

はやぶさ物語秘話

- ・小惑星探査機「はやぶさ初号機（工学試験機）」の奇跡的帰還とその成果が意味するもの、
- ・「はやぶさ2号機（後継機）」の挑戦成功が意味するものをお届けいたします。

注：今回ははやぶさ2はリュウグウ人工クレータから岩石採集成功の大快挙編です。

今後は来年末無事帰還する事です。

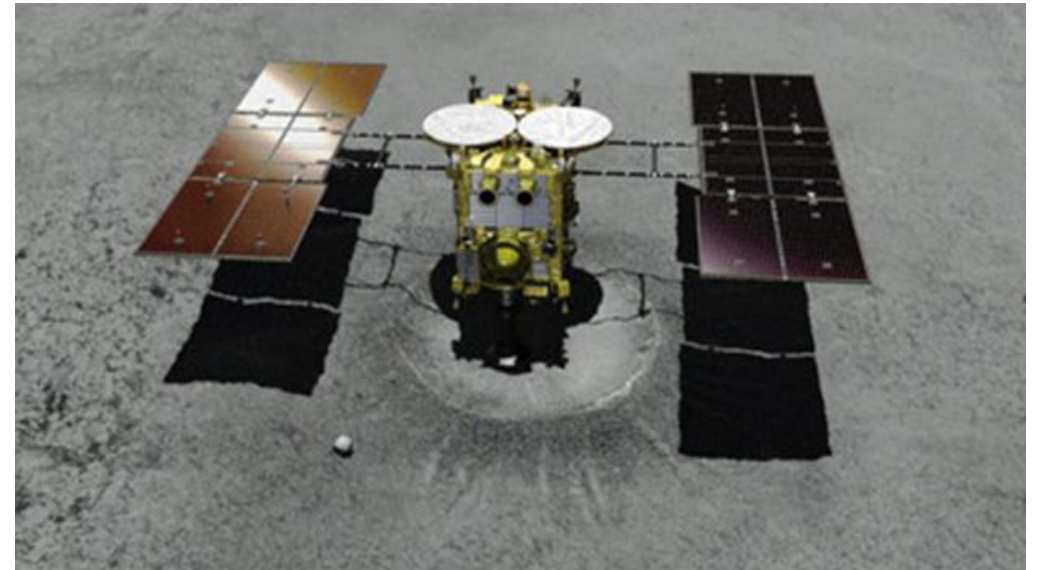
2019. 7

IHI OB

NPO法人宇宙アドバイザー協会正会員

小嶋 一郎

(S40年機械工学科卒)



人工クレータ上に着地、サンプリング成功

はやぶさ2の未曾有の成果が待たれる

「はやぶさ2号機(後継機)」は2019年7月11日に人工クレータから太陽風や宇宙線等の風化が少ない人工クレータ内より小天体の岩石等の採集に成功した・・・大快挙・・・!!。

はやぶさ2による人工クレータの作製は**46億年前、太陽系形成**初期を保った地下の物質を採取するのが狙い、太古の物質がどのようなものかを解明出来れば太陽系の歴史の謎に迫れると期待される。

はやぶさ2は2020年年末に帰還する予定。

無事帰還してサンプリング分析による成果が待たれる。

“はやぶさ2頑張れ!!”

はやぶさ2の快挙

1. 2019.2.22にリュウグウのピンポイントに着地成功して岩石採取に成功に続き、はやぶさ初号機でも経験していなかったミッション、インパクトによる人工クレータ作製に成功(2019.4.5)した。
そして画像撮影にも成功した(2019.4.25)。
画像撮影結果を解析して、5月9日結果報告があった(2019.5.9)
2. 世界で初めてこの難題をクリアした、日本は小惑星探査に関して一歩も二歩も世界をリードした。
3. そして2019年7月11日太陽風や宇宙線等の風化が少ない人工クレータ内より小天体の岩石等の採集に成功した大快挙!!。
4. 初号機でのトラブル克服により順調な飛行と多くのミッション達成している。
このプロジェクトを支える先生方、関係企業の努力を誉め称えたい。

はやぶさ物語エピソード

小惑星探査機「はやぶさ」は**初号機(工学試験機)**が奇跡的帰還以来宇宙開発愛好者に多くの夢と感動を与えてくれています。

初号機は2003年5月9日に内之浦からM-Vロケットで打上げられた。

一時は帰還不可と言われましたが、決して諦めない精神のもとに、関係者の努力で3年遅れの2010年6月13日**60億km**の旅を終えて無事帰還した事は日本は言うに及ばず世界中の人々に感動与えました。

その後、後継機**はやぶさ2号機**は2014年12月3日種子島からH-2Aロケットで打上げられ2020年12月地球帰還予定して2019年6月現在順調に飛行している。

太陽系誕生と惑星誕生の真相を知るために「はやぶさ」は頑張り、2019年7月11日太陽風や宇宙線等の風化が少ない人工クレータのより小天体の岩石等の採集に成功した。

これは世界に誇れる日本技術を占める、大快挙である。

小惑星は宇宙に漂うちりが合体を繰り返してできたもので、46億年前に誕生した太陽系の原初の姿をとどめているとされる。特にリュウグウの石や砂は生物に欠かせない有機物を含むとみられ、今回の試料採取は太陽系の歴史と生命の起源に迫るカギとなる可能性がある。「はやぶさ2」のサンプルリターンで最も注目されているところです。実際にサンプルを持ち帰って分析をしないと分かりませんが、リュウグウの表面物質には、見た目は黒い炭(すみ)やススのような有機物が全体の1%ぐらい含まれていると考えられています。

これに比べればわずかな量と想定されていますが、アミノ酸、カルボン酸、核酸塩基、アルコール、など私達がよく知っている生体関連分子も検出されることが期待されています。

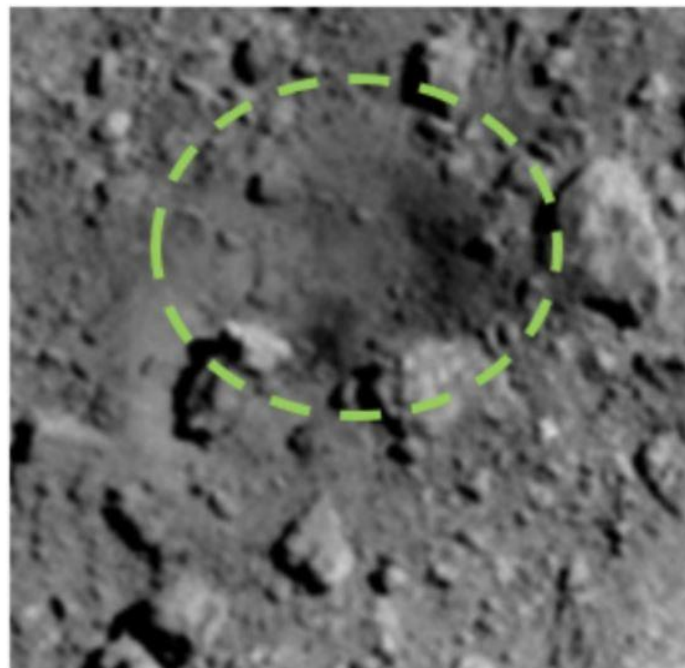
実際にどのような有機物が存在するのか、非常に楽しみです。

はやぶさ2の経過情報(2019.7現在)

“はやぶさ2”はリュウグウの地に人工クレータ作製に成功し
2019年7月11日人工クレータより岩石の採集に成功した。
これは世界で初めての快拳、大いに称えましょう！

- ・はやぶさ2の快拳オリジナル報告 2019.2.22
- ・はやぶさ2の快拳第2段報告 2019.4.5
- ・はやぶさ2の快拳第3段報告 2019.4. 25
- ・はやぶさ2の快拳第4段報告
- はやぶさ2がクレーター作り成功続報、今後の探査は 2019.5.9
- ・2019. 5.22日報告<https://www.youtube.com/watch?v=17UFWackqII>
- ・2019.6.11報告 https://www.youtube.com/watch?v=t8XR699x_z0
- ・2019年7月11日太陽風や宇宙線等の風化が少ない人工クレータ内より小天体の岩石等の採集に成功した。

はやぶさ2が作った人工クレーター、JAXAが写真公開



撮影日

左画像2019年3月22日

右画像2019年4月25日

(いずれも探査機上の撮影日、日本時間)

金属の塊をぶつける前（左）とぶつけた後（右）の写真。はやぶさ2が搭載する望遠の光学航法カメラ（ONC-T）が**高度約1.7キロ**の地点から撮影した。右の写真を見ると、**直径10メートルほど**のクレーターができていることが分かる。

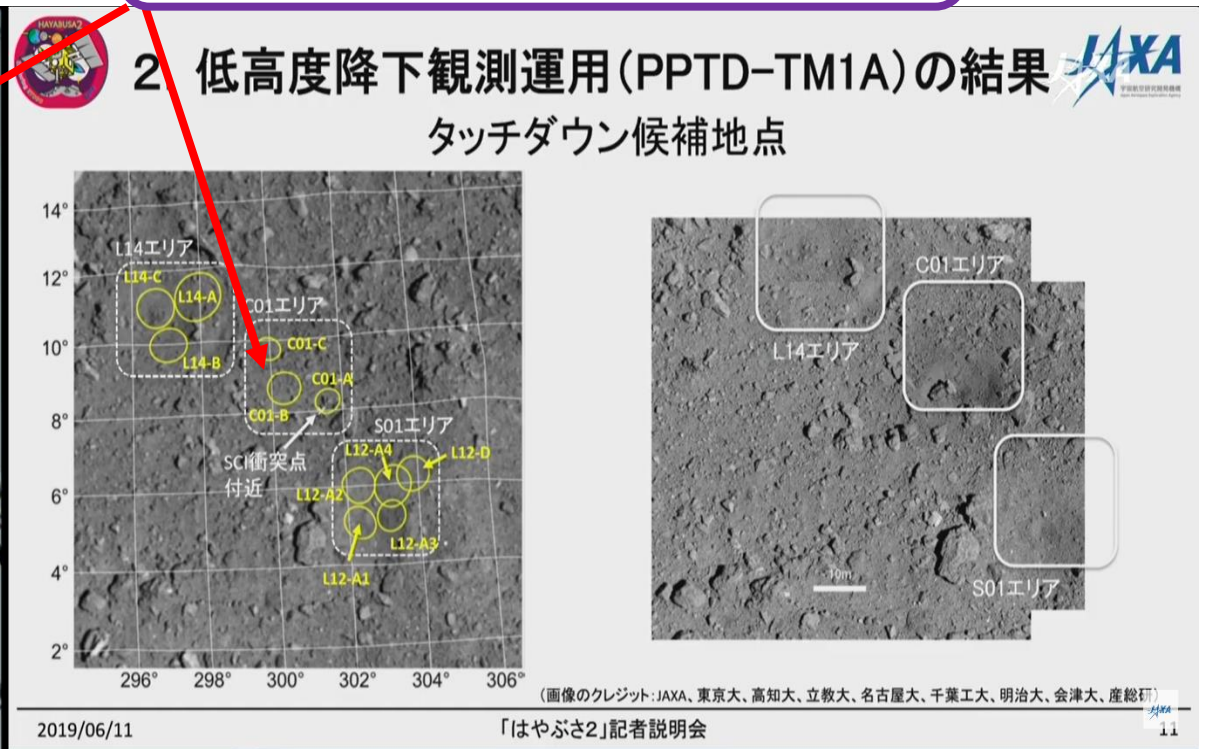
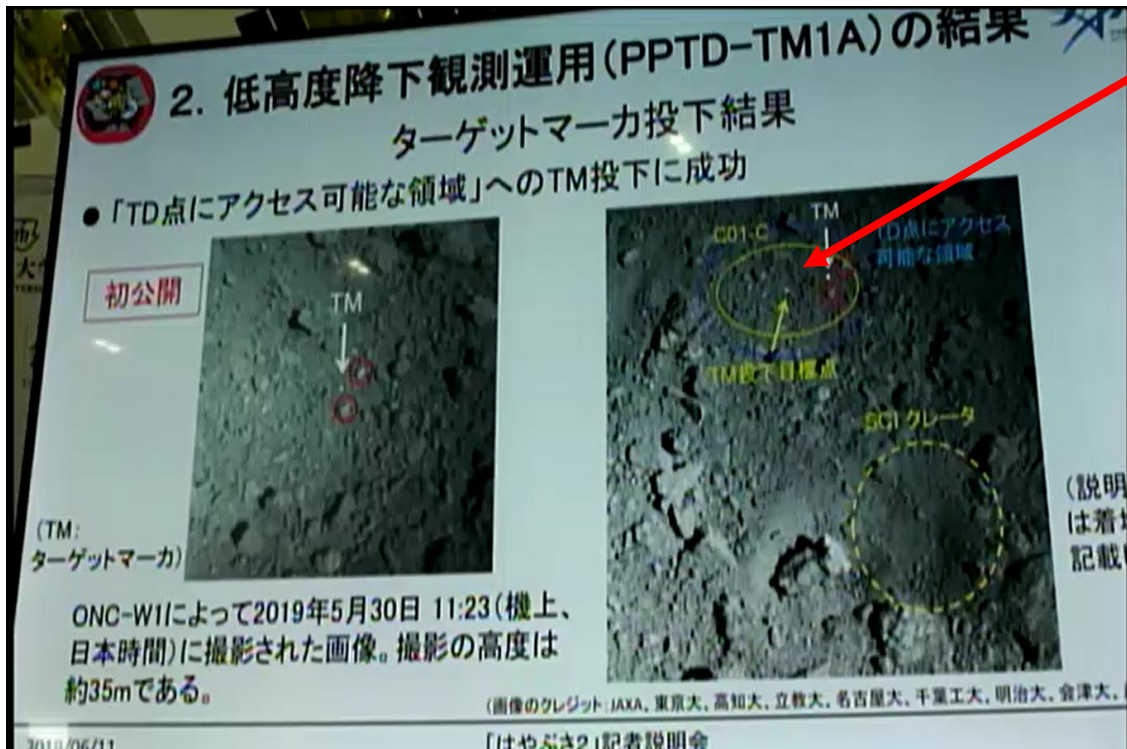
(c) JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は2019年4月25日、探査機「はやぶさ2」が小惑星「リュウグウ」の表面に金属の塊をぶつけた地点で、人工的なクレーターができていることを確認したと発表した。小惑星への人工的なクレーターの作成は世界初。

