事例紹介

専門家間の科学技術相互理解

「はやぶさ」プロジェクト —惑星科学者の観点より—

Hayabusa Project
—From the Viewpoint of a Planetary Scientist—

執筆者プロフィール

吉川 真
Makoto YOSHIKAWA

- ◎東京大学大学院博士課程修了。理学博士。通信総合研究所を経て、1998年から宇宙科学研究所に勤務
- ◎研究・専門テーマは、天体力学、太陽系天体探査ミッションにも関わる
- ◎（独）宇宙航空研究開発機構 准教授
〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1
E-mail : yoshikawa.makoto@jaxa.jp

2. 人類が初めて見る微小惑星

「はやぶさ」が探査した小惑星イトカワは、その大きさが500mほどの天体である（図1）。これほど小さな天体に探査機が行くこと自体、「はやぶさ」が初めてである。これまでに行われた太陽系天体探査で、ランデブーでもフライバイでも、このように小さな天体に接近したことはなかった。これも、「はやぶさ」の世界初の挑戦の一つなのである。人類が初めて見る微小惑星、それがイトカワなのである。

2005年9月、「はやぶさ」はイトカワに到着した。その姿は、全く想定外であった。小惑星というとその表面はクレータで覆われているということが、それまでの常識であった。ところが、「はやぶさ」がわれわれに送ってきたイトカワの写真には、一見するとクレータは全く見られない。その代わり表面は、大小さまざまな多数の岩で覆われており、でこぼこだらけの天体だった。

イトカワの写真を見たとき、二つのことが頭をよぎった。

図1 「はやぶさ」が撮影した小惑星イトカワ。中央付近の平らなところが「ミューゼスの海」という名称（ニックネーム）が付けられた場所であり、「はやぶさ」はここにタッチダウンを試みた。

1. はじめに

2010年6月13日、7年間余りにわたる宇宙の旅を終えた小惑星探査機「はやぶさ」が地球に帰還した。自分自身は燃え尽きてしまったが、その使命であるカプセルを地球に戻すことを果たした「はやぶさ」。その華麗とも壮絶とも言える姿は、多くの人の感動を誘った。単に、その最期の姿だけではない。「はやぶさ」は、いくつかの大きなトラブルを克服し、“満身創痍”で戻ってきたのである。そのストーリーもドラマチックなものであった。

「はやぶさ」は、2003年5月に打ち上げられた。小惑星からその表面物質を地球に持ち帰るサンプルリターン（往復探査）のミッションである。とくに、そのための技術を実証することが目的であった。数々の世界初の技術に挑戦し、その結果、成功したもの、失敗したもの、成功はしたが問題点が残ったものなど、いろいろな経験をわれわれにもたらした。「はやぶさ」ミッションは、工学的な側面が主であるのだが、ここではもう一つの側面である科学としての観点から「はやぶさ」ミッションを紹介する。

それは、大変な発見をしたということと、着陸する場所がないということである。着陸する場所については、幸いなことに着陸可能な平らな場所が1箇所あった。ミッションチームが“ミューゼスの海 (Muses Sea)”と名づけた場所である。ただし、幅が50m程度しかない小さな“海”なので、「はやぶさ」の制御能力が試されることになる。実際、着陸（タッチダウン）が、最初の大きな“ドラマ”となった。（注：“ミューゼスの海”という名称を国際天文学連合に提案したところ、却下されてしまった。正式名称は、英語の発音は同じとなる、“ミューゼス・シー (MUSES-C)”となった。“海”と呼ぶには小さすぎるということが却下の理由である。）

3. リモートセンシングによるイトカワの観測

でこぼこだらけのイトカワを見て、驚いてばかりいるわけにはいかない。探査のために確保されている時間は3カ月もないのである。初対面の天体を大急ぎで調べて、着陸場所を決め、そして表面物質採取のためのタッチダウンをしなければならない。

