



2018年の小惑星リュウグウ到着にむけて 小惑星探査機「はやぶさ2」の近況

2018年6月14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、

- ・リュウグウの観測
- ・光学電波複合航法(光学航法)
- ・衛星探索
- ・スケジュール

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. リュウグウの観測
3. 光学電波複合航法
4. 衛星探索
5. ミッションスケジュール
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・有機物の相互作用の解明することで、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。



(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)
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)

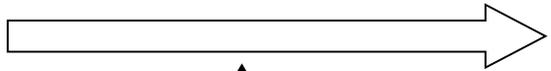
主要搭載機器

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



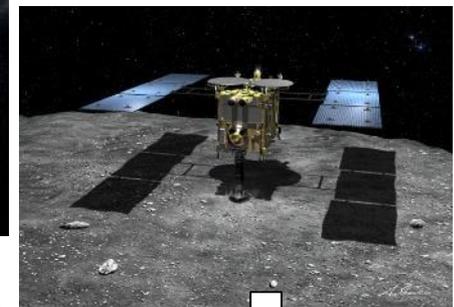
ミッションの流れ概要

打上げ
2014年12月3日



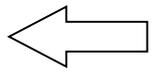
小惑星到着
2018年6月27日前後(予定)

▲
地球スイングバイ
2015年12月3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。

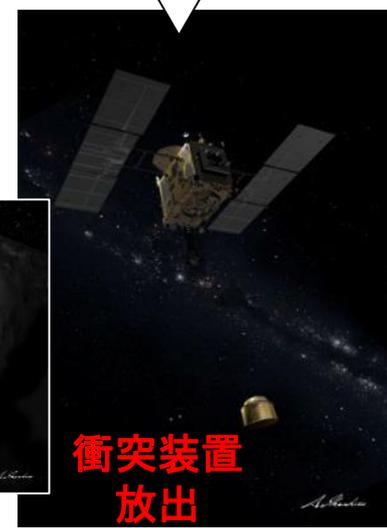
地球帰還
2020年末ごろ



小惑星出発
2019年11-12月



人工クレーター
の生成



衝突装置
放出

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。

(イラスト 池下章裕氏)



2. リュウグウの観測



■ 光学航法カメラ (ONC-T、ONC-W1)

- ONC-T (望遠) および ONC-W1 (広角) によりリュウグウの撮像を行っている
- 目的は
 - 光学電波複合航法
 - 衛星探索
 - 科学観測 (ライトカーブ)
- 現時点で撮像されるリュウグウの大きさは ONC-T で 10ピクセルほど

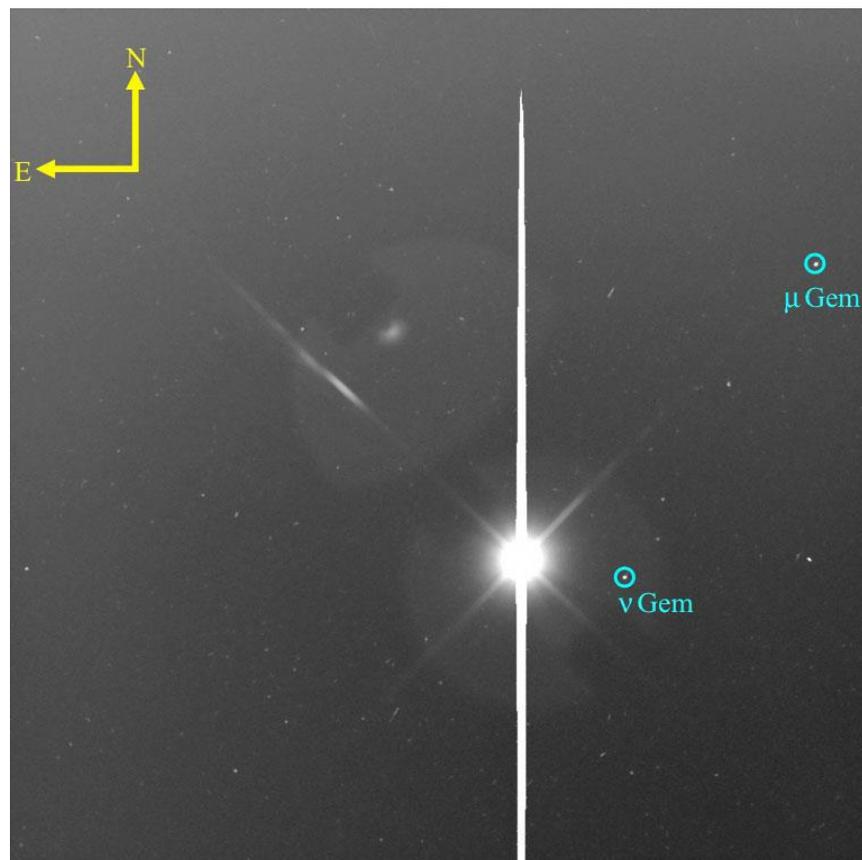
■ 中間赤外カメラ (TIR)

- 目的は、試験観測および科学観測 (ライトカーブ)



2. リュウグウの観測

ONC-T(望遠の光学航法カメラ)によるリュウグウの撮影



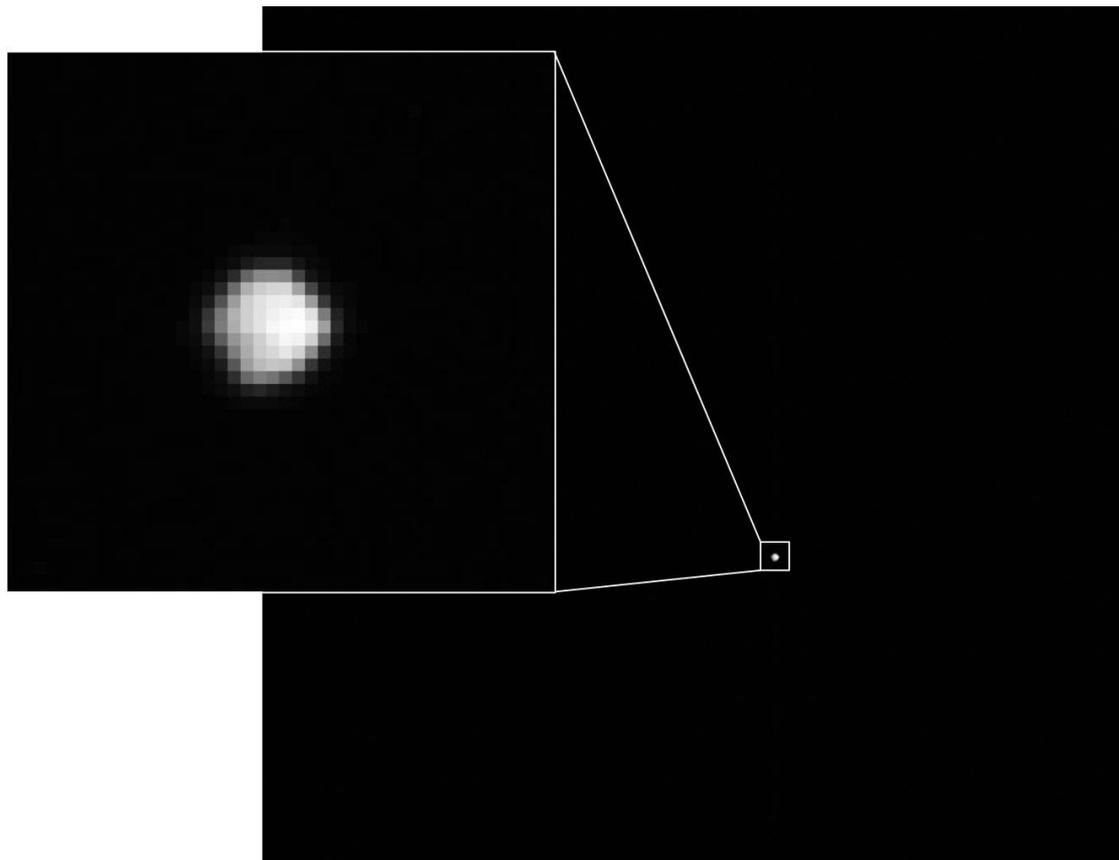
リュウグウ-探査機間の距離は約920km
リュウグウの等級は約-6.6等

ONC-Tによって撮影されたリュウグウ。2018年6月13日、13:50(日本時間)頃の撮影。視野は6.3度角 x 6.3度角。露出時間は178秒。
地上観測チーム: JAXA, 京都大学, 日本スペースガード協会, ソウル大学
ONCチーム : 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



2. リュウグウの観測

ONC-T(望遠の光学航法カメラ)によるリュウグウの撮影



リュウグウ-探査機間の距離
は約920km

リュウグウの等級は約-6.6等

ONC-Tによって撮影されたリュウグウ。2018年6月13日、13:50(日本時間)頃の撮影。視野は6.3度角 x 6.3度角。露出時間は0.09秒。

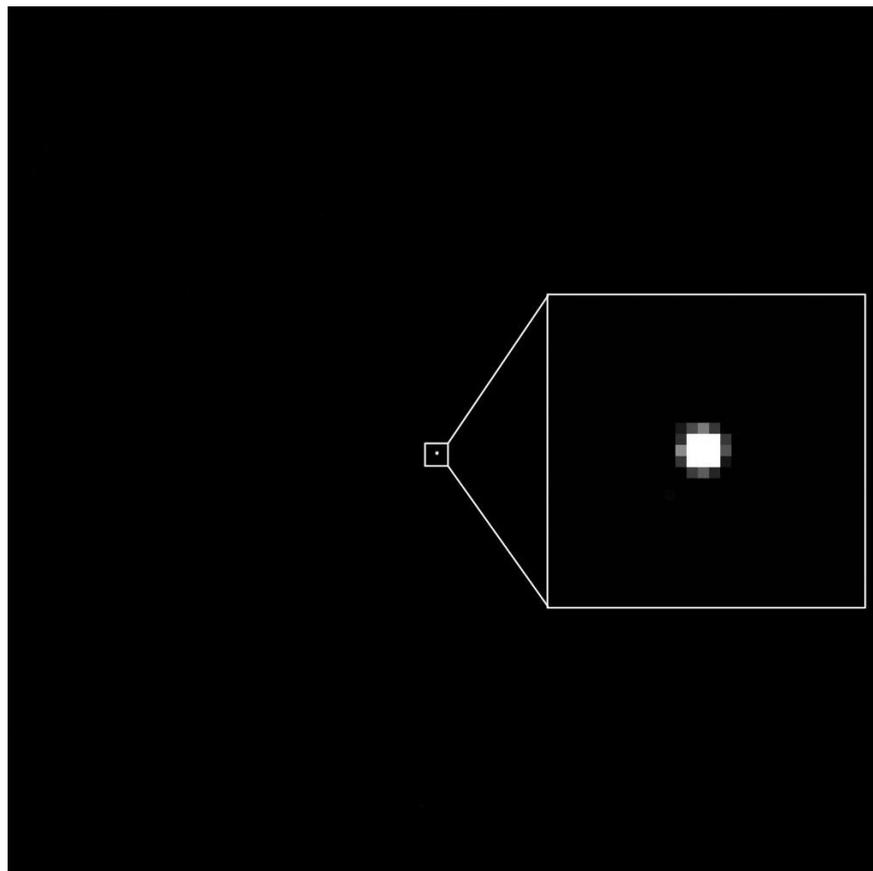
地上観測チーム: JAXA, 京都大学, 日本スペースガード協会, ソウル大学

ONCチーム : 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



2. リュウグウの観測

ONC-W1 (広角の光学航法カメラ)によるリュウグウの撮影



リュウグウ-探査機間の距離は約920km

ONC-W1でも撮影は行っているが、ONC-Tで撮影されたリュウグウの位置計測の方が精度が高いため光学航法にはONC-Tのデータを用いている。ONC-W1による撮像はONC-Tで撮像できなかったときのバックアップである。

