



米上院、軌道デブリ法案を可決-除去プログラム創設を NASA に指示

2023.11.09 08:30 [塚本直樹](#)

米上院で米国時間 10 月 31 日、軌道上の[宇宙ゴミ（スペースデブリ）](#) 除去プログラムの創設を米航空宇宙局（NASA）に指示する法案が可決され、2 度目となる下院に送られた。

全会一致で可決された「2023 年軌道維持法（ORBITS）」には、「軌道上のデブリの修復につながる技術の研究、開発、実証に対して、賞を授与する実証プロジェクト」の設立が含まれる。デブリ除去の実証ミッションで NASA がパートナーシップを結ぶことも要求している。

これらの実証ミッションで除去できるデブリは、米商務省が「衛星と軌道上での活動の安全性と持続可能性を向上させるために作成したリスト」から選ばれる。

米上院商業委員会の上院議員 Maria Cantwell 氏（民主党）は「ORBITS 法は危険な宇宙ゴミが衛星に衝突したり、NASA のミッションを脅かしたり、地上に落下して誰かを傷つけたりする前に除去するために、必要な技術開発を加速させるだろう」と述べた。 [関連リンク SpaceNews](#)

NASA、ISS の 2030 年以降の運用も検討-民間宇宙ステーションの遅れを想定

2023.11.08 11:50 [塚本直樹](#)

米航空宇宙局（NASA）が国際宇宙ステーション（ISS）の 2030 年を超えた運用を検討していることが「Beyond Earth Symposium」での発言により明らかになった。米 SpaceNews が報じた。



出典：NASA

米国とロシア、日本、欧州、カナダの各宇宙機関の共同プロジェクトである ISS は、2030 年までの運用延長に[ロシアを除く各国が合意](#)している。また NASA は、2031 年に[ISS を軌道から離脱させ処分する方法も検討](#)している。 Beyond Earth Symposium に出席した NASA の Ken Bowersox 氏は、ISS を引き継ぐ民間企業による商業宇宙ステーションの準備が整っていない場合、2030 年に ISS を引退させることは「必須ではない」と発言した。 NASA は、2020 年代後半までに民間主導の商業宇宙ステーションを建設するための支援プログラム

「Commercial Low Earth Orbit Destinations (CLD)」を実施してきた。しかし同局は、商業ステーションの開発スケジュールの時間が非常限られていることを懸念しているという。関連リンク [SpaceNews
https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231110-2815665/](https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231110-2815665/)

高校生が主体となって開発・運用を目指す人工衛星、打ち上げに成功

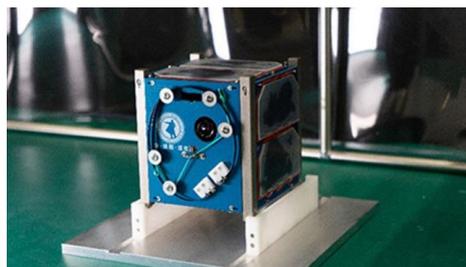
掲載日 2023/11/10 20:49 著者：小林行雄

Space BD は 11 月 10 日、クラーク記念国際高等学校(クラーク国際)、東京大学(東大)、Space BD の 3 者が進めている高校生を対象として未来のリーダー人材育成を目指した「宇宙教育プロジェクト」で開発された人工衛星「Clark sat-1(愛称:Ambitious)」を搭載した SpaceX の Falcon 9 ロケット(NASA 29th Commercial Resupply Service mission:SpX-29)が 2023 年 11 月 10 日 10 時 28 分(日本時間)に打ち上げに成功したことを発表した。



SpX-29 の打ち上げの様子 (C)NASA (出所:Space BD)

この打ち上げの様子はクラーク国際の全国に散らばるキャンパスにも中継され、クラーク国際生 10,000 人以上がその瞬間に立ち会ったという。



打ち上げが成功したことを喜ぶクラーク国際の生徒たち (出所:Space BD)

高校生たちが開発した 10cm 角の超小型衛星「Clark sat-1」 (出所:Space BD)

打ち上げられた Clark sat-1 は 1U サイズ(10cm 角)で重さ約 0.94kg の超小型人工衛星。東大大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻の中須賀真一教授が指導を、Space BD が支援を行う形で 2021 年 10 月から開発が始まり、各種申請手続きや JAXA による各種審査などを経て、2023 年 3 月に完成した。また並行して衛星の運用を行うことを目的としてクラーク国際の校舎に管制局の設置工事も行なったという。

この約 1 年半の間、クラーク国際の生徒たちは中須賀教授からの最新の宇宙開発に関する教育や Space BD 開発の宇宙をテーマとしたワークショップへの参加、宇宙ビジネスを展開する企業への訪問含め、衛星開発のプロセスに沿って、宇宙開発の基礎知識からチームワーク、自ら問いを立てて課題を解決する力を身に付けてきたとのことで、今後、衛星は国際宇宙ステーション(ISS)に運び込まれ、日本実験棟「きぼう」から予定軌道に投入され、生徒たちによって考案されたミッションを実際に行っていくことになる。

なお、生徒同士の協議により衛星のミッションはミニマムサクセス、フルサクセス、エクストラサクセス、そして実現可能性は極めて低いものの、生徒の意志によりチャレンジするエクストリームサクセスの 4 段階が設定されているという。

打上後のミッション

① ミニマムサクセス ISSからの放出成功

② フルサクセス 超小型衛星との通信成功

③ エクストラサクセス

- 1) 衛星に搭載するカメラでの地球環境の撮影
- 2) 搭載した音声やイラストデータを衛星から受信

※ エクストリームサクセス（実現可能性は極めて低い、生徒の意志によりチャレンジするもの）スペースデブリの撮影



東京大学大学院
工学系研究科
SCHOOL OF ENGINEERING
THE UNIVERSITY OF TOKYO



夢・挑戦・達成
学校法人
クラーク国際高等学校



SpaceBD

打ち上げ後のミッションは大きく4つが予定されている（出所:Space BD）

また、実際の運用にあたっては、クラーク国際の校舎に設置した管制局でアマチュア無線従事者免許を取得した生徒たちが自ら、Space BD およびクラーク国際の教員らのサポートのもと、これらミッションの達成とアマチュア無線技術向上を目指し、広く発信しながら取り組んでいく予定だとしている。

<https://nordot.app/1094594980131767055?c=110564226228225532>

「宇宙戦略基金」に 1500 億円 文科省、補正予算案に 2023/11/07

政府が企業や大学による宇宙分野の技術開発などを支援するために新設する「宇宙戦略基金」を巡り、文部科学省が2023年度の補正予算案で1500億円を計上することが、7日分かった。政府は宇宙航空研究開発機構（JAXA）に基金を設け、10年間で最大1兆円規模の支援を行う。

関係者によると、経済産業省や総務省などと合わせ、基金に積む最初の金額は計3千億円程度になる方向で調整している。先端的な研究開発を行う企業や大学を公募で選び、JAXAが助成金を交付する。文科省は、基金設置に関する関連法改正案の早期の国会提出を目指す。

宇宙産業は急速な市場拡大が見込まれ、開発競争が激化している。© 一般社団法人共同通信社

<https://sorabatake.jp/34371/>

2023/11/6

JAXA による企業や大学への資金供給機能強化、運営人材の確保がハードルに【宇宙

ビジネスニュース】【2023年11月6日配信】一週間に起きた国内外の宇宙ビジネスニュースを宙畑編集部員がわかりやすく解説します。10月31日、政府はJAXAに10年間の「宇宙戦略基金」を設け、総額1兆円規模の支援を行う方針を固めたことが**報じられました**。

6月に改訂された宇宙基本計画では、JAXAの資金供給機能の強化が盛り込まれ、政府と連携してJAXAが大学や民間企業に資金を供給する取り組みが検討されていました。

宙畑メモ JAXAの資金供給機能の強化（宇宙基本計画より抜粋）

欧米の宇宙開発機関が、シーズ研究を担う大学や民間事業者、また、商業化を図る民間事業者の技術開発に向けて、資金供給機能を有していることを踏まえ、JAXAの戦略的かつ弾力的な資金供給機能を強化する。これにより、JAXAを、産学官・国内外における技術開発・実証、人材、技術情報等における結節点として活用し、産学官の日本の総力を結集することで、宇宙技術戦略に従って、商業化支援、フロンティア開拓、先端・

基盤技術開発などの強化に取り組む。この JAXA の資金供給機能の強化について、9 月 29 日に開催された定例記者会見で JAXA の山川宏理事長は、「技術の目利きとしての役割を JAXA は求められているのだと思っています」と話しました。一方、資金供給機能の強化に向けては、課題も見えてきています。山川理事長は、すでに実施が始まっている[民間企業への出資](#)を例に挙げて説明しました。

「すでに実施している出資機能の方でも、我々としては相当苦労しました。なぜなら、出資の経験がないからです。我々も相当に勉強し、外部の方にご示唆をいただきながら進めているという状況です」

「もし（資金供給機能の）法案と予算が通れば、資金供給機能についてもおそらく（出資機能と）同じように、外部から十分に教えていただいたうえで、取り組んでいく必要があると思っています。そういった意味で、人材の確保は極めて重要です。外部にアドバイスをいただくだけでは、やはり回っていかないと思いますので。人材をいかに確保していくかというのは極めて大きな問題だと私は思っております」

資金供給機能の強化をめぐるのは、運用の体制にも世間からの注目が集まりそうです。

<https://resemom.jp/article/2023/11/06/74486.html>

東大工学部×ソニー「宇宙を拓く」ハイブリッド 12/16

東京大学工学部は 2023 年 12 月 16 日、ソニー協賛のもと「宇宙を拓く」を開催する。定員は、会場 80 名、オンライン 1,000 名。応募多数の場合は抽選となる。参加費無料。締切りは会場のみ 11 月 22 日。会場参加は中高生・高専生・予備校生限定。 教育イベント 高校生 2023.11.6 Mon 18:45

東大工学部 × ソニー
宇宙を拓く
開催日: 12月16日 土曜日
会場: HASEKO - KUMA HALL およびオンライン
時間: 開演14時～終了17時予定
定員: 80名(会場、応募多数の場合は抽選) 1,000名(オンライン)
申込締切: 会場参加者のみ: 11月22日(水)

**宇宙を、今を知る講演、
未来の好きを見つけるワークショップ**

今や宇宙は、わたしたちの生活に欠かせないものとなりました。GPS を利用したゲーム、スマホの地図、天気予報、資源探索から防災まで、今や宇宙はわたしたちの生活に欠かせないものとなった。「宇宙を拓く」の参加対象である中学生・高校生・高専生・予備校生は、今後宇宙を身近な活躍の場として生きていく世代となる。今回開催する講座では、東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻の中須賀真一教授、姫野武洋教授が講演する。また、ソニーグループ宇宙エンタテインメント推進室のメンバーが、最新の宇宙エンタテインメントの魅力を紹介します。

参加申し込みフォーム

講師: 中須賀 真一、姫野 武洋、中西 西洋、アプリ開発リーダー 岡 亮平

**宇宙を、今を知る講演、
未来の好きを見つけるワークショップ**

参加申し込みフォーム

東大工学部 × ソニー
宇宙を拓く

東京大学工学部は 2023 年 12 月 16 日、ソニー協賛のもと「宇宙を拓く」を開催する。定員は、会場 80 名、オンライン 1,000 名。応募多数の場合は抽選となる。参加費無料。締切りは会場のみ 11 月 22 日。会場参加は中高生・高専生・予備校生限定。

GPS を利用したゲーム、スマホの地図、天気予報、資源探索から防災まで、今や宇宙はわたしたちの生活に欠かせないものとなった。「宇宙を拓く」の参加対象である中学生・高校生・高専生・予備校生は、今後宇宙を身近な活躍の場として生きていく世代となる。今回開催する講座では、東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻の中須賀真一教授、姫野武洋教授が講演する。また、ソニーグループ宇宙エンタテインメント推

進室の室長である中西吉洋氏とアプリ開発リーダーの岡晃平氏は、ソニーの“STAR SPHERE”宇宙エンタテインメント事業の紹介、実際に宇宙にある人工衛星に、デモを通じて撮影指示を送るシステムを紹介するという。また、続いて行われるワークショップでは、自身の「好き！」を広げ、「宇宙でやってみたいこと」を発見するという。会場は、東京大学 HASEKO- KUMA HALL。定員は、会場 80 名、オンライン 1,000 名。応募多数の場合は抽選となる。参加費無料。締切りは会場参加者のみ 11 月 22 日。なお、イベントのようすは東京大学工学部 Web サイトへの掲載や、YouTube などで配信予定。会場参加は撮影を許可する人のみ申し込む。

