



第5回「君が作る宇宙ミッション」の参加者たち（6ページ参照）

宇宙科学最前線

「はるか」が生み出した次期
スペースVLBIミッション「VSOP-2」

平林 久

次期スペースVLBIワーキンググループ 主査

宇宙研の第25号科学衛星計画として、スペースVLBI科学ミッションのVSOP-2計画が選定されました。JAXAが発足してから選ばれた初めての宇宙研ミッションです。衛星名はASTRO-Gとして、2007年度にPM（Proto-model）スタート、2011年度打上げを目指して概算要求が行われています。VSOP-2が何を狙うのか、どのように進められるのか、そして現状をお伝えします。

「はるか」からVSOP-2計画へ

電波天文衛星「はるか」は1997年に打ち上げられた史上初のスペースVLBI（Very Long Baseline Interferometry：超長基線干渉計）天文衛星でした。

「はるか」は、軌道上で端から端まで10mの大型展開アンテナの展開をはじめとした工学実験を成功

させ、0.4ミリ秒角という高解像度観測を達成しました。世界中の研究機関との密接な国際協力のもとに、VSOP（VLBI Space Observatory Programme）観測計画を実現しました。VSOP計画によって、活動銀河核のジェット構造や運動、銀河中心核のブラックホールを取り巻くプラズマ円盤構造を、高い空間分解能とイメージング性能で明らかにし、さらに、これまで知られていなかった高輝度天体の存在を示すなどの科学的成果を挙げることができました。

「はるか」プロジェクトがスタートしたのは1989年です。工学実験衛星としてスペースVLBIに必要な工学技術を実証し、国際スペースVLBI観測を実際に行うことを目指して、衛星名はMUSES-Bと名付けられました。MUSES-Bは宇宙で羽を広げて「はるか」となって、工学実験衛星の枠組みをはるかに

超えて、多くの天文学的な成果を挙げることに成功したのです。

国内外のVSOPグループは、「はるか」によって得られた知見をもとにして未知の領域の天文学を切り拓くため、より広範な科学コミュニティに呼びかけながら次期スペースVLBIワーキンググループを立ち上げました。それは、打上げ間もない「はるか」が宇宙―地上間で干渉実験に成功した1997年5月のことでした。ワーキンググループはこの10年近く、「はるか」を運用しながら、よりよき計画作りにも励んできました。

VSOP-2計画とは

VSOP-2では、VSOP計画に比べて、より短い波長に観測帯域を移します。ほかのいかなるミッションも成し得なかった高空間分解能（最高40マイクロ秒）による天体現象の直接撮像による観測を特徴とします。これによって、活動銀河核などを理解する上で重要な要素である巨大ブラックホールや降着円盤、ジェット生成、加速の機構などを明らかにします。また、原始星磁気圏の構造などの研究分野にも観測分野を広げます。重要項目を挙げます（図1）。

- ジェットが生成、加速されている領域の解明
- 活動銀河核のブラックホール周辺の降着円盤の構造
- 水メーザーによる、系内星形成領域などの運動の解明
- 系外銀河中の水メーザーの観測
- 原始星の磁気圏の観測、など

JAXAの「宇宙科学長期計画」の中では、天体物理学の極限状態の物理にかかわる領域に肉迫するものです。多くの銀河の中心に活動的な現象があること、それらが超大質量ブラックホールにかか

わること、また、ブラックホール周辺の極限状態は多くの人の興味を引き付ける研究課題です。

VSOP-2の性能強化

VSOP-2では、望遠鏡としてのVSOPからの大幅な進化を狙い、三つの努力目標を設定しました。

- 10倍の高周波化：VSOPで主に成果の出た5GHzより観測周波数の高い43GHzまでの観測によって解像度を向上させる。また、高周波化によりプラズマ領域内を見通しよく観測することを狙う。
- 10倍の解像度の向上：高周波化および遠地点高度の増加の効果が達成できる解像度は、43GHzで0.040ミリ秒角で、VSOPの0.4ミリ秒角(5GHz)の約10倍である。
- 10倍の高感度化：冷却受信機(22, 43GHz帯)による低雑音化、伝送レートを1Gbpsに高めることやアンテナゲインの増加により、連続波観測で感度を約10倍に向上させる。

