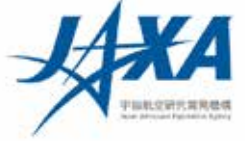


# 小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年5月9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、

- クレーター探索運用(事後)結果
- SCI衝突実験の科学
- 今後の運用方針

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. クレーター探索運用(事後)結果
  3. SCI衝突実験の科学
  4. 今後の運用方針
  5. サイエンス関連の話題
  6. その他
  7. 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

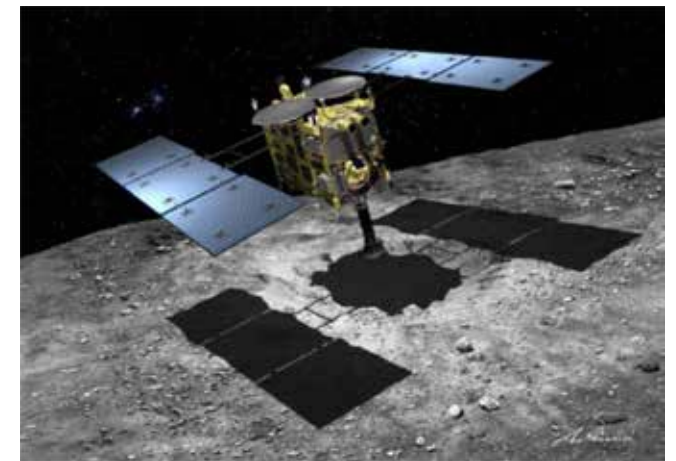
- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

## 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」主要精元 (イラスト 池下章裕氏)

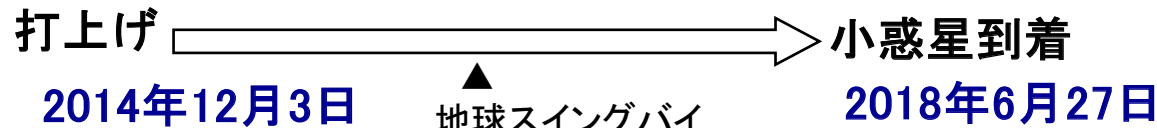
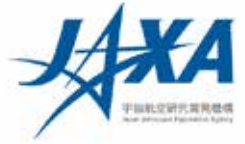
質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)6月27日
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

### 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



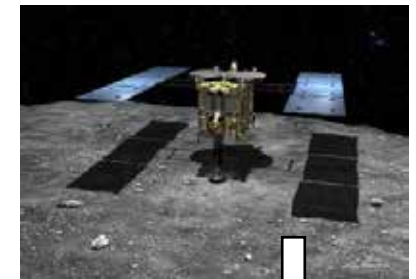
# ミッションの流れ概要



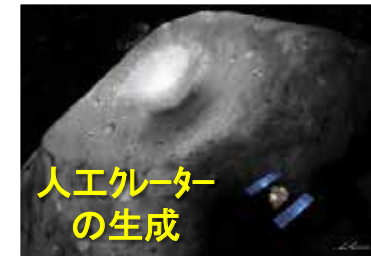
地球スイングバイ  
2015年12月3日



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。



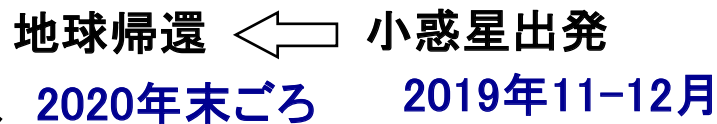
衝突装置放出



人工クレーターの生成

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。

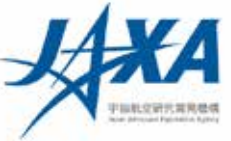
(イラスト 池下章裕氏)



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。

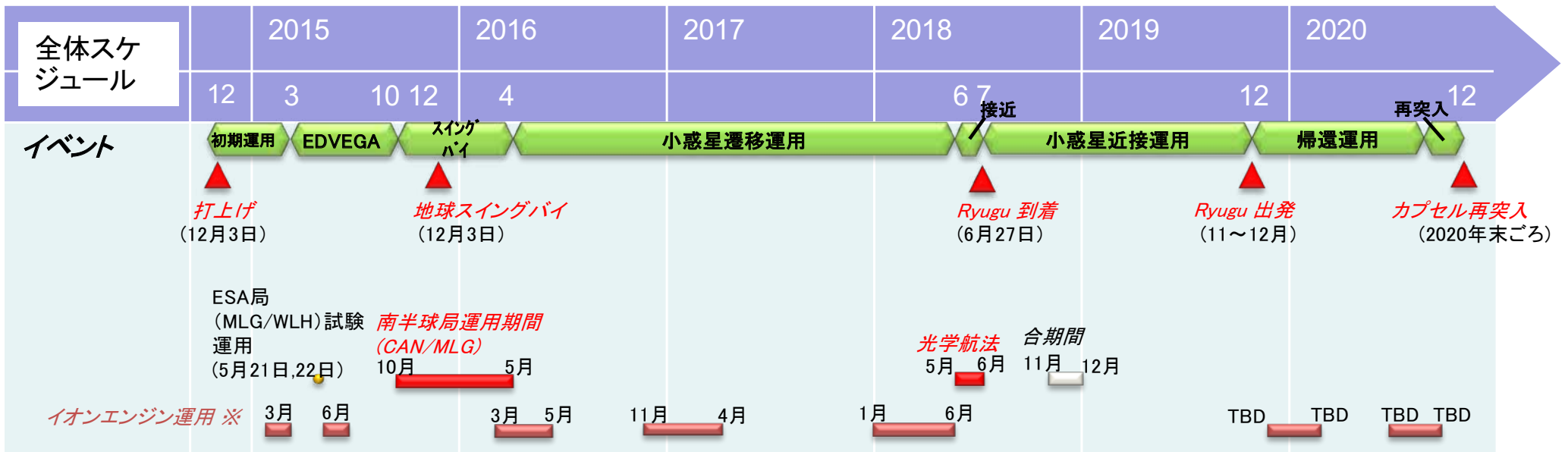


サンプル分析



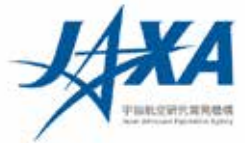
# 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

- 現状：
- 4月23日～25日にクレーター探索運用(事後)(CRA2)を行い、衝突装置によって生成されたクレーターを確認した。
  - SCI運用の結果を受けて、今後の運用方針の検討を行った。
  - 5月14日～16日に降下運用を行いターゲットマーカの分離を行う。





## 2. クレーター探索運用(事後)結果

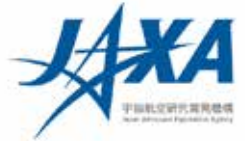


### ■ クレーター探索運用(事後) (CRA2)

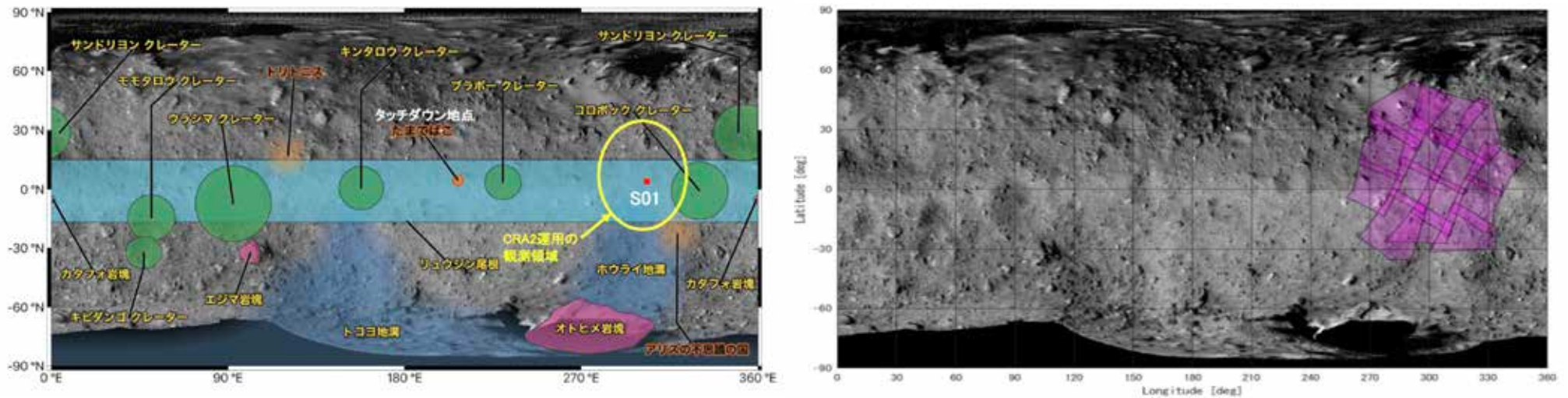
- 衝突装置 (SCI) が衝突したと思われる領域について事後に詳しいデータを取得した。
- 運用: 4月23日～25日
- 4月24日16時42分(機上、日本時間)に降下開始
- 4月25日11時16分(機上、日本時間)に最低高度約1.7km到達
  
