

「はやぶさ2」を知ろう！！ No.1

1. 「はやぶさ2」とは？

2010年に地球に帰ってきた「はやぶさ」の後継機として、
2014年に打ち上げられた小惑星探査機です。(図1)



図1：目的の小惑星に接近する「はやぶさ2」探査機の想像図
画像：池下章裕
出典：JAXAデジタルアーカイブス

2. なぜ小惑星を探査するのか？

小惑星を探査するのは、それによって「太陽系の起源と進化」と「生命の材料(有機物)の進化」という根本的ななぞの理解が進むと期待されているからです。

「はやぶさ」と「はやぶさ2」では以下のようにミッション(任務)が異なっているので、それぞれが必要なのです。

	主要ミッション(任務)	付加的なミッション	目的の小惑星	小惑星のタイプ
はやぶさ	工学：深宇宙往復探査に必要な工学(サンプルリターン技術など)の実証	小惑星からのリターンサンプルの分析	イトカワ 最も代表的な種類として選択	S型：岩石質の天体で、地球型惑星の進化過程の情報を持つ
はやぶさ2	理学：C型小惑星からのサンプルリターン → 太陽系の起源と進化の研究、生命の材料の進化の研究	確実な深宇宙往復探査技術の確立	リュウグウ C型を狙って選択	C型：生命の材料である有機物(炭素を含む化合物)や水を多く含む天体；太陽系形成初期の情報を保持

「はやぶさ」は主として工学ミッションだったので、理学的な研究を大きく進展させることは目的としていませんでした。「はやぶさ2」では、太陽系形成初期の情報を保持しており、しかも有機物と水の存在している**C型小惑星(リュウグウ)**から試料を採って帰ります。それは、**人間がこれまで手にしたなかで最も始原的なもの**であり、地球の汚染もありません。したがって、試料を分析し、その結果を試料の地質情報(小惑星の構造・物質分布・熱の様子などの情報)とともに読み解くことによって、以下のような研究を大きく進めることができると考えられています。

- 1) 生命の材料(有機物)は地球で進化したのか、小惑星などの宇宙から輸送されてきたのか？
- 2) 小惑星では有機物はどのように進化したのか？
- 3) 地球の海水はどこから供給されたのか？
- 4) 太陽系の材料はどのようなもので、どのように形成され、どのような進化を遂げたのか？

3. 「はやぶさ2」のスケジュール 打ち上げから地球帰還まで

2014年12月 3日 種子島より打ち上げ(写真1)

2015年12月 3日 地球スイングバイ
(地球の引力を使って加速しながら軌道を変更)
(スイングバイについては基本展示室「重力ターン」を参照)

2018年 6月 3日 リュウグウへの接近誘導の開始
(リュウグウまでの距離：3100km)

2018年 7月27日 リュウグウ到着(上空20km)

以下は予定

2018年 9~10月 1回目の着陸、試料の採取(計3回の着陸を計画)

2019年11~12月 リュウグウ出発

2020年11~12月 地球帰還(地球のどこかに試料を収めたカプセルを落下)
全行程は約52億km(地球約13万周)、6年



写真1：「はやぶさ2」の打ち上げ
2014年12月3日 福岡市科学館スタッフ撮影

4. 太陽系の形成・進化と小惑星の成り立ち

- (1) 宇宙空間に存在するガスや塵(ちり)を星間物質とよびます。星間物質が濃く集まったものが**分子雲**です。分子雲は引力によって次第に縮んでいきますが、回転しているため、徐々に円盤状になっていきます。そして中心に重いかたまりができ、回りに薄いガスと塵の円盤ができます。これを**原始惑星系円盤**といいます。太陽系の場合は**原始太陽系円盤**とよびます。中心のかたまりが原始太陽となります。
- (2) 原始太陽系星雲のなかの塵が集まって、多くの**微惑星**ができます。
- (3) 微惑星が互いに衝突して大きくなったものが**原始惑星**です。そこまで大きく成長できなかったものが**小惑星**です。原始惑星の内部は溶けており、中心に鉄が集まり、外側に岩石のマントルができます。原始惑星のなかにも**小惑星**として現存しているものがあります。
- (4) 原始惑星どうしがぶつかり合ったり、そこに残っている微惑星がさらにぶつかったり、回りのガスや塵を引力でひきつけることで大きく成長し、**惑星**となります。
- (5) 小惑星や原始惑星が衝突破壊された後、破片がくっついて**小惑星**が形成されることもあります。リュウグウはこのような天体と推測されています。(ただし、このことが起こるのは(4)以前もあります)

