

宇宙人を探す「SETI」、これまで使っていなかった低周波数帯を活用へ

2023.12.14 07:30 [塚本直樹](#)

宇宙人を探す「[地球外知的生命体探査](#)」([Search for Extra Terrestrial Intelligence : SETI](#)) プロジェクトはこれまでになかった周波数帯で、宇宙人からのメッセージを探そうとしている。

SETIは「Technosignature (テクノシグネチャー)」とよばれる珍しい信号を探すことで、高度に文明を発展させた地球外知的生命体を探している。これまでのテクノシグネチャーでは、地上の航空管制や海上緊急放送、FM ラジオ局などでも用いられる、600MHz を超える電波帯域のみを対象としており、それより低い周波数帯では事実上調査されていなかった。

低周波電波干渉計 (LOW Frequency ARray : LOFAR) と呼ばれる電波望遠鏡ネットワークは 10~250MHz の低周波を活用、世界で最も感度が高い電波望遠鏡とされている。オランダ電波天文学研究所 (ASTRON) が運用する LOFAR は現在、52 台で構成され、今後さらに増える予定だ。これらの電波望遠鏡が SETI の探査に活用される。遠方からのテクノシグネチャーの観測には、信号の干渉という問題がある。これを軽減するために「Coincidence Rejection (コインシデンス・リジェクション)」という方法が用いられる。



(出典: ESA/NASA)



関連リンク [The Astronomical Journal](#) [Space.com](#)

<https://forbesjapan.com/articles/detail/67896>

2023.12.12

「光合成」は太陽系外の地球型惑星でも起こるのか？



[Bruce Dorminey | Contributor](#)



NASA のルナー・リコネサンス・オービター (LRO) 探査機が月周回軌道上から撮影した地球 (NASA/Goddard/Arizona State University)

宇宙から見た地球は、真っ青な海が広がり、南極を含むあらゆる大陸に緑色の植物が茂る、まさに楽園のようだ。だが、地球に似た惑星であれば、酸素を作り出す植物も生育しているはずと考えるのは先入観だろうか。

光のエネルギーを吸収し、炭化水素の形で化学エネルギーに変換する光合成の反応過程は、酸素分子（O₂）を生成するか否かで2種類に分かれると、米アリゾナ州立大学の宇宙生物学者アリエル・アンバーは、筆者の取材に応じた電子メールで説明している。

酸素発生型光合成は約24億年前、地球の緑化につながった大酸化イベント（酸素濃度の急増現象）に大きな役割を果たしたと考えられている。大酸化イベントはおそらく、地球上に酸素呼吸をする複雑な生命が出現するきっかけとなった。地球では、酸素発生型光合成の進化が、複雑な生命の出現に不可欠だったと、アンバーは言う。その理由は、複雑な生命は好気呼吸から得られるエネルギーを必要とするからだ。地球大気中のO₂濃度の上昇は、生物によるO₂生成（酸素発生型光合成）がなければ不可能だっただろうと、アンバーは指摘する。だが1996年、海洋性藍藻の一種アカリオクロリス・マリナが、葉緑素のクロロフィルaの代わりにクロロフィルdを優先的に用いることが発見された。クロロフィルaは、波長域400~700ナノメートル（nm）の可視スペクトルの光を吸収するが、可視光域におけるより赤色部分の波長700~750nmの光は吸収効率が低下する。一方、クロロフィルdは、吸収波長スペクトルをさらに40nmほど赤色側に、ほぼ近赤外光の範囲にまで広げていると、米航空宇宙局（NASA）ゴダード宇宙研究所の生物気象学者ナンシー・キアンは、スペイン領カナリア諸島で開かれた欧州宇宙生物学学会（EAI）例会でのインタビューで筆者に語った。

つまり、酸素発生型光合成に利用できる光子エネルギーの限界が、これまで考えられていたのとは異なっていることを意味する。これは、太陽に比べ可視域のエネルギーが低く赤外域のエネルギーが高い恒星に、光合成がどのように適応できるかの一例を示していると、キアンは言う。

酸素非発生型光合成では、すでに近赤外光が使われている。問題は、酸素発生型光合成が、近赤外域のどのくらいの範囲まで利用できる可能性があるかと、キアンは指摘する。

[次ページ > 惑星大気の酸素による生命の偽陽性と偽陰性](#)

地球以外の惑星でも光合成が行われると、どうしてわかるのか？

キアンによると、光合成は地球史上のかなり早い時期に発生したことがわかっているため、光合成の出現はそれほど難しくはないように思われるという。アリゾナ州立大のアンバーは「進化が、光から得られるエネルギーを最終的に利用するようになると思うのは、理にかなっている」と述べている。

どのような惑星なら、光合成なしで大規模な酸化が可能か？

アンバーによれば、赤色矮星の主星の近くを公転する、大量の水がある惑星なら可能だという。赤色矮星の強力な紫外線放射によって水蒸気が分解され、大量の酸素分子（O₂）を放出するからだ、アンバーは説明する。このような天体では、O₂が生命の「偽陽性」となることが考えられると、アンバーは指摘している。

生物によって生成された酸素に富む地球型惑星を探す場合、偽陽性は偽陰性よりも判断が付きやすいだろうと、アンバーは言う。酸素発生型光合成によってO₂が生成される一方、大地（惑星の固体領域）から発生した火山ガスやその他の物質との反応によって酸素が消費される。

さらには、約24億年前までは、地球内部に由来するこうした物質の量が、生物学的なO₂の生成量を圧倒していたと考えるもっともな理由があると、アンバーは言う。もしそうなら、地球大気中におけるO₂の蓄積において、固体地球の進化は、生命の進化と同じくらい重要だったことになる、アンバーは指摘する。

このような偽陰性を回避する方法とは？

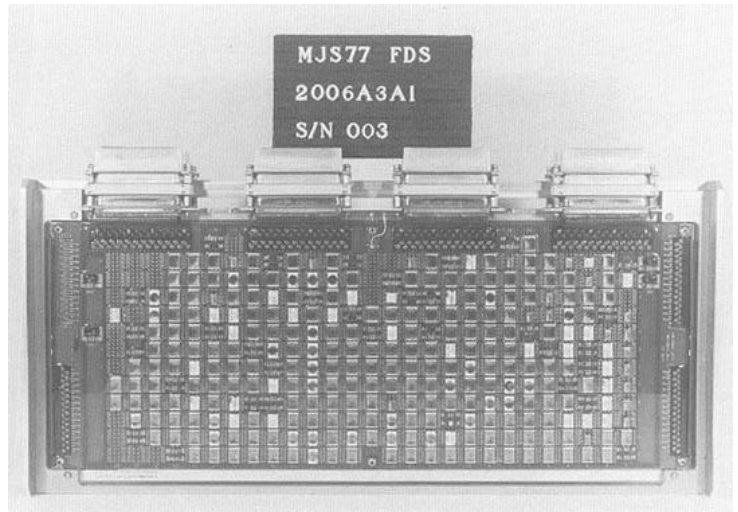
アンバーによると、酸素発生型光合成が進化している惑星は数多くあるかもしれないが、生成されるO₂が全て惑星の固体領域によって消費されると、結果的にO₂が大気中に蓄積できないことを考慮する必要がある。そうした惑星でO₂を探すことは、生命の「偽陰性」につながるわけだ。

異星の生命探索において賢明な判断をしたいのなら、地球に似た惑星の内部の進化を理解するための努力をするべきだと、アンバーは主張する。酸素を生命存在指標とする「有力候補」はどの惑星で、偽陰性の結果が出やすく「不利な賭け」になる可能性が高いのはどれかを、予測する方法を開発する必要があると、アンバーは述べている。（[forbes.com 原文](#)）翻訳＝河原稔

NASA の惑星探査機「ボイジャー1号」コンピューターの一部で問題発生 対策に

は数週間を要するか 2023-12-13 [sorae 編集部](#)

アメリカ航空宇宙局（NASA）は2023年12月12日付で、惑星探査機「ボイジャー1号（Voyager 1）」に搭載されているコンピューターの一部で問題が起きていることを明らかにしました。エンジニアチームが解決に向けて取り組んでいるものの、探査機との通信には往復で2日近くを要することもあり、対策が決まるまでに数週間かかる可能性もあるようです。【最終更新：2023年12月13日11時台】



【▲ アーティストによる惑星探査機「ボイジャー」のイメージ図（Credit: Caltech/NASA-JPL）】

【▲ ボイジャーに搭載されたフライトデータシステム（FDS）（Credit: NASA/JPL）】

問題が起きたのはボイジャーに搭載されているコンピューターの1つ「フライトデータシステム（Flight Data System：FDS）」です。FDSは科学機器で収集された観測データや探査機の状態に関する工学データを収集し、サブシステムの1つ「テレメトリ変調ユニット（Telemetry Modulation Unit：TMU）」を介して地球に送信する役割などを担っています。NASAによると、ここ最近TMUから送られてくるデータに異常が生じており、分析を進めた運用チームはFDSが原因だと判断しました。発表の前週末にはFDSを問題発生前の状態へ戻すための再起動が試みられたものの、FDSは依然としてTMUと適切に通信できていないとみられており、使用可能な観測データや工学データがボイジャーから届いていないといいます。

1977年9月に打ち上げられたボイジャー1号は、2023年12月13日時点で地球から約244億km（約163天文単位）離れたところにあります。地球との通信は片道だけでも22時間34分5秒かかるため、ボイジャー1号に向けて送信したコマンドの返事が届くのは約45時間先となります。また、エンジニアチームが対策を見つけるために参照しているのは、現在直面している問題が予想されていなかった半世紀前に作成されたドキュメントです。そのため、予期せぬ結果を避けるために注意を払いつつ、新たなコマンドが探査機にどのような影響を及ぼすのかを理解するのに時間が必要だといいます。

このような事情により、問題解決に向けた計画が策定されるまでには前述の通り数週間を要する可能性があるということです。ボイジャー1号の状況については新たな発表があり次第お伝えします。

Source [NASA](#) - Engineers Working to Resolve Issue With Voyager 1 Computer

[NASA](#) - Computers in Spaceflight: The NASA Experience

文/sorae 編集部

地球へ最後に衝突した巨大隕石、クレーターの位置を特定、研究 未発見だった 80 万年前の衝突クレーター、ラオス南部のポーラウエン高原、異論も

2023.12.15



最後に地球に衝突した巨大隕石がつくったクレーターは見つかっていなかった。このほど、東南アジアとオーストラリアに広く分布する天然ガラスを手がかりに、その場所を特定したとする論文が発表された。

(ILLUSTRATION BY MARC WARD, STOCKTREK IMAGES/GETTY IMAGES)

[画像のクリックで拡大表示]

[画像のクリックで拡大表示]

2011 年、地質学者のケリー・シー氏は、ベトナムのホーチミン市にある小さな宝石店で、2 個の「テクタイト」と呼ばれる黒い物体に目を留めた。テクタイトとは天然ガラスの一種で、かつて地表の砂地に隕石が衝突したときに、熱で溶解して吹き飛ばされた石や砂が空中で冷え固まり、地上に降り注いだものと考えられている。シー氏が目にしたテクタイトは、約 80 万年前に隕石が衝突してできたものであり、中国から南極まで、地球表面のおよそ 20% に相当する広い範囲に分布している。このときの衝突は、直径数百メートル以上の天体による大規模な衝突としては地球史上で最も新しい。しかし、その隕石がどこに衝突したのかはわかっていなかった。その後、シー氏は科学文献や衛星画像を調べ上げ、現地調査も行った結果、隕石はラオス南部のポーラウエン高原に衝突したのではと考えるようになった。このときに巨大なクレーターが形成されたものの、その後の火山噴火でできた広大な溶岩原に覆い隠され、場所がわからなくなっていたのだろうという。氏による最新の[研究](#)成果は、2023 年 12 月 4 日付で学術誌「米国科学アカデミー紀要 (PNAS)」に発表された。

