

はやぶさ 2 ミッション計画

吉川 真、「はやぶさ 2」プリプロジェクトチーム
宇宙航空研究開発機構

Hayabusa-2 Mission Project

Makoto YOSHIKAWA, Hayabusa-2 Preproject Team
Japan Aerospace Exploration Agency

Abstract

Asteroid sample return spacecraft Hayabusa was launched in 2003, and at present (Feb. 2010) it is on the way back to the earth. Hayabusa has revealed many new things for a small near earth object, but still there are a lot of mysteries in asteroids. Therefore, we are planning a next sample return mission, Hyabusa-2. Hayabusa-2 also will explore a small near earth asteroid whose spectral type is C-type. We think that C-type asteroid has organic material and water, so it is important to understand the origin of the life. It is also important from the point of spaceguard. We hope we can start Hayabusa-2 mission as soon as possible.

Key words: Hayabusa, Exploration, Asteroid, Sample return

1 はじめに

小惑星探査ミッション「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ろうとしている小惑星サンプルリターンミッションである。「はやぶさ」は、2003年に打ち上げられ、2005年には小惑星イトカワに到着し、その不思議な世界を我々に示してくれた。そして、2回のタッチダウンの試みをした後、燃料漏れというトラブルに見舞われ、当初の地球帰還予定から3年遅れて2010年6月に地球に戻るスケジュールで運用されているところである。現在(2010年2月)、いろいろなトラブルは抱えているものの、「はやぶさ」は地球帰還に向けた作業が続けられている。ここでは、「はやぶさ」の成果について詳細は割愛するが、その成果を一言で言えば「微小な地球接近小惑星の概念を変えた」ということであろう(図1)。これは、日本が世界に誇る成果である。

この成果を受けて、「はやぶ

さ」の後継となるミッションについての検討が進められている。それが「はやぶさ2」である。「はやぶさ2」についての詳細は、この後の章で解説するが、「はやぶさ」と同様な小惑星サンプルリターンのミッションである。ただし、ターゲットとなる小惑星は、C型に分類されるものであり、有機物や水を含んでいると考えられているものである。「はやぶさ」が探査したイトカワはS型の小惑星であるが、C型はS型と並んで小惑星の主要なタイプである。小惑星の全体像を把握するためには、まずはS型とC型の小惑星をおさえておく必要がある。さらに、C型

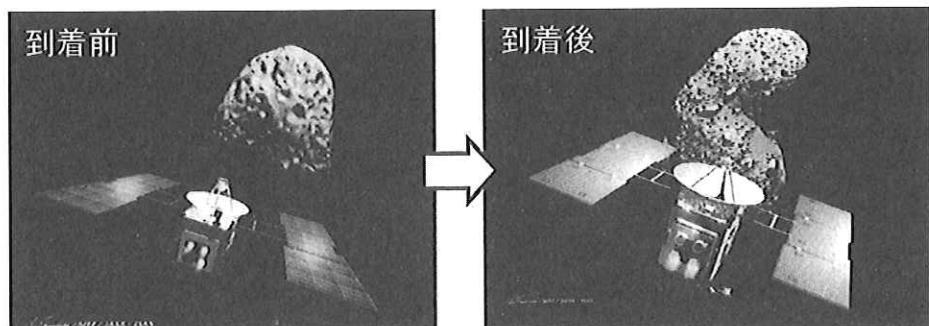


図1：はやぶさの成果

地球軌道に接近する微小小惑星の概念が、「はやぶさ」のイトカワ探査で大きく変わった。



図2 太陽系小天体探査の意義

小惑星は、地球生命の起源を考える上でも興味深いものである。

「はやぶさ2」のさらに次に行うべきミッションとして「はやぶさ Mk2」と呼ばれるミッションの検討も同時に進められている。これは、より始原的な天体のサンプルリターンを目指そうという野心的なものであり、小惑星のタイプで言えばD型小惑星、あるいは、すでにガスを放出しなくなってしまった枯渇彗星からのサンプルリターンを目指すものである。「はやぶさ Mk2」は、ヨーロッパとの共同ミッションとして「マルコ・ポーロ」という名前でも検討されている。「はやぶさ Mk2」については、また別の機会に紹介することにしたい。

