

恐竜絶滅、最大の原因は「火山の冬」だった？ 新たな研究結果



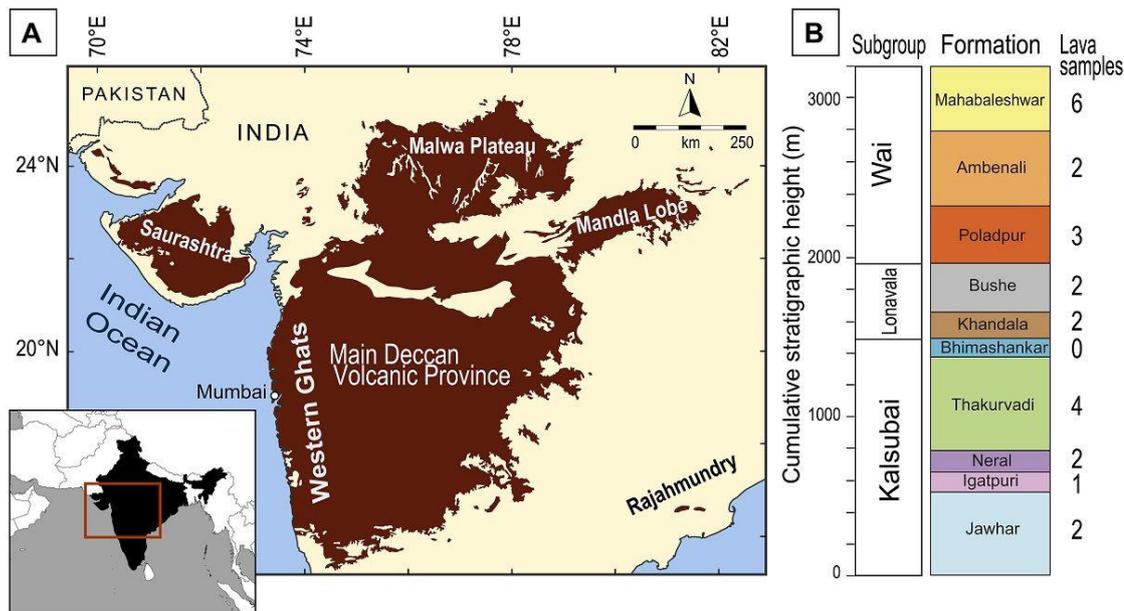
David Bressan | Contributor



火山地帯を歩き回るティラノサウルスの想像図 (Getty Images)

大規模な火山噴火によって引き起こされた気候変動が、最終的に恐竜絶滅につながる環境を作り出した可能性があるとの研究論文が発表された。隕石のみで恐竜が絶滅に追い込まれたとする従来説に異を唱える研究結果だ。メキシコ湾の地下で 6500 万年前の衝突クレーターが発見されて以来、非鳥類型恐竜が絶滅した最大の原因は、同時期に起きた巨大火山噴火だったのか、それとも小惑星衝突だけだったのかをめぐる議論が、科学者の間で繰り広げられている。

デカントラップは、西インドにある広大な、起伏に富む台地だ。溶融したマントル物質の塊が地表に噴出し、少なくとも 100 万年間、広範囲に及ぶ火山活動を維持したことで形成された。デカントラップの一部では、火山層の厚みが 2km を超えるところもあり、陸上では過去 2 番目に大きな規模の火山噴火とされている。



インドのデカン高原にある巨大火成岩岩石区「デカントラップ」。巨大火山活動で噴出した大量の溶岩で形成された火成岩台地 (Callegaro et al.2023/Science Advances [Licensed under CC BY 4.0](#))

火山活動が恐竜絶滅に関与したかどうかを解明するために、今回の研究では、白亜紀の終わりまでの 20 万年間にデカントラップ噴火が環境に及ぼした影響を調べた。研究を行ったカナダ・マギル大学などの国際チームは、冷える溶岩の中で形成される鉱物の内部に閉じ込められた微量の元素を調べることで、火山性の硫黄とフッ素の当時の放出量を再現することに成功。地球への小惑星衝突が起こる前に、硫黄の放出による世界規模の気温低下（火山の冬として知られる現象）が引き起こされていた可能性があることを明らかにした。

論文の共同執筆者で、マギル大教授のドン・ベイカーは「恐竜の絶滅より前の時代に、何十年も続いた可能性のある火山の冬が繰り返し起きたことで、気候条件が不安定になっていたことが、今回の研究によりほぼ確実に示された。この気候の不安定化が、あらゆる種類の動植物にとって生存が困難な状況を生じさせ、恐竜絶滅の条件を整えたと考えられる。それゆえ今回の研究は、哺乳類の台頭と進化につながったこの重大な絶滅事象を説明する助けになる」と説明した。

[2021年に発表された研究](#)では、デカントラップから、暴走温室効果を引き起こすのに十分な量の二酸化炭素が放出された可能性があることが明らかになっている。このシナリオでは、火山の冬に続いて地球温暖化が進行し、環境ストレスを増大させた。小惑星の衝突は、恐竜にとってまさに最後の一撃となった。

今回の論文「[Recurring volcanic winters during the latest Cretaceous: Sulfur and fluorine budgets of Deccan Traps lavas](#)」は、米科学誌 Science Advances に掲載された。追加資料とインタビューは[マギル大](#)の Keila DePape より提供された。(forbes.com 原文)

<https://news.yahoo.co.jp/articles/bcebf692f2f6ef5c6c3f84e6961d73e07faa7880>

宇宙人に片思い? ... 「生命存在する間接的証拠の有無、科学で検証できる時代」

12/23(土) 12:30 配信 **読者新聞** オンライン

● 彗星からの「返信」を受け取る計画のイメージ

1983年 わし座のアルタイル (彗星)
約17光年
2023年
彗星方面からの電波を JAXAの大形アンテナで受信

● 宇宙人探査に関する主な出来事

1960年	米国で知的生命からの電波を探えようとする世界初の「オズマ計画」実施
84	全米科学財団などが資金援助する非営利組織「SETI研究所」が米国で設立
99	電波による日本初の宇宙人探査実施
2009	日本各地で同時観測する「さざんか計画」実施
10	日本主導の世界同時観測「ドロシー計画」開始
16	史上最大規模の宇宙人探査計画「ブレイクスルー・リッスン」開始(10年間)
23	日本で彗星に送信した電波の返事を受け取る試み

● 地球外生命の誕生に必要な条件

1 水が液体で存在できる温度

天王星 木星 火星 金星 地球 水星 太陽

遠すぎると低温で水に
液体の水が存在する適温のゾーン
恒星に近すぎると高温で水は蒸発

2 生命に適した大気を持てる大きさ

小さすぎると大気を持ってない
大きすぎると水素やヘリウムの大気が残ったままで生命に不都合

これまでに見つかった太陽系以外の惑星は約20億個。条件を満たすのは約20億個

● 広い宇宙のどこを探す? — 共通の「目印」がカギ

地球から観測
超新星爆発など目立つ天体現象
宇宙人がいれば、天体現象を観測しようとするほかの宇宙人に向けて信号を送るのでは?

<図表>彗星からの「返信」を受け取る計画

「**宇宙人**」は存在するのか——。この長年の謎に迫ろうと、宇宙人からの電波をキャッチする試みや生命を育む条件のそろった星を探す研究が進められている。国内では今夏、「彗星」からの電波を受信・解析するユニークな取り組みも始まった。広大な宇宙をどう調べれば発見できるのか、研究者たちは知恵を絞っている。

(中田智香子) [「ワレワレハ宇宙人ダ」、17光年先から返事そろそろ!?...40年前の彦星宛てメッセージに](#)

40年前、彦星に”ラブレター”

長野県にある[宇宙航空研究開発機構](#) (JAXA=ジャクサ) の大型アンテナで8月、宇宙人からの「返信」を受け取る試みが行われた。40年前、地球の約17光年先の「わし座のアルタイル」(彦星)に向け、人類を紹介する画像など東京大教授らが考案した宇宙人へのメッセージを含む電波を送信しており、打ち返しを期待して企画されたものだ。中心になったのは、「SETI(地球外知的生命探査)」研究の第一人者、[鳴沢真也](#)・兵庫県立大専任講師。JAXAが協力し、宇宙探査機との通信用アンテナ(直径64メートル)を使って電波を収集した。ただ、アルタイルは表面温度が7000~8000度の恒星で、周囲を回る惑星も見つかっていない。鳴沢さんは「研究が進んだ今では、当時ほど『アルタイル人』の存在は期待できない。けれど、宇宙のどこにも知的生命がいいると考えるのは不自然でしょう」と指摘。現在、データの解析を進めており、来春頃には結果が出る見通しという。

スピルバーグ監督ら研究費を寄付

宇宙人からの電波を受信する試みは1960年の米国に遡る。その後、大学や非営利組織などのSETI研究拠点に、映画「E.T.」を手がけた[スティーブン・スピルバーグ](#)監督や、女優ジョディ・フォスターさんらが多額の寄付を行い、研究を支えてきた。現在は史上最大規模の「ブレイクスルー・リッスン」計画が進む。資産家から1億ドルの資金提供を受け、米カリフォルニア大バークレー校を中心に2016年に始まった。10年間で100万個以上の恒星などを大型望遠鏡で調べる予定だ。日本での取り組みにも歴史がある。1999年、東海大の藤下光身(みつみ)名誉教授が国内初の電波探査を実施。2009年には全国8か所で同時観測する鳴沢さん主催の「さざんか計画」が行われ、10年には世界15か国18観測所で合同観測を試みる日本主導の「ドロシー計画」が実現した。だが、これまでに宇宙人由来と確認できる電波は捉えられていない。最大の要因は、宇宙の広さにある。銀河系内には数千億個の恒星があるが、密度は「太平洋にスイカが2個浮いている」程度という。観測可能な範囲に宇宙人がいても、電波の波長や方角といった様々な条件を満たして発見するのは相当難しそうだ。

[次ページは：共通の関心事が確率上げる秘策](#)

共通の関心事が確率上げる秘策

しかし、秘策はある。[宇宙人](#)との共通の関心事になる目印として、寿命を迎えた星が大爆発を起こす「超新星爆発」などの目立つ現象を利用するアイデアだ。京都大の瀬戸直樹助教(天体物理学)は「自らの存在を知らせたい宇宙人がいれば、こうした天体現象を観測する別の宇宙人に信号を送るのでは」と考え、いつどの方角を観測すべきかを計算した。「共通の目印を利用することで発見の確率を上げたい」と話す。では、地球外生命はどの辺りにいるのだろうか。

系外惑星が地球外生命探査の鍵

「『系外惑星』が生命探査の近道」と話すのは、自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター(東京)の[田村元秀](#)センター長だ。系外惑星とは太陽系の外にある惑星のことで、生命の誕生・維持に特に重要なのが水と大気だ。水が液体で存在するには恒星からの距離が重要で、生命に適した大気を持てるかは惑星の大きさにも左右される。これまで確認された系外惑星は約5500個で、温度や大きさが「ちょうど良い」ものが20個ほどあるという。田村さんは「観測技術が進歩し、生命が存在する間接的な証拠の有無を科学的に検証できる時代になってきた」と力を込める。

<https://forbesjapan.com/articles/detail/68288>

2023.12.28

太陽系近くの系外惑星に「80億年前に誕生の微生物」が生息か、最新統計分析



[Bruce Dorminey | Contributor](#)



銀河系内にある生命存在可能な岩石惑星のイラスト (NASA/JPL-Caltech/R. Hurt) [全ての画像を見る](#)

太陽系から約 40 光年の距離にある赤色矮星トランプスト 1 を公転する 7 つの地球サイズの岩石惑星を描いた想像図 (NASA/JPL-Caltech)

興奮状態の宇宙人たちが、戦いの相手を探し求めて宇宙を巡っているというのは、今なお大半の SF 作品に欠かさないアイデアだ。だが「ファーストコンタクト」の相手は、ダース・ベイダーよりも太陽系外のアメーバになる確率の方がはるかに高い。単純な生命が大量に存在するなら、それは古くからの存在でもあり、生命を現在育てている惑星の候補全体の約 3 分の 1 で、80 億年以上前に出現したと考えられるというのが自身の主張だと、天文学専門誌 The Astrophysical Journal に最近掲載された研究論文を単独で執筆したピエロ・マドーは、筆者の取材に応じた電子メールで説明している。

