

隙間だらけの小惑星、リュウグウ

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 学校法人 立教学院 立教大学 学校法人 足利大学
学校法人 千葉工業大学 公立大学法人 会津大学 国立大学法人 北海道教育大学
国立大学法人 名古屋大学 German Aerospace Center(DLR)
Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics University of Stirling

概要

小惑星探査機「はやぶさ2」到着前の予測に反し、小惑星リュウグウは隙間だらけの物質でできた天体であることがわかりました。

リュウグウのようなC型(炭素質)に分類される小惑星は46億年前の太陽系形成時の始原的物質を保存している「化石」と考えられています。しかし、どんな物質がどのように集まって形成した天体なのかは、ほとんどわかっていません。

研究チームは「はやぶさ2」に搭載された中間赤外線カメラ(TIR)を用いて、史上初のC型小惑星の全球撮像を連続1自転分実施し、取得されたデータを解析しました。その結果、表層の岩塊も周辺土壌もほぼ同じ温度であることがわかりました。また、温度の日変化は小さいこともわかりました。このことから、リュウグウ表面は温まりやすく冷めやすい(熱慣性が極めて低い)物質で覆われていることがわかります。すなわち、リュウグウ地表の岩塊も周辺土壌も多孔質な物質だということを示唆しています。

地球のような岩石天体は、太陽系初期にふわふわのダストが集まって成長し形成したと考えられています。しかし、マイクロメートルサイズのふわふわとした(密度の低い)ダスト粒子から密度の高い岩石天体へとどのように成長するのかは、解明されていません。本研究結果から、リュウグウはふわふわのダストから稠密な天体が形成する過程の途中にある天体かもしれないことがわかりました。

この研究成果は、イギリスの科学雑誌Nature 電子版に2020年3月16日(日本時間3月17日)に掲載されました。

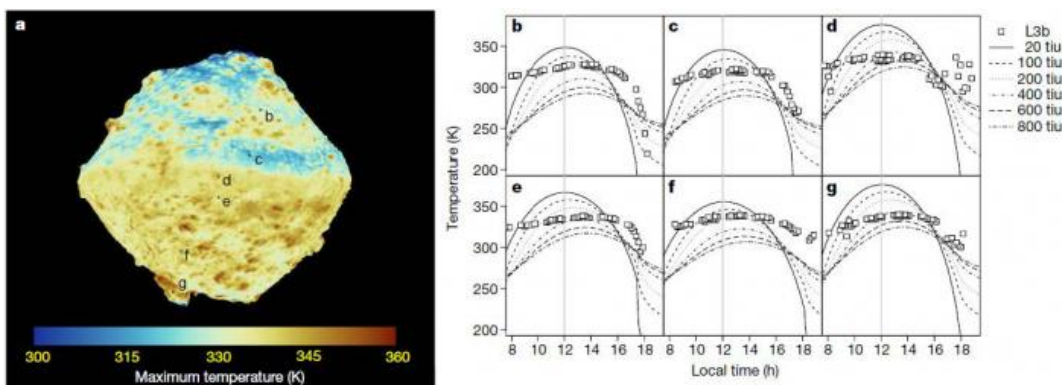


図1 左の図は小惑星リュウグウの1日の最高温度の分布。右のグラフは、各地点で観測された一日の温度変化(□マーク)と理論計算に基づく予測値(実線と破線)の比較。理論計算では一様な熱慣性を仮定し熱慣性の値を変化させて計算している。(c) Okada et al., Nature 2020

本文

小惑星探査機「はやぶさ2」は始原天体と考えられるC型小惑星を探査し、(1)太陽系初期にどのような物質があり、惑星が形成するまでにどのように変化したのか、(2)ダストから微惑星、微惑星から惑星へと、天体はどのように進化したのか、これら二つを明らかにすることを研究テーマとしています。本研究ではテーマ(2)にチャレンジしました。その方法として研究チームが注目したのが中間赤外線カメラ TIR による撮像、つまりサーモグラフィです。すべての主要な地形や地質構造を検知でき、季節変動も調べることができます。研究チームは史上初の

