

## 生命の痕跡入ってる？ NASA の火星探査車が地球へ送る火星の石の発送準備を完了

掲載日 2023/02/06 18:41 著者：鳥嶋真也

目次 [1「パーサヴィアランス」が臨んだ、地球で火星の石を分析するための準備](#)

[いつか地球で火星の石を分析するために 火星からのサンプル・リターンの準備](#)

[2 サンプル・リターン・ミッションの打ち上げは2027年にも](#)

[パーサヴィアランスは新たな科学ミッションへ](#)

先ごろ最接近を迎え、いまなお夜空に赤く輝く火星。その赤茶けて荒涼とした世界は、かつては水を蓄え、そして生命もいたかもしれないと考えられている。その痕跡を探す、史上初の試みの第一歩が刻まれた。

米国航空宇宙局(NASA)は2023年1月31日、火星探査車「パーサヴィアランス」が採取した火星の岩石の試料(サンプル)が入ったチューブを、火星の地表に設置することに成功したと発表した。

このチューブは、将来打ち上げ予定の「マーズ・サンプル・リターン」探査機によって回収され、早ければ2033年にも地球に持ち帰ることが計画されている。



パーサヴィアランスの自撮り。地面に設置したチューブも写っている。将来、このチューブを別の探査機で回収し、地球に持ち帰ることが計画されている (C) NASA/JPL-Caltech/MSSS

パーサヴィアランスの想像図 (C) NASA/JPL-Caltech

### いつか地球で火星の石を分析するために

「パーサヴィアランス(Perseverance)」はNASAが運用する火星探査車で、2020年7月に打ち上げられ、2021年2月に火星の「イエゼロ・クレーター」への着陸に成功。以来、探査活動が続けている。

パーサヴィアランスの目的は、過去の火星にいたかもしれない生命の痕跡や証拠を見つけ出すことにある。

現在の火星は生命にとって過酷な荒涼とした世界だが、いまからおよそ35億年前には温暖な気候で、海や湖、川もあり、生命の居住が可能な環境だったと考えられている。イエゼロ・クレーターも、35億年前には湖だったと考えられており、とくにパーサヴィアランスが着陸した場所の付近は、その湖に流れ込む川が作り出したデルタ地帯でもあったと考えられている。そのため、この場所を探査することで、生命の痕跡が見つかるのではと期待されているのである。そのために探査車には7つの科学機器と、史上最多となる19台のカメラが搭載されており、イエゼロ・クレーターを走り回り、手がかりの発見に勤しんでいる。しかし、いかにパーサヴィアランスが最新の探査車とはいえ、車体に搭載できる科学機器の大きさや性能には限りがある。その場ですぐに分析ができるという利点はあるものの、探査機に搭載できる大きさや性能の機器では、あまり多くのことはわからない。そこでNASAは、火星で岩石やレゴリス(土壌)を採取し、そして地球に持ち帰る計画を進めている。地球にある最新・高性能の装置で分析すれば、探査車で調べるよりも多くのことがわかる。また、そのサンプルを保管しておけば、将来さらに性能が向上した装置で分析し、より多くの発見がもたらされる可能性もある。実際、アポロ計画などで回収された月の石は、現在もその多くが保存されており、新しい装置で分析することで以前はわからなかった新しい発見があったり、新しい理論やモデルが生み出された際にその石を使って検証したりといったことが行われている。そしてパーサヴィアランスはその準備として、火星のサンプルを採取するというミッションも担っているのである。火星でサンプルを採取するのは史上初であり、その実現のためパーサヴィアランスにはドリル付きのロボット・アームが装備されている。このドリルの内側にはチューブが内蔵されており、削っ

た岩石のサンプルがそのままチューブの中に入っている。このチューブは丈夫なチタン製で、さらに完全に密閉され、余計なものが入り込まないような仕組みにもなっている。採取したサンプルを詰め込んだチューブは、ロボット・アームによって探査車の本体側へと運ばれ、そこでリボルバーの回転式弾倉のような装置に入れられる。そして、この装置が回転することで、チューブは探査車の下部へと移動。そこで別のロボット・アームで捕まえられ、最終的にチューブを保管するコンテナ部分に入れられる。

システム全体の部品数は 3000 以上にもおよび、「宇宙に打ち上げられた史上最も複雑な機構」の異名を取る。最初のサンプル採取の試みは 2021 年 8 月に行われたが、うまく採取できなかった。科学者たちは岩石が想定以上に脆く、粉や小さな欠片になってしまった結果、探査車に収容する前にこぼれ落ちてしまったと推定した。9 月にはドリルによる掘削に耐えられそうな硬い岩を探し、あらためて採取に挑み、見事成功。本格的な採集活動に移った。



パーサヴィアランスが初めてサンプルを採集した岩石「ロシェット」。採取時にドリルで開けられた穴が見える  
(C) NASA/JPL-Caltech

火星の地表に設置された、サンプルの入ったチューブ (C) NASA/JPL-Caltech/MSSS

### 火星からのサンプル・リターンの準備

パーサヴィアランスはこれまでの探査活動のなかで、科学者たちが科学的に重要と判断した岩石やレゴリスからサンプルを採取し、チューブに詰め込んだ。この岩石などは火成岩と堆積岩からなり、約 40 億年前にイエゼロ・クレーターが形成された直後に起きた地質学的プロセスを物語る、素晴らしい標本であると考えられている。また、火星の大気サンプルも採取したほか、採取したサンプルが探査車自身に付着している地球の物質で汚染されるリスクに備え、サンプル採取システムの清浄度を記録するための「証明チューブ」も作成した。

そしてパーサヴィアランスは、ジグザグを描くように走行しつつ、ときおり停車し、計 10 本のチューブを地面に設置していった。この場所は太古の昔、川が湖に流れ込んだときに形成された、隆起した扇形の古代の川の三角州にあり、平らな地形になっている。また、将来安全に回収するため、各チューブはそれぞれ 5~15m ほど離して設置。さらに、回収までの間に砂ぼこりで覆われてしまっても見つけられるよう、設置した位置を正確に記録する作業も行われた。設置作業は昨年末から始まり、そして約 6 週間が経った日本時間 1 月 30 日 10 時(太平洋標準時 29 日 17 時)、最後となる 10 本目のチューブが、無事火星の地表に設置されたことが確認された。

なお、今回火星の地表に設置したサンプルは、あくまで「バックアップ用」と位置づけられている。メインのサンプルはパーサヴィアランス自身が保持したまま、地球に持ち帰るための回収用探査機がやってくるのを待ち、自ら受け渡すことになっている。ただ、それまでにパーサヴィアランスが故障し、受け渡せないことも考えられる。そこで、その場合には回収用探査機でサンプルを回収できるよう、火星の地表にも設置したのである。

ちなみに、パーサヴィアランスはサンプルを採取した際、同じサンプルを 2 本のチューブに分けて収めることでペアを作成している。つまり、パーサヴィアランスが持ち続けているサンプルと、地面に設置したサンプルは基本的に同じものであり、どちらを回収しても同じ成果が得られるようになっているのである。

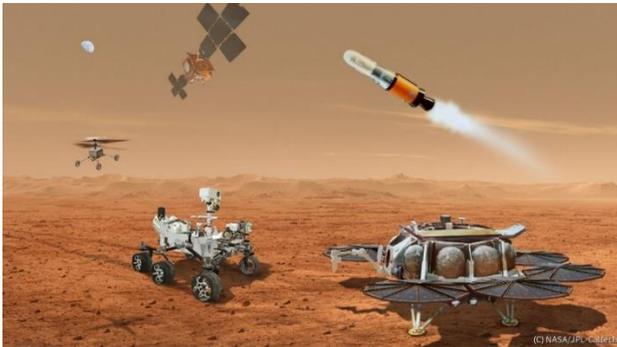
### サンプル・リターン・ミッションの打ち上げは 2027 年にも

遠く離れた火星で、ロボットの探査機が活躍を続ける一方、地球の科学者と技術者は、これらのサンプルを回収し、地球に持ち帰るための「マーズ・サンプル・リターン」ミッションの計画を進めている。

この計画は NASA と欧州宇宙機関(ESA)が協力して進めており、NASA は火星に着陸してサンプルを回収する着陸機(ランダー)を、ESA はそのサンプルを火星から地球まで持ち帰る周回機(オービター)を開発する。

まず 2027 年に ESA が開発するオービターを打ち上げ、続いて 2028 年には NASA のランダーを打ち上げる。オービターは火星を回る軌道に入り、ランダーは火星のイエゼロ・クレーターに着陸する。ここでパーサヴィアランスがまだ正常に稼働していれば、ランダーにサンプルの入ったチューブを受け渡し、そしてランダーに搭載された小型ロケットに載せ、火星を回る軌道へ打ち上げる。そして、軌道上で待ち構えていたオービターがそれを捕まえ、チューブを受け取ったのち、火星軌道を離脱。2033 年ごろ、地球に帰還する予定となっている。

もし、ランダーが着陸した時点でパーサヴィアランスが故障するなどしていた場合には、ランダーに搭載された 2 機の小型ヘリコプターが発進。今回パーサヴィアランスが地上に設置したチューブを回収し、ランダーまで運び、そのあとは同じように地球へ送り届けられることになる。この火星ヘリコプターは、パーサヴィアランスに搭載されて火星へ送られた「インジェニュイティ」の設計をもとに開発される。インジェニュイティは 2021 年 4 月に火星で初飛行を行い、その後も飛行距離を伸ばしたり、姿勢を変化させながら飛んだりといった飛行試験を繰り返し、41 回飛んだいまなお健在である。じつは、当初のマーズ・サンプル・リターン計画の検討では、ヘリコプターではなく探査車を送り込むことが考えられていた。しかし、パーサヴィアランスの姉妹にあたる探査車「キュリオシティ」が 2012 年の着陸から 10 年以上にわたって正常に稼働していることに加え、インジェニュイティが期待以上の活躍を見せたこともあり、現在の計画に変更されたという経緯がある。パーサヴィアランスが集めたサンプルは、掘り起こされる日を待ちながらしばし眠り続ける。まるで卒業式の日埋めるタイムカプセルのようだが決して比喩ではなく、まぎれもなくそれは太古の火星の記憶をもったタイムカプセルなのである。



マーズ・サンプル・リターン計画の想像図。オービターとランダー、ランダーに搭載される小型ロケットとヘリコプターからなる複雑で壮大な計画である (C) NASA/JPL-Caltech

火星ヘリコプター「インジェニュイティ」。パーサヴィアランスに搭載されて火星へ送られ、これまでに 41 回、火星の空を飛行した。その技術はマーズ・サンプル・リターンにも活かされる (C) NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS

### パーサヴィアランスは新たな科学ミッションへ

チューブの設置という大事なミッションを終えたパーサヴィアランスは、新たなミッションに臨む。

これからパーサヴィアランスは、チューブを設置した場所を離れ、以前に探査した「ホークスビル・ギャップ」と呼ばれる場所を登り、「ロッキー・トップ」と呼ばれる高い場所を通過。そしてこれまで訪れたことのないデルタ地帯を目指す。パーサヴィアランスのプロジェクト・サイエンティストを務めるケン・ファーレイ (Ken Farley) 氏は「デルタ地帯の底部からロッキー・トップの場所までにある岩石は、湖の中の環境で堆積したように見えます。また、ロッキー・トップのすぐ上の岩石は、湖に流れ込んでいた火星の川の中か端の部分で生成されたようです」と語っている。「そしてデルタ地帯を川のあったほうへ向かって進むと、砂から大きな岩まで、より大きな粒子で構成された岩石がみられるようになるかと予想しています。これらの物質は、おそらくもともとはイエゼロ・クレーターのある場所の外側に由来し、侵食された結果、クレーターに流れ込んだのでしょう」。このあとパーサヴィアランスが最初に立ち寄るのは、科学者チームが「カーヴィリニア・ユニット (Curvilinear Unit)」と呼んでいる場所である。ここは火星の“砂州”とみられる場所で、イエゼロ・クレーターへ流れ込んでいた川のひとつの、湾曲した部分に堆積した堆積物でできていると考えられている。科学者たちは砂岩や泥岩の露頭を探し、分析することで、イエゼロ・クレーターの壁の向こう側の地質学的プロセスを調べたいと語っている。



火星の地表からレゴリスを採取するパーサヴィアランス (C) NASA/JPL-Caltech

#### 参考文献

- ・ [NASA JPL さんは Twitter を使っています: 「Someone understood the assignment. It's official: @NASAPersevere has dropped the final tube for the #MarsSampleReturn depot! Ten samples have been deposited on the Martian surface and could be returned to Earth for in-depth analysis in the future. / Twitter](#)
- ・ [NASA' s Perseverance Rover Completes Mars Sample Depot](#)
- ・ [Mars Sample Return - NASA Mars](#)
- ・ [Mars 2020 Perseverance Rover - NASA Mars](#)
- ・ [Mars Rock Samples - NASA Mars Exploration](#)

鳥嶋真也 とりしましんや

<https://sorae.info/astronomy/20230210-mars-dust-storm.html>

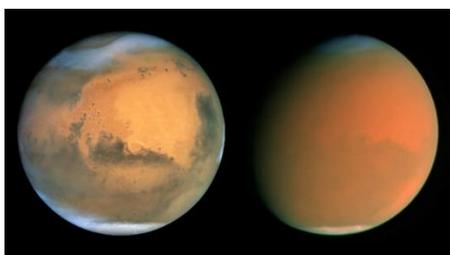
## 火星の大気は砂嵐によって酸化され続けてきた可能性 JAXA「ひさき」衛星などの

### 観測成果 2023-02-10 [sorae 編集部](#)

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所（JAXA/ISAS）・宇宙航空プロジェクト研究員の益永圭さんを筆頭とする研究チームは、大規模な砂嵐が発生した火星の高層大気では水素が増加する反面、酸素が一時的に減少する関係がみられるとした研究成果を発表しました。今回の成果は、火星の生命環境を考える上で一つの手がかりになるかもしれません。

■火星の砂嵐で水素は流出しやすくなるが、反対に酸素は流出しにくくなっていた

古代の火星の表面には海が形成されるほどの量の水が液体の状態で存在した時期があり、生命が誕生していた可能性もあると考えられています。しかし、現在の火星は主に二酸化炭素でできた薄い大気を持ち（大気圧は地球の約 1000 分の 6）、寒く乾燥した大地が広がっています。

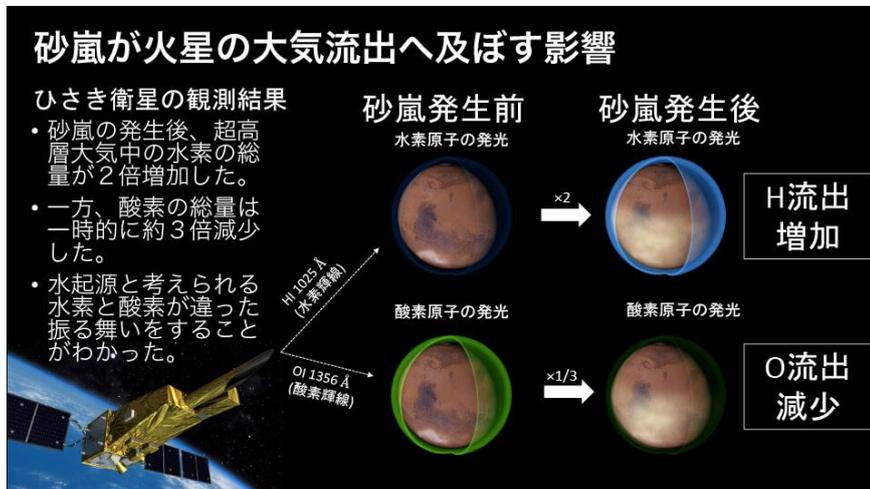


【▲ ハッブル宇宙望遠鏡で撮影された砂嵐に覆われていない火星（左、2001年6月）と、大規模な砂嵐に覆われた火星（右、2001年9月）の比較（Credit: NASA, James Bell (Cornell Univ.), Michael Wolff (Space Science Inst.), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)）】

火星表面の水は火星の内部に取り込まれたり、上層大気で紫外線によって分解されたりしたことで失われたと考えられています。近年注目されているのが砂嵐の役割です。火星では大気中に砂や埃が舞い上がる大規模な砂嵐が度々発生していますが、砂嵐の発生時に火星の下層大気から上層大気へと運ばれた水蒸気に由来するとみられる水素が宇宙空間へと流出していく様子が観測されたためです。ただ、火星の大気の流出や気候変動における砂嵐の役割を理解するには水素の観測だけでは不十分であり、引き続き研究が進められていました。

関連：[小規模な砂嵐でも火星の水は失われやすくなる、3つの探査機による観測成果](#)（2021年8月）

研究チームは今回、水素とともに水分子を構成する酸素の行方に着目して研究を行いました。2016年9月に発生した砂嵐の期間中に取得された火星の大気に関する観測データを研究チームが分析した結果、火星の下層大気で発生する砂嵐や大気波動の影響を受けて、上層大気に含まれる水素と酸素の総量が増減することがわかりました。なお、分析に使われたデータはJAXAの惑星分光観測衛星「ひさき」をはじめ、アメリカ航空宇宙局（NASA）の火星探査機「マーズ・リコネサンス・オービター（MRO）」「メイブン（MAVEN）」および火星探査車「キュリオシティ（Curiosity）」、それに欧州宇宙機関（ESA）の火星探査機「マーズ・エクスプレス（Mars Express）」によって取得されました。



【▲ 火星上層大気における水素と酸素の量が砂嵐によって変化することを解き明かした今回の研究成果を示した図（Credit: JAXA）】

今回の成果で注目すべきは上層大気の変化です。研究チームによると、砂嵐の発生時、上層大気の水素は20日間で約2倍に増加しましたが、酸素は6日間で約3分の1に減少していました。砂嵐によって水素は火星から流出しやすくなるいっぽうで、酸素は反対に流出しにくくなっていたのです。

「水素は失われやすく、酸素は失われにくい」というこの状態が特別なものではなく、季節的な砂嵐が発生する度に何億年にも渡って繰り返されてきたとすれば、火星の大気は砂嵐の働きによって酸化され続けてきたことになる。研究チームは指摘しています。言い換えれば、今回の成果は古代の火星の大気が還元的だった可能性を示唆していることとなります。20世紀半ばに実施された有名なユーリーーミラーの実験でも示されたように、還元的な大気のもとでは生命にとって重要な物質である有機物が合成されやすいと考えられています。砂嵐による酸化が進む前の大気が還元的だったとすれば、古代の火星は生命が誕生しやすい環境を有していたかもしれません。研究チームは今回の研究で示された火星の水損失の歴史と酸化還元状態に関する知見について、火星の生命居住可能性を理解する上で重要だと言及しています。

Source

Image Credit: NASA, James Bell (Cornell Univ.), Michael Wolff (Space Science Inst.), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA), JAXA

[JAXA/ISAS](#) - 「ひさき」衛星が観た砂嵐による火星上層大気の変化 ー火星生命環境への示唆ー

[Masunaga et al.](#) - Alternate oscillations of Martian hydrogen and oxygen upper atmospheres during a major dust storm  
文/sorae編集部

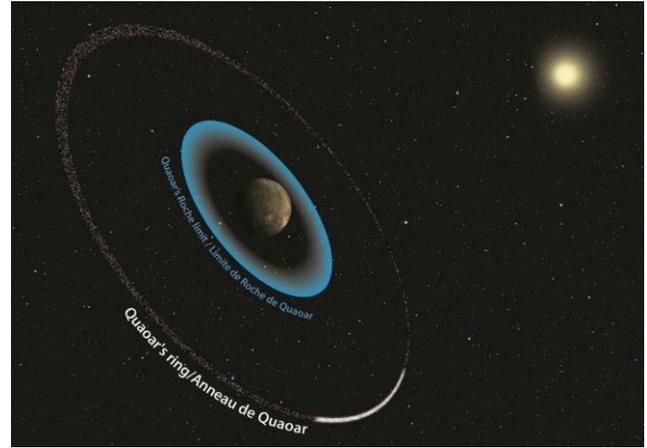
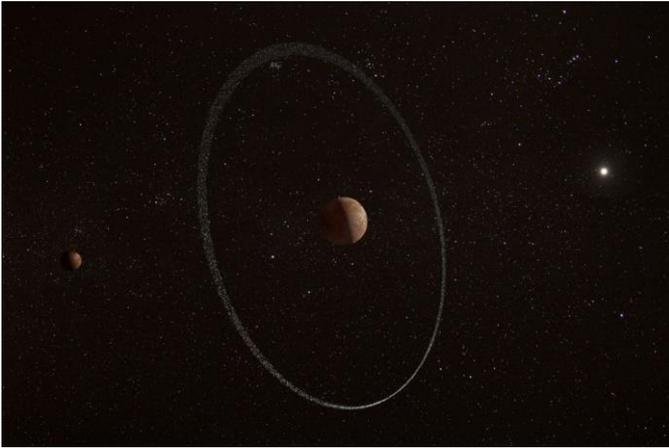
<https://forbesjapan.com/articles/detail/60843>

2023.02.10

太陽系に7個目の「輪を持つ天体」 定説覆す発見に天文学界困惑



[Jamie Carter | Contributor](#)



太陽系の小さな天体、クワオアー取り巻く輪の想像図 (ATG under contract for ESA)

クワオアーを取り巻く輪の想像図 (PARIS OBSERVATORY)

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) は1月、地球から30億 km 以上離れた小惑星「カリクロー」を取り巻く輪を観測したばかりだが、これに続き、太陽系内の別の天体にも輪があることが分かったとする[研究論文](#)が8日、科学誌ネイチャーに掲載された。