ONC-W1によって撮影されたリュウグウ。2018年6月13日、13:00(日本時間)頃の撮影。視野は約65度角 x 65度角。露出時間は約0.2秒。

地上観測チーム: JAXA, 京都大学, 日本スペースガード協会, ソウル大学

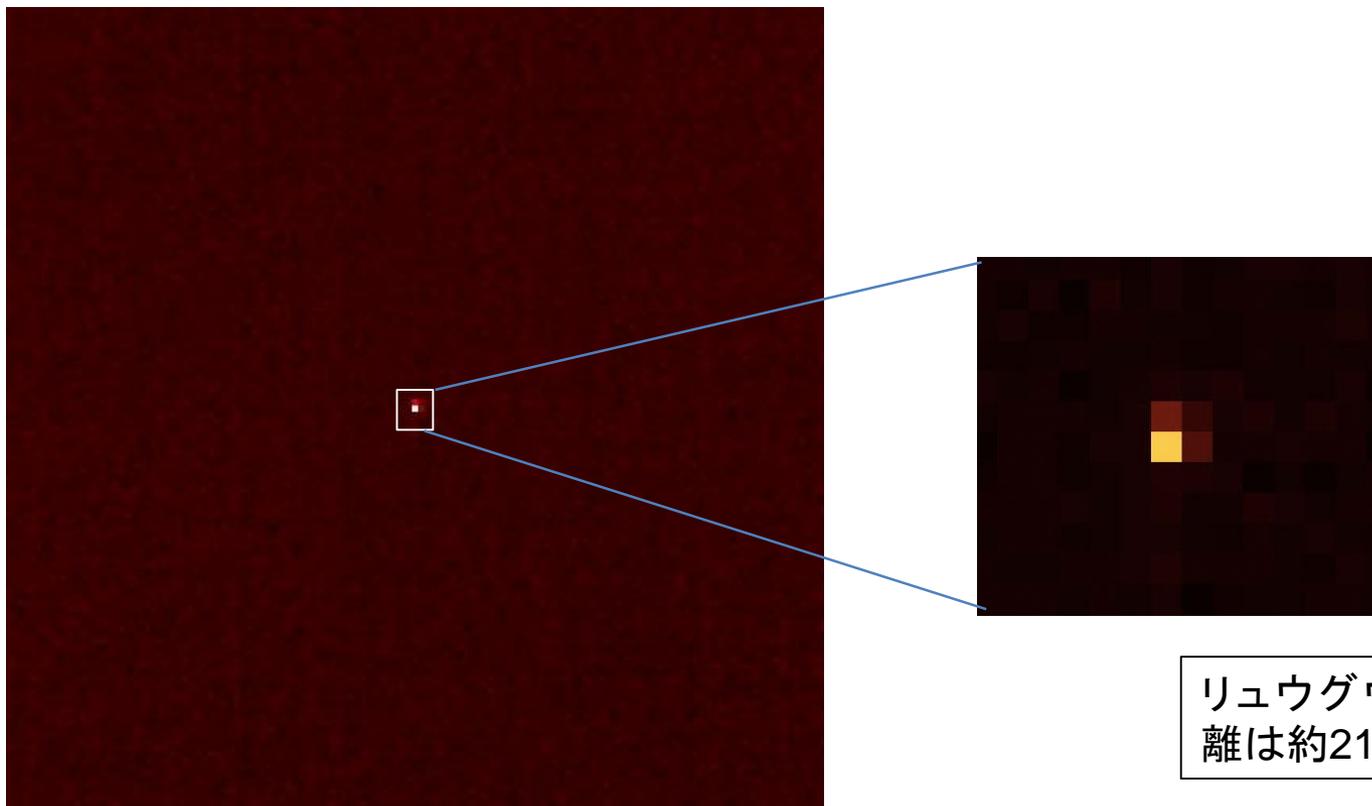
ONCチーム: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研



2. リュウグウの観測



TIR(中間赤外カメラ)によるリュウグウの撮影



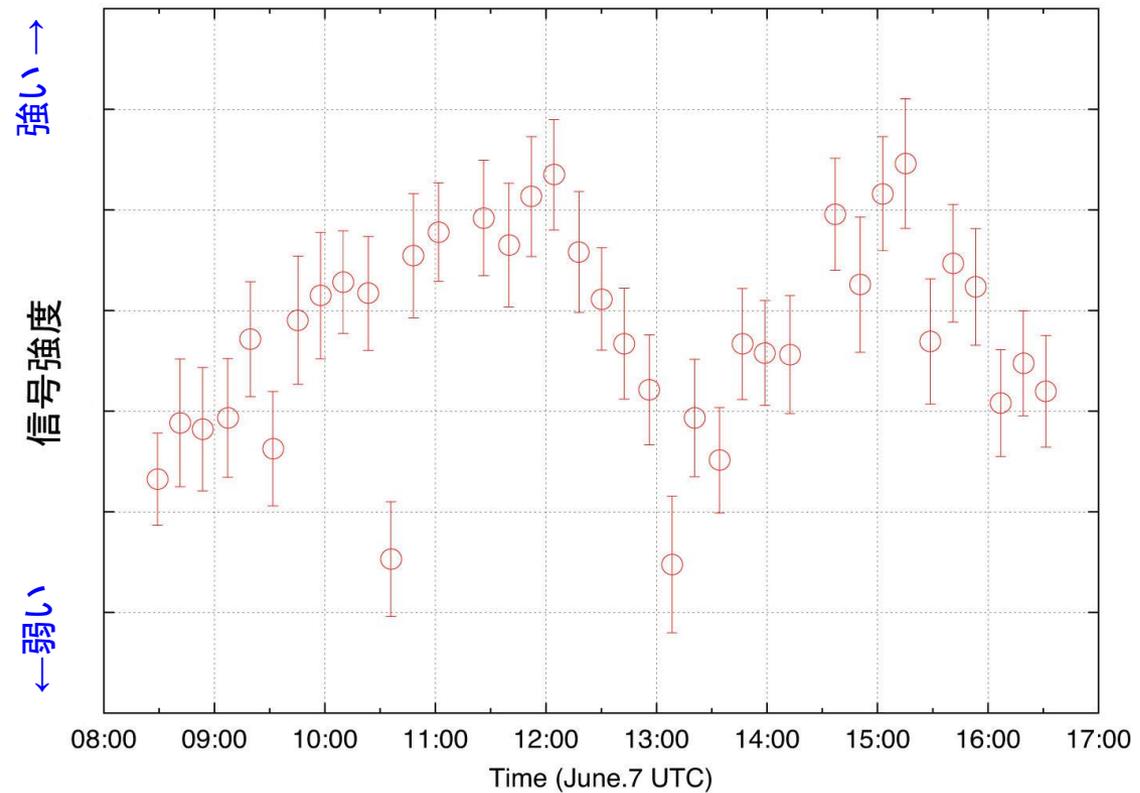
リュウグウ-探査機間の距離は約2100km

TIRによって撮影されたリュウグウ。2018年6月7日、18:45(日本時間)頃の撮影。左の画像の画角はTIRの画像から6度角 x 6度角を切り出したもの。右は拡大。露出時間は約0.5秒。
TIRチーム: JAXA、北海道教育大学、立教大学、会津大学、千葉工業大学、足利大学、産業技術総合研究所、国立環境研究所、北海道北見北斗高校、東京大学、マックスプランク研究所、ドイツ航空宇宙センター、スターリング大学



2. リュウグウの観測

TIR(中間赤外カメラ)によるリュウグウのライトカーブ



※信号強度の絶対値については今後解析する

このライトカーブより自転周期はこれまでの想定通りの約7.6時間であることがわかる。

TIRによって得られたリュウグウのライトカーブ(シグナルの強度変化)。2018年6月7日、17:30頃から6月8日、01:30(日本時間)頃までの37撮像のデータより作成。各撮像の露出時間は0.5秒。

TIRチーム: JAXA、北海道教育大学、立教大学、会津大学、千葉工業大学、足利大学、産業技術総合研究所、国立環境研究所、北海道北見北斗高校、東京大学、マックスプランク研究所、ドイツ航空宇宙センター、スターリング大学



2. リュウグウの観測

■ LIDAR (レーザ高度計)

- ・6月6日に電源を入れ、正常に立ち上がることを確認した。電源を入れたのは約2年ぶり。
- ・リュウグウに十分接近したら距離測定を試みる。(計測範囲は30m～25km)

■ NIRS3 (近赤外線分光計)

- ・6月6日に電源を入れ、正常に立ち上がることを確認した。電源を入れたのは、約半年ぶり。
- ・今後、接近していく間にリュウグウの観測を試みる。



3. 光学電波複合航法

光学電波複合航法(光学航法)を用いる理由

- 地球から約3億キロメートル離れた所で大きさが約900mの天体に到着するために必要な技術
- 探査機および小惑星の軌道には次のような誤差がある。

	位置推定誤差
はやぶさ2 (約3億kmの距離にある場合)	約300km(従来のRARRによる場合) 数km(DDORによる場合)
小惑星リュウグウ	約220km(2018年5月の時点)

注) ・RARRとはRange and Range Rateの略で、電波による通信で探査機までの距離や視線方向の速度を計測し探査機の軌道を推定する従来の手法である。
 ・DDORとはDelta Differential One-way Rangeの略で、2つの地上局で同時に探査機からの電波を受けて正確に軌道を推定する手法
 ・誤差の大きさは 3σ (99.7%の確率)

- 光学航法によってこの誤差を小さくしながら小惑星に接近する。

参考:

3億km先の900mというのは、2万km先の6cmに等しい。つまり、日本からブラジルにある6cmの的を狙うのと同じことになる。



3. 光学電波複合航法



原理

③光学電波複合航法

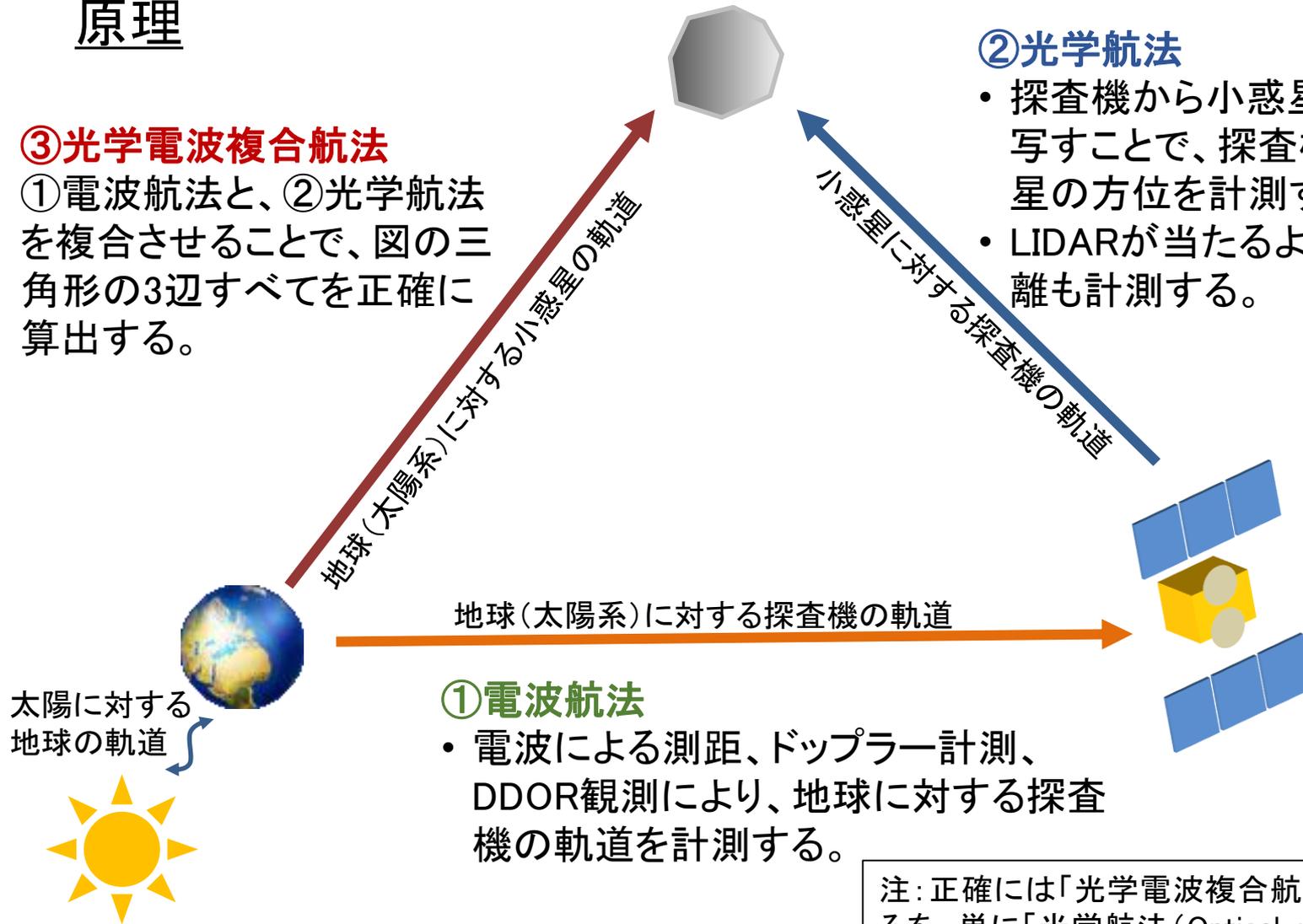
①電波航法と、②光学航法を複合させることで、図の三角形の3辺すべてを正確に算出する。

②光学航法

- 探査機から小惑星を搭載カメラで写すことで、探査機に対する小惑星の方位を計測する。
- LIDARが当たるようになれば、距離も計測する。

①電波航法

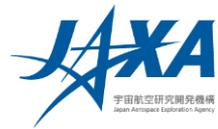
- 電波による測距、ドップラー計測、DDOR観測により、地球に対する探査機の軌道を計測する。