ところで、このように太陽系小天体を連続的に探査する目的は何なのであろうか。太陽系小天体は、惑星のように大きな天体とは違って、太陽系形成時からあまり進化していないと考えられている。つまり、太陽系の誕生の時の状況を知ることができる。科学としては、太陽系や生命の起源やその進化を知るという大きなテーマに取り組むことができる。一方、小天体は地球衝突問題というスペースガードの立場や、宇宙資源、有人ミッションのターゲットとしても注目を浴びている。また、全く未知である天体への探査は、現代の「冒険」であり、新しい世代への育成へともつながるものである。これらの意義をまとめたものが図2である。

以下では、特に「はやぶさ2」の現在までの検討について紹介する。

2 「はやぶさ」から「はやぶさ2」へ

はやぶさ後継ミッションについては、「はやぶさ」が打ち上がる前の2000年くらいから、すでに検討は始まっていた。ただし、「はやぶさ2」についての検討が本格化し

たのは、2005年に「はやぶさ」がイトカワに到着して探査を行ったが、予定通りのやり方で表面物質が採取できなかったという事実の後である。確実に小惑星の表面物質を持ち帰るということを目指して、「はやぶさ2」の検討は開始された。当初は、「はやぶさ」と同型の探査機を早期に作成して、2010年ないし2011年の打ち上げを目指していた。対象天体は、後で説明するが、1999 JU3というC型小惑星である。

まず、「はやぶさ」で経験した不具合に対処するための検討が行われ、特に姿勢制御のためのリアクションホイールや燃料を送る配管の配置など再検討が行われた。その結果、2010年ないし2011年での打ち上げに間に合って探査機の製作が可能になった。しかし、予算上の問題でこの打ち上げウインドウに間に合わせることができず、次の打ち上げウインドウである2014年を目指すことになった。打ち上げが延期されたこともあって、「はやぶさ」と同じミッションのみ行うのではなくて新規の探査も行い、サイエンスのアウトプットをより多く引きだそうという検討がなされた。以下では、現時点まで行われた新たな検討内容について紹介する。

3 はやぶさ2計画の概要

「はやぶさ2」は、すでに述べたように微小なC型の地球接近小惑星を探査し、その表面物質を地球に持ち帰ろうとするサンプルリターンミッションである。その目的は、大きく言えば「我々はどこから来たか」を調べることである。つまり、太陽系と生命の起源・進化を調べることになる。特に、C型の小惑星は有機物や水に富んでいると思われているため、生命・海・地球の原材料物質を調べるという点において大きな進展が期待できる。また、イトカワと同様に微小小惑星を調べることは、太陽