はやぶさ2は今後、クレーター付近への着陸を試みる。

2019.5.30:11:18頃タッチダウン候補地(PPTD-TMIA)C01-C地点に目標の3mに投下出来た。 素晴らしい成果である

タッチダウン候補地(PPTD-TMIA)C01-C地点



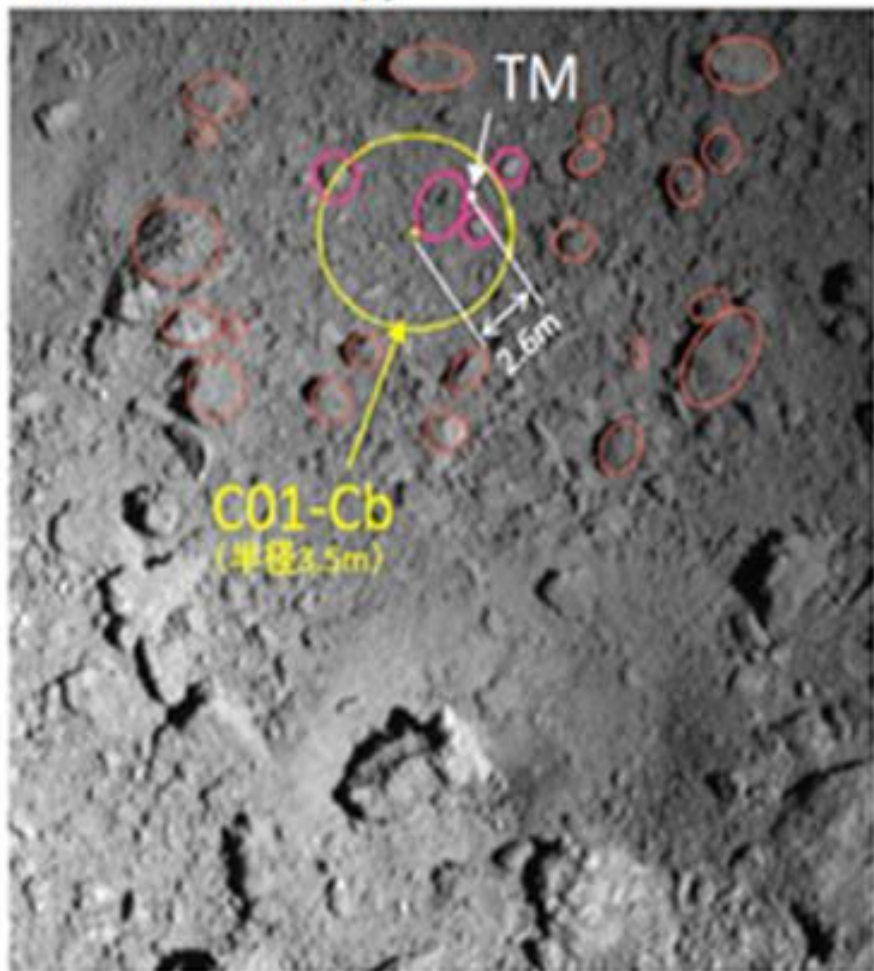
2019.6.11の関係者への報告会による



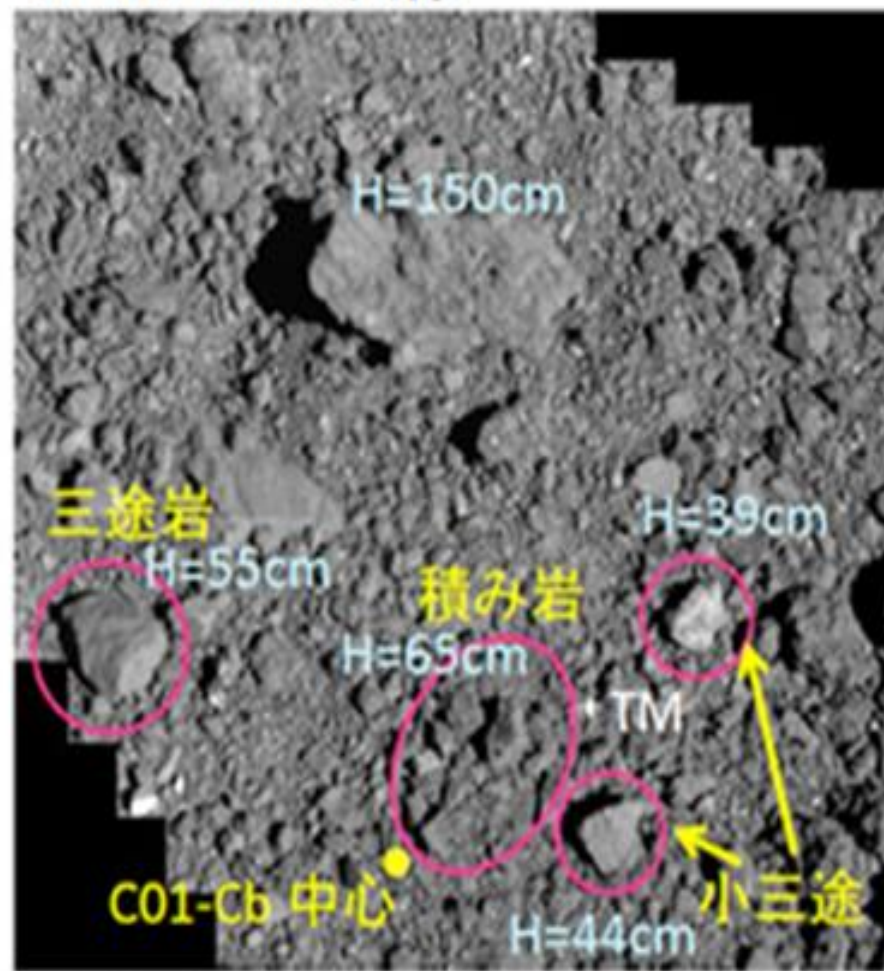
2回目のタッチダウン予定領域「C01-Cb」周辺の様子



PPTD-TM1画像



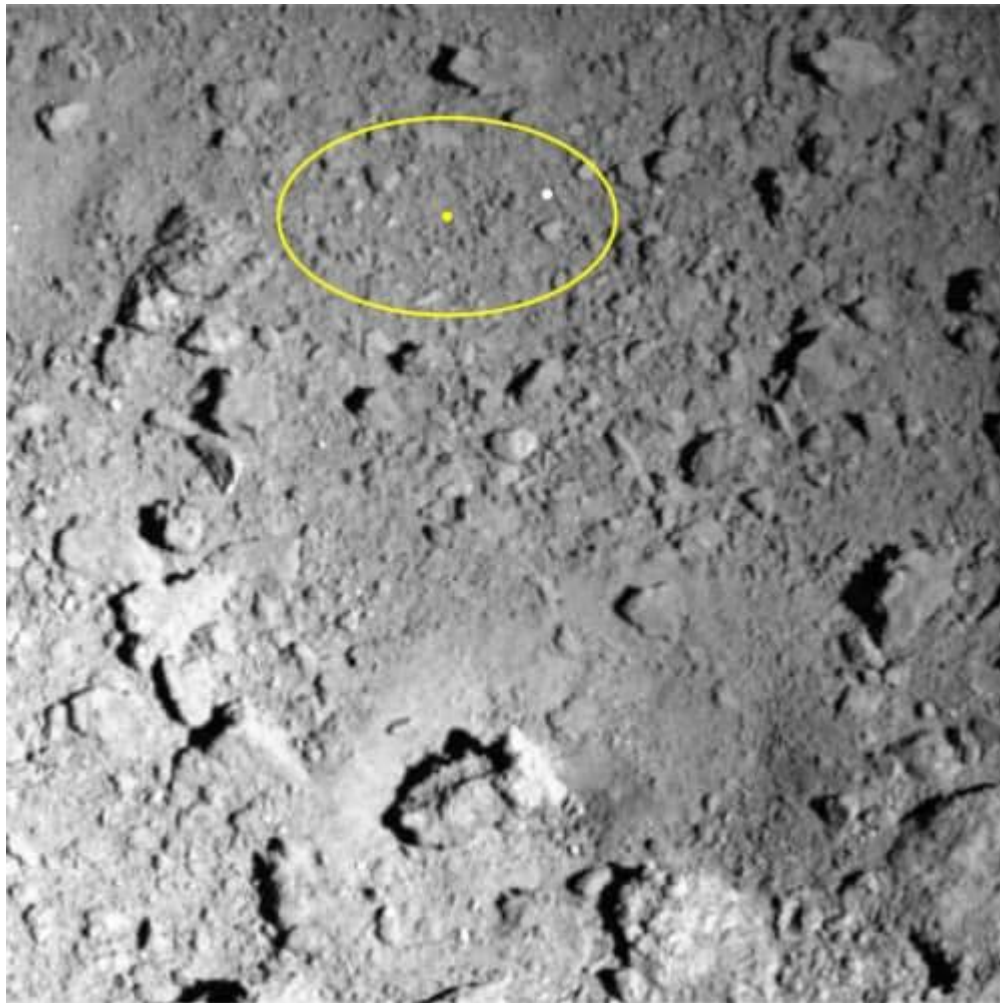
PPTD-TM1B画像



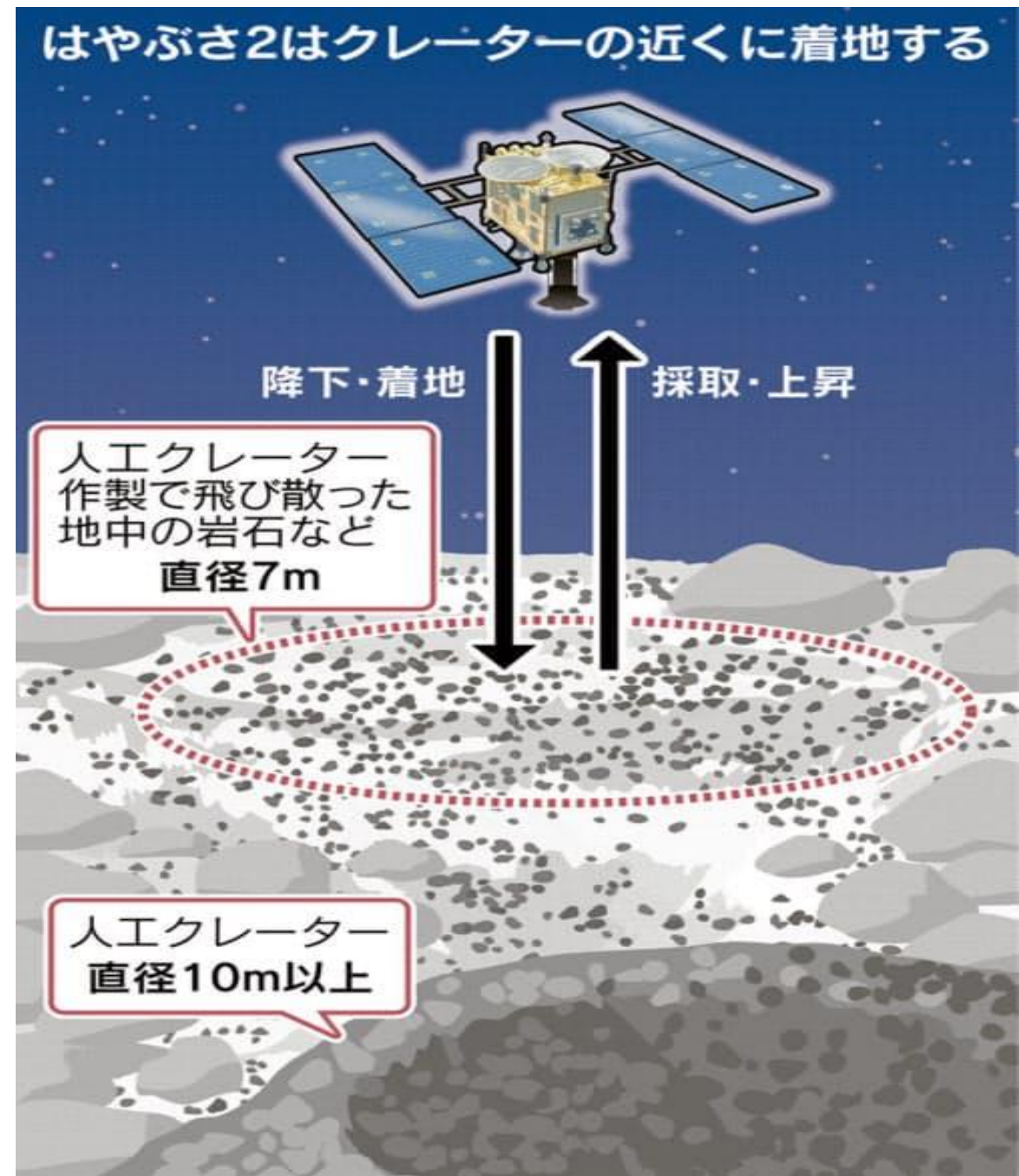
Hは推定された
高さの最悪値
(最も高い推定
値)

※岩の名称はニックネームであり、正式な名称ではない。

はやぶさ2リュウグウ人工クレータから岩石採集成功



高度30メートルから、あらかじめ5月末に落としておいた着陸の目印「ターゲットマーカ」を探して。はやぶさ2は目印との位置関係から、2.6メートル離れた着陸目標地点に着地





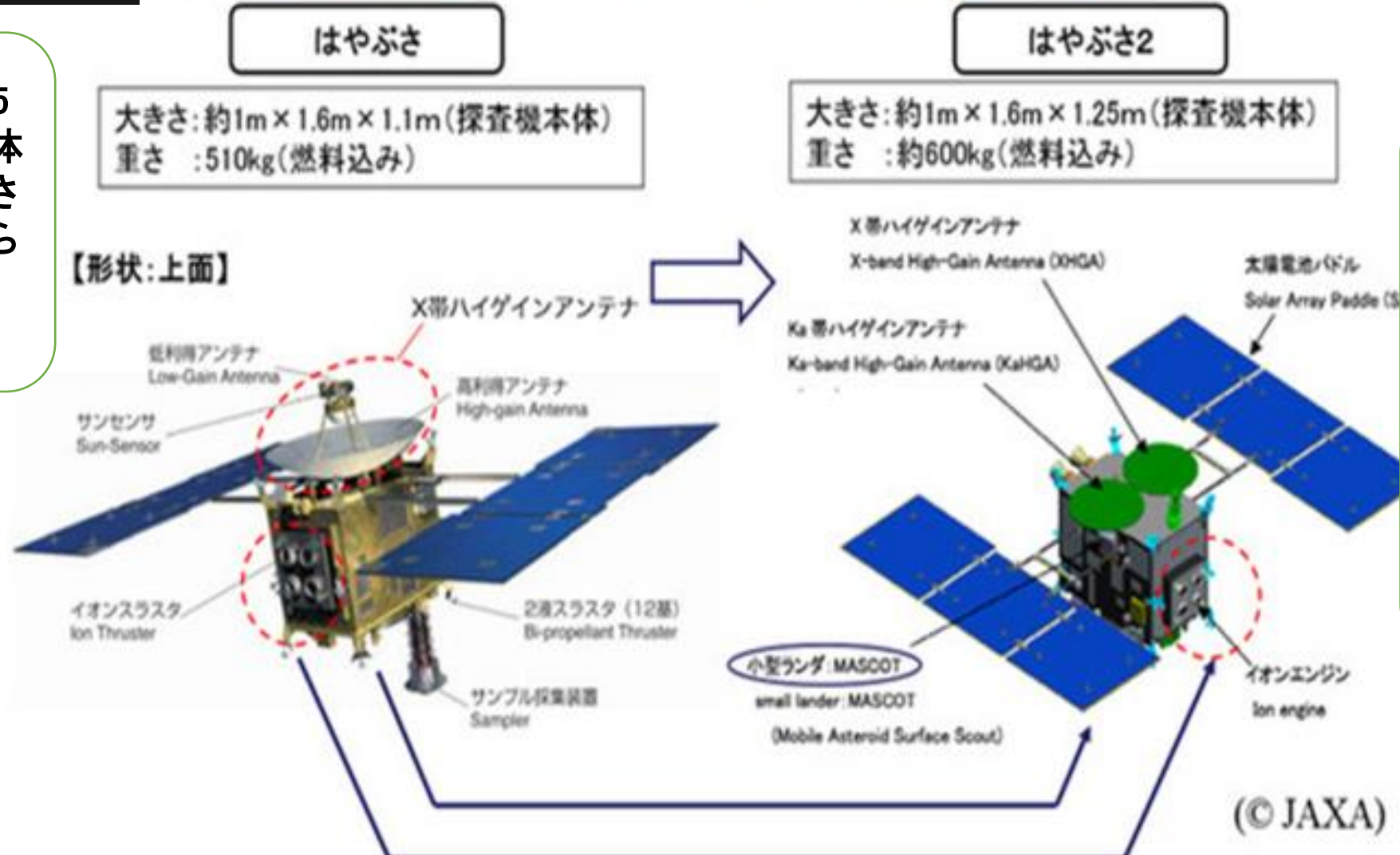
はやぶさ初号機とはやぶさ2号機

地球外探査衛星はやぶさ初号機とはやぶさ2



イトカワは15億年前の天体衝突で破壊された破片から生まれた(ケイ素質)

リュウグウは、有機物(炭素を含む化合物)や水を多く含む天体と考えられています。炭素と水は、我々人類を含む地球上の生物の最も基本的な要素であり、地球生命の原材料とも言える



はやぶさ2の改良点

- 改良機体で往復で**6年間、約52億kmの長旅**
- インパクタでクレーターを作り、宇宙線等宇宙風化で変質していない内部の物質を露出させて採取する。
- イオンエンジン2割アップ(8mN⇒10mN)
- おわん形のパラボラアンテナを平面タイプに変更することで軽量化、周波数帯も追加し、初代の4倍の高速通信
(Kaバンド:約32GHzの周波数の電磁波)実現
- リアクションフォイル3基⇒4基に
- はやぶさ重量 500kg⇒600kg

小惑星の分布帯

(総数は約数百万個)

太陽系の起源・進化

下記の順により始原的になり太陽系の初期迫る

太陽からの距離に依存順

- ・ S型 (ケイ素質)
- ・ C型 (含水鉱物、有機質)
- ・ D型、P型 (より始原的なタイプ)



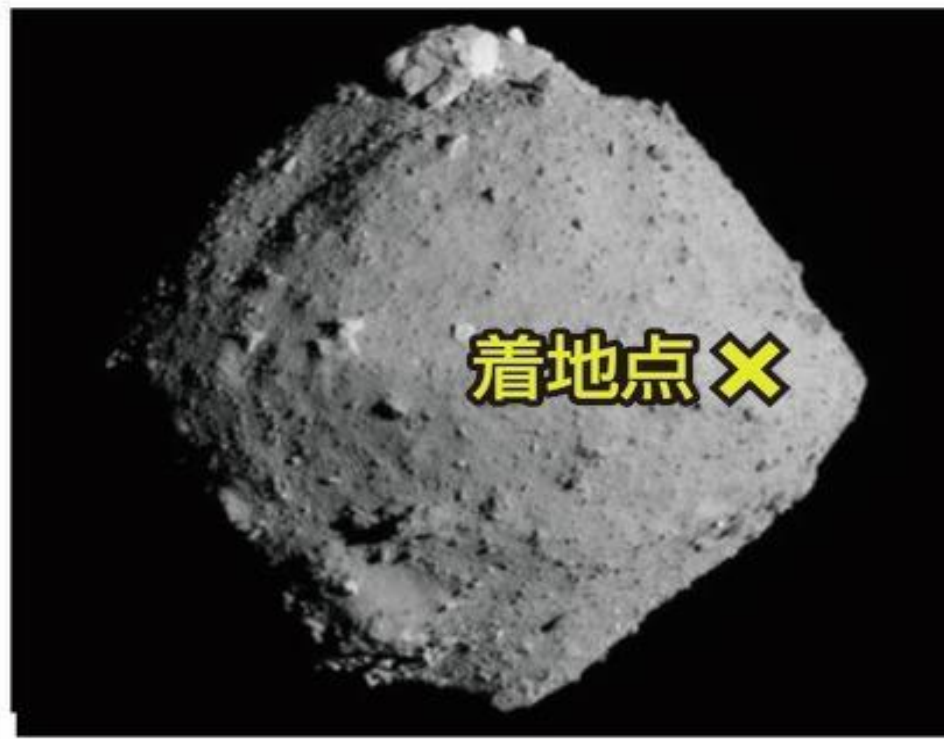
太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- ・ イトカワ : S型
- ・ 1999JU3小惑星 (リュウグウ) : C型
- ・ 次期探査 : D型