申込みは、Web サイトより行う。

◆宇宙を拓く

日時：2023 年 12 月 16 日（土）14:00～17:00

開催：東京大学工学部 11 号館 1 階 HASEKO- KUMA HALL、オンライン

対象：＜会場参加＞中学生・高校生・高専生・予備校生

＜オンライン＞誰でも参加可

定員：会場 80 名（応募多数の場合は抽選）、オンライン 1,000 名

申込締切：2023 年 11 月 22 日（水）17:00 参加費：無料 申込方法：Web サイトより申し込む

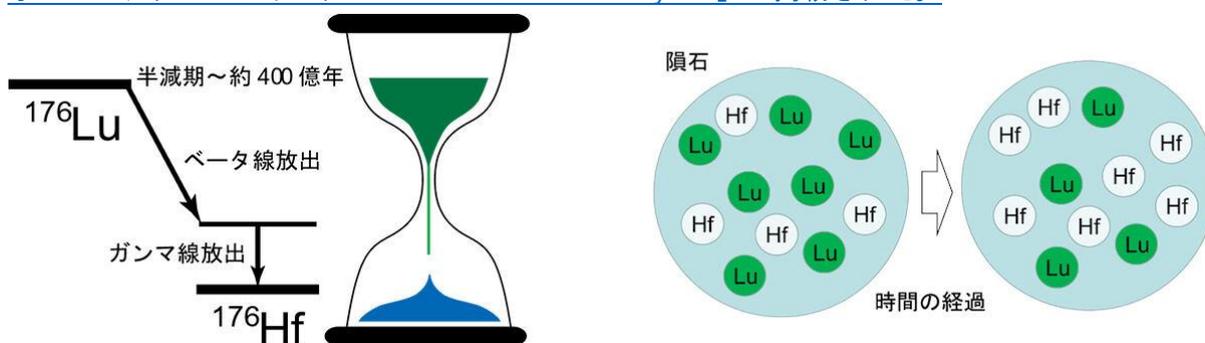
※参加にあたり、スマートフォン・タブレットを使用することがあるため、QR コードを読み込むことのできるスマートフォン、タブレットなどを持参する

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231108-2812643/>

量研機構など、「ルテシウム 176」の約 400 億年の半減期の正確な測定に成功

掲載日 2023/11/08 06:46 著者：波留久泉

量子科学技術研究開発機構(量研機構)と東京大学(東大)の両者は 11 月 6 日、「宇宙核時計」の 1 つとして期待される長寿命の放射性同位体「ルテシウム(ルテチウムとも表記)176」(176Lu)の半減期の最も正確な値を新しい実験方法で計測し、過去に計測されていた半減期が矛盾していたという問題を解決したことを共同で発表した。同成果は、量研機構 関西光量子科学研究所の早川岳人上席研究員、同・静間俊行上席研究員、東大大学院理学系研究科の飯塚毅准教授らの共同研究チームによるもの。詳細は、[英科学誌「Nature」系の物理学を扱うオープンアクセスジャーナル「Communications Physics」に掲載された。](#)



宇宙時計の概念図。親核と娘核の量の比から、親核が隕石などに閉じ込められてからの時間(隕石が形成されてからの時間)を計測することができる(出所:量研機構 Web サイト)

元素の原子番号はその原子核中の陽子の数によって決まるが、同じ元素でも中性子の数が異なる同位体が存在する。そして同位体には、原子核が安定している安定同位体(身の回りの物質を構成する元素のほぼすべて)と、原子核が不安定で放射線を出して崩壊してしまう放射性同位体がある。

放射性同位体はアルファ崩壊やベータ崩壊などによって、親核(放射性同位体自身)から娘核(別の元素)に変換される。親核の量が半分になるまでの時間である半減期は、放射性同位体ごとにそれぞれ異なる。ヒトが知覚できないほどの一瞬で崩壊する元素も多いが、中には数千万年から数百億年といった長い半減期を持つ放射性同

位体もあり、それらは宇宙核時計と呼ばれる。宇宙核時計を用いることで、たとえば隕石などの年代測定を行う場合、親核と娘核の量を調べることでその隕石が形成されてから現在までの経過時間を測定することが可能となるが、経過時間の評価に利用するには、放射性同位体の正確な半減期を把握しておく必要がある。

原子番号 71 の ^{176}Lu は、約 400 億年という現在の宇宙の年齢の 3 倍近い長さの半減期を持つ長寿命放射性同位体の 1 つだ。つまり、 ^{176}Lu が含まれている物質であれば、どれだけ古かったとしても年代測定が可能となることから、宇宙核時計としての利用が期待されている。しかし、これまで 20 以上の研究チームによって半減期の計測が行われたが、計測結果は互いに大きく異なっており、これまで正確な半減期がわかっていなかった。 ^{176}Lu がベータ崩壊する際にベータ線などの放射線が放出されるが、従来は ^{176}Lu 試料から一定時間内に放出されたその数を数えることで、ベータ崩壊の回数が求められていた。従来の検出器は試料から放出されたすべての放射線を測定できないため、測定された放射線の数にはベータ崩壊の実数の回数よりも少なくなってしまう。そのため、測定された放射線の数からベータ崩壊の数を求めるための係数をシミュレーション計算や校正実験で求めておかなければならない。しかし、これは係数が不正確な場合、半減期の値が大きく変わってしまう危険性を有する。実際、過去に行われたいくつかの実験では、係数が間違っていた可能性があるという。そこで研究チームは今回、新しい測定法を提案し ^{176}Lu の計測に初めて適用することにしたという。

今回の手法では、放射線検出器を構成するシンチレーション結晶の内部に ^{176}Lu 試料を入れ、試料から放出されるすべての放射線のエネルギー計測が行われた。ベータ崩壊が発生した場合、必ずベータ線などがエネルギーとして放出されるため、計測された放射線の数にベータ崩壊の数にほぼ等しくなる。そのため、放射線の数からベータ崩壊の数への校正を行う必要性がなくなる(係数を取り除ける)。

このように、同手法は従来手法の問題点を解決しており、今回の計測結果の 371 億 2000 万～372 億 6000 万年は、これまでに計測されたどの値よりも真実の値に最も近いと考えられるとした。

今回の研究で信頼性の高い値が得られたため ^{176}Lu が今後、宇宙核時計として広く使用されることが期待される。隕石などの試料に含まれる ^{176}Lu と娘核の原子番号 72 のハフニウム 176 の量の計測により、隕石の母天体(小惑星や彗星など)が形成されてから現在までの経過時間がわかるようになる。また、月や地球の形成や進化の解明にも重要な役割を果たすことが期待されるという。ルテシウムとハフニウムは揮発しにくく、ジルコンなどの岩石に取り込まれやすいため、天体形成初期のマグマオーシャンから地殻の形成に至る年代研究に適しているとする。また、太陽系形成以前に発生した超新星爆発の年代測定への適応も期待されるという。これまでの隕石研究から、太陽系形成直前に超新星爆発が発生し、太陽系形成に影響を与えた証拠が発見されているが、超新星爆発から太陽系形成までの時間に大きな開きがあり明確ではない。 ^{176}Lu 宇宙核時計を用いることで、年代測定の精度が高まることが期待されるとしている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231106-2811835/>

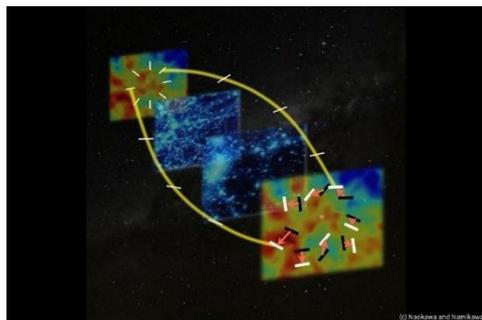
Kavli IPMU、「宇宙複屈折」に対する重力レンズ効果込みの理論計算を実現

掲載日 2023/11/06 14:23 著者：波留久泉

東京大学(東大) 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)は 11 月 2 日、直線偏光した「宇宙マイクロ波背景放射」(CMB)の偏光面が回転する「宇宙複屈折」現象に対し、「重力レンズ効果」を取り入れた精密な理論計算を実現したことを発表した。同成果は、東大大学院 理学系研究科 物理学専攻の直川史寛大学院生、Kavli IPMU の並河俊弥特任助教らの研究チームによるもの。詳細は、[米国物理学会が刊行する素粒子物理学や場の理論・重力などを扱う学術誌「Physical Review D」に掲載された。](#)

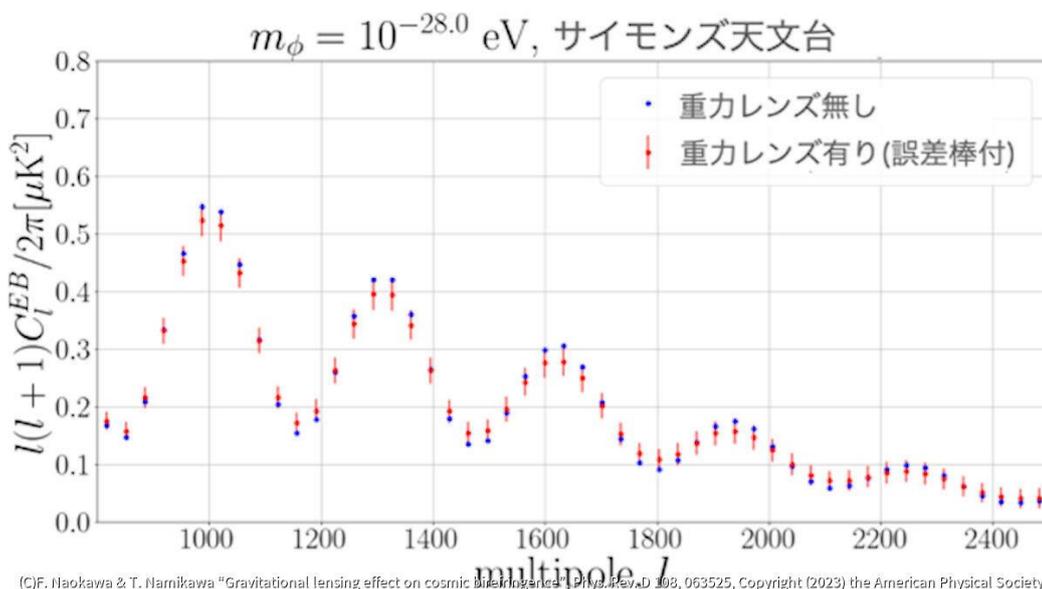
光は進行方向に対して垂直に振動しそれが偏光と呼ばれる。光が進む間、通常は偏光の向きは一定だが、特別な環境下では回転することがある。2020 年に日本人研究者により、欧州宇宙機関(ESA)の「プランク宇宙望遠鏡」が過去に取得した CMB の偏光データの精密再解析が行われた結果、CMB の光は宇宙初期に放たれてから

現在までの間に、わずかに偏光の向きが回転している可能性があることが報告された。これが宇宙複屈折現象である。宇宙複屈折は現在の理論では説明が極めて難しく、その背後には未知の物理現象が潜んでいることが期待されている。その有力な候補が、未知の素粒子「アクシオン」で、光子と反応し偏光の向きを回転させると考えられている。よって、宇宙全体に同素粒子が一樣に分布しているのであれば、2020年の報告の説明が可能だとするほか、同素粒子はダークマターやダークエネルギーの役割を果たす可能性もあるという。



宇宙複屈折に加え、GL効果を受けたCMB偏光のイメージ。宇宙初期に生じたCMBの光(左奥)の偏光パターン(図中の白い線)が、宇宙複屈折により回転しながら伝わる。その結果、現在観測されるCMB(右手前)では、黒い線で表されたようなパターンになる。しかし実際には、中間にある宇宙大規模構造が作り出す重力による時空の歪みで光の進路は曲げられ、右手前の白い線で表される偏光パターンが観測される(c) Naokawa and Namikawa, <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.108.063525>(出所:Kavli IPMU Web サイト)

次世代の天文台や宇宙望遠鏡などによる精密変更観測であれば、宇宙複屈折を引き起こす物理の正体に迫ることができる。これらの計画による宇宙複屈折の将来的な高精度観測データと、理論的に計算されたシグナルを比較することで、アクシオンの素性に詳細に迫ることができるという。そのためには、理論計算の精度向上も不可欠だが、従来の計算では「重力レンズ」(GL)効果が取り入れられていないことも課題となっていた。CMBの光も、宇宙空間に分布するダークマターによってGL効果を受けて進路を曲げられる。つまり、CMBの精密な理論計算のためには、GL効果も取り入れた計算を行う必要がある。標準宇宙論の枠内では計算方法が確立されていたが、宇宙複屈折のような標準宇宙論を超える枠組みでは、回転角が一定で定数となる特殊な場合を除き、GL補正の方法が確立されていなかった。将来のCMB実験におけるデータ解析ではGLが重要な役割を果たすため、宇宙複屈折の解析においてもGL補正が必要となる。そこで研究チームは今回、GL効果を取り入れた宇宙複屈折の理論計算を確立させ、GL効果を含んだ宇宙複屈折の数値計算コードの開発に取り組むことにしたという。



GL 効果の有無による宇宙複屈折シグナルの違いが調べられた。青色の点は、GL 効果を無視した場合のシグナル。赤色の点は GL 効果を考慮した場合のシグナル。また、赤色の誤差棒は CMB の将来観測計画であるサイモンズ天文台で観測した際に想定される観測誤差。GL の有無によるシグナルの違いは、観測誤差に対して無視できない大きさだという。F. Naokawa & T. Namikawa “Gravitational lensing effect on cosmic birefringence”, Phys. Rev. D 108, 063525, Copyright (2023) the American Physical Society より抜粋、一部改変されたもの(出所:Kavli IPMU Web サイト)

まず、宇宙複屈折のシグナルが GL 効果によって、どのように変化するかを表す解析的な計算式が求められた。得られた式に基づき、GL 補正を行うプログラムを東大 宇宙線研究所の中塚洋佑氏(研究当時)らが 2022 年に開発した計算コードに追加し、宇宙複屈折に対する GL 補正計算を実現した。開発された計算コードを用いて、GL 補正の有無によるシグナルの違いが調べられた。その結果、チリ・アタカマ砂漠にて建設中の米国主導の「サイモンズ天文台」など、次世代の精密観測を想定した場合、仮に GL を無視すると観測される宇宙複屈折のシグナルは理論予言でうまくフィッティングできず、そのような理論は統計的に排除される。つまり、将来観測される宇宙複屈折効果のシグナルは、GL 効果を入れないとうまく説明できないことがわかったのである。



