

平成 23 年 4 月 21 日機械振興会館において開催

出席者（敬称略）

川口淳一郎

青山友紀（本会元会長）

辻 弘美（本会会誌編集委員）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構

慶應義塾大学

沖電気工業株式会社研究開発センタ

【青山】 本日は、「宇宙大航海時代をつくる日本の役割と若い世代への期待—「はやぶさ」の大航海を経験して—」と題しまして、川口先生と私で対談をさせて頂き、その模様を電子情報通信学会誌に掲載させて頂きます。

実は私、宇宙科学研究所の宇宙科学運営協議会の委員を務めてまいりまして、何度か相模原の宇宙科学研究所を訪問しておりますが、その協議会で「はやぶさ」の状況なども聞かせて頂いておりました。それで、はやぶさの故障や通信不能という状況を聞き大変心配しておりました。これが地球に帰還するというのを聞いたときには、これは極めて素晴らしいことだと思ひ、私は昨年5月末の総会まで電子情報通信学会の会長を務めておりました関係で、「これは本学会の会員にもその経緯は大変興味があるに違いない」と考えまして、是非先生に長期にわたるはやぶさプロジェクトの経緯とか、障害発生後のいろいろな苦労とか、見事に地上に安全に帰還させた要因とか、今後の宇宙探索の展開を含めてお話を頂き会誌に掲載することで会員の皆さんにそれを伝えたい、とお願い致しましたところ、大変な御多忙の中にも関わらずお引き受け頂きましてありがとうございました。

1. 「はやぶさ」のミッションと計画の時間的経緯

【青山】 お聞きしたいことがいろいろあるのですが、まず、「はやぶさ」のミッション、小惑星にタッチダウンして物質を持ち帰るといった極めて挑戦的なミッションを

推進されたわけですが、その経緯とか、なぜそのような目標を選定されたのかに関する考え方といいますか、そういうことをお話し頂きたいと思ひます。

【川口】 「はやぶさ」というのは技術実証なのです。「小惑星探査」とよくいわれるのですが、本当は技術を開発する、実証するというのが目的なのです。ですから、極端な言い方をすると必ずしも小惑星に行かなくてもよかったです。しかし、小惑星に行くことにこだわろうとしたのです。いろいろな革新技術が全部シリーズにつながってしまうというやり方というのは実証方法として賢いやり方とはいえません。技術実証すべき項目が五つも六つもあつたら、どの一つが潰れても他のものができるというふうにしなないと、本当は賢いとはいえないのです。ただあえてこだわって連続的につながるようにした、というかシナリオにした。それにこだわったのは、その先の計画が将来きちんとステップアップできるようにする。ちょっと無謀は無謀ですが、それにこだわりました。

この計画の一番のポイントは前例がないということです。これは最初からそう思っていたわけではなくて、一番最初には小惑星に着いたらそこで観測をするところまで、昔はそういう計画を考えていたのです。1990年ぐらいでしょうかね、もう20年以上前ですから随分昔ですけれども、それを手堅く次のステップをと考えておろしまして、それを我々はやろうとしていたのですが、ある意味でNASAにそのアイデアを取られてしまひまして、構想は我々の計画だったのですが、何といひますかオリ

ジナリティをどこかでぜひ試したいと思っていますので……。

当時、小惑星とか小天体というのはアメリカもソビエトも目を向けなかったのです。「山は高いところ」というか、エベレストだと思っていたのです。つまり、火星や金星、木星だと、丸い天体に行こうと思っていたのです。我々にとっては、小さい規模で始めて、後発で始めるので同じことをやってもしょうがないと思いました。それで小天体に注目するわけです。小天体というのは実は丸い天体に行ったのでは絶対に分からない情報を提供してくれます。地球もそうですが、丸い天体には表面に重いものがなくて軽いものしかない。重いものは下に沈んでいますからね。小天体は、分かりやすくいえば「溶けていない」というのですが、要するに層を成していない。形が丸くないほど重力が小さいですから、重いものも軽いものも表面にある。そこを調べると、結局、太陽系の起源が分かる。昔から専門家の間ではそういうふうに議論されていました。宇宙探査のベースでやってきたのは大きな天体が相手ですが、その表面には惑星が出来上がった情報というのがないわけです。そこに注目したということがあります。それは我々が後発だったからです。

小惑星の「ランデブー計画」、小惑星を観測するところまでやろうとしたのです。それが先ほどいいましたようにNASAに取られてしまうわけです。計画はオリジナルといっても別に専売特許というわけにはいかないので、NASAから見てもリスクが少なくて成果があると、それが何といっても一番の引き金です、「悔しさ」というのが……。

[青山] それはいつ頃ですか。

[川口] NASAは、それを1993年ぐらいに立ち上げ始めるわけです。それが一番悔しいわけです。オリジナリティの発揮という場所がなくなる。幾ら新しいことを考えてもだめだと。宇宙開発に限らずみんなそうですね「日本はコピーをやっていればいい」という感じになってしまう。「次にやればいい、2番目をやればいい、同じものをやるだけなのだから」と。そこが非常にしゃくに触ったというのが最初ですね。ですから、「こういうのはアメリカもきっとやらないだろう」という計画に乗り出したのです。それが「はやぶさ計画」の「MUSES-C計画」のスタートなのです。ですからハイリスクになる。ハイリスクは元々覚悟して分かっていたテーマなのですが、しかし、それに挑まなければいけないだろうと。そして、パラレルに五つのミッションができればいいのではなくて、全部が完成することを目指そうとしたわけです。

本当は余り賢いやり方ではない、というか、経営的なセンスからいうと、もっと堅実で失敗の少ないやり方があるわけです。でも、もう我々が次にやるとすればその

ぐらいのジャンプをしないと、結局、いつまでたってもコピーを作るだけになるのです。ブレイクスルーということですね。少しずつコピーを積み上げていくといつか世界のトップに立てるのか？そうではありません。突然大きなジャンプが可能になるのではないので、あるときには、思い切った挑戦をしなければならない、それがスタートポイントだったのです。

[青山] 私は今まで、通信システムやネットワークの研究開発をやってきたのですが、研究したことを実際にビジネスなり商用化するまでには、リアルな場で必ず現場試験というものをやったのです。そうしないと、幾ら前もって個々に要素技術をチェックして、それを組み合わせて、例えばシミュレーションするとかエミュレーションするとかをして、一応「いくね」と思っても、現場でやると必ず何か新しいことが出てきて、それを潰しておかない限り商用化はできないのです。宇宙の実際の現場の場で新しい技術を試験しなければならないというところは同じですが、我々の場合は部分的な要素技術でも現場で実験はできるのです。ところが宇宙ではそれができないですね。それで革新的な技術を、後でその技術はお聞きしたいと思うのですが、幾つかある革新的要素技術を全てつなげて一挙に現場で実行するという、そのチャレンジングなプロジェクト計画というのはなかなかすごいものだなと思いますね！

[川口] 無謀なのですよ。ただ、先ほど言ったような思いがあったのと、本番のミッションでは、結局は革新技術をシリーズで活用しますから、一番最初にこけたら何もならないわけで、どれか一つだけ技術実証しても仕方がないのです。とにかく我々が真に実証しようと思っている往復飛行をさせるということに、この実験ミッションのシナリオを一致させたわけです。そうすることで、ここだけやれば恐らく本当に使える、ということになりますよね。まずそういうふうなシナリオを描きました。

それから、当時の宇宙科学というのは、とすれば科学のためにエンジニアが動員されるような形になってしまっていました。一方では、エンジニアはエンジニアなりに技術を開発する夢があるわけです。いろいろな分野のエンジニアがそれぞれに、みんな革新的な挑戦ができるような、全員参加の一つのシナリオを作ろうとした、多くの人が楽しめるように。そういう目的を合わせて調合して作品を作るわけです。小説のようなものですけど。そこが幸いにしてよくうまくできたというところで、みんなが意気込んで取り組めるようになりました。これは、必ずしも狙ってやったというわけではないのですが、もちろん、ずっと意識をして行ったことです。本当によくできたものだと思います。「ひょうたんからこま」みたいなものなのですが、これが大きなステップになりましたね。



青山友紀元会長

[青山] 特に最近、我が国の経済も大変厳しくなってきた、すぐ役に立つとかすぐ成果が見えることが強く要求されるようになってきていますよね。

[川口] そうですね。

[青山] こういう非常にチャレンジングで、もちろんやる方は「成功するのだ」との信念でやるのですが、リスクも非常に高いものを国がよく認めたと思うのです。今の国の科学技術の研究に対する姿勢からは想像できないですよ。ですから、はやぶさの計画が作成された頃というのは、現在に比べてそういうチャレンジ精神が国の方針にもあったということなのですね。

