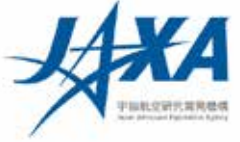


小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年2月6日

JAXA はやぶさ2プロジェクト

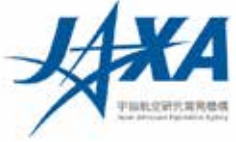


本日の内容

「はやぶさ2」に関連して、

- ・タッチダウン運用計画
- ・タッチダウン関連事項

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. タッチダウン運用計画
3. プロジェクトマイル発射実験
4. タッチダウンのサイエンス意義
5. 今後の予定
 - ・訂正
 - ・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

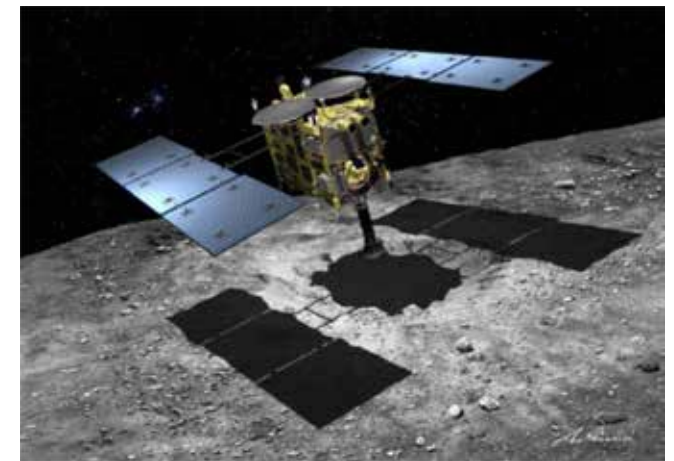
- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

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)

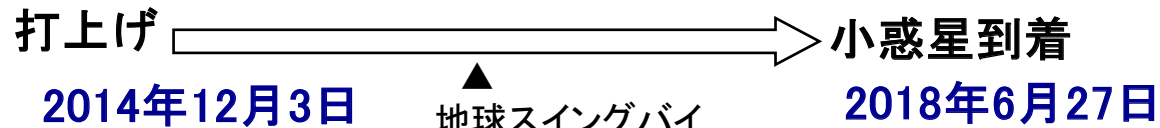
質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)6月27日
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

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



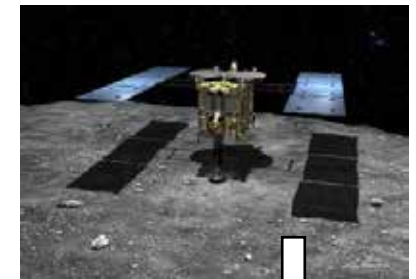
ミッションの流れ概要



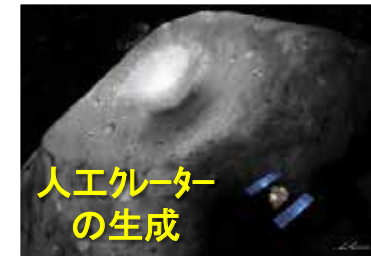
地球スイングバイ
2015年12月3日



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。



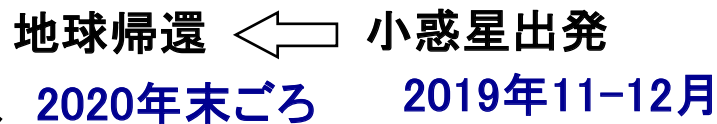
衝突装置放出



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。



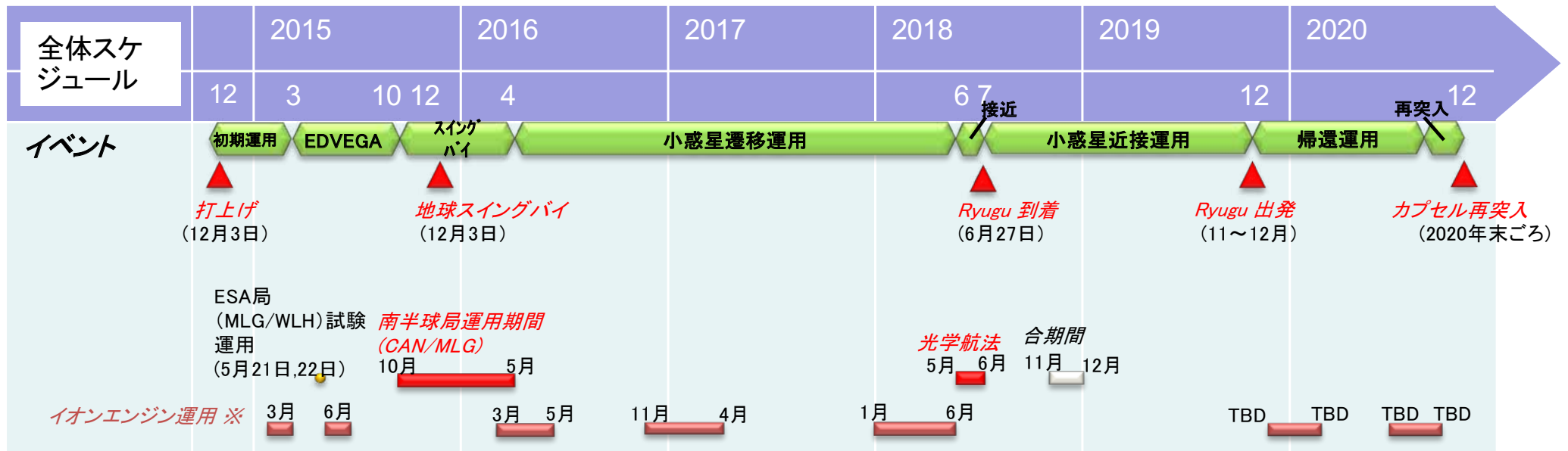
サンプル分析



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

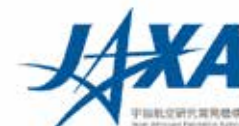


- 現状：
- 1月8-9日にBOX-B観測を行い、衝方向(リュウグウから見て太陽と同じ方向)からのデータを取得した。
 - 1月25日にBOX-B観測を行い、リュウグウの北極付近の観測を行った。



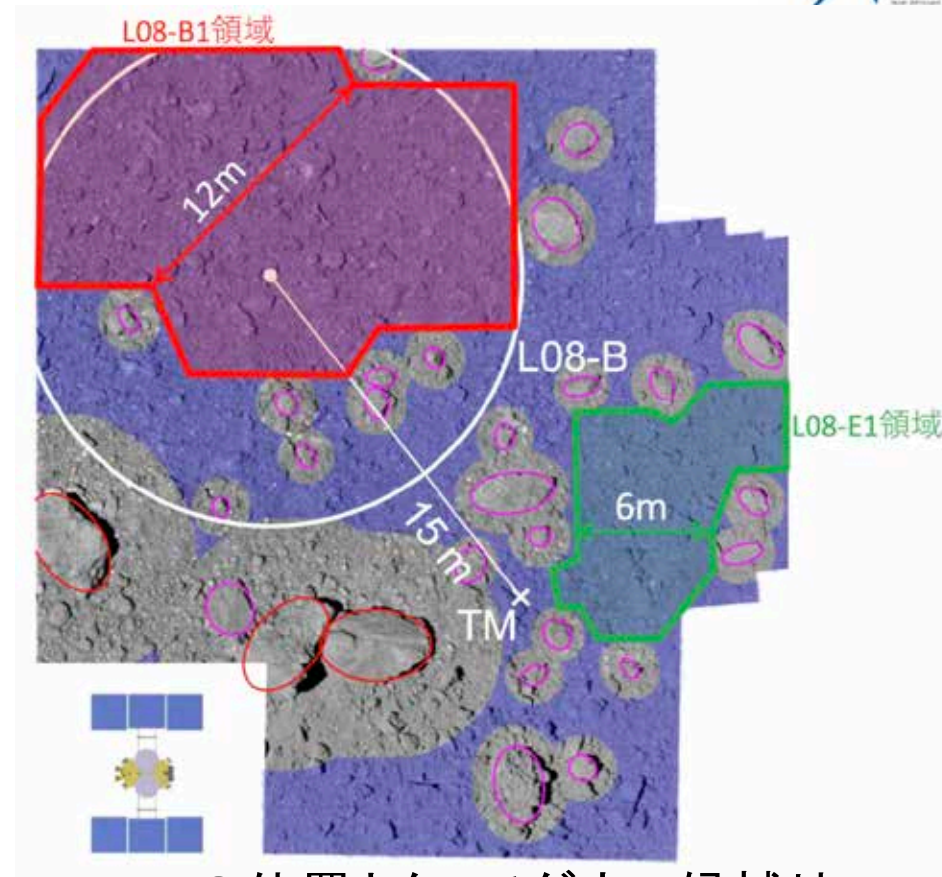


2. タッチダウン運用計画



概要

- タッチダウン(TD)の日時
2019年2月22日 8時頃
- タッチダウン運用
2019年2月20日～22日
(降下開始:2月21日8時頃)
(時刻は日本時間)
- タッチダウン場所
L08-E1
- ターゲットマーカ
すでに投下済みのTM-Bを使い、
ピンポイントタッチダウンの手
法を用いる。

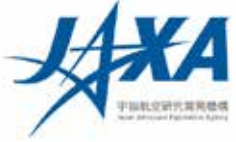


TM-Bの位置とタッチダウン候補地

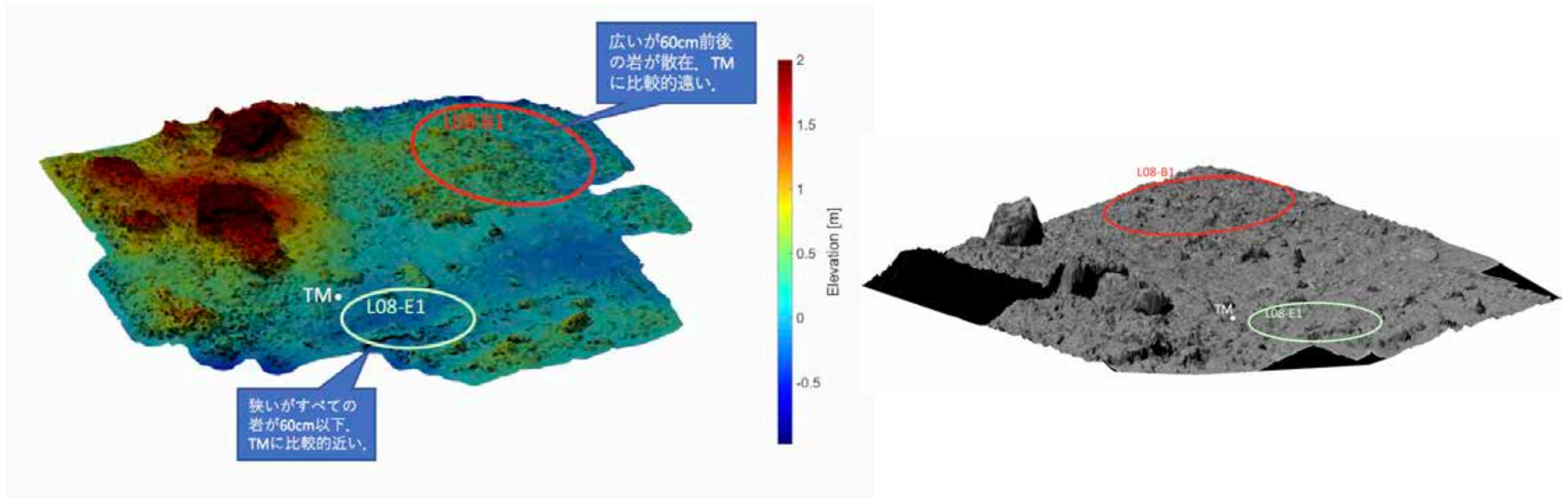
(画像のクレジット:JAXA)



