

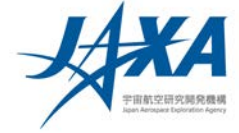
小惑星探査機「はやぶさ2」の接近運用 記者公開

2018年6月23-24日

JAXA はやぶさ2プロジェクト



内容



「はやぶさ2」に関連して、

1. 6/23、6/24の運用の紹介
2. 光学電波複合航法の紹介
3. 光学電波複合航法の作業内容
4. リュウグウ位置座標測定

について紹介する。



1. 6/23と6/24の「はやぶさ2」



■6月23日(土)

- 12:00(日本時間)の時点で
 - リュウグウまでの距離 : 約36km
 - リュウグウとの相対速度: 約0.11m/s(=11cm/s)
- 画像解析: 画像からリュウグウの方向を算出(13:00~15:30)
- 航法解析: 方向データより探査機軌道を推定(15:30~18:00)
- 航法評価・誘導設計: TCM08の内容決定(18:00~20:30)

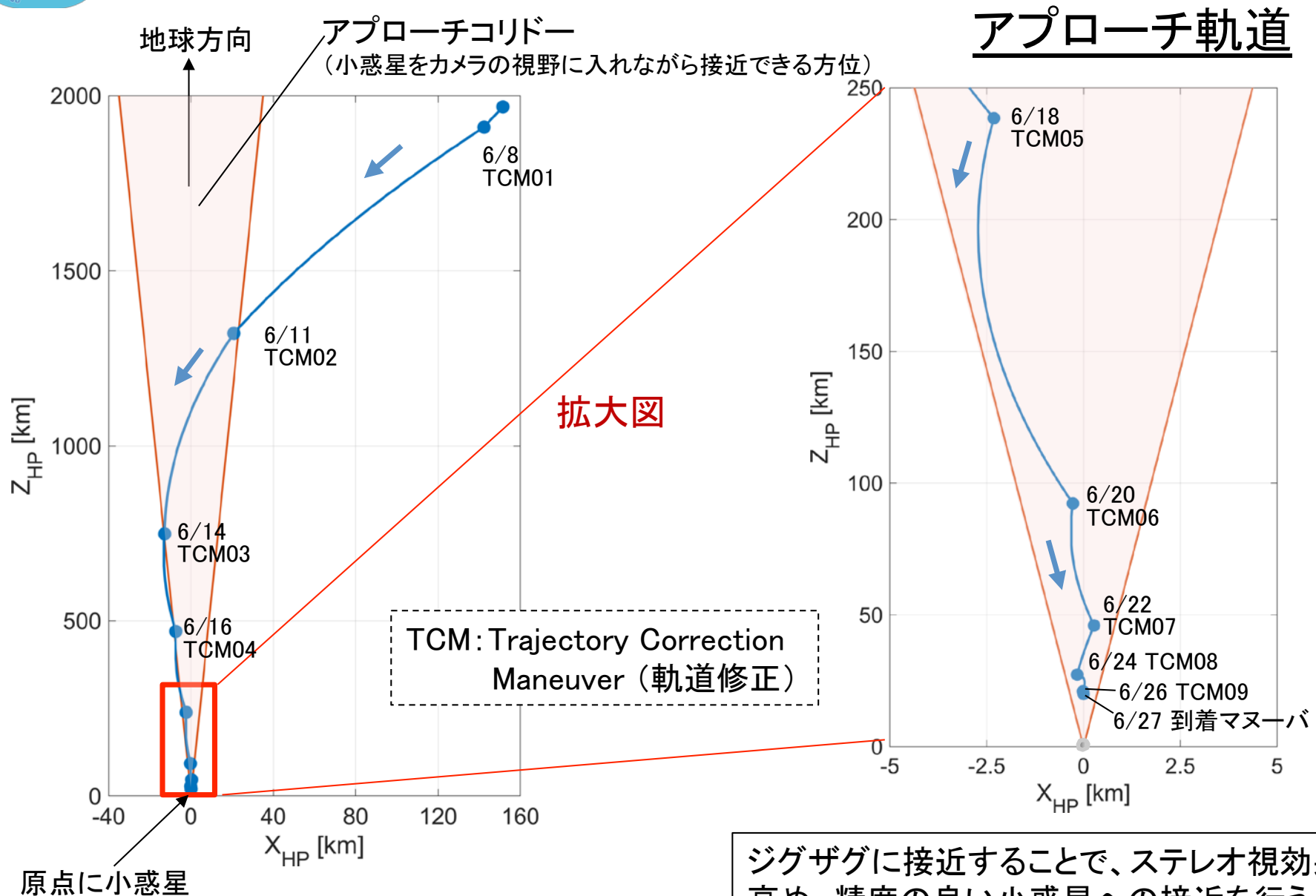
■6月24日(日)

- 12:00(日本時間)の時点で
 - リュウグウまでの距離 : 約27km
 - リュウグウとの相対速度: 約0.01m/s(=1cm/s) ← TCM08後の予定値
- 探査機運用: TCM08(9時頃~11時頃)
光学航法などの運用(11時頃~15時)

※TCM: Trajectory Correction Maneuver(軌道制御)



