

# 小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年10月28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

- ・ターゲットマーカ分離運用の結果
  - ・MINERVA-II2(ローバ2)分離運用の結果
- 等について紹介する。

※なお、大学コンソーシアム代表の東北大学からローバ2(MINERVA-II2)について説明する。



# 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. ターゲットマーカ分離運用結果
  3. MINERVA-II2(ローバ2)分離運用結果
  4. ターゲットマーカの名前
  5. 今後の予定
- ・参考資料



# 「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を確立する。

## 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。



「はやぶさ2」主要緒元 (イラスト 池下章裕氏)

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	令和2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  
 サンプル機構、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



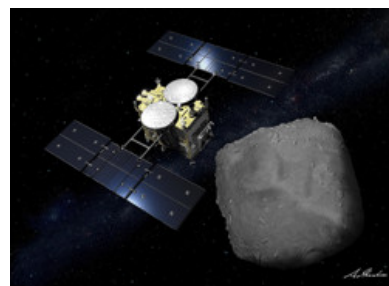
打ち上げ  
2014年12月3日



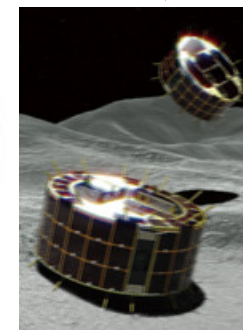
地球スイングバイ  
2015年12月3日



リュウグウ到着  
2018年6月27日



MINERVA-II1分離  
2018年9月21日



MASCOT分離  
2018年10月3日

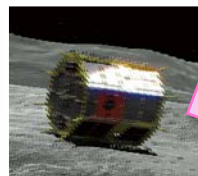


リュウグウ出発  
2019年11月～12月

地球帰還  
2020年末

終了 →

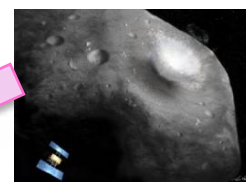
MINERVA-II2分離  
2019年10月3日



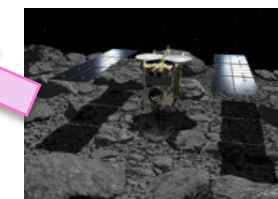
2回目のタッチ  
ダウン  
2019年7月11日



衝突装置  
2019年4月5日



1回目のタッチダウン  
2019年2月22日



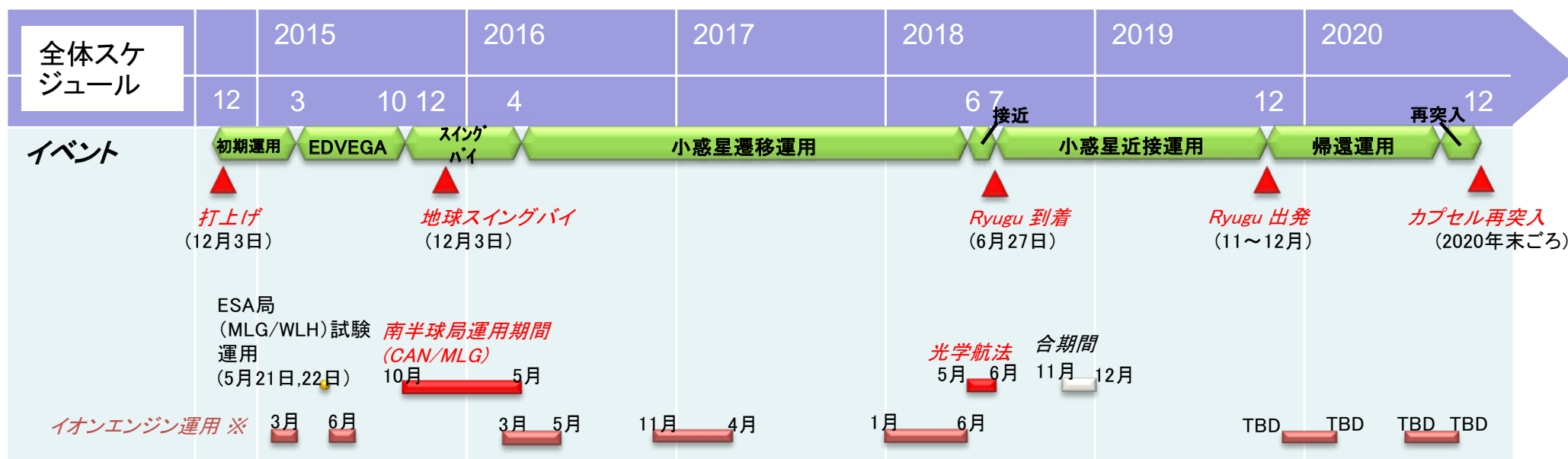
(画像クレジット: 探査機を含むイラストは 池下章裕氏、他はJAXA)



# 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

現状:

- 9月28日から10月3日にかけてMINERVA-II2(ローバ2)分離運用を行った。10月3日、00:57(日本時間、機上)、予定通りに分離することができた。
- その後、探査機は高度約8kmに留まってローバ2の観測を行い、10月15日にホームポジションに復帰した。
- 10月19日から30日にかけてBOX-C運用を行っている。最低高度は、24日~26日に約4km。サイエンス機器によるデータ取得を行う。

