

はやぶさ2の2018年

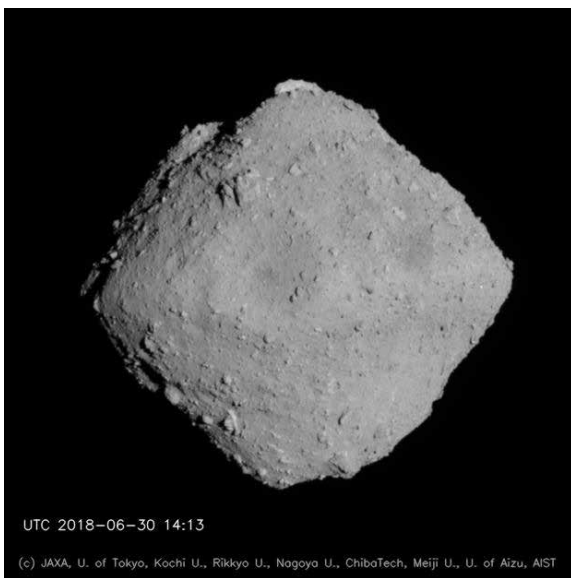
科学館学芸員 飯山 青海

はやぶさ2、小惑星「リュウグウ」に到着

小惑星探査機「はやぶさ2」は、2014年12月に打ち上げられました。それから約3年半の航行を終え、2018年6月に目的地である小惑星「リュウグウ」に到着し、リュウグウ近傍での探査を開始しました。毎月の月刊「うちゅう」でも、はやぶさ2がどのような探査活動をしたか紹介してきましたが、このページでは、はやぶさ2がリュウグウの近傍で探査したことによって分かったことを、まとめたいと思います。

初代はやぶさが探査した小惑星イトカワは、S型小惑星に分類される小惑星でした。一方、今回ははやぶさ2が探査する小惑星リュウグウは、C型小惑星に分類される天体です。

はやぶさの探査により、イトカワの岩石は、「普通コンドライト」と呼ばれる、隕石の中で一番よくあるタイプの岩石と同じであることが分かりました。一方で、C型小惑星は、隕石の中ではやや珍しい「炭素質コンドライト」(C型隕石)と近い岩石であることが推定されています。はやぶさ2はこのC型小惑星について探査を行うプロジェクトです。



リュウグウ全景 ©JAXA, 東京大ほか

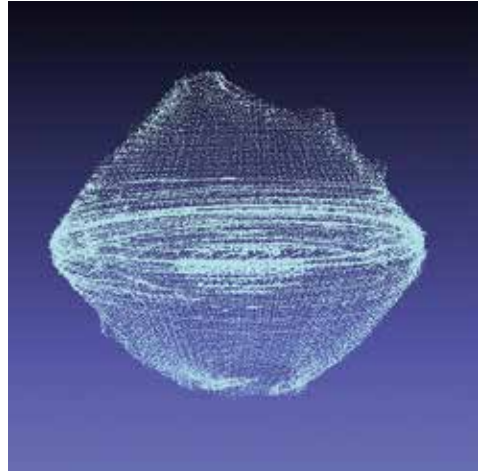
リュウグウの形状と自転周期

リュウグウに到着したはやぶさ2は、早速、リュウグウの姿をたくさん撮影しました。リュウグウの形は、そろばんの珠のような形、(英語では top shape ; コマ型) をして、自転周期は約7.5時間、自転方向は逆回りでした。地球の望遠鏡でのリュウグウの観測結果からは、自転による光度変化が乏しく、リュウグウは自転軸に対して回転対称に近い形であろう、という予想は

されていたのですが、そろばんの珠のような形は、予想外のものでした。

そろばん珠のような形状ということは、赤道や両極が天体の中心から遠く、中緯度帯が天体の中心に近い、ということですから、「赤道が高い山になっている」状態です。このような形は、自転による遠心力によって表面の岩石が赤道に集まってきたと考えるのが理解しやすいのですが、リュウグウの場合は、7.5時間の自転周期では遠心力が小さすぎて、遠心力では赤道にこれほどの物質を集めることができません。もしも、リュウグウの表面の物質がサラサラで移動しやすい状態になっていたとしたら、赤道から中緯度に向かって、山が崩れるように、物質が流れていってしまうはずで

