

地球の生物圏は、すでに“限界”を超えていた：研究結果

地球の生物圏の健全性が、深刻な危機に直面している。人類の活動が生態系に与える負荷を可視化した最新の報告によると、すでに世界の陸地の約 60%が安全域を逸脱しており、38%が高リスクに分類される状態にあるという。



Photograph: Daniel Grizelj/Getty Images

人類の活動はいま、地球の生命システムを支える生物圏にかつてない規模の影響を及ぼしている。農業や森林伐採、都市化による土地の改変は、植物が光合成で生み出すエネルギーの流れを大きく変化させてきた。その結果、炭素・水・窒素の循環が乱れ、生態系が本来もつ自己調整機能が損なわれつつあるのだ。

こうしたなか、世界の陸地の 60%がすでに局所的に定義された安全域を超えており、さらに 38%は高リスク域に入っていることが、ドイツやオーストリアの国際研究チームによる[最新の報告](#)で明らかになった。

「人類の文明は食料や原材料、気候保護のために地球の生物圏を利用しています。こうしたバイオマス需要は時代の変化とともに増え続けています」と、ポツダム気候影響研究所（PIK）のファビアン・ステンツェルは[説明する](#)。「だからこそ、人類が生物圏に及ぼしている負荷を地域ごとに定量化することが、これまで以上に重要なのです」

緑の革命が生態系に与えた影響

ステンツェルらの研究チームは、「LPJmL」という全球生物圏モデルを用いて、1600 年以降における土地の利用状況と気候の変化を可視化した。このモデルは、陸地を緯度経度 0.5 度単位の格子に区切って、炭素・水・窒素の流れを 1 日単位で詳細に再現したシミュレーションを作成できる。これにより、人類の活動が地球システムに及ぼしてきた影響を、空間的かつ歴史的に捉えることが可能になった。解析の結果、すでに 17 世紀には中緯度で安全域を超える兆候が現れていたことがわかった。さらに 19 世紀に入ると、欧州やインド、中国、米国東部で農地拡大が進んだことで、局所的な境界を超える土地の割合が急増している。産業革命は気候変動を加速させただけでなく、土地利用を通じて地球システムに早い段階から深刻な影響を与えていたことになる。研究者たちによると、1900 年の時点で安全域を逸脱した土地は世界全体の 37%に達し、そのうち 14%はすでに高リスク域にあったという。その後、1940 年代後半から 60 年代にかけて起こった農業技術の革新「グリーン・レボリューション（緑の革命）」を経て、化学肥料の投入や大規模な森林転換が一気に進み、生態系の安定性をさらに揺るがした。その結果、現在では陸地の 6 割が安全域を超え、4 割近くが高リスクに分類される状態に陥っている。特に欧州、アジア、北米では、農業や都市化による土地被覆の改変が大規模に進められたことで、ほとんどの地域がすでに危機的な状態にある。いまや安全域に踏みとどまる土地はごくわずかであり、限界を超えた領域が地球システム全体を揺るがす要因になっていると、研究者たちは指摘する。

生物圏の限界を初めて可視化

今回の研究の特徴は、2 つの指標を組み合わせるリスクをマッピングしている点にある。人類が純一次生産をどれだけ利用しているかを示す「HANPPHol（Human Appropriation of Net Primary Production, Holocene）」という指標と、生態系の水・炭素・窒素のバランスや植生構造の変化を評価する「EcoRisk」という指標を重ねることで、「安全域」「リスク増大域」「高リスク域」を地域ごとに色分けしたのだ。

純一次生産とは、植物が光合成でつくり出したエネルギーのうち、自らの呼吸で消費したぶんを差し引いたバイオマスの総量を指す。地球が植物を通じて生み出すエネルギー資源の純粋な増加分であり、草食動物や微生物、さらにその捕食者など、すべての生物が間接的に依存している。このように地球システムの変化を可視化する試みは、政策決定や土地利用計画に直接役立つ。どの地域で保全を優先すべきか、どの領域で再生プロジェクトを進めるべきかなど、科学的根拠に基づいた選択肢を提示できるからだ。一方、今回のモデルには農業

や外来種といった要因が十分に組み込まれていないことから、解析結果が過小評価されている可能性は否めないという。それでも、生物圏が限界を超えつつあることは疑いようがない。「生物圏の機能的な健全性が危機に瀕している事実を世界地図というかたちで初めて示せたことは、惑星の境界（人類が安全に活動できる地球の限界）を包括的に理解するうえで大きな突破口となるでしょう」と、PIK 所長のヨハン・ロックストロームは強調する。「これは国際的な気候政策を前進させる推進力にもなりえます」

生物多様性の喪失や気候変動と並んで、生物圏の機能的な健全性は人類が地球で生存していくうえで無視できない概念である。生物圏の限界を視覚的に示した世界初となる今回の成果は、人間活動と自然の関係を再考するための道標であり、持続可能な未来を築くために避けて通れない課題を突きつけている。

(Edited by Daisuke Takimoto)

https://sorae.info/space/20250927-artemis-ii.html#google_vignette

NASA「アルテミス 2」早ければ 2026 年 2 月にも実施へ 半世紀ぶりに月周辺を

有人飛行

2025-09-27 2025-09-27 [ソラノサキ](#)



【▲ 「Artemis II（アルテミス 2）」ミッションに向けて準備が進められている NASA の「Orion（オリオン）」宇宙船（Credit: NASA）】

【▲ 「Artemis II（アルテミス 2）」ミッションのクルー。左から：NASA の Reid Wiseman（リード・ワイズマン）宇宙飛行士、NASA の Victor Glover（ビクター・グローバー）宇宙飛行士、NASA の Christina Hammock Koch（クリスティーナ・コック）宇宙飛行士、CSA の Jeremy Hansen（ジェレミー・ハンセン）宇宙飛行士（Credit: NASA/Frank Michaux）】

クルーの発表から 2 年半、アメリカ主導の有人月探査計画「Artemis（アルテミス）」における初の有人ミッション「Artemis II（アルテミス 2）」の具体的なスケジュールが見えてきました。

NASA＝アメリカ航空宇宙局は 2025 年 9 月 23 日に開催した Artemis II に関する記者会見にて、打ち上げが早ければ 2026 年 2 月 5 日、遅くとも 2026 年 4 月までに行われる予定であることを明らかにしました。

Orion 宇宙船初の有人飛行 着陸はせずに月周辺を飛行して帰還

Artemis 計画は月面での持続的な探査活動や将来の有人火星探査を見据えた取り組みです。アメリカにとって 1960～70 年代に実施された「アポロ計画」以来となる有人月面探査が実施される予定で、月の南極の永久影に埋蔵されているとみられる氷（水の氷）の探査などが行われます。

2022 年 11 月～12 月には NASA の新型宇宙船「Orion（オリオン、オライオン）」の無人飛行試験にあたる「Artemis I（アルテミス 1）」ミッションが実施され、成功裏に終了しました。

続く Artemis II は Orion の有人飛行試験にあたるミッションです。有人月面着陸は行われませんが、Orion は 1972 年 12 月の「アポロ 17 号」以来およそ半世紀ぶりに、月周辺を有人で飛行する宇宙船となります。ミッション期間は約 10 日間です。クルーはコマンダーを務める NASA の Reid Wiseman（リード・ワイズマン）宇宙飛行士、パイロットを務める NASA の Victor Glover（ビクター・グローバー）宇宙飛行士、ミッションスペシャリストを務める NASA の Christina Hammock Koch（クリスティーナ・コック）宇宙飛行士と CSA＝カナダ宇宙庁の Jeremy Hansen（ジェレミー・ハンセン）宇宙飛行士の 4 名です。

Artemis II ミッションについて、詳しくはクルー発表当時の記事もご覧ください。

[NASA がアルテミス 2 ミッションに参加する宇宙飛行士を発表 月周辺の有人飛行は半世紀ぶり](#)

また、2025 年 9 月 24 日に開催された Artemis II クルーの記者会見にて、このミッションで飛行する Orion が

「Integrity（インテグリティ）」と命名されたことが発表されました。integrity は「誠実」「正直」「高潔」を意味する言葉で、ミッションに不可欠な多くの人々の間に築かれた信頼、敬意、率直さ、謙虚さを体現しているということです。なお、2027 年中盤の実施が計画されている次のミッション「Artemis III（アルテミス 3）」では、いよいよ有人月面着陸が行われます。2 名の宇宙飛行士が月の南極付近に着陸し、約 1 週間の探査活動を行う予定で、ミッション全体の期間は約 30 日間にわたります。有人月面探査は中国も計画を進めていて、2030 年までに最初の有人月面着陸を目指しているとされています。アメリカにとっては“月へ戻る”ための大きな一歩となる Artemis II、早ければ 4 か月ほど後に始まるミッションの成否が注目されます。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事 [NASA がアルテミス 2 ミッションに参加する宇宙飛行士を発表 月周辺の有人飛行は半世紀ぶり](#)
[NASA がアルテミス計画のスケジュールを再び見直し 有人月面着陸は 2027 年以降に](#)
[日本人宇宙飛行士に 2 回の月面着陸機会 「アルテミス計画」 与圧ローバー巡り日米間で署名](#)

