

アポロ計画以来の月探査「アルテミス計画」 ロケット打ち上げ

2022年11月16日 22時23分

宇宙飛行士の月への着陸を目指す国際プロジェクト「アルテミス計画」で、月までの試験飛行を行う無人の宇宙船を搭載した大型ロケットが、日本時間の16日、アメリカのケネディ宇宙センターから打ち上げられました。NASAによりますと宇宙船は予定どおりロケットから切り離され、月に向けて飛行を続けているということです。NASA＝アメリカ航空宇宙局は日本やヨーロッパも参加する国際的な月探査計画「アルテミス計画」で2025年を目標に、アポロ計画以来となる宇宙飛行士による月面着陸を目指しています。

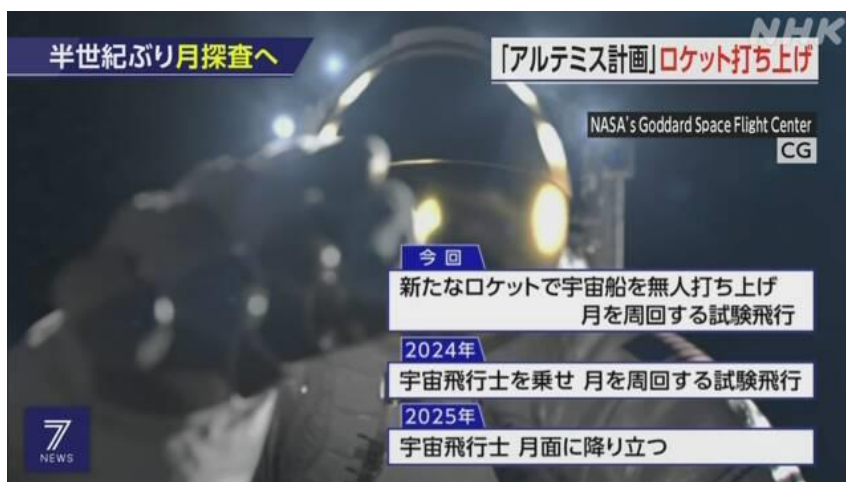
計画の第1段階として16日、アメリカ・フロリダ州のケネディ宇宙センターから宇宙船オリオンを搭載した大型ロケット「SLS」＝「スペース・ローンチ・システム」が打ち上げられました。

準備作業中、燃料の水素を注入する際に漏れが確認され、発射台で漏れを止める作業を行うなど、打ち上げは当初の予定よりも40分以上、遅れましたが、日本時間の午後3時47分ごろ、ロケットは無事、打ち上げられ、ごう音を立ててながら上昇していきました。NASAによりますと日本時間の午後6時前に宇宙船オリオンは予定どおり、ロケットから切り離され、現在、月に向かっていているということで、このあと、月を周回して地球に戻る、およそ25日間の試験飛行を行う計画です。宇宙船の内部にはマネキン3体が載せられ、衝撃や放射線の影響など、将来の有人飛行に向け必要なデータを集めます。また、ロケットには日本の開発した小型の探査機2機も搭載され、月やその周辺でさまざまな観測や実験が行われる予定です。

NASA 会見「新たな始まり『アルテミス時代』の到来」

宇宙飛行士の月への着陸を目指す国際プロジェクト「アルテミス計画」で、NASA＝アメリカ航空宇宙局は大型ロケットの打ち上げ後、記者会見し、無人の宇宙船が予定通り、ロケットから切り離され、月に向かう軌道への投入に成功したと発表しました。宇宙船は現在、月に向けて飛行を続けているということです。会見でNASAのネルソン長官は、半世紀前のアポロ計画を念頭に、「我々はただ単に月に戻る訳ではない。月面で暮らし、その先の火星へ人類を送り届ける方法を学ぶために向かう。これは新たな始まりであり、『アルテミス時代』の到来だ」と述べ、今回のミッションが、人類が火星に向かう足がかりになることへの期待を示しました。

「アルテミス計画」とは



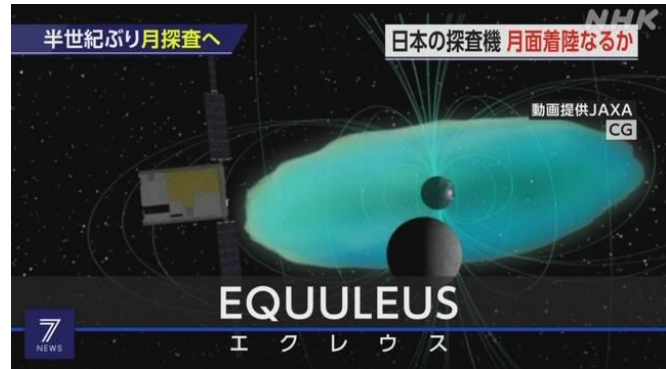
「アルテミス計画」は宇宙飛行士を再び月に送る計画で、アメリカが中心となって進め、日本やヨーロッパなども参加しています。1960年代から70年代、人類を月面に送り込んだ「アポロ計画」と同様、ギリシャ神話にちなんで名付けられ、「アルテミス」は「アポロ」の双子の妹で、月の女神とされています。

計画ではまずは、3つの段階で月を目指します。第1段階の今回は、新たに開発したロケットを使って同じく新たに開発した宇宙船「オリオン」を無人の状態で打ち上げ、月を周回する試験飛行を行います。その後、第2段

階として 2024 年を目標に実際に宇宙飛行士を乗せて月を周回する試験飛行を行い、第 3 段階として 2025 年を目標に宇宙飛行士が月面に降り立つ計画です。計画どおりに実現すれば、1972 年にアポロ 17 号が宇宙飛行士を乗せて月面に着陸して以来、およそ半世紀ぶりのこととなります。さらにその先には月を周回する新しい宇宙ステーション「ゲートウェイ」を建設し、宇宙飛行士を定期的に送り込んで滞在できるようにする計画です。

この計画では月を拠点として、2030 年代には火星に有人着陸することも見据えています。NASA は当初、2024 年までに宇宙飛行士を月に降り立たせることを目指していましたが、ロケットの開発が遅れて打ち上げがずれ込んでいました。今回の計画で NASA は初めての女性飛行士の月面着陸を目指すほか、日本人宇宙飛行士が月面に降り立つことも検討されています。

月面着陸を目指す探査機は「OMOTENASHI (オモテナシ)」



このうち「OMOTENASHI」は今回の打ち上げで唯一、月面着陸を目指す探査機です。

日本はこれまで、月面に着陸した実績がなく、成功すれば、旧ソビエト（1966 年）、アメリカ（1966 年）、中国（2013 年）に続く 4 番目となります。

「OMOTENASHI」は、ロケットから分離されたあと探査機が持つガスジェットを噴射して、月に向けて軌道を修正。そして、月に降り立つ直前に、着陸態勢に入るため、向きを変えると同時に、探査機そのものを回転させながら姿勢を安定させます。

大気のある地球と異なり、パラシュートを開いて減速することができないので速度を落とすための固体ロケットを進行方向に噴射。時速をおよそ 180 キロまで落として月に衝突させます。

探査機にはあらかじめ、衝撃を吸収する緩衝材を入れるなど、複数の対策が施されていて、まさに月に「体当たり」で着陸する計画。成功したかどうかは、地球に送られる電波で確認することにしています。

「OMOTENASHI」はミッションとして、月面着陸のほか、月に向かう軌道に入った後、被ばく線量を 1 分ごとに計測する予定で、有人での月探査活動に備えて、放射線環境に関するデータを集めることにしています。

月面に降り立つことができれば、世界最小の月面着陸機になるということで、注目されます。

月の裏側に回り込む探査機は「EQUULEUS (エクレウス)」

もう 1 つの探査機「EQUULEUS」は、JAXA や東京大学などが共同で開発。地球からは見えない月の裏側に回り込む計画です。そのエリアには、月と地球の引力に加えて、探査機の遠心力が釣り合う「ラグランジュ点」と呼ばれる場所が 5 か所あり、この周辺にある軌道に入ると、最小限の燃料でとどまり続けることが可能です。

この特性を生かすことで、将来、月へのアクセスや、火星探査の重要拠点となる「宇宙港」の建設場所になりうることから「ラグランジュ点」は宇宙開発上の重要な場所だと位置づけられています。

「EQUULEUS」は、この場所に効率よく到達することが目的で、ロケットからの分離後は、推進剤に水を使い、1 年半ほどかけて月の重力を使うなどして軌道を変えながら月の裏側にある「ラグランジュ点」に向かう計画です。そして、有人での月や周辺探査に重要な地球周辺の放射線環境や、月にぶつかる隕石の撮影などに挑戦することになっています。超小型の探査機は開発のコストやハードルが低く、今後も活用の機会が増えると期待されることから、JAXA は月面着陸や航行に必要な技術を実証し、将来の科学探査の可能性を広げるねらいです。

宇宙船「オリオン」今回の試験飛行計画



今回打ち上げられる宇宙船「オリオン」は「アルテミス計画」に合わせて NASA＝アメリカ航空宇宙局などが開発しました。打ち上げられたあと月へ向かう軌道によって飛行し、打ち上げから 12 日後に、およそ 48 万キロ離れた月の裏側付近を通過して再び地球に向かい、25 日後に太平洋に着水する計画です。

今回の試験飛行は、オリオンが問題なく月を往復することができるか確かめるとともに、有人飛行に必要なさまざまなデータの計測が行われます。その 1 つが 3 体のマネキンを使った実験です。

マネキンにはそれぞれ名前がつけられ、そのうちの 1 体「カンポス」は船長の席に設置され、振動や衝撃の大きさなどを計測します。ほかの 2 体は「ヘルガ」と「ゾーハ」という名前で、今回計画されている女性飛行士の月面着陸に向けて女性の体が飛行中に受ける放射線の影響を 5000 個以上のセンサーを使って調べます。

「ゾーハ」には放射線から人体を保護するベストが着せられ、その効果も確かめます。

また、オリオンが地球に帰還する際には表面温度がおよそ 2800 度に達すると予想され、オリオンの耐熱シールドがこうした高温に耐えられるか確かめるといことです。

今回打ち上げの「SLS」とは

今回打ち上げられる NASA のロケット「SLS」は小型衛星を 10 機搭載する予定でそのうち 2 機が日本の探査機です。2 機のサイズは 1 辺がそれぞれおよそ 11 センチ、24 センチ、37 センチといういわゆる“超小型”で、いずれも地球の近くで分離されたあと自力で月へ向かいます。JAXA によりますと、打ち上げが延期になったあと、先月 13 日に 2 機ともにバッテリーの充電を行うなど、必要な作業を終えているといことです。

「SLS」8 月と 9 月打ち上げ中止理由

今回の打ち上げに使われる大型ロケット「SLS」はアルテミス計画やその先の宇宙探査のために開発されました。全長およそ 98 メートルの 2 段式で、月を回る軌道に最大で 27 トンを打ち上げる能力があります。

「コアステージ」と呼ばれる 1 段目のロケットは、スペースシャトルで使われたエンジンを改良して作られた、液体水素と液体酸素を使ったメインエンジンを 4 基搭載しています。また、左右に 2 基ある補助ロケットは、スペースシャトルで使用された補助ロケットをもとに開発された固体燃料のロケットです。

コアステージが切り離されたあと、搭載された「ICPS」と呼ばれる 2 段目のロケットが宇宙船「オリオン」を月に向かう軌道に乗せます。NASA によりますと、SLS は打ち上げ時、アポロ計画で使われた大型ロケット「サターン V」よりも大きな推進力を出すことができるということで、「NASA が開発したロケットの中で最も強力だ」としています。SLS には複数のバリエーションが計画され、将来はさらに大きな推進力を持つロケットが使われる予定です。NASA によりますと、8 月にはコアステージのエンジンを冷却できないトラブルが発生、また 9 月には燃料注入の際に水素漏れが発生し、それぞれカウントダウンの途中で打ち上げが中止されました。

NASA は問題があった箇所の部品交換や作業手順の変更を行ったうえで、事前にテストを行い対策ができていことを確認し、今回の打ち上げに臨んでいるとしていますが、今回も燃料を注入する際に水素漏れが確認され、

対応する事態になりました。

打ち上げから帰還まで

NASAによりまずと大型ロケット SLS はおおむね次のような手順で打ち上げられます。

▽打ち上げのおよそ9時間前から SLS に、燃料となる液体水素や液体酸素を注入する作業を行います。

▽50分前には担当者による最終のブリーフィングが行われます。

▽15分前、打ち上げの責任者がこのまま打ち上げ作業を進めるか、最終判断を行います。

▽10分前には最終的な打ち上げに向けたカウントダウンを始め、内部電源への切り替えなど最終調整を行います。

▽そして打ち上げの6秒前にコアステージのエンジンが点火されます。

そして、打ち上げられてから、

▽およそ2分後に補助ロケットが、▽8分後にコアステージがそれぞれ切り離されます。

その後、打ち上げからおよそ1時間半後にオリオンが月に向かう軌道にのるよう、2段目のエンジンの噴射が行われ、およそ2時間後にオリオンが分離されます。

オリオンは月へ向かって飛行し、打ち上げから5日後には月に「最接近」します。そして、月を周回しながら12日後に地球から最も離れたおよそ48万キロのところまで到達します。

打ち上げから15日後に地球に帰還する手順が始まり、打ち上げから25日後、アメリカ西部カリフォルニア州サンディエゴ沖の太平洋に着水する計画です。

ケネディ宇宙センター周辺には多くの観光客

半世紀ぶりの宇宙飛行士による月探査の第一歩となるロケットの打ち上げを一目見ようと、ケネディ宇宙センターがあるフロリダ州ケープカナベラルや、その周辺には多くの人が集まっています。

ケネディ宇宙センターが見える公園には、打ち上げ時刻の8時間以上前からキャンピングカーなどで大勢の人がやってきて、双眼鏡やカメラで発射台の方向を見たり、写真を撮ったりして打ち上げを待っていました。

このうち、イギリスから打ち上げを見にきたという男性は「月探査への第一歩が見られるのは一生に一度の機会です。将来、超重量級のロケットや宇宙船が誕生する可能性があり、とても興奮しています」と話していました。

また、中西部オハイオ州から車で20時間かけてやってきたという夫婦は「ここに到着したら、どんどん気分が盛り上がってきました。たびたびカウントダウンの途中で延期されましたが、3度目の正直で成功すると思います」と興奮した様子で話していました。地元の観光当局によりますと、今回の打ち上げに合わせておよそ10万人の観光客がこの地域を訪れると見込んでいるということです。

打ち上げを見た人たちは

ケネディ宇宙センターから15キロ余り離れた公園では、全米各地や海外から訪れた人たちがロケットの打ち上げを見守りました。集まった人たちは声を合わせてカウントダウンをし、ロケットが打ち上げられると大きな歓声をあげていました。そして、夜空を上昇していくロケットが見えなくなるまで軌跡を追っていました。

地元フロリダ州に住む女性は「とても感動的で美しく、涙が出てきました」と話していました。

また、イギリスからきたという男性は「言葉を失いました。まだ実感がわきません。音が切り裂くように伝わってきました。今まで見たものの中で一番、輝いていました」と話していました。

