

小惑星探査機「はやぶさ」の帰還

2010年 7月 7日 (水)

於：フォーリンプレスセンター

JAXA 宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系教授
はやぶさプロジェクトマネージャー 川口淳一郎講師

今日のお話のタイトルは「はやぶさの帰還」です。その維持と忍耐と神頼み、ということをお話しさせていただきます。

はやぶさの計画は往復の宇宙飛行をすることです。2003年に打ち上げて、2005年に小惑星イトカワに到着し、2007年に帰る計画でした。途中で燃料の漏洩の事故があって、3年計画が遅れています。はやぶさの目的は五つあります。イオンエンジン、自律的な航法と誘導、サンプルの採取、再突入カプセル、スイングバイの併用ということです。なによりも往復の宇宙飛行を実証することです。はやぶさは鳥の名前です。資料を採取する方法にちなんで鳥の名前のはやぶさを付けています。イトカワというのは人の名前です。糸川博士は日本のロケット開発の父です。惑星探査には四つの段階があって、フライバイ、オービター、着陸、サンプルリターンの4段階があります。サンプルリターンは往復の飛行でして、これが応用されると再使用可能な宇宙船の運行につながるわけです。

将来の私の個人的な展望は、資源を利用することです。太陽系の中で資源を利用するようなことが50年、100年先には起こるであろうと思っています。これには往復の宇宙飛行が必須です。分化（ディファレンシエーション）した天体では、重い鉱物が表面にはありませんが、未分化天体（アンディファレンシエイティッド・オブジェクト）には資源があります。将来は太陽と地球のラグランジュ点（航行体にかかる遠心力と天体からの重力がつりあう点）に港が作られて、そこから出航、帰航して、太陽系を航海する時代が来るでしょう。

はやぶさは、往復の宇宙惑星飛行を実証することを目的にしています。探査機はご覧のようなかたちをしています。サンプルリターンの計画の構想は、1985年に始まりました。最初は1986年頃にはケミカルプロパルジョンのサンプルリターン計画を立てていましたが、あまりにも未熟で、とても開始することができませんでした。五つの目標をはやぶさは持っていましたが、そのうちの二つはNASAに刺激を与えてNASAも二つの技術を先行してデモンストレーションしています。

はやぶさのイオンエンジンは、マイクロ波でプラズマを作ることに特徴があって、これまでに延べ3万8,000時間の運転を達成しました。イオンエンジンは、イオンソースと中和器のペアで構成されています。昨年11月に、実はこの四つのエンジンがすべて寿命を迎えました。しかし、新しい方法でAエンジンの中和器とBエンジンのイオンソースを組み合わせるという方法を工夫して、この危機を乗り切りました。はやぶさは2005年11月に2回の着陸を行っています。表面にはターゲットマーカーという航法目標が置かれていまして、これには全世界中から88万人の方のお名前が載っています。はやぶさは最長で30分間の着陸を行いました。科学的な成果はここでは詳しく申しま

せんが、簡単に申しますと、一番大きな成果は、イトカワが、がれきを寄せ集めたラブ
ルパイルというオブジェクトであると判明したことです。何と云ってもはやぶさの特長
は、一旦目的地に到着して静止して、それから再離陸をして地球に戻ってくるというこ
とで、世界ではやぶさだけがこれを試みています。

これは大阪市立科学館が作った映画です。

*(映像音声) : はやぶさ。なぜ君の目的地がイトカワなのか知っているかい。その意味
を教えてあげよう。君は今、46億年前の過去を目指して進んでいるんだ。これがイト
カワの姿か。さあ、イトカワのかけらを取りにいこう。しかし、大役を果たした君を待
っていたのはあまりにも過酷な運命だった。そして君は地球との通信を絶った。さあ、
帰ろう、懐かしい地球に。*

(川口教授) : はやぶさが燃料漏れの故障を起こしましたが、この原因は着陸と関係が
あると思っています。その後7週間通信が途絶しましたが、復旧に成功しました。通信
が途絶した原因は、燃料漏れに伴うガスの噴出によるものです。復旧は大変難しくて、
太陽電池の向きがすっかりひっくり返ってしまったのですが、1年の間に公転を利用し
て、電力が回復するチャンスを待ちました。電源が完全に切れてしまっていますので、
もちろん何の電力もないわけですから、ヒーターもありません。はやぶさが待っている
周波数も送ってくる周波数もわかりません。しかし、あらゆる可能性、あらゆる分散の
範囲、不確定性の範囲を調べ尽くすという方法を採用して、7週間で通信が復旧しました。

