

太陽が現在の太陽活動サイクルで最も強力なフレアを放出し、大量のコロナ質量放出を宇宙に放出（動画）

メレディス・ガロファロ

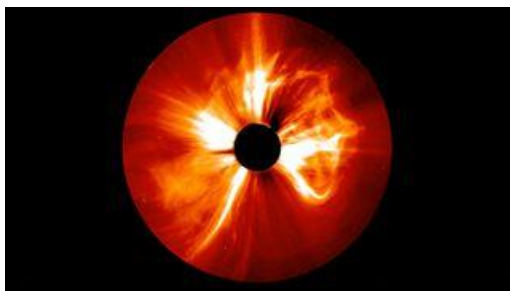
2024.7.27

このフレアは、5月に世界的なオーロラ嵐を引き起こした前回のものよりもさらに大きかった。



火曜日（7月23日）、ヨーロッパのソーラー・オービター（[SoI](#)）宇宙船は、太陽の裏側から非常に強力な X14 クラスの太陽フレアが噴出するのを観測した。

2003 年に記録された太陽フレアの強さはおよそ X45 と推定されており、これは史上最強のものではないが、この規模の太陽フレアは、地球に直撃すれば、より長期にわたる放射線嵐や、世界規模の停電を引き起こす可能性もある。X クラスは分類スケールのリーダーであり、2 番目に強い M クラスフレアの 10 倍のエネルギーを放出する。「推定 GOES クラスでは、これまでで最大のフレアでした」と、SoI の X 線画像化分光計・望遠鏡（STIX）の主任研究員であるサミュエル・クルッカー氏は [SpaceWeather.com に語った](#)。「私たちが検出した他の大きなフレアは、2024 年 5 月 20 日（X12）と 2023 年 7 月 17 日（X10）のものです。これらはすべて太陽の裏側から発生しています。」



2024 年 7 月 23 日に太陽の裏側から太陽フレアが発生します。（画像提供: Helioviewer.org）

太陽の地球側に関して言えば、現在のサイクルでこれまでに記録された最大のフレアは、[2024 年 5 月 14 日に発生した](#) X8.9 で、世界的なオーロラにつながる[歴史的な磁気嵐](#)を生み出した巨大な太陽黒点に関連している。このフレアには、[NASA の太陽・太陽圏観測衛星](#)（SOHO）が検出した極めて大規模なコロナ質量放出（CME）が伴っていた。CME とは、太陽の大気圏から外側に噴出するプラズマと磁場の爆発である。7 月 23 日の X ク

ラス フレアに伴って発生した磁気を帯びたプラズマ爆発は、太陽の方向には飛んでこなかったが、もし飛んでこられたとしたら、かなりの太陽嵐だった可能性がある。もしこの CME が地球に衝突するような経路をたどっていたら、地球にかなりの影響を及ぼしていたかもしれない。オーロラの眺めはなかなか感動的だったかもしれないが、心配なのは、SpaceWeather.com によると、このように激しいエネルギー粒子の爆発が巻き起こされ、我々に向かって投げつけられると、1989 年にケベックの電力網に深刻な影響を与えた現象と同様の、大きな技術的問題や停電の脅威に晒される可能性があったということだ。覚えておいてください。太陽は常に回転しているので、この地域は今後 1 週間半以内に再び視界に入るようになるので、引き続き注目の地域となるでしょう。

[メレディス・ガロファロ](#) 寄稿者

メレディスは、地域のマロー賞を受賞した認定放送気象学者であり、科学/宇宙特派員です。彼女は最近、ニューヨーク市の NY 1 とクリーブランドの 19 First Alert Weather Team でフリーランスの気象学者として働いていました。自称「ロケット ガール」のメレディスは、この 10 年間、個人的および職業的な仕事で高い評価を受けており、その中には、第 1 回ヴァルパライソ大学同窓会 10 年功労賞、地域エドワード R. マロー賞を受賞したニュース 12 の気候特集「Saving Our Shores」の 2 つの特別レポート、気象学と報道に関するフェアメディア カウンシル フォリオおよびロング アイランド プレス クラブの複数の賞、ロング アイランド ビジネス ニュースおよび NYC TV ウィークの「40 Under 40」賞などがあります。

<https://www.space.com/us-cities-at-risk-for-solar-storm-damage>

科学者によると、米国のこの 2 つの都市は太陽嵐の影響を最も受けやすい

ステファニー・[ワルデック](#) 2024.7.27

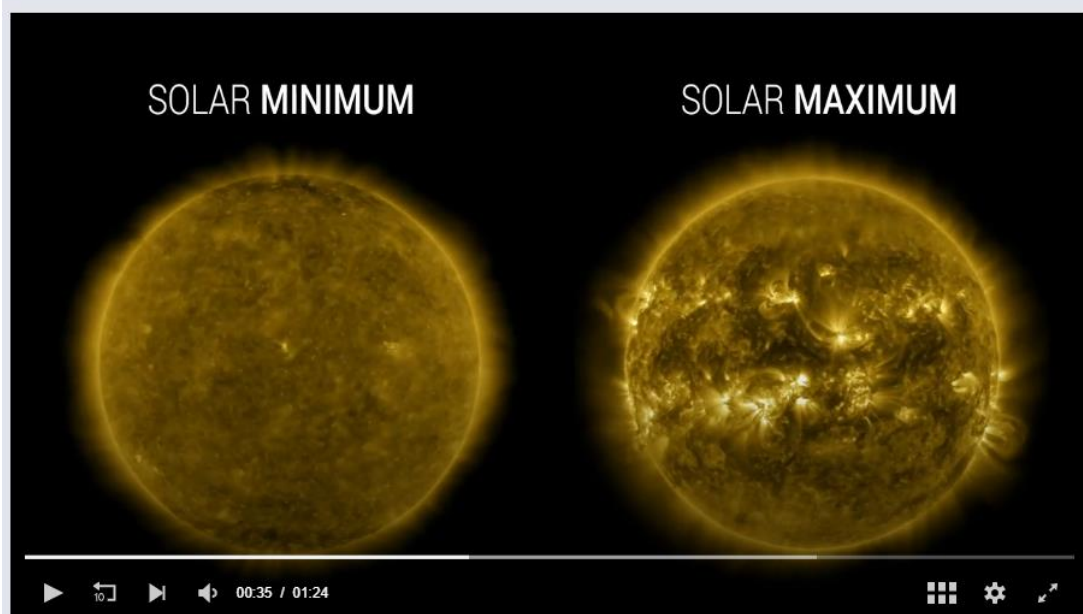
特定の電力網は他の電力網よりも地磁気嵐による干渉を受けやすいようです。



(画像提供: フィリップ・ヤバット/ゲッティイメージズ)

[太陽活動極大期](#)（[太陽活動周期](#)の中で最も活動が活発な時期）が近づいている今、科学者が[地球](#)に対する地磁気嵐の影響を調査しているのも不思議ではない。太陽活動の活発化はしばしば鮮やかなオーロラの出現につながるが、地球上の技術システムに大混乱をもたらす可能性もある。

[強い磁気嵐のときに無線送信に干渉が発生するの](#)が最も一般的ですが、地磁気誘導電流（GIC）によって電力線や変圧器が破壊されることも知られています。英国地質調査所（BGS）のチームは、都市の電力網の脆弱性を評価し、ミルウォーキーとワシントン DC の 2 つのアメリカの都市が磁気嵐の際に特に危険にさらされていると判断しました。BGS のローレン・オール氏は、これら 2 つの都市が特に脆弱である理由として、「地面の電気伝導性、その地域の電力網の物理的構造、または空のオーロラ電流の位置」など、さまざまな理由を挙げている。



<< 戻る

ビデオを保存

宇宙に設置された太陽観測所は、何十年も太陽を観測してきました。これらのタイムラプス画像で、太陽活動の極小期と極大期の違いをご覧ください。

今のところ、これは非常事態警報を出すほどのものではない。過去 100 年間に発生した太陽嵐のほとんどは、電力網を破壊するほどの強さではなかった。しかし、史上最強の太陽嵐として記録された 1859 年の[カリントンイベント](#)のような現象が再び発生した場合、問題は深刻になるだろう。

したがってオー氏は、ミルウォーキーやワシントン DC のような都市を監視し、電力網を保護するために何ができるかをさらに学ぶべきだと主張している。

関連記事: — [5月の太陽嵐は史上最大の衛星の「大量移動」を引き起こした](#)

— [私たちは500年で最も強いオーロラのいくつかを目撃したかもしれない](#)

— [2024年5月の太陽嵐の狂乱は深海に影響を及ぼすほど強力だった](#)

「ネットワーク科学は、意図的な攻撃と偶発的な障害や自然災害によって引き起こされる攻撃の両方に対する電力網の回復力と堅牢性を定量化するための一般的なツールになっています」と彼女は声明で述べた。[「これまでネットワーク科学を使用してオーロラの電気ジェット内のパターンを明らかにすることに大きな成功を収めてきたので、私たちは再びネットワーク科学と宇宙天気分野を組み合わせ、GICに対するネットワークの反応を捉えるつもりです。」](#)

[ステファニー・ワルデック](#)

寄稿者 Space.com の寄稿ライター、ステファニー・ワルデック氏は独学で宇宙オタク、航空マニアとなり、宇宙飛行と天文学のあらゆることに情熱を注いでいます。

旅行とデザインのジャーナリズムのバックグラウンドを持ち、ニューヨーク大学で文学士の学位を取得したワルデック氏は、新興の宇宙観光産業と地球ベースの天文観光を専門としています。余暇には、ロケットの打ち上げを見たり、星空を見上げて宇宙に何があるのか考えたりしています。彼女の仕事の詳細については、www.stefaniewaldek.com をご覧ください。

<https://www.space.com/european-space-agency-space-environment-report>

ESAによると、宇宙は「長期的には持続不可能な環境」になりつつある

ジャクソン [・ライアン](#) 2024.7.26

「全体的に、この報告書は悪いニュースばかりだが、それは良いニュースでもある。」



地球の周りを周回する破片のイラスト。（画像提供：ゲッティイメージズ）

地球の大気圏のすぐ外側にある宇宙は、ティーンエイジャーの寝室のようなもので、掃除しようと思っても、なぜかどんどん散らかっていく。

少なくとも、これは[欧州宇宙機関](#)（ESA）が7月23日に発表した2024年宇宙環境報告書の調査結果の1つだ。報告書は、地球の軌道上に蓄積している衛星とデブリの数を報告している。2017年以来毎年発表されているESAの[最新報告書は、宇宙](#)活動の国勢調査のようなもので、問題がいかに深刻化しているかを示している。そのデータによると、監視ネットワークによって追跡されている物体は3万5000個以上あり、そのうち約2万6000個が4インチを超える大きさのデブリだという。[報告書は、この膨大な量の宇宙ゴミ](#)を軽減するための努力が改善されたにもかかわらず、ゴミは増え続けていることを示唆している。実際、その量が多すぎて、私たちは「長期的には持続不可能な環境」を作り出している、と報告書は述べている。

再突入を前にイタリア上空と宇宙から発見された運命のERS-2衛星 2分

esa

HEO

Blue Band
Object Name: ERS-2 (23860)

Red Band
Object Name: ERS-2 (23860)

SPACE

300.42 / 01:04

ビデオを保存

ESAは2024年2月20日にイタリア上空でERS-2衛星を発見しました。この衛星は2月21日に地球の大気圏に再突入する可能性が高いです。HEO Roboticsもこの衛星の画像を取得しました。[再突入で破片が残るでしょうか？](#)

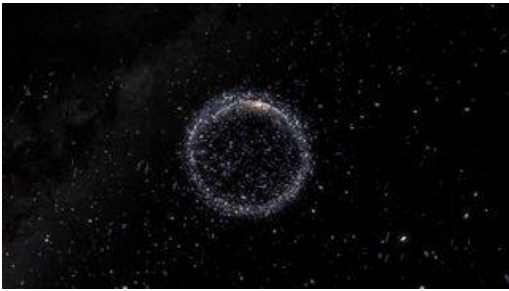
今週、[スペース X は](#)、スターリンクメガコンステレーションの6,200基の衛星が[過去1年間で約5万回の衝突回避操作](#)をし、低地球軌道上のゴミや破片を避けなければならなかったことを明らかにした。同社はまた、5月に地球上でニアミスを経験しており、[クルードラゴン宇宙船の1機の破片がノースカロライナ州の山岳地帯全体に落下し、民家にも衝突した](#)。

[ESAの報告書では、SpaceX](#)のStarlinkのような商業衛星開発の増加に牽引され、人類がこれまで以上に多くの衛星を宇宙に打ち上げていることも詳述している。ESAによると、世界で稼働中の[衛星の](#)うち6,000基以上が高度310～370マイル（500～600キロメートル）の低軌道に配置されているという。

この地域は地球の軌道上の混雑した高速道路のようなもので、ESAは状況が悪化する一方だと指摘している。2023年に打ち上げられる衛星の大半も、この高度に向かっている。もし破片がこれらの混雑した宇宙高速道路に衝突したり爆発したりすれば、[連鎖反応を引き起こして](#)衛星を破壊し、低軌道宇宙ステ

ーションの宇宙望遠鏡などの重要なインフラを危険にさらすことになる。事実上、これらの高速道路は閉鎖されることになる。厳しい状況のように聞こえるが、前向きな兆候もある。報告書ではまた、ペイロードや使用済みロケット本体を軌道から外すことで宇宙ゴミを軽減する取り組みが強化されているとも述べている。

関連: [NASA の新しい報告書によると宇宙ゴミはこれまで考えられていたよりも安価に処理できる可能性がある](#)



ESA とその加盟国の一部は最近、拘束力のないゼロ・デブリ憲章に署名し、軌道上のデブリ問題に取り組むための措置を講じることを約束した。(画像提供: ESA/ID&Sense/ONiRiXEL)

2023 年には、ペイロードの再突入が大幅に増加しました。600 個以上の物体が制御不能な状態で地球に転がり落ちてきました。その理由の 1 つは、太陽活動の増加です。これにより、制御不能な再突入がはるかに高い割合で発生する可能性があります。「ここ数カ月の美しいオーロラ」の原因となったものと同じものが、上層大気を膨張させ、その結果生じる抗力で低軌道の物体を通常よりはるかに速い速度で高度を下げることになるだろうと、衛星や宇宙ゴミを追跡する方法を研究しているタスマニア大学とオーストラリア連邦科学産業研究機構の博士研究員マーズ・バットフィールド・アディソン氏は Space.com に語った。

緩和策は改善されているものの、依然として規則違反が続いており、ミッション終了時に多くの大型ペイロードが軌道から離脱できていない。これはすぐには落下しないゴミだ。

ESA は、現在の傾向を推定すると、壊滅的な衝突の件数が大幅に増加し始めると予測している。ただし、この予測は 2225 年までの今後数世紀にわたるものであり、今後数十年間は小規模な増加が見込まれる。

関連記事: [— 宇宙ゴミを片付ける 7 つの奇抜なアイデア](#)

