

米、新型宇宙服を公開 月面着陸で飛行士着用

2023/03/15



米アクシオムスペースが開発した新型宇宙服の試作品。月では熱対策のため白い外装を使う（同社提供・共同）
米テキサス州のヒューストン宇宙センターで、次世代宇宙服の試作品を着て登場した米宇宙企業アクシオムスペースの幹部（2023年3月15日撮影）。(c)Mark Felix / AFP

【ワシントン共同】米航空宇宙局（NASA）と米宇宙企業アクシオムスペースは15日、日本も参加する国際月探査「アルテミス計画」で用いる新型宇宙服の試作品を公開した。計画は2025年12月ごろにアポロ17号（1972年）以来となる月面着陸を予定しており、新型宇宙服を着た飛行士が月面へと降り立つことになる。

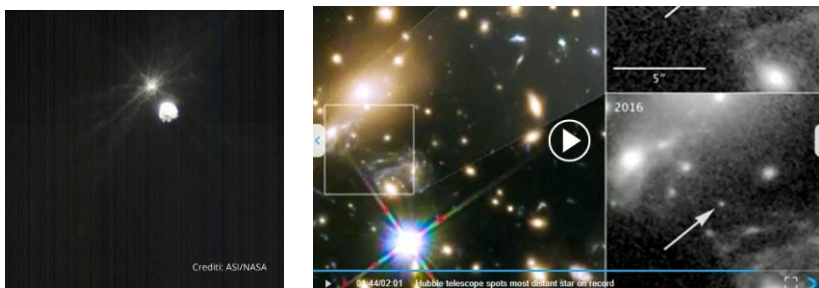
現在、国際宇宙ステーションの船外活動などで使っている宇宙服は40年以上前のデザインが基本。月の長期探査や地球上空の民間ステーション滞在が始まる新時代の宇宙服が求められていた。

NASAは15年ほど前から500億円以上かけて宇宙服の開発を試みていたがうまくいかず、民間企業が開発する宇宙服の利用を選んだ。 © 一般社団法人共同通信社

<https://sorae.info/space/20230315-nasa-dart.html>

予想以上の結果を改めて確認 NASAの小惑星軌道変更ミッション「DART」を検証

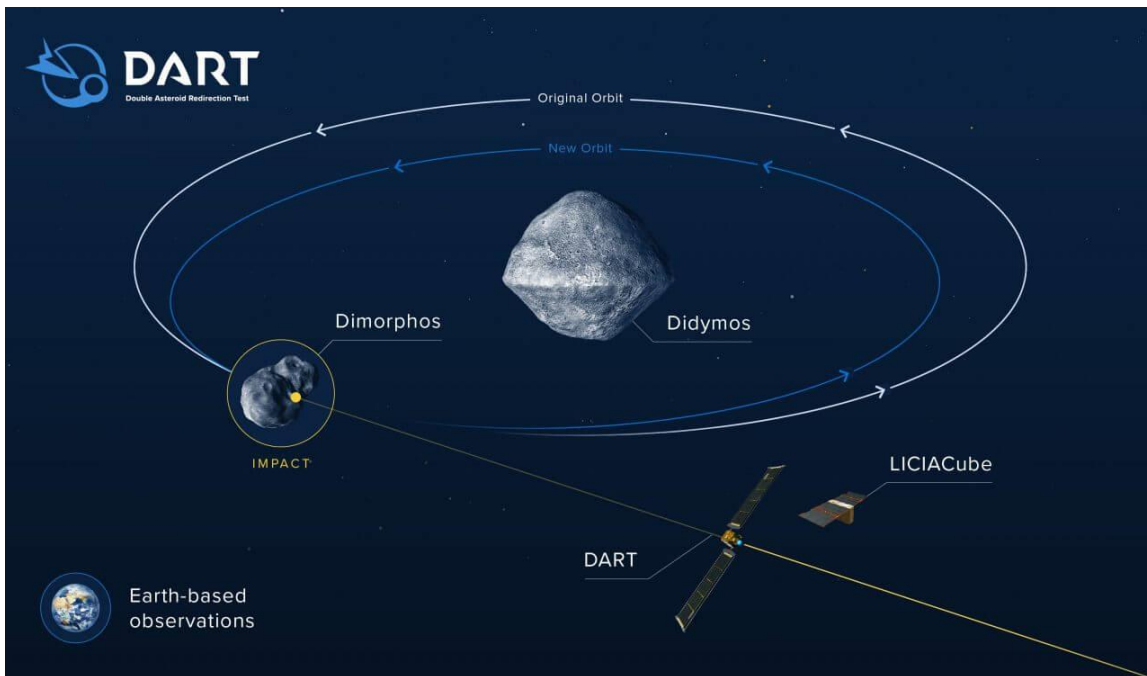
2023-03-15 [sorae編集部](#)



【▲ ASIの小型探査機「LICIACube」が撮影したディモルフォスへのDART探査機衝突時の様子（Credit: ASI/NASA）】

アメリカ航空宇宙局（NASA）とジョンズ・ホプキンス大学応用物理学研究所（APL）は、2022年9月に小惑星への衝突実験が実施されたNASAの「DART」ミッションに関するデータの分析結果を発表しました。DARTは小惑星の地球衝突を回避する手法として期待されている技術……簡単に表現すれば「小惑星への体当たり」を実証するためのミッションで、実際に小惑星の軌道が変化したことがすでに確認されていました。今回の検証結果は4本の論文にまとめられ、いずれもNatureに掲載されています。

2013年2月にロシア上空で爆発して1000名以上を負傷させた小惑星のように、地球への天体衝突は現実の脅威です。地球に接近する軌道を描く「地球接近天体」（NEO：Near Earth Object、地球接近小惑星）と呼ばれている小惑星のうち、特に衝突の危険性が高いものは「潜在的に危険な小惑星」（PHA：Potentially Hazardous Asteroid）に分類されていて、将来の衝突リスクを評価するために追跡観測が行われています。

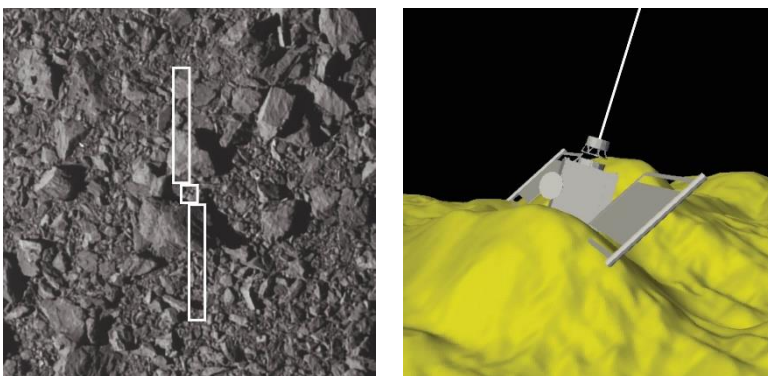


【▲ DART のミッションを解説したイラスト。DART が衝突することで、ディディモス (Didymos) を周回するディモルフォス (Dimorphos) の軌道が変化する (白→青) と予想されている (Credit:NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben)】

ある小惑星が地球に衝突する確率が高いと判断された場合、事前にインパクト (衝突体) を体当たりさせて小惑星の軌道を変えることで、甚大な被害をもたらす小惑星の衝突を回避できるかもしれません。NASA の DART (Double Asteroid Redirection Test、二重小惑星方向転換試験の略) は惑星防衛 (プラネタリーディフェンス※) の一環として、「キネティックインパクト」 (kinetic impact) と呼ばれるこの手法を初めて実証するためのミッションでした。

※... 深刻な被害をもたらす天体衝突を事前に予測し、将来的には小惑星などの軌道を変えて災害を未然に防ぐための取り組みのこと。

ミッションのターゲットは、小惑星「ディディモス」 (65803 Didymos、直径 780m) とその衛星「ディモルフォス」 (Dimorphos、直径 160m) からなる二重小惑星です。ディディモスは約 2.1 年周期で太陽を公転するアポロ群の小惑星で、その衛星であるディモルフォスはディディモスを 11 時間 55 分周期 (探査機衝突前) で公転していました。DART 探査機は 2022 年 9 月 27 日 8 時 14 分 (日本時間) に、衛星であるディモルフォスへ衝突することに成功しました。衝突によって噴出物 (イジェクタ) が広がっていく様子は、衝突前に DART 探査機から放出されたイタリア宇宙機関 (ASI) の小型探査機「LICIACube」をはじめ、「ハッブル」宇宙望遠鏡や「ジェームズ・ウェッブ」宇宙望遠鏡、地上の望遠鏡などで撮影されています。



【▲ 衝突 3 秒前に DART 探査機が撮影したディモルフォス表面の画像に、DART 探査機の衝突位置を図形で示した図。中央の四角形は探査機本体 (全長約 1.3m) を、上下の長方形は 2 基の太陽電池アレイ (長さ 8.5m) を表す (Credit: NASA/Johns Hopkins APL)】

【▲ 衝突まで 100 分の数秒の時点における DART 探査機の位置を示したグラフィック。黄色は DART が撮影した画像をもとに作成されたディモルフォスのデジタル地形モデル、灰色は DART 探査機、白色の線は探査機の軌道を表す (Credit: NASA/Johns Hopkins APL)】

関連 ・ [宇宙と地上で観測された衝突の瞬間 NASA 小惑星軌道変更ミッション「DART」](#) (2022 年 9 月 28 日)
・ [ハッブル&ウェッブが探査機衝突後の小惑星を観測 NASA 小惑星軌道変更ミッション「DART」](#) (2022 年 10 月 1 日)

NASA や APL によると、地上から観測された二重小惑星の明るさの変化やレーダー観測のデータを分析した結果、DART 探査機の衝突によってディモルフォスの公転周期は 33 分 (± 1 分) 短くなったことが確認されました。公転周期が短くなったということは、探査機の衝突によってディモルフォスの公転速度が遅くなり、公転軌道が小さくなったことを意味します。ちなみに 2022 年 10 月の時点では 32 分 (± 2 分) 短くなったとされていましたから、今回の分析によって不確かさが小さくなった (より正確な値になった) ことになります。また、衝突時の DART 探査機の質量は 579.4kg (± 0.7 kg)、ディモルフォスに対する相対速度は 6.1449km/s (± 0.0003 km/s) とされていますが、約 33 分という公転周期の短縮は事前の予想を大きく上回っていました。分析の結果、DART 探査機の衝突によってディモルフォスに与えられた運動量は、衝突にともなう大量の噴出物が放出された時の反動によって 2.2~4.9 倍に増幅されたとみられています。噴出物が運動量を数倍に跳ね上げるのであれば、キネティックインパクトでは小惑星の軌道をより効果的に変更できる可能性があります。観測技術の向上と観測体制の拡充によって、近年では小惑星をより発見しやすくなりました。最近も地球衝突前に発見されたごく小さな小惑星の観測例が相次いでいます。DART ミッションのターゲットになったディディモスとディモルフォスをはじめ、ほとんどの小惑星は地球に被害をもたらす脅威とはならないものの、今後は地球への衝突確率が高い小惑星が見つかったり、既知の小惑星の軌道が変化して地球に衝突する可能性が高まったりするかもしれません。今回の分析結果からは、直径 1km 未満の小惑星であれば事前に偵察ミッションを行わなくても、その軌道を変更できる可能性が示されました (もちろん、事前に探査機を送り込んで観測することができれば、より効果的な対策の立案に役立つでしょう)。必要なのは衝突までに最低でも数年、可能であれば数十年の警告期間だとされています。成功裏に終わった DART ミッションは将来への明るい見通しをもたらしましたが、惑星防衛は新たな小惑星の発見やその後の軌道変化を追跡するための地道な観測活動の積み重ねにも支えられているのです。

Source Image Credit: ASI/NASA, NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben, NASA/Johns Hopkins APL

[NASA](#) - NASA's DART Data Validates Kinetic Impact as Planetary Defense Method

[Johns Hopkins APL](#) - NASA's DART Data Validates Kinetic Impact as Planetary Defense Method

[Terik Daly et al.](#) - Successful Kinetic Impact into an Asteroid for Planetary Defense (Nature, [arXiv](#))

[Thomas et al.](#) - Orbital Period Change of Dimorphos Due to the DART Kinetic Impact (Nature, [arXiv](#))

[Cheng et al.](#) - Momentum Transfer from the DART Mission Kinetic Impact on Asteroid Dimorphos (Nature, [arXiv](#))

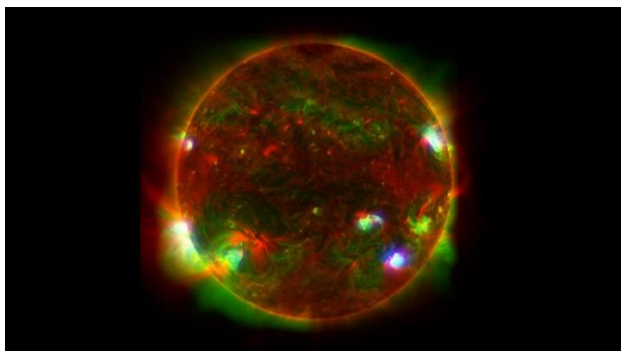
[Li et al.](#) - Ejecta from the DART-produced active asteroid Dimorphos (Nature, [arXiv](#)) 文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20230310-hidden-light-shows.html>

日米の衛星が紫外線と X 線で捉えた太陽の姿

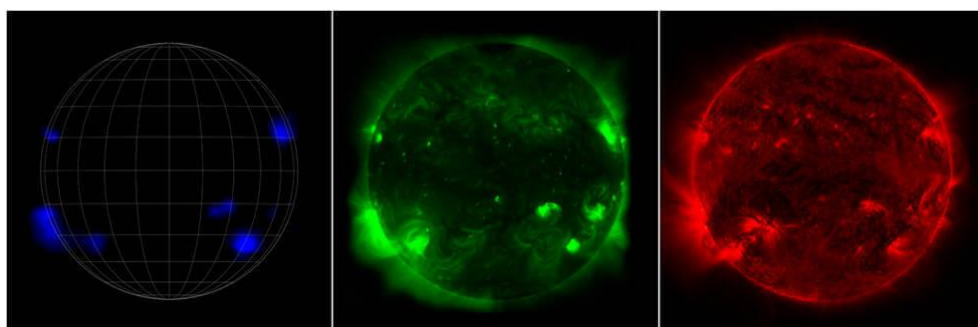
2023-03-10 [吉田 哲郎](#)

私たちに物や風景が見えるのは、ほとんどの場合、太陽のおかげといっても過言ではありません。太陽という「光源」から出た光が物に当たって反射し、私たちの目に届いているからです。私たち人間が目で見える光は「可視光」と呼ばれています。ところが、可視光は太陽が放射している光の一部にすぎません。



【▲NuSTAR 衛星、ひので衛星、SDO 衛星による 3 つの観測データを重ね合わせた画像で、太陽のユニークな姿が表現されています (Credit: NASA/JPL-Caltech/JAXA)】

アメリカ航空宇宙局 (NASA) の「NuSTAR」(Nuclear Spectroscopic Telescope Array) 衛星は、太陽の大気中で最も高温の物質が放射する高エネルギー X 線を捉えることができます。NuSTAR は、超大質量ブラックホールや崩壊した星など太陽系外天体の観測を目的としていますが、太陽についても理解を深めてくれます。冒頭の画像は、NuSTAR による観測データ[青色]に、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の太陽観測衛星「ひので」の X 線望遠鏡 (XRT) による観測データ[緑色]と、NASA の太陽観測衛星「SDO」(Solar Dynamics Observatory) の大気撮像装置 (AIA) による紫外線での観測データ[赤色]を重ねて表示したものです。3 つの衛星による観測結果は私たちの目には見えない波長で得られており、画像の色は擬似的に着色されたものですが、太陽表面で繰り広げられている隠された光のショーのように見えてきます。NASA によると、NuSTAR は比較的視野が狭く、太陽全体を一度に観測することはできないため、2022 年 6 月に撮影された 25 枚の画像を組み合わせたとのこと。NuSTAR が観測する高エネルギー X 線は、太陽大気のごく一部の場所にしか現れません。その一方、「ひので」の XRT が観測した低エネルギー X 線と SDO の AIA が観測した紫外線は、太陽の表面全体から放射されています。



【▲ 左から、NuSTAR 衛星による高エネルギー X 線、ひので衛星による低エネルギー X 線、SDO 衛星による紫外光による観測画像 (Credit: NASA/JPL-Caltech/JAXA)】

太陽大気の最外層であるコロナは摂氏 100 万度以上に達するため、その熱源について科学者は頭を悩ませてきました。この温度は少なくとも太陽の表面温度の 100 倍以上であり、例えて言えば、火の周りの空気が火そのものより 100 倍も熱くなっているようなものです。

コロナの熱源については「ナノフレア」である可能性が指摘されています。フレアとは、電磁波や粒子が大量に放出される太陽の爆発現象のこと。ナノフレアはフレアと比べてはるかに小規模な現象ですが、フレアもナノフレアもコロナの平均温度よりさらに高温の物質を生成します。フレアの発生頻度はコロナの高温を維持できるほどではありませんが、より小規模なナノフレアは温度を維持できるほど頻繁に発生する可能性があるといえます。個々のナノフレアは微弱なので、強い太陽光の中で観測することはできません。しかし、NuSTAR はナノフレアがまとまって発生したとき生成される高温物質から放射された光を検出できるとのこと。これにより、ナノフレアの発生頻度やエネルギー放出について調べることが可能になります。ナノフレアの解明が進めば、コロナが高温である理由もいずれわかるかもしれません。

関連：[長年の謎。太陽コロナ加熱問題解決の鍵「ナノフレア」の観測に成功か？](#)

<https://wired.jp/article/tiny-explosive-jetlets-might-be-fueling-the-solar-wind/>

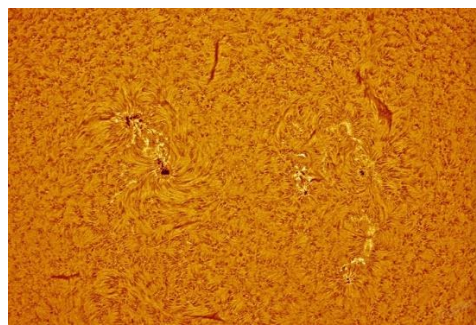
太陽から吹き出す「太陽風」のエネルギー源は、微小な噴出活動だった？ 研究結果

が示す“大発見”の可能性

2023.03.09

太陽から吹き出す極めて高温なプラズマとして知られる太陽風。この何十年も前から謎に包まれていた現象の発生源が、太陽の上層大気であるコロナの底部で断続的に発生している微小な噴出活動である可能性を、米国の研究チームが論文で公表した。太陽から時速 100 万マイル（約 450km/秒）で吹き出し、宇宙空間を流れる電子や陽子、イオンの猛烈なプラズマである「太陽風」。何十年も前から謎に包まれている現象だ。