はやぶさ2 ミッション計画

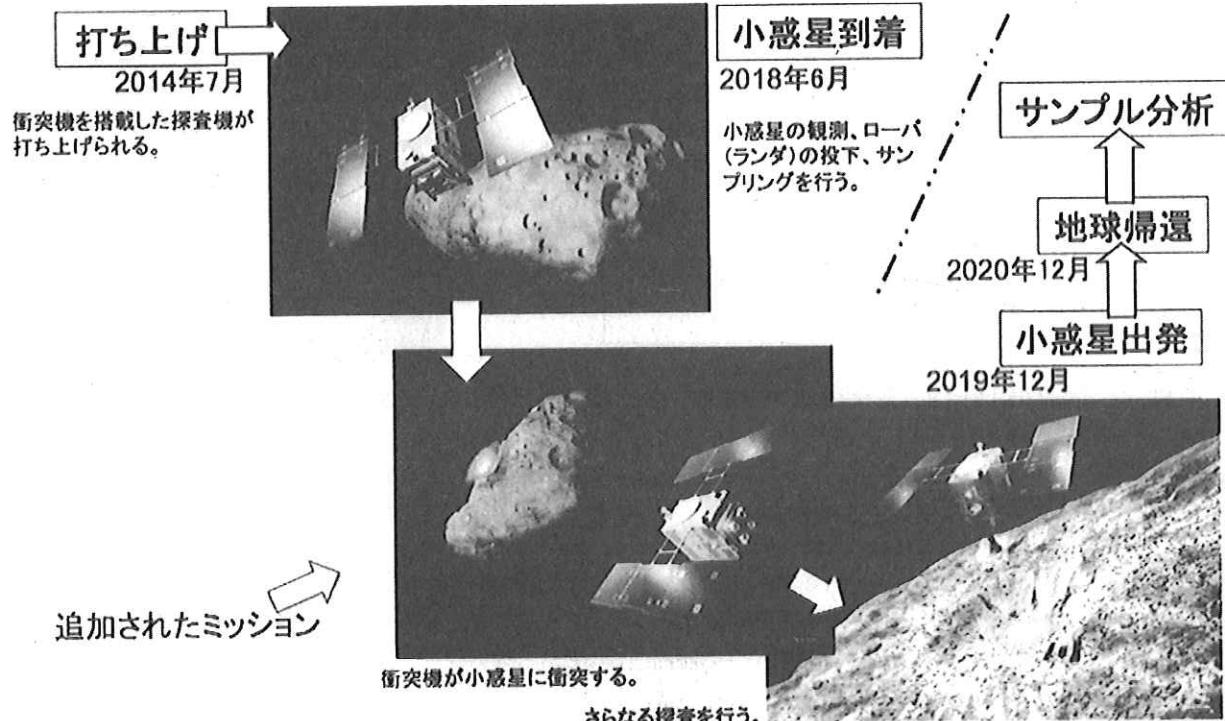


図3 「はやぶさ2」のミッションシナリオ（案）

系天体の形成過程を調べることになる。

さて、この「はやぶさ2」は、最初は「はやぶさ」と同型機によって同じようなミッションを行うものであったが、「衝突機」を追加するという検討が新たになされた。「衝突機」とは、その名前の通りに小惑星に衝突するものである。衝突することによって、人工的なクレーターを作ることができるが、そのことで小惑星の内部物質を調べようとするものである。「はやぶさ」のようなやり方では、小惑星の表面物質は採取できるが、地下の物質は採取できない。表面物質は、太陽光によって変質したり宇宙風化を受けたりしている可能性がある。したがって、小惑星の地下物質を採取して分析できれば、さらに太陽系の起源に近い物質を得ることができる可能性があるのである。

「衝突機」については、いくつかのスケールのものが検討された。最も大きいものとしては、単独の探査機が衝突機になるものである。これは、打ち上げのときに2機の探査機を打ち上げ、片方は「はやぶさ」と同様な探査を行い、もう片方が小惑星に衝突するというものである。この場合には、例えば、300kgくらいの探査機を3~4km/sの相対速度で小惑星に衝突させることができる。すると直径が数十メートルのクレーターを作ることができると考えられる。この場合の問題点は、衝突機の軌道制御の精度であるが、仮にうまく軌道制御できたとしても、特定の場所に衝突させることは難しい。また、軌道で衝突の時刻が決まってしまうため、衝突の時期を選ぶこと

も難しい。さらには、探査機本体が衝突するので、小惑星表面を汚染してしまうことは避けられない。また、コストも高額となる。

このように問題となる点がいくつかあるので、小型の衝突機についても検討が行われた。これは、探査機に小さな衝突機を搭載しておき、小惑星に到着してから衝突機を切り離して小惑星に衝突させるというものである。この場合には、衝突の場所や時期を選ぶことができるし、衝突による汚染も比較的少なくて済む。さらに、コストも、単独の衝突機よりはかなり低くなる。ただし、形成されるクレーターは小さく、直径が2mくらいからせいぜい7m程度までと考えられている。つまり、小惑星の内部物質を採取する場合には、探査機を正確に誘導できなければならぬ。ここが大きな課題となる。

この他にもいくつか検討はなされたが、最も可能性が高いものとして、搭載型の衝突機を追加するという案が有力になっている。この案に基づくミッションシナリオをまとめてみたものが、図3である。2014年に打ち上げられた「はやぶさ2」は、地球スイングバイを経て2018年に目的地である1999 JU3に到着する。到着後、しばらくは「はやぶさ」と同様な探査を行い、その後、適当なタイミングで衝突機を衝突させる。衝突によって人工クレーターができるが、その様子を観測し、内部物質の採取も試みた後、2019年に地球帰還のため小惑星から出発する。そして、地球帰還は、2020年となる。

