慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	「はやぶさ」が挑んだ人類初の往復の宇宙飛行、その七年間の歩み
Sub Title	
Author	川口, 淳一郎(Kawaguchi, Junichiro)
Publisher	慶應義塾大学理工学部
Publication year	2011
Jtitle	人間教育講座 : 社会を知る自分を知る自分を育てる (2011.) ,p.7- 62
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Book
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001001-20110000-0007

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

「はやぶさ」が挑んだ人類初の往復の宇宙飛行、

その七年間の歩み

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所（ＪＡＸＡ）宇宙航行システム研究系教授
小惑星探査機「はやぶさ」ミッションプロジェクトマネージャー

川口　淳一郎

かわぐち・じゅんいちろう　一九五五年青森県生まれ。京都大学工学部機械工学科卒、東京大学大学院工学系研究科航空学専攻博士課程修了、工学博士。旧文部省宇宙科学研究所に助手として着任、文部省宇宙科学研究所教授などを経て二〇〇八年より現職。計測自動制御学会 技術賞（一九八七年）、日本航空学会 技術賞（二〇〇四年、二〇〇七年）、文部科学省 ナイステップ研究者に選出（二〇〇七年）など受賞歴多数。小惑星探査機「はやぶさ」ミッションのプロジェクトマネージャーを務める。

東日本大震災

みなさん、こんばんは。ご紹介にあずかりましたＪＡＸＡの川口です。今日はたくさんの若い方たちを前に話ができることをたいへんに嬉しく思っております。

お話を始める前に、東日本大震災の犠牲になられた方々に謹んでご冥福をお祈りしたいと思います。今回の大震災を通じて、巨大地震のメカニズムに対して科学技術がいかに無力かということを思い知りました。そしてわれわれ科学技術に携わる者自らがつくった原発というものを御することもできないもどかしさというか、本当につらいものを感じるわけです。

「はやぶさ」がカプセルのパラシュートを開いて降下させる実験をおこなったのは実は岩手県大船渡市三陸町でした。そこには高さ一五〇メートルぐらいになる大きな気球を上げる設備がありました。何十万立方メートルという大きな気球で、一トンぐらいの重さのものまでは高度三〇～四〇キロメートルの高さまで打ち上げられます。その高さからカプセルを落として回収実験をしたということで、「はやぶさ」にとっては重要なポイントだったわけです。幸いなことにわれわれの友人のなかに今回の地震でお亡くなりになった方はいらっしゃらないのですが、本当に美しいところでした。

宝の津　未曾有の地鳴り　沖津浪　耐えぬ放射に　科学むなしき

こんな歌を詠ませていただきましたが、大きな震災、そして福島の原発の事故に対して、本当に科学

は無力だなと思います。こんな時に、とも思いますが、被災された方の何かしらの励ましになればということで、今日はお話をさせていただきたいと思います。

「はやぶさ」カプセルとキャッチャ

図1が二〇一〇年六月十三日に地球に帰ってきた「はやぶさ」のカプセルです。耐熱材料を脱いでいるので少し小さくなっていて、直径が四〇センチメートルぐらい、重さは結構重くて二〇キログラムぐらいあります。そのカプセルの中に直径五センチメートルぐらい、長さが十数センチメートルのキャッチャという容器が入っていました。軸対称ではなく、横から筒が突っ込むようなかたちになっています。「はやぶさ」が小惑星イトカワに滞在した時には、キャッチャの右側にイトカワの表面があり、その筒のような部分から微粒子が上がってきて、反射してA室、あるいは反射してB室に振り分けられるわけです。これをわれわれは通常、潜望鏡と呼んでいます。A室の部分の断面は円形で、なかをのぞき込むと、何も入っていないように見えます。

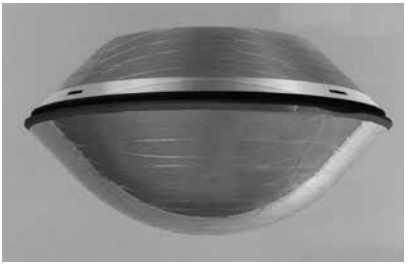

図1 「はやぶさ」のカプセル

「はやぶさ」が持ち帰った試料は微粒子で、大きさは一〇～二〇ミクロンです。二〇ミクロンと言えば杉花粉の大きさぐらいですから、目には見えない。ただしはっきりと実際に微粒子として存在する大きさだと

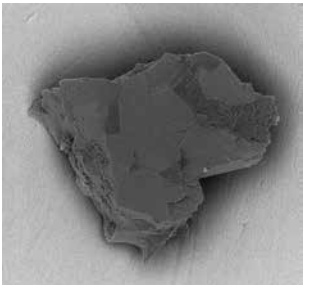

図２ 「はやぶさ」が持ち帰った試料

言えると思います。最も大きなものでは二〇〇ミクロンぐらいあり、はっきり目で見えます。図２は一〇〇ミクロンぐらいの試料の写真で、岩石ですね。これは斜長石、カンラン石、硫化鉄といったものが複合したような試料です。こんなものがたくさん見つかっているわけです。Spring8という兵庫県にある設備では、X線の透視画像、あるいは二〇ミクロンぐらいでも三次元計測が精密にでき、こうした微細な構造まで現代の技術ではわかります。一〇～二〇ミクロンの大きさのものでも縦に一〇枚にスライスができ、スライスしたものをさらに分析することができる。現代の技術ではそういうことも自在なわけです。

小惑星で何がわかるのか

小惑星の話をするには、原始太陽系の話をしなければいけません。原始の太陽系では、いにしえの太陽が真ん中を通り、そのまわりを岩石のかけらなどが同心円状に回り出したわけです。それらのかけらが小さな重力を介して集まり、雪だるまのように大きくなると、惑星になります。地球や火星、あるいは同様にそのあたりをまわっている小惑星がつくられた材料は実は同じである――これが出発点です。

小惑星を探査すると何がわかるかという問いについては、地球の起源を知ることができると説明させていただいています。別の言い方をすると、われわれの最も身近な生活で言えば、気象や地震の手がか

りをつかむことです。東日本大震災が起きたからこういうことを言っているわけではありません。昔からこういう説明をさせていただいています。

どういう関係があるのでしょうか。地球という丸い天体は分化していて、層を成しています。中心には核があって、その外側にはマントルがあって、最も外側に地殻がある。ある部分は液体ですが、ある部分は岩盤で移動します。大切なことは丸い天体が層を成しているということ。つまり重い物質は下に沈み、軽い物質が上にあるということですね。ですから、われわれが住んでいるところは最も軽い材料でできているということになります。地球の中身が運動すると、一番外側の地殻の部分が動き、大陸が移動したり、地震が起こったりするわけです。地球の中身の材料を知ることが地球の中身のメカニズムを知ることになります。

ですから、地球の中身が何の材料でできているのかを知りたいわけです。しかし、これを知ることは難しいわけですね。地表には軽い材料しか残っていないし、だからと言って穴を掘っても掘れるものではない。火山からは溶岩が出てきますが、溶岩は外部マントルの一部が、圧力が開放されて液体になって出てきたものですから、溶岩を分析してもやはり一番軽いものを見ているだけなのです。

地球の中身を知るためにはどうしたらいいのでしょうか。その手がかりは小惑星の上にあるのです。小惑星は分化していません。つまり層を成していない。丸くありません。最も大きな代表的な小惑星はセレスとベスタです。セレスは直径一〇〇〇キロメートルぐらいで、丸いかたちをしており、ベスタのかたちは丸くなく、長いほうが五〇〇キロメートルぐらいあります。一〇〇～二〇〇キロメートルぐらいの大きさを境にして、それよりも小さいものは、重力が小さいために、基本的に丸くなりません。

したがって、そうした小惑星は層を成していないわけで、重い材料も軽い材料も表面にあるわけです。ですから、小惑星の表面から試料を持って帰ると、地球の表面ではお目にかかれないような、地球では深部にしか存在しないような材料を手にすることができるわけです。

隕石でも同じことができる。確かにそうなのですが、隕石は出身地がわかりません。どこから来たのかがわかりません。しかし「はやぶさ」が持ち帰ってきた試料は、出身地がイトカワであることがわかっており、イトカワの軌道は何億年も時間を逆向きに積分することができて、もともといにしえはどこを回っていたのかもわかるわけです。そういう起源、あるいは昔どこを通っていたかがわかる場所から試料を持ち帰ることができ、しかもそのなかには地球の表面にはない材料がきちんと記録されていることが、この探査の一番大きな目的です。小惑星は太陽系の昔を伝える化石天体と呼ばれています。こういうところから試料を持ち帰ろうとしたわけですね。

東日本大震災の東北太平洋沖大地震のマグニチュードは九・〇でした。マグニチュードは数字が八から九になると、エネルギーが三二倍ぐらいになります。マグニチュードが七から九に増えるということは、実は一〇〇〇倍ぐらい大きなスケールの地震が起きているということなのです。阪神大震災ではマグニチュード七・三でした。ですから今回の地震は阪神大震災の数百倍のスケールの地震だったということです。地震前と後とでは牡鹿半島が五メートル移動したといいますが、この五メートルは地球の大きなスケールで見ると、実はごく平均的な運動なのです。一〇億年かけて五〇〇〇キロメートルぐらい動く大陸の移動から考えると、一〇〇〇年で五メートルぐらい動かなければいけません。ですからこういうことは平均的に起こるのですが、そういうメカニズムをわれわれはなかなか知ることができません。

小惑星を探査することで、そういうメカニズムを知ることの手がかりが得られるわけです。

小惑星イトカワ

小惑星を探査する目的についての話を続けましょう。

イトカワという小惑星は岩石でできています。S型小惑星と言います。S型とはstoneのSです。石でできているわけですね。しかし、地球を語る時に、S型小惑星だけが集まって地球ができたのかというと、そんなことはありません。地球は月とははっきりと違います。何が違うか。地球は青い。青いと何が違うか。地球を最も地球らしく見せているのは大気や地殻にある大量の水と有機物です。有機物が地表にあふれている。動物や植物、われわれの生命をつくっているのは有機物です。地球を地球らしく見せているのは有機物と水があることなのです。しかし、それはイトカワのようなS型小惑星だけを見ていたのでは絶対にわからないわけですね。

「はやぶさ」の後継機である「はやぶさ2」の探査ではC型小惑星に行こうとしています。C型小惑星のCはCarbonで、C型小惑星は有機物や水のふるさとだからです。C型小惑星を探査することによって、生命の進化を育んだ環境を知るだけでなく、地球の温暖化や二〇万～三〇万年という氷河期のサイクルを解明するためには大気中の二酸化炭素の量が支配するわけですが、そういう気候の変動に関する手がかりを得ることができます。

