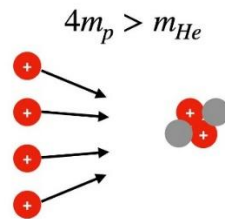


オーロラはなぜ生まれる？ 太陽活動が左右する“光のショー”の仕組み

本来は北極圏で見られるオーロラが、今年は全米各地でも観測された。オーロラ発生の背景には、太陽活動と地球の磁場の相互作用がある。



ニューヨーク州パッチョーグの上空に現れたオーロラ。2025 年 11 月 12 日。Photograph: Newsday LLC/Getty Images
Illustration: Rhett Allain

オーロラは通常、かなり北の地域でしか見られない。しかし、ここ 1 年ほどの間、北米全域の夜空にピンクや緑の光のカーテンが輝き、テキサスやハワイのようなはるか南の地域でも、その美しい光景が見られることがあった。この壮大な光のショーは、特に強力な太陽風、つまり太陽から超高速で放出される電荷を帯びた粒子によって引き起こされている。そしてその光の強さは、太陽が 11 年周期で起きる太陽活動のピークに達したことによる。周期のピークは最近過ぎたが、通常より強い嵐と、異例に広範囲なオーロラは 2026 年まで続くと予想されている。これは科学者が「宇宙天気」と呼ぶものの一例だ。宇宙天気とは、太陽と地球の相互作用によって生じるさまざまな現象のことだ。だが、宇宙天気の影響は美しいものばかりではなく、ときには危険な場合もある。しかし、その背後にある物理は非常に面白い。さあ、見てみよう！

太陽風の影響

太陽は巨大な火の玉だと考えがちだが、実際にはそうではない。火は酸素と炭素の化学反応によって発生するが、太陽は本質的に巨大な核融合炉のような存在である。太陽の中心部では、極端な圧力のもとで陽子がぶつかり合い、それが結びついてヘリウム原子核が形成される。ヘリウム原子核は、2 つの陽子と 2 つの中性子から成り立っており、そのうち 2 つの陽子は中性子に変化する。しかし、ヘリウム原子核の質量は、元の 4 つの陽子の質量よりも少なくなっている。その質量は失われたわけではなく、アインシュタインの有名な方程式 $E = mc^2$ によってエネルギーに変換されるのだ。ここで E はエネルギー、m は質量、c は光速だ。この光速が非常に大きな数値で、それが 2 乗されるため、わずかな質量の損失でも非常に大量のエネルギーが生まれる。これが太陽の中心部が 2,700 万度 F (約 1,500 万℃) もの高温になる理由。そう、かなり熱いのだ。この極端な高温の下で、太陽の外層のガスはプラズマ状態になる。そして電子が原子から引き離された自由な電荷（主に電子と陽子から成る）が飛び回る。その中には太陽の重力を振り切るほど高速で移動する粒子もあり、これが「太陽風」と呼ばれるものだ。

太陽風の影響は、彗星に当たったときに見ることができる。彗星は基本的に太陽の周りを長い楕円軌道で回る大きな雪玉のようなもの。太陽に近づくと、その氷の塊が昇華してガスになる。このガスの一部は電離されるのに十分なエネルギーを得て（電子が原子から解放され）、電荷を帯びたガスになる。そして太陽風が当たると、この電離されたガスを押しのけ、何千万マイルにも及ぶ尾をつくるのだ。

豆知識：彗星の尾はジェット機の飛行機雲のように進行方向の後ろに伸びると思われがちだが、実際には太陽とは反対の方向に向かって伸びる。

なぜ活発になるのか？

では、なぜ太陽風は 11 年ごとにこんなに活発になるのだろうか？ 実は地球と同じように、太陽にも磁場が

あるが、それが非常に不安定なのだ。太陽は固体ではないため、部分ごとに回転速度が異なる。その結果、磁場がねじれたり歪んだりする。そしておよそ 11 年ごとに磁極が反転するのだ。最後の反転は 2013 年に起こり、現在はその周期の影響下にある。この動く磁力線は太陽の表面を突き破り、黒点や太陽フレアとして知られるプラズマの大噴出を生む。なぜこんなことが起きるのか？ 電荷が飛び回ると、磁場によって押されたり引かれたりするからだ。これは以下のような簡単な実験でも確認できる。銅線を固定された磁石の近くに置き、両端を接続して電流を流すと、銅線が動く。身近な原理なのだ。



Video: Rhett Allain



Photograph: Rhett Allain



Video: Rhett Allain

太陽活動のピークでは、この噴き出す磁場が自由電子や陽子をコロナから引き出し、時速 150 万マイルもの速度で宇宙に放出する。これが本格的に起きると「コロナ質量放出 (CME)」と呼ばれ、それが近年の激しいオーロラの原因になった。2024 年 5 月には 3 回連続で質量放出が起こり、[数十年ぶりの最強の太陽嵐が地球](#)に届いた。専門家によると、この結果、500 年ぶりとも言われる壮大なオーロラショーが起きた可能性がある。

豆知識：実はオーロラは昼間にも存在している。ただ、わたしたちの目には見えないだけだ。

太陽嵐が大気を光らせるのはなぜ？

ではなぜ太陽嵐は地球の大気を輝かせるのか？ 実はこれは、ネオンサインが光る仕組みに少し似ている。ネオンライトは、ネオンやそのほかのガスを封入したガラス管で、一端からもう一端に電流を流すと、流れる電子がガス内の電子と衝突し、それらを高エネルギー状態に押し上げる。電子が落ちていて基底状態に戻るときに光を放つ。色はエネルギー変化の種類によって決まり、アルゴン、キセノン、水銀など異なるガスで異なる色が生まれるのだ。オーロラの場合はネオンではなく、大気中のガスが光る。酸素は低高度で緑色、上層では赤色を放ち、窒素は青や紫の光を生む。黄色やピンクはガスの混合ででき、通常は非常に強い太陽嵐のときだけ見られる。これらの光は、太陽からの高エネルギー粒子と地球自身の変動する磁場の組み合わせによって励起され、追加のエネルギーを得た粒子が衝突することで強く輝く。

さらに、地球の磁場もいま変化している。これは太陽嵐によって引き起こされる現象だ。移動する電荷が磁場で力を受けるのと同じように、電荷自体も磁場をつくる。大量の荷電粒子が降り注ぐと地球の磁場は曲がり歪み、その揺れが上空に壮大なオーロラショーを生むのだ。

宇宙天気の変化と危険性

残念ながら、宇宙天気は単なる美しい光ではない。特に[国際宇宙ステーションの宇宙飛行士](#)や高度を飛行する航空機の乗客にとって、太陽からの高速荷電粒子は危険な放射線である。これらの粒子のほとんどはベータ線だが、場合によってはアルファ粒子も含まれることがある。衛星への影響も深刻だ。荷電粒子の蓄積によって、衛星内部の電子部品が損傷を受ける可能性がある。また、太陽のエネルギーを大量に吸収した地球の大気は加熱され膨張し、その結果、低軌道の宇宙船には抗力が増え、軌道が減速して変わってしまう。最悪の場合、衛星が軌道を外れたり、落下する危険もある。地上も無事ではない。太陽嵐は通信やナビゲーションシステムを妨害したり、停電を引き起こすことがある。電流が磁場をつくることがあるが、その逆もある。変化する磁場は電流を生むことがあるのだ。簡単な実験で示すと、電池なしでメーターに接続したコイルに磁石を近づけると、コイル内に電流が発生するのだ。

これを電力線に置き換えて考えてみよう。磁場のわずかな変化でも、余分な電流が流れ、ヒューズを飛ば

したり変圧器を焼損させたりする可能性がある。実は、1859 年には、太陽嵐が電信線に直撃し、電信局で火災が起きたという記録も残っている。9,300 万マイル（1 億 5,000 万 km）も離れた太陽で起きる現象が、地球上の出来事に影響を及ぼすのは驚きだ。だが、これが「宇宙天気」なのだ。

(Originally published on wired.com, translated by Miranda Remington, edited by Mamiko Nakano)

<https://sorae.info/ssn/20251231-tianhui-7-shijian-29ab.html>

中国が 2 日連続でロケット打ち上げ 「天絵 7 号」と「実践 29 号」を軌道投入

2025-12-31 2025-12-31 [sorae 編集部 速報班](#)



【▲ 文昌宇宙発射場から打ち上げられた長征 7 号改ロケット (Credit: CASC／都鑫鑫)】

中国は日本時間 2025 年 12 月 30 日から 31 日にかけて、酒泉衛星発射センターと文昌宇宙発射場から相次いでロケットを打ち上げ、測量衛星「天絵 7 号」と、技術試験衛星「実践 29 号」をそれぞれ所定の軌道へ投入したと発表しました。打ち上げに関する情報は以下の通りです。

打ち上げ情報：長征 4 号 B (天絵 7 号) ロケット：長征 4 号 B (Long March 4B／CZ-4B)

- 打ち上げ日時：日本時間 2025 年 12 月 30 日 13 時 12 分
- 発射場：酒泉衛星発射センター（中国）
- ペイロード：天絵 7 号 (Tianhui-7)

新華社によると、天絵 7 号は地理情報の測量、国土資源の調査、科学研究などの用途に用いられるとされています。また科技日報は、天絵 7 号は中国航天科技集団 (CASC) 傘下の中国空間技術研究院 (CAST) が総合開発を担当したと報じています。

打ち上げ情報：長征 7 号改 (実践 29 号 A 星 B 星) ロケット：長征 7 号改 (Long March 7A)

- 打ち上げ日時：日本時間 2025 年 12 月 31 日 7 時 40 分
- 発射場：文昌宇宙発射場（中国）
- ペイロード：実践 29 号 A 星 B 星 (Shijian-29A／Shijian-29B)

CASC によると、実践 29 号は宇宙空間の目標探知に関する新技術検証試験に用いられるとされ、A 星は CASC 傘下の八院（上海航天技術研究院）が総合開発を担当したと伝えています。

文／sorae 編集部 速報班 編集／sorae 編集部

関連記事 [中国が「長征 3 号 B」打ち上げ 静止気象衛星「風雲 4 号 03 星」を軌道投入](#)

- [中国が「長征 8 号 A」打ち上げ 衛星インターネット用低軌道衛星群を軌道投入](#)
- [中国が新型ロケット「長征 12 号 A」初打ち上げ 2 段目軌道投入も 1 段目回収には失敗](#)

参考文献・出典 [新華網日本語版 - 中国、衛星「天絵 7 号」の打ち上げに成功](#)

- [CASC - 長七改火箭成功发射实践二十九号卫星](#)

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000015.000090708.html>

レーザービームによる宇宙デブリ軌道調整技術において 基礎検証フェーズを完了

株式会社 SpicyCompany（本社：東京都渋谷区、代表取締役：小宮 久）は、高出力レーザービームを用いた宇宙デブリ軌道調整技術において、理論検討および基礎的な技術検証フェーズを完了しました

あわせて本研究では、フィジカル AI（Physical AI）を用いてレーザーおよびエネルギー挙動をリアルタイムに制御するための技術要件を整理・確立しました。本技術は、宇宙デブリ表面にレーザーを照射し、微小な物質蒸発（Ablation）を発生させ、その反作用を推力として利用することで、非接触かつ推進剤を使用せずにデブリの軌道を変化させることを目的とした技術です。



■ 背景：宇宙デブリ問題と「人が介在しない制御」の必要性

低軌道（LEO）を中心とした衛星数の急増により、宇宙空間では以下の課題が顕在化しています。

・衛星とデブリの接近頻度の増加 ・衝突による機能喪失リスク ・微小デブリ増殖による連鎖的危険性
一方、宇宙空間では ・通信遅延 ・通信断 ・電波妨害

といったものがあり、地上から人が逐次判断・制御する方式には限界があります。

このため、「判断・制御を AI が物理レイヤーで直接行う」フィジカル AI の導入が不可欠となっています。

■ AI × レーザー制御というアプローチ

SpicyCompany が本研究で採用しているフィジカル AI は、単なるデータ解析や予測ではなくレーザーという物理エネルギーを直接制御対象とする AI です。本技術において、フィジカル AI は以下を担います。

・デブリの形状、材質、回転状態の推定 ・レーザー出力、照射位置、パルス幅のリアルタイム調整
・Ablation 量と反作用推力の即時評価 ・軌道変化を最小限かつ安全に誘導する制御判断

つまり、「どれだけ・どこに・どのように照射すれば、壊さずに軌道だけを変えられるか」という物理的判断を、AI がリアルタイムで行います。

■ 基礎検証フェーズで確立した主要要件

今回完了した基礎検証フェーズでは、レーザー軌道調整技術にフィジカル AI を適用するため、以下の要件整理および技術検証を行いました。

・レーザー照射条件（出力・波長・パルス幅）の制御範囲整理
・デブリ材質ごとの Ablation 特性の把握 ・微小推力が軌道要素へ与える影響の数値モデル化
・高速移動・回転物体に対する光学追尾精度の検討
・AI が物理現象を制御する際の安全制約条件の定義

これにより、AI によるレーザー制御が、理論上ではなく実装検討の対象として成立する段階にあることを確認しました。

■ 従来技術との違い

従来の宇宙デブリ対策は、・衛星側が回避機動を行う ・推進剤を消費する ・人が判断・指示するという前提に基づいていました。

SpicyCompany の技術は、・デブリ側に直接作用 ・推進剤不要 ・非接触

判断と制御を AI が担うという点で、次世代の宇宙安全技術としての位置付けを持ちます。

■ 技術的意義

本研究の意義は、「AI が物理エネルギーを直接制御し、宇宙空間で人に代わって判断・実行する」

という新しい技術レイヤーを、レーザーと宇宙安全の分野で具体化した点にあります。これは、将来の宇宙インフラにおいて、通信・防衛・観測の安全性を支える基盤技術となる可能性を持っています。

■ 代表コメント

「宇宙では、人が判断するより AI が判断した方が速く、安全な場面が増えています。レーザーと AI を組み合わせることで、初めて“現実的なデブリ回避”が見えてきました。」

株式会社 SpicyCompany 代表取締役 小宮 久

■ 会社概要 会社名：株式会社 SpicyCompany 代表者：代表取締役 小宮 久 (Hisashi KOMIYA)

本社所在地：〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 4-7-6

事業内容：・宇宙・防衛分野における先端技術研究開発 ・レーザーおよび高エネルギー技術
・次世代通信・制御・安全技術の研究

海外拠点：米国・中東・アジア TEL：0120-110-081 FAX：03-5422-1087 Web サイト：<https://spcg.jp/>

お問い合わせ先：contact@spcg.jp

<https://forbesjapan.com/articles/detail/87793> 2026.01.01 13:00

生命の材料、予想よりはるかに地球の近くで形成された可能性 リュウグウ試

料分析



[Bruce Dorminey | Contributor](#)



JAXA のはやぶさ 2 探査機がサンプルリターン(試料の採取と地球帰還)を成功させた小惑星リュウグウ。はやぶさ 2 の光学航法カメラ (ONC) で 2018 年 6 月 26 日に撮影 (JAXA, University of Tokyo, Kochi University, Rikkyo University, Nagoya University, Chiba Institute of Technology, Meiji University, University of Aizu, AIST)

地球の生命の材料物質は、どこから得られたのだろうか。地球の生命の発生は、水や炭素に富む小惑星によって運ばれる有機物質の供給が要となった可能性が高い。生命(アミノ酸を含む)の材料となったと考えられるこれらの水や有機物質の大半は、初期太陽系のはるか遠くからやって来たとする説がこれまで提唱されてきた。だが、学術誌 Nature Communications に掲載された論文で、筆頭執筆者の英インペリアル・カレッジ・ロンドンの地質学者マシュー・ゲンジと研究チームは、生命材料物質の起源について、太陽系の巨大ガス惑星である木星の近くで激しい乱流が起きていた領域にあると主張している。

インペリアル・カレッジによると、今回の研究結果は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の無人探査機はやぶさ 2 が地球に持ち帰った、炭素に富む小惑星リュウグウのサンプル(試料)から得られた証拠に基づくものだ。ゲンジは自身の研究室で取材に応じ、今回の研究では、炭素と水に非常に富む小惑星のリュウグウから採取された微小な岩石の粒であるマイクロコンドリュールを調査したと語った。この種の小惑星は、全ての炭素と水を地球にもたらした可能性があると、ゲンジは続ける。サンプルを調査した結果、このタイプの小惑星のまったく新しい形成過程を示す証拠が見つかったという。おそらく小惑星が形成されたのは、遠く離れた場所だけではなく、初期太陽系が乱流状態にあった領域だろうと、ゲンジは指摘する。炭素と水に富む粒子が濃集されるのが、この領域内なのだという。ゲンジによると、今回調査したリュウグウの試料は直径がわずか 1mm だ。「隕石を調査している人々にとってこれは非常に小さいが、自分にとっては大きな石だった。なぜなら、大きさがこれの 10 分の 1 のものを調べるのにすっかり慣れてしまっているからだ」とゲンジは話す。インペリアル・カレッジによると、研究チームは走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、驚くほど多数のマイクロコンドリュールを同定することに成功した。この微小な球粒は当初はガラス状で、後に小惑星の表面で氷が解けてできる水によって変質したという。今回の同定に成功したのは、ミリサイズのリュウグウ試料の X 線 CT スキャンで、マイクロコンドリュールが持つ硫化物の周縁部を確認できたおかげだと、インペリアル・カレッジはコメントしている。

[次ページ > 生命の材料は木星の近くで形成？](#)

これまで、小惑星リュウグウは太陽から約 20～30 天文単位（AU、1AU は太陽地球間の距離）離れた、現在の天王星や海王星の軌道を越えた辺りで形成されたと考えられていた。

だが、インペリアル・カレッジによると、生命の材料物質の起源は、現在考えられている遠方の宇宙空間ではなく、初期太陽系の木星の近くであることを、最新の走査型電子顕微鏡画像が示唆している。

初期太陽系では、木星の軌道を越えてすぐの領域で激しい乱流が起きていた可能性が高い。ここではガスが木星の影響を受けて掻き混ぜられていた。また、この領域のすぐ外側には圧力バンプ（局所的な圧力上昇領域）があり、ここにはガス流によってミリサイズの粒子が集積された。この木星の圧力バンプは本質的にコンドリュール工場となり、ここからマイクロコンドリュールが木星の近くの乱流領域に流されて濃集・合体することで小惑星が形成されたと、インペリアル・カレッジは説明している。

