

小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年4月11日

JAXA はやぶさ2プロジェクト

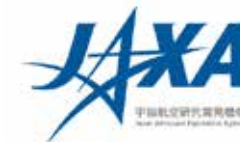


本日の内容

「はやぶさ2」に関連して、

- ・衝突装置（SCI）運用結果
- ・クレーター探索運用（事後）

について紹介する。

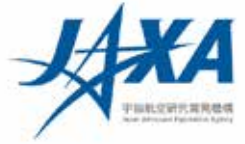


目次

- 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. 衝突装置運用結果
- 3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影
- 4. クレーター探索運用(事後)
- 5. その他
- 6. 今後の予定
- ・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始的なタイプである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: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。



「はやぶさ2」主要緒元 （イラスト 池下章裕氏）

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
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



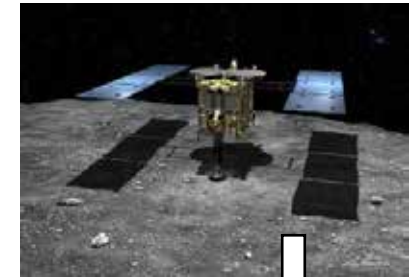
▲地球スイングバイ
2015年12月3日

小惑星到着

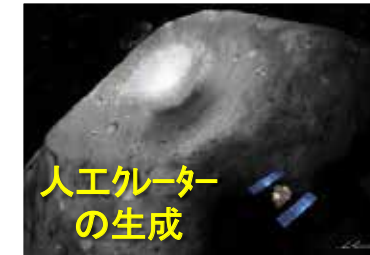
2018年6月27日



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。



衝突装置放出



人工クレーターの生成



安全を確認後、クレータ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を作る。

(イラスト 池下章裕氏)

地球帰還

小惑星出発

2020年末ごろ

2019年11-12月



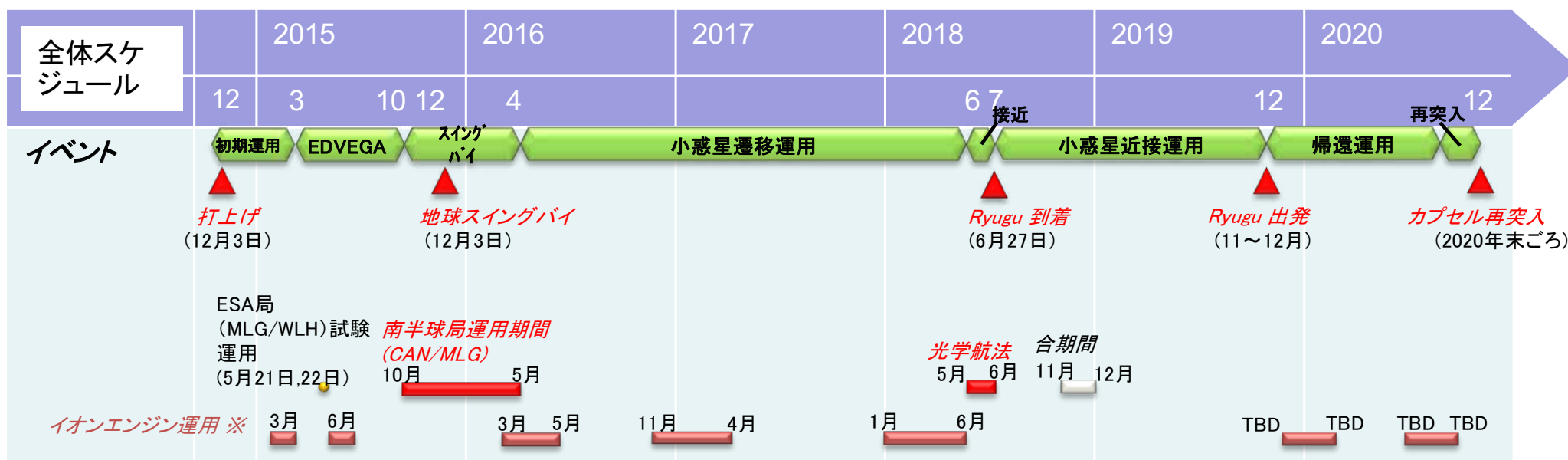
サンプル分析



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール



- 現状：
- － 4月5日10時56分（探査機上の時刻）、衝突装置（SCI）を分離した。その後、SCIの分離やリュウグウ表面からのイジェクタが画像で確認され、衝突装置分離運用は成功した。
 - － 4月11日現在、「はやぶさ2」はホームポジションに向けて航行中。

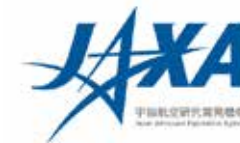




2. 衝突装置運用結果

■ 衝突装置分離運用の結果

- 衝突装置 (SCI: Small Carry-on Impactor) の分離運用を4月3日から開始し、4月5日、10:56 (機上、日本時間) にSCIを分離した。なおSCI分離運用としてはその後も継続しており、ホームポジションに戻るのは4月18日頃になる見込みである。
- SCIの分離は、各種テレメトリに加えて広角の光学航法カメラ (ONC-W1) および中間赤外カメラ (TIR) による撮影でも確認された。
- SCIのライナ (銅板) がリュウグウに衝突したことについては、分離カメラ (DCAM3) の撮像によって確認された。
- 以上をもって、衝突体をリュウグウに衝突させるという目的は達成された (工学目標のミニマムサクセスの1つが完了した。)
- 今後は、形成されたと思われるクレーターの探索を行う。



2. 衝突装置運用結果

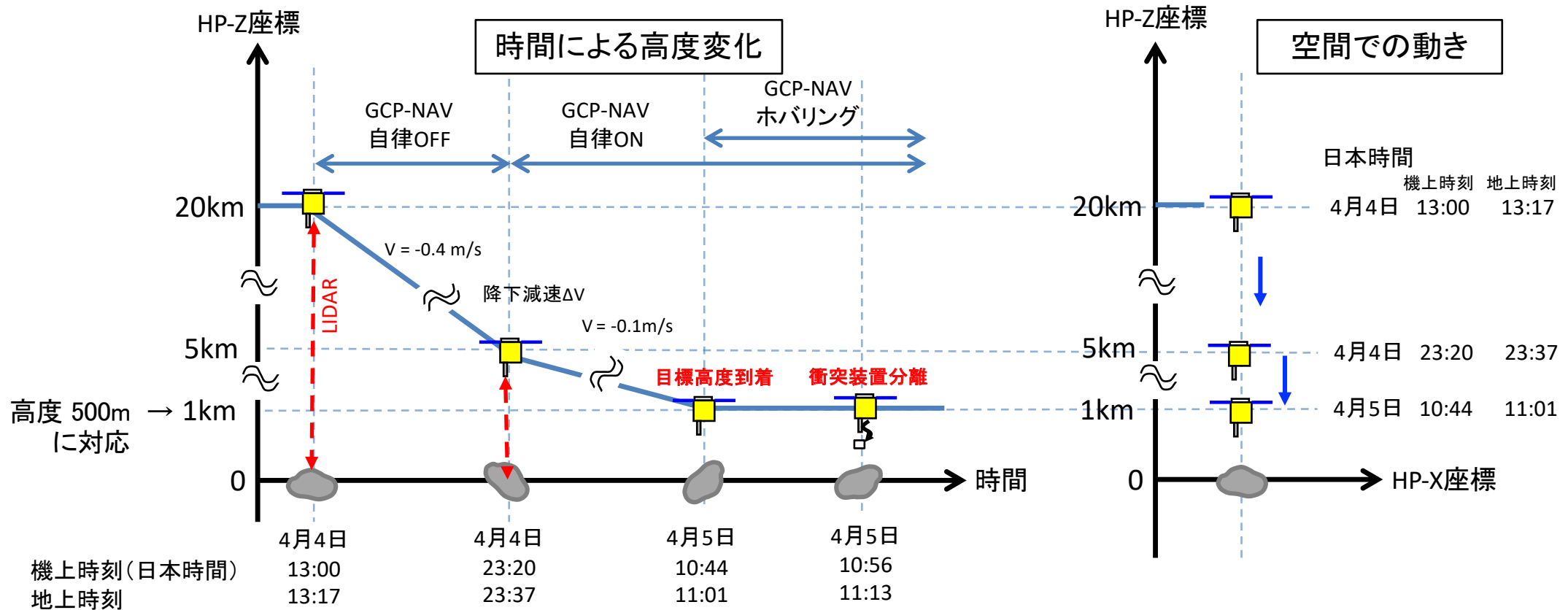
項目	地上時刻：JST ()は探査機上の時刻	判断項目
Gate 1	4月4日 12:12 4月4日 13:17 (13:00)	降下開始の可否判断実施 (@20km) 降下開始
Gate 2	4月4日 23:37 (23:20) 4月4日 23:55	降下減速 ΔV (40cm/s→10cm/s) 降下継続の可否確認実施 (@5km)
Gate 3	4月5日 09:57	最終分離判断 (GO 判断)
SCI分離	4月5日 11:13 (10:56)	SCI分離確認
DCAM3分離	4月5日 11:32 (11:14)	DCAM3分離確認
DCAM3通信	4月5日 11:50	DCAM3通信確認
SCI作動	4月5日 11:53 (11:36) 4月5日 11:56	SCI作動時刻 SCI作動後、探査機の健全性確認
Gate 5	4月5日 13:45	SCI分離及び退避シーケンスが無事に行われたと判断
Gate 6	4月5日 15:12	ホームポジションへの復帰判断 (GO判断)



