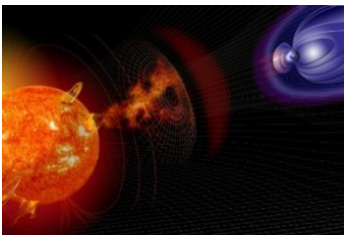


紀元前 1 万 2351 年の史上最大の太陽嵐の痕跡を発見 放射性炭素年代測定法の校正作業の研究で正確な年代を特定

2023-10-25 [彩恵りり](#)

太陽活動に伴う「太陽嵐」は、大規模なものでは現代の文明に致命的な影響を与えかねません。そのような活動は過去何度も繰り返されてきたと見られていますが、過去の太陽活動を知るのは容易ではありません。エクス=マルセイユ大学の Edouard Bard 氏などの研究チームは、年代測定で重要な「炭素 14」の濃度を調べる研究を行ったところ、紀元前 1 万 2351 年からの 1 年間という非常に正確な年代の範囲内で、炭素 14 の発生量が顕著に増大した「三宅イベント (Miyake event)」があることを突き止めました。他の角度からの調査も合わせると、紀元前 1 万 2351 年の三宅イベントは知られている中で最大の太陽嵐の痕跡であると見られています。今回の研究と校正によって得られた年代測定は精度が高く、これほど細かく年数を書くことができるという点も重要です。



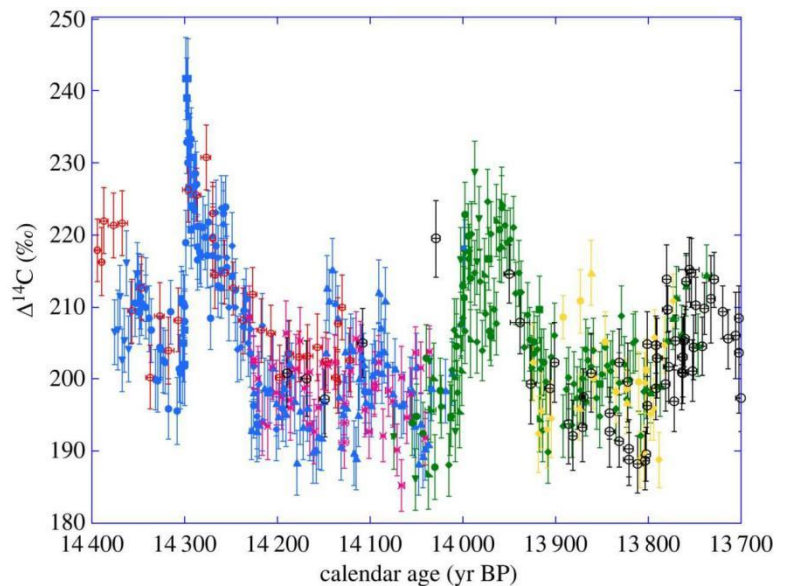
【▲図 1: 太陽から放出される大量の荷電粒子は、地球の磁気圏と相互作用し、大規模なものは太陽嵐を引き起こします (Credit: NASA)】

■過去の太陽嵐を炭素 14 で推定する

地球に光と熱を送る太陽は私たちに不可欠な存在ですが、時に文明を危機に陥れる可能性もあります。太陽の活動は長期的には安定していますが、短期的には突発的で局所的な「太陽フレア」という激しい活動が発生することがあり、大量の電磁波や荷電粒子（電気を帯びた粒子）を放出します。これが地球の磁気圏に衝突すると「太陽嵐」と呼ばれる現象が発生します。太陽嵐は、軽度なものならオーロラが見えたり、無線通信やラジオ放送に一時的な障害が生じたりする程度で済みます。しかし大規模なものは送電線や電子機器などに過剰な電流を与え、多大な被害を発生させると考えられています。詳細な記録が残る最も激しい太陽嵐は 1859 年に発生した「キャリントンイベント (Carrington event)」であると言われており、当時普及したばかりの電信網に損害を与えました。もしキャリントンイベント並の太陽嵐が現代で発生した場合、アメリカだけで数十兆円の損害に加え、送電網の復旧に数年かかると言われています。では、このような大規模な太陽嵐はどの程度の頻度で発生しているのでしょうか？太陽活動の本格的な観測は 17 世紀初頭から開始したことや、記録の不完全さから、過去の太陽嵐を知るには別の方法が必要です。それは「炭素 14」の量を測ることです。炭素 14 は天然に存在する放射性同位体であり、通常は大気中の窒素が宇宙線と反応することで生成されますが、太陽嵐の際には生成量が増加することが知られています。これは宇宙線に加え、太陽由来の荷電粒子が炭素 14 の生成に関与する為です。過去の地層に含まれる有機物の破片は、その当時の炭素 14 の量を反映しているため、炭素 14 が多い時代は太陽嵐が発生した可能性があります。炭素 14 が増加した時期は、宇宙線によって生成する他の同位体（ベリリウム 10 や塩素 36）も増加する傾向にあり、このような増加がみられる時期を「三宅イベント」と呼びます。このような特異な炭素 14 の増加は、炭素 14 による年代測定法「C14 法 (放射性炭素年代測定法)」の校正を行う研究の過程で見つかることがあります。炭素 14 による年代測定が行えるのは、試料中の炭素 14 の濃度が試料の古さによって一定に変化するという前提が必要です。しかし実際には、様々な原因によってズレが生じてしまうため、これに対する補正が必要となります。C14 法は過去 5 万 5000 年間の試料に対して適用される、非常に多用されている年代測定法なため、校正を行うことは重要です。

■樹木の垂化石から紀元前 1 万 2351 年の太陽嵐の痕跡を発見

Bard 氏らの研究チームは、過去 25 年間に渡ってヨーロッパに存在する樹木の垂化石を採集・分析する研究を行ってきました。この垂化石は、1 万年以上前に生息していた樹木が部分的に化石化したものであり、炭素 14 濃度の変化を知るのに最適な試料となっています。樹木の垂化石は年輪が残されているため、1 年単位で炭素 14 の濃度を分析することが可能であり、適切に分析を行えば、精度は他の分析方法を凌駕します。



【▲図 2: ドゥルーゼ川で発掘されたヨーロッパカラマツの垂化石。今回の研究ではこの垂化石に含まれる炭素 14 が分析されました (Credit: Edouard Bard, et al.)】

【▲図 3: 炭素 14 の濃度を年代別にグラフ化したもの。本来このグラフは直線的になるはずですが、約 1 万 4300 年前と約 1 万 4000 年前の 2 つの時期に炭素 14 の濃度が増加するピークがあることが分かります (Credit: Edouard Bard, et al.)】

Bard 氏らは、2020 年に確定した紀元前 1 万 1951 年 (13900 cal BP (※1)) までの C14 法の基準 (IntCal20) より以前の炭素 14 濃度の校正を行うため、フランス南部を流れるデュランス川 (Durance river) の中流域にあるドゥルーゼ川 (Drouzet watercourse) で発掘調査を行い、合計 172 本の「ヨーロッパカラマツ (Pinus sylvestris)」の垂化石を採集しました。そしてその中から保存状態の良い 140 本を選び出し、分析用に加工したあと、年輪の幅で年代を並べる「年輪年代学」の作業と、それぞれの試料における炭素 14 の濃度を調べる作業を行いました。

※1...BP は “Before Present (現在より何年前)” の略ですが、C14 法では西暦 1950 年が基点となります。また、炭素 14 の濃度は様々な要因で左右されるため、それに合わせた校正が必要となります。この校正を加えたものが “cal BP (暦年代)” です。cal BP で表された年数は、1950 年から起算して何年前という単純計算ができます。

その結果、111 本の垂化石の年輪から約 680 年間の時代がカバーされ、15 本分の試料の分析から、この期間内での炭素 14 の濃度変化の測定に成功しました。そして興味深いことに、約 1 万 4300 年前と約 1 万 4000 年前の 2 つの時期に、炭素 14 が急激に増大していることが判明しました。重点的な分析や、宇宙線によって生成する他の同位体濃度を調べた研究 (グリーンランド氷床のベリリウム 10) との照らし合わせの結果、紀元前 1 万 2351 年から紀元前 1 万 2350 年までの 1 年間 (14300~14299 cal BP) と、紀元前 1 万 2101 年から紀元前 1 万 2001 年までの 100 年間 (14050~13950 cal BP) は、炭素 14 の生成量が平時と比べて約 30%増大していることを突き止めました。特に紀元前 1 万 2351 年からの 1 年間の炭素 14 濃度の増加は、期間の短さから大規模な太陽嵐に由来する三宅イベントと考えられています。このような短期間の炭素 14 濃度の増加は、過去 1 万 5000 年間に 9 回記録されています。特に多かったのは西暦 774 年と西暦 993 年であり、炭素 14 濃度から示

峻される太陽嵐の規模は、キャリントンイベントの 10 倍も大きかったとされています。しかし今回見つかった紀元前 1 万 2351 年の太陽嵐は、西暦 774 年と西暦 993 年の太陽嵐の 2 倍、キャリントンイベントの 20 倍もの規模であると推定されます。これは知られている中で最も大規模な太陽嵐の痕跡です。

一方で紀元前 1 万 2101 年からの 100 年間は期間が長いため、太陽活動が弱かった「マウンダー型太陽活動極小期 (Maunder-type solar minimum)」(※2) の時期であったことを示唆しています。太陽嵐の場合と異なり、この時期は太陽活動によって地球の磁場が乱れにくくなります。磁場の乱れは宇宙線を効果的に弾くため、それが弱まるこの時期は、地球大気に届く宇宙線の量が増大するため、炭素 14 の生成量が増えます。

※2...太陽黒点の数が少なく、太陽フレアのような活発が極端に小さい時期をマウンダー型太陽活動極小期と呼びます。代表的なのは 1645 年から 1715 年にかけて発生した「マウンダー極小期」です。マウンダー極小期の時期に顕著な寒冷気候があったことは知られていますが、同じ時期に大規模な火山活動もあったため、太陽活動と短期間の寒冷気候に関係があるのかは分かっていません。この時代は、地球が温暖な気候であった「ボーレン-アレレード温暖期 (Bølling-Allerød warming)」でしたが、短期間だけ「オールダードライアス (Older Dryas)」と呼ばれる氷河期を挟んでいたことで知られています。今回見つかった炭素 14 濃度の増大時期は、ちょうどオールダードライアスの時期と一致するため、興味深い発見です。ただし、マウンダー型太陽活動極小期と短期間の氷河期の関連ははっきりと分かっておらず、研究チームは太陽活動の低下だけではオールダードライアスを説明できないと考えています。

■太陽嵐の発見は非常に高精度な校正作業の結果

今回の研究では、知られている中で最大の太陽嵐の痕跡を発見することが出来ましたが、これは研究の結果たまたま明らかにされた出来事です。研究のメインは C14 法をより古い時代に精度よく適用するための校正を行うことであり、実際に今回の研究では 2020 年に策定された基準より更に 500 年も延長することに成功しました。特に今回の研究では、1 年単位という非常に高い精度で炭素 14 の濃度を決定した点が非常に優れています。この精度が無ければ、たった 1 年間の炭素 14 の増加で決定づけられる紀元前 1 万 2351 年の太陽嵐を発見することはできなかったと考えられることから、これはとても重要です。また、太陽嵐が発生した時期を“およそ紀元前 1 万 2000 年”のような曖昧な表現ではなく“紀元前 1 万 2351 年からの 1 年間”と具体的に書くことができるのは、この研究の精度が高いおかげでもあります。

Source

[Edouard Bard, et al.](#) “A radiocarbon spike at 14 300 cal yr BP in subfossil trees provides the impulse response function of the global carbon cycle during the Late Glacial”. (Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences)

[“Researchers identify largest ever solar storm in tree rings”](#). (University of Leeds) 文／彩恵りり

<https://nordot.app/1090652861930373361?c=110564226228225532>

哺乳類「宇宙で繁栄の可能性も」 微小な重力環境で受精卵が成長 2023/10/28



宇宙の微小重力環境で成長したマウスの「胚盤胞」(山梨大提供)

山梨大や宇宙航空研究開発機構 (JAXA) などの研究チームは、宇宙のほぼ重力がない環境で、マウスの受精卵を子宮に着床する直前まで成長させることに成功したと 28 日付の米科学誌電子版に発表した。宇宙実験で哺

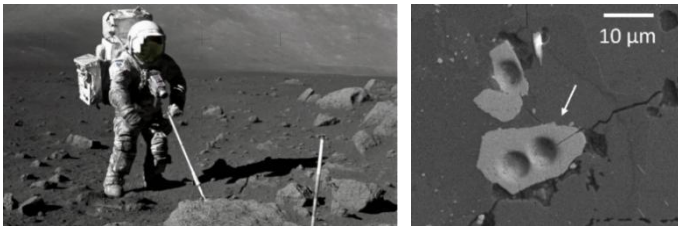
哺乳類の受精卵を、胎児になる前段階「胚盤胞」にまで培養したのは世界初。「哺乳類が宇宙でも繁殖できる可能性を示した」としている。 実験は2021年、地上で凍結した二つの細胞に分割した段階のマウスの受精卵（初期胚）を、国際宇宙ステーション（ISS）の実験棟で解凍し、培養した。培養後に回収できた胚のうち17個が、子宮に着床する直前の胚盤胞にまで発育したことが確認された。微小重力の環境下でも、受精卵が胎児側と胎盤側の細胞に正しく分化できることが分かったという。 受精卵の初期の分化に重力は影響しないとみられるが、微小重力下では一部は胎児側の細胞が2カ所に分離して、一卵性双生児が生まれる割合が高まる可能性も示された。

