

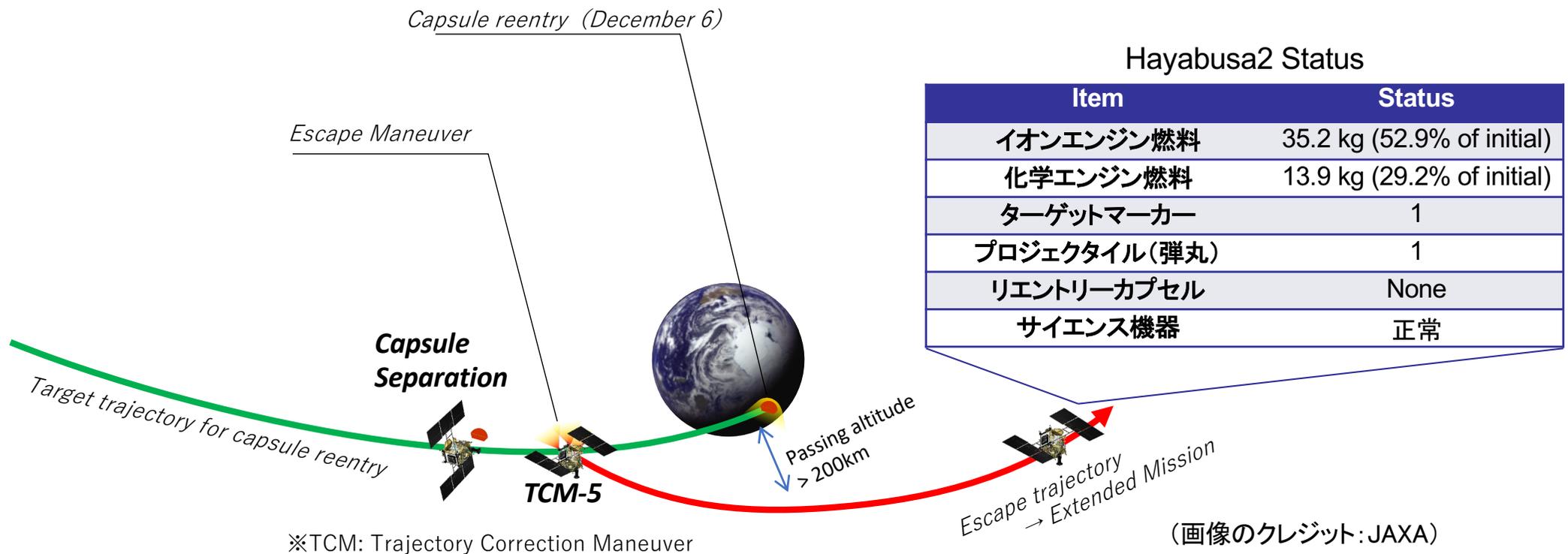
2021年度
プラネタリーディフェンスシンポジウム
はやぶさ2拡張ミッション

2022年2月15日 @オンライン
宇宙航空研究開発機構(JAXA)

○三榎 裕也、はやぶさ2プロジェクトチーム(JAXA)

拡張ミッション実施の背景

- 「はやぶさ2」は、地球圏離脱後、1.7km/s相当の軌道制御能力を残して深宇宙飛行を継続できる状態にあった。
- 探査機の初期の目的は全て達せられており、延長して運用すれば挑戦的な軌道上運用技術を磨く稀有な機会となる。
- 他天体を目指せる場合、新しいミッションを仕立てるより遥かに良いコストパフォーマンスで、新たな科学成果を創出し得る。



はやぶさ2の拡張ミッション





拡張ミッションの意義

(1) 太陽系長期航行技術の進展

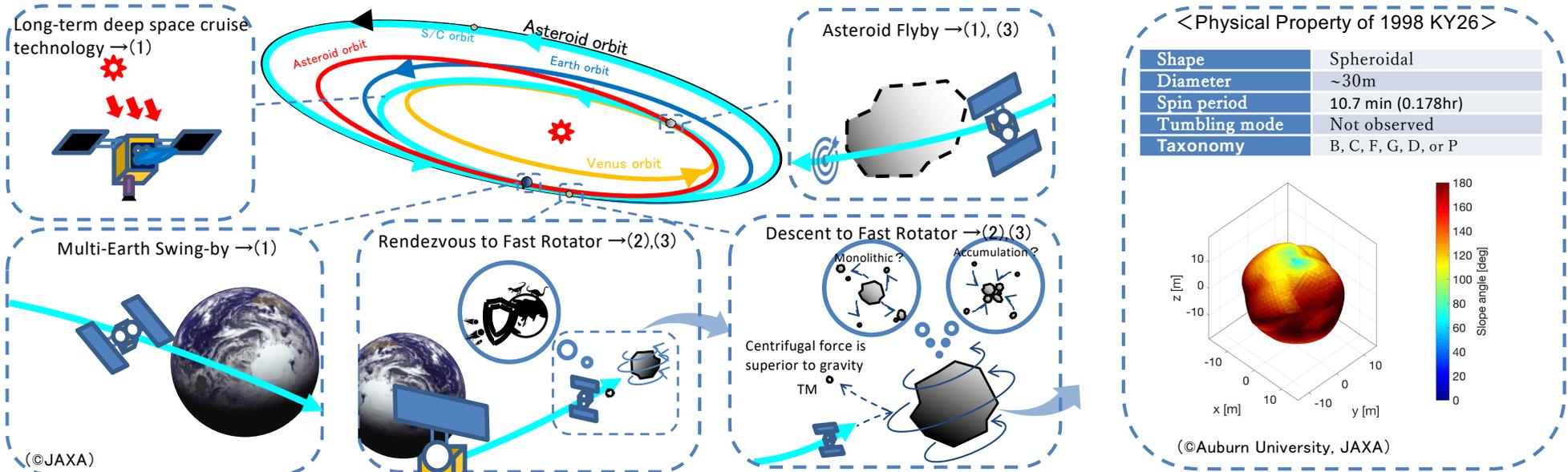
ノミナルミッションでの工学成果を踏まえ、我が国がより自在な、より遠方への探査をめざす上で必要な運用技術を前進させる。それにより、長期航行中やフライバイの機会を利用した理学観測の機会を提供する。