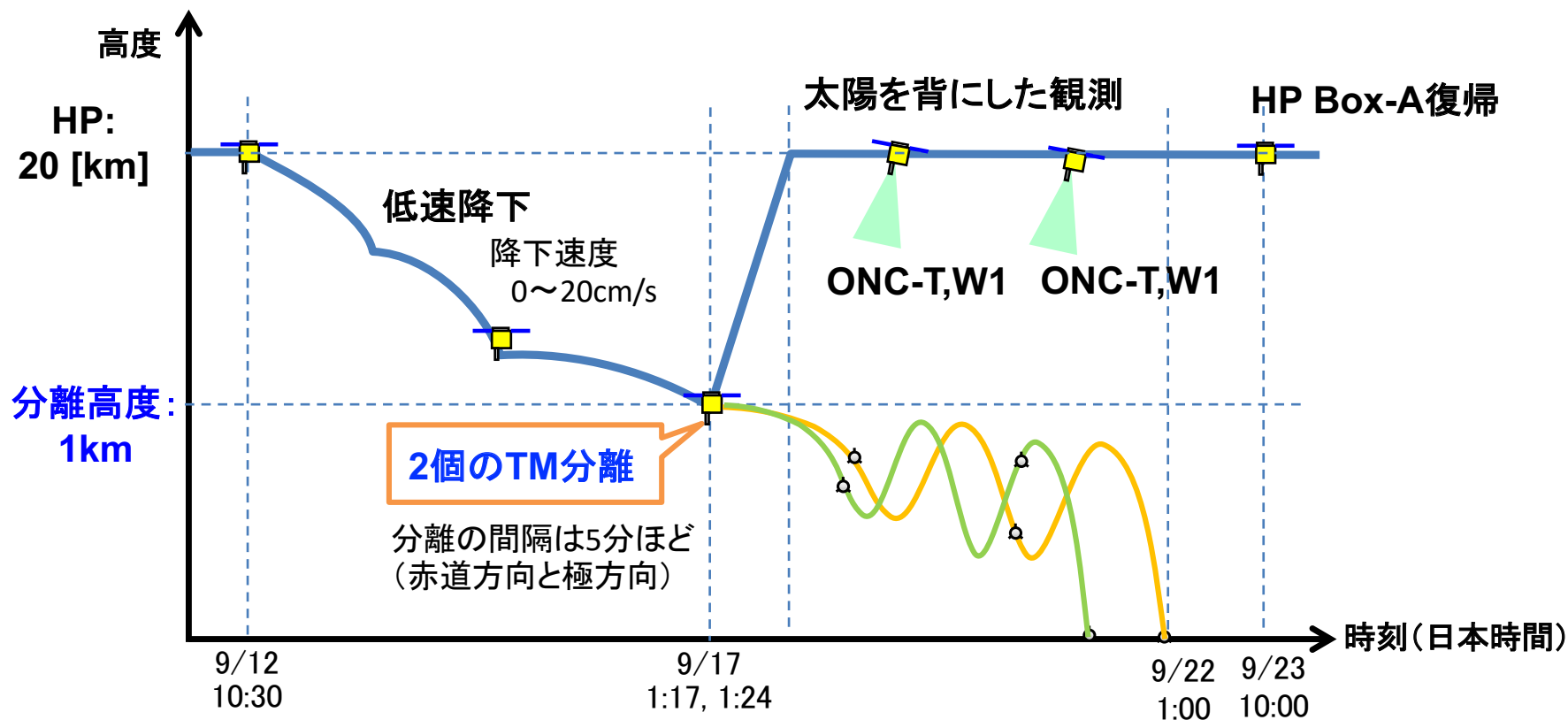




## 2. ターゲットマーカ分離運用結果



### ターゲットマーカ分離運用シーケンス結果



(画像のクレジット: JAXA)





## 2. ターゲットマーカ分離運用結果



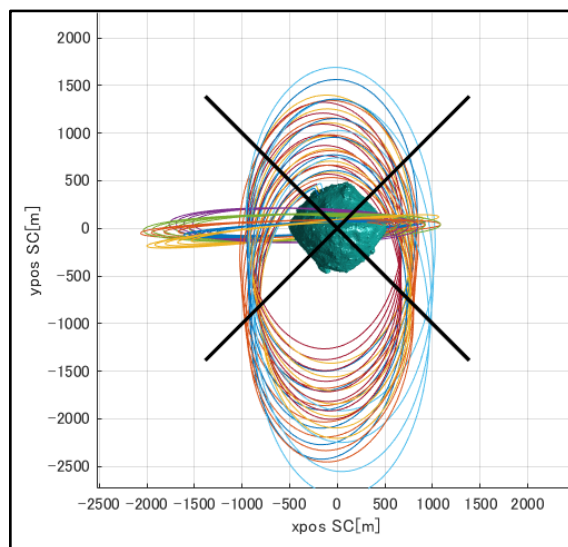
### ターゲットマーカ(TM)分離運用のポイント1

#### ① TMの軌道投入

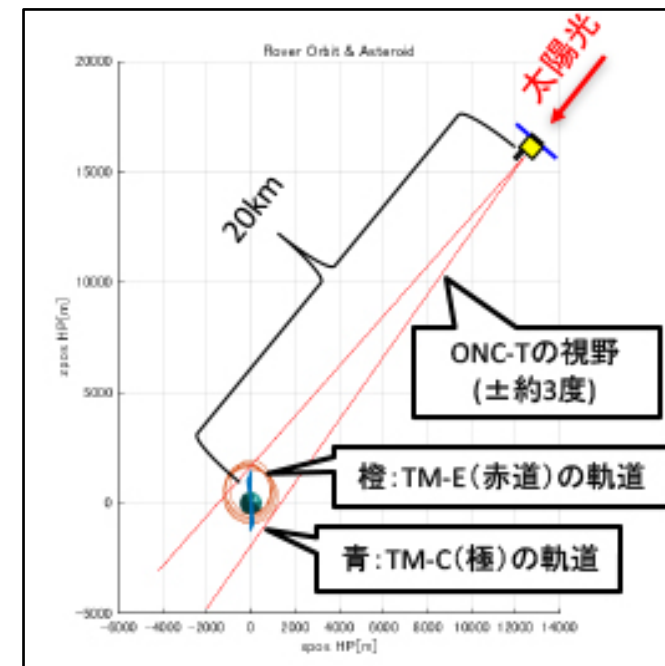
- 極軌道: 安定かつ周回の観測性がよい軌道
  - 赤道軌道: 重力推定の寄与がより高い軌道
- まったく異なる性質の軌道に投入

#### ② TMの撮像方法と観測位置・観測姿勢

- TMの軌道が全体的に視野に収まる距離(20[km])から撮像
- TMの再帰反射性を利用して明るいTMの撮像ができるように太陽を背にした位置・姿勢での観測を実施
- 撮像間隔は30分に設定



探査機から見たTMの軌道  
(設計時の軌道例を図示)



TM観測のためのTM軌道と探査機の関係(設計時)

(画像のクレジット: JAXA)





