

特集 2024 年の宇宙活動を振り返る【世界編】-スペース X とボーイングで明暗、中国はさらなる躍進（秋山文野） 2024.12.30 10:43 [秋山文野](#)

2024 年の最後に、宇宙活動の分野ではどのような出来事があったのか振り返ってみよう。世界では毎年衛星打ち上げが前年を上回る勢いで増加している。巨大通信衛星網の衛星コンステレーションを各国が構築する計画を持っていることがその背景にある。

[世界の宇宙輸送概況](#)

[【米国】](#) [SpaceX の躍進](#) [Boeing の苦境](#) [民間月探査](#) [【中国】](#) [中国の宇宙探査の進展](#) [中国の宇宙輸送](#)
[【欧州】](#)
[【ロシア・インド】](#) [打ち上げスケジュールに不安の残るインド](#) [独自宇宙ステーションを計画するロシア](#)
[【衛星メガコンステレーションの覇権争い】](#) [【軌道上の安全と持続的な宇宙利用】](#)

世界の宇宙輸送概況

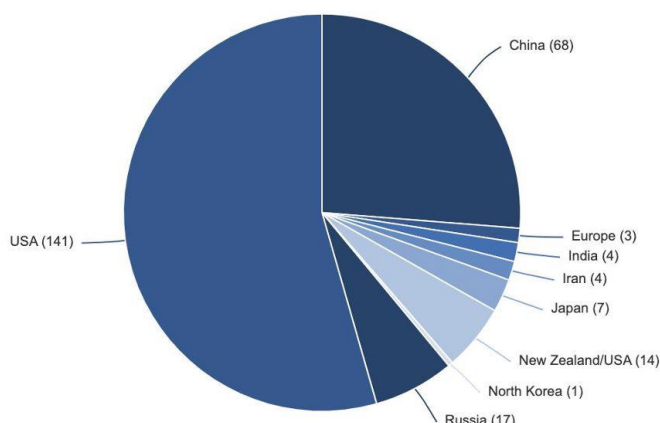
民間の宇宙活動記録サイト [Gunter's Space Page](#) の記録によれば、2024 年末で世界の軌道上へのロケット打ち上げ総数は 259 回となっている。1 位は米国、2 位は中国、3 位はロシアだ。米国は 141 回中の 131 回が Falcon 9、4 回が Starship となり、SpaceX がトップを独走している。2 位の中国も旺盛な打ち上げを実現しているが、2024 年開始時点での目標である年間 100 回には届いておらず、[2023 年を 1 回更新](#)する実績となった。ロシアはウクライナへの侵攻によって欧米の衛星の打ち上げとは関係を絶っているものの、自国衛星と国際宇宙ステーションへの輸送ミッションで第 3 位を維持している。

小型ロケットのロケット・ラボ 1 社で 1 カ月に 1 回以上の打ち上げを実現しているニュージーランドが 4 位、基幹ロケット「H3」の運用を開始した日本は、民間のカイロスロケットも加えて 5 位となる 7 回の打ち上げを実現した。なお、年末にも Falcon 9（米 SpaceX）や PSLV（インド）、New Glenn（米 Blue Origin）などの打ち上げが予定されているため、総数は更新される可能性がある。その中でも 1 号機打ち上げを準備中であるメタン燃料大型ロケットの New Glenn は、日本時間の 12 月 28 日に射点で機体を結合した状態で 24 秒間のエンジン燃焼試験を行った。打ち上げ前の主要な試験を終え、2024 年内デビューを果たせるか注目される。

世界の軌道上へのロケット打ち上げ（日本時間 12 月 28 日時点）

updated: 28.12.2024

Orbital launches by country:



米国 : 141 中国 : 68 ロシア : 17 ニュージーランド : 14（打ち上げ主体は米国）



日本：7 インド：4 イラン：4 欧州：3 北朝鮮：1 ※Gunter's Space Page より筆者まとめ
2024 年 12 月 28 日時点の各国のロケット打ち上げ回数（出典：Gunter's Space Page）

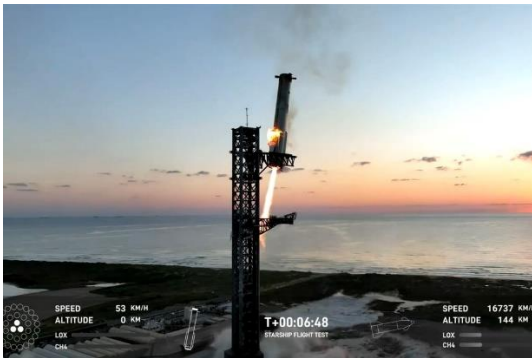
【米国】

SpaceX の躍進

毎週 2 回以上のペースでロケットを打ち上げ続ける SpaceX は、多目的宇宙輸送システム「Starship/ Super Heavy（スターシップ／スーパーヘビー）」の飛行試験を加速している。

テキサス州の自社の射場「Starbase（スターベース）」で 2023 年から始まった Starship/ Super Heavy の飛行試験は、2024 年 3 月に 3 回目を実施。2 段 Starship は軌道に到達し、再突入と地上への帰還開始までを実現したものの、エンジンの不具合のために帰還に失敗した。6 月に実施された 4 回目の飛行試験では、Super Heavy はメキシコ湾へ着水して地上への帰還に成功、Starship もインド洋上の目標地点から 6km の範囲に着水した。

10 月 13 日に行われた 5 回目の試験飛行では、1 段 Super Heavy は Starbase の発射塔、通称「Mechazilla（メカジラ）」という発射塔で一對のアームに挟まれるように空中でキャッチされて帰還を達成した。Falcon 9 のように着陸脚で洋上の回収船に着地するのではなく、射点設備を使ってブースターを射点で回収する方式で、高頻度再使用に向けたターンアラウンド（次の打ち上げまでの整備）向上に挑む。



空中キャッチに成功する 1 段 Super Heavy（出典：SpaceX）

6 月の Falcon Heavy による気象衛星「GOES-U」の打ち上げ（出典：SpaceX）

11 月の 6 回目の試験では 2 段 Starship の飛行能力を増強し、軌道上でのラプターエンジンへの再着火、新型タイルの試験や Starship を Mechazilla で回収するための技術実証を行った。2025 年早々に 7 回目の Starship 飛行試験を予定している。2020 年から運用を開始した有人宇宙船「Crew Dragon（クルードラゴン）」は運用 10 号機を 9 月に打ち上げ、ISS への米国唯一の宇宙飛行士輸送手段となっている。同じ Crew Dragon を利用した民間による宇宙飛行ミッションを実施、実業家のジャレッド・アイザックマン氏が民間人として史上初めて船外活動に成功した。アイザックマン氏はドナルド・トランプ氏から次期 NASA 長官に指名され、2025 年に NASA を率いる立場となる予定だ。

Boeing の苦境

SpaceX と共に NASA から国際宇宙ステーションへの民間宇宙船開発を委託された Boeing（ボーイング）は、「Starliner（CST-100）」の実証で苦境が続いている。2019 年末の無人飛行試験ではミッションを完了できず、追加の無人試験飛行を行ったことから構想よりも遅れて 2024 年春に Starliner の有人試験飛行（CFT）を計画した。宇宙船を搭載する Atlas V ロケットの問題や地上系のトラブルから打ち上げは 6 月まで遅れ、またエンジンを取り付けるサービスモジュール部分でヘリウム漏れが発見された。ISS 到着後もさらにヘリウム漏れが見つかり、姿勢制御装置の不具合などもあってテストパイロットのサニータ・ウィリアムズ宇宙飛行士、ブッチ・ウィルモア宇宙飛行士は Starliner での地上帰還を断念。長期滞在クルーのミッションに合流し、2025 年 2 月ごろに予定されている Crew Dragon での帰還へと計画を変更することになった。



Boeing の宇宙船「Starliner」（出典：NASA）

中国の「嫦娥 6 号」の小型探査車が着陸機の写真を撮影し地球に送信した（出典：CNSA）

打ち上げに成功した「Ariane 6」（出典：ESA）

こうした開発トラブルで Starliner の運用 1 号機である「Starliner-1」ミッションは現在のところ 2025 年中という以外是不透明な状況だ。JAXA の油井亀美也宇宙飛行士も搭乗する計画だったものの、日本人宇宙飛行士の ISS 滞在機会にも影響している。 Boeing は国際宇宙探査計画「アルテミス計画」で宇宙船を搭載する SLS ロケットの開発でも NASA から立て続けに開発遅延とコスト超過を指摘される異例の事態となっている。アルテミス計画の月周回飛行「Artemis II」ミッションは 2025 年から 2026 年へ、有人月面着陸の再開である「Artemis III」ミッションは 2026 年から 2027 年へ延期となった。トランプ新政権での NASA の運営は、SLS の課題にどう対応していくかが焦点となった。一方で SpaceX は Starliner に替わって宇宙飛行士を Crew Dragon で地球に帰還させる役割を担うだけでなく、SLS から Falcon Heavy に載せ替えとなった木星の衛星エウロパ探査機、Europa Clipper を打ち上げるなど NASA との関係を深めている。

民間月探査

2024 年 1 月には JAXA の月探査機「SLIM」と相前後して民間企業が NASA の商業月面輸送サービス「CLPS」計画下での初の月面着陸ミッション「IM-1」を実施した。着陸機の姿勢異常はあったものの、民間初の月面への軟着陸成功となった。夏には NASA が計画していた無人ローバーによる月南極域の探査ミッション「VIPER」の中止を発表。CLPS への支援へ注力する姿勢を見せた。

【中国】

中国の宇宙探査の進展

5 月には中国が 2013 年から続けてきた 4 回目の月着陸探査ミッションとなる「嫦娥 6 号（Chang'e-6）」が打ち上げられた。月南極のエイトケン盆地において、史上初めての月の裏側から表面の物質を採取するサンプルリターンミッションだ。 エイトケン盆地は月が形成された当時「マグマオーシャン」と呼ばれるマグマの海だった状態を反映している物質が存在していると期待され、6 月にサンプルの入ったカプセルを内モンゴルに届けた。カプセルには 1935.3g のサンプルが入っており、約 28 億年前の月の火山活動を反映する玄武岩が含まれていることがわかったという。

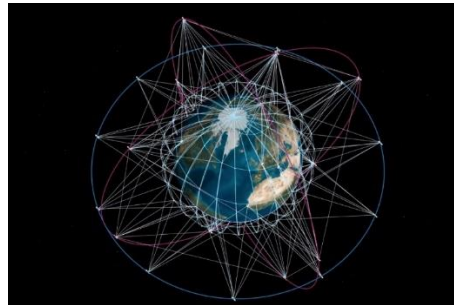
中国の宇宙輸送

中国は商業衛星やインターネット衛星コンステレーションの実現を目指し、打ち上げを加速している。この受け皿となったのが海南省文昌市に新設された中国初の商用ロケット発射場「海南商業宇宙発射場」だ。既存の発射場である内モンゴル自治区の酒泉衛星発射センター、山西省の太原衛星発射センター、四川省の西昌衛星発射センター、海南島の中国文昌航天発射場に続く打ち上げ射場で、2022 年の着工から約 2 年で初打ち上げを実現した。

【欧州】

7 月には、欧州の大型基幹ロケット「Ariane 6」がついに初飛行を達成した。高度 300×600km の楕円軌道で上段エンジンの再着火に成功、8 機の超小型衛星を軌道投入した。上段の軌道離脱に向けた補助推進装置の着火で不具合を残したものの、2023 年の Ariane 5 の退役以来、空白となっていた大型基幹ロケットの運用を再開できたことになる。Ariane 6 は 2025 年 2 月から欧州の地球観測衛星や測位衛星の打ち上げを実施する予定だ。

一方で、Ariane 6 を運用する欧州の打ち上げサービス企業 Arianespace から、固体ロケット「Vega」シリーズを運用してきたイタリアの Avio が分離する交渉を進めている。Avio が製造する Vega-C は 2022 年の打ち上げ失敗で打ち上げを休止していたが、12 月に欧州コペルニクス計画の地球観測衛星「Sentinel-1C」を搭載して打ち上げ、飛行を再開した。この打ち上げはまだ Arianespace が実施しているが、2025 年末までには Avio に運用を移管する計画となっている。Arianespace は小型ロケット開発のスタートアップ企業 Maiaspace に出資しており、Maiaspace はロシアのソユーズが利用しなくなったギアナ宇宙センターの射点から 2026 年以降に打ち上げを開始する計画だ。



来日した Arianespace のステファン・イズラエル CEO（中央）<撮影：小林伸>

欧州の「IRIS2」衛星コンステレーションの軌道イメージ（出典：SpaceRISE / Eutelsat）

【ロシア・インド】

打ち上げスケジュールに不安の残るインド

低価格の打ち上げサービスで存在感を築いてきたインドは、2024 年はこれまで打ち上げ実績 4 回、12 月 30 日に予定されている PSLV ロケットの打ち上げを入れても 5 回にとどまる。8 月には小型ロケット「SSLV」の 3 回目の試験打ち上げを成功させ、12 月には欧州宇宙機関の技術実証衛星 Proba-3 を PSLV で打ち上げるなど打ち上げサービスは継続している。一方で、3 月に予定されていた米印共同の L バンド SAR 衛星「NISAR」打ち上げが延期を続け 2025 年にずれ込むなど、スケジュールの面ではやや不安を残している。インド宇宙研究機関（ISRO）は有人宇宙船「Gaganyaan（ガガニヤーンまたはガガンヤーン）」の開発に注力しており、その影響もありそうだ。

