

探査機「はやぶさ」が持ち帰る小惑星試料



藤原 顯

1 はじめに

2003年5月9日、小惑星探査機「はやぶさ」が鹿児島県内之浦より打ち上げられた。はやぶさは2005年に小惑星イトカワ(25143 ITOKAWA)の近傍に到着し、種々の観測を行った後、表面から試料を採取する。採取した試料は2007年に地球に持ち帰られる予定である。これまでに試料が持ち帰られた天体は月だけであり、小惑星からのサンプルリターンは世界で初めてである。この小文ではこのミッションの概要を紹介するが、その前にまず小惑星について述べ、このミッションの意義を述べる。

2 小惑星の科学

小惑星は最大のもので直径1000 km程度であり、小さくなるにつれて数を増しながら、おそらく隕石サイズに至るまで連続的に存在していると考えられている。発見された小惑星の数は、現在では数十万個にのぼる。そのうち多くのものは木星と火星の軌道の間にあるが、地球付近に地球型小惑星も2000個以上発見されている。現代の惑星形成論では、原始太陽系星雲から多数の微惑星ができ、それらの間の衝突による合体や破壊を繰り返しながら最終的に惑星ができると考えられており、小惑星はこの筋書きの途中で成長が停止したものと考えられている。したがって小惑星は太陽系の歴史の比較的初期段階の事件の痕跡を残していると考えられており、惑星の生い立ちを知るための重要な対象となっている。小惑星の研究のこれまでの重要な方法は、地上望遠鏡による天文的手法と、隕石の分析によるものである。多くの隕石は小惑星帯よりもたらされていると考えられているからである。天文的手法で、ここ20年ぐらいに大きく進展したことは、小惑星表面からの(太陽光の)反射スペクトルに関する知識が著しく増加し、それらが1ダースほどのタイプに分類分けされることが分かったことである(図1)。これらの中でも、最も主要なタイプはSタイプ、Cタイプと呼ばれるグループである。一方、隕石による研究は太陽系の過去を物質的観点からひもとく重要な位置を占めており、豊富なデータの蓄積がある。現在これらの2分野を埋

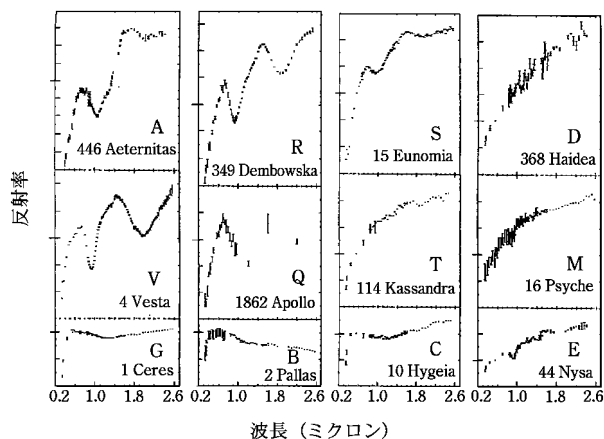


図1 小惑星のスペクトル

Sなどのアルファベットでそれぞれの型が分類されている。15Eunomiaなどの表示はそれらの型に属する代表的な小惑星の名前

める試みがいろいろとなされている。つまり、隕石(の粉末)の光反射スペクトルを実験室で取り、結果を小惑星の反射スペクトルと比較し、各スペクトルタイプの小惑星に対応する隕石種を決めようとするものである。今回探査する小惑星はSタイプで、普通隕石という隕石タイプに近いのではないかと考えられている。しかし、この方法で行われる推定は非常に不確かである。宇宙空間に暴露されている小惑星の表面は変質を受け、その反射スペクトルは微妙に変化する。したがって、小惑星物質と隕石物質の対応づけは、小惑星からの試料を持ち帰って比較することが必要である。もちろん、試料を持ち帰れば、アポロの例を引き出すまでもなく、多くの研究者が、年代、元素同位体組成、鉱物分析など極めて多岐にわたる精細な分析を行い、多くの発見がなされるのは言うまでもない。小惑星の数は極めて多いが、主要なスペクトルタイプから一つずつ小惑星を選んで少数のサンプルリターンを行うことにより、小惑星領域の第1次物質マップが描けると考えている。

3 ミッションのあらまし

「はやぶさ」は、上のような考えに従う第1号機と考えている。とはいうもののサンプルリターンは技術的に大変難しく、まずは本格的なサンプルリターン探査に向けて、技術的課題である電気推進機、自律航法、試料採取技術、地球大気再突入技術を習得するための工学試験探査機と位置づけられている。探査する小惑星イトカワは500 m程度の小さな天体である。この小惑星の軌道の近日点は地球軌道のわずかに内側であり、遠日点は火星の少し外側にある。探査機はM5型固体燃料ロケットによって打ち上げられ、地球の重力圏外に放出された後、現在、約1年間かけて地球の公転軌道に近い軌道を順調に飛行中である。打ち上げ以降、今後すべての航行期間を通して電気推進機の連続使用により増速がなされる。2004年5月には再び地球の近くに接近する。ここで地球の重力に引っ張られて増速されるとともに軌道を曲げられて、目標とする天体に向かい、2005年6月ごろ小惑星付近に到着する。ここでは探査機は小惑星のまわりを回るのでなく、小惑星の太陽側約6 km付近の空間に停留する。ここで観測をした後、表面に向けて降下

Asteroid Sample Returned by "HAYABUSA" Spacecraft.