かつて太陽風は火星の大気を奪ったと認識されており、月に氷をもたらしたという説もある。現在は、きらめくオーロラを発生させ、衛星通信システムを混乱させる原因にもなっている。しかし、太陽風がどのようにしてつくられ、数百万度の温度にまで達し、太陽系全体に届くほど加速するのか、研究者はまだ解明できていない。



[美しい太陽風の軌跡から、「銀河の合体」の前触れまで：今週の宇宙ギャラリー](#) BY SHANNON STIRONE

[猛烈な“風”に抗って太陽に近づく観測機「パーカー・ソーラー・プローブ」の姿：今週の宇宙ギャラリー](#)

BY SHANNON STIRONE

その謎を最近になって、ある研究チームが解き明かしたという。太陽風の源は、太陽の上層大気であるコロナの底部で断続的に発生している微小な噴出活動（jetlet）だというのだ。

学術誌『The Astrophysical Journal』に発表されたばかりのこの理論は、18年から太陽への接近飛行を繰り返している米航空宇宙局（NASA）の自動車サイズの探査機「パーカー・ソーラー・プローブ」が撮影したデータから浮かび上がった。パーカー・ソーラー・プローブは、太陽風の特性を測定し、太陽の表面から約 1,300 マイル（約 2,100km）上空にあるコロナの最外周部における熱とエネルギーの流れをたどっている。

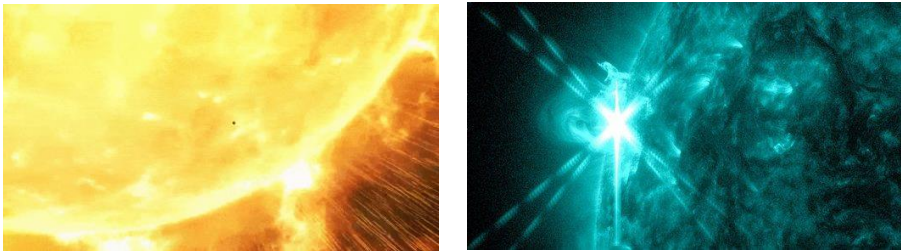
この微小な噴出活動は遍在し、太陽風の質量とエネルギーを説明できるほど強力である可能性が、ほかの探査機や地上の望遠鏡から得られたデータから示されている。これは研究チームの理論を裏付けるものだ。太陽風の源を明らかにすることで、科学者は星の仕組みをより深く理解し、突風のようなプラズマの流れが地球上の生命にどのような影響を与えるのかを予測できる。

きっかけは太陽磁場の反転現象

この仮説の証明には、より高い解像度のデータが必要になるが、これまで示されている証拠は興味をそそるものだ。ジョンズ・ホプキンス大学応用物理学研究所の宇宙物理学者で今回の研究を率いたヌール・ラウアフィは、「わたしたちは早い段階から、何か重要な発見につながるのではないかと感じていました」と語る。「太陽風という 60 年来の謎を解き明かせるかもしれないと考えていたのです。そして、わたしはそう信じています」

太陽風の存在は、パーカー・ソーラー・プローブの名前の由来にもなった太陽物理学者の故ユージン・パーカーによって初めて提案され、1960 年代初頭に NASA によって確認された。それ以来、科学者たちは、プラズマが

なぜこれほど速く、これほど遠くまで移動できるのかという問題に頭を抱えてきた。太陽のコロナはいずれの温度目盛でも数百万度という高温だが、太陽風をこれほどの速度で押し出すほどは高温ではない。一方、この微小な噴出は2014年まで発見されていなかった。ラウアフィが率いる研究で、噴出の源が太陽コロナのプルーム（太陽極域で磁気を帯びたプラズマが噴き出す逆円錐形の明るい構造）であることが明らかになっている。



[太陽に接近する NASA の探査機は、こうして溶けずに高温に耐える（動画あり）](#) BY MEGAN MOLteni

[「太陽の謎」に迫る宇宙探査機が解き明かしてきたこと：今週の宇宙ギャラリー](#) BY SHANNON STIRONE

プルームの根元をよく観察すると、激しく揺れ動く太陽の表面で磁場の極性が反発し合うふたつの領域が強制的に結び付けられ、その結合が弾けると微小な噴出が発生することがわかった。しかし、この論文の発表後にラウアフィは別のプロジェクトに移ってしまった。「その研究は基本的に、そのまま放置してしまったのです」と、ラウアフィは言う。そして19年にラウアフィがパーカー・ソーラー・プローブのプロジェクト・サイエンティストとして働いていたとき、探査機が奇妙な現象を確認した。太陽のコロナ上部を通過する際に飛行中の磁場の向きが反転し、その後もう一度反転して元に戻る現象が頻繁に観測されたのだ。

ラウアフィは、太陽の大気圏下で起きたこの断続的な太陽磁場の反転現象である「スイッチバック」の原因を探るために、研究チームを結成した。ラウアフィは、すぐに微小な噴出活動のことを思い浮かべた。もし、この微小な噴出がプルームだけでなくコロナのほかの場所でも見つければ、太陽風そのものになるほどの物質とパワーを生み出すだけの十分な数が存在するのではないかと考えたのである。ところが、パーカー・ソーラー・プローブが採取できるのは太陽コロナの最上部だけである。あまり近づきすぎると溶けてしまうからだ。それに遠隔からの探査ほど、太陽の奥深く、コロナ底部に近いところを観測することができる。

そこで研究チームは、NASAの太陽観測衛星「ソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリー」と、地球を周回する超高高度気象衛星に搭載された「太陽紫外線撮像器（SUVI）」によるコロナ下部の高解像度画像を分析した。コロラド州ボルダーにあるサウスウエスト研究所の太陽物理学者で今回の論文の共著者であるクレイグ・デフォレストは、「案の定、太陽風の源を示す決定的な証拠を発見しました」と語る。

太陽風の鍵を握る「微小な噴出」の存在

観測データから、微小な噴出はいたるところで発生していることがわかった。しかも、研究チームが検索した2010年のデータまでさかのぼって、微小な噴出活動の存在を確認することができたのである。

太陽フレアやコロナ質量の放出は11年周期で変動するが、微小な噴出活動の存在には変動がなかった。この微小な噴出は、太陽風と同じようにプラズマを宇宙空間に放出し続ける安定した現象のようなのだ。

研究チームは、この微小な噴出が太陽風を説明するだけの十分なパワーをもっていて十分に広く蔓延していることを証明するために、大まかな計算を実施した。すると、ひとつの噴出につき最大1,035個の陽子が放出され、太陽は太陽風によって毎秒約 $6 \times 1,035$ 個の陽子を失う。つまり、太陽風を起こすには1秒間に6個、1日に約50万個の微小な噴出活動が必要になるということだ。この数値を研究チームは、微小な噴出が発生しそうな場所を示す太陽の表面のマップと比較した。このマップはカリフォルニア州のビッグベア太陽天文台で撮影されたもので、磁場の極性の変化を高い精度で示している。負極は暗く、正極は明るく、白と黒がまだらに入り混じった画像だ。そこから研究チームは、太陽風の発生に必要な数の噴出を起こす可能性のある両極が隣接する部分が、十分に存在すると結論づけた。「まだ合理的疑いが及ばない程度の証明はできていません」と、サウスウエスト研究所のデフォレストは言う。「しかし、これは大きな前進です」デフォレストによると、太陽風は地球環境と切り離

せない要素であることから、太陽風について学ぶことは重要である。「太陽物理学は宇宙物理学のなかで唯一、地球上で実際に応用できる分野なのです」と、デフォレストは言う。

太陽風は、潜在的に有害な宇宙線からわたしたちを守っている地球の磁場を乱す。また、GPS衛星などの人工衛星の軌道や運用に影響を与える宇宙天気も引き起こす。そして太陽風の仕組みを理解することは、古い恒星ほど速度が遅くなる仕組みや、それがその恒星を周回する惑星の大気に与える影響を解明し、結果としてその惑星の居住可能性の増減を解明することにもつながるのだ。

大発見まであと一歩

断続的な爆発が安定したプラズマの流れを生み出すという理論は、太陽風の源が単一の連続したものでなければならぬという理論に疑問を投げかけるものだ。しかし、ありえないことではない。

かつて太陽物理学者のパーカーは、このようなものが太陽風の原動力になるという仮説を立てた。パーカーはそれを「ナノフレア」と呼んでいたのだ。またサウスウエスト研究所のデフォレストは、多くの小さな爆発が集合してひとつの滑らかな流れのように作用することがあると指摘する。

「クルマを運転すると滑らかな推進力を感じますよね」と、デフォレストは言う。「でも実際には、クルマのガソリンエンジンの内部では何十億もの小さな爆発が起きているのです」

モンタナ州立大学の太陽物理学者のチャールズ・カンケルボーグは、これは妥当な理論だと考えている。しかし、この考え方自体には驚いているという。ほかの太陽の小規模現象で生じるような微小爆発では、これまで太陽の大気エネルギーに有意義に寄与することが示されたことはなかったからだ。

「このような微小な噴出がわたしたちが知っているような太陽風の単一源である可能性がある」と、この論文で示唆されたことに驚愕しました」と、この研究に関与していないカンケルボーグは言う。こうした微小な噴出活動だけで太陽風のエネルギーを供給できると考えるにはもっと多くのデータが必要だが、検討する価値のある興味深いアイデアだとカンケルボーグは感じている。まさにそうした問題に、ジョンズ・ホプキンス大学のラウアフィたちは取り組んでいる。より高解像度のデータからは、噴出の速度を過小評価していたことがすでに判明している。つまり、こうした噴出活動は当初割り当てたよりも多くのエネルギーをもっているのだ。

「これは非常にいい兆候です。わたしたちが必要としていることです」と、ラウアフィは言う。ラウアフィはふたつの追跡調査を進めており、今夏には発表したいと考えている。なかには、ソーラー・ダイナミクス・オブザーバトリーの観測データ、欧州宇宙機関（ESA）の「ソーラー・オービター」から得た新しいデータ、ビッグベア太陽天文台の3倍の磁場解像度をもつハワイのダニエル・K・イノウエ太陽望遠鏡による磁場情報などが含まれることになる。将来的には、このデータをパーカー・ソーラー・プローブによる直接観測や、NASAの次期ミッション「PUNCH」による太陽風の全球観測と結びつけることで、太陽風の性質についてより正確な情報を得られるだろう。PUNCHミッションの主任研究員であるデフォレストは、「(遠隔撮像と発生源での測定という)ふたつのツールを組み合わせることで、太陽系全体を統合的に把握することができるでしょう」と語っている。ラウアフィの研究チームは、大発見まであと一歩だと確信している。「ユージン・パーカーがいまも生きていたらと思います」と、ラウアフィは言う。「ある意味、わたしたちがパーカーの理論を裏付けようとしていることを、彼も喜んでくれたと思います」 ([WIRED US](#)/Edit by Daisuke Takimoto)

<https://gendai.media/articles/-/107578>

2023.03.15

日本の「はやぶさ」には人類初の開発技術がつぎつぎと…「NASAと同じことをしてもダメ」という発想がやがて実際に「NASAを追い抜いてしまった」真実とは



サイエンス ZERO NHK

プロフィール 『サイエンス ZERO』 20 周年スペシャル」取材班

サイエンス激動の時代を捉えるため、日本のサイエンス各分野の著名な研究者に「サイエンス ZERO」の 20 周年（3 月 26 日（日）夜 11:30～ NHK E テレ）を記念し、この 20 年の研究を振り返ってもらうインタビューを行いました。そこでどの研究者からも飛び出してくる驚きの言葉や知見、未来への警鐘とは一。

小惑星探査機「はやぶさ」が幾多の困難を乗り越えて地球に帰還したことは、多くの人の記憶に刻まれているのではないのでしょうか。はやぶさは、今からちょうど 20 年前の 2003 年に打ち上げられ、小惑星「イトカワ」からのサンプルリターンに成功しました。その後、「はやぶさ 2」も小惑星「リュウグウ」からサンプルを採取して地球に持ち帰るなど、今やサンプルリターンは日本のお家芸と言われるまでになりました。

こうした偉業の裏には、「NASA と同じことをやっているとダメだ」と考え、日本の強みをいかした独自路線を切り開こうとした研究者たちの執念がありました。「太陽系大航海時代」とも言われる今、はやぶさのプロジェクト・マネージャを務めた川口淳一郎さん（JAXA 元シニアフェロー）さんに、はやぶさを成功に導いた知られざる戦略と今後の宇宙探査の展望を伺いました。



川口淳一郎さん（JAXA 元シニアフェロー）

「はやぶさ」がサンプル採取するイメージ CG／画像提供:JAXA

小惑星探査機「はやぶさ」の出発点は「NASA と同じことをしてもダメ」だった
—ご自身の研究を振り返ると、どういう 20 年でしたか？

「低推力推進」を使った飛行、つまり「イオンエンジン」を実用化したことがポイントになっていると思います。かつては、低推力推進というのは教科書に出てくる例題ではあっても、実際に飛行に応用するのは「夢物語」でした。そういう机上のものでしかなかったものを実用化させたのが、一番意味が大きい事だと思います。「低推力でも持続的に推進できるエンジンを積んで、最少の燃料で行ける飛行計画を考える」ということを日本が主導して行えるようになったというのが、とても素晴らしいことだと思います。

—それを切り開いたのは、小惑星探査機「はやぶさ」ということですね？

そうですね。何がきっかけだったかと言うと、「アメリカの NASA と同じような事を日本がしてもダメ」ということです。同じようなことをやっても、どうせ先に軽々と NASA がやってしまうわけですから。それが出発点で、そういうことを考えていた 30 年ぐらい前は、ある種の開き直りをしていた時期なのかもしれません。

日本では、「惑星探査」はそんなに古くからやっているわけではなくて、ハレー彗星（すいせい）を目指して打ち上げたのが 80 年代半ばで、そのときは単純に飛ばすだけでした。その後の「ひてん」という実験機では、「スイングバイ」という天体の重力を使って軌道操作を行うという飛行に関するいろんな技術を蓄積したというのがやはり大きかったです。そんな中に一貫してあったのが、「NASA と同じような事をやってもダメ」なんだと。その結果、それまで例題でしかなかったような飛行を、実際の飛行で使うことに乗り出せたということです。

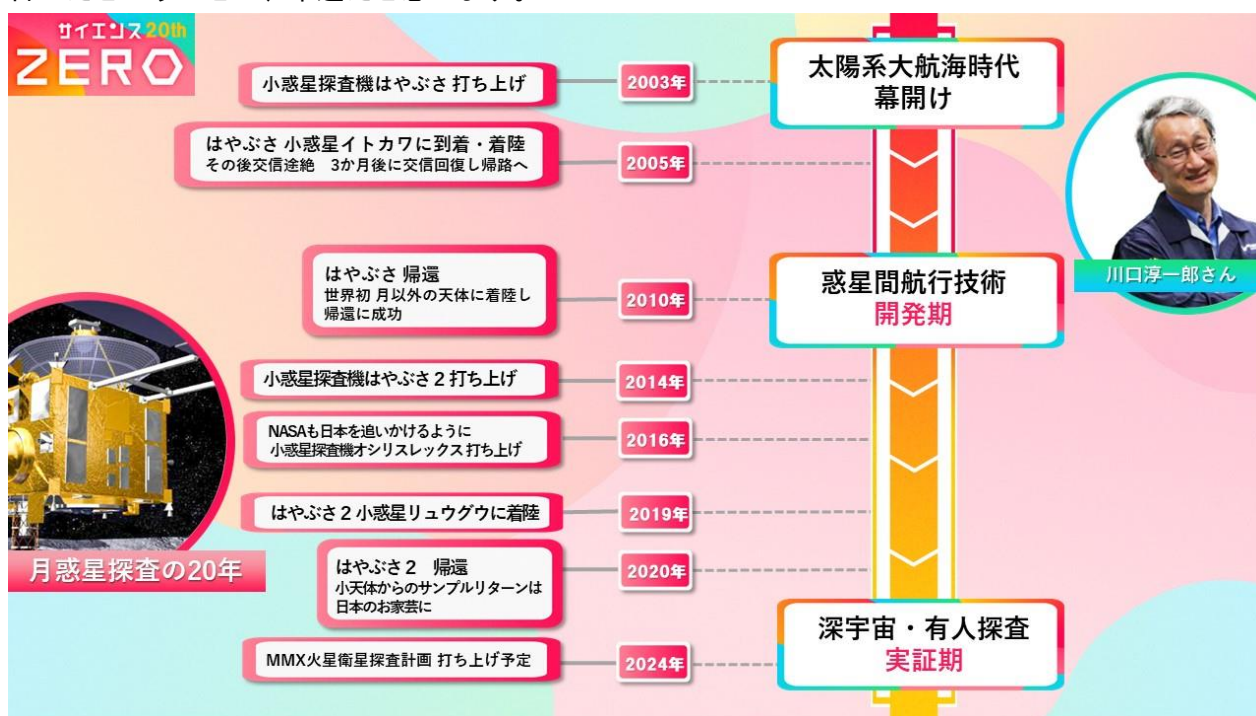
[関連記事日本の「はやぶさ」はなんと史上初の「再利用可能な宇宙船」も…](#)

[「イオンエンジンは惑星探査に向いていた」？](#) 「イオンエンジンは惑星探査に向いていた」？

—「イオンエンジン」（低推力推進）が実際に形になった時、川口さんはどう思いましたか？

イオンエンジンはそれこそ宇宙開発が始まった頃からあるものなのですが、実用化が難しかったです。イオンエンジンは性能が良くても電力を食うんですよね。普通の宇宙機に比べて、大きな太陽電池が必要だということ

になります。イオンエンジンを使っている「はやぶさ」「はやぶさ2」は太陽電池がかなり大きくなっています。実は、エンジンとしては高性能だけど、他に必要となる装置がすごく重いので、普通はそう簡単にいろんなプロジェクトに使えないんです。唯一それまで実用化していたイオンエンジンの使い方というのは、補助的な使い方でした。例えば、静止衛星の軌道が動いていくのを止めるために、少しだけ電力をもらってやるというのは今もやっていますがね。でも、そのイオンエンジンが、実は「惑星探査」には向いているんです。地球を周回する科学衛星は、飛びだしたらすぐに電源を入れて、どんどん観測しますが、惑星探査というのは、到着するまでは、そういう機器に電源を入れる必要がないわけで、電力が余っています。だから、はやぶさのような往復飛行をさせるには、イオンエンジンが向いているんです。だから不思議な話で、たまたま、いいコンビネーションでかみ合ったということで、幸運だと思います。



NHK 提供

[関連記事日本の「はやぶさ」はなんと史上初の「再利用可能な宇宙船」も…](#)

[NASA よりも先に開発した核心技術！「再突入カプセル」「イオンエンジンの主エンジン」の数々](#)

[NASA よりも先に実現した核心技術！「再突入カプセル」「イオンエンジンの主エンジン」の数々](#)