独自宇宙ステーションを計画するロシア

2022 年のウクライナへの侵攻から欧米の衛星の打ち上げサービスとは関係を絶ち、宇宙活動の中での立ち位置が激変しているロシアは、独自の宇宙ステーション「Russian Orbital Service Station」（ROSS）の予備設計が国営企業 ROSCOSMOS から承認を得たと発表した。

ROSS は国際宇宙ステーション（ISS）退役後のロシア独自の宇宙ステーションとして構想しているもので、ISS の軌道傾斜角（51.6 度）とは異なり 97 度の軌道傾斜角を持つことから、ロシア領内のステーション可視時間が向上するという。運用開始当初は 2 名のクルーが滞在可能で、2027 年から 2032 年の間に打ち上げを行う計画だ。だが、独自の衛星打ち上げ市場を築く活動は続いている。11 月には極東のポストーチヌイ宇宙基地からソユーズロケットで 55 機の衛星を一度に打ち上げ、ロシアのロケットとして 1 回の打ち上げの衛星搭載数記録を更新した。55 機のうち 51 機はロシアの衛星だが、中国とロシア共同の衛星、ジンバブエとロシア共同の衛星、2 機のイラン企業開発による衛星が含まれている。

【衛星メガコンステレーションの覇権争い】

SpaceX の Starlink 構築が進み、通信衛星による大規模な衛星コンステレーションの計画が各国から持ち上がっている。衛星コンステレーションとは、共通の機能を持つ複数の衛星が軌道を共有し、一体的に制御される衛星の運用方式で、地上の任意の点で安定的に衛星の可視状態を確保する（グローバル・カバレッジの確保）ことができる。特に Starlink のように 100 機、1000 機と大規模なものを「メガコンステレーション」といい、地球低軌道を周回する衛星でインターネットへの常時接続を実現できる。1 万 2000 機の衛星網となる計画で、現

在は 40 カ国でサービスを提供している Starlink が先導し、次々と大型の計画が登場している。ソフトバンクグループからの資金も得て 2019 年に衛星の打ち上げを開始した英 OneWeb は、633 機の衛星で携帯電話のバックホール回線などの企業向け、政府や海事、航空機などを中心にサービスする構想だ。Amazon が計画する Kuiper Systems は、3236 機の衛星で個人向けのみならず AWS の地上局をつなぐ回線として機能する。欧州はロシアのウクライナ侵攻で独自のセキュアな通信衛星網の必要性を強く意識しており、欧州内の事業者のコンソーシアムで構築する独自の「IRIS2」衛星を 2025 年から打ち上げる計画だ。中国では国有企業の上海垣信衛星科技（Shanghai Spacecom Satellite Technology Ltd. : SSST）が衛星開発を担う 1 万 5000 機規模の衛星コンステレーション「G60/Qianfan（千帆星座）」が 2024 年 8 月から衛星打ち上げを開始。さらに 12 月には約 1 万 3000 機の Guowang（国網）コンステレーションの衛星打ち上げも始まった。民間企業による 1 万機規模の「Honghu-3（鴻鵠）」構想もあり、中国だけで 3 万機を超える衛星コンステレーションの計画を持っている。こうした中で、衛星の利用する電波を管理する ITU の審査機能に**多大な負担**がかかっている。2023 年秋に Science 誌に発表された調査によれば、10 機以上の衛星を有するコンステレーションの構想は世界で 300 以上、約 33 万 7000 機の衛星を含むコンステレーションもあり、総数では 100 万機に迫るという。ITU は各国の通信当局を通じて過剰な衛星コンステレーションの周波数申請を規制を始めており、期限を設けて計画された衛星の一定数を実際に打ち上げるよう事業者に求めている。Amazon の Kuiper 衛星が 2026 年までに計画の半数の衛星を打ち上げなくてはならないのはこのためだ。中国も同様の規制を意識しており、ロケットの高頻度打ち上げ実現を急ぐ要因となっている。

【軌道上の安全と持続的な宇宙利用】

通信衛星メガコンステレーションの増加によって、宇宙の環境にも変化が起きている。欧州宇宙機関が毎年発表する宇宙環境の報告書 2024 年版によれば、多くの衛星が利用する高度 2000km までの地球低軌道（LEO）でオブジェクトの数が 1 万個を超えるまでには、1960 年から 2010 年ごろまで約 50 年の時間がかかったのに対して、1 万個から 2 万個に増えるには 2010 年ごろから 2022 年ごろまで 10 年余しかかかっていない。

混雑する LEO 環境の持続的に利用できるようにするためには、寿命を終えた宇宙機の 90% 以上が速やかに軌道を離脱することが必要だとしている。現在、低軌道の衛星に課された規制は「25 年ルール」であり、運用終了から 25 年以内の軌道離脱を求めている。欧州は増加著しいメガコンステレーションの衛星に対してはさらに短い、5 年以内の軌道離脱を求めている。SpaceX の Starlink 衛星のようにスラスターを備え、運用終了（End-of-Life : EoL）時に自ら軌道を離脱するコンステレーションもある。また、OneWeb 衛星は EoL 時に衛星が自力で軌道離脱できなくなった場合の支援サービスを日本の Astroscale の英子会社と契約した。

Astroscale は日本では打ち上げ終了後のロケット上段を軌道上から取り除く「商業デブリ除去実証（CRD）プログラム」を JAXA と共同で進めている。CRD フェーズ 1 衛星「ADRAS-J」が 2009 年に打ち上げられた H-IIA ロケット 15 号機の上段に最短で 15cm まで接近し、その状態を観測することに成功した。Astroscale は CRD フェーズ 2 で実施企業として 2024 年 4 月に選定され、新たな衛星「ADRAS-J2」で実際のロケット上段の軌道離脱の実証を行うことになる。（2024 年の宇宙活動を振り返る【日本編】の記事は[こちら](#)）



秋山文野 サイエンスライター/翻訳者

1990 年代からパソコン雑誌の編集・ライターを経てサイエンスライターへ。ロケット/人工衛星プロジェクトから宇宙探査、宇宙政策、宇宙ビジネス、NewSpace 事情、宇宙開発史まで。著書に電子書籍『「はやぶさ」7 年 60 億 km のミッション完全解説』、訳書に『ロケットガールの誕生 コンピューターになった女性たち』ほか。2023 年 4 月より文部科学省 宇宙開発利用部会臨時委員。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20241231-3094992/>

ボイジャー2号新成果や H3 打上げ&機体把持装置、カイロスに注目 - 2024 年宇宙・

航空記事ランキング 掲載日 2024/12/31 06:00 著者: [マイナビニュース TECH+編集部](#)

残すところわずかとなった 2024 年。TECH+ テクノロジーチャンネルでは、今年もさまざまな業界の最新ニュースや取材レポートが多くの人に読まれた。編集部では今回、主要カテゴリで 2024 年に掲載した記事のアクセス数をもとに、注目ランキングを作成。ここでは“宇宙・航空”カテゴリで特に読まれた記事 10 本を紹介する。

宇宙・航空カテゴリの注目記事トップ 10

- 1 位: [探査機「ボイジャー2」のデータが明かす天王星の謎、38 年越しの科学的発見](#)
- 2 位: [九大、高度 80~1000km ほどの「熱圏」における新たな物理法則を発見](#)
- 3 位: [H3 ロケット 2 号機はどこが変わった? 機体やミッションについて JAXA が説明](#)
- 4 位: [カイロス初号機の失敗原因が判明、対策した 2 号機は 12 月の打ち上げを予定!](#)
- 5 位: [JAXA、超大質量ブラックホール同士が合体直前の可能性がある銀河を分析](#)
- 6 位: [カイロス 2 号機はなぜ飛行中断? 原因調査中も「1 段目ノズル制御で異常発生」と説明](#)
- 7 位: [H3 ロケット 3 号機は「もう試験機ではない」 - 打ち上げに向けた計画が明らかに](#)
- 8 位: [さらに強く、シンプルに - スペース X が最強ロケットエンジン「ラプター3」公開](#)
- 9 位: [H-IIA ロケット、最後の旅立ちへ - 四半世紀の想いが詰まった 50 号機が完成!](#)
- 10 位: [ロケットが射場に姿を現す、新装備でゴツくなった移動発射台に注目!](#)

宇宙・航空カテゴリで、2024 年に最も多くのアクセスを集めたのは、探査機「ボイジャー2号」のデータから判明した最新の研究成果。弊誌でおなじみの鳥嶋真也氏による海外発の宇宙関連レポートで、スペース X のロケットエンジン「ラプター3」について同氏が伝えた記事も 8 位に入っている。

日本の基幹ロケット「H-IIA」「H3」に関する取材記事は 4 本ランクイン(3 位、7 位、9 位、10 位)。なかでも、H3 ロケットに熱い視線を注ぐ人々の間で注目を集めたものといえば「機体把持装置」が記憶に新しい。大塚実氏による現地取材レポートのうち、H3 ロケットを射点まで運ぶ移動発射台「ML5」と機体把持装置の姿をカメラで追いつけた記事は 10 位に入った。国内で民間単独初の衛星軌道投入をめざす、スペースワンの「カイロスロケット」に関する記事も注目を集めた。3 月に起きた初号機爆発の原因詳報は 4 位に、12 月の 2 号機打ち上げ後、上空で飛行中断措置がとられた後に開かれた記者会見速報は 6 位に入っている。

地球や宇宙にまつわる新たな発見のニュース記事も読まれており、2 位は地上から高度約 80~1,000km に分布する「熱圏」における新たな物理法則、5 位は超大質量ブラックホール同士が今後数年以内に合体する可能性があるとする希少な天体の分析結果について、それぞれ伝えている。

なお、惜しくも今回のランキングには登場しなかったが、日本初の月面着陸を達成し大きな注目を集めた、月着陸実証機「SLIM」に関するニュースや取材レポートも弊誌では多数掲載している。プロジェクト終了を前に、年末に行われた成果報告の様子は[こちら](#)を参照のこと。

<https://uchubiz.com/article/fea56510/>

特集 2025 年の宇宙活動はどうなる? -民間の月探査に注目、日本は宇宙活動法を見

直し (秋山文野) 2025.01.01 09:00 [秋山文野](#)

民間月探査が相次ぐ 2025 年は、日本と世界でどのような宇宙活動の計画が進むのだろうか。日本の宇宙政策の方向性や各国の宇宙探査などを展望する。

[【日本の宇宙活動】](#)

[2025 年に打ち上げ予定の宇宙機](#) [2025 年度から延期となった衛星・ロケット](#)
[水星探査機「BepiColombo」が最後のフライバイ](#) [【日本の宇宙輸送の今後】](#) [基幹ロケットの方向性](#)
[宇宙政策の議論](#) [宇宙活動法の見直しと有人宇宙輸送](#)
[【世界の宇宙活動】](#)

[2025 年に打ち上げが計画されている宇宙探査機](#) [宇宙船「Starship」開発の進展](#)
[米国で NASA 長官が交代](#) [宇宙の持続性](#)

【日本の宇宙活動】

2025 年に打ち上げ予定の宇宙機

日本では 2025 年 2 月から国内衛星の打ち上げが始まる。まず、2 月 1 日には[準天頂衛星「みちびき」6 号機](#)が H3 ロケット 5 号機で静止軌道へと打ち上げられ、準天頂衛星だけで日本周辺に測位信号を送ることができる 7 機体制の完成に向けた後半戦が始まる。2025 年度中には 5 号機、7 号機も打ち上げ予定だ。

3 月以降には JAXA の大西卓哉宇宙飛行士がクルードラゴン 10 号機で国際宇宙ステーション (ISS) [第 72/73 次長期滞在ミッション](#)に出発。第 73 次長期滞在では、日本人宇宙飛行士として 3 人目となるコマンダー（船長）に就任する予定だ。NASA のニコル・エアーズ宇宙飛行士、アン・マクレイン宇宙飛行士、ロシアのキリル・ペスコフ宇宙飛行士が共に搭乗する。第 73 次ミッションでは、生命科学や材料、有人宇宙技術や超小型衛星放出、ISS 内を飛び回るロボットカメラ「JEM 船内可搬型ビデオカメラシステム実証 2 号機 (Int-Ball2)」などの実験が予定されている。



2025 年 3 月以降に ISS 船長として長期滞在予定の大西卓哉宇宙飛行士（編集部撮影）

「温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW)」(出典：JAXA)

