



JAXA、H3 ロケット 3 号機打ち上げ成功 だいち 4 号を軌道投入

2024-07-01 [sorae 編集部 速報班](#)

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は日本時間 2024 年 7 月 1 日に「H3」ロケット 3 号機の打ち上げを実施しました。搭載されていた先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」は正常に分離されたことが JAXA から発表されています。打ち上げに関する情報は以下の通りです。

■打ち上げ情報：H3 ロケット 3 号機

ロケット：H3 ロケット（H3-22S） 打ち上げ日時：日本時間 2024 年 7 月 1 日 12 時 6 分 42 秒【成功】

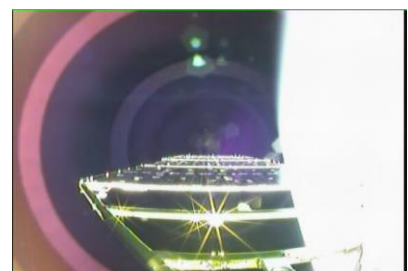
発射場：種子島宇宙センター大型ロケット発射場（日本） ペイロード：だいち 4 号（ALOS-4）

H3 は日本の新たな主力ロケットとして JAXA と三菱重工業が開発したロケットです。2023 年 3 月 7 日に実施された試験機 1 号機による初飛行では 2 段目エンジンに点火できず打ち上げに失敗。対策を行った試験機 2 号機による 2024 年 2 月 17 日の打ち上げは成功し、ロケット性能確認用ペイロード（VEP-4）による分離確認試験と小型副衛星 2 機の放出が実施されました。今回の H3 ロケット 3 号機は機体形態に H3-22S（※）を採用し、ペイロードとして先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」が搭載されました。「だいち 4 号」は 2014 年 5 月に打ち上げられた陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号（ALOS-2）」の後継機として開発された JAXA の地球観測衛星で、「だいち 2 号」から能力が向上した L バンド合成開口レーダー（SAR）「PALSAR-3」、船舶自動識別装置（AIS）の信号を受信して船舶情報を取得する船舶自動識別信号受信器「SPAISE3」、静止軌道上の衛星と光衛星間通信を行うための低軌道衛星用光ターミナル「OLLCT」が搭載されています。「だいち 4 号」はもともと H3 ロケット試験機 2 号機に搭載される予定でしたが、前述の通り試験機 2 号機には VEP-4 が搭載されることになったため、打ち上げが先送りされていました。

※...第 1 段エンジンを 2 基搭載、固体燃料ロケットブースター「SRB-3」を 2 基装着、ペイロードを保護するフェアリングはショート形態。

日本時間 2024 年 7 月 1 日 12 時 6 分 42 秒に種子島宇宙センターを飛び立った H3 ロケット 3 号機は、発射 1 分 56 秒後に SRB-3 を分離（※発射からの経過時間は JAXA 発表の速報値、以下同様）してからは、ペイロードを極軌道へ投入するために飛行経路を南の方向へ大きく変更していきます（ドッグレッグ）。発射 5 分 0 秒後には 1 段目エンジンが燃焼を停止し、その 8 秒後に 1 段目と 2 段目が分離。2 段目エンジンは発射 5 分 21 秒後から 16 分 13 秒後にかけて第 1 回燃焼を行い、発射 16 分 34 秒後に「だいち 4 号」を分離して軌道へ投入することに成功しました。なお、軌道投入後の「だいち 4 号」はオーストラリアやチリにある JAXA 追跡ネットワークの海外拠点で信号の受信に成功しており、太陽電池パドルの展開と衛星の太陽捕捉制御が正常に行われたことを確認したということです。

■打ち上げ関連画像・映像



【▲ 2024 年 7 月 1 日に種子島宇宙センター大型ロケット発射場から打ち上げられた H3 ロケット 3 号機。JAXA

のライブ配信から（Credit: JAXA）】

【▲ 先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」のモニタカメラで撮影された展開後の太陽電池パドル 1（+Y 面）（Credit: JAXA）】

【▲ 先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」のモニタカメラで撮影された展開後の太陽電池パドル 2（-Y 面）（Credit: JAXA）】

■打ち上げ関連リンク

[直近のロケット打ち上げ情報リスト](#)

Source [JAXA](#) – H3 ロケット 3 号機による先進レーダ衛星「だいち 4 号」（ALOS-4）の 打上げ結果

[JAXA](#) – 先進レーダ衛星「だいち 4 号」（ALOS-4）の衛星状態 文／sorae 編集部 速報班 編集／sorae 編集部

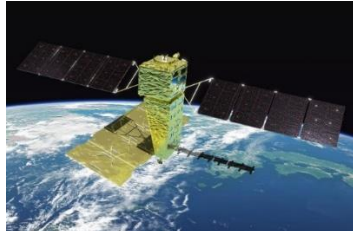
<https://sorae.info/space/20240703-alos-4.html>

JAXA の先進レーダ衛星「だいち 4 号」アンテナ展開等を完了しクリティカル運用

期間終了

2024-07-03 [sorae 編集部](#)

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は 2024 年 7 月 3 日、「H3」ロケット 3 号機で打ち上げられた先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」の太陽電池パドルとアンテナの展開などが完了し、打ち上げ後の初期段階であるクリティカル運用期間（衛星を運用する上で必須の状態に移行するまでの期間）を終了すると発表しました。【最終更新：2024 年 7 月 3 日 10 時台】



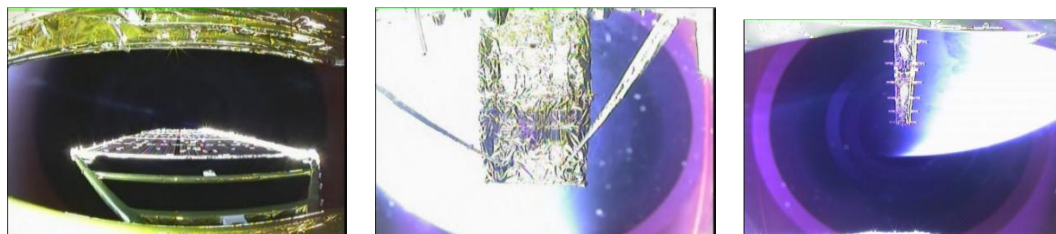
【▲ H3 ロケット 3 号機のフェアリングに収缶する作業中の先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」。2024 年 6 月 20 日撮影（Credit: JAXA）】

【▲ 観測を行う先進レーダ衛星「だいち 4 号（ALOS-4）」の CG イメージ。機体下部（地球側）の左側に展開されているのが L バンド合成開口レーダー（SAR）「PALSAR-3」、右側に展開されているのが船舶自動識別信号受信器「SPAISE3」のアンテナ（Credit: JAXA）】

【▲ 「だいち 4 号」を搭載して 2024 年 7 月 1 日に種子島宇宙センターから打ち上げられた「H3」ロケット 3 号機（Credit: JAXA）】

「だいち 4 号」は 2014 年 5 月に打ち上げられた陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号（ALOS-2）」の後継機として開発された JAXA の地球観測衛星で、「だいち 2 号」から能力が向上した L バンド合成開口レーダー（SAR）「PALSAR-3」、船舶自動識別装置（AIS）の信号を受信して船舶情報を取得する船舶自動識別信号受信器「SPAISE3」、静止軌道上の衛星と光衛星間通信を行うための低軌道衛星用光ターミナル「OLLCT」が搭載されています。2024 年 7 月 1 日 12 時 6 分（日本時間・以下同様）に種子島宇宙センターから「H3」ロケット 3 号機で打ち上げられた「だいち 4 号」は、軌道へ投入されて間もなく JAXA 追跡ネットワークの海外拠点で信号の受信に成功し、同日 12 時 59 分には太陽電池パドルの展開と衛星の太陽捕捉制御が正常に行われたことが確認されていました。JAXA によると、翌日の 2024 年 7 月 2 日 2 時 4 分には PALSAR-3 のアンテナを衛星本体から解放するパッケージ展開が正常に行われたこと、同日 12 時 22 分と 22 時 7 分には分割して折りたたまれていた PALSAR-3 のアンテナの第一翼および第二翼の展開が正常に行われたことが、それぞれ確認されました。また、7 月 3 日 2 時 7 分には SPAISE3 のアンテナが正常に展開されたことも確認され、一連のアンテナ展開作業は完

了。「だいち 4 号」を軌道上で安定して維持できる状態であることが確認されたことから、クリティカル運用期間を終了することとなりました。



【▲ 先進レーダ衛星「だいち 4 号 (ALOS-4)」のモニタカメラで撮影された展開後の太陽電池パドル 1 (+Y 面)。2024 年 7 月 1 日公開 (Credit: JAXA)】

【▲ 先進レーダ衛星「だいち 4 号 (ALOS-4)」のモニタカメラで撮影されたパッケージ展開完了後の L バンド合成開口レーダー「PALSAR-3」のアンテナ。この時点ではまだ第一翼と第二翼は展開されていない。2024 年 7 月 2 日公開 (Credit: JAXA)】

【▲ 先進レーダ衛星「だいち 4 号 (ALOS-4)」のモニタカメラで撮影された展開完了後の船舶自動識別信号受信器「SPAISE3」のアンテナ。2024 年 7 月 3 日公開 (Credit: JAXA)】

今後の「だいち 4 号」は初期機能確認運用期間に移行し、3 か月ほどの間に衛星全体や搭載機器の機能確認を実施する予定だということです。

関連記事 ・ [JAXA、H3 ロケット 3 号機打ち上げ成功 だいち 4 号を軌道投入](#) (2024 年 7 月 1 日)

・ [三菱電機、先進レーダ衛星「だいち 4 号」を公開 2024 年度打ち上げ予定](#) (2024 年 3 月 12 日)

Source [JAXA](#) – 先進レーダ衛星「だいち 4 号」(ALOS-4) クリティカル運用期間の終了

[JAXA 第一宇宙技術部門](#) – サテライトナビゲーター

文・編集/sorae 編集部

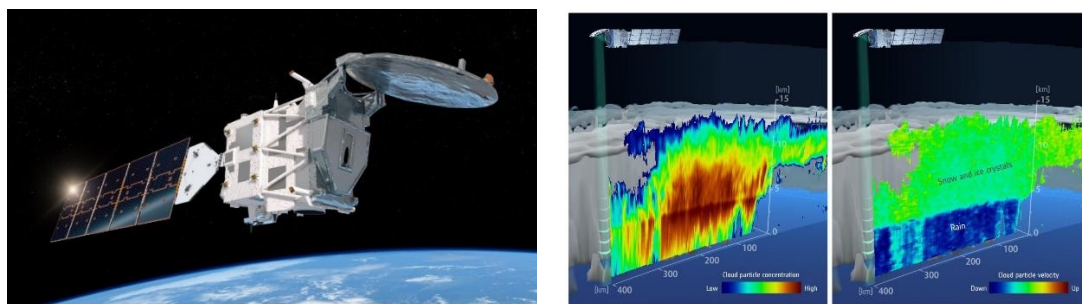
<https://sorae.info/space/20240701-earthcare-cpr.html>

日欧共同の地球観測衛星「EarthCARE」雲プロファイリングレーダーの初観測画像

が公開

2024-07-01 [sorae 編集部](#)

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と欧州宇宙機関 (ESA) は 2024 年 6 月 27 日付で、1 か月ほど前に打ち上げられた雲エアロゾル放射ミッションの地球観測衛星「EarthCARE」に搭載されている「雲プロファイリングレーダー (CPR)」の初観測で取得した画像を公開しました。【最終更新：2024 年 6 月 28 日 10 時台】



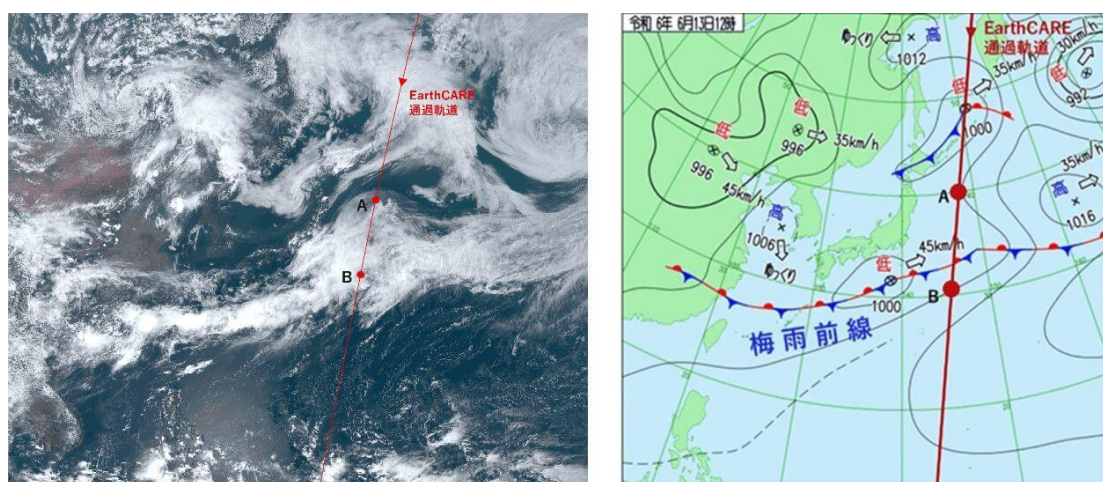
【▲ 地球観測衛星「EarthCARE (はくりゅう)」の想像図 (Credit: ESA/ATG medialab)】

【▲ 地球観測衛星「EarthCARE」の雲プロファイリングレーダー (CPR) を使って取得されたレーダー反射強度 (左) とドップラー速度 (右) のデータを 3 次元的に表現した図。日本時間 2024 年 6 月 13 日 13 時 36 分頃に日本の東海上にあった梅雨前線上の雲を捉えたもの (Credit: JAXA/NICT/ESA)】

日本時間 2024 年 5 月 29 日に打ち上げられた EarthCARE は、ESA と JAXA が共同で開発し、運用する地球観測衛星です。日本での愛称は「はくりゅう (白龍)」です (※外観が白く、展開された太陽電池パドルが長い尾を

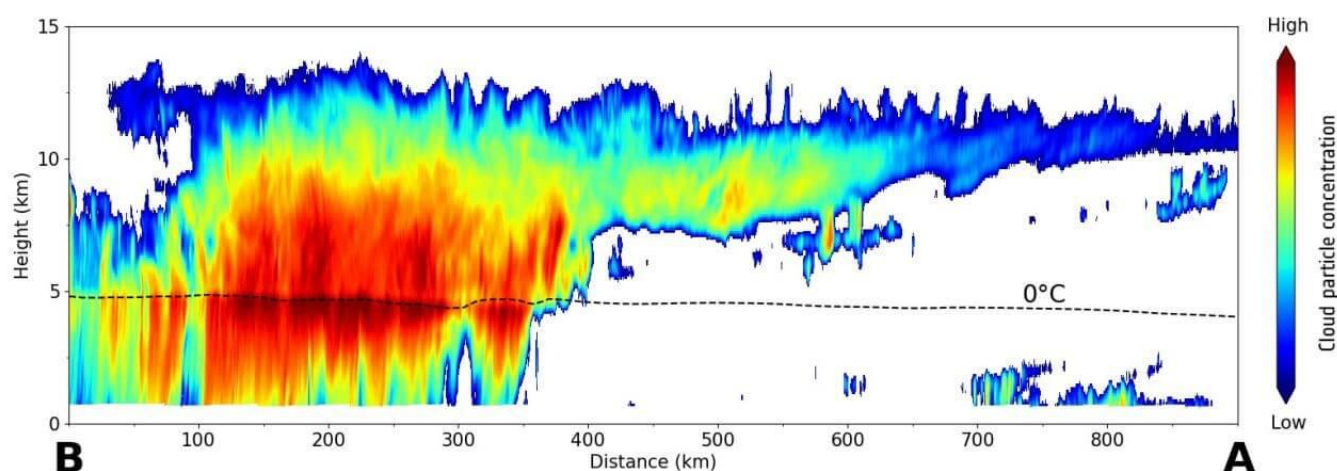
連想させることから)。ミッションの目的は、気候変動予測の精度向上に貢献するための雲とエアロゾルの全地球的な観測を行うこと。観測機器は4つ搭載されており、そのうちの1つであるCPRはJAXAと情報通信研究機構（NICT）が共同で開発し、日本電気（NEC）が設計・製造を担当しました。