[川口] プロジェクトが提案されたのが1995年で、プロジェクト発足は1996年なのですが、バブルがはじけた後なのです。バブルがはじけて4、5年という感じですか、バブルがはじけたのは1991年ぐらいですね。ですから、世の中の景気は余り良くなかった。ただ、バブルの余韻を持っていたのかもしれませんが、投資というのが割と感覚としてはまだあった。まだ、理解があるという段階だったのでしょね。今はそんなこと全然ないですから、今はみじんでも、必ずしも無駄ではないのですが、大切なマージンを切り取ろうとしますからね。「JAXA」の展示スペースの「JAXAi (ジャクサアイ)」というのが丸の内にあったのですが、それが事業仕分けで閉鎖されてしまいました。そういうものは人が集まる場所に展示されないと意味がないのです。それが「無駄だ」といわれては……。そんなことはないわけですよ。大変ショックです。それが一つの例ですね。ぎりぎりまで切り詰めると、それでしのげるのだと思っているところがあると思います。でもそれは多分違うと思います。ある種の将来への投資をしていかなければいけない

のですよね。最近はそのが欠けていますね。ただ、その当時を振り返ってみると、投資ということの意味、理解という点では、バブルの余韻かもしれませんが残っていたかなと思うのです。それに加えて、こんなハイリスクなものなのに、これを加点法で評価してもらったということですね。

[青山] そこをぜひお聞きしたい。プロジェクトの達成度の加点評価という方法は非常に面白い考え方で、通常の評価は目標を全部できたら100点だけど、ここまでできたら90点とか70点とか、減点法でやりますよね。それが、ここまでできたら100点で、その後は成果が出ればその都度点数がずうっと積み上げられていくという考え方、これはどなたの発想なのですか。

[川口] 加点法というのは委員会が作り出した考え方というよりは、我々提案側が「このプロジェクトは加点法で評価して下さい」という提案をしたのです。我々も、委員会の委員も同じ立場にあったといえるでしょう。このプロジェクトを行うことが、国民に対してどういうアカウンタビリティがあるかです。ハイリスク、ハイリターン、シリーズでつながるような作り方で構成されていますから、臨んでも、どこかで頓挫したりする可能性が十分にあります。当然バッシングされてしまいます。加点法という考え方は、我々にとってのアカウンタビリティというか、エクスキューズだったかもしれませんが、それを認めた委員会にとっても、多分同じ立場だったと思うのです。こんなことに挑むには加点法しか評価のしようがないと思うのです。ここまでいったら200点、ここまでは300点ということですね。「はやぶさ」でいえばイオンエンジンがある時間動けば、これで、とりあえず及第点だといったのです。その後、例えば小惑星に着いたらもう何百点加点しましょう、着陸できたら何百点加点しましょうというのは、そこは本当に挑戦的な部分で、できなくても仕方がないですが、できたらプラスをしてやろうということですね。そう考えてもらわないと、多分、我々自身も、委員会も国民への責任の果たしようがないということになります。結局、その産物なのです。後にも先にも、政府の宇宙開発委員会が加点評価をしたというのはこの「はやぶさ」だけです。

[青山] 素晴らしい考え方だと思いますね。そうしないと「はやぶさ」のようなチャレンジはできないですよ。

[川口] できないですね。当時のその委員会の判断があったからこそ、今の「はやぶさ」の成果があるわけです。

[青山] 私は今は大学にいますが、昔は企業にいましたので、なかなか加点評価というわけにはいかないわけですが、最終的にはちゃんと事業に入ってお金を生み出さなければいけないわけですが、国としてあるミッションを持って極めてチャレンジングなことを実施するには、こういう考え方もできないと推進できないですね。

2. はやぶさプロジェクトに必要な キーテクノロジーは何か

[青山] 先生の執筆された本を読ませて頂きましたが、そこに「東京からサンパウロにいる何か小さな虫を目掛けて行くようなものだ」というような例え話がありましたが、そういう非常に小さい「イトカワ」のような小惑星天体、しかもタッチダウンするのに引力はほとんどないわけですから、ピシッと着地しないとだめなわけですね。そういう困難なミッションを実現するキーテクノロジーが幾つかあると思うのですが、それを御紹介頂きたいと思います。

[川口] 表向きで挙げているキーは五つなのです。一つはイオンエンジンの利用です。二つ目は自律性と呼んでいます。オートノミー、非常に碎けていえばロボットであるということです。三つ目は小惑星の試料を採取するという。これは引力がほとんどなく、マイクログラムに近いわけで難しいのです。自分がハンマーを降り下ろそうとすると自分が動いてしまいますから、採ること自体が難しいのです。四つ目は試料を入れたカプセルを直接大気圏に再突入させて回収すること。地球を回っている探査機だったら、待てばタイミングもありますし、天気が悪かったり、機器の調子が悪くてトラブルがあれば延期すればいいのです。しかし、小惑星から飛んでくる、このカプセルを直接地球の中に、地球のある場所にピンポイントに落とさなければいけない。このチャンスは1回だけなのです。雨が降ろうとやりが降ろうと必ずやらなければいけない、1回ミスったら絶対にやり直しができない。そして、突入する速さというのは地球が回っている衛星の速さとは全然違うので、ものすごい高温と高熱の環境で、高加速度の環境に耐えなくてはなりません。

それから5番目。これは後からプロジェクトが小惑星のターゲットを変えたために、やむにやまれず採り入れた方法ですが、イオンエンジンと地球のスイングバイ、地球の重力を使って加速する方法、それを併用して加速するということでした。これらが主な五つのキーテクノロジーです。もちろん、「はやぶさ」がやろうとした、地球引力圏外の天体との、着陸を挟んだ往復というのは人類初で、誰も考えていなかったオリジナルでした。

その五つ挙げたキーテクノロジーも世界中誰もやったことがない、誰も考えたことがなかったことなのです。我々にとって非常にやりがいがある……。自分たちの前に手本はないですからね。高村光太郎ですか、自分の後ろに道はできるという、我々が手本だ、みたいなちょっと不遜かもしれませんが、そういう気持ちにもなります。目の前に足を踏み入れたことがない雪原があるというような感じでした。今、五つ挙げましたが、おっしゃったように非常に小さな天体に到達させることとい



川口淳一郎氏

うのは、これも大きなチャレンジで、着いたときに世界中から大変褒められました。「イトカワ」の500mぐらいの大きさというのは船の大きさですよ。太平洋とか海上にあってもそこに着陸させるのも難しいです。なのに、それが3億kmの彼方にあつて、しかも500mのどこに降りてもいいのではなくて、「ここ」だけという点にピンポイントで着陸をした。本当によくできたものだと思います。

更に、自分のカメラで見て、その場所に自分を向けていくという、画像によるフィードバックです。そういうロボットである機能を発揮したということが大きいと思います。そういう意味では六つも七つも……。その他にももっと細かいのは一杯ありますが……。本当に革新技術のてんこ盛りでした。

[青山] イオンエンジンですが、これはそういうものをきちっと作れる企業、メーカーさんがいないとできませんよね。多分、宇宙科学研究所の方と企業の方が一体になって開発されたと思いますが、イオンエンジンを使わないといけないというのは、どういうことでそうなのですか。

[川口] 燃費が良い、といわせて頂いています。ロケットが飛ぶのもイオンエンジンで航行するのも同じなのですが、運動量の保存なので、結局、ガスなり質量をいかに高速で打ち出すかが鍵です。質量と速度の積がMVなので、同じMVの積を作るには、Vが速ければMが小さくなる。つまり使うガスが少なくて済むわけです。イオンエンジンはガスを打ち出す速さが、炎を出して力を出すロケットエンジンに比べると10倍ぐらい速い。ですから、ガスの消費量が10分の1で済みます。桁違いに燃費が良いわけです。イオンエンジンはそれが特徴

です。

[青山] しかし、聞くところによるとイオンエンジンの推力は余り強くないと。

[川口] パワーは力と排出する速度の積なのです。ですから、先ほど言いましたように速度をどんどん上げていくと、同じパワーだと推力はどんどん反比例して下がってしまいます。ですから「はやぶさ」のイオンエンジンは、推力 20 mN、2 g 重、1 円玉 2 枚分に働く重力くらいですね。

[青山] 1 円玉 2 枚分ですか……！

[川口] 時間で勝負するのです。推力は小さい、つまり加速度は小さいのですが運転時間が長いと……。

[青山] 長時間かけて加速し、少しずつスピードを上げていくことはできるというわけですね。

[川口] そうですね。トンチでいうところの、「珍念さんの鐘」というか、指で押しても大きな釣り鐘が動くわけです。ほんの少しずつ動かしていくと必ず動くわけです。それと同じですよ。 「ちりも積もれば山となる」ということですが、一瞬で加速しようと思うと無理なだけです。10 日か、100 日か、1,000 日という覚悟で加速する。

[青山] そうすると、イオンエンジンは長時間、故障なく、向こうに到達するまでずっと動き続けなければいけないということですよ。

[川口] そうです。

[青山] その技術が、今回、実証されたということなのですが、話に聞くと NEC がイオンエンジンを製作したそうですが、

[川口] 「はやぶさ」のエンジンはそうです。イオンエンジンはいろいろな方式がありまして、「はやぶさ」がイオンエンジンを世界で初めて搭載ということでは決まてないのです。イオンエンジンで「世界初」といっている部分は、メインエンジンとして惑星間を飛行させたということなのです。これは申し上げるのがなかなか難しいのです。イオンエンジンには随分歴史があるのです。ただ、これが、メインエンジンとして使われたことはなかった。