30形態試験機の打上げ計画に係る方針

■H3ロケット30形態の特徴

固体ロケットブースタを装着せず、3基の液体ロケットエンジン(LE-9エンジン)のみでリフトオフする、日本では初めての大型液体ロケット。

(参考) 飛行実績のある22形態は、メインエンジンのLE-9エンジン2機と固体ロケットブースタ(SRB-3)2本の第1段でリフトオフする。

■30形態試験機へのペイロード搭載について

- 30形態試験機は2機の実績を有する22形態と大部分は共通であるが、液体エンジンのみでリフトオフする初のロケットシステムであり、システムレベルの刷新を伴う試験機であることから、飛行性能評価のためにペイロード(VEP)を搭載して飛行実証することが基本的な考え方である。
- 但し、当該試験機への搭載機会を希望するペイロードがある場合、試験機の開発状況等の情報を提供し、改めて搭載の意思が確認できれば試験機への衛星搭載を排除しない方針。
- 30形態試験機に搭載する主衛星に関しては、搭載意思を示すもので、打上げ時期の条件を満たし且つミッション解析等の評価により技術的成立性が担保できる候補を調査したが、該当するペイロードが無かったため、基本的な考え方に従いVEPを搭載する。
- 一方、副衛星としては、30形態試験機の位置付けや開発状況等を説明したうえで、搭載意思のある超小型衛星を、30形態試験機の実証目的を妨げない範囲で相乗り搭載する。



2025 年度には、H-IIA ロケットの最終号機となる 50 号機で「温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW)」が打ち上げられる。温室効果ガス観測技術衛星「GOSAT (いぶき)」「GOSAT-2 (いぶき 2 号)」と水循環変動観測衛星「GCOM-W (しずく)」の機能を併せ持ち、世界の温室効果ガス排出をモニタリングする衛星だ。

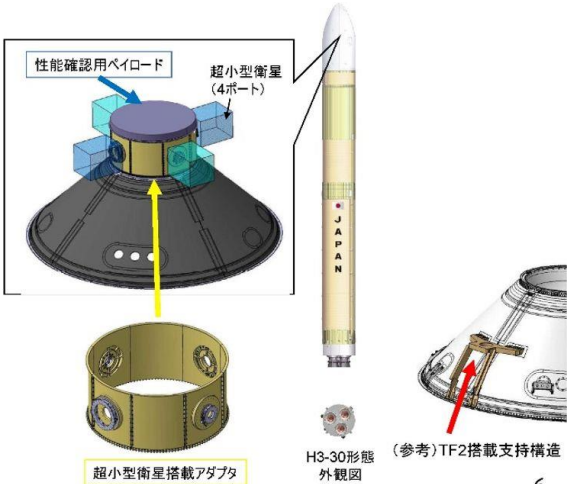
このほか 2025 年度には、H3 ロケットの LE-9 エンジン 3 基、固体ロケットブースター (SRB-3) なしの構成である「H3 ロケット 30 形態」試験機の打ち上げが計画されている。「H-IIA の半額」とされる打ち上げ価格は、

この H3 30 形態で実現する構想だ。試験機のため衛星の質量を模擬したダミーマスを搭載する予定だが、民間企業による 6 機の超小型衛星が相乗り小型副衛星として搭載される予定だ。1 段エンジン LE-9 は試験機段階では現状の Type 1A を使用し、完成形の「Type 2」は引き続き開発を続ける。

30形態試験機に搭載する超小型衛星候補



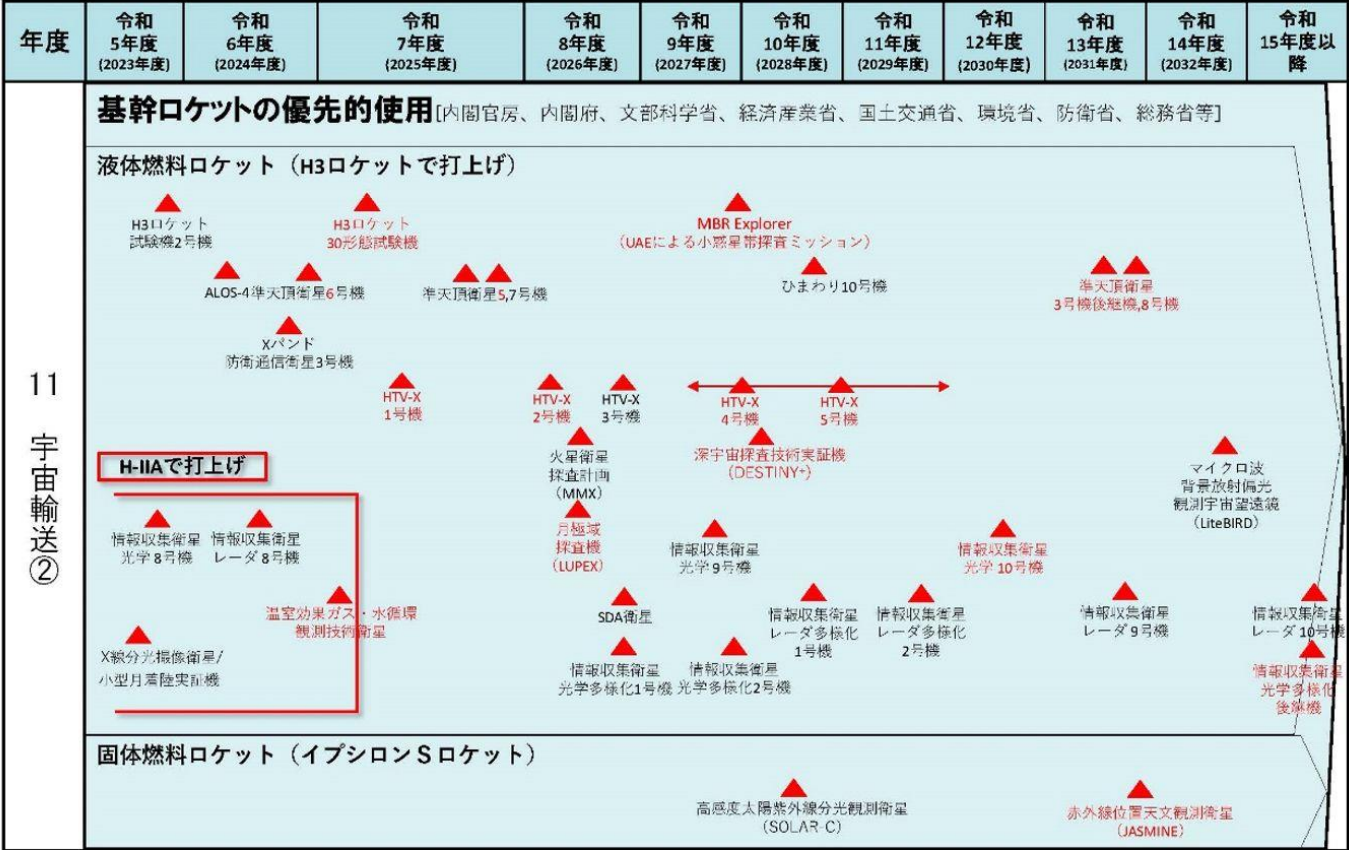
- ◆超小型衛星搭載アダプタの開発・実証
- ✓主構造は以下の条件で開発を実施中
 - ・ H3ロケット標準PSS上端および標準PAF下端に適合する機械的テンタフェースを有し、PSS/PAF間に搭載
 - ・ 超小型衛星を4基搭載可能なポートを設置(最大100kg/ポート)
 - ・ Simple PAF(KHI製) 8インチまたは15インチを結合可能な機械的インタフェース
 - ・ 1つのポートのに「高さ 800mm、縦・横 600mm程度の超小型衛星」を搭載可能
- ✓他の打上げ手段等と同等なレベルへの衝撃環境条件の低減を実現
 - ・ H3TF2の衝撃環境条件:
機軸方向4000G、機軸直交方向2700G
⇒追加の確認試験を実施し、搭載環境への適合性を確認
 - ・ 30形態試験機での超小型衛星搭載アダプタでの衝撃環境条件: 1000G程度に緩和できる見込み (Falcon9と同等の衝撃環境となる)



6

出典：「H3 ロケット 30 形態試験機の打ち上げ計画及び超小型衛星相乗りの実施について」より

(4) 産業・科学技術基盤を始めとする宇宙活動を支える総合的な基盤の強化



※:「▲」は各人工衛星の打上げ年度の現時点におけるめど等であり、各種要因の影響を受ける可能性がある。
※: H3ロケットによる衛星の商業打上げは、本表に記載されていない場合がある。
※: DESTINY+の打上げ機は、2028年度打上げに向けて、打上げ機変更を含めた打上げ方法に係る技術的検討結果等を踏まえ今後調整。
※: イプシロンSロケット実証機の打上げ時期については、第2段モータの再燃焼試験の結果に対する原因調査及び対策等の結果を踏まえて今後調整。
※: 革新的衛星技術実証の機会については、JAXAの産業競争力強化に係る衛星施策の再編・強化を踏まえて調整。
※: 技術試験衛星9号機の打上げ時期については、開発状況等を踏まえて今後検討。

出典：「宇宙基本計画工程表（令和 6 年度改訂）」より

2024 年 12 月に開発元の三菱電機で機体の一部が公開された新型宇宙ステーション補給機「HTV-X」1 号機が打ち上げられる予定だ。HTV-X は 9 号機で運用を終了した「HTV（こうのとりの）」の後継機。貨物を搭載する「与

圧モジュール」、エンジンや電源などの機能を集約した「サービスモジュール」、船外実験装置を搭載する「曝露カーゴ搭載部」で構成され、HTV より大容量の 78 立方メートル、5.82 トンの貨物を搭載できる。太陽電池パドルとエンジンを備え、ISS での補給ミッション終了後には軌道上を飛行しながら超小型衛星の放出や宇宙機器の実証などを行うことができる。与圧モジュール部分はすでに種子島宇宙センターに搬入されており、今後は組み立てとカーゴ搭載が行われる予定だ。



HTV-X1 号機サービスモジュール（撮影：小林伸）

2025 年度から延期となった衛星・ロケット

これまで 2025 年ごろに計画されていた宇宙機で時期調整中となったものは、12 月のイプシロン S ロケット 2 段再地上燃焼試験の失敗を受けて、イプシロン S 実証機（ベトナム地球観測衛星「LOTUSAT-1」を搭載）、イプシロン S 2 号機（革新的衛星技術実証 4 号機を搭載）、技術試験衛星 9 号機（ETS-9）など。こうした予定のスケジュール調整も 2025 年中に注視されるトピックだ。

水星探査機「BepiColombo」が最後のフライバイ

JAXA 宇宙科学研究所が開発した水星磁気圏探査機 MMO（みお）と ESA 水星表面探査機（MPO）で構成される国際水星探査計画「ベピコロombo（BepiColombo）」は、2025 年 1 月 8 日に 6 回目で最後の水星フライバイを実施する計画だ。2018 年 10 月に打ち上げられたベピコロomboは 2025 年 12 月の水星到着を目指して航行を続けていたが、電気推進モジュールの不具合により、2026 年 11 月に水星到着となる軌道に変更を行った。MMO（みお）は新たな軌道でも計画通りに観測を行うことができ、史上 3 例目となる水星探査の実現に向けて航行の成果が期待される。



spacecraft: ESA/ATG medialab; Mercury: NASA/JPL



出典：ESA

【日本の宇宙輸送の今後】

基幹ロケットの方向性

2024 年度の議論で基幹ロケット「H3」の今後の方向性が示された。H3 では、「ブロックアップグレード」と呼ばれる段階的な能力増強を 3 回実施し、2030 年代にシームレスに「次期基幹ロケット」の開発につなげていく方向性だ。2025 年度には最初の「アップグレード 1」がスタートし、複数衛星の搭載機構を開発する。世界の衛星コンステレーションの打ち上げ需要を踏まえ、ライドシェア型のミッションにも対応していく計画だ。低コスト化、量産化、打ち上げ高頻度化を目指すアップグレード 2、次期基幹ロケットに向けた能力強化となるアップグレード 3 の詳細に関する議論も宇宙技術戦略や宇宙戦略基金と同時に進められる。

宇宙政策の議論

2024 年に取りまとめられた[宇宙技術戦略](#)は、日本が今後獲得していくべき技術を列挙している。その内容は毎年見直し（ローリング）され、10 年間で 1 兆円の JAXA 基金である「[宇宙戦略基金](#)」で実施する技術開発テーマに反映されていく。2024 年の第 1 弾プログラム実施に続いて、2025 年 3 月までには第 2 弾に向けた議論が始まることとなる。

宇宙活動法の見直しと有人宇宙輸送

宇宙輸送分野の技術の変化、プレーヤーの多様化などを踏まえ、2024 年 9 月から内閣府の宇宙政策委員会下に「[宇宙活動法の見直しに関する小委員会](#)」が設置され、同法の見直しを進めている。

宇宙往還機の帰還や再使用型ロケット、サブオービタル飛行など現行法では対応しきれない新たな宇宙輸送を過剰な規制に陥ることなく支援していく法のあり方が問われている。有人宇宙輸送を行うための制度検討も含まれ、2025 年 1 月には「宇宙活動法の見直しの基本的方向性について（中間とりまとめ）」を議論する予定だ。

2024 年中には、基幹ロケットの方向性の議論と並行して民間による有人宇宙輸送の議論も始まった。大陸間を 1～2 時間で移動する「二地点間高速輸送（P2P）」や宇宙旅行というマーケットを見据え、国内事業者の意見を踏まえて「宇宙技術戦略のローリングにおいて反映すべく、関係府省庁間で調整を進めていく」との方針が示された。宇宙技術戦略に有人宇宙輸送の実現に向けた技術開発の方向性を盛り込んでいくとみられる。

