

JAXA が月探査機「SLIM」によるピンポイント着陸成功を発表 探査ロボットが

撮影した画像も公開

2024-01-25 [sorae 編集部](#)

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は 2024 年 1 月 25 日、日本の探査機として初めて月面に軟着陸した小型月着陸実証機「SLIM」および小型プローブ（探査ロボット）「LEV-1」「LEV-2（愛称：SORA-Q）」の月面着陸結果・成果等に関する記者会見を開催しました。

JAXA によると、SLIM は 2 基搭載されているメインエンジンのうち 1 基を降下中に喪失するトラブルに見舞われたものの、最終的に着陸目標地点から約 55m 離れた地点へ接地しており、大きな目的だった精度 100m のピンポイント着陸技術実証を達成しました。また、放出された LEV-1 と LEV-2 も月面に到達して活動を行ったことが確認されており、LEV-2 のカメラで撮影された SLIM の画像が公開されています。【最終更新：2024 年 1 月 25 日 18 時台】



【▲ 小型月着陸実証機「SLIM」から放出された探査ロボット「LEV-2（SORA-Q）」のカメラで撮影された画像。大きく傾きつつ接地した状態の SLIM が右奥に写っている。画像は試験画像で、もう 1 機の探査ロボット「LEV-1」経由の試験電波データ転送により取得されたもの（Credit: JAXA/タカラトミー/ソニーグループ（株）/同志社大学）】

【▲ 参考画像：マルチバンド分光カメラ（MBC）による観測を行う小型月着陸実証機「SLIM」のイメージ図。着陸後はこのような姿勢で安定することが想定されていたが、実際には太陽電池を西へ向けて大きく傾いた姿勢になっていることが判明している（Credit: JAXA）】

■SLIM について

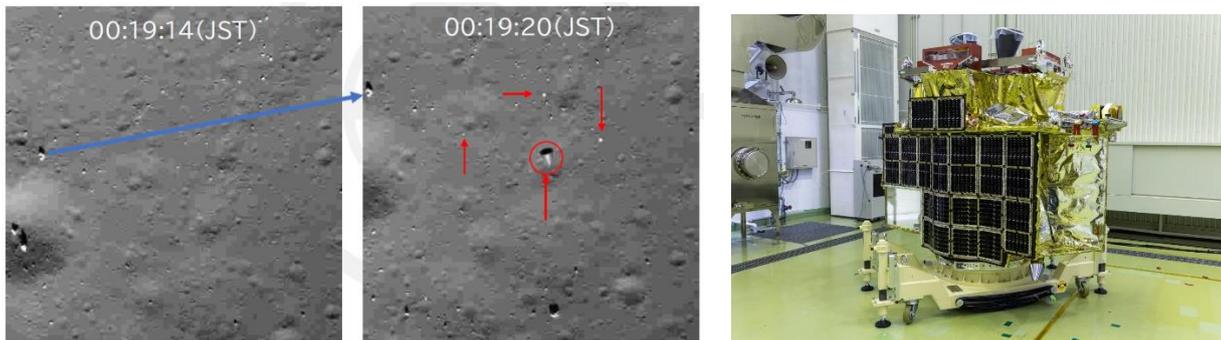
1 月 22 日までに JAXA から発表された情報によると、2024 年 1 月 20 日 0 時 0 分頃（日本時間、以下特記なき限り同様）に着陸降下を開始した SLIM は、同日 0 時 20 分頃に月面へ着陸したことが確認されました。ただ、着陸時点で探査機の太陽電池は電力を発生していない状態になっており、バッテリーが過放電して探査機を失うリスクを避けるため、同日 2 時 57 分に所定の手順に従ってバッテリーが回路から切り離され、探査機の電源がオフになりました（切り離し時点でのバッテリー残量は 12 パーセント）。

着陸後に電波を受信できていたこと、太陽電池だけが損傷するような状況は考えにくいといった理由から、SLIM は軟着陸（ソフトランディング）に成功したものの、機体に固定されている太陽電池の向きが想定とは違う方向を向くような姿勢になってしまっていると判断されていました。これまでの SLIM の動きについては以下の関連記事もご参照下さい。

関連記事

- ・ [【速報・追記】JAXA 月探査機「SLIM」日本初の月着陸に成功 ただし太陽電池が発電できない状態](#)（2024 年 1 月 22 日更新）
- ・ [JAXA の月探査機「SLIM」2024 年 1 月 20 日に月着陸へ 成功すれば日本初](#)（2023 年 12 月 6 日掲載）

1月25日の会見では、バッテリーを切り離すまでの間に地球へ送信された技術データや画像データをもとに判明したSLIMの状況や成果が明らかにされました。SLIMの着陸降下シーケンスは2024年1月19日23時59分58秒に前半の動力降下フェーズが始まりました。探査機はカメラで撮影したクレーターの分布をもとに位置を把握する画像照合航法を行いながら水平方向の速度を減じつつ、高度約15kmから約6.2kmまで降下しました。続いて後半の垂直降下フェーズに移行したSLIMは、高度約4000mおよび約500mで画像照合を行って水平方向の位置を正常に補正しつつ降下を継続（修正量はそれぞれ約100mと約50m）。高度約50mでは画像をもとにした月面の障害物検出が行われ、当初の着陸目標地点から11.8m離れた地点を最終的な目標地点として降下が続けられました。しかし、高度約50mまで降下した1月20日0時19分18秒頃、SLIMに2基搭載されているメインエンジンの合計発生推力が約55パーセントまで突如低下しました。着陸後の温度変化を調べた結果、片方のメインエンジン（-X側）に何らかの異常が発生したものと考えられています。同時刻頃にSLIMの航法カメラで撮影された画像にはノズルとみられる物体が写り込んでいたことから、ノズル部が破断した結果としてこのメインエンジンの推力が大部分失われたとみられています。実際に何が起こったのかはまだ調査中であり、JAXAは判明した時点で報告すると述べています。



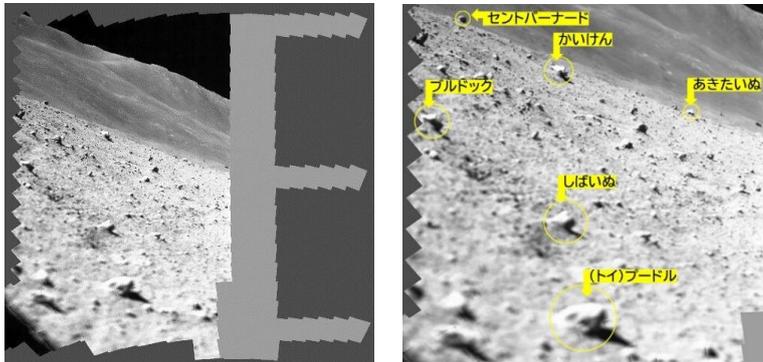
【▲ SLIMのメインエンジンの1基で何らかの異常が発生したとみられる日本時間2024年1月20日0時19分18秒前後に航法カメラで撮影された画像を比較したもの。青矢印で示された月面の岩は前後の画像両方に写っているが、後に撮影された画像（右）で赤矢印で示された特徴は前に撮影された画像（左）には写っていない。赤丸で示されている物体はメインエンジンのノズルのような形状をしている。JAXAの資料から引用（Credit: JAXA）】

【▲ 参考画像：打ち上げ前の2023年6月1日に撮影された小型月着陸実証機「SLIM」。ここでは「ハ」の字型に搭載されたメインエンジンが上を向いている。月面ではこの姿勢に近い状態で安定したとみられる（Credit: JAXA）】

探査機の垂直方向に対して「ハ」の字を描くように搭載されていたメインエンジンは横方向に生じる推力を互いに打ち消し合うように設計されていましたが、片方を失ったことで、SLIMは横方向に移動しながら降下を継続します。高度約50mのホバリング（空中停止）を終えた時点で異常を検知した航法誘導制御系は横方向の移動を抑えるように探査機の姿勢を変更しながらメインエンジンの噴射を継続し、SLIMは自律的に着陸モードへ移行しました。高度約5mで後述するLEV-1とLEV-2を放出したSLIMはメインエンジンの異常発生から30秒余りが過ぎた同日0時19分52秒頃、当初の着陸目標地点から東へ約55m離れた地点へ、ほぼ垂直の姿勢で接地したとみられています。接地時の降下速度は仕様（毎秒1.8~2.8m）よりも遅い毎秒約1.4mだったものの、横方向の速度や姿勢といった接地時の条件が仕様上の範囲を超えていたため接地後に姿勢が大きく変化し、太陽電池を西へ向けてつんのめったような姿勢で安定することになりました。

接地したSLIMは冒頭に掲載したLEV-2撮影の画像にもはっきりと写っています。SLIMが着陸したシオリ・クレーター（Shioli、直径約300m）付近は着陸の時点では昼の前半だったため、画像からもわかるように太陽光は東から当たっており、西を向いた太陽電池は影に入って電力が発生しない状況が生まれてしまいました。た

だし、昼の後半には西から太陽光が当たるようになるため、太陽電池から電力が得られるようになる可能性があります。JAXAによればSLIMは太陽電池の発生電力が一定以上あれば動作できることから、今後の運用再開が期待されています。着陸直後から太陽電池の発生電力が得られない状況が確認されたため、JAXAはあらかじめ用意されていた異常時対応手順を実施。着陸から同日1時50分頃にかけて探査機上のデータダウンロードや消費電力の削減を試み、同日1時50分～2時35分頃に「マルチバンド分光カメラ（MBC）」による月面の観測が行われた後、前述の通り同日2時57分にバッテリーが切り離されて探査機の電源がオフになりました。以下に掲載したのがMBCで取得されたSLIM着陸地点付近の月面の様子です。



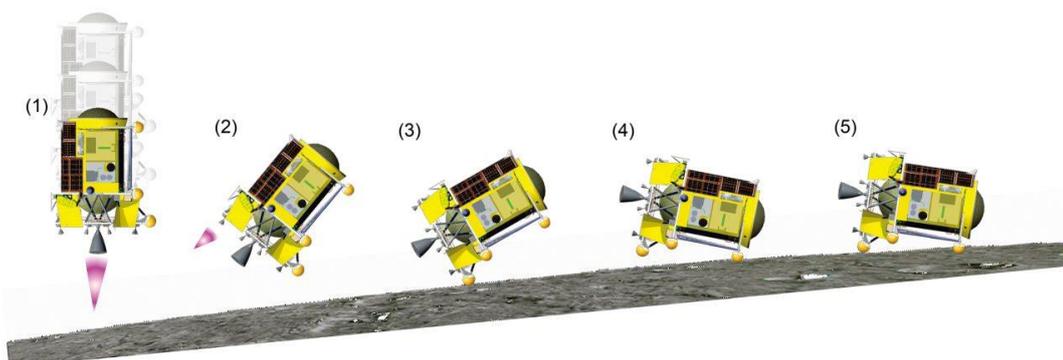
【▲ SLIMのマルチバンド分光カメラ（MBC）による月面スキャン撮像で取得された画像をモザイク合成したもの。画像右側の灰色の部分は途中でスキャン運用を切り上げたためにデータがない部分。本来は画像の右側が上方向になるはずだったという（Credit: JAXA、立命館大学、会津大学）】

【▲ SLIMのマルチバンド分光カメラ（MBC）による月面スキャンの画像（モザイク合成）を拡大したもの。観測候補の岩石に付けられた愛称が示されている（Credit: JAXA、立命館大学、会津大学）】

MBCは月の形成と進化の謎に迫るため、月のマントルに由来するかんらん石（橄欖石）を含んだ岩の分光観測を目的に搭載された科学機器です。着陸後はまず低解像度のスキャンを行って観測対象となる岩石を特定し、続いて高解像度の分光観測を行う予定でした。スキャンは通常なら35分で333枚の画像を取得する予定でしたが、15分で打ち切ることになったため、257枚の画像取得と送信が行われています。

MBCによる高解像度分光観測の実施は太陽電池の発生電力が今後回復するかどうかにかかっています。観測候補の岩石には相対的な大きさがイメージできる「セントバーナード」や「しばいぬ」といった愛称が付けられており、今後電力が回復した際は速やかに観測を行えるよう準備が進められています。

前述の通りSLIMは最終的に着陸目標地点から約55m離れた場所へ着陸することに成功しました。JAXAは合計14回（7領域で2回ずつ）実施された画像照合航法の結果はすべて正常に完了していて航法精度は10m程度以下、高度約50mで行われた障害物検出付近までの状況からピンポイント着陸精度も10m程度以下（おそらく3～4m）と評価しています。従来の月探査機の着陸精度がkm単位だったことを踏まえればSLIMは非常に精度の高い着陸技術を実証したと言えますし、これほどの精度を発揮したからこそ、メインエンジン1基喪失という事態に遭遇しつつもフルサクセス項目の1つである精度100m以下の高精度着陸という目標を達成できたと言えるでしょう。



【▲ SLIM プロジェクトで考案・採用された 2 段階着陸の流れ。(1)月面へ垂直に降下してきた探査機が、(2)高度 3m 付近からは前傾しながら降下し、(3)機体下部の主脚が接地すると、(4)前進する勢いで機体が回転し、(5)前補助脚が接地して最終的に姿勢が安定する。主脚と前補助脚で合計 2 回接地するタイミングがあることから 2 段階着陸と呼ばれる (Credit: JAXA/ISAS)】