<https://www.cnn.co.jp/fringe/35196196.html>

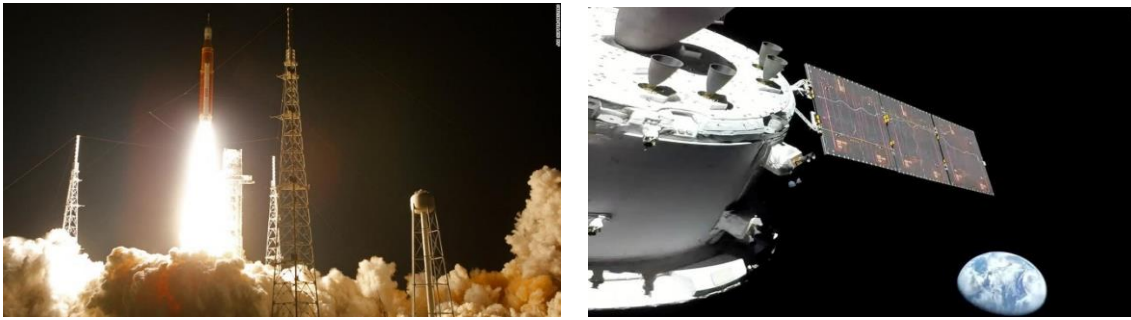
宇宙から見た地球の光景、アルテミス計画初の写真公開

2022.11.17 Thu posted at 10:29 JST

米フロリダ州ケープカナベラル（CNN）人類の月面着陸を目指す米航空宇宙局（NASA）の「アルテミス計画」第1弾として16日に打ち上げられた宇宙船から、地球の姿をとらえた最初の写真が送られてきた。

宇宙船「オリオン」から見た地球の写真は、打ち上げの約9時間後、月へ向かうオリオンが地球から約9万キロ

離れた時点で公開された。



打ち上げられた宇宙船= 16日、米フロリダ州ケープカナベラル/Joe Skipper/Reuters
打ち上げから約9時間後に宇宙船「オリオン」から撮影された地球の写真/NASA



オリオンを搭載したロケット「SLS」=米フロリダ州ケープカナベラル/NASA/YouTube
写真には船長役のマネキン「ムーニキン・カンポス」の姿もあった/NASA

人が乗ることを想定した宇宙船が地球の姿をとらえたのは、1972年に終了したアポロ計画以来、初めてだった。オリオンを搭載した高さ98メートルのロケット「SLS」は米東部時間午前1時47分、米フロリダ州から打ち上げられ、宇宙空間に到達後、オリオンが切り離された。

打ち上げから約8時間後、オリオンは軌道修正のための燃焼を行った。21日には月に最接近し、25日には月の自転と逆行する軌道に入る。最接近時は月の表面から約96キロの圏内にまで近づく予定。

宇宙船には内部と外部に16台のカメラが設置されている。16日に公開された写真には、宇宙服姿で座席に座る船長役のマネキン「ムーニキン・カンポス」をとらえた1枚もあった。

https://news.biglobe.ne.jp/domestic/1116/ym_221116_9518095257.html

「ひつじのショー」月探査用の新型宇宙船に「搭乗」へ…無重力体験の訓練にも参加

2022年11月16日（水）10時27分 [読売新聞](#)



欧州宇宙機関（ESA）の宇宙飛行士の制服を着たひつじのショー＝ESA、アードマン・

アニメーションズ提供 [写真を拡大](#)

【ケネディ宇宙センター（米フロリダ州）＝富山優介】16日午前1時過ぎ（日本時間16日午後3時過ぎ）に打ち上げを予定している月探査用の新型宇宙船「オリオン」に、テレビ番組「ひつじのショー」の主人公ショーの人形が「搭乗」する。無人試験である今回の打ち上げにはスヌーピーも乗り込み、月探査を盛り上げそ

うだ。「ひつじのショー」は英国のアードマン・アニメーションズが制作している。オリオンの開発には欧州宇宙機関（ESA）も参加しており、欧州の代表としてショーを搭乗させることが決まった。子どもにも人気のショーを通じ、月探査への関心を持ってもらう狙いだ。今回の打ち上げでは、オリオンが無重力状態になったことを視覚的に知らせる役割をスヌーピーとともに担う。オリオンは月周回後、12月11日、地球に帰還する計画だ。ESAによると、ショーは航空機を使った無重力体験の訓練にも参加した。ESAはその様子をウェブサイトで紹介している。ESAの担当幹部、デビッド・パーカー博士は声明で「小羊類にとっては大きな飛躍だ」と期待を寄せている。

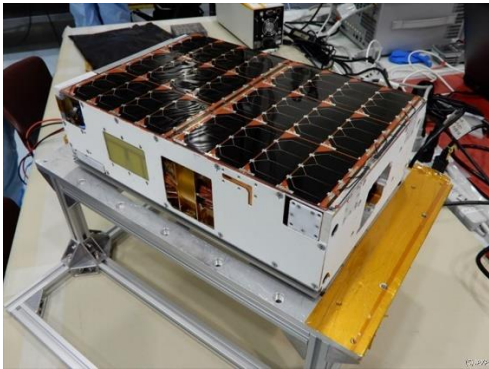
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20221119-2517553/>

超小型探査機「OMOTENASHI」は通信が途絶、しかし月面着陸は「まだ諦めず」

掲載日 2022/11/19 15:13 著者：大塚実

目次 [ロケットからの分離後に何が起きた？](#) [復旧できた場合の運用はようになる？](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は11月18日、米国の超大型ロケット「SLS」(Space Launch System)初号機に相乗りし、月へ向かった超小型探査機「OMOTENASHI」の状況について、説明を行った。同探査機はロケットから分離後、トラブルが発生。想定外の速さで回転しており、発電できていないことが分かったという。



JAXAの超小型探査機「OMOTENASHI」 (C)JAXA

SLS初号機には、多数の超小型探査機が相乗りしていた (C)NASA/Cory Huston

JAXAは現在、復旧するための運用を続けている。しかし、同17日以降、探査機からの電波は受信できておらず、現在の状況は不明だ。月にはどんどん接近しており、残された時間的な余裕はあまりない。厳しい状況ではあるが、運用チームはまだ月面着陸を諦めてはおらず、当初の計画とは違った形の着陸も検討している。

ロケットからの分離後に何が起きた？

SLS初号機は、11月16日15:47(日本時間)に打ち上げを実施。OMOTENASHIは予定通りにロケットから分離されたことは確認できたものの、最初の可視であるNASADSNマドリッド局での運用(同20:41～)で通信を試みたところ、探査機が回転しており、電波強度が弱い状態であることが分かった。

送信機をハイパワーモードにすると通信が可能になり、探査機からテレメトリを受信。このデータを確認した結果、太陽電池が太陽の反対を向いたまま、高速に回転していることが明らかになった。回転速度は約80°/sという、通常なら考えられないような速さ。しかもコマのように安定しているため、このままだと全く発電ができない。通常であれば、OMOTENASHIはロケットからの分離時に電源がオンになり、自動的にシーケンスが開始、太陽捕捉制御を行うはずだった。これは、太陽電池に太陽光が当たるよう、姿勢を変える制御である。探査機は、電力を失ってしまえば、もう何もできない。探査機にとって電力は、真っ先に確保しなければならない、最重要なリソースなのだ。ただロケットからの分離時、探査機は分離機構から外乱を受け、回転運動を始める。OMOTENASHIは、この回転が小さい場合には、リアクションホイールで太陽捕捉を開始するが、回転が大きかった場合は、リアクションホイールでは能力が足りないため、まずガスジェットを噴射し、回転を止めてから太

陽捕捉するようにプログラムされていた。

2. 第1可視時の探査機電源オン時の自動シーケンス（計画）

SLSロケット搭載状態では探査機の電源はオフで、ロケットから分離されるとスイッチが入り、以下の動作が自動で行われる。

- ・ コマンド受信機オン。
- ・ 搭載計算機オン。
- ・ Xバンド送信機オン。
- ・ 姿勢制御装置オン。
 1. 探査機の回転が小さい場合
太陽捕捉制御（リアクションホイールで太陽電池面を太陽方向に向ける制御）開始。
 2. 探査機の回転が大きい場合
レートダンブ制御（ガスジェット推進装置を起動して回転を停める制御）開始。回転数が規定値以内に入ったら制御を終了し、太陽捕捉制御を起動する。
- ・ 放射線モニタオン。計測開始。

なお、探査機が軌道上でオフになった場合にも、探査機電源が再度規定値電圧以上になれば、以上のシーケンスが自動的に実行される。

3

(C)JAXA

起動時の自動シーケンス (C)JAXA

しかし、原因は不明だが、OMOTENASHIはこのとき、なぜか高速に回転していた。太陽捕捉モードに移行していたが、太陽は捕捉されていない状態だった。このままだと電力が枯渇してしまうので、運用チームは急遽、ガスジェットを噴射するコマンドを送り、回転を止めることを試みた(レートダンブ制御)。

だが、発電ができていない状態のため、バッテリー電圧が低下。このままでは回転が止まる前に電力が尽きることが予測されたため、レートダンブ制御を中断。次に、回転軸方向を動かすようにガスジェットを噴射するコマンドを送った。完全に太陽を向かなくても、少しでも太陽が当たるようになれば、徐々に充電ができるようになるはずだ。しかし電圧の低下は続き、ついには送信機がオフに。これを最後に、現在まで探査機からの電波は受信できておらず、回転軸の向きがどのくらい変わったのか、結果は不明だ。

3. 第1可視（DSNマドリード局）の実際の状況

- ・ 可視予定時間になってもテレメトリがロックしなかった。DSN局からは電波強度が弱く、探査機が回転しているため、受信しづらいとの連絡あり。
- ・ 送信機をハイパワーモードにしたところ、テレメトリがロックした。テレメトリを確認すると、太陽電池（+Y面）が太陽とほぼ反対側を向く姿勢になっており、探査機がY軸回りに約80度/秒で回転していた。制御モードは太陽捕捉になっていた。
- ・ この状態ではリアクションホイールが動作せず、従って太陽捕捉制御が途中で停まっていた。姿勢制御を行うためには、探査機の回転数を規定値まで落とす必要があった。
- ・ しかしバッテリー電圧が低下しており、通常の手順で回転数を落とす操作では間に合わないことが予想されたため、回転軸方向を変えて少しでも太陽電池に太陽をあてることを考えた。その後、バッテリー電圧低下により送信機がオフとなったので、この操作を行うコマンドが有効であったのかどうかは現時点で判明していない。

4

(C)JAXA

最初の可視での状況 (C)JAXA

探査機は電源がオフになった可能性が高いが、バッテリーが充電されれば再起動し、同じように自動的にシーケンスが開始する仕組みだ。ただ、送信機とガスジェット装置は消費電力が大きいので、バッテリーが少ししか充電されていない状態だと、またすぐに電源が落ちて、これを繰り返すことになってしまう。

そのため、2 回目の可視であるゴールドストーン局(17 日 02:55~)以降の運用では、再起動しても電源が落ちないように、送信機とガスジェット装置を使わない設定にするコマンドの送信を続けている。まずはバッテリーの充電を最優先に進めよう、という方針だ。

ただ送信機がずっとオフのままだと、状況が全く分からない。そのため、短時間だけ送信機をオンにするコマンドも、定期的に送信しているとのこと。

4. 第2可視以降の対応

- 探査機は電源オンとなると、自動的に搭載計算機、受信機、姿勢制御装置、Xバンド送信機などがオンとなり起動する。探査機の回転数が大きいときには、レートダンプモードが起動し、ガスジェットを噴射して回転数を落とすようなプログラムになっている。
- 特にXバンド送信機、ガスジェット装置の消費電力が大きいため、バッテリー充電が進み探査機の電源がオンになると、すぐにまたオフになってしまう。そのため、現在、送信機オフとガスジェット装置を使用しない制御モードへ移行するコマンドを打ち続けて、バッテリー充電を効率的に行うようにしている。
- 送信機オフの場合、探査機の充電状態等がわからないため、定期的に短時間送信機をオンにして、電波が送信されるかどうかを確認している。
- 電波の受信が確認された場合、太陽指向を目指すのが、姿勢を変更する方法としてはガスジェット装置の他、リアクションホイールをマニュアル駆動する方法も検討している。

6

(C)JAXA

2 回目の可視以降の対応 (C)JAXA

OMOTENASHI の太陽電池は、+Y 面にしか貼られていない。OMOTENASHI チーム長の橋本樹明氏(JAXA 宇宙科学研究所 宇宙機応用工学研究系 教授)によれば、裏側の面などにも貼りたかったものの、分離装置のサイズが決まっていて、太陽電池を貼る隙間がもう無かったため、できなかったそうだ。

しかし、なぜ高速回転していたのか。OMOTENASHI の開発時、NASA から伝えられていた仕様では、分離時の外乱は最大でも $10^\circ/s$ だったという。テレメトリにはガスジェットの累積噴射時間が記録されており、それによると $10^\circ/s$ 程度のレートダンプ制御が行われた模様だが、発見された時の状況とは矛盾している。

気になるのは、姿勢制御系に不具合は無いのか、ということだ。もし異常があれば、復旧のために姿勢を変えようとして、さらにおかしな姿勢になりかねない。ただ、今のところ故障している機器は見つかっておらず、可視中の運用ではレートダンプ制御が正常に機能し、回転速度の低下が見られたという。

一方、日本のもう 1 機の超小型探査機「EQUULEUS」については、これまで順調に運用が進んでいる。EQUULEUS の分離時の外乱について確認したところ、回転速度は $10^\circ/s$ 程度だったそうで、大きめではあるが想定内だった。現状、事実として分かっているのは、最初の通信確立時に、約 $80^\circ/s$ という速さで回転していたということだけだ。ロケットからの分離時に高速回転したのか、レートダンプ制御や太陽捕捉制御がうまくいかなかったのか、あるいはその後になんかが起きたのか、現状では何も分かっていない。

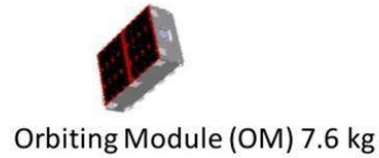
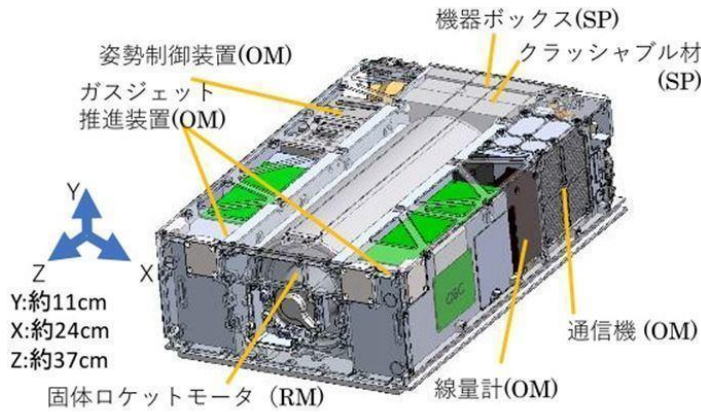
現在、運用チームは探査機の復旧に全力を尽くしているため、この原因究明をしている余裕はほぼ無い。このあたりの原因が判明するのは、おそらく全てが終わってからになるだろう。

復旧できた場合の運用はどうなる？

OMOTENASHI はもともと、2 回の軌道制御を行う計画だった。1 回目(DV1)は、月のそばを通過する軌道から、月に衝突する軌道へ投入するもので、これはガスジェットを使う。そして 2 回目(DV2)は、月面への衝突速度を落とすもので、これは固体ロケットモーターによって行われる。

