

# 小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年6月25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、

- ・低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)の結果
- ・第2回タッチダウン運用実施可否判断結果
- ・第2回タッチダウン運用

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. 低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)の結果
  3. 第2回タッチダウン運用実施可否判断結果
  4. 第2回タッチダウン運用について
  5. 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	令和2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

打ち上げ  
2014年12月3日



地球スイングバイ  
2015年12月3日



リュウグウ到着  
2018年6月27日



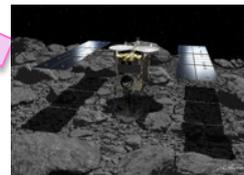
MINERVA-II1分離  
2018年9月21日



MASCOT分離  
2018年10月3日



2019年2月22日

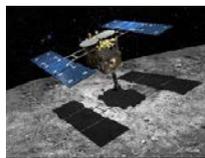


1回目のタッチダウン

衝突装置  
2019年4月5日



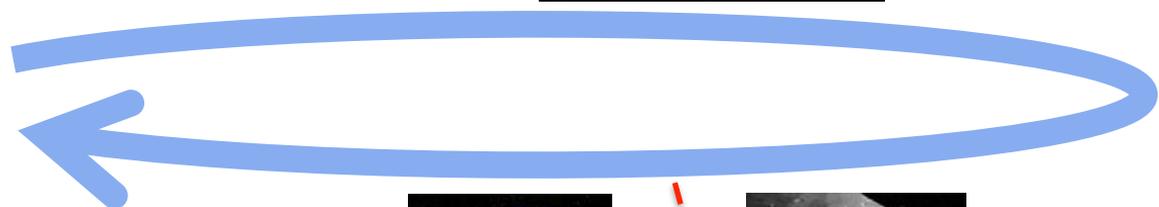
安全を確認後、クレーターまたはクレーター周辺にタッチダウンを行い、地下物質を採取する。



リュウグウ出発  
2019年11月～12月



地球帰還  
2020年末ごろ



終了 →

(画像クレジット: 探査機を含むイラストは 池下章裕氏、他はJAXA)



# 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

- 現状：
- 6月11～13日に低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)を行った。
  - 探査機は、C01領域に高度約9mまで降下し、リュウグウ表面の観測を行った。
  - 2回目のタッチダウンに向けて、準備中。





## 2. 低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)の結果

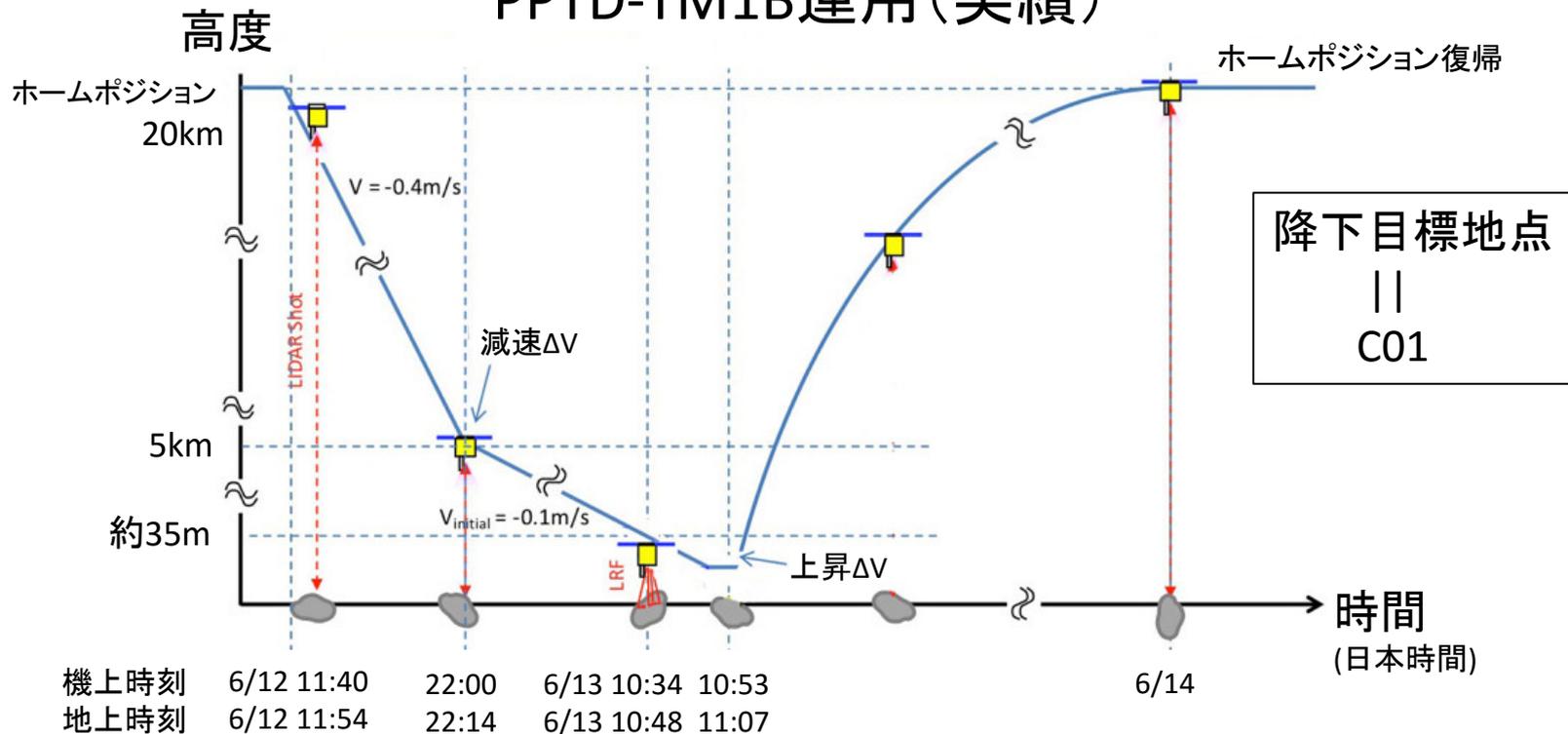
- 低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)を6月11日～13日に行った。
- 降下準備を行い(6月11日)、6月12日 11:40(機上、日本時間、以下同様)から降下を開始し、6月13日 10:34に高度約35mに達した。その後、この高度付近でホバリングを開始した。
- 10:43に再び降下を開始し、10:53に高度約9mに到達して探査機は上昇に転じた(PPTD-TM1Bではターゲットマーカ分離は実施していない)。
- 探査機は、6月14日にホームポジションに復帰した。
- 今回の運用では、C01付近の観測を行い、SCIによって生成されたクレーターの観測も行った。
- 低高度での探査機運用性確認のためのデータも取得した。