80 億年は、太陽系の年齢のほぼ 2 倍に相当する。

米カリフォルニア大学サンタクルーズ校の特別教授 (天体物理学) を務めるマドーは論文の中で、スペクトル型が G 型や K 型の主星を公転している地球類似惑星で微生物が見つかることが、地球からどのくらい近くで期待できるかを統計的に推定するための実用的なロードマップを提示している。

マドーによると、太陽から 326 光年以内には、恒星のハビタブルゾーン (生命生存可能領域) 内にある岩石惑星が 1 万個存在する可能性がある。ハビタブルゾーンは、恒星の周囲で、惑星の表面に水が液体で存在するのに適した条件の領域で、このような惑星を「温暖な地球型惑星 (TTP)」と呼ぶことにする。

初期の星形成が重要だった

マドーによれば、太陽近傍での TTP の形成は間欠的で、約 100 億~110 億年前の星形成が非常に活発だった時代から始まった可能性が高い。その後、約 50 億年前にピークを持つ新たな星形成活動が起こり、これによって太陽系が形成された。天の川銀河 (銀河系) の伴銀河の 1 つ、いて座矮小楕円銀河が、過去 3 回にわたって銀河系の恒星円盤に衝突したことが、天文学研究から判明しているとマドーはいう。太陽系の形成は、いて座矮小楕円銀河の 1 回目の通過によって引き起こされたとする説は、信憑性が高いように思われるとのことだ。

マドーによれば、大半の TTP は太陽系より古い (45 億年より前に形成された) という。この TTP のうちのどのくらいの割合が、ゆくゆくは単純な微生物が発生する可能性があるほど「地球に類似」した「生命存在可能な環境」だったかについては不明だ。

もし K 型星を公転する TTP の 1% 以上で、地球の生命誕生と同じくらい早期に微生物が発生したとすると、最も近い「生命を宿している地球類似惑星」は、65 光年先にあるだろうと、マドーは論文の中で指摘している。

[次ページ >アビオジェネシス \(無機物からの生命発生\) の頻度の解明が鍵に](#)

すべての鍵は「アビオジェネシス (無機物からの生命発生)」の頻度を解明することだ。

アビオジェネシスは展開が速いとし、単純な生命は最終的に「すべての」TTP で発生するとする 2 つの仮定を立てようと、マドーは続ける。そうすると、今回の母集団研究では、地球に最も近い生命を宿す惑星は 16 光年未満の距離にあると予測される。だが、もし将来の調査でこの範囲内に生命存在指標が見つからない場合は、2 つの主要な仮定のうちの 1 つを見直す必要があるという。

それでも、次世代の大型地上観測施設と観測機器を用いた、生命居住可能性指標や生命存在指標の探索には、慎

重なる楽観論を唱える理由があるかもしれないと、マドローは述べている。

地球外文明の発見についてはどうか？

天文学者で、地球外知的文明探査（SETI）の先駆者の故フランク・ドレイクは、1961年に発表した有名な「[ドレイクの方程式](#)」で、恒星間距離の通信を活発に行っている知的文明が銀河系にいくつ存在する可能性があるかに関する複数の確率論的なパラメーターを設定した。今日「N」以外のドレイクのパラメーターの多くは、代入する数値が明らかになりつつある。「人類と交信できるかもしれない（地球外）文明の数」を与えるパラメーターNに対しては、人類が生存している間に答えが得られる可能性は低い。

ドレイクの方程式には、時間や年齢が明示されていない。つまり、ドレイクの式では全体の一部しかわからないと、マドローは指摘している。太陽近傍領域にある TTP の大半がいつ形成されたかや、微生物が豊富に存在するならば、微生物の出現は通常、地球の生命誕生の前か後か、などの疑問に答えるには、別の数学的アプローチが助けになるかもしれないという。

それでも生命は非常に希少だと判明するかもしれない

マドローによれば、生命存在指標は検出が極めて難しくなるという。地球から検出すべき生命存在指標が 3260 光年以上の範囲内に存在しないほど、生命は非常に稀な存在である可能性もあると、マドローは説明している。

すぐ近くの地球外知的生命体の存在については、どのようなことが推測できるだろうか。

マドローによると、より古い「地球類似惑星」ほど、環境を変化させ、検出可能な酸素を含む生命存在指標を生成する能力を持つ、十分に複雑な生命を発達させている可能性が高くなるかもしれない。

近々稼働する最新の地上および宇宙望遠鏡により、マドローのモデルに代入するための、より高精度の統計データが得られる日も近いだろう。だが、やはりドレイクに負うところは大きい。

フランク・ドレイクは、生命存在可能な惑星の数について考えるための、時代を超越した枠組みを科学者らに提供したと、米コーネル大学の天文学者で、同大のカール・セーガン宇宙生命研究センターの所長を務めるリサ・カルテネッガーは、筆者の取材に応じた電子メールで指摘している。自身にとって最もワクワクするのは、私たちがそれを突き止める一歩手前まで来ていることだと、カルテネッガーは述べている。（[forbes.com 原文](#)）翻訳＝河原稔

<https://uchubiz.com/article/new35940/>

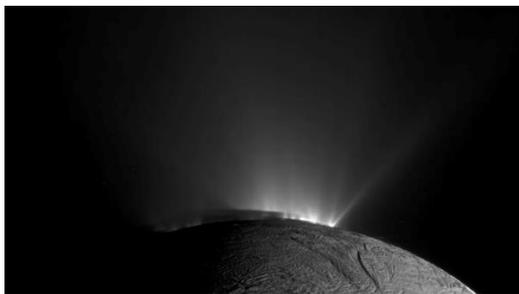
土星の衛星エンケラドスに生命の起源の鍵「シアン化合物」を確認

2023.12.28 07:00 [塚本直樹](#)

米航空宇宙局（NASA）の探査機「Cassini」（カッシーニ）が土星の衛星エンケラドスで生命の存在に関連する重要な成分を発見したとして、Nature に[報告](#)されている。

Cassini は 1997 年に打ち上げられた探査機で、2004 年から[土星](#)の軌道から土星のほかにエンケラドスなどの衛星を観測。Cassini は 2005 年 3 月にエンケラドスでわずかな大気存在を確認している。エンケラドスは、内部から氷を吹き上げている（プルーム）ことも判明している（Cassini の運用は 2017 年に終了）。

今回、研究者が Cassini の観測データを分析したところ、シアン化合物の存在が確認された。シアン化合物といえば、生物にとって猛毒である青酸カリが有名だが、シアン化合物は生命の起源の鍵と考えられている。研究者はまた、地下から氷のプルームを供給している海が強力な化学エネルギー源を保持していることも突き止めている。今回の論文の主執筆者でハーバード大学の学生である Jonah Peter 氏は「我々の研究は、エンケラドスが生命の構成要素を作り出し、代謝反応によって生命を維持するために、最も重要な分子のいくつかを提供している証拠となる」と述べている。



土星の第2衛星であるエンケラドスの表面で確認されている間欠泉(出

典 : NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute) 関連リンク [Nature](#) [Space.com](#)

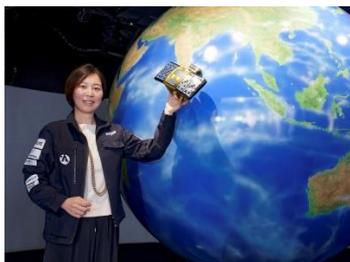
<https://uchubiz.com/article/int34771/>

弾丸より速い宇宙ゴミ、放置すれば日常生活が停滞-除去めざすアストロスケールの

現在地 2023.12.29 07:30 [日沼諭史](#)、[藤井涼](#) (編集部)、[田中好伸](#) (編集部)、[小口貴宏](#) (編集部)

地球の近くを周回している人工衛星は現在数千機あり、これから打ち上げが予定されている待機中のものは通信衛星だけでも5万機を超えられている。宇宙開発や宇宙データ利用のために打ち上げは今後ますます増加していくと思われるが、懸念点もある。それはスペースデブリと呼ばれる宇宙ゴミの存在だ。

地球の軌道を弾丸並の速さで周回するスペースデブリは、他の衛星や国際宇宙ステーション (ISS) にひとたび衝突すれば多大な被害をもたらす可能性がある。デブリがそのまま増え続けると衝突リスクが飛躍的に高まり、いずれは人工衛星や探査機などを打ち上げられなくなるかもしれない。そこで、スペースデブリを大気圏に落下させるなどして除去し、さらには今後の増加傾向にも歯止めをかけようと活動しているのが、日本の宇宙ベンチャーであるアストロスケールだ。2013年に同社が設立されてから約10年、事業がどのような状況にあるのかをアストロスケールの日本子会社で上級副社長を務める伊藤美樹氏に伺った。



話を伺ったアストロスケール 上級副社長 伊藤美樹氏 まるで宇宙船のような雰囲気のアストロスケール本社
スペースデブリ除去に立ち塞がる困難

アストロスケールは、現在最高経営責任者 (CEO) の岡田光信氏が立ち上げた宇宙ベンチャーだ。岡田氏は大学卒業後に当時の大蔵省に入省。いくつかの起業も経て、40代になってからスペースデブリ問題を知り、これを解決するために同社を設立したという。2015年には開発製造拠点となる本社を東京・墨田区に置き、現在では英国や米国、フランス、イスラエルにも子会社を設立している。

「スペースデブリ除去」や「軌道サービス」という括りで見れば競合は世界に約70社あるが、その多くが部分的な技術やサービスを提供する企業だという。スペースデブリ除去など軌道上サービスを提供する人工衛星やシステムの開発、運用に加えて、既存衛星のメンテナンスサービスなど「全部に取り組んでいるのは当社だけ」(伊藤氏) というのが強みだ。そもそも創業時に岡田氏がスペースデブリに着目したのは、参加した宇宙関連の学会で研究者らが重要課題として挙げていたことだという。研究者らは「このままでは宇宙が使えなくなる」可能性を指摘していたが、実際にスペースデブリの問題を解決しようとする具体的な動きはほとんどなく、ブルーオーシャンであると捉えてチャレンジを決めたという。しかし、スペースデブリを除去するにあたっては多

くの困難が伴う。1つは危険性の高さだ。地上から監視できている10cm以上の物体だけでも2万個を超えるとされ、それより小さなものは億単位に及ぶ。それらはただ宇宙を漂っているのではなく、多くが秒速7~8km、時速にすると2万5000km超の猛スピードで地球の周回軌道上を巡っている。しかも移動方向は1つ1つバラバラで、高速回転している場合もある。

なかにはロケットの上段がデブリになったものもあり、サイズはバス1台分に匹敵するのだとか。それらがピストルで発射された弾丸の何倍ものスピードで四方八方から迫ってくることを想像すれば、今の軌道上がどれだけ危険かわかりやすいかもしれない。大きな衝突がひとたび発生すると、それが引き金となって他の衛星などに伝播していく「ケスラーシンドローム」へと発展し、取り返しのつかない事態を招く恐れもある。



アストロスケール本社にある見学施設「オービタリウム」でデブリ捕獲の困難さを体感できる展示もドッキングプレートの模型

このように、超高速で飛び交っているスペースデブリをどのように捕まえるのか。アストロスケールが当初有望視していたのは粘着剤を利用した手法だ。

「サービサー」と呼ぶ捕獲用の人工衛星を打ち上げ、それに特殊な粘着剤を塗布したデバイスを搭載し、スペースデブリと軌道をあわせて徐々に接近し、粘着剤で捕獲するという流れだ。ところが、低軌道に存在する原子状酸素が粘着剤を劣化させ、粘着力を低下させてしまうことがわかった。

そのため同社は、代わりにモリのようなもので突く方法、投網を用いる方法、垂直の壁でも歩けるヤモリの手にも働いているファンデルワールス力を応用した方法など、世の中で開発・研究されているものも含めたさまざまな捕獲方法について実現性や課題を比較検討した。そして最終的に選択したのは「磁石」を使う方法だった。

デブリ減少を目指し取り組む2つの方向性

1つ目の方向性は「宇宙空間にあるスペースデブリを除去する」というものだ。形や大きさの異なるスペースデブリを捕獲するため、最も効率が良いとされるロボットアームを利用する。