ただ、従来の方法では着陸が難しい傾斜した斜面にも安定した姿勢で接地するために考案された 2 段階着陸 (接地直前に探査機を前傾させ、主脚で接地した後に前補助脚が接地して安定する着陸方法) の挙動は、接地時の横方向速度や姿勢が仕様範囲を超えていたこともあり、今回のミッションでの技術実証はできませんでした。また、ミニマムサクセス項目の 1 つである金属 3D プリンターで製造された軟着陸のためのシンプルな衝撃吸収機構の実現や、エクストラサクセス唯一の項目である月面到達後に日没まで一定期間ミッションを行うことなど、一部の工学実験目標は調査中もしくは継続中です。今後太陽光が太陽電池に当たるようになれば再び動作する可能性がありますから、もうしばらくの間は SLIM から目が離せません。今後も SLIM については新しい情報が発表され次第お伝えします。

■ LEV-1 と LEV-2 について



【▲ 月面に到達した小型ローバー「LEV-1」(左)と「LEV-2」(愛称 SORA-Q、右)の想像図 (Credit: JAXA)】

【▲ 再掲：小型月着陸実証機「SLIM」から放出された探査ロボット「LEV-2 (SORA-Q)」のカメラで撮影された画像。大きく傾きつつ接地した状態の SLIM が右奥に写っている。画像は試験画像で、もう 1 機の探査ロボット「LEV-1」経由の試験電波データ転送により取得されたもの (Credit: JAXA/タカラトミー/ソニーグループ (株)/同志社大学)】

1 月 25 日の会見では高度約 5m で SLIM から放出された探査ロボット「LEV-1」と「LEV-2」の状況と成果も報告されました。このうち LEV-1 については 2024 年 1 月 20 日 0 時 19 分 49 秒~51 秒の間に SLIM から放出され、同日 0 時 19 分 51~53 秒の間に月面へ着陸し、同日 0 時 20 分 30 秒から月面での活動を開始したことが明らかにされました。40 分以上可能な限りと計画されていた活動時間は 1 時間 51 分程度続き、通信電波は同日 2 時 10 分に停止したとされています。LEV-1 にはバネの力で月面を蹴るパッドが搭載され、跳躍 (ホッピング) しながら移動できる仕組みになっていますが、取得されたデータからは月面で 6 回跳躍したことが確認されています。一方、愛称の SORA-Q で知られる LEV-2 も SLIM からの放出後に月面へ着陸し、2 つに分割された外殻を展開して活動したことがわかっています。LEV-2 の活動を雄弁に物語るのが、冒頭でも紹介した SLIM を撮影した画像 (以下に再掲) です。SLIM から正常に放出された LEV-2 が月面で想定通り変形して活動したこと、SLIM の検出と画像の選定を行う画像処理アルゴリズムが正しく機能したこと、LEV-1 との間で正常に通信が交わされ LEV-1 経由で画像が送信されたこと、こうした事実がこの 1 枚の画像から確認できるといいます。こうした成果が確認されたことで、LEV-1 と LEV-2 は「日本初の月面探査ロボット」になったと同時に「世界初の完全自律ロボットの月面探査」「世界初の複数ロボットによる同時月面探査」を達成したとされています。加えて LEV-1 は「世界初の跳躍による月面移動」、LEV-2 は「世界最小・最軽量の月面探査ロボット」にもなりました。小さなサイズで大きな記録を残した LEV-1 と LEV-2 ですが、太陽電池が搭載されている LEV-1 の運用はまだ終わっていません。計画通りの活動期間を終えた LEV-1 はバッテリーの電力を使い切ったか温度

が上昇したために活動を停止して待機中の状態で、太陽電池に太陽光が当たるようになったり温度が下がったりすれば活動を再開する可能性があることから、引き続き LEV-1 からの電波を受信する体制を維持する予定だということです。LEV-1 と LEV-2 の開発と運用で得られた技術は今後の宇宙探査や月面小型ローバーに活かされることが期待されています。

Source [JAXA](#) - 小型月着陸実証機 (SLIM) の月面着陸の結果・成果等について

[JAXA](#) - 小型月着陸実証機 (SLIM) 搭載マルチバンド分光カメラ (MBC) による撮影画像の公開について

[JAXA](#) - 小型月着陸実証機 (SLIM) 搭載 超小型月面探査ローバ (LEV-1) 月面着陸の結果・成果等について

[JAXA](#) - 変形型月面ロボットによる小型月着陸実証機 (SLIM) の撮影およびデータ送信に成功

[JAXA](#) - 小型月着陸実証機 (SLIM) および小型プローブ (LEV) の月面着陸の結果・成果等 の記者会見文 / sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20240127-2024bx1-sar2736.html>

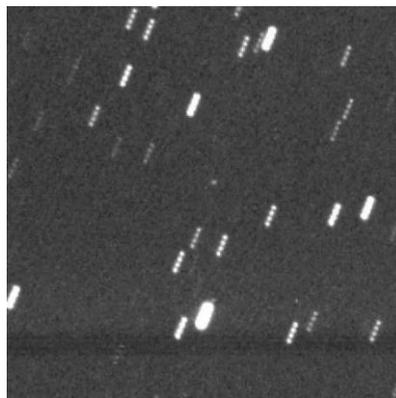
地球へ落下した小惑星「2024 BX1」 (Sar2736) を落下前に観測成功！ 観測史上 8 例目

2024-01-27 [彩恵りり](#)

世界では 1 日に数百万個の流星が地球へと降り注ぎ、そのうち 10 個から 50 個は隕石として地表や海に到達していると推定されています。しかし、隕石の落下が事前に予測されること、つまり落下前の宇宙空間で「小惑星」として発見されることはほとんどありません。

世界時 2024 年 1 月 20 日 (※1)、そのような珍しい事例が報告されました。20 日 21 時 48 分に発見された直径約 1m の小惑星「2024 BX1」 (暫定名 Sar2736) は、その 2 時間 45 分後となる 21 日 0 時 33 分 (中央ヨーロッパ時間同日 1 時 33 分) にドイツのベルリン西部に落下しました。小惑星が地球大気圏に突入する前に宇宙空間で発見され、衝突することが事前に予測されたのは、観測史上 8 例目の出来事です。

※1...以下、特に記載がない限りは世界時で日時を示します。9 時間進めると日本時間になります。



【▲図 1: チェコ北部のリベツ州で撮影された、2024 BX1 の落下による火球 (Credit: M. Martin)】

【▲図 3: ピスケーシュテテー山観測所で撮影された 2024 BX1。画像中央を下から上に向けて動いている点が 2024 BX1 です。背景の星 (直線状に並んだ点) に対して移動していることが分かります (Credit: Krisztián Sárneczky (Piszkéstető Mountain Station))】

■衝突前の小惑星を観測することは困難

太陽系には大小さまざまな天体や塵が無数に存在します。小さな塵や岩片が地球の大気圏に突入すると、発光して「流星」として観測されます。流星は 1 日に数百万個も降り注いでおり、その中でも特に明るいものは「火球」と呼ばれます。そして火球の一部は大気圏で蒸発しきらずに地表へと落下します。地表で落下物が発見された場合、その破片を「隕石」と呼びます。しかし、毎年周期的に目撃される流星群とは異なり、個々の

火球の発生が予測される事例はほとんどありません。事前に予測された場合、それは火球の元となる天体が宇宙空間で見ついていることを意味します。そのような天体が宇宙空間で発見された場合は「小惑星」として扱われ、発見報告を元に軌道が確定すると識別用の仮符号が割り当てられます。まとめると、同一の天体であっても、宇宙空間で発見されれば小惑星、大気圏を落下中に観察されれば流星や火球、地表で発見されれば隕石とみなされ、それぞれ独自の名称が割り当てられます。

小惑星そのものの発見数は130万個を超えていますが、落下前の小惑星を見つけるのは極めて困難です。その理由は複数あります。小惑星は直径が小さいほど数が多く、従って地球への落下頻度も高くなります。小惑星は自ら光を発しないので反射光を観測するしかありませんが、火球の元となる小惑星は数m前後と極めて小さいため、極めて暗い天体となります。また、1日の半分は太陽光によって空が明るいため、このような天体を地上から観測することは事実上不可能となります。観測者がほぼ存在しない海上や人口の少ないエリア側にいた場合、発見はさらに難しいでしょう。また、小惑星が小惑星として扱われるためには、どのような公転軌道を描いているのかを特定しなければなりません。軌道は見た目の明るさと位置の変化から計算して特定する必要があります。しかし、地球に接近する小惑星の動きや明るさの変化は、地球から離れたところにある通常の小惑星とは大きく異なるため、1つの天体に由来する複数の観測記録を統合する作業が困難になります。特に、地球に対して“正面衝突”するような小惑星は、見た目の位置が衝突の直前までほとんど動いていないように見えるため、なおさら観測が困難です。分かりやすい事例としては、2013年2月15日にロシアのチェリャビンスク州に落下した隕石が挙げられるでしょう。その明るさと被害からよく知られている現象ですが、落下の予測はされていませんでした。元となった天体は直径約17mの大きさがあったと考えられていますが、落下後の分析でも観測記録は見つかりませんでした。隕石となる天体としてはこれほど稀なサイズであっても見逃されていたことが、いかに観測が困難であることを示しています。このような背景がある中で、地球に衝突することが予測された小惑星の発見は過去に7例ありました。最初の記録は2008年10月6日6時39分に発見された後、翌7日2時26分に地球に衝突した「2008 TC3」です。その後はしばらく観測記録がなかったものの、2014年から2023年までの10年間で「2014 AA」「2018 LA」「2019 MO」「2022 EB5」「2022 WJ1」「2023 CX1」の6例が報告されています(※2)。観測頻度が上がっている理由として、観測体制や精度の向上、情報伝達速度の改善、軌道解析など数値計算の高速化といった、様々な背景事情が考えられます。※2...観測データが不十分であるために小惑星として正式な登録がされていない「A106fgF」と「DT19E01」、落下の約10分前に撮影されていたものの事後解析によって判明した「CNEOS 20200918」の3事例を除きます。

名称	正式登録	直径	衝突日時 (UTC)	初観測日時 (UTC)	発見?	観測回数	隕石名
2008 TC ₃	○	4.1 m	2008年 10月 07日 02:46	2008年 10月 06日 06:39	○	883回	アルマハータ・シッタ隕石
2014 AA	○	2~4 m	2014年 01月 02日 03:04	2014年 01月 01日 06:22	○	7回	(海へ落下したと推定)
A106fgF	×	1~4 m	2018年 01月 22日 19:32	2018年 01月 22日 ?	△ (不確かさが大きい)	-	(海に落下 or 実際は衝突していない可能性)
2018 LA	○	2.6~3.8 m	2018年 06月 02日 16:45	2018年 06月 02日 08:22	○	15回	モトビ・パン隕石
DT19E01	×	0.1~0.4 m	2019年 03月 04日 16:34	2019年 03月 04日 14:58	△ (不確かさが大きい)	-	(海に落下 or 実際は衝突していない可能性)
2019 MO	○	3~10 m	2019年 06月 22日 21:26	2019年 06月 22日 09:49	○	7回	(海へ落下したと推定)
CNEOS 20200918	×	3 m	2020年 09月 18日 08:05	2020年 09月 18日 07:55	×	-	(海へ落下したと推定)
2022 EB ₅	○	1~4 m	2022年 03月 11日 21:22	2022年 03月 11日 19:09	○	178回	(海へ落下したと推定)
2022 WJ ₁	○	1 m	2022年 11月 19日 08:26	2022年 11月 19日 04:53	○	51回	(未発見)
2023 CX ₁	○	1 m	2023年 02月 13日 02:59	2023年 02月 12日 20:18	○	434回	サン・ピエール・ル・ビジエ隕石
2024 BX ₁	○	1 m	2024年 01月 21日 00:33	2024年 01月 20日 21:48	○	198回	(発見報告あり、確認中)

【▲図 2: 今回の観測記録を含む、衝突前に発見された経歴を持つ小惑星の一覧 (Credit: 彩恵りり)】

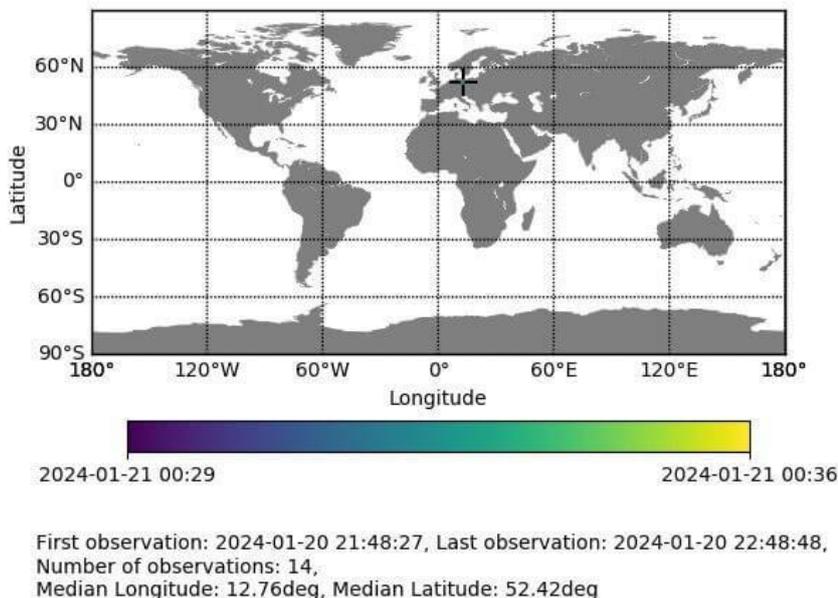
■観測史上8例目、衝突前の小惑星「2024 BX1」を発見

そして今回で8番目の事例となる「2024 BX1」は、2024年1月20日21時48分に最初の観測記録が報告されました。2024 BX1は発見された時点で地球から約11万8000kmまで接近していたと考えられます。これは地

