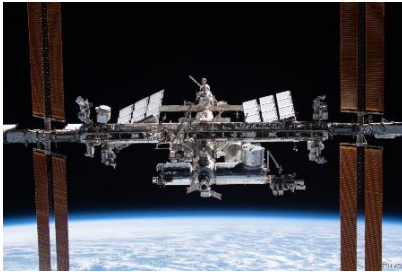


## 国際宇宙ステーション、運用延長が決定 - ロシアが同意もくすぶる懸念

掲載日 2023/05/11 19:23 著者：鳥嶋真也

米国航空宇宙局(NASA)は 2023 年 4 月 27 日、国際宇宙ステーション(ISS)の運用について、2025 年以降も延長することで参加国と同意したと発表した。ISS の運用は 2024 年までとされていたが、米国が 2030 年までの延長を提案し、日本、欧州、カナダが参加を表明していた。そしてロシアが 26 日、2028 年までの延長に同意した。ロシアによるウクライナ侵攻が続くなか、ISS は一種の“聖域”として、欧米などとロシアとの協力関係が続いている。その一方で、ISS の運用が終わる 2030 年以降を見据え、各国でさまざまな動きも始まっている。



運用延長が決まった国際宇宙ステーション(ISS) (C) NASA ISS の全景 (C) NASA

1998 年に打ち上げられた、ISS の最初のモジュール「ザリヤー」。すでに設計寿命を超えているが、2028 年まで運用可能とされる (C) NASA

### ISS の運用延長をめぐる動き

ISS は米国、日本、カナダ、欧州、そしてロシアなど計 15 か国が共同で運用している宇宙ステーションである。全体の大きさはサッカー場ほどで、質量は約 420t もあり、高度約 400km の地球低軌道を、約 90 分で地球を一周する速さで回っている。1998 年から建設が始まり、ロシアが最初のモジュール「ザリヤー(ザーリヤ)」を打ち上げたのを皮切りに、宇宙飛行士が滞在・実験するためのモジュールや太陽電池などを次々に打ち上げて結合していき、2011 年をもって完成した。その後も新たなモジュールの追加や、民間企業が開発した補給船や宇宙船が訪れるなど、日々発展を続けている。これまでに約 250 人の宇宙飛行士や旅行者が訪れ、船内の微小重力環境や、船外の高真空、高放射線環境を活かし、宇宙ならではのさまざまな実験や研究が 3000 件以上行われてきた。

ISS は人類の宇宙活動の拠点であると同時に、人類史上最も高価で、技術的に複雑な建造物のひとつでもある。そして、米ソ冷戦の対立を越えて建造されたことから、国際協力と平和のシンボルとも称される。ISS の運用をめぐるのは、当初は 2016 年に運用を終えるとされていた。そんななか、2021 年 12 月 31 日に、ISS の中心国である米国のバイデン政権は、ISS の運用を 2030 年まで延長することを表明した。これを受け、他の参加国はそれぞれ検討を行い、日本と欧州は 2022 年 11 月に、またカナダも今年 3 月に、2030 年までの運用延長への参加を正式に表明した。

### ロシアの参加が決定

こうしたなか、ロシアは最後まで態度を保留にしていた。2021 年に米国が 2030 年までの延長を呼びかけたときは、前向きな姿勢を示していた。しかし、2022 年 2 月に始まったロシアのウクライナ侵攻による欧米からの経済制裁や関係悪化などを背景に、同年 7 月には「2024 年以降に ISS から離脱し、独自の宇宙ステーションを建造する」と表明し、運用延長に与しない態度を取ったこともあった。

この背景には、政治的な意図があったことは間違いないが、その一方で技術的な問題もあった。ロシアのモジュールの大半は、ISS の建設当初に打ち上げられたものであり、すでに設計寿命を超過しているものもある。最近も空気漏れなどの事故が起きたこともあり、耐久性、安全性という面から、運用延長に懸念の声があったのも事実だった。昨年 8 月には、ロスコスモスの有人宇宙飛行プログラムの責任者を務めるセルゲイ・クリカレフ氏が、

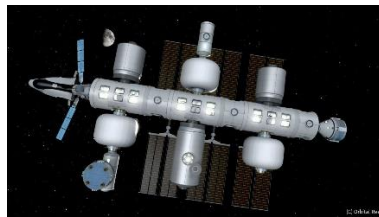
「ISS への関与の終了に関する決定は、ISS の技術的狀態と結果の評価に基づいて行います」と述べていた。こうしたなか、ロシアのエンジニア・チームは自国のモジュールの耐久性について調査を行い、今年 2 月には 2028 年までの運用延長は可能とする報告書を発表していた。そして 4 月 26 日、ロシア政府が ISS 計画へのロシアの参加を 2028 年まで延長することを承認したことを発表した。また、ロシアの宇宙開発を管轄する国営宇宙企業ロスコスモスは、ユーリイ・ボリーソフ総裁の署名による書簡を、NASA や欧州宇宙機関(ESA)、カナダ宇宙庁(CSA)へ送ったとしている。ISS に参画するすべての主要パートナーが延長に合意したことで、ISS は少なくとも 2028 年までは、現在の枠組みと規模で運用が続くことが決まったことになる。ロスコスモスは、「ロシア連邦政府が、ISS 計画へのロシアの参加を 2028 年まで延長することを承認したことをお知らせいたします。ISS 計画は、宇宙分野で最大かつ最も成功した国際プロジェクトであり、このような素晴らしい研究所がその運用を継続し、宇宙探査における人類の最も大胆なアイデアの実現に貢献することをうれしく思います」とコメントしている。また、NASA の ISS 部門の責任者を務めるロビン・ゲイタンズ氏は「ISS は、科学と探査を前進させるという共通の目標を持った、素晴らしいパートナーシップ事業です。この素晴らしいプラットフォームの運用期間を延長することで、過去 20 年以上にわたる実験と技術実証の恩恵を受けられるだけでなく、今後もさらに大きな発見を実現し続けることができます」と述べている。

#### 次へ：ISS 以後を見据えた動きと… ISS 以後を見据えた動き

ISS の運用延長が決まった一方で、その終わりも見えてきた。

ISS を構成しているモジュールは徐々に劣化が進んでおり、2030 年以降、さらに運用を延長することは技術的に難しい。ロシアが自国のモジュールについて 2028 年まで運用可能と評価していることにもそれが表れている。現在、ISS 以後を見据えた動きとしては、米国を中心に大きく 2 つの計画が動いている。

ひとつは、ISS で築かれた国際協力での宇宙開発という枠組みの延長線として、国際協力での有人月探査を行うことを目指した「アルテミス」計画である。アルテミス計画には米国、欧州、日本、カナダが参画しており、早ければ 2025 年にも有人月着陸を行い、その後も継続的に探査を行い、そして 2030 年代には有人火星探査を目指している。アルテミス計画では、月を周回する宇宙ステーション「ゲートウェイ」も建造されることになっており、ISS の建設や運用でつちかわれた各国の技術やノウハウが生かされる。もうひとつは、ISS の直接的な後継機、すなわち地球低軌道で人が活動し続けるための、新しい宇宙ステーションの建造である。この新しい宇宙ステーションは、民間企業が開発、運用する方針となっている。これにより、地球低軌道を商業活動の場として開放し、宇宙ビジネスを振興するとともに、NASA はアルテミス計画に集中することができる。民間の商業宇宙ステーションの開発をめぐるのは、アクシウム・スペースが「アクシウム・ステーション」という、まずは ISS に結合する形で構築し、最終的には独立して運用することを目指したステーションを提案しているほか、ブルー・オリジンを中心とするチームは「オービタル・リーフ」というステーションを提案しており、三菱重工も参画している。このほか、ノースロップ・グラマン、ナノラックスといった企業が検討や開発を行っている。



アクシウム・スペースが開発中の宇宙ステーションの想像図。最初は ISS に結合する形で構築し、最終的には独立して運用することを目指している (C) Axiom Space

ブルー・オリジンなどが提案しているオービタル・リーフの想像図 (C) Orbital Reef

中国宇宙ステーション「CSS」の想像図 (C) CMS

NASA はまた、2030 年の運用終了後、ISS を廃棄処分する計画も進めている。

現在の計画では、まず 2020 年代の後半から、補給船などを複数機使い、スラスターの噴射によって ISS の軌道

を徐々に下げることから始まる。軌道離脱作業の最初の数か月間は、ISSに宇宙飛行士が滞在した状態で行われる。その後、2030年末には宇宙飛行士は完全に退去し、最終的には地上からのリモートで作業が行われるという。そして2031年はじめに、南太平洋上の「ポイント・ネモ」、別名「宇宙機の墓場」とも呼ばれる海域に向けて、大気圏に再突入させる。機体の大半は燃え尽き、燃え残った破片も海に落下する。

ポイント・ネモは、東西南北すべてが陸地や島から遠く離れた、周囲にまったくなにもない海域で、再突入時に燃え残った破片が落下しても被害が出る危険性がない。そのため、衛星を制御落下させる先として最適で、これまでもロシアの「ミール」宇宙ステーションのような大型の宇宙機をはじめ、世界各国が300機近い衛星やロケットをこの海域に落下処分させている。

### ロシアの2028年の離脱と、国際協力の価値

ISSの運用延長が決まったことは、参加各国にとって有人宇宙活動が継続できるという点で意義がある。

人が宇宙に長期滞在し、研究や実験などができる施設は、ISSのほかには中国宇宙ステーション「CSS」しかなく、参加各国にとっては宇宙におけるプレゼンスを発揮し続けることができる。

また、人が宇宙に長期滞在することで、身体にどのような変化が起こるかなどはわかっていないことが多く、長期的、継続的な研究が欠かせない。くわえて、宇宙環境を使って実験や研究ができ、なおかつその成果物を地球に持ち帰られることは、宇宙ビジネスの振興にもつながる可能性がある。「ISSは“収穫期”に入った」とは、ここ数年さまざまところで聞かれる言葉でもある。ただ、今後の延長運用と、そして新しい宇宙ステーションへのバトンタッチが滞りなく進むかどうかは未知数である。そもそも、ロシアは2028年の延長までしか同意していない。ISSの中で、ロシアのモジュールはその半分近くを占めており、宇宙飛行士の生活や実験に使われているほか、宇宙船や補給船による宇宙飛行士や補給物資の輸送も行うなど、重要な役割を担っている。そのため、ロシアが2028年以降、ISSから離脱すれば、他国が望む2030年までの運用が難しくなる可能性がある。

もっとも、ロシアとしてはそれを踏まえたうえで、他国から2028年以降も運用に参加し続けるように求められること、そしてその引き換えに金銭的なリターン、あるいは経済制裁の解除などを持ち掛けることを狙っている可能性もある。前述した商業宇宙ステーションの中には、ISSに新しいモジュールを追加したり、古くなったモジュールを交換させたりして、新陳代謝させるようにして構築する案もある。その開発が順調に進めば、ロシアが担っていた役割を引き継ぐことができるが、もしそれが叶わなければ、やはりISSの2030年までの延長が難しくなるかもしれない。また、ロシアが2030年まで参加する場合でも、あるいは離脱するロシアからモジュールを譲り受けるなどして運用を継続することにしたとしても、ロシア・モジュールの老朽化の問題が首をもたげることになる。場合によっては2028年を待たずして老朽化が深刻なものとなり、メンテナンスに忙殺されたり、重大な事故が発生したりする可能性もある。ロシアはまた、独自の宇宙ステーションを建造する計画も破棄してはいない。ISSへの参加と並行して計画を進め、2028年ごろには独自の宇宙ステーションに移行することを考えているものとみられる。昨今のロシアの置かれた情勢、とくに資金面や半導体などの禁輸といった事情から考えると、計画がすんなりと進む可能性は低い。ただ、ロシアが宇宙分野においても欧米などと決別し、対抗していく意志を示している点は留意すべきである。少なくとも、今回の延長同意をもって、ロシアとその他の国々との足並みが揃ったとは言えない。そして、中国の動向にも注意が必要であろう。CSSは今後、数十年は運用されるものとみられ、欧米などがISSの今後の運用や、後継となる商業宇宙ステーションへの移行でつまずけば、地球低軌道におけるプレゼンスが低下することになりかねない。また、中国はCSSを足がかりに有人月探査の実現も目指しており、ロシアと共同で進めることも検討されているなど、今後の動向をめぐっては予断を許さない。ISS以後の新たな有人宇宙開発の時代は、地球低軌道がビジネスの場になり、そして月や火星を探検できるようになる可能性がある一方で、対立や衝突が生み出される危険性もある。

だからこそ、私たちはISSがもつ「平和のシンボル」という理念に立ち返らなくてはならない。

過去から今に至るまで続く対立を乗り越え、宇宙という過酷な世界に人が住める建造物を造り上げ、そこに四半世紀近くも宇宙飛行士が生活し続けている。それは、私たち人類は協力すれば、どんな困難も乗り越えることが



でき、そして月への移住や有人火星探査も実現できるのだという、希望と可能性を示しているのである。

参考文献 ・ [Partners Extend International Space Station for Benefit of Humanity - Space Station](#)

・ [Roscosmos](#)

・ [NASA Selects Companies to Develop Commercial Destinations in Space | NASA](#) 鳥嶋真也とりしましんや

[https://www.afpbb.com/articles/-/3463557?cx\\_part=top\\_category&cx\\_position=4](https://www.afpbb.com/articles/-/3463557?cx_part=top_category&cx_position=4)

## 「天舟 6 号」がドッキングに成功 積載能力が 7 トン初突破

2023 年 5 月 11 日 19:15 発信地：中国 [ [中国](#) [中国・台湾](#) ]

CGTN  
Japanese



「天舟 6 号」を搭載したキャリアロケットの打ち上げ（2023 年 5 月 11 日提供）。(c)CGTN Japanese

【5 月 11 日 CGTN Japanese】中国有人宇宙飛行プロジェクト弁公室によりますと、貨物宇宙船「天舟 6 号」を搭載したキャリアロケット「長征 7 号遥 7」が 10 日午後 9 時 22 分（日本時間同日午後 10 時 22 分）、海南省の文昌衛星発射場から打ち上げられました。「天舟 6 号」は約 10 分後にロケットとの分離に成功して予定の軌道に入り、打ち上げは無事成功しました。また、「天舟 6 号」は 11 日午前 5 時 16 分（日本時間同日午前 6 時 16 分）、中国宇宙ステーションのコアモジュール「天和」の後方ポートとのドッキングに成功しました。「天舟 6 号」はドッキング終了後、結合体の飛行区間に入りました。今後、有人宇宙船「神舟 15 号」の乗組員が「天舟 6 号」に入り、貨物の積み替え輸送などの関連作業が計画通りに行われる予定だとのことです。

「天舟 6 号」は今回の任務で、258 点の貨物を積載しており、輸送物資の総重量は約 5.8 トンです。その中には宇宙飛行士 6 人の軌道上での消耗品と約 700 キロの補給推進剤と実験荷重が含まれています。

紹介によりますと、「天舟 6 号」が今回搬送する物資は主に衣料品、食品、飲料水などで、約 71 キロの新鮮な果物も含まれています。これは、貨物宇宙船「天舟 5 号」が搭載した果物の約 2 倍の量に当たり、「神舟 15 号」と「神舟 16 号」の乗組員の需要を満たすことができます。

貨物宇宙船の積載能力は、その「ハードコア」の評価基準です。そのため、貨物積載能力をいかに効果的に高めるかが「天舟 6 号」の開発の重点となっています。「天舟 6 号」は「天舟 5 号」をベースラインに改良を行い、密閉されていなかった後部コーンセクションを密閉モジュールに変更するとともに、1 段のタンクを廃止し、元の後部コーンセクションのモジュール内の設備を推進モジュールに調整したもので、アップグレードと改造を経て船全体の有効積載容積が 20%拡大され、積載能力が 7.4 トンに引き上げられました。中国の貨物宇宙船の貨物積載能力が 7 トンを突破したのはこれが初めてです。(c)CGTN Japanese/AFPBB News

