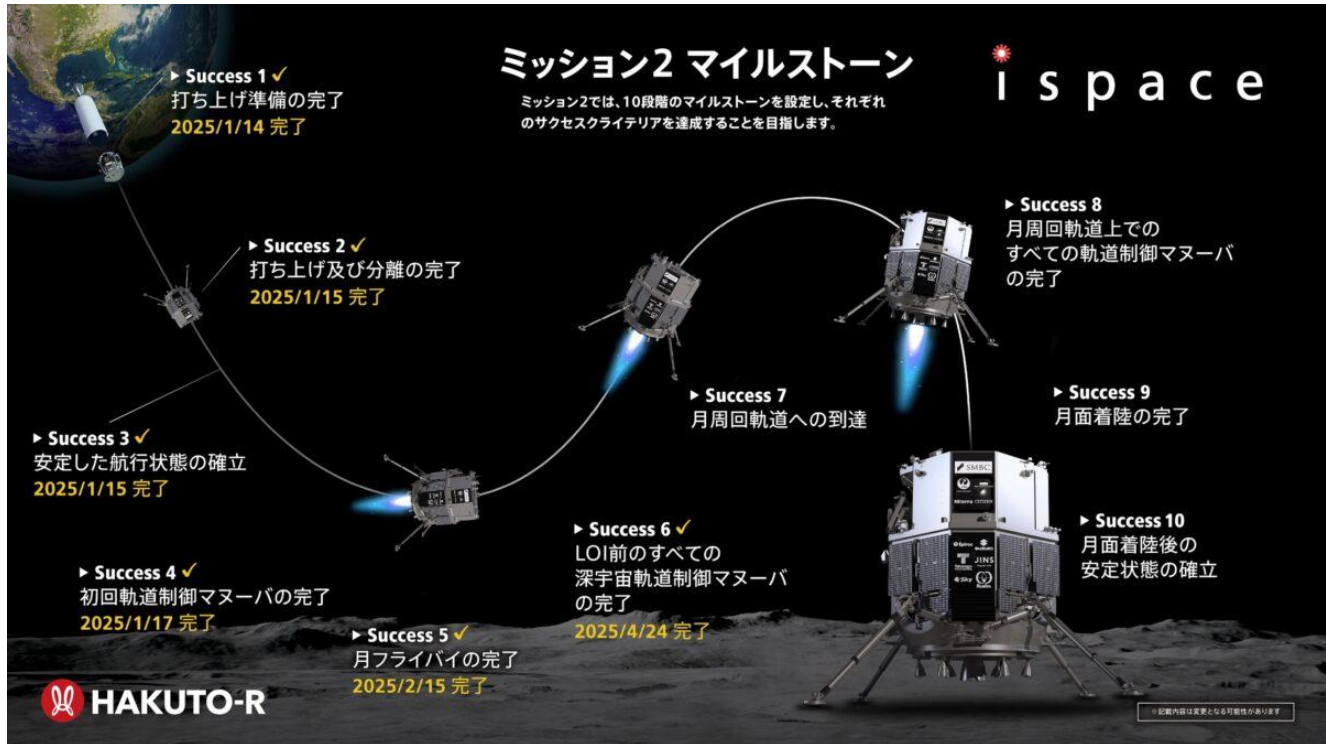
ランダーが着陸シーケンスの開始準備ができていることを実証

サクセス 9＝月着陸の完了（＋4.5 カ月後）

月面着陸を完了させ、今後のミッションに向けた着陸能力を実証

サクセス 10＝月着陸後の安定状態の確立（＋4.5 カ月後）

着陸後の月面での安定した通信と電力確保を確立



4 月

24 日時点でサクセス 6 が完了した（出典：ispace）

RESILIENCE は、以下の貨物（ペイロード）を搭載して、月まで運んでいる。

高砂熱学工業＝月面用水電解装置

ユーグレナ＝月面環境での食料生産実験を目指した自己完結型モジュール

台湾・国立中央大学宇宙科学工学科＝深宇宙放射線プローブ

バンダイナムコ研究所＝[GOI 宇宙世紀憲章プレート](#)

ispace 欧州法人 ispace EUROPE＝小型探査車（マイクロローバー）「[TENACIOUS](#)」

スウェーデンのアーティスト Mikael Genberg 氏による「ムーンハウス」

関連情報 [ispace プレスリリース](#)

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000579.000068516.html>

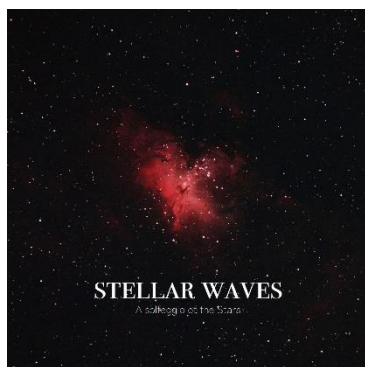
宇宙に耳をすませて一癒しと 432Hz で巡る音の星旅『Stellar Waves』配信開始

心にふれる“宇宙の音”をテーマにしたリラクゼーション・アルバムが登場 | RELAX WORLD 最新作

[株式会社クロア](#) 2025 年 4 月 25 日 17 時 27 分

ウェルビーイング・テクノロジー事業を行う株式会社クロア（本社：東京都目黒区、代表取締役社長：戸部田 馬

準）が運営する癒やしのレーベル「CROIX HEALING(クロアヒーリング)」から、RELAX WORLD の最新アルバム『Stellar Waves -A solfeggio of the Stars-』の配信が 2025 年 4 月 25 日より Apple Music、Amazon Music、Spotify ほか、各配信サイトからスタートしました。