チリで建設中のサイモンズ天文台。小口径望遠鏡ではまもなく本格的な観測が始動する予定 (C)Debra Kellner (出所:Kavli IPMU Web サイト)

さらに、将来の観測で得られる観測データが模擬的に生成され、それを用いて宇宙複屈折を用いたアクシオンの探索における GL 効果をもたらす影響が調べられた。その結果、仮に GL 効果を考慮しないと、観測データから推定されるアクシオンのモデル・パラメータには統計的に有意な系統誤差が生じることも明らかにされた。つまり GL 補正無しでは、誤ったアクシオンモデルを得ることになってしまうとする。以上により、将来の高精度な宇宙複屈折の観測とその分析において、今回開発された GL 補正ツールは必要不可欠であることが確認されたとした。今回の GL 補正ツールはすでに活用されており、たとえば 2023 年には、プランク宇宙望遠鏡の観測データを用いて探索が行われた結果、初期ダークエネルギーが宇宙複屈折を引き起こす証拠は発見されなかったことが報告されている。今後リリースされる既存の望遠鏡による最新新しいデータや、さらにその先の次世代望遠鏡による精密観測データでの宇宙複屈折の解析で、今回の GL 補正ツールが活用される予定とした。

<https://sorae.info/astronomy/20231109-jupiter.html>

木星の赤道直下に新たなジェット気流を発見 ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡に

より観測 2023-11-09 [彩恵りり](#)

巨大なガスの塊である「木星」では、大気の流れが帯状の雲の流れを作っています。木星の大気循環を観測することは、様々な天体の大気循環を知るのに役立ちます。

バスク大学の Ricardo Hueso 氏などの研究チームは、「ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」で木星を観測し、赤外線領域での大気循環を観測しました。その結果、赤道付近にあるこれまで知られていなかった風速 140m/s

のジェット気流を新たに発見しました。この新発見は、木星の大気循環に対する私たちの理解がまだ完全ではないことを示唆する発見です。



【▲図 1: ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で 2022 年 7 月 27 日に撮影された木星。3 つの波長で撮影された画像を疑似カラーで重ねたもの。両極の赤い部分はオーロラ (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, Ricardo Hueso (UPV), Imke de Pater (UC Berkeley), Thierry Fouchet (Observatory of Paris), Leigh Fletcher (University of Leicester), Michael H. Wong (UC Berkeley) & Joseph DePasquale (STScI))】

【▲図 2: 約 10 時間 (木星の自転周期に相当) の間隔を置いて撮影された木星。いくつかの雲が追跡され、ジェット気流の速度が計算されました (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, Ricardo Hueso (UPV), Imke de Pater (UC Berkeley), Thierry Fouchet (Observatory of Paris), Leigh Fletcher (University of Leicester), Michael H. Wong (UC Berkeley) & Joseph DePasquale (STScI))】

■木星の大気循環は “五里霧中”

木星と地球の数少ない共通点として、上空の大気循環が挙げられます。どちらも帯状の大気の流れがあり、緯度が違えば方向が正反対になっていることも珍しくありません。太陽以外の天体では太陽系最大の大きさを持つ木星の大気循環を知ることは、様々な天体の大気循環を知るための大きな手掛かりとなります。それは木星と似たタイプの巨大ガス惑星に留まらず、地球のような小さな惑星、あるいは褐色矮星のような惑星と恒星の中間的タイプの天体の大気循環を知るためのヒントにもなります。

木星の大気循環は、これまで様々な惑星探査機や望遠鏡で観測されています。しかし可視光線領域以外での詳細な観測はあまり行われていません。特に赤外線領域の観測にはこれまで大きな困難がありました。大気循環を追うためには、大気の流れに沿って動く雲を追跡する必要があり、個々の雲の追跡は赤外線で見ることが最も適しています。しかし木星表面から 25~50km 付近の大気中には (※)、赤外線領域での観測を妨げる濃い霧がある、文字通り “五里霧中” の状態となっています。また、撮影画像の解像度も低いため、細かい大気循環を知ることはほとんどできませんでした。

※…木星のような気体が主体の惑星には、観測できる固体の表面がありません。このため惑星科学では便宜的に、大気圧が 1 気圧となる場所を “表面” と定義し、高度 0km とします。この記事では分かりやすくするために高度を表記しますが、実際の論文では長さの代わりに気圧で高度を表現します。

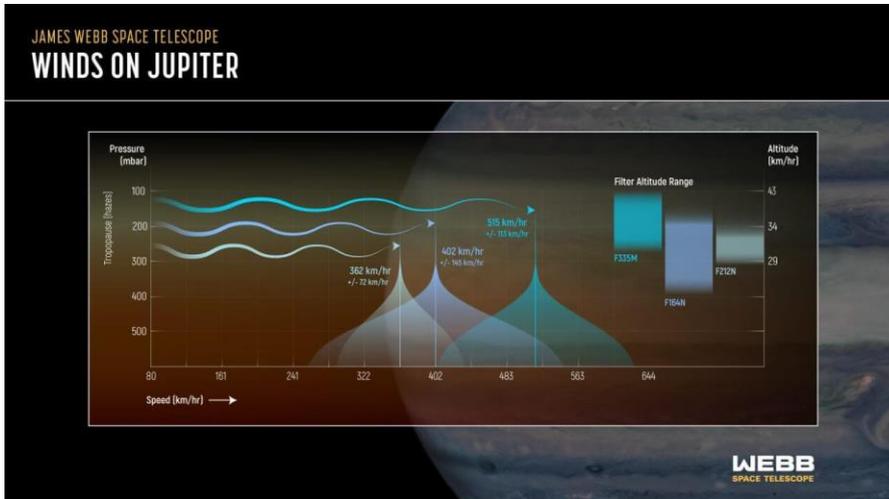
霧で隠された表面から 25~50km 付近は、これまでの観測によって、緯度によって大きな違いがあることが知られています。高緯度地域では上空に行くに従い、風速がどんどんゼロに近づく一方、赤道付近ではかなり強い風が吹いていることが知られています。

土星では、赤道直下の 5 度以内という非常に狭い範囲に風速 400m/s の強いジェット気流があることが観測されています。しかし、木星でも同じようなジェット気流があるかどうかは、赤道付近がより霧が濃いために、これまで未知でした。NASA (アメリカ航空宇宙局) と ESA (欧州宇宙機関) が打ち上げた土星探査機「カッシ

「一」の紫外線観測データは、木星の赤道付近のジェット気流の存在を示唆していましたが、解像度の限界により存在を決定づけることはできていませんでした。

■これまで知られていなかったジェット気流を発見

Hueso 氏らの研究チームは、ウェブ宇宙望遠鏡で木星を観測するプログラムを実行し、木星の大気循環についての研究を行いました。ウェブ宇宙望遠鏡の遠方の宇宙を観測する能力はよく知られていますが、木星など、近くにあり見た目の動きが早い天体を追跡する能力も有しています。また、赤外線望遠鏡としてこれまでにない感度を持っていることから、濃い霧の中でも雲を見つける能力に長けています。風速を知るには、雲を追いかけることが唯一の手段なので、これは重要です。



【▲図 3: それぞれの波長で追跡された雲の動きによるジェット気流の速度。最も速いものでは風速 140m/s (時速 515km) を記録しています (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, Ricardo Hueso (UPV), Imke de Pater (UC Berkeley), Thierry Fouchet (Observatory of Paris), Leigh Fletcher (University of Leicester), Michael H. Wong (UC Berkeley) & Joseph DePasquale (STScI))】

ウェブ宇宙望遠鏡による風速の観測結果は、これまでの複数の観測結果とよく一致する一方で、緯度ごとのより詳細なデータを得ることに成功しました。いくつかのデータの中で最も興味深いのは、赤道付近で未知のジェット気流を発見したことです。ジェット気流は赤道から緯度にしてプラスマイナス 3 度以内 (約 4800km) と非常に狭い範囲にあり、表面から 25km 付近で最大風速 140m/s で循環しています。土星よりずっと遅いとはいえ、これほどの風速は地球で観測されたどの風よりも速いものです。また、今回の観測結果はカッシーニのデータとも一致します。

■木星を含めた大気循環モデルの改善に繋がる成果

ウェブ宇宙望遠鏡による観測結果は、他の緯度でも細かな風速データの修正につなげることができました。特に未知のジェット気流の発見により、木星の大気循環モデルが大きく修正されることになり、大気科学分野の改善に役立ちます。

一方、地球を含めた多くの天体がそうであるように、木星も数年から数十年周期で大気循環が変化することが知られています。今回発見された赤道のジェット気流も、時期によって変化する可能性があります。ジェット気流がどのように変化するのは、これからの観測によって明らかにされるでしょう。

Source

[Ricardo Hueso, et al.](#) “An intense narrow equatorial jet in Jupiter’s lower stratosphere observed by JWST”. (Nature Astronomy)

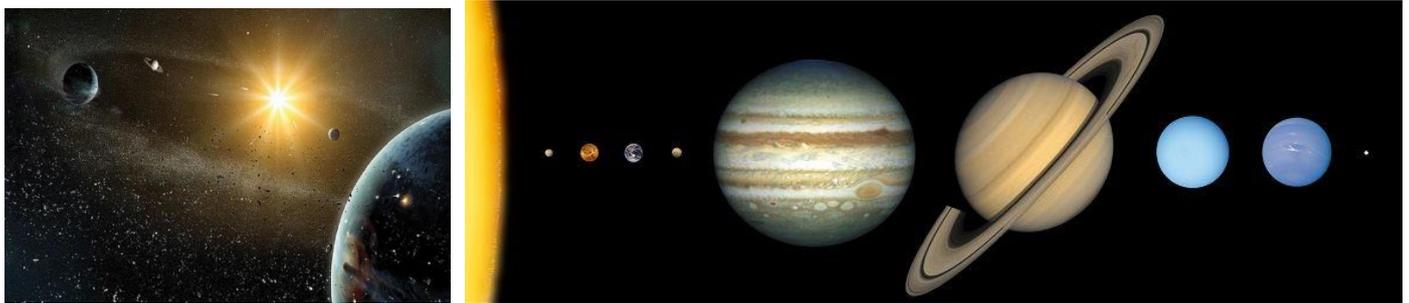
[Hannah Braun & Christine Pulliam.](#) “NASA’s Webb Discovers New Feature in Jupiter’s Atmosphere”. (Webb Space Telescope)

文／彩恵りり

巨大惑星が他惑星の「生命誕生」を邪魔する？ 例え木星



Jamie Carter | Contributor



巨大惑星がいくつも存在する太陽系外惑星系の想像図 (NASA/Dana Berry)

太陽系の惑星のサイズ比較図。木星の直径は地球の約 11 倍、太陽の直径は木星の約 10 倍 (NASA)

木星のような巨大惑星は、地球サイズの惑星の軌道を乱し、気候に壊滅的な影響を及ぼすことで、地球に似た環境の形成を妨げる可能性があるとする研究論文が、学術誌アストロノミカル・ジャーナルに[掲載](#)された。論文では、巨大ガス惑星の重力が、同じ主星を公転するより小さい惑星の未来を根本から変える可能性について詳しく説明している。太陽系には 4 つの巨大ガス惑星 (木星、土星、天王星、海王星) が存在する。中でも最大の木星は、巨大な重力の作用により地球に危険を及ぼす恐れのある小惑星や彗星の進路を逸らしている。

破壊的役割

太陽系以外の恒星系では、巨大ガス惑星がはるかに破壊的な役割を演じている可能性がある。論文ではその一例として、うしかい座の方向に太陽系から 121 光年の距離にある、4 つの巨大ガス惑星を持つ恒星系「HD 141399」を調査した。4 つの巨大ガス惑星の作用によって、主星のハビタブルゾーン (生命生存可能領域) から惑星が弾き出されるかどうかを、コンピューターシミュレーションで調べた。

ハビタブルゾーン

ハビタブルゾーンはゴルディロックスゾーンとも呼ばれ、水が液体の状態で惑星の表面に存在するために必要な、主星と惑星との距離のことだ。これは生命の必要条件と考えられている。領域は、内側の境界線「ボイルライン」 (主星と惑星の距離が近すぎて、水が沸騰して蒸発してしまうライン) と、外側の「アイスライン」 (水が凍結するライン) とで隔てられている。

カオスな場所

論文の第一執筆者で、米カリフォルニア大学リバーサイト校の天体物理学者スティーブン・ケーンによれば、HD 141399 はカオスな場所で、「4 つの木星が建物解体用の鉄球のように振る舞い、あらゆるものの調子を狂わせている」という。もし地球がこの恒星系内にあるとすると、現在の位置にとどまれない可能性が高いことが、シミュレーションで明らかになった。「巨大ガス惑星の重力が、岩石惑星を公転軌道から弾き出し、ゾーンから放り出してしまう。岩石惑星がこの事態を免れるエリアは、ごくわずかに限られる」と、ケーンは[説明](#)した。[次ページ > 巨大惑星の重力でハビタブルゾーン内がカオスに](#) さらなる根拠

同じ研究チームが[発表](#)した別の論文でも、巨大ガス惑星がカオス状態を引き起こす可能性があることが示唆されている。太陽系からわずか 30 光年の距離にある恒星「GJ 357」のハビタブルゾーン内にある惑星は当初、地球サイズと考えられていたが、それよりもはるかに大きい可能性が高いことが、この研究で明らかになった。

「おそらく地球型ではないため、生命は存在できないだろう」 (ケーン)