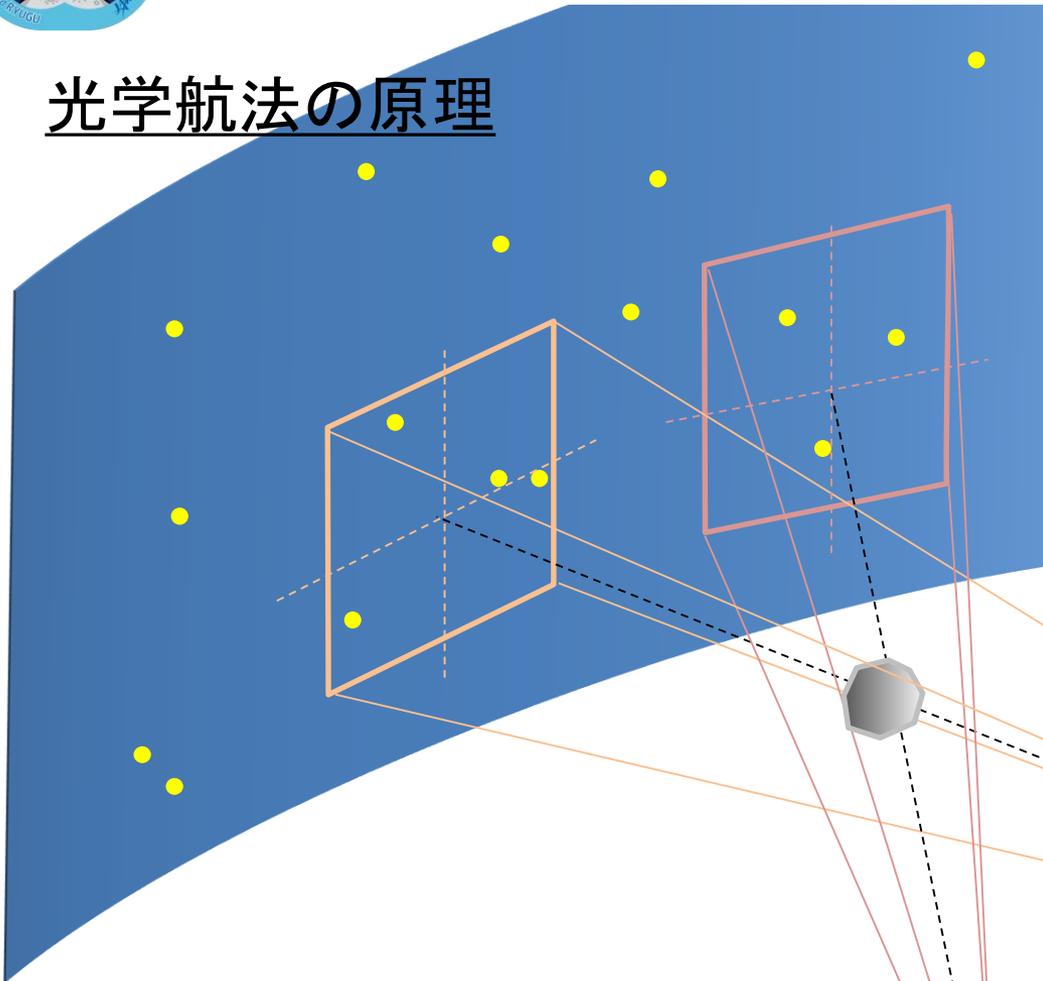
注：正確には「光学電波複合航法」と呼ぶべきところを、単に「光学航法 (Optical navigation)」と呼ぶ場合もある。



3. 光学電波複合航法



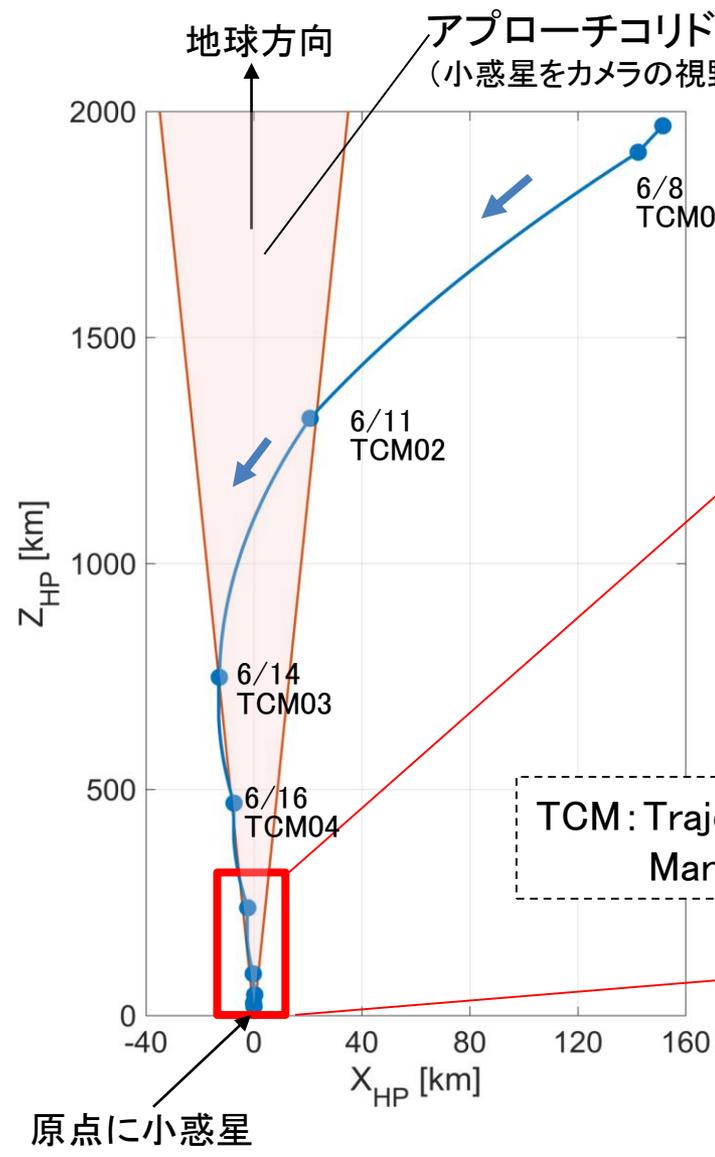
光学航法の原理



- 小惑星を星(恒星)を背景にして写す。
- 星図のどこに小惑星が写ったかで、小惑星に対する探査機の方角がわかる。
- 方角の情報をたくさん集めることで、小惑星に対する探査機の位置と速度が計算できる。
- 小惑星に一直線に向かうのではなく、横方向の動きを加えることで、“移動ステレオ視の原理”により、方角だけでなく小惑星までの距離を知ることができる。



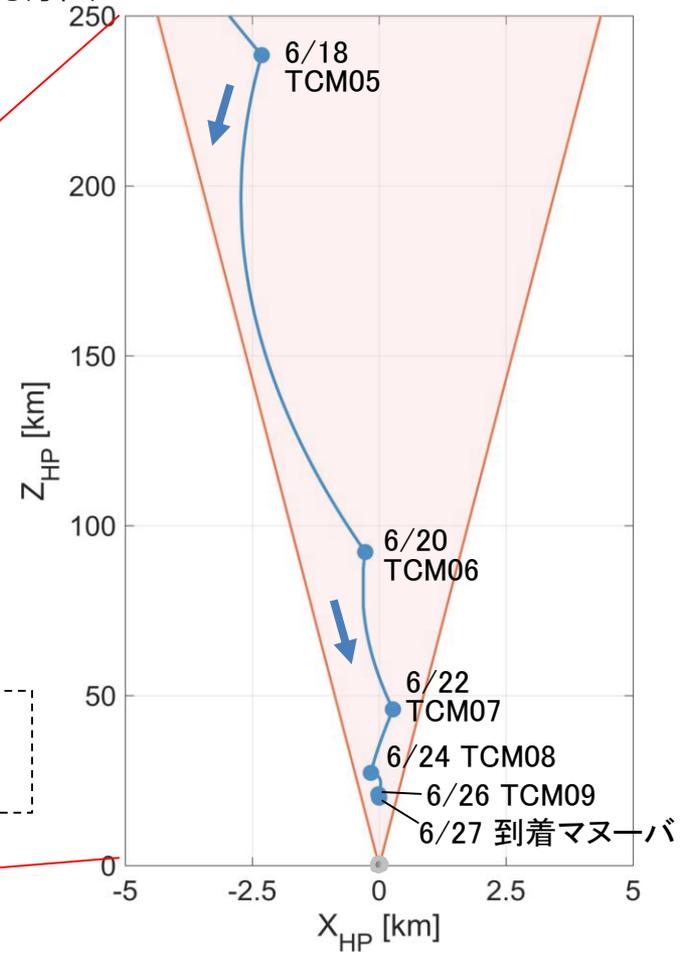
3. 光学電波複合航法



拡大図

TCM: Trajectory Correction Maneuver (軌道修正)

アプローチ軌道



ジグザグに接近することで、ステレオ視効果を高め、精度の良い小惑星への接近を行う

※今後の運用推移により軌道は変更される可能性があります。



3. 光学電波複合航法



作業ループ



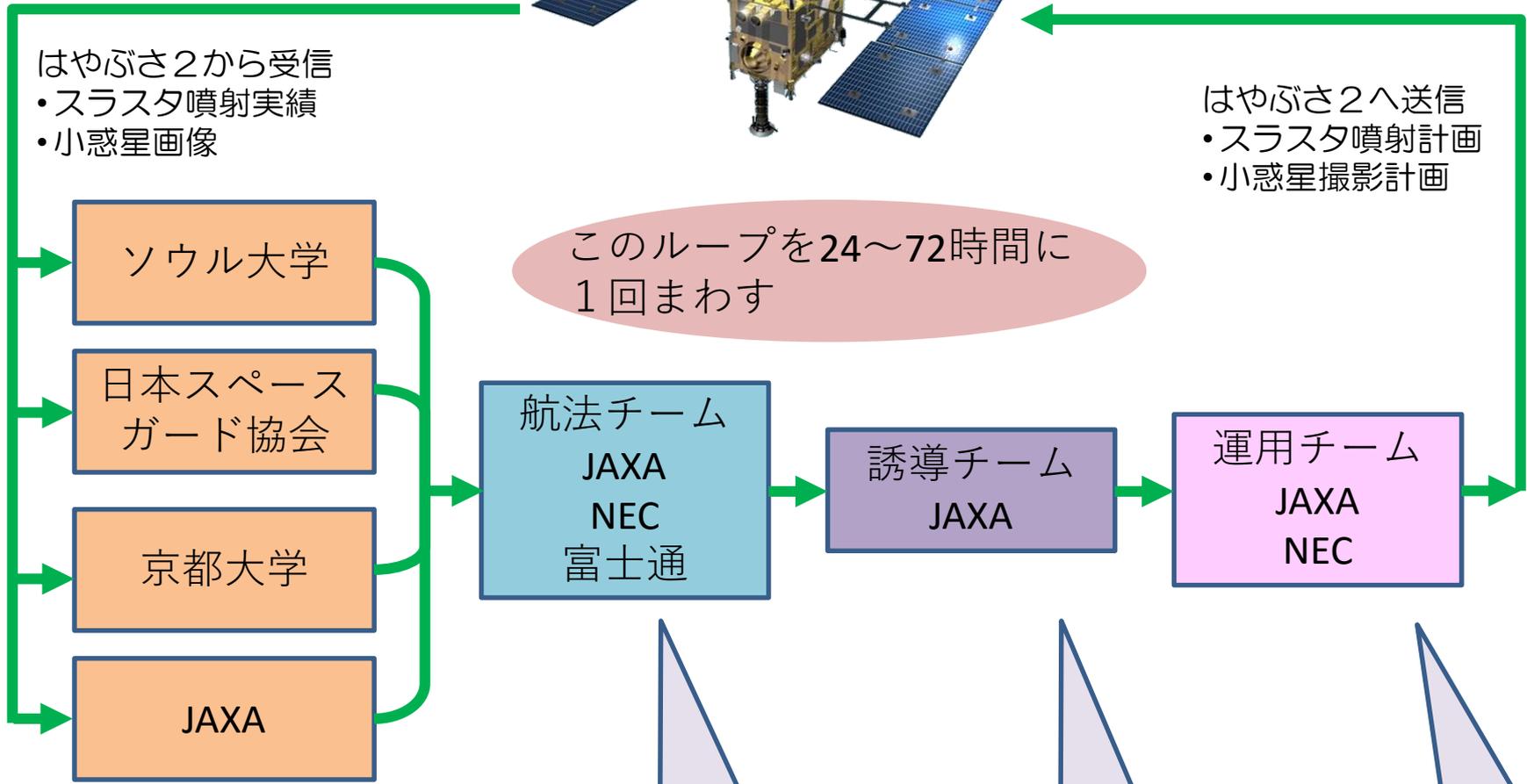
はやぶさ2から受信

- ・スラスタ噴射実績
- ・小惑星画像

はやぶさ2へ送信

- ・スラスタ噴射計画
- ・小惑星撮影計画

このループを24~72時間に1回まわす



画像に写っている星と小惑星から、はやぶさ2に対する小惑星の方位を算出

小惑星方位情報と電波計測結果から、小惑星に対するはやぶさ2の軌道を算出

最新のはやぶさ2の軌道から、小惑星へ到着する最適軌道を計算

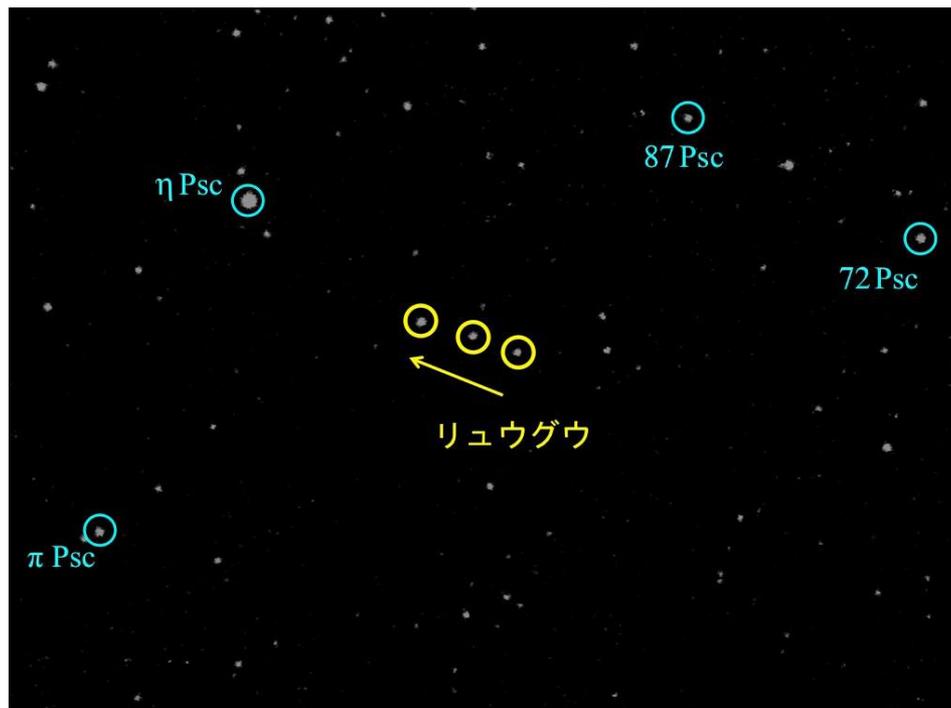
最新の軌道計画に従い、探査機へのスラスタ噴射指令、撮影計画を作成



3. 光学電波複合航法

STT(スタートラッカ)の撮影による光学航法の実際

- 5月はまだイオンエンジン運転中であったため、光学航法カメラをリュウグウに向けることができなかった。その代わりに、通常は探査機の姿勢を決めるために使われるスタートラッカでリュウグウの撮影を試みた。
- リュウグウは、5月11日から14日にかけて観測がなされ、その位置を計測することで、光学航法を行った。
- その結果、220kmほどあった小惑星の位置誤差が130kmほどに縮小した。
- 光学航法で得られた軌道推定値に基づいて、イオンエンジンの最終運転を行った。



