

2024年3月5日

# YACかわら版 444

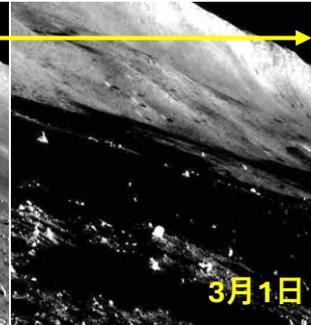
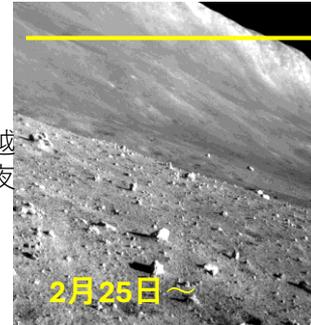
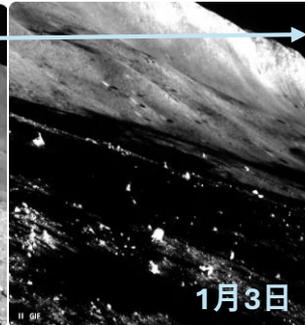


SLIM/Nova-C

「2024年1月20日午前0:20（日本標準時）に小型月着陸実証機（SLIM）が月面へ着陸したことを確認致しました。着陸後の通信は確立しております。」という、JAXAのプレス

リリース・記者会見等の後の大量の多様な報道に接する中で、「好奇心」「冒険心」「匠の心」を実感しながら、「考える根っこ」「考える翼」がどんどん育まれていく様子を、周りの方々と共有できたのではないのでしょうか。

学習場面では、「続ける」「深める」「広める」「結ぶ」というということが極めて重要です。「SLIM」を巡って、アメリカの「IM-1」ミッション・「Nova-c」「オデュッセウス（オーディ）」にもアンテナを向けましょう。



「3月1日午前3時過ぎ（日本標準時）にしおりクレータは日没を迎え、SLIMは再び休眠に入りました。きびしい温度サイクルを繰り返すことになるため故障確率は上がりますが、次回の日照（3月下旬）でもSLIMは再び運用を試行する予定です」というJAXAの説明に心強くしています。

一方インテュイティブ・マシーンズ社のウェブサイトには、「Still kicking」【蹴（け）とばすではなく、かろうじて生きていると訳せばいいのでしょうか】続けて「太陽が再び昇ったときに目が覚めたら自宅に電話をかけられるように指示する」と続けています。ユーモアがありますね。さらにその後「おやすみ、オーディ。またのご連絡をお待ちしております。」と...

<https://www.intuitivemachines.com/im-1>

先に南極に軟着陸したインドの「チャンドラヤーン3号」は、活動を終了しました。アメリカと日本の月面着陸機が超低温の環境を乗り越えようとしています。月は昼と夜を14日間ごとにくり返しています。月の昼の温度は100℃を超え、夜は-180℃にまで下がります。温度差に耐え、夜を無事に越える「越夜(えつや)」です。

本号では幾つかの資料を用意しました。資料を共感的・範例的・資料的そして批判的に活用してください。多くの方々ととの交流の話題に活用してください。 ページ右が資料の紹介です。

## 資料内容

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| 1 注目された画像            | 記憶されるイメージ        |
| 2 月までの軌道             | 2つの着陸船の軌道の一致/差異点 |
| 3 着陸の方法              | 着陸方法の一致/差異点      |
| 4 着陸地点               | 着陸地点の比較          |
| 5 記念写真               | 自撮（じどり）方法        |
| 6 成果の評価              | 計画したことの評価        |
| 7 各国の月探索計画           | 情報の紹介            |
| 8 注目！「レーザー再帰反射鏡」     |                  |
| 9 無人探査機SLIMの月面活動“復活” | 資料紹介             |
| 参考 H3 2号機とファルコン9     | 注目したい情報          |