# 2. 低高度降下観測運用 (PPTD-TM1B) の結果



## PPTD-TM1B運用 (実績)



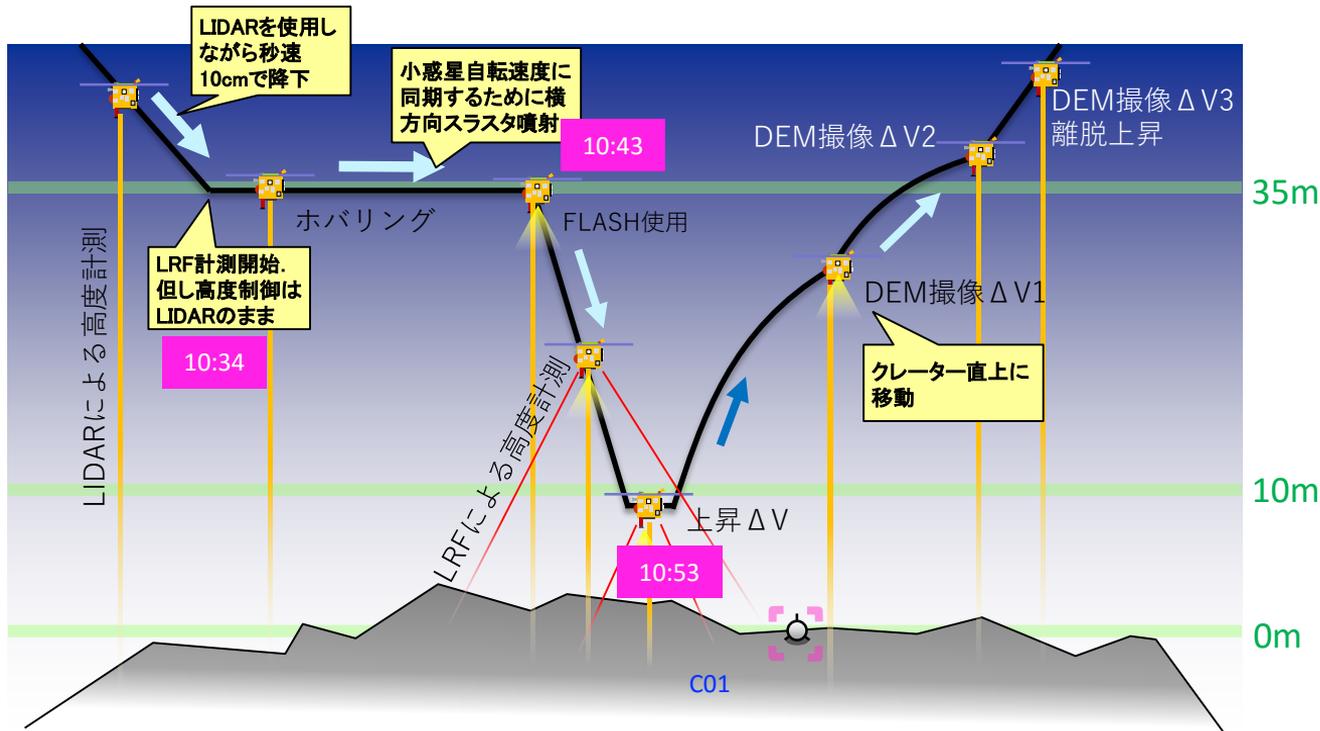
(画像のクレジット JAXA)



# 2. 低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)の結果



## PPTD-TM1B運用の低高度シーケンス(実績)

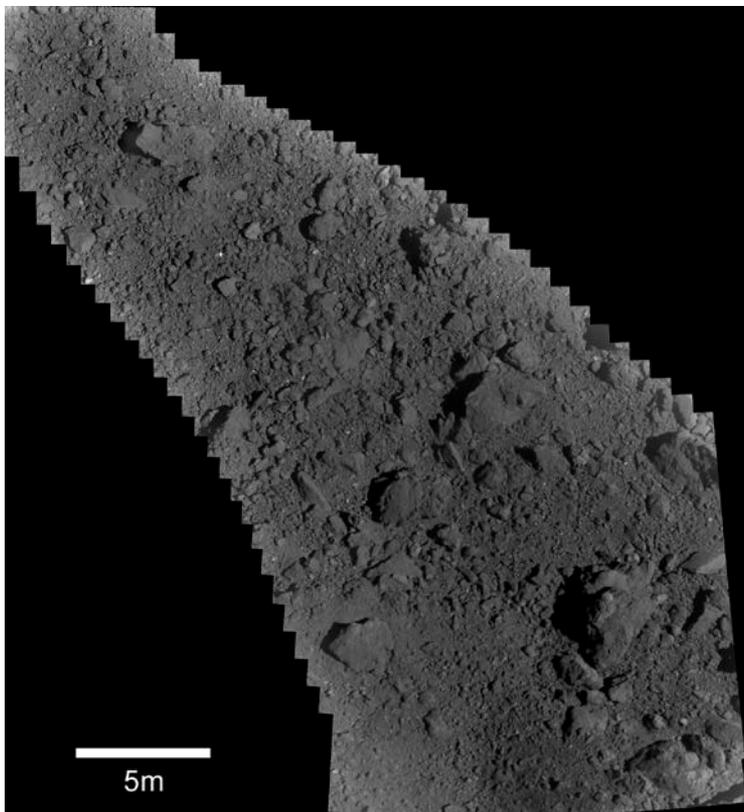


※時刻は2019年6月13日の機上での日本時間である。

(画像のクレジット JAXA)