この惑星の質量は、地球の 10 倍と推定された。シミュレーションの結果、この惑星が引き起こす重力のカオス状態により、近くのより小型の惑星がハビタブルゾーン内の軌道を公転するのが不可能になっていることが示

唆された。研究チームは、恒星のハビタブルゾーン内を公転していることが判明したからといって、その惑星が生命を育むことができると考えてはならないと注意を促している。

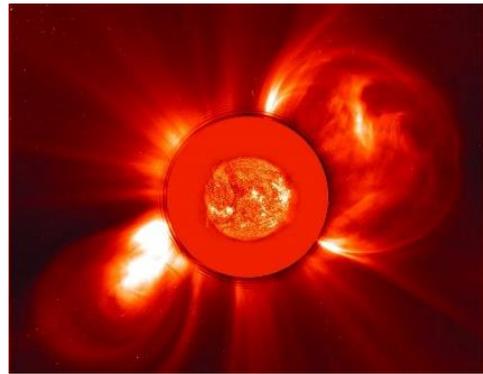
「現在の太陽系内の惑星の配置に対して、心から感謝すべきであるさらなる根拠を、今回の研究は提供している」とケーンは話した。（forbes.com 原文） 翻訳＝河原稔・編集＝遠藤宗生

<https://sorae.info/astromy/20231108-solar-storm-mars.html>

コロナ質量放出が火星大気に与える影響を米中の火星探査機が観測 火星大気の進化に影響？

2023-11-08 吉田 哲郎

米中 2 機の火星探査機による、太陽のコロナ質量放出（CME）が火星大気に与える影響を観測した成果が 2023 年 8 月 8 日付けで「The Astrophysical Journal」誌に掲載されました。



【▲ MAVEN 探査機によって捉えられた火星北半球の紫外線画像（Credit: NASA/LASP/CU Boulder）】

【▲ SOHO 探査機によって捉えられた 2000 年 11 月に発生した 2 つのコロナ質量放出（Credit: ESA/NASA/SOHO）】

CME は太陽活動にともなって太陽コロナ中のプラズマが大量に放出される突発的な現象で、太陽風と相互作用しながら惑星間空間を伝播していくと惑星間コロナ質量放出（ICME）と呼ばれます。

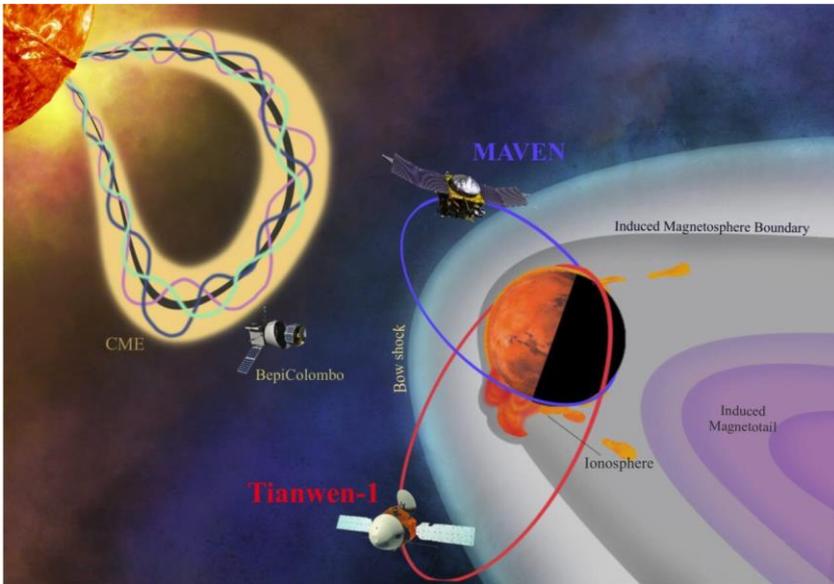
ICME が地球に到達すると地球を保護している磁場に乱れが生じます。その結果として鮮やかなオーロラが発生することがあり、私たちの目を楽しませてくれます。地球の大気は強力な磁場によって保護されているため、多くの場合 ICME が地球上の人間や社会活動に大きな影響を及ぼすことはありません。

しかし、宇宙空間では状況が異なります。ICME により発生した高エネルギー粒子によって国際宇宙ステーション（ISS）に搭乗している宇宙飛行士は被爆する危険性が高まり、人工衛星や搭載機器が損傷する可能性もあります。一方、現在の火星には固有の磁場が存在せず、火星の大気は磁場によって保護されていません。そのため、将来の火星ミッションにとって、ICME と火星への移動や火星の居住可能性との関連は重要な課題となります。さらに本研究は、火星大気の進化の理解にも役立ちます。2021 年 12 月 4 日に太陽で発生した CME は ICME となり、第 1 回水星スイングバイを行ったばかりの「ベピコロポ」探査機（※1）を通過した後、12 月 10 日に火星に到達しました。ICME の到達を待ち構えていた「天問 1 号」（※2）は太陽に照らされた火星の昼側から、「MAVEN」（※3）は夜側から観測を実施しました。

※1：宇宙航空研究開発機構（JAXA）と欧州宇宙機関（ESA）が 2018 年に打ち上げた水星探査機

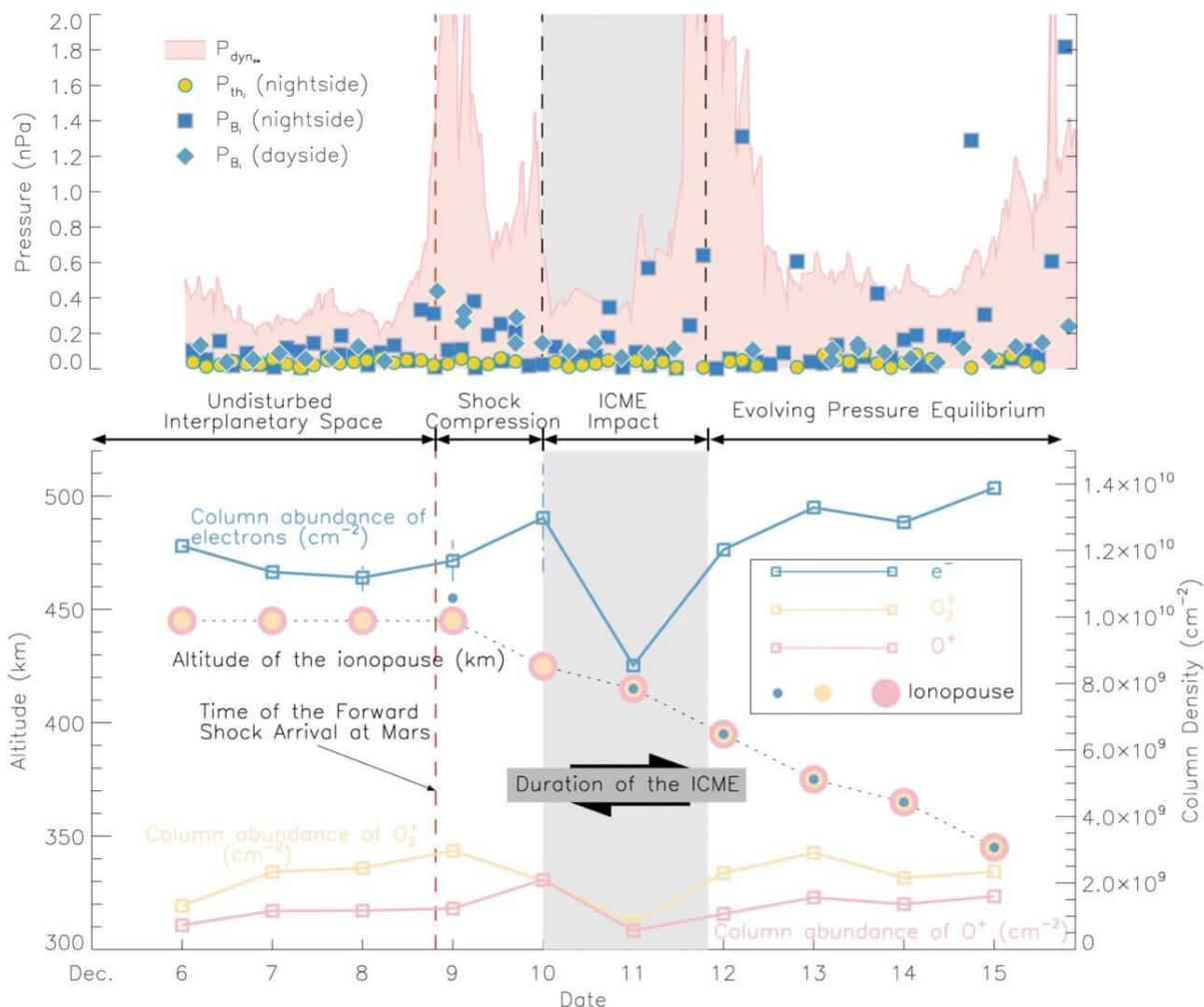
※2：中国が 2020 年に打ち上げた火星探査機

※3：アメリカ航空宇宙局（NASA）が 2013 年に打ち上げた火星探査機。火星の上層大気や太陽風との相互作用の調査が主な目的



【▲ ICME が通過中の天問 1 号探査機と MAVEN 探査機の軌道図。ベピコロンボ探査機は太陽に近い位置から ICME の通過を確認 (Credit: Yu et al. 2023) 】

ICME が火星の昼側に到達すると、太陽風の動圧によって火星の電離層は圧縮され、プラズマ密度が急激に変化する「電離層界面」の高度が数日かけて徐々に低下していきました。また、MAVEN は夜側に存在するイオンの大幅な減少を測定しました。



【▲ ICME の火星の電離層に対する影響の概要。点線は電離層界面の高度、実線は電離層プラズマの密度を示す (Credit: Yu et al. 2023) 】

地球の通常の状態では、電離層のプラズマの一部が夜側に移動しますが、火星の場合はイオンが ICME によって下流に押し流され、大気から宇宙空間へ流出したことを示唆しています。

火星大気はごく一部しかイオン化していないため、ICME によって散逸した大気はごく少量に留まります。しかし、数十億年にわたるタイムスパンを考慮すると ICME による複合効果はより大きくなる可能性があります。イオンの大気からの散逸は火星大気の進化を形作った可能性が高く、火星を温暖で住みやすい惑星から、今日のような乾燥した過酷な世界に変える役割を果たしたと考えられます。

近年、太陽活動に伴う「宇宙天気」が注目を集めていますが、本研究は、ICME の強力な磁場と高い動圧がもたらす宇宙天気が火星大気に及ぼす影響を浮かび上がらせたと言えるでしょう。

Source Image Credit : NASA/LASP/CU Boulder、ESA/NASA/SOHO、Yu et al. 2023

[AAS Nova](#) - Solar Storm Versus Mars

[The Astrophysical Journal](#) - Tianwen-1 and MAVEN Observations of the Response of Mars to an Interplanetary Coronal Mass Ejection

文／吉田哲郎

<https://uchubiz.com/article/new31433/>

【画像】欧州の宇宙望遠鏡「Euclid」が 6 億画素カメラで捉えた宇宙の新しい姿

2023.11.08 13:18 [塚本直樹](#) 欧州宇宙機関（ESA）は現地時間 11 月 7 日、宇宙望遠鏡「Euclid」が撮影した初のフルカラー画像を公開した。



（渦巻銀河「IC 342」、出典：ESA）（ペルセウス座銀河団、出典：ESA）（NGC 6822、出典：ESA）
（NGC 6397、出典：ESA）（馬頭星雲、出典：ESA）

Euclid は 100 億光年先までの銀河を撮影することで、[ダークエネルギーやダークマター](#)が宇宙の形成に与えた原因の解明を目標としている。Euclid は地球から 160 万キロ離れた「ラグランジュ点 2」（L2）に位置しており、今後 6 年間にわたる観測を予定している。

今回公開された 5 枚の画像について、Euclid でプロジェクト・サイエンティストを務める René Laureijs 氏は「これほど詳細な天文画像を見たのは初めてだ。我々が期待した以上に美しくシャープで、近傍宇宙の領域でこれまで見られなかった多くの特徴を見せてくれている」と述べた。

Euclid の可視光センサーは 36 個の CCD が並んだ構造で、合計で 6 億画素の高精細撮影が可能だ。このほか、銀河の赤方偏移を観測する近赤外分光計と光度計も備えている。

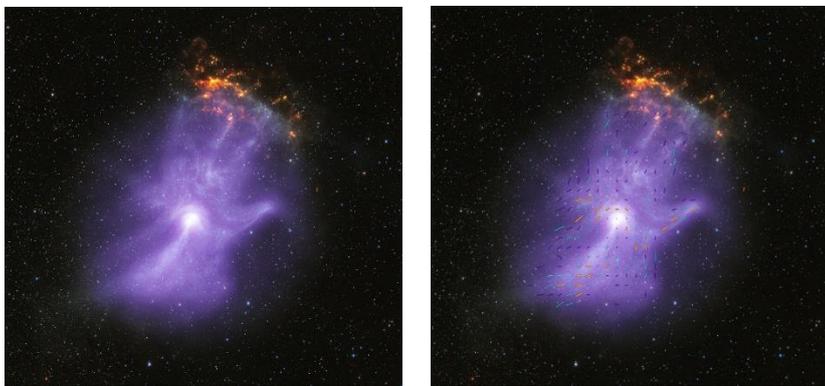
ESA のウェブサイトでは、これら画像の高精細版をダウンロードすることも可能だ。 [関連リンク ESA](#)

<https://soraie.info/astrometry/20231109-cosmic-hand.html>

超新星爆発によって生み出された「宇宙の手」新たな画像を NASA が公開

2023-11-09 [soraie 編集部](#)