© 一般社団法人共同通信社

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35210632.html>

月の年齢、定説より4千万年古いことが判明 アポロ17号の試料を新たに解析

2023.10.24 Tue posted at 12:39 JST



月面で試料の採取を行うアポロ17号のハリソン・シュミット飛行士＝1972年/NASA

顕微鏡で見るジルコンの結晶/Jennika Greer/Northwestern University

（CNN）1972年に月面着陸した米航空宇宙局（NASA）のアポロ17号で収集された粉塵（ふんじん）を新たに解析した結果、月はこれまでの定説よりも4000万年古かったことが分かったとして、米シカゴにあるフィールド自然史博物館の研究チームが23日の学術誌に論文を発表した。

72年12月11日、アポロ17号で月に降り立った2人の宇宙飛行士は、月面の岩石や粉塵を採集した。今回、この試料の分析でジルコンの結晶が検出され、年代測定を行った結果、44億6000万年前のものだったことが分かった。これまで月は、44億2500万年前の巨大天体衝突によって形成されたと考えられていた。「こうした結晶は、巨大衝突後に形成された既知の固体の中で最も古い。その結晶は年代も分かることから、月の年代測定の手がかりとなる」。論文を発表したフィールド自然史博物館の研究員はそう解説している。研究チームによると、地球がまだ形成途中だった太陽系の創成期は、宇宙空間で天体同士が衝突し合う混沌状態にあった。40億年以上前の当時、火星ほどの大きさの天体が地球に衝突して巨大な岩石が吹き飛び、それが月になったと考えられている。しかしこれまでは、その出来事が起きた正確な年代の特定は難しかった。研究チームは今回、月の粉塵の試料に含まれる鉛の同位体を使って、ジルコン結晶ができたのは44億6000万年前だったことを突き止めた。月も少なくとも同じ年代と推定される。

月の試料が地球に届いてから50年以上も経過しているが、結晶について今回のように詳細な分析を行うための技術開発には時間が必要だった。このためNASAは、アポロ時代に採集した試料を先端技術を使って解析する目的で、一部については最近まで公開していなかった。

<https://sorae.info/astrometry/20231026-magnetism.html>

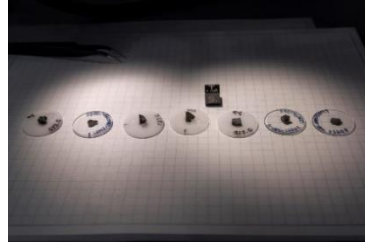
月の石の輸送に過剰な磁気シールドは不要 人工的な磁場による汚染は除去しやすい

いことが明らかに

2023-10-26 [彩恵りり](#)

月の石を分析すると、古代の月が保持していた磁場の痕跡が見つかります。しかしこの研究結果には、輸送中の探査機の磁気によって月の石が磁化されてしまっただけだという異論もあります。

スタンフォード大学の Sonia Tikoo 氏と Ji-In Jung 氏の研究チームは、アポロ計画で採集された月の石を意図的に強磁場に晒し、その後の消磁作業で除去が可能かどうかを実験し、その結果、人工的な磁気の影響を取り除くことに成功しました。これは、天体のサンプルを輸送する探査機に過剰な磁気シールドを搭載する必要がないことを意味し、重量の削減に役立ちます。



【▲図 1: 実験に使用した月の石のサンプルを持つ Sonia Tikoo 氏 (左) と Ji-In Jung 氏 (右) (Credit: Harry Gregory)】 【▲図 2: 実験に使用された様々な月の石のサンプル (Credit: Harry Gregory)】

■月の石の磁気はホンモノか？

アポロ計画で採集された月の石は、月の形成過程を知るために様々な分析にかけています。月の石が持つ磁気を調べる岩石磁気学はその 1 つに挙げられます。誕生直後の月は現在と比べて強い磁場を持っていたと考えられており、月の石を分析するとそのような古い磁場の手掛かりが手に入ります。これまでの研究で、月は 35 億年前より以前、つまり誕生から 10 億年以上に渡って強い磁場を持っており、それは月の中心部に液体金属があることによるダイナモ効果で発生したものと考えられています。このメカニズムは地球と似ています。しかし一方で、この解釈には異論も多くありました。月は地球と比べて小さな天体であり、内部の熱も速やかに逃げてしまいます。このため、月の内部で液体金属が保持されるほどの高温が 10 億年以上も続いたのかという点に疑問を持つ研究者も少なくありません。この異論が正しいとすると、月の石の磁気について別の説明を与えることとなります。それは、輸送中に月の石が磁化されてしまったというものです。宇宙機という機械装置の塊は様々な強さの磁場を発生させるため、月の石が機械装置から発せられる磁気によって上書きされてしまう可能性は十分にあります。一般的に、天体のサンプルへのそのような汚染を避けるためになるべく磁気を減らす努力が図られますが、ゼロにすることはできません。このためアポロ計画でも、アポロ 12 号で採集した月の石をアポロ 16 号に搭載し、地球と月との往復でどの程度の強さの磁場を受けるのかを調べる実験が行われており、結果としてかなり小さな磁場のみが作用することが明らかにされています。また近年では、人工的な磁場による汚染を除去するための「AF 消磁 (交流磁場消磁)」が行われます。ただしこの方法は、人工的な磁場による汚染がとても小さいという前提がないと成り立ちません。

■人工的な磁場による汚染は除去可能なことが判明

Tikoo 氏と Jung 氏の研究チームは、アポロ計画で採集された月の石の磁気が汚染の影響を受けていないのか、また人工的な磁場による汚染を AF 消磁で除去可能なのかを調べる実験を行いました。アポロ 11 号・12 号・15 号・16 号で採集された 8 つの月の石のサンプルに対し、5 ミリテスラの磁場を 48 時間照射し、その後 AF 消磁による汚染除去を実行しました。この強さは地磁気の約 100 倍の強さであり、地球と月とを往復する際に受ける磁場の強さに匹敵します。その結果、全てのサンプルで効果的に磁気の汚染を除去することに成功し、月の石には確かに固有の磁気があること、人工的な磁場による汚染は大きな懸念とはならないことが示されました。また、玄武岩の月の石はガラス質の月の石よりも磁気の汚染の影響を受けにくいといった、追加の情報も得ることができました。この実験結果は、将来の探査機の設計に少なからず影響するでしょう。天体のサンプルの磁気は、天体の内部を知るための重要な情報であるため、可能な限り探査機由来の磁場に晒さない努力が図られます。厚い磁気シールドで内部を保護するのは対策の 1 つとなりますが、磁気をなるべくゼロに近づ

けるためにはシールドを厚くする必要があり、それだけ探査機の重量が増したり、搭載できる科学機器の数や種類に制限が生じることになります。今回の研究結果は、過剰な磁気シールドが無くても、天体のサンプルに固有の磁気を検出できることを示しています。

Source

[S. M. Tikoo & J. Jung](#). “Establishing a Lunar Origin for Paleomagnetic Records in Apollo Samples”. (Geophysical Research Letters)

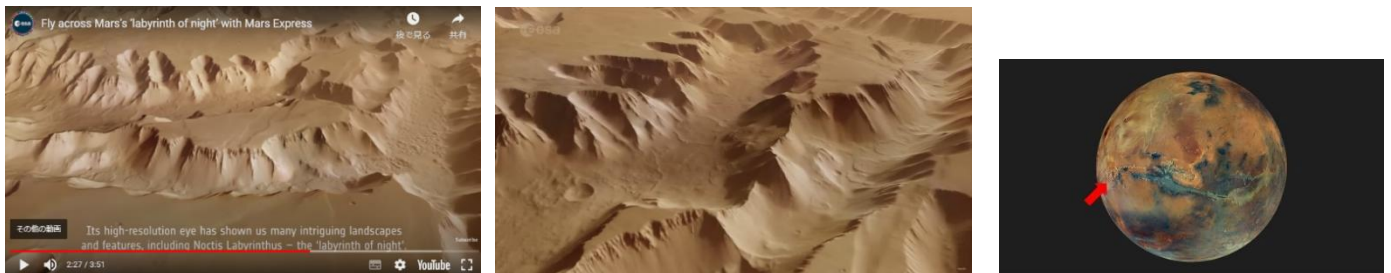
[Danielle Torrent Tucker](#). “Removal of magnetic spacecraft contamination within extraterrestrial samples easily carried out, researchers say”. (Stanford University) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/space/20231024-noctis-labyrinthus.html>

火星の“夜の迷宮”を空から眺めてみよう ESA が探査機のデータで動画を作成

2023-10-24 [sorae 編集部](#)

こちらは火星の「Noctis Labyrinthus（ノクティス・ラビントゥス）」と呼ばれる地域の東部上空からの眺めを視覚化した動画です。“夜の迷宮（迷路）”意味するその名前が示すように、複雑に入り組んだ谷が広がる驚異的な景色をまずはご覧下さい。



【▲ 火星探査機「Mars Express」で取得したデータをもとに視覚化されたノクティス・ラビントゥスの上空からの眺め】（Credit: ESA/DLR/FU Berlin & NASA/JPL-Caltech/MSSS）

【▲ 火星探査機「Mars Express」で取得したデータをもとに視覚化されたノクティス・ラビントゥスの上空からの眺め（動画の一場面）（Credit: ESA/DLR/FU Berlin & NASA/JPL-Caltech/MSSS）】

【▲ マリネリス渓谷を中心とした火星の画像。ノクティス・ラビントゥス（矢印の先）では複雑に入り組んだ谷が広がっている（Credit: ESA/DLR/FU Berlin/G. Michael、矢印は編集部が追加）】

この動画は欧州宇宙機関（ESA）の火星探査機「Mars Express（マーズ・エクスプレス）」の高解像度ステレオカメラ「HRSC」で取得したデータをもとに作成されました。ノクティス・ラビントゥスでは幅 30km・深さ 6km に達する幾つもの谷が、約 1190km（イタリア半島の長さに匹敵）に渡って交差しながら広がっているといいます。ESAによると、ノクティス・ラビントゥスの複雑な渓谷が形成されたのは、西側のタルシス（Tarsis）地域で過去に起きた激しい火山活動が原因だと考えられています。火山活動によって広範囲の地殻がアーチ状に持ち上げられ、地殻を伸長する力が働いた結果、地殻の一部が沈み込む地溝が形成されたことで迷路状の地形が形成されたとみられています。渓谷の斜面には大規模な地すべりの痕跡があちこちに残っていたり、風によって砂丘地帯が形成されていたりするといいます。

2003年6月3日に打ち上げられた Mars Express のミッションは、当初予定されていた火星の1年間（地球の約 687 日）を大きく上回り、2023年で開始から 20周年を迎えました。2023年6月には 20周年の記念画像も公開されています。ESAによれば Mars Express のミッションは少なくとも 2026年末まで延長されていて、今後も美しく知見に富んだ火星の画像を得られると期待されています。

関連：[ESA が火星探査機マーズ・エクスプレスのミッション 20周年記念画像を公開](#)（2023年6月15日）

冒頭の動画は ESA から 2023年10月10日付で公開されています。

<https://uchubiz.com/article/new30291/>

人工衛星の大気圏再突入、成層圏を汚染か-高高度観測が示唆 2023.10.24 11:26 [塚本直樹](#)

