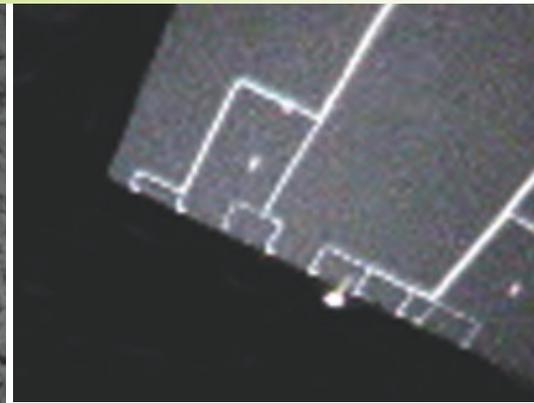




ターゲットマーカ  
ターゲットマーカの影



左 : 11月20日、高度約30mで探査機「はやぶさ」が撮像した「ミュゼスの海」。「はやぶさ」の影と太陽光に反射したターゲットマーカが写っている。  
右上 : 11月12日、探査ロボット「ミネルバ」が撮影した「はやぶさ」の太陽電池パネル  
右下 : 11月9日、リリース直後に「はやぶさ」が撮像したターゲットマーカ

宇宙科学最前線

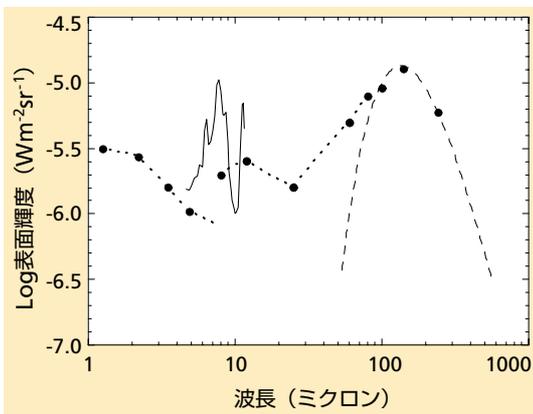
# 広大な宇宙に広がる 小さな固体粒子を究める

尾中 敬

東京大学大学院理学系研究科教授

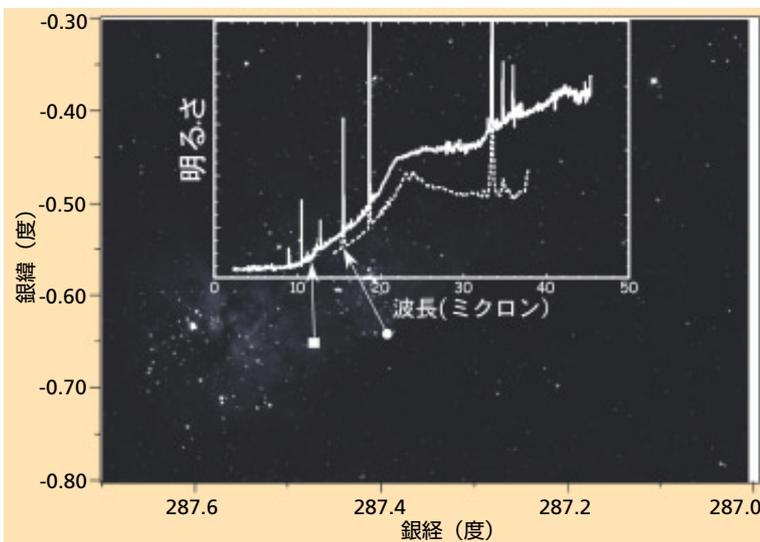
宇宙空間には、星間ガスと呼ばれる気体と一緒に、1ミクロンより小さな固体の微粒子がたくさん浮遊していることが知られている。彼らは、“星間塵”あるいはダストと呼ばれる、宇宙の塵である。この“ダストさん”たちは、星からの光を散乱したり吸収したりして遮るため、紫外・可視の天体観測では非常に煩わしい存在であり、どんなダストがどれだけ宇宙空間に浮遊しているかを知ることは、遠方の星や銀河の性質を正しく理解するために極めて大事な問題である。また、ダストは星間空間のエネルギー収支に大きな影響を与えると同時に、表面反応などを通じて星間空間の物質進化にも抜き差しならぬ役割を果たしている。出来たての銀河は、ダストに埋もれているかもしれない。また、我々が住む地球は、もともとはこれらの塵が積もって山となって出来上がったものだと考えられている。

このように、ダストは我々の“起源”にも密接なつながりを持ち、宇宙空間のさまざまな現象に必ずといってよほど付きまとっている重要な存在である。その正体を知ることは、さまざまな宇宙空間での出来事を理解する上で大きな意義がある。幸か不幸か、このダストの性質や特徴を表すスペクトルは可視域にはほとんどなく、重要なスペクトルバンドは地上から観測できない紫外線か赤外線域に集中して存在する。そのため、ダストについての主な情報は、大気圏外からの観測データから得られてきた。特に赤外線では、吸収した星からの光をダストが熱放射する。この熱放射光は、空いばいに広がって淡く光っているため、大気からの放射の強い地上望遠鏡では観測できない。その観測には背景放射を抑えた宇宙空間からの“冷却”望遠鏡が必須であり、ダストの研究には宇宙空間からの観測が



**図1** 我々の銀河系からの赤外線拡散光のスペクトル。黒丸はCOBE衛星のデータ。破線は、通常のアストから期待される熱放射を示す。10~60ミクロンの点線は、超微粒子による超過成分を示す。5~12ミクロンのスペクトルは、衛星搭載赤外線観測装置IRTSの観測による。PAH構造を持つ物質からのバンド構造が見られる。5ミクロンより短い波長の放射は、ほとんどが暗い星からの光である。

**図2** 竜骨座大質量星生成領域（可視域の写真）と赤外線スペクトル。実線は丸で示された位置のISO衛星によるスペクトル。破線は四角で示された位置のSpitzer宇宙望遠鏡のスペクトル。22~24ミクロンにかけての幅広いバンド構造が見られる。



重要な役割を果たすのである。

ダストは、宇宙空間に存在する固体になりやすく量の多い元素の組み合わせから、炭のような炭素質のものと、石ころのようなケイ酸塩的なものが主成分だと思われている。しかし、本当にどんなものがどれだけあるかは、いまだにはっきりしていない。ダストの正体を明かすことは、現代天文学の大きな課題である。特に、いろいろなダストが宇宙空間のどこで生まれ、どのように育っていくのかを探ることは、これからの宇宙観測の非常に大きなテーマの一つである。

### 赤外線衛星観測が示唆した超微粒子ダスト

まず、炭と石ころのようなダストがあるとすると、エネルギー収支から、宇宙空間では20K程度の温度に落ち着くと期待される。従って、熱放射のピークは、波長100ミクロンより長い遠赤外線にくる。1983年に打ち上げられた世界初の赤外線天文衛星IRASは、予想された遠赤外域の熱放射成分に加えて、拡散放射光の中間赤外線に非常に大きな超過成分を検出した。この現象は、1989年に打ち上げられたCOBE衛星の観測でも確認された(図1)。この驚くべき事実は、実は程度の差こそあれ、それ以前の研究で予想されていた現象であった。すなわち、10ナノメートルあるいはそれより小さいダストを考えると、熱容量が吸収する光子のエネルギーよりずっと小さくなるのが簡単な計算から分かる。こんな小さなダストがあると、1個の光子を吸収するたびに温度が跳ね上がって短い波長に熱放射される