— [NASA はノースカロライナ州の宇宙ゴミがスペース X のクルードラゴンの再突入によるものであることを確認した](#) — [宇宙服なしで宇宙でどれくらい生き残れるのでしょうか？](#)

報告書が明らかにしているのは、緩和策の実施が「長期的に持続可能な環境を確保するにはレベルが低すぎる」こと、そしてここで見られる成果の一部は大型衛星群の退役と関連していることである。つまり、脅威を抑制するための戦略を強化しない限り、短期的にはさらに多くのジャンク衛星が出現すると予想されるということだ。「全体的に、報告書は良いニュースである悪いニュースでいっぱいです」とバットフィールド・アディソン氏は言う。「多くの点で私たちは最善を尽くしています。非常に賢く、やる気のある人々がさまざまな手段で緩和に取り組んでいますが、物理学、商業的利益、国際法によって長い間妨げられてきました。」

[最新のミッション、夜空など、宇宙について語り合うには、当社のスペース フォーラムに参加してください](#)。ニュースのヒント、訂正、コメントがある場合は、community@space.com までお知らせください。

[ジャクソン・ライアン](#) 寄稿者

ジャクソン・ライアンはオーストラリアのアデレード出身の科学ジャーナリストで、長編および物語形式のノンフィクションを専門としています。現在はオーストラリア科学ジャーナリスト協会の会長を務めています。2018 年から 2023 年まで、CNET の科学編集者を務めていました。2022 年には、オーストラリア人が「科学アカデミー賞」と呼ぶ科学ジャーナリズムのユーレカ賞を受賞しました。その前には、分子生物学の博士号を取得しており、ディズニーチャンネルで「ゲームフェスト」という子供向けテレビ番組の司会を務めたこともあります（見つけるのは難しいでしょう）。クリスマスセーターを 70 枚以上コレクションしていますが、ペットは飼っていません。ペットを飼っていることについては、いつか直したいと思っています。

国際宇宙ステーションでの船外活動、無期限で延長-宇宙服から水漏れ

2024.07.23 08:00 [塚本直樹](#)、[田中好伸](#)（編集部）

米航空宇宙局（NASA）は国際宇宙ステーション（ISS）での船外活動（Extravehicular Activity : EVA）を無期限で延長すると発表したことを海外メディアの Space.com が[伝えている](#)。

ISS では 6 月 18 日に、宇宙服の不快感を原因として、EVA が中止された。同月 24 日には ISS と宇宙服の接続部から冷却剤が漏れ出し、[EVA が再度中止された](#)。

「宇宙服の保守・冷却用アンビリカルケーブルから水漏れしたため、この船外活動は予定より早く終了した。問題が発生したケーブルは、ISS とつながっている部分だ」と、NASA で宇宙ステーションプログラムマネージャーを務める Dana Weigle 氏は述べている。水が漏れたのは、宇宙服に搭載されている「SCU」（Service and Cooling Umbilical）と呼ばれる装置。「水漏れの原因と復旧のために何をすべきか、まだ検討中だ。次の機会に EVA を行う場所を探している。時間的に追われているわけでも、緊急なわけでもないで、最も適切で合理的な場所を見つけるつもりだ」と、Weigle 氏は語っている。近年の ISS の宇宙遊泳では、冷却剤の漏れが何度も発生している。2022 年 3 月には、船外活動後に宇宙飛行士のヘルメットに水が入っていることが発見され、7 カ月間宇宙遊泳が中断された。2013 年にはイタリア人宇宙飛行士のヘルメットが大量の水で満たされた。

宇宙服は「船外服」とも「船外活動ユニット（Extravehicular Mobility Unit : EMU）」とも呼ばれる。現在、ISS で活用されている EMU は、1970 年代に設計され、1983 年 4 月に初めて宇宙で実際に使用された。

EMU については、米 Axiom Space とイタリアの高級ファッションブランド Prada が共同で開発することが 2023 年 10 月に[発表された](#)。NASA は 2022 年 6 月に EMU の開発で Axiom Space と米 Collins Aerospace を選定した。しかし、Collins は 2024 年 6 月に EMU 開発から撤退することが[報じられている](#)。



ISS に置かれている EMU。2019 年に撮影（出典：NASA）

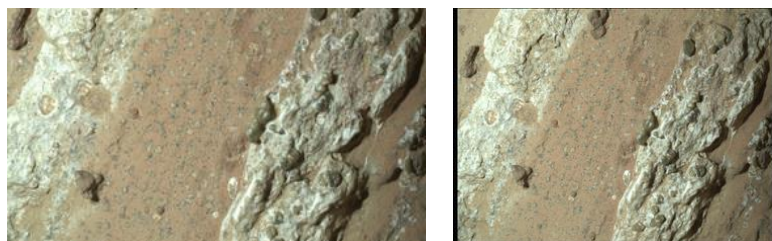
関連情報 [Space.com](https://www.space.com)

<https://www.space.com/nasa-perseverance-mars-rover-rock-ancient-life>

NASA の火星探査機「パーセベランス」が古代の赤い惑星の生命の痕跡を発見

シャルミラ・クトゥヌール 2024.7.26

「地球上では、岩石のこうした特徴は、地下に生息する微生物の化石記録と関連していることが多い。」



NASA の探査車「パーセベランス」は、火星でかつて微生物が生息していた可能性がある岩を発見しました。チェヤバ滝というニックネームが付けられたこの岩は、非生物学的プロセスの可能性もまだ排除できませんが、古代の生命によって形成された可能性のある化学組成と構造を持っています。(画像提供: NASA/JPL-Caltech/MSSS)

パーセベランスが発見した興味深い岩石をより詳しく見てみましょう。(画像提供: NASA/JPL-Caltech/MSSS)

[NASA](#) の火星探査機「パーサヴィアランス」が火星の岩石の中に古代生命の痕跡を発見した可能性がある。ミッションチームの科学者たちは大喜びしているが、発見を確認するにはさらなる分析が必要であるため、慎重な姿勢を崩していない。[探査車は、数十億年前、火星が](#)現在よりもかなり湿潤だった時代に微生物によって形成されたと考えられる化学的特徴と構造を持つ、興味深い矢じり形の岩石を発見した。科学者が「チェヤバ滝」と名付けたこの岩石の内部で、[パーセベランス](#)の機器は、私たちが知る生命の化学的性質の前駆物質である有機化合物を検出した。岩石全体に硫酸カルシウムの鉱脈が走っており、これはかつて生命に不可欠な水が岩石を流れていたことを示唆する鉱床である。探査車はまた、数十ミリサイズの斑点を発見した。それぞれが黒い輪で囲まれており、ヒョウの斑点のような外観をしている。これらの輪には鉄とリン酸が含まれており、これらは[地球](#)上でも微生物による化学反応の結果として見られる。

「これらの斑点は大きな驚きだ」と、オーストラリアのクイーンズランド工科大学の宇宙生物学者でパーセベランス科学チームのメンバーであるデイビッド・フラナリー氏は声明で述べた。[「地球上では、岩石のこのような特徴は、地表下に生息する微生物の化石記録と関連付けられることが多い」](#)

関連：「砂漠のオアシス」：NASA の探査車キュリオシティが火星の岩石に純粋な硫黄を発見

「火星でこれら3つのものが一緒に存在するのをこれまで見たことがない」と、パーサヴィアランス・チームの科学者モーガン・ケープル氏は、NASA が本日（7月25日）YouTube に投稿した[動画の中で述べた](#)。

チェヤヴァ滝は、ネレットヴァ溪谷と呼ばれる幅 400 メートル (437 ヤード) の古代の川の谷の端にあります。科学者たちは、この古代の水路は、ジェゼロ クレーターに流れ込む水によって昔に削り取られたものだと考えています。ネレットヴァ溪谷は、この地域の内壁に沿って走っています。考えられるシナリオの 1 つは、すでに有機化合物を含んだ泥が谷に捨てられ、後にチェヤヴァ滝の岩に固まったというものです。この岩は、パーセベランスが 7 月 21 日にサンプルを採取しました。形成された岩に水が 2 度目に染み出すと、チームが現在目にしているこの物体の硫酸カルシウムの鉱脈と黒い輪状の斑点ができたと考えられます。

誤解のないように言っておくと、この岩石の目に見える特徴は、少なくとも今のところは、火星に古代の微生物が存在したという反駁の余地のない証拠ではない。例えば、観察された硫酸カルシウムは、おそらく近くの火山活動中に、居住不可能な高温で岩石に入り込んだ可能性がある。しかし、そのような非生物学的化学反応が、観察された黒い輪状の斑点をもたらしたかどうかは未解決の問題だと科学者らは言う。

「ネレットバ溪谷の川床を巡る今回の旅は、これまで見たことのない何かを発見したことで成果をあげた。科学者たちに多くの研究材料を与えてくれるだろう」と NASA 科学ミッション局次長ニコラ・フォックス氏は声明で述べた。「我々はレーザーと X 線でその岩石を照射し、文字通り昼夜を問わず、考え得るほぼあらゆる角度から画

像を撮影した」とカリフォルニア州立工科大学のパーセベランス・プロジェクト科学者ケン・ファーリー氏は声明で述べた。「科学的には、パーセベランスが提供できるものはもう何もない」

関連記事: — [NASA の火星探査機「パーセベランス」が発見した小さな火星の「雪だるま」 \(写真\)](#)

— [パーセベランス探査機の火星岩石サンプルには古代生命の最良の証拠が含まれている可能性がある](#)

— [火星探査車パーセベランスが興味深い「ブライトエンジェル」岩層を掘削 \(写真\)](#)

数十億年前に古代の川の渓谷で実際に何が起こったのかを完全に理解するために、科学者たちはチェヤバ滝のサンプルを地球に持ち帰り、パーセベランスの限られた装備にはない強力な機器で精査することに熱心だ。

しかし、この複雑な[火星サンプルリターン](#)計画は、コストが 110 億ドルに跳ね上がったため、ここ数カ月で多くの問題に直面している。現在の計画では、火星に探査機を着陸させるため、複数回の打ち上げが必要であり、その後、パーセベランスが探査機まで移動して収集したサンプルを降ろすか、サンプルを回収ヘリコプターに乗せて引き渡しを完了する。その後、サンプルは昇降機で軌道に打ち上げられ、宇宙船がサンプルを回収して地球に持ち帰る。NASA は業界や学術団体からのさまざまなよりシンプルな代替案を評価し、この取り組みを検討している 7 つの企業に [150 万ドルの契約を交付した](#)。NASA の 3 つの研究センターも研究を行っている。

[最新のミッション、夜空など、宇宙について語り合うには、当社のスペース フォーラムに参加してください](#)。ニュースのヒント、訂正、コメントがある場合は、community@space.com までお知らせください。

[シャルミラ・クトゥヌール](#) Space.com 寄稿者

Sharmila Kuthunur はシアトルを拠点に天文学、天体物理学、宇宙探査を取材する科学ジャーナリストです。X @skuthunur で彼女をフォローしてください。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20240723-2991080/>

東大、火星大気中に塩化水素が広域かつ非一様に存在していることを観測

掲載日 2024/07/23 14:53 著者：波留久泉

東京大学(東大)は 7 月 19 日、ハワイ・マウナケア山頂の天文台群にある米国航空宇宙局(NASA)の「IRTF 望遠鏡」を用いた観測により、火星大気にわずかに存在し、惑星における塩素循環の鍵となる大気分子である塩化水素の全球分布取得に初めて成功し、同化合物が火星全球に広く存在することを示すと共に、空間分布が非一様であることを明らかにしたと発表した。



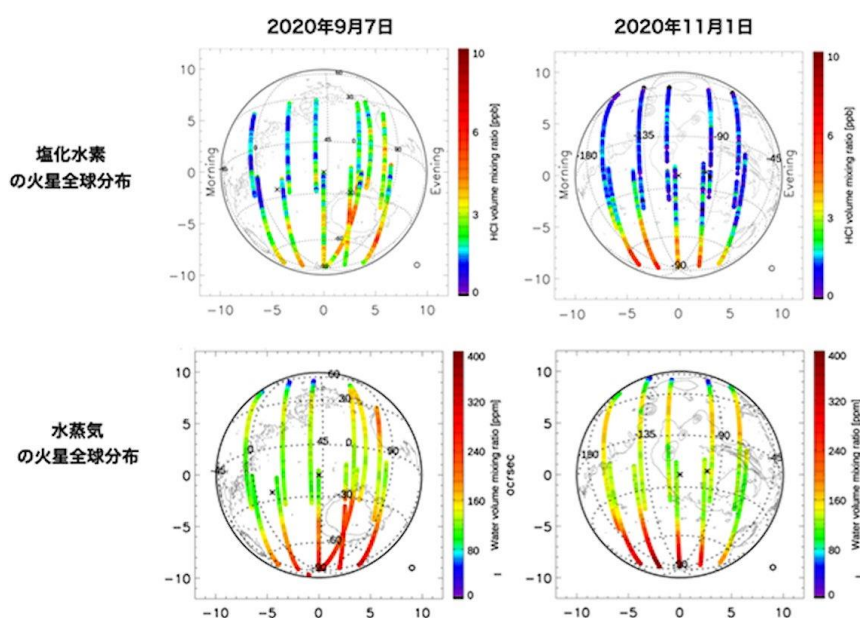
ハワイ・マウナケア山頂の天文台群の 1 つである IRTF 望遠鏡(出所:東大 Web サイト)

同成果は、東大大学院 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 アストロバイオロジーモジュールの青木翔平講師らの研究チームによるもの。詳細は、[惑星科学とその関連分野を扱うオープンアクセスジャーナル「The Planetary Science Journal」](#)に掲載された。

火星は、周回機に加え、ローバーを含む着陸機も含めてこれまで人類が多くの探査機を送り込んできた惑星として知られ、「ロボットの惑星」などとも呼ばれる。現在は、いくつかの国や地域の宇宙機関が探査機を送り込んでおり、欧州宇宙機関(ESA)では現在、複数の探査機を送り込む「エクソマーズ計画」を実施中だ。その第 1 弾として火星軌道に投入され、2018 年から生命や地質活動の痕跡となる気体の探索や火星大気の鉛直高度分布な

どを調査しているのが「エクソマーズ・トレース・ガス・オービター」(TGO)であり、火星大氣中にわずかであるが、塩素を伴う分子(塩化水素)が存在することを初めて示した実績を誇る。

