

# 今週の宇宙ニュース 2023年9月4日

<https://sorae.info/ssn/20230902-aditya-l1.html>

## インド、太陽観測衛星「Aditya-L1」の打ち上げに成功 2023-09-02 [sorae 編集部](#) [速報班](#)

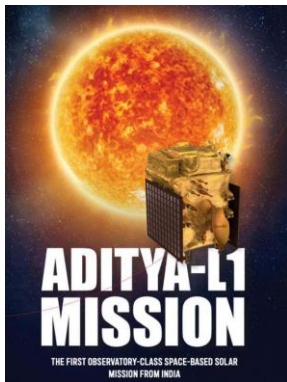
インド宇宙研究機関（ISRO）は日本時間 2023 年 9 月 2 日に「PSLV」ロケットの打ち上げを実施しました。搭載されていた太陽観測衛星は予定の軌道へ無事に投入されたことが、ISRO の SNS や公式サイトにて報告されています。打ち上げに関する情報は以下の通りです。

■打ち上げ情報：PSLV-C57（Aditya-L1）

ロケット：PSLV-XL 打ち上げ日時：日本時間 2023 年 9 月 2 日 15 時 20 分【成功】

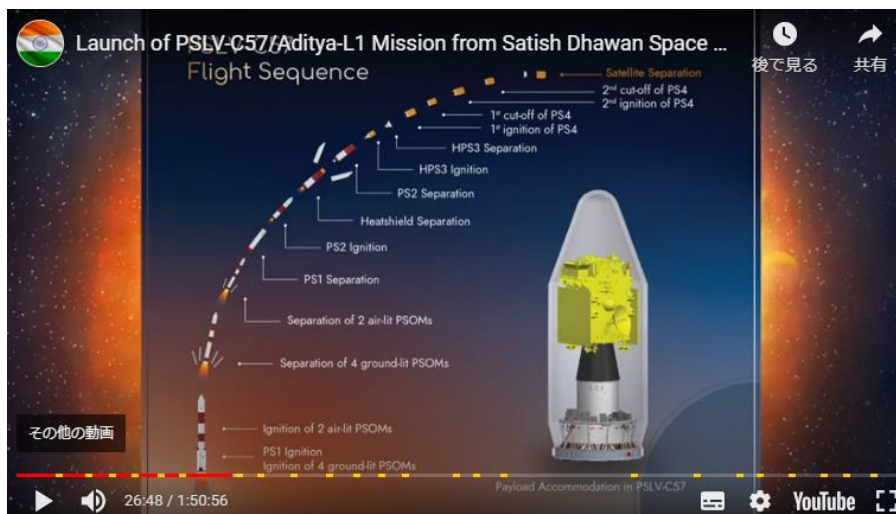
発射場：サティシュ・ダワン宇宙センター（インド） ペイロード：Aditya-L1

Aditya L1 はインド初の太陽観測衛星で、太陽コロナを加熱する物理的な過程、太陽風の加速、コロナ質量放出（CMEs）の生成など、太陽活動に関する科学的データの取得を目的としています。ISRO によると、Aditya-L1 は地球から約 150 万 km 離れた太陽-地球ラグランジュ点の 1 つ「L1」を周回するような軌道（ハロー軌道）に配置される予定で、日食などの影響を受けずに太陽活動を観測できるとしています。



【▲ Aditya-L1 のイメージ画像 ※Aditya-L1 ミッションブックレットより（Credit: ISRO）】

■打ち上げ関連画像・映像



■打ち上げ関連リンク [直近のロケット打ち上げ情報](#)



[ISRO@isro](#)

Aditya-L1 started generating the power. The solar panels are deployed. The first EarthBound firing to raise the orbit is scheduled for September 3, 2023, around 11:45 Hrs. IST

ポストを翻訳



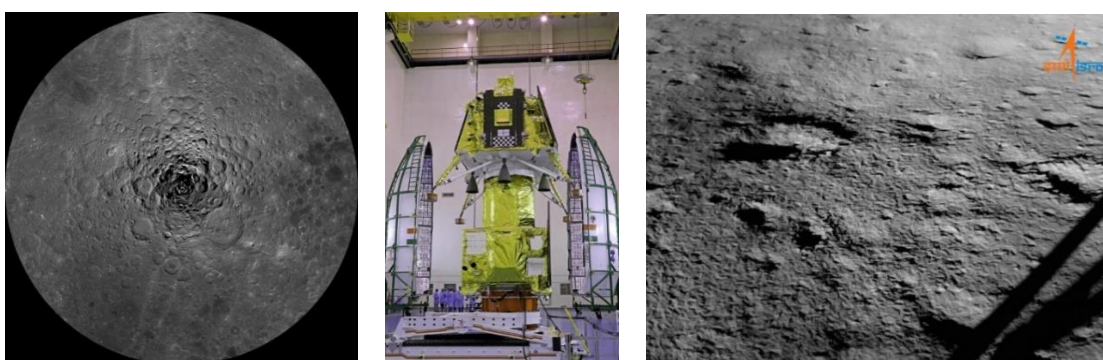
Source Image Credit: ISRO [ISRO](https://www.isro.gov.in/) - ADITYA-L1 文/sorae 編集部 速報班

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/082900446/>

## 解説：インドの月探査機チャンドラヤーン3号、なぜ南極に着陸？

今後も月探査計画が続々、「面白いことになりますよ」

2023.08.29



月周回衛星「ルナー・リコネサンス・オービター」から送られてくる画像をつなぎ合わせると、月の南極の険しい地形と影になったクレーターが確認できる。（MOSAIC BY NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY）[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

月探査機「チャンドラヤーン3号」は着陸機「ビクラム」（上部）と推進モジュール、探査車の「プラギャン」で構成されている。（PHOTOGRAPH BY ISRO）[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

2023年8月23日に歴史的な着陸を果たした後、インドのチャンドラヤーン3号が撮影した最初の月面画像。（PHOTOGRAPH BY ISRO）[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

5週間の旅を終え、インドの宇宙船「チャンドラヤーン3号」は月面への降下を開始した。垂直の着陸姿勢を取ると、約140メートル上空でホバリングした後、2つの大きなクレーターにはさまれた埃っぽい台地に降り立つ。「インドは月にいる」。8月23日水曜日、インド、ベンガルール宇宙管制センターで歓声を挙げる人々に向かって、インド宇宙研究機関（ISRO）のS・ソマナス長官はそう宣言した。

ソ連、米国、中国に続き、インドは月面着陸を成功させた4番目の国、そして謎に満ちた月の南極を訪れた最初の国となった。「インドの仲間たちが着陸を成功させたのは大変喜ばしいことです」と、米テキサス州ヒューストンにある月惑星研究所（LPI）の惑星科学者デビッド・クリング氏は言う。「ほかの天体の地表に宇宙船を着陸させるのは非常に難しいことなのです」

月面着陸の困難さは、近年、失敗事例が相次いでいることからよくわかる。チャンドラヤーン3号が着陸する直前には、ロシアの着陸船「ルナ25号」が、エンジンの噴射を適切に停止できず月面に墜落した。日本のアイスペース社の着陸機（アラブ首長国連邦が作った月面探査車を搭載していた）は4月、高度の判断を誤り、燃料切れによって破壊的な結末を迎えた。2019年9月に行われた、インドの宇宙船による初めての月面着陸の試みも墜落に終わっている。（参考記事：[「解説：インド初の月着陸機が寸前に沈黙、成否不明」](#)）

「チャンドラヤーン2号の失敗を受けて宇宙船の再建を始めたその日から、われわれのチームは寝ても覚めてもチャンドラヤーン3号のことにかかりきりでした」。チャンドラヤーン3号の着陸後、同プロジェクトの幹部カルパナ・カラハスティ氏はそう述べている。

インド時間の翌朝、チームにとってさらに喜ばしいことが起こった。「プラギャン」という名の小型探査車が月面に降り立ったのだ。「インドが月を歩いた!」と、ISROは宣言している。サンスクリット語で「知恵」を意味するこの探査車と、ISROの設立に尽力したインド人科学者ビクラム・サラバイにちなんで名付けられた着陸機「ビクラム」は、約2週間にわたって科学的測定を行う。その後、一帯は2週間の月の夜に突入するため、太陽光発電で動いている2基は、その期間を持ちこたえることはできないだろうと予想されている。ギャラリー：インドの月探査機チャンドラヤーン3号、南極に着陸成功 写真5点(写真クリックでギャラリーページへ)しかし、月面にはまもなく新しいロボットたちが次々にやってくる予定だ。「Smart Lander for Investigating Moon (スマート・ランダー・フォー・インヴェスティゲーティング・ムーン)、略してスリム (SLIM) と呼ばれる日本の着陸機は、まもなく打ち上げられることになっている。いずれも開発したのは日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) だ。(参考記事：[「ピンポイントで月面目指す「スリム」いざ出発 日本初の軟着陸へ」](#)) NASAの探査車「VIPER」や中国の「嫦娥(じょうが)6号」によるサンプルリターンミッションなど、その他の主要ミッションの打ち上げが2024年に予定されており、その後は人間をもう一度月に送り込むアルテミス3号も控えている。(参考記事：[「アルテミス初号機打ち上げの先にNASAが見据える壮大な宇宙計画」](#)) 「今は非常にエキサイティングな時代です」とクリング氏は言う。「面白いことになりますよ」

#### [次ページ：着陸の精度 着陸の精度](#)

チャンドラヤーン3号の着陸地点は、それ以前のどの宇宙船よりも南極に近い南緯69度付近。地球でいえば、南緯69度は南極大陸外縁の海岸に相当するが、それでも「南緯90度の極点からはまだかなりの距離があります」と、クリング氏は言う。

「チャンドラヤーンがいる極地付近は、非常に古い地形です。かつてアポロが着陸したどの地点よりもはるかに古い環境が残っていますから、一帯の地質学的研究は大変興味深いものとなるでしょう」

探査機は極地の鉱物組成を分析し、一方の着陸船は、地震計を使って「月震」(月がゆっくりと冷えて収縮するときに発生することがある)を聞き、また温度や大気の状態を測定する。

しかし太陽が沈めば、プラギャンとビクラムは永久に活動を停止すると予想されている。だが、最も重要な目標を、この2基はすでに達成している。それは、安全に着陸して活動を開始することだ。月面の探査は、今後のミッションにゆだねられるだろう。インドは数年以内に、日本との共同ミッションで月に戻ってくる可能性がある。日本のJAXAが月に到達するのはしかし、もう少し早い時期になるかもしれない。高さ2.4メートルのJAXAの着陸船スリムは、月の軌道を周回した後、画像認識技術を用いてクレーターを識別し、その位置を正確に特定したうえで、ピンポイント着陸を試みることになっている。