球と月との距離の3分の1以下です。なお、この時点では、小惑星などの天体を管轄するIAU（国際天文学連合）の関連機関「小惑星センター」のNEOCP（地球近傍天体確認ページ / Near Earth Object Confirmation Page）で付与された暫定名である「Sar2736」の名称で呼ばれており、正式名称となる2024 BX1が与えられたのは衝突後のことです。

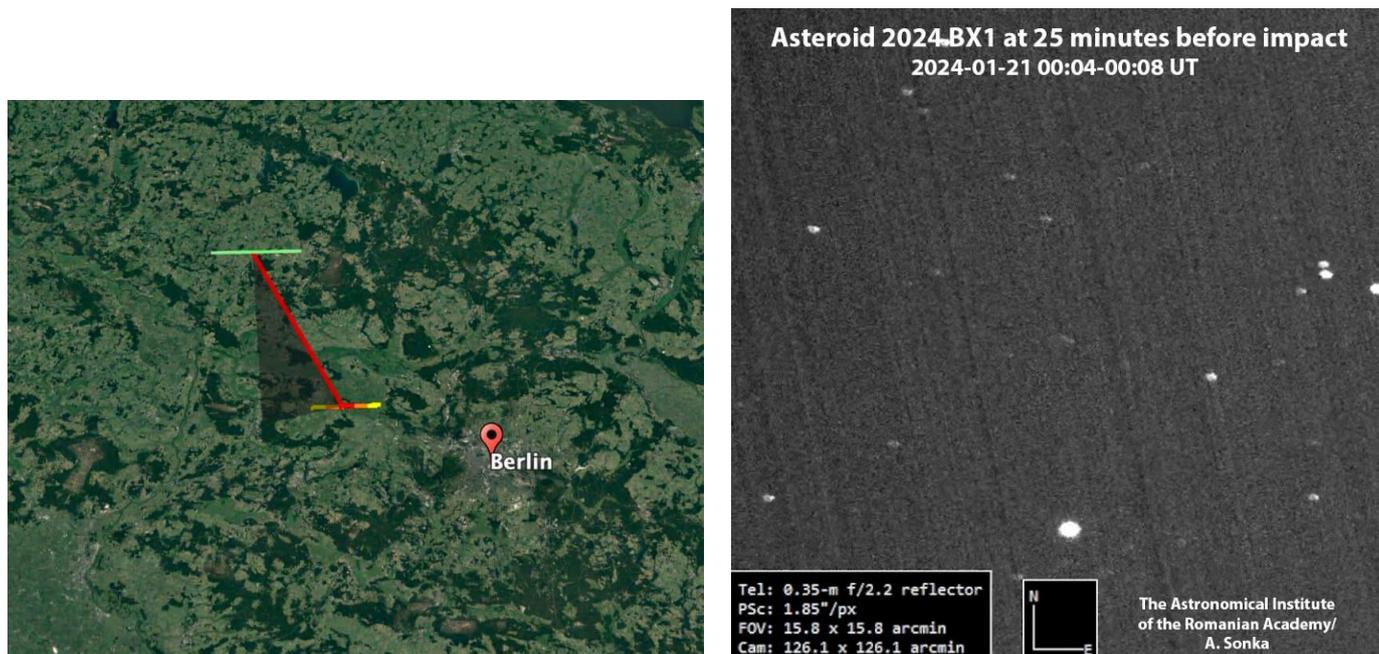
2024 BX1 を初めて捉えたのはハンガリーのピスケーシュテテー山観測所で、Krisztián Sárneczky氏によってでした。Sárneczky氏はこれまでも地球に衝突する直前の小惑星を発見しており、2024 BX1 の発見は、5番目の事例である「2022 EB5」と7番目の事例である「2023 CX1」に次いで3例目となります。

Sar2736 Impact plot: 14 obs, 1.0 h arc length



【▲図 4: 2024 BX1 が衝突する前に発表された落下地点の予測（十字の中央にある色の範囲）。本来は衝突範囲が帯状になりますが、今回は衝突範囲がとても絞られており、落下予想は点となっています（Credit: Richard Moissl (ESA)）】

表された落下地点の予測（十字の中央にある色の範囲）。本来は衝突範囲が帯状になりますが、今回は衝突範囲がとても絞られており、落下予想は点となっています（Credit: Richard Moissl (ESA)）】



【▲図 5: 2024 BX1 のより詳細な落下地点の予測。観測記録の多さと、ほぼ垂直で落下するという角度の関係から、ベルリン西部の極めて狭い範囲（赤～黄の線状）に予測が絞られました（Credit: Richard Moissl (ESA)）】

【▲図 6: ブカレスト天文台で A. Sonka 氏と A. Nedelcu 氏によって観測された 2024 BX1 (中央の淡い点)。一連の画像は 21 日の 0 時 4 分から 8 分にかけて撮影されており、最後の画像は衝突のわずか 25 分前です (Credit: A. Sonka (Astronomical Institute of the Romanian Academy))】

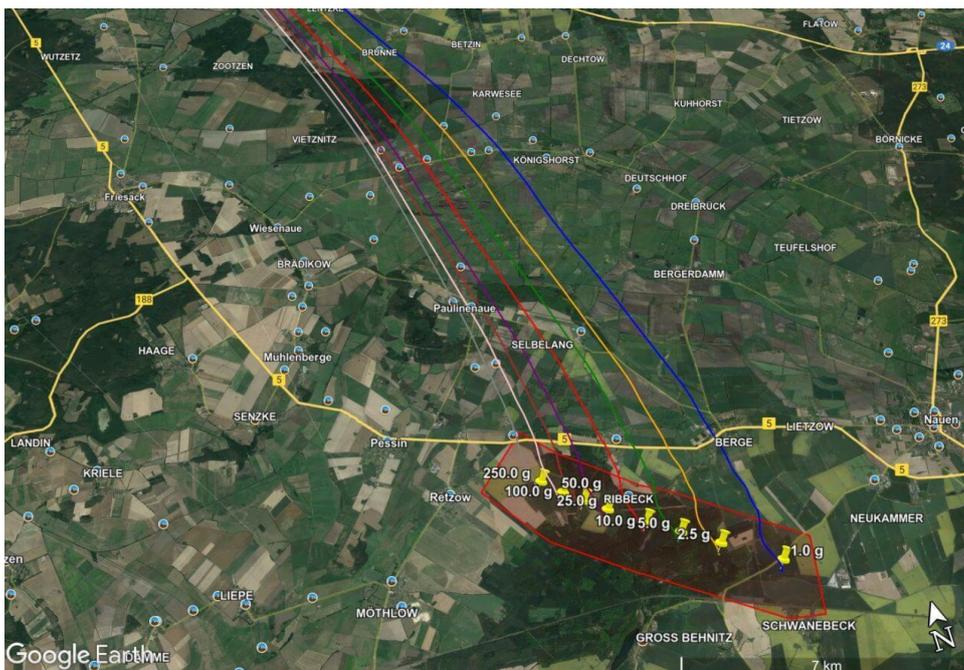
発見直後から、JPL (ジェット推進研究所) の「Scout」、ESA (欧州宇宙機関) の「Meerkat」、小惑星センターの内部警報システムなど、各宇宙機関の小惑星監視システムが地球への衝突を予測しました。衝突予想日時は初観測から 2 時間 45 分後となる翌 21 日 0 時 33 分 (中央ヨーロッパ時間同日 1 時 33 分) であり、ドイツの首都ベルリンの西部にあるネウハウゼン (Nennhausen) 周辺に落下することが予測されました。

2024 BX1 の見た目の明るさは発見時でわずか約 18 等級、最も明るい時でも約 13 等級しかありませんでしたが、実に 13 箇所の天文台が 2024 BX1 の明るさや位置の観測記録を報告しました。観測は 21 日 0 時 18 分まで行われましたが、これは地球に衝突するわずか 15 分前です。そして、2024 BX1 は事前の予測通りの場所・時刻に落下し、ドイツ西部を中心に各地で火球が観測されました。

小惑星センターによって 2024 BX1 という正式な仮符号が与えられたのは、落下から約 1 時間後の 1 時 41 分に発行された小惑星電子回報によってでした。同時に公転軌道も確定され、地球に衝突するまでは太陽の周りを約 1.54 年周期で公転するアポロ群小惑星であることが分かりました。

■将来的には頻繁な出来事になるかもしれない？

2024 BX1 の推定直径は約 1m であり、これは発見された小惑星 (および天体) の中でも最小クラスの大きさです。この大きさにも関わらず詳細な観測が行われたのは、地球に接近したという条件面だけでなく、観測体制や技術精度の改善が背景として挙げられます。実際、2024 BX1 の観測記録は、初発見から最後の観測までの約 2 時間半の間に 198 回に達しました。今回と同じく、約 11 か月前にヨーロッパ地域に落下した 2023 CX1 の場合、約 6 時間半の間に 434 回の観測記録があり、どちらのケースもほぼ 1 分に 1 回以上の観測記録があったこととなります。いつ見つかるのかわからない小惑星に対し、短時間で観測体制を整えられることが、今回の珍しい観測に繋がったと言えます。



【▲図 7: 2024 BX1 の破片が隕石

として見つかる予測される範囲。重さによって風の影響が異なるため、最終的な落下範囲も異なります。2024 BX1 は地表に対してほぼ垂直に落下したため、相当狭い領域に絞り込まれています (Credit: Denis Vida)】

2024 BX1 と同等の直径約 1m の小惑星の落下は “もしかすると地表に隕石を残すかもしれない” 程度の、危険性のないイベントです。ただし、将来的にはチェリャビンスク州での災害に匹敵するか、それを上回るような

隕石災害が起こるかもしれません。観測が困難な小惑星の観測体制の向上は、このような稀ながらも危険性の高いイベントが起こるかどうかの予測精度の向上につながります。今回の 2024 BX1 のような事前に予測された火球イベントは、将来的にはこのような記事が書かれないほどに頻繁なイベントとなるかもしれません。

関連記事 ・ [史上 7 例目、落下前の小惑星「2023 CX1」\(Sar2667\) の観測に成功!](#) (2023 年 2 月 23 日)

・ [出現が予測されていた火球の飛跡 大気圏突入前に発見された史上 6 番目の小惑星「2022 WJ1」](#) (2022 年 11 月 25 日)

・ [去る 3 月 12 日に大気圏へ突入。地球衝突前に発見された史上 5 例目の小惑星「2022 EB5」](#) (2022 年 3 月 20 日)

・ [2018 年にボツワナへ落下した隕石は小惑星ベスタから飛来したものだった?](#) (2021 年 5 月 3 日)

※1 月 27 日追記：1 月 26 日に、2024 BX1 に由来すると思われる隕石を発見したとの報告がありました。確認された場合、落下前に宇宙空間で発見された小惑星に由来するものとしては 4 例目の隕石となります。

※図 2 の日付表記に誤りがありましたので、修正いたしました (1 月 27 日 22 時)

Source [Minor Planet Electronic Circular](#). “MPEC 2024-B76 : 2024 BX1” (Minor Planet Center)

“[“Pseudo-MPEC” for Sar2736](#)”. (Project Pluto) “[JPL Horizons での計算結果](#)”.

M. Martin. “[Report 423r](#)”. (International Meteor Organization)

“[Krisztián Sárneczky 氏の X \(旧 Twitter\) でのポスト](#)” “[Richard Moissl 氏の X \(旧 Twitter\) でのポスト](#)”

“[Denis Vida 氏の X \(旧 Twitter\) でのポスト](#)” “[ブカレスト天文台での観測画像](#)” (Şonka Adrian – Astronomie)

文／彩恵りり

https://www.afpbb.com/articles/-/3502294?cx_part=top_category&cx_position=1

世界初！ AIMS 望遠鏡が太陽磁場測定 of 難題を突破 中国

2024 年 1 月 26 日 20:02 発信地：中国 [[中国](#) [中国・台湾](#)]

CGTN
Japanese



青海省茫崖市冷湖鎮に設置された AIMS 望遠鏡 (2023 年 1 月 26 日提供)。(c)CGTN Japanese

【1 月 26 日 CGTN Japanese】中国西部に位置する青海冷湖天文観測基地によると、世界初の太陽磁場の正確な測定に用いる中赤外線観測システム (AIMS 望遠鏡) はこれまでに、ベクトル磁場の測定精度を 1 段階向上させるという中核的な科学目標を達成し、太陽磁場の「間接測定」から「直接測定」への飛躍を実現しました。

AIMS 望遠鏡は、国家自然科学基金委員会が支援する重大計器特別プロジェクト (政府官庁が推薦) で、平均海拔約 4000 メートルの青海省海西モンゴル族チベット族自治州茫崖市冷湖鎮賽什騰山 D プラットフォームに設置されています。望遠鏡の技術指標は、5 か月余りにわたる前期調整観測を経て、任務書の要求を満たし、検証準備段階に入りました。中国科学院国家天文台懷柔太陽観測基地の王東光総技師によりますと、AIMS 望遠鏡は初めて 10 ガウスを超える精度で太陽ベクトル磁場の正確な測定を行ったことが科学データの分析で分かりました。このことは、AIMS 望遠鏡が超狭帯域フーリエ分光計を利用して、中赤外帯域で直接ゼーマン分裂幅を測定して太陽磁場の強度を計り知るという期待された目標を達成し、太陽磁場測定の百年の歴史におけるボトルネックを突破し、太陽磁場の「間接測定」から「直接測定」への飛躍を実現したことを意味します。