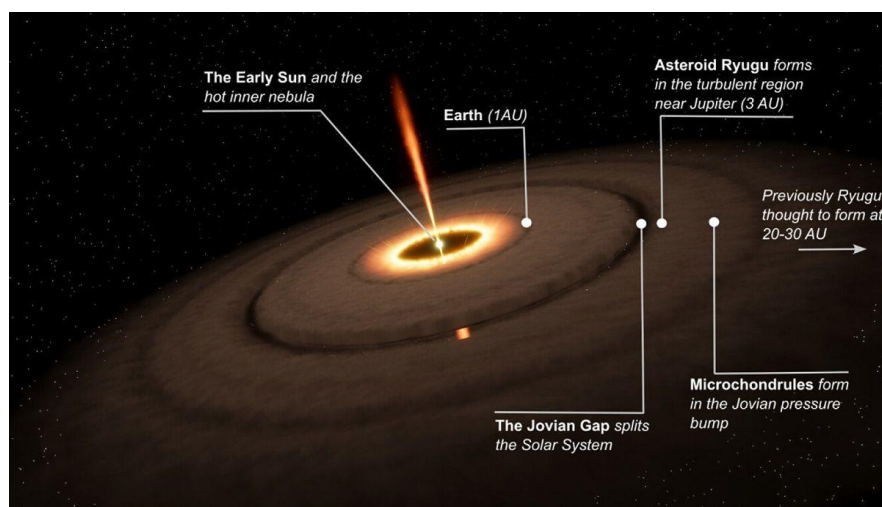
マイクロコンドリュールは何で溶融するか？

ゲンジによると、真偽はまだ不明だが自身が最も支持している仮説は、原始太陽系円盤を伝播したランダムな爆発衝撃波によって起きた急激な加熱による熱というものだ。

この衝撃波は原始太陽系円盤の温度を、鋼鉄の融点を上回る最高 1900 度まで上昇させた可能性がある。さらに重要なのは、この温度が原始惑星物質を溶かして初生のマイクロコンドリュール融解液滴にするほど高温だったことだ。爆発現象を写した動画を見た経験があるなら、衝撃波が拡大していくのを見たことがあるだろうと、ゲンジは話す。この球殻状に高速で伝播する衝撃波が、塵（固体微粒子）を急速に加熱して融解液滴を形成する。だが、ガスと共に流される極めて細かい塵粒子の大半は加熱を免れるため、粒子に含まれる炭素や水や有機物質などは保たれる。だが、この領域の近くに木星があることから、局所的に激しい円盤乱流が起これ、高速で移動するガスの渦流が発生した。

[次ページ > 生命の材料はどこから地球にもたらされたか](#)

ガス渦流には極めて細かい粒子が保持され続け、大きな粒子は排除されると、ゲンジは説明する。その結果、ここで小惑星のような天体を形成すれば、主に細かい粒子状物質（細粒）でできたものになるという。細粒には炭素や水や、アミノ酸などの重要な生命前駆分子が含まれていた。細粒とマイクロコンドリュールは後に内太陽系（太陽系内部の岩石惑星と小惑星帯を含む領域）に向かって内側に移動した。これらは地球の形成より前に存在していた可能性が高い。実際に地球が形成された時点で、生命の原材料物質が初期の地球に取り込まれるのをそこで待っていたのだ。



原始太陽系円盤でのマイクロコン

ドリュール（Microchondrules）と小惑星リュウグウ（Asteroid Ryugu）の形成領域を説明したイラスト。中心は初期の太陽で、木星の形成でできたリング状の空隙（Jovian Gap）により初期太陽系が分割されている（Imperial College London）

まとめ 太陽系の寒冷な外側領域と巨大ガス惑星の木星近傍の両方に由来する生命の原材料物質が地球にばらまかれた可能性が高い。研究の次の段階については、どうだろうか。生命材料物質が太陽系のどこ

から来るかに関しては今や十分な理解が得られたと、ゲンジは指摘する。だが、研究チームは今後 20 年間で、より特異な小惑星のサンプルを採取し、初期太陽系に関する理解を深める予定だと、ゲンジは話している。
(forbes.com 原文) 翻訳＝河原稔

<https://forbesjapan.com/articles/detail/88278>

2025.12.30 10:00

ロシア「ISS を 2 つに分離する計画」を発表、完全新造ステーションを断念し

て ISS 流用へ



鈴木喜生 | Official Columnist フリー編集者

これまでロシアは独自の新型宇宙ステーション「ROS」（ロシア軌道ステーション）の建設を計画し、その最初のモジュールを 2027 年に打ち上げようとしてきた。しかし 12 月 18 日、その計画の大幅な変更が発表された。ISS（国際宇宙ステーション）は 8 基のモジュールからなる「アメリカ区画」と、6 基の「ロシア区画」に大別される。今回ロシアが示したプランでは、ISS が退役する 2030 年にロシア区画だけを切り離し、それをロシアの新ステーションとして継続運用する。分離の前後には、複数の新モジュールが追加される予定だ。つまり新車購入を断念し、耐用年数を過ぎた愛車を乗り続け、その車両をカスタムするような選択ともいえる。



(c)NASA（著者加工）[全ての画像を見る](#)

ロシアが 2021 年に発表したロシアの独自ステーション「ROS」。今回の計画変更により、建設工程と構成が大きく変更される (c)Roscosmos



ISS からロシア区画を切り離したイメージ（新モジュールの接続は未反映） (c)NASA（著者加工）

これまでロシアは老朽化を理由に ISS からの早期撤退を望んできた。一方でアメリカは、ISS の後継機となる民間宇宙ステーションの開発遅延から、ISS の運用期限を延ばす説得をロシアに対して続けてきた。しかし、今回ロシアが発表した計画が実現すれば、2031 年に南太平洋に沈むのは、日本と欧州のモジュールを含むアメリカ区画だけとなり、空気漏洩が続くロシア区画は軌道に残るという皮肉な事態となる。

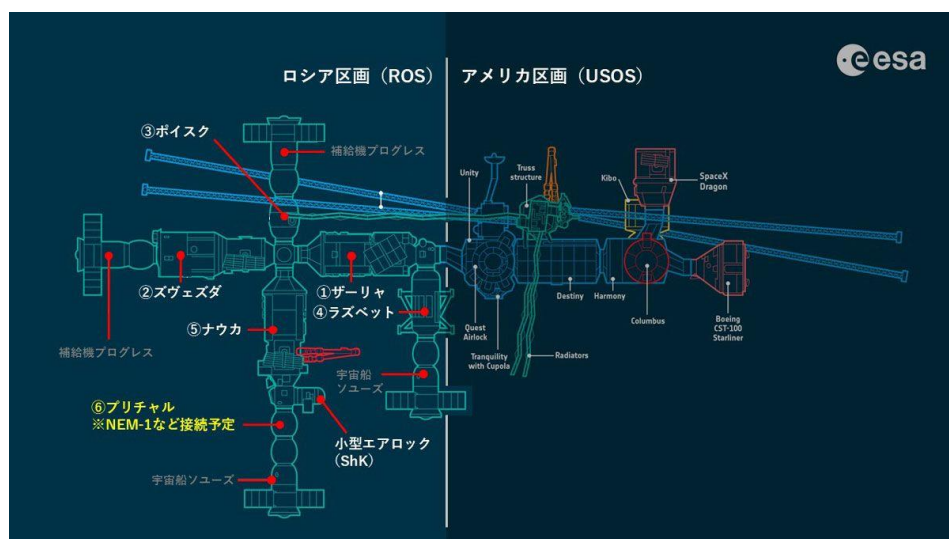
ISS の分離は可能なのか？

ロシア科学アカデミー生物学問題研究所（IBMP）のオレグ・オルロフ所長は、18 日の記者会見で以下のように述べた。「ROS は ISS のロシア区画の一部として展開され、ISS 計画が終了した後は ISS から分離して自律的に航行する。このシナリオは、ロスコスモス（ロシアの国営宇宙開発企業）の科学技術評議会からすでに承認されている」。この発表は TASS によって同日に伝えられた。

オルロフ氏のいう「展開」とは、ISS に接続したままのロシア区画に追加モジュールを接続していくこと

で、新たな宇宙ステーション「ROS」を構築することを意味する。現時点で「ROS」は、ISS のロシア区画「ロシア軌道セグメント (Russian Orbital Segment)」を意味するが、ISS からの分離によってその意味は「ロシア軌道ステーション (Russian Orbital Station)」へと変わる。

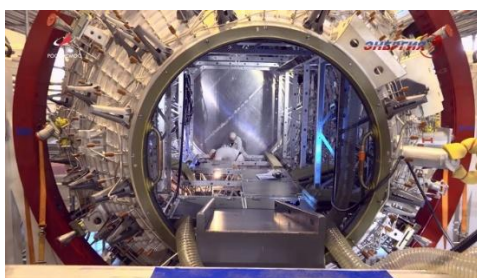
ISS を分離する計画は、これまでも検討されてきた。生命維持装置は米露の両区画にあるので問題ない。アメリカ区画に設置された巨大なソーラーパネルによる電力はロシア側にも供給されているが、ロシアのモジュールもパネルを装備しているため電力を自給できる。ロシアだけが可能とされてきた ISS の軌道修正も、スペース X の宇宙船クルードラゴンによるリブースト（エンジン再点火による軌道引き上げ）が 2024 年に成功。同社は現在、ISS を廃棄するための「USDV」（米国軌道離脱機）の開発も進めている。ただし、米露の両区画は複雑につながり相互に補完し合っている。これをほぐしながら分離するには一定期間にわたる検証と、船外活動を含めた作業が必要になる。その作業が ISS の運用が停止される 2030 年までに間に合わなければ、すでに満身創痍な状態にある ISS の運用がさらに延長されるというリスクを負うことになる。また、これまでの滞在クルーが持ち込んだ真菌の存在も問題視されている。真菌は人体に感染症を引き起こすだけでなく、条件さえ整えば金属さえ腐食するからだ。



2025 年時点のロシア区画の

概略図。新モジュールは主にプリチャルに接続すると思われる (c)ESA（筆者加工）

[次ページ > ロシア軌道ステーション建設のシーケンス](#) ROS 建設のシーケンス



ノード・モジュール「プリチャル」に接続する有人宇宙船ソユーズ MS-27。2025 年 8 月撮影。(c)NASA
新モジュール「REM」の製造風景。2021 年撮影 (c)Roscosmos

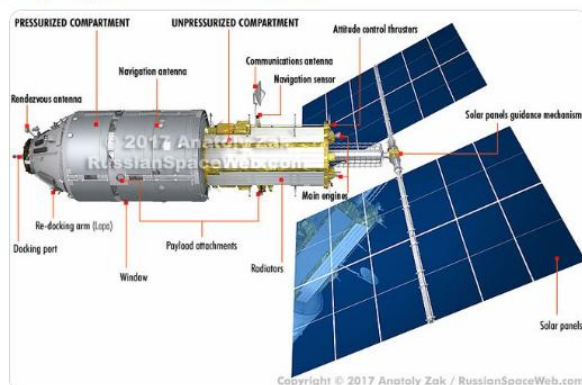
オルロフ氏が語った計画によると、ロスコスモスは 2027 年に科学電力モジュール「NEM-1」を打ち上げ、ISS 側のノード（接続）・モジュール「プリチャル」にドッキングさせる。NEM-1 は科学実験施設の役割を果たすほか、大型の太陽電池パネルや生命維持システムを備えており将来的には老朽化したロシア区画のモジュール「ザーリヤ」や「スヴェズダ」に替わって、新ステーションの初期段階ではその中核を担う。続いて 2030 年までに「ノード・モジュール」「ゲートウェイ」「コア・モジュール」の 3 基も打ち上げられる。ノード・モジュールは 6 つのドッキングポートを持ち、ゲートウェイはクルーが宇宙空間に出るためのエアロックを備え、コア・モジュールはコントロールセンターの役割を果たし、推進制御、生命維持

システムを装備し、居住スペースにもなる。これら 3 つの新型モジュールもプリチャルに接続されるとされるが、詳細は公表されていない。

Anatoly Zak · 2025年12月20日
@RussianSpaceWeb · フォローする
The planned launch of the Science and Power Module, NEM, on a Proton rocket will require a custom-built payload arrangement with some record-breaking dimensions.
Exclusive details (subscription): russianspaceweb.com/insider-content...



X
Anatoly Zak
@RussianSpaceWeb · フォローする
...for a technical background, please visit our beautifully illustrated home page for the Science and Power Module: russianspaceweb.com/nem.html



午前0:37 · 2025年12月20日



ロシアのサイエンス・ライターであるアナトリー・ザク氏による「NEM」の予想図

Anatoly Zak · 2025年12月6日
@RussianSpaceWeb · フォローする
I did this drawing in 2020, but it is super-relevant again: russianspaceweb.com/ros.html



X
Anatoly Zak
@RussianSpaceWeb · フォローする
...Here is the updated rendering of the ROS complex immediately after its planned separation from the ISS, as it is envisioned right now, after the latest redesign in recent weeks and a Roskosmos "deal" with India.
Details, updates at the usual place: russianspaceweb.com/insider-content...



午前2:36 · 2025年12月7日



アナトリー・ザク氏によるレンダリング。ISS から分離後の ROS 複合体の予想図

こうした ROS プロジェクトのコストは 6089 億ルーブル（約 1 兆 2200 億円）に上ると報じられている。

[次ページ](#) > {相次ぐロシアの重大インシデント

2031 年に ROS が ISS から切り離されると、ROS 構築の第 2 フェーズが始まり、2033 年までには科学実験、観測、生産などに特化した「ターゲット・モジュール」を 2 基ドッキングすることでさらに機能が拡張される。これらの新型モジュールはすべて、2021 年に発表された独自ステーション ROS に接続されるはずだったものを、今回のプランに則して転用することになる。

相次ぐロシアの重大インシデント

今回ロシアが ROS の計画を変更したのは、主には資金不足によるものと思われる。ロシアの財政難は 2014 年のクリミア侵攻後にはじまり、ウクライナ戦争の長期化がそれを助長している。それは ISS ミッションにも影響を及ぼし、近年ではロシア側の重大インシデント（事故に発展する恐れのある事案）が頻

発している。同時に、極軌道に有人宇宙船を投入可能なボストチヌイ宇宙基地の重要性も希薄化する。同基地は現在、3000 億ルーブル（約 6000 億円）という莫大な予算をかけ、ロシア極東のアムール州での建設が進められている。2019 年に発生したスヴェズダからの空気漏洩は現在に至るまで続き、2021 年には多目的モジュール「ナウカ」のスラスタ（姿勢制御装置）の噴射が止まらなくなり、ISS を 540 度回転（前転）させるインシデントが発生した。また、2022 年には、ISS に係留中の有人宇宙船「ソユーズ」（MS-22）から冷却液が漏洩したことでクルーが一時的に帰還不能になり、翌 2023 年には無人輸送機「プログレス」（MS-21）と「ナウカ」からも冷却液が漏洩した。さらに 2025 年 11 月には、バイコヌールの射場施設がソユーズ（MS-28）の打ち上げ直後に崩壊し、現時点では ISS への人員物資の輸送が不可能になっている。こうした状況のなか、ロシアは独自ステーションをゼロから構築するのではなく、ISS のロシア区画の大部分を流用しつつ構築することで、新ステーション建設にかかるコストと時間を圧縮しようとしている。この策によって ROS の建設初期における自律的な軌道調整が不要となり、ISS から電力も得られる。また、ISS に滞在するクルーによってシステムをセットアップすることができ、ISS に設置された科学機器や研究資材を新モジュールに移設することも可能になる。

次ページ > 極軌道ステーションは断念 極軌道ステーションは断念

ただし、この選択によってロシアは、新ステーションを極軌道に投入することを断念することになる。ロシアが 2021 年に発表した独自ステーション「ROS」（前述した「新車」に当たる）は、極軌道に投入される予定だった。地球を南北に周回する極軌道に宇宙機を投入すれば、宇宙機が周回する間に地球が自転するため、地球全域を観測することが可能になる。ISS の場合、軌道傾斜角（赤道に対する軌道の傾き）が 51.6 度のため、北緯 51.6 度の地表上空までしか北上できず、北緯 81 度まで国土が広がるロシア全域はカバーできない。そのため極軌道にステーションを配置することはロシアにとっては悲願だった。しかし、ISS の区画を流用すれば 51.6 度が維持されることになる。じつはロシアは過去にも同様なプランを推し進めていた。2009 年に発表された計画「OPSEK」では、今回の ROS と同様の工程で新ステーションを構築し、さらにプログレスのスラスタ燃焼によって軌道傾斜角を 51.6 度から、おそらく 70 度以上に変更させようとしていた。しかし、そのマニューバには莫大なエネルギーが必要とされる。従来のプログレスでは推力が足りないだけでなく、船体の制御も難しく、新たな機体を開発する予算も限られていたため、同計画は放棄された。その結果、2021 年に「新車」の ROS 計画へと移行したという経緯がある。



補給機プログレスのスラスタ燃焼。通常はこの推力で ISS の速度を上げ、

軌道高度を上昇させる。2025 年 8 月撮影。(c)NASA

2027 年には、米民間企業アクシオム・スペースの新モジュールが ISS のアメリカ区画に接続し、それを足掛かりに民間ステーションの建設が開始される。そして今回発表されたロシアの計画が実行されれば、同年からロシア区画でも ISS の増築ミッションが開始されることになる。ISS の廃棄まであと 5 年。その間、ISS では増築ラッシュが続くことになる。

編集＝安井克至

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20251230-3890911/>

成功が続いていた H3 ロケット、しかし…… - 2025 年の宇宙業界をランキン

激動の日々が続いた 2025 年も、いよいよ残りあとわずか。4 月からおよそ半年にわたって開催され、世界中から 2500 万人以上の来場者を集めた「大阪・関西万博」が多くの話題をさらった今年は、日本史上初の女性総理大臣の誕生や日本人研究者のノーベル賞ダブル受賞など、大きな歴史の転換点となる瞬間が数多く生まれました。そんな 2025 年には、テクノロジー業界でもさまざまな新技術が誕生し、新たな動きも数多く見られました。そこで TECH+では、テクノロジーチャンネルの主要カテゴリで今年公開された記事のアクセス数をもとに、注目ニュースランキングを作成！ 今回は、「宇宙・航空」カテゴリで 2025 年に話題を呼んだ記事をご紹介します。