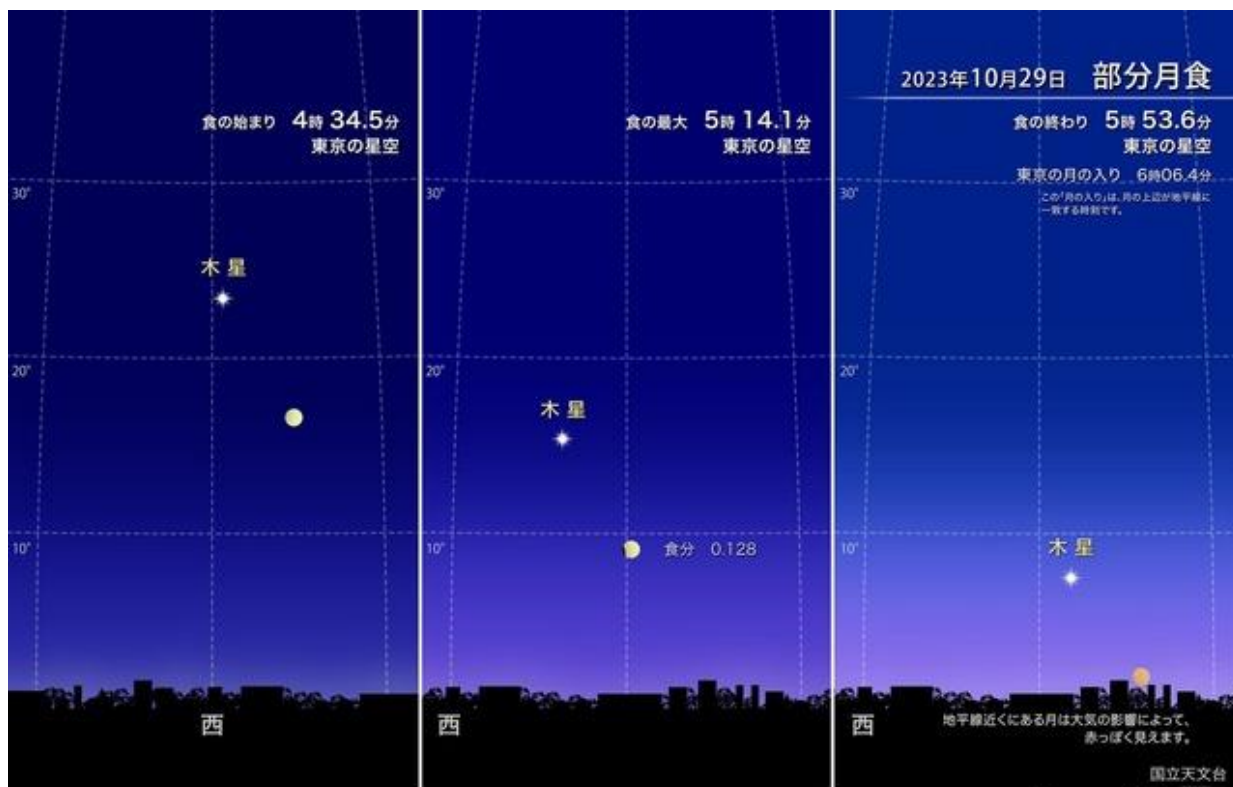
寿命を終えた人工衛星は、大気圏に再突入させて燃やし切るのが一般的だ。しかし、こうした人工物の大気圏再突入によって、地球の成層圏が汚染されている可能性があるとの論文が、米国科学アカデミーに10月16日に報告された。今回、NASAの高高度飛行機「WB-57」「ER-2」がアラスカと米国本土を飛行し、高度19kmの成層圏の空気を採取した。その結果、空気からはリチウム、アルミニウム、銅、鉛の痕跡が発見された。科学者によれば、これらの汚染物質の濃度は、衛星の製造に使用される合金の比率を反映していたという。今回の研究の著者の一人であるDan Cziczo氏は「大気が安定しているはずの成層圏で何か変化しているのであれば、詳しく調べる必要がある」と語った。科学者たちは、ロケットや衛星の再突入が地球の大気上層に与える影響について、警鐘を鳴らしている。例えばアルミニウム系合金の燃焼によって生成される酸化アルミニウムは、オゾンを破壊することで知られている。



(出典：NASA)

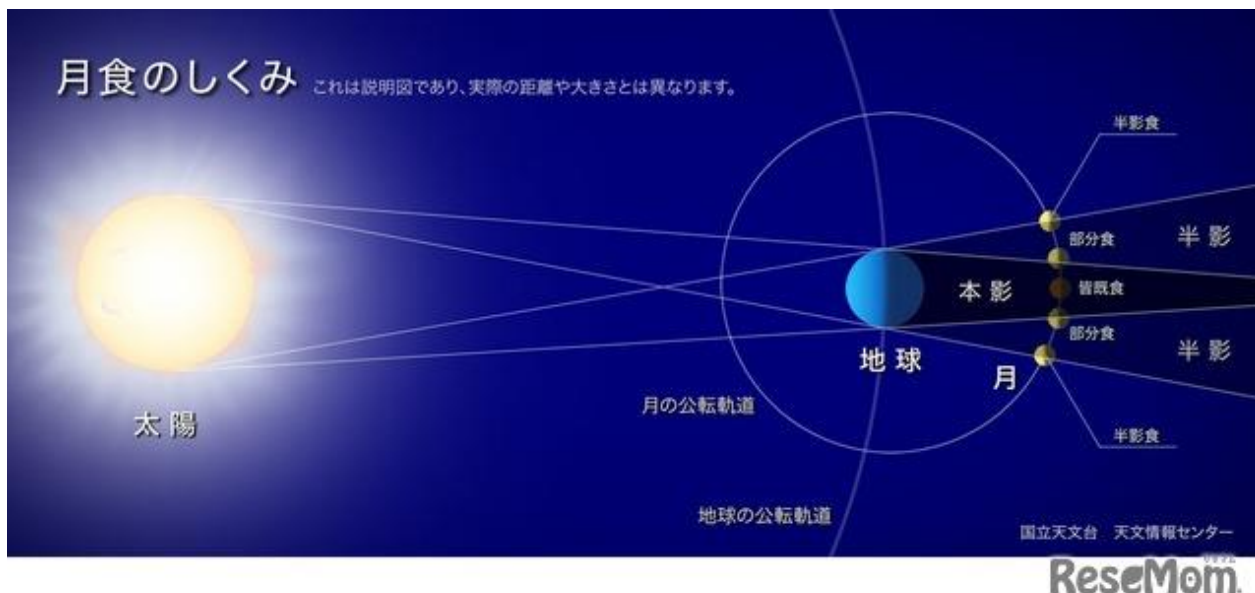
<https://resemom.jp/article/2023/10/25/74346.html>

10/29 明け方、全国で部分月食...小笠原では月入帯食も



画像出典：国立天文台 2023年10月29日 部分月食

2023年10月29日の明け方、月の一部が地球の影に隠される部分月食が起こり、日本全国で部分食の始まりから終わりまでを見ることができる。月食の進行は全国で同時刻に起こり、午前4時34分ごろに部分食が始まる。小笠原諸島などでは、月が欠けたまま沈む「月入帯食」が見られる。 2023.10.25 Wed 14:15



画像出典：国立天文台月食のしくみ

主な都市における予報（時刻と月の高度）				
地名	部分食の始まり	食の最大 (食分0.128) <small>(注1)</small>	部分食の終わり	月の入り <small>(注2)</small>
那覇	4時34.5分 (26.5度)	5時14.1分 (18.0度)	5時53.6分 (9.6度)	6時43.1分
福岡	4時34.5分 (24.3度)	5時14.1分 (16.4度)	5時53.6分 (8.6度)	6時42.3分
京都	4時34.5分 (19.9度)	5時14.1分 (12.2度)	5時53.6分 (4.7度)	6時22.1分
東京	4時34.5分 (16.7度)	5時14.1分 (9.1度)	5時53.6分 (1.8度)	6時06.4分
仙台	4時34.5分 (16.0度)	5時14.1分 (8.7度)	5時53.6分 (1.7度)	6時06.1分
札幌	4時34.5分 (16.0度)	5時14.1分 (9.2度)	5時53.6分 (2.6度)	6時13.2分

※「部分食の始まり」「食の最大」「部分食の終わり」の時刻、及び「食の最大」時の食分は、観察する場所によらず同じです。
※この表にない都市の予報は、観測室の「月食各地予報」と調べることができます。
月食についての詳しい説明や観察方法は、「基礎知識」の「月食とは」をご覧ください。

画像出典：国立天文台おもな都市における予報（時刻と月の高度）

2023年10月29日の明け方、月の一部が地球の影に隠される部分月食が起こり、日本全国で部分食の始まりから終わりまでを見ることができる。月食の進行は全国で同時刻に起こり、午前4時34分ごろに部分食が始まる。小笠原諸島などでは、月が欠けたまま沈む「月入帯食」が見られる。

月食は、月が地球の影の中を通過することにより、月が暗くなったり欠けたように見えたりする現象。地球の影（本影）によってすべて隠される「皆既月食」と、一部が隠される「部分月食」があり、今回は部分月食となる。 国立天文台によると、10月29日の部分月食は、午前4時34分に月が欠け始める。月は徐々に地球

の影に入り込み、午前5時14分に月がもっとも欠ける「食の最大」となる。その後、月は徐々に地球の影から抜け出し、午前5時53分に部分食が終わるといふ。アストロアーツによると、日本国内で月食（本影食）が見られるのは2022年11月8日の皆既月食以来、1年ぶり。今回は全国で同時刻に月食の進行が起こり、最大食分は0.12（月の直径の12%が隠される）と欠け具合は小さい。時刻や欠け具合は全国で同じだが、月の方位や高度は異なるため見え方には違いがある。特に東日本では食の後半がかなり低空となるため、西の空が開けたところで観察するのがお勧めだといふ。低空であることを生かして、地上風景と一緒に見たり写真に収めたりすることもできる。また、小笠原諸島では、欠けた状態のまま西の空に沈む「月入帯食（げつにゆうたいしょく）」という現象を見ることができる。各地の月の位置などは、国立天文台のWebサイト内「暦計算室」の月食各地予報で調べることができる。

[《畑山望》](#)

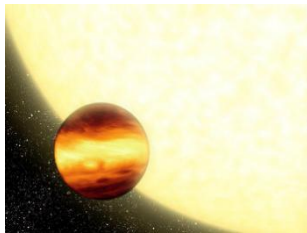
<https://sorae.info/astromy/20231023-hot-jupiter.html>

太陽系に「ホット・ジュピター」が存在しないのは太陽系の年齢が理由かもしれない

2023-10-23 彩恵りり

恒星から極めて近い距離を公転する「ホット・ジュピター」は多数の恒星に存在することが分かっていますが、太陽はホット・ジュピターを持たない例外的な恒星の1つです。なぜ存在しないのでしょうか？

JAXA（宇宙航空研究開発機構）の宮崎翔太氏と大阪大学の増田賢人氏の研究チームは、太陽のような年齢の古い恒星にはホット・ジュピターが少ない傾向にあることを突き止めました。これは太陽系にホット・ジュピターが存在しない理由となるとともに、太陽と似た恒星の中では、太陽系がそれほど少数派ではない可能性を示唆しています。



【▲ 図1: 典型的なホット・ジュピターの想像図。発見時は常識外れに見られていたホット・ジュピターですが、現在では発見そのものは珍しくないほどの多数派となっています（Credit: NASA, JPL-Caltech, R. Hurt）】

■ “常識外れ” から多数派となった「ホット・ジュピター」

天文学史上初めて発見された、太陽以外の恒星の周囲を公転する「太陽系外惑星」は、1995年に発見された「ペガサス座51番星b」です（※）。しかしその発見は驚くべきものでした。ペガサス座51番星bは木星と同じ巨大ガス惑星でありながら、その公転軌道の半径は水星よりもはるかに短く、数日周期で公転していたからです。中心に位置する恒星「ペガサス座51番星」は太陽とよく似た恒星であるにも関わらず、ペガサス座51番星bの性質は太陽系のどの天体にも当てはまらない“常識外れ”です。このため、当初は発見そのものを疑う声すらも珍しくありませんでした。

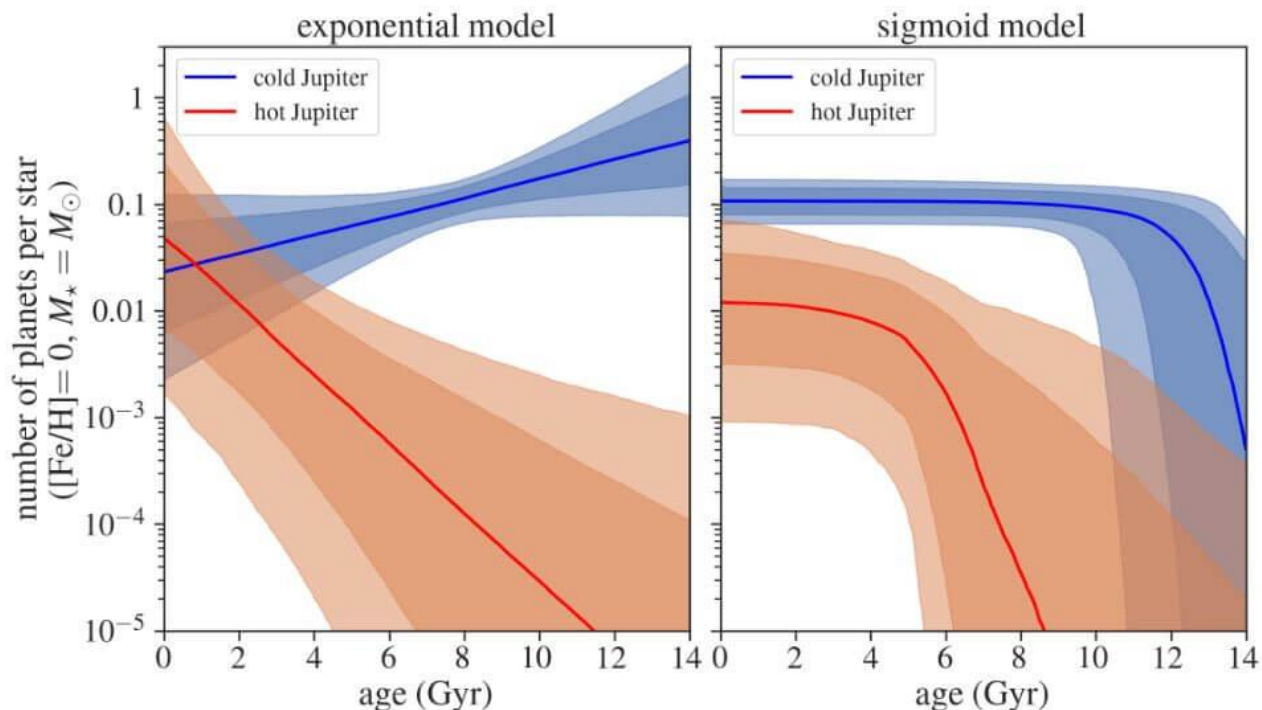
※...天文学史上初めて発見された太陽系外惑星は、1992年に発見されたPSR B1257+12の周囲を公転する3つの惑星ですが、これらはパルサーという恒星以外の天体を公転しています。また、ケフェウス座ガンマ星Abは1988年に存在が示唆されていたものの、正式に発見が認められたのは2002年になってからです。