スタートラッカによって撮影されたリュウグウ。右から5月12日1時頃、5月13日2時頃、5月14日1時頃(日本時間)の撮影。探査機から見てうお座の方向(Pscとはうお座の略符)。画角は約 $9^{\circ} \times 7^{\circ}$ 。(地上観測チーム:JAXA、京都大学、日本スペースガード協会、ソウル大学)

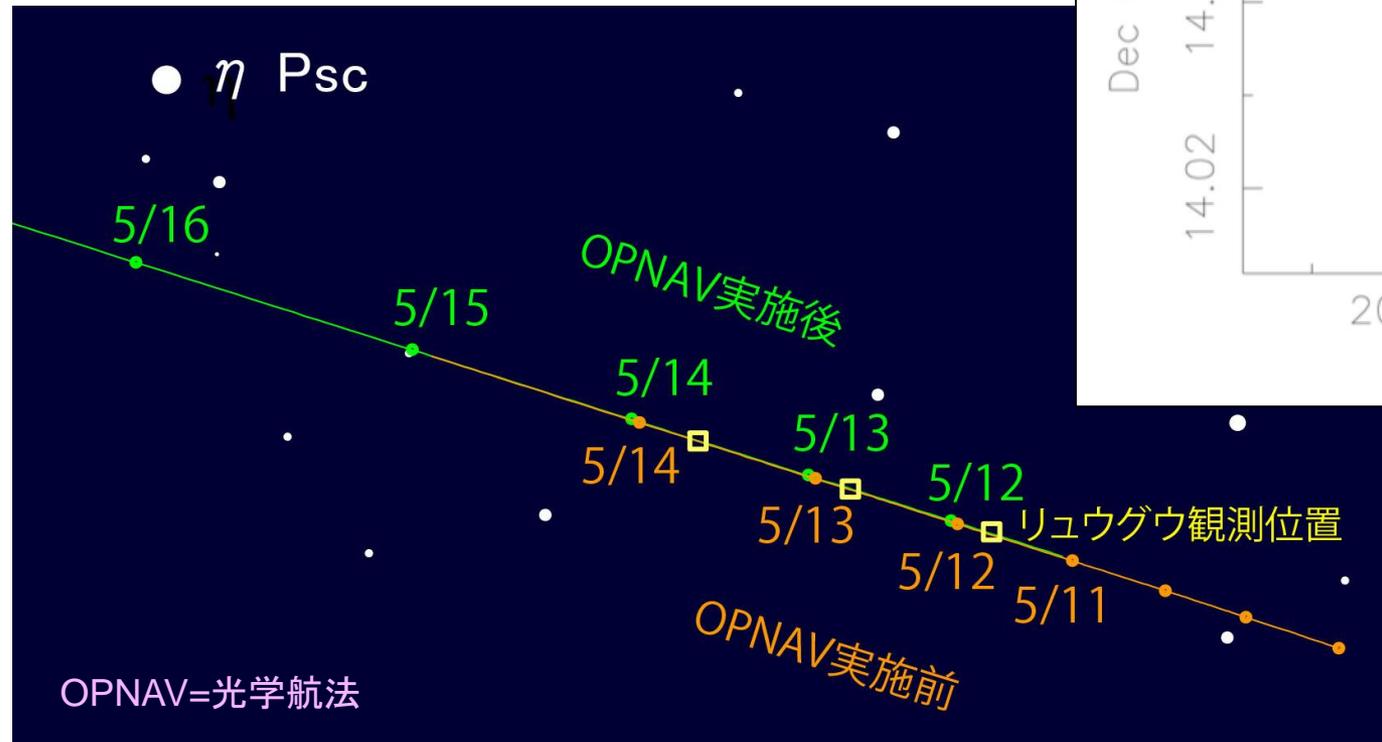
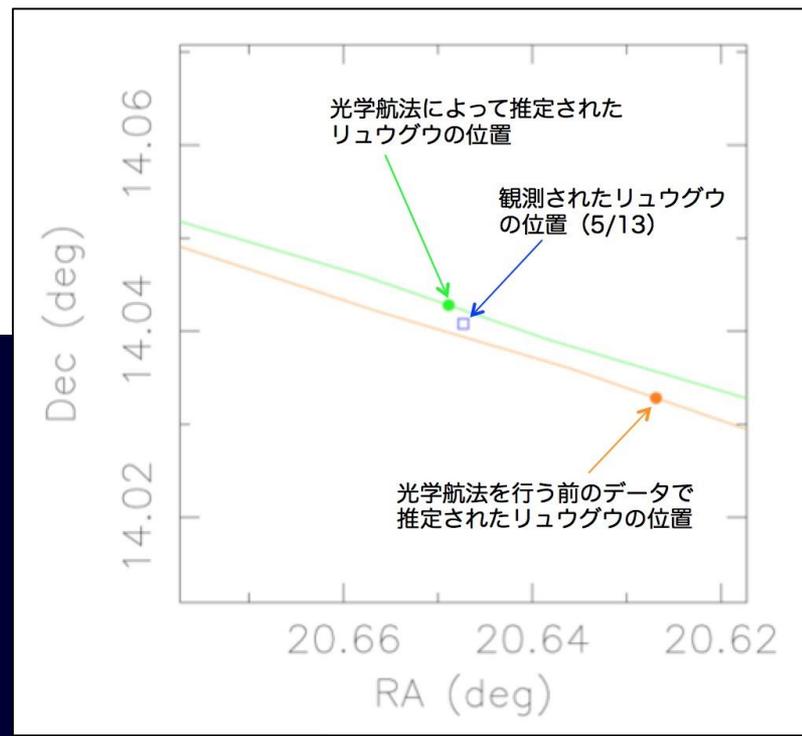


3. 光学電波複合航法

STT(スタートラッカ)の撮影による光学航法の実際

光学航法を行う前の軌道情報から計算した探査機から見たリュウグウの予想位置。

- ・緑色: 光学航法によってより精度の高い軌道情報から計算したリュウグウの予想位置。
- ・黄色: 実際に観測されたリュウグウの方向。



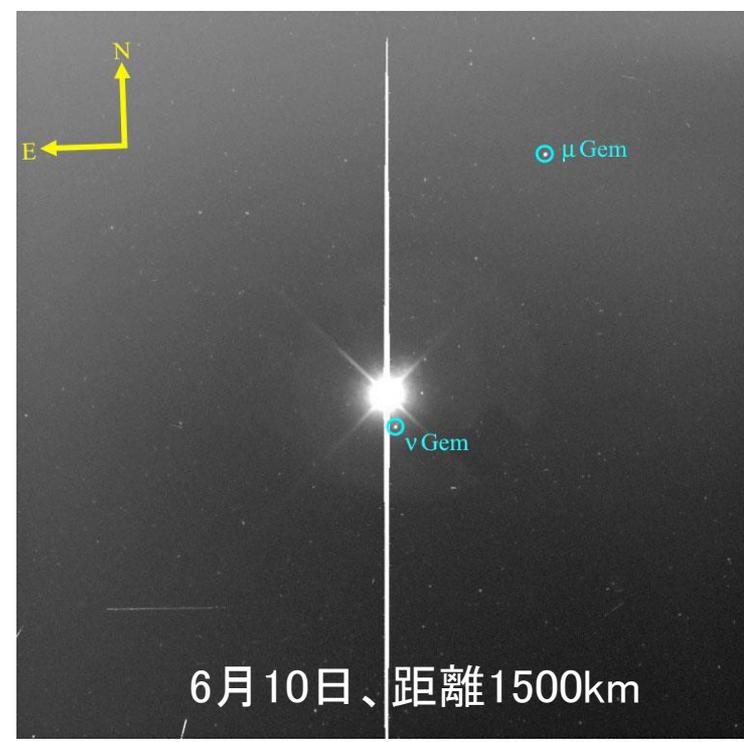
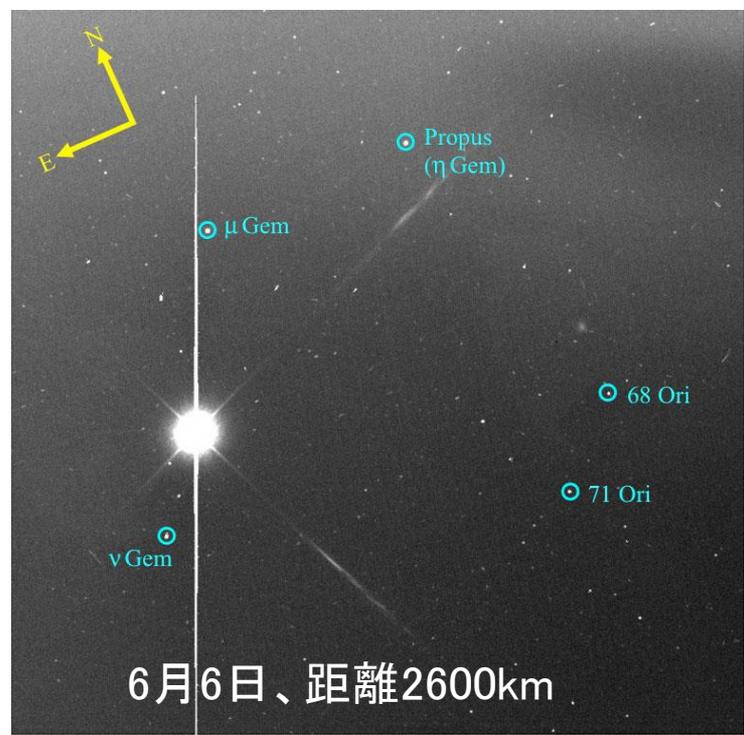
5/13のリュウグウ観測位置の部分拡大したもの



3. 光学電波複合航法

ONC(光学航法カメラ)の撮影による光学航法の実際

ONC-Tによる撮影の例



行った軌道修正 (TCM: Trajectory Correction Maneuver)

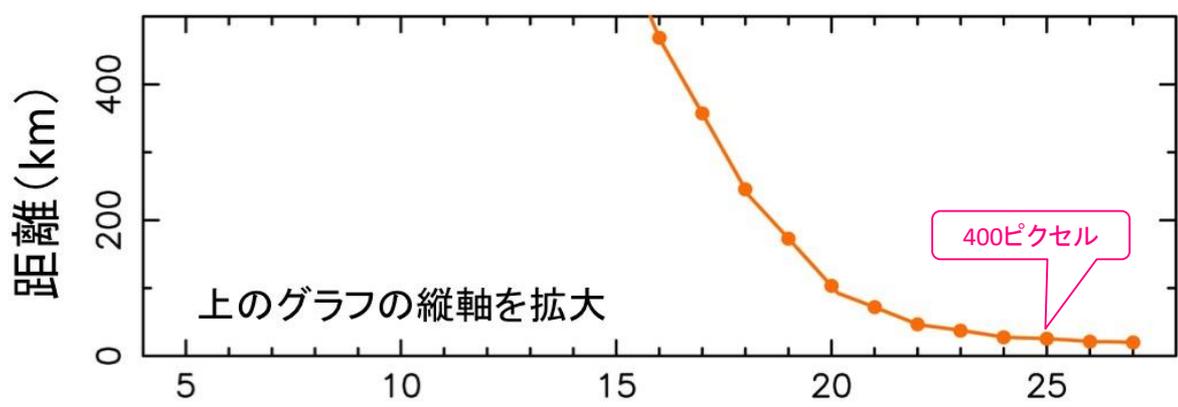
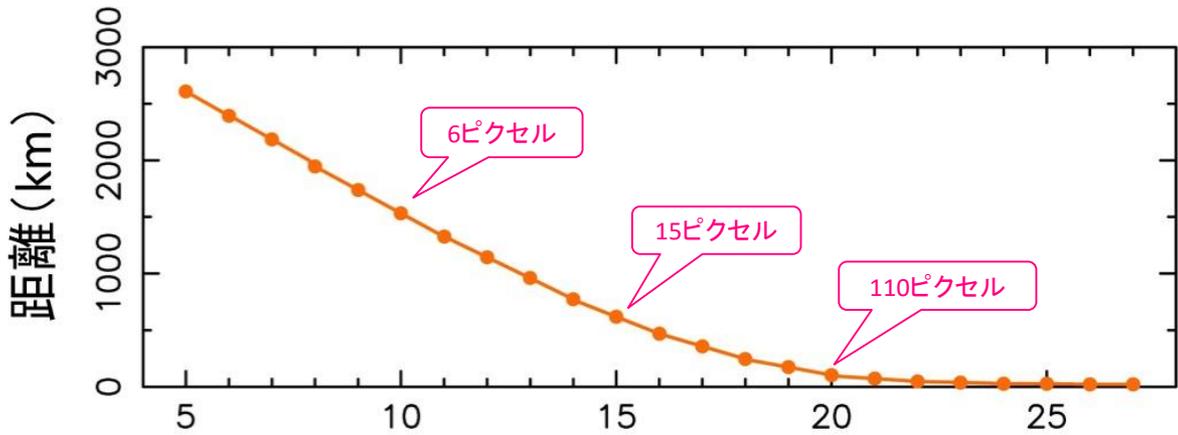
TCM	日時(日本時間)	x方向の加速	y方向の加速	z方向の加速
TCM01	2018年6月 8日 12:30~13:40	-24 cm/s	-5 cm/s	14 cm/s
TCM02	2018年6月11日 09:30~10:40	13 cm/s	-1 cm/s	26 cm/s