サイエンスカテゴリの 2025 年注目記事トップ 10 はこちら！

- 1 位: [H3 ロケット 8 号機の打上げに失敗、みちびき 5 号機を軌道投入できず](#)
- 2 位: [H3 ロケット 8 号機のオンボード画像が公開、「みちびき」の姿に異変](#)
- 3 位: [H3 ロケット「24 形態」いよいよ初打ち上げへ 日本最大・最強ロケットが拓く新時代](#)
- 4 位: [恒星間彗星「3I/ATLAS」を追う その観測結果と“異星人の乗り物”説の検証](#)
- 5 位: [NASA が宇宙船打ち上げ前倒し、トランプ氏の"宇宙飛行士救出指示"で異例の決定](#)
- 6 位: [ついに姿を現したホンダロケット、開発責任者に現在の状況を聞いた](#)
- 7 位: [H3 の打上げを支える「機体把持装置」完成 技術者の挑戦がもたらす安全と信頼](#)
- 8 位: [福岡・久留米を宇宙から撮影。QPS 研究所の新衛星がとらえた初画像公開](#)
- 9 位: [日本初“液体エンジンのみ”で飛ぶ新 H3 ロケット実証へ！ エンジン改良に進展も](#)
- 10 位: [世界初、ビームで引っ張る“無燃料ロケット”の推力生成実証 東北大ら成功](#)

世界各国の宇宙機関に加えて数多のスタートアップ企業が誕生し開発競争を繰り広げる、近年の宇宙業界。国内では今年 8 月、アクセルスペースホールディングスが東京証券取引所グロース市場に上場し、日本宇宙スタートアップとして 6 社目の IPO を行うなど、スタートアップ企業による開発が加速を続けた 1 年でした。また新たなトレンドとして、“非宇宙産業”から宇宙ビジネスへ参入する動きが本格化したことも印象的でした。2019 年から宇宙領域の研究を続けてきた本田技研工業(Honda)は、サステナブルロケットの開発を進めるなかで高度 300m までの離着陸実験に成功。6 位の記事ではその開発の道のりや今後の計画、さらに実験映像なども紹介しており、注目を集めました。そしてランキングの多くを占めたのは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の「H3 ロケット」に関連する話題でした。6 月に行われた 50 号機の打ち上げ成功で有終の美を飾った「H-IIA ロケット」に続く JAXA のロケットとして開発され、今年は 2 月・10 月に打ち上げ成功のニュースを届けていた H3 ロケットですが、12 月に行われた 8 号機の打ち上げでは飛行中の問題により搭載した人工衛星の軌道投入に失敗。現在も原因究明に向けた動きが続いており、再挑戦への取り組みが急がれています。地球を飛び出した壮大な挑戦は、今や夢物語ではなくビジネスの舞台としても現実味が増すばかり。数々の試行錯誤が続けられ、日々さまざまな挑戦が繰り広げられる宇宙業界の最前線を、2026 年も TECH+は追いかけて続けます！

<https://forbesjapan.com/articles/detail/88544>

2026.01.03 12:00

2026 年、見逃せない天文 10 大イベント スーパームーンから金環日食、闇夜

の流星群まで



[Jamie Carter | Contributor](#)



Shutterstock.com

[全ての画像を見る](#)

天文ファンにとって、2026 年は楽しみな 1 年間になる。珍しい日食から惑星の大接近、約 8 年ぶり最大のスーパームーンまで、見どころが盛りだくさんだ。こうした天文現象の多くは肉眼でも十分観賞できるが、双眼鏡や初心者向けの望遠鏡を活用すれば、格段に豊かな体験が待っている。

今すぐカレンダーに印をつけておきたい、今年注目すべき天体イベント 10 選をまとめた。

1 月 3 日：スーパー・ウルフムーン



スーパームーンと記念撮影をする人影。2018 年 1 月 31 日、オーストラリア・ランセリンにて (Paul Kane/Getty Images) 木星 (Shutterstock.com) 2023 年に起こった金環日食 (Shutterstock.com) 新年の始まりを華々しく飾るのは、米先住民の農事暦で「ウルフムーン (狼の月)」と呼ばれる今年最初の満月が、スーパームーンとして昇る光景だ。月と地球の距離 (地心距離) が平均より近いから、見かけの直径も平均よりわずかに大きくなり、より明るく輝いて見える。

1 月 10 日：「衝」の木星

惑星の衝 (しょう) とは、その惑星が地球を挟んで太陽と正反対の位置にくることを言う。2026 年 1 月 10 日の木星は、13 カ月間で最も明るく輝く。太陽と入れ替わるように東から昇り、夜通し頭上に君臨して全天のどの星よりもまばゆい光を放ち、数週間にわたって日没後の夜空を支配するだろう。

2 月 17 日：金環日食

英語で「リング・オブ・ファイア (炎の環)」と呼ばれる金環日食が起こる。月の見かけの大きさが太陽より小さい場合に、太陽の縁の部分が月の影に隠れずに燦然とリング状に光って見える現象だ。今回の金環日食は南極大陸からのみ観測可能だが、部分日食ならアフリカ南部や南米の一部地域でも見られる。

3 月 3 日：皆既月食



皆既月食のブラッドムーン (Shutterstock.com)

アイスランドで 2023 年 3 月に撮影されたオーロラ (Shutterstock.com)

英リバプールを象徴する歴史的建造物ロイヤル・リバー・ビルディングの後ろから昇る「ブルームーン」の満月。2023 年 8 月 30 日撮影 (Christopher Furlong/Getty Images)

3 月には劇的な皆既月食が待っている。これを逃すと、2028 年後半まで皆既月食を見るチャンスは訪れない。北米西部、日本を含む東アジア、オーストラリア、ニュージーランドでは、「ワームムーン (芋虫月)」の満月が 58 分間に及ぶ皆既食の間に深みのある赤色に染まる「ブラッドムーン」を観測できる。

3月20日：春分のオーロラ

春分の日前後は、鮮やかなオーロラが発生する確率が倍増する。中緯度地域でも緑色と赤色のオーロラが観測できるかもしれない。夜空を見上げてみよう。

[次ページ > 「ブルームーン」の満月](#)

5月31日：「ブルームーン」の満月

2026年5月には満月が2回訪れる。2回目となる5月31日の満月は「ブルームーン」と呼ばれる。青という色の名がつくものの、重要なのは色ではなくタイミングだ。通常、満月は1年間に12回あるが、今年は13回に増えるのだ。これは月の満ち欠けの周期が約29.5日のためで、2年半～3年に一度しか起こらないごく稀な現象である。なおどんな満月も月の出の瞬間が最も美しく息をのむ光景なのは変わらない。

8月12日～13日：皆既日食とペルセウス座流星群

今年最大の天文イベントになるだろう。8月12日（日本時間13日未明）、グリーンランド東部からアイスランドを経てスペインまで横断する皆既日食が起こる（日本では見られない）。その数時間後、完全な闇夜の中でペルセウス座流星群が極大を迎える。極大時刻は日本時間13日午前11時頃なので、日本での見頃は13日未明～夜明け前となりそうだ。ここ数年で最高の観測条件の下、明るく速い流れ星が夜空を駆け抜ける。



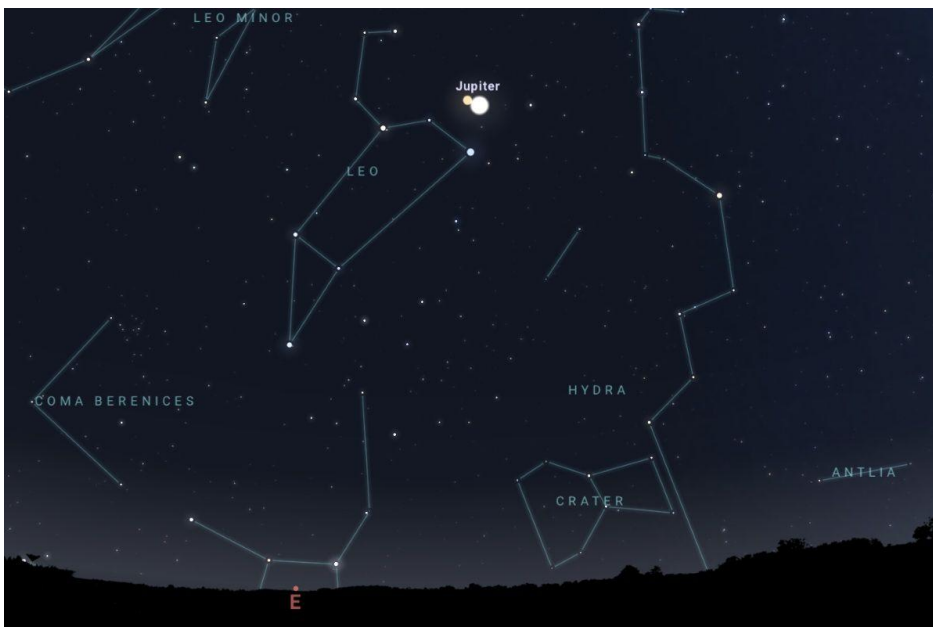
ペルセウス座流星群。2023年8月12日撮影（NASA/Preston Dyches）

8月28日：部分月食

皆既日食の2週間後、月の96%以上が地球の影に覆われる部分月食が起こる。北南米、欧州、アフリカでは錆色に染まる月が見られる。（日本からは見えない）

部分月食（Shutterstock.com）

11月15日～17日：火星と木星が大接近



2026 年 11 月 16 日（東京：午前 3 時頃）の東の空、木星と火星の位置を示した図（Stellarium）

明け方の空で、火星と木星が大接近する。最接近時には見かけの距離が約 1 度まで近づき、2 つの惑星を双眼鏡の同一視野内で観察できる。

12 月 24 日：スーパー・コールドムーン

1 年の締めくくりにふさわしい、究極のスーパームーンがクリスマスイブに昇る。この 12 月の満月「コールドムーン（寒月）」は、2026 年で最も地球に近く、2019 年以来最も地心距離が小さい満月だ。東の空に姿を現した瞬間は、とてつもなく大きく、明るく感じられるだろう。



2026 年、地球から最も近い満月と最も遠い満月の見かけの大きさの違い（国立天文台）

[次ページ > NASA、「アポロ計画」以来 53 年ぶりの有人月探査へ](#)

NASA、53 年ぶりの有人月探査へ

米航空宇宙局（NASA）は 2026 年 2 月 5 日にも、アポロ 17 号以来 53 年ぶりとなる有人月探査ミッションを打ち上げる予定だ。「[アルテミス II](#)」ミッションでは、4 人の宇宙飛行士（NASA から 3 人、カナダ宇宙庁から 1 人）が NASA の宇宙船「オリオン」に乗り組み、10 日かけて月を周回して戻ってくる。オリオンは月の裏側、月面から約 9000km 以上離れたところまで到達する予定だ。これは、人類がこれまで到達した地球からの最遠距離を大幅に上回る。



「アルテミス II」ミッションの概要図（NASA）

2022 年に実施されたオリオンによる無人月周回飛行ミッション「アルテミス I」に続き、NASA が主導す

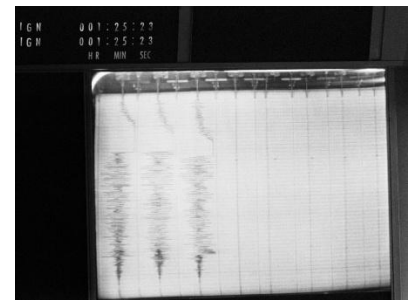
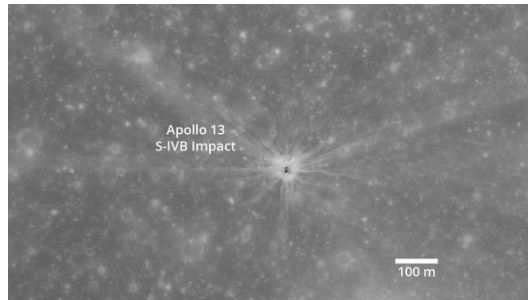
る「アルテミス計画」の第2弾となる本ミッションでは、月の南極付近への有人着陸をめざす第3弾ミッション「アルテミス III」に向け、生命維持装置、航法システム、安全システムの主要機能を試験する。

(forbes.com 原文 1、2) 翻訳・編集＝荻原藤緒

<https://sorae.info/extra/moonquake.html>

アポロ計画と月震

2026-01-02 2026-01-02 [sorae 編集部](#)



【▲ 図1：アポロ11号着陸船が月面探査を終え、月軌道上のアポロ司令船に向かって上昇しています。地平線に浮かぶ地球もとらえたこの映像は、司令船に残った宇宙飛行士マイケル・コリンズが撮影しました。(Credit: NASA/Michael Collins)】

【▲ 図2：アポロ13号は月には着陸できなかったものの、人工月震を発生させるミッションは完遂しました。14トン（地球上での重量）ものブースターが衝突した痕跡は、いまま直径約30mのクレーターとして月の地表に残されています。(Credit: NASA)】

【▲ 図3：アポロ13号のブースターが月面に激突し、地震を引き起こしました。これはアポロの地上管制室が受信したアポロ地震計の記録。(Credit: NASA)】

1970年4月、月に向かうアポロ13号で爆発事故が発生し、搭乗していた宇宙飛行士は命の危険にさらされました。彼らは月に着陸しないまま帰還し、月面上のすべての科学研究がキャンセルとなりました。しかし、アポロ13号がたったひとつやり遂げた科学実験があります。それはブースター（サターンV型ロケットの3段目）を月に衝突させ、人工的な地震（月震）を引き起こすことでした。月震実験は、13号だけでなく11号以降すべてのアポロ計画で実施されました。こうして集積された月震の観測データは、半世紀以上が経過したいまま月に関するさまざまな知見をわれわれにもたらしています。

危機のただ中のアポロ13号

「いま12（アポロ12号）の地震計のデータを受信した。君たちのブースターが月にぶつかり、月を少しばかり揺らしたらしいぞ」「よし、少なくともこのフライトでも何かしらうまくいったことがあるわけだ」地上管制室からの連絡に、アポロ13号の船長ジェームズ・ラヴェルはこうつぶやきました。

このときアポロ13号を月軌道に乗せるためのブースター（※1）が月面に激突し、月に地震が発生したのです。ブースターを月面に衝突させたのは、アポロ計画でも初のことでした。

アメリカの月有人探査船アポロ13号がトラブルに見舞われたのは打ち上げ2日後、1970年4月13日でした。地球から32万km、月まで6万kmの地点で、燃料電池などを搭載し、ロケットエンジンを備えた支援船の酸素タンクが爆発したのです（アポロは司令船、支援船、着陸船から構成※2）。2つの酸素タンクのうち1つは完全に空になり、もう1つのタンクからも酸素が大量にもれ出しました。

当時、宇宙飛行士たちは司令船に搭乗していましたが、爆発の影響で支援船からの電力の供給が断たれたため、本来は月面探査時のみに使用する狭く小さな着陸船にやむなく乗り移りました。そこには少なくとも当座の酸素や水が用意されていました。その間、地球上のチームは慌ただしくアポロ13号の帰還方法を検討し、最終的に月を周回して地球に航行するルートを選択しました。この計画に沿ってアポロ13号

は着陸船のエンジンを使って進路を慎重に修正することになりました。

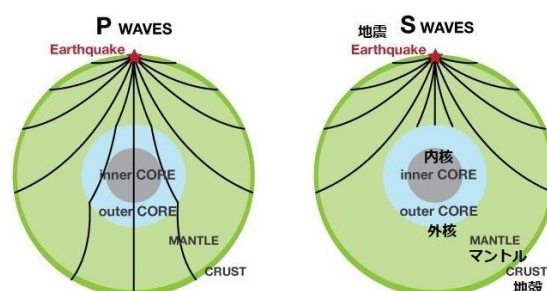
アポロ 13 号のブースター衝突

地球と交信しながら、アポロ 13 号は船内の二酸化炭素濃度を低下させる措置、地球大気圏突入時の準備などを次々にこなしていきました。そして、軌道修正のためのロケット噴射について綿密な打ち合わせをするなか、ブースターが月面に衝突したという冒頭の一報がアポロ 13 号に入りました。

ブースターは打ち上げ当日、アポロ宇宙船を月へ向かう軌道（※3）に乗せた後に切り離され、月面に衝突する軌道に進路をとっていたのです。14 トンのブースターは時速約 9300km＝秒速約 2.6km ものスピードで月面に激突し、月の地震、すなわち月震（ムーンクエイク：moonquake※4）を引き起こしました。その地震波は少しずつ方向を変え、一部は表面近くを通過し、またときには大きく曲がりながら月の内部を高速で駆け抜け、月の表面で反射してふたたび内部に戻り、いくどもその表面で跳ね返されてさまざまに反響し、衝突地点から 135km 離れた地震計を振動させつづけました。アポロ 12 号が前年に月面に設置した地震計です。ブースターが月面に衝突してから 3 日後（事故の 4 日後）、アポロ 13 号の飛行士たちはふたたび地球上に降り立ちました。狭い着陸船に長時間押し込められ、餓えと脱水、さらには電力喪失による寒さに苦しみつつの生還でした。

アポロ計画と月震観測

「1960 年代に人間を月に着陸させる」アポロ計画は 1961 年、当時の大統領ジョン・F・ケネディのこのかけ声のもと始動しました。もちろん人間が月に立ってそれで終わりではありません。月に到達したアポロ宇宙飛行士たちは、月面を飛び跳ね、月面車（ローバー）を乗り回し、月の多様な石を採取し、太陽風のエネルギー、荷電粒子の量、磁場などを測定し、反射板を設置し、他方で自身の体をモニタリングされました。こうした月研究のひとつが月震観測でした。宇宙飛行士たちは地震計を月面に設置し、着陸船やブースターを衝突させる、爆薬を爆発させるなどして人工的に月震を引き起こしました。これらの人工月震はときには 3 時間以上も継続しました。震動が容易に減衰しないのは、月に大気が存在せず、また地殻も乾燥しているためと考えられています。地殻自体が反響板のように月震を響かせるのです。研究者は、これを「月が鐘のように鳴る」と表現します。人工月震の目的は月の内部の状態を知ることです。トンネルや橋などの点検でコンクリートや鉄を叩く様子を見たことがあるかもしれません。一般に、澄んだ音が響けば材質は劣化がなく良好で、鈍い音がすれば内部にひびや穴があることを意味します。月でも同じように、強い衝撃で生ずる地震波は、月の内部についてさまざまな情報を教えてくれます。これは波がどこを通過するかにより、速度や強度を変化させるためです。たとえば月や地球では、天体の内部が低温であるほど地震波は速く進みます。また、天体内部の温度が少しずつ変化するような場所では、波はしだいに曲がっていきます。他方、天体内の状態がいきなり変わる場合、たとえば地球や月でいえば地殻とマントルの境界では、波は大きく進行方向を変えます（屈折）。波の一種である光が水面で屈折するのと同じ原理です。このように月震のデータには、天体内の温度や全体の構造、物質の分布などの情報がさまざまに折り重なって詰め込まれています。月を掘って奥深くまで調べることはできませんが、月震を利用すれば、ちょうど人間の体を X 線 CT や MRI を使って検査するように、月を透視して診断できるのです。では、月震は月の内部について何を語ったのでしょうか？