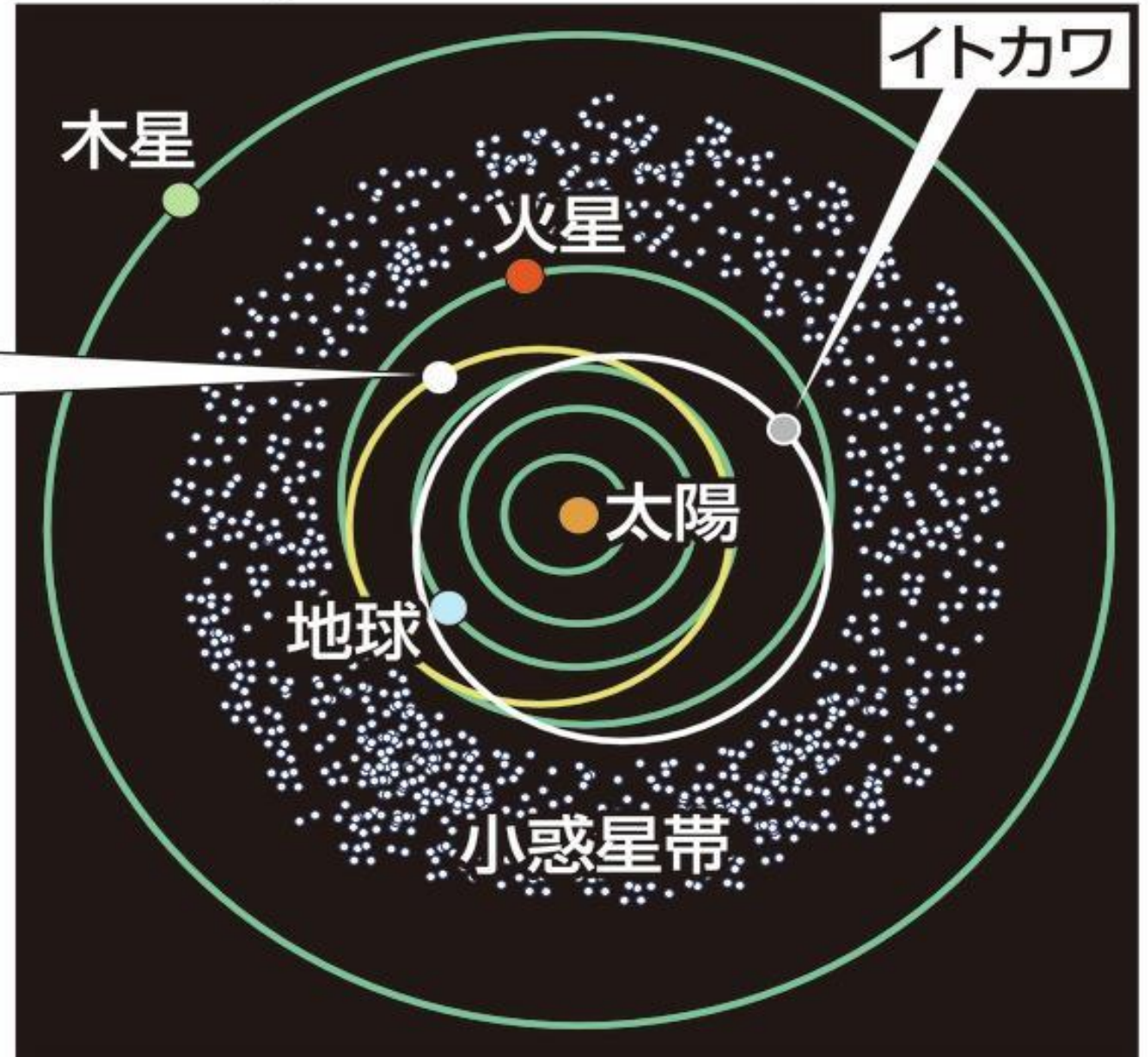
小惑星と太陽系

※JAXA、東京大などの資料を基に作成



リュウグウ

- 直径約900m
- そろばんの玉のような形状
- 有機物や水を豊富に含むタイプ
- 地球からの距離は現在約3億km
- 地球に接近する軌道を周回



はやぶさ2による人工クレータの作製は太陽系の歴史を知る大きなミッションである

1. 人工クレータの作製の意義

はやぶさ2による人工クレータの作製は46億年前、太陽系形成初期を保った地下の物質を採取するのが狙い、太古の物質がどのようなものかを理解出来れば太陽系の歴史の謎に迫れると期待される。

2. 太陽系誕生の謎解明、物質採取の最大の目的

誕生間もない太陽系では宇宙空間を漂うガスやちりが集まって多数の小さな塊ができた。これらが衝突を繰り返して大きな塊に成長して惑星が生まれたと言われる。

ガスは主に水素とヘリウムだがそれ以外の物質がないと地球などの惑星は出来なかった。どんな物質が材料にとなったかを知ることが、物質採取の最大の目的です。

小惑星の地表の物質は太陽光を浴びたり、宇宙線と言われる粒子や隕石などが衝突したりして変質している。地下の物質はこうした影響を免れ、太古の状態をより良好に維持しているため学術的な価値が高い。クレータを作れば汚染を免れた岩石等の採取が出来る。

はやぶさ2インパクトター(はやぶさ2の目玉)

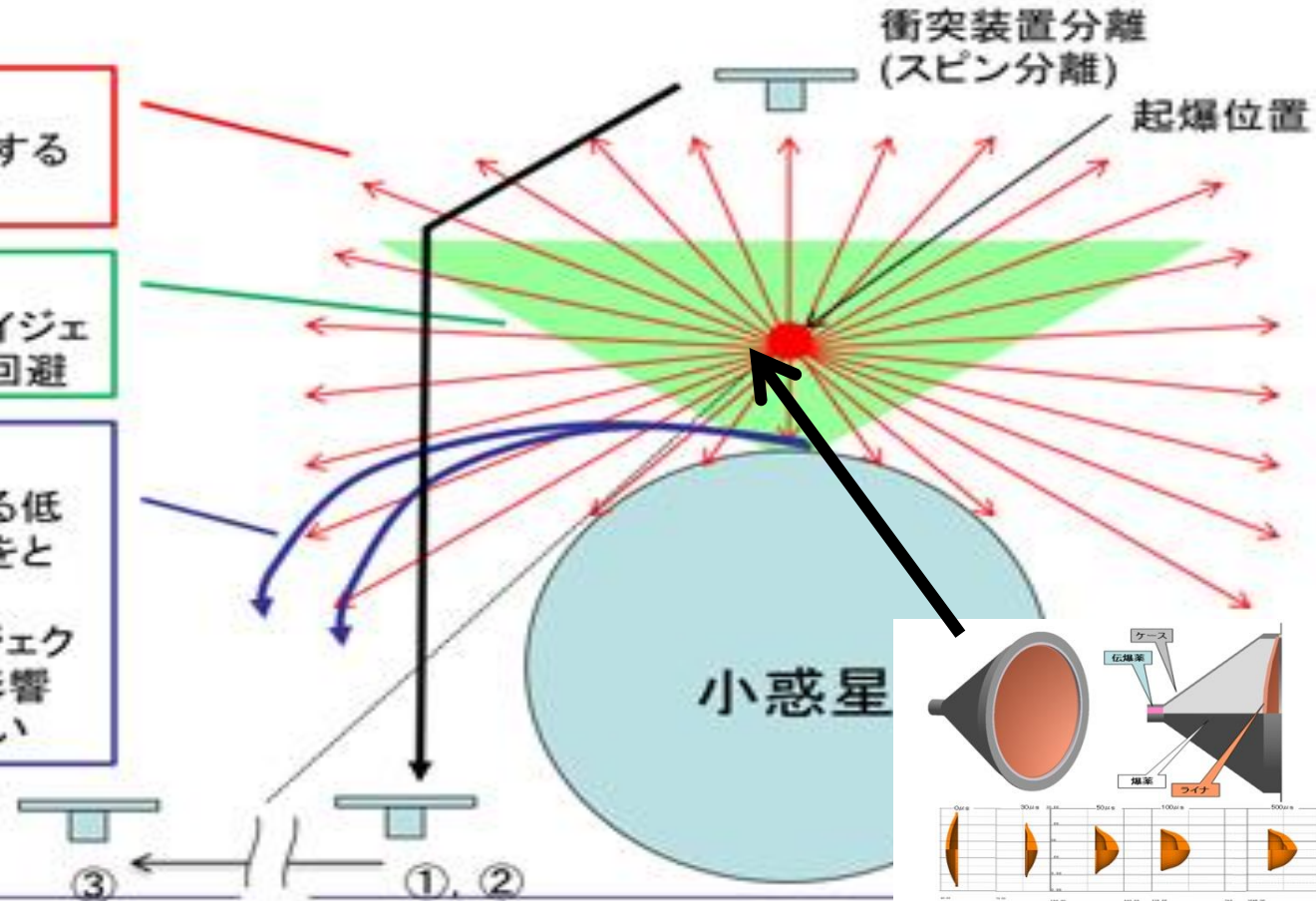
衝突運用概要

- 衝突装置は作動時に破片(速度: ~数km/s)を四散させる。また、衝突体が小惑星表面に着弾すると、土壌が放出される。そのため、着陸帰還機は衝突装置分離後、小惑星の陰に退避する。

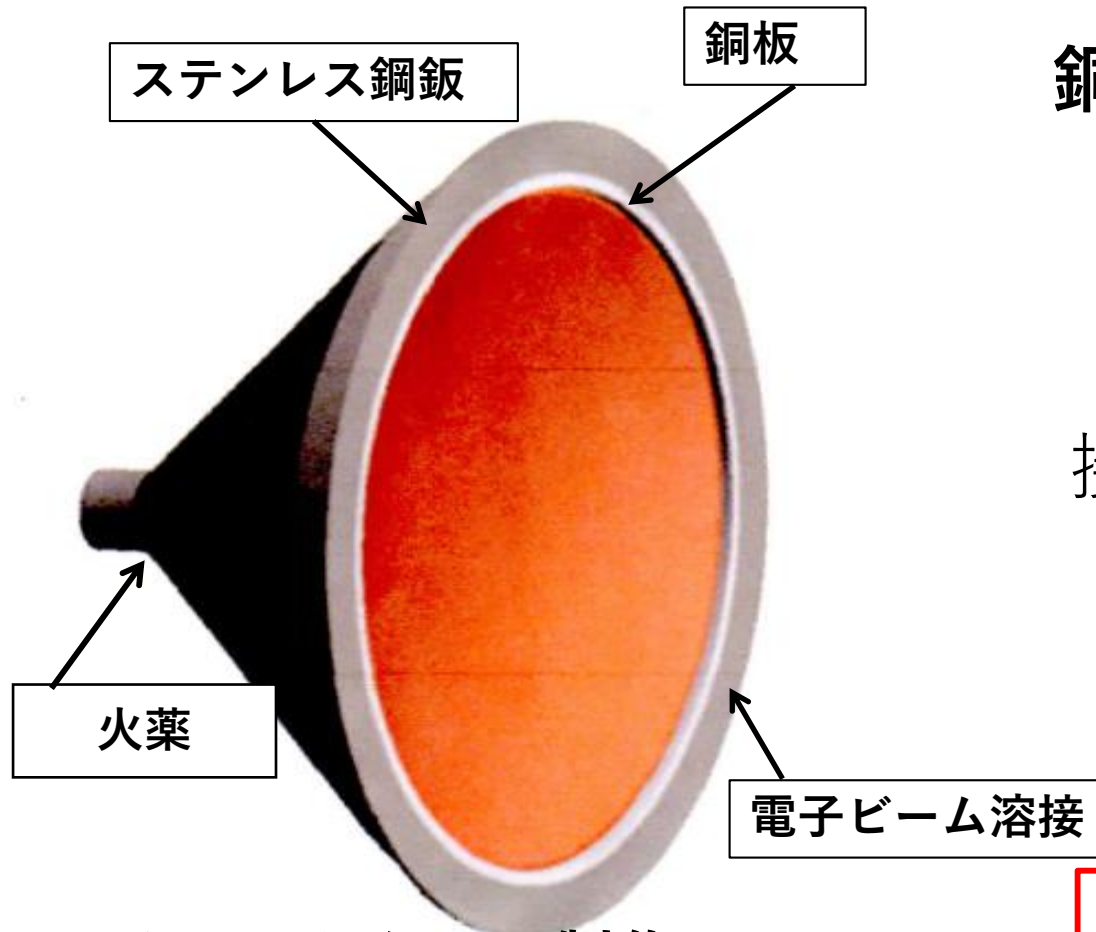
① デブリ回避
搭載型衝突機の起爆時に飛散するデブリは小惑星の陰で回避

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



はやぶさ2 町工場の匠のワザの一例



インパクターの製作

銅板とステンレス鋼板溶接

1. ステンレス鋼板製作
厚さ1mmに削り込む加工技術
2. ステンレス鋼板と銅板溶接

電子ビーム溶接

熱収縮を計算しての溶接技術

日本の誇り

はやぶさの成功の裏には日本の匠のワザがある事も忘れてはならない、**誇るべき物づくりの技術**です

日本は製造国のみならず独創的で創造能力、技術を待つ国であると世界は評価している（2019年7月11日）

1. はやぶさ2の帰還は2020年の末であるが、この帰還作業は「はやぶさ初号機」で実績があり、これまでの経過を考えると成功間違いないと考える。
2. 21世紀の我々への課題の達成
21世紀の日本は技術力がある技術立国にふさわしい国造りを目指さねばならない。
“成熟社会に向け存在感のある日本を目指す”その第一歩をはやぶさ成功は示してくれた、その意義は大である。
3. 後継機はやぶさ2のミッション
はやぶさ2号機は初号機の快挙を受け継ぎ、2014年12月3日6年間52億kmの旅に出発した。帰還後世界は日本は素晴らしい製造国のみならず独創的な創造能力、技術を待っていると称賛するはず・・・。
4. 21世紀の我々への課題は身近となった。

はやぶさ2の最終目的は2020年末にオーストラリアの砂漠に帰還する事であるがもっとも困難な課題、インパクトによる人工クレータをリュウグウ上に設ける事に無事成功した。

1. リュウグウのピンポイントに着地成功 (2019.2.22)

今回ははやぶさ初号機が失敗を繰り返した轍を見事クリアしそのプレッシャーの中で、成功に導いた関係者の連携を称えましょう。

岩石でいっぱいの地、直径6m以内のピンポイントに着地した事です。

2. 人工クレータ作製成功

はやぶさ初号機で経験していないインパクトによる宇宙線等により汚染されていない物質の採取のための作業クレータ作成に成功(2019.4.5)し、その画像を撮影に成功した(2019.4.25)。

はやぶさ2がクレータ作り成功、今後の探査について報告があった。(2019.5.9)

このミッションは今回の探査での最も困難な課題、重要案件であった。

3. はやぶさ2の最大のミッション

インパクトによる宇宙線等の汚染を受けていない人工クレータ内の物質を2020年末にオーストラリアの砂漠に持ち帰り(帰還)、そのサンプリング資料を日本に持ち帰る事である。

この帰還は初号機で経験済であるが成功をお祈りしたい。



はやぶさ2

ミッションの流れ概要



打上げ

2014年12月3日



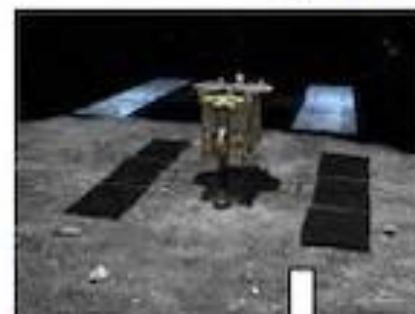
▲地球スイングバイ
2015年12月3日

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

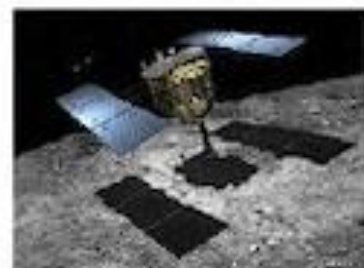
衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