「はやぶさ2」はまた小惑星に行くのか？　と言う人がいますが、実はそれは正しくはありません。

小さな天体をすべて総称して小惑星と呼んでいるだけです。土星も火星も木星もすべて惑星ですが、小惑星と言った時にすべてがイトカワのようなものかというととんでもないのです。C型小惑星は、人類がその素顔をクローズアップでじっくりと見たことがない天体。初めてそのC型小惑星に行って、その素顔を見る。それが「はやぶさ2」の目的なのです。

「はやぶさ」の技術

月・惑星探査は科学・サイエンスということもさることながら、科学技術の結晶だと言われています。「はやぶさ」を動かしたイオンエンジンはプラズマディスプレイや光磁気ディスクといった成膜技術と関係があります。マグネトロン・スパッターという酸化物の薄い膜を精密に作る装置は、実は「はやぶさ」のイオンエンジンとほとんど原理が同じです。使っているガスがキセノンだったり、アルゴンだったりするという違いはありますが、似たようなものなのですね。

そして「はやぶさ」が持ち帰ってきたカプセルの材料はカーボン・カーボンの複合材で、たとえばゴルフのシャフトなどにも使われていますが、ジェットエンジンや発電所のタービンエンジンに使うと、非常に効率の良いエネルギーの変換装置ができます。発電効率がよくなったり、推進効率がよくなったりするわけです。また、「はやぶさ」自身はロボットのようなものですが、その技術を利用すると、産業用のロボットや自動車の自動運転システムにつながる技術になります。

そして「はやぶさ」のような惑星探査機が飛ぶのは地球の周辺だけではなく、たとえば木星まで行く

わけです。木星まで行くと、太陽からの光のエネルギーは地球で受けることができるエネルギーの二五分の一にまで下がってしまう。したがって同じ電力を得ようと思うと、二五倍の面積の太陽電池が必要になります。そのため、非常に効率のよい太陽電池を開発する必要がありました。そういった太陽電池を開発することは、地球のエネルギー問題や環境問題に応えていくことになるわけですね。

それから燃料電池自動車への技術利用もあります。いにしえのアポロ計画やジェミニ計画は燃料電池を実用化するための大きなステップになりました。今日の燃料電池はイオン交換膜の方向であり、その当時とはまったく違うものですが、実用化のための大きなステップになりました。

惑星探査では何しろ非常に遠くにいる探査機まで通信しますから、伝送速度がとても遅いわけですね。ですから、データを圧縮して送る技術がこの惑星探査によって磨かれて、現在のインターネットやメールなどでも使われるようになりました。あるいは、誤り訂正符号化技術。これは電波が太陽プラズマの長い伝送路の中を通ってくると、データのビットが変化し、狂ってしまう。化けてしまうわけです。そうしたビットの誤りを自動的に検出して修復する符号化技術が惑星探査ではやはり不可欠です。しかし、この技術は現在ではファックスやインターネットでも使われるようになっています。

というように、月・惑星探査や太陽系探査をする技術というものはわれわれの社会や生活と密接な関係があるわけです。

新しく独創的な技術開発

「はやぶさ」の次にどういうことをしようとしているのかと、時々聞かれます。「はやぶさ」の次にめざしているひとつの代表的な例は、ハイブリッドの推進で進むソーラー電力セイルという宇宙船です。ハイブリッドの自動車というのは、電気で動くモーターやガソリンのエンジンを複合します。ハイブリッドで進むソーラー電力セイルというのは、光の圧力とイオンエンジンの力を組み合わせる宇宙船なのです。われわれは二〇一〇年、「イカロス」という実験用探査機を打ち上げました。差し渡し二〇メートルぐらいある帆を広げると、小さな力ですが一ｍＮという力を得ることができます。「イカロス」はそれで加速度を得て、今も太陽系の中を航行しているわけです。これをソーラーセイルと言いますが、この飛行に成功したのはわが国が初めてです。ソーラー電力セイルというのは、「イカロス」で培ったこのソーラーセイルと、「はやぶさ」で築いたイオンエンジンを複合させて飛ぶ宇宙船です。

そしてどこに行くのか。その目的地はトロヤ群小惑星という、木星と同じぐらいの距離を隔てて、太陽の周囲をまわっている小惑星です。このトロヤ群小惑星はＤ、Ｐ型小惑星からできています。先ほどＣ型小惑星は有機物からできており、アミノ酸があるかもしれないと言いました。Ｄ、Ｐ型小惑星というのはもっとずっと太陽から離れていて、高温になることがなかった領域で、太陽系の冷凍庫のようなところです。アミノ酸というのはタンパク質がバラバラになったものです。Ｄ、Ｐ型小惑星には、アミノ酸よりももっと大きな分子、タンパク質がひょっとすると残っているかもしれないという説があります。生命の起源の手がかりが得られるかもしれないということです。人類にとって一番大きな疑問のひ

とつは地球上の生命は地球上で発生したのか、それとも外から持ち込まれたのかということです。この問いに答えていく手がかりがD、P型小惑星にはあるかもしれません。

そして火星と木星の間にはたくさんの小惑星がまわっていますが、その小惑星の中にはM型小惑星というものがあります。M型のMはmetalのM、つまり金属です。えっ？　と思うかもしれませんが、金属の固まりの天体が飛んでいるんですね。一度少し大きくなった、分化した小天体は、内部が層を成します。重い金属や鉱物は中心部の核に集中してしまう。しかしそういう天体が衝突してバラバラになり、コアの部分がむき出しになった天体があらわれるわけです。地球上ではお目にかかることがないような重い元素や鉱物でできた固まりが飛んでいるわけで、いわば天然の精錬所があるのと同じなのです。レアメタルというのは元素が非常に大きく、地表では珍しい金属ですが、小惑星や小天体では珍しいものではありません。こうしたM型小惑星という天然の精錬所で、核に集合した重い元素の固まりが飛んでいることを覚えておいてほしいと思います。われわれ人類は、数十年、あるいは一〇〇年先といった将来にこういう天体から資源を持ってきて、活用するようになるかもしれません。「太陽系大航海時代」と私たちは呼んでいますが、そういう時代がきっと来るのだろうと思っています。

小惑星探査ミッション

「はやぶさ」は「小惑星探査機」という言葉を頭に付してよく呼ばれますが、めざしたのはサンプルリターンという技術の飛行実証です。技術を開発して、これで証明することです。二〇〇三年五月、鹿

児島県から打ち上げられまして、一年後、イオンエンジンを運転した後、地球をスイングバイしました。スイングバイというのは、地球の重力を使って加速することです。そして大きな軌道に移って、二〇〇五年九月、小惑星イトカワに着いたわけです。滞在している間にイトカワの表面に五回降りていきました。最初の三回は練習で、後の二回が本番だったのですが、本番では着地して、試料の採取を試みたわけです。残念ながら、燃料が漏れ出すという問題があって、そこから立ち直るのに時間がかかったので、帰還が三年遅れて、二〇一〇年になりました。

はやぶさの一番大きな特徴は異なる二種類のエンジンを持っているということですね。ひとつはロケットエンジンで、もうひとつはイオンエンジンです。「はやぶさ」のエンジンは何ですか？　と聞かれると、その答えはイオンエンジンです。イオンエンジンは燃費がいいエンジンです。同じ増速力を得るために必要なガスの量がロケットエンジンの一〇分の一でいい。「はやぶさ」にはイオンエンジン用のガスを六〇キログラム積んでいましたが、これをもしもロケットエンジンに置き換えると、六〇〇キログラム必要だということになってしまいます。探査機の重さ自体が五〇〇キログラムしかないわけですから、ロケットエンジンでは往復の宇宙旅行ができないということです。「はやぶさ」がイトカワに着陸して戻って来ることができたのは、イオンエンジンがあったからこそだと言えるわけです。

しかし、イオンエンジンには欠点があります。それは推力が弱い、力が非常に弱いことです。三台同時に運転した「はやぶさ」のイオンエンジンの推力は二〇ｍＮ。二グラム重。もっとわかりやすい言い方で言えば、一円玉二枚分に働いている重力しかありません。ですからイトカワに着陸しても、イオンエンジンで離陸することはできないわけです。そしてさらに、「はやぶさ」が積んでいるセンサーをイ

トカワに向けようと思っても、イオンエンジンを使っていては何時間もかかってしまう。あるいは何日もかかるかもしれない。簡単に姿勢を変えることができません。ですから、瞬発力のある姿勢の変更手段、離陸手段が必要でした。それがロケットエンジンです。ですから燃費が悪くても、ロケットエンジンは必要でした。そのため二種類のエンジンを積んでいたわけです。

「はやぶさ」には四種類の観測装置を積んでいました。カメラとかたちを正確に測るためのレーザ高度計。三つめが鉱物を分析するための赤外線センサ。もっと正確に言えば、近赤外の分光器です。そして元素を分析するためのX線センサ、蛍光X線分光器です。

写真は打ち上げの際のはやぶさです（図3）。中央部に五〇〇キログラムあまりの探査機があり、その下にキックモーターといって地球の引力圏を脱出するロケットがあります。このロケットは三段目で、この図には一段目、二段目のロケットは描いてありません。M-5型ロケットという非常に小さなロケットだったのですが、小さなロケットといっても実は全長が三十数メートルあります。五〇〇キログラムの探査機を打ち上げるときに必要なロケットの重さは、離陸時、一四〇トンあるんですね。

図3　打ち上げられた「はやぶさ」

そして「はやぶさ」は、二〇〇三年五月九日、鹿児島県内之浦町（現・肝付町）の内之浦宇宙空間観

測所からM-5型ロケット5号機で打ち上げられました。

「はやぶさ」という名前の由来

はやぶさとは鳥の名前です。小惑星イトカワの名前の由来である糸川英夫先生が戦闘機「隼」の設計に参加していたということもあり、探査機「はやぶさ」の名前はイトカワという名前にちなんでつけられたのではないかと言われますが、その逆です。探査機を「はやぶさ」と命名した後で、小惑星への命名権を譲り受けて、小惑星をイトカワと名づけたのです。

探査機「はやぶさ」は図4のようなかっこうで降りてきます。探査機の最も大きな特徴は下面に一メートルぐらいの長さの筒を伸ばしていることです。これがサンプルの採取装置です。この筒の中で弾丸を打ち、それによって壊された表面が破片になって飛び上がってきたものを中で受け止める――それがサンプルの採取方法です。サンプルの採取は、この筒の先端を一秒間だけ表面につけている間におこなわれます。どうして一秒間かというと、小惑星の表面の最高温度は一〇〇度を超えるからです。長々と着陸すると、探査機が全部壊れてしまいます。ですから長居は無用で、急降

図4　探査機「はやぶさ」（イラスト：池下章裕）

下して、表面を接地して、そこで試料を採取して、さっさと飛び上がるというシナリオでした。それが鳥のはやぶさが獲物を獲る方法と同じだったので、探査機に「はやぶさ」という名前をつけたわけです。