最終的な降下においては、高精度レーダーの助けを借りて、目標から100メートル以内に着陸する。たとえばチャンドラヤーン3号の場合、想定されていた着陸の範囲は幅約4キロの楕円形をしていた。

こうした精密な着地は今後、月の南極にある深いクレーターやゴツゴツとした斜面の探査をするうえで必要になるだろう。険しい地形の多い一帯には、決して太陽光が当たらない場所があり、そこには氷の水が蓄積されているのではないかと、科学者は考えている。

「南極は想像を超えた世界です。非常に極端な地形をしており、とても大きなクレーターや山があるのです」と、NASAエイムズ研究センターでVIPERミッションのプロジェクト科学者を務めるアンソニー・コラプリート氏は言う。「南極の景観は魅力にあふれています」

#### 資源を探して

月の南極にあるクレーターに、科学者たちは何十年にもわたって魅了されてきた。そこには月でもとくに古くて大きなクレーターがあり、35億年以上前、月にも地球にも小惑星が降り注いでいたころの太陽系の様子を



伝える手がかりが隠されている。月の大半の地域において、昼夜のサイクルは約 28 地球日だ。南極ではしかし、太陽は決して沈むことなく地平線の周りをゆっくりと回っている。太陽が高く昇らないおかげで、クレーターの一部には永続的な影ができる。そうした影の中は、太陽系内でもとりわけ気温の低い場所であり、科学者が「揮発性物質」と呼ぶもの、すなわち太陽光に当たると気体に昇華する物質が溜まっている可能性がある。たとえば、H<sub>2</sub>O（水）だ。「もし回収可能な量の水の氷が分散した状態で存在するのであれば、その価値は甚大です」とクリング氏は言う。「第一に、水は宇宙飛行士が消費するものとして役立ちます。また、宇宙放射線に対して非常に有効なシールドにもなります。そして第三に、水素と酸素を分離すればロケットの推進剤としても使えるのです」

#### [次ページ：有人探査に向けて](#)

この氷が将来の有人ミッションに利用できるのかどうかを探るために、NASA は 2024 年 11 月、月面に「Volatiles Investigating Polar Exploration Rover（揮発性物質調査用極地探査車）」、通称 VIPER を送る準備を進めている。長さ 1 メートルのドリルを装備した、ゴルフカートほどの大きさのこの探査車は、月の南極近くの広大なムートン山の上にあるクレーターを探査することになっている。

「こうした古代のクレーターの中には、何十億年もの間、太陽光の当たっていない、永久的に影に覆われた部分があります」とコラプリート氏は言う。100 日間にわたるミッションの間、VIPER は、気温が絶対零度に近くなるクレーターの影の領域に踏み込むことになる。



米クリーブランドにある NASA グレン研究センターに設置された模擬月面運用実験室（通称 SLOPE）の流砂状の物質を敷き詰めた試験台で、探査車 VIPER のプロトタイプを動かすエンジニア。この探査車は月の南極で活動し、水の氷を探す。VIPER は一つひとつの車輪を独立して回転させ、「泳ぐ」ことによって深く細かい砂から抜け出すことができる。（PHOTOGRAPH BY MARK THIESSEN, NATIONAL GEOGRAPHIC）

#### [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

アルテミス 3 号の着陸地点候補に選ばれた、マラパート山（左下）と呼ばれる巨大な山。ふもとから山頂までは 5000 メートルほどの高さがある。遠くには高さ約 3500 メートルの断崖がそびえる。（PHOTOGRAPH BY NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY） [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

氷がある場所と量が判明した後、それを利用するには、水を採取する装置を月面に送り込む必要がある。その準備のために、NASA はすでに複数の航空宇宙企業に資金を提供して、科学機器だけでなく、基地を建設するツールや供給品も輸送できる月着陸船の開発を進めている。そうした宇宙船のうち、ヒューストンのインテュイティブ・マシーンズ社による「ノバ C」と、米ピッツバーグのアストロボティック・テクノロジー社による「ペレグリン」は、今年後半にも打ち上げられる可能性がある。

インド、日本、イスラエルなどの民間企業もまた、月に注目しており、いつの日か月面で生活する宇宙飛行士に向けて貨物を運ぶうえで役立つ宇宙船を多数設計している。

#### 有人探査に向けて

人類をもう一度月面に送るために、NASA はアルテミス計画を加速させている。アルテミス 1 号は、大型打ち上げロケット「スペース・ローンチ・システム」の最初の試験打ち上げとして、2022 年 11 月 15 日に発射さ

れた。現在 NASA はアルテミス 2 号の準備を進めており、こちらは 2024 年 11 月に宇宙飛行士を乗せて月を周回して戻ってくる予定だ。そしてアルテミス 3 号は、2025 年 12 月にクルーを月面に着陸させることになっている。（参考記事：[「人類を再び月面へ、NASA「アルテミス計画」ビジュアルガイド」](#)）

しかし、予定通りに着陸を成し遂げられるかどうかは、スペース X 社のロケット「スターシップ」にかかっている。これまででもっとも大きく、もっともパワフルなこの巨大発射装置は、4 月に行われた打ち上げ実験の最中に炎上し、爆発した。発射台の一部も壊れ、コンクリートや金属の破片が数百メートルの範囲に散らばった。NASA はスターシップの上段を改良したものを使って、人間を月面に着陸させることを計画しており、アルテミス 3 号の計画はこのロケットなしには進めることができない。スペース X 社の創業者イーロン・マスク氏は 6 月、ブルームバーグとのオンラインインタビューで、スターシップと発射台の改良に言及し、次の試験で軌道に到達する確率は約 60% であると述べている。ギャラリー：[インドの月探査機 Chandrayaan-3 号、南極に着陸成功 写真 5 点（写真クリックでギャラリーページへ）](#)

「月のミッションに向けた準備が整ったとき、スターシップがどのようなロケットになるのかについては、まだ未知数の部分が多く残っています」と、NPO「惑星協会」の編集主任ジェイソン・デビス氏は言う。「スターシップの中にどのくらい長く滞在することができるのか、どのくらい多くの貨物を運ぶことができるのかといったことは、まだ明らかになっていないのです」

NASA はまた、ジェフ・ベゾス氏の宇宙企業ブルーオリジン社と契約し、複数の航空宇宙企業を率いて、第二の有人月着陸船を建設するよう依頼している。一方、中国は 2030 年までに宇宙飛行士を月面に届けようとしており、現在は来年に予定されている嫦娥 6 号による月南極へのサンプルリターンミッションに向けて準備中だ。（参考記事：[「アマゾン創業者も参入、月面計画に各国が殺到」](#)）

有人月着陸船が完成するまでは、月面の調査は、Chandrayaan-3 号のようなロボット探査機を活用して遠方から行うしかない。しかし、おそらくはそう遠くない未来、宇宙服に身を包んだ科学者やエンジニアたちが、月南極の影に隠されたクレーターを訪れて、そこにある氷を採取し、その秘密を明らかにする日が来ることだろう。



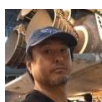
ギャラリー：人類の宇宙飛行の歴史 写真 39 点（写真クリックでギャラリーページへ）

ユーリ・ガガーリンが地球の大気圏を超えた最初の宇宙飛行から、国際宇宙ステーションの建設と居住に至るまで、さまざまな出来事を振り返る。[\[画像のクリックで別ページへ\]](#) 文=JAY BENNETT/訳=北村京子

<https://forbesjapan.com/articles/detail/65438>

2023.08.27

## 日米口印がいま「月へ挑む」理由とその莫大な経済効果



鈴木喜生 | Contributor フリー編集者



NASA [全ての画像を見る](#)

米国主導のアルテミス計画における有人月面探査は 2025 年に実施予定 (NASA)

2022 年 11 月、JAXA の超小型機「OMOTENASHI」が月面探査を試みたが、月へ向かう軌道上で通信途絶した。2023 年 4 月には日本の民間企業 ispace による探査機「シリーズ 1 ランダー」、8 月 19 日にはロシアの「ルナ 25」も月面着陸に挑んだがともに失敗、月面に激突した。そして 8 月 23 日にはインドの「チャンドラヤーン 3」が月面着陸を試み、世界ではじめて[月南極への軟着陸に成功](#)。同国は旧ソ、米国、中国に続いて「月面への着陸に成功した 4 番目の国」となった。さらに同月 26 日には JAXA の小型着陸機「SLIM」が打ち上げられ、米民間企業による着陸機は 2023 年中に 2 機、2024 年にはさらに 5 機が予定されている。いま月への挑戦は加熱状態にある。

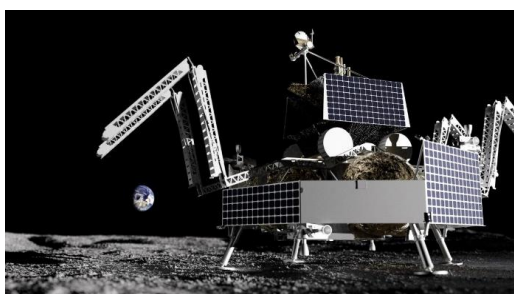
各国各社はなぜいま月面を目指すのか？ そこにはどんな経済効果が目されているのか？

### 月の「水からなる氷」

月の地中には、水の氷があることがわかっている。この氷こそが月開拓によって経済効果を生み出すキーアイテムとなる。手順としてはまず、太陽電池パネルとドリルを月面に送り込む。電動ドリルで月面を掘削し、氷を採取すれば、水が得られる。さらにその水を電気分解すれば、酸素と水素が生成できる。

水と酸素はクルーの糧となるが、それだけではない。酸素をマイナス 183 度以下、水素をマイナス 253 度以下まで冷却すれば、液体酸素と液体水素が得られ、この 2 液はそのままロケットの推進剤として活用できる。つまり、月面で氷が採取できればロケット燃料を現地調達することができ、輸送機は片道分の燃料を搭載するだけでよいことになる。また、トヨタが開発中の有人月面ローバー「ルナクルーザー」も、液体水素と液体酸素で動く。月面は赤道付近では夜間にマイナス 170 度、局地のクレーター内であればマイナス 250 度まで温度が下がるため、極低温燃料の現地生産は実現可能だと考えられている。

[次ページ > 2024 年に始まる氷の掘削作業](#)      **2024 年に始まる氷の掘削作業**



月着陸機「グリフィン」に搭載された NASA の月探査ローバー「バイパー」。2024 年に月南極に向け打ち上げられる (Astrobotic)

スペース X が開発中の史上最大のロケット&宇宙船「スターシップ」。アルテミス計画においては有人月着陸船として使用予定 (SpaceX)

