

「はやぶさ」の挑んだ世界初の試みと、 将来の太陽系航行のビジョン

講演者

独立行政法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系教授

川口 淳一郎 氏

プロフィール

1955年生まれ。1983年東京大学大学院工学系研究科航空学専攻課程博士課程修了。工学博士。1983年より文部省宇宙科学研究所システム研究系助手、助教授を経て、2001年同システム研究系教授。2003年改組により独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部宇宙航行システム研究系教授。現在、同研究主幹。同深宇宙探査センター長。

専門は制御システム工学。惑星探査機などの航法、誘導、制御が専門領域。日本航空宇宙学会、米国航空宇宙学会、システム制御情報学会、計測制御学会などの会員。

著書に、コロナ社刊「航空宇宙における制御」、「人工衛星と宇宙探査機」、計測自動制御学会編「ビークル」などがある。



〔ISAS/JAXA 提供〕

はじめに

今日は「宇宙の話」ということで国土交通省関係のサブジェクトとは多少違った印象をお持ちになるかもしれませんが、最初に一言、関連を申し上げさせていただきますと、地球も、国土も、実は宇宙の小惑星と同じ材料でできているのです。皆さんが歩いている道路も小惑星から飛んできたものかもしれません。地球には海がありますが、この海も、小惑星からできた、あるいは彗星やほうき星からできたと言われております。

地球には、毎日、およそ数10tの星のかけらといいますが小惑星のかけらや氷の破片が降り注いでおります。この量は推測ではなくて、実際に計られたものです。スペースシャトルで長期に軌道上に放っておくようなペイロードがありまして、そのペイロードに残された破片の数から換算しますと、こ

れは毎日、数10tの重さになります。だから、地球はどんどん太っているわけですが、そのくらい重さですと、多少時間が経っても地球の大きさが変わるわけではございません。

このように、この地球、あるいは日本の国土もそうですが、実はすべて、宇宙と関係があるわけでございます。

今日は、『「はやぶさ」の挑んだ世界初の試みと、将来の太陽系航行のビジョン』と題しまして、昨年私どもが挑みました小惑星探査、今後の惑星探査、あるいは太陽系探査ということについて、お話をさせていただきたいと思っております。

「はやぶさ」小惑星 サンプルリターン計画

「はやぶさ」というのは探査機の名前です。小惑星サンプル・リターン計画というのは、小惑星イトカワの試料を地球に持ち帰ろうという計画であります。「はやぶさ」は、世界で

初めての「往復の惑星間飛行」を第一の目的としております（図表-1参照）。

サンプル・リターン計画と言いながら、往復の惑星間飛行が第一の目的だと言うと混乱するかもしれませんが、この探査はあまりに挑戦的だと言われてきました。計画が立ち上がったのは'95年ですが、今でも、地球の引力圏外の天体から試料を持ち帰ってくる、あるいは、往復の飛行をして帰ってくるということは、日本はもちろん、米国も世界中どの国もやったことがないのであります。

そのため、これがいきなりミッションであると言いますと、あまりにも無謀であると言いますか、税金の投資先としてクレジビリティが問われるわけでありまして、そこで、この計画は将来そういうことを立ち上げていくための技術開発とその実証を目的とするもの、という意味で、往復の惑星間飛行を第一の目的としてあげているわけでございます。

打ち上げたのは3年前の2003年の

the Content of a Lecture

5月でして、その後、比較的地球の近いところを飛んで、1年後に地球の引力を使って探査機の飛行の軌道を変えております。この、天体の引力を使って軌道の操作を行うことをスイングバイと呼んでおりますが、地球の公転方向に沿うように向かせてあげますと、軌道のエネルギーを増やすことができます。同様に、軌道のエネルギーを減らすこともできるのです。

「はやぶさ」は1年間かけてイオンエンジンで軌道のエネルギーを貯め込みまして、地球スイングバイで、軌道のエネルギーを大きくして、去年2005年の9月に小惑星にランデブーいたしました。3ヶ月間滞在して2007年に帰ってくる予定でしたが、報道されておりますように少しトラブルがありまして、現在、期間を2010年に延長して飛行を継続しているところ です。

さて、ロケット推進の原理ですが、トロッコの大砲から1つ弾丸を放出しますと、反動でその大きさの分だけトロッコは進みます。弾を2つ放出しますと、当然2倍の量を加速するわけです。ところが、同じ1個の弾でも速さを2倍にして出してやりますと、弾を2個撃ったのと同じ効果が得られます。ですから、少ない弾の量で、つまり少ない燃料で同じ加速をしようと思えば、弾を放出する速さを速くすればよろしいわけでございます。

皆さんは、ロケットには、打ち上がる時の炎を出して雄々しく飛んでいくイメージを持たれているかもしれませんが、どうして炎を出すかと言いますと、それは物を燃焼させるからで、その目的は、できあがったガスの温度を速くする、分子の運動速度を速くするというところにあります。