ことになり、観測された超過成分が説明できる。予期せぬ出来事は、このような“超”微小なダストがいっぱいあったことである。

さらに、1995年に打ち上げられた日本初の衛星搭載赤外線観測装置IRTSや、ヨーロッパの赤外線衛星天文台ISOのスペクトル観測により、6から12ミクロンにかけての超過成分はなだらかなものではなく、6.2、7.7、8.6、11.3ミクロンにバンド構造を持つことが分かった(図1)。このバンドは、ベンゼン環を多数持つ多環式芳香族炭化水素(Poly-cyclic Aromatic Hydrocarbon: 通常PAHと呼ぶ)と呼ばれる分子の一群に共通の特徴であり、炭化水素の小さなダストが宇宙空間にいっぱい存在することが示唆された。しかし、PAHというのはあくまでも分子の総称であり、個々の分子のスペクトルは非常に細かなバンド構造を持っている。一方、観測されるバンドには、分子に見られる細かな構造はない。いろいろな分子からの放射が重なって観測されていると解釈することもできるが、銀河系内で観測されるバンド構造は大きな変化が見られない。このことは、バンドがより安定した物質から放射されていることを示唆し、多くの分子の重ね合わせとする考えに、ややもすると疑問符を投げ掛ける。PAHの構造を含む、より安定な炭化水素の物質が宇宙空間に存在するのかもしれない。

IRTSのデータを詳細に解析した最近の研究で、バンド構造の変化や、バンド強度と遠赤外線放射との相関の変化が、初めて銀河系内で明らかになった。この結果は、ダストの出自や消滅の原因を探る貴重なデータとなる。今、稼働中のSpitzer宇宙望遠鏡では、ISOで確認された16から18ミクロンにある関連するバンドを多くの天体で検出しており、このダストの性質を詳細に解明することが期待される。楕円銀河のような年老いた星が多い特殊(?)な環境では、ずいぶんと違ったバンド構造が見られることも分かってきた。2006年打上げ予定のASTRO-Fは、IRTSの成果を発展させ、銀河系のさまざまな領域や近くの銀河に対して、このダストからの放射の変化を観測的に明らかにし、その起源を解明することが期待される。

### 赤外線衛星観測で分かってきたダストの新しい仲間たち

固体の格子振動は、赤外線域に集中している。最近の衛星観測では、これまで知られていなかったダストバンドを多数発見し、新しいダストの仲間たちの存在を明らかにした。宇宙空間のダストは、これまでガラスのように結晶化していない石ころが主流だと考えられていたが、ISOによる年老いた星や若い星のスペクトル観測により、結晶質の石ころも存在することが分かってきた。結晶化が進化のどの段階でどのような過程を経て進んでいくのかは、太陽

系の起源とも結び付く、今最もホットな話題の一つである。

結晶質の石ころのバンドは、星の周りには見られないが、普通の宇宙空間からの熱放射には見られないので、いわゆるダストとしてはまだマイナーな存在である。PAHのバンドのように、宇宙空間からの熱放射の成分の中にも新しいバンドが検出されている。例えば、図2に示すのは、大きな質量の星が生まれているところに限ってISOが見つけた、22から24ミクロンにかけての幅広い放射バンドである（実線）。最近のSpitzer宇宙望遠鏡の観測でこのバンドの存在がはっきりと確認されたが（図2破線）、比較的限られた電離領域にのみ存在することも分かってきた。もし大質量星の誕生と関連するものだとすると、例えば超新星爆発に伴ってつくられたり、変質したダストである可能性もある。Spitzer望遠鏡の観測では、比較的最近に星がいっぱいできたと思われる銀河にも、似たようなバンドを検出している。このバンドが、星ができる現象と深い結び付きがあることが確認されれば、生まれたての銀河を探す際にも、非常に有効な手掛かりになると考えられる。また、石ころや炭のダストはどこまでできているのかよく分かっていないのに対し、出自がはっきりした初めてのダストでもある。しかし一方、出自は分かっても正体がどのようなものかは、はっきりしていない。そもそも一つの幅広いバンドしか特徴付けるものがないため、組成の特定は、かなり難しい。酸化鉄とか、出来たての石ころなど、いろいろな説がいわれているが、これまでのところ残念ながら決定的な報告は得られていない。今後、より多くの天体で探索することで、その正体がはっきりすることを期待している。

図3には、これもISOで見つかった、もっと怪しげなダストのバンドを示す。一つは65ミクロン付近に、これまた星生成領域で見られた放射バンドである。透輝石（Diopside）と呼ばれるカルシウムを含む結晶質の石が、似たようなバンドを持つことが分かっている（図3差し込み図）。もしこの推理が正しければ、普通の宇宙空間に見つかった初めての結晶石である。

さらに同じスペクトルを詳しく見ていくと、100ミクロン付近にも、なにやら幅広い弱々しいバンドがあるように見えてくる。似たようなバンドが見つかった星では炭酸塩ダストが候補として挙げられているが、星生成領域で見られるバンドは、もっと波長の長い側に尾を引いているようにも見える。我々は、石墨のシートが丸くくるくるとなった、カーボンオニオン（炭素のタマネギ）の微粒子からの放射ではないかという説を立ててみた。もちろん、弱々しい幅広のバンド一つだけでは、決定的な決め手とはなり得ない。しかし、炭素のタマネギは紫外線の吸

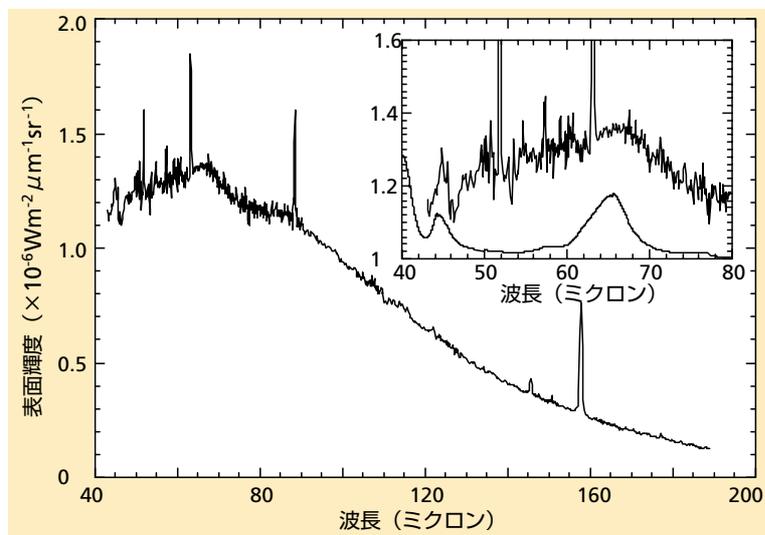


図3 ISO衛星による星生成領域シャープレス171の遠赤外線スペクトル。差し込みは40~80ミクロンの拡大図と、透輝石のスペクトルとの比較を示す。100ミクロン付近にも、炭素のタマネギや炭酸塩ダストが候補である幅広いバンド構造が見られる。