探査機「はやぶさ」のかたちはというと、本体は大型冷蔵庫ぐらいの直方体で、一メートル×一・二メートル×一・六メートルぐらいの大きさです。四つのイオンエンジンは横についていて、上には丸い大きなアンテナと小さなアンテナがあり、水平方向に太陽電池が伸びています。いろいろな講演会でもお話ししていますが、この探査機は実は「隼」という漢字と関係があるんですね。

「隼」という漢字をよく見てください。下に伸びるサンプル採取用の筒がありますよね。本体が四角い直方体だということも書いてあります。二つのアンテナも漢字の上の部分についていて、しかも左側のハライの部分は丸いアンテナです。そして下のほうにある一文字に横に引いた線、これは太陽電池です。もっと驚くことはここにはイオンエンジンも書いてあります。漢字の真ん中にある四本の横線は、四つのイオンエンジンが横向きについていることをあらわしているわけです。「はやぶさ」という探査機をあますことなく表現している漢字です（笑）。この漢字は何千年も前に中国でつくられたものですが、「はやぶさ」が二〇〇三年に打ち上げられることをちゃんと想定して考案されていたんですね（笑）。われわれはこのストーリーをたいへんに気に入っていて、プロジェクトメンバーは一般公開のときには「隼」の字をプリントしたユニフォームを着て、説明に当たらせていただいています。

探査機をはやぶさと名づけたのにはもうひとつ別の思いがありました。それはブルートレインの「はやぶさ」です。このブルートレイン「はやぶさ」は、昔、われわれの先輩たちが鹿児島県内之浦にロケット実験をしに行った時に利用していた列車でした。われわれは二〇〇六年から「はやぶさ」の帰りの飛

行でたいへんに苦闘していたのですが、その最中、二〇〇八年三月にＪＲが特急「はやぶさ」を廃止してしまいました。そのニュースを聞いて、とても「えっ！」と思いました。「はやぶさ」の探査機の命運が尽きたのかという思いがしたのです。しかし二〇一〇年六月、「はやぶさ」が帰還する一カ月前の五月十一日にＪＲ東日本は東北新幹線に「はやぶさ」という名前をつけました。これにはたいへん励まされました。一度命運が尽きかけた「はやぶさ」がもう一度復活するのではないか、ひょっとしたらわれわれも本当に最後まで行けるかもしれないと思いました。ちなみに東北新幹線「はやぶさ」は緑色の車体をして、三月五日から走り始めた一番電車に私は招待されました。たいへんに静かですばらしい新幹線です。本当に乗り心地がよく、乗った新幹線の中で歌を詠みました。

彼星（かなた）より　宙（そら）にかえった　碧の君　今は地を駆け　夢の快走（回想）

新幹線に乗って、二〇一〇年、「はやぶさ」が帰還したことを思い出しました。今は地面を這っているけれど、半年前には空を駆けて戻ってきました。

「はやぶさ」の探査の目的

「はやぶさ」の探査の目的は、ほかの天体の試料を持ち帰るサンプルリターンです。一旦試料を地上に持って帰れば、先ほどSpring8という施設をご紹介しましたが、直径五〇〇メートルぐらいの電子シ

ンクロトロンという加速器で高精度な分析ができるわけです。「はやぶさ」で直径五〇〇メートルもある装置なんか宇宙に持っていけるわけがありません。一旦手にして、地上に戻ってきたからこそ、大がかりな装置で分析できるということです。

持ち帰ってきた試料はすべて使い尽くしてしまう必要はありません。今、かきとったのは試料のほんの少しだけ。大部分はほとんど手をつけずに置いてあります。二〇～三〇年と放っておく予定です。将来にまったく新しい分析技術ができたら、もう一度分析しなおそうということです。つまり、微量であっても試料が手に入ったら、大がかりで最新の分析がいつでもできるということが特徴なのです。

サンプルを地上に持ち帰るために、「はやぶさ」探査機の目標は何よりも往復飛行の実証でした。それまで、どの国も考えたことも、やったこともない、われわれのまったくオリジナルの探査だったわけです。そしてこの「はやぶさ」の往復飛行を実現させるための手段には五つの大切な技術がありました。それは次の通りです。

1. イオンエンジンで飛行すること。
2. ロボットであること。どこに行くかを自分で決めること～Autonomy、自立性。
3. 重力の小さな星で、サンプルをとること。
4. カプセルを直接に地球の大気につっこませて、回収すること。
5. スウィングバイを使うこと。

こういう五つの技術を掲げていたのですが、これらも提案された時点ではどの国もやったことがない、誰も考えたこともないことばかりでした。目的も手段もすべてオリジナルでした。手本も何もない。す

べてわれわれがこの目的のために考案して、それを実現した、そして飛行させて帰還した――これがわれわれにとってはとても大きな誇りです。

どうしてこんな発想・着想ができたのか？

きっかけは二六年前、一九八五年のことです。ここにいる多くの方たちはまだ生まれてもいないかもしれません。

この年は特別な年でした。小惑星サンプルリターン小研究会が開かれたうえに、われわれがハレー彗星に向けて日本初の人工惑星探査機を打ち上げた年でもありました。どうしてこの年になのか？　というと、われわれの惑星探査は米ソに比べてとんでもなく遅く、二五年以上遅れて始まるからです。そして米ソよりも圧倒的に小さい探査機を米ソと同じ火星や金星に送って、一体どんな新しいことができるのだろうか。それが出発点でした。火星や金星は丸い天体です。分化しきった天体です。表面に行ってもその内部構造がわかるわけはない。太陽系の起源に迫れるわけがありません。しかし小惑星やハレー彗星は分化していない小天体です。そこに行くと、今まで米ソが目もくれなかった新しい科学的成果が得られるかもしれない。これを目的にしました。

しかし小惑星サンプルリターン小研究会がこれを提案したときにはまだアイディアが新しすぎました。当時はイオンエンジンの技術がまだ整っていませんでしたから。ここからイオンエンジンの技術が開発され、磨かれ、成熟するまでには時間がかかりました。「はやぶさ」が打ち上げられたのはここから

一八年がたった後のことです。

どうして、誰も考えていないようなこんな発想や着想を提案できたのでしょうか。組織としてこうしたアイディアを持ち出すことができたのか。それは私を育ててくれた宇宙科学研究所という環境のおかげです。糸川先生がリードしてつくった組織にその素地がありました。宇宙研の先輩たちはみんな変人ばかりでした。「おまえのせいで変人扱いされた」と先輩たちにはよく言われるのですが、実は敬意を込めて変人と申しあげているんですね。

私の直接の上司ではありませんでしたが、二〇〇七年に亡くなられた長友信人教授は「見えるものはみな過去のものである」というのが口癖でした。見えているものをもう一度つくってもそれは所詮二番煎じであるということですね。そして当時助手だった塚本茂樹先生は「君、これまで学んだのはみな練習問題だよ」と言ってくれました。つまり、これまでは正解があることだけを学んできたということです。「これから君が出会う現場には正解はないかもしれない。解答がないかもしれない問題に出くわすことになる」ということでした。その通りですね。

糸川先生由来の文化の血、この組織の特徴は「こうすればできる」という文化です。当たり前のように聞こえるかもしれませんが、日本人とはずいぶん違います。日本人は勤勉で精緻ですから、一点も曇りがない製品をつくることに長けています。非常に品質の良いものがつくれます。しかし逆に一点でも曇りがあると、製品にはならない。一点でも曇りがあると、できないと思ってしまうのです。

この研究所の方針はまったく違っていまして、solution はひとつあればよい、六〇点でよい、六〇点の solution を一〇〇％の確率で実現できるならばそれで進めるということです。ですから「こうやれば

できるはずだ」「こうやれば小惑星との往復はできるはずだ」ということに結びついていきました。手本や模範が存在する必要はないのです。われわれが考案して、われわれが構想して、solution がひとつあればできるという文化でした。だからこそこういうことが提案できたわけです。教科書には過去しか書いてありません。教科書や論文をいくら読んでも新しいことなんかできない、研究にはならないのです。私は自分の学生には「本は読むな」と言っています。最初の三カ月は本や論文を読んでいるのではなく、つたなくても自分の手を動かして取り組めということです。

「はやぶさ」プロジェクトのはじまり

「はやぶさ」のスタートは小惑星ランデブー計画という名前の計画でした。今から二〇年ぐらい前、一九九〇年頃のことです。われわれは太陽系探査に乗りだして、ハレー彗星の後は、月をまわす軌道に探査機を乗せることができました。ようやくわれわれに手段があって、できたわけですね。

しかしわれわれは駆け出しです。しかしビギナーであっても何とかオリジナルな成果を出そうと思っていました。小惑星ランデブー計画というのは、「はやぶさ」で言えば、イトカワまで着いて、そこで遠隔観測をするまでのことです。着陸するわけではありませんから、ロボット性はいりませんし、イオンエンジンもいらないし、カプセルもいりません。「はやぶさ」に比べるとずっと簡単な計画なのです。しかし、われわれはビギナーですから、固く、でもオリジナルな成果をめざそうとしました。

小惑星ランデブー計画、つまり小天体の探査というのは分化していない天体への探査なので、米ソは

それまでまったく見向きもしていませんでした。当時、この計画をもっていたのはわれわれだけ、われわれのオリジナルの構想でした。しかし経験不足は否めず、ＮＡＳＡと一緒に勉強会を始めたのですが、その結果、この構想をＮＡＳＡにとられてしまいました。ＮＡＳＡがこの小惑星ランデブー計画を自分たちのものとして立ち上げてしまったんですね。アイディアをぱくられたということになるのですが、ＮＡＳＡのスタッフの数にしても予算の額にしてもわれわれの十数倍もあります。アメリカの国防総省はＮＡＳＡと同じぐらいの規模の宇宙開発を独立しておこなっています。ですから、アメリカの宇宙開発への投資は、民間投資を除いても、われわれの三〇倍ぐらいの規模があるわけです。われわれが三〇年かかることを、彼らは一年でできてしまってもおかしくありません。ひとたまりもありません。

どうしたら自分たちの計画を実現できるのか。自分たちの計画にこだわりがありました。このことをきっかけに私たちは逆に開き直りました。そして、やぶれかぶれ、ハッタリで言い出したのが「はやぶさ」計画です。この「はやぶさ」計画は、ＮＡＳＡもためらう計画、手を引っ込めてしまうほどチャレンジングな計画で、実際にわれわれが「はやぶさ」計画に乗りだした後、ＮＡＳＡは追いかけてはきませんでした。追って来ることができなかったというのが正しいですね。どの国もそうですが、宇宙機関というのはみんな臆病だからです。イトカワに着陸した「はやぶさ」が帰ってきた時に、アメリカの新聞は一斉に「ＮＡＳＡは臆病だ。アメリカのスピリットはどこに行ったのか」と書きました。そうなんですよ。アカウンタビリティを考えた賢いやり方、堅実な経営ということはリスクを避けるということです。確かにその通りです。われわれはずいぶん無謀なことをやったわけです。しかしアメリカの新聞がそういうふうに書いたことで、われわれは溜飲を下げました。