1. 探査機の構成図

OMOTENASHI探査機は3つの部分から構成される。
着陸直前にRM+SPがOMから分離される。



合計 12.6 kg

2

(画像クレジット: JAXA)

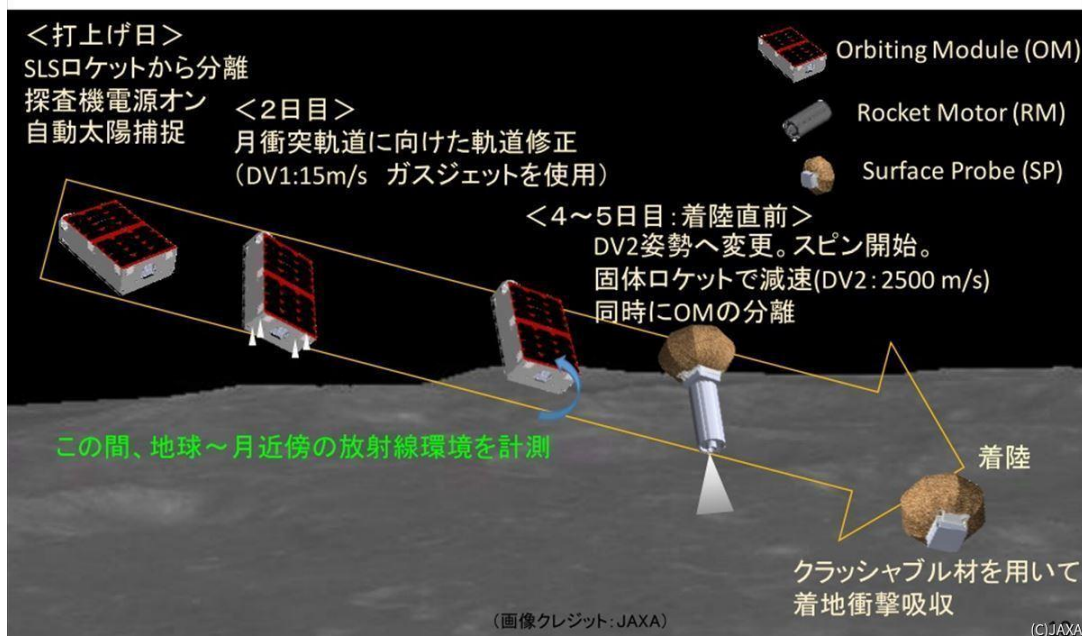
(C)JAXA

OMOTENASHI の構造。3つの部分から構成される (C)JAXA

OMOTENASHI のサイズは約 11cm×24cm×37cm。中心に円筒形の固体ロケットモーターが入っていて、その頭部にわずか 0.7kg の着陸機が搭載されている。探査機全体を着陸させる余裕は無いため、着陸の直前に固体ロケットモーターに点火し、外側の探査機本体は捨て、身軽になる仕組みだ。

ミッションシーケンス

ロケットから分離後、4~6日(ロケットの打上げ日により変わる)で月面に到達する。



ミッションのシーケンス (C)JAXA

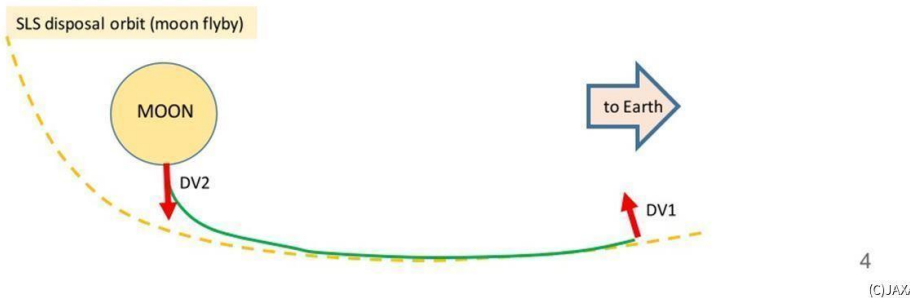
当初の計画では、17日 22:30に DV1 を開始する予定だったが、このタイミングでは実施できなかった。DV1 は遅れば遅れるほど制御量が大きくなるため、なるべく早く実施する必要がある。探査機がいつ復旧できるか次第になるが、太陽捕捉が完了し、復旧できたらすぐ DV1 を実施できるよう、コマンドを準備しているという。

OMOTENASHIの軌道 (模式図)

- DV1: 月衝突軌道に投入する(ガスジェットで実現。10 to 20 m/s)
- DV2: 月面着陸のための減速(固体ロケットで実現。2500 m/s)

DV: Delta-V (軌道制御のこと)

- ✓ DV2の減速量がちょうど2500m/sとなるようにする
- ✓ 月の表側(地球を向いた面)に着陸させる
- ✓ なるべく垂直に近い方向から着陸させる
- ✓ 燃料削減のため、DV1の減速量をなるべく少なくする
- ✓ 精密軌道決定に時間を確保するため、DV1を短時間で終了させる



何もしなければ月を通過してしまうので、DV1 で軌道を変える (C)JAXA

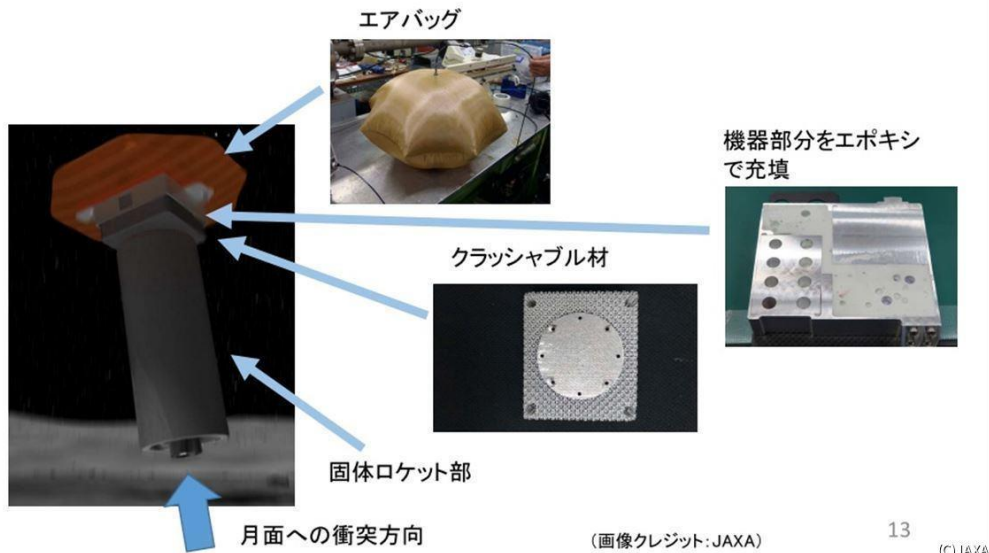
もし仮に、DV1 が実施できなかった場合はどうなるのか。この場合、運用チームは、DV2 のみで着陸することを検討しているという。ただ固体ロケットモーターは一度しか使えず、途中で燃焼を中断することもできない。月衝突軌道への投入と衝突速度の減速を同時に行うことになるため、本来の着陸とは想定が大きく異なってくる。この場合、本来よりも高い高度で噴射が終了し、そこから自由落下で加速して月面に衝突することになるため、衝突速度は間違いなく大きくなる。本来の想定は 75m/s 以下で、JAXA はこれをセミハードランディングと呼んでいたが、もはやセミハードとは言えず、ハードランディングに近い状態になる。

さらに、姿勢も問題だ。本来は、着陸機の下側から衝突するはずだったため、下側にあるクラッシュブル材で衝撃を吸収する予定だったが、どのような向きになるか分からない。開発当初は上側にエアバッグを膨らませる予定で、現在も搭載はされているが、配管などはもう省略されてしまったため、今から膨らませることはできない。ただ、着陸機は機器部分をエポキシで充填するなど、高い衝撃に耐えられるよう作られている。衝突場所が岩などであれば難しいが、レゴリスで柔らかい地形であれば、ハードランディングでも「不可能ではない」(橋本教授)と見る。しかしいずれにしても、全ては探査機からの電波が復活するかどうかにかかっている。このまま通信が途絶えたままだと、何もできない。DV2 の予定時刻は、21日 23:55±1 時間程度。DV2 のシーケンスには数時間が必要になるため、遅くとも、数時間前までには復旧していなければ、間に合わなくなってしまう。そこがタイムリミットになる。あまり考えたくはないことであるが、もしこのまま DV2 まで間に合わなかったらどうなるのか。もし現在も太陽と反対向きで回転を続けていれば、回転軸の向きはそのまま維持されるものの、太陽の周りを公転しているため、数カ月後には太陽が当たるようになると予測される。

ここで電力は復活するはずだが、OMOTENASHI は惑星間軌道へ行ってしまったため、もう月への着陸はできない。ただ、OMOTENASHI には、今後の有人月探査/火星探査のために、放射線環境を測定するというミッションもあった。数 100 万 km くらいなら通信は可能とのことで、最後まで復旧を目指す構えだ。

衝撃吸収技術

- 上部からの衝突にはエアバッグ、下部からの衝突にはクラッシュブル材を用いて衝撃を吸収する予定であった。その後、必ず下部から衝突することが示されたため、エアバッグは膨張させずに展開アンテナとして使用することとした。



当初はエアバッグも膨らませる計画だったが、変更された (C)JAXA

OMOTENASHIのミッション

- 地球磁気圏外での放射線環境の測定
 - ✓ 宇宙放射線は、地球磁気圏での遮蔽効果があるため、国際宇宙ステーションの軌道ではかなり低く抑えられている。人類が月や火星に向かう際にはより強い放射線環境が想定されるので、その値を知っておく必要がある。
 - ✓ 地球磁気圏外での放射線環境測定例は非常に少ない。そこで数十グラムの超小型の線量計を搭載し、放射線環境の測定を行う。超小型では高精度の観測はできないが、今後多数の探査機に搭載することができる。多数の地点、時点での観測データを集めることができる。
 - ✓ 地上での携帯型線量計を改造して搭載。陽子と重粒子のカウントを識別するため、2種類の閾値を持つセンサを搭載している。



OMOTENASHI には、放射線を計測するセンサーが搭載されている (C)JAXA

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20221117-2515686/>

ミニチュア太陽フレア、九大がレーザーを用いた実験で生成することに成功

掲載日 2022/11/17 18:28 著者: 波留久泉

九州大学(九大)は 11 月 15 日、世界有数の大型レーザーである大阪大学(阪大) レーザー科学研究所(ILE)の「激光 XII 号レーザーシステム」を用いて、高エネルギープラズマ中で、太陽フレアと同様に、磁力線がつながり替わる

「磁気リコネクション」(磁力線再結合)とともにプラズマが加熱・加速される様子と、局所的なプラズマ挙動を計測することに成功したと発表した。同成果は、九大大学院 総合理工学研究院の森田太智助教、同・松清修一准教授、同・諫山翔伍助教、青山学院大学の山崎了教授、同・田中周太助教、富山大学の竹崎太智助教、北海道大学の富田健太郎准教授、阪大の坂和洋一准教授、同・蔵満康浩教授らの共同研究チームによるもの。[詳細は、米国物理学会が刊行する多体システムの集合現象に関する全般を扱う学際的な学術誌「PHYSICAL REVIEW E」に掲載された。](#)

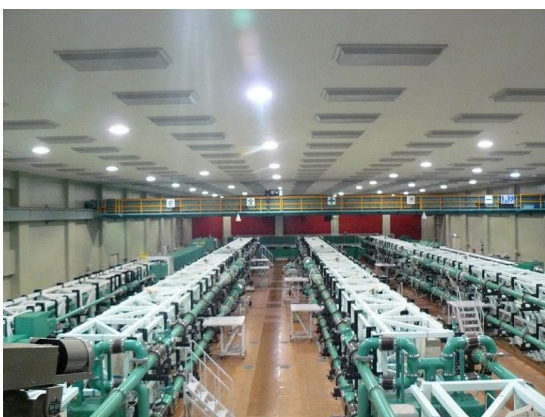
磁気リコネクションは、ほぼ反平行に近い磁力線を伴う2つのプラズマが互いに近づく際に、境界面に流れる電流が電気抵抗で弱まり、消えるために磁力線がつなぎ替わる現象であり、再結合後は、磁場による張力でプラズマが加速・加熱される。

太陽フレアや磁気圏プラズマ、降着円盤などの天体プラズマ、磁場閉じ込め核融合プラズマなど、さまざまな環境においてプラズマを加熱・加速し、磁場からプラズマへのエネルギー変換の速さを決める重要な現象であるため、観測・数値計算などで盛んに研究されているが未解明な点も多い。

特に、磁力線がつなぎ替わる速さを定量的に説明できず、磁場からプラズマを構成する電子・イオンにどのようにエネルギーが変換・分配されるのかが明らかにされていない。電荷を帯びた流体としてプラズマを考える磁気流体近似では、観測される磁気リコネクションを説明できず、プラズマを構成する粒子個々の運動を考慮する必要があるという。

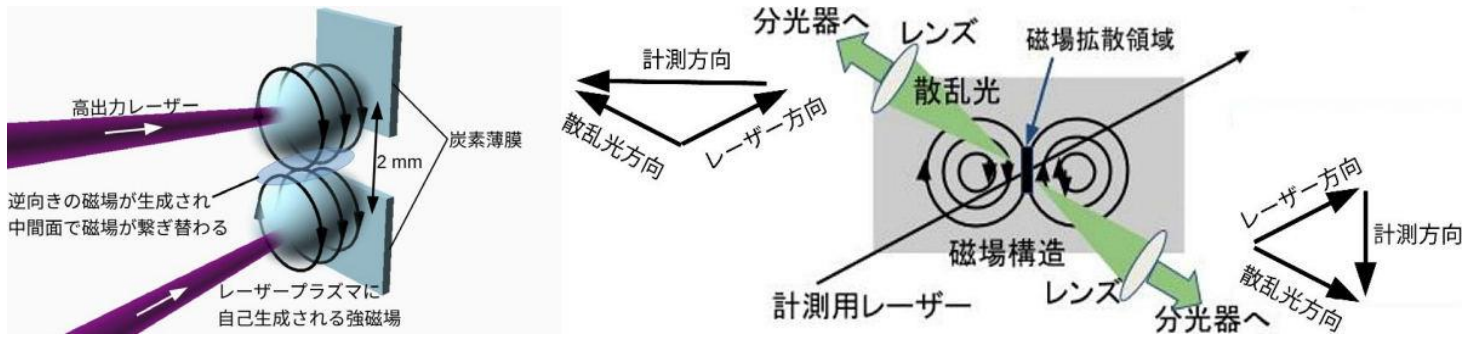
レーザープラズマを用いると、高温・高密度なプラズマが生成でき、これまでにないパラメータ領域で実験が可能であるため、研究の進展が期待されている。しかし、プラズマが微小で非定常なため、時間・空間分解した計測が難しく、これまで詳細なパラメータや、プラズマを構成する粒子集団の速度分布などを計測することができていなかったとする。そこで研究チームは今回、激光 XII 号レーザーシステムを用いて、磁気リコネクションを引き起こすような反平行な磁場配位を高エネルギープラズマ中に生成することにしたという。

高出力レーザーを集光照射すると、プラズマ中には周回状の磁場が自己生成される。そして異なる2点にレーザーを照射すると、その間には逆向きの磁場を持つプラズマが生成されることがわかっている。今回は、このプラズマ中に別の低エネルギーな計測用レーザーを集光照射して、プラズマ中の電子による散乱光を異なる二方向から分光計測することにしたとする。