この天体は、2002年に発見された「[クワオアー](#) (Quaoar)」。直径約1100km (冥王星のおよそ半分) の準惑星候補で、海王星の彼方、遠く冷たいカイパーベルト領域で太陽を周回し、「ウェイウオット」という名前の小さな衛星を持つ。他の天体を取り巻く輪と異なり、クワオアーの輪は中心天体から遠く離れているため、惑星科学者たちを困惑させている。輪が存在するためには、物質が凝集して衛星を形成するのを防ぐ潮汐力が必要であるため、天体の近くにしかないと考えられていたからだ。クワオアーと輪との距離は、それまで可能と考えられていた距離の2倍だった。クワオアーを取り巻く輪は、カナリア諸島ラパルマ島にあるカナリア大型望遠鏡の高速カメラで観測された。太陽系で輪を持つことが判明した天体は、土星、木星、天王星、海王星、カリクロー、準惑星ハウメアに続き7個目。論文の共著者、英シェフィールド大学物理学・天文学部のヴィク・ディロン教授は「太陽系でこの新しい輪を発見できたことは予想外で、さらにクワオアーからこれほど離れたところで見つかったことは二重の驚きでした。こうした輪が形成されるしくみに関する定説に疑問を呈するものです」と語った。この発見には、超高感度高速カメラ「[HiPERCAM](#)」の使用が不可欠だった。「この事象は1分も続きませんでした。輪は小さく、ぼやけているため、直接観察はできません」とディロンは説明。「土星のあの雄大な輪のことは、誰もが子供時代に習います。今回の新発見によって、その成り立ちについてのさらなる知見が得られることを期待しています」と述べている。

([forbes.com 原文](#)) 翻訳=高橋信夫

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35199678.html>

**木星の衛星、新たに12個発見 計92個に** 2023.02.07 Tue posted at 16:06 JST

(CNN) 木星の周りを公転する衛星が、新たに12個発見された。これまでに確認された木星の衛星は、これで計92個になった



木星の衛星が新たに 12 個発見された/M.H. Wong/I. de Pater (UC

Berkeley) et al./M. Zamani/AURA/NSF/NOIRLab/ESA/NASA

新しい衛星は米カーネギー研究所の天文学者スコット・シェパード氏のチームが発見。同チームは2021年9月にハワイのすばる望遠鏡で、22年8月には南米チリのセロ・トロロ汎米天文台にあるブランコ望遠鏡でダークエネルギーカメラを使って観測を行った。シェパード氏は、主に冥王星の先にある惑星を探す中で、偶然発見した木星の衛星の観測を続けていたと説明する。新しく見つかった12個の衛星を追跡して確認する作業には、約1年を要した。この作業にはチリのマゼラン望遠鏡が使われた。小惑星センターは今後数カ月のうちに、それぞれの衛星に命名する見通し。同センターは国際天文学連合の支援のもと、こうした天体の識別や命名を行っている。シェパード氏によると、国際天文学連合は約2.4キロ以上の大きさの衛星について命名を認めており、今回見つかった衛星のうち半分はその大きさがあることから命名が予想される。

シェパード氏のチームは、これまでに惑星の周りの衛星を数多く発見してきたことで知られる。

これまでに確認されている衛星は、土星が83個、天王星が27個、海王星が14個。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230209-2587155/>

## ロシアの謎の軍事衛星「コスモス 2499」が軌道上で分解、デブリが発生

掲載日 2023/02/09 18:00 著者：鳥嶋真也

目次 [コスモス 2499 のブレイクアップ](#) [謎の衛星コスモス 2499](#)

軌道上の物体を監視している米国宇宙軍の第18宇宙防衛隊は2023年2月7日、ロシアの軍事衛星「コスモス 2499」がブレイクアップ(分解)し、破片が発生したと発表した。コスモス 2499 は2014年に打ち上げられ、何度も軌道を変え、他の衛星に接近する動作を見せており、衛星攻撃兵器の試験機という見方もある。



(C) GKNPTs Khrunichev

2014年のコスモス 2499 の打ち上げの様子 (C) GKNPTs Khrunichev

### コスモス 2499 のブレイクアップ

米国宇宙軍の第18宇宙防衛隊によると、コスモス 2499 が分解したのは日本時間2023年1月4日12時57分ごろと推定されている。現時点までに85個の破片が発生したことが確認されている。

コスモス 2499 は遠地点高度1512km、近地点高度1156km、軌道傾斜角82.44度の極軌道を周回しており、分解時の高度は1169kmだった。分解した時点で、コスモス 2499 が運用中だったかはわかっていない。

分解の原因はわかっていない。一般的に衛星が分解する場合、タンクや配管に残っていた燃料に引火したり、高圧ガスタンクが破裂したりといった原因のほか、バッテリーの破裂、スペース・デブリ(宇宙ごみ)や微小隕石の衝突などといった原因も考えられる。2月8日の時点で、ロシア国営宇宙企業ロスコスモスやロシア国防省は、本件に関するコメントは発表していない。同衛星は2021年12月にも、18個の破片が発生したことが確認され

ている。ただし、このときはいわゆるブレイクアップと呼ばれる大規模な分解ではなく、衛星の原型は保たれていたものとみられる。発生したデブリは、宇宙飛行士が滞在する国際宇宙ステーション(ISS)などにすぐさま被害を及ぼすおそれはないものの、軌道の高度が高いことから、今後何十年にもわたって軌道にとどまると予想される。今回コスモス 2499 が分解した軌道を含む、高度 950~1050km の極軌道は、運用を終えたロケット機体や衛星がとくに多い領域であり、それらが分解するなどして生まれたデブリも多い。また、デブリと衛星、あるいはデブリ同士の衝突も起きやすい。たとえば今年 1 月 28 日には、運用を終えデブリとなったロケット機体と衛星が、約 6m の距離にまで接近、ニアミスしている。両者はともに、高度約 1000km、軌道傾斜角約 93 度の軌道を回っている。軌道上の物体を監視、追跡している米国の民間企業レオラボズ(LeoLabs)によると、2022 年 6 月から 9 月の間だけで、この領域で約 1400 件のニアミスがあったとし、衝突が発生しやすい「危険な領域(bad neighborhood)」とも呼んでいる。

### 謎の衛星コスモス 2499

今回分解したコスモス 2499 は、謎の多い衛星として知られている。

2014 年 5 月 23 日に打ち上げられた時点では、米軍はこの物体を、軍用通信衛星の打ち上げにともなって放出されたデブリのひとつとして分類していた。しかしその後、この物体が自ら軌道を変えたことが判明。さらに、打ち上げに使ったロケットの上段機体に接近するような動きも見せ、その後も軌道を変えながら、何度も接近を繰り返した。最終的に米軍は、この物体についてデブリではなく衛星であると再分類した。

また、打ち上げに使ったロケット機体に接近を繰り返したことについて、米国などからは「他国の偵察衛星に接近して監視する技術、あるいは体当たりしたり自爆したりして攻撃する『キラー衛星』の技術を試験する衛星なのでは」という見方も出ている。こうした見方に対し、2014 年にロシア連邦宇宙庁(ロスコスモス)のオレグ・オスタペンコ長官(当時)は、キラー衛星であることを否定し、「ロスコスモスとロシア科学アカデミーが協力して開発した、教育機関による研究など、平和的な目的のための衛星である」と発言。モスクワ物理工科大学もまた、同衛星のプロジェクトに参加していることを明らかにしている。ただ、このときオスタペンコ長官は「ミッションは完了した」と発言しているものの、その後も軌道を変えるなどの動きをしていることがわかっている。また、この衛星を開発したとするロシアの衛星メーカー、JSC レシエトニエーフは、同衛星にはケルディシュ研究センターが開発したプラズマ・エンジンとイオン・エンジンを搭載していると明らかにし、「軌道変更や軌道修正、軌道の維持を、従来の推進システムより少ない燃料で行うための試験が目的だ」と主張している。ただ、地上からは同衛星が急激に軌道を変える様子も観測されており、低推力の電気推進エンジンでは不可能な動きであることから、従来からあるような化学推進スラスターを使っている可能性が高い。なお、同様の不審な動きを見せた衛星は、2013 年や 2015 年、2017 年、2019 年にも打ち上げられており、その目的がなんであれ、継続的に試験を行っていること、それだけロシアにとって優先度が高い重要なプロジェクトであることが伺える。

### 参考文献

・ [18th Space Defense Squadron さんは Twitter を使っています: 「#18SDS has confirmed the breakup of COSMOS 2499 \(#39765, 2014-028E\) - occurred Jan 4, 2023 at appx 0357 UTC. Tracking 85 associated pieces at est 1169 km altitude - analysis ongoing. #spacedebris #space @SpaceTrackOrg @US\\_SpaceCom @ussfspoc」 / Twitter](#)

・ [Kosmos-2499: Is it a spy or an assassin... or both?](#)

鳥嶋真也 とりしましんや

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230208-2586088/>

## すばる望遠鏡、直径 8.3m の主鏡の再蒸着を 5 年ぶりに実施！

掲載日 2023/02/08 13:45 著者：波留久泉

国立天文台 ハワイ観測所は 2 月 7 日、すばる望遠鏡の観測を約 2 か月間にわたって中断し、主鏡をアルミニウ

ムでコーティングし直す再蒸着作業と、望遠鏡のメンテナンスを実施したことを発表した。主鏡の蒸着は今回が通算 9 回目で、前回の 2017 年から 5 年ぶりでの実施となった。



蒸着の仕上がり確認後に撮られた集合写真。(C)国立天文台(出所:すばる望遠鏡 Web サイト)

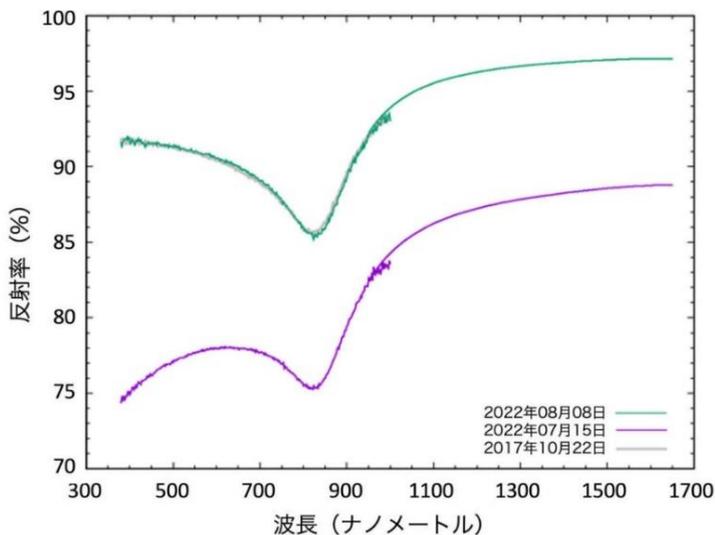
塩酸による一次洗浄の終了間際、透明な 1 枚のガラスとなった主鏡。主鏡を微調整するためのアクチュエータに支えられているように見えるが、洗浄・蒸着用セルに載せられている状態であり、実際のアクチュエータではない。(C)国立天文台(出所:すばる望遠鏡 Web サイト)

一次洗浄の様子を記録した映像(10 倍速)。その他の工程の映像も公開されている(C)国立天文台(出所:すばる望遠鏡 Web サイト)