現在のポーラウエン高原は、高さ約 90 メートルの見事な滝と、コーヒーや茶の農園が数多くあることで知られている。だが論文によると、ラオス南部とタイ東部の低地からポーラウエン高原までの地下には、隕石の衝突で放出された物質が積もった「イジェクタ層」と呼ばれる層があるという。しかも、この層は高原の中心部に近づけば近づくほど厚くなり、最も厚い中心付近では 9 メートルに及ぶ。

イジェクタ層の底の方にある小石や岩石は、巨大な衝突によって土地がえぐられた岩層だろうと、シー氏は考えている。テクタイトは、この小石や岩石の層の上部付近から見つかり、その上をさらに分厚い灰の層が覆っていた。これは、隕石の衝突で舞い上がった巨大な噴煙が後に降り積もったものと考えられる。

同じような重なりを持った地層は、ポーラウエン高原とその周囲約 500 キロ以内の数百カ所で発見されており、高原の中心に向かって層が厚くなっていくパターンを示していた。シー氏は、ポーラウエン高原に隕石が衝突したことは間違いないと確信した。「クレーターがあった場所からのものと考えられる粗い石の堆積層が、高原の中心に近づくほど分厚くなり、石はますます粗くなっていきます。ほかに説明のつけようがありません」シー氏の説に、すべての科学者が納得しているわけではない。オーストラリア、パースにあるカーテ

イン大学の地質年代学者フレッド・ジョーダン氏は、シー氏の説は「十分ありうる」としながらも、証拠は間接的でしかないため、確実ではないと指摘する。また、東南アジアにある火山活動が活発な地域の多くにも、衝突でテクタイトが形成しえた砂地があるという。

[次ページ：隕石の衝突でできた天然ガラス](#)



テクタイトは、シリカを豊富に含んだ天然ガラスで、隕石が地上の砂地に衝突することで形成されると考えられている。(PHOTOGRAPH BY MARTIN LAND, SCIENCE PHOTO LIBRARY) [画像のクリックで拡大表示]
魅惑の落下物

隕石の衝突でできた天然ガラス

シー氏が宝石店で目にしたようなテクタイトは、隕石の衝突によって形成される。そのため、衝突クレーターが見つからなくても、テクタイトが広く分布する地域は、隕石が衝突したことを知る手がかりとなる。

地球上には4つのテクタイト分布域がある。そのうちの1つがオーストラリアと東南アジアのほぼ全域に広がっており、4つのなかでは最も新しい。ジョーダン氏は2019年に学術誌「Meteoritics & Planetary Science」に発表した論文で、この分布域で見つかったテクタイトの年代をより正確に分析し、隕石の衝突時期をおよそ78万8000年前と推定した。また、これらのテクタイトが最高で約4000°Cの熱で生成されたことも示した。

「動物たちは吹き飛ばされ、蒸発してしまいました」とシー氏は言う。実際、タイの地質学者だった故サンガルド・ブノパス氏は、化石化した森林や化石発掘現場から、衝突による大規模な森林火災、大洪水、局所絶滅、動物の大量死を示す証拠を発見し、論文を発表している。

テクタイトは、この分布域で見つからない衝突クレーターについての手がかりも与えてくれる。2007年、インド国立海洋学研究所の科学者シャム・プラサド氏は、テクタイトがこれだけ広がるのにどれほどの衝撃が必要なのかをモデル化し、クレーターの直径を33~120キロの間と推定した。しかし、その後の分析では、この範囲のなかでも小さい方の数字に近いだろうということが示された。

ドイツ、ハイデルベルク大学の地球化学者であるゲルハルト・シュミット氏も、プラサド氏の新しい数値に近い計算結果を1993年に導き出している。シュミット氏は、イリジウム濃度の測定を基に、15億トンの隕石が地球に衝突し、直径15~19キロのクレーターが形成されたと推測した。

クレーターはどこに

隕石が衝突したと考えられている場所は、他にもある。例えば、東南アジア最大の淡水湖であるトンレ・サップ湖がある地域では、ポーラウェン高原のものよりも大きなテクタイトが見つかっており、その数も多い。

[次ページ：シー氏の説に対する異論、同論](#)

しかしシー氏は、隕石衝突の重要な証拠のいくつかは目に見えないところに隠されていると考える。2019年に「PNAS」に発表した論文でシー氏は、ポーラウェン高原が隕石の衝突よりも後にできた溶岩原で覆われていることを明らかにした。溶岩は、広いところで幅100キロ、深さは場所によって300メートルにも及び、衝突クレーターを覆い隠すには十分な広さがある。溶岩の年代を測定したところ、隕石衝突よりもはるかに古い1600万年前のものから、3万年前のものまであった。テクタイトに砂だけでなく火山物質の痕跡も含まれてい

たのは、衝突前にあった溶岩のせいであり、衝突でできたクレーターは、その後起こった別の火山噴火によって溶岩に覆われたのだろうとシー氏は主張する。

シー氏の2019年の論文には、懐疑的な見方をする専門家もいた。チェコ科学アカデミーの地球化学者イジー・ミゼラ氏は、ポーラウエンの溶岩にはオーストラリアとアジアに分布するテクタイトに見られる化学的な特徴がないと主張し、両者の関連性を疑問視していた。それなのに今回新しく発表された論文は、隕石衝突でできた堆積物の起源について憶測を書いているとミゼラ氏は批判する。一方で、英サウサンプトン大学の河川地質学者ポール・カーリング氏は、シー氏の論文を支持し、テクタイトが豊富に含まれたタイ北東部の奇妙な地層を理解するうえで役に立つとしている。2022年8月30日付で学術誌「Meteoritics & Planetary Science」に発表された論文で、カーリング氏と千葉工業大学地球学研究センターの多田賢弘氏のチームは、タイにある露岩を調査して、3層からなるイジェクタ層を明らかにした。最も下には衝突時の爆風で元の地面が作り替えられてできた層があり、次は砂利やテクタイトなどの粗い降下物の層が、その上には細かい降下物が堆積してできた層がある。また、タイの3つの層にはすべて、衝撃石英と呼ばれる鉱物が含まれていた。これは、有名な衝突クレーターであるバリンジャー・クレーターやチクシュループ・クレーターなどの内部でも見つかっている。「衝撃石英は、衝撃波を受けた石英の粒子で、その痕跡が亀裂や羽のような特徴的な模様として残されています」と多田氏は言う。これもまた、3つの層が大規模な隕石の衝突によって形成されたことを示す証拠だ。(参考記事：[「地球の大規模クレーター10選」](#))

この論文は1カ所だけを対象にした調査だが、カーリング氏によればその後、タイ全域、ラオス南部、ベトナム、カンボジア北部でも同様のイジェクタ層を含む地層が見つかったという。また、この現地調査から、ラオス南部の方に向かって層の厚さが増していることも示され、ポーラウエン高原が衝突地点であるというシー氏の主張がここでも裏付けられていると、カーリング氏は語っている。(参考記事：[「恐竜の滅亡に第2の小惑星衝突が関与していたか、痕跡を発見」](#)) 一方、ジョーダン氏は、クレーターがあると推定される場所を実際に掘ってみるまで決定的な証拠は得られないと指摘する。カーリング氏は、200メートルほど掘れば、大規模な衝突の痕跡が見つかるのではないかと考えている。「隕石そのものの破片も見つかるかもしれません」それもまた、宝石店に飾られることになるのだろうか。

[特集ギャラリー：宇宙から落ちてきた金属 写真と画像 8点 \(2023年6月号\)](#) (見出しのクリックで表示)

1751年、クロアチア北西部のフラシュチナに隕石が落ちた。空中での爆発や火球の目撃証言が複数あったが、結局、作り話として片付けられてしまった。重さ40キロもある、その隕石の最大の塊が、オーストリアのウィーン自然史博物館に展示されている。(PHOTOGRAPH BY PAOLO VERZONE)

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

文=JAMES ROMERO/訳=荒井ハンナ

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231215-2841574/>

太陽質量1~10万倍の巨星の影響!? 東大など、窒素が異常に多い銀河を発見

掲載日 2023/12/15 06:50 著者：波留久泉

目次 [123億年以上前の銀河71個の元素の存在比を調査](#) [炭素や酸素に対して窒素が異常に多い銀河を発見](#)
[なぜ窒素が多くなったのか？](#) [窒素だけが異常に多くなる仕組みにブラックホールが関与か？](#)

[窒素を星間空間にばらまくもう1つのメカニズム](#)

東京大学(東大)、国立天文台(NAOJ)、筑波大学の3者は12月11日、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の一般公開されている大規模高感度観測データを用いて、129億~134億年前の初期宇宙に3つ、事前の予想に反して、炭素および酸素に対する窒素の比率が異常に多い銀河(炭素に対する窒素の存在比は天の川銀河の10倍以上)があることを発見し、これまで考えられていなかった窒素を増加させるメカニズムが存在している可能性があることを記者会見で発表した。同成果は、東大 宇宙線研究所 宇宙基礎物理学研究部門の磯部優樹大学院生、同・大内正巳教授(NAOJ 教授兼任)、同・梅田滉也大学院生、同・Yi Xu 大学院生、同・小野宜昭助教、

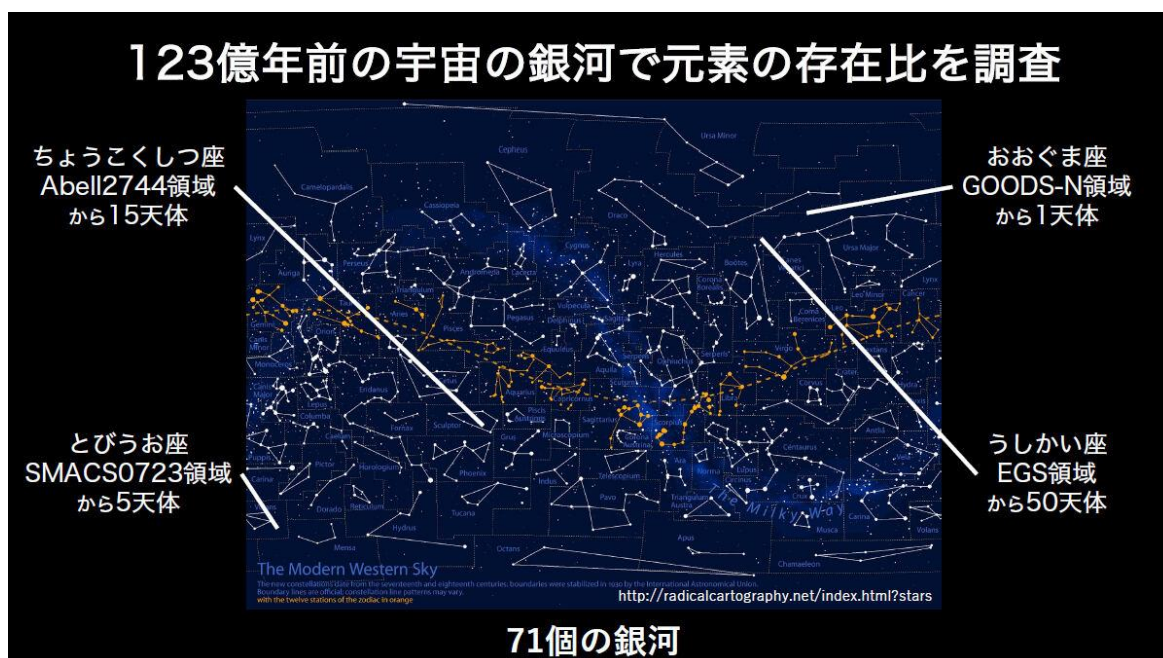
NAOJ 科学研究部の富永望教授、同・渡辺くりあ大学院生、同・中島王彦特任助教、同・Yechi Zhang 日本学術振興会特別研究員、筑波大 計算科学研究センターの矢秀伸准教授、同・福島肇助教らの共同研究チームによるもの。会見には論文筆頭著者の東大の磯部大学院生と、大内教授が出席した。[また詳細は、米天体物理学専門誌「The Astrophysical Journal」に掲載された。](#)