さらに、以下の二つの大事な性能を加えます。

複雑な観測をするVLBIでは観測の「位相」というものに誤差や不安定性がのり、高い感度や精度が達成しにくくなります。そこで、観測したい天体と方向の近い参照天体との観測を1分間ぐらいの周期で切り替える「位相補償観測」モードを取り入れようとしています。これにより、さらなる高感度化とアストロメトリ観測が可能になります。

また、偏波観測を積極的に行い、磁場の方向やファラデー回転などの情報を得ます。これはプラズマ領域での磁場の役割、磁場と放射が密接に関連しているので、この情報はとても大切です。

ASTRO-G衛星と技術開発

電波天文用アンテナをどう設計するかが大きな問題でした。結局、「はるか」のアンテナとは違う、モジュール構造のオフセットパラボラの大型展開アンテナ(9mφ, 0.4mm rms)ということに落ち着きました。展開アンテナの反対側に一翼のソーラーパドルを持ち、全体は3軸姿勢制御をします。衛星重量は約910kg、衛星発生電力は約1.8kWです（図2）。

観測軌道としては、遠地点高度2万5000km、近地点高度1000km、軌道傾斜角31°、軌道周期7.5時間の楕円軌道を目指としています。

大型展開アンテナの展開構造は、ETS-Ⅷで開発されているLDR (Large-scale Deployable Reflector) 構造を採用することにしました。7個のアンテナモジュールで構成します。モジュール単体の鏡面精度を上げるために、新規開発の放射リブ方式を採用しますが、これはコンセプトが雨傘そのものです。また、主鏡に3軸、副鏡に2軸調整機構を

図1 VSOPがとらえたM87の電波像。8000光年の長さに伸びる鋭いジェットの根元が約10光年にわたって見えたが、VSOP-2ではブラックホールの数倍の解像度の映像をもたらす。



持ち、軌道上でアンテナ利得が最大となるよう調整できることとしています。

2000年度から戦略的開発経費という衛星選定前の開発費が認められるようになりました。展開アンテナについては集中的に6年にわたるモジュール試作などの検討を進め、実現の見通しを得ています(図3)。

22, 43GHz帯については、スターリングサイクル冷凍機により30Kまで冷却して高感度を目指します。赤外線領域の「あかり」も、X線領域の「すざく」も、電波領域のASTRO-Gも、大事な受信部は冷却する時代に入りました。

スペースVLBIでは観測帯の波束をサンプリングして地上のトラッキング局に高速伝送します。このとき広帯域であるほど、感度が上がります。VSOP-2は「はるか」の8倍の1Gbpsのデータ伝送を行い、これだけで3倍近い感度向上となります。

周期1分以内で離角2〜3度以内の2天体をスイッチング観測するために、4台のリアクションホイール(RW)に加えて、高トルク能力のあるコントロールモーメントジャイロ(CMG)2台を追加します。また、高精度軌道決定(位置精度5cm以内)が必要で、GPS利用などの方式を積極的に検討しています。

MUSES-B時代と同じ、やはり多くの積極課題があります。多くの関係者の参加を願っています。

提案からプロジェクトスタートへ向けて

宇宙研の第25号科学衛星の公募に対して、2005年10月にVSOP-2の提案を行いました。

宇宙理学委員会には硬X線天文衛星NeXTも提案され、同委員会は2006年2月1日に、先行するミッションとしてVSOP-2を推す案を選定しました。一方、宇宙工学委員会はソーラーセイルを選定、宇宙研は本部内の二つの意思決定会議で3月1日にVSOP-2を選定、さらに運営協議会、評議会で4月中に承認、5月に入ってJAXAとして承認、7月に宇宙開発委員会の事前評価を受けて認められました。

ボトムアップでのステップを上がりながら、多くの指摘を頂きました。2007年度からの正式プロジェクトスタートを前提に、JAXAとして概算要求が行われました。2011年度に打ち上げ、打上げ後5年以上の運用を想定しています。

