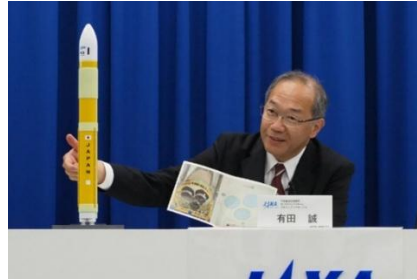


「負けられない戦い」 H3 ロケット 6 号機打ち上げ、二重の正念場

2026.06.04 草下健夫 / サイエンスポータル編集部 宇宙

大型ロケット「H3」6号機が近く、打ち上げられる。国産大型機で初めて、固体ロケットブースターを装備しない機体構成となる上に、昨年12月に8号機が打ち上げに失敗しており、復活フライトの成否がかかる。まさに二重の正念場だ。政府の基幹ロケットでは、小型の「イプシロン」も改良型の開発中に爆発を繰り返し、難航している。関係者は「危機的状況からの再起をかけた、負けられない戦い」と緊張を語る。



H3 ロケット 6 号機の打ち上げ想像図。ブースターを装備していない（JAXA 提供）

会見する JAXA の有田誠プロジェクトマネージャ＝先月 13 日、東京都千代田区

「これを乗り越えねば未来はない」

「6号機は元々『30（さんぜろ）形態』試験機として、新技術のチャレンジの場と考えていたが、再起の挑戦も合わさり、ハードル（の高さ）が倍になった。これを乗り越えないと H3 の未来はない。本当に気を引き締め、打ち上げ成功に向けて携わる皆が緊張感を持って進めている」 先月 13 日の会見で、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の H3 責任者を務める有田誠プロジェクトマネージャは切々と語った。30 形態は H3 の最小の機体構成で、数字は主エンジンが 3 基、固体ロケットブースターが 0 本であることを意味する。国産大型ロケット史上初となるブースターなしの形態は、2023 年の H3 初号機打ち上げ前の時点では 2 号機でデビューする計画だったが、開発に時間がかかり、6 号機として予定した昨年度の打ち上げも断念。搭載する衛星などの事情も踏まえて打ち上げ順を変更し、7、8 号機を先に打ち上げた。ところが昨年 12 月、その 8 号機が失敗し、6 号機に再発防止策を施すことになった。4 日時点の計画では、6 号機は 10 日午前、鹿児島県南種子町の JAXA 種子島宇宙センターで打ち上げる。大型衛星を載せず試験機とし、代わりにダミーの金属の重り 1.6 トンを採用。ただし打ち上げ機会を生かすため、大学や国内外の企業の超小型衛星 6 基を搭載する。

危機打開の転換点となるか

H3 は 2 段式の液体燃料ロケットで、主エンジンは液体水素を燃料、液体酸素を酸化剤として燃焼する。昨年 6 月に運用を終了した先代の「H2A」と、2020 年に終了した強化型「H2B」の共通の後継機で、JAXA と三菱重工業が開発している。政府は固体燃料の小型機「イプシロン」と共に、わが国が他国に頼らず、自律して宇宙開発利用を進めるための「基幹ロケット」に位置づける。6 号機は全長 57 メートル、衛星を除く重さ 271 トン。



イプシロン S の 2 段燃焼試験中に起きた爆発＝2024 年 11 月、鹿児島県南種子町（JAXA 提供）

H3 初号機本体に取り付けられる固体ロケットブースター（中央）＝2021 年 2 月、鹿児島県南種子町（JAXA 提供）

初号機は 2023 年 3 月、電気系統の異常で 2 段エンジンに着火できず失敗し、地球観測衛星を喪失した。対策を講じ、その後は昨年 10 月の 7 号機まで 5 回連続で成功した。安定運用の道筋が見えた矢先の 8 号機失敗に、関係者のショックは大きかった。 JAXA はイプシロンの改良型「イプシロン S」も開発中だが、2023 年 7 月と 24 年 11 月に 2 段機体の燃焼試験で爆発を起こした。計画を見直し、2 段機体をいったん従来型とほぼ同じに戻し、今年度の打ち上げを目指す。つまりわが国は現時点で、安定運用中と言える基幹ロケットを持ち合わせていない。宇宙開発利用の危機を開く転換点となるか。H3 の 6 号機は重責を負っている。

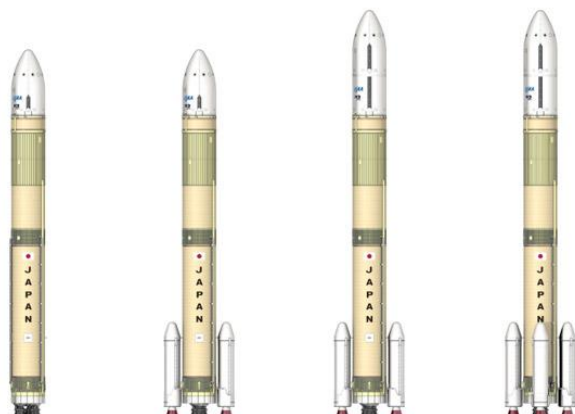
“苦しい時の助っ人” ブースター

大型ロケットの本体の両脇に、2 本や 4 本付いている小さなロケットが、固体ロケットブースターだ。打ち上げ直後に重力を振り切って上昇するための“苦しい時の助っ人”となる。本体の主エンジンは液体燃料を使い、燃費が良く燃焼の調整もできるが、仕組みが複雑で、打ち上げの瞬間から単独で十分な推力を出すのは大変だ。重力が大きく、機体が燃料を満載した地上付近では、能力が不足しがちになる。そこでブースターが打ち上げ後の数分にわたり、飛行を援助する。