しかし、その後の観測でペガサス座51番星bのような巨大ガス惑星が多数発見されたことで、このようなタイプの惑星は珍しくないことが分かりました。このような高温の巨大ガス惑星は、今日では“熱い木星”を意味する「ホット・ジュピター」と呼んでいます。この発見は天文学史における重大な発見に位置づけられており、ペガサス座51番星bの発見者であるミシェル・マイヨール氏とディディエ・ケロー氏には2019年にノーベル物理学賞が授与されています。時代が進むにつれホット・ジュピターの発見数は増えていき、もはやホット・ジュピターは常識外れどころか太陽系外惑星の多数派となっています。この状況から、ホット・ジュピターは

真に多数派の惑星系であり、太陽系のような惑星系こそが常識外れの少数派なのではないか、という疑問が生まれました。この疑問に回答するには、「観測バイアス」という疑問を解決しなければならないため、一般的に困難です。太陽系外惑星を発見するには、一般的に恒星の明るさや光の波長の変化から、惑星の影響を間接的に捉えることで行われます。ホット・ジュピターは直径も質量も大きく、恒星に及ぼす影響も大きいため、小さな惑星と比べて観測が容易です。また、恒星の影響が惑星であると証明するには、公転に伴う周期的な変化であることを説明する必要がありますが、公転周期が数日以下のホット・ジュピターは短い観測期間でも発見することができます。これらのバイアスから、ホット・ジュピターは他の惑星と比べて発見しやすいため、どうしても報告数は多くなる傾向があります。これに対し、太陽系の巨大ガス惑星は公転周期が10年以上あります。太陽に最も影響を及ぼす惑星は木星ですが、公転周期は約12年であるため、最低でも12年分のデータが必要となり、周期的であることを証明するにはその2倍以上の期間がないと確実ではないでしょう。また、木星は太陽から遠くにある分だけ、木星が太陽に及ぼす影響はホット・ジュピターと比べてずっと小さくなります。仮に近くに太陽系と全く同一の惑星系があったとしても、私たちの現在の技術では発見できないかもしれません。

■太陽系にホット・ジュピターがない理由が判明

一方で、ホット・ジュピターが見つかっている恒星のほとんどは、太陽よりずっと軽い恒星である「赤色矮星」の周りで見つかっています。軽い恒星ほど宇宙全体での数が多い傾向にあるため、ホット・ジュピターが多いことについても観測バイアスで説明できるかもしれません。しかしながら、太陽と同じくらいの重さの恒星の周りではホット・ジュピターの発見数がかなり少ないことも分かっています。これも観測バイアスだけで説明できるのでしょうか？宮崎氏と増田氏の研究は、観測バイアスだけでは説明できないと主張しています。研究チームは「カリフォルニア・レガシー・サーベイ (California Legacy Survey)」のデータから、太陽に似た恒星382個の分光データを抽出・分析しました。分光データからは、惑星がどの程度できやすいかの目安となる金属量に加え、年齢を推定することができます。382個の恒星のうち、46個には惑星が見つかっています。研究チームは公転周期が1日~10日のホット・ジュピターと、公転周期が1年~10年のコールド・ジュピターに分けることで、何か傾向がないかを分析しました。この分類では木星はコールド・ジュピターに分類されます。その結果、太陽に似た恒星の周囲を公転するホット・ジュピターは、コールド・ジュピターと比べて数そのものが少ないことが明らかにされました。これは赤色矮星とは逆の傾向です。これに加えて、ホット・ジュピターを持つ恒星は、持たない恒星と比べて年齢が若い傾向にあることにも気づきました。



【▲ 図2: ホット・ジュピター (赤色) とコールド・ジュピター (青色) それぞれの、時間経過による惑星の存在数を予測したモデル。誕生から60億年後(6Gyr)、ホット・ジュピターの存在数は急激に減少することが分かります。存在数は対数グラフであることに注意してください (Credit: Miyazaki & Masuda)】

そこで今度は、ホット・ジュピターを持つ太陽に似た恒星について、長期的な軌道の安定性を測るベイズ推定モデルを構築し、時間経過とともにホット・ジュピターを持つ確率を計算しました。その結果、恒星の誕生から約60億年経過すると、ホット・ジュピターの数は減少することが分かりました。太陽程度の質量の恒星の場合、60億年というのはちょうど寿命の中間くらいです。このことから、太陽に似た恒星ではコールド・ジュピターは何十億年も存在できる一方で、ホット・ジュピターの軌道は不安定であり、数十億年経つと恒星に飲み込まれて消滅してしまうことが明らかにされました。このことから、太陽と似た恒星では、ホット・ジュピターは時間が経過するほど少数派になることが分かります。太陽は誕生から約46億年経過しており、最近になってホット・ジュピターが消滅した証拠も見つかっていません。このことから、太陽系は元々ホット・ジュピターが存在しなかったか、太陽系形成後のかなり早い段階で消滅したかのどちらかである可能性が高いと考えられます。これが、現在の太陽系にホット・ジュピターが存在しない理由となります。

■太陽系は思ったほど少数派ではないかもしれない

太陽と似た恒星は宇宙全体から見れば少数派であることから、今回の研究とは関係なく、宇宙全体から見れば太陽系は少数派であることに間違いはありません。しかし今回の研究からは、少なくとも太陽と似た恒星においては、太陽系のような惑星系は少数派ではない可能性が示唆されます。

太陽系が真に少数派であるかどうかは、これからの観測で太陽系外惑星の発見数が増えなければ解決しない問題です。太陽系外惑星という研究分野は約30年とまだまだ歴史の浅い天文学の分野であるため、疑問の解決にはもう少し時間が必要でしょう。

Source

[Shota Miyazaki & Kento Masuda](#). "Evidence that the Occurrence Rate of Hot Jupiters around Sun-like Stars Decreases with Stellar Age". (arXiv)

[Brian Koberlien](#). "Old Stars Don't Have Hot Jupiters". (Universe Today) 文／彩恵りり

「水晶の雲」を持つホットジュピター発見、ウェブ宇宙望遠鏡による観測



[David Bressan | Contributor](#)



灼熱の巨大ガス惑星（ホットジュピター）「WASP-17 b」の観測データに基づく想像図（NASA, ESA, CSA, and R. Crawford (STScI)）

地球から 1300 光年の距離にある太陽系外惑星で、ホットジュピターと呼ばれる木星型巨大ガス惑星「[WASP-17 b](#)」の高層にある雲に、石英（水晶、二酸化ケイ素 [SiO₂] 結晶）が含まれている証拠が、米航空宇宙局（NASA）のジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡（JWST）を用いた観測で発見された。地球上では一般的なこの鉱物が系外惑星で見つかったのは、JWST の [MIRI（中赤外線観測装置）](#) による今回の観測が初めてだ。

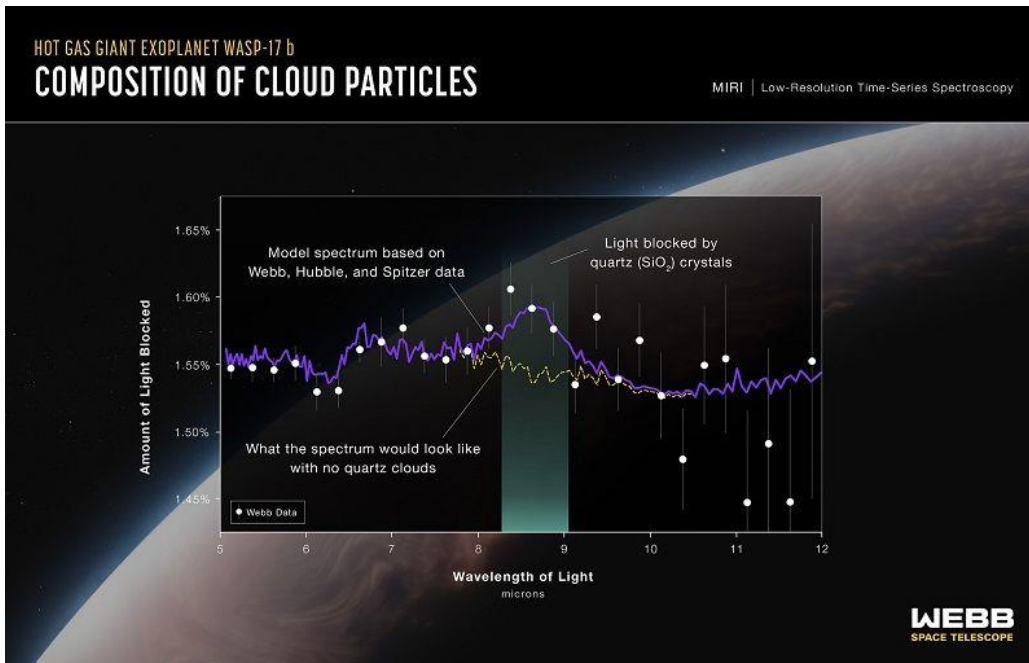
ケイ素と酸素が豊富に含まれるケイ酸塩鉱物は、地球や月に加え、太陽系にある他の岩石天体の大部分を構成している。[かんらん石](#) や [輝石](#) などのマグネシウムに富むケイ酸塩は、隕石や小惑星に多く含まれており、銀河系全域にある塵（固体微粒子）の雲や、系外惑星や褐色矮星の大気中などで検出されているが、純粋な結晶形態の SiO₂ である [石英](#) はこれまで見つかっていなかった。今回の研究をまとめた論文の筆頭執筆者で、英ブリストル大学の研究者 [デービッド・グラント](#) は「私たちはワクワクした！」と話す。「ハッブル宇宙望遠鏡の観測から、WASP-17 b の大気中にエアロゾル（雲や霧を形成している微粒子）が存在するに違いないことはわかっていたが、それが石英でできているとは誰も予想していなかった」

体積が木星の 7 倍以上で、質量が木星の 2 分の 1 足らずの WASP-17 b は、現在知られている最大級かつ最も低密度な系外惑星の 1 つだ。さらに、公転周期がわずか 3.7 日と短いため、[透過分光法](#) による観測に適した惑星となっている。これは、惑星大気が星の光に及ぼすフィルター効果と散乱効果を測定する観測技術だ。

[次ページ > 惑星大気中で主星の光を遮っているのは「石英」の雲](#)

ウェブ望遠鏡は WASP-17 恒星系を 10 時間近く観測し、惑星が主星の前を横切る際に、波長 5~12 ミクロンの中赤外光の光度測定値を 1275 回以上収集した。惑星が主星の前にある間に望遠鏡に届いた個々の波長の光の

光度を、主星が単独の時の光度から差し引くことで、惑星大気で遮られる各波長の光の量を算出できた。



ホットジュピター「WASP-17 b」の透過スペクトル（NASA, ESA, CSA, and R. Crawford (STScI) Science: Nikole Lewis (Cornell University), David Grant (University of Bristol), Hannah Wakeford (University of Bristol))

その結果、[波長 8.6 ミクロン](#)に予想外の「こぶ」が現れた。この特徴は、雲がケイ酸マグネシウムや、その他の考えられる高温エアロゾル（酸化アルミニウムなど）でできているとして予想されるものではなく、石英でできているとすれば完全に理解できる。この石英は、地球のジオード（晶洞）内や宝石店で見られる先端のどがった六角柱に形が似ているかもしれないが、1つ1つの直径はわずか約10ナノメートル（100万分の1cm）だ。地球上の雲に含まれる鉱物粒子とは異なり、WASP-17 bの雲の中で検出された石英結晶は、岩石質の表面から吹き上げられたものではない。大気自体に由来するものだ。

「WASP-17 bは、約1500度と極めて高温で、大気上層部で石英結晶が形成される領域の圧力は、地球表面の圧力の約1000分の1しかない」と、 Grantは説明する。「このような条件では、最初に液相を経ることなく、気体から直接、固体結晶が形成される可能性がある」平均表面温度がより低い地球では、同じ物理過程に基づき、[水蒸気が直接、氷晶（氷の結晶）に変化し、雪片や霜を形成する可能性](#)がある。

論文の共同執筆者で、同じくブリストル大の[ハンナ・ウェイクフォード](#)は「この美しいシリカ結晶は、さまざまな物質の何がどれだけの量存在して、それらすべてがどのように集まってこの惑星の環境を形作っているかを、私たちに教えてくれる」と説明した。

[次ページ > ダイヤの雨に鉄の雪も、さまざまな惑星の物質循環](#)

雲が何でできているかを把握することは、惑星を全体として理解するために非常に重要だ。WASP-17 bは潮汐ロックの状態にあり、常に一方の半球面を主星の方向に向けている。それにより、非常に高温の昼の側と、より低温の夜の側ができることで、惑星の周囲に石英の雲の連続的な発生を促している可能性が高い。