## 2. ターゲットマーカ分離運用結果

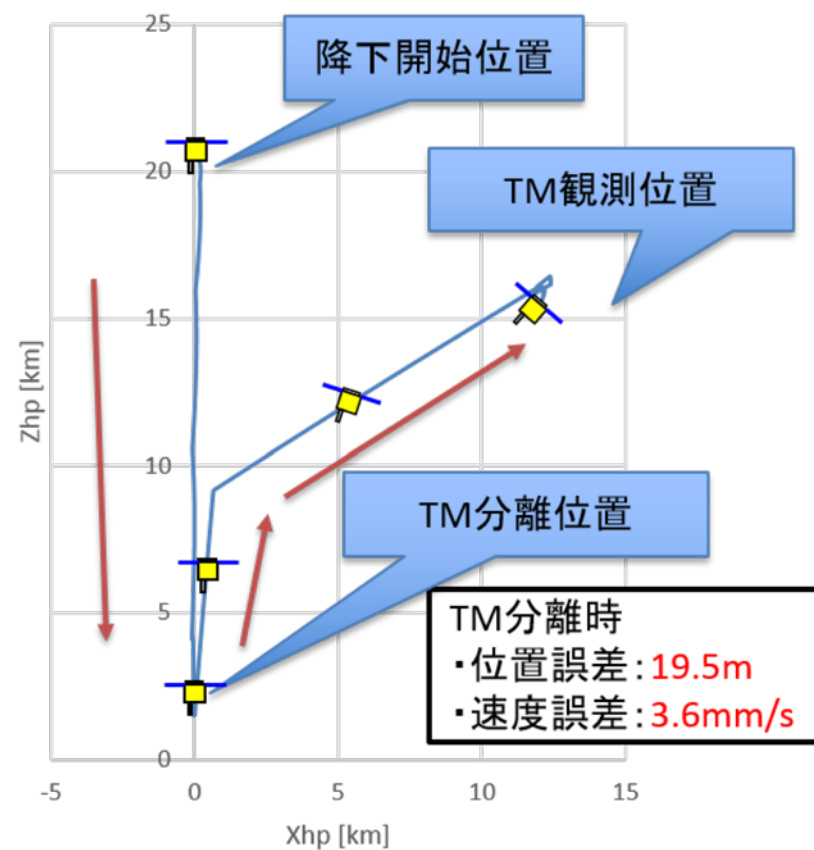


### ターゲットマーカ(TM)分離運用のポイント2

#### ③ 「自然な運動に沿った精度のよい」 低速降下・上昇・ホバリングの実現

- 1年間の探査で小惑星周りの探査機制御に熟練
- 自然な軌道運動に沿って、探査機を降下させた

◆ 制御間隔: 今回1日1回 ⇔ 従来10分に1回



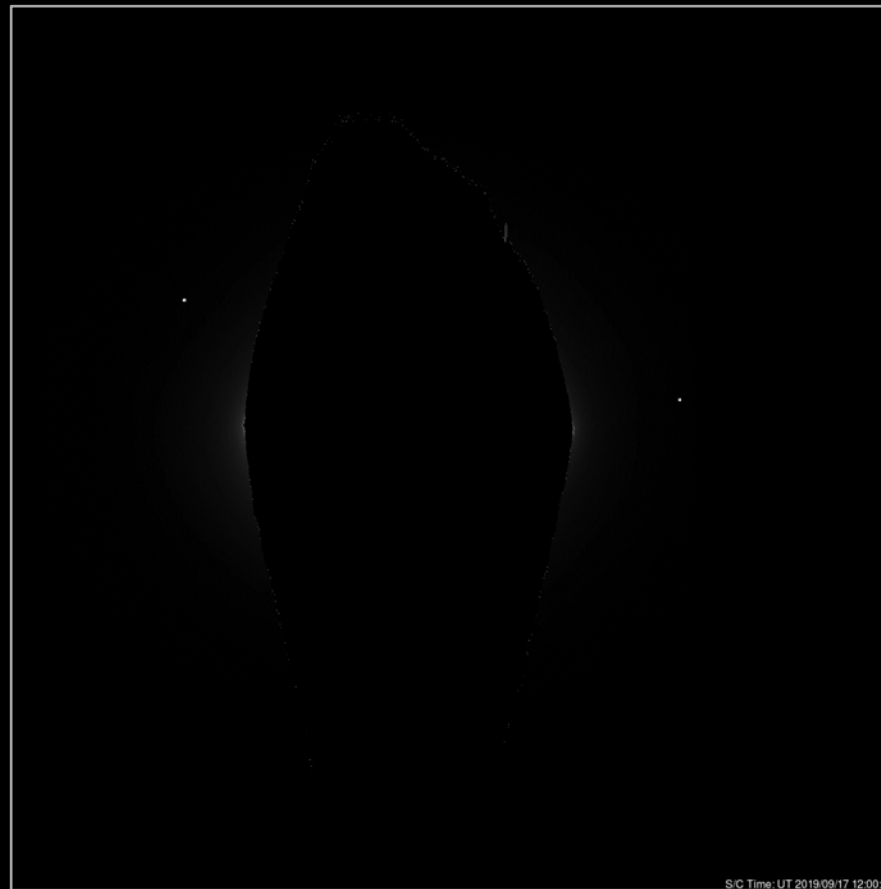
(画像のクレジット: JAXA)

## 2. ターゲットマーカ分離運用結果

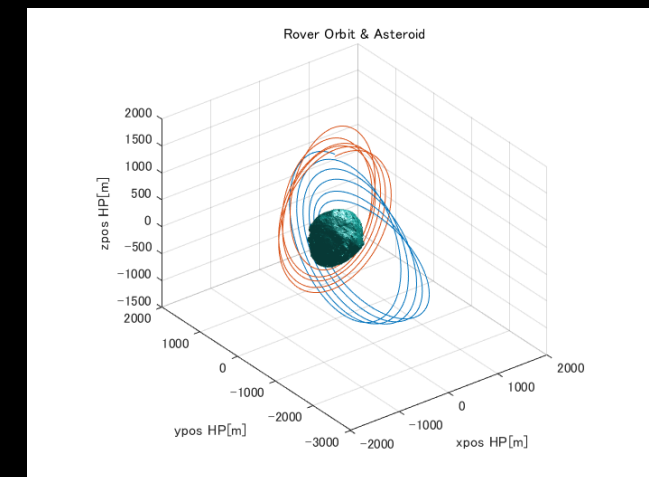
初公開

小惑星を周回するTM-E(赤道軌道)とTM-C(極軌道)(ONC-T)

(動画)



推定軌道

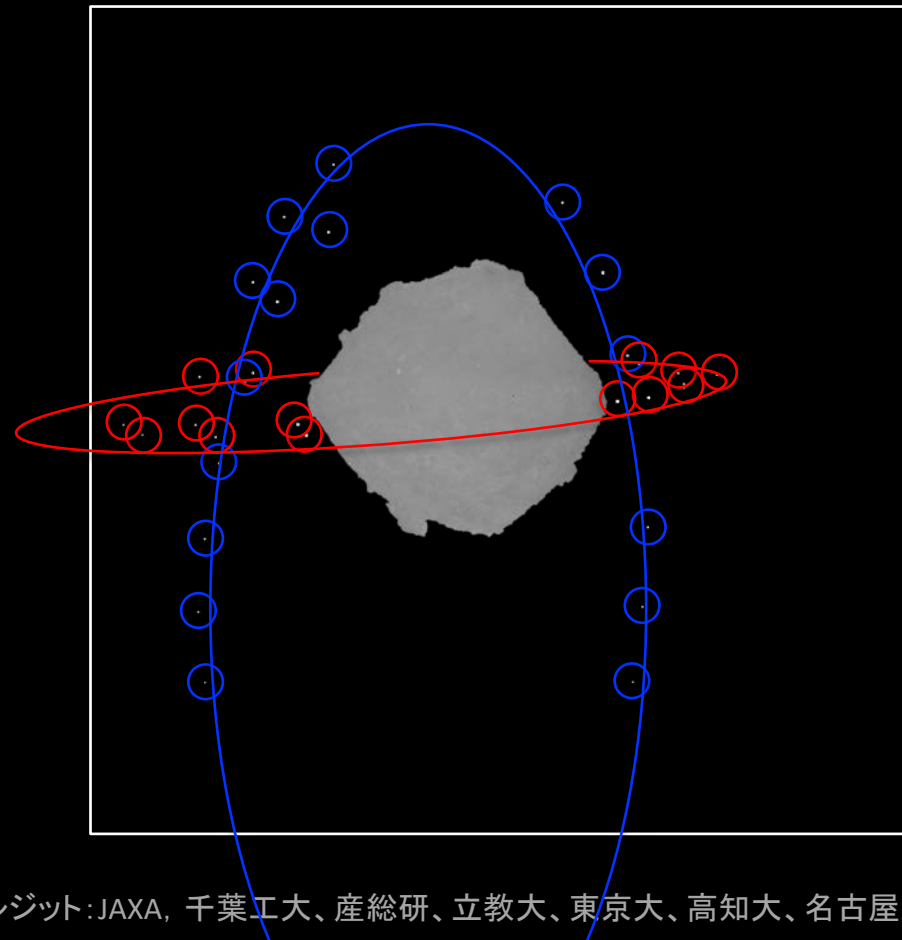


(画像のクレジット: JAXA、千葉工大、産総研、立教大、東京大、高知大、名古屋大、明治大、会津大)

## 2. ターゲットマーカ分離運用結果

初公開

小惑星を周回するTM-E(赤道軌道)とTM-C(極軌道)(ONC-T)



○ TM-E(赤道)

○ TM-C(極)