ブースターは固体燃料を使い、打ち上げ花火と同じ原理で仕組みが簡単だ。一気に大きな推力を出し、いったん着火したら燃料が果てるまで止まらない。液体燃料とは違い、燃料の合成ゴムや酸化剤などを練り固めており、扱いやすい。衛星の重さや投入軌道などに応じてブースターの数を加減すれば、主エンジンを無駄に大型化しなくて済む。H2A や H3 だけでなく、米国の「アトラス 5」や「SLS」、かつてのスペースシャトル、欧州の「アリアン 6」など、世界の多くの大型機もブースターを採用している。 国産大型ロケットはこれまで、全てブースターを装備。H3 も打ち上げ済みの 7 機のうち 6 機が 2 本（22 形態）、国際宇宙ステーション（ISS）への物資補給機「HTV-X」を搭載した 1 機が 4 本を装備（24 形態）した。30 形態の登場により、H3 の基本ラインナップが出そうことになる。なお、H3 のブースターは相乗効果を狙い、開発中のイプシロン S の 1 段機体と同じ物だ。

基本型、低コスト化の切り札

一方、能力が小さくて済む打ち上げでは主エンジンを 1 基増やし、ブースターをなくしてコスト低減を図る。これが 30 形態だ。地球を南北に回る太陽同期軌道に 4 トンの打ち上げ能力を持ち、主に政府の地球観測などの衛星を搭載する。先代の H2A の基本型（ブースター 2 本）の半額を目指すとした H3 の基本型であり、低コスト化の切り札だ。なお、H3 の開発当初、30 形態の打ち上げ費用は 50 億円程度とされた。これはあくまで当時の物価や為替水準による価額だが、「H2A の半額」の目標は変えていないという。



H3 のさまざまな機体構成。左から 30S 形態、22S 形態、22L 形態、24L 形態。末尾のアルファベットはフェアリング（衛星カバー）の長短を示す（JAXA 提供）

6号機の昨年7月の地上燃焼試験では、燃料タンクの圧力が十分に上がらない問題が発生。原因は主エンジン3基のうち1基の系統で、コスト削減のため、タンクの加圧ガス弁を取り付けなかったことだった。ガスの流量を調整する対策を講じ、今年3月の再試験で対策の有効性を確認したという。こうして、いよいよ6号機の打ち上げに踏み切る。ブースターのない打ち上げについて、有田氏は「エンジン3基がきちんと働くことが大事。それができない場合に備え、（主エンジンが十分な推力を出すまで、機体を発射台に押えつける）ホールドダウンシステムもある。打ち上げ後は初速が小さいため、風の影響を受けやすい。より繊細な判断が必要になるので、頭を悩ませるだろう」と説明する。

失敗原因のアダプターに対策

H3 ロケット 8 号機は昨年 12 月 22 日、政府の準天頂衛星を載せて打ち上げられたが、失敗した。原因は、2 段機体に衛星を載せるアダプターの内部で製造時に生じた剥離が、飛行中の衝撃で広がったことだった。

検証の結果、次のような現象が起こったとみられると判明した。アダプターの製造時、部材を貼り合わせた部分の周辺で、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）製の表面と、アルミ製の内部との間が想定以上に剥離した。この剥離は、貼り合わせの工程で部分的に高温になって接着力が弱まり、かつアダプター内の空気が温まって膨張したことで発生した。打ち上げ時に機体が真空に近づき、圧力差などで剥離が拡大。フェアリング（衛星カバー）分離時の振動で破壊が広がった。それが2段燃料タンクの配管の損傷を引き起こしたようだ。



衛星搭載アダプター。H3 ロケットの2段機体の上部に取り付けられ、この上に衛星が載る。製造時に内部で生じた剥離が、8号機失敗を招いた（JAXAの報告資料から）

JAXA が制作した 6 号機打ち上げの予想動画から。機体は上空の左寄りに見られる。航跡となる噴煙が描かれていないが、実際にどんな光景となるか（JAXA 提供）

衛星搭載アダプターの組み立ては、H2A ではボルトで固定する方法を採用していた。H3 では軽量化や低コスト化のため、CFRP 製の部材で貼り合わせる方法に変更した。しかし製造時の高温や接着力低下、内部の空気の影響による剥離を、開発段階に想定できていなかったという。

再発防止のため、今後の打ち上げでは当面、H2A で採用していたボルト固定に補強策を加えることにした。ただし今回の 6 号機は試験機のため、製造済みのアダプターを補修して使用する。補修により強度が十分であることを確認済みといい、8 号機失敗の原因究明の正しさの検証やデータの取得に役立てる。