2. タッチダウン運用計画

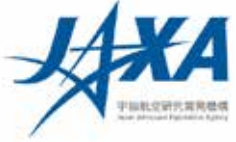


L08-E1領域



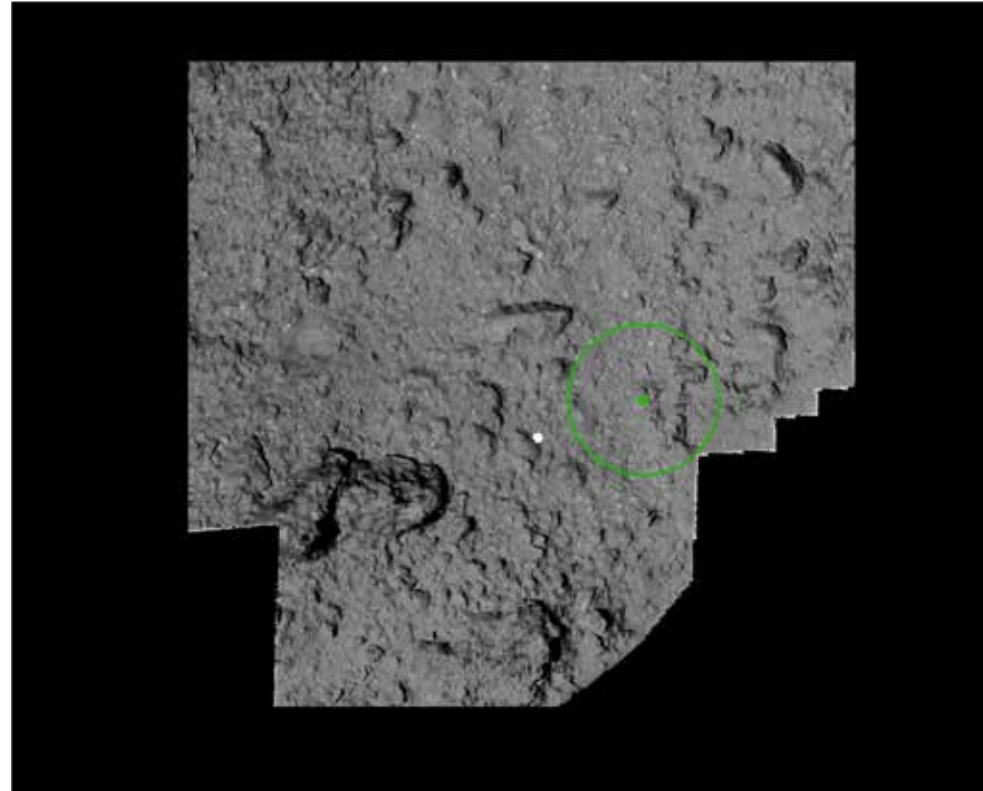
タッチダウン候補地点付近のDEM (Digital Elevation Map)

(画像のクレジット: JAXA)



2. タッチダウン運用計画

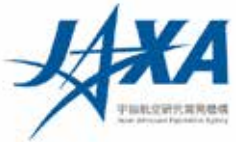
L08-E1領域



(動画)

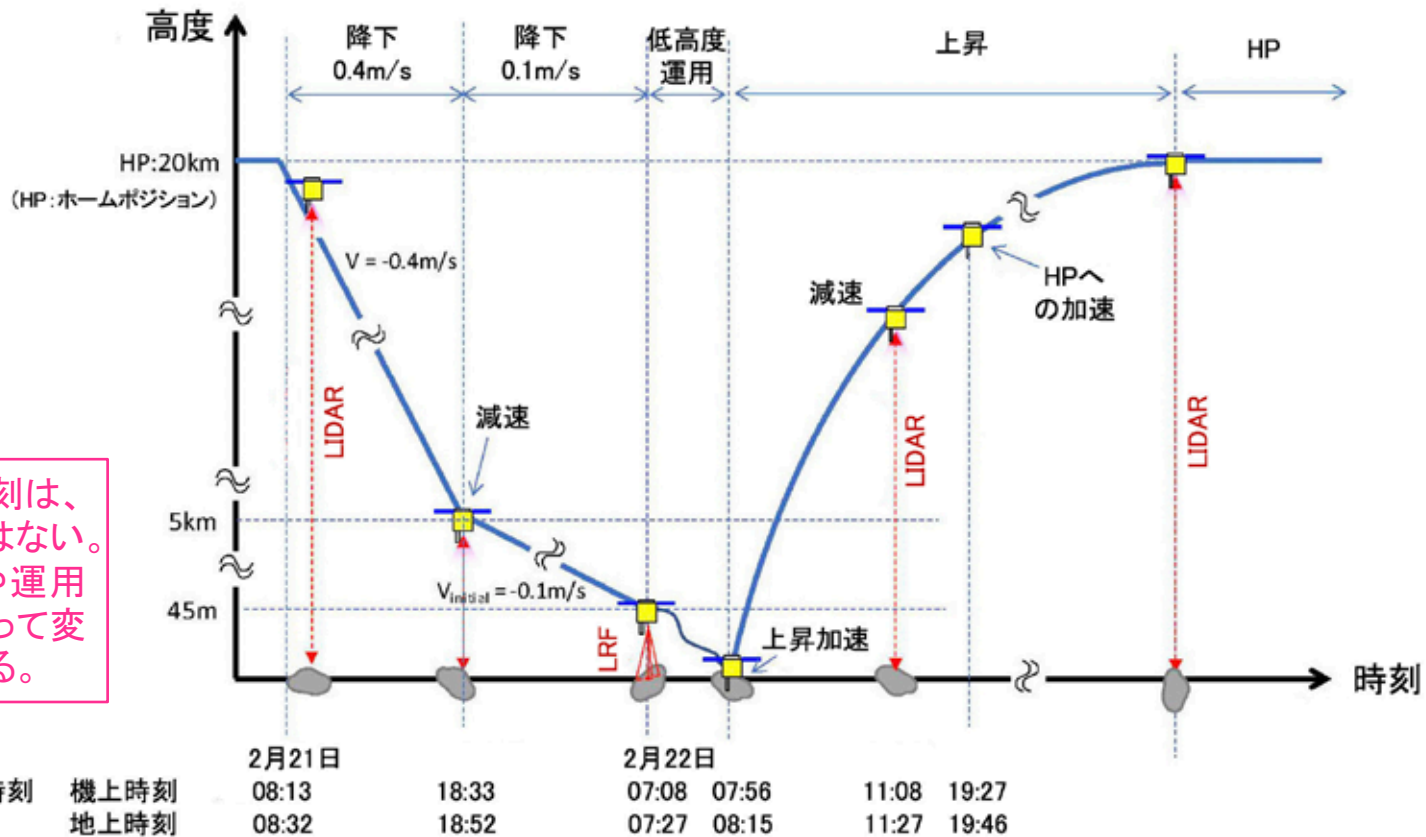
タッチダウン候補地点付近のDEM (Digital Elevation Map)

(画像のクレジット: JAXA)



2. タッチダウン運用計画

タッチダウン運用のシーケンス(全体)



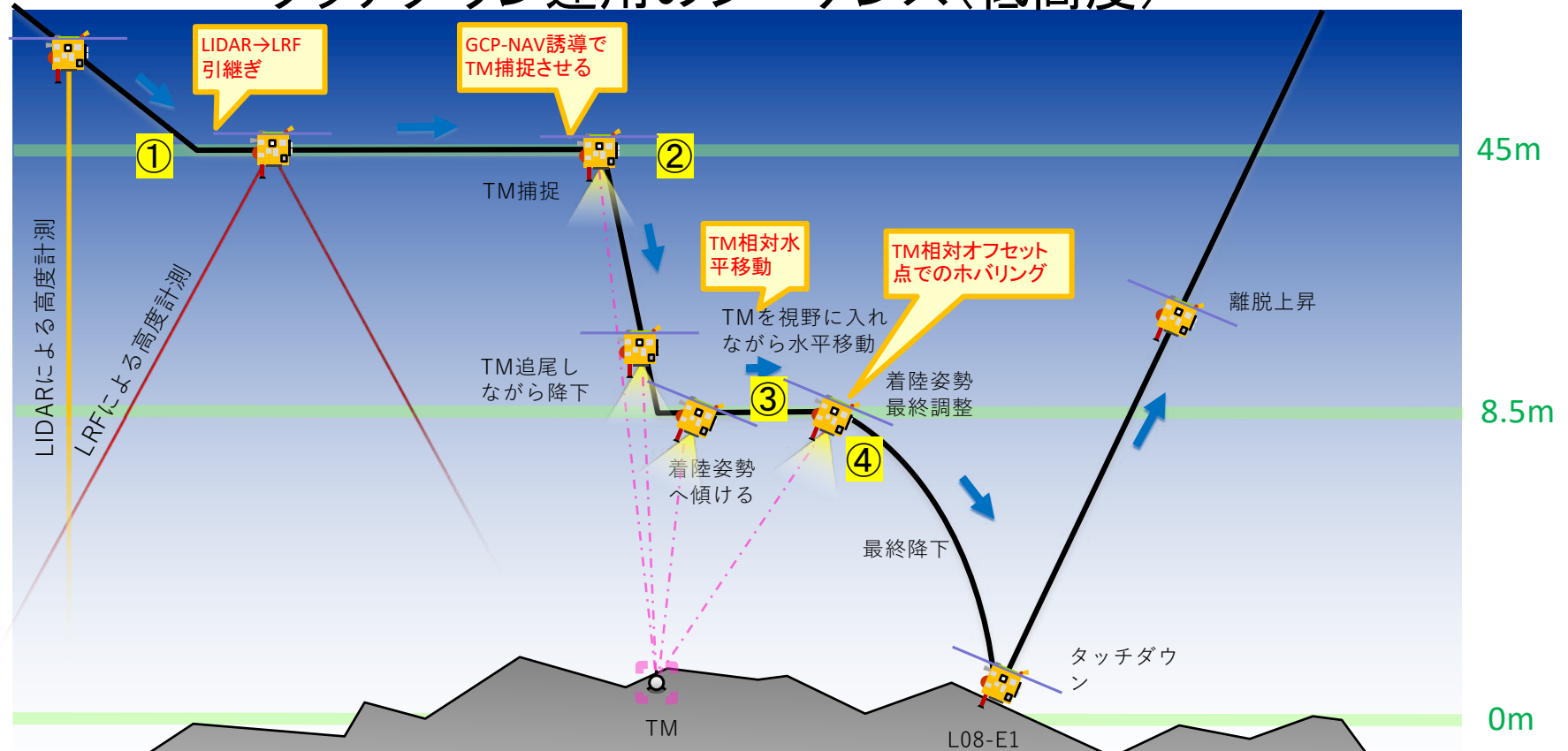
※示されている時刻は、
確定したものではない。
最終的な計画や運用
当日の状況によって変
わる可能性がある。

(画像のクレジット: JAXA)



2. タッチダウン運用計画

タッチダウン運用のシーケンス(低高度)