どれだけ最新技術が投入された大型望遠鏡であっても、効率良く、そして詳細に観測を行うためには、主鏡の反射率を維持する必要がある。しかし主鏡の表面には少しずつ汚れがたまっていき、反射率が落ちていってしまう。たとえばすばる望遠鏡の場合、前回のアルミニウムコーティング蒸着作業が実施されてから 5 年が経過した、今回の蒸着直前の主鏡の反射率は、前回の蒸着直後に比べて、紫色の光である波長 400nm を例にとると、およそ 17%の低下が確認されたという。再蒸着の行程は、主鏡とカセグレン焦点の観測機器を望遠鏡から取り外す作業から始まる。そして、主鏡を洗浄してアルミニウムのコーティングを取り除き、1 枚のガラスに戻った主鏡表面のキズ検査・補修を行った後に、蒸着釜でアルミニウムのコーティングが実施される。蒸着作業は精密かつ大がかりな作業のため、1 年以上前から入念に準備を進めた上で実施された。作業のおよそ 8 割は、本番前の準備といっても過言ではないという。主鏡の洗浄は、2 回実施される。一次洗浄では、塩酸を使って古いアルミニウムのコーティングが溶かされる。そしてキズの検査が行われた後、二次洗浄で表面のホコリや汚れが取り除かれた主鏡は、再蒸着のための蒸着釜に入れられる。蒸着釜は、直径が約 8.3m もあるすばる望遠鏡の主鏡がすっぽりと入るサイズだ。その中は真空中で、事前にアルミニウムを溶かし込んだ特製のタングステンフィラメントが 288 本取り付けられている。真空の釜の中では、フィラメントに電流を流し、そこからまっすぐ飛び出したアルミニウムを蒸発させる「ファイアリング」が行われる(電力の関係で、96 本ずつ 3 回にわけて実施された)。このファイアリングにより、アルミニウムが主鏡表面に再蒸着(コーティング)されるのである。なお釜の中を真空にする理由は、空気があると、蒸発したアルミニウムが主鏡の表面に純度の高い均一な膜を作る際に邪魔になってしまうためだという。その後、蒸着釜から取り出された主鏡に対しては、蒸着のチェックが行われる。今回は、ハワイ観測所の宮崎聡所長らによって入念な確認が実施された。そして検査の結果、主鏡の反射率は、前回の再蒸着直後の値まで回復していることが確認されたという。

主鏡の反射率の変化。紫と緑の線はそれぞれ今回の蒸着前と蒸着後の反射率。蒸着によって、2017 年の蒸着後(灰色の線)と同程度の値に戻っているのがわかる(出所:すばる望遠鏡 Web サイト)

仕上がりが確認された主鏡は、洗浄と再蒸着作業が行われた 1 階から、望遠鏡のある 3 階(観測階)までクレーンで吊り上げられ、所定の位置に取り付けられた。今回の再蒸着の効果は、今後の観測で間違いなく発揮されることだろう。



<https://wired.jp/article/lisa-esric-interview/>



ルクセンブルク宇宙機関の最高経営責任者（CEO）を務めるマーク・ゼレス。PHOTOGRAPH: LSA

## ルクセンブルク宇宙機関（LSA）が描く「Moon Village」のイメージ図。

PHOTOGRAPH: LSA [HARUKA INOUE](#) [SCIENCE](#) 2023.02.01

いち早い「宇宙資源法」の施行から約5年、ルクセンブルクの宇宙資源探査の現在地

早くから国を挙げて宇宙開発に取り組んできたルクセンブルク。他国に先駆け「宇宙資源法」を施行してから約5年が経ったいま、本格的な宇宙資源の利用に向けた取り組みが進んでいる。同国が目指す宇宙資源や、宇宙と地球の両方で応用可能な技術の開発の現在地を、ルクセンブルク宇宙機関（LSA）の最高経営責任者（CEO）であるマーク・ゼレスと欧州宇宙資源イノベーションセンター（ESRIC）のデニス・ハリーズに訊いた。

欧州の小国、ルクセンブルクが民間による月や小惑星の資源の所有を認める「[宇宙資源法](#)」を2017年に施行してから約5年が経った。米国主導の[月探査計画「アルテミス」](#)による後押しもあり、宇宙資源利用の研究と商業化は着々と進んでいる。

22年12月には、ルクセンブルクに欧州拠点を置く日本のスタートアップ、[ispace](#)が月面着陸船を打ち上げた。月面着陸が成功すれば、民間としては世界初の快挙になるかもしれない。「ispaceが月面着陸船を打ち上げたことは、企業が発展してきていることのサインだと思います。5年でここまで来られたのは、本当に奇跡的なことです」と、ルクセンブルク宇宙機関（LSA）の最高経営責任者（CEO）であるマーク・ゼレスは語る。

### 早くから推進された「ビジネス」としての宇宙開発

そもそもルクセンブルクは、なぜ宇宙資源に目をつけたのか。新たな産業の創出を目指して政策を検討していたところ、当時の副首相兼経済大臣エティエンヌ・シュナイダーが[米航空宇宙局（NASA）](#)で話を聞いて関心をもったのが宇宙資源だったという。ルクセンブルク宇宙庁の前身である経済省の担当部門が情報収集をしていくうちに、一大産業になりうるポテンシャルがあるとわかった。



[「サービス」としての民間宇宙探査が活発化する：ispace 袴田武史—THE SPACE INDUSTRY IN 2023 \(5\)](#)

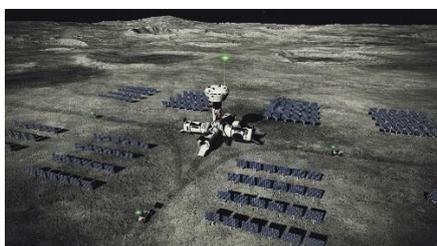
BY [TAKESHI HAKAMADA](#)

[データ販売から「地球モニタリング」のプラットフォーマーへ：フィンランドの人工衛星企業が描く次世代の衛星ビジネス](#) BY [HARUKA INOUE](#)

「宇宙資源は当時あまり一般には知られていない領域でしたし、優先度を上げて取り組んでいる国もありませんでした。宇宙資源利用におけるルクセンブルクの立ち位置をほかにはないようなユニークなものにしたいという思いから、このイニシアチブが生まれたのです」と、ゼレスは語る。ルクセンブルクは宇宙資源の平和的な探査と持続可能な利活用を促進する「SpaceResources.lu」政策を16年に発表して以来、17年には前述の宇宙資源法を制定し、18年にはLSAを創設するなど体制構築を進めてきた。LSAの最大のミッションは、宇宙産業の経済的な成長を促すことだ。企業が新しい製品やサービスを開発できるように、法整備や国際協力、人材開発、企業と投資家を結びつける支援を展開している。こうした支援が国全体の利益につながり、雇用も生まれるのだ。実際に、小型衛星ベンチャー[ICEYE](#)やSpire Global、宇宙状況認識サービスを開発するNorthStar Earth & Spaceをはじめとする宇宙企業60社が、ルクセンブルクに拠点を置いている。

### 「金のような価値」をもつ宇宙資源

そうした活動の一環として、LSAとルクセンブルク科学技術研究所(LIST)、欧州宇宙機関(ESA)が共同で設立したのが「欧州宇宙資源イノベーションセンター(ESRIC)」だ。同センターは基礎研究とビジネスの橋渡し役を担っており、研究開発やナレッジマネジメント、インキュベーション、専門家が集まり意見を交換するコミュニティの運営を事業の柱としている。それでは、そのESRICが注目する宇宙資源とは何なのか？ シニア・リサーチ&テクノロジー・アソシエイトを務めるデニス・ハリーズは、「月面の水に含まれる水素には、金のような価値があります」と語る。「[月面に水](#)は確実に存在しています。どのくらいの量の水が存在しているのかを知ることが現在の研究の焦点です」。将来的には、水を分解して得た水素を宇宙船の燃料として活用する構想もあるという。もちろん、水素に注目しているのはルクセンブルクだけではない。NASAは09年に探査機「LCROSS(エルクロス)」を月面の南極のクレーターに衝突させる実験を実施し、得られたデータから水の痕跡を検出し、22年12月に月の表面の氷を探す超小型探査機「ルナー・フラッシュライト」を[打ち上げた](#)。続く23年後半には探査機「[VIPER](#)」を月面に送り、水の分布を調査する予定だ。日本の宇宙航空研究開発機構(JAXA)とインド宇宙研究機関(ISRO)は共同で探査機を24年度以降に月面に送り、水の量と質を調査する「[月極域探査ミッション\(LUPEX\)](#)」を計画している。ただし、ESRICは月面の水の代替として、小惑星で採取される水にも目を向けている。その理由をハリーズは、JAXAの小惑星探査機「[はやぶさ2](#)」が小惑星「リュウグウ」から持ち帰ったサンプルに液体の状態の水が含まれていたことを例に挙げて説明した。サンプルからの水の検出は、リュウグウの母天体に豊富な水があったことを意味するからだ。



欧州宇宙資源イノベーションセンター シニア・リサーチ&テクノロジー・アソシエイト デニス・ハリーズ。

PHOTOGRAPH BY ESRIC

Maana Electricによる「LunaBox」コンセプト図。IMAGE BY MAANA ELECTRIC

## 月でものづくりをするために

水に関する研究のほかにも、ESRICはバリューチェーンから探査、採掘、資源の抽出、製造など、幅広い領域の研究を手がけている。そのなかでも、特に注力しているのが資源の抽出だ。ESRICにパートナーとして参画する欧州宇宙機関（ESA）とともに、月の砂から酸素を抽出する装置を開発し、試験を実施している。

「月面で必要なものをつくれるようになれば、それは本当に大きなパラダイムシフトとなるでしょう」と、ゼレスは語る。「最初は水資源にフォーカスしますが、わたしたちのビジョンは壮大です。資源から別の素材を生成したり、変換したりすることもできると考えています」

企業も宇宙資源利用にはポジティブな反応を示しているという。例えば、フランスの産業ガスメーカーのエア・リキードは、ESRICとESAが月の砂から抽出した酸素を宇宙飛行士の生命維持や宇宙機の燃料として活用する研究を進めている。また、航空宇宙企業のエアバスは、酸素の生成に加え、月の砂と使わなくなった金属から原料を生産する研究に取り組んでいるという。将来的には月面で3Dプリンタを用いて、生産した原料からロケットのエンジンなどを製造できるのではないかと期待されている。

## 宇宙と地球の両方で応用可能な技術

ただし、こうした企業が宇宙資源ビジネスに参入するうえで障壁となるのは、長期的な投資が必要になることだ。そこでLSAは、企業に長期計画と短期計画を並行して進めるよう推奨しているという。例えば、ルクセンブルクに事業拠点を置く米国の推進システムメーカーのBradford Spaceは、水を燃料とする小型衛星用の推進機を開発した。水推進機は環境負荷を減らすだけでなく、コスト削減や衛星を小型化できるというメリットもある。将来、宇宙空間で水が発見されれば、地上に戻らずとも燃料を補給できるようになる。ルクセンブルクのスタートアップのMaana Electricは、砂漠や月の砂からシリコンを抽出し、太陽光電池パネルを製造する技術を開発した。月面での発電手段としてはもちろん、地上においても太陽光電池パネルの生産コスト削減に貢献することが期待されている。この技術を応用した設備「LunaBox」を月面に建設を目指しているところだ。

「実際に宇宙資源を使えるようになるまでには、何年もかかるでしょう。しかし、その間に開発されたテクノロジーを地球で活用できるのではないかと考えています」と、ゼレスは語る。

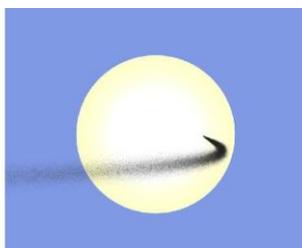
資源が限られている宇宙では、あらゆる素材の持続可能な利用方法を考えなければならない。このプロセスから学ぶことで、人類は地球環境にやさしいテクノロジーを獲得していけるかもしれないのだ。

