



小惑星探査機「はやぶさ2」の 運用状況

2018年9月27日

JAXA はやぶさ2プロジェクト



本日の内容

「はやぶさ2」に関連して、

- MINERVA-II1速報
- MASCOT分離運用
- リュウグウの画像

について紹介する。



目次

- 0. 「はやぶさ2」概要・ミッションの流れ概要
- 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール
- 2. MINERVA-II1速報
- 3. MASCOT分離運用
- 4. リュウグウの画像
- 5. その他
- 6. 今後の予定



「はやぶさ2」概要

目的

「はやぶさ」が探査したS型小惑星イトカワよりも始原的なタイプであるC型小惑星リュウグウの探査及びサンプルリターンを行い、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用を解明することで、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させて、本分野で世界を牽引する。

期待される成果と効果

- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術確立する。

特色:

- ・世界初のC型微小地球接近小惑星のサンプルリターンである。
- ・小惑星にランデブーしながら衝突装置を衝突させて、その前後を観測するという世界初の試みを行う。
- ・「はやぶさ」の探査成果と合わせることで、太陽系内の物質分布や起源と進化過程について、より深く知ることができる。

国際的位置づけ:

- ・日本が先頭に立った始原天体探査の分野で、C型小惑星という新たな地点へ到達させる。
- ・「はやぶさ」探査機によって得た独自性と優位性を発揮し、日本の惑星科学及び太陽系探査技術の進展を図るとともに、始原天体探査のフロンティアを拓く。
- ・NASAにおいても、小惑星サンプルリターンミッションOSIRIS-REx（打上げ:平成28年、小惑星到着:平成30年、地球帰還:平成35年）が実施されており、サンプルの交換が取り決められていることに加えて科学者の相互交流が行われており、両者の成果を比較・検証することによる科学的成果も期待されている。



(イラスト 池下章裕氏)

はやぶさ2 主要緒元

質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)6月27日
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

主要搭載機器

サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ローバ

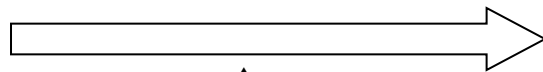


ミッションの流れ概要

打上げ
2014年12月3日



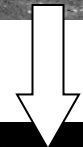
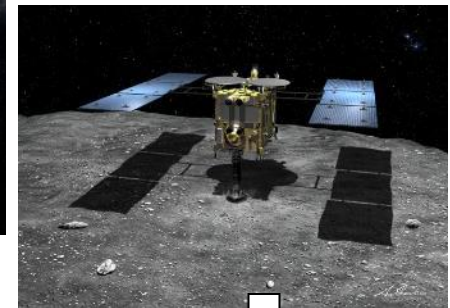
▲
地球スイングバイ
2015年12月3日



小惑星到着
2018年6月27日



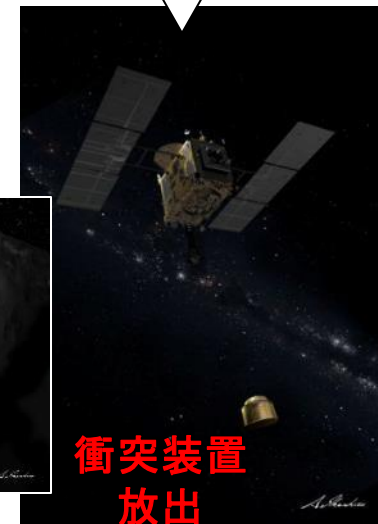
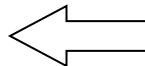
リモートセンシング観測によって、小惑星を調べる。その後、小型ローバや小型着陸機を切り離す。さらに表面からサンプルを取得する。



地球帰還
2020年末ごろ



小惑星出発
2019年11-12月



サンプル分析

安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

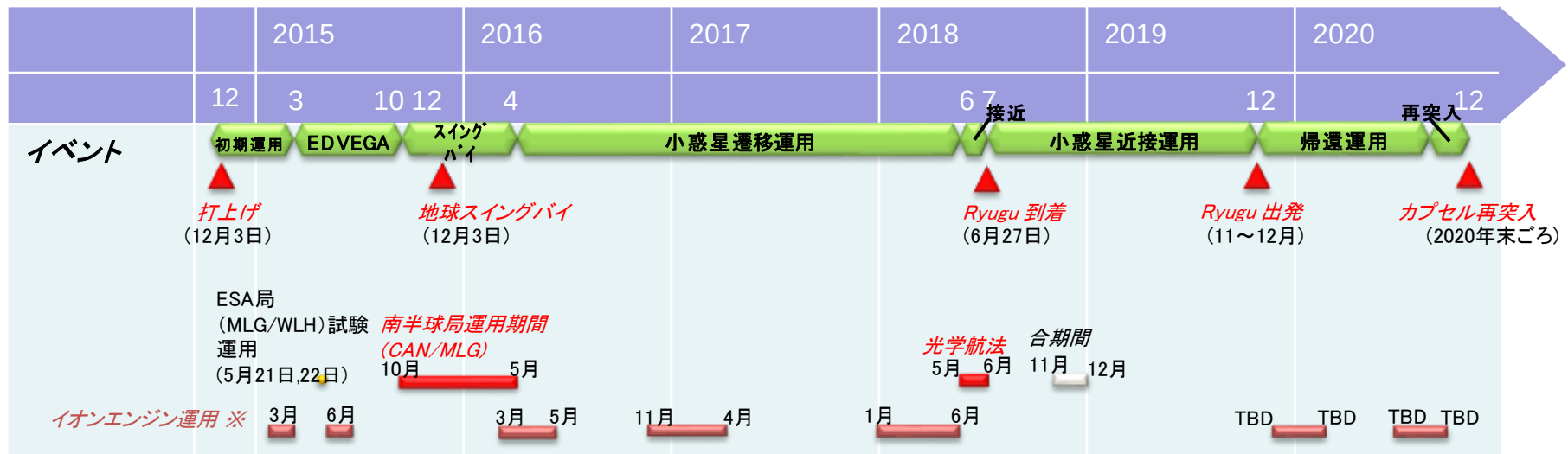


1. プロジェクトの現状と 全体スケジュール

現状:

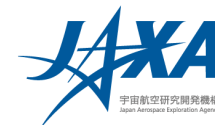
- 9月19日から21日にかけてMINERVA-II1の分離運用を行い、21日にMINERVA-II1のRover1AとRover1Bの2機の分離に成功した。その後、2機ともリュウグウ表面に着地しており、ホップして移動していることも確認された。
- MASCOT分離運用は、準備運用も含めて9月30日から10月4日にかけて行う予定。

全体スケジュール:





2. MINERVA-II1速報



分離から現在までの経緯

- 9/21: 13:05JST 「はやぶさ2」探査機より分離
- 9/21: 1日目(Sol.1)ローバより分離後の画像データ取得
- 9/21: 2日目(Sol.1)ローバON確認, テレメトリ待ち
- 9/22: 3日目(Sol.3)ローバON確認, テレメトリ待ち
- 9/22: 4日目(Sol.4)
 - Rover-1Aのホッピングを確認
 - Rover-1Bのテレメ受信, 表面温度計測, ホップ準備中
-
- 9/23: 7日目(Sol.7) Rover-1A, 1Bテレメトリ受信
 - Rover-1Bのホッピングを確認
-
- 9/27 20日目(Sol.20)



2. MINERVA-II1速報

分離直後に撮影された画像



2018年9月21日、13:08(日本時間)頃にRover-1Aが撮影。カラー画像。探査機から分離直後に、「はやぶさ2」探査機(上)とリュウグウ表面(下)を撮影した。ローバが回転している状態で撮影しているので画像がぶれている。(画像のクレジット:JAXA)



2. MINERVA-II1速報

分離直後に撮影された画像

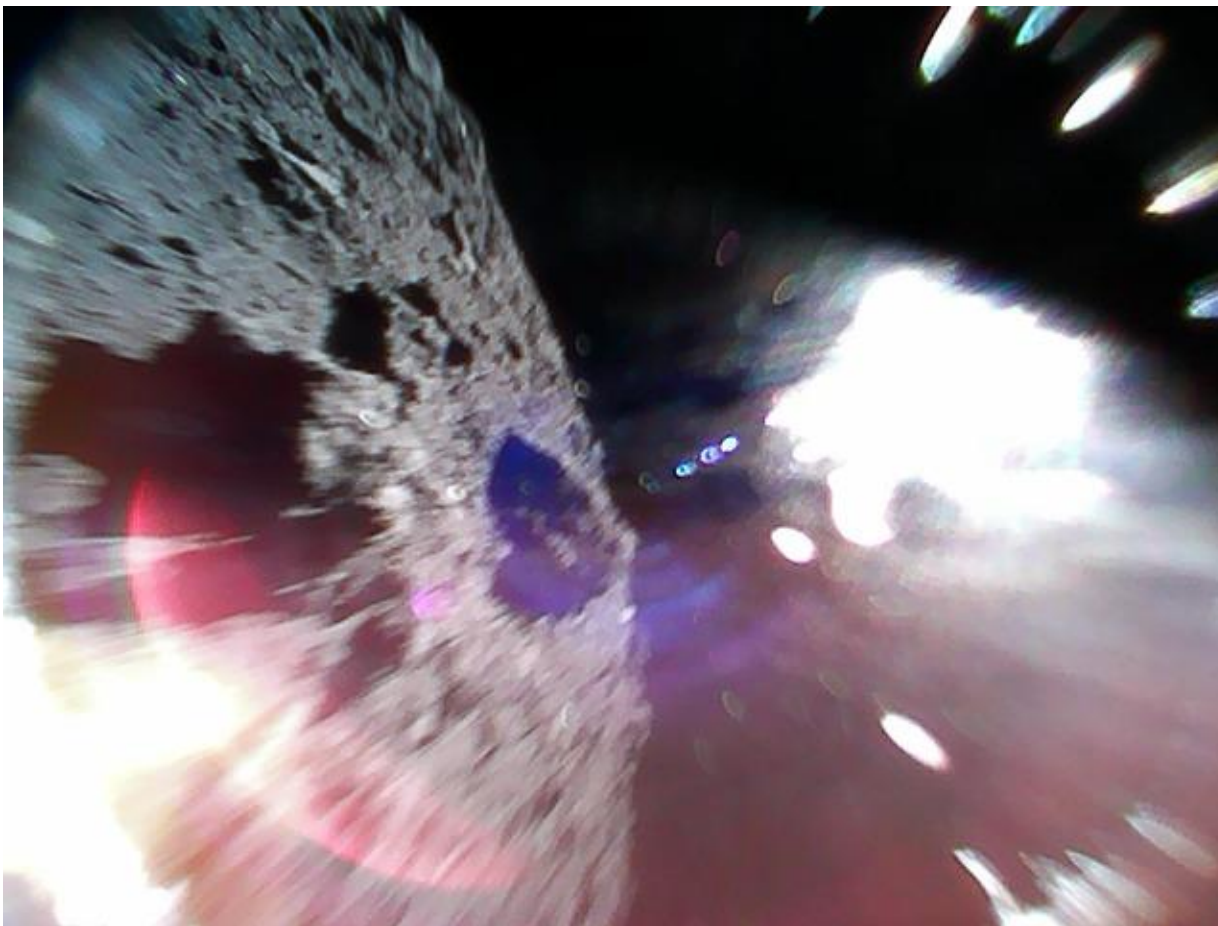


2018年9月21日、13:07(日本時間)頃にRover-1Bが撮影。カラー画像。探査機から分離直後に撮影されたもの。右下にリュウグウ表面が映っている。左上の薄くモヤがかかっている部分は撮影時の太陽光の写り込みによるものである。(画像のクレジット:JAXA)



2. MINERVA-II1速報

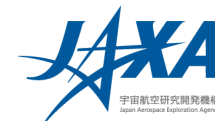
ホップ中に撮影された画像



2018年9月22日、11:44(日本時間)頃にRover-1Aが撮影。カラー画像。リュウグウ表面において移動中(ホップ中)に撮影されたもの。左側半分がリュウグウの表面。右側の白い部分は太陽光によるもの。(画像のクレジット:JAXA)