事前公表されていたイラスト



予測された着陸のイメージ



# 1 注目された画像

Nova-c関係→@InfographicTony

SLIM関係→@IJAXA

事前公表されていたイラスト



予測された着陸のイメージ



SORA-Qの車輪

©JAXA/タカラトミー/三菱グループ/同志社大学

①地球から月付近まで向かい、月の重力を活用してスイングバイ。月軌道の外側にSLIMを飛ばす



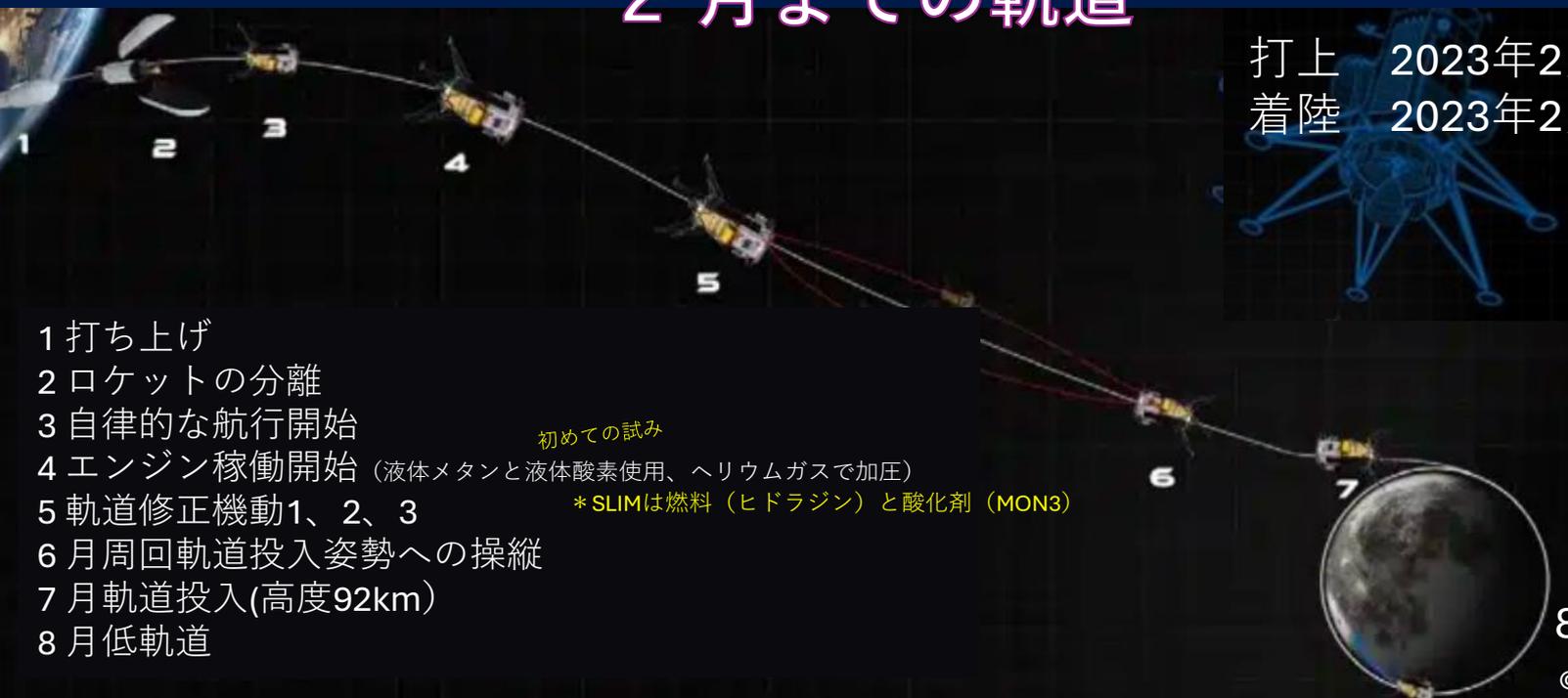
②月軌道の外側では太陽の重力を大きく受けるのでその力に引っ張ってもらい、どんどん軌道をふくらませる

③月と再会時の速度差を小さくすることで、エネルギーを節約して月軌道への投入を試みる

打上 2023年9月7日  
着陸 2024年1月20日

©JAXA

## 2月までの軌道



打上 2023年2月15日  
着陸 2023年2月22日

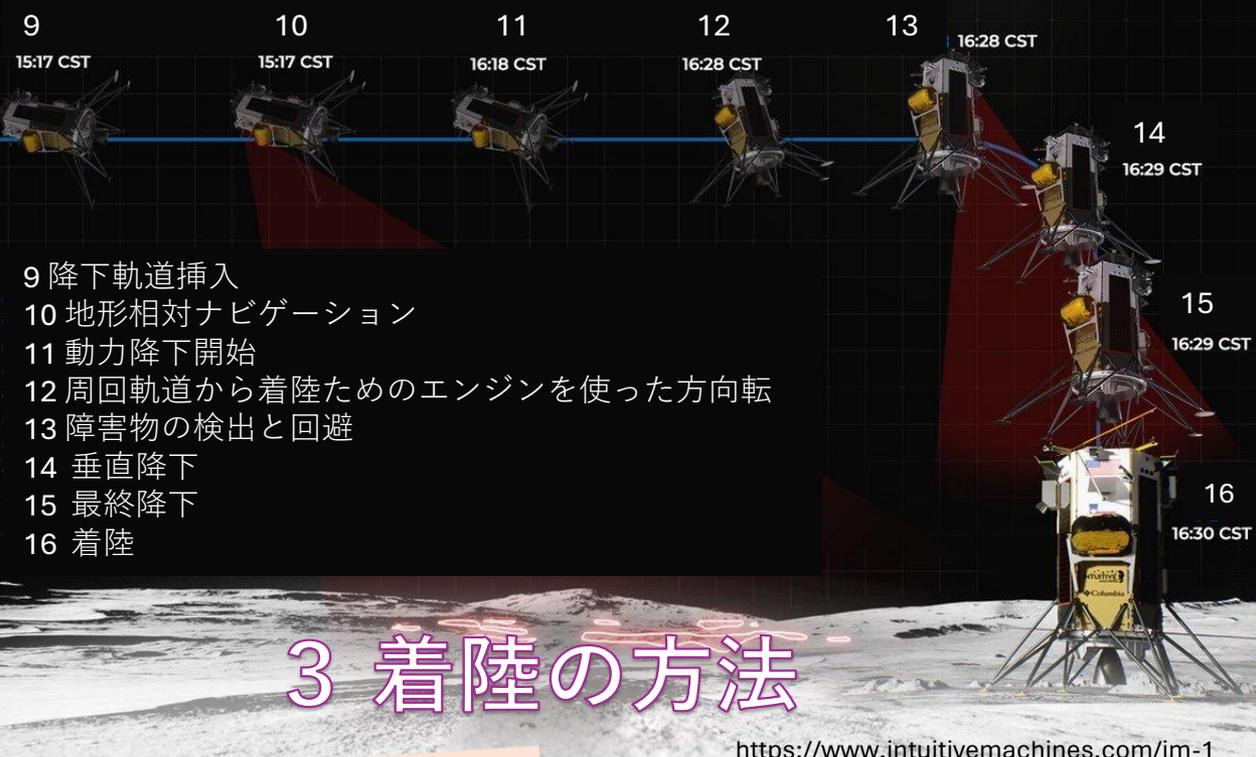
- 1 打ち上げ
- 2 ロケットの分離
- 3 自律的な航行開始
- 4 エンジン稼働開始 (液体メタンと液体酸素使用、ヘリウムガスで加圧)
- 5 軌道修正機動1、2、3
- 6 月周回軌道投入姿勢への操縦
- 7 月軌道投入(高度92km)
- 8 月低軌道