打ち上げはどんな姿に

さて、気になるのは 30 形態の打ち上げの光景だ。物事が当初から勢いよく進むことを意味する「ロケットスタート」という言葉とは裏腹に、実際に種子島でロケットの打ち上げを見ると、発射台からゆっくりと持ち上がる姿が印象的だ。ブースターがないと、体感的にさらに緩やかな上昇になるのだろうか。

JAXA は 30 形態の打ち上げシーンを予想した動画を制作し、公開している。有田氏に予想を求めると、この動画に触れつつ実に慎重に語った。「炎が透明になると思い、ロケットだけが浮くような CG にしてもらった。ただ実は、主エンジンの燃焼試験では意外に、メラメラとしたオレンジ色の炎が見えた。これは（燃料の水素のごく一部をノズルの冷却に使う）フィルム冷却の水素が見えたのだと思う。これが（実際の打ち上げで）大空を背

景にした時、全く見えないかもしれないし、ややオレンジがかって見えるかもしれない。(エンジンから排出される高温ガスの) プルーム噴流は水蒸気が主成分で、冷えると雲のようになるので、飛行機雲のような白い航跡が出る可能性はある」では、音は？「予想が非常に難しい。理論的には比推力が大きい(燃費が良い)エンジンの方がうるさいが、感覚的にはブースターの方が、激しく燃えるなどして音が大きい気がする。30 形態は今まで

のブースターを主とした音とは違い、スマートな音を立てて飛んでほしい。何らか、音色が違ってほしい」6 号機の 1 段機体が種子島に運ばれてから、実に 3 年 5 カ月が経とうとしている。ロケットの開発者はもちろん、宇宙開発利用の命運を懸けて祈る関係者、搭載する衛星 6 基の当事者、光景が気になるロケットファン…この日を待ち焦がれた多くの人が、さまざまな思いで見つめる打ち上げとなる。

- JAXA「[H3 ロケット 6 号機 \(30 形態試験機\) 特設サイト](#)」
- ユーチューブ JAXA チャンネル「[H3 ロケット 6 号機 \(30 形態試験機\) フライトシーケンス CG](#)」

<https://forbesjapan.com/articles/detail/97099>

2026.06.04 14:15

地球型惑星は発見さるも—「地球らしさ」の条件は超厳格、宇宙物理学者が解説

Forbes JAPAN 編集部



提供：ルナ天文台

SEE ALSO [サイエンス > 宇宙](#) [「光害」で天の川が見えなくな](#)
[る？ 宇宙物理学者が今『天文台浴』を勧める理由](#)

熊本県阿蘇くじゅう国立公園にある宿泊体験型の公開天文台「[南阿蘇ルナ天文台](#)」は、国際的に広まりつつある社会的処方観点から[天文体験が心身に与える影響を調査研究](#)し、ウェルビーイングに資する体験型プログラムの構築、専門人材の育成、オンラインにも拡張した次世代型公開天文台の開発に力を入れる。

同天文台の次世代型天文台開発ディレクターである宇宙物理学者の長井知幸博士に、以下、地球という惑星の、生命体にとっての、絶妙かつ奇跡的な「らしさ」についてご寄稿いただいた。地球はいかにわれわれにとって「ちょうどよすぎる」惑星なのか。そのあらましをご堪能いただきたい。

地球型惑星は見つかり始めたけれど 地球は「ちょうどよすぎる」

私たちが立っているこの地球は、あまりにも「ちょうどよすぎる」場所です。

水が存在できる距離、生命を支える元素、そしてそれらが整った時間—

そのすべてが、わずかにずれていれば、今の地球は存在しなかったかもしれません。

前回の記事([人は星のかけらでできている。しかし「生命の材料」は宇宙でどう誕生したか？](#))で述べたように、私たちの身体や地球を構成する元素は、恒星の誕生と死を繰り返す宇宙の進化の中で生み出されてきました。その長い歴史の果てに、いま私たちはここに存在しています。本稿では、**その生命の舞台となる「惑星」に視点を移し、この「ちょうどよさ」の正体を探っていきます。**ここで一つ、重要な前提を確認しておく必要があります。私たちは現時点では、さまざまな生命の可能性を想像することはできますが、それを具体的に検証する手段としては、「地球型」の生命を基準にせざるを得ません。液体の水、炭素を基盤とした化学的環境、適度な温度環境—これらはすべて地球における生命から導かれた条件です。したがって本稿で語る「生命の可能性」とは、あくま

で地球型生命に基づいた議論であることを、まず明確にしておきます。

[次ページ > 惑星はどうやって見つかったか](#) **惑星はどうやって見つかったか**

系外惑星の発見は、1992 年、パルサー（強い磁場を持ち高速で自転する「中性子星」、自転に同期して電波や X 線などを周期的に放射する天体のこと。大質量星の超新星爆発後に残る高密度の天体で、その規則的な信号から「宇宙の灯台」や「宇宙の精密時計」とも呼ばれる）の周囲に惑星が見つかったことに始まります。