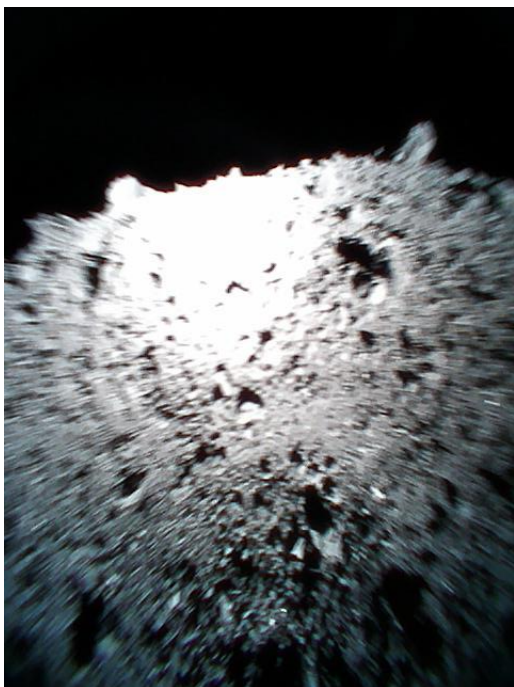
2. MINERVA-II1速報



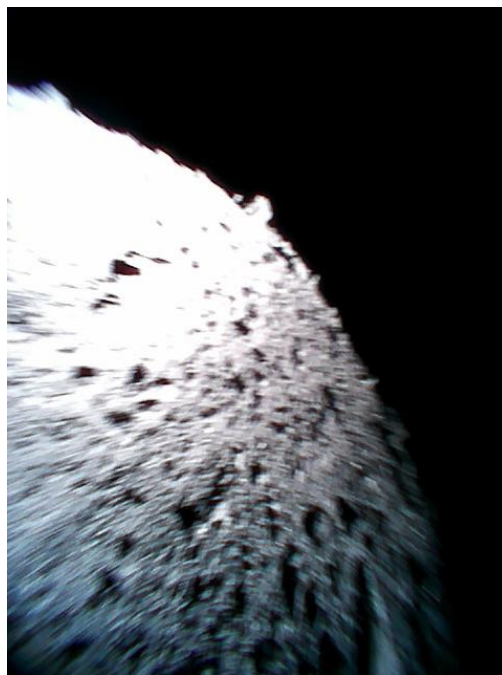
初公開

Rover-1Bが撮影した写真

2018年9月23日にRover-1Bがホップしたことを確認



2018/09/23 09:50



2018/09/23 09:55



2018/09/23 10:00

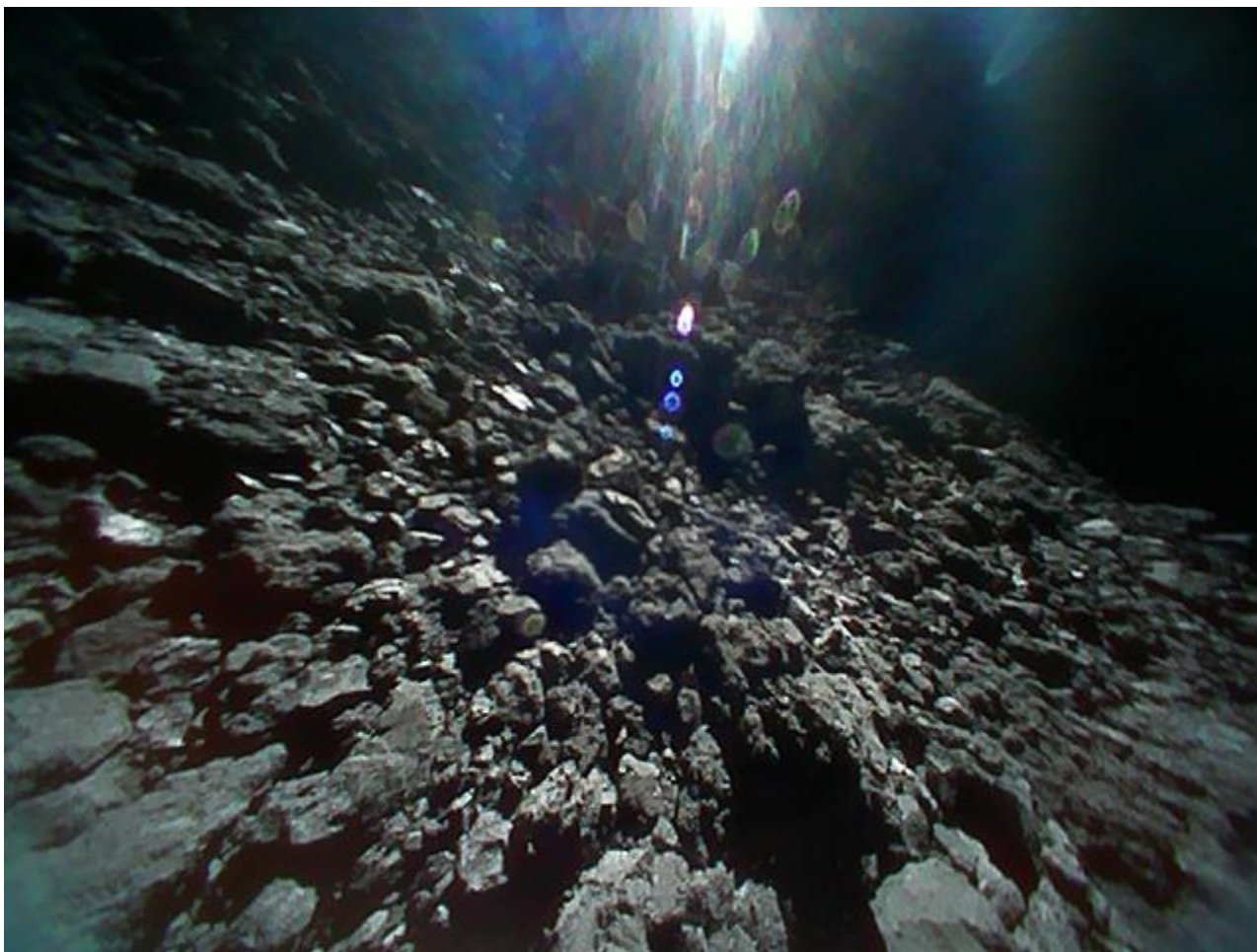
(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報

初公開

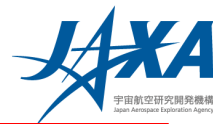
2018年9月23日09:46JSTにRover-1Bのホップ直前の画像



(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報



初公開

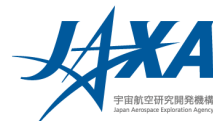
2018年9月23日10:10JSTにRover-1Bの再着地頃の表面画像



(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報



初公開

2018年9月23日09:43JSTにRover-1Aが撮影した表面画像



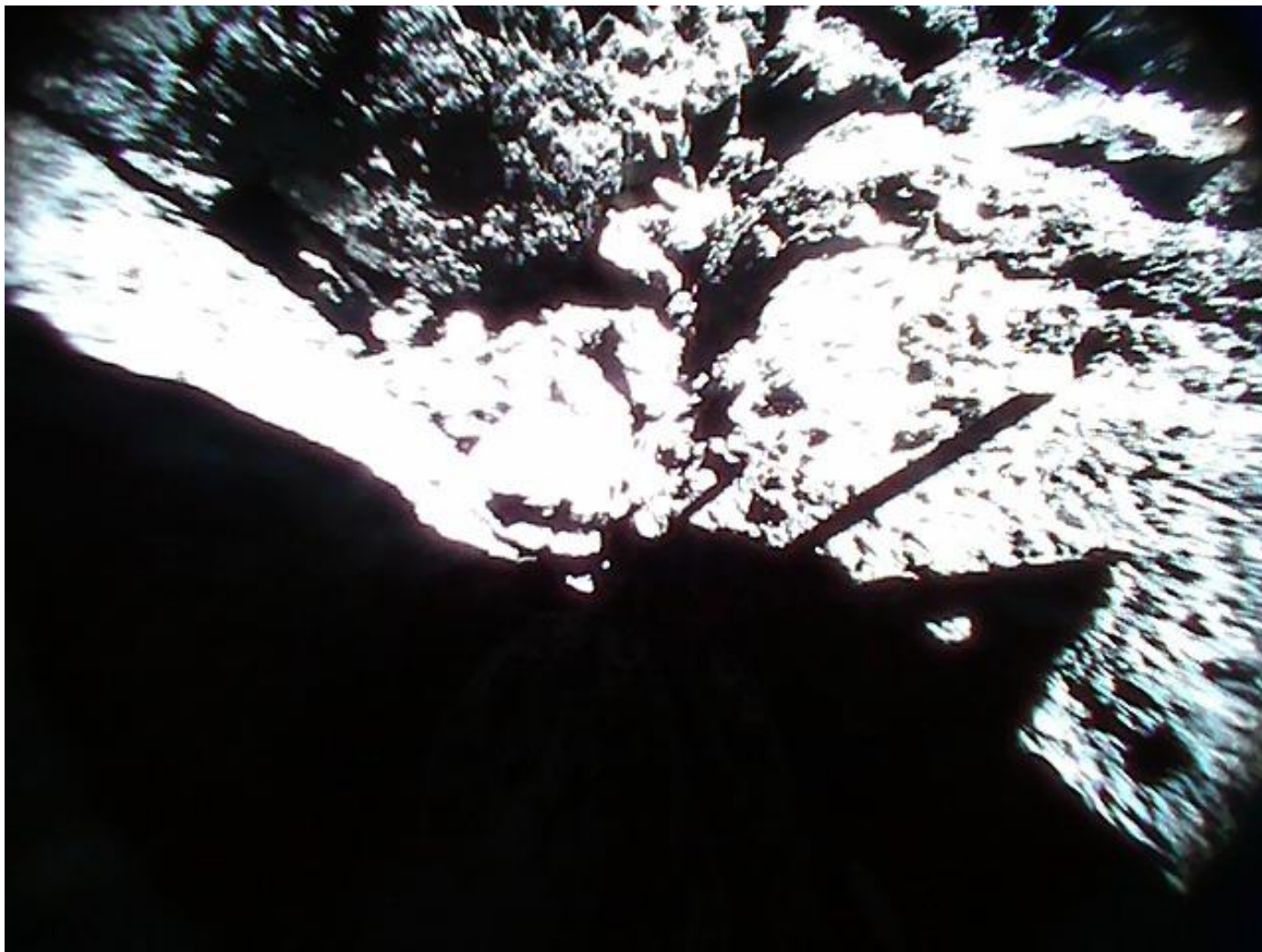
(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報

2018年9月23日09:48JSTにRover-1Aが撮影した表面画像

初公開



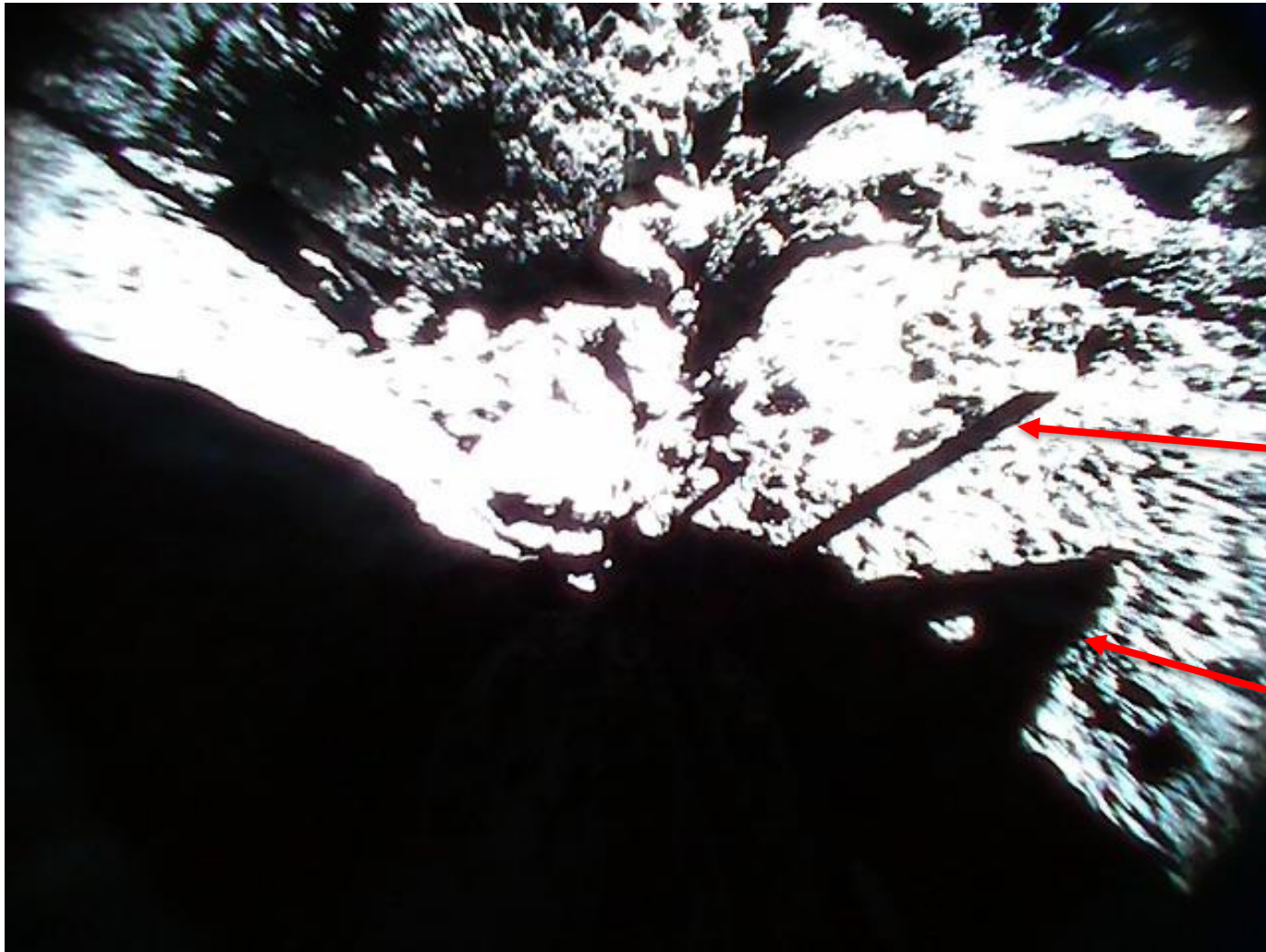
(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報