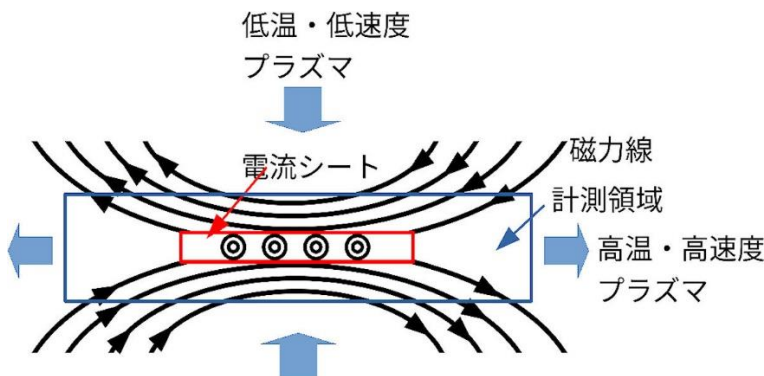
(左)阪大 ILE の激光 XII 号レーザーシステム。(右)太陽における磁気リコネクションとプラズマ放出(太陽フレア)の様子 (c) NASA's Conceptual Image Laboratory (出所:九大プレスリリース PDF)

プラズマ中の自由電子からの散乱は「トムソン散乱」と呼ばれ、この光のスペクトルを詳細に解析することで、プラズマが持つ温度、速度、イオン価数、局所的な電流やプラズマ流の速度を求めることが可能であり、計測は、計測用レーザーの入射方向と散乱光が作るベクトル差で決まる方向に沿ったものになるという。



(左)レーザー照射の様子。高エネルギープラズマが発生し、2つのプラズマ間に逆向き磁場が自発的に形成される。(右)実験によって生成する磁場配位と計測の模式図 (出所:九大プレスリリース PDF)

計測の結果、反平行磁場に垂直な方向には電子とイオンに異なる速度、つまり電流が計測され(電流シート)、時間とともにこの電流が減少して消失する様子が観測された。これは磁場がつながり替わったことを意味するという。



磁気リコネクション領域の模式図。今回の研究の計測により、この領域内のプラズマ挙動が実験的に解明された (出所:九大プレスリリース PDF)

それと同時に、磁場に平行な方向には、プラズマを構成するイオンの速度分布を求めることができ、プラズマが加速・加熱されている結果を示唆するものだったとする(高温・高速プラズマ)。

研究チームでは今回の成果を踏まえ、今後、さらに多方向での計測が可能なシステムを開発することで、磁力線を貫く任意の方向のプラズマ計測が可能になるとしているほか、このシステムを用いることで、磁力線がつながり替わる微小領域における粒子運動や、磁場からプラズマを構成する電子・イオンへのエネルギー分配を詳細に調べることが可能となることから、これまで未解明だった速い磁気リコネクションの駆動メカニズムやエネルギー変換過程の解明に役立つことが期待されるとしている。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20221118-2516529/>

イプシロン 6 号機の失敗原因究明が進む、H3 ロケットは一部に設計変更も

掲載日 2022/11/18 13:53 著者：大塚実

[不自然に大きかった燃料タンクの理由は？](#) [H3 の設計変更が決定、打ち上げへの影響は？](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は 11 月 11 日、宇宙開発利用部会の調査・安全小委員会にて、イプシロン 6 号機の打ち上げ失敗原因に関する調査状況を報告した。原因については引き続き確認中で、絞り込みに大きな進展は無いものの、いくつか追加情報が出てきたほか、H3 ロケットの設計変更に関する方針も明らかになった。

不自然に大きかった燃料タンクの理由は？

まずは、最新の調査状況についてだ。これまでの調査により、第 2 段 RCS で問題が起きた可能性のある場所としては、すでにパイロ弁とダイアフラムの 2 つに絞られていたが、今回の報告では、ダイアフラムについて、より詳しい情報が出てきた。

参考:[イプシロン 6 号機の失敗原因は 2 つに絞り込み、製造・検査データから調査](#)

ダイアフラムは、燃料タンクの内側に設置されたゴム膜である。液体の燃料(ヒドラジン)と、気体の押しガス(窒素)を分離する役割があり、これによって、燃料に確実に圧力を加え、下流のスラスタに押し出すことが可能となっている。

EPSILON

1. イプシロンロケット6号機概要

1-4. (c) 2段RCS開発経緯(再掲)

■ イプシロンの2段RCSの試験機と強化型(2号機~6号機)の仕様を下表に示す。

項目	試験機	強化型(2号機~6号機)
システム	スラスタ4基・タンクのモジュールを180° 対向2式	試験機から変更なし
推進タンク	Φ362mm ブラダ式 タンク×2式 ※ 推進薬充填・加圧@工場	Φ362mm ダイアフラム式 タンク×2式 ※ 推進薬充填・加圧@工場
パイロ弁	4基 (2基(イニシエータ1式)×2式)	2基 (1基(イニシエータ2式)×2式)
スラスタ	8基(4基×2式)	試験機から変更なし

燃料タンク内で液体と気体を仕切っているのがダイアフラムだ (C)JAXA

このダイアフラムによる閉塞について、JAXA は詳細 FTA(故障の木解析)を展開。ダイアフラムが正常だったケースと異常だったケースについて検証を行った。このうち、前者はやや分かりにくいかもしれない。ダイアフラムが正常なのに、どうして閉塞が起きる可能性があるのか。これには、イプシロン特有の事情が関連している。じつはイプシロン第2段 RCSの燃料タンクは、容量が 24 リットルであるのに対し、燃料の充填量、つまり必要な量は 9 リットルだけだったという。約 3 分の 1 しか燃料が入っていない状態で打ち上げているわけで、これは H-IIA(容量 37 リットル・充填量 36 リットル)や H3(容量 74 リットル・充填量 72 リットル)と比べても、明らかにバランスが悪い。各ロケットのタンク容量と充填量については、この表に記載がある (C)JAXA

なぜ H-IIA/H3 と違い、タンクが無駄に大きいのか。これは、他の宇宙機の設計を流用したためだ。もちろん、イプシロン専用に新しく設計するのが性能的には最適であるのだが、それだと時間もコストもかかってしまう。イプシロンは M-V 後継機としてなるべく早く開発する必要があり、設計の流用はそのための選択だった。

イプシロンは充填量が少ないため、ダイアフラムが燃料の出口側に近い状態にあった。なお、H-IIA/H3 でもこのリスクについて検証が行われたが、ほぼ満タン状態で出口側からは最も離れており、このリスクについては問題無しと判断されている。

フライト中にダイアフラムが変形して出口を塞ぐ可能性があるのかどうか確認するため、JAXA は追加試験を実施。透明なアクリルでタンクを再現し、同量の水を入れたときに(燃料を模擬)、ダイアフラムがどのようなものになるのか調べた。その結果、静止した 1G 環境においては、水が下部に偏り、ダイアフラムは少し出口側に接近するものの、十分に離れており、閉塞の可能性が無いことが分かった。ただ、フライト中は無重力環境下や加速度環境下になるため、そういったときに近接する可能性があるのか、引き続き調査している。

3. 水平展開

3-1. H3・H-IIAロケットへの水平展開

(b) 影響評価の対象

- イプシロンロケット6号機のFTA絞り込み状況を踏まえ、H-IIAロケットおよびH3ロケットのRCSでは、推進薬を充填する「タンク(ダイアフラム含む)」、および「推進薬遮断弁(パイロ弁)」を影響評価の対象とした。

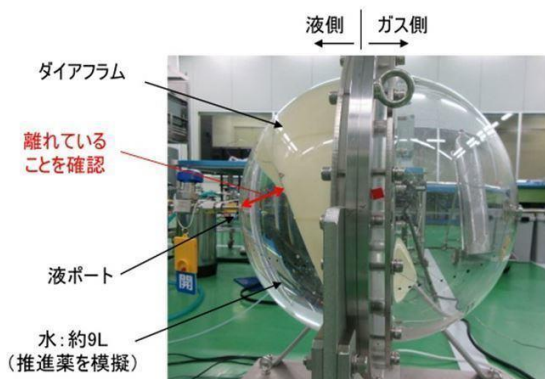
	イプシロン RCS	H3 RCS	H-IIA RCS
推進薬	ヒドラジン	ヒドラジン	ヒドラジン
タンク	ダイアフラム式タンク×2式	ダイアフラム式タンク×1式 (イプシロンと設計・形状が異なる)	ダイアフラム式タンク×2式 (イプシロンと設計・形状が異なる)
	タンク容量: 24L 充填量: 9L	タンク容量: 74L 充填量: 72L(試験機1号機)	タンク容量: 37L 充填量: 36L
推進薬供給配管	1/4inch ステンレス配管	6/16inchステンレス配管	6/16inchステンレス配管
推進薬遮断弁	パイロ弁 搭載数2式	パイロ弁, 搭載数1式 (イプシロンと同じ製造元であるが製品は異なる。作動原理は同じ。)	パイロ弁, 搭載数2式 (イプシロンと製造元も作動原理も異なる。)
パイロ弁点火信号	OBCから1sずらして信号送出	VCON2A,VCON2B(*)から1sずらして信号送出	GCC2から同時に信号送出
スラスタ	23Nスラスタ 搭載数8式 (2か所にそれぞれ4式)	50Nスラスタ 搭載数8式 (2か所にそれぞれ4式)	50Nスラスタ 搭載数8式 (2か所にそれぞれ4式)

2. 原因究明状況

2-2. 推進薬供給配管の閉塞

(c) ダイアフラム正常ケース【A-2-1】

- 【A-2-1】「ダイアフラムが正常」について、推進薬搭載時のダイアフラム形状を確認するための試験を実施した結果、1G環境下ではダイアフラムが液ポートから離れていることを確認した。
- フライト中の加速度等により、ダイアフラムが液ポートに近接する可能性があるか調査中。



アクリルタンク(1G環境)

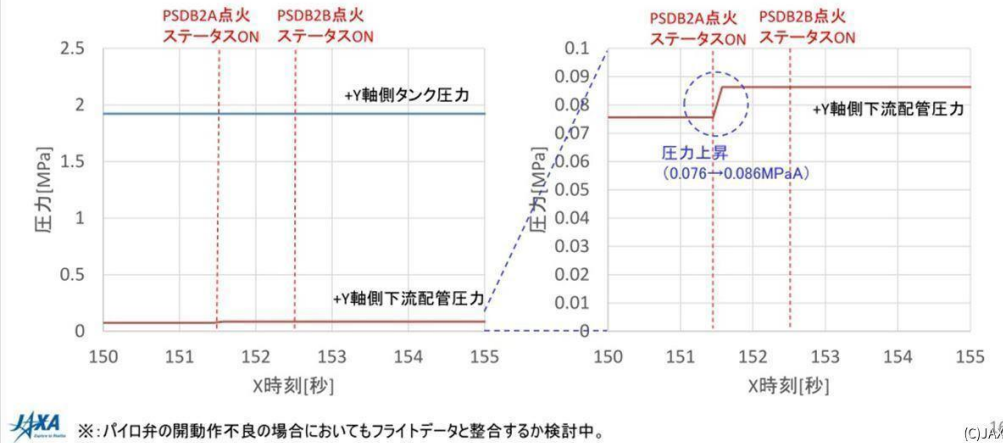
JAXA がアクリルで再現した燃料タンク。ダイアフラムは斜めになっている (C)JAXA

これに関連するかはまだ不明なものの、JAXA はフライト中の圧力データの挙動に注目。すでに報じたように、パイロ弁に点火信号を送っても+Y 側モジュールでは下流の圧力が上がらなかったのだが、じつは1ビット分だけ上昇していた。

2. 原因究明状況

2-2. 推進薬供給配管の閉塞 (b) フライトデータによる評価

- フライトデータではパイロ弁点火信号送出時に+Y軸側の下流配管圧力が1分解能分上昇している。
- 上記が実事象の場合かつダイヤフラムが液ポートに近接していた場合、パイロ弁開動作時にダイヤフラムが液ポートに引き込まれて閉塞するとともに推進薬がわずかにパイロ弁下流に流れ込むことにより、フライトデータと整合する可能性がある※。



下流(スラスト側)の圧力データ。良く見ると、わずかに上昇している (C)JAXA

センサーの精度以下とのことで、実際に圧力がわずかに上がったのかどうかについてはまだ検証中。ただ、仮に実現現象だとすると、ダイヤフラムが出口側をほぼ覆っていた状態において、パイロ弁が開いたときに出口側に引き込まれ、燃料がわずかに流れ込んで閉塞する、というシナリオと整合する可能性がある。

ただ、このわずかな圧力上昇が実際に起きた現象だったとしても、だからといってすぐにダイヤフラムが原因だということにはならない。パイロ弁の動作不良、たとえば点火してわずかに開いたような場合でもこうなる可能性があり、そのケースについても検討中ということだ。

一方、ダイヤフラムが異常だったケースについては、燃料がガス側に漏れるなどして、ダイヤフラムが出口側に近接するような現象が疑われている。こちらについては、製造・検査データを調査中。いくつか確認中の項目が残っているものの、ダイヤフラム製造や気密試験などの結果は良好で、今のところ問題は見つかっていない。

ダイヤフラムについて、筆者は[前回の記事で「噴射前で燃料が満タンであったことから、破損でもなければやや考えにくい」と書いた](#)のだが、最初から満タンでは無かったということで、前提条件がちょっと変わってしまった。原因はダイヤフラムなのかパイロ弁なのか、全く分からなくなってきたというのが正直なところである。またパイロ弁については、少し気になる新情報がある。[前回の記事で、パイロ弁は4号機~6号機で同一ロットだったと書いた](#)が、これは問題が起きた+Y側モジュールの話で、正常に動作した-Y側モジュールのインシエータの1つは、導通絶縁の点検で少し規格を外れたため、新しく調達した別ロット品を使っていたという。

1つ注意して欲しいのは、だからといって、新しいロットを使ったから-Y側は機能して、長く保管したロットを使ったから+Y側は機能しなかった、という結論にはならないということだ。引き続き詳しい調査が必要で、JAXAは今後、交換で取り外されたインシエータを調べることも検討しているという。

H3の設計変更が決定、打ち上げへの影響は？

イプシロン6号機の失敗原因について、JAXAは他のロケットへの水平展開を進めていたが、今回、H3の設計の一部を変更する方針を固めた。設計を変えるのは、第2段RCSのパイロ弁で、従来はイプシロンと同メーカーの別製品を使う予定だったが、これをH-IIAで使ってきたものに交換するという。イプシロンの失敗原因については調査が続いており、まだパイロ弁に問題があったかどうかは分かっていないのだが、H3初号機は時間的な余裕がなく、結論を待っている、年度内の打ち上げが間に合わなくなる恐れがある。パイロ弁の交換は予防的な措置で、もし問題が無いことが分かれば、2号機以降で設計を元に戻す可能性もあるとのこと。