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

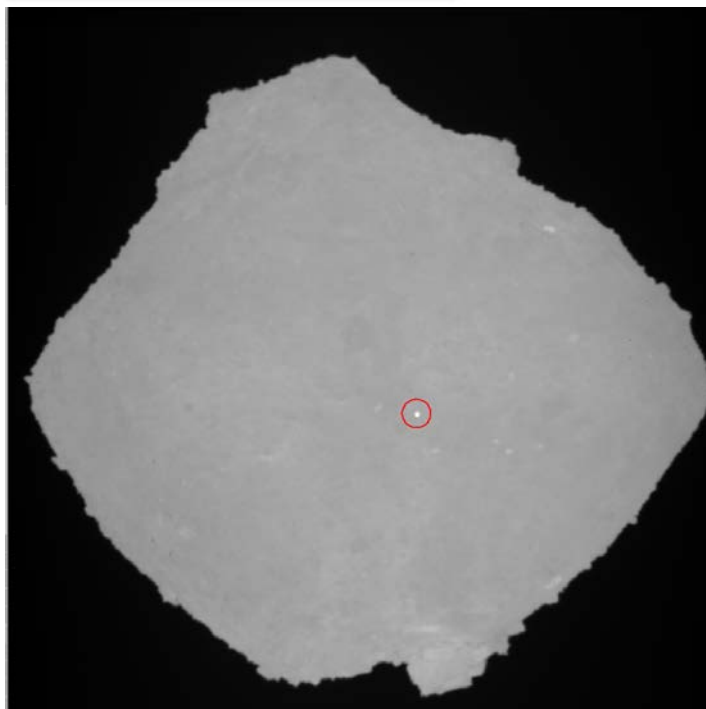


## 2. ターゲットマーカ分離運用結果

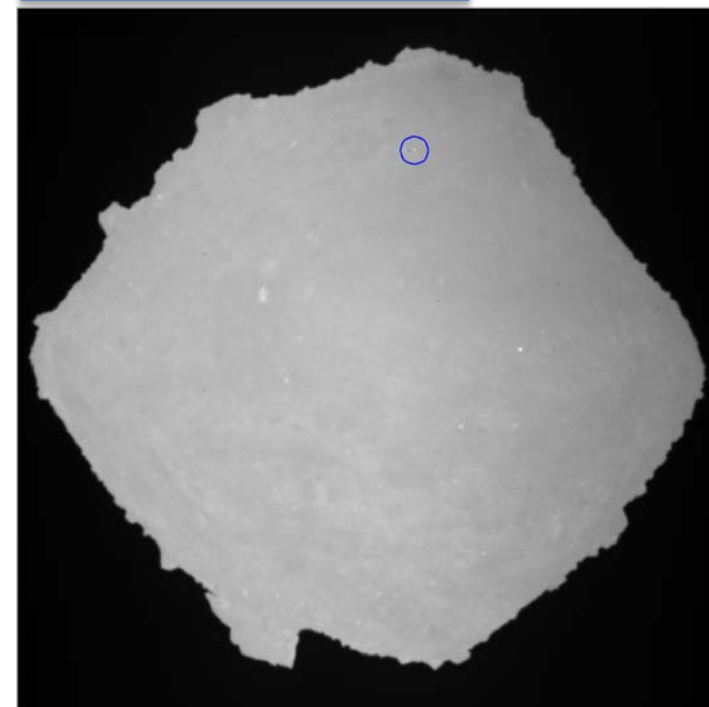


初公開

TM-E (赤道軌道)



TM-C (極軌道)