【▲ 図 4：科学技術研究に重点が置かれたアポロ 15 号では、はじめて月面をローバーと呼ばれる車両（LRV：Lunar Roving Vehicle）が走行しました。ローバーは約 3 時間にわたって 27km 以上の距離を移動し、その間に宇宙飛行士は月面の特徴的な岩石を合計約 77kg 採取しました。(Credit: NASA)】

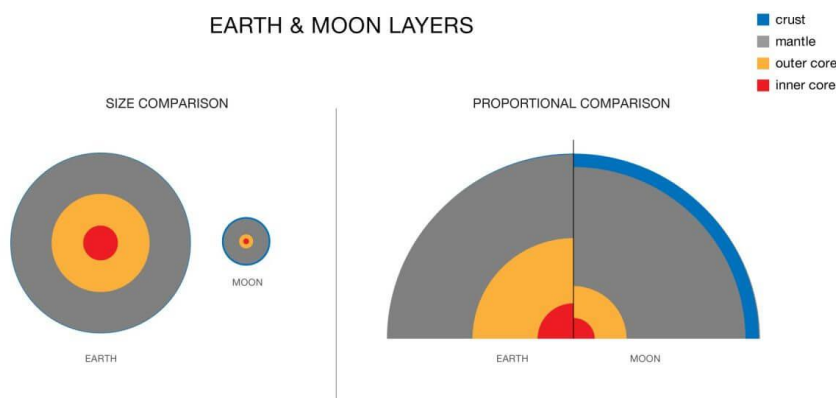
【▲ 図 5：地震波が天体内部を通過する様子。天体の温度や密度、組成によって地震波は進行方向を変えたり、屈折したりします。左は P 波（縦波）、右は S 波（横波）。(Credit: Lisa Wald/USGS; Edit: 新海裕美子（日本語テキスト追加）)】

月を透視する

アポロ計画最後の宇宙飛行士が月を立ち去ってから数年間、彼らの設置した地震計は稼働しつづけてきた（※5）。1977 年にすべての地震計が稼働停止するまで（あるいは通信機能を停止するまで）、地球には月震のデータが継続的に送られてきました。これらの地震計は、月の表側だけではあるものの、数カ所に設置されていました。そのため、各所のデータを比較しながら分析することができました。

その結果、月の構造について数多くの情報が得られました。たとえば月の基本構造は、地球によく似ていました。つまり、月は地殻に覆われ、その下はマントルの層、そして中心部には密度の高い核があるのです。月で最も特徴的なのは地殻です。厚さは推定で地球側は 40km、裏側ははるかに厚く 60km あります（※6）。月の直径の 4 倍ほどもある地球でも、大陸地殻が平均 30～40km、海洋地殻は平均して 7km にすぎないことを考えれば、月の地殻が相対的にきわめて厚いことがわかるでしょう。

他方、アポロの地震計のもうひとつの成果は、月震が人工物や隕石の衝突によってのみ起こるのではないと示したことです。そこには月の地殻活動の証拠が現れていました。



【▲ 図 6：地球と月の基本構造は同じですが（左図）、月の地殻（crust）は相対的に厚いことがわかります（右図）。他方、月のマントル（mantle）は薄く、内核（inner core）に近い部分がやや融けているものの、大部分は固体とみられています。核は小さく、地球とほぼ同様に鉄、ニッケル、イオウなどで構成されているとされます。(Credit：NASA/Vi Nguyen)】

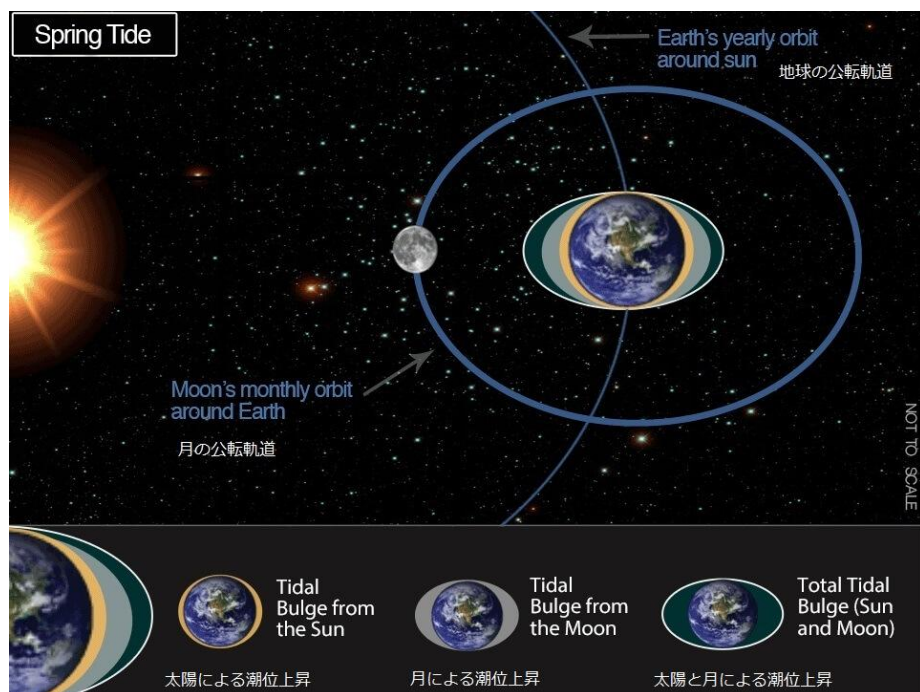
月はまだ活動中？

月は“死んでいる”——これはかつての大方の見方でした。月は地球よりはるかに小さいことから、過去に地殻活動が活発だったとしても、現在では冷え固まっていると考えられていたのです。月が仮説どおり地球誕生とほぼ同時期の約 45 億年前に生まれたなら、すでに地殻活動を起こす熱源が残されていなくてもおかしくありません。ところが、アポロの地震計の 8 年間におよぶデータには、実に約 1 万 3000 回（後述するように実際にはそれ以上）もの月震データが残っていました。

もっとも、記録された月震の大半は、前述したような人工物や隕石などの衝突、それに熱による微弱な震動でした。熱震動とは、約 2 週間ずつの昼夜の 300 度もの気温差（日中 130℃、夜間-170℃前後）によって、地殻や物体（※7）が膨張と収縮をくり返すために発生する震動です。しかし、それ以外にも地下 200km 近辺で発生することの多い「浅発地震」と、震源が地下 800～1200km と非常に深い「深発地震」が見つ

かりました（月の半径は約 1740km）。深発地震はマグニチュード 2 程度ですが、周期的で約 27 日ごとの発生が観測されています。その周期が月の自転・公転と同期していることから、潮汐力と関連していると推測されました。太陽と地球という 2 つの天体の重力によって天体自体が変形し、それによって月震が発生するとみられているのです。他方、浅発月震は 8 年間のデータ中 28 回しか見つかっていませんでした（2010 年頃までの研究）が、ときにはマグニチュード 5~6 の強い月震として観測されています。

研究者たちは、この浅発月震は月が死んでいるという従来の見方に反し、地殻活動が続いている証拠だと考えました。しかし、具体的なメカニズムは不明でした。それを明らかにしたのは、21 世紀に飛び立った月探査機による観測です。



【▲ 図 7：月の重力によって地球表面の海が潮汐を起こすように、月も地球や太陽の潮汐力によって赤道付近がふくらんでいます。さらに月が公転するなかで潮汐力は増減し、月のひずみ方や内部にかかる力も変化します。このことが深発月震の発生と関係しているとみられています。(Credit: NOAA; Edit: 新海裕美子（日本語テキスト追加）)】

球表面の海が潮汐を起こすように、月も地球や太陽の潮汐力によって赤道付近がふくらんでいます。さらに月が公転するなかで潮汐力は増減し、月のひずみ方や内部にかかる力も変化します。このことが深発月震の発生と関係しているとみられています。(Credit: NOAA; Edit: 新海裕美子（日本語テキスト追加）)】
月が縮んでいる？

「月はいまわずかずつ収縮し、それが強い月震を引き起こしている」

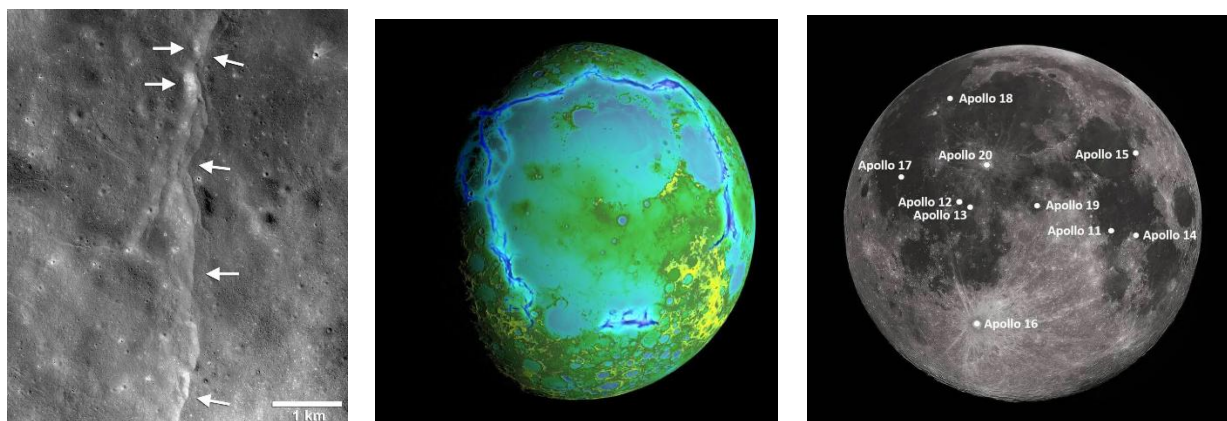
スミソニアン研究所のトーマス・ウォッターズ（Thomas Watters）らは 2019 年、この驚くべき発表をしました。発表の基礎になったのは、アポロ地震計による月震観測、それに 2009 年に月に向かった NASA の月探査衛星「ルナー・リコネサンス・オービター」の観測結果です。ウォッターズらは探査衛星の地表観測データと浅発月震の震源の位置を慎重につき合わせた結果、震源が月の北半球のタウルス-リットロー渓谷床を横切る断層崖（リー・リンカーン崖）と一致していることを確認しました。

タウルス-リットロー渓谷床はかつてアポロ 17 号が着陸した場所です。当時、宇宙飛行士たちは月の石の採集や地形調査などのため、問題の崖（高さ 80m）の起伏に富む斜面をローバーで登り降りしました。地質学者でもある宇宙飛行士ハリソン・シュミットはこのとき、南北に走るリー・リンカーン崖は地殻活動による断層崖ではないかと指摘しました。さらに崖の南方向には岩塊が重なり合っているのに対して北方向は単純に見えることから、北がより若い地形だと推測しました。半世紀後、この崖がウォッターズらによって思いがけず注目された形です。

「私たちの解析は、月がしだいに冷えて縮む過程にともない、これらの断層がいまだ活動しておそらくは月震を引き起こしている証拠をはじめて示したものです」とウォッターズは述べています。

これは月内部に非常に高温のマントルや核が残っていることを意味します。研究者たちの見積もりによれ

ば、いまでも続く冷却によって月の直径は過去数億年に約 50m も小さくなったといえます。



【▲ 図 8 : 「ルナー・リコネサンス・オービター」は、月面に多数の断層崖を発見しましたが、これはそのひとつ (←)。月の地殻が両側から押しつぶされているとみられており、月が縮み続けている証拠とされています。崖の背後 (→) には地殻の塊が集積しているとのことです。(Credits: NASA/GSFC/Arizona State University/Smithsonian)】

【▲ 図 9 : 「ルナー・リコネサンス・オービター」のレーザー高度計および 2 機の月探査機「グレイル」(月の重力環境を調査) のデータをもとに作成された月の重力・地形図。広大なプロセラルム盆地の境界部分に重力異常がみられます (青で表示)。月のウサギ模様の大部分を占めるこの盆地では、かつて活発な火山活動が発生したとされ、重力異常は溶岩が流出した裂け目地帯と考えられています。(Credit: NASA/Colorado School of Mines/MIT/GSFC/Scientific Visualization Studio)】

【▲ 図 10 : アポロ宇宙船の着陸地点。これらの近くにそれぞれ地震計が設置されています (キャンセルされた 18~20 号の着陸予定地点を除く。※5 も参照)。(Credit: NASA)】

1 億年前、月の火山は噴火していた？

月が収縮している証拠はこれだけではありません。2024 年、東京大学の小野寺圭祐 (現・岡山大学) らの研究もこの見方を支持しました。彼らは、ノイズが多く解析が十分でなかった一部のアポロ地震計のデータをコンピューターで処理し、新たに 2 万 2000 もの月震を見いだしました。そのうち 46 回が浅発地震でしたが、その大半は月の北半球、アポロ 15 号の着陸地点周辺で発生していました。

その付近ではかつてマグマが噴出して地殻に亀裂が生じたとみられ、小野寺は月が収縮するにつれ、この亀裂が閉じるように動いていると指摘しています。月の地殻活動としては、地震だけでなく火山噴火も長く続いたようです。かつては火山活動は 30 億年前に終わったとみられていましたが、最近になって約 10 億年前、もしかすると 1 億年ほど前まで火山活動が続いた証拠がいくつか見つかっています (※8)。

小さな月で、なぜこれほど長期間にわたって地殻活動が続いたのでしょうか？ ひとつには月表面にも残るクレーターからわかるように、頻繁な隕石衝突によって熱エネルギーが解放されたこと、そしてそれらの隕石やマグマを由来とする放射性物質が大量の熱を放ったことが原因とみられています。また、月をひずませるほど大きい地球の重力 (潮汐力) も関係するとみる研究者もいます。

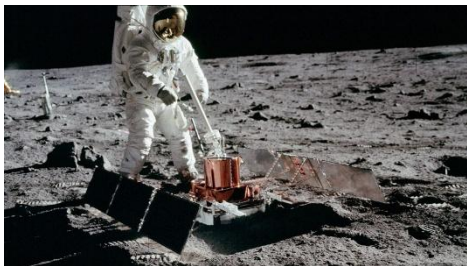
次世代の月震観測に向けて

見えないものを“見る”、それが月震観測です。前述したように、月震は月の内部構造や、地殻内の水や鉱物の資源分布などの情報を内包しています。月震を詳細に解析すれば、月の起源やその進化史に関する研究の貴重な手がかりを得ることもできます。他方で、月に眠る豊富な資源、火星探査など宇宙への足がかりとしての月基地への注目が世界的に高まるにつれ、月開発の視点からも月震研究の重要性が増しています。というのも、前出のウォッターズらの研究によれば、月の地表には数千もの断層があり、それらはいまも活動している可能性があるためです。前述したように、月震は数時間も継続することがあります。ウォッターズらは巨大地震ではなくとも、浅発月震にみられるマグニチュード 5 以上の強い揺れが長時間続

けば、建造物に深刻な被害が生じ得ると指摘しています。震動によって損傷・倒壊するだけでなく、大規模な地滑りなどで破壊される恐れもあります。周囲に助力を求められない孤立した月面基地では、このような月震は壊滅的状况を招くリスクとなり得るのです。そのため、月震観測をふたたび実施する重要性が改めて認識されています。2023 年 8 月にはインドのチャンドラヤーン 3 号が南極付近に着陸し、アポロ以降はじめて 12 日にわたって月震を観測しました。また、2027 年打ち上げ予定のアルテミス 3 ミッションは、半世紀ぶりに宇宙飛行士が着陸船に搭乗し、月の南極に地震計を設置することになっています。中国やヨーロッパ、日本の宇宙機関も地震計設置を予定しています。とりわけ日本の JAXA（宇宙航空開発研究機構）は意欲的で、最低 4 つの月震計を月の表側だけでなく、これまで観測されていなかった裏側にも設置し、月震観測をネットワーク化する計画を発表しています。

1969 年、月面にはじめて設置されたアポロ 11 号の地震計は、観測を開始してすぐに小さな震動をとらえました。それは月のクレーターに向かう宇宙飛行士ニール・アームストロングの足音でした。

ここから始まったアポロ計画の月震観測によって集積されたデータは、半世紀にわたって研究者を通じて月に関する多種多様な情報をわれわれに与えてくれました。そのバトンはいま 21 世紀の宇宙科学研究の手に渡し、新たな月震観測の時代が始まろうとしています。（了）



【▲ 図 11：月面に地震計を設置するアポロ 11 号の宇宙飛行士。地

震計には彼らの足音も記録されています。この地震計は、稼働していた 3 週間で 100～200 回の隕石衝突による震動を記録したとのことです。（Credit: NASA）

脚注

※1：アポロ計画で宇宙船を打ち上げたサターン V 型ロケットの 3 段目で、S-IVB（エスフォービー）とも呼ばれる。アポロ 13 号以降ではこのブースターを月面に衝突させ、人工月震を発生させた。なおアポロ 12 号のブースターは太陽周回軌道と地球周回軌道を行き来しているとみられ、小惑星と誤認されたことも。

※2：司令船と連結している支援船は、機械船、サービス・モジュール（SM）ともいう。ロケットエンジンを備え、エンジン燃料のほか、酸素、燃料電池（発電時に水も生成）などを搭載している。月―地球往復時には宇宙飛行士は司令船に搭乗し、月面探査の際には 2 人が乗った着陸船が切り離され、司令船は月を周回して着陸船を待つ。

※3：月の裏側を通過して地球に戻る「自由帰還軌道」。この軌道に乗れば、それ以上の操作なしに地球に帰還できる。ただしアポロ 13 号は、着陸点の選択肢を広げるために飛行ルートがこの軌道からややずれていたため、途中で軌道修正が必要になった。