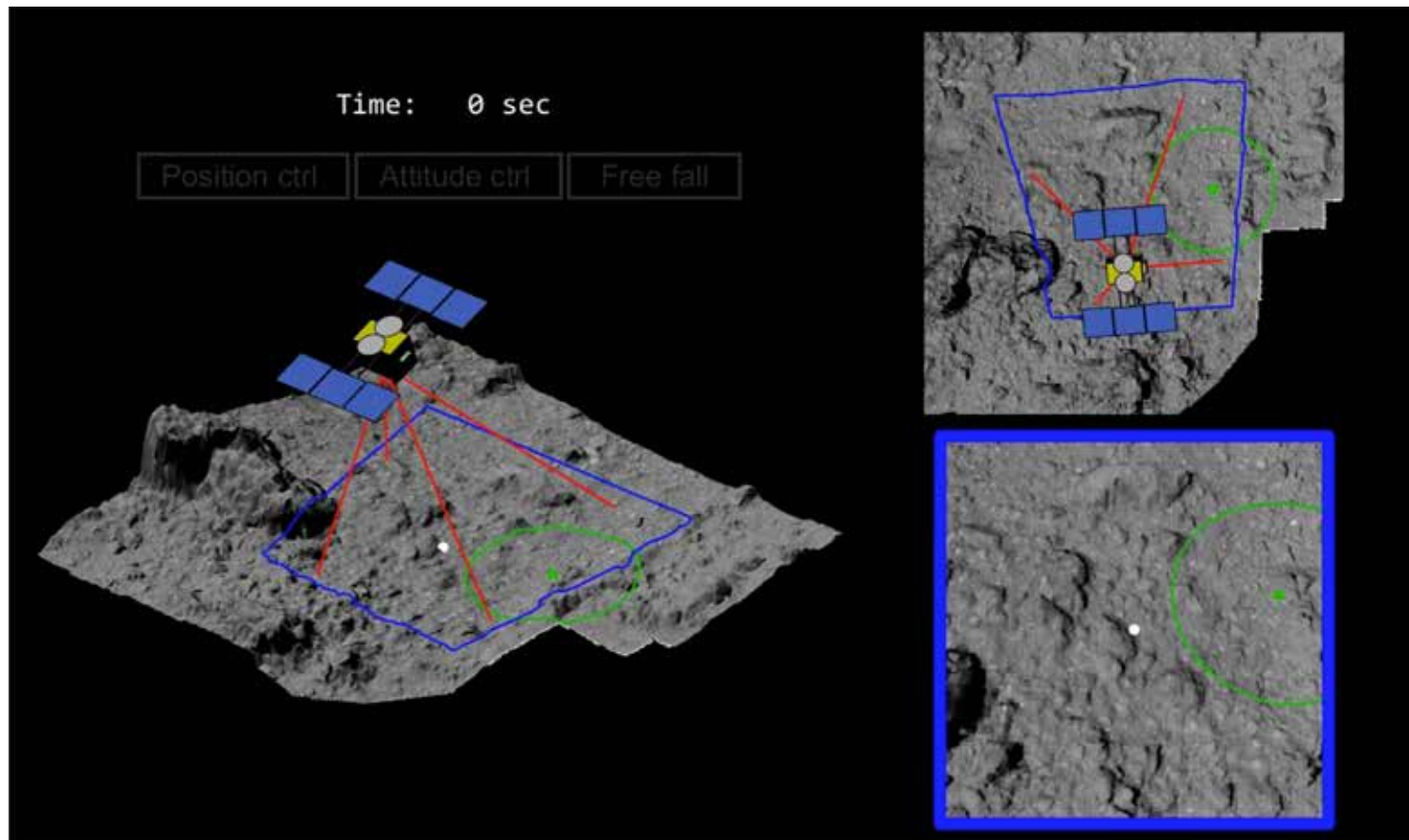
①~④: 探査機自律系のチェックポイント(各チェックポイントで正常であれば次の動作へ進む)



2. タッチダウン運用計画



タッチダウン直前の探査機の動き(動画)



※秒時, 姿勢や位置
関係はチューニン
グ中のため, 今後
変化します.

(画像のクレジット:
JAXA)



2. タッチダウン運用計画

タッチダウン運用のポイント

当初:

→100m四方のタッチダウン可能領域を想定

- 「はやぶさ」方式のタッチダウン
- ターゲットマーカは、探査機の水平方向速度成分を小惑星表面の速度に合わせるために使用する。
- LRFによって高度を計測するだけでなく、姿勢を表面に平行にする操作を行う。

実際:

→約6m幅の領域にタッチダウン

- ピンポイントタッチダウンの手法
- 小惑星表面のターゲットマーカの位置に対して相対的に探査機の位置を制御する。
- LRFは高度計測と安全確認に用い、姿勢制御には使用しない。
- 姿勢は、計画値に基づいて設定する。



2. タッチダウン運用計画

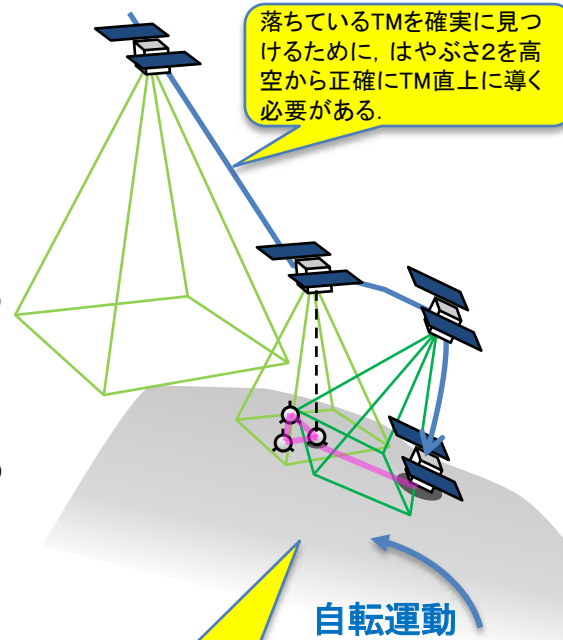
はやぶさ2のピンポイントタッチダウン機能

「はやぶさ」方式

- 分離して落ち行くTMを追尾することで、地表に対する「相対速度」をゼロにして着陸する。
- 分離直後からTMを認識することで、追尾が比較的容易。
- TMを常に視野の中心に入れながら高度を下げる。
- 一度に追尾できるTMは一つだけ。

自転運動

- TM投下精度で、着陸精度が決まる。



「ピンポイントタッチダウン」方式

- 既に落ちているTMを捕捉し、それに対して指定した「相対位置」に着陸する。(画面内でTMを中心からオフセットさせることができる)
- 複数のTMの配置を認識することが可能。



- TM投下精度とは無関係に、着陸地点を指定できる。
- 今回のタッチダウンでは、一つのTMを使ったピンポイントタッチダウンを実施する。

自転運動

TMに対して相対的にオフセットした位置に着陸することが可能。高精度の着陸には、地形の正確な把握が不可欠。

※TM: ターゲットマーカ

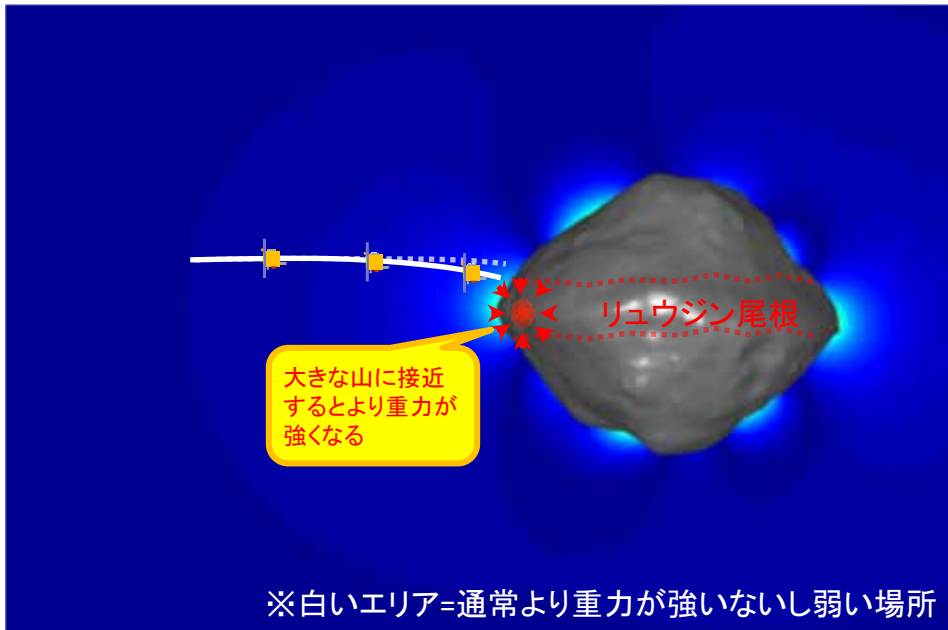


2. タッチダウン運用計画

高精度着陸実現のために実施した施策

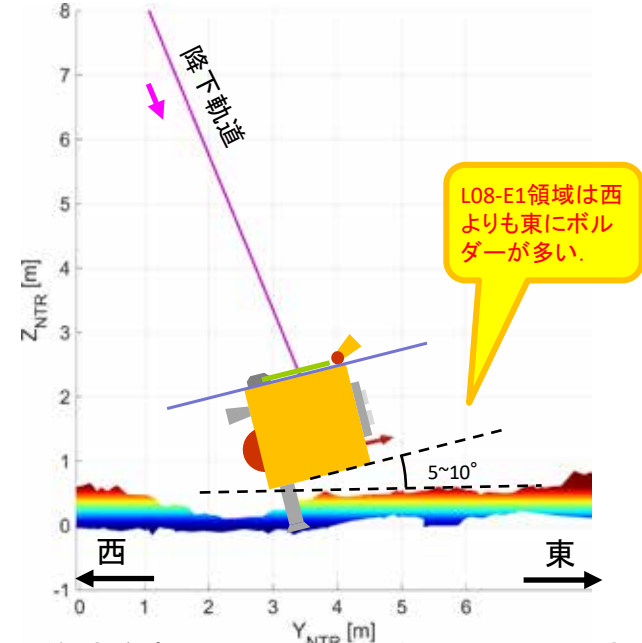
- ① 小惑星モデルの高精度化
- ② 自律制御のチューニング
- ③ 着陸安全余裕の拡大

一例
重力モデルの高精度化



リュウグウは球体ではない。尾根の質量集中により軌道が曲がる効果を考慮した。

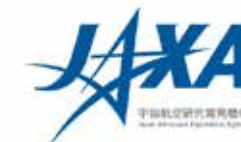
一例
着陸時ヒップアップ姿勢の採用



着陸姿勢を地形にまっすぐではなく、意図的に少し傾けることにより、高いボルダーを回避する。



2. タッチダウン運用計画



運用途中での判断ポイント

情報発信

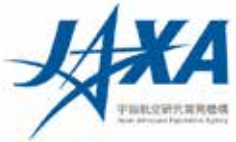
項目	地上時刻：JST ()は探査機時刻	判断項目	
Gate 1	2月21日 07:13	降下開始の可否判断開始	<ul style="list-style-type: none"> ・ONC-W1によるリュウグウ画像配信 ・LIDARによる高度データ
Gate 2	2月21日 18:52	降下継続の可否確認開始	
Gate 3	2月22日 06:02	最終降下判断(GO/NOGO 判断) 開始	
HGA→LGA	2月22日 07:27 (07:08)	アンテナ切り替え	<ul style="list-style-type: none"> ・ドップラーデータによる探査機速度の確認
TD	2月22日 08:15 (07:56)	タッチダウン	
Gate 4	2月22日 08:15	上昇確認開始	<ul style="list-style-type: none"> ・テレメトリによる確認
LGA→HGA	2月22日 08:22 (08:03)	アンテナ切り替え	
Gate 5	2月22日 08:22	探査機状況確認開始	
Gate 6	2月22日 18:27	ホームポジション復帰ΔV確認開始	

※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。

またGateに書かれている時刻は判断開始の時刻であり、判断結果が出るまでには時間がかかる場合がある。



2. タッチダウン運用計画



タッチダウン運用計画の考え方

- 探査機は着陸シーケンス中、常時シーケンスが正常に進行しているかを自己監視している。異常と判断すると、アボート(緊急上昇)を自動で行う。
- アボートが発生すれば、探査機の安全は確保される。
- 今回のタッチダウン運用の設計においては、安全を損なわないようアボート条件を厳しく設定している。(特に低高度シーケンス中のチェックポイント①～④での監視)
- アボートが発生した場合、バックアップ期間を使う等して、タッチダウン運用を再実施する。

