

小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2020年9月15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、

- ・拡張ミッション選定

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. 拡張ミッション選定
3. 拡張ミッションの科学的意義
4. 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出来る。

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



ターゲットマーカ分離
2018年10月25日



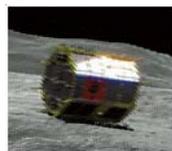
リュウグウ出発
2019年11月13日



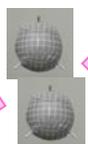
地球帰還
2020年12月6日

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



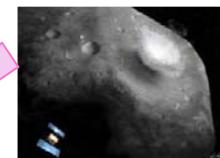
第2回タッチダウン
2019年7月11日



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



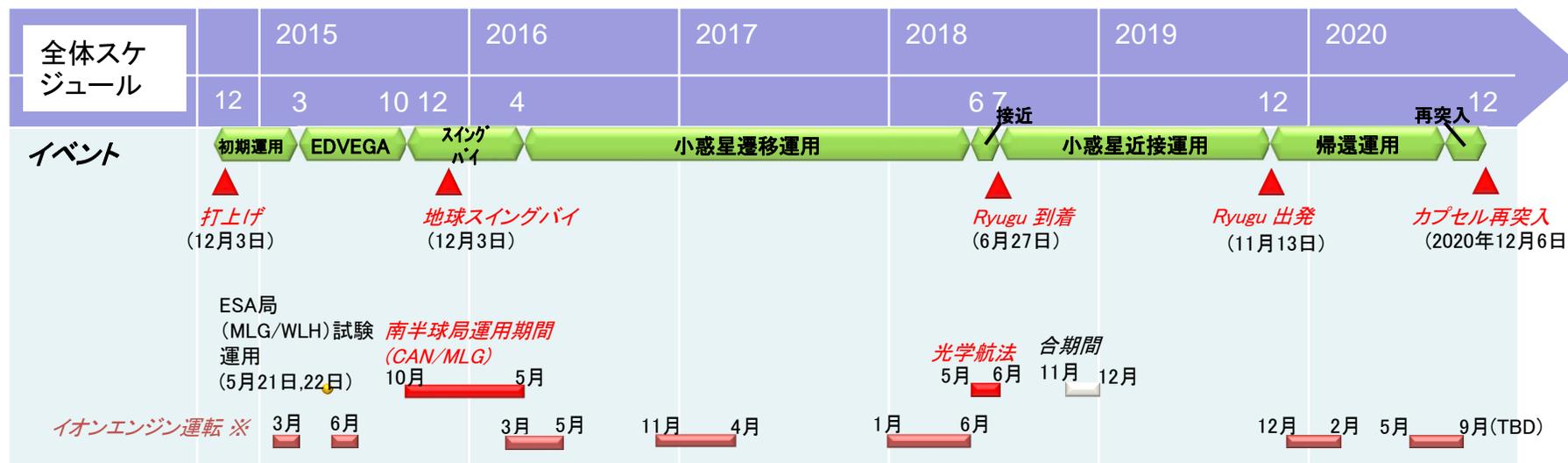
(画像クレジット: 探査機を含むイラストは 池下章裕氏、他はJAXA)



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール



- 現状：－ 探査機軌道の精密な推定を行い、本日(9月15日)からイオンエンジンによる軌道の微修正(TCM-0)を行う予定。
- － 拡張ミッションの絞り込みを行った。
 - － 回収作業に向けた準備を継続中。



(画像クレジット: JAXA)