初めての試み

\*SLIMは燃料(ヒドラジン)と酸化剤(MON3)

8

© Intuitive Machines.



- 9 降下軌道挿入
- 10 地形相対ナビゲーション
- 11 動力降下開始
- 12 周回軌道から着陸ためのエンジンをを使った方向転
- 13 障害物の検出と回避
- 14 垂直降下
- 15 最終降下
- 16 着陸

# 3 着陸の方法

<https://www.intuitivemachines.com/im-1>

オデュッセウスは毎秒1メートルの速度で着陸するように設計されています。飛行管制官は約15秒かかると予想しています終降下時のNova-Cは毎秒約1mの速度で月面に対して垂直に降下する予定だったが3倍の速度だったようだ（毎秒約1mの水平移動を含む）



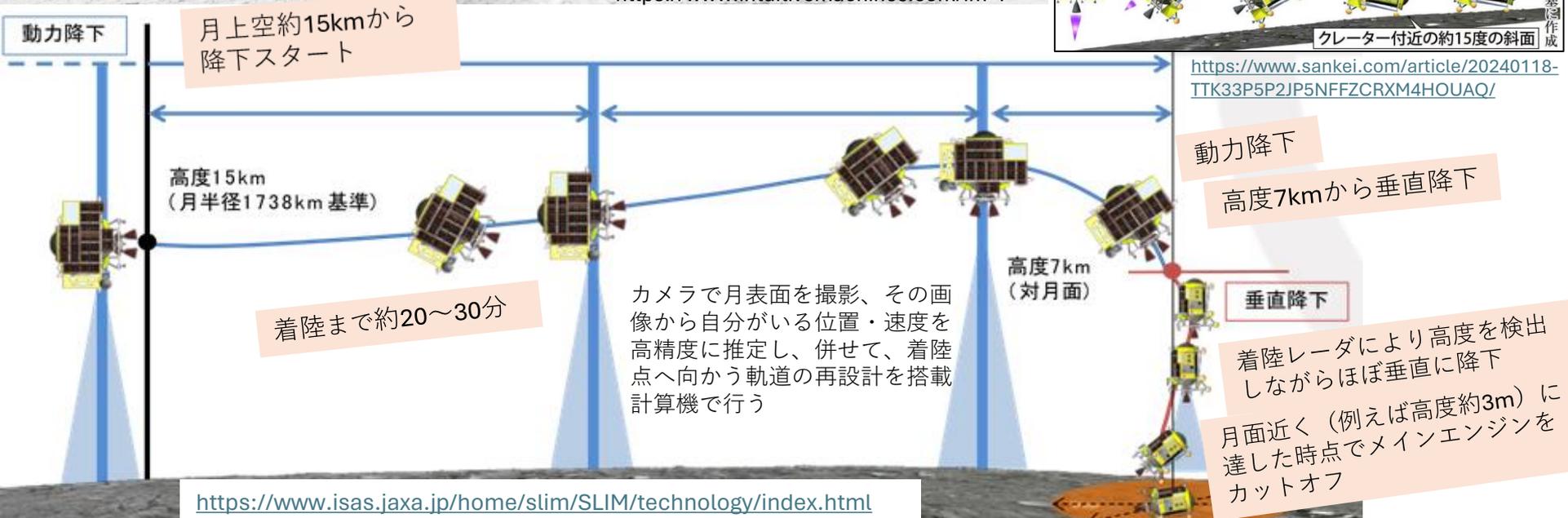
NDL: ドップラーライダー

レーダーの原理はレーダー探知機と似ていますがレーザーからの光パルスを使用します。電波の代わりに、非常に高い精度で速度・方位・高度データを提供し、使えなかった電ドップラーレーダーのピンチを救いました。

タを提供し、使えなかった電ドップラーレーダーのピンチを救いました。



<https://www.sankei.com/article/20240118-TTK33P5P2JP5NFFZCRXM4HOUAQ/>



動力降下

月上空約15kmから降下スタート

高度15km (月半径1738km基準)

着陸まで約20~30分

カメラで月表面を撮影、その画像から自分がいる位置・速度を高精度に推定し、併せて、着陸点へ向かう軌道の再設計を搭載計算機で行う

高度7km (対月面)

