

# 小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2020年10月29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、

- TCM-1の結果
- カプセル回収に向けた準備状況
- リュウグウの地上観測
- アウトリーチ関連

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. TCM-1の結果
3. カプセル回収に向けた準備状況
4. リュウグウの地上観測
5. リエントリー公募観測
6. アウトリーチ・広報
7. 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：令和5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
小惑星滞在期間	約17ヶ月
小惑星出発	令和元年(2019年)11月13日
地球帰還(予定)	令和2年(2020年)12月6日
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



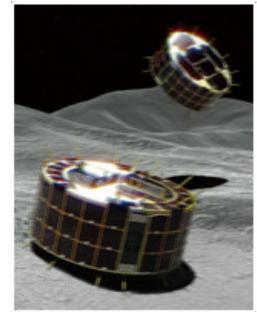
**地球スイングバイ**  
2015年12月3日



**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



**地球帰還**  
2020年12月6日

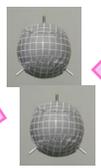
(画像クレジット: 探査機を含むイラストは 池下章裕氏、他はJAXA)

**リュウグウ出発**  
2019年11月13日

終了 →



**MINERVA-II2**  
2019年10月3日



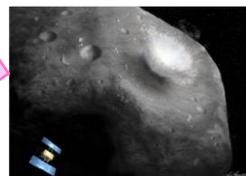
**ターゲットマーカ分離**  
2019年9月17日



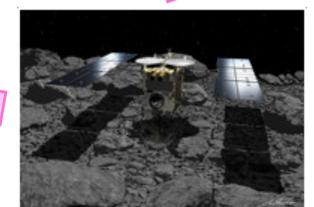
**第2回タッチダウン**  
2019年7月11日



**ターゲットマーカ分離**  
2019年5月30日



**衝突装置**  
2019年4月5日



**第1回タッチダウン**  
2019年2月22日

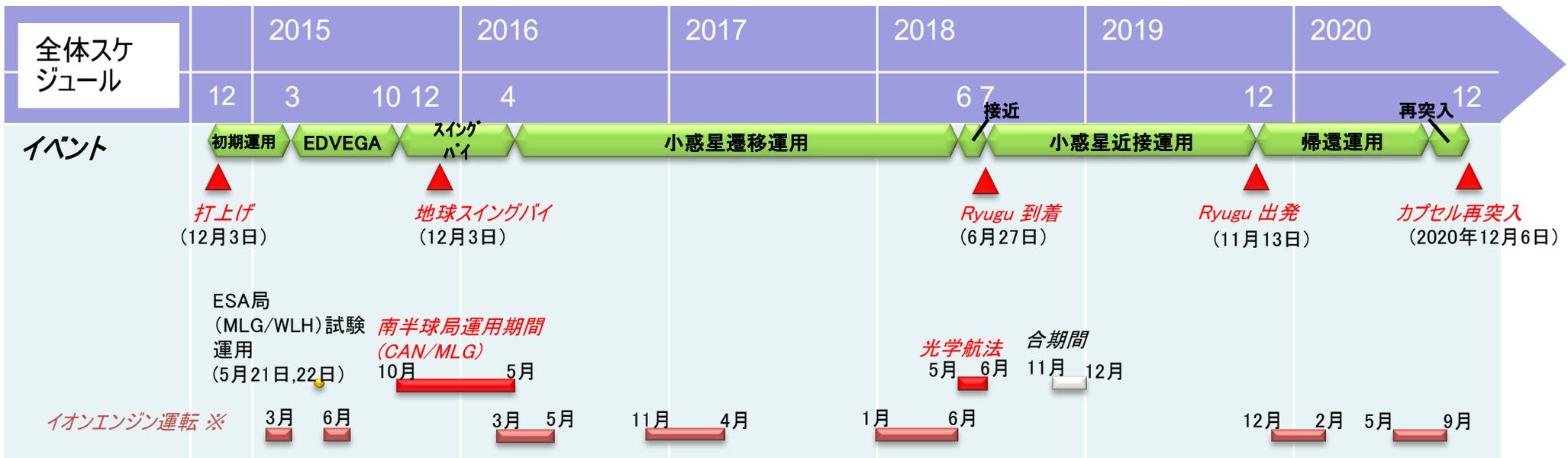
**ターゲットマーカ分離**  
2018年10月25日





# 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

- 現状： – 10月からは最終誘導フェーズに入り、10月22日にはTCM-1を行い、予定通りの軌道修正を行った。
- カプセル回収隊の一部は、オーストラリアに移動のための国内隔離を開始した。