こうした技術革新の場を求めて、世界の企業がルクセンブルクに集まる。異彩を放っていた宇宙政策は、人々や企業に前向きに受け入れられ新しい産業の基盤になったのだ。

(Edit by Asuka Kawanabe) ※『WIRED』による[宇宙の関連記事はこちら](#)。

<https://news.yahoo.co.jp/byline/akiyamaayano/20230209-00336256>

## 月の砂を宇宙にまいて日光をさえぎり温暖化対策 気候工学に新たなプラン浮上



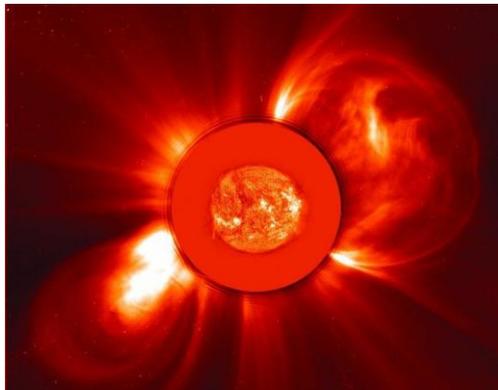
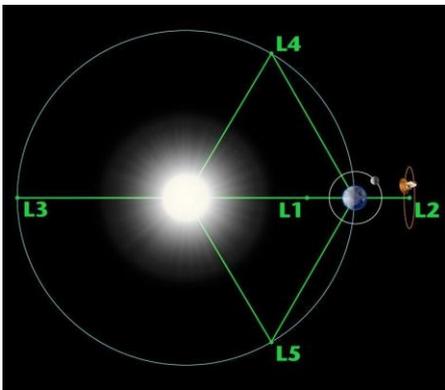
CREDIT: BEN BROMLEY

[秋山文野](#)サイエンスライター/翻訳者（宇宙開発） 2/9(木) 6:00

12/22

温暖化対策として高層大気にダストを散布し、太陽光の入射量を減らして温暖化を遅らせるソーラージオエンジニアリング（太陽気候工学）という手法がある。ビル・ゲイツ氏も著書で「選択肢のひとつとして議論を始めるべき」と主張しているが、火山灰を模した物質を大気中撒くという手法には反対も根強い。リスクがわかっていないということもあり、2021年にはハーバード大学らが計画したスウェーデンでの高高度気球による技術実証が中止されるなど、実現性には疑問がある。

地球を離れ、宇宙空間で月面の微細なチリを散布することで太陽光の入射を減らすという構想をユタ大学の研究者らが打ち出した。[オンライン科学誌 PLOS Climate に 2 月 8 日付けで掲載された論文](#)ではあくまで試算の段階だが、1000 万トンのダストを太陽と地球の間のラグランジュ点（L1）に散布すると、太陽光の入射量を年間で 6 日分ほど低減できるという。



太陽-地球のラグランジュ点 Credit: NASA/WMAP Science Team

SOHO の観測による太陽の活動 Credit: ESA/NASA/SOHO/LASCO/NRL/Brendan Gallagher

ソーラージオエンジニアリングでは、太陽光の入射を 1~2 パーセント低減するという目標が打ち出されている。ハーバード大学のグループが目指す「[SCoPEX](#)」計画は、この目標に向けて成層圏でのエアロゾルの挙動を理解するために高層気球で高度 20km から少量の（最大でも 2 キログラム）の物質を散布し、その影響をを観測する。SCoPEX のグループは「これは気候工学そのものの実験ではない」としており、散布するのは無害な炭酸カルシウムだと主張している。とはいえ最終的には気候工学の実施につながるのではないかと、その影響を直接的に受ける可能性がある途上国が議論に参加していない、といった批判も根強く実現は容易ではない。

地球の大気圏内で太陽光をさえぎることが温暖化とは別のリスクにつながるのであれば、地球を離れて宇宙で実施してはどうか。ユタ大学の天文学者ベン・ブロムリー教授とハーバード&スミソニアン天体物理学センターの研究者スコット・ケニヤン博士は、月面のチリや砂を地球と太陽の間のラグランジュ点 L1 へ放出した場合に太陽光の入射をどの程度低減できるのかシミュレーションを行った。これまでも L1 点で人工衛星など人工物を展開し、太陽光をさえぎるという構想そのものはあった。ただし気候に影響を与えるには 100 万トン以上の物質を L1 点に展開する必要がある、これはこれまで地球から打ち上げられた宇宙機の質量の 100 倍になるという。そこで考案されたのが、月面のチリを L1 点に向かって放出し、サンシェードに使用するという構想だ。1000 万トン（鉄鉱石を運ぶ超大型のばら積み貨物船の搭載量 40 隻分）の月のチリを L1 点に向かって送り出すことで、太陽光の入射量を 1.8 パーセント低減できるという試算となった。これは、1 年のうち 6 日分ほど入射量が低減した程度になるという。打ち上げにかかるエネルギー面でのコストは示されていないものの、地球よりも重力の小さい月を拠点にすることでエネルギーの節約になる可能性がある。L1 点は必ずしも安定な場所ではなく、月の北極から放出されたチリは L1 点に届いた後に太陽光の輻射圧や太陽風で「吹き流されて」いく。チリはやがて太陽を囲むリングとなり、これは太陽系の初期に惑星が形成された現象を模擬するものになるという。ただし、地球の大気圏には影響を与えないとしても L1 点のダスト散布にリスクはないのか、という疑問は残る。一つには、1995 年から L1 点で運用されている太陽観測衛星「SOHO」の存在だろう。28 年にも渡って太陽の活動を観測し、太陽フレアなど危険な宇宙天気現象の情報を届けてくれる衛星にダストが衝突し機器を損傷するといった

可能性はないのだろうか。ダスト散布時に SOHO の運用は終わっていたとしても、後継機という可能性もある。シミュレーションはあくまでも構想であり、実現に向けた動きがあるという段階ではない。だが、地球への直接的な影響がないということで、月の利用一つとして浮上してくるかもしれない。そのとき、さまざまなリスクを正しく検討できるのかが試されるのかもしれない。[記事に関する報告](#)



[秋山文野](#) サイエンスライター/翻訳者（宇宙開発）

1990年代からパソコン雑誌の編集・ライターを経て宇宙開発中心のフリーランスライターへ。ロケット/人工衛星プロジェクトから宇宙探査、宇宙政策、宇宙ビジネス、NewSpace 事情、宇宙開発史まで。著書に電子書籍『「はやぶさ」7年 60億 km のミッション完全解説』、訳書に『ロケットガールの誕生 コンピューターになった女性たち』ほか。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230207-2585630/>

## 東大、ダークマターの正体が「超対称性粒子」である可能性を検証

掲載日 2023/02/07 17:42 [著者：波留久泉](#)

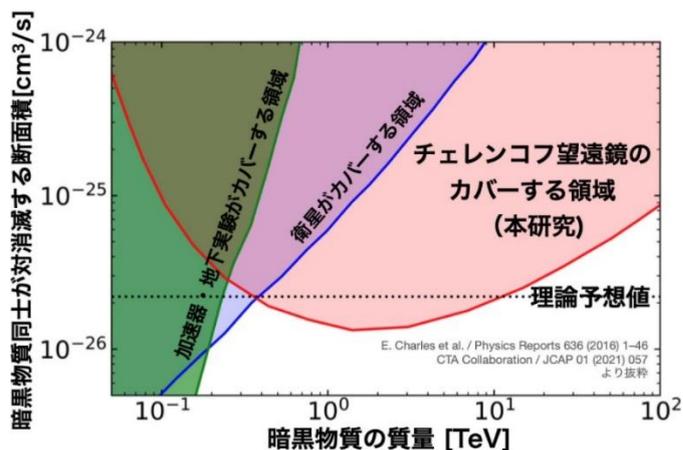
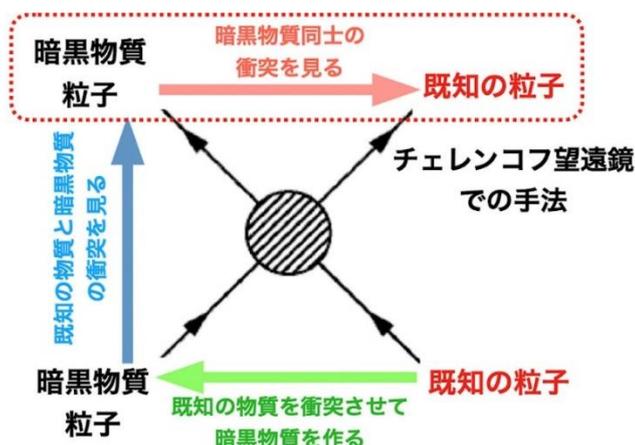
東京大学(東大)は2月6日、ダークマター起源の高エネルギーガンマ線を探索するため、スペイン・カナリア諸島ラパルマ島のチェレンコフ望遠鏡「MAGIC」を用いて、天の川銀河中心領域を2013年から2020年まで継続的に観測した結果、ダークマターの可能性がある未知の素粒子である「超対称性粒子」が予言するテラ電子ボルト(TeV)以上の質量領域に到達したことを発表した。また、観測の結果として十分な信号は見つからなかったが、その素粒子的な性質に強い制限を与え、宇宙初期にダークマターがどのように作られたかについて、従来のシナリオに一石を投じることになったことも併せて発表した。同成果は、東大 宇宙線研究所(ICRR)の稲田知大協力研究員、同・モリッツ・ヒュッテン特任研究員、同・手嶋政廣教授、同・窪秀利教授、高エネルギー加速器研究機構の郡和範准教授、独・マックスプランク物理学研究所の研究者らも参加した国際共同研究チームによるもの。[詳細は、米国物理学会が刊行する機関学術誌「Physical Review Letters」に掲載された。](#)

未知の物質であるダークマターを検出できるとされる方法の1つに、同物質同士が衝突した際の対消滅で生じると予測されるガンマ線を観測するというものがある。ガンマ線は地上では観測できないが、宇宙から飛来して大気圏内の分子と衝突して二次粒子の空気シャワーを発生させた際に生じるチェレンコフ光を捉えることで、間接的に観測することが可能である。ダークマターの質量は、特に有力な理論によれば GeV~TeV の範囲に存在すると予想されており、対消滅時に生じる光子も同様のエネルギーを持つ。TeV 以上の高エネルギー粒子を地上の実験室で生成するのは難しく、また予想される信号数も少なくないが、広大な地球大気を利用するチェレンコフ望遠鏡なら 100TeV 程度までの感度を持つため、未踏のテラスケール質量のダークマターを探すにはうってつけと考えられている。また、ダークマターは重力の強いところに集まるとされ、地球に最も近い密集領域と想定されるのが、天の川銀河の中心部とされている。ただし、ダークマターがどのように空間的に分布しているのかについては、まだ理論的にも実験的にも未解明の部分もあり、ガンマ線でのダークマター探索の結果について、しばしばその不定性が課題とされてきた。そこで研究チームは今回、高いダークマターへの探索感度を保ちつつ、そのような課題を解決する研究方法を提案することにしたという。今回の観測で特に注目されたのが、ダークマターの質量にピークを持つエネルギースペクトルを有することからダークマター特有の「ラインガンマ線」で、ほかの天体起源の類似信号と容易に区別でき、信号超過が見つかった場合には強い証拠となるという。また、銀河中心付近のダークマター空間分布における理論的な不定性の大きさに対しては、複数の空間分布を想定した上での解析を行うことにしたとする。なお、このような特徴的な信号を検出できなかった場合、これだけの観測時間と装置を用いても観測できなかったとして、対消滅の頻度(断面積)に対して少なくともこの値よりは小さいもの