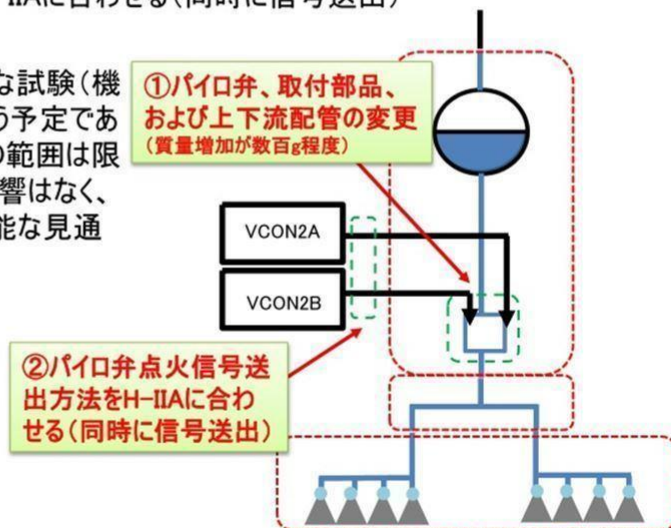
3. 水平展開

3-2. H3ロケットへの評価概要 (b) H3ロケット第2段RCSの設計変更

■ H-IIAロケットと同じパイロ弁への交換に際し、以下の設計変更を実施する。

- ①パイロ弁、取付部品、および上下流配管の変更
- ②パイロ弁点火信号発出方法をH-IIAに合わせる(同時に信号送出)

■ 一部技術評価を継続および最終的な試験(機械的環境への耐性)による確認を行う予定であるが、パイロ弁交換による設計変更の範囲は限られておりロケットシステム全体への影響はなく、H-IIAパイロ弁をH3ロケットへ適用可能な見通し。

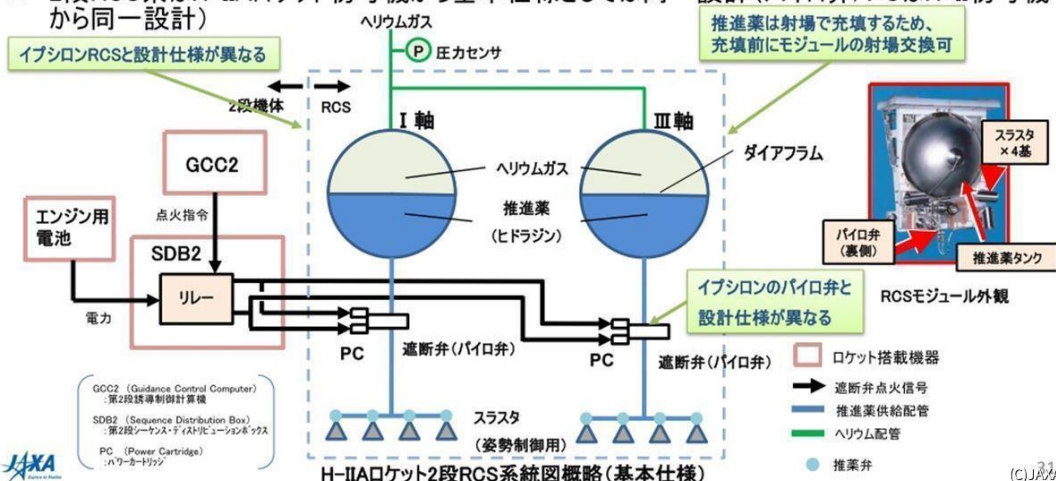


H3 初号機のパイロ弁を交換する。変更は緑点線の範囲に限られる (C)JAXA

3. 水平展開

3-3. H-IIAロケットへの評価概要 (a) H-IIAロケット第2段RCS(システム)について

- 第1段ロケット燃焼終了後の1/2段分離以降の2段機体姿勢制御用装置であり、推進薬タンク及びスラスタ等からなるモジュールが2式搭載されている
- イプシロン同様に推進薬にはヒドラジンを使用しており、射場での安全確保のため地上では遮断弁(パイロ弁)閉とし、飛行中にパイロ弁を作動させ流路を开通させる
- 艙装はすべて工場で行い、射場でパイロ弁用火工品の取付/結線と推進薬の充填を行う
- 2段RCS系はH-IIAロケット初号機から基本仕様としては同一設計(パイロ弁/PCはH-II初号機から同一設計)



H-IIA の第 2 段 RCS。パイロ弁の設計仕様は、イプシロンと大きく異なる (C)JAXA

このパイロ弁は、H-II の時代から使ってきたもので、実績は非常に豊富。H-IIA/B まで同一設計で使っており、過去 50 フライト以上で問題が起きていない。交換するためには、取付部品や上下流配管を変更する必要があるものの、設計変更の範囲は限定的で、ロケットシステム全体への影響は無いと判断された。

従来のパイロ弁は、イニシエータの点火に時間差が必要だったのに対し、H-IIA のパイロ弁は、パワーカートリ

ッジを同時に着火するという違いがある。ただ、これについても、パラメータを変えるだけで良く、変更は容易。スケジュールへの影響は小さく、JAXA は試験を行った上で、予定通り年度内の打ち上げを目指す、としている。

https://news.biglobe.ne.jp/economy/1114/jbp_221114_3124797053.html

米国・ロシア・中国が進める宇宙開発の全貌と軍事利用

2022年11月14日（月）6時0分 [JBpress](#)



[写真を拡大](#)

中国が独自に建設中の宇宙ステーション「天宮」で実験施設の役割を果たす最後のモジュール「夢天」が10月31日、海南省の文昌発射場から大型ロケット「長征5号B」で打ち上げられた。

「夢天」は、11月1日、「天宮」にドッキングした。軌道上の位置の調整などを行った後、「天宮」は有人宇宙ステーションとして完成する。中国は、独自に宇宙ステーションを保有する国として、旧ソ連（サリュート1971年）、米国（スカイラブ1973年）に次いで史上3番目となる。これで、[習近平](#)総書記が言う「宇宙強国」になるという野望に向けて、新たなマイルストーンが築かれたことは確かである。

さて、ジョン・F・ケネディ米大統領が「われわれは月へ行くことを選択する」と宣言してから60年が経つ。ケネディ大統領はライス大学で1962年9月12日に行った歴史的な演説で、米国はソ連との宇宙開発競争に全力を注ぐことを断言した。60年経った今、米国は中国との新たな宇宙開発競争に突入している。

いふなれば宇宙における覇権争いである。すなわち覇権を手にしたものが宇宙のルールを決めることができるのである。宇宙空間には国境の概念がない。人工衛星を利用すれば、地球上のあらゆる地域の観測や通信、測位などが可能となる。また、宇宙開発には軍用と民用の境はない。米ソ冷戦時代に打ち上げられる衛星の75～80%は軍事衛星であったが、現在は80%が民間衛星である。そして、軍は民間衛星の情報を買うようになった。強靱な宇宙産業を育成することが、とりもなおさず宇宙における軍事力を高めことになる。

これは、軍事と経済社会を結びつけることで軍事力の強化と国家の振興を同時に目指す中国の「軍民融合」の施策に通じるものであろう。世界では、軍事、宇宙、医療、バイオなど、最先端の科学技術の研究は、軍、政府、産業界、学术界が一体で取り組んでいる。一方、日本では戦後ずっと、第2次大戦中、研究者や企業が戦争に関与したとの反省から、国防の研究開発をタブー視する空気が強く、民間研究機関の軍事研究が行われてこなかった。日本には「宇宙の平和利用」に固執する傾向があるが、米・中・露などは「宇宙の軍事利用」を積極的に推進している。現在、人工衛星を活用すれば、地球上のあらゆる地域の観測や通信、測位などが可能となる。

このため主要国は、軍事施設などを偵察する画像収集衛星、弾道ミサイルなどの発射を感知する早期警戒衛星、通信を仲介する通信衛星や、武器システムの精度向上などに利用する測位衛星をはじめ、各種衛星の能力向上や打上げに努めている。もし、これらの人工衛星が対衛星兵器（ASAT：anti-satellite weapon）によって、破壊又は無力化されたら、部隊の運用ができなくなってしまうであろう。

2019年12月に創設された米宇宙軍トップのジョン・レイモンド宇宙作戦部長が朝日新聞のインタビューに応じ、「宇宙はもはや平和的空間ではなく、戦闘領域になった」との認識を示した。ところで、本稿では中国の近年の宇宙開発の目覚ましい進展状況と我が国の宇宙プラットフォームにとって大きな脅威となる中国のASATの開発状況を紹介したい。以下、初めに宇宙利用に関する国際合意の現状について述べ、次に近年の中国の宇宙

開発の進展状況について述べ、最後に中国の ASAT の開発動向について述べる。

1. 宇宙利用に関する国際合意の現状

(1) 宇宙 5 条約

現在、国際宇宙法には、1967 年の宇宙条約を基本にして「宇宙 5 条約」とも呼ばれる 5 個の条約等がある。

- ①1967 年「月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約」（「宇宙条約」）（1967 年発効、日本は原締約国）（締約国 101、2012 年 12 月現在）
- ②1967 年「宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定（「宇宙救助返還協定」）」（1968 年発効、日本は 1983 年加入）（締約国 90、2012 年 12 月現在）
- ③1972 年「宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約（「宇宙損害責任条約」）」（1972 年発効、日本は 1983 年加入）（締約国 87、2012 年 12 月現在）
- ④1975 年「宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約（「宇宙物体登録条約」）」（1976 年発効、日本は 1983 年加入）（締約国 55、2012 年 12 月現在）
- ⑤1979 年「月その他の天体における国家活動を律する協定（「月協定」）」（1984 年発効、日本は未署名）（締約国 13、2012 年 12 月現在）

(2) 宇宙条約

宇宙 5 条約の中で「宇宙の憲法」呼ばれるのが宇宙条約である。宇宙活動の基本原則を規定している。

ア. 基本原則

宇宙条約は、以下の原則を定めている。

①宇宙空間の探査・利用の自由

第 1 条は次のように規定されている。

「月その他の天体を含む宇宙空間の探査および利用は、すべての国の利益のために、その経済的または科学的発展の程度にかかわらず行われるものであり、全人類に認められる活動分野である」

「月その他の天体を含む宇宙空間は、すべての国がいかなる種類の差別もなく、平等の基礎に立ち、かつ、国際法に従って自由に探査しおよび利用できるものとし、また天体のすべての地域への立入は、自由である」

「その他の天体を含む宇宙空間における科学的調査は、自由であり、また諸国はこの調査における国際協力を容易にし、かつ、奨励するものとする」

②領有の禁止

第 2 条には「月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用もしくは占拠またはその他のいかなる手段によっても国家による取得の対象とはならない」と規定されている。

③平和利用の原則

第 4 条は次のように規定されている。

「条約の当事国は、核兵器および他の種類の大量破壊兵器を運ぶ物体を地球周回の軌道に乗せないこと、これらの兵器を天体に設置しないこと並びに他のいかなる方法によってもこれらの兵器を宇宙空間に配置しないことを約束する」「月その他の天体は、もっぱら平和目的のために、条約のすべての当事国によって利用されるものとする」「天体上においては、軍事基地、軍事施設および防備施設の設置、あらゆる型の兵器の実験並びに軍事演習の実施は、禁止する」「科学的研究その他の平和的目的のために軍の要員を使用することは、禁止しない。月その他の天体の平和的探査のために必要なすべての装備または施設を使用することも、また、禁止しない」

イ. 宇宙条約の問題点

宇宙条約の問題点について、米議会「米中経済安保調査委員会」の議会への 2008 年報告書は次のように指摘している。

①宇宙兵器等の定義がなされていない。

「宇宙条約は宇宙の本質についての定義を試みてはいるか、条約の実際の適用となると必ずしも常に正確な定義

づげがない」「条約はたとえば、『宇宙兵器とはなにか』とか『宇宙はどこから始まるのか』という問いへの明確な答えは与えていない。宇宙条約をまとめる交渉の過程でもある種の案件は意図的に不明瞭のままにされていた」

②大量破壊兵器の定義がなされていない。

「宇宙条約は、核兵器その他の大量破壊兵器を宇宙の地球を回る軌道に乗せてはならないことをも禁止していた。だがこの兵器についても不明確な領域があって、そこから国による解釈に違いが生まれている」

③対衛星兵器（ASAT）に全く言及していない。

「米国の宇宙法の専門家ピーター・ヘイズ氏によると、各国間の意見の不一致は条約の未定義の概念、不明確な言語、顕著な欠落などから発生している。とくに目立つのは、条約が兵器に関して、ASATに言及していない点である」「ヘイズ氏は、『条約は核兵器など大量破壊兵器には明確に言及し、さまざまな禁止を明記しているのに、ASATを宇宙に配備してよいかなどには全く何も触れていない。国際法のポジティブな解釈に従えば、明確に禁止されていないことは許されることになる。条約に調印した主要国はそういう解釈を取っている』と証言した」

2. 近年の中国の宇宙開発の進展状況

(1) 宇宙強国建設の戦略的目標

2017年10月18日の第19回党大会の開幕当日、習近平総書記は報告の中で、宇宙強国建設の戦略的目標を打ち出した。同日、中国航天科技集团公司董事長（会長）の雷凡培氏は、記者団に対して次のように述べている。「中国は2020年までに軌道上を飛行する宇宙機を200基以上とし、年間打ち上げ回数を30回前後とする。EUを抜き、世界宇宙強国水準にほぼ達する計画だ」

「2030年には、ロシアを抜き世界宇宙強国の仲間入りを果たす。2045年には一部重点分野で米国と肩を並べ、世界宇宙強国を全面的に建設していく」「今後、中国初の宇宙ステーションを建設し、これを稼働させる。月サンプル収集・帰還と火星着陸・探査を実現し、世界衛星測位システムおよび高分解能地球観測システムの建設を終え、大型ロケットの研究を全面的に推進する」「通信・ナビ・リモートセンシング衛星を中心とする、民間宇宙インフラを整備する。これによって中国は全面的な宇宙空間探査・応用能力を手にし、革新型国家と宇宙強国を建設する」中国は、雷氏が述べた通り宇宙強国建設に向けて着実に前進している。

(2) 主要プロジェクトの動向

ア. 有人宇宙飛行

中国の有人宇宙飛行計画は、1992年から正式に始まった。有人宇宙飛行計画には宇宙ステーションも含まれる。宇宙ステーションは天空計画とも呼ばれる。中国の有人宇宙飛行は、次の3段階で行われた

①有人の宇宙船を低軌道に打ち上げ、無事地球に帰還させる。

②宇宙遊泳やドッキングなど宇宙ステーション運用に必要な技術を試験する。そして乗組員が短期間滞在し、乗組員不在の間は自動飛行モードで運用する小型宇宙ラボを打ち上げる。

③中国初の宇宙ステーションとなる、より大きな宇宙ラボを建築し、継続的に乗組員を滞在させる。

さて、中国の宇宙飛行計画の第一歩は宇宙に行くことであり、宇宙軌道を飛ぶ宇宙船を神舟号と名づけた。

・「神舟1号」が1999年11月21日に打ち上げられ、翌日内モンゴル自治区へ着陸した。

・「神舟5号」が2003年10月15日に中国空軍の楊利偉中佐1人を乗せ、酒泉衛星発射センターから長征2号F型ロケットによって打ち上げられた。

高度343キロの円軌道を約21時間（14周回）飛行した後、10月16日に同国内モンゴル自治区の草原地帯に着地した。中国は、旧ソ連と米国に次ぐ、3カ国目の自国技術による有人宇宙飛行を成功させた。

・「神舟7号」が、2008年9月25日に打ち上げられた。このミッションでは、2人の宇宙遊泳が行われた。中国は、旧ソ連、米国に次ぐ、3カ国目の宇宙遊泳成功国となった。

・「天宮1号」（ドッキング標的機）が2011年9月29日に打ち上げられた。「天宮1号」は中国の軌道上実験モジュールで、2011年11月に無人ドッキング、および2012年6月18日に有人ドッキングに成功した。