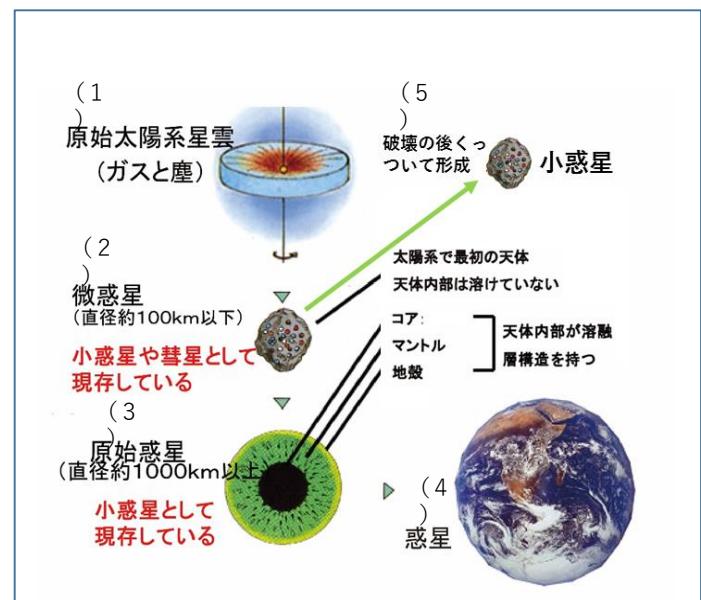


図2：太陽系の形成と進化
「九州大学自然科学総合実験マニュアル」より改変
(元図 B.Zanda and M.Rotau,2001)

以上のプロセスは、**約46億年前**の太陽系形成の当初に一気に(1000万年以内に)進んだと考えられています。

Q. なぜ小惑星には太陽系ができたころの痕跡が残っていると考えられるのですか？

- A. 地球の岩石や砂を調べても太陽系のできたときの姿はわかりません。地球をつくった元の物質は地球が誕生する過程でどろどろに溶けてから固まっているため、そのころの情報は失われているからです。一方、リュウグウのような小惑星は熱的な影響は小さく、昔の状態をよく保持していると考えられます。

Q. なぜリュウグウがターゲットとして選ばれたのですか？

- A. 主に以下の3つの理由からです。
- (1) C型小惑星(有機物や水を多く含む、始原的な天体)のひとつであるからです。
 - (2) 微惑星の衝突破壊で生成された破片天体と推定されているので、微惑星を作った物質が何なのかを直接に確かめることができます。
 - (3) 軌道はほぼ地球と火星の間に収まっているので、地球から比較的短い距離で到達できます。(C型小惑星の多くは火星と木星の間にあります。)

★ 「はやぶさ2」に関する疑問を募集

「はやぶさ2」に関する疑問を寄せてください。

サイエンスナビに置いている「『はやぶさ2』に関する疑問」用紙に記入してください。できるだけ疑問に答えるようにしていきたいと考えています。

5. リュウグウと「はやぶさ2」について

(1) リュウグウ

直径約900m、自転周期約7.5時間



写真2：高度約20kmから撮影されたリュウグウ



図3：リュウグウと地球の軌道

(2) 「はやぶさ2」

リュウグウの3カ所に着陸し、試料を採取する予定です。うち2カ所は着陸時に弾丸を撃ち込んで地表面から試料を採取します。残りの1カ所は人工的なクレーターをつくり、小惑星内部から試料を採取します。地表面は太陽風などの影響を強く受けている可能性が高いので、影響の小さい試料と比較する必要があるからです。