C型小惑星の全球撮像を連続1自転分実施しました。理論計算により、リュウグウの熱慣性(温まりやすさ、冷めやすさの指標で熱慣性の値が小さいほど温まりやすく冷めやすい)を調べたところ、予想に反し非常に小さな値(隕石の一種である炭素質コンドライトやその他地球の石に比べて非常に小さな値)になりました。より詳しくモデル計算と比較すると、リュウグウは極めてスカスカ(高空隙)で凹凸が激しいことがわかりました。また、岩塊と周辺土壌が同じ温度であることから、いずれもスカスカの物質であることがわかりました。岩塊と周辺土壌で観測された温度日変化は小さく、さらに、両者でほぼ同じ温度の日変化を示します。これは岩塊と周辺土壌が熱的に同等の物質であることを示す結果で、予想外の結果でした。

TIRの観測ではコールドスポットと呼ばれる、周囲よりも20度以上も温度が低い岩塊を複数発見しました。これらの熱慣性は、地上で発見された炭素質コンドライトと呼ばれる隕石と同程度で、密度も同程度だと推測されます。

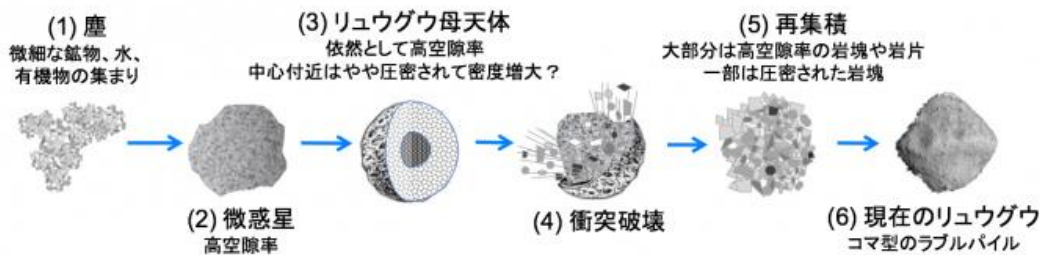


図2 リュウグウ形成のシナリオ (c) Okada et al., Nature2020

以上の観測結果から、リュウグウの形成シナリオは次のように推測されます。まず、(1)ふわふわのダストが集まって成長し、(2)微惑星が形成します。この微惑星は密度が低く、スカスカな状態です。(3)さらに微惑星が成長し、高空隙であまり熱進化もしていなかったと思われる母天体が形成します。母天体の中心部はやや圧密されたかもしれません。そして、(4)天体衝突により母天体が破壊されます。母天体の外側の物質は飛散し、中央部の物質も露出します。(5)飛び散った岩塊は再度集積し、ラブルパイル天体が形成します。大部分は高空隙な岩塊ですが、圧密を受けたものも含まれ、表面に露出します。この天体の自転は比較的速く、赤道付近が膨らんだ形状となります。(6)その後、何らかの理由で自転が遅くなり、軌道も変化し、現在のようなリュウグウとなりました。TIRで発見された低温の岩塊は、母天体の中心部で圧密を受けた物質か、もしくは、母天体に衝突してきた天体を起源とする可能性があります。

隙間だらけの小惑星リュウグウは、原始太陽系でふわふわのダストから密度の高い天体が形成するその途中過程を具現しているのかもしれません。

論文情報

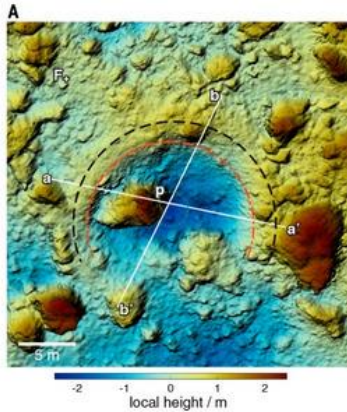
"Highly porous nature of a primitive asteroid revealed by thermal imaging", Nature, 16 March, 2020