参考文献・出典 [NASA - Artemis II Crew Members Name Their Orion Spacecraft](#)
[NASA - Artemis II Mission Overview News Conference \(Sept. 23, 2025\) \(YouTube\)](#)
[NASA - Artemis II Crew News Conference \(Sept. 24, 2025\) \(YouTube\)](#)

<https://www.newsweekjapan.jp/stories/technology/2025/09/571334.php>

9 月 23 日に大量の隕石が地球に接近していた...NASA は衝突可能性のある隕石を

どこまで追えている？ NASA Tracking Bus-Sized Asteroid Approaching Earth Today

2025 年 9 月 24 日（水）17 時 55 分 スー・キム



われわれが知らないだけで地球には多くの隕石が接近しているようだ Paopano-shutterstock

<9 月 23 日夜、多くの隕石が地球に接近していた。NASA はリスクのある天体を観測してはいるようだが...>
NASA によると、バスほどの大きさの小惑星が 9 月 23 日夜、時速約 3 万キロメートルで地球の近くを通過したようだ。NASA の地球近傍天体研究センター（CNEOS）が同隕石を監視していた。

[【動画】NASA はどうやって小惑星や地球近傍天体を発見、追跡、監視している？](#)

「2021 R16」と呼ばれるこの小惑星の直径は約 7 メートル。NASA のジェット推進研究所（JPL）によれば、最接近時に地球から約 388 万キロメートルの距離を通過する見込みだったという。

「2021 R16」の他にも、地球付近に複数の宇宙の岩石が接近していた。その中には、直径約 200 メートルの「2022 SW12」や、直径約 6.4 メートルの「2025 SP3」といった小惑星も含まれている。CNEOS によれば、いずれも 23 日に地球に最接近した。「2025 SP3」に至っては、地球からわずか約 41 万キロメートルの距離まで接近したという。NASA はさらに、直径約 128 メートルの「2018 QT1」と、直径約 22 メートルの「2025 SR3」という小惑星も追跡していた。これらは 23 日、それぞれ約 504 万キロメートル、約 642 万キロメートルまで地球に接近する見込みだった。

[次のページ地球近傍天体（NEO）とは？ 地球近傍天体（NEO）とは？](#)

小惑星とは、およそ 46 億年前に太陽系が形成された際に残された、小さな岩石質の天体を指す。これらは主に火星と木星の軌道の間に位置する「小惑星帯」と呼ばれる領域に集中して存在している。

そして、いわゆる「地球近傍天体（NEO）」とは、軌道が太陽から約 1 億 9300 万キロメートル以内にまで接近する小惑星を指す。今年 2 月、CNEOS のデータにより、「2024 YR4」と呼ばれる小惑星が 2032 年に地球に衝突する確率は 3.1%であると発表された。当時の NASA によると、「このサイズ以上の天体としては、NASA がこれまでに記録した中で最も高い衝突確率」だった。その後の観測により、NASA は「この天体が 2032 年は

もちろん、それ以降も地球に重大な衝突リスクをもたらすことはない」と結論づけた。

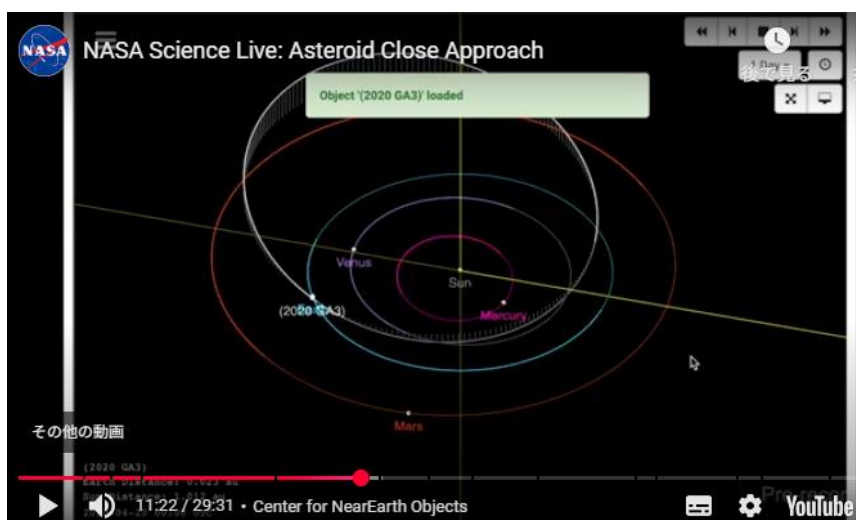
JPL の専門家たちはそれ以来、2032 年 12 月 22 日に「2024 YR4」の位置の予測精度をおよそ 20%向上させた。「結果、この小惑星が月に衝突する確率は 3.8%から 4.3%へとわずかに上昇した」と NASA は述べたが、「仮に衝突が起きたとしても、月の軌道に影響を与えることはない」ともしている。

「小惑星 2024 YR4 は現在、宇宙望遠鏡でも地上望遠鏡でも観測できないほど遠くに位置している。NASA は、同小惑星が太陽の周回軌道によって再び地球近傍に戻ってくる 2028 年に、再度の観測を行う予定だ」

[次のページ潜在的に危険な小惑星（PHA）とは？](#) 潜在的に危険な小惑星（PHA）とは？

NASA は「大多数の地球近傍天体は、地球に近づく軌道を描くことはないため、衝突のリスクをもたらさない」としている。しかし、その中でも「潜在的に危険な小惑星（PHA）」と呼ばれる小惑星は、より綿密に追跡しなくてはならない。NASA によると、PHA は約 140 メートル以上の大きさを持ち、軌道が地球の軌道から最大でも約 740 万キロメートル以内にまで接近する。PHA は太陽系内に数多く存在しているものの、いずれも近い将来に地球へ衝突する可能性はない。『潜在的に危険』という評価は、何百年、何千年という長いスパンの中で、その軌道が地球に衝突する可能性を持つ小惑星に与えられるだけに過ぎない。CNEOS は数百年・数千年単位での衝突可能性については評価していない」と、CNEOS のマネージャーであるポール・チョダスは本誌に語った。それでも、NASA や CNEOS は少なくとも数十年後の隕石衝突リスクはしっかり観測してくれているようで、地球人としては一安心だ。

[次のページ【動画】NASA はどうやって小惑星や地球近傍天体を発見、追跡、監視している？](#)



<https://sorae.info/astronomy/20250922-1998-ky26.html>

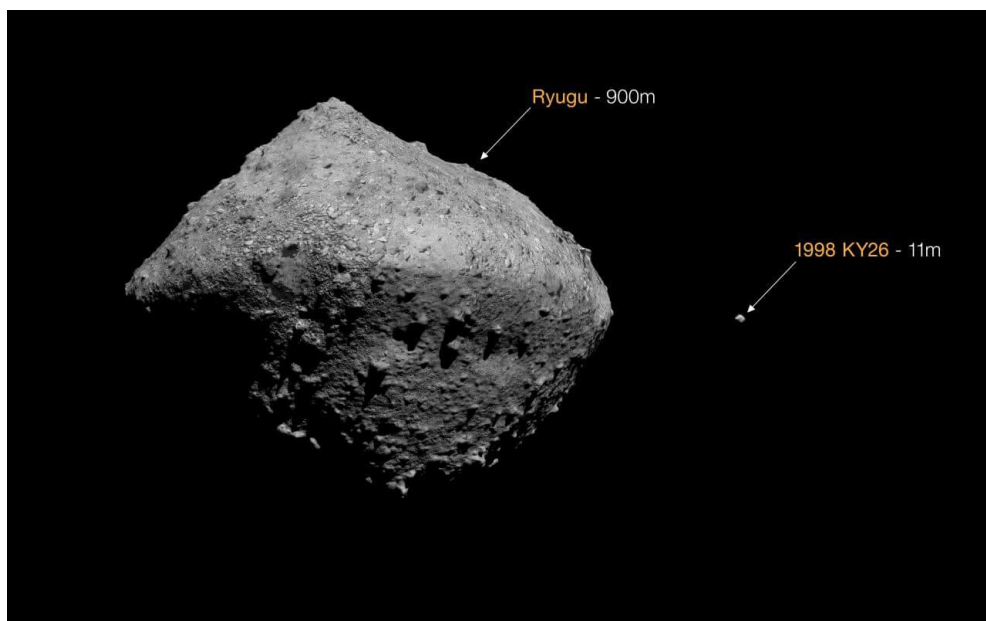
直径約 11m・自転周期約 5 分 JAXA「はやぶさ 2」拡張ミッション探索対象の小

惑星は従来予想よりも小さい？

2025-09-22 2025-09-22 [ソラノサキ](#)

JAXA＝宇宙航空研究開発機構の小惑星探査機「はやぶさ 2」は、小惑星「Ryugu（リュウグウ）」で採取したサンプルを地球に持ち帰った後、次の探査対象となる小惑星を目指して拡張ミッション「はやぶさ 2#」を続けています。2026 年 7 月には小惑星「Torifune（トリフネ）」を高速でフライバイ探査し、2031 年 7 月には小さく高速で自転する小惑星「1998 KY26」に到着して接近探査を行う予定です。