(画像クレジット: JAXA)



## 2. TCM-1の結果

- リエントリー最終誘導フェーズにおける最初の軌道制御であるTCM-1を10月22日に行い、予定通りの軌道修正が達成できた。(TCM: Trajectory Correction Maneuver)
- 軌道修正は化学エンジン(RCS)によって、日本時間で18時頃に行われた。19時頃には補正の加速(トリム $\Delta V$ )を行った。
- 軌道制御量は約15cm/sであり、地球への最接近高度を約400kmから約330kmに変更した。
- 探査機の様子は正常である。



# 3. カプセル回収に向けた準備状況



## 探査機運用リハーサル

### CPSL分離運用について

- 小惑星近傍でのクリティカル運用と同様に、はやぶさ2運用シミュレータ(HIL)を用いたリアルタイム運用訓練と、探査機実機を用いたリハーサルを計画。
- 9月26日にCPSL分離からTCM-5までを範囲としてHILを用いたリアルタイム運用訓練を実施し、コンティンジェンシーケースへの対応を含め訓練を完了した。訓練結果を踏まえて、手順書のブラッシュアップ作業を実施中。
- 11月4日に探査機実機を用いたCPSL分離運用リハーサルを予定し、手順を準備中。

### TCM運用について

- 9月28日よりTCMリハーサルとして軌道決定から軌道修正( $\Delta V$ )手順作成に至る一連の作業のドライランを実施し、オフライン作業から運用までの手順と準備状況を確認した。
- 10月22日にTCM-1を滞りなく遂行した。



# 3. カプセル回収に向けた準備状況



## カプセル回収隊の準備状況

- カプセル回収にむけて移動を開始する。
- カプセル回収班：計73名（先発隊（14名）と本隊（59名））。
- オーストラリアのコロナの状況は落ち着いている。しかし状況によっては州間移動にも2週間の隔離が必要になる場合があるため、直接南オーストラリア州のアデレードにチャーター機で移動する。
  
- 先発隊：
  - 10/24: 国内隔離開始
  - 11/1: 出国（羽田→アデレード）
  - 11/15迄: アデレードにて2週間の隔離
  - 11/16: ウーメラ到着、準備開始
- 本隊：
  - 11/1: 国内隔離開始
  - 11/9: 出国（羽田→アデレード）
  - 11/23迄: アデレードにて2週間の隔離
  - 11/24: ウーメラ到着、作業開始



# 4. リュウグウの地上観測



## 概要:

2020年10月-12月リュウグウが大きい位相角(図4-1, 図4-2)で観測可能な好機である。  
 リュウグウのような暗い小惑星は、位相角が90-100度で、高い偏光度を示すことが予想されるが、同じような天体の観測例がほとんどない(図4-3)。  
 ベヌーは偏光度の測定がされているが、位相角57度までしかない(Cellino+2018)。

地上観測サブグループでは、国内外(広島大学、兵庫県立大学、北海道大学、普賢山天文台)の4台の望遠鏡を用い、リュウグウの偏光撮像観測を計画している。  
 これを逃すと次回は13年後を待たなければならない。

図4-1  
 位相角の説明図  
 (Credit: 京都大学)