物を燃やして出てくるときの排出

ガスの速度というのは、ロケットの場合ですと3km~4km/毎秒になります。これでも十分速いように聞こえますが、更にガスをいったんプラズマ化して現場で加速しますと、その速度は30km/毎秒、あるいはもっと速くすることができます。そうすると、排出する速さが10倍になりますから、必要な燃料というのは10分の1で済むことができます。

しかし、このように炎を出して推力を得る化学エンジンというのは、実はもう古いのです。「はやぶさ」と同じことを、化学エンジンでやろうとしますと、探査機はほとんど全部燃料になってしまいます。つまり、燃料の他はほとんど載せることができなくなってしまいます。

図表—1の写真に、丸い円盤（ヘッド）が4つ見えますけれども、これが電気推進機関「イオンエンジン」でございます。「はやぶさ」はどのくらい燃料を持って行っているかと言うと、はやぶさ全体の重さは515kgくらいなのですが、そのうちの60kgくらいの燃料しか持って行っていません。イオンエンジンは中性のガスが出てくるだけですから炎は出ませんが、この往復の飛行が可能になっているのは、イオンエンジンのおかげであるわけです。

ただ、誤解いただくといけないのは、イオンエンジンは大変高性能ですが、力は非常に弱いのです。電力が一定でありますと、物を排出する速度と推力の積がエネルギーになりますので、同じエネルギーで高速で打ち出



図表—1



ここ数年来に打ち上げられた、あるいは計画中の惑星探査について、ESA（欧州）、NASA（米国）、それから我々JAXA（日本）の計画を比べて見ると、我々はイオンエンジンでランデブーを行い、相手の天体にいったん相対的に静止して、そして試料を地球に持ち帰ってくるという往復の飛行を計画しておりますが、こういうことを目指そうと言ってるのは「はやぶさ」だけなのです。これから打ち上げる諸外国の計画の中でも、この計画は出されていませんから、我々がいかに大きなステップを歩もうとしているか、おわかりいただけるとと思います。

せば推力は小さくなるわけでございます。

「はやぶさ」のイオンエンジンは、図表—1で4つのヘッドが見えますが、そのうち3つを同時に運転することができます。しかし3つ同時に運転しても、得られる推力というのは1円玉2枚に動く重力程度しかないのです。したがって、これでロケットが地上から離陸することは、あり得ないわけです。

ただ、惑星探査というのは、コースティングと言われますけど、目的の天体につくまで基本的には惰性で飛んでいるだけなので、その期間というのは電力が余っているわけでございます。その期間の余剰のエネルギーを推進に使って、1日に3m/毎秒か4m/毎秒くらい加速させるのです。そうすると、自転車で走るくらい分だけ1日ごとに速さが速くなっていきますから、これが100日、あるいは1年、1年半というふうな飛行時間を重ねますと、ものすごい速さになって行きま

す。塵も積もれば山となるというふうな形で、この推進が行われているのであります。

サンプル・リターンというのは、目的の天体の試料を地球に持ち帰る方法です。その反対の言葉は、その場観測と呼びまして、分析装置を目的の天体まで運ぶという方法です。この方法は、その場で観測できますから、結果は速く得られるわけですが、分析装置を持って行ける大きさは、大きなロケットでも限度があります。しかも、その時にでき上がっていなければ持って行けませんから、性能も限られた分析装置しか運べないのです。

これに対して、サンプル・リターンという我々が目指している方法というのは、持ち返る試料の量は非常に微量かもしれませんが、その微量な量を、それこそピル1つ分のような大きな分析装置で、あるいは、最新の分析装置で分析することができますから、我々はこちらの方が有利だと考えて、この方法を採用しているわけです。

太陽系大航海 時代の到来

今すぐ実用化するわけではありませんが、いずれ100年、200年の先には、人類は他の天体から資源を持ってくるようになると思います。

地球は丸いです。月も丸い、火星も丸ければ金星も丸いわけで、大型の天体というのは、自分の重力でつぶれて中が溶けてくるから丸いのです。いわば、地球や他の丸い天体は、宇宙空間に浮かんだ液体の球なのです。温かいミルクの球に張った皮の上で我々は生きていくというふうにもいえるわけです。

したがって、丸くない天体というのは中は溶けておりません。溶けている天体というのは、鉱物資源や元素の比重に従って重いものが中に沈んで、軽いものが表面にやってきます。だから、比重1.0の水は地球表面にあるわ

the Content of a Lecture

けで、地底湖という状態では存在しないのです。地球の平均比重は5.5くらいあるはずですが、これがそういうものでできているという証拠があります。

地球の核、コアというのは、鉄の塊でできています。宇宙で一番多いのは、鉄とニッケルです。これは核分裂反応の最終形態が鉄だからなのですけれども、それはどういうことかと申しますと、地球表面には鉱物資源はあまりないということなのです。マントル層から吹き上げてきたものが地表に鉱脈として残るといったメカニズムで地表にも鉱物資源はありますが、大部分の鉱物資源というのは地底に沈んでいるのです。