## 2. 低高度降下観測運用(PPTD-TM1B)の結果



2019年6月13日にPPTD-TM1B運用で撮影された画像。望遠の光学航法カメラ(ONC-T)によって、10:58(左上)から11:01(右下)にかけて7秒間隔で撮影された28枚の画像を合成したもの(時刻は機上、日本時間)。撮影の高度は、最初が約52mで最後が約108mである。左上方の中央部に白い点が見えるが、これがターゲットマーカである。ターゲットマーカから画面右下に位置する人工クレーターの縁まで連続的に詳細な画像が取得できていることが分かる。

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



### 3. 第2回タッチダウン運用実施可否判断結果

- JAXA/ISASは、「はやぶさ2」プロジェクトの詳細な検討結果に基づき、判断を行い、第2回タッチダウンを実施することを決定した。
- タッチダウン運用は、7月9日～11日に行う(タッチダウンは7月11日)
- タッチダウンのバックアップは、7月22日の週とする。(注1)
- タッチダウン実施の判断
  - 地下物質採取の科学的意義が高いこと
  - 現状の探査機で十分安全なタッチダウン運用の成立性を確認
  - 2回目のタッチダウンにより、光学系の受光量がさらに低下した場合でも、その後の運用に支障がないことを確認

注1) 小惑星の温度条件について特にタッチダウン地点に関して詳しく調べた結果、太陽距離が1au(約1億5千万km)以遠ならばタッチダウン可能と判断→タッチダウン可能期間は7月末まで



# 3. 第2回タッチダウン運用実施可否判断結果

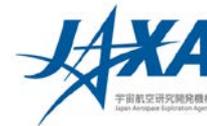
## 第2回タッチダウン運用に関するプロジェクトとしての判断

	判断項目	現状	判断
理学的・工学的価値	人工クレーターのイジェクタを採取できる確度が高いかどうか。	人工クレーターの十分近くであるため、イジェクタが表面にある可能性は非常に高い。	○
	理学的な価値が十分高いかどうか。	地下物質採取、複数箇所採取、採取量増大のいずれも、理学的な価値は非常に高い。	○
	工学的な価値が十分高いかどうか。	世界初のマルチサンプリング、地下サンプリングを実証できることの工学的意義は非常に高い。	○
運用成立性	タッチダウンに必要な地形情報が得られているかどうか。	PPTD-TM1およびPPTD-TM1Aの運用で、タッチダウンに必要な地形情報は得られた。	○
	ターゲットマーカがタッチダウン目標点の近くに着地しているかどうか。	C01-Cの中心から3mのところに着地した。	○
	十分安全なタッチダウンシーケンスが設計できるかどうか。	十分安全なタッチダウンシーケンスが設計できることを確認※	○※
探査機状態	第1回タッチダウンで砂塵により受光量が低下した光学系で支障ないかどうか。	受光量低下した光学系がタッチダウン運用に支障ないことを確認※	○※

※前回の記者説明会(6/11)以降の進捗



## 4. 第2回タッチダウン運用について



- 第2回タッチダウン運用: 7月9日～11日
- タッチダウン日時: 7月11日、11時頃(日本時間)
- タッチダウン場所: C01-Cb(ターゲットマーカ投下領域)

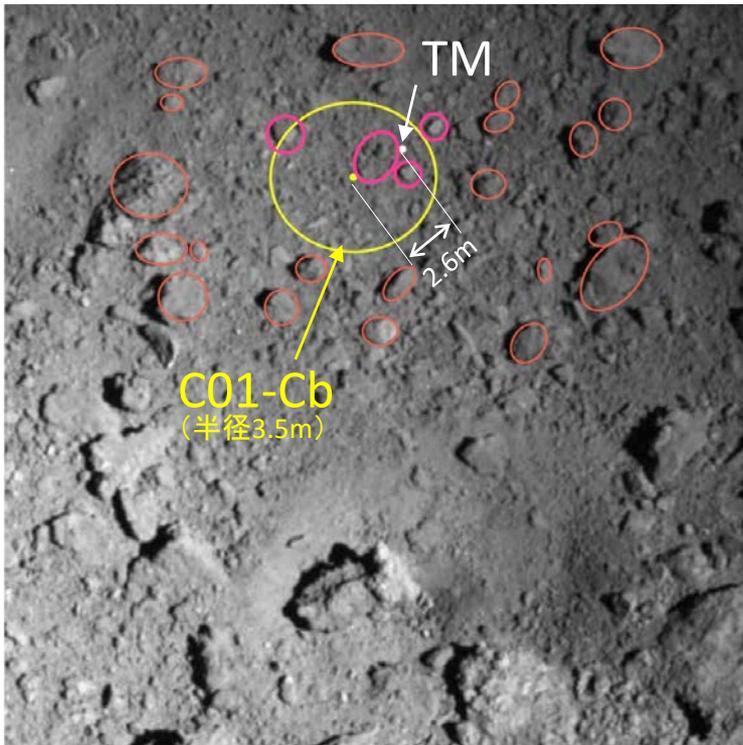
※名称は「第2回タッチダウン」とするが、運用の記号はPPTDとなる。



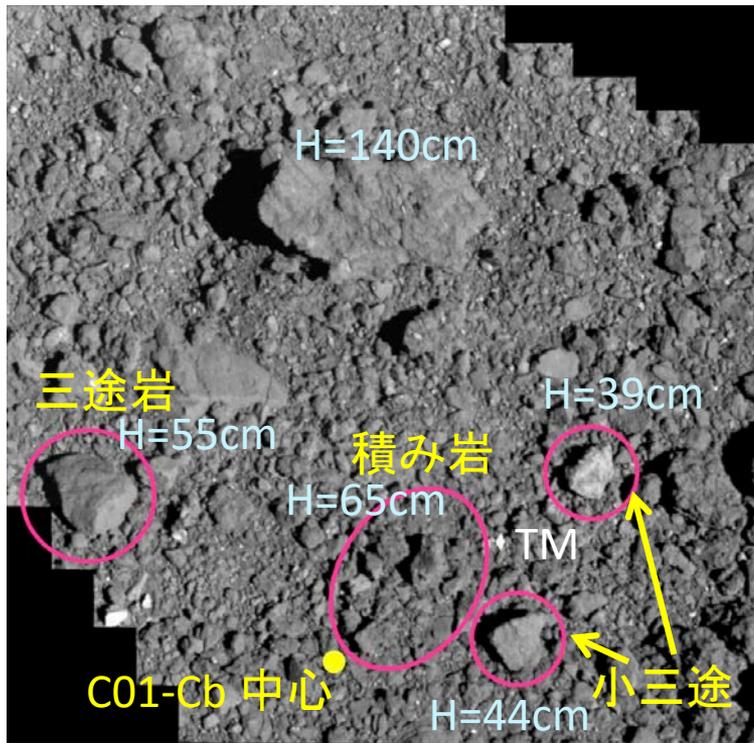
# 4. 第2回タッチダウン運用について



### PPTD-TM1画像



### PPTD-TM1B画像



Hは推定された高さの最悪値 (最も高い推定値)