- クレーターの撮影に成功→詳しくは3章で説明する。
- クレーターの位置より、SCIはほぼ狙った位置に衝突



## 2. クレーター探索運用(事後)結果



### CRA2の位置



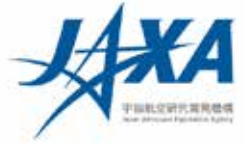
注) CRA2運用の観測領域はCRA1で事前観測した領域と同じである。

(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)

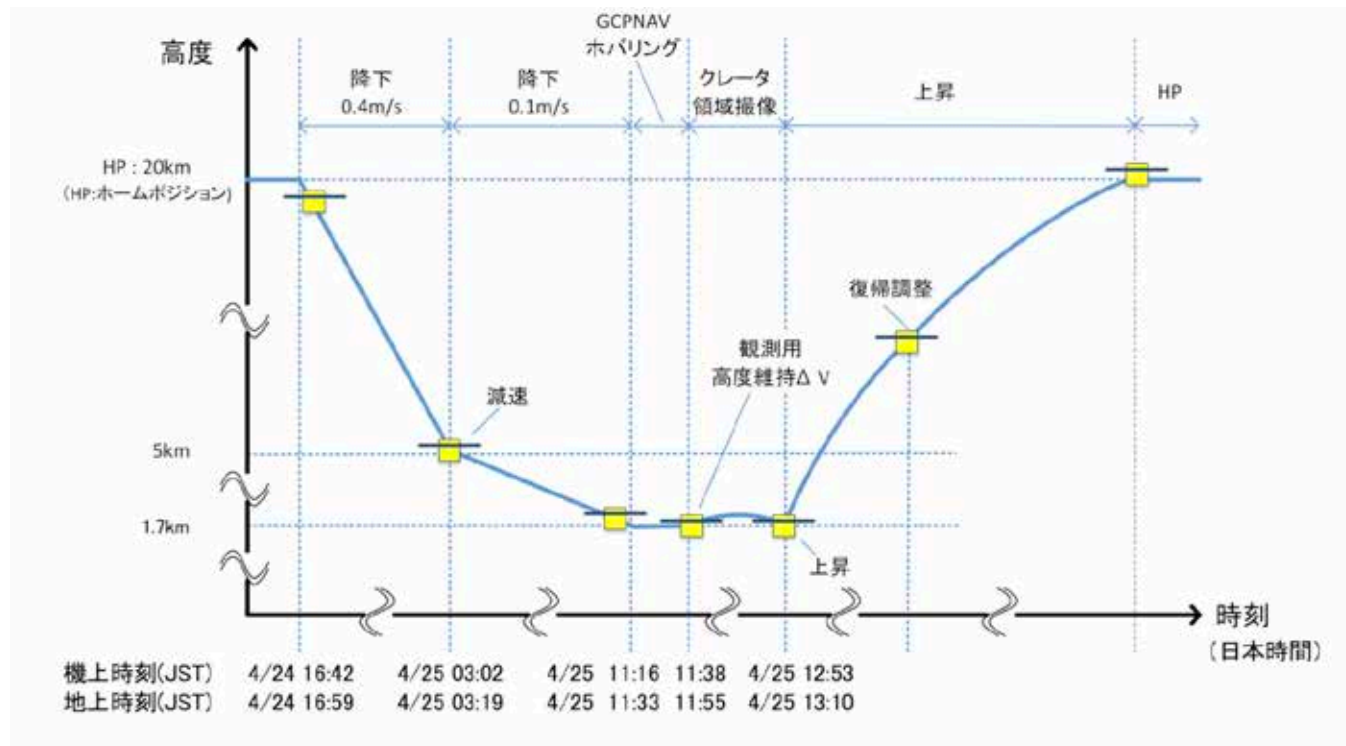




## 2. クレーター探索運用(事後)結果



### クレーター探索運用(事後) (CRA2) 結果



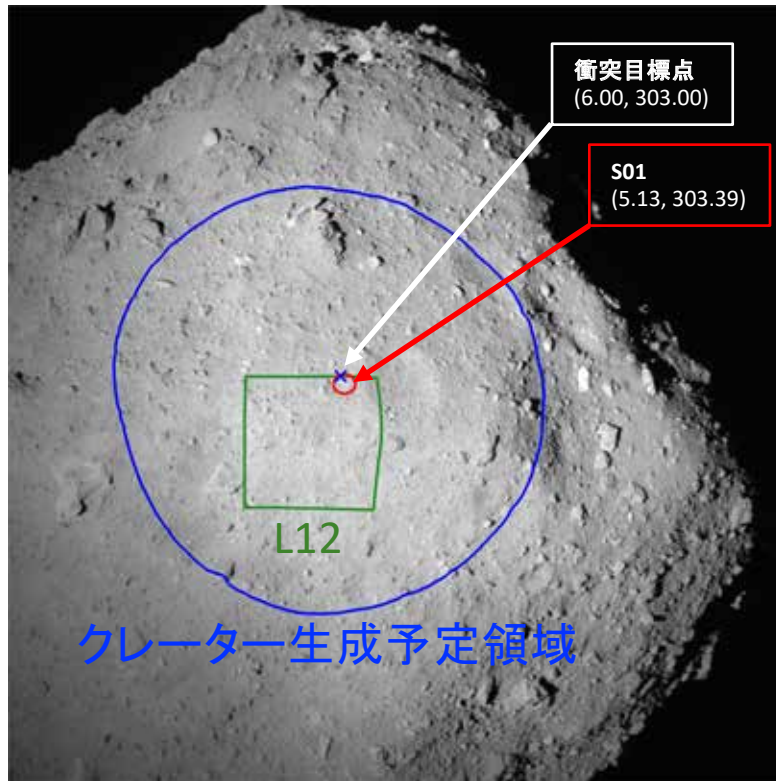
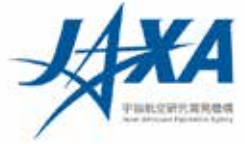
・高度を約1.7kmに保ちながら、観測  
 ・衝突装置(SCI)でクレーターを生成したと思われる領域について事後に詳しいデータを取得  
 ↓  
 予定通りの観測を行うことができた。