その後、1995 年には太陽のような恒星の周囲でも惑星が確認され、惑星は宇宙において特殊な存在ではないことが明らかになりました。そして 2009 年に打ち上げられたケプラー宇宙望遠鏡は、この分野に決定的な転換をもたらします。トランジット法によって恒星のわずかな減光を捉え、**数千個規模の惑星を一挙に発見**しました。その後継として登場した TESS 望遠鏡は、全天を対象としたサーベイ観測を行い、特に地球近傍の明るい恒星周りの惑星を次々と発見しています。これにより、将来的に大気の詳細観測が可能なターゲットが急速に増えつつあります。近年では、TOI-715 b や TOI-700 e、TRAPPIST-1 e といった、ハビタブルゾーンに位置する地球型惑星の候補も報告され、「地球に似た条件」は確かに宇宙に存在することが見え始めています。

しかし、宇宙、とりわけ系外惑星の話題で度々目にする言葉「ハビタブルゾーン」とは直訳すると「生命居住可能領域」といったような意味合いになるでしょうが、宇宙科学の世界ではあくまで液体の水が存在しうる距離といった意味合いにすぎません。そこに岩石惑星があったとしても、大気の有無や組成、磁場、地質活動といった条件が整っているかは、2026 年の現時点ではほとんど分かっていません。実際、ハビタブルゾーンに位置するとされる地球サイズの惑星は増えつつあるものの、その多くは生命が生まれる「条件の一部」を満たしているにすぎません。私たちは、宇宙に無数の惑星が存在するのを知りました。しかしその中で、「地球」という存在がどれほど特異なのかについては、むしろ問いが深まっています。似た惑星が見つかり始めています。しかし同じ惑星は、まだ見つかっていません。

[次ページ > ハビタブルゾーンの誤解と「地球らしさ」の条件](#)

ハビタブルゾーンの誤解と「地球らしさ」の条件 「液体の水が存在しうる温度条件を満たす」だけでは…

記述の通りハビタブルゾーンという概念は、しばしば「そこにあれば生命が存在できる領域」として理解されがちです。しかし実際には、それはあくまで出発点にすぎません。液体の水が存在しうる温度条件を満たすというだけであり、生命の成立にはさらに多くの要素が必要です。

この誤解を考えるうえで重要なのが、赤色矮星まわりの惑星系です。宇宙で最も数が多い恒星である赤色矮星では、ハビタブルゾーンは恒星のごく近くに形成されます。その結果、惑星は「潮汐ロック（重力の影響で天体の自転周期と公転周期が一致し、常に同じ面を相手（主星）に向け続ける現象）」状態になりやすく、昼側と夜側で極端な温度差が生じます。さらに若い赤色矮星は激しいフレア活動を示し、高エネルギー放射によって惑星の大気を剥ぎ取る可能性があります。たとえハビタブルゾーン内にあっても、大気が維持されなければ水は長期的に存在できません。この問題を象徴するのが、TRAPPIST-1 system です。TRAPPIST-1 という小さな恒星の周りに複数の地球サイズ惑星がハビタブルゾーン内に存在するとされますが、その大気や環境の詳細はいまだ不確定であり、地球のような条件が整っているかは分かっていません。

何が「地球らしさ」を決めるのか？

では、何が「地球らしさ」を決めるのでしょうか。まず**重要なのは惑星の質量**です。小さすぎれば大気を保持できず、大きすぎれば過剰な大気圧となります。次に、**地質活動**、とりわけプレートテクトニクスのような内部プロセスが、炭素循環を通じて気候の安定化に寄与している可能性があります。さらに**磁場**は太陽風から大気を守る役割を果たします。恒星の活動の度合いも惑星環境に大きく影響します。

そして見落とされがちなのが、**長期的な安定性**です。生命の進化には数億年から数十億年という時間が必要であり、その間に環境が大きく変動しないことが前提となります。これらの条件が同時に満たされて初めて、地球のような環境が成立すると考えられます。つまり、ハビタブルゾーンの中にも、さらに厳しい選別が存在している

のです。私たちは今、条件を満たしそうな惑星を見つけ始めていますが、それが生命の存在を意味するわけではありません。「そこに水があるか」ではなく、「そこに世界が成立するか」という問いこそが重要になってきます。では、そのような環境を可能にする「材料」は、どのようにして地球に用意されたのでしょうか。次項では、地球の元素的豊かさと、その起源に迫ります。

[次ページ >なぜ地球は「元素的に豊か」なのか](#)