(c)CGTN Japanese/AFPBB News

<https://uchubiz.com/article/new37537/>

「宇宙太陽光発電」、地上の再生可能エネルギーの12~80倍に-NASAがコストを試算

2024.01.24 07:00 塚本直樹

米航空宇宙局（NASA）は米国時間1月10日、宇宙での太陽光発電のライフサイクルコストや温室効果ガスの排出量に関する報告書を公開した。NASAの技術・政策・戦略局（Office of Technology, Policy, and Strategy : OTPS）がまとめた報告書（PDF）では、宇宙空間で電力を発電し、マイクロ波で地球に送信する「宇宙太陽光発電（Space-Based Solar Power : SBSP）」として、2つのアーキテクチャが検討されている。

1つは1kw時あたり0.61ドル、もう一つは1kw時1.59ドルで発電できるというものだった。地上での風力発電や水力発電、太陽光発電は1kw時あたり0.02~0.05ドルで発電できる。報告書によれば、SBSPシステムの建設と立ち上げによって生成される温室効果ガスの量は、米国の電力網の平均よりはるかに少ないものの、地上の再生可能エネルギーと同等であることも明らかになった。報告書の執筆者の1人であるErica Rodgers氏は、「これらの宇宙ベースの太陽光発電の設計は、高価であることがわかった。地上における再生可能エネルギーを導入する場合より12~80倍もの費用がかかる」と語っている。



太陽観測衛星「Solar Dynamics Observatory (SDO)」で観測した太陽（出典：

NASA） 関連リンク [NASA 発表 報告書「Space-Based Solar Power」\(PDF\)](#)

<https://uchubiz.com/article/new37619/>

有人月探査「アルテミス3」向け宇宙服、6月から詳細設計審査-プラダが協力

2024.01.24 17:00 塚本直樹

[Axiom Space](#) は米国時間1月22日、米航空宇宙局（NASA）の有人月探査ミッション「[Artemis III](#)」で使用する宇宙服の詳細設計審査（Critical Design Review : CDR）が6月にも実施されると明かした。

Artemis IIIは米国人宇宙飛行士を再び月面に立たせるミッションだが、[2026年9月に延期](#)することが発表された。[Axiom Space](#)はファッションブランドの[Pradaと協力](#)し、Artemis III向けの宇宙服を開発している。

（出典：Axiom Space 公式 X アカウントツイート）

Axiom Spaceが開発する宇宙服「Axiom Extravehicular Mobility Unit (AxEMU)」は、かつての「Apollo計画」のものとは異なり、より寒い月の南極での活動に対応する。AxEMUは今後2年間、宇宙の温度と真空をシミュレートできるチャンバーでテストされる予定だ。

Axiom SpaceはAxEMUの開発について「さまざまなクルーに対応する」ことを目標としている。AxEMUは月面での作業や太陽から影となる地域での2時間以上の動作能力などを提供する予定だ。

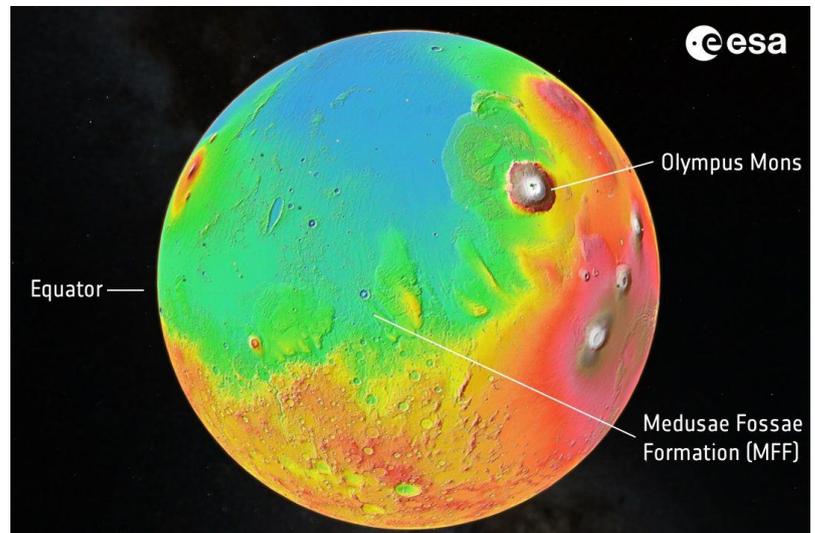
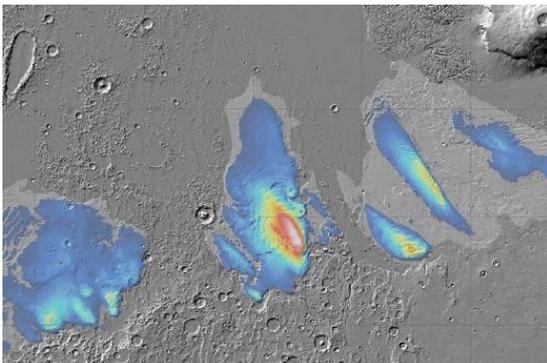


（出典：Axiom Space）

火星の赤道の地下に「厚さ 3.7 キロの氷」 有人探査の助けになる可能性



[Jamie Carter | Contributor](#)



火星のメドゥーサフォッサ層（MFF）地下にある氷の分布図。青から赤になるほど氷の厚みが厚い領域を表し、白色は厚さ 3000m 以上を示している（ESA）[全ての画像を見る](#)

火星表面の標高地図。最も低い領域が青で、緑→黄→赤になるほど標高が高くなり、山頂域が白で示されている。赤道付近にはメドゥーサフォッサ層（MFF）、右上には太陽系最高峰のオリンポス山がある（ESA）

火星の赤道の地下に、厚さ 3000m 以上の氷の堆積物があるのが発見された。もしこの氷がすべて融解すれば、火星の表面全体が深さ 1.5~2.7m の水で覆われると考えられる。

[NASA](#)によると、地下の氷は、火星に最初に足を踏み入れる宇宙飛行士らにとって極めて重要な資源になる。飲料水だけでなく、ロケット燃料の製造にも利用できる可能性があるほか、火星の気候史を解明する手がかりにもなるかもしれない。将来の火星有人ミッションは、最適な着陸地として赤道付近を選ぶ必要があることから、今回発見された氷は利用価値が高い可能性がある。

貴重な発見

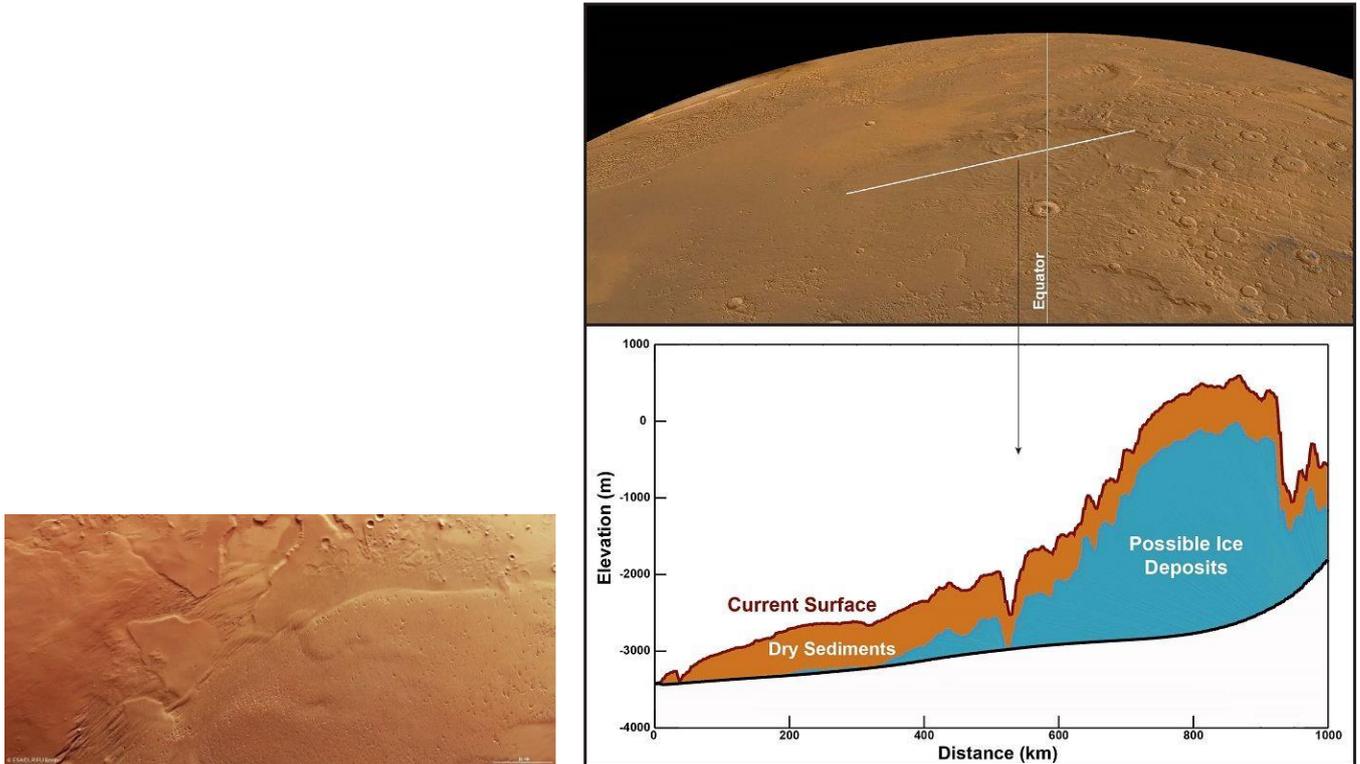
発見に使用された観測データは、欧州宇宙機関（ESA）の火星探査機マーズ・エクスプレスに登載の地下探査レーダー高度計「MARSIS」で収集された。同探査機は約 20 年にわたり火星を周回している。今回の研究をまとめた論文は、学術誌 Geophysical Research Letters に掲載された。氷の堆積物が見つかったのは「メドゥーサフォッサ層（MFF）」と呼ばれる、火星最大規模の堆積層。この領域については長年、科学的に未解明な点が多いままとまっている。[ESA](#)によると、インドほどの面積を持つ MFF は、火星で最大規模の塵の単一発生源と見られている。ESA のマーズ・エクスプレスの観測データから作成したメドゥーサフォッサ層（MFF）の画像（ESA/DLR/FU Berlin, [CC BY-SA 3.0 IGO](#)）メドゥーサフォッサ層（MFF）の地下構造断面図。火星表面の写真（上）の白線は MARSIS でスキャンした範囲。茶は乾燥した堆積層、青は氷の堆積物を示す。氷堆積物は高さ 3000m 以上、幅数百 km に及んでいる（CReSIS/KU/Smithsonian Institution）

塵に覆われた氷

最新論文の筆頭執筆者で、2007 年に発表された MFF に関する最初の論文の筆頭執筆者でもある米スミソニアン博物館のトーマス・ワターズは「マーズ・エクスプレスの MARSIS レーダーの最新データを用いて再び MFF

を調査した結果、氷の堆積物が当初考えていたよりもさらに分厚いことが判明した」と述べている。幅約3.7kmの氷堆積物は、厚さ数百mにおよぶ乾燥した塵の保護層で覆われている。

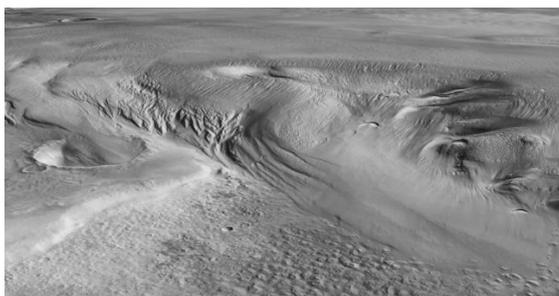
「ワクワクすることに、レーダー信号が、層状の氷から観測されると見込まれるものと一致し、大量の氷があることがわかっている火星の極冠から観測される信号に似ている」



[次ページ >火星の地下の氷は「太古の貯水層」の可能性](#)

太古の貯水層

これは、火星の赤道付近で発見された水としては過去最大量だが、火星での氷の発見はこれが初めてではない。水の氷は、火星の極冠、赤道付近にある地下氷河や、土壤に含まれるかたちで存在することが知られている。ESAの火星探査計画マーズ・エクスプレスとエクソマーズ（ExoMars）のトレース・ガス・オービター（TGO）のプロジェクトサイエンティストを務めるコリン・ウィルソンは「今回の最新分析は、MFFに関するこれまでの理解に異を唱えており、疑問を解くと同時に新たな疑問を浮上させている」と指摘している。「この氷の堆積物は、どれくらい前に形成され、当時の火星はどのような状態だったのだろうか。水の氷であることが確認できれば、この巨大な堆積物によって火星の気候史に関する理解が一変するだろう。太古の貯水層は、有人および無人探査の魅力的な対象となると考えられる」



MFFのエウメニデス・ドルスム地域。最も分厚い氷堆積物があると見られている（Caltech/JPL Global CTX Mosaic of Mars/Smithsonian Institution）

数十年間は近づけない

火星の赤道付近にある氷の発見は、有人探査計画にとって興味深いのは確かだが、不都合な点が1つある。大量の塵に埋もれていることだ。「残念なことに、MFFの堆積物は厚さ数百mの塵に覆われているため、少なく