こちらは南天の「コンパス座」の方向約 1 万 6000 光年先にある天体です。紫色に着色された星雲が、まるで夜空に伸ばした人間の手のような形をしているのがわかりますでしょうか。



【▲ パルサー風星雲「MSH 15-52」。X線観測衛星「チャンドラ」とX線偏光観測衛星「IXPE」で取得したデータをもとに作成（Credit: X-ray: NASA/CXC/Stanford Univ./R. Romani et al. (Chandra); NASA/MSFC (IXPE); Infrared: NASA/JPL-Caltech/DECaPS; Image Processing: NASA/CXC/SAO/J. Schmidt)】

【▲ 冒頭の画像にIXPEの観測データが示す偏光度を追記したもの（バーが長いほど偏光度が高い）（Credit: X-ray: NASA/CXC/Stanford Univ./R. Romani et al. (Chandra); NASA/MSFC (IXPE); Infrared: NASA/JPL-Caltech/DECaPS; Image Processing: NASA/CXC/SAO/J. Schmidt)】

「宇宙の手（Cosmic Hand）」とも呼ばれるこの天体は、パルサー風星雲「MSH 15-52」です。パルサー風星雲（パルサー星雲）は高速で自転する中性子星の一種「パルサー」から吹き出すパルサー風（電子と陽電子の流れ）によって形成されると考えられている天体で、パルサー風が周囲の物質と衝突することでX線などが放射されています。MSH 15-52を形作っているパルサー「PSR B1509-58」は、“手のひら”の付け根にある明るい部分に位置しているといえます。この画像はアメリカ航空宇宙局（NASA）のX線観測衛星「Chandra（チャンドラ）」と、X線偏光観測衛星「IXPE（Imaging X-Ray Polarimetry Explorer）」で取得されたデータをもとに作成されました。背景には地上の望遠鏡を使って赤外線の波長で取得された星々のデータが使われています。チャンドラのデータはX線のエネルギーに応じてオレンジ（低エネルギーX線）もしくは緑と青（高エネルギーX線）、IXPEのデータは紫で着色されています。“手”の指先にある主にオレンジ色で着色された部分は、PSR B1509-58を生み出すことになった超新星爆発の残骸の一部です。

IXPEはX線偏光の観測を目的として2021年12月に打ち上げられました。空間を波として伝わる電磁波は進行方向に対して様々な方向に振動する波が入り混じっていますが、何らかの理由で特定の方向に偏って振動している場合もあります。このように波の進行方向が偏っている電磁波は「偏光」と呼ばれていて、身近なところでは液晶画面や反射光を軽減する偏光サングラスなどで利用されています。

偏光には電磁波が発せられた環境の手掛かりが含まれていて、X線偏光の観測では磁場に関する情報が得られるとされています。スミソニアン天体物理観測所のチャンドラX線センター（CXC）やNASAによると、IXPEによる観測データはMSH 15-52から放射されたX線の偏光度が理論上予想される最大のレベルに達するほど高いことを示していました。この結果はMSH 15-52の磁場がとても真っすぐで均一であり、乱流はわずかではないことを意味するといえます。また、IXPEの観測データはパルサーから“手首”の方向（画像の下方向）へ放出されているX線ジェットの根元では偏光度が低く、先へ進むにしたがって高くなっていくことも示していました。このことから、パルサーから放出される粒子はパルサー付近の複雑な乱流の領域でエネルギーを与えられた後、“指”や“手首”に沿って磁場が均一な領域へと流れていくことが示唆されるといえます。NASAによると、IXPEの観測によって「ほ座パルサー」（ほ座超新星残骸）や「かにパルサー」（かに星雲）のパルサー風星雲でも同様の磁場が検出されていることから、このような粒子の加速は同様の天体では一般的な可能性が示唆されるということです。チャンドラとIXPEの観測データをもとに作成されたMSH 15-52の画像は、NASAとチャンドラX線センターから2023年10月30日付で公開されました。IXPEの観測データをもとにMSH 15-52を調べたスタンフォード大学のRoger Romaniさんを筆頭とする研究チームの成果をまとめた論文は、The Astrophysical Journalに掲載されています。

Source [NASA](#) - NASA X-ray Telescopes Reveal the “Bones” of a Ghostly Cosmic Hand

[CXC](#) - MSH 15-52: X-ray Telescopes Reveal the "Bones" of a Ghostly Cosmic Hand

[Romani et al.](#) - The Polarized Cosmic Hand: IXPE Observations of PSR B1509–58/MSH 15–52 (The Astrophysical Journal)

文／sorae 編集部

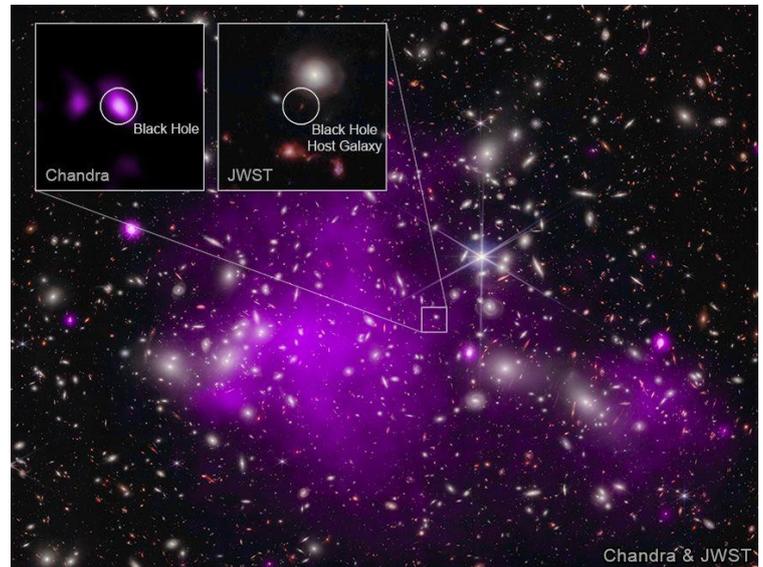
<https://forbesjapan.com/articles/detail/67192>

2023.11.09

観測史上「最遠」のブラックホール、宇宙の虫眼鏡で発見 NASA



[Jamie Carter | Contributor](#)



X線で検出された、観測史上最も遠方にあるブラックホールを捉えた合成画像。NASA チャンドラ衛星のX線画像（紫色）とジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の赤外線画像を合成して作成（X-ray: NASA/CXC/SAO/Ákos Bogdán; Infrared: NASA/ESA/CSA/STScI; Image Processing: NASA/CXC/SAO/L. Frattare & K. Arcand）

[全ての画像を見る](#)

X線で検出された、観測史上最も遠方にあるブラックホールを捉えた合成画像。画像全体に広がる銀河団 Abell 2744 の背後に位置する母銀河 UHZ1 内にある（X-ray: NASA/CXC/SAO/Ákos Bogdán; Infrared: NASA/ESA/CSA/STScI; Image Processing: NASA/CXC/SAO/L. Frattare & K. Arcand）

太陽系から最も遠方にあるブラックホールの1つを、天文学者チームが米航空宇宙局（NASA）の宇宙望遠鏡2基を用いて発見した。銀河が視線上に並ぶことで虫眼鏡のように作用する、稀な現象を利用することで得られた観測成果だ。ビッグバン（138億年前に宇宙を誕生させたと考えられている現象）からわずか4億7000万年後には存在していたこの天体は、これまでにX線で検出された最も遠くにあるブラックホールだ。

発見に用いられた宇宙望遠鏡は、赤外線宇宙を観測するジェームズ・ウェッブ望遠鏡（JWST）と、X線で見る[チャンドラ観測衛星](#)。どちらの波長の電磁波も、人間の目には見えない。

著しく遠い

科学誌 Nature Astronomy に11月6日付で[掲載](#)された、今回の研究をまとめた論文の筆頭執筆者で、米ハーバード・スミソニアン天体物理学センター（CfA）のアーコシュ・ボグダンは「この著しく遠い銀河を見つけるためにウェッブが、その銀河にある超大質量ブラックホールを見つけるためにチャンドラが、それぞれ必要だった」と説明する。「さらには、地球で検出される光の量を増やす宇宙の拡大鏡も利用した」

銀河「UHZ1」の中で発見されたこのブラックホールは、これまでに見つかったどのブラックホールよりも発達の早い段階にある。UHZ1は、太陽系から約35億光年の距離にある銀河団 Abell 2744、別名「パンドラ銀

河団」の中にある。Abell 2744 は3つの銀河団からなる巨大な銀河団で、5万個という驚くべき数の天体が存在する。だが、ジェイムズ・ウェッブ望遠鏡の観測で、UHZ1 がこの銀河団の背後の、太陽系から132億光年という途方もなく遠方にあることが明らかになった。これは、現在の宇宙年齢のわずか3%しか経っていない時期に相当する。

[次ページ >宇宙の最初期の「超大質量ブラックホール」か？](#)

アインシュタインリング

ジェイムズ・ウェッブ望遠鏡が今回の発見を成し遂げられたのは、重力レンズのおかげだ。重力レンズは、前方にある天体の重力場が非常に強いために、その周囲の空間がゆがみ、背後にある天体からの光が曲げられ、リング状の像ができる現象。背後の天体の存在を知ることができるとともに、その拡大された像が得られる。著名な物理学者アルバート・アインシュタインがこの現象を予言したことから「アインシュタインリング」としても知られている。重力レンズは、途方もなく遠くにある天体の存在を推察し、その質量を測定するための最善の手段だ。今回の場合、ブラックホールの質量は、それを含む銀河（母銀河）の質量とほぼ同じで、太陽質量の1000万倍～1億倍となっている。これは予想をはるかに上回る質量だ。

確かな兆候

ジェイムズ・ウェッブ望遠鏡がUHZ1の位置を特定するとすぐに、チャンドラが数週間かけて、銀河から発せられるX線を観測した。銀河団Abell 2744は重力レンズとして作用し、背景の銀河を4倍に拡大した。今回の観測結果は、宇宙初期のブラックホールがどのようにして、これほど急速に成長したように思われるのかを科学者らが解明する助けになるかもしれない。このブラックホールが特に生まれながらに大きかったことを、論文は示唆している。論文の共同執筆者で、米プリンストン大学のアンディー・ゴールドディングは「ブラックホールが形成後に、どれだけ短時間で成長できるかには物理的な限界がある。だが生まれながらに、より質量が大きいブラックホールは、他より一歩先んじることができる」と指摘している。「これは苗木を植えるのに似ている。普通の大きさの木にまで成長するのにかかる時間は、種から育て始めた場合よりも短くなる」
(forbes.com 原文) 翻訳=河原稔

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231110-2815498/>

東大など、宇宙誕生から5億年～7億年に酸素が急激に増加した痕跡を確認

掲載日 2023/11/10 17:34

著者：波留久泉

目次 [1 諸説が存在した初期宇宙の酸素量を JWST の観測データから分析](#)

[2 ファーストスターの解明にも大きな前進となるか](#)

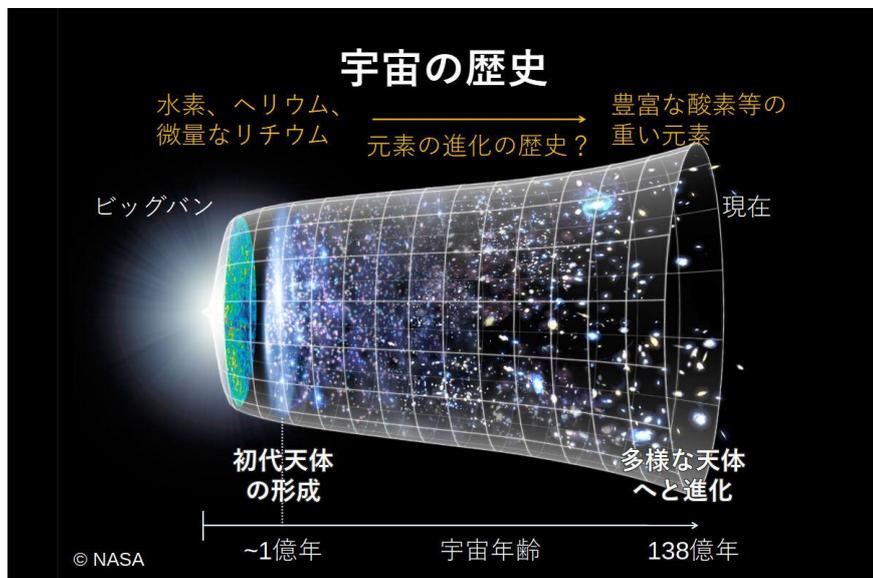
東京大学(東大)と国立天文台(NAOJ)の両者は11月9日、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の大規模観測データを解析し、これまではおよそ120億年前までしか確認できていなかった酸素の存在比(水素に対する酸素の個数比(=酸素/水素))について詳細な分析を行ったところ、131億年～133億年前(宇宙誕生から5～7億年後)という極めて初期の宇宙において、酸素が急激に増加した痕跡を発見したことを記者会見で発表した。



会見を行ったNAOJの中島王彦特任助教(左)と、東大宇宙線研究所の大内正己教授(NAOJ教授兼任)