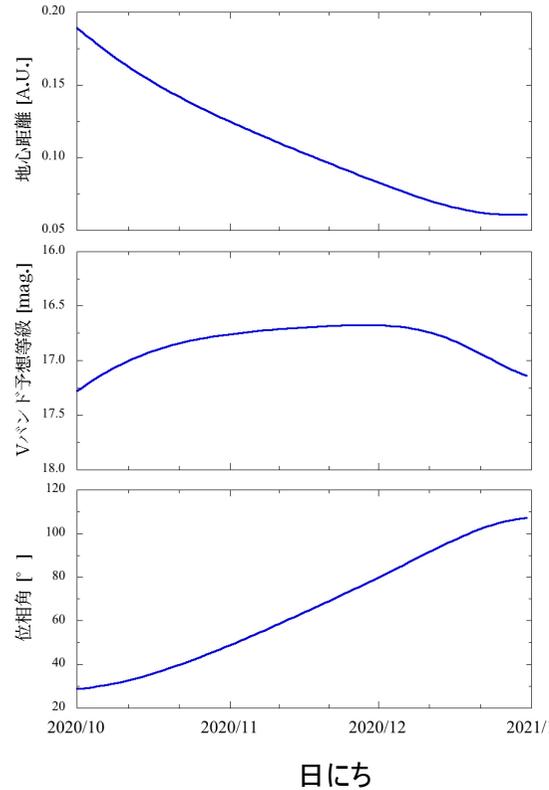
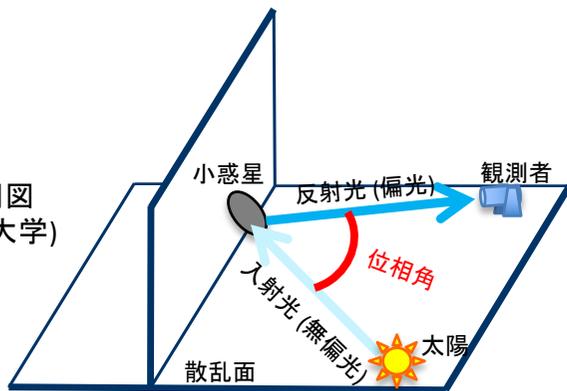


図4-2  
 リュウグウの位相角、等級、地心距離  
 (Credit: 京都大学)

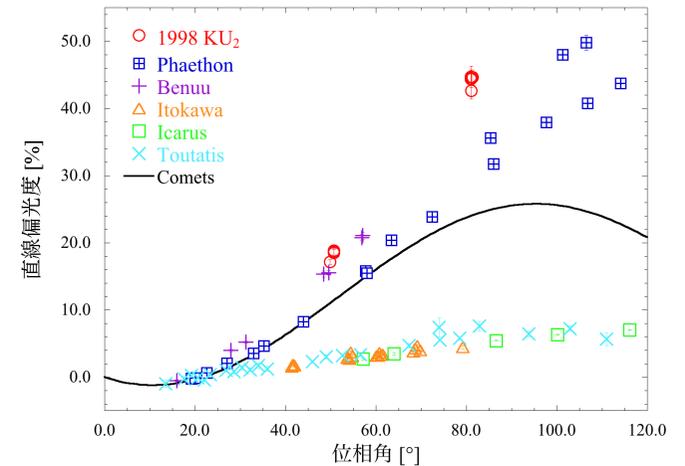


図4-3  
 小惑星の位相角-偏光度プロット  
 プロットデータはKuroda+2018; Ito+2018; Shinnaka+2018; Cellino+2018; Cellino+2005; Ishiguro+2017; Ishiguro+1997; Mukai+1997; Kiselev+2005から参照。  
 (Credit: 京都大学)



# 4. リュウグウの地上観測



期待される成果：

・ 暗い(低アルベド)の小惑星が、本当に高い偏光度を示すのか？

事前の予想では、最大30%超の偏光度を示すと考えられる。

・ 小惑星の表層で生じる偏光のメカニズムが明らかにできるかもしれない。  
我々のこれまでの研究から、偏光度と表層粒子サイズには密接な関係があることが予想される。  
この検証には、表層の状態がよく調査されたリュウグウが、最適かつ必須の研究対象である。  
リュウグウの近接画像(図4-4)では、見えなかったより小さい粒子の存在(Morota+2020で示唆されている)が確認できる可能性もある。