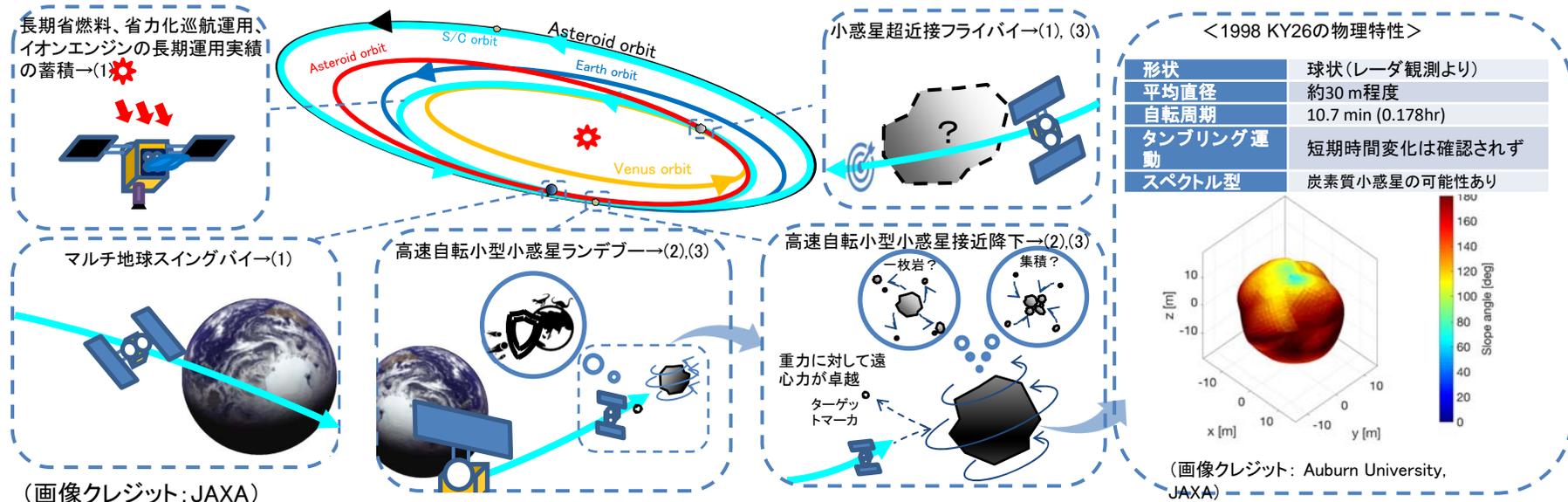
2. 拡張ミッション選定



シナリオ選定結果

- 「はやぶさ2」の拡張ミッションのシナリオとして、2つの候補が残っている状況にあり、技術的成立性を確認の上、1つのシナリオを選択する予定としていた。
- 検討の結果、EAAAシナリオを選定する。(最終目標天体は、1998 KY26)

ミッション意義：(1) 太陽系長期航行技術の進展、(2) 高速自転小型小惑星探査の実現、(3) Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得



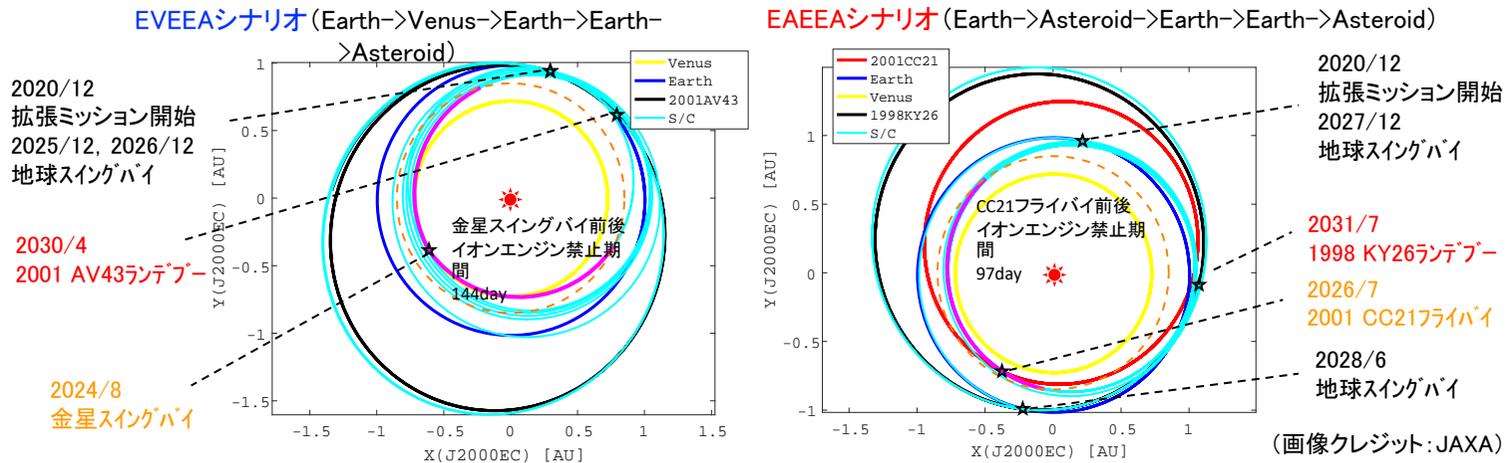


2. 拡張ミッション選定



検討経緯

- 元々探査機は、太陽距離0.85~1.41auの範囲を前提として設計されているが、両シナリオにおいて、太陽距離が設計前提を逸脱することが、課題として挙げられている。
 - EVEEA太陽距離範囲: 0.71~1.64au
 - EAEAA太陽距離範囲: 0.77~1.52au
- これに伴い実施した解析・検討の結果から、より具体的な課題が顕在化した。
 - 金星軌道付近(0.71au)での搭載機器の許容温度範囲逸脱(0.77auは問題なし)
 - 高温環境下でのイオンエンジンの運転制約(0.85auまでは3台運転可能、0.77auでイオンエンジン運転は1台でも困難)





2. 拡張ミッション選定



シナリオ比較と選定

評価項目	EVEEAシナリオ	評価	EAEAAシナリオ
熱成立性	金星観測のための姿勢変更を行うと、搭載機器が正常温度範囲を超える。(最大太陽距離: 1.64au)	≪	最小太陽距離(0.77 au)においても、搭載機器が正常温度範囲を超えない。(最大太陽距離: 1.52au)
イオンエンジン 運転条件	金星スイングバイ前後(0.71au)で140日間程度イオンエンジンが使えない	<	小惑星フライバイ前後(0.77au)で100日間程度、イオンエンジンが使えない
シナリオ 成立性	金星スイングバイでトラブル発生の場合、小惑星への軌道計画が成立しない(ハイリスク環境下でクリティカル運用の実施が求められる)	≪	小惑星フライバイが実施できない場合にも、その後の地球スイングバイには支障なく、軌道計画に大きな変更が必要ない