<https://sorae.info/space/20230512-haven1.html>

## 米民間企業が商用宇宙ステーションの打ち上げ計画を発表 4 名で 30 日間滞在可能

2023-05-12 [sorae 編集部](#)

アメリカの民間企業 Vast と SpaceX は 5 月 10 日、商用宇宙ステーション「Haven-1」の打ち上げ計画を発表しました。Haven-1 は 2025 年 8 月以降に SpaceX の「ファルコン 9」ロケットで打ち上げられる予定です。【2023 年 5 月 11 日 15 時】

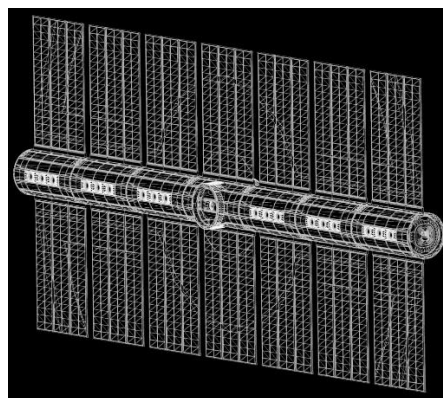


【▲ Vast の商用宇宙ステーション「Haven-1」のイメージ画像。外部観察用のドームやドッキングしたクルードラゴン宇宙船が描かれている (Credit: Vast)】

【▲ Vast の商用宇宙ステーション「Haven-1」(右) のイメージ画像。ドッキング間近のクルードラゴン宇宙船(左) が描かれている (Credit: Vast)】

Vastによると、Haven-1は太陽電池アレイや与圧区画などを備えた独立した宇宙ステーションで、4名のクルーによる地球低軌道での有人宇宙ミッションを最大30日間に渡ってサポートします。科学、研究、宇宙での製造を行う機会に加えて、(おそらくステーション自体の)回転による月面レベルの人工重力発生にも対応する模様です。円筒形をした本体の一端にはSpaceXの「クルードラゴン」宇宙船を想定したドッキングポートが1か所あり、反対側の端には外部の観察や撮影を行うための透明なドームが設けられます。内部にはストレッチ運動や休憩のためのスペースが設けられる予定で、Wi-Fi経由でインターネットに常時アクセスすることも可能とされています。

VASTとSpaceXはHaven-1初の有人宇宙ミッション「Vast-1」の準備も進めています。ミッションの実施時期は明らかにされていませんが、参加する4名のクルー(後日発表)はHaven-1に最長で30日間滞在する予定とされています。なお、Haven-1は単体で独立稼働する宇宙ステーションですが、Vastによれば後に打ち上げが予定されているより大型の宇宙ステーションにモジュールの1つとして結合させることも計画されています。



【▲ 商用宇宙ステーション「Haven-1」と初のミッション「Vast-1」のイメージ動画】 (Credit: Vast)

【▲ Vastが構想する全長100mの大型宇宙ステーション。モジュールの打ち上げにはスターシップが使用される予定 (Credit: Vast)】

多くの人が宇宙で暮らす未来への貢献を使命に掲げるVastは、回転することで人工重力環境を作り出す全長100mの大型宇宙ステーション(40名対応)の建設を構想しています。ステーションを構成する7基のモジュールはSpaceXの大型宇宙船「スターシップ」で打ち上げられる予定です。また、その後はさらに大型の人工重力式宇宙ステーション(数百名規模)を太陽系内の数十か所で運用するという大きな構想もVastは抱いています。こうした構想を念頭に、同社は回転による人工重力発生実験をHaven-1で行うことを検討しているということです。

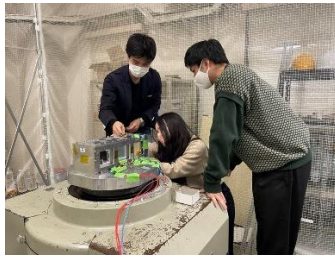
Source Image Credit: Vast [Vast](#) - VAST Announces the Haven-1 and VAST-1 Missions.

[SpaceX](#) - SPACEX TO LAUNCH VAST'S COMMERCIAL SPACE STATION AND FIRST HUMAN SPACEFLIGHT MISSION

文/sorae編集部

## 木造人工衛星は宇宙の森作りへの第一歩 土井隆雄さんが学生と描く未来とは

掲載日 2023/05/12 17:07 著者：林公代



京都大学木造人工衛星開発学生チームの皆さん(提供:京都大学)

学生チームが九州工業大学超小型衛星試験センターの振動試験機で、LignoSat1 号機の振動試験の準備をしているところ。(提供:京都大学)

LignoSat1 号機エンジニアリングモデル(左:ヤマザクラ構体 右:ホオノキ構体)(提供:京都大学)

2 回の宇宙飛行は「ロケット馬鹿」だった自分を変えた。元宇宙飛行士で京都大学(京大)特定教授の土井隆雄さんは、そう語る。小さいころから宇宙や星に興味があり、自分で宇宙に行って宇宙の神秘を解明したいと思っていた。だが宇宙に行って、生命の躍動にあふれる地球の姿を見て、重要なことに気づいた。「それが生命です」。どうやってこの宇宙の中で生命が生まれ、育まれてきたのか。それを解明したいと考えるようになった。

その後、土井さんは宇宙航空研究開発機構(JAXA)を退職、国連宇宙部を経て 2016 年春から京大へ。現在は「宇宙の森作り」を掲げ学生たちと研究活動を続ける。来年には世界初となる「木造人工衛星」を打ち上げる予定だ。そして今、[木造人工衛星 2 号機打ち上げに向けて、クラウドファンディングへの協力を呼びかけている](#)。そもそもなぜ、森なのか？ そしてなぜ、木造衛星なのか？ 土井さんに聞いた。土井さんは京大着任後、恒久的に人間が宇宙に行くにはどうしたらいいかを系統的に考えようと「有人宇宙学」という学問を立ち上げた。霊長類研究所の教授らと話すうちに、人間が環境の変化に耐え生き延びることができたのは、社会を作り、互いに守りあったからだを知る。人間が宇宙で社会を作るには、家などのインフラが必要だ。とは言ってもコンクリートや鉄を宇宙に運ぶことは非現実的。そのときに土井さんの脳裏に浮かんだのが、京都で見た神社仏閣だった。「京都は 1000 年以上栄えた日本の都です。古い神社やお寺を見て回ると、木造建築が 1000 年経っても建物の形が残っている。大きな建造物もあります」。そこでひらめいた。宇宙に種をもって行って木を育てれば、建築資材に使える。地産地消になると。こうして土井さんの「宇宙の森作り」への取り組みが始まった。

### 宇宙で木は使えるのか

宇宙で木が使えるのだろうか？ 腐ったりしないのか。剛性は変化するのか。真空環境や放射線の影響はどうか。調べることは山のようにあった。まず始めたのが真空実験だった。真空チャンバの中に 9 種類の木材を置いて、物性がどう変化するか実験を開始。2 年経っても木はボロボロにならないし、寸法も剛性もほとんど変わらない。その実験は、木の種類を増やししながら今も続けているという。真空環境でも木は強いという実感を得て、宇宙で実証しようと、2017 年から木造人工衛星を提案した。

住友林業との共同研究によって開発された木造人工衛星「LignoSat(リグノサット、Ligno はラテン語で木を意味する)」1 号機は、木材が宇宙の環境に耐えるかを検証するのが目的だ。2020 年から開発を本格化させ、2024 年 2 月に打ち上げ、同年 3 月に ISS(国際宇宙ステーション)「きぼう」日本実験棟から放出される予定だ。

2022 年には、JAXA の第 1 回宇宙環境曝露実験(ExBAS)に参加し、世界で初めて木材試料木片(ヤマザクラ、ダケカンバ、ホオノキ)の宇宙環境での約 10 か月間にわたる曝露実験を行った。実験の目的は宇宙環境、特に宇宙放射線や極紫外線、原子状酸素などの影響を詳細に調べるもの。実験試料は地上に戻り、[詳細な解析結果は 5 月](#)



[12日に住友林業から発表された。](#)

## 2号機では「木造衛星」ならではのメリットをいかした実験を

最初は「木が宇宙で使えるか」を検証するのが目的だった木造人工衛星。だが「開発を進めるうちに木造人工衛星自体が非常にユニークであり、地球周回の衛星として持つべき性質を備えていることに気づいた」と土井さんは語る。具体的にどんなことなのか。まずは「地球環境に優しい衛星であること」。現在の人工衛星は、軽くて耐久性に優れたアルミニウムなどの材料が使われることが多い。役目を終えた地球近傍の人工衛星は、スペースデブリ(宇宙ゴミ)にならないように、地球大気圏に突入させることになっている。大気圏再突入によって、衛星が燃え尽きるというイメージを抱いている人が多いが、「実際はそうではない」と土井さんは指摘する。

「アルミニウムは大気圏に突入する際に酸素と反応して酸化アルミニウムになり、小さな粒子になる。計算すると、1 $\mu$ mのアルミナ粒子は40年ぐらい大気圏内に滞留します。現在、世界では大量に人工衛星を打ち上げる計画がありますが、アルミナ粒子の滞留が増えると、太陽光を反射し、冷却化など地球の気象変化が起きると考えています」それを防ぐにはどうしたらいいか。ここで木造人工衛星の出番だ。「木材は水素と炭素と酸素からなり、大気圏に突入しても水蒸気と二酸化炭素にしかならない。地球環境を汚さない衛星なんです。低軌道を周回する人工衛星はすべて木造衛星にしたらどうかと考えています」と話す。



木造人工衛星2号機の3D外観図(イメージ図)(提供:京都大学)

火星の森のイメージ(提供:京都大学)

京大宇宙木材研究室では月や火星での樹木の育成法を探求している。アクリル製の低圧チャンバの中でポプラの苗を育てる実験中。育成目標は火星環境(1/100気圧二酸化炭素大気)の中で木を育てること。左:0.3気圧 右:大気圧(提供:京都大学)

木造衛星の利点はそれだけではない。「木は電磁波を通します。一方、金属は電磁波を遮断するのでアンテナを外に出す必要がある。現在の衛星は通信用アンテナを衛星の外側に出して展開しています。すると開閉するメカニズムが複雑な機構になって失敗のリスクが高まる。木造衛星は電磁波を通すのでアンテナを外に出す必要がなく、衛星の内部に入れておけばいい。その実証実験を2号機で行う予定です」。木材は磁場も通すため、姿勢制御用の地磁気センサも衛星に内蔵する。宇宙で木を使う利点は多い。木はマイナス約100°Cからプラス約100°Cまで物性が変化せず、安定している。断熱性が高い。宇宙空間には酸素も水分もないから、燃えることも腐ることもない。これまでに行った多様な実験で、木は過酷な宇宙環境でも劣化せず、長く使えることがわかっている。「木は宇宙空間でも非常に強い。宇宙で木が使えることをさまざまな実験が証明してくれています」(土井さん)

木造人工衛星2号機では、衛星内部に納めたアンテナを使った通信実験や、地磁気を使った姿勢制御も行う計画だ。打ち上げは2026年を目指す。2024年に飛び立つ木造衛星1号機は世界初挑戦だが、アンテナを内蔵した2号機の通信実験も世界初のチャレンジとなる。京大では、この[2号機開発のための資金をクラウドファンディングで募っている](#)。「衛星開発は技術を継承していくことが大事です。1号機を開発した学生が在籍している間に2号機の開発を進められれば、知識や技能が次の世代の学生さんに継承される」という。

世界初の木造衛星を一度打ち上げたら終わりではなく、継続して打ち上げることで技術や知見を継承していく。木造衛星による宇宙の研究開発にとって、今、重要な局面を迎えている。

[次へ：月だからこそ巨大樹木が育つ…](#)

## 月や火星で森は育つのか

そもそも土井さんの発想の源は、宇宙の森作りだった。現在、人類はふたたび月に戻り、月に生活圏を築こうと

している。月に森を作ることはできるのだろうか? 「もちろんできます。月は真空なのでドーム型の構造物が必要ですが、ドーム自体も木でできるし、ガラス(のような透明な木材)も作ることができます。月には水があると言われてるので、空気を満たしたドームを作れば木を月で生やすことはできると思います。水耕栽培か土壌の改良は必要になると思いますが」土井さんによると、月ではジャックと豆の木の世界が実現できるという。「木の高さを決めるのは、根から頂上まで水を引き上げる力。それは重力に関係します。月の重力は地球の6分の1なので、月の木は地球の木と比べて6倍の高さに伸びるはず。地球上でもっとも背が高いのはセコイアで100mほどの高さですが、月では600mまで育つ大木になるでしょう。ジャックと豆の木の世界が再現できるはずで、それを見たいですね」さらに、火星ではドームなしで木を育てることができると土井さんは考えている。「火星には二酸化炭素の大気があって、植物の光合成によって酸素を作ることができます。京大の樹木育成チームは、火星で樹木を育てるための実験も行っているんです」

具体的には低圧チャンバの中で植物を育てる実験を実施中だ。現在は0.1気圧まで実験を行っているが、火星環境は100分の1気圧以下。もっと低圧にする必要がある。「100分の1気圧でも木が生長できる条件を探すのが実験の目的です。火星ではドームなしに森ができる可能性がある」(土井さん)

「木は約500万年前から、私たち人類の進化を助けてくれました。宇宙に行っても木がそばにあれば、きっと私たちを助けてくれるでしょう。私たちが宇宙で生きていけるなら、木は当然、生きていけるはず。人間は人間だけで宇宙に行くのではありません。地球生命を味方にして宇宙に行くのが、正しい行き方だと思います」木は私たち日本人にとって身近な存在であり、世界に誇る文化でもある。木とともに宇宙へ。なんと壮大な計画だろう。ただし研究には長い時間とコストがかかる。まずは[今回のクラウドファンディングにぜひ、ご協力を](#)。  
林公代 はやし・きみよ [この著者の記事一覧はこちら](#)

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230509-2675181/>

## 太陽の粒子が初期地球の大気から生命を誕生させた可能性 横国大が提唱

掲載日 2023/05/09 13:35 著者：波留久泉

横浜国立大学(横国大)は5月2日、初期地球大気を想定した二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)・窒素・水蒸気に微量のメタンを加えた混合気体に高エネルギー陽子線を照射したところ、アミノ酸やカルボン酸が多く生成することを見出したと発表した。同成果は、横国大大学院 理工学府の小林憲正名誉教授、同・癸生川陽子准教授、中部大学の河村公隆客員教授、米国航空宇宙局(NASA)ゴダード宇宙飛行センターのウラディーミル・アイラペティアン博士らの国際共同研究チームによるもの。詳細は、[生命科学の基礎分野を扱うオープンアクセスジャーナル「Life」に掲載された](#)。ヒトを含めた地球の生命は、多種多様なタンパク質で構成されており、その最小単位といえるのがアミノ酸だ。これらは地球上で合成された可能性もあるが、宇宙においても発見されており、どこでどのように生成されたのかについては、長く議論が続いている。ただし近年は、CO<sub>2</sub>や窒素を主成分とする初期地球の大気においてアミノ酸などは生成されにくく限定的であり、隕石などにより地球外から持ち込まれたものが主であると考えられていた。そうした中で近年の観測では、太陽に似た恒星が、フレアを伴う激しい活動により大量の高エネルギー粒子を放出していることがわかってきた。このことから、若い太陽もまた激しい活動を起こしていた可能性が高いことが推測されている。そこで研究チームは今回そうした結果をもとに、太陽から放出された高エネルギー粒子が、初期地球の大気から有機物をどのくらい生成できるのかを調べる実験を行ったという。なお同実験は、東京工業大学にあるタンデム加速器を用いて実施された。初期地球の大気を模したガスは、CO<sub>2</sub>と窒素を主成分とし、これに水蒸気と少量のメタンを加えたものが用いられた。これまでの実験で、このようなガスからは、初期地球上での有機物生成に重要だと考えられてきた放電(雷)や紫外線では、アミノ酸はほとんどできなかったことがわかっている。しかし、加速器からの陽子線を照射した時には、メタンがCO<sub>2</sub>の1/100ほどしか存在しなくてもアミノ酸が生成可能であること、および多様なカルボン酸も生成することが確認されたとする。