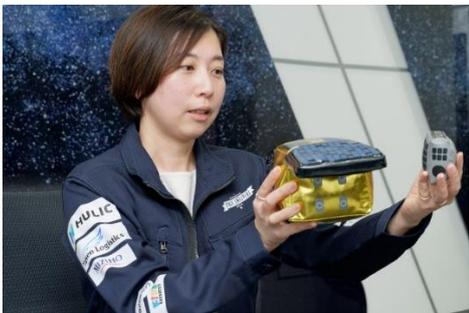
サービサーが搭載するカメラやセンサーで捕獲対象を検知し、スラスターで姿勢制御しながら接近した後、ロボットアームで捕獲。その後、大気圏への再突入軌道へとリリースし、デブリを燃え尽きさせる（もしくは安全に海に落とす）という手法だ。微小重力下であるため、アームの操作をわずかでも誤るとデブリを弾き飛ばしてしまいかねない難しさはあるが、人力ではなく、AIなどによる自動制御も考えられるとしている。

もう1つの方向性は「スペースデブリを増やさない」というものだ。具体的には、これから打ち上げる人工衛星にあらかじめ金属製の「ドッキングプレート」を取り付ける取り組みだ。

これは、一般のクルマが備えている牽引フックに近い考え方と言えるかもしれない。サービサー側には磁石を搭載しており、デブリのドッキングプレートに近づけば磁力で引き合って捕獲できる。その後はサービサーが内蔵しているプッシュロッドのようなものでデブリを引き剥がして大気圏に突入させる、という流れになる。

あらかじめドッキングプレートを人工衛星に搭載しておけば、打ち上げ後に役目を終えたものや事故などによってデブリ化したものを、より確実性高く捕獲できるようになる。すでに打ち上げ済みの人工衛星数百機にアストロスケールのドッキングプレートが搭載されており、今後打ち上げられる人工衛星の多くにも採用が決まっているという。なお人工衛星は通常、姿勢制御のための地磁気センサーを搭載しており、センサーへの影響を避けるために磁石がくっつく金属素材は使われない。そんななかで衛星の運用に影響しない形でドッキングプレート

を追加できたのは「かなりのブレイクスルーだった」と伊藤氏は振り返る。

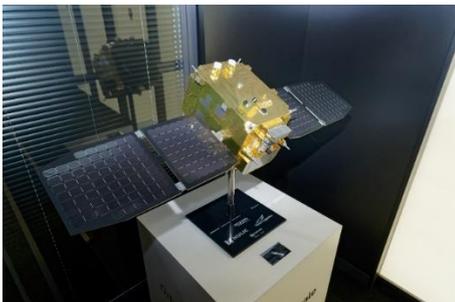


サービサーと模擬デブリの仕組みを説明する伊藤氏

「ELSA-d」の模型。模擬デブリがくっついている。実際の大きさは高さ 130cm、幅 90cm ほど。重量は模擬デブリの約 20kg と合わせて計約 150~200kg で、捕獲可能なデブリも 150kg 程度までを想定
サステナブルな宇宙に向け、2024 年新たなステップへ

同社では、すでにドッキングプレートと磁石を利用した実証実験も行っている。2021 年 3 月 21 日に打ち上げた実証衛星「[ELSA-d](#)」では、付随するドッキングプレート装着の模擬デブリを宇宙空間で切り離し、再度捕獲するといった試験を実施。2023 年には想定していた試験を全て終え、必要なデータが得られたとして、ELSA-d 自体を大気圏に突入させて処分する段階に入った。

次のステップは、2024 年 4 月までに打ち上げが予定されている実証衛星「[ADRAS-J](#)」のプロジェクトだ。過去に打ち上げられ、軌道上に放置された H-2A ロケット 15 号機の上段に接近し、カメラなどでその損傷度合いの確認を目指している。また、次の段階では実際に捕獲して軌道上からの除去を目指す。「それが完遂できれば、当社のデブリ除去サービスが本格稼働する大きな一歩になる」と伊藤氏は期待をかける。



2024 年に打ち上げられる「ADRAS-J」の 3 分の 1 スケールの模型

背面には自身がデブリ化した場合に備えてドッキングプレートを搭載する

遠い宇宙の話ではない、我々の日常に直結する問題

今や天気予報はもちろんのこと、自動車・飛行機・船舶の位置測位、災害監視や無線通信、安全保障など、宇宙は地上の生活に密接に関係している。「スペースデブリで衛星が使えない、あるいは新しく打ち上げられないとなると、人々の生活が停滞しかねないインパクトがある」と伊藤氏は警告する。「SDGs では 169 のターゲットがあるが、うち 4 割は宇宙空間を利用しなければ実現できない内容だ。その意味でも地球のサステナビリティだけでなく宇宙のサステナビリティも守っていく必要がある」と訴える。アストロスケールが目指す「サステナブルな宇宙」に向けてはまだまだ高いハードルが待ち受けているが、捕獲するだけでなく人工衛星運用のルール作り、衛星事業者向けの低コストでデブリ化を防げる仕組み作りなどに今後も貢献していきたいと語った。

<https://forbesjapan.com/articles/detail/68072>

2023.12.25

地球の希望になるか？「宇宙経済圏」で日本が勝つ方法



(写真左から) 上地 練 (Solafune) 新谷美保子 (Space Port Japan) 袴田武史 (ispace)

袴田武史 ©ispace 代表取締役 CEO。名古屋大学工学部機械・航空工学科に入学。米ジョージア工科大学大学院へ進学し、航空宇宙工学修士取得。帰国後はコンサルティング企業に入社。2010年ホワイトレーベルスペース・ジャパンを設立。同年より Google Lunar XPRIZE にチーム「HAKUTO」を率いて参加。13年に ispace を創業した。表紙には、「Forbes JAPAN 2017年2月号」以来、7年ぶり2度目の登場。

上地 練 ©Solafune 代表取締役 CEO。米カリフォルニア大学バークレー校で応用数学を専攻。在学中にスタートアップでエンジニアや VC を経験。人工衛星の増加と衛星データの利用ニーズの高まりに注目し、2020年に Solafune を創業した。「Forbes JAPAN 30 UNDER 30 2023」選出の際、「世界を数式で記述する」学問の理論物理学を研究してきたことから、「世の中のすべての事象を解明したい」と語っている。

新谷美保子 ©慶応義塾大学法学部法律学科卒業後、2006年弁護士登録 (TMI 総合法律事務所所属)。専門分野は、宇宙航空ビジネスに関する法務全般、宇宙法・航空法、新規事業立上げ、リスク管理、知的財産権など。13年米コロンビア大学ロースクール卒業後、宇宙航空産業に複数のクライアントを持ち、宇宙ビジネス法務を扱う。18年に「一般社団法人 Space Port Japan (SPJ)」設立理事に就任。

現代のビジネスにおいて最も注目されているキーワードである「気候変動」「地政学」「テクノロジー」。これら重点領域の交差点にあるのが「宇宙開発」だ。宇宙ビジネスの第一線で活躍する3人が「日本の未来」を語った。[Forbes JAPAN 2月号](#)は、「『地球の希望』総予測」特集。戦争、気候変動、インフレなど、世界を揺るがすさまざまな事象が起きる「危機と混迷の時代」。2024年の世界と日本の経済はどうなるのか？ 世界で活躍する96賢人に「今話したいキーワード」と未来の希望について聞いた。

ispace の CEO 袴田武史、衛星データ解析技術の開発・提供を行う Solafune の CEO 上地練、そして Space Port Japan 設立理事で、国内における宇宙法の第一人者である弁護士の新谷美保子による特別座談会。日本の宇宙産業を牽引する3人は、新しく生まれつつある宇宙経済圏を、いまだのように俯瞰しているのか？

—今回の特集では、気候変動と地政学、テクノロジーという、日本のビジネスのランドスケープを変えつつある重点領域に焦点を当てています。その3つの領域が最先端で交差する領域の一つが「宇宙」です。まずは皆さまの取り組みと、ビジョンについて教えてください。袴田さんは「経済圏を月まで広げたい」とのことですが、その背景にある考えとは？

袴田武史 (以下、袴田) : ispace では宇宙、特に月を中心とした、地球と月の間の「シスルナ」と呼ばれる経済圏を作っていくことを標榜しています。宇宙が、これから地球の問題解決にとって非常に重要な場になっていくからです。SDGs (持続可能な開発目標) に代表されるような、1カ国では解決できないグローバルな問題の多くは地球規模で解決する必要があります。すると、宇宙のアセットも活用しなければいけない時代が来る。ところが、宇宙はまだ経済合理性のあるかたちで利用できていません。その経済的合理性を牽引するのが、輸送費や打ち上げ費といった「輸送コスト」です。今後、宇宙での活動が増えるにつれ、輸送すべき物量も増えます。ただヒトや燃料、食料を地球から運ぶ場合、いずれも同じコストがかかる。そこで、宇宙や月面で得られる資源を活用することが経済的合理性を担保するためには必要だと考えています。

—2023年11月には、月面のレゴリス (月や小惑星上の堆積層や岩盤の細粒物) を掘削する月面探査用のマイ

クロローバーを発表しました。これは月面資源を活用するための下地作りでしょうか。

袴田：宇宙資源の売買に関する法整備が進みつつありますが、そのデモンストレーションの一環として発表しました。有望な宇宙資源の一つが、月にある「水の氷」です。掘削した氷を溶かせば水が得られ、さらに電気分解すれば水素と酸素が生成できる。水と酸素はヒトが活用できるし、水素と酸素はロケットの推進剤にもなる。月資源を使って月面にガスステーションを建設できれば、宇宙での輸送費が大幅に低減でき、宇宙における経済合理性を飛躍的に高めることができるでしょう。

—23年4月には、ispaceの「ミッション1ランダー」の月面着陸に挑戦しました。今回は実現しませんでした。24年に再挑戦される予定ですね？

袴田：はい、同型機の「RESILIENCE」で、もう一度挑戦します。

次ページ > Solafune のサービスが生まれた経緯

—上地さんの Solafune では、顧客は衛星データや地理空間データを活用して社会課題や企業課題に取り組むことができます。このサービスは、どのような経緯で生まれたのでしょうか？

上地 練（以下、上地）：私は米カリフォルニア大学バークレー校で数学を専攻し、「世の中で起こる事象をすべて数式にする」ことを目指していました。その延長線上にあるのが Solafune での活動です。物理現象を解明するにはセンサーが必要で、地球を見るセンサーといえば「人工衛星」です。地球で起こるあらゆる事象を数式化するには、人工衛星のデータを解析する技術を向上させればよい。それが僕らの始まりです。

—ウェブ上のプラットフォーム「Solafune」では、衛星データを活用したコンテストを定期的に開催しています。例えば、地球観測衛星「Sentinel-2」のデータを解析することで、地表にあるソーラーパネルの分布を探るといったものです。こうしたテーマは上地さんが考えているのですか？

上地：さまざまなケースがあります。私たちが技術的に必要だと思うテーマを出すこともあれば、企業や国などのお客さまからオーダーされることも。私たち1社だけでこの世の全ての事象のデータ解析に取り組むと何百年もかかるかもしれません。そこで、エクスポネンシャル（指数関数的）に増やすべく、世界中のエンジニアや研究者のリソースを一気に集められる仕組みを作ってしまう、それを集積しよう。そのための場が Solafune です。私たちは「Hack The Planet .」を標榜していますが、それは私たちが地球に限らず、あらゆる天体を解析することを意味しています。地球観測衛星データの活用は気候変動の領域とも関係してきますが、私たちはそうした大きな問題の解決を目指すより、もう少しミクロなアプローチを採っています。私たちのお客さまには東南アジアやアフリカの政府が多いのですが、同地域では水質が悪いために蚊が大量に発生し、マラリアやデング熱の原因になっています。またアフリカでは、鉱物資源の違法採掘に困っています。そうした状況を衛星のデータを解析することによって把握できるのです。

—新谷さんは宇宙ビジネス法務の第一人者であると同時に、日本に複数の宇宙港を開港し宇宙輸送におけるアジアのハブとなることを目指す「一般社団法人 Space Port Japan」の設立理事でもいらっしゃいます。日本の宇宙産業の現状をどのように見えていますか？