とも今後数十年間は近づくことができない」とウィルソンは説明している。「それでも、発見される氷の1つ1つが、火星の水が過去にどこを流れていたか、そして現在はどこで発見される可能性があるかについて、より詳細に状況を把握する助けになる」 (forbes.com 原文) 翻訳＝河原稔

<https://sorae.info/space/20240126-ingenuity.html>

NASA が火星ヘリコプター「Ingenuity」のミッション終了を発表 約3年間で火星の空を72回飛行

2024-01-26 [sorae](#) 編集部

アメリカ航空宇宙局（NASA）は2024年1月25日付で、火星ヘリコプター「Ingenuity（インジェニユイティ）」のミッション終了を発表しました。2021年4月から2024年1月までの間に当初の目標だった5回を大幅に上回る72回の飛行を実施した Ingenuity は、計画されていた期間の30倍以上も続いた火星での長い旅を終えることになりました。【最終更新：2024年1月26日11時台】



【▲ アメリカ航空宇宙局（NASA）の火星ヘリコプター「Ingenuity（インジェニユイティ）」。火星探査車「Perseverance（パーシビアランス）」のカメラ「Mastcam-Z」で2023年8月2日に撮影（Credit: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS）】

【▲ Perseverance のカメラ「Mastcam-Z」で撮影された Ingenuity 初飛行の様子（Credit: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS）】

Ingenuity は日本時間 2021 年 2 月 19 日朝に着陸した NASA の火星探査車「Perseverance（パーシビアランス）」の下部に搭載される形で火星へと運ばれました。機体は高さ 49cm、重量 1.8kg と小型・軽量で、幅 1.2m のカーボンファイバー製ローター（二重反転式）と太陽電池を搭載しています。

火星の環境は地球とは異なり、地表の重力は地球の約 3 分の 1、地表の気圧は地球の約 1 パーセントしかありません。大気が薄い火星でも動力飛行できることを実証するのが Ingenuity の使命であり、当初は 30 日間で最大 5 回の飛行が計画されていました。2021 年 4 月 19 日に実施された初飛行で Ingenuity は高度 3m で 30 秒間のホバリングを含む 39.1 秒間の飛行に成功し、火星における航空機の制御された動力飛行が可能であることを初めて証明しました。

この 1 分に満たない初飛行は Ingenuity の旅の始まりに過ぎませんでした。3 日後の 2021 年 4 月 22 日に実施された 2 回目の飛行で初めて水平方向の移動に成功した Ingenuity は、「ライト兄弟飛行場（Wright Brothers Field）」と名付けられた離着陸地点を拠点に 4 回の飛行を重ねた後、5 回目の飛行（2021 年 5 月 7 日）では 129m 離れた場所に設定された新たな離発着地点へ移動することに成功。ミッションは技術実証から運用実証へと進み、Ingenuity は Perseverance の探査活動に役立てるための画像撮影を実際に行うようになりました。



【▲ 2022年4月8日に行われた25回目の飛行中、Ingenuityのカメラで撮影された火星の地表の様子。ナビゲーション用モノクロカメラで撮影した複数の画像を動画にしたもので、この飛行での最高高度は10m、飛行時間は161.3秒だった】（Credit: NASA/JPL-Caltech）

NASAのジェット推進研究所（JPL）によると、Ingenuityは2024年1月18日までに合計72回の飛行を達成しました。総飛行時間は約128.8分、総飛行距離は約17kmで、最高速度は毎秒10m（毎時36km）、最高高度は24mを記録。火星での活動期間はPerseveranceの着陸から1035ソルを数えます（※）。Ingenuityはその間に危険な地形でも自律的に着陸場所を選べるようにするためのソフトウェアアップデートを受けた他に、バッテリーの電力が不足して夜の間ヒーターをオンにし続けられないためにフライトコンピューターが定期的にフリーズリセットしてしまうような厳しい冬を乗り越え、3回の緊急着陸も経験しました。

※…2024年1月18日時点。1ソル（Sol）は火星の1太陽日、約24時間40分。



【▲ 2023年12月22日に行われた70回目の飛行中、高度12mを飛行するIngenuityのカメラで撮影された火星の地表。最後となった72回目の飛行は、この画像の右側付近に写るエリアで行われた（Credit: NASA/JPL-Caltech）】

【▲ 2024年1月18日に行われた72回目の飛行後、着陸したIngenuityのカメラで撮影された画像。着陸時に先端を損傷したとみられるローターブレードの影が火星の地表に落ちている（Credit: NASA/JPL-Caltech）】

JPLによると、Ingenuityは71回目の飛行（2024年1月6日）で約125秒間飛行する予定でしたが、実際には離陸から35秒後に緊急着陸しました。システムをチェックするための短時間の飛行として計画された72回目の飛行（2024年1月18日）では高度12mまで正常に垂直上昇したものの、降下中に地球との通信を中継しているPerseveranceとの通信が途絶えました。通信は翌日に再確立されたものの、Ingenuityのカメラで撮影された画像は少なくともローターブレードの1つが損傷したことを示していたことから、Ingenuityはミッションを終えることになりました。Ingenuityのプロジェクトマネージャーを務めるJPLのTeddy Tzanetosさんは「IngenuityとPerseverance双方のチームの情熱と献身がなければ、火星ヘリコプターは72回どころか1回も飛行することはなかったでしょう。宇宙探査の未来に消えることのない足跡を残した史上初の火星ヘリコプターは、今後数十年に渡って火星や別の世界における航空機にインスピレーションを与え続けるでしょう」とコメントしています。今後は飛行運用を終えたIngenuityでシステムの最終テストを実施するとともに、残りの画像とデータが取得される予定だということです。

Source [NASA/JPL](https://www.nasa.gov/press/20240118/nasa-s-ingenuity-helicopter-mission-ends) - After Three Years on Mars, NASA's Ingenuity Helicopter Mission Ends

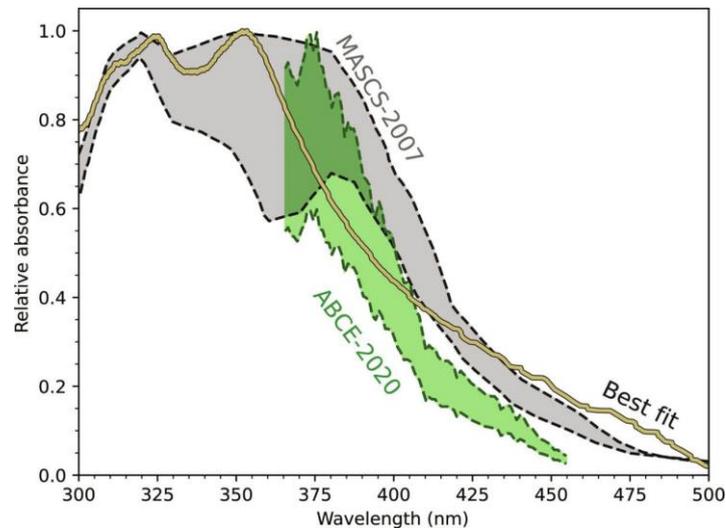
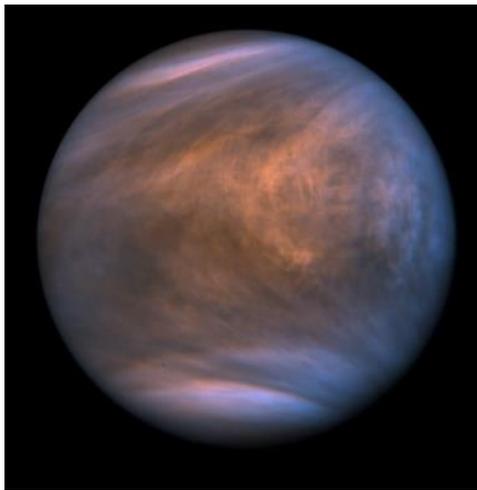
[NASA Mars](https://www.nasa.gov/press/20240118/nasa-s-ingenuity-helicopter-mission-ends) - Helicopter Status Updates

文/sorae編集部

金星の雲に含まれる紫外線吸収物質は2種類の硫酸鉄と特定

2024-01-24 彩恵りり

「金星」を紫外線で見ると、特定の波長で暗く見える斑点構造が見つかります。これは雲の中に含まれている物質が紫外線を吸収していることを意味しますが、物質の正体はこれまではっきりと分かっていませんでした。ケンブリッジ大学の Clancy Zhijian Jiang 氏などの研究チームは、金星の雲の環境を再現するために、様々な物質が含まれた硫酸溶液を合成し、紫外線の吸収波長を調査しました。その結果、2種類の硫酸鉄化合物が観測値を最もよく説明することが明らかにされました。金星の環境は興味深い研究対象であり、この研究結果は金星の大気化学に関する大きな成果の1つとなるでしょう。



【▲図1: 金星探査機「あかつき」の紫外線観測データに基づいて作成された金星の疑似カラー画像 (Data Source: PLANET-C Project Team, DARTS, ISAS & JAXA; Image Credit: Meli thev)】

【▲図2: 観測データと実験結果それぞれにおける、波長ごとの紫外線の吸収度合い。観測結果 (灰色や緑色の網掛け) に最も一致する実験結果 (黄色帯) は、74wt%濃度の硫酸にロンボクレースが1wt%、84wt%濃度の硫酸に酸性硫酸第二鉄が1.25wt%含まれている場合であることがわかりました (Credit: Clancy Zhijian Jiang, et al.)】

■あまりにも独特過ぎて解明困難な金星の大気

「金星」は地球とほぼ同じ直径・質量の惑星ですが、大気環境は大きく異なります。金星の大気は9割以上が二酸化炭素で構成されており、表面の気圧は地球の90倍に達していることに加えて、硫酸が含まれているために極度の酸性を示しています。金星の大気環境は他のどの天体にも類例が存在しないことから、大気化学の分野で特に注目されています。ただし、あまりにも環境が独特過ぎて比較対象がないために、金星の環境を分析する研究は困難です。このため、分析ができていない観測データは無数にあります。その1つが紫外線による観測データです。金星を紫外線で観測すると、一部が暗く映る斑点状の構造が生じます。これは金星上空の高度48~65kmに浮かぶ雲に由来すると考えられています。

高度48~65kmは、熱が支配的な下層部と光が支配的な上層部の中間部であり、金星の大気の中でも特に注目されている領域の1つです。その雲が紫外線で写るということは、雲の中に紫外線を吸収する物体が存在することになります。では、紫外線を吸収する物体はどのような化学組成を持っているのでしょうか？その候補は無数にあるため、これまで解明されていませんでした。

■紫外線を吸収する2種類の硫酸鉄を特定

Jiang 氏らの研究チームは、金星の雲に含まれている成分を特定するための実験を行いました。金星の雲には鉄と硫黄が多く含まれていることが既に分かっています。また、鉄と硫黄が化合した硫酸鉄は紫外線をよく吸収します。このため、金星の雲の中には硫酸鉄が含まれている可能性があります。ただし、硫酸鉄には化学組成の細かな違いが生じるため、候補が無数にある状況には変わりありません。

このため Jiang 氏らは、実験を行うことで成分の正確な正体を探ることにしました。様々な組成の硫酸鉄を合成し、様々な濃度の硫酸に溶かしてできた硫酸鉄の硫酸溶液を、金星が受けるであろう太陽光を再現した光源に照らすことで、どの波長の紫外線を吸収するのかを観測しました。

その結果、「ロンボクレーズ (Rhomboclase / $(\text{H}_5\text{O}_2)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 」と「酸性硫酸第二鉄 (acid ferric sulfate / $(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$) 」という 2 種類の硫酸鉄が、金星の紫外線吸収を最も良く説明できることが判明しました。いずれも硫酸に対する重量比が約 1% (約 1wt%) の濃度で含まれていると考えられています。

この研究は金星に関する謎を 1 つ明らかにしたものの、謎はまだ多くあります。例えばこれらの硫酸鉄は塩化鉄のような揮発しやすい別の鉄化合物からの反応によって生じたと考えられていますが、その反応機構は正確には分かっていません。また、金星の大気上空へ重い鉄を供給するメカニズムも不明です。硫酸鉄は二酸化硫黄を吸収するものの、金星で観測されている二酸化硫黄の局所的な減少を説明するには不足しています。このように挙げられた謎は、金星の大気に関する謎のほんの一部です。それでも金星の紫外線吸収に関する謎の解明は、金星の大気化学に関する大きな成果の 1 つとなるでしょう。

Source

[Clancy Zhijian Jiang, et al.](#) "Iron-sulfur chemistry can explain the ultraviolet absorber in the clouds of Venus".