水の氷は、月の極地に多く埋蔵されている。そのため各国各社はいま、月の南極を目指している。

NASA は 2024 年 11 月、「バイパー」を月南極に送り込む。この無人ローバーは氷の所在をマッピングしながら、掘削ドリルで氷のサンプルを採取する予定。その開発運用コストを NASA は 4 億 3350 万ドル (476 億



8500 万円、1US ドル/110 円換算、2021 年時点）と算出している。

また、同ローバーの輸送には月着陸機「グリフィン」が使用される。この機体は米民間企業アストロボティック社によって開発運用されるが、NASA はその開発協力費と輸送料として同社に 1 億 9950 万ドル（211 億 4700 万円、1US ドル/106 円換算、2020 年時点）を提供している。

オバマ元大統領によって施行された宇宙政策以降、米国の宇宙開発の大部分は在米民間企業に委託されている。月面への物資輸送を民間に委託するこの「商業月面輸送サービス（Commercial Lunar Payload Services、CLPS）」もその一環であり、現状では 4 社による 8 便が契約済み。今後さらに増便される見通しだ。NASA は 2018 年からの 10 年間でこの CLPS に総額 26 億ドル（2860 億円、1US ドル/110 円換算、2018 年時点）を費やす。ちなみに先日、月面着陸に失敗したロシアの「ルナ 25」の予算は、推定約 2 億ドル（280 億円/140 円換算）とされ、単体のプロジェクトとしては高額といえる。これは同プロジェクトが 1990 年代後半に計画されたもので、ロシアの経済状況の悪化にともない、計画自体が長期化した結果だろう。

一方、インドの「チャンドラヤーン 3」の推定予算は 7460 万ドル（約 104 億 4400 万円/140 ドル換算）であり、超格安と言える。これは 2019 年に月面着陸に失敗した 2 号機のシステムを踏襲しているためと思われる。そして JAXA の「SLIM」の総開発費は当初 180 億円が見込まれていたが、X 線分光撮像衛星「XRISM」と相乗りで打ち上げるなどの工夫により、149 億円まで抑え込まれる予定だ。ただし、JAXA の 2023 年度の年間予算が 1554 億円であることを鑑みれば、そのウェイトは軽くない。

#### [次ページ > NASA の総予算は 10 兆 2300 億円](#) **NASA の総予算は 10 兆 2300 億円**

無人探査機によって氷の所在を確認したら、今度はヒトを月面へ送り込み、ミッションの確実性を上げることになる。現時点では 2025 年の「アルテミス III」計画によって、4 名のクルーが月周回軌道に投入され、うちの 2 名が月面へ降り立つ予定だ。有人探査の初期には、クルーは着陸機などに滞在するが、長期滞在ミッションが始まるころには月面に居住モジュールが設置され、これにレゴリス（月の砂）を覆い被せることで、クルーを有害な宇宙放射線から守る。その内部では月の水と、クルーが排出した二酸化炭素を活用して宇宙野菜が栽培されるとともに、培養肉も現地生産されるだろう。

月には 100 種類以上の鉱物があると言われており、そこにはレアメタルも含まれると考えられている。また、ほぼ大気がない月面は太陽風に晒されるため、地球ではほとんど採取できないヘリウム 3 が豊富にある。これは昨今開発が進む核融合発電の燃料になるため、未来の資源と目されている。

月地表の重力は地球の 6 分の 1 であり、月面から軌道上へ物資を打ち上げるコストは安い。月で得られたこれら資源を、地球の大気圏再突入に耐えられるコンテナに積載して投下できれば、そこには地球とつながる新たな経済圏が生まれるはずだ。こうした一連の月開拓を実現するために、米国が 2019 年に開始したのがアルテミス計画であり、その実行のために NASA は、新型の有人宇宙船「オリオン」と、超大型ロケット「SLS」を開発した。また、月周回軌道上の宇宙船オリオンから、クルーを月面に着陸されるために、スペース X が着陸船「スターシップ」を開発しているが、NASA はその開発費として同社へ 28 億 9000 万ドル（3179 億円、1US ドル/110 円換算、2021 年時点）を提供している。これと並行して、月軌道を周回する宇宙ステーション「ゲートウェイ」の建設も予定されている。この壮大なアルテミス計画のために、米政府は 2021-2025 年における総予算として、なんと 930 億ドル（10 兆 2300 億円、1US ドル/110 円換算、2021 年時点）を計上している。ただし、米政府が莫大な予算をアルテミス計画につぎ込むのは、鉱物などから得られる実利を求める以上に、財政政策としての側面が強い。この圧倒的な宇宙政策によって他国をリードし、月における覇権を確かなものとすると同時に、これまでの軍需産業とは違う宇宙開発分野において、雇用と需要を創出し、米国経済を活性化させようとしている。

編集＝安井克至

## まもなく「スーパーブルームーン」が到来！ 2023年で最も大きく見える満月につ

### いて知っておくべきこと

2023年で最も大きく見える満月「スーパームーン」を、8月30日夜か

ら31日朝にかけて観測できる。同じ月で2回の満月を「ブルームーン」とも呼ぶことから、今回は貴重な「スーパーブルームーン」を楽しめるチャンスだ。



PHOTOGRAPH: NASA/BILL INGALLS

2023年8月30日から31日にかけて見える満月は、今年で最も大きく見える「スーパームーン」だ。月は楕円の軌道を描いて地球の周囲を公転しており、地球と月との距離は太陽や地球などの重力にも影響されながら変化する。月が地球に最も近いタイミングで満月になると「スーパームーン」と呼ばれるが、あくまで天文学の正式な用語ではなく、[定義も明確ではない](#)という。

日本の国立天文台によると、月は8月31日（日本時間）の0時54分に近地点（地球に最も近づく地点）を通過し、約10時間後の[10時36分に満月になる](#)。このため、8月30日夜から31日朝にかけて見える満月を「スーパームーン」と呼んで差し支えないだろう。なお、満月のときの地球と月との距離（地心距離）は約35万7,300kmだ。スーパームーンするとき、月は地球から最も遠いときと比べて14%ほど大きく見える。米航空宇宙局（NASA）によると、この違いは[「25セント硬貨と5セント硬貨の大きさの違い」](#)に近い。距離が近いぶんだけ通常より明るく見えるほか、月が地球に最接近するので通常より潮位が高くなることもある。また、今回は土星が月の近くに明るく見えるので注目してほしい。

さらに、同じ月で2回目に見られる満月を「ブルームーン」とも呼ぶ（月が青く見えるわけではない）。月の満ち欠けの周期は約29.5日と1カ月より少し短いので、月初に満月を迎えた場合には月末に再び満月を見られるときがある。これがブルームーンで、おおむね2~3年周期で発生する。

今回はスーパームーンのタイミングとも重なったので、[「スーパーブルームーン」](#)とも呼ばれる。なお、満月の約25%がスーパームーンになるが、[ブルームーンは満月の3%](#)にすぎない。これらが重なる「スーパーブルームーン」の周期は不規則で、一般的には10~20年ごとに起きるとされる。NASAによると、[次回は2037年](#)だ。

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/082800444/>

## 水星が逆行中、何が起きている？ 「不吉」とされる背景とは

約4カ月に一度見られる現象、根強く信じられている占星術 2023.08.28





NASAの水星探査機「メッセンジャー」が約2万7400キロの距離から撮影した水星の写真。水星は年に数回、地球から見て通常とは逆方向に移動しているように見える。(PHOTOGRAPH BY NASA/JOHN HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON)

[画像のクリックで拡大表示]

夫婦げんかから車の故障まで、人生で起こる大小さまざまな不幸はしばしば、太陽に一番近い惑星、水星のせいにされる。「水星の逆行」に責任を負わせる言い訳を耳にしたことがある人もいるだろう。水星逆行とはおよそ4カ月に一度、数週間の間だけ水星が通常とは逆方向に空を移動するように見える現象だ。2023年2回目の逆行は、国立天文台暦計算室によれば日本時間では8月23日から始まっており、9月15日まで続く。

水星逆行は実際の天文現象だが、地球上の出来事との関連(占星術)はおおむね偽科学として否定されている。それでも水星が人間のコミュニケーションをつかさどっているという考え方は、西洋では今も根強い。

水星逆行は数千年もの間、星を眺める人々の関心を集めてきた。現在行われている天体の動きの占星術的な解釈は、初期の天文学者たちが粘土板などに残した記録が元になっている。

### 水星逆行では何が起こるのか？

水星逆行と言っても、実際に水星が太陽の周りを逆方向に回っているわけではない。それぞれの惑星が異なる速度で動いていることから生じる錯覚だ。それは、高速道路の複数の車線を同じ方向に車が走っているのと似た状況だと説明するのは、米ジョンズ・ホプキンス大学応用物理研究所の惑星科学者で、米航空宇宙局(NASA)の水星探査評価グループの副委員長を務めるキャロライン・アーンスト氏だ。別車線を走る車を追い抜くときはその車が後ろに、追い抜かれるときは前に流れていくように見える。水星と地球でも似たようなことが起こる。地球を天の中心と考えていた古代の天文学者にとって、天体が逆に動くのは大きな謎だっただろう。事実、惑星の逆行は人間の歴史のかなり初期の頃から記録されている。

### 水星逆行の最初の記録

水星逆行を初めて記録に残したのは、おそらく紀元前7世紀頃のバビロニアの天文学者だと、ドイツのベルリン自由大学で古代の科学を研究する歴史家であり、アッシリア学者や天体物理学者でもあるマチュー・オッセンドライバー氏は言う。

バビロニアの天文学者たちは惑星の動きを日々、詳しく粘土板に記録した。そこには水星が減速し、逆方向に動く様子も記録されている。彼らはまた水星などの天体が現れる位置を予測する計算式も編み出している。(参考記事：[「木星の追跡に高度な幾何学、古代バビロニア」](#))

### [次ページ：バビロニアから中世ヨーロッパへ](#)

「バビロニアの天文学者は天体の動きを数学的に理解していました」とオッセンドライバー氏は言う。「バビロニアでは星は神々が姿を現したものと考えられていました」。そのため、天体の動きや現象は、「王や国家」の運命を示す兆しとして解釈されたと氏は付け加えた。より個人に焦点を当てた占星術が出現するのは、それより後の紀元前400年頃だ。天体の動きをどう解釈すべきかを楔形文字で記した粘土板も残っている。しかし残念なことに、水星の動きの解釈を記述したものは見つかっておらず、バビロニアの人々にとって水星逆行がどのような吉凶を予言していたかは謎のままだと氏は言う。「水星を指すバビロニアの言葉は『飛び跳ねるもの』というような意味だということは分かっています」とオッセンドライバー氏は言う。「水星は前に行ったり後ろに行ったりし、公転速度も太陽系の中では最速です。水星には気まぐれで風変わりなところがあることにバビロニアの人々も気付いていたのです」