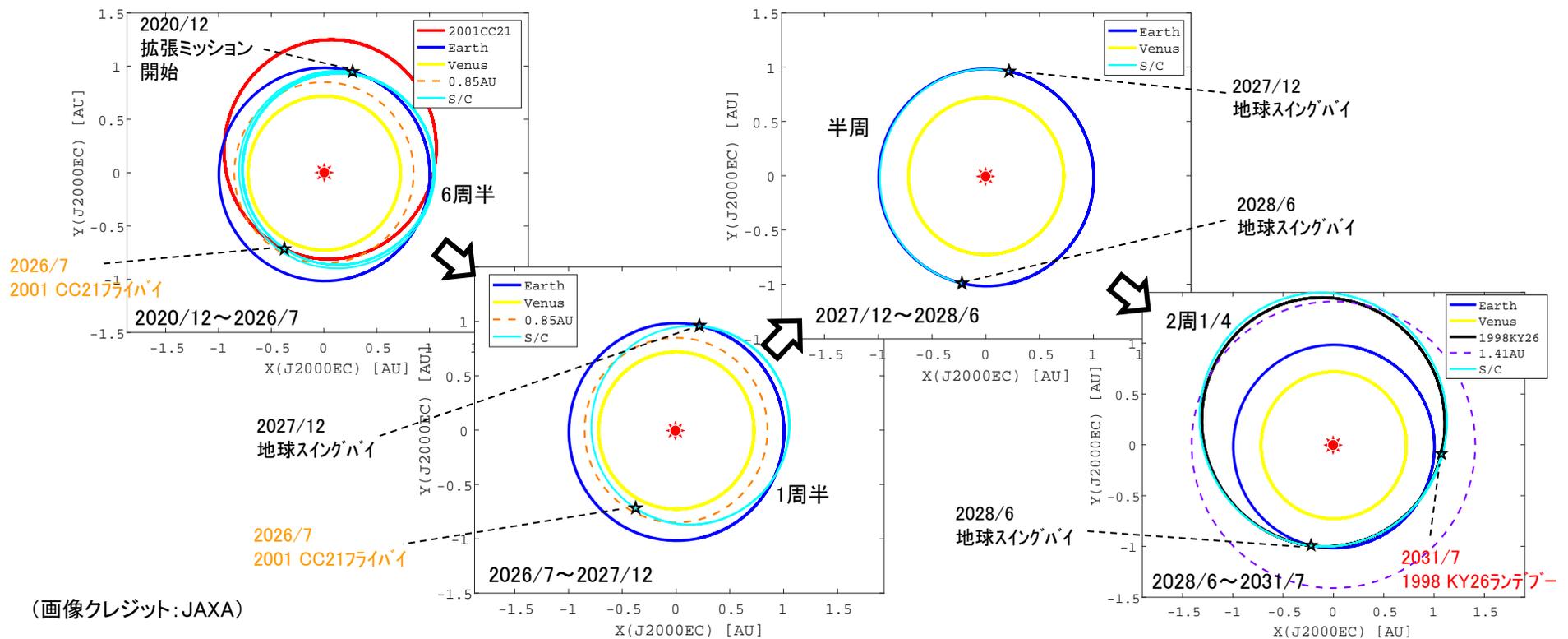
- 最小太陽距離0.71auと0.77auとの違い、及びミッション実施タイミングがシステムの成立性に対して大きな違いを生み出しており、EAEAAの方が総じて実現性が高い。
- また、今回実施した熱解析においては、経験してみなければ確定できない類のモデルの不確定性など、潜在化しているリスクもあり、その観点でも当初の太陽距離範囲から逸脱が少ない方がリスクを抑えられる。
- **結論:**
これらの状況・評価からの総合的な判断として、リスク低減のため、設計前提の太陽距離範囲から逸脱が少ないEAEAAシナリオを選択する。



2. 拡張ミッション選定



EAAAシナリオ軌道シーケンス





2. 拡張ミッション選定



EAAAシナリオミッションシーケンス

達成時期	イベント	工学成果	理学成果
2021～26年7月	巡航運用	長期省燃料/省力化巡航運用技術の獲得	・黄道光観測 ・系外惑星観測
2026年7月	小惑星(2001 CC21)フライバイ	・小惑星近接高速フライバイ技術の獲得 ・Planetary Defenseに資する技術の獲得	L型小惑星の近接高速フライバイによる観測
2027年12月	地球スイングバイ1	・マルチ(3回目)地球スイングバイ達成	地球スイングバイ時の月観測による搭載理学機器較正
2028年6月	地球スイングバイ2	・マルチ(4回目)地球スイングバイ達成	地球スイングバイ時の月観測による搭載理学機器較正
2031年7月	目標天体(1998 KY26)ランデブー	・長期深宇宙航行の進展(最終フェーズ完遂) ・高速自転天体(fast rotator)探査技術の獲得 ・Planetary Defense技術に資する知見の獲得	・高速自転小惑星の形成・進化の解明 ・Planetary Defenseに資する科学の獲得



3. 拡張ミッションの科学的意義



予定していなかった世界への「はやぶさ2」の大いなる挑戦

- 10年を超える長時間クルーズ
 - 観測機器の光学系やセンサの放射線などによる劣化
 - 恒星観測や地球スイングバイ時の月観測で機器の評価を実施
 - 長期間を生かした黄道光観測や系外惑星観測
- 小型小惑星の近接高速フライバイ観測
 - 固定式カメラなどフライバイに不向きな中での観測に挑戦
- 高速自転する微小小惑星への世界初のランデブー
 - リュウグウの約1/30の大きさの微小天体にランデブーして、観測できるか
 - 自転周期10分余り。遠心力 > 重力のため、ターゲットマーカは使えず



