

今後のスケジュール (READY FORの資料から作成)	
23年9月	LignoSat 1号機完成
24年2月	LignoSat 1号機打ち上げ
3月	ISSから宇宙空間へ放出
24年4月-25年3月	LignoSat 1号機の運用
25年9月	LignoSat 2号機完成
26年2月	LignoSat 2号機打ち上げ
3月	ISSから宇宙空間へ放出
26年4月-27年3月	LignoSat 2号機の運用
28年9月	LignoSat 3号機完成

今後のスケジュール



使用済みの人工衛星の残骸などが宇宙空間に漂う「宇宙ゴミ」は、宇宙開発で長年にわたり大きな課題だ。京都大学 SIC 有人宇宙学研究センターは木材の活用で、その課題を乗り越えようとしている。2020 年から住友林業と開発を進めている木材を採用した小型人工衛星は、その手段の一つ。これと並行し、宇宙空間で人類が生活するために必要な木材の現地調達を目指す基礎研究も始まっている。【写真】木造人工衛星の試作品 24 年の打ち上げに向けて、一辺 10 センチメートルの立方体を 1 ユニット (1U) とする規格「キューブサット」で 1U 相当の 100 ミリ×100 ミリ×113・5 ミリメートルサイズの人工衛星の開発が急ピッチで進む。「LignoSat (リグノサット)」と名付けられた人工衛星は、外部パネルに木材を使っているのが特徴だ。このプロジェクトに参加し、宇宙飛行士としてスペースシャトルに搭乗経験がある土井隆雄特定教授は、「このまま宇宙ゴミの問題が大きくなると、人類は宇宙に出られなくなる」と警鐘を鳴らす。「時間はかかるが、金属とは違い木材は宇宙空間で分解される」(土井特定教授)として 17 年に木造人工衛星を提案した。一方で木材の取り扱いを祖業とする住友林業は、木材の価値向上を模索。創業 350 年を迎える 41 年に 350 メートルというシンボリックな木造超高層ビルの建設を目指すなど、用途拡大に向けた野心的な目標を設定する。その両者の思惑が一致し 20 年、「宇宙における樹木育成・木材利用に関する基礎的研究」の共同研究契約を結んだ。宇宙ゴミにならず、多様な用途が考えられる木材はまさしく夢の素材のようだ。だが実際のところ、過酷な宇宙空間で一定期間耐えられるのかどうかはよく分かっていない。そこで両者は 22 年、国際宇宙ステーション (ISS) で木材サンプルの曝露 (ばくろ) 実験を実施した。結果、木材の割れや劣化などは見られなかった。「真空状態であればいけるとは思っていたが、宇宙空間で耐えられるとは」と土井特定教授も驚きを隠せない。同研究センターは 4 月からクラウドファンディング (CF) を実施し、目標とする資金を調達した。この資金をもとに、実験に必要な備品の購入やデータの計測など今後の研究開発を支えていく。宇宙空間で存在できることが実証された今、木を育てて木材として加工できる可能性も出てきた。土井特定教授らは京都府立大学と共同で、宇宙空間で木を育てることを目的にした実証を京都市内で始めた。人類が宇宙へ本格的に進出した際、家などの生活空間を現地調達した木材で作っていく狙いがある。土井特定教授は、「重力が地球上に比べると小さく、環境を整えば大きく木が育つはず」と話す。初期投資や開発は莫大 (ばくだい) になると予想されるが、地上よりも効率的に木材を調達できる可能性はある

日刊工業新聞・石宮由紀子

宇宙飛行士の尿と汗を再利用し、飲料水に変えることに成功。水のリサイクル率が

98%に (NASA)

2023年7月4日(火) 20時10分 [カラパイア](#)



宇宙旅行が現実になりつつある今、NASA がまた一つ新たな技術的大きな一歩を踏み出した。

国際宇宙ステーション (ISS) に滞在する宇宙飛行士たちが尿と汗、呼吸に含まれる水分を、飲料水として再利用することで、水のリサイクル率 98%を達成したそうだ。

水は人間の生命を維持するのに欠かせないものだ。今後の長期的な宇宙ミッションでは、水を安定供給することがとても重要なことなのだ。

・宇宙ステーションにおける水の循環システム

地球上で人が暮らすには水が不可欠だが、それは国際宇宙ステーション (ISS) に滞在する宇宙飛行士 (クルー) たちにとっても同じことだ。 彼らは、食事や歯磨きなど、宇宙での生活のために毎日約 3.8 リットルの水を使っている。そう簡単に水を補給できない宇宙では、これをいかに無駄なく使うかというのはとても大切なことだ。 そのための目標として掲げられているのが、水のリサイクル率 98%という数字だ。

これを達成することができれば、たとえば宇宙に 100 リットルの水を持っていけば、失われるのはたったの 2 リットルだけで、あとはずっと使いまわせるということになる。

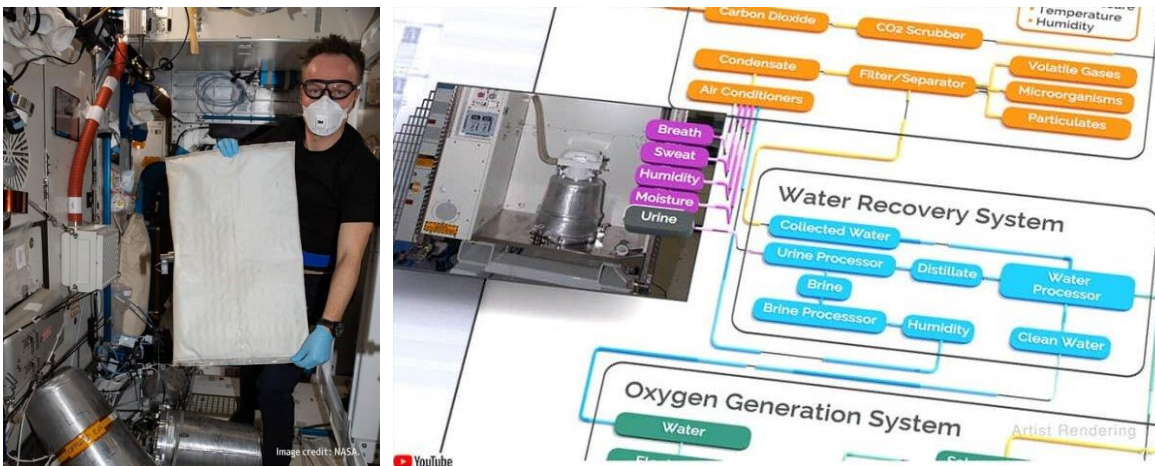
・尿や汗を再利用することで水のリサイクル率 98%を達成

今回の水のリサイクルは、ISS の生命維持装置「[ECLSS](#)」を使って行われた。

この装置は宇宙飛行士たちにとっては文字通り生命線となるシステムで、ISS 内の空気などを管理している。 だがそれだけでなく、排水の回収システムや、宇宙飛行士の呼吸や汗によって空気中に放出された水分を回収する除湿機など、水をリサイクルするための機能もある。

私たちの体から排出される水分として忘れちゃいけないのが、尿だ。簡単に水を補給できない宇宙では、尿の水分ですら無駄にするわけにはいかない。 そこで ECLSS に組み込まれた尿処理装置「UPA」は、宇宙飛行士たちの尿を蒸留して水を回収する (要は蒸発させて、水とその他の成分をわける) する。

じつはここまなら、これまででもできた。今回新しいのは、尿処理装置にブライン処理装置「BPA」というものが追加された点だ。



尿処理装置で尿から水を回収するとき、副産物としてブライン（塩水）が作られる。そして、ここにはまだ水分が残っている。そこでブライン処理装置は、特殊な膜にブラインを通して、乾燥した空気に触れさせる。こうすることで水分を蒸発させ、ECLSSの除湿機で回収できるようにするのだ。

まさに乾いた雑巾をさらに絞るようなプロセスだが、その甲斐あってこれまで93~94%だった水のリサイクル率を、目標値だった98%にまでアップさせることに成功したそうだ。

・宇宙飛行士たちはリサイクルした尿を飲んでいるのか？

疑問なのは、ISSのクルーが本当に自分たちの尿を飲んでいるかということだ。

NASAの研究チームによれば、この水のリサイクルシステムは、地球上の水道よりずっと高性能なのだそうだ。回収された水は水処理装置「WPA」で処理される。具体的には、特殊なフィルターと触媒を利用して、わずかに残る汚染物質を分解する。こうして処理された水をセンサーでチェックし、水質基準に満たない水は再処理にまわされる。一方、十分きれいだと判断された水には、ヨウ素が添加（微生物の繁殖を防ぐため）され、徹底的にきれいに浄化されたものだけが飲料水として再利用される。なので宇宙飛行士らが飲んでいる水の一部は、もともとは尿だったかもしれないが、それは徹底的にきれいに処理されたものだ。

だからISSのクルーたちは決して尿そのものを飲んでいるわけではなく、地球上で我々が飲む水よりも清潔で安全な水を飲んでいるということになるという。

NASA ScienceCasts: Water Recovery on the Space Station

References:[NASA Achieves Water Recovery Milestone on International Space Station | NASA/](#) [NASA just recycled 98% of all astronaut pee and sweat on the ISS/](#) written by hiroching / edited by / [parumo](#)

<https://sorae.info/space/20230703-photoelectrochemical-devices.html>

深宇宙探査の鍵を握る技術？ “人工光合成”の実現可能性を探る研究

2023-07-03 [吉田 哲郎](#)

酸素が人間の生存に必要な不可欠であることは言うまでもありません。地球の大気中に酸素が存在することを私たちは当然のように捉えがちですが、二十数億年以上前に出現したシアノバクテリアが「光合成」で生成するまで、大気中の酸素はほとんど存在しなかったと考えられています。