今回の研究により、初期地球上で太陽エネルギー粒子により生じたアミノ酸は、隕石などによってもたらされたアミノ酸よりもはるかに多かったことが示唆された。現在、大型の太陽フレアによってコロナ質量放出が発生し、それが運悪く地球圏を直撃した場合は、人工衛星や地上の発電・送電設備の故障など、インフラに大きなダメージを与えることが危惧されている。しかし研究チームは、初期地球においては、激しい太陽フレアは生命の誕生を促したものであった可能性が考えられるとしている。太陽フレアが初期地球に与えた影響は、アミノ酸などの有機物を太陽に生成させたことのほかにもさまざまなものが考えられるという。たとえば、若い太陽は現在よりも暗く、初期地球は凍り付いていたはずだとする「暗い太陽のパラドックス」を解決する可能性もある。また、太陽エネルギー粒子により一酸化二窒素などの強力な温暖化ガスが生成されることで、地球の凍結が防がれた可能性が示唆されている。研究チームは今後、そのような可能性も実験により検証していきたいとした。

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35203568.html>

## 民家に隕石か、屋根貫通もけが人なし 米ニュージャージー州

2023.05.10 Wed posted at 15:21 JST

(CNN) 米ニュージャージー州ホープウェル・タウンシップの民家に8日、隕石(いんせき)とみられる物体が落下し、屋根を突き破って寝室付近に着地した。けが人は報告されていない。

当局によると、物体は縦15センチ、横10センチほどの大きさだった。警察が分析を進めているが、毎年この時期に活動する「みずがめ座エータ流星群」に関連する隕石との見方が強い。



隕石とおもわれる物体は屋根から天井を突き破り床に衝突した/From Hopewell Township PD

物体は天井など家屋に損傷を与えた/Suzy Kop/KYW

同流星群はハレー彗星(すいせい)の残したちりが地球の大気圏に突入して発光する現象で、6日に活動がピークを迎え、27日まで続く見通し。民家に住む女性はCNN提携局に「父の寝室の屋根を貫通した。部屋にだれもいなくてよかった」と話した。落ちた物体に触れてみたら、温かかったという。

隕石の表面は大気圏突入時の摩擦で高温になるものの、地表に落下するまでには通常、かなり温度が下がる。

隕石は地球上のあらゆる場所に常時落下しているが、民家や市街地を直撃することは珍しい。

昨年11月にはカリフォルニア北部の民家に隕石とみられる物体が落ちた後、火災が発生して飼い犬が死んだ。

<https://soraie.info/astromy/20230508-ugc6093.html>

## 「スター・ウォーズの日」にハッブル公式 SNS が紹介した棒渦巻銀河

2023-05-08 [soraie 編集部](#)

こちらは「しし座」の方向約5億光年先にある棒渦巻銀河「UGC 6093」です。棒渦巻銀河とは、中心部分に棒状の構造が存在する渦巻銀河のこと。棒状構造は私たちが住む天の川銀河をはじめ、渦巻銀河の半分程度が持つと考えられています。



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡で撮影した棒渦巻銀河「UGC 6093」(Credit: ESA/Hubble & NASA)】

UGC 6093 は地球に対して正面を向けた位置関係にある、いわゆる「フェイスオン (face-on) 銀河」であるため、棒状構造や渦巻腕 (渦状腕) を観測しやすい銀河のひとつです。その中心部には狭い領域から強い電磁波を放射する活動銀河核 (AGN) があることが知られており、UGC 6093 は活動銀河の一種であるセイファート銀河 (セイファート 2 型) にも分類されています。活動銀河核の原動力は、多くの銀河の中心部に存在すると予想されている超大質量ブラックホール (超巨大ブラックホール) だと考えられています。ブラックホールに引き寄せられたガスや塵などの物質は“らせん”状に周回しながら落下していきます。この過程で重力エネルギーが解放され、高温になった物質から様々な波長の電磁波が放射されることで、活動銀河核として観測されるというわけです。冒頭の画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡の「広視野カメラ 3 (WFC3)」で取得したデータ (紫外線・可視光線・近赤外線) のフィルターを使用) をもとに作成され、欧州宇宙機関 (ESA) から 2018 年 1 月 1 日付で公開されていたもので、ハッブル宇宙望遠鏡の公式 Twitter アカウントが「スター・ウォーズの日」にちなんで 2023 年 5 月 4 日に改めて紹介しています。毎年 5 月 4 日は映画「スター・ウォーズ」シリーズのキャッチフレーズのひとつ「May the Force be with you (フォースと共にあらんことを)」にちなんだスター・ウォーズの記念日として認知されていて、アメリカ航空宇宙局 (NASA) など同作にちなんだ画像を紹介しています。UGC 6093 は帝国軍の戦闘機「TIE ファイター」に絡めて取り上げられたのですが、たしかに銀河中心から渦巻腕の根元にかけての部分が TIE ファイターの特徴的なシルエットに似ていますね。

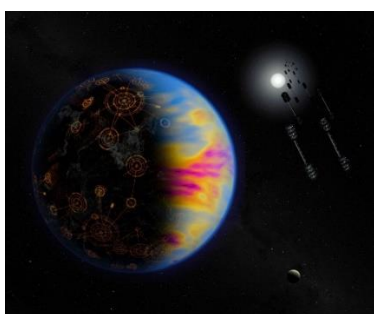
Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA [ESA/Hubble](https://www.esa.int/ESA/Science_and_Exploration/Space_and_Astronomy/ESA_Hubble_-_Lasers_and_supermassive_black_holes) - Lasers and supermassive black holes  
文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20230509-technosignature.html>

## 知的生命体の起源に関する新しい研究 海洋と陸上のどちらで出現しやすい？

2023-05-09 [吉田 哲郎](#)

短期間で科学技術を発達させた人類は、地球の生態系や気候に大きな影響を与える存在となっています。この自らの経験をもとに、地球外生命探査では技術が存在する証拠として「テクノシグネチャー (technosignature)」が話題になります。宇宙から地球を観測したとき、人類はその存在を示すサインを生み出すことができる「技術的知性 (technological intelligence : TI)」を持つ生物の典型といえるからです。



【▲ 地球外の工業文明とその存在を示すテクノシグネチャーのイメージ図 (Credit: NASA/Jay Freidlander)】

近年「人新世」という言葉が造られました。その背景にはこのような事実が想定されていると考えられます。生命にとって、液体の水が存在することは欠かせない条件であり、地球の生命も海の中で誕生したと考えられて

います。私たちの太陽系では、木星の第2衛星エウロパや土星の第2衛星エンケラドゥスなどで、液体の水が存在する可能性が指摘されています。これらの天体では、水は表面に海として存在するのではなく、氷の地殻の下に「地下の海（内部海）」として広がっていると考えられています。現在の研究では、天の川銀河に存在する系外惑星の多くは表面に海や陸地が存在せず、地下に海が存在する可能性が高いと推測されています。このような「海の世界」で生命が存在する可能性に期待が高まっています。では、生命の誕生や居住にとって海の世界が一般的だとすると、陸上で出現し技術的知性を持つまでに進化した人類は異例の存在なのでしょうか？フロリダ工科大学の宇宙生物学者マナスヴィ・リンガム（Manasvi Lingam）氏ら3名の研究者による新しい研究では、技術的知性を持つ種が海洋と陸上どちらの生息地に存在する確率が高いかを「ベイズ統計学」を用いて分析しました。他の要因がすべて同じであると仮定すれば、海の世界のほうがはるかに一般的だと考えられるので、そのような種は海洋に存在する可能性のほうが高いという結果が得られます。ところがリンガム氏は、この結果にはパラドックスが潜んでいるといいます。ベイズ統計学で用いられる確率論では、事前の主観的な予想に基づいて確率を計算します。本研究は、技術的知性を持つ知的生命体が海洋では出現しにくいことを示し、パラドックスの解消を探りました。研究チームは、視覚などの感覚器官のしくみと認知能力について、人間を含む霊長類をはじめタコなどの頭足類からイルカなどの鯨類までを比較しました。視覚は進化戦略で重要な役割を果たし、高い知的能力の獲得には欠かせません。しかし、水中での視覚の進化には様々な制約があり、結果的に水中から陸上への進化を促したと考えられます。さらに、水中では「火」を使うことができません。火は、技術の獲得と進歩に欠かせないエネルギー源であるにとどまらず、知的生命体が技術文明を築くうえで計り知れないほど大きな役割を果たします。結局、陸のない海だけの世界は技術的知性への進化を妨げてしまうこととなります。結果は確率論に基づくものですが、この研究モデルにはメリットがあるとリンガム氏は語っています。それは、将来の望遠鏡による観測で天体に関するデータが更新されたり、実験やフィールドワークにより動物の行動や認知機能に関する理解が深まったりすることで、研究モデルの検証や改良が可能な点です。また、リンガム氏は本研究に関連して、様々な惑星に酸素が存在する可能性や、知的生命体の進化に酸素が果たす役割についても研究を進めるといふことです。本研究結果は2023年3月2日付けで発行された「The Astrophysical Journal」に掲載されています。

Source Image Credit: NASA/Jay Freidlander

[Florida Institute of Technology](#) - New Paper Investigates Intelligent Life's Origins

[The Astrophysical Journal](#) - A Bayesian Analysis of Technological Intelligence in Land and Oceans 文／吉田哲郎

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230508-2673911/>

## 世界初、人工衛星と市販スマホによる音声通話に成功 - AST や楽天モバイルら

掲載日 2023/05/08 06:35 著者：鳥嶋真也

米国の宇宙ベンチャー、ASTスペースモバイルと楽天モバイルなどは2023年4月25日、世界初となる、低軌道衛星を使った市販スマートフォン(スマホ)同士の直接通信による音声通話に成功したと発表した。

ASTは衛星を使った“宇宙に浮かぶ携帯基地局”によって、世界中に携帯通信をつなげることを目指しており、楽天モバイルなどが参画している。この成功によって、その実現に一歩近づいた。



スマートフォン同士の通信を中継した、通信衛星ブルーウォーカー3の想像図 (C) AST SpaceMobile



テキサス州で音声通話試験を行う、AST の Abel Avellan 氏(左)と技術者たち (C) AST SpaceMobile

## AST スペースモバイルらによる「スペースモバイル」構想

AST スペースモバイル(AST SpaceMobile)は 2017 年に設立された米国のベンチャー企業で、巨大なアンテナをもった衛星を複数機打ち上げてコンステレーション(編隊)を組み、市販のスマートフォンとの直接通信を目指す「スペースモバイル(SpaceMobile)」プロジェクトを進めている。

従来の衛星携帯電話は専用の端末が必要で、通信速度も遅かった。また、昨今話題のスペース X の「スターリンク」なども、衛星との通信には専用端末が必要で、そこから Wi-Fi でスマホなどと接続するという仕組みをしている。一方のスペースモバイルは、衛星に市販のスマホと通信できるアンテナや機能をもたせることで、衛星をあたかも“宇宙に浮かぶ携帯基地局”として運用できる。これにより、市販・無改造のスマホで、テキストメッセージや音声、ウェブブラウジングといった普通の使い方ができるという特長をもつ。

同社ではこれにより、携帯ブロードバンドがまだ行き届いていない、世界人口の約 50%に対して、通信接続を提供するという目標を掲げている。同計画には日本の楽天モバイルがかねてより投資しており、2020 年 3 月には戦略的パートナーシップを締結している。楽天モバイルはスペースモバイルにより、これまでモバイル通信サービスの提供が難しかった山岳地帯や離島などにおいてサービスを提供し、日本国土のエリアカバー率を大幅に向上させることを計画している。また、大規模災害によって地上の基地局設備が被災した場合の、被災地への通信サービスの提供にも使用し、自然災害の多い日本における通信インフラの冗長性強化に貢献できるとしている。スペースモバイルにはこのほか、通信大手のボーダフォンや AT&T などにも参画している。

AST は 2019 年、小型の試験機を打ち上げて試験を行ったのち、2022 年 9 月にはより実用的な試験機「ブルーウォーカー3 (BlueWalker 3)」を打ち上げた。ブルーウォーカー3 は高度約 500km の軌道に投入され、同年 11 月には 8x8m の 64 平方 m の巨大アンテナの展開にも成功した。そして日本時間 2023 年 4 月 21 日 10 時 31 分(米中部夏時間 20 日 20 時 31 分)、ブルーウォーカー3 を使用した、市販・無改造のスマートフォン同士のエンド・ツー・エンドでの音声通話試験に成功した。AST によると、宇宙から送信するモバイル・ブロードバンド・ネットワークと市販スマートフォン端末との通信において、世界初の成功例だという。

通話は、テキサス州ミッドランドにいる AST のチェアマン兼 CEO の Abel Avellan 氏から、日本の楽天モバイルのエンジニアとの間で、AT&T の周波数を使用して行われた。端末はサムスン製の Galaxy S22 を使ったという。今回の試験ではまた、音声通話の試験に加えて、さまざまな種類のスマートフォンやデバイスでの初期互換性試験も実施したとしている。スマートフォンに関しては、宇宙からあらゆる電話端末やデバイスにブロードバンド接続を提供する際に重要な、加入者識別モジュール(SIM)とネットワーク情報を、「ブルーウォーカー 3」と直接交換することに成功したという。また、スマートフォンのアップリンクとダウンリンクの信号強度に関する追加試験と測定により、モバイル・ブロードバンド速度および 4G LTE、5G 波形に対応できることも確認できたとしている。楽天グループの代表取締役会長兼社長の三木谷浩史氏は、「このたび、衛星と市販スマートフォンの直接通信を実現し、当社のエンジニアと Avellan 氏の音声通話という画期的な成果を上げられたことを大変喜ばしく思います。AST スペースモバイルならびに試験に参加したすべての AST の戦略パートナー企業の皆様にお祝い申し上げます。AST のようなパイオニアによって宇宙からのモバイル通信の技術的進歩がなされることで、楽天グループとしても、私たちの目標である『携帯市場の民主化』に向けて大きく前進できると考えています」と述べている。AST は今後、ブルーウォーカーの追加機能の試験を継続して行うとともに、2024 年第 1 四半期には、実運用衛星となる 5 機の「ブルーバード(BlueBird)」衛星の打ち上げも計画している。

また楽天モバイルは、2022 年 11 月に実験試験局免許の予備免許を取得しており、今後、実験試験局本免許の付与を受け準備が整い次第、国内で通信試験と事前検証を開始する予定だとしている。

## 天文学への影響の懸念

AST のように、低軌道に多数の衛星を打ち上げて通信などのサービスを提供しようという企業は近年増加している。スペース X のスターリンクはすでに 4000 機以上の衛星を打ち上げてサービスを開始しているほか、ワンウ

ウェブ(OneWeb)や Amazon など参入し、欧州や中国でも構築の動きがある。こうした低軌道衛星コンステレーションをめぐるのは、巨大なアンテナが太陽光を反射しやすく、夜空で明るく輝いてしまうことや、つねに地上に向けて通信電波が出ていることから、天体観測、天文学の研究に悪影響を及ぼす可能性が懸念されている。実際、スターリンク衛星は、太陽光の反射によって明るく輝き、いくつもの光の点が数珠つなぎになって夜空を流れる様子が世界中で観測されている。また、地上の天体望遠鏡や宇宙望遠鏡の観測画像に、光の筋となって写り込んでしまう被害も出た。最近では衛星の改良により、反射が抑えられてはいるものの、問題が完全に解決したわけではない。ブルーウォーカー3についても、2022年11月のアンテナ展開後、地上からの観測により、条件によっては最高で1等級の明るさになることが、第三者の研究グループによる観測でわかっている。将来的に打ち上げられる実運用衛星は、ブルーウォーカー3よりも大型化するとされており、また複数機打ち上げられることから、より影響が大きくなる可能性もある。今後、ASTをはじめとする各社が、ビジネスでの成功と天文学への悪影響の軽減を、どのように両立させていくか、注意深く見守る必要がある。