タッチダウン運用計画＝再実施も含めたタッチダウン完了までの一連の運用群



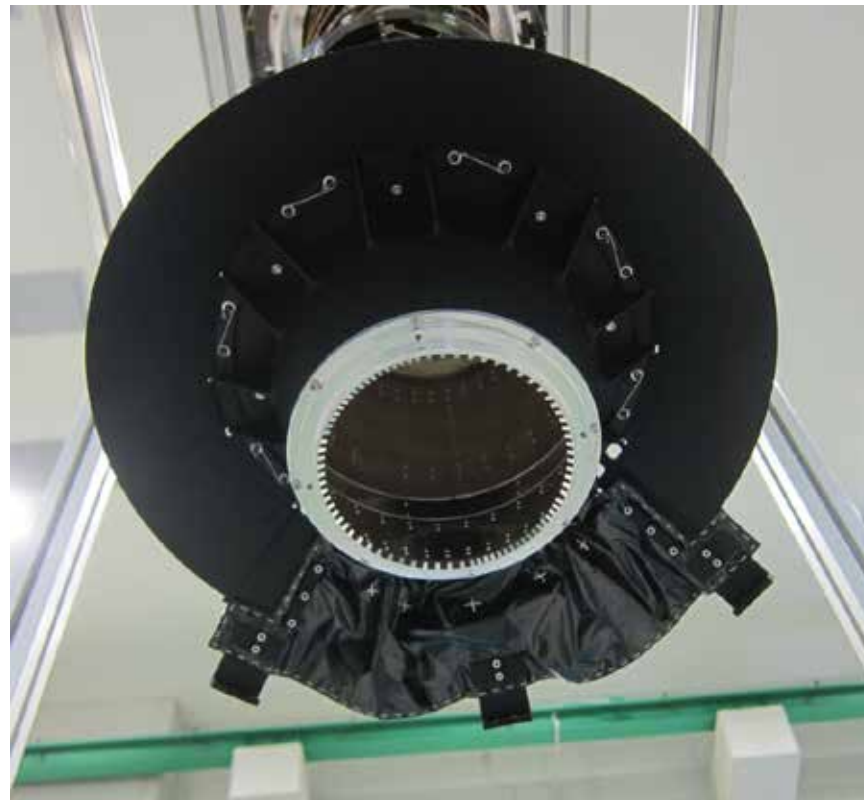
3. プロジェクタイトイル発射実験



サンブラホーン



全体

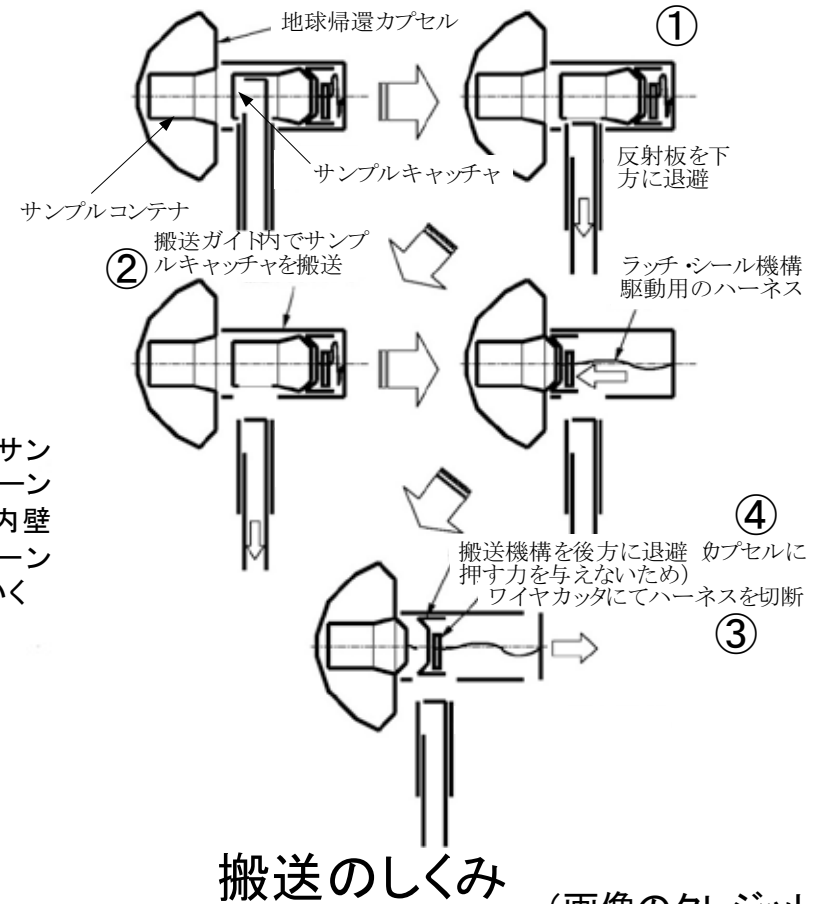
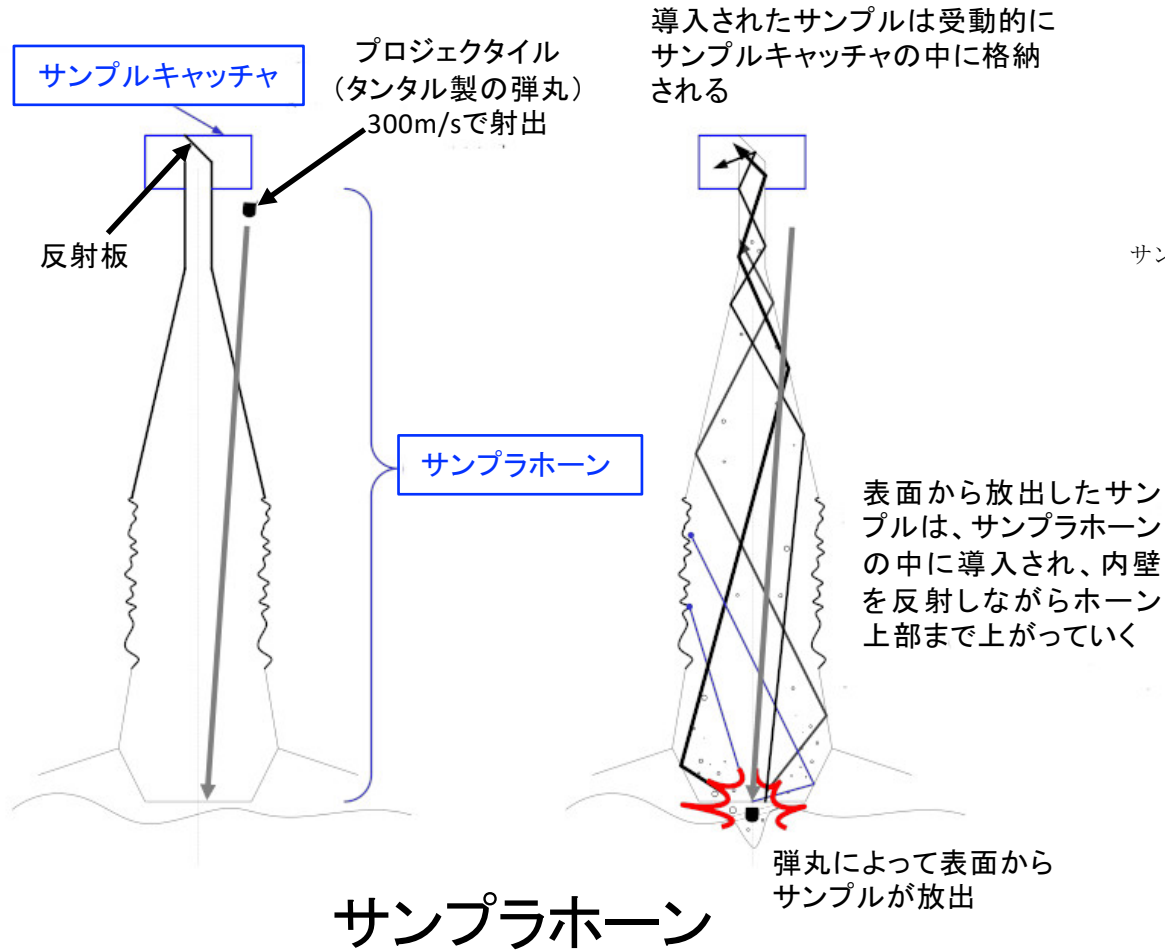
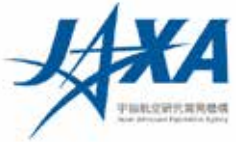


先端部

(画像のクレジット: JAXA)



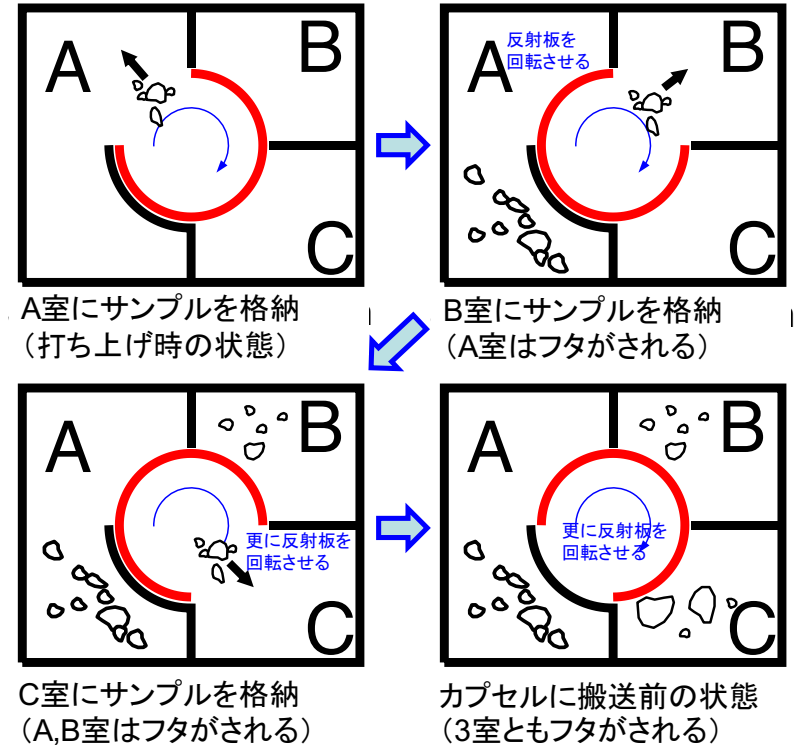
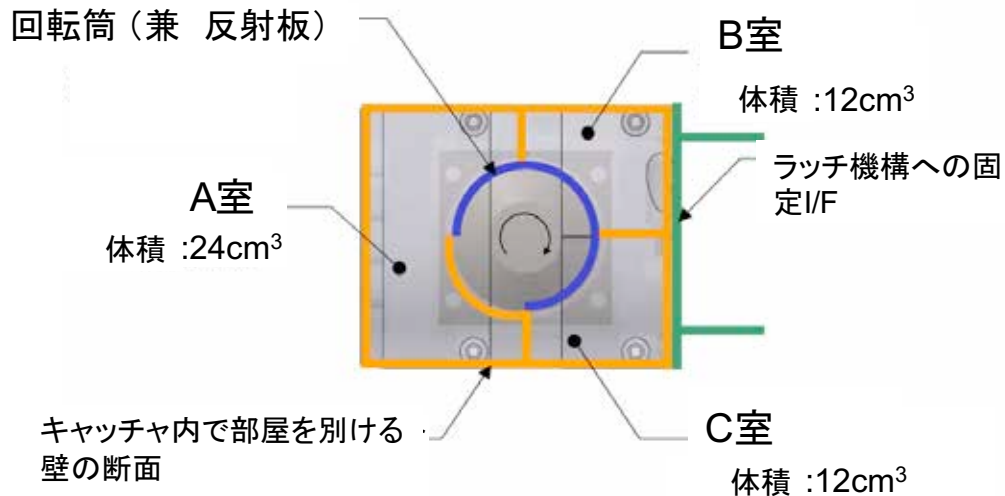
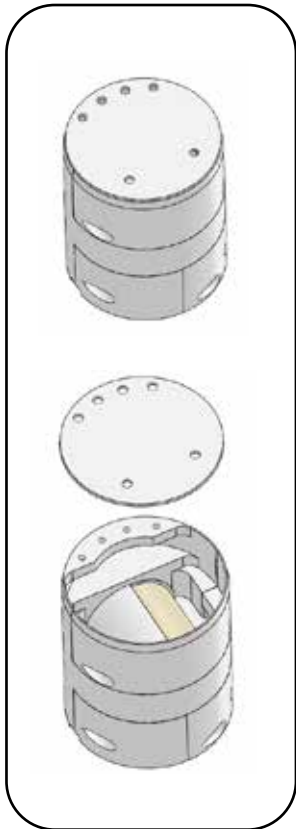
3. プロジェクタイトル発射実験



(画像のクレジット: JAXA)



3. プロジェクトイル発射実験



サンプルキャッチャの構造

(画像のクレジット: JAXA)