3. 拡張ミッションの科学的意義



実施予定の科学観測と予想される成果

ミッションフェーズ	予定される科学観測：予想される成果
クルージング	<ul style="list-style-type: none">・黄道光観測*：長期観測で惑星間ダストの空間分布を制約・系外惑星観測*：系外惑星探索衛星のフォローアップ
小惑星2001 CC21 フライバイ	<ul style="list-style-type: none">・L型小惑星の近接高速フライバイによる観測：未知のスペクトル型であり、始原的隕石の白色包有物(CAI)との類似性を判定
地球スイングバイ	<ul style="list-style-type: none">・月観測：搭載機器の較正と長期航行中の状態変化の把握
小惑星1998 KY26 ランデブー	<ul style="list-style-type: none">・可視光観測：直径数十メートルの小惑星の特徴の解明・近/中間赤外観測：高速自転天体の物性・熱特性の解明・リュウグウとの比較観測：同一の観測機器による詳細比較・Planetary Defenseにも役立つ情報の取得

(* 黄道光観測および系外惑星観測については、p.20およびp.21を参照)



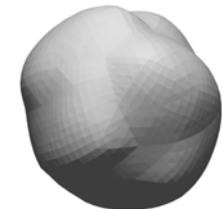
3. 拡張ミッションの科学的意義



探査する小惑星の特徴

JPL Small-Body Databaseによる

- (98943) 2001 CC21 (フライバイ)
 - 軌道長半径 1.032 au、離心率 0.219、軌道傾斜角 4.81° 、公転周期 383日
 - 絶対等級 18.4等、自転周期 5.02時間、直径 700 m(アルベド 0.15を仮定)、形状不明、L型 [R. P. Binzel et al. 2004, *Meteor. Planet. Sci.* 39, 351]
- 1998 KY26 (ランデブー)
 - 軌道長半径 1.233 au、離心率 0.202、軌道傾斜角 1.48° 、公転周期 500日
 - 絶対等級 25.5等、自転周期 10.7分、直径 30 ± 10 m [S.J. Ostro et al. 1999, *Science* 285, 557]、球形に近い(右下図)、炭素質の可能性あり(レーダ/可視アルベドがやや低く、水の存在の兆候もある)
 - 1998年6月8日に地球から80.6万kmの距離を通過した。この際に米国GoldstoneのXバンドレーダで形状等観測。



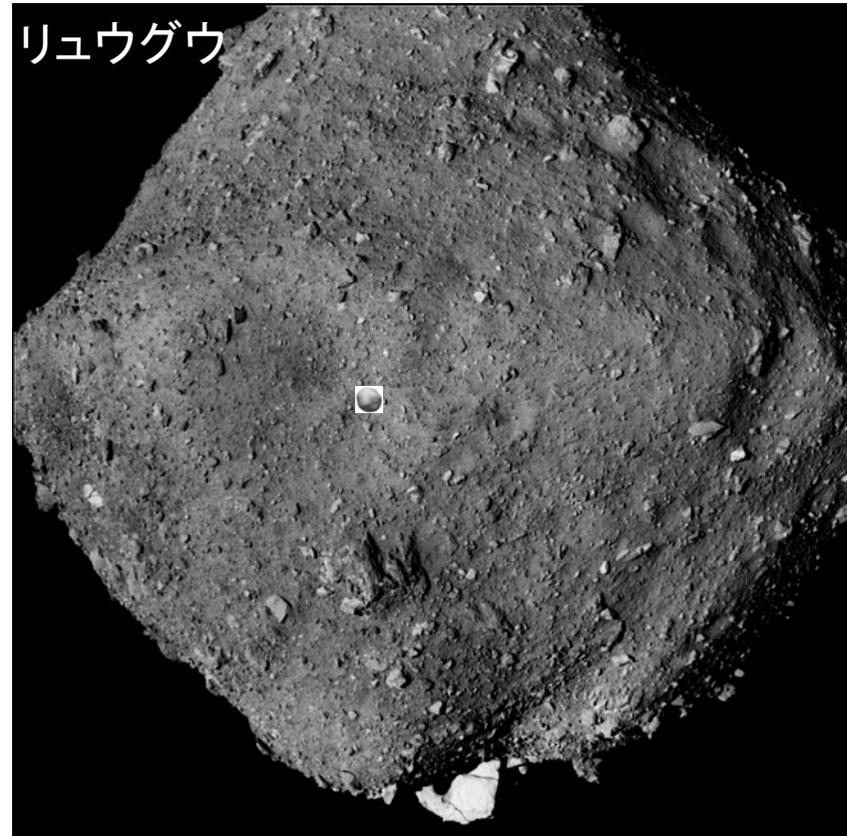
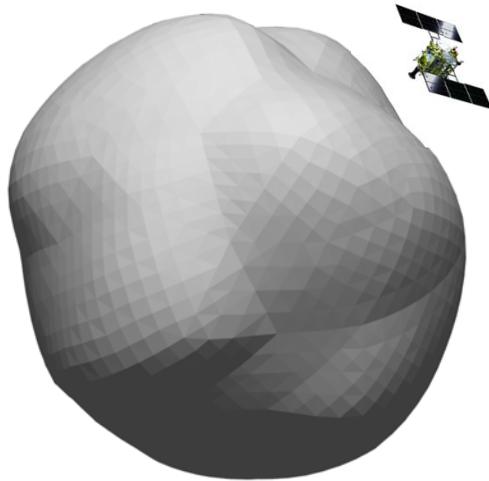
(画像クレジット: Auburn University, JAXA)