2. 光学電波複合航法



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

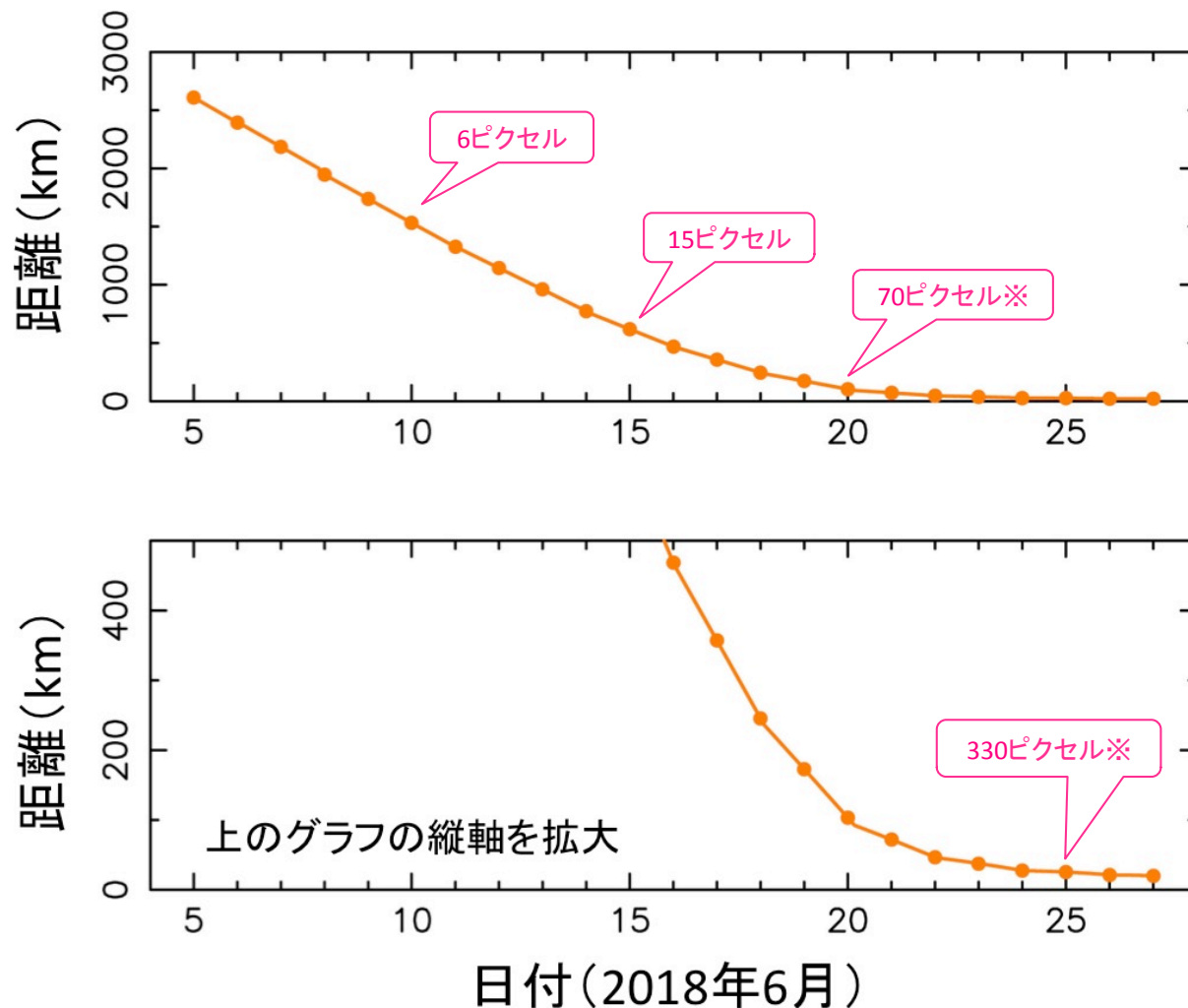
※今後の運用推移により軌道は変更される可能性があります。



2. 光学電波複合航法



リュウグウ-探査機間の距離の変化



現時点での位置の計画値である
ピクセル数は予想値である

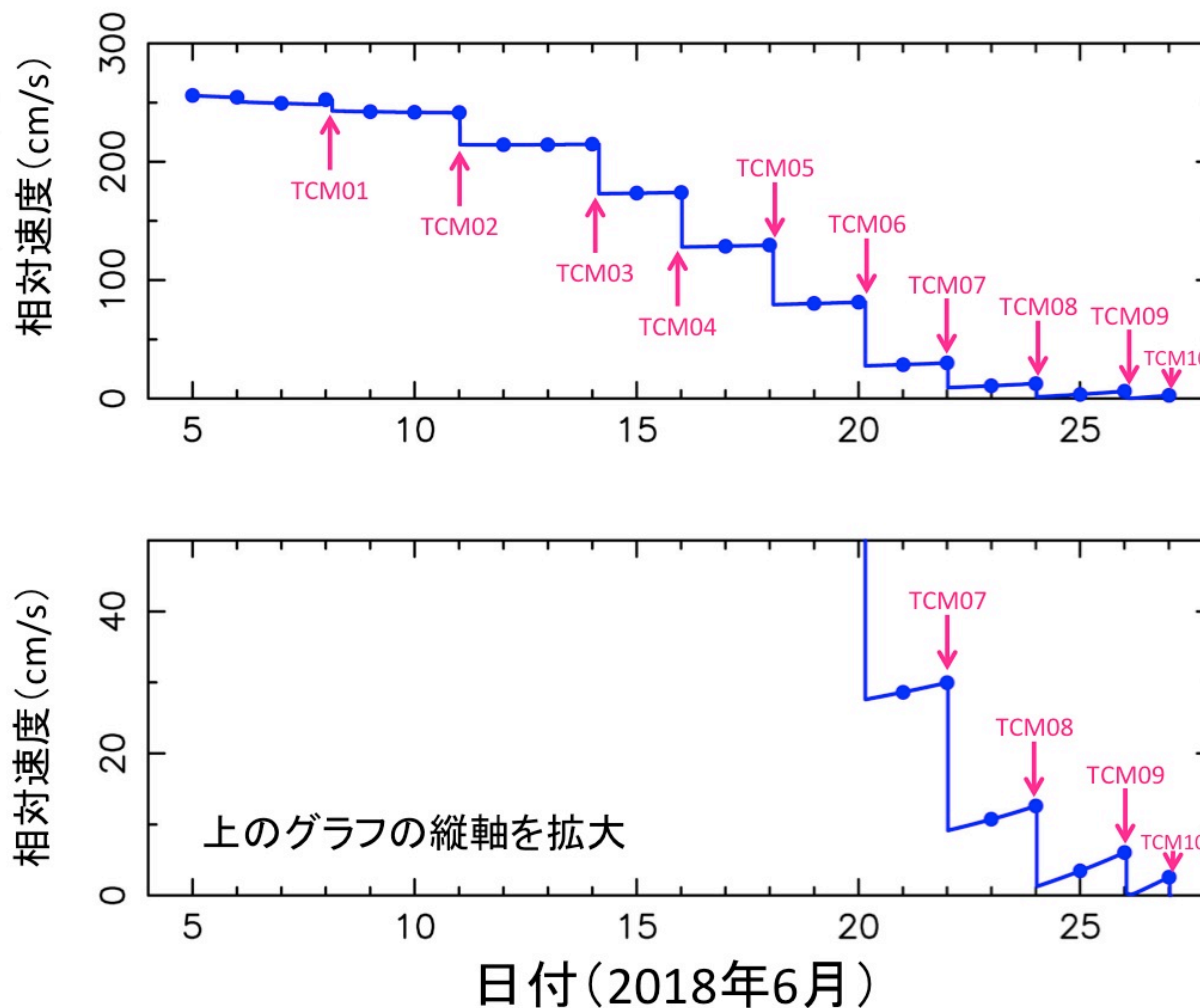
ピクセル数は、ONC-Tで撮影した場合の予想されるリュウグウの直径を示す。



2. 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

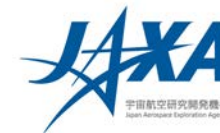


現時点での速度の計画値である

TCM: Trajectory Correction
Maneuver (軌道修正)