(2) 高速自転小型小惑星探査の実現

Ryuguの近傍探査で得た知見を踏まえ、より小さな(直径 < 100 m) 高速自転小惑星を同一機器で比較観測することで、ノミナルミッションで構築された問いへの解決に向けた糸口を探り、物質輸送過程の理解を深める。

(3) Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得

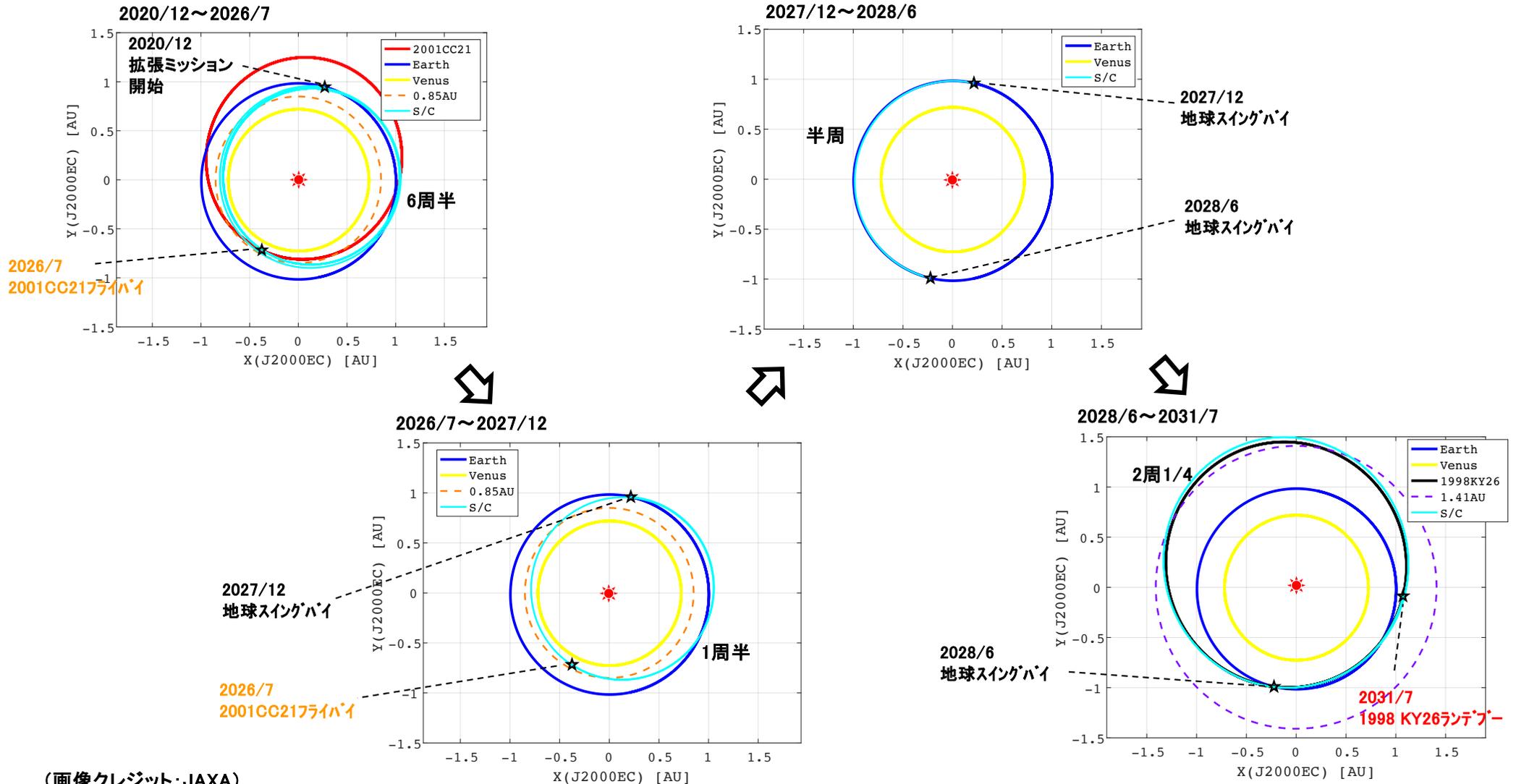
ノミナルミッションの意義の一つ「地球軌道付近への物質供給過程」のシームレスな解明と、表裏一体の関係にあるPlanetary defenseに資する科学的・技術的知見を獲得する。