【世界の宇宙活動】

2025 年に打ち上げが計画されている宇宙探査機

2025 年 1 月には、米国で相次いで民間月探査機が打ち上げられる。Falcon 9 ロケットは NASA の月探査機「Lunar Trailblazer（ルナ・トレイルブレイザー）」と民間企業 Intuitive Machines の IM-2（Nova-C 着陸機）を搭載して打ち上げ予定。IM-2 は 2024 年頭に続いて 2 度目の月面着陸の挑戦となる。この Nova-C 着陸機には、日本の企業ダイモンが重量 498g、2 輪式の超小型ローバー「YAOKI」を搭載する計画だ。

1 月後半には、NASA の CLPS ミッションが続く。Firefly Aerospace 開発による「Blue Ghost（ブルー・ゴースト）」着陸機が月面 GNSS 受信機実験（LuGRE）など NASA の科学機器を 10 台搭載し、初の月面着陸ミッションに挑む。日本の ispace が開発した「[RESILIENCE（レジリエンス）](#)」着陸機も同じ Falcon 9 ロケットに相乗りとなる。同じロケットで民間企業による 2 機の月面着陸機が同時に打ち上げられるのは史上初となる。ブルー・ゴーストは 45 日で月面に到達、レジリエンスは航行でのエネルギー消費が少ない軌道を利用するため、4～5 カ月後に月面着陸を行うという。



2024 年 9 月に報道公開された ispace の「RESILIENCE」着陸機（編集部撮影） 出典：NASA

2024 年 9 月、SpaceX のクルードラゴン「レジリエンス」号で民間初の船外活動ミッションを実施した実業家で次期 NASA 長官のジャレッド・アイザックマン氏（出典：Polaris Dawn）

3 月 1 日にはインドが開発中の有人宇宙船「Gaganyaan（ガガニヤーンまたはガガンヤーン）」の無人飛行試験を実施するとみられる。ガガニヤーンは 2026 年に有人飛行を目指すインド独自の有人宇宙船で、クルーモジュール（CM）とサービスモジュール（SM）で構成され、3 名が登場し 7 日間地球周回飛行が可能になる計画。無人飛行試験では、高度 400km の地球低軌道を飛行し、海上に着水する計画だ。5 月には中国が初の小惑星サンプルリターンミッション「天問 2 号（Tianwen-2）」打ち上げを計画している。地球近傍小惑星「469219（カモオアレワ）」へ 2026 年にランデブーして表面の物質の採取に挑戦し、小惑星ミッションの後に 2034 年にはメインベルト彗星「311P/パンスターズ」のフライバイ探査を行う計画だ。夏以降にはボーイングが開発を進める有人宇宙船「Starliner（CST-100）」の運用最初のミッションである「Starliner-1」が予定されている。2024 年夏の有人飛行試験が完了できなかった事態を受けて、運用開始までのマイルストーン達成のプロセスが注目される。

宇宙船「Starship」開発の進展

年明けすぐには SpaceX の宇宙船「Starship/Super Heavy」の 7 回目となる飛行試験が予定されている。2024 年 11 月に世界を驚かせた 1 段 Super Heavy の発射棟回収に続き、2025 年には 2 段 Starship も発射棟への帰還に向けて開発を進める。また Starship の軌道上での能力を高め、アルテミス計画の月面着陸機「HLS」実現に向けて必須と軌道上での Starship 間での推進剤補給実証も 2025 年中に実施されると見られる。

米国で NASA 長官が交代

1 月には米国でドナルド・トランプ氏が大統領に就任し、トランプ氏が指名した実業家のジャレッド・アイザックマン氏が NASA 長官に就任する予定だ。アイザックマン氏は、天文学の分野で老朽化が進むチャンドラ X 線望遠鏡について支持を表明しており、予算削減に手を打つといった方針に言及している。開発費が膨らむ SLS ロケットのマネジメントや宇宙探査の推進など就任後の動向が注目される。

宇宙の持続性

衛星コンステレーションの打ち上げが増加する中で、2025 年以降も引き続き軌道上の安全と持続性が注目される。2025 年 9 月 29 日から 10 月 3 日までオーストラリアのシドニーで開催される国際宇宙航行連盟（IAF）の第 76 回「国際宇宙会議（IAC）」では、「Sustainable Space : Resilient Earth」がテーマとなっている。

宇宙ゴミの管理や宇宙交通の調整だけでなく、ロケット打ち上げや宇宙機の再突入による環境への影響など、宇宙活動の長期的な安定性と安全性を確保する課題にも対応していく。日本の宇宙活動法の見直しにもこうした流れに対応する考え方が盛り込まれる方向性だ。（2024 年の宇宙活動を振り返る【日本編】【世界編】）



秋山文野 サイエンスライター/翻訳者

1990 年代からパソコン雑誌の編集・ライターを経てサイエンスライターへ。ロケット/人工衛星プロジェクトから宇宙探査、宇宙政策、宇宙ビジネス、NewSpace 事情、宇宙開発史まで。著書に電子書籍『「はやぶさ」7 年 60 億 km のミッション完全解説』、訳書に『ロケットガールの誕生 コンピューターになった女性たち』ほか。2023 年 4 月より文部科学省 宇宙開発利用部会臨時委員。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20241227-3095014/>

JAXA が月着陸機 SLIM の成果報告、気になる國中所長の最終評価は「69 点」

掲載日 2024/12/27 21:30 著者：大塚実

目次 [「エクストラサクセス」の SLIM、なぜ 3 回も越夜に成功できた？](#)

[-X 側ノズル脱落の原因は「着火遅れで過大衝撃がかかったため」](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は 12 月 26 日、小型月着陸実証機「SLIM」に関する記者説明会を開催。プロジェクト終了を前に、得られた成果などを総括した。SLIM は月面への着陸直前に、メインエンジンの片側でノズルが脱落するというトラブルが起きていたが、これまでの調査で原因を特定し、その報告も行われた。



成果を総括した JAXA の坂井真一郎・SLIM プロジェクトマネージャ

「エクストラサクセス」の SLIM、なぜ 3 回も越夜に成功できた？

SLIM は 1 月 20 日に月面着陸に成功。これで日本は、世界で 5 番目の成功国となった。着陸後、太陽電池の発電ができないという深刻な問題が起き、一時はどうなるかと思われたものの、その後 3 回の越夜に成功するなど、終わってみれば大成功。プロジェクトの成功基準の評価では、「エクストラサクセス」を達成した。



▶ 1.6. プロジェクト目標の達成状況



成功基準に対する達成状況を以下に示す。いずれも達成できたと判断されている。

基準	内容	達成状況
ミニマムサクセス	小型軽量の探査機による月面着陸を実施する。それによって、以下の2項目を達成する。 ・ 高精度着陸に必須の光学照合航法を、実際の月着陸降下を実施することで検証する ・ 軽量探査機システムを開発し、軌道上動作確認を行う	達成
	(A-1) 高精度着陸に必須となる画像照合航法を開発し、他の航法系とも組み合わせること で、結果として100m程度の航法誤差を実現する。	○：画像航法技術を実証し、HV2時 点で3～4m程度の精度を実現
	(A-2) 軟着陸のためのシンプルな衝撃吸収機構を実現する。	○：新たに衝撃吸収機構の開発を 完了し、搭載した
	(B-1) 小型・軽量で高性能な化学推進システムを実現する。	○：搭載した小型・軽量の推進系に より月投入・着陸を達成
	(B-2) 宇宙機一般で中核をなす計算機や電源システムの軽量化を実現する。	○：統合化計算機SMU、統合化電 力制御器PCUを開発・運用
フルサクセス	精度100m以内の高精度着陸が達成されること。 具体的には、高精度着陸航法系が正常動作し、誘導則に適切にフィードバックされ、着陸後 のデータの解析により着陸達成に至る探査機の正常動作と着陸精度達成が確認されること。 (A-3) 障害物を検知しつつ、航法誤差・誘導誤差を考慮した自律的な着陸誘導則を実現す る。	達成
	(A-4) これらの技術を搭載した探査機により月面への高精度着陸(精度100m)を実施し、 検証を行う。	○：障害物検知系の正常動作、着 陸誘導則の実証 ○：HV2時点で3～4m、着陸地点評 価で55m程度の精度で着陸
	(B-3) 着陸後に探査機が機能を維持する	○：着陸後も探査機の機能を維持 し、着陸運用のデータを取得
エクストラ サクセス	フル成功基準に加え、高精度着陸に関する技術データ伝送後も、日没までの一定期間、月面 における活動を継続し、将来の本格的な月惑星探査を見据え、月面で活動するミッションを実 施する。 (B-4) 月面到達後、日没までの一定期間、ミッションを行う。	達成
		○：SAP電力の回復後、日没まで の間、MBC運用を実施 ※：3回の越夜後動作を確認しデー タを取得することができた

11

2 段階着陸はできなかったものの、それ以外はほぼパーフェクトだった

(C)JAXA

SLIM プロジェクトが狙ったのは、精度 100m のピンポイント着陸と、軽量の探査機の実現である。着陸の結果については、過去記事があるのでここでは繰り返さないが、今回の着陸精度は「10m 程度ないしそれより良好」と評価。世界に先駆け、ピンポイント着陸を成功させたことで、「大きなアドバンテージが得られた」とした。

[SLIM は 10m 精度の超ピンポイント着陸に成功！ SORA-Q からは歴史的な画像も!!](#)



▶【参考】最近の月着陸機との比較



直近の月着陸機6機とSLIMとの比較(※推測値を含む)

	SLIM	HAKUTO-R (M-1:1号機)	Chandrayaan -3	Luna-25	Peregrine Lander (M1:1号機)	Nova-C (IM-1:初号機)	嫦娥6号
機関	JAXA (日)	Ispace社 (日)	ISRO (印)	Roscosmos (露)	Astrobot社 (米)	Intuitive Machines社 (米)	中国国家航天局 (中)
打上げ時期	2023年9月	2022年12月	2023年7月	2023年8月	2024年1月	2024年2月	2024年5月
打上げ質量 ※(燃料込み)	約715kg	約1,000kg	約1,750kg	約1,750kg	約1,300kg	約1,900kg	約8,350kg
着陸機質量 ※(燃料除く)	約200kg	約340kg	(不明)	約800kg	約480kg	約620kg	(不明)
画像照合による 高精度航法	搭載	非搭載	非搭載	非搭載	試験搭載 (着陸には不使用)	搭載	非搭載
着陸精度 (km)	0.1km (仕様値)	数km ※同社の記者会見に関する報道 情報による	4km×2.4km	30km ×15km	24km×6km	(詳細不明だが結 果は数km)	6km(3号要求値) (6号実績は 16.7km?)
主要ミッション	高精度着陸 技術実証	民間月面着陸	月面着陸、 科学ミッション	月面着陸、 科学ミッション	民間月面着陸	民間月面着陸	月裏側からの サンプルリターン
着陸結果	成功	失敗	成功	失敗	失敗	成功	成功

7

最近の月面探査機との比較。SLIM の軽さと、精度の高さが目立つ (C)JAXA



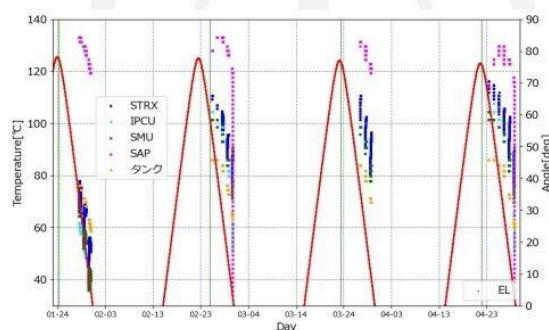
▶ 1.5. 運用終了



- 2024年4月28-29日の運用終了後、4回目の夜を迎えて以降も、月が午後となる期間中にSLIMとの通信再確立を試みる運用を実施してきたが、通信確立することはできなかった。
- そのため、2024年8月23日に停波運用を実施し、SLIMの運用を終了した。
- なお、越夜後の探査機について得られたデータからは、今後の月着陸機開発に活用しうるとの知見が得られる可能性もある。そのため、プロジェクト解散後も、越夜により探査機が動作しなくなった原因の調査などを、JAXA内の研究活動として継続する。

越夜後の探査機データの一例。1月末に最初の夜を迎えて越夜して以降、探査機内の各部温度が越夜前と比べて高くなっている様子が見られている。

(STRX:Sバンドトランスポンダ、IPCU:電力制御分配器、SMU:統合化計算機、SAP:太陽電池パネル)



10

右下が温度のグラフ。赤線の山があるのが昼の部分だ (C)JAXA

想定外の成果だったのは、越夜の成功だ。月面は、14日間の長い昼と14日間の長い夜を繰り返す世界。温度変化が激しく、通常は越夜するためにヒーターを使って内部が冷えすぎないようにするのだが、軽量化を追求したSLIMにはそんな装備はない。そのため越夜は難しいと考えられていたものの、結果的にはこれに3回も成功した。なぜ、SLIMは極寒の夜を生き延びることができたのか。SLIMの坂井真一郎プロジェクトマネージャは、「理由を解明することは難しい」としつつも、個人的な感想として「電子部品の半田付けなど、メーカー(三菱電機)がかなり丁寧に探査機を仕上げてくれた。もしかしたら、そこが功を奏したのかもしれない」とコメントした。今回は想定外の越夜成功だったが、ここで得られたデータは今後、越夜を狙うときに大きな知見となる。たとえ