2. 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。

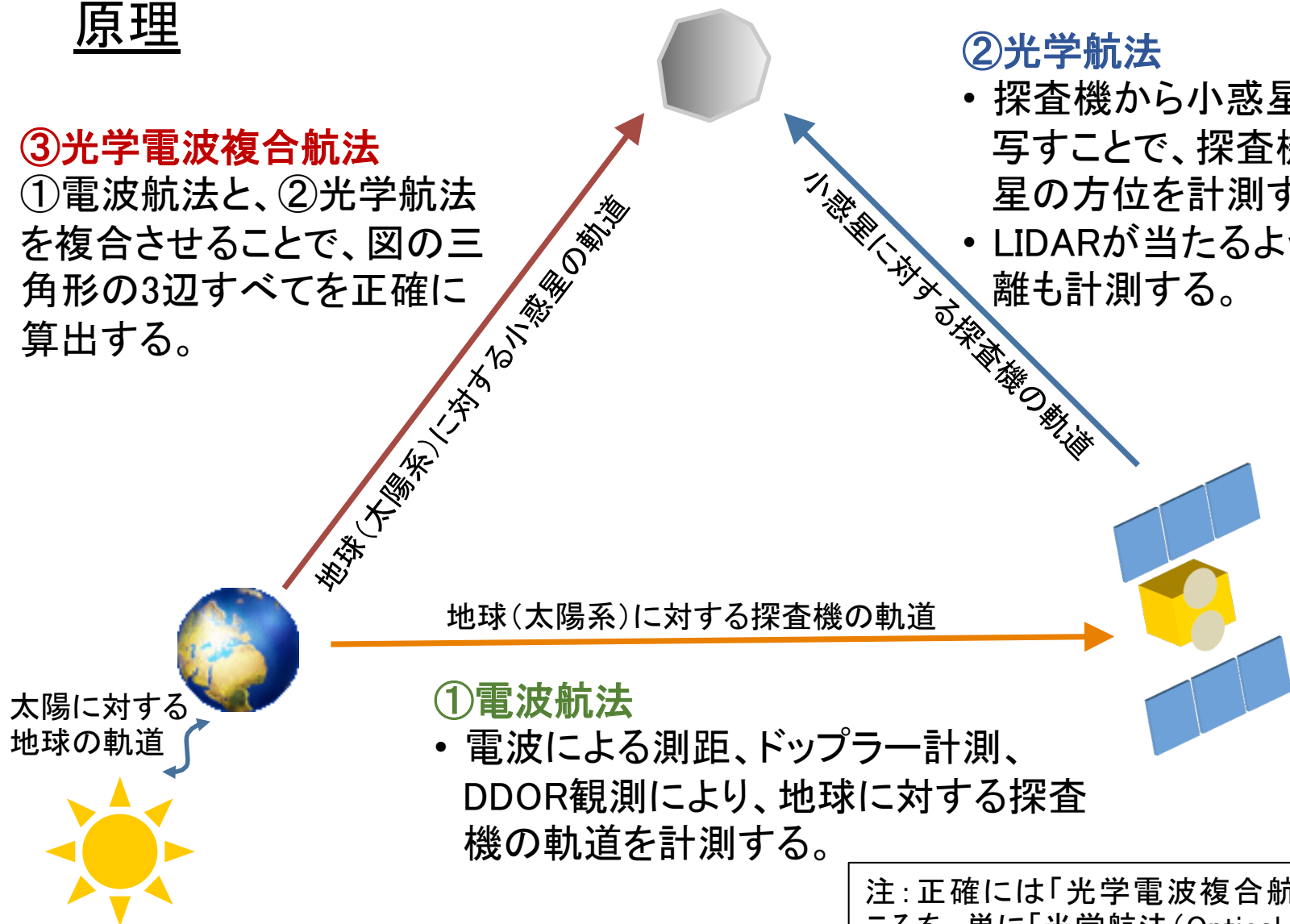
②光学航法

- 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

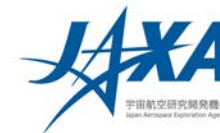
- 電波による測距、ドップラー計測、DDOR観測により、地球に対する探査機の軌道を計測する。

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。

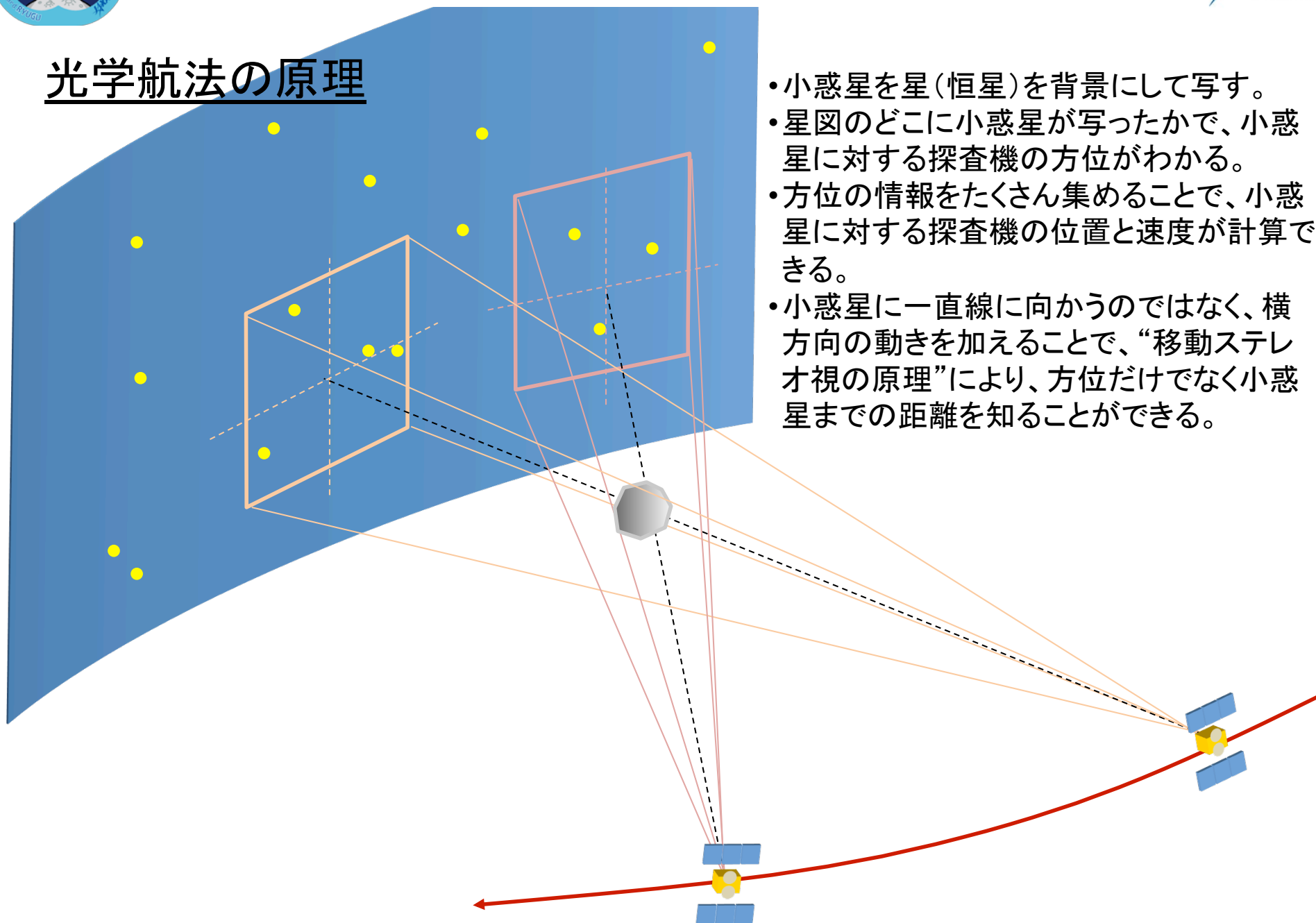




2. 光学電波複合航法



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。
- 方位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、方位だけでなく小惑星までの距離を知ることができる。