スペースVLBIの運用と国際協力

全体の観測と運用の流れは、VSOPのときと同様です。衛星は、鹿児島コマンド局に従って動作します。衛星はトラッキング局から送信される周波数を基準にして動作し、観測データをトラッキング局に送信して記録します。衛星とトラッキング局が一体となって、一つの宇宙電波望遠鏡として動作するのです。

そして、衛星と地上の電波望遠鏡群で得られた観測データが相関局に送られ、相関処理が行われ、そして画像処理によって電波画像になるのです。

「はるか」では5局のトラッキング局ネットワークを形成しましたが、VSOP-2でもこれは必要です。VSOP-2計画の相関器としては、国立天文台と韓国が共同で製作および運用を行うことになっています。

VSOPでは、大規模で緊密な国際協力を組み、連日の観測を組織し運用を成功させました。VSOP-2では、この経験と国際理解を活かして進め

ます。VSOPに参加した中国に加え、韓国では2007年までに3局の専用VLBI網(KVN)が建設されます。VLBA(米国)、EVN(欧州、中国)、AT(豪州)などの国際VLBI望遠鏡群が参加します。

VSOP-2を生み出した「はるか」

国内のVLBI関係研究者は、VSOP開発時と比較すると、VSOP、VERAなどのプロジェクトの遂行を通じて確実に増えています。VLBIコミュニティとしては、VSOP、VERA、VSOP-2という流れを共通認識にしています。国立天文台のVERA 4局については、観測周波数がVSOP-2と一致している上に、位相補償観測に特色を置いた電波望遠鏡であるために、共同観測により特色のある成果が期待できます。

VSOP/「はるか」を協力して行った宇宙研と国立天文台は、緊密な連携体制を作ろうとしています。2004年4月から、VSOP-2を目標とした「スペースVLBI推進室」が国立天文台に設置されました。VSOP-2計画は国立天文台の各種委員会においてレビューと審議を受け、宇宙科学研究本部との共同プロジェクトとしての立場が認知されました。

VSOP-2を生み出した「はるか」は、2005年11月に運用を終了しました。新しい観測法「スペースVLBI」を確立した「はるか」。その本格的科学ミッションを何とか成立させようと、チームは頑張ってきました。かつて日本の空を翔んでいたという「朱鷺」のように絶滅させてはいけなく強く思いました。

新しい分野を興すには、さまざまな苦労が伴います。何としても成功させたいと思っています。

図2 ASTRO-G衛星のペーパークラフト(朝木義晴氏が用意して、今年の一般公開日に皆さんに配布)

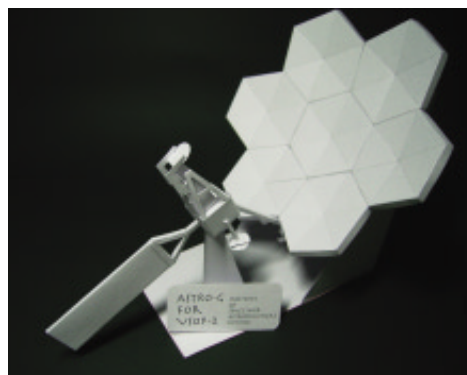


図3 試作された大型展開アンテナのモジュール

(ひらばやし・ひさし)

「すざく」による銀河団ガスの重元素分布の測定 宇宙の酸素タンク

X線天文衛星「すざく」は、昨年7月の打上げ後、着々と科学観測を進めており、その高性能を活かした新しい成果が得られてきました。今回はそのうちの一つ、宇宙最大の天体である、銀河団を観測した結果について報告します。

銀河団とは、数百から数千の銀河の集団であり、宇宙で最大の重力的に束縛された構造です。銀河と銀河の間は、数千万度の高温のガスで満たされており、ガスの質量は銀河の全質量の数倍にもなります。このような大量のガスがかって銀河の中に存在したとは考えにくく、銀河団ガスは、一度も星になったことのない原始ガスがほとんどであると考えられます。