※岩の名称はニックネームであり、正式な名称ではない。

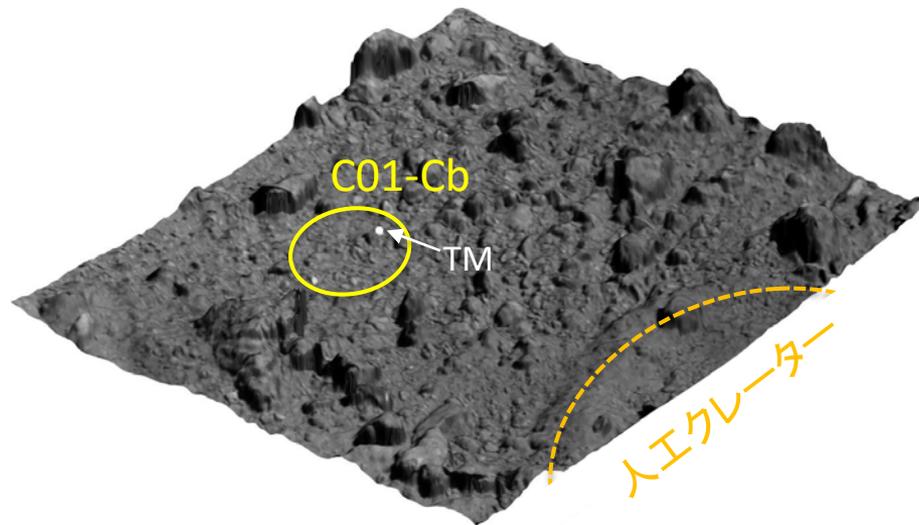
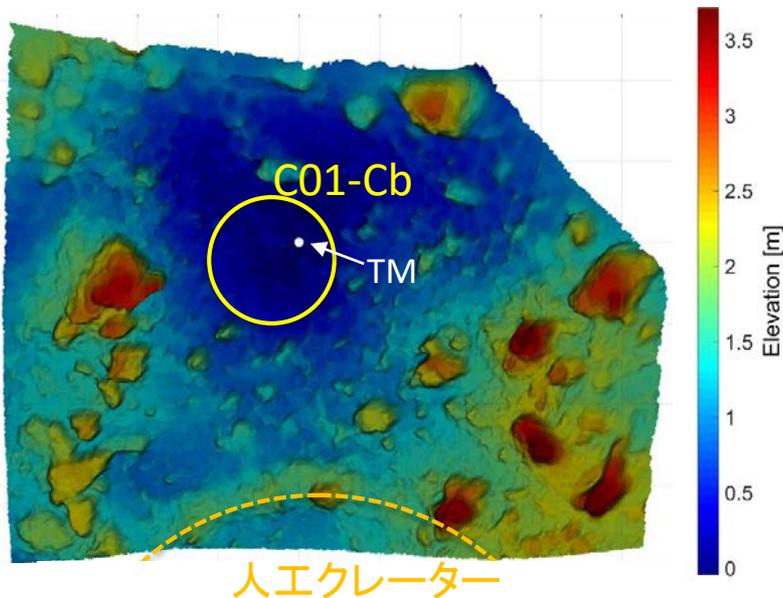
(画像のクレジット: JAXA、東京大、高知大、立教大、名古屋大、千葉工大、明治大、会津大、産総研)



# 4. 第2回タッチダウン運用について



C01-Cb領域



タッチダウン候補地点付近のDEM (Digital Elevation Map)

(画像のクレジット: JAXA)