WASP-17 bの夜の側では、気温がSiO₂の融点より下がるため、氷晶でできた雲が形成される。昼と夜の2つの半球の間の極端な温度差によって引き起こされる強風で、氷晶が夜側からより高温の昼側に運ばれ、そこで再び蒸発する。今回の発見は、惑星大気中に結晶体からなる雲が存在する可能性を高めている。

海王星や天王星の物理的状態と化学組成についてわかっていることに基づき、巨大氷惑星の下層ではダイヤモンド結晶の雨が激しく降り続けているとする説を、研究者らは提唱している。

コンピュータシミュレーションに基づく、みずがめ座にある橙色矮星（K型主系列星）の主星に近い軌道を公転する地球サイズの系外惑星「[K2-141 b](#)」は、マグマの海に覆われ、鉄やナトリウム、マグネシウム、カリ

ウムなどの結晶でできた「雪片」が空から降っている可能性が高い。今回の研究をまとめた論文「[JWST-TST DREAMS: Quartz Clouds in the Atmosphere of WASP-17b](#)」は、学術誌 The Astrophysical Journal Letters に 2023 年 10 月 16 日付で掲載された。追加資料とインタビューは、[Laura Betz と Christine Pulliam が NASA のサイト nasa.gov](#) に掲載したものだ。（[forbes.com 原文](#)）翻訳＝河原稔

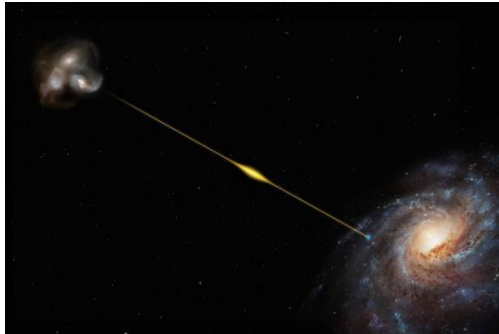
<https://forbesjapan.com/articles/detail/66888>

2023.10.25

観測史上最遠の高速電波バースト発見 1 ミリ秒で太陽 30 年分のエネルギー放出



[Jamie Carter | Contributor](#)



遠方の銀河で発生した高速電波バースト「FRB 20220610A」の地球までの経路を描いたイラスト（縮尺は不正確）（ESO/M. Kornmesser）

天の川銀河（銀河系）から約 80 億光年かなたで発生した、継続時間が 1000 分の 1 秒（1 ミリ秒）足らずの宇宙電波の爆発現象「高速電波バースト（FRB）」が観測された。これまでに検出された中で最も遠方で発生し、放射エネルギーが最大級の FRB だ。FRB は、瞬間的に輝く単一の電波パルスで、わずか数ミリ秒しか継続しない。全天で 1 日に数千回は発生していると考えられているが、今回の FRB は極めて特別だ。

発生源を確認

発生源の銀河の名前を取って「FRB 20220610A」と命名されたこの FRB は、2022 年 6 月にオーストラリアの ASKAP 電波望遠鏡が検出。南米チリにある欧州南天天文台（ESO）の巨大望遠鏡 VLT で、その発生源が確認された。今回の発見に関する研究論文は、科学誌サイエンスに 19 日付で[掲載](#)されている。

研究チームによると、FRB 20220610A の継続時間はほんの一瞬だったが、その瞬間に放出されたエネルギーは、太陽の全放射エネルギーの 30 年以上に匹敵するという。

重要な役割

FRB は中性子星が引き起こしている可能性があると考えられている。中性子星は、超新星爆発を起こした巨星の崩壊した中心核の残骸で、高速で回転している。FRB の本質は今も謎のままだが、それでも宇宙科学の進歩に極めて重要な役割を果たすことになりそうだ。今回の研究を共同で主導した豪スウィンバーン工科大学教授のライアン・シャノン「これほど大規模なエネルギーの噴出を何が引き起こしているかはまだ分かっていないが、高速電波バーストが宇宙ではよく見られる事象であることを、今回の論文は裏付けている」と[指摘](#)した。「FRB を利用して、銀河間にある物質を検出し、宇宙の構造に関する理解を深めることが可能になる」

失われた物質

FRB を利用して銀河間物質の量を測定すれば、宇宙の質量を推定できるとみられている。これは、標準的な宇宙科学ではこれまで不可能だったことだ。

「人体を構成している原子のような、宇宙の通常物質の量を総計すれば、現在そこに存在するはずのものの半分以上が欠けていることが分かる」とシャノンは説明する。「この失われた物質は、銀河間空間に潜んでいると考えられているが、非常に高温で希薄である可能性があるため、標準的な技術を用いて確認することはでき

ない」また、FRBの周波数と距離から、宇宙膨張速度の正確な値を計算できる可能性もある。

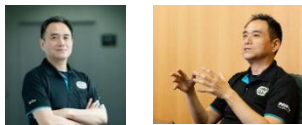
(forbes.com 原文) 翻訳=河原稔・編集=遠藤宗生

<https://gendai.media/articles/-/116652>

2023.10.26

太陽系 46 億年の謎へ 研究者も驚いた「リュウグウ」のできた場所

はやぶさ2 試料分析最新レポート



伊藤 元雄 [海洋研究開発機構 \(JAMSTEC\) 高知コア研究所](#)

伊藤元雄さん(撮影：市谷明美／講談社写真部)

「はやぶさ2」の持ち帰った小惑星「リュウグウ」試料分析。これまでも、さまざまな発見が報告されていますが、この記事では「Phase-2 キュレーション高知チーム」代表の伊藤元雄さんに、試料分析から見えた「リュウグウの生まれた場所」、そして「太陽系の起源」についてお話を聞きます。

伊藤さんの所属する海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 超先鋭研究開発部門 高知コア研究所は、世界からさまざまな研究者が訪れる最先端の分析機器を運用する研究所です。これらの機器をもとに、リュウグウ、そして太陽系の謎に迫っていきます。

——伊藤さんは、JAMSTECに入る前はNASA (アメリカ航空宇宙局) でお仕事をされていました。もともと宇宙の研究にご興味がおありだったのでしょうか。

小学生のときは、アニメや映画の影響もあって、宇宙飛行士になりたかったんです。大学では物理化学を専攻して、肺胞という医学寄りのテーマに取り組みました。でも、大学院時代に初めて隕石に出会ったんです。隕石を観察することで、太陽系や地球の成り立ちを探ることができることを知りました。

1 億年で 1 センチ！ 鉱物の中で元素が動く

いちばん面白いと思ったのは、鉱物の中で元素が動く現象ですね。それを調べると、その鉱物がたどってきた歴史がわかるんです。移動距離は温度と時間の関数なので。

——どれぐらいの時間で、どれぐらい動くのでしょうか。

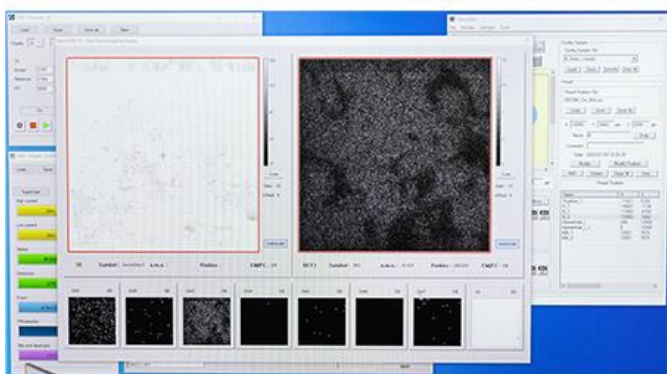
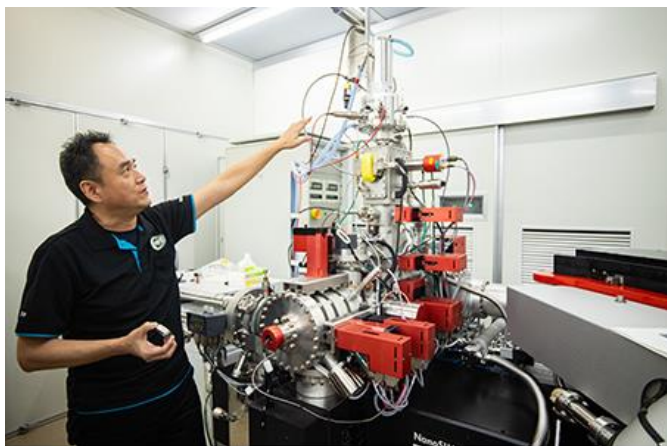
温度によりますが、だいたい1億年で1センチメートルぐらいです。実験室では1200°Cの高温で加熱しますが、それでも20分で1ミクロン動くかどうか。髪の毛の太さが100ミクロン程度ですから、その100分の1の距離ですね。動くスピードは元素によって違うので、それを調べれば、隕石の中にどんな元素がどれぐらい分布しているかがわかります。そこから、隕石の鉱物がどのような条件でできたのかを推定できるわけです。隕石は小惑星から来たと考えられますから、小惑星が生まれた時代やその大きさなども考察することができます。修士課程では、そんなことをやっていました。

——そんなにわずかな変化を観測できる装置があるんですね。

日本の地球惑星科学分野ではまだ珍しかった2次イオン質量分析装置 (SIMS) を、たまたま早い段階から使わせてもらったのは幸運だったと思います。博士課程では、SIMSを使って、アエンデ隕石 (1969年2月にメキシコのアエンデ村に落ちた隕石) の分析をしました。その後、海外特別研究員として在籍したアリゾナ大学にはSIMSがありませんでしたが、それがあつた別の大学に車で通ってデータを取ったりしましたね。

そのSIMSの中でもいちばん空間分解能が高いのが、私たちJAMSTEC高知コア研究所にもある

「NanoSIMS」 (ナノシムス：超高解像度2次イオン質量分析装置) という分析装置です。



NanoSIMS（超高解像度 2 次イオン質量分析装置）試料表面にイオンビーム（一次イオン）を当てると、試料表面から電子・中性子・イオンなどの粒子が飛び出す。その中のイオン（二次イオン）のみを取り出して、磁場の中を通過させる。イオンの質量と電荷に応じた軌道が曲がり、検出器によって、それぞれのイオンの量や同位体や微量元素分布などを知ることができる。（撮影：市谷明美／講談社写真部）[拡大画像表示](#)

私は、NASA のジョンソン宇宙センターに勤務していたときに、それを初めて使いました。メインの仕事として手がけたのは、宇宙探査機「スターダスト」が彗星から採取した塵の分析です。

NASA から「はやぶさ 2」の分析へ

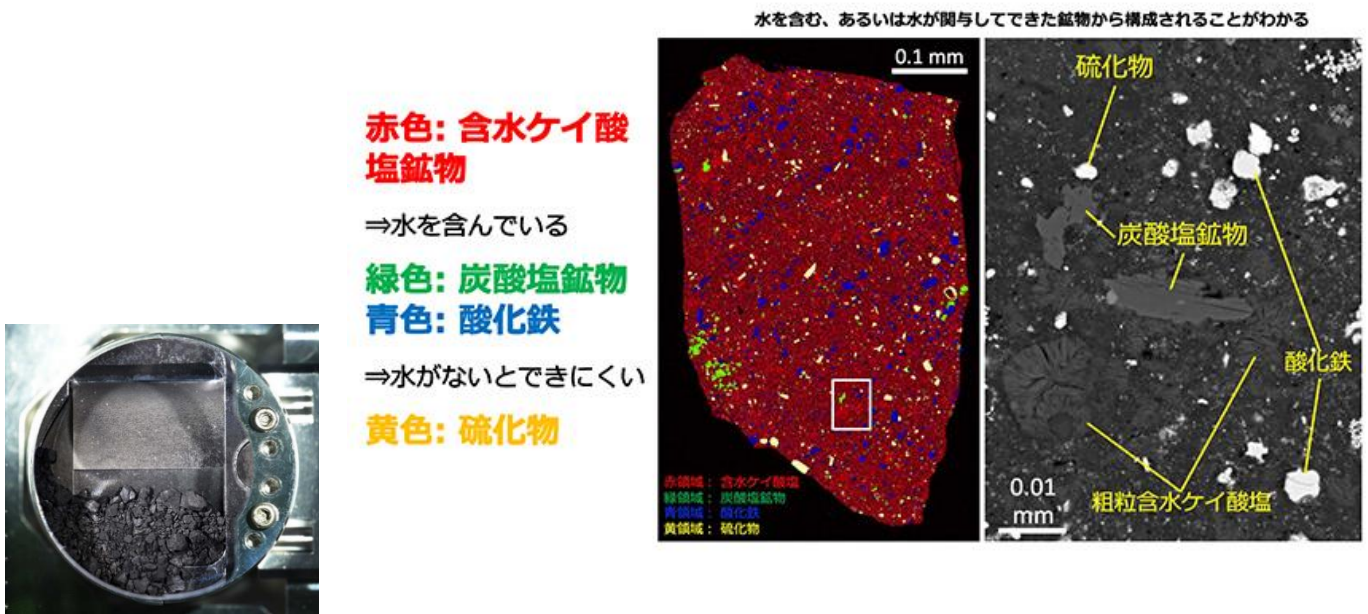


「Phase 2 キュレーションチーム」では、JASRI/SPring-8、国立極地研究所、JAXA、分子科学研究所、都立大学、英国オープン大学、カリフォルニア大学ロサンゼルス校、JAMSTEC 高知コア研究所など世界の研究拠点が連携し、サンプル分析を行った（図版提供：JAMSTEC）