2018年9月23日09:48JSTにRover-1Aが撮影した表面画像
ミネルバ2自身のアンテナとピンの影の撮影に成功

初公開

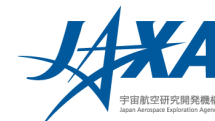


ピン

アンテナ



2. MINERVA-II1 速報



初公開

Rover-1B動画撮影に成功



2018年9月23日10時
34分から11時48分
JSTまで15枚取得

(動画)

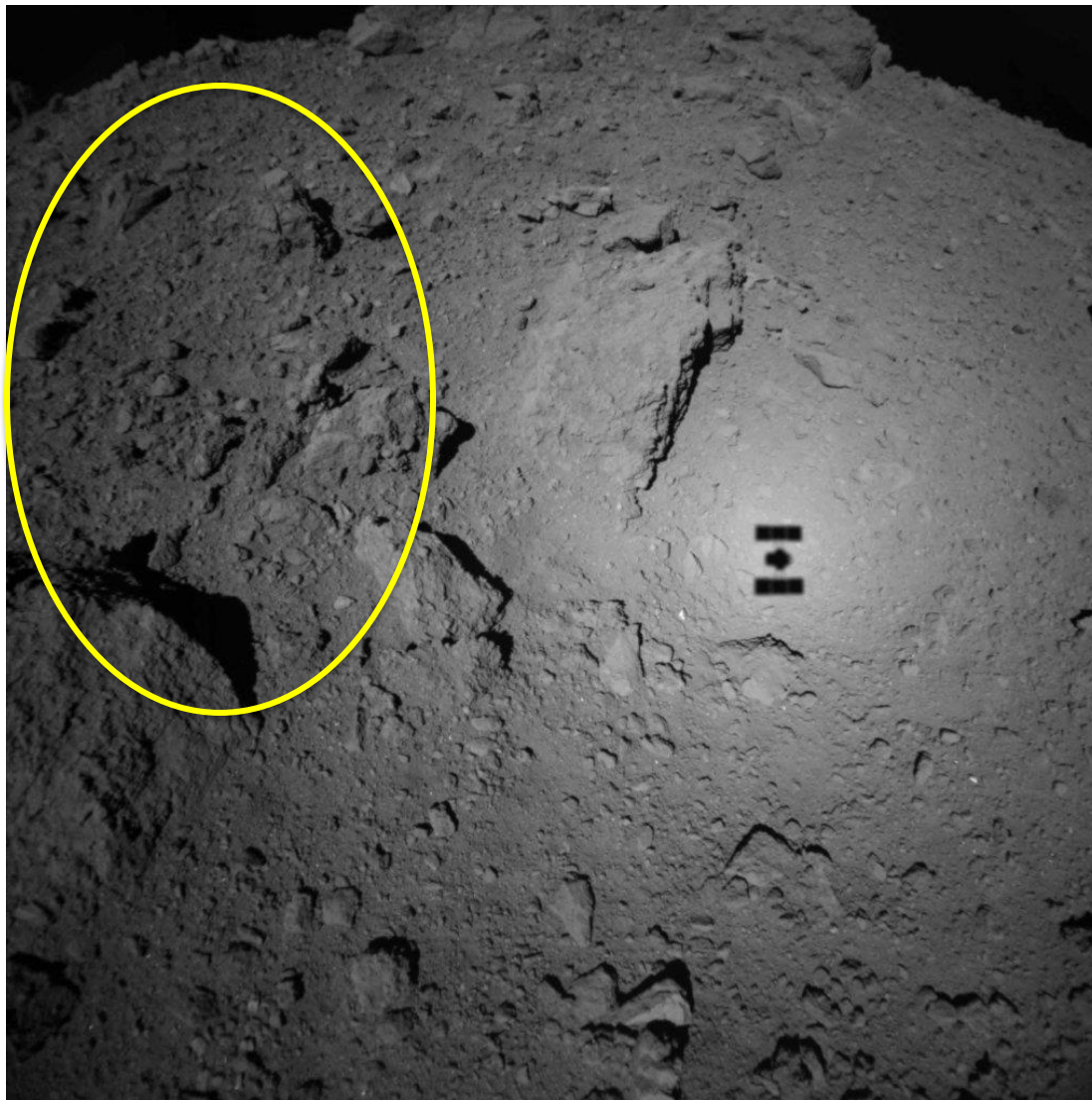
(クレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報

2018年9月21日13:02JST 高度70mにて, ONC-W1により撮像

ミネルバ2の
分離位置
(推定)



(画像のクレジット: JAXA)



2. MINERVA-II1速報

初公開

ONCによる探
索

③ 04:21:06 (約16分後)

前後の画像では
明るい点は見られず

04:18:26 (約13分後)

① 04:12:34 (約6.5分後)

② 04:16:18 (約10分後)

探査機降下目標地点

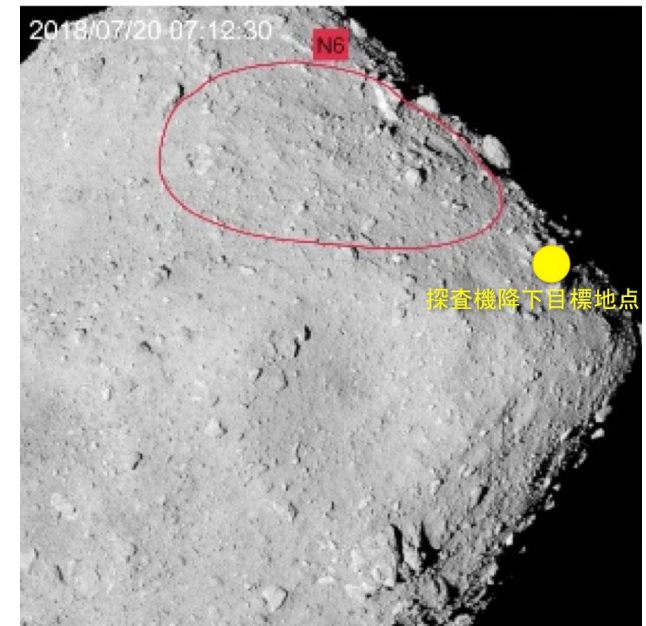
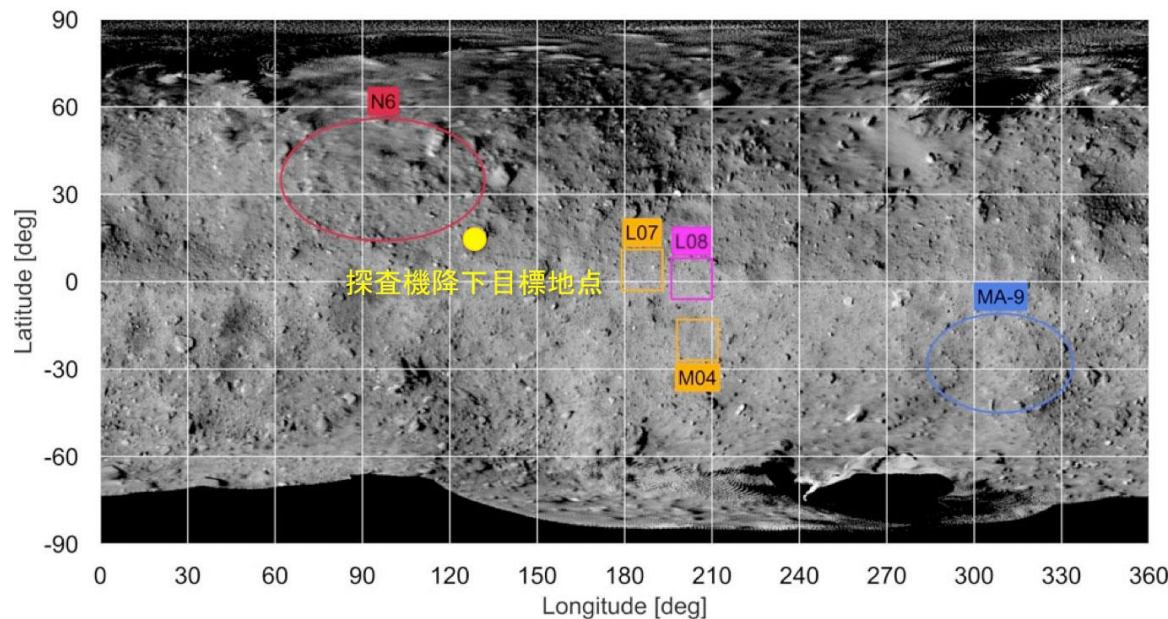
①→②→③の順番でミネルバ、あるいはそのカバーと考えられる移動体が輝く点として確認された。(①, ②: ONC-W1, ③: ONC-T)

(画像クレジット: JAXA, 産総研, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大)



2. MINERVA-II1速報

参考: 探査機降下目標地点の位置



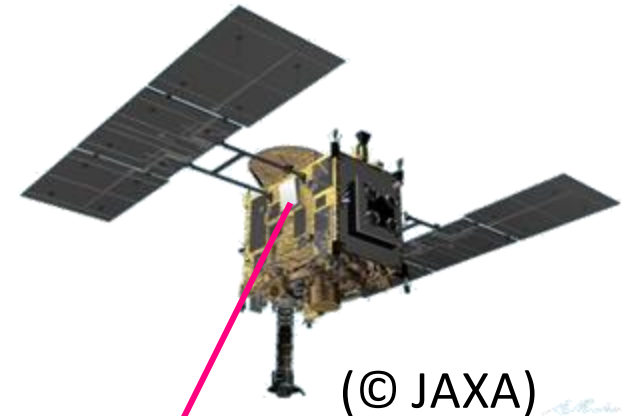
探査機降下目標地点でMINERVA-II1を分離すると、分離後にMINERVA-II1が静止する地点がN6内となる。

3. MASCOT分離運用

MASCOTシステム概要

MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout)

- DLR (ドイツ航空宇宙センター)とCNES (フランス国立宇宙研究センター)によって製作
- 小惑星上、その場観測を目的とした軽量かつコンパクトな着陸機
- 着陸機質量: ~9.8 kg
- 着陸機サイズ: 0.275 x 0.290 x 0.195 m
- 4つの科学観測機器を搭載: MASCAM, MicrOmega, MARA, MASMAG



フライトモデル (© DLR)

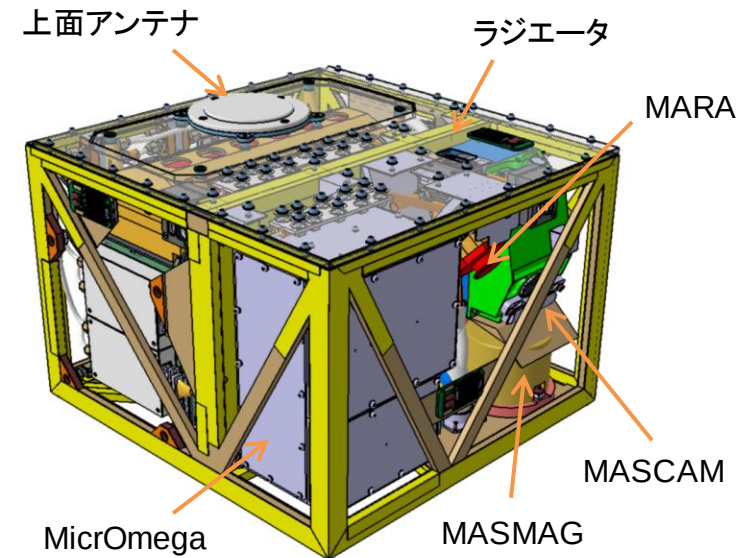


3. MASCOT分離運用

MASCOTシステム概要

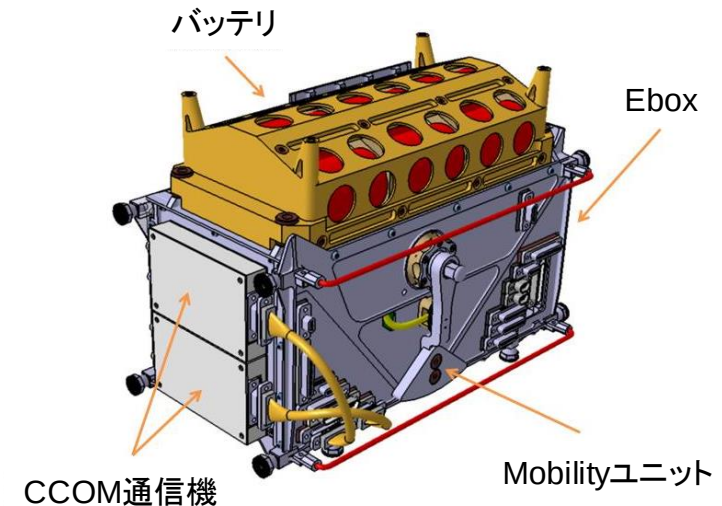
MASCOT搭載科学機器

機器名	機能
広角カメラ (MASCAM)	複数波長での画像の撮影
分光顕微鏡 (MicrOmega)	鉱物組成・特性の調査
熱放射計 (MARA)	表面温度の測定
磁力計 (MASMAG)	磁場の測定