#### 参考文献

・ [AST SpaceMobile Makes History in Cellular Connectivity, Completing the First-Ever Space-Based Voice Call Using Everyday Unmodified Smartphones - AST SpaceMobile | AST SpaceMobile](#)

・ [楽天モバイルと米 AST SpaceMobile、世界初となる低軌道衛星と市販スマートフォンの直接通信試験による音声通話に成功 | プレスリリース | 楽天モバイル株式会社](#)

・ [\[2211.09811\] Visual Magnitude of the BlueWalker 3 Satellite](#)

鳥嶋真也とりしましんや

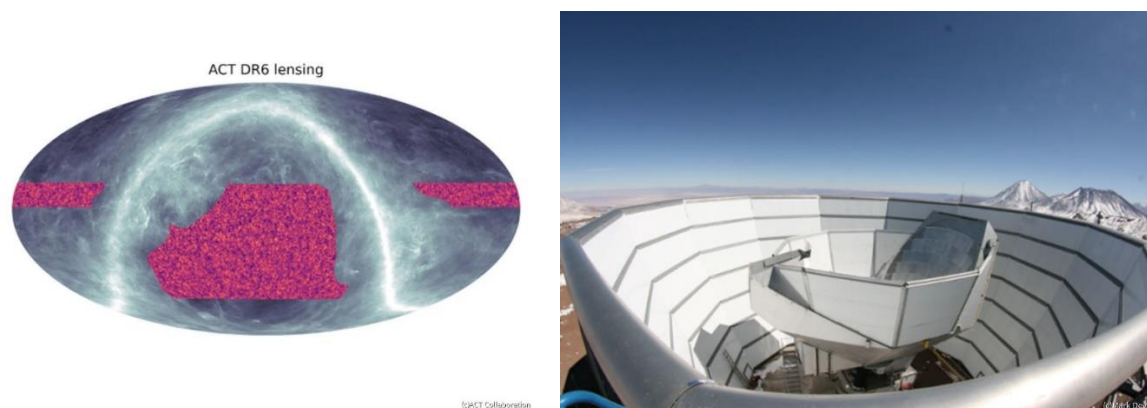
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230509-2675404/>

## Kavli IPMU など、全天の約 4 分の 1 のダークマター分布図を新たに作成

掲載日 2023/05/09 16:20 著者：波留久泉

東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)は5月2日、2017年から2021年にかけて「宇宙マイクロ波背景放射」(CMB)を観測したデータを用いて、CMBが地球に届くまでの間に重力レンズ効果の影響をどの程度受けているのかを解析し、全天の約4分の1にあたる天域(9400平方度)をカバーする新たなダークマター分布図を作成したと発表した。

また、その分布図から宇宙の大規模構造の成長過程や最近の宇宙の膨張速度を見積もったところ、アインシュタインの一般相対性理論に基づく標準宇宙論の予言値と一致しており、同理論の正しさを裏付ける結果となったことも併せて発表された。



今回、新たに作成されたダークマター分布図。オレンジ色の領域はダークマターの質量が多く、紫色の領域は少ない。この分布の特徴は、奥行き方向にして数億光年にわたる。灰色と白の領域は、プランク衛星によって測定された天の川銀河のダストからの光で、CMB観測を妨げている領域が示されている。(c)ACT Collaboration(出所:Kavli IPMU Web サイト)

中央部がアタカマ宇宙論望遠鏡の電波望遠鏡。周囲の構造物は、地上からのミリ波を防ぐための覆い。(c) Mark Devlin(出所:Kavli IPMU Web サイト)

同成果は、Kavli IPMU の並河俊弥特任助教ら 50 名の研究者が参加した、南米チリのアタカマ宇宙論望遠鏡(ACT) の国際共同研究チームによるもの。論文は米天体物理学専門誌「The Astrophysical Journal」に投稿され、[査読前プレプリントが「arXiv」で公開されている。](#)

全宇宙の物質の約 85%を占める正体不明のダークマターは、宇宙の進化において非常に重要な役割を果たしてきたとされるが、通常物質とは重力でしか相互作用しないため、観測することができない。そこでこれまでは「重力レンズ効果」を用いて、遠方の銀河や銀河団などの形状が歪んで見える現象や、CMB の偏光パターンが歪んで見える現象を定量的に解析することで、その分布が調べられてきた。ダークマターの分布を解き明かすことで、その性質だけでなく、宇宙の大規模構造の成長など、宇宙の進化にも迫ることが可能だと考えられている。

研究チームは今回、チリ北部に位置するアタカマ砂漠のセロ・トコ山頂近く(5190m)にある ACT が、2017 年から 2021 年にかけて CMB を観測したデータを用いて、重力レンズ効果による CMB の偏光パターンの歪みを解析したという。CMB は、宇宙誕生からおよそ 38 万年後の"宇宙の晴れ上がり"が生じた時に、初めて直進できるようになった宇宙最古といわれる光だ。その後、宇宙膨張に伴って波長が限界まで引き伸ばされた結果、およそ 138 億年が経過した現在ではマイクロ波として観測されている。ただし、宇宙誕生 38 万年後と現代の宇宙には、過去のさまざまな銀河や天体、宇宙空間に漂う星間ガスなどが存在しており、それらからはマイクロ波と非常に波長の近いミリ波が放出されている。それらの放射は、宇宙誕生 38 万年後よりも現代に近い時代からやってくるため「前景放射」と呼ばれる。前景放射は CMB 観測において測定誤差の原因となることから、今回の研究でもその成分を厳密に取り除くことが求められた。そこで採用されたのが、並河特任助教が開発した新解析手法「バイアスハードニング」だ。これにより、ACT の CMB データから前景放射成分を上手く取り除くことができたという。その結果、全天の約 4 分の 1 にあたる 9400 平方度の天域をカバーするダークマターの分布図の作成が実現したのである。そして同分布図を用いて、宇宙の大規模構造の成長過程や最近の宇宙の膨張速度が見積もられた。するとその結果は、アインシュタインの一般相対性理論に基づく標準宇宙論の予言値と一致しており、その理論の正しさが裏付けられる結果となったという。近年、標準宇宙論の破綻の可能性が一部の研究者から指摘されており、「宇宙論の危機」ともされている。しかし、今回の ACT を用いた最新結果により、標準宇宙論は宇宙の進化の過程や膨張速度を上手く記述できていることが示されているとしている。

ダークマター分布図に関する研究は、上述したように銀河や銀河団の像が歪むのを観測することでも行われている。そのことから研究チームは、「宇宙論の危機」は、CMB ではなく光を用いた観測に起因している可能性を指摘しているといい、それぞれのアプローチにおける研究の今後の進展が期待されるとした。

なお 15 年間運用された ACT は、2022 年 9 月に観測が終了。ACT の研究チームは、同じアタカマ砂漠で CMB 観測を行っていた「POLARBEAR(ポーラーベア)」の研究チームと合流し、次の CMB 観測プロジェクト「Simons Observatory(サイモンズオブザーバトリー:SO)」の運用を 2024 年から開始する予定だという。

なお SO は、ACT の約 10 倍の速度で CMB の大規模観測を行うことが可能だ。その大規模データから、インフレーション理論の裏付けとなる原始重力波の痕跡を探ったり、今回同様にダークマター分布図から宇宙の進化を探ったり、現在も謎に包まれているニュートリノ質量の絶対値と同素粒子が大規模構造の成長に与えた影響を調べたりと、さまざまな研究が行われる予定だとされている。また並河特任助教が開発したバイアスハードニングは、SO の研究でも活用されることが期待されるとしている。

<https://sorae.info/astrometry/20230510-fomalhaut-webb.html>

**フォーマルハウトを囲むデブリ円盤の全体像 ウェブ宇宙望遠鏡の観測で明らかに**

2023-05-10 [sorae 編集部](#)

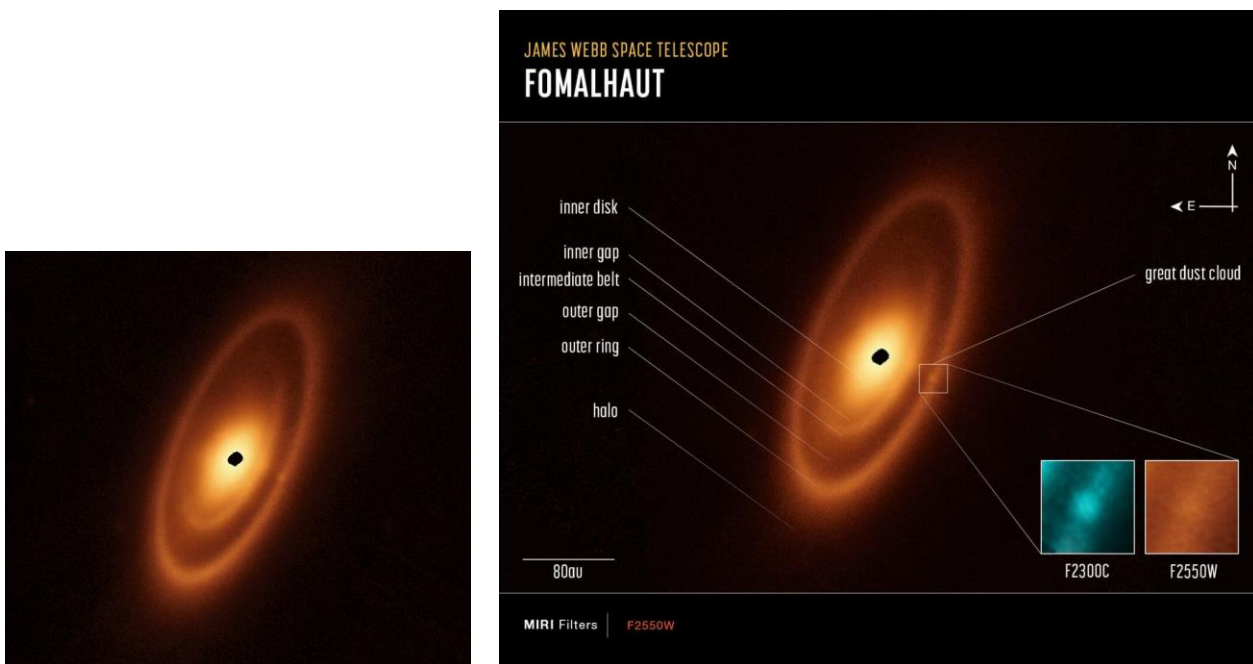
こちらは約 25 光年先にある「みなみのうお座」の一等星「フォーマルハウト (Fomalhaut)」の周囲に広がるデ



ブリ円盤（残骸円盤）の様子です。「ジェイムズ・ウェッブ」宇宙望遠鏡の「中間赤外線観測装置（MIRI）」で取得したデータ（波長 25.5 $\mu\text{m}$  のフィルターを使用）をもとに作成されました。赤外線の波長で観測が行われたため、人の目で見た場合とは見え方が異なります。

フォーマルハウトは誕生から 4 億年ほどが経ったと考えられている比較的若い星です。その周囲を取り囲むデブリ円盤は 1983 年に発見されて以来、40 年間に渡って研究され続けています。

2022 年 10 月 21 日に実施された今回の観測でウェッブ宇宙望遠鏡は、フォーマルハウトのデブリ円盤に 2 つのギャップ（すき間）が生じて入れ子構造になっている様子を捉えました。観測を行ったアリゾナ大学の András Gáspár さんを筆頭とする研究チームの論文は、2023 年 5 月 8 日付で「Nature Astronomy」に掲載されています。ウェッブ宇宙望遠鏡や「ハッブル」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、一番外側にあるリングの半径は約 120 天文単位（※）で、海王星の公転軌道の外側にあるエッジワース・カイパーベルトの約 2 倍のスケールで広がっているといいます。この外側のリングはハッブル宇宙望遠鏡や「アルマ望遠鏡（ALMA）」による過去の観測でも捉えられたことがありますが、ギャップに隔てられた中間と内側のリングが確認されたのは今回が初めてです。



【▲ ウェッブ宇宙望遠鏡の中間赤外線観測装置（MIRI）で捉えられたフォーマルハウトのデブリ円盤。2 つのギャップが生じた多重構造になっている（Credit: NASA, ESA, CSA, A. Pagan (STScI), A. Gáspár (University of Arizona)）】

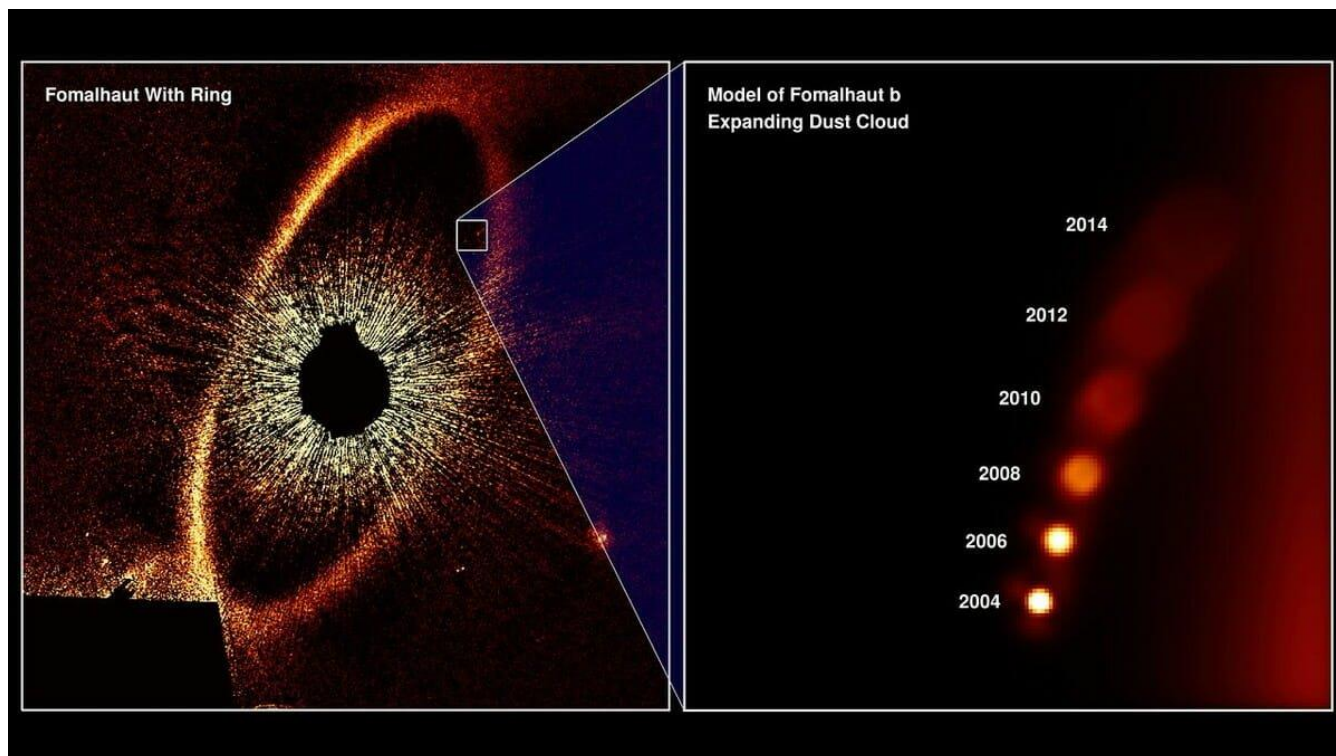
【▲ ウェッブ宇宙望遠鏡の中間赤外線観測装置（MIRI）で捉えられたフォーマルハウトのデブリ円盤（英語注釈付き）（Credit: NASA, ESA, CSA, A. Pagan (STScI), A. Gáspár (University of Arizona)）】