こちらが今回公開された画像の1つです。日本時間2024年6月13日13時36分頃に日本の東海上にあった梅雨前線上の雲をCPRで捉えたもので、左は雲粒の垂直方向の濃度を示すレーダーの反射強度、右は雲粒の上下の動きを示すドップラー速度をそれぞれ示しており、気象衛星「ひまわり9号」の観測データを利用して3次元的に表現されています。JAXAによると、宇宙から雲の上下の動きを梅雨前線上の雲域で測定したのは世界初とされています。次に示すのは「ひまわり9号」で撮影された観測当日の雲画像および実況天気図、それにCPRの観測で得られたレーダー反射強度とドップラー速度のデータを示した図です。雲画像と実況天気図に書き込まれた赤色の線はEarthCAREの通過軌道を示しており、CPRのデータは点Aから点Bの範囲を観測して得たものとなります。

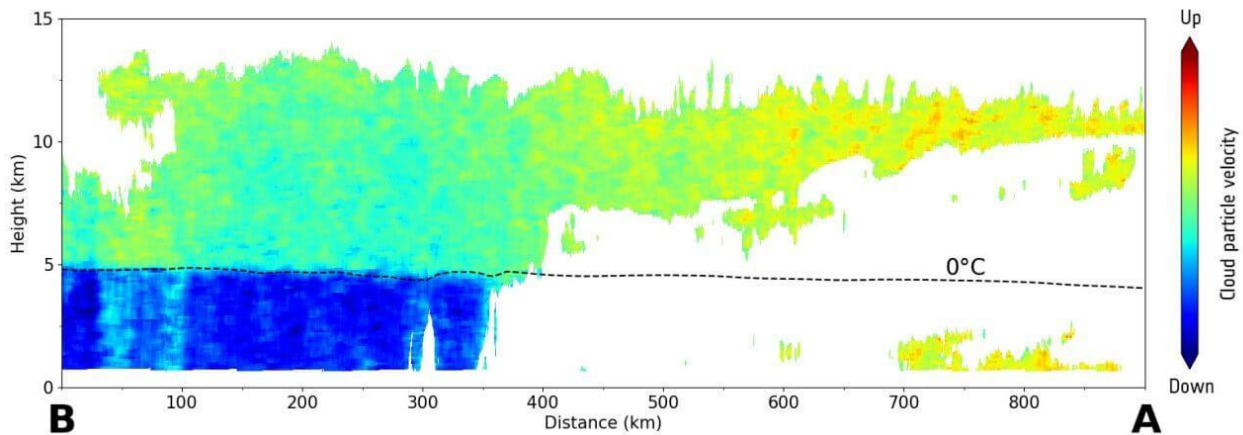


【▲ 地球観測衛星

「EarthCARE」の雲プロファイリングレーダー（CPR）が行われた日本時間2024年6月13日に気象衛星「ひまわり9号」で撮影された雲画像（左）と同日12時の実況天気図（右）。赤色の線はEarthCAREの通過軌道、点Aと点Bは観測範囲を示す（Credit:JAXA/気象庁）】



【▲ 地球観測衛星「EarthCARE」の雲プロファイリングレーダー（CPR）を使って取得されたレーダー反射強度の高さ分布を示した図。日本時間2024年6月13日13時36分頃に日本の東海上にあった梅雨前線上の雲を捉えたもの（Credit:JAXA/NICT/ESA）】



【▲ 地球観測衛星「EarthCARE」の雲プロファイリングレーダー（CPR）を使って取得されたドップラー速度の高さ分布を示した図。日本時間 2024 年 6 月 13 日 13 時 36 分頃に日本の東海上にあった梅雨前線上の雲を捉えたもの（Credit:JAXA/NICT/ESA）】

CPR が観測した範囲の南側（図の左側）約 300km では発達した雲構造が上空約 13km に達しており、そこから上層雲が北側（図の右側）へ向かって広がっている様子が捉えられています。また、ドップラー速度のデータを見ると、高度約 5km を境に上の高さでは上下の動きがほとんどみられない（緑色）一方で、下の高さではドップラー速度が下向きに高くなっている（青色）こともわかります。気象庁の予報モデルで算出された気温 0°C の高さが約 5km であることから、下向きに高いドップラー速度の特徴は雨滴の落下速度を示していると考えられています。なお、発表の時点で CPR は初期機能の確認中であり、観測値が校正されていないことから、観測値の指標には数値が入れていません。今後、JAXA は CPR の観測データを用いた研究を大学や研究機関と共同で進めることで、雲が気候変動に影響する仕組みを解明し、気象予測や気候予測の精度向上に貢献することを目指すということです。Source [JAXA](#) – 雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」衛星（はくりゅう）搭載 雲プロファイリングレーダ（CPR）の初観測画像を公開 [ESA](#) – A first: EarthCARE reveals inner secrets of clouds
文・編集／soraie 編集部

<https://uchubiz.com/article/new49597/>

有人月探査「アルテミス 3」着陸機、1 年半遅れる可能性–NASA 内部分析

2024.07.05 08:00 [塚本直樹](#)

有人月探査ミッション「[Artemis III](#)」（アルテミス 3 号）の着陸機（ランダー）の打ち上げが少なくとも 1 年半遅れる可能性がある、米航空宇宙局（NASA）が独自に分析している。海外メディアの SpaceNews が[報じている](#)。Artemis III では米国人宇宙飛行士を月面に再び立たせることを目標としており、月面への着陸船には Space Exploration Technologies（[SpaceX](#)）の「[Starship](#)」をベースとした“有人着陸システム（Human Landing System : [HLS](#)）”が利用される。打ち上げ時期は 2026 年 9 月に延期されることが、[今年 1 月に発表された](#)。

2023 年 12 月に行われた確認レビューでは、このプロジェクトが 2028 年 2 月までに実施されない可能性が 30%あると評価された。一方で、NASA は Artemis III が 2026 年 9 月に予定通り打ち上げられると改めて強調している。NASA で探査システム開発ミッション本部（ESDMD）の上級幹部である Cathy Koerner 氏は、HLS の最初の飛行や月面に降りるためのエレベーターなどの進捗を評価した。一方で、次の大きなマイルストーンは宇宙での極低温推進剤転送テストとなり、2025 年初頭に計画されていると述べた。



Artemis III での月着陸イメージ（出典：SpaceX）

関連情報 [米政府監査院（GAO）報告](#) [SpaceNews](#)

<https://uchubiz.com/article/new49489/>

数カ月で 100 機が大気圏に-米宇宙軍、「スターリンク」衛星の落下状況を公開

2024.07.03 08:00 [塚本直樹](#)

RESPONSIBLE REENTRIES

U.S. SPACE FORCES - SPACE (S4S) is working with SpaceX to safely track the orbit lowering and reentry of more than 100 early-version Starlink satellites over a six-month period.

1 RESPONSIBLE BEHAVIOR IN SPACE

This proactive approach to space debris mitigation aligns with the DoD Tenets of Responsible Behavior in Space, promoting overall space sustainability.

SpaceX lowers the Starlink satellites' orbit until they decay upon reentry into the atmosphere.

2 SDA CAPABILITY

S4S remains responsible for conjunction assessment (predicting on-orbit close approaches) and spacecraft reentry processing throughout this operation.

This collaboration showcases S4S's commitment to SDA for conflict readiness, highlighting S4S's ability to manage a significant increase in spacecraft reentries. This also contributes to advancing warfighting capacity by improving S4S's SDA capabilities.

3 COMMERCIAL PARTNERSHIP AND INTEGRATION

DoD collaboration with commercial mission partners is an important part of space sustainability. The successful SpaceX Starlink deorbiting collaboration serves as a positive example of responsible behavior demonstrating the value of commercial-military teamwork in space sustainability. This paves the way for future collaborative efforts with allies and partners to achieve a strategic advantage through strong relationships.

MISSILE WARNING CAPABILITY

The meticulous tracking of satellite reentries by S4S demonstrates its critical missile warning capability. This proactive approach enables early characterization for the SSN to detect, validate, and track targets to distinguish them from missile attacks & threats.

S4S notifies USSPACECOM, governmental agencies, and international entities to ensure the safety of the domain.

Starlink constellation

Starlink launch

Orbit lowering until atmospheric decay

Radar tracking reentry event

Radar tracking missile threats

Follow us at @S4S_SDA on X for updates

アメリカ宇宙コマンド（United States Space Command : USSPACECOM）は米国時間 6 月 28 日、Space Exploration Technologies（[SpaceX](#)）のブロードバンドサービス「[Starlink](#)」を構成する衛星が大気圏に再突入する情報を提供していることを明かした。海外メディアの SpaceNews が[報じている](#)。

Starlink は、地球低軌道を周回する多数の衛星で構成され、高速かつ低遅延なインターネットを利用できる。すでに軌道上には約 6000 機の衛星が存在する。SpaceX は 2 月、初期バージョンの約 100 機の Starlink 衛星を[軌道から離脱させると発表した](#)。これは将来の故障リスクを避けるための判断で、数カ月かけて制御下で衛星を大気圏内に降下させる。

米宇宙軍（United States Space Forces-Space : S4S）は「[Space-Track](#)」で Starlink 衛星の落下情報を追跡し、公開する。USSPACECOM の傘下である S4S は SpaceX と協力し、「Starlink 衛星の軌道降下と再突入を安全に

追跡」していると述べている。Starlink 衛星は大気圏再突入で燃え尽きるように設計されているという（出典：USSPACECOM） 関連情報 [SpaceNews](#) [Space-Track](#)

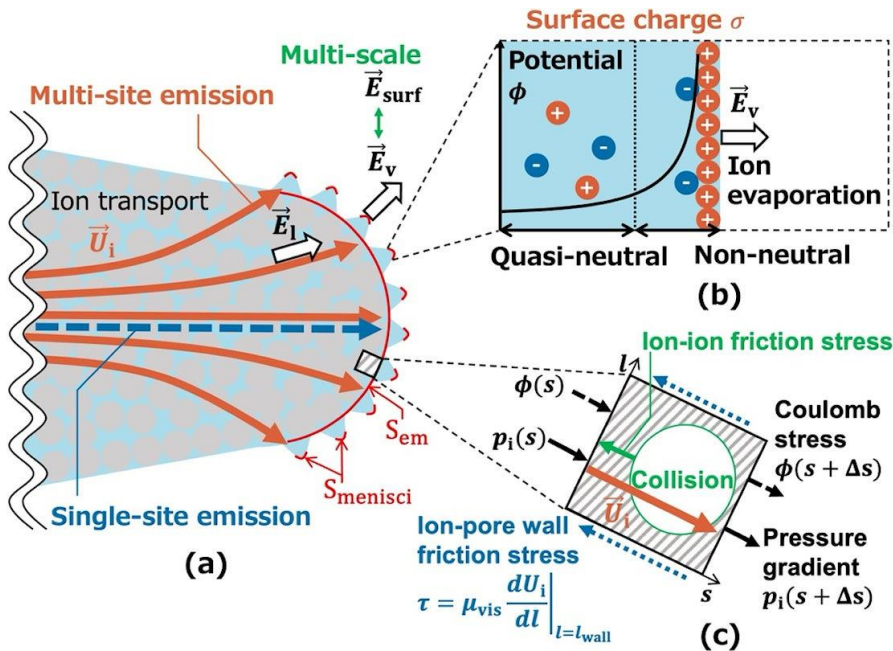
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20240701-2977020/>

JAXA など、超小型衛星用宇宙推進システムの理論モデルの構築に成功

掲載日 2024/07/01 16:18 著者：波留久泉

横浜国立大学(横国大)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)の両者は 6 月 28 日、真空中でイオン液体を含浸した「多孔質エミッタ」からイオンを放出し宇宙推進機として推力を発生させる物理メカニズムに関して、マルチスケールな解析を不要とする簡易な理論モデルを構築し、放出イオン電流の実験結果を精度良く説明することに成功したと共同で発表した。同成果は、横国大の高木公貴大学院生(JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)所属/科学技術振興機構(JST) 創発プロジェクト・リサーチ・アシスタント)、JAXA 宇宙飛翔工学研究系の月崎竜童准教授、同・西山和孝教授、東京大学の山下裕介博士(現・米 スタンフォード大学)、同・鷹尾祥典准教授(JST 創発研究者)らの共同研究チームによるもの。詳細は、[米国物理学協会が刊行する応用物理学に関する全般を扱う学術誌「Journal of Applied Physics」に掲載された。](#)

これまで人工衛星といえば、現在の区分でいう大型衛星が一般的で、トン単位の質量も普通だ(たとえば 7 月 1 日に軌道投入に成功した「だいち 4 号」は約 3 トン)。しかし近年はそうした大型衛星だけでなく、100kg 以下の超小型衛星が注目されている(中には、質量 1kg 台の超軽量衛星もある)。そうした超小型衛星の代表としては、10cm×10cm×10cm の立方体を最小ユニット(「1U サイズ」と呼ばれる)として規格化した「キューブサット」があり、1 つの大学や民間企業でもそれほど予算や期間をかけずに開発できることもあって、その打ち上げ数は大きく増加中だ。超小型衛星は、一度の打ち上げで多数を同時に軌道に投入しやすかったり、大型衛星の打上げの際の空いたスペースを利用する相乗りを利用できたり、国際宇宙ステーションに一度運んでそこから軌道に投入する方法なども取れたりすることから、大型衛星とは異なり「コンステレーション」(全地球規模で多数の衛星を配置すること)も構築しやすく、それによる通信インフラの整備が急速に進められるなど、新たな産業基盤として構築されつつある。しかし超小型衛星のその軽量コンパクトさは、メリットであると同時に、デメリットでもある。そのサイズに適した宇宙推進器が存在しないのだ。従来用いられてきた化学推進機は高圧ガスの制約が大きく、イオンエンジンなどの電気推進機は電力が不足してしまうなど、良い推進機の実現が現状ほとんどない。そこで研究チームは今回、超小型衛星でも自由に宇宙空間を動力航行できることを目的とした新技術の確立を目指したという。今回の研究では、高圧ガスを用いることなくイオン液体を貯蔵し、プラズマを生成することなく、推進剤となるイオン液体から直接イオンを放出して推力を発生させることで、大幅な効率改善を図る技術の確立が目標とされた。イオン液体を浸透させた多孔質エミッタの表面に高電界を加えると、イオンを効率よく放出させることが可能だ。そのため、世界中で宇宙推進機としての利用を目指した研究開発が進められているが、多孔質表面に存在するイオン液体界面からイオンが引き出される物理現象はマルチスケールにわたって複雑なため、どれだけのイオンが放出されるのかを予測するには時間を要する数値シミュレーションが必要であることが課題だったという。今回は、まず約 1mm の微小な突起形状を持つ多孔質エミッタの形状を正確に計測し、その形状から数値計算で表面電界が算出された。一方、真空装置内でイオン液体を含浸させたエミッタ表面に高電界を与えることで、放出されるイオンを電流値として直接計測がなされた。これらの電界と電流密度の関係を理論モデルで定式化し、マイクロスケールとナノスケールの異なる多孔質を用いて多孔質抵抗を変化させることで、イオンの輸送の違いがイオン放出に与える影響を調べることができたとする。