3. プロジェクティル発射実験



サンプラホーン先端の折り返し

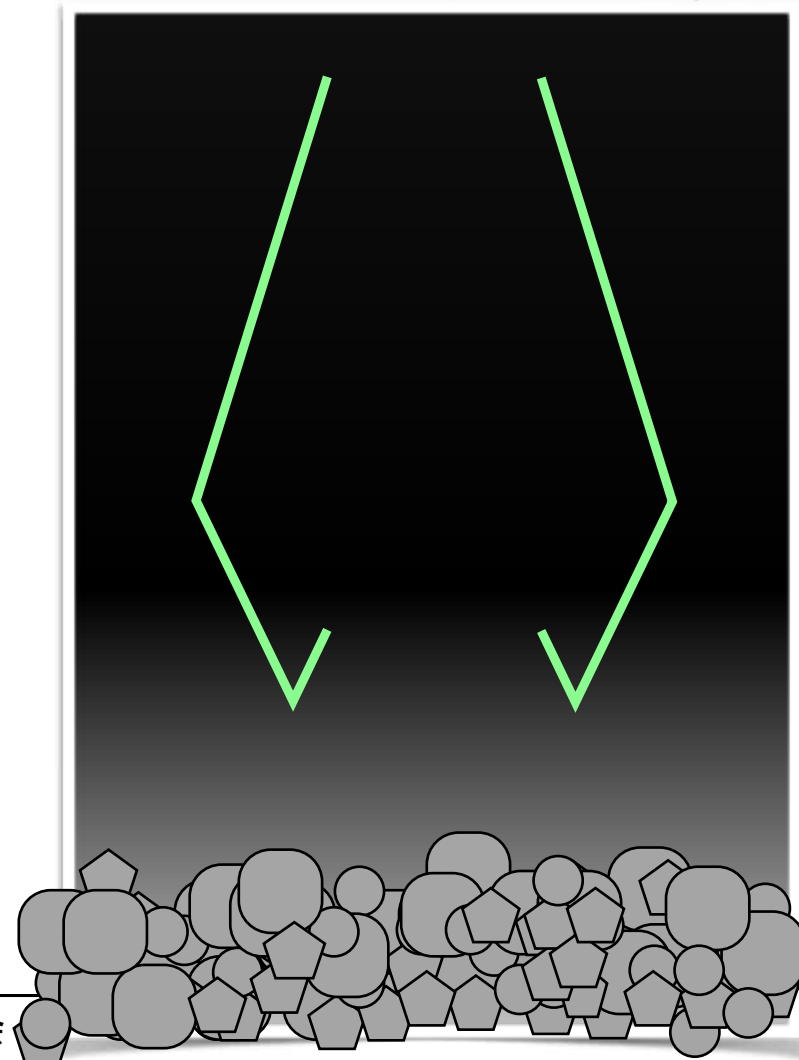
折り返された部分に表面物質が乗れば、探査機上昇中にサンプルキャッチャーに入る可能性あり。

打ち上げ前に、折り返し部を模擬した装置を作り、微小重力実験にて機能確認を行った。JAXAアーカイブ参照

<http://jda.jaxa.jp/result.php?lang=j&id=8e3fa0b26882c50c19b007f2b878ac64>

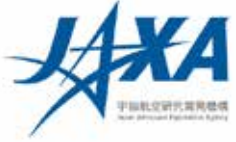
(アニメーション)

(画像のクレジット: JAXA)





3. プロジェクトイル発射実験



実験:「はやぶさ2」サンプルプロジェクトFM同等品点火作動試験

日時:2018年12月28日

場所:JAXA宇宙科学研究所

実施主体:はやぶさ2プロジェクトサンプルチーム

目的:探査機搭載プロジェクトと同ロットで製作された「FM同等品」が、4年強の保管期間を経て正常に点火し、所定の機能を発揮することを確認する。

リュウグウを模擬したターゲットに撃ち込み、表面から放出されるイジェクタ等の挙動を確認

手法:

(1) これまでの探査によって得られた情報に基づいてリュウグウ表面の模擬標的を作成

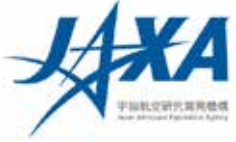
- ・炭素質コンドライト隕石の組成と密度を模して作成した人工岩石を破壊し、着陸機で確認されたリュウグウ表面上の礫や石の分布を再現した角礫層の標的を作成。

(2) 真空環境下で弾丸撃ち込み試験を実行

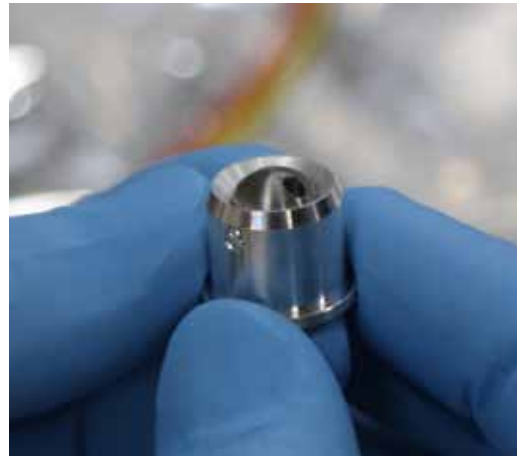
- ・1つの礫に照準を合わせて、真空チェンバ内ではやぶさ2サンプル・プロジェクトを点火
- ・5gの金属弾丸が約300m/sの速度で射出
- ・弾丸が着弾した礫が破砕され、周囲の礫も放出される様子を高速度ビデオ撮像



3. プロジェクタイトイル発射実験



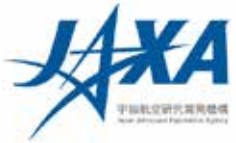
リュウグウの表面を模擬したターゲット
(画像クレジット: JAXA、東京大学)



使用したプロジェクタ(銃身)とプロジェクタイトイル(弾丸):
フライトスペアのため、形状、材料、全てがフライト品と同一
(画像クレジット: JAXA)



3. プロジェクタイル発射実験

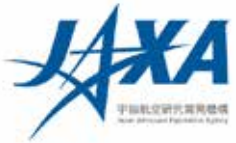


(動画)

実験で撮影された画像。通常のビデオレートで撮影されたもの。
(画像クレジット: JAXA)



3. プロジェクタイトイル発射実験

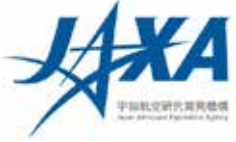


(動画)

実験で撮影された画像。1秒間に420枚の画像を撮影したもの。実際の時間よりも約14倍長い時間で表示されている。
(画像クレジット: JAXA)



3. プロジェクタイトル発射実験



結果:

- ・FM同等品プロジェクタは正常に動作
- ・弾丸は射出され、標的の礫が破碎
- ・粉碎された破片が隣接する礫も粉碎し、小片だけでなく細かい粒子も放出することを確認
- ・地上重力下であっても砕かれた礫や粒子が多数放出され、クレータを作る様子を確認

考察:

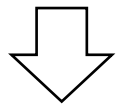
- ・実際のタッチダウンにおける試料採取でも、同様な挙動を想定
- ・リュウグウ表面は微小重力下であるため、地上実験よりもさらに多い放出物がサンプリングホーンへ導入されることが期待



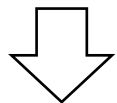
4. タッチダウンのサイエンス意義



タッチダウン＝サンプルの採取



広いスケール(12桁)に渡るサイエンスを行うことができる



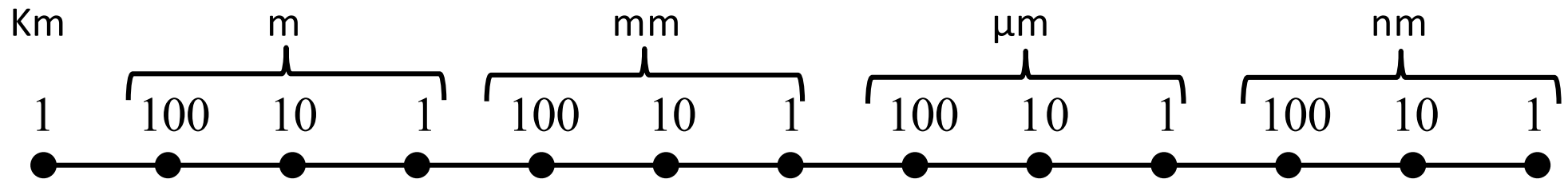
- 小惑星リュウグウの歴史
- 太陽系の起源、初期進化
- 地球(本体、水、生命)を作った物質
- 138億年の宇宙の歴史における46億年前の状況



4. タッチダウンのサイエンス意義



異なるスケールでのサイエンス



探査機からのリモートセンシング観測

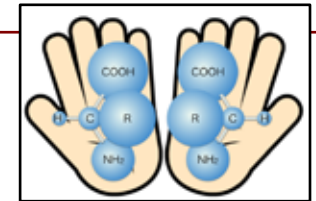
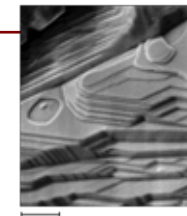
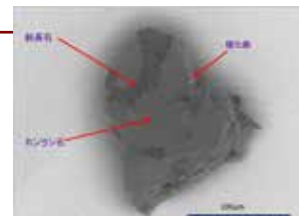
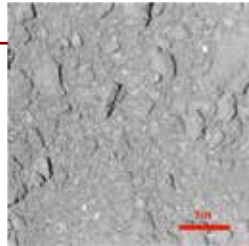
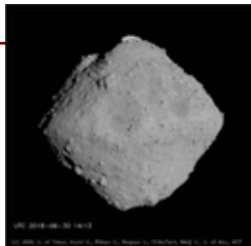
ONC (T, W1, W2), LIDAR, NIRS3, TIR, DCAM3

ローバ・ランダによる観測

MASCOT, MINERVA-II (1A, 1B, 2)

サンプルの分析

サンプラ, 地上の分析装置



リュウグウ (©JAXA、東大など)

例: イトカワの粒子 (©JAXA)

分子構造

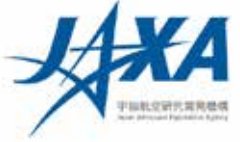


4. タッチダウンのサイエンス意義





5. 今後の予定



■ 運用の予定

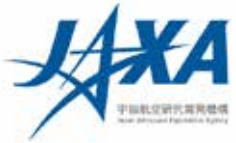
- タッチダウン: 2月22日(金)

タッチダウンの前後1時間ほどの時間帯にWEB番組を配信予定

■ 記者説明会等

- 2月20日(水) 15:00～ 記者説明会@JAXAお茶の水事務所
- 2月22日(金) 05:30～ プレスセンター@JAXA相模原キャンパス(※)

(※)プレスセンターの広さに限りがあるため、プレスセンターへのメディアのご参加は事前申し込み制とし、申し込み方法等関連するメディア向けのお知らせを後日配布予定です。



訂正



MINERVA-II1着地点名称の訂正

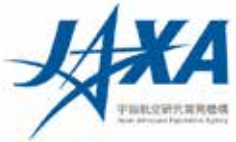


2018年12月13日の記者説明会にて、MINERVA-II1の着地点を「ミネルバ女神の誕生の地」として「トリニトス(Trinitas)」と発表しましたが、「トリトニス(Tritonis)」の誤りでしたので訂正いたします。

誤) 「トリニトス(Trinitas)」 → 正) 「トリトニス(Tritonis)」

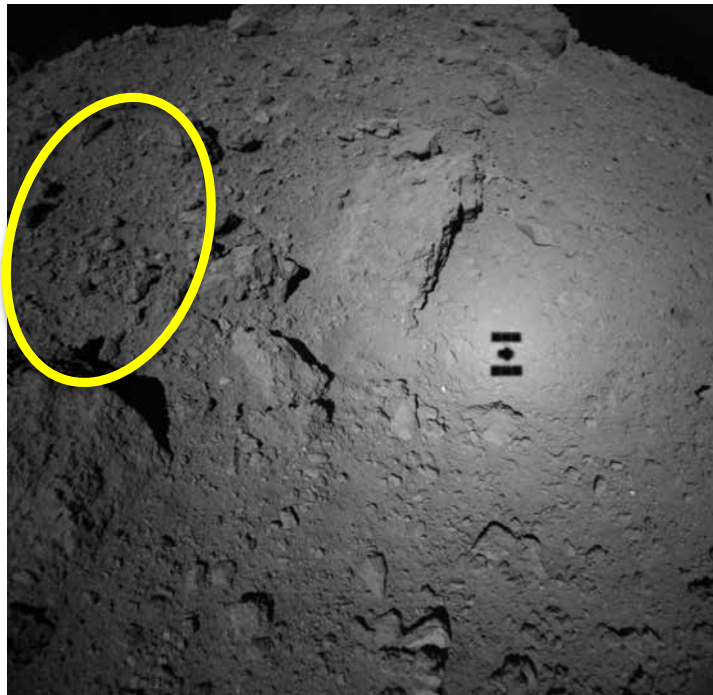


MINERVA-II1着地点名称の訂正



改訂版

MINERVA-II1 ローバの着陸場所



MINERVA-II1ローバの着陸場所の
ニックネーム(愛称)