2. 衝突装置運用結果

実際の運用実績

ホームポジションから衝突装置分離まで



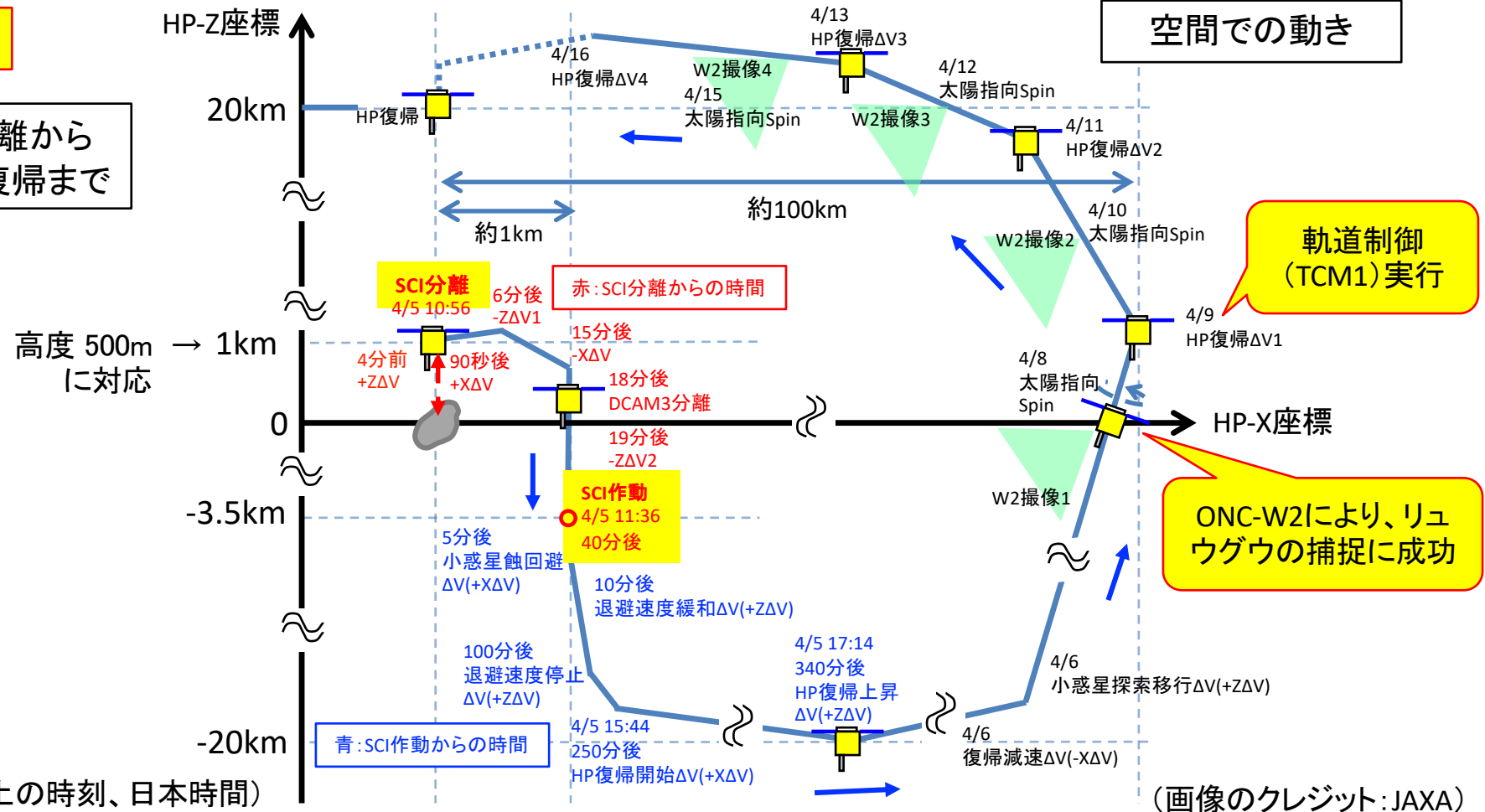
(画像のクレジット: JAXA)



2. 衝突装置運用結果

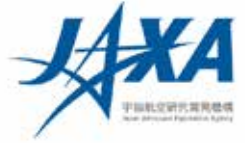
実際の運用実績

衝突装置(SCI)分離から
ホームポジション復帰まで





2. 衝突装置運用結果



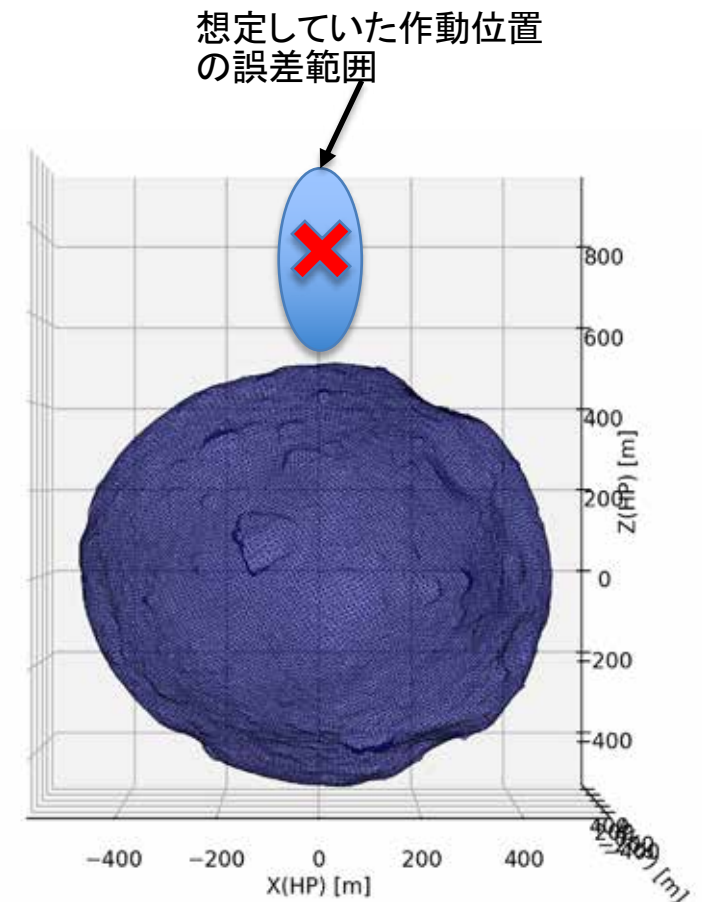
■SCIの動作位置

- 分離時の探査機位置の制御も誤差10m以内と推定される。
- 衝突装置の分離画像からの推定では、分離速度は20cm/s程度で、ほぼ想定通り。
- 衝突装置分離時の横方向の速度も小さい。

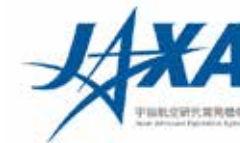
詳細を解析中であるが、SCI作動高度は約300mと推定される。

■探査機の退避

- 退避時のRCS噴射も正確に行われ、確実に安全領域に退避できた。
- 現時点において、探査機は正常である。



(画像のクレジット: JAXA)



2. 衝突装置運用結果

ONC-W1によって撮影されたSCI



画像の上が
リュウグウの
北極方向

分離数秒後にONC-W1に
よって撮影されたSCI。

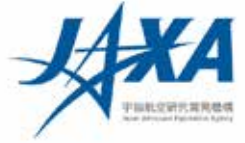
分離時刻:2019年4月5日、
10:56(機上、日本時間)

(画像のクレジット: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)



初公開

2. 衝突装置運用結果



TIRによって撮影されたSCI



(動画)

約100m

- ・撮像間隔: 2秒
- ・撮像積算: 0.25秒
- ・撮像枚数: 30枚
- ・撮像時間: 60秒
- ・撮像高度: 約500m

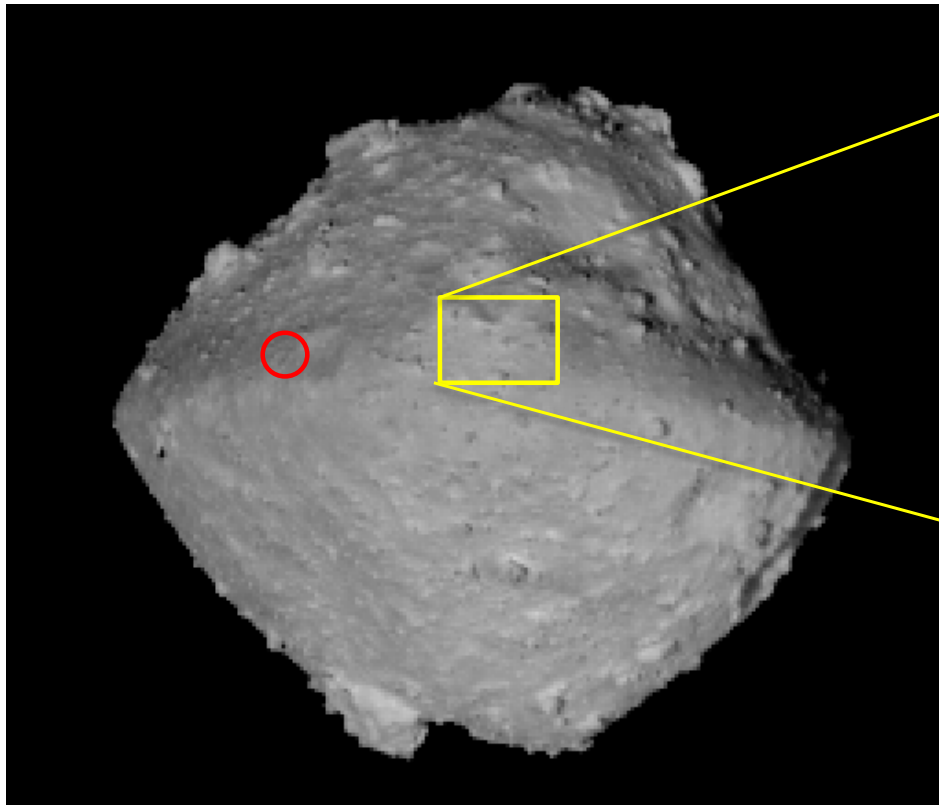
画像の上方がリュウグウの北極方向。
探査機は上昇しながら撮像している。

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

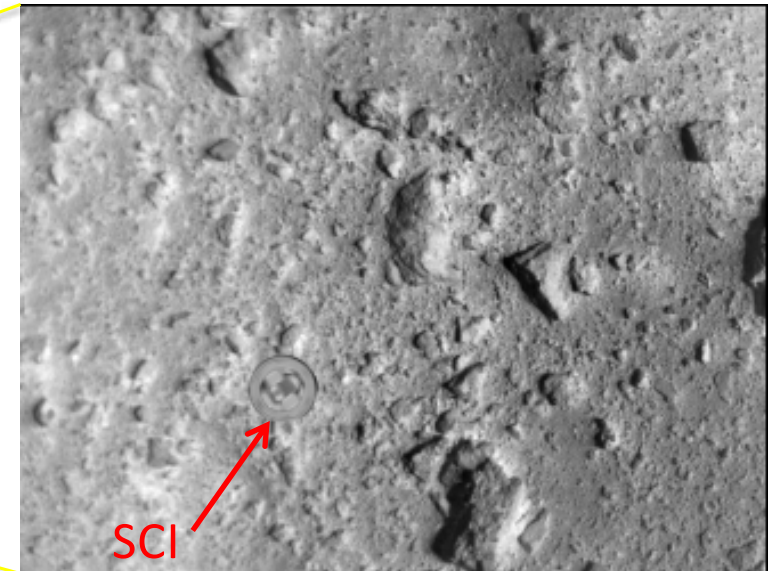


2. 衝突装置運用結果

SCI撮像時の位置(作動・衝突の約40分前)



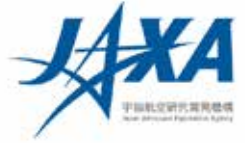
赤丸の位置が目標中心付近(S01付近)。SCI分離は作動・衝突の40分前のため、分離位置は東側に約30° 離れている。北極が上。



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

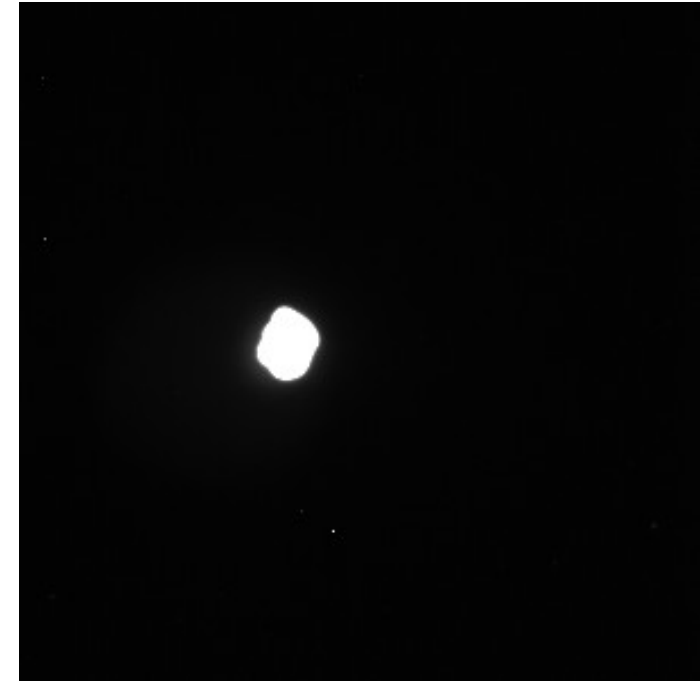


2. 衝突装置運用結果



■ HPへの復帰計画

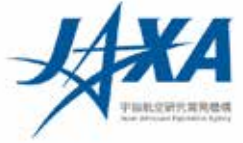
- 4/8にONC-W2によりリュウグウを再捕捉
- 4/9にはスタートラッカ(STT)でもリュウグウを撮像
- 4/9の時点で計画通り100kmくらい小惑星から離れていた。復帰のためのdVを実施
- 現時点では、4/18頃にHPに復帰する予定