新谷美保子（以下、新谷）：宇宙産業と聞けば、ロケットや衛星の打上げが印象的で、自分には縁遠い話と考えてしまう読者諸賢も多くいらっしゃると思います。でも、そんなことはありません。宇宙空間を利用したインフラによって構築されるサービスは、いずれも地球上の私たちに還元されるからです。例えばイーロン・マスクが創業した通信衛星コンステレーション企業「スターリンク」の運用はすでに始まっており、昨年はウクライナでもサービスが開放されたことがニュースになりました。また、地球上の二地点間を移動するために、一時的に宇宙空間を通行して、世界の主要都市間を1時間以内で結ぶ計画も実現可能だとされています。そして何よりも宇宙から取れる情報が重要です。



イーロン・マスク（右）が創業した通信衛星コンステレーション企業「スターリンク」。日本を含め各国で運用されているが、今後は機器を介さずに、スマートフォンと同社の衛星と直接通信する計画も発表している。

衛星からは様々な情報が得られますが、1.地球観測衛星から撮影できる画像は第一次産業やエネルギー分野にも資する重要な画像が手に入りますし、2.測位衛星から得られる衛星測位情報は自動運転に利用され、また地上の情報と組み合わせた地理空間情報として様々な活用が考えられています。私たちの生活すべてに影響を与えるテクノロジーの波がすでに迫っていて、宇宙空間を利用したインフラ整備をどの国が押えるかによって世界情勢さえ変わろうとしています。

スペース X の宇宙船「スターシップ」の 2 度目の軌道飛行試験で機体が爆破されたが、米マスコミは「さらに前進した」と前向きに報じた。「そうしたマインドセットの違いは産業界にとって大きな違いを産む」（新谷）

次ページ > 宇宙産業は日本が覇者となる可能性が残っている

—Space Port Japan は、日本にスペースポート（宇宙港）を開港することで、日本の宇宙関連産業のいっそうの振興を目指していますね。

新谷：人口が急速に減少し、経済成長さえ落ち込もうとしている日本は、テクノロジーに活路を見出す必要があると考えており、その中でも宇宙産業はまだ日本が覇者となる可能性が残っている数少ない産業の一つです。宇宙ビジネスにおける全ての分野で勝たなくとも、技術力で主要なインフラの根幹を押さえることで「日本の存在抜きに宇宙産業は回らない」というポジションを確立するべきであり、これは広義の安全保障にもつながります。



Space Port Japan の「スペース ポートシティ構想図」では、宇宙旅行者でなくとも宇宙を体感できる街づくりを目指している（左）。米国では 2011 年に「スペースポート・アメリカ」が開港し、有人試験飛行に成功している（右）。

日本が宇宙開発を止めて技術力が落ち宇宙から得られる情報力を失えば、もちろん外交力も弱まります。その結果、世界の中において国力も下がってしまう。そういった事態を回避する手段の一つとしても、物資や人の輸送に宇宙空間が日常的に使われるようになる前に日本が宇宙輸送におけるアジアのハブとしてのインフラを整えておく必要があると考え、Space Port Japan を設立して活動を始めました（続きは、[Forbes JAPAN2 月号](#)で）。

アイスペース©2010 年創業の宇宙開発企業。月着陸船と月面探査車を開発し、パイロード・サービス、データ・サービスなどを展開。23 年 4 月、「ミッション 1 ランダー」の月面着陸に挑戦。24 年には、同型機「RESILIENCE」

で再挑戦を予定している。本誌の「日本の起業家ランキング 2023」で第6位に。

ソラフネ◎2020年創業の衛星データ解析コンテストプラットフォーム。人工衛星が宇宙で取得する衛星データの解析技術を開発・提供している。21年8月にはマイクロソフトのスタートアップ支援プログラムに採択。同社や画像生成AI開発企業 Stability AIなどとコンテストを共催している。

スペースポートジャパン◎日本に複数のスペースポート（宇宙港）を開港し、宇宙輸送におけるアジアのハブとなることを目指す「一般社団法人 SpacePort Japan」。①ビジネス機会の創出、②国内外の関連企業および団体との情報交換および連携、③情報発信、勉強会やイベントの開催なども計画している。

鈴木喜生◎著述家・編集者。『宇宙望遠鏡と驚異の大宇宙』『夢の仕事場 宇宙飛行士』（ともに朝日新聞出版）、『宇宙の歩き方太陽系トラベルブック』（G.B.）、『宇宙プロジェクト開発史アーカイブ』（二見書房）など著書多数。文＝鈴木喜生 写真＝ヤン・ブース スタイリング＝石関淑史 ヘアメイク＝桜井 浩（AVGVST）

この記事は「[Forbes JAPAN 2024年2月号](#)」に掲載

https://news.biglobe.ne.jp/domestic/1225/ym_231225_8377959774.html

「航空宇宙自衛隊」に改称する空自、都心の超高層ビルにオフィス…民間企業・J

A X A と連携

2023年12月25日（月）12時53分 [読売新聞](#)

空の防衛を担ってきた航空自衛隊が2027年度までに「航空宇宙自衛隊」に名前を変える。人工衛星が周回する宇宙空間を空自が守る領域だとはっきり示すためだ。民間企業や宇宙航空研究開発機構（JAXA）と連携を加速しているが、人材の育成など課題も多い。（溝田拓士、川畑仁志）

■虎ノ門にオフィス

東京・港区のオフィス街にそびえる超高層ビル「虎ノ門ヒルズビジネスタワー」の15階。多様なスタートアップ（新興企業）や団体と共同利用するフロアの一部に10月、空自が「宇宙協力オフィス」を開設した。隊員2～3人が常駐し、企業関係者とざっくばらんに意見交換しながら情報を集める。

フロアはカフェのように洗練された空間で、隊員は迷彩服や制服ではなく、ラフな格好をしている。厳重に警備された東京・市ヶ谷の防衛省とは対照的に、ふらりと訪れてもらえる雰囲気を作っている。「気楽に話し合えばイノベーティブ（革新的）な議論になりやすい」。担当の南賢司1佐はそう狙いを話す。賃料は半年で1320万円という。空自が企業との意見交換を重視するのは、宇宙で使われる技術の大半は、例えばロケットや全地球測位システム（GPS）のように、軍事と民生の両方で活用されているからだ。11月末までに50回以上の会合を開き、スペースデブリ（宇宙ごみ）の発生を抑える技術や、宇宙で溶接作業をする手法などのアイデアが寄せられたという。オフィスを拠点に情報を集め、装備品の導入や防衛政策に反映させたい考えだ。

■「キラ－衛星」

「情報収集・監視・通信など、宇宙空間の利用は戦略的に極めて重要だ」

岸田首相は11月、空自入間基地（埼玉県）で開かれた航空観閲式でそう強調し、「自衛隊の宇宙作戦能力を強化し、令和9（2027）年度までに航空自衛隊を航空宇宙自衛隊とする」と語った。1954年創隊の陸海空3自衛隊で名前が変わるのは初となる。人工衛星は、敵の偵察や部隊間の通信に活用されており、現代の軍事作戦に不可欠だ。自衛隊も例外ではないが、中国やロシアは衛星を攻撃する「キラ－衛星」の開発を進めている。秒速8キロで地球の軌道上を動く宇宙ごみも、衛星に衝突すれば被害を与える。10センチ以上の物だけで2万個以上あると推定される。こうした脅威を監視するため、空自は22年3月に約70人体制で「宇宙作戦群」を創設。今年3月には「宇宙領域把握」を始めた。宇宙ごみや、衛星への妨害行為が疑われる動きを把握することが任務で、JAXAには毎日約100件の情報を提供している。

■課題は人材育成

宇宙を監視する能力の強化は始まったばかりだ。空白トップの内倉浩昭・空幕長は21日の定例記者会見で、今後の課題として真っ先に人材育成を挙げた。宇宙作戦群は今年度末に200人体制となる。来年度末までには320人規模に増員する予定だ。技術は急速に進化しており、高度な専門知識を備える隊員の確保は不可欠となる。内倉空幕長は「航空領域における任務の効率化を図りながら、人材を宇宙領域に振り向ける。もっともっとスピードアップしなければ」と語った。

専門家「海自は海洋自衛隊に改称を」

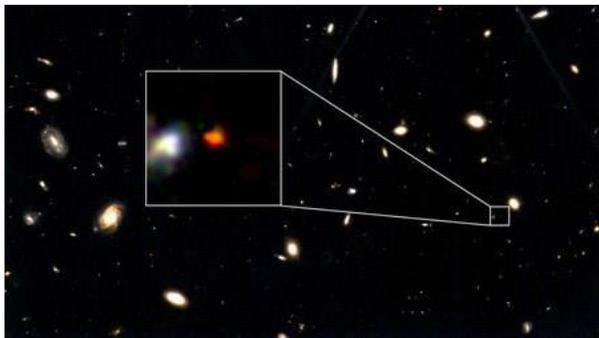
宇宙空間だけではなく、海でも有事に備える必要性は増している。「市民レベルで危機意識を持ってもらうためにも、海上自衛隊を『海洋自衛隊』に改称すべきだ」と提案する専門家もいる。

海自で最高位の海将を務めた元防衛庁情報本部長の太田文雄氏（75）は「海自は海の上だけを守っているのではなく、潜水艦も運用しており、海中の機雷を除去する任務にも当たっている。『海上』というのは実態にそぐわない」と強調する。太田氏が重視するのが海底通信ケーブルの防護だ。大量の情報を高速でやり取りできるため、日本と海外を結ぶ国際通信の99%を担っている。破壊工作の対象になりやすいとされ、台湾では2月、離島と結ぶケーブル2本が相次いで切断された。中国の船舶が関与したとの見方もある。太田氏は「海自は有事の際に海底ケーブルの防護にも関与する。改称して、様々な事態に対応していることを示すべきだ」と言う。

<https://www.jiji.com/jc/article?k=2023122600046&q=soc>

初期宇宙、星の誕生生活発だった 従来理論の予測超える—東大

2023年12月26日13時31分



ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で撮影された134億光年先の銀河の擬似カラー画像（拡大部の赤い天体）（NASA、ESA、CSA、東京大播金優一助教ら提供）

東京大などの研究チームは26日までに、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）を使った観測で、ビッグバンによる誕生から3～4億年後の初期宇宙では、理論予測よりも速いペースで次々と星が誕生していたことが分かったと発表した。論文は米科学誌アストロフィジカル・ジャーナル（電子版）に掲載された。

宇宙最初の巨大星、痕跡発見 すばる望遠鏡などで一日中チーム

東大宇宙線研究所の播金優一助教らは、JWSTで観測した約134億光年先にある二つの銀河のデータを精査し、距離を正確に測定した。同時期の銀河としては、JWSTの観測で既に三つの銀河が確認されていたが、今回確認された二つは約5倍も明るく、星が極めて活発に形成されていることが分かった。そのペースは従来の理論予測と比べ、4倍以上だった。播金助教は「予想以上に活発な星の誕生が見つかった。宇宙の初期には、星を活発に誕生させる何らかのメカニズムがあるのではないかと指摘。星の誕生にブレーキをかける効果が、宇宙初期では弱かった可能性なども考えられるという。

https://scienceportal.jst.go.jp/newsflash/20231225_n01/

宇宙初期、予想超える多くの巨大ブラックホール 東大・国立天文台が発見

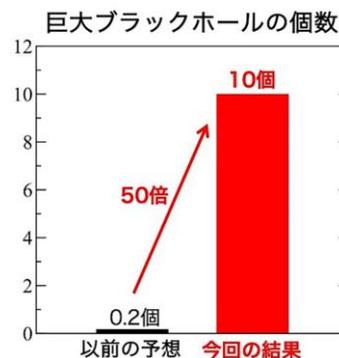
銀河の中心の巨大ブラックホールが宇宙初期に、従来考えられていたより 50 倍も多くあったことが分かった、と東京大学と国立天文台の研究グループが発表した。昨年観測を始めた「ジェームズウェーブ宇宙望遠鏡」による、120 億～130 億光年かなたの狭い視野のデータから、予想外に 10 個を発見した。巨大ブラックホールが当時さまざまなタイプの銀河にあり、急成長していたこともうかがえた。巨大ブラックホール誕生の仕組みを探る上で、重要な成果となった。



発見した 10 個の巨大ブラックホールの疑似カラー画像。銀河から広がる多彩な光も確認できる（米航空宇宙局＝NASA、欧州宇宙機関＝ESA、カナダ宇宙庁、播金優一氏ほか提供）