会見の様子。手前が、今回の研究を主導した東大 宇宙線研究所の磯部大学院生。奥が大内教授

123 億年以上前の銀河 71 個の元素の存在比を調査

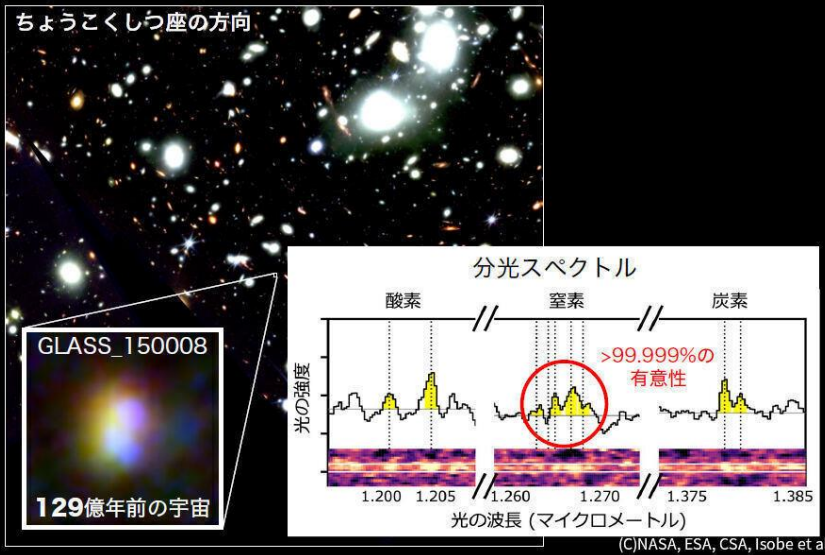
宇宙が誕生した当初、元素は、水素(およそ 75%)、ヘリウム(およそ 25%)、リチウム(極微量)という、たったの 3 種類しかなかったと考えられている。その後、それらによって星が誕生し、核融合で鉄(・ニッケル)までの元素が合成され、さらに超新星爆発や中性子星合体などによってそれ以降の元素も合成されたとされる。その結果、現在は 90 種類を超える元素が存在するようになった。つまり、どの元素がどのくらいあるのか宇宙の化学進化を調べることで、それはどのような質量の星がどれだけあったのかといったこともわかってくるのである。今回の研究では、ちょうこくしつ座「Abell2744 領域」(15 天体)、とびうお座「SMACS0723 領域」(5 天体)、おおぐま座「GOODS-N 領域」(1 天体)、うしかい座「EGS 領域」(50 天体)の合計 71 個の 123 億年以上前の銀河について、そこに含まれるガスの炭素、酸素、窒素などの元素の存在比が調べられ、最新の数値シミュレーション結果との比較研究も行われた。



今回の研究では、123 億年前よりも過去の初期宇宙の 71 の銀河において、元素の存在比が調査された (出所:記者会見プレゼン資料)

JWST の赤外線観測装置のうち、最も高性能な近赤外線分光器「NIRSpec」を用いた高感度観測のスペクトル分光データであっても、炭素や窒素ガスが放つ輝線の検出は難しく、元素の存在比の測定は困難だったとする。しかし、129 億年前から 134 億年前という初期宇宙(宇宙誕生後 4~9 億年後)にある 3 つの明るい銀河で輝線が検出されたという。「GLASS150008」(ちょうこくしつ座・129 億年前)、「CEERS01019」(うしかい座・132 億年前)、「GN-z11」(おおぐま座・134 億年前)の 3 つだという。

窒素の輝線を検出！

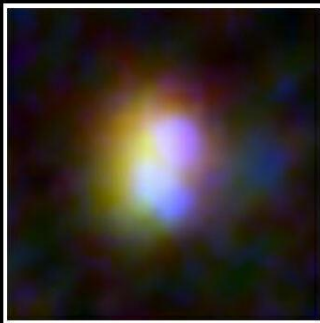


調査された 71 個の銀河の内、3 個の銀河から窒素の輝線が検出された。画像は、ちょうこくしつ座 Abell2744 領域の 129 億年前の宇宙にある GLASS_150008 銀河とその分光スペクトル (C)NASA, ESA, CSA, Isobe et al. (出所:記者会見プレゼン資料)

窒素の輝線を放つ銀河

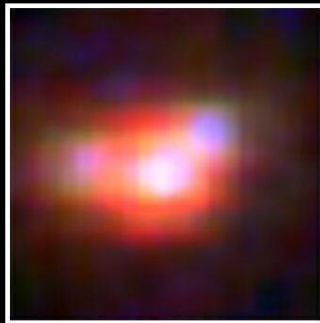
GLASS_150008

ちょうこくしつ座
129億年前の宇宙



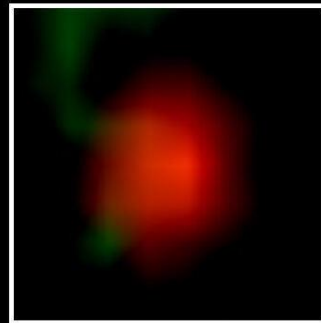
CEERS_01019

うしかい座
132億年前の宇宙



GN-z11

おおぐま座
134億年前の宇宙



129-134億年前の宇宙の
3個の銀河で窒素が存在！

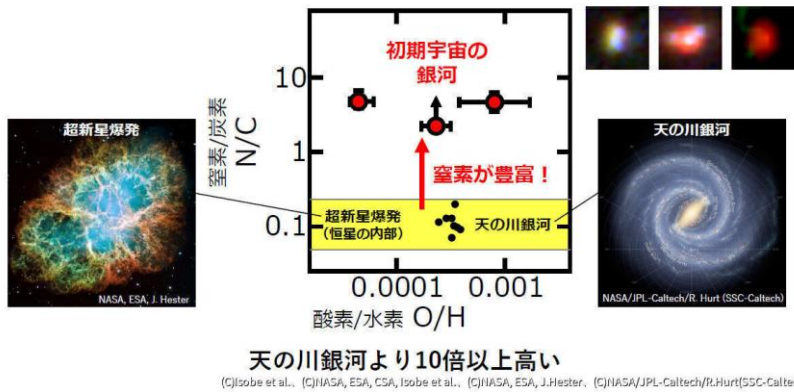
(C)NASA, ESA, CSA, Isobe et al.

今回、輝線が検出された 3 個の銀河。左からちょうこくしつ座の GLASS_150008(129 億年前)、うしかい座の CEERS_01019(132 億年前)、おおぐま座の GN-z11(134 億年前) (C)NASA, ESA, CSA, Isobe et al. (出所:記者会見プレゼン資料)

炭素や酸素に対して窒素が異常に多い銀河を発見

炭素、酸素、窒素の輝線の光度などから、炭素や酸素に対する窒素の個数の存在比などが求められたところ、窒素が炭素や酸素に比べて異常に多いことが判明。窒素/炭素の存在比については、天の川銀河のガスと比べると 10 倍以上になることが判明した。これは星の内部ガス(超新星爆発による影響)では説明できないが、星の表層のガス成分とは近いことがわかったという。

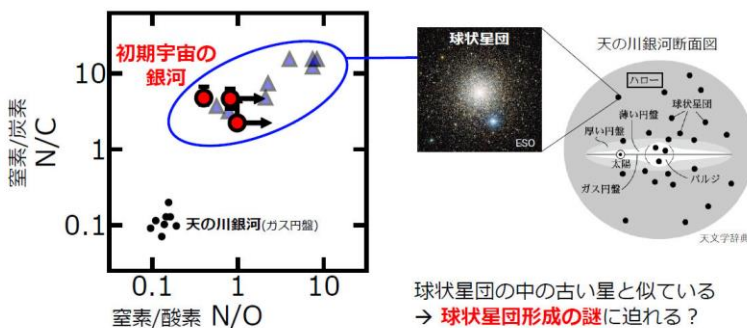
炭素に対する窒素の存在比



検出された3銀河の炭素に対する窒素の存在比(窒素/炭素)。グラフの縦軸が窒素/炭素で、横軸は水素に対する酸素の存在比(酸素/水素)。天の川銀河の窒素/炭素は0.1前後なのに対し、3天体は10倍以上窒素が豊富であることがわかる(目盛りが対数なのでより正確には数十倍)。3銀河の窒素の異常な多さは恒星内部のガスでは説明できないという (C)Isobe et al., (C)NASA, ESA, CSA, Isobe et al., (C)NASA, ESA, J.Hester, (C)NASA/JPL-Caltech/R.Hurt(SSC-Caltech) (出所:記者会見プレゼン資料)

また、現在の宇宙で窒素が豊富な天体としては、球状星団内の古い星と似ていることもわかったとした。球状星団も謎の多い天体だが、その形成の謎に迫れるかも知れないとしている。

現在の宇宙で窒素が豊富な天体



現在の天の川銀河に属する星の中で3銀河と成分的に近いのは、球状星団内の古い星だという。そのことから、今回の研究成果は球状星団の形成に関するヒントになり得る可能性もあるとしている (出所:記者会見プレゼン資料)

なお、残りの68個の銀河については暗いために詳細がまだ確認できていないが、同様に炭素や酸素に対して窒素が多い可能性があるという。71個中の3個は約4.2%という割合となるが、この通りに一部の銀河に限った話なのか、それとも宇宙の大半の銀河にも当てはまるのか、今回の発見でまた新たな謎が出てきたとした。どちらにしろ、炭素や酸素に対して窒素が異常に多い銀河があるのは確かであり、初期の宇宙の(一部の)銀河では、一般的に考えられている元素の主な供給メカニズムとは違うものが働いていた可能性があることが示された形だとする。

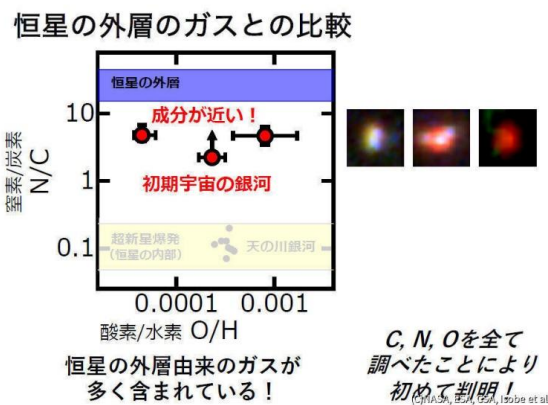
なぜ窒素が多くなったのか?