ところが、丸くない天体というのは、鉱物資源がそのまま表面に露頭しています。これは、地球に落ちてくる隕石がそれを証明していますけれども、隕石自身が鉱脈と同じぐらいの高い品位を持っていたりします。ですから、小惑星、あるいは小天体に行けば、表面にそういう資源があってもおかしくないわけです。すぐ実用化するわけではございませんが、将来はそういうふうな探査があり得るだろうと思っております。

「NASAはこれからひょっとしたら火星探査の前に、有人で小惑星探査をするかもしれない」という記事が先週流れました。火星探査の場合には、着陸のために減速しなければなりませんし、大きな燃料を食います。そして、離陸にも大きな燃料を食います。そのため、火星を往復するには、1つの口

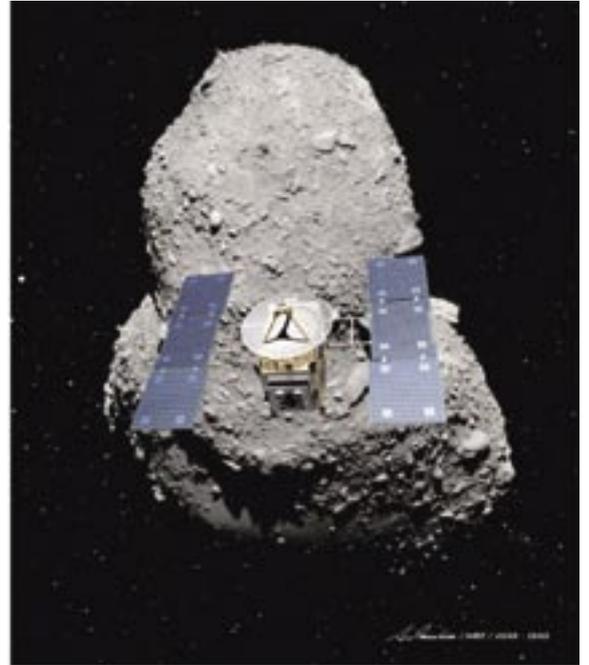
ケットでは大変難しく、2つのロケットが要るようになります。ところが、小惑星探査の場合には、ロケットは1台で良いのです。月と同じように、行って帰ってくるということは、小惑星なら可能なのわけです。こういう探査を考えてもおかしくないと思っていましたら、やはりNASAがこのアイデアを発表してしまいました。

それから、3週間ほど前に、NASAが「ファーストリターン・オーバースティル・ザ・サービスマテリアル」と言っていることが記

事になりました。「NASAが最初に世界初のサンプル・リターンをするんだ。」という記事を載せて、現在ファーストセクションを終えています。

後で申し上げようと思っておりますが、「はやぶさ」はイトカワを探査したのですけれども、「所期の方法では小惑星の試料は採れていなかったのではないか。」と我々は発表しておりました。しかし、別の方法で試料が捕獲されている可能性があり、現在、その回収を目指しているところです。この記事は、そういった我々の状況を逆なでするような記事であります。同時にこれは、我々が既に追われる身になっているということの証左でもあります。

我々は今、「はやぶさ2」という計画を概算要求で出しています。我々JAXAの内部では比較的優先順位は



「はやぶさとイトカワ」のイメージ図

高いのですが、文科省が採ってくれるレベルにあるかどうかわかりません。来年、この概算要求が通りませんと、非常に情けないことなのですが、NASAに先を越されてしまうことはわかっているのです。何とか声を大にして要求を訴えたいと思っているところです。

先ほど申し上げた小惑星から資源を持って帰ることの延長は、太陽系大航海時代の到来であると考えております。重力と遠心力のつりあうラグランジュポイントという点に「深宇宙港」という港を建設して、この港から出ていった宇宙船が資源を採掘して戻ってきて、この宇宙港に係留されるというシナリオを考えているわけです。その宇宙船は、燃料を補給すればもう一回出かけて帰って来ることができます。

何か昔のスタートレックとかそう

いったSF映画に出てくるような夢物語に聞こえますが、これは現実なのです。例えば、「はやぶさ」という探査機は、運用の仕方と機能をもう少し積んで行けば、宇宙から地球の周りの「深宇宙港」に一回戻って、もう一度出かけて行くのが可能なのです。これは、既にでき上がっている技術だと思っていただいても構わないのですが、なかなかそれが理解されなくて、この話を聞くと、「そんなの単なる夢物語だろう。」と思われてしまうようです。しかしこれは既に現実の話なので、予算さえあれば、やってお見せすることは可能なのです。