火星の地表面には、塩素を伴う塩や鉱物が広く存在することがわかっていたことから、大氣中における塩化水素の発見は、火星で何らかの塩素の循環が存在することを示唆しているという。しかし、同化合物の生成消滅過程はこれまでまだよくわかっていなかったとする。同化合物が火星全球でどのような分布をしているのかを調べることは、その生成消滅過程を理解する手がかりになるが、これまでの TGO による調査は「太陽掩蔽観測」(明るい太陽を光源として用いることで精度の高い大氣スペクトルを取得でき、微量大氣成分の観測に適した観測手法)であるため、一度に火星全球を広く観測することができず、また低緯度域や地表面付近の大氣を調べるのが困難だったという。そこで研究チームは今回、国立天文台のすばる望遠鏡も稼働しているハワイ・マウナケア山頂の天文台群の 1 つである IRTF 望遠鏡の赤外線分光装置を用いて、2020 年 9 月 7 日と 2020 年 11 月 1 日に火星観測を行い、衛星観測では困難な地表面付近の大氣における塩化水素の全球分布取得を試みたとする。そして観測の結果、塩化水素の検出に成功し、低緯度域を含む火星全球に塩化水素が広く存在することが判明。また、塩化水素が南半球の高緯度域で多く存在し、大氣中の水蒸気と強い相関があることが示されたとしている。

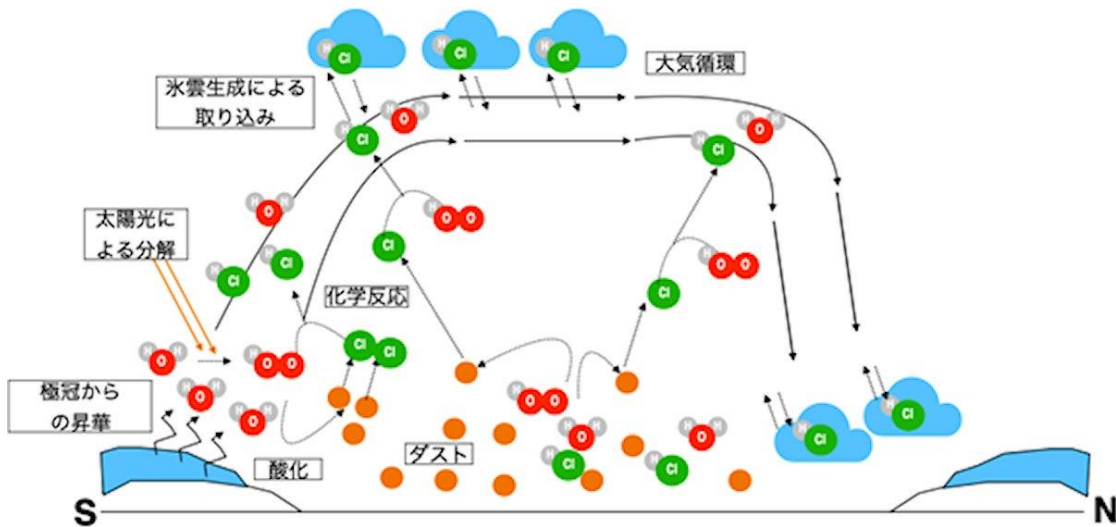


今回の研究で得られた塩化水素(上)と水蒸気(下)の火星全球分布。色はそれぞれの大氣中の組成比が示されている。観測は 2020 年 9 月 7 日(左)と 11 月 1 日(右)に行われ、火星上の異なる場所が調査された(出所:東大 Web サイト)

研究チームによると、観測された塩化水素の非一様な空間分布は、塩化水素の生成消滅や大氣循環の結果によって生じるものであると考えられるとのこと。水蒸気量との相関は、水蒸気が塩化水素の生成消滅過程で重要な役割を果たしていることを示唆しているとした。

今回観測が行われたのは、火星南半球における夏の時期に相当し、南極域に存在する氷が昇華して水蒸気が大氣中に供給される季節である。塩素は、それらの水蒸気が太陽光で分解されて生成する分子によって、大氣中に浮遊するダスト粒子が酸化されることで生成されている可能性が考えられるという。

同じく塩化水素も、水蒸気の太陽光分解で生成される「ヒドロペルオキシラジカル」と塩素の光化学反応によって生成される。生成された塩化水素は南半球から北半球へ大氣循環によって輸送され、水蒸気が凝結し雲が生成される際に塩化水素が吸収消失する可能性も示唆されたとする。



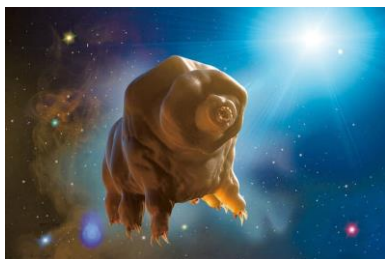
今回の観測をもとに推測された火星南半球の夏の時期における塩化水素の生成消滅や輸送過程(出所:東大 Web サイト)

火星の地表面に存在する塩素を伴う塩(過塩素酸塩)は反応性が強く、生命に有害な物質ともいえるとのことで、研究チームは、今回の研究によって解明された大気中の塩素循環が、地表面に存在する塩がどのように生成されたのかを明らかにする手がかりとなるとしている。

<https://www.newsweekjapan.jp/stories/technology/2024/07/post-105134.php>

月に置き去りにされた数千匹の最強生物「クマムシ」、今も生きている可能性

2024 年 7 月 22 日（月）11 時 40 分 茜 灯里（作家・科学ジャーナリスト）



月の過酷な環境で最強生物のクマムシはどうなった DENIS-ART/ISTOCK

<2019 年に探査機が月面に衝突。搭載されていたのは、あらゆる過酷な環境に耐え得るクマムシだった。水も酸素もエサもない環境だが...> 2019 年 4 月、イスラエルの月探査機「ベレシート」は民間初の着陸成功を目指したが、高度 150 メートルでトラブルに見舞われ時速 500 キロで月面に激突した。

問題は炎暑、厳寒、真空、乾燥、放射線とあらゆる過酷な環境に耐え得る「地球最強生物」の呼び声が高いクマムシが、探査機に数千匹も搭載されていたことだ。

月には空気も水もなく、昼は 110℃、夜はマイナス 170℃になる。月面で被ばくする放射線は、日本での 200 倍にもなる。しかしクマムシは、時速 2600 キロの衝撃や、月面で 1 年間に被ばくする放射線量の約 1 万倍に耐えるという研究がある。さらに、体内水分の 95%を失うと代謝を止め「乾眠」して 150℃～マイナス 270℃の極端な温度や真空中に耐えられるようになる。しかも水をかけると復活可能で、乾眠から 30 年後に活動再開したケースもある。フランス国立自然史博物館のローラン・パルカは、クマムシは月面激突の衝撃や強い放射線には耐えられたものの、水、酸素、エサとなる藻類がないため、現時点では月で増殖していないだろうと語る。しかし地球生物が月面を汚染し、「復活」のきっかけを待っているなら問題だ。ベレシートには「創世記の最初の章」という意味がある。月のアダムとイブになるのは、地球から持ち込まれたクマムシかもしれない。

【関連記事】 [最強生物クマムシが、大量の放射線を浴びても死なない理由が明らかに](#)

https://www.afpbb.com/articles/-/3530750?cx_part=top_category&cx_position=3

中国の科学者が月の試料から水分子を発見

2024 年 7 月 25 日 17:00 発信地：中国 [中国 中国・台湾]

CGTN
Japanese



月面の含水鉱物の形成を示すデザインスケッチ（2024 年 7 月 25 日提供）。(c)CGTN Japanese

【7 月 25 日 CGTN Japanese】月に水が存在するかどうかは、月の進化に関する研究と資源開発にとって極めて重要です。中国科学院物理研究所が 23 日に明らかにしたところによりますと、中国の科学者はこのほど 2020 年に無人探査機「嫦娥 5 号」が月から持ち帰った試料の土壌から、水の分子とアンモニウムを多く含む未知の鉱物結晶を発見しました。これは科学者が月の土壌から水分子を初めて発見し、水分子とアンモニウムの月での実在形態を明らかにしたものです。これらの研究成果はこのほど、天文学専門オンライン限定ジャーナル「ネイチャー・アストロノミー」に掲載されました。

嫦娥 5 号が採取した月の試料は、今から約 20 億年前の最も「若い」玄武岩で、これまで人類が採取した最も緯度の高い月の試料です。科学者は嫦娥 5 号が持ち帰った月の試料から、これらの月の水とアンモニウムが水和鉱物の形で現れていることに気づきました。この鉱物の分子式には最大六つの結晶水が含まれており、試料中の水分子の質量は 41% に達しています。科学者は赤外線スペクトルなどの専門機器を利用して、水分子やアンモニウムに由来する特徴をはっきりと確認し、さらには水分子中の水素もはっきりと観察することができたということです。1969 年から 1972 年にかけてアポロ計画で集めた試料に対する国際科学界のこれまでの研究によると、月の土壌から水を含む鉱物はいかなるものも発見されていませんでした。その後、月に水が含まれていないことは月面科学の基本的な仮説となり、月火山の進化、月と地球の起源などの問題の認識に重要な影響を与えました。中国の科学者による今回の発見の正確性を確保するため、研究者は化学と塩素同位体分析を行いました。それにより、同鉱物の塩素同位体組成は地球の鉱物と著しく異なり、月の鉱物と一致していることがわかり、地球の汚染やロケットの排ガスが発生源である可能性を排除しました。

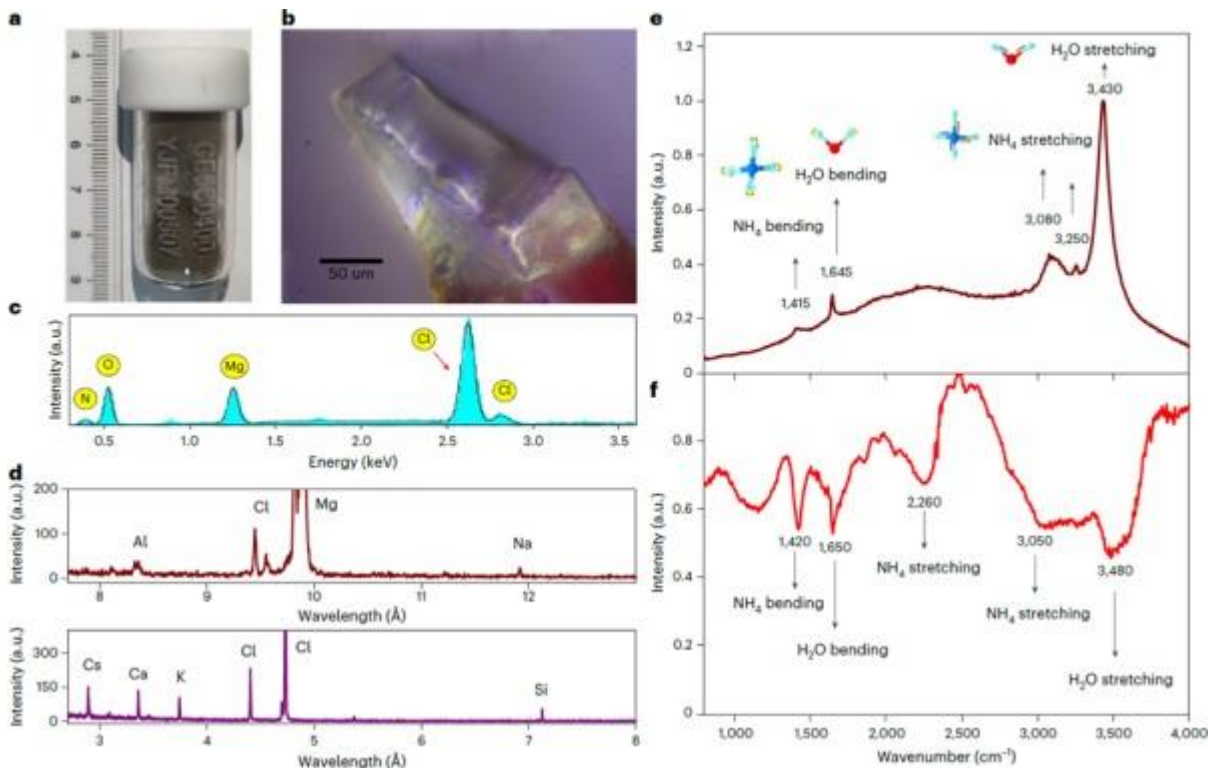
専門家は、今回発見された水和鉱物には水分子だけでなく、アンモニウム、さらには少量のカリウムも豊富に含まれていることから、将来、月でこのような水和鉱物を大量に見つけることができれば、人類の月資源の開発と利用に新たな可能性を開くだろうと期待を寄せています。(c)CGTN Japanese/AFPBB News

https://www.afpbb.com/articles/-/3530617?cx_part=top_category&cx_position=1

中国の科学者、月の土壌試料から水分子を発見

2024 年 7 月 26 日 11:00 発信地：中国 [中国 中国・台湾]





ULM-1 の写真と成分組成（資料写真）。(c)Xinhua News



【7月26日 Xinhua News】中国科学院物理研究所は23日、月探査機「嫦娥（じょうが）5号」が2020年に月から持ち帰った試料から、研究チームが水分子とアンモニウムを豊富に含む未知の鉱物結晶「ULM-1」を発見したと明らかにした。科学者が月の土壌で水分子を確認したのは初めてで、関連成果は科学誌ネイチャー・アストロノミー電子版に掲載された。

月に水が存在するかは、月の進化の研究と資源開発にとって非常に重要な問題となる。「嫦娥5号」が着陸したのは月の表側「嵐の大洋」のクリープ（岩石層）北東部で、月表面で最も若い玄武岩の一つと考えられており、このことが関連研究に新たな機会をもたらした。

研究チームは、ULM-1の分子式が最大6分子の結晶水を含み、水分子の質量比が41%に達することを発見。結晶の赤外線スペクトルとラマンスペクトルのいずれからも水分子とアンモニウムに由来する特徴的な振動ピークがはっきりと観察できた。論文の責任著者、同研究所の陳小竜（ちん・しょうりゅう）研究員は、ULM-1のような水和鉱物は揮発しやすい水氷と異なり、非常に安定していると説明。ULM-1の発見は月表面の広大な日照地域にも安定した水和塩が存在する可能性を示唆しているとし「将来の月資源の開発と利用に新たな可能性を提供する」と述べた。(c)Xinhua News/AFPBB News

https://news.biglobe.ne.jp/domestic/0721/dol_240721_0773252067.html#google_vignette

宇宙は約 140 億年前に誕生し、ほぼ大きざゼロから膨張し続けている…巨大なクモの巣のような「超空洞」を挟み、広大な銀河を結びつけている「宇宙の網の目」とは？

2024 年 7 月 21 日（日）6 時 0 分 [ダイヤモンドオンライン](#)



宇宙は約 140 億年前に誕生し、ほぼ大きさゼロから膨張し続けている…巨大なクモの巣のような「超空洞」を挟み、広大な銀河を結びつけている「宇宙の網の目」とは？ [写真を拡大](#)