ブラックホールは極めて強い重力を持つ超高密度の天体。一般相対性理論で、周囲の時空がゆがみ、光さえ脱出できないとされる。重い恒星が一生の終わりに大爆発を起こし収縮してできる。また、多くの銀河の中心には、太陽の 100 万～100 億倍もの重さの巨大ブラックホールがあるが、その誕生の詳しい時期、仕組みなどはよく分かっていない。人類が住む天の川銀河（銀河系）の中心にも、巨大ブラックホール「いて座 A 星」がある。

光は到達するのに時間がかかるため、例えば人類が望遠鏡で 100 億光年離れた天体を観測することは、その天体の 100 億年前の姿を見ることになる。銀河やブラックホールも同様に、遠くのものを探れば、過去の状況の理解につながる。ただ、遠方のブラックホールは観測が難しい。120 億～130 億光年離れた（つまり 120 億～130 億年前の）巨大ブラックホールは従来、地上の望遠鏡を使い、巨大ブラックホールが周りの物を飲み込む天体「クエーサー」の輝きを捉える方法で見つけてきた。この方法では、同じ時代の銀河の 1000 分の 1 の数しか見つからないため、宇宙初期に巨大ブラックホールは非常に少ないと考えられてきた。



中心に輝くクエーサーを持つ銀河の想像図（NASA、ESA、米宇宙望遠鏡科学研究所・J.オルムステッド氏提供）
 予想外に 50 倍もの数の巨大ブラックホールが見つかった（播金優一氏ら提供）

米欧とカナダが運用するジェームズウェーブ宇宙望遠鏡により、遠方宇宙の赤外線観測の感度が大幅に向上した。そこで研究グループは同望遠鏡の観測データを調べ、120 億～130 億年前の 185 個の銀河のうち 10 個から、巨大ブラックホールの存在を示す特有の水素のサインを見つけた。従来の知見からは、同望遠鏡の狭い視野では計算上 0.2 個、つまり全く見つからないと見込まれており、予想外に 50 倍もの数が見つかったことになる。

同望遠鏡は、巨大ブラックホールを中心に持つ銀河の光も捉えていた。黄色や青白、赤などの色があり、形も

多彩。巨大ブラックホールが当時、さまざまなタイプの銀河に、普遍的に存在したことを物語っているという。

今回捉えた巨大ブラックホールの質量は、従来観測されてきたクエーサーの中心の巨大ブラックホールのわずか100分の1で、より形成初期に近いものとみられる。この時代に、巨大ブラックホールが急成長していた可能性があるという。研究グループの東京大学宇宙線研究所の播金（はりかね）優一助教（宇宙物理学）は会見で「宇宙初期の巨大ブラックホールの形成や成長が、従来考えられたよりも早かった。起源の理解に向け、かなりインパクトのある成果となった。クエーサーが少なかったことを説明する理論モデルが作られてきたが、今回の成果はまだ説明できない。また、今回捉えたものとは異なるタイプも含めると、巨大ブラックホールはさらに多かったかもしれない。130億年以前も詳しく調べるなどして、どんどん迫っていきたい」と話した。

成果は米天文学誌「アストロフィジカルジャーナル」に6日掲載された。

播金助教ら東京大学と国立天文台の研究グループはこの成果に続き、ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の観測データに基づき、観測史上最遠方である134億～135億光年の距離にある5つの銀河で、従来の理論の予測より短時間に次々と星が誕生していることが分かった、と発表した。5つの銀河のうち2つは、新たに発見した。研究グループは「宇宙初期の銀河の形成過程が、これまで考えられていたものとは異なる可能性を示しており、初代銀河の性質を知る上で重要な手がかりとなる」としている。成果は同じく「アストロフィジカルジャーナル」に23日掲載された。



ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡の想像図（NASA 提供）

関連リンク

東京大学宇宙線研究所プレスリリース「[ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡、遠方宇宙に大量の巨大ブラックホールを発見](#)」 同「[最遠方宇宙で見つかった理論予測を超える活発な星の誕生](#)」

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231225-2850267/>

アルマ望遠鏡、銀河円盤が地震のような垂直方向の振動波「銀振」を観測

掲載日 2023/12/25 19:59 著者：波留久泉

アルマ望遠鏡は12月22日、宇宙が現在の年齢のわずか10%だったころ(十数億年)の時代において、赤外線ですばやく明るい遠方銀河の1つであり、活発に星を作っている「BRI 1335-0417」内部の細かなガスの動きを調べた結果、同銀河の平坦な円盤構造に地震のように垂直に運動する振動波(銀震)が形成されていることを明らかにしたと発表した。

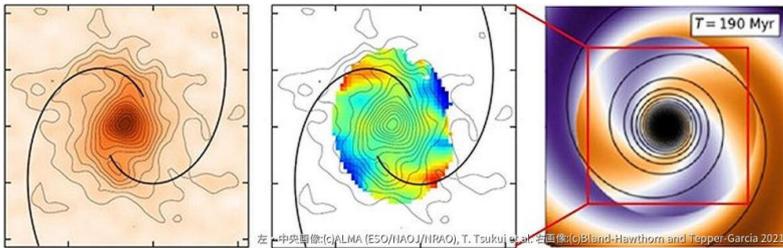
同成果は、オーストラリア国立大学の津久井崇史氏率いる国際共同研究チームによるもの。詳細は、[英国王立天文学会が刊行する天文学術誌「Monthly Notices of the Royal Astronomical Society」](#)に掲載された。

宇宙初期の銀河は、現代の銀河と比べて星を形成する速度がはるかに高かったことがわかっている。そんな遠方銀河の1つであるBRI 1335-0417は、質量こそ天の川銀河と同等だが、その星形成速度は数百倍にも達する。この高い星形成率を実現するため、星の材料である星間ガスがどのように銀河に供給されているのか、そのプロセスを理解するには、銀河内のガスの動きや分布を解明する必要があるとする。

電波観測において、観測者に近づくガスが発する電波の波長は短くなり、遠ざかるガスからの電波の波長は長くなる(ドップラー効果)。そのため、波長の変化を分析することで銀河内でのガスの動きを調べることが可能だ。しかし、遠方銀河におけるガスの運動を詳細に測定することは、望遠鏡の感度の限界により一部の銀河でしかで

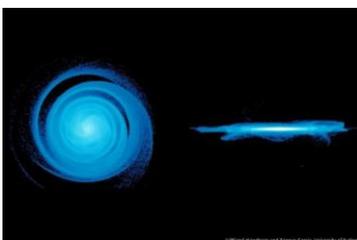
きなかったという。そこで研究チームは今回、BRI 1335-0417において、アルマ望遠鏡を用いて、近傍の銀河と同程度の詳細さで(銀河内のおよそ70の異なる場所で)ガスの運動を調べることができたとする。

まず、BRI 1335-0417の極めて質の高いガス運動速度データから銀河円盤の大局的な回転運動を差し引くことで、細かいスケールの微弱な運動が分析された。その結果、細かいスケールでのガスの速度が渦巻状のパターンを示し、ガスの分布が示す渦巻状のパターンと一致したという。これらの特徴は、数値シミュレーションで調べられた銀河円盤内を伝わる地震波現象と一致しており、ガスやほかの小さな銀河が円盤に激しく衝突していることを示唆しているとのことだ。なお回転運動は速度差が大きく、空間スケールが大きいため測定が比較的容易だったのに対し、地震波のような速度差が小さく空間スケールが小さい運動の測定は困難であり、遠方銀河で測定されるのは初めてのことだという。



(左)BRI 1335-0417のガス分布。(中央)円盤に伝わる地震波による小さいスケールのガス運動。青い領域は地球の方向に近づく運動、赤い領域は遠ざかる運動が示されている。黒線は渦巻状のパターン。(c)ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), T. Tsukui et al. (右)似た分布と運動が、地震波を再現した数値シミュレーションで確認された。赤い領域は観測領域と同じサイズが示されている。(c)Bland-Hawthorn and Tepper-Garcia 2021(出所:アルマ望遠鏡日本語 Web サイト)

さらに研究チームがガスの分布を調べた結果、円盤に棒状の構造が存在することが判明。棒状構造は天の川銀河にあることはよく知られており、そのほか一部の銀河にも見られるが、BRI 1335-0417での発見はこれまで知られている中で最も遠方のものになるとする。ちなみに棒状構造は、銀河内のガスを攪乱して中心へと運ぶ役割を果たすことがわかっている。また同銀河は、初期宇宙では珍しく、知られている中では最も遠い渦巻銀河でもある。今回の研究成果は、この渦巻構造が円盤内の垂直地震波と一致し、同じガスやほかの銀河の降着イベントがこの銀河の渦巻構造を作り出したことを強く示唆しているという。銀河における棒状構造と渦巻構造の起源はまだ解明されていないため、今回の研究成果は、初期銀河における渦巻構造の形成シナリオに関する新たな手がかりとなるとしている。なお、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)もその解明に向けた探求を行っているといい、星の分布や運動を取得できる JWST は、星の原材料となるガスを調べることができるアルマ望遠鏡のデータと組み合わせることで、BRI 1335-0417のような初期の渦巻円盤銀河の形成過程のさらなる理解の一助となるかもしれないという。それらに加え、欧州宇宙機関(ESA)が運用するガイア衛星も最近、天の川銀河円盤において垂直方向の振動を観測したことが発表されている。同衛星は、天の川銀河の詳細な3次元地図の作製を目的としたアストロメトリ専用の衛星であり、同銀河内の約18億個もの星の正確な位置と動きを測定できる性能を持つ。そしてその観測結果の理解を促進するため、研究チームの Joss Bland-Hawthorn 氏と Thorsten Tepper-Garcia 氏がコンピュータシミュレーションを実施。それによれば、円盤垂直波とそれに伴う渦巻状構造が確認されたとする。この結果は、今回の BRI 1335-0417における観測で確認された特徴ともよく似ており、観測データの解釈において重要な役割を果たしたという。



Bland-Hawthorn 氏と Tepper-Garcia 氏による円盤銀河のコンピュータシミュレーション。円盤が近くにある小さな銀河によって乱され、銀河円盤が垂直に振動する「銀震」が伝わる様子が見られる。(c)Bland-Hawthorn and Tepper-Garcia, University of Sydney(出所:オーストラリア国立大学 Web サイト)

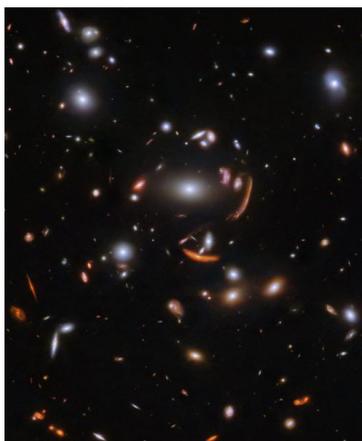
研究チームは、銀河の時間進化を観測することは不可能だが、物理法則と観測の両方に基づくコンピュータシミュレーションは、これらの現象の正確な起源と進化の解明に役立つ可能性があるとしている。

<https://soraie.info/astrometry/20231224-sdss-j12262152.html>

重力レンズ効果を受けた遠方銀河の輝き ウェブ宇宙望遠鏡が観測

2023-12-24 soraie 編集部

こちらは「かみのけ座（髪座）」の方向にある銀河団「SDSS J1226+2152」の様子です。銀河団とは数百～数千の銀河からなる巨大な天体のこと。何百億～何千億もの星々の集まりである銀河が何百～何千と集まった銀河団、その途方もない質量は「重力レンズ効果」をもたらすことがあります。



【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCam）で観測された銀河団「SDSS J1226+2152」（Credit: ESA/Webb, NASA & CSA, J. Rigby and the JWST TEMPLATES team）】

重力レンズとは、手前にある天体（レンズ天体）の質量によって時空間が歪むことで、その向こう側にある天体（光源）から発せられた光の進行方向が変化し、地球からは像が歪んだり拡大して見えたりする現象です。

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。画像には SDSS J1226+2152 の質量がもたらす重力レンズ効果によって歪んで見える銀河が幾つか写っています。欧州宇宙機関（ESA）によると、ここで最も注目されているのは「SGAS J12265.3+215220」と呼ばれている銀河です。SGAS J12265.3+215220 の像は画像中央に位置する白い銀河の近くで 2 つに分かれていて、1 つは中央の銀河のすぐ右隣にあるピンク色のいびつな像、もう 1 つはその右側に少し離れたところで弧状に長く伸びたオレンジ色の像として写っています。ESA によれば、SGAS J12265.3+215220 として観測されているのはビッグバンから約 20 億年後、つまり今から約 118 億年前の宇宙に存在していた銀河の姿だといいます。ウェブ宇宙望遠鏡による重力レンズ効果を受けた明るい銀河の観測データは、待ち望んでいた天文学者たちが遠方銀河での星形成を調査するために使用しているということです。冒頭の画像は“ウェブ宇宙望遠鏡の今月の画像”として、ESA から 2023 年 12 月 19 日付で公開されています。