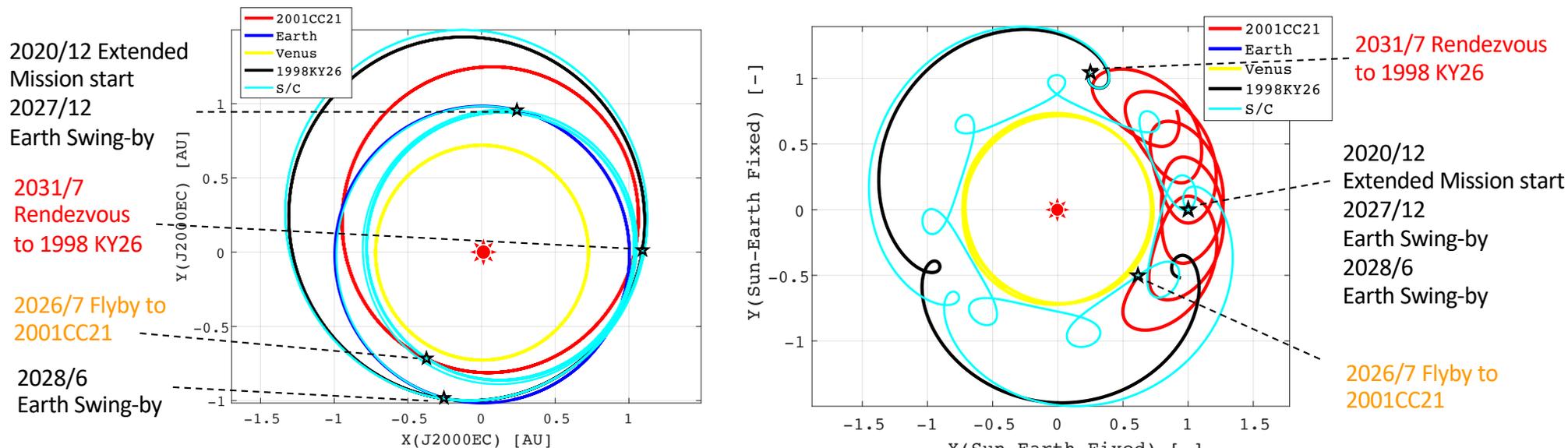
拡張ミッションの軌道計画

■ 2020年12月に地球を出発し、2031年7月に最終目標天体へ到達する。



(画像クレジット:JAXA)

ミッションシーケンス

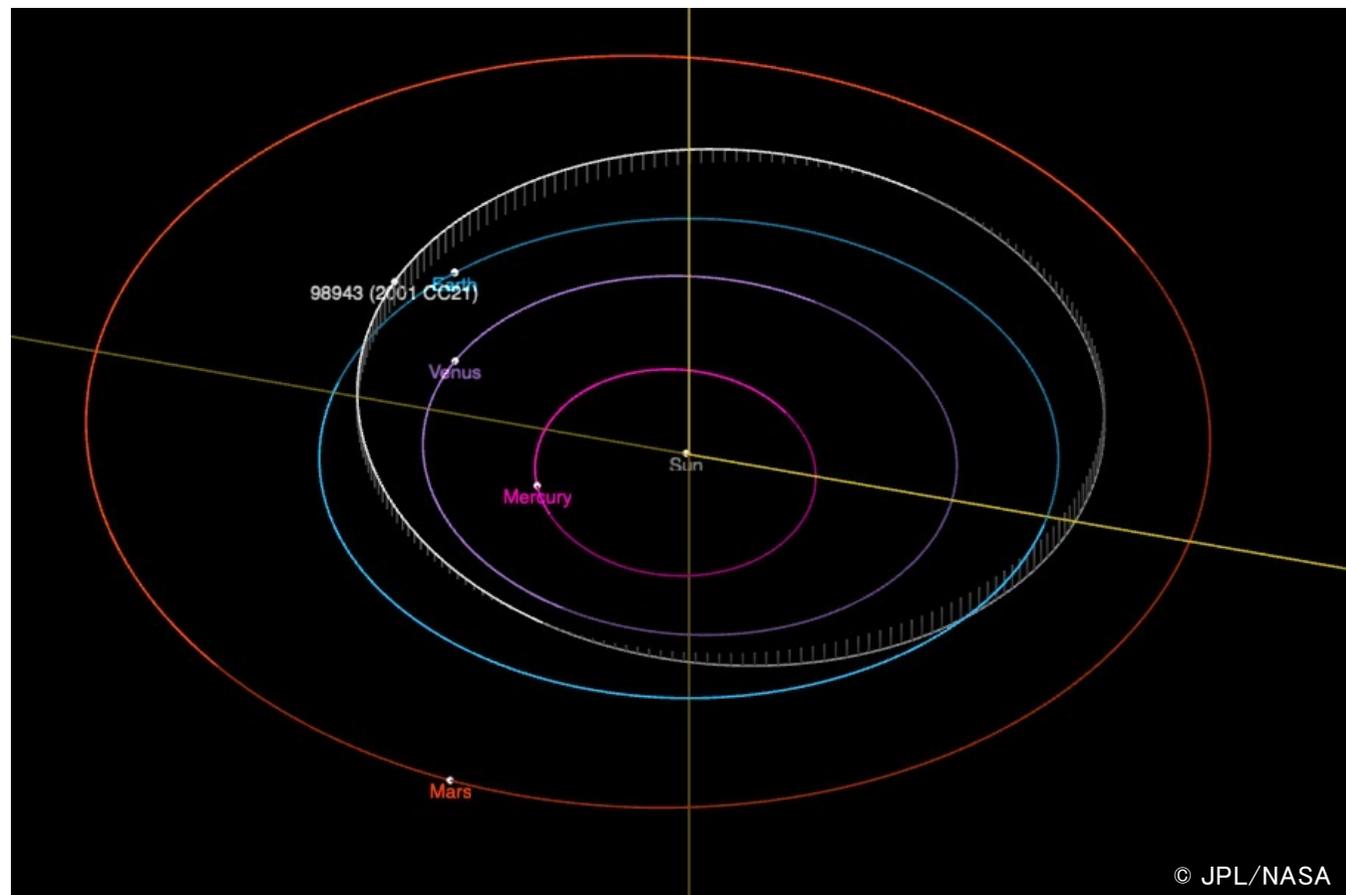


(画像クレジット: JAXA)