※4：地震（earthquake）の earth は一般に地球ではなく、大地を意味する。また、英語の quake は揺れるや震動するの意。なお moon には衛星という意味もあるため、月以外の衛星の地震も moonquake と呼ぶ場合がある。

※5：このうちアポロ 11 号の地震計は月の過酷な温度環境に耐えられず、おそらくはオーバーヒートによって約 1 か月後に停止した（データは 3 週間分）。17 号は他のアポロ計画の地震計とは異なり、簡易的な地震計（ジオフォン）を使用した。また、パリ地球物理研究所の川村太一らの研究グループは 17 号が設置した重力計のデータを月震観測データとして利用する試みに成功した。

※6：ただし資料により地殻の厚さは異なる。本文は NASA の以下のサイト

(<https://science.nasa.gov/moon/composition/#hds-sidebar-nav-3>)の数値にもとづくが、NASAの別サイト(<https://science.nasa.gov/moon/formation/#h-lunar-archaeology>)では地球側70km、裏側150kmとしている。

※7: 熱月震の震源となっている人工物として月面に放置されたアポロ17号着陸船の基部(着陸船発射台)がある。カリフォルニア工科大学の研究によれば、月の2週間の夜が終わって太陽光を浴びると、着陸船基部は5~6分ごとに震動するようになり、その規則正しい震動が5~7時間続くという。

※8: 「ルナー・リコネサンス・オービター」がとらえた火山性平原の斑点模様は、1億年ほど前(一部は5000万年前)に火山活動によって生じたものだとする最近の解析結果がある。また中国の嫦娥5号が持ち帰った月の火山岩の一部も約1億2000万年前のものと推定された。このようなことから現在も火山活動が続いていると見る研究者もいる。 文/新海裕美子 編集/sorae編集部

参考文献・出典

- [Moonquakes - NASA Science](#)
- [NASA SVS | Apollo 13 S-VIB impact site](#)
- [The Apollo 13 Flight Journal](#)
- [田中智 et al., 日本惑星科学会誌, vol.20 \(2011\) 4](#)
- [F. Press et al., NASA-CR-137239 \(1972\)](#)
- [Rudy Molinek, Smithsonian magazine, Aug. 2 \(2024\)](#)
- [Jason Daley, Smithsonian magazine, May 14 \(2019\)](#)
- [William Steigerwald, NASA news release, May 13 \(2019\)](#)
- [Moon Composition - NASA Science](#)
- [Moon Formation - NASA Science](#)
- [William Steigerwald, NASA solar system/moon, Jan. 25 \(2024\)](#)
- [Apollo 17 Lunar Surface Journal, Traverse to Geology Station 3](#)

<https://wired.jp/article/vol58-upending-the-theories-of-an-expanding-universe/>

膨張宇宙理論を覆す大発見を目撃する——特集「THE WIRED WORLD IN 2026」

宇宙空間を加速度的に膨張させるダークエネルギーまたは「未知の力」は果たして存在するのか? 科学者たちは2026年、その答えを確実に知ることになる。 [Paul Davies](#) 2025.12.29

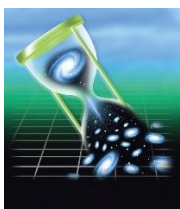


Illustration: Lia Kantrowitz

※雑誌『WIRED』日本版 VOL.58 特集「THE WIRED WORLD IN 2026」の詳細は[こちら](#)。

30年前、科学者たちはある衝撃的な発見をした。[宇宙](#)の膨張が加速していることが判明したのだ。謎めいた反重力のような力が、銀河をいっそう遠くに引き離しているらしい——この発見は、超新星と呼ばれるとても遠くで爆発する恒星の観測に基づいていて、銀河がわたしたちからより速く遠ざかっていることを明らかにした。この宇宙を引き離す力——[天文学者](#)たちが「ダークエネルギー」と名付けたもの——の源を理解することが、いまの[物理学](#)で最もホットな話題のひとつとなっている。2026年、科学者たちはついにその答えの一部を手にすることになるだろう。宇宙の反重力という可能性は、1世紀以上前のアルベ

ルト・アインシュタインにまでさかのぼる。引力である重力は、138 億年前のビッグバン以来、膨張する宇宙を減速させてきた。しかし、1915 年に定式化されたアインシュタインの一般相対性理論には、方程式のなかに、押し返す力、つまり反重力を記述する追加項が任意で含まれていた。これは、空っぽの空間が本質的に広がっていく力をもっていて、物質の引力によって抑制されない限り、自発的に膨張することを意味している。この空っぽの空間——つまり真空——が力を及ぼすという考えは、量子力学という別の理論によって説明される。量子力学は、原子から恒星まで物質の性質を説明し、現代の技術の多くを支える、史上最も成功した科学理論だ。その予測のひとつは、真の真空など存在しないというものだ。むしろ、量子力学によれば、空間は絶えず沸き立っている。光子、電子、クォークなど、あらゆる種類の粒子が無から出現し、ほぼ瞬時に再び消滅しているのだ。この絶え間ない活動は、原子のエネルギーレベルに幽霊のような痕跡を残し、微小だけれども測定可能な力を生み出す。そうして生み出された重力作用が空間全体にわたって累積すると、圧倒的な押し返す力となり、それが外へと向かう宇宙の膨張をもたらしている可能性があるのだ。この量子真空エネルギーは、宇宙論学者が仮定するダークエネルギーと同じものなのだろうか？ それとも、もっとエキゾチックな何かなのか？ 量子真空によって生み出される反重力には特徴的な性質がある。それは厳密に一定だということだ。言い換えれば、宇宙が膨張するにつれて徐々に強さが変化することはない。



SZ MEMBERSHIP

ダークエネルギーは変動する？ その証拠が積み上がっている By Jennifer Ouellette

READY TO LAUNCH 2026 年、再びの月へ「アルテミス II」発射準備完了——特集「THE WORLD IN 2026」

By João Medeiros

そこで天文学者にとっての優先課題は、宇宙史全体を通じてダークエネルギーに何らかの変化を発見できるかどうかを見極めることになる。これを達成するため、ふたつの宇宙論学者グループが、わたしたちから遠ざかる銀河の運動を測定してきた。2024 年、ダークエネルギー・サーベイ（DES）に参加する 400 人規模のチームが、とある調査の予備的な結果を発表した。チリのアンデス山脈の高地にある 4m の望遠鏡に取り付けられた高感度デジタルカメラから得られたデータだ。その暫定的な結論は、ダークエネルギーの反重力作用が徐々に弱まっているように見えるという内容だった。この結論は数カ月前、アリゾナ州のキット・ピーク国立天文台の望遠鏡を使って宇宙の詳細な 3 次元マップを作成した、ダークエネルギー分光装置（DESI）を使った別の大規模国際コンソーシアムによる調査でも裏付けられた。

宇宙論が完全に覆される可能性

こうした示唆は興味深いものだが、ダークエネルギーが本当に衰退しているという確信を科学コミュニティがもつには、さらなる観測が必要だ。慎重にならざるをえない理由のひとつは、この結果が確定すれば、現在の宇宙論の理解が完全に覆されてしまうからだ。長年主張されてきた説のひとつは、アインシュタインの重力理論には欠陥があり、修正が必要だという説だ。

別の理論は、宇宙に遍在する新しいタイプの力の存在を仮定しており、それはアインシュタインの示した斥力を模倣しながらも、その強さが数十億年かけてゆっくりと変化していると考えられる。ほかのアプローチでは、ダークエネルギーを、空間の余剰次元や、ビッグバンから吐き出されたものの、これまで検出され

ていない捉えどころのないダークマター粒子と結びつけている。

つまり、標準モデルの綻びを説明する理論には事欠かないというわけだ。どの理論を採用するかによって、遠い未来に宇宙がどう進化するかという予測も劇的に変わってくる。次のデータ公開は 26 年半ばだ。それによって、暫定的な観測結果が確認されることになるのか、それとも覆されるのか、科学者たちは期待と不安を抱えながら、その時を待っている。科学的学問分野としての宇宙論は、1920 年代に天文学者エドウィン・ハッブルが宇宙が膨張していることを発表したことで始まった。60 年代には、原始的な熱放射の検出により宇宙がビッグバンで始まったことが確認され、宇宙論は一変する。その 30 年後、膨張が加速しているという発見があった。わたしたちはいま、その 3 つの発見と同じくらい大きな論争を巻き起こす可能性がある、4 つ目の大発見が成されるのかどうかの瀬戸際にいる。この宇宙全体が究極的にはどうなってしまうのか。まさに宇宙の運命としか言いようのないものが、その発見にかかっているのだ。

ポール・デイヴィス | PAUL DAVIES

物理学者。アリゾナ州立大学のリージェンツ・プロフェッサーでビヨンド科学基本概念センターの所長。難解な科学的概念を一般読者向けに解説する作家として知られ、『Quantum 2.0』など多数の著作がある。

(Originally published in the January/February 2026 issue of WIRED UK magazine, translated by Kazuki Watanabe, edited by Michiaki Matsushima)

<https://sorae.info/extra/20251231-eti-2.html>

宇宙人と会話する方法【宇宙言語編】 2025-12-31 2025-12-31 [sorae 編集部](#)

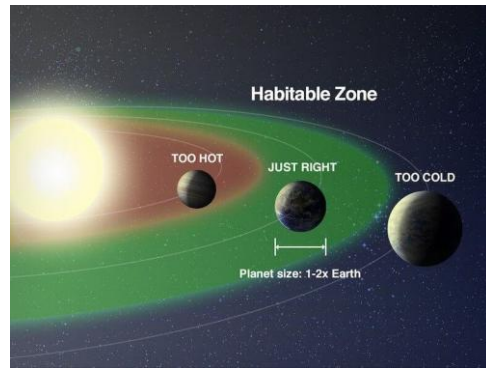


宇宙への呼びかけ「コズミックコール」

1999 年、黒海に面するクリミア半島の電波望遠鏡でひとつのプロジェクトが始まりました。「コズミックコール」(※15)と呼ばれるこの計画は、名前が意味するとおり“宇宙への呼びかけ”です。異星人との交流を目指してカナダの天体物理学者イヴァン・デュティルやステファン・デュマスらが実施しました。望遠鏡のアンテナは慎重に向きを調整され、天空の一点に向けて強力な信号を放ちました。信号は、2 つの周波数をめまぐるしく行き来しました。ひとつは「オン」、もう一方は「オフ」です。個々の「オン」「オフ」をひとつの画素とみなして正方形に配置すると、画像が浮かび上がります。

一連の信号を 3 回くり返すと、アンテナは向きを変え、別の目標に向けて同じ電波を発信しました。

目標として選ばれたのは、太陽に似た 4 つの恒星(※16)。その一部には惑星が発見されており、なかには「ハビタブルゾーン(生命居住可能領域)」内にある惑星もあります。ハビタブルゾーンとは、恒星のまわりの“温暖な領域”(水が液体状態で存在しうる領域)を指す言葉です。このような領域に地球と同じタイプの岩石質惑星があれば、生命の存在が多少なりとも期待できることからこう呼ばれています。もしかすると、コズミックコールが目標とする恒星の惑星も、地球と同じように生命に満ちあふれ、知性体も進化しているかもしれません。信号はいまこの瞬間(2025 年 8 月時点)も、目標に向けて光の速度で宇宙を旅しています。コズミックコールははじめての宇宙への呼びかけではありません。しかし、特筆されるのは、この計画で世界初の宇宙言語「リンコス(Lincos)」が使用されたことです。



【▲ 図 18: ウクライナのイエウパトリーヤにある口径 70m の電波望遠鏡。コズミックコール計画では、この望遠鏡から 1999 年と 2003 年の 2 度にわたって地球外知性体（異星人）に向けたメッセージが送信されました。(Credit: Wikimedia Commons/S. Korotkiy)】

【▲ 図 19: ハビタブルゾーン（生命居住可能領域）のイメージ。恒星のまわりの“暑すぎず寒すぎない”軌道を周回する惑星には生命が発生する可能性があります。(Credit: NASA)】

宇宙言語「リンコス」

異星人と語り合うための“辞書”であり、地球人類についての“百科事典”、それが宇宙言語リンコスです。この言語を考案したのは、オランダの数学者ハンス・フロイデンタール。彼は 1960 年、単語と単純な文法からなるリンコスについての解説を 1 冊の本としてまとめました。名称のリンコスはラテン語の「リングア・コズミカ（宇宙言語：lingua cosmica）」の略です。リンコスは一見、意味不明な文字や記号の羅列です。しかし、そこそこに解説の鍵やヒントが散りばめられており、暗号解読に比べればはるかに容易に意味を読み取りやすいように作成されています。表現や内容も、外国語を学ぶときと同様、最初は単純でわかりやすく、しだいに複雑で難しいものへと進んでいきます。リンコスの文字や記号はそのまま異星人に見せるのではなく、すべて電波パルス（いわば“ピー音”）に変換して送信されます。たとえば 1、2、3、4... という自然数はパルスの回数（1 はパルス 1 回、2 は 2 回、3 は 3 回...）で表されます（後に数はすべて 2 進法に置き換えられます）。フロイデンタールは本の 1 章を数学、2 章を時間、3 章を地球人の行動、そして 4 章を空間・運動・質量にあてました。第 1 章では、数字に加え、初期段階で数学記号（＋、－、＝、＜、＞など）が示されます。たとえば不等号は、5 回パルスと 3 回パルスの間に対応する記号のパルスを挟むといった方法で提示されます（図 21）。この方法なら、記号の意味を異星人は推測できそうです。ほかに、記号論理学を利用した命題や、「真」と「偽」の概念などが示され、数学の基本的なトピックも紹介されます。第 2 章は時間です。まずパルス音の長さを変化させ、時間の長さとその単位（秒）が示されます。その後、「開始」「終了」「前」「後」なども定義されます。第 3 章はいったんとばして第 4 章を先に見ると、ここでは物理の定義や法則が中心です。長さ、質量、速度などの単位や物理定数などがとり上げられているほか、万有引力の法則や相対性理論についても言及されています。ここまでのリンコスは、部分的に異星人には（地球人にも）難解と思われるものはあっても、方法論として納得がいくものです。



. >

. <

. =

. + . . . =

. - . . . =

. = 1

. . = 10

. . . = 11

. . . . = 100

. = 101

.....

. = 1101 #

【▲ 図 20: オランダ、ユトレヒト大学の理論・応用数学教授ハンス・フロイデンタール。この撮影（1957 年）の 3 年後、宇宙言語リンコスの著書を発表しました。(Credit: L. H. Hofland/Het Utrechts Archief, https://hetutrechtsarchief.nl/beeld/EF66CDB58DEE5882B39D4659622F2902))]

【▲ 図 21：リンコスの例。上から $5 > 3$ 、 $3 < 5$ 、 $4 = 4$ 、 $4 + 2 = 6$ 、 $6 - 2 = 4$ を示しており、各記号について複数の式が送信されます。#は開始と終了の合図。(Credit: H. Freudenthal, 「Lincos: Design of a language for cosmic intercourse」(1960, North-Holland Publishing Company))】

【▲ 図 22：10 進法の自然数を 2 進法に置き換えています。(Credit: H. Freudenthal (1960))】

人間行動をリンコスで表現する

Ha Inq Hb · ?x · $x^{10} = 11001$:
 Hb Inq Ha · $101 \times 101 = 11001$:
 Ha Inq Hb Mal :
 Hb Inq Ha · $101 \times 101 = 11001$ · $\in \text{Ver}$:
 Ha Inq Hb · VerTanMal : $\neg \cdot x^{10} = 11001 \cdot \rightarrow \cdot x = 101$:
 Hb Inq Ha · $101 \cdot \neg \cdot 101$:
 Ha Inq Hb Ben #

A speaks B : ?x ($x^2 = 25$)
 B speaks A : $5 \times 5 = 25$
 A speaks B : bad
 B speaks A : ($5 \times 5 = 25$) is true
 A speaks B : true but bad; not ($x^2 = 25 \rightarrow x = 5$)
 B speaks A : 5 or -5
 A speaks B : good



【▲ 図 23：リンコスの第 3 章は基本的に対話形式で定義を示しています。この図では「正」「誤」に加え、「よい」「悪い」という言葉を使用しています。まず A が B に $x^2=25$ における x の解をたずねます。A は B の答が 5 のみと部分的であるときには「悪い」と述べ、5 または -5 とすべての解を解答したときのみに「よい」と評価しています。下はわかりやすいように英語に書き直したものです。(Credit: H. Freudenthal (1960), Joseph Brum (1962))】

【▲ 図 24：異星人は地球上で暮らす人間の行動や社会を理解できるでしょうか？ 写真は衛星から観測した夜の地球。日本も右上に見えています。(Credit: SUOMI NPP/NOAA/NASA)】

ところが、第 3 章はまったく様相が異なります。フロイデンタールはこの章で、人間の行動や社会、歴史などについて説明しようとしているのです。例えば次に示すのは、第 3 章で取り上げられている賭けの例です。「この問題、どちらが先に解く？」——2 人の人間が数学の難問について賭けをしました。2 人は、先に解いた勝者が解法を敗者に明かし、負けた方は賭け金を勝者に払うことにしました。ところが、賭けが決着した後でも 2 人とも取り決めを守りません。そこで裁定者が呼ばれ、結果として両者とも最初の合意に従いました……。このような内容を異星人に向けて送信するのは途方もない挑戦のように思われます。人間社会や文化はおろか、人間そのものについてもまるで知らない異星人に、リンコスの断片的な情報のみにもとづいて賭け事を例示しても、彼らには意味不明かもしれません。

