

◆JAXA 宇宙科学研究所 准教授 吉川 真
「はやぶさ感動の帰還」

名前	内容
【はやぶさと通信が途絶えたときの状況について】	
質問者	2005年にははやぶさとの通信が途絶え、その間に諦めてしまわなかったのか、どういう風に意思決定して進めていったのか、危機を乗り越えた方法や意識論などを聞かせてください。
吉川	通信は2005年11月に途絶えましたが、7週間後には通信が復帰したので、実際に通信ができなかったのはこの7週間だけです。その間は「はやぶさ」がいると思われる方向にアンテナを向けて電波を送り続け、「はやぶさ」から電波が戻るのを待っていました。むやみにやっていただけではなく、何故通信が途絶えてしまったのかという原因を推定していました。ある程度時間をかければ通信が復活する可能性があるということをきちんと把握した上で行っていましたので、それほどモチベーションが下がらずに淡々と作業していたという状況です。「はやぶさ」は川口先生がプロジェクトマネージャで、リーダーシップをとっていました。プロジェクトメンバーはあきらめの悪い人が多くて、とにかく少しでも可能性があれば、みんなでどうにか復活させようとそれぞれの担当者たちが知恵を出し合って、「はやぶさ」を地球に戻しました。
質問者	有難うございました。映画の方も拝見して、もう一度確認します。感動しました。
吉川	映画はあくまでフィクションですが、それなりに「はやぶさ」で実際に起こったことに忠実です。
【有機物のサンプリングについて】	
質問者	惑星探査という事で「有機物」というのは彗星からとった方があるような気がするんですがその辺は技術的に何か難しいこととかあるのでしょうか。
吉川	もちろん究極のサンプリングは彗星だと言われていますが、何が難しいかというと彗星は氷ですよ。氷を凍ったまま地球に持ち帰ることが非常に難しく、今のところ凍ったまま物質を地球に持ち帰るという技術は世界的にありません。かなり先のことで10~20年後くらいによやく実現できるだろうということで、まずは岩石を持ち帰ることを試みますが、最終的には凍った物質のサンプリングをと考えています。
【サンプル採取方法について】	
質問者	「はやぶさ」で小惑星から物質を持ち帰る方法や小惑星に着陸する方法などは、何かモデルがあったのか、独自の方法なのかを知りたい。
吉川	サンプルを採取するには、先ほどの動画のように表面に触った瞬間に探査機から弾丸が打ち出されて表面を砕くという方法です。なぜそのような方法をしたのかというと、我々はイトカワに行くのが初めてなので、表面の様子を事前には何も知りません。ですから、いかなる表面でも物質が取れるように、我々の考えた独自の方法がこのやり方です。これは表面が砂であっても砂利であっても岩であってもどんな表面でも弾丸を打てば表面がはじけてとれる。では、着陸してドリルで穴をあければいいのではないかという考えもありますが、着陸してドリルを出すとドリルが突き刺さるんじゃなくて探査機が上がってしまいます。脚を固定してからドリルを回せば確かに表面が取れるんですけども、表面が分からないので、脚の固定の仕方が分からない。そして、もう一つ理由があってイトカワの表面温度が大体100度くらいあるだろうと推定されていました。100度のところに長時間着陸すると、探査機に大きな負荷が生じてしまいます。そういったいろんな理由を考慮し、一瞬触った瞬間に物質を取って戻ってくるというようなことでこのやり方をとりました。これは日本独自のやり方です。実は、「はやぶさ」をみてアメリカとかヨーロッパが同じようなミッションを考えています。特にアメリカの方はすで

	に予算が通っていて、2016年打ち上げ予定です。アメリカやヨーロッパでは表面に砂がたくさんあると仮定してしまっているのです。砂をがさっと集めてくるというやり方で、「はやぶさ」のやり方をとりません。ですが、我々は「はやぶさ2」でも同じように砂がないかもしれないと心配していて、岩石しかなかった場合でも採取できるようにしています。全て我々独自のアイデアで作ったものです。
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【イトカワの再探査について】