[青山] 今まで使われたのは補助エンジンとしてですか？

[川口] 補助エンジンで、例えば静止衛星では南北に軌道が変化するのですが、南北に動く変化を止めるためのエンジンとして使っていたのです。電力で加速しますから当然電力がいるわけです。例えば人工衛星を作ると、人工衛星が機能できる分の電力を作るような設計をします。しかし、イオンエンジンを付けようすると太陽電池を余分に付けなければいけなくなります。エンジン自体は性能が良くても余分に何かが必要なのです。そうすると、軽く作らなければなりませんから、どうしても補助的にしか使えないものができてしまう。では、「はや

ぶさ」ではどうしてメインエンジンに使えたのか、これが実は非常に簡単なことなのです。イオンエンジンは惑星探査にこそ向いているのです。というのは、惑星探査機というのは、地球から打ち上げて目的の天体に着いたとき、初めて観測機の電源を入れる使い方をします。飛んでいるときはそれらの電源を入れても意味がないのです。ということは、着くまでの間は大部分の時間は電力が余っているのです。この余っている電力を使って加速に利用しようという発想です。だから、この場合は余分な電源はいらないということなのです。実に簡単なことなのです。ですが、メインエンジンとしてイオンエンジンを使おうと構想したのは我々だけだったのです。

[青山] 「じゃあ、イオンエンジンを使おう」ということになったわけですが、それが使えるレベルの技術があったのでしょうか？

[川口] イオンエンジンで難しいのは、先ほど 1,000 日とかといいましたが耐久性ですね。1 年間で大体 8,000 時間ぐらいですね。従来のイオンエンジンというのは 1 万時間がやっとなのです。それを左右しているのは電極です。最初、まずプラズマを作るのですが、それまでのイオンエンジンでは、プラズマを作るために放電をさせるのです。従来はガスの中で放電をさせてプラズマを作っていたわけですが、電極が磨耗してしまうのです。磨耗することによってすぐに限界がきてしまう。もう一つ、イオンエンジンは網というか、穴が開いた板を通してガスを出すのです。従来はモリブデンという合金でできた金属の板を使っていました。これが磨耗して穴が大きく開いて壊れるのです。我々は、カーボンカーボン複合材で作りました。「はやぶさ」のエンジンは二つの点で大きな技術革新がありました。一つは、プラズマを作るところを無電極にした。電子レンジと同じマイクロ波でプラズマを作る。これが最初の一つのポイントです。ですから磨耗する電極がない。もう一つが、グリットという合金の穴の開いた板をカーボンカーボン複合材で作ったことです。この二つで飛躍的に耐久性が伸びて、地上試験で 3 万時間の運転が事前にできていました。そこに大きな技術革新があった。

[青山] それは当然今回のプロジェクトで開発された新しい技術ですね、素晴らしいです。2 番目の自律的に制御されなければいけないという課題。これは想像するに、ものすごい長距離の運行なので、コントロールしようと思っても地球からはできない。通信時間が往復で 30 分とか 40 分というお話でしたね。それでは地球からのコントロールでは間に合わないわけですよ。だから自分で制御して推進せざるを得ない。しかもターゲットがものすごく小さいわけだから、その自律制御技術というのも、これまた絶対必要ですよ。

[川口] そうですね。どちらかという、日本人向きの技術ですね (笑)。精密制御といたらいいでしょうか

ね。確かにおっしゃるように通信時間が往復2,000秒なのです。だから、実際に「はやぶさ」は目標から非常に距離が離れているところは遠隔操作をしても構わない、時間遅れになっても構わない。しかし、目標に非常にならんと制御がもう間に合わなくなって、高度が500mぐらいから内側、そこはもう「はやぶさ」自身で制御しながら到達しなければならないのです。

3. 想定通り進まなかったことと その原因は何か。

[青山] 他にもはやぶさのキーテクノロジーは幾つもありましたが、次に進ませて頂きたいと思います。イトカワまで順調に到達できました。そこまでは非常に成功裏に進んで世界でも称賛されました。問題は、そこからいろいろな不具合が起こったようですが、それを御紹介頂きたいと思います。

[川口] 一つには姿勢制御装置です。いろいろな手法があるのですが、宇宙ならではのものは、弾み車が付いていることです。「リアクションホイール」というのですが、精密に姿勢を制御しなければならないときに使います。例えば探査機にパラボナアンテナが付きますが、パラボラアンテナを地球にポインティングしなければいけない。パラボナアンテナの効率が良いのはビームが細いからですが、0.1度という精度で地球をポインティングしなければいけない。ロケットエンジンで制御すると、じゃじゃ馬なのでアンテナがあっち向いたりこっち向いたり、通信が全然制御できないわけです。リアクションホイールによれば、姿勢の精密な制御が可能なのです。これがイトカワに着く前に一つ壊れて……。

この姿勢制御装置は三つ付いているのですが、観測時点までで二つが壊れて、最後の一つは地球に戻ってくるまで何とか生きていました。延命させて生きたというわけです。このリアクションホイールが壊れたのがまず故障の一つでした……。

[青山] それ壊れても、そのときはまだ通信としては一応維持されていたのですか。

[川口] 通信はできます。もっとも通信ビットレートはずっと落ちますけれども。その後起きたのは、何といってもロケットエンジンの故障です。

[青山] イオンエンジンではなくて？

[川口] ええ。はやぶさはイオンエンジンとロケットエンジンと二つ持っていたのです。イオンエンジンの力は非常に弱く、着陸しても離陸もできないくらいなので、姿勢は、こっちが「切れ」といっても、そんなに弱い力だと何時間もかかってしまって、抜け出すことはできるにはできても、ぱっとは抜けられないわけです。ですから、燃費は悪くても瞬発力のあるエンジンを一緒に持って行くわけです。だからロケットエンジンが必要な

のです。しかし、2回目に着陸した後にロケットエンジンの燃料が漏れ出して、結局、ロケットエンジンの燃料がなくなってしまって、ロケットが使えなくなってしまった。

[青山] 「漏れる」ということは、何かで打ちつけたということなのか、何か機体にひびが入ってとか、原因は分からないのですか。

[川口] 正直にいうと、まだ「これだ」というふうの一つに絞り込まれていないのです。いろいろな理由があるのですが、主に電気系統のハーネスとか計装の問題ですね。どこかにぶつけたという問題ではなかったかもしれませんが、着陸はリスクがあることを承知でやらせたわけです。どこかぶつけるかもしれないし、どこかの砂をかみ込むかもしれないし、結局、この問題が起きてしまいました。「虎穴に入らずんば虎児を得ず」で、「リスクがあってもやろう」と思ったからできたことなので、それに後悔はないのです。しかし、燃料が漏れ出して、結局、ロケットが使えなくなったというのがある意味で非常に致命的なことでした。燃料が漏れ出すことと同じことなのですが、それが原因で通信が途絶というか探査機が行方不明になってしまいました。

[青山] 途絶したのは、やはり姿勢制御が効かなくて探査機が地球の方に向かなくなってしまったということですね？

[川口] そうですね。ガスが漏れて、姿勢がひっくり返るのです。太陽電池は太陽のほうに向かなくなりますから、大きく角度もついて、もう電力が足りないので、電源が全て落ちてしまった、全部死んでしまった。

[青山] しかし、着陸は瞬間ですよ。そのときにドンと着地してイトカワの試料を採ろうという計画だったので、一応タッチダウンはしたのですか。

[川口] 2回しています。

[青山] そのときにはまだ通信的には大丈夫だったのですか？

[川口] そうです、2回の着地が終わって上昇してきて



全部うまくいった。「上昇を止める」という指令も届いて探査機は止まったのです。そこからです。

[青山] そのときに燃料漏れはずっと起こっていたのでしょうか。

[川口] いや、そのとき初めて起きたのです。これにも、いろいろと理由があるのです。しかし、上昇を止めるとき、問題のあったと思われるエンジンは、2回目の着陸の後初めて使うエンジンなので、そのエンジンに指令が行ったときに燃料が漏れてしまった。

[青山] そうすると、一応2回タッチダウンして「成功だ」と。そして上がってこれから帰ってくる、それで行方不明になってしまったわけですか。

[川口] すぐに行方不明になるわけではなくて、そこは何かもがいているのです。我々も何とかコントロールしようと思って一所懸命やっているのですが、結局、最後12月の10日ぐらいしてから……。

[青山] 全然通信ができなくなってしまった。

[川口] バッとガスが吹き出すので、姿勢がガーンと変わってくる。地上からは20分遅れぐらいで見えるのです。

[青山] 望遠鏡では見えないですか……。

[川口] 見えないのですよ。テレメトリーというかデータで見ているのです。ですから「ああっ」という感じですよ。

[青山] そこからいろいろ苦勞の連続だったのでしょうか、そこでどういうことを考えて、かついろいろ悪戦苦闘されたのか、この辺りが「はやぶさ」帰還の核心だと思うのですが……。