動力降下

高度7kmから垂直降下

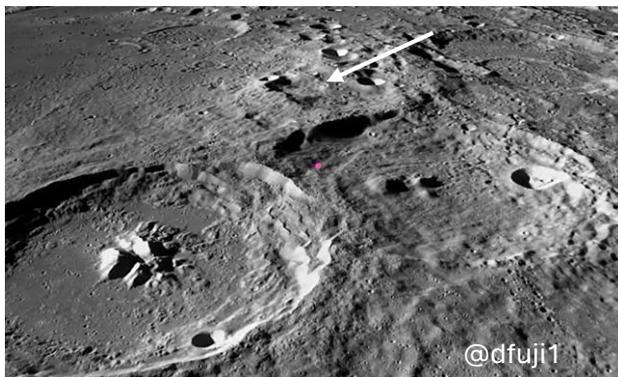
垂直降下

着陸レーダにより高度を検出しながらほぼ垂直に降下  
月面近く（例えば高度約3m）に達した時点でメインエンジンをカットオフ

<https://www.isas.jaxa.jp/home/slim/SLIM/technology/index.html>

南緯：13.31549度  
東経：25.24889度  
標高：未公表  
推定約-1000m

予定していた着陸地点



<https://twitter.com/dfuji1/status/1748103951336227113>

「目標地点から東に約55メートル」に着陸  
3~4メートルの精度だった可能性が高い



NASA

月周回人工衛星が上空80キロ付近から「SLIM」着陸地点撮影した画像公開

NASA月周回衛星観測

Nova-Cの軌道をレーザー距離計で正確に測定し月面地図を使用

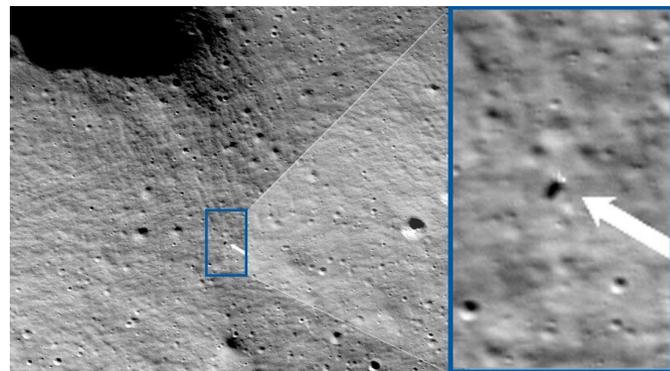
## 4 着陸地点

予定していた着陸地点



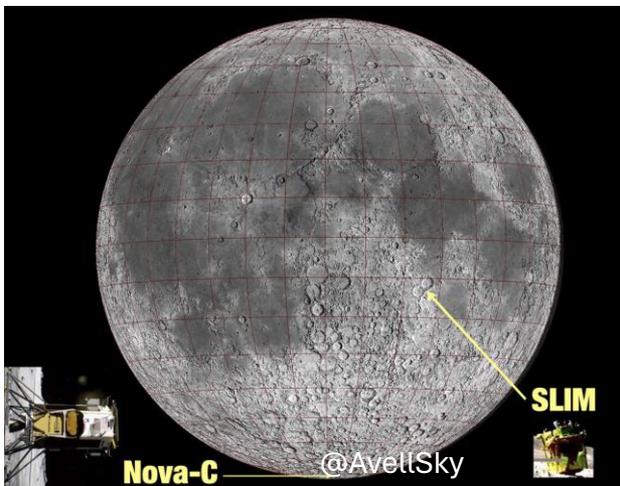
<https://twitter.com/dfuji1/status/1760620097067196550>

航法カメラで撮影した画像をSLIM自身に搭載されたオンボードコンピュータ内の月面マップと照合し、位置を推定しながら着陸目標地点に接近するという「画像照合航法」をベースに