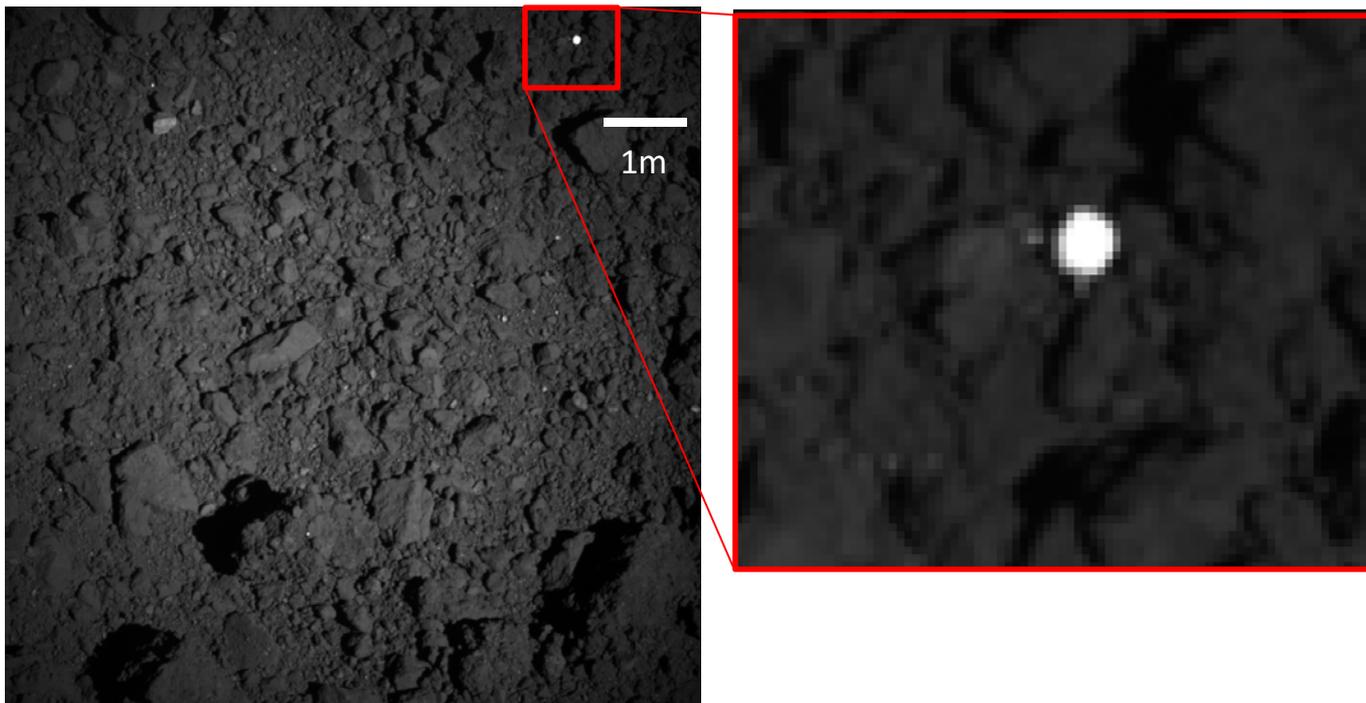


# 4. 第2回タッチダウン運用について



PPTD-TM1A 上昇時にONC-Tで撮影した画像

初公開

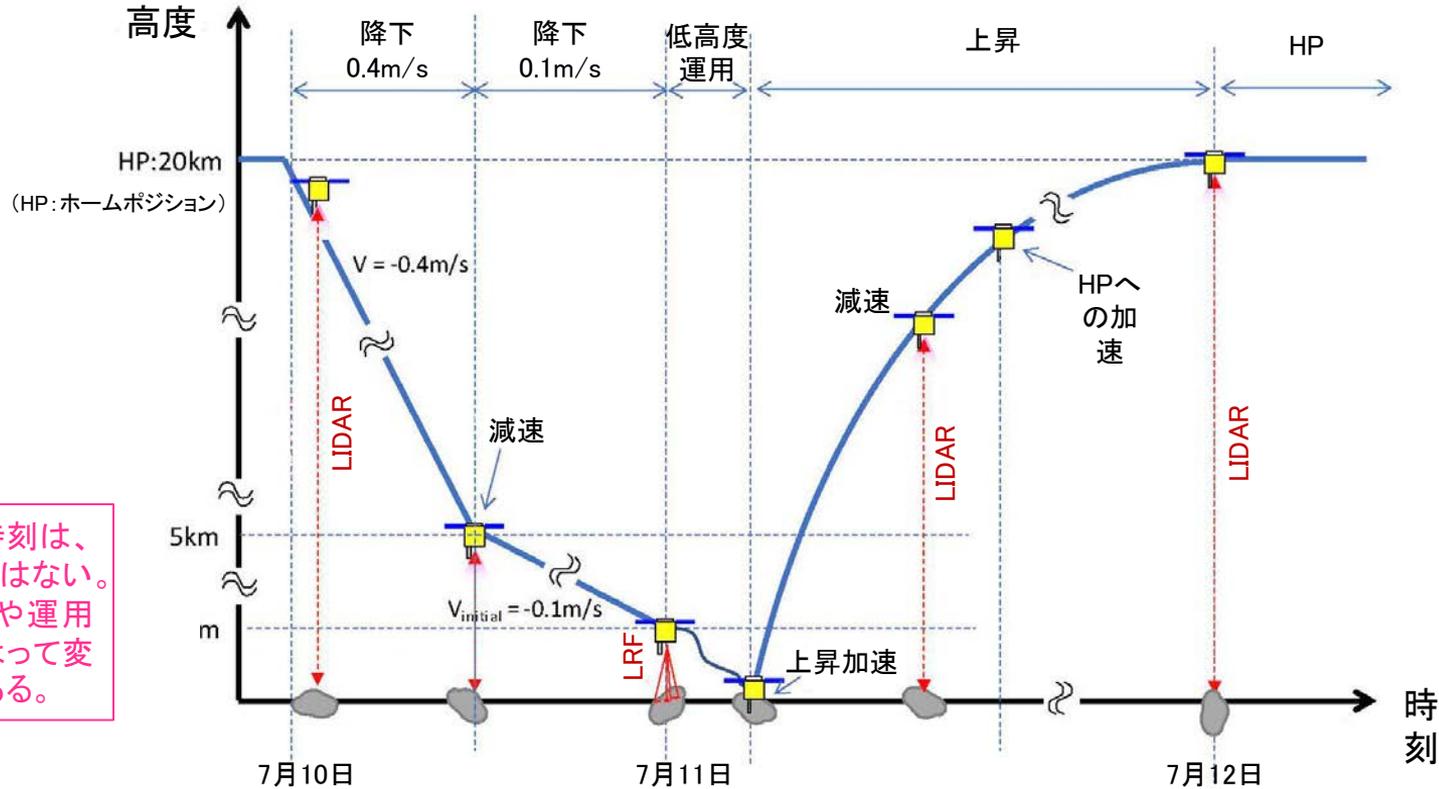


2019/05/30 11:26 (機上、日本時間)  
高度: 71 ~ 72m

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



# 4. 第2回タッチダウン運用について



※示されている時刻は、  
 確定したものではない。  
 最終的な計画や運用  
 当日の状況によって変  
 わる可能性がある。

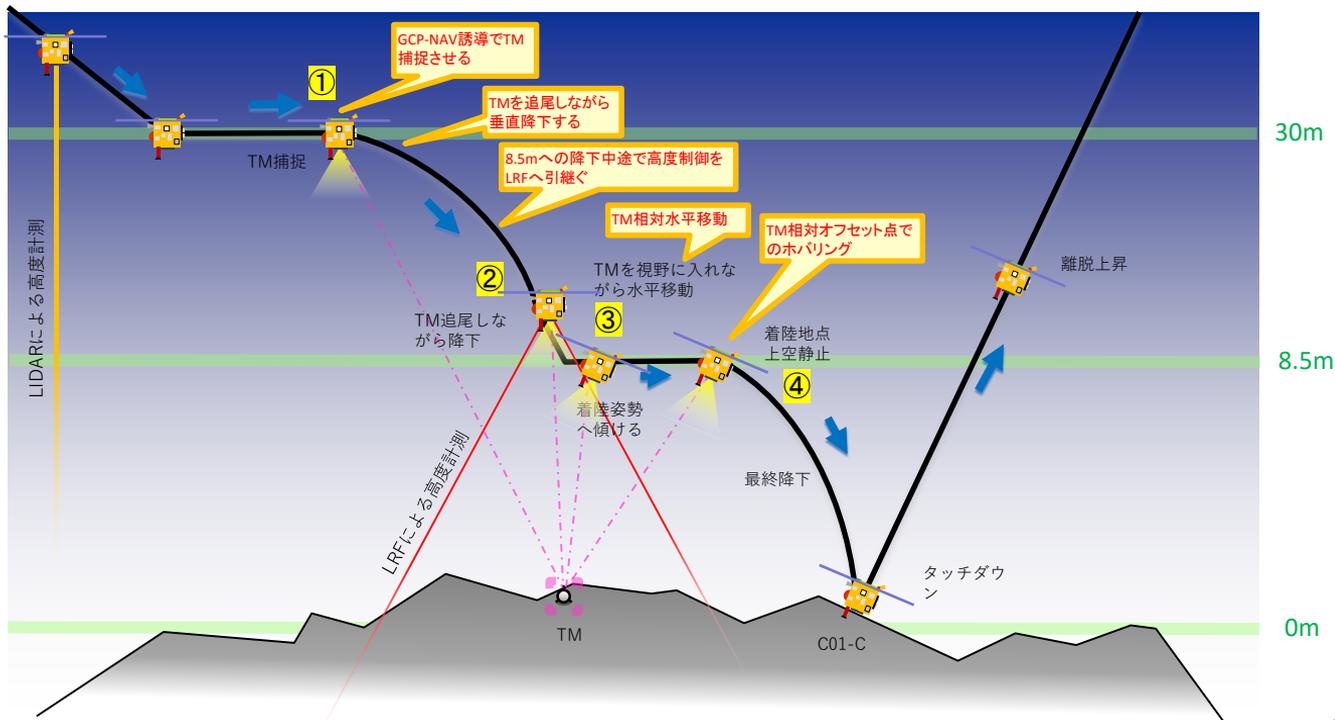
時刻	機上時刻	地上時刻
		10時頃
		20時頃
		11時頃

(画像のクレジット: JAXA)



# 4. 第2回タッチダウン運用について

## 低高度シーケンス

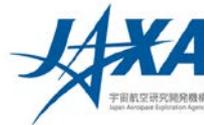


※①～④は「はやぶさ2」が次のシーケンスに進んでよいかの自律判断をするチェックポイント

(画像のクレジット: JAXA)



# 4. 第2回タッチダウン運用について



## 第1回タッチダウンシーケンスからの変更点

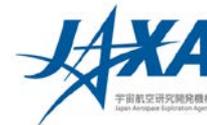
- 探査機底面の光学系が曇っていることの対策として、TM追尾開始高度と、LRF使用開始高度をTD1の時よりも低くした。
  - 安全設計はTD1のレベルを維持ないし強化。結果として、サンプリング達成確率は若干低下。
- シーケンス短縮化のために、ヒップアップを高度8.5m到達後すぐに行うことにした。
  - TD1の経験を踏まえた合理化。TD1時には最終降下直前にヒップアップを実施した。
- 今回はTMと着陸目標点が非常に近いので、着陸のための最終降下は垂直降下となる。
  - これにより着陸精度が向上する。TD1時はTMが遠かったため、斜め下方へ最終降下した。

その他のタッチダウンシーケンス設計のハイライトについては、第1回タッチダウン前の記者説明会資料(2019年2月6日版 および 2019年2月20日版)を参照ください。  
<http://www.hayabusa2.jaxa.jp/enjoy/material/>





## 5. 今後の予定



### ■ 運用の予定

- 7月9～11日：第2回タッチダウン運用

### ■ 記者説明会等

- 7月 9日：定例記者説明会@東京事務所
- 7月11日：プレスセンター開設@相模原キャンパス



# 参考資料



# 「はやぶさ2」のミッションサクセスクライテリア



ミッション目標	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