ば、最初の越夜に成功したあと、探査機内部の温度が越夜前より高くなっていた。これらを解析することで、越夜で動作しなくなった原因が分かる可能性があり、プロジェクト終了後も、JAXA 内の研究活動として継続するという。

3 回の越夜に成功した SLIM だが、4 回目の夜の後、通信が復活することはなかった。そのため、プロジェクトチームは 8 月 23 日に停波運用を実施、7 カ月にわたる月面での活動を終了した。坂井プロマネは、「本当によく頑張ってくれた。感謝している」と、役割を果たした SLIM に労いの言葉をかけた。

ちなみに、SLIM の成果について、前述の記事で「63 点」と辛口の評価をしていた JAXA 宇宙科学研究所の國中均所長は、今回、採点をアップデート。3 回の越夜成功で 3 点、推進系の知見獲得で 1 点、スタートラッカでのローバー撮影で 1 点、越夜後の温度データ取得で 1 点を追加し、「合計 69 点」と報道陣を笑わせた。



もはや辛口評価がお約束になりつつある、JAXA 宇宙科学研究所の國中均所長(右)

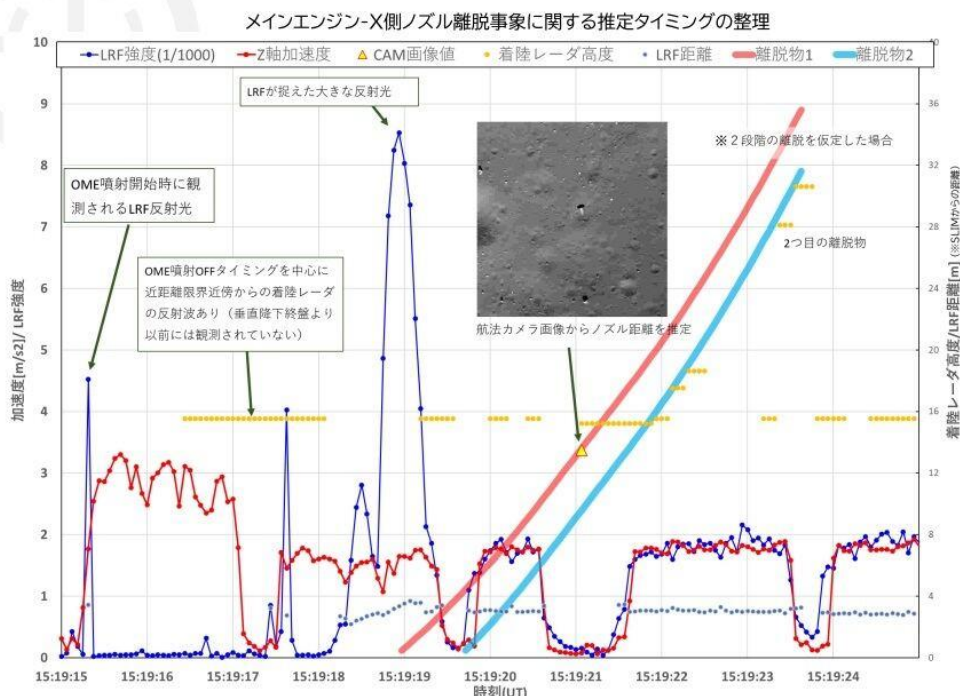
-X 側ノズル脱落の原因は「着火遅れで過大衝撃がかかったため」

結果的には大成功となった SLIM のプロジェクトであるが、最大の危機は着陸直前に高度 50m で発生した、メインエンジン(OME)のトラブルだった。これにより、SLIM は降下しながら東に流され、探査機自身の判断で 2 段階着陸を中止。探査機は接地時に転がり、想定外の逆立ち状態での着陸となってしまった。

ある意味、SLIM は運が良かった。もし太陽電池が下側にひっくり返った姿勢で止まっていたら、電力が復活することはなかった。復活できたのは、たまたま太陽電池が西側を向いていたからだ。また、もしマルチバンド分光カメラ(MBC)が下向きになってしまっていたら、理学的な成果も危うかった。それほど、これは深刻なトラブルだった。前述の過去記事の時点で、メインエンジンの片側(-X 側)でノズルが壊れて落下したことまでは分かっていたが、今回、その原因が明らかになった。



▶ 2. 着陸直前に発生した推進系トラブルの原因調査結果(4/4)



ノズルが脱落したのは、15 時 19 分 19 秒(UT)のあたりと考えられる。LRF が強い光も検知していた (C)JAXA
SLIM の推進系は、燃料にヒドラジン、酸化剤に MON3 を使用。燃料/酸化剤タンクの内部はダイアフラムという膜によって液体と気体が仕切られ、液体の燃料/酸化剤を、高圧のヘリウムガスで押し出し、エンジン側に供給している。ヒドラジンと MON3 は混ぜるだけで着火する性質があり、推進系ではよく使われている。

SLIM の推進系の大きな特徴は、「ブローダウン方式」を採用したことだ。エンジンを使っていくと、燃料/酸化剤が少なくなり、その分、押しガスの体積が増えて、圧力は低下する。一般的な「調圧方式」だと、気蓄機や調圧装置を搭載して供給圧を一定に保つのだが、ブローダウン方式だとそれがない分、軽くできる。

この高度 50m の時点は着陸の最終局面であり、供給圧はかなり低下した状態だった。さらに噴射のタイミングで、多数の補助スラスタの噴射が重なり、圧力も低下。本来であれば、燃料と酸化剤は混ぜるだけで着火するはずだったが、濃度が低すぎて、-X 側エンジンはこのタイミングでは着火しなかった模様だ。

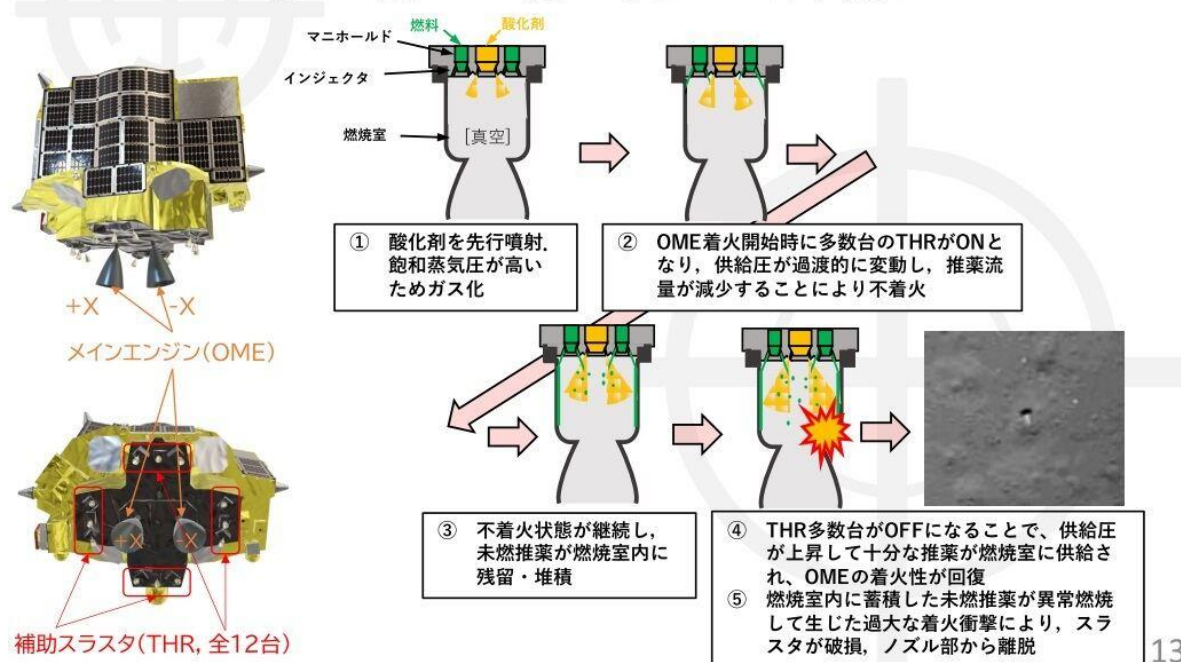
その 1 秒ほど後に、補助スラスタの噴射が一斉に停止、供給圧が回復した。-X 側エンジンはこのタイミングで着火したものの、問題だったのはこの間、燃えないまま燃料/酸化剤が供給され続け、燃焼室内に溜まっていたこと。そのため、着火によって想定外の大きな衝撃が発生し、ノズルを破壊したと考えられる。



▶ 2. 着陸直前に発生した推進系トラブルの原因調査結果(2/4)



前ページに記載したノズル離脱に至る推定プロセスを、以下に図示する



13

ノズルが破壊されるまでの流れを説明した図 (C)JAXA

なお、SLIM はメインエンジンにセラミックスラスタを採用していたが、この問題はセラミック製だったこととは無関係で、従来の金属製でも、同様の結果になった可能性が高いとのこと。

しかし、供給圧が下がるのは事前に分かっていたことであり、なぜこの問題が発生する可能性を見逃してしまったのか。坂井プロマネによれば、これに近い状態を模擬した統合燃焼試験は行っていたものの、そのときは正常だったという。ただし、この試験は真空ではなく大気圧下で行われており、その条件の違いが影響した可能性はありそうだ。ただ、SLIM は軽量化を追求した尖った設計のためブローダウン方式を採用したものの、通常は調圧方式を使うことがほとんど。坂井プロマネは「もし事前に分かっていたら、配管の作り方の工夫など、手の打ちようはあった」と悔しがっていたが、火星衛星探査の MMX も調圧方式であり、ほかのプロジェクトへの影響はかなり限定的だろう。



大成功に終わった SLIM。ほかのプロジェクトも続いて欲しい (C)JAXA 大塚実

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20241230-3095013/>

イプシロン S 第 2 段の爆発原因調査が開始、能代と種子島で大きく変わった FTA

掲載日 2024/12/30 11:00 著者：大塚実

目次 [爆発はモーター後方側から発生](#) [FTA は 3 つのトップ事象で開始](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は 12 月 25 日、イプシロン S ロケット第 2 段モーターの再地上燃焼試験で発生した爆発事故について、原因調査の最新状況を説明した。まだ本格的な原因調査に着手したばかりという段階であり、今回新たに判明した事実はあまりないが、各種データの詳細評価のあと、次回は 2025 年 2 月に進捗を報告する予定だという。



JAXA の井元隆行・イプシロンロケットプロジェクトマネージャ(左)と、岡田匡史理事/宇宙輸送技術部門長(右)
爆発はモーター後方側から発生



前方側からの爆発時の画像が、今回新たに追加公開された (C)JAXA

そして、加速度センサーと歪センサーのデータを調べ、変動の時間的な順番を特定。燃焼ガスのリークや爆発は、モーターの後方側で発生したと結論づけた。ただし、これはすでにその可能性が高いとみられていたことなので、特に驚きはない。

イプシロン S ロケット第2段モーターの「E-21」は、2023年7月に能代ロケット実験場で実施した地上燃焼試験に続き、2024年11月26日に種子島宇宙センターで実施した再地上燃焼試験でも爆発が発生。JAXAは同日中に原因調査チームを立ち上げ、岡田匡史理事/宇宙輸送技術部門長をチーム長として、原因調査を進めてきた。前回の記者説明会は、12月5日に開催。今回は、それからの20日間で進展があったことについて、井元隆行・イプシロンロケットプロジェクトマネージャより報告があった。前回までの内容については、過去記事を参照して欲しい。[「イグブースタは溶けてない」、イプシロン S 第2段爆発で JAXA プロマネが説明](#)

まず、今回追加で公開されたのは、爆発時の前方からの画像。爆発前の画像では、飛散物や燃焼ガスのリークも確認できるが、ここから新たに分かることはあまりない。

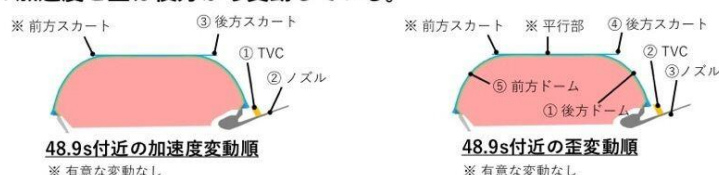
EPSILON 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

追加

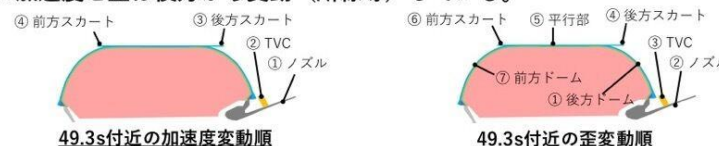
- 約48.9s時点の圧力下降と画像データから、**燃焼ガスがリーク**していると判断した。
- 加速度・歪は事象発生箇所近傍から変動すること、及び画像データから、**燃焼ガスリークと爆発はモータ後方で発生**したと判断した。