と見積もれる“上限値”を計算できるようになるという。これらにより、今回世界で初めて、超対称性粒子がダークマターの正体である可能性の検証が実現された。今回はダークマターの正体は不明のままだったが、世界で最も小さい対消滅断面積まで探索が行われ、上限値をつける(絞り込む)ことができたとする。

ダークマターの探索の際に使われる、同物質と既知の粒子の相互作用が示された図。同物質の探索手法には、同物質を作る、同物質と既知の粒子との衝突を観測する、そして同物質同士が衝突した際の光を観察するという大別して3種類がある。チェレンコフ望遠鏡は、宇宙におけるダークマター同士の衝突でガンマ線を観測することを目的としている (出所:東大 ICRR Web サイト)

また今回の観測では、MAGIC 望遠鏡の立地条件もプラスに働いた。同望遠鏡は北半球にあることから、いて座の方向にある天の川銀河中心領域は地表近くを通過する。そのため、同領域からの光はそれだけ厚い大気を通過するが、大気の厚みがあるほど高エネルギーガンマ線に対して感度を上げられるチェレンコフ望遠鏡にとって有利なことだった。その結果、ほかの手法では難しい、1TeV~100TeV という質量の重いダークマターを最高感度で探索することに成功したとしている。



ダークマターの質量と、同物質の対消滅断面積の関係が示された図の一例。色がついている領域がそれぞれの実験手法で探索できる領域。得意な範囲が異なり、相補的にダークマターの質量・対消滅断面積の探索が行われている。チェレンコフ望遠鏡は、比較的重い1TeV以上の同物質の探索を得意とする。点線は、同物質が、宇宙初期の急激な膨張により宇宙が冷えた結果、取り残されてできたという「熱的残存仮説」が正しかった場合に理論的に予想される値。これに感度が届くことで、同物質が宇宙初期にどのように生成されたかの検証が可能になる (出所:東大 ICRR Web サイト)

今回の研究により、天の川銀河中心領域におけるダークマター探索は素粒子理論の検証にも有用であることが、より強く示された。特に TeV 以上の重いダークマターについては、他手法と比較してもユニークな結果であり、チェレンコフ望遠鏡によるダークマター探索研究の必要性が示されていると研究チームでは説明している。

現在、2基の MAGIC 望遠鏡と同じ観測所に、さらに高い性能を実現する口径 23m のチェレンコフ望遠鏡(CTA-LST)が4基建設中で、これらが稼働すれば、1桁高い感度でよりダークマターの性質究明に迫ることができるとしており、加速器・地下実験などのほかのダークマター探索実験とともに、悲願であるダークマターの発見に向けて研究を継続していきたいとしている。

<https://sorae.info/astronomy/20230208-dark-photon.html>

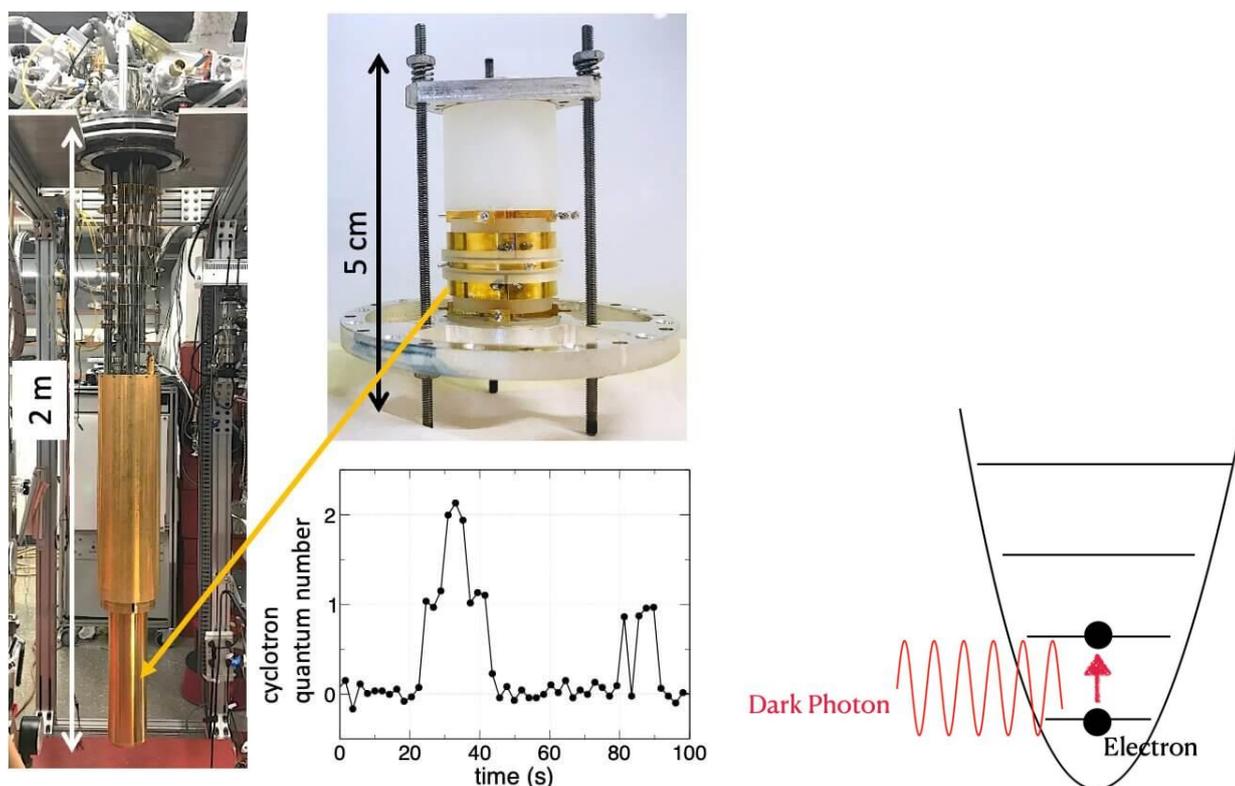
## 仮説上の「暗黒光子」を検出する装置を開発 たった1個の電子を磁気トラップで保持

2023-02-08 [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。ところが銀河の回転速度を実際に調べてみると、恒星の数をもとに見積もられた銀河の質量から推定される重力では、恒星を引き留めることが不可能なほど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、

光などの電磁波では観測できず、重力を通じてのみ間接的に存在を知ることができる「暗黒物質 (ダークマター)」の存在を示唆しています。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。正体不明の暗黒物質、その有力な候補の1つは未知の素粒子です。もしそうだとすれば、未知の素粒子はどのようにして相互作用しあっているのでしょうか？

素粒子同士の基本相互作用は4つ (重力相互作用、電磁相互作用、強い相互作用、弱い相互作用) ありますが、暗黒物質の性質上、重力相互作用以外の基本相互作用は働いていないか、あるいは相当地に弱いと推定されます。この場合、暗黒物質を構成する未知の素粒子同士は「5番目の基本相互作用」とでも形容すべき、これまた未知の相互作用で引き合っていると推定することもできます。基本相互作用には力を媒介する素粒子 (ゲージ粒子) がそれぞれ存在していますので、暗黒物質同士の相互作用を担うのも素粒子であるはずですが。このような推定の元で考案されたのが「暗黒光子 (Dark photon)」です。暗黒光子という名前は、光を構成して電磁相互作用を媒介する光子に似た性質を持つものの、観測されていないことから付けられています。



【▲ 図 1: 1 個の電子で暗黒光子を検出する装置の冷却装置 (左) と、電子が浮遊する磁気トラップ (右上)。もし電子が暗黒光子と相互作用した場合、左下のような信号が検出されるはずである。この図のシグナルは模擬試験として  $\mu$  波照射によって人為的に生み出したものである。 (Image Credit: Xing Fan)】

【▲ 図 2: 極低温の磁気トラップにある 1 個の電子は最低のエネルギー状態にある。暗黒光子が電子に衝突すると、電磁相互作用によりエネルギーが与えられることで、電子は高いエネルギー状態になる。この状態は不安定なので、電子は与えられたエネルギーと一致する光子を放出して再び最低のエネルギー状態に戻る。これにより、暗黒光子の存在と質量を測定可能である。 (Image Credit: Harikrishnan Ramani)】

ユニークなことに、暗黒光子はわずかながらも質量を持つと推定されています。これは質量がゼロの光子とは異なる特徴です。このため、暗黒光子は暗黒物質同士を結び付ける性質を持つとともに、それ自身も暗黒物質の一部を占めていると推定されています。また、暗黒光子は、極めて弱いながらも電磁相互作用に反応すると推定されています。このため、暗黒光子は暗黒物質でありながら直接検出できる可能性があります。ただしその反応は極めて弱いと推定されるため、観測手段の技術面が追い付いていませんでした。ハーバード大学の Xing Fan 氏らの研究チームは、暗黒光子を検出できる装置の開発と、実際に装置を用いた実験を行いました。電磁相互作用に反応する素粒子として良く知られているものに「電子」があります。現在の技術レベルならば、たった 1 個の

電子を磁気トラップの中で真空中に浮遊させ、長期間維持することも可能です。Fan 氏らはこの技術を元に、暗黒光子を検出する装置を開発しました。1 個の電子を磁気トラップの中で浮遊させ、背景にある無関係なノイズを排除するために極低温下に置きます。この状態になると、電子は最低のエネルギー状態に置かれることとなります。もしも暗黒光子が実在すれば、電子と時々衝突するはずですが、すると、わずかながらも電磁相互作用で反応する暗黒光子は、電子にエネルギーを与えます。エネルギーを受け取った電子は再び最低のエネルギー状態に落ち着こうとしますが、この時に受け取ったエネルギーを普通の光子の形で放出します。この方法を利用すれば、暗黒光子の存在を直接検出できるだけでなく、その質量を知ることができるというわけです。今回の研究では装置の開発にあわせて実際に実験が行われましたが、残念ながら 7.4 日間の実験中に有意な信号は検出されませんでした。実験の設定から、暗黒光子は  $0.6\text{meV}$  ( $1.1 \times 10^{-39}\text{kg}$ 、電子の約 10 億分の 1) の質量では存在しない可能性があることがわかります。今回は実験期間が短かったため、より長時間の実験を行えば観測される可能性もありますが、期間中に観測ができなかったことから逆算して、体積あたりの存在数の上限値を定めることができます。今回の実験手法は、設定を変えることで  $0.1\text{meV}$  から  $1\text{meV}$  の質量の範囲内で暗黒光子の存在を探索することができます。もしも暗黒光子が見つければ、他の暗黒物質の存在も示唆されると共に、これまでの理論では予測されていない未知の素粒子が実在することを示す強力な証拠となります。逆に、暗黒光子の存在が見当たらないという結果になったとしても、暗黒物質の探索において重要な結果を提示することになります。

Source

[Xing Fan, et al.](#) - "One-Electron Quantum Cyclotron as a Milli-eV Dark-Photon Detector". (Physical Review Letters)

[Ingrid Fadelli.](#) - "Study demonstrates a new method to search for meV dark photons". (Phys.org) 文／彩恵りり