### 占星術に対する考え方は西洋でどう変化したか

天体の位置や動きで国や支配者の運命、作物の豊凶、出来事などを予言できるという考えは中世ヨーロッパでも残っていた。「有力者は占星術師のところへ行き、城を包囲したり、敵を攻撃したりするにはいつがいいかと尋ねました」と、英ウェールズ・トリニティ・セント・デイビッド大学の文化における宇宙論研究ソフィアセンターの所長を務めるニコラス・カンピオン氏は言う。

水星の逆行中はこうした行動や占星術師の予言そのものも妨げると信じられていた。実際、水星が逆行している間は天体の配置図（ホロスコープ）を読むことはできないと答えた占星術師もいただろうと、カンピオン氏は付け加えた。とはいえ「水星の逆行だけで占星術的な判断を下すことはありませんでした」とも氏は言う。質問に答えるとき、占星術師はホロスコープ全体を見ていたからだ。

[次ページ：占星術が流行し、廃れ、復活するまで](#)

早くも12世紀にはヨーロッパで占星術が流行していたと氏は言う。1439年頃に印刷機が発明されると、さらに多くの人が熱中した。占星術と天文学はまだ現在のように切り離されてはいなかった。

しかし、その後数世紀の間に状況は変わり始める。おそらくは政治的・文化的・科学的な要素が絡み合っていることだ。1543年にはニコラウス・コペルニクスがわれわれの惑星系の中心は太陽であって、地球ではないと唱えた。1600年代初めにガリレオが望遠鏡を空に向け始めると、地動説は定着する。「すると多くの人は占星術を少々嘘っぽく感じるようになりました」とカンピオン氏は言う。

占星術への関心が薄れたのには政治的な要因もあるかもしれないと、カンピオン氏は付け加える。1600年代半ばのピューリタン革命で、占星術は1649年に王政を倒した急進的な清教徒と関連づけられた。その後王政が復活すると、急進的と見なされるものはすべて後退していった。

1700年には占星術で自分の運命を占ったり、自分専用のホロスコープを使ったりする人は「ヨーロッパでほとんど見られなくなりました。占星術は教養のある人が真剣に受け止めるものではなくなったのです」とカンピオン氏は言う。占星術は月刊の暦や年鑑の中だけで生き延びる存在になった。

## 現代的な現象

カンピオン氏によると1920年代、新聞に12星座占いが定期的に掲載されるようになり、占星術は再浮上した。しかし、水星逆行の概念の広がり最近の傾向で、特にここ5年ほどの間に人気が高まったと、心理学の博士号を持つ占星術師ジェニファー・フリード氏は言う。12星座とは別の考え方である水星逆行は、占星術になじみのない人も引き付けるとフリード氏は言う。「誰にとっても身近な体験に関わることでですからね。話の輪に加われない人はいません」



ギャラリー：2019年のイチ押し宇宙画像 超新星から巨大ブラックホールまで 11点（画像クリックでギャラリーページへ）

11月11日に米国ワシントンから観測した、太陽面を通過する水星。中央下に見える小さなシルエットが水星だ。前回の水星の太陽面通過は2016年。次は2032年まで見られない。（Photograph by Bill Ingalls, NASA）

[\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

## 水星逆行を見るには？

公転速度の関係から、地球上の1年の間に水星は何度か逆行する。8月23日から9月15日の逆行が終わると、次は12月13日から2024年1月2日に起こる。

夜空をよく見れば、水星が減速し逆行するのが分かるかもしれないとアーンスト氏は言う。晴れた夜に、水星が星や星座に対してどの位置にいるかを記録しておく。それを繰り返していくと、水星が夜空を横切る速度が遅くなり、やがて逆行するのが分かるという。

関連記事：[魔女の魔術に呪文詠唱…米国で人気急上昇の「ペイガニズム」とは火星と水星は“惑星の廃材”から形成？小さなスマイル、水星クレーターミッキーマウス・クレーター、水星](#)

文=EVA BOTKIN-KOWACKI／訳=三好由美子

## ISS がデブリ回避のため軌道変更-古川氏ら長期滞在に影響なし

2023.08.28 11:09 塚本直樹

国際宇宙ステーション（ISS）が8月24日、スペースデブリを避けるためにスラスタを噴射した。



出典：NASA

TASS 通信のレポートによれば、24日にISSのズヴェズダ・サービスモジュールのスラスタが、21.5秒噴射した。これにより、ISSはその軌道高度を500m下げることとなった。

ISSの軌道修正は、1999年から30回以上実施されている。また、衛星やスペースデブリの増加に伴い、その機会を増やしている。今回、スペースデブリがどれくらいISSの近くを通過したのか、また自然物だったのか人工物だったのかは、明かされていない。デブリ回避後、ISSへは古川聡飛行士らに乗せた「[Crew-7](#)」ミッションで、「Crew Dragon」宇宙船がドッキングに成功している。米航空宇宙局（NASA）によると、今回のデブリ回避でISS運用への影響はないという。

<https://sorae.info/space/20230828-crew7.html>

## JAXA 古川さんら搭乗のクルードラゴンがISSに到着 長期滞在スタート

2023-08-28 [sorae 編集部](#)

日本時間8月27日、アメリカ航空宇宙局（NASA）の有人宇宙飛行ミッション「Crew-7（クルー7）」のクルーに乗せたクルードラゴン宇宙船「エンデュランス（Endurance）」が国際宇宙ステーション（ISS）に到着しました。宇宙航空研究開発機構（JAXA）の古川聡宇宙飛行士ら4名は2024年春までの約6か月間に渡ってISSに滞在する予定です。【2023年8月28日9時】



【▲ 国際宇宙ステーション到着後のウェルカムセレモニーで挨拶する JAXA の古川聡宇宙飛行士（前列・一番右）（Credit: JAXA/NASA）】

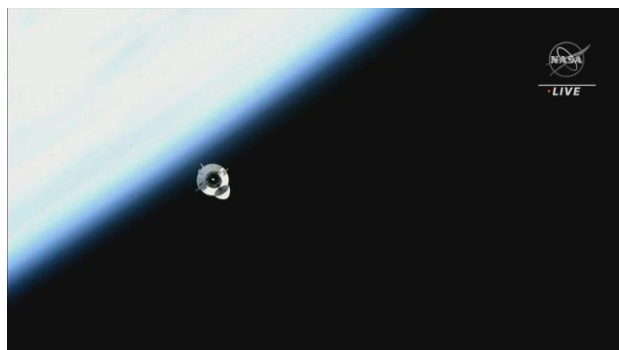
【▲ Crew-7 ミッションのクルードラゴン宇宙船「エンデュランス」を搭載したファルコン9ロケットの打ち上げ（Credit: NASA/Joel Kowsky）】

クルードラゴン「エンデュランス」は日本時間2023年8月26日16時27分に米国フロリダ州のケネディ宇宙センター39A射点から「ファルコン9」ロケットで打ち上げられました。地球を周回しつつ1日ほどかけて高



度を上昇させたエンデュランスは日本時間 2023 年 8 月 27 日 22 時 16 分、ISS の前方に位置する「ハーモニー」モジュールの上方へドッキングすることに成功しました。

Crew-7 のクルーは NASA のジャスミン・モグベリ (Jasmin Moghbeli) 宇宙飛行士、欧州宇宙機関 (ESA) のアンドレアス・モーゲンセン (Andreas Mogensen) 宇宙飛行士、ロスコスモス (Roscosmos) のコンスタンチン・ポリソフ (Konstantin Borisov) 宇宙飛行士、そして JAXA の古川聡宇宙飛行士です。ドッキングしたエンデバーと ISS 船内を隔てるハッチは日本時間同日 23 時 58 分に開放され、4 名は ISS に乗船。現在 ISS のコマンダー (船長) を務めているロスコスモスのセルゲイ・プロコピエフ (Sergey Prokopyev) 宇宙飛行士ら ISS に滞在中の 7 名と合流しました。



【▲ 国際宇宙ステーションに接近する Crew-7 ミッション

のクルードラゴン宇宙船「エンデュランス」 (Credit: JAXA/NASA) 】

また、2023 年 3 月から ISS に長期滞在している「Crew-6」ミッションの 4 名は、古川飛行士ら Crew-7 のクルーと交代して地球へ帰還します。Crew-6 のクルーが ISS を離れるまでの数日間、ISS には 11 名のクルーが同時滞在中になります。

Source Image Credit: NASA/Joel Kowsky, JAXA/NASA [NASA](#) - NASA's SpaceX Crew-7 Mission (NASA Blogs) [JAXA](#) - 古川聡宇宙飛行士の国際宇宙ステーション長期滞在開始について 文/sorae 編集部

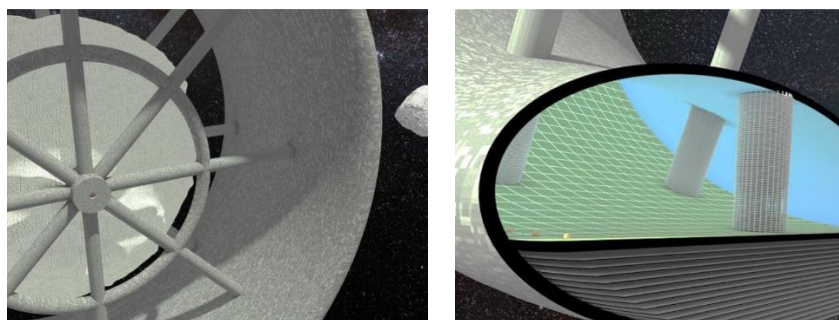
<https://sorae.info/space/20230830-asteroid-space-stations.html>

## 最短 12 年で建設可能な「小惑星ステーション」構想

2023-08-30 [彩恵りり](#)

宇宙空間で長期的な住環境を提供する「宇宙ステーション」は、地球外の探査や開発を行う上で重要な中継基地となる可能性を秘めています。宇宙ステーションの建設場所として検討されている選択肢の 1 つが、太陽系に無数に存在する「小惑星」です。しかし、回転による遠心力で人工的に重力を生み出せるほど巨大な宇宙ステーションを小惑星に建築することは、必要となる資源の膨大さから遠い未来の話と思われてきました。

しかし、ロックウェル・コリンズ社の元技術フェローであった David W. Jensen 氏は、現在の技術レベルと比較的安価な資金で建設可能な回転式小惑星ステーションの建設方法を提示し、プレプリントを arXiv に投稿しました。それによれば、ステーション本体の建設期間は最短で 12 年、建設費用は 41 億ドル (約 6000 億円) で可能であると示しています。居住可能な環境を構築するには追加のコストが必要となるものの、現状の技術レベルでも十分建設可能なことが示されています。