2. 光学電波複合航法



高精度電波航法: DDOR (Delta Differential One-way Range)

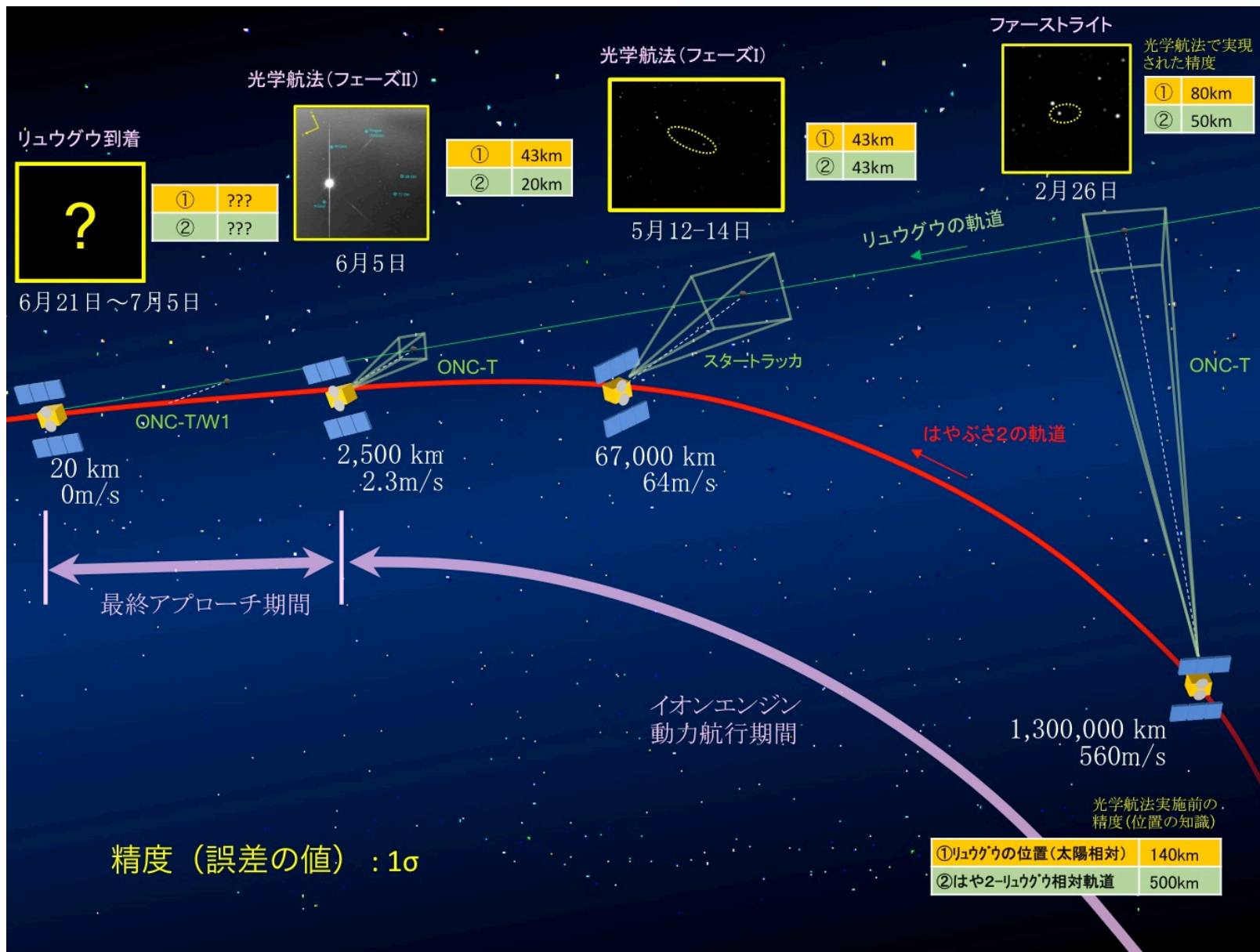
電波航法の地上局 (JAXA+NASA)



- 電波による測距、ドップラー計測、DDOR観測を行う地上局
- DDOR計測では Canberra, Goldstone, 臼田で同時にはやぶさ2の電波を受信し、各局で得られた大容量データ(100GB)を迅速に伝送して相関処理を行なう特別体制で臨んでいる。計測後12時間以内に電波航法の源泉観測データが生成される。