※ここでの座標系はホームポジション座標系(z軸方向が小惑星から地球に向かう方向になる)



3. 光学電波複合航法

リュウグウ-探査機間の距離の変化



日付(2018年6月)

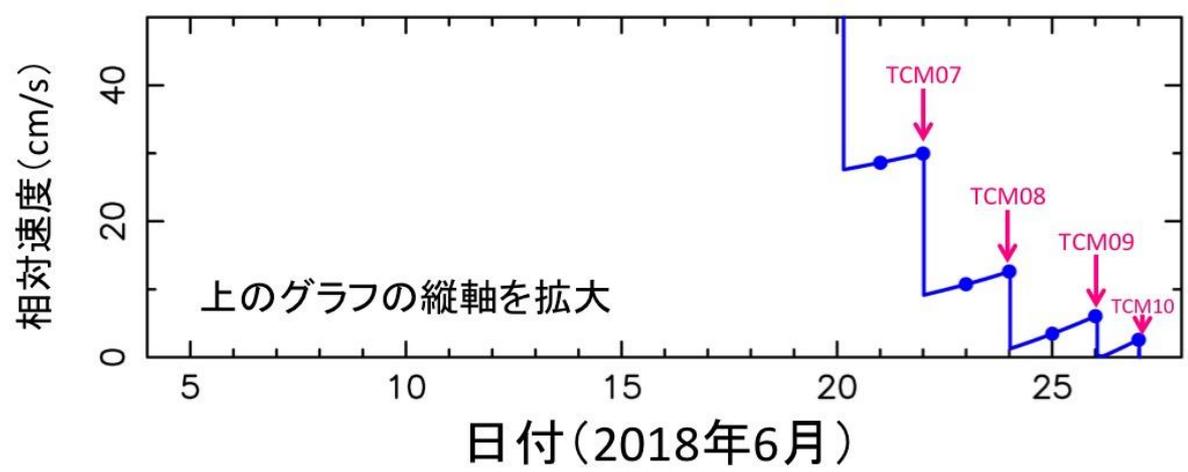
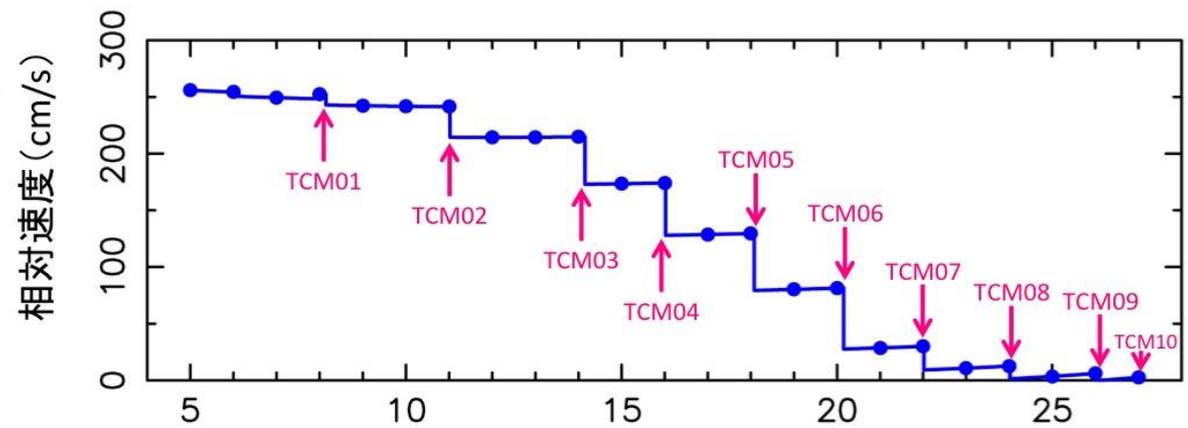
距離は現時点での計画値、ピクセル数は予想値である

ピクセル数は、ONC-Tで撮影した場合の予想されるリュウグウの直径を示す



3. 光学電波複合航法

リュウグウ-探査機間の相対速度の変化とTCM

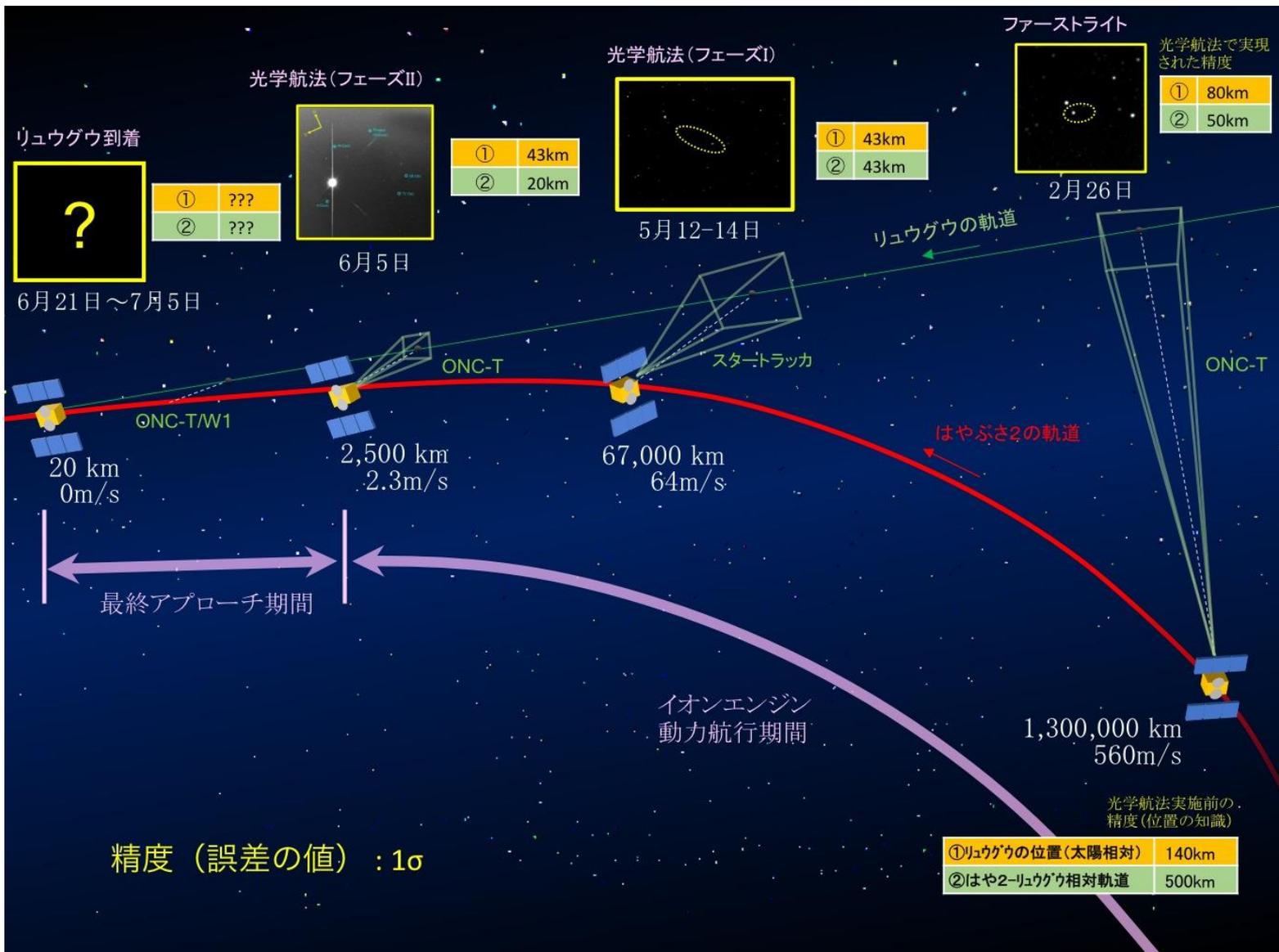


速度は現時点での計画値である

TCM: Trajectory Correction Maneuver (軌道修正)



3. 光学電波複合航法 まとめの図





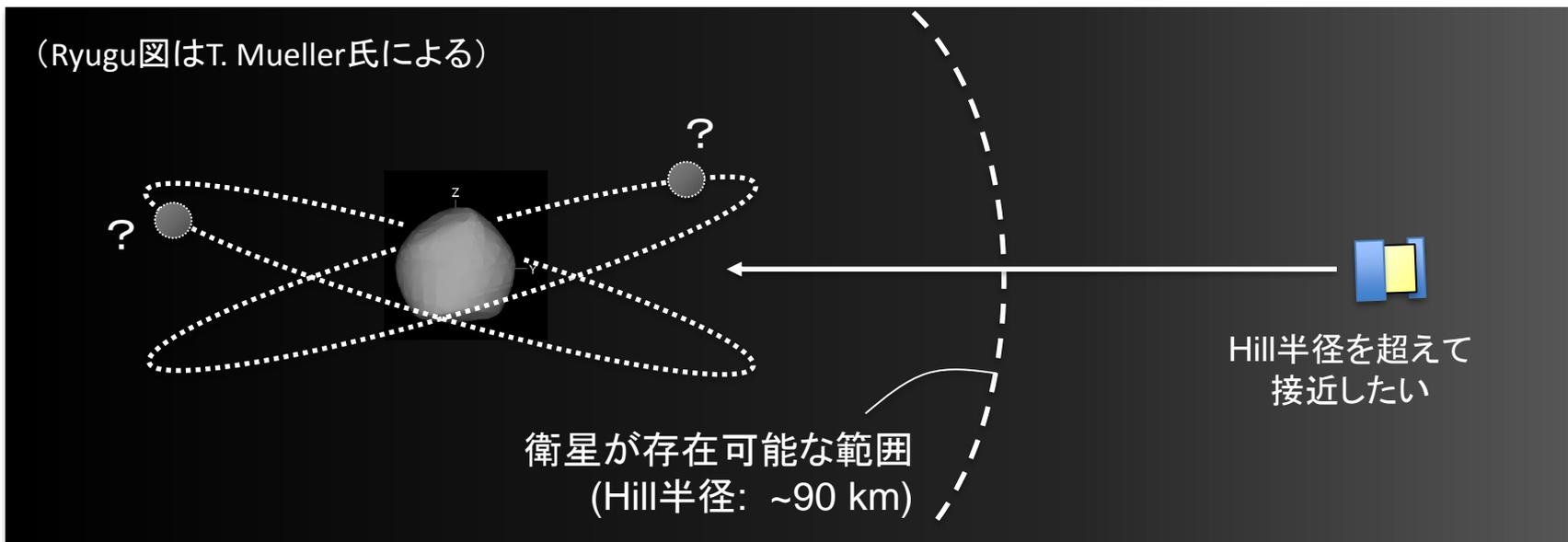
4. 衛星探索



Ryuguの周りを公転する天体、の意

衛星探索を行う理由

- 重力の小さいRyuguも衛星を持つことができる

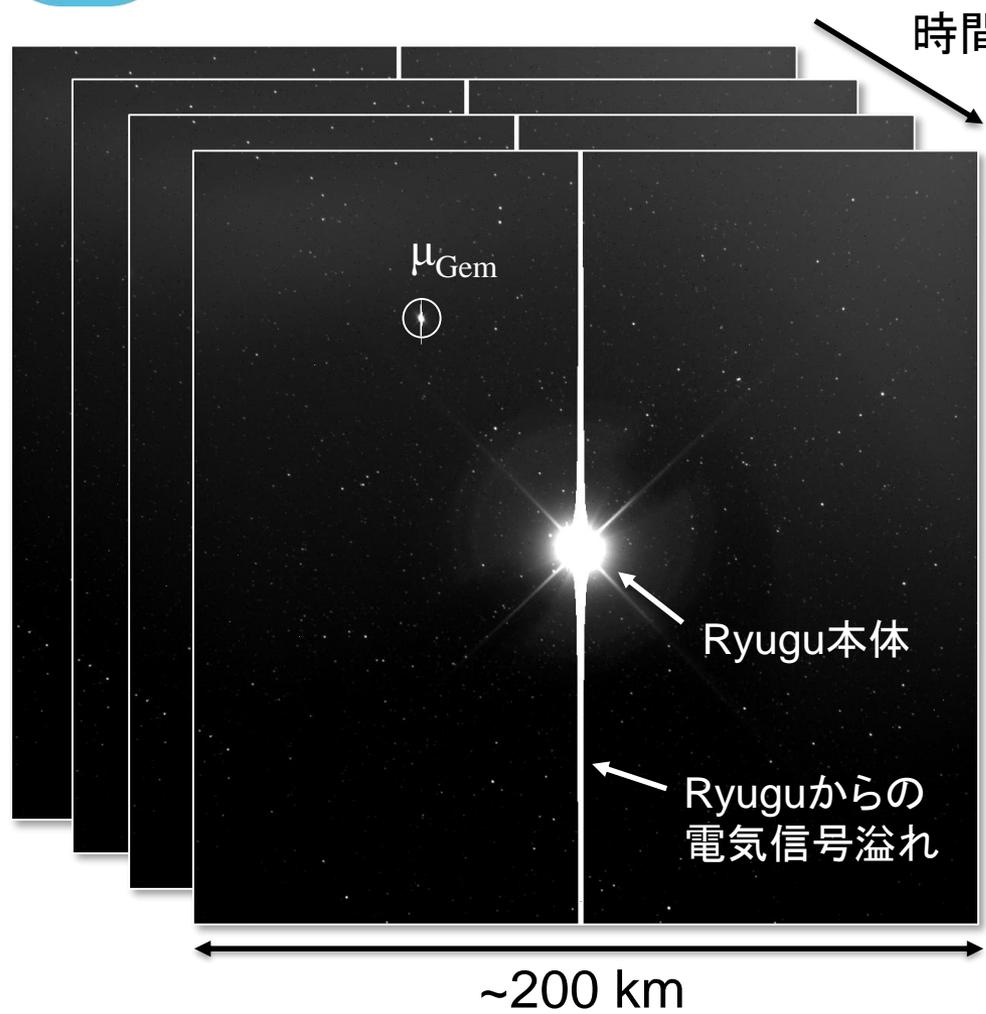


- どれだけ小さいものであっても、衛星との衝突はミッションにとって**危険**。
同時にもし衛星がいるのであれば科学的に大きな発見。
- 衛星が存在しない安全な距離(6月7日時点、2,100 km)から、
直径1mより小さな衛星も発見可能な観測設定で
Ryugu周辺に移動する物体が存在しないか探索を行った。