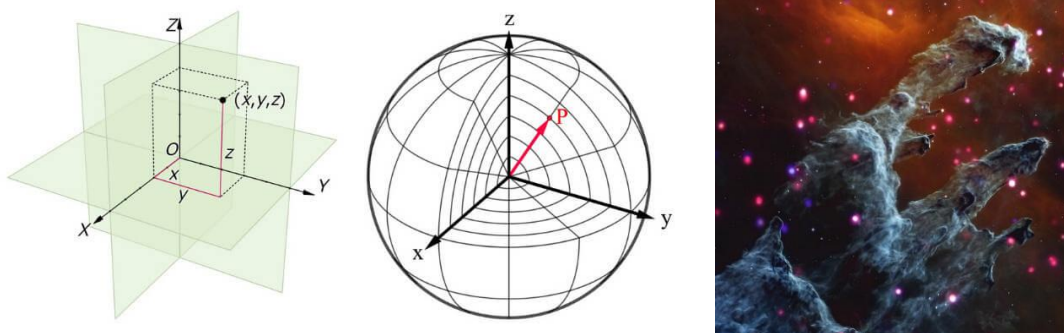
第 3 章ではほかにも、人口統計や動物の数、人が質問に答えられない理由がそれぞれ異なる場合があること、論理学の問題「嘘つきのパラドックス」(※17) や、数学上の難問のひとつであった「フェルマーの最終定理」(※18) の歴史的経緯などを伝えようとしています。フロイデンタールの本は第 4 章でいったん終了していますが、彼は続きとなる第 2 巻を計画していました。そこには「物質」「地球」「生命」「行動 2」が収録される予定でした。しかし、執筆前に彼は近所の公園で倒れ、帰らぬ人となったのです。

リンコスは地球人のため？

リンコスの最大の問題、それはくり返しになりますが、異星人の身体的特徴や生態、認知方法などがわれわれとはまるで異なっていたら、彼らにこの宇宙言語はおそらく理解できないという点です。

とくに、第 3 章でしばしば登場する抽象的な概念や対話方式の説明などは、異星人をかえって混乱させる

のではないかという批判もあります。フロイデントール自身もこれを率直に認めています。彼はリンコスの通信を受け取る“人物”について、「人間もしくは少なくとも精神状態や経験において人間に似ている」という前提を置きました。なぜなら「この要件を満たさない“人物”と交流する方法がわからない」ためだと、フロイデントールは自著『リンコス』の序章に記しています。言い換えるなら、リンコスは異星人用というより地球人用なのです。アメリカの「アトランティック」誌によれば、コズミックコールを実施したデュマスも、メッセージ作成は人間が自身をどう描き出したいかを露わにするため、人類にとってこそ有益だと指摘し、次のように語ったといいます。「戦争や飢餓、生態系破壊のような歴史を含めるのか、それとも素晴らしいことだけを取り上げるのか？ 恒星間通信とは突き詰めれば、人類そのものを映し出すものなのです」(※19) 他方、リンコスにかぎらず、多くの宇宙言語において数学的定理や物理法則が初期段階に送信されることに対して疑問を抱く研究者もいます。定理や法則自体は普遍的でも、その表現法が地球上とはまるで異なる可能性があるためです。実際、地球上でさえ、目的に応じて数学の定理や物理法則の表記法を変えています(図 25)。そこで「通信編」で言及したスマヤ・グレンジャーらは、まずはより具体的で、異星人が間違いなく知識をもち、かつ表現法が変わっても認識してもらえそうな対象、たとえば恒星や惑星、星雲、天の川銀河、重力、放射線といった宇宙環境について表現すべきと主張しています。リンコスにはある意味テクニカルな問題もあります。それはこの“辞書”は定義を積み重ねていくため、どこかで解説につまづいたり解釈を間違えたりすると、その後の定義がすべて理解できない、あるいは誤解されることになるという点です。それでもリンコスは、出発点として妥当ではないかと SETI 研究者たちの多くが考えていて、進化したバージョンなどを発表した研究者もいます。どんな宇宙言語が異星人に理解しやすいか、読者も自分なりに考察するとおもしろいかもしれません。



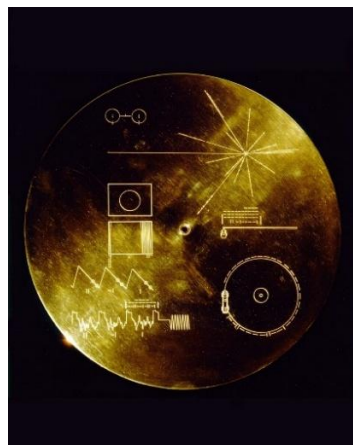
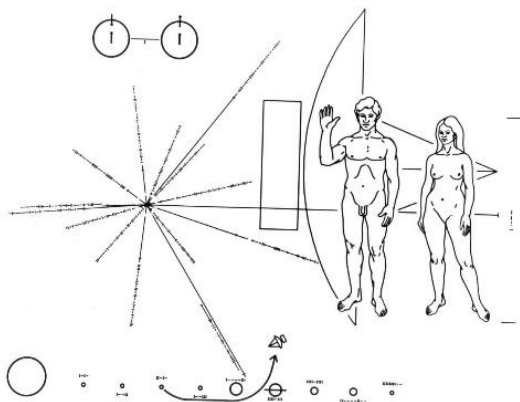
【▲ 図 25：物理学や数学で利用される座標の例。左は直交座標、右は極座標（球座標）で、これらは目的に応じて使い分けられます。(Credit: Left: Wikimedia Commons/Jorge Stolfi/; Right: Wikimedia Commons/SharkD; Edit: sorae 編集部（画像結合処理）)】

【▲ 図 26：異星人には恒星系や星雲、天の川銀河のような具体的な観測対象の方が共通言語としてわかりやすいかもしれません。これは「ジェームズ・ウェッブ」など複数の宇宙望遠鏡が観測した「わし星雲」の「創造の柱」のデータを合成して画像化したもの。ピンクや青の輝く点は若い星が放つ X 線です。(Credit: X-ray: Chandra(NASA/CXC/SAO), XMM(ESA/XMM-Newton); IR: JWST(NASA/ESA/CSA/STScI), Spitzer(NASA/JPL/CalTech); Optical: Hubble(NASA/ESA/STScI), ESO; Image Processing: L. Frattare, J. Major, and K. Arcand)】

異星人への“絵はがき”

リンコスは SETI 研究者には注目されたものの、その後は棚ざらし状態となりました。この言語が本来の目的のためにふたたび息づくのは、フロイデントールの死後のことでした。前述したように、コズミックコールで一部にリンコスが使用されたのです。コズミックコール計画を実施したデュティルらは、フロイデントールが考えたモールス信号のような形式は用いませんでした。彼らは視覚に対応する感覚をもつ異星人なら、より直感的に理解しやすいと思われる方法、いわば“絵はがき”を用いることにしたのです。

彼らはまずリンコスの電波記号を文字記号に置き換え、それを利用して全体で 23 ページ、40 万ビット近くの通信画像を作成しました(※20)。画像としては数字の表記法、2 次方程式や三平方の定理（ピタゴラスの定理）のほか、模式的な太陽とその惑星系、人間の姿なども描かれました。解読につまづくとその先がいったいわからなくなるオリジナルのリンコスと違って、画像を使うこの手法なら、ひとつの画像がわからなくても別の画像を理解できる可能性が残されています。1999 年に続いて 2003 年にも、さらに 5 つの恒星に向けて前回とは少し異なる構成のメッセージが送信されました。このときの送信はコズミックコール 2 と呼ばれています。2 回のコズミックコールの送信ターゲットで最も近距離なのは、2003 年のコズミックコール 2 で対象となった約 32 光年先の恒星「グリーゼ 49」であり、信号は 2036 年 4 月に到着する予定です。地球人が地球外知性体への呼びかけを行ったのはコズミックコールだけではありません。ほかにも 1974 年の「アレシボ・メッセージ」(※21) 等々、さまざまなメッセージが送信されているほか、NASA の無人探査機「ボイジャー 1 号」「ボイジャー 2 号」がメッセージを記録したレコード盤（ゴールデンレコード）を搭載しており、これらの探査機はいまや星間空間を飛行しています。こうしたメッセージが目標の天体に本当に届くのか、それを誰かが発見して“読む”のか、それは定かではありません。しかし、メッセージを受け取った異星人が驚きとともに解読を試みる様子を思い浮かべるとワクワクすることは確かです。われわれは、“ひとりぼっち”ではないと実感し、異星の知性体がつくる文明世界をのぞき見る願望を抱いているのです。



【▲ 図 27：1972、73 年に打ち上げられた NASA の惑星探査機パイオニア 10 号、11 号には異星人に向けたメッセージとして金属板が取り付けられていました。コズミックコール計画では、この男女 2 人によく似た姿がデジタル信号として送信されました。(Credit: NASA)】

【▲ 図 28：異星人へのメッセージが収録されたゴールデンレコード。115 枚の画像がコードとして記されているほか、雷、鳥のさえずりなどの自然音、各国言語による挨拶、さまざまなジャンルの音楽などが録音されています。1977 年に打ち上げられた NASA の惑星探査機ボイジャー 1、2 号に搭載されました。(Credit: NASA/JPL)】

虚空を超えていつか

「彼ら」はいったいどこにいるんだ？」——イタリア出身の物理学者エンリコ・フェルミ(※22)はかつてこう疑問を發したといひます。“彼ら”、つまり地球外知性体（異星人）がこれまで地球に接触した痕跡がないのはなぜかというのです。フェルミは、銀河系にはおそらく地球に似た惑星が無数に存在し、それらの惑星上で生命が誕生すれば、そこから知的生命体が進化するケースも多々あるはずだと論じました。それらのなかにははるか昔に知性体が誕生し、高度な技術文明を發達させた惑星がいくつも存在するに違ひありません。にもかかわらず、その知性体は地球にいまだ接触していません。それはなぜか？ フェルミはこう質しました。これは「フェルミ・パラドックス」と呼ばれ、その矛盾を説明する推論がいくつも

提出されています。たとえば、異星人は「地球に過去に到達したが、その後は探索が途絶えた」「地球文明に不用意に影響を与えないように見守っている」「恒星間の距離が非常に大きいため、技術的な障壁を超えることができない」等々です。いまのところ真相は明らかになっていませんが、おそらくわれわれはひとりぼっちではないはずです。「物理法則が普遍的であるかぎり、宇宙でいちど発生した現象は何度でも起こり得る」と科学者たちの多くは考えています。それは知的生命体についても例外ではなく、そのために SETI の研究者たちは地球外知的生命体を探す価値があるとみなしているのです。

地球人類が電波観測を始めてまだ 100 年足らず、地球上から宇宙空間に向けて探査船がはじめて飛び立ってから 60 年ほどです。われわれの観測・探査技術が著しく発達した頃には、異星人と接触するチャンスもあるでしょう。仮にそれが現実になれば、さまざまな制約があっても、異星人と地球人が“おしゃべり”を楽しむ日が訪れるかもしれません。(了)



【▲ 図 29：ノーベル賞物理学者エンリコ・フェルミは 1950 年、“水爆の父”エドワード・テラーと UFO（未確認飛行物体）や超光速飛行などについての会話を楽しんでいたとき、「フェルミ・パラドックス」を提起したといわれます。(Credit: DOE/ National Archives Catalog)】

文／新海裕美子 編集／sorae 編集部

脚注 ※15...コズミックコールは近隣の恒星に向けて電波メッセージを送信するプロジェクト。第 1 期は 1999 年、第 2 期は 2003 年に実施され、前者は 4 つの恒星、後者は 5 つの恒星を目標とした。デュティルらが考案した画像データに加え、アレシボ・メッセージや一般の人々の異星人へのメッセージなども送信された。

※16...主系列星を周回する太陽系外惑星（系外惑星）がはじめて発見されたのは 1995 年。コズミックコール計画実施時には少数の系外惑星（おもに巨大ガス惑星）しか見つかっておらず、計画対象の恒星には必ずしも惑星が確認されていない（実施後に惑星が発見されたケースもある）。2009 年に宇宙望遠鏡「ケプラー」が打ち上げられて以降、系外惑星の発見数は桁違いに増加し、太陽系外惑星のデータを掲載した NASA のサイト「Exoplanets」(サイト／<https://science.nasa.gov/exoplanets/>)によれば、2025 年 8 月末時点で 6000 個近くに到達。比較的質量の小さな地球型惑星も数多く発見されている。

※17...「クレタ人はみな嘘つきだ」とクレタ人が言った場合、その発言は真実か否か？ 真実とみても嘘とみても矛盾が生じるため、これを「嘘つきのパラドックス」と呼ぶ。

※18...フェルマーの最終定理は 300 年以上解決しなかった数学史上の難問。17 世紀のフランスの数学者ピエール・ド・フェルマーは、本の余白に「 n が 3 以上の整数のとき、 $x^n + y^n = z^n$ を満たす自然数の解 (x, y, z) は存在しない」という“定理”を記した。これがフェルマーの最終定理と呼ばれ、その後、さまざまな数学者が証明に取り組んだ。イギリスのアンドリュー・ワイルズによって最終的な証明が得られたのは 1995 年。

※19...Daniel Oberhaus, Building a Language to Communicate With Extraterrestrials, The Atranttic, April. 6 (2016)

※20...コズミックコール計画では、作成された画像は 127×127 の画素に変換され、ひとつの画素について「オン」または「オフ」の電波信号として送信された。デュティルらの作成した 23 枚の画像はインターネット上 (<https://www.plover.com/misc/Dumas-Dutil/messages.pdf>) で見るができる。

※21...アレシボ・メッセージは 1974 年、約 2 万 2000 光年離れた球状星団「M13」に向けてプエルトリコのアレシボ天文台の電波望遠鏡から送信された地球外文明への呼びかけ。素数 2 つの積 (23×73) である 1679 ビットの信号からなる。フランク・ドレイクやカール・セーガンなどがメッセージ作成に携わっ

た。なお、当時世界最大（口径 305m）であったアレシボ天文台の電波望遠鏡は 2020 年、老朽化のため崩壊。

※22...エンリコ・フェルミ（1901～54 年）はイタリア出身の物理学者。量子力学（とりわけ量子統計）、核物理学などの分野に貢献。フェルミ粒子、フェルミ球、フェルミ推定などに名を残している。アメリカの原爆製造計画「マンハッタン・プロジェクト」に参加し、1942 年世界初の原子炉「シカゴパイル」の開発に成功した。1938 年、中性子照射による新元素の発見などに対してノーベル賞を受賞。

参考文献・出典 Douglas A. Vakoch, Jeffrey Punske (Eds.) 「Xenolinguistics Towards a Science of Extraterrestrial Language」(2023) Routledge

- H. Freudenthal 「Lincos: Design of a language for cosmic intercourse」(1960) Amsterdam: North-Holland Publishing Company
- (https://monoskop.org/images/8/85/Freudenthal_Hans_Lincos_Design_of_a_Language_for_Cosmic_Intercourse_Part_I.pdf)
- Daniel Oberhaus, Building a Language to Communicate With Extraterrestrials, The Atlantic, April 6 (2016) (<https://www.theatlantic.com/science/archive/2016/04/math-language-extraterrestrials/477051/>)
- Yvan Dutil and Stéphane Dumas, Annotated Cosmic Call Primer, Smithsonian Magazine, Sep.26 (2016) (<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/annotated-cosmic-call-primer-180960566/>)
- S. Dumas, The 1999 and 2003 messages explained (<https://www.plover.com/misc/Dumas-Dutil/messages.pdf>)
- Joseph Brum, NSA, Winter Vol.7, No.1 (1962)
- (<https://media.defense.gov/2021/Jul/02/2002755808/-1/-1/0/BOOK-REVIEW-LINCOS-DESIGN.PDF>)
- NASA, Exoplanets (<https://science.nasa.gov/exoplanets>)

<https://sorae.info/extra/20251230-eti-1.html>

宇宙人と会話する方法【通信編】 2025-12-30 2025-12-30 [sorae 編集部](#)



“宇宙からの呼び声”

「いままさに、星々からのメッセージがこの部屋を飛び交っていてもおかしくありません。あなたと私の間をすり抜けてね。適切な受信機を的確に設定すれば、われわれはそれを検出できるでしょう。そう考えると私はゾクゾクします」かつて、アメリカのフランク・ドレイクはこう述べていました。彼は、地球外知性体（ETI:ExtraTerrestrial Intelligence）、すなわち異星人が地球に向けて呼びかけている可能性があると考えていたのです。ちなみに、ドレイクは地球外文明の存在確率方程式（※7）、いわゆる「ドレイク方程式」を提案したことでも知られています。1960 年、ドレイクのグループは実際に“宇宙からの呼び声”をとらえる試みを始めました。「オズマ計画」と名付けられたこのプロジェクトは、アメリカのグリーンバンク天文台で 4 か月にわたって実施されました。計画名は“はるかな魔法の国オズ”の王女オズマに由来します（※8）。当時 29 歳だったドレイクは観測期間中、早朝グリーンバンク天文台を訪れては、寒さに震えながら

口径 26mの電波望遠鏡を「くじら座タウ星」、ついで「エリダヌス座イプシロン星」に向けました。これらの天体は地球から比較的近いことに加えて、当時の知識では星のまわりに生命圏が存在する確率が高いと目されていました。彼はこの計画で、波長 21cm (21cm 線) の電波を観測すると決めていました。これは水素原子が放出する特徴的な電波のひとつです。なぜ水素の 21cm 線なのでしょう？ それは水素が宇宙に普遍的に存在する元素であり、宇宙を探索・研究する科学技術文明なら必ずやこの元素を観測対象にしているはずだからです。なかでも 21cm 線は空気を透過しやすいことから、大気をもつ惑星どうしの通信にも適しています。そこでドレイクらは、異星人にもおそらく 21cm 線は馴染み深く、通信用として選ばれる見込みは高いと考えたのです。異星人との接触を描いたカール・セーガンの SF 小説『コンタクト』でも、主人公の研究グループは 21cm 線を探索しつづけました。宇宙からのメッセージを探すこのような計画は「地球外知性体探索 (SETI: Search for ExtraTerrestrial Intelligence)」と呼ばれています。「前例のないことだったし、何が起きるかも誰もわからなかった、私でさえね」——後にドレイクは著書『Is anyone out there? (外に誰がいるの?)』でこのように述懐しています。オズマ計画以来、SETI は複数の機関によって何度か実施されています。しかし、SETI 以外の天体観測も含めていまのところ、一時的に異星からのメッセージと疑われた例はあるものの (※9)、明確な信号を受け取ったことはありません。

地球人は“呼びかけ”に気付けない？

学校のチャイムは、教室や運動場がどれほど騒がしくても校内に響きわたり、生徒たちに授業開始を告げます。これはチャイムの音が大きく、かつ特徴的だからです。しかし、異星人のシグナルはわかりやすいとはかぎりません。地球上にはありとあらゆる方角から赤外線や紫外線、電波などのさまざまな電磁波が降り注いでいるのに、その中から異星人のシグナルを本当に拾い上げられるでしょうか？

特に、異星人の時間感覚がわれわれと異なる場合には難しそうです。地球人にとっての 1 時間が、異星人にとってはわずかな体感時間 (たった 1 秒に感じられるような) であれば、1 時間に 1 回程度の“のんびりペース”で信号を送ってくるかもしれず、われわれはまるで気付かないかもしれません。