【理学目標1】 C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする。	小惑星近傍からの観測により、C型小惑星の表面物質に関する、新たな知見を得る。	採取試料の初期分析において、鉱物・水・有機物相互作用に関する新たな知見を得る。	天体スケールおよびマイクロスケールの情報を統合し、地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を上げる。
【理学目標2】 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。	小惑星近傍からの観測により、小惑星の内部構造に関する知見を得る。	衝突体の衝突により起こる現象の観測から、小惑星の内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝突破壊・再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。</li> <li>探査ロボットにより、小惑星の表層環境に関する新たな科学的成果を挙げる。</li> </ul>
【工学目標1】 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。	イオンエンジンを用いた深宇宙推進にて、対象天体にランデブーする。	<ul style="list-style-type: none"> <li>探査ロボットを小惑星表面に降ろす。</li> <li>小惑星表面サンプルを採取する。</li> </ul>	N/A
【工学目標2】 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。	衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。	特定した領域に衝突体を衝突させる。	衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。

達成済み

達成確認中

ここを狙う



# 工学的価値



- マルチサンプリング(一つの天体の複数地点からのサンプル採取)、地下サンプリング(人工クレーター噴出物の採取)は、人類がまだ達成したことのない挑戦。宇宙探査の自在性を格段に上げる技術。
- サンプルリターンに関わる主要技術(電気推進航行、光学航法、サンプリング、リエントリ)は「はやぶさ」が達成したが、マルチサンプリング+地下サンプリングは、人工クレーターと並び「はやぶさ2」で計画された未踏技術。
- マルチサンプリングは、探査機のハードウェアやソフトウェア信頼性、運用技術、人的練度を加えた、総合的な信頼性・技術蓄積が必要とされる運用。