ウォール・ストリート・ジャーナル、BBC、タイムズなど各紙で絶賛されているのが『THE UNIVERSE IN A BOX 箱の中の宇宙』（アンドリュー・ポンチェン著、竹内薫訳）だ。ダークマター、銀河の誕生、ブラックホール、マルチバース…。宇宙はあまりにも広大で、最新の理論や重力波望遠鏡による観察だけでは、そのすべてを見通すことはできない。そこに現れた救世主が「シミュレーション」だ。本書では、若き天才宇宙学者がビックバンから現在まで「ぶっとんだ宇宙の全体像」を提示する。「コンピュータシミュレーションで描かれる宇宙の詳細な歴史と科学者たちの奮闘。科学の魅力を伝える圧巻の一冊」野村泰紀（理論物理学者・UC バークレー教授）、「この世はシミュレーション？—コンピュータという箱の中に模擬宇宙を精密に創った研究者だからこそ語る、生々しい最新宇宙観」橋本幸士（理論物理学者・京都大学教授）、「自称世界一のヲタク少年が語る全宇宙シミュレーション。綾なす銀河の網目から生命の起源までを司る、宇宙のダークな謎に迫るスリルあふれる物語」全卓樹（理論物理学者、『銀河の片隅で科学夜話』著者）と絶賛されている。本稿では、その内容の一部を特別に掲載する。

宇宙の網の目

宇宙は約百四十億年前に誕生し、ほとんど大きさゼロから膨張し続けていることは、二十世紀の中頃からわかっていった。しかし、膨張によって銀河がランダムに散らばってゆくわけではない。

一九八〇年代に高性能な望遠鏡で観測した結果、巨大なクモの巣のような、ほぼ空っぽの超空洞（ボイド）を挟んだ、広大な「宇宙の網の目」に沿って、銀河が結びついていることが判明した。

網（フィラメント）には何十、何百もの銀河が結びついている。各銀河はフィラメント自体の約一万分の一の大きさなので、このスケールでは一つの明るい点にしか見えない。

気が遠くなるようなスケール

だが、その点には数千億個の星が詰まっており、その一つひとつに複数の惑星があるかもしれない。

とにかく、この構造は、気が遠くなるほど巨大なクモの巣の上で輝く、露のような、光の斑点を通して追うことができる。この奇妙な宇宙の網の目構造を明らかにした、初期のプロジェクトの一つは、天文学者マーク・デイヴィスによって率いられた。テクノロジーに慣れ親しんだデイヴィスは、ソフトウェア会社で働いて、大学の学資を稼いでいた。彼は宇宙の銀河の位置をマッピングする自動デジタル化システムを構築した。

数十年前のホルンベルクと同じように、デイヴィスは、既存の銀河のカatalogが行き当たりばったりで組み立てられていることに気づき、コンピュータの助けを借りて、空をスキャンするプロセスを自動化することに決めたのだ。望遠鏡のドームの中は、「あちこちにワイヤーが走っていて……世界一きれいな仕事はできなかったけれど、なんとか、うまくいったよ」と、彼は述懐している。

最高の仕事

しかし、その結果は大きな謎だった。なぜ、どのようにして、銀河が網の上に並んだのか？

デイヴィスは、シミュレーションでこの問題を調べるために、三人の若い研究者を集めた。まずは、新星のサイモン・ホワイトと彼の博士課程の学生のカルロス・フレンク。彼らはちょうど、私たちの銀河系にダークマターが存在することを主張する論文を書いたばかりだった。定年を目前に控えた今、フレンクは宇宙論に対する、少年のような抑えがたい熱意をもち続けている。「信じられませんが、どういうわけか宇宙で最高の仕事をす

ることになったのです」と、彼は二〇二二年の講演で語った。チームの三人目のメンバーは、当時ダラム大学で学位論文を書き終えようとしていたジョージ・エフスタシューだ。彼は、チームに必要な規模と高度なレベルでシミュレーションを実行できる、世界で唯一のコンピューター・コードの達人だった。

エフスタシューは、私が二〇〇五年に自分の論文の執筆を始めるために、ケンブリッジ大学天文学研究所に着任したときの責任者であり、私にとっては少々恐ろしい権威だった。

しかし一九八〇年代、エフスタシューは派手なバイクを乗り回し、革ジャンを着ていた。若い暴走族たちは、中国共産党の急進派になぞらえて「四人組」として業界に広く知られるようになった。

エフスタシューのコードがそれまでのコードよりも優れている点の一つを挙げるために、こんなことを考えてみよう。 私たちが知る限り、「宇宙には端がない」ように見える。コスモロジストが「宇宙は膨張している」と言うとき、物質の泡が何もない深淵へと膨張している、という意味ではない。

奇跡の箱に宇宙を入れる

そうではなく、私たちの望遠鏡が観測している宇宙空間全体が、すでに銀河による宇宙の網の目で満たされており、しかもすべての銀河が互いに他の銀河からじわじわと後退しているのだ。これは頭の中で非常にイメージしにくく、またシミュレーションの現実的な難問でもある。

はたして有限のコンピュータで無限の宇宙を表現できるのだろうか？

その解決策は、数学的なトリックを使って、小さなシミュレーション宇宙を無限に見せることだ。

わかりやすいアナロジーは、古典的なアーケードゲームの「アステロイズ」だろう。このゲームでは、二次元の宇宙船を操縦して、コンピューター画面のサイズの宇宙を周回し、衝突する前に宇宙岩石を撃ち落とす。岩や自分の宇宙船が画面の右端を飛び越えると、左端から現れる。同様に、上に飛び移ると下にテレポートする。これは見事に、端がないにもかかわらず有限なゲーム世界になっており、計算がしやすい。

エフスタシューのコードは、このアイデアを実装し、空間をシミュレーションする煩雑さを手なずけ、壁のない奇跡の箱の中に宇宙を入れてしまった。 四人組は、この「箱の中の宇宙」と、標準的なシミュレーションの時間ごとのキックとドリフトの方法を組み合わせ、巨大な重力の影響力を持つダークマター（暗黒物質）が、何十億年という時間をかけて、徐々に物質の網を構築していく様子を示した。ダークマターが余分に存在するところでは、重力の引力がより多くのものを引き寄せる。逆に、ダークマターが少ないところでは、重力が弱く、物質が集まりにくくなる。その結果、暴走現象が起きる。高密度の物質が集まった小さな塊は、急速に周囲のあらゆるものを吸い寄せ始め、やがて、銀河のような巨大構造を作り出す。（本原稿は、アンドリュー・ポンチェ

ン著『THE UNIVERSE IN A BOX 箱の中の宇宙』（竹内薫訳）を編集、抜粋したものです） 

<https://www.newsweekjapan.jp/stories/technology/2024/07/post-105116.php>

「宇宙で最もひどい場所」はここ 2024年7月23日（火）12時00分

ロビン・ホワイト（自然・環境担当）



クエーサー「J0529-4351」のイメージ ESO/M. Kornmesser

＜オーストラリア国立大学の研究チームが、太陽の 170 億倍の質量を持つブラックホールを発見した＞

クエーサー（準恒星状天体）は銀河の中心で極めて明るく輝く天体で、その中心には超巨大ブラックホールがある。塵やガスがブラックホールに落ち込む際に電磁放射が放出され、輝く光が生まれる。

最近、観測史上最も明るい天体であるクエーサーが発見された。今年 2 月、英科学誌ネイチャー・アストロノミーに掲載された論文によれば、120 億光年のかなたにあり、J0529-4351 と名付けられたこのクエーサーは太陽の 500 兆倍以上明るい。オーストラリア国立大学の天文学者で、論文の筆頭著者のクリスチャン・ウルフは、J0529-4351 にあるブラックホールは「これまで知られている中で最も急速に成長している。質量は太陽の 170 億倍で、一日に太陽 1 つ分の質量を飲み込むことで宇宙で最も明るい天体となっている」と本誌に語る。

ウルフによれば、そのブラックホールは「おそらく宇宙で最もひどい場所だ」。雲が高速で動き極端に高温で、とてつもなく大きな稲妻があちこちで放電しているという。クエーサーやブラックホールの研究は初期宇宙の理解にとって重要なものだ。宇宙の成り立ちや進化について多くの手がかりを与えてくれる。

<https://sorae.info/astrometry/20240717-drake-equation.html>

「ドレイクの方程式」の修正案が提出される 私たち人類は“ひとりぼっち”なのか？

2024-07-20 彩恵りり

宇宙には、私たち人類以外の文明は存在するのでしょうか？ もしも存在するとしたら、それはどれくらいの数となるのでしょうか？ 文明の数を推定する方法として有名な「ドレイクの方程式」にもとづくと、天の川銀河の中には多数の文明が存在すると予測できます。その一方で、ドレイクの方程式で予測される文明の数は、私たちがとっくの昔に地球外文明に出会っていてもおかしくはないはずだという「フェルミのパラドックス」との矛盾にしばしば遭遇します。テキサス大学ダラス校の Robert J. Stern 氏とスイス連邦工科大学チューリッヒ校の Taras V. Gerya 氏の研究チームは、進化した生命が知性を獲得して文明を構築するには、大規模な地殻の運動である「プレートテクトニクス」の継続時間がカギを握っているのではないかと考えた研究を行いました。そして、ドレイクの方程式の項目の 1 つである「fi（生命が知性を獲得する割合）」を修正し、「foc（大きな大陸と海洋を持つ居住可能な惑星の割合）」（※1）と「fpt（プレートテクトニクスが 5 億年以上継続する惑星の割合）」の積（掛け算）にすることを提案しました（※2）。

※1...表面温度が液体の水を維持できる範囲であり、潜在的に生命が発生しうる環境を持つ惑星を「居住可能な惑星」と呼びます。簡単に言えば“地球のような惑星”といえます。

※2...本記事では、ドレイクの方程式の各項目について、元の表記に合わせて下付き文字を使用しています。ただし、環境によっては下付き文字として表示されない場合があります。

Stern 氏と Gerya 氏は様々な事象を元に、生命が知性を獲得する割合を 0.003~0.2%、天の川銀河の中の地球外文明の数は多くても 2 万であると推定しました。ただし、これはあくまでも最大値であり、悲観的に考えれば天の川銀河に文明は 1 つしかない、つまり私たち人類がひとりぼっちである可能性も最大で 0.04%の確率でありうると両氏は推定しています。

■地球外文明への相反する概念「ドレイクの方程式」と「フェルミのパラドックス」

ドレイクの方程式 (Frank Donald Drake, 1961)

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

N : 私たちと交流可能な天の川銀河の中の文明の数

R_* : 天の川銀河の中で1年間に誕生する恒星の数

f_p : 1つの恒星が惑星系を持つ割合

n_e : 1つの恒星における居住可能な惑星の平均数

f_l : 居住可能な惑星で生命が発生する割合

f_i : 生命が知性を獲得する割合

f_c : 知的生命体が恒星間通信を行う文明を持つ割合

L : 文明が恒星間通信を維持する年数

→ドレイクらは f_i を1と予想
※生命は100%、知性を獲得する進化をする

【▲ 図 1: ドレイク

の方程式では、各要素の掛け算で、天の川銀河に存在する交流可能な文明の数を推定しています。(Credit: 彩恵りり)】

この広い宇宙の中で、私たち人類のような文明はいくつ存在するのでしょうか？ 天文学者フランク・ドレイクは 1961 年に、天の川銀河に私たちと交流が可能な文明がいくつあるのかを推定する「ドレイクの方程式」というものを考案しました。それは 7 つの項目の掛け算で構成された、以下のような式です。

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

N : 私たちと交流可能な天の川銀河の中の文明の数

R_* : 天の川銀河の中で 1 年間に誕生する恒星の数

f_p : 1 つの恒星が惑星系を持つ割合

n_e : 1 つの恒星における居住可能な惑星の平均数

f_l : 居住可能な惑星で生命が発生する割合

f_i : 生命が知性を獲得する割合

f_c : 知的生命体が恒星間通信を行う文明を持つ割合

L : 文明が恒星間通信を維持する年数

最初に方程式を発表した会議でドレイク自身は天の川銀河の中にある文明の数を 1000 から 1 億と推定しました。他の科学者は様々な異なる値を推定しており、その値は 100 未満から数百万まで非常に幅があります。

一方で、地球外文明の数に関する別の考察もあります。それは 1950 年に物理学者エンリコ・フェルミが指摘した「フェルミのパラドックス」で、概ね以下のような内容です。

宇宙には無数の恒星があり、太陽よりもずっと古い年齢の恒星も珍しくありません。これらのいくつかは惑星を持ち、生命がいるかもしれません。すると、地球よりも先に文明が誕生し、恒星間旅行が当たり前になるほどの高度な技術を持つほど発展していてもおかしくはありません。では、なぜ私たちは未だに地球外文明と出会っていないのでしょうか？フェルミのパラドックスは 1975 年に別の科学者によって再発見されるまで知られていなかった概念ですが(※3)、ドレイクの方程式における文明の数が多めの推定値は、フェルミのパラドックスと矛盾しているように見えます。これはおそらく、ドレイクの方程式の項目の推定値に大きな誤りがあるからでしょう。※3...なお、フェルミ以前にも似たような概念は提唱されており、最も古い例はロケットの父と呼ばれるコンスタンチン・ツィオルコフスキーが 1933 年に著した未発表原稿の中で暗に示されています。

実際のところ、私たちは文明を 1 つしか知らないため、ドレイクの方程式は右側の項ほど確かな値を推定しにくくなります。それでも、太陽系以外の惑星が 1 つも見つかっていなかった 1961 年当時とは異なり、現在では数

千個の惑星が見つかり、居住可能と推定される惑星も少なくありません。このため、近年ではドレイクの方程式の各項目の値について、いくつかの改善案が提唱されています。

関連記事

- ・ [地球の生命は「15 パーセント」の確率で今日まで生き延びてきた可能性](#) (2020 年 8 月 28 日)
- ・ [異星人が見つからないのは“宇宙に生命がたくさんいる”から？ フェルミのパラドックスに新たな解決法](#) (2022 年 12 月 15 日)

■知性の獲得は「プレートテクトニクス」がカギ？

今回の研究で注目されたのは、ドレイクの方程式の項目の 1 つである「 f_i (生命が知性を獲得する割合)」の推定値に対する疑問です。1961 年にドレイクらは f_i の値を 1 であると設定しました。つまり、生命は 100% の確率で知性を獲得する進化を遂げるということになります (※4)。この値は、最初にドレイクの方程式が発表された会議に参加したメンバーの 1 人である脳科学者のジョン・C・リリーの提案によるものとされています。リリーはイルカの高度な知性に注目し、イルカとヒトという異なる生命が独自に知性を獲得した地球という実例がある以上、 f_i の値はかなり高いと考えて 1 と設定しました。