※...1 天文単位（au）＝約 1 億 5000 万 km、太陽から地球までの平均距離に由来。120 天文単位は太陽から海王星までの距離（約 30 天文単位）の 4 倍に相当する。

フォーマルハウトのデブリ円盤に生じた 2 つのギャップと複雑なリング構造は、まだ見つからない惑星の影響を示している可能性があるといいます。太陽系では木星が小惑星帯に、海王星がエッジワース・カイパーベルトに重力を介して影響を及ぼしているように、フォーマルハウトにもリング構造を保たせている未知の太陽系外惑星が存在するのではないかと推測されています。また、今回の観測では研究チームから「大きな塵の雲（great dust cloud）」と呼ばれている塊状の特徴が外側のリングで見つかりました。この雲は外側のリングで起きた小天体どうしの衝突によって形成された可能性が指摘されています。

実は以前、フォーマルハウトには「フォーマルハウト b」という系外惑星が存在すると考えられていたことがあります。フォーマルハウト b はハッブル宇宙望遠鏡で 2004 年と 2006 年に取得されたデータをもとに 2008 年

に発見が報告されたものの、2014年までに見えなくなっていました。2020年には Gáspár さん率いる研究チームが「フォーマルハウト b は直径 200km 程度の小天体どうしが衝突したことで形成された塵の雲だった」、つまり系外惑星ではなかったとする研究成果を発表しています。今回見つかった“大きな塵の雲”も、同じような衝突で形成されたのではないかと考えられています。



【▲ 参考：ハubble宇宙望遠鏡によるフォーマルハウトの 2012 年の観測結果（左）と、当初“フォーマルハウト b”だと考えられていた塵の雲が拡散していく様子のシミュレーション（右）(Credit: NASA, ESA, and A. Gáspár and G. Rieke (University of Arizona))】

関連：[系外惑星「フォーマルハウト b」は存在しておらず、塵の雲だった？](#)（2020年4月22日）

ウェブ宇宙望遠鏡で取得されたフォーマルハウトのデブリ円盤の画像は 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 5 月 8 日付で公開されています。

Source Image Credit: NASA, ESA, CSA, A. Pagan (STScI), A. Gáspár (University of Arizona)

[NASA](#) - Webb Looks for Fomalhaut's Asteroid Belt and Finds Much More

[ESA/Webb](#) - Webb looks for Fomalhaut's asteroid belt and finds much more

[STScI](#) - Webb Looks for Fomalhaut's Asteroid Belt and Finds Much More

[University of Arizona](#) - Nearby planetary system seen in breathtaking detail

[Gáspár et al.](#) - Spatially resolved imaging of the inner Fomalhaut disk using JWST/MIRI (Nature Astronomy, [arXiv](#))

文/sorae 編集部

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/051000229/>

## 恒星フォーマルハウトに新たな環、想定外の光景に科学者が絶賛

『これはすごい』と思わない人はいない」「非常に複雑でダイナミック」

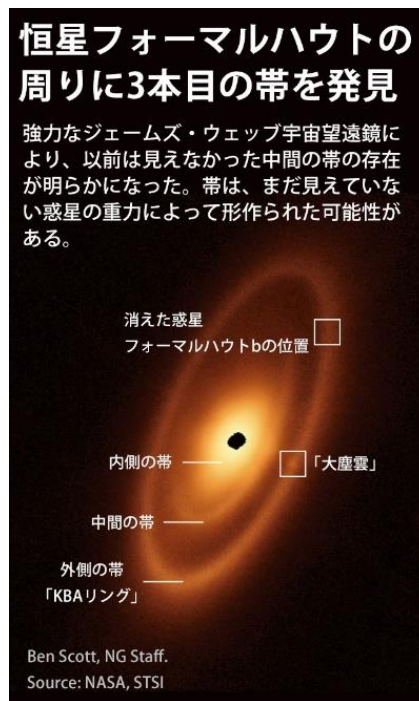
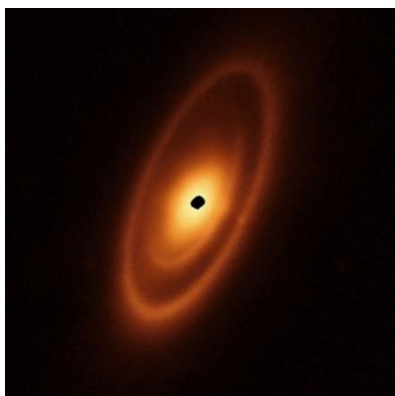
2023.05.11

米航空宇宙局（NASA）のジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡（JWST）が新たに撮影した画像には、ある恒星を取り巻くデブリの帯が、驚くほど鮮やかにとらえられている。太陽系にある小惑星帯と同じように、砕けた岩石や氷や塵（ちり）からなるデブリが恒星の周りを回っているこうした環は、惑星系がどのように形成されるかの謎を解明する手がかりとなる。この画像に写っているデブリ円盤は、地球から約 25 光年離れた、太陽よりも若

く大きな恒星「フォーマルハウト」を周回している。夜空でひとときわ明るく輝く星のひとつであるフォーマルハウトは、南天にある「みなみのうお座」の中に位置する。フォーマルハウトの周囲には以前から2本の帯が観測されていたが、2023年5月8日付けで学術誌「Nature Astronomy」に発表された論文の新たな画像からは、3本の帯が星を取り囲んでいるのがわかる。

「この画像を見て『これはすごい』と思わない人はいないでしょう」。米ワシントン D.C.にあるカーネギー研究所のアリシア・ワインバーガー氏はそう述べている。氏は今回の研究に関わっていない。

フォーマルハウトは天文学者の間ではよく知られている。なぜなら、この星の帯は太陽系外で初めて観測されたもののひとつだからだ。1980年代、赤外線天文衛星 IRAS を使っていた研究者らが偶然、フォーマルハウト、ベガ、がが座ベータ星、エリダヌス座イプシロン星という4つの恒星の周囲にデブリの帯があるのを発見した。



入れ子になった3本のデブリ（岩や氷の破片や塵）の帯が、若い恒星フォーマルハウトを中心に約230億km外側まで広がっている。内側の帯2本は、見えていない複数の惑星の重力によって削り取られてきた可能性が高い。画像はジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）によって、周囲の物質がよく見えるよう恒星の光を遮って撮影されたもの。（IMAGE BY NASA, ESA, CSA; IMAGE PROCESSING: ANDRÁS GÁSPÁR, UNIVERSITY OF ARIZONA, AND ALYSSA PAGAN, STSCI）[画像のクリックで拡大表示]

フォーマルハウトは太陽よりもはるかに高温で、約15倍明るい。地球から25光年離れているこの星は、猛烈な勢いで水素を放出しており、太陽の寿命の約10分の1にあたるわずか10億年で燃え尽きようとしている。

（IMAGE BY NASA, ESA, AND THE DIGITIZED SKY SURVEY 2）[画像のクリックで拡大表示]

[画像のクリックで拡大表示]

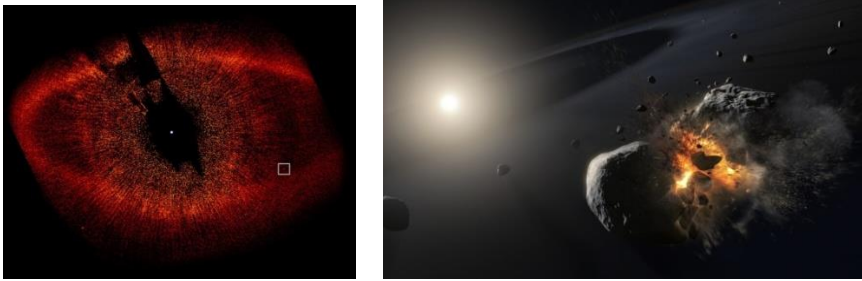
フォーマルハウトがさらに大きな注目を集めるようになったのは2008年、ハッブル宇宙望遠鏡で観測を行っていた天文学者らが、この恒星を周回する巨大な惑星のようなものを発見したときのことだった。「フォーマルハウトb」と呼ばれたその天体は、可視光で直接観測された最初の太陽系外惑星ということになった。

しかし、その後の観測でフォーマルハウトbは姿を消し、さらに2020年に米アリゾナ大学のアンドラーシュ・ガスパール氏が率いた研究によって、フォーマルハウトbは2つの小さな天体の衝突から生じた塵の雲である可能性が高いことが判明した。[次ページ：「非常に複雑でダイナミックに活動する星系です」](#)

ガスパール氏は何年もの間、史上最大の宇宙望遠鏡であるJWSTを使ってフォーマルハウト星系をさらに詳しく観測できる日を待ち続けてきた。氏は2016年から、JWSTに搭載される中間赤外線観測装置（MIRI）でこの星を観測するためのプログラムを設計し始めていた。JWSTは2021年のクリスマスの日によりやく打ち上げられ、



2022年10月、ガスパール氏はフォーマルハウトを「再訪」する機会を得た。



巨大な太陽系外惑星と考えられていたフォーマルハウト b (枠内)。2008年にハッブル宇宙望遠鏡が可視光で撮影した画像。(IMAGE BY PAUL KALAS, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY, NASA/ESA)

[画像のクリックで拡大表示]

フォーマルハウト b は、かつては惑星と考えられていたが、現在は直径 200km ほどの 2 つの天体が衝突してできた塵の雲である可能性が高いことがわかっている。新たに発見された「大塵雲」もまた、そうした衝突の余波である可能性があるが、衝突した天体ははるかに大きなものだったと考えられる。もうひとつの説としては、「背景にある銀河が、ちょうど外側の帯 (KBA リング) のすぐ後ろに位置していて、われわれの目を騙しているだけという可能性もあります」と、今回の論文の筆頭著者であるアンドラッシュ・ガスパール氏は書いている。(IMAGE BY ESA, NASA, AND M. KORNMESSE) [画像のクリックで拡大表示]

「JWST が見せてくれるのは、われわれが想定していたものとは大きく異なる光景です」とガスパール氏は言う。「実にエキサイティングです。そこに見えているのは、非常に複雑でダイナミックに活動する星系です」

### 恒星の周囲に漂う残骸

太陽の周りには、火星と木星の軌道の間にある小惑星帯と、もっと離れた海王星の軌道の外側にあるカイパーベルトが存在する。それらの中には太陽系の残骸、つまり小惑星、彗星、微惑星といった、惑星に組み込まれずに残った古代のデブリが含まれている。太陽系の外でも、多くの恒星が周囲にデブリの帯を持っているはずだが、地球から遠く離れたところにあるため、観測するのは簡単ではない。(参考記事: [「小惑星と彗星とは: 違いは何? 地球に衝突する可能性は?」](#)) MIRI は、人間の目には見えない中間赤外線をとらえる。このタイプの光は、塵を観測するとき特に役立つ。これまでの宇宙望遠鏡にも中間赤外線による観測装置はあったが、MIRI の口径はそれよりもはるかに大きいため、より多くの光を集め、より光の弱い天体をとらえることが可能になる。ガスパール氏は MIRI を使うことにより、フォーマルハウト星系には、小惑星帯のような内側の円盤と、カイパーベルトのような大きな外側の環があるだけでなく、その中間にぼんやりとした環がもうひとつあるのを発見した。環と環の間の隙間や、環の並びのズレは、フォーマルハウトの周りに小さすぎて観測できない未知の惑星が存在することを示唆している。「ほかの望遠鏡では見られなかった主要な帯の内部構造を詳しく見ることができたのは本当に素晴らしいことです」と、カナダ、レジャイナ大学の天文学者サマンサ・ローラー氏は言う。氏は今回の研究には関わっていない。中間の帯の存在には驚かされたと、氏は付け加える。過去の画像では、そこには何も写っていなかったからだ。「この事実は、太陽系外惑星と考えられていたフォーマルハウト b が、天体の衝突で発生した塵の雲であるという説に非常によく合致しています。フォーマルハウト b が発生したのだらうと考えられる距離に、これだけ多くの物質があるわけですから」とローラー氏は言う。[次ページ: 外側の帯には「大塵雲」](#) 中間の帯に含まれる塵は、フォーマルハウトの推定年齢である 4 億年前からずっと漂っていたわけではなく、小惑星や彗星の衝突によって、何度も繰り返し発生したものだ。また研究チームは、今回の観測により、広がる過程にあるさらに別の塵雲が見つかったと考えている。この「大塵雲」は、外側の帯の内部で発見された。その全体の大きさと、光を反射する塵の大きさから、それぞれ直径 710km ほどの 2 つの天体の衝突で生まれたのだと推測される。「デブリ円盤の内部では衝突が発生するのが当たり前です」と、米コロラド大学ボルダー校の天体物理学者メレディス・マクレガー氏は言う。氏は今回の研究に関わっていない。「小さな塵の粒は、星系の年齢よりも短いタイムスケールで除去されます。つまり、現在われわれが見ている塵は、衝突によって繰り返

返し発生しているものなのです」 ただし、「個々の衝突について定期的に観測が行われているわけではありません」と氏は指摘する。「そうした衝突が、背景にある別の物体ではなく、実際にその星系に関連したものであると確認することは非常に重要です」



JWSTによってフォーマルハウトが撮影されるまでは、ほかの望遠鏡では外側の帯しか確認できなかった。画像は2012年、欧州宇宙機関（ESA）のハーシェル宇宙望遠鏡によって撮影されたもの。（IMAGE BY ESA/HERSCHEL/PACS/BRAM ACKE, KU LEUVEN, BELGIUM）[画像のクリックで拡大表示]

ウェッブ望遠鏡が見たM74の中心部。M74は観測が難しく、幻の銀河とも呼ばれる。ウェッブ望遠鏡を使った赤外線観測により、銀河の中心部から外側に広がる壮大な渦巻き状の腕の中に、ガスや塵の繊細なフィラメントがあることがわかる。中心部にはガスがないため、ここにある星団を見ることができる。（IMAGE BY ESA/WEBB, NASA & CSA, J. LEE AND THE PHANGS-JWST TEAM）[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

### さまざまな星系の観測へ

ガスパール氏は今後、JWSTを使って、ベガとエリダヌス座イプシロン星の周囲にあるデブリ円盤を観測する予定だ。「どちらの星の円盤も、これまであまり詳しく観測されてきませんでした。そこに存在することはわかっている。われわれがこれらの星系の姿を初めてはっきりととらえようと考えています」と氏は言う。恒星の周囲にあるデブリ円盤をより深く理解することは、惑星系がどのように形成されるかを理解するうえで非常に重要だ。「われわれが本当に理解したいのは、惑星はどこで形成されるのか、恒星からどのくらい遠い、または近いところで形成が可能なのか、形成された後はどのような動きをするのかといったことです」とワインバーガー氏は言う。「円盤の構造を観察することで、そうした情報を推測できるようになるでしょう」

また、ほかの恒星の周囲にある岩や氷の帯を観測することにより、太陽系の構造が典型的なものなのか、それとも奇妙かつ独特なことが起こった結果なのかについても、より具体的に推測できるようになるだろう。

「太陽系外惑星はこれまでに5000個ほど発見されています」とワインバーガー氏は言う。「そしてその多くは、太陽系とはまったく似ていない星系にあるのです」[ギャラリー：科学者さえも息をのむ、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の画像9点（写真クリックでギャラリーページへ）](#)

関連記事：[20年間の活躍が楽しみな初画像、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡【連載】「研究室に行ってみた。」星・惑星形成 坂井南美「最初期の銀河」が予想以上に多く見つかる、従来説を見直し土星の環から「雨」が降っていた、予想外の事実も土星の環ができたのは意外と「最近」だった？想像以上の異形。巨大環もつ太陽系外惑星の姿準惑星に初めてリングを発見、太陽系外縁ハウメア](#) 文=MEGAN GANNON/訳=北村京子