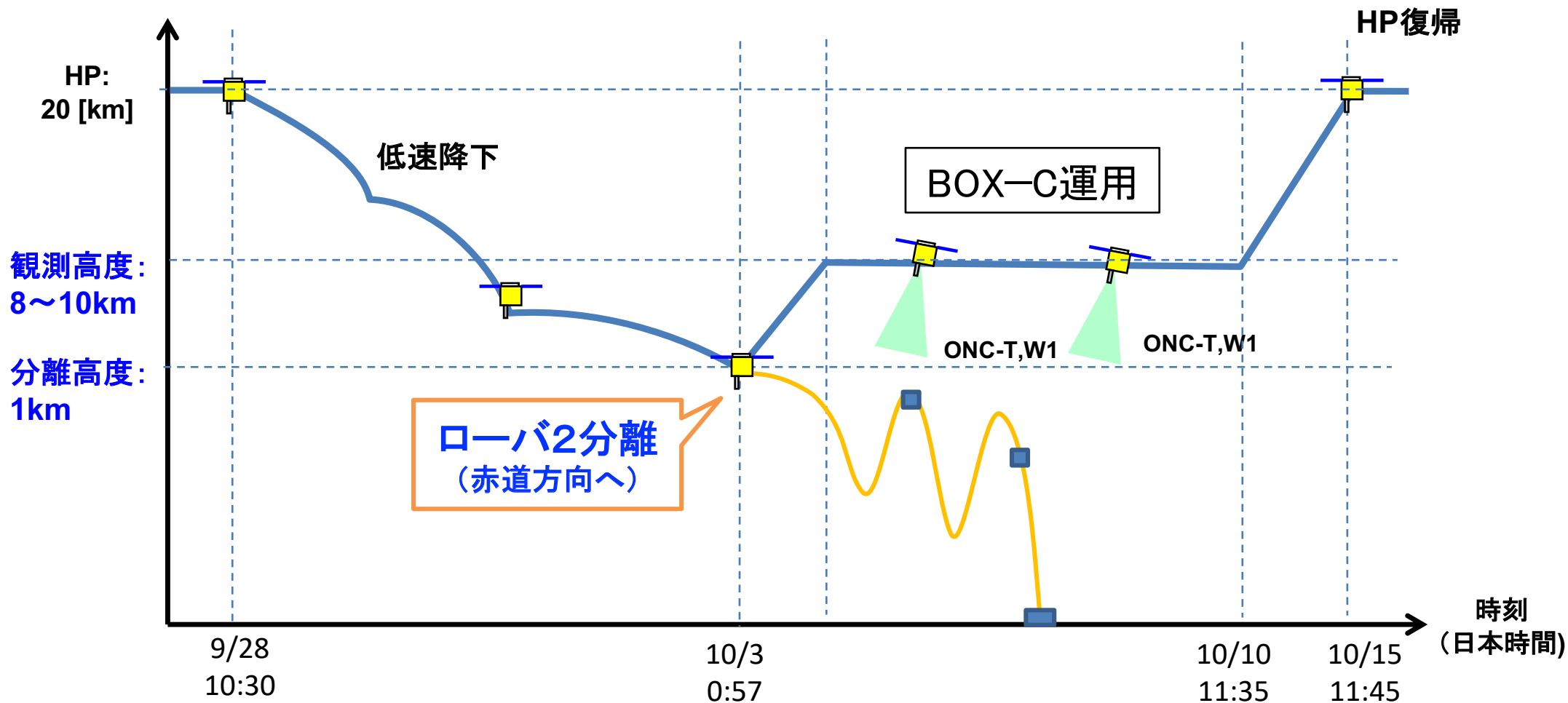


周回後に  
TM-E (赤道軌道)と  
TM-C (極軌道)が  
小惑星リュウグウに  
着陸した場所  
を特定

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



# 3. MINERVA-II2 (ローバ2) 分離運用結果





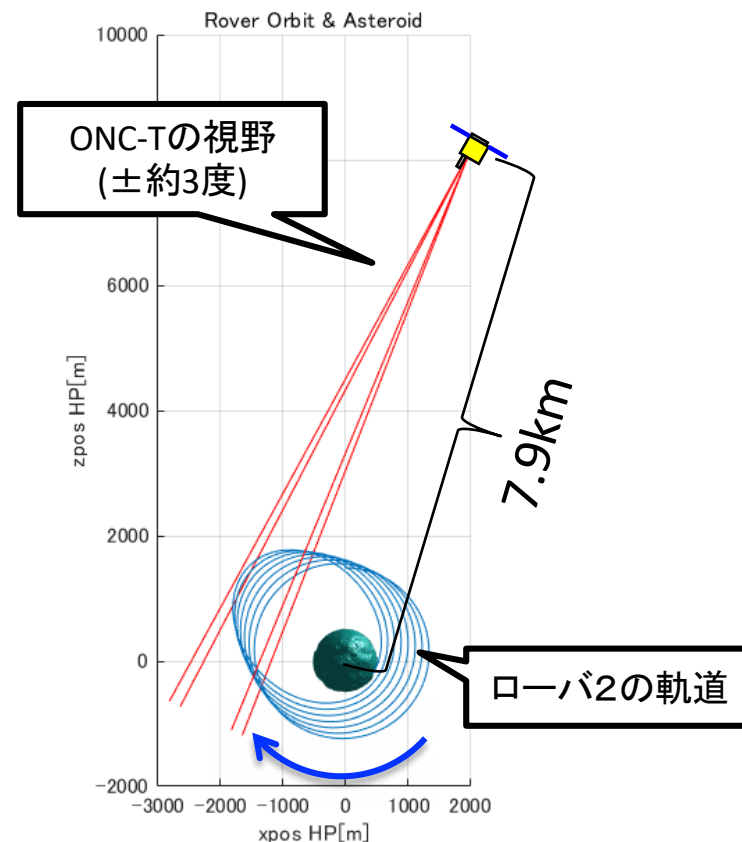
# 3. MINERVA-II2 (ローバ2) 分離運用結果



## ローバ2の分離運用のポイント

- ① ローバ2の軌道投入条件設計
  - ローバ2を**確実に小惑星に着陸できる不安定な軌道**
- ② ローバ2の撮像方法と観測位置・観測姿勢
  - ローバの明るさがTMに比べて暗いため、**低い高度からの撮像・長い露光時間(約3分)**で撮像
  - ローバが視野内を通過する様子を撮像するため、**10分間隔の高頻度で撮像**を実施
  - 撮像した**大量の画像からローバを探し出した**
- ③ 「自然な運動にそった精度のよい」低速降下・上昇・ホバリングの実現
  - TM周回での経験により運用チームは修練された

観測のためのローバ軌道と探査機の関係(設計時)



(画像のクレジット: JAXA)



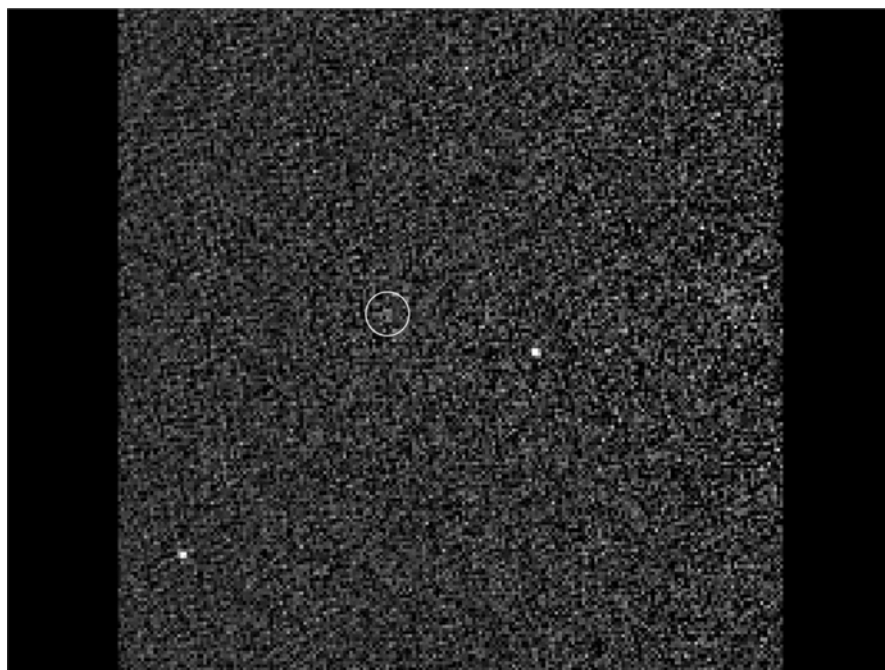
# 3. MINERVA-II2 (ローバ2) 分離運用結果



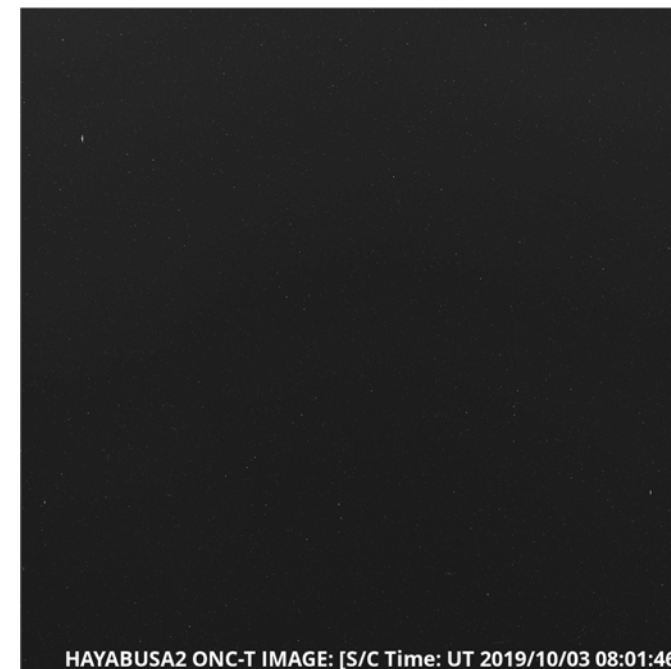
**初公開**

(動画)

ONC-W1によって撮像された  
ローバ周回の様子(30分間隔)



ONC-Tによって撮像された  
ローバ周回の様子(10分間隔)