RELAX WORLD / Stellar Waves -A solfeggio of the Stars-

宇宙の周波数とされる 432Hz と音楽療法の要素を融合させた癒やしのアルバム。

フォノンやアクシオン、プラズマなど、宇宙に存在するエネルギーの流れを音で表現し、心と身体を深く共鳴させるサウンドを生み出します。静かに広がる倍音、重力波のように揺らぐ旋律が、無限の星々へと誘うような没入感を演出。宇宙と調和しながら、意識を解放する新たな音楽体験をお届けします。

まるで夜空に浮かぶ星々と対話するようなひととき。音に身をゆだね、心は遠く銀河の彼方へ。

眠る前のリラックスタイムや瞑想のお供にも最適です。『Stellar Waves』が、あなたの内なる宇宙を優しく照らします。ぜひイヤホンで、静かな時間にお楽しみください。

作品詳細 ▶<https://www.croixhealing.com/release/relax-world/chdd-1852>

タイトル : Stellar Waves -A solfeggio of the Stars- アーティスト : RELAX WORLD

配信日 : 2025 年 4 月 25 日(金) レーベル : CROIX HEALING

YouTube で簡単試聴▶<https://lnk.to/L8h3qDPv45>

配信サービス一覧▶<https://lnk.to/iJuGc5li21>

☆ソルフエジオ周波数関連ページ

聴いた時に心地良さを感じ、心身に良い効果があるソルフエジオ周波数で心と身体のバランスを整えましょう。

▶<https://www.croixhealing.com/solfeggio-special>

関連作品



RELAX WORLD / Healing Waves of the Cosmos

「Healing Waves of the Cosmos」は、宇宙の神秘と癒やしの波動が融合したヒーリングアルバムです。天体のリズムや銀河の調和を感じさせる音の流れが、深いリラクゼーションへと導きます。432Hz の周波数を活かし、星々の共鳴や宇宙空間の静寂を表現。心を穏やかに整え、無限の広がりの中で安らぎを見つけるサウンドスケープをお届けします。夜空を見上げながら、または瞑想のひとときに、この音楽とともに宇宙の癒やしを感じてください。新しい季節の始まりに、心をふわりと解き放つ音がある。

花の香りが風に舞い、夜空が静かに輝き出す春の宵。そんな瞬間にぴったりなのが、宇宙の波動と共鳴するヒーリングミュージック。日々の喧騒をそっと手放し、内なる宇宙へと旅するように。

この春、音の銀河で出会う静けさと安らぎが、あなたの心を優しく整えてくれるでしょう。

作品詳細 ▶<https://www.croixhealing.com/release/classy-moon/chdd-1855>

タイトル : Healing Waves of the Cosmos アーティスト : RELAX WORLD

配信日：2025 年 4 月 11 日(金) レーベル：CROIX HEALING

YouTube で簡単試聴▶ <https://lnk.to/ZkL2jSua45>

配信サービス一覧▶ <https://lnk.to/kEUluWwN21>

<RELAX WORLD>プロフィール



RELAX WORLD

ヒーリングアーティスト

世界各地から採取した様々な自然音や民族楽器を取り込んだアンビエント音楽が特徴的。大手配信サイトでは常に上位にランクインし、100 万ダウンロードの配信ヒットを連発し星野リゾートの館内 BGM にも使用されるほか、USEN では専門チャンネルも複数開設している。また国連の国際環境会議(COP10/MOP5/2010 年)の開会式の楽曲や国土交通省のミズベリング JAPAN の楽曲も手掛けている。

YouTube チャンネル ▶ <https://www.youtube.com/c/relaxworlds>

X ▶ <https://twitter.com/CroixRelaxWorld>

Instagram ▶ https://www.instagram.com/croix_relaxworld/

Facebook ▶ <https://www.facebook.com/relaxworld.jp>

CROIX HEALING ホームページ ▶ <https://www.croixhealing.com/>

株式会社クロアについて

2009 年 6 月 29 日に設立されたマインドフルネス・コンテンツを中心に開発する創業 15 年のウェルビーイング・テクノロジーカンパニー。医学博士、医療機関と連携した機能性の高いヘルステックサービスを展開。既に国内デジタル配信において、マインドフルネス分野ではトップクラスのシェアを占める。国内最大級の動画配信各社にて高画質マインドフルネス動画を展開中。世界マーケットに向けた東洋発信のマインドフルネス・ブランドを確立中。

会社概要 社名：株式会社クロア 所在地：東京都目黒区下目黒 3-7-2-7F

設立：2009 年 6 月 29 日 代表者：代表取締役社長 戸部田 馬準 外部リンク： <https://croix.asia/>

RELAX WORLD BRAND より良い毎日のために 癒やしと眠りのスペシャリストア

EC サイト「RELAX WORLD」▶ <https://relaxworld.jp/>

“おはよう”から“おやすみ”まで、あなたの 1 日をトータルサポート

音楽アプリ「RELAX WORLD MUSIC」▶ <https://relaxworld.jp/pages/relaxworldmusic-app>

私たちクロアはウェルビーイング・テクノロジーカンパニーとして、各分野のスペシャリストとの連携、企業様との監修コラボ音楽、音源・映像制作をはじめ癒やしのグッズ制作から販売などを行っております。

「世界の瞑想と眠りを変える」RELAX WORLD ブランドの公式アカウント

RELAX WORLD 広報部 X ▶ https://x.com/relaxworld_pr