収バンドの説明にも提唱されており、そんなに場違いな思い付きでもないかもしれない。

### これからのダスト研究と宇宙からの観測

以上のように、衛星冷却望遠鏡による赤外線の観測は、ダストの性質を知り、また新しい仲間を見つけ出すことに、非常に有効である。現在稼働中のSpitzer宇宙望遠鏡は、暗い天体の赤外線スペクトルを得ることが得意であり、それぞれのダストの詳細な研究が進むことが期待される。一方、我々のASTRO-Fは、広い波長範囲で宇宙空間の広い領域を観測することが得意であり、図1に見られるような宇宙空間でのさまざまなダストの存在量の変化をいろいろな環境下で調べて、ダストの生い立ち、成長、衰退の研究を大きく発展させるものと考えている。

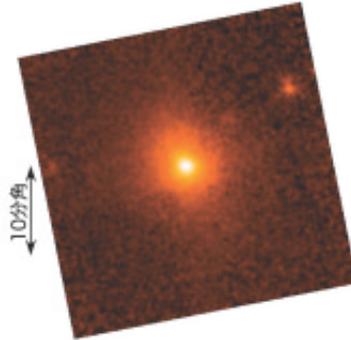
最後に、ダストのX線観測の重要性を一言付け加えておきたい。赤外域に見られるダストバンドは、PAHバンド（図1）に見られるようにダストの構造を理解する上で重要な手掛かりとなるが、図2、3で示唆されるように、なかなかユニークにダストの組成を追求することができない。これは、固体のバンドが、形や大きさや結晶性といった、さまざまな要因に依存してしまうことにも起因する。ダストの組成は、これまで宇宙空間に観測されるガスの量と、太陽組成の差から見積もられていた。しかし、この方法は、太陽組成がもとの組成であるという一方的な仮定を前提としている。実は、X線のスペクトルをとると、ダストによる散乱光や、ガスとダストの両方からの吸収を分離して観測することで、ダスト中の元素量を直接見積もることのできる可能性がある。すでに、「ぎんが」衛星をはじめとしていくつかの観測がなされ、X線領域のダスト観測の重要性が高まっており、今後の発展が大きく期待される分野である。（おなか・たかし）

## 「すざく」試験観測データの一部を一般公開

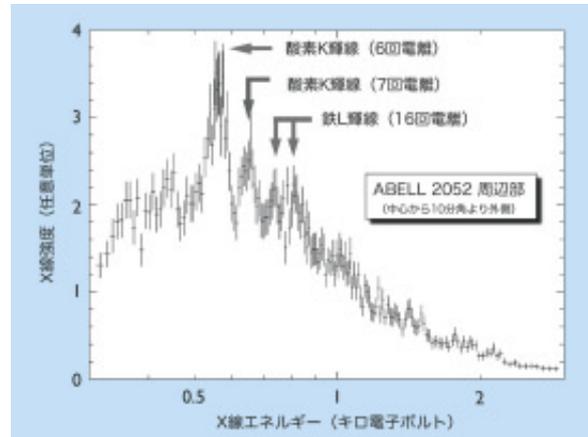
X線天文衛星「すざく」による2006年4月からの国際公募観測に向けた観測提案の受付を11月17日に開始しました。これに合わせて、観測提案を準備する研究者のため、12月2日に初期観測データの一部を一般に公開しました(<http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/>)。これまでに「すざく」は、近傍の恒星や超新星残骸から、巨大ブラックホールがあると考えられる活動銀河核、銀河団(数百の銀河の大集団)まで、50を超える天体を観測しています。これらの中から「すざく」の観測能力を示す典型的な7つの観測の全データを、解析に必要なソフトウェアなどとともにWeb上に公開しています。

図は、その中の一つである銀河団Abell 2052のX線像と、銀河団の中心付近の明るい部分を除いた周辺領域のX線スペクトルです。これまでの衛星に比べて、低表面輝度のX線放射や1キロ電子ボルト以下のエネルギーの軟X線に対して優れた分光性能を持つことが、「すざく」の特徴の一つです。この能力により、電離した二つの酸素の輝線がはっきりと検出されています。これらの輝線放射の大部分は銀河団ではなく、我々の銀河系内の星間空間にある高温物質による放射であると考えられますが、一部は銀河団周辺からのものである可能性があります。これを詳細に解析することによって、宇宙のバリオン(普通の物質)の大多数がどこにあるのか、と

いう宇宙物理学上の基本問題の一つに重要な示唆を与えるものと期待されます。(満田和久)



「すざく」による銀河団Abell 2052(距離約5億光年)のX線像(左)と、銀河団周辺部分のX線スペクトル(下)。電離した酸素の輝線は数百万度の高温ガスから発せられる。その一部は、これまで知られていなかった銀河団周辺に存在する高温ガスからである可能性がある。



## 赤外線天文衛星ASTRO-F 打上げに向けた準備を開始！ M-Vロケット8号機の第1組立オペレーションを終了

宇宙基幹システム本部は、2005年10月29日から鹿児島宇宙センター内之浦宇宙空間観測所においてM-Vロケット8号機の組立オペレーションを開始し、11月13日に無事終了しました。

8号機に搭載される衛星は、宇宙科学研究本部が計画する、我が国初の本格的な赤外線天文衛星ASTRO-Fです。ASTRO-Fは170リットルの極低温の液体ヘリウムを使ってマイナス267℃に冷却した口径約70cmの望遠鏡で、星や銀河が出す赤外線を観測します。

第1組立オペレーションは6号機同様、JAXAと関係メーカー混成の実験班によって実施され、各段ノズルの駆動試験、第1段ロケットモータとノズルおよび後部筒の組み付け、第2段ロケットモータとノズルの組み付

け、ノーズフェアリング(NF)分離機構などの組立、NF/ノズル周り/後部筒その他の各種計装作業などが行われました。機体と地上系の不具合や安全上の問題はなく、ロケットの組立は順調でした。

第2組立オペレーションは、11月末に開始されました。引き続き着実な作業を進め、ASTRO-F打上げ成功に導きたいと思えます。

(嶋田 徹)



第1段ロケットとノズルの結合作業

# ペネトレータ完成に向けて再始動！

## サンディア実験

月探査衛星LUNAR-A計画で搭載予定のペネトレータは、開発最終段階の2003年11月の実験で不具合が発生して以来、種々の検討を経て対策方針が固まり、2年ぶりの貫入実験を米国ニューメキシコ州、サンディア国立研究所にて行いました。今回はメーカー（IHIエアロスペース）主催の実験で、これまでに貫入実績のない搭載機器個別の耐衝撃性を確認するのが主目的です。リセットセンサー、リセット回路、そして電子部品などを搭載し、実験に臨みました。

貫入実験は、現地のテクニシャンたちによって順調に行われました。前回とほとんど変わらないスタッフ陣だったので、久しぶりの再会を喜び合いました。11月9日午後1時40分に無事、射出実験遂行。射場から数百メートル離れている退避場にも、射出時の衝撃がドシンと伝わってきます。今回実験に初めて立ち会われた上杉先生は、このかなりの迫力に「これでよく搭載機器が耐えられますね」とのご感想。