[川口] 通信途絶というのは一番大きなアクシデントです。一番最悪の状態ですから。

[青山] そうですね、何も分からないわけですから。

[川口] 多分、みんな、そう思っていたと思います。「もう、これで終わりか」と思いますよね。3億km先というなまじの距離ではないですから。ひっくり返ってもこちらから手を差し伸べて手が届くわけではないです。スタッフの連中だって本当にそう思ったかもしれません。「はやぶさ」の特徴は先ほどいいましたようにイオンエンジンとロケットエンジンの二つエンジンを持っていたことです。ロケットエンジンだけしか持っていなかったら、多分、お手上げだったと思います。イオンエンジンがあるから、ひょっとしたら何とか生き延びて航行を変え続けられるかもしれないという思いが、気持ちとしてある。

[青山] イオンエンジンの燃料はまだあったのですか。

[川口] キセノンガスはありました。「よく我慢して」とかいわれますが、そう簡単に諦めるわけにはいけません。宇宙開発の物、宇宙探査機というのは、ある意味では巨額な消耗品なのです(笑)。だから廃棄処分しているようなものなのです。地上だと巨額をかけて作って

も何万人というユーザがいるかもしれないし、何十年と利用するかもしれない。作っても最初性能が出なくて段々改善していけばいいし、消耗品ではなくて設備ですね。だからといって、宇宙探査機というのは、「燃料が漏れたからこれで終わりです、すみませんでして」って謝れば済むかというところはいかないのです。こちらとしても、プロジェクトが1996年に始まって10年間かけたものですから、簡単に諦めるわけにはいけません。また巨額ですから処分したといえるものでもありません。エンジンはもう一系統、全能力はないのですがあるわけです。だから、「ひょっとしたら……」ということを考えて「どうしたら救い出せるか」といろいろ知恵を絞るわけです。

[青山] それは、通信が途絶して行方不明になった後ですね。そこで一種の絶望状態になったのですが、「ここで諦めることはできない」といって、「どうしたら救えるか」といろいろ格闘する。最も興味深いところですね、それはいつ頃のことですか？

[川口] 通信が途絶して……、通信が途絶しても、我々はひょっとしたら一日、二日したらもう一度使えるかと思っいろいろやってみたのですが、全然うんとすんともいわないのです。「これは長期戦だ」と。長期戦ということはもう完全に一度死んでしまったということです。そこで考えを改めて工夫をし直したのです。対策をいろいろ考えて、「何とか続けよう」と試行錯誤を……。

[青山] そのとき、プロジェクトメンバーの方々はどのような感じだったのですか。

[川口] みんな半分、あるいはほとんどあきらめたところがあったと思います。普通、宇宙ものはみんなそうですね。ガスが漏れたとか、そういう重大な部分が壊れると、致命的なのです。しかし、今回一つだけ違うのは、イオンエンジンを……。

[青山] 積んであった！

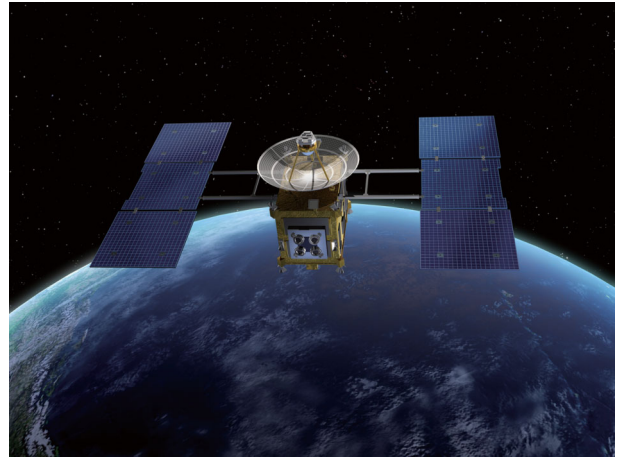
[川口] ですから、「ひょっとしたら……」ということで、いろいろアクションを出して緊張感を絶やさないようにと努力した結果が、結局は通信が復帰するのです。

[青山] それはどうやって復帰することができたのでしょうか？

[川口] まず、探査機「はやぶさ」がどのような状態か分かりませんね。これは確率的な話なのです。姿勢がガスでガーンとひっくり返ってどこかに行きます。しかし、ああいう探査機の形状というのは、ある軸の周りに、力学的な特徴で最後はこまが安定して回るようになっていくから回転はしているのです。「最大慣性主軸」というのですが、安定な軸の周りを回るはずなのです。パラボラアンテナの軸周りですね。問題はその軸の方向がどこに落ち着くかです。それはランダムな確率なことなの

です。それに、元々太陽を公転していますので、太陽とか地球との位置関係が時間とともにどんどん変わります。そうすると、今、太陽電池に陽が当たらなくて太陽はあっち側にあっても、時間がたつと太陽の光がこっち側に当たるようになります。ですから、ある時間がたてばちゃんと電力が取れるようになるのではないかと。そして守備範囲の広いアンテナだったら地球をも守備範囲にするのではないかと。これは確率的なのです。これがこうなっていたら（その軸は黄道面に垂直になっていたら）終わりなのです。どうやっても太陽が見えませんかね。

ですから、通信が取れない確率はもちろんある。いつか太陽の電力が取れるようになるし、「はやぶさ」からの信号はオムニアンテナというか、守備範囲の広いアンテナを用いれば、地球から信号を確認できるはず。そのアンテナの守備範囲に入ってくる時が必ずあると。頭の中で定性的な解釈をしていましたが、実際に確率を計算してみたのです。結構確率は高いことが分かりました。それができたからといって復旧するわけではないのですが、1年間ぐらいで6~7割の確率だったのです。それが電力と通信が復旧するための必要条件を満たす鍵だった。だったら、あとはちゃんと指令が通るようにすればよいはず。太陽電池に光が当たると、探査機の受信機は入るのです。受信機が立ち上がれば地上から指令が届くはず。問題は指令をちゃんと到達させる方法です。簡単ではないです。送受信機の周波数は搭載のクリスタルの温度制御で決まっています。TCXO (Temperature Controlled Crystal Oscillator) で制御しているのですが、信号の周波数は全部電源が落ちているし、ヒーターも切れているし、太陽の方向すら分からないので、温度が非常に曖昧なのです。TCXOは温度制御ができていない状態なのです。だから、水晶の発信源の周波数がどこにきているのか分からないわけです。指令を送るべきアップリンクの周波数も、非常に広い範囲をスイープしなくてはいけないわけです。「はやぶさ」からの電波を聞くときもそうなのです。向こうから発信してくる周波数が不確定ですから、非常に広い範囲をスキャンしなくてはいけないわけですね。太陽電池が付いていますので、探査機から見ると、地球が太陽電池の方向にあると、干渉が起きて、要するにアンテナパターンが切れて利得がない方向が存在するのでグルグル回っていると、通信のリンクが確保できるところとできないところが交互にくるわけです。だから切れ切れになっていました。実際に救出したときは、1周1分ぐらいの角速度で回っていた。だから、15秒ごとに一度、リンクが取れたり取れなくなったりする。そういうことも、全部想定するわけです。状況をいろいろ推測する。どういう状態でも指令が通るように、指令の出し方をいろいろ工夫するわけです。総当たりすると、多分、2か月ぐらい



かかる。それを何回か繰り返せば「ひょっとして…はやぶさが」という感じです。結局、幸いにも想定した条件で通信が復旧するわけですが。

【青山】 いつ復旧したのですか。

【川口】 大体7週間目ですね。

【青山】 復旧したときというのは、どういう信号が戻ってきたのですか。

【川口】 復旧するという事は電波が返ってくる事なのです。全ての指令がちゃんと解釈され、実行されないと、電波は出ませんからね。

【青山】 それで、電波が来た？

【川口】 これはすごいというか……。

【青山】 そのときのうれしさというか、それは……？

【川口】 うれしいというか、僕は長期戦を覚悟していて、私は外国出張に行ったとたんにそのニュースで、飛んで帰りました。担当者も「夢ではないか」と。信じられないんですよ。60mのアンテナで受けていますから、アンテナのビーム幅は、1,000分の3度ぐらいしかないのです。電波が受信されているというのは、その方向から電波が来ているに決まっていますよね。しかし、信じられなくて、何度となく振ってみて、嘘ではないと確認するわけです。地上から漏れ込んではいないとか。そうすると、こっちに振ると信号が消えて、こっちに向けるとちゃんと、人工の天体からの電波が来るわけです。だから、感激です！

【青山】 いやー素晴らしい！ それでついに見つかったわけですね。ちゃんと電力が確保されて、ちゃんと電波が発信できているということが分かった。その後は？

【川口】 そううかうかしてられないのです。太陽からかなりそっぽを向いているかもしれないわけです。そうすると、太陽の周りを公転していますから、やがて再び電力を失うかもしれません。太陽の方に向けてやらなければいけない。太陽の方向に向けるというのがまた大変でした。通信でいえば分かってもらえますが、分かっているのはキャリアが出ているかどうかだけです。復調が