このような観測は初号機においても実施されている [布施ら, 2008]



4. 衛星探索



衛星探索観測実績 (6/7)

- ① 08:03 – 08:09
- ② 11:06 – 11:12
- ③ 14:17 – 14:23
- ④ 16:35 – 16:41

*公転運動を捉えるため複数回

微小な衛星が放つ光も捉えられる
178秒の露光により観測を実施
(通常設定の3万倍の長さ)

*12等級の暗い星も確認可能



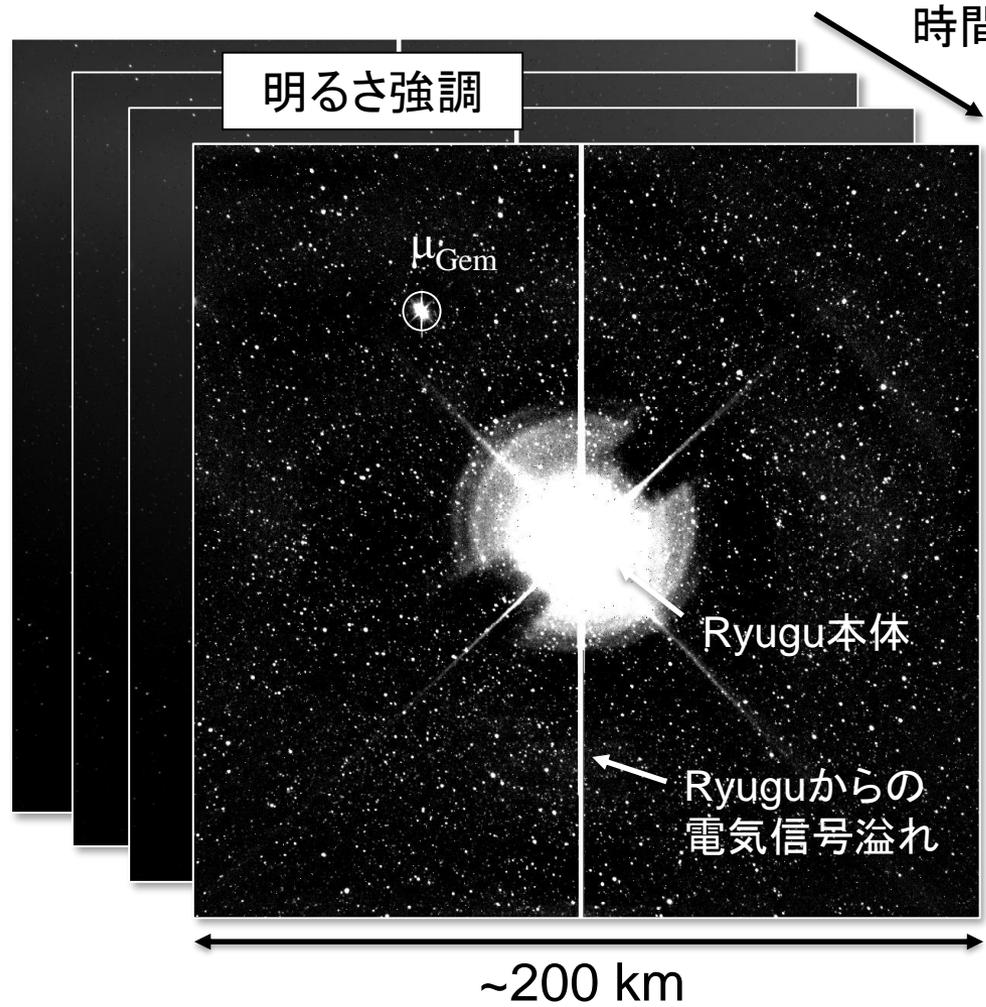
検出限界(50cm)より大きい
衛星は認められず

50cmより小さな衛星の安定軌道半径(50km)までは安全に接近できる。
Ryuguに接近するに従いより小さな衛星を見つけられるため、引き続き探索を継続予定。

ONCチーム: 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、NICT
地上観測チーム: JAXA, 京都大学, 日本スペースガード協会, ソウル大学



4. 衛星探索



衛星探索観測実績 (6/7)

- ① 08:03 – 08:09
- ② 11:06 – 11:12
- ③ 14:17 – 14:23
- ④ 16:35 – 16:41

*公転運動を捉えるため複数回

微小な衛星が放つ光も捉えられる
178秒の露光により観測を実施
(通常設定の3万倍の長さ)

*12等級の暗い星も確認可能



検出限界(50cm)より大きい
衛星は認められず

50cmより小さな衛星の安定軌道半径(50km)までは安全に接近できる。
Ryuguに接近するに従いより小さな衛星を見つけられるため、引き続き探索を継続予定。

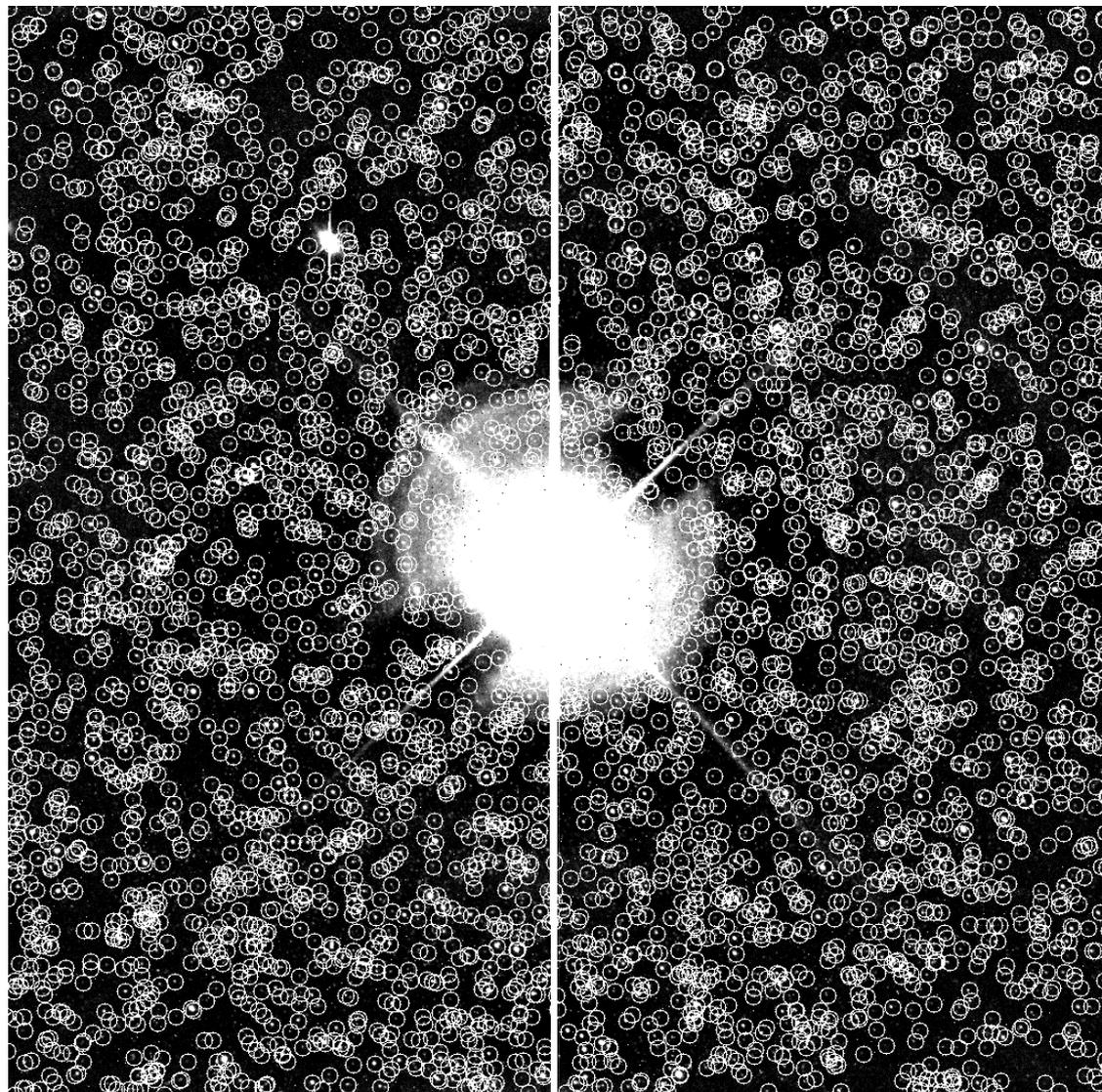
ONCチーム: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研、NICT
地上観測チーム: JAXA, 京都大学, 日本スペースガード協会, ソウル大学



4. 衛星探索



参考：
12等よりも明るい恒星位置をマークした図



ONCチーム：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, NICT

地上観測チーム：JAXA, 京都大, 日本スペースガード協会, ソウル大学



5. ミッションスケジュール

直近の運用

- 光学電波複合航法を継続
 - 衛星探索を継続
 - 科学観測を継続
-
- リュウグウ到着は6月27日前後の予定(実運用の状況によって数日前後する可能性あり)

小惑星近傍での運用

- 6月～8月の観測により具体的なスケジュールが決まる
- 現時点で想定されるスケジュールは次のページに示す



5. ミッションスケジュール



暫定版

年	月日	事項	状況
2018	1月10日	第3期イオンエンジン運転開始	済み
	6月 3日	イオンエンジン運転終了	済み
	6月 3日	小惑星接近誘導開始(距離3100km)	済み
	6月27日前後	小惑星到着(高度20km)	予定
	7月末	中高度観測1(高度5km)	予定
	8月	重力計測降下(高度1km)	予定
	9月～10月	タッチダウン運用スロット1	予定
	9月～10月	ローバ投下運用スロット1	予定
	11月～12月	合運用(通信不可の期間)	予定
2019	1月	中高度観測2(高度5km)	予定
	2月	タッチダウン運用スロット2	予定
	3月～4月	クレーター生成運用	予定
	4月～5月	タッチダウン運用スロット3	予定
	7月	ローバ投下運用スロット2	予定
	8月～11月	小惑星近傍滞在	予定
	11月～12月	小惑星出発	予定

このスケジュールは、リュウグウ到着後様々な要因で変更される可能性がある。
 状況が「済み」以外は、確定しているわけではないことに注意。



6. 今後の予定

メディアの方の取材、情報公開について:

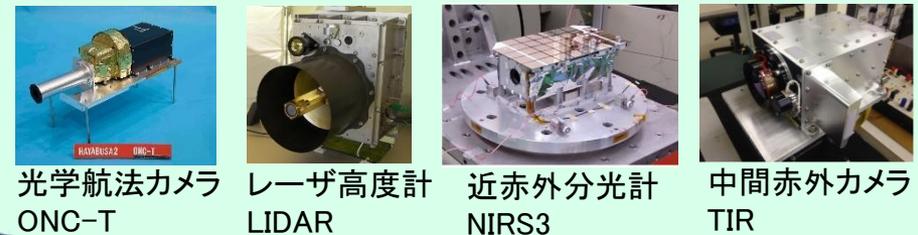
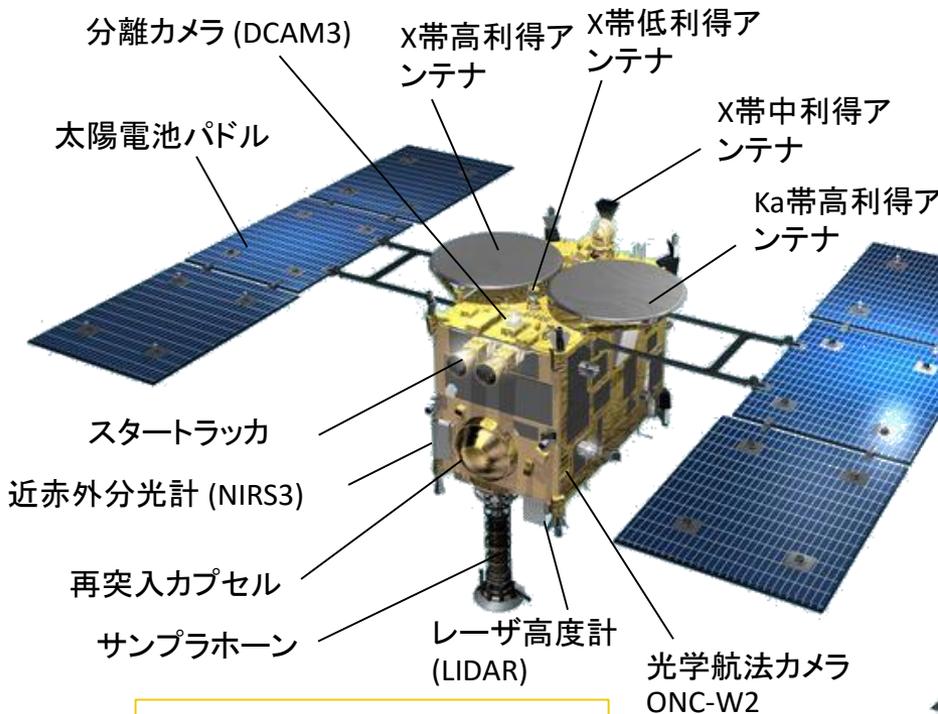
- 光学航法の作業の取材については別紙のとおり
- 6月27日前後に予定されているリュウグウ上空20km到着の際は、プレスリリースを行い、その後記者説明会(@相模原キャンパス)を予定。近日中に、当機構で承っているご連絡先宛にお知らせを展開予定。
- 7月以降も定期的に記者説明会を実施予定。
(直近2か月だと7月19日、8月2日、8月23日を予定)