2. 光学電波複合航法 まとめの図

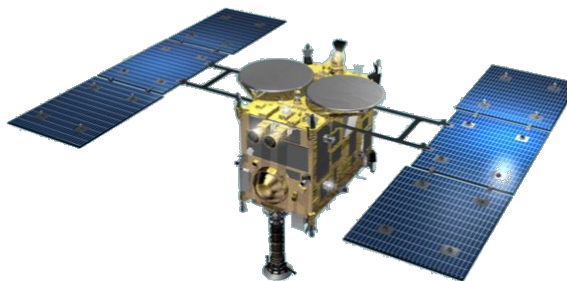




3. 光学電波複合航法の作業概要



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

ソウル大学

日本スペース
ガード協会

京都大学

JAXA

航法チーム
JAXA
NEC
富士通

誘導チーム
JAXA

運用チーム
JAXA
NEC

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

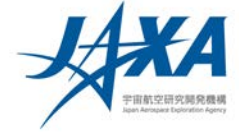
最新のはやぶさ2の軌道から、小惑星へ到着する最適軌道を計算

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



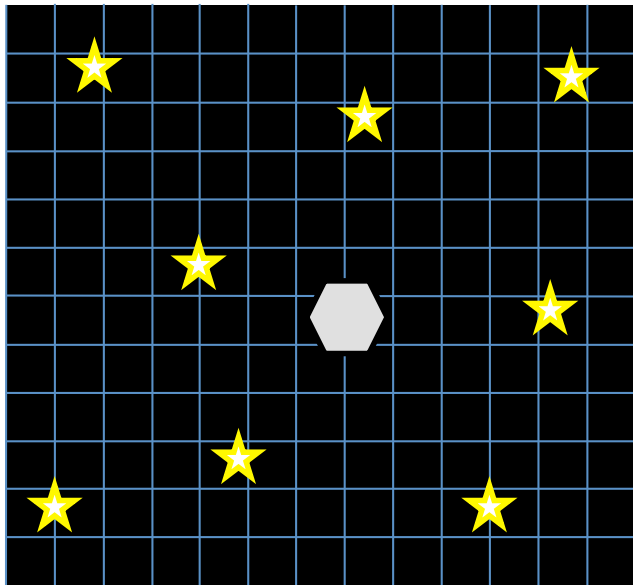
4. リュウグウの位置座標測定

by 地上観測チーム



目的

はやぶさ2搭載カメラONC-Tによって撮影された画像から、リュウグウの位置を赤道座標系の数値として測定すること



リュウグウと背景の星はCCDの画素上に写る。

背景の星の赤道座標は既知であることから、画素と座標を変換する式を導くことができる。

リュウグウのいる画素をその変換式を用いて赤道座標として算出する。



4. リュウグウの位置座標測定

by 地上観測チーム



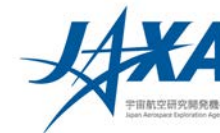
手順

1. 画像の背景光を引く
2. 暗電流ノイズ、宇宙線イベントの除去
3. 背景の星をピックアップする
4. 背景の星と星表を比較して該当の赤道座標を探す
5. 画素と赤道座標の変換式を導く
6. リュウグウの画素位置を測定する

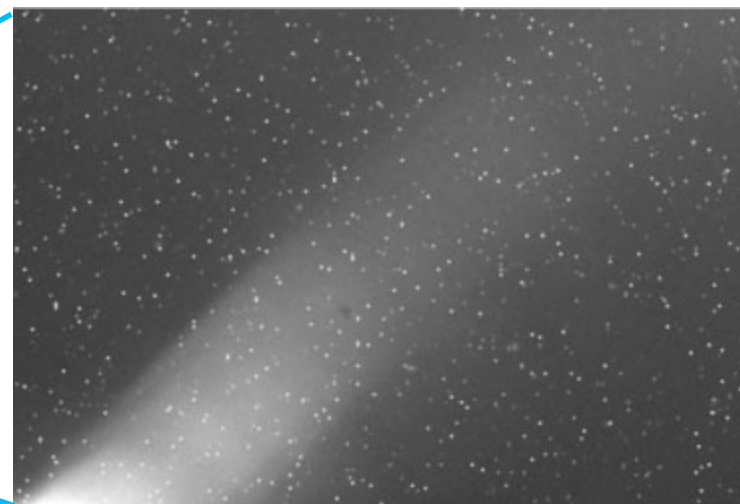
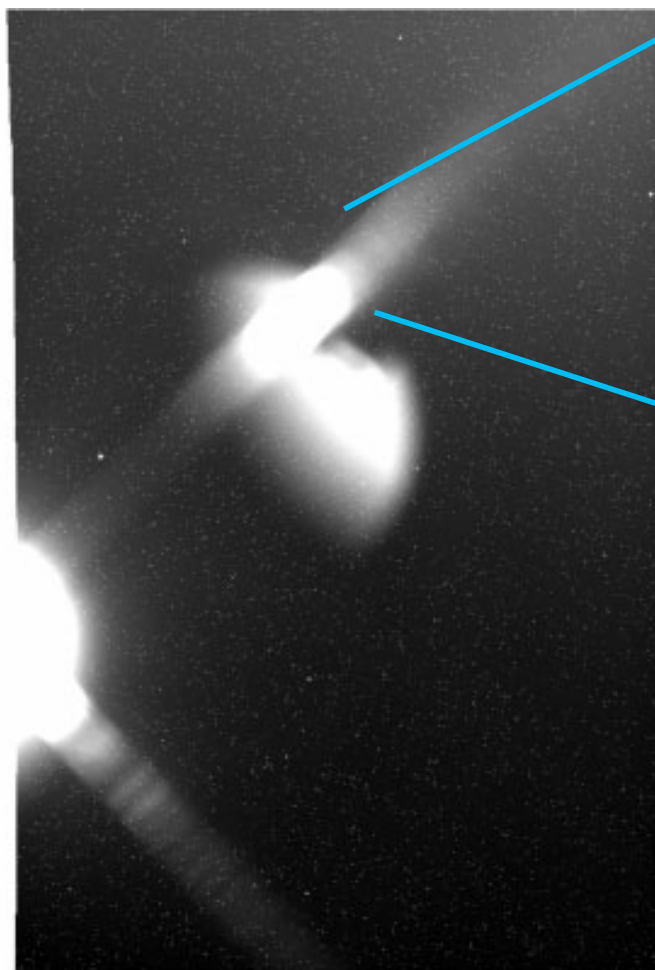