※4...ドレイクらが設定した値は $f_i=0.01$ (1%) だとする資料もあります。本記事では、論文とプレスリリースで言及された値を採用しています。

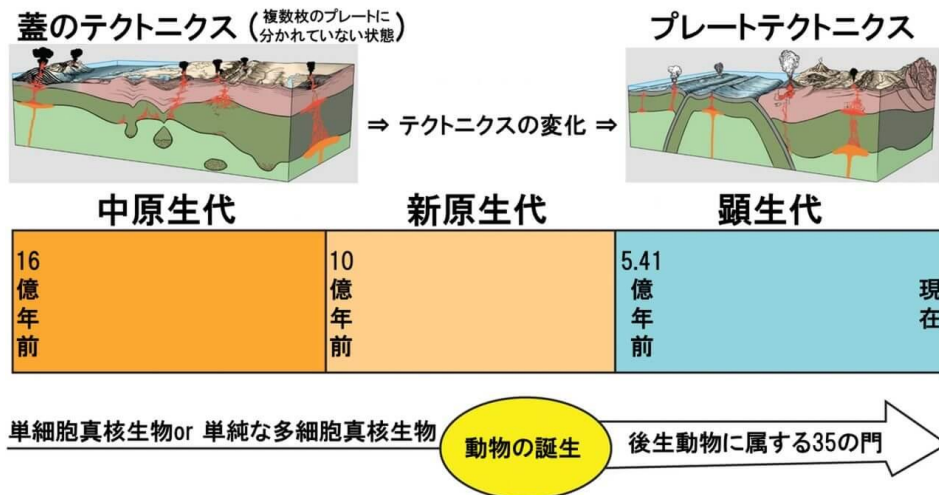
後の時代における他の科学者による f_i の推定値は、多くの場合 0.01~1 とされていました。つまり、100% は言い過ぎにしても、生命は最も低い可能性でも 1% の確率で知性を獲得すると考えられてきたことになります。

しかし、ドレイクの方程式が提唱されてから半世紀以上経った現在、地球の驚くほど厳しい環境でも生息している生命の発見や、居住可能な惑星の候補が多数あることを踏まえて、生命の存在そのものはそこまで珍しくないのではないかと考えられています。そうなると、宇宙がそれほどまでに生命に満ち溢れているのならば、なぜ他の文明に出会わないのか、というフェルミのパラドックスが指摘する事態に陥ります。

そこで Stern 氏と Gerya 氏は、生命の誕生そのものは珍しくなくとも、生命が進化して知性を獲得することには何らかの制約があるのではないかと考え、その原因を推定しました。両氏が注目したのは「プレートテクトニクス」です。地球の表面を構成する地殻は何枚ものプレートに分かれています。プレートはゆっくりと移動しながらマントルへと沈み込み、マントルから湧き上がった物質で新たに生成される大循環を繰り返しています。これがプレートテクトニクスです。実は、岩石が主体の天体で現役で活動しているプレートテクトニクスは、今のところ地球でだけ見ついている珍しい現象です。同じ岩石天体では、金星、火星、木星の衛星イオでは火山活動がある（またはあった）ものの、プレートテクトニクスはるか昔に停止したと考えられています。また、水星や月では活発な地質活動の痕跡そのものが見つかりません。

関連記事

- ・ [木星の衛星イオのマグマの温度を推定 塩化ナトリウムと塩化カリウムの比率から](#) (2023 年 1 月 20 日)
- ・ [火星最大の地震「S1222a」は隕石衝突で発生したものではないと確認 火星地殻の活動を示す発見](#) (2023 年 10 月 31 日)
- ・ [「金星」のプレートテクトニクスは過去にあった？ 10 億年間のプレートテクトニクスが分厚い大気を作ったかもしれない](#) (2023 年 11 月 19 日)



【▲ 図 2: Stern 氏と Gerya 氏は、

地球におけるプレートテクトニクスが本格化したタイミングと、複雑な動物化石が見つかり始めるタイミングが一致することは偶然ではないと考えています。（Credit: Robert J. Stern & Taras V. Gerya / 日本語訳は筆者（彩恵りり）による）】

ここで両氏が重視したのは、地球のプレートテクトニクスが始まったタイミングです。様々な説があるものの、その1つに約8億7000万年前から約6億年前にかけて地殻が複数のプレートへと断片化され、プレートテクトニクスが開始したのではないかとする説があります。特に、プレートテクトニクスが本格的に始まった約6億年前という時代は、ちょうど目に見える大きさの生物化石が見つかるようになる時代と一致する点が注目に値します。つまり、地球における生命の誕生は約38億年前ですが、生命の進化は実に30億年以上も遅々として進まない状態だったのです。これを考えると、プレートテクトニクスの本格化と生命の進化のタイミングの一致が、単なる偶然ではない可能性があります。むしろ、プレートテクトニクスは生命が複雑化する進化を促す刺激になったと考えることもできるでしょう。

関連記事

・ [地球の「退屈な10億年」は1日が19時間でほぼ固定だった？ 地質記録から探る自転周期の変化](#)（2023年6月28日）

実際、プレートテクトニクスは生命の進化を促す作用があると考えられます。プレートが衝突すれば山脈が生じ、風雨が岩石を風化させ、豊富な栄養素を海へともたらしめます。逆に、プレート同士の分離は穏やかな海を作り出すかもしれません。これが繰り返されることで環境の変化が生じ、それに適応するための進化が促されると考えることができるわけです。また、プレートテクトニクスは海洋と陸地の両方を生み出します。生命の誕生は、栄養素が豊富に存在し、紫外線を遮断してくれる海洋で発生したという説が主流ですが、一方で海洋は環境の変化に乏しいため、進化を促す作用は限定的であるとも考えられます。これに対して陸地は環境の変化が激しいため、生命に厳しい環境である一方、裏を返せば進化を促す作用があると言えます。

それに、私たちは今のところこの一例しか知らないという知見不足があるものの、ヒトは火、農業、金属精錬、電気など、高度な文明を構築するための様々な要素を陸上で発展させました。これらはいずれも海中では発生しにくいと考えられます。

■天の川銀河の中にある文明の数は最大でも2万

ドレイクの方程式の修正案 (Robert J. Stern & Taras V. Gerya, 2024)

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

$$f_i = f_{oc} \times f_{pt}$$

大きな大陸と海洋を持つ
居住可能な惑星の割合

プレートテクトニクスが
5億年以上継続する惑星の割合

生命が知性を
獲得する割合 = < 0.003 - 0.2 %

【▲ 図 3: Stern 氏と Gerya 氏は、生命が知性

を獲得する割合を 2 つの要素に分けることで、新たな推定値を考案しました。(Credit: 彩恵りり)】

前章の理由から Stern 氏と Gerya 氏はドレイクの方程式の f_i を「 f_{oc} (大きな大陸と海洋を持つ居住可能な惑星の割合)」と「 f_{pt} (プレートテクトニクスが 5 億年以上継続する惑星の割合)」の積で表すことを提案しました。 f_{oc} と f_{pt} は、現在の惑星科学の知見でもある程度の値をそれぞれ推定することができます。両氏は、小さなものから大きなものまで様々なサイズの岩石惑星が形成される割合や、その惑星が保持する水などの物質の量、プレートテクトニクスに重要な熱の総量を考慮して、 f_{oc} を 0.0002~0.01、 f_{pt} を 0.17 未満であると推定しました。この推定値の場合、 f_{oc} と f_{pt} の積で算出される f_i の値は 0.00003~0.002 となります。つまり、惑星に誕生した生命が知性を獲得する確率は 0.003~0.2%ということになり、従来の 1~100%という推定値よりも大幅に小さくなります。「 L (文明が恒星間通信を維持する年数)」の値が 400 年から 780 万年であるとする最近の推定値を代入すると、天の川銀河の中にある文明の数は最大でも 2 万であるということになります。最も悲観的に考えれば、天の川銀河の中にある文明の数が 1 つしかない、つまり私たちがひとりぼっちである可能性も最大で 0.04%の確率であり得ることになります。Stern 氏と Gerya 氏は、人類が今のところ地球外文明とコンタクトできていないというフェルミのパラドックスの解決策として、今回の研究結果を提示しています。もちろん、これは不確実性の高い推定値であるため、もっと大きな値、あるいは小さな値の可能性もあり得ます。

なお、今回の研究では幾分か良い数値も算出されています。たとえ恒星間通信を行えるほどの文明は存在しないとしても、惑星上に生命、大陸、海洋、プレートテクトニクスの 4 つが揃っている惑星の数は、ドレイクの方程式と同じような考えで概算ができます。Stern 氏と Gerya 氏は、そのような惑星は天の川銀河全体で 500 個から約 100 万個の範囲内にあると推定しています。これほどの数が期待できるのならば、将来の太陽系外惑星の探査で、地球とそっくりな惑星が見つかるかもしれません。

Source

[Robert J. Stern & Taras V. Gerya](#). "The importance of continents, oceans and plate tectonics for the evolution of complex life: implications for finding extraterrestrial civilizations". (Scientific Reports)

[Amanda Siegfried](#). "Geoscientists Dig into Why We May Be Alone in the Milky Way". (University of Texas at Dallas)

文／彩恵りり 編集／soraie 編集部

https://soraie.info/astromy/20240725-defining-planets.html#google_vignette

「惑星」の新たな定義案が発表される 数値的な定義と分かりやすさを両立

2024-07-25 [彩恵りり](#)

2006 年に決議された国際天文学連合 (IAU) の「惑星の定義」は、太陽系に属する天体のみを対象としています。しかし、この定義には数値的な基準がなく、曖昧であるという批判があります。また、太陽以外の天体の周りを公転する「太陽系外惑星」が数千個発見されている中で、太陽系以外に定義が使えないのは良い状態とは言えま

せん。カリフォルニア大学ロサンゼルス校の Jean-Luc Margot 氏、ブリティッシュコロンビア大学の Brett Gladman 氏、そしてシャパラル高校の Tony Yang 氏は、現行の定義を改善し、太陽系以外でも適用できる新たな惑星の定義を考案しました。この定義では、現在の観測技術でも十分な精度で測定できる「質量」というシンプルな数値を使いつつ、旧定義が意図している惑星の定義も内包しています。この定義案は、2024 年 8 月に開かれる第 31 回 IAU 総会で発表される予定です。

■現行の惑星の定義には問題も多い

現行の「惑星の定義」
(IAU Resolution 5A for GA-XXVIより抜粋)

惑星^[1]は、
(a) 太陽の周りの軌道にあり、
(b) 自身の重力が剛体力に打ち勝つのに十分な質量を持つことから
静水圧平衡の状態の（ほぼ球の）形にあると推定され、
(c) 軌道上から近隣の他の天体を排除している天体である。

[1] 8つの惑星は、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、そして海王星である。



【▲ 図 1: 現行の「惑星の定義」は太陽系のみを対象としており、また数値による定義がありません。（Credit: 彩恵りり）】

【▲ 図 2: 惑星の定義の議決で発言をしている天文学者のジョスリン・ベル・バーネル氏。右下にいる犬のキャラクター「プルート」は、名前の由来となった冥王星を暗示しています。（Credit: IAU & Lars Holm Nielsen）】

2006 年 8 月 24 日にチェコのプラハで開催されていた第 26 回 IAU 総会において決定された定義「決議 5A」は、普段天文学に興味のない人も含めた、ほぼ全ての人々の関心を引いたことでしょう。その理由は、有史以来知られている天体である「惑星」について、初めて科学的な定義が決定されたからです。原文ではやや難しいため（記事末尾の付録 1 を参照）、より分かりやすく言うと「a. 太陽の周りを回っている」「b. 重力によって球形をしている（※1）」「c. 公転軌道の周辺に他の大きな天体がない」という 3 つの要件を満たしている必要があります。

※1...岩石や氷など、物質がその“硬さ”によって形を保とうとする抵抗力に対し、重力のほうが上回っている。この定義によって、1930 年の発見以来 76 年間惑星の地位にいた冥王星は除外され、同時に定義された「準惑星」という新たなカテゴリーに移動させられたことが当時大きな話題となりました。準惑星は上記の定義のうち要件 a と b は満たしているものの、要件 c を満たしていない天体と見なされます。

しかし、この定義は提唱当初や決議の前後だけでなく現在に至るまで、少なからぬ批判を受けています。批判の内容は様々ですが、なかでも多く指摘されているのは以下の 2 点です。1 つは、具体的な数値による定義がない（定量的ではない）ことです。例えば要件 b は、どのくらいの大きさの天体ならば球形となるのか、直径や質量に関する数値を用いて定義されてはいません。そのため、下限に近い天体では大きさと形状が逆転する現象も見られます（※2）。

※2...例えば海王星の衛星のプロテウス（平均半径約 210km）は、土星の衛星のミマス（平均半径約 198km）よりも大きいにも関わらず球形ではありません。これは、プロテウスの質量がミマスと比べてやや小さいことに加え、主要な構成物質である氷が低温で硬くなっていることが理由であると考えられています。

もう 1 つは、要件 a によって「太陽系外惑星」が除外されていることです。太陽系外惑星は定義に関する議論が際限なく拡大して收拾がつかなくなるのを防ぐために意図的に除外されたのですが、数千個も見つかっている太陽系外惑星をいつまでも無視することはできないでしょう。

惑星の定義を太陽系外惑星に対して拡張する場合、検討しなければならない点はいくつもあります。例えば、複数の恒星の周りを公転する惑星もあれば、白色矮星や中性子星のような恒星の残骸（※3）の周りを公転する惑

星も見つかっていますし、なかには全く他の天体の重力にとらわれていない「自由浮遊惑星（※4）」という天体も見つかっています。これらの惑星の定義は要件 a の「太陽」を単純に「恒星」に置き換えても解決しない問題です。

※3...より多く使われている分類名は「コンパクト星（Compact object / Compact star）」ですが、今回は後述する定義文に合わせました。なお現時点でブラックホールを周回する惑星は見つかっていません。

※4...Free-Floating Planet（FFP）、Rogue Planet。浮遊惑星、はぐれ惑星とも。

また、伝統的に恒星と惑星は「自ら光り輝いているか否か」で区別されてきました。今日では「中心部で核融合反応が発生し、エネルギーを生産しているか否か」と言い換えることができます。しかし、天文学の進歩によって、太陽と同じような水素（軽水素）の核融合反応は起きていないものの、より核融合しやすい重水素での核融合反応が起きていると考えられている「褐色矮星」と呼ばれる天体が見つかっています。重水素の核融合が起きるには木星の 13 倍以上の質量が必要とされていますが、これまでに見つかった太陽系外惑星の一部の質量はこの値を超えていると見られています。さらに、作成される定義の数値的な部分は、現状の技術でも高い精度で測定可能なものにしなければなりません。太陽系外惑星のほとんどは間接的な手法で発見されたものであり、直接観測されたものは非常に例外的です。また、直接観測されたわずかな太陽系外惑星も写真では光の点にしか見えないので、例えば「天体は球形をしている」というような定義を運用することはできません。このように、主要なものだけでも様々な問題が山積していますが、細かく見ればキリがないほど、検討すべき問題や課題が山積しています。このため、惑星の定義を改善する複数の案を様々な人々が示しています。