進捗状況：

2020年10月に、国内3大学の天文台で偏光撮像データを取得した(図4-5)。

11月、12月も引き続き観測を行い、最終的な結果は2020年末以降になる予定。

共同研究者：

黒田 大介(京都大学)、長谷川 直、吉川 真(JAXA)、石黒 正晃(ソウル大学)、  
秋田谷 洋、川端 弘治(広島大学)、高橋 隼、戸塚 都 川上 碧(兵庫県立大学)、  
内藤 博之(なよろ市立天文台)、関口 朋彦、高橋 昂希(北海道教育大学)、  
高木 聖子、倉本 圭(北海道大学)

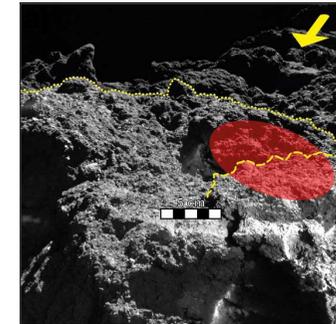


図4-4  
DLR camera MASCAM on MASCOT (Grott+2019)  
(Credit: MASCOT/DLR/JAXA)

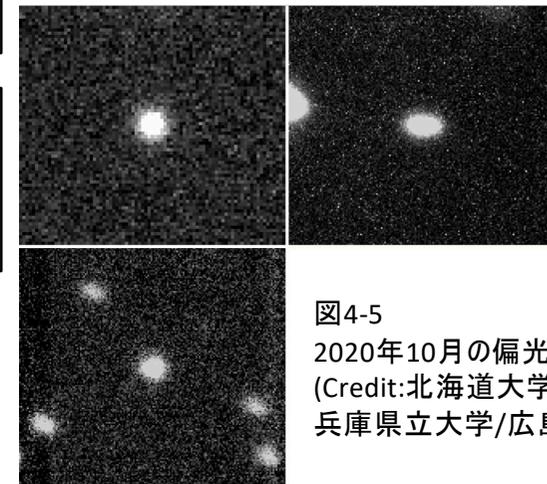
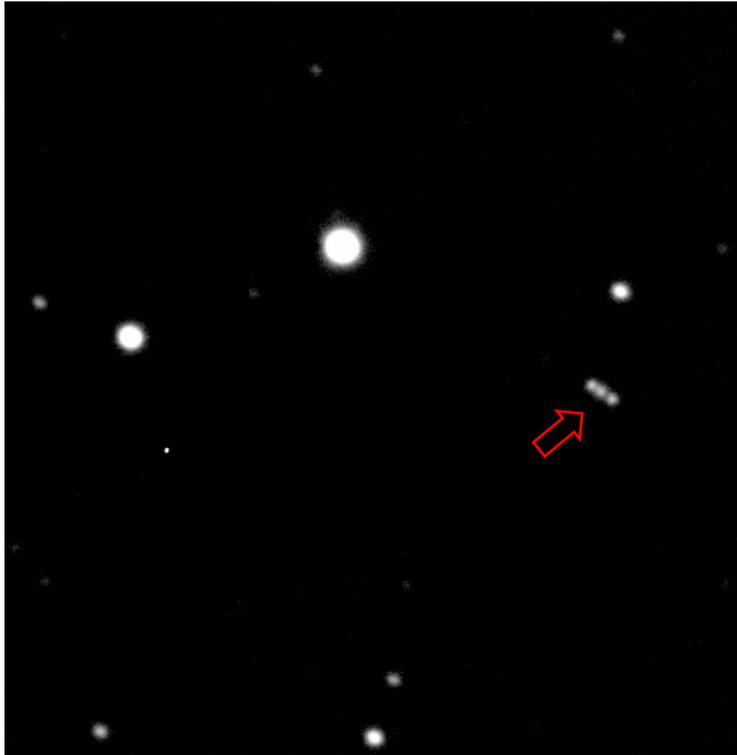


図4-5  
2020年10月の偏光撮像データ  
(Credit:北海道大学/  
兵庫県立大学/広島大学)



# 4. リュウグウの地上観測

## 最近のリュウグウの画像



(動画)

観測日時：2020年10月18日 日本時間19:53-19:58 (露出時間:60秒x3枚)