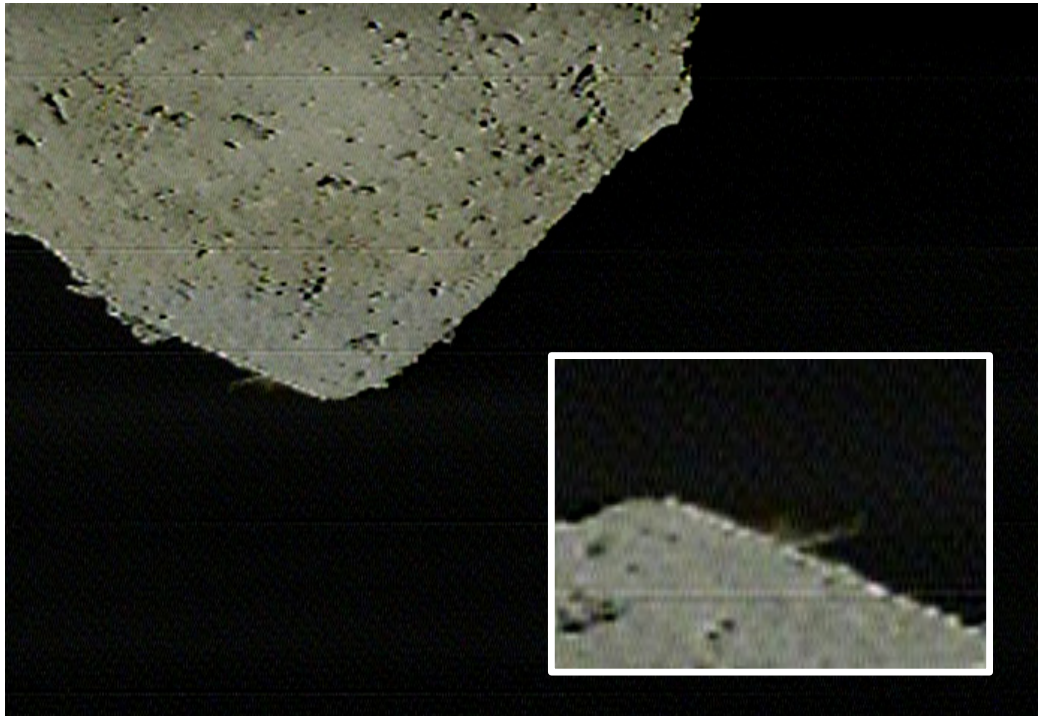
STTによって4月9日、12:42(機上、日本時間)に撮影されたリュウグウ。上がリュウグウの北極方向。
(画像のクレジット:JAXA)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影 アナログ系による画像



SCI作動から約2秒後の画像
(4/5の記者会見で公開した画像)



SCI作動から約25秒後の画像

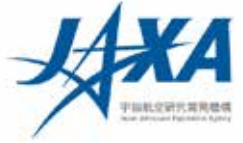
初公開



(画像のクレジット: JAXA, 神戸大、千葉工大、産業医科大、高知大、愛知東邦大、会津大、東京理科大)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影 デジタル系による画像



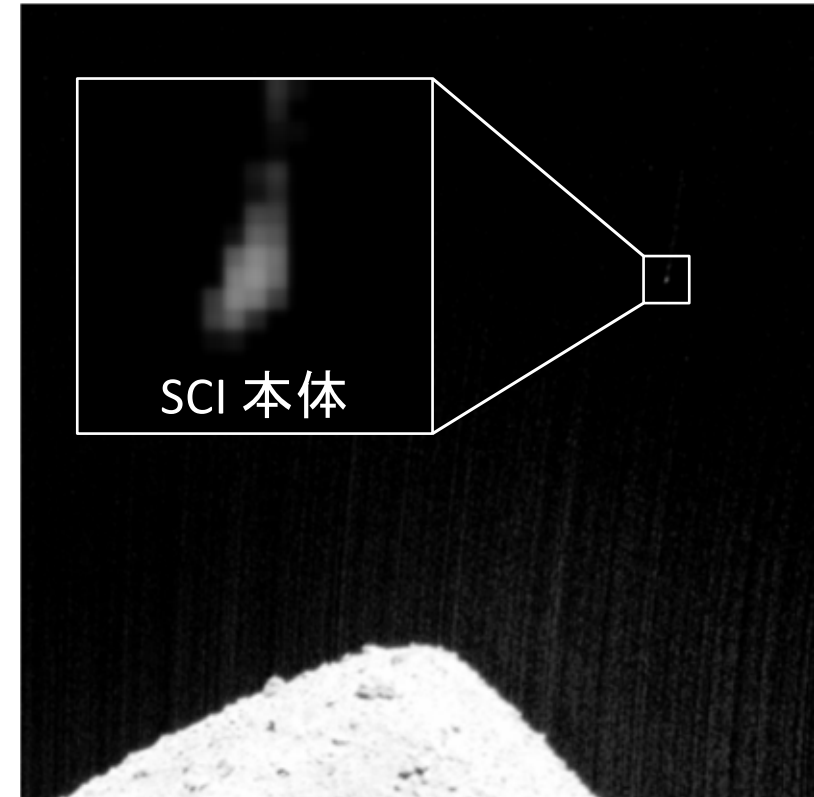
初公開

SCI 作動の約 185 秒前

高ゲイン・長時間露光モード



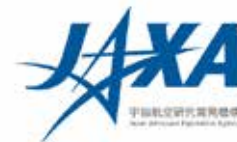
左の画像を拡大し明るさを調整した画像



(画像のクレジット: JAXA、神戸大、千葉工大、高知大、産業医科大)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影 デジタル系による画像



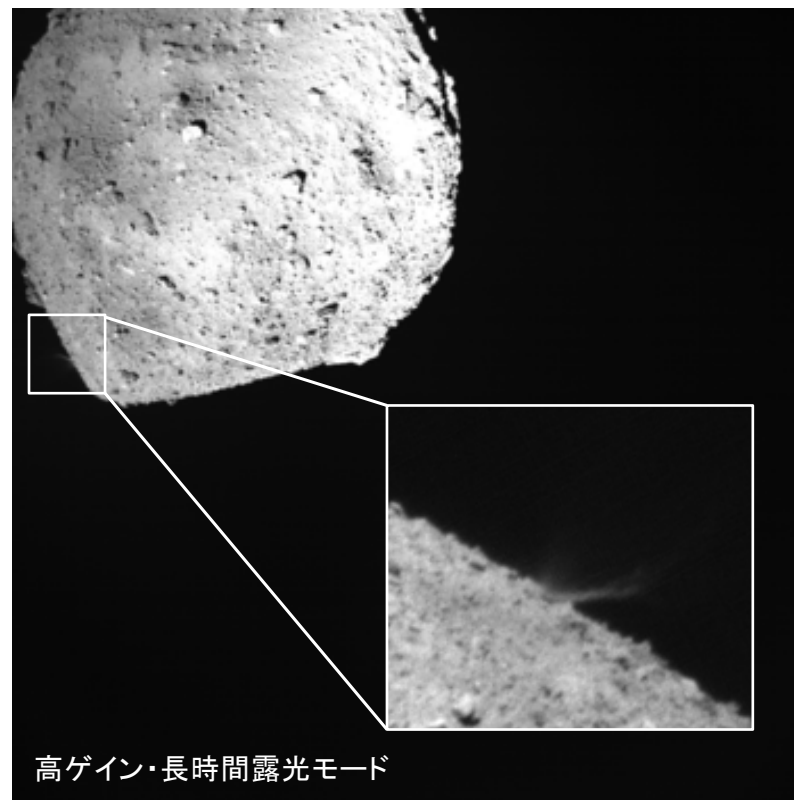
初公開

SCI 作動の約 14 秒前



高ゲイン・短時間露光モード

SCI 作動の約 3 秒後



高ゲイン・長時間露光モード

(画像のクレジット: JAXA、神戸大、千葉工大、高知大、産業医科大)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影