アリカンテ大学（スペイン）の Toni Santana-Ros さんたち研究チームは、この 2 つの小惑星のうち 1998 KY26 について、従来予想と比べて直径はより小さく、自転周期はより短いことが明らかになったとする研究成果を発表しました。従来予想と比べて直径は 3 分の 1・自転周期は半分ほどに



【▲ 小惑星「1998 KY26」にタッチダウンする小惑星探査機「はやぶさ 2」の CG イメージ (Credit: ESO/M. Kornmesser. Asteroid: T. Santana-Ros et al. Hayabusa2 model: SuperTKG (CC-BY-SA))】

【▲ 左: 小惑星「Ryugu (リュウグウ)」、右: 小惑星「1998 KY26」のサイズ比較図 (Credit: ESO/M. Kornmesser. Asteroid models: T. Santana-Ros, JAXA/University of Aizu/Kobe University)】

1998 KY26 はこれまで直径約 30m・自転周期約 11 分とみられていましたが、研究チームは観測の結果、直径約 11m・自転周期約 5 分と結論付けました。「はやぶさ 2」は太陽電池パドルを展開した状態で幅 6m の大きさがあるので、1998 KY26 の直径はその約 2 倍ということになります。直径約 900m の Ryugu と比較すれば 80 分の 1 程度です。また、「はやぶさ 2」は 1998 KY26 の周囲を飛行しながら観測するだけでなく、降下してタッチダウンを行う可能性もあります。従来の想定と比べてより小さく、より速く回転する 1998 KY26 への降下は、仮に実施されれば技術的にも大きなチャレンジとなります。解析に使用されたデータは、ESO＝ヨーロッパ南天天文台が運営するパラナル天文台の超大型望遠鏡 (VLT)、NSF NOIRLab＝アメリカ国立科学財団の国立光学・赤外天文学研究所が運営するジェミニ天文台のジェミニ南望遠鏡などの観測で取得された他に、1998 年に NASA＝アメリカ航空宇宙局の深宇宙ネットワーク (DSN) を構成するゴールドストーン局が取得したレーダー観測のデータも用いられています。研究チームは、1998 KY26 のアルベド (反射率) がこれまでの想定よりも高い (つまり明るい) 約 0.52 で、X 型小惑星のなかでもエンスタタイト (頑火輝石) に富む Xe 型小惑星に分類される可能性を指摘。構造解析の結果、従来の予想通り 1 つの岩塊である可能性はあるものの、瓦礫が集まったラブルパイル構造である可能性も排除できなかったとしており、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) による追加観測に期待を寄せています。「10m クラスの小惑星が間近で観測されたことはまだありませんから、それがどのような姿をしているのかは全く予想できないのです」(Santana-Ros さん)

今回発表された 1998 KY26 のサイズは、2013 年 2 月にチェリャビンスク隕石としてロシアへ落下し被害をもたらした小惑星の、落下前のサイズよりもわずかに小さいとみられています。1998 KY26 のように小さな小惑星はそれだけ数も多く、サイズは小さくても場合によっては地上に深刻な被害をもたらす可能性もあります。天体衝突を事前に予測し、将来的には小惑星などの軌道を変えて災害を未然に防ぐための取り組み「プラネタリーディフェンス (惑星防衛、地球防衛)」の観点からも、1998 KY26 の接近探査を行う「はやぶさ 2」の拡張ミッションを通じて、“小さくても危険な天体”の理解が深まることが期待されます。

文／ソラノサキ 編集／sorae 編集部

関連記事

[はやぶさ 2 の探査予定小惑星に「トリフネ」と命名！ 日本神話の神に由来](#)

[たった 1 つのデータから小惑星「2001 CC21」の形状を推定 はやぶさ 2 探査予定天体](#)

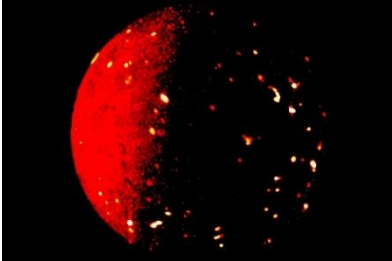
[JAXA が小惑星 2001 CC21 の命名キャンペーンを開始 はやぶさ 2 拡張ミッション探査対象のひとつ](#)

参考文献・出典

[ESO - Can Hayabusa2 touchdown? New study reveals space mission's target asteroid is tinier and faster than thought](#)

火山に覆われた木星の月イオ：その不可解な内部に新しい発見

燃えたぎる世界への最近のフライバイで、イオの内部構造に関する有力な説が覆った。だが、新たな観測結果はこの衛星の謎を深めるばかりだ。



PHOTOGRAPH: NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM

table of contents [潮汐加熱のメカニズム](#) [イオにマグマの海はあるのか？](#) [水は重く生命環境を生む源になる「謎はさらに深まるでしょう」](#)

スコット・ボルトンが木星の衛星イオに初めて出会ったのは 1980 年の夏、大学を卒業して米国航空宇宙局（NASA）で仕事を始めたばかりのときだった。宇宙探査機ボイジャー1号がイオの近くを通過し、地球以外の世界で初めて、盛んな火山活動の姿を捕えたのだ。かつて傘のような形で噴出していた。「恍惚としてしまうほどの美しさでした」。現在テキサス州のサウスウエスト研究所に所属しているボルトンは、こう語っている。「まるで、芸術的な絵画のようでした。地球の衛星である月とはまったく違う世界が広がっていたのです」それ以来、ボルトンら科学者はイオの活発な火山活動を理解しようと努めている。イオの地殻直下には全球に[マグマオーシャンが存在するという説](#)が、これまでは有力だった。つまり、溶けた溶岩がー帯に広がっているというのだ。この説は、イオの火山がほぼ均一に分布していることや、そのほかのいくつかの観測結果とうまく合致する。火山はあらゆるところに偏在する地獄を思わせるマグマ層から溶解物を汲み上げているかのようだ。



[太陽系で最も火山活動が活発、木星の衛星「イオ」の姿](#) By Shigeyuki Hando

イオの地表地図。ボイジャー1号とガリレオの撮影画像から作成されたもの。火山が一面に分布していることがわかる。赤い大きなリングは、ペレ火山の噴火による硫黄の降下物だ。

PHOTOGRAPH: US GEOLOGICAL SURVEY

ところが、イオのそんな地獄は消滅してしまったらしい——いや、どちらかと言えばそもそも存在すらしなかった。最近、NASAの木星探査機「ジュノー」が火山性のこの衛星に接近飛行（フライバイ）したとき、科学者はジュノーのかすかな揺れを利用して、イオがジュノーに及ぼす重力の影響を測定し、それによってイオの質量分布を、さらに内部構造を確かめたのだ。『[Nature](#)』に発表された論文では、イオの地核直下に、特筆すべき流動物は存在しないと報告された。

「浅い海は存在しませんでした」。ジュノーのミッションを率いるボルトンは、こう語った。

別の科学者たちからも、この研究の不備を指摘する声は上がっていない。「まったく手堅い研究内容と結論であり、十分に説得力があります」。カリフォルニア工科大学の惑星科学者、[キャサリン・デ・クレア](#)もこう話す。このデータは、ほかの岩石惑星にも波及する新たな謎をもたらした。イオの火山活動を引き起こしているのは、

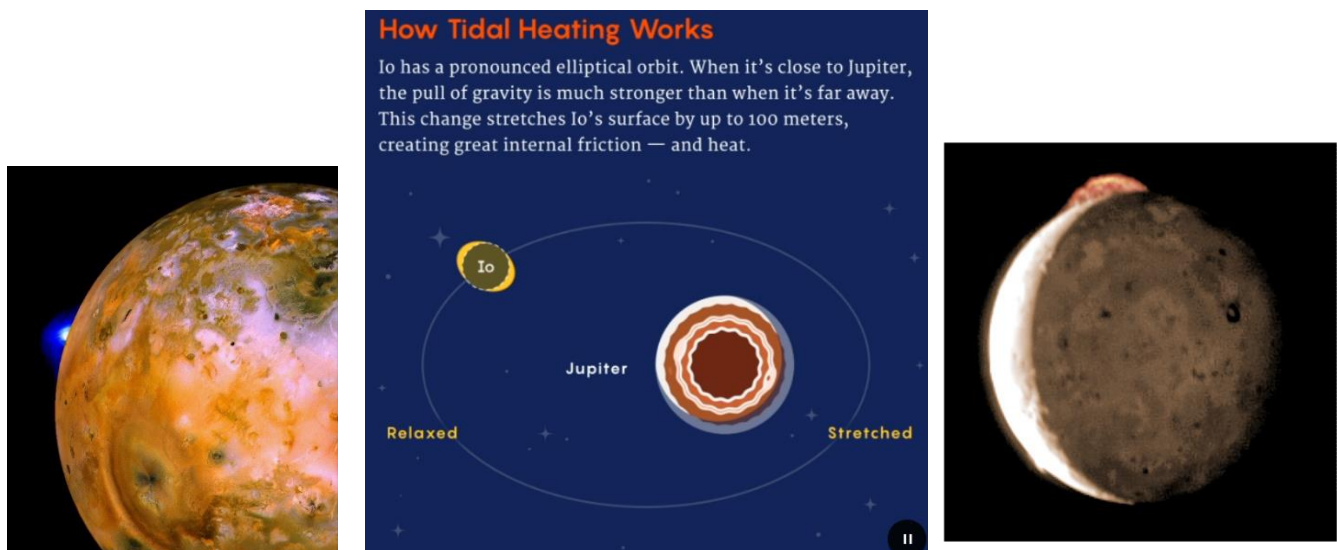
重力による「潮汐加熱」というメカニズムだ。その働きで溶けた岩石がマグマになり、地表から噴出している。イオはこのメカニズムの代表格だが、潮汐加熱はほかにも多くの天体で確認されている。イオの近くにある、氷の衛星エウロパもそのひとつで、潮汐加熱によって地下には塩水の海が形成されていると考えられている。NASA は、こう予想されている地下の海で生物の兆候を探るため、50 億ドル（約 7,400 億円）の予算をかけた[探査機「エウロパ・クリッパー」を打ち上げた](#)。