実施時期	イベント	工学目標	理学目標
2021/1~ 2026/7	長期航行	長期省燃料/省力化巡航運用技術の獲得(1)	・黄道光観測によるダスト空間分布の把握(1) ・系外惑星の探索(1)
2026/7	2001 CC21 フライバイ	・日本初の小惑星超近接高速フライバイ技術の獲得(1) ・Planetary Defenseに資する技術の獲得(3)	フライバイ観測によるL型小惑星の特性に対する制約(1,3)
2027/12	地球スイングバイ	・長期深宇宙航行第1段階完遂(1) ・マルチ(3回目)地球スイングバイ技術の獲得(1)	N/A
2028/6	地球スイングバイ	・長期深宇宙航行第1段階完遂(1) ・マルチ(4回目)地球スイングバイ技術の獲得(1)	巡航中、および天体通過時の観測による搭載理学機器の長期性能評価(1)
2031/7	1998 KY26 ランデブー	・長期深宇宙航行第3段階完遂(1) ・高速自転小型小惑星探査技術の獲得(2)	・高速自転小惑星の形成・進化の解明(2) ・Planetary Defenseに資する科学の獲得(3)

次の目的地： 小惑星2001 CC21

- 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、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 [Binzel R. P. et al. 2004, Meteor. Planet. Sci. 39, 351]