理論モデルの概要。多孔質エミッタの内部から表面に至るまでの流れがイオン放出を決定していることを表している。(出典は掲載論文より:licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International (CC BY-NC-ND) license.)(出所:ISAS Web サイト)

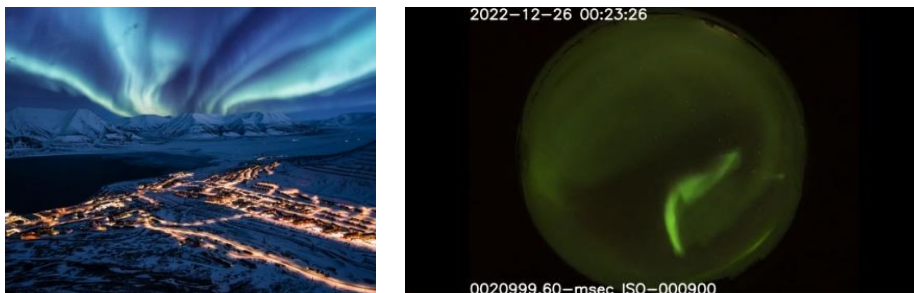
そして、エミッタ内部のイオンの流れがイオン放出を決定していることを示唆する先行研究から着想を得て、多孔質構造によって抑制されるイオンの輸送をオーム則に基づく簡易なモデルで表し、しきい値電界を超える領域からイオンが放出されるとする定式化が行われた。その結果、複雑な表面の状態を考慮しない簡易なモデル化にも関わらず、モデルから予測される電流値は実験値と非常に良い一致を示すことに成功したとのことだ。

研究チームによると、今回構築された理論モデルを用いることで、計算コストを劇的に抑え、スラスタの形状設計に対する放出イオンを予測することが可能になるという。さらに、今後の推進機開発に今回の理論モデルを活用することで、高性能化へ向けた設計の効率化が期待されるとした。また今回のスラスタが実用化されれば、超小型衛星を使ったコンステレーションや深宇宙探査、フォーメーションフライト(編隊飛行)の実現が期待されるとしている。

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/24/070200358/>

北極で「電子の雨」による珍しいオーロラを観測、地上からは初

太陽風がやんだ 28 時間に現れた「ポーラーレインオーロラ」、「20 年に一度」と研究者 2024.07.03



2022 年 12 月 25 日と 26 日、研究者たちはノルウェーのロングイェールビーン (写真) で珍しい「電子の雨 (ポーラーレイン)」によるオーロラを観測した。一般的なオーロラとは異なるメカニズムで形成され、観測は極めて困難だ。(PHOTOGRAPH BY FREDRIK MELING, 500PX/GETTY IMAGES) [画像のクリックで拡大表示]

【動画】北極上空に出現した電子の雨によるオーロラのタイムラプス動画。ノルウェー、ロングイェールビーン

に設置された全天型カメラの撮影画像から作成。(電気通信大学津田卓雄准教授提供)

あるクリスマスの明け方近く、ノルウェーの北極圏にあるスバルバル諸島で、魚眼レンズが鮮やかな緑色の夜空を捉えた。ヘビのように細い構造が星座の下で織りなすような荘厳なオーロラとは異なり、ほぼ均一な緑色の毛布のように空一面に広がっていた。「このオーロラは非常に滑らかな形をしており、緑がかったものがただ広がっているような構造でした。まるで大きな緑色のケーキのようでした」と宇宙物理学者である電気通信大学大学院の細川敬祐(ほそかわ けいすけ)教授は言う。細川氏は、このオーロラが「電子の雨(ポーラーレイン)」による珍しい現象だと2024年6月21日付けで学術誌「Science Advances」に[発表](#)した。

奇妙なオーロラが北極の空を覆ったのは2022年12月25日と26日だった。細川氏はそれまでにこのようなオーロラを見たことがなかったという。

北極に降り注ぐ電子の雨

オーロラは、太陽から放出された電子が地球の磁場に捉えられて加速されることで生じる。電子は太陽の大気の最も外側の層であるコロナから、太陽風と呼ばれるプラズマの形で放出される。

太陽風には様々な高エネルギー粒子が含まれているため、通常、太陽風の電子は地球に到達する時点では目に見えるオーロラを発生させるほど十分なエネルギーを持っていない。しかし、いったん地球の磁場に捉えられると、加速されてエネルギーが高まった電子は大気中の原子や分子と相互作用し、オーロラを発生させる。(参考記事：[「オーロラが広く出現か、2024年は異例の当たり年に」](#))

こうしてできるオーロラは地球の極付近に現れるが、極冠(極に近い高緯度地域)の上に現れることはほとんどない。それに対して、ポーラーレインオーロラは、太陽風がほぼ「やんだ」まれな状況で、太陽表面から直接降り注ぐ電子によって引き起こされる。2022年に観測されたこの現象は、「一方の極冠が太陽コロナから直接降り注いだ電子で満たされているように見える興味深い反例です」と、カナダのカルガリー大学の物理学者で、今回の研究に関与していないデイビッド・クヌーセン氏は言う。「これは非常に珍しい出来事です」

[次ページ：遅れて届いたクリスマスプレゼントのようなオーロラ](#)

ポーラーレインオーロラはこれまで衛星データで観測されたことはあったが、地上カメラで観測されたことはなかった。細川氏は、休み明けにオーロラカメラをチェックするという毎週のルーティンを再開したとき偶然、2022年のこのオーロラを発見した。データのバックログを何気なく見直していた際、氏は遅れて届いたクリスマスプレゼントのようなオーロラを見つけたのだ。「あの奇妙なオーロラを見たとき、私は突然これが特別なものであると気づき、何かを必要があると思いました。そこで、同時に取得された衛星データを調べ始め、電子の雨を示す特徴を見つけたのです」と細川氏は言う。

太陽風のないまれな一日

このポーラーレインオーロラは、太陽からまっすぐ地球に向かってくる電子が直接発生させた結果であるだけでなく、28時間もの間、太陽風がほとんど吹かなかったまれな事例でもある。

太陽風はコロナから太陽系に絶え間なく流れ出ているため、太陽風がほとんど吹かないのは非常に珍しいことだ。細川氏は、宇宙からのみ観測された[2004年](#)のポーラーレインオーロラを引き合いに出し、「20年に一度」の経験だと言う。太陽風がほとんど吹かなかったおかげで、細川氏が観測したポーラーレインオーロラは非常に明るく、地上からも見やすかった。地上と宇宙からの二重観測は、ポーラーレインオーロラの詳細と大規模なパターンの両方を理解するために不可欠だ。ポーラーレインオーロラを引き起こす電子の雨は太陽から地球に直接届くため、発生源となった太陽表面の構造を映し出す影のようなものだ。細川氏らは、このデータを用いて、地球に到達した電子と、その電子が発生した場所の太陽大気との関係を理解することを目指している。

「今回の研究で本当に面白いのは、されるべき基礎的な発見がまだあることが示された点です」と、米ジョンス・ホプキンス大学応用物理学研究所の天体物理学者で、今回の論文の共著者であるラリー・パクストン氏は言う。(参考記事：[「未知の「紫のオーロラ」、はじめて報告される」](#))

「私たちは今、衛星と地上の観測からなるシステムにより、太陽と地球の新たなつながりを初めて見ることで

きるのです」

ギャラリー：世界のオーロラ 写真 9 点（写真クリックでギャラリーページへ）



カナダ、マニトバ州のチャイルズ湖上空に出現した新しいタイプの発光現象「STEVE」と天の川。
(PHOTOGRAPH BY KRISTA TRINDER) [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

文=Isabel Swafford／訳=杉元拓斗

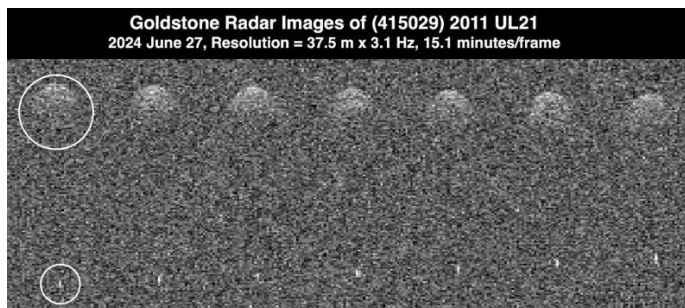
<https://forbesjapan.com/articles/detail/72198>

2024.07.05 11:00

地球に接近した 2 つの巨大小惑星、NASA が画像公開 1 つに衛星を発見



[Jamie Carter | Contributor](#)



地球に接近通過する小惑星を描いた想像図（ESA/P.Carril） [全ての画像を見る](#)

小惑星 2011 UL21 を捉えたレーダー連続画像。画像下部の白丸内の明るい点は小惑星を周回する小型衛星（NASA/JPL-Caltech）

近年、地球に接近通過した最大級の小惑星の 1 つを捉えた驚くべき最新画像が、米航空宇宙局（NASA）から公開された。この小惑星を回る軌道上には、1 個の衛星が存在することが今回判明したという。小惑星 [2011 UL21](#)（別名 415029）は協定世界時（UTC）6 月 27 日午後 8 時 16 分（日本時間 6 月 28 日午前 5 時 16 分）に、地球から約 660 万 km の距離まで最接近して通過した。これは月までの距離の約 17 倍に相当する。

2011 UL21 は、直径が約 1.5km で、接近前に予測されていたよりもやや小さかった。地球近傍天体（NEO）の探索を主な目的とする、NASA が出資する全天サーベイ観測プロジェクトのカタリナ・スカイサーベイで 2011 年に発見された。

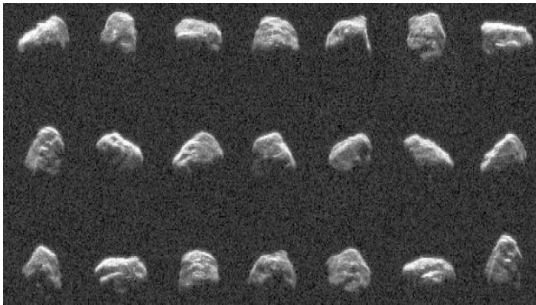
脅威とはならない

[NASA のジェット推進研究所（JPL）](#)によると、今後の軌道を計算した結果、予測可能な将来において地球への脅威とはならないことが明らかになっている。今回の驚くべき画像は、NASA の深宇宙ネットワーク（DSN）の拠点の 1 つ、カリフォルニア州バーストー近郊にあるゴールドストーン太陽系レーダー（GSSR）の口径 70m の電波望遠鏡によって得られたものだ。観測チームは、電波望遠鏡を用いて小惑星に向けて電波を発信し、反射された信号を受信することで、2011 UL21 が球状であることや、「小衛星」を伴っていることなどを明らかにした。

二重小惑星系

今回の観測に参加した JPL のプリンシパルサイエンティストのランス・ベナーは「このサイズの小惑星の約 3 分の 2 は二重小惑星系だと考えられている。今回の発見が特に重要である理由は、二重小惑星の相対位置の測定値を用いて、相互軌道、質量、密度などを推定できるからだ。これらの推定値は、小惑星がどのようにして形成された可能性があるかに関する重要な情報を提供する」と説明している。

JPL の地球近傍天体研究センターによると、2011 UL21 の接近通過は、過去 124 年間に地球から約 750 万 km 以内を通過した小惑星としてはトップ 10 に入る巨大小惑星の接近現象だったという。



小惑星 2024 MK を捉えた

レーダー連続画像。回転している小惑星の表面の詳細な状態を確認できる (NASA/JPL-Caltech)

2 番目の小惑星

NASA は同じ観測で、2011 UL21 の次に地球に接近通過したもう 1 つの小惑星 [2024 MK](#) の姿も捉えることに成功している。6 月 16 日に発見されたばかりの 2024 MK は、協定世界時 (UTC) 6 月 29 日午後 1 時 50 分 (日本時間 6 月 29 日午後 10 時 50 分) に、地球からわずか約 29 万 5000km の距離まで接近した。これは月までの距離 (約 38 万 km) の約 4 分の 3 でしかない。だが直径は約 150m で、はるかに小型だった。

2024 MK のレーダー画像では、直径約 10m の巨岩や凹地や尾根などが見られる小惑星表面の詳細な状態が明らかになった。

2024 MK ほどの大きさの地球近傍天体がこれほど地球の近くまで接近するのは、発生頻度としては数十年に一度程度だ。「今回は地球近傍小惑星の物理的特性を調査し、詳細な画像を取得するための絶好の機会だった」と、ベナーは述べている。 SEE ALSO

[サイエンス > 宇宙 2つの巨大小惑星が地球に「接近」中、1つは28日早朝に最接近](#)

([forbes.com 原文](#)) 翻訳＝河原稔

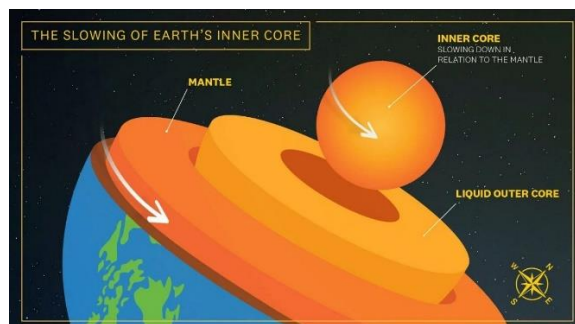
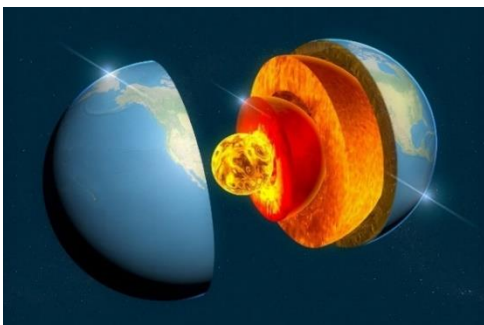
<https://forbesjapan.com/articles/detail/72106>

2024.07.02 18:00

地球の「内核の自転」2010 年頃から減速中 研究で明確な証拠



[Jamie Carter | Contributor](#)



地球の内部構造を描いたイラスト。中心から内核、外核、マントル、地殻の 4 層構造になっている (Getty Images) 地球の内核が 2010 年頃から減速し始め、地表よりも遅く自転している様子を描いた想像図 (USC Graphic/Edward Sotelo)

地球の中心にある内核の自転が、14 年前の 2010 年頃から減速しており、その結果として 1 日の長さがわずかに長くなっている可能性があるとの最新の研究結果が発表された。科学誌 Nature で 6 月に[発表](#)された今回の研究は、内核が地球の表面よりも速く自転しているとするこれまでの研究とは逆の結果となっている。

内核

地表から深さ約 5000km より下の最深部に位置する地球の内核は、固体の鉄とニッケルでできた球体だ。月と同じくらいの大きさがあり、液体の鉄とニッケルからなる外核に覆われている。外核は地球の磁場（地磁気）を発生させている。外核の上部に岩石質のマントルがあり、最後に地殻がある。

直接観察したり試料を採取したりが不可能なので、地球の内核は調査が困難なことで知られている。最も実行しやすい中心核の調査手法は、地震によって発生する地震波からのデータ収集だ。今回の場合、研究チームは地震と核実験から得られる地震波データを用いて、内核の運動を分析した。

説得力のある結論

米国の南カリフォルニア大学（USC）と中国科学院の共同研究チームは、地球の内核が地表と比較して減速していることを発見した。この内核の運動の変化は、2010 年頃に発生した。減速の原因は、液体の鉄からなる外核の攪乱と、マントルの一部から受ける重力の牽引作用だと、論文は示唆している。内核の自転速度が地球のマントルに比べて、わずかに「速い」から「遅い」へと約 40 年ぶりに変化していることが、今回の研究で明らかになっている。論文の共同執筆者で、USC ドーンサイフ芸術文学科学カレッジ地球科学部の教授で学部長を務めるジョン・ビデールは「内核は数十年ぶりに減速していた」と[述べている](#)。「他の科学者チームも最近、類似の様々なモデルを提唱しているが、今回の最新研究が最も説得力のある結論を提供している」

ノイズに埋没

内核の動きが遅くなるほど、地球の自転速度に対する抵抗要素がより大きくなるという単純な理由から、内核の減速が 1 日の長さに影響を及ぼすことが予想される。1 回の自転が 24 時間で 1 日を表すため、内核の減速は地球が 1 回転するのにより時間がかかることを意味する。だが、予想される変化は、1 秒の何分の 1 にも満たないわずかな時間だ。「1000 分の 1 秒のオーダーであり、海洋や大気の影響によるノイズに埋没しそうなほどで、気づくのが非常に困難だ」とビデールは説明している。

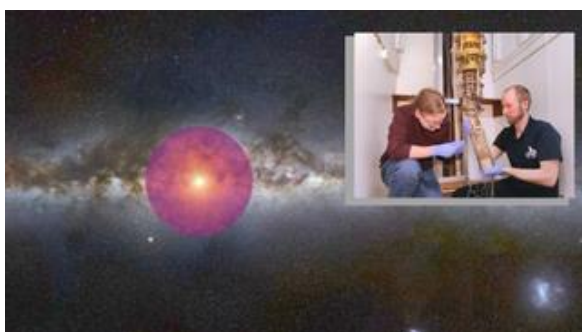
地震波データ

今回の研究では、南大西洋に浮かぶ無人の火山列島であるサウスサンドイッチ諸島付近で 1991 年～2023 年の期間に発生した 121 回の地震の地震波データを使用した。さらに、1971 年から 1974 年にかけて米国、フランス、旧ソ連が実施した核実験のデータも使用した。ビデールは「この変化を示唆する震動記録を初めて見た時は困惑した」と話している。「だが、同じパターンを示している観測データがさらに 20 数件見つかったことによって、この結果は無視できないものとなった」（[forbes.com 原文](#)） 翻訳＝河原稔

<https://www.space.com/dark-matter-experiments-axions-quest-dmc-qshs>

科学者は暗黒物質の容疑者を捕まえるために 2 つの新しい量子手法を活用

[ロバート・リー](#) 著 出版された 10 時間前



(メイン) 天の川銀河の中心にある暗黒物質の図 (挿入図) この捉えどころのない物質を探すために設計された超低温量子実験。(画像提供: Mattia Di Mauro (ESO/Fermi-Lat)/ランカスター大学)

「私たちは超低温での量子技術を使用して、これまでで最も感度の高い検出器を構築しています。」

暗黒物質の探索は、これからさらに極限まで進むことになる。科学者たちは、現在科学最大の謎の一つとなっている、宇宙で最も捉えにくく神秘的な物質を探索するために、極低温量子技術を開発している。

[宇宙に存在する暗黒物質](#)の量は、通常の物質の約 6 倍にも達するにもかかわらず、科学者たちはそれが何なのかわかっていません。その理由の少なくとも一部は、人類が考案した実験で暗黒物質を検出できなかったためです。この難問に取り組むため、英国各地の複数の大学の科学者がチームを結成し、これまでに考えられた中で最も感度の高い[暗黒物質検出器](#) 2 台を製作しました。各実験では、暗黒物質を構成する可能性のある異なる仮想粒子を探します。これらの粒子には共通する性質もありますが、根本的に異なる特性もあるため、異なる検出技術が必要になります。両方の実験で使用された装置は非常に敏感であるため、部品を[絶対零度](#)より 1000 分の 1 度高い温度まで冷却する必要があります。絶対零度は、すべての原子運動が停止する理論上の到達不可能な温度です。この冷却は、外界からの干渉、つまり「ノイズ」によって測定値が乱れるのを防ぐために必要です。

関連: [「不滅の星」は天の川銀河の中心にある暗黒物質を貪り食う可能性がある](#)

「我々は極低温での量子技術を利用して、これまでで最も感度の高い検出器を製作している」と、ランカスター大学のチームメンバー、サムリ・アウティ氏は[声明で述べた](#)。「この謎の物質を研究室で直接観察し、科学最大の謎の一つを解くことが目標だ」

暗黒物質が科学者を冷遇してきた理由

[暗黒物質は、宇宙](#)の約 80% から 85% を占めているにもかかわらず、私たちには事実上見えないため、科学者にとって大きな問題となっています。これは、暗黒物質が光や「日常的な」物質と相互作用しないためです。また、相互作用するとしても、その相互作用はまれであるか、非常に弱いものです。あるいはその両方かもしれません。私たちにはわかりません。しかし、これらの特性のため、科学者は暗黒物質が[電子](#)、[陽子](#)、[中性子](#)で構成されているはずがないことを知っています。これらはすべて、星、惑星、月、私たちの体、アイスクリーム、隣の家の猫など、私たちが目にする日常の物質を構成する重粒子ファミリーの一部です。実際、暗黒物質が存在すると考えられる唯一の理由は、この謎の物質に質量があるためです。そのため、暗黒物質は重力と相互作用します。暗黒物質は、その相互作用を通じて通常の物質と光のダイナミクスに影響を与えることができ、その存在を推測することができます。天文学者の[ヴェラ・ルビン](#)は、科学者フリッツ・ツビッキーが以前に理論化していた暗黒物質の存在を発見した。それは、いくつかの銀河が非常に高速で回転しており、もしそれらの重力の影響が目に見えるバリオン物質だけから来るとしたら、銀河はばらばらになってしまうことを彼女が観察したからだ。しかし、科学者が本当に望んでいるのは、推測ではなく、むしろ暗黒物質粒子の確実な検出である。

超冷却暗黒物質検出量子実験は、それを 1000 分の 1 度まで冷却する冷蔵庫で準備される。(画像提供: <https://www.lancaster.ac.uk/physics/outreach/royal-society-summer-science-exhibition/>)

現在、暗黒物質の第一候補として挙げられている仮説上の粒子の 1 つは、非常に軽い「アクシオン」です。[科学者](#)たちはまた、暗黒物質は、相互作用が非常に弱いためまだ観測されていない、より質量の大きい (まだ不明の) 新しい粒子で構成されている可能性があるという理論づけています。

アクシオンもこれらの未知の粒子も物質と極めて弱い相互作用を示すため、理論的には十分に感度の高い装置で検出できる。しかし、主な容疑者が 2 人いるということは、調査も実験も 2 回必要になるということだ。現在の暗黒物質の探索は、通常、水素原子の質量の 5 倍から 1,000 倍の質量の粒子に焦点が当てられているため、これが必要になる。つまり、暗黒物質の粒子がこれより軽い場合、見逃される可能性があるということだ。

暗黒物質と宇宙論のための量子強化超流体技術 (QUEST-DMC) 実験は、水素原子の 1% から数倍の質量を持つ、弱く相互作用する未知の新粒子の形で暗黒物質粒子と衝突する通常の物質を検出するために考案されました。



暗黒物質が存在する主な証拠の一つである衝突銀河団である弾丸銀河団の合成画像(画像クレジット: X 線: NASA/ CXO/ CfA/ M.Markevitch、光学およびレンズ マップ: NASA/STScI、Magellan/ U.Arizona/ D.Clowe、レンズ マップ: ESO/WFI)

QUEST -DMC は、2 つの陽子と 1 つの中性子の核を持つヘリウム の軽くて安定した同位体である超流体ヘリウム 3 を冷却してマクロな量子状態にし、極微弱な相互作用を検出する記録破りの感度を実現します。

しかし、QUEST-DMC は、水素原子の数十億倍の質量を持つと理論上考えられている極端に軽いアクシオンを発見することはできない。これは、そのようなアクシオンが通常の物質粒子との相互作用によって検出できないことも意味する。しかし、質量の不足をアクシオンが数で補うと考えられており、この仮想粒子は非常に豊富に存在すると示唆されている。つまり、これらの暗黒物質の容疑者を探すには、別の特徴、つまり磁場内でアクシオンが崩壊することによって生じる微小な電気信号を使用する方がよいということだ。

そのような信号が存在する場合、それを検出するには、量子物理学の法則で許容される最大レベルの感度まで検出器を拡張する必要があります。研究チームは、隠れたセクターのための量子センサー (QSHS) 量子増幅器がまさにそれを実現する能力を持つことを期待しています。

関連記事 —宇宙の網からぶら下がっている暗黒物質が初めて検出された

—奇妙な「アインシュタインリング」は、謎の暗黒物質が相互作用していることを示唆している

—ビッグバンから残った小さなブラックホールが暗黒物質の主な容疑者かもしれない

英国にいる場合、ランカスター大学のサマーサイエンス博覧会で、QSHS と QUEST-DMC の両方の実験を一般公開することができます。また、目に見えない角運動量によって奇妙に動く箱入りのジャイロ스코ープを使用して、科学者が銀河内の暗黒物質の存在を推測する方法も見ることができます。

さらに、展示では、量子技術に必要な超低温を実証するライトアップ式希釈冷凍機を展示する一方、暗黒物質粒子衝突検出器のモデルでは、暗黒物質が日常の物質と同じように物質や光と相互作用した場合に宇宙がどのように振る舞うかを示しています。QSHS および QUEST-DMC 実験の詳細を記したチームの論文は、ジャーナル 「The European Physical Journal C」 および論文リポジトリ サイト arXiv に掲載されました。

ロバート・リー シニアライター

Robert Lea は英国の科学ジャーナリストで、Physics World、New Scientist、Astronomy Magazine、All About Space、Newsweek、ZME Science に記事を掲載しています。また、Elsevier や European Journal of Physics で科学コミュニケーションに関する記事も執筆しています。Rob は英国の Open University で物理学と天文学の理学士号を取得しています。Twitter で @sciencefirst をフォローしてください。

<https://sorae.info/astronomy/20240702-ngc4951.html>

ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した“おとめ座”の渦巻銀河「NGC 4951」

2024-07-02 sorae 編集部

こちらは「おとめ座（乙女座）」の方向約 4900 万光年先の渦巻銀河「NGC 4951」です。地球からは斜めの角度で見下ろすような位置関係にあり、明るい中心部分を取り囲む雲のような渦巻腕（渦状腕）、腕に沿って分布する

青色の星々やピンク色の星形成領域が捉えられています。



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡（HST）の広視野カメラ 3（WFC3）で撮影された棒渦巻銀河「NGC 4951」（Credit: ESA/Hubble & NASA, D. Thilker, M. Zamani (ESA/Hubble)）】

この画像は「ハッブル宇宙望遠鏡（Hubble Space Telescope: HST）」の「広視野カメラ 3（WFC3）」で取得したデータをもとに作成されました。欧州宇宙機関（ESA）によると、銀河のなかで物質とエネルギーがどのように移動するのかを調査する近傍銀河を対象としたプログラムの一環として、ハッブル宇宙望遠鏡による NGC 4951 の観測が行われたということです。

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 2024 年 7 月 1 日付で公開されています。

Source [ESA/hubble](https://esa.hubble.org/) – A maelstrom of matter and energy

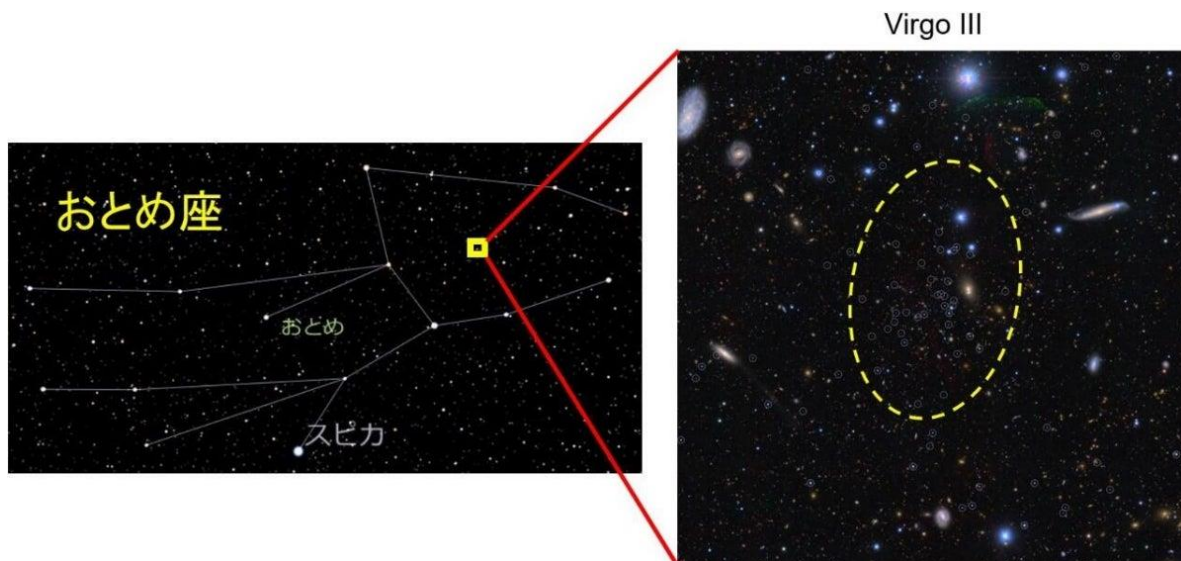
文・編集／sorae 編集部

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20240701-2976976/>

国立天文台など、天の川銀河に理論予測の倍以上も衛星銀河があると解明

掲載日 2024/07/01 15:00 著者：波留久泉

国立天文台(NAOJ)と東北大学の両者は 6 月 28 日、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ「Hyper Suprime-Cam」(HSC)が撮像した最新データの中から、天の川銀河に付随する矮小(衛星)銀河を新たに 2 個発見し、研究チームが以前に発見した衛星銀河なども合わせると、理論予測の倍以上もの衛星銀河が存在することが明らかになったと共同で発表した。

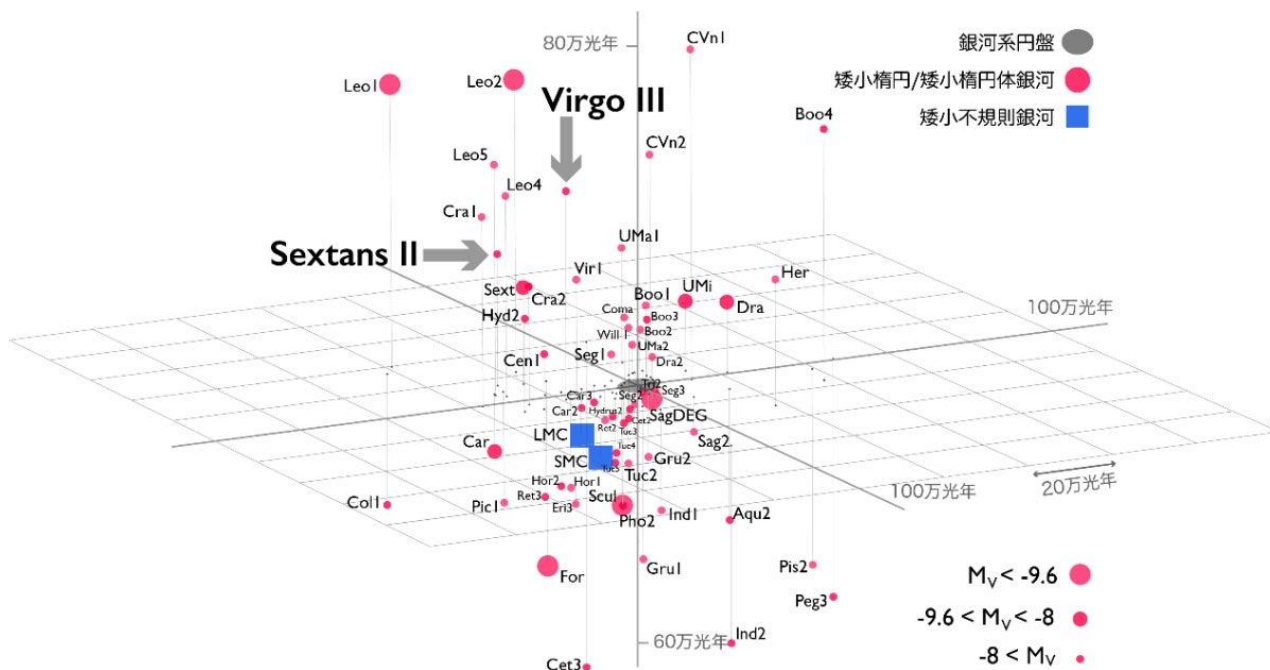


おとめ座の方向で見つかった矮小銀河「Virgo III」の位置(左)と、その星々。矮小銀河には暗い星しかいないため、星がまとまって存在している部分を探し出して、同定する。右の破線の内側にメンバー星が集中している。

(c)NAOJ/東北大(出所:NAOJ Web サイト)

同成果は、NAOJ の本間大輔特別客員研究員、東北大大学院 理学研究科 天文学専攻の千葉証司教授らの国際共同研究チームによるもの。詳細は、[日本天文学会が刊行する欧文学術誌「Publications of the Astronomical Society of Japan」に掲載された。](#) 大型銀河である天の川銀河は、いくつもの衛星銀河を従えているが、実際にいくつ

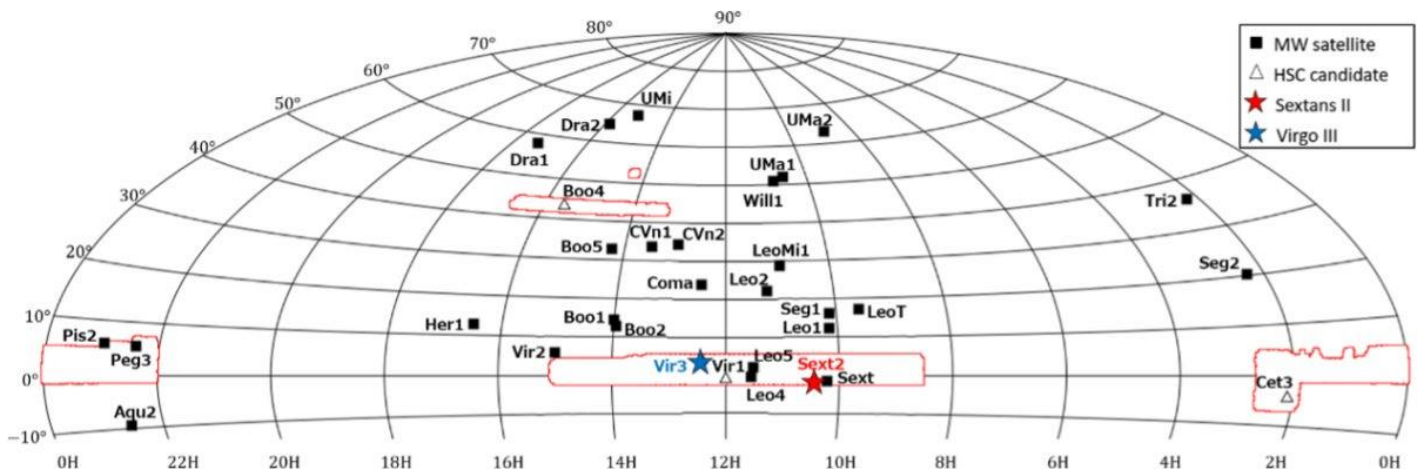
従えているのか、正確にはわかっていない。なお矮小銀河は、ダークマターの小さな塊が持つ重力に引かれてガスが集まり、そこから星々が生まれることで形成されたと考えられている。つまり衛星銀河の数の問題は、ダークマターの性質やその正体に関わっているのである。標準理論におけるダークマターは、「冷たいダークマター」と呼ばれる素粒子群だと考えられている。それに基づき、天の川銀河の周りには 1000 を超えるダークマターの塊と、それに対応する衛星銀河が存在すると予想されていた。しかし、これまでの観測では数十個の衛星銀河しか観測されておらず、この数の食い違いは「ミッシングサテライト問題」とされている。この問題を解決するには、標準理論が予測するダークマターの正体とは異なるもののために塊の数がもっと少ないのか、あるいはダークマター塊の中でガスから星が生まれる過程に問題があるのかを解明する必要があるという。



天の川銀河の衛星銀河の 3 次元地図。天の川銀河円盤の面が水平面に取られている。青四角は大・小マゼラン雲、赤円はその他の衛星銀河で、可視の絶対等級が暗いほど小さなサイズで描画されている。今回の研究で新たに発見された 2 つの銀河 (Virgo III と Sextans II) の位置は矢印で示されている。(c) NAOJ/東北大(出所:NAOJ Web サイト)

またミッシングサテライトの問題へのもう 1 つの糸口として、未発見の暗い衛星銀河が、天の川銀河の遠方に多く存在しているという可能性も考察されている。そのような暗い衛星銀河の探査で最も威力を発揮するのが、すばる望遠鏡の直径 8.2m の主鏡と HSC の組み合わせだ。HSC を用いて広い天域を観測する「戦略枠プログラム」(HSC-SSP) で得られたビッグデータから矮小銀河の探査を進めてきた研究チームは、これまでにおとめ座「Virgo I」、くじら座「Cetus III」、うしかい座「Bootes IV」と新しい矮小銀河を見つけていた。そして今回、HSC-SSP の最新の公開データから新たに 2 個の矮小銀河「Virgo III」と、ろくぶんぎ座「Sextans II」を発見。これらはすべて、太陽系から 30 万光年以上離れた距離にあることも明らかにされた。

HSC-SSP の天域(約 1140 平方度)には、以前から 4 個の矮小銀河が知られており、そこに研究チームの発見した分を加えると、合計 9 個の矮小銀河があることになる。実はこの数は、最新の理論で予想される衛星銀河の個数をかなり上回るとのこと。というのも、ミッシングサテライト問題を発端にして、矮小銀河の形成を抑える過程の理論研究もこれまで展開されてきたからだ。そして最新の最も確からしい分析では、天の川銀河に全部で 220 個程度の衛星銀河があると予測されていた。これを HSC-SSP の観測天域と観測可能な明るさの限界に適用すると、3 個から 5 個の衛星銀河が見つかることになる。しかし実際には 9 個の衛星銀河が確認されたため、天の川銀河全体に換算すると、少なくとも 500 個の衛星銀河が存在することになる。よって今度は、「衛星銀河が多すぎる問題」とが生じるのである。



HSC-SSP で観測された天域(赤線で囲んだ領域)。これまで知られていた衛星銀河が黒四角、新たに発見されたものが白三角と星印で示されている(出所:NAOJ Web サイト)

研究チームはこれについて、衛星銀河と同程度の大きさのダークマターの塊の中で、一体どのようにして星ができて銀河になるのかという基本的な物理過程の問題と考えられるとする。現状では、星の形成にブレーキをかけ過ぎた結果になっているため、その過程を計算する精度が足りていないのか、あるいは、見落とされている物理過程があるのか、などを再検討する必要があるという。ただ、少なくとも当初のミッシングサテライト問題は解決できそうな状況であり、その結果ダークマターの標準理論(冷たいダークマター)が生き残れる状況になってきたとした。また今後は、より広い天域でさらに暗い矮小銀河まで探査範囲を広げ、衛星銀河の個数の統計精度を上げていく必要があるとのこと。その1つに、チリのセロ・パチョンに建設中の「ベラ・ルービン天文台」の「大型シノプティック・サーベイ望遠鏡」が行う大規模探査がある。望遠鏡のあるチリから観測可能な天域すべてを探査する観測が2025年からスタートする計画であり、研究チームはその開始により多くの新しい衛星銀河が発見され、ダークマターとその中の矮小銀河の形成過程が抱える問題が、一挙に解決されることが期待されている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20240702-2977734/>

宇宙から飛来する最高エネルギー宇宙線の正体は重い原子核の可能性、東大などが

推定

掲載日 2024/07/02 15:21 著者：小林行雄

目次 [2つの手法で地球に飛来する宇宙線を観測](#) [地表検出器法のデータを活用して元素核の決定に挑戦](#)

東京大学(東大)宇宙線研究所の荻尾彰一 教授らが参加する Telescope Array(TA)国際共同研究グループは、宇宙の物質構造をなす銀河から最高エネルギー宇宙線が発生すると仮定した場合、陽子ではなく電荷をもった重い原子核が宇宙磁場によって曲げられて地球に到来することが可能となるとの研究成果を発表した。

Telescope Array(TA)実験は、2008年より米国ユタ州に設置された Telescope Array(TA)宇宙線望遠鏡を活用して宇宙線の観測を行う日本、米国、ロシア、韓国、ベルギー、チェコ、スロベニア、ポーランド、台湾の9か国・地域から32研究機関、142人の研究者が参画する国際研究。日本からも、荻尾教授のほか、東大 宇宙線研究所から塔隆志 准教授や佐川宏行 特任研究員が参加しているほか、大阪公立大学 大学院理学研究科の常定芳基 教授、藤井俊博 准教授、大阪電気通信大学 工学部基礎理工学科の多米田裕一郎 准教授、神奈川大学 工学部応用物理学科の有働慈治 教授、池田大輔 特別助教、信州大学 工学部電子情報システム工学科/航空宇宙システム研究拠点の富田孝幸 助教、理化学研究所 開拓研究本部の木戸英治 研究員らが参加している。今回の詳細はそうした TA 国際共同研究グループによるものとして、[「Physical Review Letters」に掲載された](#)。

Telescope Array (TA) 実験

- 日本、米国、ロシア、韓国、ベルギー、チェコ、スロベニア、ポーランド、台湾
- 32研究機関、142人の共同研究者
- 2003年建設開始、2008年完成一定常観測継続中
- アメリカ合衆国ユタ州南西部
- 有効検出面積700 km² (北半球最大、世界第2位)



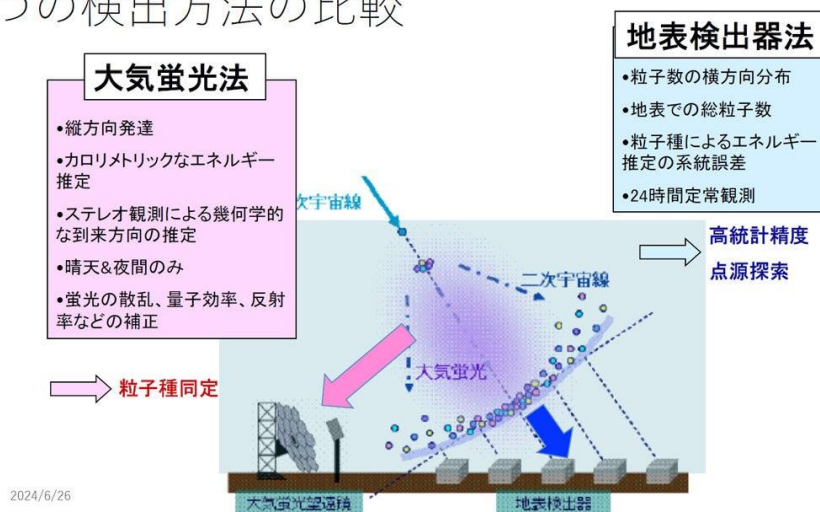
TA 実験の概要 (資料提供:東大宇宙線研究所/TA 国際共同研究グループ、以下すべてのスライド同様)

2つの手法で地球に飛来する宇宙線を観測

宇宙から地球に降り注いでいる高エネルギー粒子(宇宙線)には、非常に高いエネルギーの宇宙線(最高エネルギー宇宙線)が稀に存在していることが知られており、どこから飛んできたのか、その起源の天体はどのようなタイプのものであるのか、などは銀河間空間の磁場の強さや向き(宇宙磁場)がランダムであることなどを理由に、まだ良く分かっていないという。

地球上でこうした高エネルギーの宇宙線を観測する手法としては、宇宙線が地球上空から大気に触れた際に発生させる多数の荷電粒子(空気シャワー)を生じさせる現象を活用して、地上に落ちてきた空気シャワー粒子を捕まえる「地表粒子検出」とカメラを使って、大気の発光を検出する「大気蛍光検出」の2つがよく用いられており、TA 実験でもこの2つの仕組みを組み合わせて観測が行われてきた。

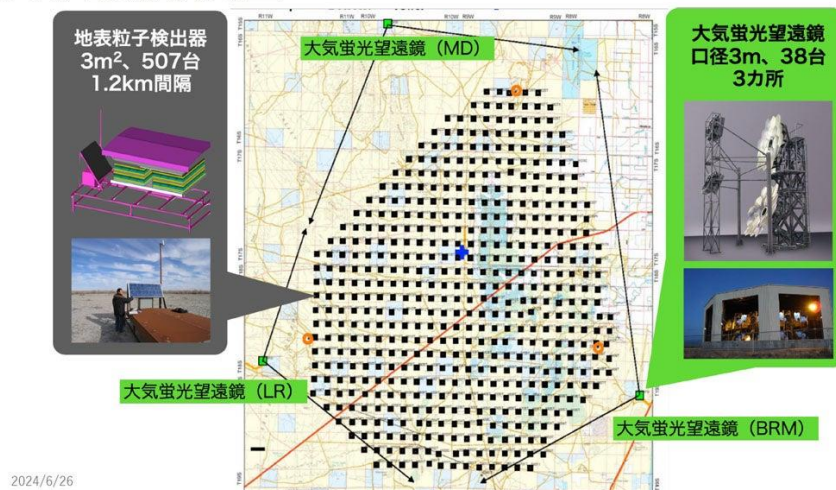
2つの検出方法の比較



空気シャワーを検出する2つの手法の概要。それぞれにメリット・デメリットが存在する

これまで今回の成果を発表した研究グループでは、主に TA 実験の観測地の3カ所に設置された口径3mの大気蛍光望遠鏡38台を活用して観測を実施。これまでに宇宙線の到来数がエネルギー量が増加すると減少していくことや、最高エネルギー宇宙線はある方向から集中して飛んでくるホットスポットがあること、223EeVという観測史上2番目の極高エネルギー宇宙線「アマテラス粒子」を検出するなどの成果をあげてきた。

TA実験観測装置



11

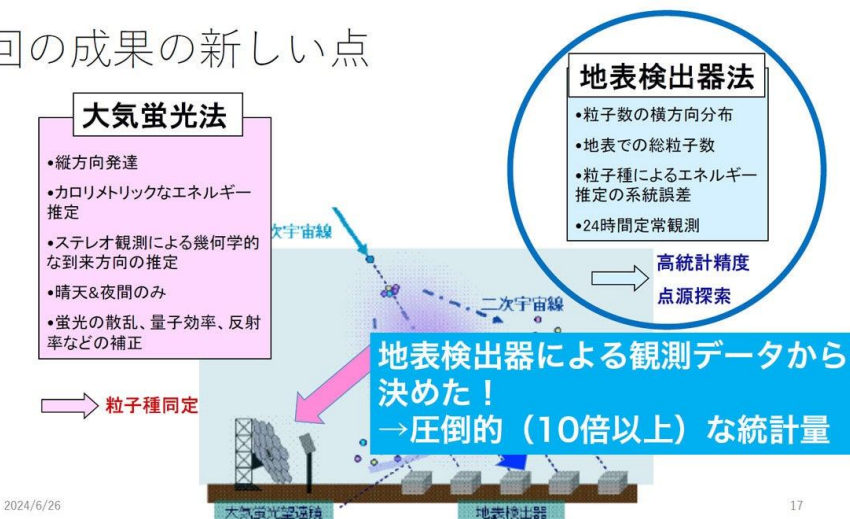
TA 実験観測装置の設置イメージ

しかし、大気蛍光法の場合、晴天の夜、かつ月が出ていない時期という制約があり、観測統計量は地表検出器法の約 10%程度と少なかったことから、低いエネルギー量の場合、その組成は陽子やヘリウムのような軽い原子核であることまでは分かったものの、エネルギー量が高くなり、10EeV を超すレベルになると、判別が難しいという課題があったという。

地表検出器法のデータを活用して元素核の決定に挑戦

そこで今回の研究では観測頻度が高い地表検出器による 14 年間の観測で蓄積された観測データを活用して、元素核の決定に挑むことにしたとする。具体的には、宇宙線源の分布を近傍の銀河分布と同じ、この場合は 2MASS カタログの 250Mpc(パーセク)以内の銀河の分布に従うと仮定(ある一定程度の距離に超銀河団があり、全体で宇宙大規模構造に従っていると仮定)した上で、宇宙線を検出した際にその源がどの程度ぼやけて見えるのかを広がり角 θ (シータ)100 で表現して仮定。 θ 100 の値を変えていく到来方向の分布の予測と、実際の観測による到来方向分布を比較して、もっとも一致する θ 100 を選別する作業を実施。また、源の分布は同じと仮定しながら、磁場分布を仮定する場合や電荷を仮定する場合についても宇宙線を飛ばして伝播する疑似データを作り、その疑似データと θ 100 が一致する値の探索も実施し、実際のデータと疑似データそれぞれに最適な θ 100 を導き出したという。

今回の成果の新しい点



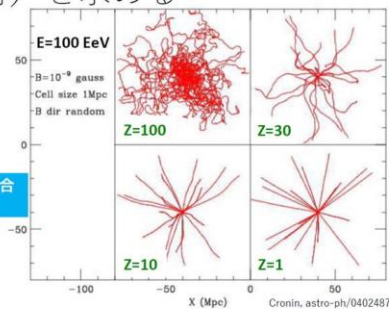
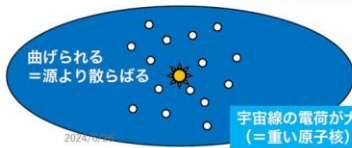
17

今回の研究では従来活用してきた大気蛍光法ではなく、地表検出器法による観測データを活用することで、データ量を一気に 10 倍以上に増やすことができたとする

宇宙線源の分布を仮定→宇宙線の到来方向分布から平均的原子核種（平均電荷）を求める

もし宇宙線源が全天で1個だけなら...

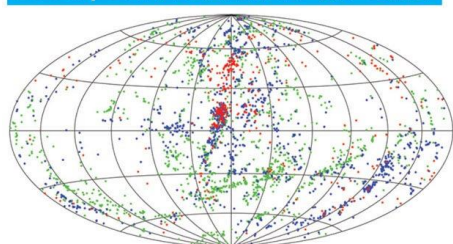
○ 宇宙線の到来方向



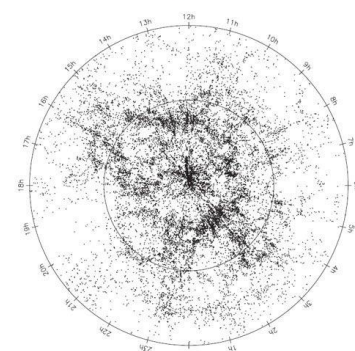
19

本研究：宇宙線源分布＝近傍の銀河分布と仮定

2MASSカタログの
250 Mpc以内の銀河の分布に従うと仮定

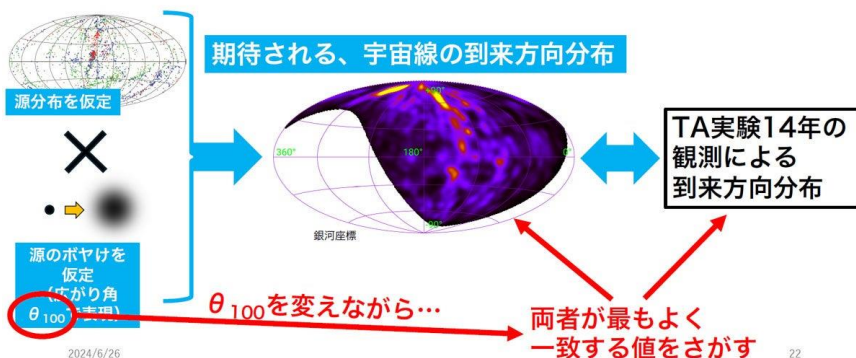


Huchra et al., ApJS, 199, 26 (2012)
2024/6/26

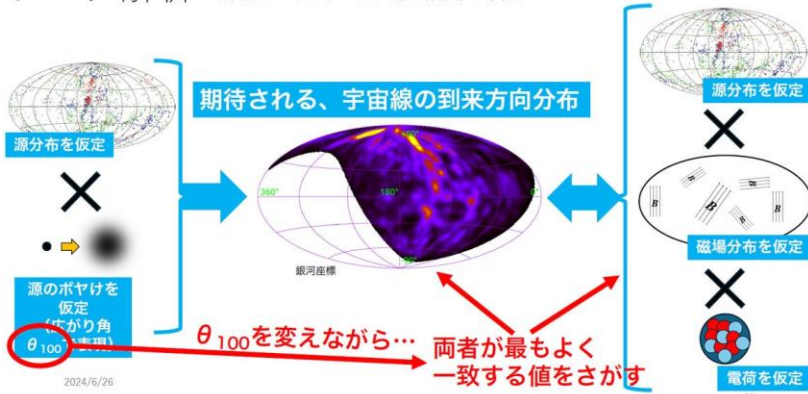


20

データ解析 宇宙線のエネルギーをある値（範囲）に固定



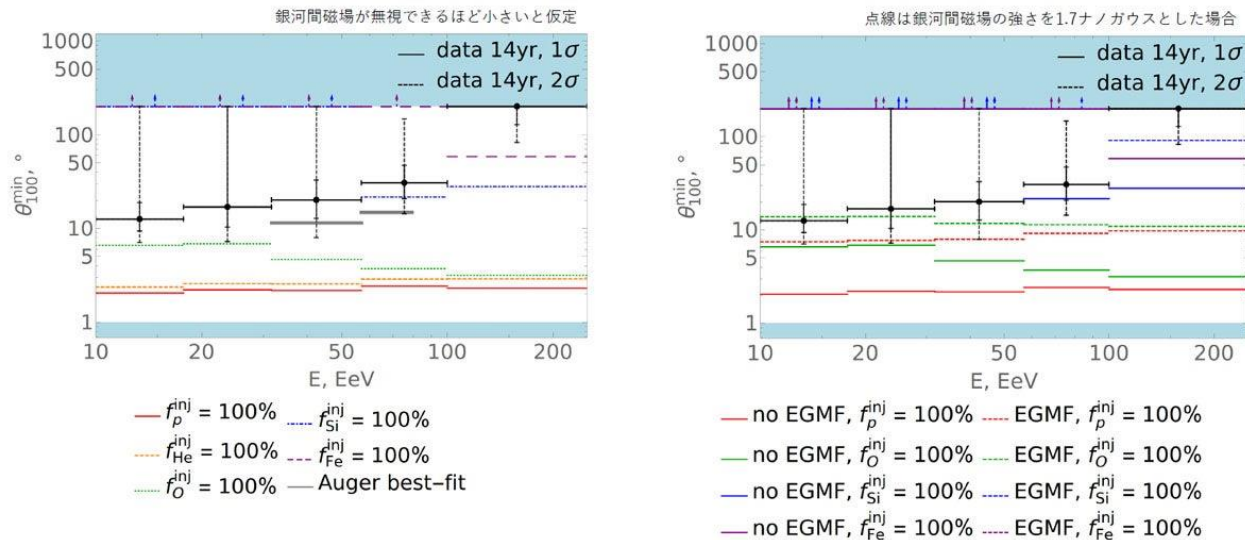
データ解析 宇宙線のエネルギーをある値（範囲）に固定



今回の研究の前提となる仮定と解析条件の概要

その結果、銀河間磁場が無視できるほど小さいと仮定した場合、100EeV 以上の最高エネルギー宇宙線データはいくつかの重い組成モデルが $\theta_{100}=200^\circ$ という結果を示し、これは鉄程度に重い原子核に相当する電荷を有していることを意味すると研究グループでは説明する。

原子核組成



2024/6/26

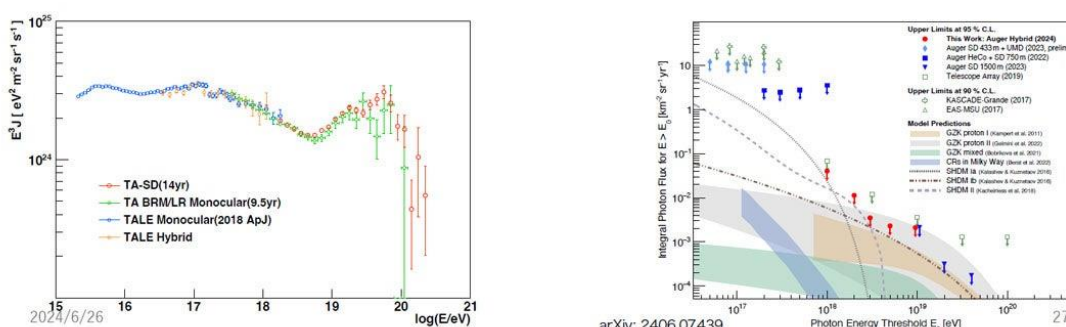
25

宇宙線データの偏向による拡がりの角度 θ_{100} と導き出された原子核組成。Auger は南米アルゼンチンで 2005 年より行われている同様の実験「Auger 実験」を踏まえたもの

また、研究グループでは、もし 100EeV 以上の最高エネルギー宇宙線が重い原子核であるとする、起源天体の組成や宇宙線の加速機構を反映したものであると考えられることから、精密な組成比を求めることができれば、その起源解明のヒントになる可能性があるという指摘。陽子の場合、宇宙空間を伝わってくる間に、エネルギーを消失してしまうというモデルがあるが、重い原子核の場合はそうではない可能性があり、源での加速限界を表している可能性があるとするほか、ニュートリノやガンマ線に対する期待値が減ることとなるため、荷電粒子を対象とした観測の重要性が増すことになるとしている。

100 EeV以上が重い原子核であると…

- 起源天体の組成・加速機構を反映？→精密な組成比が起源解明のヒント➡
- 最高エネルギー端のフラックスの急激な現象は源での加速限界？
- EeV中性素粒子の期待値が減少→荷電粒子宇宙線観測の重要性➡
- (そもそも) 起源天体分布が宇宙大規模構造に従っていない？



今回の研究から得られた知見

ただし、今回のデータ解析は、重要な仮定として起源天体の分布が宇宙大規模構造に従ったものであるため、その仮定が間違っている可能性なども検討する必要があるとしている。

なお、今後については観測イベントを増やすべく、現在の TA 実験の観測エリアの南北に検出器の増設を進め、地表検出器をさらに 500 台追加の全体 1000 台とし、検出面積を従来の 4 倍となる 3000km² とする「TA×4 計画」が進められており、2019 年より一部が完成し、稼働が行われているとするほか、イベントごとに個別の粒子種決定も行っていきたいとしており、すでに大阪公立大の研究チームが 2 値分類 DNN モデルを用いて陽子か鉄かを判定する AI モデルの開発を進めるなど、複数の研究チームが AI を活用した分類判定モデルの開発を進めているとのことで、こうした分類ができるようになるのと、その粒子がどこから来たのかをピンポイントで決めることができるようになるのと、そうした取り組みを進めることで、宇宙の極高エネルギー現象との関連性の解明などにつなげていきたいとしている。

今後の展望①観測イベント数を増やす (特に北天で)



TA×4計画

現行TA実験の南北に検出器を増設

→全体で1,000台に倍増

面積700→3,000 km²

2015年から建設開始

2019年に一部完成、稼働中

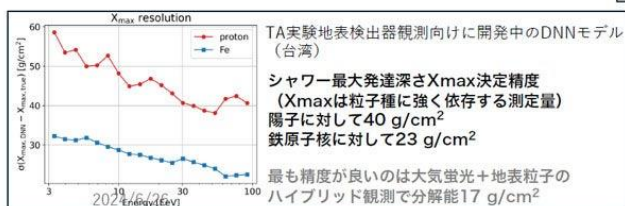
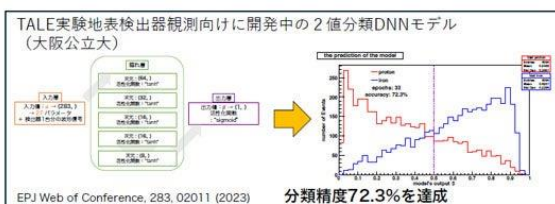
2024/6/26

28

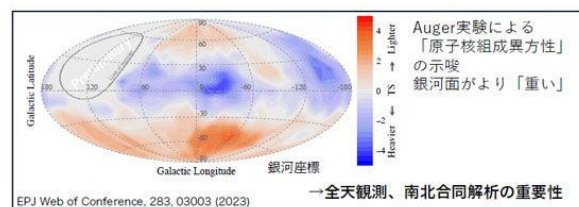
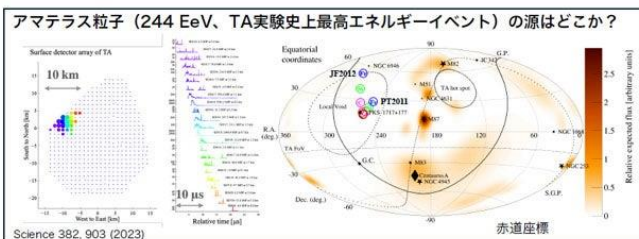
今後の展望②イベントごと個別に粒子種を決定

今回の結果は、平均的な原子核組成 → イベント毎、個別に粒子種を判定

例えば機械学習を用いて



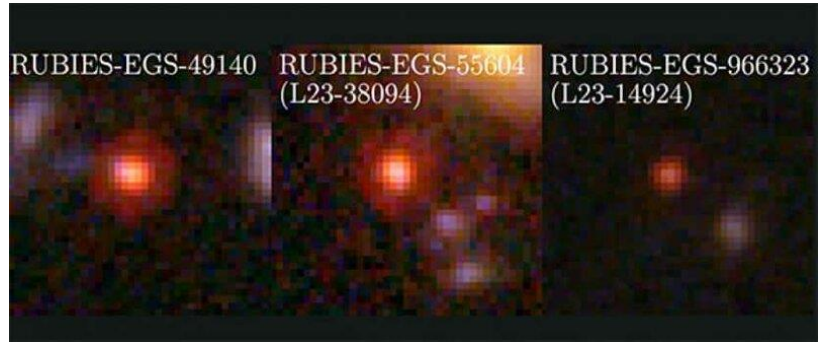
こういふことができると例えば



今後の研究の方向性

ビッグバン直後の初期宇宙で発見された謎めいた明るい物体。現代宇宙論では説明 できず科学者が困惑

2024 年 7 月 2 日（火）22 時 10 分 [カラパイア](#)



NASA のジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡による最近の発見が天文学者たちを困惑させている。それは、ビッグバンから 6 億～8 億年しか経っていない若い宇宙の中にある、明るい 3 つの赤い物体だ。

初期の宇宙で謎めいた 3 つの物体が発見された。画像はジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の観測データから合成されたもの。赤い波長は驚くほどコンパクトであり、青い波長では空間構造の証拠が検出されている /Credit: Bingjie Wang/Penn State; JWST/NIRSpec / image credit: ・考えられる可能性は 2 つ

この 3 つの物体は銀河だと考えられているが、宇宙最初期のものにしては意外なほど古い。

にもかかわらず、今日の天の川銀河に匹敵する星々を宿しており、その一方で天の川銀河よりも桁外れに大きな超大質量ブラックホールまで抱えている可能性があるという。 初期の宇宙になぜこのような銀河と超大質量ブラックホールがあるのか？ その理由は現代の宇宙モデルではまったく説明がつかないという。

・最初期の宇宙で 3 つの謎の明るい物体を発見

ビッグバンからわずか 6 億～8 億年後のさきわめて初期の宇宙で、謎めいた 3 つの物体が発見されたと報告されたのは 2023 年のことだ。 それらは当初より銀河ではないかと推測されていたが、ペンシルベニア州立大学をはじめとする今回の研究チームは、その正体に迫るべく、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（以下 JWST）がとらえていたそれらの光の波長をさらに詳しく分析している。 その結果によれば、それらは数億年も経過しているある意味とても”古い”銀河であろうという。 さらに驚くべきことに、そうした銀河の中には、天の川銀河のものより 100～1000 倍も巨大な超大質量ブラックホールがあるらしいことまでも判明した。

現代の宇宙論では、銀河とその中心にある超大質量ブラックホールは”何十億年”もかけて一緒に成長すると考えられている。なのに、ビッグバン直後のごく初期の宇宙に数億年も経過した古い銀河と怪物のようなブラックホールがあるのはなぜなのか？ この宇宙論をくつがえす可能性がある謎は、現時点では解明されていない。研究チームのジョエル・レジャ氏は、「非常に混乱します」と話す。「現在の宇宙モデルに無理やり当てはめるには、時間の始まりに見たこともないような急激な形成があったと仮定するしかありません」

JWST に搭載された赤外線センサーは、非常に古い星々や銀河の光をとらえることができ、それによって宇宙の始まりに近い 135 億年前の過去を観察することができる。 そうした太古の光の分析における難題のひとつは、光を発した天体の種類をなかなか区別できないことだ。例えば、今回のものの場合、超大質量ブラックホールと古い星々のどちらの特徴もあって、真の正体ははっきりしない。

これらの正体として考えられる可能性は 2 つ。 1 つは、不可解なほど古く、しかも天の川銀河よりも質量の大きな銀河が、現在の宇宙モデルから予測されるよりもずっと早い段階で存在していたという可能性。

もう 1 つは、銀河の質量自体はもっと常識的だが、そこに今日の宇宙に存在するものより 100～1000 倍も大きな超大質量ブラックホールがあるという可能性だ。

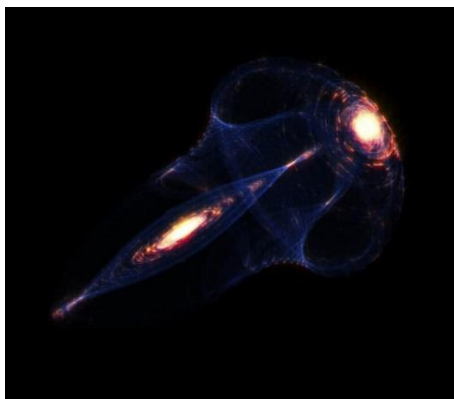


photo by iStock・異質な超大質量ブラックホール

photo by iStock・何もかも不可解で天文学者も困惑

この現代の宇宙論では説明のつかない質量と年齢はさておき、もしも本当に超大質量ブラックホールがあったのだとすれば、それもまた普通の超大質量ブラックホールではない。

異常なほど紫外線の光子を放っている一方、高温の塵や明るいX線放射など、超大質量ブラックホールの特徴が見られないからだ。だが何より研究チームを驚かせているのは、その巨大さだ。レジャ氏は、「通常、超大質量ブラックホールと銀河は一對のものです」と説明する。両者は一緒に成長し、同じような経験をするはずなのだ。「ですが、ここでは成熟した大人のブラックホールが、赤ん坊の銀河の中に住んでいます。一緒に成長するはずなので、まったく意味不明です。あるいは私たちの思い込みだったのでしょうか」

一方で、銀河全体としては信じられないほど小さいことにも、研究チームは困惑している。

それらの直径はわずか数百光年、つまり天の川銀河の1000分の1程度しかないのだ。なのに、そこにある星の数は天の川銀河に匹敵し、100億から1兆個の星がある。仮に天の川銀河をこの古い銀河と同じくらいにまで圧縮したとすると、最寄りの恒星がほぼ太陽系内に収まるくらいにまで接近する。26,000光年離れた天の川銀河の超大質量ブラックホール（いて座A*）は26光年まで近づき、地球の空には巨大な光の柱が見えることだろう。なぜ、これらの初期の銀河は、これほどまでに密度が高いのか？それはわからない。その星々は今の段階では未知の時代に、未知の状況のもと、未知のプロセスによって形成されたに違いない。そしてほんの数十億年ののちに、やはり未知の理由によって星々の誕生は終わってしまった。「それは初期宇宙特有のものなのです」とレジャ氏は語る。研究チームはこの謎めいた銀河を今後も観測し続けるとのことだ。

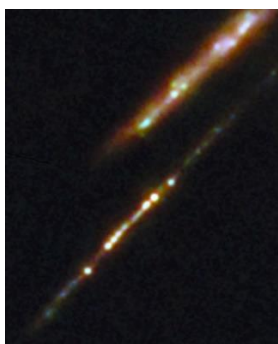
この研究は『[Astrophysical Journal Letters](#)』（2024年6月26日付）に掲載された。

References:[Tiny bright objects discovered at dawn of universe baffle scientists | ScienceDaily](#)/[Tiny bright objects discovered at dawn of universe baffle scientists](#)/ written by hiroching / edited by / [parumo](#)

<https://nordot.app/1181518107311866201?c=110564226228225532>

133 億光年先の星団発見 最も遠方、宇宙初期に誕生

2024/07/04



ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡によって、地球から 133 億光年離れた銀河（下）の中に見つかった星団（ESA/Webb, NASA&CSA, L.Bradley, A.Adamo 提供）

早稲田大や名古屋大などの研究チームは 4 日、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で、地球から 133 億光年離れた銀河の中に恒星の集まり（星団）を五つ発見したと発表した。これまでに見つかった中で最も遠い。約 138 億年前に起きたビッグバンから 4 億 6 千万年後に当たり、宇宙初期に誕生したという。

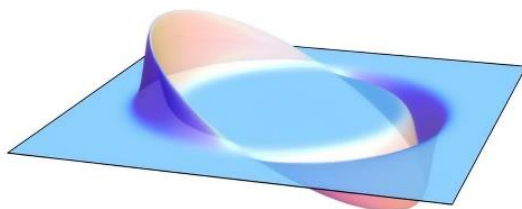
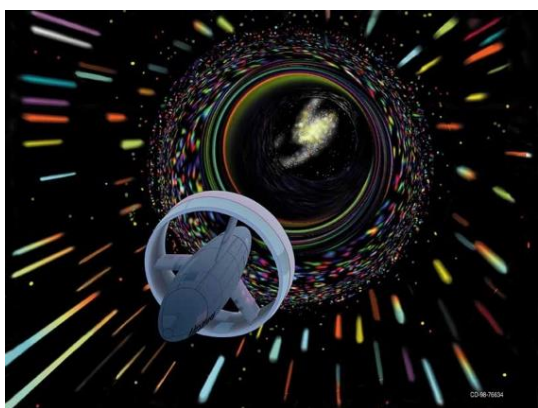
チームによると、地球がある天の川銀河の星団よりも数倍質量が大きく、約 10 倍高い密度で集まっていた。恒星同士がぶつかって合体したとみられる。ブラックホールが誕生する舞台の可能性もある。

研究成果は 6 月 24 日付の英科学誌ネイチャーに掲載された。 © 一般社団法人共同通信社

<https://sorae.info/science/20240704-alcubierre-drive.html>

ワープ航法は重力波を出す？ 「アルクビエレ・ドライブ」の解析で判明

2024-07-04 彩恵りり



【▲ 図 1: ワープをしている宇宙船から見た景色の想像図。（Credit: NASA & Les Bossinas (Cortez III Service Corp.)）】

【▲ 図 2: アルクビエレ・ドライブが行われる 3 次元の時空を 2 次元平面に転写したものの。平面より上は膨張する時空、下は収縮する時空を表しています。アルクビエレ・ドライブのカギは、膨張・収縮する時空に“波乗り”することです。（Credit: AllenMcC.）】

宇宙をテーマとする SF 作品には光の速さを越えて遠くへと移動するワープ航法（超光速航法）が登場するものがありますが、実際の宇宙においては禁止されているというのが現代物理学の一般的な見解です。その一方で、現代物理学の枠組みでも可能なワープ方法の考察も存在します。ロンドン大学クイーン・メアリーの Katy Clough 氏、ポツダム大学の Tim Dietrich 氏、およびカーディフ大学の Sebastian Khan 氏らの研究チームは、比較的現実味のあるワープ航法として考案された「アルクビエレ・ドライブ（Alcubierre drive）」を対象に計算を行ったところ、ワープする宇宙船が加速や減速をした時、およびワープに“失敗”した場合において、時空の波である「重力波」が生じることが分かったとする研究成果をプレプリントサーバー「arXiv」（※1）に投稿しました。

想定された重力波は現在の観測体制では検出できないものの、近い将来において検出可能な範囲に入ることが期待されます。そのような重力波は、たとえ天然の発生源だったとしてもかなり興味深い信号となるため、観測できるか否かだけでも十分に興味深い対象となり得ます。

■比較的“現実的”なワープ航法「アルクビエレ・ドライブ」

広大な宇宙をテーマとする SF 作品では、しばしばワープ航法が登場します。あえてその制約の下で描く作品を除き、物語の構築を阻害する要因となりかねない現実の宇宙の“制限速度”である光の速さを超えるためです。隣の惑星系へ行くのに最短でも数年かかるような状況では、1 年以内に大マゼラン雲から地球に浄化装置を持ち帰ったり、銀河全体にまたがる共和国や帝国を維持したりすることはできないでしょう。

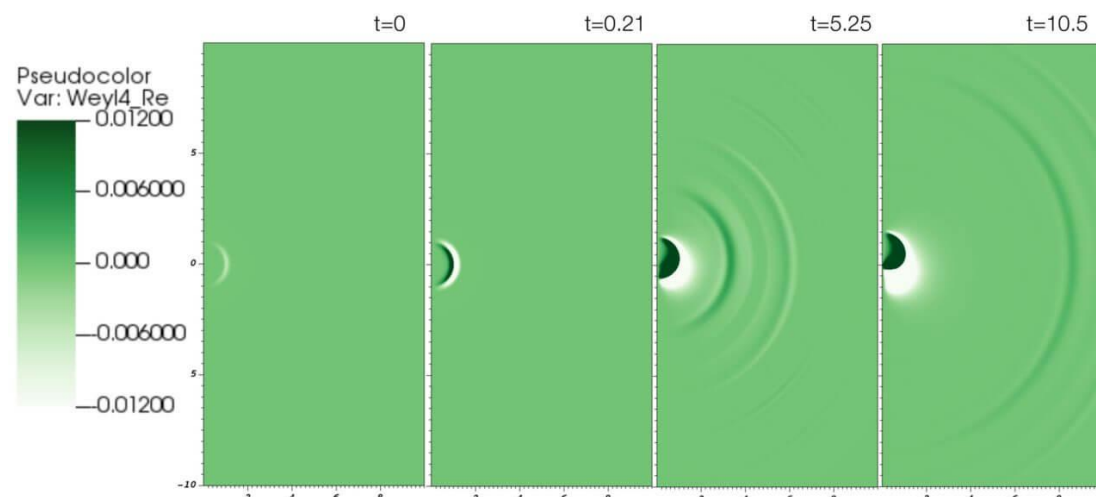
では、現実の宇宙において、ワープは不可能なのでしょうか？ 光の速さを超えることができないという制約は、宇宙の時空そのものの性質と関連しており、時空の性質を記述している相対性理論に深刻な欠陥が見つからない限りは不可能です。ただし、抜け穴がないわけではありません。超光速運動の禁止は、物質や信号といった何らかの情報を伴うものに適用されます。情報の伝達を伴わないもの、たとえば時空そのものの膨張や収縮については、光の速さを超えることができます。例として、誕生直後の宇宙ではインフレーションと呼ばれる急激な膨張があったと考えられていますが、その速度は光の速さをはるかに超えています（※2）。

1994 年にメキシコの理論物理学者ミゲル・アルクビエレ氏は、時空の膨張や収縮を利用すれば相対性理論に違反せずにワープを実現できるということを理論的に提唱しました。現在では提唱者の名前を取って「アルクビエレ・ドライブ」と呼ばれるこの方法では、時空そのものが超光速で移動する性質を利用します。収縮する時空を宇宙船の前方に、膨張する時空を後方に配置した上で、宇宙船全体を泡のように包み込みます。宇宙船そのものは全く動かないので光の速さは超えられないという制限には違反しない一方で、宇宙船は周囲で変動する時空に“波乗り”する形で超光速で移動することができます。アルクビエレ・ドライブの興味深い点は、相対性理論に違反せずにワープを実現できるという点です。もちろんこれは机上ではという話であり、「空間を膨張させる性質を持つ負のエネルギーが宇宙に実在すること（※3）」「負のエネルギーを収集し、原子核よりも小さな薄さの泡状に圧縮する方法」「時空が膨張・収縮するポイントを超光速で移動させる方法」など、事実上解決が不可能な項目が山積しています。それでも、現代物理学の枠組みでワープを検討できるという点で、アルクビエレ・ドライブは他のワープ理論よりも幾分か“現実的”です。オリジナルのアルクビエレ・ドライブは「光の速さに達する時点で、観測可能な宇宙の全エネルギーのさらに 100 億倍ものエネルギーが必要」という点で事実上不可能であることが 1997 年に指摘されていますが、必要なエネルギーを減らしたバージョン（※4）が提唱されています。このほかの欠点についても、指摘されるたびに改良版が登場していることから、他のワープ理論よりも人気であることが伺えます。

■アルクビエレ・ドライブは重力波を出すと判明

Khan 氏ら 3 氏は、仮にアルクビエレ・ドライブによるワープを行うとした場合の、ワープに必要な時空の泡の安定性と、泡の周りの時空に及ぶ影響を調べました。実現に様々な困難があるとはいえ、現代物理学の枠組みの中で語れる以上、どのような状況が発生するのかを計算することは可能です。

計算の過程で、3 氏は興味深い結果に遭遇しました。アルクビエレ・ドライブによるワープが行われている場所周辺での激しい時空の歪みは、現在の物理学の枠組みで理解する限りではかなり不安定（※5）であり、すぐに拡散するか潰れて消えてしまうことが分かったのです。たとえこの不安定性を制御する方法があったとしても、完全に同じ状態を維持できるのは同じ速度で進み続けた場合に限り、加速や減速を行う場合には時空の状態が必ず変化することも分かりました。



【▲ 図 3: 光速の 10%

で移動するアルクビエレ・ドライブの泡が崩壊した時に発生する重力波の simulation。特に最後の波は強度が強

く、検出可能であると考えられます。(Credit: Katy Clough, Tim Dietrich & Sebastian Khan.)】

宇宙船を包む不安定な時空の泡が崩壊した場合を想定したシミュレーションでは、時空の泡が崩壊した後に時空の波、つまり「重力波」が外へと広がることが分かりました。重力波が発生するのは、アルクビエレ・ドライブによる時空の歪みに変化が生じた時であるため、泡が崩壊した場合の他、加速や減速を行っても重力波が発生することになります。また、今回は計算を正確に行うために速度は光速の 10～20%の範囲で計算が行われましたが、重力波は少なくとも光速の 50%までは高い確率で発生し、おそらくは光速以上の速度でも発生すると予想されています。