【▲ 図 1: 小惑星を中心にしたトラス型の宇宙ステーションの想像図 (Credit: David W. Jensen)】

■小惑星は宇宙ステーションを建設する上で有望な場所

【▲ 図 2: トラス型ステーションの内部構造。底を多重構造にすることで居住可能な面積を増やしている (Credit: David W. Jensen)】

“宇宙ステーション”という単語からは、「ISS (国際宇宙ステーション)」のような宇宙空間に存在する建造物を連想する人が多いと思われます。あるいは、現在検討されている月面基地のように、比較的大きな天体の表面に建設される構造物や、さらには軌道エレベーターのような巨大構造物を想像する人もいるかもしれません。しかし、太陽系に無数に存在する「小惑星」もまた、宇宙ステーションを建設する場所として注目されてきました。小惑星は地球や月と比べてはるかに小さいため、事実上重力を無視できます。小惑星の中には地球にかなり接近し、相対速度が小さくなるものも多数あるため、到達するのに必要な推進剤 (燃料と酸化剤) の量が少なく済みます。また、小惑星そのものを原料としてステーションの建材を作ることも可能なので、地球から供給する物資の量は最小限で済みます。さらに、遠心力で人工的な重力を生み出すための回転力を、小惑星の自転から得るなど、他の形式のステーションでは達成することが困難な利点もあります。

ただし、建設には膨大な資源が必要になると予想されることから、実際に建設可能かどうかはあまり検討がされてこなかったため、これまで小惑星での宇宙ステーション建設はほとんど SF であるかのように見なされてきました。しかし、Jensen 氏は今回の研究にて、現在の技術レベルであってもそこまで達成困難な目標ではないことを示しています。

■ステーションを作るのに最適な小惑星と方法を提示

「リュウグウ」や「ベンヌ」など、いくつかの小惑星を建設場所の候補として示した Jensen 氏は、その中の最良の候補として 163693 番小惑星「アティラ (Atira)」を提案しました。アティラは本体が直径約 4.8km の小惑星で、直径約 1km の衛星を持ちます。地球とほぼ同じ軌道を公転しているため、ステーションの内部温度を維持する上で有利だと期待されます。

次に Jensen 氏はステーション全体の構造について、アティラを中心としたトラス型 (ドーナツ型) の居住区を配置し、アティラと居住区の間をいくつかの柱で結ぶ構造を提案しました。この自転車の車輪とスポークのような形状は、居住区的面積を増やすために多層構造を採用すること、微小隕石や放射線のような脅威から内部を守ること、回転による遠心力で人工重力を生み出した時に利用しやすいことを考慮した結果辿り着いた形状です。ただし、適切な人工重力を生み出すには、アティラの自転速度を変更する必要があります。

では、このようなステーションを建設する人手はどのように確保するのでしょうか？ Jensen 氏は自己複製型のクモ型ロボットが建設の役割を担うと想定しています。アティラの資源を利用することで、クモ型ロボットはステーション本体の建材となる無水ガラスをはじめ、岩石粉砕機や太陽光パネル、そして自身の複製といった高度な物品を作成することが想定されています。あらかじめ用意しておく必要があるのはその場で作成することができない電子機器などの最先端技術による部品のみで、他の追加物資は不要なことも想定されています。

■建設コストは高額ながらも非現実的ではない

では、これらを実行するのに必要なコストはどの程度でしょうか？ Jensen 氏はアティラに最初に送り込むステーションの“種”と言えるカプセルの重量を約 8.6 トンと計算しました。カプセルには 4 台のクモ型ロボット、最低限の基礎、クモ型ロボットの自己複製に必要な 3000 台分の電子機器などが搭載されます。

この“種”はスペース X 社が現在運用している「ファルコンヘビー」ロケットにも搭載可能な重量しかありませんし、理論的には“種”以外の物資を追加供給する必要もありません。Jensen 氏は、小惑星でステーション本体の建設に必要な時間は最短 12 年だと計算しています。ただし、これは本体の建設に要する期間であり、酸素や水といった人間の生存に必要な物資の供給までは含まれていません。

また Jensen 氏は、この小惑星ステーション建設プロジェクトにかかる総費用は 41 億ドル (約 6000 億円) だと試算しました。途方もなく高額な費用であるように思えますが、アポロ計画の総費用が 930 億ドル (約 13 兆

5000 億円) だったことを考えれば、決して高額であるとは言えません。これに近い額として、2020 年東京オリンピックで東京都が負担した額 (約 6300 億円) や、大型ハドロン衝突型加速器の建設費 (約 5000 億円) などがあります。何もない場所から合計 10 億平方メートル (札幌市や広島市とほぼ同じ面積)、1 平方メートルあたりわずか 4.1 ドル (約 600 円) のコストで新たな居住区を創造できることを考えると、この小惑星ステーションの建設費用は何人かの億万長者にとって現実的な投資額になると Jensen 氏は主張しています。

Jensen 氏の主張する小惑星ステーション建設計画が本当に実行可能なのか、仮に実行に移されるとしてもどの程度オリジナルと同じ設計になるのかはまだ分かっていません。しかし今回示されたプレプリントは、SF に出てきそうな巨大なステーションの建設が現状の技術レベルでも達成可能なものであることを示している点で興味深いと言えます。

Source [David W. Jensen](#). "Autonomous Restructuring of Asteroids into Rotating Space Stations". (arXiv)

[Andy Tomaswick](#). "A New Paper Shows How To Change An Asteroid Into A Space Habitat – In Just 12 Years".

(Universe Today)

文/彩恵りり

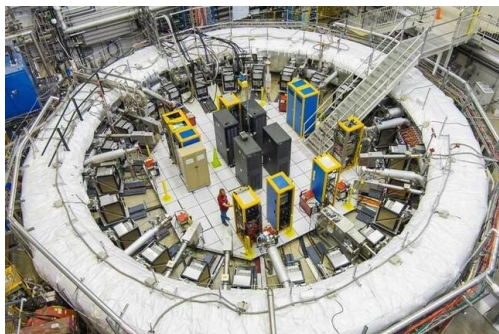
<https://news.yahoo.co.jp/articles/71a9f4f14b6aeadb4a4b2ef07d96dc28adea584a>

## 素粒子ミュオンの奇妙な歳差運動の原因は「第五の力」か、「未知の次元」か

(海外)

8/28(月) 20:00 配信

BUSINESS INSIDER  
JAPAN



[フェルミ研究所で 2018 年に始まった「ミュオン g-2」実験では、写真のリング状の装置「g-2 蓄積リング磁石」の中で、光速に近いスピードでミュオンを周回させる。](#)

ミュオン (ミュオン粒子) と呼ばれる素粒子の歳差運動 (首振り運動) は、物理学の標準理論では説明がつかない。【[全画像をみる](#)】素粒子ミュオンの奇妙な歳差運動の原因は「第五の力」か、「未知の次元」か その奇妙な挙動は、自然界に存在する第五の力、あるいは未知の次元の証拠かもしれない。科学者は 2001 年、2021 年、そして 2023 年にこの現象を観察した。ただの偶然ではない可能性が高い。ある素粒子が予想外の挙動をとるさらなる証拠を、アメリカのフェルミ国立加速器研究所の物理学者チームが発見した。そうした予想外の挙動は、自然界に未知の第五の力が存在することを示している可能性がある。現在、自然界には四つの力が存在することが知られている。重力、電磁気力、強い力、弱い力だ。この四つの力は、宇宙の仕組みを説明する手がかりになっている。だが、宇宙にはまだ、我々の知らない不思議が存在している。自然界の第五の力の発見は、その謎を解くのに役立つかもしれない。

### 「太った電子」ミュオンと、奇妙な歳差運動

フェルミ研究所で「ミュオン g-2 実験」を行っていた物理学者たちは 2021 年、ミュオン (ミュオン粒子) と呼ばれるタイプの素粒子が、予想とは異なる歳差運動 (首振り運動) をすることを観測した。20 年前の 2001 年にも、ブルックヘブン国立研究所の科学者チームが同じ現象を目にしていたが、この奇妙な挙動は説明がつかないまま、20 年にわたって物理学者を悩ませていた。ミュオンは、電子 (原子核のまわりを回る小さな粒子) と似ているが、電子の 200 倍の重さがある。そこから、「太った電子」のニックネームがついた。



Insiderのアイリン・ウッドワード（Aylin Woodward）が伝えたところによれば、この太った電子はX線のように物体を通過でき、科学者がエジプトの大ピラミッドの隠れた部屋を発見したり、火山内部を覗きこんだりするのに貢献している。そして今度は、物理学者が自然界の未知の力を解き明かすのに貢献するかもしれない。フェルミ研究所は、2023年8月10日付けの声明の中でこう述べている。「ミュオンの中には、電子と同じように、いわば小さな磁石のようなものがある。磁場が存在すると、回転するコマの軸のような歳差運動（首振り運動）をする」物理学者がこのミュオンを研究する際には、超伝導磁石リングのなかでミュオンを周回させる。そして、ミュオンが光速に近いスピードで、リングを幾度なく周回するあいだに、その挙動を測定する。その結果、ミュオンの歳差運動は、素粒子物理学の標準理論で予測されるよりもはるかに速いことが観察された。素粒子物理学の標準理論（Standard Model、「標準模型」とも）とは、物理学者が素粒子の世界を説明し、理解するために過去50年にわたって用いてきた枠組みだ。

Sonam Sheth, Jessica Orwig

<https://forbesjapan.com/articles/detail/65401>

2023.08.26

## 核融合はエネルギー技術の「飛躍的進歩」か？ 「過大評価」か？



Ariel Cohen | Contributor



Getty Images

[LK-99](#)は超伝導体でないことが世界中の科学者によって明らかにされたが、一方で、[核融合の飛躍的進歩](#)は注目を集めた。核融合は何十年にもわたって「[10年先](#)」と言われてきたが、今回は何が違うのだろうか？

このような報道や論調は、核融合の進歩が時として難解な技術的用語に埋もれてしまうことを意味する。核融合における最新の進歩は、排出量ゼロのエネルギーを無限に使用できる時代の到来を告げるものではないかもしれない。それでも「人類が知る限り最も環境に優しい」とも言われるエネルギー技術が、具体的な一歩を踏み出したことは確かだ。

2022年12月、[核融合の飛躍的進歩](#)が起きた。米国カリフォルニア州のローレンス・リバモア国立研究所の実験で、核融合を起こすために使われたエネルギーよりも、核融合によって生み出されたエネルギーの方が多量「ブレイクイーブン」を、ついに実現したのだ。この革新は2023年7月、同チームによって[再現されており](#)、しかも核融合によって生み出されたエネルギーは過去最高を記録した。