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230206-2584728/>

## 九大など、原始星からの双極分子流が別の分子雲コアと衝突する様子を観測

掲載日 2023/02/06 16:29 著者：波留久泉

九州大学(九大)と国立天文台(NAOJ)の両者は 2 月 3 日、アルマ望遠鏡を用いて最も若い「星団形成」領域の 1 つである「OMC-2」内の「FIR 3」および「FIR 4」領域を観測し、星間ガスや塵などからなる「分子雲」や、星のゆりかごといわれる「分子雲コア」にある、塵や一酸化炭素(CO)、一酸化ケイ素(SiO)の分布を調査。その結果、これまで報告されている数の 2 倍の「双極分子流」を発見し、複雑な星団形成環境の様子を捉えることに成功したと共同で発表した。さらに、塵と CO と SiO の分布関係から、OMC-2 内で FIR 3 領域中の原始星から噴き出した巨大分子流が、若い星が密集する FIR 4 領域に激しく衝突していることを示す決定的な証拠が得られたことも併せて発表された。

同成果は、九大 理学府の佐藤亜紗子大学院生、九大大学院 理学研究院の町田正博准教授、NAOJ アルマプロジェクトの高橋智子准教授、同・石井峻特任准教授らの共同研究チームによるもの。詳細は、[米天体物理学専門誌「The Astrophysical Journal」に掲載された。](#)



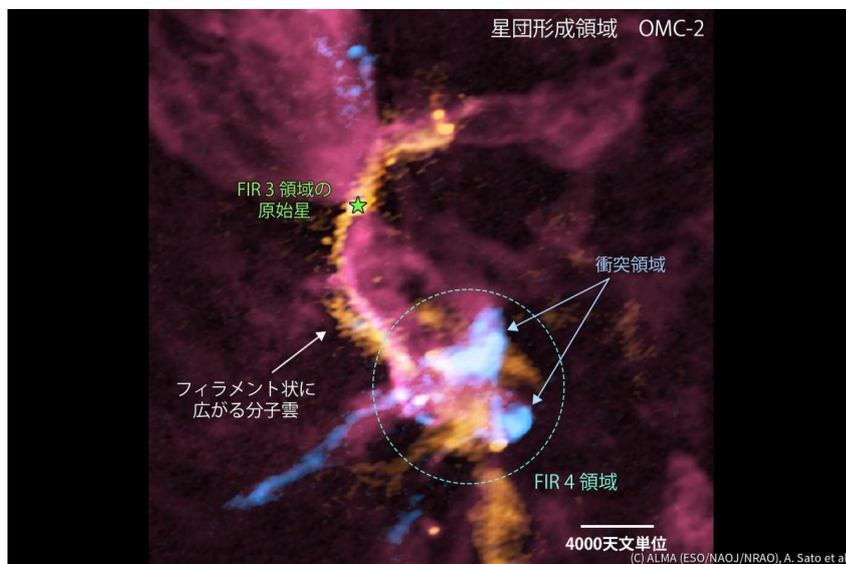
星団形成領域 OMC-2/ FIR 3 および FIR 4 の想像図。アルマ望遠鏡によって、原始星が集団で生まれている星のゆりかご内部の詳細が明らかとなった。(c) ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), A. Sato et al.(出所:アルマ望遠鏡日本語

Web サイト)

宇宙に存在するほとんどの原始星は集団で誕生し、それは星団形成と呼ばれる。そうした星団形成の現場は、複数の原始星がそれぞれ巨大な双極分子流を噴き出すため、非常に複雑な状況となる。なお、双極分子流が周辺にある分子雲コアに衝突することで、局所的に星の形成が誘発されたり、逆に分子雲コア内の環境がかき乱されることで周辺の星の成長が邪魔されたりする可能性があることも予測されている。

そんな星団形成領域は比較的遠方にあり、さらに複数の原始星や双極分子流が混在した複雑な構造のため、それらを十分に見分けるには高い空間分解能が必要だ。そこで研究チームは今回、先行研究よりも3倍の感度を持つアルマ望遠鏡を使って、オリオン座の方向に地球から1400光年の距離にある「オリオンA分子雲」に含まれる、最も若い星団形成領域の1つであるOMC-2内のFIR3およびFIR4領域を観測することにしたという。

今回の研究ではOMC-2をカバーするような広視野観測が行われ、塵やCO、SiOの分布が調べられた。なおCOは、双極分子流や分子雲コアにおいて2番目に多く存在する分子で、強い電波を出しており、星が成長する様子を観測するために重要な分子の1つである。そしてSiOは激しい衝突現象があった時の証拠となる。塵の表面に付着しているケイ素が、分子流と周辺物質の激しい衝突などの場面で叩き出された結果、宇宙空間に浮遊する酸素と結びつくことで誕生するからである。今回の観測により、FIR3および同4において、従来の報告の2倍もの双極分子流、つまり原始星が形成されている直接的な証拠が発見されたという。これにより、複雑な星団形成環境の様子を鮮明に描き出すことに成功したとする。



アルマ望遠鏡で観測したオリオン座方向にある星団が形成されている領域(FIR 3、FIR 4)とその周辺。中央やや左上のFIR 3にある原始星(★印)から、下の方向に噴き出すガス流が、その下側のFIR 4で高密度のガスに衝突している。青白い色で示した場所がその衝突領域。(c) ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), A. Sato et al.(出所:アルマ望遠鏡日本語 Web サイト)

研究チームによると、今回の最大の成果は、OMC-2内でFIR3中の原始星から噴き出した巨大双極分子流が、複数の若い星が密集しているFIR4に激しく衝突していることを示す決定的な証拠が捉えられたことだという。FIR3からの巨大双極分子流がFIR4と激しく衝突することで、その境界面で発生したと考えられるSiOガスが観測された。また巨大双極分子流が、FIR4にある原始星の材料となる高密度ガスや塵と2か所で衝突した様子が、U字状の衝突面として明確に捉えられたとのことだ。なお研究チームは、今回のように非常に若い星団で形成された原始星の双極分子流が、星団形成領域内のほかのメンバーに衝突している証拠がはっきりと撮像されたのは、今回が初めてだとしている。また、巨大双極分子流がFIR4に向かって進む途中、フィラメント状に広がる分子雲とも激しく衝突し、分子流内のガスが激しく圧縮されている様子もわかった。双極分子流と激しく衝突したことで、分子雲内の塵が加熱されている証拠も捉えられたとする。さらに、その圧縮された分子雲内で分子雲コアの起源となりうる分裂片も多数が発見された。一方、今回の研究では、星団形成領域内での巨大双極分子

流と若い星たちの衝突をきっかけとして星団内の星形成が誘発されたのか、あるいは衝突前に星が誕生していたのかについては、明確に区別できなかったという。とはいえ今回の結果から、双極分子流の衝突によって星団形成領域内のガスや塵が揺さぶられ、星が生まれる環境がかき乱されている可能性が示されたとした。

今後、アルマ望遠鏡を用いたさらなる高解像度観測によって、双極分子流の影響で圧縮されたガスの運動を調べ、星団形成領域内への物質の流入、もしくは分子雲コアの破壊を捉えることができれば、FIR 4 がどのような進化をたどり、最終的にどれくらい重たい星を形成するのかを予測できる可能性があるという。そして、今回の研究のさらなる発展は、一般的な星形成の形態である星団形成の理解を紐解く鍵となるだろうとした。

<https://sorae.info/astrometry/20230207-donatiello-ii.html>

## 見えますか？ 最近発見された“くじら座”の超低光度矮小銀河 2023-02-07 [松村武宏](#)

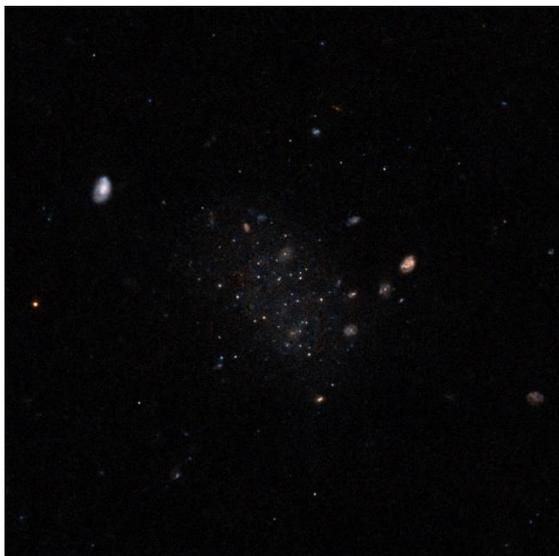


【▲ 超低光度矮小銀河「Donatiello II (ドナティエロ II)」(Credit: ESA/Hubble & NASA, B. Mutlu-Pakdil; Acknowledgement: G. Donatiello)】

こちらは「くじら座」の一角を捉えた画像。横幅は満月の視直径の10分の1程度に相当します(視野は3.20x1.61分角)。画像の中央付近をよく見ると、淡い星雲のような天体がかすかに写っているのですが、わかりますか？この天体は「Donatiello II (ドナティエロ II)」と呼ばれていて、超低光度矮小銀河(Ultra Faint Dwarf Galaxy: UFDG)に分類されています。矮小銀河は星の数が数十億個以下という小規模な銀河の総称です。矮小銀河は表面輝度が低い(暗い)銀河なのですが、超低光度矮小銀河はその名が示すように、矮小銀河のなかでも特に暗いタイプの銀河です。暗い矮小銀河は古い時代から生き残ってきた銀河だと考えられていて、最初期に形成された星についての手がかりが含まれていると期待されています。

関連：[最初の世代の銀河の“化石”？ 非常に暗い矮小銀河が新たに見つかった](#) (2022年7月5日)

Donatiello II は、イタリアのアマチュア天文学者 Giuseppe Donatiello (ジュゼッペ・ドナティエロ) さんによって最近発見されたばかりの銀河です。チリのセロ・トロロ汎米天文台にあるブランコ 4m 望遠鏡の観測装置「ダークエネルギーカメラ (DECAM)」を使って 2013 年から 2019 年にかけて観測が行われたプロジェクト「ダークエネルギーサーベイ (DES)」から公開されたデータを分析した Donatiello さんは、くじら座の隣にある「ちょうこくしつ座」の渦巻銀河「NGC 253」、別名「ちょうこくしつ座銀河 (Sculptor Galaxy)」の周囲で非常に暗い 3 つの銀河を発見。これらはすべて NGC 253 の衛星銀河(伴銀河)であり、Donatiello II、Donatiello III、Donatiello IV と名付けられました。冒頭に掲載した画像は、アリゾナ大学の Burçin Mutlu-Pakdil さん率いる研究チームの提案に基づき「ハッブル」宇宙望遠鏡で取得されたデータから作成されています。欧州宇宙機関(ESA)によると、ハッブル宇宙望遠鏡を使った観測の結果、Donatiello さんの発見を独立して確認することができました。Donatiello さんが発見した 3 つの銀河は観測データから銀河の候補を自動検索するアルゴリズムに見落とされていたといい、このように識別が困難な天体については人間の目による昔ながらの方法が必要だということです。冒頭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)」で取得したデータをもとに作成されたもので、ハッブル宇宙望遠鏡の今週の一枚として ESA から 2023 年 2 月 6 日付で公開されています。



【▲ 超低光度矮小銀河「Donatiello II (ドナティエロ II)」(オリジナル画像の中央付近を拡大したもの) (Credit: ESA/Hubble & NASA, B. Mutlu-Pakdil; Acknowledgement: G. Donatiello)】

Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, B. Mutlu-Pakdil; Acknowledgement: G. Donatiello

[ESA/Hubble](#) - Can You Spot It?