—「はやぶさ」では川口さんはプロジェクト・マネージャをされていましたが、技術的な革新は他にもあったのですか？

細かいことはいっぱいありましたね。1つは「ロボット」ということです。センサーを使って自分の位置を割り出すとか、普通の衛星では例がない話がいっぱいあるんです。カメラのストロボみたいなものですがフラッシュを持っていて、ターゲットマーカーとして使いました。宇宙でフラッシュをたいても地球が明るく見えるわけではないので、通常は探査機にフラッシュはのせませんが、はやぶさはフラッシュを使って天体の表面との間を計測して、自分で操作していくっていう使い方をしました。それが、まさにロボットそのものなんです。

もうひとつ重要な技術は、「再突入カプセル」です。日本では、カプセルを大気圏に突入させて回収するというのは、はやぶさより前にはありません。「日本ってそんな技術あったの？」と、海外から思われたんじゃないでしょうか。実はアメリカも、惑星間空間から直接大気圏に突っ込ませて回収するなんてやったことないわけです。はやぶさプロジェクトが立ち上がった後に、NASA もやらなくちゃいけないと気がついて「スターダスト」(※1)という探査機を立ち上げました。だから、すごくやりがいがあるというか、やっている道は正しいということでもうれしかったですよね。イオンエンジンも同じで、「主エンジン」として積むということは世界でもやっていませんでした。はやぶさプロジェクトが始まってから、NASA は DS 1 (Deep Space 1) という実験機で彗星(すいせい)をフライバイするというミッションを、イオンエンジンを使ってやったんです。すごくクイックに立ち上

げて、さっさとやっちゃって、追い越されていくんですけど、NASA もイオンエンジンを主エンジンとして使うことに気がついたわけです。追い越されはしましたが、逆に言えば、自分たちの目指してることは正しかったということですよね。※1 スターダスト・・・ヴィルト第2彗星とそのコマの探査を目的として1999年2月7日に打ち上げられ、約50億kmを旅して2006年1月15日に地球へ試料を持ち帰った。宇宙塵を地球に持ち帰った最初のサンプルリターン・ミッション。小惑星探査機「はやぶさ」プロジェクトが世界に先駆けて成し遂げた偉業はこれだけにとどまりません。世界中を湧かせた「小惑星サンプルリターン」とこれからの惑星探査の展望とは。[後編『日本の「はやぶさ」はなんと史上初の「再利用可能な宇宙船」も実現させていた？…そして人類は「太陽系大航海時代」へ！』](#)につづきます。

「サイエンス ZERO」20周年スペシャル 3月26日（日）夜11:30 NHK E テレ

<https://gendai.media/articles/-/107579> 2023.03.15

#AI# 宇宙科学# ロボット

日本の「はやぶさ」はなんと史上初の「再利用可能な宇宙船」も実現させていた？…

そして人類は「太陽系大航海時代」へ！



[サイエンス ZERO](#) [NHK](#)

[プロフィール](#) 『サイエンス ZERO』20周年スペシャル 取材班

サイエンス激動の時代を捉えるため、日本のサイエンス各分野の著名な研究者に「サイエンス ZERO」の20周年（3月26日（日）夜11:30～ NHK E テレ）を記念し、この20年の研究を振り返ってもらいインタビューを行いました。そこでどの研究者からも飛び出してくる驚きの言葉や知見、未来への警鐘とは一。

小惑星探査機「はやぶさ」が幾多の困難を乗り越えて「小惑星サンプルリターン」という快挙を達成したことは、多くの人の記憶に刻まれていることでしょう。はやぶさは、今からちょうど20年前の2003年に打ち上げられ、小惑星「イトカワ」からのサンプルリターンに成功しました。その後、「はやぶさ2」も小惑星「リュウグウ」からサンプルを採取して地球に持ち帰るなど、今やサンプルリターンは日本のお家芸と言われるまでになりました。こうした偉業の裏には、「NASAと同じことをやっているとダメだ」と考え、日本の強みをいかした独自路線を切り開こうとした研究者たちの執念がありました。「太陽系大航海時代」とも言われる今、はやぶさのプロジェクト・マネージャを務めた川口淳一郎さん（JAXA元シニアフェロー）さんに、はやぶさを成功に導いた知られざる戦略と今後の宇宙探査の展望を伺いました。

[前編『日本の「はやぶさ」には人類初の開発技術がつぎつぎと…「NASAと同じことをしてもダメ」という発想がやがて実際に「NASAを追い抜いてしまった」真実とは』](#)からつづきます。

開き直って立てた目標が「小惑星サンプルリターン」

一劇的な帰還劇となった「小惑星サンプルリターン」ですが、これも前編の「NASAと同じことをしてはダメだ」という考えが結実したものなのでしょうか？

最初にハレー彗星の探査機「さきがけ」を打ち上げた年が1985年ですが、その年に「次に我々が目指すべきものは小惑星のサンプルリターンだ」という、そういう研究会を開いているんですよね。私の先輩方も含めて議論して、そういう方向に傾いていったという実情です。というのは、大がかりな、例えば火星着陸をやるなんていう話になってくると、もう明らかに、NASAに対する技術的な遅れはとんでもない量があるんですよ。とても追いつけるような話でもないし、大がかりなロケットという輸送機関があるわけでもないですね。

そういう議論をしながら考えていくと、太陽系探査をするのであれば小天体にこそ行くべきなんですよ。「小

天体のサンプルリターン」というのは、我々の手が届く所にある1つの大きなゴールだろうという話で、80年代の半ばには、我々の間で1つのターゲットになっていました。ただ最初に小惑星の探査計画を考えた時には、イオンエンジンも積んでいないごく普通の、非常にクラシカルな探査機で、「小惑星ランデブー」しようっていうもくろみでした。でも、NASAが「NEAR シューメーカー」という探査機を打ち上げましたが、それが小惑星ランデブーだったんです。これがしゃくに障るわけですね。我々がやろうと思っていたことを彼らはさっさとやっちゃうわけで。普通の探査機ができる小天体探査をやっても、結局、NASAにとっては簡単にできるということで、それならと開き直って、かねがね考えていた小天体のサンプルリターンをすべきではないかということになり、プロジェクトになっていったというのが歴史です。

[関連記事日本の「はやぶさ」には人類初の開発技術がつつぎと…「NA…](#)

[「はやぶさ」から「太陽系大航海時代」へ](#) 「はやぶさ」から「太陽系大航海時代」へ

—「はやぶさ」の打ち上げから20年が経ちました。「はやぶさ」は何を成し遂げたのでしょうか？

20年前というのは、はやぶさを打ち上げた年であり、ちょうどJAXAができた年でもあります。この20年は、なんといっても『はやぶさ』が成し遂げた往復の宇宙飛行の時代」ですよ。近年、探査のスケールというのは、月など地球の引力圏の話ではなくて、太陽系全体のスケールの話になりました。「太陽系大航海時代」と呼べる、そういう時代に入ったんだと思います。特に、はやぶさプロジェクトでは、再利用可能な往復の宇宙船の運用ができるようになりました。アポロや他の探査機は、宇宙船を切り離して、探査モジュールを全部捨てて、戻って来るのはほんのわずかというやり方ですが、はやぶさは地球を出た時の形と同じ形で戻って来ます。これは、再利用可能な宇宙船なんです。

もう一度、整備して、推進剤を入れ直せば、もう1回飛行に出られるわけですね。太陽系大航海時代の中で、再利用可能な宇宙飛行ができるようになるという時代がもう来ているのかなと思います。そのうちに人間が往復するようになってきますよ。往復10年、15年という飛行を行う時代が、もう見え始めていると思います。



離脱するクルードラゴン宇宙船運用2号機 (SpaceX Crew-2) から撮影された国際宇宙ステーション (ISS) 画像提供：JAXA/NASA NHK 提供

—川口さんが見据える太陽系大航海時代の技術で、他にカギになるポイントはありますか？

太陽系大航海時代を支えるカギは、なんと言っても「有人技術」ですね。宇宙ステーションもですが、長期滞在をすることについては、大きな進歩を遂げています。今後欠くことができない技術だと思います。

それから、太陽からもっと遠い場所を飛行するのであれば、太陽電池が使えないので「原子力推進」は欠かせないと思います。原子力推進は、まだ実用化されていませんが、いずれ登場してくるんじゃないかと思っています。

—今後20年に期待していることは？

1つは「生命探査」です。それからもう1つは、何年単位という飛行が可能になるような「有人飛行技術」ですよ。それこそ、人工の重力を作るとか、人工冬眠もそうです。それから、病院があるわけではないので、治療を行う事も自分たちでやらねばならないようになるでしょうから、こうした医学も含めた宇宙飛行の技術が伸びて、往復の宇宙飛行ができる時代に力を発揮する人が出てくればいいなと思います。

[関連記事日本の「はやぶさ」には人類初の開発技術がつつぎと…「NA…](#)

[「受け身にならず、イノベーションを！」若い世代に期待すること](#)

「受け身にならず、イノベーションを！」若い世代に期待すること

—ご自身の経験から、日本がこれからも独自の技術で宇宙に挑むには何が大事ですか？

「はやぶさ」「はやぶさ2」は、成果が残せているので、おかげさまで多くの方に理解をいただきました。理解者を増やすことができたというのは大きな事だったと思っていますね。大きな挑戦をするということは、これまで行ってきた延長ではなくて、全く違う事を考えなきゃいけないわけですよね。いけないってわけじゃないですけど、イノベーションってそういうものなので。地道に今ある事を延長していくと、進歩は進歩なんですけど、そうでない事を考えるべきじゃないかなというのが、私の気持ちですね。そういう人が今、まさに登場してくるのかもしれないから、ぜひ期待したいと思っています。私に「良き理解者」がいてくれたように、次は自分たちの世代、自分たちが良き理解者であるように努力しなくちゃいけないんでしょうね、そう思っています。

—若い世代に向けて、川口さんが今伝えたい事はありますか？

自らが努力しないといろんなことが開けていかないですよ。受け身になりがちところが日本人には多いですが、何かが提供されていなくても自ら動くというのは大切なことですね。受け身にならないで、積極的な行動をとるような人材が増えてくれればありがたいなと思います。

私はずいぶん、むちゃなことをやってきたので、私の先輩方から見ると、何やってたんだと言われかねないところもありますが、いろんなことに取り組んでいってほしいですし、ぜひ頑張ってもらいたいなと思いますよ。

—最後に、「高い塔を建てて水平線をひろげよ」というお言葉をいただきました。その意味を教えてください。

ひと頃、ずいぶんよく言っていた言葉なんです。高い塔を建てなければ、より広い水平線は見えてきません。どちらかというと、しっかり足元を固めるっていう風に考えがちなんですけど、そうではないよって伝えたいです。少し高い所に上がれば、見えていないその次のゴールが見えてくるということです。もうひと言、「やれる理由をさがせ」という言葉も伝えたいです。やれる、やらせてもらえる理由をどんどん開拓するということです。何かの機会を待っていて、何かが始まるわけではなくて、積極的に、そこに乗り出さなければ先は開けません。これはとても重要な事で、JAXA 宇宙科学研究所の先輩方の文化がそうでした。プロジェクトをやっていく上での一番の大きな原動力だったんです。だから、若い人たちにそういう考え方を持ってほしいというのが、この言葉ですね。

「サイエンス ZERO」20周年スペシャル 3月26日(日)夜 11:30 NHK E テレ

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230314-2626251/>

Pale Blue の水推進機が地球低軌道上でのエンジン噴射・推力生成に成功

掲載日 2023/03/14 21:00

著者：鶴海大輔

Pale Blue は 3 月 13 日、現在地球低軌道を周回しているソニーの超小型人工衛星「EYE」に搭載された水蒸気式推進機(水蒸気エンジン)について、軌道上でのエンジン噴射に成功したことを発表した。



Pale Blue の水蒸気式推進機を搭載したソニーの超小型人工衛星「EYE」(出典:Pale Blue)

Pale Blue の水推進機を搭載した EYE は、ソニーが 2023 年のサービス開始を予定する宇宙撮影体験サービス「STAR SPHERE」プロジェクトで利用される超小型人工衛星。同機は 2023 年 1 月 3 日、SpaceX のロケット「Falcon9」によって打ち上げられた。なお水推進機は、STAR SPHERE のサービス開始前の軌道投入に際して使用される予定だという。そして 3 月 3 日、初めて水推進機によるエンジン噴射が行われた。今回は約 2 分間の

作動を実施し、取得したデータから推力の生成を確認したとしている。

Pale Blue の共同創業者兼代表取締役の浅川純氏は、同社が開発した水推進機の作動成功によって、STAR SPHERE プロジェクトの軌道投入に向けて大きな一歩になるとしたうえで、「今後も技術革新を進めて、宇宙産業のコアとなるモビリティを創生し、人類の可能性を拡げ続ける」としている。

<https://sorae.info/astrometry/20230315-2011ag5.html>

衝突リスクのあった小惑星「2011 AG5」の細長い形を「ゴールドストーン深宇宙通信施設」が観測

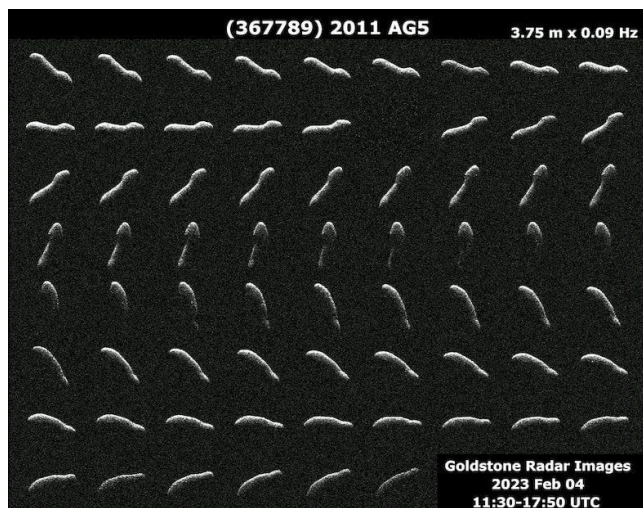
2023-03-15 [彩恵りり](#)

小惑星が地球に衝突する可能性およびその影響を表す指数の 1 つに「トリノスケール」というものがあります。トリノスケールでは、衝突する可能性の高さと、衝突によって引き起こされる災害の重大さによって、小惑星が 0 から 10 までの 11 段階で評価されます。大半の無害な小惑星は 0 に分類されていますが、1 以上の数値が付けられる小惑星も年に数個ほど発見されています。ただ、トリノスケールで 1 以上の値が付けられた小惑星は、その大半が発見後の追加観測の結果を受けて 0 に再評価されています。この記事の執筆時点では「2023 DW」という小惑星がトリノスケール 1 と評価されており、0 より大きな数値が付けられた唯一の小惑星となっています。小惑星のトリノスケールが再評価されて小さくなるのは、最初の評価が発見直後の数少ない観測記録に基づく小惑星の軌道予測をもとに行われており、それだけ不確実性が高いからです。その後の追加観測でより詳細な軌道が算出されると、小惑星の評価は“地球に衝突するかもしれない”から“地球に衝突しない”に変わり、トリノスケールが 0 に引き下げられるのです。例えば、直近では「2023 AJ1」という小惑星が 2023 年 1 月 14 日から 1 月 29 日までの観測記録に基づいてトリノスケール 1 と評価されていましたが、2 月 8 日には 0 に引き下げられています (※1)。このような例は珍しくありません。※1...正確には、数値の更新なしに JPL (ジェット推進研究所) が運営するリスクのある小惑星のリスト「Sentry Table」から削除されています。0 への再評価は珍しいため、情報を更新せずに削除されることはよくあります。この点で、367789 番小惑星「2011 AG5」は珍しい事例でした。直径約 140m のやや細長い形状を持つと推定された 2011 AG5 は、2011 年 1 月 8 日に発見された後、300 日以上に渡る 213 回の観測記録が積み重ねられた後もトリノスケールが 1 のままで、この時点では 2040 年 2 月 5 日に 0.2% の確率で衝突すると評価されていました。もしも地球に衝突した場合、衝突時に放出されるエネルギーは約 100 メガトン (旧ソ連が実験を行った史上最大の核兵器「ツァーリ・ボンバ」の 2 倍に相当するエネルギー) と見積もられています。ただし、2012 年 10 月に 2011 AG5 が地球の近くを通過した際の追加観測で、この評価は見直されることになりました。2040 年の接近時には地球へ衝突しないことが確実になったためです。この再評価によって、2011 AG5 は 2012 年 12 月 21 日にトリノスケール 0 となりました (※1)。2011 AG5 は発見から約 2 年という長い期間に渡ってトリノスケール 1 以上に評価され続けたという点で、珍しい事例です (※2)。※2...1 年以上トリノスケール 1 以上に評価されていた小惑星は、2011 AG5 の他には「アポフィス (最高 4)」「2004 VD17 (最高 2)」「1997 XR2 (最高 1)」「2007 VK184 (最高 1)」しかありません。

2023 年 2 月上旬、2011 AG5 は地球から約 180 万 km の距離を通過しました。これは 2011 年の発見時や 2012 年の最接近よりもずっと短い距離です。この機会を狙って、天文学者は 2011 AG5 の詳細な観測を試みましたが、かつて、このような小惑星の接近時には「アレシボ天文台」の電波望遠鏡で観測が行われましたが、同望遠鏡は 2020 年に発生した致命的な破損を受けて廃止 (その後崩壊) されたため、現在は使われていません。そのため、感度は劣るものの「ゴールドストーン深宇宙通信施設」の電波望遠鏡が代替として利用されました。

2023 年 1 月 29 日から 2 月 4 日にかけて行われた今回の電波観測では、2011 AG5 の正確な位置、形状、自転速度などが判明しました。例えば、直径約 140m の細長い形状であるというかつての推定は、やや過小評価だったことが判明しました。実際には、長い部分で 500m、短い部分でも 150m と、以前の推定よりも大きく、かなり

細長い形状であることがわかりました。縦横比 10:3 という比率は、レーダーによって観測された約 1000 個の地球近傍天体の中でも最も細長い小惑星の 1 つとなります。自転速度は 9 時間 26 分と、このサイズの小惑星としてはゆっくりとした自転速度であることも判明しました。また、レーダー画像では尾根やクレーターのように見える表面の形状も確認できます。小惑星の接近遭遇は、正確な軌道を確定するのに役立つだけでなく、小惑星の形状などについても正確なデータを得る機会となります。このような観測データとノウハウの積み重ねは、将来本当に危険な小惑星が見つかった時に役立つでしょう。



【▲ 図: 2023 年 2 月 4 日に撮影された 2011 AG5 へのレーダー画像。細長い形状をしていることがわかる (Credit: Lance A. M. Benner/NASA/JPL-Caltech)】

Source

[Lance A. M. Benner](#). “Goldstone Radar Observations Planning: (367789) 2011 AG5, 2023 BU, 2023 BN6, and (199145) 2005 YY128”. (Asteroid Radar Research)

[“Radar Observations of Elongated Near-Earth Asteroid 2011 AG5”](#). (NASA/JPL-Caltech)

[Nancy Atkinson](#). “A 500-Meter-Long Asteroid Flew Past Earth, and Astronomers Were Watching”. (Universe Today)

[Center for NEO Studies](#). ““All Clear” Given on Potential 2040 Impact of Asteroid 2011 AG5”. (NASA/JPL)