光合成とは、光エネルギーを使って水と二酸化炭素から炭水化物を合成する光化学反応のことで、酸素はその副産物として生成されます。しかしながら、光合成のプロセスが完全に解明されているわけではありません。



【▲ 1970年代にスタンフォード大学が設計したトラス型スペースコロニーの内部の様子をアーティストが描いた想像図（Credit: Don Davis/NASA）】

【▲ 火星探査車「Perseverance」に搭載されている酸素生成実験装置「MOXIE」（Credit: NASA/JPL-Caltech）】

長期間にわたる深宇宙探査や宇宙旅行、さらにはスペースコロニーの建設といった今後の宇宙開発の進展にあわせるように、酸素の重要性はさらに増していくものと考えられます。例えば、地球から火星へ旅行するには往復2~3年ほどかかりますが、宇宙船に積み込めるペイロード（搭載物）の制約から、持ち運べる酸素の量は制限されます。国際宇宙ステーション（ISS）では、ソーラーパネルから供給された電気を使って水を「電気分解」することで一部の酸素を得ています。また、宇宙飛行士が吐き出した二酸化炭素を水とメタンに変換する装置も稼働しています。しかし、これらの技術は信頼性がまだ低く、効率が非常に悪い上にメンテナンスにも手間がかかると言います。酸素を生成するプロセスでは、ISSの「環境制御・生命維持システム（ECLSS）」で使用される全エネルギーの3分の1が必要だとされています。そこで考え出されたのが「人工光合成」という発想です。自然界で行われている光合成のプロセスを、人工的な装置で代替しようというのです。

この度、ウォーリック大学（University of Warwick）のカタリーナ・ブリンカート（Katharina Brinkert）氏ら3名の研究者は、人工光合成の技術的な実現可能性を検討し、装置の性能を評価する論文を発表しました。

研究チームによれば、人工光合成装置を用いることで、酸素を運搬する際の重量やスペースの制限を回避できる可能性があります。また、自然の光合成と同じプロセスになる人工光合成では、太陽エネルギーを使って水と二酸化炭素から酸素を生成すると同時に、二酸化炭素をリサイクルすることになります。ISSで例えれば異なる役割を担う2つの装置が1つに統合されることになり、触媒の使用により化学反応がスピードアップするので効率的です。さらに、メンテナンスにかかる労力も軽減されると言います。

自然界の光合成ではクロロフィルと呼ばれる物質が光の吸収を担っていますが、この人工光合成装置では金属触媒をコーティングできる半導体材料の使用が想定されています。太陽光を集める大きな鏡を使用して反応を促進すれば、ISSで稼働しているような生命維持システムの補完（エネルギーの節約）にも役立つ可能性があります。近年、月の土壌であるレゴリスから直接酸素を取り出す研究も進められていますが、そのためにはレゴリスを高温で加熱する必要があります（※）。一方、人工光合成装置は火星や月の居住施設内で室温・常圧の環境で作動できます。つまり、人工光合成装置であれば、水を主な資源として地球外の居住施設で直接使用できることになります。将来の月面探査で想定されている月の南極付近のクレーターには水の氷が埋蔵されていると推定されており、この装置を使用する上で興味深いことです。

※...マイクロ波を使えば加熱する場合よりも効率的に取り出せるとする研究成果も最近発表されています。関連：[“レンジでチン”すれば取り出せる？月の砂から効率良く水を得られることが判明](#)（2023年5月27日）

火星の大気は主に二酸化炭素で構成されているため、人工光合成装置を利用するのに理想的な場所のように思われます。ただし、火星は地球と比べて太陽から遠いため、太陽光が弱くなります。ところが、実際に太陽光の強度を計算してみると、鏡で太陽光を集光すれば、火星でも使用できる可能性が示されたということです。

2020年に打ち上げられて2021年に火星に着陸したアメリカ航空宇宙局（NASA）の火星探査車

「Perseverance（パーシビアランス）」には、二酸化炭素から酸素を生成する「MOXIE（Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment：火星酸素現場資源活用実験、モクシー）」と呼ばれる装置が搭載されています。しかし、この装置は高温（800℃）で作動させる必要があるため、酸素の生成時にはそれなりのエネルギーを消費します。人間が生活するのと同じ環境で、太陽光さえ集めれば酸素を生成できるとなれば、人工光合成装置への期待は高まります。

関連：[NASA火星探査車「Perseverance」火星で合計50グラムの酸素生成に成功](#)（2022年9月17日）

宇宙船内や地球外の居住施設における、効率的で信頼性の高い酸素の生成と二酸化炭素のリサイクルは、今後の深宇宙探査にとって解決すべき大きな課題です。既存の電気化学的なプロセスに基づいた装置に代わる人工光合成装置を実現するには、さらに集中的な研究が必要だと言います。将来の実現に向けた可能性は、自然の光合成プロセスの重要な部分をいかにして技術的に模倣するかに掛かっています。将来的には、人工光合成の実現が地球外での生命維持の鍵を握ることになるかもしれません。

本記事は、2023年6月6日付けで「The Conversation」に掲載された「Space colonies: how artificial photosynthesis may be key to sustained life beyond Earth (スペースコロニー：人工光合成が地球外での生命維持の鍵になる可能性)」を元にして再構成したものです。

研究成果の論文は2023年6月6日付けの「Nature Communications」に掲載されています。

Source

Image Credit: Don Davis/NASA

[The Conversation](#) - Space colonies: how artificial photosynthesis may be key to sustained life beyond Earth

[Ross et al.](#) - Assessment of the technological viability of photoelectrochemical devices for oxygen and fuel production on Moon and Mars (Nature Communications)

文／吉田哲郎

<https://forbesjapan.com/articles/detail/64285>

2023.07.03

2023年最初の「スーパームーン」と最高光度の金星が輝く、今週の夜空



[Jamie Carter | Contributor](#)



7月3日の満月は2023年最初の「スーパームーン」(Getty Images)

今週は2023年最初の「スーパームーン」が昇る。スーパームーンは占星術に起源を持つ用語で、いつもと比べて少し大きい(そしてより明るい)ことからそう呼ばれており、その神秘は、多くの人々にこのすばらしい月の出を楽しみにさせる。「バック・スーパームーン」は今年4回あるスーパームーンの1番目のもので、それ以降は8月2日、8月31日、9月29日にも訪れる。

今週はこの満月が東の夜空を支配するだろうが、日没後、反対側の空で最高の輝きを見せる金星も忘れてはならない。

7月3日・月曜日：「バック・スーパームーン」

北半球の夏で最初の満月「バックムーン(牡鹿の月)」は、月が地球の近くに来るために大きく、明るく見えるスーパームーンだが、地球からの距離は36万1934kmで、2023年に4回あるスーパームーンの中では最も遠い。7月3日20時39分(日本時間、以下同様)に輝面比100%となる満月の瞬間を迎える。

7月7日・金曜日：地球が太陽から最も遠くなる

この日の午前5時7分は遠日点、わずかな楕円を描く公転軌道の上で地球が太陽から最も遠い位置を通過する瞬間だ。北米では「ring of fire」、金環食が約100日後にやってくる。

7月7日・金曜日の深夜：月と土星が接近

東の空に輝面比 79%の月が昇ると、そのわずかに上に輪のある惑星である土星が見える（東京の月の出は 22 時 12 分、土星の出は 21 時 45 分）。

7月7日・金曜日：火星と金星とレグルス

この日の夜 8 時頃とても明るい金星の近くに赤い惑星である火星と、明るい恒星レグルスが見える。しし座で最も明るい星で、太陽系からおおよそ 79 光年離れている。

7月7日・金曜日：金星が最大光度になる

この夏、地球から見た金星の位置は劇的に変化する。7月7日に「宵の明星」はマイナス 4.7 等級の最大光度で輝く。まもなく宵の明星太陽の輝きの中に隠れ、やがて「明けの明星」となって夜明け前の空に美しい姿を見せて 9 月 19 日に最大光度を迎える。

今週の天体：金星

内惑星である金星は、地球から見ると満ち欠けをする。最大光度の頃は太陽からの光を 4 分の 1 ほどしか受けていない「三日月型」だが、見た目の直径が大きいため最も明るく見える。小型望遠鏡があれば、三日月型を見ることができるが、残念ながら肉眼でその形を判別することはできない。 (forbes.com 原文) 翻訳＝高橋信夫

<https://soraie.info/astromy/20230705-saturn-webb.html>

明るい環が印象的 ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が捉えた土星の姿

2023-07-05 [soraie 編集部](#)

こちらは 2023 年 6 月 25 日に観測された土星の姿です。「ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」の「近赤外線カメラ (NIRCam)」で取得したデータ (近赤外線のフィルターを使用) をもとに作成されました。「ハッブル宇宙望遠鏡」などで撮影した画像とは違い、暗い土星本体と明るい環のコントラストが印象的です。



【▲ ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ (NIRCam) で 2023 年 6 月に観測された土星 (Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, M. Tiscareno (SETI Institute), M. Hedman (University of Idaho), M. El Moutamid (Cornell University), M. Showalter (SETI Institute), L. Fletcher (University of Leicester), H. Hammel (AURA), J. DePasquale (STScI)) 】