分離カメラDCAM3運用の概要

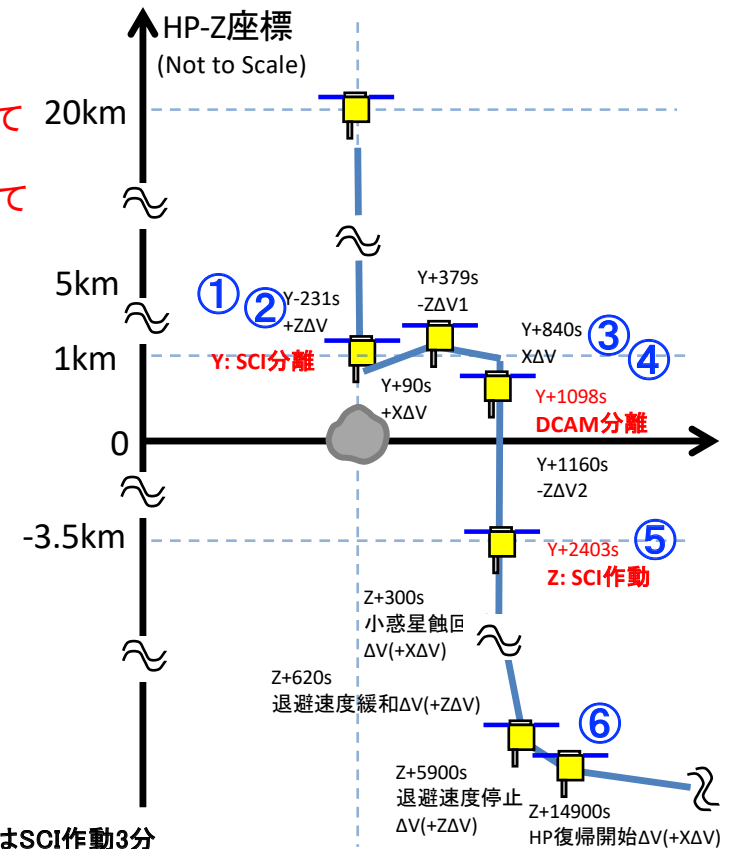
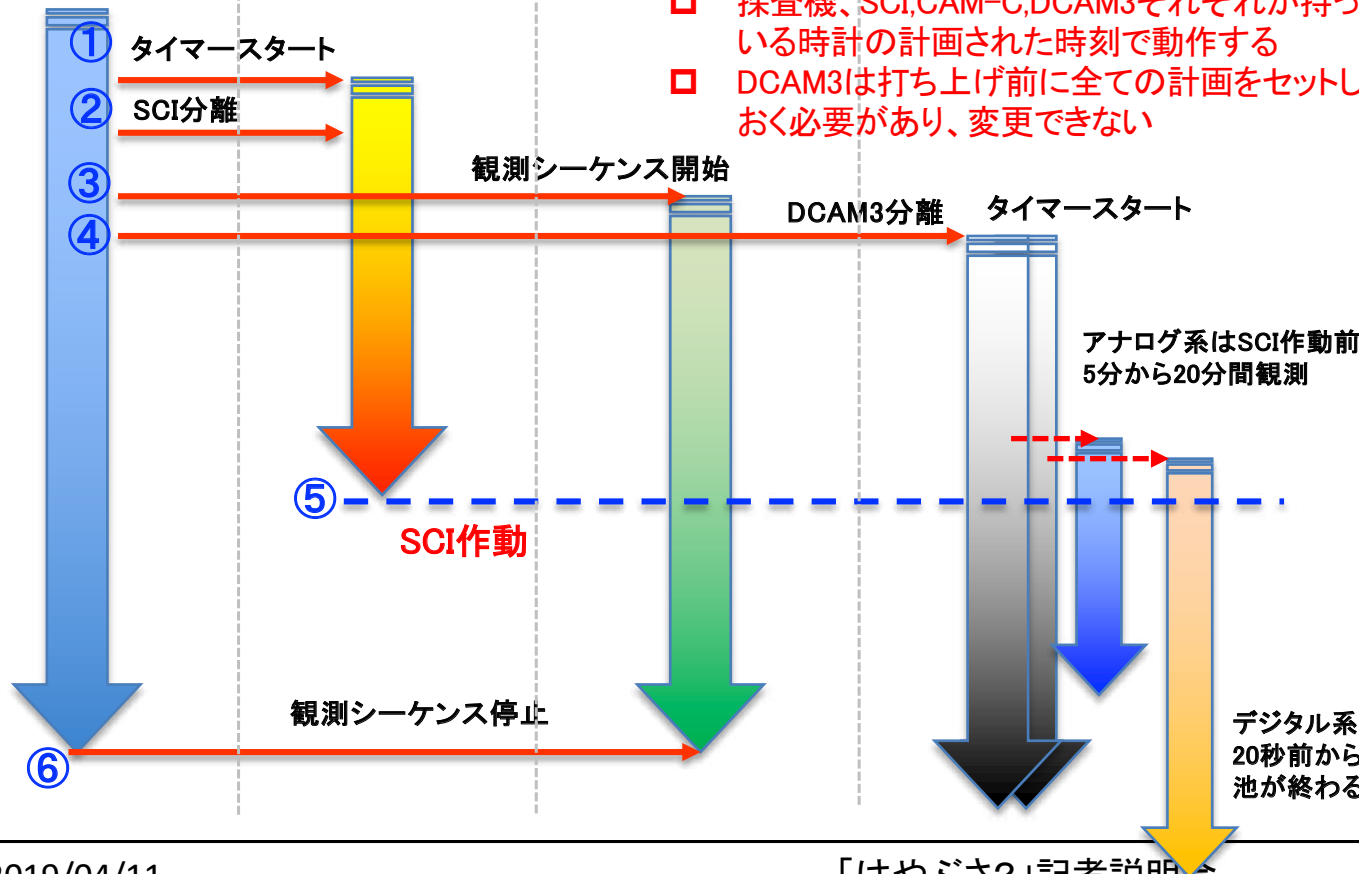
はやぶさ2

SCI

CAM-C

DCAM3

- 探査機、SCI、CAM-C、DCAM3それぞれが持っている時計の計画された時刻で動作する
- DCAM3は打ち上げ前に全ての計画をセットしておく必要があり、変更できない



(画像のクレジット: JAXA)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影

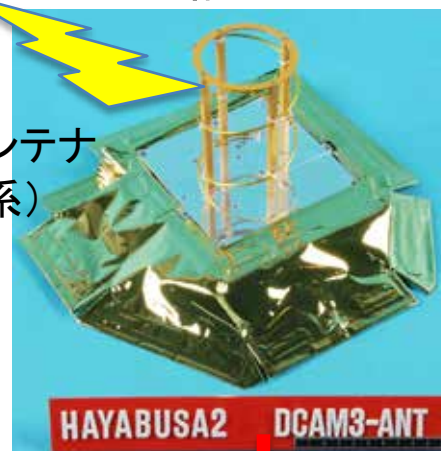


DCAM3のシステム構成



カメラコントローラCAM-C
-アナログ系データ処理部
-デジタル系データ処理部
(探査機内部に搭載)

アナログ系アンテナ
+ 受信機(両系)
(+Z面に搭載)

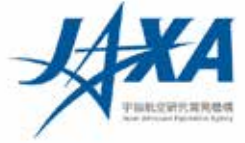


デジタル系受信アンテナ
(+Z面に搭載)

CAM-H(-Y面に搭載)

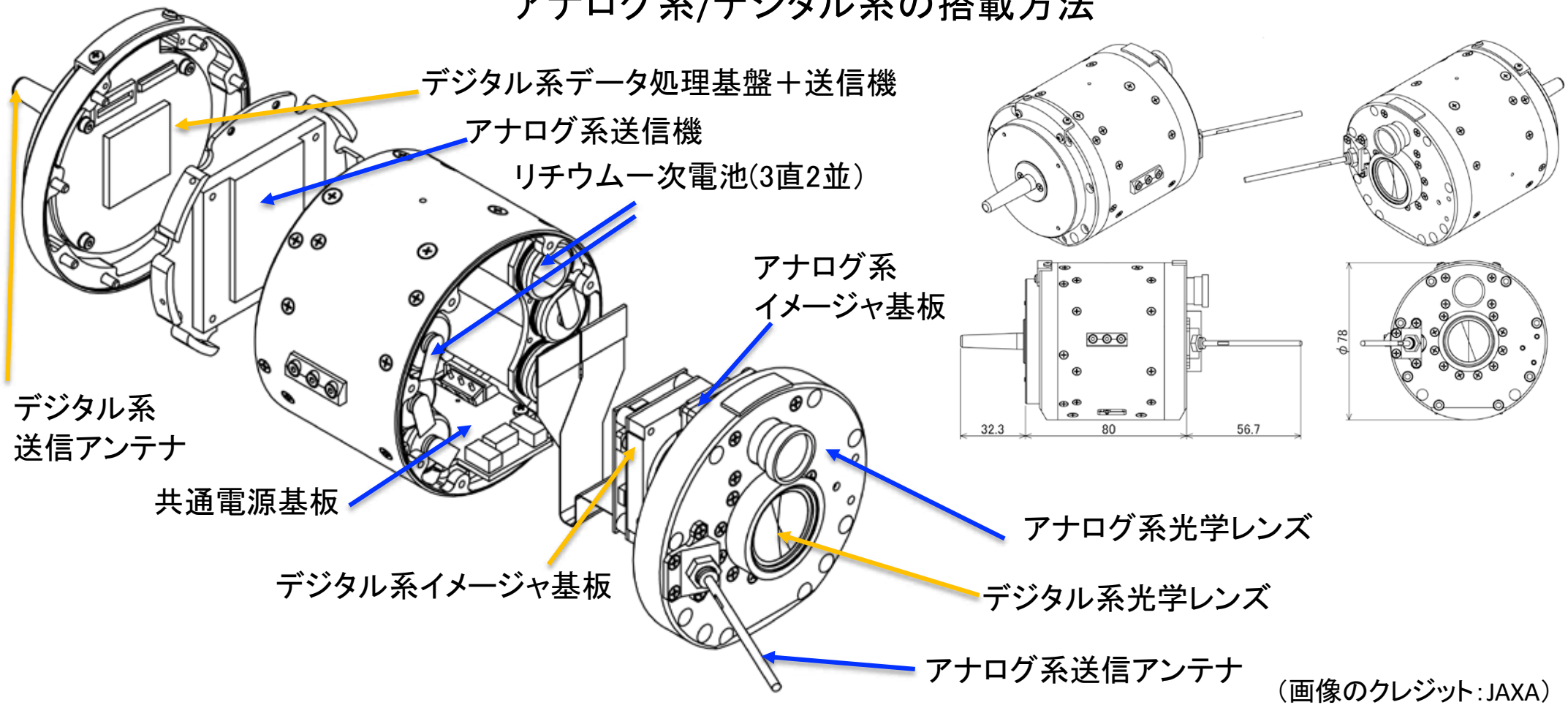


(画像のクレジット:JAXA)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影

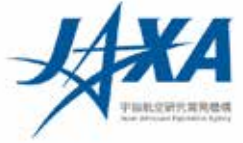
アナログ系/デジタル系の搭載方法



(画像のクレジット: JAXA)



3. 分離カメラ(DCAM3)による撮影



分離カメラ運用の結果

□ DCAM3は分離18分後から5時間以上動作した。

□ 全て予定のシーケンスに従って動作した。(詳細については現在解析中)

□ アナログ系は計画通り、20分間の観測をし、無線によって送られた画像は探査機側で受信。約500枚の画像を取得できていると考えられる(全てにリュウグウが写っているわけではなく、解析中)

□ デジタル系は、3時間以上撮像観測し、探査機側で画像を受信できていることを確認している。

日時 (機上)		SC 作動からの差分	イベント	
UT	JST		機上	地上
2019/04/05 02:14	2019/04/05 11:14	- 0 22	CAM-C 観測プログラム開始	
2019/04/05 02:14	2019/04/05 11:14	- 0 21	DCAM3分離	
2019/04/05 02:31	2019/04/05 11:31	- 0 04		地上にてDCAM 分離を確認 分離スイッチステータス→SEP ・ドップラにより0.6~0.7mm/sの 速度変化を確認
2019/04/05 02:31	2019/04/05 11:31	- 0 05	アナログ系観測開始	
2019/04/05 02:32	2019/04/05 11:32	- 0 03	デジタル系観測開始	
2019/04/05 02:36	2019/04/05 11:36	0 00	SC 1 作動	
2019/04/05 02:51	2019/04/05 11:51	+ 0 14	アナログ系観測停止	
2019/04/05 02:53	2019/04/05 11:53	+ 0 17		SC 1 作動によってDCAM 3に影響 はなく、正常に動作を続けている ことを確認
2019/04/05 03:04	2019/04/05 12:04	+ 0 28	デジタル系の通信レート 4M bps→1M bps	
2019/04/05 03:59	2019/04/05 12:59	+ 1 23	CAM-C 観測プログラム完了 デジタル系は観測を続ける	
2019/04/05 07:04	2019/04/05 16:04	+ 4 28		デジタル系観測停止コマンド
2019/04/05 07:22	2019/04/05 16:22	+ 4 46	デジタル系観測停止	
2019/04/05 07:39	2019/04/05 16:39	+ 5 03		地上にてデジタル系の観測停止 を確認、。以降、CAM-C 内に保 存されている画像情報を取得 し、探査機からダウンリンクする 画像を選別した



4. クレーター探索運用(事後)