一旦通信が復旧しましたが、送信の出力信号が低いので、十分な情報は得られませ
んでした。しかし、探査機の自律的な判断の機能を生かして、1ビット通信を行って探査機
を復旧させました。化学燃料は完全に失われているので、イオンエンジンに使うための
キセノンガスを使って姿勢制御を行いました。しかしキセノンガスも十分な量ではな
かったので、姿勢の制御には太陽の光の力を使いました。しかも太陽の光でバランスを取
りながら、イオンエンジンの運転にも成功しました。

地球に戻す運用が今年の11月からまた始まりまして、徐々に軌道を変えてきました。
これが1月までで、これが3月までで、これが3月の末までです。そして、4月の初め
に最初の軌道修正を行っています。これが再突入をするときの地上への軌道投影図です。
連続での軌道制御が終わった後、4回にわたって軌道修正(TCM: Trajectory Correction
Maneuvers)を行っています。その中でTCM3という修正が一番重要で、それによって
地球の上空630キロを通過していた軌道をオーストラリアの中に狙い直すことを行いま
した。途中5月12日に地球を撮影いたしました。地球から1,350万キロ離れていま

た。TCM3の運用も成功しました。実際にはTCM0から4までの運用は必ずしも順調ではありませんでした。とにかく、一連の軌道修正は成功して、何よりも嬉しく思っています。

オーストラリアに入る軌跡に関し、オーストラリアの東海岸を描いています。再突入直前の着地の分散で、グリーンと赤の点は統計的に最悪の風を想定した場合の分散範囲です。青いエリアが直前の風の予測値に基づいた分散範囲です。カプセルの分離は直接に電波信号で観測することができました。われわれは、はやぶさが、カプセルを分離した後、地球の撮影を行いました。われわれ自身もその画像を見たかったということです。まるではやぶさ自身が涙をこらえて地球を見たかのように見えます。姿勢を制御して、分離方向に姿勢制御するのと、それからカメラの撮像が記録されています。実際に6月13日の運用後も順調ではなく、IRU、ジャイロですが、SEUというのはシングルイベントアプセットという現象で、障害を起こしていました。内之浦ステーションからははやぶさが消えかかっているとき、電波の信号の強さを皆で見っていました。7年間オペレーションを務めた方々に、感謝の意を表しました。みんなでよくやったねと。6月14日は完全に運用はありませんでしたが、まったく室内の運用室の電気が消えていて、知識の伝承が危ぶまれると思いました。

回収カプセルはこういうかたちをしています。この真ん中の部分にサンプルのコンテナがあります。カプセルはある高度を通過するときに加速度を検知してパラシュートを開きます。大変幸運なことに、オーストラリアの空軍の施設内に、はやぶさの鳥のつがいに住んでいました。これは日本での方位の探索試験（ディレクション・ファインディング）の様子です。同じ設備をウーメラに持って行って展開しました。こういう探査局を四つ設置しました。これは、直前の着地予測をした結果です。この黒い軌跡がノミナル・トラジェクトリーで、地上は東風なので、やや西に流されるという予想をしていました。実際の予測値がこの点で、IM（インストルメント・モジュール）が、実際に回収された点はここです。この距離は約1キロメートルです。このグリッドが1キロなので500メートルくらいです。パラシュートを開くときに切り離れたヒートシールドがフォワードとバックワードがあるのですが、二つとも予測点からやはり300メートルほど離れたところで見つかりました。パラシュートは高度5キロメートルで開いています。これがNASAのDC8という観測機から撮影されたリエントリーの模様です。地上、下側の赤い軌跡がリエントリーカプセルです。これはNASAのDC8から撮影したムービーです。

(ムービー英語音声)

川口教授：リエントリーカプセルだけがサバイブしたとよくわかると思います。インス

トルメント・ボックス、インストルメント・モジュール、回収された時点で写されたのがこれです。パラシュートも一緒に見えますね。発見された直後の機器、少し拡大された写真で、この部分でパラシュートが付くアンカー、パラシュートがここの部分に付くわけです。このアンカーというのは、加工品で、地上で、風でパラシュートが流されるのを防止するために、自動的に切り離されていますが、そのパイロの加工品（パイロデバイス）を取り除く作業をしているところです。