イオにマグマオーシャンが存在しないということは、エウロパにとってどのような意味をもつのか。科学者たちは、潮汐加熱がそもそもどう作用するのか頭を悩ませている。

潮汐加熱のメカニズム

「熱」は地質学を動かす原動力であり、火山活動や大気の化学組成から生物学に至るまで、あらゆるものの土台となる岩石の基盤を形成している。熱は、惑星の形成によって、またその内部の放射性元素の崩壊によって発生することが多い。だが、衛星のような小さい天体の場合はそのような元素の蓄えが少なく、形成時からの残留熱も少ない。それが尽きれば、地質活動は停止する。

少なくとも本来はそうなるはずなのだが、この太陽系では、地質学的にとくに死に絶えたはずの小さな天体に、地質学上の命が吹き込まれているようなのだ。イオは、まるでジャクソン・ポロックが描く絵画のような。この太陽系の謎めいた一群のなかで最も異彩を放つ存在——煮え立つ大鍋のような溶岩が描き出す濃いオレンジ、深紅、黄褐色に彩られた世界——が見つかったことは、惑星科学の歴史でも特に有名な話だ。なぜならその存在が、実際に発見される前に予測されていたからだ。



NASA の探査機ボイジャー1 号が、1979 年に撮影したイオの写真。地球以外での火山活動の瞬間が初めて捕えられた。この写真では、現時点でイオ最大の火山として知られるロキ火口から溶岩プルームが吹き出している。

PHOTOGRAPH: NASA/JPL/USGS

潮汐加熱のしくみ イオは極端な楕円軌道で公転している。木星に近づくと、遠くにいるときより重力が強くなる。この変化に伴って、イオの地表には最大 100m の伸び縮みが生じ、内部に大きな摩擦を、すなわち熱を生み出す。COURTESY OF MARK BELAN/QUANTA MAGAGINE

07 年、NASA の探査機「ニュー・ホライズンズ」が 8 分間にわたって撮影した連続写真。トゥワシュトラ火口からの噴出がとらえられている。この疑似カラー画像に写っているプルームは、イオの地表から 330km の高さまで吹き上がっていた。VIDEO: NASA/JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS

LABORATORY/SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

1979 年 3 月 2 日、イオの奇妙な軌道に関する論文が『[Science](#)』に掲載された。イオの軌道は円ではなく楕円形を描いている。そのため、巨大なガス惑星である木星からイオが受ける重力は、木星に近づいたときのほうが、離れているときより強くなる。この重力の影響で、いわばイオは常に「こねる」ような力を受けることになり、表面に最大 100m の伸び縮みが生じると論文の筆者らは考えた。計算によると、内部には大量の摩擦熱が生じる。それがいわゆる「潮汐加熱」のメカニズムなのだという。イオは太陽系で最も大きくこの加熱が生じる岩石天体であると論文は推測した。「広い範囲で繰り返し、地表の火山活動が発生すると予想できる」そのわずか 3 日後に、ボイジャー1 号が[フライバイを行なった](#)。3 月 8 日に撮影された画像には、2 本の巨大なプ

ルームが地表から噴出している様子が記録されている。ほかの要因をすべて除外した末、NASA の科学者はボイジャーが記録したのは地球外での火山の噴火であると結論。その発見を『[Science](#)』に発表したのが 6 月のことで、これは最初の予測からわずか 3 カ月後のことだった。惑星科学のコミュニティはただちに、イオの地表で絶えず起こっている火山活動の原因がその内部における潮汐加熱にあるというこの考えについて検討を始めた。「何十年ものあいだ解明されなかった疑問のひとつは、それが内部構造にとってどんな意味をもつのかということでした」。こう述べているのは、パーデュー大学の惑星地質物理学者[マイク・ソーリ](#)だ。潮汐加熱はイオ内部のどこに集中しているのか。どのくらいの熱と溶解が発生しているのか。

NASA のガリレオ探査機は、西暦が 2000 年代に移る前後にかけて、木星とその衛星の調査に当たった。そのとき使った機器のひとつが磁力計で、これによってイオから発せられる特定の磁場が記録された。その信号は、導電性の液体が存在することを示しているようだった。それも、大量の液体だ。その後の研究の結果、科学者たちは 11 年に、ガリレオはイオの地殻直下に存在する全球的なマグマオーシャンを発見したのだと[結論した](#)。地球のマントルは、大部分が可塑性のある固体だが、イオの地表下は溶岩の海で満たされていると考えられた。しかも、その厚さは 50km にも及ぶ。[太平洋の最深部](#)のほぼ 5 倍に達する厚みだ。

同じような磁場は、[エウロパ](#)でも発生していた。ただし、こちらの発生源は[広大な塩水](#)のようで、その意味は大きかった。大量の岩石性物質があるところでは、潮汐加熱によってマグマの海が生まれる。大量の氷があるところでは、同じ潮汐加熱によって液体の水の海が生まれ、そこに生命が存在する可能性があるからだ。

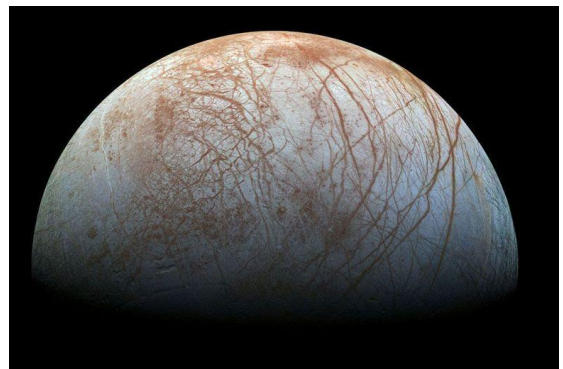
イオにマグマの海はあるのか？

ジュノー探査機が木星の周回軌道に入った 16 年ごろには、イオにマグマオーシャンが存在するという説は広く知られていた。だが、ボルトンと周囲の科学者は再点検したいと考えた。

23 年 12 月と 24 年 2 月の 2 回にわたるフライバイで、ジュノーはイオの焼けついた地表から 1,500km の高さまで接近した。多くの人の注目を引いたのは、活火山の驚異的な画像だった。だが、このときのフライバイの目的は、この岩石性の地表の下にマグマオーシャンが存在するかどうかを突き止めることにあった。

調査のためにチームが使ったのは、予想外の道具だった。[ジュノー探査機に搭載された無線トランスポンダー](#)、つまり地球と通信して信号を送受信する中継器だ。イオの質量は分布が不均衡なので、その重力場は完全な対称形になっていない。その不均一な重力場が、フライバイするジュノーの動きをわずかに変え、かすかな加速または減速をもたらす。つまり、ジュノーの無線送信でドップラー効果が発生し、イオの不均一な重力場に応じて波長がわずかに変化するということだ。送信に生じるこの信じられないほど微細な変化を観測して、ボルトンのチームはイオの重力場を高精度の画像で表し、そこからイオの内部構造を判定した。「全球に及ぶマグマオーシャンが本当に存在していたら、イオが木星の周りを公転し、潮汐力の変化に伴ってそのかたちを変えたとき、もっと大きな歪みが生じたはずです」。NASA ジェット推進研究所 (JPL) の火山学者[アシュリー・デイヴィーズ](#)はこう説明している。デイヴィーズは、今回の新しい研究には参加していなかった。

だが、ボルトンのチームはこのようなレベルの歪みを観測していない。結論は明らかだった。「火山活動を起こすような、浅いマグマオーシャンはまず存在しないということです」と、JPL のジュノー共同研究員[ライアン・パーク](#)は述べている。



「カッシーニ・ホイヘンス」ミッションでは、01 年、木星を背景にしたイオの写真が撮影された。

PHOTOGRAPH: NASA/JPL/University of Arizona

氷の衛星エウロパは、なめらかな表面にひっかき傷が付いているように見える。22 年にジュノー探査機が撮影した写真では、地下に存在するものの形跡こそ見えないが、広大な塩水の海が広がっていることはほぼ間違いない。PHOTOGRAPH: NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS

では、イオの火山活動を引き起こしているものは何なのだろうか。

地球では、種類の違うマグマ溜まりがあちこちに見られる。タールのように粘度が高く爆発的な噴出を起こすマグマもあれば、ハチミツのように粘度が低く一部の火山から勢いよくほとばしるマグマまでさまざま。それらが、地表のいろいろな深さに存在している。そのすべてを生み出しているのは、地球の表面をかたちづくっているパズルピースのようなテクトニックプレートの相互作用だ。

イオにはプレートテクトニクスがなく、(おそらくは) マグマの種類も多くはない。それでも、地殻にはあちこちにマグマ溜まりが点在する可能性がある。これが、ガリレオ探査機のデータを元にマグマオーシャン説が優勢になるまでの考え方だった。

今回の研究でも、もっと深部にマグマオーシャンが存在する可能性は除外されていない。だが、それほど深い場所を埋めるマグマは、鉄の含有率が高く密度も高いはずで(かなりの深度になるため)、そうなると地表まで移動してイオの火山活動を引き起こすのは難しい。「しかも、一定の深さでは、深いマグマオーシャンと呼ぶべきか、液体の核とみなすべきかを判別するのも難しくなります」とパークは語る。

このことによって解決不可能な問題が生じる、と考える科学者もいる。ガリレオ探査機の磁力計は浅いマグマオーシャンが存在する可能性を検出した。一方、ジュノー探査機の重力データはその説をきっぱりと否定している。「磁力計の観測結果が疑問視されているわけではなく、問われているのはほかのデータとの整合性を図ることです」と、ブリガム・ヤング大学の惑星地質学者 [ジェイニー・ラデボー](#) は説明する。

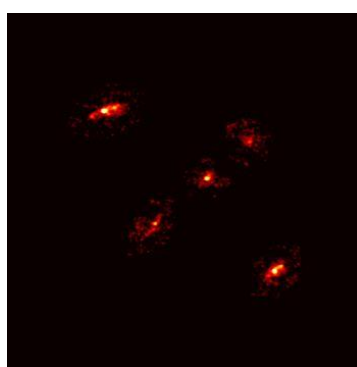
ガリレオ探査機のデータに関する最適な解釈をめぐるっては、研究者のあいだで意見が分かれている。磁力信号は「マグマオーシャンが存在する最も有力な証拠として取得されましたが、それほど強度が高かったわけではありません」。カリフォルニア大学サンタクルーズ校の惑星科学者であり、今回の研究に参加したひとり [フランク・ニモ](#) はこう話す。磁気誘導のデータでは、部分的に溶解した(が、まだ固体の) 内部と、完全に溶解したマグマオーシャンとを判別することはできなかった、とニモは言う。

水は重く生命環境を生む源になる

科学者がイオを研究している最大の理由は、潮汐加熱の根本原理を示してくれるからだろう。イオで見られる潮汐加熱の力はいまだ強大で、火山活動を引き起こせるだけの大量のマグマがいまも生まれ続けている。だが、それが地表下のマグマオーシャンをつくり出していないのだとしたら、潮汐加熱は水の海もつくり出さないのだろうか。科学者は、潮汐加熱は確かに海をつくり出すと確信している。同じく潮汐加熱を受けている木星の衛星エンケラドスの地下に塩水の海があることは、誰も疑っていない。カッシーニ探査機は、その存在を検出ただけでなく、エンケラドスの南極から噴出するサンプルを直接採取しているからだ。エウロパに海が存在するかどうかについては、[軽い懷疑論](#)もあるが、ほとんどの科学者は存在すると考えている。

重要なのは、イオには奇妙な磁場があり、それが海にも等しい液体の存在を示す兆候と思われたが、エウロパの場合、ガリレオ探査機のときに存在した磁気信号がいまも健在だということだ。「エウロパでは、かなりクリーンな結果が出ました」と、JPL でエウロパミッションのプロジェクトサイエンティストを務める [ロバート・パパラルド](#) は言う。木星からも、また強力なプラズマに満ちたイオの環境からも十分な距離にあるため、氷の衛星エウロパ自体の磁気誘導信号は「極めて突出している」のだという。

[木星の衛星「エウロパ」の海は、生命を生み出しうる：研究結果](#) By Simone Valesini



[NASAの探査機「エウロパ・クリッパー」は、生命が存在する可能性を見つけ出せるか](#)

By Shigeyuki Hando

では、どちらの衛星も潮汐加熱を受けていながら、エウロパにだけ内部に海があるのはなぜなのか。ニモが説明する。「液体の水でできた海とマグマオーシャンとでは、根本的な違いがあります。マグマは外へ出ようとし、

水は出ようとしないうことです」。液体の岩石つまりマグマは、固体の岩石より密度が低いので、たちまち上昇して噴出しようとする。マグマは、イオの内部に長時間はとどまらないため、巨大につながった海を形成するには至らないのだと、今回の研究では示唆されている。一方、液体の水は、固体の状態である氷と比べれば密度が高く、「液体の水は重いので、集まって海になるのです」とソーリは語る。

「この論文が伝えている大枠はこういうことでしょう」と、ソーリは付け加えた。潮汐加熱といえど、簡単にマグマオーシャンをつくり出すことはできないのかもしれない。けれども、氷の衛星でなら、氷の密度が極度に低いおかげで、水の海を容易につくり出せる。そしてこれは、生命が生息する環境が、太陽系には想像以上に多いという可能性を示唆していることにもなる。

「謎はさらに深まるでしょう」

イオに浅いマグマオーシャンが存在しないという発見は、潮汐加熱についてほとんどわかっていないという事実を浮き彫りにした。「イオの内部のどこでマントルが溶けているのか、溶けたマントルがマグマとなってどうやって地表に到達するのか、まだ何もわかっていないのです」。クレアはこう語っている。

地球の月にも、原初の潮汐加熱があった痕跡がある。月で最も古い結晶は、いまから 45 億 1,000 万年前、[巨大な衝突](#)が発生して地球から吹き飛ばされた溶解物質から形成された。ところが、月の結晶の多くは、43 億 5,000 万年前の別のマグマ溜まりから形成されたと考えられている。この新しいほうのマグマは、いったいどこから来たのか。24 年 12 月に『Nature』で発表した論文で、ニモと共同執筆者らは新しい仮説を示した。地球の月は、イオに似ていたのかもしれないという説だ。月は当時まだ地球にずっと近かったため、地球からの重力場と太陽からの重力場は拮抗していた。ある時点で、双方からの重力の影響がおおむね等しくなり、月は一時的に楕円形の軌道を描くようになった。そして地球の重力によって「こねられ」て、潮汐加熱を生じるようになった。こうして内部が再びマグマ状になり、図らずも 2 度目の火山活動が盛んになったというのだ。それでも、月の内部のどこにその潮汐加熱が集中したのか、その結果として溶解がどこで発生したのかは、やはり不明だ。おそらく、イオについての理解が進めば、地球の月についても理解が深まるだろう。そして、太陽系で同じように隠れた潮汐加熱を受けているほかの衛星の一部についても同様だ。いまのところ、この火山性の球体は途方もなく不可解なままの存在だ。デイヴィーズがこう話している。「イオは厄介な存在です。観測が進み、データとその解析がさらに詳細になれば、謎はさらに深まっていくでしょう」

※本記事は、[サイモンズ財団](#)が運営する『[Quanta Magazine](#)』（編集については同財団から独立）から許可を得て、転載された[オリジナルストーリー](#)である。同財団は、数学および物理・生命科学の研究開発と動向を取り上げることによって、科学に対する一般の理解を深めることを使命としている。

(Originally published on [Quanta Magazine](#), translated by Akira Takahashi/LIBER, edited by Nobuko Igari)

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20250925-3482879/>

衛星データで解析した災害現場をその目で - 超実践的ツアーに参加してみた(後編)

掲載日 2025/09/25 06:00 著者: [秋山文野](#)

「だいち 2 号(ALOS-2)」と「だいち 4 号(ALOS-4)」のデータから富山県で過去に発生した豪雨災害の状況を解析し、現地視察で現場を実感する衛星地球観測コンソーシアム(CONSEO)の研修ツアーレポート。後編の今回は、堤防と土砂災害の現場を目の当たりにし、観測データと現場の状況とを結び合わせた貴重な体験の模様をお届けする。



衛星データ解析を行った豪雨災害の現場を実際に訪れる、実践的ツアーに参加してみた

衛星データ解析の場所を巡る実践的な視察ツアー実現に尽力された松嶋建設の松嶋幸治さん(撮影:秋山文野)

2023 年 6 月の豪雨後に発生した土砂崩れの現場。ALOS-2/4 衛星のアセンディング軌道は北(画面奥)方向へ衛

星が進行しつつ右側へ電波を照射し、ディセンディング軌道では南(画面手前)方向へ衛星が進行しつつ左側へ電波を照射することになる。撮影：秋山文野(撮影:秋山文野)

フォアショートニングはなぜ起きる？ 衛星と斜面の関係性

今回行われた視察ツアーは、富山市内を流れる常願寺川河口から 10km の堤防(現場 1)と 2023 年に発生した立山町の山中にある土砂崩れ箇所(現場 2)、同じく 2023 年に発生した白岩川の堤防決壊跡(現場 3)まで、地元の建設企業、松嶋建設の協力を得て巡ることになった。