できないのです。復調ができるほどは受信電力がないのです。だから、復調はできないのですね。今度は「はやぶさ」とやりとりしました。キャリアしか受かっていないのですが、中の状態をその状態で知ろうとするわけです。「はやぶさ」にデータを見に行かせるのです。太陽が右に見えたら電波の送信を1分間止めて、1分後に「送信再開」という指令を出すのです。ルールを教え込むわけです。そうすると、そのとおりに「イエス」か「ノー」かを答えてくれるのですね。ですから、質問に答えてくれます。復調はできないのですが、探査機から見て太陽、地球がどちら側にあつて、温度は何度ぐらいかということ全部イエスとノーで報告してくるので、最終的には、太陽の方向を知ることができて、太陽の方向に向けられたわけです。

[青山] 向けるのはイオンエンジンでやるのですか？

[川口] イオンエンジンですが、イオンエンジンは電力を食うので、イオンエンジンの電源を入れなければガスだけ出てくる、その弱いガスを使って姿勢制御をするのですね。回転している軸の方向がおおむね地球の方向を向きますから、最後には中利得アンテナが使えるようになるのです。

[青山] すごい進歩ですね。何か月もかかった？

[川口] 冷や冷やものですね。

[青山] すごい話ですね。そうやってできて、それで探査機は戻ってきますね。先ほどいいましたがものすごい速度でくるといふことで、私は専門ではありませんが、ちょっとでも空気中に入射角が違えばボーンとはじかれるか、ドーンと燃えてしまうか、本当に正確な入射角でいかないといけない、その制御というのはどうやるのですか。それは自動的に……。

[川口] いや、そんなことはないのです。それはアポロ計画のときにいわれすぎていることなのですが、確かに数字から聞くと角度が零コンマ何度違うとどうのこうのというのですが、零コンマ何度なんか違ったら大狂いというか、そんなことはあり得ないといつてよいですね。仮に、オーストラリアを狙えるくらい精度があるので、そんな大気圏突入での精度よりはるかに高い精度が必要になるのです。もちろん一番大事なのはオーストラリアの場所を狙うことです。ある特定の場所を狙わなければいけない。これはすごいことですね。最後に、何段階にわたって軌道を直していくのですが、一番最後に軌道修正をしたのは4日前ですかね。地球からの距離は多分150万kmとかいう……遠距離。

[青山] それは月の30万kmの更に何倍の距離ですよ、ね。

[川口] 最後に本当にわずかに軌道を直すのです。オーストラリアのある特定の場所を狙って、何十kmか過ぎた所に移動させるとか……。

[青山] 速度と入射角と空気の抵抗とか、そういうのは

当然いろいろな計算があるのですが、それはほとんど想定どおりにきたのですよね。

[川口] そうですね。幸いというか……、イオンエンジンしか動かないのですけれどもね。瞬発力がないですから……。ロケットエンジンが吹ければ30秒ぐらいバツと噴いて終わりなのですが、それに250時間くらいかかるのです。

[青山] 2種類積んでおいたというのがものすごくよかったですね。

[川口] 二つ積まざるを得なかったのですが……。

4. はやぶさ帰還にこぎ着けた要因は何か

[川口] イオンエンジンの故障の話をしなければいけないですね。

通信の途絶というのが一つ一番大きなトラブルですが、もう一つはイオンエンジンの寿命がきてしまったことです。イオンエンジンは先ほどいったように長寿命というふうにいっているのですが、ほとんどイオンエンジンで航行すること自体が技術実証の目的ですよ、ところが実際に使ってみなければ分からないことが一杯あるのです。だから、軌道上で運用して本当によく分かったと思います。実際に運用させると寿命はそんなに長くないのです。いろいろな理由がありますが、オンオフしたり、温度が変わったりと、いろいろな条件があるのですが、イオンエンジンは結局搭載した四つとも寿命がきて故障してしまいました。というか、本当は3台動けばよかったのですが、予備の1台のエンジンは余り調子が良くなかったんで、最初から使えていませんでした。ですから四つとも動かなくなって、やはりそれが一番大きなトラブルの一つです。

[青山] 全部故障というのはどこで起こったのですか？

[川口] 帰ってくる半年前です。

[青山] そうすると、全部故障したにもかかわらず姿勢制御はどうやったのですか？

[川口] 姿勢制御は、生のガスだけで行うのです。だからできます。イオンエンジンが故障したとき、随分頑張ってきたけれども、やはり来るものが来たかと思いたね。ですから、ここがバイパス回路というのですが、イオンエンジンの中に仕込ませていた部品、それが本当に機能して、壊れたエンジン同士の壊れていない所だけを使って、また別の一つのエンジンとして動かすということをやったのです。これは我々も本当にびっくりしました。それでエンジンが息を吹き返した。

[青山] すごいですね。それからもう一つ、イトカワに着いたとき弾丸を打ち込んで飛び上がってきた小惑星の物質を採取する計画であったが、弾丸が発射しなかった？

[川口] しなかったのです。それはソフトウェア上の問

題だったのです。載っているプログラムというのは、プログラムの上のアプリケーションで、地上から書き換えるわけですね。いろいろな条件判断とかシーケンスが全部入っているわけですが、もう枝の先の枝みたいところに何が入っているかということになると、全部を検証してということではできなかったわけです。我々ではできているつもりだったのですが、後から点検すると発射する前に、発射回路に発射しない側に戻すという指令が紛れ込んでいて、ですから発射できなくなりました。

[青山] 最終的には幾つかの粒子が採取できたのは、弾丸ではなくて……

[川口] 自分自身がガンとぶつかったからですし、浮遊している微小な粒子を捕獲できたのですね。

[青山] いや、いや、いろいろなことがありますね。

5. 宇宙関係プロジェクト推進における 困難性とその克服（はやぶさの経験に学ぶ）

[青山] 次に話を進めさせて頂きたいと思うのですが、いわゆる宇宙プロジェクトの推進で、宇宙科学研究所という研究所が10年間、20年間かけて一つのプロジェクトを進めていくわけですが、非常に長期間にわたって組織をマネジメントし、一つの目標に向かっていくということをやらなければいけないわけです。宇宙科学研究所というのは、ある意味ではユニークな研究所だという話を聞きますし、所員が所属している部署と参加しているプロジェクトは兼務するような形で運用されていると聞いていますが、そういう研究所の運営の考えというのはどういったところから出てきているのでしょうか。

[川口] 宇宙科学研究所は元々東大の宇宙航空研究所でして。

[青山] その昔ペンシルロケットの糸川先生のおられた……。

[川口] その流れです。非常にユニークな研究所だと思います。私が入ったときには東大宇宙航空研究所でした。最初は、計画も厳密でないし、いい加減な？研究所かなと（笑）、「いい加減」という言い方は変ですが、日本人らしくないと言い直しましょうか……。

[青山] 相当ユニークなところで、自分の考えや主張というのが所員各人にあって、という感じなのでしょうね、きっと。

[川口] そうですね。時々言わせて頂いているのは、「こうすればできる」という文化ですね。当たり前のことをいっているかもしれませんが、日本人は往々にしてそうではないですね。「こうこうこうだからできない」という結論を出しますよね。つまり、悪いところ、欠けているところを探し出して、結局、「欠けているところがあるのでできない」という結論をよくするでしょう。そこが違うのですね。欠けているところだらけなのです

が、「できる」という答えが一つあればいい、ということですね。だから、私もその点は他と比べたことがないのでよく分かりませんが、ユニークです。だからだと思いますよ。「はやぶさ」というプロジェクトをこちらから提案して、それでプロジェクトとしていいと思って研究所から出せてくれたわけです。「これとこれが欠けているから」といったらきりが無いぐらい欠けている。「こんなハイリスクなものだ」とか。だけど、違うのです。一つ一つソリューションがちゃんとあって、「ちゃんとソリューションがあれば、それでいいじゃないか」という文化からすると、「これはできる」という結論になるのですね。こうすればイオンエンジンで往復できる、こう自律性を付ければ着陸させられる、こういうカプセルを作れば回収できる、そういう積み重ねですね。手本はいらなかったわけです。

だから、そういう結論を出す組織というのは、多分、本当にユニークだと思います。

[青山] なかなか日本にはない文化ですよ。特にそれを決裁するなり、あるいはお金を出すところというのは、とにかく「これはだめなのではないか」と、だめなところをずうっと並べますよね。

[川口] それはそれでいい面もあって、よく機能した部分もありますよね。生産管理とか品質管理とか、本当に1点の曇りがないものを作り上げるという、それが国際競争力を作っていましたね。こういう勤勉さというのは多分それからきていると思うのですが、逆にいうとそれが足を引っ張るというか……。