実験後の現地でのチェックで、リセットセンサーがすべて動作したこと、そしてリセット回路も貫入後正常に動作することを確認しました。現地では確認できないものもあるのでまだ安心するのは禁物ですが、最も心配していたリセットセンサーの動作が確認できたことで第一関門は突破できたかなと思い、ほっと胸をなで下ろしました。（田中 智）



貫入実験後のペネトレータの動作チェック状況。チェックを実施しているのはIHIエアロスペースの北岡氏。

## 宇宙学校 福井の巻

11月12日（土）福井県児童科学館「エンゼルランドふくい」

今年の宇宙学校は福井、長崎、東京の3ヶ所で行われることになりましたが、その第一弾、福井の巻です。

去年は3時限構成で、最初の1時限を講演の時間、後の2時限分を「Q and A」の時間としました。それぞれの時間の後には映画が上映されました。

今年は「アインシュタイン100年」の年でもあるので、1時限目の講演は「アインシュタインと宇宙、この100年(平林)」にすることにしました。「Q and A」は、「ロケットと惑星探査(橋本、加藤)」と「宇宙と生命(海老沢、黒谷)」でした。

ポスターとビラは、今回も黒谷さんの無償の奉仕による名作、「はやぶさ」に「すざく」が舞い、小惑星イトカワ上に佐々木小次郎とおぼしき剣士が白刃をきらめかす宇宙の舞台です。講師陣は、パワーポイント資料も配布資料もしっかり準備して、前の夕に福井に集結しました。さあ、今夜はまずはそろって一杯、翌日のために英気を養おうではありませんか。

講師陣はここで、その日の設営陣からさらりと打ち明けられました。「プラネタリウム会場特有の設定があって、パワーポイントはチェックできなかった」。聞けば聞くほど心

配が重なり、つまり最悪の場合、パワーポイントは映せない可能性がなしではなかった。しかし、ここは食べて飲んで眠るしかないようだった。

翌日の校長先生役の的川さんも現れる。「あ、平林君ねえ。『はやぶさ』が大事な局面でねえ、僕は相模原にいた方がいいと思うんだ。明日の朝一番で帰るから、校長役頼むよ。ね」。的川さんの献身の努力には、誰だって協力したくなる。

翌日、宇宙研切り込み隊は、予定より早く福井県児童科学館「エンゼルランドふくい」に着いた。プラネタリウムを開けてもらい、暗いコンソール周りの3台のPCから1本のRGBケーブルを探し出して、自分のPCにつないでみた。映った、映った、映ったよ。

橋本先生は、危機に対して慎重準備だった。OHPシートも用意しておられたのだ。ほんとに偉い。OHPプロジェクターはなかったけれど。心掛けが偉い。

一番バッターの「アインシュタインと宇宙……」の1時間講演は、パワーポイントが映ればもう安心。

2時限、3時限も楽しく過ぎました。4人の講師は適役で

した。初めての講師役の海老沢先生は、簡単な物理実験をもって熱演。

昼休みには、庭に宇宙の桜を植えるイベントもありました。

夜は、児童科学館の皆さんと夕食会をしました。こういう機会には、皆さんの考え方や、今後どんな広報教育

活動をしたらいいか、ヒントが得られます。福井は、人も食べ物もいいところでした。

今回は、準備にいくつか問題がありました。しかし、少ない広報態勢で陣容を分け、「はやぶさ」対応、宇宙学校、その他もろもろをこなすわけなのだから立派。終わってみれば、面白いイベントでした。（平林 久）

## さようなら，電波天文衛星「はるか」 9年近い運用終わる

1997年2月にM-Vロケット初号機で打ち上がったMUSES-Bが、「はるか」です。電波天文衛星として、大型展開アンテナ、VLBI干渉実験などさまざまな工学実験を重ねて、スペースVLBI観測を実現し、大きな国際共同によるVSOP計画の中心となった衛星です。

当初の予想を上回っての観測運用が続けられましたが、8年9ヶ月の長い年月の後、2005年11月30日に最期の運用が行われ、静かに引退しました。万一の破裂による爆発を防ぐため残った燃料を吐き出し、最期の電波停止コマンドキーは、この日のために出てこられた前プロジェクトマネジャー廣澤春任先生によって押されました。日本標準時間11時28分08秒の時刻付きのコマンド送出確認のオペレーターの声は、死のときの医師の宣告のようにも聞こえました。

24時間態勢で懸命の運用を続ける「はやぶさ」チームの傍らで、集まってきた「はるか」チームは立ち並んで静かに最期の運用を見守りました。平成元年から始まった「はるか」プロジェクト、残務処理をして、今年度

末に終了の予定です。17年は、さまざまな思い出を擁しています。とても簡単には語り切れません。

「はるか」はゆっくりと回転しながら、これからも静かにあの羽を広げて飛び続けます。

かつて日本の空には、朱鷺が美しく飛んでいたといひます。「はるか」が消えずに飛び続けてくれるのはうれしいことです。いつか、夕日に光る「はるか」を眺めてみたいと思います。（平林 久）

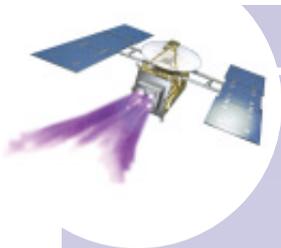


「はるか」停止コマンド送出の管制卓

## ロケット・衛星関係の作業スケジュール（12月・1月）

	12月	1月
相模原	ASTRO-F FM総合試験	
	SOLAR-B FM総合試験	
	M-V-7号機 頭胴部仮組 (IA富岡)	M-V-7号機 頭胴部仮組 (ロケット) (IA富岡)
筑波	SELENE 単体環境試験 (未実施機器について)	
内之浦	M-V-8号機 第2組立オペレーション	ASTRO-F/M-V-8号機 フライトオペレーション
		S-310-36号機 フライトオペレーション

(FM : Flight Model PFM : Proto-Flight Model)



# はやぶさ近況

## 前人未踏の挑戦 タッチダウンに成功!

探査機「はやぶさ」は、2005年11月26日に小惑星イトカワの「ミューゼスの海」付近への降下着陸を行い、試料採取のためのタッチダウンに見事成功しました。イトカワに到着して以来、さまざまな科学観測を行うとともに、着陸地点選定のための地図作りや降下誘導のための重力モデルの構築など、降下着陸への準備を行ってきました。イトカワの画像が送られてくるたびに新しい発見と感動の連続でしたが、一方、着陸誘導の観点からは、長径わずか540mという小さい天体でしかも表面のほとんどが岩でごつごつしており、非常に高精度な接近着陸技術が要求され、難易度の高いミッションであることを強く感じました。

「はやぶさ」には、未知小天体表面に自律的に着陸するための高度なセンサと新しい航法誘導機能が搭載されています。探査機はまず、航法カメラとレーザ高度計を用いて3次元相対位置を計測して接近します。イトカワが画面いっぱいになると、探査機は速度制御に切り替え、地上からの指令で位置修正および垂直降下を開始します。その後は完全自律で降下着陸を行います。探査機は目印となるターゲットマーカを投下し、表面との相対的な横速度をキャンセルします。続いて近距離センサを用いて表面に平行になるように姿勢アライメントを行った後、タッチダウン降下を開始します。降下中は、太陽電池パネルが岩などに衝突するのを避けるため、ファンビームセンサを用いて障害物を検知します。降下後サンプル採取機構が表面に接触すると、弾丸を撃ち込んで表面のサンプルを採取します。表面がどんな状態でもサンプルを採取できるように考案されたユニークな方法です。