[各現場の詳細やデータ解析の結果は前編記事から](#)

中でも現場 2 は、2023 年 6 月の豪雨で発生した斜面崩壊箇所の復旧工事が現在も進められている場所だ。災害からおよそ 2 年経った今は、倒木を撤去する作業が終わり、崩れやすい表土を削り取って法面を固める工事を行っている最中。工事のため土砂崩れ発生時よりもさらに地面がむき出しになっているものの、見た目には災害の爪痕としか言いようのない状況にある。これほど明らかな現場が、ALOS-2、ALOS-4 のデータで宇宙航空研究開発機構(JAXA)の専門家が干渉解析を行っても結果に現れなかったのはなぜなのだろうか。

1 日目の解析発表では、衛星(ALOS-2、ALOS-4)が北向きに航行する「アセンディング」軌道の際に観測した画像からは、干渉解析で土砂崩れを発見することはできなかったことが判明。一方で南向きに航行する「ディセンディング」軌道では土砂崩れが「見えていた」。これを現場で確認してみると、見えなかったアセンディングの場合は、北(写真奥側)に向かって衛星が航行しつつ、衛星の右側(東方向)へ電波を照射して観測する。一見、このほうが斜面に電波が当たりやすいように思える。ただし、斜面が相当に急な角度で立ち上がっていて、山の頂上に反射した電波が実際よりも西側の斜面の上に覆いかぶさるように画像の歪みを発生させる「フォアショートニング」が発生してしまっていた。逆に南向きに航行するディセンディング軌道の場合は、画面奥から後ろへ衛星が飛行し、衛星にとって右側(この場合は西方向)にビームを出していた。一見、電波は斜面にと平行になってしまっていて観測しにくいように思えるが、そのほうが観測できていたことになる。

フォアショートニングを発生させる要素には、斜面と衛星からの電波の角度で決まる「局所入射角」がある。合成開口レーダ(SAR)衛星は、衛星の進行方向に対して直角方向(左右)の斜め下方にマイクロ波を照射していて、観測の対象物を真上から見た線とマイクロ波がなす角度のことを「入射角」という。

JAXA 地球観測研究センターの重光勇太郎さんによれば、「局所入射角というのは、法面の垂線に対して電波が入射する角度です。これが小さすぎる、予想以上に急斜面で局所入射角が垂直すぎると、フォアショートニングが起きやすくなります。一方でディセンディング軌道の場合、逆方向から観測するので局所入射角は百数十度くらいになったはずですが、後方散乱(衛星方向への電波の反射)は実は弱いはずなんです、逆に干渉 SAR ではそのほうが見えていたということですね。コヒーレンス(2 つの観測データの一致度)は下がっていたんですけど、位相の差分はよく見えていました」とのこと。山中の斜面の角度は一樣ではなく、たまたま急斜面で土砂崩れが起きると、電波が当たりやすいようでも実は観測には適さないという事態が起きる。ただし、「アセンディング軌道だからフォアショートニングが発生」というように単一の条件に依存してこうした観測エラーが発生するわけではない。今回はたまたま衛星と斜面の角度が急すぎたために干渉 SAR に適さなかったものの、衛星の軌道がもう少し東西にずれていれば斜面に対する入射角が変わり、データに現れていた可能性がある。「もっと西側の軌道であれば、あるいは衛星がマイクロ波の照射方向を異なる角度に傾けて観測していれば、もしかしたら見えていたかもしれません」(重光さん)ということは常に意識してデータを選ぶ必要がある。

「SAR 衛星」の新しい可能性？

現場 1 の常願寺川沿いでは、堤防の変異を捉えるという課題に対し、今回の解析では大きな変動は見つからなかった。日頃から堤防管理を担当する建設会社からすれば「ひとたび地震などの災害が起きると、200 箇所近い場所の対応にあたる必要がある。衛星データで広域を迅速に対応したい」(松嶋建設 松嶋幸治さん)というように、潜在的な衛星データへの期待は高い。

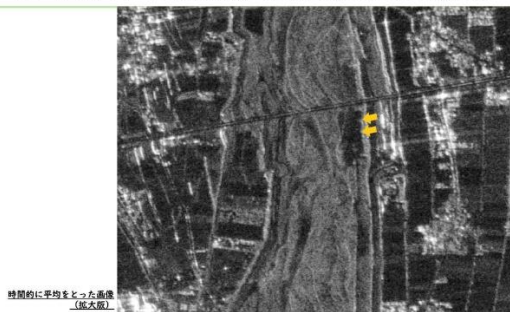


常願寺川の河口から約 10km 周辺。常願寺大橋方向(撮影:秋山文野)

堤防にはすぐ草が繁茂し、保全のための草刈りが必要になる(撮影:秋山文野)

現場視察では、新たな角度から川の変異を実感するものが SAR 衛星のデータに見えていたことがわかった。解析発表の際に Synspective の小澤剛さんが指摘した、土砂や植生による川の流れの変化だ。ALOS-2 の強度画像に映る常願寺川は、川の流れが複雑な濃淡の模様を描いており、また堤防に近い左右にはひととき黒い塊が映っている。濃淡の模様は土砂が作る“滞筋”、画像上の黒い塊は現地で見れば一目瞭然だが、河原に生えた樹木を含む植物の茂みだ。

だいち2号/4号(3 m分解能)の画像の見え方@No.1(拡大版)



時間的に平均をとった画像
(拡大版)

だいち 2 号/4 号のデータで見た常願寺川の河口から約 10km 周辺。上部の左右に走る線は常願寺大橋、そのすぐ下に黒く植生のかたまりが見えている(黄色矢印)。(出所:「富山県における ALOS-2/4 データによる JAXA 解析結果」を元に筆者加筆)



常願寺大橋を背に見た上流方向。黄色矢印は ALOS-2/4 画像に映る植生の茂み(撮影:秋山文野)

白岩川の河口から約 17km 上流にある白岩川ダム(撮影:秋山文野)

独特の石積み堤防が残る常願寺川の堤防は、保全のために定期的な草刈りが行われている。また河道内の樹木が繁茂しすぎると、水の流れを妨げる恐れが出てくる。目視でも樹木の存在は見取れるものの、衛星ならではの広域を一度に調査できる機能は低コスト調査の可能性につながる。JAXA 地球観測研究センターの本岡毅さんは、ALOS-2 画像と現地の樹木の状態を見比べ「10 トンくらいかな」とおおまかにその量を見積もった。人間の目では樹木の全体像を測ることは難しいが、SAR 画像がその調査を助けてくれる。また河の流れが悪くなる土砂の堆積を、川に入らずに調査できれば、万が一の際の河口閉塞を防ぐことができる可能性は、解析発表でも指摘された通りだ。

ダムと下流の安全をどう守るのか

最後の現場 3 は、白岩川ダムとその下流の堤防決壊箇所を巡る、災害の爪痕を時間軸に沿ってたどるツアーとなった。白岩川は、大辻山を水源として富山市内で日本海に注ぐ流路延長 24.6km の二級河川。河口から約 17km

上流にある白岩川ダムは、古くから度重なる水害や農地の水不足対策として 1974 年に完成した治水・利水用途のダムだ。岩石を積み上げて建設するロックフィルダムと重力式コンクリートダムの複合ダムで、周辺には美しい景観を楽しめる公園が整備されている。

2023 年 6 月、周辺で発生した豪雨を受けて白岩川ダムから緊急放流が行われた。ダムへの水の流入が激しかったため、予定時刻よりも時間を繰り上げて行われた放流の結果、下流の地区では堤防が崩れ、住宅への浸水や水田への土砂流入の被害が発生した。富山県内には各地に石積みの堤防が今も使われているといい、下流の白岩川の護岸も石積みの堤防だった。緊急放流の際には、川が曲がる箇所ですべて堤防に叩きつけるように水が押し寄せて石積みの堤防を破壊。土砂が隣接する水田に流れ込んだ。ダムを守るための放水が、ダムが守っていたはずの下流の地域に被害をもたらした形だ。



白岩川下流の農地が広がる地域。2023 年の豪雨では、白岩川ダムから放流された水が矢印の方向から画面左側に向かって流れ込み、堤防を破壊して土砂が農地に流れ込んだという(撮影:秋山文野)

コンクリート製堤防となって復旧した白岩川。下流にはまだ石積み式の堤防が残る(撮影:秋山文野)

2024 年には堤防の仮復旧工事が行われ、2025 年には新たな堤防が作られて復旧工事は完了した。石積みではなく、強度を重視したコンクリート製の堤防となったことは、光学衛星の画像からもよくわかる。

一方で、破壊された箇所は復旧できたものの、「下流にはまだ石積み堤防が残っている」と松嶋さんは話す。急な豪雨が珍しくなくなった今では、今後への課題も感じさせる。衛星画像に求められる役割は、変異の予兆を捉えて緊急時に備えることだろう。ALOS シリーズの干渉解析では、豪雨の発生時に地面の沈降または東向きへの変化(干渉解析では変異の方向はわからず、衛星から離れた/衛星に近づいた変化として表す)が見つかっているという。豪雨と SAR とはいえ強度画像を使った浸水範囲の推定が大きなアプリケーションだが、豪雨の際の周辺インフラの変化も SAR が役立つところかもしれない。