※実際の運用時刻は計画と同じ

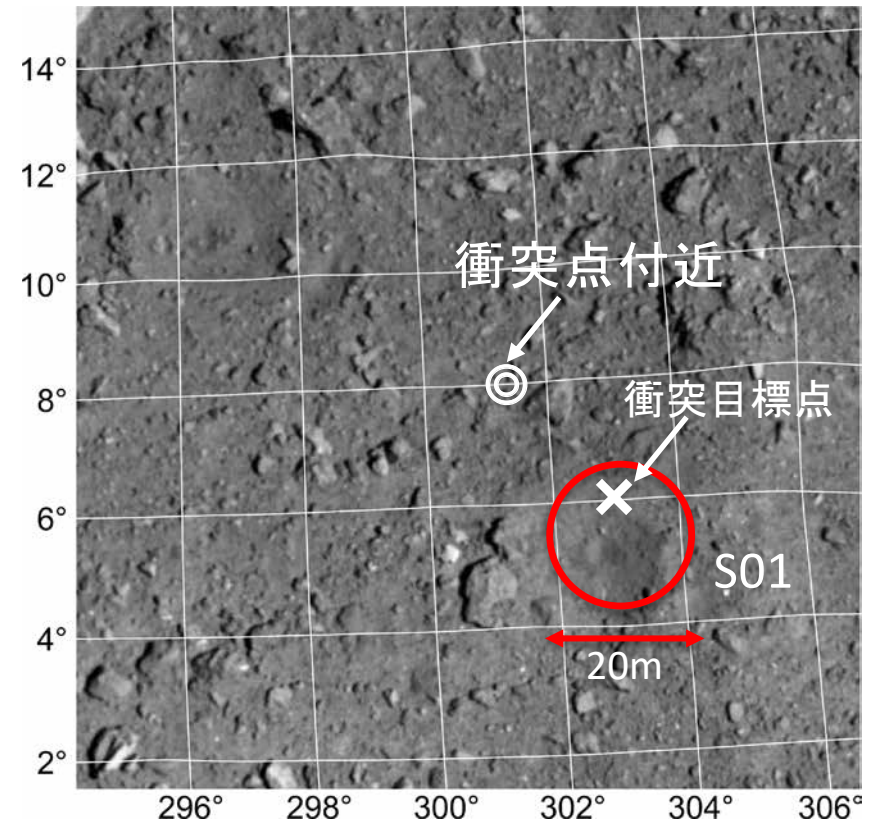
(画像のクレジット: JAXA)



## 2. クレーター探索運用(事後)結果



衝突位置(画像は衝突前に撮影したもの)

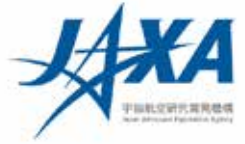


注: 図で示している位置はおおよその位置である。  
SCIが衝突した正確な位置は、解析中。

(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)

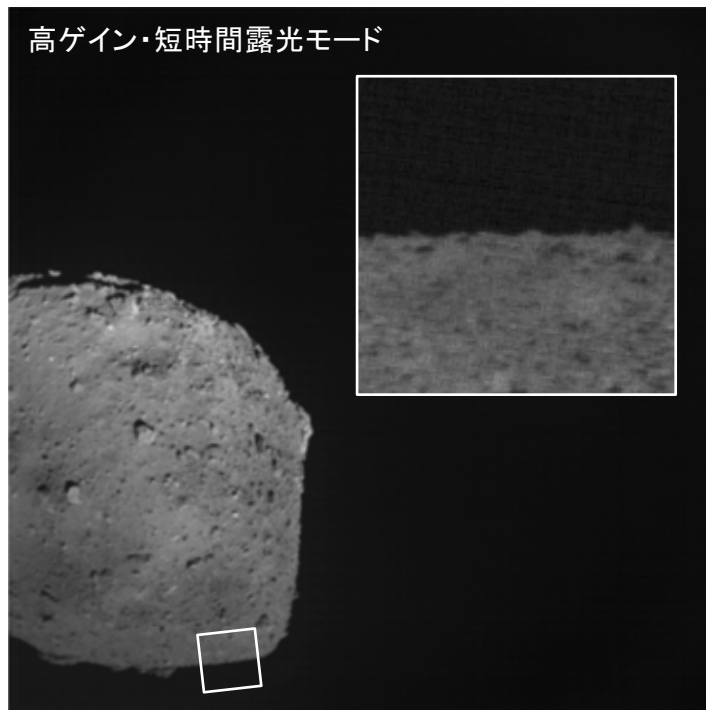


# 3. SCI衝突実験の科学: イジェクタ



- DCAM3(デジタル系)による衝突放出物(イジェクタ)の画像

SCI 作動の約 14 秒前



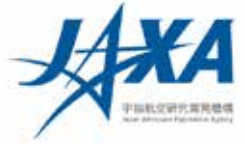
SCI 作動の約 3 秒後



(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. SCI衝突実験の科学:クレーター



- SCI衝突前後の地形変化

SCI衝突前 2019/03/22



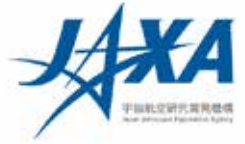
SCI衝突後 2019/04/25



(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)



### 3. SCI衝突実験の科学:クレーター



- SCI衝突前後の地形変化  
(前後の比較のブリンク画像)
  - クレーターの形成
  - 掘り起こされ移動する岩塊
  - 周囲に放出される岩塊



(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)

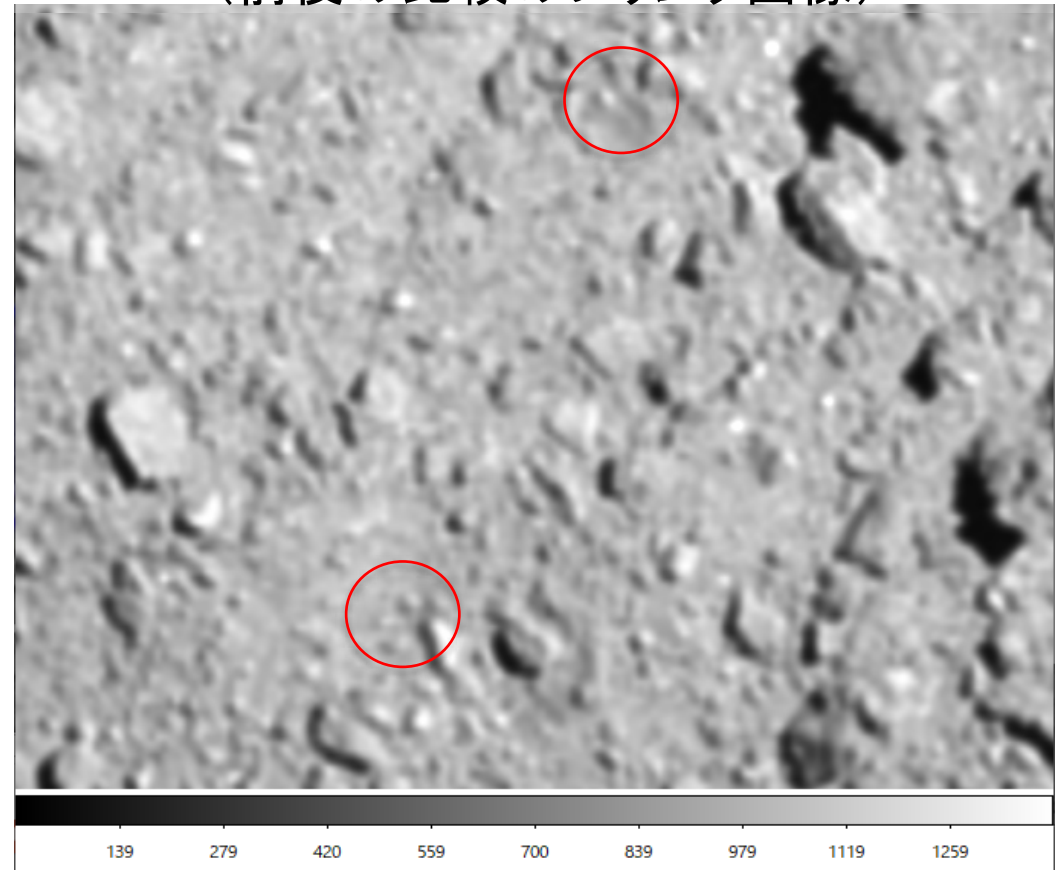


### 3. SCI衝突実験の科学：副クレーター



(前後の比較のブリンク画像)

- SCIクレーター以外の場所にも衝突前後で変化が見られる。
  - クレーター状地形の形成(右図の上の丸内)
  - 岩塊の移動(下の丸内)
- これらは小惑星の表面上に円弧上に分布