ただし、この飛躍的進歩は限定的なものだ。損益分岐点を突破したのは、核融合に使われたレーザーのみで、システム全体のエネルギー収支はプラスではなかった。さらに、実験が行われた[国立点火施設（NIF）](#)は、サッカースタジアムほどの広さがあるが、そこで生み出された電力は、冷蔵庫が1日で消費する電力より少なかったのだ。つまり、核融合はまだ10年以上先の話だ。[恒星でしか見られない核融合反応](#)を、人類が再現するのはやはり難しい。核融合反応は、既知の基礎物理学と矛盾するものではない。科学者が直面しているのは、概念ではなく、実現に関する問題だ。技術的課題は山積みだが、いずれ解決されるだろう。経済的に有効で安全な核融合への道を開くためには、政府の研究所や民間企業が近いうちに解決できる、さまざまな課題をクリアしていくことに焦点を移すべきだ。最も深刻な課題はコスト効率だ。核融合発電が拡大するかどうかは、核融合炉の建設コストと、核融合を実現するために必要な技術のコストにかかっている。

何年もかけて改善されてきた結果、[再生可能エネルギーはしばしば、最も安価なエネルギーとなっており](#)、技術が成熟すれば、広く採用されることが確実だ。必要なのは、経済的に実用性のあるエネルギー貯蔵と、電力供給の安定化だけだ（それでも、ジョー・バイデン米政権の気候問題担当大統領特使ジョン・ケリーのような環境技術推進派でさえ、[再生可能技術はまだ十分ではないと述べている](#)）。

核融合に関しては、供給と物流の問題も妨げになっている。核融合の最も重要な構成要素のほぼすべてが、あまりにも不足しているのだ。核融合に不可欠な水素の同位体であるトリチウム（三重水素）の供給量は、全世界で [20kg に満たない](#)。これは、核融合炉によって、[米国の平均的な発電所の 1 日の発電量](#) を実現する際に必要となるトリチウムの 3 分の 1 にすぎない。

[次ページ > すぐに現実になることはないが、決して空想ではない](#)

核融合が家庭に電力を供給する前から、すでに供給危機が起きているわけだ。トリチウムを人工的に作り出す研究は行われているが、まだ試験段階だ。供給不足を解決するため、[月の採掘](#) を提案する者もいる。

重水素も水素の同位体であり、供給不足の問題はないが、海水から抽出することになるため、輸送やコストの制約がある。幸い、この問題は[海水淡水化へのデュアルユース投資](#)によって解決可能で、重水素の需要は着実に伸びると[市場はすでに楽観視している](#)。中国のエネルギー企業 Guangzhou Jietong Gas や、米国の

Matheson（マチソン）、Praxair（プラクスエア）といった企業は、海水淡水化と重水素のデュアルユース研究を進めている。核融合の研究が、海水淡水化のコスト削減につながり、世界的な水不足の解消に役立つ可能性もある。核融合の環境コストも、過小評価されるべきではない。核融合は化石燃料よりはるかに環境に優しいが、環境汚染の万能薬ではない（なお、実用的な原子核融合と、[常温核融合](#)という仮説的な概念を混同している人がいる。常温核融合は、室温で核融合反応が起こり、環境汚染がないとされている現象だ）。

トリチウムは、環境中に放出されると、約 120 年にわたって危険な状態が続く。米エネルギー情報局（EIA）は、米国では現在のところ、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設を運用しておらず、原子力プロジェクトを著しく複雑にしていると[指摘している](#)。米エネルギー省の数十年にわたる近視眼的な政策が生み出した状況だ。通常の原子炉の使用済み核燃料であれ、将来の核融合関連の廃棄物であれ、決断力を持って先手を打たなければ、原子力発電の廃棄物処理をどこで行うかという問題は、人類のグリーンエネルギーの未来にとって致命的なものになり得る。皮肉なことに、核融合そのものの可能性にも問題がある。核融合は理論上、非常に大きなエネルギーを、非常に速く放出するため、科学者たちはまだ、反応をどのように小さくするかを考えているところだ。送電網への大規模な投資がなければ、核融合は悲劇的に手の届かない存在であり続けるかもしれない。過剰な電気を適切に対応できない送電網に、あまりに大きなエネルギーをあまりに速く押し付けることになるからだ。人類が、気候変動を引き起こすことなく無限のエネルギーを享受するというビジョンは、すぐに現実になることはないが、決して空想ではない。技術が実現したとき、体制が整っているようできることはすべて行うべきだ。「老人たちが、自分はその木陰に座ることのない木を植えるとき、社会は大きく成長する」ということわざを思い出そう。核融合の準備を今すべきだという理由がわかるはずだ。

[\(forbes.com 原文\)](#) 翻訳=ガリレオ

<https://soraie.info/astrometry/20230827-hd45166.html>

## 将来マグネターになるかもしれない強力な磁場を持つ恒星が見つかった

2023-08-27 [soraie 編集部](#)

アムステルダム大学の天文学者 Tomer Shenar さんを筆頭とする研究チームは、きわめて強力な磁場を持つ中性子星の一種「マグネター」について、将来マグネターになる可能性がある恒星を発見したとする研究成果を発表しました。



【▲ 将来マグネターになる可能性が指摘された恒星「HD 45166」の想像図。HD 45166 は実際には連星で、左の背景には伴星が小さく描かれている（Credit: ESO/L. Calçada）】

【▲ 研究成果をもとに描かれた HD 45166 の将来を示した図。上段：現在の HD 45166（右）とその伴星（左）。中段：数百万年後に HD 45166 は超新星爆発を起こす。下段：HD 45166 の中心核から約 100 兆ガウスの磁場を持つマグネターが誕生する（Credit: NOIRLab/AURA/NSF/P. Marenfeld/M. Zamani）】

中性子星とは、太陽の 8 倍以上重い大質量星として誕生した恒星が超新星爆発を起こした時に形成されると考えられている天体です。中性子星は非常に高密度な天体で、直径わずか 20km 前後という小さなサイズに太陽 1 個分を上回る質量が詰め込まれています。そのなかでも特に強力な磁場を持つものは「マグネター（Magnetar）」と呼ばれていて、磁場の強さ（磁束密度）は 100 兆～1000 兆ガウス（100 億～1000 億テスラ）に達すると考えられています（※1）。

※1...参考として、磁気治療器は数百～1000 ガウス、MRI は 1 万～1 万 5000 ガウス、地磁気は約 0.5 ガウス、太陽黒点は約 3000 ガウスとされています。

研究チームがマグネターの前駆天体（ある天体や現象の元になる天体）となる可能性を指摘したのは、「いっかくじゅう座」（一角獣座）の方向約 3000 光年先の連星「HD 45166」をなす 1 つの恒星です（以下、本稿ではこの単一の星を HD 45166 と表記します）。米国科学財団（NSF）の国立光学・赤外天文学研究所（NOIRLab）やヨーロッパ南天天文台（ESO）によると、HD 45166 はウォルフ・ライエ星（※2）としての特徴を幾つか有しているものの、そのスペクトル（電磁波の波長ごとの強さ）には独特の特徴があり、ヘリウムが豊富で太陽の数倍重いこと以上の性質はこれまでわかっていなかったといいます。

※2...ウォルフ・ライエ星は大質量星が進化した姿であり、外層から恒星風として大量の水素を放出して失い、高温の内層がむき出しになっていると考えられています。

過去にヘリウムを豊富に含む同様の恒星を研究したことがあった Shenar さんは、HD 45166 に関する文献に目を通していた時、この星の性質を磁場で説明できるかもしれないと思い付いたといいます。研究チームはハワイのマウナケア山にあるカナダ・フランス・ハワイ望遠鏡（CFHT）の分光偏光計「ESPaDOmS」による観測を 2022 年 2 月に実施した他に、ラ・シヤ天文台にある MPG/ESO 2.2m 望遠鏡の分光計「FEROS」でこれまでに取得された観測データも用いて分析を行いました。その結果、HD 45166 の質量はこれまでの推定よりも軽い太陽の約 2 倍で、磁場の強さは 4 万 3000 ガウスに達することが判明しました。ESO によれば、質量がチャンドラセカール限界質量（※3）を上回る星で検出された磁場としては最も強力だといいます。他のヘリウム星（ヘリウムが豊富で水素が乏しい星）とは異なり、HD 45166 は単一の大質量星が赤色超巨星を経て進化したのではなく、一対の中質量星が合体してできた星ではないかと研究チームは考えています。

※3...太陽の約 1.4 倍。大質量星の鉄でできた中心核（コア）や白色矮星の質量がこの値を上回ると、自重を支えきれずに潰れて中性子星やブラックホールが形成されると考えられています。



また、研究チームは HD 45166 の将来も予測しました。それによると、HD 45166 は今から数百万年後に非常に明るく、しかしそれほど激しくはない超新星爆発を起こして恒星としての寿命を終えます。この時、収縮する HD 45166 の中心核が星の磁力線を捉えて集中させることで、約 100 兆ガウスの磁場を持つ中性子星が誕生するとみられています。つまり、研究チームの計算が正しければ、HD 45166 はマグネターを生み出す可能性があるというわけです。今回の成果について、研究チームはウォルフ・ライエ星の一種と言える新たなタイプの天体「Massive Magnetic Helium Star」（仮訳：大質量強磁場ヘリウム星）が発見されたことを示すものだとしています。CFHT の科学運用ディレクターを務める Nadine Mansetさんは「マグネターは希少でミステリアスな天体ですが、チームによって後にマグネターとなる星が見つかったことで、その形成についての理解が深まりました」とコメントしており、未解明の部分も多いマグネターの性質を理解する上で重要な成果となりそうです。Shenarさんたちの研究成果をまとめた論文は Science に掲載されています。

Source Image Credit: ESO/L. Calçada, NOIRLab/AURA/NSF/P. Marenfeld/M. Zamani

[NOIRLab](#) - Astronomers Find Progenitor of Magnetic Monster

[ESO](#) - New type of star gives clues to mysterious origin of magnetars

[CFHT](#) - Astronomers Find Progenitor of Magnetic Monster

[Shenar et al.](#) - A massive helium star with a sufficiently strong magnetic field to form a magnetar (Science)

文/sorae編集部

<https://sorae.info/astrometry/20230828-potw-eso300-16.html>

## 天の川銀河の淡い隣人 ハッブル宇宙望遠鏡で撮影されたエリダヌス座の不規則銀河

2023-08-28 [sorae編集部](#)

こちらは「エリダヌス座」の方向約 2870 万光年先の不規則銀河「ESO 300-16」です。不規則銀河とは、星々が集まった中心部や渦巻腕（渦状腕）、回転対称の円盤部といった明確な構造を持たない銀河のこと。ESO 300-16 も空に浮かんだ雲のような不規則な形をしており、目立つ特徴といえば中心付近に小さく見えている青い泡状構造くらいです。