これは先ほどのインストルメント・モジュールから取り外された中にある、電子回路とバッテリーの部分です。同じく回路とバッテリーです。回路の部分は下の部分に付いているのですが、それを取り除いてサンプルコンテナを下から見たものです。ウーメラのクリーンブースに置かれているインストルメント・ボックス、それから回路部分です。ご覧のように、7年間を経たとは思えないくらい、新しくきれいに見えます。これも同じくインストルメント・モジュールです。これはJAXAの現地のチームリーダーと、オーストラリア空軍の代表が握手しているところです。

これはウーメラの空港から航空機にリエントリーカプセルを積み込むところです。そして日本に向けて直行ですね、離陸しました。羽田に到着して、6月17日の夜に羽田で荷物を降ろしているところです。羽田から相模原にあるキュレーションセンターにコンテナを運び込んでいるところです。袋から機器部、機器ボックスを取り出しているところです。私はオーストラリアに行くはずだったのですが、あまりにも回収作業が順調で、私の出張はキャンセルになりました。初めて相模原で対面したわけです。本当に新しくきれいな、できたてな、作ったばかりのように見えますね。カプセルには、チームの方の名前がプリントされて付けられていました。正直に言うと、本当に嫉妬を感じました。

これがサンプルコンテナです。取り出されたところです。このコンテナのふたを開けようとしているところです。これが6月24日です。コンテナを引き上げて中からキャッチャーが取り出されたところです。ここにはNASAの研究者、それからオーストラリアの研究者も参加しています。背面のヒートシールド、パラシュートのカバー、袋を引き出していますが、それが発見されたときの状況です。これは、前面のヒートシールドです。これが発見されたときのヒートシールドで、発見を容易にするためのリボンが付いています。7月5日、JAXAがプレスリリースを出して、そのキャッチャーの中に微粒子の存在が確認されたと発表しています。

これはリリースで発表されている写真です。左側はキャッチャー、中には部屋が二つあります。A室、B室です。最初にA室だけを開けて、顕微鏡を見ながら検索をしている

ところですが、右側の写真はキャッチャーの部屋ではなく、キャッチャーをしまっていたコンテナの写真ですが、コンテナの中、内面にもやはりパーティクル、粒子状のもの、破片状のものが見えます。これが神頼みでして、右側はこれは飛不動尊という神社で、左側はニュートライザーに、語呂合わせですが、中和神社のお札です。

はやぶさの帰還に合わせて、というわけではありませんが、かねてよりはやぶさの後継機を計画して提案しています。はやぶさ後継機はC型の小惑星に向かうことを計画しています。何よりも持続的にプロジェクトを継続することが知識の伝承、技術の伝承につながると考えています。次のはやぶさの後継機では、母船はエントリーをさせないと考えていて、母船をできれば太陽、地球のラグランジュ点に係留したいといった構想を持っています。はやぶさがうまく成功できたのは、何よりも先輩方々の成果の礎があったからこそと思っています。日本人は新しいことに取り組んでいくことはどうも苦手なのですが、新しいページを開かなければ新しいことは見えてこないと思っています。

質疑応答

アジャミ記者（アイリス・グループ）：まず川口教授にはおめでとうと申し上げたいと思います。お話の中で、将来的には太陽系における資源利用といったお話があったのですが、この構想については今はどの段階まで来ているのでしょうか。

川口教授：依然、構想にとどまっています。ただ、一番最初のサンプルリターンは拡大していくと、資源の持ち帰りということになるわけですから、資源利用の最初のステップは科学調査であると考えています。従って、サンプルリターンを実施することは資源利用の一番最初のステップであると考えているわけです。

ノルミル記者（サイエンス誌）：カプセルについてより詳しく教えて下さい。まずどのくらいの量の粒子が見つかったのかということと、そして予定されている分析のためには十分な量であるのかということと、それからそのための調査の今後のスケジュールはどうなっているのでしょうか。

川口教授：キャッチャーのルーム A からは、現在までは2個粒子が見つかっています。10日間で2個くらいの発見のスピードです。それらは非常に小さくておそらく数10ミクロンだと思います。顕微鏡で検索しながらですので、どうしても時間がかかります。おそらく地上からのものはかなり存在していると思っています、もちろん小惑星から持ち帰ったものもあるかもしれませんが、かなりの数が存在しているはずで、それらを検索するにはずいぶん時間がかかるだろうと思っています。