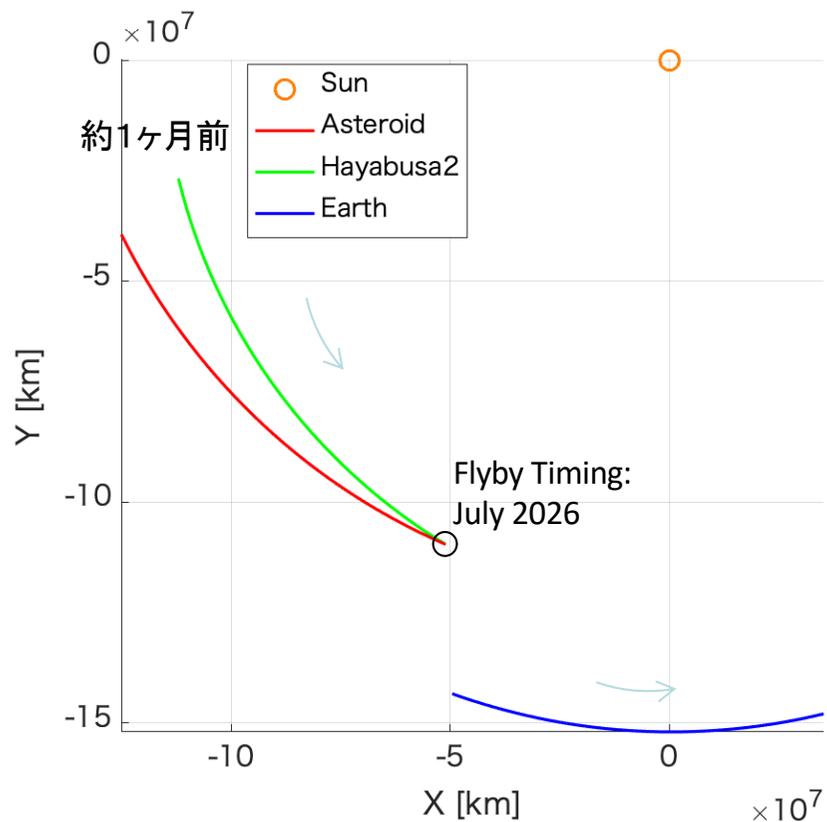


小惑星2001 CC21へのアプローチ



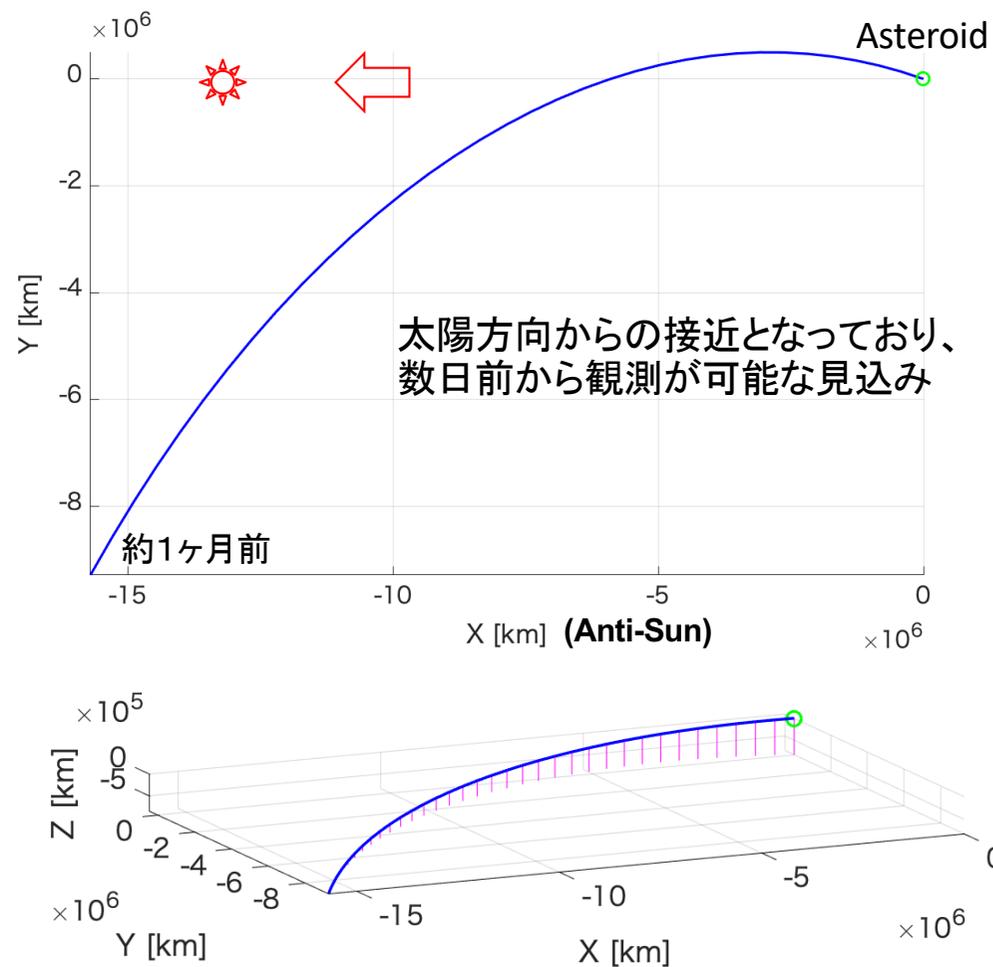
■ フライバイ約1ヶ月前からのはやぶさ2と小惑星の幾何関係

慣性座標系 (J2000EC)



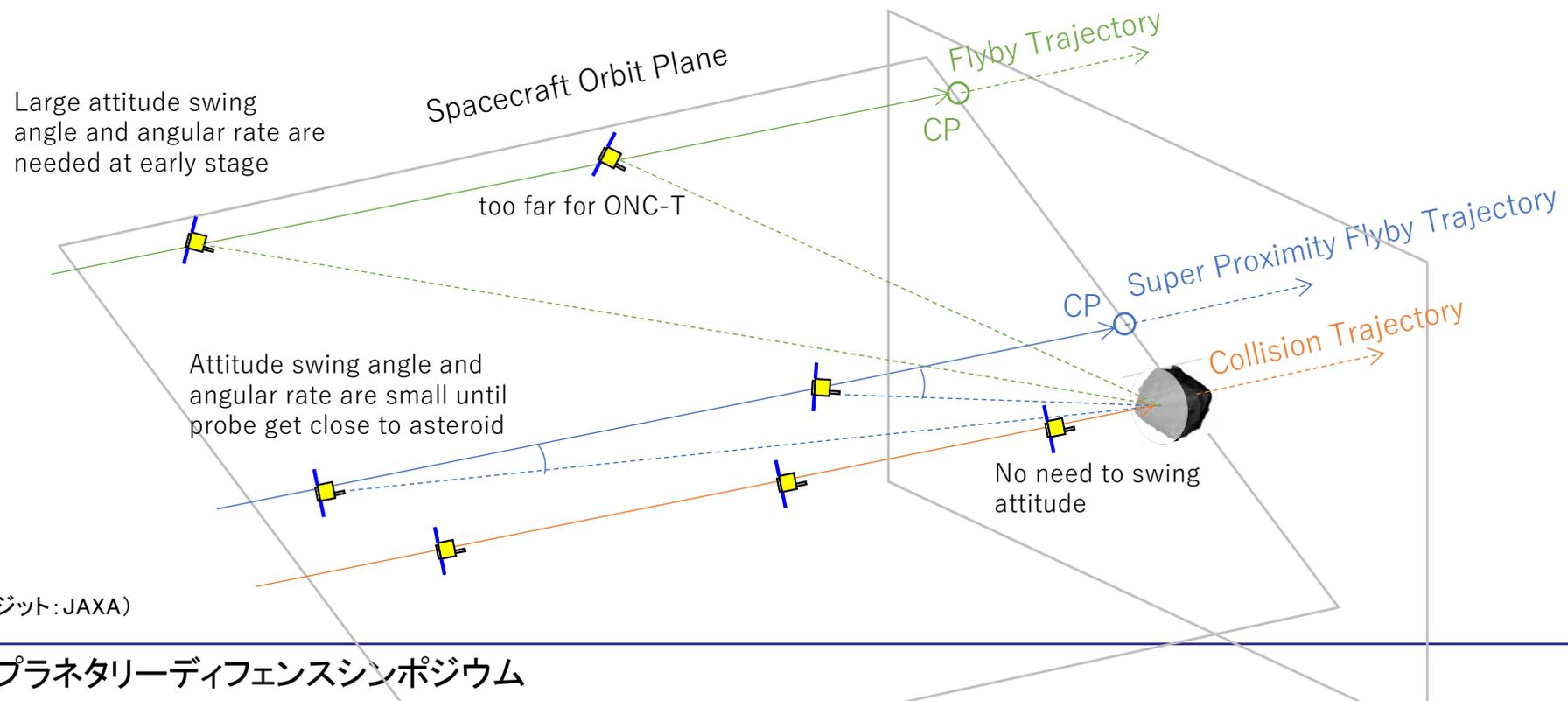
(画像クレジット: JAXA)

太陽小惑星固定座標系 (小惑星中心)



超近接小惑星フライバイ

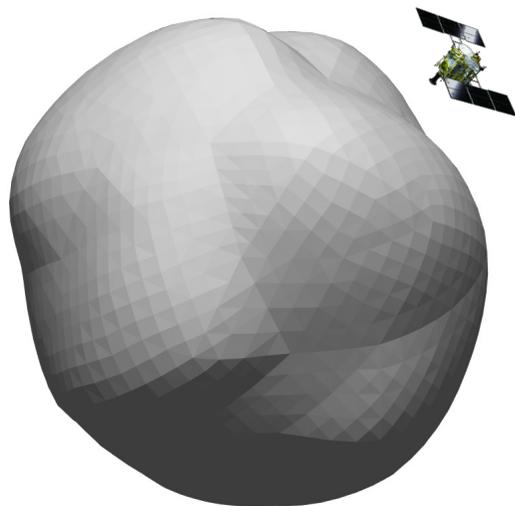
- はやぶさ2と小惑星2001 CC21との相対速度は5 km/s程度。
- 搭載されている望遠カメラは、ランデブー用のカメラのため、小惑星に対して100km程度の距離まで接近しなければ、意味のあるサイエンス画像が取得できない
- 何kmまで接近できるのかは、軌道誘導精度との兼ね合いで決まる(実現性検討中)
- この運用で得られる、高速接近物体に対する探査機の高精度の誘導技術は Planetary Defenseにおける小惑星への衝突技術にも応用できると期待される