思い切ったブレークスルーをもたらしたものは、人がやらないことをやるということです。ある意味では天の邪鬼だったのかもしれません。これがオリジナリティを決める大きな突破口でした。

トラブルは想定していたのか？

「はやぶさ」の経験から昨今の社会事情について少しお話したいと思います。「はやぶさ」のトラブルをどこまで想定していましたか？　とよく聞かれます。宇宙開発は、もともとメンテナンスや修理ができないことをあらかじめ想定しています。新型の自動車なら途中で立ち往生しても修理に行くことができます。しかし宇宙開発では、一度打ち上げてしまったら絶対に修理に行くことはできません。ですから宇宙開発では、あらかじめそういうものをすべて用意しておくのです。

「はやぶさ」が帰りの期間にどういうことをやってきたのか。「はやぶさ」が発揮できたバックアップ機能の例を挙げると、リアクションホイールという姿勢制御装置が壊れたら、ロケットエンジンでこれを補います。ロケットエンジンが壊れたら、イオンエンジンと光の圧力で姿勢を制御します。イオンエンジンの一部が壊れても、イオンエンジンの残りと光圧で制御する。こういうバックアップをとっていました。そしてわれわれは公表していませんが、リアクションホイールの最後の一台が壊れたときのソフトウェアも二〇〇八年にアップロードしてあったんです。そういう対策をとっているわけです。

福島原発とはまったく違います。宇宙開発に携わる人たちは今回の福島原発の事故を信じられないと思っています。もう考えられません。宇宙から見れば、福島原発はもっと安全なシステムにきっとでき

たはずだと思います。アクセスできることを想定して用意しておくことができたのですから。

朝日新聞にこういう記事が掲載されていました。「米ゼネラル・エレクトリックの「マークⅠ型」は東芝と日立が試行錯誤して学ぶ練習コースのようなものだった。GEの設計通りに発電機やポンプを設置していました」※。これは設計の「なぜ」という部分が伝承されていない典型です。「どうしてそれでよいか」「どうしてそうしなければいけなかった」ということが何も考えられていない、伝承されていない、単なるコピーだったわけです。

人材育成に関して言えば、二代目は一代目を越えられるかということでもあります。これも福島原発と関係があって、人材育成についての現在の考え方では、ドキュメントをしっかりしなさい、システム・エンジニアリングをしっかりしなさいと口を酸っぱくして言われますが、私はこういうことでは人材育成はできないと思っています。若いみなさんにはちょっとわかりにくいかもしれませんが、毛利衛さんはNASAに行った後、ロシアで宇宙飛行士の訓練を受けました。毛利さんはこう言っています。「NASAはシステム・エンジニアリング。しかしロシアは親方徒弟の国だ」と。親方徒弟というのはいい言葉だと私は思います。二代目と一代目の関係は現場を介してある意味でのライバルでなければならないと思うわけです。一代目が創意工夫した背景や動機、理由を、二代目に受け継がせるには、「なぜそれが必要だったか」「なぜそれが必要でなかったか」に戻った議論や確認がなくてはなりません。現場を抜きにした座学で、知識伝承や経験伝承ができるはずがありません。ですから「何と言っても現場を」と申しあげたいと思います。

最近では現場に足を運ばないエンジニアが続出しています。ディスプレイを見て仕事をする似非(えせ)エン

ジニアが多いわけですね。ある探査機を射場で最終整備している時、探査機のデータを見ていたエンジニアが「このデータはノイズが多い。でも何とかなるかもしれない。ただ質がどうかな」と言いました。ある意味高級な見解を述べたわけです。しかしこの探査機を打ち上げた後、送ってくるデータがどう見てもおかしかった。その理由は、なんとセンサーが上下逆についていたからだったのです。笑い話かもしれませんが、こういうことって本当に起こっています。高尚なことは言わなくていい。現場に足を運べば簡単にわかることなのに、足を運ばなくなっている。ディスプレイを見て、数字を見ているだけで、やった気になるのではいけません。理工系で学ぶ学生さんたちには現場に足を運ぶエンジニアになってほしいと思います。

※　asahi.com「福島第一原発の安全不備　非常設備は改修せず」（二〇一一年四月六日）
http://www.asahi.com/special/10005/TKY201104060163.html（最終アクセス二〇一二年三月九日）

宇宙開発の難しさ

あまり知られていませんが、宇宙開発では試作機兼実機をひとつしかつくりません。こう聞くとたいへんに驚かれるかもしれません。普通の商品ではそうではないでしょう。試作を何度も重ねて、最後に商品にします。ところが宇宙開発ではお金がかかりすぎるので、試作機兼実機を一機しかつくらないのです。一〇〇万台を売る車でもリコールが起こるわけですから、一機しかつくらない宇宙開発ではトラブルが起こるのは当たり前です。開き直ってこう言っているわけではありませんが、本当にそうなので

す。学校があるわけではありません。お役所の人は「お金がないなら頭を使え」と言いますが、一機しかつくらないのですから、完璧なものがつくれるはずがないのです。正直に言うと、そうなのです。

したがって、みんな臆病になります。ですから、たとえば使う部品などにしても、飛翔実証をされたことがある部品やサブシステムを使うことになるのです。初物は避けられてしまいます。国産でいくら性能がいい部品があっても、それは使えません。使ってトラブルが起きたら、飛翔実証した経験のないものを使ったからだと言われるだけです。だからみんな非常に臆病になっています。日本の人工衛星はトラブルが多いと言われるかもしれませんが、実はそれは海外からの調達品の故障なのです。信頼性にうすうす疑問をもっていても、飛翔実績がものを言うわけです。悪く言えば、悪いものをつかまされていると言ってもいいかもしれません。しかし、そんなふうに信奉してしまわざるをえないのです。

実は、二代目・コピー文化の悲しさというのは原子力でも宇宙開発でも同じです。飛翔実績や稼働実績を盲目的に優先して導入することを求められてしまう。宇宙開発における部品の信頼性、原子力におけるシステム構成とレイアウト――それを信奉して使わざるをえない悲しさに原点があると思います。でもコピーではダメなのです。コピーを使っている限り、「なぜ必要か」を考えず、またその部品でなくても使えるということに結びつきません。創造して新しい道を拓いてこそ本物を見る目が育つわけです。コピーではなく、創造的な製品やアイディアをつくることに是非努力してほしいと思います。

国際的な透明性

オーストラリアで「はやぶさ」のカプセルを回収する時に、現場や周辺から「ヘリコプターに乗れる乗員の数は限られている。輸送回数を考えると、現地に行ける人は限られているので、日本人だけにしたらどうか」と言われました。これに対して私はノーと答えました。アメリカやオーストラリアの研究者にも現地に行ってもらいなさいと。それは、国際的にフェアな作業がおこなわれているということを示す証人が必要だからです。

世界的に見れば、日本は東洋の一島国でしかありません。世界中の人誰しもが知っている日本人の名前を一人挙げてみなさいと言っても、どの名前も挙がらない。でも、ミケランジェロやダ・ヴィンチ、ニュートンなら誰でも知っているでしょう？　日本人はこれまでに文化的な創造をおこなったことがない。そんな日本人が「はやぶさ」からイトカワの試料が見つかったと言っても、一体誰が信用してくれるのかということなのです。笑い話ですが、現地で容器に砂を入れて持ち帰ったのではないかと言われてもおかしくはありません。というほど、国際的な信用を得ることはたいへんなことなのです。

先月、ソーラーセイルについての講演をフランスのテレビ局から依頼されてパリに行ってきました。質問はソーラーセイルについてと、もうひとつありました。それは福島原発問題です。「日本政府は透明性を発揮していると思うか？」とたずねられたのです。日本人は「放射性ヨウ素が水道水から基準より多く見つかったとちゃんと発表しているし、それなりに正直だ」と思っているかもしれません。しかし国際的な見方はまったく違いました。グローバルな問題を一小国が、それも一企業が狭い知見で解決

しようとしているのではないかということです。全世界の叡知を集めていることを表明していないからです。決して日本の技術が劣っていると指摘しているわけではありません。透明性がないんですよね。国際的な透明性を獲得することについて、日本人はずいぶん努力が不足していると思います。

「はやぶさ」はロボット

「はやぶさ」はロボットです。「はやぶさ」が小惑星イトカワに滞在した時に地球から「はやぶさ」までは片道三億キロメートル、往復で六億キロメートルありました。電波が往復するだけで二〇〇〇秒かかります。ですから、今目の前で見ている情報というのは二〇分近く前の情報ですし、表面に近づいたからエンジンを噴射しようと指令を送っても、その指令が届くのは二〇分ぐらい先のことです。つまり遠隔操縦はできません。距離がずっと離れていればできますが、実際に「はやぶさ」が高度五〇〇メートルから下の領域についてはすべて「はやぶさ」が自分で決めていたわけです。

「はやぶさ」探査機の着陸ですが、垂直方向については高度計がありますが、一番難しいのは横方向に流れる運動をとめることです。横方向に流れたまま着陸すると、つんのめってひっくり返ってしまいます。しかし、これを行動制御することはできませんから、われわれはひとつ工夫をしました。ターゲット・マーカーという人工の標的をイトカワの表面に落とし、これをフラッシュランプで照らし、明るく照らし出されたターゲット・マーカーを撮影して、その場所がカメラの中のどこに見えるかを抽出し、画像処理し、そこに向かって降りていくことにしました。つまり目で見て、自分の行くべき場所を見つ

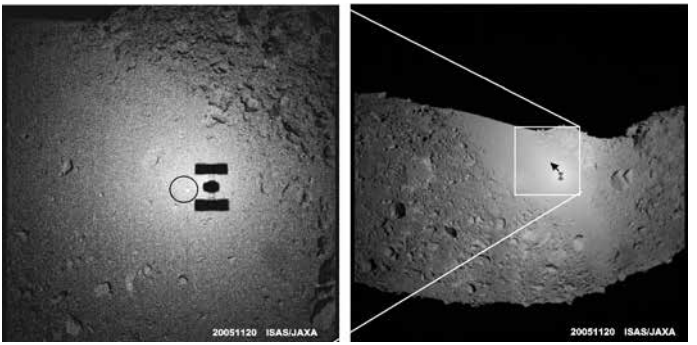

図５ 「はやぶさ」による撮影

け、そこに降りていくという自動制御をしていたわけです。実際に三億キロメートルの彼方で、この制御はうまくいきました。最終的にどのくらいの精度が必要だったのかというと、横方向に流れる一センチメートル／秒の速さを制御・管理していました。