コンテナのほうからはもっと大きな破片と言いますか粒子がありまして、それらは肉眼でも見える大きさで、10個以上はあります。そのぐらいの粒子がコンテナの中から見つかっています。チェンバーのルーム A からの微粒子は小さいのですが、解析するには十分な大きさです。それから、それらの起源が地球起源か小惑星起源かを見極めるには、かなりの時間がかかります。一つ一つパーティクルを分析するのは、効率がよくありません。と言いますのは、一つ一つの分析にはすごく時間がかかるからです。ですから、最初にカタログ作りをします。つまり、記録をする。採取することを優先するわけです。その中から候補たるものを、最も小惑星起源に近いものを選びだして、それらを分析にかけていくというスケジュールで考えています。

何らかの見解が述べられるためには、おそらく数カ月を要すると思っています。地上から輸送して持ち帰ったものがかなりの部分を占めるとしています。それは、本来のサンプル収集の方法が小惑星では機能しなかったので、採取できたとしても微粒子であると。それから地球から輸送して持ち帰った微粒子はかなりの数に上るということですので、かなりの部分が地球から輸送して持ち帰ったものだと思っています。

ケリング記者（独フィナンシャルタイムズ紙）：短い質問をいくつかさせていただきます。まず第1の質問ですが、はやぶさについてはあきらめようと思ったことはありますか。2番目の質問ですが、将来のミッションに向けての今回のミッションから学んだ主たる教訓は何でしょうか。3番目の質問ですが、はやぶさのいわば論理はどういうものなのか。イカロスなどもそうですが、同じような方向に向いていると思うのです。非常に革新的な、バイオニア的な試みをされているということですが、その根拠は何なのかをうかがいたいと思います。

川口教授：あきらめかけたことは大きく2回あります。ただ、惜しくも帰って来られなかったということになれば、私は失敗だと思うので、必ず帰ってこなくてはならないという気持ちで取り組んできました。

それから教訓についてですが、これははやぶさのプロジェクトの目的そのものですが、技術の実証です。どんなに不具合の、壊れた故障がある部分があろうとも、地球に戻ってこられたということは、補強して強化すると必ず成功できるという道を開いたことになるのです。飛行実証ができたことは何よりも宝だと思っています、これで次の飛行計画の確実性は飛躍的に高まったと思っています。

3番目はラショナルというか、ポリシーということだと思いますが、目的は太陽系の中を自由に航行できる手段を獲得するということです。そのために必要な技術の開発をし

ているということです。イカロスはソーラーセイルと言いますか、フォトンの推進ですが、本当に使うときには、純粋にフォトンの推進では不十分で、われわれがやっているのはやはりイオンエンジンと組み合わせたハイブリッドの推進なのです。これらは、はやぶさの技術のイオンエンジンと、イカロスのセイルのテクノロジーを合わせると、例えば木星、あるいは木星距離にあるトロイ小惑星群などに向かって飛行させることができるようになります。それを目的としているわけです。ですから目的というのは太陽系の中を自由に航行できる技術、あるいはそれを開発することです。

一つ大事なことを忘れましたね。ソーラーセイルというのは、大きな電力を発生させる膜状の太陽電池を広げるための意味があるわけです。そこを言わないと今お話しした内容が分かりにくかったかもしれません。

スズキ記者（AFP 通信）：二つあります。一つは先ほども最後にははやぶさから見た地球の画像を見せていただきましたが、あれは最後になって反転させて地球を見せてあげようというのは、リエントリー直前に皆さんが決めたことなののでしょうか。それともこれは前々からプロジェクトとして決めていたことなののでしょうか。もう一つは、宇宙開発に対する昔からの批判についてですが、私が宇宙開発についての記事を書くと、必ず読者からの反応で、「失業者とかが出ているこの時代に何で宇宙開発だ」というのがあるのですが、はやぶさミッションに関しては、宇宙開発はおもしろいんじゃないか、と思った一般の方々がたくさんいると思います。はやぶさミッションが、一般の方の宇宙開発への考え方に対する態度に与えた影響について、コメントいただけますか。

川口教授：はやぶさに地球を写すというのは、ずいぶん前から決めていました。技術的には CCD と言いますか、カメラの素子の劣化を見るという小さな目的はありました。同時に、もっとエモーショナルな理由もありました。最後に分離してからリエントリーまでの間にぜひ地球の写真を撮りたいと。それははやぶさに地球を見せてあげたいということですが、そういうつもりで前々から決めていました。