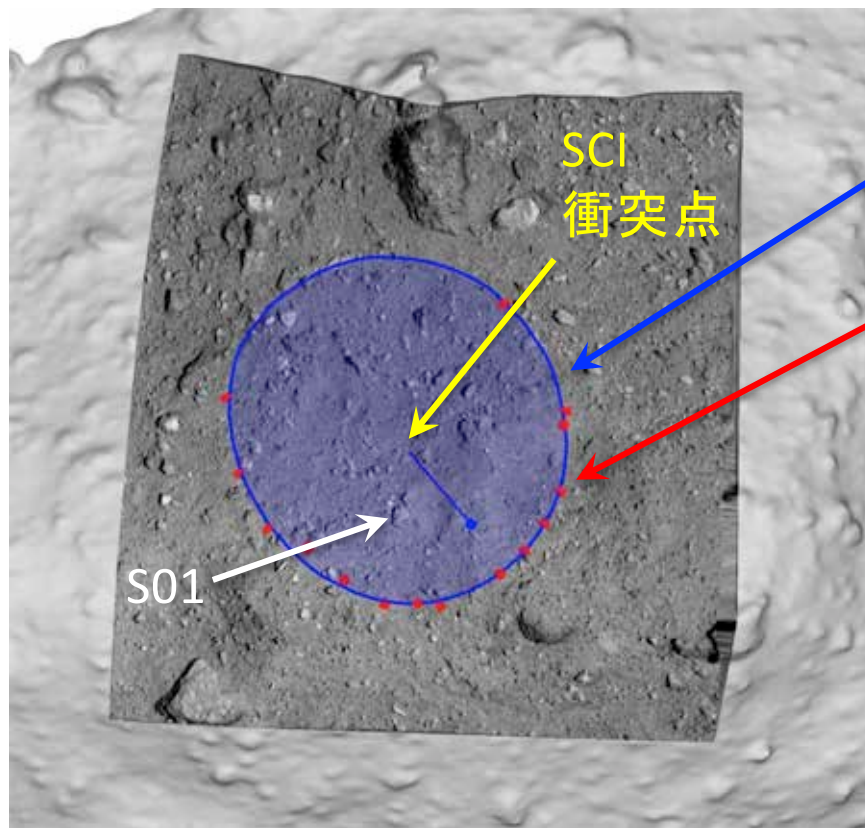
(画像のクレジット: JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、明治大、会津大、産総研)



# 3. SCI衝突実験の科学：副クレーター



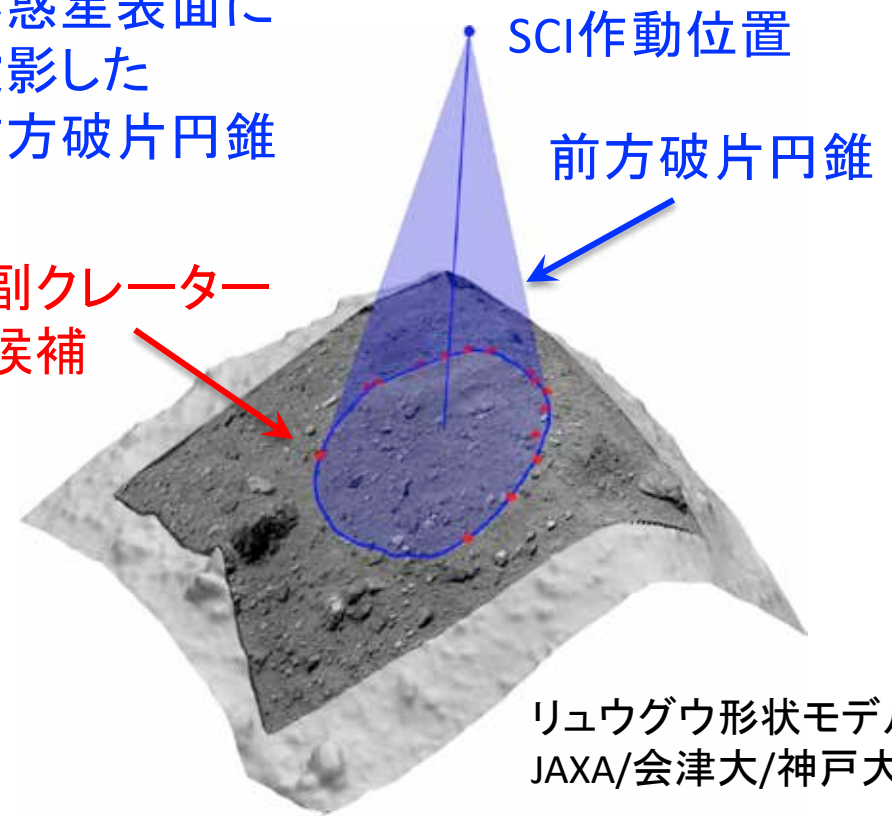
- 前方に放出された破片により生成か。



小惑星表面に  
投影した  
前方破片円錐

副クレーター  
候補

(画像のクレジット JAXA)



リュウグウ形状モデル  
JAXA/会津大/神戸大



# 3. SCI衝突実験の科学：副クレーター



## 参考

### ■SCI小型モデル(直径5cm)による試験

- ・2009年に実施
- ・衝突速度2.1km/s



(動画)

### ■SCI1/2スケールモデル(直径15cm)による試験

- ・2011年に実施
- ・紙とベニア板からなる標的に衝突させ破片の分布を調べた。



【破片的1-1】

(画像のクレジット JAXA)





### 3. SCI衝突実験の科学：まとめ



- S01領域近傍(約25 mの距離)へのSCI衝突に成功した。
- 数百秒にわたって衝突放出物(イジェクタ)が見られた(DCAM3が撮像)。
  - 低重力下では継続時間が長くなる(地上の約300倍)。
  - S01領域へのイジェクタ堆積が強く示唆される。
- 直径10 mを超えるほぼ円形の地形変化が確認された(ONC-T画像)。
  - 掘削クレータ形状:2-3 m程度の深さ。側壁面なめらかに見える。
  - 岩塊移動(掘り起こし)とそれに伴う地形変化も見られる。
  - 表面反射率の変化(暗化)も伺える(検証が必要)。
  - 直径からリュウグウの表層強度や表面年代を推定することが可能(次頁)。
- 楕円周上\*に沿って、副クレーターの生成や岩塊の移動が見られる。
  - SCIの前方に飛散した破片(前方破片)の衝突によるものと推定される。