Tatsuaki Okada, Tetsuya Fukuhara, Satoshi Tanaka, Makoto Taguchi, Takehiko Arai, Hiroki Senshu, Naoya Sakatani, Yuri Shimaki, Hirohide Demura, Yoshiko Ogawa, Kentaro Suko, Tomohiko Sekiguchi, Toru Kouyama, Jun Takita, Tsuneo Matsunaga, Takeshi Imamura, Takehiko Wada, Sunao Hasegawa, Jörn Helbert, Thomas G. Müller, Axel Hagermann, Jens Biele, Matthias Grott, Maximilian Hamm, Marco Delbo, Naru Hirata, Naoyuki Hirata, Yukio Yamamoto, Seiji Sugita, Noriyuki Namiki, Kohei Kitazato, Masahiko Arakawa, Shogo Tachibana, Hitoshi Ikeda, Masateru Ishiguro, Koji Wada, Chikatoshi Honda, Rie Honda, Yoshiaki Ishihara, Koji Matsumoto, Moe Matsuoka, Tatsuhiro Michikami, Akira Miura, Tomokatsu Morota, Hiroto Noda, Rina Noguchi, Kazunori Ogawa, Kei Shirai, Eri Tatsumi, Hikaru Yabuta, Yasuhiro Yokota, Manabu Yamada, Masanao Abe, Masahiko Hayakawa, Takahiro Iwata, Masanobu Ozaki, Hajime Yano, Satoshi Hosoda, Osamu Mori, Hiroataka Sawada, Takanobu Shimada, Hiroshi Takeuchi, Ryudo Tsukizaki, Atsushi Fujii, Chikako Hirose, Shota Kikuchi, Yuya Mimasu, Naoko Ogawa, Go Ono, Tadateru Takahashi, Yuto Takei, Tomohiro Yamaguchi, Kent Yoshikawa, Fuyuto Terui, Takanao

<https://www.asahi.com/articles/ASN3M4SRLN3LULBJ00F.html>

リュウグウの人工クレーター、地上の7倍 表面サラサラ

はやぶさ2 小川詩織 2020年3月20日 6時00分



[人工クレーターの高さを色分けした地図=サイエンスの論文から](#)

探査機「はやぶさ2」が小惑星「リュウグウ」に作ったクレーターは、地上実験の7倍の大きさだったことが詳しい画像解析から分かった。重力がほとんどない影響を差し引いても想定以上の大きさという。神戸大の荒川政彦教授は「大小の岩に覆われているにもかかわらず、砂のように流動的に振る舞うサラサラの状態のようだ」と驚いた。

神戸大や宇宙航空研究開発機構（JAXA）などが20日、米科学誌サイエンス電子版（<https://science.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.aaz1701>）に発表した。

発表では、はやぶさ2が昨年4月に作ったクレーターは直径が約14.5メートルで、中央には深さ60センチのくぼみができていた。打ち上げ前の地上実験では直径2メートルほどで、7倍の大きさだった。重力がほとんどない天体のクレーターは、地表の強度が小さいほど大きくなる傾向があるといい、この結果、リュウグウの地表はほとんど強度をもたない砂のような状態とわかった。

また、地表にある多くのクレーターの大きさと数の関係から、リュウグウは、640万～1140万年にわたって、天体の衝突が頻繁に起こる小惑星帯にいたことが分かった。リュウグウができたあと、火星から木星軌道付近の小惑星帯にいたが、その後、木星の重力の影響などで地球に近づくようになったらしい。（小川詩織）

<https://sorae.info/space/20200321-haya2.html>

はやぶさ2が作った「人工クレーター」の大きさや深さが判明！

2020-03-21 [松村武宏](#)