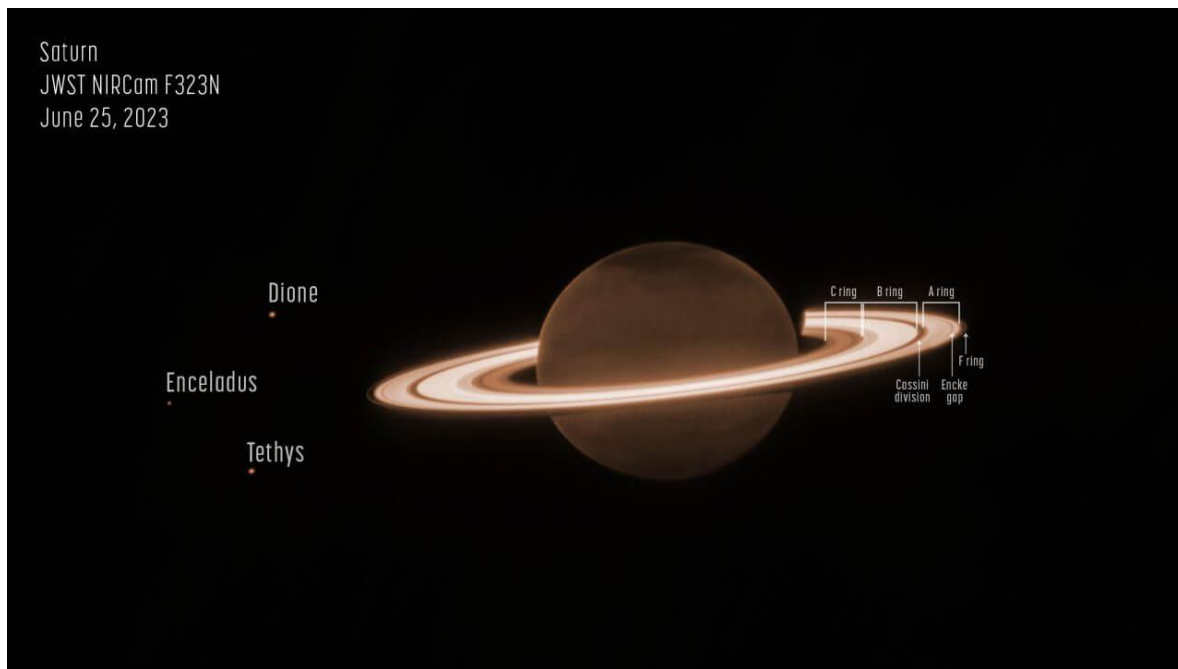
ウェッブ宇宙望遠鏡を運用する宇宙望遠鏡科学研究所 (STScI) によれば、土星の大気に含まれるメタンのガスは太陽光のほぼすべてを吸収するため、観測に使用された波長 (3.23 μ m) では土星本体が非常に暗く見えます。いっぽう、氷でできている環は比較的明るいままなので、このように可視光で見た時とは異なる「暗い本体に明るい環」という姿に写るのだといいます。

関連：[ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した土星の姿 今シーズンも“スポーク”が出現](#) (2023 年 2 月 18 日)

STScI によると、土星の大気がこの波長でこれほど鮮明に観測されたのは今回が初めてです。土星本体の北半球に広がる暗い領域は縞模様とは異なり緯度線には沿っておらず、大規模な惑星波 (planetary waves、ロスビ

一波)を連想させるといいます。また、北極周辺が一層暗く見えるのは、極地のエアロゾルに影響する知られていない季節性のプロセスが原因だと考えられています。

次に掲載した注釈付きバージョンの画像で解説されているように、ウェブ宇宙望遠鏡のNIRCamはA環の外側にある細いF環も捉えました。さらに長時間の露光を行うことで、F環の外側にある薄いG環や拡散したE環といった、より暗い環も調べられるようになるといっています。土星の左側には衛星ディオネ(Dione)、エンケラドゥス(Enceladus)、テティス(Tethys)も写っていることがわかります。



【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ(NIRCam)で2023年6月に観測された土星(注釈付き)(Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, M. Tiscareno (SETI Institute), M. Hedman (University of Idaho), M. El Moutamid (Cornell University), M. Showalter (SETI Institute), L. Fletcher (University of Leicester), H. Hammel (AURA), J. DePasquale (STScI))】

ウェブ宇宙望遠鏡が観測した土星の画像はアメリカ航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)、STScIから2023年6月30日付で公開されています。

Source

Image Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, M. Tiscareno (SETI Institute), M. Hedman (University of Idaho), M. El Moutamid (Cornell University), M. Showalter (SETI Institute), L. Fletcher (University of Leicester), H. Hammel (AURA), J. DePasquale (STScI)

[NASA](#) - Saturn's Rings Shine in Webb's Observations of Ringed Planet

[ESA/Webb](#) - Saturn's rings shine in Webb's observations of ringed planet

[STScI](#) - Saturn's Rings Shine in Webb's Observations of Ringed Planet

文/sorae編集部

<https://sorae.info/space/20230704-ingenuity.html>

NASA 火星ヘリコプターとの通信が回復 数週間以内に飛行再開の可能性

2023-07-04 [sorae編集部](#)

アメリカ航空宇宙局(NASA)は6月30日付で、火星ヘリコプター「Ingenuity(インジェニユイティ)」との通信が63日ぶりに回復したことを明らかにしました。Ingenuityの状態は良好で、数週間以内に再び飛行する可能性があるということです。【2023年7月4日13時】



【▲ 火星ヘリコプターIngenuity（インジェニュイティ）。火星探査車 Perseverance（パーシビアランス）の「Mastcam-Z」で2023年4月16日に撮影（Credit: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS）】

【▲ Ingenuityによる52回目の飛行中に撮影された画像の1つ。Ingenuityとの通信が回復してから受信された。右側にはIngenuityの影が写っている（Credit: NASA/JPL-Caltech）】

NASAの火星探査車「Perseverance（パーシビアランス）」に搭載されていたIngenuityは、日本時間2021年2月19日朝に火星のジェゼロ・クレーターへPerseveranceとともに着陸。2021年4月に史上初となる「地球以外の天体における航空機の制御された動力飛行」に成功した後、1か月間で最大5回の試験飛行という当初の予定を大幅に超えて運用され続けています。

関連：[NASAが火星ヘリ撮影の「空撮動画」を公開。飛行距離&最高速度の記録更新](#)（2022年5月30日）

PerseveranceやIngenuityを運用するNASAのジェット推進研究所（JPL）によると、2023年4月26日にはIngenuityによる52回目の飛行（水平移動距離約363m、最大高度12m、飛行時間約139秒、いずれも計画値）が実施されました。この飛行はPerseveranceの科学チームのための火星表面の撮影とIngenuityの着陸地点の変更を兼ねていましたが、着陸に向けてIngenuityが降下した際に通信が途絶えました。

重量1.8kg、高さ49cmと小さなIngenuityは地球と直接通信することができないため、運用チームとIngenuityの通信はPerseveranceや火星を周回している探査機が中継しています。52回目の飛行では着陸地点と当時のPerseveranceの位置との間に通信の妨げとなる丘があったことから、通信途絶はあらかじめ予想されており、Perseveranceが通信可能な範囲へ移動した後で通信を再確立するための計画も立てられていました。

Ingenuityチームのリーダーを務めるJosh Andersonさんは「現在PerseveranceとIngenuityが探査しているエリアは起伏に富んだ地形が多く、通信が途絶える可能性もそれだけ高まります」「IngenuityをPerseveranceよりも先行させることがチームの目標ですが、そのため一時的に通信の限界を越えてしまうこともあります」とコメントしています。

JPLによれば、52回目の飛行から2か月ほど経った2023年6月28日、丘を登ったPerseveranceがIngenuityを見通せる位置に来たところで通信が回復しました。Andersonさんも「Ingenuityとの通信範囲に戻り、52回目の飛行を確認することができてとても嬉しいです」と胸を撫で下ろしています。

前述の通りIngenuityのデータは状態が良好であることを示しているといい、次の飛行は数週間以内に実施される可能性があります。JPLによると、53回目の飛行では西の方角へ暫定的に設定された着陸地点まで移動する予定で、そこを起点にPerseveranceのチームが関心を示している岩石露頭近くの着陸地点を目指してさらに飛行する計画も立てられているということです。

Source Image Credit: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS

[NASA/JPL](#) - NASA's Ingenuity Mars Helicopter Phones Home

文／sorae編集部

<https://www.gizmodo.jp/2023/07/drift-of-earths-pole.html>

地球の自転軸がどんどんズレている。一部は人間の仕業

2023.07.01 22:00



Image: danm12 / Shutterstock.com

1年で4.36cmも地軸が動いてるって、GPS大丈夫!?

地球自転の軸となる地軸が、西暦2000年ごろを境に南から東に移動方向を変更。だれの仕業? 原因は何?とみんな騒いでいたら、何のことはない、人間の所業だったというオチです。ソウル大学のKi-Weon Seo教授率いるチームがGeophysical Research Lettersに6月掲載した論文で明らかにしました。

膨大な地下水のくみ上げが一因

地球温暖化でグリーンランドや南極の氷床が溶解し、山頂の氷も溶けて自転の重心が移動中なことは前から知られていましたが、研究班が新たに着目したのは過剰な地下水のくみ上げです。

地下水のくみ上げ量は1960年から2000年までに世界中で倍以上に増えていて、年間75兆ガロン(約2840億キロリットル)が地下から消えたんだそう。その後は衛星から重心の動きを追跡してきたのですが、農地用・住宅用・工業用にますます多くの地下水がくみ上げられて海に流れこんでいます。特に大量なのが中東・北インド・中国・米西部で、こうした干ばつエリアでは年がら年中地下水をくみ上げることが常態化しています。また、農耕地帯の加州セントラルバレーなんかは、地軸を動かす力が一番強い中緯度帯(北緯・南緯45度の辺り)にあるのも気になる。同大の試算によれば、地下水くみ上げの総量は1993年から2010年だけで世界全体で推定2兆トン超。観測データと数理モデルで地軸移動の原因を調べてみたところ、氷床が溶けて地殻が上昇する現象の次に大きな要因であることがわかったのだといいます。

地軸がずれるとどうなる?