ここで搭載型の衝突機であるが、その候補として、EFP
Spaceguard Research Vol. 2 25

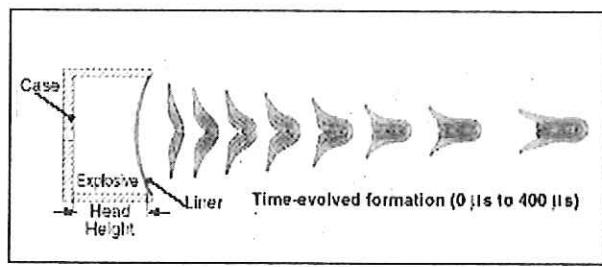


図4 Explosively Formed Projectile
(Wikipediaより)

(Explosively Formed Projectile: 爆発形成侵徹体) というものを検討した。これは、箱の中で爆薬が爆発するとそのふたとなっている金属ライナが吹き飛んでいくものであるが、金属ライナは変形しながら飛んでいくことになる(図4)。ライナは、非常に短い時間で2~3km/sまで加速される。これによって、小惑星表面に直径が数メートルのクレーターを作ることができるのである。なお、金属ライナは銅やタンタルで作ることにすれば、汚染の問題もかなり防げることになる。

4 探査対象小惑星

すでに述べたように、「はやぶさ2」の探査対象天体は、1999 JU3というC型の小惑星である。小惑星帯においては、その内側の領域にはS型の小惑星が多く、小惑星帯の中央付近でC型が多くなる。したがって、C型の小惑星は、地球からはより遠いところにあることになり、「はやぶさ」規模の探査機で往復探査ができる軌道にあるものは非常に少ない。現在発見されている小惑星の中では、この1999 JU3が唯一の候補と言っても過言ではないほどである。1999 JU3の軌道を図5に示す。

小惑星1999 JU3については、2007年と2008年に観測キャンペーンが行われ、その物理的な性質がいろいろと分かってきた。まとめてみると、表1のようになる。

表1 小惑星1999 JU3の物理特性

項目	観測値
自転周期	0.3178 day (~7.6 h)
自転軸の方向	$(\lambda, \beta) = (331, 20)$
軸比	1.3:1.1:1.0
直径	0.922 ± 0.048 km
アルベド	0.063 ± 0.006
絶対等級	18.82 ± 0.021
タイプ	Cg

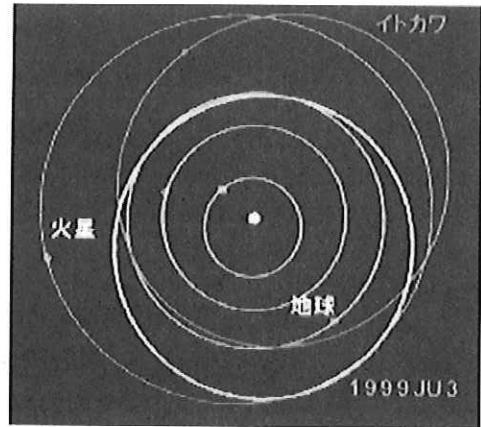


図5 1999 JU3の軌道

自転周期や天体の大きさなど表1に示されている値であれば、「はやぶさ」と同様な探査機でのサンプルリターンが可能である。ただし、自転軸の方向が黄道面に対してかなり傾いている可能性があり、その場合には、少し工夫が必要となる。

5まとめ

「はやぶさ2」ミッションによって、C型の微小小惑星の探査ができれば、太陽系の科学に大きな進展をもたらすことは確実である。特に、「はやぶさ」で行ったミッションに衝突機を加えることで、小惑星の物質についてより深く知ることができる。また、スペースガードの立場からすれば、単独の衝突機による衝突ならば、まさに小惑星の地球衝突回避の実験ともなったわけであるが、小型の衝突機であっても、C型の地球接近小惑星の素性は知ることができることは重要である。つまり、そのような天体が地球に衝突する場合の回避方法を検討する上で、重要な手がかりを与えるものとなるからだ。「はやぶさ2」ミッションが早期に実現できることを希望したい。

(2010年2月14日受付, 2010年2月15日受理)