す。このことから想像すると、リュウグウが現在のような形状になった時期は、もっと自転周期が短くて、その後、何らかの原因（他の天体との衝突など）で自転周期が遅くなったのかもしれませんが。自転方向が逆回りである原因も、そのような自転周期が大きく変わるような事件に原因があるのかもしれませんが。



レーザー高度計(LIDAR)の計測から得られたリュウグウの形状 ©国立天文台, JAXA, 千葉工大, 会津大, 日本大, 大阪大

リュウグウはラップルパイル構造

リュウグウは、約900mの大きさがある天体ですが、一つの大きな岩の固まりなののでしょうか、それとも、たくさんの岩が積み重なってできているのでしょうか。もしも、リュウグウが単一の大きな岩でできていると考えると、リュウグウの形がそろばん珠の形をしていることの説明が難しくなります。

リュウグウの形が、赤道の方に物質が移動して集まってきたことによって、現在の形になったと考えると、リュウグウは、いくつもの岩が集まったもので、岩同士はお互いに位置を変えることができるはずで



リュウグウ表面にも、大きな岩がたくさん見られる。 ©JAXA

す。実際に写真を見ると、リュウグウの表面にはいくつもの大きな岩が転がっていることが分かりますが、リュウグウは、表面だけではなく内部まで含めて岩が積み重なって構成されている構造（ラッブルパイル：がれきの寄せ集め構造）であると推定されています。

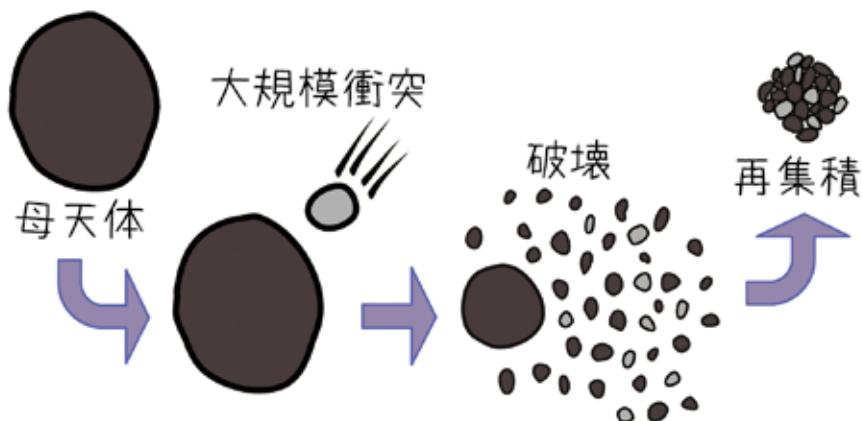
リュウグウ表面の岩石はかなり均質

リュウグウの表面は、基本的に黒っぽい岩石で構成されています。公表されている写真のほとんどは、見やすいように画像の明るさが調整されているので、あまり「黒い石」という印象を受けないのですが、実際は、かなり黒っぽい石がほとんどです。その中に、いくつかあまり黒っぽくない石があります。公表された画像では、白っぽい岩石として写っています。

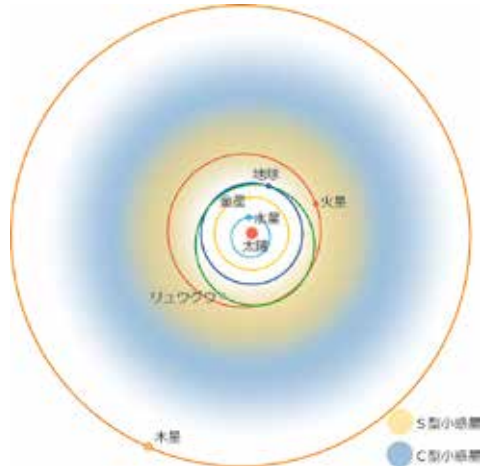
「黒い石」は、隕石ではC型隕石に分類されるような石、「白い石」は、隕石では普通コンドライトに分類されるような石であり、S型小惑星の岩石に近い石だと考えられています。