・「神舟8号」（無人宇宙船）が、2011年10月31日に打ち上げられた。神舟8号は11月3日に遠隔操作で天宮

1号とドッキングし、米国、ロシア、EU、日本に続いて世界で5番目に宇宙でのドッキングに成功した国家となった。ちなみに、日本は、2009年9月18日に無人宇宙輸送機「HTV（こうのとりのり）1号」と「国際宇宙ステーション(ISS)」とのドッキングに成功している。

・「神舟9号」が、2012年6月16日に打ち上げられた。このミッションでは宇宙ステーション天宮1号と初めての有人ドッキングが行われ、宇宙ステーションに3人の乗員を移送した。3人のうち1人には中国初の女性宇宙飛行士が含まれた。飛行期間は13日間であった。

・「天宮2号」(実験モジュール)が2016年9月15日に打ち上げられた。「天宮2号」は有人宇宙船「神舟11号」及び中国初の無人補給船「天舟1号」とのドッキングを4度行い、2名の宇宙飛行士が30日間滞在した。

予定されたすべての計画を完了した「天宮2号」は地球周回軌道を離脱し、2019年7月19日に大気圏へ再突入した。

・「天宮」(宇宙ステーション)の建設が2021年から開始された。「天宮」はコアモジュール「天和」、2つの実験モジュール「問天」と「夢天」、無人補給船「天舟」といった構成要素からなる。下図を参照されたい。

また、「天宮」は機体の最も長い部分でも約40メートルで「ISS」(約110メートル)の半分以下。質量はISSの4分の1以下、体積では「ISS」の10分の1ほどしかない。「ISS」は6~9人の宇宙飛行士が長期滞在する対し、「天宮」は3~6人の設計である。

・2021年4月29日に最初のモジュールである「天和」が打ち上げられた。翌月の5月30日には補給船「天舟2号」が「天和」の後部へのドッキングに成功した。6月17日には有人宇宙船「神舟12号」も「天和」の前部へドッキングし、有人運用が開始された。

・2021年10月16日に「神舟13号」が打ち上げられ、飛行士は「天和」に6か月滞在し、2022年4月16日に帰還した。

・2022年6月5日、「神舟14号」が「天和」とドッキングし、男性2人、女性1人の宇宙飛行士が「天和」へ入室した。

・2022年7月24日に実験施設「問天」、同年10月31日に同「夢天」がそれぞれ打ち上げられた。「神舟14号」の宇宙飛行士3人がそれぞれを「天和」の左右に連結させ、各種設備の据え付けや試運転を行ない、軌道上の位置の調整などを行った後、「天宮」は有人宇宙ステーションとして完成する。さて、今後5年間、中国は宇宙ステーション「天和」を運用し、国家宇宙実験室を完成させ、長期の宇宙飛行士の居住・大規模な宇宙科学実験・宇宙ステーションのプラットフォームのメンテナンスなどを実施するとされる。

また、有人月面着陸計画の論証を深め、キー技術の研究開発を組織し、新世代の有人宇宙船を開発し、地球-月空間の有人探査と開発の基盤を強化するとされる。

イ. 深宇宙探査

(ア) 月探査プロジェクト

中国の宇宙科学技術者は1994年、月探査活動の必要性調査およびフィージビリティスタディを実施し、1996年に月探査衛星の技術方案研究を終わらせ、1998年には衛星の要となる技術の研究が終了した。

10年間にわたる準備期間を経て、中国の月探査プロジェクトは「周回」、「着陸」、「帰還」の3段階に分けて進められることが確定した。

2004年、中国は月探査プロジェクトを「嫦娥プロジェクト」と命名、プロジェクトを正式にスタートした。嫦娥とは、中国で月にちなむ女神のことである。

▽第1段階「周回」

第1段階では、中国初となる月探査衛星を打ち上げ、地球外天体まで飛行する技術を確立する。

・2007年10月24日: 「嫦娥1号」の打ち上げ成功。

・2009年3月1日: 「嫦娥1号」が観測を終了。機体は月面の豊かの海に制御衝突した。

・2010年10月1日: 「嫦娥2号」の打ち上げ成功。

・2011年6月9日:「嫦娥2号」が月での観測を終え、月周回軌道を離脱。その後は小惑星トータティスのフライバイ観測を実施した。

▽第2段階「着陸」

月面に軟着陸する機器を打ち上げ、地球外天体への着陸技術を確立する。

・2013年12月2日:「嫦娥3号」の打ち上げ成功。

・2013年12月14日:「嫦娥3号」が世界で3か国目となる月面着陸を果たした。「嫦娥3号」に搭載された無人探査車「玉兔(ぎょくと)」も月面に下ろされた。重さ約140キログラムの探査車「玉兔」は、約3カ月かけて地形や地質構造、資源の分布などを調べた。

これで、中国は、旧ソ連(ルナ9号1966年2月3日)、米国(サーベイヤー1号1966年6月2日)に次いで世界で3番目に月面軟着陸に成功した国となった。

・2018年12月8日:「嫦娥4号」の打ち上げ成功

・2019年1月3日:「嫦娥4号」が、世界で初めて月面の裏側の南半球にあるフォン・カルマン・クレーターに着陸した。通信環境や地形などの面で難易度の高い裏側への軟着陸成功で、米国に次ぐ「宇宙強国」を目指す中国の技術力の高さを示した。

月は常に同じ面を地球に向けており、裏側は地球からは決して見えず直接通信もできない。そのため「嫦娥4号」と地上との通信は、あらかじめ送り込まれた中継衛星「鵲橋(じゃっきょう)」が担った。

▽第3段階「帰還」

第3段階は、月面に軟着陸する機器を打ち上げ、月のサンプルを採集し、地球に帰還する。

・2020年11月23日:「嫦娥5号」が打ち上げられた。探査機「嫦娥5号」は軌道モジュール、帰還モジュール、着陸モジュール、上昇モジュールの4つからなる。

地球から月周回軌道への遷移、月接近制動、月周回飛行の後、着陸モジュールと上昇モジュールの結合体が軌道モジュールと周回モジュールの結合体から切り離された。

軌道モジュールは帰還モジュールと結合したまま軌道上に残った。着陸モジュールは上昇モジュールと結合したまま、タイミングを見て月の表側の候補エリアに軟着陸し、計画に基づき月面で自動サンプル採取などの作業を展開した。上昇モジュールがサンプルを持って月面から上昇し、軌道モジュールとドッキングしてサンプルを帰還モジュールに移動させた。そして、この帰還モジュールが地球に帰還した。

・2020年12月23日、「嫦娥5号」が月のサンプルを地球へ持ち帰った。米国(アポロ11号、1969年)、旧ソ連(ルナ16号、1970年)について、世界で3番目に月のサンプルを地球へ持ち帰った国となった。以上のように「嫦娥4号」探査機は「鵲橋」衛星を介して通信を中継し、月の裏側での宇宙船の軟着陸と走行調査を初めて達成した。「嫦娥5号」探査機は、中国で初めて地球外天体のサンプルリターンを達成し、1,731グラムの月サンプルを地球に戻すことに成功した。これで、月探査の3段階の「周回・着陸・帰還」が成功裏に終了した。

(イ) 火星探査プロジェクト

2016年4月24日、初の「中国宇宙の日」(注1)に関する記者会見で、中国国家航天局(宇宙局)の許達哲局長は「火星探査任務はすでに承認され立案されている。中国は第13次五カ年計画(2016-20年)の最終年、すなわち2020年頃に火星探査機を1基打ち上げる予定だ。中国の火星計画がついに始まるのだ」と述べた。

(注1)中国初の人工衛星「東方紅1号」が1970年4月24日に打ち上げられた。この人工衛星によって、中国は旧ソ連(スプートニク1号1957年)、米国(エクスプローラー1号1958年)、フランス(アステリックス1965年)、日本(おおすみ1970年2月11日)に次いで5番目に人工衛星を打ち上げた国になった。国務院は、2016年より毎年4月24日を「中国宇宙の日」とすることを承認した。

さらに、許局長は「中国の宇宙船はすでに深宇宙に入っているが、火星探査の任務が依然として不可欠だ。火星探査は、中国が真の意義で、深宇宙探査の時代に突入することを意味する」と指摘した。

・2020年7月23日:火星探査機「天問1号」の打ち上げに成功。探査機は火星軌道を周回する周回機(オービ

ター)、着陸船 (ランダー)、探査車 (マーズ・ローバー)「祝融」から構成されている。

・2021年2月10日:「天問1号」、火星周回軌道投入に成功。

・2021年5月14日:着陸船と探査車「祝融」を積んだ大気圏突入カプセルが大気圏突入後、パラシュートを開き減速、逆噴射を経て、着陸船は予定地点にソフトランディングした。

5月22日、探査車が着陸機を離れて火星表面での活動を開始。火星表面の探査は米国に続いて2か国目である。ちなみに、初めて火星に着陸した探査機は、1973年に旧ソ連の「マルス3号」であるが着陸後、20秒で信号が途絶えた。これに続く「マルス6号」も着陸1秒後に信号が途絶えた。

本格的な着陸に成功したのは、1976年7月20日に米国の「バイキング1号」の着陸船である。着陸の25秒後から、最初の火星表面の映像が送信されてきた。米国が、初のマーズ・ローバー (火星探査車) 走行に成功したのは1997年7月4日のマーズ・パスファインダー計画である。「ソジャーナ」と名付けられたこのローバーは、着陸機から見える範囲で岩石を測定して回り、地球以外の惑星で稼働した初めての探査車となった。また、米国は2021年4月19日、火星探査機「パーサヴィアランス」と共に火星へ送り込まれたヘリコプター「インジェニユイティ」の初飛行に成功した。火星には地球の約3分の1に相当する比較的大きな重力がある一方で、大気はきわめて希薄で、大気圧は地球の約1%、高度30キロに相当する薄さしかない。このため火星の空を飛ぶことはきわめて難しいとされる。機体は全高49センチで、胴体部分はティッシュボックスほどの大きさしかないが、地球以外の天体で、航空機が動力飛行に成功したのは史上初となる。ところで、以上のように、中国は、「天問1号」火星探査機の打上げに成功し、火星の周回・着陸を達成し、「祝融号」探査を行い、火星に中国探査機の足跡を初めて残した。1回の探査で周回・着陸・探査の3つの目標を実現したのは人類史上初である。さて、中国の深宇宙探査計画は、今後5年間で月探査プロジェクトを実施し、「嫦娥6号」探査機の打上げ・月極域のサンプルリターンを完了し、「嫦娥7号」探査機の打上げ・月極域での高精度な着陸・シャクルトン・クレーターでの跳躍探査を行い、「嫦娥8号」ミッションの主要な技術的ブレークスルーを完了し、関連国・国際機関・国際パートナーと共同で国際月面科学研究ステーションの建設を実施するとされる。

また、惑星探査プロジェクトの実施を継続し、小惑星探査機の打上げ・地球近傍小惑星のサンプリングとメインベルト彗星の探査を完了し、火星のサンプリングリターンや木星系の探査などの重要な技術的進歩を完了している。また、太陽系の縁辺探査などの実施方策を論証するとされる。

付言するが、2021年3月9日、ロシア国営宇宙開発企業・ロスコスモスは、中国と国際月面研究基地の建設に向けた覚書に署名したと発表した。両国はプロジェクトの国際協力を推し進め、参加を希望する国に平等なアクセスを提供するとしている。

(3) 筆者コメント

現在、中国は宇宙に関する技術力を急速に向上させているが、将来には暗雲が立ち込めている。

中国では今、中国共産党が一方独裁で支配する社会主義国であるという原点への回帰が見られる。その中心には習近平総書記がいる。習近平総書記は、社会主義・市場経済体制より社会主義・統制経済体制を志向している。2022年10月23日に中国共産党の第20期中央委員会第1回全体会議が開催され、最高指導部を指す政治局常務委員には習氏を筆頭に7人が選出されたが、この7人の中に経済通は一人もいないことが指摘されている。アリババ創業者の馬雲 (ジャック・マー) 氏は、2020年10月24日、上海の金融フォーラム会議における講演で、時代錯誤的な政府規制が中国のイノベーションを窒息死させると激しく批判した。その後、馬雲氏は、表舞台から姿を消した。馬雲氏の諫言にもかかわらず、共産党政権は、巨大IT企業をはじめとする民間企業に対する規制強化や共産党の指導を徹底しようとしている。

これは、将来的に中国の民間企業のイノベーションにとって大きな障害要因になる。その結果、中国経済の成長は鈍化するであろうと筆者は見ている。一方、NASAは老朽化した「ISS」の後継宇宙ステーションの開発を在米の民間企業に委託する計画である。(詳細は:拙稿「ロシアが撤退する国際宇宙ステーションの過去・現在・未来」(2022.8.4、<https://jbpress.ismedia.jp/articles/-/71221>)を参照されたい) 国家の経済が鈍化し、民間

企業のイノベーションがなければ、中国は米国との宇宙の覇権争いに勝利することはできないと筆者は見ている。

3. 中国の ASAT の開発動向

ウクライナ戦争では民間の人工衛星が地上の戦闘の成否に大きな影響を与えた。

一つは、米「スペース X」のスターリンク（衛星コンステレーションによるインターネットアクセスサービス）であり、もう一つは民間のリモートセンシング衛星の衛星画像である。

このように現代の安全保障を考えるうえで、宇宙システムは不可欠な存在になっている。

宇宙システムは、防衛装備品のネットワークの接続性を確保する通信手段である。また、衛星により、情報収集、測位、偵察、通信、早期警戒能力が確保される。 戦闘の無人化や自動化が進むなかで、衛星を使ったシステムが重要になっている。 いまや宇宙空間は戦闘領域となった。紛争に至る前の段階で、衛星が最初の攻撃対象となることは想像に難くない。 衛星攻撃方法には、次のようなものが考えられる。

- ①地上から弾道ミサイルを発射し人工衛星を破壊する弾道ミサイル攻撃。
- ②空中の戦闘機から空対空ミサイルを発射し人工衛星を破壊する空対空ミサイル攻撃。
- ③「キラー衛星」により人工衛星への直接衝突やロボットアームによる捕獲により人工衛星の機能を喪失させる。
- ④地上から発射する高出力レーザーなどを人工衛星に集中照射し人工衛星の各種機能を喪失又は人工衛星を直接破壊する「指向性エネルギー兵器」攻撃。
- ⑤電波妨害（ジャミング）により人工衛星と地上局などとの間の電波通信を妨害する電波妨害攻撃。
- ⑥サイバー攻撃で目標衛星や地上管制施設を無力化する。
- ⑦サイバー攻撃で目標の測位衛星を乗っ取り、当該測位衛星になりすまし偽の信号を発信する（スプーフィング攻撃とよばれる）。

現在、衛星攻撃能力を有しているのはロシア、米国、中国、インドである。各国の状況を次に簡単に述べる。

・旧ソ連は 1968 年には共通軌道方式の兵器（キラー衛星）の最初の衛星破壊実験を行い、1971 年には対衛星兵器を実戦配備していたとされる。

・米国で最も実用に近づいた衛星攻撃兵器は、空軍の対衛星ミサイル「ASM-135 ASAT」である。1984 年 1 月から実際の衛星を目標にした試射実験が行われた。

・中国は、2007 年 1 月 11 日、自国の衛星を地上から発射した弾道ミサイルで破壊する実験を行い成功した。この実験により、中国の ASAT 能力の存在が知られるようになった。