(イラスト 池下章裕氏)

地球帰還 ← 小惑星出発

2020年末ごろ

2019年11-12月



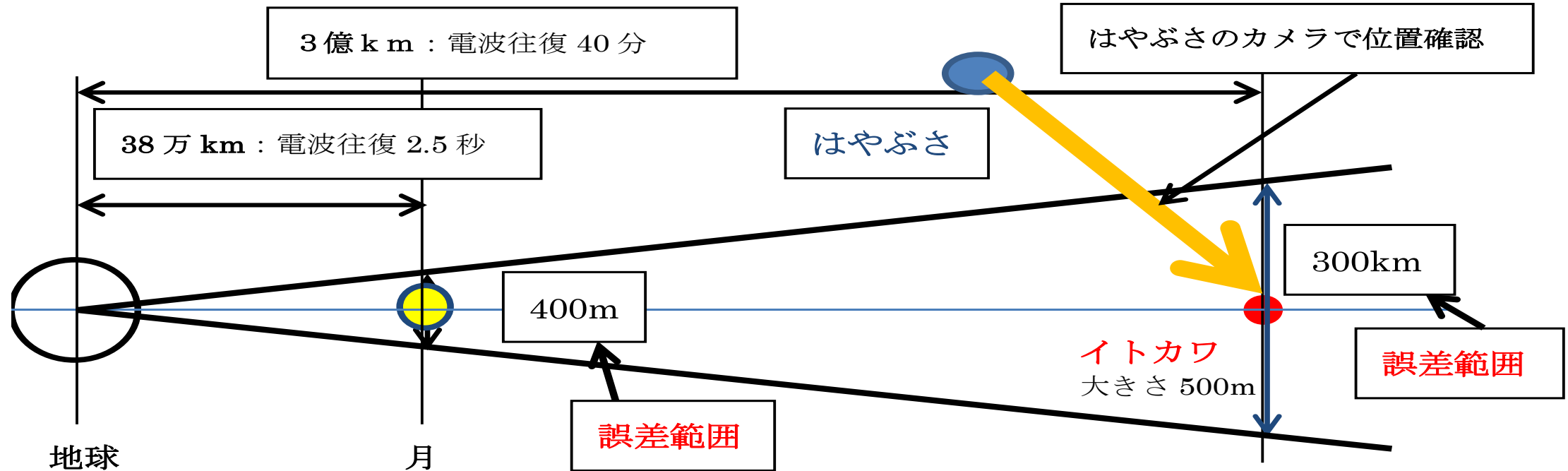
安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。



サンプル分析

光学航法とは、はやぶさ初号機の例、この技術を受け継ぐ

3億 km 離れた 500m のはやぶさをどのようにして捉えたか？（光学航法）



光学電波複合航法というやり方で「はやぶさ2」はリュウグウに接近しました。この方法では、「はやぶさ2」に搭載したカメラでリュウグウを撮影し、「はやぶさ2」から見たリュウグウの方向を調べます。その方向のデータと地上と「はやぶさ2」が電波で交信しているデータの両方を使って、「はやぶさ2」の位置とリュウグウの位置の両方を正確に推定するのです。これを繰り返しながら、「はやぶさ2」は地球から約3億kmはなれたところのたった900mの大きさのリュウグウに到着することができました。

電波での精度

はやぶさがどこを飛んでいるかは約 300km の誤差、月ならば 400m の誤差

イトカワの位置をはやぶさのカメラで測り、地球からの距離と重ねて位置を計算した結果 300km から 1km に絞られた。

自律航法による着陸

- 地球からイトカワまでの距離は約3億kmあります。そのため、地球から指示を送っても、往復で約40分もかかってしまいます。そのため、イトカワに着陸する際には、「はやぶさ」は自分で判断しながら接近していく必要がありました。これが、自律航法による着陸です。
- 「はやぶさ」は、あらかじめイトカワ表面に落としておいたターゲットマーカをカメラでとらえ、これを目標に降りていきました。表面までの距離は、レーザ高度計のデータから求めました。



地球から光の距離で約15分、2億8000万キロ離れている小惑星リュウグウの正確な位置は、どうやって分かるのか？

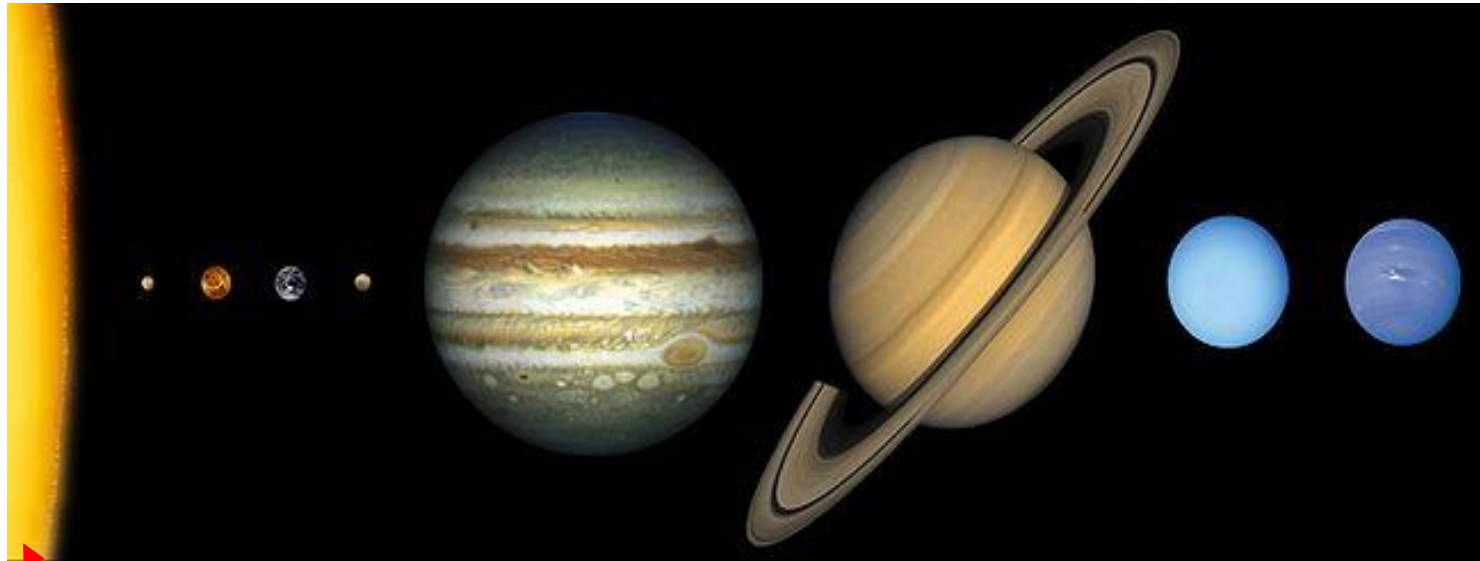
光学電波複合航法というやり方「はやぶさ2」はリュウグウに接近する。この方法では、「はやぶさ2」に搭載したカメラでリュウグウを撮影し、「はやぶさ2」から見たリュウグウの方向を調べる。その方向のデータと地上と「はやぶさ2」が電波で交信してデータの両方を使って、「はやぶさ2」の位置とリュウグウの位置の両方を正確に推定する。これを繰り返しながら、「はやぶさ2」は地球から約3億kmはなれたところのたった900mの大きさのリュウグウに到着することが出来る。なお、光学電波複合航法というものは自動ではなく、データを地上に降ろしてプロジェクトメンバーが解析をした上で探査機を制御しています。

太陽系誕生と惑星

* 太陽系誕生(約46億年前) :

・宇宙の誕生は約138億年前に誕生、その後約46億年後に太陽系が誕生した。

微惑星 → 原始惑星 → 原始惑星大衝突 → 1億年で地球規模の惑星誕生



太陽系

一番左が太陽 (8つの太陽系惑星)

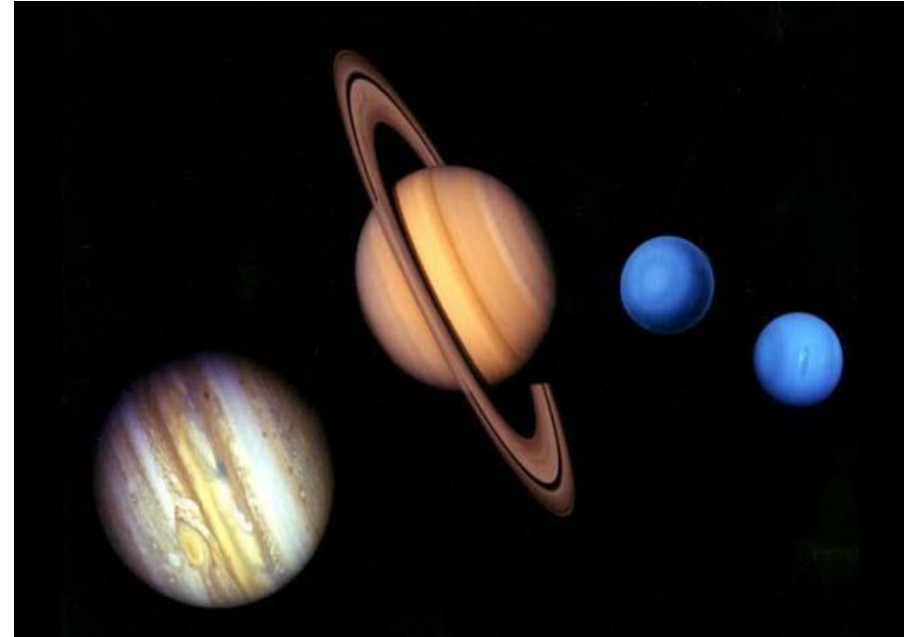
水星、金星、地球、火星、(小惑星帯)、木星、土星、天王星、海王星

太陽系惑星（密度で分類する）



内惑星

岩石や金属などの難揮発性物質から構成される岩石惑星。
水星、金星、地球、火星

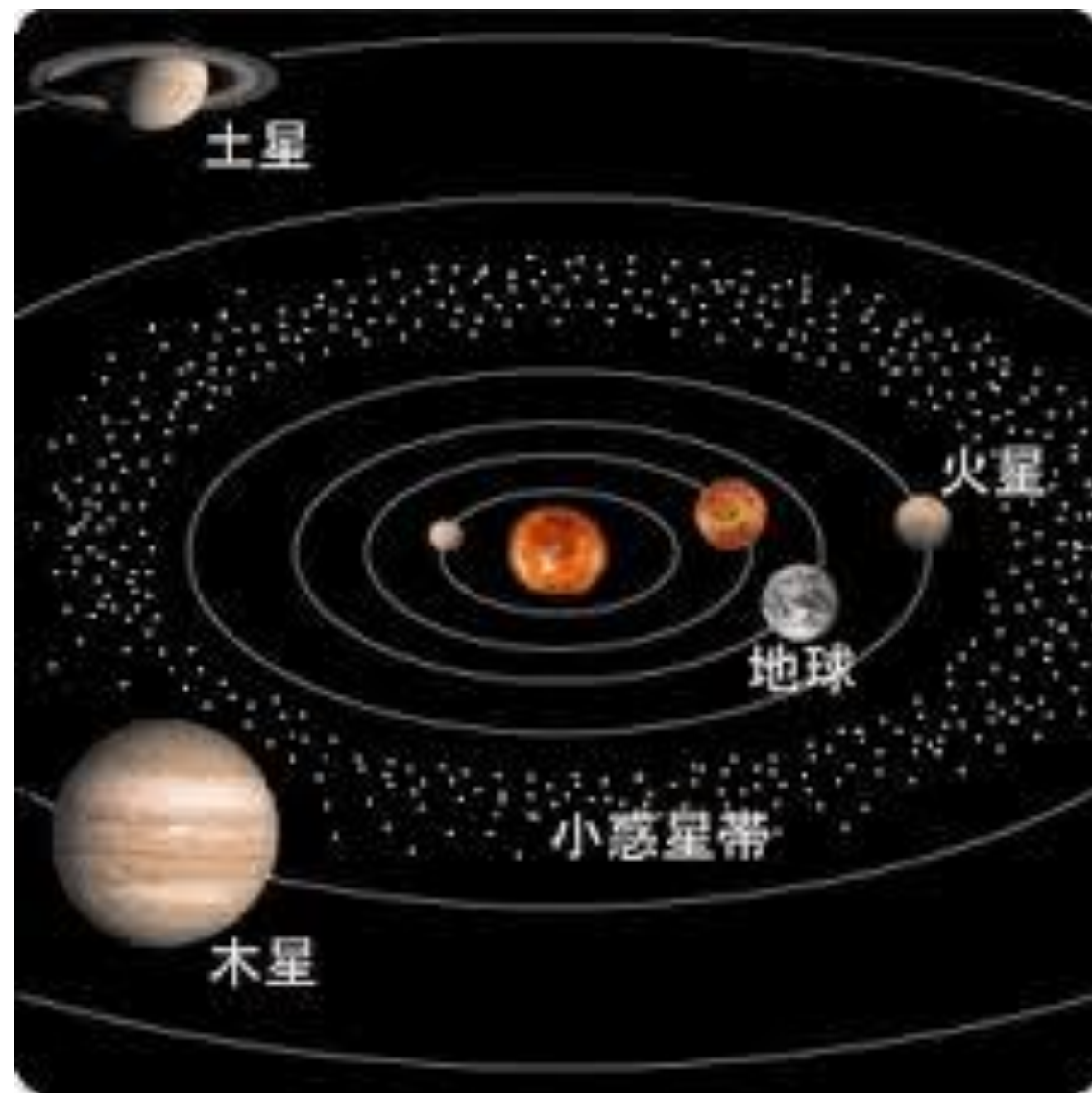
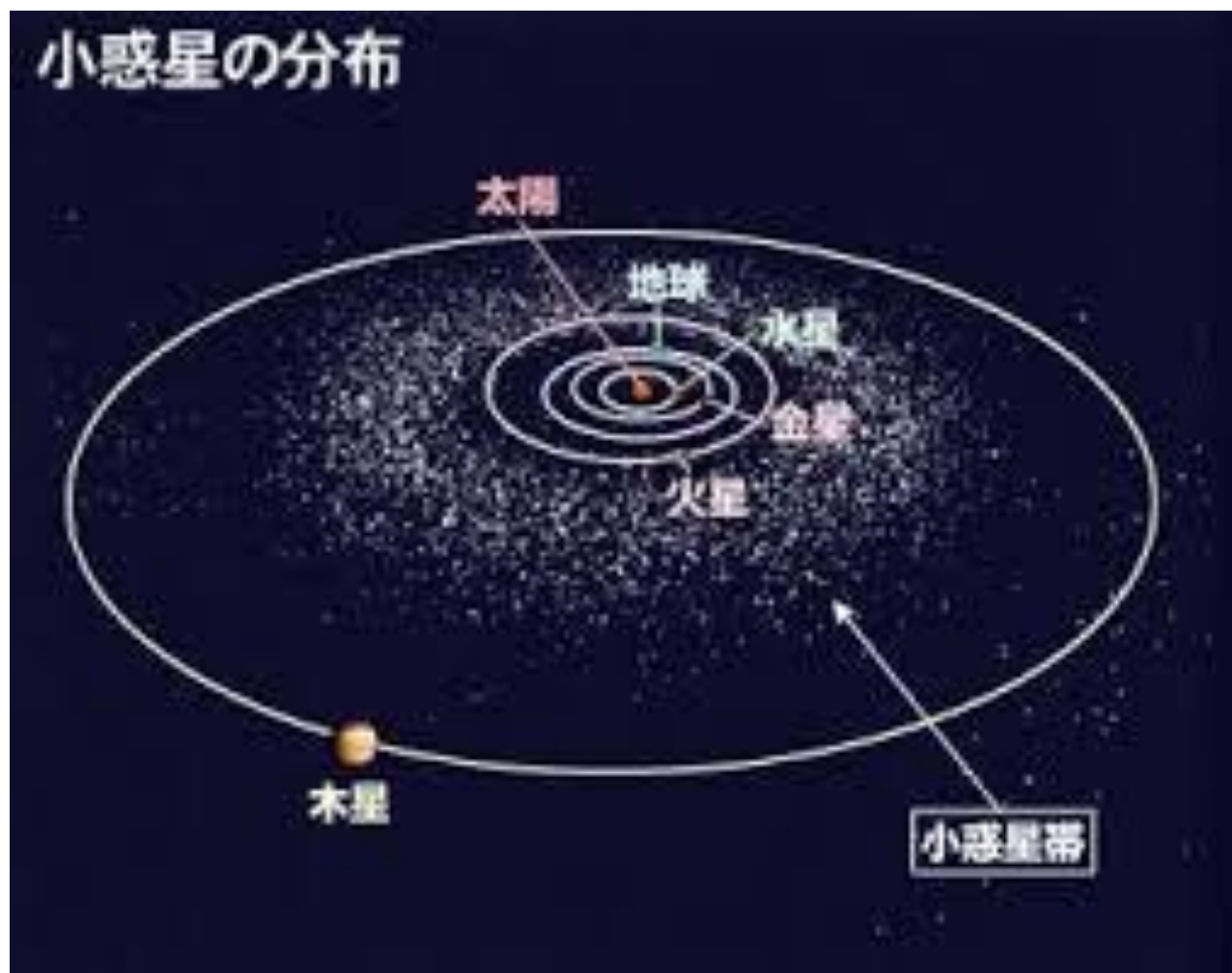