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡で撮影された不規則銀河「ESO 300-16」（Credit: ESA/Hubble & NASA, R. Tully）】この画像は「ハッブル宇宙望遠鏡（Hubble Space Telescope : HST）」の「掃天観測用高性能カメラ（ACS）」で取得したデータ（可視光線と近赤外線フィルタを使用）をもとに作成されています。欧州宇宙機関（ESA）によると、ハッブル宇宙望遠鏡による ESO 300-16 の観測は、天の川銀河から 10 メガパーセク（約 3260 万光年）以内に存在する近傍の銀河すべてを観測するためのキャンペーン「Every Known Nearby Galaxy」の一環として 2020 年 2 月に実施されました。

この観測キャンペーンではハッブル宇宙望遠鏡による十分な観測がまだ行われていなかった 153 個の銀河とその候補を対象に、2019 年から 2021 年にかけて観測が行われました。ESAによると、天の川銀河の隣人とも言える近傍の銀河の観測は、天文学者が様々な銀河に存在する星の種類を断定し、宇宙の局所構造をマッピングする上で役立つということです。

冒頭の画像はハッブル宇宙望遠鏡の“今週の画像”として、ESA から 2023 年 8 月 21 日付で公開されています。  
※一部文章に誤りがありましたので訂正しました。「2870 光年」は誤りで正しくは「2870 万光年」です。

【2023 年 8 月 28 日 21 時 20 分】

Source Image Credit: ESA/Hubble & NASA, R. Tully [ESA/Hubble](https://www.esa.int/ESA/News/ESA_Hubble_-_A_sparkling_galactic_neighbour) - A sparkling galactic neighbour  
文/sorae 編集部

<https://sorae.info/astrometry/20230829-webb-m57.html>

## ウェブ宇宙望遠鏡が捉えた“こと座”の惑星状星雲「環状星雲」の姿

2023-08-29 [sorae 編集部](#)

こちらは「こと座」（琴座）の方向約 2500 光年先の惑星状星雲「環状星雲」（Ring Nebula、M57、NGC 6720）です。惑星状星雲とは、超新星爆発を起こさない比較的軽い恒星（質量は太陽の 8 倍以下）が進化する過程で形成されると考えられている天体です。



【▲ ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCam）で観測された惑星状星雲「環状星雲（M57）」（Credit: ESA/Webb, NASA, CSA, M. Barlow, N. Cox, R. Wesson）】

【▲ ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡の中間赤外線観測装置（MIRI）で観測された惑星状星雲「環状星雲（M57）」（Credit: ESA/Webb, NASA, CSA, M. Barlow, N. Cox, R. Wesson）】

【▲ 参考画像：ハッブル宇宙望遠鏡の広視野カメラ 3（WFC3）で撮影された惑星状星雲「環状星雲（M57）」（Credit: NASA, ESA, and C. Robert O'Dell (Vanderbilt University)）】

太陽のような恒星が主系列星から赤色巨星に進化すると、外層から周囲へとガスや塵が放出されるようになります。やがてガスを失った星が赤色巨星から白色矮星へと移り変わる段階（中心星）になると、放出されたガスが中心星から放射された紫外線によって電離して光を放ち、惑星状星雲として観測されるようになります。この画像は「ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡（James Webb Space Telescope : JWST）」の「近赤外線カメラ（NIRCam）」で 2022 年 8 月 4 日に取得したデータをもとに作成されました。ウェブ宇宙望遠鏡は人の目で捉えることができない赤外線波長で主に観測を行うため、公開されている画像の色は取得時に使用されたフィルターに応じて着色されています（※1）。※1...この画像では 1.62 $\mu$ m を青、2.12 $\mu$ m をシアン、2.0 $\mu$ m を緑、3.0 $\mu$ m を黄色、3.35 $\mu$ m を赤で着色しています。

ウェブ宇宙望遠鏡による環状星雲の観測を提案した研究チームの一員であるカーディフ大学の Roger Wesson さんによると、環状星雲という名前の由来でもある明るいリング状構造は、水素ガスが高い密度で集まっている無数の塊で構成されています。塊の数は約 2 万個で、1 つの塊の質量は地球と同じくらいだといいます。リングの周囲には無数の細い針状の構造が並んでいますが、過去に「ハッブル宇宙望遠鏡（Hubble Space Telescope : HST）」で撮影された画像（本記事の最後に掲載）にはとてもかすかにしか写っていませんでした。赤外線で観測すると顕著に現れるこの構造について Wesson さんは、星雲の中心星の強い放射から保護されている、リングの高密度な部分の影で形成された分子に由来する可能性があると説明しています。

また、NIRCam はリングに存在する多環芳香族炭化水素（ベンゼン環を2つ以上持つ化合物の総称、PAH）から放出された赤外線も捉えました。Wessonさんは、環状星雲で多環芳香族炭化水素が形成されるとは予想しなかったと語っています。次に掲載した画像は、ウェブ宇宙望遠鏡に搭載されている別の観測装置「中間赤外線観測装置（MIRI）」で2022年7月14日と8月21日に取得したデータをもとに作成された環状星雲です。NIRCamとは観測に利用する赤外線の波長が異なるため、同じ星雲でも異なる姿に見えています（※2）。※2...この画像では5.6μmを紫、7.7μmを青、10μmと11μmをシアン、12μmと15μmを緑、18μmを黄、21μmをオレンジ、25μmを赤で着色しています。

Wessonさんによると、環状星雲をMIRIで観測したところ、リング状構造のすぐ外側で規則的に並んだ同心円状の構造が最大10個見つかりました。この構造は、環状星雲を生み出した星に伴星が存在していることを示しているといえます。伴星は太陽から冥王星までの距離（平均約40天文単位）と同じくらい中心星から離れた軌道を公転しているとみられていて、かつて中心星からガスが放出された時にこの伴星が相互作用した結果、約280年ごとに形成された同心円状の構造が残されたと考えられています。ウェブ宇宙望遠鏡が登場するまで、この繊細な作用を明らかにできる感度と空間分解能を備えた望遠鏡は存在しなかったとWessonさんはコメントしています。ウェブ宇宙望遠鏡のNIRCamとMIRIで観測した環状星雲の画像は、アメリカ航空宇宙局（NASA）、欧州宇宙機関（ESA）、ウェブ宇宙望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡を運用する宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）から2023年8月21日付で公開されています。なお、本記事の執筆時に参照したNASA等の記事で紹介されているのは進行中の研究内容であり、まだ査読プロセスを経ていない点をご留意下さい。

Source Image Credit: ESA/Webb, NASA, CSA, M. Barlow, N. Cox, R. Wesson

[NASA](#) - Webb Reveals Intricate Details in the Remains of a Dying Star (NASA Blogs)

[ESA/Webb](#) - Webb captures detailed beauty of Ring Nebula

[STScI](#) - Webb Reveals Intricate Details in the Remains of a Dying Star

文/sorae編集部

<https://sorae.info/astromy/20230829-wimp.html>

## 地球中心部で崩壊した重い「WIMP」は見つからず 「暗黒物質」候補の1つに関する研究成果

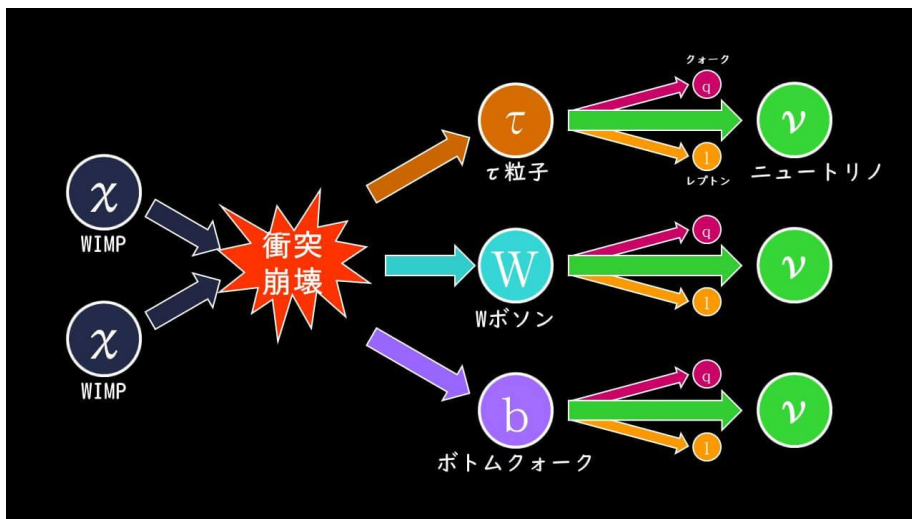
2023-08-29 [彩恵りり](#)

宇宙に普通の物質よりも多く存在するとされる「暗黒物質（ダークマター）」。その正体は不明ですが、候補の1つとして未知の粒子の存在が予測されています。南極大陸に設置されたニュートリノ観測所「IceCube」で研究を行っている Giovanni Renzi 氏と Juan A. Aguilar 氏は、暗黒物質の正体として有力視されている

「WIMP」（※）が地球中心部で崩壊した兆候がないかを探索するために、IceCubeのデータを分析しました。その結果、陽子の約100倍の質量を持つ重いWIMPは存在しない可能性がかなり高いことが明らかにされました。

※...「Weakly Interacting Massive Particle」の略、日本語にすれば「弱く相互作用する大質量粒子」の意味。WIMPそのものの正体も正確にはよくわかっておらず、単一の素粒子、複数の素粒子の混合状態、複合粒子など様々な説が唱えられている。仮にWIMPが存在した場合、現在理論的に予測されていない素粒子でできている可能性が高いため、素粒子物理学の理論を書き換える必要がある。





【▲ 図 1: IceCube ニュートリノ観測所は南極点のアムンゼン・スコット基地に設置されている (Credit: Josh Veitch-Michaelis, IceCube, NSF)】

【▲ 図 2: WIMP の崩壊によってニュートリノが放出される過程の簡単な説明。実際の崩壊ではさらに多くの粒子が放出される (Credit: 彩恵りり)】

■暗黒物質の有力候補「WIMP」は地球中心部に溜まっている？

私たちの宇宙に存在する物質の量は、物質によって発生する重力で推定することができます。しかし、重力に関する観測結果から推定される物質の総量は、光などの電磁波によって観測可能な物質の量と比べて約 5 倍もの大幅なズレがあります。このズレは、電磁波で観測可能な「普通の」物質とは別に、重力では観測できるものの電磁波では観測できない正体不明の物質が存在すると考えなければ説明できません。「暗黒物質」とはこの正体不明の物質のことであり、その正体を探ることは天文学における最大の課題の 1 つです。暗黒物質の正体は、観測困難だが普通の物質であるという説から、全く未知の物理学的現象だとする説まであり、多くのことが予想されています。中でも可能性が高いと考えられている正体の 1 つが「WIMP」です。WIMP は普通の物質とはほとんど相互作用しないため、電磁波で直接観測するのは困難です。一方で WIMP はかなり重いいため、重力を介して固まった状態で存在しているという暗黒物質の観測結果を説明することができます。