窒素が多くなるにはまず窒素が合成される必要があるが、それを行うのが大質量星の核融合反応でメインとなる「CNOサイクル」だという。CNOサイクルは、その名が示すとおり、炭素、窒素、酸素の原子核が、水素やヘリウムと合体したり、壊変したりすることで変化して、6種類の原子核でサイクルを形成しているものである。簡単に説明すると、ヘリウム(4He)3個によるトリプルアルファ反応で合成される炭素の安定核「 ^{12}C 」からスタートすると、(1) $^{12}\text{C} \rightarrow$ (2)窒素の不安定核「 ^{13}N 」 \rightarrow (3)炭素の安定核「 ^{13}C 」 \rightarrow (4)窒素の安定核「 ^{14}N 」 \rightarrow (5)酸素の不安定核「 ^{15}O 」 \rightarrow (6)窒素の安定核「 ^{15}N 」 \rightarrow ^{12}C というサイクルである。このサイクルは、コン

スタントに回り続けるかということ、実はそうではない。(4)→(5)の反応が起きにくいいため、窒素が溜まっていきやすい。つまり、ある意味、CNOサイクルは、窒素合成の反応ともいえるのである。

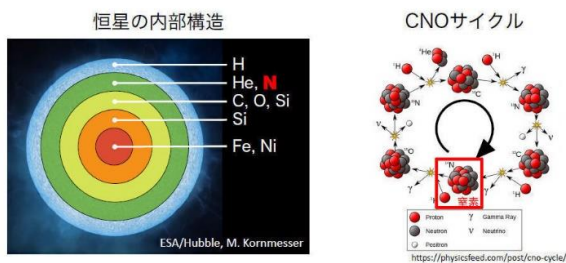
窒素だけが異常に多くなる仕組みにブラックホールが関与か？

となると問題は、窒素がどのようにして放出されるのかだ。大質量星は、最終的に重力崩壊がきっかけとなって超新星爆発を起こすが、それだと、炭素や酸素も一緒にばらまかれて星間空間が増えていくので、窒素だけが異常に多いという状況にはならないはずである。そこで今回の研究で考えられたメカニズムの1つが、大質量星とブラックホールの連星系で、ブラックホールの強い重力で大質量星の窒素を含む比較的外側の層が剥がされて、窒素が星間空間にばらまかれたのではないかとする説だ。星の核融合は、水素から始まって鉄の中心核ができるまで、核融合で合成された元素の種類が異なる玉ねぎのような層構造が形成される。窒素は、その玉ねぎ構造の中ではヘリウムと共に2層目ぐらいと比較的表層(水素の層)に近いことから、ブラックホールの強い重力でもって剥ぎ取られやすいことが考えられるとする。それに対して炭素や酸素、そしてシリコンなどは、さらにもう1層下になるので、窒素よりは剥ぎ取られにくいことになる。そのため、星間空間に窒素の量だけが増えたのではないかという。



3天体と近いのは、星の外層のガスであることが判明。このことから、3銀河の窒素の多さは、星の外層由来のガスが多く含まれている可能性が推測された(C)Isobe et al.、(C)NASA, ESA, CSA, Isobe et al. (出所:記者会見プレゼン資料)

恒星の中の元素合成



- 恒星の内部：H, He, …の核融合でどんどん重い元素(C, O)が合成
- 恒星の外層：CNOサイクルでNが溜まる

(C)ESA/Hubble,M.Kornmesser

大質量星中の元素合成は、CNOサイクル(右)が主となる。そして、核融合で合成された元素は、外層の水素から中心核の鉄まで、後から合成された(より質量の重い)元素ごとに、玉ねぎのような層構造を成す(左)

(C)ESA/Hubble,M.Kornmesser (出所:記者会見プレゼン資料)

しかし剥ぎ取られたとしても、大質量星の残った部分が超新星爆発を起こしたら同じなので、残った部分もブラックホールに吸い込まれてしまう必要はあるかも知れない。ただし問題は、ブラックホールは“光すら脱出できない強い重力であらゆる物質を飲み込む”とはいうものの、実は一般的にイメージされるほど物質を飲み込むのが“得意ではない”という点だ。

ブラックホールに物質が吸い込まれる時は、真っ直ぐに落下するわけではない。まずブラックホールの赤道上において、自転方向に高速度で回転するようになる。超大質量ブラックホール(SMBH)の周囲で形成されると考えられている、降着円盤はその代表例だ。この物質の回転速度は非常に高速になるため、いつまでも物質がブラックホールの周囲を回ってしまうという。この回転速度を落とす(角運動量を減らす)仕組みがないと、強い重力があっても、物質はブラックホールに簡単には吸い込まれないのだ。

それでも落ちていく物質はあるわけだが、強い重力エネルギーが熱エネルギーに変換されるため、物質が強力なX線などを放射するようになる。すると、その光の圧力が次に落ちようとしている物質の落下を押しとどめてしまうこととなる。こうしたメカニズムのため、ブラックホールはイメージされるほど何でもかんでも底なしに飲み込み放題とはならないのだという。

窒素を星間空間にばらまくもう1つのメカニズム

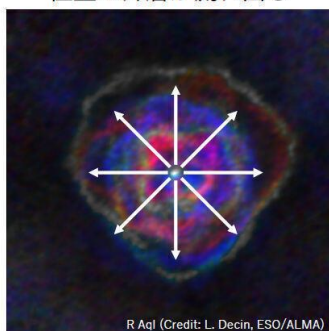
そこで、窒素を星間空間にばらまくメカニズムとしてもう1つ考えられたのが、星の「恒星風」だという。星は生涯の末期には重力的に不安定になって、表層物質を周囲に放出する。この恒星風で物質が流れ出る時も、炭素や酸素よりも、より表面に近い窒素の方が流れ出やすいことから、窒素が増加する仕組みとなり得るのである。しかしこれまた、最終的に超新星爆発を起こしてしまったら炭素も酸素もばらまかれてしまって同じである。そこで今回考えられたのが、窒素を放出した後に、超新星爆発を起こさずに直接重力崩壊を起こして一気にブラックホールと化す、とてつもない質量を持つ巨星(ここでは、「超大質量星」と表記)だという。

この超大質量星は、宇宙の第一世代の星である「ファーストスター」にも似ており、重元素(天文学ではリチウム以降の元素のことを重元素や「金属」と呼ぶ)をほとんど含まない、水素とヘリウムだけで構成されている星で、その質量は太陽の1万~10万倍にもなるという(それだけの巨大な質量の星が存在し得るのか、実際に観測されたわけではないのでまだ仮想の天体である)。

現在の星は、重元素も多量に含んでいるので、このような超大質量星ができることはなく、最大でも太陽質量の数百倍とされる。それに対し、太陽質量の1万~10万倍という、桁がいくつも違うような超大質量星であれば、恒星風で窒素を出した後に、超新星爆発なしで直接重力崩壊を起こし得るので、一部は炭素や酸素も恒星風で出るかも知れないが、大半は事象の地平面の向こう側に行ってしまう、星間空間には増えないことが考えられる。しかし、この超大質量星が窒素までは放出するが、炭素や酸素などは放出せずにブラックホールと化してしまうのが正解だとすると、少なくとも今回の3銀河は、超大質量星を元とするブラックホールがあふれている可能性が出てくる。どの銀河もこの3銀河と同じなのだとすると、初期宇宙の銀河は大量のブラックホールにあふれていたかも知れないという(もちろん、3銀河が特殊な例である可能性もある)。そうなると、これらの銀河からは物質がなくなってしまういそうだが、上述したように、意外とブラックホールは物質を飲み込めないところもあるので、すべての物質が吸い込まれるような心配はいらないようだ。

恒星の外層が放出されるメカニズム

恒星風
恒星の外層が流れ出る



ブラックホール
恒星の外層が剥ぎ取られる



(C)L.Decin,ESO/ALMA. (C)ESA/C.Carreau

恒星の外層だけが放出されるメカニズムとして、星の末期に流れ出す恒星風(左)や、連星の相方であるブラックホールに重力で剥がされる場合などが提案された (C)L.Decin,ESO/ALMA、(C)ESA/C.Carreau (出所:記者会見プレゼン資料)

SMBHの誕生や成長に関する謎を解決につながる可能性

また、この超大質量星を元とするブラックホールは、宇宙の大半の銀河の中心に位置すると考えられているSMBHの誕生や成長に関する謎を解決できる可能性も有するという。SMBHは、太陽質量の数百万倍から100億倍というとてつもない質量を持つ。もし恒星級ブラックホールが始まりの「種ブラックホール」と仮定した場合、それら同士の合体から始まって、次々と合体・吸収をしたり、物質を飲み込み続けたりしても、最終的に現在のSMBHまで育つには約138億年の宇宙の歴史では時間が足りないことがわかっている。そこで、宇宙の初期に大量の水素が集まって星を経ずに直接重力崩壊してSMBHになったとする説なども提案されているが、そのような現象は容易には起きないのではないかとされている。

それに対し、太陽質量の1万~10万倍という超大質量星が種ブラックホールとなるのであれば、効率良くブラックホール同士の合体・吸収を繰り返し、物質をコンスタントに大量に飲み込み続けることができれば、太陽質量の数百万倍から100億倍にも手が届きえるという。ただ惜しむらくは、超大質量星が実在したとしても、遠方銀河にしかないのであれば、その様子を観測するのは、JWSTであろうが、現在建設中・計画中の次世代望遠鏡であっても不可能であるという点である。唯一、重力レンズ効果を利用すれば、直接は見えないとしても、その間接的な証拠などを観測することはできるかも知れないとしている。

宇宙誕生後5~7億年の頃に酸素が急激に増加した痕跡とも関係

そして今回の研究成果は、今回の会見に出席した東大の大内教授と、今回の会見には参加していないが研究チームの一員であるNAOJの中島特任助教が、11月9日に行った、[宇宙誕生後5~7億年の頃に酸素が急激に増加した痕跡を確認したとする記者会見](#)の続編ともいえる内容となっている。その時の発表では、酸素以外の元素の増加の様子も研究中ということだったが、その1つが今回の成果というわけだ。

しかし、その時の会見では宇宙誕生から5~7億年の頃には酸素が急激に増加中だったことがわかったが、今回はほぼ同時期である宇宙誕生から4~9億年の頃に、酸素(および炭素)に対して窒素が異常に多いとするもので、矛盾しそうな成果となっている。しかし、酸素が増加し出す前にすでに窒素が異常に多い状況となっていればまったく矛盾しないことになる。これは、酸素の増加が一般的な大質量星の超新星爆発によるものであれば(酸素の増加の理由はわかっていない)、一般的な大質量星の寿命と超大質量星の寿命を考えれば、イベントのどちらが先かが予想できる。一般的に、星は質量が増えるほど短命となり、超新星爆発を起こすような星は太陽などと比べると、非常に短い。星のおおよその寿命を算出する計算式があるが、それによれば、太陽質量の8倍の大質量星(超新星爆発を起こす中では最も軽い)だと、寿命は700万~2000万年ぐらいになる。ブラックホールがほぼ確実にできる30倍にもなると、6万7000年~67万年だ。それに対し、超大質量星にはこの星の寿命を算出する計算式は適用できないようで、計算すると寿命0年となってしまいうので、どれだけの期間存在し得るのかは不明だ。しかし、質量が大きいほど短命になるのが超大質量星にも当てはまるのであれば、一般的な大質量星よりもさらに輪をかけて極めて短命なのではないだろうか。そうすると、超大質量星が先に窒素を増やしてブラックホールとなって姿を消した後、その後に一般的な大質量星が超新星爆発を起こして酸素を増やしていったとする流れは矛盾が生じない。その後も超新星爆発は現在まで続いているため、相対的に炭素や酸素が増え、窒素は減っていったと考えられる。いずれにしろ、超大質量星が存在したとしても、ファーストスターかそれに極めて近い初期の世代の星である可能性も考えられ(ファーストスターが現在では存在し得ない巨大な星だったとする説もある)、想像が膨らむところである。なお、磯部大学院生は今後の展望として、今回の質量の異常に多い銀河において、恒星風とブラックホールと、どちらがより強く影響しているのかを明らかにしたいとする。それには、大質量星(超大質量星)内の玉ねぎ構造において、窒素よりも内側の層にある炭素や酸素、シリコンなどの存在が鍵になるとし、それらの元素の輝線の検出などを現在調査中としている。今

後の展望としては、11月9日の発表内容とも関わってくることとなるので、2つの研究成果を統合したような研究成果が発表されることを期待したい。

<https://sorae.info/astrometry/20231214-cas-a.html>

ウェッブ宇宙望遠鏡で捉えた超新星残骸「カシオペヤ座 A」

2023-12-14 [sorae 編集部](#)

こちらは「カシオペヤ座」の方向約1万1090光年先の超新星残骸「カシオペヤ座 A (Cassiopeia A, Cas A)」です。ピンク色やオレンジ色をしたフィラメント状（ひも状）の構造を、白い煙のようなものが取り巻いている様子が精細に捉えられています。



【▲ ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCam）で観測された超新星残骸「カシオペヤ座 A」（Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, D. Milisavljevic (Purdue University), T. Temim (Princeton University), I. De Looze (University of Gent)）】