このように、「はやぶさ」には先進的な新しい技術が数多く盛り込まれているため、各機能を確認しながらミッションを遂行する戦略をとりました。まず、11月4日に接近降下のリハーサルを行い、画像処理方式と誘導方式に調整が必要であることが分かりました。すぐさま対応策を検討し、11月9日に接近再試験を実施し有効性を確認できました。また同日2回目の接近降下において、ターゲットマーカの投下(表紙右下写真)を実施しました。続いて、11月12日に着陸試料採取に向けた航法誘導機能と近距離センサの性能評価を行いました。また、探査ロボット「ミネルバ」をリリースしましたが、分離速度が許容範囲をわずかに超えたため、残念ながらイトカワ表面に着地できませんでした。しかしながら、ミネルバは分離後も通信が確保され、探査ロボットシステムとしては完璧に動作しました。さらに「はやぶさ」の太陽電池パネルの撮影(表紙右上写真)にも成功しました。

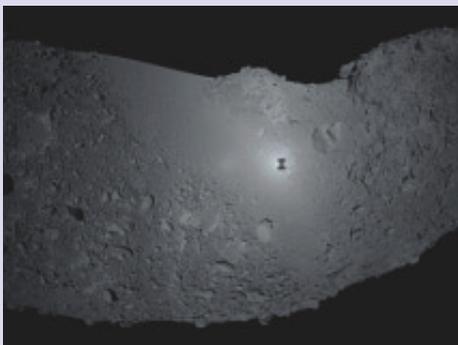
11月20日には1回目の着陸・試料採取を試みました。自律画像航法と地上からの遠隔補正誘導により、精度よく「ミューゼスの海」上空に導くことができました。また、88万人の署名入りターゲットマーカを投下し、画像トラッキング(表紙左写真)に成功しました。タッチダウン降下に移行したところで、ファンビームセンサが障害物を検知し、探査機は自ら判断して緊急浮上を試みました。しかしながら、浮上加速するための姿勢が許容範囲外であったため、結果として安全な降下の継続が選択されました。「はやぶさ」は緩やかな2回のバウンドを経て、およそ30分間にわたってイトカワ表面に着陸し、地球からのコマンドで離陸しました。これにより探査機「はやぶさ」は、小惑星から離陸した世界初の宇宙船となりました。

11月26日には2回目の着陸・試料採取にトライしました。自律シーケンスは順調に動作し、ついに26日午前7時7分にイトカワ表面にタッチダウンを行い、離陸浮上しました。サンプルを採取できたかどうかはカプセルを回収してみないと分かりませんが、二度にわたってイトカワ表面にタッチダウンしたので、サンプルを採取できたのではないかと考えます。なお、「はやぶさ」は順調にホームポジションに戻ってきたところでスラスタに不具合が生じ、セーフホールドに入りました。現在回復の運用を行っています。

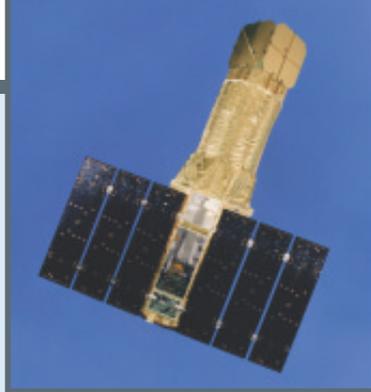
「はやぶさ」は今回の飛行により、地球圏内の月以外の天体において着陸と試料採取に成功しました。特に無人のロボティクス探査という点において、自律的な光学航法誘導による画期的に新しい惑星探査を遂行し、我が国独自の手法を確立・実証することができました。深宇宙探査技術面で世界の第一線に立つことができたと同時に、宇宙科学工学に少なからず貢献できたと思います。

最後に「はやぶさ」の接近降下着陸にあたり、ご協力をいただいた米国航空宇宙局の深宇宙追跡局網、臼田局、内之浦局に感謝致します。今回はLIVE中継を行うなど広報活動に多大なる支援をいただきました。そして、たくさんの方から応援や激励をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。(久保田 孝)

11月26日最終降下中、高度約250mで「はやぶさ」が撮像した「ミューゼスの海」。1回目の降下中に投下した88万人の署名入りターゲットマーカがイトカワ表面にあることを確認できた。



# 浩三郎の 科学衛星秘話



「あすか」



井上浩三郎

## 衛星の軽量化に「消費税」導入

衛星設計において重量、電力を減らすことは、大変に骨の折れる作業です。「あすか」もプロトモデルを開発する時点では、積み上げ重量が、目標420kg以下に対し約20%超過の500kg近くもありました。当時衛星システムを担当され、設計で苦労されたNEC(現NEC東芝スペースシステム)の北出さんは、次のように語っておられます。

—衛星主任の田中靖郎先生は、軽量化のための数々の手法を導入されました。まずは、一律3%という重量軽減の目標値を設定し、各サブシステム/コンポーネントに軽量化を迫りました。軽量化のための苦渋の共有化です—

—また、先生は「水に浮く機器はないだろうな」と問い掛けられ、比重が1以下のような密度の低い機器を作るな、というお心でした。“消費税”を導入したこの軽量化は、科学衛星開発では初めてでした。「あすか」では、この重量の軽減のほかに、機器搭載面積が足りないために“建ぺい率”を導入し、望遠鏡を伸展するために、伸展部に面する側面パネルに搭載した機器の高さを厳しく制限しました。これほど機器配置に苦労した衛星も少なかったのでは、と思われま—

## 今だから話せる話

ところである日、満田和久先生が言いました。  
—CCDカメラのカメラボディは、真空に封じた状態で打ち上げて、軌道上でバルブを開いて残留ガスの排気を行う予定でした。カメラボディの最終組立前までは問題がなかったのですが、最後の組立の後、真空の漏れがあることが分かりました。漏れの場所を特定するために、大みそかに田中靖郎先生自らヘリウムリークのディテクターを操作して、漏れ探しを手伝っていただきました。もったいない話ですが、漏れの場所は特定できませんでした。ノーズフェアリングをかぶせる直前から打上げ後にバルブを開くまでの時間と、それまでのカメラ内の温度分布の予想から、CCDに水がついてCCDが故障する確率がどれだけあるかについて喧々諤々の議論をし、最終的にこのまま進んでも大丈夫だろうということになり、打上げに臨みました。結果は大丈夫だったので、あのときの見積もりは正しかったということになります—

打上げの現場における修羅場の一端を見る思

# X線天文衛星「あすか」その3

いでですね。

## 科学的成果

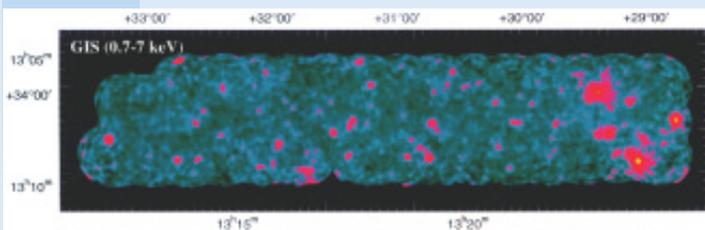
打上げ初期に観測機器の調整を行っているとき、おおぐま座の近傍銀河M81で超新星1993Jがはじけました。1987年の「ぎんが」打上げの直後にも超新星が出現したので、「日本がX線衛星を打ち上げると超新星が現れる」などと、評判になりました。