MASCOTバスシステム

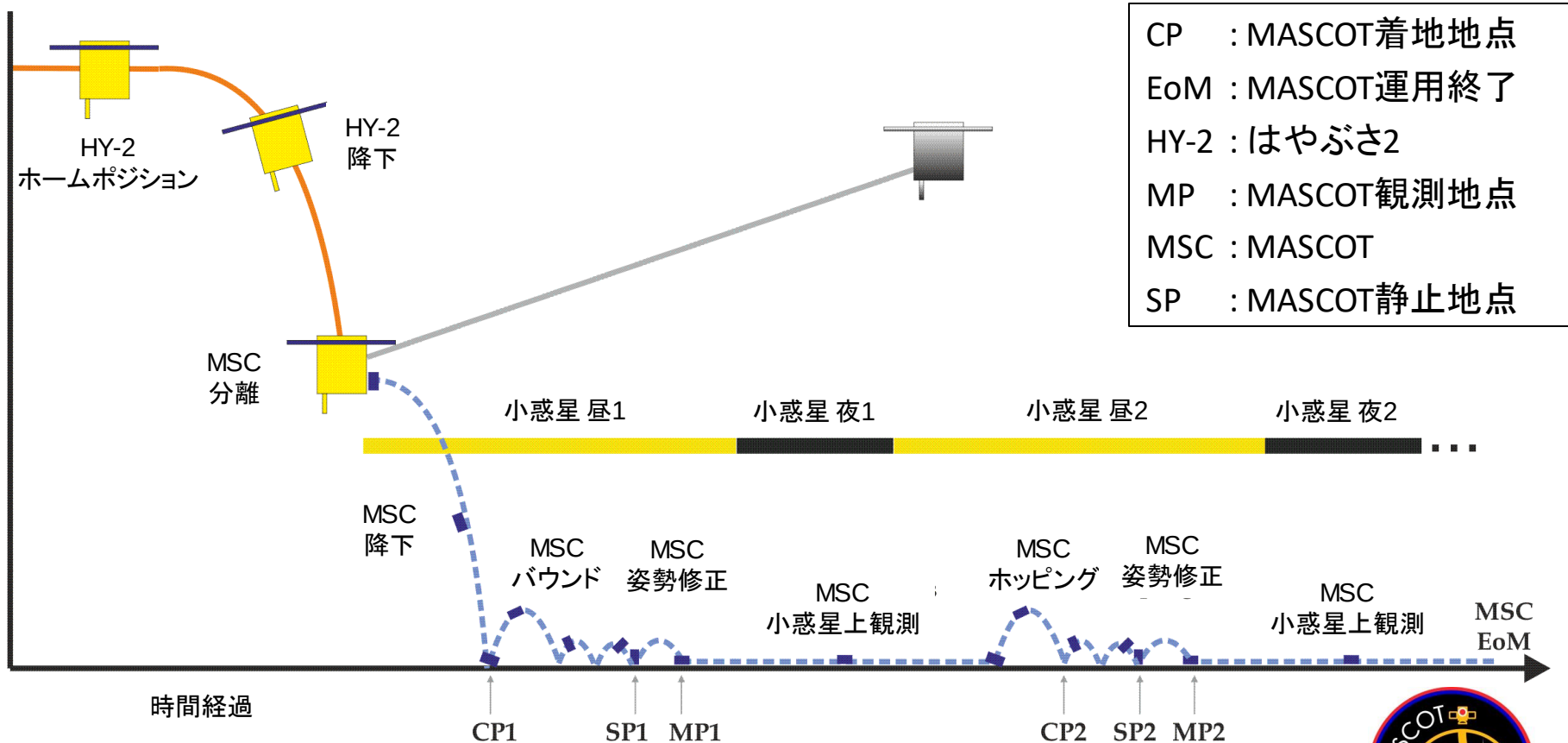
- 電源: リチウム一次電池を使用
- 通信: MINERVA-IIと同様の通信機を使用した通信システム
- Mobility: モーターを用いたMASCOTの起き上がり・ホッピングメカニズム
- GNC: センサを用いたMASCOTの姿勢検知



3. MASCOT分離運用

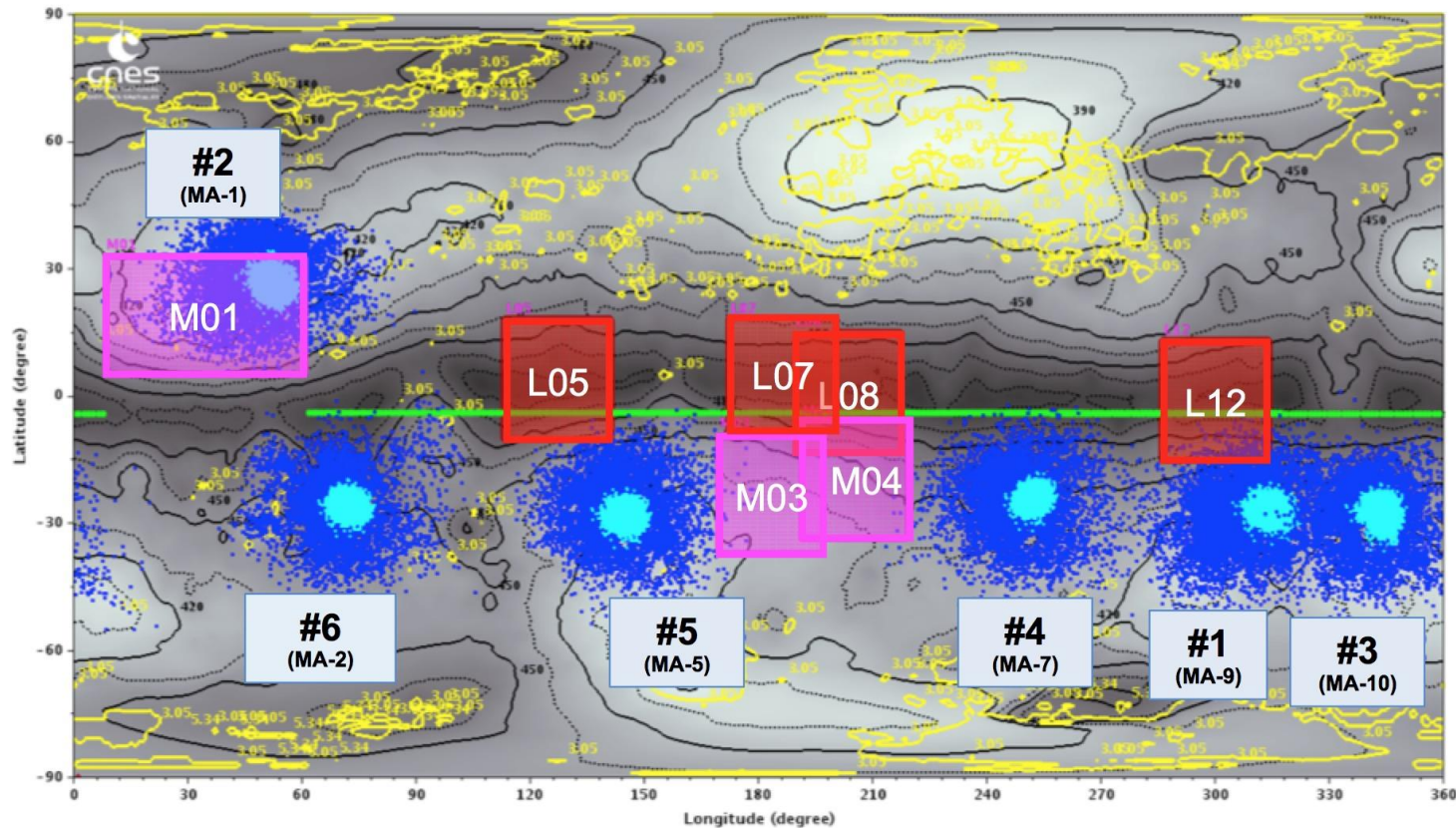
MASCOTの小惑星上運用

はやぶさ2探査機から分離後のMASCOT運用予定



3. MASCOT分離運用

MASCOTの着地点候補：10カ所からの絞り込みと優先順位付け



(©DLR,CNES)