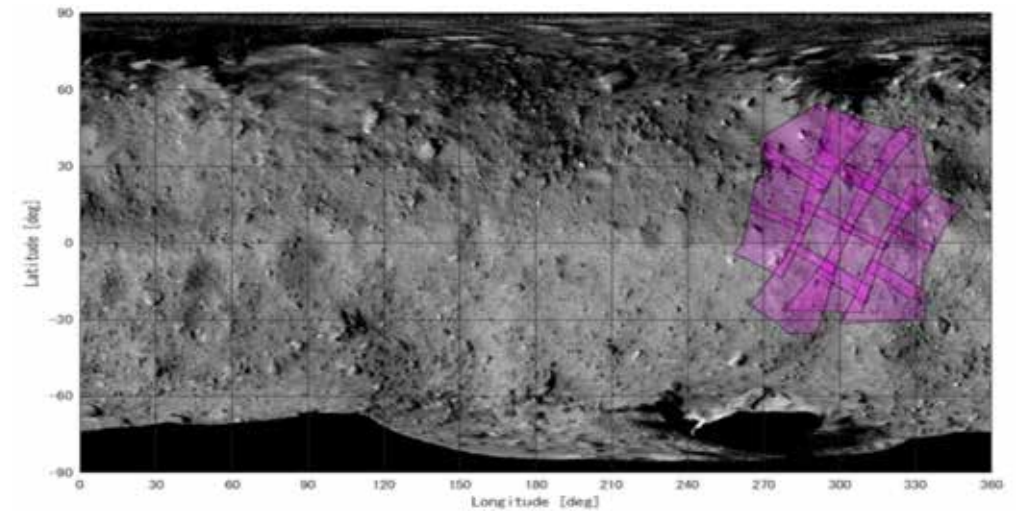
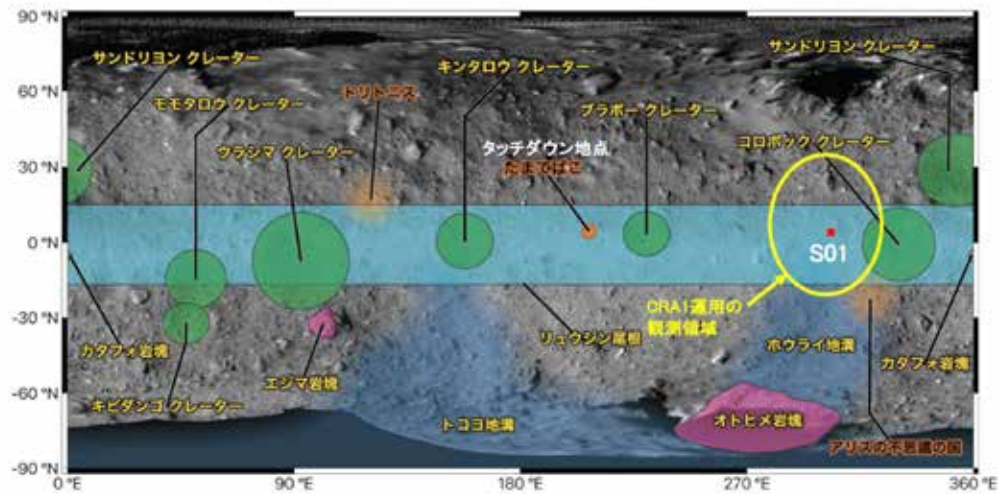
■ クレーター探索運用(事後)(CRA2)

- 衝突装置(SCI)が衝突したと思われる領域について事後に詳しいデータを取得する
- 運用日程:4月23日～25日
- 最低高度は約1.7km



4. クレーター探索運用(事後)

CRA2の位置



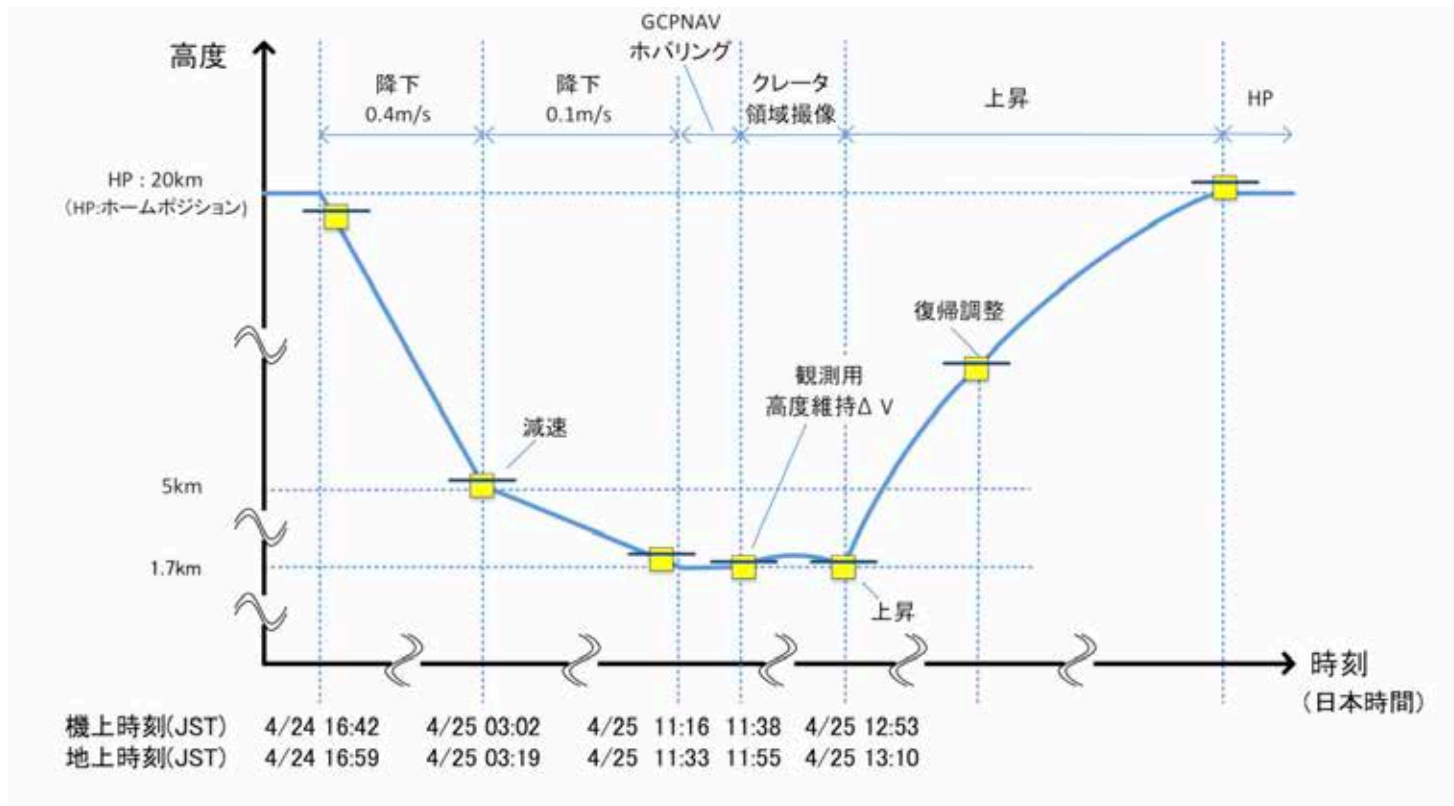
注) CRA2運用の観測領域はCRA1で事前観測した領域と同じである。

(画像のクレジット: 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)



4. クレーター探索運用(事後)

クレーター探索運用(事前)(CRA2)の計画



高度を約1.7kmに保ち
ながら、観測を行う。

(画像のクレジット: JAXA)



5. その他



運用管制室ライブ中継 (youtube)

- はやぶさ2のリアルタイム情報発信および宇宙探査のPRとして実施
- 中継再生数(2019/4/10 15時時点)
 - 日本語版 : 109,233 回視聴
 - 英語同時通訳 : 143,281 回視聴
- 今回の中継では、聴覚障害者への情報保障として、「要約筆記」によるリアルタイム字幕サービスを実施した。

※中継システムの都合で、プレスセンターの中継画面には字幕が表示されませんでした。

【要約筆記とは？】聴覚障害者に対する情報保障方法の一つ。

話の内容をその場で文字にして伝える。話の内容を要約して筆記するので「要約筆記」と言う。

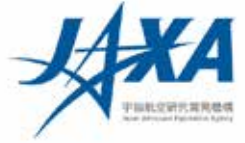
今回は、相模原市の筆記通訳サークル「もみじ」の皆さんのご協力でライブ字幕を作成した。

(画像のクレジット: JAXA)



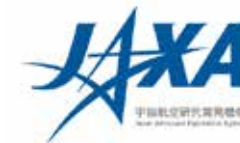


5. その他



EGU (European Geosciences Union)

- 欧州地球科学連合総会2019がオーストリア・ウィーンで現在(4月7～12日)開催中。
- 4月9日にHayabusa2 & OSIRIS-RExのセッションがあり、活発な議論がなされた。
- 「はやぶさ2」関連の発表は8件。



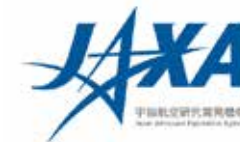
6. 今後の予定

■ 運用の予定

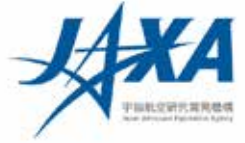
- ・ 4月23日～25日 : クレータ探索運用(事後)(CRA2)