3. 拡張ミッションの科学的意義



1998 KY26



■ 画像クレジット

左: Auburn University, JAXA

右、リュウグウ画像: 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、1998 KY26画像: Auburn University, JAXA



3. 拡張ミッションの科学的意義



地球史とPlanetary Defenseの観点から

- 直径数十mの天体は地球に衝突した場合には、地域的に大きな被害が出ると想定される。
 - 2013年2月15日にロシアのウラル地方に落下して、1500人近くの負傷者を出したチェラビンスク隕石は、大気圏突入時の直径は17 mとされている。
 - 直径30 mを超える隕石の地球衝突頻度は数百年に一度程度とされる。
- しかし、そのような微小惑星の強度などの力学特性や、自転状態、物性などはよくわかっていない。
- 微小惑星の衝突が地球史に与えた影響も未解明の問題である。
- 世界初となる直径 100 m未満の天体の近傍観測によって、地球史解明のみならず、Planetary Defenseにも役立つ情報を得ることが期待される。



4. 今後の予定



■ 運用の予定

2020年9月15～16日頃	イオンエンジンによる軌道微修正 (TCM-0)
2020年10月～	リエントリー最終誘導
2020年12月6日	リエントリー

■ 記者説明会等

2020年10月 (TBD)	記者説明会 @ オンライン (TBD)
----------------	---------------------



参考資料

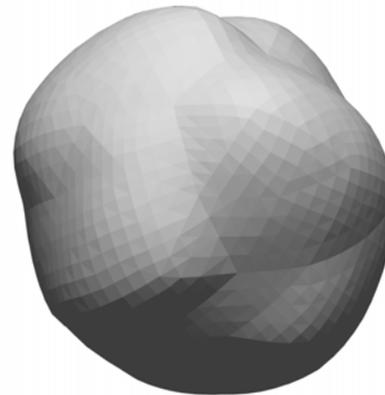


1998 KY26について



2020 / 9 / 15

- 1998年5月28日に、米国のスペースウォッチ・プロジェクトによって発見(このときの地球最接近距離は約80万km)
- 1998年6月にレーダによる観測が行われる(S. Ostroらによる)。
- 大きさ約30m、自転周期0.1784時間(10.7分)
- 軌道長半径: 1.23au、公転周期: 1.37年(500日)



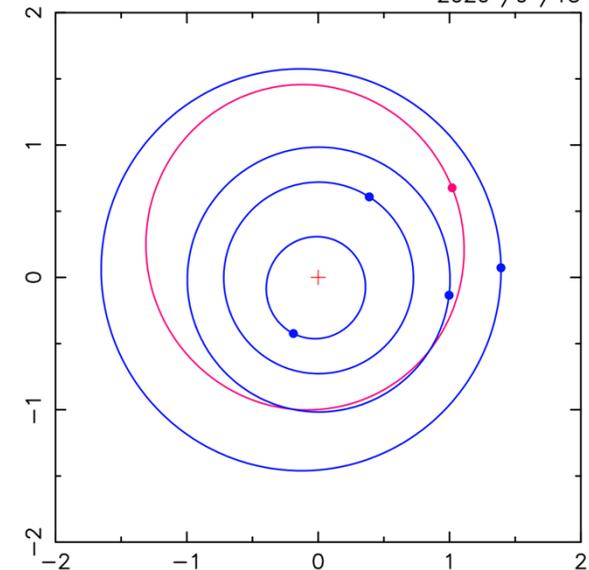
形状モデル:

画像クレジット

Auburn University, JAXA

1998 KY26 の形状モデルの元データ:

Ostro et al. (1999), Radar and optical observations of asteroid 1998 KY26, Science, 285, 5,427, 557-559.



軌道図:

赤色が1998 KY26の軌道で、青色が惑星の軌道(内側から水星、金星、地球、火星)。天体の位置は、2020年9月15日現在。(画像クレジット: JAXA)



黄道光観測について



黄道光とは:

- ・惑星間空間に漂う0.1-100マイクロメートル程度の大きさの固体微粒子(惑星間塵)による太陽光の散乱光
- ・「はやぶさ2」の科学テーマである「太陽系内の物質輸送の全貌を理解する」ために、黄道光の観測を通じた惑星間塵の分布と起源を探ることは重要
- ・地球軌道より外側の惑星間空間での黄道光観測は、1970年代のパイオニア探査機による観測以来



提供:大西浩次氏

「はやぶさ2」での観測:

- ・地球から離れた複数地点で黄道光観測を行い、地球近傍の惑星間塵の密度や構造を明らかにすることを目指す。
- ・ONC-Tを用いた観測を定期的を実施し、星などの天体が写っていない「宇宙空間の明るさ」を測定することで、黄道光の明るさを抽出する。



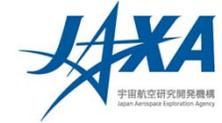
復路中に試験観測を実施し、必要な精度で黄道光を検出できることを確認した。

天の川の試験観測画像

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



系外惑星観測について



目的:

- 将来に高精度分光観測のターゲットとなる明るい恒星の周りの系外惑星の直径やトランジット時刻の正確な観測。
- 衛星搭載光検出器による系外惑星の観測技術の開発。

背景:

- 日本の衛星・探査機による初の系外惑星観測となる見込み。
- 高精度の望遠鏡は口径が大きいいため、明るい星の観測が苦手。
- 軌道上の「はやぶさ2」は、天候や気温に左右されず安定した観測ができる。ONCは小口径のため、明るい星の観測に適する。

手法:トランジット法

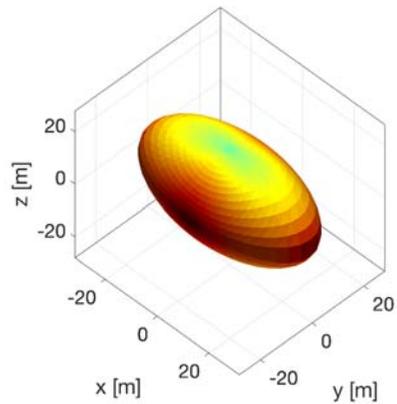
- **原理:**系外惑星が主星の前を横切る時に主星が暗くなる現象を利用して惑星の大きさと主星からの距離などを求める。
- **具体方法:**長時間(多くの場合、3~10時間)にわたって同じ星を何度も撮像して光量の時間変化を調べる。アプローチフェーズにおけるリュウグウ観測と基本的に同じ。



拡張ミッションの候補として最終的に選ばれた2つの天体



<2001 AV43の物理特性>

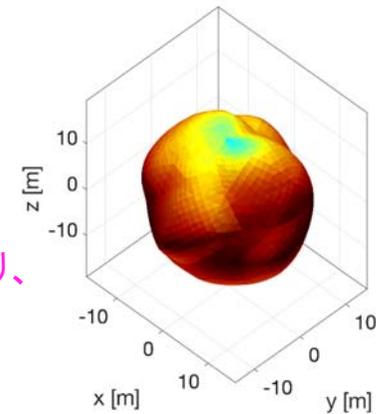


- ・小さい(30~40m)
 - ・高速自転(自転周期 10分程度)
- ↓
- ラブルパイルなのか、1枚岩なのか？

2029年11月11日に、地球に約30万kmまで接近 ←この接近のタイミングで「はやぶさ2」がランデブーする

形状	細長い、アスペクト比:約0.5(変光観測より)
平均直径	約40 m程度
自転周期	10.2 min (0.17hr)
タンブリング運動	短期時間変化は確認されず
スペクトル型	S型の可能性、断定できず

<1998 KY26の物理特性>



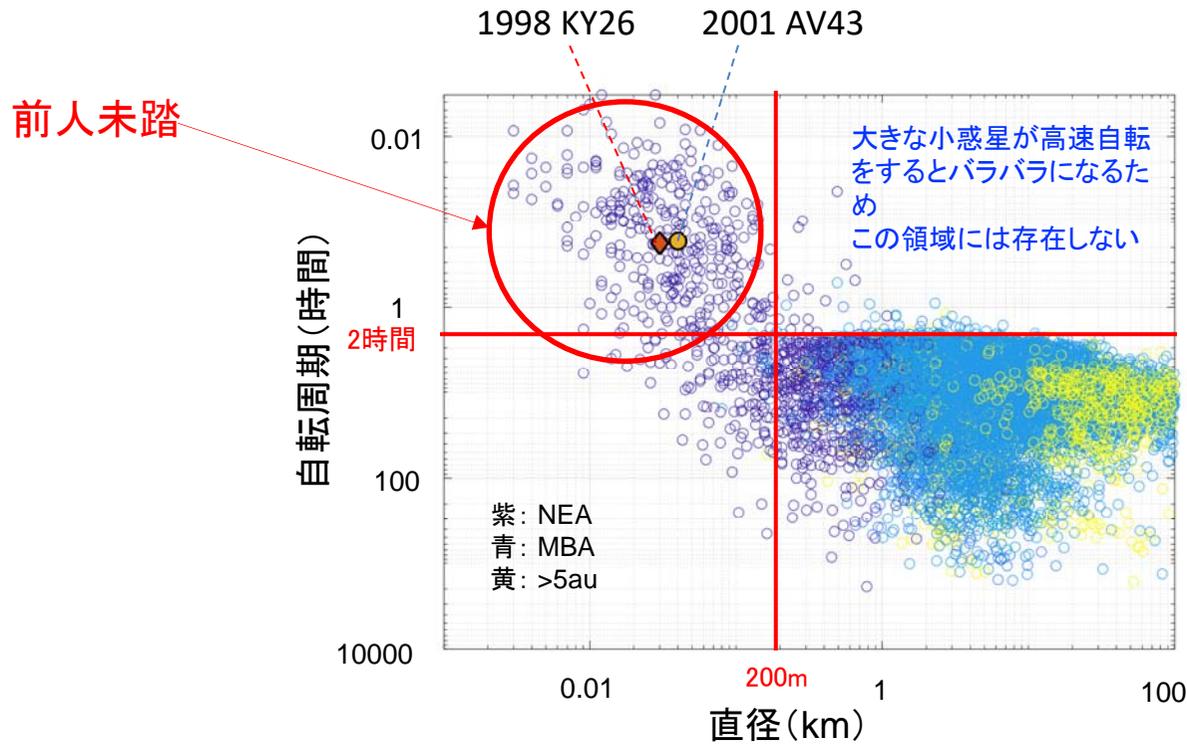
C型小惑星の可能性があります、リュウグウやベヌーとの比較が興味深い

形状	球状(レーダ観測より)
平均直径	約30 m程度
自転周期	10.7 min (0.178hr)
タンブリング運動	短期時間変化は確認されず
スペクトル型	炭素質小惑星の可能性あり