この観測から始まり、0.5keVから10keVまでの広いエネルギーにわたって大きな有効面積を持つ多重薄板型のX線反射望遠鏡と、非常に雑音が高い蛍光比例計数管とエネルギー分解能に優れているCCDカメラの2種類の検出器によって、多くの優れた観測成果を挙げました。

観測は国際的な公募により行われ、観測時間は日米間で合意された日本50%、米国15%、日米共同観測25%、ヨーロッパ10%という割合で配分され、延べ2112観測が行われました。2001年4月時点で、レフリー付きの学術誌に掲載されたものが1000編を超えました。これらの成果は、質・量・国際貢献度などにおいて、諸外国の衛星を含むほかの衛星と比較しても第一級のものといえます。

## おわりに

「あすか」は、X線背景放射の解明、巨大ブラックホールの周辺現象の解明など、7年余りにわたって多くの観測で数々の成果を挙げ、当時ヨーロッパの宇宙科学の将来計画策定の会議において、「『あすか』の成果を下敷きにしなければならない」と叫ばれたほど、世界のX線衛星として大活躍しました。そして2000年7月14日に発生した太陽フレアと軌道高度の低下に起因する姿勢擾乱のため、衛星姿勢を制御することができない状態に陥り、2001年3月2日、大気圏に再突入して太平洋上空で燃え尽きました。まことに、功なり名遂げた末の大往生でした。(いのうえ・こうざぶろう)



「あすか」で撮ったかみのけ座方向の空域の画像(カラーはX線強度)

# 宇宙の先輩探し

東京工業大学COE研究員 小谷太郎

このシリーズには次々と珍妙な星が登場しているが、その中には、最初は単なる想像上の星であったが、やがて望遠鏡の中に発見されて存在を証明されたものがある。アルバート・アインシュタインの重力方程式の解であるブラックホールや、統計物理から予想された中性子星などが有名な例であろう。一方、夢想家の脳裏には輝いているものの、いまだ存在が確認されていないへんてこな星もある。ここでは、フリーマン・ダイソンが1959年に予言したが<sup>※1</sup>、本稿執筆時点で未発見の「天体」、ダイソン殻について紹介しよう。

ダイソン殻は、自然の天体ではなく、巨大な人工天体である。卵の殻のような構造で、中心に恒星を一つ閉じ込めている。ダイソン殻の内側には絶えず恒星の光が降り注ぎ、居住可能な土地が広がっている。仮にその半径を太陽と地球の距離程度とすると、その面積は地球表面の10億倍にもなる。すると単純に考えて、現在の人口の10億倍、つまり500京人を養うことができる。人口増に悩む異星の文明にとって、ダイソン殻は究極の解決法となろう。(ちなみに我ら人類の増加率がこのまま続くと1000年もたたずに500京人を超えて、ダイソン殻が必要になる。)

もちろん、このような途方もない建築は現在の我々のテクノロジーでは不可能で、我々よりはるかに優れた文明が何世代もかけて建造するものであろう。宇宙のどこかには、先輩文明が何億年も昔に建造したダイソン殻が浮かんでいるかもしれない。

我々と似たような環境を好む文明が建造するダイソン殻は300K弱の温度になるので、ダイソン殻は赤外線で輝き、一見「赤色巨星」と呼ばれる普通の年老いた星に似ているだろう。そのスペクトラムには、大気や殻の材質に起因する特異な吸収線や輝線があるだろう。もしダイソン殻が穴を持つなら、中心の恒星のスペクトラムがちらちら見えるかもしれない。そのような赤外線天体を探す試みは、ダイソンの予言以来行われている<sup>※2</sup>。比較的最近では、寿岳潤、西村史朗ら

による報告がある<sup>※3</sup>。今のところ、これぞという候補天体は見つかっていないが、調べられたのは全天のうち、ほんの引っかけたほどの領域にすぎない。今後の探索に期待したい。(こういう分野は根強い人気を持つので、今後も細々と続くであろう。)

ところで、ダイソン殻が考えられた時代には、知られている中で最強のエネルギー源は恒星の核融合エネルギーだったのだが、現在ではもっと強力なエネルギー源が発見されている。例えば、活動銀河核(巨大ブラックホールとその周りの降着円盤)は、恒星の1000億倍のエネルギーを輻射しているものもある。そうすると、さらにアグレッシブに発達した文明は、降着円盤を覆う構造体を作るのではなかろうか。このアイデアは、福江純によって1995年に提唱された<sup>※4</sup>。安定性からいって、ダイソン殻より降着円盤上の板の方が建造しやすい。探すべきは、赤外線放射する活動銀河核かもしれない。ただし、自然に存在する銀河核も、周辺に塵の雲を持っていれば赤外線源となっていたりするので注意が必要だが。

蛇足だが、人間の想像は、想像の対象について語ると同時に、想像者についても明らかにするものである。ダイソン殻という構想が人々にアピールした1960年前後は、人類初の人工衛星「スプートニク」打上げが人々に衝撃を与え、多くの国が大戦の疲弊から回復して経済成長を遂げ、寿命も人口も急激に伸びていた時代だった。ダイソン殻は、そのような時代の思想を象徴するといえる。地球が我らの成長に狭過ぎるなら、宇宙を改造してしまえというわけである。その後ご存じの通り、急成長はどの国でも頭打ちになり、公害や環境破壊が表面化して人々は科学技術に懐疑的になり、(地球全体の人口は増えているが)先進諸国の人口は減少傾向にある。もう、テクノロジーの進歩によっていつまでも成長が続くとナイーブに考えることはできない。人口問題は、太陽系の改造よりも、人口増加率を下げ解決する方がはるかに楽なはずである。そうすると現在、ダイソン殻の探索には、絶え間なきテクノロジーの発達により1960年の成長を維持した文明、我らにできなかったことを成し遂げた文明を探す意味があるのかもしれない。失った夢を宇宙に探そうなものである。(こたに・たろう)

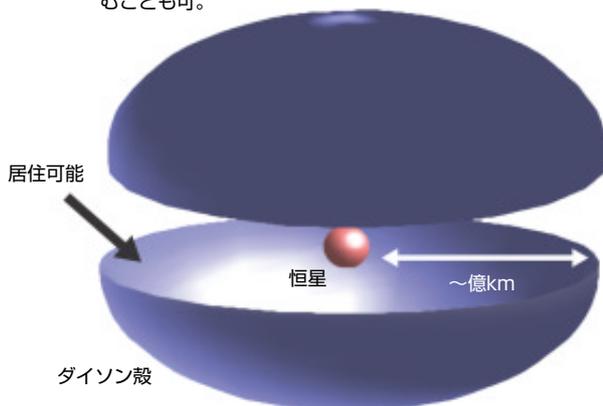
※1 Dyson, F. J., Science 131, 1667 (1959)

※2 Bradbury, R. J., Proc. SPIE 4273, 56 (2001)

※3 Jugaku, J., Nishimura, S., Proc. IAU Symp. 213, 437 (2002)