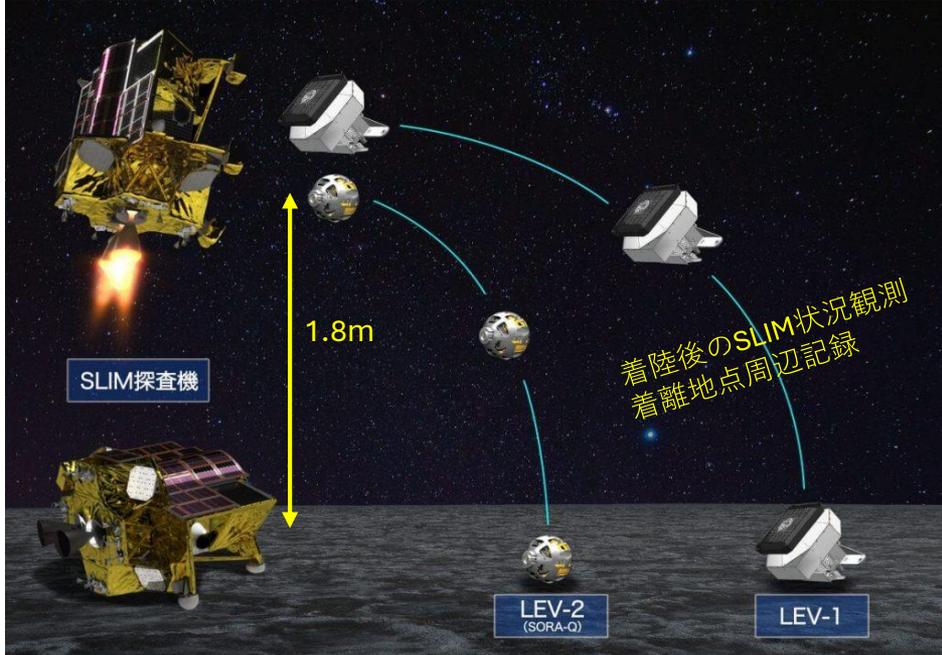
NASA月周回衛星観測

マラパートA着陸予定地点から1.5km以内



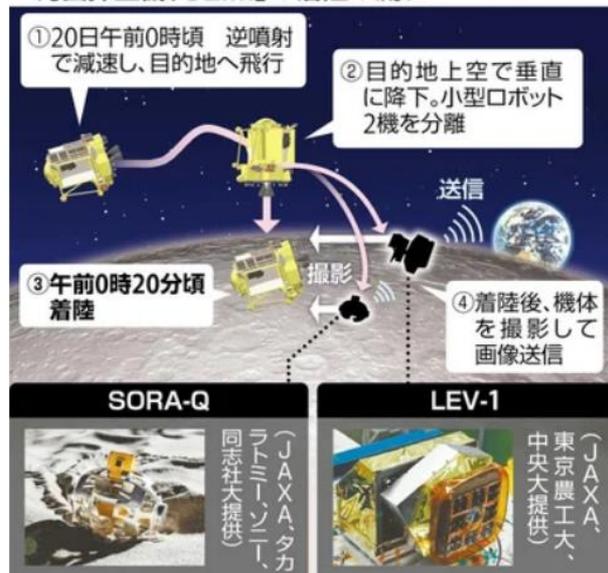
[https://pbs.twimg.com/media/GHKnPGUawAA\\_2FN?format=jpg&name=large](https://pbs.twimg.com/media/GHKnPGUawAA_2FN?format=jpg&name=large)

南緯80.13度  
東経1.44度  
標高2579m



[http://tokyorexpress.info/wp-content/uploads/2023/09/SORA-Q-21\\_original.jpg](http://tokyorexpress.info/wp-content/uploads/2023/09/SORA-Q-21_original.jpg)

月面探査機「SLIM」の着陸の流れ ©読売新聞



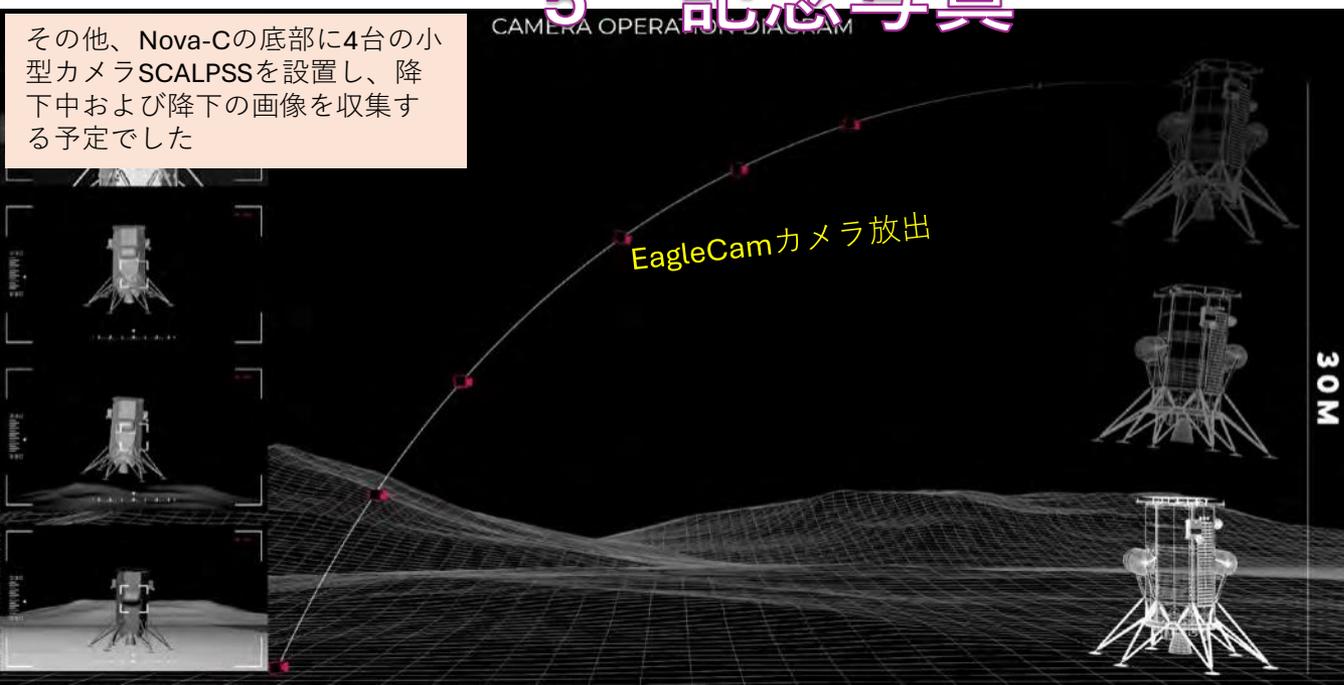
SLIMの映像は、LEV-2→LEV-1とリレーされた



<https://www.yomiuri.co.jp/science/20240119-OYT1T50258/>

# 5 記念写真

その他、Nova-Cの底部に4台の小型カメラSCALPSSを設置し、降下中および降下の画像を収集する予定でした



Eagle Camカメラは、月面上空約30メートルの着陸直前に放出し、Nova-C IM-1が降下する際のチリの噴煙の写真を撮影する予定だった。当初使用予定の着陸用レーザー距離計が使用できなかったため、カメラは放出されなかった。着陸後カメラは月面に置かれたが、その後の情報は不明。超夜成功後の映像に期待