地下水くみ上げは海面上昇をももたらします。[11年前の東大の試算](#)では「1961年から2003年の間に平均0.77mm/年、観測された海面上昇の42%に寄与していることがわかった」のですが、今回のソウル大の試算では「1993年から2010年の間にのべ6.24mmの海面上昇につながった」としています(17年で6.24mm、平均0.37mm/年の計算)。

北極は定点ではなく「地球の一番北」のことなので、自転軸がずれば、地球の一番北もずれて、北極もずれて、北緯や南緯もずれば、東経や西経もずれてしまいます。まあ、地球の傾きがずれたといっても、まだ季節が変わるほどじゃないですけどね…。マップの未来、海運・宇宙・軍事の未来が心配。

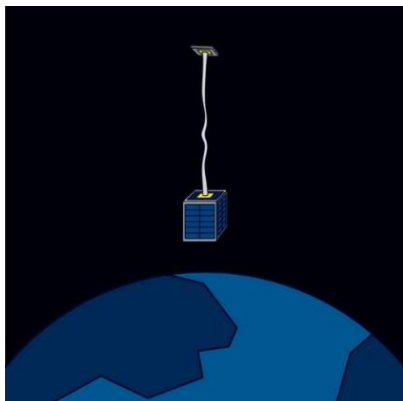
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230705-2720651/>

ALEが宇宙デブリ対策事業を終了、関連資産を宇宙ベンチャーのBULLに譲渡

掲載日 2023/07/05 20:40 著者: [小林行雄](#)

ALEは7月5日、「導電性テザー(EDT)を用いた宇宙デブリ拡散防止装置」を中心に開発を進めていた宇宙デブリ対策事業の終了を決定、当該事業に関連する資産を、宇宙ベンチャーのBULLに譲渡することを決定したと発表した。BULLはALEで当該事業のマネージャーを務めていた宇藤恭士氏が、「地球内外の惑星間の行き来を『当たり前』に」することをビジョンに、「天体への(再)突入技術を活かし宇宙利用サービスを安価・簡潔に提供」することを目指して2022年11月に設立されたスタートアップ企業。

今回、ALE は経営資源の選択と集中の観点から、宇宙デブリ対策事業を終了することを決定。それに伴い、BULL に ALE が保有する宇宙デブリ対策事業関連の資産、知的財産権およびノウハウを 7 月 4 日付で譲渡したという。BULL では、これまで ALE が蓄積してきた技術力および商品力に一定の価値を見出しており、それらの最大活用による持続的な事業成長が期待されるとしているほか、ALE と比べ、より早期の事業化が見込めることもあり、BULL の下での取り組み継続が最善と判断したとしている。



宇宙デブリ対策事業のキービジュアル (出所:ALE)

なお、ALE での宇宙デブリ対策事業は終了するものの、残りの人工流れ星を始めとした「宇宙エンターテインメント事業(SKY CANVAS)」ならびに、地球大気の詳細データを活用し気候変動の解明への貢献を目指す「大気データ事業」は継続するとのことで、宇宙開発事業者として軌道上環境の維持に努める姿勢に変わりはないとコメントしている。

<https://sorabatake.jp/32829/>

2023/7/3

欧州宇宙機関が「ゼロデブリ憲章」策定を計画。エアバスら民間 3 社が策定に参加へ【宇宙ビジネスニュース】

【2023 年 7 月 3 日配信】一週間に起きた国内外の宇宙ビジネスニュースを宙畑編集部員がわかりやすく解説します。6 月 22 日、世界最大規模の航空見本市「パリ航空ショー」で欧州宇宙機関 (ESA) が「ゼロデブリ憲章 (Zero Debris Charter)」を策定する計画を発表し、ヨーロッパに拠点を置く Airbus Defence and Space、OHB、Thales Alenia Space が策定に参加する意向を示しました。このゼロデブリ憲章は、これまでの ESA の宇宙の持続可能性に関する世界的なコンセンサスを形成することを目的とした取り組みと、安全で持続可能な宇宙運用を可能にする技術やソリューションに関する ESA の技術的な取り組みを橋渡しすることを目的としています。ESA らは 2030 年までに達成すべき目標を特定し、2023 年末頃までにゼロデブリ憲章を策定する計画です。ESA のヨゼフ・アッシュバッハー長官は「私たちは、NewSpace セクターを含む宇宙エコシステムのすべての関係者が、ゼロデブリ憲章のイニシアチブを通じて、スペースデブリの低減における世界的リーダーシップの達成に向けて強いコミットメントを示すことを求めています」と述べています。

<https://forbesjapan.com/articles/detail/64309>

2023.07.04

ニュートリノ天文学が大きく前進 天の川を素粒子で初観測



[Jamie Carter | Contributor](#)



ニュートリノ・レンズを通して見た天の川を青色で描いた画像 (ICECUBE COLLABORATION/U.S. NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (LILY LE & SHAWN JOHNSON)/ESO (S. BRUNIER)) [全ての画像を見る](#)

アイスキューブ観測所の背後に見える天の川とオーロラ (YUYA MAKINO, ICECUBE/NSF)

天の川銀河の新しい画像 (上) が公開されたことを受け、天文学者たちは、宇宙を観測する「新しいレンズ」の登場を歓迎している。この画像は光ではなく、ニュートリノと呼ばれる素粒子を捉えることで作成された。ニュートリノは原子よりも小さく、質量は極めて小さい。この画像は、私たちの住む天の川銀河を全く新しい形でとらえたものだ。

大きな一歩

南極にあるアイスキューブ・ニュートリノ観測所のギガトン容量検出器を使用している科学者 350 人以上からなる国際グループ「IceCube Collaboration (アイスキューブ・コラボレーション)」は、6月29日に科学誌サイエンスに[発表](#)した論文で、天の川銀河から高エネルギーのニュートリノが放出されている証拠を見つけたと報告した。

グループのメンバーである米ドレクセル大学のナオコ・クラハシ・ニールソン準教授は「天の川銀河を、光ではなく粒子を使って初めて観測したことは大きな一歩です」と[説明している](#)。「ニュートリノ天文学が進化することで、私たちは宇宙を観測するための新しいレンズを手に入れます」

宇宙線

宇宙線が天の川のちりやガスと相互作用すると、ガンマ線とニュートリノが生成される。ガンマ線は以前から検出されており、2022年にはM77銀河から放出される高エネルギーのニュートリノが[検出された](#)。

ニュートリノが物質や放射線との間で起こす相互作用は微弱で、検出は極めて難しい。アイスキューブ・ニュートリノ観測所には、南極の氷1立方キロメートルの中に埋め込まれた5000個のセンサーがあり、天の川銀河やさらに遠方から来る高エネルギーニュートリノを観測している。ニュートリノが氷と相互作用を起こした際に微かな光のパターンが生まれ、その一部を追跡していくことで発生源を突き止められる。

今回の発見は、アイスキューブ検出器のアップグレードや、新しい機械学習データ分析ツール導入の成果だ。こうした進歩により、過去10年間で検出されたニュートリノの発生源を見つけられるようになった。

隠れた特性

研究に用いられたデータセットには、アイスキューブの10年間にわたる6万件のデータが含まれている。過去の研究で使用されたものの30倍以上の規模だ。

その結果得られた天の川の画像には、以前ガンマ線が観測された場所に、明るい点が映し出されている。そこは宇宙線が星間ガスと衝突した場所で、ニュートリノの発生源と推定される。ドレクセル大学の物理専攻大学院生でアイスキューブのメンバーであるスティーブ・スクラファニは「対応するニュートリノが測定されたことで、天の川銀河や宇宙線源に関する私たちの知見が裏付けられました」と述べている。

米国立科学財団 (NSF) 物理学部門ディレクターのデニス・カルドウェルは「これらの技術は今後も精緻化されていくので、画像の解像度が増し、これまで人類が見たことのない天の川銀河の隠れた特性が明らかになると期待できます」と語った。

([forbes.com 原文](#)) 翻訳=高橋信夫・編集=遠藤宗生

「ホットジュピター」は“孤独”ではない？ 従来の惑星形成論に異を唱える結果

2023-07-02 彩恵りり

これまでに発見されている「太陽系外惑星」の多くを占める「ホットジュピター」と呼ばれるタイプの惑星は、その形成過程が注目されています。これまで、ホットジュピターは“孤独”であり、同じ惑星系に他の惑星は存在しないと考えられてきました。しかし今回、安徽師範大学の Dong-Hong Wu 氏などの研究チームは、ホットジュピターが存在する惑星系の 12%には別の惑星も存在する可能性があることを示しました。この成果は、ホットジュピターを含む全ての惑星の形成過程を考える上で影響を与える可能性があります。



【▲ 図 1: ペガサス座 51 番星 b の想像図。世界で初めて見つかった恒星の周囲を回る惑星は、太陽系しか知らなかった私たちには常識外れなため、大きな衝撃を与えた (Credit: NASA / JPL-Caltech)】

太陽以外の恒星の周りで惑星が初めて見つかったのは 1995 年のことです。最初のケースとなった「ペガサス座 51 番星 b」の発見は天文学者を驚かせました。その理由は、木星と比べて少し小ぶりの巨大ガス惑星が、太陽とほぼ同じ大きさの恒星をたった 4.2 日周期で公転しているからです。

太陽系で最も太陽に近い惑星である水星でも、公転周期は 88 日です。木星のような巨大ガス惑星は水星よりもずっと遠い軌道を数十年～数百年かけて公転していることを考えれば、ペガサス座 51 番星 b は主星に対して異常に近いことになり、太陽系しか知らなかった私たちにとって常識はずれな惑星系でした。