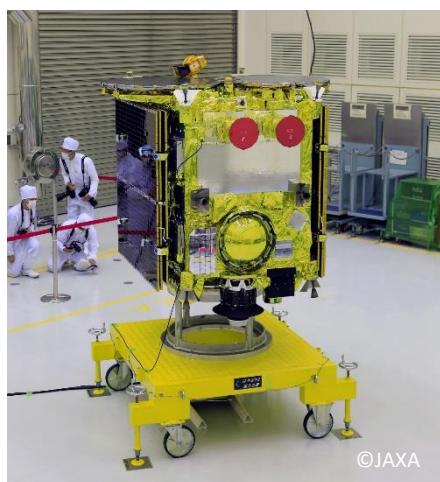


写真3：公開された「はやぶさ2」の機体

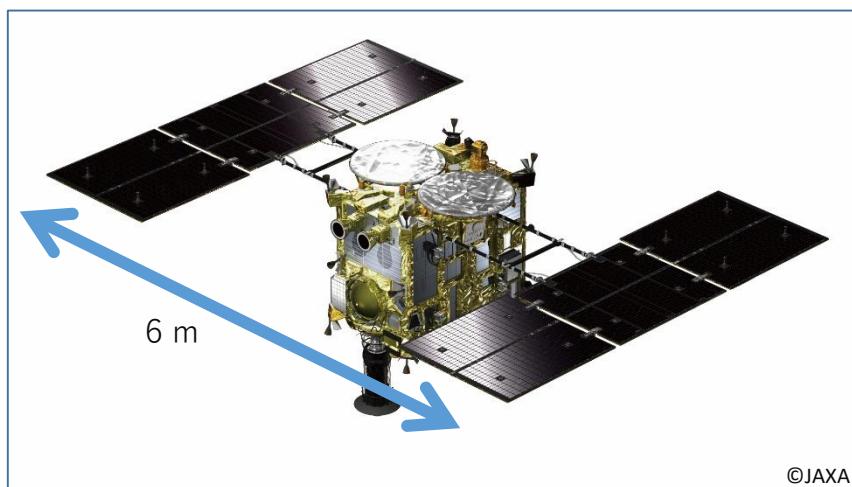


図4：太陽電池パネルを広げた「はやぶさ2」の想像図

主な機器の説明

サンプラーホーン

探査機の下に張り出した円筒と円錐を組み合わせた部分を「サンプラーホーン」と呼びます(写真4)。その先端が小惑星の表面に接触すると、弾丸を撃ち込んで表面を砕きます。重力はほとんどないので、弾丸によって砕かれ、放り出された破片はホーンの内部を上部に昇っていき格納庫に入る仕組みです。また図5のように、サンプラーホーンの先端には爪(折り返し部)がつけてあり、地表接触時に爪によっても試料を採取できるようになっています。



写真4：サンプラーホーンの写真

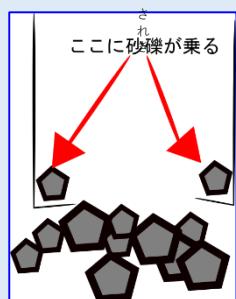


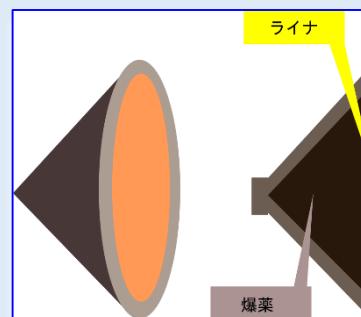
図5：サンプラーホーン先端の爪による砂礫の採取(イメージ図)

岡崎助教(九州大学)のアイデア! (「はやぶさ2」を知ろうNo.6参照)

人工クレーターを作るための衝突装置

2kgの銅の塊(ライナ)を秒速2kmに加速してリュウグウ表面に衝突させることで、人工的なクレーターを作ります。

図6. 衝突装置爆薬部(イメージ図)