着地点候補の優先順位: MA-9 > MA-1 > MA-10 > MA-7 > MA-5 > MA-2

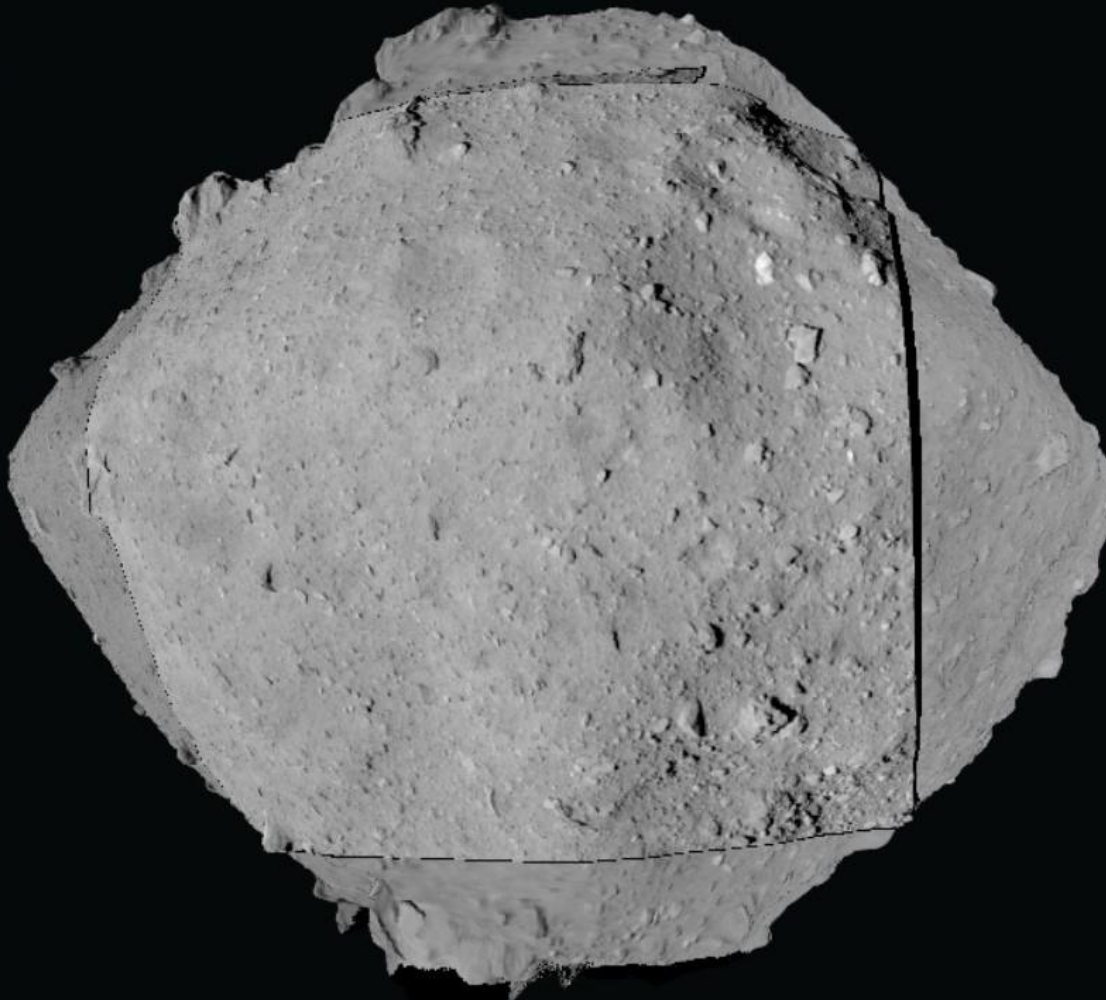
3. MASCOT分離運用

MASCOT着陸候補地点

2018-08-15T12:20:56.995 UTC

vFoV : 45.00 deg

Earth-Ryugu-Sun : 18.22 deg



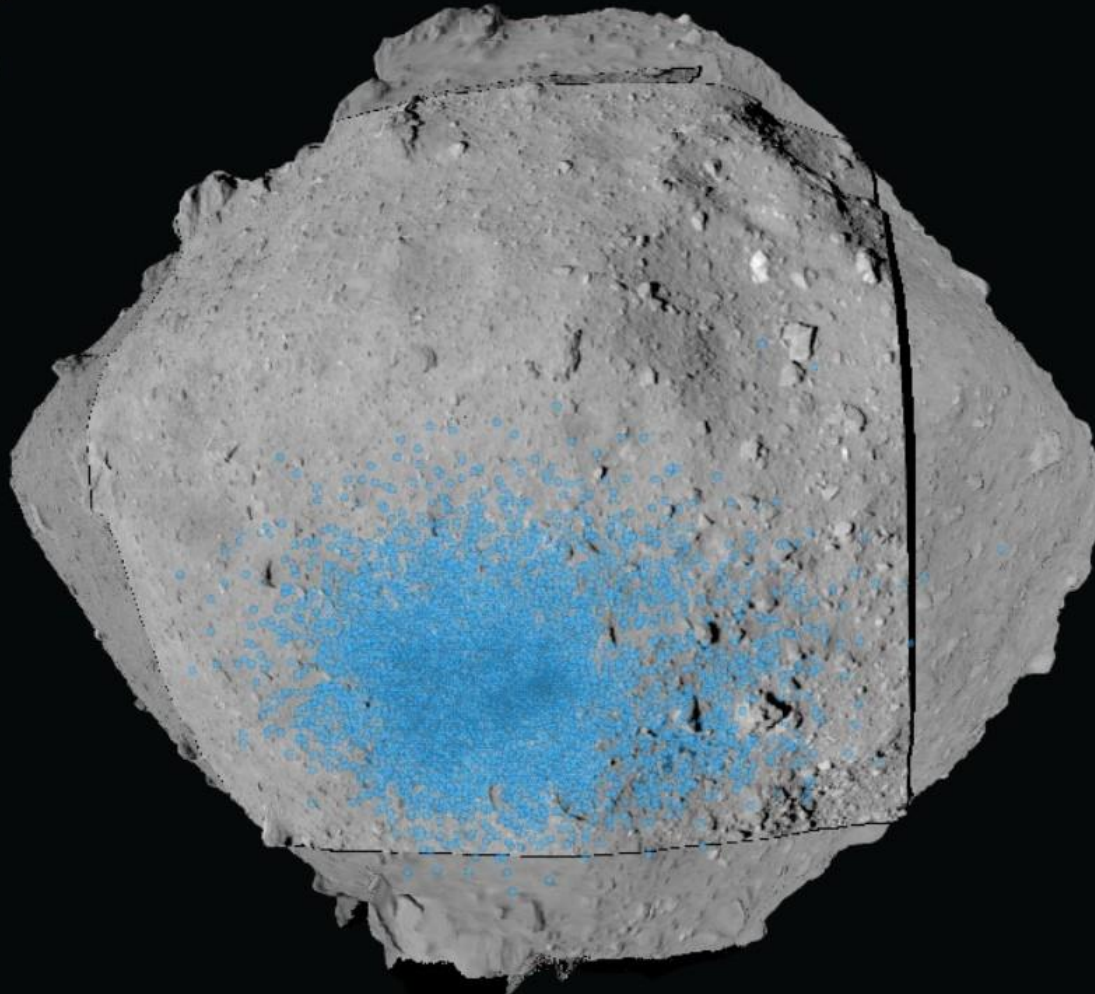
3. MASCOT分離運用

MASCOT着陸候補地点

2018-08-15T12:20:56.995 UTC

vFoV : 45.00 deg

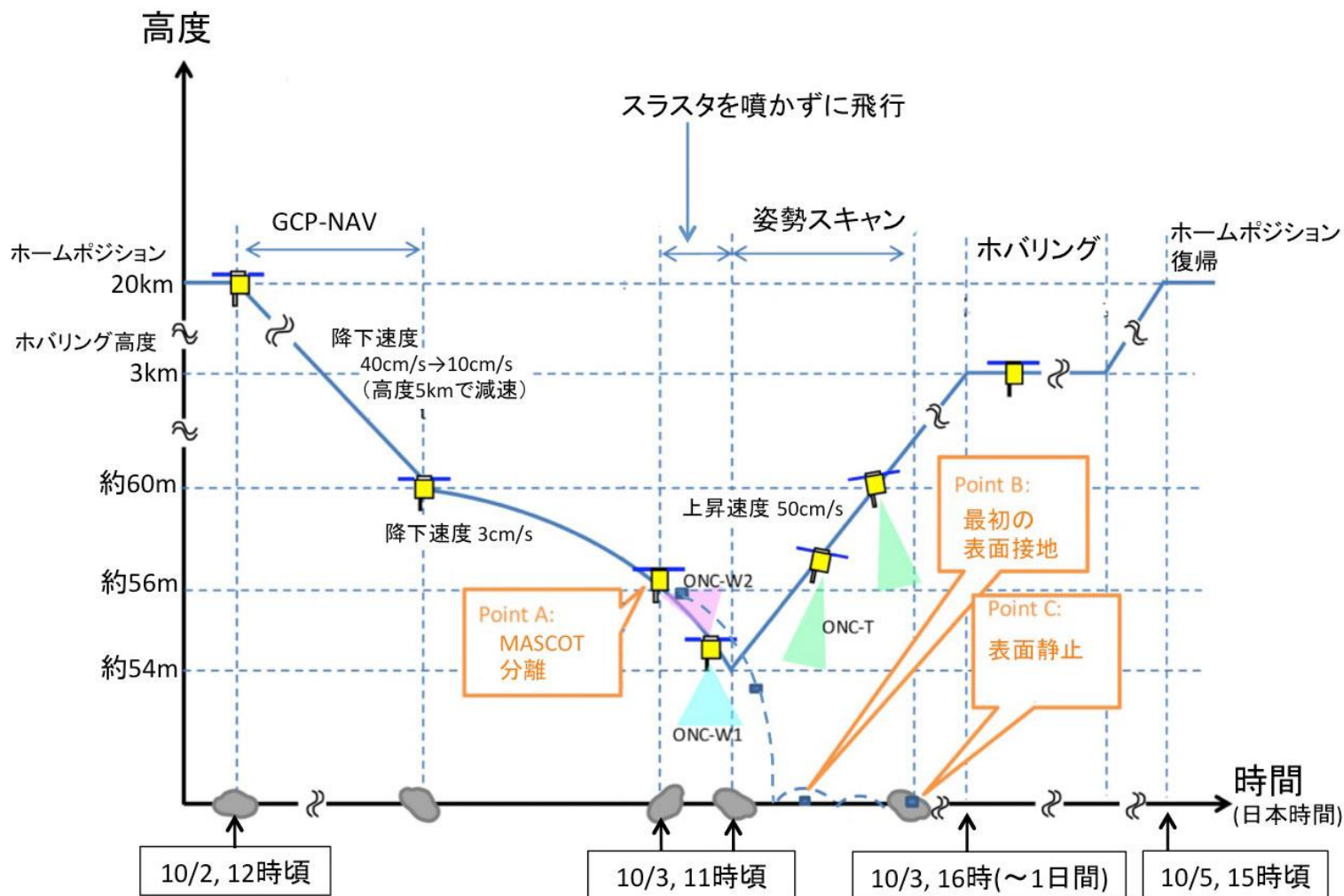
Earth-Ryugu-Sun : 18.22 deg





3. MASCOT分離運用

MASCOT分離運用シーケンス概要



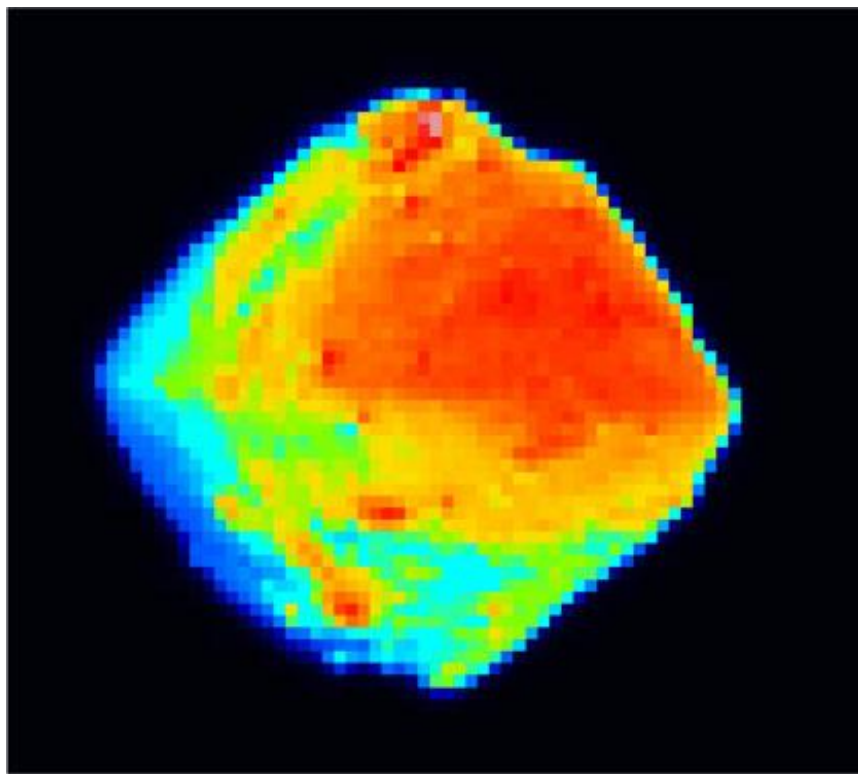
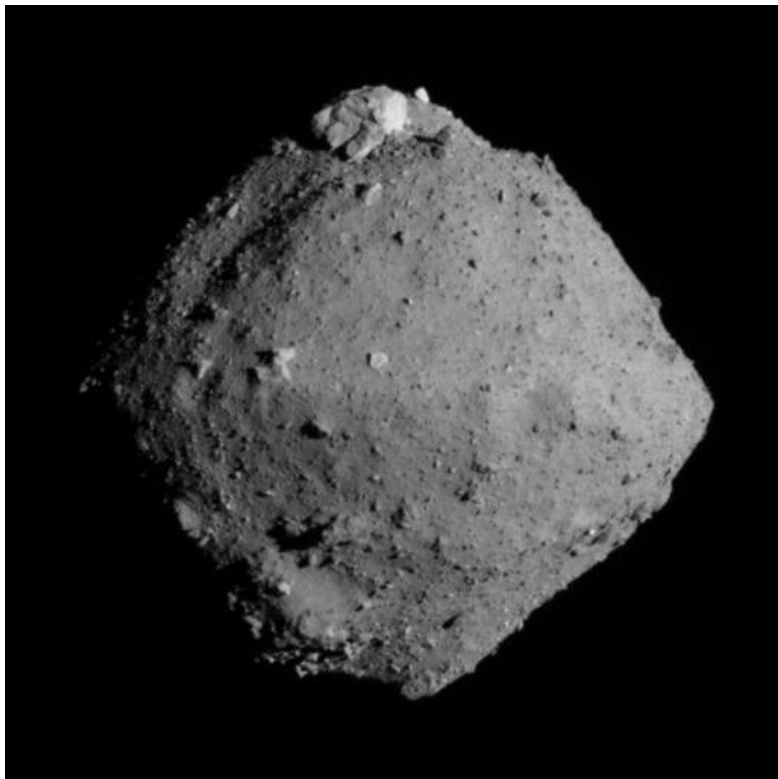
注:時刻は予定時刻を示す。実際の運用によって変更される場合がある。



4. リュウグウの画像

BOX-B運用で夕方方向を撮影

初公開



左は望遠の光学航法カメラ(ONC-T)で、右は中間赤外カメラ(TIR)で撮影したもの。
2018年8月31日、19時頃(日本時間)の撮影。-x=9km付近からの撮影となる。

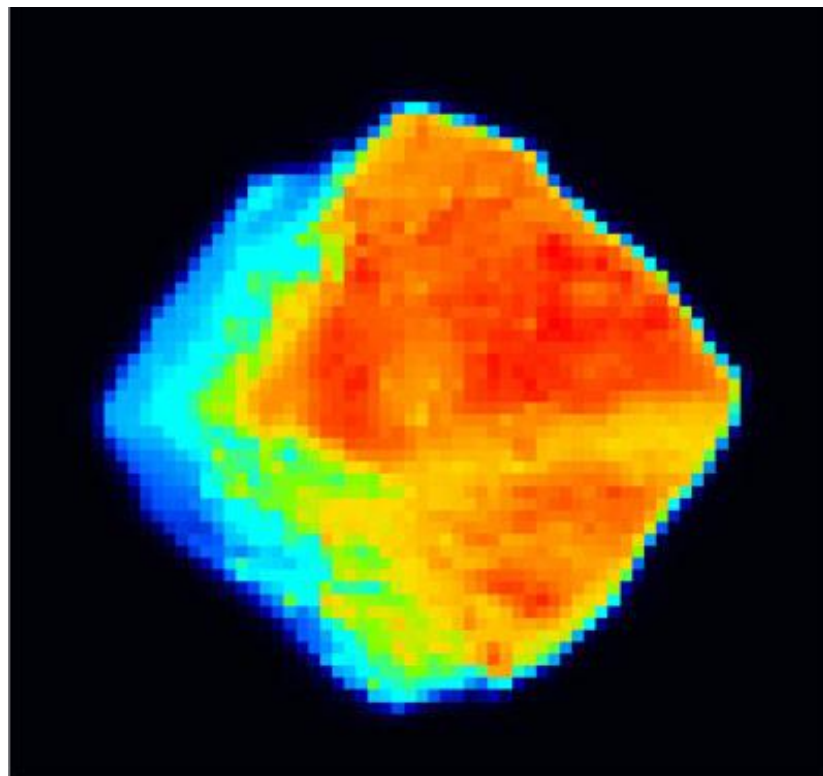
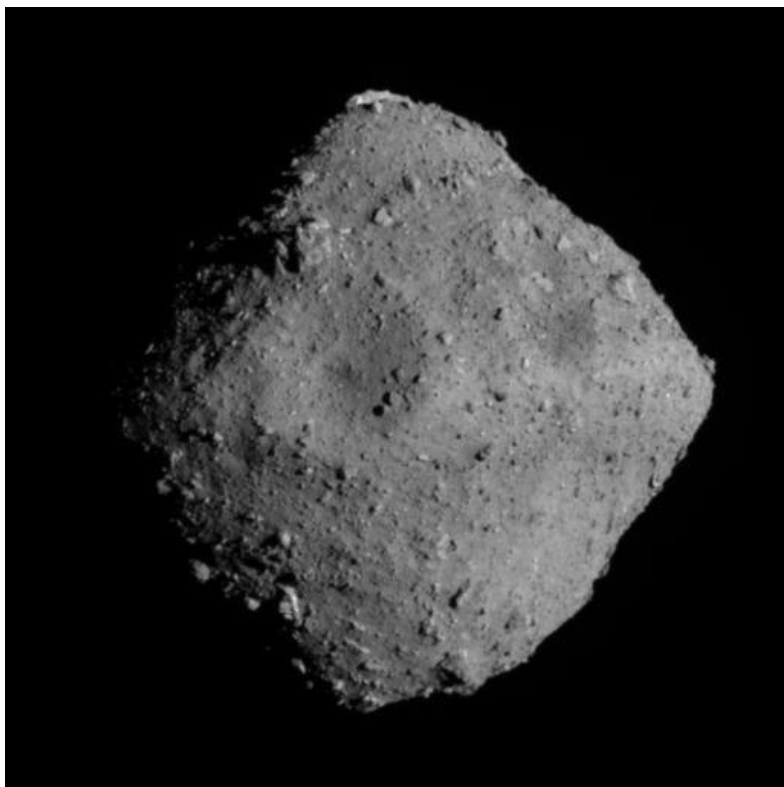
(左の画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研; 右の画像クレジット: JAXA, 足利大学, 立教大学, 千葉工業大学, 会津大学, 北海道教育大学, 北海道北見北斗高校, 産業技術総合研究所, 国立環境研究所, 東京大学, ドイツ航空宇宙センター, マックスプランク研究所/スターリング大学)