Source [ESA/Webb](https://esa.jpl.nasa.gov/) - Galactic gathering

文/soraie 編集部

<https://uchubiz.com/article/new35912/>



(出典 : ESA/Hubble & NASA, A. Sarajedini, F. Niederhofer)

ハッブルが発見-お隣の銀河「大マゼラン雲」にある球状星団から分かる宇宙の深遠

(画像アリ) 2023.12.27 07:30 塚本直樹

Hubble (ハッブル) 宇宙望遠鏡 (Hubble Space Telescope : [HST](#)) が天の川銀河のそばにある大マゼラン雲 (Large Magellanic Cloud : LMC) で球状星団「NGC 2210」を撮影したとして、米航空宇宙局 (NASA) が写真 [を公開](#) した。 NGC 2210 は、地球から約 15 万 8000 光年離れた場所に存在し、その年齢は約 116 億年だと推定されている。1990 年に打ち上げられた Hubble 宇宙望遠鏡が同星団を完全に撮影したのは、2023 年が初めてだった。数千から数百万個の星を含む球状星団は、それらが重力的に固く結合していることから、非常に安定している。そのため、非常に古い星の集団を研究する場合で、球状星団は格好のターゲットとなる。

NGC 2210 をはじめとする大マゼラン雲の球状星団は、天の川銀河の球状星団と同じくらい古い。このことは、大マゼラン雲と天の川銀河が別々に生まれたにもかかわらず、同じ時期に形成されたことを示している。

関連リンク [NASA 画像](#) [Space.com](#)

<https://sorae.info/astromy/20231226-betelgeuse.html>

小惑星「レオナ」による「ベテルギウス」の星食を観測 2023-12-26 [彩恵りり](#)

恒星の手前を小惑星が横切って恒星を隠す「星食 (恒星食)」（※1）という現象は珍しくありませんが、見た目の直径が大きい「ベテルギウス」で発生する星食は興味深いものです。ベテルギウスで発生する星食は、巨星の膨張した大気を調べるために役立つ可能性があります。

※1...見た目の直径が大きな天体が小さな天体を隠す現象は一般的に「掩蔽 (Occultation)」と呼ばれますが、小惑星による恒星の掩蔽は通常「星食」と呼ばれるため、本記事では星食と表現します。

協定世界時 2023 年 12 月 12 日 1 時頃、ベテルギウスの手前を 319 番小惑星「レオナ (Leona)」が横切る星食現象が南ヨーロッパの各地で観測されました。観測データの分析はこれからであるものの、ベテルギウスに関する理解をさらに深めることが期待されます。



【▲図 1: レオナによる星食が起きた時のベテルギウスの明るさの変化 (Credit: Antonio Piras 氏のビデオよりキャプチャ)】

■ベテルギウスの「星食」は極端

恒星の手前を小惑星が横切る「星食」という現象は、知名度こそあまりありませんが、恒星も小惑星も文字通り“星の数ほど”存在するため、世界中で年間数百回の発生が予測される珍しくない現象です。

小惑星による恒星の星食が起これると、恒星が数秒間消えたように見えます。恒星は小惑星よりずっと大きな天体であるものの、観測者（地球）から恒星までの距離は小惑星までの距離と比べてずっと遠いため、恒星は大きさのない1点の光として観察されるからです。

恒星が1点の光であることは、主に小惑星の研究に役立ちます。小惑星による恒星の星食を各地で観測し、星食の起きた時間や長さを記録することで、小惑星の形状を知ることができるためです。また、恒星の消え方をより詳しく調べることで大気や環を観測できる可能性もあります。

関連記事: [「クワオアー」に2本目の環を発見 両方ともロシュ限界の外側](#) (2023年5月13日)

しかし、いくつかの恒星は例外的に、点ではなく直径を認識できる大きさで観察されることがあります。その代表例が、見た目の大きさが3番目に大きな恒星である「ベテルギウス」です(※2)。ベテルギウスは性能の高い望遠鏡ならば、その表面の色の違いを観察できるほど大きな恒星です。また、ベテルギウスは1等星として古代から観測記録があるため、恒星の最期の期間である巨星の状態を詳細に観測できる貴重な研究対象でもあります。 ※2...ベテルギウスより見た目の直径が大きい恒星は「太陽」と「かじき座R星」です。

ベテルギウスの見た目の直径が大きいことは、小惑星による恒星の星食でも例外的な状況を作りだします。例えば、2012年1月2日には147857番小惑星「2005 UW381」によるベテルギウスの星食が発生しましたが(※3)、2005 UW381の見た目の大きさがベテルギウスよりはるかに小さいために、ベテルギウスはわずか0.01等級しか暗くなりませんでした。普通の星食では恒星の全てが覆われて真っ暗になってしまうことを考えると、これはかなり例外的な現象と言えます。

※3...見た目の大きなベテルギウスの手前を、はるかに小さな2005 UW381が通過しているため、正確には「通過(トランジット / Transit)」と表現できるほどの比率ですが、注釈1と同じく、これも星食と表現します。

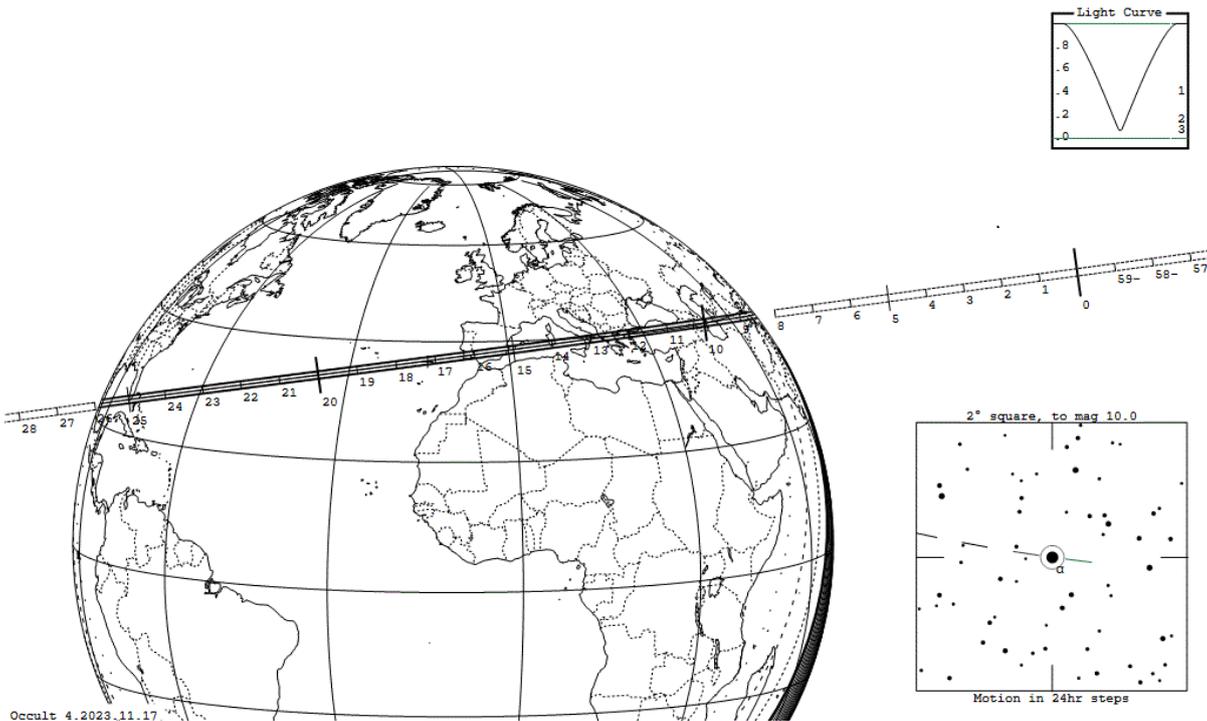
■ベテルギウスの星食を起こす小惑星「レオナ」の形状

そういった背景の中で、2023年12月12日、別の小惑星である319番小惑星「レオナ」によるベテルギウスの星食が、主に南ヨーロッパで観測可能であると予測されていました。

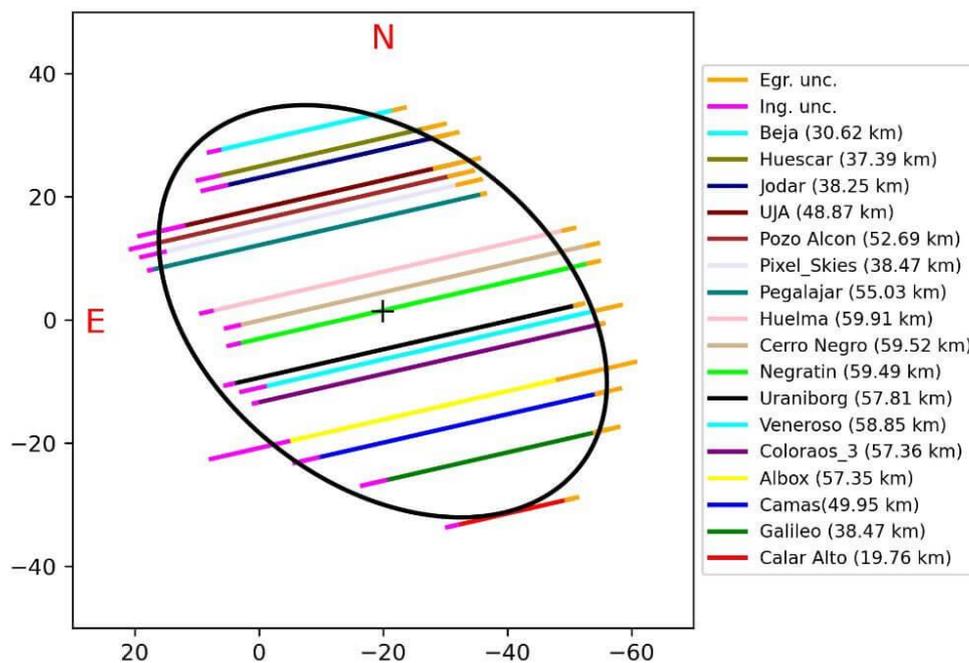
今回の星食は先述の2005 UW381よりも注目されています。レオナも2005 UW381も小惑星帯の軌道を公転する小惑星ですが、2005 UW381の直径は約7kmと予測されるのに対し、レオナの直径は直径約50~90kmとより大きいので、地球から見たレオナの見た目の大きさは、ベテルギウスの見た目の大きさとほぼ等しいと予測されるためです。このため、レオナによるベテルギウスの星食は、ベテルギウスの全て、または大部分を隠す可能性があるものとしてより注目されました。理想的な観測条件ならば、ベテルギウスの明るさが約12秒に渡って暗くなると予測されました。また、星食の大部分は肉眼では見えないほど暗い恒星で発生するものであるため、1等星であるベテルギウスで発生する星食という意味で、一般にも注目されました。

319 Leona occults HIP 27989 (Betelgeuse, α Ori) on 2023 Dec 12 from 1h 8m to 1h 26m UT
 Star: (Dia = 48.1 mas) Durations: Max = 11.6 secs Asteroid: Mag = 14.2
 Mv 0.5 lkm = 0.19 secs, lmas = 0.12 secs Dia = 61 \pm 3km, 46 mas
 RA = 5 55 10.3441 (astrometric) Mag Drop = 2.3 (33%iv) Parallax = 4.864"
 Dec = 7 24 25.652 Sun: Dist = 162" Moon: Dist = 151", illum = 1% Hourly dRA = -1.949s
 [of Date: 5 56 29, 7 24 43] Prediction of 2023 Nov 30.6 dDec = -3.98"
 Reliable not available lo Err: \pm (2.6 x 1.4) mas in PA 89° JPL#712023Nov27, Known errors

93% Annular Occn. Expect fades >12 secs (star dia)
 Variable star



【▲図 2: 予測されたレオナによるベテルギウスの星食の範囲。南ヨーロッパ地域を中心に、一部は北アメリカ大陸地域を含む狭い帯状の範囲での観測が予測されました (Credit: Asteroid Occultation Predictions)】