【加速度・歪データ】

- ・ 約48.9sの加速度と歪は後方から変動している。



- ・ 約49.3sの加速度と歪は後方から変動（断線等）している。



16

ガスリークと爆発はモーターの後方側(画像いずれも右側)で発生 (C)JAXA

また温度データは、ガスリークの発生前までに、後方では1～5度程度、前方では0～2度程度上昇していたという。これはモーター外表面の温度であるため、内部の温度がどうなっていたかは分からないのだが、この温度上昇の数値については、前回の能代のときと大きくは変わらないとのこと。

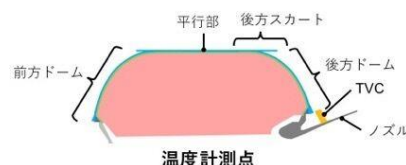
EPSILON 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

追加

【温度データ】

- ・ 約48.9sまでの供試体各部の温度履歴は以下の通り。
 - ・ 後方（後方ドーム・TVC・ノズル）は、1～5℃程度昇温し、最大約19℃。
 - ・ 前方（後方スカート・平行部・前方ドーム）は、0～2℃程度昇温し、最大約15℃。
- ・ 約48.9s以降の温度変化は以下の通り、後方で温度変化が大きい。
 - ・ 後方で0～7℃程度上昇し、最大約22℃。
 - ・ 前方で0～0.2℃程度上昇し、最大約15℃。

※ 試験時の外気温：21.9℃



※ 温度は10Hz（0.1秒ごと）の計測であるため
短時間の事象を正しく捉えられていない可能性あり



17

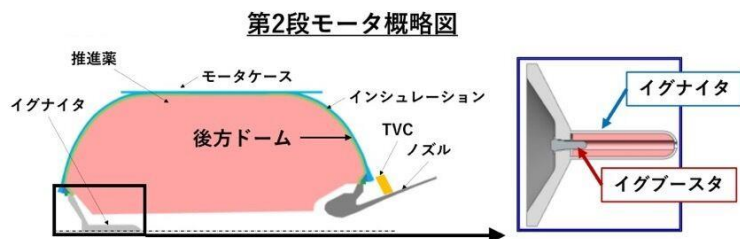
今回、供試体各部の温度データも新たに追加公開された (C)JAXA

飛散した破片の回収状況であるが、地上の飛散物は回収が完了。海中は回収作業を継続中で、ノズルの下側が見

つかったという。特に重い金属部材などは遠くに飛んでいるとみられ、井元プロマネは「できるだけ拾いたい」とした。

EPSILON 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（回収物） 更新

- 地上に飛散した供試体は回収完了。海中の供試体の一部を回収した。
- 海中の回収作業を継続中。
- 回収品は工場に輸送済み。原因調査のため分析中。
- イグナイタ・イグブースタについては、溶融していないことを確認。



18

第2段モータの回収状況 (C)JAXA

なお前回の記者説明会では、イプシロンS ロケットの当初の目標であった2024年度中の打ち上げは「現実的に不可能」と岡田氏より説明があったが、その後、JAXAの理事会議で了承され、組織としての正式決定となった。ただ、2025年度中にできるかどうかは、まだ判断できる段階ではない。

FTAは3つのトップ事象で開始

前回の記者説明会ではまだ、燃焼試験で発生した事象を把握している途中だったが、今回、試験データ・回収品や、設計・製造・検査データに基づく原因調査に着手。原因調査には、FTA(故障の木解析)と呼ばれる手法を採用するのだが、以下の3つをトップ事象として設定し、そこから枝分かれするあらゆる可能性を調べ上げていく。

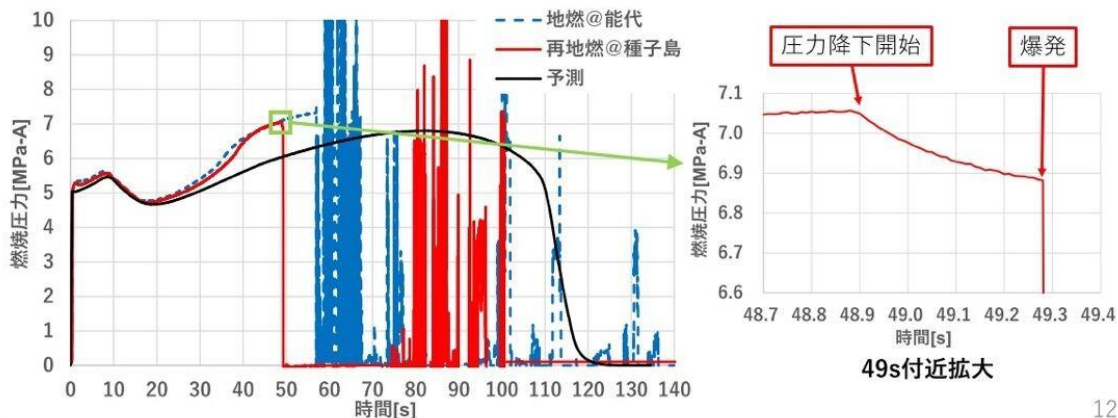
- (1)点火後約17秒から燃焼圧力が予測より上昇
- (2)約48.9秒で燃焼圧力が下降(ガスリーク)
- (3)約49.3秒で燃焼圧力が急激に下降(爆発)

EPSILON 2.2 第2段モータ再地上燃焼試験結果（試験データ）

- 計測項目は全体確認済み。確認結果に基づいて把握した事象について示す。 更新

【燃焼圧力データ】

- ・ 点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大。
- ・ 点火後約48.9sの時点で約7MPaに達したあと圧力が下降し、約49.3sで圧力が急激に下降（爆発）。
（燃焼圧力は最大使用圧力（8.0MPa）及び保証耐圧試験の圧力（8.8MPa）以下）

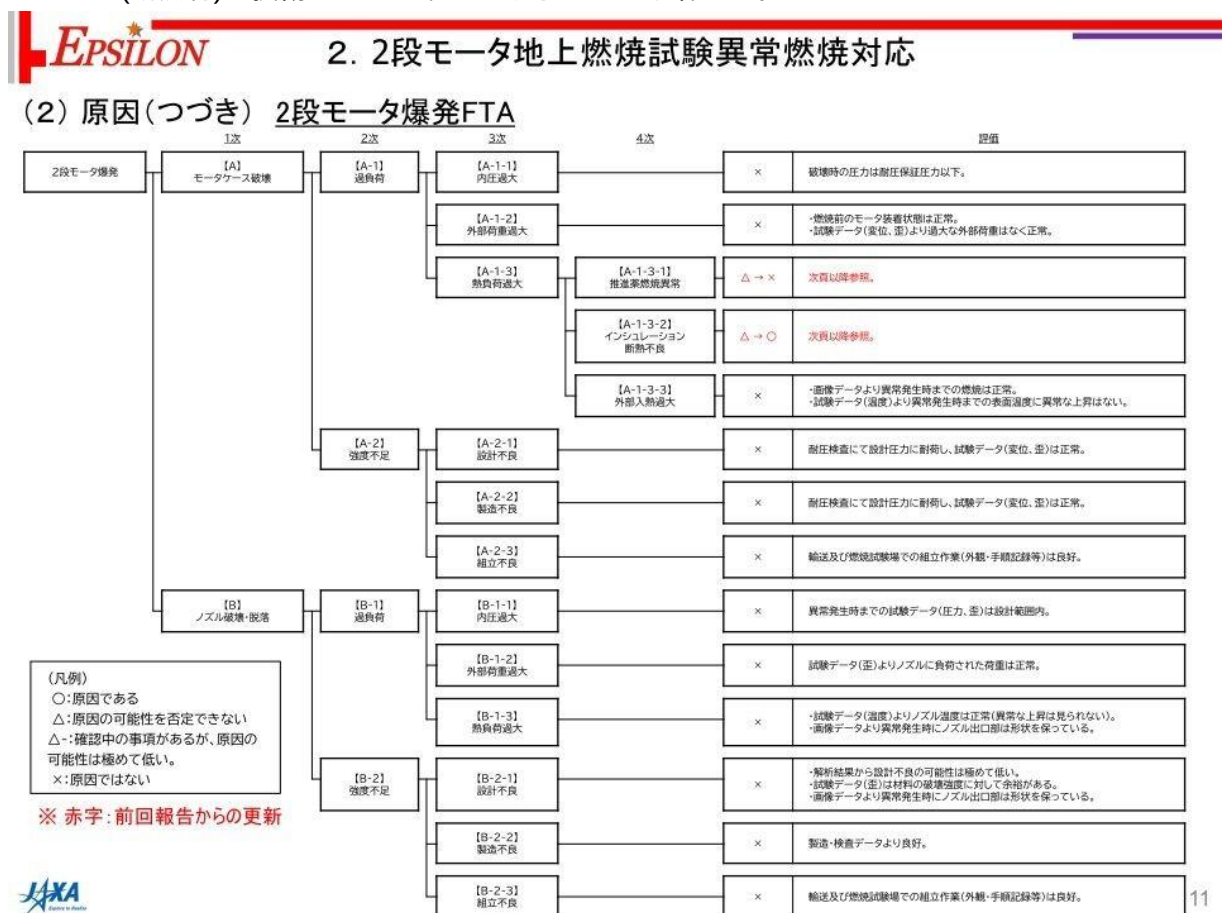


12

燃焼圧力のデータ。予測値との乖離が拡大し始めた約17秒、燃焼ガスのリークが発生した約48.9秒、燃焼圧力

が急激に下降(爆発)した約 49.3 秒という、3 つの事象に注目した (C)JAXA

注目したいのは、前回(能代)の FTA との違いだ。能代で爆発した際には、「爆発」をトップ事象として、その下に「モーターケース破壊」と「ノズル破壊・脱落」を置き、最終的には、イグブースタの溶融によってインシュレーション(断熱材)が損傷したというシナリオにたどり着いた。



能代の爆発での FTA の結果 (C)JAXA

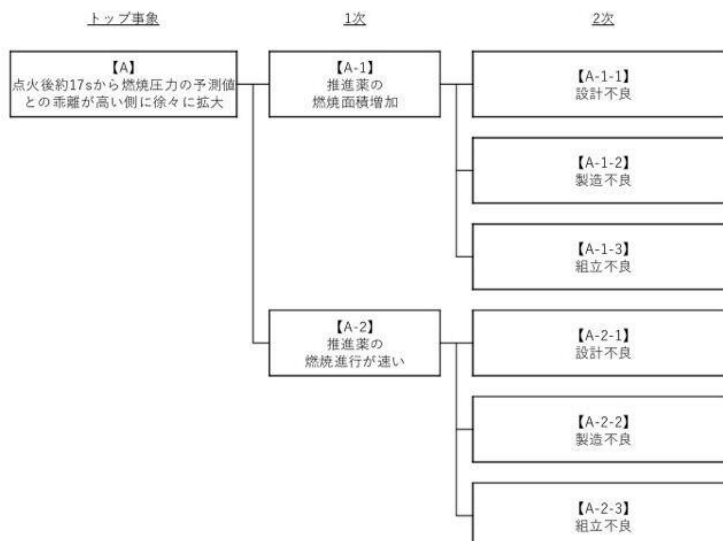
能代では、上記(2)のガスリークは起きていなかったものの、(1)の燃焼圧力の上昇と、(3)の爆発は同様に発生していた。そして原因調査では、その 2 つの事象を合わせた形で FTA を展開し、結論を出した。しかし今回は、3 つの事象をそれぞれ分けた。これについて、井元プロマネは「前は、爆発というトップ事象に対して、(1)を強く関連づけてやっていたが、今回はそこをゼロから考える」と説明。今回の 3 つのトップ事象には関係があるのか、原因と結果になっているのか、それとも関係のない別の事象なのか、明らかにしていくという。

能代では、「燃焼圧力の上昇」という事実と、「イグブースタの溶融」という事実があって、この 2 つを結びつけ、原因を特定した。たしかに、この 2 つに因果関係があるのなら、爆発現象を説明できるだろう。しかしそれは、必ずしも、考えられる原因がこれしかない、ということの意味しない。この 2 つは本来無関係で、別に原因があった可能性もある。実際、種子島での再試験では、イグブースタの溶融はなかったことが確認されているのに、ほぼ同様の燃焼圧力の上昇が起きた。現時点では、燃焼圧力が予測より上がったから爆発したのか、それとも燃焼圧力が予測通りでも爆発は起きたのか、それすら分からない。3 つの事象を分けて調べるのは、そのためだ。上記(1)の燃焼圧力の上昇については、「燃焼面積が増加」と「燃焼進行が速い」という 2 つの要因が考えられ、それぞれ、設計不良、製造不良、組立不良を調べる。(3)の爆発については、壊れた場所の特定を進めるとともに、リークした燃焼ガスが原因か、それ以外が原因なのかを調べる。