サンプル・リターンの研究会は随分歴史が古くて、1985年に最初の研究会が始まっております。'85年は、我が国が最初にハレー彗星に向かって探査機を打ち上げた年なのですが、既にその年に最初の研究会を開催しております。'80年代後半に我々が考えていたサンプル・リターンの計画の対象天体はアンテロスという天体だったのですが、その時には、先ほど申し上げました化学エンジンでこの探査をやろうと思っていましたので、サンプル・リターン計画を提案しても、実はなかなかフィジビリティが出てこなかったのです。それはそのはずで、新型のイオンエンジンがなければできないのですから、'80年代後半には、これはまさに夢物語だったわけです。

その後、'80年代後半から'90年代にかけて、我々は次にやるべき惑星探査ということで、塵でできた雲のことを彗星のコマというのですが、彗星

の周りのそういうコマを持ち帰る計画をアメリカと共同で研究していました。同じように、小惑星にランデブーする計画を'90年くらいに構想しておりました。往復ではありませんので、これは化学エンジンでも比較的出来やすいものなのです。

しかし、両方ともNASAに取られてしまいました。彗星のコマのサンプル・リターンは、「スターダスト」という計画で、今年1月にアメリカの探査機が戻ってきましたけど、ジョイントで計画していたものを、アメリカが持って行ってしまったものです。それから、「ニヤー」という計画で、エロスという小惑星にランデブーしましたが、それも我々がジョイントで計画して研究していたものをアメリカが持って行ってしまったものです。

残念ながら、これはアメリカを責めることはできませんで、アメリカのNASAは予算が日本の10倍から20倍あるので、我々が思いついて同じことをやろうと思ったら、予算的にはNASAが1年でやることを20年かけてやらなければならないという状況にあるのです。彼らには盗もうというつもりはないのかもしれませんが、そこにアイデアが転がっているから、「我々はできますよ」とやっちゃったということなのだと思います。

先ほど申し上げたNASAに先を越されるかもしれないという計画では、NASAでは一番小さなクラスの惑星探査機でも経費は500億かけます。「はやぶさ」はどのくらいかかったかというと120億なのです。全く比べ

ものになりません。アメリカはそういう500億クラスの計画でも、NASA全体の予算から見ればどうってことありませんので、どんどんやっけてしまいます。ですから、我々は少々のことをやっても勝てるわけではないのです。

その時は非常に悔しくて、NASAも実行するのをためらうような計画でないとしてアイデアは取られてしまうという危惧から始めた計画、それが、この「はやぶさ」計画なのであります。

この計画はとても挑戦的なことはわかっていましたが、提案してプロジェクトが始まってからも、諸外国からは「あまりに挑戦的である」とさんざん言われたものです。

今では、「はやぶさ」に積み込まれている新しい技術を、NASAがどんどんやり始めています。例えば、DS1という探査機は、我々が「はやぶさ」を始めてからNASAが始めたわけですが、NASAは3年で仕立てて、打ち上げてしまいました。日本がやろうとすると、アメリカの輸出許可を待たなければなりませんから、少なくとも部品を買うだけで1年以上かかってしまいます。それから、テクノロジーを開発するのにもビハインドで、アメリカは3年でやってしまいますから、さっさと我々を追い抜いて、デモンストレーションしてしまいます。惑星から直接カプセルを回収するという計画は、本当は「はやぶさ」のオリジナルだったはずなのですけれども、これもやられてしまいました。

だけど、我々は先を越されて大変悔

the Content of a Lecture

しいと思う反面、大いに手ごたえを感じました。NASAをこういうふうにしなければいけない状況に至らせしめたということで、我々は手ごたえを感じたわけでございます。

「はやぶさ」は ロボットです

「はやぶさ」はロボットでございます。

着陸は、鉛直方向の降下を制御するわけですが、高度が測れて高度の変化率もわかるので、これはわりと簡単です。難しいのは横方向の速度の制御です。横方向の速度は高度計では測ることができないので、探査機が横に動いていてもわからないのです。そこで、わずかなドップラー速度の変化を周波数から読み取ることによって方向の変化を探りました。

ターゲットマーカー（再帰反射シート）をフラッシュランプで毎秒1回点灯して照らして毎秒2回ずつ撮像すると、画像はフラッシュランプの焚いた画像と、焚かない画像が交互に得られます。それを探査機の上で画像の処理をして引き算をすると、ターゲットマーカーだけが取り出せるわけです。そういう演算をして、ターゲットマーカーに向かって探査機が降下するというシナリオをとって、横方向の速度を求めたわけです。

人間が下を見たら、どっちに運動したかはすぐわかるのですが、地面に対して相対的に動く、あるいは岩があったら避ける、ということは機械では無

理なのです。アポロ計画で人間が一番貢献したのは多分そこで、まさに人間がやらなければならないところなのですが、「はやぶさ」ではターゲットマーカーで行いました。

小惑星イトカワの「はやぶさ」着陸の場所はすごく狭くて、その幅というのは数10mしかないのです。ところが、地球と探査機の通信時間というのは往復で40分かかりますから、横に1cm/毎秒の速さ、つまりアリが歩くくらいの速さで動いてると、40分間に24m動いてしまうのです。ですから、何が一番難しかったかと言えば、横方向の速度をいかに0にするかということでした。しかし、これは何とかクリアすることができました。