超新星残骸とは、質量が太陽の8倍以上ある重い恒星が超新星爆発を起こした後に観測される天体のこと。輝いているのは爆発の衝撃波によって加熱されたガスで、可視光線をはじめ赤外線やX線などが放射されています。ガスが広がる速度をもとに、直径約10光年のカシオペヤ座 A を生み出した超新星爆発がもしも観測されていたとすれば、それは今から約340年前のことだったと考えられています。

この画像は「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（James Webb Space Telescope : JWST）」の「近赤外線カメラ（NIRCam）」で取得したデータをもとに作成されました。ウェッブ宇宙望遠鏡は人の目で捉えることができない赤外線の波長で主に観測を行うため、公開されている画像の色は取得時に使用されたフィルターに応じて着色されています。ウェッブ宇宙望遠鏡を運用する宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）によると、画像でピンク色やオレンジ色に着色されている部分はカシオペヤ座 A の内殻を構成する物質を示しています。鋭敏なウェッブ宇宙望遠鏡であれば、星から放出された硫黄・酸素・アルゴン・ネオンといったガスでできた小さな塊を幅100天文単位（※）程度までなら識別できるといいます。

※...1天文単位（au）は約1億5000万km、太陽から地球までの平均距離に由来。

一方、内殻を取り囲む白い煙のようなものはシンクロトロン放射を捉えたものとされています。シンクロトロン放射とは磁場の中で螺旋を描きながら運動する電子などの荷電粒子から放射される電磁波のことで、ウェッブ宇宙望遠鏡のNIRCamはそのうちの近赤外線の領域を捉えました。また、超新星爆発の光が離れた場所の塵を加熱し、その塵が冷えていく過程で観測された光エコー（Light echo）も画像の右下隅に写っています。STScIによれば、赤外線を放射している塵はカシオペヤ座 A からさらに約170光年遠くにあるといい、研究者から「Baby Cas A」と呼ばれています。今回の観測を行った研究チームを率いるパデュー大学の Danny Milisavljevic さんは「NIRCam の解像度によって、今私たちは死にゆく星が爆発した時にどのように粉碎され、小さなガラス片のようなフィラメントを残したのかを見ることができます」「長年カシオペヤ座 A を研究してきましたが、星がどのように爆発したのかについての変革的な知見をもたらす詳細が今解明されたことに信じ

られない思いです」と語っています。冒頭のカシオペア座 A の画像は STScI をはじめ、アメリカ航空宇宙局 (NASA) や欧州宇宙機関 (ESA) から 2023 年 12 月 10 日・11 日付で公開されています。

Source [STScI](#) - NASA's Webb Stuns With New High-Definition Look at Exploded Star

[NASA](#) - NASA's Webb Stuns With New High-Definition Look at Exploded Star

[ESA/Webb](#) - Researchers stunned by Webb's new high-definition look at exploded star 文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20231216-ic-348.html>

褐色矮星か浮遊惑星か？ ウェブ宇宙望遠鏡がペルセウス座の散開星団で見つけ

た 3 つの天体

2023-12-16 [sorae 編集部](#)

こちらは「ペルセウス座」の方向約 1000 光年先の散開星団「IC 348」の中心付近です。IC 348 は誕生から 500 万年程度しか経っていないとみられる若い散開星団です。



【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ (NIRCam) で観測された散開星団「IC 348」の中心付近 (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, and K. Luhman (Penn State University) and C. Alves de Oliveira (European Space Agency))】

【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の観測で見つかった褐色矮星とみられる 3 つの天体 (1, 2, 3) の位置と拡大像 (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, and K. Luhman (Penn State University) and C. Alves de Oliveira (European Space Agency))】

IC 348 はペルセウス座分子雲 (Perseus molecular cloud) と呼ばれる星形成領域にあります。星形成領域とはその名の通り、ガスや塵を材料にして新たな星が形成されている領域のこと。星はガスや塵が高密度に集まった分子雲の中でも、特に濃い部分が重力によって崩壊する (潰れる) ことで誕生すると考えられています。この画像は「ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡 (James Webb Space Telescope : JWST)」の「近赤外線カメラ (NIRCam)」で取得したデータをもとに作成されました。ウェブ宇宙望遠鏡は人の目で捉えることができない赤外線の波長で主に観測を行うため、公開されている画像の色は取得時に使用されたフィルターに応じて着色されています。ペンシルベニア州立大学の Kevin Luhman さんを筆頭とする研究チームは、ウェブ宇宙望遠鏡による IC 348 の観測データを分析した結果、恒星のように形成された天体としてはきわめて質量が小さい褐色矮星を 3 つ発見したとする研究成果を発表しました。研究チームの成果をまとめた論文は The Astronomical Journal に掲載されています。褐色矮星は恒星と惑星の中間的な天体です。誕生した星の中心部で水素の核融合反応が継続するには、その質量が太陽の約 8 パーセント (木星の約 80 倍) 以上でなければなりません。褐色矮星の質量はそれよりも軽いので恒星のように核融合反応で輝くことはなく、形成時の余熱を赤外線として放射しています。「最も軽い星は何か」という疑問の答えを見出そうとしている Luhman さんは、欧州宇宙機関 (ESA) の Catarina Alves de Oliveira さんたちとともにウェブ宇宙望遠鏡で IC 348 の観測を実施しました。IC 348 はまだ若く、余熱を放出する褐色矮星も赤外線では明るく輝いて見えます。そのうえ高感

度・高解像度な観測を行えるウェブ宇宙望遠鏡には、赤外線で見えにくい天体を地上の望遠鏡よりも検出しやすく、また褐色矮星と背景の銀河を識別しやすいというメリットがあります。観測の結果、研究チームは質量が木星の3~8倍、表面温度が830~1500°Cの天体3つをIC 348で発見しました。コンピューターモデルを用いて分析したところ、そのうち1つの質量は木星の3~4倍でしかない可能性が示されたといいます。褐色矮星の質量の上限（すなわち恒星の質量の下限）は、前述の通り「中心で水素の核融合反応が継続する下限の質量」として定めることができます。その一方で、褐色矮星の質量の下限は不明確です。木星の質量の約13倍を下限とする場合もありますが、これまでに5500個以上が見つかっている太陽系外惑星の中には質量が木星の20倍を上回るものが幾つも存在します。今回見つかった天体の質量は惑星の範囲内と言えますから、恒星の周囲で形成された後に系から放り出された浮遊惑星（自由浮遊惑星）なのではないかという疑問が生じます。しかし、研究チームはこれらの天体が浮遊惑星である可能性は低く、恒星と同じように分子雲の崩壊で形成された褐色矮星の可能性が高いと考えています。巨大な浮遊惑星は小さな浮遊惑星と比べてまれな存在であること、恒星の多くを占める小質量星の周囲で巨大な惑星が形成される可能性は低いこと、若いIC 348では惑星系から巨大な惑星が放り出されるほどの時間がまだ経っていないと考えられることがその理由です。今回見つかった天体が褐色矮星だとすると、別の疑問が生じます。質量が大きな分子雲では星を生み出すのに十分な重力が働きますが、質量が小さな分子雲では働く重力も弱く、現在の理論では巨大な惑星に匹敵するほど軽い褐色矮星がどうやって形成されるのかを説明するのは困難だといいます。Alves de Oliveiraさんは、太陽の300分の1という非常に小さな質量の天体がどのようなプロセスで形成されたのかを問わなければならないと指摘しています。見つかった天体は褐色矮星なのか浮遊惑星なのか、褐色矮星だとしたらどうやって形成されたのか。こうした疑問はIC 348のさらなる観測を通して明らかになるかもしれません。浮遊惑星は星団の外側部分で見つかる可能性が理論上では高く、より長時間の観測を行えば木星と同じくらいの質量の天体も検出できる可能性があるといいます。Luhmanさんは「もしも放り出された巨大な惑星がこのように若い星団にも存在するのであれば、ウェブ宇宙望遠鏡なら見つけることができるはずです」と期待を寄せています。ウェブ宇宙望遠鏡によるIC 348の観測は、星の形成過程や太陽系外惑星についての新たな知見をもたらすことになりそうです。ウェブ宇宙望遠鏡で観測したIC 348の画像は同望遠鏡を運用する宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）をはじめ、アメリカ航空宇宙局（NASA）やESAから2023年12月13日付で公開されています。

Source [STScI](#) - NASA's Webb Identifies Tiniest Free-Floating Brown Dwarf

[NASA](#) - NASA's Webb Identifies Tiniest Free-Floating Brown Dwarf

[ESA/Webb](#) - Webb identifies tiniest free-floating brown dwarf

[Pennsylvania State University](#) - NASA's Webb identifies tiniest free-floating brown dwarf

[Luhman et al.](#) - A JWST Survey for Planetary Mass Brown Dwarfs in IC 348 (The Astronomical Journal)

文/sorae編集部

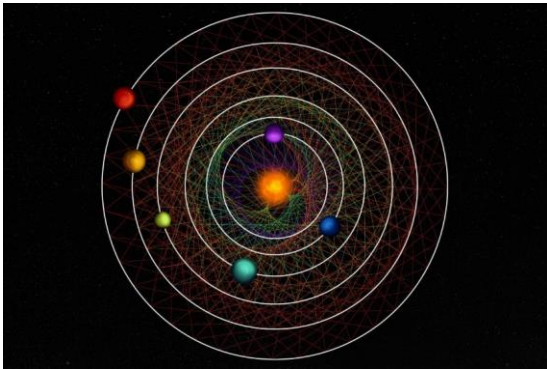
<https://sorae.info/astromy/20231210-hd110067.html>

「HD 110067」に共鳴し合う6つの惑星を発見 惑星科学における重要な“化石”

2023-12-10 [彩恵りり](#)

地球と海王星の中間的な大きさを持つ「亜海王星（Sub-Neptune、サブ・ネプチューン）」（※定義に関する議論は文末に記載）と呼ばれる惑星は多くの恒星の周りで見つっていますが、その組成や成因はほとんど分かっていません。このような惑星の形成過程を調べることは、太陽系を含む様々なタイプの惑星系の形成過程を知るための手掛かりとなります。シカゴ大学のRafael Luque氏を筆頭著者とする国際研究チームによる観測データの精査と追加観測によって、恒星「HD 110067」（TIC 347332255、TOI 1835）には全部で6つの惑星があることが分かりました。この6つの惑星は、公転周期が単純な整数比で表される「軌道共鳴」の関係にあ

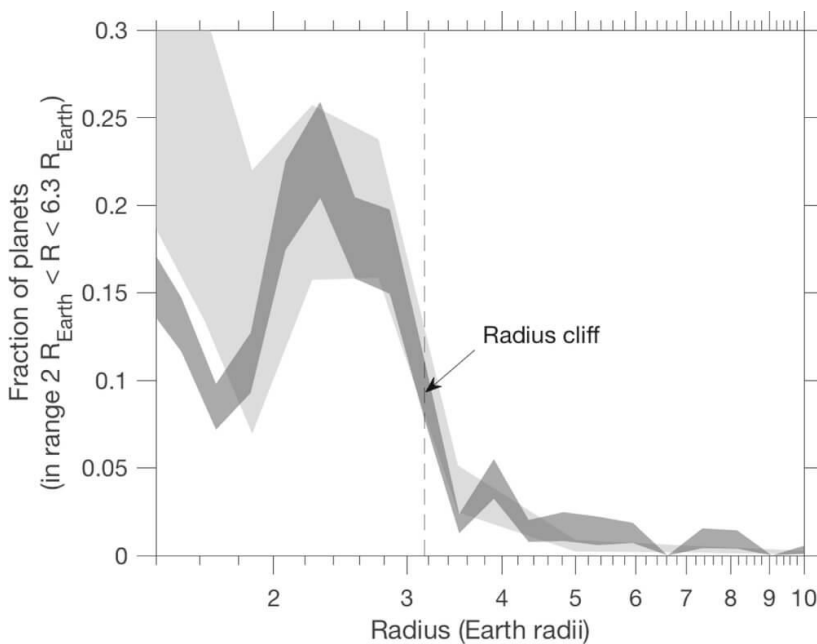
るという前提の下で研究・発見されたものであり、多数の惑星が軌道共鳴の関係にあるのはとても珍しい発見例です。軌道共鳴状態の惑星系は形成時の軌道をそのまま反映している“化石”であると考えられており、亜海王星の形成過程を探る上で重要な発見と言えます。