当初はペガサス座 51 番星 b の存在自体が疑われたものの、その発見を皮切りに似たような惑星が続々と見つかるようになったことで、このようなタイプの惑星の存在は疑いようのない事実として受け止められるようになり、「高温の木星型惑星」を意味するホットジュピターという呼び名が与えられるまでになりました。

しかし、最初の発見から 30 年近くが経った現在でも、ホットジュピターの形成過程は不明のままです。観測体制の構築が進んだことで、ホットジュピターよりも少しだけ遠くを公転する「ウォームジュピター」（ここでは公転周期が 10 日～300 日のホットジュピター）と呼ばれるサブタイプの惑星も数多く見つかるようになりました。また、太陽系と同程度か、さらに遠くを公転する巨大ガス惑星も発見されています。それにもかかわらずホットジュピターが大量に見つかったという事実は、宇宙ではそのような惑星が形成されることも珍しくはないことを示しています (※)。

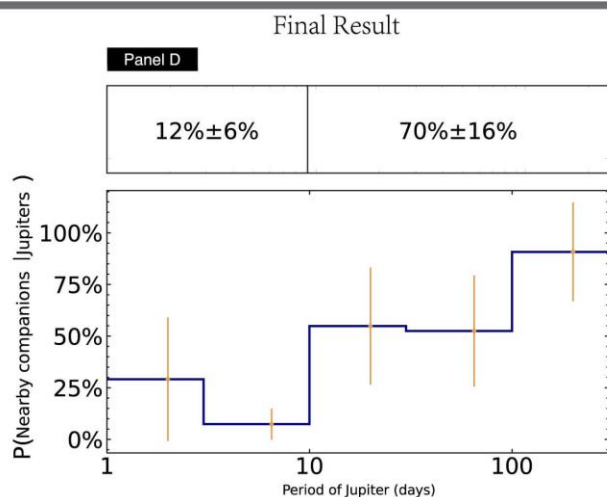
※...ホットジュピターが大量に見ついているのは、そのような惑星を見つけやすいという観測バイアスもあります。ただし絶対数が多いことは、バイアスを考慮してもなお存在が珍しくないことを示しています。

これまでの惑星形成論では、巨大ガス惑星は恒星から遠く離れた場所で誕生する、と一般的に考えられています。巨大ガス惑星の素となるガスは、誕生したばかりの恒星の放射によって惑星系の外側へと押しやられていきます。恒星の近くではガスをまとう前にガスそのものが消えてしまう一方で、恒星から遠くでは十分な時間があると考えられます。そのような外側で誕生した惑星が恒星のかなり近くまで移動するには、途中で彗星のような細長い（離心率の大きい）楕円軌道に移行するプロセスが必要であるという説が有力です。シミュレーションの結果、このような軌道はやがて潮汐力の作用によって小さな円形の軌道へ自然に移行することが示さ

れています。形成された場所から恒星の近くへ移動するまでの間、巨大ガス惑星が過渡的に周回することになると考えられているこの楕円軌道は、他の惑星との重力的な相互作用によって発生すると考えるのが最も自然です。巨大ガス惑星の公転軌道が楕円軌道に変化し、さらに小さな軌道へと変化する過程では別の惑星の近くを通過することになります。すると、巨大ガス惑星の接近によって他の惑星の軌道も変化し、恒星に落下したり恒星の重力を振り切って離脱してしまったりする確率が上がります。結果としてホットジュピターは、同じ惑星系に他の惑星が存在しない“孤独”な惑星であるという説が有力でした。しかし Wu 氏は、この定説に疑問を投げかける研究結果を発表しました。その背景には、ホットジュピターを含む複数の惑星が存在する

「WASP-47」や「ケプラー730」といった惑星系が近年になって続々と発見されていることがあります。こうした惑星系の存在は先述の軌道変化では説明できず、少なくともホットジュピターの一部は別の方法で形成された可能性を示唆しています。提案されているのは、ホットジュピターは最初から恒星にかなり近い場所で直接形成され、公転軌道はほぼ変化しなかったとするプロセスです。これなら複数の惑星が存在することを説明できますが、今度はそれほど恒星に近い場所でどうすれば巨大ガス惑星が形成されるのかが大きな謎となってしまいます。これを知るには、恒星の近くで形成されたホットジュピターがどの程度の割合を占めているのかを知る必要があります。Wu 氏らは、アメリカ航空宇宙局 (NASA) の宇宙望遠鏡「ケプラー」のデータからホットジュピターの「TTV (Transit Timing Variations)」を調べることで、ホットジュピターが存在する惑星系にどの程度の割合で他の惑星が存在するのかを調べました。

ケプラーは惑星が恒星の手前を横切り、光の一部を隠す「トランジット」が起きた時の減光を検出することで惑星を発見するために打ち上げられた宇宙望遠鏡です。トランジットのタイミングは惑星の公転周期に従っているため、通常は一定です。しかし、ホットジュピターの近くに他の惑星が存在する場合、その重力の影響でホットジュピターの公転速度がわずかに変化するため、恒星の手前を横切るタイミングが変化します。トランジットのタイミングの差分をもとに惑星の存在を調べるのが、TTV と呼ばれる手法です。タイミングに生じる変化は極めてわずかであるため、他のノイズと紛れやすく、観測が困難です。



【▲ 図 2: 今回の研究で導き出された、ホットジュピターの近くに他の惑星がある確率。公転周期が 1 日～3 日のホットジュピターでも約 3 割は近くに他の惑星が存在することになる (Credit: Wu, Rice & Wang)】
Wu 氏は 4 年分の膨大なデータを分析し、ケプラーのデータから TTV を検出することに成功しました。以前に行われた同様の研究では TTV の検出に失敗していたため、TTV の検出成功そのものが大きな成果の 1 つです。このデータを元に分析を行ったところ、ホットジュピターの 12±6%、ウォームジュピターの 70±16%は、重力の影響を受けるほどの近くに他の惑星が存在する可能性が高いことが分かりました。特に公転周期が 1 日～3 日のホットジュピターに限れば、そのうちの約 3 割 (29.1±29.1%) が他の惑星とともに存在するという結果となりました。これはホットジュピターが“孤独”な存在だとする従来の観測結果に大きく異を唱える結果です。

今回の研究結果は、例えばお互いの惑星の軌道面の角度が揃っているのかどうかといったデータが不足しているため、これ以上深く考察することはできません。とはいえ、従来のホットジュピターのイメージを書き換えるには十分な成果です。もしも巨大ガス惑星が恒星の近くで誕生する可能性は低くないとする場合、それは従来の惑星形成論に重大な欠陥があることを意味します。もしかすると、太陽系のように内惑星が小さくて外惑星が大きい惑星系は、宇宙では少数派なのかもしれません。今回の研究はホットジュピターだけでなく、太陽系を含めた全ての惑星系の形成過程を書き換えることにつながるかもしれません。

Source

[Dong-Hong Wu, Malena Rice & Songhu Wang](#). “Evidence for Hidden Nearby Companions to Hot Jupiters”.

“Evidence for Hidden Nearby Companions to Hot Jupiters”. (The Astronomical Journal)

[Barbara Brosher](#). “Hot Jupiters’ may not be orbiting alone”. (Indiana University) 文／彩恵りり

<https://sorae.info/astrometry/20230704-wd0032-317b.html>

表面温度 8000°Cの褐色矮星「WD0032-317B」を発見 超高温な惑星に似た環境

2023-07-04 彩恵りり

極端な高温に晒された巨大ガス惑星では、大気を構成する分子が分解して非常にエキゾチックな化学成分を示すと考えられています。しかし、このような条件が揃っている惑星はこれまで1例しか発見されていませんでした。ワイツマン科学研究所のNa'ama Hallakoun氏らの研究チームは、巨大ガス惑星ではないものの、それに非常に近い性質を持ち、約8000°Cもの高温に晒された褐色矮星「WD0032-317B」の研究結果を公表しました。8000°Cといえば太陽の表面よりも高い温度です。WD0032-317Bの存在は、高温の惑星環境を研究する上での良い観測対象となる可能性があります。



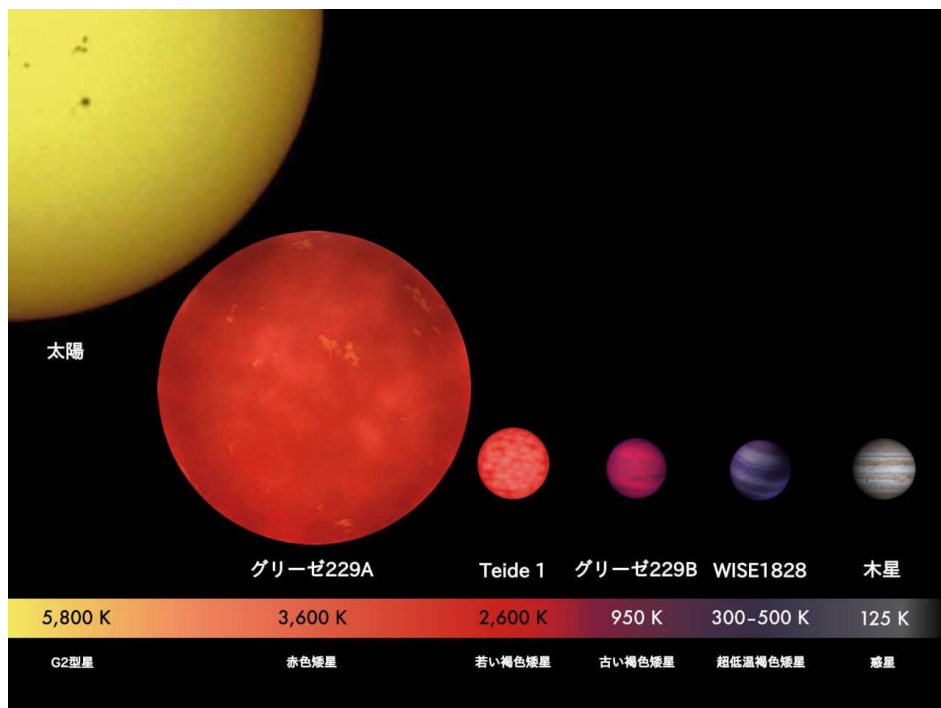
【▲ 図1: 白色矮星を公転する褐色矮星の想像図。白色矮星は褐色矮星よりもはるかに重い直径は小さな天体であるため、その周りをさらに大きな天体が公転しているように見える (Credit: NASA's Goddard Space Flight Center)】