到着してすぐに、リモートセンシングによるイトカワの詳細な調査が始まった。科学観測装置は四つある。小惑星を撮影するための可視光分光撮像カメラである AMICA。小惑星までの距離を測定するレーザ高度計 LIDAR。そして、近赤外線分光器の NIRS と蛍光 X 線分光器の XRS。これらの装置を使って、イトカワの観測が行われた。

AMICA による写真撮影が、まず行うべき基本的な観測である。イトカワの表面の様子や地形を調べ、イトカワの全体形状・大きさを正確に推定する。小惑星の形やその表面状態が正確にわからなければ、着陸することはできない。最終的には1500枚ほどのイトカワの写真を撮影した。

LIDAR は、イトカワ表面から「はやぶさ」までの距離を常時モニタした。この距離データとカメラによって得られる「はやぶさ」から見たイトカワの方向データとを組み合わせれば、「はやぶさ」のイトカワに対する位置がわかる。これらのデータに、地球からの電波による通信で得られる情報も付け加えて、「はやぶさ」の軌道運動を正確に推定する。このことで、イトカワが「はやぶさ」を引きつける引力の大きさ、つまりイトカワの質量が推定できる。

NIRS と XRS であるが、これらの観測装置は、それぞれイトカワから来る近赤外線や蛍光 X 線のスペクトルを観

測する。そのことで、NIRS ではイトカワ表面の鉱物組成が、XRS ではイトカワ表面の元素組成が推定できることになる。これらの装置によっても多くのデータが取得され、イトカワ表面の物質は、地球に落ちてくる隕石の一つである普通コンドライトの組成とほぼ一致することがわかった。

以上が、リモートセンシングの観測による最も主要な事項であるが、二つの重要な事実がわかった。まず、イトカワが、地球に落ちてくる隕石の母天体の一つである可能性が高いということである。イトカワは S 型と呼ばれるタイプの小惑星に分類されている。S 型は、地球に落ちてくる普通コンドライトの母天体ではないかと推定されていたのであるが、このことが確認できた。また、推定された体積と質量から、イトカワの平均密度が 1.9g/cm^3 と計算された。普通コンドライトの密度は 3.2g/cm^3 くらいであるから、イトカワ全体が普通コンドライトでできていると仮定すると、イトカワの平均密度が小さすぎることになる。このことは、イトカワ内部には空洞があることを意味している。ざっと計算すると 40% もの空洞があることになる。つまり、イトカワは、“がれきの寄せ集め”のような構造をしているのではないかと考えられた。これをラブルパイル (rubble-pile) 構造と呼ぶ。

このほか、リモートセンシングの観測によって、イトカワ表面の細かい特徴もわかった。クレータがないように見えたその表面であるが、詳しく調べてみると小さいクレータらしき構造が 40 個ほど確認された。また、着陸場所として選ばれた“ミューゼスの海”は、直径が 1cm くらいの砂利で覆われていることもわかった。イトカワのような重力の小さい天体表面にこのようなレゴリス（天体表面を覆っている砂礫）があることも驚きであった。

4. 小型ローバの投下とタッチダウン

リモートセンシングによる観測が2カ月弱ほど行われた後の2005年11月、いよいよ表面物質の採取のための運用が始まった。前例がない世界初の試みであったので、想定外のことがいろいろと起こり、結局、接近・降下の練習を3回行った後、2回のタッチダウンを試みることになった。これは、ミッション最大の山場であるのだが、ここでは、その詳細は省略する。

科学の立場からは、小型ローバである MINERVA を小惑星表面に降ろすことができなかったことが非常に残念であ

る。MINERVA は、約 10cm、600g の小さなローバであるが、イトカワ表面に降りてその表面の写真を撮影したり温度を測ったりして情報を送ってくる予定であった。その移動方法が微小重力を逆手にとってぴょんぴょん飛び跳ねて移動するというユニークなものであったが、その微小重力のため表面に降ろすことができなかったのである。MINERVA 本体は「はやぶさ」から切り離された後、きちんと機能していたので、イトカワ表面のデータが取れなかったことは科学的にも非常に残念である。