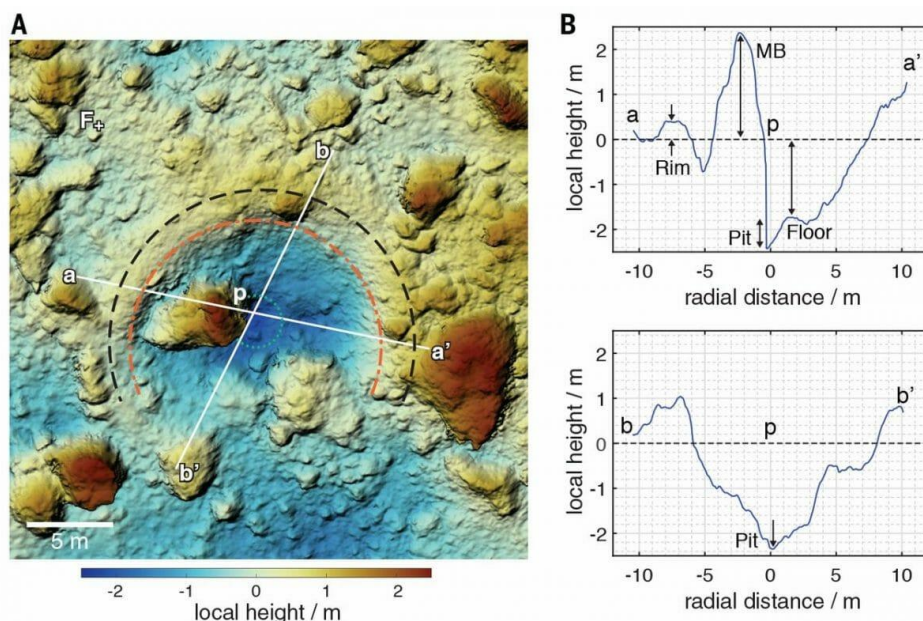


小惑星探査機「はやぶさ2」の想像図（Credit: DLR）

宇宙航空研究開発機構（JAXA）の小惑星探査機「はやぶさ2」は、小惑星「リュウグウ」において昨年2019年2月と7月にサンプル採取を実施し、現在は地球への帰路についています。2度目の採取ははやぶさ2によって

人工的に形成されたクレーターの付近で行われたのですが、この人工クレーターの大きさや深さを分析した論文が、クレーター形成の瞬間から数分間の様子を捉えた画像とともにサイエンスの電子版に掲載されました。

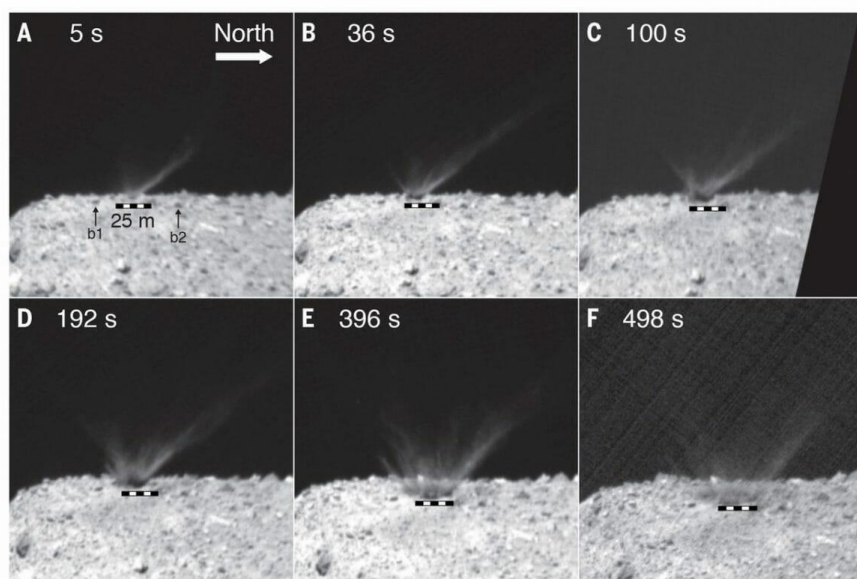
■形成されたクレーターの直径は 14.5m、深さは 1.7m



はやぶさ 2 によって形成された人工クレーターの分析結果を示した図。クレーターの直径(赤い点線)は 14.5m、最深部(ピット、緑の点線)の深さは 1.7m とみられる (Credit: Arakawa et al., Science 2020)

荒川政彦氏(神戸大学)らの研究チームによって今回まとめられた論文では、はやぶさ 2 の光学航法望遠カメラ「ONC-T」によって撮影された画像をもとに、プロジェクトチームが「おむすびころりんクレーター」や「SCIクレーター」と呼ぶ人工クレーターのサイズや深さが分析されています。

研究チームによると、形成前のリュウグウ表面を基準にした人工クレーターの直径は 14.5m (誤差プラスマイナス 0.8m) で、最も深い場所は形成前の表面から 1.7m に達していたことが判明。人工クレーターの周囲には形成時の噴出物や衝撃で生じたとみられる半円形のリム(隆起)があり、その直径が 17.6m (誤差プラスマイナス 0.7m) であることもわかりました。



DCAM3 が撮影した 6 点の連続画像。左上のアルファベット (A~F) は撮影順、アルファベットの右にある数値は形成からの経過時間 (秒) を示す (Credit: Arakawa et al., Science 2020)

この論文では、人工クレーター形成直後となる 5 秒後から 8 分 18 秒後まで、十数秒~数分間隔で連続撮影された 6 点の画像が掲載されています。形成の様子を撮影したのははやぶさ 2 に搭載されていた分離カメラ「DCAM3」

で、クレーター形成時に生じる噴出物を回避するためリュウグウの反対側に移動していたはやぶさ 2 にかわり、人工クレーターが形成される様子をはやぶさ 2 から離れた場所で撮影していました。