[Small-Body Database](#). “367789 (2011 AG5)”. (NASA/JPL)

[Sentry](#). “Impact Risk Data”. (NASA/JPL)

Sentry. “(2023 AJ1) -- Earth Impact Risk Summary”. (NASA/JPL) ([archive.today](#))

Earth Impact Risk Summary. “2011 AG5”. (NASA) ([Internet Archive WayBack Machine](#))

文／彩恵りり

<https://www.businessinsider.jp/post-266893>

「H3 ロケット打ち上げ失敗」が日本の宇宙開発に与える 4 つの影響。地球観測網に大

ダメージも

[秋山文野](#) [テクニカルライター]

Mar. 14, 2023, 07:45 AM [テクノロジー](#)



H3 試験機 1 号機 撮影：秋山文野

2023年3月7日午前10時37分55秒、H3 ロケット試験機1号機（H3TF1）は大気を震わせながら種子島宇宙センターの射点を離れていった。「2年の開発延期の末に、ようやく前進する新型基幹ロケット」になるはずだった機体は、指令破壊によって先進光学衛星「だいち3号（ALOS-3）」を軌道へ届けることなく落下し、海へと沈んだ。筆者は、この打ち上げ失敗が日本の宇宙開発に次の4つの影響をもたらすと考える。

1. だいち3号（ALOS-3）の喪失で、日本の光学観測に大きな空白期間
 2. だいち4号（ALOS-4）の打ち上げや国際宇宙ステーション（ISS）の補給再開に遅れ
 3. 火星衛星探査計画「MMX」に懸念。国際的な存在感が薄れる恐れ
 4. H3による商業打ち上げの需要取り込みが困難になる懸念
- 順番に考察していこう。



H3 のリスクを被った「だいち3号」

種子島宇宙センターでは感染予防のため H3 プロジェクトチームは対面取材を制限しているが、H3 試験機1号機の打ち上げ失敗後、岡田匡史プロジェクトマネージャはプレスルームに姿を見せた。エンジニア達は「誰も帰ろうと言ひ出さない」と原因究明に必死になっているという。撮影：秋山文野

打ち上げ前の「だいち3号（ALOS-3）」。Credit: JAXA

部品点数の多い巨大システムであるロケットは、その性質上完全な統合試験が難しい。だからこそ、全てのコンポーネントを組み合わせたテストのために、試験機が存在する。ロケットの開発には失敗もありうるとはいえ、今回はリスクのある試験機に、喪失の痛手が大きい地球観測衛星「だいち3号（ALOS-3）」を搭載した。

ALOS-3 は、2006年から2011年まで運用された JAXA の陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」の後継機にあたる。同じ後継機の「だいち2号（ALOS-2）」は ALOS からレーダー観測機能を受け継いでいるが、ALOS-3 は可視光で地表を観測する機能を受け継ぐ光学地球観測衛星だ。2011年に ALOS の運用が停止してから、JAXA の光学地球観測衛星には空白期間がある。これは、ALOS-3 の開発計画が「他のプロジェクトより優先度が低い」と、途中で中止に追い込まれてしまったからだ。予算に余裕があることを条件に再開された ALOS-3 プロジェクトだったが、当初は H-IIA ロケットによる打ち上げを予定。その後、H3 試験機への搭載に変更となっていた。日本の衛星地球観測計画は、2011年のだいち（ALOS）の運用終了後、2014年に ALOS-2 を打ち上げたことでかろうじて続いている。しかし、運用期間が途切れ途切れになっている点は大きな課題だ。地図の整備や防災、気候変動対策に力を発揮する衛星による観測には「長期間の継続的な観測」という要素が不可欠。ただ、少なくとも今回の失敗によって、光学観測の空白期間が、現状の12年よりもさらに広がってしまうことになる。

H3 と同時期に開発された海外の大型ロケット、ヨーロッパの「アリアン6」や米国の「ヴァルカン」なども、当初の打ち上げ予定の2020年から現在まで、開発が遅延している。だが、試験機であるロケットに1機しかない、代わりのきかない衛星を搭載したことで、日本の場合はロケット側のリスクを ALOS-3 が被ることになった。

日本の衛星地球観測網構築に大ダメージ

世界では欧州の Sentinel 計画やエアバスによるプレアデス衛星、米国の LANDSAT や商用高分解能衛星群など、多くの地球観測衛星があり、災害時などにはデータ提供を受けることもできるとはいえ、日本独自に観測網を持ってない点は大きな痛手だ。打ち上げの失敗そのものは、なにも日本だけに起こっていることではない。

欧州のアリアンスペースが運用する新型固体ロケットの VEGA-C は、2022年12月に打ち上げに失敗し、搭載していたエアバスの地球観測衛星「プレアデス・ネオ」2機を失った。

ただ、プレアデス・ネオは4機の同型衛星で運用する（コンステレーション運用）計画で、先に打ち上げられた

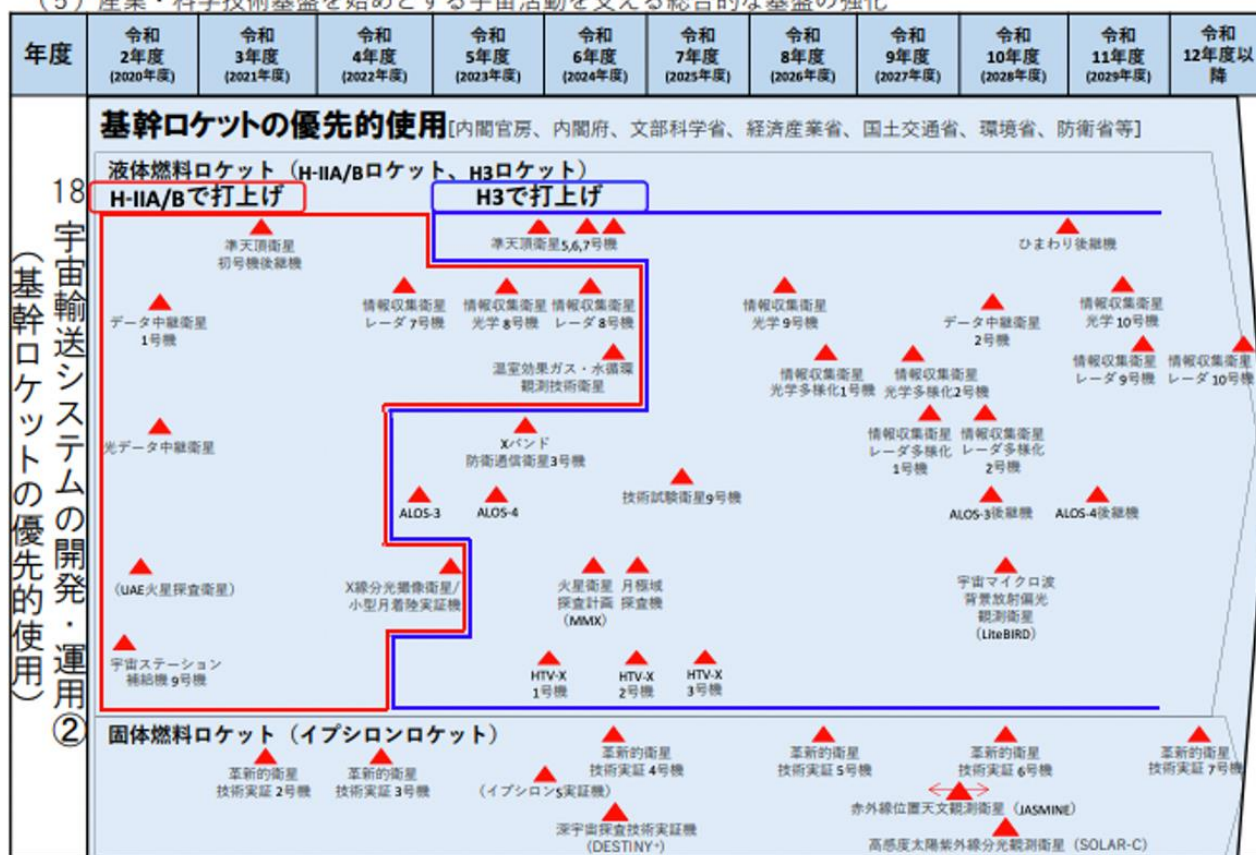
2機がすでに軌道上で活動している。1機しかないALOS-3とは事情がまったく違う。また、ALOS-3の喪失により、日本の先を行く中国へのビハインド期間はさらに広がることも想定される。中国は、日本が初代ALOSを打ち上げた2006年に、国としての地球観測衛星整備計画を開始した。最初の衛星「高分1号」が2013年に打ち上げられると、翌年の2014年にはALOS-3と同じ0.8メートルの分解能を持つ高分2号を打ち上げ、日本を追い抜いていった。現在は2019年に打ち上げられた高分7号までの整備が進んでいる。

日本では、ALOS-3打ち上げ後の2024年からその後継機を開発し、2028年に打ち上げる計画があった。この後継機をALOS-3の代替機として前倒しで開発することが、衛星の運用期間の空白を最短に留める現実的な方法だろう。ただそれでも、すでに12年にもなる空白が更に拡大してしまうことは避けられない。

H3試験機失敗で日本の宇宙開発計画への影響は？

今後の日本の宇宙政策における影響については、H-IIAロケットからH3ロケットへの基幹ロケットの交代計画を確認する必要がある。H-IIAは50号機まで予定（現在46号機まで打ち上げ完了）されているが、部品の枯渇からこれ以上の製造は難しく、H3との交代が求められていた。2023年は今回打ち上げに失敗したH3の試験機を皮切りに、H-IIAと交互に打ち上げていく移行期間だったわけだ。

(5) 産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化



※：「▲」は各人工衛星の打上げ年度の現時点におけるめど等であり、各種要因の影響を受ける可能性がある。
 ※：H3への切り替え時期は現時点におけるめど等であり、各種要因の影響を受ける可能性がある。

宇宙基本計画工程表の資料 提供：宇宙基本計画工程表より引用

今回のH3の打ち上げ失敗によって、どれほど影響が及ぶのか。

「宇宙基本計画」に付随する「工程表」の最新版によれば、2022年度末から2024年にかけて、H3ロケットで打ち上げられる計画だった衛星は「だいち3号（ALOS-3）」「だいち4号（ALOS-4）」「準天頂衛星5、6、7号機」「Xバンド防衛通信衛星3号機」「火星衛星探査計画（MMX）」「HTV-X1号機、2号機」などがある。

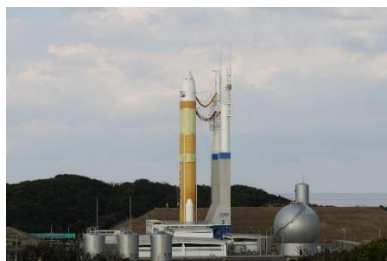
この中で、最も影響を受けるのは、H3試験機2号機に搭載される予定だったALOS-4だ。

H3 試験機 2 号機は、第 1 段エンジン「LE-9」に 3D プリント製造を取り入れて完成形とする計画となっていたが、試験機 1 号機失敗の原因調査と対策が終わるまで 2 号機の打ち上げはできない。

当初、2023 年後半と見られていた打ち上げは 2024 年にずれ込む可能性がある。

地球観測衛星「だいち」シリーズで現在唯一運用中のだいち 2 号（ALOS-2）は ALOS-4 と同じ合成開口レーダー（SAR）衛星だが、2014 年 4 月の打ち上げからほぼ 9 年を迎えており、5 年の設計寿命を大幅に超過しており、突然運用できなくなることも十分ありうる。後継機 ALOS-4 の遅れが長期化すれば、光学観測だけではなくレーダーによる衛星地球観測にも空白が生じ、災害時に海外や民間の衛星データを急遽調達しなければならないことも増えるだろう。準天頂衛星は、もともと複数の衛星で運用される計画で、初号機「みちびき」の後継機が 2021 年に打ち上げられたばかりだ。また日本の準天頂衛星計画だけでなく、GPS や欧州のガリレオなど、世界で運用される測位衛星の信号を利用する GNSS の仕組みもある。遅れは歓迎されるものではないが、衛星地球観測のように空白期間が生じるリスクはまだ小さい。また防衛省が運用する通信衛星である X バンド防衛通信衛星の 3 号機も、2017 年、2018 年にそれぞれ 2 号機、1 号機が打ち上げられており、運用に余裕がある。1 号機（きらめき 1 号）は欧州のアリアンスペースに打ち上げを委託した経緯もあり、H3 が運用できなければ後がないとまではいえない。国際宇宙ステーション（ISS）への物資補給を担う予定の HTV-X1 号機、2 号機は現在まだ開発中だ。旧 HTV（このとり）の運用終了以降、日本は ISS への補給事業を担っておらず、HTV-X1 号機運用開始が遅れた場合、運用の空白期間が長くなることが懸念される。

H3 の失敗で火星探査系計画にも遅れが？



火星衛星探査計画「MMX」のイメージ図。画像：JAXA

射場へと移動する H3 試験機 1 号機 撮影：秋山文野

打ち上げ直後の H3。「ようやく新型基幹ロケットが前に進める」と思った矢先、2 段エンジンの着火が確認できていないことが分かった。撮影：秋山文野

火星衛星探査計画「MMX」も、H3 の開発遅れの影響が大きい。

MMX 計画は、小惑星探査機「はやぶさ」「はやぶさ 2」で培った小天体からのサンプルリターン技術を生かし、火星の衛星「フォボス」から表面の物質を持ち帰る計画だ。そこで必要とされる探査機は、打ち上げ時の重量が約 4 トンと日本最大の深宇宙探査機になる予定で、H3 以外に日本で代替できるロケットはない。

また探査機を火星圏へ送り込むためには、地球と火星の位置関係などを踏まえた適切な期間に打ち上げる必要がある。その打ち上げ可能期間（ウインドウ）は、およそ 2 年に 1 度にしかやっこない。2024 年中に予定している打ち上げを逃すと次は 2026 年となり、運用計画を大幅に見直す必要が生じる。

日本は 24 時間火星圏と通信ができる深宇宙通信施設を持たないため、MMX 計画では米国のディープ・スペース・ネットワーク（DSN）を頼りにすることになっていた。ただ、その利用についてもさらに調整が必要になる。

当初予定されていた 2029 年の帰還予定も 2 年後となり、2020 年代中のミッション達成はできなくなる。

宇宙探査は一番乗り競争ではないとはいえ、米中が火星サンプルリターン計画を競う中で最初に火星圏からのサンプルを持ち帰る予定だった日本の計画が後ろにずれ込めば「存在感」が薄れる可能性はある。

「焦らず急いで」対策は可能なのか

H3 ロケット試験機 1 号機の打ち上げ失敗による短期的な大きな影響は、地球観測衛星 ALOS-3 の喪失と 2023 年中に予定していた ALOS-4 打ち上げの遅れによる JAXA の衛星地球観測のブランク長期化だ。

その間に海外では各国と民間企業による地球観測衛星の拡充が進み、上述してきたようにそこに遅れて参入する日本の衛星の存在感が低下することが考えられる。また、同様の懸念はロケットにもある。

H3 失敗の原因究明と対策が長期化する場合、複数衛星の搭載機能といった現在の打ち上げ市場で求められている機能の実現も遅くなる。世界的な需要増に対応しきれないまま、海外にシェアを持っていかれるとすれば、H3が目指していた商業打ち上げ需要の取り込みが難しくなることは避けられない。

まずは H3 の打ち上げを成功させるべく、焦らず急いで対策を進める必要がある。世界の打ち上げ市場で日本の存在感を保つためには、対策にかけられる期限を正確見極める必要があるだろう。

これまでの経緯：2月の打ち上げ中止に続き「電源系」に異常が発生

3月7日、打ち上げ失敗の後、午後2時から始まった JAXA の山川宏理事長、岡田匡史プロジェクトマネージャが登壇した記者会見は3時間以上におよんだ。会見後、誰もが疲れ果ててプレスセンターを後にした。

3月8日には文部科学省で調査・安全有識者会合が開催され、飛行の様子と事故発生までの詳細が明らかになった。H3 ロケットは、第1段エンジン（以下、1段）と第2段エンジン（以下、2段）のエンジンを段階的に稼働させることで、宇宙へと到達するための推進力を得る設計になっている。

報告によれば、H3 ロケットのリフトオフから1段の燃焼と1段・2段の分離まではほぼ計画通り。開発で手を焼かせた新型エンジンである1段主エンジンの「LE-9」は設計通りに機能したと考えられている。

異常が起きたのは2段分離後に機体（2段機体に搭載された制御装置）から2段エンジンへ指示を送り、2段「LE-5B-3」エンジンを着火する部分だ。記録されたテレメトリー（通信データ）によれば「2段エンジン着火（SEIG）」の信号そのものは届いていたものの、着火して2段エンジンが正常に噴射を開始したことを確認する「2段エンジン着火判定（SELI）」には至らなかった。

有識者会合では「2段エンジン付近で、電源システムの異常を確認した」との報告があり、2月17日の打ち上げ停止に続き、またしても電源に関連する異常が発生したとみられている。

2月の打ち上げ停止の原因となったのは、1段主エンジンのエンジンコントロールユニット付近の異常だ。今回の異常の発生箇所は異なるものの、H3 プロジェクトは開発段階で難航したエンジンそのものとは異なる部分に苦しめられている。

打上げ結果

- 2023年3月7日10時37分55秒（日本標準時）に、H3ロケット試験機1号機を打ち上げた。
- 第2段エンジンが着火しなかったことにより、所定の軌道に投入できる見込みがないことから10時51分50秒にロケットに指令破壊信号を送出し、打上げに失敗した。
- ロケットは第1段・第2段分離まで、計画どおり飛行した。



事象	打上げ後経過時間 (フライト結果)			(参考) 予測値		
	経過秒	分	秒	経過秒	分	秒
(1) リフトオフ	0	0	0	0	0	0
(2) SRB-3分離	116	1	56	116	1	56
(3) 衛星フェアリング分離	212	3	32	211	3	31
(4) 第1段エンジン燃焼停止(MECO)	296	4	56	296	4	56
(5) 第1段・第2段分離	304	5	4	303	5	3
(6) 第2段エンジン第1回推力立上がり(SELI)	-	-	-	316	5	16
(7) 飛行中断	835	13	55	-	-	-

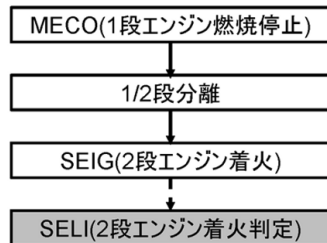
2段エンジン着火シーケンスおよびこれまでに確認された事象

■ 2段エンジン着火シーケンス

- 2段エンジン着火にかかるシーケンスを下図に示す。

■ これまでに確認された事象

- 1段/2段分離を検知したのち、機体側から2段エンジンへ着火指示(SEIG)を送り、2段エンジン側がSEIGを受信したことを確認した。
- SEIG付近で、電源系統の異常を確認した(機体側かエンジン側の要因かは調査中)。