[青山] 非常にユニークな人たちが集まった研究所で、それがちゃんと運用されているというのは、やはり糸川先生以来の積み上げられた……。

[川口] それがある意味「文化の血」なのでしょうね。ただ研究所文化ですから、ある意味では、逆にプロジェクトというのは本当はやりにくいのです。

[青山] でしょうね、よく分かりますよ。

[川口] 「研究」と「プロジェクト」というのは全然異質なもののですね。研究というのは、ある意味では究極の完璧な論理の帰結を見るものですよ。だから、いつ終わるか分からない活動です。一方プロジェクトはそれではだめなので、必ず決められた時間内に結果を出さなければならぬ。そうするとプロジェクトは100点とか、100点という誤解があるのですが、目標の達成を目指さなければいけない、あるところで手を打たなければいけないのです。だから全然違うことを要求されるということが違うところであって。今では、これがいろいろ変わってきてまして、これ、困ったものだと思うのですが……。

糸川先生の「文化の血」というのは、プロジェクトを研究と両立させている。これはどうやってできたのか私も分かりませんが、多分、非常に難しいことをしてきた

のですね。研究者ほどプロジェクトの進め方に不向きな人はいないのですから。

[青山] そうですね。私も企業の研究所にもいたし、大学の研究もやりましたし、アドバイザー的なこともやっておりますが、やはり研究はある意味では好きなことをずっとやっていけばいいわけでしょう、ところがプロジェクトというと、おっしゃったようにいろいろなところと関係を持たねばならず、しかも、とにかくいついつまでに目標の成果を出す。これは全然違うので、本当の研究者は実はプロジェクトなんかやりたくないのが本音ですよ。

[川口] そうです。研究だけやっているという人も多かった（笑）。

[青山] だからいろいろな部署で研究をやっている人たちを集めてきて、それが一つの目的に向かって縦糸と横糸をかませてマネージしていくこと、それがよくできるなど思うのです。

[川口] そうですね。これができているというか……。

[青山] それは何が……

[川口] やはり糸川先生の「ロケットを打ち上げるプロジェクト」ですね。

ロケットを打ち上げるということをするためには、期限内にいろいろなことを片付けなければいけないのです。その一方で「研究者でもあれ」という両方の顔をとれるようにと育て上げられているということですね。だから、マトリックス運営ができるのですよ。マトリックス運営ってそう簡単ではない。

[青山] 簡単ではないですよ。今、私も「研究とプロジェクトのマトリックスを上手に運営することが大事だ」とアドバイスしておりますが、研究者は本音は自分の好きな研究をやりたいわけで、そう簡単にはいかないところがありますね。だから、宇宙航空科学研究所が、長期間のいろいろな宇宙プロジェクトをやっていますが、その秘けつはなんだろうと思うのです。

[川口] それはだから文化というか血といいますか、昔は「二足の草鞋をあえて履け」とか言っていましたけれども。

[青山] 自分の所属長とプロジェクトリーダーの、どっちの上司のことを聞くのだ？ということも必ず出てくるわけですね。それから、「評価はどっちがするのだ」と。必ずそういう人事問題が出てくるわけですよ。その辺をどのようにされているのか。

[川口] 実際、うちの研究所の組織というのは、表構造、縦糸構造というのは研究分野別です。プロジェクトは、そこを横断的にやらなければいけない。そうすると、おっしゃるとおり、人事構成上というのは縦糸の表組織しか出ませんから、横糸に行く方は、ある意味では成績責任能力みたいなものが、人事力がなければいけない。ですから、機能していたのは、ここは難しいのです

が、研究というよりも資金源というか活動源というのがプロジェクトなので、もし表構造の組織の縦糸単位に資金も人事権も全部あると、もうそこ、上司しか見なくなるのです。そこにへつらうようになるのです。横糸構造にしかお金がないとなると、縦糸というのは名目的にはそうですが薄まりますよね。そういったある種のバランスが必要だと思うのです。

[青山] お金はプロジェクトから出るのですか。

[川口] はい、プロジェクトからが圧倒的に大きいです。もっともプロジェクトのお金というのはプロジェクトに使うので研究者が自由勝手なことをやっていいわけではない。ただ、研究と一緒に解決しなければいけない研究課題、プロジェクトを解決するための研究課題が一杯出るので、そういう部分が研究課題になっている。その辺りを切り換えていかなければならない。だから、ある部分はこっちだけある部分はこっちみたいな。旧文部省の研究所だったので、元々は教育職組織なので、例えば人事上の公募システムに依拠していました。公募システムというのは、今は形骸も結構あるので、どうだか分からないですが（笑）、オープンに公募するということは、つまり、現在の上の人には直接の人事権がないといっていますよね。それでいて、横にプロジェクトの大きな経費の流れがあるとなると、表構造に拘束されない。

[青山] そうすると、先生も「はやぶさ」プロジェクトのリーダーであり、かつ、どこかの組織の何かでもあるわけでしょう？

[川口] そうです。今も、研究所の研究主幹です。

[青山] そうすると、プロジェクトがどんどんおもしろくなって、光も当たるし、お金もあるということだと、こっちがおろそかにならないですか。

[川口] それか、奇妙かもしれませんが、旧文部省型構造のシステムで、ある種、維持されてきました。プロジェクトだけやっていると、例えば全然論文とか学術成果がなかったら昇進できないですよ。

[青山] 確かに……。やはり研究でステータスを構築する、そういう仕組みがあるのですね。

[川口] もっともほとんど論文を書かないでプロジェクトの人ばかりですけれども。私も論文は書かない方ですよ（笑）。

[青山] 分かりました。その辺がある意味で非常にユニークであり、かつ、糸川先生以来の文化というか血で、今のところうまく運営されている。

もう一つは、「はやぶさ」の場合、最初の計画から達成するまで15年ぐらいかかっているわけですね。そういう非常に長期間のプロジェクトの運営というのは非常に難しいのではないかと思うのですが。

[川口] 同じ人がずっとやり続けるわけではないですね。しかし、結構最後まで残っていました。スタートし

たときにはみんな若い。もちろんプロジェクトがスタートしたときは、私の上のシニアももちろんいるのですが、多くは私より年下です。プロジェクトが始まったときに私は40歳ですから、ほとんどは30代かそれ以下ですよ。20代はほとんどいないのでほぼ全員が30代。だから15年という長さでも最後まで結構残っていたのです。それでも探査機が打ち上がると、それから新しく入ってくる人がいるわけで、その人たちに段々トランスファされていくのです。15年の長いプロジェクトでは人材育成とか、継承とか、知識伝承とか、そういう問題もどんどん出てきました。

6. 日本の宇宙探査の狙いとその意義は何か

[青山] 15年ぐらいの長期のプロジェクトでずっとやっていくというのは、私たちはちょっと経験したことないですね。先ほどおっしゃった、宇宙開発や宇宙の技術というのは当然アメリカなり、昔のロシアが進んでいる、ヨーロッパもそうかもしれない。お金のかけ方も全然違う。それから、彼らには軍、国防がありますから、我々に見えないお金もそこで一杯使っている、ミサイルとか何とか……。そういう中で、お金もヒューマンリソースもアメリカに比べれば桁違いに小さい日本の宇宙開発というのは、大変でしょうね。国の予算も投入するわけですが、そこにどういう意味を見つけるのか。その辺はどういうふうにお考えですか。幸いにして軍事とは離れているわけですね？

[川口] 軍事と離れているというのは、幸いにしてというか、逆にいうと積極的なドライビングフォースが政府に見えないという感じなのですね（笑）。宇宙開発とい

うのは防衛と表裏一体ですからね……。そういう中で日本の宇宙開発は、科学技術全体をいえば宇宙科学だけではなく、地球観測もあれば、いわゆる宇宙ステーションのような活動までありますからね。

宇宙開発というのは、主な目的が四つあります。一つは科学ですね。これは当然、「知」の探求です。それから技術開発、これは産業への波及効果。国際的な地位の発信、こんなことをいうとちょっときなくさいのですが、四つ目が人材育成。そういう看板を掲げているのです。宇宙に行かなければできない科学というのももちろんあるわけで、それは当然です。ただ、「知」の探求は、いわばアプリケーションです。

技術と産業というのは、産業に対するインセンティブです。宇宙開発自身で産業活動にもたらす効果というのは余り大したことはなく、宇宙開発というのは微々たる非常に小さな産業です。ただ、それで会社としての活動を刺激する要素とか、若い人が取り組むべき目標になる部分とかが出てくるわけですね。そんな小さなプロジェクトでも裾野は広いです。ITから化学、材料という、あらゆるものが動員されます。そういう意味ではインセンティブになっているのだろうと思います。国際的地位という話は、「ソフトパワー」といったり「技術セキュリティ（安全保障）」といったりいろいろ言い方があります。新幹線が一つの例ですね。新幹線というのは面白いですね。ブレークスルーというものではなくて、積み上げ型でこういう技術的優位が保てるというのは希有な例かもしれませんが、やはり世界で一目置かれる存在になっていますね。それがあることが、その国の潜在的技術ポテンシャルを無言のうちに語っているわけです。