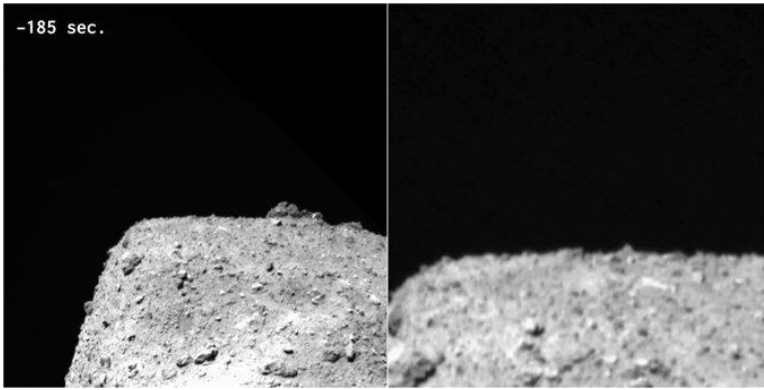
また、JAXA のはやぶさ 2 公式 Twitter アカウントでは、この 6 点の画像に形成 3 分 5 秒前と形成 3 秒後の 2 点も含め、合計 8 点の画像から作成された動画が公開されています。

[小惑星探査機「はやぶさ 2」](#)

✓[@haya2_jaxa](#)

論文で発表された、人工クレーターから飛び出していくエジェクタの連続画像です。SCI 衝突 185 秒前、衝突後 3 秒、5 秒、36 秒、100 秒、192 秒、396 秒、489 秒の画像が連続的に表示されています。右の画像は、左の画像を拡大したものです。

画像のクレジット：JAXA、神戸大、千葉工大、高知大、産業医科大



人工クレーターを形成した「衝突装置 (SCI)」をはじめ、形成の様子を連続撮影することに成功した DCAM3 や、小型ローバー「MINERVA-II1」「MINERVA-II2」、ドイツ航空宇宙センター (DLR) とフランス国立宇宙研究センター (CNES) が開発した「MASCOT」など、はやぶさ 2 では本体から分離する探査機や機器も活躍し、成果を残しました。今年 12 月には、いよいよ再突入カプセルの分離と回収が予定されています。

Image Credit: Arakawa et al., Science 2020

Source: [@haya2_jaxa](#)

文／松村武宏

<https://www.sed.co.jp/contents/news-list/2020/03/0316-1.html>



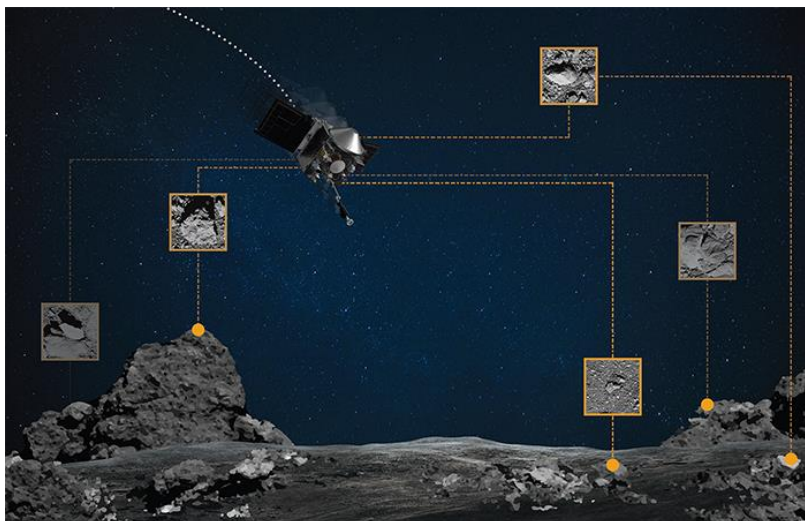
小惑星ベンヌのサンプル取得イベントは今年夏！

最終更新 2020.03.16

2018 年 8 月に地球を出発した NASA の小惑星探査機のおサイリス・レックス(OSIRIS-REx)は、2019 年 10 月に小惑星ベンヌ(Bennu: 1999 RQ36)の探査を開始しました。小惑星のサンプル取得など昨年多くの話題を提供した日本の「はやぶさ 2」ミッションのように心躍るミッション展開が、今年もおサイリス・レックスで実施されるようです。