【▲図 3: レオナの形状は、2023年9月13日に発生した別の恒星の星食で正確に計測され、ベテルギウスの星食の観測に役立つデータとなりました (Credit: J. L. Ortiz, et al.)】

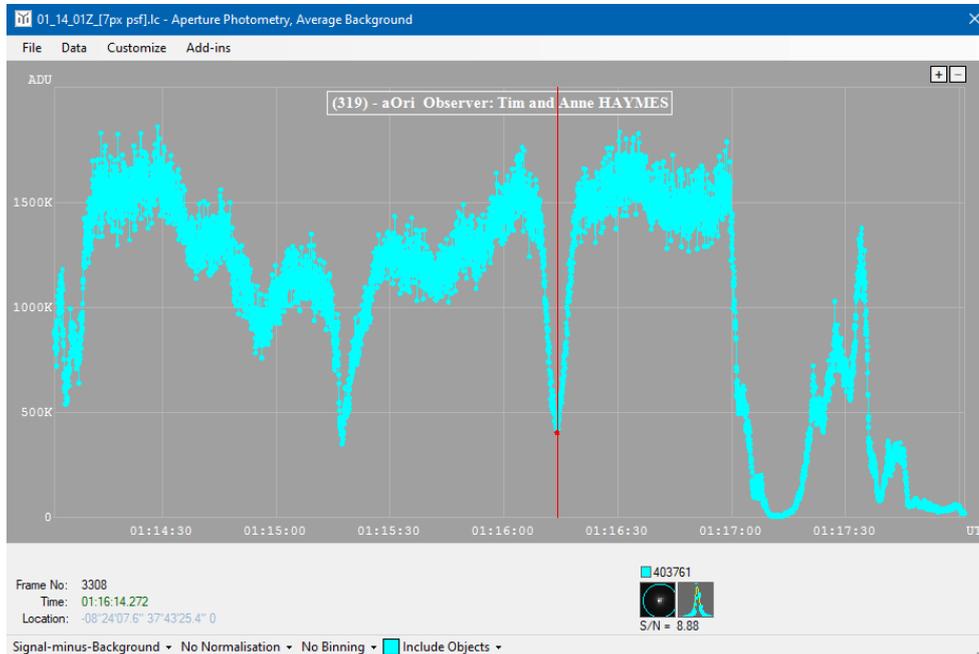
レオナはベテルギウスの星食の直前となる 2023年9月13日に、別の恒星である「Gaia DR3 3347400001862704896」(視等級約10等級)の星食を発生させていました。この星食の観測により、レオナの正確な直径(79.6x54.8km)と形状が判明しています。このデータから、ベテルギウスの星食の時期におけるレ

オナの見た目の大きさは約 46×41 ミリ秒角であると計算されました。

ベテルギウスの見た目の大きさは約 40 ミリ秒角であるため、単純に考えれば、ベテルギウスはレオナによる“皆既食”が発生します。一方で、地球の大気の影響によって、ベテルギウスは約 50 ミリ秒角まで拡大して見えることもあるため、その場合にはレオナによる“金環食”が発生することになります。特に“金環食”が発生する場合、ベテルギウスからの光が一時的に外層部分のみとなるため、稀なデータを得られる可能性があります。

しかし、今回の星食ではどのような現象が発生するのか、また今回の星食はどこで観測可能なのかは、予測精度の限界から実際に観測できる時まで不明な点も多くありませんでした。

■予測通りの星食を観測！



【▲図 4: 青で表されたのが、ベテルギウスの光度曲線 (明るさの変化)。雲がかかったことによる明るさの変化が前後に見られますが、星食時の光度曲線 (赤色縦線の部分) は非常に鋭く、かつ左右対称な形状をしていることが分かります (Credit: Tim Haymes (IOTA/ES, BAA))】

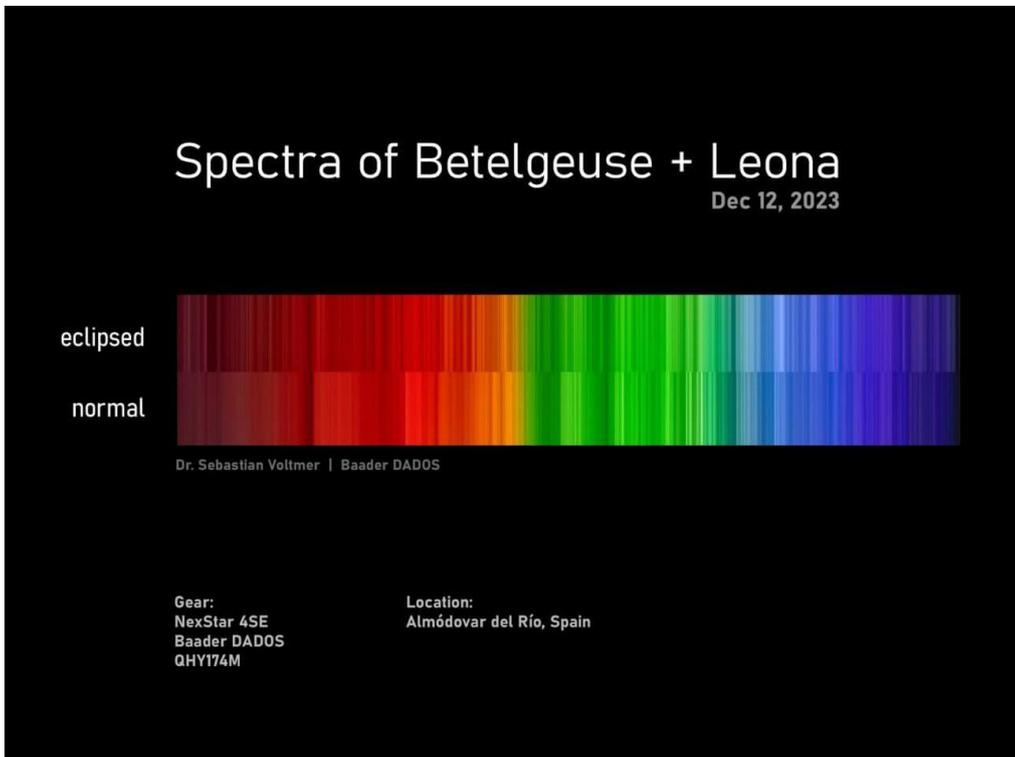
協定世界時 2023 年 12 月 12 日 1 時 9 分から 27 分にかけて、主に南ヨーロッパ地域を中心に、ベテルギウスの星食の観測が試みられました。しかし当日は雲がかかった地域が多く、例えば南ヨーロッパ地域以外の主要な観測地点であるアメリカのフロリダでは観測に失敗し、その他の地域でも薄曇りの影響を受けました。それでも、主にイタリア、スペイン、ポルトガルで多くの観測記録が得られました。

このような理想的とは言えない観測状況であったことや、分析に時間がかかることもあり、現時点で主要な情報はまとまっていません。それでも現時点では以下のことが分かっています。

ベテルギウスの明るさは最大で 11 秒間減少し、減光の度合いは 2 等級以上でした。これは事前の予測とおおむね一致します。そして、肉眼的には一瞬真っ暗になったという報告もあるものの、望遠鏡による詳細な明るさの記録を見る限りでは、完全に真っ暗になった瞬間はありませんでした。これは、レオナがベテルギウスを完全に隠さなかったことを意味します。

レオナがベテルギウスを完全に覆い隠さなかった理由は、先述の通り地球大気の影響によるものであるか、もしくはベテルギウスの実際の直径が予想よりずっと大きい可能性が考えられます。巨星の物理的な性質には不明確な部分があるため、この可能性も十分考えられます。

興味深いことに、Sebastian Voltmer 氏によって、ベテルギウスの星食の前後のスペクトルデータも得られています。このデータから、ベテルギウスの外層の様子がよりはっきりと分かるかもしれません。その場合、ベテルギウスの実際の大きさや、それを通じてさらに詳細な状況が判明するかもしれません。



【▲図 5: ベテルギウスのスペクトルデータ。上側が星食中のデータであり、下側の通常時のデータとは異なることが分かります (Credit: Sebastian Voltmer)】

Source [“News Feed – Occultation of Betelgeuse by \(319\) Leona”](#). (IOTA/EA)

[“Observations of the Occultation of Betelgeuse by \(319\) Leona”](#). (IOTA/EA)

[Kelly Kizer Whitt](#). “Betelgeuse nearly disappeared – for some – in rare eclipse”. (EarthSky)

[Costantino Sigismondi](#). “The partial asteroidal occultation of Betelgeuse on Jan 2, 2012”. (arXiv)

[J. L. Ortiz, et al.](#) “The stellar occultation by (319) Leona on 13 September 2023 in preparation for the occultation of Betelgeuse”. (arXiv)

[Josef Durech](#). “(319) Leona - physical model to predict the occultation of Betelgeuse (preliminary!)”. (Sirrah)

[“Sebastian Voltmer 氏の X \(旧 Twitter\) の投稿”](#).

[“Sociedad de Astronomia del Caribe の X \(旧 Twitter\) の投稿”](#).

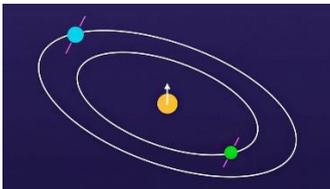
文／彩恵りり

<https://soraie.info/astronomy/20231228-toi2202b.html>

軌道共鳴している惑星「TOI-2202 b」の公転軌道はかなり傾いていると判明

2023-12-28 [彩恵りり](#)

惑星の公転軌道の傾きがどのように生じているのかは、惑星科学における大きな謎の1つです。惑星同士の重力相互作用による公転軌道の変化は有力視されているメカニズムの1つですが、それでも詳細について判明していない点があります。イェール大学の Malena Rice 氏などの研究チームは、太陽系外惑星の「TOI-2202 b」の公転軌道の傾きを測定した結果、約 26 度とかなり傾いていることを測定しました。TOI-2202 b は、公転軌道が変化しにくい軌道共鳴の状態にあると予測されています。今回の研究成果は、重力相互作用によって軌道が傾くという仮説とは一致しないため、とても重要な発見です。



【▲図: 恒星の自転軸に対して、2つの惑星の公転軌道が傾いている概念図 (Credit: Malena Rice)】

■惑星の公転軌道が傾く理由には多くの謎が

太陽の赤道を基準として、太陽系の惑星の公転軌道の傾きを測定すると、(かつて惑星に分類されていた冥王星を除く) 8つの惑星全てが10度以内に収まります。一方で、太陽系以外の惑星系について同様に公転軌道の傾きを調べて見ると、約3分の1が非常に大きく傾いていることが知られています。

恒星が誕生する現場では、恒星の周りに原始惑星系円盤が存在し、その中で惑星が誕生します。原始惑星系円盤の回転は中心の恒星の自転と一致するため、惑星の公転軌道は恒星の赤道から見てそれほど傾かないはずですが。このため、極端に公転軌道が傾いた惑星系が誕生するには、何か別のメカニズムが働いていることが予想されます。有力視されているメカニズムは次の通りです。惑星が複数ある場合、公転を繰り返している間に惑星同士の距離が近くなり、重力相互作用によって惑星の公転軌道が乱れる場合があります。この公転軌道の乱れが、極端に傾いた公転軌道を生じると考えられます。しかし、太陽系外惑星の公転軌道の傾きを測定することは困難であり、これまでに約100の惑星系のみで公転軌道が判明しています。この少なさから、公転軌道の変化に関する詳細なモデルを組むことが難しくなり、メカニズムの検討もうまく行っていません。

■「TOI-2202 b」の極端な公転軌道の傾きを発見！

Rice氏らの研究チームは、太陽系外惑星「TOI-2202 b」の軌道傾斜の度合いを測定しました。TOI-2202 bは、地球から見て「みずへび座」の方向にある約770光年離れた恒星「TOI-2202」の周りを公転しています。研究チームはケント山天文台のミネルヴァ・オーストレリス望遠鏡(オーストラリア、クイーンズランド州)を使用し、TOI-2202からの光が惑星の公転によって変化する「ロシター・マクローリン効果」(*)を測定しました。その変化は小さいため、精密な観測が必要ですが、これによって公転軌道の傾きを調べることが可能です。