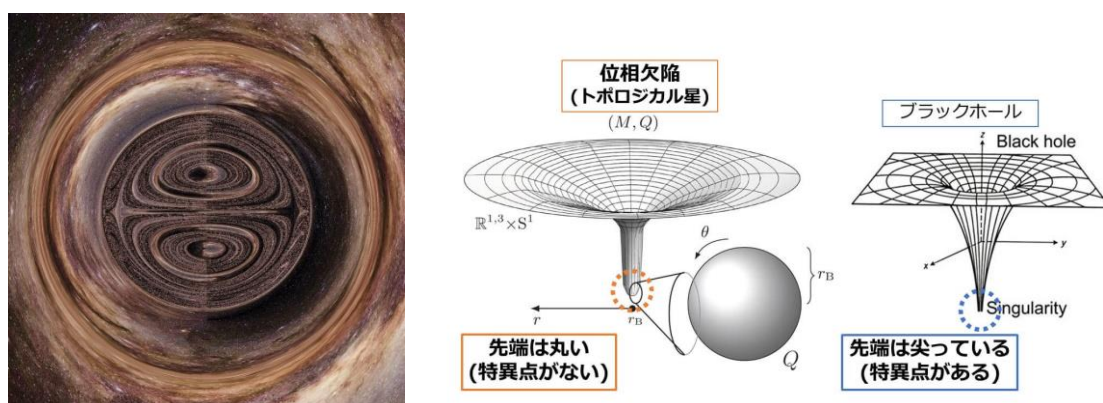
<https://sorae.info/astrometry/20230508-topological-stars.html>

## 「位相欠陥(トポロジカル星)」の画像化 黒くないブラックホールのような天体

2023-05-08 [彩恵りり](#)

「ブラックホール」は非常に知名度の高い天体ですが、その存在がカール・シュヴァルツシルトによって最初に予言されたのは1915年です（公表は1916年）。アルベルト・アインシュタインが一般相対性理論を発表したわずか1か月後に、シュヴァルツシルトは一般相対性理論を解くことでブラックホールに当たる天体が発見されることを数学的に証明しました（当時はまだ“Black Hole”という名称は与えられておらず、1964年に初めて使用さ

れました)。当初は実在が疑われたブラックホールですが、その後の天文学の発展により、ブラックホール以外では説明のつかない天体や天文現象が次々と発見されているため、今日では実在を疑う声はほとんどありません。しかし、ブラックホールは存在しないという考えは今も根強く存在します。その理由は「特異点」の存在です。特異点はブラックホールの質量が詰まっている 1 点であり、大きさはゼロ、密度と重力は無限大です。問題は、ブラックホールが一般相対性理論の産物であるにも関わらず、その中心にあるとされる特異点の状態を一般相対性理論では解き明かすことができない点です。他の理論でも、特異点はブラックホール情報パラドックスといった厄介な矛盾を発生させます。ある理論を解いた結果、その理論では取り扱えない何かが浮かび上がった場合、理論そのものに欠陥があるか、あるいは得られた結果が間違っているかのどちらかだと考えられます。一般相対性理論には今のところ（マクロスケールでの）欠陥は見つかっていないため、“ブラックホールは存在しない”と指摘する研究では、ブラックホールという“一般相対性理論を解いた結果”に何らかの間違いがあるのではないかと考えられています。この場合、ブラックホールであると解釈されている天体は、実は“ブラックホールのように見える全く別の天体”ということになります。ブラックホールの存在を否定するためには、重力波の観測や直接撮影といった近年の天文学の成果と矛盾せず、理論的にも無理のない、“ブラックホールの代替天体”を示す必要があるのです。



【▲ 図 1: 今回の研究でシミュレーションされた位相欠陥の外観 (Credit: P. Heidmann, et al.)】

【▲ 図 2: 位相欠陥とブラックホールの時空図の比較。ブラックホールの中心部には特異点があるため、先端部が尖っている。一方で位相欠陥には特異点がないため、先端は丸くなっている (Credit: P. Heidmann, et al. (Topological star) / Northern Arizona University (Black hole))】

ほとんどのブラックホールの代替天体は、一般相対性理論を超える枠組みの中で議論されています。一般相対性理論には特異点のような描写のできない限界が存在するため、一般相対性理論を置き換える拡張理論が模索されているのです。ブラックホールの代替天体は、拡張理論を作る過程で生じる、いわば副産物です。

ただし、現時点ではどの拡張理論も未完成の状態にあり、どれが正しいのかという議論にも決着がついていません。したがって、ブラックホールの代替天体の存在は、それを定義する拡張理論ごと否定される可能性があります。ジョーンズ・ホプキンス大学の Pierre Heidmann 氏などの研究チームは、ブラックホールの代替天体のひとつである「位相欠陥 (トポロジカル・ソリトン)」という天体について、理論的な内容と、その外観について検討を行いました。位相欠陥は「トポロジカル星」と呼ばれるタイプの天体の 1 種です。

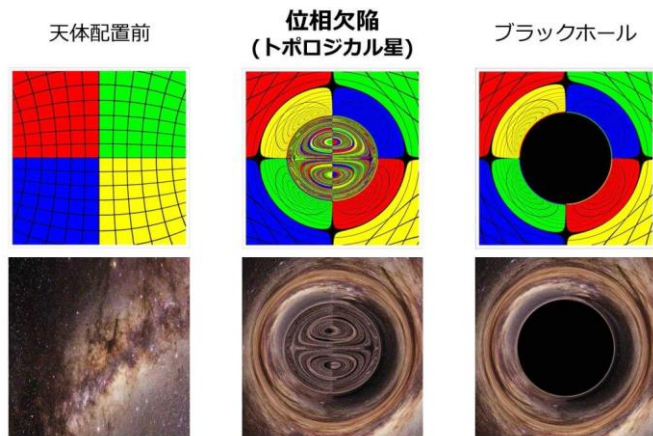
位相欠陥は強い重力を持つ小さな天体であり、一見したところではブラックホールと見分けがつかないと考えられています。ただし、ブラックホールとは異なり、位相欠陥には中心部に特異点が生まれません。非常に複雑に巻き上げられた時空によって、大きさのない 1 点に潰れてしまうことが回避されているからです。その一方で、“時空の巻き上げ”は表面にも表れるため、位相欠陥の外観にも影響を与えられと考えられます。

研究チームが検討した理論的枠組みは“余剰次元のある非超対称的な重力理論”ですが、簡単に言えば「量子重力理論 (一般相対性理論と量子力学の統合理論) の中でもあまり深掘りしておらず、現実的にありそうな理論」です。位相欠陥という考え自体も古くから検討されているため、その詳細を理論的に研究することができます。



ブラックホールの場合、強い重力によって近くを通過する光の進む向きが曲げられます。そして表面（事象の地平面）よりも内側に入った光は二度と抜け出せないため、外観は“ブラック”に見えます。

一方、トポロジカル星の場合は近くを通過する光の進む向きが曲げられるという性質はブラックホールと同じですが、表面を通過した光の運命は異なります。複雑に曲げられた時空によって光の軌道は複雑に変化するものの、やがて放出されます。このため、トポロジカル星の外観は“ブラック”ではなく、背景に由来する非常に歪んだ複雑な模様が見えるでしょう。



【▲ 図 3: 位相欠陥とブラックホールの外観シミュレーションの比較。ブラックホールは真っ暗な領域が中心部にあるのに対し、位相欠陥は非常に複雑に歪められた背景が写っている (Credit: P. Heidmann, et.al.)】

ただし、トポロジカル星の表面から放出される光は、背景の光を複雑に曲げて放出することになるため、非常に弱くなる上にノイズのように乱雑になります。仮にトポロジカル星を観測しても、降着円盤に由来する放射、重力レンズ効果で強められた背景の光、観測ノイズなどに紛れてしまい、表面からの光を観測することは極めて困難です。そのうえ、トポロジカル星の周辺部の時空の歪みはブラックホールとほぼ同じであり、時空の歪み具合だけでは区別できません。このため、現在の技術では M87 中心部の画像のように“中心部が黒く見える=放出された光がない天体”として解釈されてもおかしくはありません。現状の理論研究では、位相欠陥のようなトポロジカル星が実在するかどうかは不明です。ただし、将来的にはこのような天体の表面から放出される光を観測し、画像化することも可能であると予想されます。放出された光は赤方偏移をしているために、高重力の天体表面から放出されたのかどうか、そして位相欠陥を含め、どのような種類のトポロジカル星であるかを検討することができます。また、このような弱い光の観測による画像化の試みでは、トポロジカル星以外に考案されているブラックホールの代替天体であるボソン星、グラバスター、ファズボールといった天体を可視化することができるかもしれません。技術と観測体制を発展させ、ブラックホールが存在するのか、あるいはブラックホールは存在せず、代替天体が存在するのかどうかを観測によって検討する余地はまだまだありそうです。

Source

Pierre Heidmann, Ibrahima Bah, & Emanuele Berti. “Imaging topological solitons: The microstructure behind the shadow”. ([Physical Review D](#)) ([arXiv](#))

[Pierre Heidmann](#). “Could this copycat black hole be a new type of star?”. (Johns Hopkins University)

[Ibrahima Bah & Pierre Heidmann](#). “Topological Stars and Black Holes”. (Physical Review Letters)

[Ibrahima Bah, Pierre Heidmann & Peter Weck](#). “Schwarzschild-like topological solitons”. (Journal of High Energy Physics)

文／彩恵りり

<https://sorae.info/astronomy/20230509-cosmic-leviathan.html>

重力レンズ効果をもたらす“りゅう座”の銀河団 ハッブル宇宙望遠鏡が撮影

2023-05-09 [soraе 編集部](#)

こちらに写っているのは「りゅう座」の一角。画像の横方向の範囲は満月の視直径の 12 分の 1 程度に相当します（視野は 2.37×1.99 分角）。

視野全体を占める天体の多くは銀河です。画像の中央には、ぼんやりと輝く楕円銀河が集まった約 90 億光年先の銀河団「eMACS J1823.1+7822」が写っています。銀河団の中心付近には後述する「重力レンズ効果」によって引き伸ばされた銀河の像も見えています。



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した銀河団「eMACS J1823.1+7822」(Credit: ESA/Hubble & NASA, H. Ebeling)】  
銀河団とは、数百～数千の銀河からなる巨大な天体のこと。それ自身が何百億～何千億もの星々の集まりである銀河が何百、何千と集まっているのですから、銀河団は途方もない質量を持つことになります。その質量の大部分は未知の暗黒物質（ダークマター）が占めており、銀河団の研究を通して暗黒物質の分布についての知見を得ることができるといいます。また、銀河団の膨大な質量は重力レンズ効果をもたらすことがあります。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。重力レンズは遠方の天体を観測するための“天然の望遠鏡”として利用できますし、その強さを分析することで銀河団における暗黒物質の分布を知ることも可能です。この画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡の「広視野カメラ 3 (WFC3)」と「掃天観測用高性能カメラ (ACS)」で取得したデータ（可視光線と近赤外線フィルタを使用）をもとに作成されたもので、ハッブル宇宙望遠鏡の今週の一枚として欧州宇宙機関（ESA）から 2023 年 5 月 8 日付で公開されました。ESAによると、ハッブル宇宙望遠鏡による eMACS J1823.1+7822 の観測は銀河団の暗黒物質の分布に関する知見を得るために計画されたもので、5 つの銀河団を対象に行われた観測の一環として実施されたということです。 ※記事中の距離は天体から発した光が地球で観測されるまでに移動した距離を示す「光路距離」（光行距離）で表記しています。

Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, H. Ebeling [ESA/Hubble](#) - Cosmic leviathan 文/soraе 編集部

<https://soraе.info/astromy/20230510-s8.html>

## すばる望遠鏡のデータから宇宙の基礎的なパラメーター「S8」を検証

2023-05-10 [彩恵りり](#)

恒星が集まって銀河となり、銀河が集まって銀河団や超銀河団を形成しているように、現在の宇宙は物質のある場所とない場所がはっきりと分かれています。この密度の違い、言ってみれば“物質密度の凹凸”は、宇宙誕生直後の初期状態によって形成されたものであると考えられています。誕生直後の凹凸は、濃い部分と薄い部分の違いがわずかに 10 万分の 1 以下でしかなかったと推定されていますが、濃い部分が物質を引き寄せてより濃くなっていき、恒星や銀河が誕生する“種”となったと推定されています。初期宇宙の凹凸の強さは、「 $\Lambda$  (ラムダ) CDM モデル」と呼ばれる理論で予測されています。 $\Lambda$ CDM モデルは物質密度の凹凸だけでなく、身近な物質である水素やヘリウムなどの割合や、宇宙の 95%前後を満たしているとされる暗黒物質（ダークマター）および暗黒エネルギー（ダークエネルギー）の割合、宇宙の膨張速度など、宇宙の様々な性質やパラメーターを記述する最も基礎的な宇宙論の理論であると考えられています。 $\Lambda$ CDM モデルの正しさは様々な観測によって証明されてきましたが、観測精度が向上するにつれて問題が現れてきました。観測手法の違いに応じて、いくつかのパラメーター

が異なる値を示すようになったためです。本来、宇宙に関する基本的なパラメーターは、観測手法を変えても同じ値を示すはずですが、それどころか、異なる観測手法で同じ値が算出されることによって、お互いに観測手法や理論解釈の妥当性を検証することができるはずなのです。パラメーターが一致しない理由は謎であり、 $\Lambda$ CDM モデルでは予測されていません。パラメーターの不一致は  $\Lambda$ CDM モデルにまだ知られていない欠陥が潜んでいるか、もしくは  $\Lambda$ CDM モデルを超えた新たな理論の存在を示している可能性があります。ただし、それを確かめるためには、パラメーターがどの程度の強さで食い違っているのかを調べないといけません。



【▲ 図 1: HSC-SSP が撮影した宇宙の画像の一例 (Credit: HSC-SSP プロジェクト & 国立天文台)】

日本、台湾、米国（主にプリンストン大学）の研究者が主導する「HSC-SSP」は、ハワイのマウナケア山頂にある「すばる望遠鏡」の超広視野主焦点カメラ「ハイパー・シュプリーム・カム (HSC)」を使用した大規模観測プログラムです。観測期間は全体で 5~6 年に渡りますが、今回はその約半分となる 3 年分のデータを解析した研究成果が国際研究チームによって発表されました。この時点での夜空の観測領域の広さは満月約 2000 個分に達します。

今回解析されたのは「重力レンズ効果」による光の歪みです。一般相対性理論によれば、重力は時空の歪みで表されます。光は時空にそって真っすぐ進もうとする性質があるため、時空が歪んでいる場所、つまり重力が強い場所では光の経路が曲げられます。あたかもレンズによって光の経路が曲げられるように見えることから、この現象は重力レンズ効果と呼ばれています。

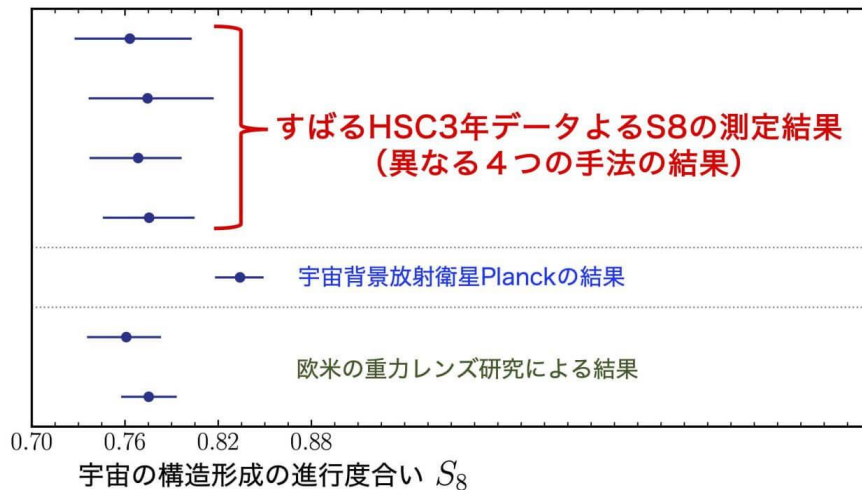
重力レンズ効果があると、遠方にある銀河の像は歪められます。逆に言えば、銀河の像の歪みの度合いから重力レンズ効果の強さを知ることができますし、重力の源である物質の量を推定することもできるのです。宇宙には普通の物質に対して 4 倍も多い暗黒物質が存在するため、重力レンズ効果を正確に測定することができれば、暗黒物質の分布を推定することができます。そして、暗黒物質の分布は最初に述べた初期宇宙の凹凸と対応しているため、 $\Lambda$ CDM モデルにおける宇宙の凹凸を表す値と比較することができます。