イーグルカメラ

NASAが民間企業に観測機器や月着陸船など、積荷の月への輸送を有償で民間会社に依頼する商業月面輸送サービス (CLPS) を始めた。2019年5月、NASAはCLPSの民間企業の第一弾として**インテュイティブ・マシーンズ**とアストロボティック・テクノロジー等5社を選定した。2024年1月8日に行われたアストロボティック・テクノロジーの打上は成功しなかった。

Nova-Cのインテュイティブ・マシーンズ社の最高経営責任者は、「月面に静かに安全に着陸し、科学データをお客様に返すという、非常に高度なミッション目標をいくつか持っていましたが」、「この2つの目標は達成されたので文句なしの成功です」と。

<https://spacenews.com/intuitive-machines-and-nasa-call-im-1-lunar-lander-a-success-as-mission-winds-down/>

### オデュッセウス月面探査機に着陸成功に関するバイデン大統領の声明

木曜日の夜、50年以上ぶりにアメリカの宇宙船が月面に着陸し、宇宙探査の新時代におけるスリリングな一歩を踏み出しました。(中略)

このミッションは、米国企業による初の月面着陸という一里塚となるものです。オデュッセウスは、NASAとアメリカのインテュイティブ・マシーン社との官民パートナーシップです。それは、アメリカの創意工夫、革新、そして好奇心によって可能になりました。また、NASAのアルテミス計画は、今後ますます官民が参加する宇宙ミッションの第一弾であり、数十年ぶりに人類を月に帰還させるために、国際的および商業的パートナーを結集します。アメリカは世界を月へと導いています。(後略)

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/02/24/statement-from-president-joe-biden-on-the-successful-landing-of-the-odysseus-lunar-craft/>

### NASAの月着陸ミッション「IM-1」を評価

- ・レーザー距離計が働かず軟着陸できなかった。
  - ・イーグルカムが撮影できなかった。
  - ・でもほぼすべての積荷の機器からデータが取得できた
- **50年を超え月に戻った。「大成功！」**

\*インテュイティブ・マシーンズは、今回のミッションを「IM-1」ミッションと命名しています。月着陸船を「Nova-c」「オデュッセウス(オーディ)」と名付けました。。Novaは新しいという意味で、Cはローマ数字の100

アメリカでの「IM-1」の評価はドライな合理的な見方だな感心します。

## 6 成果の評価

### SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) 計画

- 将来の月惑星探査に必要な高精度着陸技術を小型探査機で実証する→重力天体探査を「降りたいところに降りる」探査へ
- 将来月面からのサンプルリターン←JAXA宇宙科学研究所・全国の大学等の研究者と協働

SLIMは、将来の月惑星探査に貢献(こうけん:役立つ)することを目指す

- ・小型の探査機によって、月への高精度着陸技術の実証
- ・従来より軽量の月惑星探査機システムを実現し、月惑星探査の高頻度(こうひんど:回数をふやす)化

意識すると...

評価基準	内容	私的なメモ
フルサクセス *成功	小型軽量の探査機による月面着陸を実施する。 ・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	期待された役割は全て果たした
ミニマムサクセス *最小限の成功	精度100m以内の高精度着陸が達成されること。 …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。	最低限の役割は果たした
エクストラサクセス *大成功	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...	期待以上の成功

### SLIMミッションの成功基準

基準	内容
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
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。
エクストラサクセス	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表面探査を見据え、月面で活動するミッションを実施する。

JAXAは計画時に成功基準を設定します

[https://fanfun.jaxa.jp/countdown/xrism-slim/files/SLIM-presskit-JP\\_2308.pdf](https://fanfun.jaxa.jp/countdown/xrism-slim/files/SLIM-presskit-JP_2308.pdf)