「はやぶさ」の位置が正確にわかってイトカワの位置も正確だったら、到着させるのに問題はないのですが、地球から望遠鏡で見て「はやぶさ」が見えるというものでありません。

そこで、探査機は昨年7月の末から8月にかけて星空をバックにしてイトカワを撮影するというを行いました。

「はやぶさ」は、100万分の1ラジアン精度で場所はわかります。距離は測れるので3億kmの距離といえば正確に3億km離れた球面上のどこかにいることはわかりますが、3億km離れて100万分の1ラジアン精度の精度という、その誤差は300kmにもなるのです。つまり、500mの大きさの天体に近づくのに、300kmどこにいるかわからないという状態になるわけです。

そこで、「はやぶさ」はイトカワを撮影しました。星空をバックにして見ますと、星空というのは地球から見ても「はやぶさ」から見ても、あんまり変わりません。そうすると、「はやぶさ」から見てイトカワの方向がわかって、地球からの距離がわかるので、複合させて探査機の位置を決めることができるわけです。そんな方法で探査機の誘導を行いました。

「はやぶさ」は、世界で初めて非常に遅い速度で天体に近づいた探査機です。火星に近づく普通の探査機というのはものすごい速さで近づいて行きます。相対速度が5km/毎秒ぐらいで近づいて行きます。ですから、1日前だと、地球と月よりもなお遠いところにいた探査機が、あっという間に近づいて、急ブレーキをかけるというのが普通の探査機の運用の仕方なのですが、それでも、「はやぶさ」は最後はほとんど止まっていて、1cm/毎秒で近づいて最後は静止することに成功したわけです。

幸い、「はやぶさ」の表面にターゲットマーカーを落とすことができました。ターゲットマーカーに登録された方のお名前をイトカワの表面に残すことができました。お名前の登録に88万人の方から応募をいただきまして、この半分以上は外国人で日本人は実は半分もいないのですけれども、そういう方のお名前が現在はターゲットマーカーの中で、イトカワの上にあります。

「はやぶさ」は、9月12日にイトカワとの相対位置制御で静止に成功しました。その後、高度を下げたり位



置を変えたりして科学探査を行いました。下げるときは太陽輻射圧という光の圧力を使って降りています。「はやぶさ」は10m²くらいの面積の太陽電池を広げているのですが、そのくらいの面積があると、1日で1cm/毎秒加速されて、1日に高度が800mか900mも下がってしまいます。高度を2kmとか3kmまで下げて運用しているものですから、放っておくとイトカワに衝突してしまいますので、毎日ジェットを吹いて上昇させておりました。

太陽輻射圧は、太陽風とよく勘違いされるのですが、太陽風というのはプラズムの流れで秒速500kmくらいありますが、この力よりも輻射圧という光の圧力で受ける力の方が圧倒的に大きいのです。

今日、11月20日は、昨年5回にわたって降下を行ったうちの第4回目の降下の日付です。最初の3回は練習でございまして、11月20日と26日の2回が実際に表面に降下した日であり

ます。

降下方法はそれほど難しいことではなくて、イトカワから地球方向に向かった線上を真っすぐ降りて行くだけです。ただ、イトカワは自転していますので、イトカワ相対で見るとぐるぐる回って降りるように見えるのですけれども、実際にやっていることはそれだけなのです。

高度30mくらいでターゲットマーカーを投下して、それに向かって自律的に降りるということをします。最後の1時間くらいは、遠隔操作なんかはできるわけはありませんので、すべて自律的な航行の機能に委ねたわけになります。

非常に多くの新聞に記事を書いていただきまして、ありがたく応援をいただきました。

しかし、実際は非常に焦っていたのです。3回の練習では、さっき言った1cm/毎秒の管理ができなかったのです。特に3回目の練習のときには、目的とした場所が200mくらいずれて

しまいまして、このままではまずいというのが正直なところでした。

ところが、11月20日には88万人の方のお名前の入ったターゲットマーカーを投下しなければならないわけですから、ここで失敗すると大変なことになってしまいます。大変焦っておりましてけれども、実は、わずかその1週間の間にうまい解決方法を見出すことができたのです。ある意味では奇跡的だったかもしれません。それで管理がうまくできるようになりまして、降りる場所の幅は多分40mくらいしかないのですが、そこに持って行くことができたのです。

報道関係の方は、大変おびただしい数の人がいらっやって、徹夜でお待ちいただいたのですが、「はやぶさ」は、着陸したあとに非常離陸をさせております。我々は離陸して帰ってくると思っていましたが、なかなか離陸して帰ってこないうちに、地球極がアメリカの極から日本の極に切りかえなければならない時がまいりまして、しかたなく非常離陸をかけたわけです。

非常離陸をかけると、探査機はすべての機器をオフにして、自分が最も安全な姿勢でゆっくりとしたスピンに入ります。ですから、そこからデータを取り出そうと思うと大変な日数が必要になり、2日か3日かかってしまうのです。