■定義を作るにあたっての諸問題

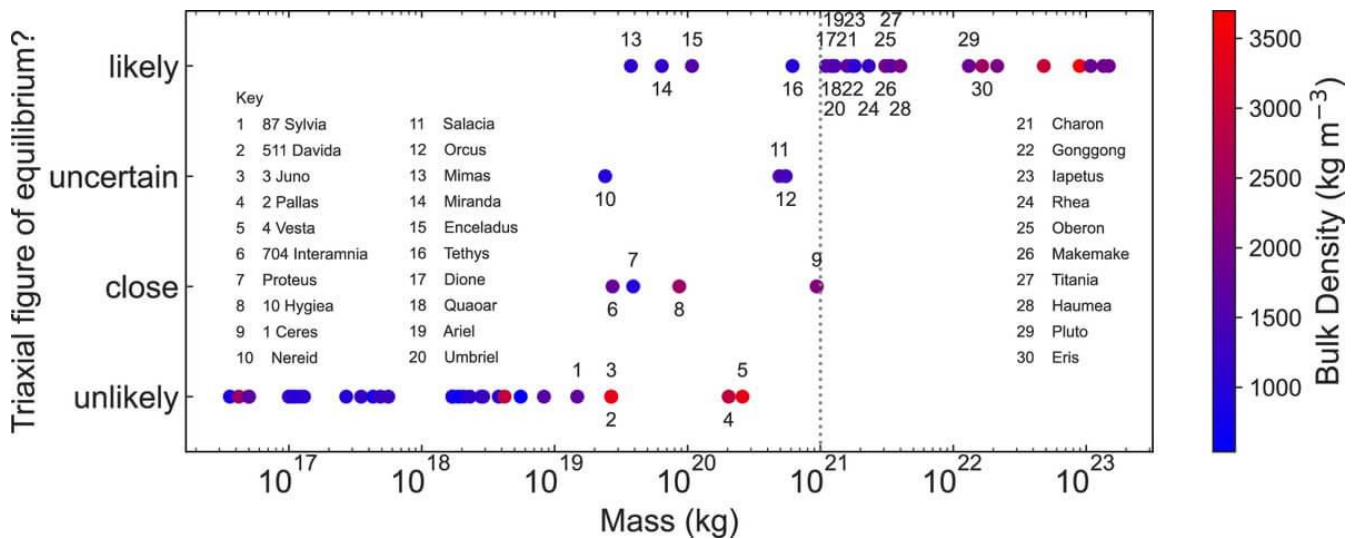
Margot 氏ら 3 氏は、惑星に関する現行の定義の問題を解決する、新たな定義の構築に取り組みしました。これは現行の惑星の定義の精神を尊重しつつ、2018 年に IAU の委員会（※5）が提案した太陽系外惑星に関する暫定の定義（記事末尾の付録 2 を参照）も盛り込んで内容を改善したものです。

※5...委員会 F2 – 太陽系外惑星と太陽系（Commission F2 Exoplanets and the Solar system）

定義の作成に当たって、3 氏は太陽系にある惑星・準惑星・衛星・小惑星について、その質量・直径・公転軌道の性質を元にした（k 平均法による）分類を行いました。これは、多数の天体に関して詳細なパラメーターが判明している唯一のサンプルが太陽系であるためです。一方で、太陽系が“非典型的なサンプル”である可能性もあるため、いくつかの詳細なパラメーターが判明している太陽系外惑星との比較も行い、検討した定義が異質なものになっていないかをその都度チェックしました。

数値的な定義を設けるにあたって、3 氏が特に注目したのは「質量」です。発見手法の性質上、太陽系外惑星は質量の範囲を具体的に算出することができ、条件が悪くてもその下限値を求めることができます。太陽系の天体の場合、衛星の公転周期をもとにより高精度な値を求めることも可能です。

質量は重力の源であるため、その天体が球形をしているかどうか、実際に形状を観測しなくても議論することができます。太陽系でさえ形が確定していない天体が数多くある中で、これは有用な手段です。また、公転軌道の近くにある別の大きな天体は重力によって排除されるため、質量をもとにすれば別の要件についても議論することができます。



【▲】

図 3: 太陽系の天体 62 個の質量と形の関係。質量が 10^{21} 乗 kg を超える天体はほぼ球形に近い三軸楕円体になると考えられますが、この値は下限に近く、違う形の天体が混ざっている可能性もあります。（Credit: Jean-Luc Margot, Brett Gladman & Tony Yang）】

これらを踏まえ、3 氏は最初に、以下の 5 つの要件からなる複雑な定義を考案しました。

惑星とは、次のような天体である。

- (a) 1 つまたはそれ以上の恒星、褐色矮星、または恒星の残骸を周回している
- (b) 公転軌道の周辺を動的に支配するのに十分な質量、つまり m を地球質量で表された惑星天体の質量、 m_{central} を太陽質量で表された中心天体の質量、 a を天文単位で表される長半径とした場合の、 $m > 0.0012 \times m_{\text{central}}^{5/8} \times a^{9/8}$ を満たす。
- (c) 自身の重力が剛体力に打ち勝つのに十分な質量を持つことから、ほぼ静水圧平衡の状態とほぼ三軸楕円体の形を取る質量、つまり $m > 10^{21}$ 乗 kg である。
- (d) 実際の質量が重水素の熱核融合の限界質量を下回る（現在、太陽と同じ金属量では木星の 13 倍の質量と計算されている）。
- (e) 中心天体との質量比が L4/L5 不安定性を下回る、つまり $m/m_{\text{central}} < 2/(25 + \sqrt{621}) \approx 1/25$ である。

衛星とは、惑星を周回する天体である。

ただし、3 氏は、これにもまだ問題があると考えました。例えば、要件 b は公転軌道の長半径を含みますが、分類において似たような定義が使われている小惑星や彗星において、長半径による天体の分類は意味をなさないと批判も一定数存在します。また要件 c の質量は、下限値に近い場合、実際の形状が球形とは異なる可能性もあるため、自信をもって球体と言える質量の下限は、もう少し上に置く必要があります。さらに要件 e については、軽い恒星を公転する重い惑星は、この定義においては惑星ではなくなってしまうという明らかな問題が生じます（※6）。

※6...例えば、最も軽い恒星は太陽の約 8%、木星の約 80 倍の質量です。ここに木星の約 4 倍以上の惑星が 1 個だけ公転している場合、物理的な分類は明らかに惑星であり、公転軌道の不安定さもないにも関わらず、要件 e によって惑星ではないことになってしまいます。

■新たな惑星の定義の最終案を作成

新たな「惑星の定義」の案

(Margot, Gladman & Yang; 2024)

惑星とは、次のような天体である。

(a) 1つまたはそれ以上の恒星、褐色矮星、
または恒星の残骸を周回している。

(b) 質量は 10^{23}kg よりも大きい。

(c) 質量は木星の13倍 ($2.5 \times 10^{28}\text{kg}$) よりも小さい。

衛星とは、惑星を周回する天体である。

【▲ 図 4: 今回の検討で作成された、新たな

惑星の定義の最終案。数値を取り入れつつも比較的シンプルな内容となっていて、質量の項目は天体の形や軌道上の天体の排除などを踏まえて定義されています。(Credit: 彩恵りり)】

最終的に3氏は問題点を改善した最終案を作成しました。それは以下の通りです。

惑星とは、次のような天体である。

(a) 1つまたはそれ以上の恒星、褐色矮星、または恒星の残骸（訳注: コンパクト星）を周回している。

(b) 質量は10の23乗 kg よりも大きい。

(c) 質量は木星の13倍 ($2.5 \times 10^{28}\text{kg}$) よりも小さい。

衛星とは、惑星を周回する天体である。

最終案では定義内の数値がどのような理由で定められたのか原案よりも分かりにくくなっていますが、裏を返せばかなりシンプルで分かりやすくなっています。2006年の惑星の定義は「一般の人々が簡単に理解できる定義を作る」という善意が少なからず反映された結果シンプルなものになった一方で、数値で定義されていないことが問題となりました。今回は複雑な定義に疎い一般の人々と、定量的な定義を重視する科学者の両方に配慮した内容であると言えます。なお、要件bでは、天体がどのような物質でできていても球形になると考えられる質量の下限値が設定されています。太陽系最小の惑星である水星の質量が $3.3 \times 10^{23}\text{kg}$ であることを踏まえると、十分に余裕があります。また、最後の定義では衛星が惑星と区別されていますが、これは一部で提案されている惑星の定義において、地球の月のように比較的大きな衛星が惑星として扱われていることに対応したものです。さらに、太陽系外惑星系の命名に関するIAU作業部会の意見を踏まえ、要件aを満たさない自由浮遊惑星は惑星ではないとしています。ただし3氏は、自由浮遊惑星は要件bと要件cを満たす天体であるべきとも提言しています。この定義案は、2024年8月に南アフリカ共和国のケープタウンで開かれる予定の第31回IAU総会で発表されます。今回はあくまでも案の発表であり、実際に投票による議決がされるわけではありませんが、この案そのものや改善された案が数年後の総会で実際に議決される可能性は十分にあります。

2006年の惑星の定義の議決の時には、透明性や公平性の問題が少なからず指摘されていました。定義案の内容は総会の開始時まで会員には知らされず、審議が行われたのは2週間という短い会期中だったことに加えて、対面での投票が義務付けられていたため、投票に参加できたのは9000人以上の会員のうちわずか424人だったことがその理由です。一方で、今回の惑星の定義は事前に提案されていますし、IAU総会の議決では電子投票も認められるようになったことから、より高い透明性の下で定義が決定されると3氏は期待しています。

■付録: 議決および案の原文と日本語訳

1. 第26回国際天文学連合総会決議5A (IAU Resolution 5A for GA-XXVI) の惑星 (planet) の定義は次の通りです。

A planet [1] is a celestial body that (a) is in orbit around the Sun, (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape, and (c) has cleared the neighbourhood around its orbit.

Footnotes: [1] The eight planets are: Mercury, Venus, Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune.

「惑星 [1] は、(a) 太陽の周りの軌道にあり、(b) 自身の重力が剛体力に打ち勝つのに十分な質量を持つことから静水圧平衡の状態の（ほぼ球の）形にあると推定され、(c) 軌道上から近隣の他の天体を排除している天体である。

注釈: [1] 8 つの惑星は、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、そして海王星である。」

2. 2018 年に国際天文学連合委員会 F2 (Commission F2 Exoplanets and the Solar system) が提案した、暫定的な太陽系外惑星の定義は次の通りです。

天体の実際の質量が重水素の熱核融合の限界質量を下回り、恒星、褐色矮星、または恒星の残骸を周回し、中心天体との質量比が L4/L5 不安定性（中心天体に対する質量比は $2/(25+\sqrt{621}) \div 1/25$ 未満）よりも下のものは「惑星」であり、どのようにして形成されたかは関係ない。太陽系外の天体が惑星と見なされるために必要な最小の質量/直径は、太陽系で使用されるものと同じである必要があり、これは自身の重力が剛体力に打ち勝つのに十分なことと、軌道上から近隣の他の天体を一掃していることである。

Source

[Jean-Luc Margot, Brett Gladman & Tony Yang](#). “Quantitative Criteria for Defining Planets”. (The Planetary Science Journal)

[Holly Ober](#). “Scientific definition of a planet says it must orbit our sun. A new proposal would change that”. (University of California, Los Angeles)

文／彩恵りり 編集／soraie 編集部

https://news.biglobe.ne.jp/domestic/0727/dol_240727_1237832922.html#google_vignette

【ブラックホールが銀河全体を破壊する？】天才宇宙学者が教える「超大質量ブラックホール」という怪物に「太陽系」が襲われる可能性

2024 年 7 月 27 日（土）6 時 0 分 [ダイヤモンドオンライン](#)



【ブラックホールが銀河全体を破壊する？】天才宇宙学者が教える「超大質量ブラックホール」という怪物に「太陽系」が襲われる可能性 [写真を拡大](#)

ウォール・ストリート・ジャーナル、BBC、タイムズなど各紙で絶賛されているのが『THE UNIVERSE IN A BOX 箱の中の宇宙』（アンドリュー・ポンチェン著、竹内薫訳）だ。ダークマター、銀河の誕生、ブラックホール、マルチバース…。宇宙はあまりにも広大で、最新の理論や重力波望遠鏡による観察だけでは、そのすべてを見通すことはできない。そこに現れた救世主が「シミュレーション」だ。本書では、若き天才宇宙学者がビックバンから現在まで「ぶっとんだ宇宙の全体像」を提示する。「コンピュータシミュレーションで描かれる宇宙の詳細な歴史と科学者たちの奮闘。科学の魅力を伝える圧巻の一冊」野村泰紀（理論物理学者・UC バークレー教授）、「この世はシミュレーション？—コンピュータという箱の中に模擬宇宙を精密に創った研究者だからこそ語る、生々しい最新宇宙観」橋本幸士（理論物理学者・京都大学教授）、「自称世界一のヲタク少年が語る全宇宙シミュレーション。綾なす銀河の網目から生命の起源までを司る、宇宙のダークな謎に迫るスリルあふれる物語」全卓樹（理論物理学者、『銀河の片隅で科学夜話』著者）と絶賛されている。本稿では、その内容の一部を特別

に掲載する。

ブラックホールは破壊の原動力

ブラックホールが銀河全体を破壊するというアイデアは、現実の宇宙で見られる、ブラックホールの力についての明確な証拠がなければ、空想的なものに思えるだろう。

新しいシミュレーションが提示した図式は、ブラックホールと銀河の関係を説明するのに役立つ。大きな銀河が大きなブラックホールを宿すことは、以前から観測されていた。

銀河が合体を繰り返して大きくなるにつれて、中心部のブラックホールも大きくなり、やがては星に対して非常に強力になり、銀河を攻撃することもある。2000年代半ば、シミュレーションによって、ダーク・ハローと銀河の関係が、フィードバック・エネルギーによって決定されることが発見された。

今では銀河とその中のブラックホールのあいだにも同じような関係があることがわかってきた。

死にかけた銀河のガス

最近のシミュレーションでは、死にかけた銀河のガスは、一度に災厄に見舞われるのではなく、徐々に失われてゆくという、微妙な図式が描かれているが、ブラックホールは、依然として破壊の原動力とみなされている。それにしても謎が多い。たとえば、巨大なブラックホールはそもそもどこから来るのか？

本当に銀河の物語を理解したいのであれば、私たちは今、超大質量ブラックホールがどうやって誕生するのかを知る必要がある。[超新星爆発](#)によって生じる比較的小さなブラックホールは、今日の超大質量サイズに充分早く成長することはできない。現在のところ、私たちの銀河形成シミュレーションは、若い銀河の中心に超大質量ブラックホールを配置するようにプログラムされているが、そうすることの厳密な正当性はない。

現実には何が起きたのか？

最初の世代の星々が巨大で、おそらく私たちの太陽の1000倍以上の質量を持ち、それに対応する巨大なブラックホールを生成し、周囲を素早く食い尽くした、という可能性がある（現在最大の星は、それに比べれば羽毛のように軽いが、それでも太陽の100倍以上の重さがある）。あるいは、宇宙初期に、ガス雲が核融合を起こすことなく、自らの重力で潰れる条件が整っていた可能性もある。その場合、星になる段階を迂回することになり、自然に巨大なブラックホールができる。第三の可能性は、ブラックホールが、なぜか銀河のはるか以前からでき始めていたというものだ。今のところ、どの仮説が正しいかはわからない。