—その後、日本に戻って JAMSTEC に入ったのはなぜでしょう。

もともとアリゾナ大学には文部科学省のお金で行かせてもらったので、アメリカで得た知識や経験を日本に戻したいとは思っていました。でも、動機としていちばん大きかったのは、「はやぶさ2」をやることです。リュウグウは有機物と水がたくさんあると予想されていたので、自分の興味にもダイレクトにリンクしていました。「はやぶさ」初号機ときは日本にいなかったこともあって、とにかく「ハヤツ」をやりたいと思っていました。それで、高知コア研究所のほか、国立極地研究所、分子科学研究所、米国の UCLA、英国のオープン大学などが連携してリュウグウ粒子の分析を行う「Phase-2 キュレーションチーム」の代表として仕事をすることになりました。

総重量 5.4g 予想外だったサンプルの量



「はやぶさ2」のカプセル開封直後の画像。カプセルはA室、B室、C室の3筒に分かれている。写真はA室の開封後（写真提供：JAXA）

リュウグウ粒子中の、水が関与してできた鉱物群。（Ito et al.2022 より改変、図版提供：伊藤元雄／JAMSTEC）

—「はやぶさ2」がサンプルを持ち帰るまで、どんな準備をされましたか。

リュウグウ粒子と地球の物質のクロス・コンタミネーション（交叉汚染）を防ぐための機器の開発はとくに重視しました。JAXAでPhase-1キュレーションが行われた後、試料の一部が私たちに分配されるわけですが、ふつうのビーカーに入れて持ってくるわけにはいかないじゃないですか（笑）。ですから、輸送のための容器もそのために開発しました。でも、「はやぶさ2」が想定より多くのサンプルを取ってきてくれたのはうれしい誤算でしたね。当初は100ミリグラム程度を想定して容器を設計していました。「はやぶさ」初号機が持ち帰ったサンプルはナノグラムのレベルでしたから、それでもかなり多めに見積もったはずだったんです。

ところが、オーストラリアから日本に戻ったカプセルを最初にJAXAで開ける場面をオンラインで見ているら、開ける前からサンプルが外にこぼれていたんですよ。入り切らないほど取れたということは、グラム単位だと察しがつきました。感動しましたが、あとで正式に「総量5.4グラム」と聞いたときは、「どうやって持ち運ぼうか」と思いましたね。急いで大きめの容器の検討や、大きい粒の分析計画を立て直したりしました。

リュウグウには、かつて氷が存在していた

—さて、そのリュウグウの試料にはどんな特徴があったのでしょうか。

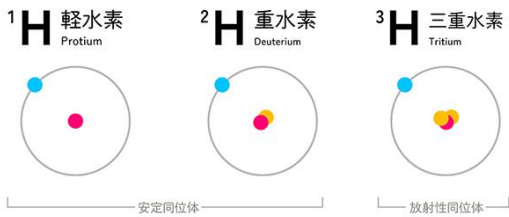
最初に粒子を触った時の感触は、お菓子の落雁（らくがん）みたいな感じでした。泥を固めたような感じの細粒の鉱物からできているので、もろいけど硬さもあるというイメージ。それを電子顕微鏡の元素分析装置にかけたのが、この画像です。

赤い色がついているのは、含水ケイ酸塩。緑は炭酸塩、青は酸化鉄、黄は硫化鉱物です。ほかのサンプルを見ても、7割から9割は含水鉱物でした。炭酸塩も水がないとできませんし、硫化物や酸化物も水がある程度存在しないとできません。このことから考えられるのは、リュウグウには過去に氷が存在していたということです。その氷が溶けてできた水と、もともとそこにあった鉱物が反応することで、この試料に見られる鉱物がつくられたと考えることができるんですね。

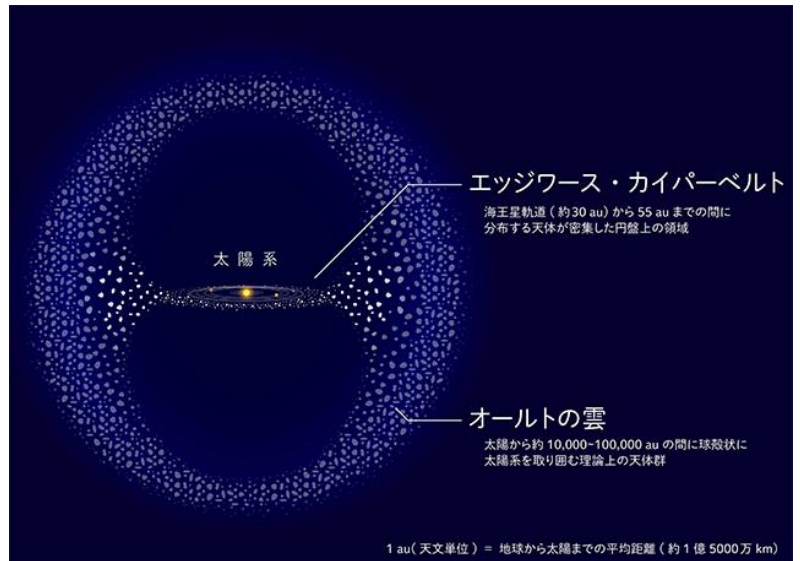
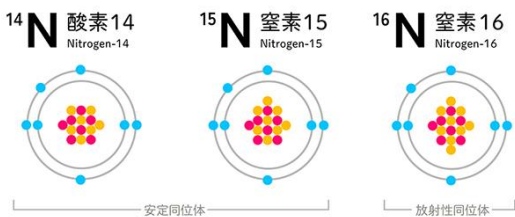
リュウグウはどこで生まれたのか？

■水素の同位体

● 陽子 ● 中性子 ● 電子



■窒素の同位体



同一元素で中性子数の異なる原子核をその元素の「同位体」とよぶ。上：水素の同位体。下：窒素の同位体。同位体には「安定同位体」と「放射性同位体」が存在し、この分析では安定同位体（ ${}^1\text{H}$ ・ ${}^2\text{H}$ 、 ${}^{14}\text{N}$ ・ ${}^{15}\text{N}$ ）を用いている。（図版作成：酒井春） [拡大画像表示](#)

太陽系の外縁部に存在する「エッジワース・カイパーベルト」と、その底側に存在する「オールトの雲」（図版作成：酒井春氏） [拡大画像表示](#)

さらに、NanoSIMS で試料を詳しく調べました。とくに注目したのは、水素の安定同位体と窒素の安定同位体です。それをしっかりと測ることで、リュウグウが太陽系のどこで生まれたのかをある程度まで特定できるのではないかと考えました。というのも、太陽系では外側にある天体ほど重水素が多くなる傾向があります。窒素の同位体にも、同じような傾向がある。ですから、地球と隕石などの地球外物質の水素と窒素の値と比較すれば、リュウグウが太陽からどれくらい離れた場所で生まれたかを推定できるわけです。

水素と窒素の重い同位体成分を持つ天体としては、たとえば彗星がそうですね。彗星は水素も窒素も重い同位体成分を持っているのですが、その供給源は海王星の軌道より外にある「エッジワース・カイパーベルト」や、さらにその外側にある「オールトの雲」と呼ばれる領域だと考えられています。

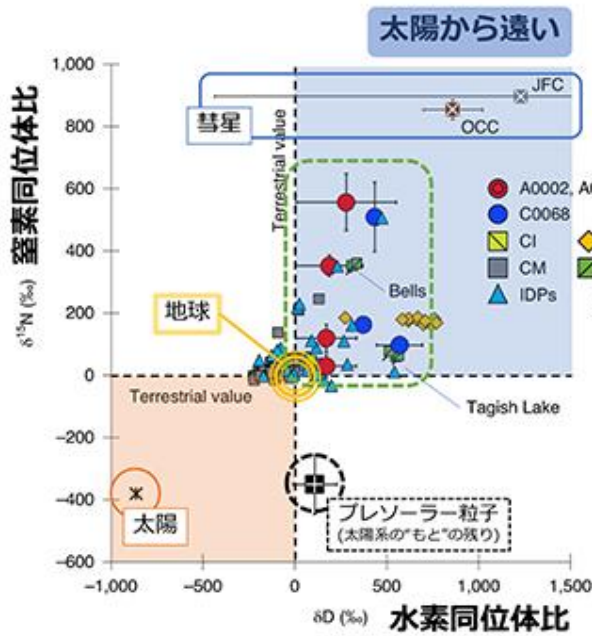
では、リュウグウの水素と窒素はどうだったか。

太陽系の外縁部からやって来たのか!?

下の図は、水素と窒素の同位体比を示したものです。見てわかるように、太陽は左下になるので同位体比が小さい、つまり水素も窒素も軽い。逆に、右上にある彗星は水素も窒素も重いんですね。地球は太陽に近いところにあります。リュウグウの同位体比は、左側のグラフに赤丸と青丸で示した値でした。

最初にその値が出たときは、絶対に間違いだと思いましたね。リュウグウは、チームの分析でいわゆる炭素質（CI）コンドライト* 1に近いものという認識がありました。その水素と窒素同位体の分布は、比較的地球に近い値だったので、分析結果は地球近辺にくるのかなと思っていました。ところが、水素も窒素も地球より重い。そんなはずはないと思ったので、同じ試料を3回計測し、そのデータを何通りかの違う方法で計算してみました。でも、やはり同じような結果になる。自分の思い込みのほう間違いだったんですね。* 1 コンド

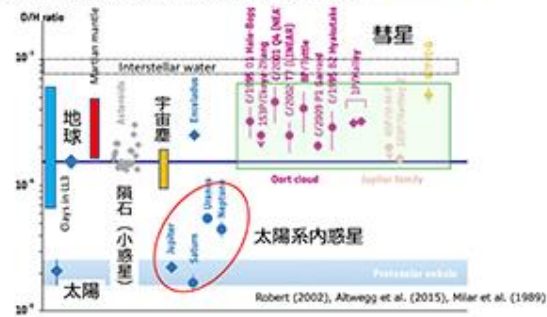
ライト：岩石を主成分とする隕石（石質隕石）の中で、ケイ酸塩の球粒組織であるコンドリュールを多く含み、溶融を経験せず、岩石質と金属質が分かれていないものの総称。（日本天文学会「天文学事典」より）



Nano-scale SIMSによる同位体分析

- リュウグウ粒子は熱の影響をあまり受けず、形成当時の情報を保っている事を示唆する。
- 太陽系の外縁部で形成後、現在の位置まで移動したと考えられる。

太陽系内物質の水素同位体比分布図



水素と窒素の同位体比は太陽系外縁部での形成を示唆している。（Ito et al. 2022 より改変、図版提供：伊藤元雄/JAMSTEC） [拡大画像表示](#)

リュウグウは熱の影響を受けていない

――では、リュウグウは太陽系の外側で生まれたということですか？

リュウグウの全部がそうかどうかはわかりません。しかし、少なくともリュウグウのある部分は、太陽から遠いところでできた、それは、この同位体の分析から確認できました。ただし、サンプルによってはちょっと違う値になることもわかっています。青丸で示したものはリュウグウの内部から採ったサンプルなのですが、これは総じて水素と窒素の同位体が多い傾向があります。しかし一方で、地球に近い値のサンプルもあるんです。また、宇宙塵と同じような同位体比と分布を示すサンプルもありました。宇宙塵は、基本的には太陽系の外側でできて、地球のほうまで降ってくるものだとされています。

同じ天体のサンプルなのだから、その値が1点に収束したほうがわかりやすいと思う人もいるでしょう。でも、このようにいくつものバリエーションが見出されたのはきわめて重要です。それは、リュウグウの粒子が熱の影響をあまりを受けていないことを示しているからです。

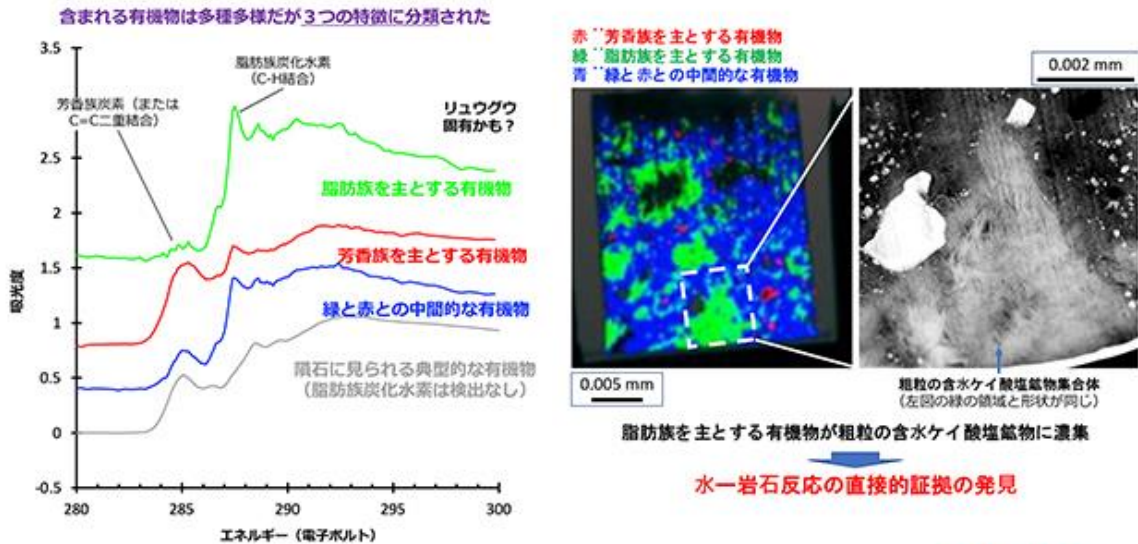
[関連記事太陽系形成時に木星が動いた!? リュウグウから見える惑星形…](#)