【▲図 1: HD 110067 の各惑星が軌道共鳴の関係にあることを示す図。各タイミングでの惑星の位置を線で結ぶとこのような幾何学模様が見られます (Credit: Thibaut Roger & NCCR PlanetS)】

■地球と海王星の中間的惑星「亜海王星」の謎

太陽系の惑星は、水素やヘリウムが主体の「巨大ガス惑星（木星型惑星）」、水素やヘリウムよりも重い岩石よりも軽い物質を多く含む「巨大氷惑星（天王星型惑星・海王星型惑星）」、岩石が主体の「岩石惑星（地球型惑星）」の3つに大別され、軽い物質でできているほど直径や質量が大きくなる傾向にあります。一方で太陽系以外の惑星に目を向けると、これらに分類するのが難しい、中間的な大きさを持つ惑星が多数見つかります。「亜海王星」はそのような惑星の1つです。もし亜海王星が大きさだけでなく、組成なども地球と海王星の中間的な性質を持つ場合、亜海王星は岩石の核の周りに水素を主体とした極めて分厚い大気を持つような惑星であると推定することができます。しかし、この推定が正しいかどうかははっきりしていません。太陽系には亜海王星は見つかっておらず、亜海王星と思われる太陽系外惑星の大気成分などを観測するのも困難なため、直接的な手がかりを得ることが難しいためです。また、惑星の形成過程をシミュレーションしようにも、このようなデータの少ないタイプの惑星の形成を正確に描写できたかどうかの評価は極めて困難です。



【▲図 2: 直径別の惑星の存在度を示したグラフ。地球の3倍から4倍にかけては存在数が急激に減少する崖 (Radius cliff) が存在することが分かります (Credit: Edwin S. Kite, et al.)】

加えて、地球の3倍以上の直径を持つ亜海王星の存在数は急激に低下するという別の謎もあります。惑星の存在数をグラフに描くと、直径が地球の3倍以下の惑星と、地球の4倍以上 (海王星と同じ直径) の惑星の間に

は、存在数を分ける崖のような急激な変化が現れます。なぜこのような存在数の崖が存在するのかについては、惑星の形成過程から説明する試みもありますが、亜海王星の形成過程がほぼ理解されていないことにより、謎が解決しているとは言えません。

■「軌道共鳴」の関係は惑星の研究で重要

亜海王星の謎を解決するには、その詳細な観測データが欠かせません。特に、形成過程という古い時代の様子を詳しく知るためには、過去に渡って環境が変化していないと推定される亜海王星が観測対象としてうってつけです。そのような亜海王星は、他の惑星との間で公転周期が「軌道共鳴」の関係（尽数関係）にあると考えられています。軌道共鳴とは、ある天体に対する別の天体の自転周期や公転周期が「1:2」や「3:2」などの簡単な整数比になっている状態です。これは天体同士が及ぼす重力相互作用によって力学的に安定するような状態として現れるもので、太陽系での公転周期の軌道共鳴の例としては海王星と冥王星（3:2）、木星のガリレオ衛星（4:2:1）などが存在します。今のところ、太陽系の惑星同士での軌道共鳴は発見されていませんが（※1）、太陽系外惑星では軌道共鳴の関係にあると思われる惑星系がいくつか見つかっています。しかしそれは、発見されている全ての惑星系全体の約1%という非常に珍しい存在です。

※1...海王星と冥王星の公転周期は3:2軌道共鳴の関係ですが、冥王星は2006年に定められた惑星の定義により準惑星に再分類されています。また、地球と金星の公転周期の比は13:8で一見すると軌道共鳴関係であるように思えますが、公転周期に関する他の力学的な要素は軌道共鳴の関係であることを示しておらず、偶然の一致であると考えられています。このような軌道共鳴が起きている惑星系は、軌道共鳴から外れた公転軌道が力学的に不安定となるため、そのような公転軌道を持つ惑星は存在できないこととなります。特に、軌道共鳴の関係にある惑星が数多く存在するような惑星系は、軌道共鳴の関係になる公転軌道だけに惑星が形成されるという制限が発生し、その後の惑星系の進化でも公転軌道が変化していないと考えることができます。このため、軌道共鳴の関係にある亜海王星を見つけることが、その形成過程を解く重要な手掛かりになると考えられます。

■「HD 110067」の惑星は軌道共鳴の関係にある？

Luque氏を筆頭著者とする国際研究チームは、NASA（アメリカ航空宇宙局）の宇宙望遠鏡「TESS（トランジット系外惑星探索衛星）」によって観測された、地球から見て「かみのけ座」の方向に約105光年離れた位置にあるK型主系列星「HD 110067」に注目し、研究と追加観測を行いました。TESSは恒星の手前を惑星が横切るトランジット（通過）によって、恒星の明るさがわずかに減光する現象を観測します。減光度合いは惑星の直径に対応しており、同じような明るさの減少を示す現象が複数回観測されれば、それは惑星の公転周期に対応します。

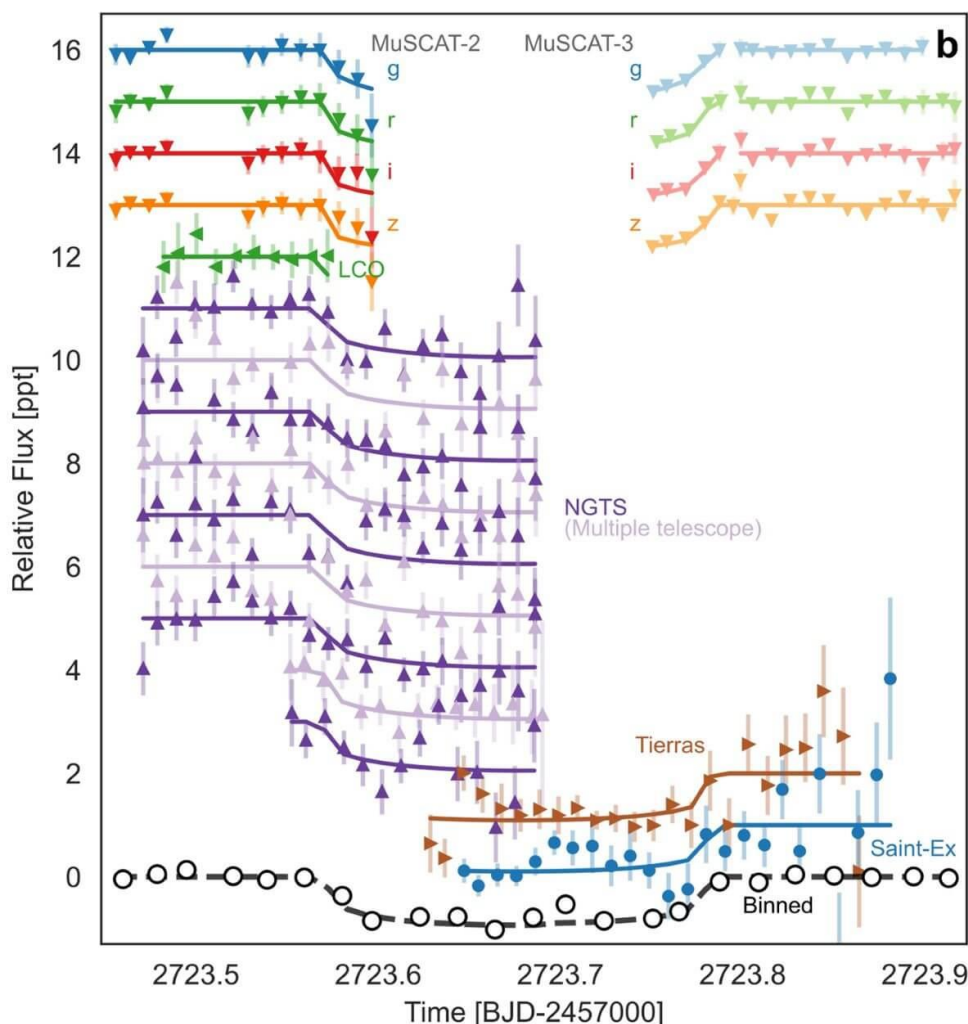
HD 110067はTESSによって2020年と2022年にそれぞれ約27日間観測されており、今回の研究以前の観測データの分析で公転周期約9.11日の「HD 110067 b」と、約13.67日の「HD 110067 c」が見つかっています。一方で、この2つ以外の惑星によるものとみられる恒星の減光も観測されていたものの、それらを惑星であると特定するには情報が不足していました。まず、いくつかの減光のうち、2020年と2022年の観測期間に1回ずつ観測され、減光度合いが類似しているペアの観測データが2種類あります。しかし、これらの観測データの間には約2年間の空白期間があるため、正確な公転周期は不明です。この空白期間については、ESA（欧州宇宙機関）とSSO（スイス宇宙局）の宇宙望遠鏡「CHEOPS」の観測データを分析することで、ペアの観測データの1種類については、公転周期が約20.52日の「HD 110067 d」であると特定されました。

これら3つの惑星は、隣り合う惑星の公転周期の比がそれぞれ3:2であり、軌道共鳴の関係にあると推定されます。3つの惑星が軌道共鳴の関係にあるということは、他の惑星も軌道共鳴の関係にある可能性があることを示しています。HD 110067の観測データからは他の惑星によるものかもしれない減光も見つかっているため、そのような可能性は十分にあります。

■新たな惑星を発見し、6つとも軌道共鳴の関係にあることが判明！

研究チームはまず、軌道共鳴の関係性から、HD 110067 d との公転周期の比が 3:2 となる、公転周期が約 30.79 日の惑星の同定を行いました。TESS による 2020 年と 2022 年の観測データにはペアの観測データがもう 1 種類あるため、これがその惑星ではないかと仮定して分析を行いました。いくつかの力学的な条件を満たすことから、この観測データは公転周期約 30.79 日の惑星「HD 110067 e」と同定されました。

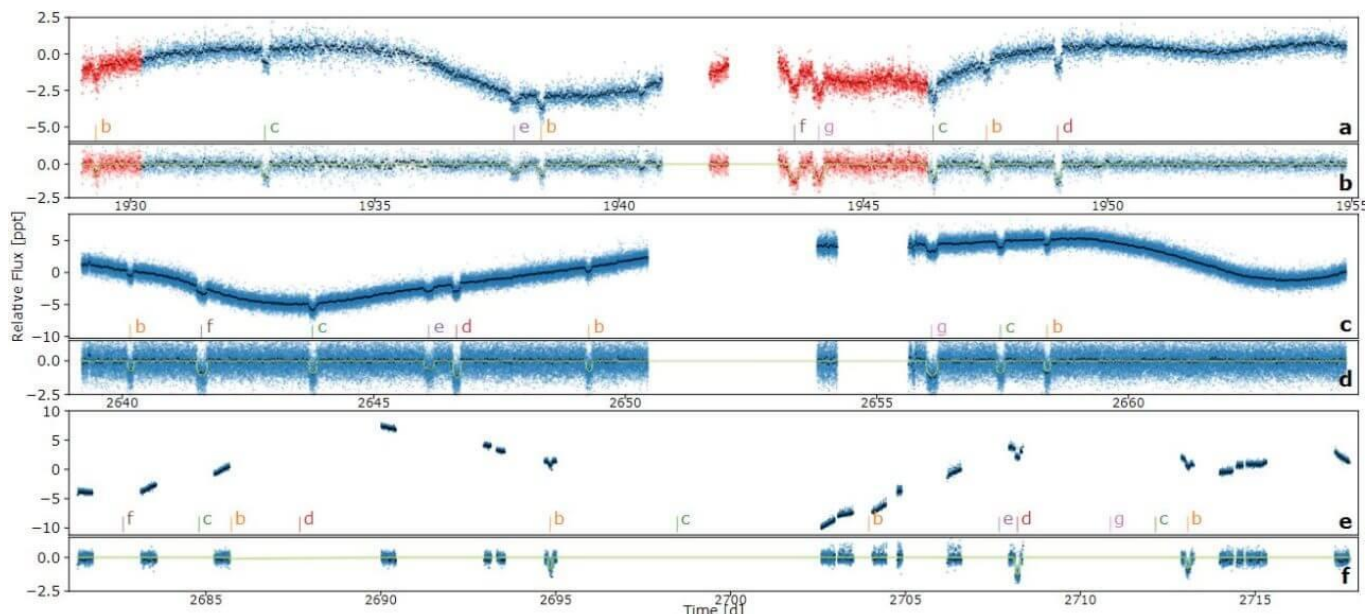
一方で、TESS の観測データにはこれら 4 つの惑星のいずれにも当てはまらない観測データがまだいくつか存在しています。これらの観測データは、2 つの惑星がさらに未発見で眠っている可能性を示していますが、それぞれの惑星候補は 2022 年に 1 回ずつしか観測されていないため、これだけでは公転周期を同定することは不可能です。そのため、研究チームは公転周期の候補となる 50 通りの値の中から絞り込みを行い、それぞれ隣り合う惑星同士の公転周期の比が 4:3 となる約 41.06 日と約 54.77 日であると推定しました。