7

2段エンジン着火シーケンスおよびこれまでに確認された事象

画像：3月8日 宇宙開発利用に係る調査・安全有識者会合

<https://sorae.info/ssn/20230314-cz4cy51-cz2cy64.html>

中国、地球観測衛星を相次いで打ち上げ成功 2023-03-14 [sorae 編集部 速報班](#)



【▲「長征4号C」と「長征2号C」ロケット (Credit: CASC, Weibo)】

中国は日本時間2023年3月10日と13日に、中国国営企業が開発した「長征4号C」ロケットと「長征2号C」ロケットの打ち上げを実施しました。2つのロケットに搭載されていた人工衛星は無事に軌道へ投入されたことが、複数の中国メディアにて報じられています。打ち上げに関する情報は以下の通りです。

■打ち上げ情報：長征4号C (CZ4C Y51)

ロケット：長征4号C

打ち上げ日時：日本時間2023年3月10日7時41分【成功】

発射場：太原衛星発射センター (中国)

ペイロード：天絵6号A,B (Tianhui-6 A/B)

天絵6号は2つの衛星(AとB)で構成される地球観測衛星です。中国航天科技集団(CASC)によると、天絵6号は主に、地理情報測量・国土資源調査・科学実験・研究などに用いられるとのこと。

■打ち上げ情報：長征2号C (CZ2C Y64)

ロケット：長征2号C

打ち上げ日時：日本時間 2023 年 3 月 13 日 13 時 2 分【成功】

発射場：酒泉衛星発射センター（中国）

ペイロード：ホルス 2（Horus 2）

ホルス 2 は、中国空間技術研究院（CAST）の傘下の航天東方紅衛星（Aerospace Dongfanghong Satellite）が開発した 2 つめの地球観測衛星です。エジプトの有力紙アルアハラムによると、ホルス衛星シリーズには高解像度のマルチスペクトルカメラが搭載されており、今回打ち上げられたホルス 2 による観測は農地や天然資源の利用改善による食料自給率の向上や輸出の促進につながることを期待されています。

なお、長征ロケットシリーズは今回で 466 回目の打ち上げとなりました。

■打ち上げ関連リンク [直近のロケット打ち上げ情報](#)

[中国、通信衛星と地球観測衛星を相次いで打ち上げ成功（2023.2.27）](#)

[中国、ロケット打ち上げを相次いで実施。1 週間に計 5 回（2023.1.17）](#)

Source Image Credit: CASC 中国航天科技集団 ([Weibo](#)) 我們的太空 ([Weibo](#))

[Ahram Online](#) - Egypt launches remote-sensing Horus 2 satellite from China 文/sorae 編集部 速報班

https://scienceportal.jst.go.jp/newsflash/20230313_n01/

「友と挑んだ 宇宙の日々」ベテラン若田さん ISS から帰還 2023.03.13

国際宇宙ステーション（ISS）で 5 カ月間の滞在を終えた若田光一さん（59）ら 4 人の飛行士を乗せた米スペース X 社の宇宙船「クルードラゴン」が日本時間 12 日午前、米フロリダ州タンパ沖に着水し、地上に無事帰還した。若田さんは滞在中に自身初となる船外活動を 2 回こなしたほか、各種の実験を行うなど精力的に活動。5 回目の飛行を完遂した。



無事に帰還しクルードラゴンから運び出された若田さん＝中央（NASA、キーガン・バーバー氏提供）

和の心 友と挑んだ 宇宙（そら）の日々 故郷の草の 香り懐かし

若田さんは ISS 離脱を控えた 10 日午後、ツイッターに投句し、宇宙滞在の充実した日々と地上への帰還を待ち望む気持ちを表現。東日本大震災から 12 年を迎えた 11 日未明には「被災された地域は ISS からでも明るく輝いて見え、皆さんが頑張っている姿が思い浮かびました」と思いを寄せた。

若田さんは ISS に滞在を続ける米露とアラブ首長国連邦（UAE）の 7 人と別れ、米露の 3 人とクルードラゴンに搭乗。11 日午後 4 時 20 分、高度約 400 キロにある ISS から離脱した。機体は徐々に降下して大気圏に突入し、パラシュートを開いて 12 日午前 11 時 2 分に着水した。



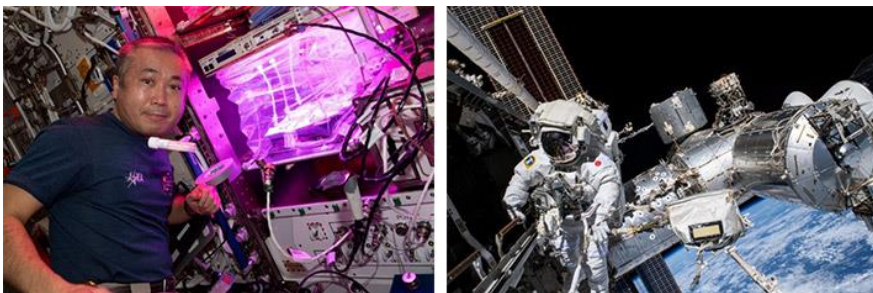
（左）ISS に残る飛行士と別れを惜しむ若田さん

ら、(右) 着水するクルードラゴン (いずれも NASA テレビから)

若田さんらは ISS 到着時と同じクルードラゴンの本格運用 5 号機に搭乗した。飛行士が乗ったカプセル部分は「エンデュランス (耐久、忍耐)」の名称で、昨年 5 月にも 3 号機として地球に帰還しており、2 往復を果たしたことになる。

若田さんは昨年 10 月 7 日から ISS に滞在した。1 月 20~21 日、2 月 2~3 日の 2 回にわたり、米国人とペアで船外活動を実施し、新型太陽電池パネルの取り付け準備作業などを進めた。活動は計 14 時間に及んだ。

また日本実験棟「きぼう」を活用した実験やイベント、関連作業に従事した。(1) 将来の探査に役立てるべく、月や火星の重力を装置で再現して液体の性質を調べる、(2) 宇宙飛行の加齢への影響を知るため、実験動物の線虫の微小重力での運動を観察する、(3) 宇宙船や基地での火災対策に役立てるため、さまざまな材料の微小重力での燃え方を調べる、(4) 融点の高い試料を帯電させて浮かせ、加熱して物性を調べる——など。飲料水を再生する実験、宇宙空間に装置や材料を晒す実験、国内外の若者による遠隔のロボット競技会や公募実験、超小型衛星の放出なども精力的に担当した。



(左) 欧州実験棟で作業する若田さん=昨年 12 月 30 日、(右) 船外活動をする若田さん=2 月 3 日 (いずれも JAXA、NASA 提供)

年 12 月 30 日、(右) 船外活動をする若田さん=2 月 3 日 (いずれも JAXA、NASA 提供)

2 月には、科学技術振興機構 (JST) の科学技術ニュースサイト「サイエンスポータル」の読者にメッセージを寄稿。ISS や「きぼう」の印象をつづり、「ISS で獲得した新たな技術や知見が、人類の活動圏を広げることに繋がると期待しています」とアピールした。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) によると、今回の若田さんの飛行は 157 日。宇宙滞在は 5 回累計 504 日で日本人最長となっている。日本人では来年度、古川聡さん (58) の ISS 長期滞在が予定されている。先月末には JAXA が月面活動も視野に、新たな飛行士候補に国際機関職員の諏訪理 (まこと) さん (46) と、外科医の米田 (よねだ) あゆさん (28) の 2 人を選出している。



<https://resemom.jp/article/2023/03/10/71346.html>

国際宇宙ステーション、人工衛星と衝突回避...約 376 秒間のスラスタ噴射

2023.3.10 Fri 14:1

国際宇宙ステーション (ISS) は 3 月 6 日、ドッキングしているプログレス MS-22 宇宙船のスラスタを 375.8 秒間噴射して軌道を押上げる操作を実施しました。 2023.3.10 Fri 14:15



国際宇宙ステーション(ISS)は3月6日、ドッキングしているプログレス 83 補給船のスラスタを 375.8 秒間噴射して軌道を押上げる操作を**実施しました**。

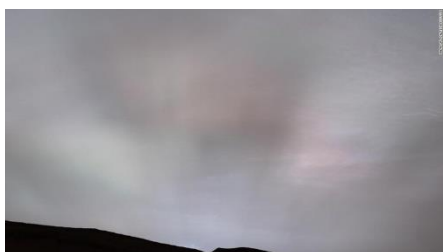
これは 2020 年に打ち上げられたアルゼンチンの商用観測衛星が、ISS と交差する軌道上にあり、接近していたため、もし回避を行わなかった場合は、衛星は ISS から約 2.7km 以内にまで接近していただろうと、NASA は述べています。NASA は「2020 年に打ち上げられたアルゼンチンの地球観測衛星」としかこの衛星に関する情報を共有していませんが、SpaceNews は、この衛星はブエノスアイレスに本社がある Satellogic が 2020 年 11 月に打ち上げた 10 個の衛星のうちのひとつだと**伝えています**。

ISS がこのような、接近するオブジェクトを回避する操作を行うことは、それほど珍しいことではありません。2022 年 12 月の NASA による報告書では、1990 年以来、ISS は人工衛星や観測可能なスペースデブリが接近するたび、32 回にわたって回避のための軌道修正を実施してきました。最近の例では、2021 年にロシアが対衛星兵器の試験で破壊した Cosmos 1408 衛星の破片を避けるため、2 度にわたって軌道修正を実施しています。今回実施された軌道修正には十分な時間的余裕があり、NASA は予想される最接近時刻の約 30 分前にアメリカ宇宙軍の第 18 宇宙防衛飛行隊から通知を受け取っていたとのこと。そして NASA とロスコスモスの地上チームは回避に必要な諸計算を実施し、ISS のクルーは与えられた手順どおりにスラスタ実行しました。実際のところ、回避行動を取らずとも衝突は避けられていたことが後に判明していますが、NASA の管制官はその情報を受け取る前にプログレスのスラスタ噴射を指示していたため、操作を続行し完了したとのことです。なお、今回の操作で高度が変わった ISS ですが、もうすぐ ISS を離れる予定の Crew-5 メンバーの帰還には影響はないとのこと。日本の若田光一飛行士も含まれる Crew-5 メンバーが帰還に使う Crew Dragon 宇宙船は、米国時間 3 月 9 日に ISS とのドッキングを解除し、翌 3 月 10 日に帰還する予定です。

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35201132.html>

火星の「日没」、NASA の探査車キュリオシティが撮影

2023.03.10 Fri posted at 12:40 JST



2月2日にキュリオシティが撮影した輝く雲/NASA/JPL-Caltech/MSSS/SSI

1月27日の日没直後に撮影された虹色の雲/NASA/JPL-Caltech/MSSS

(CNN) 米航空宇宙局(NASA)の探査車「キュリオシティ」から、火星の日没を捉えた画像が送られてきた。

キュリオシティは火星が温暖湿潤な惑星から冷たい砂漠に変化した理由を求め、10年以上にわたって火星表面を探索している。これまでに興味深い岩石地形を発見したほか、生命の兆候の探索や、ゲール・クレーター中央部にある「シャープ山」の登頂も行った。だが、最近のキュリオシティは、車輪の下にほぼ果てしなく広がる岩

や土の観測に専念するのではなく、空を見上げているようだ。

キュリオシティは先月2日の日没時、太陽光線が水平線から伸び、雲を明るく照らす様子を撮影。これは「薄明光線」と呼ばれる現象で、火星でここまではっきり確認されたのは初めてだった。

キュリオシティは以前、火星の夜空に輝く雲を観測していたことがあり、現在は追加調査として、薄明時の雲を調べる活動を行っている。雲は火星の気象パターンや気象条件に関するより深い知見を与えてくれる。研究者は雲ができる時間や場所の情報を活用して、火星の大気組成や温度、風についてさらなる知見を得たい考えだ。

<https://sorae.info/space/20230312-liquid-nitrogen.html>

月面で宇宙服を洗濯するなら液体窒素が最適？ レゴリス除去の有効性が判明

2023-03-12 彩恵りり

「月面花粉症 (Lunar hay fever)」という言葉があります。もちろん月面に花粉は存在しません。原因となる物質は、月の表面にあるレゴリスです。月面を覆う砂であるレゴリスは、地球の砂とは異なり極めて細かく鋭い形状をしています。宇宙飛行士が月面で活動すると、身に着けていた宇宙服の表面にはレゴリスが付着し、船内に持ち込まれてしまいます。目に見えないほど小さな粒子であるレゴリスが、目、鼻、口、肺などの粘膜を刺激することで、まるで花粉症のようなくしゃみやかゆみをもたらします。これが、月面花粉症の正体です。

ところで、月の花粉症という言葉がアポロ 17 号の乗組員であるハリソン・シュミットによって造語されたように、この問題は半世紀前のアポロ計画の頃から指摘されていました。細かな粉塵による害は、塵肺をはじめとした健康リスクとしてよく知られています。レゴリスの害はその場限りの症状に留まらず、長期的に呼吸器を侵し、発がんリスクをもたらす可能性もあります。また、宇宙船の本体やエンジン、宇宙服といった精密機器の隙間に粉塵が入り込めば、故障や損傷の原因ともなります。

実際、アポロ計画では宇宙服が使用不能になる損傷を受けた事例があり、月面活動後にブラッシングによるレゴリスの除去が試みられましたが、静電気で付着したレゴリスの除去にはあまり効果を発揮しませんでした。それに、ブラッシングでは宇宙服の生地を傷つけてしまう恐れもあります。アルテミス計画など将来の有人月面探査では、アポロ計画よりも長期間の月面滞在が計画されているため、「宇宙服の洗濯」は現実的な課題となります。



【▲ 図 1: 月のレゴリスの模倣物質に液体窒素を注いだ様子 (Credit: Wells, et.al. / Washington State University)】

【▲ 図 2: 実験に使用した 6 分の 1 サイズのミニチュア宇宙服。左から：模擬レゴリスを付着させた状態、固定ノズルでの液体窒素噴霧後、固定ノズルおよび手持ち型の噴霧器による液体窒素噴霧後の画像。液体窒素の噴霧によって白っぽい疑似レゴリスが除去され、黒い生地の色が現れていることがわかる (Credit: Wells, et.al. / Washington State University)】

ワシントン州立大学などの I. Wells 氏などの研究チームは、宇宙服の清掃に最も優れているのは液体窒素の噴霧であるという結果を報告しました。低温の液体窒素を宇宙服に吹きかけると、液体窒素はレゴリスを巻き込みながら、より温かい宇宙服に加熱されて蒸発します。この時、噴霧された液体窒素の滴と宇宙服の生地との間には蒸発した気体の窒素によってわずかな隙間が生じ、熱の伝達が一時的に遮断されるため、滴はすぐには消滅しません。この現象は「ライデンフロスト現象」と呼ばれています。この状態になると、液体窒素の滴は生地の上を自然に移動し、お互いが合体することでレゴリスを除去しやすくなるのです。

液体窒素は、取り扱いのしやすさ、安全性、資源量など、コストの面で優れているため、宇宙服の洗浄に向いているように思えます。しかし、真空下で液体窒素を噴霧する場合の効果や、噴霧を繰り返すことで生じる生地へのダメージはこれまで未知数でした。そこで、Wells 氏らは実物のほぼ6分の1サイズの黒いミニチュア宇宙服に、地球の火山灰や砂、人工の月面土壌など、月のレゴリスの代替として利用される物質を付着させた後、液体窒素を噴霧する実験を行いました。

すると、液体窒素は空気がある状態よりも、真空の方で優れたレゴリスの除去性能を発揮することがわかりました。ミニチュア宇宙服に異なる角度から液体窒素を噴霧する実験では、平均して98.4%の質量除去率が達成されました。これは、直径10 μ m (0.01mm)未満のレゴリスを95.9%除去できることに相当します。

さらに、2回の洗浄を実施した後、再び塵を付着させてから液体窒素を噴霧する再除去試験では、2.66%の除去率向上が確認されました。これはおそらく、前回の洗浄で除去できずに生地の繊維にはまり込んで取れなくなった塵が原因だと考えられます。生地が目詰まりによって他の塵が繊維に入り込まなくなったことで、結果的に塵が除去しやすくなったためと推定されています。また、合計で233回の除去を行った結果、平均して75回目で生地の損傷が発生することもわかりました。アポロ計画で行われたブラッシング除去では、たった1回で生地が傷んだことを考えれば、これは極めて優れた結果です。NASAからの助成金を受けて行われた今回の研究は、NASAによる学生向けのコンテスト「BIG アイデアチャレンジ (Breakthrough, Innovative and Game-changing Idea Challenge)」で2021年に最優秀賞を受賞しました。ただし、この実験は今のところ普通の実験室で行われているため、重力の小さい月で同じような効果が得られるかまでは判明しておりません。Wells 氏らは、微小重力における効果を調べる追加の実験のため、別の助成金を申請しています。今後実験が行われれば、液体窒素が宇宙服の洗濯に適するかどうかはよりはっきりするでしょう。

Source

[I. Wells, J. Bussey, N. Swets, J. Leachman.](#) “Lunar dust removal and material degradation from liquid nitrogen sprays”. (Acta Astronautica)

[Tina Hilding.](#) “Liquid nitrogen spray could clean up stubborn moon dust” (Washington State University)

文／彩恵りり

<https://sorae.info/space/20230313-bootes.html>

世界初！五大陸にまたがるロボット望遠鏡網「BOOTES」が25年の歳月を経てよ

うやく完成

2023-03-13

[KadonoMisato](#)



【▲ ニュージーランドにある「BOOTES-3」 (Credit: IAA-CSIC/NIWA)】

【▲2022年7月に南アフリカで設置された「BOOTES-6」 (Credit: bootesnetwork.com)】

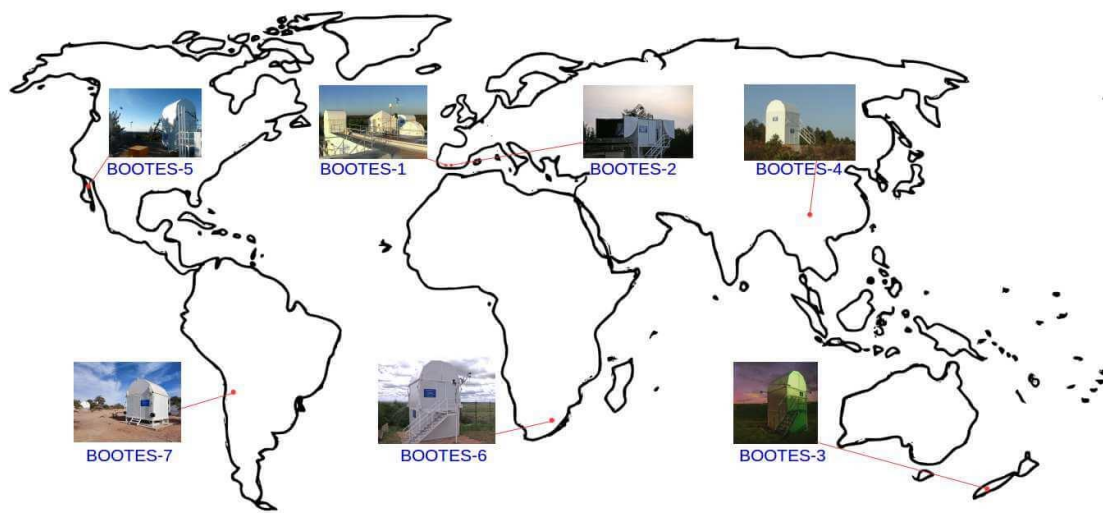
スペイン科学技術最高評議会 (The State Agency Spanish Research Council、スペイン語の略記でCSICと称する)の研究機関であるアンダルシア天体物理学研究所 (The Institute of Astrophysics of Andalucía、英語の略記でIAAと称する)は2月14日、ロボット望遠鏡のネットワーク「BOOTES (Burst Observer and Optical Transient Exploring System)」の配備が完了したと発表しました。BOOTESは世界で初めて五大陸すべてに観測ステー