4. リュウグウの画像

BOX-B運用で夕方方向を撮影

初公開



左は望遠の光学航法カメラ(ONC-T)で、右は中間赤外カメラ(TIR)で撮影したもの。
2018年8月31日、23時頃(日本時間)の撮影。 $-x=9\text{km}$ 付近からの撮影となる。

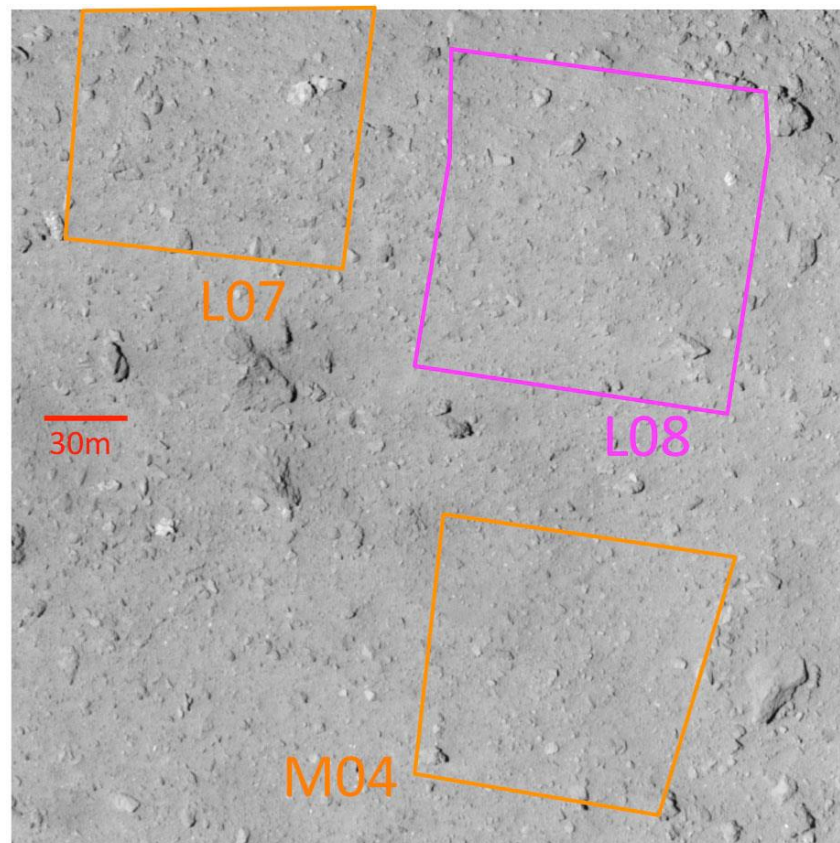
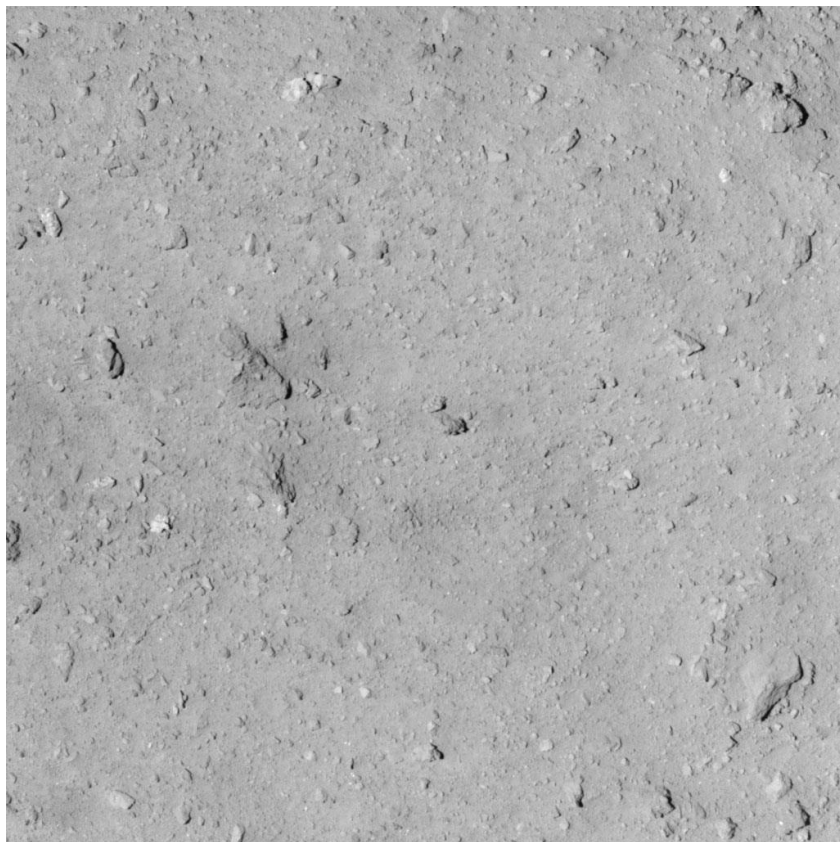
(左の画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研; 右の画像クレジット: JAXA, 足利大学, 立教大学, 千葉工業大学, 会津大学, 北海道教育大学, 北海道北見北斗高校, 産業技術総合研究所, 国立環境研究所, 東京大学, ドイツ航空宇宙センター, マックスプランク研究所/スターリング大学)



4. リュウグウの画像

タッチダウン1リハーサル1運用取得画像

初公開



望遠の光学航法カメラ(ONC-T)で約3km上空から撮影したタッチダウン候補地点付近の画像。2018年9月12日6時(日本時間)頃の撮影。右の画像には、タッチダウン候補地点のおおよその領域を記載した。

(画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



4. リュウグウの画像

MINERVA-II1分離運用でONC-W2で撮影

初公開



注: ONC-W2に
よる撮影は初
めてです。

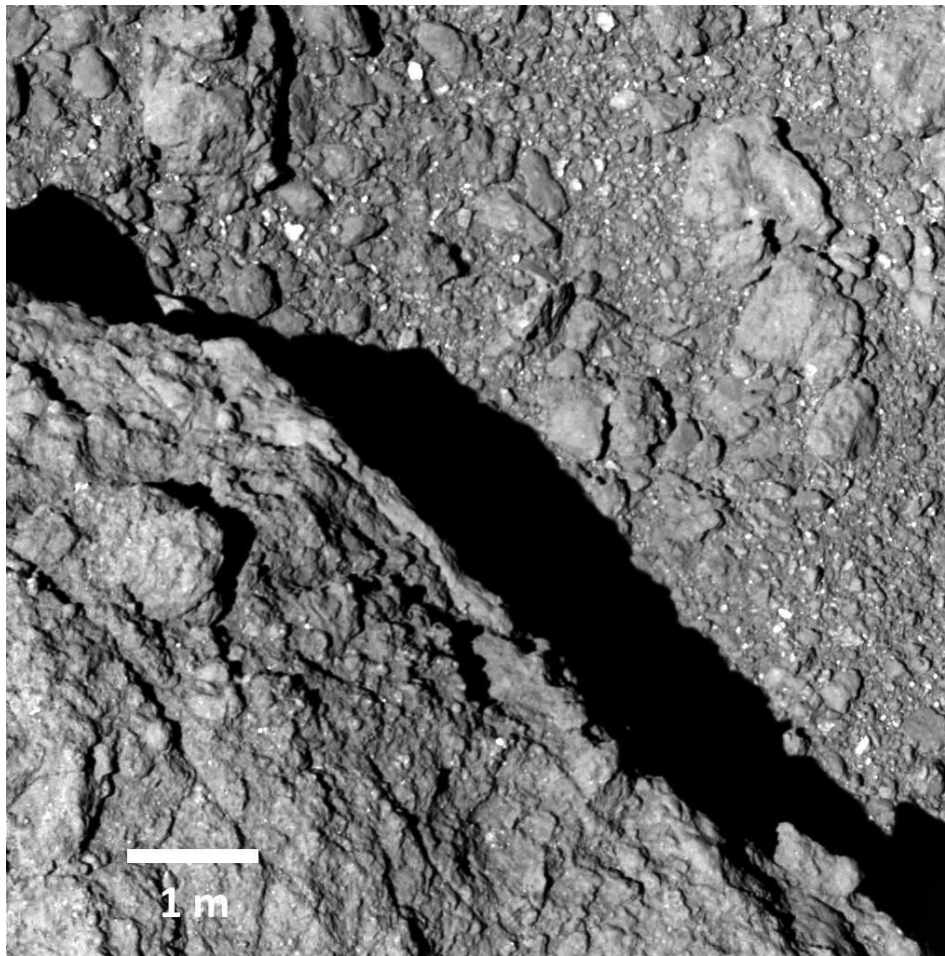
高度約67mでONC-W2によるリュウグウの画像。撮影は、2018年9月21日、13時(日本時間)頃。探査機構体に斜め下向きに取り付けられたW2で撮影したリュウグウの地平線。(画像のクレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



4. リュウグウの画像

MINERVA-II1分離運用でONC-Tで撮影

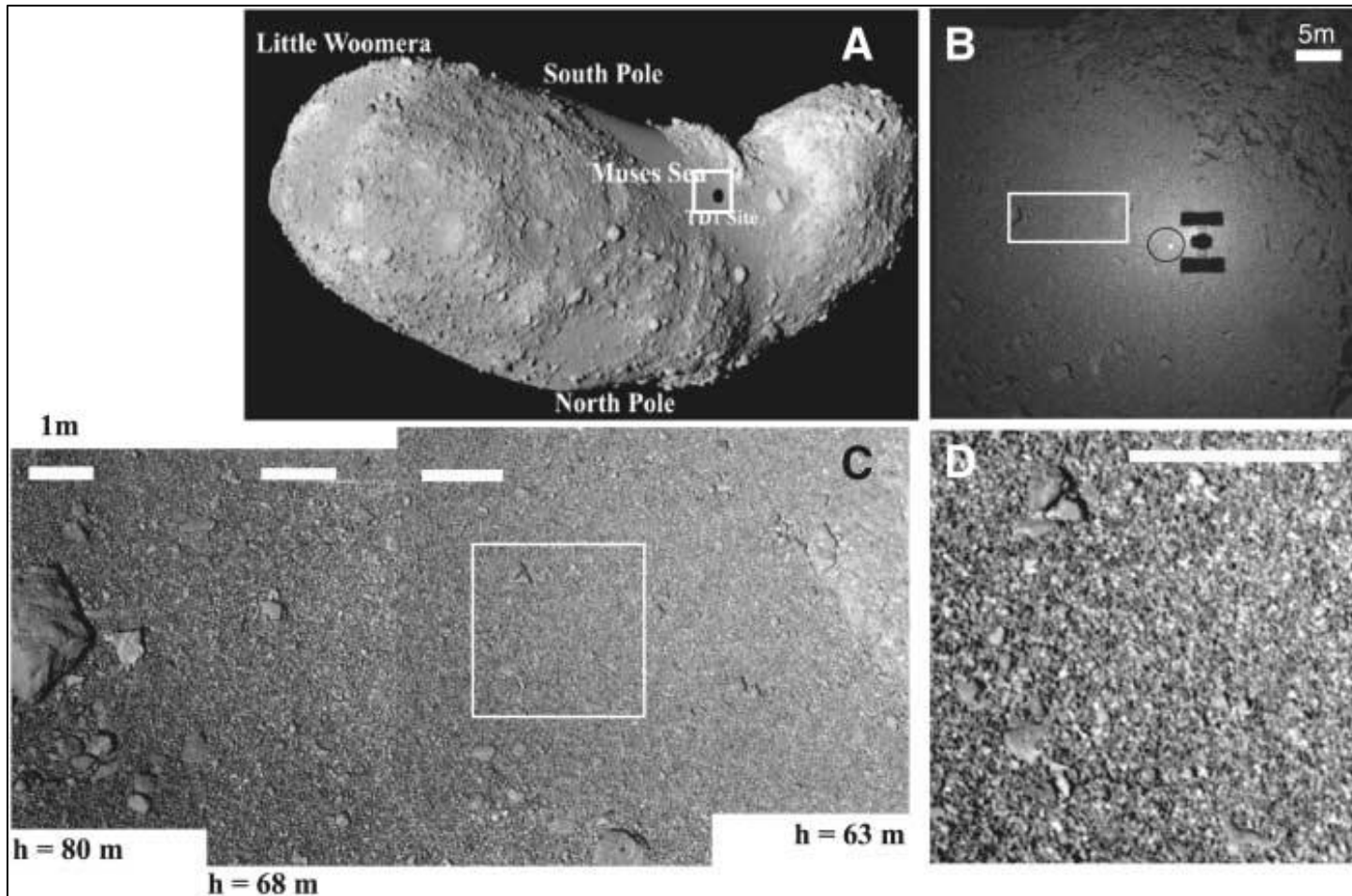
初公開



高度約64mでONC-Tによって、2018年9月21日、13:04頃(日本時間)に撮影されたリュウグウの画像。これまでのリュウグウ表面の写真で**最高解像度**になる。画面左下は大きな岩塊。(画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