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



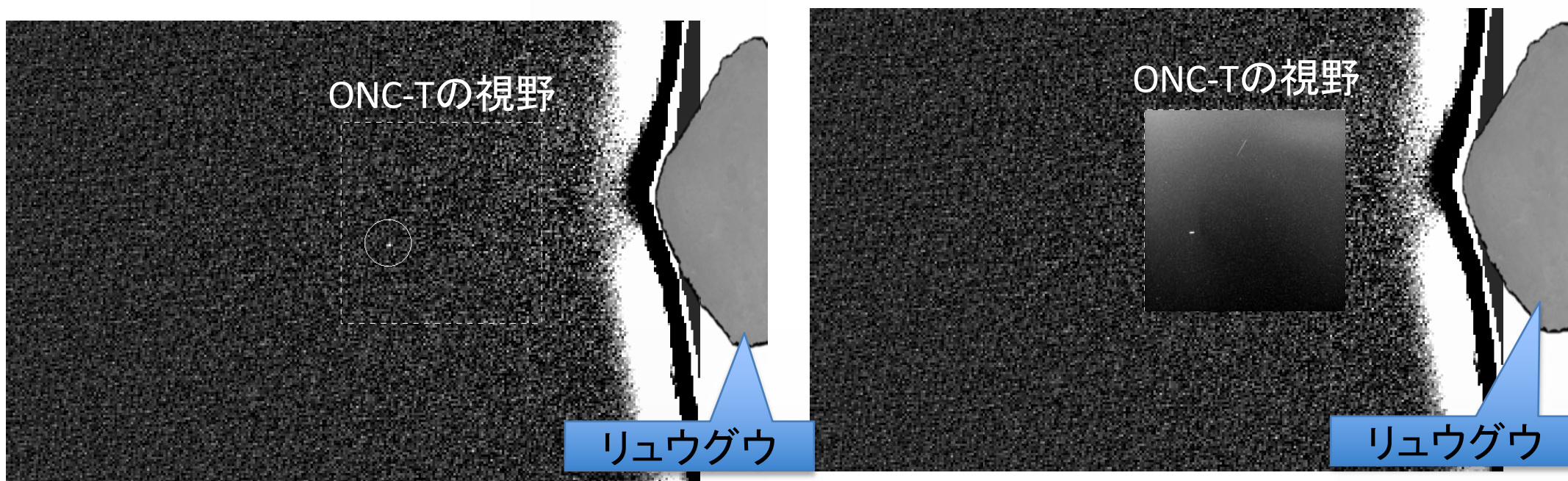


### 3. MINERVA-II2 (ローバ2) 分離運用結果



初公開

ONC-TとONC-W1の両方で捕らえたローバ2  
(2枚の写真の撮像時刻はほとんど同じ)



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



# 3. MINERVA-II2 (ローバ2) 分離運用結果



## ■ 推定軌道

- 運用後軌道推定の結果, 分離後約1日後(約1.25周)に小惑星表面に到達

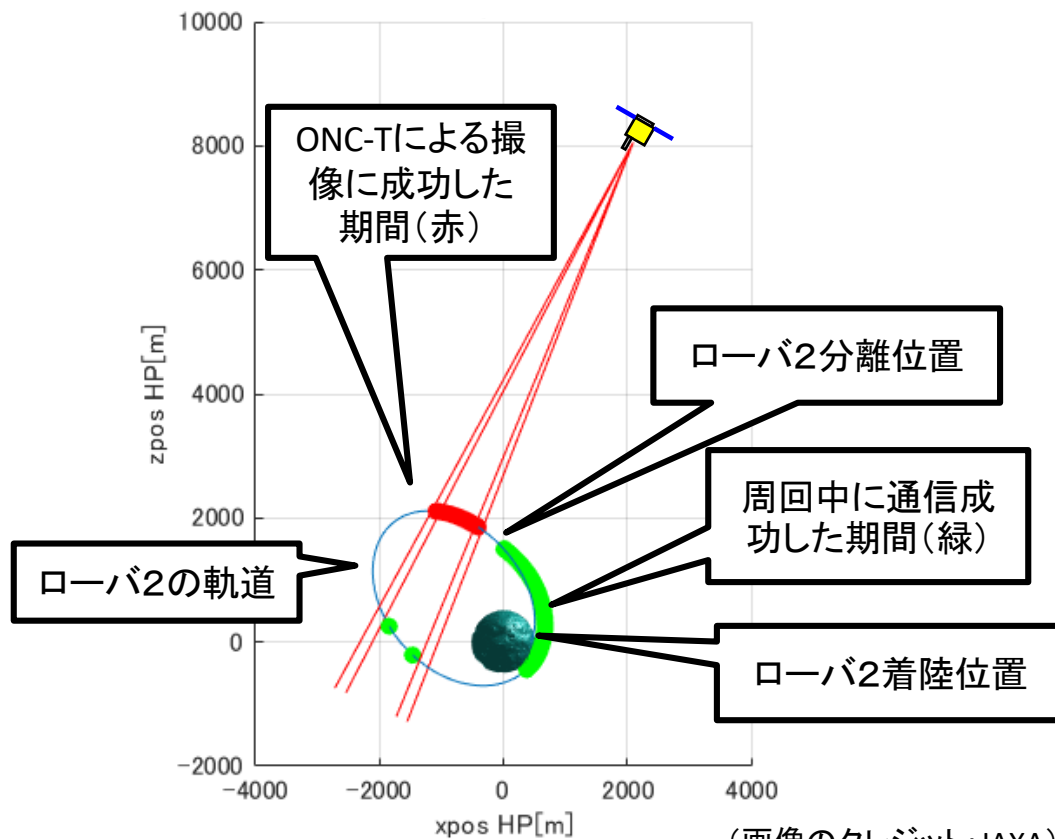
## ■ ONC撮像

- 分離時の撮像のほかに周回中の観測に成功
- ONC-W1による15枚の画像でローバの姿を確認
- ONC-Tによる14枚の画像でローバの姿を確認

## ■ 通信

- 分離後も、ローバ2との通信リンクを確保
- 日陰期間を通過しても通信が確立
- 着地後にも通信が取れている
- ローバ2との測距信号を確認している

ローバ2の推定軌道とONC-T撮像・通信リンク(周回中)期間



詳細は、大学コンソーシアムの報告を参照



## 分離運用を通じて得られた成果



- ローバ2運用の検討の中で、リハーサル運用の必要性が生じた。その機会を利用したTM分離のアイデアが生まれ、結果として2つの運用合わせて成果を最大化することができた。
- 世界初の小天体での複数の人工物を衛星軌道投入に成功。
- 地球外天体への世界最小の人工衛星軌道投入(TM)を成就。
- TMとローバ2を合わせて複数の人工周回物・異なる種類(光学観測・電波)の重力分布推定のためのデータを取得することに成功。
- 新しい重力推定手法を実践し運用を完遂した。



## ターゲットマーカ・MINERVA-II2ローバの軌道周回運用実現の背景と謝意

はやぶさ2プロジェクトマネージャ 津田雄一



- **小惑星の周りに物体を周回させるアイデア**は、「はやぶさ2」の開発開始当初(2012年頃)、「はやぶさ2」プロジェクトの「アストロダイナミクスサイエンスチーム」の議論の中で生まれました。タイトな開発計画の中、「はやぶさ2」計画に組み込むことはできませんでしたが、研究課題として地道な研究活動が継続していました。(アストロダイナミクス:宇宙航行力学)
- このように事前検討のあったターゲットマーカ軌道周回と、MINERVA-II2ローバの軌道周回化を組み合わせることで、MINERVA-II2ローバに新たな役割を与え、**重力サイエンスの成果**を高められるというアイデアの発案には、米国コロラド大学ボルダー校 ダニエル・シアーズ教授およびそのグループ、宇宙科学研究所 川口淳一郎教授に深く関わっていただきました。また、このローバの使い方の大きな方針転換を英断した大学コンソーシアムの積極的な貢献がありました。
- 分離後のMINERVA-II2ローバから電波が受信できたのは大きな幸運でした。また、その電波には、測距信号が含まれています。これらの電波信号と、「はやぶさ2」から観測した軌道周回中の2つのターゲットマーカとMINERVA-II2の画像観測データを集約することで、これまでにない新しい重力場計測手法を確立することができました。**「小天体まわりの史上最小の人工衛星群」**という意味でも**世界初の快挙**となります。
- MINERVA-II2ローバの窮地を転じて成果に変える計画を素晴らしいチームワークで立案できたこと、それに応えてMINERVA-II2ローバも良く機能してくれたことには、私自身、「はやぶさ2」のあり方を象徴しているようで大変感慨深く思います。このような**臨機応変かつイノベーティブな科学を「はやぶさ2」で実現できたこと**、それを実現した「はやぶさ2」ミッションチーム、アストロダイナミクスチーム、東北大を含む大学コンソーシアム、コロラド大学ボルダー校の関係者に深く感謝いたします。