\*正確には「SCI作動点を頂点とする前方破片円錐とリュウグウ表面のなす交線上」



# 3. SCI衝突実験の科学：表層の強度

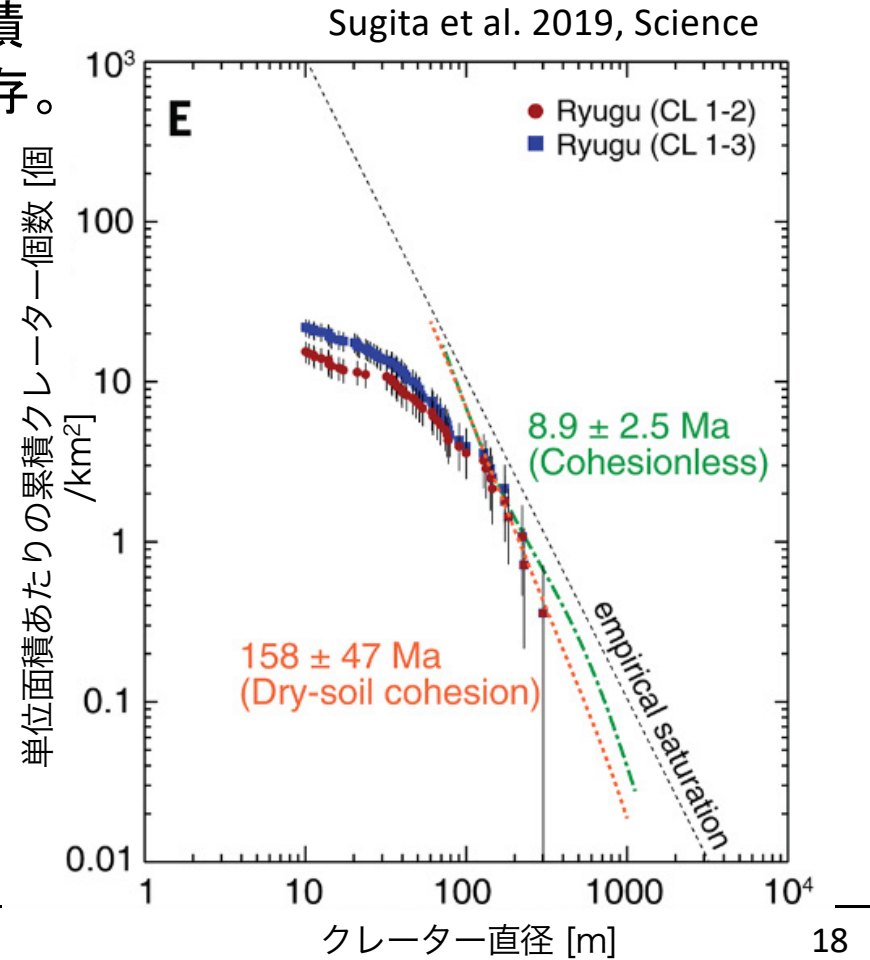
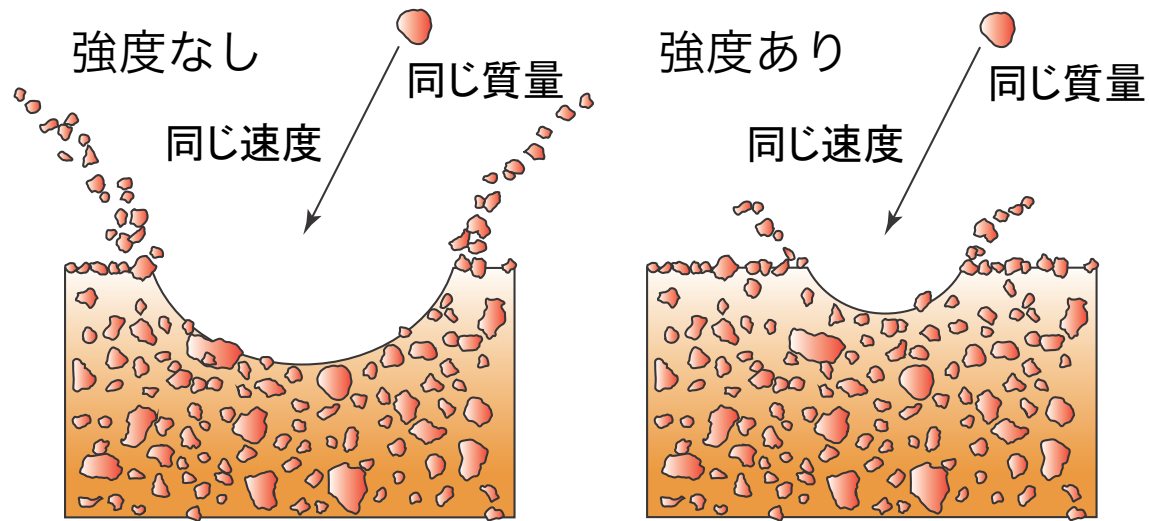


クレーターの個数密度(単位面積あたりの数)から見積もったリュウグウの表面年代は表層の強度に強く依存。

強度なし → 約900万年前(9 Ma)

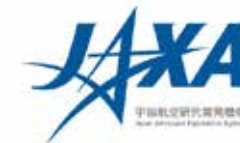
強度あり(2気圧) → 約1.6億年前(160 Ma)

⇒ SCI衝突実験結果から強度の推定が可能。

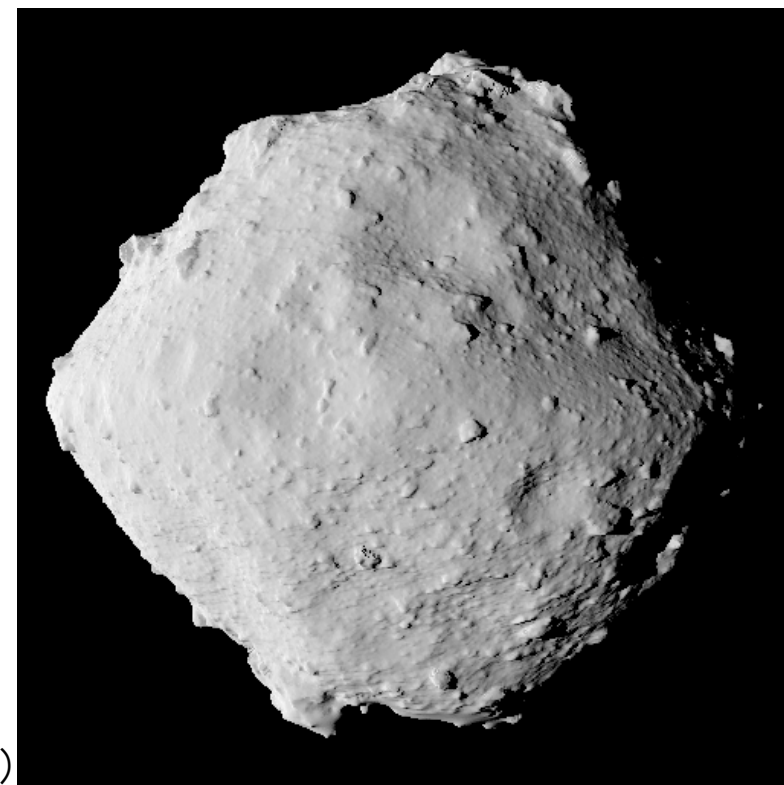




### 3. SCI衝突実験の科学：展望

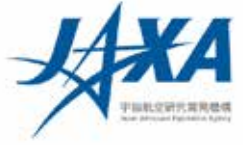


- 表層の強度がわかると...
  - リュウグウの形状形成過程・起源に制約
  - 「小惑星帯→地球」への物質輸送過程
    - 隕石／惑星間塵の生成過程
    - 隕石の大気圏での崩壊過程
- クレーター科学
  - 微小重力天体衝突の実証的解明
  - 地上実験結果と天体衝突過程を結ぶ「スケーリング則」の確立
- 地下サンプル取得への期待
  - 小惑星表層の混合過程
  - C型小惑星の宇宙風化過程



(動画)

SfM形状モデル Watanabe et al. 2019, Science  
画像クレジット：JAXA/会津大/神戸大



## 4. 今後の運用方針

### ■ 5～7月の運用計画の考え方

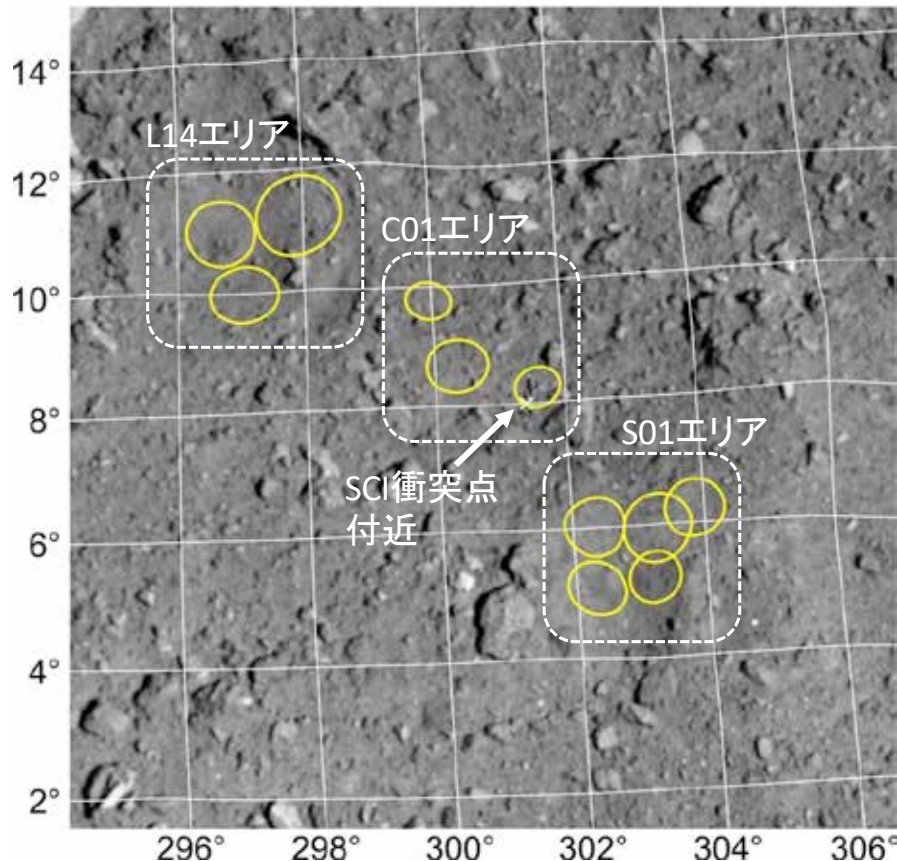
- 現在、リュウグウは太陽へ近づいている(近日点は9月)。今後小惑星表面温度が高くなるため、着陸可能な時期は7月初まで。
- クレーター周辺の地形と、探査機の状態を6月初旬までに精査した上で、実際に6月末～7月初にタッチダウン運用を実施するかを決める。
  - 実施する場合の目標地点は、人工クレーターからのイジェクタ(飛散物)がある地域から選ぶ。
  - 運用名は、「ピンポイントタッチダウン」(PPTD)とする。
- PPTD運用実施前、5～6月に2回ないし3回の低高度降下観測運用を実施する。それにより、着陸候補地点の詳細な地形観測をするとともに、状況に応じて着陸への布石としてターゲットマーカを投下する。
  - 1回目： 5/14～5/16 運用名：PPTD-TM1(後述)
  - 2回目： 5月末 運用名：未定
  - 3回目： 6月前半 運用名：未定