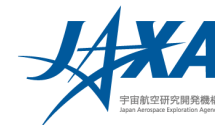
参考:「はやぶさ」での最高解像度の画像



「はやぶさ」が撮影したイトカワ表面の高解像度の画像。Dが高度63mから撮影したもの。通称ミュージズの海(正式名称MUSES-C Regio)が直径が数mmから数cmの“じゃり”で覆われていることがわかる。(Yano. et al. SCIENCE VOL 312 2 JUNE 2006 より)



5. その他

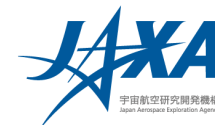


■ “リュウグウ” 想像コンテストについて

- ・作品を各ノード（作品を集めた機関）から、はやぶさ2プロジェクトにノミネートしてもらう
- ・年内に最終審査の予定



6. 今後の予定



■ 運用の予定

- 9月30日～10月4日：MASCOT分離運用（準備運用も含む）

MASCOT分離は10月3日、日本時間11時頃の予定

- 10月中旬：タッチダウン1リハーサル2
- 10月下旬：タッチダウン1

■ 記者説明会等

- 10月3日（水） 9:30～18:30 プレスセンター開設@相模原

15:00～16:00 記者説明会

17:00～18:00 MASCOT記者会見@ドイツの中継

- 10月11日（木） 15:30～16:30 記者説明会@お茶の水

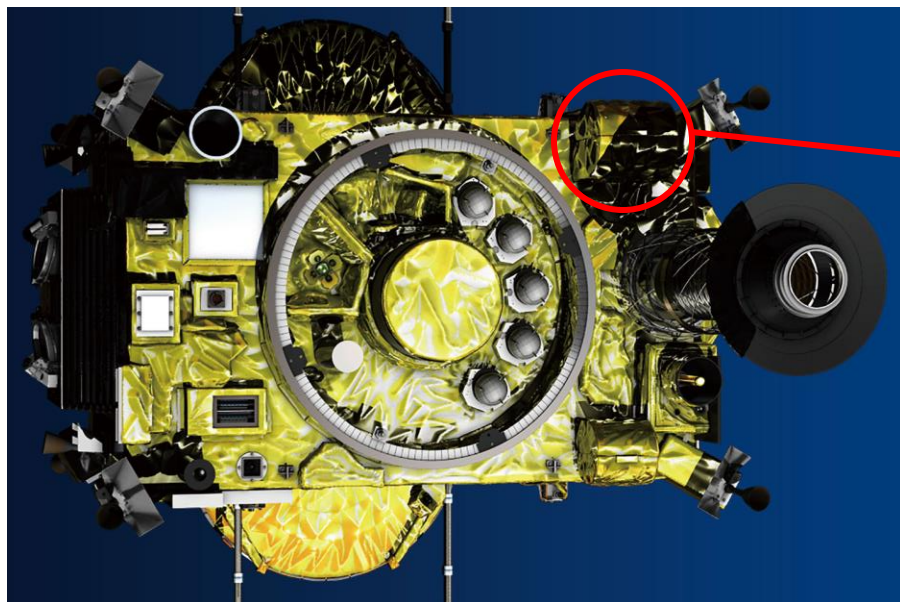


参考資料



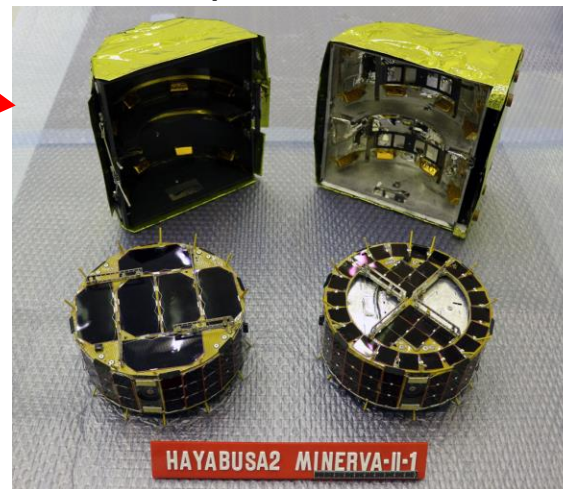
MINERVA-II1

MINERVA-IIは、「はやぶさ」に搭載したMINERVAの後継機



(©JAXA)

MINERVA-II1(Rover-1A, Rover-1B)



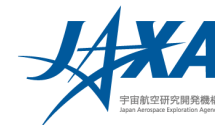
JAXA製作

＜協力メーカ、大学、団体など＞
愛知工科大学、会津大学、アドニクス、
アンテナ技研、エルナー、セシアテクノ、
東京大学、東京電機大学、デジタルスパイス、
日東光学、マクソンジャパン、DLR、ZARM

- 分離機構を含む総質
MINERVA-II1 : 2.5kg
- MINERVA-II1には2つの
探査ローバを搭載



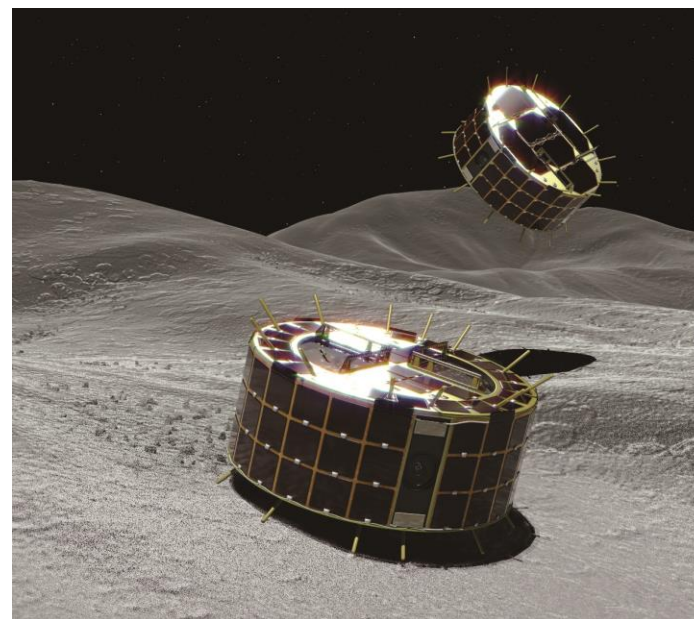
MINERVA-II1



小惑星探査ロボット「ミネルバⅡ1」

Micro Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid
the Second Generation

- ホッピングメカニズム
- 未知環境適応能力
- 小型・軽量・低消費電力
- 自律探査行動
- 科学観測（表面ステレオ画像・温度計測）



(©JAXA)



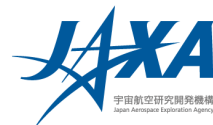
MINERVA-II1

Rover-1A, -1Bの仕様

大きさ	正十六角柱 直径: $\phi 180$ [mm] 高さ: 70[mm]
重量	1A:1,151[g], 1B:1,129[g]
駆動部	直流モータ 1個
搭載センサ	カメラ4個(1A), カメラ3個(1B) 光センサ, 加速度計, 温度計, ジャイロ
通信速度	32k[bps] (max)



MINERVA-II1の着地候補地点選定

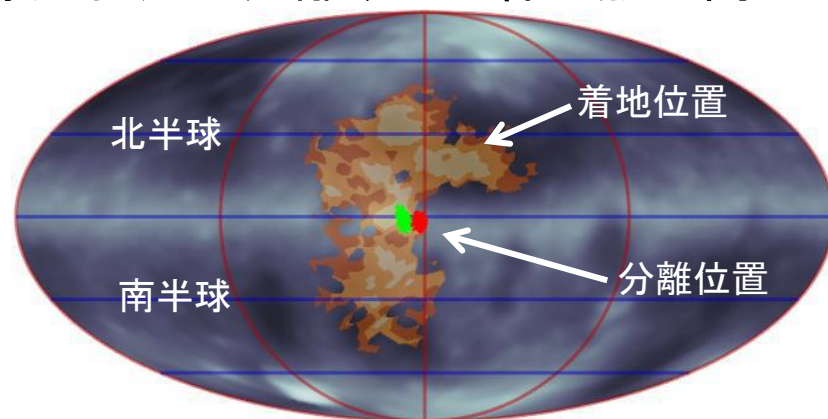


MINERVA-II1の着地点選定の条件:

- 着地する場所がタッチダウン予定地と重ならないこと
- 着地する場所がMASCOTの着地予定地と重ならないこと
- 分離後の探査機高度が30mより低くならないこと
- 地上局との通信が確保できること
- 「はやぶさ2」探査機との通信が確保できること
- 温度が高くない領域で、陰となる領域が少ないこと

- ↓
- ・赤道付近はリッジ(尾根)となっているため、赤道付近に分離すると着地点が南北に大きく広がってしまう。
 - ・南半球に分離した場合、探査機高度が30mより低くなる可能性がある。

- ↓
- ・赤道から北半球側に100m以上離れたところに分離する

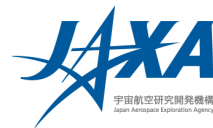


(©JAXA)