WIMP の直接観測は非常に困難だと考えられていますが、WIMP 同士が衝突して崩壊すると多数の粒子が放出されると予想されていることから、間接的な方法での観測は可能だとも考えられています。意外にも、その機会は私たちの足下にあります。地球のような密度の高い天体を WIMP が通過すると、速度が低下して地球の中心部に蓄積し、WIMP 同士の衝突・崩壊 (対消滅) が起きやすいと考えられるからです。

■ニュートリノ観測所「IceCube」で WIMP の崩壊を探索

南極大陸に設置された「IceCube」は、南極の氷床を構成する原子と、素粒子の 1 つ「ニュートリノ」の衝突で生じた光を観測する、世界最大のニュートリノ観測装置です。WIMP 同士の衝突による崩壊は多数の粒子を生じますが、これらの粒子も重いためにすぐさま崩壊し、最終的にはニュートリノが発生すると予測されています。この現象が実際に起こっている場合、IceCube は地球中心部からの過剰なニュートリノを観測することができるはずですが、ただし、ニュートリノは WIMP の崩壊以外にも、宇宙線、太陽、地球の岩石などといったものからも発生するため、それらとの区別が必要です。

IceCube で研究を行っている国際研究チーム「IceCube コラボレーション」に所属する Giovanni Renzi 氏と Juan A. Aguilar 氏は、IceCube で観測された過去 10 年分のデータを分析し、WIMP の崩壊によるニュートリノがあるのかどうかを調べました。その結果、IceCube では WIMP に由来するとみられる過剰なニュートリノの痕跡は見つかりませんでした。IceCube の性能を考えると、質量が 100GeV (約 10 のマイナス 33 乗 kg、陽子の質量の約 100 倍) よりも大きい WIMP は存在しない可能性が高いことを意味しています。これは、WIMP 崩壊の観測を試みている他の実験結果とも一致しており、かなり重い WIMP の存在を除外します。

残念ながら、今回は WIMP の検出に失敗しましたが、IceCube は今後アップデートが予定されており、観測可能なニュートリノの範囲が広がる予定です。アップデート後はさらに軽い WIMP の観測ができるようになるため、見つかる可能性はまだ残されています。また、仮に WIMP が見つからなかったとしても、謎が多い暗黒物質の正体を絞り込むことに繋がりますから、見つからないという事実もまた重要なデータです。

Source

[Giovanni Renzi & Juan A. Aguilar](#). "Search for dark matter annihilations in the center of the Earth with IceCube". (arXiv)

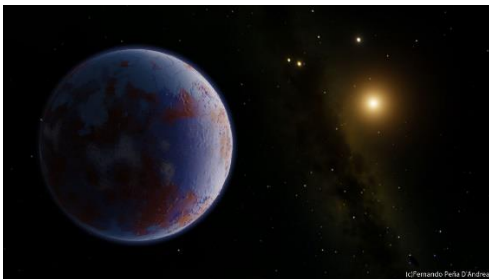
[Brian Koberlein](#). "Astronomers Search for Dark Matter Annihilation at the Center of the Earth". (Universe Today)  
文／彩恵りり

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230828-2759347/>

## 太陽系外縁部に未発見の「惑星 X」が存在する可能性 - 近大が発表

掲載日 2023/08/28 17:05 著者：波留久泉

近畿大学(近大)は 8 月 25 日、数値シミュレーションを用いて、海王星以遠の 4 つに大別できる「遠方カイパーベルト天体」(TNO)の特性を再現することに成功し、太陽系外縁部に未発見の第 9 惑星(以下「惑星 X」)が存在する可能性を示したことを発表した。



太陽系外縁部に存在する可能性がある惑星 X のイメージ。今回、その質量は地球の約 1.5 倍～約 3 倍と、地球ほどからスーパーアースの天体である可能性が導き出された。(c)Fernando Peña D'Andrea(出所:NEWSCAST Web サイト)

同成果は、近大 総合社会学部 総合社会学科社会・マスメディア系専攻のソフィア・リカフィカ・パトリック准教授、国立天文台 天文シミュレーションプロジェクトの伊藤孝士講師らの共同研究チームによるもの。詳細は、[米天体物理学専門誌「The Astrophysical Journal」に掲載された。](#)

太陽から約 30 天文単位(au)離れた海王星軌道のさらに外側、約 50au(約 75 億 km)以遠に位置する TNO の中には、最も影響力のある海王星など、4 つの巨大惑星だけでは説明できない軌道の偏りがあるものが観測されている。その偏りを説明できる仮説の 1 つとして、カイパーベルト領域に惑星 X が存在しており、重力摂動で影響を与えているというものがある。遠方の TNO は、以下のような 4 つの特性を持つ可能性が指摘されている。

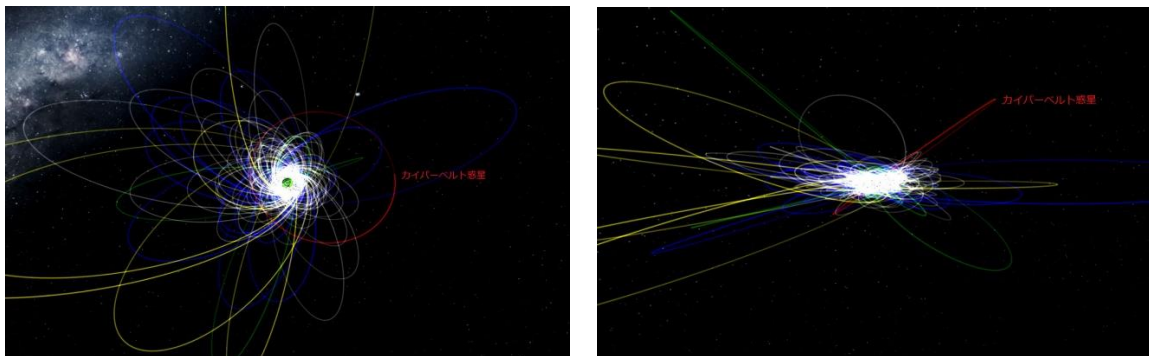
海王星との平均運動共鳴に捕獲された、始原的であり安定した共鳴 TNO の集団

海王星の重力の影響が及ばない位置に軌道を持ち、近日点距離が 40au を超える離脱 TNO の集団

45 度以上の高い軌道傾斜角(地球などの惑星の公転面は太陽の赤道にほぼ沿っているが、それに対し冥王星のように斜めの軌道を持つこと)を持つ TNO の集団準惑星候補の小惑星セドナ(近日点約 76au～遠日点 961au、公転周期 1 万 1809 年)のように説明の難しい特異な軌道を持つ極端な TNO の集団

しかし、従来のカイパーベルトおよび太陽系形成モデルでは、これらの特徴を一括して説明することはできなかったとのこと。そこで研究チームは今回、シミュレーションを用いて、惑星 X が遠方カイパーベルトの形成に与える影響を調べたという。まず、太陽系形成から約 46 億年後の遠方カイパーベルトをシミュレーションで再現した後、その結果について、遠方の TNO 集団の比率や、現在知られている極端な軌道を持つ TNO との比

較が行われた。また、太陽系大規模観測のシミュレータを用いて、作成されたシミュレーション結果に観測的なバイアスを与え、観測結果と直接比較できるようにしたとする。そして検証の結果、4つの巨大惑星のみを考慮した標準的モデルが、分離 TNO、高い軌道傾斜角を持つ TNO、そして極端な TNO のいずれも説明できないことが実証されたとしている。



遠方に存在するカイパーベルトの軌道構造(上からの様子)。惑星 X が存在する場合は、離脱 TNO(青い軌道)、高い軌道傾斜角を持つ TNO(緑の軌道)、極端な TNO(黄色の軌道)を一貫して説明可能。この図で惑星 X は太陽から約 200au~約 500au 程度の距離で、その軌道は地球の軌道面に対して約 30 度傾いていると予想される。また惑星 X を考慮しても、海王星との安定した共鳴にある TNO を含む他の TNO(白い軌道)の形成は阻害されない。(出所:NEWSCAST Web サイト)

遠方に存在するカイパーベルトの軌道構造(横からの様子)。(出所:NEWSCAST Web サイト)

次に、惑星 X を含むモデルを用い、観測結果との比較を行った結果、シミュレーションとほぼ一致することが判明。惑星 X を含むモデルは、遠方カイパーベルトの 4 集団を説明でき、さらに同惑星による摂動が、太陽系形成以降の海王星以遠領域の軌道構造に影響を与えてきたことも示唆したとする。

そして TNO の特性を説明するために、必要となる惑星 X の性質が分析され、以下の特徴が導き出された。

遠方のカイパーベルトに数十億年安定して存在する共鳴 TNO を説明するため、約 200au 以遠に位置する必要がある離脱 TNO を説明するため、距離約 200au~約 300au、約 200au~約 500au、約 200au~約 800au のいずれかの離心軌道で進化する必要がある

高い軌道傾斜角を持つ TNO を説明するため、質量が地球の約 1.5 倍を超え、軌道が約 30 度傾いている必要がある。セドナを含む、極端な TNO を説明するために、上記の性質を持つ地球的な惑星が必要である

このような惑星 X があれば、太陽系内を逆行する軌道を持つ TNO や、彗星の源となるような遠方で高い軌道傾斜角を持つ天体も説明可能となるという。

このことから、地球の約 1.5 倍~約 3 倍の質量を持ち、太陽から約 200au~約 500au または約 200au~約 800au 以内に位置し、約 30 度の傾斜軌道を持つ惑星 X があれば、TNO の 4 集団について説明できることが明らかにされた。また、惑星 X による摂動は、海王星による重力散乱を強く受ける TNO のように、50au を超えた距離にある他の天体の形成を阻害しないことから、今回作成されたモデルは遠方のカイパーベルトの分布を説明でき、現代の観測結果と矛盾するものではないことも確認されたとする。

今回の研究成果は、近日点距離が大きい、もしくは大きな軌道傾斜角を持つ未知の TNO 集団が、約 100au を超える領域に存在し得ることも示唆しているとのこと。こうした TNO 集団は、惑星 X の存在を観測的に検証する際の指標となり得るという。研究チームは今後、惑星 X や未知の TNO 集団などの軌道構造をより詳細に明らかにすることで、太陽系外縁部での惑星の形成や太陽系全体の進化についても、より深い理解が得られることが期待されるとしている。