オンが設置されたロボット望遠鏡ネットワークで、7基の観測ステーションがスペイン（2か所）、ニュージーランド、中国、メキシコ、南アフリカ、チリに配備された模様です。

7基の観測ステーションで天球上のイベントをカバー

うしかい座のラテン語表記と同じ名前をもつ「BOOTES」は、最初の観測ステーション（BOOTES-1）がスペインのウエルバで1998年に設置されて以来、BOOTES-7がチリのアタカマで2022年末に設置されるまで、25年の年月が経過しました。各観測ステーションに搭載されている装置は同じというわけではなく、たとえばBOOTES-1にある観測装置の1つ「BOOTES-1A」は50mmの広視野レンズや2つのCCDカメラを搭載しています。これら全ての観測装置はIAAが管理します。

BOOTESのような観測ステーションのネットワークを構築するメリットは、全天で起こる天体現象をカバーできる点にあるといいます。とくに、いつどこで発生するのか予測できない「ガンマ線バースト」の追観測に非常に効果的であるようです。



【▲BOOTESを構成する7基の観測ステーションと配置場所を示す図（Credit: IAA-CSIC/UMA/INTA）】

観測の自動化で素早い追観測が可能に

国際宇宙ステーション（ISS）に設置されたロボットアームのように、天体観測の分野でも人間に代わってある程度自律的に行動できる機械に作業を任せる「自動化」の波が押し寄せているといい、20世紀半ば以降は命令の伝達やリモートコントロール、自家発電による電源供給などの作業を自動化することが検討されました。とくに、BOOTESの観測対象はガンマ線バーストの検出後に観測されるわずかな光（残光）であるため、素早い追観測が求められるといいます。BOOTESは世界各地に配置された観測装置からのデータ集約を自動化することで、21等級ほどの暗い天体や現象であっても3秒もあれば追観測が始められるようです。

BOOTESの目的であるガンマ線バーストの追観測

BOOTESの主目的は、宇宙で最もエネルギーの高い爆発現象であるガンマ線バーストの解明です。ガンマ線バーストでは数秒から数千秒という短い時間で高エネルギーの爆発現象が起こったのちに、X線から電波に渡る幅広い波長の電磁波が長時間放射され、次第に減衰します。比較的長時間継続するロングガンマ線バーストは大質量星の超新星爆発と結びついていると考えられているものの、短時間しか続かないショートガンマ線バーストについては未だに謎が残されているようです。

関連: [発生源の予想をくつがえしたガンマ線バースト「GRB 211211A」の研究成果](#)

BOOTESはこうしたガンマ線バーストの謎を解明するために、爆発後に発生する電磁波の追観測を行なう模様です。ガンマ線バーストの原因となっている天体が放つ光の観測と同時に、幅広い波長の電磁波でも検出を行なうといいます。またBOOTESは、ニュートリノの発生源や重力波の発生源、彗星や小惑星、変光星や超新星といった天体の追跡・監視はもとより、スペースデブリ（宇宙ゴミ）など人工衛星と衝突する可能性のある物体の追跡も行なう模様です。BOOTESは、テストフェイズでコンプトンガンマ線観測衛星（CGRO）が検出した5個

のガンマ線バーストの追観測を実施して以来、これまでもさまざまな天体現象の観測に成功しています。2017年には観測史上初となった重力波「GW170817」に伴うキロノバを、2020年には天の川銀河で発生した高速電波バースト「FRB 200428」を、2021年には中性子星が放つ巨大フレアに由来するとみられる「GRB 200415A」の追観測に成功しました。五大陸すべてに観測ステーションが配置されたことで、今後も BOOTES によるさらなる成果が期待されます。

関連: [【宇宙クイズ】謎の現象「ガンマ線バースト」観測史上一番近いものは何光年先だった？](#)

Source Image Credit: IAA-CSIC/NIWA

[INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA, IAA-CSIC](#) - The IAA-CSIC completes the first network of robotic telescopes present on the five continents

[BOOTES](#) - Science & Tech

[doi:10.1051/aas:1999362](#) - The Burst Observer and Optical Transient Exploring System (BOOTES)

[doi:10.48550/arXiv.2302.06565](#) - The Burst Observer and Optical Transient Exploring System in the multi-messenger astronomy era

[doi:10.48550/arXiv.2005.11479](#) - No pulsed radio emission during a bursting phase of a Galactic magnetar

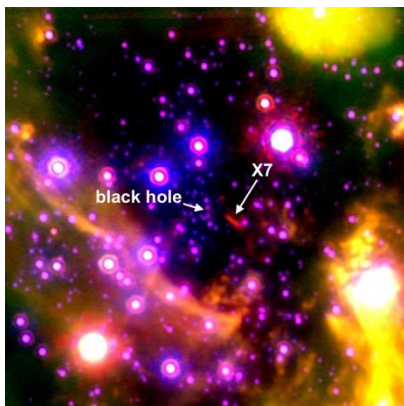
文/Misato Kadono

<https://sorae.info/astrometry/20230309-milky-way-center-x7.html>

天の川銀河中心部にある謎の天体「X7」の正体に迫る 2023-03-09 [彩恵りり](#)

天の川銀河の中心部は、極めて物質密度の高い領域です。そこには「いて座 A* (エースター)」と呼ばれる超大質量ブラックホールがあり、その周辺を多数の天体が高速で公転しています。

いて座 A* を公転する天体の大部分は恒星ですが、他にも惑星質量の数十倍程度という小さなガスや塵の塊もいくつか見つかっており、これらは「G 天体 (G object)」と称されています。G 天体の起源は調査が進められていますが、恒星同士の相互作用がその源ではないかと推定されています。天体同士の距離が短い銀河中心部では恒星同士が頻りに接近や衝突していると考えられており、G 天体は恒星同士の衝突過程で生じたガスの塊ではないかというわけです。ガスはその内側からの光を遮るため、仮に G 天体の内部に恒星があるとしても、見つけることはできないと考えられています。この他にも、G 天体の内部に恒星は存在せず、赤色巨星とコンパクト星の衝突で弾き出されたガスの塊だとする説もあります。

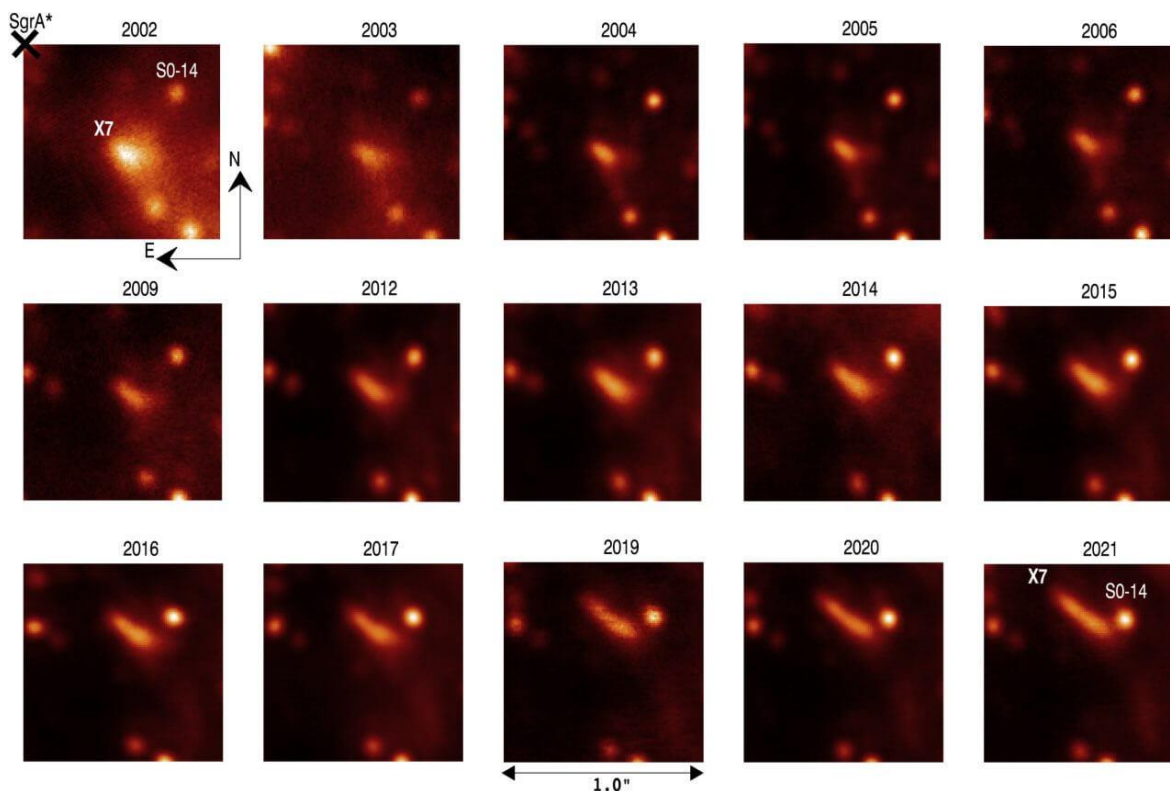


【▲ 図 1: 天の川銀河中心部の画像。超大質量ブラックホール「いて座 A*」のすぐ近くにある数多くの天体の中でも、X7 は特徴的な細長い形をしている (Credit: Anna Ciurlo/UCLA)】

しかしながら、天の川銀河の中心部では恒星でも G 天体でもない天体が見つかっています。「X7」と呼ばれているこの天体は、2002 年に初めて画像化されました。

X7 は一見すると G 天体に似ています。推定質量は地球の約 50 倍で、他の G 天体のように細長い軌道を持ち、

2036 年にいて座 A*から 4800 億 km まで最接近すると考えられています。この距離はいて座 A*からあまりにも近く、X7 は最終的にいて座 A*に吸い込まれてしまうと予想されていることから、ブラックホールに物質が吸い込まれる様子を“リアルタイム”で観測できる可能性があるとして注目されています。



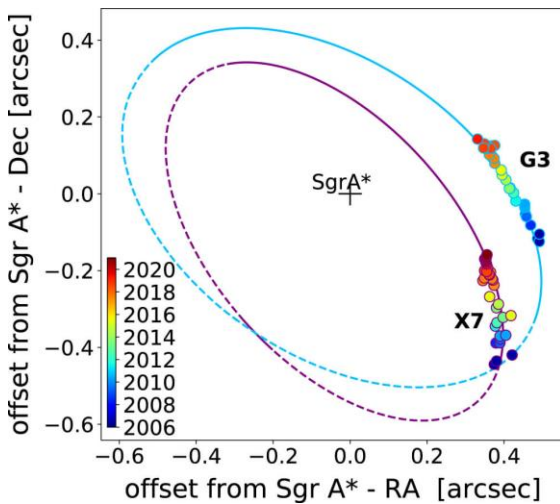
【▲ 図 2: X7 の形状変化。恒星である S0-14 と比較すればわかる通り、X7 は細長い形状をしており、時間が経つほどその形状が急激に変化していることが分かる (Credit: Anna Ciurlo/UCLA)】

ただ、発見から約 20 年が経って連続的な観測データが揃ってくると、X7 が G 天体とは異なる性質を持つことが判明しました。例えば、G 天体はいて座 A*への最接近時に形状が引き延ばされるものの、それでもほとんど点のような大きさをしています。一方、X7 は最接近のはるか前から引き延ばされていて全体がほぼ同じ明るさを示す線状の物体として識別されます。このため、X7 の正体はどのようなものであるのかが議論の対象になっていました。カリフォルニア大学ロサンゼルス校の Anna Ciurlo 氏らの研究チームは、謎の天体 X7 の正体を探りました。X7 の正体にはいくつかの手掛かりがあります。例えば、X7 の公転周期は約 165 年ですが、最接近時にいて座 A*に吸い込まれてしまうことから、形成された時期は 200 年前未満だと推測されます。また、2020 年に取得された画像からは、X7 が断片化している可能性が示されていました。今回の研究では、以下の可能性は低いと推定できました。まず、推定される X7 の軌道は、銀河中心部にある巨大なガスの塊や、いて座 A*を公転する恒星とは交差しないため、これらが起源の可能性を低くします。次に、恒星になる前のガスの塊である可能性は、X7 の観測値や物理モデルとは適合しません。また、X7 の独特の形状はいて座 A*の潮汐力だけで十分説明可能で、いて座 A*からの強力な放射や磁場の影響は低いとみられることから、電荷を持たない普通の粒子状物質……つまり G 天体で推定されているようなガスや塵の塊である可能性を強くします。

そして重大な手掛かりとして、X7 は「G3」と名付けられている G 天体のひとつと軌道が似ていることが明らかになりました。このことから、X7 と G3 は共通の起源を持つと推測されます。しかし、その一方で X7 と G3 は特徴が異なるため、細かな性質は異なると考えられます。

Ciurlo 氏は他の可能性を除外した上で、X7 と G3 の起源は恒星の衝突ではないかと推定しました。この場合、G3 にはガスに包まれて見えない恒星があると推定されます。一方、X7 は衝突時にはじき出されたガスの塊であり、その内部に天体は存在しないと推定されます。こうしたガスの塊の中身の違いが、他の G 天体とは異なる X7 の性質の源であると推定されます。今回の研究では、X7 の正体と起源をある程度まで推定できたものの、決定的

とは言えません。X7の正体を探るには、2036年の最接近時を含めた継続的な観測が必要となります。その時には、X7はいて座A*の潮汐力によって更に劇的な形状に変化することが予測されます。X7の正体は、今後のさらなる観測で判明するかもしれません。



【▲ 図 3: X7 と G3 の軌道。その軌道は非常に類似していることが明らかにされ、恐らくは共通の起源を持つことが今回の研究で推定されました (Credit: Anna Ciurlo/UCLA)】

Source

[Anna Ciurlo, et.al.](#) “The Swansong of the Galactic Center Source X7: An Extreme Example of Tidal Evolution near the Supermassive Black Hole”. (The Astrophysical Journal)

[Holly Ober.](#) “A mysterious object is being dragged into the supermassive black hole at the Milky Way’s center”. (University of California, Los Angeles) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astrometry/20230311-toi-5205b.html>

理論上存在しないはずの大きすぎる惑星「TOI-5205b」を発見 2023-03-11 [彩恵りり](#)

恒星は質量が小さいものほど、宇宙に多く存在します。軽い恒星は表面温度が低く、可視光線の赤色の光を多く出していることから「赤色矮星」と呼ばれています。赤色矮星は数そのものが多いので、赤色矮星を公転する太陽系外惑星も多く発見されています。しかし、赤色矮星を公転する太陽系外惑星は質量が小さい傾向にあり、特に木星に匹敵する「巨大ガス惑星」は発見されていませんでした。

赤色矮星で巨大ガス惑星が見つからないのは、恒星や惑星の形成過程と関連があるからだと考えられます。宇宙に存在する塵やガスは、重力によって互いに引き寄せられていき、高密度な部分に物質が集中していきます。最も物質が集中した場所では、やがて恒星が誕生します。そして、恒星が誕生する部分を中心として周囲の物質が集まり、回転する円盤を形成します。この円盤では局所的に物質が集中して、無数の微惑星が誕生します。微惑星同士は合体して惑星になると同時に、周囲のガスを集めて大気をまとおうようになります。

円盤の中心に恒星が誕生すると、恒星からの放射によって円盤を構成する塵やガスを外側へと押しやる力が生まれるため、惑星本体や大気が成長する時間には制限があります。また、円盤全体の質量が小さいほど、恒星や惑星の材料が少ないということになるため、誕生する恒星や惑星も小さくなる傾向にあります。現在の惑星形成に関する理論では、木星程度の巨大ガス惑星が誕生するには、地球の10倍程度の質量を持つ岩石惑星が誕生し、大気としてまとおうのに十分な質量のガスと時間が必要だと考えられています。赤色矮星の形成過程では、そのどちらも満たされないとこれまででは考えられていました。カーネギー研究所の Shubham Kanodia 氏らの研究チームは、「TOI-5205」という赤色矮星を調査し、新たに太陽系外惑星「TOI-5205b」を発見しました。TOI-5205はNASA(アメリカ航空宇宙局)の「トランジット系外惑星探索衛星(TESS)」によって惑星が存在する恒星の候補

として最初にリストアップされ、その後に行われた地上からの観測により存在が確実となりました。



【▲ 図 1: 恒星 TOI-5205 の手前を横切る惑星 TOI-5205b の想像図 (Credit: Katherine Cain, courtesy of the Carnegie Institution for Science)】

【▲ 図 2: TOI-5205 (左上) と TOI-5205b (左下) 、太陽 (右上) と木星 (右下) のそれぞれの大きさの比較。TOI-5205b と木星は大きさがほぼ同じであるため、太陽よりも小さな恒星である TOI-5205 に対する比率は相対的に大きくなる (Credit: Katherine Cain, courtesy of the Carnegie Institution for Science)】

驚くべきはそのサイズです。惑星である TOI-5205b の大きさは、直径も質量もほぼ木星と同じであると推定されています。一方で、TOI-5205b が公転する恒星の TOI-5205 は、直径も質量も太陽の約 40% という小さな星であり、TOI-5205 に対する TOI-5205b の直径は約 27% に達します。太陽に対する木星の直径が約 10% に過ぎないことを考えれば、その巨大さが分かるでしょう。このため、TOI-5205b が TOI-5205 の手前を横切ると、地球に届く TOI-5205 の光は約 7% が遮断されます。直径よりも問題なのは質量比です。TOI-5205 に対する TOI-5205b の質量比は約 0.3% であり、太陽に対する木星の質量比である約 0.1% よりもずっと大きな値です。実際、この値は赤色矮星で見つかった惑星としては最も大きな値です。このような惑星の存在は、従来の惑星形成論では予想されていません。TOI-5205 の金属量 (※) から、例外的に大きな惑星が形成される可能性は今のところありません。このため、TOI-5205b の存在は、現在の惑星形成に関する理解に疑問を投げかけることとなります。

※...惑星科学における「金属」とは、水素とヘリウム以外の全ての元素を指します。金属量の多い恒星であれば、それだけ惑星の材料となるケイ素や鉄などの重い元素が多く存在することを意味します。しかし、TOI-5205 の金属量は太陽とほぼ同様であるため、惑星が特別に形成されやすい条件を備えているわけではありません。