観測地：北海道大学附属天文台 (北海道名寄市)

位置：ペガサス座付近

(Credit: 北海道大学/京都大学)



# 5. リエントリー公募観測

- ・再突入カプセルの観測を公募し、以下の7件について共同研究契約を締結。
- ・新型コロナウイルスのため公募観測の実施が困難となった。
- ・豪州の研究者と共同研究で行うか、プロジェクトメンバーで可能な範囲で代理観測を行う。

研究タイトル	代表者(所属)	観測実施方法
カプセルが大気圏を貫く時に発生する電離層擾乱の観測	伊藤武男(名古屋大学大学院環境学研究科)	豪州共同研究
カプセル大気圏突入時における電磁波放射観測	小林美樹(日本流星研究会)	JAXA代理観測
HAYABUSA2サンプルリターンカプセルの分光観測 ～デジタルカメラと回折格子による自作分光観測器をつかって～	三野正太郎・齋藤弘一郎(宮城県古川黎明高等学校)	JAXA代理観測
HAYABUSA2地球帰還カプセル大気突入に伴う流星痕・アフターグローの紫外・可視分光観測	阿部新助(日本大学理工学部 航空宇宙工学科)	JAXA代理観測
はやぶさ2からのメッセージを受け取れ！ ～大気圏再突入物体による電離柱発生現象の観測研究～	川地阜平・高丸尚教(中部大学工学部ロボット理工学科) 田中康暉・中須賀真一(東京大学工学部航空宇宙工学専攻) 河村朋治・渡邊泰秀(愛知工業大学工学部機械学科) 中山 尚・林田 明(同志社大学理工学部環境システム学科)	JAXA代理観測
帰還カプセルの強拡大撮影によるプラズマ発光のサイズ観測	飯山青海(大阪市立科学館)	実施しない
はやぶさ2地球帰還時の衝撃波による微気圧波及び励起地震動の精密観測と軌道決定	山本真行(高知工科大学)	豪州共同研究



## 6. アウトリーチ・広報



### リュウグウ & 「はやぶさ2」お帰り観測キャンペーン

- 現在、リュウグウの観測好機なので、まずはリュウグウの観測に挑戦してもらおう(リュウグウの明るさ:17等程度)。

※リュウグウの観測キャンペーンは2回目(前回は2016年に行った)

- リエントリー直前の「はやぶさ2」探査機の観測に挑戦してもらおう。
- 主催:「はやぶさ2」プロジェクト、日本公開天文台協会(JAPOS)、日本惑星協会(TPSJ)
- 観測者の募集:11月1日より
- キャンペーンのURL

JAPOS <https://www.city.himeji.lg.jp/atom/planet/info/campaign/haya2return/index.html>