■ 記者説明会等

- ・ 4月18日10:30～12:00 : OSIRIS-RExプロジェクトメンバー来日に伴う
取材機会提供 @JAXA相模原キャンパス



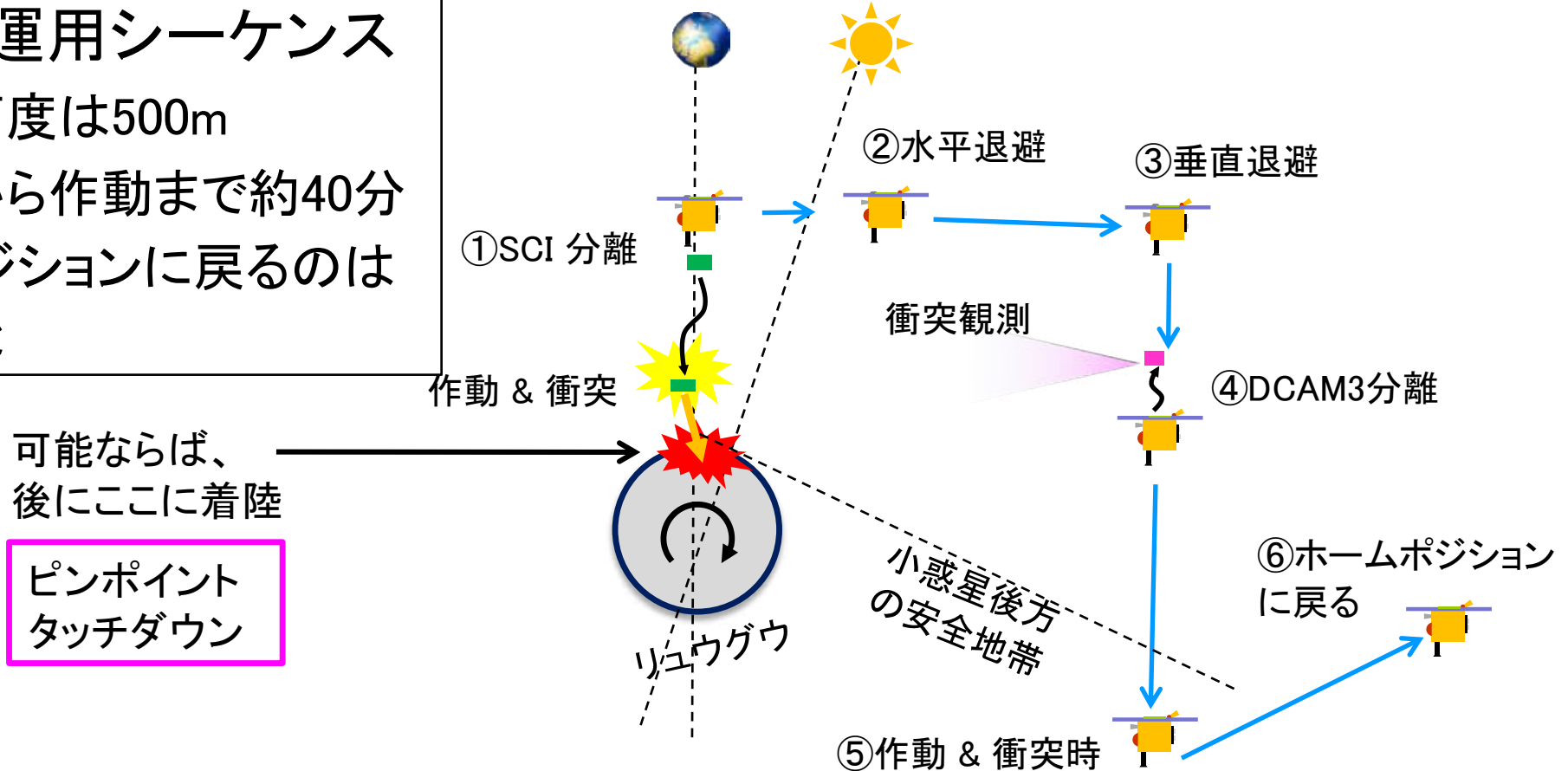
参考資料



衝突装置運用

衝突装置運用シーケンス

- SCI分離高度は500m
- SCI分離から作動まで約40分
- ホームポジションに戻るのは約2週間後



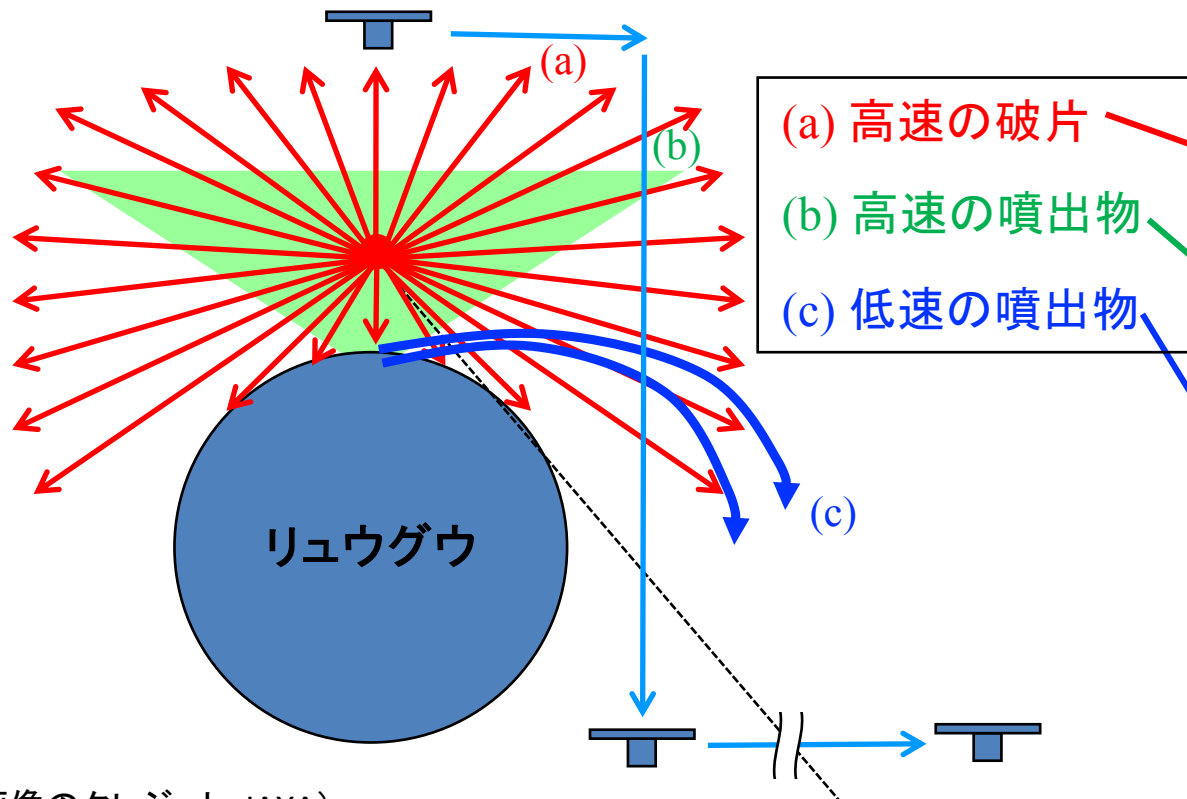
(画像のクレジット: JAXA)



衝突装置運用



デブリとイジェクタの回避方法

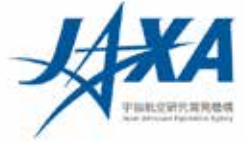


① デブリ回避
搭載型衝突機の作動時に飛散するデブリは小惑星の影で回避

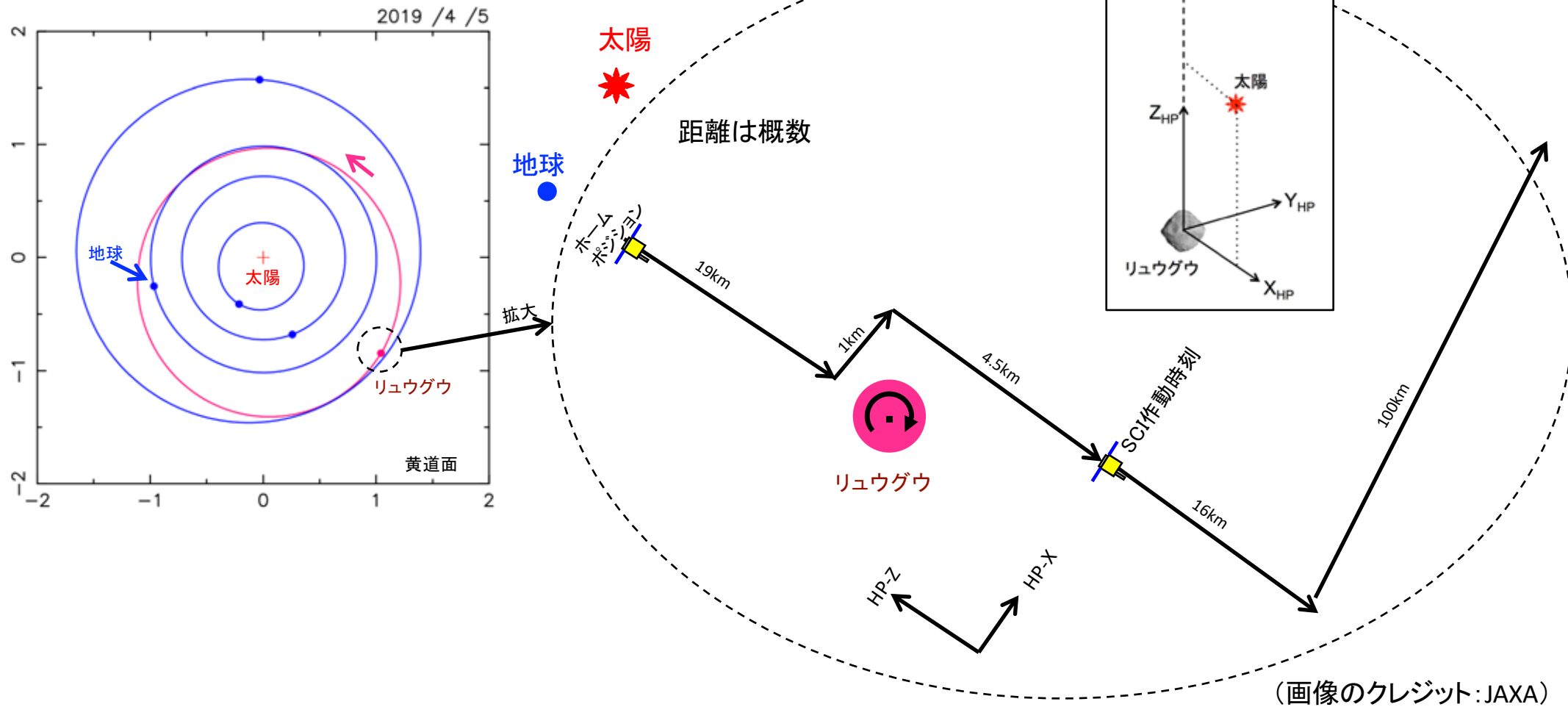
② 高速イジェクタ回避
衝突体衝突時に発生する高速イジェクタは①とともに小惑星の影で回避

③ 低速イジェクタ回避
軌道運動を行って回り込んでくる低速イジェクタは小惑星との距離をとることで回避。超高高度まで飛散する低速イジェクタは速度が小さいため衝突の影響は小さいうえに、衝突確率は低い

(画像のクレジット: JAXA)



衝突装置運用





衝突装置運用



衝突目標点設定とその理由

制約条件

SCI運用時のサブアース緯度(～北緯6°)を目標点とすること(衝突予測領域は3 σ で半径約200m = 緯度経度で約 $\pm 30^\circ$ の範囲)。

目標点の選定基準

第1優先: 見つかるクレーターを作れる場所であること。

第2優先: 着陸可能なエリアであること。

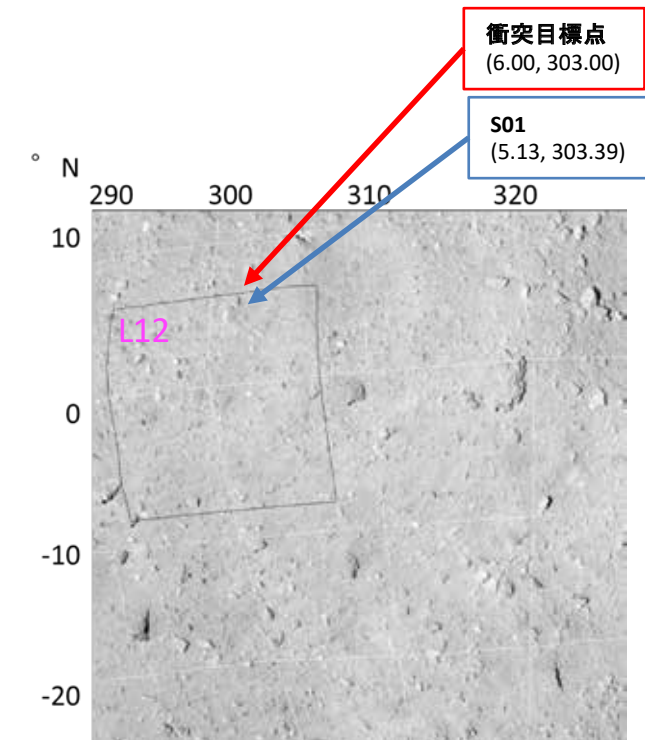
→平坦かつ細粒層の領域が望ましい。

衝突目標点緯度経度 (6.00° , 303.00°)