一方で、TOI-5205b は TOI-5205 を横切る際に大きな減光をもたらします。この時、恒星の光の一部が惑星の大気を通過するため、この光を分析すれば TOI-5205b の正確な大気組成が判明します。これは、惑星形成に関する大きな手掛かりとなるでしょう。地上と宇宙の両面で、TOI-5205b の追加観測が期待されます。

Source

[Shubham Kanodia, et.al.](#) “TOI-5205b: A Short-period Jovian Planet Transiting a Mid-M Dwarf”. (The Astronomical Journal)

[Washington, DC.](#) ““Forbidden” planet orbiting small star challenges gas giant formation theories”. (Carnegie Institution for Science)

文／彩恵りり

<https://sorae.info/astromy/20230313-ngc5486.html>

ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した“おおぐま座”の渦巻銀河「NGC 5486」

2023-03-13 [sorae 編集部](#)



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した渦巻銀河「NGC 5486」(Credit: ESA/Hubble & NASA, C. Kilpatrick)】

こちらは「おおぐま座」の方向約 1 億 1000 万光年先にある渦巻銀河「NGC 5486」です。バルジと呼ばれる明るい中心部分を、ふわふわとした雰囲気の不透明な渦巻腕（渦状腕）が取り巻いています。渦巻腕のあちこちに見えているピンク色の領域は、新たな星を生み出す星形成領域が存在することを示しています。

この画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡の「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ーの使用）をもとに作成されました。欧州宇宙機関（ESA）によると、ハッブル宇宙望遠鏡による NGC 5486 の観測は、「II 型超新星」を起こした恒星やその周辺の環境を理解する研究の一環として取得されたということです。II 型超新星は超新星爆発の一種で、太陽の 8 倍以上の質量を持つ大質量星が赤色超巨星に進化した後、恒星内部の核融合反応で生成された鉄のコア（核）が自重を支えきれなくなって崩壊し、その反動によって恒星の外層が吹き飛ぶことで爆発に至ると考えられています。NGC 5486 では 2004 年 3 月に II 型超新星「SN 2004cm」が発見されています。

冒頭の画像はハッブル宇宙望遠鏡の今週一枚として、ESA から 2023 年 3 月 6 日付で公開されています。

Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, C. Kilpatrick [ESA/Hubble](https://www.esa.int/ESA/News/ESA_Hubble_-_Hubble_spies_a_meandering_spiral_galaxy) - Hubble spies a meandering spiral
文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20230314-ugca307.html>

ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した“からす座”の矮小銀河「UGCA 307」

2023-03-14 [sorae 編集部](#)



【▲ 矮小銀河「UGCA 307」(Credit: ESA/Hubble & NASA, R. Tully)】

こちらの画像は、右側に写っているのは「からす座」の方向約 2600 万光年先にある矮小銀河「UGCA 307」の姿です。矮小銀河は天の川銀河と比べて規模が 100 分の 1 程度の小さな銀河で、数十億個ほどの恒星が集まってできています。渦巻銀河が持つ渦巻腕（渦状腕）のような目立った構造こそみられないものの、UGCA 307 の中央付近には最近の星形成活動を示す赤い斑点のような星形成領域が見えています。

この画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡の「掃天観測用高性能カメラ（ACS）」で取得されたデータ（可視光線と近赤外線フィルターの使用）をもとに作成されています。ハッブル宇宙望遠鏡による UGCA 307 の観測は、天の川銀河から 10 メガパーセク（約 3260 万光年）以内に存在する近傍のすべての銀河を正確に観測するためのキャ

ンペーン「Every Known Nearby Galaxy」の一環として実施されました。この観測キャンペーンでは 153 個の銀河を対象に、2019 年から 2021 年にかけてハッブル宇宙望遠鏡による観測が実施されています。ESA によると、天の川銀河の隣人とも言える近傍の銀河の観測は、天文学者が様々な銀河に存在する星の種類を断定し、宇宙の局所構造をマッピングする上で役立つということです。

冒頭の画像はハッブル宇宙望遠鏡の今週一枚として、ESA から 2023 年 3 月 13 日付で公開されています。

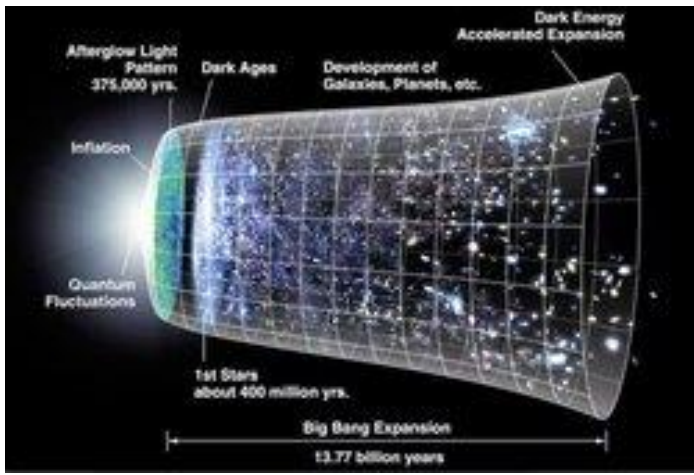
Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, R. Tully [ESA/Hubble](https://www.esa.int/ESA/missions/Hubble/Hubble's_neighbourhood_watch) - Hubble's neighbourhood watch

文/sorae 編集部

https://news.biglobe.ne.jp/it/0310/zks_230310_9360010281.html

宇宙は複数存在するのか？ 多元宇宙研究アプローチの現実 シドニー大教授の研究

2023 年 3 月 10 日（金）8 時 55 分 [財經新聞](#)



私たちの宇宙の歴史。物理法則がわずかに異なる他の宇宙も、インフレーションの初期から結晶化した可能性がある。 (c) NASA [写真を拡大](#)

多元宇宙論またはマルチバースは、私たちが存在する宇宙はたった 1 つではなく、観測できない別世界の宇宙が無数に存在しているという概念だ。これを完全否定できる科学的根拠はないが、それを肯定できる観測事実や証拠も存在しない。

【こちらも】[超大質量ブラックホール付近で発見された、人類の歴史よりも若い恒星 ケルン大の研究](#)

だがいつの日か観測が可能になり、別の宇宙にいるかもしれない知的生命体とのコンタクトも可能になる日が来るかもしれないと考えたほうが、知的好奇心が満たされて楽しいものだ。マルチバースがどんなものなのか考察している科学者が実際に世の中にいる。

シドニー大学の天体物理学教授ゲラント・ルイス氏は、オーストラリアの学術雑誌ザ・カンバーセッションで 3 月 5 日に公表した記事にて、多元宇宙研究アプローチについてわかりやすく解説している。それによれば、ビッグバンの最初に起きたインフレーションと呼ばれる非常に加速度的な宇宙空間膨張の際に、多元宇宙が誕生したのは不可避であったと多くの科学者が考えている。つまり、1 つの宇宙が膨張したのではなく、無数の泡粒のような宇宙が拡散して、それぞれが膨大な宇宙空間を形成していったと考えているのだ。

それぞれの泡粒として誕生した宇宙は、我々の宇宙とは異なる物理法則を持つ可能性がある。そしてそれぞれの宇宙を支配する物理法則について、人間は考察ができる。

例えば生命誕生のカギを握るそれぞれの宇宙における元素の存在比の違いについて考察すると、炭素と酸素の比率が特に重要だという。炭素と酸素の存在比率は大体同じくらいになっている宇宙が望ましく、このバランスが崩れた宇宙では生命の誕生は期待できない。反面それ以外の元素構成比の違いは、生命誕生にとっては大した影響はないらしい。

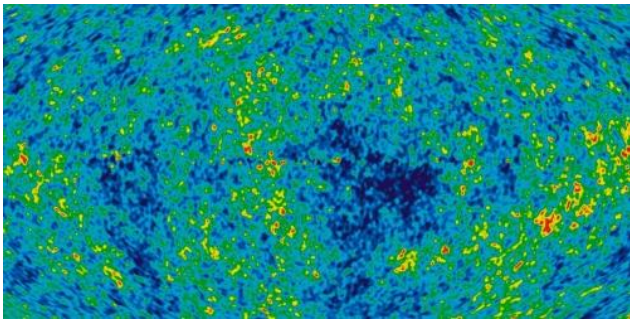
この記事ではこれ以上の詳細な記述はないが、例えば光の速度は別の宇宙でも不変なのか、あるいは”量子もつれ”は多元宇宙間をまたがっても作用するものなのかなど、多元宇宙に関する疑問は尽きない。

現時点で多元宇宙は我々にとって想像上の存在にすぎないが、いつかこのような疑問に答えを出してくれる科学者が出てくることを期待したいものだ。

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/22/050700206/>

マルチバース、パラレルワールド、異世界の科学的根拠

「泡宇宙」「多世界解釈」などフィクションの背景にある理論 2023.03.14



宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の画像。CMBは、ビッグバンの直後に放出された宇宙で最も古い光であり、観測可能な宇宙の果てになっている。科学者たちは、この壁の向こうにあるものについて、いくつかの仮説を立てている。（IMAGE COURTESY WMAP/NASA）[画像のクリックで拡大表示]

観測可能な宇宙の果ての、さらにその向こうには何があるのだろうか？ 私たちの宇宙は、もっと大きな「マルチバース（多元宇宙）」の1つにすぎないのだろうか？

こうした問いかけから生まれた映画は多い。第95回アカデミー賞で最多の7冠に輝いた“エブエブ”こと『エブリシング・エブリウェア・オール・アット・ワンス』からスーパーヒーローが活躍するマーベル映画の『ドクター・ストレンジ/マルチバース・オブ・マッドネス』まで、SF作品はマルチバースの間の刺激的な関わりに満ちている。しかし、一部の宇宙論研究者にとって、マルチバースはファンタジーやフィクションではなく、れっきとした科学だ。人類ははるかな昔から、この世界とは別の世界をさまざまに思い描いてきた。1848年には詩人で作家のエドガー・アラン・ポーが、「無限に続く宇宙」を想像する散文詩を書いている。とはいえ、マルチバースの概念が本格的に広まったのは、宇宙のなりたちを説明しようとする現代の科学により、私たちの現実とは違う別の現実が存在するという理論が導かれてからだ。

「現実に対する私たちの理解は、決して完全なものではありません。現実は、私たちからは独立して存在しているのです」と、米スタンフォード大学の物理学者アンドレイ・リンデ氏は言う。

もし現実がそういうものならば、私たちはその世界から隔絶されていていつまでも到達できず、どのような観測方法を試みたとしても、少なくとも今のところは検知できないことになる。そのため一部の専門家は、マルチバースの探究は本当に科学と言えるのだろうか？と疑問を投げかけている。

私たちの宇宙が唯一のものであるかどうかを、科学の力で知ることはできるのだろうか？ 基本的な物理すらまったく異なる世界の可能性も含めて、マルチバースに関するいくつかの理論を紹介し、それぞれの宇宙に別のバージョンのあなたが存在しうるかどうかについて考えてみよう。

マルチバースとは何か？

ユニ（1つ）バースに対し、マルチ（複数）バースとは、観測できない別の宇宙が存在するという概念を示す科学用語だ。マルチバースの存在を提唱する科学理論には、絶え間なく誕生する泡宇宙から、私たちの宇宙とは異なる世界線にある空間領域まで、そのシナリオは多岐にわたる。これらの理論に共通しているのは、私たちが観測できる空間と時間は唯一の現実ではない、と示唆している点だ。

[次ページ：宇宙は1つではない？ 科学者たちはなぜ、宇宙は1つではないと考えるのか？](#)

「宇宙が1つしかないとする、私たちの宇宙のすべての性質を説明することができないのです」と、科学ジャーナリストのトム・ジグフリード氏は言う。氏はその著書『The Number of the Heavens (天の数)』の中で、人類の歴史の中でマルチバースの概念がどのように発展してきたかを解説している。

「各種の物理定数は、なぜこのような値なのでしょう？」とジグフリード氏は問いかける。「この宇宙にはなぜ、恒星や惑星を作るのに十分な時間があるのでしょうか？ 恒星はなぜ、この方法で、この量のエネルギーで、輝いているのでしょうか？ 私たちの物理学理論では、こうした疑問には答えられません」

これらの謎を説明する方法は2つある。1つは、宇宙の特性を説明できる、より新しく、より優れた理論。もう1つは、「私たちは多くの異なる宇宙のうちの1つに、快適に暮らしている」と考えることだと、ジグフリード氏は言う。

マルチバース理論にはどんなものがある？

おそらく科学的に最もよく受け入れられている理論は、インフレーション宇宙論から派生した泡宇宙モデルだ。インフレーション宇宙論では、宇宙はビッグバンによって誕生した直後に、指数関数的に急激に膨張したと考えられている。宇宙の構造や銀河の分布など、観測されている宇宙の性質の多くは、宇宙のインフレーション的膨張によって説明できる。インフレーション宇宙論の立役者の1人であるリンデ氏は、「当初は、奇想天外なSF小説のように思われていました」と打ち明ける。「けれども、私たちの宇宙の興味深い性質の多くがこの理論で説明できることがわかると、真剣に受け止められるようになったのです」

インフレーション宇宙論の予測の1つに、インフレーションはずっと続いており、無数の宇宙を泡のように無限に作り出すというものがある。泡宇宙の性質はどれも同じであるとは限らない。私たちの宇宙とは物理定数が異なる宇宙もあれば、私たちの宇宙にそっくりな宇宙もあるかもしれない。いずれにせよ、これらは私たちが直接観測できる領域を超えたところにある。

ほかにはどんな理論がある？

もう1つの有力なマルチバース理論は、ミクロな物質のとらえどころのないふるまいを数学的に記述する量子力学から生まれた「多世界解釈 (エベレット解釈)」だ。量子力学をマクロな世界にも当てはめるべく、観測物理学者のヒュー・エベレット氏は1957年、マクロな私たちの現実とは異なる宇宙の重ね合わせである、という解釈を提唱した。私たちが何かを決定するたびに宇宙は分岐して異なる現実が生まれ、ときにまったく違った結果が生じることもあるという。「多世界解釈では、無限の数の地球がパラレルに存在しています。あなたが実験をして何かの確率を決定しても、そのようになる地球に自分が住んでいると証明しただけです。ほかの世界の地球では違った確率が出ていることになります」と、『スーパーヒーローの物理学』などの著書がある米ミネソタ大学の物理学者ジェームズ・カカリオス氏は言う。「エベレットが言っているのは、そういうことです」

多世界解釈によると、あなたが複数の選択肢の中からどれかを選ぶたびに、別の選択をしたあなたが生きる宇宙が分岐していく。しかし、あなたが知覚できる現実、あなたが生きている現実だけだ。

[次ページ：マルチバースが存在する証拠は？ 分岐した宇宙はどこにある？](#)

分岐した宇宙は、私たちがアクセスできない次元で重なり合っている。米マサチューセッツ工科大学のマックス・テグマーク氏は、分岐した宇宙の中で複数のシナリオがパラレルに展開されるこのような考えを「レベル3のマルチバース」と呼んでいる。「多世界解釈では、原子爆弾が存在していても、いつ爆発するかはわかりません」とリンデ氏は言う。そうした現実の中には、原爆が爆発しない世界もあるかもしれない。

これに対して、一部のインフレーション宇宙論が予言するマルチバースでは、宇宙ごとに基本的な物理学が異なっている可能性がある。テグマーク氏は、こうした考えを「レベル2のマルチバース」と呼んでいる。リンデ氏は、インフレーション・マルチバースでは、「宇宙の場所によっては、原子爆弾が原理的に可能であるかどうかともわかりません」と言う。

マルチバースの間を移動することはできる？

残念ながら、それはできない。科学者たちは、少なくとも今のところはマルチバースの間を移動することは不可能だと考えている。「私たちの物理学はかなり堅固に確立されていますが、これらが完全に間違っていないかぎり、マルチバースの間を旅することはできません」とジークフリード氏は言う。「でも、誰にもわかりませんよ。今から 1000 年後には、私たちが想像もしなかったようなことが明らかになるかもしれません」

マルチバースの存在を示唆する直接的な証拠はある？

マルチバースが宇宙のある種の性質をうまく説明できるように見えても、マルチバースの存在を示唆する直接的な観測は行われていない。今のところ、マルチバースの概念を裏付ける証拠は、純粋に理論的・哲学的なものしかない。ある専門家は、ビッグバンによって、私たちが存在するのにちょうど良い完璧なバランスの宇宙が作られたのは、壮大な偶然にすぎないのかもしれないと主張する。またある科学者は、物理的な宇宙はいくつも存在していて、私たちは生存に適した性質の宇宙に住んでいるにすぎないと考えている。

カカリオス氏は、小さなポケット宇宙（泡宇宙）が無限に存在していて、なかには私たちの宇宙とは異なる物理学や、異なる物理定数をもつ宇宙もあるという考え方は魅力的なのだという。「こういう概念を真剣に考える人がいるのは、ある種の哲学的な問題を解決するのに都合がいいからです」

科学者たちは、マルチバース理論が経験的に検証可能かどうかを議論している。マルチバースのほかの宇宙は、定義上、私たちの宇宙とは独立した存在であり、アクセスできないのだから、検証は不可能だとする意見もある。けれどももしかすると、私たちは正しい検証法を見いだしていないだけなのかもしれない。

マルチバースの存在が明らかになる日はくるの？

その日はこないかもしれない。しかし、マルチバースはさまざまな理論にもとづく予想の 1 つであり、これらの理論はほかの方法で検証することができる。こうした理論がすべての検証に耐えたら、マルチバースの存在も確定するかもしれない。あるいは、新しい発見によって、観測可能な宇宙の向こうに何かが存在するのかが明らかになるかもしれない。「宇宙は、ちっぽけな惑星に住む原始的な生物の想像や検証に束縛されるものではありません」とジークフリード氏は言う。「私たちは、『これは検証できないから現実ではない』と言いますが、それは自分たちが検証法を知らないということにすぎません。私たちはいつの日か検証法を思いつくかもしれませんが、思いつかないかもしれません。でも、宇宙は私たちのことはお構いなしに、好きなようにやっているのです」

2022 年 5 月 10 日に公開した記事に情報を追加し、更新しました。 文=Nadia Drake／訳=三枝小夜子

<https://sorae.info/astromy/20230316-venus.html>

金星の海はあったとしても 30 億年前には乾いていた？ 水の量がかなり少なかった

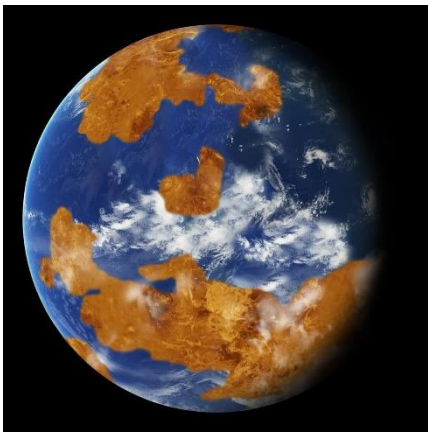
たと推定

2023-03-16 [彩恵りり](#)