最終目的地： 小惑星1998 KY26



1998 KY26

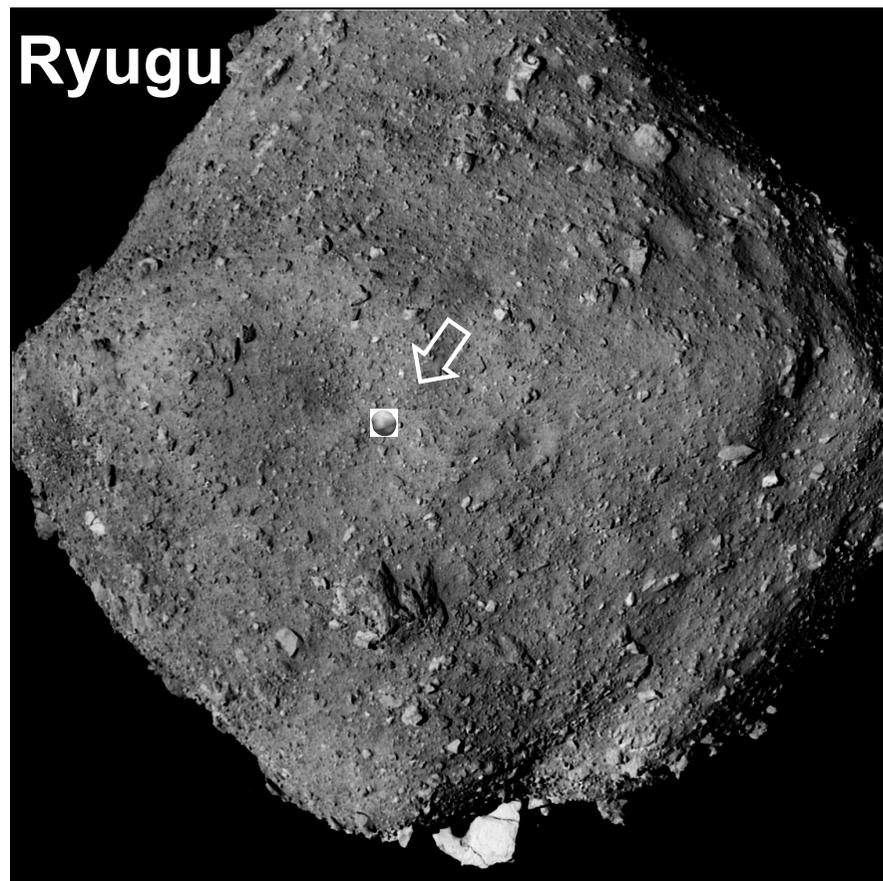


画像クレジット

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



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、**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)、X型(レーダー／可視アルベドがやや低く、水の存在の兆候もあり、炭素質の可能性もある)

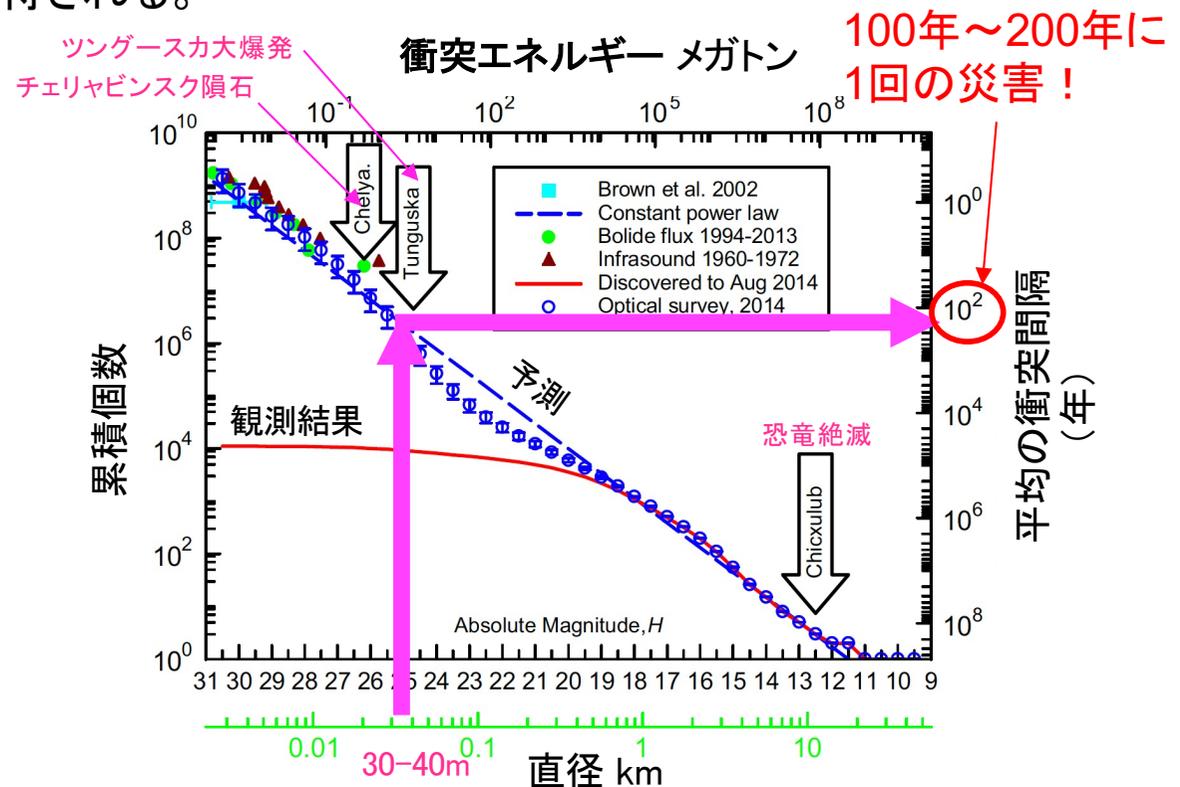
1998年6月8日に地球から80.6万kmの距離を通過。

小型小惑星の衝突可能性

- 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リャビンスク隕石は、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。
- このような微小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。
- 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。