今回の研究では、約 2500 万個もの銀河の像を使用することで、重力レンズ効果の解析を行いました。重力レンズ効果の例としてよくアーチ状に大きく歪んだ銀河の像が示されることがありますが、全ての銀河の像がそこまで歪むわけではありません。多くの場合、銀河の像の歪みは極めて小さいため、単に 1 つ 1 つの像を観るだけでは効果を推定することはできません。しかし大量の銀河と比較することで、像に生じたわずかな歪みを導くことができます。また、解析結果の正しさを担保するための「ブラインド解析」も行われました。今回の研究の場合、解析に使用する観測データのカatalogの中に偽のカatalogを混ぜて同時に解析したこと、他の解析結果を観たり比較したりしないこと、解析結果に一切の変更を加えずに公開することを指します。

研究者も人なので、望ましい結果が出た時に解析や検証を無意識に停止してしまう確認バイアスに陥る恐れがあります。ブラインド解析を行うと結果が公表されるまでに人の意思が介入する余地を避けることができるため、人の無意識な行いに結果が左右される恐れを最小限にすることができます。

HSC-SSP による解析では、4 つの異なる解析手法でブラインド解析を行い、「S8 ( $\sigma_8$ )」と呼ばれるパラメーターについての算出結果を報告しました。S8 とは簡単に言えば、最初に述べた宇宙の凹凸に関わるパラメーターの 1 つであり、初期宇宙の光（宇宙マイクロ波背景放射）を解析・算出して得た値と、それ以降の後期宇宙の観測データを解析・算出して得た値の不一致が指摘されているパラメーターの 1 つでもあります。





【▲ 図 2: 今回の研究 (赤文字) では、4 つの異なる手法で  $S_8$  を算出し、ほぼ同じ値が得られた。欧米による過去の似たような研究結果 (緑文字) とも一致している。一方で、初期宇宙の光を分析した研究 (青文字) とは大幅なズレがある (Credit: Kavli IPMU)】

今回の研究は、後者の後期宇宙の観測データを利用した解析に当たります。解析の結果、 $S_8$  の値は小さいもので約 0.763、大きいもので約 0.776 と算出されました。それぞれの解析結果はほとんど同じ値であり、同様の方法で解析を行った欧米での過去の研究ともよく一致します。その一方で、初期宇宙の光を解析した研究結果で得られた値は約 0.834 であり、測定誤差を考慮しても 95% の確率で一致しないこととなります。このため、後期宇宙と初期宇宙のそれぞれで推定された  $S_8$  の値は、お互いに不一致が大きいことが再確認されました。

観測方法の違いによる  $S_8$  の値の不一致は、現代宇宙論における未解決の難題です。その理由がどのようなものであれ、不一致の解決は現代宇宙論を大きく修正し、私たちの宇宙の見方を根本的に変える可能性を秘めています。 $S_8$  の不一致が再確認された今回の結果は、現代宇宙論においてどのような修正が必要となるのか、そのヒントの 1 つとなることが期待されます。

Source

[高田昌広](#). “ダークマターを見る！ - HSC 国際チームが宇宙の標準理論を検証”. (東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構)

[“HSC-Y3 Weak-Lensing Results”](#). (Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program)

[Roohi Dalal, et.al.](#) “Hyper Suprime-Cam Year 3 Results: Cosmology from Cosmic Shear Power Spectra”. (arXiv)

[Xiangchong Li, et.al.](#) “Hyper Suprime-Cam Year 3 Results: Cosmology from Cosmic Shear Two-point Correlation Functions”. (arXiv)

[Surhud More, et.al.](#) “Hyper Suprime-Cam Year 3 Results: Measurements of Clustering of SDSS-BOSS Galaxies, Galaxy-Galaxy Lensing and Cosmic Shear”. (arXiv)

[Hironao Miyatake, et.al.](#) “Hyper Suprime-Cam Year 3 Results: Cosmology from Galaxy Clustering and Weak Lensing with HSC and SDSS using the Emulator Based Halo Model”. (arXiv)

[Sunao Sugiyama, et.al.](#) “Hyper Suprime-Cam Year 3 Results: Cosmology from Galaxy Clustering and Weak Lensing with HSC and SDSS using the Minimal Bias Model”. (arXiv)

[Planck Collaboration](#). “Planck 2018 results VI. Cosmological parameters”. (Astronomy & Astrophysics)

[Marika Asgari, et.al.](#) “KiDS-1000 cosmology: Cosmic shear constraints and comparison between two point statistics”. (Astronomy & Astrophysics)

[DES Collaboration](#). “Dark Energy Survey Year 3 results: Cosmology from cosmic shear and robustness to modeling uncertainty”. (Physical Review D)

文／彩恵りり

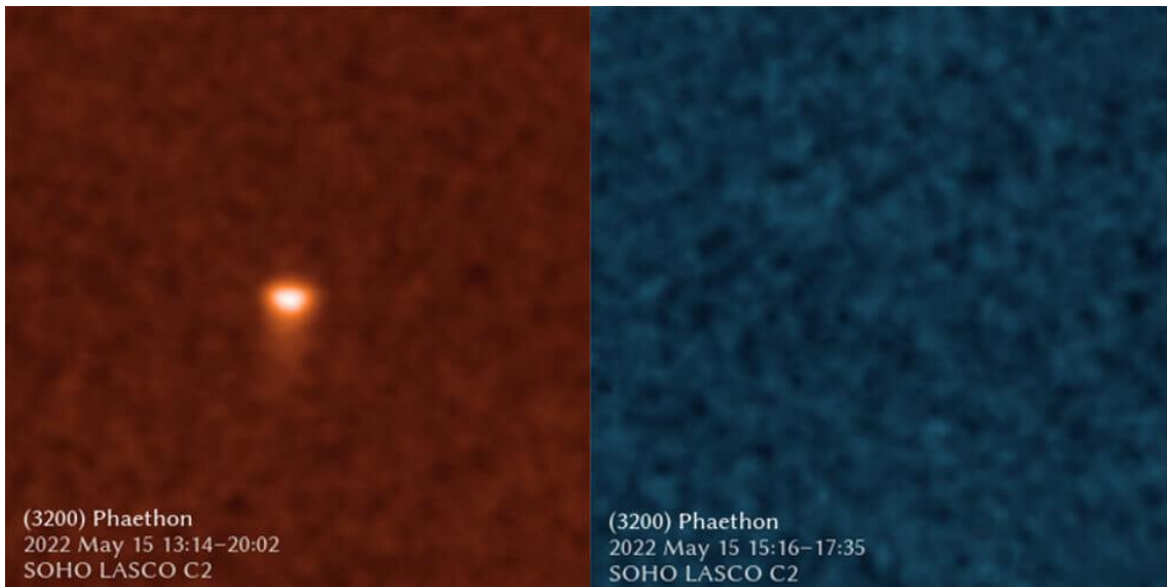
## 普通の小惑星「ファエトン」が普通ではない彗星になった理由 ふたご座流星群の母天体

2023-05-10 彩恵りり

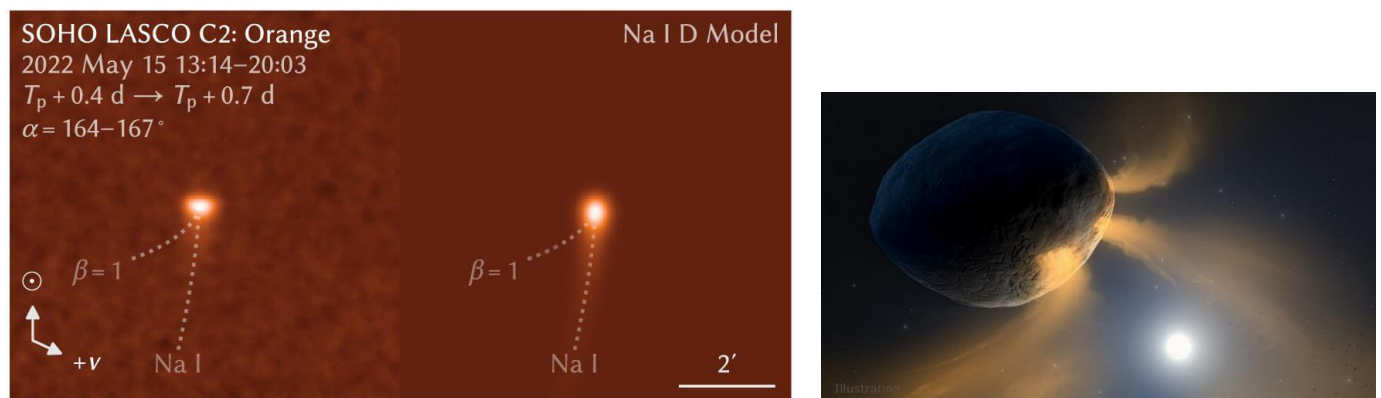
毎年 12 月半ば頃に観測される「ふたご座流星群」は、しぶんぎ座流星群やペルセウス座流星群と並んで知名度の高い流星群です。流星群が毎年同じ時期に観測されるのは、流星の元になる塵の分布と関連していると考えられています。彗星のような表面活動の活発な天体は、公転軌道上に大量の塵を放出します。この天体の公転軌道が地球の公転軌道と交差していると、地球は毎年同じ時期に交差点を通過することになるため、流星群も毎年同じ時期に観測されるというわけです。ふたご座流星群の場合、3200 番小惑星「ファエトン」が母天体（ある天体の元になった天体のこと。ここでは流星の元になった天体）であると考えられています。1983 年に発見されたファエトンの公転軌道は、ふたご座流星群が発生するのと同じ時期に地球と交差しており、同流星群の母天体として極めて有力な候補です。また、ファエトンの公転軌道は近日点（太陽に最も近づく公転軌道上の点）で太陽からわずか 2100 万 km まで接近する極端な楕円軌道であり、小惑星というよりもむしろ彗星に近いようです。さらに、ファエトンの表面は暗い青色であることも判明しています。小惑星としては極めて珍しい特徴ですが、彗星では一般的です。一方で、ファエトンの尾や塵の放出は、少なくとも地球の公転軌道より外側では観察されていません。これらの理由から、ファエトンは氷などの揮発性物質が枯渇した“彗星の成れの果て”である「彗星・小惑星遷移天体」ではないかとこれまで考えられていました。しかし、ファエトンが“彗星の成れの果て”であるという説には疑問もありました。例えば、ファエトンの起源は小惑星帯だと考えられており、彗星の起源とされる太陽系外縁部ではありません。小惑星帯を起源とする場合、ファエトンの揮発性物質はかなり昔に枯渇してしまい、それと同時に塵の供給も停止したことになるため、現在もふたご座流星群が観測されることと矛盾します。また、ファエトンは一時的な増光が何度か観測されており、尾を発生させるような彗星活動が起きていると推定されたこともあります。しかし、仮に尾の主成分が塵だと仮定すると、発生量が多すぎるという謎が残ります。このため、ファエトンは初めから小惑星であり、普通の彗星とは異なる理由で彗星のような活動が起きているとする考えもありました。カリフォルニア工科大学の Qicheng Zhang 氏らの研究チームは、ESA (欧州宇宙機関) と NASA (アメリカ航空宇宙局) によって開発された太陽探査機「SOHO (太陽・太陽圏観測機)」と、NASA の太陽観測ミッション「STEREO」の観測データを使用して、ファエトンの正体に迫りました。

SOHO と STEREO はどちらも太陽の観測が主目的ですが、太陽の極めて近くにある天体を観測することもあります。また、光には特定の物質の存在を示す固有の波長があるため、探査機にはその光のみを通すフィルターも搭載されています。今回の研究では、SOHO と STEREO のデータアーカイブからファエトンが写っているデータを抽出し、そのうち 1997 年から 2022 年にかけての 18 回の観測データを利用して研究を行いました。また、ファエトンとの比較のために、他のいくつかの小天体についても同様の分析を行いました。その結果、「ナトリウム」からの光を通すフィルター越しに撮影したファエトンは明るく写っており、周辺を包む大気と、一方向に伸びる尾のような構造が観測されました。これは彗星活動にとっても似ており、尾が伸びる方向は成分がナトリウムである場合の予測と一致します。ナトリウムは岩石に豊富に含まれている成分ですが、太陽からの強烈な放射によって蒸発することがあります。ファエトンにナトリウムガスの大気と尾が現れるのは太陽に極端に接近した時だけであり、地球軌道の外側で彗星活動が観測されたことがないことと矛盾しません。

その一方で、塵からの光を通すフィルター越しでは何も写っていないことが判明しました。つまり、ファエトンが彗星のような活動をしている時、ガス状のナトリウムが活発に放出されている一方で、固体の塵はほとんど放出されていないことが分かります。つまり、ファエトンは揮発性物質が枯渇した“彗星の成れの果て”ではなく、太陽に極端に接近した時に揮発しにくい成分が蒸発している“普通ではない彗星”であって、それ以外は普通の小惑星と同じである可能性があることとなります。



【▲ 図 1: SOHO によって撮影されたファエトンの画像。ナトリウムを写すフィルター越しの写真 (左側) ではファエトンの本体が明るく写り、尾も見える。一方で、塵を写すフィルター越しの写真 (右側) では何も写っていないように見えることから、ファエトンはナトリウムガスを放出する一方で、塵を放出していないことが分かる (Credit: ESA/NASA/Qicheng Zhang)】



【▲ 図 2: SOHO によって撮影されたファエトンの画像 (左側) と、それを元にモデル計算で出力した画像 (右側)。画像で写っている尾の方向はナトリウム (Na I) であるという予測と一致し、塵 ( $\beta=1$ ) であるという予測とは一致しないことから、尾の成分がナトリウムガスであることが分かる (Credit: Zhang, et.al.)】

【▲ 図 3: 今回の研究結果に基づくファエトンの想像図。表面の岩石からナトリウムが蒸発し、ガス状の尾が伸びている。これは、主に揮発性物質と塵で構成された普通の彗星とは全く異なる構成である (Credit: NASA/JPL-Caltech/IPAC)】

ファエトンが“普通ではない彗星”である場合、彗星とされている他の天体の分類にも影響を与える可能性があります。太陽に接近して時には衝突することもある「サングレーザー」と呼ばれる彗星を、SOHO はこれまでに 1000 個以上観測しています。しかし今回のファエトンの研究結果を踏まえると、サングレーザーの一部は氷などの揮発性物質の蒸発で活動が起きる従来の彗星ではなく、ファエトンのように高温で熱せられた状態になった普通の小惑星なのではないか、という疑問が生じます。Zhang 氏らも、ファエトンとの比較のために研究を行った天体のうち、周期彗星として登録されている 322P/SOHO (1999 年発見) と 323P/SOHO (2004 年発見) は彗星ではなく小惑星ではないかと指摘しています。Zhang 氏らの研究結果を踏まえれば、ファエトンのような特殊な彗星の分類を新設する必要があるかもしれません。ファエトンから普段放出されている物質がナトリウムガスのみであり、塵を含まないのなら、ふたご座流星群の源となっている塵は別のルートで供給されなければなりません。Zhang 氏らは、ファエトンが数千年前に何らかの破壊的なイベントを経験し、一時的に数十億トンの塵



を放出したと考えています。例えば、自転速度の一時的な加速によって表面の一部が壊れた可能性が考えられるものの、その破壊的なイベントが具体的にどのようなものであったのかは不明です。