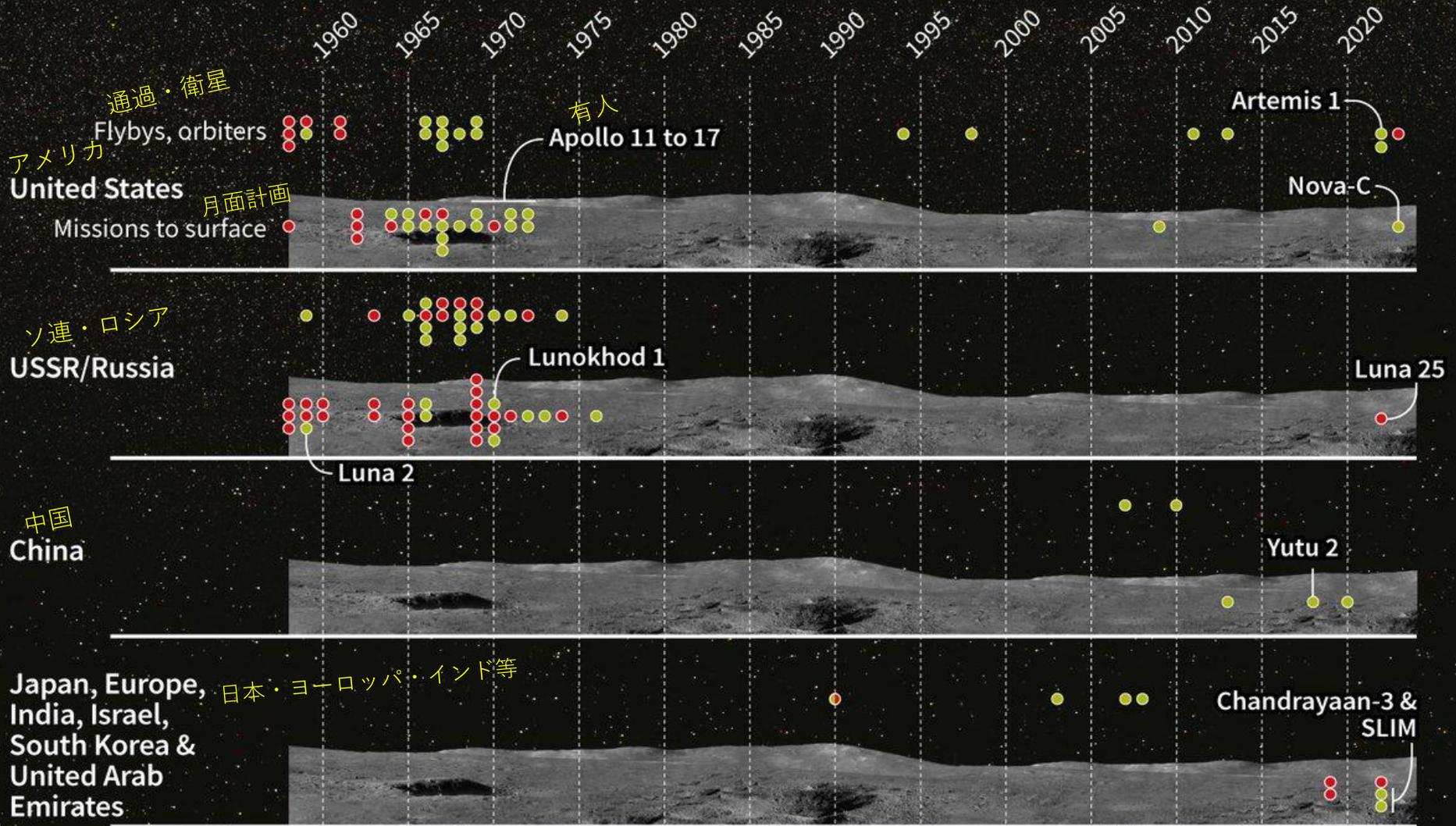
JAXA宇宙科学研究所の所長さんは記者会見で、SLIMの成果を60点と自己評価されました(その後63点に)…。みなさんはどう評価しますか。計画立案時に成功基準を設けることを私たちも、ぜひ考えましょう。

# Moon missions

## 7 各国の月探索計画

- 成功 Successful
- 失敗 Failed
- 計画中 In progress

AFPが国別にまとめた月探索を時系列で整理した表です。最近取組が活発になったことが分かります



# 8 注目！「レーザー再帰反射鏡」

SLIMとNova-Cの共通の積荷が、NASAの「レーザー再帰反射鏡」でした。日常的に使用している鏡で、体験している再帰反射ですが、その原理を活用した優れたものが、レーザー再帰反射鏡アレイです。



© Goddard Space Flight Center

NASAレーザー再帰反射鏡幅5cm、ドーム型のアルミニウムフレームに8つの石英コーナーキューブプリズムがセットされている。この構成により、任意の方向から入射する光を光源に反射させる。

アポロ14号設置レーザー再帰反射板



<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/laser-beams-reflected-between-earth-and-moon-boost-science>

2023年12月12日、LROは、レーザー高度計を約100km離れたヴィクラムに向けレーザーパルスを照射。LROから62マイル(100キロメートル)離れたヴィクラムの再帰反射板からの反射光を衛星が記録し実験は成功しました。

月の軌道から月面に再帰反射板を設置し活用することが確認できました。SLIMとNova-Cも月面にNASAの「レーザー再帰反射鏡」を持ち込みました。



Nova-C

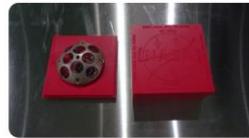


NASA依頼の6つのNova-C搭載の1つがレーザー再帰反射鏡

- ・可搬質量：約20g
  - ・ペイロード寸法：. 5.1×1.65cm
- LRAは、8つの約0.5インチの再帰反射板の集合体、着陸船に取り付けられた距離測定に使用される鏡。レーザー光を、レーザーを発射した軌道周回宇宙船に直接後方に反射します。



SLIM搭載



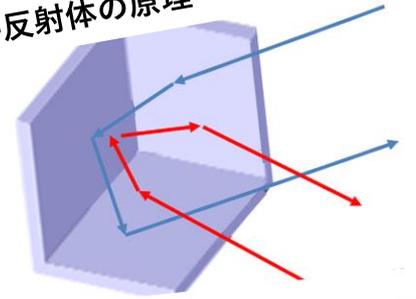
リフレクタ

米国NASAから提供されたリフレクタ (LRA)は、SLIM本体に装着されていて、着陸後は灯台として月面の動きを捉えるのに使用されます。(写真提供：NASA)

<https://www.isas.jaxa.jp/home/slim/SLIM/technology/index.html>

[https://www.intuitivemachines.com/files/ugd/7c27f7\\_51f84ee63ea744a9b7312d177efa9606.pdf](https://www.intuitivemachines.com/files/ugd/7c27f7_51f84ee63ea744a9b7312d177efa9606.pdf)

再帰反射体の原理



LRO



ルナー・リコネサンス衛星

2009年6月19日打上。月面からの高度50kmの極軌道を周回し搭載されたカメラ(LROC)は、解像度50cm。昨年12月26日の「ハクトR」の着陸試行前後の月面の画像を確認したり、チャンドラヤーン3号の月着陸船、SLIMやNova-Cの姿も確認しました。