## 4. 今後の運用方針



### ■現在抽出されているタッチダウン候補地点



- C01は人工クレータが作られたエリア
- S01は事前に今年3月にバックアップ候補地点として観測していたエリア
- L14はTD2の候補地点として、SCI衝突地点付近で新たに抽出されたエリア
- 黄色い円の領域が、現状抽出されているタッチダウン候補地点(いずれも直径6~12m)

PPTD-TM1運用では、S01領域の低高度観測を行い、ターゲットマーカを投下する。

(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. 今後の運用方針

### ■ 今後のタッチダウン運用への見通し

以下の点を精査した上で、実際にタッチダウン運用を実施するかを決める。

#### (1) 第2回タッチダウン実施の科学的・工学的価値

- タッチダウン運用のリスクが十分小さく、第2回タッチダウン実施の価値が十分高いといえるか？
- 人工クレーターのイジェクタを採取できる確度が高いといえるか？

#### (2) タッチダウン運用の成立性

- タッチダウンに必要な地形情報が得られ、十分安全なタッチダウンシーケンスが設計できるか？
- ターゲットマーカがタッチダウン目標点の近くに落とせたか？

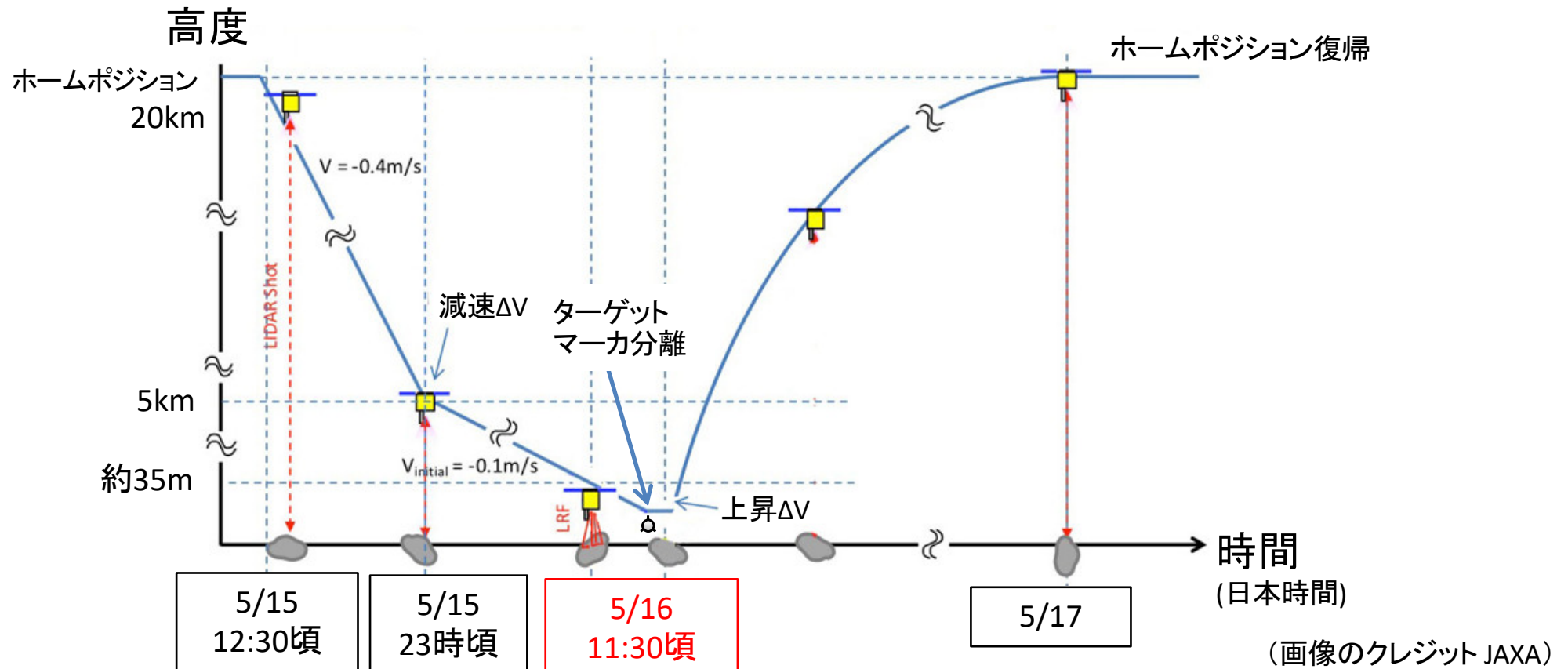
#### (3) 探査機の状態

- 第1回タッチダウンの際、光学系が砂塵により曇ったことが判明しているが、その状態で支障なくタッチダウンできることが確認できるか？



# 4. 今後の運用方針

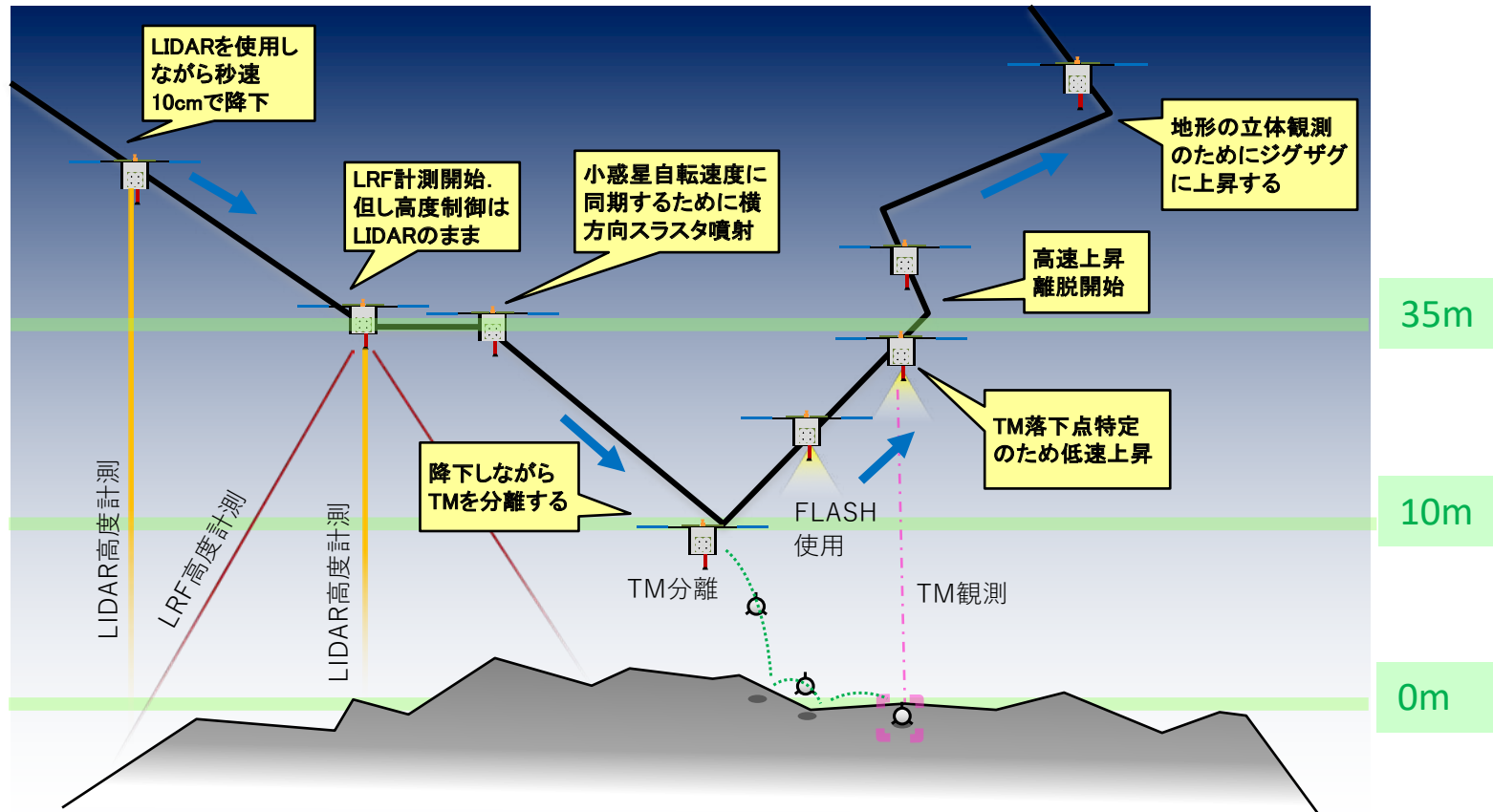
## PPTD-TM1運用





# 4. 今後の運用方針

## PPTD-TM1運用の低高度シーケンス

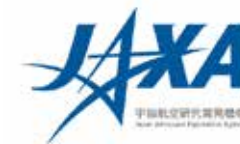


(画像のクレジット JAXA)





## 5. サイエンス関連の話題



(1)サイエンス誌投稿論文が冊子に掲載されました(2019年4月19日号)。表紙にはリュウグウの画像が使われています。

(右図)

(2)The Astrophysical Journal Letters に論文が掲載されました。(次ページ参照)