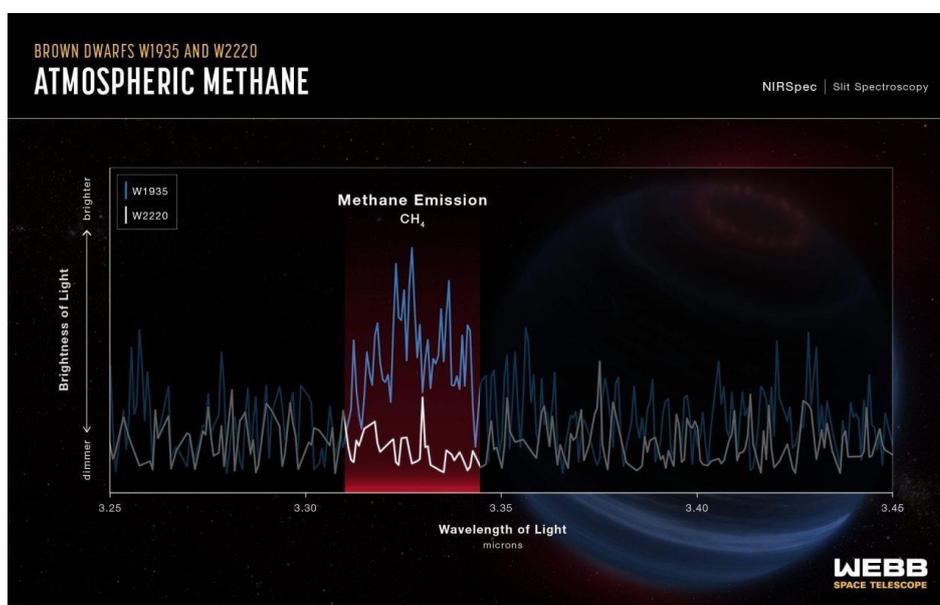
(Science Advances)

["Mysterious missing component in the clouds of Venus revealed"](#). (University of Cambridge) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astromy/20240121-w1935.html>

孤立した褐色矮星「W1935」でオーロラが発生している可能性 理由は謎

2024-01-21 [彩恵りり](#)



【▲図 1: 赤外線で輝くオーロラを持つ W1935 の想像図 (Credit: NASA, ESA, CSA & Leah Hustak (STScI))】

【▲図 2: ウェブ望遠鏡による W1935 と W2220 のそれぞれの観測結果。メタンに関連する赤外線の波長について、W2220 (白色) では弱い一方、W1935 (青色) は赤外線が強いことが分かります (Credit: NASA, ESA, CSA & Leah Hustak (STScI))】

美しい天文現象である「オーロラ」は、地球以外の天体でも観測されています。オーロラは恒星から放出される荷電粒子（電気を帯びた粒子）と大気との衝突で発生する現象であるため、近くに恒星がない天体でのオーロラの発生は予測されていませんでした。しかし、アメリカ自然史博物館の Jackie Faherty 氏などの研究チームは、恒星の周辺を公転しておらず、孤立している褐色矮星「W1935」に、オーロラと思われる赤外線の発光を観測しました。孤立した褐色矮星でオーロラが観測されたのはこれが初めてです。この発見は予想外であり、その発生理由が注目されています。

■「オーロラ」は恒星活動と関連している

「オーロラ」は視覚的に美しく、知名度の高い天文現象です。オーロラは大気を構成する分子に宇宙から降り注ぐ高速の荷電粒子が衝突することで発生します。この理由から、オーロラは地球以外にも大気が存在する天体で発生します。例えば太陽系の惑星では、濃い大気が存在しない水星を除いた全ての惑星でオーロラの発生が確認されています。オーロラの発生には大気と共に、高速かつ大量の荷電粒子が必要となります。太陽系における大量の荷電粒子の源は太陽です。これは他の恒星でも同じことが言えるため、太陽系以外の惑星系でもオーロラの発生が観測されています。裏を返せば、近くに恒星がない天体の場合、オーロラも観測できないこととなります。

■孤立した褐色矮星「W1935」でオーロラを観測

Faherty 氏らの研究チームは、「ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡」を使用し、12 個の褐色矮星の観測を行いました。褐色矮星は木星のような巨大ガス惑星と太陽のような恒星との中間的な性質を持つ天体とされており、その性質が注目されています。

Faherty 氏らが観測した 12 個の褐色矮星には、お互いの性質が似ている「W1935」と「W2220」が含まれていました。どちらも近くに恒星がない孤立した褐色矮星であり、非常に低温です。このような低温の褐色矮星の大気中にはメタンが多く含まれていることが知られており、これはウェブ望遠鏡が観測できる赤外線の波長で見つけることができます。実際に、W2220 の観測ではメタン分子によって特定の波長が吸収され、その分だけ暗くなった赤外線が予測通り観測されました。しかし、クローンとも例えられるほど似てはいるはずの W1935 では、メタン分子による赤外線の吸収ではなく、メタン分子から赤外線が放出されているという予想外な観測結果が得られました。大気を構成する分子からの発光であることから、これはオーロラを観測していることとなります。そこで、それぞれの大気の温度をシミュレーションしたところ、W2220 は予想通り高度が上がるほど気温が低下するのに対し、W1935 では高度が上がるほど気温が上昇するという逆転現象が見られました。このような気温の逆転現象は地球の成層圏でも観察されており、近くに恒星のような熱源がある場合には不思議ではない現象です。しかし、孤立した褐色矮星であるはずの W1935 で発生するのは不可解と言えます。

■発生理由の解明はこれから

Faherty 氏らは、W1935 でオーロラが発生している理由は今のところ不明としつつ、いくつかの推測を提示しています。1つ目は、W1935 に活発な活動をしている衛星があるという可能性です。木星のイオや土星のエンケラドゥスのような衛星は、物質を宇宙空間へと噴出する活発な活動が確認されており、噴出した物質が衝突することでオーロラが発生します。木星や土星の場合、太陽からの荷電粒子もオーロラ発生の理由となっていますが、近くに恒星がない W1935 では、これがオーロラ発生の唯一の理由となっているのかもしれませんが。2つ目は、W1935 の内部の熱源が大気を加熱し、その熱エネルギーがオーロラを発生させているという説です。顕著な大気の温度逆転現象は木星や土星でも観察されており、太陽からの熱だけでは説明できないことがすでに分かっています。惑星内部の熱（※）が大気循環で外側へと輸送されているとすればこの逆転現象を説明できる、というのがこの説です。ただし、木星や土星に関しては大気上層部の加熱はオーロラによるもので

あるという説のほうが支持されています。そのため、W1935における熱とオーロラの関係は逆である可能性があります。

※...内部の熱源についての詳細は不明ですが、惑星が重力によってわずかに潰れることや、惑星内部の対流による重力エネルギーが熱エネルギーに変換されることなどが想定されています。

3つ目は星間プラズマとの衝突です。これについては詳細はほとんど分かっていませんが、近くに恒星がない場合の荷電粒子の発生源としては最も有力な候補となります。

どの説が正しいのか、あるいは他の理由でW1935のオーロラが発生しているのかどうかは現時点では不明ですが、いずれにしても新たな謎がもたらされたことは、ウェブ望遠鏡がとても高性能であることを示しています。W1935のオーロラは温度に換算すると約200°Cであり、これは観測された中で最も温度の低いオーロラです。このようなオーロラの観測は難しいため、ウェブ望遠鏡の活躍を示す1つの成果となるでしょう。

Source

[NASA Webb Telescope Team](#). "NASA's Webb Finds Signs of Possible Aurorae on Isolated Brown Dwarf".

(NASA)

文／彩恵りり

<https://sorae.info/astromy/20240123-mysterious-object.html>

中性子星とブラックホールの中に位置する“天の川の謎の天体”を発見

2024-01-23 [彩恵りり](#)

重い恒星の寿命の最期に、その中心核が「中性子星」となるのか、それとも「ブラックホール」となるのかは、中心核の質量によって決まると考えられています。ですが、その境界線がどこにあるのか、理論的にも観測的にも正確な位置はよくわかっていません。

マックスプランク電波天文学研究所のEwan D. Barr氏らの研究チームは、ミリ秒パルサー「PSR J0514-4002E」の詳細な観測を行い、PSR J0514-4002Eに伴星があることを発見しました。興味深いことに、伴星の質量は太陽の2.09~2.71倍であり、ちょうど中性子星とブラックホールの境界線に位置しています。発見者が“天の川の謎の天体 (a mysterious object in Milky Way)”と表現している正体不明の伴星は、天文学や物理学において注目されるでしょう。



【▲図1: ミリ秒パルサーPSR J0514-4002E (奥側)の伴星の正体がブラックホール (手前側)であった場合の想像図。お互いの距離は約800万km離れています (Credit: Daniëlle Futselaar (artsource.nl))】

【▲図2: 今回の研究で使用された観測データを取得した電波望遠鏡群「MeerKAT」は、全部で64基の電波望遠鏡で構成されています (Credit: SARAO)】

■中性子星とブラックホールの質量ギャップ問題

太陽のような恒星は、自らの重力で潰れてしまう力と、中心核での核融合反応によるエネルギーの圧力が釣り合うことで形状を保っています。ただし、核融合反応の燃料はいずれ尽きてしまうため、この均衡もいつかは崩れ去ります。核融合反応の圧力が無くなり、星が重力で潰れてしまう現象は「重力崩壊」と呼ばれています。重力崩壊に対抗できる力が存在せず、無限に潰れてしまった天体は「ブラックホール」と呼ばれます。一方で、ブラックホールになる手前で重力崩壊が停止した天体は「中性子星」と呼ばれます (※1)。中性子星は

ブラックホールの1歩手前で踏みとどまった“普通の物質”の極限状態であり、その組成から直径25kmの“原子核”と例えられることもあります。このため、中性子星自体の性質と共に、どこまでが中性子星の限界であるのかも注目されています。

※1...中性子星が重力に対抗する力は「中性子のフェルミ縮退圧（中性子縮退圧）」と呼ばれています。また、中性子星より手前でも重力に対抗する力は発生しており、例えば太陽くらいに軽い恒星は電子縮退圧によって生成する「白色矮星」になると言われています。

重力崩壊する恒星の中心核が中性子星となるかブラックホールとなるかは、質量によって決定されると考えられています。しかし、中性子星のような物質の極限状態は、理論的にも実験的にもほとんど理解されていません。このため、中性子星が重力崩壊してブラックホールになる質量の境界線（※2）は、天文学や物理学の大きな未解決問題となっています。

※2...中性子星の理論上の質量限界は「トルマン・オッペンハイマー・ヴォルコフ限界（TOV限界）」と呼ばれています。

理論的な中性子星の限界質量は太陽の2.2倍であるとされていますが、この数値は研究によって大きな幅があり、2倍以下であるとする推定もあれば、3倍近くとする推定もあります。不完全な理論をもとに数値の幅をこれ以上縮めるのは難しいため、観測によって質量限界を直接見つける努力も続けられています。しかし、観測で見つかった最も軽いブラックホールは太陽の約5倍の質量があり、理論上の境界線を大幅に上回っています。この質量ギャップ問題も、中性子星の限界と同様に天文学上の未解決問題となっています。

■「PSR J0514-4002E」が従える“天の川の謎の物体”を発見

ところで、中性子星は高速で自転しており、狭い領域から強力な電波を放出しています。遠く離れた地球から中性子星を見ると、電波の放射領域が地球の方向を向いた瞬間だけ周期的に電波が観測されるため、電波の観測データはパルスと呼ばれます。この性質を持つ中性子星は「パルサー」と呼ばれていて、中性子星とほぼ同義語のように扱われます。その中でも、パルスの周期が1秒未満であるようなものは「ミリ秒パルサー」と呼ばれます。Barr氏らの研究チームは、南アフリカ電波天文台の電波望遠鏡群「MeerKAT」を使用し、ミリ秒パルサー「PSR J0514-4002E」の詳細な観測を行いました。PSR J0514-4002Eは地球からみて「はと座」の方向に約4万光年離れた天の川銀河内の球状星団「NGC 1851」に存在し、同星団に存在する13個のパルサーの1つとして2022年に発見されたばかりです。PSR J0514-4002Eは1秒間に約170回自転していると考えられています。ミリ秒パルサーの電波放射の周期は、原子時計に匹敵するほど正確です。もしこの周期に乱れがある場合、乱れを引き起こす重力源である伴星の存在が示唆されます。もし伴星がある場合、電波の波長が変化する度合いから伴星の質量を決定することもできます。Barr氏らはPSR J0514-4002Eの観測データを分析し、未知の伴星があるかどうかを調査しました。その結果、PSR J0514-4002Eには未知の伴星があり、PSR J0514-4002Eと伴星を足し合わせた合計の質量が太陽の 3.887 ± 0.004 倍であると計算されました。そして複数の波長を詳細に分析することで、より詳細な伴星の特性が明らかにされました。それによれば、伴星はPSR J0514-4002Eから約800万km離れた距離を7日かけて公転しており、中性子星やブラックホールのようなコンパクト星であるようです。最も興味深いのは、質量が太陽の2.09~2.71倍であるという点です。

■伴星の正体がどれであっても興味深い

PSR J0514-4002Eの伴星の重さは、まさに中性子星とブラックホールの質量ギャップに位置します。中性子星としては天文学史上最も重い値である一方、ブラックホールとしては天文学史上最も軽い値です。発見者が“天の川の謎の天体”と表現するのは無理もないことです。現段階では、伴星の正体が中性子星なのかブラックホールなのか、あるいはその間に存在すると予測されている未知の異種星（※3）なのかは分かっていません。もし中性子星や未知の異種星であった場合、天体物理学や核物理学に与える影響は大きなものとなります。一方でブラックホールであった場合、天文学史上初のミリ秒パルサーとブラックホールの連星の発見となるため、重力理論をテストする場として非常に重要な観測対象となります。

※3...エキゾチック星とも。例えば中性子を構成する素粒子であるクォークが縮退して生成される「クォーク星」が提唱されていますが、異種星が実在するかどうかは今のところ確定しておらず、理論的な背景もほとんど明らかにされていません。

Barr 氏らは、PSR J0514-4002E の伴星はより軽い中性子星同士の合体で生じたと推定しています。正体を解明するのはこれからとなりますが、それがどのような天体であっても、確定するために行われる研究は中性子星とブラックホールに関連する天文学や物理学の謎の解明を大きく前進させることでしょう。