イトカワの幅は五四〇メートルぐらいあります。「はやぶさ」は太陽電池を広げると六メートル四方です。しかしわれわれがたどり着いて見たイトカワの姿はデコボコだらけで、どこにも着陸させる場所がありませんでした。着陸できそうに思えた場所は、Muses-sea だけでした。この場所は四〇メートルぐらいの幅しかありません。往復の通信時間は二〇〇〇秒です。仮に一センチメートル／秒、制御しそこなうと、往復する二〇〇〇秒の間にプラスマイナス二〇メートルずれてしまう。幅で四〇メートルずれてしまうことになります。つまり、この場所に探査機を持って行けたということはその制御・管理ができたという証拠です。

臨機応変のプロジェクト判断

二〇〇五年十一月二十日、本番の一回目に写した図5は、高度

三〇メートルぐらいのところから太陽を背にして、自分の影とターゲット・マーカーを撮影したものです。これはまぐれではありません。それから一週間後の二回目にも同じ場所までたどり着かせることができたのです。このことが物語っているのは制御ができたという証拠です。これは簡単ではありませんでした。その前に「ミネルバ」という探査機を降ろそうとした時には、ずっとずれたところに降りているのです。精度が悪いわけではありません。このときも、三〜四センチメートル／秒ぐらいの制御はできていたのですが、それぐらいではとても足りなかったわけです。簡単ではありませんでした。

三回目の練習が終わった段階で、われわれには精密な誘導技術はまったくありませんでした。しかし四回目、つまり本番の一回目の降下の時には、世界中八八万人の署名を載せたターゲット・マーカーを降ろさなければなりませんでした。期間は一週間です。着陸技術を完成してから降ろせばいいのに、どうしてそうしなかったのかと言う人もいるかもしれませんが、タイムリミットがあります。二〇〇七年に地球に戻ってくるためには二〇〇五年十一月末までにイトカワを出発しなければならないからです。だからこの時、必ずターゲット・マーカーを落とさなければなりませんでした。落とすだけの誘導技術がなくても、です。

実はすごいプレッシャーです。やらなければいけない。しかし技術はないわけです。どうしたかというと、ＪＡＸＡやメーカーの人間、若手・ベテラン、分野を超えて、とにかく意見を出してもらい、よい意見を採用しました。それまでは自動制御を全面的に採用していたのですが、その時に採用したのは人間が介在する方法でした。ＮＥＣの中堅エンジニアである白川健一さんが提案した方法ですが、この白川さんは着陸の専門家でも担当でもありませんでした。しかし、よい意見を直ちに採用したことが臨

機応変の対応につながりました。

「はやぶさ」の故障

「はやぶさ」の二回目の着陸が終わった時に燃料漏れが始まりました。燃料は洩れると気化熱を奪って凍ります。もう一度ヒーターが入ると溶け出し、そうすると配管内にたまっている燃料のガスがまた噴き出てくるわけです。最初の一〇日間ぐらいは何とか持ちこたえていましたが、二〇〇五年十二月初めに大きなガスの噴出があって、姿勢がひっくり返ってしまいました。姿勢がひっくり返ると、太陽電池に光が当たらなくなって、電力がとれなくなって、すべての電源が切れて死んでしまいました。結局燃料はすべて漏れ出してしまいました。

一回目の着陸が終わった後、「もう帰ったらどうか」「今帰ったら機体は無事だ」「微粒子は取れているかもしれない」と悪魔のささやきのように周囲から提言されました。しかし、プロジェクトメンバーは開発に七年、飛行に三年、合計一〇年間を費やしていましたから、ここで帰るわけにはいきません。虎穴に入らずんば虎児を得ず。必ず弾丸を発射して試料を取るんだという意気込みで、二回目の着陸に挑んだわけです。着陸をしようとすれば、どこかをぶつけるかもしれませんし、何かが壊れるかもしれません。それは覚悟のうえでした。ですからエンジンはA系・B系と二系統を積んでいたのです。結局、燃料がすべて漏れ出してしまったため、帰りのロケットエンジンは使えなくなってしまい、瞬発力のない機体で帰ってこなければならなくなりました。これが大きな苦闘につながりました。

電源が落ちて、通信がとだえてしまいました。それよりもわれわれを最も苦しめていたのは、弾丸を打って試料が取れたとその前に発表してしまったことでした。その後数日間に読み出された新たなデータの中に、弾丸を発射した記録はありませんでした。つまり試料は取れていなかったわけです。この事実を知ったエンジニアに私はこう言いました。「正直に言うと、どうして隠しておいてくれなかったのか。あなたが黙っておいてくれたらどんなにハッピーだっただろうか」と。けれどそのエンジニアも「この事実を隠したまま棺桶に入るわけにはいきません」と言い返しました。確かにそうです。背筋が凍るかと思いました。

しかしそれよりも苦しんだことは、試料が取れなかったことではありませんでした。図らずも虚偽の発表をして、それを訂正せざるをえなかったことです。宇宙開発のみならず、科学技術全体の信頼を落としかねません。そして、「科学技術は役に立たない」「科学技術は何の役に立つのですか」と言われないかとも思いました。この言葉、どこかで聞いたことがありませんか？　そうです。事業仕分けです(笑)。当時はまだ事業仕分けがなかったので、すぐにやめろとは言われませんでしたが、私たちを大いに苦しめていたことに変わりはありません。

しかしプロジェクトメンバーは「はやぶさ」のゴールは地球だ、イトカワは折り返し地点に過ぎないのだという信念を一貫して貫いており、ブレることはまったくありませんでした。ですから、三億キロメートルの彼方で死んでしまった探査機の息を吹き返させて救出するという活動に取りかかったわけです。

途絶えたままの通信

太陽電池に光が当たっても、すべてが回復するわけではありません。光が当たって電源が入るのは受信機の耳だけです。全身のスイッチについては改めて入れていかなければなりません。送信機もそうです。アンテナの守備範囲も切り替えなければなりません。ひとつが数十バイトから一〇〇バイトという指令を一〇個ぐらい、完全に回復させることができないと、復旧はおろか、電波も出ないわけです。それに挑みました。

難しいことはさまざまありました。「はやぶさ」に載っている送信機・受信機の周波数は、同じく「はやぶさ」に載っているクリスタルの温度制御で決まります。温度が不確定だと、その周波数がふらつきます。ですからわれわれが「はやぶさ」に指令を送る周波数がわかりません。そこで、ありとあらゆる可能性のある周波数で送ってみる。そして「はやぶさ」から電波が出ているかどうかについても、ありとあらゆる可能性で耳をそばだてて聞かなければいけないわけです。

そして「はやぶさ」から見ると、地球はアンテナの守備範囲の一番端に見えていますから、通信が切れ切れです。実際に「はやぶさ」を救出した時には一五秒おきに通信が切れたりつながったりしていました。しかし、誰も切れ切れになっているとは教えてくれません。そして誰も一五秒おきだとも教えてくれません。無言のままです。いろいろなケースを想定して、どの場合にも必ず指令が届くように工夫をして指令を送っていました。

技術もさることながら、たいへんなことがありました。メーカーさんからは「電波が返ってこない、

交信もできない探査機の運用にはうちの会社の技術はしばらくいりませんね」と言われました。みなさんは卒業しても、そういうメーカーさんにはならないでくださいね（笑）。次第にエンジニアの数が少なくなり、足が遠のく人も増えていきました。指令はどんどん送り続けますが、返ってくるのは探査機の電波ではなく、宇宙空間からの雑音だけです。これが何十日も続きました。

どんどん士気が下がっていく。それを食い止めるために、検討会の数を意図的に増やして、アクションの宿題を出していました。たとえばこういう状態だったら、どういうことをすれば復旧できるかを検討してもらうわけです。アクションを出せるということは、まだ可能性があるというメッセージです。逆にアクションが出なくなってしまうことはもう可能性がない、万策尽きたということを示してしまうんですね。だから、ずっと可能性があることを示すためにアクションを出し続けていたわけです。

そして、まだ運用中である、開店中である、まだ頑張っているということを示すためにこういうこともしていました。朝、運用室のポットの中のお湯が減っていなくても、熱いお湯に毎朝替えておくのです。ＪＡＸＡやメーカーの人が様子を見に来て、その人たちがお湯を出そうと思ってポットを使った時に水が出てきたとしたら、プロジェクトの終わりが近いことを印象づけてしまいます。プロジェクトのメンバーも同じです。水が出てきたら「あー、そうか」と思ってしまう。士気が落ちてしまいます。そうならないように、いつポットを使っても熱いお湯が出てくるようにしていました。そういった演出もしていたわけです。

やれることはすべてやったと思います。しかし、すべての指令が解読されて実行される確率がどのくらいかはわかりません。無言のままです。ここまで指令が通ったと、誰かが教えてくれるわけではない

のですから。ですから、百にひとつだったかもしれません。四六日目、七週間目に「はやぶさ」からの電波が受信されました。信じられないことでした。長野県佐久市の旧臼田町にはＪＡＸＡの臼田宇宙空間観測所があり、直径六四メートルの大型アンテナがあります。このアンテナの守備範囲というか、ビーム幅は三／一〇〇〇度です。つまり電波が来ているということは、その空間から来ているのに決まっているんですね。ですが、電波が来ていることを信じられませんでした。現場の技術者に、アンテナにそっぽを向かせてみると、電波が来なくなります。もう一度向け直すと、その空間の方向から人工の天体の電波が出ていることがわかる。そんな確認をしていました。

やることはすべてやったと思います。しかし、想定が正しければ、ひょっとしたらということで、その想定が正しいかどうかは誰にもわかりません。これは運ですね。われわれはその時、「飛不動尊」（東京都台東区入谷）に出かけて、お不動様にすがることにしました。二〇〇五年暮れのことです。「大願成就　無事帰還」を祈祷の言葉として木札を買いました。ちなみにこれは個人的な経費で払いましたよ（笑）。何と非科学的な、と思うかもしれません。「はやぶさ」を打ち上げてこの時まで、木札を買って祈願してもらうことなどありませんでしたが、この時に急に信心深くなったんです（笑）。

「はやぶさ」の復旧

電波が出ているからといって、復旧は簡単ではありません。難関がまだまだたくさんありました。

太陽のまわりを公転していますから、探査機から見て太陽の方向が一日に一度、三カ月経つと九〇度

変わってしまいます。だから、何カ月か経つと、あっという間にまた電力が取れなくなってしまう可能性があるわけです。太陽の方向に向けてあげなければなりません。しかし、通信がままならないので、それは難しい。電波が出ているかどうかはわかるのですが、電波に載せられたデータを元に戻すこと（復調）ができないのです。復調できると、データが一気に取れて、探査機の状態がすみずみまで瞬く間にわかるのですが、それができません。