外惑星

地球よりも直径で4倍以上、質量で10倍以上の大きさがあり、密度は低い組成から木星と土星は巨大ガス惑星 (Gas Giant)、天王星と海王星は巨大氷の惑星 (Ice Giant) と分類される

兄弟惑星火星: 水の痕跡あり、有機物、海もあつた痕跡が見られた。激しい小惑星の衝突があり、その後38億年前には火星は磁場が無くなり、大気が宇宙空間に抜け冷却に入り地殻変動があつた。地球が大丈夫なのは磁場があり太陽風から守られている。

小惑星帯



小惑星の分布帯

(総数は約数百万個)

太陽系の起源・進化

下記の順により始原的になり太陽系の初期迫る

太陽からの距離に依存順

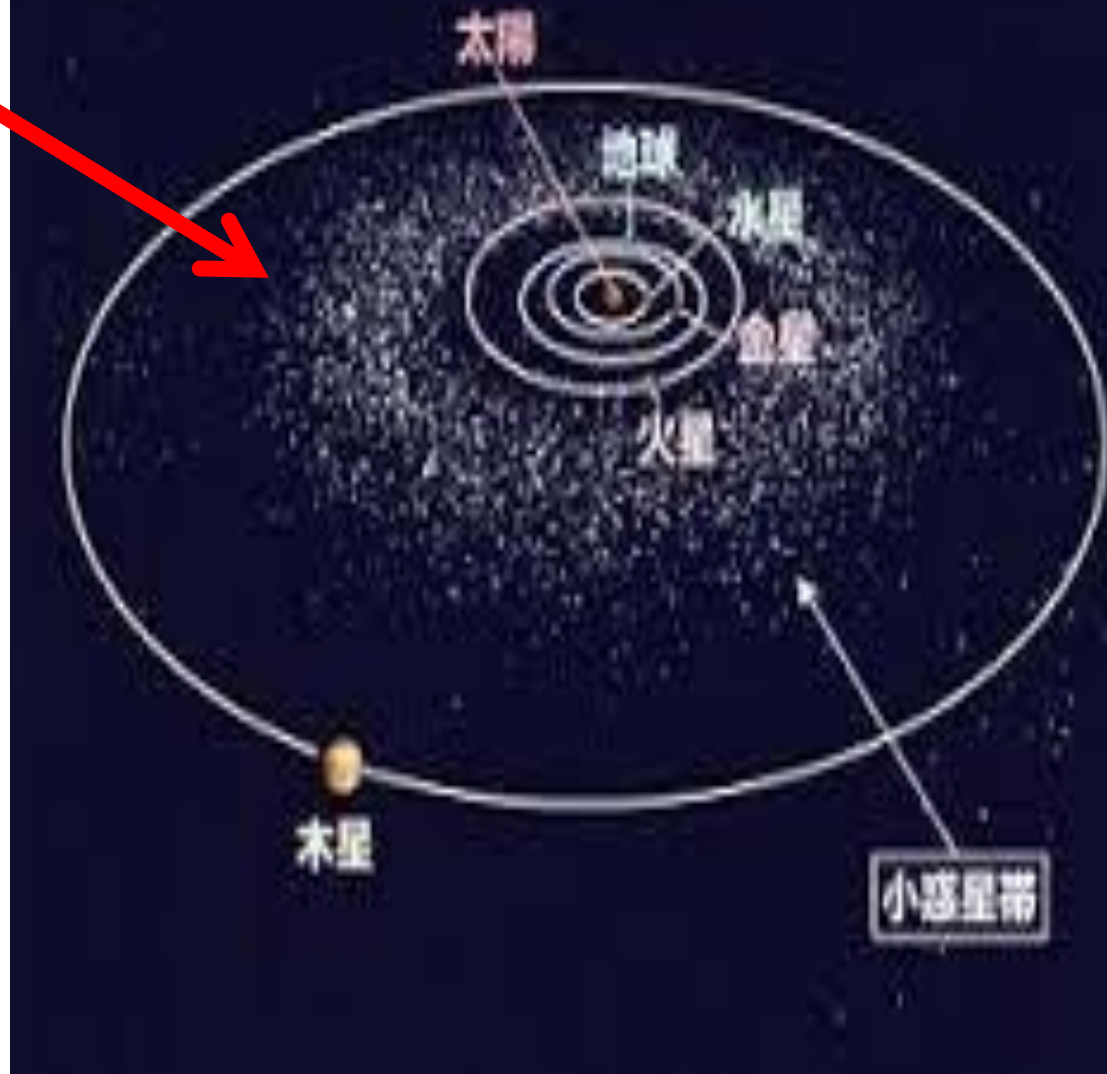
- ・ S型 (ケイ素質)
- ・ C型 (含水鉱物、有機質)
- ・ D型、P型 (より始原的なタイプ)



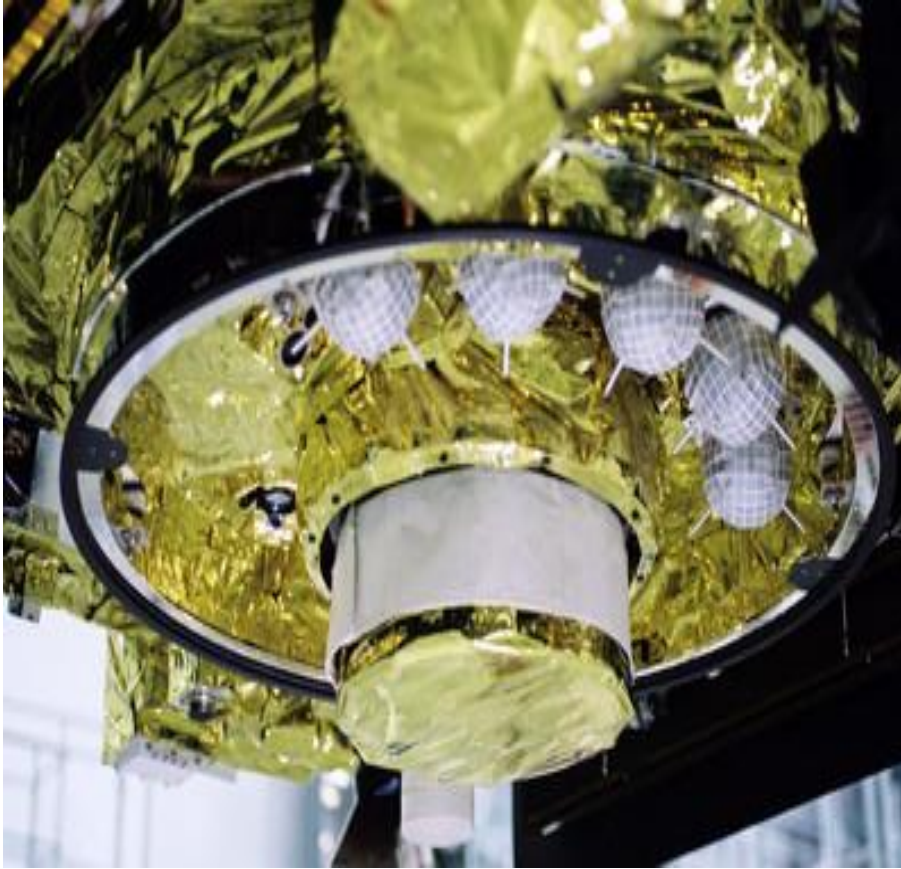
太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- ・ イトカワ : S型
- ・ 1999JU3小惑星 (リュウグウ) : C型
- ・ 次期探査 : D型

小惑星の分布



はやぶさ2搭載18万人の名前を刻んだ5個のターゲットマーカー リュウグウの表面は岩石でいっぱい



©JAXA

- 小型探査ロボットが23日に撮影した小惑星リュウグウの表面の画像。上部の白いものは太陽光＝宇宙航空研究開発機構提供



©JAXA

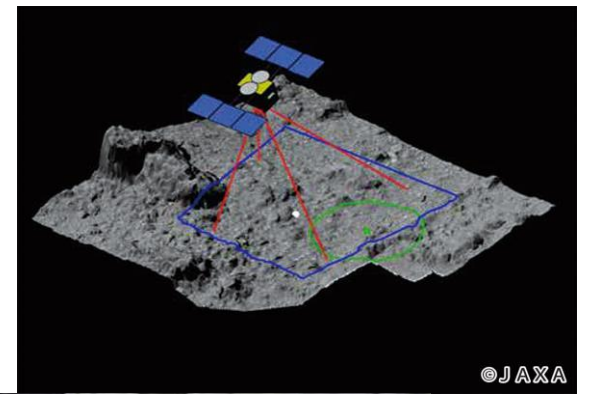
[探査機はやぶさ2の底面に付けられた5個のターゲットマーカー＝宇宙航空研究開発機構提供](http://www.jaxa.jp/press/2018/10/20181025_hayabusa2_j.html)

http://www.jaxa.jp/press/2018/10/20181025_hayabusa2_j.html

リュウグウ採取岩石分析にて太陽系起源の謎を解明



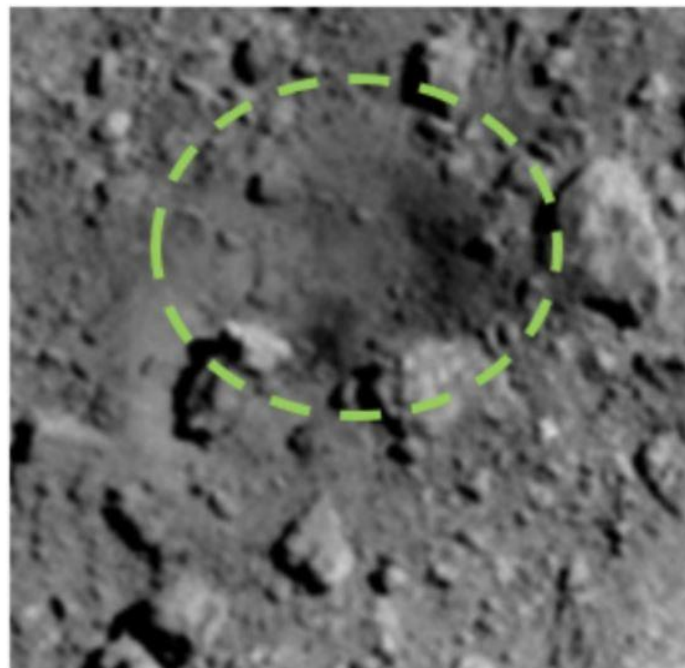
2019年2月22日着地時の採取岩石(実像)
(JAXA提供)



今回のインパクトで採取した岩石等(予測CG)
実像写真は次ページによる、2019. 4.25撮影成功

日本に持ち帰って、両者間の差異に注目が集まる。
少し深いところに生命の源となる水が多くある可能性大と予測されると言われる。
すなわちリュウグウ表面の岩石とインパクトにて造られた人工クレータでの岩石との成分比較で実態が分かる興味大。

はやぶさ2が作った人工クレーター、JAXAが写真公開



撮影日

左画像2019年3月22日

右画像2019年4月25日

(いずれも探査機上の撮影日、日本時間)

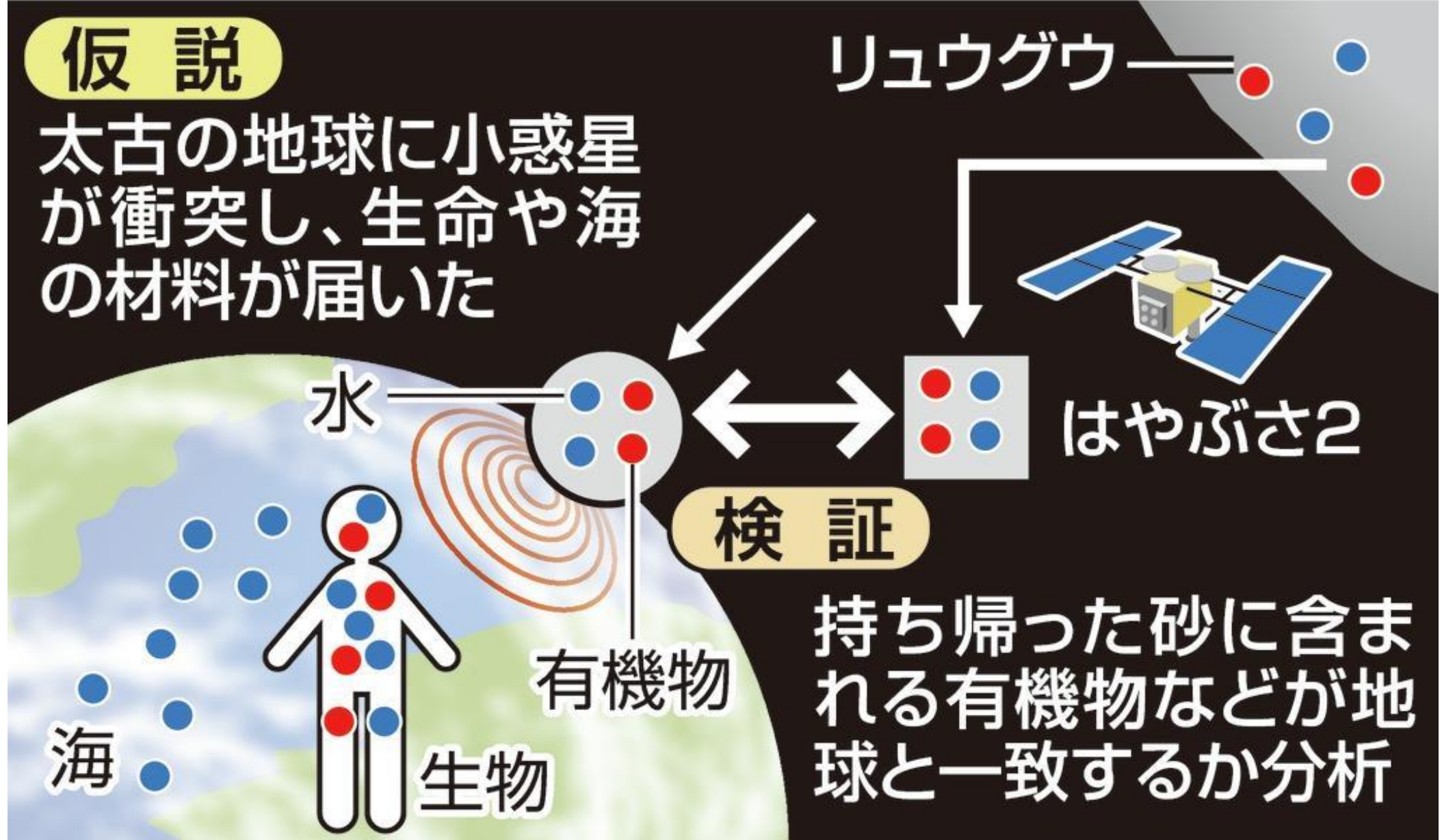
金属の塊をぶつける前（左）とぶつけた後（右）の写真。はやぶさ2が搭載する望遠の光学航法カメラ（ONC-T）が**高度約1.7キロ**の地点から撮影した。右の写真を見ると、**直径10メートルほど**のクレーターができていることが分かる。

(c) 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

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は2019年4月25日、探査機「はやぶさ2」が小惑星「リュウグウ」の表面に金属の塊をぶつけた地点で、人工的なクレーターができていることを確認したと発表した。小惑星への人工的なクレーターの作成は世界初。