なお、2 回のタッチダウンについても予定どおりには行かなかった。結果的には、このあと述べるようにイトカワの物質の採取には成功したのであるが、今後課題を残すことになった。

5. 「はやぶさ」の地球帰還

2 回目のタッチダウンの後からが、「はやぶさ」の真のドラマが始まることになる。燃料漏れに続いて、7 週間にわたる通信の途絶。通信は奇跡的に復活するが、化学エンジンはすべて使用不能。バッテリーも故障。それでもイオンエンジン頼みに帰還の途についていたが、そのイオンエンジンにもトラブル発生。……と、本当に大変な状況になったのであるが、「はやぶさ」は最後までミッションを達成し、地球に戻ってきた。ただし、化学エンジンが使えない状況では、カプセルを地球に戻すということは「はやぶさ」自身も地球大気に飛び込むことを意味していた。カプセルのように耐熱構造になっていない「はやぶさ」は、燃え尽きるしかない。ということで、2010 年 6 月、感動的な最後のシーンを迎えることになるのである。

科学的には、最後に大気圏で燃え尽きる「はやぶさ」を観測することで、流星の科学的なデータが得られた。つまり、「はやぶさ」という素性がわかっている物質が、その速度も正確にわかっている状態で地球に突入したわけであるから、人工的な流星の実験となったわけである。「はやぶさ」は最後の最後まで、科学に貢献してくれた。

6. イトカワ物質の確認

「はやぶさ」が地球に帰還してから、カプセルの開封や内部の確認作業が続いた。約 5 カ月後の 2010 年 11 月、慎重な作業の末に、カプセルの中からイトカワの物質が確認

された。サイズは 10 ミクロン程度の小さな粒であるが、その成分から明らかに地球外物質であり、さらに普通コンドライトに近い組成であることも確認されたのである。イトカワの表面物質と言って間違いのないであろう。予定どおりの物質採取ができなかったので量としては非常に少ないが、これで「はやぶさ」の本来の目的が達成されたことになる。この原稿を書いている 2010 年年末では、まだ本格的な分析は始まっていないが、今後の分析結果に期待したい。

7. 「はやぶさ」がもたらしたもの

「はやぶさ」は工学技術を実証するための探査機であるから、もちろん、工学的な成果が大きい。しかし、科学（理学）的な成果も非常に大きく、惑星科学に大きな進展をもたらしたと言えることができる。何よりも、微小天体が単なる“石ころ”ではなくて、科学的にも非常に面白いものであることを明らかにしてくれた功績が大きい。そのために、アメリカやヨーロッパでは、「はやぶさ」のような探査ミッションを行おうという機運が一気に高まっている。もちろん、日本でもそうである。「はやぶさ」が予定どおりのタッチダウンができなかったことを受けて、日本では 2006 年に「はやぶさ 2」というものを提案した。当初は、「はやぶさ」のリベンジとして「はやぶさ」と似たミッションを提案したが、予算が付かず打ち上げが先送りになったこともあって、新たな挑戦も盛り込んだミッションとして再提案されている。この「はやぶさ 2」も、ついに 2011 年からは実行に移せそうな状況になってきた。

太陽系小天体は、まだまだ謎が多い。また、単に科学的な興味だけでなく、天体の地球衝突（スペースガード）や、宇宙資源、有人ミッションのターゲットなど、探査の意義はいろいろな側面にわたっている。太陽系天体探査ミッション、とくにサンプルリターンには時間がかかるが、今後も継続的に進めていくことで、日本のそして世界の技術・科学の進展を図っていきたい。また、「はやぶさ」のような挑戦を、今の若い世代に是非伝えていきたいし、伝えなければならないと考えている。

（原稿受付 2010 年 12 月 28 日）