2 番目のご質問については、少し長くなるかもしれませんが。宇宙開発が生活や国民の例えば産業の不況などにどう貢献するかということですが、時間のスケールの問題をよく考えなくてはいけないと思っています。宇宙開発そのものが経済に及ぼす投資効果は小さいです。非常に小さいと思っています。けども宇宙開発というのは、国民にとってはインセンティブなのです。例えばはやぶさはプロジェクトがスタートしてから 15 年の時間が経っています。15 年という時間は、小学生が大学を出て就職するまでの時間に匹敵するわけですね。その間に、次の経済を担う人、あるいは産業経済を担う人を、

教育するというか育成することができたら、それがおそらく宇宙開発の最高の成果だと思うのです。産業は直接養えないのだけれど、人材を養うことができます。その人材は産業に貢献するわけです。ですから非常に短いスケールで経済や産業に対する効果を図るのではなくて、もっと長いスケールで見るべきであると。これが最初のお答えになるかと思います。

国の政策で同じように見えるものは、例えば教科書の無償化、高校の授業料の無償化というのがあります。それと同じ、投資なわけです。例えばはやぶさの1というプロジェクトは200億円強、お金がかかりますが、それが例えば10年間だとして、国民1人が子供からお年寄りまで、10年間に200円を払うと、これが達成できるわけです。それで得られる教育効果は、(この金額よりも)もっと遥かに大きなものなのであると思います。

最後に、国民が自分の国の科学技術にプライドを持つというのは、非常に大事だと思います。皆さんがこのプライドと言いますか、そういう国に住んでいる喜び、誇りを継続しようと思う心が、次の科学技術を培う源になっていて、そして産業経済を引っ張っていくことになるはずなのです。そういう視点で考えていただけたらと思います。

アジャミ記者 (アイリス・グループ) : はやぶさは100パーセント国産でしょうか。

川口教授 : 部品の中には輸入しているものがたくさんあります。

司会 : 司会の特権で一つよろしいですか。その中に例えばブラックボックスのようなものはあるのでしょうか。

川口教授 : その中を知らなければ、重大な信頼性に関わるというものはありません。(輸入している部品も) 日本でも作ろうと思えば作れるのですが、結局国内の需要が産業を支えられないために、日本では作るメーカーがありませんので、輸入するしかありませんね。

ケリング記者 (独フィナンシャルタイムズ紙) : 有人飛行をするまでには、あとどのくらいかかりそうでしょうか。いわゆる太陽ヨット、ハイブリッドヨットといった形での有人飛行は、あとどのくらいでできるでしょうか。

川口教授：最初の有人の惑星飛行は、一番最初はおそらく化学推進と言いますか、コンベンショナルな推進から出発するのでしょうか。次はイオンエンジンになるのかもしれませんが。そういう時代は技術的にはもう準備ができていると思うのです。その時代は10年、20年くらいで実現すると思います。

ノルミル(サイエンスマガジン)：ごく簡単にイカロスの現状について教えてください。私の理解では今年度の予算ですが、17億円を要求したのにもかかわらず、小惑星の次のミッションに関しては3,000万円の予算しかつかなかったと承知しています。総理大臣は国会でははやぶさを賞賛しましたが、ということは、次の小惑星のミッションについて、来年度かなりの国の予算がつくと楽天的に考えていらっしゃるのでしょうか。

川口教授：ご質問はたぶん、はやぶさ後継機についてなのだと思いますが、はやぶさ後継機については、次の年度に概算要求で出そうとしているのは、40億円くらいだと思います。概算要求がこれから議論されて、来年度に向けて決まるまでまだ何カ月かかかるのですが、きっと政府や政治家の方々には十分に理解をしていただいたものと私は思っています。そういう予算を付けていただけるのでないかと思っています。ただ先ほどの御質問にあったように、国の予算が厳しい折に、その(科学技術進歩の経済効果や教育効果についての)メカニズムと言いますか、先ほど私が回答したようなメカニズムを(政府に)共有していただかないと、(予算の必要性について)ご理解いただけないです。たぶんご理解していただけるのだと思っていますし、メディアの方々にはぜひそういう発信をしていただければありがたいなと思っています。

(了)