衛星データの評価用に、地上で対象を測定、観測することを「グランドトゥールズ」と呼ぶ。SAR の解析から現地視察ツアーへ、一連の流れはグランドトゥールズを模擬体験するもので、データで見えたものが本当に推定の通りなのか、体験で実感することができた。 秋山文野あきやまあやの

https://scienceportal.jst.go.jp/newsflash/20250925_n01/

巨大な地下空洞が完成 宇宙と物質の謎に迫る素粒子観測装置「ハイパーカミオカンデ」設置へ

2025.09.25



素粒子観測装置「ハイパーカミオカンデ」が設置される巨大地下空洞が完成した（東京大学宇宙線研究所・神岡宇宙素粒子研究施設提供）

岐阜県飛騨市の山中の地下 600 メートルに、直径 69 メートル、高さ 94 メートルの巨大な円柱形の空洞ができた。次世代の素粒子観測装置「ハイパーカミオカンデ」を設置するための空間だ。宇宙や物質の成り立ちを解き明かそうと、東京大学と高エネルギー加速器研究機構の主導する国際チームが 2028 年から観測を始めることにしている。ハイパーカミオカンデは、超新星爆発から来た素粒子ニュートリノの世界初観測で故・小柴昌俊氏のノーベル物理学賞受賞（2002 年）につながったカミオカンデ（1983～1996 年）、ニュートリノが質量を持つことを示すニュートリノ振動の発見で梶田隆章氏のノーベル物理学賞受賞（2015 年）につながったスーパーカミオカンデ（1996 年～現在）に続く三代目の素粒子観測装置だ。2021 年 5 月から空洞の建設位置に向けてトンネルを掘り進め、まず天井部分のドームを掘削した後、2023 年 10 月以降、円筒部分を掘り下げていった。掘削にともなう出る岩や土などを、中心部の立杭を通じて排出しながら作業を進めた。7 月 31 日に掘削を終えてできあがった空洞は約 33 万立方メートルもあり、岩盤の中につくられた人工の空洞としては世界最大級だという。この地下空洞に円筒形の超大型水槽を設置し、壁に大きさ 50 センチの超高感度光センサーを 2 万個以上取り付けた後、26 万トンの超純水で満たすとハイパーカミオカンデが完成する。実質的にデータを取ることができる有効体積は、スーパーカミオカンデの約 8 倍もある。水の中に現れるリング状の弱い光「チェレンコフ光」を観測することで、素粒子ニュートリノの性質を解明したり、ノーベル賞級ともいわれる「陽子崩壊」の発見に挑んだりして、宇宙や物質の成り立ちをひもとく計画だ。

関連リンク 東京大学プレスリリース「[ハイパーカミオカンデ計画：超巨大空洞の掘削を完了](#)」

[ハイパーカミオカンデ概要](#) [ハイパーカミオカンデ空洞掘削](#)

<https://uchubiz.com/article/new66001/>

万博で「宇宙の暮らしと食の未来」を語り尽くした 1 週間-土井隆雄飛行士も登壇

したイベント全レポート

2025.09.26 09:00 [佐藤あずさ](#)

大阪・関西万博の大阪ヘルスケアパビリオン内「ミライの食と文化ゾーン／デモキッチンエリア」において、2025 年 8 月 10～16 日にわたり展示・講演イベント「—ミライの宇宙での暮らしと食— 宇宙未来生活ラボ— 宙（そら）に生きる未来へ（Space Living Lab- Towards Life Beyond Earth）」が開催された。

主催は、京都大学の SIC 有人宇宙学研究センター。共催として鹿島建設、DMG 森精機、協力団体として宙ツーリズム推進協議会、コスモ女子、宇宙ごはん研究会が協力した。

会場では人工重力施設「ルナグラス・ネオ」の模型のほか、大阪へキサシティの模型、そして京都大学が Amateras Space や岐阜医療科学大学と共同開発中の西陣織を使った宇宙服「[VESTRA](#)」や「KNIGHT SUITS」なども展示された。ここでは 1 週間にわたる同イベントの全レポートをお届けする。

「月でポテトは揚げられる？」-有識者たちが連日講演

8 月 10～16 日の期間中は、宇宙業界の有識者や企業担当者による様々なテーマの講演が連日にわたり開かれた。初日となる 8 月 10 日には、鹿島建設の宇宙担当部長である大野琢也氏が、「宇宙居住には重力がいるんです」と題して人工重力の必要性を訴えた。講演では遠心力を応用した人工重力施設「ルナグラス・ネオ」の構想模型を用い、人間の健康や食生活に対する重力の役割を解説。画像や模型を使った分かりやすい説明により、聴衆に宇宙での生活のリアルさを伝えた。



鹿島建設の宇宙担当部長である大野琢也氏

京都大学大学院総合生存学館教授で SIC センター長の山敷庸亮氏

京都大学大学院総合生存学館教授で SIC センター長の山敷庸亮氏は、「地球以外に人が住める惑星ってあるの？」をテーマに、月・火星、さらには太陽系外惑星における移住可能性を解説。動画を見せつつ大気や水の

有無など、環境的な制約条件を踏まえながら、地球外での居住環境の現実的な可能性について、最新の研究とともに紹介した。同じく8月10日には、Amateras Spaceの蓮見大蓮氏と佐藤あずさ氏が登壇し、万博会場にも展示された西陣織を用いたコンセプト宇宙服「VESTRA」の開発について講演。開発の背景や、京都大学・岐阜医療科学大学との協力体制について紹介するとともに、宇宙においてファッションデザインが先導する未来の意義が語られた。また、タイヨウネクタイの松田梓氏は「西陣織で宇宙服を作る」と聞いた瞬間に「面白そうだ」とすぐに参画を決意したエピソードなどを披露した。



Amateras Spaceの蓮見大蓮氏と佐藤あずさ氏 岐阜医療科学大学の田中邦彦氏

宇宙服の構造と機能については、岐阜医療科学大学の田中邦彦氏が解説。宇宙服が抱える「内部気圧」と「可動性」の関係による問題を解決するために、田中教授が開発を進めている宇宙服「Knight Suit」のコンセプト（外骨格＋伸縮性素材による高与圧かつ高可動性）について解説した。

8月11日には、京都大学の荒木慶一教授が登壇し、**新素材・形状記憶合金の研究とその応用**について講演。地上では耐震技術として、宇宙では居住環境の整備に向けて、多次元的な社会課題の解決に向けた素材の可能性を語り、未来社会における革新素材としての役割を伝えた。特に形状記憶合金が新たな分野などで様々な利用可能性があることを事例を交えながら紹介した。



京都大学の荒木慶一教授 JAXAの桜井誠人氏

JAXAの桜井誠人氏は、宇宙居住に欠かせない**環境制御・生命維持システム（ECLSS）**について講演。人間が1日で消費・排出する酸素や二酸化炭素、水の循環を例にあげ、生命維持に不可欠な物質循環の視点から、宇宙居住のインフラとしてのECLSSの重要性を説いた。また、人類が月を目指す「アルテミス計画」においてECLSSなどの技術がどのように活用される可能性があるのかについて述べた。8月12日には、鹿島建設の石川秀氏が、宇宙での生活をユーモアを交えた切り口で紹介。「月でポテトは揚がるのか？」という身近な疑問から、宇宙と地球の違いを掘り下げ、微生物制御や殺菌に関する研究の知見を交えながら、宇宙生活のリアリティに触れた。また、宇宙居住における様々な疑問も踏まえながら、実際の事例を解説した。



鹿島建設の石川秀氏

早稲田大学の野中朋美教授

早稲田大学の野中朋美教授は、宇宙滞在における**快適・健康・QOL**に着目し、**新たな宇宙居住の視点から**講演した。2040年代の一般民間人による宇宙旅行到来を想定し、従来のECLSSに「快適性」「人間中心設計」を統合する構想とその実践例を紹介。生活の質を尊重した宇宙居住の未来像を提案した。特に快適ECLSSプ

プロジェクトの広範囲の研究者同志のシナジー効果も踏まえた、新たな姿と宇宙居住の将来像について語った。

8月13日には、鹿島建設の名倉真紀子氏と積水ハウスの玉根昭一氏が並んで登壇し、それぞれの専門分野から宇宙居住に関する知見の共有や提案をした。両氏は、快適で健康的に暮らすための要素（食・運動・水・光・空気など）について、地球（1G）と月（1/6G）および、ISS（微小重力）の居住環境と比較しながら、宇宙居住において「宇宙でのより良い暮らし」の実現に必要な条件を提示した。



鹿島建設の名倉真紀子氏と積水ハウスの玉根昭一氏 日揮グローバル（JGC）の深浦希峰氏

日揮グローバル（JGC）の深浦希峰氏は、月面社会実現に向けた食・住・インフラの現実的な開発について講演。通信インフラから住環境、エネルギー、輸送インフラまで、多岐に渡るインフラ整備の取り組みを紹介し、産学連携による月面開発の最前線を伝えた。特に、JGCが掲げる月面プラントの全体像と、VRも含む様々な応用について展望を語った。