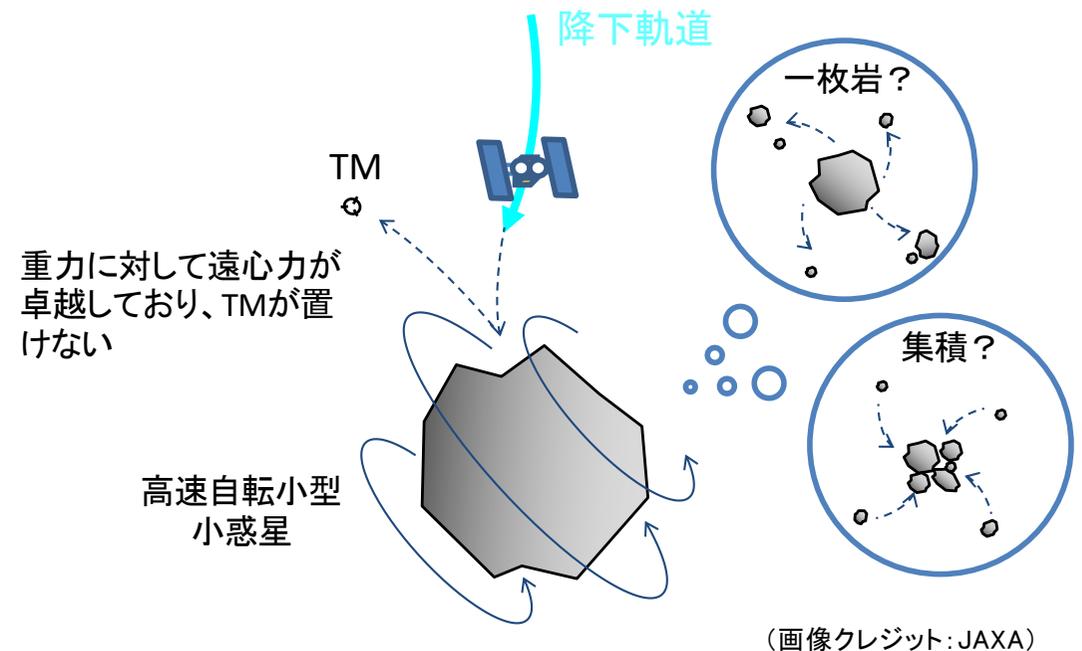
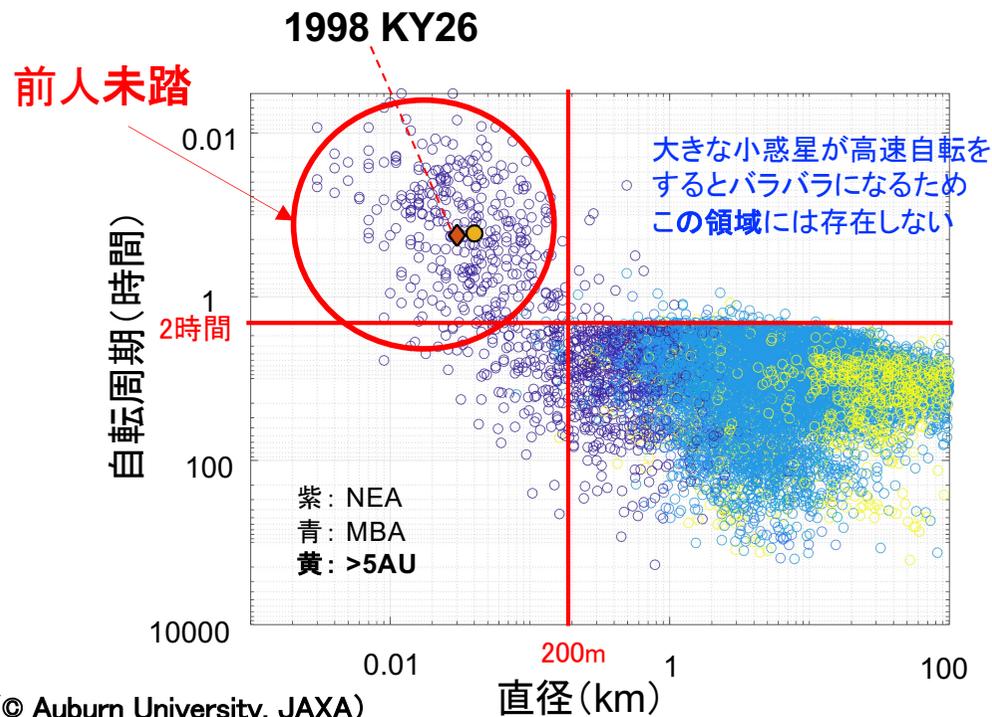
イラスト：池下章裕