しかし、その日の午後には報道関係の方に何か発表しなければならないという状況に追い込まれておりました。宇宙開発は常にマスコミの方からご批判をいただいております、「宇宙開

the Content of a Lecture

発、何のため」とよく言われるものですから、とりあえず割れ目の発表をしておくというのが我々の習性になっておりまして、我々も探査機からの情報を待っている状態だったのですけれども、とりあえず、「着陸はできなかったのではないか」ということを発表しました。残念なことに、翌日の記事には「着陸できず」とか、「異常発生」とか、「着陸失敗」とか載ってしまいました。

何が起きていたかという、着陸の高度まで行って、ホバリング（空中で停止している状態）という制御を開始したのですけれども、その直後に表面に障害物が検出されて、高度が非常に低い5m以下のところは正確に高度が測れないのですが、1回目のバウンド（接地）、2回目のバウンドを行って、3回目のバウンドで着陸して一生懸命姿勢を直そうとしていたようです。30分間にわたって姿勢回復のためにジェットを毎秒一回噴射するものの姿勢は直らず、イトカワの自転と同じ回転速度で回転して転がっていたと推測されています。

恐らくそういうことで、間違いなく着陸をしていたわけですが、翌日の新聞には、「実は着陸」といった記事が出てしまいました。我々は隠しているつもりは全くなくて、情報を心待ちにしていたのですが、記事としてはそのように載ってしまいました。

本番2回目は、その1週間後に行ったのですが、そのときは非常に自信がありました。1回目ですべてのことがうまくできましたし、

ターゲットマーカを降ろさなくても1cm/毎秒くらいの速度の管理はできそうだということはわかっておりました。そのため、2回目は、ターゲットマーカを降ろしておりません。それから、1回目では障害物検出センサーが途中で中断してしまったわけですが、2回目は、12月初めには離陸して帰らなければならないということで、障害物センサーは検出されても「自動制御で予め定められた動作は続行するように」とプログラムを組んで送り出しておりました。もっと言いますと、試料採取本体の方が下に伸びて、そこが変形して弾丸を撃つという指令を打つまでは、決して上がってくるなというふうなプログラムを組んだわけでは

ない、ちゃんと離陸してきました。高度7mくらいで高度制御がきちんともうまくいって、最後は、上昇に転じてちゃんと離陸して帰ってきたわけです。これは大変喜ばしいことでした。

弾丸は、発射は指令されましたが、残念ながら発射されてなかったと推測されています。発射側の回路が安全側に戻されたためと考えられています。しかし、1回目の着陸時に巻き上げた試料を捕獲している可能性がありますので、その回収を目指しています。

我々がこの発射されていなかったのではないかという事実を知ったときは、まさか発射が安全側に戻っているとは思ってなかったものですから、とても当惑いたしました。本当に凍りついてしまったわけですが、苦渋の会見をしてご報告させていただきま

した。

新聞記者さんは、そういう中でも大変親切でやさしい人ばかりで、「大変ですね。ぜひ頑張ってください」と声をかけていただくのですが、翌日の新聞はというと必ずしも甘くはないのです。「弾丸発射できず」というふうな記事が載るのです。編集部記者というのは、なかなか厳しいところがございます。

所期の方法ではうまくいかなかったのですけれども、困難を克服して成果が得られたのは、補完システムを用意したこととか、良いアイデアは躊躇なく即時採用したこと、そして、5回かけて降りしているうち3回を丸々練習に使って繰り返して検証したということがあります。それから、熱意と忍耐というのも、ものすごく大きかったと思いますし、何よりもチームに優れたエンジニアがいてくれたということがうまくいった理由だと思っています。

太陽系の化石 始原天体

太陽系の天体には、内部が溶けることがなかった天体として、始原天体、小惑星、彗星という小天体がございます。それらは化石の天体と呼ばれております。

月面というのは、「おしろい地にあばた模様」のようにクレーターがたくさん点在していますが、イトカワはそれと違うのです。イトカワは「化粧のないイボだらけ」で、月面では引っ込んでいたものが、出ているという大

きな違いがあります。クレーターがほとんどないです（図表—2参照）。

クレーターが非常に少ないというのは、できて新しいということなのです。新しいというのは1億年くらい前のことで、太陽系全体は50～60億年の歴史がありますから、できて間もないわけです。化石天体と言われているのに、なぜ、できて新しいのかと言いますと、化石天体とは、古い新しいではなくて、化石天体の瓦礫の寄せ集めで新しくできた天体という意味なのです。

この天体は、実はある動物にそっくりなのですね。これも時々申し上げているのですが、ほとんどラッコそのものなのです。よくできたものでありまして、実にそっくりです。

それから、この天体に日本が最初に到着しましたので、勝手に名前をつけて良いのです。いろんなところに名前

をつけました。科学観測上は、「あそこに見えるあの岩」と言ってもなかなか意味が通じませんので、宇宙関係の歴史にちなんだ地名がほとんどですが、そういう名前をつけさせていただきました。