4. リュウグウの位置座標測定

by 地上観測チーム



0. 生画像

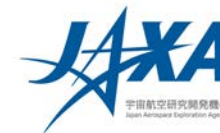


背景の星を検出する際に
邪魔な背景光とノイズを除去する

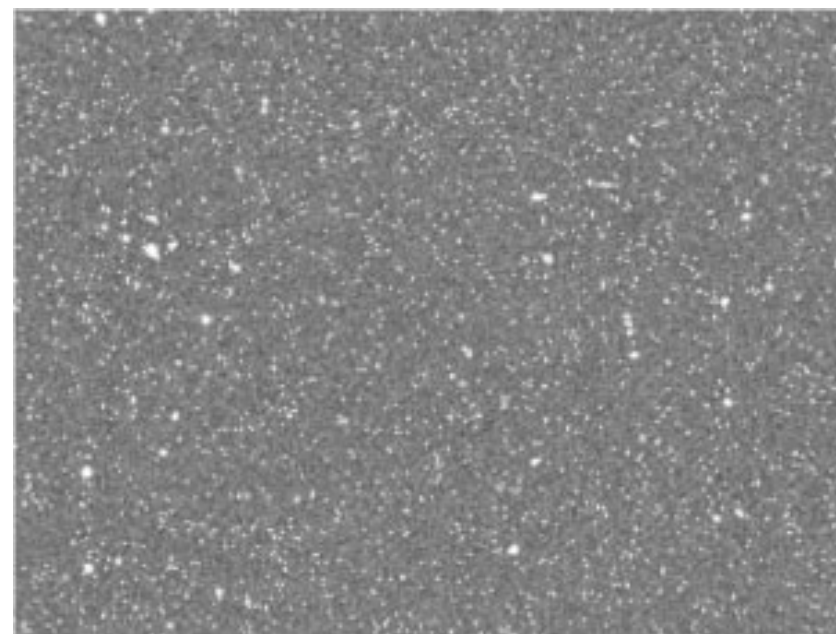
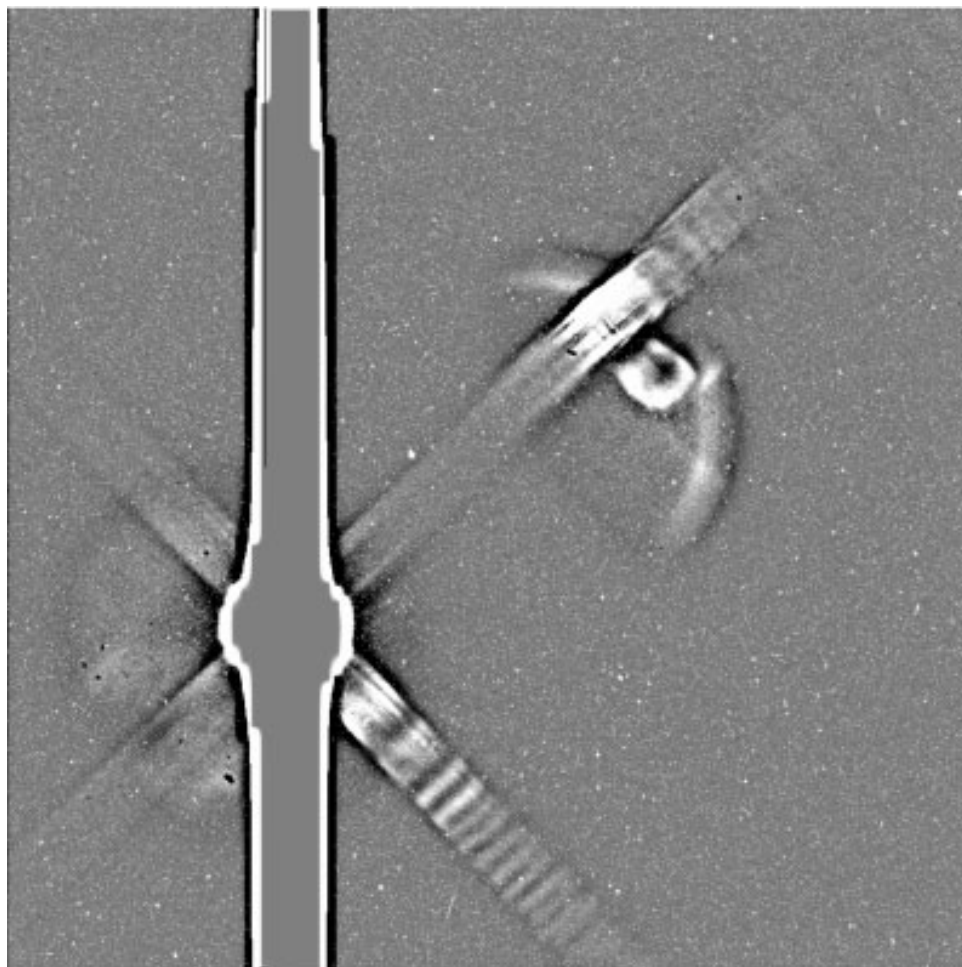


4. リュウグウの位置座標測定

by 地上観測チーム



1. 画像の背景光を引く



輝度の高い暗電流ノイズ
、宇宙線イベントが残る

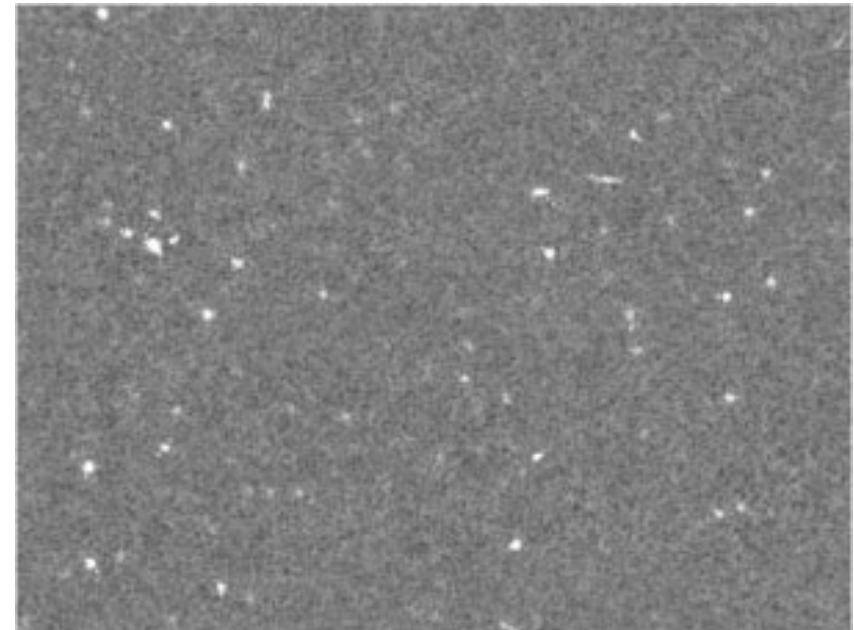
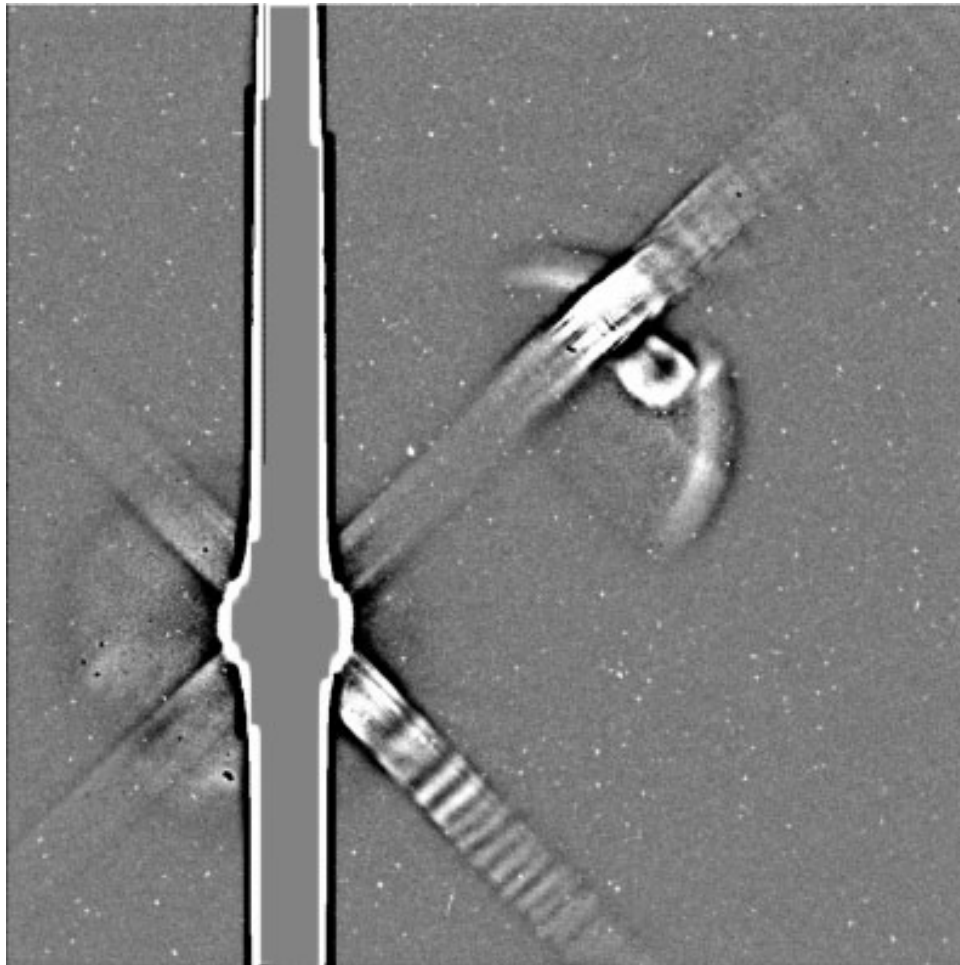