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

高速自転小型小惑星の探査

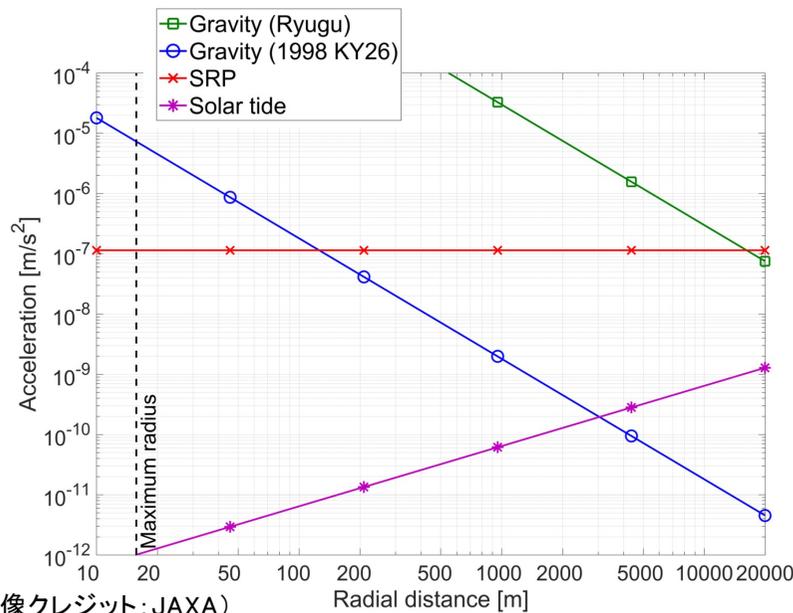
- これまで探査されたことのない前人未踏の領域であり、探査対象として魅力的
 - ◆ どのように形成されているか謎（一枚岩と言われているが、集積型の可能性も）
 - ◆ 小惑星表面では、重力に対して、遠心力の方が卓越した環境



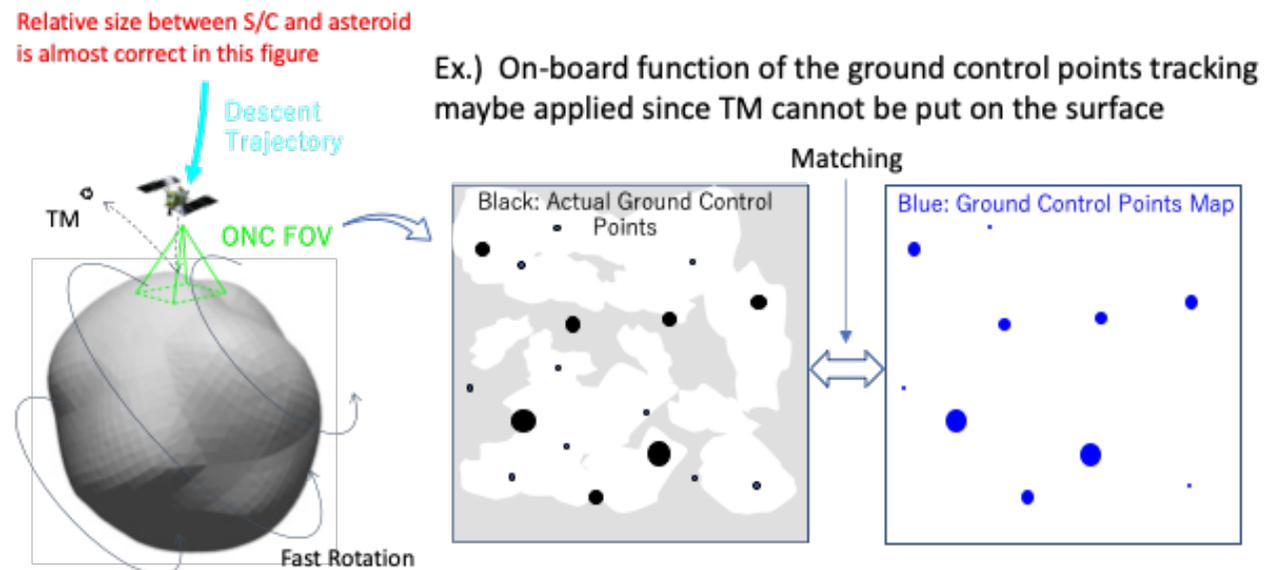
- リュウグウとの比較観測により、リュウグウで得られた科学的知見をさらに深められる
- 特殊な力学環境へのアプローチなどから、新たな小惑星探査技術の獲得が期待される

高速自転小型小惑星への接近

- 自転速度が非常に早く、小惑星表面では重力に対して遠心力が卓越した環境となっていることから、ターゲットマーカを小惑星表面に静置できない
- これは、はやぶさ2がリュウグウでの近傍運用で実施したタッチダウン運用を適用できないことを意味しており、新たな機能追加が必要となる。
- 例えば、以下に示すような、自然地形の特徴点照合のような誘導制御機能を搭載ソフトウェアに追加するようなことも検討中
- リュウグウでの近傍運用でも得られなかった、新たな小惑星の探査技術が獲得できる可能性があると期待される



(画像クレジット: JAXA)



結言： Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得



- 小惑星(2001 CC21)に超近接フライバイを行う (2026年7月)
 - ◆ 高速接近物体に対する探査機の高精度の誘導技術
→地球衝突の可能性のある天体の、軌道変更を行うための高速接近誘導技術の実証

- 高速自転小型小惑星(1998 KY26)にランデブーする (2031年7月)
 - ◆ 小惑星の特徴を解明する
 - 力学特性、自転状態、物性
→ 地球に衝突した際の小惑星の振る舞い、割れるのか?どの程度残るのか?

 - ◆ 高速自転小型小惑星へのアプローチ
 - 小型小惑星の詳細観測方法の確立
→ 衝突可能性のある天体の詳細観測手法
 - ターゲットマーカを使用しない超至近距離までの接近
→ 衝突可能性のある天体へのゼロ距離までのアプローチ手法