平坦領域L12 (TD有力次点候補S01)近辺であり、周囲に平坦領域が散在。

TD1とは別の地域(ホウライ地溝や東側半球)の試料を採取できる可能性。

TD1とよく似た地質領域であり、掘削試料採取によりTD1試料と比較することで物質・構造の深さ分布について議論可能。



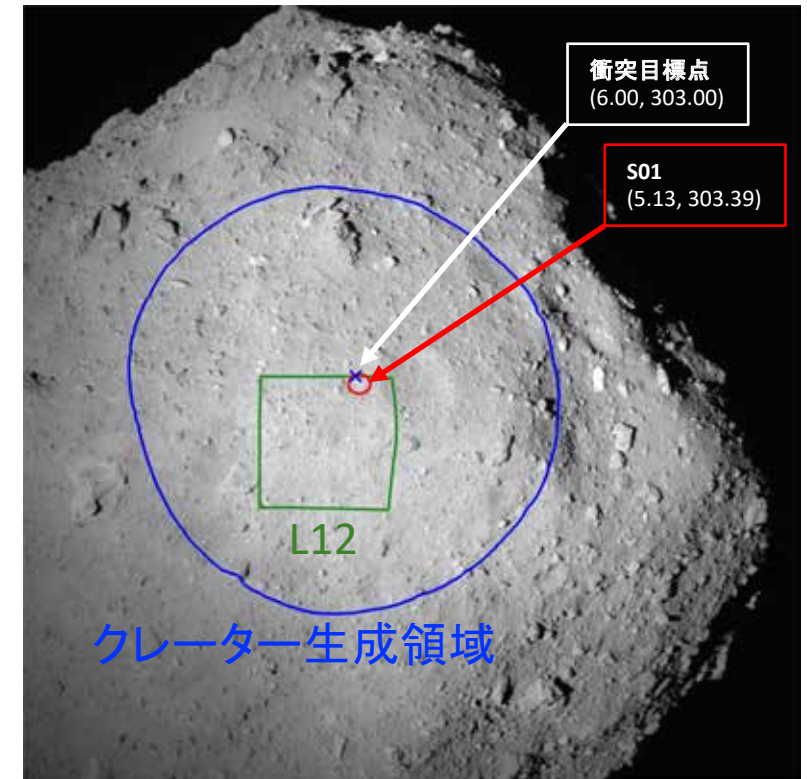
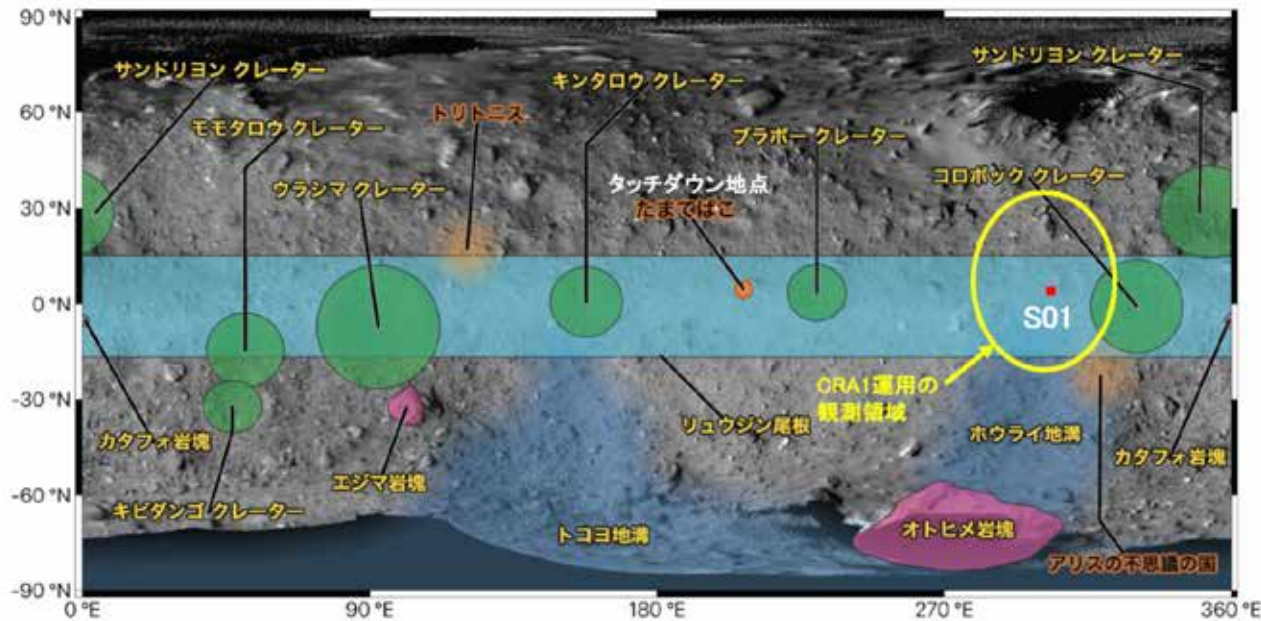
MASCOT投下のためのホバリング
時ONC-TIにより撮像(高度約3km)

(画像のクレジット: 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)



衝突装置運用

S01・CRA1・クレーター生成領域

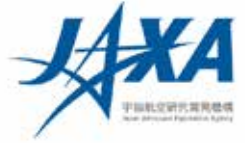


注) CRA1運用の観測領域は衝突装置によるクレーター生成領域と同じである。

(画像のクレジット: 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)

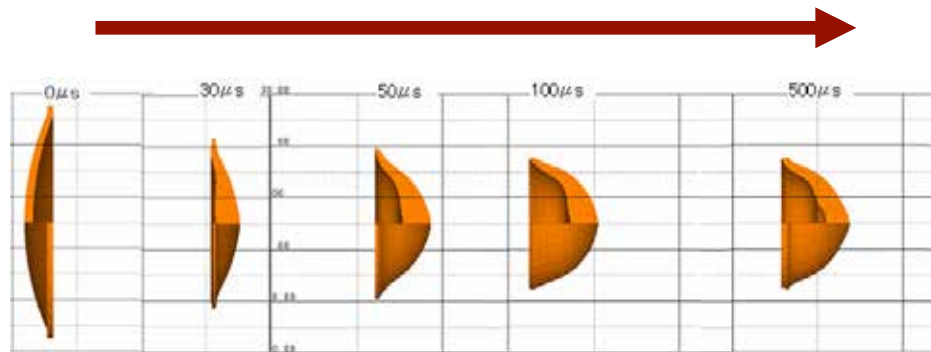


衝突装置



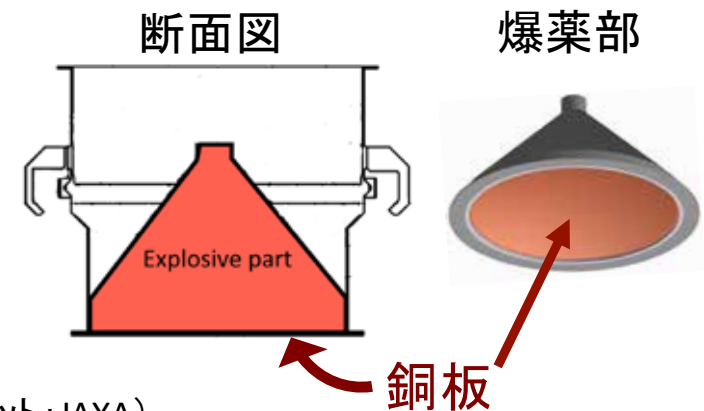
衝突装置 (SCI: Small Carry-on Impactor)

- ◆ 形状: 円錐形(直径300mm、質量 14kg, 爆薬部: 約9.5kg)
- ◆ ライナ(衝突体となる部分): 純銅(2kg)、厚さ約5mm
- ◆ 爆薬: HMX系PBX(Plastic bonded explosive)
- ◆ 爆薬によりライナを約1/1000秒で2km/sに加速



銅板(ライナ)が変形しながら飛んでいく

(画像のクレジット: JAXA)





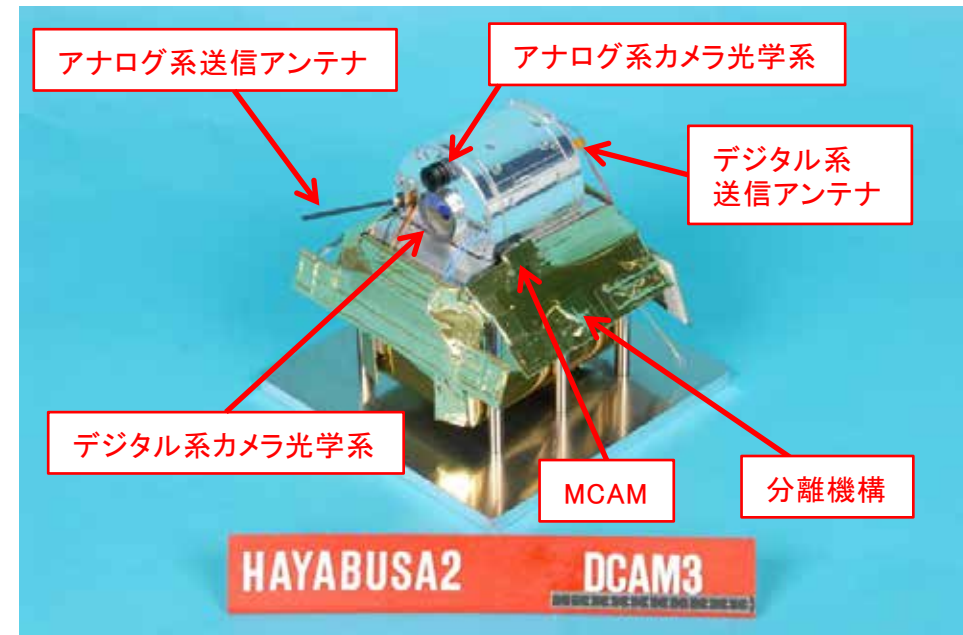
分離カメラ



分離カメラ(DCAM3)の概要

- 分離カメラ部はレンズ、アンテナの突起を除いて、 $\Phi 80 \text{ mm} \times 78 \text{ mm}$ の円筒形状。
- 低分解能だがリアルタイムで映像を送れるアナログカメラと高分解画像をデジタル通信するデジタルカメラの2台が内蔵。
- 画像送信機・送信アンテナもアナログ系、デジタル系、それぞれが搭載されている。
- バッテリーにより最長で3時間の撮像と無線データ送信が可能（条件による）。
- 10 km 以上離れても無線で母船に画像送信が可能。
- 分離機構に搭載する小型モニタカメラ (MCAM) が DCAM3 が分離して離れていく様子の撮影を試みる。

DCAM3 = Deployable Camera 3
ソーラー電力セイル「IKAROS」搭載の
DCAM1、DCAM2 の後継機



(画像のクレジット: JAXA)