TPSJ <http://planetary.jp/Haya2-Special/projects/hayabusa2-serv.html>



## 7. 今後の予定



### ■運用の予定

2020年11月2～19日頃	TCM-2
2020年11月25～29日頃	TCM-3
2020年12月6日	リエントリー

### ■記者説明会等

2020年11月(TBD)	記者説明会@オンライン(TBD)
---------------	------------------

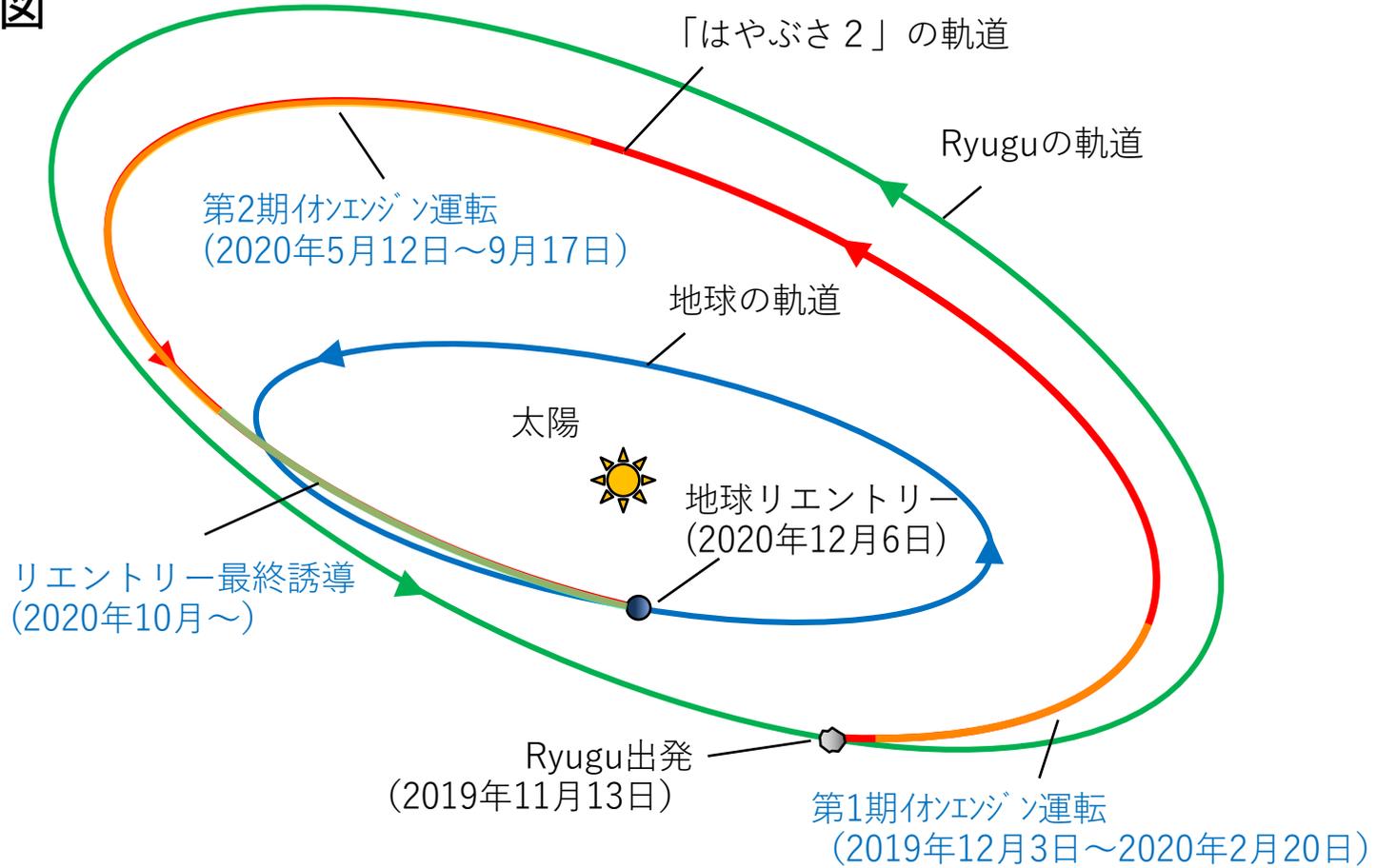


# 参考資料



# 帰還巡航運用計画

## 帰還フェーズ軌道図



(画像クレジット: JAXA)



# リエントリー最終誘導の運用計画



※TCM: Trajectory Correction Maneuver (軌道修正)

イオンエンジンによる軌道修正 **済**  
(9/17, 地球距離約3600万km)

軌道微調整 (化学推進系使用, 以降同様) **済**  
(10/22, 地球距離約1700万km)

軌道微調整  
(11/2-19 頃, 地球距離約1200万km)