【▲図 3: HD 110067 f の存在を示す、HD 110067 の明るさの変化のグラフ。凹んでいる箇所が、恒星の手前を惑星が通過した時間帯です。2022 年 5 月 23 日から 24 日にかけて、MuSCAT2、MuSCAT3、LCO NGTS、Tierras、SAINT-EX が観測を行い、統合することで連続的なデータを得ました (Credit: R. Luque, et al.より東京大学等が改変)】

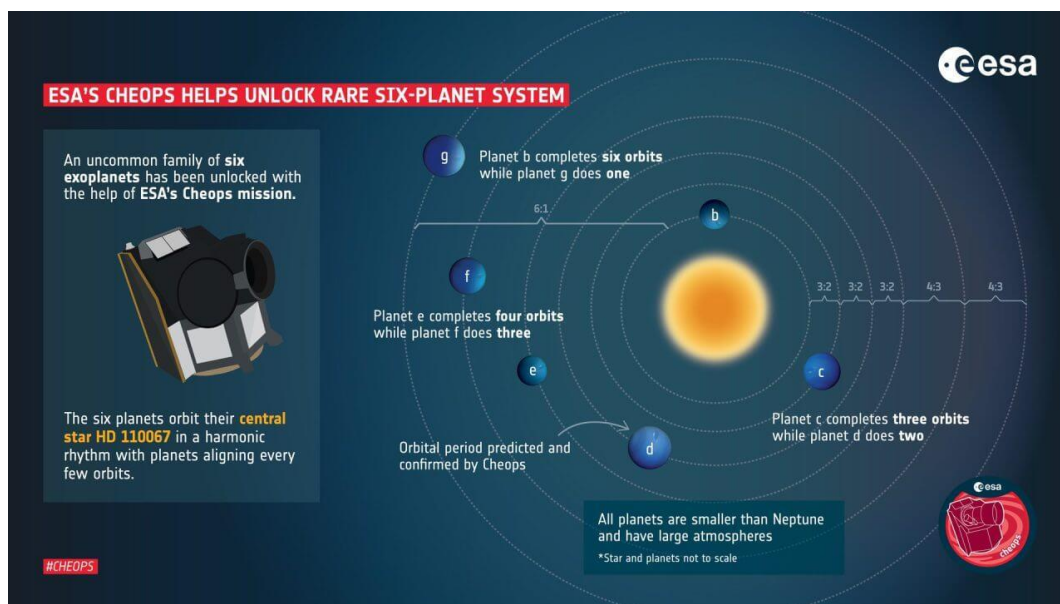
次に、観測データが惑星によるものであることを証明するため、2 つの候補のうちの 1 つである公転周期約 41.06 日の惑星候補について、2022 年 5 月 23 日から 24 日にかけて世界中の様々な天文台が観測を行いました。観測は、MuSCAT チーム(※2)の 2 つの観測装置 (MuSCAT2 と MuSCAT3)、LCO (ラス・カンパナス天文台)、NGTS (次世代トランジットサーベイ)、Tierras、SAINT-EX が協力して同時に観測を行いました。これらの観測データを合わせた結果、惑星のトランジットが観測され、「HD 110067 f」の同定に成功しました。

※2...MuSCAT チームは、日本・岡山県の 188cm 望遠鏡 (MuSCAT1)、スペイン・テネリフェ島の 1.52m 望遠鏡 (MuSCAT2)、アメリカ・ハワイ島の 2m 望遠鏡 (MuSCAT3)、オーストラリア・ニューサウスウェールズ州の 2m 望遠鏡 (MuSCAT4) にそれぞれ設置された観測装置「MuSCAT シリーズ」を使用して研究を行うチームです。



【▲図 4: HD 110067 の明るさの変化のグラフ。それぞれ TESS による 2020 年 (a & b) と 2022 年 (c & d) の観測データ、および CHEOPS (e & f) の観測データを表します。2020 年の TESS の観測データの中で赤い部分は、月や地球の散乱光によってデータにノイズが多かった期間を表します (Credit: R. Luque, et al.)】

残された最後の 1 つの観測データである、公転周期約 54.77 日の惑星候補については、2020 年の TESS の観測データを解析することで同定が行われました。2020 年の観測データには、月や地球の散乱光によってデータに多くのノイズが含まれている期間があります。こうした期間のデータでは恒星の光の強さが不明瞭になってしまうため、通常は分析を行いません。研究チームはそのようなノイズの多い観測データを分析し、予測された公転周期の約 54.77 日に一致する減光のデータがあるかどうかを調査しました。結果、予測された通りの減光を示すデータが見つかったため、6 つ目の惑星である「HD 110067 g」の同定にも成功しました。また、先述の HD 110067 f と一致する減光のデータも見つかりました。



【▲図 5: HD 110067 の各惑星の公転軌道は単純な整数比で表されることを説明した図。左側には観測を行った CHEOPS の illustration がある (Credit: ESA)】

これらの結果から、研究チームはHD 110067には6つの惑星があること、それらが全て軌道共鳴の関係にあることを証明しました。6つの惑星は最も内側と外側で6:1の関係、また内側から順に54:36:24:16:12:9の軌道共鳴の関係にあることとなります。

■HD 110067は惑星科学における“化石”

	直径 (地球比)	質量 (地球比)	公転周期 (日)	比率
HD 110067 b	2.200 ± 0.030	5.69 ^{+1.78} _{-1.82}	9.113678 ±0.00001	3:2
HD 110067 c	2.388 ± 0.036	< 6.3	13.673694 ±0.00024	
HD 110067 d	2.852 ± 0.039	8.52 ^{+3.31} _{-3.25}	20.519617 ±0.00004	3:2
HD 110067 e	1.940 ± 0.040	< 3.9	30.793091 ±0.00012	
HD 110067 f	2.601 ± 0.042	5.04 ^{+1.89} _{-1.94}	41.05854 ±0.0001	4:3
HD 110067 g	2.607 ± 0.052	< 8.4	54.76992 ±0.0002	

【▲図 6: 今回の研究で明らかにされた、HD 110067の各惑星の直径、質量、および公転周期の各データ (Credit: 彩恵りり)】

3つ以上の惑星が軌道共鳴の関係にある惑星系には、例えばTOI-178やTRAPPIST-1などがあります。しかし、これらの惑星系は研究において理想的ではない部分もあります。TOI-178は少なくとも1つの惑星が軌道共鳴から外れており、重力相互作用で軌道を変更させられた可能性を示唆しています。また、TRAPPIST-1は真の軌道共鳴の関係ではなく、偶然軌道共鳴をしているように見えるだけであるという研究もあります。

これに対し、HD 110067の6つの惑星は真の軌道共鳴の関係にあり、約81億年前に惑星系が形成されてから公転軌道が変化していないと考えられています。つまり、HD 110067の惑星は現在の公転軌道と誕生時の公転軌道が一致するため、惑星の形成をシミュレーションする際に大きな制約が生まれることとなります。

HD 110067の6つの惑星は、それぞれ地球と比較して、直径が1.940~2.852倍、質量は3.9~8.52倍であると測定されています(※3)。この数値から、いずれの惑星も亜海王星の性質を満たしており、おそらくは水素に富んだ豊富な大気を持つのではないかと考えられています。さらに、HD 110067は地球に近いため、5つ以上の惑星が恒星の手前を通過する恒星の中では最も明るいものとなっています。惑星の大気を通過した恒星の光を分析できれば、惑星の大気組成のような物理的性質の解明に役立つため、この点も重要です。

※3...質量のうち、3つは上限値のみが判明しています。詳しくは図6を参照。

研究チームに所属するMaximilian N. Günther氏はこの発見の重要性を「惑星系の形成と進化を研究するための化石のようなものだ」と喩えています。この発言が示すように、HD 110067の惑星系の発見は、これからの観測によってさらに重要性が増すことが期待されます。

■注釈: 亜海王星の定義

岩石惑星の代表である地球と、巨大氷惑星の代表である海王星の間にあたる直径や質量を持つと考えられる惑星に関しては、「亜海王星 (Sub-Neptune、サブ・ネプチューン)」の他に「ミニ・ネプチューン (Mini-Neptune)」や「スーパー・アース (Super Earth)」という語が使用されます。これらの言葉は直径や質量に関する厳密な定義が存在せず、文献によって定義が異なることもあります。また、亜海王星とミニ・ネプチューンにはほとんど差がありませんが、どちらかに統一された語でもありません。今回の記事での亜海王星という表現は原著論文に従っています。

あくまでもおおよその目安ですが、スーパー・アースという語は地球寄り、亜海王星やミニ・ネプチューンは海王星寄りな語なため、スーパー・アースは亜海王星やミニ・ネプチューンよりも小さな惑星に使用される傾向にあります。また、ケプラー宇宙望遠鏡の初期観測の結果をまとめた2011年の論文では、地球半径の1.25

～2倍までをスーパー・アースサイズ、2倍から6倍までを海王星サイズと定義したことから、スーパー・アースと垂海王星やミニ・ネプチューンを地球半径の2倍で区切っている文献も多くあります。

Source

R. Luque, et al. “A resonant sextuplet of sub-Neptunes transiting the bright star HD 110067”. ([Nature](#)) ([arXiv](#))

“[【研究成果】共鳴し合う6つ子の惑星を発見——全ての隣り合う惑星の公転周期が尽数関係を持つ惑星系HD 110067——](#)” 東京大学.