4. リュウグウの位置座標測定

by 地上観測チーム



2. 暗電流ノイズ、宇宙線イベントの除去



背景の星の検出が容易
になった

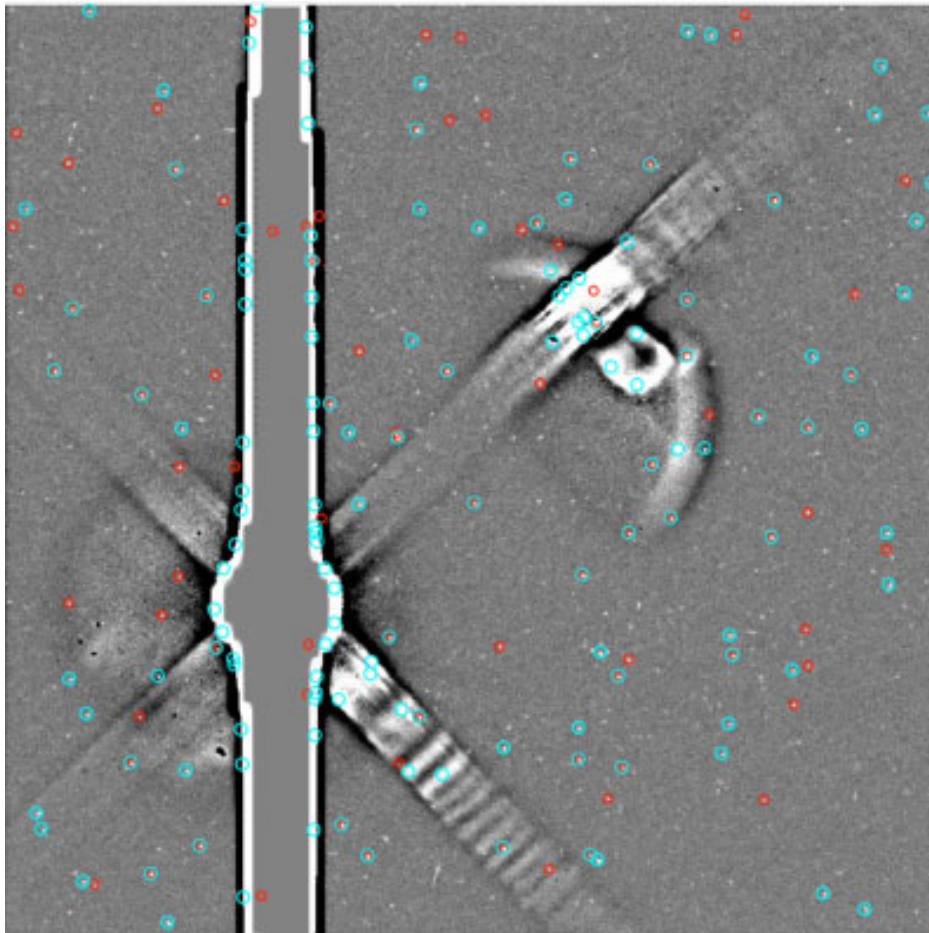


4. リュウグウの位置座標測定



by 地上観測チーム

3. 背景の星をピックアップする
4. 背景の星と星表を比較して該当の赤道座標を探す
5. 画素と赤道座標の変換式を導く



背景の星と星表を比較して、変換式を導出する処理は、Astrometry.netが提供する専用ソフトウェアを使用する。変換式は撮影画像ごとに値が異なるので毎回導出する。

シアン色:

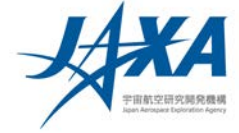
背景星として検出された光源

赤色:

ティコ第2星表に基づく星の位置



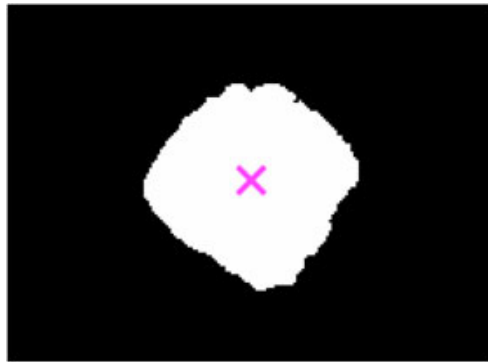
4. リュウグウの位置座標測定



by 地上観測チーム

6. リュウグウの画素位置を測定する

背景の星を写すために、長時間撮影(178秒)を行うが、はるかに明るいリュウグウは、飽和してしまい中心位置がわからない。よって長時間撮影で導出した変換式を使い、短時間撮影(0.09秒)したリュウグウの位置を算出する。



ある閾値で2値化し画像のモーメントを求め、重心位置の画素を測定する。

この時のリュウグウの中心画素は300.299, 367.290にあり、赤経=105.0903度、赤緯=+19.5026度と報告した。



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

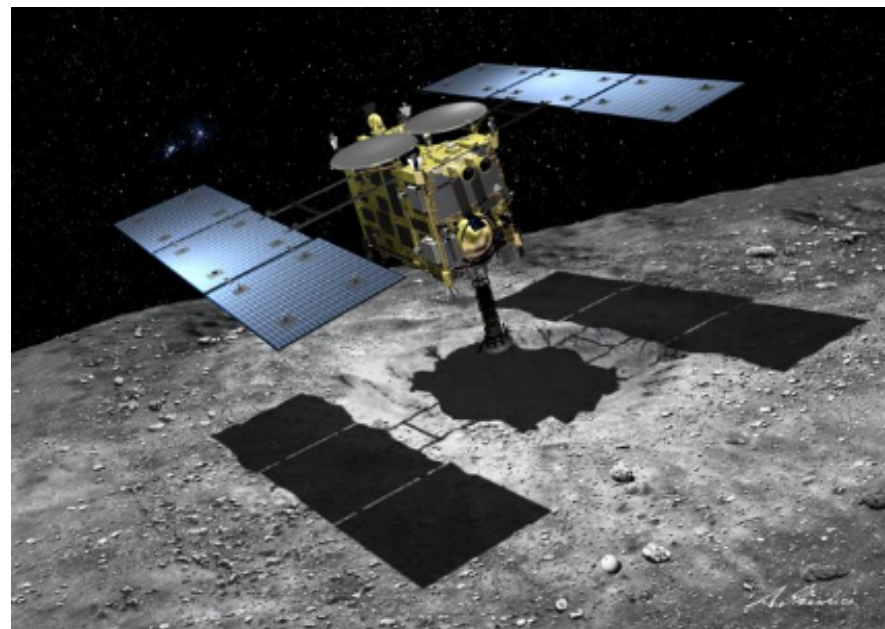
- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確認する。