驚くべきことに、銀河団ガスには大量の重元素が含まれています。その量は、銀河の星に含まれる重元素の質量に匹敵します。重元素は銀河の中で星の超新星爆発により合成され、星間空間にばらまかれます。銀河団では、銀河の中で超新星により合成された重元素の数割が、新たに生まれる星に取り込まれるのでもなく、銀河内に星間ガスとしてとどまるのでもなく、銀河のポテンシャルから銀河間空間へと脱出したことになります。

水素、ヘリウム以外の重元素の半分は酸素なので、宇宙の化学進化とは、ほぼ酸素の合成史であるといえます。酸素は、主に巨星に進化した段階での核融合によって合成され、II型超新星により星間空間に供給されます。従って、酸素の量は過去に形成されたII型超新星爆発を起こすような重質量星の数を反映します。しかし、酸素や酸素と同じよう

に合成されるマグネシウムの量は、これまで銀河団中心部に位置する巨大楕円銀河(cD銀河と呼ばれる)周辺部を除き、ほとんど分かっていませんでした。

「すざく」は、ほかのX線天文衛星に比べ、酸素輝線のエネルギーでエネルギー分解能が良く、マグネシウムの輝線のエネルギーでバックグラウンドがととても低いため、広がった天体からの酸素やマグネシウムの輝線の強度を求めることができます。その結果、「すざく」により、銀河団全体の酸素やマグネシウムの量を求めることが可能になってきました。

「すざく」で観測したろ座銀河団(図1)のX線スペクトルを図2に示します。cD銀河から遠く離れた銀河団ガスからも酸素、鉄、マグネシウム、ケイ素、硫黄からの輝線がくっきりと検出されています。図3は、求められた酸素、マグネシウム、ケイ素、鉄の組成比の分布です。cD銀河周辺で組成比が増えているのは、cD銀河から現在も重元素が供給されていることを意味します。酸素やマグネシウムとケイ素や鉄の比から、cD銀河周辺でも銀河団ガスの領域でも、鉄のほとんどはIa型超新星によって合成されたことが分かります。酸素やマグネシウムの量は、銀河団ガスの領域ではII型超新星により合成された星の量を示し、cD銀河周辺では銀河の星の組成を反映します。

ろ座銀河団以外の銀河団からも、「すざく」は、酸素やマグネシウムの量をこれまでにない精度で決定することができます。「すざく」は今後も観測を続け、銀河団でのこれらの重元素の起源に迫ります。(東京理科大学 松下恭子)