Source

[Ewan D. Barr, et al.](#) "A pulsar in a binary with a compact object in the mass gap between neutron stars and black holes". (Science)

["Lightest black hole or heaviest neutron star? Manchester astronomers uncover a mysterious object in Milky Way"](#). (University of Manchester) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astrometry/20240126-m87.html>

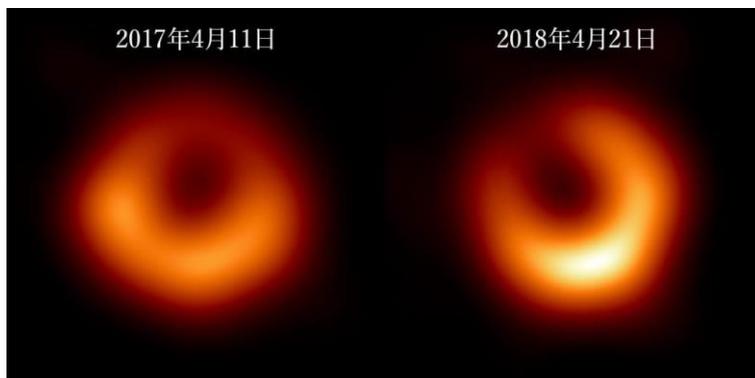
1年ぶりに撮影された「M87のブラックホール」の変化した部分・しない部分から分かること

2024-01-26 [彩恵りり](#)

楕円銀河「M87」の中心部にある超大質量ブラックホール（※1）は、天文学史上初めて構造が可視化されたブラックホールです。中央が暗くて周辺が明るい環状構造の画像はよく知られていますが、理論的には時間を空けて撮影すると画像が変化することが予想されていました。

M87のブラックホールを可視化した「イベントホライズンテレスコープ」は、初撮影から1年後となる2018年の撮影キャンペーンで取得された観測データを解析し、画像として出力しました。その結果、環状構造という大枠は変化しない一方で、最も明るい部分が約30度移動していることが明らかにされました。これはブラックホール周辺部の環境を反映したものであり、理論的予測と一致するものです。

※1...M87の超大質量ブラックホールは通称「M87* (エム 87 スター)」と呼ばれていますが、現時点で国際天文学連合の承認を受けておらず、正式な名称ではありません。



【▲図 1: M87 の中心部にあるブラックホールの、2017 年の観測データに基づいた初の画像 (左側) と、2018 年の観測データに基づいた今回の研究の画像 (右側) (Credit: EHT Collaboration)】

【▲図 2: グリーンランド望遠鏡は、2018 年の観測キャンペーンで新たにイベントホライズンテレスコープに加わりました (Credit: Nimesh A Patel)】

■「ブラックホール」の可視化は 100 年以上の課題

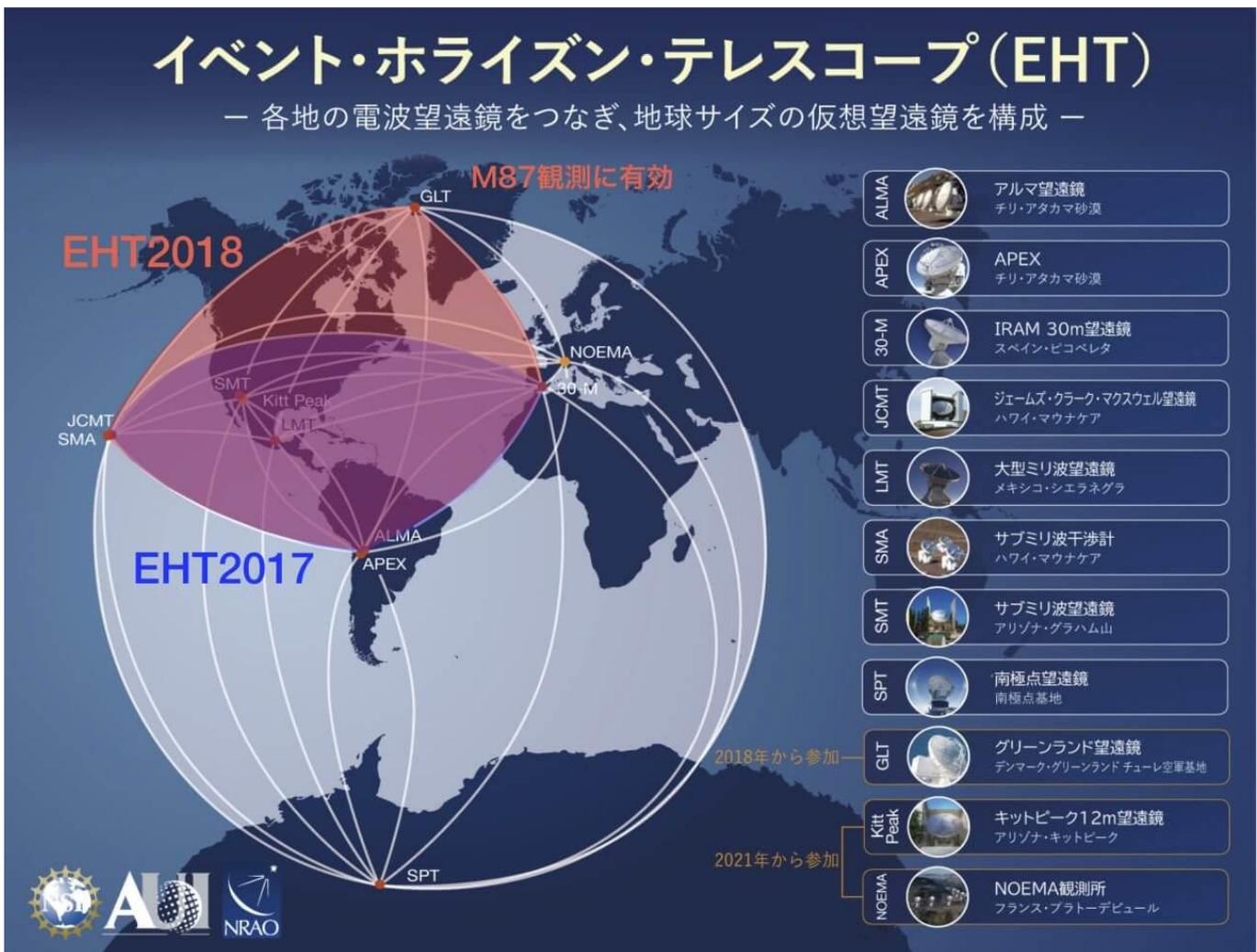
1915 年にアルベルト・アインシュタインによって一般相対性理論が発表された直後の 1916 年、時空が歪みすぎて光ですら脱出ができなくなる領域が生じるという見解がカール・シュヴァルツシルトによって示されました。これが今日の「ブラックホール」に当たる天体です。

当初は純粋に数学的な存在でしかなかったブラックホールですが、天文学の発達によってブラックホールでないと説明がつかない現象が次々と見つかり、その実在性は疑いようがないほどとなりました。

ただし、ブラックホールそのものを撮影したと言える状況は、ブラックホールの性質により長い間実現できていませんでした。ブラックホールそのものは全く放射をしない一方で、周辺部は物質が集積し大量のエネルギーを放出しているため、物質とエネルギーがブラックホールを覆い隠してしまいます。また、ブラックホールそのものの大きさが小さいことも、撮影を難しくしています。

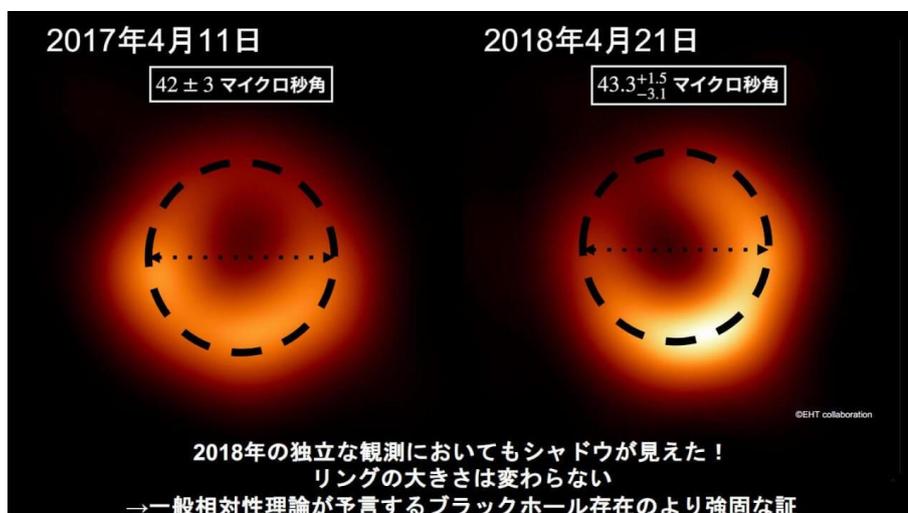
このような困難があるため、初めてブラックホールの撮影に成功したのはごく最近のことです。世界の様々な電波望遠鏡が連携して撮影を行う「イベントホライズンテレスコープ」は、地球から「おとめ座」の方向に約5500万光年離れた位置にある楕円銀河「M87」の中心部を観測し、そのデータから超大質量ブラックホールの周辺部を画像化することに天文学史上初めて成功しました。観測データは2017年4月に取得され、画像は2019年4月に公開されました。撮影された画像は、中央が暗く、その周辺部が明るい環状構造となっています。これはブラックホールの時空構造を反映しており、理論的な予測とよく一致します（詳細は記事末尾の補足節にて解説）。ただし、ブラックホールの可視化とそれに伴う科学的研究は1回撮影して終わりというのではなく、継続した観測によって何が変化し、何が変化しないかを確かめることが求められます。これは同時に、独立した観測で同じような状況が再現されるという、科学の原則を確かめることにも繋がります。

■1年越しの撮影で見えてきたブラックホール周辺部の環境



【▲図3: 新たにグリーンランド望遠鏡 (GLT) が加わったことで、2018年の観測キャンペーン (EHT2018) では2017年の観測キャンペーン (EHT2017) と比べて南北方向の長さが大きくなりました。(Credit: EHT Collaboration)】

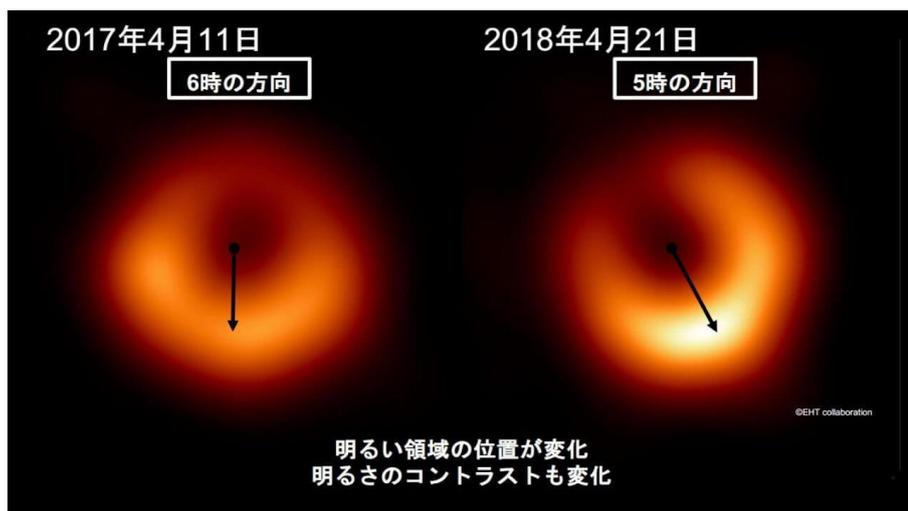
初公開された画像の元になったデータを取得した 2017 年の観測キャンペーンから 1 年後、イベントホライズンテレスコープは 2018 年 4 月 18 日から 29 日にかけて、M87 の超大質量ブラックホールに対する新たな観測キャンペーンを行いました。2018 年の観測では新たに「グリーンランド望遠鏡」が観測に加わった他、メキシコの「大型ミリ波望遠鏡」が鏡面全体を使用する観測を行えるようになったことで、全体的な感度が向上しています。また、観測データの記録データが 2 倍に向上したことで、観測する電波の波長が 4 つに増え、精度が向上しました。さらに、観測データの分析でも独立した 8 種類の手法で画像化が行われました。そのうち 5 種類は環状構造を前提としていない手法です。



【▲図 4: 2017 年と 2018 年の撮影画像

の環状構造の大きさの比較 (Credit: EHT Collaboration / 脱字は原文ママ)】

その結果、2018 年の観測データからも、中央が暗く、周辺部が明るいという環状構造を画像化することに成功しました。環状構造の大きさはブラックホールの質量で決定されるため、1 年という短期間では事実上変化しません。1 年越しの観測でも同様の結果が得られたことは、環状構造が一般相対性理論によって正確に記述されていることを裏付けています。



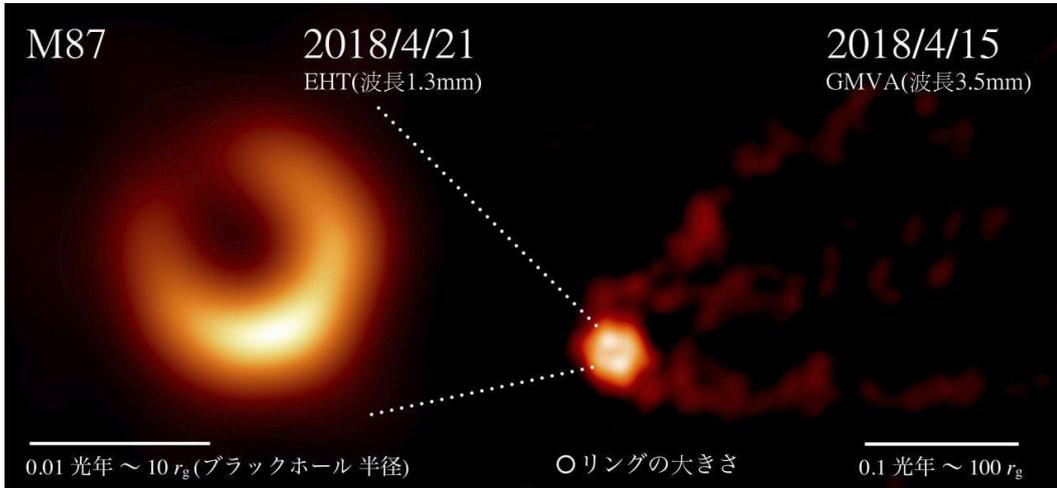
【▲図 5: 2017 年と 2018 年をそれぞれ

比較すると、最も明るい位置とコントラストが変化しています (Credit: EHT Collaboration)】

一方で、大きく変化した点もあります。環状構造で最も明るく見える位置、つまり電波が最も強く放射されている位置は、2017 年と 2018 年との間で約 30 度も変化しています。また、コントラストも変わっているようです。ブラックホール周辺部では物質が激しくかき乱され、数日以内という極めて短い時間で状況が変化する乱流が発生しています。つまり、最も電波放射の激しい場所が変化した結果、明るい位置とコントラストが変化して見えたと考えられます。

そして、明るい位置は変化しているものの、そのどちらも画像の下側（南側）であるという点に着目すると、別の現象との関連も見えてきます。この画像のように明るく見える場所は、自転軸から遠い位置（※2）であることが予測されるため、ブラックホールの自転軸は画像の左右方向（東西方向）にあることになります。

※2...画像の下側（南側）が明るいのはブラックホールの回転方向の影響であると考えられます。下側は私たちからは奥側から手前側へと近づいて見えるため、ドップラー効果により明るくなります。一方で画像の上側（北側）は手前側から奥側へと遠ざかって見えるため、ドップラー効果により暗く見えます。

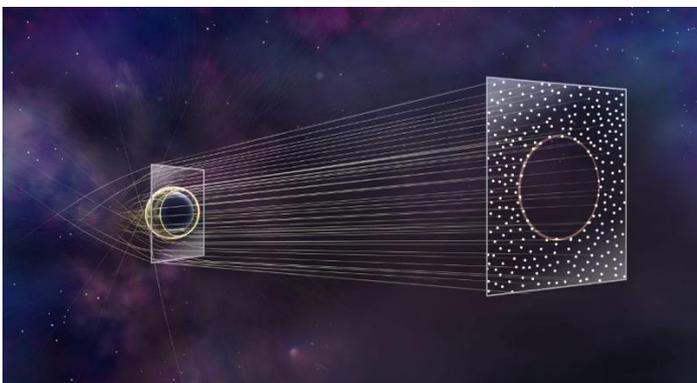


【▲図 6: 環状構造の明るい位置が下側にあるということは、ブラックホールの自転軸が左右方向にあることを示しています。そしてその延長線上には、自転軸方向に噴出すると考えられているジェットが存在します（Credit: EHT Collaboration）】

この自転軸の延長線上には、ブラックホールから離れる方向へと高速で物質が噴出するジェットが存在します。ジェットはブラックホールの自転軸の方向に噴出すると理論的に予測されているため、これも観測結果と一致することになります。今回の研究結果は、2017年のブラックホールの可視化を追加検証するだけでなく、ブラックホールの周辺部で理論的に予測されてきた現象を新たに直接観測できたという点でも意義のあるものです。ブラックホールという非常に極端な時空構造は、一般相対性理論やそれに代わる重力理論を検証する場ともなるため、これからも継続的な観測と検証が行われるでしょう。

この自転軸の延長線上には、ブラックホールから離れる方向へと高速で物質が噴出するジェットが存在します。ジェットはブラックホールの自転軸の方向に噴出すると理論的に予測されているため、これも観測結果と一致することになります。今回の研究結果は、2017年のブラックホールの可視化を追加検証するだけでなく、ブラックホールの周辺部で理論的に予測されてきた現象を新たに直接観測できたという点でも意義のあるものです。ブラックホールという非常に極端な時空構造は、一般相対性理論やそれに代わる重力理論を検証する場ともなるため、これからも継続的な観測と検証が行われるでしょう。

■補足: ブラックホールの直接撮影の意味



【▲図 7: ブラックホール周辺の光の軌道の概略図。ブラックホール周辺の光は光子球より外側となるため、光子球の大きさを反映したブラックホール・シャドウができます。これはブラックホール本体の大きさである事象の地平面より大きくなります（Credit: Nicolle R. Fuller & NSF）】

ブラックホール周辺の光は光子球より外側となるため、光子球の大きさを反映したブラックホール・シャドウができます。これはブラックホール本体の大きさである事象の地平面より大きくなります（Credit: Nicolle R. Fuller & NSF）】

可視化されたブラックホールの画像を見ると、中央が暗く、周辺部が明るい環状構造となっています。中央の暗い部分はブラックホールそのものではなく、ブラックホール周辺の電磁波では観測できない領域を反映しています。これは「ブラックホール・シャドウ」と呼ばれています。

ブラックホールの“本体”は「事象の地平面」よりも内側の時空の領域であり、事象の地平面の直径はシャドウの直径の約40%となります。事象の地平面は「外側から内側へ入れる一方、内側から外側へ出ることにはできない一方通行の領域」です。一方で、事象の地平面の外側には「外側から内側へ、または内側から外側へと双方の一方通行が可能な領域（※3）」もあります。この境目は「光子球」と呼ばれます。

光子球の外側から内側へと入る光は最終的にブラックホールへと落下するため、光子球を横切った光は観測できなくなります（※4）。これがブラックホール・シャドウです。電磁波による観測ではブラックホール・シャドウと事象の地平面を分けて撮影することが現状不可能なため、“ブラックホールの直接撮影”とはブラックホール・シャドウを可視化することを表します。一方、光子球の周辺は重力が強いため、光の進路は大幅に曲げられます。画像の明るい環状構造は、光子球のすぐ外側を進んだ光を反映しています。

※3...より正確には、光子球の定義は「その内側で、あるいは内側を横切る安定な自由落下軌道が存在しない領域」となります。軌道を変更したり加速・減速が行えるならば、光子球の自由な出入りが可能です。しかし光は自由落下軌道で運動するために、光子球の内外に対して一方通行な軌道を取ることになります。

※4...光子球は事象の地平面とは異なり内側から外側へと光が移動できるため、厳密には完全な暗闇ではありません。しかし、光子球の内側に光源が存在したとしても、事象の地平面を横切るまでの短時間しか光を放たないため、現在の技術で観測できる明るさを大幅に下回ります。

Source

[The Event Horizon Telescope Collaboration](#). “The persistent shadow of the supermassive black hole of M 87”. (Astronomy & Astrophysics)

“[初撮影から1年後のM87ブラックホールの姿](#)”. (EHT-Japan)

文／彩恵りり

<https://forbesjapan.com/articles/detail/68759>

2024.01.26

膨大なはずだが観測されない、休眠状態の恒星質量ブラックホール探索の最前線



[Bruce Dorminey | Contributor](#)



ブラックホールの「事象の地平線」を描いた想像図（Getty Images）

天体物理学では、一見理解し難いような研究が、真に重要である場合がある。恒星質量ブラックホールはその好例だ。銀河系に恒星質量ブラックホールが存在するかどうか、どうして大事なのか。ましてや休眠状態のものならなおさらだ。だが、この種のブラックホールの数に関するパラメーターを特定することは、恒星進化モデルを作成するためだけでなく、太陽系外惑星全般と、宇宙における生命の進化の可能性を理解するためにも重要になる。けれども現在までのところ、（周囲の物質を降着させる活動を示さない）休眠ブラックホールについては、依然として見つけるのが困難なままだ。

膨大な数の休眠ブラックホールが存在するはずだが、それが観測されていないと思われると指摘するのは、ドイツにある欧州南天天文台（ESO）本部の博士課程学生、イジー・ザークだ。

しかし、天体物理学的な観点からすると、休眠状態の恒星質量ブラックホールを見つけることは、理論天文学者らが恒星進化モデルを検証できるようにするために重要なのだ。

恒星質量ブラックホール（質量が太陽の5～100倍と考えられている）は、形成過程で重元素を周囲に放出する可能性が高い。これは、銀河の環境を物質的に豊かにし、次世代の恒星や惑星の組成に影響を及ぼす。

天文学者らは、どのような方法で恒星質量ブラックホールを検出するのだろうか。

その検出は一筋縄ではいかない。連星系（2つの恒星が重力的に結びついた星系）に大質量天体が潜在しているかもしれないことを示す最初の兆候は、楕円体状変光星の観測によって得られる。

楕円体状変光星は、連星系を構成する2つの恒星の軌道が互いに非常に接近しているため、恒星間に働く強力な重力によって、2つの恒星が1つの回転楕円体の形状になっていると、米ハーバード・スミソニアン天体物理学センター（CFA）は説明している。これにより、観測者に見える光を発する領域の面積が変化するために、明るさに変動が生じると、CFAは指摘する。だが、重要な点は、楕円体状変光星が、非常に大きな質量を持つ見えない伴星の存在を示している可能性があることだ。

[次ページ > 恒星質量ブラックホールの形成とその検出](#)

恒星質量ブラックホールはどのようにして形成されるか？

ほとんどの場合、超新星爆発を起こす大質量星の中心核の重力崩壊によって形成される。

「活動中」の恒星質量ブラックホールは、近くの恒星や惑星またはその両方の物質を降着（重力で引き寄せて落下）させていると、ESOのチリ・サンティアゴ事務所で取材に応じたザークは語った。これは恒星進化の自然の成り行きだと、ザークは続ける。だが、この降着段階は、星の進化の一生の中で非常にすみやかに進行するため、降着が活発に進行中のブラックホールは極めて稀であるはずということがわかっているという。それでも銀河系には、これまで観測されているよりも、もっと多くの恒星質量ブラックホールが存在するはずだと、ザークは指摘している。

恒星の大半は連星

ザークと研究チームは2023年に発表した論文で、最近の地上および宇宙望遠鏡を用いたサーベイ観測のデータを用いて、カシオペア座にある変光星系「V1315 Cas」には、休眠状態の恒星質量ブラックホールは存在しないと判断している。論文は英国王立天文学会の学会誌 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society に掲載された。この連星系は、かなり進化が進んだF型の主星と、B型の伴星で構成され、F型星のガスがB型星によって剥ぎ取られている。ザークによると、F型星の質量の大部分がすでに取り去られており、現在は質量移動段階の終了間近にある連星系が観測されている。当初はF型星の質量の方が大きかったが、現在はこちらの方が小さくなっているという。



このように連星の一方が質量を失っている場合には、質量降着が生じる可能性がある。ブラックホールへの降着が起きる過程では、このガスが加熱されて超高温になる。これによって発生するX線放射は、基本的に簡単に検出できる。恒星がブラックホール（休眠状態のものでも）を周回しているとすると、この見えない質量によって引き起こされる軌道運動に起因するドップラー偏移（ドップラー効果によるずれ）が、恒星のスペクトル線に現れると、ザークは説明する。

[次ページ > 休眠中の恒星質量ブラックホールを「発見」](#)

2023年の初めに、CFAと独マックス・プランク天文学研究所が、へびつかい座にある休眠中の恒星質量ブラックホールを発見したと発表した。CFAの研究チームは、ザークのチームとは異なる技法を採用し、欧州宇宙機関（ESA）の天文観測衛星ガイア（Gaia）のデータを用いることで、この発見を成し遂げた。「BH1」と命名されたこのブラックホールは、太陽地球間とほぼ同じ距離で互いを公転している恒星と連星系を構成しているという。さらにこれに続いて、ガイアのデータから2番目のブラックホール連星系「BH2」が、ケンタウルス座で見つかった。どちらのブラックホールも、推定質量は太陽の10倍弱で、休眠状態にあるとされている。だが、ザークは完全に納得しているわけではない。

ザークは、BH1とBH2がどちらも休眠状態の恒星質量ブラックホールの非常に有望な候補だと見なしている。だが、過去にも同様の発見がいくつかあったが、後に否定されているとも指摘。今後、BH1とBH2の観測データがさらに増えることを考えるとわくわくすると、ザークは話す。

理論天文学者による恒星進化モデルの作成には確かな数字が必要

ザークによると、太陽系外惑星系では、まず恒星進化モデルを用いて主星の性質を導き出し、それによって惑星の性質を明らかにする。主星のパラメーターを間違えると、他のパラメーターもすべて間違えることになるという。複数の恒星進化モデルに基づくと、銀河系全体には数万もの休眠ブラックホールがあるはずと考えられるが、高い信頼性を持って検出されたものはまだないと、ザークは指摘する。現在知られている恒星質量ブラックホールはすべて、活発な降着が起きている恒星系にあるため、休眠ブラックホールの探索はこれからも続けられると、ザークは話している。（forbes.com 原文） 翻訳＝河原稔