3. 原因調査状況（FTA）

追加

- 「点火後約17sから燃焼圧力の予測値との乖離が高い側に徐々に拡大」に係るFTA



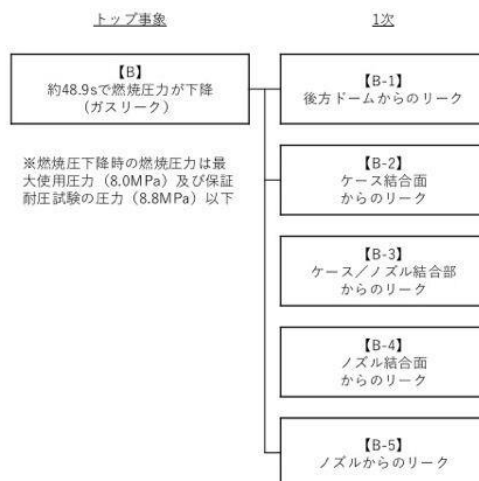
21

燃焼圧力に関する FTA (C)JAXA

3. 原因調査状況（FTA）

追加

- 「約48.9sで燃焼圧力が下降（ガスリーク）」に係るFTA

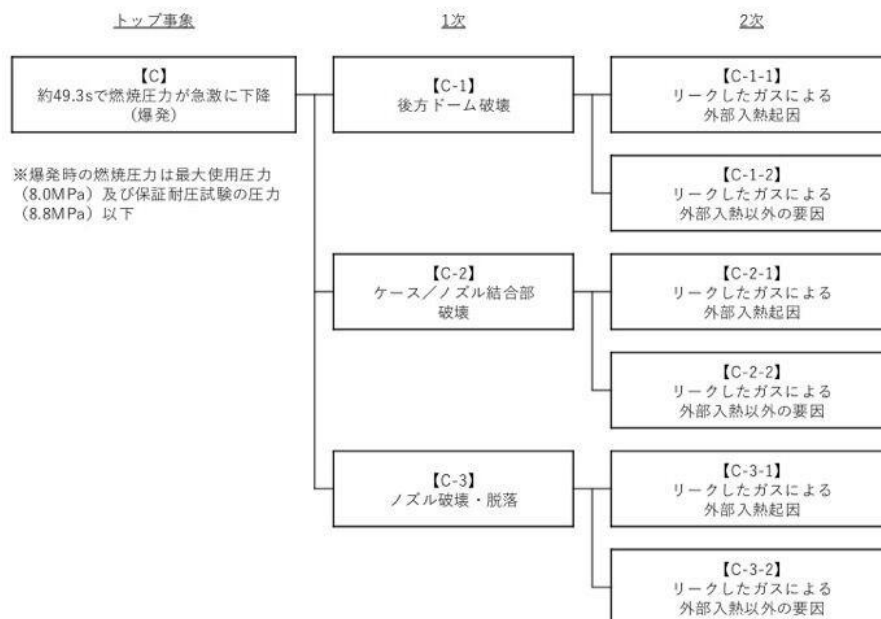


22

ガスリークに関する FTA (C)JAXA

3. 原因調査状況（FTA）

■ 「約49.3sで燃焼圧力が急激に下降（爆発）」に係るFTA



爆発(燃焼圧力の急激な下降)に関する FTA (C)JAXA 大塚実

<https://sorae.info/science/20241227-stem-cell.html>

微小重力環境で培養された成体幹細胞には意外な利点がある!?

2024-12-272024-12-27 [KadonoMisato](#)

初期胚から採取される「ES 細胞（胚性幹細胞）」や体細胞に遺伝子導入（リプログラミング）することで作製される「iPS 細胞（人工多能性幹細胞）」は、ほぼすべての細胞に分化できる「多能性幹細胞」として知られ、再生医療や創薬分野での応用が期待されています。アメリカ・フロリダ州のメイヨー・クリニックの研究チームのメンバーである Abba Zubair さんらは、国際宇宙ステーション（ISS）の微小重力環境で培養した「間葉系幹細胞」と呼ばれる成体幹細胞には意外な利点があることを「NPJ Microgravity」誌にて報告しています。



【▲ 国際宇宙ステーション（ISS）内でアメリカ航空宇宙局（NASA）の宇宙飛行士が幹細胞の研究を行う様子（Credit: Mayo Clinic）】

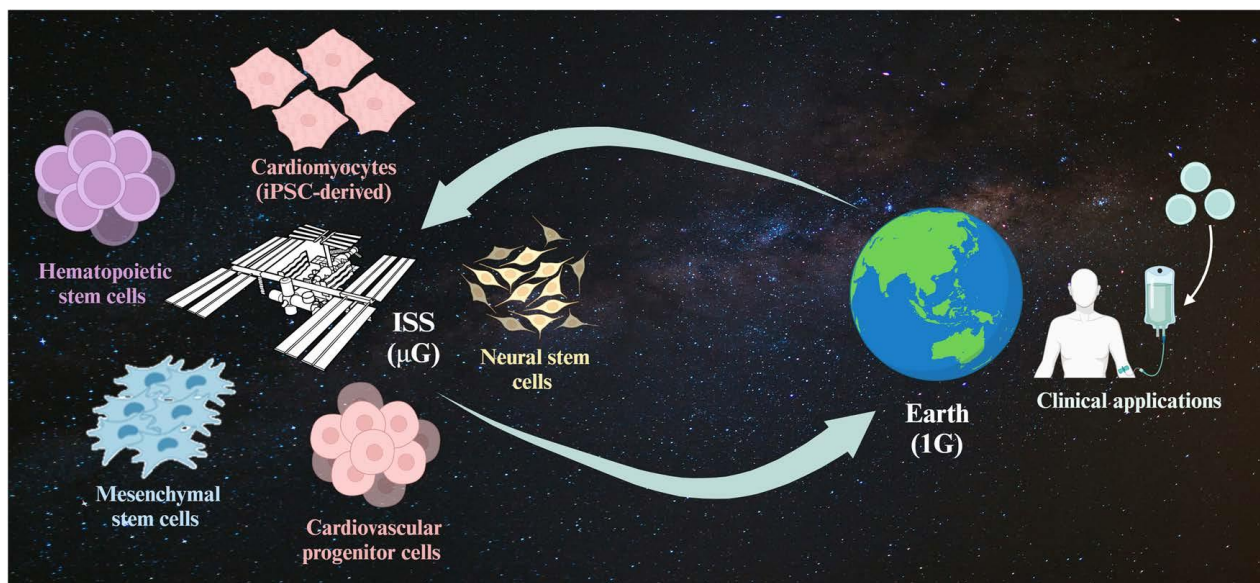
限定的だがいくつかの細胞に分化可能な「間葉系幹細胞」

間葉系幹細胞は成体の臍帯（さいたい）や骨髓、脂肪組織、歯髄から採取できる成体幹細胞の一種であり、骨細胞や脂肪細胞などに分化できる（限定的）多能性をもつことが知られています。こうした多能性幹細胞を活用し、脳卒中、認知症、神経変性疾患、がんなど幅広い疾患の治療に応用可能とされています。ただし、多能性幹細胞の臨床利用は試験的な再生医療に限られており、実用化するには医療的エビデンスが不足しているようです。たとえば、間葉系幹細胞は細胞治療用の薬になる可能性を秘めているため、幹細胞の特性を保持したまま、安全か

つ効率的に大量の幹細胞を増殖（expansion）する必要があるといえます。また、地上での細胞培養は容器の制約や重力の影響などにより 2 次元環境となるため、自然な 3 次元環境での分化とは異なる結果が生じる可能性があるようです。こうした背景から、重力の影響の少ない微小重力環境での 3 次元細胞培養が注目されています。メイヨー・クリニックの研究チームは、間葉系幹細胞を含めた数種類の幹細胞を ISS 内で培養し、生物学的特性などの評価データを地球に再送・分析しました。その結果、微小重力環境で培養した間葉系幹細胞は、地上で培養した細胞よりも免疫抑制能が向上し、サイトカイン（※1）や増殖因子に影響しないことが示されました。こうした特性は微小重力環境への曝露期間に比例して向上するといえます。また、染色体アッセイや DNA 損傷アッセイ、腫瘍性アッセイ（※2）を調べたところ、ゲノムの完全性が損なわれたり悪性形質転換が行われたりした形跡は認められませんでした。

※1...免疫細胞から分泌されるタンパク質のことで、細胞間の情報伝達をつかさどる

※2...定量的な評価を与える測定法のことを「アッセイ」と呼ぶ



【▲ 国際

宇宙ステーション (ISS) 内で培養された幹細胞と、地球への帰還を示す概略図 (Credit: F. Ghani, and A. C. Zubair)】Zubair さんによると、宇宙環境での幹細胞研究は、再生医療やオルガノイド（※3）研究、細胞治療など、新しい治療法の開発に寄与することが期待されるといえます。また宇宙産業の商業化が進展することで、地球低軌道（LEO: Low Earth Orbit）での研究や技術開発が加速することが期待されるようです。すでに SpaceX のような民間企業は、3 次元細胞培養や生物医学データの収集、再生医療研究に取り組んでおり、今回報告された間葉系幹細胞の増殖も SpaceX の無人補給船「Dragon（ドラゴン）」による 2017 年の「CRS-10」ミッションの一環として実施されています。 ※3...幹細胞を増殖することで得られる人工的なミニ臓器を指す

宇宙での幹細胞研究は始まったばかり

いっぽうで、宇宙での幹細胞研究はまだ初期段階にあり、安全性や治療への応用可能性を確立するにはさらなる研究が必要である模様です。Zubair さんによると、微小重力が細胞の増殖や機能に与える影響が一般的（universal）であるかについては未解明だといえます。また、アルファ線や中性子、陽子といった電離放射線ががんや白血病につながるリスクなど、細胞の悪性化を誘発するリスクがあることも課題のようです。Zubair さんは、オンラインの科学研究ポータルサイト「Science Alert」の記事のなかで、「再生医療を発展させるために宇宙の利用を探求し続けることで、幹細胞研究についてのより広い視野が開けてくるだろう」と今後の進展に期待感を示しています。

[国際宇宙ステーションの「きぼう」では何が行われているの？ 日本チームの驚くべき研究結果](#)（2024 年 8 月 7 日）

Source

[Science Alert](#) - Stem Cells Grown in Space Turn Out to Have a Surprise Advantage

[Mayo Clinic](#) - From lift off to splash down: An update on Mayo Clinic stem cells in space

[Mount Bonnell](#) - SpaceX's Role in Advancing Space Medicine

[F. Ghani, and A. C. Zubair](#) - Discoveries from human stem cell research in space that are relevant to advancing cellular therapies on Earth (NPJ Microgravity)

[P. Huang, A. L. Russell, et al.](#) - Feasibility, potency, and safety of growing human mesenchymal stem cells in space for clinical application (NPJ Microgravity)

文／Misato Kadono 編集／sorae 編集部

https://news.biglobe.ne.jp/trend/1229/kpa_241229_1622377031.html

ダークエネルギーは存在しない？なくても宇宙が膨張している理由を説明できると

物理学者

2024 年 12 月 29 日（日）20 時 0 分 [カラパイア](#)



Dr. Ryan Ridden/Youtube [https://youtu.be/YhIPDvAdSMw?si=o1K_VA_I-7scbr7w]

ダークエネルギーとは、宇宙の膨張が加速している原因とされる謎のエネルギーのことで、宇宙の 7 割を満たすとされている。だが実は、そんなものは存在しないという、現代宇宙論をくつがえすような驚愕の研究が発表された。ニュージーランドの物理学者チームは、[超新星](#)の光を分析することで、ダークエネルギーがなくても加速しているとされた宇宙の膨張を説明できることを示した。そもそもこの宇宙は均一にすら膨張していない。地球がデコボコしているように、宇宙の膨張もデコボコでいびつのものであるという。この画期的な発見をした研究チームは、宇宙最大の謎は 5 年以内に解決されるだろうと予想している。

宇宙最大の謎、加速する宇宙の膨張とダークエネルギー

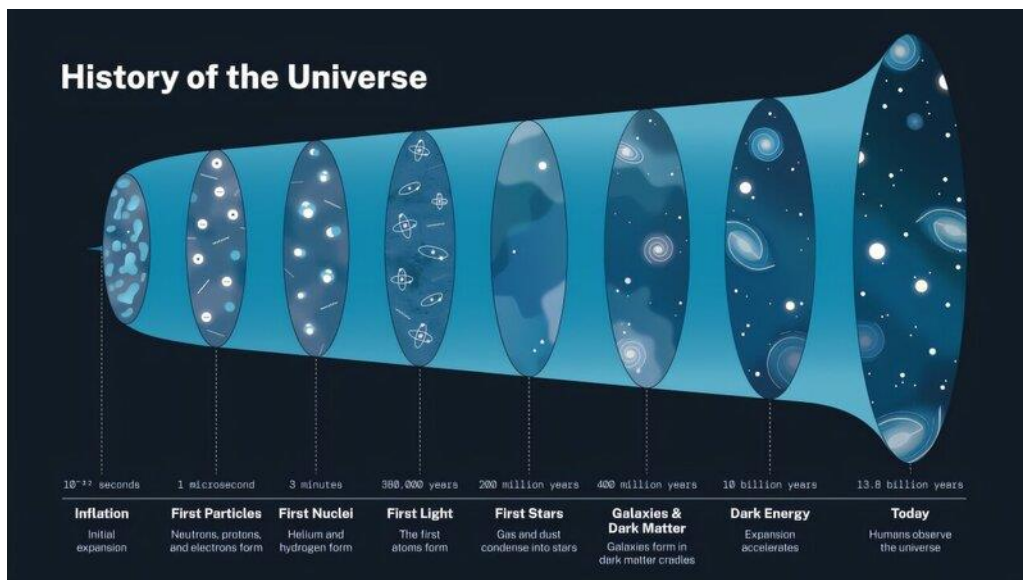
「ダークエネルギー（暗黒エネルギー）」とは、この宇宙の 7 割を満たしているとされる謎の力のことだ。