## 4. 周回させたターゲットマーカの名称



周回運用を行ったターゲットマーカに次の名称を付けることにした。

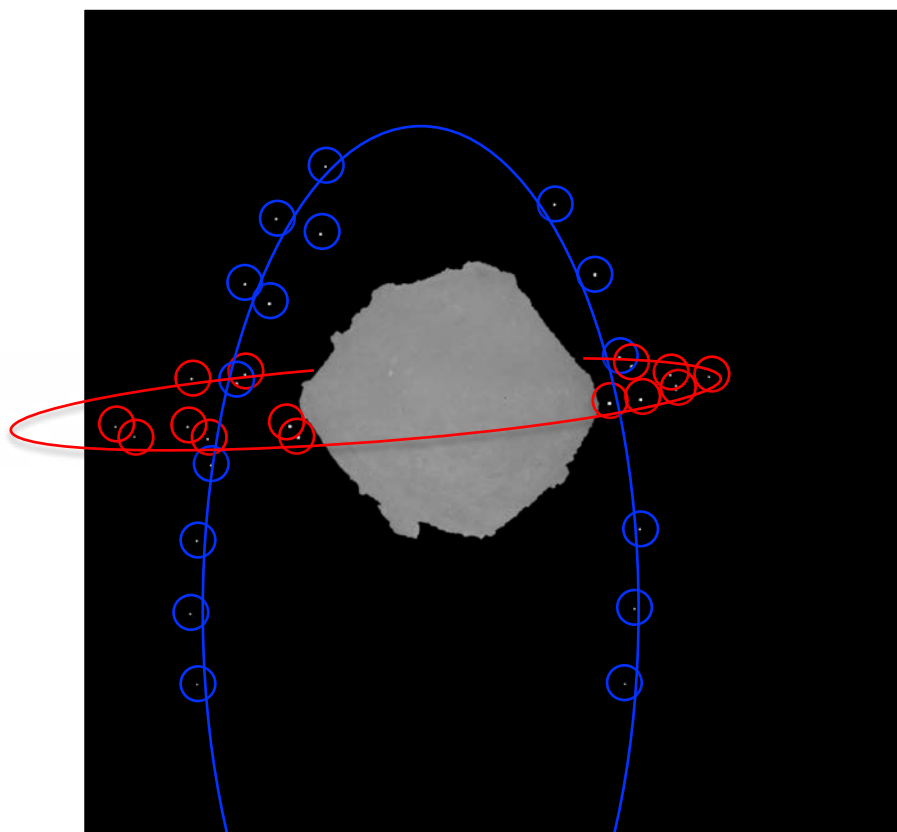
- TM-C: スプートニク (Sputnik, С п у т н и к)
- TM-E: エクスプローラー (Explorer)

### ■理由

- これら2つのターゲットマーカは、小惑星リュウグウまわりの軌道を周回させた初の人工衛星である。地球初の人工衛星シリーズはスプートニクそしてエクスプローラーであったことにちなんで、これらの名称を付けた。
- スプートニクの頭文字はロシア語でC (エス) であるが、アルファベットのCに似ているのでTM-Cの名称とし、エクスプローラーの頭文字はEであるので、TM-Eの名称とした。
- スプートニク1号の方が軌道傾斜角(軌道の赤道面に対する傾き)が大きく、TM-Cの軌道に近い。



## 4. 周回させたターゲットマーカの名称



○ TM-E (赤道)  
エキスプローラー

○ TM-C (極)  
スプートニク

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



## 5. 今後の予定



### ■ 運用の予定

10月19-30日

BOX-C運用

11月～12月

リュウグウ出発

### ■ 記者説明会等

11月12日午後

記者懇談会@相模原キャンパス





# 参考資料



# 光学航法カメラ(ONC)



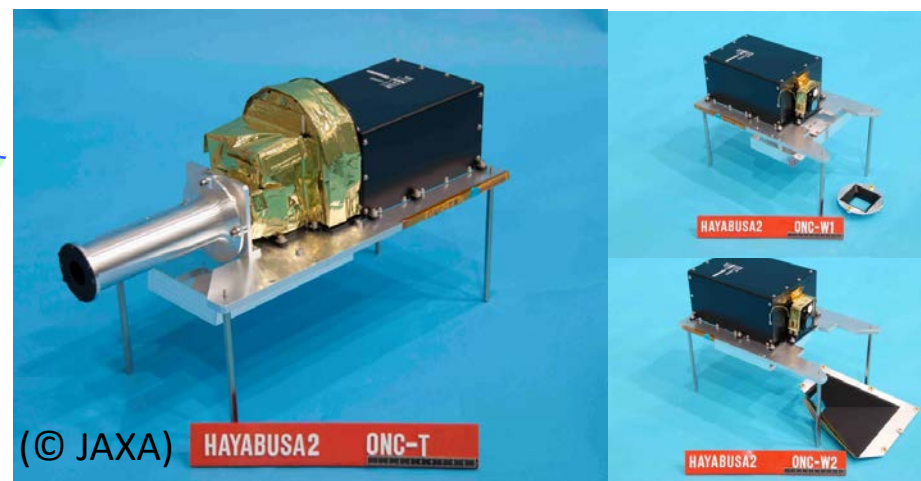
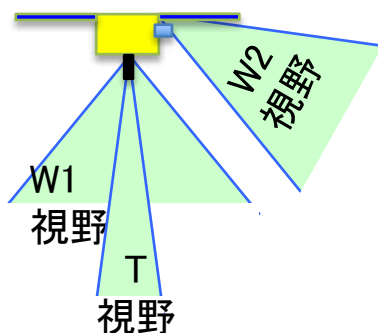
ONC: Optical Navigation Camera



**目的:** 探査機誘導と科学計測のために  
恒星と探査小惑星を撮像する。

**科学観測項目:**

- 探査小惑星形状・運動の観測  
直径、体積、慣性主軸方向、章動運動
- 表面地形の全球観測  
クレーター、構造地形、礫、レゴリス分布
- 表面物質の分光特性の全球観測  
含水鉱物分布、有機物分布、宇宙風化度
- 試料採取地点付近の高解像度撮像  
表面粒子の大きさ、形状、結合度、不均一性  
サンプル弾痕や接地痕の観測