■高周波の重力波の観測は宇宙物理学の興味深いテーマ

では仮に、どこかの地球外文明がアルクビエレ・ドライブによるワープを行った場合に、その重力波を地球で検出することはできるのでしょうか？ 地球から 100 万パーセク（約 326 万光年）の距離を光速の 10%の速度で移動する、直径 1km の時空の泡から発生する重力波は、地球には約 300kHz の重力波として到達し、10 垓分の 1（10 のマイナス 21 乗）の距離の変化を発生させます。現在設置されている重力波望遠鏡は、このオーダーの距離の変化を捉えることは可能ですが、10kHz 以上の周波数を持つ重力波を捉えることはできないため、残念ながら現時点では観測不可能な信号となります。ただし、高周波の重力波は中性子星やブラックホールが合体した瞬間の様子を、これまでよりもさらに詳細に知ることができるため、これを捉えられる重力波望遠鏡の設置を検討する動きがあります。ほんの 1 秒未満で起こる激しい時空の変化は理論でもシミュレーションでも詳しい様子が分かっていないため、この謎を解明する大きな手がかりを得られるという点で高周波の重力波は重要です。興味深いことに、今回のシミュレーションで示された重力波はかなり特徴的な性質を持っています。その重力波は遥か彼方の銀河系でアルクビエレ・ドライブによるワープをしているスター・デストロイヤーから発生したのかもしれませんが（※6）、2 つのブラックホールが正面衝突したり、重すぎる中性子星が崩壊する時に発生する重力波とも似ています。このような現象がどの程度の頻度で発生するのかは分からないため、特徴的な重力波が捉えられた場合には、その正体について議論が交わされることになるでしょう。

■注釈

※1...この研究成果は、正式な論文誌に投稿される前のプレプリントです。arXiv はプレプリントを投稿する代表的なサーバーの 1 つです。

※2...時空の膨張は速度ではなく膨張率で定義され、時空のあらゆる領域が e の 60 乗（約 10 の 26 乗）の膨張率で膨張したとされています。積算的な性質である空間の膨張についての速度を計算する意味は乏しいですが、無意味なことを前提に計算をすると、現在の観測可能な宇宙となった領域はおおよそ毎秒 50 億光年の速度で拡大したことになります。

※3...相対性理論の下では負のエネルギーを持つものの存在は禁止されていますが、宇宙の加速膨張に関わっていると仮定されている「暗黒エネルギー（ダークエネルギー）」はまさにこのような性質を持ちます。ただし、暗黒エネルギーはその正体はおろか実在性も確認されておらず、何らかの形で抽出・操作できるのかは不明です。暗黒エネルギーは時空そのものの性質であり、操作可能なものではないとする説もあります。

※4...ただし、この改良されたバージョンは現代物理学の修正理論が正しいことを前提に組まれています。オリジナルのアルクビエレ・ドライブで評価された「現代物理学の枠組みの中」から外れているだけでなく、その修正理論が正しいかどうかは分かっていません。

※5...この不安定性は、尖らせた鉛筆を立てることに似ています。重心を完璧に合わせることができれば尖らせた側で鉛筆を立てることも理論的には可能ですが、この状態は極めて不安定であり、すぐに倒れてしまいます。

※6...『スター・ウォーズ エピソード 4/新たなる希望』の冒頭で登場する巨大な宇宙船「インペリアル」級スター・デストロイヤーは全長 1.6km と設定されています。ただし、スター・ウォーズのワープはアルクビエレ・ドライブではなく、光速以上の速度で到達可能な別の時空（ハイパースペース）に移動することで超光速航行を実現しているという設定です。

Source [Katy Clough, Tim Dietrich & Sebastian Khan](#). “What no one has seen before: gravitational waveforms from warp drive collapse”. (arXiv)

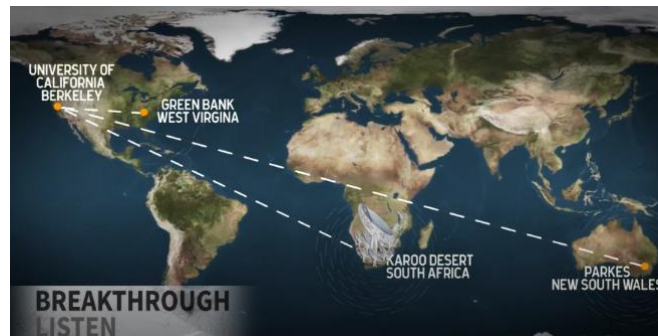
[Evan Gough](#). “Warp Drives Could Generate Gravitational Waves”. (Universe Today)

文／彩恵りり 編集／sorae 編集部

<https://www.space.com/plate-tectonics-intelligent-alien-life-rare>

大いなる沈黙：10,000 個の銀河のうちわずか 4 個に知的生命体が存在する可能性がある キース・クーパー 出版された 9 時間前 2024.7.7

つまり、プレートテクトニクス、海洋、大陸は宇宙全体の世界では稀な存在だ。



PLAY SOUND

北カリフォルニアのアレン望遠鏡アレイは、天文観測と地球外知的生命体探査 (SETI) の同時観測を目的としています。(画像提供: セス・シヨスタク/SETI 研究所)

[恒星間空間](#)を越えて通信できる地球外生命体は、その母惑星にプレートテクトニクスがなければ、ましてや適量の水と陸地がなければ、進化できないかもしれない。複雑な生命が進化するためにはプレートテクトニクスが絶対に必要だと、テキサス大学ダラス校のロバート・スターン氏とスイスのチューリッヒ工科大学のタラス・ゲリヤ氏は主張する。[地球](#)上では、5 億 3900 万年前のカンブリア爆発と呼ばれる時期に複雑な多細胞生物が出現した。「現代型のプレートテクトニクスの始まりが複雑な生命の進化を大きく加速させ、[カンブリア爆発](#)の主要原因の一つになったと私たちは考えています」とゲリヤ氏は [Space.com](#) に語った。

プレートテクトニクスは、溶融マントル上に浮かぶ大陸プレートが互いに滑り合うことで、沈み込み帯や山脈、地溝帯、火山、さらには[地震](#)が発生するプロセスを説明します。関連:[地球外生命体の探索 \(参考\)](#)

スターンとゲリヤによると、現代のプレートテクトニクスは、新原生代と呼ばれる地質時代、10 億年から 5 億年前に始まったばかりだという。それ以前は、地球は停滞蓋テクトニクスと呼ばれていた。つまり、[リソスフェア](#)と呼ばれる[地殻](#)は 1 つの固体であり、異なるプレートに分裂していなかった。現代のプレートテクトニクスへの変化は、リソスフェアが沈み込み、つまり、リソスフェアの他の部分の下に長期間押し込まれた後、[2](#)つの構造プレートが離れつつある地表に再び戻ってくることができるほど十分に冷えてから起こった。

現代のプレートテクトニクスが生物圏に与えている環境ストレスは、5 億年ちょっと前に複雑な生命の進化を促した可能性がある。突然、生命は適応するか死ぬかの環境に生きることを余儀なくされ、大陸プレートに関連する海洋と陸地に存在していたあらゆる種類の生命の発達を促す進化圧力が生まれたのだ。そのきっかけから、生命は最終的に、自然淘汰以外の設計や進化の必然性なく、私たちへと進化した、というのがこの考えだ。

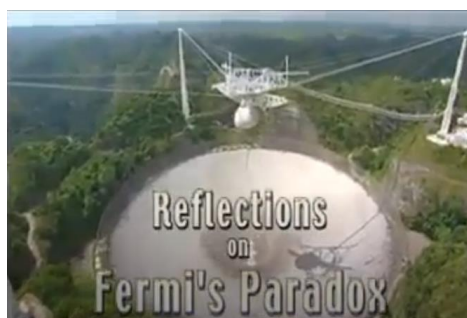
「海洋と陸地が長期にわたって共存することは、生物進化の結果として[知的生命体](#)と技術的文明を獲得する上で極めて重要だと思われます」とゲリヤ氏は言う。「しかし、大陸と海洋があるだけでは十分ではありません。生命の進化は非常に遅いからです。進化を加速するには、プレートテクトニクスが必要です。」

しかし、問題がある。地球は[太陽系](#)でプレートテクトニクスを持つ唯一の惑星だ。さらに、モデルによれば、[プ](#)

プレートテクトニクスはまれである可能性があり、特に、停滞した蓋構造が支配的になる可能性があるスーパーアースと呼ばれる種類の太陽系外惑星ではその可能性が示唆されている。



PLAY SOUND



PLAY SOUND

プレートテクトニクスの必要性和相まって、海洋と大陸の必要性も生じます。惑星形成モデルは、数十マイルの深さの海洋で完全に覆われた惑星や、水がまったくない砂漠の世界が一般的である可能性を示唆しています。地球は、比較的薄い海水層と、大陸が海より上に隆起できる地形を備えており、深海惑星と乾燥した砂漠の世界という両極端の間で慎重にバランスが取れたスイートスポットを占めているようです。

地球上の生命は海から始まったと強く疑われているため、海の実在は極めて重要です。陸地もまた、風化による栄養の供給や炭素循環の促進だけでなく、知的生命体によって利用されれば技術につながる燃焼（酸素との協調）を可能にするためにも重要です。プレートテクトニクスを持ち、適度な量の水と陸地がある惑星が稀であるならば、技術的でコミュニケーション能力のある地球外生命体もまた稀であるかもしれない。

「私たちが説明しようとしたのは、なぜ連絡がなかったのかということです」とゲリヤ氏は語った。

関連:フェルミのパラドックス: エイリアンはどこにいる？

これを説明するために、ゲリヤとスターンはドレイクの方程式を使用した。これは、故・地球外知的生命体探査（SETI）の先駆者であるフランク・ドレイクが1961年に考案したもので、同年ウェストバージニア州グリーンバンク天文台で開催された史上初の SETI（地球外知的生命体探査）科学会議の議題を提供する目的で考案されたもので、技術的文明の発展に必要なさまざまな要素をまとめ、存在する可能性のある地球外文明の数を推定した。ただし、ドレイクの方程式は、そこにある文明の数の絶対的なガイドというよりも、技術的文明の進化についてわかっていることとわかっていないことを浮き彫りにする思考実験に近いことに注意する必要がある。

「我々の銀河系における文明の数の下限に関するこれまでの推定値はかなり高かった」とゲリヤ氏は語った。

ドレイク方程式の項の1つは f_i で、これは太陽系外惑星で知的生命体が誕生する割合です（この文脈で「知性」をどのように定義するかはまだ議論されていますが、現代の考え方ではチンパンジーやイルカなど、すべての知性を持つ動物が含まれます）。スターンとゲリヤは、 f_i は、さらに2つの項、つまり大陸と海洋の両方を持つ惑星の割合 (f_{oc}) と、長期にわたるプレートテクトニクスを持つ惑星の割合 (f_{pt}) の積であるべきだと主張しています。しかし、プレートテクトニクスや、海洋や大陸を持つ世界が明らかに稀であることを考えると、スターンとゲリヤは f_i が非常に小さい数値であることを発見した。彼らは、太陽系外惑星のわずか17%にプレートテクトニクスがあり、適度な量の水と陸地がある割合はさらに少なく、0.02% から1%の間であると推定している。これらを掛け合わせると、 f_i の値は0.003% から0.2%の間となる。

次に、この値をドレイク方程式に代入すると、スターンとゲリヤは地球外文明の数が0.0004 から20,000の間になるという値にたどり着きます。それでもまだかなり広い範囲ですが、これはドレイク方程式の他の項がまったく、あるいはまったくよくわかっていないことによる結果です。しかし、それでもドレイクが1960年代に予測した100万の文明という値よりは桁違いに少ないです。

「0.0004という値は、1万個の銀河あたり4つの文明しか存在しない可能性があることを意味する」とタラス氏は述べた。これらすべてにはいくつかの注意点があります。1つは、前述のように、ドレイク方程式の他の項、たとえば、そもそも生命が進化する惑星の割合、テクノロジーを開発する知的生命体の割合、それらの文明の寿

命など、いくつかの項はまったく不明であるということです。それらの値が極めて高いことが判明した場合、たとえば、文明が通常数十億年存続する場合、現在、それらの文明がさらに多く存在する可能性が高まります。もう一つの注意点は、一般的に、私たちが知っている生命が進化し繁栄するにはプレートテクトニクス、海洋、陸地が必要であるが、陸に足を踏み入れることのない[海洋に生息するテクノロジー生命](#)が進化するシナリオを想像することは可能であるということだ。しかし、これらは特別なケースであり、規則の例外となる外れ値である。まだ接触がないと断言するのは早計なリスクもある。地球外探査プロジェクト（SETI）の天文学者ジル・ターターは、もし銀河が海だったら、私たちが探査したのはコップ一杯分に過ぎないだろうとよく言う。野心的な[ブレイクスルー・リッスン](#)・プロジェクトのおかげで、最近探査が加速しているが、その主張は今も変わらない。私たちはまだすべての星を探査しておらず、探査した星も、あまり長い間聞いたり見たりしていない。地球外からの信号を見逃す可能性は十分にある。

[最後に考慮すべき点は、「グレート フィルター」](#)です。これは、経済学者で未来学者のロビン ハンソンが初めて提唱した概念で、すべての生命の進化において、技術的文明の存在を妨げる普遍的なボトルネックがあるかもしれないと示唆しています。スターンとゲリヤのモデルでは、そのボトルネックはプレート テクトニクス、海洋、大陸の欠如によって生じます。しかし、彼らの文明の数の推定値は低いものの、ゼロではなく、地球は特別なものとして扱われるべきではなく、平凡な星を周回する単なる別の惑星であるという[コペルニクスの原理](#)に関する学派があります。したがって、地球上で生命が進化できるのであれば、地球が特別なはずはないので、多くの惑星で進化できるはずです。すると、グレート フィルターはどの時点で作動するかという疑問が生じます。おそらくスターンとゲリヤは、その主張を裏付ける観測証拠が得られる前に、プレートテクトニクスと適度な量の水と陸地を持つ惑星は稀であると断言し、早とちりしてしまったのかもしれない。

「もちろん、太陽系外惑星に大陸、海洋、プレートテクトニクスがどの程度存在するかに関する観測データがあれば理想的です」とゲリヤ氏は言う。「残念ながら、これは現在の観測能力をはるかに超えています。一方、惑星形成プロセスはある程度理解されており、惑星形成モデルは私たちが期待できることを予測することができます。これらの予測は、岩石質太陽系外惑星に大陸、海洋、プレートテクトニクスが存在する可能性を評価するために使用できます。」[もしスターンとゲリヤの言うことが正しければ、我々は宇宙](#)で事実上孤独である可能性がある。もしそうだとしたら、我々は背負わなければならない大きな責任がある。「我々是我々自身の、非常に稀な！文明を守るために、あらゆる可能な注意を払うべきだ」とゲリヤ氏は言う。さもないと、我々は自らを滅ぼし、我々の天の川銀河で唯一の技術的生命体を絶滅させてしまうかもしれない。

スターン氏とゲリヤ氏の分析は4月12日に科学誌「[Scientific Reports](#)」に掲載された。

[最新のミッション、夜空など、宇宙について語り合うには、当社のスペース フォーラムに参加してください。](#) ニュースのヒント、訂正、コメントがある場合は、community@space.com までお知らせください。

[キース・クーパー](#) 寄稿者 キース・クーパーはイギリスのフリーランス科学ジャーナリスト兼編集者で、マンチェスター大学で物理学と天体物理学の学位を取得しています。『The Contact Paradox: Challenging Our Assumptions in the Search for Extraterrestrial Intelligence』（ブルームズベリー・シグマ、2020年）の著者であり、多数の雑誌やウェブサイトにて天文学、宇宙、物理学、宇宙生物学に関する記事を執筆しています。