この宇宙はビッグバンで誕生し、それから今日までずっと膨張し続けてきた。だが宇宙に存在する物質の重力によって、そのスピードは徐々に減速するはずだ。ところが、これまでの観察によって、なぜか宇宙の膨張は減速するどころか、ますます加速していることが明らかになっている。

この加速を引き起こしている力として仮定されたのがダークエネルギーである。ダーク（暗黒）という名が示すように、直接観測されたことはなく、あくまで仮説上のエネルギーだ。だが、そもそも宇宙の膨張が加速しているなど、どうやればわかるのだろうか？ その手がかりは、光の見え方にある。遠くからやってきた救急車が目の前を通過すると、それまでけたたましく鳴っていたサイレンの音が突然低く深く変化する。この「ドップラー効果」と呼ばれる現象は、音源が聞き手に接近するとき音の波長の間隔が短くなる（高音になる）のに対して、遠ざかるときは長くなる（低音になる）ことが原因だ。光は波の性質を持つので、光源が移動すれば、これと同じ現象が起きる。つまり光源が遠ざかれば赤くなり（赤方偏移）、近づけば青くなる（青方偏移）。

そして遠くの宇宙からやってくる光には、この赤方偏移が起きているのだ。

このことから、宇宙の遠方にあるものはだんだんと加速しながら、地球から遠ざかっていると推測することができる。それが意味するのは、宇宙の膨張が加速しているということだ。



この図は、現在の理解に基づく宇宙の歴史を示している。宇宙はビッグバンとともに膨張を始めたが、約 100 億年前に膨張が加速した。この加速は「ダークエネルギー」と呼ばれる理論上の現象によるものと仮定された。

Credit: NASA, Licence type Attribution (CC BY 4.0) [<https://phys.org/licence/attribution-cc-40>]

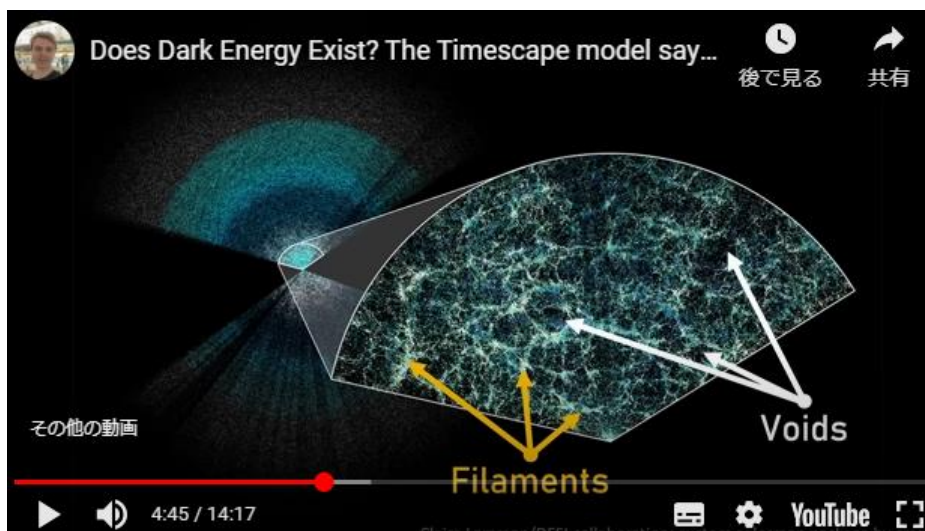
ダークエネルギーがなくても宇宙の膨張加速は説明できる

ところが、ニュージーランド、カンタベリー大学の研究チームによれば、この赤方偏移は膨張の加速によるものではなく、時間と距離の測定法によるものなのだという。

[相対性理論](#)によるならば、重力は時間の流れを遅くする。だから重力を発生させる物質が何もない虚ろな空間に時計があったとすれば、その針は私たちが暮らす銀河内にある時計よりも速く進むことになる。

研究チームが「タイムスケープモデル」に基づいて天の川銀河の時間の流れを計算したところ、宇宙に存在する巨大な「超空洞」（宇宙を巨視的に見ると浮かび上がる、銀河がほとんどない領域）よりも 35% 遅いことが判明した。それが意味するのは、この超空洞では時間の流れが速い分、天の川銀河より何十億年か長く時間が経過しているということだ。そしてその分、宇宙が膨張することになる。研究チームによれば、宇宙の膨張が加速して見えるのはそのせいだ。研究の中心人物、デイヴィッド・ウィルツァー教授は、宇宙が加速して膨張しているように見える理由は「ダークエネルギーがなくても説明できる」と、ニュースリリース [<https://www.canterbury.ac.nz/news-and-events/news/2024/dark-energy-doesn-t-exist--according-to-new-nz-study>] で述べている。「ダークエネルギーは、膨張の運動エネルギーの変動による見間違いです。実際のところ、この宇宙は私たちが住むこの場所のように、デコボコと一様ではありません」

宇宙の膨張の加速とダークエネルギーは、現代宇宙論における最大の謎の 1 つとされてきた。だが、最新の発見のおかげで、5 年以内には解決される可能性があるという研究チームは見込んでいる。



この研究は『Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters
[<https://academic.oup.com/mnrasl/article/537/1/L55/7926647?login=false>]』（2024 年 12 月 19 日付）に発表された。

References: Dark energy doesn't exist, according to new NZ study | University of Canterbury

[<https://www.canterbury.ac.nz/news-and-events/news/2024/dark-energy-doesn-t-exist--according-to-new-nz-study>]

<https://wired.jp/article/dying-red-supergiant-star-woh-g64/>

2024.12.04

超新星爆発が迫る、死につつつある赤色超巨星の姿

太陽のおよそ 2,000 倍の大きさがある赤色超巨星「WOH G64」が、いま超新星爆発によって“死”を迎えつつある。ヨーロッパ南天天文台（ESO）の観測装置が捉えた、その姿を紹介しよう。



赤色超巨星「WOH G64」のイメージ画像。ILLUSTRATION: [ESO/L. Calçada CC BY 4.0](#)

ヨーロッパ南天天文台（ESO）が運用するパラナル天文台の「超大型望遠鏡干渉計（VLTI）」を使って撮影された WOH G64 の画像。天の川銀河以外の銀河に属する恒星のクローズアップ画像の撮影に成功したのはこれが初めてだという。PHOTOGRAPH: [ESO/K. Ohnaka et al. \(CC BY 4.0\)](#)

太陽質量のおよそ 10 倍以上の質量をもつ恒星は、中心部において核融合の燃料となる水素を使い果たすと大きく膨れ上がり、表面の温度が下がることで赤く見えるようになる。このような状態になった恒星を「赤色超巨星」と呼ぶ。赤色超巨星は、その後「超新星爆発」を起こして一生を終える。赤色超巨星の代表的な例としては、オリオン座のベテルギウスやおうし座のアルデバランなどが知られている。

地球から 16 万光年ほど離れたところに位置する「WOH G64」も、このような赤色超巨星の一例だ。この大マゼラン星雲に属する星の直径は、太陽のおよそ 2,000 倍にも膨れ上がっている。

[この WOH G64 のクローズアップ画像の撮影に、](#)チリのアンドレス・ベーリヨ国立大学などの研究チームが、ヨーロッパ南天天文台（ESO）が運用するパラナル天文台の「超大型望遠鏡干渉計（VLTI）」を使って[成功した。](#)天の川銀河以外の銀河に属する恒星のクローズアップ画像の撮影に成功したのは、これが初めてだという。

予想外の形をしていた WOH G64

興味深いのは WOH G64 の形だ。卵のような形をした繭を思わせる。

研究チームによると、WOH G64 のこのような形は、これまでの観測やコンピューターモデルに基づいた予測からすると「予想外」だという。WOH G64 のような赤色超巨星は、超新星爆発に至る最終段階で、ガスとちりからなる外層をときに数千年にわたって宇宙空間に向かって放出する。WOH G64 の予想外の形は、この「質量放出」か、あるいはまだ発見されていない伴星（連星における暗いほうの天体）の影響である可能性があるという。

[11 月 21 日に発表された研究論文](#)の主著者であるアンドレス・ベーリヨ国立大学の天体物理学者の大仲圭一は、「わたしたちは興奮しました。この WOH G64 の予想外の形は、超新星爆発が起こる前に死につつつある恒星が起こす猛烈な物質の放出に関連している可能性があるからです」と、興奮を隠さない。

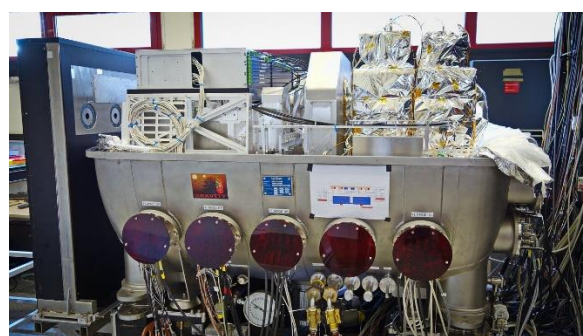
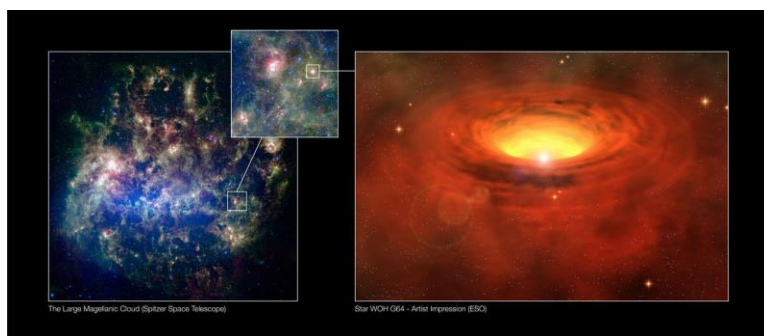


VLTがあるパラナル天文台の360°パノラマ画像。右側にアーチ状に見えているのは天の川銀河だ。左にはパラナル天文台の「超大型望遠鏡（VLT）」を構成する4台の8.2m望遠鏡が見えている。

PHOTOGRAPH: [ESO/H.H. Heyer \(CC BY 4.0\)](#)

高感度で高細密な観測が可能な「GRAVITY」の威力

研究チームは以前から WOH G64 に興味をもっていたが、2005 年と 07 年に VLT の第 1 世代の観測装置のひとつ「[MIDI](#)」を使って、WOH G64 を観測した。そして、それから観測を続けたものの、思うような画像は得られなかった。



VLT の第 1 世代の観測装置のひとつ「MIDI」を使って撮影された WOH G64 の画像。左は観測によって得られた画像。右はアーティストによるイメージ画像だ。GRAVITY を使って撮影された画像と比較すると、GRAVITY の性能の高さがよくわかる。PHOTOGRAPH: [ESO \(CC BY 4.0\)](#)

VLT の第 2 世代の観測装置のひとつである「GRAVITY」。PHOTOGRAPH: [ESO \(CC BY 4.0\)](#)

しかし、研究チームは今回、VLT の第 2 世代の観測装置のひとつである「GRAVITY」を使って観測することで、ついに期待通りの画像を撮影することに成功した。GRAVITY は、パラナル天文台にある 4 台の 8.2m 望遠鏡あるいは 4 台の 1.8m 補助望遠鏡によって集められた光を合成することで、高感度で高細密な観測を可能にした。その空間分解能は最大で口径 130m の望遠鏡に匹敵するという。

こうして得られた画像をこれまでの観測結果と比較したところ、研究チームは驚くべきことに気がついた。この 10 年間ほど WOH G64 は徐々に暗くなっていたのだ。

このように WOH G64 が徐々に暗くなっているのは、質量放出によって放出されたガスやちりなどの物質が WOH G64 からの光をさえぎっていることが原因ではないかと、研究チームは考えている。いずれにしても、このためたとえ GRAVITY を使ったとしても、今回のようなクローズアップ画像を撮影することは次第に難しくなっていくだろう。そこで期待されるのが、VLT や VLT の計画されている観測機器のアップデートだ。例えば「[GRAVITY+](#)」では、GRAVITY の観測装置の改良と VLT の基幹部分のアップグレードを組み合わせることで、補償光学技術の性能を向上させ、画像のコントラストの改善などが図られる予定だ。補償光学技術とは、大気の揺らぎの影響を打ち消して画像を鮮明にする技術をいう。「ESO の観測装置を使って類似のフォローアップ観測を実施することは、WOH G64 でいま起きていることを理解するために重要なのです」と、大仲はこれらのアップグレードに期待を寄せている。

(Edited by Daisuke Takimoto)