質問者	もう一度「イトカワ」に行くというような計画は無いのでしょうか。
吉川	実はもう一度「イトカワ」に行きたいといっている人もいます。「イトカワ」は一回調べてよくわかっています。この平らなところは1cmくらいの砂利が敷き詰まっており、砂利を掬ったり、あるいはこの大きな岩を削ったりというような事ができるので、もう一回行くとさらに詳しい研究ができるというわけです。ですから、「イトカワ」に行きたいといっている人もいますが、なかなかお金がかかるミッションなので、同じところに行くというよりは、違うところに行くという方向がどうしても意見が強くなってしまっています。

【イオンエンジンについて】

質問者	どのような方法を使って2台のイオンエンジンの組み合わせができたのですか。
吉川	イオンエンジンのクロス運転という風に使われていますけれども、イオンエンジンというのはA, B, C, Dの4機ついています。1つのイオンエンジンは、2つの部分でできていて、イオンが出ているところと中和機と言われるものがあります。イオンはこの場合はプラスの電気を持っています。プラスの電気をどんどん出してしまうと探査機側ではマイナスになってしまうので、プラスの電気を出す時に中和機という部分から電子（マイナス）を出して中和させます。そうすると探査機に電気が溜まらなくていいわけです。そういうやり方でこのイオンが出るところと、この中和機と両方が動かないとイオンエンジンというのは動かないという事になります。結果的に4機のエンジンにおいて、イオンが出るところと中和機のどちらかが壊れてしまいました。Aというイオンエンジンでは中和機が、Bというイオンエンジンではイオンが出る方が動いていました。ですから、これをつなげて1台のイオンエンジンにしようという事になりました。本当はこれらは別々のエンジンなのでこれをつなげる予定はなかったのですが、イオンエンジンの技術者が打ち上げる前にこれらをつなげる回路をいれておくとうまいだろうということで、ここに一つのダイオードが入りました。ダイオードを入れても、特に悪影響もなく、ほんのわずかの重さの増加になるだけでした。そして、そのダイオードが入ったおかげでこのクロス運転が可能になりました。地上で実験はやっていなくて、宇宙ではじめてやってみてうまくいって、かなり幸運でしたが、まさにこの一本のダイオードが命をつないだという事です。

【ダイオードの追加について】

質問者	今の質問の続きなのですが、ダイオードを追加したというのは個人の方が勝手にやったのか、それともプロジェクトとして認識されていたのか、どちらなのでしょう。
吉川	これは個人ではなく、イオンエンジンのグループとしてやったことです。細かいところはそれぞれ各コンポーネントごとで責任を持ってちゃんと動くものを提供すればよくて、プロジェクトチーム全員が了承しなければならないということではありません。これは、イオンエンジンチームの工夫です。

【長期のプロジェクトについて】

質問者	1つのプロジェクトが数年単位という長期ミッションに関して、その間のプロジェクトの人員配置変更や、打ち上がってから帰ってくるまでの間、何をしているかなど仕事内容を教えてく
-----	--------------------------------------------------------------------------------------