なぜ地球は「元素的に豊か」なのか 「地球型」生命の条件の一つは「元素的な豊かさ」

地球が生命を育む惑星となりえた背景には、元素的な豊かさがありません。炭素（C）、窒素（N）、酸素（O）といった生命の骨格をなす元素に加え、鉄（Fe）やケイ素（Si）といった惑星内部を構成する元素が、適切なバランスで存在しています。本稿では、あくまで「地球型」生命を前提として議論していますが、これらの元素はその成立に不可欠な材料です。前回の記事でも触れたように、これらの元素は、宇宙の進化の中で段階的に生み出されてきました。炭素や窒素は恒星内部で合成され、鉄は大質量星の最期である超新星爆発によって生成されます。さらに重い元素は、中性子星合体のような極限現象によって形成され则认为られています。つまり私たち生命体を含め地球は、複数の天体現象の歴史を受け継いだ物質からできているのです。太陽が誕生した時代も重要です。宇宙初期には重元素はほとんど存在せず、世代を重ねるごとに蓄積されてきました。太陽は、重元素が十分に行き渡った後の世代に属しており、その比較的高い金属量が岩石惑星の形成を可能にしました。さらに決定的なのが、太陽系内における地球の位置です。原始太陽系円盤では、温度に応じて物質の分布が分かれ、内側では岩石成分、外側では氷やガスが優勢になります。地球はその境界に近い領域に形成され、固体物質を主体としながらも、水や揮発性物質を取り込むことができました。遠すぎればガス惑星に、近すぎれば乾燥した岩石惑星になっていた可能性があります。加えて、巨大惑星、とりわけ木星の存在も重要です。その重力は小天体の軌道を変え、外側領域に存在していた水や揮発性物質を内側へと運ぶ役割を果たしたと认为られています。地球の物質的な多様性は、こうしたダイナミックな輸送過程の影響を強く受けています。このように、地球の元素的豊かさは、恒星進化、銀河化学進化、そして惑星形成の物理過程が重なり合った結果です。生命の前提条件は、単なる距離ではなく、材料そのものに依存しています。では、その材料が整った上で、なぜ地球のような環境が成立するタイミングが重要だったのでしょうか。次記事では、太陽系形成の時代という視点から、この問題を見ていきます。



南阿蘇ルナ天文台に併設されるホテルのレストランで 南阿蘇ルナ天文台に併設されるホテルのレストランで
長井知幸（ながい・ともゆき） ©宇宙物理学者。大学、大学院とアメリカで高エネルギー宇宙物理関連の教育を受け、物理学 Ph.D. を取得。ハーバード・スミソニアン天体物理学センターが主導する国際的コラボレーション、ガンマ線望遠鏡の天文台建設と運用に参加する。完成後はアリゾナ州の荒野で巨大な望遠鏡群を操作し、ブラックホール、活動銀河中心、スターバースト銀河などを観測、宇宙における高エネルギー現象を研究。20 年間のアメリカ生活後は九州大学で再生可能エネルギーなどの研究に参加。現在は熊本県阿蘇郡にある公開天文台「南阿蘇ルナ天文台」次世代型天文台開発ディレクター（写真は南阿蘇ルナ天文台に併設されるホテルのレストランで）。

南阿蘇ルナ天文台：熊本県阿蘇くじゅう国立公園にある宿泊体験型の公開天文台。国際的に広まりつつある社会的処方箋の観点から天文体験が心身に与える影響を調査研究し、ウェルビーイングに資する体験型プログラムの構築、専門人材の育成、オンラインにも拡張した次世代型公開天文台の開発に力を入れる。

文＝長井知幸 編集＝石井節子

人は星のかけらでできている。しかし「生命の材料」は宇宙でどう誕生したか？



Forbes JAPAN 編集部



提供：南阿蘇ルナ天文台 [全ての画像を見る](#)

熊本県阿蘇くじゅう国立公園にある宿泊体験型の公開天文台「[南阿蘇ルナ天文台](#)」は、国際的に広まりつつある社会的処方観点から[天文体験が心身に与える影響を調査研究](#)し、ウェルビーイングに資する体験型プログラムの構築、専門人材の育成、オンラインにも拡張した次世代型公開天文台の開発に力を入れる。

同天文台の次世代型天文台開発ディレクターである宇宙物理学者の長井知幸博士に、以下、ご寄稿いただいた。

はじめに：私たちの体の材料はどこから来たのか

「私たちは皆、星のかけらでできている」……の言葉は、ロマンチックな詩ではなく、れっきとした科学的事実です。私たちの体を構成する主な元素、たとえば酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リンなどはすべて宇宙の中で生まれたものです。でも、それらの元素は、いつ、どこで、どのようにして作られたのでしょうか？ ここでは未知の物質ダークマターなどは議論せず「通常物質（バリオン系と呼ばれたりします）」に注目してお話を進めてみます。

宇宙のはじまりと最初材料

私達の住むこの宇宙は、約 138 億年前にビッグバンによって始まりました、というのが 2025 年現在でも有力な説とされています。ご存知かもしれませんが、科学的な理論上の話というだけではなく、様々な観測結果がこの説を裏付けています。その一つの例に「ビッグバン元素合成」という現象があります。これは、ビッグバンが実際に起こった場合、その最初の数分間の間に生み出された元素の比率が理論的に予測されているのですが、その予想値と実際の観測が高い精度で合っていることが分かっています。この時にできたのは、主に水素（約 75%）とヘリウム（約 25%）、そしてごくわずかなりチウムや重水素といった軽い元素たちです。中学や高校で習う元素の周期表の最初の 2 つ及び 3 つ目ですね、というとなんとなく思い出す方も多いのではないのでしょうか。