1995年に発見された「ペガスス座51番星b」を皮切りに、極端に恒星に近い軌道を公転する巨大ガス惑星「ホットジュピター」が数多く発見されています。太陽系の巨大ガス惑星である木星や土星とは違い、ホットジュピターは恒星からの強い放射に焙られ続けるため、蒸発した大気が流出している様子も観測されています。また、極端な高温に晒されていることから低温の惑星では見られない化学成分が次々と見つかっており、興味深い対象として日夜観測と研究が行われています。

2017年に発見された「KELT-9b」は、その極端な事例の1つとして知られています。公転軌道が恒星「KELT-9」に極めて近い上に、KELT-9自体が太陽よりも高温なタイプの恒星（表面温度は約9300°C）であるために、KELT-9bの昼側の気温は約4300°Cに達しています(※1)。これは低温なタイプの恒星表面よりも高い温度であり、知られている中では最も高温な惑星です。

※1...KELT-9bは恒星から極端に近い距離を公転しているため、潮汐力の作用によって昼側と夜側は永久に固定されている状態(潮汐ロック、潮汐固定)だと考えられています。

極端な高温とそれによる激しい大気循環、恒星から降り注ぐ強力な紫外線によって、KELT-9bは水、メタン、水素といった化学的に安定な分子ですら原子単位に分解され、通常は重すぎて大気中に現れることのないテルビウムなどの金属元素が存在しています。KELT-9bはホットジュピターが蒸発する詳しい過程、極度の高温によって生じるエキゾチックな大気の様子、巨大ガス惑星の内部の組成を間接的に知る手段として、非常に貴重な存在です。ただし、安定な分子が分解するほどの極端な環境にある惑星は、今のところKELT-9bの1例しか知られていません。太陽よりも重いKELT-9のような恒星での惑星発見の事例がほとんどない上に、詳細な大気成分を探るための観測が難しいという技術的な困難さがあるためです。比較できる対象の不在は、超高温の惑星の大気を研究する上で一つの障害となっていました。



【▲ 図2: 褐色矮星とその他の天体の比較。褐色矮星は巨大ガス惑星と軽い恒星(赤色矮星)の間の性質を持つ(Credit: MPIA / V. Joergens / Wikimedia Commons)】

今回Hallakoun氏らが報告したWD0032-317Bは惑星ではないものの、よく似た性質を持つ「褐色矮星」と呼ばれるタイプの天体です。褐色矮星は巨大ガス惑星と恒星の間に属する天体であり、その重さは木星の13倍~80倍です。褐色矮星の中心部では重水素やリチウムの核融合反応が起こりますが、存在量が非常に少ない原子核を素にしている反応なのですぐに停止してしまい、その後は赤外線放射をしながらゆっくりと冷えていくこととなります。褐色矮星は高温のタイプでも表面温度は2000℃未満であり、なかには100℃を下回って水の雲を持つ例すらあります。この点で、褐色矮星は巨大ガス惑星の非常に重いタイプだと見なすことができます。今回の研究対象となった褐色矮星WD0032-317Bは、地球から約1410光年離れた位置にある白色矮星「WD0032-317」をわずか2.3時間周期で公転しています。WD0032-317は恒星ではなく白色矮星(太陽くらいの軽い恒星が寿命を迎えた後に残す高密度の中心核)ですが、その表面温度は約3万7000℃と推定されています。白色矮星と褐色矮星の組み合わせはこれまで12例しか見つかっておらず、その中でもWD0032-317はかなりの高温です。WD0032-317Bはかなりの高温と強烈な紫外線に晒されていると推定されますが、正確な環境はわかっていませんでした。Hallakoun氏らは過去の観測結果に基づく複数のモデルを構築し、WD0032-317Bの環境を推定しました。最も難しいのは、白色矮星の放射の特性を決める中心核の組成であるため、今回の研究では「ヘリウム核(ヘリウムを主体とした中心核)」と「ハイブリッド核(炭素など様々な元素が混合した中心核)」という2つの仮定を元に計算を行いました。その結果、WD0032-317Bの昼側(※2)の気温は、へ

リウム核モデルでは 7600°C、ハイブリッド核モデルでは 8500°Cだと推定されました。この温度は KELT-9b を上回り、恒星である太陽の表面温度（5500°C）よりも高い温度です。その一方で、夜側はどちらのモデルでも約 1700°Cだと推定されるため、昼夜の温度差は 6000°C前後もあることとなります。また、WD0032-317B が受ける極紫外線（非常に高エネルギーの紫外線）は、KELT-9b の 5600 倍であると推定されます。

※2...上記 KELT-9b と同様に、WD0032-317B の昼夜も固定されていると考えられています。

これほど極端な熱と紫外線を受ける環境では、褐色矮星自体の赤外線放射は無視できるため、WD0032-317B は事実上巨大ガス惑星と同等であると見なせるため、KELT-9b と比較できる観察対象になり得ます。WD0032-317B のさらなる詳細な観測は、極端な環境に置かれた巨大ガス惑星の大気成分の変化や、どのように大気が蒸発していくのかを調べるための良い指標になると考えられます。

Source [Na'ama Hallakoun, et.al.](#) “An irradiated-Jupiter analogue hotter than the Sun”. (arXiv)

[Bob Yirka.](#) “Discovery of a brown dwarf hotter than the sun”. (Phys.org)

[Joanna Thompson.](#) “Bizarre object hotter than the sun is orbiting a distant star at breakneck speed”. (Live Science)

[Brian Koberlein.](#) “A Brown Dwarf is Getting Hit With So Much Radiation it's Hotter Than the Sun”. (Space.com)

文／彩恵りり

<https://sora.info/astrometry/20230705-parity-violation.html>

銀河の配置には偏りがある 宇宙に物質が存在する理由と関連している可能性も

2023-07-05 [彩恵りり](#)

私たちが住む宇宙は物質に満ちており、反物質はほとんど存在しません。この事実は、宇宙の初期段階では物質のほうが反物質よりも多く生成された時代があった可能性を示しています。

しかし、人類はこの非対称性を理論的にも実験的にも説明することには成功しておらず、そもそも本当にそんな時代があったのかも分かっていません。今回、フロリダ大学の Jiamin Hou 氏らの研究チームは、宇宙に存在する銀河の配置をもとに、宇宙の初期段階にそのような時代があった可能性を示しました。この宇宙における物質の生成という非常に根源的な対象に切り込んだ研究として、今回の成果は重要です。

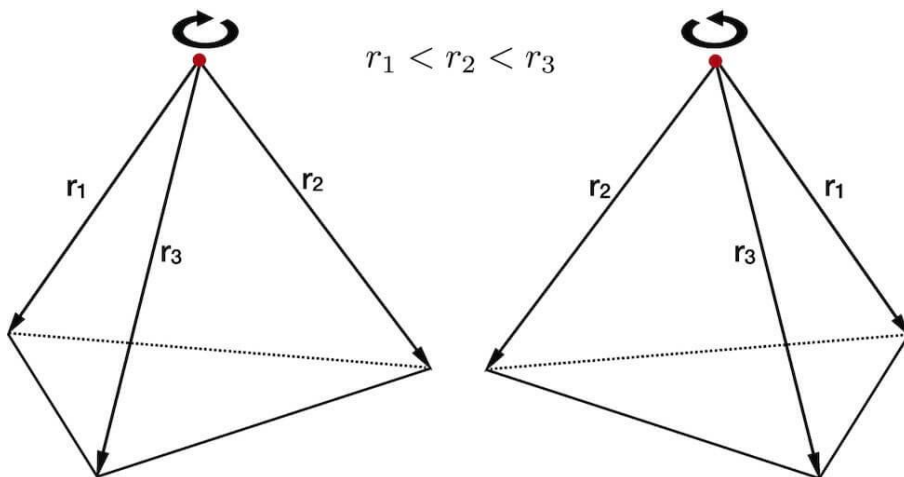


【▲ 図 1: 銀河の配置は一見するとランダムのように思える。しかし今回の研究では、その配置には偏りがあるらしいことが判明した (Credit: ESA / Hubble & NASA, H. Ebeling)】

ボールを空中に放り投げた時、ボールの描く放物線の高さや飛距離は、投げる強さや角度によって決まります。その一方で、投げる方向を変えても放物線は変化しません。右に投げても左に投げても、ボールの描く軌道は同じです (※1)。現代の物理学には、宇宙のどこにいても同じ物理法則が適用されるという根本的な概念があります。この概念は「パリティ対称性 (P 対称性)」と呼ばれています。