	ださい。
吉川	1つのミッション、特に惑星探査というのはかなり長くて、はやぶさの場合も制作が終わって打ち上がった後の7年間の仕事内容は人によって違います。私のように軌道担当は常に計算等をしてはいけなくて、7年間ずっとデータを見ながら、はやぶさの位置を計算していました。イオンエンジンの人はイオンエンジンを使用するときはちゃんと運用室に待機して、イオンエンジンの状態・様子を見ていました。担当する持ち場によってどのくらい関わることが違ってきます。何もしなくてもいい時期はどうしているかというと、ほとんどの人が他のミッションにも関わっているため暇になることはありません。他の探査機、あるいは人工衛星やロケットの仕事などをしています。はやぶさは「コアメンバー」といって、常にはやぶさのことを気にかけていたメンバーが十数人いましたが、それぞれがいろんなミッションに関わりながらはやぶさのことをこなしていました。
【はやぶさの動力源について】	
質問者	飛び立つ時・宇宙に行った時・戻ってきた時のはやぶさの動力源について、どんなエネルギーで動いているかを教えてください。
吉川	はやぶさの打ち上げは、現在はもう無いのですがM-Vロケットで打ち上げました。最初の加速はロケットです。そのあとの軌道修正はイオンエンジンを使いながら軌道に入っていきます。イオンエンジンは「キセノン」という物質をイオンにして使用します。ガスを噴き出せば探査機の軌道が変わるわけですが、イオンエンジンの良さは燃料を燃やさず、キセノンをイオンにしてそれを高速で噴射していることです。噴射のエネルギーは太陽の光を使って発電した電力なので、エネルギー（燃料）をあらかじめ持っていかなくていいということです。なので、イオンエンジンを使うことで探査機の重さを軽くできました。しかし、非常に力が弱く、1個当たり大体1円玉を引っ張るくらいのカシカシなので、その分長時間ずっと噴射しながら軌道をじわじわと変えていくという事をします。打ち上げはロケットで加速するんですが打ち上がった後は、このイオンエンジンを使いながら軌道を徐々に変えていきます。帰日も同じです。イオンエンジンを使いながら軌道を変えていって最終的には地球の大気にぶつかることによって、地球の大気がブレーキをかけて、カプセルが下りてきたという事になります。
質問者	「キセノン」とはどのようなものですか。
吉川	「キセノン」は特殊な物質で、プラズマ化してイオン（電気を帯びた粒子）にして、電圧をかけて加速させます。とにかく何でもいから物質を放り出せば、放り出した反動で探査機の軌道が変わるわけですが、はやぶさの場合は、キセノンというガスを使用しました。
【イオンエンジンの数について】	
質問者	どうしてはやぶさに4個のエンジンがあるんですか？
吉川	実は4つ同時には使用しません。同時に3つまでしか使わないので1個は壊れても大丈夫なようにバックアップとして積んであります。
【調査対象の小惑星について】	
質問者	沢山ある小惑星の中から、何故イトカワが調査対象として選ばれたのでしょうか？
吉川	一番の制約は軌道で、「はやぶさ」というのは小型の探査機なので、能力的に地球と火星の間を回っているような小惑星にしか行けません。それともう一つ条件があって、地球の軌道と同じ平面を回っている小惑星でないと、やはり行けないので、軌道の条件から4つか5つくらいしか行ける小惑星はありませんでした。実際に「はやぶさ」を作りだしたところは「イトカワ」ではなくて別の小惑星がターゲットでしたが、ロケットの打ち上げが失敗してロケットを

改修しなくてはならなくなり、改修作業の為に打ち上げが遅れてしまいました。その結果、当初予定していた小惑星に行けなくなってしまって、「はやぶさ」のプロジェクト発足後の1998年に見つかった「イトカワ」という小惑星がたまたま「はやぶさ」の能力で行って帰ってこられる軌道であったということで、急きょこの天体にターゲットが変わりました。「はやぶさ2」も実は同じような能力なので、この「イトカワ」に似た軌道の天体に行くんですが、「はやぶさ2」の場合はある程度この天体の表面に有機物がありそうな天体というさらに制約条件が加わって天体を選んだのです。「はやぶさ」の時とはとにかく行って帰ってこられる小惑星なら何でもよかったのですが、「はやぶさ2」はさらに有機物をもった天体という条件が一つ加わりました。

【持ち帰ったサンプルの成果について】

質問者	世界のサンプルリターンの成功という事で、持ち帰ったサンプルからどのように素晴らしい成果があったのか教えてください。
吉川	持ち帰ったサンプルは約0.1mmくらいのとても小さな粒なのですが、沢山持ち帰ることができて、切断したりして分析をしています。何が分かったかというところまず最初に「イトカワ」は今、500mくらいしかない小さな天体なんですけど、元々は太陽系の最初にできた天体（一番最初にできた天体は直径が10キロ以上、大体20キロメートルくらいの天体）がお互いにぶつかって割れてその破片がイトカワになったであろうと、そんなシナリオが今0.1mmのサンプルの分析からわかってきました。0.1mmの物質を分析してみると温度が上がった痕跡があり、「熱によって性質が変わった」という状況が見られました。800度くらいまで温度が上がったらしいというので、一番最初にできた天体は、大きさが最低でも10キロメートル以上であるということが推定されました。そのほか、0.1mmの物質の成分を調べていて、どういう成分が一番最初の天体を作ったことになったのかといったことが今わかってきています。