ちょっと余談になりますが「宇宙開発をやっている



す」というのは、よく打上げビジネスがどうのこうのといわれます。しかし、打上げビジネスは実に小さな産業なのです。メディアがああいうふうを書くから誤解されるところが一杯出てくるのですね。世界中で打上げ機数というのは1年に全世界でも多分数十機しかありません。50, 60機しかないのです。1回の打上げ経費は平均100億円だとしても、全部の売上げを独占してもせいぜい5,000, 6,000億です。そのうちの何%かが利益と考えたら、ごくごくわずかなものです。50機, 60機というのは全てが市場に公開されているものではない。その大部分は、国がその国のために打ち上げているので、市場に回ってくるのはごくわずかですから、打上げビジネスなんていうのはビジネスとしてあり得ないです。ただ、宇宙開発が持つ国際的地位の発現というのは、それを打ち上げて運用しているということ自体に重要なところがあります。日本は日本のロケットで打ち上げている。随分お金がかかっていると思えるかもしれない。でも、それが発信している力は大きいですよ。韓国は今でも衛星打ち上げを失敗している。日本はちゃんとやってきている、やれるだけの国であるというのは、やはり国際的地位の発信だと思います。別な観点では、先ほど産業への一翼といいましたが、もう一つは、人材育成のインセンティブですね。これは宇宙開発だけがどうのこうのということではなくて、宇宙開発をきっかけにして興味を持ってもらえばよいので、「理工系離れ」ということがよくいわれますが、自然科学、理工系に対して興味を抱かせるということで、そのきっかけになれば十分ですね。

今まで進路選択で迷っている人で「理工系に行こう」と思う人が1%でも増えれば、もうそれで大きな力になる。そういう四つぐらいの目的が宇宙関係事業ではないかと思えます。

[青山] 日本がトップレベルの先進国としてあり続けるには、いろいろなことをやらなければいけないのですが、そのうちの一つは、やはりロケットなり宇宙なりにちゃんと行っていろいろなことができる。そういう手段と、技術を持っていないと先進国になれない、ということでしょうね。

今後、時間はかかるかもしれませんが、宇宙ステーション計画が始まっていますが、どうせ人口は、日本は減っていくのかもしれませんが、地球全体の人口がどんどん増えていって、ナチュラルリソースもどんどん減っていくとすると、宇宙の資源をいずれは使わざるを得ない。月なのか火星なのか知りませんが、そういうところまで長期的なことを見てちゃんとやっておかないとだめだと思えます。技術開発は一度切れてしまうと、立ち上げるのはもう不可能だと思います。そういう意味では、もちろん今の日本の国家予算は大変厳しいですが、日本の宇宙の予算は主要国の中で少ないですね。もう少

しかけてもいいのではないかと思うのですが、「今の状況の中で宇宙にお金をかけるということがどういうふうに関に立つのか」という風潮が強過ぎるのは非常にまずいと思うのですが、立川 JAXA 理事長もいつもこぼしておられますね。立川理事長とは昔同じ組織で仕事をすることがありますが、非常にビジョン豊富で前向きの方なので今後の日本の宇宙事業に危機感を持っておられるのでしょう。

最後にいわれた「若者に対する夢と希望を与える」という、理工系に対する興味を若者に与えるという役割というのは、最近、PCや携帯も、インターネット、SNSなども若者の間ではコモディティもいいところで、「あんなもの、研究対象じゃないでしょう」というふうになりがちなのですが、宇宙大航海時代とかで理工系に行く若者が少しでも増えれば、その役割は大きいですよ、直接宇宙に行かなくても。

今回の「はやぶさ」で地球に帰還したあのカプセルを展示して、小さな少年少女が一杯見に来ている状況を見るのは素晴らしいことだと思いますね。そのための展示スペースを閉鎖してしまうなどというのは何を考えているのかと思いますね。

[川口] 考えられないですよ、小さな JAXA の展示スペースが、事業仕分けで無駄と判定されたというのは、考えられないことです。

7. 宇宙大航海を担う若い世代への期待

[青山] そろそろ最後にしたいと思いますが、最終的には成功と、失敗も一杯あったということをお題にいろいろな反省もあるでしょうし、次はどういうことをお考えでしょうか。

[川口] 私は次の「はやぶさ」後継機には直接担当しないつもりなのです。いろいろな理由があります。人材育成というのは自分というか1代目が退職したときに始まるのではないのです。自分が現役でいる間でないとトランスファできない。そういう信念で、まだ何年かあるうちにトランスファしよう。それが一つです。

だからといって「じゃあ、引退するのか」というと、そうではなくて、まだまだやりますよ。処理能力とかインスピレーションとかでは衰えてくるので(笑)、そういう意味ではそういうところはとても若者には勝てないですけどね。

それでも新しいことに取り組んでいこうと。プロジェクトという、どうせ最後までできるわけではないですが、立上げ前というのはいろいろできるわけですが、それに若い人に負けないように、「負けないようにという姿勢をとること」が自分のやるべきことだと思うのです。全く新しい宇宙船も考えられるし、それに取り組んでいきたいと思うのです。

【青山】 宇宙科学研究所では、小惑星に対するプロジェクトをやり、火星に対するプロジェクトだとかも、幾つかやっていますね。残念なプロジェクトもありましたが、今後宇宙科学研究所はどういうことをどういうふうにやっていこうと考えておられるか。御自身も含めて全体として……。

もう一つお聞きしたかったことは、貴研究所の運営協議会に参加していろいろ聞いてみると、いわゆる工学系の方と理学系の方の考え方が大変違いますね。研究者のキャラクターも違うし、真理の探究と技術で社会を豊かにする、という考え方も違いますよね。その辺の違い、下手をすると予算を取り合ったり、研究所の運営で必ずしも意見が一致しないということが起こり得ると思うのですが、両者の連携はうまくいっているのか、あるいはサイエンスとテクノロジーをうまく融合させる何か方法があるのか。その辺をちょっとお聞かせ頂きたいのです。

【川口】 糸川先生の文化の血でまともまっていることが一つ大きなところだと思っています。極端にいうとエンジニアリングが引っ張ることだと思っています。いいですよ、工学系の会誌に書かれるのだから（笑）。

【青山】 でも、理学系の方はそうじゃない？

【川口】 理学系の方がそう思っているというのが、多分、間違いなのですよ（笑）。

【青山】 私は工学系の人間なので非常によく分かるのですが、運営協議会などで聞いてみると、どっちかというところと理学系の方が主張が強いのでは……。

【川口】 それは、ある意味では日本人として普通の……、昔ながらの科学、理学の環境とか、科学者のような割り切り方とか、ものの見方からではないですかね。

宇宙開発を科学とかの観測目的と定義していると、これはみんなそうなのですが、答えは既存技術の枯れた技術だけを組み合わせるようになっていきます。失敗はできない、冒険はできない、そして確実にと思う。その手段を探そうと思ったら新しい技術開発を要求するかと、しないのです。つまり、そういう思考からは、宇宙開発そのものの特徴というのが絶対出てくるはずがないのです。大義名分は多分そうですね。「これは何のためですか」、「これの天文観測をするので、その望遠鏡を打ち上げるのが目的です。そのためにはこういう道具がいるのです」でしょう。確かにそうです。しかし、その論理を使っていくと、絶対に宇宙開発が新しい技術開発を引っ張っていくことにならないのです。宇宙開発の歴史というのは、それそのものが技術主導で到達領域を拡大していくことの開発の繰り返しですからね。

【青山】 なるほど！ それでその考え方が宇宙開発研究所のトップからちゃんと根付いているのでしょうか。

【川口】 現時点でどうかというと、崩れてきていますよね。昔ながらのサイエンスの方は元々分かっているの

す。宇宙開発の本当のドライブは何であるか分かっている。科学はそれにうまい大義名分を与えていけばいいし、それに乗って実現すべきものだという悟り方があるわけです。それは、昔、研究所を立ち上げたときの大御所の先生方はそれをよく分かっていた。だからこそ、そういう科学的理由だけをいったら、「はやぶさ」はもちろんです、が、「はやぶさ」のことを引き出してくれませんか。『「はやぶさ」は科学のために必要だ』と理学の研究者はいつってくれるか、という、それはいうはずがないのです。

「こんなリスクがあるのに、何に役に立つのですか」という出発からすると、そんなことは絶対にいえるはずもない。だけど、探査が実現したときに、「これは、将来、惑星探査の有力な手段になっている」と気付くわけです。これは、もっと前の、最初の「ハレー彗星探査」のときに、「ハレー彗星探査をやる」と言い出したのは技術者だったことから分かります。『「おおすみ」を上げよう』といったのは誰か、それも技術者です。だから、昔の人はちゃんと分かっていたはずなのです。今の科学の人が誤解をしていると思うのは、ある種の合理性とか大義名分だけをいつているわけですね。必要があって、それにドライブされて引っ張られるので、最後に国民にいうときにはそういわなければいけない。それはそうなのですが、そこから出発したのでは宇宙開発は絶対に前進しないので、これは宇宙開発のみならず、多分、新しいイノベーションというエンジニアリングはみんなそうなのだと思います。