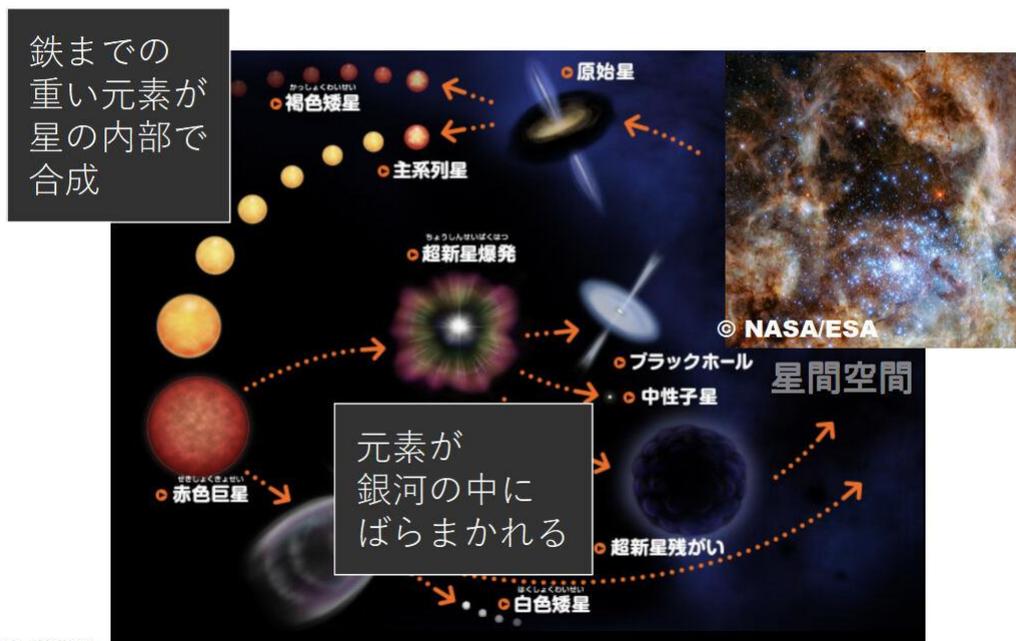
同成果は、NAOJの中島王彦特任助教、東大宇宙線研究所の大内正己教授(NAOJ教授兼任)らの共同研究チームによるもの。研究の詳細は、米天体物理学専門誌「Astrophysical Journal Supplement Series」において11月13日に公開される予定だ。現在の宇宙には、天然の状態で90以上の元素が存在しているが、宇宙誕生の当

初からすべてがそろっていたわけではない。宇宙誕生時の元素合成は「ビッグバン元素合成」と呼ばれ、それによって誕生したのは4種類とされる。その内訳は、水素(=陽子)が約75%、ヘリウムが約25%、そして極めてわずかにリチウムとベリリウムが存在していた(なお、ビッグバン元素合成で誕生するベリリウム7は半減期約53日の放射性同位体のため、現在までは残っていない)。つまり、ビッグバンから2億年前後の時間が経ったところに、宇宙で最初の恒星であるファーストスター(初代星)が輝き始めたと考えられているが、その時点では3種類の元素しかなかったことになる。その後、星の内部での核融合や超新星爆発、中性子星同士の合体などによってより重たい元素が合成され、宇宙にばらまかれていくことで現在に至ったと考えられている。



ビッグバンから現在までの宇宙の広がりや天体の多様性などをイメージした図(出所:プレス向け配付資料)

元素の進化の歴史



宇宙には当初、水素、ヘリウム、リチウムしか存在していなかったが、主に水素やヘリウムを材料とし、星の内部での核融合や、超新星爆発、中性子合体などによってさまざまな元素が合成され、宇宙に満ちていった(出所:プレス向け配付資料)

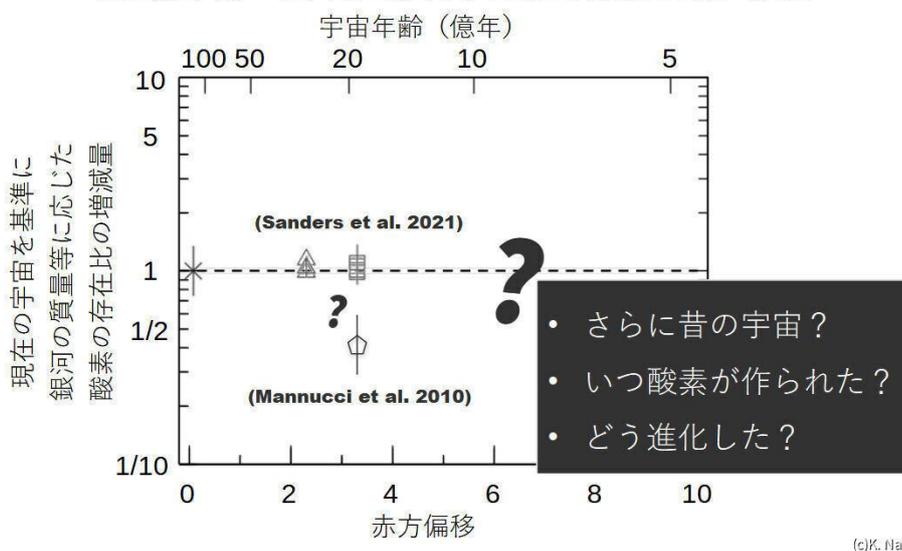
銀河には多くの星が属しているが、それよりも圧倒的に多量の星間ガスが漂っており、それを分光観測してどの波長にどの程度の輝線があるのかを調べると、その銀河(のガス)にどのような元素が含まれているのか、また

その元素がどれだけの量存在しているのかを見積もることができる。近傍の銀河であれば、可視光域の分光観測で間に合うが、遠方になればなるほど、宇宙膨張の影響を受けてその銀河からの光の波長が赤方偏移で長波長側(赤側)にズレるため、赤外線域での観測が必要になる。そのため、すばる望遠鏡を含めた8m~10m級の地上の大型望遠鏡では、2010年ごろから近赤外線分光装置を稼働させ、より遠方の銀河の分光観測を行えるようにしてきたとのこと。そしてこの近赤外線分光装置で比較的観測しやすい元素の1つが、酸素である。酸素は、もちろん宇宙に最初から存在した元素ではなく、星の内部の核融合で誕生した。2つのヘリウム4の合成でベリリウム8が誕生し、そこに3つ目のヘリウム4が衝突して炭素12が誕生し、さらに4つ目のヘリウム4が衝突して酸素16が誕生するという具合に、いくつもの行程を経て初めて誕生するのである。

このことは何を表すのかというと、酸素のような星の内部の核融合によって誕生した元素は、最初から存在した水素やヘリウムが減っていくのに対し、ゼロスタートから増えていって現在の量になったことを示す。つまり、宇宙で最初に輝いた星であるファーストスターにはまだ酸素がないため、時代を遡れば遡るほど、酸素の量はゼロへと向かっていくことになる。上述した地上の大型望遠鏡の近赤外線分光装置による観測データを活用した研究成果として、2010年におよそ120億年前の時代の酸素の存在量に関する論文が発表されている。同研究では現在の半分の量とされていたのだが、2021年になって、120億年前でも酸素量は現在とほぼ変わらないとする論文も発表され、研究者の間でも見解が一致していない状態だったという。

これまでの研究

120億年前の宇宙まで遡り、豊富な酸素が既に存在



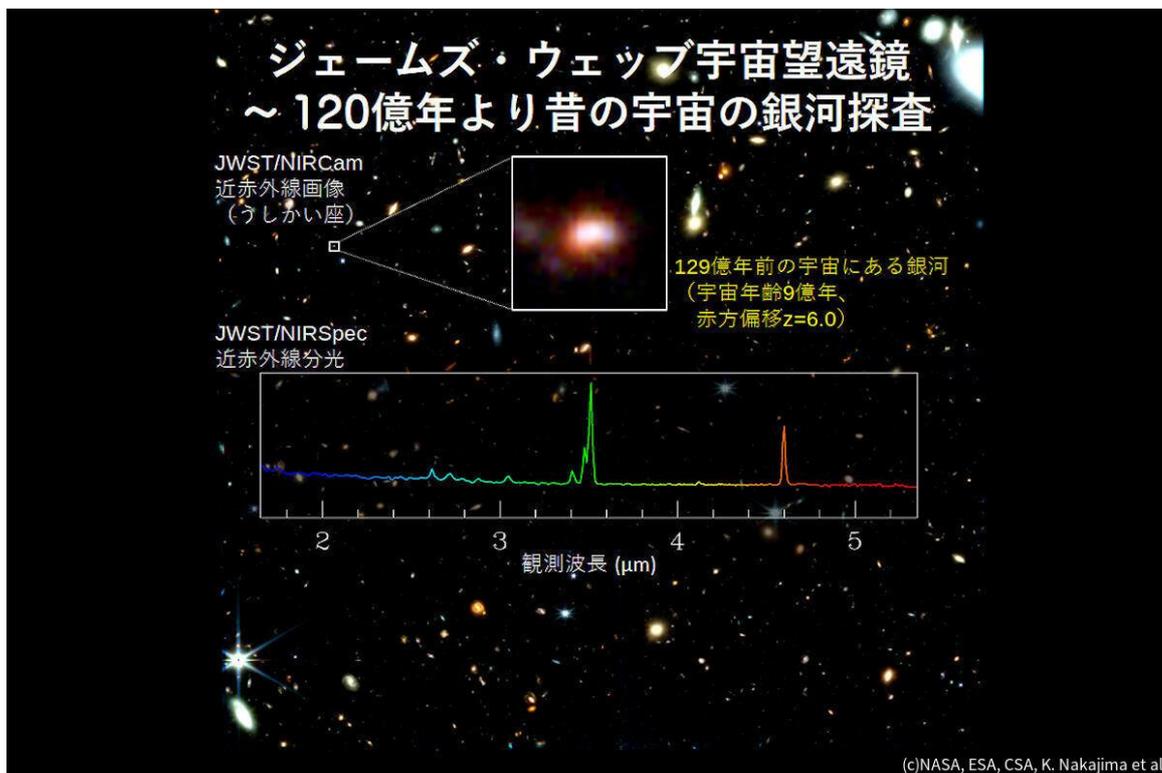
これまでの研究では、酸素の存在比は120億年前の時点で半分程度とする説がまず2010年に出されたが、それから10年以上が経って2021年に現在と変わらないとする説が出され、論争が続いていた。(c)K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配付資料)

この2説のどちらが正しいのかを調べるには、さらに古い時代の酸素の存在量を調べる必要がある。しかし、120億年以上の古い時代の銀河からの光を観測するには、波長2μmよりも長い波長の赤外線での観測が必要がある。その上、明るさとしては25等級~30等級ほどと、肉眼で見えるとされる最も暗い6等星と比べると、4000万分の1から40億分の1という非常に暗いという点も、観測を困難にしていた。では宇宙にあるハッブル宇宙望遠鏡はどうかというと、1.7μmまでしか観測できないため、120億年よりも古い銀河からの赤外線を捉えることは叶わなかったのである。その状況を一変させたのが、2022年に本格観測を開始したJWSTだ。同宇宙望遠鏡が搭載する近赤外分光装置「NIRSpec」は、1μm~5μmの波長を捉えることが可能で、これまで観測できなかった2μm以上の長波長の赤外線を捉えられることに加え、主鏡の直径が6.5mと、地上の大型望遠鏡に迫るサイズであることなどもあって、研究者も驚くほどの高精度な観測データが取得されるようになった

のである。そのデータの高精細さについて中島特任助教は「観測データとは思えないほどで驚きました」として目を疑ったとし、大内教授も最初にデータを見た時は「驚きのあまりイスから転げ落ちそうになりました」と述べていた。今回活用されたデータは、研究者なら世界中の誰でも利用できる一般公開データだ。JWSTはとてつもないスペックを有するため、観測系の天文学者なら使いたくない人を探す方が難しいほどだという。しかし、時間の都合で現状ではごく一部の観測計画しか採用できないため、大多数の天文学者はいつか占有時間を獲得できる日が来ることを待ち望んでいる状態であり、そうした天文学者のために少しでも役立ててもらおうということで、誰でも利用可能な観測データが公開されているのである。

これまで、その公開観測データを利用し、結果としてこういうことがわかった、というまず観測データありきの研究成果が発表されていた。しかし今回の研究では、まず明らかにしたいことがあり、そのためにJWSTの観測データを利用したという点で、他の研究成果とは異なるとする。そして、研究開始当時はまだ世界でもJWSTの観測データの解析手法が確立されていなかった中、独自の高度な解析手法を開発して適用することで、今回の成果を導き出したとしている。[次へ：ファーストスターの解明にも…](#)