◆JAXA 産業連携センター 次長 渡戸 満
「宇宙開発技術の民間利用」

名前	内容
【宇宙食について】	
質問者	新しい宇宙食品は何ですか？
渡戸	「新しい宇宙食品」にするものを現在募集中です。ご当地食品を宇宙食にしてほしいというような話もありますので、面白い料理が出来るのではないかと楽しみにしています。
寺田	ちなみに若田宇宙飛行士は「サバの味噌煮」の缶詰が好きで持って行っています。
【食糧の味の調整、新エネルギー開発、宇宙旅行について】	
質問者	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙で何かを食べるときに味の調整ができますか？ ・今後は民間と協力して、宇宙開発や新エネルギーの開発がありますか？ ・日本の民間企業が行う宇宙旅行がありますか？
渡戸	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙での味の調整について、実際に調味料を持って行ったとは聞いたことはありませんが、工夫すればできるんじゃないかと思います。 ・新エネルギーの開発に関しては、「太陽光発電衛星」があります。現在、一般家庭で用いられている太陽光発電の問題点は、天気の影響を受けることです。しかし、宇宙に持っていけばその影響を受けず、非常に効率よく発電することができますので、そのエネルギーを地上に送ろうという計画です。現在、基礎研究が進められていて、本格的になると民間企業も参入してくるのではないかと思います。

	<p>・「民間で宇宙旅行みたいなものがあるか」ということについてですが、日本でもありますが、アメリカやイギリスなどが非常に熱心で、宇宙船も開発が進んでおり、近々、初めての飛行が行われると思います。宇宙旅行と言っても、高度 100 キロを超えたところを宇宙と呼ぶので、100 キロを超えたところまで行って地球を一周しないで降りてくるというようなものがまず最初に考えられる宇宙旅行だと思います。まだ宇宙ステーションのようなところで何日間か過ごそうとかというような宇宙旅行の計画は具体的に見えていませんが、宇宙ホテルのようなものもそのうち民間でできるのではないかと考えています。</p>
寺田	<p>補足ですが、注目されている宇宙太陽光発電の問題点ですが、宇宙で発電したエネルギーをどのように地球に伝送するかというところです。たとえばマイクロ波を使うとかレーザーを使うなど、まずその問題点を解決しようという取り組みがなされています。それから、宇宙旅行について JAXA ではやっていませんが、海外では 2000 万円払うと宇宙にちょっとだけ行くことができます。弾道飛行といって、地球を一周回るのではなくて、ちょうど日本からロサンゼルスとかいったそんな感じで放物線軌道を描いた飛行です。ただこれは、宇宙で無重力を感じる時間が 6 分くらいで、実際にベルトを外して宇宙遊泳ができるのはおそらく 4 分くらいです。でもこれはビジネスとしてもう成り立っていて、2000 万円払っても宇宙に行きたいという人が沢山いるようなので、実際行った人たちがどんな感想を持ってくるかというのが非常に楽しみです。</p>
【宇宙飛行士になるには】	
質問者	どうすれば宇宙飛行士になれますか？
寺田	<p>JAXA では現在 10 人の宇宙飛行士がいます。今は若田宇宙飛行士が宇宙にいます。2015 年に油井宇宙飛行士がフライトが決まっています。当面 JAXA で宇宙飛行士を募集する具体的な計画はありませんが、2020 年まで宇宙ステーションの運用が決まっているので、いずれまた募集があるかもしれません。2020 年の後も宇宙飛行士が宇宙に出て色々活動するというような機会があると思うので、その時に募集があると思います。現在の宇宙飛行士の条件としては、今までは理系・技術系の方、お医者さんも含みますが、そういう理系の方を募集しています。それから、宇宙ステーションの中ではロシア語と英語を使っているのだからやっぱり語学の能力が大事です。あとは、半年くらい宇宙ステーションの中に 3 人とか 6 人で生活していくので協調性が大事です。そのような能力に加えて、まず一番大事なのは健康であることです。健康で言葉ができて、みんなと仲良くできる。こういう基本的な能力という事だと思いますので、ぜひ宇宙飛行士を目指してこれからもがんばってくれたらいいなと思います。ちなみにロシア語と英語の話をしました。中国も宇宙ステーションの開発をしています。いずれ、もしかすると中国も一緒に宇宙ステーションの運用をやっていくという時代が来るのではないかなと思っています。その時には中国語が喋れるという事が条件になるかもしれないですね。みなさんも中国にいらっしゃるので語学の方も優れていらっしゃると思いますので、宇宙飛行士を目指してくれたらいいなと思います。</p>
【宇宙飛行士の着替えについて】	
質問者	宇宙飛行士は下着や服などを何枚くらい持っていくのでしょうか。
渡戸	<p>数まではわかりませんが、半年に一回くらいのペースで補給機を送って荷物を補給しているので、宇宙飛行士の数に合わせて数を用意していくと思います。そして、一日一回着替えるのではなく、何日間か着ることになります。使用後は地上に持って帰って洗濯することではなく、補給機の中に要らないものを入れて、地上に落下させ、大気圏で燃やしてしまいます。</p>