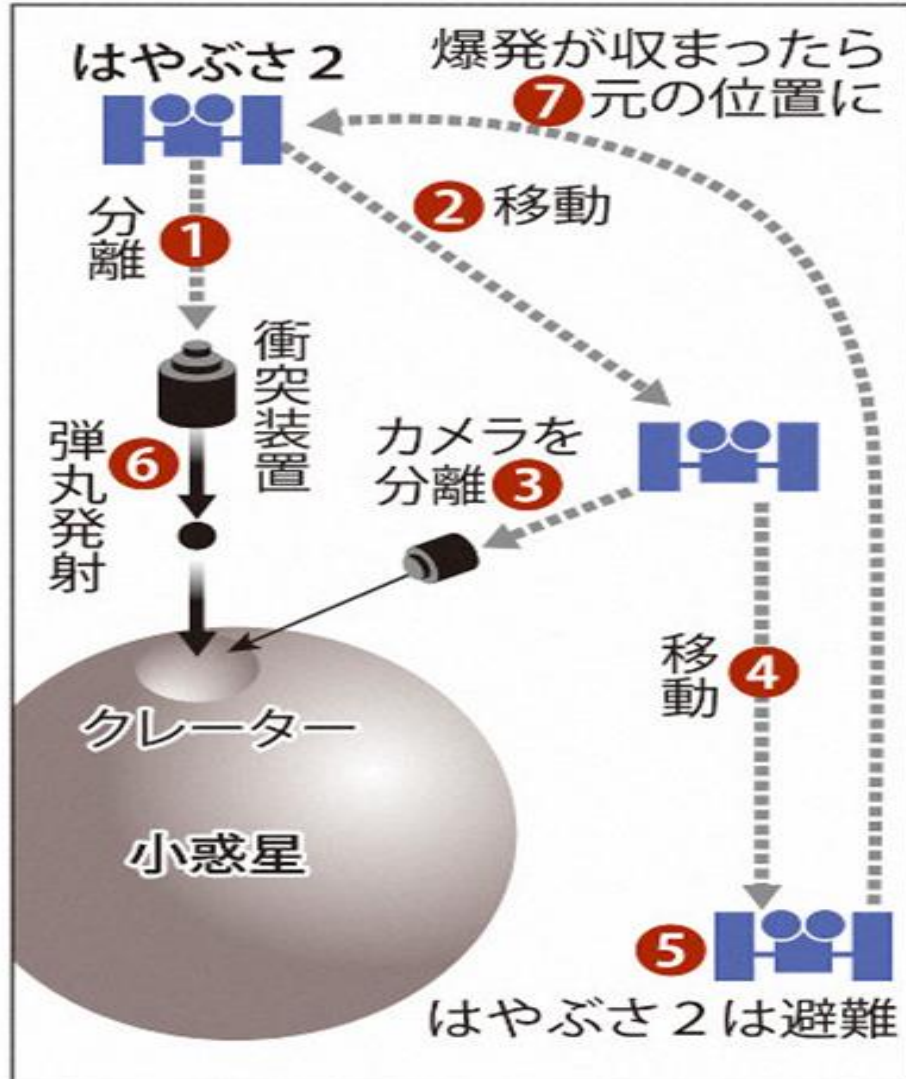
はやぶさ2は今後、クレーター付近への着陸を試みる。

生命の起源解明が期待される「はやぶさ2」



インパクトによる岩石採取

はやぶさ2の衝突装置運用の流れ



小惑星探査機「はやぶさ2」

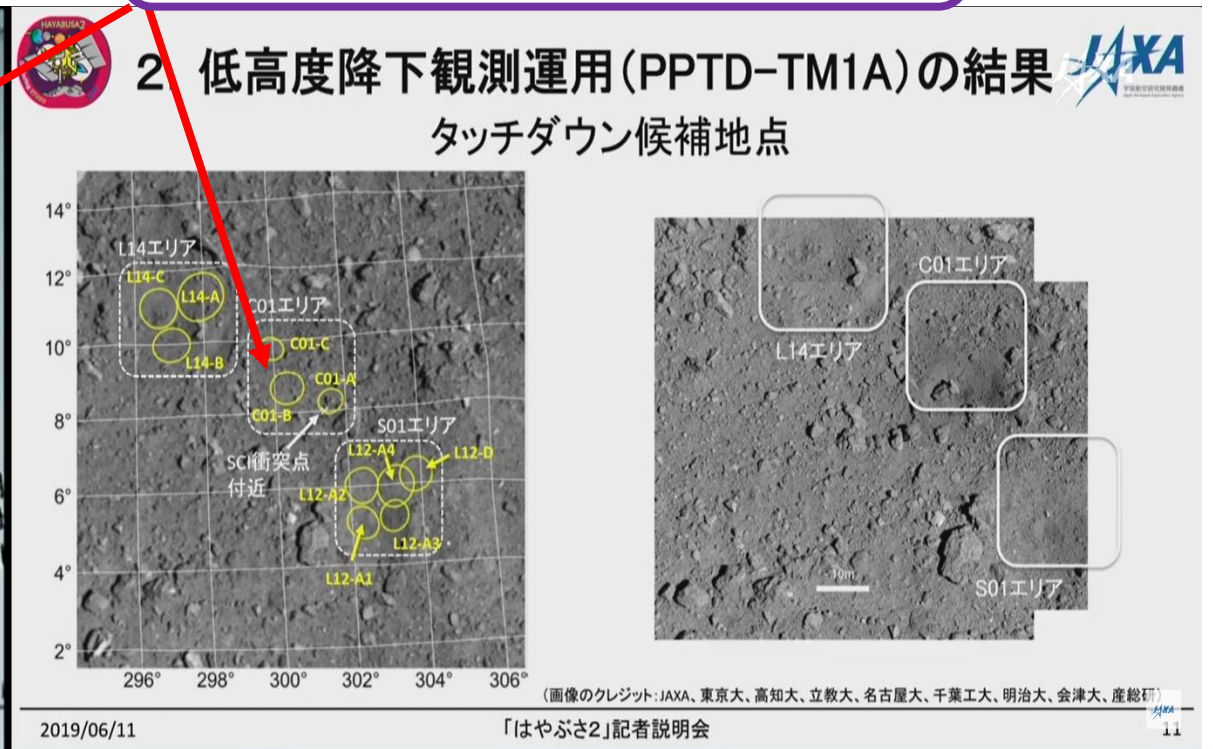
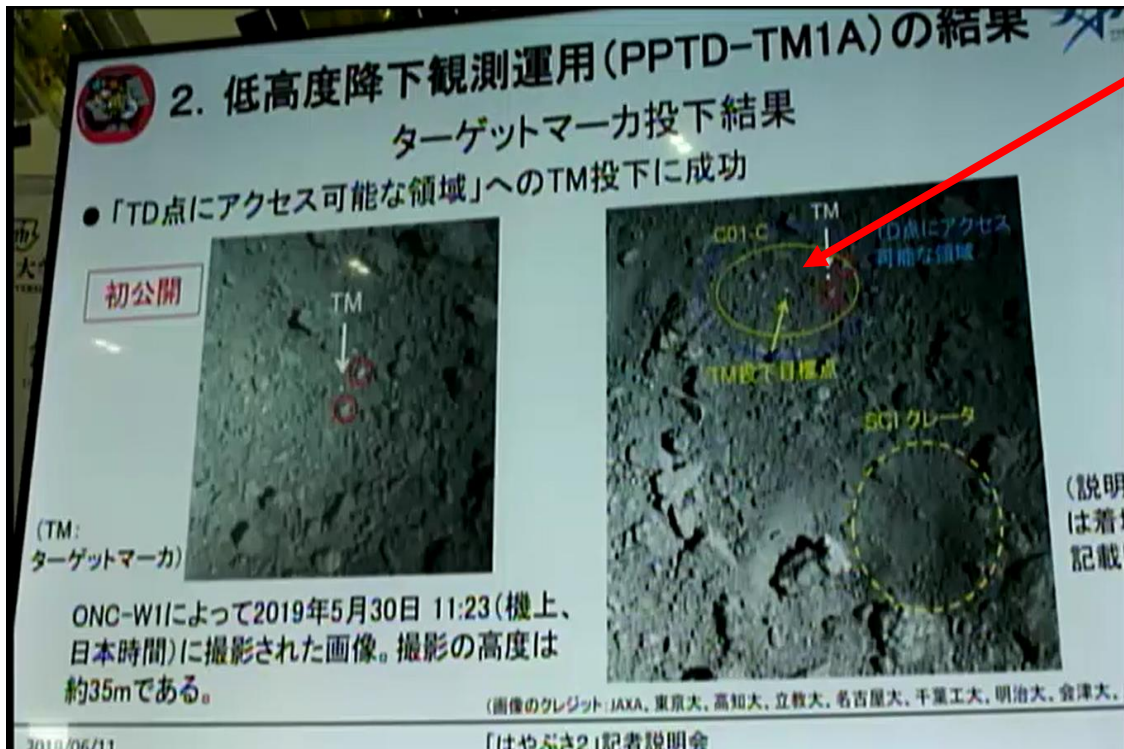
* 人工クレータ作製見事成功今後は… *

小惑星への衝突実験の実施は世界初。重さ2キロの銅の球を小惑星表面にぶつけることによって、地中の物質をあらわにする計画。今後この人工クレータに着陸し、物質を採取できれば、太陽や宇宙線などの影響を受けていない「生」の物質を分析できると期待される。衝突装置は、先代の探査機はやぶさには搭載されていなかった新規の装置。円すい形のステンレス製のケースに約5キロの爆薬が詰められ、底の部分に銅板がはめこまれている。はやぶさ2から分離して約40分後、爆薬を爆発させる。撃ち出された銅板がやがて球状に変形し、秒速2キロでリュウグウ表面に衝突する。その間、はやぶさ2は衝突装置の爆発の影響を受けたり、リュウグウから跳ね上がる岩石の破片にぶつかったりしないように、リュウグウの陰に移動して隠れる。

リュウグウに銅の球がぶつかり、その衝撃で表面の物質が拡散してクレータができる様子は、事前に分離しておく小型カメラ「DCAM3」で撮影する。

2019.5.30:11:18頃タッチダウン候補地(PPTD-TMIA)C01-C地点に目標の3mに投下出来た。 素晴らしい成果である

タッチダウン候補地(PPTD-TMIA)C01-C地点



2019.6.11の関係者への報告会による

2. 低高度降下観測運用（PPTD-TM1）の結果

探査機上昇時の撮影

説明図

高度約0.5kmより



高度約0.6kmより



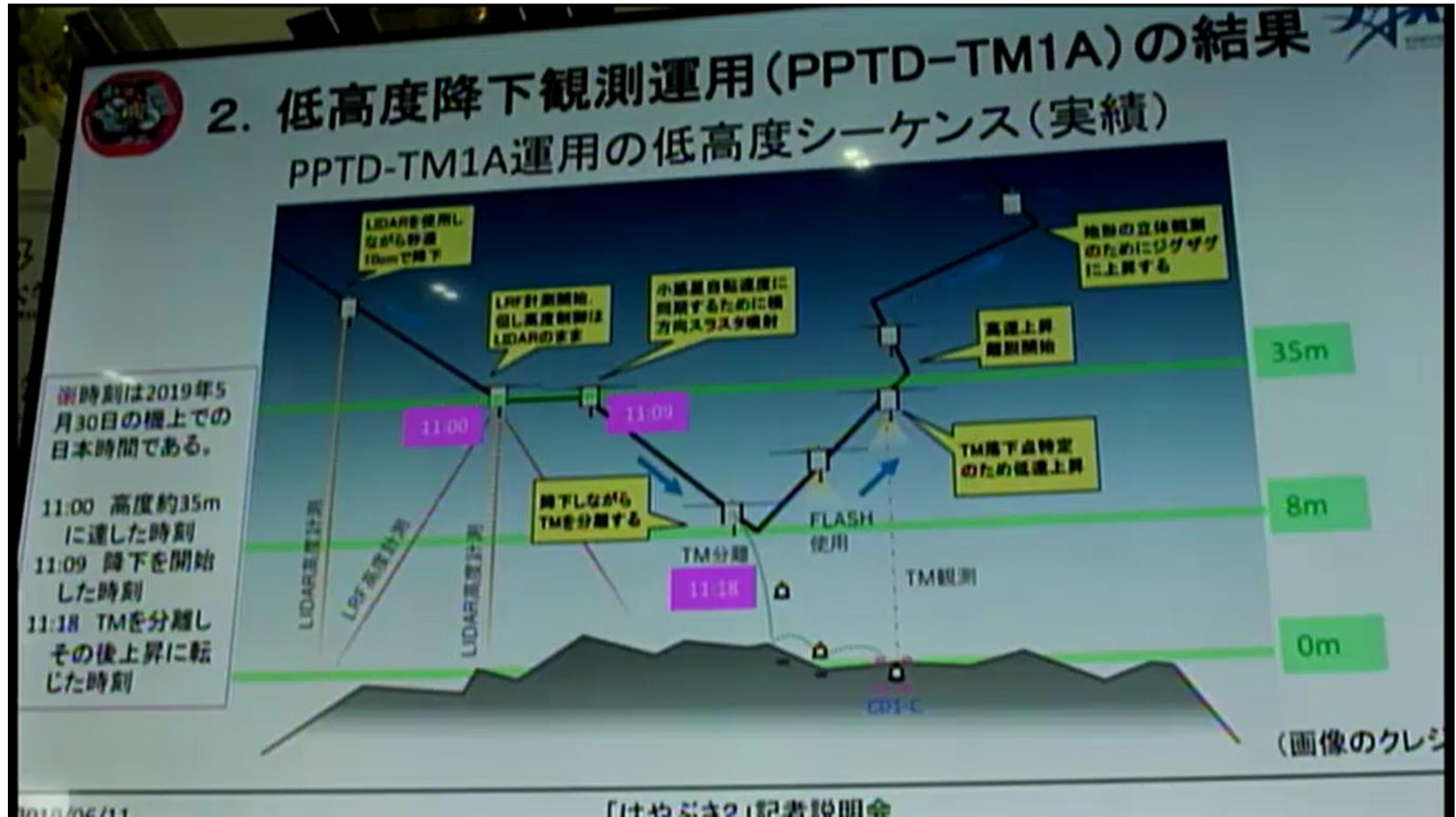
2019年5月16日、11:36（機上、日本時間）

撮影時刻：2019年5月16日、11:39（機上、日本時間）

（画像のクレジット：JAXA、東京大、高知大

千葉工大、明治大、

タッチダウン候補地 (PPTD-TMIA)C01-C地点への落下シーケンス



「はやぶさ初号機（工学試験機）」 「はやぶさ2号機（後継機）」の成果

小惑星探査機「はやぶさ初号機（工学試験機）」
の奇跡的帰還とその成果が意味するもの、
「はやぶさ2号機（後継機）」の挑戦が意味するもの。
これまでの経過「はやぶさ初号機（工学試験機）」
後継機「はやぶさ2号機」の役割は・・・。

<https://www.youtube.com/watch?v=17UFWackqll>

https://www.youtube.com/watch?v=t8XR699x_z0

はやぶさ2のミッション、なぜ小惑星に行くのか？

- 太陽系がどのように生まれ、どのように進化してきたのか、生命をつくる元になった材料がどのようなものか・・・、小惑星は太陽風や微小隕石の衝突の影響が比較的少ないものでタイムカプセルと呼ばれている。あまり進化していない天体なので、太陽系が誕生した頃やその後の進化についての情報を持っていると考えられている。
- また私たちのような生命をつくる元になった材料がどのようなものであったのかについて、重要な手がかりが得られる可能性があります。そして、このような知識は、太陽系だけでなく、その他の惑星系の誕生や進化を比べる上でも不可欠です。
- さらに**遠い将来、人類が深宇宙空間に進出した暁には、月や火星のような重力の大きな天体ではなく、重力の小さな小天体の資源を利用するほうが効率的だと考えられます。**このような利用方法を探る上でも、タイムカプセルと言われる小惑星探査は重要なのです。

はやぶさ2の目的(ミッション)

1. 初号機「はやぶさ」の後継機として小惑星サンプルリターンを行う。

「はやぶさ」は世界で初めて小惑星からその表面物質を持ち帰ることに成功したが、そのミッションには多くのトラブルがあった。「はやぶさ2」では、「はやぶさ」の経験を生かして、よりトラブルの少ない確実なミッションを目指した。

2. 「科学的意義」、「技術的意義」、「探査としての意義」を持つ

2.1「我々はどこから来たのか」

2.2「技術で世界をリードする」

2.3「フロンティアへの挑戦」

3. 具体的には

1. 太陽系の物質進化過程の謎解き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。

2. 微惑星の物理進化過程の謎解き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。

3. 深宇宙サンプルリターン探査技術の確立「はやぶさ」での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。

4. 宇宙衝突探査技術の実証衝突体を天体に衝突させる実証を行う。

はやぶさの行く小惑星の位置 (小惑星は約数百万個ある)

太陽系の起源・進化

太陽からの距離に依存します

- ・S型(ケイ素質)
- ・C型(含水鉱物、有機質)
- ・D型、P型(より始原的なタイプ)

探査の目的

太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- ・イトカワ: S型
- ・1999JU3(リュウグウ)小惑星: C型
- ・次期探査: D型



初号機(工学試験機)

1. 2003年5月9日鹿児島県内之浦宇宙空間観測所からM-Vロケット5号機で打上
2. 4年後、2007年6月帰還の予定であったが度重なるトラブルに見舞われ、**3年遅れの2010年6月13日60億kmの旅**を終えて帰還
 - ・はやぶさとの通信途絶え行方不明(2005年12月9日)
 - ・帰還途中イオンエンジンすべて故障、帰還不可の危機(2009年11月9日)
3. 回収カプセルは、はやぶさから切り離されて、パラシュートにて南オーストラリアのウーメラ砂漠に無事着陸(2010年6月14日回収)
4. 分析の結果、小惑星イトカワは46億年前、太陽系誕生後760万年後に形成された小惑星と判明。