(画像クレジット: Auburn University, JAXA)



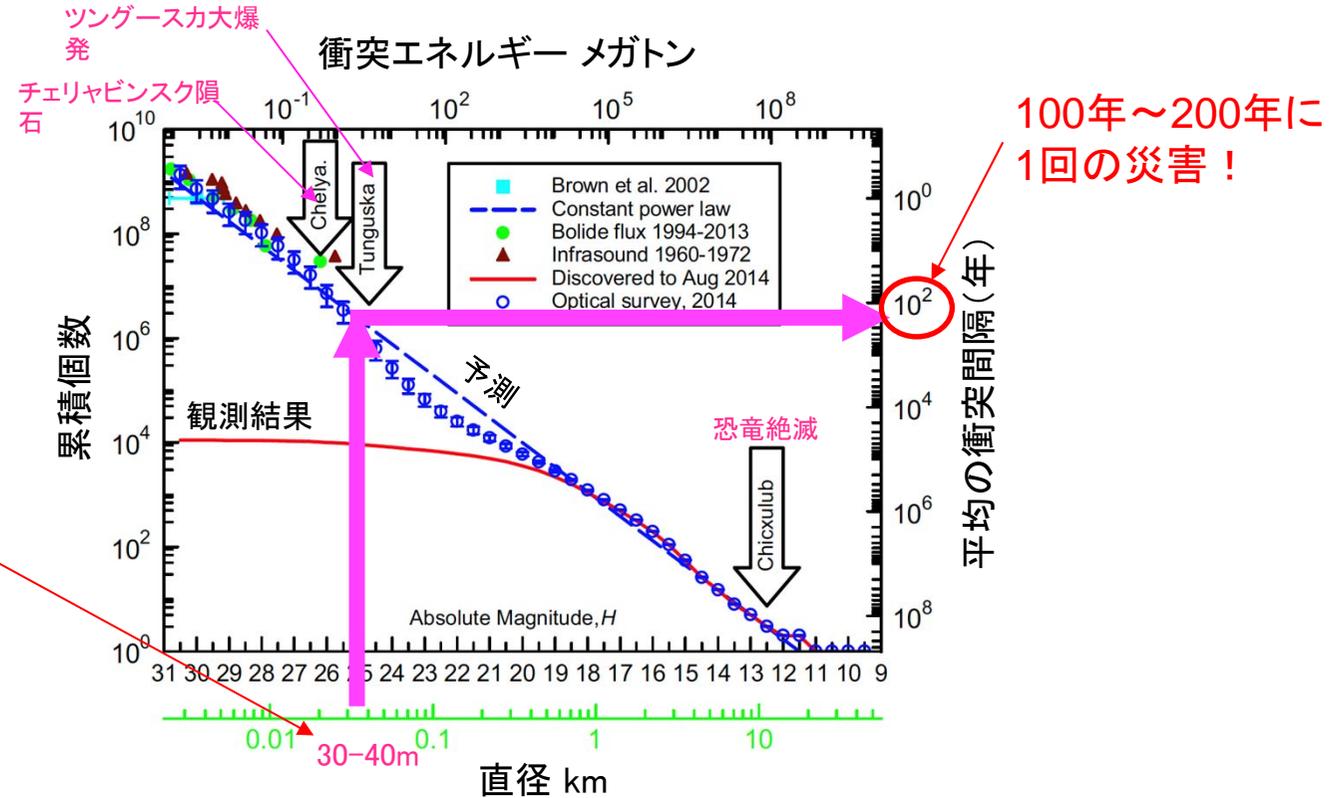
小惑星の直径と自転周期の関係



(© Auburn University, JAXA)