逆に、ロバート・フォワードの『竜の卵』に登場する中性子星の生物チーラのように、人間の 30 秒が異星人には 1 年に感じられるとすれば、彼らの送る信号が速すぎてわれわれには解析できないおそれもあります。宇宙からのメッセージを受け取るうえで、最初の難関はこの点でしょう。われわれは異星人が送信したシグナルを受信し、かつそれをシグナルと認識しなくてはなりません。



【▲ 図 11：アメリカ、グリーンバンク天文台の口径 26m 電波望遠鏡。1960 年に実施されたオズマ計画では、近隣の 2 つの恒星系からの電波に耳を傾けました。(Credit: Wikimedia Commons/Z22)】

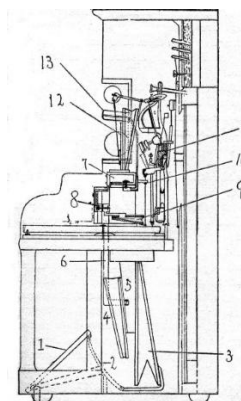
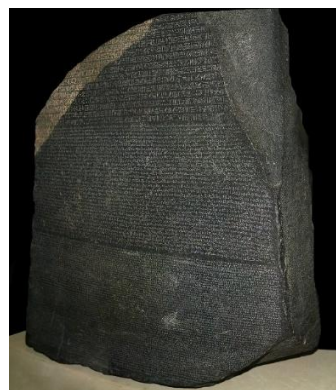
【▲ 図 12：天の川銀河内に地球の“双子惑星”は存在するのでしょうか？ 画像中の惑星は太陽に似た恒星を周回し、地球と同様に岩石質とみられています。また、その大部分は恒星からの距離から見て、水が液体状態で存在してもおかしくないとされています。(Credit: NASA/Ames/JPL-Caltech)】

しかしここでは、異星人の時間感覚などが地球人とかけ離れてはおらず、彼らは人間が識別しやすい手法を選ぶと仮定して、その手法を推測してみます。もっとも単純でわれわれが気づきやすい方法は、パルス状の電波でしょう。たとえばモールス信号のように、パルスの回数や異なる長さのパルスを組み合わせる

方法です。ほかにも、電波の振幅を変化させる方法や、複数の周波数を使い分ける方法などもありそうです。前出の『コンタクト』では、異星からのシグナルは幾重にも重なっていました。最初にパルスが発見された後、ここに偏波(※10)や位相変調(※11)によるシグナルも織り込まれていたことが次第に明らかになっていきました。最大の問題はここからです。異星から信号を実際に受け取ったとき、われわれは届いたメッセージを解読できるのでしょうか？ この点については悲観的な見方をする研究者が少なくありません。異星との交信は、対面とは異なり、電磁波という“か細いチャンネル”を通じて行うしかありません。異星人たちが“会話”する様子も観察できなければ、こちらの働きかけに対する反応も見られず、あまりにも言葉の意味を読み取るヒントが少なすぎるのです。しかも、近隣の惑星系であっても、信号が1往復するには10年～100年単位の時間が必要になります。

宇宙からのメッセージは解読できない？

1912年にポーランドのウィルフリッド・ヴォイニッチが発見した「ヴォイニッチ手稿」。15世紀の皮紙につづられたアルファベットのような文字による文章と、色鮮やかな植物や竜、女性、占星図などに見える挿画は、人々を魅了してきました。しかし、この文書は挿画というヒントがあるにもかかわらず、いまだに解読されていません(※12)。AIの解析では暗号化された文章もしくは人工言語を示唆するようですが、それ以上のことは不明です。第二次世界大戦中、ドイツ軍の暗号エニグマ(※13)の解読法を見いだした数学者アラン・チューリングでさえ、この文書の解読に失敗したのです。同様の例には事欠きません。たとえば南東ヨーロッパで発見された紀元前6000～4000年頃の「ヴィンチャ文字」、紀元前1500年頃にギリシアのクレタ島で使用されていたという「線文字A」、インカ帝国で言語としても使用されたとおぼしき紐の結び目の記号「キープ」等々、文化的に断絶した社会が残した文字は解読がきわめて困難です。エジプトの象形文字「ヒエログリフ」も、3種類の文字が並んで記された「ロゼッタストーン」(※14)のような明確な手がかりがあってこそ解読が可能になりました。地球上の言語でさえ、これほど解読困難なのです。われわれとは体の構造も生態も環境も異なるであろう異星人の言語をヒントなしに読み取るのは不可能に近いようにも思われます。しかも解読できたとしても、それが正しいという保証はありません。スタニスワフ・レムのSF『天の声』では、当初は単なるノイズに見えた観測データからシグナルが見つかり、生物学系の研究者はそのデータのほんの一部を利用して生物にも似た奇妙な物質を作り上げました。しかし、主人公には解読方針が正しいとは思えません。いわば「コンピュータープログラムをピアノの自動演奏装置で作動させているようなものでは？」という疑念を彼はめぐいきれないのです。では、異星人のメッセージの解読に失敗したとき、われわれは異星人との会話をあきらめざるを得ないのでしょうか？ そんなことはありません。まず、「自分たちがここにいる」と示すだけでも意味があるはずです。



▲ 図 13：15～16 世紀に製作されたとみられるヴォイニッチ手稿の 1 ページ。植物や占星図のような挿画と文章で構成されていますが、いまだに解読されていません。(Credit: einecke Rare Book & Manuscript Library, Yale University)】

【▲ 図 14：1799 年、ナポレオン遠征時に発見されたロゼッタストーンには、碑文としてヒエログリフ

(神聖文字)、デモティック (民衆文字)、ギリシア文字の3種類の文字が並んでいます。これらの内容が同一であったことが、解読の大きな手がかりとなりました。(Credit: Wikimedia Commons/Hans Hillewaert)】

【▲ 図 15: 20 世紀初頭に使用されていた自動ピアノの構造。当時は紙ロールにパンチ穴を開けた記録媒体を用いていましたが、この記録法は初期のコンピューターと同じでした。(Credit: Wikimedia Commons/William Braid White (Edward Lyman Bill, 1909))】

異星人に返信する方法

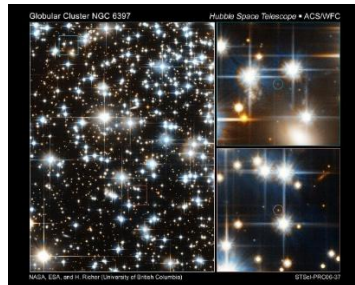
山道などで遠方から見慣れぬ人影が「おーい！」と呼びかけてきたとき、とくに警戒しなければ、あなたは「おーい！」と答えるかもしれません。これは相手の言ったことをそのまま返す「ミラーリング」と呼ばれるコミュニケーション法です。

SETI に携わる多くの研究者は、異星人から何かしらのメッセージを受信したと判断したとき、地球人類が最初にすべきこととしてミラーリングを提唱しています。これは乳児と保護者の間によくみられ、コミュニケーションを開始するとともに相手への好奇心や好意を表す行為でもあります。

それだけでなく、ミラーリングを用いることで、われわれの技術力が異星文明のシグナルを送信するだけの複雑な装置を設計・製造する段階に達していると示せます。「対面編」で言及した映画『未知との遭遇』でも、未確認飛行物体 (UFO) が放つ5つの音階を地球人が演奏することで“会話”が試みられました。

では、ミラーリングの次には何をすべきでしょうか？

異星からのメッセージ解読に成功すれば、相手の通信様式に合わせた（おそらくは稚拙な）返信ができるかもしれません。しかし、解読が困難だったときにも、何らかのメッセージを異星人に送信すべきでしょうか？ もし送信するなら、どんな手法を用いればよいのでしょうか？ここで想起したいのは、おそらくは異星文明はわれわれよりはるかに成熟し、進展しているはずだということです。



【▲ 図 16: 映画『未知との遭遇』では、異星人が放つ5音のシグナル（レ、ミ、ド、オクターブ下のド、ソ）のミラーリングによりコミュニケーションが試みられました。これは映画のマザーシップの模型で、アメリカのスミソニアン国立航空宇宙博物館に展示されています。(Credit: Wikimedia Commons/Sanjay Acharya)】

【▲ 図 17: 宇宙望遠鏡「ハッブル」がとらえた天の川銀河の球状星団「NGC 6397」。地球から 8500 光年の距離にあり、約 130 億年前に形成したとみられています。このような球状星団の惑星系には、長い歴史をもつ異星文明が存在しているかもしれません。(Credit: NASA/ ESA/H. Richer (University of British Columbia))】

宇宙の“ロゼッタストーン”は？

「狼煙をあたりまえに利用する谷間の村人は、山向こうから立ち上る狼煙にパターンがなければ、そこに文化はない、と決めつけるかもしれない。山の向こう側では狼煙の代わりに携帯電話を利用しているかもしれないのに」——アメリカの生物学者コン・スロボチコフは『Xenolinguistics (異星言語学)』でこう述べています。宇宙が誕生してから 138 億年、地球が形成されてから 46 億年が経過したといわれていますが、これに対して人類が生まれたのはわずか数百万年前です。つまり地球人類、そして地球文明はまだ産声を上げた段階にすぎません。対する異星文明は数百万年、あるいは数千万年、数億年もの歴史をもつ可能性もあるのです。だとすれば、スロボチコフの主張するとおり、いまだ未熟な地球文明は異星人の先進

的なコミュニケーション法を理解できないかもしれません。しかし逆に、ここにチャンスがあります。われわれが“彼ら”を理解できなくても、彼らは地球人を理解できるかもしれないのです。そこで、われわれが異星人のメッセージを解読できないときには、返信ではなく新たなメッセージを送信する方針も検討されるでしょう。このとき相互に理解しやすいのは、英語や日本語のような自然言語ではなく、論理的な記号論や自然科学の知識を活かした「人工言語」ではないでしょうか。科学的な原理や法則は、われわれの宇宙では普遍的とみられています。少なくとも、宇宙のどこか別の領域で数学や物理の法則が異なっている証拠は今のところ見つかりません。だとすれば、こうした数学や物理の法則を土台にして人工言語を作れば、異星言語と地球言語のおそらくは広く深い溝を埋めるきっかけとなるでしょう。SETI の研究者の多くは、数字、特に素数（1 と自身でしか割り切れない数）が異星文明と地球の“ロゼッタストーン”となると考えています。素数は、見かけ上は数の並びに規則性がなく、自然現象に取り違えられるリスクがまずないうえ、素数を知っていることで数学を理解していると示せるためです。

今回は、通信によって異星人とコミュニケーションする手法を考えてきました。次回は、異星人との通信に実際に使用する“言語”、すなわち「宇宙言語」として考案された人工言語を紹介していきます。（宇宙言語編につづく） 文／新海裕美子 編集／soraе 編集部

脚注 ※7...地球外文明の存在確率方程式とは、天の川銀河内に現存する技術文明の推定数を方程式の形で示したものの。天の川銀河内で 1 年間に生成される恒星の数や、恒星のまわりのハビタブルゾーン（「宇宙言語編」の図 19 参照）内の惑星の数、そうした惑星で生命が誕生し、知的生命体に進化して技術文明を築く確率、さらには技術文明の存続時間などを推測して計算する。いくつかの項目（とくに文明の存続時間）については観測的な手がかりはほぼない。

※8...「オズの魔法使い」シリーズの 6 巻で、オズマ姫はオズ国を隠し、他国との連絡も絶ってしまう。しかしオズの物語を再開してほしいという読者の要望に応え、次巻では作者のライマン・フランク・ボームが電波でオズ国に呼びかけたことになっている。彼は無事オズ国から電波の返信をもらい、魔法の国のニュースを受け取ったという。

※9...パルサーの発見など。1967 年、ケンブリッジ大学の学生ジョスリン・ベルは、約 1.3 秒周期と高速かつ規則正しい電波パルスを見いだした。彼女と指導教官アンソニー・ヒューイッシュは半信半疑ながら異星文明からの信号の可能性もあり得るとみて、発信源を LGM-1 と名付けた。LGM とは“リトルグリーンメン”、すなわち異星人の意。後にこのパルスは高速回転しながら電波ビームを放出する中性子星（パルサー）によるものと判明した。

※10...『コンタクト』で利用されたのは楕円偏波。電磁波は進行方向に対して垂直に波打つが、正面から見ると楕円偏波ではその波のピークが回転しているように見える。時計まわりと反時計まわりの回転があるため、オンオフや 2 進法の信号として用いることができる。

※11...電磁波はサイン波として周期的に振幅する。その波が始まる位置（正確には位相）をずらすことにより情報を伝送する手法が位相変調。

※12...カナダのグループは 2018 年、AI 解析により 8 割の単語がヘブライ語のアナグラム（文字入れ換え）と一致したと主張した。ほかにもいくつかのグループが俗ラテン語とする見方や、女性の体についての暗号文ではないかという解釈を提出しているが、今のところどの仮説にも確定的な証拠はない。

※13...エニグマは第二次世界大戦中にドイツ軍が使用した暗号。アルファベット 1 文字が別の 1 文字に変わる換字法を用いており、タイプライター式の暗号製作装置に文章を入力すると暗号化された文章が出力される。装置は 1 文字ごとに作動して換字法が変わり、装置自体の設定も毎日変更されるために“難攻不落”とされたが、ポーランドの初期のエニグマ解読装置「ボンバ」を引き継いだアラン・チューリングらが装置を大幅に改良、解読に成功した。

※14...ロゼッタストーンは 1799 年、ナポレオンがエジプトに遠征した際、アレクサンドリア近郊で発見

された石碑。碑文は当時の王プトレマイオスを称える布告であり、ヒエログリフを含めて3種類の文字で記されていた。1822年、フランスのフランソワ・シャンポリオンが碑文中の王の名前を手がかりにヒエログリフを解読。

参考文献・出典

- Douglas A. Vakoch, Jeffrey Punske (Eds.) 「Xenolinguistics Towards a Science of Extraterrestrial Language」 (2023) Routledge
- NASA, Douglas. A. Vakoch (Eds.) 「Archaeology, Anthropology, and Interstellar Communication (The NASA History Series)」 (2014) NASA SP-2013-4413 (https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/01/archaeology_anthropology_and_interstellar_communication_tagged.pdf)
- Frank D. Drake, Cosmic Search, Vol. 1, No. 1 (1979) (<http://www.bigear.org/vol1no1/ozma.htm>)
- Colleen Walsh, How to talk to extraterrestrials, Harvard Gazette, Mar. 8 (2022) (<https://news.harvard.edu/gazette/story/2022/03/how-to-talk-to-extraterrestrials/>)
- Katherine Latham, Alien language: If we met extraterrestrials, could we talk to them?, BBC, Oct. 28 (2023) (<https://www.bbc.com/future/article/20231027-alien-language-if-we-met-extraterrestrials-could-we-talk-to-them>)
- カール・セーガン『コンタクト』(1989) 新潮社
- ロバート・フォワード『竜の卵』(1982) ハヤカワ文庫
- スタニスワフ・レム『天の声』(2005) 図書刊行会
- スティーヴン・スピルバーグ『未知との遭遇』(1977) コロンビア映画

https://sorae.info/extra/20260101-eti-3.html#google_vignette

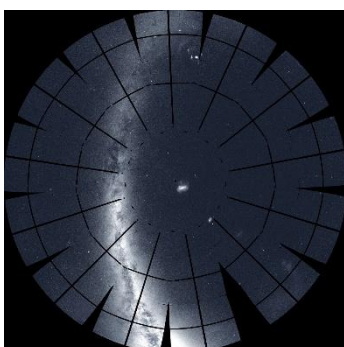
宇宙人と会話する方法【対面編】

2026-01-012026-01-01

[sorae 編集部](#)



1000 億個の銀河にそれぞれ 1000 億個の星——これは天文学者が宇宙に存在する星のおおよその数として見積もったものですが、実際にはさらに多いかもしれません。宇宙にはそれほど多くの星々がちりばめられています。仮に、惑星をもつ恒星が全体の1割ほどだとしても、宇宙には目もくらむ数の惑星があふれていることになります。その中には地球に似た惑星も数多くあり、なかには知的な生命体が誕生している惑星もあるかもしれません。こうした惑星の住人たちが地球のもとをたずねてきたら、あるいは電波通信などでコンタクトをとってきたら、われわれ地球人はどのように彼らと会話すればよいのでしょうか？



【▲ 図 1：宇宙にはどれほど多くの惑星があるのでしょうか？ NASA の宇宙望遠鏡「TESS」は、恒星の光度変化をもとに太陽系外惑星を探索しています。これは TESS が観測した南天の映像。(Credit: NASA/MIT/TESS and Ethan Kruse (USRA))】

【▲ 図 2：地球から 40 光年の距離にある恒星トラピスト 1 には、岩石質惑星 7 個が発見されています。このうち複数個に水が液体状態で存在する可能性が示唆されており、生命の存在が期待されています。映像は、惑星上から眺めた主星トラピスト 1 の想像図。(Credit: NASA/JPL-Caltech)】

【▲ 図 3：異星人との遭遇は 20 世紀初頭にはすでに小説などに描かていました。これは 1901 年にレイモンド・テイラーが作曲し、E. T. ポールが編曲した「火星からの信」という楽曲のカバー。(Credit: The New York Public Library

[https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47e3-cac3-a3d9-e040-e00a18064a99/\)\)](https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47e3-cac3-a3d9-e040-e00a18064a99/)))】

異星人と語り合う？

飛行機で隣り合わせた人と意気投合し、連絡先を交わしたところ、相手は地球から数光年離れた惑星系の出身で……。こんなシチュエーションはいかにも SF に登場しそうではあるものの、現実には起こりそうもありません。というのも、宇宙はあまりにも広大で、容易には行き来できないためです。われわれにもっとも近い惑星系でさえ、訪問するには光速で 4 年以上かかります。現時点までの技術に限るなら、最高速の宇宙船でも約 6800 年もの年月が必要になります。同じだけの時間をさかのぼれば日本では縄文時代、6800 年は気が遠くなるほど長い時間です。とはいえ、異星人（＝地球外知性体。ETI：ExtraTerrestrial Intelligence）に接触する希望（？）を捨てるには早すぎます。彼らはワームホール作成などの時空操作術や量子テレポーテーション（※1）、人類が思いもしない新技術を使って地球を訪れるかもしれません。また、異星文明が長期にわたって少しずつ拡大した居住圏が、いつか地球に達する可能性もあるでしょう。あるいは異星人が、AI ロボットを天の川銀河全域に派遣していたとすれば、そのひとつが地球に降り立つ事態が発生するかもしれません。他方で、宇宙の彼方に住む異星人が発した電波がかすかな信号として地球に届くこともあり得ます。