・主著者:平林正稔(Auburn University)



サイエンス誌  
2019年4月19日号



# 5. サイエンス関連の話題



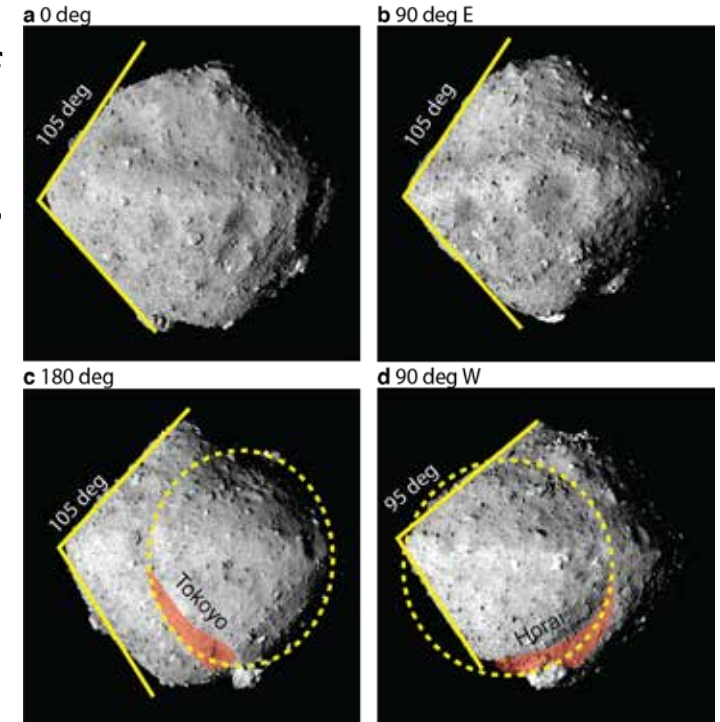
## The Astrophysical Journal Letters掲載論文

- Hirabayashi, M., and 28 colleagues, “The western bulge of 162173 Ryugu formed as a result of a rotationally driven deformation process,” The Astrophysical Journal Letters, 2019, 874, 1, doi:10.3847/2041-8213/ab0e8b

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0e8b>

掲載日: 2019年3月26日

- リュウグウの形状は東西で異なっているが、西バルジ(西経90度付近)の形状は、過去にリュウグウが高速で回転していた時代に構造変化(おそらく地滑りまたは内部構造変化)によって形成された可能性を指摘。



Hirabayashi, 2019 論文より

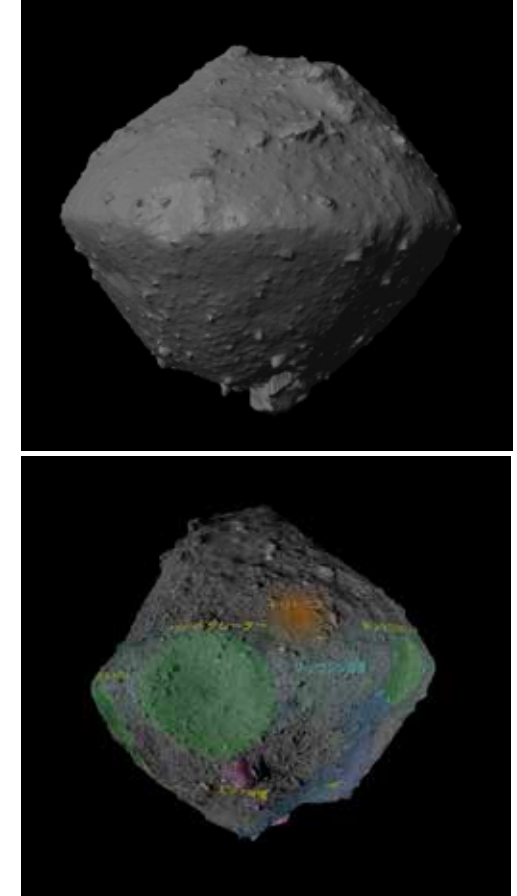


## 6. その他

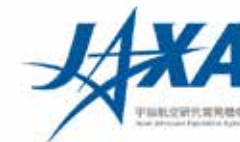


### リュウグウ形状模型の公開

- リュウグウの精密な3D模型を公開します。
- 日本プラネタリウム協議会 (JPA) にご協力いただき、いろいろなフォーマットで公開します。
- JPA会員を対象に制作されたものですが、どなたでもアクセス可能です。是非、ご利用ください。
- アクセス先 <https://planetarium.jp/ryugu/>



公開されたリュウグウ3Dデータを用いて作成したCG (JPA Webより)



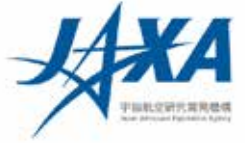
## 7. 今後の予定

### ■ 運用の予定

- 5月14日～16日：降下・ターゲットマーカ分離運用 (PPTD-TM1)