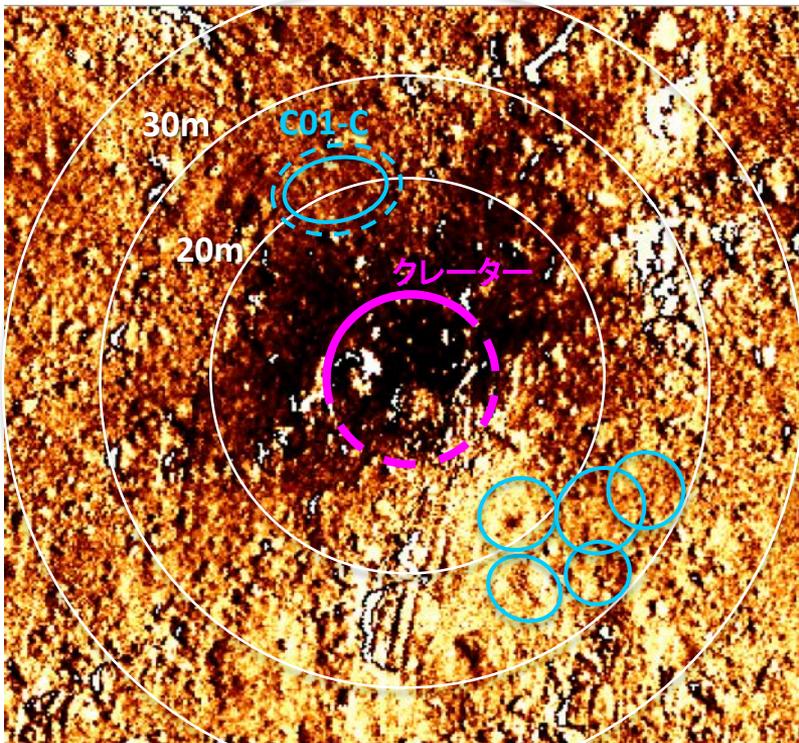
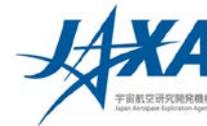
# サイエンス的価値

- 2回目のタッチダウン予定地点(C01-C)はSCIクレーターに近く、クレーターにより掘削された地下物質が表面に降り積もっている可能性が高い。
- この地下物質は、1回目に採取された表面試料との比較により、小惑星表層での太陽風や宇宙線による変性の影響を評価できる貴重な価値を持つ。
- 変性が弱ければ、太陽系形成期の情報を詳細に読み出せると期待される。特に影響を受けやすい有機物に関しては地下物質の価値は高い。
- 小惑星表面での混合過程とそのタイムスケールに制約を与えられる。
- 複数点試料の比較から天体の地域的不均質の程度を明らかにできる。
- 一地点から大収量の試料獲得をめざすOSIRIS-RExと対比して、複数地点からの試料採取はユニークで質的に他の追従を許さない成果となる。
- 「はやぶさ2」のサイエンス(リモセン観測、衝突実験、帰還試料分析)を直結する要となる貴重なサンプルになる期待できる。
- 複数回成功させることで、「はやぶさ2」のサンプリング運用が高い信頼度をもって確立されたと証明できる。

(文責 渡邊誠一郎)



# C01付近のSCIクレーターからの放出物



- PPTD候補地点C01-C全域に、SCIクレーターからの放出物(イジェクタ、周囲より暗い)が分布。
- C01-Cのイジェクタ平均厚は暗化の空間分布から約1cmと推定される。
- C01-Cのイジェクタは、深さ0m～約1mから掘削された物質の混合物と推定される。  
※ 数十cm以深の層は、宇宙風化、太陽加熱、宇宙線から守られる。

ONC画像に地形、照明条件の補正を行うことで作成  
(JAXA,高知大,東京大,立教大,名古屋大,千葉工大,明治大,  
会津大,産総研,神戸大学)

SCI衝突前後(CRA1 → CRA2)の反射率変化。  
コントラスト強調済。黒い部分は衝突後に暗化。

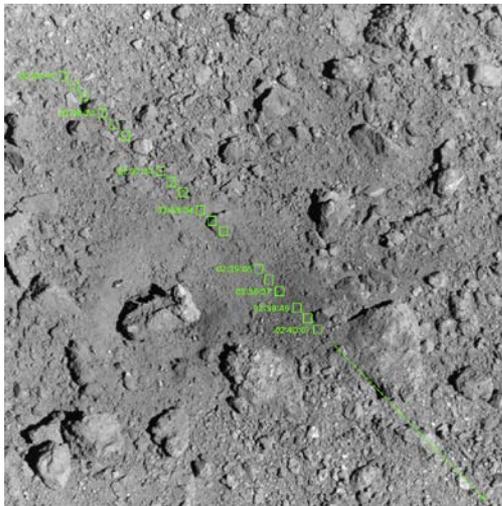
(文責 杉田精司)



# NIRS3によるSCIクレーター観測

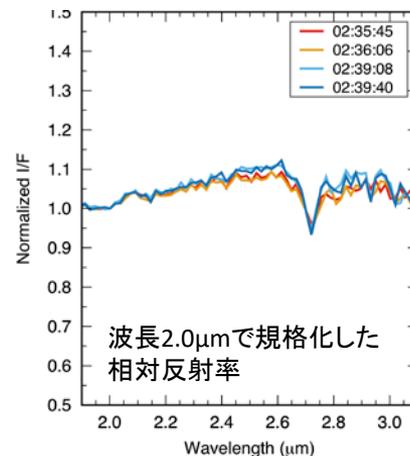
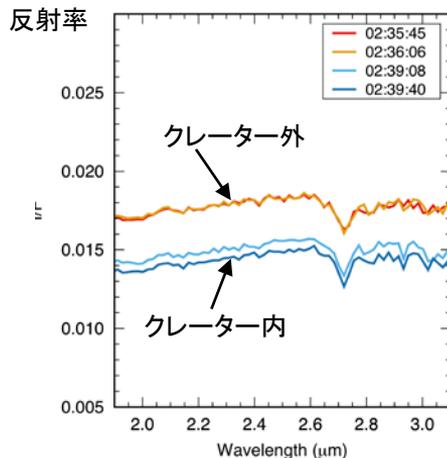