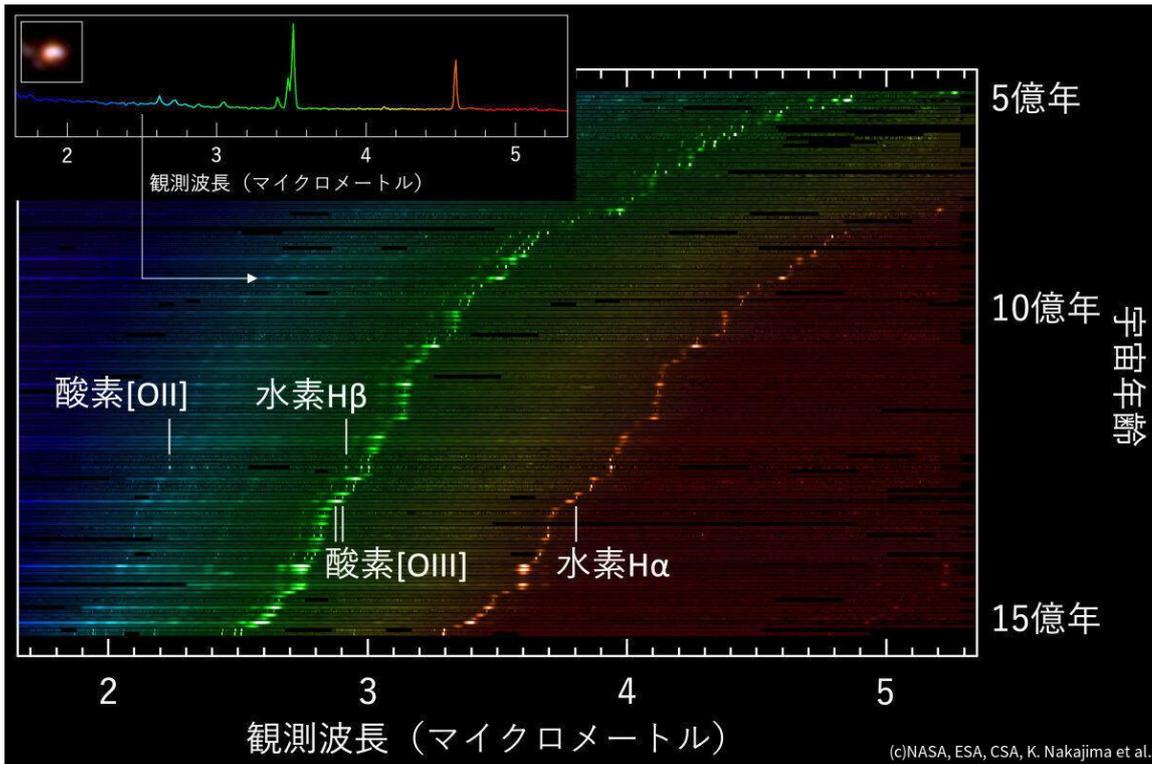
今回の研究では、JWSTの観測データから120億年よりも古い銀河138個が発見され、それらの酸素の存在が測定された。従来の観測可能な波長の $2\mu\text{m}$ 前後までの場合、120億年よりも新しい時代でも分光観測が可能な一次元スペクトルのうちの元素の存在を示す輝線(スパイク)は、酸素のOII線、水素のH β 線ぐらいだったとのこと。OII線とは、酸素が1回電離した(電子が1個剥ぎ取られた)際の輝線を指す。さらに酸素には、もう1回電離した(電子が1個ずつ計2個剥ぎ取られた)輝線であるOIII線も存在する。大内教授によると、酸素の全存在量はこの両者を合計しなければ正確には導き出せないため、120億年前の酸素存在量が2説に別れていた要因になっていたという。しかしJWSTであれば、122億年前から133億年前という古い時代でも、OII線、H β 線に加え、OIII線、さらに水素の「H α 線」も観測可能なのである。



JWSTの観測データを用いて、今回122億年前から133億年前までの初期宇宙の銀河の赤外線分光が行われた。画像はうしかい座の方向、129億年前の宇宙にある銀河(赤方偏移 $z=6.0$)。下のグラフは、赤外線分光の1次元スペクトル。大きく突出したスパイクが2か所に見えるが、これが輝線であり、どこの波長にどれだけあるかで、どんな元素がどれだけあるのかなどがわかる。今回は水素に対する酸素の個数比が導き出された。

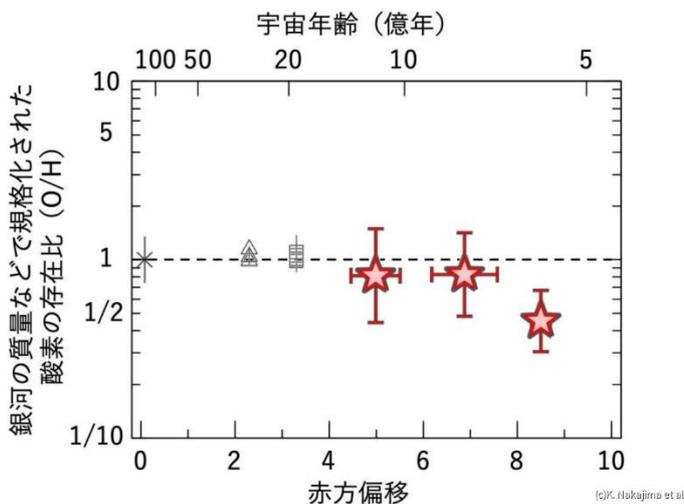
(c)NASA, ESA, CSA, K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配信資料)

今回の 138 個の銀河はどれも同じ時代のものではなく、およそ 122 億年前から 133 億年前まで幅がある。それぞれの一次元スペクトルを古い順に上から並べて二次元スペクトルとすることで、宇宙膨張による赤方偏移で OII 線、OIII 線、H α 線、H β 線の 4 種類の輝線が長波長側へシフトしていく様子も可視化された。



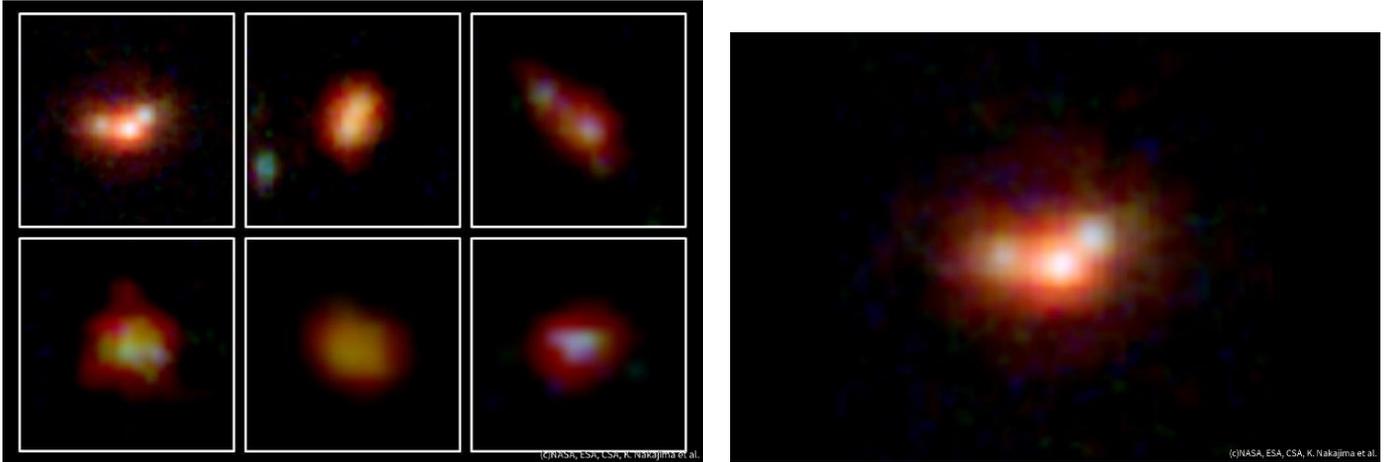
122 億年前から 133 億年前までの宇宙に存在する 138 個の銀河の赤外線分光 1 次元スペクトルを上から古い順に並べて、2 次元スペクトル化したグラフ。古い銀河ほど右側の赤側にシフト(赤方偏移)していることが見て取れる。(c)NASA, ESA, CSA, K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配信資料)

そして分析の結果、131 億年前までの銀河では、銀河の質量などに応じた量(総量ではなく、水素に対する酸素の個数比)の酸素が存在していることが明らかにされた。つまり、現在とそれほど変わっていなかったのである。このことから、120 億年前時点での酸素の存在比については、120 億年前の時点で一度半分まで減って、それよりも古い時代にまた現在に近いぐらいまで増えるのは不自然とし、「現在と変わらない」という 2021 年発表の説の方が正しいだろうと推測。中島特任助教は「個人的には、この論争に決着をつけられたと思います」としている。



今回の解析の結果、122 億年前から 133 億年前までの酸素の存在比が導き出された。131 億年前ぐらいまでは現在より少し少ない程度で(左と中央の赤星印)、133 億年前(右の赤星印)になると、一気に半分まで減っており、この時期に急速に増加した痕跡が確認された。(c)K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配信資料)

さらに 138 個の銀河のうち、131 億年～133 億年前の今回では最も古い時期の銀河である 7 個は、すべてが酸素の存在比が半分ほどと少なくなっており、そのうちの 6 個については 95%以上の確率で酸素の存在比が少なかったとする。このことから、宇宙での酸素の存在比は、5 億年～7 億年ごろに急激に増えたことがわかったとする。



131 億年前から 133 億年前の宇宙に存在する銀河のうち、95%以上の確率で酸素の存在比が少なかった(酸素の欠乏が明確に示された)6 個の銀河の近赤外線画像(JWST/NIRCam による)。上段の 3 個は左からうしかい座、とびうお座、みずがめ座で発見された銀河。下段の 3 個は左からうしかい座、みずがめ座、みずがめ座。特定の領域ではなく、複数の領域の銀河で欠乏が確認された。(c)NASA, ESA, CSA, K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配付資料)

ひとつ前の画像の上段左のうしかい座の銀河の拡大画像(JWST/NIRCam による)。(c)NASA, ESA, CSA, K. Nakajima et al.(出所:プレス向け配付資料)

なお中島特任助教も大内教授も、120 億年を過ぎたあたりからもっと早い段階で酸素の存在量が減っていくものと事前の予想を立てていたため、宇宙誕生後 7 億年ぐらまではあまり現在と変わらないことにとっても驚かされたと話す。この時期に急激に酸素の存在比が増加した理由としては、複数考えられるため、正確なところは現時点ではわからないとする。中島特任助教に直接尋ねたところ、たとえば可能性の 1 つとしては、この時期の宇宙は現在と比べて非常に小さいため、小型の銀河同士が頻りに衝突合体することで、衝突した銀河それぞれの星間ガスが圧縮されて、寿命が 1000 万～数千万年しかないような、場合によっては主系列の O 型星以上の大質量星のスターバースト(多量の星が誕生すること)が発生し、次々と核融合で酸素を生成しては大量の超新星爆発で宇宙にばらまきまくったことなどが考えられるとしている。ちなみに、この宇宙の最初の生命である「ファーストライフ」ともいべき存在は、120 億年前ぐらに出現したのではないかと推測した仮説が存在する。この仮説が根拠とするのは、大まかにいえば、生命は炭素を中心に、酸素や窒素、硫黄、リン、鉄などのさまざまな元素を必要とするが(地球型生命の場合)、そうした元素の存在量が必要だけそろい、生命が誕生しえる環境が整い出すのが 120 億年前ごろだろうというものである。それに対し、大内教授は私見としながらも、今回の研究成果から、さらに 10 億年ぐらファーストライフの誕生が早まる可能性もあるのではないかと予想した。また大内教授は、今回の研究で、ファーストスターにかなり近づけたと語る。ファーストスターの誕生は 2 億年前後ではないかと推測されており、単純計算で今回の 133 億年前よりあと 3 億年ほど遡れば、星の核融合で誕生する酸素などの元素をまったく含まない、ファーストスターで構成された銀河を観測することができるかもしれない(ファーストスターの超新星爆発を捉えることができれば、単独の観測も実現できるだろう)。ファーストスターからの光そのものはまだ観測されていないが(痕跡などは発見されてきている)、今回の銀河を構成する星々から見た場合、10 世代から 20 世代ぐら遡れば、ファーストスターに到達できる可能性があるのではないかと推測を語ってくれた。最後に今後の計画として中島特任助教は、JWST の別の観測機器である中間赤外装置「MIRI」が $5\mu\text{m}$ ～ $28\mu\text{m}$ の範囲の波長をカバーすることから、こちらを利用した観測

(観測データの活用)も考えているという。ただし感度的には今回の NIRSpec の方が上のため、今回と同等の精度を出すのは容易ではないとのことだ。さらに、酸素以外の元素の存在量の確認は容易ではないというが、酸素同様に星の核融合で合成される各種元素の存在量も、酸素と同様に増えてきたのかどうかなど、今回と同じ NIRSpec の近赤外分光観測データを用いて、まさに現在調査中としている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20231110-2815644/>

東工大など、リュウグウ母天体での激しい水循環がもたらした影響を確認

掲載日 2023/11/10 20:18

著者：波留久泉

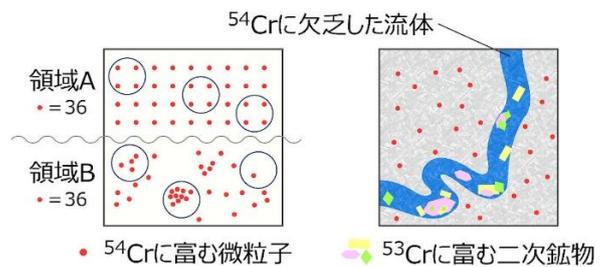
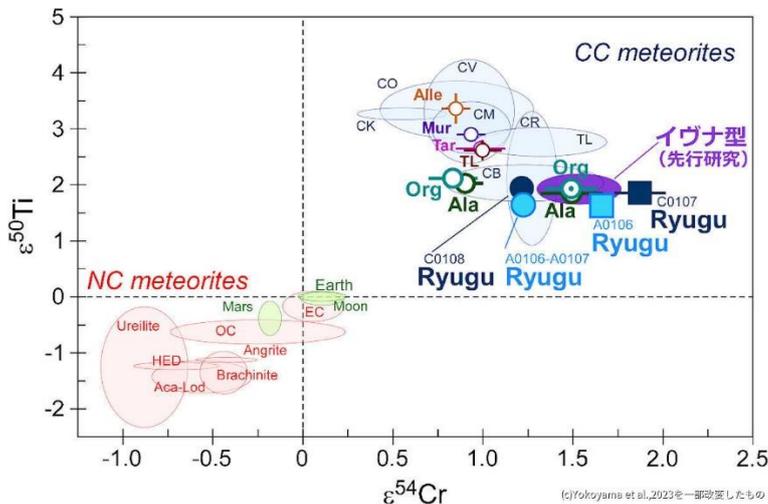
東京工業大学(東工大)、東京大学(東大)、北海道大学(北大)の3者は11月9日、Cb型小惑星「リュウグウ」の同位体組成を測定し、同小惑星で生じた激しい水質変成と水循環により、クロム同位体組成の局所的な不均質が生じたことを突き止めたと発表した。同成果は、東工大 理学院 地球惑星科学系の横山哲也教授、東大大学院 理学系研究科の飯塚毅准教授、同・橘省吾教授、北大大学院 理学研究院の塚本尚義教授らを中心とした90名以上からなる国際共同研究チームによるもの。詳細は、[米国科学振興協会が刊行する「Science」系のオープンアクセスジャーナル「Science Advances」に掲載された。](#)