円すい形の構造体の中に爆薬が充填されており、爆薬の力によってライナを前方に高速で発射します。

6. 太陽系と生命の起源と進化のなぞを明かす試料の分析

太陽系と生命の起源と進化のなぞの解明という壮大な目的のためには、リュウグウより採ってきた試料の分析が決定的に重要です。

まず重要なのは、リュウグウで採取した試料をそのままの状態でも物質や熱の汚染なしに地球まで持ち帰る事です。試料を格納するサンプルキャッチャー(写真5)は、3カ所から採取された試料が混ざることなく、三部屋で個別に保管される構造を持っています。

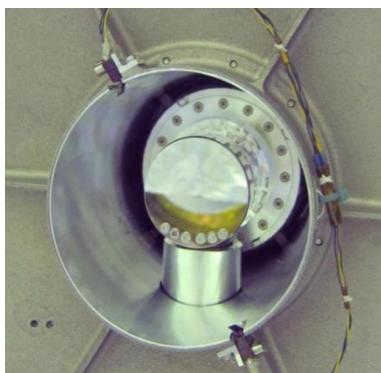


写真5: サンプルキャッチャー



写真6: サンプルコンテナ

サンプルコンテナ(写真6)は、サンプルキャッチャーを完璧に密封して保管し、地球に帰還する構造を持っています。地球に突入すると空気との摩擦で表面は最高で3000°Cになりますが、内部は最高でも50°C以下に保たれます。

このようにして地球へ持ち帰った試料の初期分析は6つの国際チームによって行われます。このうち3チームのリーダーが九州大学の先生方です。東北大学の中村教授も以前は九州大学の所属でした。「はやぶさ2」の試料分析では九州大学が世界をリードしていると言えます。

リーダー

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. 化学分析チーム | 北海道大学・塚本(ゆりもと)尚義教授 |
| 2. 粗粒試料の岩石学・鉱物学チーム | 東北大学・中村智樹教授(元九州大学) |
| 3. 細粒試料の岩石学・鉱物学チーム | 九州大学・野口高明教授 |
| 4. 揮発性物質分析チーム | 九州大学・岡崎隆司准教授 |
| 5. 固体有機物分析チーム | 広島大学・薮田ひかる教授 |
| 6. 有機分子分析チーム | 九州大学・奈良岡浩教授 |

[注]

- ・粗粒と細粒は採取した試料の大きさによる区別です。粗粒は内部の組織が見えるもので、大きさとしてはミリメートルサイズのを指します。細粒はそれ以下の大きさのものです。
- ・揮発性物質とは気体および水のようにすぐに気体になるもののことです。
- ・固体有機物と有機分子は同じ有機物ですが、固体有機物は分子量が大きく、水に溶けないもので、有機分子は分子量が小さく、水に溶けるものという違いがあります。

7. 進行中のこと

「はやぶさ2」はリュウグウに到着し、様々なことを実行しつつあります。その主なものを追っていきましょう。

(1) 探査ロボ「ミネルバII」がリュウグウに着地・移動・写真撮影—いずれも世界初

2018年9月21日、「はやぶさ2」から分離した小型探査ロボット「ミネルバII」の2台がリュウグウ表面への着地に成功しました。その後、移動と写真撮影にも成功しました。小惑星のような重力の小さい天体においてこれらに成功したのは、いずれも世界初のことです。

「ミネルバII」には、「ミネルバII-1」2台と「ミネルバII-2」1台があり、今回、分離されたのは「ミネルバII-1」の2台です(図7)。「イブー」と「アウル」と命名されています。いずれも直径18センチ、高さ7センチの円筒形で重さは約1キログラムです。太陽電池で内蔵モーターを回転し、反動を利用してリュウグウの表面を飛び跳ねる方式で移動します。