なお、JAXA（宇宙航空研究開発機構）が2024年に打ち上げを計画している探査機「DESTINY+」では、ファエトンの接近観測がミッションの1つとして計画されています。”普通の小惑星”が“普通ではない彗星”になる理由は何か、流星群の源となる塵の放出の理由は何か、という謎は、案外近いうちに解決するかもしれません。

Source

[Qicheng Zhang, et.al.](#) “Sodium Brightening of (3200) Phaethon near Perihelion”. (The Planetary Science Journal)

[Vanessa Thomas.](#) “Asteroid’s Comet-Like Tail Is Not Made of Dust, Solar Observatories Reveal”. (NASA)

文／彩恵りり

<https://sorae.info/astrometry/20230511-dark-matter.html>

## 暗黒物質はとても軽い粒子でできている？ 重力レンズ効果から推定

2023-05-11 [彩恵りり](#)

宇宙には恒星の大集団である銀河が無数に存在しています。その多くは回転していますが、銀河が銀河としてこの宇宙に存在している以上、銀河の回転速度は重力で恒星を引き留められる限界の速度以下のはずです。

ところが銀河の回転速度を実際に調べてみると、恒星の数をもとに見積もられた銀河の質量から推定される重力では恒星を引き留めることができないほどの高速で回転していることがわかっています。この結果は、光などの電磁波では観測することができず、重力を介してのみ間接的に存在を知ることができる「暗黒物質（ダークマター）」の存在を示唆しています。理論上、その量は電磁波で観測できる普通の物質の4倍以上もあることになります。暗黒物質の正体は現在でも不明ですが、未知の素粒子や、それらの素粒子が結合してできた複合粒子が有力な候補の1つとして長年唱えられています。この場合、暗黒物質は重力の他に弱い相互作用（※1）という力を通じてのみ検出可能な粒子であると考えられます。弱い相互作用は到達距離が極めて短く、検出は困難です。暗黒物質は私たちのすぐ隣に存在するかもしれませんが、まるで幽霊のような性質を持つために探索の目を逃れ続けていると考えられています。

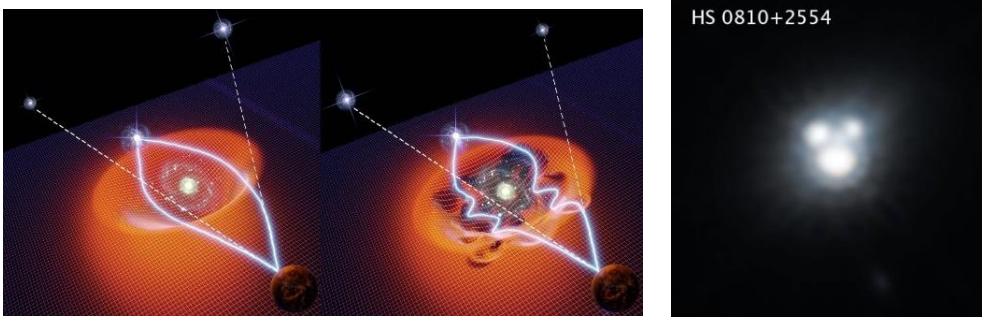
※1...弱い相互作用: 最も基本的な4つの力のうちの1つであり、物質を構成する基本的な素粒子であるクォークの種類を変更する唯一の力である。その到達距離は1京分の1m以下と極めて短く、原子核内部に収まってしまふほどである。

暗黒物質を構成するのが未知の粒子だとすれば、それはどのような性質を持つのでしょうか？

暗黒物質の存在が疑いようもないと判明した1970年代、それは「WIMP (Weakly interacting massive particles)」と呼ばれるものであると考えられていました。WIMPはかなり重い粒子で、質量は少なくとも陽子の10倍と推定されています。重い粒子は軽い粒子よりも動かされにくいため、熱などのエネルギーを与られてもほとんど動きません。このため、WIMP同士は集合して大きな塊を作りやすいこととなります。これは、現在の宇宙に暗黒物質が塊で存在するという観測結果と一致する性質です。また、WIMPを構成するであろう未知の粒子の正体は、複数の理論で予言されています。このため、WIMPは暗黒物質の有力候補でした。

ただし、暗黒物質の正体はWIMPであるという予測には「重力レンズ効果」をうまく説明できないという難題がありました。一般相対性理論によれば、重力は時空の歪みだと表現されます。光には空間をまっすぐ進む性質がありますが、時空が歪んでいるとその歪みに沿って進みます。例えば遠方の銀河の像は、それより手前にある重力源によって光の進行方向が曲げられることで、歪んだ像となる場合があります。このような現象は重力レンズ効果と呼ばれています。重力レンズ効果を受けた銀河の像の歪み度合いから逆算すると、重力源の強さや物質分布を知ることができます。重力レンズ効果は、簡単には観測できない暗黒物質の存在量や分布、そして性質を知るための重要な手がかりとなるわけです。ところが、暗黒物質がWIMPでできていると仮定した場合、予測され

る重力レンズ効果と実際の観測結果にズレが生じることが分かりました。WIMP でできた暗黒物質の塊は比較的綺麗な時空の歪みを生じさせるため、歪められた銀河の像も比較的綺麗な形をしているはずですが、実際に観測された像はかなり複雑な形状をしていることが分かりました。このような像は、時空の歪みがかなりデコボコしていなければ説明がつけづらく、暗黒物質の密度にかなりムラがあることを意味しています。WIMP の性質からは、そのような分布は予測しがたいものとなっていました。



【▲ 図 1:暗黒物質による重力レンズ効果の概要。暗黒物質が WIMP のような重い粒子の場合、時空の歪みは単純である (左)。これに対しアクシオンのような超軽量粒子の場合、時空の歪みは複雑になる (右) (Credit: University of Hong Kong)】

【▲ 図 2: クエーサー HS 0810+2554 の画像。重力レンズ効果によって複数の像に分裂している (Credit: NASA, ESA, A. Nierenberg (JPL), T. Treu (UCLA))】

WIMP のように重い粒子では重力レンズ効果の予測と現実が一致しないことから、暗黒物質の正体は「アクシオン」(※2) のような「超軽量粒子」だとする予想もあります。超軽量粒子は電子よりもはるかに軽いため、WIMP のようにまとまって塊になりにくいという問題があるものの、波としての性質(※3) が強く表れるため、互いに干渉しやすいという特徴があります。超軽量粒子の干渉は暗黒物質の塊の中で密度にムラができやすくなることを意味するため、時空の歪みがかなりデコボコしているという観測結果と一致します。このような性質を持つ超軽量粒子は WIMP と並ぶ暗黒物質の有力候補ですが、どちらがより正しいのかは未解決の問題でした。また、WIMP と超軽量粒子では重さが文字通り桁違いの差があり、暗黒物質以外の面でも性質が大きく異なるため、背景となる理論の構築にも影響を与えます。この点でも、暗黒物質の正体が WIMP と超軽量粒子のどちらであるかは興味深い疑問です。

※2...アクシオン: 素粒子物理学の基本理論である標準模型では予言されていない素粒子の 1 つ。電子の 1 億分の 1 以下と極めて軽いながら質量があるとされているため、暗黒物質の有力候補として長年探索が行われているが、未発見である。

※3...この宇宙にある物質や力は、常に粒としての性質と波としての性質の両方を持っている。ただし大雑把に言えば、重い粒子であるほど粒としての性質が現れやすく、軽い粒子であるほど波としての性質が現れやすい傾向にある。暗黒物質候補の超軽量粒子は、WIMP と比べてずっと軽いため、波としての性質が現れやすい。

香港大学の Alfred Amruth 氏らの研究チームは、重力レンズ効果による銀河の像の歪みをモデル化し、実際の観測結果と照らし合わせる作業を行いました。近年、技術革新によって銀河の像の高精度な撮影ができるようになったため、暗黒物質の細かい分布構造から予測される像の歪みと、実際の写真とを細かく比較できるようになりました。WIMP と超軽量粒子それぞれの理論に従ったモデルを構築し、どちらの方がより実際の写真に近いかどうかを比較検討できるようになったのです。研究チームが WIMP と超軽量粒子のそれぞれのモデルを比較検討した結果、「暗黒物質は超軽量粒子でできている」とするモデルの方が、実際の観測成果とよく合致することが示されました。今回の研究では、2001 年に発見されたクエーサー「HS 0810+2554」に対するモデル適用の結果が特に重要でした。HS 0810+2554 は重力レンズ効果によって像が 4 つに分裂していますが、モデルを利用して分裂後の位置や明るさの予測を行ったところ、超軽量粒子のモデルでは全ての像の再現に成功したのに対し、WIMP のモデルではほとんどの場合失敗しました。このため、暗黒物質は超軽量粒子でできているという可能性が高ま

りました。暗黒物質は超軽量粒子でできているという予測は、他の研究とも矛盾しません。例えば WIMP は探索開始からほぼ半世紀経った現在でも未発見です。未探索の範囲にある粒子は余りにも大きい質量を持っているため、仮にその領域に WIMP が存在したとしても、暗黒物質としての性質を満たさないと考えられます。

また、超軽量粒子の波としての性質は「衛星銀河」の観測結果とも合致します。天の川銀河の周囲には小さな銀河である衛星銀河が 50 個ほど発見されていますが、これは標準的な銀河系形成理論による予測と比べて大幅に少ない数です。もしも暗黒物質が超軽量粒子で構成されているとすれば、超軽量粒子の波としての性質が特定の質量よりも軽い銀河の形成を妨げるために比較的大きな衛星銀河しか形成されず、衛星銀河の数の少なさを説明できるのです。さらに、超軽量粒子は標準模型 (素粒子物理学の基本理論) に含まれない素粒子であると予測されているため、発見そのものが物理学上極めて重要な意味を持ちます。このように、暗黒物質の正体を探る研究は、他の分野の謎の解決にも役立つ可能性があります。

ただし、暗黒物質を構成しているであろう超軽量粒子も未だに発見されておらず、WIMP と比べても探索はさらに困難です。もし見つければ、ここ数十年の物理学で最大の発見の 1 つになるでしょうが、今のところその兆候すらありません。暗黒物質の正体判明にはまだまだ時間がかかりそうです。

Source

[Alfred Amruth, et.al.](#) “Einstein rings modulated by wavelike dark matter from anomalies in gravitationally lensed images”. (Nature Astronomy)

[“HKU Astrophysicists Reveal the Nature of Dark Matter through the Study of Crinkles in Spacetime”](#). (University of Hong Kong)

文／彩恵りり

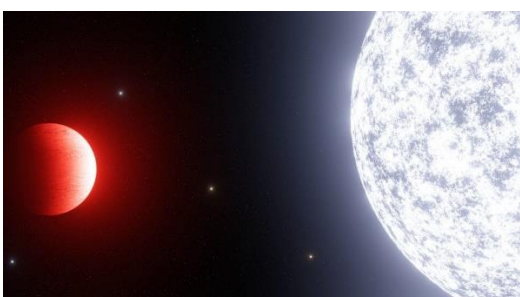
<https://sorae.info/astronomy/20230512-kelt9b.html>

## 4300°Cの高温惑星「KELT-9b」の大気から「テルビウム」を発見 大気中で見つかった最も重い元素

2023-05-12 [彩恵りり](#)

太陽以外の恒星を公転する太陽系外惑星として観測史上初めて発見された惑星のタイプは「ホットジュピター」です。太陽系のガス惑星は地球よりも太陽から遠く離れているために低温の環境ですが、恒星から極めて近い距離を公転しているホットジュピターは表面温度が 1000°C 以上に加熱されていることも珍しくありません。名前の通り極端な高温に晒されているホットジュピターの環境は、相当極端であると考えられています。

木星や土星のような巨大ガス惑星には岩石の核 (コア) が存在すると考えられています。核は分厚い大気の奥深くに隠されています。そのため、巨大ガス惑星の大気成分はほとんどが水素とヘリウムであり、岩石や金属元素は通常見つかりません。しかし、高温に熱せられるホットジュピターの場合は極端に強い大気循環が発生するため、岩石や金属元素も表面に現れます。重い元素ほど惑星に元々含まれている量が少なく、核から上空へと舞い上がりにくいことから表面に現れにくくなるため、大気中に存在する元素の種類はとても興味深い研究対象となります。



【▲ 図: 恒星 KELT-9(右)を公転するホットジュピターKELT-9b(左)の想像図 (Credit: Bibiana Prinoth)】



Lund大学の N.W.B Borsato 氏などの研究チームは、ホットジュピターの1つ「KELT-9b」の大気スペクトルを測定し、大気中に含まれる金属元素の探索を行いました。地球から約 670 光年離れた位置にある KELT-9b は、表面の最高温度が 4300°Cに達する、最も高温な太陽系外惑星の1つです。低温な恒星の表面温度を上回るほどの高温に熱せられた KELT-9b の大気は、ホットジュピターとしても非常に変わった特徴を持つことがこれまでの観測で知られています。例えば、水や二酸化炭素といった分子は恒星からの激しい放射によって分解されるために存在しません。その一方で、鉄やチタンといった金属元素はすでに見つかっています。KELT-9b の大気をさらに詳しく調べることで、他の金属元素が見つかる可能性もあります。

Borsato 氏らはロケ・デ・ロス・ムチャーチョス天文台に設置された分光器「HARPS-N」と、カラル・アルト天文台に設置された分光器「CARMENES」を用いて KELT-9b の観測を行いました（両方ともスペインの天文台）。2つの分光器はどちらも惑星の運動によって生じるドップラー効果に対応したスペクトル分析に特化しており、ホットジュピターの大気組成を調べる上で優れた性能を持っています。

観測の結果、8種類の金属元素(※1)が見つかりましたが、その中でも特に興味深い発見は「テルビウム」(※2)と「バリウム」(※3)です。テルビウムは太陽系外惑星の大気中から初めて見つかりました。バリウムは今回が3例目ですが、1例目と2例目(WASP-76bとWASP-121b)はどちらも2022年に発見されたばかりであり、極めて珍しいケースです。テルビウムは65番元素、バリウムは56番元素であり、太陽系外惑星の大気中に見つかった重い元素のトップ2です。これほど重い元素を惑星の深部から持ち上げるメカニズムは単純な大気循環だけで説明できるのか、それとも他のメカニズムが働いているのかは今のところ不明です。

ホットジュピターの大気成分を調べる作業は、巨大ガス惑星の深部という通常手の届かない領域を調べるための手掛かりをもたらします。また、重い元素を持ち上げるメカニズムは、惑星内部の物質循環の詳細を知る手掛かりにもなるでしょう。KELT-9b の観測は、単に大気中では珍しい元素を発見するだけに留まらず、惑星全体の詳細を知る重要な手掛かりになる可能性もあります。

※1...軽い順にカルシウム、チタン、バナジウム、クロム、ニッケル、ストロンチウム、バリウム、テルビウム

※2...希土類と呼ばれる似たような元素のグループに属する元素の1つ。高温で動作する燃料電池の結晶安定化剤、磁気で膨張・伸縮する特殊な合金、緑色蛍光剤などに利用されている。

※3...アルカリ土類金属の1つ。X線を通しにくい性質を利用した造影剤(いわゆる“バリウムがゆ”)が最も著名な用途。他にも緑色の炎色反応を利用した花火などの用途や、圧電効果を示すセラミックや高温超伝導体といった、今後の実用化が見込まれる材料にも登場している。

Source

N.W.B Borsato, et.al. “The Mantis Network. III. Expanding the limits of chemical searches within ultra-hot Jupiters: New detections of Ca I, VI, Ti I, Cr I, Ni I, Sr II, Ba II, and Tb II in KELT-9 b”. ([Astronomy & Astrophysics](#)) ([arXiv](#))

[Nicholas Borsato](#). “Scientists discover rare element in exoplanet’s atmosphere”. (Lund University)

[T. Azevedo Silva, et.al.](#) “Detection of barium in the atmospheres of the ultra-hot gas giants WASP-76b and WASP-121b”. ([Astronomy & Astrophysics](#))

文／彩恵りり