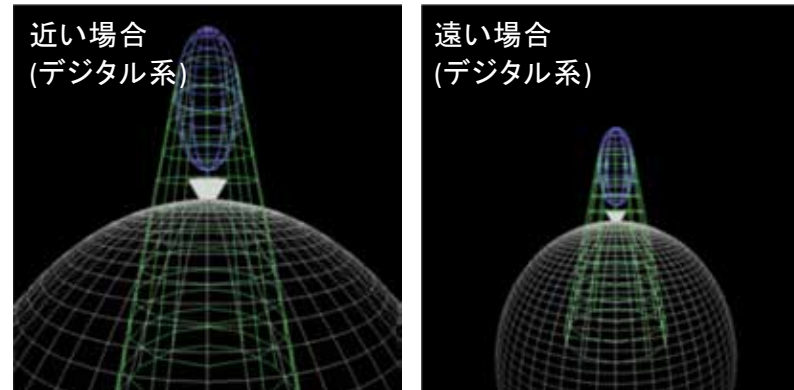


分離カメラ

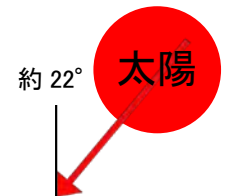


分離カメラ(DCAM3)の観測の概要

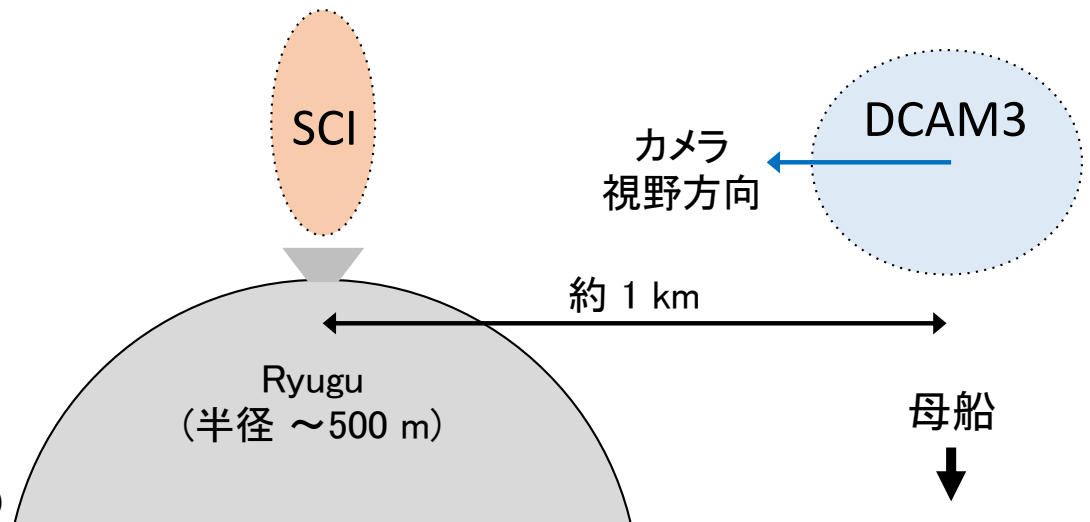
- 約 1 km 遠方から、衝突現象を観測する。
 - 小惑星本体
 - 衝突の際に発生する飛散物
 - 高速破片 (デジタル系のみ)
 - 低速ダスト (デジタル系のみ)
 - 作動前の SCI 本体 (デジタル系のみ)
- アナログ系: カラー、視野角 $71^\circ \times 53^\circ$ 、
720x526 ピクセル、分解能 約 10 m
デジタル系: モノクロ、視野角 $74^\circ \times 74^\circ$ 、
2000x2000 ピクセル、分解能 約 1 m
- アナログ系はリアルタイムで母船へデータを送信する。デジタル系は遅延して送信。



(Ogawa et al., Space Sci. Rev. 208, 125-142, 2017)



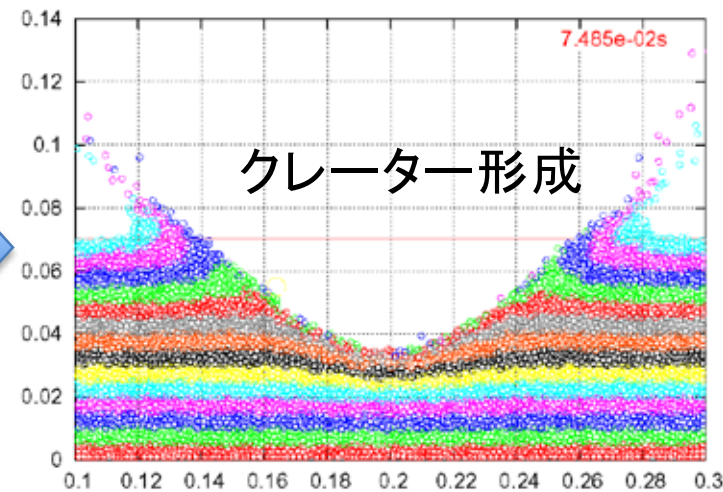
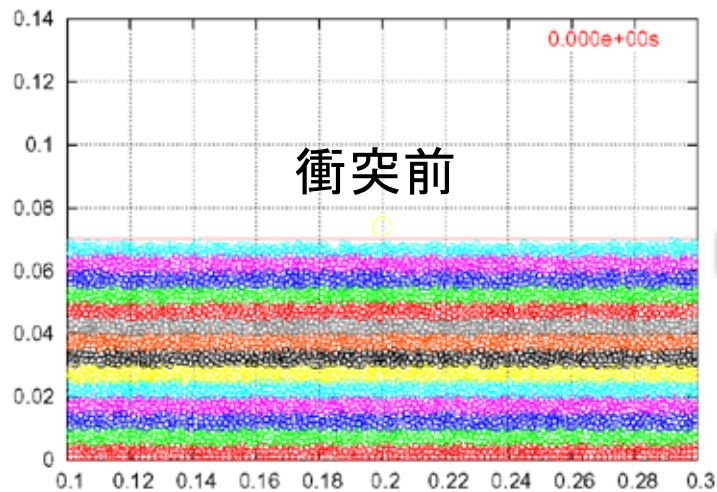
(画像のクレジット: 神戸大)



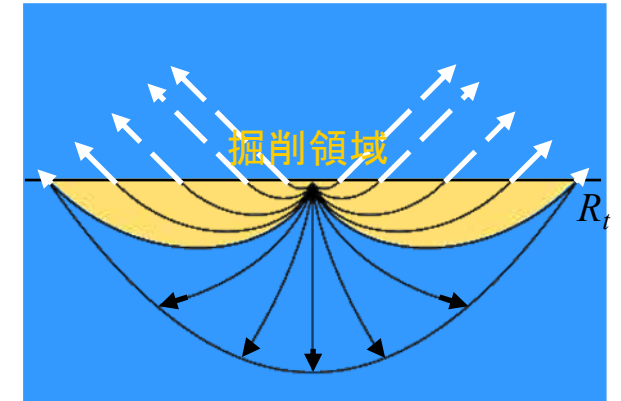


クレーター掘削深さ

- 掘削領域の深さは、クレーター直径の1/10程度



砂への衝突によるクレーター形成の数値シミュレーションの例。色は衝突前の深さに対応。(提供: 和田浩二)

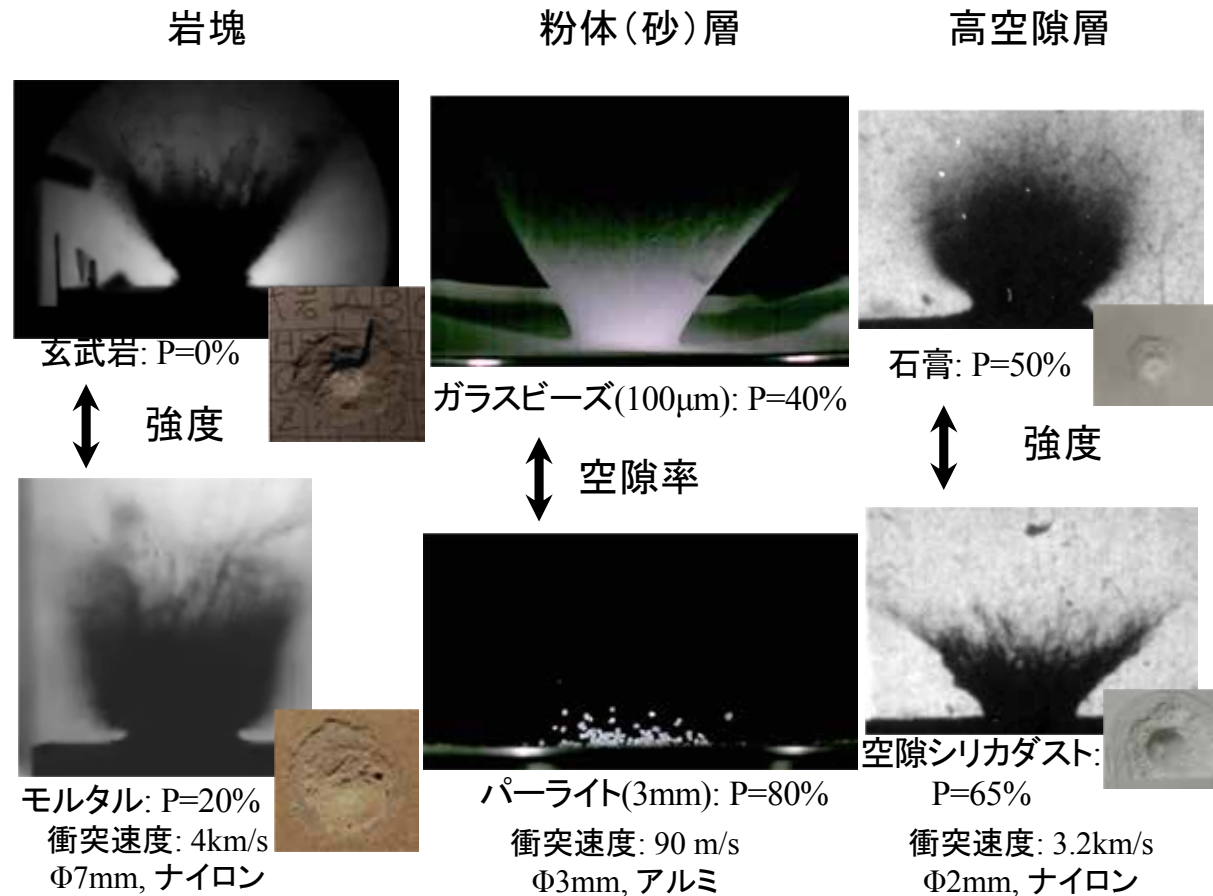


掘削モデル

(画像のクレジット: 千葉工業大学)

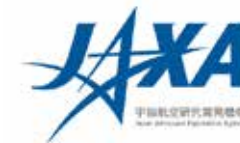


衝突実験で見られるイジェクタの放出の様子



P: 空隙率
φ: 弾丸径

提供: 神戸大学荒川研究室



衝突装置によるサイエンス

衝突成長・破壊を繰り返す天体形成進化の理解へ

- リュウグウ表面でどのような衝突クレーターがどのようにできるか/できないか？
 - クレーター形成過程の観測と形成クレーターサイズ・形状の測定
 - 本物の小惑星物質・環境における衝突実験による衝突物理モデル(スケーリング則)の構築
 - リュウグウの衝突史・表面年代推定(クレーター年代学)のためのスケーリング則の構築
- リュウグウの“地下”はどうなっているのか？

スケーリング則: 衝突条件と形成クレーター諸量をつなぐ普遍的な関係式。

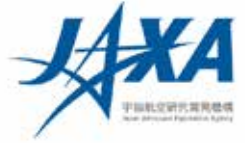
 - クレーター形成による地下物質の暴露・採取 → 宇宙風化・表層流動の影響評価
 - **掘削放出物(イジェクタ)のその場観測** → 地下の状態(空隙率, 粒径分布など)を推定
- リュウグウ表層は動きやすいのか？

DCAM3の活躍

 - 衝突の際の地形変化等を計測 → 衝突振動の影響、小さいクレーターが少ないことの理解へ
- 岩塊に衝突した場合は…
 - 岩塊上のクレーター計測あるいは岩塊破壊の破片計測 → 小惑星物質の強度推定



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)