リュウグウ全体で見ると、大部分は黒っぽい石に少しばかり白っぽい石が混ざっている、という状況で、全体としてはかなり均質です。リュウグウの表面のうちのどこかの地域だけ違うタイプの岩石が集まっている、ということがなく、どの場所も同じような岩石でできているように見えます。

このことと、リュウグウがラッブルパイル構造であることとを考え合わせると、リュウグウの形成過程を想像することができます。おそらく、リュウグウよりずっと大きな均質な天体（母天体）に、大規模な天体衝突が起こって大量の破片が飛び散り、その破片の内のいくらかが集まってリュウグウができたと考えられます。



現在、リュウグウの軌道は、火星軌道の少し外側から地球軌道の少し内側に入る 軌道をとっています。C型小惑星は、小惑星帯の中でもやや外側（木星軌道に近い側）に多く分布しており、小惑星帯の内側（火星軌道に近い側）や火星軌道の内側にはS型小惑星が多く分布しています。リュウグウが形成されて現在の軌道に移ってきてからも、他天体との小さな衝突は起きていると想像されますが、現在の軌道上で起きる天体衝突の相手は圧倒的にS型小惑星（白い石）である可能性が高くなります。リュウグウに見られる岩石が圧倒的に黒っぽい岩石主体で、あまりバラエティがないことは、リュウグウが形成されて以降にリュウグウ表面に落ちてきた岩石が少ない、つまり、リュウグウは、現在の姿になってからそれほど長い年月（何億年とか何千万年という単位の年月）を経てはいないのではないかと想像できます。

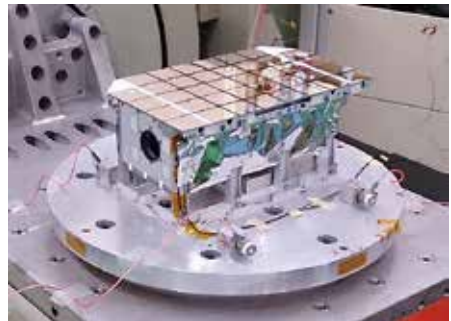


C型小惑星とS型小惑星の分布。リュウグウの軌道付近にはS型が多く分布している。

リュウグウの岩石に水が見つからない？

リュウグウは、C型小惑星であり、C型隕石と同じような岩石で構成されていることが、はやぶさ2の打ち上げ前から予想されていました。C型隕石は、岩石中に水を含んでいるものがほとんどです。水を含んだ岩石は、赤外線の反射スペクトルを撮影すると、波長 $3\mu\text{m}$ 付近の反射率が低くなるため、水を含んでいない岩石と区別することができます。はやぶさ2はそのために、近赤外分光計（NIRS3）という装置を搭載しています。

はやぶさ2のリュウグウ到着以降、NIRS3を使った観測が行われ、8月2日の記者発表までに、5万4千点のスペクトルデータが得られたのですが、波長 $3\mu\text{m}$ 付近に観測されるべき水の兆候は、捉えられませんでした。つまり、リュウグウ表面の岩石は、水をほとんど含んでいないように見えるのです。



近赤外分光計（NIRS3）
振動試験時の写真 ©JAXA

このことについては2通りの解釈が可能で、1つは、リュウグウが形成されて以降に、何らかの原因により表面の温度が高くなり、水が失われてしまった可能性、もう1つの解釈は、もともとリュウグウの元になった母天体の岩石が、そもそも水をほとんど含まない（隕石の研究から考えるとかなり珍しいタイプの）岩石であった可能性とが考えられます。将来的に、リュウグウの岩石を地球に持ち帰って分析することができれば、この問題の手掛かりが得られるかもしれません。