リュウグウの重力は地球のわずか8万分の1にしか過ぎません。このように重力が小さいと、着地はたいへん難しくなります。落下速度がごく小さくない限り、着地した反動で飛び上がり、すぐに小惑星の重力圏から抜けて、宇宙空間へ飛び出してしまうからです。「はやぶさ2」はリュウグウ表面から約55mまで近づいて、「ミネルバII」を分離しました。移動にジャンプを使うのも重力が小さいからです。通常のコイルを使うと機体が浮いてしまうのです。撮影された写真のひとつが写真8です。ジャンプしながら撮られたものです。今後ともどのような写真が撮影されるのか、ワクワクしますね。

(2) タッチダウン成功

2019年2月22日、待ちに待った「はやぶさ2」本体のタッチダウンが成功しました。すなわち、パネル3枚目(「はやぶさ2」を知ろう！！No.3参照)にあるサンプルホーンを使って、弾丸を発射し、舞い上がる砂を採取しました。太陽系形成の鍵を握る砂です。

着陸地点はリュウグウの赤道付近にある幅6m程度の狭い場所です。当初は2018年10月に着陸する予定でしたが、リュウグウの地表面は岩が散在しており、着陸地点を慎重に探ってきたために遅くなったものです。今回も着陸地点が少しでもずれると失敗するという難しい挑戦でしたが、ベストの状態で成功するという快挙を成し遂げました。

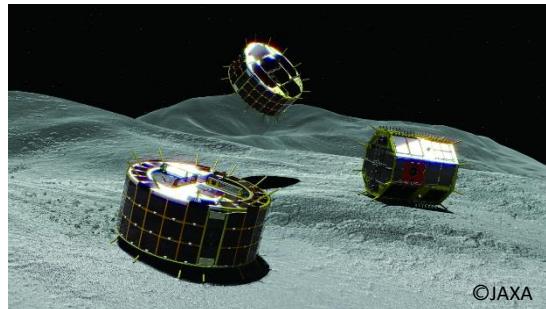


図7 「はやぶさ2」に搭載された3機の探査ロボット「ミネルバII」の分離イメージ図。左の2つが「ミネルバII-1」で、右が「ミネルバII-2」です。

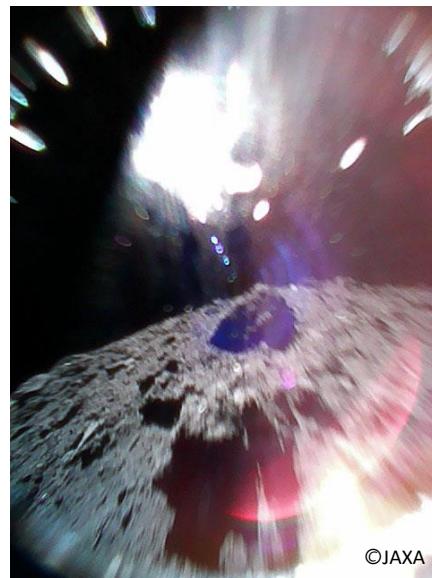
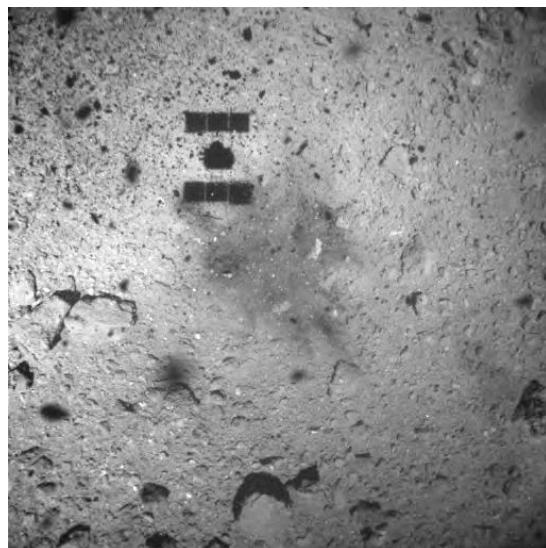