・インドは、2019 年 3 月、上空 300 キロの軌道を周回していた小型の人工衛星を地上から発射した弾道ミサイルで撃墜した。

さて、上記した 2007 年 1 月の中国の破壊実験で標的となった衛星は 1999 年に打ち上げられた「風雲 1 号気象衛星」(FY-1C) であり、そのときに地上からの高度約 500 マイル（800 キロ）にあった。

破壊兵器は「開拓者 2 号 (KJ-2)」と呼ばれる弾道ミサイル（固体推進式の民間衛星打ち上げロケットを転用したもので、もともとは東風 21 号ミサイル）の使用が推定されており、発射基地は四川省西昌にある衛星打ち上げ基地で、発射時点での標的とされた衛星は静止衛星でなく、極軌道（地球を南北に回る）に投入されていたもので、衛星の形状は、本体が約 5 フィート（1.5 メートル）立方の大きさで、横に約 27 フィート（8.2 メートル）の長さの太陽電池パネルがついている。 弾道ミサイルの先端には「キネティック弾頭」がついていたと考えられる。この種の衛星の破壊方法としては 2 種類ある。

- ①弾頭が標的を直撃して、その運動エネルギーで標的を破壊する方法。
- ②標的の近辺で爆弾を破裂させて（破片などの）衝撃で標的を無力化する方法。

今回は、キネティック弾頭が衛星を直撃したと専門家は見ている。

このように衛星の破壊をもたらす行為は、大量のスペースデブリを発生させ、国際宇宙ステーションや各国の人工衛星などの宇宙資産に対するリスクとして懸念されている。

大量のスペースデブリの発生を国際社会から激しく非難された中国は、その後、ミサイルの直撃により衛星を

破壊するのではなく、よりスペースデブリの発生が少ない ASAT を開発しているとみられている。例えば、攻撃対象となる衛星に「キラー衛星」を接近させ、アームで捕獲するなどして対象となる衛星の機能を奪う ASAT を開発しているとされる。また、2018 年 4 月 9 日の米紙ウォール・ストリート・ジャーナルが報じた衛星写真によると、中国が開発を進めるミスチーフ礁（南沙諸島の人工島）において、中国の対衛星用ジャミング装置が設置されていることが確認された。また、米国家情報長官室（ODNI）は、2021 年 4 月 13 日に発表した脅威評価報告書の中で、「中国は既に、地球低軌道にある衛星を破壊するための地上発射型対衛星兵器（ASAT）や、おそらくは衛星の光学センサーを無効化または損傷させるための地上発射型レーザー兵器を配備している」と述べている。以上の中国の ASAT 能力は我が国の宇宙プラットホームにとって大きな脅威となるものである。

おわりに

人工衛星の活用が、安全保障の基盤として死活的に重要な役割を果たしている一方で、一部の国が、キラー衛星や衛星攻撃ミサイル、電磁波による妨害を行うジャミング兵器などの ASAT の開発を進めていることから、ASAT へ対処は喫緊の課題となっている。しかしながら、わが国における現時点での実行可能な対処法は代替衛星の打ち上げだけである。そこで、前述した攻撃方法別にその対処法を筆者なりに考えてみた。

- ①弾道ミサイル攻撃には、「ミサイル防衛」で対処する。
- ②空対空ミサイル攻撃には、防空作戦で対処する。
- ③「キラー衛星」攻撃には、電波妨害装置又はレーザー兵器を搭載した「監視衛星」により対処する。必要ならば「体当たり攻撃」で対処する。
- ④「指向性エネルギー兵器」攻撃への対処法は、今後の研究を待つ。
- ⑤電波妨害攻撃には、対電子妨害手段（ECCM：Electronic Counter-Counter Measures）で対処する。
- ⑥サイバー攻撃には、サイバーセキュリティ対策で対処する。

今、防衛省・自衛隊は、従来の陸・海・空の領域に加えて、宇宙・サイバー・電磁波といった新たな領域を含む「領域横断（クロス・ドメイン）作戦」を念頭に置き「多次元統合防衛力」の構築を目指している。

本稿で述べた、ASAT 対処はまさに「領域横断（クロス・ドメイン）作戦」である。

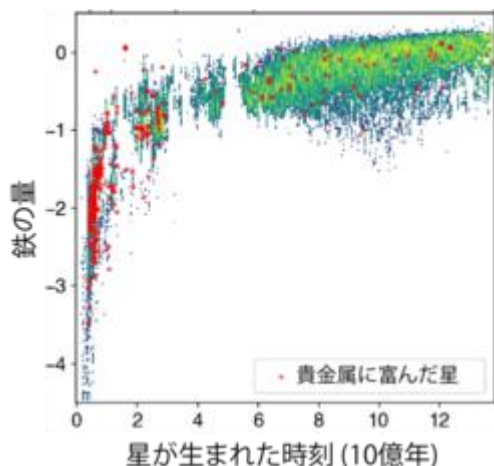
このため、今後の防衛力は個別の領域における能力の質および量を強化することはもとより、すべての領域における能力を有機的に融合することが重要となっている。

筆者：横山 恭三

https://news.biglobe.ne.jp/it/1116/zks_221116_3920962510.html

スーパーコンピュータ解析で判明した、銀河系誕生の歴史 東北大らの研究

2022 年 11 月 16 日（水）11 時 54 分 [財経新聞](#)



本研究で行われた天の川銀河形成シミュレーションによる星とガスの分布。黄色で描かれているのが星、水色で描かれた粒子がガスを表す。（画像：東北大学の発表資料より (c) Yutaka Hirai） [写真を拡大](#)

私たちの銀河系は、宇宙が誕生して間もない頃に形成されたが、どのように誕生し、どのようなプロセスを経て現在の姿に至ったのかについては謎に包まれたままだ。いっぽう太陽が誕生したのは今から約 50 億年前で、銀河系が誕生してかなり時間が経過してからのことだった。

【こちらも】[天の川銀河誕生のシナリオを推測 カナリア天体物理研究所の研究](#)

太陽系に重金属元素が存在していることから、かつて存在した大質量星が超新星爆発を起こした残骸の星間ガスから太陽が誕生したのは明らかだ。だが重金属をもたらした大質量星が、いつ誕生してどのように進化してきたのかも謎に包まれてきた。これらの謎に迫る研究情報が明らかにされた。東北大学は 14 日、国立天文台、神戸大学との共同研究により、スーパーコンピュータ「アテルイ II」を用いて、天の川銀河の形成プロセスを世界最高解像度でシミュレーションすることに成功したと発表。金、プラチナ、ユーロピウムなど鉄より重い元素に富んだ星の多くが、100 億年前に天の川銀河の元となった小さな銀河で形成されたことが示されたのだ。このシミュレーションは、ビッグバンの際の黒体放射の観測結果に基づく、宇宙誕生初期の密度のムラを反映。ダークマターによる重力の影響も考慮した非常に精密な解析モデルを用いて、ガスが重力で集まり、恒星の核となって、やがて輝き進化していくプロセスの再現に成功している。

しかも現在の天の川銀河が形成される元になったと考えられるより小さな銀河に分解し、それらの銀河の中での星の誕生形成プロセスを再現することにも成功した。この銀河系形成プロセスのアニメーションは Youtube でも公開されている。この解析の結果、鉄より重い元素に富む 9 割以上の星が、宇宙誕生から 40 億年以内に形成されたことが判明した。宇宙誕生初期の小さな銀河ではまだガス量が少なく、一度の貴金属合成現象でも銀河全体の鉄よりも重い元素の割合が高くなるのだという。私たちの体の中にも存在している重元素も、100 億年以上昔に誕生した恒星の中で形成されたものだったとは驚きだ。

<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2022/11/post-100118.php>

「裏庭ほどの距離」地球に最も近いブラックホールが見つかる

2022 年 11 月 15 日（火）19 時 10 分 [青葉やまと](#)



BH1 の周囲には、太陽のような恒星が周回している

International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/J. da Silva/Spaceengine/M. Zamani

<これまで判明していたものよりも地球から 3 分の 1 の距離にあり、太陽に似た星を随伴している.....>

ガイア BH1 と呼ばれる、地球に最も近いブラックホールが発見された。地球から見て黄道上のへびつかい座の方向に位置し、太陽の 10 倍の質量を持つ。実際の位置は 1600 光年先となっており、天文学的スケールからすると非常に近いと考えられる距離感だ。このブラックホールは、ジェミニ国際天文台の天文学者たちによって発見された。同天文台は、ハワイのマウナ・ケア山とチリのパチョン山に 2 基の観測拠点を構える。

天文台を運用する米 NSF 国立光赤外線天文学研究所は「私たちの宇宙のすぐ裏庭」にあると述べ、太陽系との距離的な近さを強調している。これまでに発見されていたブラックホールのうち最も地球に近いものは、いっかくじゅう座 X-1 と呼ばれる 3 連星を構成する天体のうちのひとつだった。これと比較し、新たに発見されたガイア BH1 と地球との距離は 3 分の 1 ほどとなっている。

困難だった休眠型ブラックホールの検出

ガイア BH1 はブラックホールだが、いわゆる「休眠状態」にある。したがって地球はもちろん、ほかの近傍天体を呑み込むことはない。米テクノロジーサイトの CNET は本ブラックホールの発見を報じるなかで、「でも心配しないで。休眠中なので、私たちを食べることはありません」と強調している。

休眠状態にあるブラックホールだからこそ、ジェミニ国際天文台の天文学者たちは検出に苦労したようだ。これまで発見されたブラックホールはその大多数が「活動型」と呼ばれるものであり、近くにある天体や星間ガスを継続的に呑み込んでいる。ブラックホール自体は漆黑だが、こうして引き寄せられた天体が極度に圧縮され、摩擦を生むことでエネルギーを放出し、電磁波による観測において輝いて見える。

しかし BH1 は休眠型であるため、手がかりが限られる。エル＝バドリー博士たちは BH1 の周囲を周回する天体の運動を精密に観測することで、その軌道のほぼ中心部にある BH1 の存在を突き詰めた。

BH1 の周囲には、太陽のような恒星が周回している。その間隔はちょうど地球と太陽ほどの距離だ。この恒星の速度と公転周期を緻密に追跡することで、観測が難しい休眠型ブラックホールを発見することができたという。博士は「この連星系の動きを説明するシナリオにおいて、少なくとも 1 つのブラックホールを伴わないものは見つかりませんでした」と説明している。

[次のページ 4 年間の研究が実を結ぶ](#) 4 年間の研究が実を結ぶ

これまで博士たちチームは、4 年間をかけて膨大なデータを分析し、同様の手法で休眠型ブラックホールの検出に挑んできた。ブラックホールと思しき天体を検出したことは数度あったが、いずれも詳細な調査により誤りだと判明している。発見を論文にまとめたハーバード・スミソニアン天体物理学センターのカリーム・エル＝バドリー博士は、「このような連星系を発見したとの報告は多数ありましたが、多くはその後の調査によって誤りだと判明しています」と説明している。今回は長年の調査が身を結んだ初の例となるようだ。「私たちの銀河において太陽のような星が（代表的なブラックホールの形態である）恒星質量ブラックホールを広い軌道で周回しているのが疑いの余地なく検出されたのは、今回が初の事例となります」と博士は胸を張る。



Astronomers discover closest Black Hole to Earth!- What is a Black Hole?

既存の天体進化モデルに疑問を投げかける

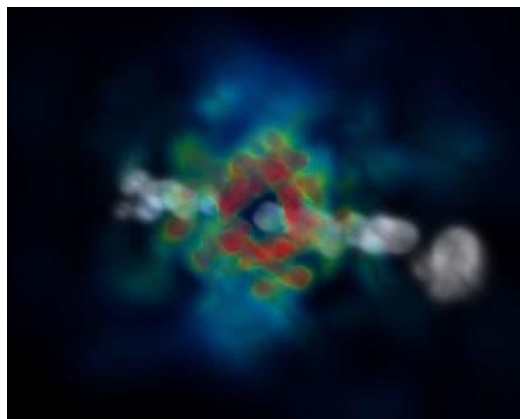
今回の研究によって、天体の進化に関する新たな理論構築が促進されるかもしれない。科学ウェブサイトの「Phys.org」は、「ブラックホールは宇宙で最も極端な天体である」と述べたうえで、ブラックホールを含む連星系の進化を研究するうえで本研究が役立つとみる。

宇宙関係のニュースを扱う「Space.com」は、ブラックホールが進化の過程で他方の恒星を呑み込んでしまう可能性が大きかったと指摘している。記事はまた、「連星系の進化を説明する現在の天文学モデルでは、ガイア BH1 系の特異な構成がどう成立したかを説明するのに無理を生じている」とし、新たな理論構築のヒントになるとの

期待を示している。NSF 天文学研究所の推計によると私たちの地球がある天の川銀河には、恒星質量ブラックホールだけで約 1 億個が存在するという。だが、これまで発見されたブラックホールの多くは活動型だ。今回の発見は地球に最も近いという点で新奇性があるだけでなく、休眠型ブラックホールの発見に至ったという意味でも貴重な研究となっているようだ。

<https://nordot.app/966145607668662272?c=110564226228225532>

ブラックホールに「輪」 京産大など観測 2022/11/18



ブラックホールを取り囲む輪状の構造（赤い部分）のイメージ画像

京都産業大の岸本真教授（宇宙物理学）らの国際チームは 18 日、ブラックホールを取り囲む輪状の構造を望遠鏡による観測で確認したと米専門誌に発表した。

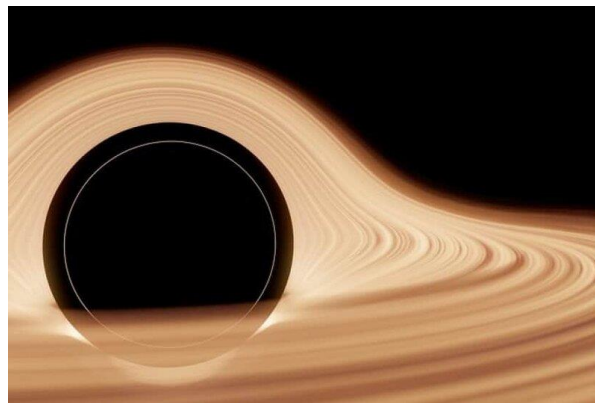
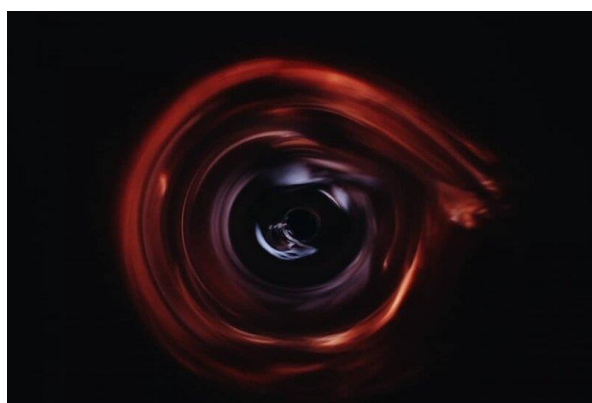
チームは地球から 6200 万光年離れた銀河「NGC4151」の中心にあるブラックホールを米国にある複数の望遠鏡で観測。ブラックホールを輪状の構造が取り囲み、さらにブラックホール中心部から噴き出す「ジェット」が輪の中心を突き抜けている様子を確認した。