初公開



NIRS3のフットプリント(PPTD-TM1A)

(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)



SCIクレーター内外のNIRS3反射スペクトル(TM1Aにおけるデータ)

(画像のクレジット: JAXA、会津大)

- PPTD-TM1A/B運用でSCIクレーターの一部を高分解能で観測することに成功した。
- ONCと同様にクレーター内の反射率は周囲と比べて低い傾向にある。
- クレーターの内外で、含水鉱物の存在を示す2.7 $\mu\text{m}$ 吸収の特徴に顕著な差は見られない。

(文責 北里宏平)



# 物質分析科学からの2回目タッチダウンへの期待



## ■ リュウグウの特徴である「黒い物質」の成因に迫る

- リュウグウ表面の反射率は我々が知るいかなる隕石のものよりも低く、その成因については様々な可能性が推測されている(有機炭素組成、硫化鉄・酸化鉄組成、加熱・宇宙風化による変性、粒度等)。表面よりクレーターの方が反射率がさらに低いことが判明したことで、黒色物質は、表層で変性を受ける前の成分であるか、SCIの衝突実験生成物である可能性が推測される。その成因解明には、2回目に採取される試料を化学分析することが必要不可欠となる。

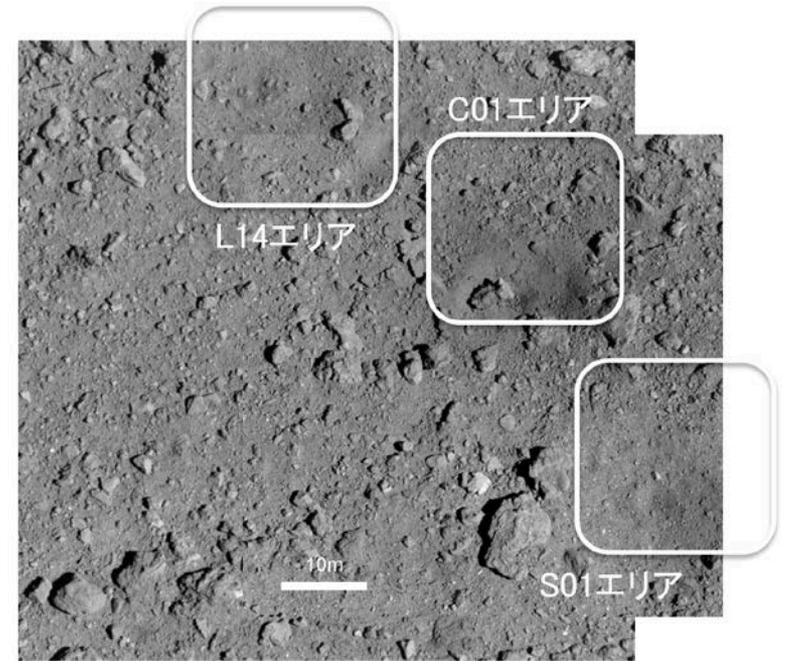
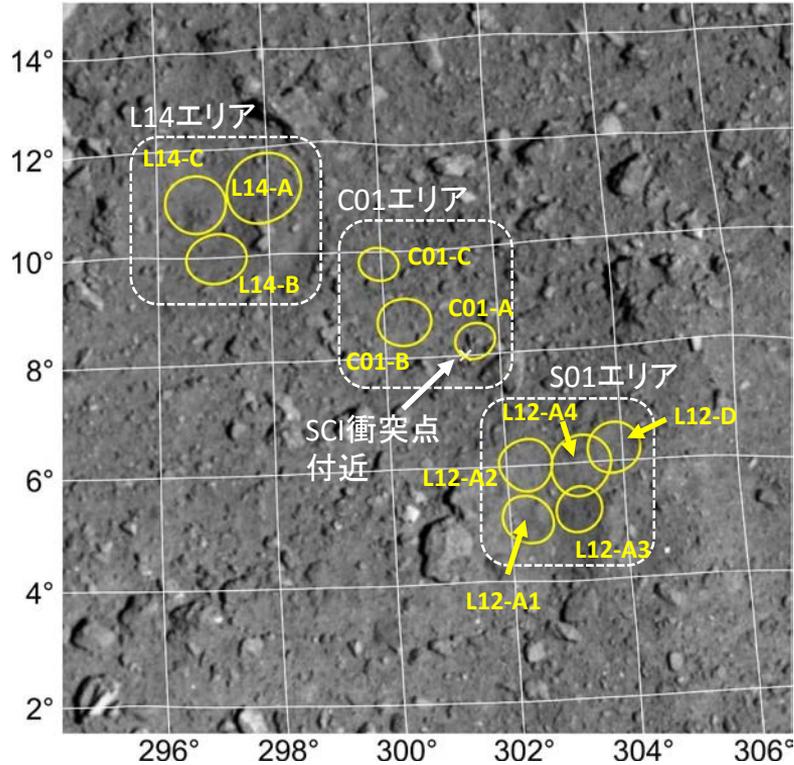
## ■ 有機物の化学情報が(おそらく)多い

- (リュウグウ表面物質とスペクトルが類似する)加熱を経験した炭素質隕石中にアミノ酸、カルボン酸、炭化水素、核酸塩基等はほとんど検出されていない(80~90年代当時の報告)。また、不溶性高分子有機物の熱分解、炭化が進む。そのため、2回目のタッチダウンで変性の弱い試料を採取できれば、得られる有機分子の種類と量は増え、太陽系と生命の起源物質解明の手がかりは圧倒的に向上する。
- 1回目に採取された表面試料からも、太陽加熱・宇宙風化によって(分解だけでなく)合成されうる新種の有機分子を初めて探索できる可能性はあるので、その形成過程を理解するためにも2回目に採取された内部試料の分析は非常に重要である。
- 観測では有機物は未同定であり、「はやぶさ2」ではサンプル分析が唯一の有機物キャラクタリゼーション手段となる。

(文責 藪田ひかる)



# タッチダウン候補地点



(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)