将来のシミュレーションが探究すべき謎である。

怪物に太陽系が襲われる可能性

正確なメカニズムが何であれ、ブラックホールが銀河に存在することは観測で明らかになっており、それゆえに、私たちもシミュレーションにブラックホールを取り入れる。

その自然な帰結として、二つの銀河が合体すると、一つだけでなく二つの超大質量ブラックホールができることになる。私たちの銀河も含めて、ほとんどの銀河は、長い時間をかけて、複数のミニ銀河が次々と合体してできたものだ。少なくともコスモロジストたちは、そう考える十分な根拠を持っている。

というわけで、私と共同研究者たちが完成させた最近のシミュレーションで、天の川銀河の中心に超大質量ブラックホールが一つではなく、十数個あったとしても、驚かないでほしい。

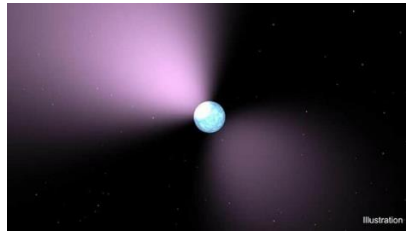
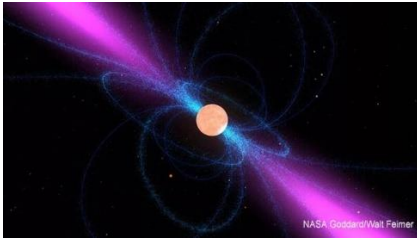
私たちのシミュレーション銀河にある十数個の超大質量ブラックホールのほとんどは、中心ではなく、はるか外側をうろついている。ブラックホールが呑み込むガスが少ないため、あまり光らず、成長もしない。

だから、検出はきわめて困難な可能性が高い。このような隠れた怪物が浮遊しているのは危険に思われるが、銀河はきわめて巨大なので、太陽系から数光年以内に怪物がやって来る可能性は非常に低い（私の見積もりでは太陽の一生のあいだで、約10億分の1の確率だ。不確定要素が多いので、正確な数字は計算できないが、とにかく、可能性はきわめて低い）。実際、シミュレーションでは、このような「漂流型」の超大質量ブラックホールがもっとたくさん見つかってもいいはずだ。しかし、漂流型の超大質量ブラックホールは、しばしば銀河の真ん中に迷い込み、そこに鎮座する中心ブラックホールと合体してしまうのだ。

https://news.biglobe.ne.jp/trend/0726/kpa_240726_6647515688.html

宇宙の”時の番人” パルサーを利用し、暗黒物質の可能性のある物体を検出

2024年7月26日(金) 20時10分 [カラパイア](#)



地球には原子時計が、そして宇宙には「パルサー」がある。米国の天文学者はこの宇宙の”時の番人”を利用して、「暗黒物質（ダークマター）」らしき質量をもつ物体を検出することに成功した。

宇宙の”時の番人”パルサーが、見えない物質の存在を暴き出してくれるかもしれない/Image Credit: NASA/JPL-CALTECHr

photo by iStock・これこそが暗黒物質なのか？

パルサーとは、高速で回転しながら電波パルスを放つ中性子星のことだ。こうした特徴ゆえに、海を一定間隔で照らす灯台のように、ここ地球を定期的に照らしている。その周期はマイクロ秒レベルのきわめて正確なもので、それゆえに宇宙の”時の番人”に喩えられる。そしてこの時の番人すら狂わせる何らかの存在は、天の川銀河にある決して目に見えない謎めいた物質の存在を伝えているのかもしれない。

・**パルサーを利用して、質量をもつ物体を検出する試み** ノートルダム大学のジョン・ロセッコ教授のアイデアの基本は、一般相対性理論にある。それによれば、重力場の内側では時間の流れが遅くなるという。そこで、きわめて正確な間隔で地球を照らし出すパルサーの電波パルスを観察するのである。

パルサーは高速で回転しながら電波を放出する中性子星だ。だから、回転する灯台のライトが一定間隔で海を照らすように、パルサーの電波もここ地球で一定間隔で検出される。1つ大事なことは、そのパルサーもこの地球も、宇宙のあらゆるものが常に動いているということだ。もしも、パルサーと地球との間に何らかの質量をもつ物体が割り込んできたら、きっとその重力の影響で時間が遅くなり、電波パルスの間隔に遅れが生じるはずだ。たとえば太陽くらいの質量があれば、パルスはほんの10マイクロ秒（10万分の1秒）ほど遅くなる。

たとえ、そこに何もないように思えたとしても、パルスの遅れが生じる以上、そこに何かがあるはずなのだ。

これを利用して目に見えない物体の存在を検出しようというのが、ロセッコ教授の挑戦だった。

それは口で言うほど簡単なことではない。今述べたように、宇宙にある物体はどれも動いているからだ。その難しさについてロセッコ教授はこう説明している。パルサーは孤立して存在しているわけではありません。パルスを放つミリ秒パルサーの多くは、連星として存在しています。つまり、これらは別の天体の周りを移動しているため、その運動をすべて取り除く必要があります。また地球も太陽を公転しており、これも取り除く必要があります。これらすべての運動をクリアして初めて、実際の到着時間を知ることができます

・パルサーで質量をもつ物質を検出

幸いにして、パルサーの電波パルスのデータならある。

今回の研究で、ロセッコ教授は、世界7カ所にある電波望遠鏡で電波パルスを観測している「パークス・パルサー・タイミング・アレイ」のデータを分析した。

その結果、そこに何らかの質量があると思しき事例が12件ほど見つかったのだ。

問題はこれが何かということだ。

もちろん暗黒物質かもしれない。だが宇宙をさまよう自由浮遊惑星かもしれないし、褐色矮星や白色矮星のような小さな天体も考えられる。

ロセッコ教授も、暗黒物質であつたとしてもおかしくはないとしながらも、慎重な態度は崩さない。それらを惑星とも暗黒物質とも呼ばないよう嗜められました。質量のまとまりと呼ぶのが無難だね。なぜなら、電波観測だけではその正体を特定できないからです。それが暗いのかどうかも定かではありません。褐色矮星や白色矮星のような、何か別のものだとも考えられます（ロセッコ教授） 科学者として、ロセッコ教授は批判されることを恐れていない。むしろ積極的にほかの専門家からの意見を聞きたがっている。それによって何を見直すべきか、そしてこの結果を批判的に見るためのヒントが得られますから（ロセッコ教授） この研究は、今月英国ハル大学で開催された全国天文学会議で発表された。

References:[How astronomers are using pulsars to observe | EurekAlert!](#)/ written by hiroching / edited by / [parumo](#)

関連記事（外部サイト）

[謎の暗黒物質「ダークマター」の質量の範囲を絞り込むことに成功](#)

[宇宙を支配する暗黒物体の正体に迫る。AI を利用して暗黒物質の地図を作るシステムを開発（日本研究）](#)

[ブラックホールのまわりにダークマター（暗黒物質）の存在を示す間接的証拠を発見](#)

[これまでに例のない宇宙からの電波信号が天文学者たちを困惑させている](#)

[原始の特殊なブラックホールは暗黒物質の副産物として誕生したかもしれない](#)



<https://forbesjapan.com/articles/detail/72558>

2024.07.23 18:00

6 光年先の「恒星になれなかった天体」褐色矮星の気象、JWST で詳細に分析



[Jamie Carter | Contributor](#)



南天の帆座の方向約 6 光年の距離にある、地球に最も近い褐色矮星の連星系 WISE 1049AB を描いた想像図（ESO/I. Crossfield/N. Rischer (skysurvey.org)）[全ての画像を見る](#)

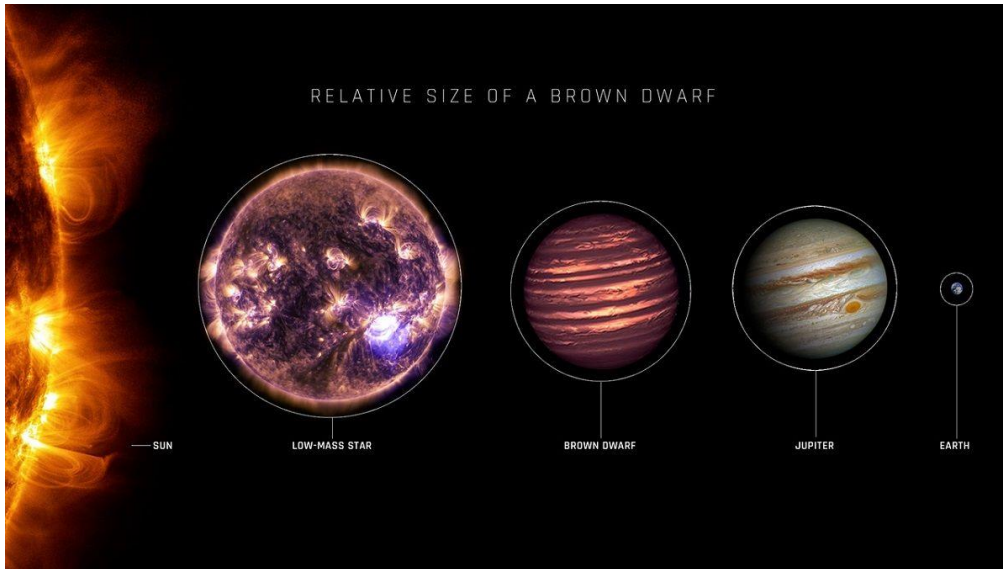
天候は曇り、最高気温は 950 度——これは、太陽系から約 6 光年の距離にある連星系を構成する 2 つの褐色矮星 WISE 1049AB の「気象情報」だ。

この気象情報を発表した英エジンバラ大学主導の研究チームは、12 日に科学観測開始 2 周年を迎えたジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）を用いて、2 つの褐色矮星が発する熱（赤外線放射）を観測した。2 つは知られている中で太陽系の最も近くに位置する褐色矮星で、木星の 30~35 倍の質量を持つ。過去の研究では、褐色矮星が放射する赤外線の明るさ（光度）が時間と共に増減することにより、異なる速度で回転する濃淡のある雲の存在が示唆されていた。

光度の変化

研究チームは、WISE 1049AB の表面で雲の多い領域と少ない領域が回転して観測視野に出入りするのに伴って変化する光度を測定し、それぞれの大気の状態の時間変化を追跡調査した。今回の研究をまとめた論文は、英国王立天文学会の学会誌 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society に[掲載](#)された。この観測データを可視化することで、褐色矮星 WISE 1049A と B の 1 日（それぞれ約 7 時間と 5 時間）における天気（大気の状態）

の時間変化の様子を3次元的に表した図を作成。さらに、水蒸気、メタン、一酸化炭素などのガスが大気中に存在し、相互作用している痕跡を発見することに成功した。



褐色矮星とその他の天体とのサイズを比較した想像図。左から太陽、低質量の恒星、褐色矮星、木星、地球は一定の縮尺で描かれている（NASA, ESA, SDO, NASA-JPL, Caltech, Amy Simon (NASA-GSFC)）

恒星になれなかった天体

褐色矮星は、宇宙で他に類を見ないタイプの天体だ。巨大ガス惑星と小型の恒星の隙間を埋める存在であり、「恒星になれなかった天体」と呼ばれることが多い。質量が小さすぎるため（恒星の中心核で起きる）水素がヘリウムに変わる核融合反応を起こせないからだ。誕生当初は重力収縮エネルギーの熱と、より低温で起きる重水素などの核融合で輝くが、やがて冷えて暗くなっていく。

論文の筆頭執筆者で、エジンバラ大の天文学者のベス・ビラーは「太陽系外のはるか彼方にある天体に関する理解の変革がまさに起きようとしていることを、今回の研究は示している」と指摘する。「こうした知見は、褐色矮星のような天体だけでなく、巨大な太陽系外惑星についても、気象を理解する助けになる可能性がある」

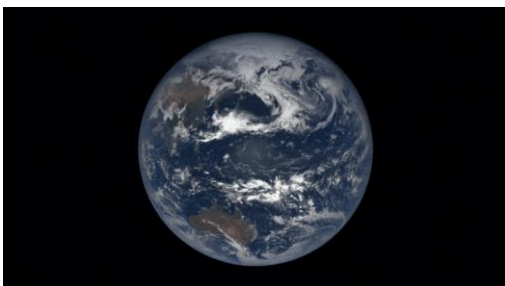
また、太陽以外の恒星を公転している生命居住可能な系外惑星の、いまだ謎に包まれている気象状態に関しても、今回と同様の技術が解明の助けになるかもしれない。（forbes.com 原文） 翻訳＝河原稔

<https://www.space.com/earth-wobbling-causes-days-to-get-long-because-humans>

地球は揺れ、日が長くなりつつある — その原因は人間にある

ハリー・ベイカー 著 2024.7.28

AI を活用して気候変動が地球の自転に与える影響をモニターした新たな研究では、日が長くなり、地球の自転が将来さらに不安定になることが示されています。これらの変化は人類の将来に大きな影響を与える可能性があります。



地球は見た目よりもはるかに速く動いています。（画像提供：NASA）

新たな研究によると、人間が引き起こした[気候変動](#)により地球の自転が継続的に変化しているため、地球の昼の

長さと地球の向きのバランスが崩れつつあるという。当初、これらの変化は私たちには感知できないが、マイナスの閏秒を導入せざるを得なくなったり、宇宙旅行に支障をきたしたり、地球の内核が変化したりするなど、深刻な連鎖反応を引き起こす可能性がある」と研究者らは警告している。

地球の1日はおよそ 86,400 秒です。しかし、地球が1回転するのにかかる正確な時間は、地殻プレートの動き、内核の回転の変化、月の引力など、さまざまな要因により、毎年ほんの数ミリ秒ずつずれることがあります。



しかし、人間が引き起こす気候変動も、私たちの一日の長さを変える可能性があるもう一つの要因であり、科学者たちは、これが今後数年間で地球の自転にどれほど影響を与えるかを認識し始めたばかりです。

地球温暖化は海面上昇を引き起こし、地球の自転に影響を与えています。(画像提供: ゲットイイメージズ)