リュウグウ、46億年の旅

有機物が水のあるところで鉱物と反応している

もしリュウグウが熱の影響を受けていたら、いわば鍋の中で煮込まれるように変化して、どのサンプルも地球に近い性質を示したでしょう。しかしリュウグウの粒子は、熱の影響を受けていない。つまり、リュウグウが形成された当時の状況をいまでも保っているということです。私たちは、リュウグウ試料の有機物についても調べました。これまでは、図中の灰色の線にあるように、リュウグウの有機物は「芳香族」に富むのではないかというのが一般的な見解でした。しかし、リュウグウは、芳香族ががざりりなく少なく、脂肪族炭化水素に富む有機物が、粗粒の粘土鉱物の中に特異的に濃集していることを確認できました。これは世界でも初めての発見でした。これまでも、脂肪族炭化水素の存在自体は、他の分析手法でも確認されていましたが、どの鉱物と

関連性があるのかはわかっていませんでした。また、これは有機物が水のあるところで鉱物と反応したことを示す直接的証拠でもあります。



脂肪族炭化水素に富む有機物の存在から、リュウグウは30度以下の温度しか経験していないことが考えられる

図左：リュウグウ粒子に含まれる多様な有機物は、大別すると3種類の異なる特徴を持つ（色事に異なる官能基を持つ）ことが、走査型透過X線顕微鏡による分析からわかった。中央：リュウグウ粒子（0.02mm 四方）中の3種類の異なる特徴を持つ有機物の分布を可視化したもの。右：左図の点線の領域の透過型電子顕微鏡による観察図。粗粒の含水ケイ酸塩鉱物の中に脂肪族炭化水素に富む有機物が濃集していることがわかる。（Ito et al.2022 より改変、図版提供：伊藤元雄/JAMSTEC）[拡大画像表示](#)

リュウグウ、46億年の旅

ここでもうひとつ重要なのは、温度との関係なんですよ。脂肪族炭化水素に富む有機物は、温度が30度以上になると分解するという研究報告があるんですね。だとすれば、脂肪族炭化水素が分解されずにたくさん存在するリュウグウは、30度以下の温度しか経験していないと考えられます。でも、現在のリュウグウは太陽の近くにあるので、表面の温度は100度ぐらいまで上がります。その温度だと、脂肪族炭化水素に富む有機物は100万年ぐらいで分解してしまうはずなんですよ。これは、リュウグウのサンプルにより違いが見られています。リュウグウは、2回のタッチダウンを行いサンプルを持ち帰りました。とくに2回目のタッチダウン、つまり地下からのサンプルに、脂肪族炭化水素に富む有機物が多い傾向が見られています。そのため、私たちの分析したサンプルは、この地下のサンプルを持ってきている可能性が高いと思います。これらの結果は、リュウグウが46億年前にできたときから、ずっと現在の位置にあったわけではないことを意味します。水素と窒素の同位体比の点から考えても、有機物の特徴から考えても、リュウグウは海王星よりも遠い太陽系の外縁部で生まれたと考えることができる。およそ45億キロメートル離れたところから、長い時間をかけて現在の位置まで移動したと思われるのです。



伊藤元雄さん(撮影：市谷明美/講談社写真部)

いよいよ、後編「[太陽系形成時に木星が動いた!? リュウグウから見える惑星形成の謎](#)」では、リュウグウのサンプル分析から見た「太陽系形成の謎」に迫ります。

取材・構成：岡田仁志 図版作成：酒井春

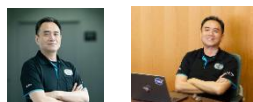
取材・図版協力：国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC） 撮影：市谷明美・講談社写真部
<参考文献> Ito, M., Tomioka, N., Uesugi, M. et al. A pristine record of outer Solar System materials from asteroid Ryugu's returned sample. Nat Astron 6, 1163-1171 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01745-5>

<https://gendai.media/articles/-/116654>

2023.10.27

太陽系形成時に木星が動いた!? リュウグウから見える惑星形成の謎

はやぶさ2試料分析最新レポート



伊藤 元雄 [海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所](#)

伊藤元雄さん(撮影：市谷明美／講談社写真部)

最新鋭の分析機器を運用する「海洋研究開発機構（JAMSTEC）高知コア研究所」。ここで、はやぶさ2が持ち帰った小惑星「リュウグウ」の試料分析を行ったのが、伊藤元雄さんが代表を務める「Phase-2 キュレーション高知チーム」です。先日の記事「[太陽系 46 億年の謎へ 研究者も驚いた「リュウグウ」のできた場所](#)」では、リュウグウが太陽系の外縁で誕生し、46 億年という時間の中で現在の位置に動いたという発見を紹介しました。今回はさらにリュウグウの試料から見えてくる「太陽系形成の姿」、そしてこれからのサンプル分析についてお話を聞きました。

「グランド・タック・モデル」とはなにか

グランド・タック・モデル
木星型惑星大移動仮説

木星の形成
太陽から 3.5 au 離れたスノーラインの位置に木星が形成される。木星より内側に●岩石微惑星が、外側に●氷微惑星が分布する。

木星の内向き移動
太陽から 1.5 au の軌道位置に木星が内向き移動する。この際、●岩石微惑星の一部が土星軌道の外側まで散乱する。

木星の外向き移動
土星との軌道共鳴の影響を受けて反転し、外側へ移動する。この際に●氷微惑星の一部が内側に引き込まれる。

現在
太陽から 5.2 au の現在の軌道位置に木星が停止する。内側に引き込まれた小惑星が火星や地球などの小型地球型惑星を形成したとされる。

地球型惑星の素

グランドタックモデル（図版作成：酒井春） [拡大画像表示](#)

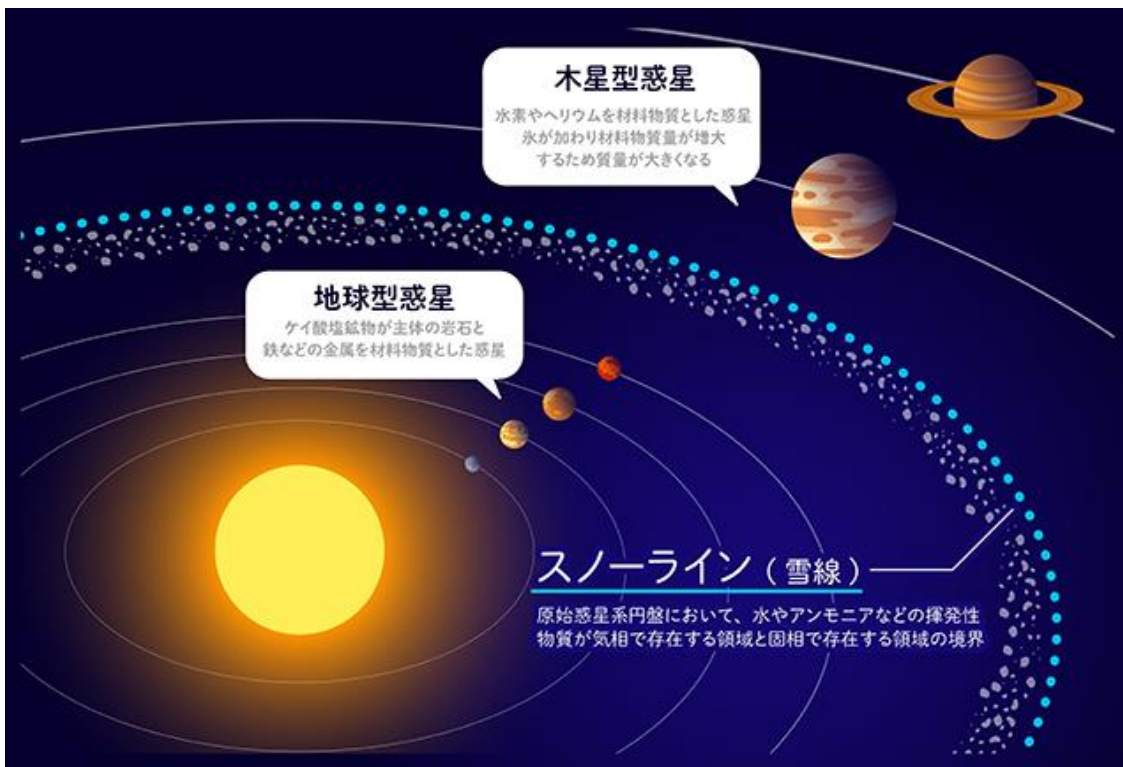
——伊藤さんの研究チームによる試料分析では、小惑星リュウグウが太陽系の外縁部で形成され、そこから現在の位置まで移動した可能性があることがわかりました。太陽系初期の惑星形成については、「木星は現在とは別の場所でできて、現在の位置まで移動してきた」という理論も提唱されています。いわゆる「グランド・タック・モデル」とよばれるモデルに代表される、太陽系形成の初期に起こった可能性がある、大惑星が動径方向へ大移動したという仮説ですよね。たとえば「グランド・タック・モデル」は、木星や土星が形成された場所から内側に移動することによって、内側にあった固体の成分が外側に弾き出され、それと同時に、外側でできた氷や小惑星を内側に引っ張り込んだという説です。そのモデルが登場するまでは、1970年代から80年代にかけて京都大学の研究グループが構築した「京都モデル」が、太陽系の形成に関する標準的な考え方でした。こちらは、太陽系の惑星は最初にできた位置から動いていないというモデルです。現在、京都モデルには、現実の太陽系をうまく説明できない点があることが指摘されています。たとえば、その理論どおりに太陽系が形成されているならば、火星はもっと大きくなければいけません。

原始太陽系「スノーライン」の謎

また、原始太陽系円盤には「スノーライン」と呼ばれる境界線があったと考えられています。水が気相（気体）で存在する領域と、固相（固体）つまり氷で存在する領域の境目ですね。これは火星と木星のあいだにある小惑星帯に近いところにあるのですが、そこにはリュウグウのような炭素質の小惑星もあります。

太陽系内で、太陽から遠いところは冷たいので氷や揮発性の高い有機物があります。一般に、気圧が低い宇宙空間では、水は固体の氷か気体の水蒸気でしか存在できず、液体の水はないと考えられています。さらに太陽に近いと、太陽の熱のため氷が存在できません。つまり、「スノーライン」より太陽に近い地球では、地球生命の材料物質である有機物と水が地球軌道近傍で生じないと考えられています。

つまり、生命や海は地球外から持ち込まれた物質からできており、それらの起源は地球だけを調べていてもわからないわけです。そこで、太陽系の昔の情報を保持している始原的天体、惑星への進化途上で取り残された小天体が注目され、小惑星や彗星のサンプルリターンが世界中で進められているんですね。



原始太陽系とスノーライン（図版作成：酒井春） [拡大画像表示](#)

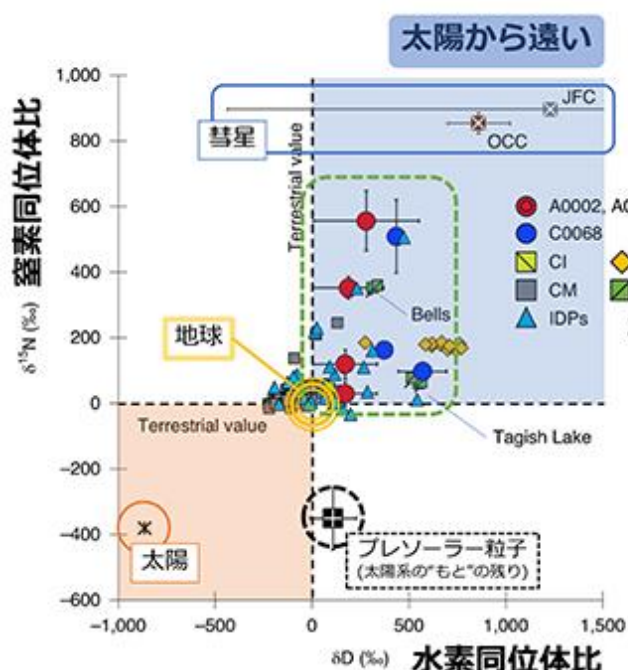
そういった謎をうまく説明できるのが、グランド・タック・モデルです。木星や土星のような大きな惑星が太陽系の中で移動したことで、スノーラインの内側と外側の小惑星や物質が攪乱されて混合したと考えれば、辻

棲が合うんですね。このモデルが正しいと決まったわけではありませんが、系外惑星の観察結果から考えても、そういうことは十分にあり得ると言われています。「スーパーアース」や「スーパーホット・ジュピター」など、太陽系外で発見された惑星の成り立ちが、グランド・タック・モデルで説明できるかもしれないと考えられているんですね。もちろん、太陽系がほかとは違う異常なプロセスで形成された可能性もあるので、一般的に通用するモデルが太陽系に当てはまるとはかぎりません。そのあたりは、簡単には結論の出ない問題ですよ。