※4 福江純, 天文月報 88, 199 (1995)

図 ダイソン殻を割って見た想像図。中には地球軌道がすっぽり収まる。好みによっては、外側に住むことも可。



国際情勢を反映して

プエルトリコで10月24日から28日まで開催されたIEEE（米国電気電子学会）Nuclear Science Symposium (IEEE NSS)へ参加しました。IEEE NSSは従来、米国内で開催されていましたが、最近では昨年ローマのように国外で開催されることも多くなってきました。会員の国際的な広がりを反映したものと考えられます。IEEE NSSは、もともとは核物理・核エネルギー関係の測定器技術、電子回路技術を中心とした学会でした。最近では、これらに関連する医療診断分野、宇宙科学分野を取り込んで、かなり大掛かりなシンポジウムになっています。今回のシンポジウムでは特に、テロ対策の一環としてホームランドセキュリティのタイトルで、水際ないし国境においてテロ関連物資を発見し、国内への持ち込みを阻止するための技術が取り上げられていたのが印象的でした。核軍縮の時代には核兵器の廃棄方法などが取りざたされるなど、IEEE NSSは、常に

その時々国際情勢が直接に反映されるシンポジウムでもあります。

プエルトリコのカエルは

成田からニューヨーク経由で、プエルトリコの首都サンファンへ降り立ちました。ニューヨークはすでに肌寒い気候でしたが、プエルトリコは体感的には残暑厳しき折とい

ったところでした。空港の案内表示板には、スペイン語の記載の下に小さく英語が書かれていました。プエルトリコではなくプエル・トリコは、1898年、キューバ問題をめぐってアメリカとスペインの間で行われたアメリカ・スペイン戦争の結果、グアム、フィリピン諸島とともに、スペイン領植民地からアメリカの保護下に入ったという歴史的事情があります。スペインの長い統治の結果、スペイン語が根付いてしまっているのでしょう。しかし、ハンバーガーショップなどの外食産業は、アメリカ本土のもの何ら変わるところはありませんでした。現在では、プエルトリコはアメリカ自治領となっており、時折アメリカ合衆国の州となるか否か

が議論になることがあります。

プエルトリコの初日(日曜日ですが)は、アメリカ・スペイン戦争の舞台となったエル・モロ要塞を訪ねました。エル・モロ要塞は、日本の戦国時代(国際的には大航海時代)に建造され、1625年ごろにはオランダとの戦争で戦果を挙げるなど、カリブ海におけるスペインの橋頭堡としての役割を果たしてきました。

エル・モロ要塞の散策からの帰り道、カエルの看板が掲げられているレストランで昼食を取りました。この看板のカエルはプエルトリコに特有のカエルで、樹上に生息し、卵からオタマジャクシを経由せずにカエルの形態を得るということですが、本当でしょうか？夜には、このカエルが至る所で鳴いていました。

ハリケーンの影響で

IEEE NSSの会議場は、サンファンから東に30~40km離れたファハルドというところにあるリゾートホテルでした。ゴルフ場とカジノを備えた海岸沿いのホテルで、門からは玄関がまだはるかかなたに見えたように思います。私は、このホテルに予約を取ることができず、サンファンの近くに宿を構えました。最初はレンタカーを借りようかと思っていたのですが、スペイン語の道路標識と意外なほどの交通量の多さにおじけづいて、タクシーを用いることにしました。この島ではウイカーを使わないらしい、ということにも気が付きました。

ホテルの部屋に据え置き「プエルトリコ観光案内」(のような冊子)には、サンファンからファハルドまでは65ドルと書いてありました。しかし、実際にタクシーに乗ってみると、110ドルから75ドルまでまちまちで、運転手さんは、「ハリケーンの影響でガソリン代が上がっているから(ついでに車の維持も大変なので)」といった言い訳をしていました。シンポジウムで、2時間立ち詰めでポスターセッションをこなした後、ホテルに戻ってテレビをつけると、CIA工作員名漏洩事件とともに、石油供給会社の利益が急上昇しているというニュースも流れていました。

帰り道は、かなり悲惨でした。ハリケーン・ウィルマの影響とかで、サンファンからマイアミへの早朝の便がキャンセルになっていました。結局、数時間の待ち時間の後、フォートワース・グラス経由便を乗り継いで、別件の待っているサンフランシスコに到着したのは午後10時30分を回っていました。(いけだ・ひろかず)



コンファレンス会場のバルコニーからの眺望。  
ヨットハーバーの向こうは大西洋。  
撮影：宇宙プラズマ研究系 高島 健助手



# Our adventures in Japan and beyond

This fall my family and I have had the adventure of a lifetime. While my family has been busy exploring a “new world” called Japan, my adventure has mostly centered on the exploration of another new world called Itokawa. There are many parallels between these adventures. My family and I are discovering the richness of Japanese culture, are learning to think in new ways, and are starting to understand many aspects of Japanese life that used to puzzle us. Working with the Hayabusa science team, I am discovering many new things about Itokawa, learning to think in new ways about asteroids, and puzzling out answers to old questions even as new, more complex questions form.

My wife, Susan, our children Annaka (age 11), Samuel (age 8) and Eleanor (age 5), and I have been taking full advantage of our extended stay in Japan. In addition to our many weekend trips to Tokyo area parks, museums, and districts, we’ve also enjoyed several longer trips. These have included a few days at Nikko, a week in Kyoto, a weekend in Hiroshima, and daytrips to Hakone, Kamakura, and Yokohama. We especially liked Kyoto, from the simple beauty and serenity of the temple gardens within Daitoku-ji to the wildness of Fushimi-inari shrine’s breathtaking labyrinth of torii gates. Sampling so many different delicious foods has also been a wonderful part of our Japanese adventure. Our children will continue asking for onigiri, soba, and curry long after we return home!

Our daily life in Sagami-hara has also been an adventure. Perhaps the biggest challenge has been learning to carry several bags of groceries along with our youngest on a bike without running into a light post! The ISAS lodge has been a very comfortable place for us, and its beautiful setting has been a welcome place to come home to. The ISAS staff has helped us in so many ways, explaining daily life and routines. In particular,

## Daniel J. Scheeres

Associate Professor  
The University of Michigan  
JAXA/ISAS Visiting Professor  
JSPS Fellow

Ms. Kazuko Sugita has gone out of her way to ease our transition to a new country. The guards at the front gate have been especially kind to our children, giving them many small gifts and always being cheerful and friendly to them. We are very appreciative to all of the people we have met.

Living in Japan has been professionally rewarding as well. Working at ISAS has provided me with a bird’s eye view of the most amazing celestial object I have ever seen - the asteroid Itokawa. Being here as a member of the Hayabusa Joint Science Team is truly a highpoint of my career. The devotion and skill of the science and engineering teams has been inspiring to see, and the high level of discussion and analysis within the teams has taught me many important scientific points. I am especially thankful for the support of the Japan Society for the Promotion of Science and my host at ISAS, Professor Jun’ichiro Kawaguchi.