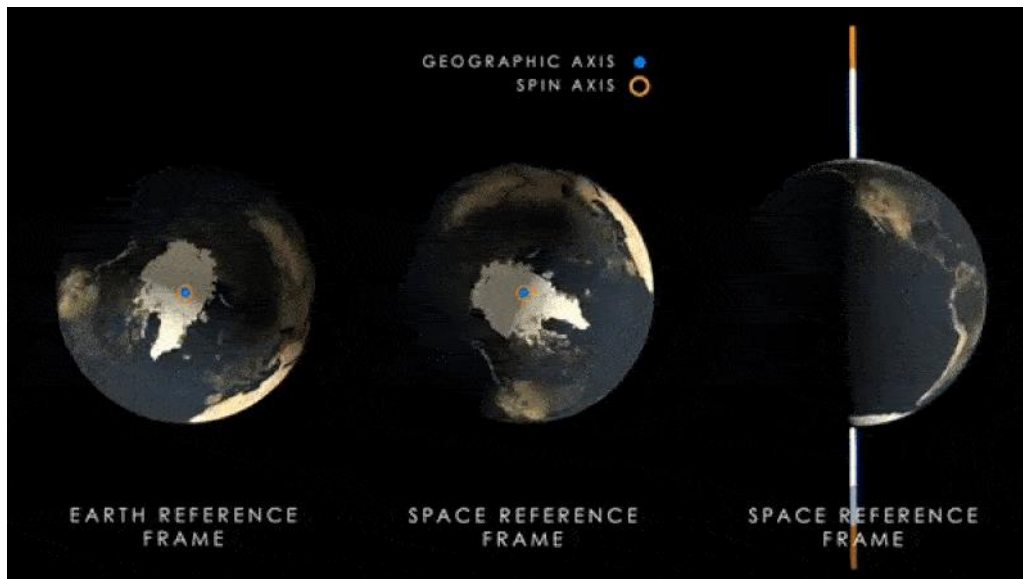
過去数十年にわたり、地球温暖化により、地球の両極地域、特にグリーンランドと南極の氷の減少率が急速に増加し、海面上昇につながっています。この余分な水のほとんどは赤道付近に蓄積され、地球の中央付近がわずかに膨らんでいます。これにより、地球の中心から離れたところに重量が分散されるため、地球の自転が遅くなります。これは、フィギュアスケート選手が回転するときに腕を体から離して減速するのと似ています。

7月15日にPNAS 誌に発表された新たな研究で、研究者らは現実世界のデータと物理法則を組み合わせた高度な人工知能プログラムを使用し、惑星の自転が時間とともにどのように変化するかを予測した。

関連:地球について知っておくべきことすべて

この結果は、地球の昼は将来長くなるだろうと示唆した3月に発表された同様の研究を裏付けるものだった。しかし、新しいプログラムは、時間の経過とともに昼が長くなる方法について、はるかに正確な推定値を提供した。

この新しい論文を書いた同じ研究チームは、7月12日にネイチャー・ジオサイエンス 誌に発表した別の研究でも、赤道付近の水の増加が地球の自転軸を動かしていることを示した。このため、磁極は毎年軸から遠ざかる方向に揺れ動いている。科学者らは以前、この影響は少なくとも過去30年間にわたって発生している可能性が高いことを発見した。しかし、新たな研究では、軸がこれまでの研究で予測されていたよりも現在の位置からさらに遠くに移動するだろうと示唆している。「私たち人間は、自分たちが認識している以上に地球に大きな影響を与えています」と、両論文の共著者でスイスのチューリッヒ工科大学の測地学者ベネディクト・ソヤ氏は声明で述べた。「そして当然、地球の将来に対する大きな責任が私たちに課せられています」



気候変動の結果、地球の自転軸（黄色）が動き始めると、地球の磁極（青）は自転軸の周りで揺れ始めます。(画像提供: ETH チューリッヒ)

回転が遅い

地球の一日の長さは常に変化しています。約 10 億年前、地球が一回転するのにかかった時間はわずか 19 時間でしたが、その後、現在の 24 時間にまで遅くなりました。

より短い時間スケールでも変化します。たとえば、2020 年、地球は 1960 年に記録が始まって以来、どの時点よりも速く回転しました。2021 年には、2022 年 6 月に史上最短の日が記録されたにもかかわらず、地球の自転は再び遅くなり始めました。しかし、一般的には、地球の自転は数千年にわたって減速しており、その主な原因は月の潮汐摩擦と呼ばれる現象で、月の重力が海に及ぼす影響によって両極から水が引き離される。現在、この影響により、1 世紀ごとに 1 日が約 2.3 ミリ秒長くなっている。新たな研究によると、気候変動により現在、昼の時間が 1 世紀ごとに約 1.3 ミリ秒ずつ長くなっている。しかし、現在の地球温度モデルに基づくと、研究者らは、21 世紀末までにこの時間が 1 世紀ごとに 2.6 ミリ秒にまで増加する可能性があるかと予測しており、そうになると気候変動が地球の自転に最も大きな影響を与えることになる。

潜在的な影響



研究者らは、宇宙旅行中は地球の自転のあらゆる変化を考慮する必要があると述べている。(画像提供: ゲッティイメージズ)

日が長くなることで最も起こりそうな影響の 1 つは、マイナスの閏秒を導入する必要があることです。これは、閏年の仕組みと同様に、日が長くなるのに合わせて将来のいくつかの日付から 1 秒を失うことを意味します。3 月の研究では、主に過去数千年の間に昼間がすでにどれだけ長くなっているかに対応するために、2029 年にはこれを開始する必要があるかもしれないと示唆している。過去に科学者らは、この導入によりコンピューターやスマートフォンの時刻管理が乱れる可能性があるとし唆した。しかし、これが大きな問題になると誰もが確信し

ているわけではない。新たな研究の研究者らは、将来の変化が宇宙旅行に影響を及ぼす可能性もあると指摘した。

関連記事

—[地球が自転を止めたら何が起こるのでしょうか？](#)

—[地球の 1 日が 24 時間なのはなぜですか \(そして太陽はどのようにして 1 日がそれ以上長くならないようにしたのでしょうか\)？](#)

—[地球はなぜ回転するのか？](#)

「たとえ地球の自転がゆっくりとしか変化していないとしても、宇宙を航行する際には、この影響を考慮する必要がある。例えば、宇宙探査機を別の惑星に着陸させる場合などだ」とソジャ氏は述べ、したがって、こうした変化を注意深く監視することが重要であると付け加えた。

研究チームはまた、地球の自転軸の変化によって地球の内核の回転が変化し、昼が長くなる速度がさらに速まる可能性があるかと警告した。しかし、この潜在的な相互作用はまだほとんどわかっていない。

[最新のミッション、夜空など、宇宙について語り合うには、当社のスペース フォーラムに参加してください。](#) ニュースのヒント、訂正、コメントがある場合は、community@space.com までお知らせください。

[ハリー・ベイカー](#) ライブサイエンス スタッライター

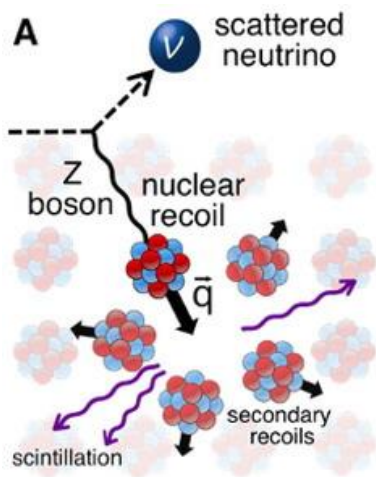
ハリーは、英国を拠点とする Live Science のスタッライターです。エクセター大学 (ペンリン キャンパス) で海洋生物学を学び、卒業後は自身のブログ サイト「Marine Madness」を立ち上げ、他の海洋愛好家とともにブログを運営し続けています。また、進化、気候変動、ロボット、宇宙探査、環境保護、化石化したあらゆるものにも興味があります。仕事が休みのときは、SF 映画を観たり、古いポケモン ゲームをしたり、ランニング (おそらく、本人が望むよりもゆっくりですが) をしたりしています。

https://sorae.info/astromy/20240727-zenonnt.html#google_vignette

暗黒物質検出器「XENONnT」が稀なニュートリノ衝突現象の観測に成功

2024-07-27 [彩恵りり](#)

宇宙には「暗黒物質 (ダークマター)」という、重力でのみ存在を知ることのできる物質が大量にあるとされています。暗黒物質は普通の物質と極めて稀に相互作用する可能性があるため、原子核と暗黒物質との衝突で発生する信号を捉える検出器が世界中に設置されています。しかし正しい観測のためには、無関係の信号であるノイズを除去する必要があります。国際共同実験「XENON (ゼノン) コラボレーション」は、液体キセノンで暗黒物質を検出する最新の装置「XENONnT (ゼノンエヌトン)」にて、太陽から放出される素粒子「ニュートリノ」が原子核と衝突する形式の 1 つである「ニュートリノ - 原子核コヒーレント弾性散乱 (CEvNS)」に由来する信号を検出したと発表しました。地球の外に由来するニュートリノによる CEvNS を捉えたのは世界で初めてのことです。この結果から、XENONnT は小型の装置の割に、ニュートリノというノイズに対して非常に感度が高い検出装置であることを示しています。同時に、“ニュートリノの霧”と表現される宇宙全体のニュートリノ観測にも生かせることを示しています。



【▲ 図 1: XENONnT の内部にある検出器を撮影した写真。（Credit: XENON Collaboration）】

【▲ 図 2: CEvNS では、低エネルギーなニュートリノの衝突によって原子核が動きます。（Credit: Oak Ridge National Laboratory）】

■暗黒物質を捉える「XENON コラボレーション」

宇宙には、重力でのみその存在を知ることができ、光などの電磁波と相互作用しない（吸収も反射しない）ため、直接見ることはできない「暗黒物質」が大量に存在します。銀河の回転速度や宇宙の大規模構造から、暗黒物質の存在は確実視されていますが、その正体はよく分かっていません。

ただし、暗黒物質は普通の物質と“全く”相互作用しないのではなく、“ほとんど”相互作用しないという予測があります。裏を返せば、極めて稀ながら普通の物質と相互作用をすることになるため、この稀なイベントを捉える方法で暗黒物質の実在を証明するだけでなく、性質や正体を明らかにしようとする試みがあります。

イタリアのグラン・サッソ国立研究所では、暗黒物質を直接検出する国際共同実験「XENON コラボレーション」が行われています。これは低温で液化した貴ガス元素「キセノン」を検出器付きのタンクに貯め、キセノン原子核と暗黒物質が衝突した時に発生する稀な信号を検出しようとする試みです。実験名の XENON は、キセノンの英語名 Xenon に由来しています。XENON コラボレーションは 2006 年に始まり、現在では第 4 世代の検出装置「XENONnT」が稼働しています。XENONnT ではこれまでの装置で最大となる 5.9 トンの液体キセノンが維持されノイズとなり得る微量の放射性物質の除去や中性子の監視が行われています。またノイズの源となる外部からの中性子やミュー粒子の遮断のために、装置自体が 700 トンの水で満たされたタンク内に入れられています。

■稀なニュートリノ衝突現象「CEvNS」とは

今回 XENON コラボレーションが発表したのは、XENONnT が検出した「ニュートリノ - 原子核コヒーレント弾性散乱（CEvNS）」と呼ばれる現象です。これはとても簡単に言えば、素粒子「ニュートリノ」が原子核と衝突する形式の 1 つです（※）。この説明には多くの専門用語を必要とするため、1 つずつ解説していきます。

※…正確には相互作用に必要なウィークボソンが介在しますが、今回は割愛します。

ニュートリノは主に、核融合や核分裂のような、原子核が変化する場で発生します。しかし、ニュートリノは物質と相互作用する確率は非常に低く、地球や太陽にぶつかっても大半がすり抜けてしまいます。このためニュートリノは、しばしば“幽霊粒子”という別名で呼ばれます。

ニュートリノが稀に原子核と相互作用する、つまり衝突した際に起こる現象は、ニュートリノが持つエネルギーによって異なります。ニュートリノのエネルギーが高い場合、ニュートリノは原子核を構成する核子の 1 つ（陽子や中性子）と反応し、お互いに粒子の種類が変化します（非弾性散乱）。大型のニュートリノ検出装置は、この反応で生じた粒子から発生する信号によって、ニュートリノを間接的に検出します。

一方でニュートリノのエネルギーが低い場合、原子核との衝突で起こる反応が異なります。エネルギーが低いニュートリノが原子核と衝突すると、核子の 1 つではなく、原子核全体と反応する「コヒーレント散乱」を起こし

ます。衝突時のエネルギーは原子核全体に伝わる一方で、お互いに粒子の種類が変化するほどのエネルギーがないため、何も粒子の種類が変わらず、お互いの運動方向や速度のみが変化する「弾性散乱」を起こします。弾性散乱はビリヤードの球をぶつけたような状況に例えられますが、今回の場合はニュートリノという極小の球を、原子核という巨大な球にぶつけた結果、原子核がほんのわずかながら動いたように見えるはずですが、原子核の1つが動くと、周りの原子核との位置変化によって放射が発生するため、これを捉えることでニュートリノを間接的に検出します。これが CEvNS と呼ばれる現象です。

しかし、ニュートリノと原子核との質量差は極めて大きいものであり、CEvNS の検出は極めて困難です。いわばゾウに蚊が衝突した時のわずかなブレを見るようなものです。このため CEvNS 自体は 1974 年に予言されていたものの、初めての検出は 2017 年に「COHERENT 実験」によって達成しました。これは人工的なニュートリノ源による、高エネルギーなニュートリノで成功しました。

■地球外ニュートリノによる CEvNS の観測に初成功！

一方で今回の XENON コラボレーションでは、より低エネルギーなニュートリノでの CEvNS の検出に成功しました。より具体的には、太陽中心部の核融合反応で生じる「ホウ素 8」という稀な原子核から放出されるニュートリノと、XENONnT 内にあるキセノン原子核との CEvNS で生じる信号を検出しました。地球の外に由来するニュートリノで発生する CEvNS を捉えたのは今回が世界で初めてとなります。この信号の検出は、分析する人のバイアスがかからないような分析方法で行われた結果、全くの偶然である可能性は 0.35% であると計算されました。低エネルギーの地球外に由来するニュートリノによる CEvNS を捉えられたことは、XENONnT の本来の目的である暗黒物質の探索にも役立ちます。CEvNS による信号は、暗黒物質と原子核が衝突した時の信号と似ている可能性があります。これらの信号が区別できない場合、暗黒物質の探索はニュートリノによるノイズに邪魔されて上手く行かないでしょう。宇宙全体を満たすニュートリノによるノイズであることから、これは“ニュートリノの霧”と表現されます。今回、低エネルギー地球外ニュートリノを検出できたということは、XENONnT が“ニュートリノの霧”を捉えられること、暗黒物質による真の信号と、ニュートリノによるノイズを区別できるということを意味しています。もし将来的に XENON コラボレーションが有望な信号を捉えた場合、それが暗黒物質によるものか、それともニュートリノなどのノイズであるのかを見分けられるため、暗黒物質の発見の主張が議論の余地が少ない形でできる、という希望に繋がるでしょう。また、他のニュートリノ検出器と比べて数百分の1程度のサイズの検出器でもニュートリノを捉えられたことから、XENONnT は暗黒物質探索だけでなく、ニュートリノを観測する装置としても活躍することが期待されます。

Source

[“First measurement of a nuclear recoil signal from solar neutrinos with XENONnT”](#) . (XENON Dark Matter Project)

[“XENONnT 実験での太陽ニュートリノによる原子核散乱事象の測定結果”](#) . (東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構)

[“How do you look for CEvNS?”](#) . (Oak Ridge National Laboratory) 文／彩恵りり 編集／soraie 編集部