われわれはある方法で、探査機から見た太陽や地球の方向を知ることができました。それは「はやぶさ」に手伝ってもらったのです。「はやぶさ」の自律性の機能を生かして、「はやぶさ」に太陽の方向を見にいかせました。たとえば太陽が右の方向に見えたら、電波の送信を一分間とめて、一分後にデータの送信を再開せよと指令を送る。条件付きの判断をさせたわけです。そういうしつけをしてありました。「はやぶさ」はその通りに行動して、ＹＥＳかＮＯか、答えを返してくれました。１ビット通信で手を握り替えしてくれるように、本当に答えを返してくれるんですね。ひとつの答えを得るのに二〇〇〇秒かかります。それを一日に六時間ぐらいずつ一カ月ぐらい続けたところ、太陽や地球の方向がわかるようになりました。「はやぶさ」がパートナーとして手伝ってくれたからこそできたことでした。「はやぶさ」の自律性を生かしたイオンエンジンの運転や飛行管理はまるで子どもを育てたようなもので、ルールを教えて、しつけをし続けながら運用してきたからできたことです。ですからわれわれにとって「はやぶさ」は本当にパートナーと言える存在です。

イオンエンジンの寿命が尽きて

二〇〇七年から二〇〇九年とイオンエンジンを運転してきました。しかし、四つのエンジンすべての寿命が来て、単独では動かなくなってしまったのです。イオンエンジンはイオン源と中和器がペアで動いて初めて運転ができるのです。図6のように四つのエンジンのうち、一つではイオン源が壊れ、他の三つでは中和器が壊れました。単独では動かなくなったわけです。残酷だな、むごいなと思いました。四年の飛行を七年に延長して、あと正確には四カ月ほどイオンエンジンが動けば地球に帰れるというところだったのですね。「はやぶさ」の前に「のぞみ」という探査機を運用していて、何とか希望をつないで最後まで努力したのですが、結局うまくいきませんでした。「はやぶさ」もまたダメかと思いました。

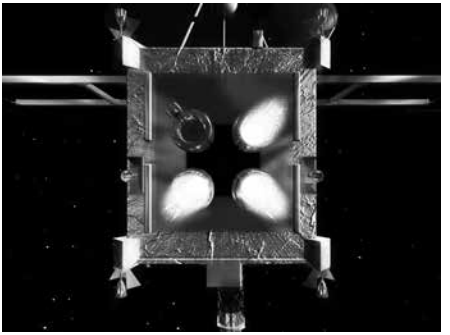

図6　イオンエンジン

しかし、奇跡的にも壊れていないエンジン同士を連動して運転するという、本当に思いがけない方法が動き出しました。中和器に入っていたバイパスダイオードが功を奏したのです。地上実験をおこなったことはありません。しかし理論的には動くかもしれないということで試してみたところ、本当に動いてくれました。ただし、この運転はもともと地上では想定していなかったので、運用するためのソフトウェアが整っていませんでした。半分ぐらいのデータはブラックボックスの中。手探りです。

この運転は始めると、データが生き物のようにめまぐるしく変わりました。日々推力は下がっていく。不安定なのです。四つのエンジンの中で中和器はひとつしかない。Ａの中和器だけが生きていたんです。中和器Ａの安全と無事を願わずにはいられませんでした。ここに特効薬がありました。それは神頼みです（笑）。

今度はどこに行ったかというと、岡山県真庭市にある「中和神社」です（笑）。「中和」と書いて「ちゅうか」と読むのですが、ポケットマネーでここまでわざわざ出かけて行ってお札を買いました。入澤さんという宮司さんに「どうしていらっしゃったのですか」と聞かれ、「はやぶさ探査機で……」とお話したところ、宮司さんは「はやぶさ」のことをご存知でした。本当に感激しました。実はこの「中和神社」は道中の安全を祈願する神様でして、たいへん正しいところに行ったわけですが、行った理由は単に名前が同じということです。ちなみに神頼みは私個人の活動で、ＪＡＸＡの業務ではありません（笑）。政教分離の原則に則って、特定の宗教法人を応援しているわけではないのですが、神頼みとは自分たちはやるべきことをやり尽くしたのかという自己点検だったのだと思います。そして何よりも願いをかけることで、運を拾うために集中できたとすれば、それを御利益と言ってよいのだろうと思うわけです。

「はやぶさ」の帰還

帰還を二カ月後にひかえて、「はやぶさ」帰還のための特設サイト「はやぶさ、地球へ！　帰還カウントダウン」をつくりました。関係者からのメッセージとして最初のページに何か書けと言われて書い

たのが「『はやぶさ』、そうまでして君は……」という文章でした。「はやぶさ」のイオンエンジンが止まった時、「はやぶさ」は帰るのをためらったのではないかと思ったわけです。

「はやぶさ」がカプセルを地球に突入させるためには、カプセルを抱いて大気に突っ込み軌道に入らなければなりません。そしてカプセルを分離したら、ロケットエンジンが噴射できれば、それを噴射してそこから脱出して飛行延長する――これが最初のストーリーでした。しかし二〇〇六年に「はやぶさ」を救出した時、ロケットエンジンの燃料はすべてなくなっていた。だからロケットエンジンの燃料はありません。動かせないわけです。つまり「はやぶさ」が本当に運に支えられてでも地球に帰ってきて、そこでカプセルを大気の中に突っ込ませようと準備をするということは、「はやぶさ」が死ななければならないということなのです。それまではそういうことを考える必要はありませんでした。満身創痍の探査機を地球の側まで持ってこられれば上出来だと考えていましたから。しかし、「はやぶさ」のイオンエンジンが止まった時、「はやぶさ」はひょっとしたら帰るのをためらったのではないかと思いました。

しかし、われわれの無理難題の連動運転の要求に応えて、「はやぶさ」のイオンエンジンは動き出したわけです。「はやぶさ」のプロジェクトのゴール、それはカプセルを地球に帰して、回収することだとプロジェクトメンバーは改めて再確認して運用を続けました。

二〇一〇年六月十三日、「はやぶさ」はカプセルを分離しました。「はやぶさ」には三台のカメラが積んであります。しかしそれら三台のカメラはすべて電源もヒーターも切っていて氷漬け。二度と使わないつもりで飛行させてきました。「はやぶさ」は四年の予定だった飛行を七年に延長しています。太陽の放射線を受けると、太陽電池の出力がどんどん下がってくるんですね。帰りの飛行は電力不足です。

節電しなければなりません。帰りの飛行に関係のない機器はすべて電源を切って、二度と使わないつもりでいました。六月十三日、カプセルを分離しました。カプセルを分離すると、カプセルは単独飛行していますから、もはや母船である「はやぶさ」自身の運用はいりません。しかし、カプセルを分離した後二時間あまり、われわれには時間が残されていたので、「はやぶさ」の母船の運用をすることに決めていました。それは「はやぶさ」に自分の目のカメラでふるさと地球を見せてやろうということでした。

プロジェクトチーム全員がこれに粛々と取り組んでくれて、何枚も写真を撮ろうとしたのですが、本当に地球がおぼろげでも写ったのは図7の一枚だけしかありませんでした。写真の下のほうのデータが欠けているのは「はやぶさ」が地平線に消えていって、データを送りきれなかったところです。これが本当にラストショットになったわけです。

図8が再突入です。西の空から東の空へカプセルが飛んでいきます。色が赤くなっているのですが、これは温度が順調に下がっている証拠です。無事に再突入がおこなわれているわけです。非常に明るいですね。満月の二倍ぐらい明るくて、下には車や人の影ができています。図9はＮＡＳＡの飛行機から撮った再突入ですが、カプセルが見えて、その後ろには「はやぶさ」が散っていっています。酸化剤とキセノンタンクが爆発して、太陽電池が取れて、ばらばらになっていく。「はやぶさ」はその身を挺してこのカプセルを守り、自らはふるさと地球の宙（そら）に輝いて散っていきました。大気に帰っていったわけです。「はやぶさ」が切り離したカプセルは生まれたばかりの「産（うぶ）」であり、「はやぶさ」の形見でもあります。こんな歌を詠みました。

まほろばに　身を挺してや　宙(そら)纏う　産の形見に　未来必ず

得られた成果は必ず次のミッションにつなげると心に決めました。

図 7 「はやぶさ」のラストショット

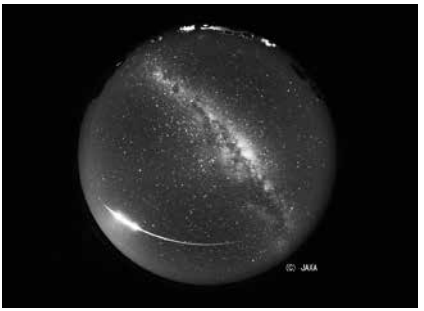

図 8 「はやぶさ」の再突入

図 9　NASA の飛行機からの撮影
（出典 URL:http://hayabusa.seti.org/）

カプセル回収

着陸は非常に正確でした。カプセルが分離してから四時間後、ヘリコプターが離陸してから三〇分の間に、夜間照明の中でカプセルが撮影されました。神がかり的です。予想着陸地点からわずか五〇〇メートルしか離れていません。六〇億キロメートルを旅して帰ってきて五〇〇メートル。すごい精度だったと思います。われわれは一〇日でも、二〇日かけてでもカプセルを探そうと思っていたのに、本当に驚きました。

カプセルの帰還の後、記者会見をして、応援してくれたみなさんにお礼を述べ、試料の分析への期待を述べさせていただきました。その数日後、私は出勤途中にコンビニエンスストアで野菜ジュースを買いました。レジに並ぶ私の顔を店員さんがまじまじと見て、こうつぶやいたんです。「砂、入っているといいですね」と（笑）。野菜ジュースに砂が入っていたらというわけではないですよね（笑）。多くの人たちに関心を持っていただいていて、何とありがたいことだろうと本当に思いました。

アメリカで「はやぶさ」がどう報道されているのでしょうか。十一月、カプセルの中から試料が発見されたとＪＡＸＡが発表すると、アメリカは「おめでとう。『はやぶさ』は世界で二番目にほかの惑星から帰還した探査機だ。一番目はＮＡＳＡの『スターダスト』だ」ということでした。「スターダスト」とは何か。帚星のそばを通った時にその塵を集めて帰ってきた、すばらしい計画です。すごいと思います。しかし、「スターダスト」は一旦停止したわけでも、着陸したわけでもありません。その飛行は弾道飛行です。遊園地に一周する線路があって、そこに台車が乗っている。台車を蹴飛ばすと、惰性で一

周回って帰ってくる。それが弾道飛行です。「はやぶさ」は一旦停止・着陸して、動力飛行で、もう一度発進しなおして帰ってきました。レベルがまったく違うことなんですね。

しかし、アメリカは国民をがっかりさせません。「あいつらがやっているのは二番目だ。われわれがNo．1だ」と言っているわけです。国民に自信と誇りを持たせる政策は徹底しています。われわれがめざしたのは世界初であり、世界一です。二番でよいわけがありません（笑）。世界をリードする努力が必要だと思います。