小惑星ベンヌは、はやぶさ 2 が訪れた小惑星リュウグウのように、ごつごつしたボルダー（岩塊）に覆われています。大きさはリュウグウの半分ほどの直径約 500 メートル。対する岩塊はちょっとした建物のような大きさがあります。南側には最大のボルダー-Benben Saxum が高さ 21.7 メートルで突き出しています。

当初ミッションチームは、直径 50 メートルほどの危険のないエリアにサンプル採取部をタッチダウンさせる計画でした。ところが、確保できたものの最も大きい場所でも幅 16 メートルのため、予想していた 10 分の 1 ほどの広さしかなく、精密な航法誘導計画が必要となりました。



Credits: NASA/Goddard/University of Arizona [クリックして拡大](#)

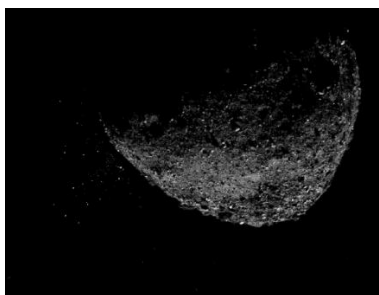
サンプル取得のためのオサイリス・レックスの航法誘導制御は、距離計測にレーザーパルスを使ったライダーシステムを使用します。タッチ・アンド・ゴー(TAG:Touch-And-Go)と呼ばれるサンプル収集イベントを実施するために、新しい航法システム NFT(Natural Feature Tracking)に変更することになりました。新しい高精度 TAG を行うには、ベンヌの高解像度の画像を必要としたため、今年初めに高度 625m から、サンプル取得場所であるナイチンゲール(Nightingale)と、予備のシラサギ(Osprey)と命名されたエリアの画像が、異なった角度と異なる照明条件で収集されました。

オサイリス・レックスの NFT では、ベンヌへの下降時に撮影される画像と、先に撮影されたカタログ画像を比較します。サンプル収集機構は、2センチメートル未満の岩石を集めるようになっています。

タッチダウンは、2020 年 8 月末に実施される予定です。NFT を試す降下リハーサルが 2 回、4 月と 6 月に実施される予定であり、1 回目は 4 月 14 日となっています。

source : [NASA](#)

なお、小惑星ベンヌは、2019 年 12 月の発表で、細かい岩石が表面からはじきだされ、表面に戻るといった面白い現象を観測していることでも話題となっています。ベンヌは、4.3 時間の自転周期のため、この短期間に表面が低温になったり午後に温まったりと、温度差があります。温度差により、岩石に亀裂が起きやすいこと、また含まれている水の成分が温まることによって、ガス圧を生じていて、細かい岩石を表面からはじき出す力となっているのではないかと考えられており、引き続き観測調査が続けられています。



Credits: NASA/Goddard/University of Arizona

source : [NASA](#)

関連リンク

[オサイリス・レックス\(NASA\)について](#)

[オサイリス・レックスのサンプル取得地点 2019/12/13 記事\(NASA\)](#)

[オサイリス・レックスのサンプル取得について 2020/3/5 記事\(NASA\)](#)

[ベンヌの地名 2020/3/7 記事\(NASA\)](#)

50年ぶりの月面着陸目指す「オリオン」を公開 NASA 2020年3月15日 7時01分

およそ50年ぶりとなる宇宙飛行士の月面着陸を目指すNASA＝アメリカ航空宇宙局は計画の先駆けとなる月への飛行に使われる宇宙船の主要なテストを終え、機体を報道機関に公開しました。



NASAは4年後の2024年におよそ50年ぶりとなる月面への宇宙飛行士の着陸と、その後の月面での活動拠点の建設を目指す「アルテミス計画」を進めています。

計画の中核となるNASAの宇宙船「オリオン」の主要なテストがオハイオ州の研究施設で終了し、14日、報道機関に機体が公開されました。

オリオンは有人飛行が可能な宇宙船で、最大4人が搭乗できます。

オハイオ州の研究施設ではおよそ3か月にわたり、宇宙空間に近い条件の150度の高温から氷点下150度の低温までの間で機体の動作を確かめるテストが行われ、正常に動くことが確認されました。

今回公開された機体は、アルテミス計画の最初の段階として無人で月軌道を周回する飛行を行う予定で、打ち上げは来年の前半になるとみられています。

この後、機体はフロリダ州のケネディ宇宙センターに運ばれて太陽光パネルなどがとりつけられ、打ち上げに向けた準備が進められることとなります。