小惑星の地球衝突頻度予測



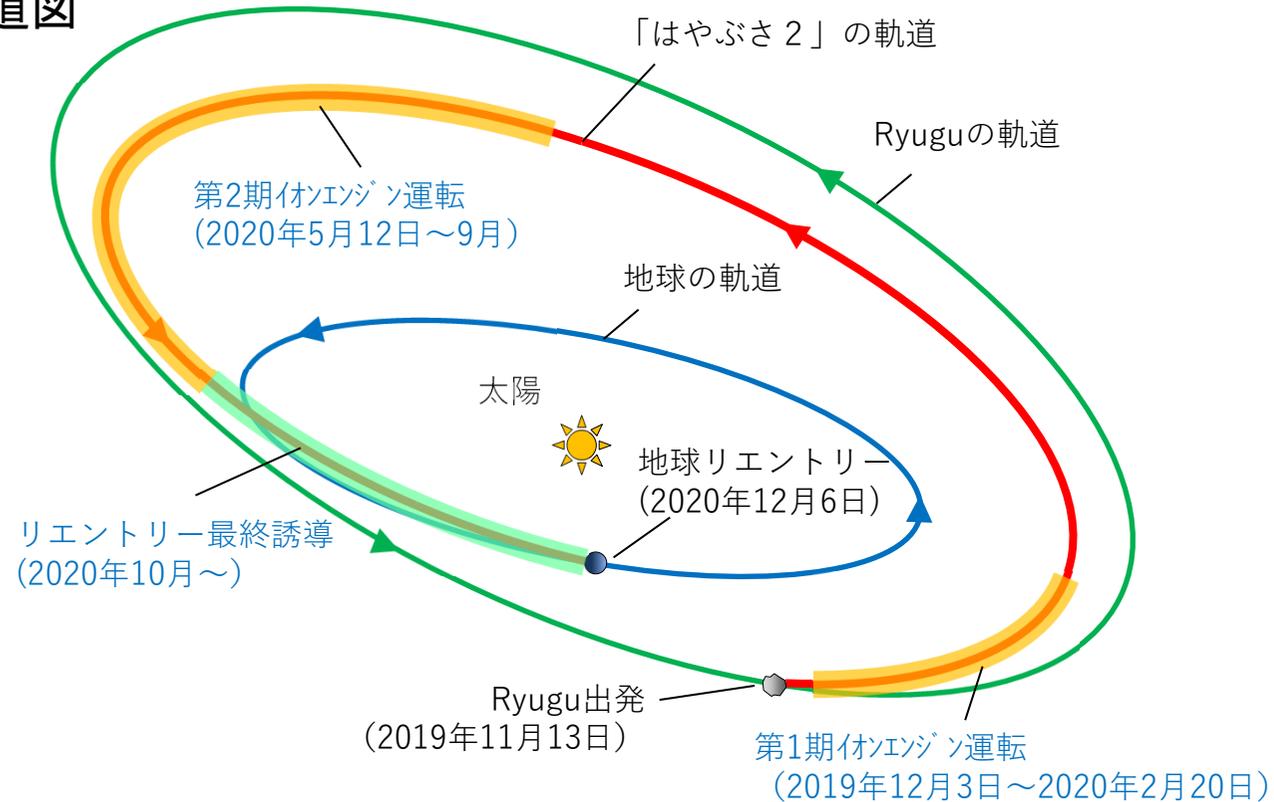
(元になっている図は、Harris and D'Abramo, Icarus 257 (2015) 302-312 より引用)



帰還巡航運用計画



帰還フェーズ軌道図



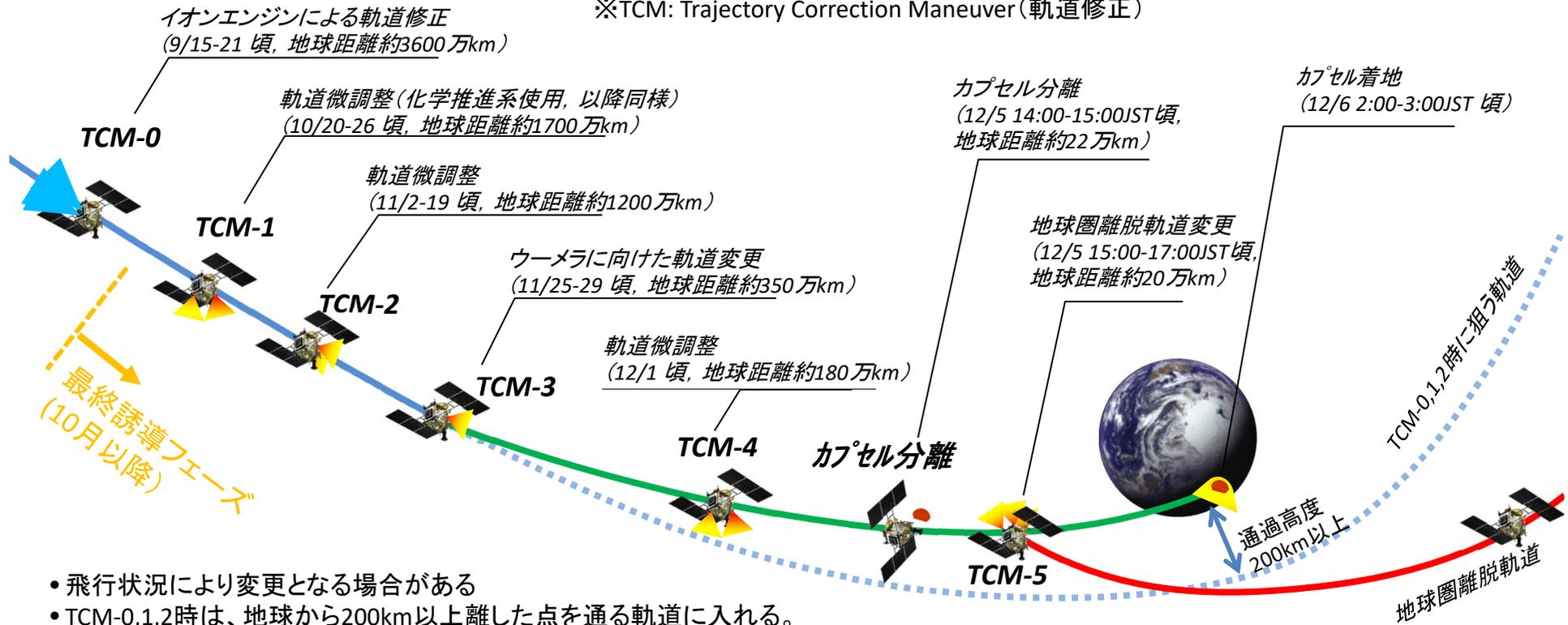
(画像クレジット: JAXA)



リエントリー最終誘導の運用計画



※TCM: Trajectory Correction Maneuver (軌道修正)



- 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)