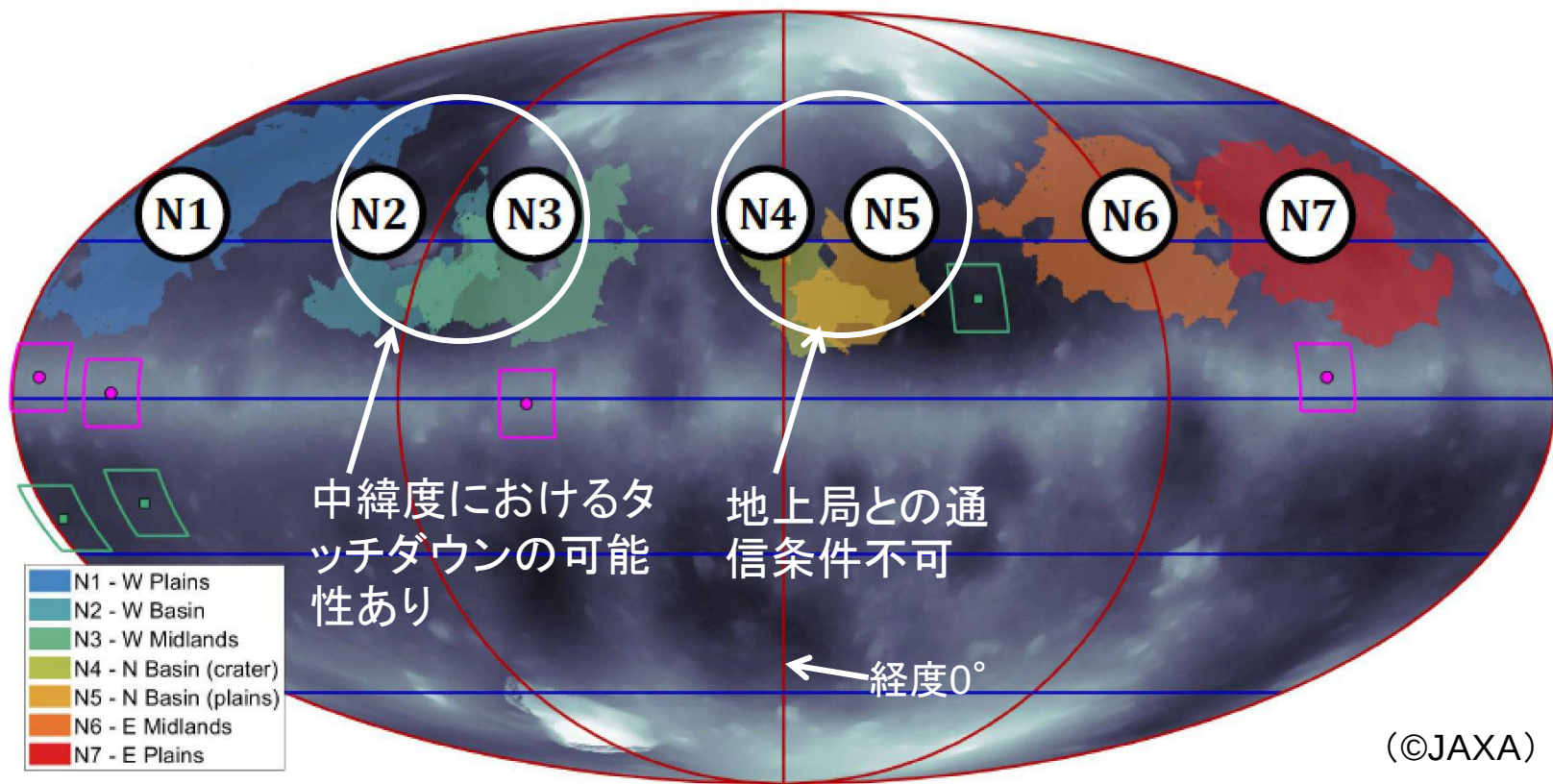
赤道付近に分離すると、着地点が南北に広がってしまう



MINERVA-II1の着地候補地点選定



MINERVA-IIの着地点候補：北半球で検討



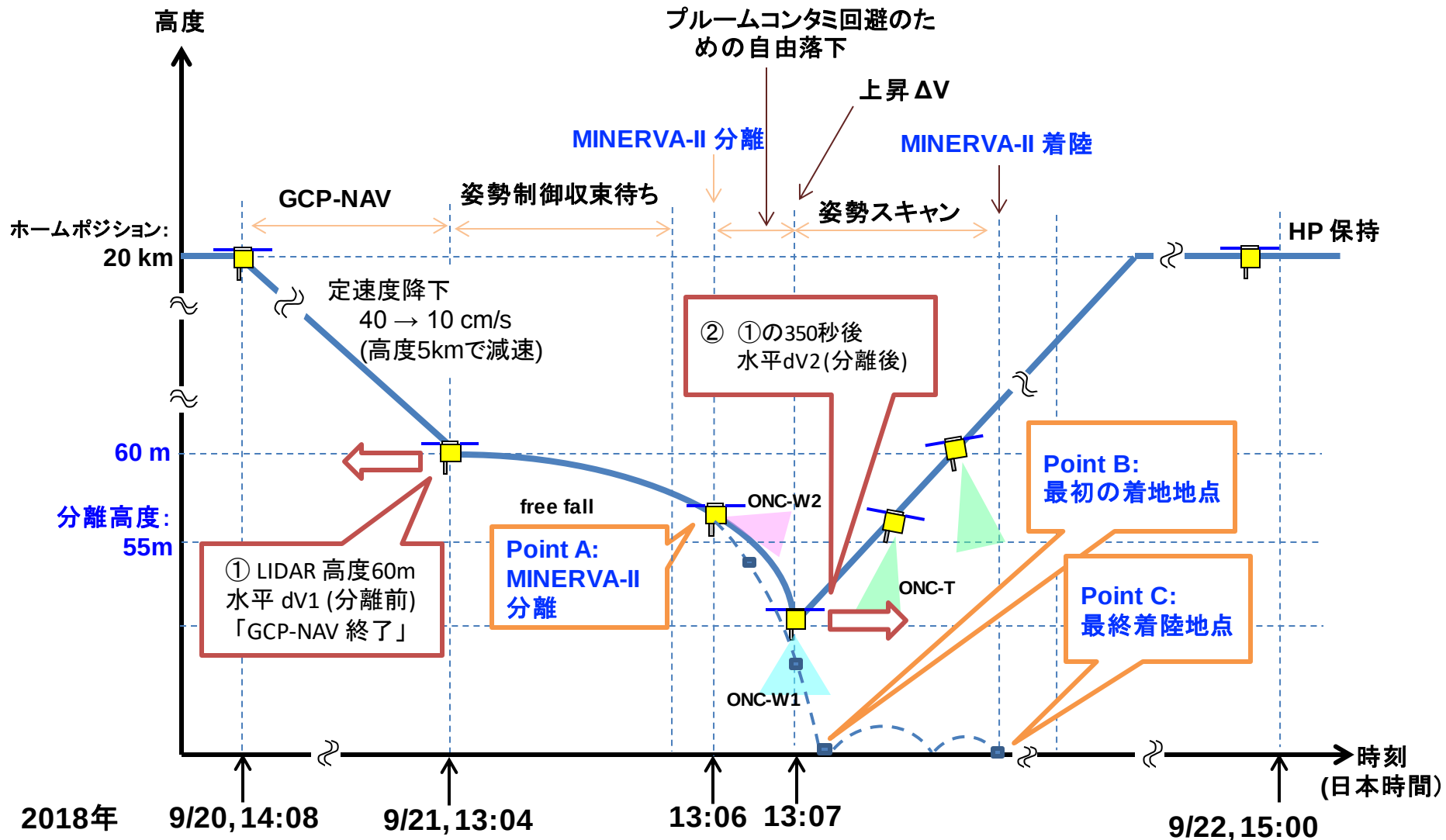
- ・タッチダウン・MASCOTの着地点と重ならないことを確認
- ・ONC-Tによる観測可能性等も考慮

候補地：N6 > N1 > N7



MINERVA-II1

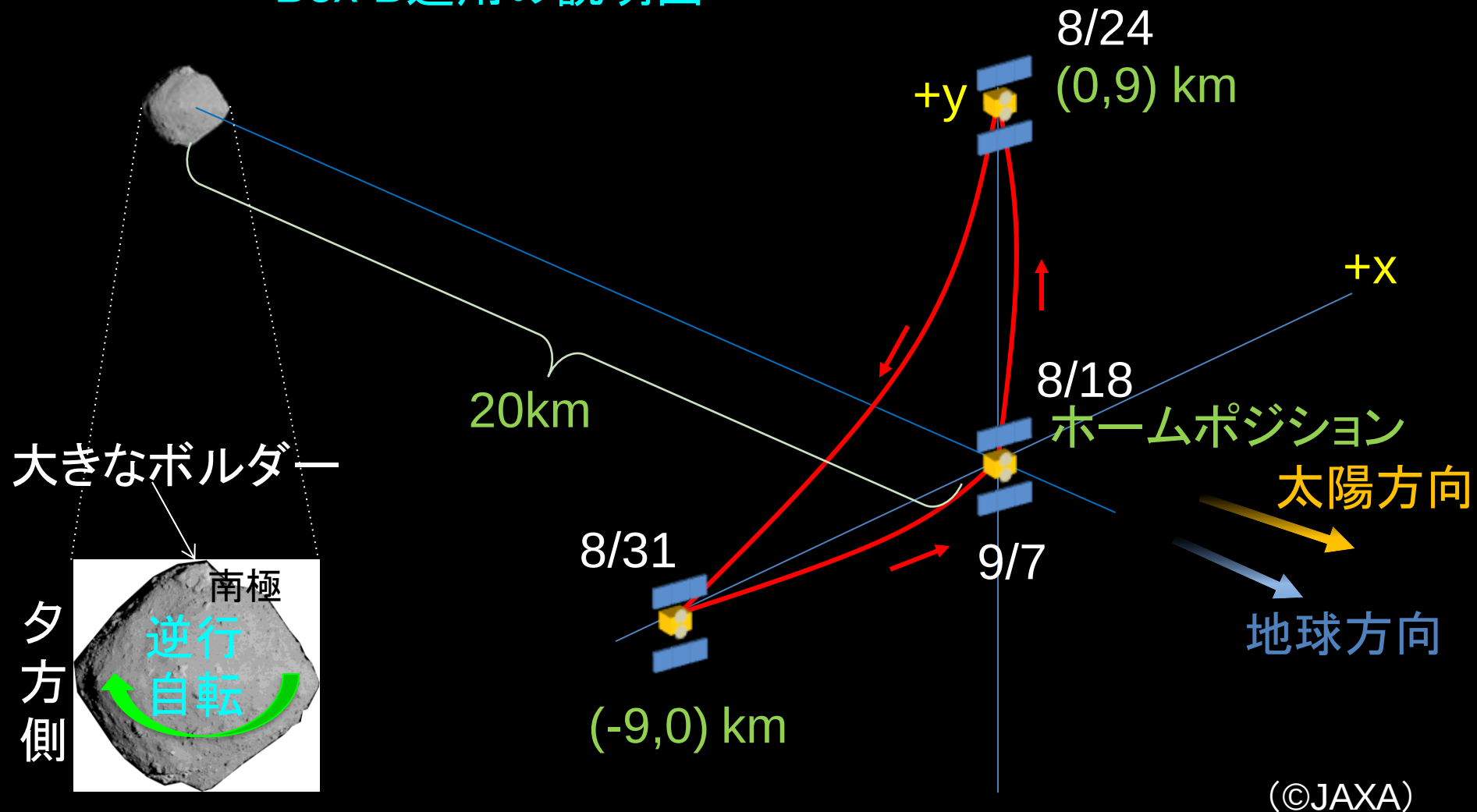
MINERVA-II1分離運用概要





BOX-B運用

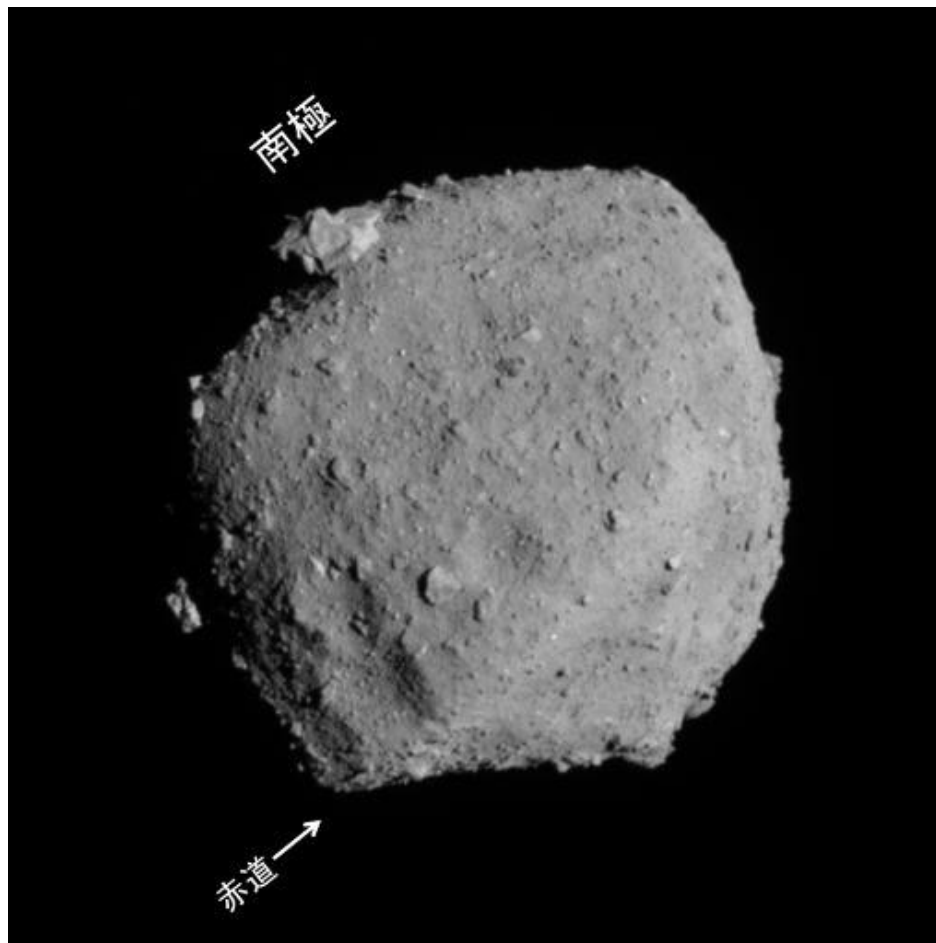
Box-B運用の説明図





BOX-B運用取得画像

南極方向を撮影



公開済み

(ただし、南極を上
方向にしました)

2018年8月24日、17時頃(日本時間)に望遠の光学航法カメラ(ONC-T)によって撮影。 $+y=9\text{km}$ 付近からの撮影となる。リュウグウまでの距離は約22km。

画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研



タッチダウン1リハーサル1



TD1-R1運用概要(時刻は日本時間)

2018年9月11日

15:27 ホームポジション(高度20km)より降下開始、降下速度0.4m/s
20:20 高度約10km

9月12日

02:05 降下速度を0.1m/sに減速
10:40 高度約1.5km
12:57 高度約600mで降下中止※、0.5m/sで上昇開始
16:30 ホームポジション復帰のための加速

9月13日

15:00 ホームポジション復帰

※LIDARの遠距離モードから近距離モードへと自動で変わる予定であったが、LIDARの測距反射光の強度が小さすぎたため切り替え可能な受光強度に達せず高度計測が不能となったため、探査機は自律で降下を中止し、上昇に転じた。