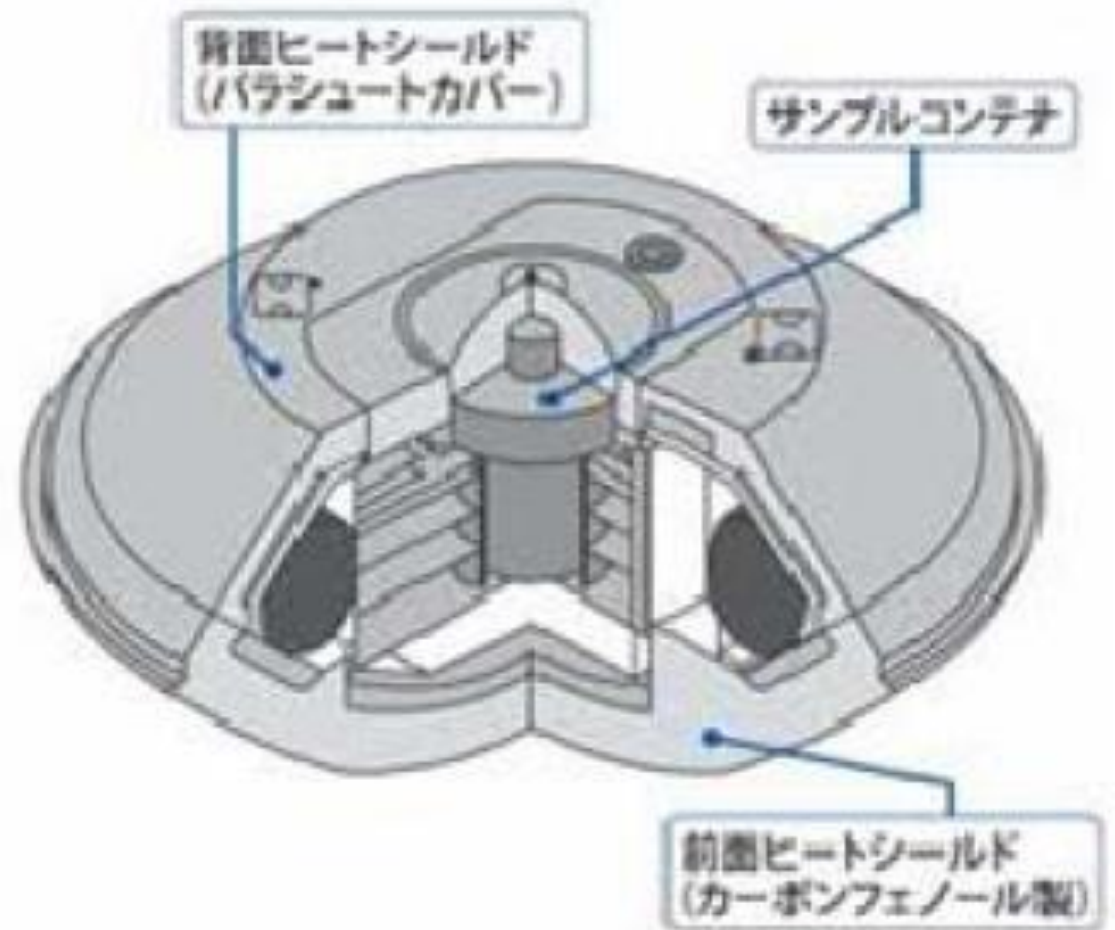
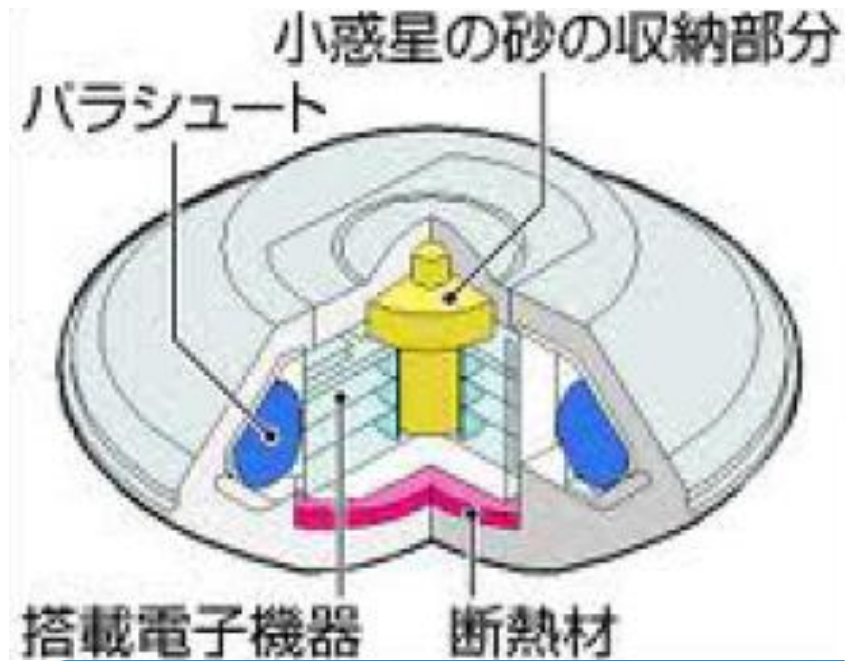
はやぶさ初号機の奇跡的帰還と成果

1. 地球から**3億km**も離れ、わずか500mの小さな小惑星イトカワに行き、**カケラを持帰ると言うサンプルリターン**が目的であった。**イトカワは46億年前太陽系誕生の情報を残している謎説きのタイムカプセル**と言われて来た。
2. その目的を数々の至難を乗り越えて達成出来たのはなぜか、そして成果はどうだったのかを伝えたいと考えます。この至難を乗り越える事が出来たのは日本人だったからこそ出来た成果と私は考えます。ドライな西洋人ならとっくに諦めた事と思います。
3. 少ない予算で**決して諦めない精神力、根性と関係する技術者集団の心を一つに掌握したプロジェクトマネージャの力**でもって達成されました。技術立国日本をまた世界に示してくれました。そして多くの国民に、特に子供達に夢と希望、感動を与えてくれた成果を皆さんと語り、伝えたいと思います。

はやぶさ構成機器概要

1. サンプル採集装置
2. 太陽電池パドル
3. ターゲットマーカ
自動誘導航法でイトカワに着地するアルミ球殻状
4. 化学推進エンジン(2液スラスタ:XYZに4基ずつ12基)
5. 電気推進エンジン(イオンエンジン4基)
6. レーザ高度計
7. 近赤外線分光器
8. アンテナ(高利得1基、中利得2基、低利得3基)
9. カメラ(望遠光学航法、広角光学航法)(4台)
10. 蛍光X線スペクトロメータ

帰還(回収)カプセル



初号機“はやぶさ回収カプセルの帰還”

大気突入からランディングまで



大気圏突入直前 NASA



大気圏突入直後 NASA



パラシュート展開直前 NASA



パラシュート展開直後 NASA



さよなら“はやぶさ”ご苦労様でした
大気圏突入直前のはやぶさからの
画像

2010年6月13日
はやぶさ地球とお別れとなった最後の
写真

大気圏突入からランディングまで

イトカワの実態

1)さらなる解析の結果、イトカワは大小の岩石が振動で揺さぶられて出来る**ラブルパイル天体**と判明した。

また、**同位体顕微鏡**で“ **^{26}Al** ”と言う放射性物質の解析の結果からイトカワは**46億年前に太陽系が誕生して、760万年後に形成され、そのままの状態を留めている事**が判明した。

2)イトカワの実態

イトカワは丸くないと地上での観測で分かっていたが、ラッコ状であった。

表面には多くの惑星の様にクレータがあると考えられていたが、極く小さいものがわずかあっただけで、大きなものは全くなかった(ラブルパイル天体のため)。

3)イトカワのもとになった天体は、隕石の衝突など何らかの理由でバラバラになり、それが集まり、バラバラになる事を重ねて、最終的に2つが合体して出来たものと推定された。

はやぶさの成果

- はやぶさの微粒子解析

- 1) 帰還(回収)カプセルには目視出来る物はなかったが、電子顕微鏡で約1500個の微粒子が見つかった。
- 2) この微粒子は、小惑星「イトカワ」由来であることが判明した。これらの鉱物種(かんらん石、輝石、斜長石、硫化鉄等)の存在割合、成分比率を調べた結果、隕石の特徴と一致し、地球上の岩石とは異なるものだった。

はやぶさの成果

2011年11月14日

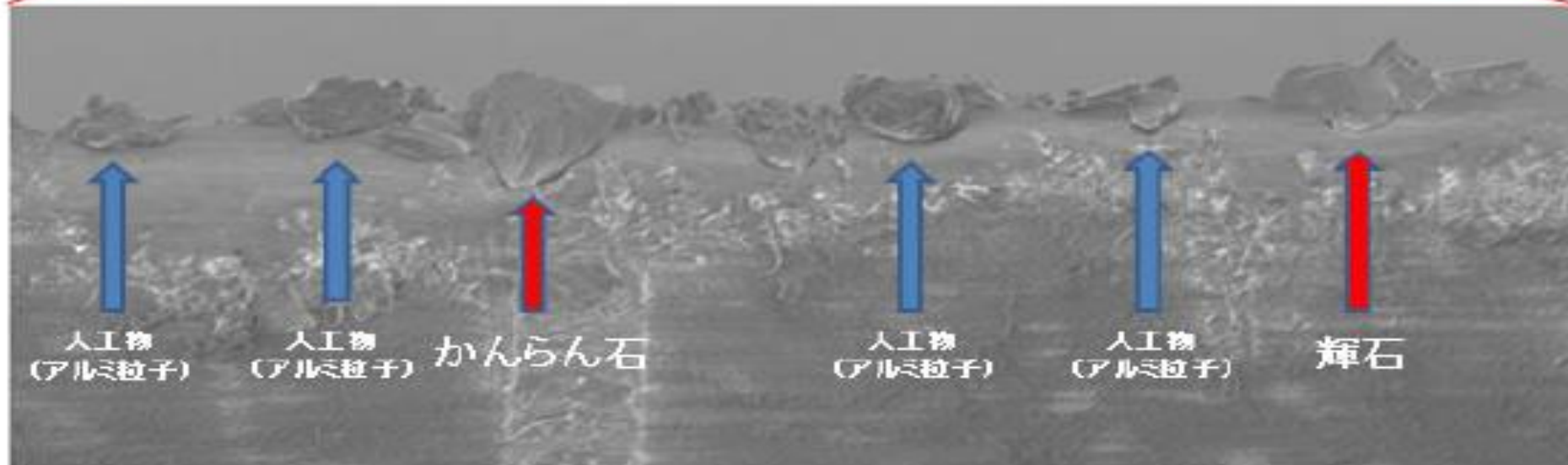
掻き出しヘラの電子顕微鏡写真

1. ヘラ先端部の光学顕微鏡写真

5mm



2. 赤で囲んだ部分の電子顕微鏡での拡大写真



50μm

はやぶさ2

- ・2014年12月3日、H-2Aロケットで打上^{注1}、2018年～2019年に目標天体の探査実施、2020年12月地球帰還予定。
 - ・開発費148億円(初号機127億円)
 - ・はやぶさ2は小惑星リュウグウ(1999JU3)(**生命の起源が予測出来るC型、直径920m**)に行く、丸いおむすび状の形をしている。ミッションは約46億年前宇宙空間での有機物や水の存在を探る事で生命の起源を探りに行く。
 - ・インパクターで小惑星内のカケラ採集
- 注1: 12月3日13時22分4秒打上げ成功**
- ・2019年6月現在順調な飛行を続けている



初号機(工学試験機)“はやぶさ”のテーマ/ミッション

1. テーマ

「小惑星のサンプルリターン」

太陽系誕生時(約46億年前)の状態を留めるタイムカプセルと言われる小惑星「イトカワ」の地表から物質持ち帰る。

ハイリスク・ハイリターンのテーマ

2. ミッション

- 1) 小惑星のカケラをサンプル採集する
- 2) イオンエンジンによる惑星間航行
- 3) 遠い宇宙空間での自律航法誘導
- 4) イオンエンジンによる地球スイングバイ
- 5) カプセルによる大気圏再突入

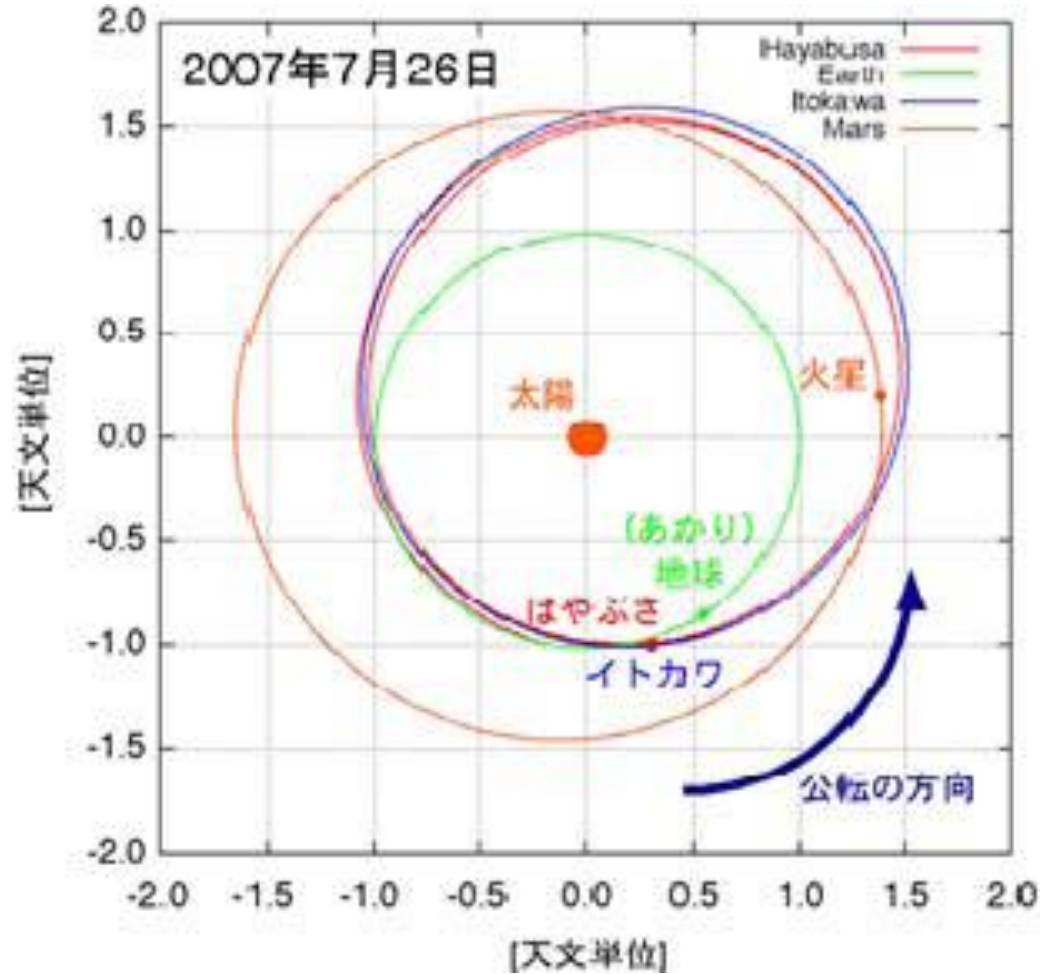


イトカワ



イオンエンジン4基装備
(1基は予備)

地球と小惑星イトカワとの距離約3億km



・地球:

公転周期 **365 日**、平均軌道速度 **29.78km/s**
自転周期 **24 時間** (平均太陽日)、
体積 $1.083207 \times 10^{12} \text{km}^3$ 、
重量 $5.9736 \times 10^{24} \text{kg}$ 、平均密度 5.49g/cm^3

・イトカワ:

公転周期 **1.52 年**、平均軌道速度 **25.37km/s**
自転周期 **12 時間** (平均太陽日)、
体積 0.0184km^3 、
重量 $3.51 \times 10^{10} \text{kg}$ 、平均密度 1.9g/cm^3

・地球とイトカワとの距離 約3 億km

・通信時間: 約**40 分** (往復)

・引力は地球の10 万分の1

・イトカワの公転周期は地球と共振関係にあり、
1.5年。

つまり、地球が太陽を3 周する間にイトカワは
2 周する。

地球から見ると**3 年に一度**接近してくる事になる。

世界が注目する画期的技術(世界初)

1. イオンエンジンによるスインバイ
2. 自律誘導航法(光学航法)
 - ・イトカワは3億km彼方、電波では往復約40分
 - レーザ高度計、カメラ映像、制御プロによる自律航法**
3. はやぶさは“自動診断機能”と各種機器制御プログラム(変更可)
4. サンプラホーン(カケラ回収)
5. 回収カプセル
 - 大気圏突入時約10,000°Cに耐えられる**
 - 開発試験実施していた**