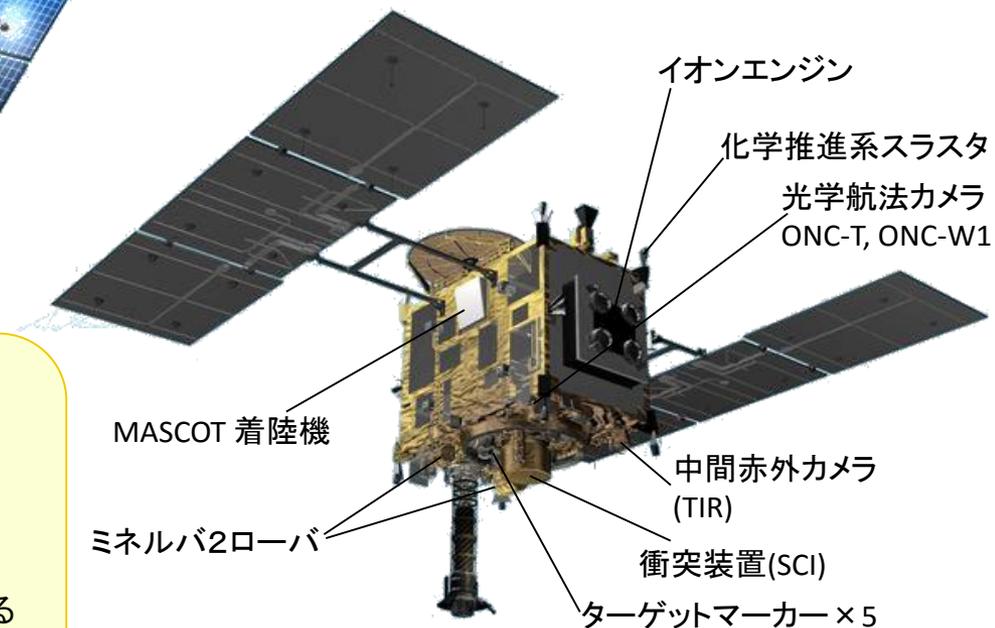
参考資料



探査機概要



科学観測機器



小型着陸機・ローバ

MASCOT



DLRとCNES製作

ミネルバ2



II-1A



II-1B



II-2

II-1 : JAXA MINERVA-II チームによる

II-2 : 東北大およびミネルバ2コンソーシアムによる

大きさ: 1m × 1.6m × 1.25m (本体)
 太陽電池パドル展開幅6m
 重さ : 609kg (燃料込み)



リモートセンシング機器



光学航法カメラ(ONC)



ONC-T(望遠) ONC-W1,W2(広角)

科学観測や航法のための写真を撮影する

中間赤外カメラ(TIR)



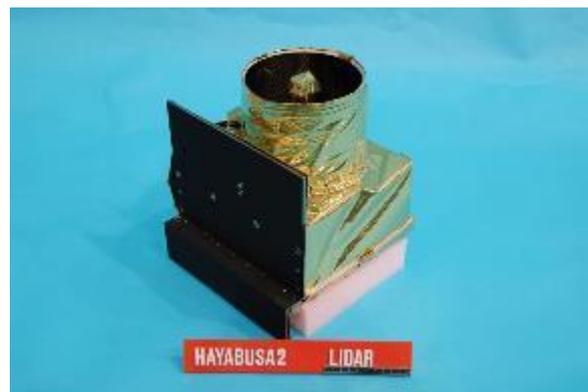
8~12 μ mでの撮像:小惑星表面温度を調べる

近赤外分光計(NIRS3)



3 μ m帯を含む赤外線スペクトル:小惑星表面の鉱物の分布を調べる

レーザ高度計(LIDAR)



30m~25kmの範囲で、小惑星と探査機との距離を測定する



光学航法カメラ(ONC)

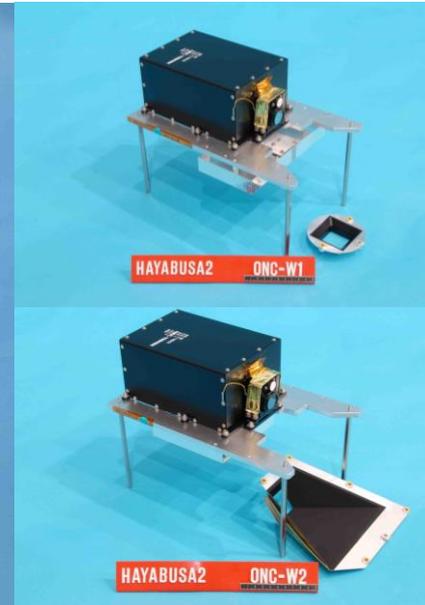
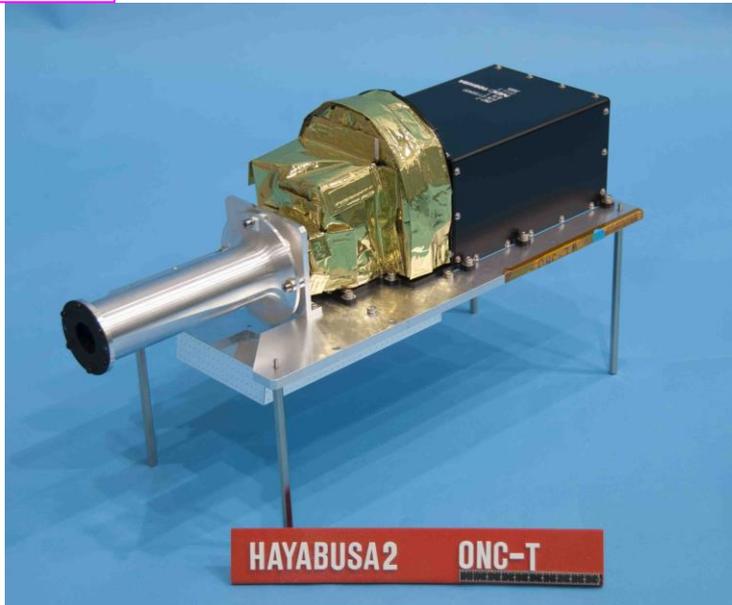


ONC: Optical Navigation Camera

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。

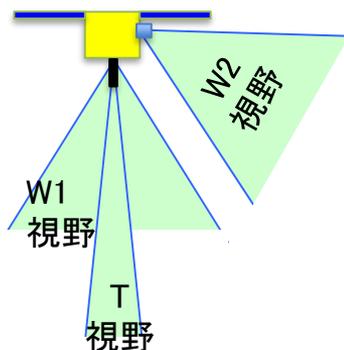
科学観測項目:

- 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
サンプラー弾痕や接地痕の観測



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-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	



中間赤外カメラ(TIR)

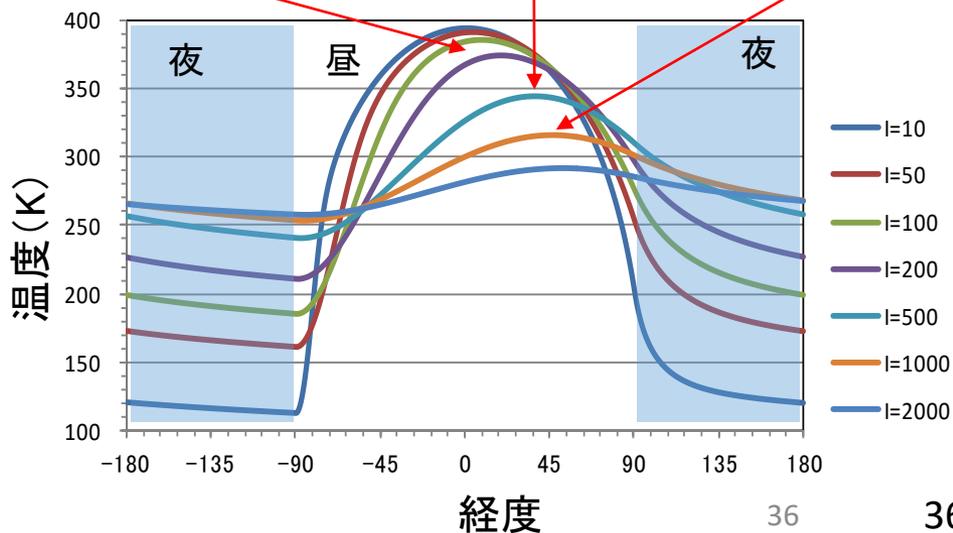
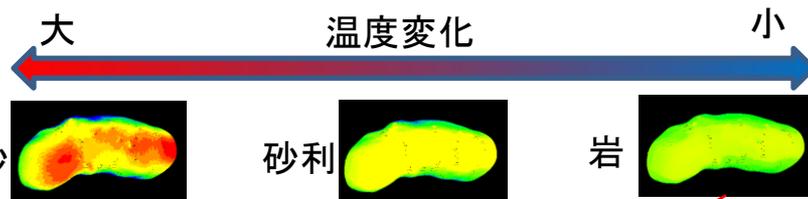
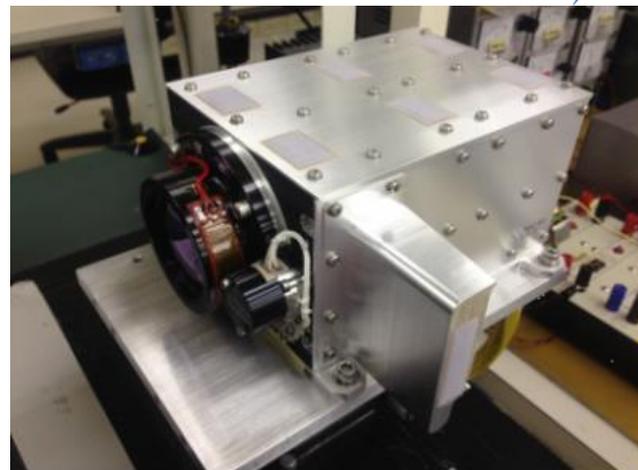


TIR=Thermal Infrared Imager

小惑星の表面温度は太陽に照らされる昼間は上昇、夜間は低下するという日変化をする。

砂のように細粒の土質や、空隙の多い岩石では表面温度の日変化は大きく、中身の詰まった岩石は日変化が小さい。

小惑星からの熱放射の2次元撮像(サーモグラフィ)することによって、小惑星表面の物理状態を調べる。



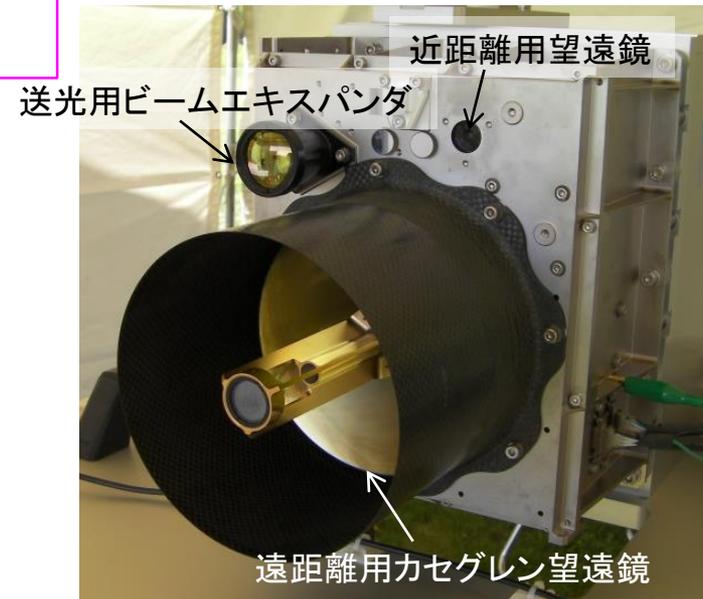
・検出器	2次元非冷却ボロメータ
・観測波長	8~12 μm
・観測温度	-40~150°C
・相対温度精度	0.3°C
・画素数	328 × 248 (有効)
・視野角	16° × 12°
・解像度	20m (高度20km) 5cm (高度50m)



レーザ高度計 (LIDAR)

LIDAR: Light Detection And Ranging

- ・パルス方式のレーザ高度計。
- ・対象天体に向けて波長 $1.064\mu\text{m}$ のパルスYAGレーザを発射し、レーザ光の往復時間を測定することにより、高度を測定する。
- ・「はやぶさ2」のLIDARは、距離30m～25kmで測定することが可能である。
- ・LIDARは対象天体への接近、着陸時に用いられる航法センサであるとともに、形状測定、重力測定、表面特性測定、ダスト観測に用いられる科学観測機器でもある。
- ・また、トランスポンダ機能も備えており、地上LIDAR局との間でSLR(Space Laser Ranging)実験を行うことができる。