### ■ 記者説明会等

- 5月22日 15:00 ～：記者説明会@東京事務所



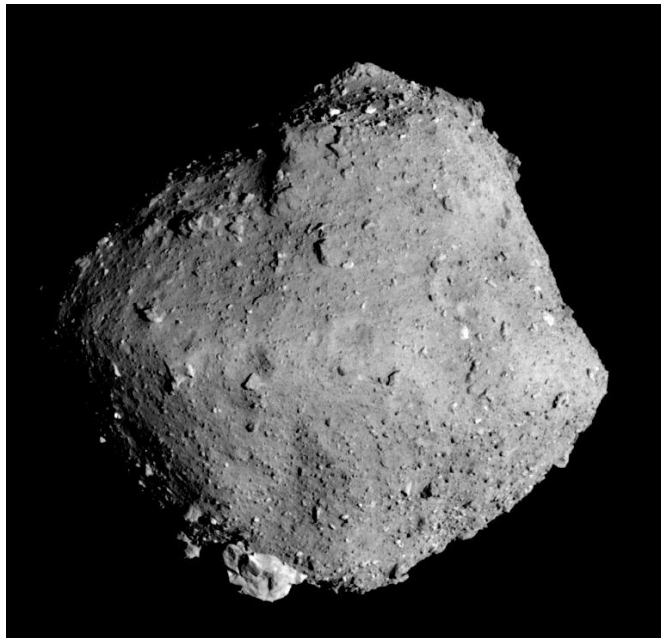
# 参考資料



# ONC-Tでホームポジションから撮影したSCI衝突領域

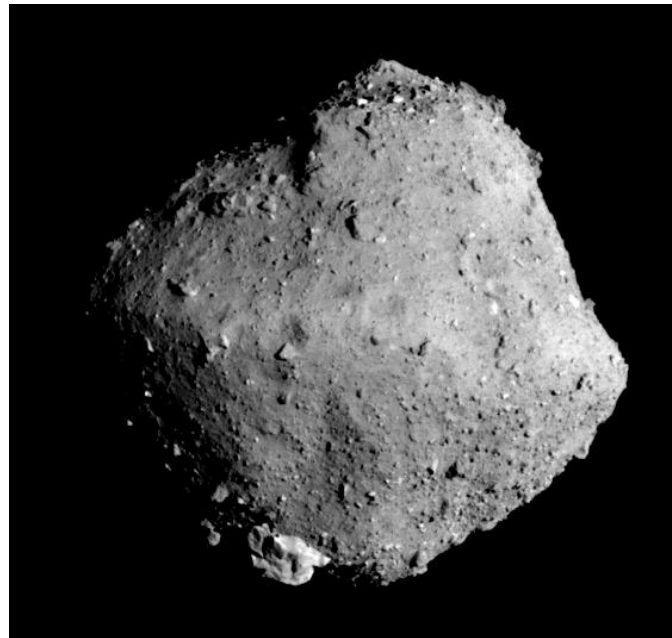


## SCI衝突前



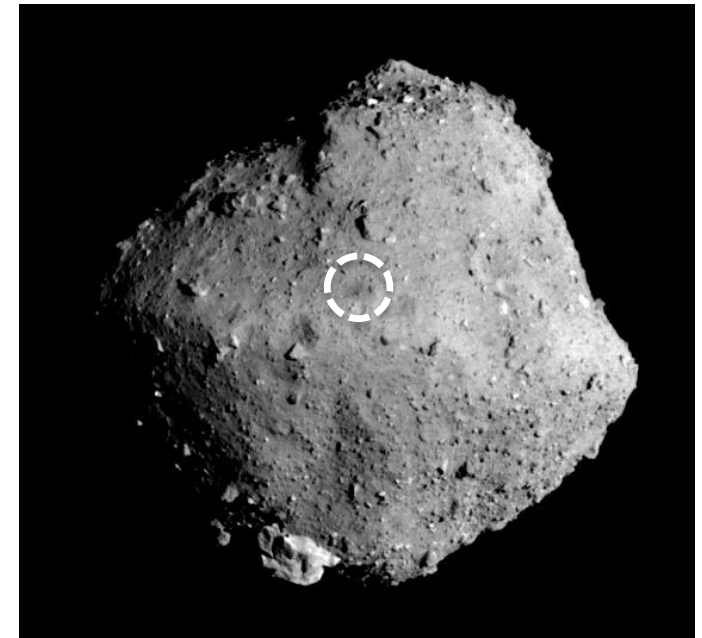
2019-03-21 13:03 (日本時間) 高度 14 km

## SCI衝突後



2019-04-17 21:04 (日本時間), 高度 19 km

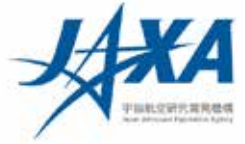
## SCI衝突後(説明図)



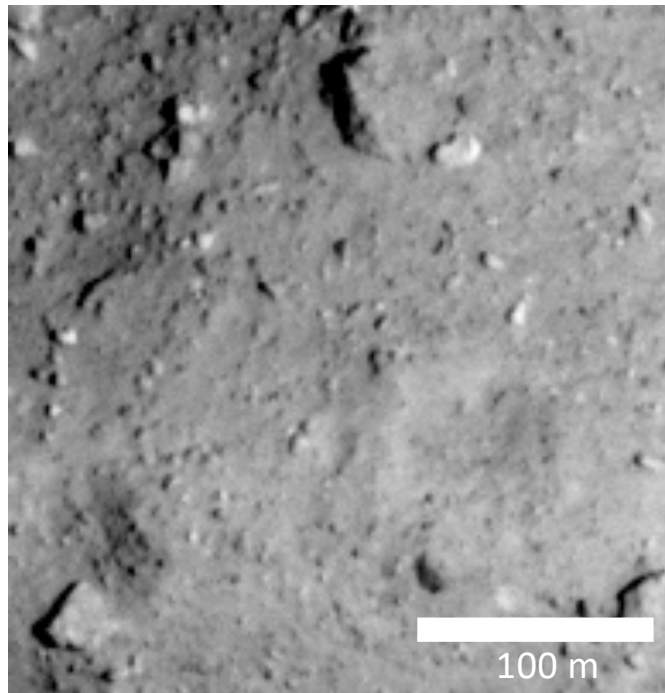
(画像のクレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



# ONC-Tでホームポジションから撮影したSCI衝突領域

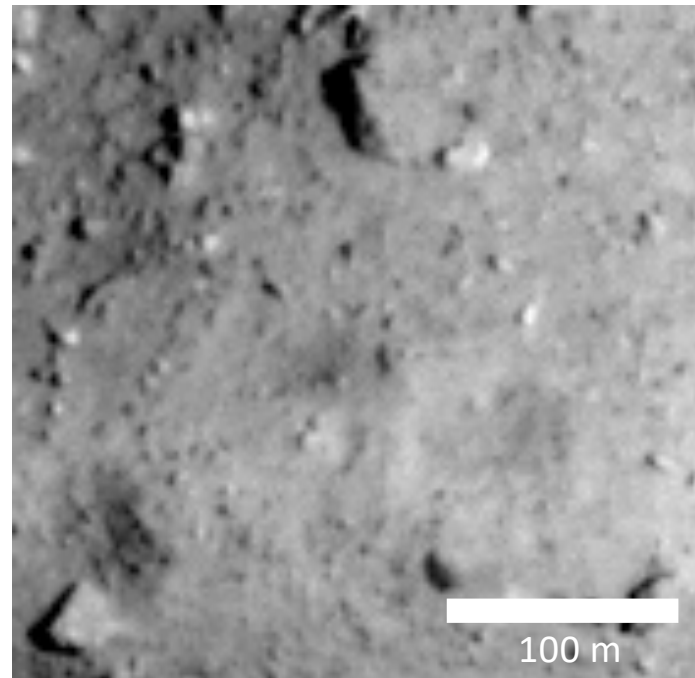


## SCI衝突前



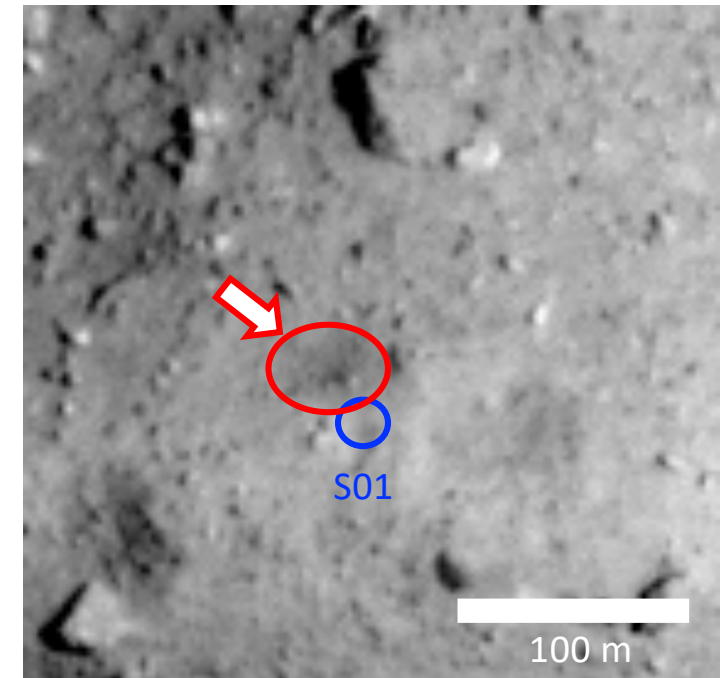
2019-03-21 13:03(日本時間) 高度 14 km

## SCI衝突後



2019-04-17 21:04(日本時間), 高度 19 km

## SCI衝突後(説明図)



(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)