し、表面の試料を採取する。採取した試料は探査機側面に取り付けられているカプセル内に収納される。打ち上げられてから約4年間の長旅の末、2007年6月に地球付近に戻ってくる。カプセルのみが探査機から切り離され、大気中に12 km/sの高速で突入し、減速の後パラシュートを開いて地上に回収される。回収地点はオーストラリアのウーメラという砂漠地帯である。

4 観測と試料の採取

この探査機は、撮像カメラ、レーザー測距器（ライダー）、近赤外分光器、X線分光器を搭載しており。上空から小惑星のリモートセンシング観測を行う。カメラによって小惑星の形や地形が、ライダーによって、地形の凹凸、および自由落下中の距離測定による小惑星の質量がわかる。

近赤外分光器は表面での太陽光の反射スペクトルを調べる。X線分光器は、太陽X線照射による表面の蛍光X線を測定することによって元素組成を調べる。質量と形（大きさ）から小惑星の密度が得られる。密度は、小惑星内部を構成する物質や構造について知るための手がかりとなる。また、小惑星表面にはミネルヴァ（MINERVA）というニックネームの超小型着陸機が投下される。これは内部にトルク機構を持ち、この回転による反作用で表面を飛び跳ねながら、小型カメラで小惑星表面の風景を撮る。採取される試料は多くても1g程度と予想される。サンプルの採取は次のような方法で行う（図2）。探査機の底面には1mの長さの筒（ホーン）がついている。このホーンが小惑星表面に接触し、接地した瞬間にタンタルの小球を打ち出す。球の衝突によって跳ね飛ばされた小惑星表面の試料片は、この筒の中を通過してサンプルの容器に入る。ホーンの接地直後に化学エンジンを吹かして上昇するので、接地時間はほんの数秒である。2ないし3回このようなサンプリングを行った後、最終的に容器は、探査機の側面に取り付けられているカプセルの中に収納されてシールされる。小惑星表面状態として考えられるいろいろな可能性に適応性があり、かつ探査機に重量、電力などの少ない方法としてこのような採取方法が選ばれた。

5 持ち帰られる試料の分析

地球に回収された試料は、容器ごと受け入れ施設（計画中）に持ち込まれ厳重に管理される。この施設中のクリーンチェーンの中で試料が取り出され、質量計測、光学/電子顕微鏡写真撮影などの基本的キャラクターゼーションを行う。この後、試料の一部が取り分けられ、あらかじめ選抜された国内の大学や研究施設の複数のチームに送られ、鉱物、元素組成など予定した項目にわたって分析が行われる。ここまでが試料到着後1年かけて行う初期分析である。結果は公表され、その後、詳細



探査機下面にサンプラーホーンが取り付けられている。小惑星表面にある球状物体は着地点を示す人工目標、手前の物体は小型ロボットランダー「ミネルヴァ」。

図2 小惑星にタッチダウンする「はやぶさ」探査機（想像図）

分析フェーズに入る。このフェーズでは研究テーマが世界に公募され、審査で選ばれた研究者に対して試料が送られ、提案されたテーマにしたがって詳細な分析が行われる。これまでに、初期分析チームの編成の参考資料とするために、分析コンペティションが行われた。公募により募集された分析者に、模擬小惑星物質として隕石試料を、素性を伏せて渡し、提案した分析を実施してもらい、結果として出されたレポートを内外の研究者がピアレビューを行うものである。このレポートは出版、公開されているので、ご興味のある方で入手困難な方は筆者までご連絡いただきたい。また第2回の同様なコンペが今年開催されることになり、参加者を現在公募中である。本誌にも本号のロータリー欄の掲示板に公募アナウンスが掲載されている。ぜひ多くの方々が参加されることを期待している。詳しくはホームページ（<http://www.muses-c.isas.ac.jp/Japanese/index.html>）を参照されたい。

文 献

- 1) “The First Open Competition for the MUSES-C Asteroidal Sample Preliminary Examination Team”, Edited by I. Kushiro et al., ISAS Report SP No. 16, (2003).



藤原 顯 (Akira FUJIWARA)

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
(〒229-8510 相模原市由野台3-1-1)。
京都大学大学院理学研究科博士課程修了。
理学博士。◀現在の研究テーマ▶探査による小惑星、小天体の研究。
E-mail : fujiwara@planeta.sci.isas.ac.jp