異星人とのファーストコンタクト

闇を切り裂いて赤と白の強烈な光が乱れ飛び、その目撃地近くで電化製品がいっせいに暴走、光が通過した地域では停電が発生する——映画『未知との遭遇』では、地球上の人々が不安と混乱に陥る中で異星人とのファーストコンタクトが始まります。実際、異星の宇宙船がはじめて地球軌道上に現れたとき、あるいは異星人が地球上に降り立ったとき、われわれには何が起きているのかすぐには理解できないかもしれません。異星人の訪問と気付いた後でも、何をどうすべきか容易には決まらないでしょう。おそらくは世界全体の大混乱の中で、各国の政治指導者や科学者を巻き込む喧々囂々（けんけんごうごう）の議論が発生し、意見が一致するかどうか疑問です。しかし、こちらの意思とは関係なく異星人との接触が始まる可能性もあります。その場合、われわれはどうすればよいのでしょうか？

コンタクトが始まった時点でわれわれは異星人についてはまるで無知です。彼らはどこからやって来たのか？ どんな環境でどう生活しているのか？ どのような形で“話す”のか？ 相手について事前知識が皆無でも、彼らと会話できるのでしょうか？ それよりもまず、意思疎通する方法があるのでしょうか？

異星人の言葉を即座に翻訳する“万能翻訳機”が登場するフィクションは少なくありません。しかし、現実世界では未知の言語も翻訳できるようなコンピューター・プログラム（あるいは AI）は簡単には作れそうもありません。地球人どうしなら、たがいの言葉が違ってても、物を指し示す、身振り手振りをする、絵を描く、ものまねをするなどによって交流が可能になります。顔の表情や話し方の変化（声が大きくなる、早くなるなど）で感情の高ぶりや喜び、怒りなども感じられれば、そこに付随する言葉も理解しやすくなります。こうしてわかり合えた単語をきっかけに会話の幅も広がり、ついには他民族の言語でも不自由なく通じるようになっていきます。ただし、これはあくまで地球上の人間に限ったことであり、そもそも異

星人のコミュニケーション手段が音声や平面に描く文字記号とは限りません。われわれはどうしても自分を基準に物事を考え、異星人もその類推の範疇に押し込めたがります。そのために異星人は音声、しかもわれわれが聞き取れる周波数の言語を話すとか、話し言葉以外に文字や記号を使うなどと思いがちです。しかし、地球上の生物を考えてもコミュニケーションの手段は一樣ではありません。

地球生物の“会話”

巨大なクジラは豊かな“声”をもつ動物です。とりわけザトウクジラはさまざまな声を使いこなします。甲高く呼びかけるような歌声や低いうなり声、甘えたキューキューという声、かすかな細く高い声——これらは水中で呼吸を利用せずに発せられ、同族とのコミュニケーションに利用されているようです。

同じく海洋に住むイカは、聴覚ではなく視覚が意思疎通の主演とみられています。彼らは体色をめまぐるしく変化させたり、体の斑点模様を変えることによって、他の個体とコミュニケーションを図るらしいのです。他方、空を飛び、森林などで暮らす鳥類は、にぎやかな鳴き声や澄んだ歌声、地鳴きのダミ声などバラエティに富んだ声の特徴ですが、それだけでなく求愛ダンスや羽ばたきなどによってもさまざまな交流をしています。地上の哺乳類も同じくさまざまな鳴き声で意思疎通するほか、グルーミング、四肢や尾などを動かすなどといった身体言語も利用しています。また、縄張りの主張や求愛行動ではにおい（化学物質）も相手に情報を伝える重要な手段となっています。ほかにも、体が大きいゾウは脚をズシンズシンと踏みならし、地面の振動として警告を発することが知られています。

風変わりなコミュニケーションでは昆虫も負けません。社会性昆虫のミツバチは、ぐるぐると8の字に歩きまわるダンスで巣のメンバーに餌場を指し示すといえます。他方、ある種のガの幼虫は“ドラムを叩く”と話題になりました。尻を葉にくり返し叩きつけ、仲間を呼び寄せる様子が観察されているのです。

植物でさえ“黙って”はいません。さまざまな植物は危機に瀕すると“悲鳴”をあげるといいます。たとえばトマトなどいくつかの植物は、チョウやガの幼虫などに食べられると超音波による SOS を出し、幼虫の捕食者を引き寄せるらしいのです。ほかにも植物が多彩なメッセージを発していることがわかってきました。化学物質を放出して昆虫に受粉を促す、化学物質で菌根菌に自分の存在をアピールするなどの事例が報告されています。

こうしてみると、個々の生物の特性や生態、周囲の環境などによって生物のコミュニケーションのとり方は大きく異なることがわかります。音（空気・水の振動）、地面の振動、ジェスチャーや踊り、特定の行動、体から発する光、化学物質など、さまざまな手法が活用され、受け手側が五感を総動員してメッセージを読み取る例もあるのです。だとすれば、おそらく異星言語も、異星人の体の構造や生態に関するのはもちろんのこと、惑星環境や生息環境に大きく左右されることは想像できます。仮に異星人の体や生態がわれわれと大きく異なっていたら、言語は通じようがないと見る研究者もいます。



【▲ 図 4：ザトウクジラは多様な鳴き声を用いて仲間とのコミュニケーションを図っています。(Credit: Wikimedia Commons/Charles J. Sharp, from Sharp Photography, sharpphotography.co.uk)】

【▲ 図 5：アメリカアカオオイカは猛スピードで体色を赤と白の交互に変化させて“会話”するとみられています。(Credit: Rick Starr/NOAA/CBNMS)】

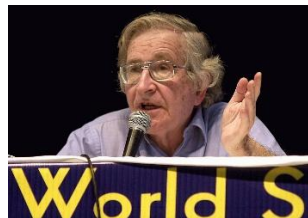
【▲ 図 6：異星人は恒星間宇宙船のような高度な技術を用いた構造物を建造しているはずです。イラストは NASA が過去に提案した核熱推進ロケットのコンセプト。(Credit: NASA)】

コミュニケーションする異星人の 5 つの条件

では、せっかく異星人が地球を訪れても、彼らとの会話は望めないのでしょうか？

あきらめるのは早すぎます。たしかに、異星生命体がわれわれの知覚ではとらえがたいコミュニケーション手段を用いていたら、会話は難しいかもしれません。しかし、そうでなければ突破口があるはずです。異星人が地球に接触を求める動機や、彼らの惑星から地球への移動手段を考えると、その突破口が見えてくると研究者たちはいいます。他の生命体とコミュニケーションを求める異星人は、間違いなく科学技術文明を発達させているはずです。いうまでもありませんが、恒星間宇宙船の製造には高度な技術力が不可欠で、それは異星人が物理法則や数学の基本定理を理解していることにほかならないからです。

アメリカの言語学者スマヤ・グレンジャーらは、そのような異星人が備えている性質としてより具体的に次の5つを挙げています。①道具の使用、②シンボル（象徴）の使用、③コミュニケーション手段、④文化の形成、そして⑤好奇心です。なかでもコミュニケーション手段としての言語は決定的に重要と思われます。というのも、それは技術文明を発達させる基盤となってきたはずだからです。人間は言語を通じて、知識や情報、考察を明確化し、さらにそれらをコミュニティの他の構成員に広く伝え、かつ未来の世代に残してきました。時間と空間を超えて知を積み重ねることができたのは、言語とその記録手段があつてこそです。人間の言語は、地球上の他の生物のコミュニケーション手段に比べてはるかに複雑なうえ柔軟性を持ち、自身の意図や思考などを精緻に表現できるように思えます。自然選択説を提唱したチャールズ・ダーウィンが示唆し、さまざまな言語学者がくり返し述べてきたように、人間の言語は“有限”の素材をもとに“無限”の表現を可能にするのです。



【▲ 図 7: 哺乳類のイルカ、魚類のサメ、それに 2 億年前の中生代に生きていた爬虫類のイクチオサウルス（上）はどれも姿がよく似ています。これは収斂の結果とみられています。(Credit: Nobu Tamura, <http://spinops.blogspot.com/>)】

【▲ 図 8: アメリカの言語学者ノーム・チョムスキー。彼は、言語は人間の生物学的な特性であり、地球上のどの言語にも共通する普遍的な文法があると主張します。(Credit: Wikimedia Commons/Marcello Casal Jr/ABr)】

【▲ 図 9: 茶色のウサギが草むらから飛び出したとき、誰かが「ガヴァガイ！」と叫んだとしたら、それは何を意味するのでしょうか？ (Credit: Wikimedia Commons/JM Ligerio Loarte)】

【▲ 図 10: 「炭素」という概念を伝える連想情報パケットの例（イメージ）。実物のダイヤモンド（左）とグラファイト（右）に加え、これらの構造や元素番号、炭素の質量などの情報を加えれば、異星人もパケットが炭素を表現していると理解できるかもしれません。(Credit: Left: Wikimedia Commons/DGPC/ADF Luísa Oliveira/; Right: Rob Lavinsky, iRocks.com (<http://www.mindat.org/photo-233436.html>); Edit: sorae 編集部（画像結合処理）)】

地球言語と異星言語の「収斂」

“世界共通語”のエスペラント語、「スタートレック」のクリンゴン語（※2）、音楽を言語化したソルレソル（※3）、踊りのようなジェスチャー言語等々、映画や小説で、あるいは学術的に考案された言語は少なくありません。しかしすでに述べたとおり、異星人がどんな言語を用いるかは未知数です。では、彼らが用いる言語について何かヒントはあるのでしょうか？

異星人の住む惑星は、（少なくとも過去には）生命が誕生する条件を備えていたはずです。おそらくは水や大気が存在し、地球に多少なりとも似た環境であったとも推測されます。物理や化学の法則が普遍的と

すれば、そうした惑星の生物が地球生物に似通った進化を遂げたとしても不思議ではありません。

ここで一步踏み込み、そのような惑星の知的生命体の言語は、地球上の言語と何かしら似通った性質をもつとみる研究者もいます。というのも、地球生物の進化においてはどの時代にも「収斂」という現象が起こってきたためです。収斂とは、進化によってまったく異なる系統の生物種が同じような形態や機能をもつことをいいます。たとえば哺乳類のイルカやシャチは魚類のサメとよく似ています。さらには絶滅した爬虫類イクチオサウルス（魚竜の一種※4）もこれらの生物にそっくりです。収斂は、進化の過程で生息環境により適した姿が選択された結果として生じるとみられています。イルカやサメなどの例では、高速の泳ぎに適した流線型の体がそうです。では、言語もまた収斂的進化として出現しうるのでしょうか？

“火星人は違う”わけではない？

こんにちは、ハロー、ニイハオ、ナマステ、オーラ、スラムシアン、ジャンボ……、世界各国の挨拶の言葉はバラエティに富んでいます。実際、地球上にはおよそ 7000 種類もの言語があるとされています。それらの言語にはよく似たものもあれば、まったくの別物とを感じるものも数多くあります。

しかし、著名な言語学者ノーム・チョムスキーによれば、地球上の言語はいずれも文法に共通の特徴をもつといます。彼は、こうした特徴を「普遍文法（ユニバーサルグラマー）」と呼んでいます。

チョムスキーは、言語に普遍的な性質が表出するのは、人間の言語能力が「個人に内在する生物学的な特性」だからだと主張しています（※5）。そして彼は、人間の各言語が普遍文法を備えているのは、言語をつかさどる生物学的な器官——人間でいえば脳——が、文章を理解する際に“最少回数の計算手続き”で済む文法を選択したためだとみています。言語が生物学的特性なら、言語能力に収斂がはたらいともおかしくありません。地球には相互にコミュニケーションを図る生物が多種類生息していますが、技術文明を築いたのは1種のみ。すなわち、言語を他の生物より幅広くかつ細やかに使いこなすとともに、文字を生み出したホモ・サピエンス（現生人類）という種です。人類の言語のもつ柔軟さと精緻さが文明を築く要因になっているのであれば、異星人も人間と同様に生物学的特性として普遍文法をもつ言語を生み出す見込みはありそうです。つまり、チョムスキーの言葉を借りるなら“火星人は（人間とは）違う”という見方は正しくないのかもしれませんが（※6）。いうなれば、異星人がコミュニケーション手段として、超音波や体色のめまぐるしい変化、体のまわりの磁場のコントロール、あるいはさらに奇想天外な手段を用いたとしても、そこに見られる文法は通底している可能性がある、チョムスキーはそう考えているのです。

われわれ地球人が用いているのは、宇宙全体の技術文明に共通する文字通り“ユニバーサル”な普遍文法なのかもしれません。しかし、たとえ異星人が地球と共通の普遍文法をもっていたとしても、現実のコミュニケーションではいくつもの壁を乗り越える必要があるでしょう。障壁のひとつが“ガヴァガイ”問題です。

「ガヴァガイ！」

あなたが見知らぬ土地を訪れたとき、草むらから1羽の茶色のウサギが突然とび出します。近くにいた現地の人があるウサギを指さし、「ガヴァガイ！」と叫びました——しかし、そのガヴァガイとはいったい何を意味するのでしょうか？ ウサギそのものか、茶色のウサギか、何かが飛び出したことか、なめらかな毛並みか、それとも脚や尻尾のことなのか——もしかするとそれはウサギがとび出してきた草むらやウサギの隠れ家を指したのかもしれないし、「驚いた！」という叫びかもしれません。

1969年、アメリカの哲学者 W.V.O.クワインは、異なる言語間における相互理解の難しさを、ガヴァガイという単語によって示してみせました。ましてや異星人であれば、地球人が指し示したウサギをどのように認識するのもわかりません。視覚的なのか、聴覚的なのか、それともまったく別の方法なのか？ 視覚的としても可視光ではなく、紫外線や赤外線で見るとしてもいいかもしれません。地球人に「ガヴァガイ！」と言われたとき、異星人は自身が感じ取った「何らかの刺激」＝「地球人のいうガヴァガイ」とみなすだけでしょう。異星人がふたたび違う状況でウサギを見たとき、それをガヴァガイと認識するかどうかさえ不明です。このような問題を避けるには、ガヴァガイに相当するさまざまな例をいくつも見せて、共通する性

質がその言葉と認識させるしかありません。たとえばガヴァガイがウサギだとすれば、白いウサギ、茶色いウサギ、耳の短いウサギ、毛のふさふさしたウサギなどを見せながら「ガヴァガイ」と伝えます。AIの学習シーンに少し似ているかもしれません。前出のグレンジャーらは、ガヴァガイ問題を避ける手法として、いくつかの物質とそれに対する記号を見せる方法（「連想情報パケット」と彼らは呼んでいる）を提唱しています。たとえば炭素については、黒鉛（グラファイト）やダイヤモンドの試料とともに、それらの分子構造式や結晶構造図、炭素の原子量、地球上での重さ、質量などを示す手法です。彼らはこれを近隣の惑星系とのやり取りにおいて用いることも提案していますが、その真価は対面で発揮されるはずでず。こうした丁寧な対話を積み重ねることによって、最終的には異星人とも言葉が通じ合う可能性があります。それにはこの後の「通信編」で紹介する数学の定理や物理法則の知識、自分たちの周辺環境の説明なども役に立つはずでず。あくまで地球人と異星人の知覚や認識方法が似ていると仮定してではあります。ここまでは対面による異星人との会話ですが、異星人と接触できる可能性が高いのは対面ではなくむしろ宇宙からのメッセージを受け取る方法でしょう。その試み自体は数十年前から始まっています。今回は、地球を訪れた異星人と実際に“顔”を合わせたときにどうすればコミュニケーションを図れるかについて考えてみました。次回は数光年、あるいは数十光年も離れた惑星に住む異星人と、通信によってコミュニケーションする方法についての議論を紹介していきます。（通信編につづく）

文／新海裕美子 編集／sorae 編集部

脚注

※1...量子テレポーテーションは、ミクロの粒子である量子の「量子情報」が瞬時に“転送”される現象。量子は複数が強く関係しあう（＝もつれる）と、1個の粒子の状態の変化にともない、他の粒子も変化することが知られている。もつれた量子どうしがどれほど離れてもこの現象は起こり得るため、情報伝達への利用が模索されている。

※2...TVドラマ「スタートレック」に登場するクリンゴン人が使用する言語。特徴的な子音の組み合わせを用い、喉の奥で発声する。言語学者マーク・オークランドが俳優のアイディアをもとに考案し後にはクリンゴン語辞典も作成した。インターネットの一部サイトでは表示言語としてクリンゴン語が選択できる。

※3...ソルレソルはフランスのジャン・フランソワ・シュドルが考案した7つの音階を利用する言語。たとえばドには「いいえ」、シには「はい」の意味があり音の組み合わせによりさまざまな単語が生まれる。

※4...三畳紀後期～ジュラ紀前期（約2億4000万～約1億7000万年）に生息していた海に住む爬虫類（魚竜）。イクチオサウルスの体長は1.5～3mとされイルカ同様魚介類を捕食していたと推測されている。

※5...チョムスキーは、人間は誰もが「内在的インターフェース」と「外在化インターフェース」を生物学的な機能としてもつと指摘している。前者はあらゆる概念を言語の形式に落とし込むシステム、後者はそれを感じ覚・運動機能を通じて外に発するためのシステム。彼は、これらの生物学的システムを駆使することにより、人間はあらゆる概念を“無限”に表すことができると主張している。

※6...チョムスキーは2018年の国際宇宙開発会議（ISDC）でこの主旨の発言を述べた。

参考文献・出典

- Douglas A. Vakoch, Jeffrey Punske (Eds.) 「Xenolinguistics Towards a Science of Extraterrestrial Language」 (2023) Routledge
- Ali Hossein Khani, The Indeterminacy of Translation and Radical Interpretation, Internet Encyclopedia of Philosophy (<https://iep.utm.edu/indeterm/>)
- スティーヴン・スピルバーグ『未知との遭遇』(1977) コロンビア映画
- カール・セーガン『コンタクト』(1989) 新潮社
- ノーム・チョムスキー（編訳・福井直樹／辻子美保子）『我々はどのような生き物なのか』(2015) 岩波書店