※1...厳密には、この例えは簡易的なもので、パリティ対称性をきちんと説明してはいません。パリティ対称性を説明するには3次元空間を表す3軸が全て反転している必要がありますが、この例えでは1軸しか反転していないからです。ただし、パリティ対称性は宇宙の全ての時代で厳密に守られていた、とは考えられていません。この宇宙には物質が存在する一方で、一部の性質が反転している反物質はほとんど存在しないことがその理由です。宇宙が誕生してからある程度の時間が経った段階で、宇宙を満たすエネルギーから物質と反物質が生成されたと考えられています。理論的にも実験的にも、物質と反物質は必ず同じ数がペアとして生成される「対生成」の関係にあることが知られています。ところが、物質と反物質が同じ数だけ生成されるとした場合、物質と反物質はすぐさま会ってエネルギーに戻る「対消滅」を経験し、宇宙には物質も反物質も残らないことになります。現在のように宇宙が物質に満ちるためには、何らかの理由で物質のほうが反物質よりも多く作られ、対消滅をせずに残る現象が起こるはずですが、これを「バリオン数生成」と呼びますが、これはパリティ対称性が破れている（パリティ対称性に反する）現象です。

パリティ対称性が破れている状況がどのようにして起こるのかは、今の物理学の理論では説明がついておらず、解決にはまだまだ時間がかかりそうです。そもそも、宇宙はそのようなパリティ対称性が破れている時代を本当に経験したのかどうかもよくわかっていないのです。唯一の例外として、4つの基本相互作用（基本的な力）の1つである「弱い相互作用」は、パリティ対称性が破れている唯一の物理学的現象であることが知られています（※2）。しかし、弱い相互作用は伝達距離が非常に短く、原子核の内部で完結しています。これに対し、物質と反物質の非対称性を説明するには、もっと長い伝達距離でパリティ対称性が破れている必要がありますが、今まではその証拠が見つかっていませんでした。※2...さらに、弱い相互作用は高次の対称性であるCP対称性（電荷（チャージ）対称性（C対称性）とパリティ対称性を掛け合わせたもの）も破れているために、時間対称性（T対称性）も破れていることが判明しています。これらを考慮してもなお、宇宙における物質の豊富さは説明できないことが分かっています。



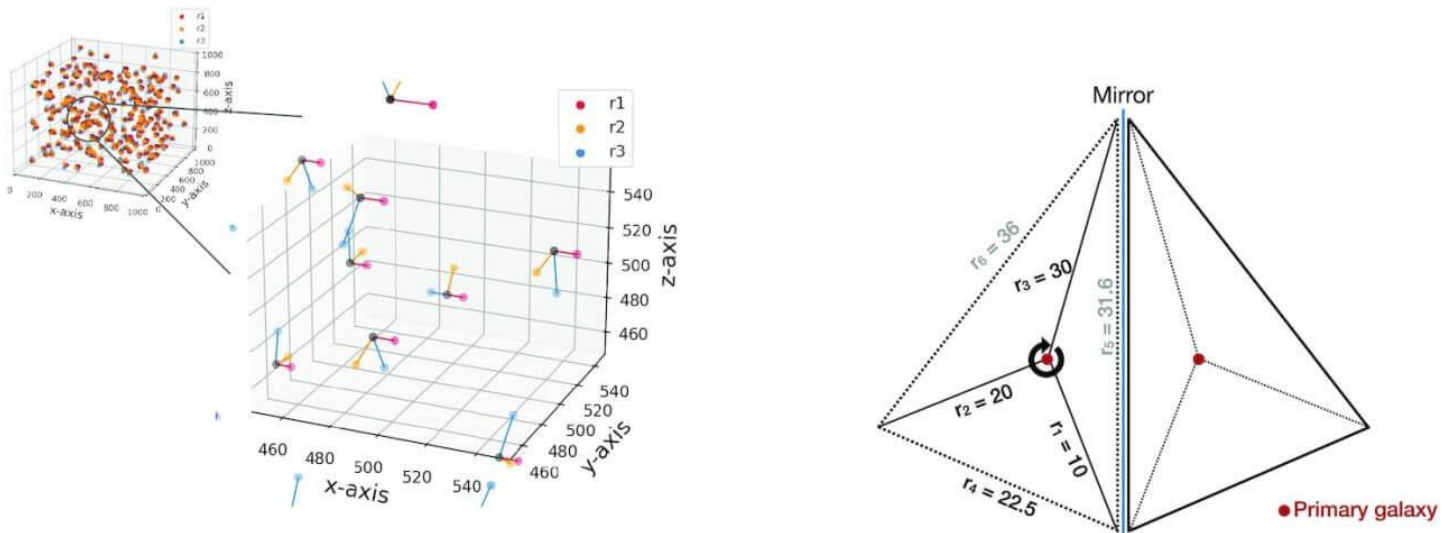
【▲ 図2: 四面体は鏡写しにした形どうしが一致しない最も単純な立体である。4点相関関数はこの性質を利用し、銀河の配置を四面体として捉えることで、その形状がランダムなのかを調べる手法だ（Credit: Hou, Slepian & Cahn）】

そこでHou氏らの研究チームは、宇宙における銀河の配置からパリティ対称性が破れている証拠を見つけるといって、一風変わったアプローチで研究を行いました。

この手法には「銀河4点相関関数（galaxy four-point correlation function）」という難しい名前がついていますが、基本は非常に単純です。銀河をランダムに4つ選び出して線で結ぶと、全てが三角形の面で構成された四面体（三角錐）ができます。四面体は3次元空間で最も単純な立体であるだけでなく、その鏡写しの形は3次元空間内でどのように回転させても一致することはありません。

「四面体の鏡写しは別々の立体である」というこの特徴は、宇宙でパリティ対称性が破れていた時代を探る上で重要となります。大雑把に言うと、銀河の配置は初期の宇宙の物質密度のデコボコを反映しています。もし

も宇宙の歴史を通じてパリティ対称性がずっと保たれていた場合、このデコボコの配置は完全にランダムなものとなるため、銀河が形作る四面体の形状も完全にランダムになるはずで。一方で、もしも宇宙の初期段階にパリティ対称性が破れていた時代があった場合、物質密度のデコボコの配置、さらに言えば四面体の形状にも偏りが生じます。この偏りを見つけることで、初期宇宙のパリティ対称性を間接的に知ることができるというわけです。ただし、銀河の配置は見たところランダムだとしか思えないため、そのような偏りはあったとしても極めてわずかなものでしかないはずで。観測対象は異なるものの、同じような偏りを見つける過去の研究には「偏りらしいもの」を見つけることに成功したものもあります。しかし、示された偏りは非常に弱く、本当はランダムでしかないものが偶然「偏りらしいもの」として見えている可能性を否定することができていませんでした。



【▲ 図 3: 今回の研究手法における、銀河の配置が四面体を構成していることを示す一例 (Credit: Hou, Slepian & Cahn)】

Hou 氏らの研究チームは、内容を確かなものとするために、「スローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS)」で得られた銀河のデータを使用して、様々な四面体の形状を分析しました。銀河の数は 100 万個以上、そこから作り出せる四面体の総数は 1 兆個以上もあります。そのままでは計算量が膨大すぎるため、分析には数学的に工夫された手法が必要でした。また、元となるデータの問題から、2つの方法で計算が行われました。その結果、精度の高い方法では 7.1σ 、低い方法でも 3.1σ の信頼値で、銀河の分布には偏りがあることが判明しました。この信頼値をもう少し分かりやすく言うと、今回の研究で明らかにされた偏りが実際にはランダムであり、偶然それらしく見えただけのものを「偏りだ」と誤認している確率は、精度の低い方法で約 0.2%、高い方法では約 0.0000000013% (10 兆分の 13 という低確率) になります。

精度の高い方法の値は、このような膨大なデータを分析する研究で求められる 5σ (偶然である確率が約 0.00006%) という水準を超えているため、銀河の分布に偏りがあるという結果は正しそうです。また、精度の低い方法は単独では 5σ の水準を満たしていないものの、精度の高い方法とほぼ同じ手法を使って似たような結果が得られたことが注目されます。今回の研究結果について、Hou 氏らはアイザック・ニュートンの有名な言葉「私は仮説をつくらない (Hypotheses non fingo)」を引用し、この結果からより大きな何かを語ることに注意喚起をしています。今回の研究は、あくまでも銀河の配置にランダムではない偏りがあることを示したに過ぎず、この偏りが本当に初期宇宙のパリティ対称性の破れによって生じたのか、それとも他に理由があるのかまでは分かりません。それでも Hou 氏らは、銀河の配置が決定されたのは初期の宇宙が急激に膨張したインフレーションの時代と考えるのが最も自然だとしています。この時代はパリティ対称性の破れによって物質が反物質よりも多く生成されたとみられる時期と一致しています。パリティ対称性を巡る謎がすぐに解決するのかわかりませんが、少なくとも今回用いられたアプローチはさらに洗練される可能性があります。特

に、運用を開始したばかりの「暗黒エネルギー分光器（DESI）」、直近で運用開始が予定されているヴェラ・C・ルービン天文台の「大型シノプティック・サーベイ望遠鏡（LSST）」や「ユークリッド宇宙望遠鏡」は、さらに高精度な観測データを提供してくれると期待されています。これらのデータの調査や比較研究は、今回の観測結果を肯定するか、もしくはパリティ対称性の異なる原因を示してくれるでしょう。

Source

[Eric Hamilton](#). “The laws of physics used to be different, which may explain why you exist”. (University of Florida)

[Robert N. Cahn, Zachary Slepian & Jiamin Hou](#). “Test for Cosmological Parity Violation Using the 3D Distribution of Galaxies”. (Physical Review Letters)

[Jiamin Hou, Zachary Slepian & Robert N. Cahn](#). “Measurement of parity-odd modes in the large-scale 4-point correlation function of Sloan Digital Sky Survey Baryon Oscillation Spectroscopic Survey twelfth data release CMASS and LOWZ galaxies”. (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society) 文／彩恵りり