The results of this mission will leave two lasting legacies. First, the Hayabusa engineering team is showing the world how to carry out the extremely delicate and risky operations while hovering over a body just over twice the size of the skyscrapers in Shinjuku. All future missions to asteroids will start with Hayabusa, and its efficient and innovative spacecraft design. Second, the Hayabusa mission is changing our basic scientific understanding of asteroids, how they form, and how

they evolve. Hayabusa and its science team will broaden our understanding of asteroids, and will keep researchers busy for many years trying to reconcile their theories with what has been found at Itokawa.

Finally, I would like to make a few observations on the scientific and engineering culture at ISAS, drawing on my past experience as an employee of the Jet Propulsion Lab for five years and my interactions with many other space research labs and companies. The culture at ISAS is truly unique among space science research centers due to their emphasis on cross training and testing. One of the most exciting aspects of work at ISAS is the expectation that everyone is involved with operations and hardware development. This is certainly not the case in the U.S. space program, which has become so specialized that it is very rare for an engineer or scientist to specialize in more than one area of technical competence and capability. This emphasis on multi-disciplinary training can have tremendous benefits in the design and development of innovative spacecraft and space missions, as clever and efficient designs come from people who have an intimate knowledge of the detailed systems that they work with. I look forward to many more interactions with ISAS, the people who work here, and the space missions they design.

(ダニエル J. シアーズ)



With my family at Hakone Museum

# 水星でリベンジ

固体惑星科学研究系助教授  
笠羽康正

—この直前まで運用室にいらしたそうですね。

笠羽：運用していたのは、8月に打ち上げた小型科学衛星「れいめい」です。そのほかにも、地球磁気圏観測衛星GEOTAILなどを使った観測研究、次の磁気圏観測計画SCOPE、金星探査機PLANET-Cなどにもかかわっています。最も懸命にやっているのは、水星探査計画BepiColomboですね。

—BepiColomboは、どういう計画ですか。

笠羽：地球型惑星で磁場を持っているのは、地球と水星だけです。水星は、地球と直接比較ができる非常に重要な惑星なのです。しかし、水星に行った探査機はこれまでに1機しかありません。しかも周回軌道には入っていない。BepiColomboは2010年代初頭に打上げ予定の日欧共同ミッションで、日本は水星を周回しながら磁場と磁気圏の観測を主に行う水星磁気圏探査機(MMO)を担当します。これまで地球の観測から何となく分かった気になっている惑星の磁場・磁気圏を明らかにする画期的な成果が期待できます。誰も行ったことがない所で誰も見たことのないものを見ることが、宇宙探査では一番重要です。BepiColomboはそれを満たす、非常にやりがいがある仕事です。

私はこの計画でMMO衛星全体の世話をする役割ですが、個人としては、火星探査機「のぞみ」の観測装置を改良した電場・波動・電波観測装置を金沢大、富山大、京大などの仲間と共同で載せます。私は、宇宙研に来る前に富山県大で助手をしていたときから「のぞみ」の観測装置を作っていました。「のぞみ」打上げの翌年に宇宙研に来てからは、2003年末に運用室でその最後を看取るまでずっと世話をしてきたメンバーの一人です。まさに「のぞみ」につき込んできた。しかし、それが全部消えてしまった。いくつかの観測は巡航中に実施できたのですが、我々の装置は火星に到達してから動かすものでしたから。

成功していたら、私たちの作った「のぞみ」は、火星の大気や水がどういうプロセスではぎ取られ、宇宙空間に逃げたのかを世界で初めて明らかにすることができたはずでした。「のぞみ」でやり切れなかったことの怨念を、私たちの世代は抱えているのです。それを水星でリベンジしたい。「のぞみ」を作ってきた宇宙研内外のさまざまな人たちとその技術は、今、地球・太陽系を目指すさまざまな次世代計画の中核にいます。BepiColomboもその一つ。必ず成功させたい。それがある限り、「のぞみ」は死んでいないと思っています。

—電場・波動・電波観測装置からは、どういうデータが出てくるのですか。

笠羽：特定の周波数のところにピッと線が出ているだけです。最初は、



かさば・やすま。1966年生まれ。工学博士。1993年、京都大学大学院理学研究科物理学第二専攻博士後期課程退学。同年、日本放送協会大阪放送局。1997年、京都大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。同年、富山県立大学工学部電子情報工学科助手。1999年、宇宙科学研究所宇宙科学企画情報解析センター助手。2001年、惑星研究系助教授。現在、固体惑星科学研究系助教授。専門は太陽系電波科学、電磁波工学。

データを見ても何も分からない。でも、ほかのデータと突き合わせたりしているうちに、ある瞬間から見えてくるのです。特定の周波数に非常に強い波が出るということは、それを出す特定の激しい現象がそこでその時に起きているということです。「心眼」が磨かれてくると、そこで何が起きているのかが手に取るように見えてきます。

—水星の先は？

笠羽：太陽系最強・最大の磁気圏を持つ木星に行きたい。でも、日本がそれをやるのは夢だと思っていました。ところが、川口淳一郎先生がボツリと「君たち木星に行きたいの？ソーラーセイルで行けるよ」と。20年後には、地球と水星、木星を直接詳細に比較することによって、今私たちが思っている問題を100%クリアにできるかもしれない。そうなれば、新しく興味深い課題を後世に送り出せると思う。20年後といえば、私はそろそろ定年でしょう。研究者としてフルに働ける間に三つの惑星を比較できるのは、我々の世代の特権ですね。

もちろん、地球についてもやらなければならないことがたくさんあります。私がなぜ「れいめい」にかかわっているかということ、宇宙研初の小型衛星だからです。SCOPE計画では、立体的に、かつ時間分解能を上げて地球磁気圏を見るために、編隊を組んで観測します。1機1機は小さくしなければなりませんから、小型衛星を作る技術は必須です。それぞれが次につながっている。いえ、つなげていくのです。

—磁場・磁気圏の研究は、日本の得意分野ですね。

笠羽：世界のトップによく近づいてきたというのが現在の状況です。この分野で日本が認められたのは、やはりGEOTAILの成功が大きいですね。GEOTAILは、米国との共同ミッションです。1984年のハレー彗星国際共同探査が一つのきっかけとなって、米国から一緒にやりましょうと声がかかったのです。そしてGEOTAILによって「日本もやるね」と一目置かれるようになり、今度はヨーロッパからBepiColomboと一緒にやろうとの申し出があった。先人たちが作ってくださった土台の上に私たちがいる。私たちも、今やっていることを成功させていかなければならない。それが、また次の世代の新たな土台となっていくと思います。

ISASニュース No.297 2005.12 ISSN 0285-2861

発行/独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部  
〒229-8510 神奈川県相模原市野野台3-1-1 TEL: 042-759-8008

本ニュースに関するお問い合わせは、下記のメールアドレスまでお願いいたします。  
E-Mail: newsedit@adm.isas.jaxa.jp

本ニュースは、インターネット  
(http://www.isas.jaxa.jp/)でもご覧になれます。

\*本誌は再生紙(古紙100%)を使用しています。 古紙配合率100%再生紙を使用しています



編集後記 「はやぶさ」のタッチダウンに、私も世界の「はやぶさ」応援団の一人としてインターネットライブを見て声援を送っていました。ミッションの速報はインターネットで、経過と成果をじっくりとくみしめるのは「ISASニュース」で。そんな記事を、これからもお届けしたいと思います。(松岡彩子)

デザイン/株式会社デザインコンビピア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト