

## 138 億歳の宇宙はこの先どうなる？ 「サイクリック宇宙モデル」とは



Getty Images



Getty Images



以下、高エネルギー加速器研究機構（KEK）素粒子原子核研究所教授、松原隆彦氏著『[図解 宇宙のかたち「大規模構造」を読む](#)』（光文社刊）からの抜粋転載で紹介する。

### 宇宙の歴史を復習する

私たちは 138 億歳の宇宙に住んでいます。このあと、宇宙はどのように進化していくのでしょうか。

そのことを考える前に、ここで宇宙の歴史をおさらいしておくことにしましょう。現在広く受け入れられている宇宙誕生のシナリオは、いわゆるビッグバン宇宙論です。それに基づく、宇宙の歴史は次のようになります。

1. 無から宇宙が誕生する。

2. インフレーションによる指数関数的な宇宙膨張が起こる。

この出来事は宇宙が誕生後 10 のマイナス 36 乗秒にスタートし、10 のマイナス 34 乗秒に終わる。

3. インフレーションが熱エネルギー（潜熱）を残して終わり、その熱エネルギーを使って宇宙膨張（いわゆるビッグバンと呼ばれている現象）を引き起こす。

4. 最初の 3 分間で元素合成を行い、水素とヘリウム原子核を作る。

5. 37 万年後、プラズマ宇宙は終わり、宇宙は中性化した。

その頃の宇宙では、電磁波はプラズマによる散乱を受けなくなり宇宙を自由に伝播できるようになる。

このときの宇宙の温度は 3000K であり、宇宙はその熱放射で満たされていた。

この熱放射は宇宙膨張の影響で波長が伸び、温度が下がり、現在では温度 3K の宇宙マイクロ波背景放射として観測される。

6. 暗黒物質の重力に導かれ、原子物質が集められる。

宇宙誕生後 1 億年から数億年経過したときに（平均して約 2 億年）、宇宙最初の星が生まれ始める。

7. 原子物質を含む暗黒物質の塊（ダークマター・ハローと呼ぶ）が

合体を繰り返しながら成長し、銀河を形作っていく。

8. 現在、宇宙の年齢は 138 億歳になり、美しい銀河に彩られた宇宙になった。

もちろんこれが最終的な答えという話ではありません。人類が考え出した、一つのストーリーであると考えておくほうがよいでしょう。実際、新しい宇宙モデルのアイデアはたくさんありますし、この瞬間にも提案されているかもしれません。したがって、これは一つのモデルということに収めておくほうが無難です。

### [次ページ > 宇宙の未来予想図：4つのシナリオ](#) 宇宙の未来予想図：4つのシナリオ

さて、宇宙の未来予想図は大きく分類すると、以下の 4 通りになります。

1. ビッグ・フリーズ：フリーズ（freeze）は凍りつくという意味です。この言葉から想像がつくように、宇宙がどんどん冷えていくシナリオです。最終的には絶対零（れい）度（マイナス 273 度）に近づいていき、まさに、ビッグ・フリーズを迎えることになります。

2. ビッグ・リップ：リップ (rip) は強く引き裂かれることを意味します。暗黒エネルギーがある状態の場合、宇宙膨張が急速に進行し、数千億年後には宇宙全体の膨張速度が光速を超えてしまいます。このとき、宇宙は原子レベルまで引き裂かれ、宇宙は破壊され死に至る。最悪の未来予想図ですね。

3. ビッグ・クランチ：クランチ (crunch) は潰れることを意味します。現在、宇宙は膨張していますが、宇宙の中に膨張を止めるほどの物質があると（例えば、暗黒エネルギーが物質に転化する場合など）、重力の働きで膨張にブレーキがかかります。その場合、膨張はいずれ止まり、そして宇宙は収縮に転じていきます。そのため、最終的には、宇宙はまた一つの点のような小さな領域に集まっていくことになります。これを、ビッグ・クランチといいます。

4. サイクリック宇宙：ビッグ・クランチの後、宇宙はどうなるのでしょうか？ また、ビッグバンのような出来事が起きて、宇宙は膨張に転じる可能性があるのです。つまり、膨張 → 収縮 → 膨張 → 収縮というように、いつまでも振動するかのように宇宙が続いていく可能性があります。これを「サイクリック宇宙モデル」と呼んでいます。



<https://news.yahoo.co.jp/byline/akiyamaayano/20220826-00311949>

## ボイジャー後継機、審査始まる [秋山文野](#) フリーランスライター/翻訳者 (宇宙開発) 8/26(金) 6:00

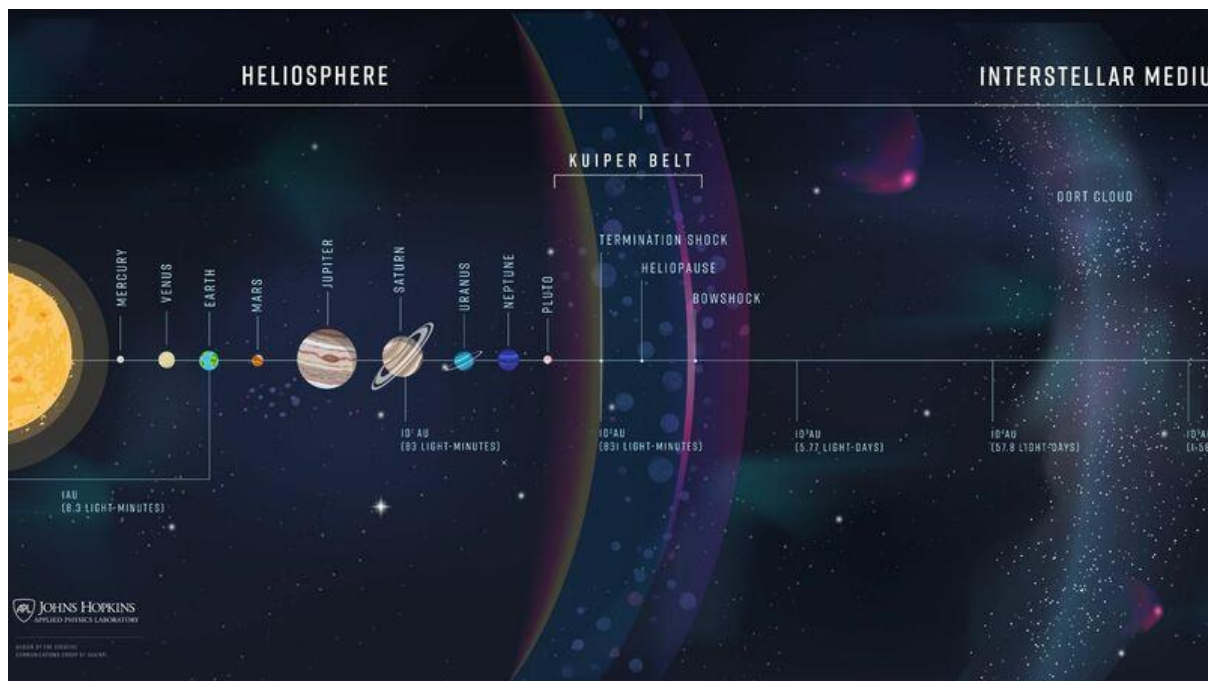
2080 年代に人類未踏の太陽圏の外から星間空間の観測情報を地球へ伝える探査計画を、NASA の次期大型探査に採択する審査がこの 9 月から始まる。米ジョンズ・ホプキンス大学応用物理学研究所 (APL) が計画する [Interstellar Probe \(IP: インターステラー・プローブ\)](#) 探査機は、太陽-地球の距離の 1000 倍の距離の星間空間へ到達を目標とする探査機。1977 年に打ち上げられ現在も太陽圏の外へと旅を続ける NASA のボイジャー1号・2号の到達距離を越えて、太陽から吹き出すプラズマのガス「太陽風」の勢力圏外を観測する。中国も同様の探査計画を検討中だ。

インターステラー・プローブは、史上初の星間探査と 2036 年の打ち上げから 50 年以上の長期探査を目指す計画。[NASA の太陽および宇宙物理学の 10 年計画 \(ディケイダル・サーベイ\)](#) に採択されることを目標としている。ディケイダル・サーベイの審査は 2022 年 9 月 7 日以降に始まり、2024 年まで行われる。

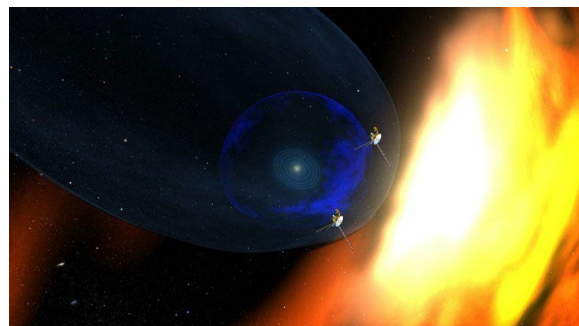
1977 年に打ち上げられた NASA のボイジャー1号は、2004 年に地球から 94.0 AU※の距離で太陽から吹き出す太陽風と星間物質が衝突する「終端衝撃波」の領域を通過し、2012 年には太陽風と星間物質が混ざり合う「ヘリオポーズ」領域を 121 AU で通過した。ボイジャー2号も 2007 年に 84 AU で終端衝撃波を、2018 年に 119 AU でヘリオポーズを通過した。2機の探査機は太陽を取り囲む巨大な太陽圏を脱出して航行を続けているが、ボイジャー1号のプラズマ観測機は航行中に損傷したため現在は観測データを送信することができない。ボイジャー

2号の航行記録から、太陽圏の形状はこれまで考えられていた球形や彗星のような紡錘形ではない可能性があるものの、明らかにするには現代の技術による新たな観測が必要だ。

※天文単位：太陽－地球間の距離。約1億5000万キロメートル



Credit : Johns Hopkins APL



Credit : Johns Hopkins APL

1976年、開発中のボイジャー探査機。Credit: NASA/JPL-Caltech/KSC, NASA/JPL-Caltech Photojournal

2機のボイジャー探査機と太陽圏の形状 Credit : NASA JPL

APLが中心となり、ボイジャー計画のラルフ・マクナット博士が主任研究員となるIP計画では、打ち上げからおよそ16年とボイジャーの半分以下の時間で太陽圏の脱出を目指す。インターステラー・プローブは重量約860キログラムとボイジャーに近いが、ボイジャーには搭載されていないダスト検出器など新たな観測機器を積む。アンテナ径はボイジャーの3.7メートルから5メートルとより大きくなり、データ送信速度は150 AUの距離でボイジャーの600bpsから1万6000bpsに向上する。打ち上げから50年間の“動作保証”が求められ、[地球から1000 AUの領域で星間物質の観測を行う計画](#)だ。

インターステラー・プローブは太陽圏外の探査を最短で行うため、航行速度は最高でボイジャーの2倍となる7 AU/年に達する。その打ち上げロケットとして検討されているのが8月29日に試験機1号機の打ち上げを予定しているNASAの超大型ロケットSLSだ。探査計画の費用は、打ち上げから太陽圏内の段階までおよそ2300億円（打ち上げ費用を除く）、以降は10年ごとに180億円とされる。木星の重力を利用して加速するスイングバイも加えて、ボイジャーでは約280年かかる1000 AUの領域を目指す。

インターステラー・プローブが実現すれば太陽から木星の向こう側までわずか1年で駆け抜ける史上最速の探査

機となる。だがこれを追いかけているのが、中国が検討を進める太陽圏外探査機 [Interstellar Express \(インター・ステラー・エクスプレス\)](#) だ。ボイジャー同様に2機の探査機が異なる方向から太陽圏外を目指す計画で、打ち上げから25年以内に100 AUに到達するという。初期の計画では、黄道面に垂直な方向を目指すという第3の探査機の構想まで含まれていた。NASAの計画に採択される前から国家間の激しい競争が始まっている星間探査計画だが、インター・ステラー・プローブを推進するのはこれまでに水星探査機メッセンジャー、太陽探査機パーカー・ソーラー・プローブ、そして史上初の冥王星とカイパーベルト探査を実現したニュー・ホライズンズを次々と成功させてきたAPLであり、深い経験に裏打ちされた探査が期待される。そしてインター・ステラー・プローブは、かつてボイジャーが太陽系の惑星を振り返って「ファミリー・ポートレート」を撮影したのと同じように、太陽圏の外から太陽風に包まれた世界を記録し、地球に届ける計画だという。



[秋山文野](#) フリーランスライター/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://www.itmedia.co.jp/news/articles/2208/24/news156.html>

## 小惑星に宇宙船をぶつけて軌道をずらす実験 NASAが9月に実施 彗星などから

地球を守る手段を検証 2022年08月24日 16時36分 公開 [\[松浦立樹\]](#), ITmedia

米航空宇宙局(NASA)は8月24日(現地時間)、小惑星に宇宙船をぶつけて軌道をずらす実験を行うと発表した。ミッション名は「Double Asteroid Redirection Test」(DART)とし、地球へ衝突の恐れがない小惑星「Dimorphos」(直径160m)を対象に行う。衝突予定時間は9月26日午後7時14分(現地時間)。



小惑星にぶつかる前の宇宙船などのイラスト (NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben)

SpaceX Falcon 9 ロケットの打ち上げの様子 (NASA/Bill Ingalls)

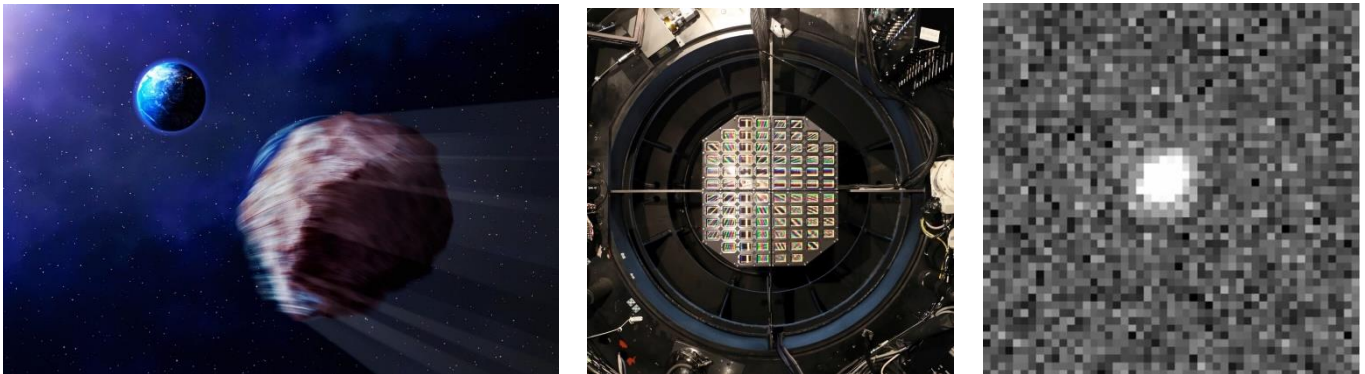
実験では、無人の宇宙船が自律的に目的の小惑星に近づき、秒速6.6kmでDimorphosに衝突する。衝突時の地球との距離は約1100万kmの予定。衝突により小惑星の速度や軌道の変化を測定することを目的としており、シミュレーションでは速度が約1%変化すると推測している。これは小惑星の公転周期を数分変える影響を与えるという。DARTは、小惑星や彗星の危険から地球を守る技術の検証ために発足したミッション。実験結果とシミュレーション結果を比較することで有効性を評価する。衝突させる宇宙船は2021年11月24日に、カリフォルニア州のヴァンデンバーグ空軍基地からSpaceX Falcon 9 ロケットで打ち上げられている。

Dimorphosと宇宙船が衝突する様子はNASAのSNSやYouTubeチャンネルでライブ配信する予定。

Copyright © ITmedia, Inc. All Rights Reserved.

## 地球に接近する微小小惑星の高速自転。トモエゴゼンによる観測成果

2022-08-26 吉田 哲郎



【▲高速自転しながら地球近傍を通過する小惑星の想像図（Credit：東京大学木曾観測所）】

【▲木曾観測所の口径 105 cm シュミット望遠鏡用に東京大学が中心となり開発した世界初の可視光広視野動画カメラ「トモエゴゼン」（Credit：東京大学木曾観測所）】

【▲本研究で観測された小惑星「2020 UQ6」の観測画像。視野は 1 分角×1 分角（1 分角＝満月の視直径の約 30 分の 1）（Credit：東京大学木曾観測所）】

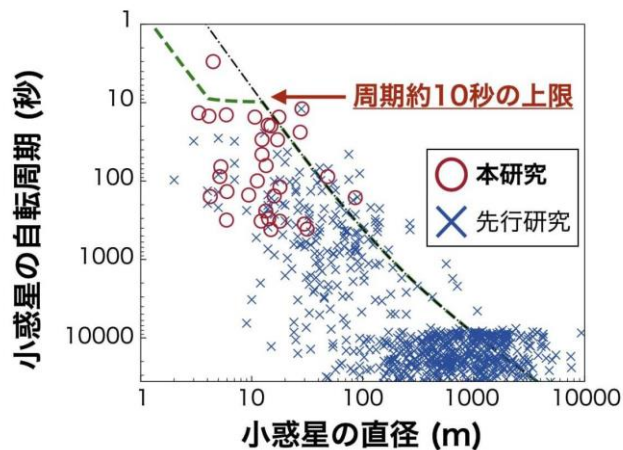
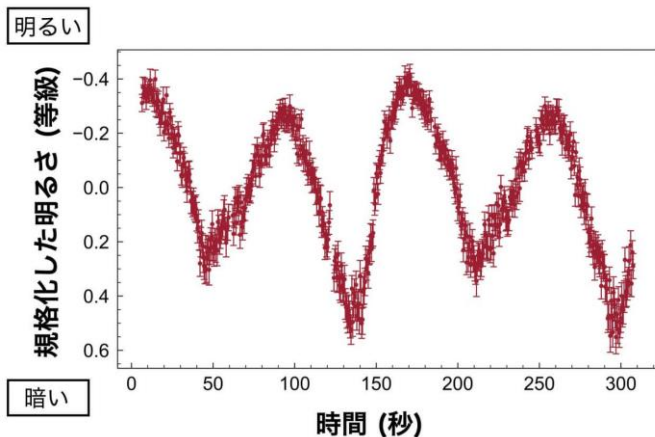
東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程の大学院生である紅山仁さんらの研究グループは、東京大学木曾観測所の口径 105cm シュミット望遠鏡に搭載されている可視光広視野動画カメラ「トモエゴゼン（Tomo-e Gozen）」を用いて直径 100m 以下の微小小惑星 60 天体（研究グループが発見した 23 天体を含む）の観測を実施し、そのうち 32 天体の自転周期を推定することに成功したとする研究成果を発表しました。

近年、掃天観測プロジェクトによって地球に接近する軌道を持つ「地球接近小惑星」（NEO：Near Earth Object、地球接近天体）が多数発見されています。地球接近小惑星とは、太陽に最も近づく近日点距離が 1.3 天文単位以下の小惑星を指します。日本の小惑星探査機「はやぶさ」や「はやぶさ 2」が探査した小惑星「イトカワ」や「リュウグウ」も、地球接近小惑星に分類されています。

地球接近小惑星は、研究対象として探査機がアクセスしやすいというメリットがある一方で、地球に衝突して人類に被害をもたらす可能性があるため、小惑星から地球を守るという観点からも重要な観測対象となっています。研究グループによると、今回観測した微小小惑星の多くも、地球から月まで距離の 3 倍以内という極めて地球に近い領域を通過する天体だったといいます。

太陽光を反射することで光って見える微小小惑星は、地球に接近して明るく見える数時間から数日の短い期間でのみ高精度な観測が可能になります。また、多くの小惑星は球形ではないため、地球に対して太陽光を反射する面積が自転にともなって変化し、その明るさも変動します。

研究グループは発見直後の微小小惑星に対して、トモエゴゼンを用いて即時に動画観測を実施し、明るさの時間変化を捉えることで小惑星の自転周期の推定に成功しました。今回の観測では、毎秒 2 フレームの動画観測を 1 天体あたり約 20 分間実施。自転周期を推定した 32 天体のうち、13 天体は 60 秒以下という短い周期で高速自転していることが明らかになりました。



【▲小惑星 2022 UQ6 の明るさの時間変化 (Credit : 東京大学木曾観測所)】

【▲これまでの小惑星の観測で得られたサイズと自転周期の関係。赤の○印は本研究の観測結果、青の×印は先行研究の観測結果。破線は接線ヨーブ効果を考慮した際に予測される地球接近小惑星の自転周期分布の上限。一点鎖線は従来のヨーブ効果のみを考慮した際に予測される地球接近小惑星の自転周期分布の上限 (Credit : 東京大学木曾観測所)】

小惑星のように直径が小さな天体の自転周期は、太陽輻射に起因する「ヨーブ (YORP) 効果 (※)」によって変化することが知られています。ヨーブ効果を考慮すると、直径 10m 以下の小さな小惑星の自転周期は 10 秒以下にまで加速されると予測されていました。

※...太陽に温められた天体の表面から放射される熱の強さが場所によって異なることで、天体の自転周期が変化する効果のこと。「YORP」は先駆的な研究を行った 4 人の研究者の頭文字から

しかし、本観測で発見された自転周期 10 秒以下の小惑星は 1 天体のみでした。研究グループは、観測で得た自転周期の分布を説明できる仮説を検証し、近年提唱された「接線ヨーブ効果」(小惑星の表面に沿う方向の熱伝導を考慮したヨーブ効果)によって観測結果が説明できることを示しました。これは、微小小惑星の自転周期には約 10 秒以下にはならないという限界が存在することを示唆しています。

本研究は、微小小惑星の自転状態の観測から、地球に接近する小惑星がどのような作用を受けながら地球の近くにやってくるのかという力学進化の解明につながると期待されています。研究成果は 2022 年 7 月 12 日付けで「Publications of the Astronomical Society of Japan」誌に掲載されました。

ちなみに、トモエゴゼンという観測装置の名前は、源平合戦に登場する木曾義仲に仕えた女性武将「巴御前」にちなんでいます。巴御前は戦乱の世を駆け抜けた武将ですが、トモエゴゼンもまた天文学のフロンティアを駆け抜け、さらなる成果を上げてほしいものです。

Source Image Credit : 東京大学木曾観測所

[東京大学大学院理学系研究科](#) - 即時動画観測がとらえた地球接近小惑星の高速自転

[東京大学木曾観測所](#) - 東京大学木曾観測所トモエゴゼンを用いて微小地球接近小惑星 42 天体の発見に成功

[東京大学木曾観測所](#) - トモエゴゼン

[Beniyama et al.](#) - Video observations of tiny near-Earth objects with Tomo-e Gozen (Publications of the Astronomical Society of Japan) 文／吉田哲郎

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/22/082600399/>

## 「再び月面着陸へ」アルテミス計画いよいよ、9つの質問

8月29日にもアルテミス1ミッション打ち上げへ 2022.08.27



2022年3月17日に米フロリダ州のNASAのケネディ宇宙センターで行われた試験で、初めてロケット組立棟を離れるアルテミス1ロケット。(PHOTOGRAPH BY DAN WINTERS) [画像のクリックで拡大表示]

米フロリダ州にあるNASAのケネディ宇宙センターの垂直組立棟の中の宇宙発射システム(SLS)。高さ98メートルのこのロケットは、有人月面探査に用いるオリオン宇宙船を打ち上げるために設計された。(PHOTOGRAPH BY DAN WINTERS) [画像のクリックで拡大表示]

NASA(米航空宇宙局)は現在、1972年以降で初めて、宇宙飛行士を月面に降り立たせることを目指しており、その中には女性も含まれることになっている。アポロ計画に続く21世紀の月面探査計画「アルテミス」は、早ければ2025年にも人類を月面に着陸させる予定だ。

その本格始動となるミッション「アルテミス1」のロケットが、いよいよ8月29日にも打ち上げられる。無人で月を周回するミッションだ。

ギリシャ神話の月の女神にちなんで名付けられたアルテミス計画は、NASAとそのパートナー宇宙機関が月を繰り返し訪れ、宇宙への新たな足場を築くことを目的に立ち上げられた。月への長期滞在や火星の有人探査など、さらに野心的な宇宙探査の第一歩となることが期待されている。

月面着陸は、課題の多い困難な道りであると同時に、科学技術の進歩にとって絶好の機会でもある。以下では、月面着陸にいたる計画や、そのために必要な技術、月を訪れる可能性のある人々について紹介しよう。

### アルテミス計画ではどんな宇宙船を使うの？

アルテミス計画の宇宙船は「オリオン」だ。オリオンは、クルーが搭乗するカプセル型のクルーモジュールと、その下のサービスモジュールからなる。クルーモジュールは、4人のクルーが宇宙で21日間、生命と健康を維持できるように設計されている。サービスモジュールは欧州宇宙機関(ESA)が供給し、太陽電池パネル、生命維持装置、燃料タンク、月軌道に入るためのメインエンジンが搭載される。

オリオンを地球から打ち上げるのは、高さ98メートルの大型ロケット「宇宙発射システム(SLS)」だ。液体水素と液体酸素を混合して燃焼させる1段目には、もともとスペースシャトル用に開発されたRS-25ロケットエンジンが4基利用される。月への往復無人試験飛行を行うアルテミス1ミッションには、スペースシャトルで3回以上使用されたエンジンを改修して使用する。

ロケット1段目の両側には2つの巨大な固体燃料ブースターもついている。打ち上げ時の合計の推力は39メガニュートンで、アポロ計画のサターンVロケットより15%大きい。ロケットが宇宙空間に到達すると下段を切り離し、上段が独自のエンジンを噴射してオリオンを月に向かって送り出す。

オリオン自体は月面に着陸できないので、NASAがアルテミス3ミッションで月面着陸を試みる際には、クルーは月周回軌道上でオリオンからスペースX社が現在試験中の宇宙船「スターシップ」の改良型へと移乗し、これが月着陸船となる。(参考記事：[「スペースXが単独で月着陸船を開発、NASAが異例の選定」](#))

探査を終えたクルーは、スターシップからオリオンに戻って地球に帰還する。三角錐の頂点を平らにした形の

カプセルは熱シールドを使って大気圏再突入の高熱に耐え、パラシュートを開いて海に降下する。

### アルテミス計画の最初の3つのミッションの違いは？

最初のアルテミス1は無人工ミッションで、8月29日（予備日は9月2日と5日）に打ち上げが行われる。オリオンのクルーモジュールとサービスモジュールとSLSの全体が打ち上げられるのは、これが最初だ（クルーモジュールは2014年12月に別のロケットで打ち上げられ、熱シールドのテストが行われた）。アルテミス1ミッションの日数は、打ち上げ時期にもよるが4~6週間で、オリオンを月の周回軌道に乗せ、それから地球に帰還させる。NASAのビル・ネルソン長官は8月3日の記者会見で、次のように語った。「私たちは挑戦と達成を通して学んでいます。アルテミス1ミッションは、アポロ計画のように人々を団結させ、人類に恩恵をもたらす、世界を感動させるような偉業を達成できることを教えてください。今はアルテミスの時代です」

2024年5月までに予定されている10日間のアルテミス2は最初の有人ミッションで、4人のクルーがオリオンに乗って月を周回し、地球に帰還する。1968年12月のアポロ8号に似たミッションだ。（参考記事：[「月から昇る地球」、世界を変えた撮影から50年」](#)）

月面に再び人間を送り込むアルテミス3の打ち上げは2025年以降となる。4人の宇宙飛行士によるこのミッションでは、月周回軌道に乗ったオリオンは、そこで待っているスペースXのスターシップとドッキングする。そして、クルーのうち2人がスターシップで月の南極付近に着陸する。スターシップは探査を終えた2人を乗せて月周回軌道のオリオンに戻り、クルーはオリオンで地球に帰還する。

### [次ページ：アルテミス3は月のどこに着陸するの？](#) アルテミス3は月のどこに着陸するの？

アポロ計画では月の赤道付近に着陸したが、アルテミス3は月の南極付近に着陸する予定だ。NASAは13の着陸候補領域を発表している。

これらの候補地には、過去に探査されていない多様な地質が見られる。どの候補地にも安全に着陸できる平坦な地形が見られ、時期によってはいちどに6.5日の日照があるので、宇宙飛行士はほぼ1週間月面にとどまることができる。それ以外の時期には日陰になってしまうため、着陸地点は打ち上げ時期によって変わってくる。

着陸候補地付近の永久影に覆われた場所にある月の岩石や塵（レゴリスと呼ばれる）には、水の化学的な痕跡が残っている。レゴリスから氷を採取することができれば、地球の南極観測基地のようなスタイルで月に長期滞在することが容易になる。しかし、レゴリスに含まれる水がどのくらい豊富に存在しているのか、簡単に採取できるのかはまだわからない。NASAは、この地域の水が使えるかどうかを調べるために、2024年にも無人探査車「バイパー（VIPER）」を月の南極に送り込み、堆積する氷に関するデータをさらに収集することを計画している。その後は、アルテミス3の宇宙飛行士がこの地域の調査を引き継ぐことになる。（参考記事：[「【解説】月面の水、予想よりも豊富だった 水循環の解明に一步」](#)）

### アルテミス計画はどのようにして生まれたの？

アルテミス計画のルーツは、ジョージ・W・ブッシュ大統領が2005年に表明したコンステレーション計画にある。この計画は、引退するスペースシャトルに代わるNASAの有人宇宙飛行計画という位置付けだった。（参考記事：[「廃墟？遺産？ソ連のスペースシャトルが再び脚光」](#)）

しかしオバマ政権は、遅延とコスト超過の懸念からコンステレーション計画を中止し、スペースシャトルとコンステレーション計画を中心に築き上げられた航空宇宙産業は暗礁に乗り上げた。2010年、米国議会は、コンステレーション計画のクルーカプセルを維持し、スペースシャトルとコンステレーション計画の既存の契約を利用した新しいロケット（現在のSLS）の開発を求める法案を可決した。

オリオンとSLSの計画は年々進化していったが、現在のアルテミス計画の形はトランプ政権下で決定され、火星有人探査への足がかりとして月に改めて焦点が当てられることになった。バイデン政権は、月面着陸の目標時期を2024年から2025年に延期しただけで、アルテミス計画をほぼそのままの形で進めている。

参考ギャラリー：宇宙から見た地球 写真11点（画像クリックでギャラリーへ）





1968年に撮影されて「地球の出」として有名になった写真のほか、宇宙から見たさまざまな地球の姿を紹介する。こうした写真は、地球は広大な宇宙のなかでは塵のように小さなものにすぎないが、同時に私たちが共有する最も大切な存在でもあることを、あらためて感じさせてくれる。（PHOTOGRAPH BY NASA/GODDARD/ARIZONA STATE UNIVERSITY）[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

### アルテミス計画の費用はどのくらい？

NASAの監察官室によると、2012年度から2025年度にかけて、アルテミス計画関連のプログラムには推定930億ドル（約13兆円）、最初の打ち上げには41億ドル（約5600億円）の費用がかかるとされている。アルテミスのコストは当初の見積もりを超えて膨れ上がり、NASAの監察総監ポール・マーティン氏は今年初めに「持続不可能」とまで言っている。

これまでのところ、議会はアルテミス計画への資金提供を確約している。宇宙開発の啓発活動を行うNPO団体「惑星協会」によると、現在、NASAの年間予算の半分弱が有人宇宙飛行のために費やされており、NASAの総予算は連邦政府の裁量支出の0.4%に相当するという。

### [次ページ：誰が月に行くの？](#) 他国も参加しているの？

アルテミス計画は米国のプログラムだが、NASAは他の国々にも参加を呼びかけている。カナダと日本は、月周回軌道上の宇宙ステーション「ゲートウェイ」の建設に協力することを約束している。NASAはカナダや日本など18カ国との間で、宇宙の平和協力の原則を定めた拘束力のない協定「アルテミス合意」を結んでいる。

### 誰が月に行くの？

アルテミス計画の有人飛行に参加する宇宙飛行士はまだ決まっていない。NASAの関係者は、NASAの宇宙飛行士の全員にミッションに参加する資格があると語っている。NASAはまた、カナダがこのプログラムに投資したことを受け、カナダ人宇宙飛行士がアルテミス2に搭乗することになったと発表している。

さらにNASAは、アルテミス3で女性初の月面着陸を実現させ、アルテミス3または将来のミッションで有色人種を初めて月面に着陸させるとしている。

### なぜ月に人を送る必要があるの？

近年、NASAをはじめとする宇宙機関は月への野心を新たにしている。多くの科学的成果が期待されるだけでなく、将来の惑星探査の足がかりにもなるからだ。アポロ計画によって持ち帰られたサンプルから明らかになったように、月の土壌や衝突クレーターは、太陽系45億年の歴史を記録した図書館のようなものなのだ。（参考記事：[「6千万円超で落札、米国の国宝級「月の塵」が競売に、なぜ？」](#)）

月は太陽系の他の領域で探査を行うための訓練場にもなる。月と火星は多くの点で異なっているが、シェルターの建設、宇宙の飛行、堆積した氷から水を抽出する技術など、月探査で学んだことは将来の火星有人探査に大いに役立つと期待される。有人宇宙探査を支持する人々は、宇宙への挑戦は間接的に大きな利益をもたらすと考えている。アルテミス計画や国際宇宙ステーション（ISS）のような大規模なプロジェクトは、各国が平和的に協力し合う機会となる。アルテミス計画のためのハードウェアとソフトウェアの開発は、高度な技術を持つ多くの労働者に仕事を提供することができる。そして、月に着陸するというアルテミス計画の目標は、若者が科学

技術を学ぶための重要なきっかけになる。米ノートルダム大学の月研究者クライブ・ニール氏は、アルテミス計画が成功と言えるかどうかは、それがもたらす技術的な恩恵によって決まると考えている。ニール氏は、アポロ計画の誘導コンピューターがシリコンチップ産業を爆発的に成長させたことを例に挙げ、「最終目標は、地球での生活をより良いものにするのでなければなりません」と言う。

### その後のミッションは？

アルテミス計画の将来は、最終的には議会と米国民の意思によって決まる。今のところ、NASAは月面を目指すミッションを繰り返すことを計画している。すでにアルテミス4のためのSLSとオリオンのコンポーネントの製造が始まっている。インフラの追加も順調に進んでいる。NASAはカナダと日本の宇宙機関と提携して、月軌道を周回するゲートウェイ宇宙ステーションを建設中だ。ゲートウェイは、将来的には月に向かう探査機の中継地となる予定である。一部はすでに建造されていて、早ければ2024年にも最初の2つのモジュールが打ち上げられ、2026年以降に打ち上げられるアルテミス4ミッションで組み立てを完了することになっている。

NASAは月での活動の可能性について、通信ネットワーク「ルナネット」、月面の居住施設、大型の与圧ローバーなどのアイデアを練っている。人類の月での長期滞在が実現するかどうかは、アルテミス計画の最初の数回の打ち上げで、最先端の月ロケットと宇宙船がどこまで結果を出せるかにかかっている。

参考ギャラリー：人類の宇宙飛行の歴史 写真39点（画像クリックでギャラリーへ）



1961年、ソ連の宇宙飛行士ユーリ・ガガーリンが世界で初めて宇宙飛行を行った。その後、60年近くにおよぶ人類の宇宙飛行の歴史を写真で振り返る。[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

文=Michael Greshko／写真=Dan Winters／訳=三枝小夜子

<https://wired.jp/article/the-mini-missions-aboard-the-artemis-rocket-pack-a-big-punch/> 2022.08.23

## 月探査ミッション「アルテミス1号」に“相乗り”する10基の超小型衛星には、宇宙探査にとって重要な任務が課せられている

米国を中心とした月探査計画の最初のミッション「アルテミス1号」が、早ければ2022年8月29日に実施される。打ち上げられる新型ロケットには宇宙船「オリオン」のほか10基の超小型衛星も“相乗り”しており、地球近傍の小惑星や月面の氷の調査、着陸技術の検証などの重要な任務が課せられている。



PHOTOGRAPH: NASA

月探査計画「アルテミス」の最初のミッションとなる「アルテミス1号」の[ロケットが打ち上げ](#)が、早ければ2022年8月29日にも実施される。この世界的に注目される打ち上げで宇宙へと向かうのは、新型ロケット「[スパー](#)

[ス・ローンチ・システム \(SLS\)](#)」だけではない。SLSは重要な任務として、米航空宇宙局 (NASA) のカプセル型の宇宙船「[オリオン](#)」を宇宙に届ける。さらに SLS はオリオンが離れたあと、靴箱ほどのサイズの小さな衛星 10 基を展開するのだ。衛星はもっと小さなロケットで地球低軌道に打ち上げることが多いが、今回の打ち上げでは衛星にとって SLS が豪華な乗り物の役目を果たすことになる。

### 小型ながらも優れた探査能力

その 1 つである「Near Earth Asteroid Scout (NEA Scout)」と名付けられた超小型衛星は、SLS から離れてから遠くにある小惑星の調査に向かう。まずは月の近くを通過して地球近傍の小惑星へと向かい、詳細な画像を撮影することになる。NEA Scout は、太陽光や粒子風の圧力を受ける太陽帆によって推進する仕組みだ。かなり小型ではあるが、将来の大型ミッションで人が訪れるかもしれない小惑星の探索の助けとなる最先端の調査が可能になっている。「小惑星の回転や大きさ、明るさ、現地を知りたいのであつちる撮影をしたいのです」と、NASA のジェット推進研究所 (JPL) の惑星科学者で NEA Scout の研究チームを率いるジュリー・カスティロ＝ロゲスは説明する。NEA Scout は最先端の小型カメラを搭載しており、解像度は NASA の小惑星探査機「[OSIRIS-REx \(オシリス・レックス\)](#)」に搭載されているものと同程度だ。「非常に高性能でありながら、非常に小型なのです」と、カスティロ＝ロゲスは語る。NEA Scout とほかの 9 つの衛星は、「キューブサット (CubeSat)」と呼ばれる超小型衛星のさまざまな活用を実証することになる。キューブサットは一辺が約 4 インチ (約 10cm) の立方体がいくつか組み合わさったものだ。立方体のユニットが 3 つ横並びのものは「3U」と呼ばれており、今回のアルテミス 1 号で打ち上げられる衛星は「6U」である。なお、アルテミス計画の一環として打ち上げられた最初のキューブサット「[CAPSTONE \(キャップストーン\)](#)」は「12U」だ。キャップストーンは 22 年 6 月に打ち上げられ、今後のアルテミス計画のミッションで宇宙飛行士が組み立てる月周回有人拠点「ゲートウェイ (Gateway)」のために月周回軌道を調査している。これらの衛星には小型化された技術が搭載されており、バッテリー、電子機器、カメラなどのツールが非常にコンパクトな機体に詰め込まれている。おかげで、数億ドルする大型の宇宙船をつくるより低コストで研究を進められるわけだ。

### 太陽の光を推進力に

NEA Scout は SLS から放たれてから月の近くを飛行し、数日後にゆっくりと太陽帆を展開する。ほかのパーツと同じように、太陽帆も最初は小さな箱型の機体の 3 分の 1 にぴったりと収まっている。だが、箱に収まっている期間は短い。「指令を出すとともに 4 つの金属製の柱が飛び出し、収納されている太陽帆を引き出します。太陽帆の大きさは 925 平方フィート (約 86 平方メートル) で、およそスクールバス 1 台ぶんほどです」と、マーシャル宇宙飛行センターの NEA Scout の技術チームの責任者であるレス・ジョンソンは語る。

帆はアルミホイルよりも薄く、反射率の高いアルミニウムでコーティングされている。食品用ラップフィルムのようなだがベタベタしないのだと、ジョンソンは説明する。この衛星の“帆”は海上の船のように風を受けるわけではなく、光を推進力に変える。光が帆に反射するときにはわずかにエネルギーが伝わり、それが帆と宇宙船を推進するエネルギーに変換されるのだ。太陽帆をもつ衛星の打ち上げは、JPL にとって技術実証の意味合いもある。燃料切れの心配がなく、太陽からそれほど遠くない場所で小型探査機を飛ばす推進システムの可能性を示そうとしているからだ。今回の太陽帆をもつ衛星は、地球の周回軌道の外側を飛行した 2 つの探査機に続くものである。2010 年に金星に向かった日本の小型ソーラー電力セイル実証機「[IKAROS \(イカロス\)](#)」と、19 年に惑星協会が打ち上げた「ライトセイル 2 号」だ。

### 小惑星の撮影を 2 年後に予定

飛行開始から約 2 年後となる 24 年 9 月 20 日ごろ、NEA Scout は「2020 GE」と呼ばれる調査対象の小惑星に追いつく予定だ。小惑星の大きさは約 15~50 フィート (約 4.5~15m) で、宇宙船が探査する最小の小惑星となる。NEA Scout は、回転する小惑星の 60 マイル (約 97km) 以内に近づくと少し速度を落とす。そして時速 45 マイル (時速約 72km) 程度で小惑星の近くを飛行し、数時間かけて画像を撮影する。その後、探査機は 2020 GE の軌道の進行に伴って移動し、地球の近くまで戻ってくる。小惑星と NEA Scout との遭遇から 4 日後、小惑星

は地球の近くを勢いよく通過する計算だ。小惑星は地球から約 41 万マイル（約 66 万 km）も離れた場所を通過するが、これは地球から月までの距離の約 70%に相当する安全な距離である。

NEA Scout は、NASA が 13 年の段階で SLS の相乗りを選んだ最初のキューブサットだ。チームは当初、将来的に有人ミッションで調査する可能性のある小惑星を偵察する宇宙船を飛ばすことを計画していたのだと、NEA Scout の研究チームのカスティロ＝ロジェスは説明する。こうしたミッションはいまのところ計画されていないが、NASA やほかの宇宙機関は何年も前からロボットによる小惑星探査を計画し、宇宙に打ち上げている。いずれ民間の宇宙企業も、有益な鉱物を求めて小惑星の採掘を試みるかもしれない。小惑星である 2020GE は、地球近くの天体を監視する防衛の取り組みにも関連している。NEA Scout で調査する小惑星の大きさは、13 年に地球に落下している最中に爆発してロシアのチェリャビンスクに落ちた衝突体と同等だ。一方で 2020GE は、小惑星に衝突して軌道を変えることを目的とする NASA の探査機「[ダート \(Double Asteroid Redirection Test, DART\)](#)」の標的になるような、潜在的に危険性の高い宇宙の岩石よりはるかに小さい。ダートは 21 年 11 月に打ち上げられ、22 年 9 月下旬から 10 月上旬に目標の小惑星に衝突する予定だ。

### 相乗りする衛星の重要なミッション

NEA Scout は今回、ほかのキューブサットと共に宇宙へと向かう。これらは二次ペイロード（ロケットに相乗りする衛星などの機器）と呼ばれることがある。相乗りするキューブサットのひとつは、酵母菌を含んだバイオセンサーで[宇宙放射線が生物に与える影響](#)を長期にわたって測定する NASA の「バイオセンチネル (BioSentinel)」だ。イタリア宇宙機関の「ArgoMoon」は、SLS のロケットの 2 段目の写真を撮影してから月面を撮影する。日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の「OMOTENASHI」は、エアバッグを展開して時速 110km で月面に緩やかに衝突（着陸）し、“セミ・ハードランディング”の着陸技術を検証する。

アルテミス 1 号のミッションでは、民間企業が主導で開発したキューブサットも打ち上げられる。ロッキード・マーチンの「LunIR」は小型の冷凍機で低温を保った赤外線カメラを使い、昼夜を問わず月面の地図を作成する（ロッキード・マーチンは SLS 上部に搭載されるクルー用の宇宙船「オリオン」の製造においても NASA の主要な提携企業である）。またロッキード・マーチン、アマゾン、シスコは、ギリシャ神話のアルテミスの従者にちなんで「Callisto (カリスト)」と名付けられたものをオリオンに搭載する。これにはインターネット接続なしで操作できるよう調整した AI アシスタント「Alexa」とビデオ会議サービス「Webex」のカスタマイズ版を搭載したタブレット端末が含まれる。オリオンに搭乗した宇宙飛行士は将来的に、これらのツールを使って宇宙船の飛行状況の確認やテレメトリ（遠隔測定）の実施、動画でのコミュニケーションをとれるようになる。

「LunaH-Map」と「Lunar IceCube」と呼ばれる 2 つのキューブサットは科学的な調査のほか、いずれ月面に降り立った飛行士が水を採取することを考慮し、月にある[水でできた氷](#)を研究する。「月の極地周辺に水でできた氷があることは、ずいぶん前から知られていました。しかし、どの程度の量があるのか、どこにあるのかなど不明な部分もまだ多いのです」と、アリゾナ州立大学の惑星地質学者で LunaH-Map の責任者であるクレイグ・ハードグローブは、22 年 8 月 15 日の NASA の記者会見で説明している。今回の調査で月の氷の位置をより正確に地図に落とし込み、常に影で覆われているクレーターの先にあるかもしれない氷を検出するという。

### ついに努力が報われる瞬間へ

アルテミス 1 号ミッションの暫定的な実施日は最短で 22 年 8 月 29 日で、9 月にも 2 日間の予備日が確保されている。もともとアルテミス 1 号の実施は 2017 年の予定だったが、複数回にわたって[延期された](#)。結果として、相乗りするプロジェクトにも困難が降りかかっている。というのも、キューブサット 10 基のうち月の氷が研究目的の 2 基を含む 5 基は、バッテリー充電のためにロケットから取り外せない仕様になっているのだ。LunaH-Map のバッテリー残量はおそらく 50%程度で、ミッションの遂行に十分な量が残っていることを期待していると、LunaH-Map の責任者のハードグローブは語る。NASA が SLS をフロリダ州のケネディ宇宙センターの[発射台へと移動](#)させ、電力や推進剤などのシステムと接続し、最終的な準備を整え始めたのは 8 月 16 日ことだった。NEA Scout の研究チームと仲間の研究者たちは、来るロケットの打ち上げと相乗りするすべてのミッションの遂

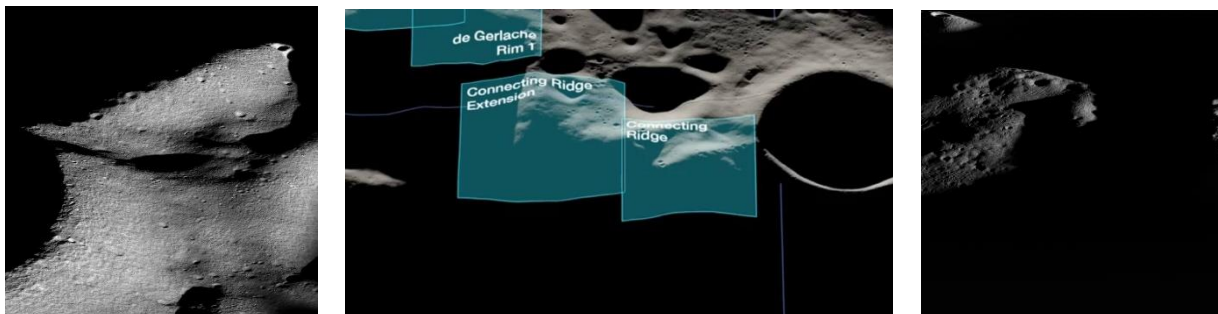
行に胸を躍らせている。SLSの関係者は何年もの努力を重ね、深宇宙へと送る史上最大のロケットをつくるためにずっと働いてきたのだ。これまでの努力が報われる瞬間が楽しみだと、マーシャル宇宙飛行センターのジョンソンは言う。「この機会にかかわることができて本当にうれしいです」

(WIRED US/Translation by Nozomi Okuma) ※『WIRED』による[宇宙の関連記事はこちら](#)。

<https://sorae.info/astronomy/20220825-lro-shackleton.html>

## 2025年の有人月面着陸候補地にも選ばれている月の尾根。NASA探査機が撮影

2022-08-25 松村武宏



【▲ NASAの月周回衛星「ルナー・リコネサンス・オービター（LRO）」が2020年7月6日に取得した月の南極点周辺の画像。画像左下の小さな明るいクレーターの付近に月の南極点がある。奥に見える尾根の長さは約14km（Credit: NASA/GSFC/Arizona State University）】

【▲ 月面探査ミッション「アルテミス3」着陸候補地の一部を示した図。冒頭の尾根はシャクルトン・クレーター（右端）の左隣に位置する候補地「Connecting Ridge」として選ばれている（Credit: NASA's Scientific Visualization Studio）】

【▲ NASAの月周回衛星「ルナー・リコネサンス・オービター（LRO）」が2015年8月23日に取得した月の南極点周辺の画像。太陽に照らされた尾根の一部が闇に浮かぶ島のように表現されている。画像の幅は約15kmに相当（Credit: NASA/GSFC/Arizona State University）】

こちらは、アメリカ航空宇宙局（NASA）の月周回衛星「ルナー・リコネサンス・オービター（LRO）」に搭載されている光学観測装置「LROC」を使って2020年7月6日に取得された、月の南極点周辺の画像です。画像の左端には、月の南極にある「シャクルトン・クレーター」（Shackleton、直径約21km。イギリスの極地探検家アーネスト・シャクルトンに由来）の一部が見えています。月の南極点は画像の左下、シャクルトン・クレーターの縁に形成された明るくて縁が鋭く見える小さなクレーターの付近にあります。この地域では太陽が高く昇ることはないため、常に太陽光が届かない領域である「永久影」が、シャクルトン・クレーターの内側などに広がっています。斜めに見下ろすように撮影された画像の奥に目を向けると、左から右上に向かって長さ約14kmの尾根が伸びています。シャクルトン・クレーターと「ド・ジェラルーシ・クレーター」（de Gerlache、直径約33km。南極探検隊を率いたベルギーの海軍士官アドリアン・ド・ジェラルーシに由来）の間にあるこの尾根は、2025年に予定されているNASAの有人月面探査ミッション「アルテミス3」の着陸候補地のひとつです。

関連：[NASA 有人月面探査計画「アルテミス」13か所の着陸候補地が発表された](#)

月の南極域では、永久影に水の氷が埋蔵されていると考えられています。水の氷からは内太陽系（inner solar system）の水や揮発性物質の歴史に関する知見が得られると期待されています。そのいっぽうで、水は宇宙飛行士の飲用水として用いたり、電気分解して得られた水素と酸素をロケットエンジンの推進剤として利用したりできる（酸素は宇宙飛行士の呼吸用としても利用できる）ことから、水の氷を将来の有人月面探査で活用することも構想されています。また、常に太陽光が届かない永久影とは対照的に、月の南極点周辺にあるクレーターの縁や尾根の一部といった周囲よりも標高が高い場所は、1年のうち1割程度の期間しか太陽が沈まないという特徴

があるといいます。LRO が撮影した画像を公開しているアリゾナ州立大学は、その様子を「Islands in the Dark (闇に浮かぶ島々)」と表現しています。こうした場所では、太陽エネルギーを利用して電力を確保しやすいというメリットがあります。NASA が推進する月面探査計画「アルテミス」では、水の氷が眠るとされる月の南極域を焦点に探査が行われます。同計画初の有人月面探査を行うアルテミス 3 ミッションでは、永久影に近い 13 か所の着陸候補地が選ばれました。冒頭の画像の尾根も候補地の一つ「Connecting Ridge (コネクティング・リッジ)」として選ばれています。NASA は科学・工学の研究者と議論を重ねて各着陸候補地のメリットに関する意見を募る予定で、最終的な選定はアルテミス 3 の打ち上げ日時が決まってからになる見込みです。1972 年 12 月の「アポロ 17 号」以来 53 年ぶりに有人月面探査が行われる場所として、画像の尾根が選ばれることになるかもしれません。

Source Image Credit: NASA/GSFC/Arizona State University

[アリゾナ州立大学](#) - Traversing the Shackleton de Gerlache Ridge [アリゾナ州立大学](#) - Islands in the Dark  
[NASA](#) - Artemis III Landing Region Candidates 文／松村武宏

<https://www.businessinsider.jp/post-258138>

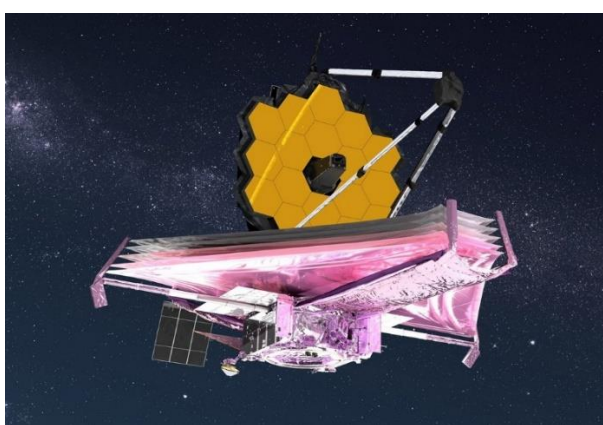
## 「革命的成果を予感」と期待の NASA の新・宇宙望遠鏡ジェームズ・ウェッブ。天文

学者が語るすごさ [川口敦子](#) [サイエンスライター] Aug. 25, 2022, 03:35 PM [サイエンス](#)

8 月 22 日、NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) が、新たな画像を公開した。かつてないほど美しい「木星」の画像で、巨大な嵐やオーロラなど木星の詳細がよく分かる。観測したアメリカの天文学者は「正直言って、こんなによいと思っていなかった」とコメントしている。

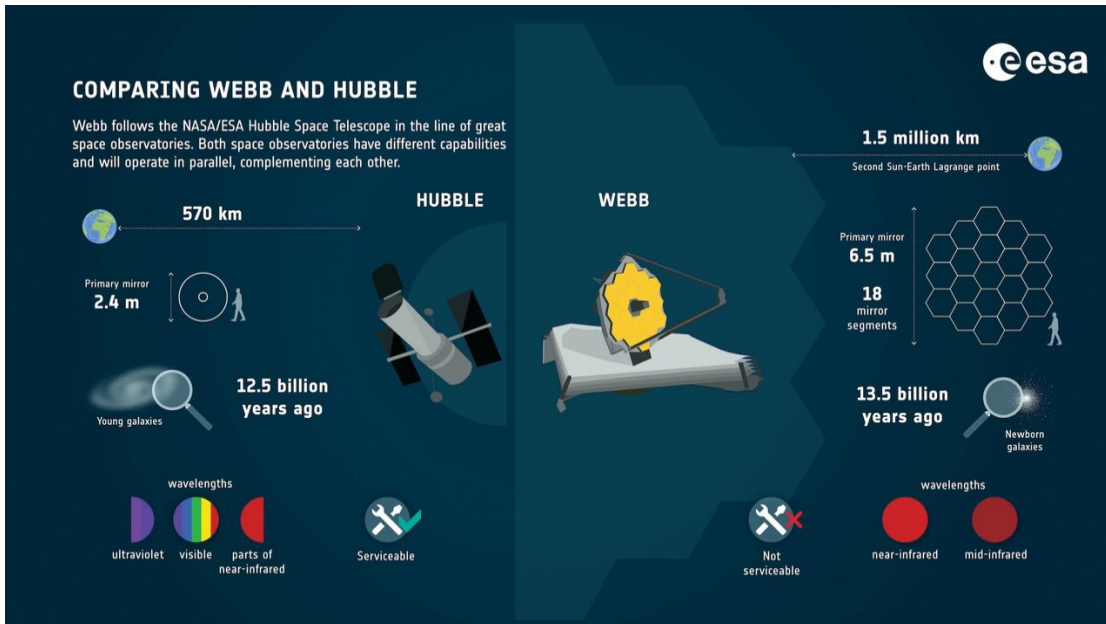
2022 年 7 月 12 日、JWST が撮影した画像が初公開された際、NASA は「天文学の新時代の夜明けだ」と強調した。その後も、続々と新しい画像が公開されている。「『革命的な成果が出てくる』と予感させるのに十分な画像が出てきています」長年天文学の研究を続ける東京大学の田村元秀教授は、冷静な口ぶりながら、NASA のジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) への期待をこう語った。

「初期宇宙」や「生命の兆候」の探索など、世界の天文学者たちから、JWST が生み出す成果に対する注目が集まっている。これから先、天文学に何が起るのか。田村教授に JWST のすごさと、今後の天文学の展望を聞いた。



ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡が捉えた木星の姿。NASA, ESA, CSA, Jupiter ERS Team; image processing by Judy Schmidt.

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) のイメージ NASA GSFC/CIL/Adriana Manrique Gutierrez



JWST とハッブル宇宙望遠鏡の比較 ESA JWST 打ち上げキットより抜粋 Advertisement

「宇宙を赤外線で開拓する時代」に

JWSTは2021年12月25日、ロケットのフェアリング（ロケット先端部。衛星などが格納されている）に折りたたまれた状態で打ち上げられた。宇宙空間を移動しながら、直径6.5メートルに及ぶ主鏡を、まるでたたんだ折り紙を開くように展開し、現在は地球から150万キロ離れた場所で、太陽の周りを回っている。

観測の中核となるのは、分割された鏡18個を組み合わせた大きな主鏡だ。その直径は、1990年の打ち上げ以降、数々の美しい天体写真を届けてきたハッブル宇宙望遠鏡の2.7倍。口径が大きくなった分、解像度も上がり、よりシャープな画像が得られるようになった。JWSTは、目に見える光（可視光線）よりも波長の長い「赤外線」を観測する望遠鏡だ。赤外線は、地上で観測しようとしても、多くが**大気に吸収**されてしまう。そのため、これまでも赤外線を観測するために、望遠鏡が宇宙に打ち上げられてきた。JWSTは、2021年1月まで運用が続けられていたNASAのスピッツァー宇宙望遠鏡や、観測波長は異なるものの、これまで数々の美しい画像を捉えてきたハッブル宇宙望遠鏡の後継機にあたる。田村教授によると、JWSTはスピッツァー宇宙望遠鏡と比べて、同じ波長を観測した際の解像度が約7倍、感度も10倍以上高い。

「約1マイクロメートルから30マイクロメートル近くまでの波長をまったく抜けなく、圧倒的な解像度と感度で観測できるという点が、JWSTの強みです。だからこそ、これまで観測できなかった暗い天体の観測が可能になります。天文学は赤外線で宇宙を本格的に開拓できる時代を迎えたのです」（田村教授）

シャープな画像に「期待通り」

田村教授によると、JWSTを使った研究課題は、大きく次の4つに分けられるという。

JWSTの主要な研究課題

太陽系も含め、近くにある惑星を詳しく調べて生命の兆候を探ること

生まれたての星や死にゆく星など、星の一生を調べること

星の集合体である銀河の起源や性質、ブラックホールとの関係を調べること

宇宙の始まりの時代の銀河や星を調べること

この中で最も注目している研究は何か、田村教授は「一つに絞るのは難しい」と悩みつつも、

「『宇宙の始まりの時代を調べること』と『生命の兆候を探ること』は天文学の柱になります。JWSTは、それらの問いに対して一番近いところにいるでしょう」と期待を語る。

NASAが公開した初期画像からも、こうした問いに答えようとする研究者の意気込みが感じられるという。



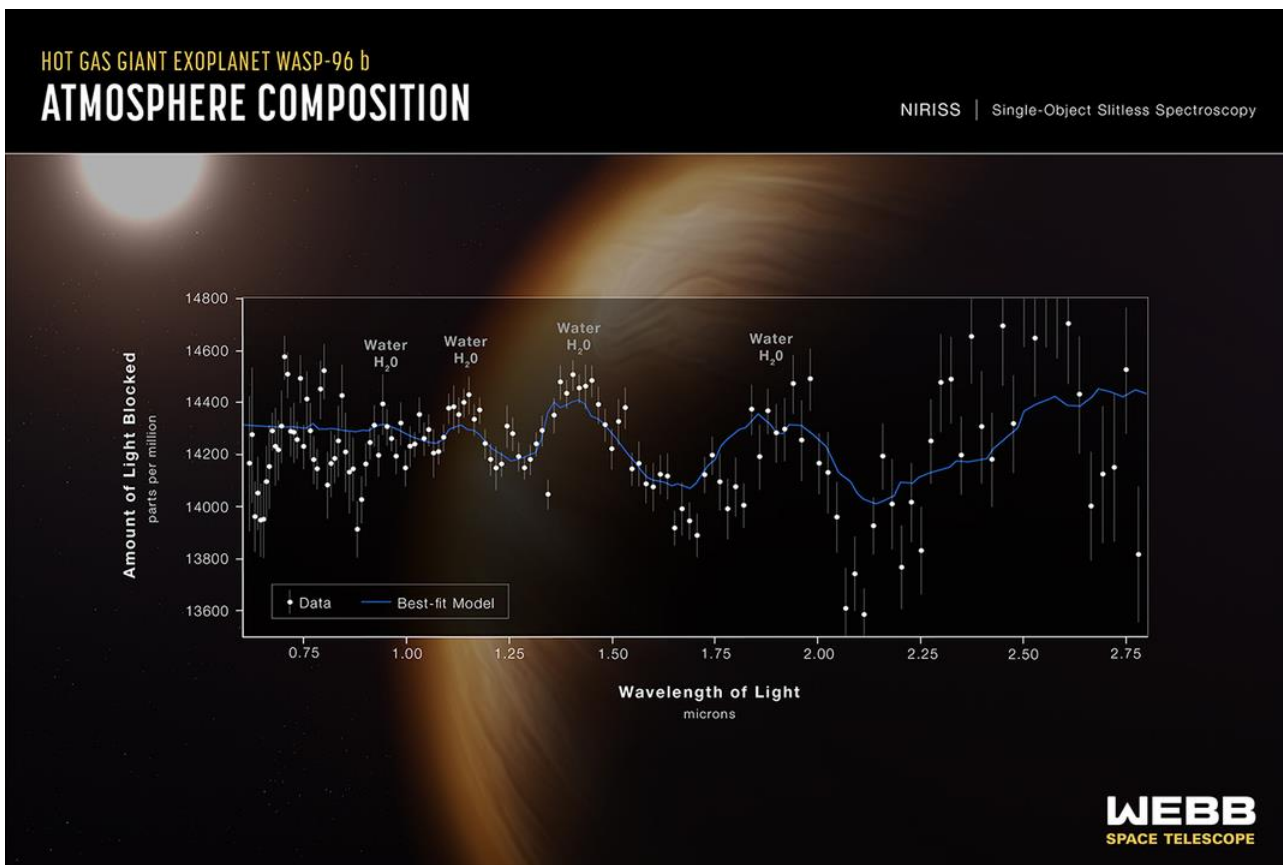
JWST が撮影した銀河団、SMACS0723 の画像。NASA, ESA, CSA, and STScI

上に示した画像は、JWST が最初に公開した画像のうちの 1 つ。地球から約 46 億光年離れた銀河団 SMACS0723 を捉えたものだ。田村教授は「シャープな画像で、感度は期待通りです」と話す。

宇宙が誕生したのは、今から 138 億年前。私たちは、宇宙の遠くにある星々から放たれた光を通じて、宇宙の過去の姿を観測している。46 億光年離れた銀河団の背後には、さらに地球から離れている銀河が映りこんでいる。NASA によるとこの画像の中には 131 億年前、誕生から 7 億年経過した宇宙に存在する銀河も含まれているという。誕生したばかりの初期宇宙の天体は暗く、望遠鏡で捉えることは難しい。

また、遠いところにある天体から放たれた光は、私たち観測者に届くまでの間に宇宙の膨張によって「引き伸ばされる」。例えば、もともとは青い光が、赤い光として観測されたり、目に見えない赤外線になったりする。これは「[赤方偏移](#)」という現象だ。そのため、ある一定の距離よりもさらに遠くにある天体を見ようとしても、可視光線だけでは観測が困難になる。だからこそ、宇宙空間にあり、高い感度でより長い赤外線を捉えることができる JWST の登場によって、「宇宙の始まり」に近づける可能性があるというわけだ。

「これが JWST のすごいところ。宇宙の始まりのどんな時代に最初の星や銀河ができたのかというのは、ぜひ調べたい分野です。JWST としても、最も時間をかけて狙うテーマになるのではないのでしょうか」(田村教授)  
**生命の存在に必要な分子探しに期待**



JWST が観測した、系外惑星 WASP-96 b のスペクトル画像 NASA, ESA, CSA, and STScI



田村教授が JWST が担う「天文学の柱」として二つ目に挙げたのは、地球外生命体の存在に迫る研究だ。

近年、太陽系以外にも、恒星（太陽のように質量が大きく、自ら光り輝く天体）の周りを公転する惑星（[系外惑星](#)）がたくさんあることが分かってきた。世界の天文学者は、2022 年 8 月時点で [5000](#) を超える系外惑星の存在を確認している。田村教授は「このうち地球のように、恒星から程よい距離にある、適温の岩石惑星に、水分子やより複雑な分子が存在することが JWST の観測で判明すれば、宇宙に生命が存在するかどうかという問いに、一歩近づくことができるでしょう」と期待する。

JWST が初期観測した「スペクトル画像」では、WASP-96 b という系外惑星の大気に「水」が存在する強い証拠が得られた。スペクトル画像とは、光を波長ごとに分けて同時に観測したもの。物質ごとに吸収される光の波長が異なるため、スペクトル画像をもとに、系外惑星などの天体に含まれる成分を推定することができる。

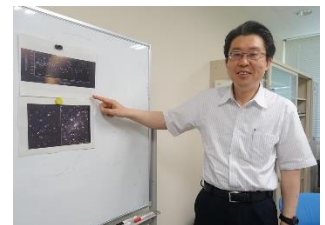
JWST の観測によって、WASP-96 b からは、いくつかの波長で水分子のスペクトルが確認できた。

田村教授は「これほど広い波長範囲で、かつ高感度の赤外線スペクトル分析は初めてです」と驚く。

一方で、「水は宇宙のさまざまな場所にあるので、観測はしやすいものです。よりチャレンジングにはなりますが、この先より小さな惑星の観測で、水やほかの分子があることが確認できると面白くなってきます」（田村教授）とも話す。具体的には、メタンや硫黄、二酸化炭素といった分子の観測が期待されるという。

### 星の誕生現場が見えてきた

田村教授によると、赤外線には、初期宇宙の光を観測しやすいという特徴に加え、可視光では見通せない宇宙の塵・ダストが存在する場所や、温度が低い生まれたての星（恒星）が見えやすいという利点もある。



JWST によって赤外線で撮影されたカーリーナ星雲 NASA, ESA, CSA, and STScI

ハッブル宇宙望遠鏡によって可視光で撮影されたカーリーナ星雲 NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) 2022 年 7 月 22 日、JWST 初期画像について説明する田村元秀・東京大教授 川口敦子撮影

上の 2 つの画像は、JWST とハッブル宇宙望遠鏡によって撮影された「カーリーナ星雲」と呼ばれる天体 NGC3324 だ。両方とも、星の材料となる「星間ガス」や「ダスト」が、まるで山脈のような形になって映し出されている。

田村教授は、JWST の画像では山脈とその外側の境界部分に、ハッブル宇宙望遠鏡では確認できない白く見える天体が複数あることに注目する。この天体は、これまではダストに遮られて見えていなかった「生まれたての星」だという。「ハッブルでは見えなかった星の誕生現場が、赤外線だと見えてくるのです。今後、ほかの星や惑星の形成領域の画像もどんどん出てくるはず。星の周囲をクローズアップする観測によって、恒星の周りで誕生する惑星を直接見ることも可能になるでしょう」（田村教授）

### 「ハッブルの次は JWST」プライドで完遂

JWST は当初、2010 年の打ち上げを目指していたが、何度もスケジュールが遅れ、総開発費は 100 億ドルを超えた。田村教授はその要因について「技術的にチャレンジングなことをやろうとしたためでしょう」と分析する。膨らむ予算に、米国内でも批判の声はあったというが「米国の天文学の中で、『ハッブルの次は JWST にいく』というプライドがあり、打ち上げからファーストライト（初観測）までは、ほぼ完璧にやり遂げました。（アポロ計画などを進めた）1970 年代の米国の勢いが復活したという気がします」と振り返る。田村教授によると、JWST の設計寿命は 5 年程度とされているものの、初期試験観測から 10 年以上の耐用年数が期待されている。

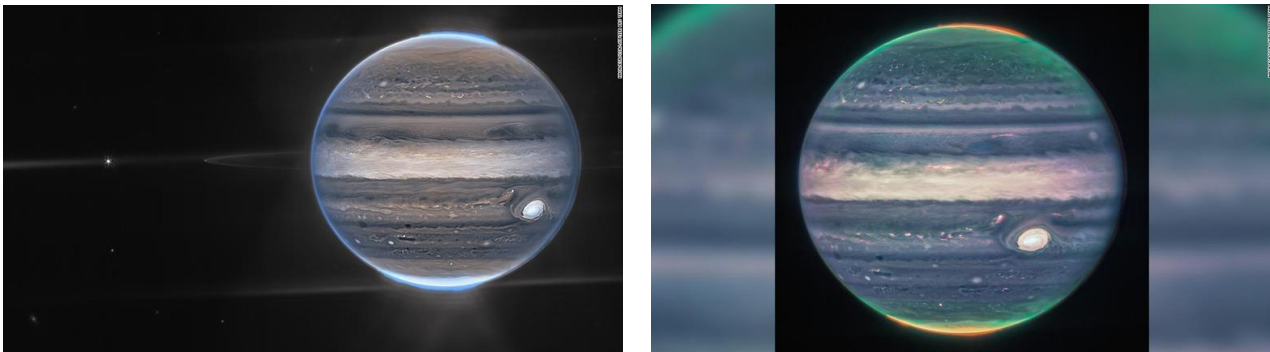
「小石が鏡にぶつかるなどのトラブルが起きないかどうか心配ですが、もし 10 年以上使い続けることが出来れば

ば、当初の予定よりも観測時間が増えます。初期宇宙の探索や生命の兆候探しの範囲や観測対象が広がり、より画期的な成果が出ることを期待します」(田村教授)。

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35192216.html>

## ウェブ望遠鏡が捉えた木星の見事な画像、科学者の予想をも上回る

2022.08.23 Tue posted at 18:07 JST



ウェブ望遠鏡の近赤外線カメラによる木星の合成画像。大赤斑が白く写っている/NASA/ESA/CSA/Jupiter ERS Team (CNN) 虹色に輝くオーロラに巨大な嵐、そして、はるかかなたに浮かぶ複数の銀河。これらは全て、米航空宇宙局 (NASA) のジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡で捉えた木星の画像に写る風景だ。

3つのフィルターを組み合わせて合成処理したという木星の画像/NASA/ESA/CSA/Jupiter ERS Team 米カリフォルニア大学バークレー校の名誉教授で惑星天文学者のイムケ・デ・ペイター氏は、ニュースリリースで画像について「正直言ってこれほど素晴らしいとは全く予想していなかった」と述べた。

NASAによると、太陽系最大の惑星である木星をウェブ望遠鏡で観測する取り組みはデ・ペイター氏とパリ天文台のティエリー・フーシェ氏が主導した。3つのフィルターを組み合わせた合成画像で表した木星は、両極がオレンジ色と黄色なのに対し中央部は青や紫と、色彩が変化している。その他、うっすらとした輪や遠くの銀河も背景に「写り込んでいる」とNASAは指摘。地球がすっぽり入るほどの大きさで知られる大赤斑は、この画像では白く見えている。「幾つもの明るい白色の斑点や筋は、極めて高高度に位置する雲頂である公算が大きい。これらの雲は凝縮した対流性の嵐の上に浮かんでいる」。ウェブ望遠鏡での太陽系の観測に携わる科学者で、全米天文学大学連合の幹部も務めるハイディ・ハメル氏はそう説明する。

科学者らは市民科学者のジュディ・シュミット氏と協力し、観測データを合成画像として処理した。カリフォルニア州モデストを拠点に活動するシュミット氏によると、木星は自転速度が速いため、画像処理が困難だという。前出のフーシェ氏は、今回の画像こそ自分たちの木星研究プログラムの集大成だと語る。同プログラムは木星自体の活動や化学的性質に加え、木星の持つ輪や衛星系についても調べているという。

ウェブ望遠鏡は木星以外にも、赤外線を利用して他の機器では捉えられない宇宙の側面を明らかにしている。

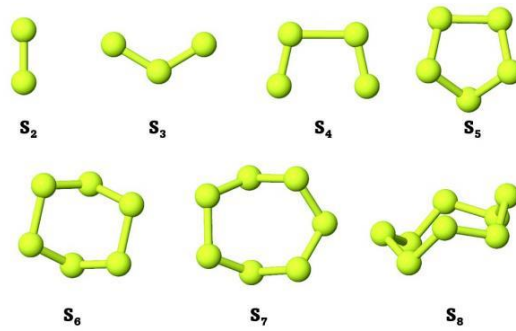
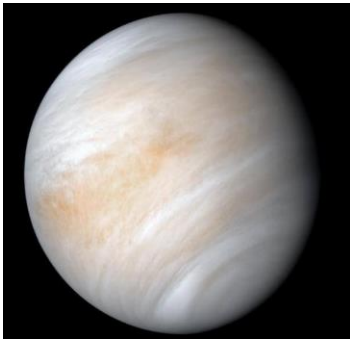
<https://sorae.info/astromy/20220824-venus.html>

## 金星大気の新紫外線吸収源は硫黄分子？生成過程をシミュレーションで解明

2022-08-24  [彩恵りり](#)

多くの性質が似ていることから、地球の兄弟星とも呼ばれる「金星」ですが、地球と金星には多くの違いも存在します。ほとんどが二酸化炭素でできた分厚い大気により、金星の表面は 400°C を超える気温と深海 1000m にも匹敵する圧力に晒されています。この大気には、硫酸などの腐食性物質が満ちています。このように過酷で極

端な環境は、太陽系では金星の他に存在せず、非常に興味深い研究対象の1つです。



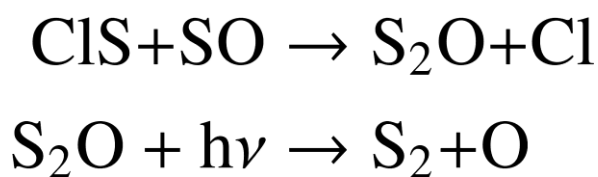
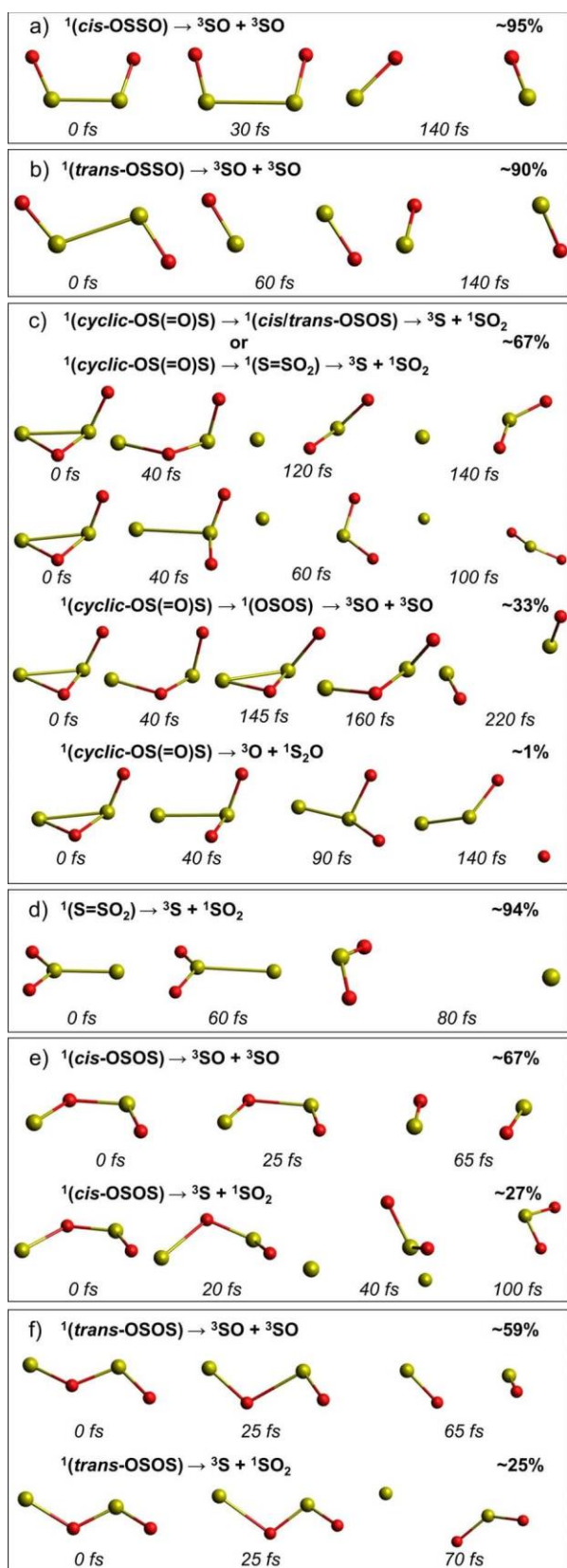
【▲ 図1: 1974年のマリナー10号の観測データを再構築して生成した、高度約60kmの金星大気の疑似カラー画像。白っぽい部分は主に硫酸を含んでおり、紫外線をよく反射しています。一方で黄色から赤色の部分は近紫外線を吸収していますが、吸収している物質の正体はよくわかっていませんでした (Image Credit: NASA/JPL-Caltech)】

【▲ 図2: 硫黄分子の様々な形態。私たちが普通に見る硫黄は、八硫黄分子 (S8、下段右端) が多数積み重なって構成されています (Image Credit: Jackson, et.al.)】

金星は地球の隣の惑星であり、その大気についてはかなり長い間研究がされておりますが、解明されていない謎も多くあります。その1つは、大気中に含まれる物質です。金星の大気には、波長365nm付近の近紫外線をよく吸収する、モヤのような粒子状または気体の物質が含まれています。その正体は硫黄化合物ではないか、と長年推定されてきたものの、分子の正確な化学組成には議論がありました。

まず、硫黄は多種多様な化合物を形成するため、単純に候補が多すぎるとい理由があります。また、硫黄をはじめ金星の大気に存在する酸素や塩素といった物質は非常に腐食性が強く、実験室で反応を再現するには危険を伴います。近年、この謎の物質の正体は硫黄原子が数個結びついた硫黄分子ではないかという説が提唱されました。私たちが日常的に見る硫黄は、硫黄原子がリング状に8個結びついた「八硫黄 (S8)」という分子ですが、もっと原子の数が少ない分子も、不安定ながら存在することが分かっています。原子の数が異なる硫黄分子では吸収する紫外線の波長がわずかに異なるため、これらが複雑に混ざった金星大気では、吸収される紫外線の波長も複雑になってしまいます。この複雑さが正体の解明を妨げている、と考えられます。では、金星大気では硫黄分子はどのように生成されるのでしょうか。その出発点は、硫黄原子が2個結びついた「二硫黄 (S2)」であると考えられています。二硫黄は不安定なため、このままだと紫外線で分解されてしまいますが、別の硫黄原子と出会うことで3個、4個、……と数が増えていき、最終的に八硫黄になるとかなり安定して、簡単には分解されなくなります。問題は、出発点となる二硫黄のさらに前の状態が不明であるという点です。硫黄原子が1個の状態はとてつもなく不安定なため、別の硫黄原子に出会うものより、大気中に含まれる他の原子や分子と結びついてしまうものの方が、はるかに多いと考えられるからです。2016年頃より、硫黄原子の元は「二酸化二硫黄 (S2O2)」ではないか、という説が有力視されてきました。これは、金星の大気に豊富に含まれている一酸化硫黄 (SO) 同士が合体して生成される分子です。二酸化二硫黄は、分子構造が「O-S-S-O」という折れ曲がった線状の分子であり、硫黄原子同士が結びついているという特徴があります。2016年の研究では、量子分子動力学法と呼ばれるシミュレーションにより、二酸化二硫黄に結びついている酸素原子が紫外線によって切り離されることで二硫黄が生成されるのではないかと推定されました。ところがその後、「二酸化二硫黄説」は旗色がやや悪くなっている、という現状があります。紫外線の吸収が観測されるのは主に高度60km程度の中層大気ですが、この高度においては、二酸化二硫黄の元となる一酸化硫黄が極めて少ないのではないかと指摘があるためです。ただし、二酸化二硫黄説もその反論も、どちらも不確かさが大きく、今のところ強く肯定も否定もできないという状況となっています。二酸化二硫黄説に反論する論文では実験室で実際に実験を行った結果が反映されておりますが、実験は非常に壊れやすい分子を観察するため、低温低圧の環境で行われました。これは、金星の中層大気的环境とは大きく異なるものです。バレンシア大学の Antonio Francés-Monerris 氏などの研究チームは、このモヤ

モヤする状況を打破する研究を行いました。過去の研究と異なり、現在ではここまで幾つか挙げてきた不安定な硫黄化合物の性質についての理解が深まっています。これにより、同じ量子分子動力学法を使用した研究でも、金星大気の状態をより正確にシミュレーションすることが可能になりました。



【▲ 図 3: 量子分子動力学によってシミュレーションされた、様々な形態の二酸化二硫黄の分解の様子。今回の結果では、二硫黄を生成する主要な源ではないことが明らかにされました。 (Image Credit: Francés-Monerris, et.al.) 】

【▲ 図 4: 上下の化学反応は、今回の研究で明らかにされた、二硫黄分子を生成する主な化学反応のルートです。

【Credit: 彩恵りり】

今回の研究では、まず二酸化二硫黄が光を受けてどのように分解するのかについて、二酸化二硫黄の他の形状も含めて検証しました。その結果、二酸化二硫黄は二硫黄の主要な生成源では無いとする反論が裏付けられることとなりました。二酸化二硫黄から二硫黄が生成されるに至る数段階の反応のどこかで酸素と結合してしまい、二硫黄の生成が阻害されやすいとシミュレーションされたためです。では、そもそも硫黄分子は紫外線の吸収源となるのでしょうか？ 今回の研究では、別の生成源が硫黄分子を生成するという結果も同時に示されました。

金星の大気中に含まれている一塩化硫黄 (ClS) が一酸化硫黄と反応すると、一酸化二硫黄 (S<sub>2</sub>O) と塩素原子 (Cl) が生成されます。この一酸化二硫黄に光が当たると酸素原子が離脱し、二硫黄になるというわけです。シミュレーションの結果、一塩化硫黄と一酸化硫黄との反応による二硫黄の生成は、二酸化二硫黄の分解よりもずっと多いことが判明しました。実際の金星の大気では、硫黄・塩素・酸素の各原子がより複雑に結合した高分子化合物が存在する可能性があり、より複雑な大気化学の様相を呈している可能性もあります。金星大気の高精度な観測が進めば、今回の研究も併せて、金星の紫外線吸収源に関する謎の解明が進むかもしれません。

また、金星の現在の大気は、火山ガスや誕生直後の地球、あるいは太陽系外惑星に見られるような酸素に乏しい大気と似ている面があります。金星の大気を研究することは、これら特徴ある気体成分の解明にも繋がります。

Source

[Antonio Francés-Monerris, et al.](#) “Photochemical and thermochemical pathways to S<sub>2</sub> and polysulfur formation in the atmosphere of Venus”. (Nature Communications)

[Alan Fischer.](#) “New Analysis Shows How Sulfur Clouds Can Form in Venus’ Atmosphere”. (Planetary Science Institute)

[Chan Y. Na, Larry W. Esposito & Thomas E. Skinner.](#) “International ultraviolet explorer observation of Venus SO<sub>2</sub> and SO”. (Journal of Geophysical Research Atmospheres an AGU Journal)

[Adam J. Jackson, Davide Tiana & Aron Walsh.](#) “A universal chemical potential for sulfur vapours”. (Royal Society of Chemistry)

[Benjamin N. Frandsen, Paul O. Wennberg & Henrik G. Kjaergaard.](#) “Identification of OSSO as a near-UV absorber in the Venusian atmosphere”. (Geophysical Research Letters)

[Zhuang Wu, et al.](#) “The near-UV absorber OSSO and its isomers”. (Chemical Communications) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astronomy/20220822-m33.html>

## 天の川銀河のご近所さん。300 万光年先の渦巻銀河「さんかく座銀河」

2022-08-22 [松村武宏](#)



【▲ 渦巻銀河「さんかく座銀河 (M33)」 (Credit: KPNO/NOIRLab/NSF/AURA; Image processing: M. Zamani (NSF’s NOIRLab), A. Hussein (NSF’s NOIRLab) & D. de Martin (NSF’s NOIRLab))】

こちらは「さんかく座」の方向約 300 万光年先にある渦巻銀河「さんかく座銀河 (Triangulum Galaxy)」の姿。18 世紀にフランスの天文学者シャルル・メシエがまとめた「メシエカタログ」には「M33 (Messier 33)」とし

て登録されています。さんかく座銀河は、私たちが住む天の川銀河や「アンドロメダ銀河（M31）」と同じ「局所銀河群」に属しています。その直径は約 6 万光年とされており、アンドロメダ銀河（直径約 20 万光年）や天の川銀河（直径約 10 万光年）に次いで、局所銀河群で 3 番目に大きな銀河として知られています。

画像を公開した米国科学財団（NSF）の国立光学・赤外天文学研究所（NOIRLab）によると、さんかく座銀河とアンドロメダ銀河は星やガスの流れで結びついていて、過去に重力を介して相互作用したとみられています。両銀河は今から 25 億年以内に衝突し、やがて合体して 1 つのレンズ状銀河になる可能性があるようです。

なお、天の川銀河も今から 40 億年以上後にアンドロメダ銀河と衝突し、やがて合体して「ミルクメダ（Milkomeda※）」と呼ばれる 1 つの銀河が誕生すると予想されています。銀河の衝突・合体は数億年以上のタイムスケールで進行すると考えられていますから、天の川銀河とアンドロメダ銀河が繰り広げる相互作用に、さんかく座銀河も 3 つ目の銀河として関わることになるのかもしれませんが。

※...天の川（Milky Way）とアンドロメダ（Andromeda）の混成語

冒頭の画像はアメリカのキットピーク国立天文台にある口径 4m のメイヨール望遠鏡によって撮影されたもので、NOIRLab から 2022 年 8 月 17 日付で公開されています。

関連：[合体し始めたばかり。おとめ座の渦巻銀河「NGC 4567」と「NGC 4568」](#)

Source

Image Credit: KPNO/NOIRLab/NSF/AURA;Image processing: M. Zamani (NSF's NOIRLab), A. Hussein (NSF's NOIRLab) & D. de Martin (NSF's NOIRLab) [NOIRLab](#) - Destined to Collide

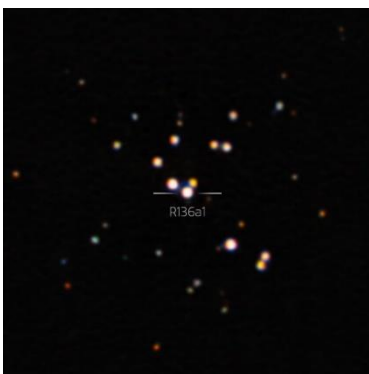
[NASA](#) - Messier 33 (The Triangulum Galaxy)

文／松村武宏

<https://sorae.info/astrometry/20220823-r136a1.html>

## 観測史上最も重い 17 万光年先の恒星「R136a1」チリの望遠鏡が画像取得

2022-08-23 [松村武宏](#)



【▲ タランチュラ星雲の大質量星「R136a1」（Credit: International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA; Acknowledgment: Image processing: T.A. Rector (University of Alaska Anchorage/NSF's NOIRLab), M. Zamani (NSF's NOIRLab) & D. de Martin (NSF's NOIRLab) )】

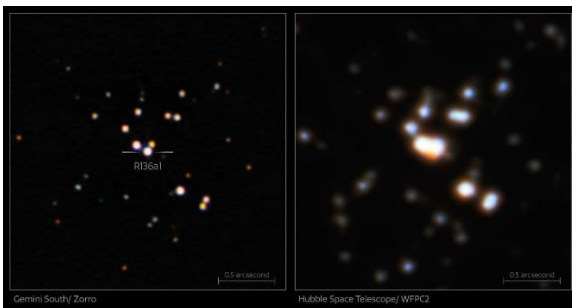
【▲ 大質量星「R136a1」の想像図（Credit: NOIRLab/NSF/AURA/J. da Silva/Spaceengine）】

こちらは南天の「かじき座」の方向約 17 万光年先にある大質量星「R136a1」とその周辺を捉えた画像です。チリのセロ・パチョンにあるジェミニ天文台の「ジェミニ南望遠鏡」に搭載されている観測装置「Zorro」を使って取得されたもので、米国科学財団（NSF）の国立光学・赤外天文学研究所（NOIRLab）から 2022 年 8 月 18 日付で公開されました。R136a1 は、天の川銀河の伴銀河（衛星銀河）のひとつ「大マゼラン雲」（大マゼラン銀河とも）にある輝線星雲「タランチュラ星雲」（Tarantula Nebula、かじき座 30）の中心付近にある散開星団「R136」の一員です。NOIRLab の天文学者 Venu M. Kalari さんを筆頭とする研究チームは、R136a1 の質量が太陽の 170 ～230 倍だと考えています。研究チームは 2021 年 10 月に Zorro を使って R136a1 の高解像度画像を取得し、質

量の推定値を算出しました。NOIRLabによると、R136a1は既知の恒星のなかでも質量が最も大きく、過去の研究では太陽の250~320倍と推定されていたといわれています。Kalariさんたちが算出した質量は従来の予想よりも下方修正されていますが、それでもなおR136a1は既知の恒星で最も重いまだといわれています。「私たちの研究結果は、既知の最も重い星(R136a1)がこれまで考えられていたほど重くはないことを示しています」(Kalariさん)  
太陽と比べて8倍以上重い星は、恒星としての寿命を終える時に超新星爆発を起こします。特に、質量が太陽の150倍以上もある恒星は、電子対生成不安定型超新星(PISN: Pair-Instability Supernovae、対不安定型超新星とも)と呼ばれる激しい爆発を起こすとされています。宇宙に存在する重元素(水素やヘリウムよりも重い元素全般)の一部は、このような激しい超新星爆発が起きた時に生成されてきたと考えられています。

関連: [ビッグバンや超新星爆発の名残があなたの身体にも? 元素の起源](#)

Kalariさんたちの研究成果が示すように、もしもR136a1の質量が従来の予想よりも小さいとすれば、他の大質量星にも同じことが言えるかもしれません。従来の予想よりも大質量星の質量が小さいとすれば、電子対生成不安定型超新星が起きる頻度も予想より低い可能性があります。今回の研究成果は結果的に、重元素の起源に関する理解にも影響を及ぼすことになりそうです。



【▲ ジェミニ南望遠鏡の「Zorro」(左)と、ハッブル宇宙望遠鏡に搭載されていた「広域惑星カメラ2(WFPC2)」(右)で取得されたR136a1周辺の画像を比較した図(Credit: International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA Acknowledgment: Image processing: T.A. Rector (University of Alaska; Anchorage/NSF's NOIRLab), M. Zamani (NSF's NOIRLab) & D. de Martin (NSF's NOIRLab); NASA/ESA Hubble Space Telescope)】

なお、今回の観測に用いられたジェミニ南望遠鏡のZorroは、短時間の露光で得られた複数の画像を合成することで高解像度の画像を得る「スペックル・イメージング(speckle imaging)」という手法を利用した観測装置です。南北両半球で口径8.1mの望遠鏡を運用するジェミニ天文台では、ハワイの「ジェミニ北望遠鏡」にも同型の観測装置「Alopeke」(※)を設置しています。

※...!Alopeke(アロペケ)はハワイ語、Zorro(ゾロ)はスペイン語で、どちらも「キツネ(狐)」の意味  
NOIRLabによると、R136の観測では露光時間60ミリ秒の画像を40分かけて4万枚取得し、慎重に合成することで、過去に「ハッブル」宇宙望遠鏡を使って観測が行われた時よりも高解像度の画像が得られました。他の星々と明確に分離し、より正確な明るさを知ることで、R136a1の質量が従来の予想よりも小さいことが明らかになったとのことです。

関連: [貴重な六角形構造のレンズ状銀河「NGC 7020」ジェミニ南望遠鏡が撮影](#)

Source

Image Credit: International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA; Acknowledgment: Image processing: T.A. Rector (University of Alaska Anchorage/NSF's NOIRLab), M. Zamani (NSF's NOIRLab) & D. de Martin (NSF's NOIRLab) [NOIRLab](#) - Sharpest Image Ever of Universe's Most Massive Known Star 文/松村武宏

<https://sorae.info/astrometry/20220824-ngc1156.html>

ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した“おひつじ座”の矮小不規則銀河「NGC 1156」



【▲ 矮小不規則銀河「NGC1156」(Credit: ESA/Hubble & NASA, R. B. Tully, R. Jansen, R. Windhorst)】

こちらは「おひつじ座」の方向約 2500 万光年先にある矮小不規則銀河「NGC 1156」です。矮小不規則銀河とは、数十億個ほどの恒星が集まった「矮小銀河」のなかでも、星やガスが不規則に分布している銀河のこと。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す。

NGC 1156 のあちこちにみられる赤い領域は「HII (エイチツー) 領域」と呼ばれるものです。HII 領域では、若くて高温な大質量星から放射された紫外線によって電離した水素ガスが赤い光を放っています。HII 領域はガスと塵を材料に星が生まれる星形成の現場でもあることから、星形成領域とも呼ばれています。

画像を公開した欧州宇宙機関 (ESA) によると、地球から 1000 万パーセク (約 3260 万光年) 以内にある銀河のうち、ある時点までに「ハッブル」宇宙望遠鏡を使って星々の性質を詳細に研究するための観測が行われたことがあるのは、4 分の 3 に限られていたといいます。そこでハワイ大学の天文学者 R. Brent Tully 博士らは、ハッブル宇宙望遠鏡が他の天体を観測する合間の時間を利用して、残る 4 分の 1 の銀河 153 個の観測を提案しました。冒頭の画像は、Tully さんたちの提案にもとづいてハッブル宇宙望遠鏡の「掃天観測用高性能カメラ (ACS)」を使って新たに取得された画像も使って作成されたもので、ESA からハッブル宇宙望遠鏡の今週一枚として 2022 年 8 月 22 日付で公開されています。

関連：[巨大なブラックホールのペアを宿した“みずがめ座”の特異銀河。超大型望遠鏡が撮影](#)

Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, R. B. Tully, R. Jansen, R. Windhorst

[ESA/Hubble](#) - A Marvel of Galactic Morphology [STScI](#) - PROGRAM INFORMATION 文／松村武宏

<https://sorae.info/astrometry/20220825-ngc2442.html>

## 鋭いフックのような形にゆがんだ“とびうお座”の渦巻銀河「NGC 2442」

2022-08-25 [松村武宏](#)



【▲ ラ・シヤ天文台のデンマークの 1.54m 望遠鏡で撮影された渦巻銀河「NGC 2442」。2009 年 12 月公開 (Credit: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler, J.-E. Ovaldsen, C. C. Thöne and C. Féron)】

【▲ ラ・シヤ天文台の MPG/ESO 2.2m 望遠鏡で撮影された渦巻銀河「NGC 2442」。2011 年 5 月公開 (Credit: ESO)】



【▲ ハubble宇宙望遠鏡の広視野カメラ 3 (WFC3) で撮影された渦巻銀河「NGC 2442」。2020年8月公開 (Credit: ESA/Hubble & NASA, S. Smartt et al.)】

こちらは南天の「とびうお座」の方向約5000万光年先にある渦巻銀河「NGC 2442」です。NGC 2442は「渦巻銀河」と「棒渦巻銀河」の中間にあたる形態を持つ銀河 (intermediate spiral galaxy) に分類されています。NGC 2442にある2本の目立つ渦巻腕 (渦状腕) は非対称に大きくゆがんでいますが、これは過去に別の銀河と重力を介して相互作用した結果だと考えられています。フックのようなその姿から、NGC 2442は「Meathook Galaxy (ミートフック銀河)」とも呼ばれています。

冒頭の画像はチリのラ・シヤ天文台にあるデンマークの1.54m望遠鏡で撮影され、2009年12月3日付で公開されていたもので、ヨーロッパ南天天文台 (ESO) のTwitter公式アカウントが2022年8月23日付で改めて紹介しています。なお、2011年5月には、同じくチリのラ・シヤ天文台にあるMPG/ESO 2.2m望遠鏡で撮影されたNGC 2442の画像もESOから公開されています。こちらの画像ではフック状の渦巻腕に沿うように分布する、若く高温な大質量星から放射された紫外線によって電離した水素ガスが赤い光を放つ「HII (エイチツー) 領域」がよくわかります。HII領域はガスと塵を材料に星が形成される星形成領域でもあります。ESOによると、NGC 2442の渦巻腕をゆがませたのと同じ相互作用によって、星形成もまた促された可能性があるようです。

また、最後に掲載したのは「ハubble」宇宙望遠鏡の「広視野カメラ 3 (WFC3)」を使って撮影された、NGC 2442のクローズアップです。明るい光を放つ銀河中心核や、ミートフックにたとえられる片方の渦巻腕が鮮明に捉えられています。

関連：[天の川銀河のご近所さん。300万光年先の渦巻銀河「さんかく座銀河」](#)

Source

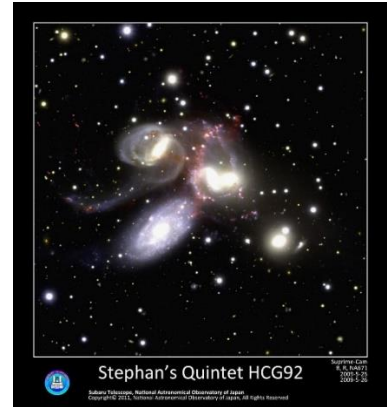
Image Credit: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler, J.-E. Ovaldsen, C. C. Thöne and C. Féron

[ESO](#) - Distorted galaxy NGC 2442 [ESO](#) - Two Views of a Lopsided Galaxy [ESA/Hubble](#) - Cosmic Fireworks  
[@ESO](#) (Twitter) 文/松村武宏

<https://sorae.info/astronomy/20220825-stephans-quintet.html>

## 夢の共演。ウェブ&ハubble&すばる望遠鏡が捉えた「ステファンの五つ子銀河」

2022-08-25 [吉田 哲郎](#)



【▲「ウェブ&ハubble&すばる」望遠鏡による「ステファンの五つ子銀河」(※実際に近接している4つの銀河を含む領域) (Credit: Webb, Hubble, Subaru; NASA, ESA, CSA, NOAJ, STScI; Processing & Copyright: Robert Gendler)】

【▲ハubble宇宙望遠鏡が撮影した「ステファンの五つ子銀河」(Credit: NASA, ESA, Hubble Legacy Archive; Processing & Copyright: Bernard Miller)】

【▲すばる望遠鏡が撮影した「ステファンの五つ子銀河」(Credit: National Astronomical Observatory of Japan)】

世界中の研究者や宇宙ファンから待ち望まれた「ジェームズ・ウェッブ」宇宙望遠鏡は、2021年12月に打ち上げられ、2022年7月に最初の高解像度画像が公開されました。

[関連：ついに公開！ ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の高解像度画像と観測データの数々](#)

その「宇宙の絶景」とも言える画像はさまざまなメディアで紹介され話題になりましたが、その中の一つに「ステファンの五つ子銀河 (Stephan's Quintet)」があります。ステファンの五つ子銀河は、ペガスス座の方角に見える近接した銀河の集まりです。五つ子と呼ばれてはいますが、物理的に結びつくほど実際に近接しているのはそのうちの4つ (NGC 7317、NGC 7318A、NGC 7318B、NGC 7319) で、残りの1つ (NGC 7320) はたまたま同じ方角に見えているにすぎないと考えられています。距離を測定してみると、前者の4つの銀河までの距離は約3億光年であるのに対して、後者の1つの銀河までの距離は約4000万光年で、ずっと地球に近いことから、前者4つと後者1つは実際には離れていることがわかります。ステファンの五つ子銀河を撮影したのはウェッブ宇宙望遠鏡が初めてではありません。過去には「ハッブル」宇宙望遠鏡も撮影を行っています。ウェッブ宇宙望遠鏡の主鏡 (直径6.5m) はハッブル宇宙望遠鏡の主鏡 (直径2.4m) より大きいものの、赤外線領域での観測に特化しています。そのため、可視光線で捉えることができるのは波長が長いオレンジ色のあたりまでで、波長が短い青色を捉えることはできません。一方、ハッブル宇宙望遠鏡はウェッブ宇宙望遠鏡ほどには赤外線を捉えることはできませんが、可視光線の青色光だけでなく、紫外線の領域まで観測することができます。だとすると「ウェッブ宇宙望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡の観測データを組み合わせることで、より幅広い色調 (波長) の画像を作成することができるのではないかと考えられます。実は、冒頭に掲載した画像が、まさにそのようにして作成された画像なのです。冒頭の画像ではステファンの五つ子銀河のうち、物理的に結びついている4つの銀河を含む領域が捉えられています。画像の作成にはウェッブ宇宙望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡だけでなく、ハワイにある日本の「すばる望遠鏡」が撮影した画像も含まれていることから、「ウェッブ&ハッブル&すばる」望遠鏡による画像、ということになります。3つの望遠鏡の合作といえる冒頭の画像とハッブル宇宙望遠鏡が撮影した2枚目の画像は、「Astronomy Picture of the Day」 (今日の天文学画像、APOD。アメリカ航空宇宙局とミシガン工科大学が運営) に、それぞれ2022年7月18日付と2021年12月18日付で掲載されたものです。なお、最後に「すばる望遠鏡」が撮影したステファンの五つ子も紹介します。こちらは先の2つの画像に対して、左に90度ほど傾いているので注意してください。

さまざまな宇宙望遠鏡や地上の望遠鏡による画像や観測データを組み合わせることで、宇宙は今後も新たな絶景を見せてくれるにちがいありません。

Source

Image Credit: Webb, Hubble, Subaru; NASA, ESA, CSA, NOAJ, STScI; Processing & Copyright: Robert Gendler、NASA, ESA, Hubble Legacy Archive; Processing & Copyright: Bernard Miller、National Astronomical Observatory of Japan [Astronomy Picture of the Day](#) - 2022 July 18 - Stephans Quintet from Webb, Hubble, and Subaru

[Astronomy Picture of the Day](#) - 2021 December 18 - Stephan s Quintet

[国立天文台すばる望遠鏡](#) - ステファンの5つ子 HCG92 (すばるギャラリー) 文/吉田哲郎

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220822-2431832/>

## 理研、原始星円盤の巨大ガス惑星形成とその日陰となる冷たい領域を発見

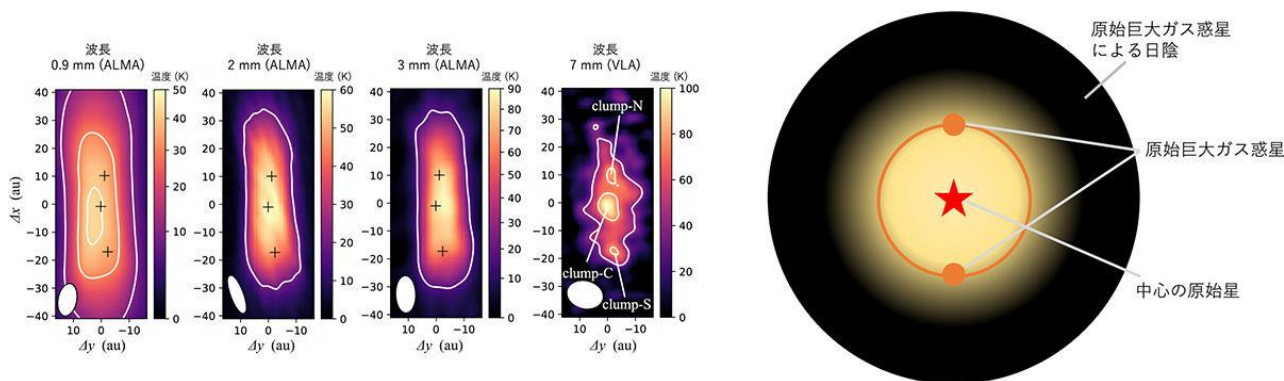
2022/08/22 21:20 [著者：波留久泉](#)

目次 [1](#) [2](#)

理化学研究所(理研)は8月19日、おうし座の方向に地球から450光年の距離にある太陽型原始星「IRAS04368+2557」を取り巻く「原始星円盤」(「原始惑星系円盤」の前段階)をアルマ望遠鏡などを用いて観測し、巨大ガス惑星形成の兆候と、その日陰となる冷たい領域を発見したことを発表した。

同成果は、理研 開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室の大橋聡史研究員、同・仲谷峻平 基礎科学特別研究員(研究当時)、同・チャン・イーチェン基礎科学特別研究員(現・客員研究員/米・バージニア大学 Department of Astronomy 研究員兼任)、同・坂井南美主任研究員、台湾中央研究院天文及天文物理研究所のハウユー・リウ助教、名古屋大学 大学院理学研究科 理論宇宙物理学研究室の小林浩助教、千葉大学 大学院理学研究院 宇宙物理学研究室の花輪知幸特任教授らの国際共同研究チームによるもの。[詳細は、米天文学専門誌「The Astronomical Journal」に掲載された。](#) 星間ガスや星間塵からなる分子雲が自らの重力で収縮することで、星は誕生すると考えられており、星の周囲には星に落下しなかったガスや塵によって円盤が構成され、「原始星円盤」と呼ばれている。その周囲からのガスや塵がおおむね終了して重力的に釣り合った半径に落ち着くと、一段階進んで「原始惑星系円盤」となる。原始惑星系円盤の形状やサイズは、降ってきたガスの角運動量の向きや大きさが大きく影響する。そして、同円盤の中から惑星などが誕生することから、同円盤の形成過程は惑星形成と密接な関係にある。近年の観測では、誕生したばかりの若い原始星円盤において、すでに環状(リング)構造やらせん状構造がいくつも確認されている。このような円盤中での「構造形成」は惑星形成の始まり、あるいは惑星がすでに誕生している可能性を示しており、これまで考えられてきたよりもずっと早い段階での惑星形成の開始を考える必要が生じている。そこで研究チームは今回、この構造形成の過程や、構造が惑星の性質に与える影響を調べるため、IRAS04368+2557 の周囲の原始星円盤に着目することにしたという。具体的には、アルマ望遠鏡と米国の「VLA」を用いて、高空間分解能の電波観測が行われた。IRAS04368+2557 を中心としてその周囲に、半径 80~100 天文単位程度の原始星円盤が形成されており、半径 15 天文単位の位置(太陽系では土星と天王星の間)にはガスや塵からなる塊のような構造がある可能性が指摘されていた。同円盤は地球から見て真横を向いているため、原始星からの距離に応じた円盤の厚みの変化や、塵が放射する電波強度の変化を調べることが可能なことから、同円盤に対する波長 0.9mm~7mm までの幅広い波長帯での電波観測が実施された。

高感度・高分解能観測の結果、中心の原始星から遠ざかるにつれて温度が徐々に下がっていく様子に加え、実際に原始星から 15 天文単位の距離に塊構造が存在し、それを境に温度が急激に下がっていることが確認された。これは、塊構造によって原始星からの光が遮られ、円盤の外側領域では日陰の冷たい領域が存在することが示されているという。



(左)アルマ望遠鏡と VLA を用いた原始星 IRAS04368+2557 周りの原始星円盤の観測画像。(右)原始星 IRAS04368+2557 周りの原始星円盤の想像図 (出所:理研 Web サイト)

さらに円盤の質量が見積もられ、自身の重力を回転運動で支えることができないほど重いことが明らかにされた。そのため、2つの塊のような構造は自己重力による円盤分裂で形成され、原始巨大ガス惑星である可能性が高いと考えられるとする。また、波長 7mm に対する 3mm の電波の相対強度と半径の関係が調べられたところ、半径 50 天文単位(太陽系では、冥王星の遠日点が 50 天文単位弱)よりも外側では、7mm の電波強度が相対的に弱くなっていることが判明。2つの波長帯間の相対強度は塵の大きさに依存することから、7mm の電波強度が相対的に弱いことは、塵のサイズがまだ小さいことを意味するという。つまり、半径 50 天文単位よりも外側の領域では、塵はまだ大きくなっていないことが解明されたということになるという。

原始星が放つ光や周囲からのガスや塵の降着によって、これまで原始星円盤は暖かい状態にあると考えられてき

た。しかし今回の研究により、形成しつつある原始巨大ガス惑星によって、冷たい陰領域が作られることが明らかとなった。こうした陰領域では塵がまだ大きく成長しておらず、今後惑星形成が始まることが考えられるという。つまり、日向で巨大惑星が作られ始めると、その外側では日陰の冷たい環境下で惑星形成が始まる可能性があるということの意味しており、これは、将来作られる惑星の性質に違いを生じる可能性も示していると研究チームでは説明している。なお、近年、太陽系のみならず太陽系外惑星の探査でも、さまざまな大気組成を持つ惑星が発見されている。そのため、今回の研究成果は、これらの多種多様な環境を持つ系外惑星の起源解明に向けて大きな意義を持つとしている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220825-2434831/>

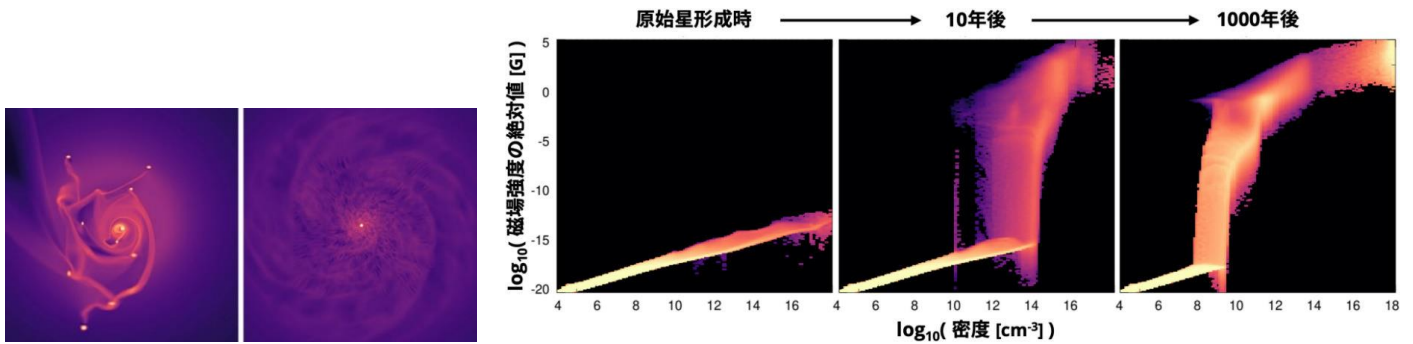
## ファーストスター形成における新たな磁場増幅メカニズム、九大が発見

2022/08/25 20:17 著者：波留久泉

### 目次 [1](#) [2](#)

九州大学(九大)は 8 月 24 日、宇宙で最初に輝きだした第 1 世代の恒星「ファーストスター」の表層までを取り扱う高精度な磁気流体シミュレーションを行うことで、その形成過程における磁気流体効果を検証したところ、ファーストスターが誕生する初期宇宙の磁場強度は現在の宇宙と比べて 10 桁以上低く、極めて微弱だが、星や星周ガスの回転運動によって 15 桁以上指数関数的に増幅することがわかったと発表した。

また、その強磁場がブレーキとなって星周ガスの回転運動を弱めるため、星周円盤の分裂が抑制され、小質量のファーストスターが同時に複数誕生するのではなく、大質量の巨大なファーストスターが単独で誕生する可能性があることも併せて発表された。同成果は、東京大学大学院 理学系研究科の平野信吾特任研究員、九大大学院理学研究院の町田正博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 Letters」に掲載された。](#) ビッグバンからおおよそ 38 万年後に光が直進できるようになり、“宇宙の晴れ上がり”イベントが生じたとされている。しかしその時点で、少なくとも可視光域で光を放つ星などの天体は存在しておらず、晴れ上がったが宇宙は“暗黒時代”を迎えたという。そして、ビッグバンから数億年後(早ければおおよそ 1 億年後)に、大量の水素やヘリウムなどから、宇宙で最初の星であるファーストスターが誕生し、“宇宙の夜明け”が訪れることとなり、それらファーストスターが超新星爆発を起こした後に誕生した第 2 世代以降の星々が集まって、「ファーストギャラクシー」が誕生したと考えられている。このように、ファーストスターは宇宙の初期進化を左右する重要な天体であり、ファーストスターがどのような天体だったのかを明らかにするため、シミュレーションによるその誕生の再現も含めた、理論的研究がこれまで数多く行われてきた。これまでのところ、その描像には複数の説があり、現代の宇宙には存在しないほど桁違いの大質量星だったとする説もあれば、宇宙の年齢以上の寿命を持つ小質量の天体(太陽よりも小型)だったとする説もある。そうした中、近年の研究トレンドとして注目されているのが磁場の影響だという。これまでのシミュレーションでは簡略化のために星周磁場は取り扱われていなかったが、より厳密性を求めるようになってきているという。そこで研究チームは今回、ファーストスターの表層から星が生まれるガス雲までを空間分解する高精度な磁気流体シミュレーションを実施することにしたとする。その結果、ファーストスター形成に大きな影響を及ぼす、新たな磁場増幅機構が発見されることとなったという。



流体(左)と磁気流体(右)のシミュレーション比較。画像は計算終了時のもので、原始星形成後1000年が経過した、赤道面における密度分布 (出所:九大プレスリリース PDF)

原始星形成時(左)、10年後(中央)、1000年後(右)の磁場強度分布。まず高密度領域で磁場強度が15桁にもわたり指数関数的に増幅し、時間が経過すると共に強磁場は低密度領域(星形成領域の外側)へと広がっていく (出所:九大プレスリリース PDF)

この機構は、誕生間もない時期に自転により、ファーストスターに突き刺さる磁力線が巻き上げられることで磁場が強まるところから始まり、その後、星周ガスの回転によって増幅した磁場が外側へと伝搬することで、強磁場領域が徐々に拡大。初期宇宙の磁場強度は、現在の宇宙と比べて10桁以上も低い、極めて微弱なものだったが、ファーストスター自身や星周ガスの回転運動によって、指数関数的に15桁ほど増幅するという結果が得られたという。この新たな強磁場は、磁気ブレーキ効果によってファーストスターの星周ガスの回転を弱めることとなる。これまでのシミュレーションでは、この減速効果がないために星周ガスの回転が速いままで、星周円盤が分裂して複数の小質量ファーストスターが同時に誕生するという結果が得られていたとするものの、回転が弱まれば円盤分裂が抑制されるため、大質量ファーストスターが単独で誕生するという結果が得られたとする。さらに、このような大質量ファーストスターは、超新星爆発後に大質量(ファースト)ブラックホールになることが考えられるともしている。小質量ファーストスターの場合、寿命は138億年以上と推定されている。それが正しければ、現在の天の川銀河にも少なくとも1つぐらいいは存在していてもよさそうであるが、ファーストスターのような、ほぼ水素とヘリウムのみで構成される「種族III」の星はこれまでのところ1つも発見されていないという。それに対し、ファーストスターが大質量なのであれば、恒星は質量が大きければ大きいほど短命であるため、現在の天の川銀河に残っていないと当然と考えられるようになる。大質量であることは、発見できないという観測的問題の解決にもつながると研究チームでは説明している。

なお、今回の研究成果は、ファーストスター形成における磁気流体効果の重要性が明確にされ、形成シナリオの再構築を促すものとなっているほか、研究チームでは、今回発見した磁場増幅メカニズムが、初期宇宙におけるほかの天体・大質量ブラックホールにおいても起きることを確認しているという。今後は星形成過程の物理条件を変え、今回発見した影響がどこまで普遍的なものかを検証するとしている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220825-2434841/>

## JAXA、大質量ブラックホール周囲のガスの動きを調べる新たな手法を考案

2022/08/25 20:30 著者: [波留久泉](#) 目次 [1](#) [2](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は8月24日、活動銀河核中心の大質量ブラックホールの周囲に存在するガスや塵でできた「トーラス」構造内のガスや塵の運動を、一酸化炭素(CO)吸収線に着目して数値計算したところ、同吸収線がトーラスの最も内側の領域から放たれた近赤外線だけを背景光としており、トーラス内部で大質量ブラックホールに向かって落下するガスや、逆に大質量ブラックホールの活動で吹き飛ばされるガスといった、激しいガスの動きを捉えていることが明らかになったことを発表した。同成果は、JAXA 宇宙科学研究所(ISAS) 宇宙物理学研究系 中川研究室の松本光生大学院生(東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻)、同・中川 貴雄教授、

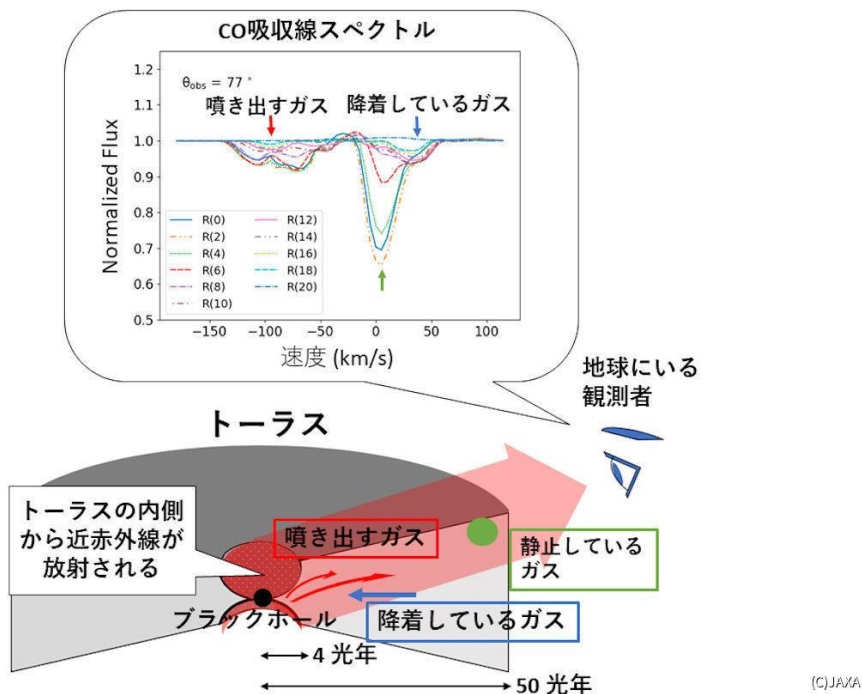
同・大西崇介大学院生(東大大学院 理学系研究科 物理学専攻)、同・磯部直樹助教らの研究チームによるもの。

[詳細は、米天文学専門誌「The Astronomical Journal」に掲載された。](#)

活動銀河核とは、銀河の中心に存在する大質量ブラックホールに大量のガスや塵などが落下することで、位置エネルギーが放射エネルギーに変換され、全宇宙でも屈指の明るさでもって輝いているコンパクトな領域(天体)とされている。1980年代の可視光分光観測をもとにした「活動銀河核統一理論」によると、活動銀河核の観測的な特徴を説明するために、ガスや塵で構成された厚いトーラス(ドーナツ)構造が大質量ブラックホールの周囲に存在すると提唱されている。トーラスは活動銀河核統一理論の要であり、また大質量ブラックホールへの物質の供給源であるため、非常に重要な構造と考えられている。しかし、単純にガスがブラックホールに落ち込むだけではトーラスは厚みを持たず、円盤のように薄くなってしまふという。そのため、トーラス内には厚みを生み出すような、激しいガスの運動があると考えられているが、トーラスの大きさは銀河全体の1万分の1程度と非常に小さく、既存の望遠鏡では解像度が不足しているため、トーラス内のガスの運動を調べるのは困難だという。

そこで研究チームは今回、同チームが長年にわたって観測を行ってきた「CO 振動回転遷移吸収線」に着目。これを分光観測で捉えることで、トーラス内のガス運動を調べられるかどうかを数値計算によって検証することにしたという。またこの際に、さまざまな観測との整合性が確認されている流体モデルの物質分布をもとにして、近赤外線の光がどこから放たれ、どこでCO分子によって吸収が起きているのかも調べられた。

その結果、多くの近赤外線はトーラスの1/10ほどの最も内側の領域で放たれて、トーラス内のCO分子によって吸収が起きていることが判明。これは、トーラスの10分の1程度の小さな構造だけを抽出して観測していることと同等であり、CO吸収線を分光できれば、トーラスを直接高解像度で撮像せずとも、トーラス内のガスの動きを調べられることを意味するという。



CO吸収線スペクトルを観測の模式図。上のスペクトル内の各線はCO分子内のさまざまな遷移に伴うCO吸収線。スペクトルの速度が正(負)の場合、観測者から遠ざかる(近づく)ガスによる吸収を意味する。観測されたCO吸収線スペクトルは3つの速度成分(赤、緑、青矢印)を持ち、それぞれはトーラス内の噴き出すガス、降着しているガス、静止しているガスに起源がある (C)JAXA (出典:Matsumoto et al. 2022) (出所:ISAS Web サイト) さらに、CO吸収線スペクトルには3つの異なる速度成分があり、その内2つはブラックホールへ降着するガスと、逆にブラックホールの活動によって噴き出されるガスを捉えていることが明らかにされた。実際、研究チームの過去の観測でも同じような吸収線スペクトルが観測されており、今回の理論予測と整合しているとする。また、流体モデルによると、降着するガスは一定の割合で噴き出されるガスに転換され、トーラスのような厚み

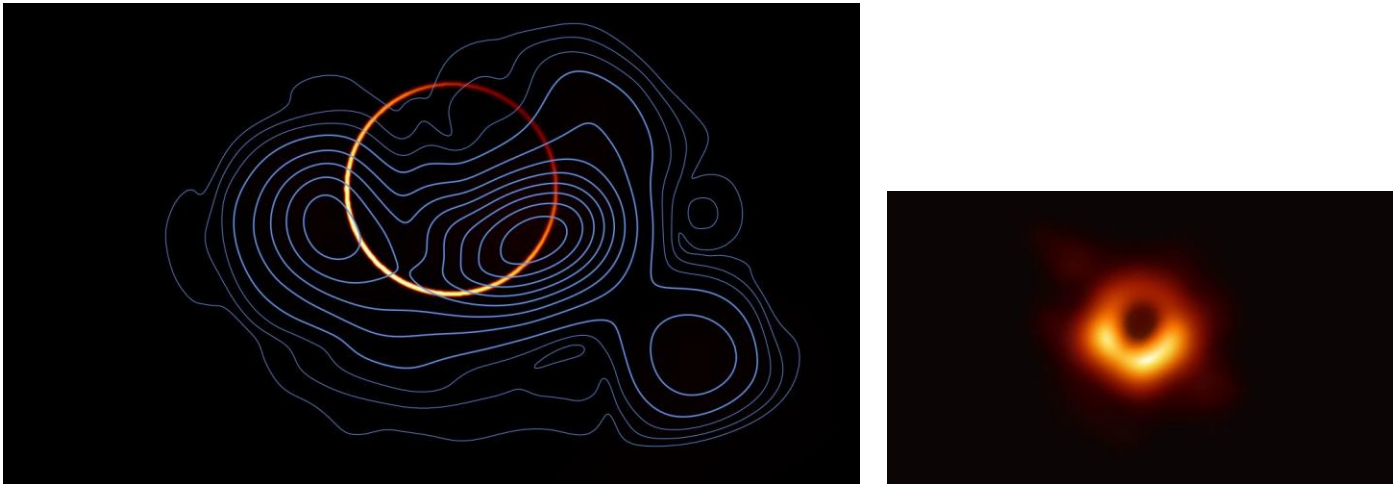
のある構造を生じさせると考えられている。そのため、CO 吸収線はこのようなガス転換の現場を見ており、トーラスの厚みの形成メカニズムを制限する有力な手段になると期待できるともしている。

なお、今回の手法は、直接撮像が不可能である遠方の天体にも適用することが可能であることから、これによりトーラス内の運動を体系的に制限でき、研究チームの究極の課題である「トーラスの厚みの形成メカニズム」を解明できることが期待されるとしている。

<https://sorae.info/astrometry/20220826-m87-photon-ring.html>

## 楕円銀河 M87 のブラックホールを取り巻く光「フォトン・リング」の解析に成功！

2022-08-26 [彩恵りり](#)



【▲ 図 1: ブラックホールの周りには、理想的にはこのように細い光の円が見えるはずですが。これは「フォトン・リング」と呼ばれています (Credit: Broderick, et.al.)】

【▲ 図 2: M87\*は、直接撮影された世界初のブラックホールとして話題になりました (Credit: EHT Collaboration)】  
2019 年 4 月、世界中の電波望遠鏡が連携した国際協力プロジェクト「EHT (イベント・ホライズン・テレスコープ)」が、世界で初めてブラックホールを直接撮影することに成功した、と発表しました。当時のニュースをご存知の方は多いでしょうし、赤色から黄色で描かれたドーナツ型の画像を見てピンと来る方もまた多いでしょう。このブラックホールは、地球から約 5500 万光年かなたにある楕円銀河「M87」の中心部にあり、通称「M87\*」と呼ばれています。公開された画像を見た時、ドーナツの穴のような暗い領域の全体がブラックホールである、と思う方も多いと思われます。ですが、これは厳密には異なります。ブラックホールの本体は、ドーナツの中心にある暗い領域の一部しか占めておらず、その他の部分は見た目上暗いだけです。これはどうして起こるのでしょうか。

ブラックホールは極めて重力の強い天体であり、光ですら抜け出せない天体である、という説明をよく耳にすると思います。より厳密に説明すれば、「ブラックホールの中心から一定の距離までは、光でも抜け出せない球形の領域がある」ということになります。

この領域を定める半径をシュバルツシルト半径、領域の境目となる仮定の球面を事象の地平面と呼びます。ブラックホールの本体と呼べるのは、この事象の地平面で囲まれた領域内となります。事象の地平面の外側から内側へと入ることはできますが、逆に内側から外側へと抜け出すことは絶対にできません。

では、事象の地平面の外側は自由に移動可能なのかといえば、必ずしもそうではありません。

事象の地平面の外側には「光子球 (Photon sphere)」と呼ばれる球形の境界面が存在します。光子球の半径は、自転をしていないブラックホールの場合には事象の地平面の 1.5 倍ですが、M87\*のように回転しているブラックホールでは異なります。光子球の外側から内側へと光を放つと、その光は光子球の外側へと逃げ出すことができ

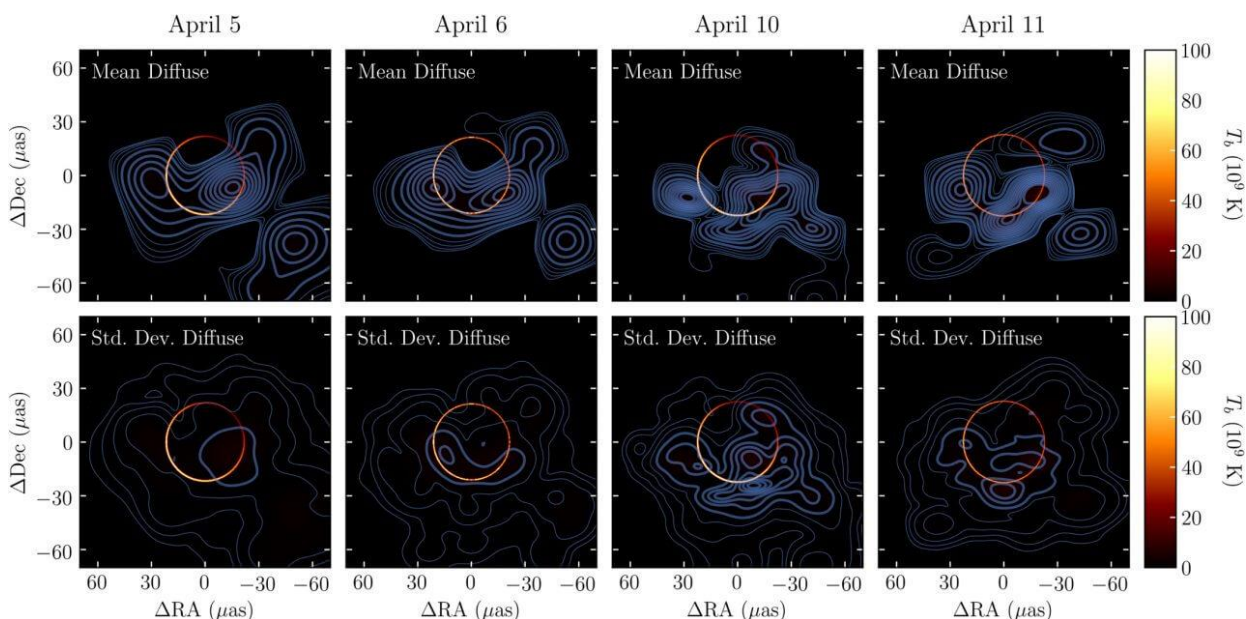
ず、やがて螺旋軌道を描いて事象の地平面へと落ちてしまいます。その一方で、光子球の内側から外側へと光を放つと、角度によってはブラックホールから永久に逃げ出すことができます。ちなみに、光子球の距離ピッタリに光を放つと、光は光子球を永久に周回して、光の球を形成します。光子球と呼ばれるのはこのためです。

ただし、実際のブラックホールの周辺では重力的な揺らぎが生じるため、わずかな揺らぎでも光は光子球から外れてしまい、ブラックホールに吸い込まれるか、もしくは逃げ出すことができます。これによって、私たちは光子球からの光を観測できるのです。こう説明すると、ブラックホールを外から見ると光子球で輝いて見えるのではないかと、思えるかもしれませんが、実際には異なります。ブラックホールの極端な重力によって、光子球の像そのものが強く曲げられてしまうからです。地球からブラックホールを観測すると、地球から見てブラックホールの裏側にある光子球の面から放射された光が手前側に来ることで見た目はリング状になる一方で、中心付近は真っ暗に見えます。これこそが、ブラックホールの直接撮影のドーナツ状の姿として私たちが観ているものです。このように見えることから、中心部の暗い領域はブラックホール・シャドウ、その周りの円はフォトン・リングと呼ばれています。EHT から公開された M87\* の画像はフォトン・リングを写したものではありませんが、画像としてはやや不鮮明です。月面にある 1 円玉を撮影できるとも例えられる EHT をもってしても、フォトン・リングの幅は極めて狭く、解像度の限界を下回っているからです。

また、観測データには光子球以外からの放射（主にブラックホールを取り巻く降着円盤からの放射）も混ざり合うため、全体として画像は不鮮明になります。ドーナツのように広がっている光の環のうち、フォトン・リングからの光の成分は 10% から 30% しか含まれていないと推定されています。

しかしながら、EHT は普通の天体望遠鏡のように天体の姿をそのまま撮影するのではなく、世界 8ヶ所の電波望遠鏡で取得されたデータを解析することでブラックホールを画像化しています。本質はデータにあるため、解析方法を変えれば、フォトン・リングについて科学的に詳細な研究が行えるわけです。

ウォータールー大学の Avery E. Broderick 氏などの研究チームは、M87\* のフォトン・リングを研究するために、EHT が 2017 年に取得した M87\* のデータの再解析を試みました。新たな画像処理アルゴリズムを構築することで、フォトン・リングとそれ以外の放射を区別するデータ処理を行ったのです。フォトン・リングの像は極めて狭いため、解析はフォトン・リング由来の放射は限られた領域に集中するという前提の元で行われました。

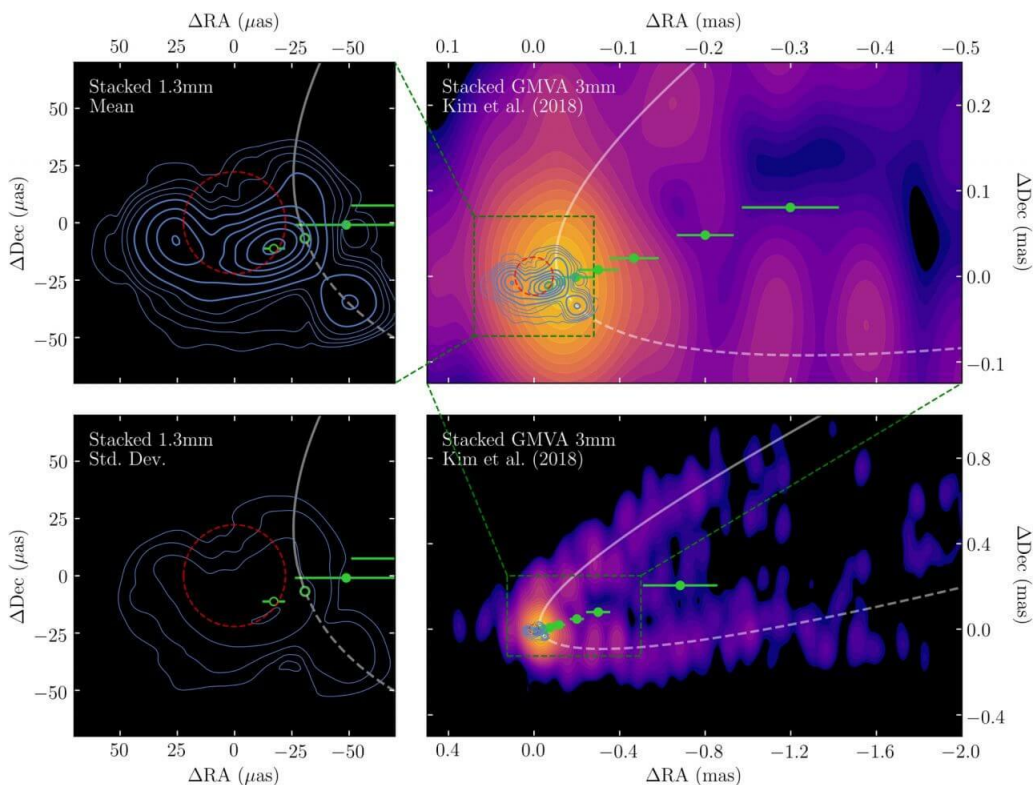


【▲ 図 3: 今回の解析の結果、フォトン・リングからの放射と、それ以外の放射成分を分離し、フォトン・リングの放射強度の 1 日ごとの変化を知ることができました (Credit: Broderick, et.al.)】

その結果、研究チームは 1 日単位で電波の強度が変化するフォトン・リングからの放射を分離することに成功しました！フォトン・リングの直径を元に、研究チームは M87\* の質量を太陽の約 71.3 億倍と算出しています。この値は、EHT が初の画像公開と共に示した太陽の約 65 億倍とは異なる数値です。これは、解析手法の違いや、



解析の際に前提とした値の違いによるものです。



【▲ 図 4: 今回の解析では、フォトン・リングの放射の強度変化と、M87\*から放出されるジェットの強度変化を関連付けることにも成功しました (Credit: Broderick, et.al.)】

また、M87\*に向かって南西方向には、ブラックホールから放出されたジェットの流れがあることが分かっています。今回の画像解析では、ジェットとの関連性も調べられました。

分析の結果、電波の強度で観測されるフォトン・リングの1日ごとの変化が、外へと広がっていくジェットの変化と関係していることが分かりました。これは過去の研究でも繰り返し示されていることと矛盾がないことから、M87\*の回転とジェットの強度が関係しているという証拠がまた1つ積み重ねられた形です。



【▲ 図 5: ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した楕円銀河「M87 (Messier 87)」。中心からジェットが放出されている (Credit: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA); Acknowledgment: P. Cote (Herzberg Institute of Astrophysics) and E. Baltz (Stanford University))】

M87\*が生成するフォトン・リングの放射を分離して調べることができた今回の解析は、ブラックホールの背後にある光を捉えた初めてのケースであると考えられます。また、これまでとは違う方法で M87\*の質量を推定することができただけでなく、フォトン・リングとジェットの活動の関連性についても理解を得ることができました。今回用いられた手法は、詳細な観測が難しいブラックホールの理解を深める1つの手段として、EHTのように複数の電波望遠鏡を連動させた「電波干渉法」が有効であることを示しています。

Source [Avery E. Broderick, et.al.](#) - "The Photon Ring in M87\*". (The Astrophysical Journal)

[Nadia Whitehead](#) - "Ready for its Close-up: New Technology Sharpens Images of Black Holes". (Center for Astrophysics Harvard & Smithsonian)

[EHT Collaboration](#) - "First Image of a Black Hole". (European Southern Observatory) 文／彩恵りり

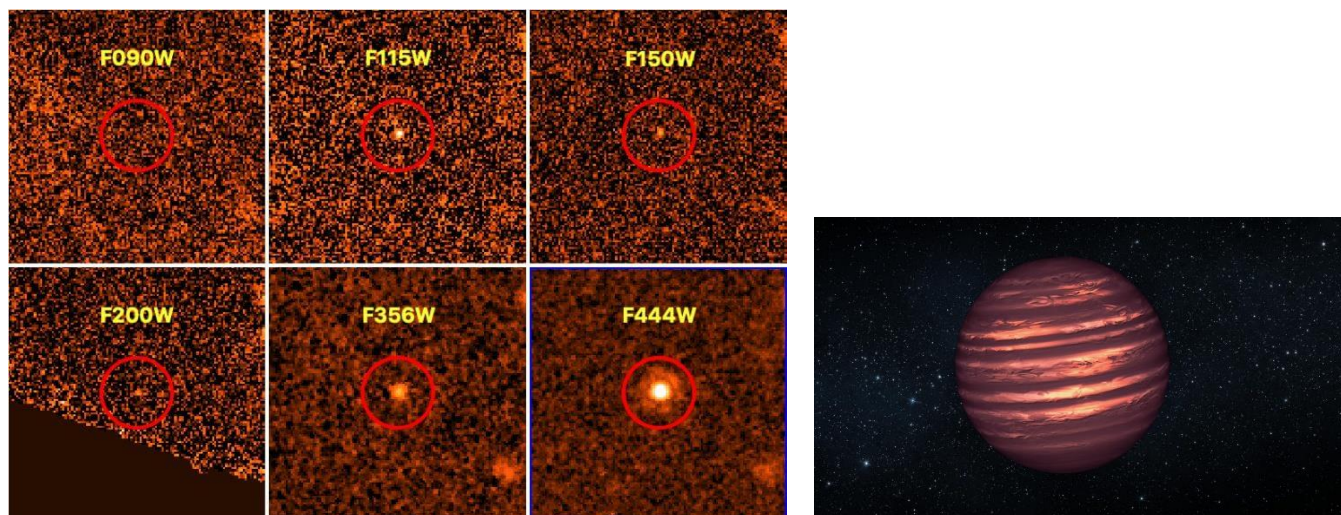
<https://sorae.info/astrometry/20220827-glass-jwst-bd1.html>

## ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が観測史上最遠の褐色矮星「GLASS-JWST-BD1」

を発見！

2022-08-27

[彩恵りり](#)



【▲ 図 1: ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が 6 つの波長で捉えた褐色矮星「GLASS-JWST-BD1」の画像。長い波長になるほど明るくなる傾向にあり、最も短い波長 (F090W) では写っていないことが分かります (Credit: Nonino, et.al.)】

【▲ 図 2: 今回発見された褐色矮星「GLASS-JWST-BD1」と同じタイプである T 型褐色矮星の想像図 (Credit: NASA/JPL-Caltech)】

太陽のような恒星は、中心部で発生する核融合反応によって自ら光を放出しています。恒星の質量は大きければ大きいほど重い元素の核融合反応が発生しますが、最も軽い元素である水素の核融合反応が起こるためには、ある程度の質量が必要です。恒星の下限となる質量は太陽の 0.08 倍、すなわち木星の 80 倍であると考えられています。しかしながら、実際にはこの値を下回っても、天体は自ら光を放出している場合があります。これは、水素の中には核融合反応を起こしやすい重水素(※) という同位体がわずかながら含まれているためです。重水素の核融合が起こらなくなる下限質量はよく分かっていませんが、現在では木星の質量の 13 倍であると考えられています。

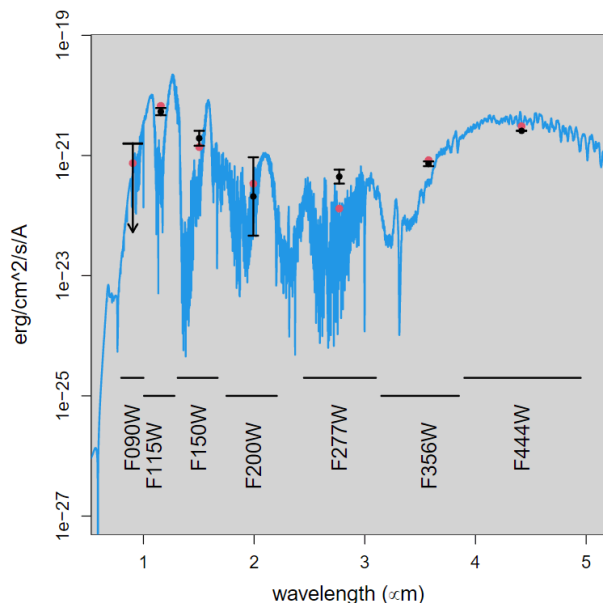
※...水素の原子核は陽子 1 つで構成されているが、重水素の原子核は陽子 1 つと中性子 1 つで構成されている。水素と重水素の核融合が起こる下限質量の間、つまり木星の質量の 13 倍から 80 倍の質量を持つ天体は、恒星とガス惑星の中間的な性質を持つと考えられており、「褐色矮星」と呼ばれています。

恒星の数は質量が小さいほど多いという傾向から考えると、褐色矮星は宇宙に相当な数が存在し、恒星の総数より多く存在する可能性すらあります。このため、褐色矮星を研究することは、宇宙の多数派を通じて天体そのものの性質を研究することにも繋がります。

また、褐色矮星の大気からは、水のような生命に欠かせない物質や、一水素化クロムのような珍しい物質が見つかっています。褐色矮星の形成は恒星のように単独でできる場合もあれば、惑星のように他の恒星の周りにできる場合もあると考えられているため、恒星や惑星の組成を探る指標としても注目されます。

しかしながら、褐色矮星は恒星よりもはるかに暗い天体であることから、極めて観測が難しい天体でもあります。

加えて、褐色矮星から最も多く放出される電磁波の波長は赤外線です。赤外線の波長の一部は地球の大気に吸収されてしまうため、地上からの観測では限界があります。現在までに褐色矮星は数百個以上発見されていますが、その多くは数十光年以内にあり、100光年以上離れている褐色矮星のほとんどは、普通の恒星の周りを公転しており、太陽系外惑星の探索で発見されたものです。近くに恒星があることから、これらの褐色矮星の性質はほとんど知られていません。トリエステ天文台の Mario Nonino 氏などの研究チームは、「ジェームズ・ウェッブ」宇宙望遠鏡のデータを解析中に、ウェッブ宇宙望遠鏡では初となる新しい褐色矮星を発見しました。ウェッブ宇宙望遠鏡は赤外線望遠鏡であり、褐色矮星の発見は期待される成果の1つではありましたが、予想以上に早い発見となりました。発見されたのはパンドラ銀河団とも呼ばれる「エイベル 2744」を中心とした「ちょうこくしつ座」の星域です。「GLASS-JWST-BD1」と名付けられたこの褐色矮星(図1)は、最も明るく写った波長4.44 $\mu\text{m}$ でも25.84等級という極めて暗い天体です。観測波長ごとの明るさから、遠方の銀河やクエーサーである可能性を排除でき、表面温度が約330 $^{\circ}\text{C}$  (600K)のT型褐色矮星とよく一致する結果が得られました。T型褐色矮星は極めて温度の低い褐色矮星であるため、発見自体が貴重です。GLASS-JWST-BD1の質量は太陽の0.03倍、木星の30倍であり、誕生から50億年経っていると推定されています。そして何より、地球からGLASS-JWST-BD1までの距離は1900光年から2400光年(570パーセクから720パーセク)と推定される点が驚異的です。恒星の伴星となっているものを除き、単独で存在している既知の褐色矮星で今まで一番遠かった「OTS 44」までの距離が530光年であることを考えると、いかに遠いかがわかるでしょう。



【▲ 図3: GLASS-JWST-BD1の観測波長ごとの明るさ(黒点と1 $\sigma$ エラーバー)を、太陽と同じ金属量と仮定した場合の合成スペクトル(青線)および明るさ(赤点)と比較したもの。表面温度と質量はここから推定されました(Credit: Nonino, et.al.)】

ウェッブ宇宙望遠鏡は天文学史上最も遠い天体である「CEERS-93316」を発見するなど、極めて遠い宇宙の観測に注目が集まっています。その一方で、はるかに近い宇宙にも、まだまだ未観測の興味深い天体が数多く残されていると考えられています。JWSTの活躍によってGLASS-JWST-BD1のような未発見の褐色矮星が次々と見つければ、謎の多い天体である褐色矮星の理解が進むことになるでしょう。

Source

[M.Nonino, et.al.](#) "Early results from GLASS-JWST. XIII. A faint, distant, and cold brown dwarf". (arXiv)

[V. Joergens, et.al.](#) "OTS 44: Disk and accretion at the planetary border". (Astronomy & Astrophysics Letters)

[C. T. Donnan, et.al.](#) "The evolution of the galaxy UV luminosity function at redshifts  $z \sim 8-15$  from deep JWST and ground-based near-infrared imaging". (arXiv)

文/彩恵りり