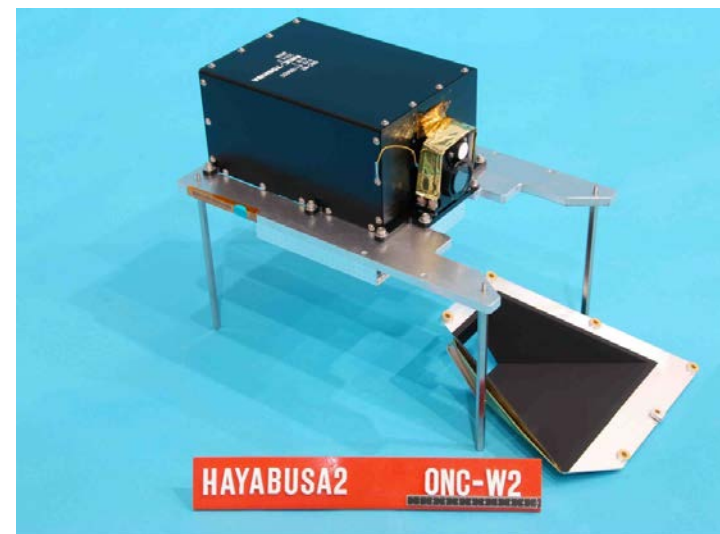
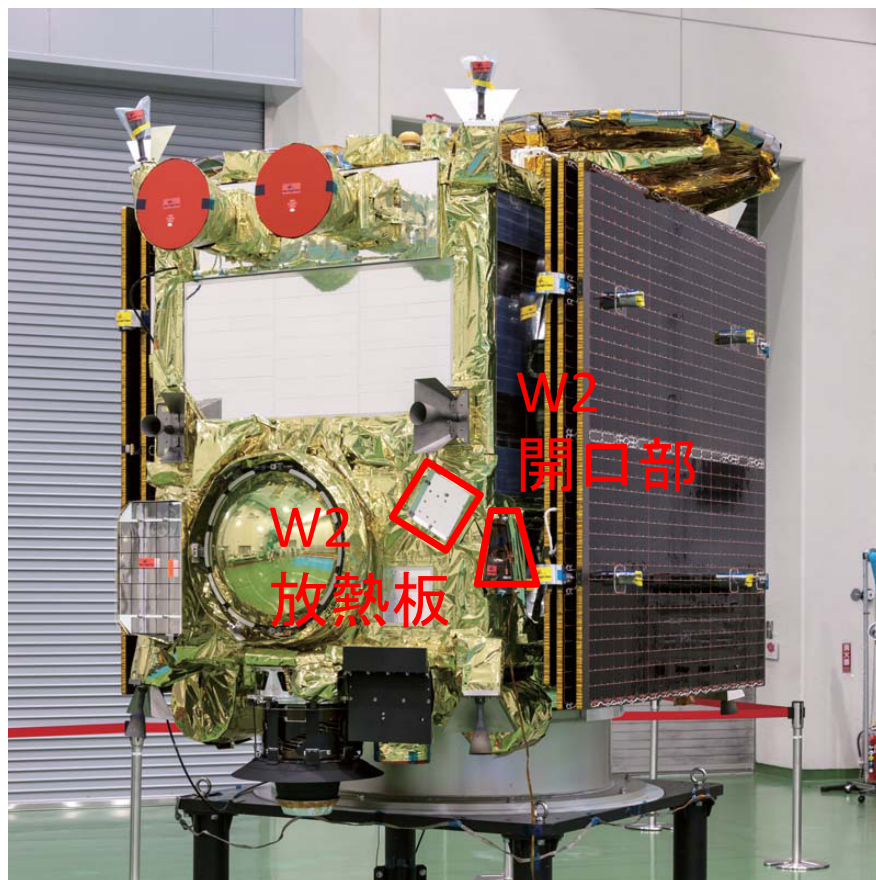


	ONC-T	ONC-W1	ONC-W2
検出器	二次元 Si-CCD (1024 x 1024 ピクセル)		
視野方向	直下 (望遠)	直下 (広角)	側方 (広角)
視野角	6.35° × 6.35°	65.24° × 65.24°	
焦点距離	100m ~ ∞	1m ~ ∞	
空間分解能	1m/pix @ 高度10km 1cm/pix @ 高度100m	10m/pix @ 高度10km 1mm/pix @ 高度1m	
観測波長	390, 480, 550, 700, 860, 950, 589.5nm, および Wide	485nm ~ 655nm	

- 探査小惑星の素性解明
  - 含水鉱物や有機物の分布, 宇宙風化, 巨礫
- サンプル採取地点選定
  - 小惑星どこから試料採取すべきかの基本情報
- サンプルの産状把握
  - 試料採取地点の高分解能の撮像



# ONC-W2 取り付け位置

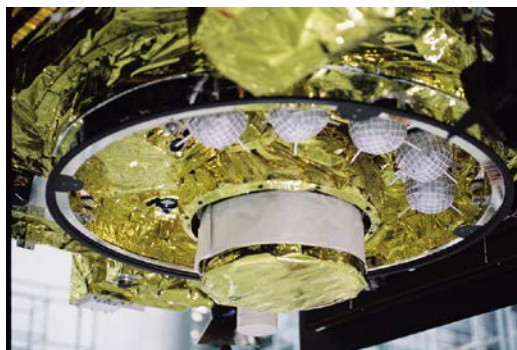


- 側面に配置。斜め下方撮影可能
  - スイングバイ時の地球撮像
  - MASCOT 分離時撮像
  - SCI 運用復帰時リュウグウ探索

(画像のクレジット: JAXA)



# ターゲットマーカ



- 本体(ボール)の大きさ: 直径約10cm
- 表面には再帰性反射フィルム
- 4本の棒: 転がり防止
- 内部にはポリイミド小球が多数
- 分離の順序: B→A→E→C→D
- 2018/10/25にBを投下済
- 2019/05/30にAを投下済
- 2019/09/17にEとCを投下済



(画像のクレジット: JAXA)





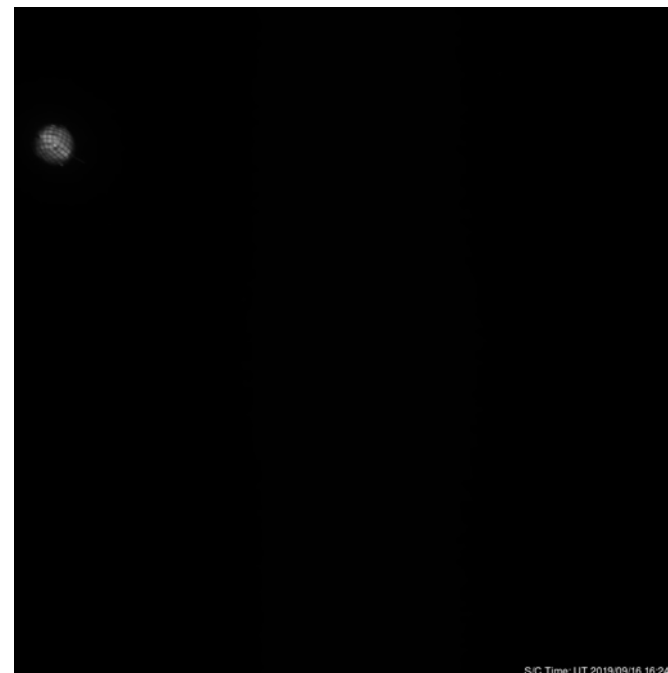
# ターゲットマーカ分離の様子



ターゲットマーカEの分離  
(分離時刻: 2019/9/17 01:17JST)

ターゲットマーカCの分離  
(分離時刻: 2019/9/17 01:24JST)

(動画)



探査機から撮影したターゲットマーカの動画。4秒間隔で撮影。最初の画像ではターゲットマーカまでの距離は約1mであるが、最後の画像では約9mである。(ターゲットマーカが降下しているのではなく、探査機が上昇することでターゲットマーカから離れていく。)

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