写真8 下側がリュウグウの表面。上側の白い部分は太陽光によるもの。



©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

写真9 タッチダウン直後にタッチダウン地点(中央の変色している部分)付近を撮影した画像。

(3) 人工クレーター形成

2019年4月5日、「はやぶさ2」に搭載の「人工クレーターを作るための衝突装置」(「はやぶさ2を知ろう！！」No. 3の右側の装置)を作動させました。場所はリュウグウの赤道付近です。遠隔撮影を担当した分離カメラによると、リュウグウの表面から円錐状に舞い上がった噴出物が撮影され(写真10参照)、衝突装置はうまく作動したものと判断できます。今後は形成されたと思われる人工クレーターの探索が行われます。

この運用はこれまでにないまったく新しいものでした。まず、衝突に伴いリュウグウから塵や岩石が飛び出し、「はやぶさ2」の本体が損傷する恐れがあるので、本体は損傷の恐れのないエリアまで、速やかに退避しなければなりません。一方、衝突の瞬間は本体から分離されたカメラを用いるので、カメラの分離とカメラからの撮影という動作が必要とされます。衝突装置の大量の爆薬もうまく爆発させる必要があります。しかも、地球からの電波の到達には長い時間がかかるため、地球からの遠隔操作はできず、すべて探査機が自動で動くという制約もありました。このように、多くの作業が同時に、しかも自動的に必要とされるたいへんな運用でしたが、どれもうまくいったものと思われま

最後に、なぜ人工クレーターを作る必要があったのかを説明しておきます。リュウグウが太陽系形成初期の情報を保持しているC型小惑星であることは、「はやぶさ2を知ろう！！」No. 1やNo. 2で述べていますが、その表面は風化などの影響を強く受け、変質していると考えられます。したがって、真の太陽系形成初期の情報を得るためにはその影響の少ないところからサンプルを採ることが必要です。その場所がリュウグウの地下で、地下を露わにするために人工クレーターを作ったわけです。ここから得られたサンプルがどんな情報をもたらしてくれるのか、今からワクワクしますね。