なぜ「はやぶさ」プロジェクトが立ち上がれたのか？

「はやぶさ」の立ち上げが提案されたのは一九九五年、プロジェクトがスタートしたのは九六年です。当時の日本はバブル経済が崩壊した後で景気が悪い頃でした。しかし、投資をしなければ将来はないという投資への理解がありました。政府系である宇宙開発委員会が「はやぶさ」プロジェクトを認める時、加点法を取りました。ここまでできたら満点という採点法ではありません。ここまでできたら二〇〇点、あれまでできたら三〇〇点やろうという加点法で、お金を出すから挑戦してみろと言ったわけです。宇宙開発で加点法を取ったのは後にも先にもこのプロジェクトだけでした。本当にありがたかった。だからこそ今、この成果があるわけです。

堅実な、ステディな政策や経営というのはローリスク・ミディアムリターンの投資ですが、イノベーションの発揮にはハイリスクの投資が避けて通れません。しかし残念ながら、科学技術で成果を出すに

は非常に多くの時間がかかる。「はやぶさ」のコンセプトは二五年前に始まって、プロジェクトが始まって一五年、飛行が始まってから七年目の成果です。今年予算をつけたら、来年にはどういう成果がありますかという近視眼的なことでは「はやぶさ」のようなことは決してできないわけです。近視眼的でない政策がほしいものです。

将来に投資することとは、耳のない煎餅をつくろうとしないことだと思います。みなさん、「耳のない煎餅」と言ってもぴんとこないでしょう。実は私にとって煎餅とは耳がついている南部煎餅のイメージなのです。網の上で焼く煎餅ではなく、型に材料を流し込んで、その型からはみ出した部分が耳になります。型からはみ出さないようなちょうどの量の材料で煎餅を焼くと、耳ができないかもしれませんが、型いっぱいに煎餅が広がることはないのです。ですから、将来に投資することは耳を必ず残すことなのです。そういうことが必要です。今、一生懸命にみみっちく切り詰めて、何とか日本がしのげるようにということではダメなのです。是非、耳を残す政策を期待するところです。

「はやぶさ」が帰してきたカプセルを日本中でみなさんに見ていただきました。何十万人もの人に見ていただいています。それはバーチャルなCGのデータではありません。実体を持った物体です。これが六〇億キロメートルを旅して、最後に地球の大気圏に突っ込んだものなのだという目で見てもらうと、本物が持つ力をかみしめていただけると思います。アメリカ・ワシントンにスミソニアン航空宇宙博物館がありますが、そこに一階のフロアにはアポロのカプセルが展示してあります。アポロのカプセルは、わずか四〇万キロメートル、月までを往復してきただけで、月に着陸したわけでもなければ、飛行も弾道飛行でした。「はやぶさ」は三億キロメートル彼方にある天体に着陸して、六〇億キロメートルを動

力飛行で帰ってきました。全然レベルが違うことなのです。アポロに決してひけをとるものではありません。こういうカプセルの成果を全国民のみなさんに見ていただき、そして国際的にも発信していくことが、日本があなどられない国であることの発信でもあると思っています。

「はやぶさ」とは何だったのか？

「はやぶさ」は、地球圏以外の天体に着陸して戻ってきた人類初の宇宙船です。しかし、同時にたくさんの困難に遭遇しましたが、それを切り抜けた努力をお見せすることができたと思います。それを支えたのは、プロジェクトメンバーが「ゴールは地球だ」と信じてゆらがなかったことです。それでチームワーク力とモチベーションの維持ができました。

いろいろと伝えたい教訓はありますが、まず「技術よりも根性」だと思います。意地と忍耐、意気込みとあきらめない心をもったからこそ、「はやぶさ」は往復して帰って来ることができたのです。そうした精神力は不可欠だと思います。

そして「はやぶさ」は本当に運に助けられて帰ってきました。実力だけで帰ってきたなどおこがましいことを言うつもりはありません。ハイリスク・ハイリターンの活動は、運を実力に変えて定着させる活動がつながらないと、実力にはならないのです。今、ここで終わると、おそらく運がよかっただけです。「はやぶさ」の後継機の活動を通じて、これを実力にするようにわれわれは頑張りたいと思っています。そして、日本を包む閉塞感を打ち破るためにはアイディアでイノベーションをもたらすことに努

力しなければいけないと思います。個性やインスピレーションを伸ばす人材育成が必要です。その点にも努力していきたいと思います。

最後にいつも私はこういうことを言わせていただいています。「高い塔をたてていなければ、新たな水平線は見えてこない」。少しでもいい。背伸びをして果敢に挑戦することが何よりも大切です。一歩でも高いところから見れば、水平線は広がって見える。新たな未来が見えてくるのです。若い方たちには是非挑戦することを忘れないでほしいと思います。

（本文素材提供（図4、9を除く）：宇宙航空研究開発機構（JAXA））

質疑応答

Q1　学生A（理工学部修士1年生）　宇宙探査機を実現するにあたって、理学研究者と工学研究者それぞれが期待や成果をもたないと、ミッションに取り組めないと思うのですが、「はやぶさ」についてはどのようなプロセスでそれぞれが取り組むことができたのでしょうか。

A　「はやぶさ」はエンジニアリング・ミッションです。エンジニアが技術実証をすることを第一の目的としています。もちろん科学成果もひとつの目標にしています。

「はやぶさ」の科学成果ではたいへん大きな成果があって、『Science』の特集号にもなりました。震

災の前日にもヒューストンでおこなわれた月・惑星科学者会議では、立ち見が出るほどたくさんの世界中の科学者が集まりましたが、そこではまだ詳細は発表していません。詳細を発表すると、学術雑誌に載らなくなるからです。メディアの協力を得てまだ発表していませんが、成果に関する詳細は何カ月間かのうちに発表する予定です。そういう大きな成果がありました。

いろいろな見方があるかもしれませんが、あえてここで言わせていただければ、宇宙開発はエンジニアリング主導だと私は思っています。最初の人工衛星「おおすみ」を打ち上げたのも、最初の衛星探査機を打ち上げたのもエンジニアリングですし、「はやぶさ」を成功させたのもエンジニアリングです。というのは、利用といった観点での理学目標のミッションで飛行計画をたてるとどうなるかということです。いかに確実にその成果を得ようかと思いますよね。そうすると、かえって新しい技術開発を追求しない方向にいってしまうのです。既存の技術で、いかに確実にという方向にしか動かなくなる。それは宇宙開発にとっては致命的なマイナスなのです。宇宙開発は「ケイパビリティ・ドリーム（capability dream）」ということです。そういう活動なのです。そういうことをわかっていたうえで、しかしわれわれも言ってみれば科学のファンです。科学的な意味のない計画はやるはずがない。ここはエンジニアとサイエンティストが手を結んで新しいことに取り組むべきだと思っています。

Q2　学生B（理工学部2年生）　ＮＡＳＡをもつアメリカや中国、インドなど世界各国で宇宙開発が進められていますが、日本がこの宇宙開発の面で世界をリードしていくためにはＪＡＸＡをはじめとしてどういうコンセプトで行くべきだとお考えでしょうか。そして、宇宙開発に携わるために、僕たち大

学生はどういうことに気をつけて社会に出て、仕事をしていかなければならないのか。先生ご自身のご意見をお聞かせ下さい。

A　日本がどういう宇宙開発に取り組んでいくべきかということですが、宇宙開発には巨額な投資が必要になります。ですから、何でも相手のやったことをもう一度やればいいという話になると、巨額な投資をして結局コピーをつくっているだけということになります。われわれは「コンプリメンタリー(complimentary)」と言いますが、科学技術の成果をできるだけ相補的というか、ある意味ではほかの国ではやっていないけれど、われわれはやるというふうに、専門性や特技を生かして臨むのがひとつの方向だろう、と私は思っています。

特に中国やインドなどは国威発揚で宇宙開発が動いている国です。国威発揚という言葉を使うと少しきな臭くなってしまいますが、では日本では国民がどう考えるか。それはやはり国民自身が励まされるものでなければいけないと思います。決して威圧するためにやっているわけではありませんが、国民がその成果を享受できるような活動でなければならないと思っています。

宇宙開発の目的はいろいろとありますが、そのひとつは知の探究、つまり科学です。ふたつめは産業に与えるインセンティブ（刺激）、つまり技術開発です。宇宙科学は非常に裾野が広い産業でして、ＩＴから化学、材料にいたるまでいろいろな分野にさまざまな刺激を与えていく、あるいはそれをベースにした活動です。

三つめは、国際的地位の発信です。先ほど言った国威発揚ではありませんが、わが国の技術的なセキュリティ、ソフトパワー、技術安全保障――たとえば新幹線が無事故で何十年間も高速で運用している

ことはすなわち科学技術のトップの成果です。あなどられない国である、一目置ける国だと言われることは大切なことなのです。日本が人工衛星やロケットを打ち上げていることは日本が先進国のメンバーであることの証しであるわけです。あまりこんなことを言っていると、一体何のためにやっているのかと言われそうですが、技術安全保障というのは非常に重要な観点です。

そして四つめは何と言っても人材育成です。人材育成のためのインセンティブ。これは必ずしも宇宙開発に限って言っているわけではありません。こういう成果で、自然科学や理工系、産業に対して貢献しよう。こういうことに興味をもってくれる学生さんや若者が増えていくことがプラスになりますよね。そういう人材育成に対する刺激効果があります。

大きく分けてそうした四つの効果が宇宙開発の目的であり、日本の宇宙開発はそれに向かって取り組んでいくということだろうと思っています。

特に国際的地位の発信について言えば、こうした惑星探査は、無人のロボット技術の粋を集めているわけで、それは本来日本が得意とする分野です。こういう能力を大いに発揮して発信していくことが大切でしょう。

学生さんたちが宇宙開発に携わるためにはどうするかということですが、宇宙開発は決してＪＡＸＡだけでやっているわけではありません。むしろＪＡＸＡはお役所的な面もたくさんもつ組織です。宇宙開発と名前がつかないような学科であっても、別にがっかりする必要はありません。私は機械工学科の出身です。機械工学科というのは多様な分野を担っていますが、材料にしても化学にしてもみんな同じですね。宇宙開発は裾野が広く、いろいろな技術を結集している分野ですから、それぞれの分野で宇宙

開発が担われている、ベースを支えられているわけです。ですから、いろいろな方がさまざまな活動をし、貢献していただくところがたくさんある。

宇宙開発は残念なことに、商業的に見るとあまり転がっている分野とは言えません。産業規模は本当に小さいんですね。しかし、この分野の活動はみなさんに希望や自信を与えていくような活動につながると思います。ですから、携わりたい方を大いに歓迎します。そういう方たちが一生懸命にいろいろなことをしていただくことが、日本の宇宙開発全体を太くしていくのかなと思っています。特別な分野にかたよる必要はありません。いろいろな分野で頑張って努力をしていただくとありがたいと思います。

Q3　学生C（システムデザイン・マネジメント学科修士1年生）　ＪＡＸＡでは宇宙ステーション補給機「こうのとり」（ＨＴＶ）を運用されていますが、今後、日本が宇宙技術大国として進んでいく中で有人宇宙技術にどこまで踏み込んで、どんな成果を挙げていけるのかについてお聞きしたいと思います。また、日本がますます宇宙先進国として進んでいくために、一般の国民の一人ひとりがどんなサポートをしたり、どんな意識をもっていたりすればいいと思っていらっしゃいますか。

A　有人宇宙開発についてはいろいろな場で質問を受けます。有人宇宙開発には現在、巨額のお金がかかります。人間が乗るのですから安全でなくてはならない。ですから高額なお金がかかる。たとえば「はやぶさ」プロジェクトは一〇～一五年間で二〇〇億円あまりですが、今、宇宙ステーションに費やされているお金は一年間に四〇〇億円です。まったく桁が違う、お金が何桁も違う活動なのです。人間を送るのだから、そのぐらいかかってもいいかもと思っていただいていいと思いますが、確かに人間を送る

ことで得られることが、その投資に対して見合うだけの価値はあるのかという議論はおそらく出てくるでしょう。私もそう思います。

しかし有人宇宙開発全体の将来を考えますと、従来の有人宇宙とはまったく違う考え方をすべきだと、私は思っています。「人間は宇宙に行く必要はあるだろうか」という問いは、今のこの瞬間においてはよい問題提起です。しかし、たとえば今飛行機でわれわれは高度一万数千メートルをアメリカまで一〇時間ぐらいかけて飛んでいるわけです。途中に戦争がありましたが、ライト兄弟が飛行機を発明して一〇〇年。飛行機がもたらした産業・経済・物流への影響はすさまじいものですよね。世界を一新してしまったわけです。

次は宇宙の時代だと考えたらどうでしょう。つまり、飛行機と宇宙の境目はおそらくなくなります。高度四～五万メートルをものすごい速さで飛んで、アメリカまでたとえば一時間で行けるような輸送手段ができたとしたら、これはもう宇宙飛行です。そういう時代が来た時に「宇宙に行って人間は何をするのですか？」という疑問を出す人は、おそらく偏屈な老人でしかないですよね。そういう時代が来ると思います。今は「宇宙に行くことは人間にとって何なのか」という問題は投資したことに対してどういうリターンがあるのかということを考えると疑問に思ってしまう。だけど、違う将来がありますよね。宇宙開発の基盤をつくるためにはきっとたくさんお金がかかるかもしれませんが、技術開発はそういった進化を遂げていくものだと思います。われわれの産業や生活を一新していく活動でもあるんですね。すぐにではありませんが、おそらくそういう時代が来るでしょう。そういう時代が来る時になってみると、有人か無人かということはナンセンスになると思っています。

たとえば今、スペースシャトルをやめて、ロケットに戻ろうとしていますが、ロケットで人間を運ぶということは、ミサイルに人間を縛り付けていくという方向です。私は、また五〇年前に戻るのかと嘆かわしくなってしまいます。ゴールはどこかと言えば、昔ライト兄弟が動力飛行をしたのと話が同じなのです。われわれが憧れる究極的な姿を思い浮かべればいいのです。これから宇宙開発に携わる人はロケットを開発しようなどと思ってはいけません。ロケットはもう過去のもの。ミサイルも過去のもの。そんなものをやるのではありません。これから考える人はまったく新型の乗り物を考えるぐらいでなければダメなのです。そこを展望してほしいと思います。有人か無人かはその後に考えればいいのです。

二つめの質問はたいへんに難しい質問ですね。じゃあ、今、日本は宇宙先進国かというと、ひと言で言うなら、答えはノーです。アジアで一番かと言われても、それもノーです。中国が有人飛行をしました。有人飛行は、先ほども言いましたが、ミサイルに人間を縛り付けてという宇宙開発というのは、乗っているものが人間であろうがサルであろうが基本的には同じです。打ち上げている技術としては何も変わるところはありませんが、より安全であり、信頼性の高い打ち上げ技術を中国がもっていることはまぎれもない事実です。だから「中国のほうが日本よりも進んでいますか?」と聞かれれば、「進んでいます」と答えます。

中国は、今年、火星に向けて探査機を打ち上げようとしています。日本は探査機を打ち上げようとして失敗しましたよね。だから中国が火星の軌道を回る周回機に成功すると、火星の周回機としては世界で四番目の国になります。日本はアジアで二番目、三番目の国になります。それが現実です。日本は決して宇宙先進国ではない。誤解しないでください。その通りなのです。

宇宙先進国とは何かということをよく考えるべきですね。あらゆる面で、アジアの中でリーダーシップを取っていくということは実はもはや難しいことです。中国は国威発揚のために犠牲やお金を払わない活動をおこなっているのだから、われわれが追いつけるはずがありません。われわれにとっては、無人のロボット探査で、日本人にしかできないような精密な高度なことをやってみせる。そうした匠の技で技術発信することもひとつの方法だと思います。そういう焦点を絞った活動領域で、ある宇宙開発の中で先進的な地位を保っていくこともひとつの手段だと思っています。ですから、そういう前提を国民のみなさんに了解していただいたうえで後押ししていただくのがひとつの方法だろうと思っています。

また、これはある意味では政治的な配慮になることです。先ほど言ったように、日本も遅れていながらもロケットや人工衛星を打ち上げています。私に言わせると、もう何十年も前に終わっていなければいけない活動がまだ続いているのですから、ずいぶん時代錯誤的な話です。かといって、それを上げている国は世界に何カ国あるだろうかと考えると、アジアで二番目、三番目であろうと、世界の一〇カ国の中に入っているとすれば、せめてもの国際的な地位の発信にはなっているのでしょう。だから撤廃していいかというと、やはり撤廃することはできないでしょう。そこは必要なものとしてはしようがないのかなと思います。宇宙ステーションに年間四〇〇億円も使う。しかし宇宙ステーションに参加していくには世界四カ国と一団体（アメリカ、ロシア、日本、カナダ、欧州宇宙機関）です。そのなかの一員であるということを発信するための、ある意味しかたなくやっている活動であり、そういう活動にも投資していかなくてはいけないかもしれません。このあたりはなかなか、やりたいこととやらなければならないことのバランスで決まることかなと思います。残念ながらそういうバランスの間でもがいている

というのが正直なところです。

ただ私自身はもちろんやりたいことは無人に限定しているわけではありません。新たな世界に入っていくことが私自身の目的なのです。先ほど言いましたよね。「目に見えるものは過去のものである」。ですから、今見えている、ロケットに人間を縛り付けて打ち上げるのは過去のものなのです。今見えていない、まったく見えないような宇宙船をつくり、まったく見えない打ち上げ方法や輸送手段をつくっていく活動に取り組みたいと私は思っているし、国民のみなさんにもそこを応援してほしいと思います。今見えていることをもう一度コピーしてつくる活動を支援するのではなく、そういうことを応援していただけたら、日本はもっとクリエイティブな国になるだろうと思います。

Q4　学生D（理工学部1年生） 講演の中で意地と忍耐が大切だとおっしゃっていましたが、僕はこの二〇年弱生きてきて、意地を張るというよりも、自分から折れていったほうが友だちもできるし、まわりととけ込むことができると感じているのですが、意地を張り続けて先生はひとりぼっちになりませんか（笑）。

A　確かにそうだと思います。先ほど天の邪鬼のすすめなんて言いましたが、天の邪鬼とは共通性がない代名詞のようなものですよね。天の邪鬼と言った時に、人のやったことをやるというポジティブな面を見るより、人と調和できない人のことを言ったりするわけです。

私が言う意地というのは意気込みのほうです。日本の人材育成に欠けている面というのはディスカッションやディベートの部分かなと思います。自分の個性を発信するということはプレゼンテーションで

すが、それをお互いに聞きあうディベートやディスカッションで議論が始まり、世界が広がるはずなのです。日本人にはそういう機会が少なすぎるんですよ。だから、たとえば今の意地の張り合いは、ある意味では論理的で合理的な意見の主張という部分であり、それはもっと培われる環境が整備されるべきだと思います。友人との関係で意地を張るという意味とはちょっと違って、そういうふうに理解してもらえるといいかなと思います。

Q　逆に先生がおっしゃっている意味での意地をそれほどまでに張るにはどうしたらいいですか？

A　やはり不屈の精神ということでしょうね。自分が正しいと信じていること、そしてそれが実現されるべきだと思うことについては、容易に負けてはダメです。ですから、そういう意見をきちんと主張し通すことが大事です。ただ同時にディベートですから、もっと合理的な意見が来た時には折れなければいけません。われわれ科学技術に携わる者は、あるいは大学の先生もそうですが、ある意味で致命的な弱点があるんですよ。それは論理的な説得にはもう無防備になってしまうこと。諸手を挙げて降参するしかなくなってしまうので、政治家と話すと、学者はすぐに負けてしまいます。政治家の主張は論理性は通っていないけれど、それでも主張してくるでしょう？　そこに一分の正しさがあると、学者はそれを受け止めてしまうから負けてしまうことが多いのです。私は別に政治家になれと言っているわけではないです。でも、正しい論理には降参すべきだし、自分が正しい、合理的だと思うことはちゃんと通す不屈の精神はやはり必要だと思います。

Q5　学生E（理工学部4年生）　私は物理学科で学んでいるので、エンジニアリングにはあまり縁が

ないかなと思うのですが、物理学を学んできた者として宇宙開発に携わるにはどういう分野があるのでしょうか。

A　この惑星探査を支配しているものはすべて物理学ですよね。狭く言うと、地球物理学とは地球の中のことをやっているだけではないですよね。惑星についてもすべて地球物理学の領域です。だからすべてが物理学に支配されていると私は思っているので、正直言って、ご質問の意味がちょっとわかりません。

Q　開発という面では技術的なものがないとなかなか厳しいのでしょうか。物理学的法則についてはもちろんしっかりと学んでいるのですが、技術の面では弱いので、そういう面からどう関われるのかなと思ってお聞きしました。

A　宇宙開発には物理を出た方や数学を出た方はたくさんいらっしゃいますよ。宇宙開発でエンジニアリングでなければならないということはどこにもありません。論理的な思考や合理的な考え方を取れれば、そこまで何を学んできたかということはあまり関係ありません。少なくとも大学学部四年間で学んだ専門性というのは逆に言うとほとんど関係がないと言ったほうがいい。そう言い切ってしまってもかまわないと思います。