それから、「はやぶさ」が撮った分解度6mmの高度59mからの画像を見ると、大きな岩の間に小さな石が入り込んでいるように見えます。単純に積み重なったのであれば、岩の上に砂礫があってもおかしくないわけですが、これは他の小さな天体がぶつかってイトカワ全体が揺すられたために、細かい石が中に入っていくメカニズムがあったということを示しています。

石がいつどこでできたかというのは全く謎です。土星のタイタンという衛星に行っても火星に行っても、月面に行っても、もちろん地球上にも石があります。砂は石が粒になったものです

が、石は砂が固まったものではありません。だから、これはまさに太陽系全体の始まりの歴史と絡んでいるわけでありまして、そこがそもそも基本的なサイエンスであるわけです。

地球には小惑星から飛んできた隕石がたくさん降りてきていますが、実は、隕石と同じ色を持つ小惑星は、望遠鏡で見てもほとんどないのです。これが大きな謎だったのですけれども、イトカワに行って謎が解けました。小惑星の表面は日焼けをしていて、くすんだ色に見えるのです。白い肌のところは、小さな天体の衝突でイトカワ全体が揺すられて、比較的急斜面の所が崩れて地の面を出しているわけで、その地の色は地球に落ちてきている隕石と同じなのです。

小惑星は瓦礫でできておりまして、ラブルパイル(瓦礫の積み重なり)と呼ばれる天体なのですが、密度は非常に低いです。それはなぜかと言いますと、軽いパウダーみたいな破片というのは全部飛び散っちゃって、細かい粒子がないからなのです。石と石だけが集まっても、細かい粒子がないと空隙があいて、密度は低くなります。理論的にも予想されていたのですが、確認されたのはイトカワが初めてです。



図表—2

我が国の 将来の月探査計画

日本は、これから月探査ということにも乗り出そうとしております。

アメリカは2018年までにもう一度人間を月面に帰そうという計画を進

the Content of a Lecture

めております。中国は2013年までに着陸機を送ろうとしていますし、インドも2012年に着陸機を上げようとしています。

ご承知の方もいらっしゃると思いますが、日本は1990年に月を回る周回軌道機を既に2つ打ち上げているのです。さらに'93年には、その探査機の1つを月面に衝突させています。ですから、今年9月くらいには、「ヨーロッパがスマート1を月面に衝突させました」と、新聞に載りましたけれども、何も慌てることはないのです。我々は13年前にやっている話で、むしろ我々の方が進んでいるのです。

JAXAでは、来年セレーヌという月を周回する探査機を打ち上げますが、これは3tぐらい重さがある、アポロ以来最大の探査機なのです。中国やインドも月周回の探査機を打ち上げますが、観測機の性能は悪いですし何も驚くことはないのですが、ただ、月面への着陸というのが2012年、2013年にアジアで行われようとしていることに対しては、対抗していかざるを得ないと考えています。日本は、今までアジアの中では宇宙開発で中心的な存在でしたけれども、今その地位は危うくなっているのです。これは政治的な意味もありますけれども、大変重要なところだと思っております。JAXAも、2013年を目指して着陸機を構想しているところです。

将来の惑星探査、太陽系探査というのは、いろんな探査機の形で行われるだろうと思っております。推進機関としてこれまでは太陽電池を用いてきま

したが、これからは太陽からの距離に依存しない電源が要求されます。将来は、例えば原子炉を利用するとか動力源を確保しなければ、太陽系を大航海する時代は来ないと思っています。

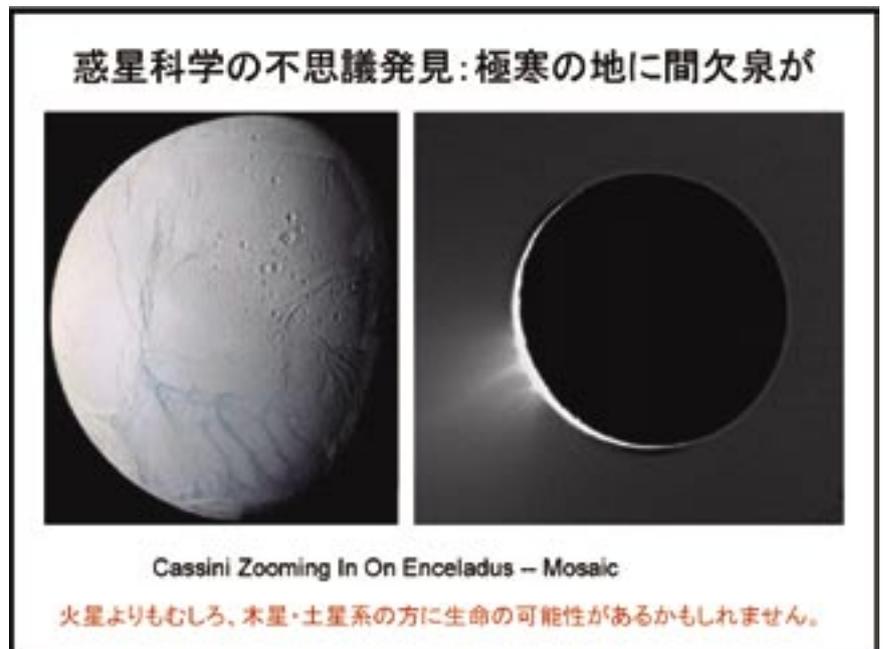
地球から出るときには、高性能のものというよりは力が要るのです。このためには化学推進燃料が依然必要です。しかし、地球から一遍出てしまうと、今度は力よりも燃費の問題で高性能なエンジンが必要となります。この2つの性格の違うエンジンを運用しなければなりませんので、乗り継ぐ港が必要ということになります。それで、先ほど申し上げた「深宇宙港」という港をつくるという構想になるわけでございます。