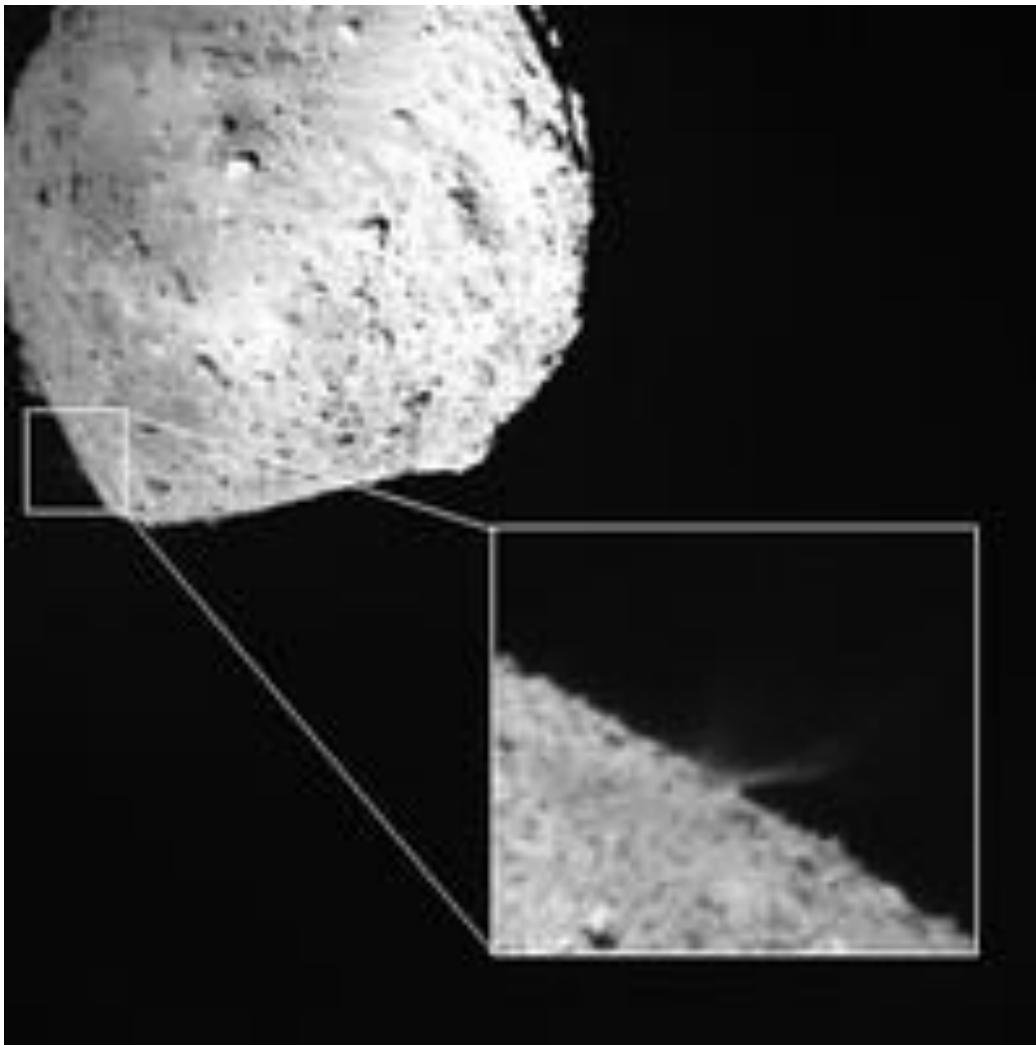


写真10：「はやぶさ2」から分離されたカメラが捉えた画像。下の画像は上の画像の一部(四角で囲った部分)を拡大したもの。リュウグウ表面からの噴出物の様子(下の画像)が確認できます。
画像のクレジット：JAXA、神戸大、千葉工大、産業医科大、高知大、愛知東邦大、会津大、東京理科大

(4) 「太陽系の歴史のかけらを手に入れた」

「はやぶさ2」が、ついに(3)で作られた人工クレーターからサンプルを採取しました。これを称して、JAXAの津田雄一プロジェクトマネジャーは「太陽系の歴史のかけらを手に入れた」と述べました。その経過は以下の通りです。2019年7月11日、「はやぶさ2」はリュウグウ上空30メートルまで接近しました。ここからは、「はやぶさ2」が自らを制御しつつ、人工クレーターめがけさらに降下し、10時6分にリュウグウにタッチダウンしました。このとき、サンプラーホーンから弾丸を発射し、舞い上がった砂を採取したとみられます。2月22日に続く2回目のタッチダウンの成功です。

写真はタッチダウン直後の写真です。砂が舞い上がっているのが見られますサンプルはきっとどっさり採れたことでしょうね。「太陽系の歴史のかけら」からどのような太陽系の歴史が明らかにされるのか、大きな楽しみです。



タッチダウン4秒後の画像 (©JAXA)

(5) 「はやぶさ2」がリュウグウを出発し、地球へ

リュウグウに着陸し貴重な試料の採取に成功するなど数々の成果を得た「はやぶさ2」が2019年11月13日、地球を目指し、リュウグウを出発しました。しばらくは遠ざかりながらもリュウグウの撮影を続けますが、12月初めにイオンエンジンの試験を行った後に加速して地球への旅を開始する予定です。地球へ帰ってくるのは、2020年12月ごろの予定です。

「はやぶさ2」の軌跡を簡単に振り返ってみましょう。2014年12月に打ち上げられ、2018年6月にリュウグウ付近に到着しました。その後、2度着陸して砂の試料の採取に挑戦しました。そのうちのひとつは、金属弾の撃ち込みによってリュウグウ表面に世界初の人工クレーターを作った後に、リュウグウができたころの状態を保っていると考えられる地下の試料を採取したものです。さらに、2018年9月には小型ロボット「ミネルバII」をリュウグウ上空から投下し、リュウグウの探査も行いました。

「はやぶさ2」が地球に持ち帰る試料は、太陽系の起源に迫る研究材料として極めて貴重であり、九大の3人を始め世界の研究者が地球到着を待ち望んでいます。2020年12月がたいへん楽しみです。