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

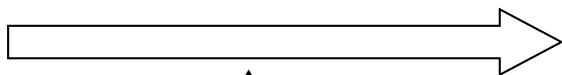
サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ローバ



ミッションの流れ概要

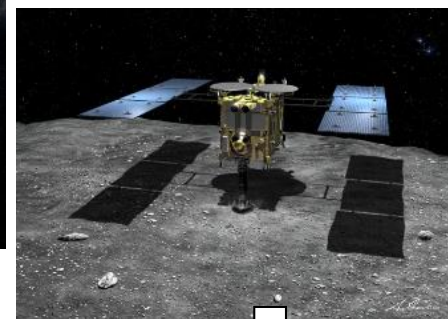


打上げ
2014年12月3日

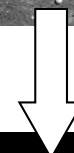


小惑星到着
2018年6月27日前後(予定)

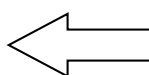
▲
地球スイングバイ
2015年12月3日



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

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。

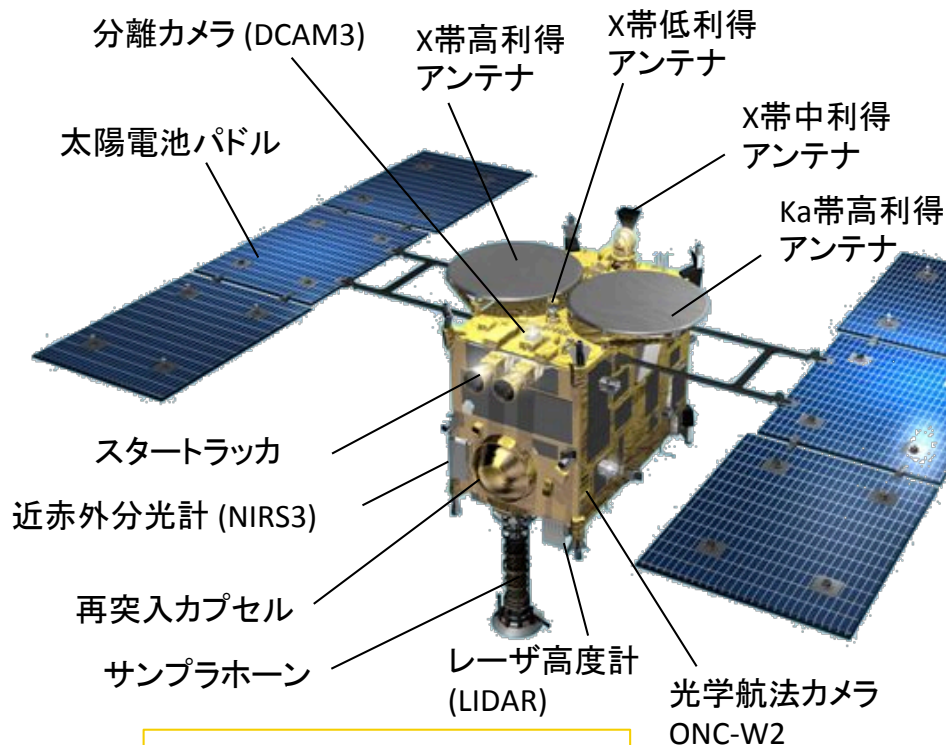
衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

サンプル分析

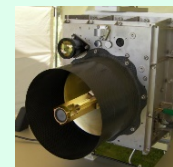
(イラスト 池下章裕氏)



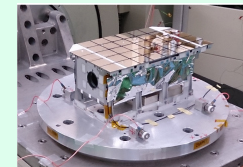
探査機概要



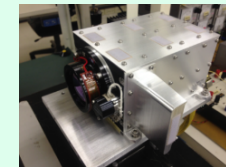
光学航法カメラ ONC-T



レーザ高度計 LIDAR



近赤外分光計 NIRS3



中間赤外カメラ TIR

科学観測機器

小型着陸機・ローバ

MASCOT



DLRとCNES製作

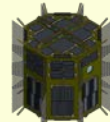
ミネルバ2



II-1A



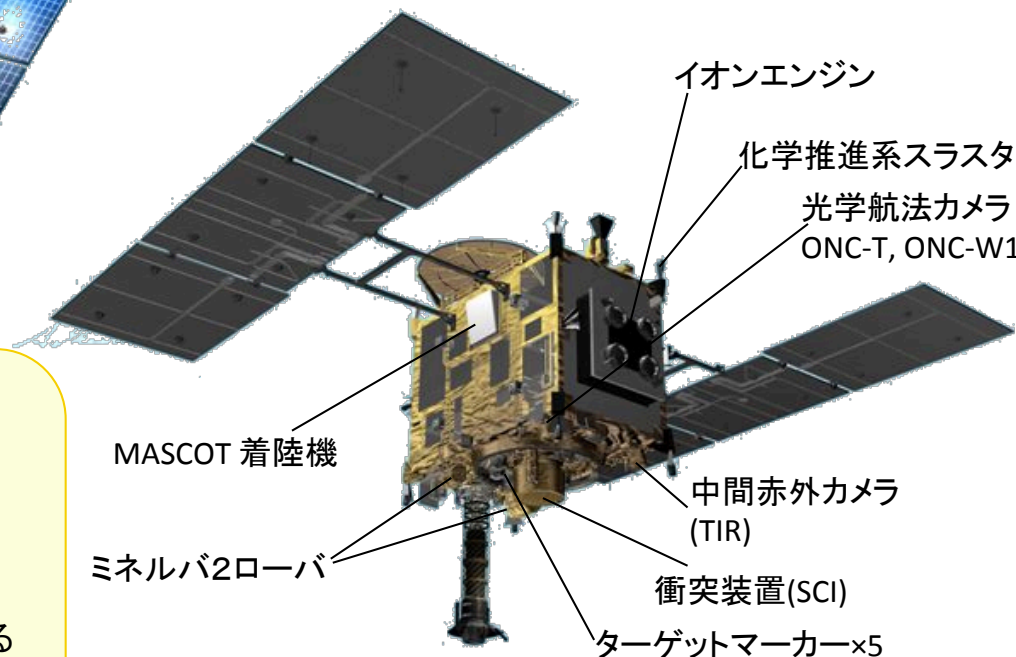
II-1B



II-2

II-1 : JAXA MINERVA-II チームによる

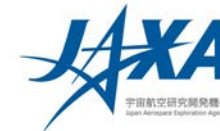
II-2 : 東北大およびミネルバ2コンソーシアムによる



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)



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。