リュウグウ表面に砂がない

初代はやぶさが探査した小惑星イトカワでは、「ミューゼスの海」と名付けられた平坦なエリアがあったのですが、リュウグウにはそのような平坦な地域は見当たりません。リュウグウの表面には、砂のような細かい粒子がほとんど見あたりません。



小惑星イトカワにあるミューゼスの海 ©JAXA

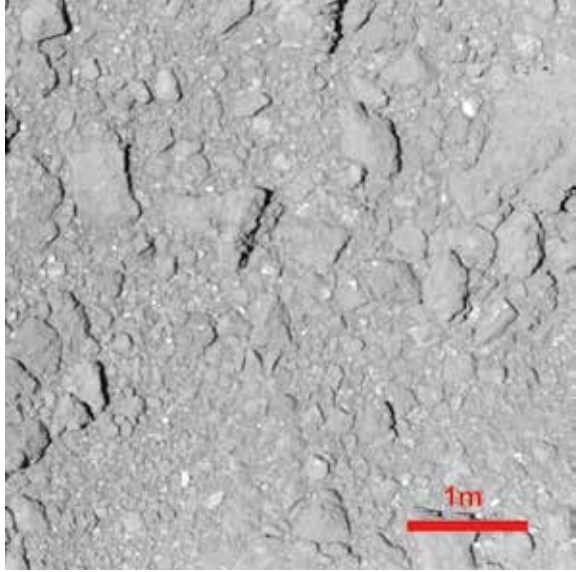
太陽系の空間は、完全に「なにも無い」空間ではなく、流れ星の元になるような小さな粒子が飛び回っています。地球であれば、そのような小さな粒子がぶつかってきても大気圏で燃え尽きてしましますが、月や小惑星のような大気の無い天体では、それが直接天体表面にぶつかります。ですので、大気の無い天体の表面では、砂のような細かい粒子（レゴリス）があるのが普通だと考えられるのです。ところが、リュウグウでは、レゴリスがほとんど見当たりません。それは、はやぶさ2による上空からの探査だけではなく、ミネルバ2やMASCOTがリュウグウに着陸して送ってきた写真でも、レゴリスが見られないのです。



ミネルバ2が撮影した、リュウグウ表面
ほとんど砂が見られない ©JAXA

ルパイル構造なので、内部に隙間があるはず)に落ち込んでしまった可能性などが考えられています。

また、砂地がないことは、着陸に適した平坦な地域がないということでもあります。はやぶさ2は、技術的には難しい、岩があって凹凸の多い場所への着陸をせざるを得ない状況に追い込まれました。打ち上げ当初の計画では、2018年の10月終わり頃に、一回は着陸を実施する計画でしたが、安全な着陸を行うために慎重を期して、2019年1月に1回目の着陸を行う計画に変更されました。

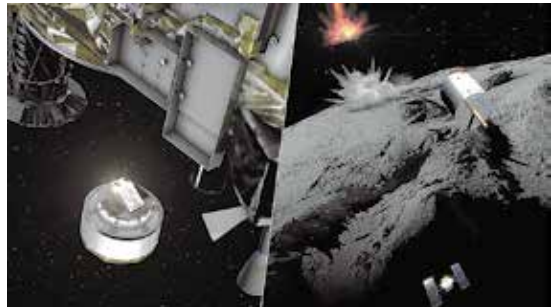


高解像度のリュウグウ表面。数cmの小石も写っているが、砂地は見当たらない。 ©JAXA, 東京大ほか

着陸と帰還の成功を祈って

はやぶさ2は、2019年に、リュウグウへの着陸（現在の計画では3回）やインパクター（リュウグウ表面に弾丸をぶつけて、人工クレータを作る装置）の運用を予定しています。これらの探査が順調に行われれば、2019年の終わりごろにリュウグウの軌道を離脱して、地球への帰還に移ります。すべてが順調に行われれば、2020年の終わり頃に、地球に到着し、リュウグウの石が入ったカプセルを地球に降ろす計画です。

無事に地球に帰還してくれることを祈っています。



インパクター運用時の想像図。リュウグウ表面に直径数mの人工クレータを作る。 ©JAXA