<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/23/070400344/>

途方もない重力波を検出、波長は数光年から数十光年、初の証拠

発生源は合体する超巨大ブラックホールか、それとも初期宇宙の現象か

2023.07.07



2つのブラックホールがお互いの周りを回りながら近づく様子を描いた図。このときに重力波を発生する。

(ILLUSTRATION BY MARK GARLICK, SCIENCE PHOTO LIBRARY) [画像のクリックで拡大表示]

米ウエストバージニア州グリーンバンクにあるグリーンバンク望遠鏡。NANOGravのプログラムに参加し、低周波重力波を観測している。この電波望遠鏡は、国が指定する電波規制地域（NRQZ）内にある。たくさんの望遠鏡を干渉から守るため、無線電気通信信号の利用が禁じられている地域だ。（PHOTOGRAPH BY ANDREW CABALLERO-REYNOLDS, AFP/GETTY IMAGES） [画像のクリックで拡大表示]

時間と空間が織りなす巨大な重力波が検出されたことを示す証拠が得られた。その波長は、なんと数光年から数十光年だという。新たに発表された研究によると、このような波長の重力波の存在を示す証拠が見つかったのは初めてで、最大で太陽の100億倍という質量をもつ超巨大ブラックホールどうしの合体によるものではないかと考えられている。今回の発見の詳細は、2023年6月29日付けで学術誌「Astrophysical Journal Letters」に掲載された一連の論文にまとめられている。

この波を観測したのは、「北米ナノヘルツ重力波観測所」（NANOGrav）の研究者グループだ。68個のパルサーと呼ばれる回転する星の残骸を利用し、これらから発せられる電波放射のタイミングの変化を調べることで、重力波を検出した。「重力波の発生源はパルサーではありません。銀河スケールの時空の歪みを検出するために、パルサーを利用したということです」と、NANOGravの所長で米バンダービルド大学の宇宙物理学者であるスティーブン・テイラー氏は言う。

今回の発見により、超大質量ブラックホールによって宇宙がどう形づくられたかを知る手がかりが得られると期待されている。また、今回見つかった時空の歪みを調べることで、ビッグバン直後の時間についての知見

が得られるかもしれない。さらに、宇宙の全物質の約6分の5を占めると考えられているダークマターの本質とは何かといった謎の解明に役立つ可能性もある。質量を持つ物体が加速すると、重力波と呼ばれる歪みが生じる。この重力波は光の速度で伝わり、それに応じて時空が伸びたり縮んだりする。重力波は1916年にアルベルト・アインシュタインによって予言され、2015年に「レーザー干渉計重力波天文台」(LIGO)で初めての直接的証拠が観測された。LIGOは、この波が物質を通過する際に生じさせる微細な歪みを検知できる。重力波が特に役立つのは、ブラックホールのように光で直接観測できないものを調べたい場合だ。

光(電磁波)にはさまざまな波長や周波数がある。たとえば、ガンマ線は波長が短く周波数が高いが、電波は波長が長く周波数が低い。重力波も同じだ。LIGOが検出できるのは、波長が3000キロメートル程度の周波数が高い重力波だ。米ウィスコンシン大学ミルウォーキー校の物理学者で、NANOGravの研究に参加しているサラ・ビーゲランド氏は、「LIGOは短時間で変化するものを観測します」と話す。

それに対して、今回初めて検出されたのは、長波長で低周波の重力波だ。波長は非常に長く、波の頂点から次の頂点までの距離は、光の速さで数年から数十年分ほど離れている。

「私たちは、重力波の世界のまったく新しい領域を探り始めました」とビーゲランド氏は言う。「数カ月から数年をかけて変化するものを観測しているのです」

時空を揺るがす超巨大ブラックホール

今回見つかった重力波の発生源として最も可能性が高いのは、太陽の質量の1億倍から100億倍という2つの超巨大ブラックホールだ。一方、LIGOが検出した重力波は、せいぜい太陽の数十倍程度という小さなブラックホールか中性子星の衝突によるものと考えられている。

「高速に回転するパルサーを銀河規模の検出器として使うことで、超巨大ブラックホール連星から発せられると思われる、数光年の波長を持つ重力波を観測するのです。まるでSFですね」。そう話すのは、米国立電波天文台(NRAO)の天文学者で、NANOGravの研究に参加しているスコット・ランサム氏だ。

宇宙で最大規模の銀河の中心には、超巨大ブラックホールが存在すると考えられている。2つの銀河が合体するとき、それぞれの中心にある2つのブラックホールが、新しくできる銀河の中心に集まってくる。それが連星系のようにお互いの周りを回り合うと、重力波が生じる。

[次ページ: 他にも考えられる発生源](#)

理論物理学の分野では、このような巨大ブラックホールが実際に合体できるのかが長らく議論されている。果たして2つのブラックホールは、検出可能な重力波が生じるほど近づくことができるのか。この問題に結論は出ておらず、「ファイナルパーセク問題」と呼ばれていた。今回の発見は、非常に巨大なブラックホールが接近し合った連星が確かに存在することを示唆するものだ。2つのブラックホールが今回の方法で検出できるほど接近したのなら、これらが数百万年以内に衝突する運命にあるということだ。

意外なことに、この重力波の信号の強さは、研究者の想定約2倍だった。つまり、超巨大ブラックホールはこれまで考えられていたよりも数が多いか、質量が大きい可能性がある。今回の発見は、宇宙全体で超巨大ブラックホール連星が数十万個から数百万個存在することを示唆している。ランサム氏は、「このような知見を活用すれば、宇宙で巨大銀河が合体して成長する仕組みや、その頻度がわかるかもしれません」と話す。

ギャラリー: ブラックホールの謎に迫る宇宙の画像 6点 (写真クリックでギャラリーページへ)



巨大な渦

NASA の望遠鏡が撮影した遠方の銀河では、中心のブラックホールのまわりを星々が環のように取り囲んでいる。(PHOTOGRAPH BY NASA/JPL-CALTECH) [\[画像のクリックで別ページへ\]](#)

他にも考えられる発生源

これまでの研究で、低周波重力波には未知の発生源があるかもしれないことがわかっている。たとえば、ビッグバンから 1 秒以内の熱く急膨張する宇宙にランダムな密度の揺らぎが発生し、物質が集まってブラックホールに崩壊した可能性がある。このような「原始ブラックホール」は、信じられないほど巨大で、ほとんど見ることはできない。スイスのジュネーブ大学で宇宙について研究するアントニオ・リオット氏によると、ダークマターの正体は未知の粒子ではなく、このような原始ブラックホールである可能性がある。

もう一つの候補は「宇宙ひも」だ。これは原子核よりも細い超高密度のひもで、一部の理論モデルでは、ビッグバン後に急速に冷える初期宇宙で作られたとされる。水が氷になるときにできるひびのようなものと表現できるかもしれない。この宇宙ひもが振動するときに、重力波が生じる可能性があるという。

さらに、「インフレーション」と呼ばれるビッグバン直後の宇宙の急膨張でも、重力波が生じた可能性がある。そのため、重力波は宇宙全体の形成過程を解き明かす手がかりになるかもしれない。今回 NANOGrav が検出した重力波は、超巨大ブラックホール連星が発生源である可能性が高そうだが、イタリア、ローマ・ラ・サピエンツァ大学の理論物理学者であるガブリエレ・フランチョリーニ氏は、「これが初期宇宙で発生した信号であることがわかれば、とても興味深いことです」と言う。

オーストラリアや中国、ヨーロッパ、インドでのパルサータイミングアレイ (NANOGrav と同様、複数のパルサーが発する電磁放射のタイミングを測定することで重力波を検出する方法) プロジェクトでも、低周波重力波の可能性のあるものが観測されている。イタリアのパドバ大学の宇宙学者、ビレ・バスコネン氏は、「今後、パルサータイミングアレイの精度が上がれば、重力波の発生源を絞り込めるはずです」と言う。なお、リオット氏、フランチョリーニ氏、バスコネン氏は今回の研究に関わっていない。

NANOGrav の調査データが集められた後の 2020 年、観測に加わっていたプエルトリコのアレシボ天文台が、運用廃止が発表された直後に崩壊した。今後の NANOGrav の観測には、2019 年にプロジェクトに加わったカナダの CHIME 天文台のデータが含まれることになる。ランサム氏は、「長く観測するほど、精度は上がります」と言う。(参考記事: [「時代を築いた巨大望遠鏡が解体へ、破損相次ぎ、プエルトリコ」](#))

NANOGrav が集めるデータが増えれば、特定のブラックホール連星で発生した重力波を突きとめることができるようになるかもしれない。これはまるで、オーケストラの演奏から一つの楽器が奏でるメロディを聞き分けるようなものだという。その発見を従来の観測データと組みあわせれば、光と重力の両方を使った分析もできるようになるだろう。

「私たちの見ているものが、存在することすら知らないものである可能性は常にあります」とビーゲランド氏は言う。「重力波の宇宙に新しい窓を開くことについて、最も面白いのはその点ではないでしょうか」

関連記事: [ブラックホールに吸い込まれる「降着円盤」の撮影に成功、初過去最大のブラックホール衝突を確認、科学者興奮ブラックホールが謎の天体のみ込んだ、重力波で初検出ブラックホールが中性子星を食らう瞬間、初観測か中性子星合体の重力波を初観測、貴金属を大量放出重力波検出に成功、30 億年前のブラックホール衝突 2 度目の重力波観測、天文学はいよいよ新時代へ重力波、世紀の発見をもたらした壮大な物語](#)

文=CHARLES Q. CHOI/訳=鈴木和博