地球から出て小惑星に行って、資源の採掘や調査を行って、もう一度地球に戻ってくるという時代がもうそこまで来ています。将来は、有人の惑星を

往復するような宇宙船ができると私は思っております。

そうになると、今後一番重要となるのは宇宙医学です。木星への往復の飛行なんて考えますと10年は軽くなるわけでありまして、10年間そのまま人が起き上がって生活していると、物は食べなければならぬし、空気も吸わなければなりません。何しろ暇もつぶさなければならぬわけで、どうしても眠るしかなくなってきます。それから、太陽からたくさんの太陽風という放射線が飛んできますから、被爆しないために人間を氷の棺桶に入れるような形になってくると思います。少し寂しい話ですが、そういうふうな方法で人間を運ぶしかないかなと思っております。

これは土星の周りを回るエンセラダスという衛星ですが、形が丸いですよね（図表—3参照）。形が丸いという



図表—3

ことは中が溶けているということなのです。直接太陽から受けるエネルギーで溶けているわけではなくて、潮力みたいな満ち引きの力が、中を溶かしているわけです。中が溶けているということは、中に火山があってもおかしくないのです。しかも、図表—3の右側の絵に見るように、水が噴き上げています。水が噴き上げているということは、液体の水ですから表面の温度が0℃より高いということを示しています。太陽光の届かない深海底でも、地底からミネラルを豊富に含んだ物質が噴き上げれば、生命がいることもあり得るわけです。これからもう何十年かすると、そういうところに本当に生命が見つかるかもしれません。

宇宙開発というのは、いろんな目的があると思いますが、私はやはり国の交流につなげなければならないと思っています。中国やインドが台頭してきて、GDPとかGNPの動きでいきますと、我々が追い抜かれるのは、ある意味では時間の問題とも言えるわけですが、国益という観点で大変複雑なかじ取りが必要だと思っています。技術開発をするためには、とにかく高い塔を建てなければなりません。高い塔を建ててみると、自分たちの技術の水平線が見えてくると思っています。それから、産業や経済に直接結びつくような形での宇宙開発も必要だと思っています。役に立たない宇宙開発をやっても、それはなかなか進むものではありません。

「はやぶさ」はすごい挑戦をしていると言われますけれども、まだ遅れて

いるものがいっぱいあります。我々は通信に長野県の臼田町に直径60mのアンテナを構えて運用していますが、そのアンテナとNASAが使っている直径34mのアンテナが、同じぐらいの性能なのです。直径で言えば半分ですが、面積で言えば4分の1ですから、いかに我々の通信技術は遅れているかということです。これからどんどんキャッチアップしていかなければならないと思っています。

おわりに

「はやぶさ」は、いろいろトラブルがあって苦労しているところですけども、2007年の2月くらいからはイオンエンジンを吹いて、2010年の6月頃には地球に戻っていきたくて考えております。

この「はやぶさ」の計画で一番意義があったことは、直接の技術開発ということももちろんありますが、私は教育ではないかと思っています。宇宙開発は、非常に一つ一つのインターバルが長くて、この「はやぶさ」計画も立ち上がったのは'95年ですから、今はもう11年経っていて、戻ってくるまでには更にまだ何年もかかります。

その周期に比べると、教育というのはもっとスピーディーに反応します。中学生や高校生がこれに触発されて、いわゆる理工系の分野、科学技術の分野に進んでくれるならば、その効果というのは数年のうちにやってくるわけです。教育ということは何物にも代え

られないもので、直接技術開発するよりも意義があるものだと私は思っています。

何にしる、守りに入ってはいけませんよ。これは大事なことだと思っています。私はサッカーはしませんけれども、センターラインで一生懸命パスを回して防御を固めていても、得点は入らないですよ。得点が入らないことにはゲームには勝てませんので、こういうふうな活動が必要なのではないかと思っています。

(文責 研究第二部 田邊輝行)



photo by JAXA