サンプラホーン

はやぶさ2計画

- ・2014年12月、H-2Aロケット
で打上^{注1}、2018年～2019年
に目標天体の探査実施、
2020年12月地球帰還予定。
- ・開発費148億円(初号機127億円)
- ・はやぶさ2はリュウグウ(1999JU3)小惑星(生命の起源が予測出来るC型、直径920m)に行く、丸いおむすび状の形をしている。ミッションは約46億年前宇宙空間での有機物や水の存在を探る事で生命の起源を探りに行く。
- ・インパクターで小惑星内のカケラ採集

注1: 12月3日13時22分4秒打上げ成功



小惑星リュウグウ (1999JU3) の軌道



- ・公転: 1. 3年
- ・自転: 約7時間38分
- ・密度: 0.5~4.0/cm³ (TBD)
- ・質量: 1.7×10^{11} Kg ~ 1.4×10^{12} kg (TBD)

注: 密度、質量は予測値
探査にて明らかになる

直線距離で地球から約3億km離れたC型小惑星りゅうぐう「1999JU3」を目指し、4年余りの旅、採集後6年後の2020年12月 約52億kmの航行距離を経てウーメラ砂漠に帰還予定

はやぶさ2の改良点 (初号機の反省)

- 改良機体で往復で**6年間、約52億^キの長旅**
- インパクトでクレーターを作り、宇宙線等宇宙風化で変質していない内部の物質を露出させて採取する。
- イオンエンジン2割アップ(8mN⇒10mN)
- おわん形のパラボラアンテナを平面タイプに変更することで軽量化、周波数帯も追加し、初代の4倍の高速通信
(Kaバンド:約32GHzの周波数の電磁波)実現
- リアクションフォイル3基⇒4基に
- はやぶさ重量 500kg⇒600kg

はやぶさ 2

・ 6年間、約52億km
の旅

1. 打上
2012年12月3日
2. スイングバイ
2015年12月3日
3. 到着
2018年夏
4. 出発
2019年末
5. 帰還
2020年末



はやぶさ初号機（工学試験機）の評価（奇跡的帰還を支えたもの）

1. プロジェクトマネージャ川口淳一郎氏の存在

- 大胆な戦略、緻密な戦術、危機管理能力, マネージメント能力
- 開発技術者の能力: **技術のパッケージ化**
(信頼性、技術集団の心を一つに掌握)
- 決して諦めない根性
- 加点法による予算の獲得
- NASAとの折衝能力、技術協力

2. 日本人のDNA、決して諦めない精神、技術者が築いて来た技術立国の精神を踏襲し、国民全員参加の心の結集がこの快挙を生んだ。

はやぶさ初号機打上ロケット



主要諸元（M-Vロケット）

固体ロケット（3段式）

30.8m × 2.5φ

140.4 t

内之浦宇宙空間観測所

（鹿児島県内之浦）より

2003年（平成15年）5月9日

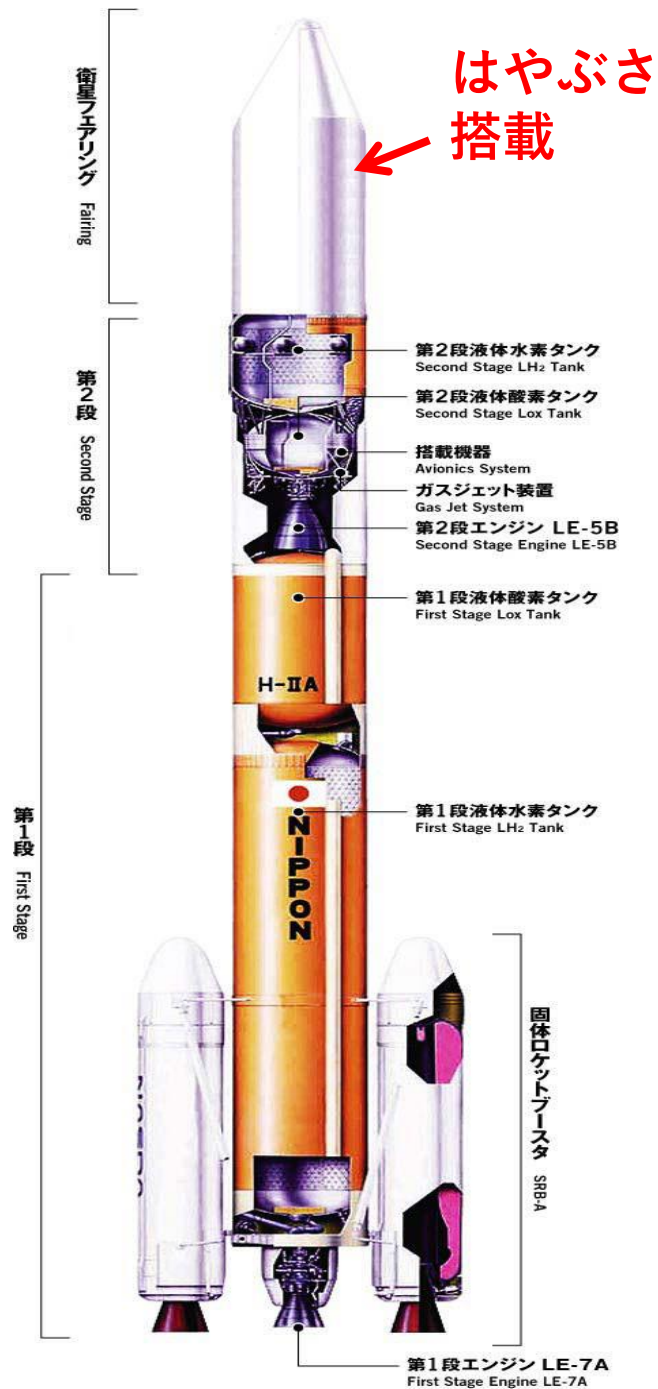
13時9分打上

・ 製造中止：イプシロンに変わる

はやぶさ2号 打上げ H-IIAロケット(H2A202)



段数	2段
ブースター	2基
総重量	287 t
全長	53m
直径	4m
開発費	1,532億円
打上費用	96億円



世界が注目する画期的技術(世界初)

1. イオンエンジンによるスインバイ
2. 自律誘導航法(光学航法)
 - ・イトカワは3億km彼方、電波では往復約40分
 - レーザ高度計、カメラ映像、制御プロによる自律航法
3. はやぶさは“自動診断機能”と各種機器制御プログラム(変更可)
4. サンプラホーン(カケラ回収)
5. 回収カプセル
 - 大気圏突入時約10,000°Cに耐えられる開発試験実施していた



サンプラホーン

はやぶさ初号機成果(功績)

1. はやぶさの成果が教えるもの

1) 下記のミッションは、みな世界初の技術であった、それをクリアした技術力、チャレンジ精神を讃えましょう。

- ①小惑星のサンプル採取(イトカワは地球の引力の10万分の1、着陸は大変)
- ②電気推進イオンエンジンによる惑星間航行(60億kmの長旅実現)の実現
- ③遠い宇宙空間(3億km離れたイトカワ全長510m)での自律航法誘導による着地
- ④イオンエンジンでの地球スイングバイ(化学エンジンでの実績は多くある)の実施
- ⑤カプセルによる大気圏再突入(10,000°Cに耐えられるカプセル開発、実際は約3,000°C)の実現

はやぶさ初号機の成果(功績)

2. “はやぶさ”奇跡的帰還が世界に与えたもの。

1) 日本^の立ち位置を世界に示した。

— 日本は技術立国である事を世界に示した。

— 日本は製造国のみならず独創的な創造能力をも持つ国である事を世界に発信した。

2) 50年～100年先の太陽系大航海時代到来の布石。

はやぶさはイオンエンジンにて60億kmにおよぶ惑星間移動を達成した。この成果は近い将来、太陽系大航海時代がやって来る事への先駆けとなった。

今、アメリカ(NASA)、欧州(ESA)、ロシア、インドでも小惑星探査計画を始めた。

— 人類の生命起源の謎解き

— 他の衛星から有用な資源獲得

人生訓：川口淳一郎さんの発想力

「これまでの発想や固定観念から脱し、イノベーション（飛躍）を引き起こすようなインスピレーション（ひらめき）を得るにはどうしたらよいか」

1) フロントラインに立とう、格付けで安心してはいけない。

- 自らフロントに立つ気構えを持ち歩む事を勧める。
- 積み上げ発想を捨てよう。フロントに立つには何をしたいかという目標をまず持つ事である。
- 何かをより多く集め、積み上げたら、その先にイノベーションがあると考えるのは間違いです。何をするかを決めてから、それに必要な知識や情報を収集すべきです。

人生訓：川口淳一郎さんの発想力

2) 教育論(教育の問題点)。

- ・発想の転換が必要

勉強、学習とは過去を見る事に過ぎません。学生はHOW(どの様に＝手段)の習得に力を注ぎます。それが強い足かせになり「勉強のプロ」「学びのプロ」を育てています、彼らは知識の量が増えていく事に満足感を覚え、そういう行動で安心している。手段であったはずの勉強が目的化してしまっています。

- ・何をやるのかが先です、「知らない事」がたくさんあっても良い。

- ・社会で今起っている淋しい現実！！

取り組みテーマ(目標)を自分で探せと言われると、どうして良いかわからない。そこで「この仕事は自分に向いていない」と言い出す。「もっと具体的に指示してほしい」というのが現実です。これでは新しいものは生まれません。

人生訓:川口淳一郎さんの発想力

3)リスク管理

リスクはゼロにならない。リスクは必ずあるのです。

リスク管理とは、発生の可能性をゼロにする事でなく、その影響をどれだけ最小に留めるかです。

またそれに対処する方法、その影響を進行させない方法を用意して置く事もリスク管理です。

・リスクの発生可能性を最小限にする点検手法

①仮想FTA(Fault Tree Analysis)

②FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

③ETA(Event Tree Analysis)

人生訓：川口淳一郎さんの発想力

4) 日本の閉塞感を打破するには
「**インスピレーション**(ひらめき、着想)・**フォー・イノベーション**(飛躍)」という事です。

会社を含め日本は今閉塞感に悩まされていると考えます。これを打ち破って創造の時代を拓くには、**イノベーション**(飛躍)を引き起こすような**インスピレーション**(ひらめき、着想)が必要だという事です。

イマジネーション(想像)が直接的に現実社会のイノベーション(飛躍)に繋がる事はありません。その間にインスピレーションが必要になります。

あらゆるクリエイテイ(創造)な活動には、このインスピレーションが不可欠だと思っています。**インスピレーション**(ひらめき)にこそ価値がある。

・インスピレーションを得る方法

「何かがひらめく」のは、頭の中での出来事です、私は「物を見る、探す」という行為と似た部分があると感じています。目標に向かって行動する(観察、調べる等)事の繰り返しと努力と考えます。

人生訓：川口淳一郎さんの発想力

5) 人材育成法 —成功体験と失敗学—

今、日本人に最も不足しているのは自信だと思うので、「耐え忍ぶ事だけではダメで、創造できる、やれるという自信を持たなければなりません」と言う事です。

人材育成のポイントの一つは「成功の記憶を植えつける事」と「失敗の制御」でしょう。

シニアが第一線から早めに身を引き、後進と協同で取り組んで、技術や経験の伝承を行う事です。先輩やシニアが行って来た事を、確かめ合いながら、また修正しながら協同で仕事をする事です。

参考資料 リスク管理の3つの道具

宇宙開発業界ではこの道具は欠かせないものです。

①FTA (Fault Tree Analysis)

・事象を上から点検していく方法です。(不具合発生時利用)

たとえば原発事故を例にすると「放射能漏洩の大事故が起きた」という事象からスタートします。それに通ずる要因を片っ端から探すことがそのアプローチです。

②FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) (設計段階で予め不具合を予測する)

・逆に事象を下から上へ点検していく方法です。一つ一つのシステムの中の要素が発生させる故障です。そして、その波及を止めることを考えていきます。

原発で言えば「冷却水バルブが破損した」とか「電力制御装置が冠水した」ということ。冠水したらどうなるか。そこから波及する影響を考える。

③ETA (Event Tree Analysis) (不具合発生時利用)

・時間を追うごとに起きる事象を追いかけていき、すべてのありうる事象の流れを追うことです。最初に地震が起きる、大津波が来ることから始めます。炉が緊急停止する。商用電力が絶たれる。津波が打ち寄せる。電力制御装置が冠水する。非常用発電機も冠水する……というように順を追う方法です。

参考資料 1. 理学と工学の考え方

1. はやぶさ探査機で考える

注1:小惑星探査機「はやぶさ」の超技術 プロジェクト立上げから帰還までの全記録

川口淳一郎監修 ブルーバックスよりを参考に小嶋が整理要約した。

宇宙開発でも皆さんごっちゃにしている人が多い様に思いますが、宇宙開発分野でもよく議論になります。太陽系探査の分野において、目的と手段は理学と工学と言い換える事が出来る。

太陽系を調べるという目的を持つのが理学で、その為に必要な探査技術を開発するのが工学の範疇です。

従ってお互い対等に影響を与え合い協力し合って、より困難で、より価値ある探査に向けて進んで行くべき関係と思います。

例えば、はやぶさの件、

はやぶさ探査機はイトカワ小惑星探査が目的でそのための手段としてはやぶさ探査機が開発された。M/Vロケットもそのための手段ですね。

如何でしょうか。

「はやぶさ」は基本的に工学の試験衛星です。理学のミッションではありません、もともと科学探査が目的ではないといえます。

イオン推進のエンジンを使い、遠くの天体を目標にして、そこに到達する。そこからサンプルを取って帰る。そうした深宇宙探査の行程を確立する工学的な試験衛星でした。科学技術(工学)と科学(理学)を混同しては困るのです。

「日本は深宇宙探査に関してすごい技術を持っていますよ」と言えばいい。世界で唯一の技術ですからね。

◆工学と理学、分けて議論を ——先生は、政府の宇宙政策委員会の委員長代理でもあります

松井: 予算査定にも関わっていて、「はやぶさ2」の打ち上げについても複雑な立場です。センター所長としては「うちはやっています」と言います。

大いにやるべきだとも思います。一方、日本の宇宙政策の中で、これを最優先でやるべきかどうか、という議論はまた別にあるわけです。

科学的には、夢を追い求めることは重要です。しかし、お金は限られていて政策には、適正な優先順位をつけなければなりません。

文部科学省や宇宙航空研究開発機構(JAXA)の人などとも議論になりますが、「はやぶさ2」を無条件で最優先にというわけにいかない、と思います。

今後、宇宙政策で最も重要なのは、日本が自在に宇宙に行き、そこを利用する能力を維持し続けること。有人でも無人でもいいけれど、有人の打ち上げ技術は、日本は持っていませんし、目指してもいません。一方で、準天頂衛星でも地球観測衛星でも、H-IIロケットによって上げています。そうした能力を持つ国はごく少数で、国家戦略として維持すべき能力です。そこには安全保障上の観点もあるわけで、別に科学技術開発だけではないのです。

そのところを分けて議論しなければいけないと思います。日本の国家予算の中で宇宙関係はわずかに3000億円弱です。この程度の予算でNASAと同じようなことはできません。夢だけで生きていくわけにはいきませんからね。

——「工学」と「理学」の視点の違いですが、先生の目指すアストロバイオロジーはあくまで、理学や科学の立場ですね

松井: 地球に生存する生命は地球生物学の対象であり、宇宙に通用する生物学ではありません。惑星探査に踏み込み、アストロバイオロジー(宇宙生物学)という表現をしますが、厳密には、宇宙に生命の痕跡が見つかった時点で、アストロバイオロジーからアストロ(宇宙)を取るべきだ、ということになります。

普遍的な生物学が構築できますから。

物理学や化学は20世紀、宇宙で成立するということが分かりました。普遍性を確立し、宇宙の起源や進化、太陽系の歴史などを論じられる。生物学はまだその段階まで行っていない。

これが宇宙で成立するのかどうか。一つずつ確かめて進んでいくのが、アストロバイオロジーの、それぞれの段階のゴールなのです。

参考文献

この資料は下記文献を参考に筆者の考えを加えて編集した。

《参考文献》

- ・小惑星探査機 はやぶさの大冒険 山根一眞著
- ・小惑星探査機 はやぶさの物語 的川泰宣著 (NHK出版)
- ・仕事学のすすめ 川口淳一郎 NHKビデオテキスト (2011年6月号)
- ・閃く脳の作り方 川口淳一郎 飛鳥新社
- ・小惑星探査機はやぶさ 川口淳一郎著 中央公論新社刊
- ・JAXA (宇宙航空開発機構) ホームページ
- 探査・科学・有人・技術の現状と今後の方向 (文部科学省、JAXA)
- ・インターネットはやぶさ、太陽系探査、宇宙起源に関するWikipedia
- ・小惑星探査機「はやぶさ」の超技術 川口淳一郎監修 (ブルーバックス社)
- ・探査・科学・有人・技術の現状と今後の方向性
文部科学省、宇宙航空研究機構資料 (平成23年5月30日発行)