8月14日には、研究者の富田キアナ氏が、日本で発生した大規模災害を取り上げ、それぞれの場面でどれほど多くの人々が、どのくらいの期間、食の確保に苦しんだのかを示しながら、「災害食」の重要性を強調した。さらに、「災害食」と「宇宙食」の共通点に着目し、調理器具や保存手段が限られた状況で栄養を確保する工夫について解説。提供されたアルファ米食の「ほしぞらおむすび」を例に、宇宙食と災害食の類似性を指摘するとともに、災害時の知見を宇宙食研究に応用できる可能性を示した。

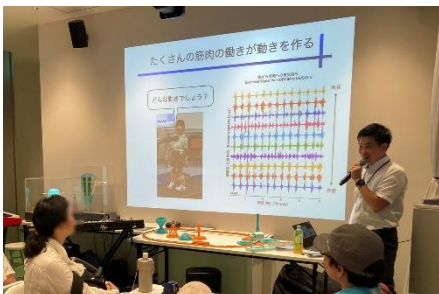


研究者の富田キアナ氏

AquaNaut 代表の藤永嵩秋氏

AquaNaut 代表の藤永嵩秋氏は、水中で月面疑似体験をする「Space Diving」のプログラムを詳細に紹介した。また、ダイビングスーツの歴史と、宇宙開発の歴史を時系列を踏まえて共通点を紹介し、その鍵となる人物や、バディシステムの応用について述べた。さらに、宇宙服と潜水服に関する相互技術交流について紹介。NASA ジョンソン宇宙センターの無重量環境訓練施設における宇宙飛行士訓練を参考に開発した水中レクリエーションコースを通じて、宇宙を身体で感じる新たな方法を来場者に提案した。

8月15日には、京都大学准教授の萩生翔大氏が「動く」とは何かを問い直す講演を開いた。「宇宙から地球に戻るとなぜうまく歩けなくなるのか？」という問いを出発点に、重力の小さい宇宙での身体の動きの変化や運動測定の最前線を紹介。それらの知見が、地上での暮らしや高齢化社会の健康課題解決にどのように結びつくかを掘り下げた。さらに、宇宙居住に向けて、日常生活の基盤となる運動をどのような観点から理解し、解析する必要があるのかについても論じた。



京都大学准教授の萩生翔大氏

宇宙ビジネスコンサルタントの森裕和氏

宇宙ビジネスコンサルタントの森裕和氏は、**宇宙産業の最新トレンドと注目テクノロジー**をわかりやすく整理して紹介。特に、最新の宇宙インフラ市場や、通信プロトコル、新たな分野について解説した。国内外を飛び回る自身の経験から、グローバルで注目される宇宙関連技術や市場動向を提示し、講演内容は業界関係者にも大きな示唆を与えた。

最終日となる8月16日には、元宇宙飛行士であり学者でもある土井隆雄氏が演壇に立った。1954年生まれ、日本人として初めて船外活動をした経験を交えながら、**日本の有人宇宙活動の歴史や船外活動、「きぼう」日本実験棟搭載ミッションを含めて整理し、今後の宇宙への道筋を示した。**



元 JAXA 宇宙飛行士であり学者でもある土井隆雄氏 コスモ女子代表の塔本愛氏

宇宙を学べる体験プログラムや展示も充実

毎日 13～15 時の時間帯には、来場者が楽しみながら宇宙を学べる体験プログラムを展開した。内容は「宇宙食体験」「中学生宇宙食開発者によるプレゼン」「地球 vs 月の謎解きチャレンジ」の3つの20分プログラムから構成されており、1つひとつが来場者に宇宙を「身近に感じる」きっかけを提供した。さらに8月12日には特別講演「人工衛星打ち上げ秘話」を開催。宇宙開発未経験の女性チームでありながら、2024年8月に人工衛星の打ち上げに初成功したコスモ女子代表の塔本愛氏が、その挑戦の背景や裏側を語り、多くの聴衆に強い印象を残した。女性が2割未満とされる宇宙業界において、その活動と存在は挑戦と可能性の象徴と言える。8月15日と16日には、コスモ女子と amulapo による**共同宇宙体験イベント**も実施された。

宙ツーリズム推進協議会は、「**プロが解説する宇宙旅行と宇宙食**」をテーマに、期間中毎日オリジナルプログラムを提供した。アンバサダーである宇宙飛行士の山崎直子さんと、新人宇宙飛行士 VTuber 月女神（アルテミス）イチとのオープニングトーク映像に続き、協議会の会員である宇宙旅行や宇宙食の専門家から、いよいよ身近になってきた宇宙旅行の最新動向と、宇宙での食を地上でも楽しむ「宙グルメ」も交えた「宇宙食クイズ」を展開した。



宙ツーリズム推進協議会のアンバサダーである宇宙飛行士の山崎直子さんと、新人宇宙飛行士 VTuber 月女神（アルテミス）イチ 宇宙ご飯研究会の展示

宇宙ご飯研究会では、宇宙食に関するさまざまな展示を行い、人工重力を用いたレストランや、宇宙での好み焼き、そしてさまざまな味覚に関するクイズや展示によって、多くの来場者を楽しませた。

コーヒーを楽しみながら講演を聴く「スペースカフェ」

宇宙未来ラボでは、8月10日から16日までの1週間、毎晩18時より「スペースカフェ」が開かれた。来場者は、日替わりで登壇する多彩なゲストの講演に耳を傾けながら、宇宙でのドリップコーヒー抽出装置 ISSpresso の解説を聞き、地上では本格的なイタリアンエスプレッソを味わうというユニークな時間を過ごした。宇宙研究の最前線と日常の喜びである「コーヒー」を融合させたこの企画は、科学を堅苦しいものではなく、生活に寄り添う文化体験として提示する試みでもある。



「スペースカフェ」運営メンバー

西陣織を使った宇宙服「VESTRA」(右)と「KNIGHT SUITS」(左)

初日から3日間(8月10~12日)は、Amateras Spaceの蓮見氏が登壇し、**宇宙服の基礎**について解説。西陣織宇宙服をはじめとする宇宙服開発について、その値段や重さ、理想とする形態など、さまざまな夢に共感する聴衆で溢れた。宇宙飛行士の命を守る技術的要素や歴史的変遷は、多くの来場者にとって新鮮であり、会場は熱気に包まれた。8月13日には、スペースシフトのCEOである金本成生氏が登壇し、**合成開口レーダーによる「ヴァーチャルコンステレーション」技術**を紹介。特に洪水災害の早期予測への応用について熱く語った。講演後には、日清食品が提供した宇宙食「カレーメシ」や、鳥取県の宇宙関連酒がふるまわれ、科学と食文化の融合が場をさらに盛り上げた。



スペースシフトのCEOである金本成生氏 Amulapoのセッションでは「ほしぞらおむすび」がふるまわれた

8月14日のスペースカフェでは、藤永氏による**水中1/6G体験コースの解説**が行われた。潜水技術と宇宙開発との関わりを、歴史的背景を踏まえながら丁寧に紹介。来場者は宇宙空間の低重力を模擬する手法を学びつつ、会場では「星空クッキー」が提供され、知識と味覚の双方で宇宙を感じられる場となった。

8月15日には、Amulapoの田中氏と松広氏らが登壇。**VRを用いた宇宙基地滞在体験を披露**し、来場者は仮想空間での宇宙生活に没入した。また、**アルファ精米技術**を応用した「ほしぞらおむすび」の試食が行われ、宇宙食の進化を実際に味わえる貴重な機会となった。

並行して会場では、大阪ヘキサシティ(スペースポート)から月面人工重力施設「ルナグラス・ネオ」へと飛び立ち、さらに人工重力宇宙特急「ヘキサトラック」を経由して火星「マーズグラス」へ。その後、太陽系外のProxima CentauriやTau Ceti e, TRAPPIST-1 system, Kepler-452 bへと飛翔する「人工重力ネットワーク(Artificial Gravity Network)」の世界が映像と音楽で描かれた。

動画の解説は鹿島建設の大野氏、映像編集は京都大学の山敷氏が担当し、CG制作は岡村樹二也氏(ジュニアート・デザイン)と学生の堀氏・三井氏らが手がけた。音楽はSpacePlanet9(Yosuke Alex)が編曲し、来場者はまるで未来の宇宙旅行に参加しているかのような没入体験を味わった。

そして最終日16日、すべての講演終了後には特別プログラムが用意された。主催の山敷氏による京都をテーマとしたオリジナル楽曲と映像にあわせ、舞踏家・日置あつし氏が幻想的な舞を披露。音楽・映像・身体表現が一体となり、1週間にわたる展示と講演は幕を閉じた。今回のデモキッチンで開催された宇宙未来ラボは、科学的知識、先端技術、そして文化芸術を融合させたイベントと言える。来場者は講演や試食を通じて「宇宙は遠い未来ではなく、すでに私たちの生活の延長線上にある」という実感を持てたのではないだろうか。

(記事協力: 山敷庸亮・福島愛理・小畑百佳・北村葵・松山優芽)