【新エネルギーの開発と宇宙飛行士の生活について】

質問者	先ほどお話されていた宇宙太陽光発電の開発はアメリカや欧州と共同で開発しているものなのか、それとも国の間で競争しているものでしょうか？また、宇宙ステーションの中での宇宙飛行士の日常生活について、例えばお風呂とかトイレなどはどのようにしているのでしょうか？
渡戸	宇宙太陽光発電の開発についてですが、今のところ国際協力というところまでは話はいってなくて、それぞれの国でアイデアをいろいろと膨らませている段階だと思います。今後もう少し具体的になってきますと、共同開発ということも考えられますが、現状ではまだその段階までいっていません。それから、宇宙飛行士の生活の話ですが、スペースシャトルの時の話ですが、まずお風呂というのは基本的に無くて、ウェットティッシュみたいなもので体を拭いていました。地上のようなお風呂というのは地上へ降りて来ないと味わえません。それからトイレは地上と同じような感じのトイレがありますが、無重力なので空気で吸い出すような方式を使っているようです。おそらく宇宙ステーションも基本的には変わらないと思います。
寺田	宇宙飛行士も基本的に地上と同じようなサイクルで仕事をしていて、8時間仕事をして、休息をとります。若田宇宙飛行士も6か月地球を離れてその間は出張に行っているようなものです。かなり規則正しい生活はしているのですが、分刻みで色々な実験をこなしたりするので、ものすごく忙しく、相当な集中力が必要です。お風呂は入れないので、大体の日本人の宇宙飛行士が地球に帰ってくると第一声で「温泉に行きたい」などと言っています。それから、宇宙飛行士の生活で他に変わったところといえば、歯磨きは口をゆすがずに飲み込んでしまうらしいです。
渡戸	宇宙ステーションでちょっと面白い話があります。エアコンについてなんですけど、日本の作った実験室とアメリカなどが作った部屋を比べると、日本のエアコンは非常に静かで部屋も静かだそうです。海外のホテルに行くと日本のエアコンは静かだと感じますが、同じようなことが宇宙ステーションでも起こっているらしく、静かな日本の実験室に来て寝ている宇宙飛行士がいるという噂を聞きました。
寺田	そうですね。宇宙ステーションというのは各国が設備を持ち寄って建設しました。日本モジュールは「きぼう」という名前がついています。「きぼう」は非常に静かで清潔で宇宙飛行士には大変評判がよくて、「きぼう」の中には寝る装置はついていないのですが、よく休みに来るらしいです。それから、地上と繋ぐような重要な会見の時などは「きぼう」でやるような話を聞いたことがあります。