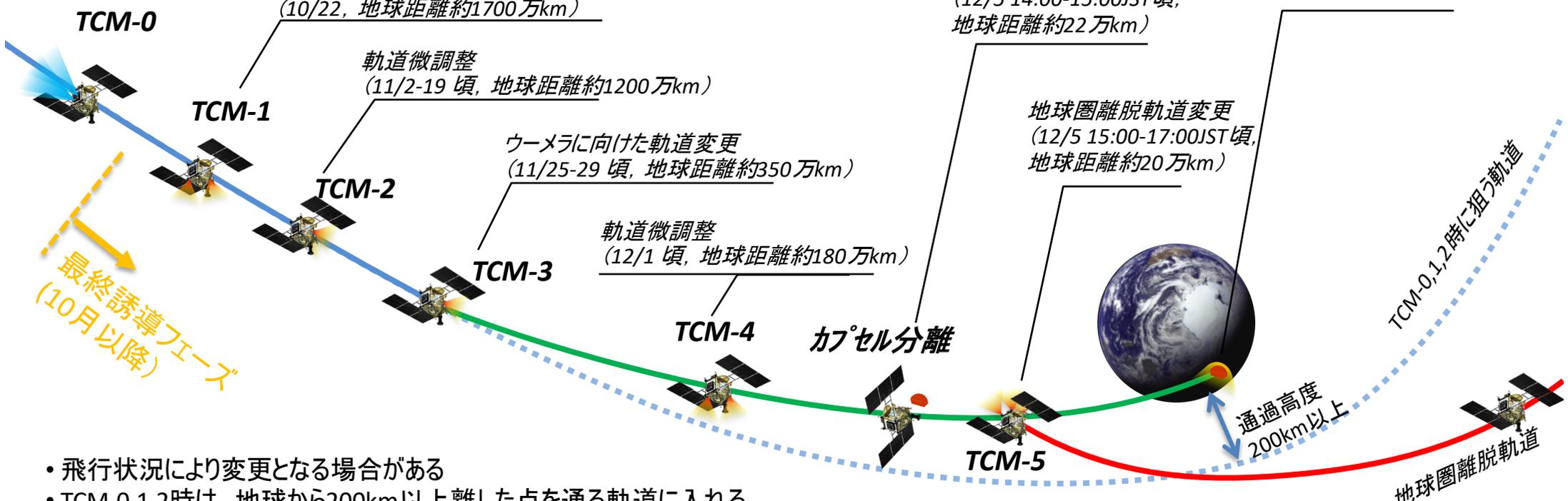
ウーメラに向けた軌道変更  
(11/25-29 頃, 地球距離約350万km)

軌道微調整  
(12/1 頃, 地球距離約180万km)

カプセル分離  
(12/5 14:00-15:00JST 頃,  
地球距離約22万km)

地球圏離脱軌道変更  
(12/5 15:00-17:00JST 頃,  
地球距離約20万km)

カプセル着地  
(12/6 2:00-3:00JST 頃)



最終誘導フェーズ  
(10月以降)

- 飛行状況により変更となる場合がある
- TCM-0,1,2時は、地球から200km以上離れた点を通る軌道に入れる。
- カプセル分離後、TCM-5によって探査機本体は地球圏を再離脱する。

(画像クレジット: JAXA)



# 偏光観測についての補足



## 偏光とは

光(電磁波)は、進行方向に垂直な面で、電場や磁場が振動(変化)しながら進む横波である。この垂直な面で振動する電場ベクトルの大きさや方向の偏りが、偏光である。電場ベクトルの振動の仕方によって、直線偏光、円・楕円偏光がある。

## 偏光度とは

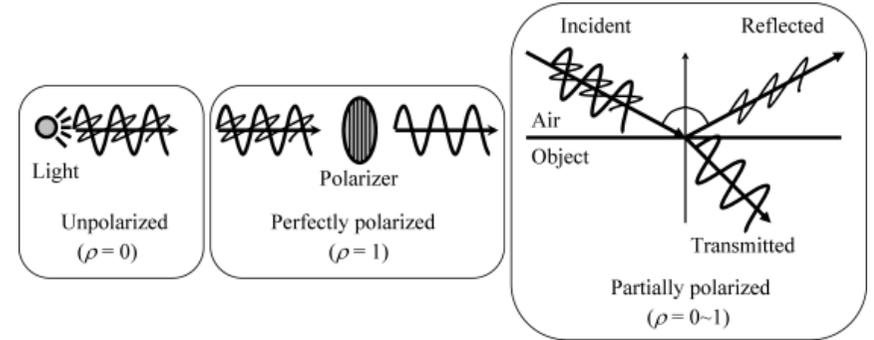
偏光度は、偏光状態の割合のことであり、完全に1つの偏光状態(完全偏光)は1、無偏光は0である。その間の状態は、部分偏光と呼び、その割合で0から1の値で示す。無偏光(自然光)は、ランダムに偏光していて、偏光状態が分からないことを意味する。