【青山】 大変よく分かります。ちょっと本題からそれますが、日本学術会議というのがありますが、あそこは文系の方から医学、サイエンス、工学と全分野の会員がいるのですが、私の見るところでは理工系での主流はサイエンスの方なのです。工学というのはある意味では「学術」じゃないよと（笑）。MITはUniversityではなくInstitute（技術者組合）ではないかと。もちろん口ではおっしゃらないですが、折々に感じるがあります。

【川口】 筋論からいうとそうなるのです。どうしてもエンジニアリングの方は手段先行ということで、ある種のほんのわずかな後ろめたさがあるのですね（笑）。でも、それが実はドライブフォースの本質だということを知っていただかないと困るのです。

【青山】 そうですね。それから、やはり日本というのは「もの作り」で発展してきた。それは船が難破して種子島にポルトガル人が流れ着いて、初めて日本人が鉄砲を見て、あっという間に自分たちで作ってしまい、信長はそれを何千挺も使って戦争をする。そういう技術というのは昔から、戦国時代から……、もっとさかのぼるかもしれない。もの作りの精神とか血というのがずっとあったから、明治維新になって瞬く間に戦艦大和やゼロ

戦を作ることができたのですね。その辺の力を失わないようにしないといけないと思うのです。

今、どこの理工系の学会もそうなのですが、電子情報通信学会も会員が減り、特に企業の会員数が激減しているわけです。一方、本学会では大学の教員や学生員は増えており、海外の会員は全体の1割を占めるまで増えているのです。

[川口] そうですか、それは素晴らしい。

[青山] しかし、企業のエンジニアがどんどん会員をやめている。企業の研究所に所属して論文を出す人は会員でいるのですが、それ以外のいろいろなシステム運用をやっている人とか技術営業をやっている人とか、マネジメントをやっている人がどんどん学会から離れている。今ではインターネットで幾らでも新しい情報を入手できるし、展示会に行けば最新技術を見ることができる。会員でいるメリットが分からない。

そこで私が本学会の会長になったときに、「じゃあ、学会が企業の人たち、特に企業のエンジニアに貢献できることは何か」ということを考えることを最重点課題とし、それを検討する委員会を設立し、また産学官のキーパーソンを呼んでその課題を討論する特別シンポジウムを開催したり、いろいろなことをやったのですが、やはりエンジニアリングが非常に重要であり、もちろん研究で論文を書くことも重要なのですが、先ほどいったように工学の学問を革新的技術に結び付け、最終的には社会に役立つものにしていく、そういうところに学会としても何か貢献していくことが必要だと思うのです。

[川口] 論文格付け機関になってしまう。それ以外のメリットは何か……。

[青山] 論文格付け機関だけではいけないのですね。さて、話がちょっとそれてしまいましたが、最後に宇宙科学研究所が今後10年、15年宇宙大航海時代に目指すべきターゲットと申しますか、それはどのようにお考えでしょうか。

[川口] 宇宙科学というと広すぎて……。

[青山] 広いですが、例えば、中国だって人間を宇宙に上げていますよね。

[川口] 広い意味で、JAXAでもいいのですね。

[青山] あるいは宇宙ステーションでいろいろなことをやろうとしていますよね。そういうことも含めて、今後、どういうことに力を入れていくべきなのかというようなことをお願い致します。

[川口] 切り口の一つは「未踏」ですね。未踏の世界に到達する。惑星探査はみんなそうなのですが、いろんな分野をけん引し得るので、これは目指すべきものの一つだと思っているのです。技術という意味からいうと、最終的には産業に結び付けられないと意味がないと思っています。それでは宇宙開発は一体何に役に立つか。先ほどの理学研究者が論文を書くためみたいなことか、とい

うとそうではないと思っています。

有人宇宙活動、「有人宇宙活動」という言葉を聞くと、異論はいろいろあると思います。金食い虫で、やっていることは別に荷物を運ぼうが、サルを運ぼうが、人間を運ぼうが、テクノロジーとしては同じというわけですね。しかしそれは国威発揚につながります。「人間が宇宙を飛ぶ必要があるか」という議論は全くナンセンスだと思います。今は、飛行機は1万mとかです。でも、高度が4万mとかを飛ぶ飛行機があったとして、大陸間を1時間で結ぶ飛行機ができたとする。それはもう宇宙空間なのですね。そういうのを運航し始めて、人間が宇宙に行く必要があるのかということを行うとしたら、それは偏屈なおじいさんですよ（笑）。そういう意味で、いわば新しい輸送手段というのは航空機も宇宙も境目がないのです。そういう時代になっていくのだろうと思うのです。

やはり科学技術というのは最終的には産業なり国が生活を豊かにしなければならない。例えば、ライト兄弟の飛行機が飛んで100年ちょっとですが、航空機がもたらした役割というのはとんでもないことですよ。物流を変えて産業を変えてしまった。もちろん戦争をもたらした部分もありますが。航空宇宙界というのは、宇宙科学なんかでいってみれば仙人から見た遊離した世界でしかないような感じですかね。しかし、科学がそれに対するデマンドを与えているのではなくて、デマンドというのは産業や経済、我々の生活そのものであって、航空宇宙というのはやはりそこを目指していくのだろうと思います。それは結局は国のポリシーですね。「国としてこうやるのだ」みたいなことがズバッといえるか。日本ではいえないですよ。今では、世界中でもいえないかもしれない。しかし、そういうのをやっていくことを国が本当に掲げてゴールにしていき、それが達成できたら、もう世界を覆しますよ。エネルギーも環境も同じですよ。日本の技術はエネルギーも環境も素晴らしい。投入のポリシーとして、そういうのを世界中に対してリーダーシップをとれるだけのものを育成して、統制していかれるかどうかです。それこそやるべきなのです。やると将来が開けてくるのです。が、実際にやられている政策というのは、それこそ爪に火をともし「辛抱すれば耐えられる」みたいなことをやっている。それでは、将来はないのですね。国としてとるべき方向が違うということなのですね。だからこそ、将来への投資というのは不可欠であって、積極的に開いていかないと将来はないと思っています。

[青山] そうすると、今までやってきたいろいろなテクノロジーなり何なりを産業化していくということもこれからやっていかなければならないということですね。

[川口] ええ。

[青山] 言い方は悪いのですが、独裁的なトップダウン

ができる国は「やる」といったらやりますが、日本みたいなところはいろいろな意見があって、それがなかなかまとまらない。民主主義のいいところと悪いところかもしれない。ですから、私なんかも ICT に関わっていますが、やはり一般の国民の人にも分かってもらうような情報発信をしなければだめだ。自分一人で「これは重要だ」と幾らいってもそれは理解してもらえないということで、その辺が我々にちょっと欠けているところもあるかもしれない。しかし、今回の「はやぶさ」はそういう意味でも、ものすごくいい情報発信、本当に希望を与えてくれたといいますか、本当に素晴らしいと思いました。更に微量ではありましたが「イトカワ」で採取された小惑星物質から新しい天文学的発見が期待されています。

はやぶさプロジェクトを長期にわたりリードされ本当

にお疲れだったでしょうが、この経験を次世代にぜひ引き継いでいって頂きたいと思います。

〔川口〕 そうですね。

〔青山〕 本日はいろいろ忌憚ないお話を伺うことができ素晴らしい対談を持つことができました。会員の皆様も興味を持って頂けるのではないかと思います。大変多忙の中お時間を頂き、本当にありがとうございました。

文 献

- (1) 小惑星探査機「はやぶさ」の超技術, 川口淳一郎(監修), 「はやぶさ」プロジェクトチーム(編), 講談社, 東京, 2011.
- (2) 川口淳一郎, 小惑星探査機はやぶさ, 中央公論新社, 東京, 2010.

(平成 23 年 5 月 12 日受付 平成 23 年 7 月 10 日最終受付)



平成 23 年 11 月号特集 「暗号世代交代と社会的インパクト」 予定目次

特集編集にあたって	編集チームリーダー	牧野光則
1. 導入		
1-1 IT 基盤を支える暗号技術と日本の情報セキュリティ政策	古原和邦	今井秀樹
2. 暗号政策/方針		
2-1 日本政府における暗号移行政策	山口利恵	
2-2 欧米諸国における暗号アルゴリズム選定方針	神田雅透	
2-3 ISO/IEC における暗号アルゴリズムの標準化状況	近澤 武	
2-4 IETF における暗号の世代交代に関わる動向	木村泰司	須賀祐治
2-5 新しい電子政府推奨暗号リストに向けた CRYPTREC の取組み	松尾真一郎	山岸篤弘
3. 暗号危たい化状況		
3-1 共通鍵暗号	盛合志帆	
3-2 RSA/素因数分解	青木和麻呂	
3-3 離散対数問題に対する解読世界記録の推移	林 卓也	高木 剛
3-4 ハッシュ関数の標準化動向	渡辺 大	
3-5 暗号等価安全性	森川郁也	下山武司
3-6 攻撃能力見積もり手法	猪俣敦夫	岡本栄司
3-7 情報理論的安全性を有する暗号技術の展望	四方順司	
4. 各業界の動向		
4-1 金融業界における暗号技術の利用と移行問題	米山正夫	鈴木雅貴
4-2 SSL 証明書における暗号世代交代	松本 泰	