この宇宙の最初の段階では、酸素も炭素も鉄も存在していませんでした。原始宇宙は、非常にシンプルな軽い元素だけで構成されていたのです。そしてこのような宇宙では生物はおろか、地球のような惑星も存在することができません。では現在の宇宙ではどのような元素の構成になっているのでしょうか？

現在の宇宙に存在している物質の内訳（バリオン系に限る）

宇宙に存在する通常物質のほとんどは、依然として水素とヘリウムです。元素の質量割合で見ると、現在でも

- ・ 水素：約 74%
- ・ ヘリウム：約 24%
- ・ 酸素、炭素、鉄などの重元素：合わせて約 2%

となっています。この「たった 2%」の重元素が、私たちの体や惑星、大気、生命活動すべてを主役として形づくっています。つまり、私たちは宇宙の中でも非常に特殊な存在だと言えます。では、ビッグバンの時にはほぼ存在しなかったこれらの重たい元素はどこからやってきたのでしょうか？ その 2%はどこから来たのか？

(1) 恒星内部の「元素の工場」

星（ここでは厳密に恒星のことですが）の内部では、数千万～数億度という高温高圧の環境で、核融合反応が起きている。これがまさに星がまばゆく輝いている理由でもあります。よく「太陽のような恒星は自分で燃えて光っている」といったような表現を聞きますが「燃えている」と言っても焚き火のような「燃焼」ではなくて「核融合」の反応によって熱と光が作り出されているのです。たとえば、太陽のような恒星は最初、ほとんどが水素でできています。その水素から核融合反応を通してヘリウムが作られ、さらに進化した恒星ではヘリウムから炭素や酸素、ネオンといった元素が合成されます。太陽よりももっと重たい星の内部では、マグネシウムやケイ素、そして鉄も合成されます。星が一生を終えるとき、その内部で作られた元素が宇宙空間にまき散らされます。これが様々な重たい元素の供給源なのですね。

(2) 超新星爆発という「宇宙の大釜」

鉄より重い元素、たとえば金、ウランといった元素は、恒星の内部では作られません。これらは、大質量を持った星が一生を終えるときに起こす「超新星爆発」のような極端な環境のなかで初めて生成されます。

また、さらに重い元素は、中性子星同士の合体（キロノヴァ）など、宇宙で最も激しい部類の現象の中で誕生したと考えられています。キロノヴァによって大量の金や白金など特に重たい元素たちが生成されると考えられています。ちなみにキロノヴァの人類初の観測例は 2013 年のことで、比較的最近のことなんですね。これはガンマ線バーストの観測によって見つかりました。その後もガンマ線バーストを通していくつか観測されています。また重力波の観測を通してキロノヴァが観測されています。このあたりのお話はまた別の機会に触れたいと思います。このように私達の体や地球、ひいては太陽系を支えている元素たちは長い宇宙の進化の中で生成されてきたのですね。

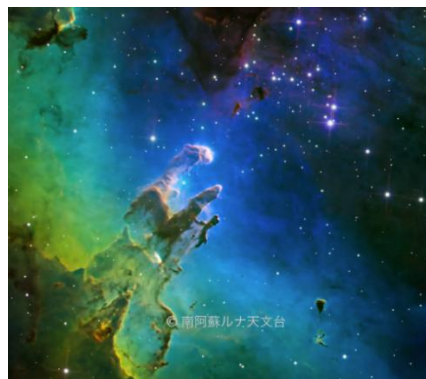
[次ページ > 「私たちは星の子ども」の意味とは――](#)

5. あなたの中には星のかけらがある

酸素も、カルシウムも、鉄も、すべてはかつて星の中で作られ、宇宙空間に放出され、偶然にも地球という星に集まり、そして生命をつくりました。私たちが深呼吸するたび、心臓が鼓動するたび、それはかつて宇宙で輝いていた星の遺産が働いているといえます。だからこそ――

「私たちは皆、星の子どもたち」。

私達は宇宙の中で作られ、生かされているんですね。この事実を知ることは、自分や地球の存在を考える意外な第一歩であり、科学に興味を抱く素晴らしいきっかけであり、そして同時に宇宙とのつながりを感じる感動の入り口でもあるのではないのでしょうか。さて、今回は私達や地球などを形作る「材料」のお話でした。次は私達が生活できている「環境」についてお話したいと思います。



おうし座の M1、通称「かに星雲」は、おうし座にある超新星残骸。西暦 1054 年に地球から観測された超新星爆発（SN 1054）の名残です。距離は約 6500 光年。爆発時は昼間でも明るく見えていたそうです。これは複数の文化圏で記録されていて人類史に記録された数少ない超新星のひとつであり、観測日を日単位で特定できる非常に稀な天体です。この爆発の残骸である M1 は、現在も拡大中で、中心には高速回転する中性子星「かにパルサ