※…自転をしている恒星を遠くから観察すると、片側の半球は観測者に近づいて見え、もう片側の半球は観測者から遠ざかって見えるため、ドップラー効果によって近づく半球からの光は青方偏移、遠ざかる半球からの光は赤方偏移します。恒星の手前を惑星が通過する時は、青方偏移している側か赤方偏移している側のどちらかの光が遮られるため、恒星の光の波長には偏りが生じます。こうして波長に現れるドップラー効果の違いがロシター・マクローリン効果です。この効果を観測することで、惑星の公転軌道がどの程度傾いているのかを測定可能です。Rice氏らは、TOI-2202 bの公転軌道の傾きが約26度(11~38度)であると測定しました。これはTOI-2202の惑星系を考えると、予想外の発見です。TOI-2202の周りには、今回観測されたTOI-2202 bだけでなく、もう1つの惑星である「TOI-2202 c」があり、それぞれの公転周期が2:1の「軌道共鳴」の関係にあると考えられています。軌道共鳴は、惑星同士の重力相互作用に関する力学的な安定性によって生じるものであり、裏を返せば、軌道共鳴が生じている惑星系では公転軌道を激しく変化させる力学的に不安定な状況は発生しないと考えられます。つまり、TOI-2202の惑星系は誕生時からほとんど変化しておらず、公転軌道の傾きが生じる理由を説明するために提唱された「重力相互作用による軌道の乱れ」のメカニズムは適用されないこととなります。一方で、TOI-2202の惑星系が軌道共鳴に見えているのは偶然であり、実際にはそのような状態になっていない可能性もあるため、より詳細な研究が必要となります。 関連記事: [「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年12月10日)

太陽系外惑星には、恒星に極端に接近した公転軌道を持つ木星のような惑星である「ホット・ジュピター」をはじめ、生成メカニズムが不明な惑星がいくつもあります。TOI-2202 bの公転軌道の傾きの測定は、軌道共鳴に近い惑星系における公転軌道の傾きの最初の測定例であり、研究は始まったばかりと言えます。他の惑星系の公転軌道の傾きが測定されることで、この謎を解く手掛かりは増えていくことになるでしょう。

Source

Malena Rice, et al. “[Evidence for Low-level Dynamical Excitation in Near-resonant Exoplanet Systems](#)”. (The Astronomical Journal)

Jim Shelton. “[Astronomers find ‘tilted’ planets even in pristine solar systems](#)”. (Yale University)

<https://sorae.info/astronomy/20231227-ngc-1356.html>

地球から一番近いのはどれ？ 横一列に並んだ“とけい座”の3つの銀河

2023-12-27 [sorae 編集部](#)

こちらは南天にある「とけい座（時計座）」の一角。横一列に並ぶようにして写っている3つの銀河は、右端の一番大きく見えるものが「NGC 1356」、そのすぐ左隣が「LEDA 95415」、少し離れた画像左端のものが「IC 1947」と呼ばれています。さて、3つの銀河のうち、地球から一番近いのはどれだと思いますか？



【▲ 「とけい座」で輝く3つの銀河。右から「NGC 1356」「LEDA 95415」「IC 1947」（Credit: ESA/Hubble & NASA, J. Dalcanton, Dark Energy Survey/DOE/FNAL/NOIRLab/NSF/AURA; Acknowledgement: L. Shatz）】

欧州宇宙機関（ESA）によると、地球からは NGC 1356 が約 5 億 5000 万光年、そのすぐ隣に写っている LEDA 95415 は約 8 億 4000 万光年離れています。あと少しで衝突しそうなほど近付いているように見える2つの銀河は、実際には3億光年近い距離に隔てられているのです。一方、2つの銀河から離れて写っている IC 1947 までの距離は、地球から約 5 億光年。つまり、正解は IC 1947 ということになります。

この画像の作成には「ハッブル宇宙望遠鏡（Hubble Space Telescope: HST）」の「掃天観測用高性能カメラ（ACS）」で取得されたデータが用いられています。ハッブル宇宙望遠鏡による NGC 1356 などの観測は、「ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（James Webb Space Telescope: JWST）」やハッブル宇宙望遠鏡自身による将来の詳細な観測の対象になり得る銀河を探す取り組みの一環として 2021 年 3 月に実施されたということです。

また、画像の作成にはハッブル宇宙望遠鏡の ACS だけでなく、セロ・トロロ汎米天文台のブランコ 4m 望遠鏡に設置されている「ダークエネルギーカメラ（Dark Energy Camera: DECam）」による光学観測データも使用されています。DECam はその名が示すように暗黒エネルギー（ダークエネルギー）の研究を主な目的として開発された観測装置で、当初の目的である暗黒エネルギー研究のための観測は 2013 年から 2019 年にかけて実施されました。冒頭の画像は“ハッブル宇宙望遠鏡の今週の画像”として、ESA から 2023 年 12 月 25 日付で公開されています。 Source [ESA/Hubble](#) - It's all relative 文／sorae 編集部

<https://sorae.info/astronomy/20231229-heavy-elements.html>

古代の恒星に初期宇宙で生成された「原子量 260 以上の原子核」の痕跡を発見

2023-12-29 [彩恵りり](#)

あわせて読みたい記事

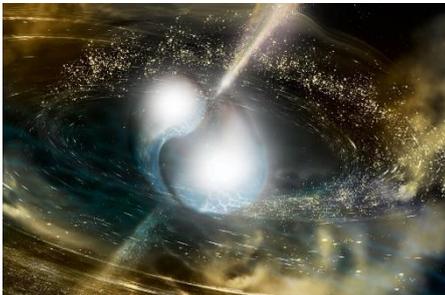
鉄より重い元素が、宇宙でどのように生成されるのかはよくわかっていません。生成過程を調べるヒントの1つは古い年代の恒星に含まれている元素の比率で、生成過程を考察する上で注目されます。

ミシガン大学の Ian U. Roederer 氏などの研究チームは、天の川銀河にある 42 個の恒星の元素存在量を詳しく調べ、元素の生成過程を推定しました。その結果、「r 過程」によって原子量 260 以上（※1）の原子核が大量に

生成され、その後の自発核分裂で銀や重いランタノイド（※2）などの中程度の重さの元素が生成されたことが分かりました。これは重い元素の生成過程を調べる上で重要な発見です。

※1…原子核に含まれる陽子と中性子の合計数を原子量と呼びます。

※2…ランタン（原子番号 57）からルテチウム（原子番号 71）までの元素の総称。液晶ディスプレイや永久磁石など、先端産業に欠かせない用途を持つ元素が多数含まれています。後述する通り、今回の研究ではユウロピウム（原子番号 63）以降のランタノイドの生成過程に原子量 260 以上の原子核が関与していると推定されています。



【▲図：中性子星同士の衝突現場は、r 過程で重元素が生じる代表的な現場です（Credit: National Science Foundation, LIGO, Sonoma State University, A. Simonnet / Edited: MIT News）】

■重い元素を生み出す「r 過程」は中程度の重さの元素も生み出す

化学反応の基本となる「元素」は、これまでに 118 種類が発見されており、宇宙に豊富に存在する元素に限っても 90 種類前後が存在します。これらのうち、誕生直後の宇宙で大量に生成されたのは水素とヘリウム（原子番号 1 と 2）のみであり、残りの大部分は恒星の活動によって直接、または間接的に生成されたと考えられています。恒星のエネルギー源となる核融合反応では鉄（原子番号 26）までしか生成されないため、鉄より重い元素が生成されるには異なるプロセスが必要となります。その中でも特に注目されているのは、超新星爆発や中性子星同士の合体で発生するとされる「r 過程」です。r 過程では数秒という短時間で原子核に大量の中性子が付着し、その後に起こる放射性改変（ β 崩壊）によって重い元素が生成されます。その反応速度の速さから、ビスマス（原子番号 83）より重い元素を作るプロセスは実質的に r 過程のみとなります。

一方で、r 過程は重い元素だけでなく、中程度の重さを持つ元素の生成過程にも間接的に関わっていると考えられています。r 過程で生成される原子核は不安定であり、自然に核分裂をする「自発核分裂」を起こし、およそ半分くらいの重さを持つ 2 つの原子核に分裂することもあります。分裂した破片が中程度の重さの元素に当たるため、r 過程も間接的ながら中程度の重さの元素の供給源になると考えられています。

ただし、中程度の重さの元素を作るプロセスは r 過程の他にも s 過程（※3）などがあり、複数の生成プロセスが混在していると考えられます。r 過程が中程度の重さの元素の生成にどの程度関わっているのかを知ることは、r 過程によってどの程度重い元素が生成されたのかを知ることに繋がり、結果として r 過程で起こる基本的な核反応の理解にもつながるため、これは重要です。

※3…漸近巨星分枝星と呼ばれる、恒星の寿命の後期に達した恒星内で起こる、原子核の中性子の吸収とそれに伴う崩壊で原子番号が上がっていくプロセス。s 過程の名は、数秒未満という “速い (Rapid)” 過程である r 過程とは異なり、数千年以上かかる “遅い (Slow)” 過程であることに由来します。

■r 過程では原子量 260 以上の原子核も生成されていた

Roederer 氏らの研究チームは、天の川銀河に存在する 42 個の古い年代の恒星について観測を行い、セレンからトリウムまでの 31 種類の元素の存在量を詳細に調べました。観測に選ばれた恒星は、年代が古いだけでなく、過去の観測データも充実しているという特徴があります。そしてこの量から、r 過程によって間接的に生成されたであろう元素を特定し、r 過程がどの程度重い原子核まで進行したのかを逆算して推定しました。

核分裂する原子核は、ほぼ同じ重さの破片に 2 分割されることは稀であり、やや重い破片とやや軽い破片に分裂

することが大半です。この場合、やや重い破片に由来する元素と、やや軽い破片に由来する元素の存在量が多くなるだけでなく、両者に相関関係が見られるはずで、この相関関係からそれぞれの破片の重さを推定することができれば、分裂する前の原子核は単純な足し算で算出することが可能です。

研究の結果、ルテチウムから銀（原子番号 44~47、原子量 99~110）までの元素と、ユウロピウムから白金（原子番号 63~78、原子量 150 以上）までの元素との間に、存在量の相関関係があること、隣接する元素に相関関係は見られなかったことが分かり（※4）、これらの元素はそれぞれ自発核分裂の破片に由来する可能性が高いことが分かりました。この結果から、これらを含む古い年代の恒星が生成される以前に発生した r 過程では、原子量 260 以上の原子核が生じていたことが推定されました。この数値は原子量であり、具体的な元素名を与えることはできません（※5）。しかしこの重さの原子核は、r 過程が起こる環境と類似している核兵器の爆発現場で生成されるものではなく（※6）、加速器でごく少量生成されるのみです。r 過程の研究でもこれほど重い原子核が生成されるという予測は少ないため、この結果はとても興味深いものです。原子量 260 以上の原子核が生成されるという結果は、r 過程の研究において興味深い結果です。また、核分裂のモデルを適切に考えるには核分裂の条件面を絞り込むことが重要ですが、核実験の実測データを得ることなく条件を絞り込める機会は少ないため、特に極端に重い原子核の自発核分裂に関する重要なデータとなり得ます。

※4…今回の研究の場合、セレンからモリブデンまで（原子番号 34~42）、およびカドミウムからサマリウムまで（原子番号 48~62）。

※5…r 過程では最初に大量の中性子が原子核に吸収されますが、この段階では元素名を定める原子番号が変化しません。その後の β 崩壊で陽子に変化する段階で初めて原子番号が上がり、元素名が変化します。自発核分裂は必ずしも β 崩壊が終了した後に起こるとは限らず、いつでも起こりうるため、原子量 260 以上の原子核がどの元素に当たるかを特定することはできません。

※6…1952 年に行われたアイビー・マイク実験（世界初の水爆実験）では、爆発雲や放射性降下物の分析により、当時未知の元素であったアインスタイニウム（原子番号 99）とフェルミウム（原子番号 100）が発見されており、原子量 255 までの原子核が生成することが確認されています。

Source

[Ian U. Roederer, et al.](#) “Element abundance patterns in stars indicate fission of nuclei heavier than uranium” . (Science)

[Tracey Peake.](#) “Ancient Stars Made Extraordinarily Heavy Elements” . (North Carolina State University)

[Charles Poling.](#) “First hints of nuclear fission in cosmos revealed by models, observations” . (Los Alamos National Laboratory)

文／彩恵りり