「トリトニス」
Tritonis

トリトニスは、
「ミネルバ女神の生誕の地」

2018年9月21日13:02JST
高度70mにて、ONC-W1により撮像

(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)

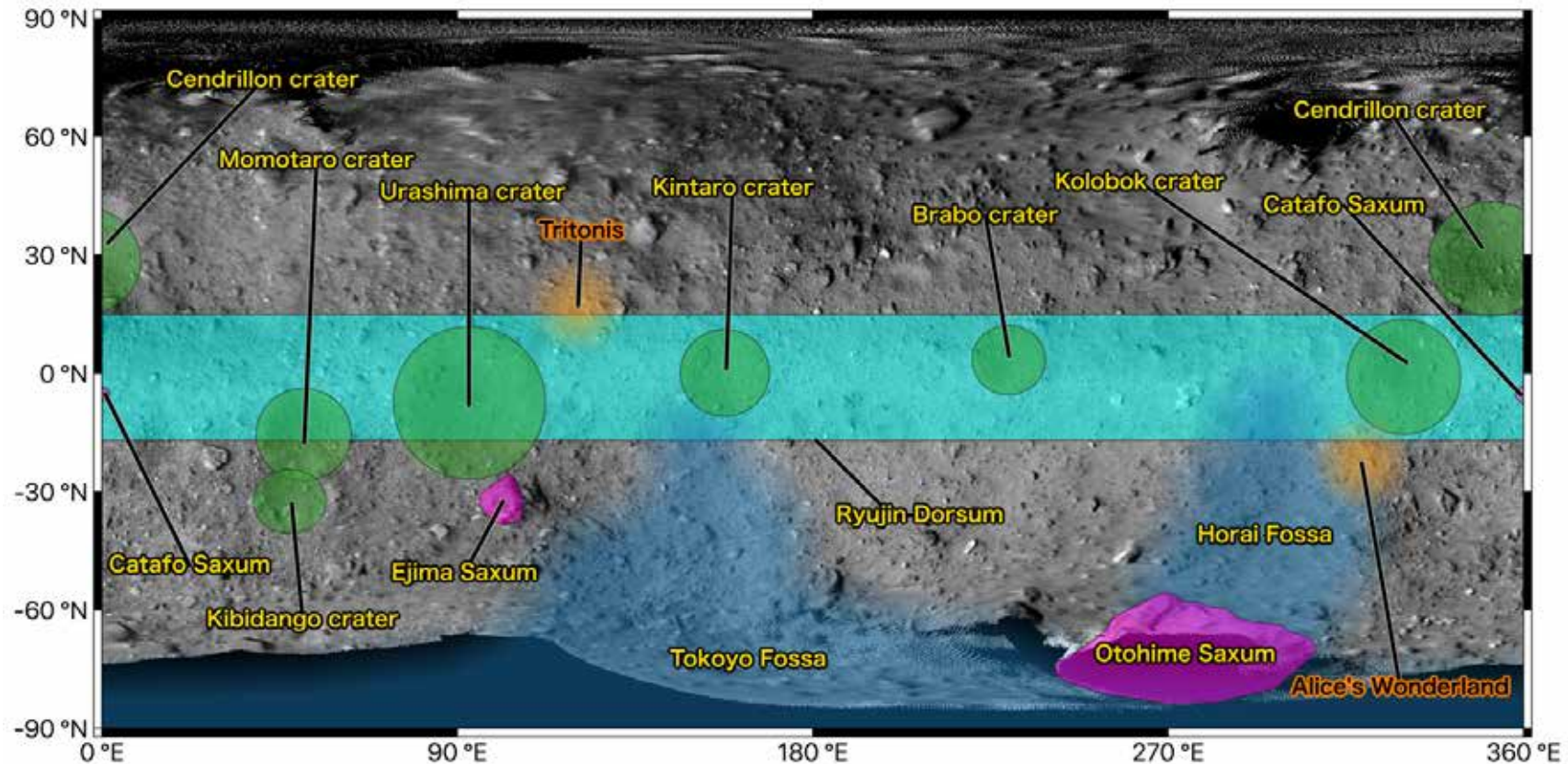


MINERVA-II1着地点名称の訂正



改訂版

正式名称(英語)

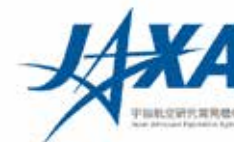


注: TritonisとAlice's Wonderlandは、それぞれMINERVA-II1とMASCOT着陸地点のニックネームで、IAUに認められた地名ではない。

(画像のクレジット: JAXA)

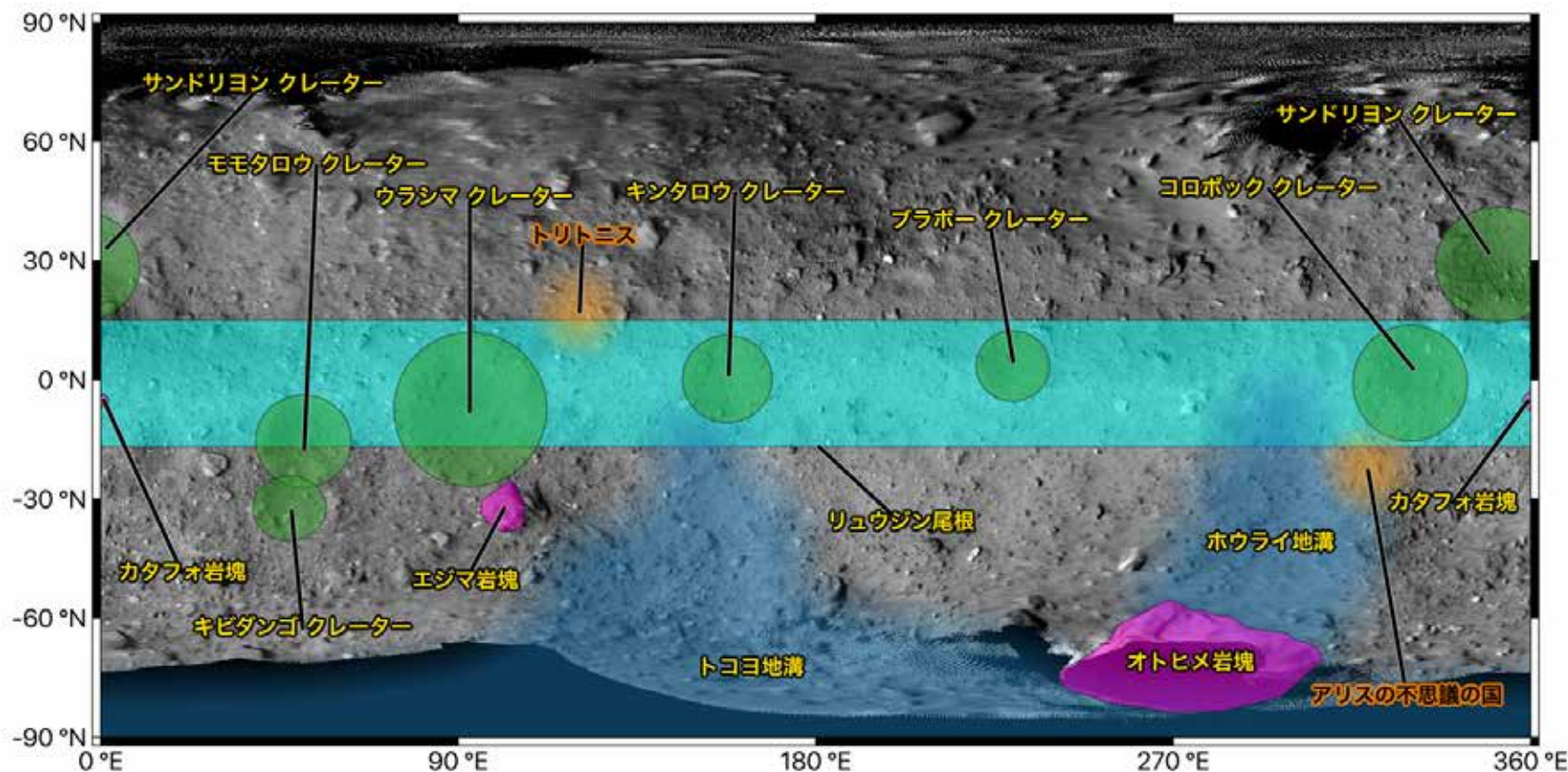


MINERVA-II1着地点名称の訂正



改訂版

正式名称(日本語訳)



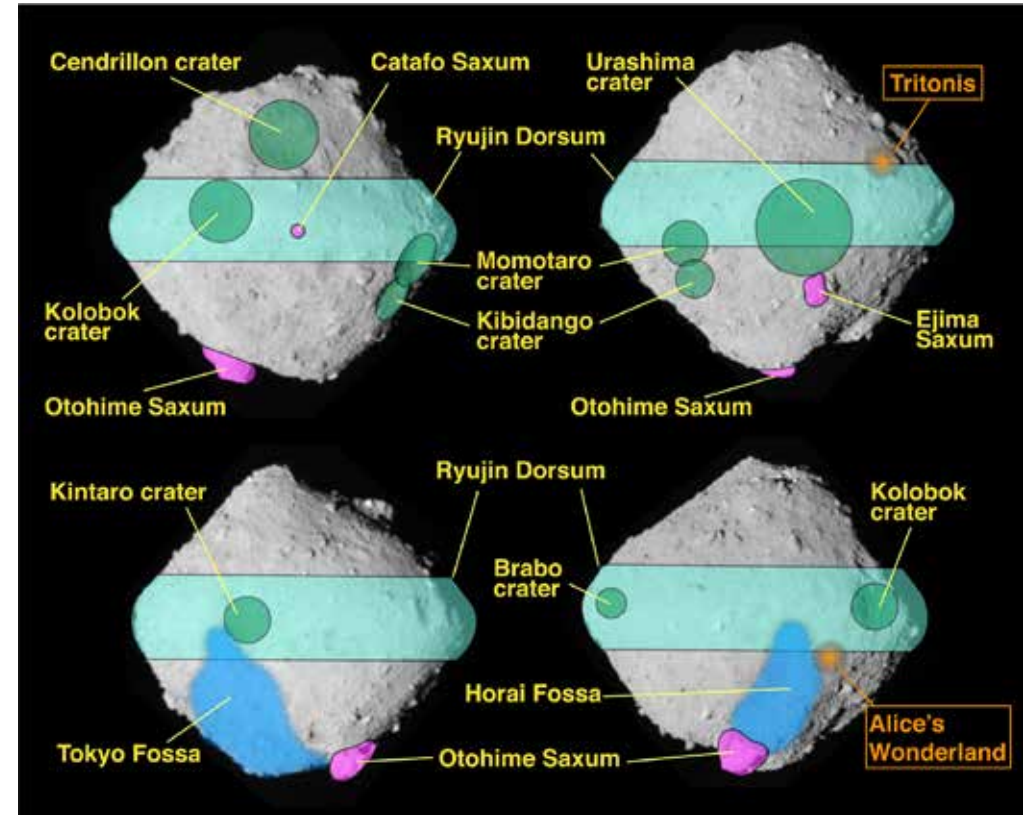
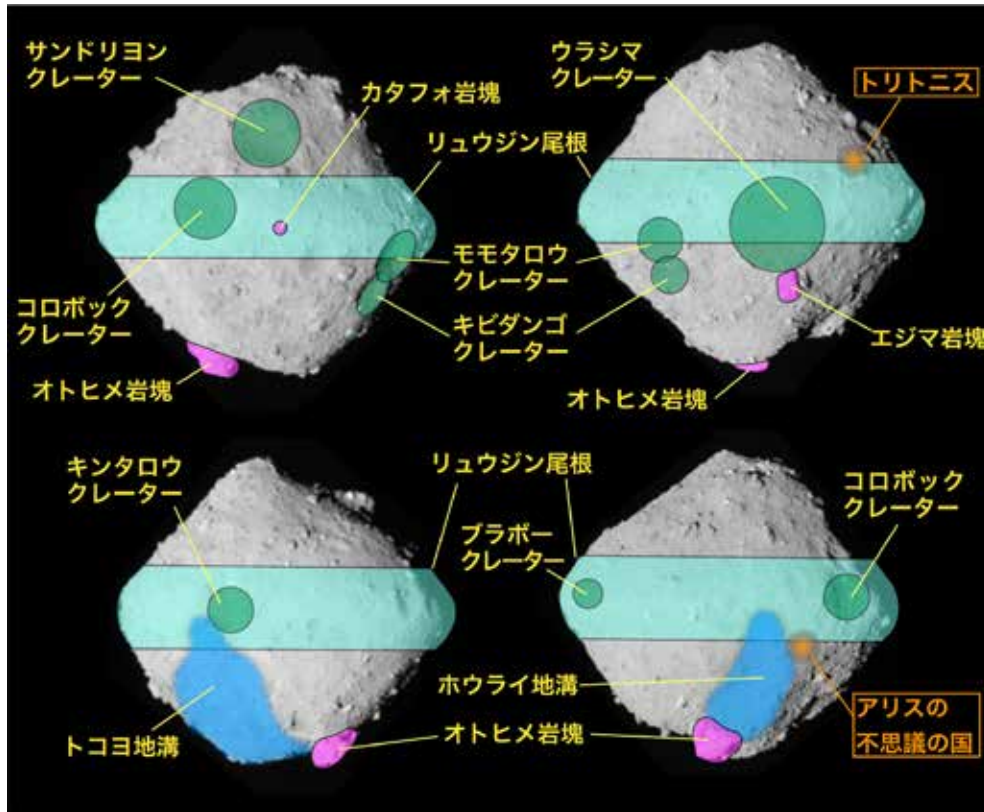
注: トリトニスとアリスの不思議の国は、それぞれMINERVA-II1とMASCOT着陸地点のニックネームで、IAUに認められた地名ではない。(画像のクレジット: JAXA)