ー」が存在しています（画像は南阿蘇ルナ天文台で撮影されたもの）。

「創造の柱（Pillars of Creation）」は、おうし座の M1（かに星雲）とは対照的に、“これから星が生まれる場所”として知られています。場所はへび座にある M16 わし星雲の中、地球から約 5700 光年の距離にあります。この柱のような構造は、冷たい水素ガスと塵でできた巨大な分子雲の一部で、宇宙空間にそびえ立つ 3 本の“柱”として、ハッブル宇宙望遠鏡の写真で一躍有名になりました。柱の内部には、高密度の領域があり、そこでは重力の作用でガスが集まり、原始星へと進化しています。これらの原始星は、やがて核融合を始め、自ら光り始めることで、新たな恒星となります（画像は南阿蘇ルナ天文台で撮影されたもの）。



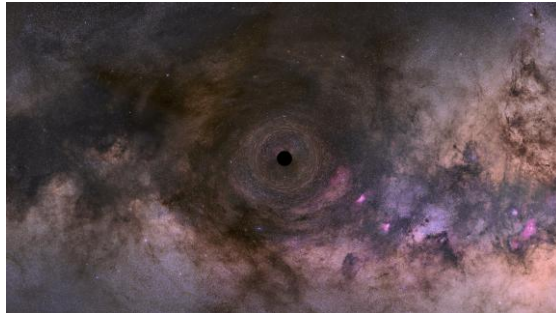
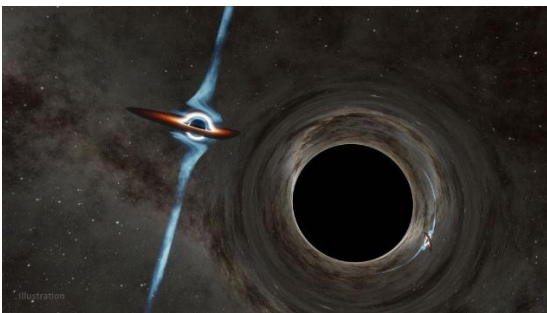
長井知幸（ながい・ともゆき）◎宇宙物理学者。大学、大学院とアメリカで高エネルギー宇宙物理関連の教育を受け、物理学 Ph.D. を取得。ハーバード・スミソニアン天体物理学センターが主導する国際的コラボレーション、ガンマ線望遠鏡の天文台建設と運用に参加する。完成後はアリゾナ州の荒野で巨大な望遠鏡郡を操作し、ブラックホール、活動銀河中心、スターバースト銀河などを観測、宇宙における高エネルギー現象を研究。20 年間のアメリカ生活後は九州大学で再生可能エネルギーなどの研究に参加。現在は熊本県阿蘇郡にある公開天文台「南阿蘇ルナ天文台」次世代型天文台開発ディレクター（写真は南阿蘇ルナ天文台に併設されるホテルのレストランで）。南阿蘇ルナ天文台から見た田んぼと天の川

南阿蘇ルナ天文台：熊本県阿蘇くじゅう国立公園にある宿泊体験型の公開天文台。国際的に広まりつつある社会的処方観の観点から天文体験が心身に与える影響を調査研究し、ウェルビーイングに資する体験型プログラムの構築、専門人材の育成、オンラインにも拡張した次世代型公開天文台の開発に力を入れる。 文＝長井知幸

<https://wired.jp/article/the-universe-is-full-of-impossible-black-holes-now-scientists-know-why/> 2026.06.04

「存在しないはず」のブラックホールはなぜ存在するのか——その起源に新証拠

恒星の死では説明できず、超大質量ブラックホールほど巨大でもない「存在しないはず」のブラックホール。重力波データの分析から、その一部が過去の合体で生まれた「第二世代のブラックホール」である可能性が示された。



Concepto de una fusión de agujeros negros. NASA

宇宙空間に孤立して存在する、いわば“通常サイズ”のブラックホール。 Space Telescope Science Institute Office of Public Outreach

宇宙がブラックホールを“再利用”しながら、より巨大なブラックホールを生み出していることを示す証拠を、国際的な研究チームが発見した。近年観測された重力波信号を分析したところ、星団内に存在する一部の大質量ブラックホールは重力崩壊によって生まれたのではなく、明確に「第二世代のブラックホール」の特徴を示してい

たという。

「不可能」なブラックホール

恒星進化の理論によると、重い恒星は寿命の終わりに核が圧縮され、極めて高密度な状態となってブラックホールを形成する。これが太陽質量の 10~40 倍程度の“典型的な”恒星質量ブラックホールだ。一方、銀河の中心には太陽の数百万から数十億倍の質量をもつ超大質量ブラックホールも存在し、それらの起源は宇宙初期の過程にも関連していると考えられている。このふたつの間には、太陽質量の 40~100 倍程度のブラックホールからなる、いまだ議論の続くカテゴリーが存在する。これらは恒星の死によって形成されるには重すぎる一方、巨大な物質雲の重力崩壊によって生まれるほどの質量にも達していないため、従来の理論では形成が難しいと考えられてきた。しかし、それにもかかわらず、観測ではこうしたブラックホールが繰り返し検出されている。

研究者たちは、これらの重いブラックホールは複数のブラックホールが合体することで形成される可能性を提案してきた。この仮説は理にかなっているが証拠が必要であり、つい最近までそれを得る方法はなかった。