「金星」は地球の双子や兄弟星と呼ばれるほどに、直径や質量といった基本的な性質が似ています。しかし、その表面の様子はとても似ているとは言えません。97%が二酸化炭素で構成された分厚い大気のもたらす猛烈な温室効果によって金星の表面温度は 460°C に達しており、そのうえ表面気圧は地球の 90 倍もあります。当然ながら水は液体の状態では存在できず、金星の表面は乾ききっており、金星表面の乾燥度は地球で最も乾燥しているアタカマ砂漠の更に 100 倍とも言われています。

しかし、金星の表面は昔からこのような環境ではなかったと推定されています。過去の金星の気候はもう少し穏やかであり、地球の海のように豊富な液体の水が存在したのではないかと推定されています。ただし、その水がいつまで存在したのかは長年の謎でした。金星は探査で得られた情報が限られていることや、似たような大気を持つ天体が太陽系には存在しないため、過去の気候を推定する材料に欠けているからです。しかし、多くの研究では液体の水はかなり長い期間存在しており、推定の中には今から 7 億 1500 万年前まで水が存在していた、

とするものまであります。これは、地球に多細胞生物が誕生した約6億年前とほぼ同じ時期となります。



【▲図: かつての金星は、地球と同じように水を湛えていたと推定されているが、その量や継続期間については大きな謎がある (Credit: NASA)】

ところで、過去の金星の水について推定する上では、金星の大気に含まれる酸素分子 (O_2) が手掛かりとなります。水が蒸発して大気の上層部に昇ると、太陽から届いた紫外線によって酸素分子と水素分子に分解されます。水素は非常に軽いのですぐに宇宙空間へと逃げ出しますが、酸素分子は金星の重力で引き留めることが可能であり、ほとんど逃げ出すことはありません。つまり、金星の大気に含まれる酸素分子は、過去の金星の水の量を推定する手掛かりとなり得るのです。しかし、金星の大気に含まれる酸素分子と水蒸気は極めてわずかなものです。金星の表面に存在していた水がかなり少なかったと仮定しても、従来のモデルでは現在の大気に含まれる水蒸気や酸素分子の量を説明することができないため、大きな謎となっていました。

シカゴ大学の Alexandra O. Warren 氏と Edwin S. Kite 氏の研究チームは、過去の金星の水の量に関して、異なるパラメータを持つモデルを構築して推定を行いました。特に重点を置いて設定されたパラメータは分解した水から生じた「酸素分子の運命」で、「火山から放出された炭素と結合して二酸化炭素になった」「宇宙空間に逃げ出した」「マグマと結合し、酸化物として地中に固定された」の3種類のルートが想定されています。それぞれの酸素分子の運命の寄与度と、最初に存在した水の量を変更しながら、研究チームは合計9万4080回もの計算を実行しました。その結果、現在の金星の大気中の酸素、水、一酸化炭素の各濃度と一致する計算結果は全体の0.4%未満しかなく、わずか数百回分であることがわかりました。特に、酸素分子が大気から失われた理由のほとんどは、宇宙空間に逃げ出した結果であることがわかりました。火山と関連する2つの運命のうち、火山から放出される炭素と結合して二酸化炭素となるというルートはほとんど無視できるほど小さいことがわかりました。また、もう1つのマグマと結合したルートも、酸素の量にはかなりの制限があることがわかりました。地下からマグマが噴出すると、カリウム40というカリウムの放射性同位体が金星の表面へと持ち上げられます。やがてカリウム40は崩壊して貴ガスのアルゴン40になり、金星の大気中に留まります。現在の金星の大気に含まれるアルゴン40の量は、過去の金星で起きた火山活動の活動度に上限を与え、極端すぎる噴火の可能性を低くします。これらの理由により、そもそも金星の大気から失われた酸素分子はそれほど量が多くなく、従ってその源である水もそれほど多くなかったことがわかります。今回の推定では、過去の金星に存在した海の平均水深は300mであり、地球の平均水深である3700mの10%未満であることや、今から約30億年前には全て蒸発したことが推定されました。これは、金星の誕生以来現在までの歴史の約70%が乾燥した状態であることを示しています。一方、ほとんどのモデルが計算に成功しなかったという今回の結果は、金星のデータが全体的に不足していることにより、きちんとしたモデルが組めていないことも示しています。アメリカ航空宇宙局 (NASA) や欧州宇宙機関 (ESA) など現在計画されている金星探査ミッションが実施されて観測データが増えれば、より良い過去の金星のモデルが構築される可能性があります。

Source

[Alexandra O. Warren & Edwin S. Kite.](#) "Narrow range of early habitable Venus scenarios permitted by modeling of

oxygen loss and radiogenic argon degassing”. (Proceedings of the National Academy of Sciences)

[M. J. Way, et.al.](#) “Was Venus the first habitable world of our solar system?”. (Geophysical Research Letters)

[Michelle Starr.](#) “Oceans May Have Once Graced Venus Before It Became a Hell Planet”. (Science Alert)

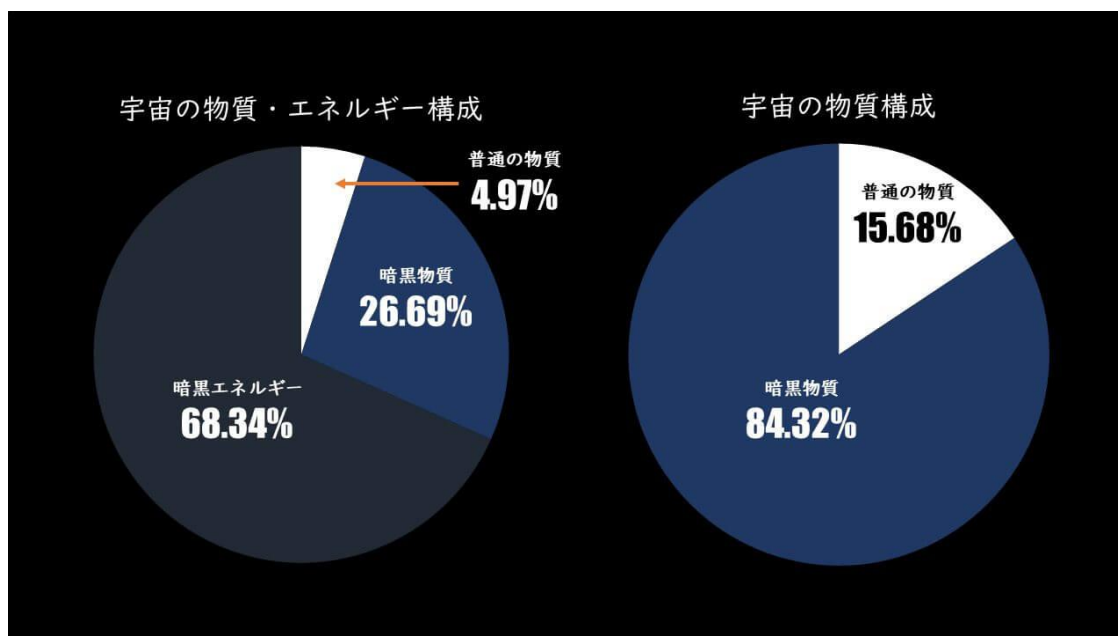
[Jeff Nagle.](#) “New Study Shows Venus Likely Didn't Have Ancient Oceans for Long”. (Inverse)

[Justin Jackson.](#) “Venus could have had oceans long after life started on Earth” (Phys.org) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astromy/20230317-dark-big-bang.html>

ビッグバンは「2回」あった？ 暗黒物質を生み出した「暗黒ビッグバン」が提唱される

2023-03-17 [彩恵りり](#)



【▲ 図 1: 宇宙における普通の物質、暗黒物質、暗黒エネルギーの割合。暗黒物質は普通の物質の 4 倍以上も存在する (Credit: 彩恵りり)】

この宇宙に銀河が存在している以上、その回転速度は重力で恒星を引き留められる限界の速度よりも低いはずで、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った銀河の質量から推定される重力では、恒星を引き留めるの不可能なほどの高速で回転していることがわかっています。この観測データは、光(可視光線)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、Dark matter)」の存在を示唆しています。暗黒物質は電磁波で観測できる普通の物質の 4 倍以上の量があると算出されているにもかかわらず、その正体は現在でも不明です。

暗黒物質という名前は、この物質が光では観測することができない、言ってみれば“暗い・暗黒の (dark)”存在であることに由来します。暗黒物質の正体を探るには様々な角度からのデータを分析する必要があります。その 1 つは、宇宙誕生後に暗黒物質が生じたタイミングです。暗黒物質誕生の経緯や条件を探ることで、その正体を絞り込むことができるでしょう。

しかしその前に、私たちが観測することのできる「普通の物質」がいつ誕生したのか、という話から説明しましょう。この宇宙では誕生直後、インフレーションと呼ばれる非常に急激な膨張の時代があったと推定されています。インフレーションも原動力の詳細はわかりませんが、インフレーションの力の源となる特殊な「場」(※1)が存在したと推定されています。この「場」はインフレーションの時代が終わると急激に崩壊し、大量のエネルギーを放出します。この現象は一般的に「ビッグバン」と呼ばれています。放出されたエネルギーの一部は素粒子の形となり、私たちが知る物質へ変化したと考えられています(※2)。その後、宇宙は膨張によって冷え続け、宇宙の誕生から約 20 分後には素粒子同士が結合して原子核の素となる陽子や中性子が生成され、

約 38 万年後には原子核と電子が結合して原子が生成されたと考えられています。

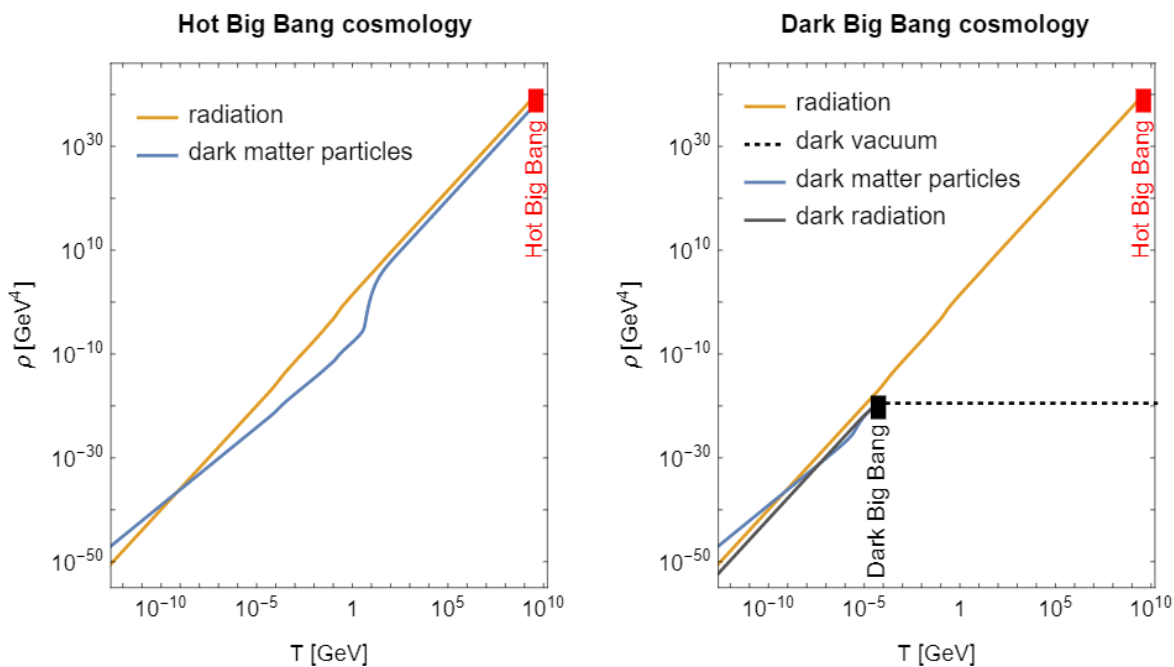
※1...「場」とは、簡単に言えば、重力が働く範囲は重力場、磁力が働く範囲は磁場というように、何らかの種類の力が働く範囲のことを指します。

※2...厳密には、物質同士の相互作用の源となる放射も同時に生成されています。

では、暗黒物質はいつ誕生したのでしょうか。従来は、暗黒物質も普通の物質とともにビッグバンの時に生成されたと考えられていました。これは、ビッグバンのタイミング以外に、場が崩壊して大量の物質が生成されるようなイベントが知られていないためです。しかしその場合、暗黒物質の性質とは矛盾する結果が出るという問題があります。それは、暗黒物質が普通の物質とは相互作用しないからです。

普通の物質を構成する原子同士は、電磁波による電磁相互作用を介してお互いに結びついています。その一方、暗黒物質が電磁波で観測できないのは、電磁相互作用を全く（あるいはほとんど）しないためであると考えられています。ところが、ビッグバンで暗黒物質が普通の物質と同時に生成されたのだとすれば、暗黒物質と普通の物質との間にもタイミングを合わせるための何らかの相互作用が働いたことが示唆されます(※3)。このような性質は、現在推定されている暗黒物質の性質とは矛盾しています。

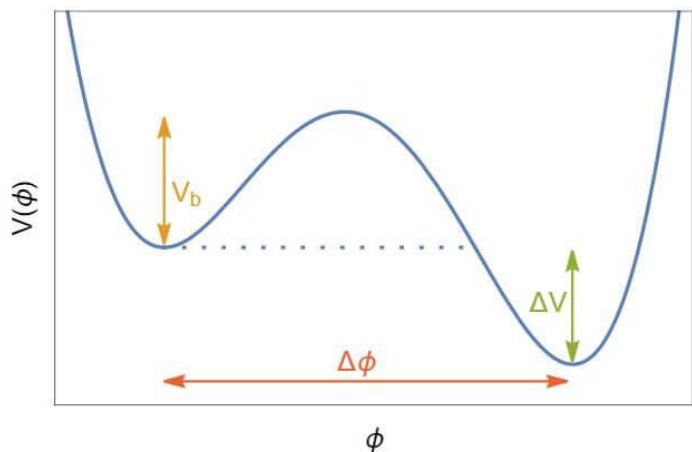
※3...暗黒物質の発見の経緯の通り、暗黒物質と普通の物質は重力で相互作用します。しかし、重力相互作用は同じ距離での電磁相互作用と比べて 40 桁も小さいとみられる極めて弱い力であり、これが何らかの役割を果たしたとは考えられていません。それに、普通の物質の何倍もある暗黒物質が生み出されるには、ビッグバンが起きた時にそれだけ大量の物質が生成される必要があります。これは、現在理論的に理解されているビッグバンとは大きく矛盾するプロセスです。この矛盾は、暗黒物質の生成や正体を探る上で大きな謎となっていました。



【▲ 図 2: 従来の熱いビッグバン宇宙論 (左) と、今回提唱された暗黒ビッグバン宇宙論 (右)。熱いビッグバン宇宙論では、ビッグバンは熱いビッグバン (Hot Big Bang) の 1 回しか起こらず、普通の物質と暗黒物質は同時に生成したと考えられる。これに対して暗黒ビッグバン宇宙論では、熱いビッグバンの後に暗黒ビッグバン (Dark Big Bang) が発生し、この時に暗黒物質が生成したと考えられる (Credit: Freese&Winkler)】

テキサス大学オースティン校の Katherine Freese 氏と Martin Wolfgang Winkler 氏は、暗黒物質は普通の物質と共に誕生したのではなく、普通の物質とは別の“ビッグバン”で生成されたという仮説を提唱しました。暗黒物質と普通の物質がそれぞれ別のビッグバンで生成されたとすれば、相互作用に関する矛盾は解決します。Freese 氏らは、この暗黒物質に関するビッグバンを「暗黒ビッグバン (Dark Big Bang)」と呼んでおり、区別するために従来のビッグバンを「熱いビッグバン (Hot Big Bang)」と呼んでいます(※4)。

※4...熱いビッグバンの時に物質と同時に放射が性質されたように、暗黒ビッグバンでは暗黒物質同士の相互作用の源となる暗黒放射が生成されたと考えられます。



【▲ 図 3: もしもインフレーション後に場の崩壊が全て起こった場合、場のエネルギーは真の最低状態に落ち込む (ΔV)。これに対し、局所的な最低状態 (V_b) に落ち込んだ場合には、1 回目のビッグバン (熱いビッグバン) で全ての場が崩壊しきらず、2 回目のビッグバンが起こる可能性が残る。この局所的な最低状態が暗黒ビッグバンの原動力になったと考えられている。2 つのビッグバンの期間の長さは、2 つの谷の間にまたがる山の大きさ ($\Delta\phi$) によって決まる (Credit: Freese&Winkler)】

では、暗黒ビッグバンはなぜ起こったのでしょうか？従来のビッグバン (熱いビッグバン) に対する考え方では、インフレーションの終了後に場が全て崩壊したと考えられていました。これに対して今回の仮説では、場の一部が熱いビッグバンの後も崩壊せずに残り、それが後の時代における暗黒ビッグバンの原動力になった、と考えています。しかし、暗黒ビッグバンに相当する現象は観測されていません。もしも暗黒ビッグバンが実際にあったとした場合、それは観測事実と矛盾しないタイミングだったはずで、Freese 氏らは、暗黒ビッグバンのタイミングは宇宙誕生から約 1 か月後だったと推定しています。これは、1 秒未満で様々なイベントが進行した熱いビッグバンと比較すれば、永遠と言えるほど長い期間の後に発生したことになります。

仮に暗黒ビッグバンが本当に起きていたとしても、それは電磁波で観測が不可能な、宇宙誕生から 38 万年後よりも前の時代の出来事です。それでは暗黒ビッグバンは観測不可能なのかというと、そうではありません。確かに、電磁波で観測する従来の望遠鏡では、暗黒ビッグバンを知ることは不可能です。しかし、暗黒ビッグバンでは大量の暗黒物質が生成されたことによる影響で、強い重力波が発生したと考えられます。もしもその重力波を直接観測することができれば、それは暗黒ビッグバンの観測的な証拠になるかもしれません。

ただし、そのような重力波があるとしても、その信号強度は非常に弱いため、実際に観測できるのはずっと先の話になると考えられます。そこで Freese 氏らは、代わりにパルサーの連星の観測を提案しています。パルサーは非常に正確な周期で信号を発していますが、重力波の影響によりパルサーが直接揺さぶられることで、この信号にズレが生じると考えられます。そのような現象の観測例が増えれば、暗黒ビッグバンの証拠が見つかるかもしれません。暗黒ビッグバンがあったのかどうか確定すれば、謎の多い暗黒物質の正体について様々な情報が得られるかもしれません。これからの観測が待たれます。

Source

[Katherine Freese & Martin Wolfgang Winkler](#). "Dark Matter and Gravity Waves from a Dark Big Bang". (arXiv)

[Joseph Howlett](#). "New Dark Matter Theory Says a 'Dark Big Bang' Created the Hidden Universe". (Gizmodo)

[Paul M. Sutter](#). "The Universe May Have Started with a Dark Big Bang". (Universe Today) 文／彩恵りり