[Mutlu-Pakdil et al.](#) - Hubble Space Telescope Observations of NGC 253 Dwarf Satellites: Three Ultra-faint Dwarf Galaxies (The Astrophysical Journal)

[Martinez-Delgado et al.](#) - Tracing satellite planes in the Sculptor group - I. Discovery of three faint dwarf galaxies around NGC 253 (Astronomy & Astrophysics)

文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astronomy/20230209-wolf1069b.html>

## 液体の水があるかも？ 31光年先でハビタブルゾーンを公転する太陽系外惑星を新たに発見

2023-02-09 [sorae 編集部](#)



【▲ 赤色矮星を公転する地球に似た質量の系外惑星表面を描いた想像図。もしもウォルフ 1069b に大気があれば、昼側の広い範囲に液体の水が存在する可能性があるという (Credit: NASA/Ames Research Center/Daniel Rutter)】

マックス・プランク天文学研究所 (MPIA) の Diana Kossakowski さんを筆頭とする研究チームは、約 31 光年先という比較的近いところにある地球に近い質量の太陽系外惑星を発見したとする研究成果を発表しました。「ウォルフ 1069 b」(Wolf 1069 b) と呼ばれるこの系外惑星はハビタブルゾーンに位置しており、昼側の表面に液体の水が存在する可能性もあるようです。

## ■保守的なハビタブルゾーン内を公転 将来のバイオシグネチャー探索候補に

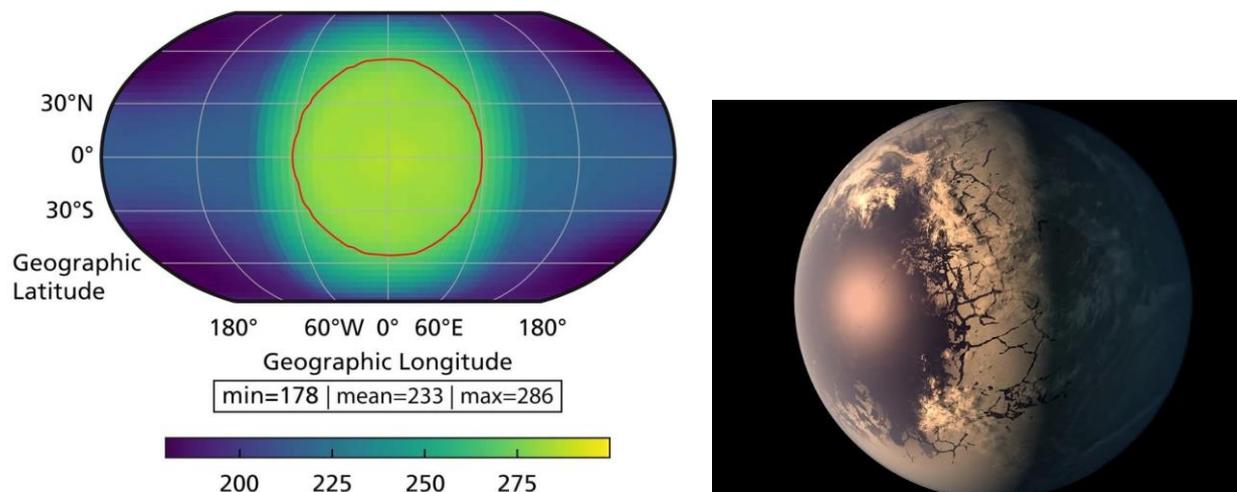
研究チームが今回報告したウォルフ 1069 b は、「はくちょう座」の方向約 31 光年先にある赤色矮星「ウォルフ 1069」(Wolf 1069) を公転しています。地球と比べて質量は少なくとも約 1.26 倍、半径は約 1.08 倍(推定値)で、主星のウォルフ 1069 を約 15.6 日周期で公転しています。主星のウォルフ 1069 は、質量が太陽の約 0.167 倍の赤色矮星です(スペクトル型は M5.0 V)。

ウォルフ 1069 b は主星から約 0.0672 天文単位(※1)しか離れていないため、常に同じ面を地球に向けている月のように、主星の潮汐作用によって自転と公転の周期が同期した潮汐固定(潮汐ロック)の状態にあるとみられています。潮汐固定された惑星は主星に面した側が常に昼、反対側は常に夜の状態になります。

※1...1 天文単位 (au) = 約 1 億 5000 万 km、太陽から地球までの平均距離に由来。

研究チームによると、ウォルフ 1069 b の公転軌道はウォルフ 1069 の保守的なハビタブルゾーン(※2)内にあります。大気が存在しないと仮定した場合の表面温度は平均マイナス約 23°C (250 ケルビン)と推定されていますが、現在の地球のような大気を持っていると仮定すれば、平均温度は約 13°C (286 ケルビン)に達している可能性もあるといます。気候モデルを用いてシミュレーションを行った研究チームは、ウォルフ 1069 b では大気や表面の幅広い条件下で適度な温度と表面の水が維持され得ると結論付けています。

※2...Conservative Habitable Zone、惑星の歴史の大半の期間を通して表面に液体の水が存在し得るとされる領域。



【▲ ウォルフ 1069 b の表面温度のシミュレーション結果を示したマップ(現在の地球に似た大気を持つと仮定、温度はケルビン)。マップ中央が惑星の昼側で、赤い線の内側では液体の水が存在し得るという (Credit: Kossakowski et al. (2023) / MPIA)】

【▲ 参考画像: 潮汐固定された水が豊富な地球サイズの系外惑星の想像図 (Credit: NASA/JPL-Caltech)】

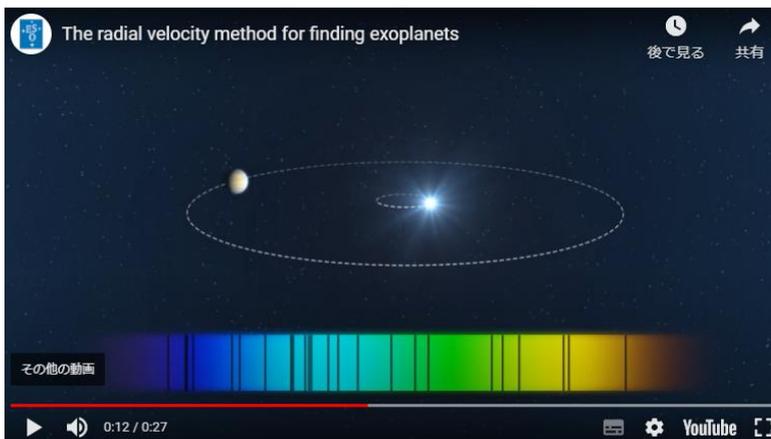
赤色矮星は表面で強力な爆発現象「フレア」が発生しやすい非常に活発な恒星として知られており、惑星の大気を剥ぎ取ってしまう可能性が指摘されています。しかし研究チームによると、ウォルフ 1069 は比較的活動性が低く、観測データは有害な活動を示しませんでした。赤色矮星の活動は星が若い頃に活発な段階を迎える傾向にあることから、もしもウォルフ 1069 b が早い段階で大気を形成・維持できたとすれば、現在まで大気が維持されているはずだといえます。それだけでなく、弱いながらも地球に似た磁場を持つ可能性さえあるようです。

約 31 光年というウォルフ 1069 b までの距離は、プロキシマ・ケンタウリ b (約 4.3 光年)、GJ 1061 d (約 12 光年)、ティーガーデン星 c (約 12.5 光年)、GJ 1002 b および GJ 1002 c (約 15.8 光年)に次いで、保守的なハビタブルゾーンにある地球に似た質量の系外惑星としては 6 番目に近いとされています。ウォルフ 1069 b はバイオシグネチャー(生命存在の兆候とみなされる物質)を探索する上で数少ない目標天体の 1 つとみなされており、ヨーロッパ南天天文台(ESO)が建設を進めている口径 39m の「欧州超大型望遠鏡(ELT)」による将来の観測に期待が寄せられています。

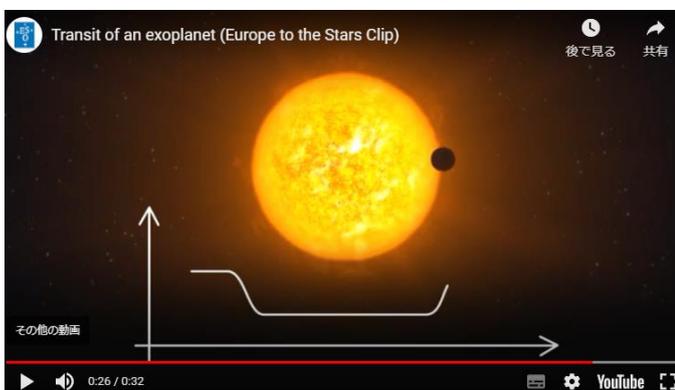
## ■系外惑星の観測に用いられる視線速度法&トランジット法

系外惑星の捜索では「視線速度法（ドップラーシフト法）」および「トランジット法」という2つの観測手法が主に用いられています。ウォルフ 1069 b はカラー・アルト天文台（スペイン）の 3.5m 望遠鏡に設置されている分光装置「CARMENES」による視線速度法を用いた観測で見つかりました。

「視線速度法」とは、系外惑星の公転にともなって円を描くようにわずかに揺さぶられる主星の動きをもとに、系外惑星を間接的に検出する手法です。惑星の公転にともなって主星が揺れ動くとき、光の色（波長）は主星が地球に近づくように動く時は青っぽく、遠ざかるように動く時は赤っぽくといったように、ドップラー効果によって周期的に変化します。こうした主星の色の变化は、天体のスペクトル（波長ごとの電磁波の強さ）を得る分光観測を行い、スペクトルに現れる吸収線（原子や分子が特定の波長の電磁波を吸収したことで生じる暗い線）の動きを追うことで検出されます。視線速度法の観測データからは系外惑星の公転周期に加えて、系外惑星の最小質量を求めることができます。



【▲ 系外惑星の公転にともなって主星のスペクトルが変化する様子を示した動画】（Credit: ESO/L. Calçada）  
もう一つの「トランジット法」とは、系外惑星が主星（恒星）の手前を横切る「トランジット（transit）」が起こった時に生じる主星の明るさのわずかな変化をもとに、系外惑星を間接的に検出する手法です。繰り返し起こるトランジットを観測することで、その周期から系外惑星の公転周期を知ることができます。また、トランジット時の主星の光度曲線（時間の経過にあわせて変化する天体の光度を示した曲線）をもとに、系外惑星の直径や大気の有無といった情報を得ることも可能です。



【▲ 系外惑星のトランジットによって恒星の明るさが変化する様子を示した動画】（Credit: ESO/L. Calçada）

Source

Image Credit: NASA/Ames Research Center/Daniel Rutter, Kossakowski et al. (2023) / MPIA, NASA/JPL-Caltech

[MPIA](#) - A nearby potentially habitable Earth-mass exoplanet

[Kossakowski et al.](#) - The CARMENES search for exoplanets around M dwarfs. Wolf 1069 b: Earth-mass planet in the habitable zone of a nearby, very low-mass star (Astronomy & Astrophysics)

文/sorae 編集部