“[ESA's Cheops helps unlock rare six-planet system](#)”. (ESA)

[Daniel Clery](#). “Astronomers stunned by six-planet system frozen in time”. (Science)

[William J. Borucki, et al.](#) “Characteristics of planetary candidates observed by Kepler, II: Analysis of the first four months of data”. (The Astrophysical Journal)

[Edwin S. Kite, et al.](#) “Superabundance of Exoplanet Sub-Neptunes Explained by Fugacity Crisis”. (The Astrophysical Journal Letters)

文／彩恵りり

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/121100622/?P=1>

2023年の驚くべき科学的発見 11、人類の知はこれだけ広がった

“宇宙のさざ波”から脳の思考を翻訳する装置まで、最も魅力的な大発見の数々 2023.12.16



科学者たちは今年、気が遠くなるほど波長の長い重力波の検出に初めて成功した。この重力波は、イラストのようにお互いのまわりを回るブラックホールどうしが衝突・合体した後に生じた可能性が高い。

(ILLUSTRATION BY MARK GARLICK, SCIENCE PHOTO LIBRARY)

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

今年もまた、科学にとってすばらしい年となった。人類の科学研究の最新の成果はどれも興味深く、私たちに新たな謎を投げかけている。『ナショナル ジオグラフィック』が選ぶ、2023年で最も魅力的な大発見の数々をご紹介します。

1. 時空を伝える巨大なさざ波を検出

天文学者たちは初めて、気が遠くなるほど波長の長い重力波を検出した。これらの“宇宙のさざ波”は、数十億光年の彼方で相互に作用し、合体する超大質量ブラックホールからの遠いこだまである可能性が高い。研究者たちは、パルサー（パルス状の電波を発生しながら高速回転している中性子星）からの電波信号のかすかな時間の変化をとらえて巨大なさざ波を見つけた。

この発見は、宇宙の初期には考えられていたよりもはるかに多くの巨大ブラックホールがあったことを示唆している。そして新しいタイプの重力波の研究を続ければ、宇宙の起源を詳しく解き明かし、宇宙をつかさどる見えない物質や力をよりよく説明できるようになると期待される。（参考記事：[「途方もない重力波を検出、波長は数光年から数十光年、初の証拠」](#)）

2. 脳の思考を翻訳する装置、言葉を失った人々の希望に

米テキサス大学オースティン校の研究チームが、AIを利用した新たなシステムにより、人間の脳の活動を「翻訳」して文章を作るという画期的な**成果**を挙げた。「セマンティック・デコーダー」と呼ばれるこの装置は、機能的MRIスキャンによってポッドキャストや画像などに反応した脳の活動を抽出する。思考を順に翻訳するわけではなく、特定の言葉や画像に反応した脳の活動パターンの辞書を作り、この辞書を使って、脳の活動とその人が考えていることを照合する。

AIの言語生成アルゴリズムを利用したこの技術は、現時点ではごく初期の段階にあるが、すでに内面のプライバシーや意思が関わらない状況での倫理について難しい問題を生みだしている。しかし、コミュニケーションに障害のある人々の家族にとっては、新たな希望をもたらす研究だと言えるだろう。

3. 史上最大の動物は古代のクジラ？

3700万年以上前に、現在のペルーにあたる地域の沿岸に生息していた古代クジラの化石を新たに**分析**したところ、体長が17~20m、体重が300t以上あった可能性が明らかになった。科学者たちの推定が正しければ、これまでに知られている地球上の動物の中では最大になる。シロナガスクジラは、体長は約30mと長いものの、体重は200t前後しかないからだ。（参考記事：[「最大の動物シロナガスクジラより重い？ 新種の古代クジラ発見」](#)）
ギャラリー：2023年の驚くべき科学的発見 11 写真と画像 7点（写真クリックでギャラリーへ）



ペルー南部で発見された古代クジラ「ペルケトウス・コロッス」は、史上最大の動物だったのだろうか？

(PHOTOGRAPH BY GIOVANNI BIANUCCI) [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

複数の研究機関の古生物学者からなる研究チームは、ティラノサウルス・レックスをはじめとする肉食恐竜には、このイラストのように、鋭い歯を覆う唇があった可能性が高いとしている。（ILLUSTRATION BY MARK P. WITTON）
[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

ケニアのニヤヤンガ遺跡での発見によると、古代の初期人類はこんな道具を使っていたようだ。彼らは写真左のような大きな石を打ち割って鋭利な破片を作っていた。（PHOTOGRAPH BY T.W. PLUMMER, J.S. OLIVER, AND E. M. FINESTONE, HOMA PENINSULA PALEOANTHROPOLOGY PROJECT）

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

[次ページ：ティラノサウルスに唇があった](#)

4. ティラノサウルスに唇があった

恐竜の解剖学的構造を、鳥類や爬虫類など恐竜に似ている現代の動物と比較した結果、古生物学者たちが驚くべき**結論**に達した。ティラノサウルス・レックスとその近縁の肉食動物には、鋭い歯を覆う唇のような軟組織があった可能性が高いというのだ。唇は、攻撃力を高めるために、鋭い歯を保護していたという。（参考記事：[「ティラノサウルスに「唇」があった可能性、なぜ唇が重要なのか」](#)）

5. 300万年前の石器に見られる初期人類の創意工夫

ケニア南西部で、パラントロプスの化石とともに石器が**発見**された。パラントロプス属は、現生人類を含むヒト属とは異なる系統の初期人類だ。300万年前のものと思われる道具の発見は、ヒト属以外の初期人類が石器を作る技術を編み出していた証拠となるだけでなく、道具の発達がこれまで考えられていたよりも早かったことを示唆している。これまでは、パラントロプスは大きな歯と顎を持っていたため、食べ物を細かく砕く

のに石器を必要としなかったと考えられてきたが、今回の発見はその先入観を覆した。（参考記事：[「300万年前の「意外な」石器を発見、作者はヒト属でない可能性」](#)）

ギャラリー：2023年の驚くべき科学的発見 11 写真と画像 7点（写真クリックでギャラリーへ）

6. 真核生物の起源が大幅にさかのぼる新説

オーストラリアなどの古代の岩石から抽出された[化学的証拠](#)により、約16億年前から8億年前までの古い時代に、複雑な細胞である真核細胞がすでに一般的になっていたことが示された。これは、驚くほど早い時期から複雑な生命が存在していたという説を裏付けるものだ。真核生物（明確な細胞核をもつ細胞からなる生物）の進化は、これまでほとんど解明されていなかった。

今回、国際的な研究チームが探したのは、真核生物が細胞膜を形成する際に利用する分子の副産物だった。オーストラリアのバーニー・クリーク層から採取されたこれらの分子サンプルは、真核生物の存在を示す化学的証拠を、遺伝子や微化石の証拠とよりよく一致させることができた。（参考記事：[「真核生物の最古の証拠発見か、16億年前、複雑な生物の進化に新説」](#)）

7. これまでに発見された系外惑星の数、5500を突破

天文学者が太陽系外の惑星を初めて発見してからおよそ30年後の2023年8月、新たに6つの系外惑星が見つかり、既知の系外惑星の数が5500を突破した。TESS衛星などの宇宙望遠鏡を使った系外惑星探査は、銀河系全域から驚くほど多様な新しい世界を発見しつづけている。さらに、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡などの強力な望遠鏡が、系外惑星の詳細を明らかにしつつある。例えばK2-18bは、地球と海王星の中間の大きさの系外惑星で、厚い大気の下に広大な海が広がっている可能性がある。（参考記事：[「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で原始の宇宙へ」](#)）

【動画】5000個の系外惑星：発見のペースを「音」で感じる

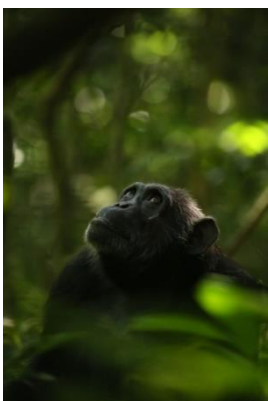
VIDEO BY NASA/JPL-CALTECH/M. RUSSO, A. SANTAGUIDA (SYSTEM SOUNDS)

[次ページ：チンパンジーも閉経する](#)

8. チンパンジーも閉経する

生物学者は長年、動物が生殖可能な年齢を過ぎても長生きする進化上の利点に頭を悩ませてきた。これまで、閉経を経験するヒト以外の動物は、シャチ、コビレゴンドウ、イッカク、シロイルカ、オキゴンドウなど、片手で数えられるほどしか知られていなかった。しかし、14歳から67歳までのチンパンジーの尿に含まれるホルモンを長期にわたって[分析](#)したところ、少なくともウガンダのキバレ国立公園にすむチンパンジーたちは、ヒトと同様に50歳前後で閉経を迎え、その後も生き続けることがわかった。

クジラやイルカの研究は、高齢のメスが若い世代の子育てに貢献していることを示唆している。けれども、チンパンジーは自分の子どもの世話しかしないため、同じ説は当てはまらないようだ。チンパンジーについては、高齢のメスが閉経すると繁殖の競争が減るのではないかという説がある。（参考記事：[「チンパンジーも閉経する、ヒト以外の霊長類で初の報告」](#)）



チンパンジーは、生殖可能な年齢を過ぎたメスが長生きする数少ない種の1つであることが確認された。

(PHOTOGRAPH BY KEVIN LANGERGRABER, ARIZONA STATE UNIVERSITY)

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

キューバのハルディネス・デ・ラ・レイナ国立海洋公園内に茂るマングローブの中を泳ぐアメリカワニ。コスタリカで今年行われた研究で、アメリカワニのメスは、オスがいなくても子どもを作れることが明らかになった。(PHOTOGRAPH BY DAVID DOUBILET, NAT GEO IMAGE COLLECTION)

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

土星の衛星の中で6番目に大きいエンケラドス。イラストにはエンケラドスが水蒸気を噴出する様子が描かれているが、このようにエンケラドスから放出された氷の粒を分析したところ、生命にとって不可欠なリンが含まれていることが明らかになった。(ILLUSTRATION BY TOBIAS ROETSCH, FUTURE PUBLISHING/GETTY IMAGES) [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

9. アメリカワニの“処女懐胎”、初めて確認

中米コスタリカの公園で飼われていたアメリカワニ (Crocodiles acutus) のメスが、オスなしで子どもを作った。有性生殖する動物が単独で子どもを作る「単為生殖」という現象は、個体数が極端に足りない状態に動物が直面したときに見られがちだ。これまでに、絶滅の危機に瀕している[カリフォルニアコンドル](#)、数種のサメ、コモドドラゴン、ある種のヘビなどで報告されているが、ワニでの報告はなかった。(参考記事: [「動物の“処女懐胎”、なぜできる? ヒトではなぜ無理なのか」](#))

今回の母ワニは約16年間、他のワニと接触したことがなく、卵の中で死亡した胎児の遺伝子を[分析](#)したところ、母親の部分的クローンであることが確認された。今回の個体は飼育下にあったが、この発見は野生の近縁種にも関わりがあるだろう。(参考記事: [「ワニの単為生殖を初確認、実は恐竜にも関わる重要な発見」](#))

10. ヒトの多様性を反映した新しいヒトゲノム参照配列「パンゲノム」を公開

米国立衛生研究所 (NIH) は今年、研究者がヒトについて研究する際に利用するヒトゲノムの参照配列「パンゲノム」を約20年ぶりに更新して[公開](#)した。この新しいモデルは、以前の参照配列に比べて民族的、人種的にはるかに多様で、ヒトの多様性をより捉えたものになっている。これは、個別化した医療を進めるために欠かせないステップだ。(参考記事: [「一人ひとりに最適な医療を届ける「精密医療」とは」](#))

新しいパンゲノムには、現在は47人のゲノム配列が含まれているが、最終的には約700人のゲノム配列が含まれることになっている。従来の参照ゲノムは基本的にたった1人のゲノムから得られたもので、それ以外のデータのほとんどがヨーロッパ系の人々のものだった。NIHによれば、2人の人間のゲノムは通常99%以上同一であるが、個人差を明らかにすることができれば、病気へのかかりやすさに関する重要な洞察が得られ、治療の本質にかかわる判断の指針になるという。

11. 土星の衛星エンケラドスでリンを発見

新たな化学的証拠から、土星の衛星の中で6番目に大きいエンケラドスが生命を育める可能性が出てきた。科学者たちは今年、エンケラドスの海にリンが含まれていると[発表](#)した。リンは、炭素、水素、窒素、酸素、硫黄に続いて生命の維持に欠かせない第6の元素であり、エンケラドスではすでに他の5つの元素は見つかった。土星探査機カッシーニの宇宙塵分析装置が採取したエンケラドス由来の氷の粒からリンが検出されたことで、この氷の衛星は、地球外生命体が生息する有望な候補地となった。(参考記事: [「土星の衛星エンケラドスからリンをついに検出、生命に必須の元素」](#))

ギャラリー: 2023年の驚くべき科学的発見 11 写真と画像7点 (画像クリックでギャラリーへ)

文=Dina Fine Maron/訳=三枝小夜子