リュウグウ試料の一連の初期分析により、その化学組成や鉱物組成は、イヴナ型炭素質隕石(イヴナ隕石)とほぼ一致することが報告されている。研究チームも、チタン、クロム、鉄、亜鉛の核合成起源同位体異常を測定し、同小惑星に似た同位体的特徴を持つのは同隕石のみであることを突き止めている。

イヴナ隕石はこれまでに9個しか発見されていない希少なもので、その化学組成は、人類が保有する約7万個の隕石中で最も太陽光球の値に近く、始原的な特徴を持つとされている。こうした始原的物質をもたらした天体の誕生について詳細を知ることは、太陽系の成り立ちを考える上で重要であり、中でもリュウグウならびにイヴナ隕石の核合成起源同位体異常は、それらの母天体の形成位置に関する情報を与えるものとなる。これまでの研究から、これら2つの天体の母天体は、ほかの隕石とは異なり、より遠方の太陽系縁辺部で誕生したことが推察されている。非常に似通っているとされるリュウグウ試料とイヴナ隕石だが、クロム同位体異常($\epsilon^{54}\text{Cr}$)については、わずかなズレが見られていることも確認されており、その点は謎とされていた。そこで研究チームは今回、これまでに測定されたリュウグウ試料2点に新たに3点を加え、クロムおよびチタンの核合成起源同位体異常を測定することで、その謎の解明に挑むことにしたとするほか、それらの試料を用いて、マンガンの放射性同位体「 ^{53}Mn 」が壊変して作られるクロムの安定同位体「 ^{53}Cr 」の分析、ならびに2種類のイヴナ隕石を含む全6種類の炭素質隕石についても同様の分析を行うことにしたという。

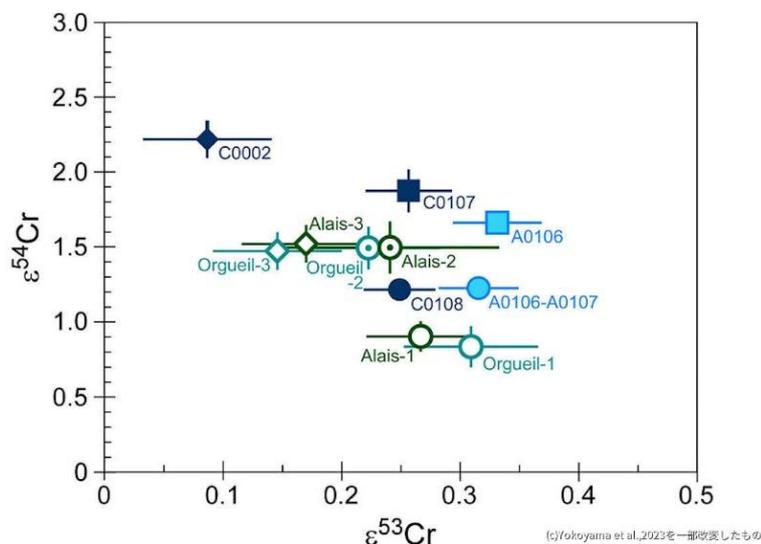
その結果、対象の2つ天体のチタン同位体異常($\epsilon^{50}\text{Ti}$)は、先行研究で得られた同隕石の範囲とほぼ一致したが、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ は先行研究よりも値が高低に大きく変動していることを確認。イヴナ隕石には、 ^{54}Cr に富む極微小(1 μm 以下)の太陽系以前の非常に古い「プレソーラー粒子」が含まれており、その $\epsilon^{54}\text{Cr}$ の最大値は56万ほどで、今回分析された両天体の質量は、1試料あたり7~24mgと、先行研究で使用されたイヴナ隕石の100mg以上と比べてかなり少なかったことから、観察された $\epsilon^{54}\text{Cr}$ の変動は、 ^{54}Cr に富む微粒子が不均質分布した試料を少量測定したために生じたと考えられると研究チームでは説明する。

また、このような ^{54}Cr に富む微粒子の不均質分布には、両天体の母天体に存在していた氷が溶けて周囲の岩石と反応を起こす「水質変成」が深く関与しているともしている。水質変成が起きると、岩石中の可溶成分が流体に溶け込んで天体内を循環し、さまざまな二次鉱物を沈殿させることになるが、 ^{54}Cr に富む微粒子は流体に溶けにくいいため、流体は相対的に ^{54}Cr に欠乏し、低い $\epsilon^{54}\text{Cr}$ を持つようになり、結果として二次鉱物の ^{54}Cr 含有量は少なくなり、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ も低くなるとする。このことは、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ が低い両天体の小片試料には、より多くの二次鉱物が含まれていたと考えられるとしている。



今回の研究で測定されたリュウグウ試料(Ryugu)、イヴナ隕石(Ala、Org)、その他の炭素質隕石(TL、Tar、Mur、Alle)の $\epsilon^{54}\text{Cr}$ および $\epsilon^{50}\text{Ti}$ 。両天体の $\epsilon^{50}\text{Ti}$ は、先行研究で測定されたイヴナ隕石の値(紫色の楕円)とほぼ一致するが、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ は先行研究より低い値から高い値まで大きく変動する。Ala、Org、TL、Tar、Mur、Alle はそれぞれ Alais、Orgueil、Tagish Lake、Tarda、Murchison、Allende の省略名。なお $\epsilon^{54}\text{Cr}$ と $\epsilon^{50}\text{Ti}$ は、試料が持つ $^{54}\text{Cr}/^{52}\text{Cr}$ と $^{50}\text{Ti}/^{47}\text{Ti}$ 比の標準物質からのずれが 1 万分率で表されたもの (c)Yokoyama et al.,2023 を一部改変したもの (出所:プレスリリース PDF)

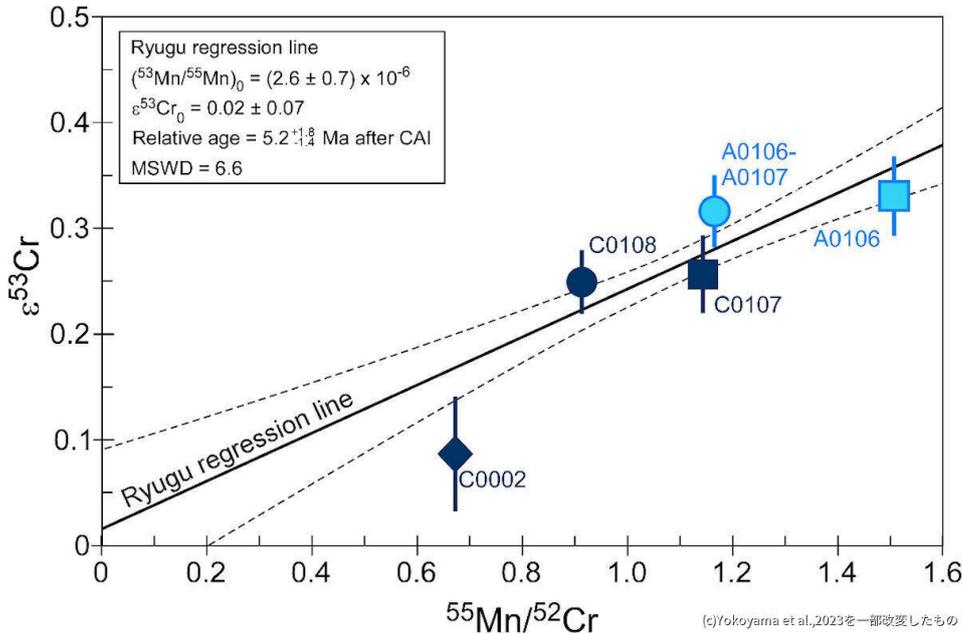
(左)領域 A のように、 ^{54}Cr に富むプレソーラー粒子が均質に分布していると、測定試料(円で表現)に含まれている粒子数は一定であるが、領域 B のように不均質分布していると、試料に含まれる粒子数が変動し、そのことが $\epsilon^{54}\text{Cr}$ のバラツキに反映される。領域 A も B も、総粒子数は 36 個で等しいため、全領域を測定すれば、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ は同じ値となる。(右)リュウグウ母天体の水質変成により流体が発生し、岩石中の間隙を細い水脈となって移動し、二次鉱物を沈殿させる。 ^{54}Cr に富む微粒子は流体に溶けないため、流体および二次鉱物は ^{54}Cr に欠乏し、低い $\epsilon^{54}\text{Cr}$ を持つようになる。一方、二次鉱物は Mn に富むため、 ^{53}Mn の娘核種である ^{53}Cr に富む。こうして、mm スケールの局所的不均質が生じたと考えられるという (出所:プレスリリース PDF)



両天体の $\epsilon^{53}\text{Cr}$ および $\epsilon^{54}\text{Cr}$ の関係。リュウグウ試料 C0002 は $\epsilon^{53}\text{Cr}$ が最も低く、 $\epsilon^{54}\text{Cr}$ が最も高い。全体的に、両天体の $\epsilon^{53}\text{Cr}$ と $\epsilon^{54}\text{Cr}$ は逆相関する (c) Yokoyama et al.,2023 を一部改変したもの (出所:プレスリリース PDF)

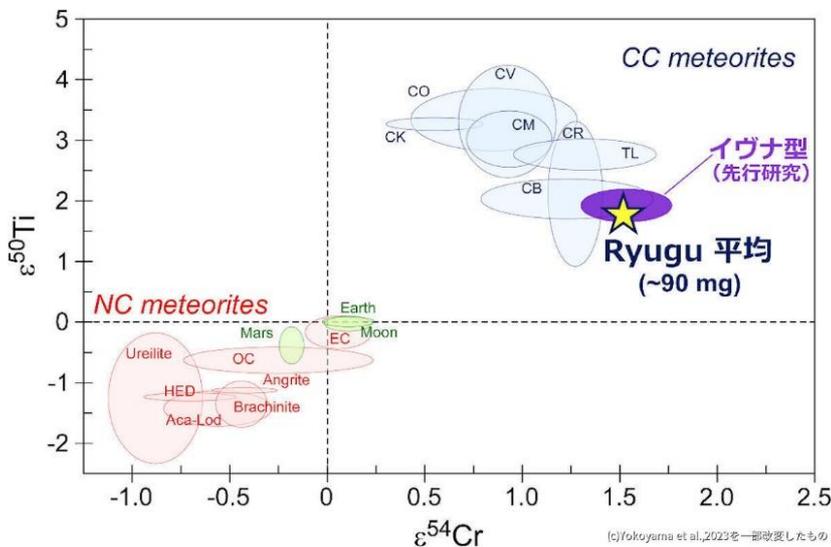
考案されたシナリオは、 ^{53}Cr の測定結果からも支持されるという。流体から沈殿した二次鉱物である「ドロマイト」($[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$)などの炭酸塩は、マンガンを多く含むため、より高い $\epsilon^{53}\text{Cr}$ を持つこととなる。両天体の $\epsilon^{54}\text{Cr}$ は $\epsilon^{53}\text{Cr}$ と逆相関しており、ドロマイトの多い($\epsilon^{53}\text{Cr}$ の高い)試料は、流体の影響により低い $\epsilon^{54}\text{Cr}$

を持っていることが示されたとする。さらに、 ^{53}Mn の放射壊変で生じた ^{53}Cr の量を時間に換算したところ、二次鉱物の沈殿は太陽系の誕生から約520万年後に生じたことが導き出されたともしている。



リュウグウの ^{53}Mn - ^{53}Cr アイソクロン。直線(Ryugu regression line)の傾きから、リュウグウ母天体で生じた二次鉱物の沈殿時期が太陽系形成から520万年後、と計算された。点線は直線の誤差範囲 (c) Yokoyama et al., 2023 を一部改変したもの (出所: プレスリリース PDF)

今回、研究チームによって測定された全リュウグウ試料を合算した物質(約90mgに相当)の ^{54}Cr および ^{50}Ti 同位体異常を計算すると、先行研究によるイヴナ隕石の平均値と一致したとのことで、両天体の母天体が誕生したタイミングや場所、形成過程には多くの共通性があり、両者は親戚関係にあるというこれまでの描像を、より補強することができた。研究チームでは説明しているほか、天体が元々持っていたクロム同位体組成を知るには、今回測定に用いられた試料(7~24mg)のような小片試料では不十分であり、より精密な「リュウグウ平均組成」を得るため、可能な限りサイズの大きな試料を用いた再分析が期待されるとしている。



今回分析されたすべてのリュウグウ試料を合算した場合(約90mgに相当)の $\epsilon^{50}\text{Ti}$ および $\epsilon^{54}\text{Cr}$ の値。リュウグウの分析試料サイズが大きくなると、先行研究のイヴナ隕石の値と矛盾しないことがわかった (c) Yokoyama et al., 2023 を一部改変したもの (出所: プレスリリース PDF)