MINERVA-II1着地点名称の訂正

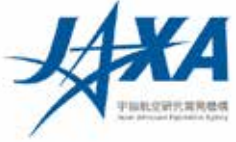


改訂版



注:トリトニス(Tritonis)とアリスの不思議の国(Alice's Wonderland)は、それぞれMINERVA-II1とMASCOT着陸地点のニックネームで、IAUに認められた地名ではない。

(画像のクレジット:JAXA)



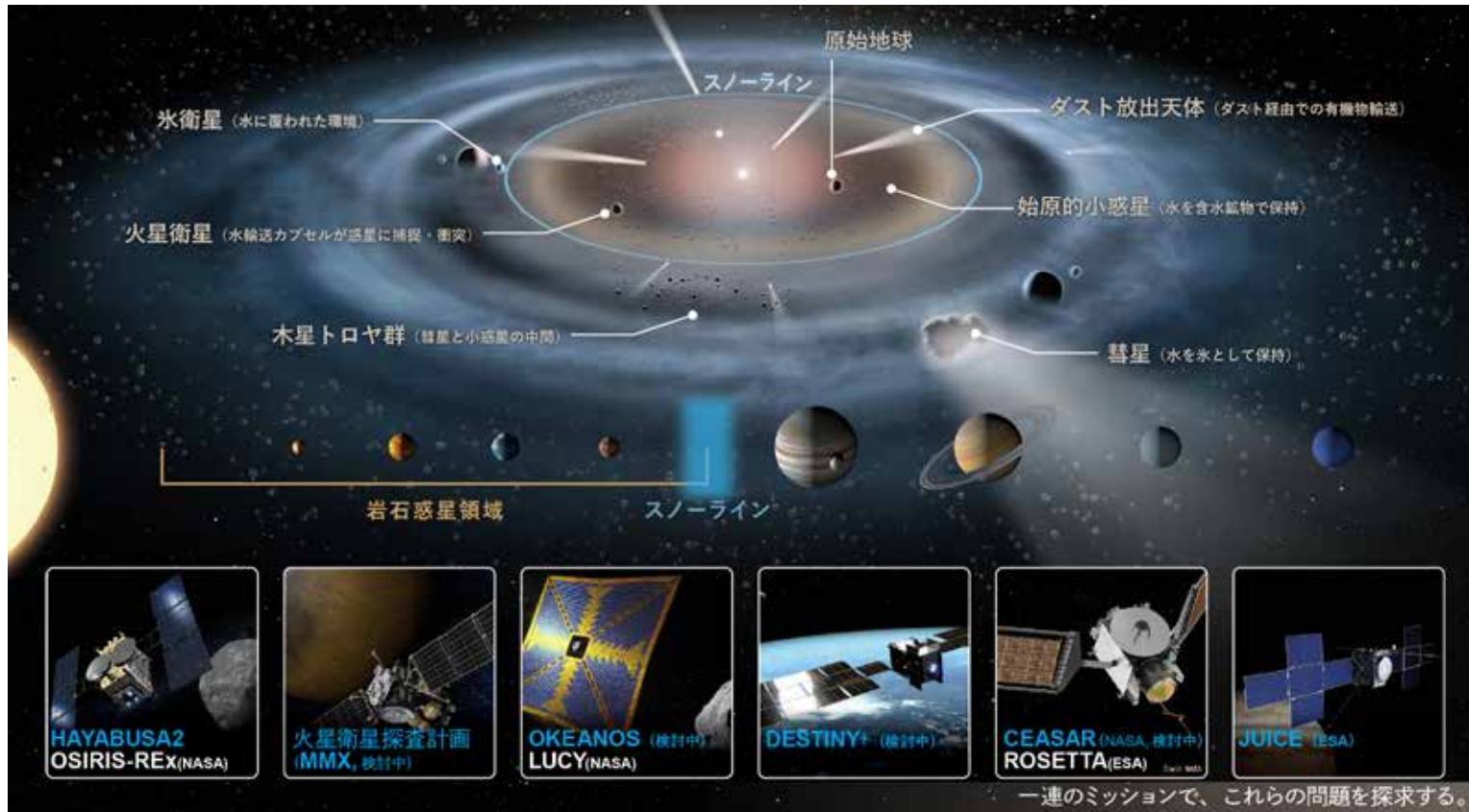
参考資料



小天体探査戦略



水と生命に富む奇跡的な地球になれた要因は？ 維持するためには何を？



- ・スノーラインの外で生まれた小天体は凍った泥団子(処女彗星)から多様な姿(始原的小惑星等)に進化した。

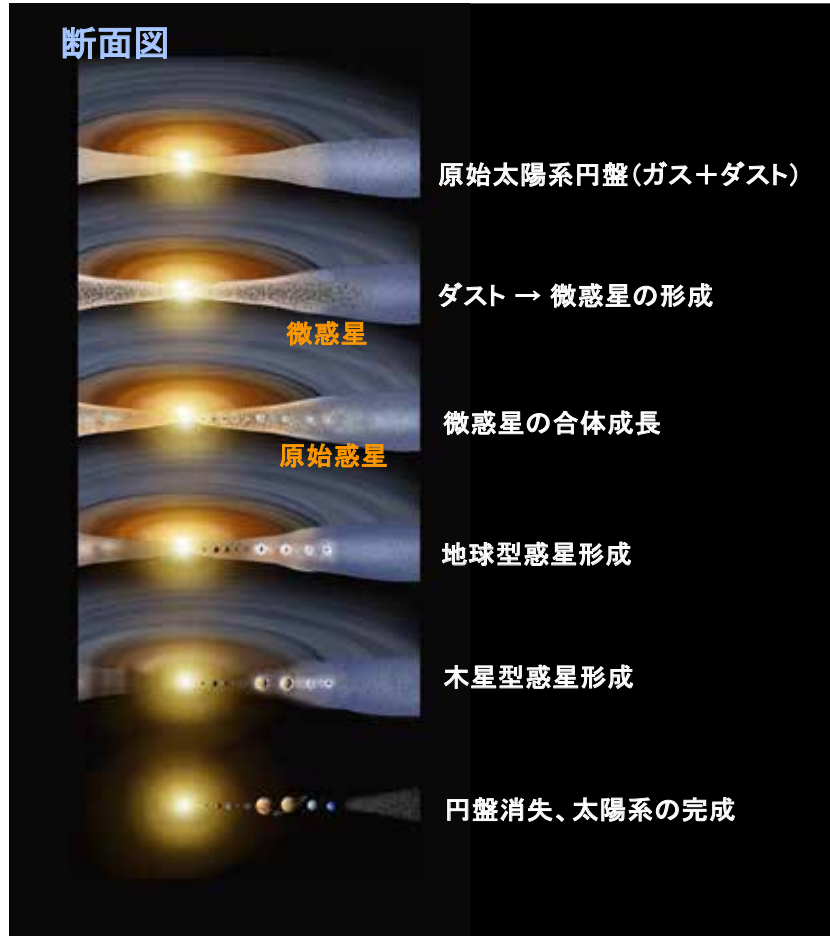
- ・地球型惑星領域へと、それらが水・有機物等の揮発性物質を輸送したことが、生命居住可能になるために必須だったと考えられる。

- ・いつ、どの進化段階の天体が、どの様に水や有機物を原始地球に持ち込んだのか、以下のミッションで総合的に探求する。

- HAYABUSA2(小惑星)
- MMX(火星の衛星)
- DESTINY+(小惑星・宇宙塵)
- CAESAR(彗星)
- OKEANOS(木星トロヤ群)
- JUICE(木星)、など



「はやぶさ2」のサイエンス：太陽系の誕生と進化



テーマ

①惑星を作った物質を調べる

原始太陽系円盤にはどのような物質があり、惑星が誕生するまでにどのように変化したのか？

②惑星への成長過程を調べる

微惑星から惑星へ、天体はどのようにして成長していったのか？

(© JAXA)



①惑星を作った物質を調べる



- 138億年前に誕生したと言われる宇宙は、その後、星の進化によって様々な元素が作られ、宇宙空間にばらまかれた。そして約46億年前に太陽系が生まれたが、そのときの宇宙空間にどのような物質があったのかを解明する。
- 原始太陽系円盤の中で、どのような物質分布になっていたのかを解明する。
- 初期の天体が生まれた後、その天体上で物質がどのように変化していったのかを解明する。



最終的に惑星本体・海・生命となった物質の解明

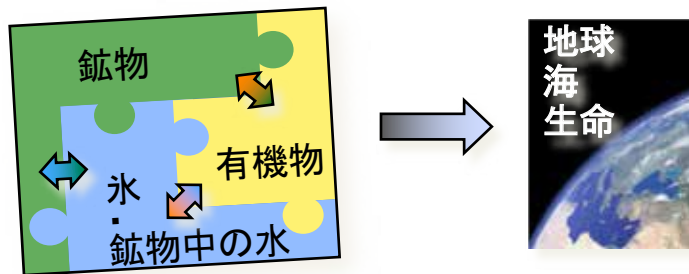
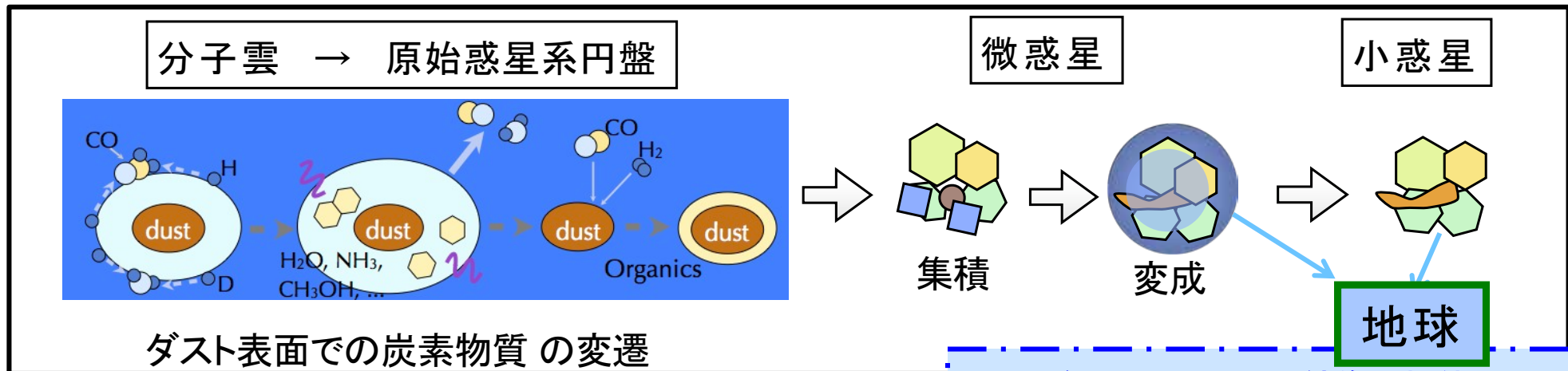
キーワード:

- **プレソーラー粒子**: 星間分子雲から太陽系に持ち込まれた粒子
- **白色包有物(CAI)**: 太陽系初期の高温状態を記憶している物質
- **鉱物-水-有機物相互作用**: 初期に誕生した天体上での有機物の多様化
- **熱変成・宇宙風化**: 天体誕生後に天体内または天体表面で起こる物質変化



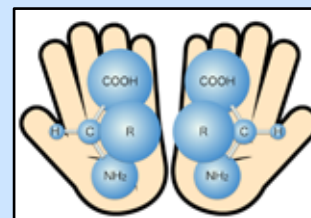
有機物の説明

水や有機物などの揮発性物質は、分子雲の中で塵(ダスト)表面で作られ、原始太陽系円盤内や微惑星で水質変成・熱変成を受けて変化し、最終的に地球に蓄積して地球生命の材料になったと考えられる。この過程で、どのような物質が存在したのかを解明する。



鉱物-水-有機物
相互作用

アミノ酸のキラリティー(鏡像異性体)



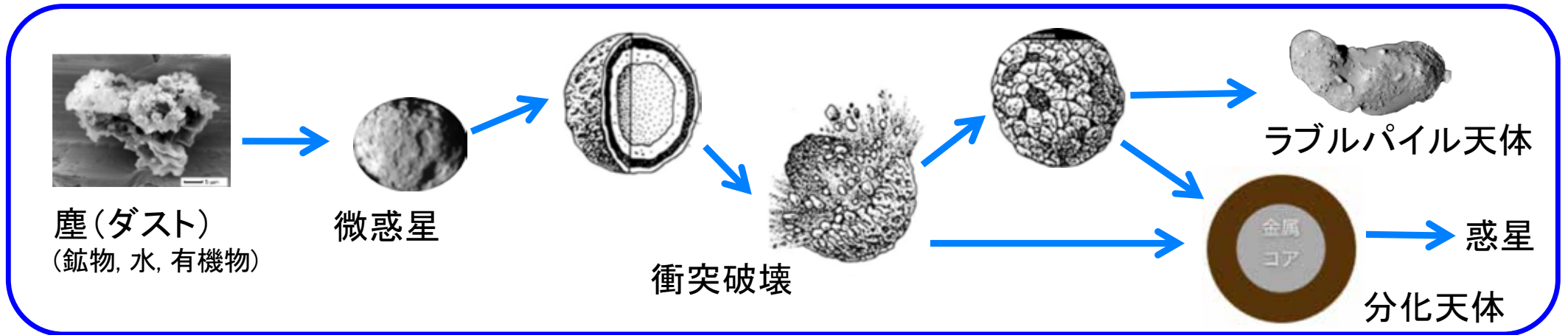
左手型(L体)と右手型(D体)のアミノ酸

地球上の生命は、ほとんど左手型(L体)のアミノ酸を用いている。

→なぜか？



②惑星への成長過程を調べる



- 惑星を作る元になった天体(微惑星)の構造を解明する。
- 天体の衝突破壊・衝突合体・再集積の過程でどのようなことが起こるのかを解明する。



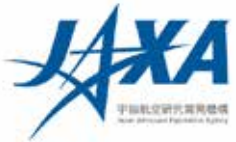
微惑星から惑星までの成長を解明

キーワード:

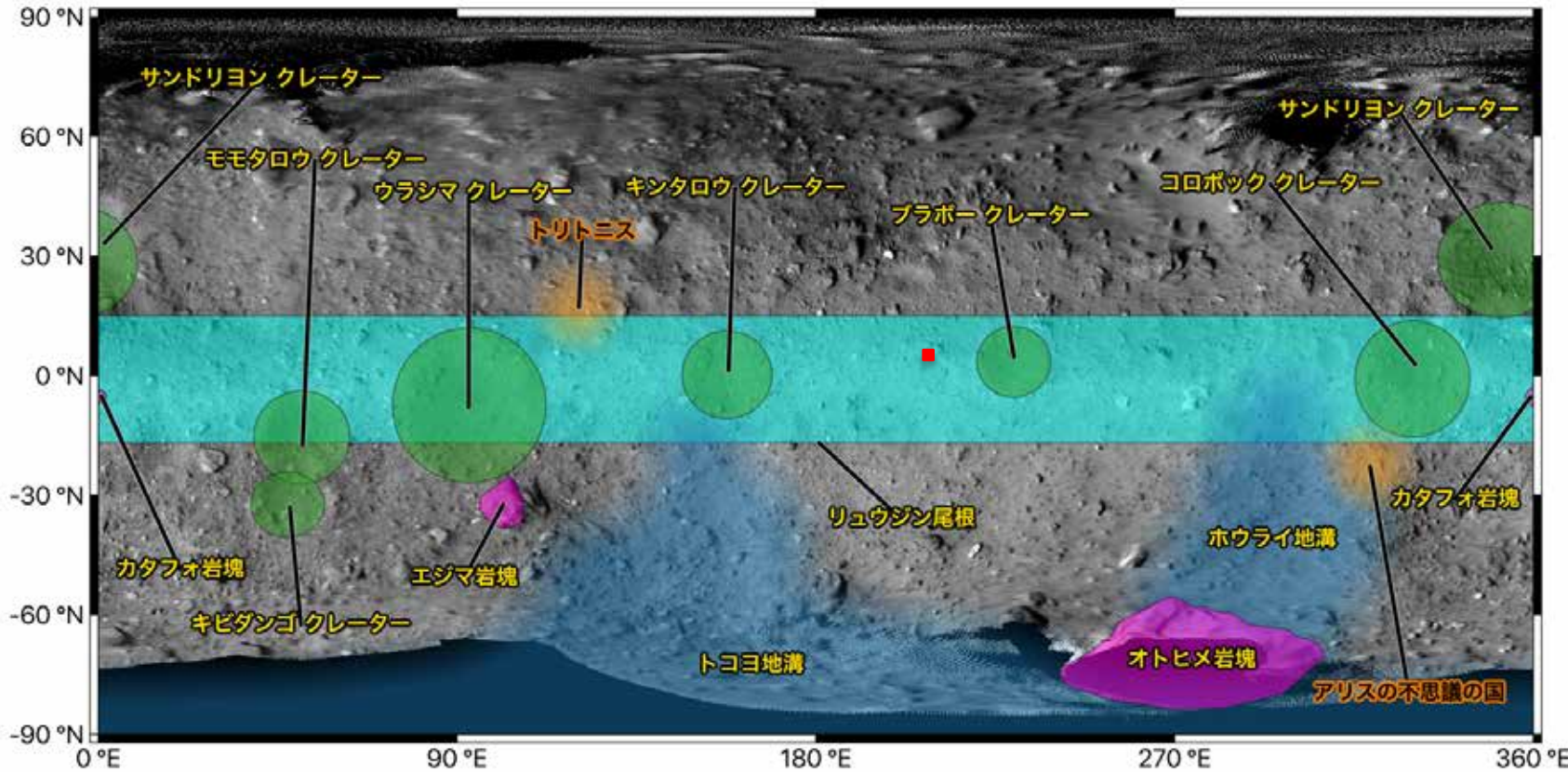
- **ラブルパイル天体**: がれきの寄せ集めのような天体
- **衝突破壊・衝突合体**: 天体同士が衝突すると、互いに破壊しあう場合と合体して1つの天体になる場合がある
- **再集積**: 衝突によってばらばらになった破片が重力で集まること



タッチダウン位置



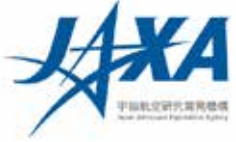
タッチダウンのおおよその位置は、下の図の赤い四角(■)のところとなる。



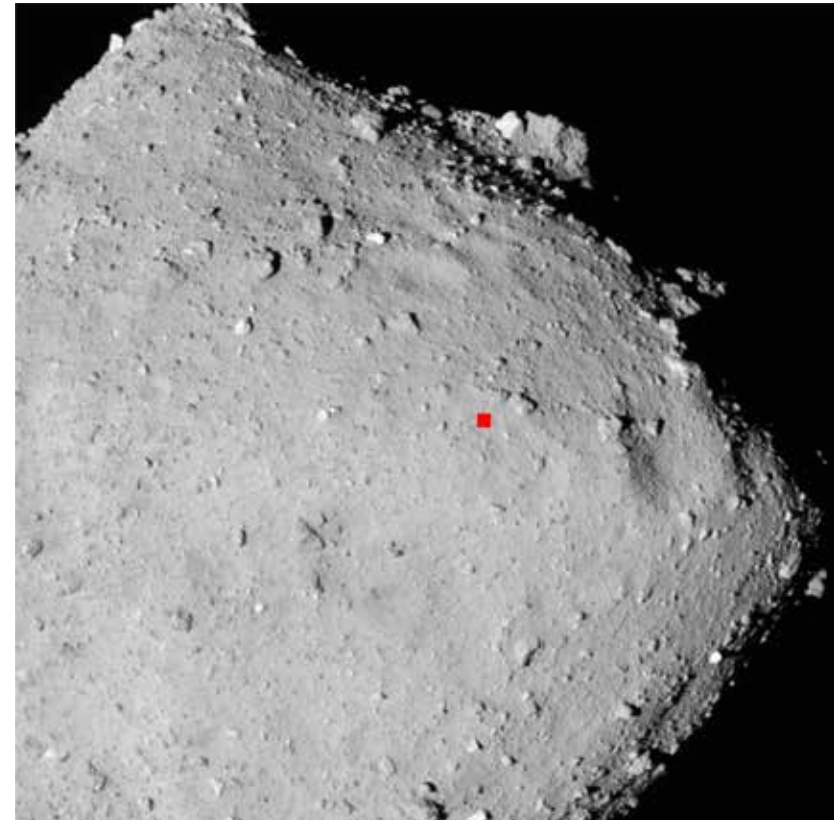
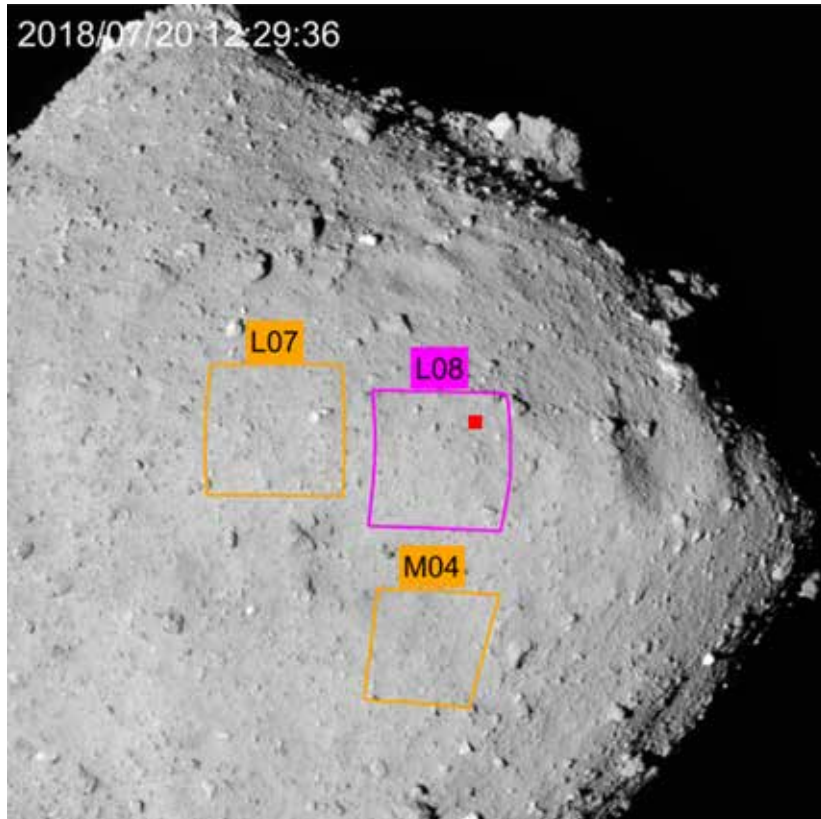
(画像のクレジット: JAXA)



タッチダウン位置



タッチダウンのおおよその位置は、下の図の赤い四角(■)のところとなる。



(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)