ヴィクラム

©ISRO



プラギャン

©ISRO

チャンドラヤーン3号は、2023年7月14日インドのサティシュダワン宇宙センターから打ち上げられ、8月5日に月周回軌道に入り、着陸船ヴィクラム (Vikram) 月着陸船は8月23日に月の南極付近に着陸し、月探査車プラギャン (Pragyan) を下した。

\* 参考資料  
Laser Instrument on NASA's LRO  
Successfully 'Pings' Indian Moon Lander

[https://science.nasa.gov/missions/lro/laser-instrument-on-nasas-lro-successfully-pings-indian-moon-lander/?utm\\_source=TWITTER&utm\\_medium=NASAGoddard&utm\\_campaign=NASASocial](https://science.nasa.gov/missions/lro/laser-instrument-on-nasas-lro-successfully-pings-indian-moon-lander/?utm_source=TWITTER&utm_medium=NASAGoddard&utm_campaign=NASASocial)



# 9 無人探査機 S L I M の月面活動“復活” NHKラジオ

ニュースで学ぶ  
「現代英語」

JAXA: COMMUNICATION WITH LUNAR PROBE RESTORED

2024年2月15日(木)の放送内容

NHKゴガクトップ > ニュースで学ぶ「現代英語」  
> 無人探査機 S L I M の月面活動“復活”

Japan's space agency says it has successfully re-established communication with its lunar surface probe. ①再生解説 Officials had earlier shut down power on the Smart Lander for Investigating Moon, or SLIM, as its solar panel wasn't working. ②再生解説 The Japan Aerospace Exploration Agency, or JAXA, posted on social media on Monday that communication with the probe had been established and operations resumed. ③再生解説 JAXA successfully landed the probe on the moon on January 20, making Japan the fifth country to accomplish the feat. ④再生解説 Officials later said they had landed the probe with “pinpoint” accuracy. ⑤再生解説 They said it touched down about 55 meters from its target. Landing within 100 meters of the target is a world first. ⑥再生解説 But SLIM was not generating electricity initially because the solar panel array was not in the right position to receive sunlight. ⑦再生解説

宇宙に関する学びに、英語は大きな役割を果たします。NHKラジオ放送のニュースで学ぶ「現代英語」は魅力でいっぱいです。日本語とは異なる間隔で学びが深まります。「再生」もされます（期間限定）。ぜひ活用ください。

日本の宇宙機関は述べています、それが成功のうち再び確立した（再び確立するのに成功した）と、その月面探査機との通信を ①

当局者たちは先立って電源を切っていました、「小型月着陸実証機」つまり S L I M の、その太陽光パネルが機能していなかったのです。 ②

日本の宇宙航空研究開発機構つまり J A X A は、S N S に投稿しました、月曜日に、その探査機との通信が確立されていたと、そして運用が再開されていたと。 ③

J A X A は成功のうちその探査機を着陸させました（着陸させるのに成功しました）、月に、1月20日に、日本を5番目の国にして、その快挙を達成する。 ④

しかし S L I M は発電していませんでした、当初は、なぜなら、その太陽光パネル配列が、正しい位置になかった（適切な向きになっていなかった）ために、太陽光を受けるのに。 ⑤

当局者たちはその後述べました、彼らはその探査機を着陸させたと、「ピンポイント」の正確さで。 ⑥

彼らは述べました、それが着陸したと、その目標からおよそ55メートル（の地点）に。目標から100メートル以内に着陸することは、世界初です。 ⑦

Falcon 9 Block 5 Nova-C

1180km/h 5分3秒後

158km

WE WILL RELIGHT THE THIRD STAGE

2533 109 11180 159

10858km/h 4分56秒後

157km

BURN COMING UP ON THAT FIRST STAGE

2391 112 10858 157

7694km/h 3分31秒後

118km

第1段分離後

FAIRING SEPARATION -> AN AMAZING VIEW

2409 112 7694 118

4394km/h 1分56秒後

39.5km

THE FIRST STAGE BOOSTER WILL BEGIN

4394 39.5

速度 高度

T MINUTE 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4

0 -0.0 1+00:00:00

11809km/h 5分15秒後

162m

VEHICLE DOWN AS IT ENTERS INTO THE

2825 102 11809 162

27188	ALTIMITUDE km	674	X+00:16:22
27388	ALTIMITUDE km	674	X+00:16:43
27389	機体高度 km	674	X+00:17:06

PROPOSITION. THIS IS MORE RISK PAYLOADS TO THE MOON INEXPENSIVELY AND MARS. >> THE MOON IS THE

26688 164

26688 164

26688 164

12675 km/h 5分15秒後

299 km

X+00:05:15

1917 km/h 5分3秒後

271 km

X+00:05:03

12583 km/h 4分56秒後

254 km

X+00:04:56

6687 km/h 3分31秒後

120 km

X+00:03:31

4117 km/h 1分56秒後

42.3 km

X+00:01:56

速度 高度

X-00:04:00

## 参考 H3 2号機とファルコン9 (Nova-C)

2つのYouTubeに注目しました

Nova-C 打上  
<https://youtu.be/CvdgoX-3WOM>

H3 2号機  
<https://youtu.be/VtsUjTvZrJM>

ロケット	F9/Nova-C		H3 2号機	
時間	速度	高度	速度	高度
16分25秒後	26688	164	27188	674
16分43秒後	26688	164	27388	674
17分05秒後	2688	164	27389	674