## 代表的な例

光が反射や屈折を生じる場合、振動方向は変化しないが、進行方向が変わるため垂直成分のみ残る。これにより一部の反射強度を抑止できるのが、偏光サングラスである。

## 偏光観測

望遠鏡で集めた光を偏光素子を用いて、偏光成分の分離をして強度を測定する。高精度の偏光観測は、波長板と偏光素子を用いて、偏光の2成分を同時に測定する装置を使用することが多い。  
詳しくは長田(2017), 計測と制御, 6, p.428-434など参照。



偏光の説明図

Credit (宮崎&池内, 2008,情報処理学会論文誌, 64-72)



# 2015年12月3日の地球スイングバイ時の観測



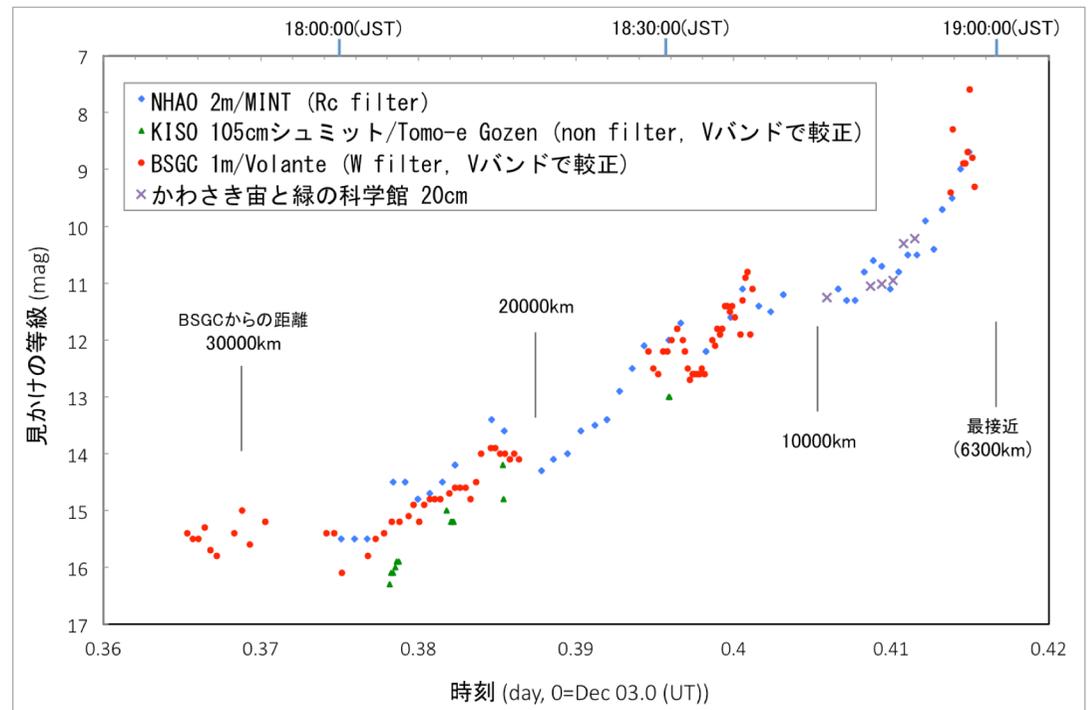
「はやぶさ2」の地球スイングバイを地上望遠鏡で観測→国内外の合計39カ所から観測の報告あり

## 「はやぶさ2」が撮影された位置



観測された「はやぶさ2」の位置をプロットしたもの。図の左から右へと「はやぶさ2」は移動していった。18:58には、「はやぶさ2」が地球の影に入り(日陰)、観測ができなくなった。

## 「はやぶさ2」の見かけの等級の変化



(画像クレジット: JAXA, JAPOS, TPSJ)