リュウグウの試料から見た太陽系の形成

——リュウグウの試料から発見した、リュウグウが太陽系の外縁部でできたこと、そして有機物として「脂肪族炭化水素」に富んでいること。さらに、その有機物が水のあるところで鉱物と反応したこと。これらは、この「グランド・タック・モデル」とも一致するものなのではないでしょうか。

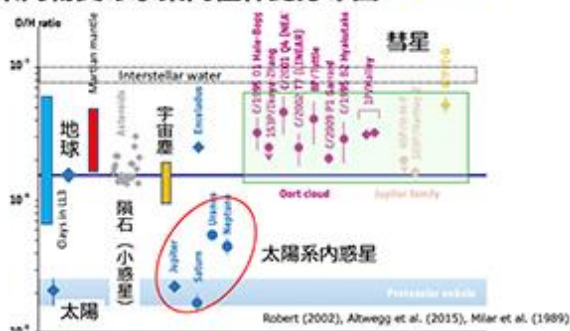
私自身は惑星形成論の専門家ではないものの、リュウグウが太陽系外縁部から現在の位置まで移動したと思われる以上、「グランド・タック・モデル」の証拠を見つけた……としたい気持ちは、当然あります（笑）。



Nano-scale SIMSによる同位体分析

- リュウグウ粒子は熱の影響をあまり受けず、形成当時の情報を保っている事を示唆する。
- 太陽系の外縁部で形成後、現在の位置まで移動したと考えられる。

太陽系内物質の水素同位体比分布図



水素と窒素の同位体比は太陽系外縁部での形成を示唆している。（Ito et al. 2022 より改変、図版提供：伊藤元雄/JAMSTEC）[拡大画像表示](#)

とはいえ、私たちが見つけたのは、たった1個の小惑星における水素と窒素の同位対比や有機物から得られた知見にすぎません。まだ、論文で「グランド・タック・モデルの直接証拠を発見」と書ける段階ではないと思います。

仮説から実証へ

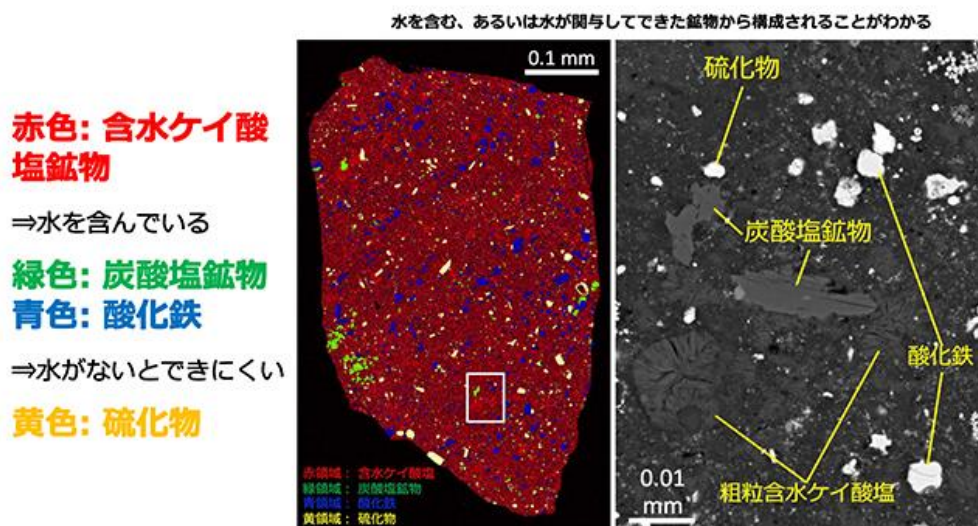
ただ、「グランド・タック・モデル」はシミュレーションによって出てきた理論であって、物的証拠に基づいて唱えられたものではありません。シミュレーションはパラメータを自由に設定できるので、大胆な仮説を立てることができるんですね。これから求められるのは、シミュレーションから生まれた仮説を、実際に天体から持ち帰った証拠によって検証すること。私たちの発見によって、この分野の研究がその段階に入ったことはたしかでしょうね。リュウグウを含む、いろいろな小惑星からのサンプルリターンなどによって、私たちが見たのとは異なる種類の化学データを蓄積していくことで、太陽系の形成モデルに関する議論はさらに深まっていくと思います。

小惑星の鉱物は有機物の「ゆりかご」

——ほんのわずかなサンプルから、太陽系という大きな存在の謎を解く手がかりが得られるのは、とても面白いことです。

自分の研究がそういう広がりを持つのはやはり楽しいです。太陽系の形成論のほかにも、たとえば「地球に水や有機物を運んだのは小惑星からの隕石なのか？」という問題もあります。

それを考えるときに重要なのは、放射線と熱の影響です。有機物が太古の地球の外から降ってきたのは間違いないのですが、地球に届くまでに放射線や熱によって分解されないよう、何らかの形でガードされていなければいけません。そして、リュウグウの試料から見つかった有機物は、粗粒の粘土鉱物の中に閉じ込められていました。このような有機物は、通常よりも分解されにくいと考えられます。



リュウグウ粒子中の、水が関与

してできた鉱物群。(Ito et al.2022 より改変、図版提供: 伊藤元雄/JAMSTEC) [拡大画像表示](#)

今回発見した、粗粒粘土鉱物とそこに含まれる有機物という組み合わせが、いわば「ゆりかご」のような役目を果たして、地球に水や有機物をもたらしたのかもしれない。

この問題も、今後いろいろなデータを積み重ねることで、さらに真実に迫ることができるでしょう。

次のサンプルリターン計画へ

——太陽系全体だけでなく、地球の成り立ちを解明するためにも、宇宙からのサンプルリターンをどんどん進めていきたいですね。そうなのですが、時間もお金もかかるので簡単ではありません。次の惑星物質分析に携わる研究者のターゲットは米国の宇宙探査機「オシリス・レックス」が小惑星ベンヌから持ち帰ったサンプルですが、これはリュウグウと同じぐらいの距離なので、数年間でやれました。



NASAが行っている「オシリス・レックス (OSIRIS-

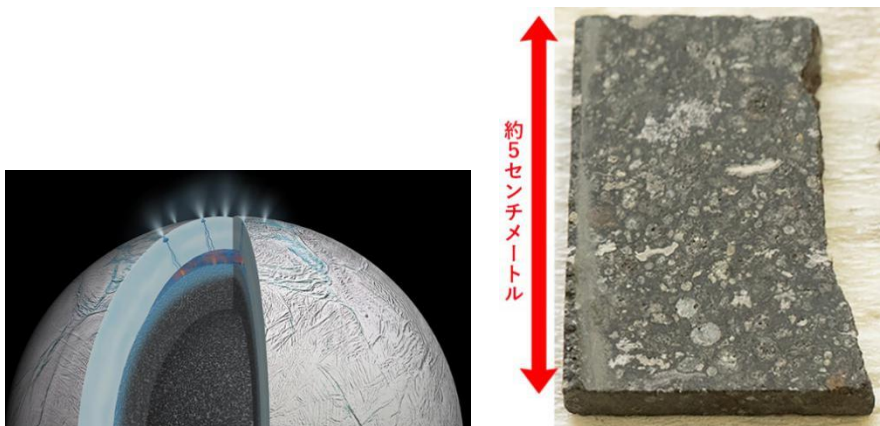
REx)」小惑星「ベンヌ(Bennu)」の試料採取を行い、2023年9月24日、地球へのサンプルリターンに成功した(図版引用: NASA/Goddard/University of Arizona)

その次は火星の衛星フォボスからのサンプルリターンを目指す「火星衛星探査計画（MMX）」で、こちらは2024年に打ち上げられ、その5年後に帰ってくる予定です。しかし、もっと遠くの惑星や衛星からサンプルリターンしようと思うと、大変な時間がかかるんですよ。木星の衛星なら、往復で40年。土星の衛星なら、片道だけで軽く30年はかかるでしょう。来年すぐに打ち上げられたとしても、戻ってくるまで私はたぶん生きていません（笑）。その意味では、次世代に託すことがたくさんありますね。

太陽系惑星のサンプルを調べるには

地球から近いところでは、個人的には金星から持ち帰ったサンプルを分析してみたいんですよ。火星のサンプルは隕石として地球に届きますが、金星は地球よりも内側にあるので、小惑星などが衝突して隕石ができて、地球ではなく太陽のほうに落ちていく。だから、内惑星の情報はいまのところ地球にしかないんです。ただ、地球外の物質を調べる方法はサンプルリターンだけではありません。質量分析装置を送り込んで、その場で分析してデータを地球に送信すれば、片道の時間だけで済みます。ものすごく難しいことですが、1970年代にNASAが行った「バイキング1号、2号」による火星探査、1989年には、木星やその衛星探査のために「ガリレオ探査機」が、そして、1997年に打ち上げられた「カッシーニ」による土星探査。2003年には、小惑星や彗星の探査のために欧州宇宙機関が「ロゼッタ」という探査機を打ち上げています。このように、遠いところにある惑星や彗星の化学成分を質量分析装置で分析するという手法はすでに行われています。

最近では、土星の衛星エンセラダスの地下海から噴出される水の中に超高濃度のリン酸が含まれていることが、カッシーニ探査機の観測によって判明しました。ただし、これは質量分析装置を送り込んだわけではありません。カッシーニから送られた観測データを解析した上で、エンセラダスの環境を実験で再現して研究したのですが、遠くの物質を調べるための工夫はいろいろ考えられるわけです。



土星の衛星「エンセラダス」の地下には液体の海がある。（図版引用：NASA/JPL-Caltech）

アエンデ隕石。写真の隕石は伊藤さんが保有しているものを見せてもらった。（伊藤元雄／JAMSTEC、撮影：市谷明美／講談社写真部）

また、サンプルリターンはもちろん重要ですが、持ち帰ったサンプルがその天体全体を代表するとはかぎらないということも忘れてはいけません。たとえば地球を調べている異星人が、たまたま東京ドームの前に落ちている石ころを拾って持ち帰ったとして、それが地球という惑星の特徴を代表すると思われるかもしれませんが、今回のリュウグウ試料も、もしかしたらそういうものかもしれないわけです。

そういう意味でも、やはりいろいろな天体のサンプルをたくさん持ってきて、多くのデータを蓄積することが大事ですね。しかし数を稼ぐのは現実的にはなかなか難しいので、地球上にたくさんある隕石を計測して、統計的に考察していくのもきわめて重要です。

隕石の分析から始まった！

——伊藤さんが宇宙や太陽系の研究を始められたのも、隕石との出会いからでした。

博士課程のときにSIMSで分析した「アエンデ隕石」は、広い範囲に5トンもの量が雨のように降り注ぎました。そのうち3トンぐらいが回収されたので、この分野の研究者にとってはじつにありがたい存在です。

というのも、隕石は稀少なものなので、分析する機会はなかなか得られません。でもアエンデ隕石のおかげで、多くの研究者が好きなだけ研究できるようなマテリアルが与えられたわけです。

隕石の落下は人間にとって危険な側面もありますが、それを供給する小惑星帯は、いわば太陽系の「博物館」みたいなもの。たとえばアエンデ隕石に含まれている CAI（アルミニウムやカルシウムに富む含有物）は、45億年以上も前に形成されたものです。つまり小惑星帯は、太陽系ができあがった当時から今に至るまでの情報を持っているものがたくさんあるんですね。そこから隕石が届くたびに、この分野の研究と理解は大きく前進すると思います。

https://www.afpbb.com/articles/-/3488397?cx_part=top_category&cx_position=1

中国 6 人の宇宙飛行士が宇宙ステーション「天宮」で合流

2023 年 10 月 27 日 19:38 発信地：中国 [中国 中国・台湾]

CGTN
Japanese



中国の 6 人の宇宙飛行士が宇宙ステーション「天宮」で合流（2023 年 10 月 27 日提供）。(c)CGTN Japanese
【10 月 27 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、26 日午前に打ち上げられた中国の有人宇宙船「神舟 17 号（Shenzhou-17）」は同日午後、中国の宇宙ステーション「天宮（Tiangong）」との自動高速ドッキングに成功しました。そして、同日午後 7 時 34 分、宇宙ステーションに滞在中の神舟 16 号（Shenzhou-16）の飛行士は天宮の扉を開け、神舟 17 号の乗組員チームを迎え入れました。二つの乗組員チーム計 6 人の宇宙飛行士は天宮で集合写真を撮影しました。

今回、神舟 17 号に搭乗した湯洪波飛行士は 2021 年に「天宮」に滞在した第 1 陣の飛行士で、中国人として最初に中国の宇宙ステーションに入った歴史的な瞬間を経験しました。2 年ぶりの「天宮」再訪は湯飛行士にとって懐かしく、「宇宙ステーションのスペースが広くなり、“1LDK”から“3LDK”になった」と喜びを隠せませんでした。また、湯飛行士は中国で 2 回の宇宙飛行の間隔が最も短い飛行士となりました。

今後 4 日間、6 人の宇宙飛行士は宇宙ステーションで共に生活し、各交代作業が終われば、神舟 17 号は神舟 16 号から引き継いで宇宙で 6 カ月間滞在します。神舟 16 号は今月 31 日に地球に戻る予定です。(c)CGTN Japanese/AFPBB News