宇宙空間を漂う砂のような粒子が 1200 度程度に熱せられて発光したものが輪のように見えているという。岸本教授は「ブラックホールの謎を明らかにしていきたい」としている。 © 一般社団法人共同通信社

https://news.biglobe.ne.jp/trend/1118/kpa_221118_8756784137.html

ワームホールはすでに発見されている可能性がある」と物理学者

2022 年 11 月 18 日（金）20 時 0 分 [カラパイア](#)





[写真を拡大](#)

ワームホールとは、違う宇宙、あるいは一つの宇宙の別の事象を結ぶ時空の抜け道のことだ。それはすでに発見されているかもしれないという。ブルガリアの物理学者チームによれば、この仮説上の時空トンネルは、ありふれたブラックホールとほとんど見た目が変わらないのだそうだ。つまり、これまでに発見されたブラックホールとされるものの中に、ワームホールがあるかもしれないというのだ。

両者を区別することは難しい。しかし幸運に恵まれれば、まったく不可能なわけではないという。

・時空のトンネルのような抜け道「ワームホール」

ワームホールとは、時空のある場所を別の場所へと結びつける時空のトンネルだ。現時点では仮説上の構造だが、そこを通り抜けてワープするなど、SF などではお馴染みだろう。アインシュタインの[一般相対性理論](#)に基づくならば、時空は光すら脱出できない深い重力の穴だけでなく、絶対に登ることができない険しい山を形成することもあると考えられる。なんでも飲み込む穴（ブラックホール）とは違い、時空の峻嶺（[ホワイトホール](#)）は近づくものを拒み、粒子や放射線を吐き出す。1930年代、アインシュタインの同僚であったネイサン・ローゼンは、ブラックホールによって大きく湾曲した時空が、険しい時空の山とつながっていわば”橋”を形成する可能性を示した。この「[アインシュタイン-ローゼン橋](#)」と呼ばれる時空の構造が、ワームホールである。

photo by iStock

・ワームホールはどんな姿をしているのか？

ワームホールは、あくまで仮説上のもので、今のところ見つかってはいない。

そこでブルガリア、ソフィア大学の研究チームは、「”肛門”のあるブラックホール」がどのように見えるか知るために、ワームホールの”喉”を「磁化した流体の輪」として表したモデルを考案した。

それによると、その荒れ狂う大渦に飲み込まれそうになった粒子は、強力な電磁場を発生させるだろうことがわかったという。電磁場は予測可能なパターンで揺れ動き、加熱された物質から放たれる光をはっきりそうとわかる形で偏光させる。ちなみに、2019年や今年初めにはブラックホールの驚くべき姿（[「M87*」](#)と[「いて座A*」](#)）が公開されたが、じつはこれは偏光した電波によって撮影されたものだ。

つまり、典型的なワームホールの熱々の”唇”は、ブラックホールを取り巻く混沌とした円盤から放たれる偏光と見分けがつかないだろうということだ。その理屈でいくと、M87*やいて座A*がワームホールであってもおかしくはないということになる。それどころか、どんなブラックホールでもその奥にはワームホールが隠されている可能性すらある。photo by iStock

・ワームホールを見分ける方法

宇宙の大穴がただのブラックホールなのか、それともワームホールなのか？ それを見分けることは簡単ではないが、今回の研究チームによれば、まったく不可能なわけでもないという。

もしもしっかりとした「重力レンズ」で間接的にワームホール候補の姿をとらえ、その画像をつなぎ合わせることができれば、ワームホールとブラックホールの微妙な違いを見つけられるかもしれない。

ただし、そのためには、ワームホールと地球との間に、光を歪めて小さな違いを拡大してくれる都合のいい質量がなくてはならない。別の手段もある。もしもワームホールを絶妙な角度で観察することができれば、入口を横断して地球に向かってくる光のサインが強調され、”向こう側”への入口の存在をはっきり確認できるかも

しれない。 またワームホール・モデルをもっと洗練させれば、ワームホールならではの光の特徴が判明し、重力レンズや絶妙な角度に頼らずともそれを発見できるようになる可能性もあるという。 photo by iStock

・新しい宇宙の視点

こうしたワームホールの物理学は、一般相対性理論や波・粒子の理論などに新しい道を切り開くヒントになるかもしれないそうだ。 ワームホール研究から得られる知見は、一般相対性理論の破れを明らかにしてくれる。 そうして開けられた理論の”穴”を覗き見れば、宇宙をまったく新しい視点から観察できるようになるかもしれない。 この研究は、『[Physical Review D](#)』（2022年11月10日付）に掲載された。

References:[Wormholes May Already Have Been Detected, Physicists Say : ScienceAlert](#)/ written by hiroching / edited by / [parumo](#)

<https://sorae.info/astromy/20221115-cb-130-3.html>

星を生み出す幻想的な分子雲コア。暗黒星雲「CB 130-3」をハッブルが撮影

2022-11-15 [松村武宏](#)



【▲ ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した暗黒星雲「CB 130-3」(Credit: ESA/Hubble, NASA & STScI, C. Britt, T. Huard, A. Pagan)】

こちらは「へび座」の方向にある暗黒星雲「CB 130-3」です。CB 130-3はガスや塵が集まっている低温の分子雲のなかでも特に高密度な部分である分子雲コアとして知られています。オレンジの分子雲コアを背景の青白い雲や輝く星々が取り囲む様子からは幻想的な印象を受けます。

分子雲コアでは高密度のガスや塵が自らの重力で収縮し、星の赤ちゃんと言える原始星が誕生すると考えられています。やがて成長した原始星の中心では水素の核融合反応が起こるようになり、恒星としての生涯が始まります。画像を公開した欧州宇宙機関（ESA）によると、CB 130-3の奥深くにも恒星に成長しつつある小さな星が潜んでいるといいます。背景の星々は密度が低い周辺部分では雲を透かして見えています。物質が高い密度で集まっている部分へ向かうにつれて隠されていき、濃い赤に見えるCB 130-3の中央付近ではすっかり見えなくなっています。ESAによれば、分子雲は星を暗く見せるだけでなく色も赤っぽく変化させています。天文学者はこの色の変化を利用して分子雲の密度を分析し、分子雲の内部構造に関する知見を得ることができるといいます。冒頭の画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡の「広視野カメラ3 (WFC3)」を使って取得された画像(814nm、1.25μm、1.6μmのフィルターを使用)をもとに作成されたもので、ハッブル宇宙望遠鏡の今週の一枚としてESAから2022年11月14日付で公開されています。

関連：[わし星雲の神秘的な“創造の柱” ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が撮影](#)

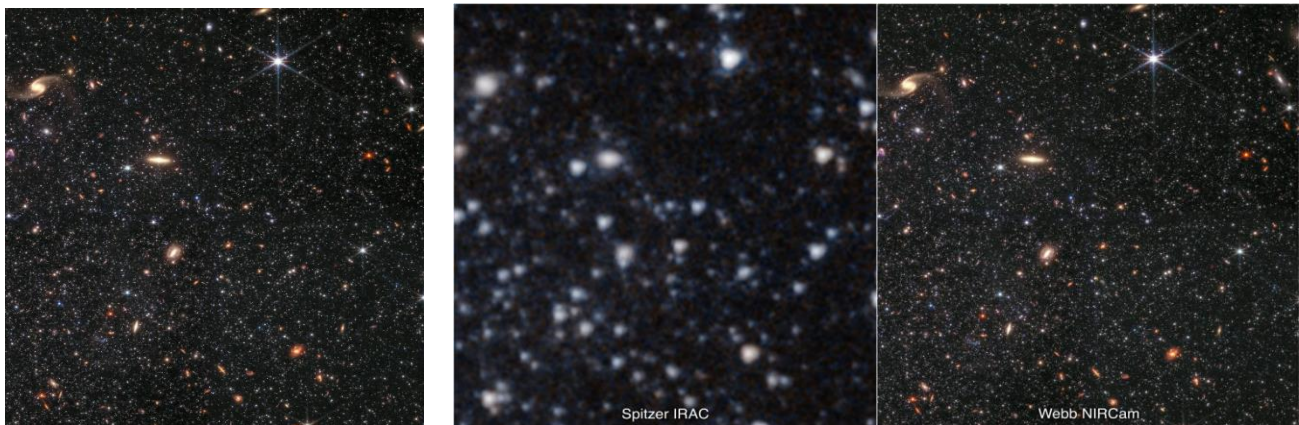
Source Image Credit: ESA/Hubble, NASA & STScI, C. Britt, T. Huard, A. Pagan

[ESA/Hubble](#) - Clouded Vision

文／松村武宏

まるで別の惑星で見上げた夜空。ウェブ宇宙望遠鏡が撮影した矮小銀河の星々

2022-11-16 松村武宏



【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCам）で撮影された矮小銀河「ウォルフ・ルントマルク・メロッテ（WLM）」の一部（Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, and K. McQuinn (Rutgers University), A. Pagan (STScI)）】

【▲ スピッツァー宇宙望遠鏡の赤外線アレイカメラ（IRAC、左）とジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCам、右）で撮影された矮小銀河「ウォルフ・ルントマルク・メロッテ（WLM）」の一部（Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, and K. McQuinn (Rutgers University), A. Pagan (STScI)）】

こちらは「くじら座」の方向約 300 万光年先にある矮小銀河「ウォルフ・ルントマルク・メロッテ」（Wolf-Lundmark-Melotte、以下 WLM）の一部を捉えた画像です。どこにその矮小銀河が写っているのか？と思われるかもしれませんが、WLMはこの画像全体を占めています。視野いっぱいに散らばった無数の星々の多くが WLM を構成する星であり、背景の幾つもの銀河は WLM を透かして見えているのです。

この画像は「ジェイムズ・ウェブ」宇宙望遠鏡の「近赤外線カメラ（NIRCам）」を使って取得された画像をもとに作成されました。ウェブ宇宙望遠鏡は人の目で捉えることができない赤外線の波長で主に観測を行うため、画像の取得時に使用された 4 種類のフィルターに応じて着色・合成されています（900nm：青、1.5 μ m：シアン、2.5 μ m：黄、4.3 μ m：赤で着色）。

ウェブ宇宙望遠鏡による WLM の観測を提案した研究チームの一員であるラトガース大学の Kristen McQuinn さんによると、WLM はウェブ宇宙望遠鏡が一度に多数の星を捉えつつ、個々の星を分離して観測できる絶妙な距離にあるといいます。次に掲載するのはアメリカ航空宇宙局（NASA）が 2020 年 1 月まで運用していた「スピッツァー」宇宙望遠鏡の「赤外線アレイカメラ（IRAC）」を使って取得された WLM の画像（左）と、ウェブ宇宙望遠鏡による冒頭の画像（右）を比較したものです。従来の宇宙望遠鏡に対するウェブ宇宙望遠鏡の優れた解像度が一目瞭然です。

加えて、WLM は私たちが住む天の川銀河やアンドロメダ銀河（M31）も含む局所銀河群の外れで比較的孤立していて、他の銀河と相互作用していないと考えられることから、銀河の形成と進化の理論をテストするのに適しているといいます。WLM のガスは水素やヘリウムよりも重い元素が乏しく、初期の宇宙で銀河を構成していたガスに似ていると考えられていることから、初期宇宙の小さな銀河における星の形成と進化を研究する上で WLM は興味深い対象だと McQuinn さんは語っています。

ウェブ宇宙望遠鏡が捉えた WLM の画像をプラネタリウムのドームに投影させてみたという McQuinn さんは、まるで WLM にある惑星に立って夜空を見上げているような感動的な体験だったと振り返っています。色・大きさ・温度・年齢・進化の段階がそれぞれ異なる WLM の星々から背景の銀河までが捉えられているこの画像につ

いて、McQuinn さんは本当に素晴らしいとコメントしています。

冒頭の画像はアメリカ航空宇宙局（NASA）、欧州宇宙機関（ESA）、ウェブ宇宙望遠鏡や「ハッブル」宇宙望遠鏡を運用するアメリカの宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）から、2022年11月9日付で公開されています。



【▲ 参考画像：ヨーロッパ南天天文台（ESO）の超大型望遠鏡（VLT）で撮影された矮小銀河「ウォルフ・ルントマルク・メロッテ（WLM）」。ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡で撮影された範囲は向かって左側の一部にあたる（Credit: ESO; Acknowledgement: VST/Omegacam Local Group Survey)】

関連：[わし星雲の神秘的な“創造の柱”](#) [ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡が撮影](#)

Source

Image Credit: Science: NASA, ESA, CSA, Kristen McQuinn (RU); Image Processing: Zolt G. Levay (STScI), Alyssa Pagan (STScI) [NASA](#) - Beneath the Night Sky in a Galaxy (Not Too) Far Away

[STScI](#) - Beneath the Night Sky in a Galaxy (Not Too) Far Away [ESA/Webb](#) - Dwarf Galaxy WLM

文／松村武宏

<https://sorae.info/astrometry/20221118-webb-l1527.html>

まるで輝く砂時計のような暗黒星雲。ウェブ宇宙望遠鏡が撮影

2022-11-18 [松村武宏](#)



【▲ ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ（NIRCam）で撮影された暗黒星雲「L1527」（Credit: Science: NASA, ESA, CSA, STScI; Image Processing: Joseph DePasquale (STScI), Alyssa Pagan (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI)）】

こちらは「おうし座」の方向約460光年先にある暗黒星雲「L1527」です。オレンジ、ピンク、ブルーに彩られた一対の輝く扇形が、砂時計のような姿を浮かび上がらせています。

画像を公開したアメリカの宇宙望遠鏡科学研究所（STScI）によると、砂時計のくびれ（オリフィス）にあたる部分には、形成されてから10万年ほどしか経っていない原始星が存在しています。その推定質量は太陽の20～

40 パーセントで、恒星のエネルギー源である水素の核融合反応がまだ始まっていない段階にあるとみられています。L1527 で描き出された砂時計には、この原始星が関係しているようです。

原始星は原始惑星系円盤と呼ばれるガスや塵でできた円盤状の構造に囲まれていて、星から放射された光は円盤に囲まれていない上下の方向にだけ漏れ出すことができます。円盤の上下方向には原始星から放出された物質によって空洞が形成されており、上下に漏れ出した光がこの空洞を照らし出すことで、砂時計のような姿が浮かび上がっているというわけです。また、私たちは L1527 の原始惑星系円盤を横から見ているため、砂時計のくびれの部分には円盤の存在を示す暗い線も見えています。STScI によれば、L1527 の円盤は太陽系とほぼ同じ大きさがあるといいます。約 46 億年前に形成された当時の太陽系も、このような姿に見えていたのかもしれませんが。冒頭の画像は「ジェームズ・ウェッブ」宇宙望遠鏡の「近赤外線カメラ (NIRCam)」を使って取得された画像をもとに作成され、STScI から 2022 年 11 月 16 日付で公開されました。ウェッブ宇宙望遠鏡は人の目で捉えることができない赤外線波長で主に観測を行うため、画像の取得時に使用された 4 種類のフィルターに応じて着色・合成されています (F200W : 青、 F335M : 緑、 F444W : 赤、 F470N : オレンジで着色)。

関連 : [まるで別の惑星で見上げた夜空。ウェッブ宇宙望遠鏡が撮影した矮小銀河の星々](#)

Source

Image Credit: Science: NASA, ESA, CSA, STScI; Image Processing: Joseph DePasquale (STScI), Alyssa Pagan (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI) [STScI](#) - NASA's Webb Catches Fiery Hourglass as New Star Forms

文 / 松村武宏