【宇宙ステーションの停電について】

質問者	宇宙ステーションで停電になったことはありますか？
渡戸	全体が停電になったという事は無いですが、部分的に止まるくらいのトラブルであればあったのではないかと思います。
寺田	停電は宇宙ステーションにとっても、あるいは人工衛星にとっても電気がなくなるというのは致命的で大変なことです。とにかくなるべく停電しないような装置を作っています。宇宙ステーションも基本的には太陽電池で発電しますが、たまに地球の陰に隠れて太陽が当たらない時があります。そういう時はすぐにバッテリーで電池から電源を供給するので基本的には停電にならないようにしています。ですが、装置が壊れるときがあるので、1つが壊れても絶対に停電にならないようにいくつかのバックアップ装置が作られています。先ほどのはやぶさのイオンエンジンと同じような発想で、沢山の電源装置があります。それでも壊れたら、今度は宇宙飛行士が直しに行きます。星出宇宙飛行士がやったように、船外活動と言って宇宙ステーションの外に出て直します。そうやって宇宙ステーションでは絶対に停電が起こらないようにいろ

	んな工夫と作業がなされて維持されています。
【「みちびき」のサービスについて】	
質問者	将来、「みちびき」などの衛星は世界的な GPS サービスを提供しますか？
寺田	「みちびき」は日本版の GPS 衛星という事ですが、実は「みちびき」だけでは自分の位置が分かりません。「みちびき」は何をするかという、GPS のサービスをより向上させるのが役割です。例えば GPS を使ってカーナビ、あるいはスマホで位置情報を使用する際、GPS だと 10m 位の大きな誤差があります。そういう誤差を、例えば 10m の誤差を 1m だとか、あるいは数十 cm とか、誤差を軽減するという役割をするのが「みちびき」です。今はまだ 1 基しかないので、時間限定でしかできないんですが 2018 年以降は 24 時間使えるようになります。
【月へのミッションについて】	
質問者	もう、月に人は行かないのですか？
吉川	月には行きたいのですが、お金がかかるので今のところすぐに月に行こうというミッションはありません。つい最近、NASA が小惑星に行くのではなく小惑星を捕まえてこようと言い出しました。具体的には大きさが 7m 位の小さな小惑星（岩の塊）を捕まえてきて、月の周りに回して、そこに地上から宇宙飛行士を乗せたロケットを打ち上げて、その小惑星から物質を取り出して来ようということを、この春ぐらいから NASA が言い出しました。月の周りまで宇宙飛行士が行くわけですから、また月の表面に降りるようなこともあるかもしれません。月に行ったのはアポロ計画ですからずっと前のことなので、また人が月に行けるといいですね。
寺田	人類の一つの目標として、火星に人を送り込もうというものがあります。ですが、いきなり火星に行くのは大変なので、月をもう一回経由、あるいは小惑星を経由していかうかという議論が今されています。ですから、また月に行く時代が来るんじゃないかなと思っています。
【宇宙での洗濯について】	
質問者	どうして宇宙で服を洗えないんですか？
渡戸	宇宙ステーションでは地球から水を持っていくのですが、限られた量しかありません。このため、飲み水などに優先されるので、洗濯のように大量の水を使うことはできません。イメージとしては高い山にある山小屋です。水が少なくて、めったにお風呂に入れませんし、洗濯もできません。宇宙ステーションもまさにそのような感じです。
寺田	水はすごい貴重です。もちろん地球からも水を持っていくんですが、1 つはおしっこを再生して水に、飲み水にしています。水が宇宙でもふんだんに使えるとお風呂に入れたり、あるいは洗濯出来たり、そんな宇宙の生活ができるといいですね。ぜひ、そういうのも研究開発していければいいなと思います。