レーザ高度計エンジニアリングモデル

科学目標

- ・探査小惑星の地形・重力場の観測
- ・表面各地点のアルベド分布の観測
- ・小惑星周囲に浮遊するダスト観測



- ・小惑星の形状・質量・空隙率とその偏り
- ・小惑星表面のラフネス
- ・ダスト浮遊現象



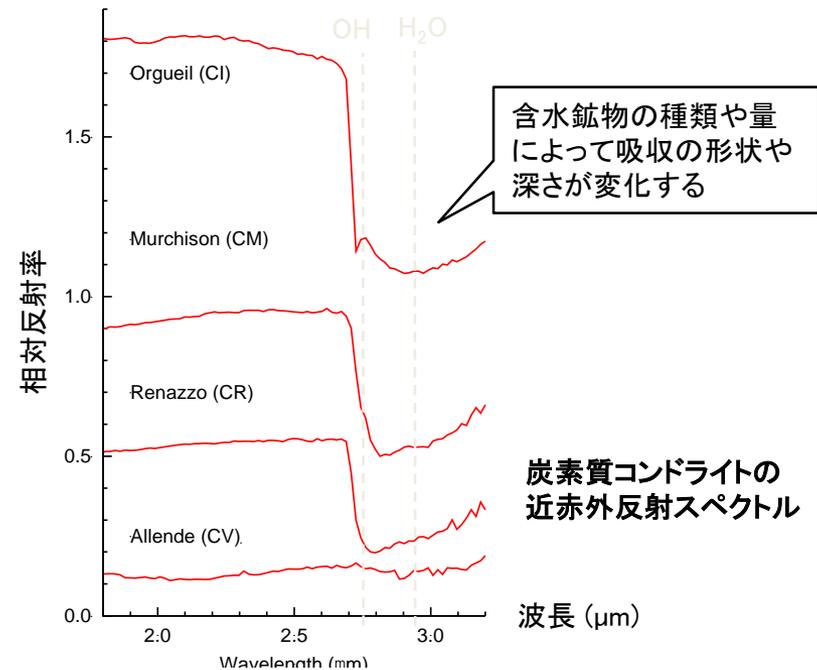
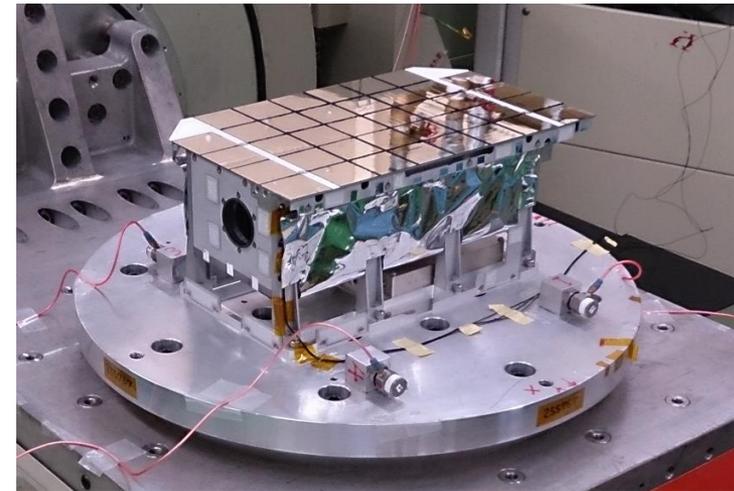
近赤外分光計 (NIRS3)



NIRS3: Near InfraRed Spectrometer
(‘3’は3 μ mより)

近赤外線領域の3 μ m帯の反射スペクトルには水酸基や水分子の赤外吸収が見られる。NIRS3では、3 μ m帯の反射スペクトルを測定することで、小惑星表面の含水鉱物の分布を調べる。

- 観測波長範囲: 1.8–3.2 μ m
- 波長分解能 : 20 nm
- 視野全角 : 0.1°
- 空間分解能 : 35 m (高度20km)
2 m (高度1km)
- 検出器温度 : -85°C ~ -70°C
- S/N比 : 50以上 (波長2.6 μ m)

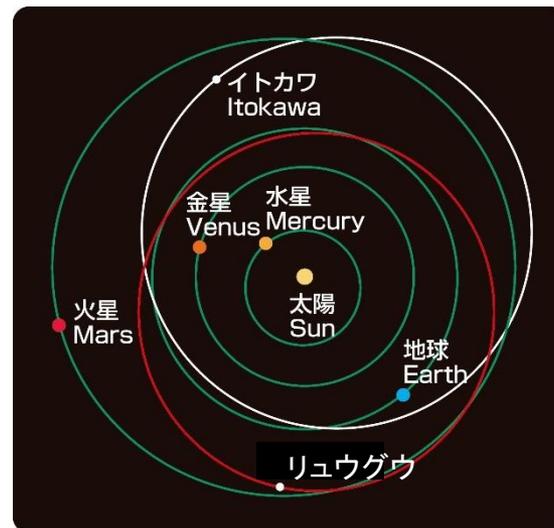




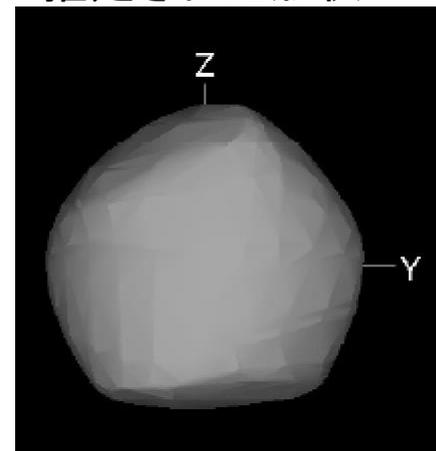
小惑星リュウグウについて

- 名称 : Ryugu (リュウグウ)
- 確定番号 : 162173
- 仮符号 : 1999 JU3
1999年5月に発見された小惑星
- 大きさ : 約900 m
- 形 : ほぼ球形
- 自転周期 : 約7時間38分
- 自転軸の向き : 黄経 $\lambda = 310^\circ \sim 340^\circ$
黄緯 $\beta = -40^\circ \pm \sim 15^\circ$
- 反射率 : 0.05 (黒っぽい)
- タイプ : C型 (水・有機物を含む物質があると推定される)
- 軌道半径 : 約1億8千万km
- 公転周期 : 約1.3年
- 密度・質量 : 現時点では不明であるが、 $0.5\text{--}4.0\text{g/cm}^3$ の密度を仮定している。
質量は $1.7 \times 10^{11}\text{kg} \sim 1.4 \times 10^{12}\text{kg}$ 程度。

リュウグウの軌道



推定された形状



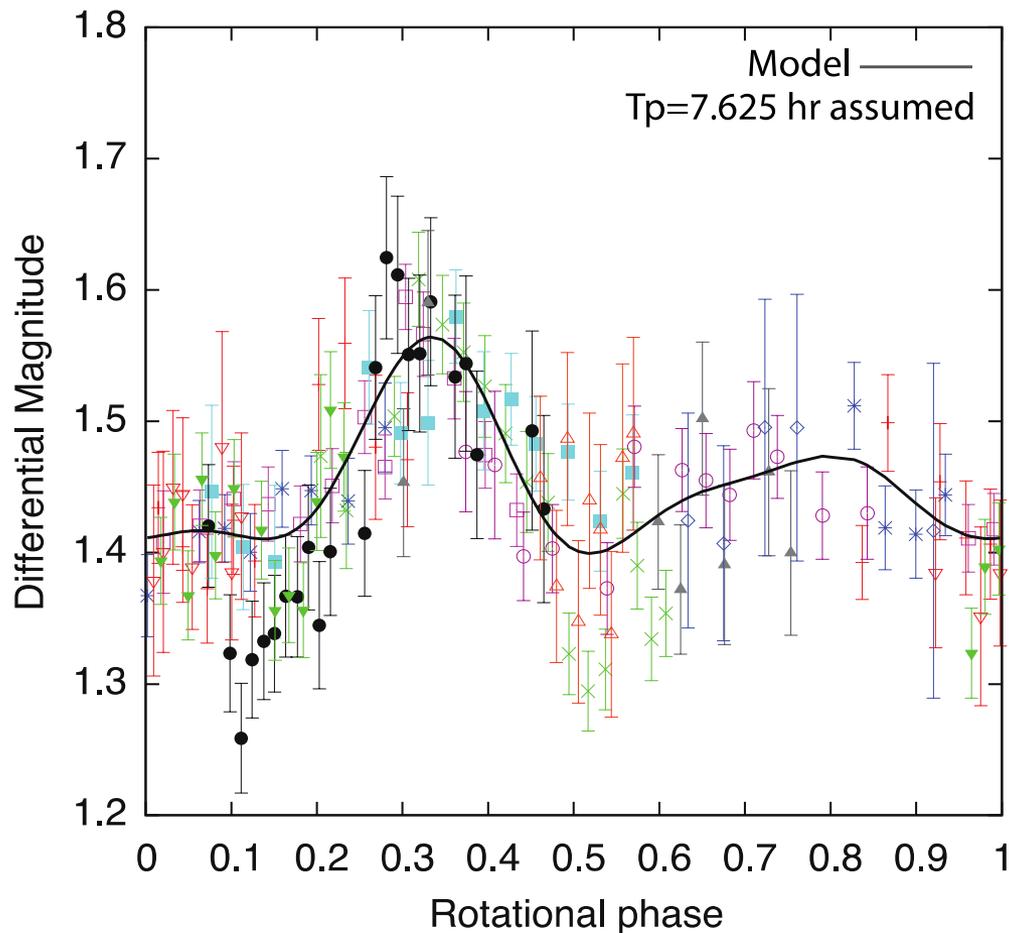
(T. Mueller氏による)



(162173) 1999 JU3のライトカーブ



(リュウグウ)



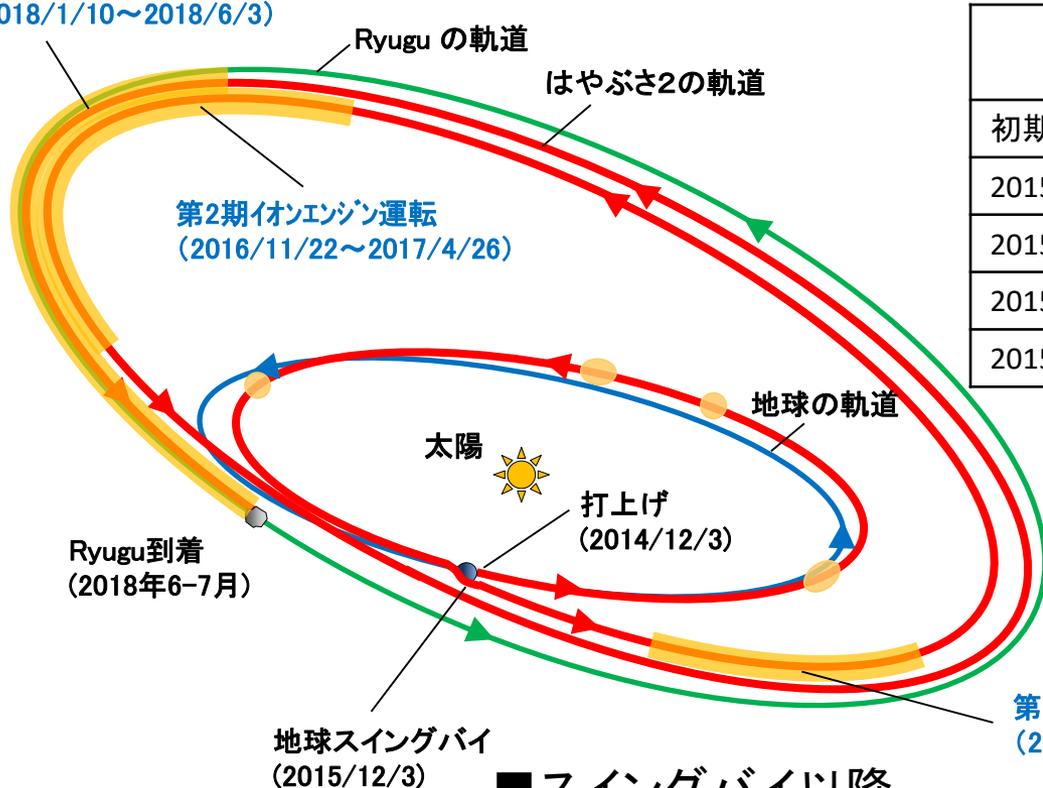
(Kim, Choi, Moon et al. A&A 550, L11 (2013)より)



往路におけるイオンエンジン運転のまとめ



第3期イオンエンジン運転
(2018/1/10~2018/6/3)



■スイングバイ以前

期間	名称	台数	増速 m/s	運転 時間
初期機能確認	IES動作試験	-	-	-
2015/3/3-21	IES動力航行1	2	44	409 h
2015/5/12-13	IES最大推力試験	3	4	24
2015/6/2-6	IES動力航行2	2	11	102
2015/9/1-2	IES動力航行3	2	1.3	12

IES:イオンエンジンシステム

■スイングバイ以降

期間	名称	台数	増速 m/s	運転時間
2016/3/22~2016/5/21	第1期イオンエンジン運転	3(一部2台)	127	798 h
2016/11/22~2017/4/26	第2期イオンエンジン運転	3(一部2台)	435	2593
2018/1/10~2018/6/3	第3期イオンエンジン運転	2→3	393	2475