そこで、重力波検出器が登場した。これらの装置はレーザーを用いて、極めて高密度な天体同士の衝突によって生じる時空の微小な歪みを測定することができる。2015 年の初検出でブラックホール同士の合体が確認された。以降、検出されてきた重力波信号は、ブラックホールの理解をさらに深め、こうした衝突が予想よりはるかに頻繁に起きていることを明らかにした。

「第二世代」の痕跡

『Nature Astronomy』に掲載されたこの研究では、世界 3 大重力波観測所が作成した重力波トランジェント・カタログのデータが分析された。データベースには、ブラックホール合体の信頼性の高い検出例が 153 件含まれており、そのうち 34 件は特に重い天体に対応していた。研究チームは検出されたすべての重力波信号を比較することで、ふたつの異なる集団を特定した。約 40 太陽質量までの軽いブラックホールは、スピンの小さく、方向も揃っており、恒星の崩壊によって誕生した天体として予想される特徴を示していた。しかし、約 45 太陽質量を超えたあたりから、まったく異なる集団が現れた。より重いブラックホールは高速で自転し、その向きも乱雑だったのである。これは統計的に見て、その天体が過去にすでに別の合体を経験していた場合にのみ現れる特徴である。「このような特徴は、ブラックホールが高密度の星団内で繰り返し合体している場合に、まさに現れると予想されるものです」と、この研究の共著者であるイソベル・M・ロメロ＝ショーは、英国のカーディフ大学の声明で説明した。これまで研究者たちは、こうした「理論上存在しないはず」のブラックホールを、X 線や可視光によって直接観測したことはない。しかし、それらが衝突すると時空に波紋が生じる。そして、その重力波が恒星物理学では説明できない質量の存在を明らかにする。

この研究は、このような最も重いブラックホールが「生まれる」のではなく、「つくられている」可能性を示している。つまり、それらは宇宙でもっとも高密度な環境の中で、何世代にもわたる衝突と合体を繰り返すことで形成されていくのだ。

(Originally published on [wired.com](https://www.wired.com), translated by Miranda Remington, edited by Mamiko Nakano)

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35248544.html>

国際宇宙ステーションで空気漏れ、NASA が飛行士に退避指示 ロシア側の対応受け

2026.06.06 Sat posted at 12:43 JST



ロシアの多目的実験モジュール「ナウカ」がISSの「ズベズダ」モジュールにドッキングした直後の様子/NASA（CNN）国際宇宙ステーション（ISS）のロシア側区画で空気漏れが発生し、宇宙飛行士5人は5日、ロシア側が対応に当たる間、ISSにドッキングしている宇宙船に退避することを余儀なくされた。

米航空宇宙局（NASA）の5日夜の声明によると、ロシアの宇宙機関「ロスコスモス」は「漏洩（ろうえい）の可能性が指摘される箇所へのアクセスを改善し、さらなる点検を行う」ため、ブラケット（固定具）を切断する計画だった。この方法は「当該エリアの構造物に対するリスクを高める可能性」があったことから、NASAは宇宙飛行士たちに対し、退避して緊急脱出に備えるよう指示したという。

ドラゴン宇宙船でISSへ飛んだ米スペースXの「クルー12」ミッションの飛行士4人は全員、避難した。ロシアのソユーズ宇宙船でISSに到着したNASAの飛行士も、クルー12の飛行士と共に避難した。

ただ最終的には、漏洩対策としてブラケットを切断するロスコスモスの計画は実行されなかった。

ロスコスモスが「さらなる測定とデータ評価の間、5日の修理作業をいったん中断した」ことから、NASAは退避指示を実施後すぐに解除した。

NASAは5日の声明で、ロスコスモスの方針変更を「強く支持する」と付け加えた。

亀裂や漏洩はロシアが運用する宇宙ステーションの一部、具体的には「ズベズダ」モジュールとドッキングハッチを結ぶ移送区画で見つかり、2019年から懸念視されてきた。NASAによると、今回の問題の発端は4月に貨物宇宙船が到着した際、ロスコスモスがモジュールの気圧を再測定したことだという。

修理作業が再開される時期は今のところ不明。

5日のこれより早い時間のロシア国営メディアの発表によると、ロシアの宇宙飛行士は点検の際、空気漏れの可能性がある箇所を2カ所発見。ロスコスモスは乗組員の安全を脅かす状況ではないと強調した。

ロシアメディア「ズベズダ」の報道によると、一つ目の漏洩は速やかに塞がれたが、もう一つの箇所では作業が続けられた。退避した5人の宇宙飛行士は全員、2月にクルー12のメンバーをISSへ運んだスペースXの宇宙船「クルードラゴン」に身を潜めた。ISSで問題のある漏洩が初めて確認されたのは19年。ズベズダモジュールとドッキングポートを結ぶ移送区画「PrK」内で見つかった。ズベズダモジュールからの空気漏れの量が増減を繰り返す中、長年にわたり深刻な問題となってきた。問題を食い止めるため、ズベズダモジュールはISSの他区画からおおむね隔離された状態が続いている。24年には漏洩率が悪化し、この問題は重大な局面を迎えたが、NASAとロスコスモスの間では事態の深刻さを巡って意見対立が見られた。