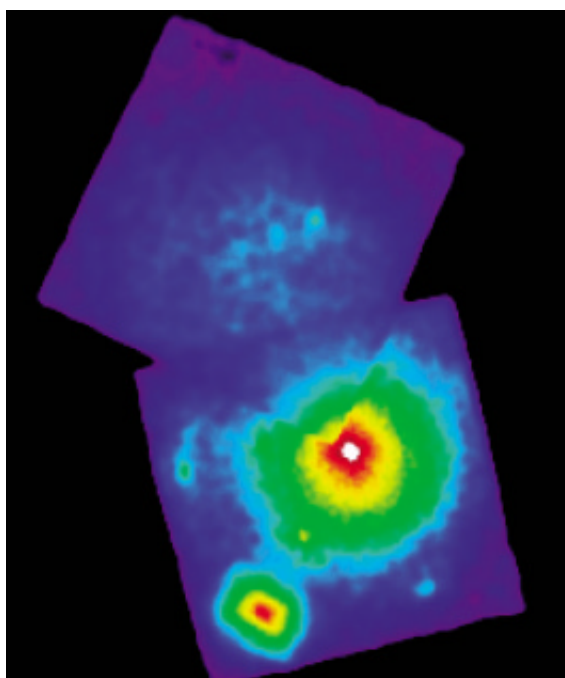


図1 「すざく」搭載CCD検出器で観測したろ座銀河団の画像

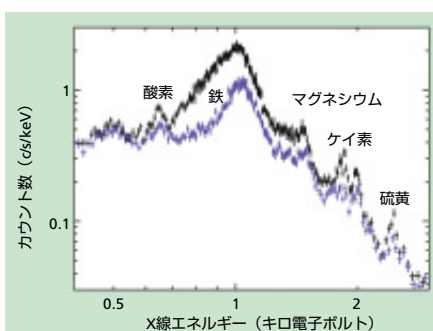


図2 「すざく」の裏面照射型CCDで得られたろ座銀河団のX線スペクトル。cD銀河周辺は黒、銀河団ガスの領域は青でプロットした。

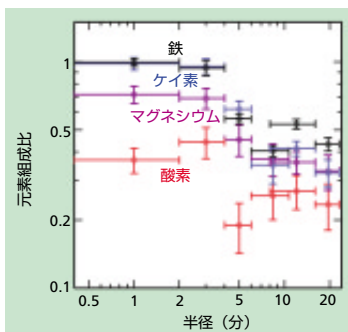


図3 ろ座銀河団の重元素分布。横軸は中心にあるcD銀河からの距離(単位は分)。縦軸は元素の組成比(太陽組成を1とする)。

M-V ロケット7号機打上げは新たな時代の幕開け

いよいよM-Vロケット7号機の打上げが目前に迫りました。今回のミッションは、世界一の太陽観測衛星SOLAR-Bの打上げです。振り返ると、これまでM-Vロケットは、電波天文衛星「はるか」、火星探査機「のぞみ」、小惑星探査機「はやぶさ」、そしてJAXA統合後は、X線天文衛星「すざく」、赤外線天文衛星「あかり」を打ち上げてきました。そして、今回の太陽観測衛星SOLAR-Bの打上げにより、M-Vロケットは宇宙科学のほぼすべての領域に貢献することになります。これまで以上に大きな期待と責任に、身が引き締まります。

さて、今号機で現形態のM-Vロケットの打上げは最後となります。しかし、それは我々が新しい固体ロケットの研究と



SOLAR-Bと第3段ロケットを被うノーズフェアリングの組み付け作業（9月9日）

いう次のステップに進むために必要な区切りであって、我が国固有の固体ロケットの研究開発の大きな流れの中では単なる通過点にすぎません。新しい研究は小さな形態でスタートしますが、これはM-Vロケットをさらに良くしようという壮大な計画の第一歩であって、我々に熱意がある限り、必ずやより良い固体ロケットに発展していくものと信じています。全力で取り組みたいと思います。

この打上げで我々が目指すのは、有終の美ではなく、これから始まる新しい段階への幸先の良い、まさしくロケットスタートです。実験班全員、再び心を一つにして、ぜひとも

この打上げをきれいな成功で飾りたいと願っています。応援よろしくお願いします。（森田泰弘）

M-V ロケット7号機サブペイロード「HIT-SAT」と「SSSAT」

M-Vロケット7号機は、第3段計器部（B3PL）に二つのサブペイロードを搭載します。一つは北海道衛星プロジェクトのHIT-SAT、二つ目はソーラーセイルワーキンググループのSSSAT。いずれもSOLAR-B分離後のB3PLから分離して衛星となります。ここでは、これら二つの超小型衛星の紹介をします。

北海道衛星プロジェクト「HIT-SAT」

北海道衛星プロジェクトでは、北海道内で設計・製造した小型衛星を用いて日本に民間主導の新しい宇宙産業の創造を目指しています。北海道衛星の開発に先立って、大きさ12cm立方、重量2.7kgの北海道初の超小型衛星HIT-SATを打ち上げるようになりました。HIT-SAT開発の主たる目的は、北海道衛星開発に向けて集まっている研究者、学生、エンジニアらが実際に衛星の打上げに携わることで、短期間で実際の宇宙開発の経験を蓄積することにあります。開発には、北海道工業大学の三橋龍一助教授、北海道大学の石村康生助手、戸谷剛助手および学生が、植松電機、アイドマ、エイティーエフ、ピーユージーなどの道内企業からもエンジニアがボランティアで参加しています。

HIT-SATのミッションは、①太陽指向制御実験、②熱設計の軌道上での評価、③衛星分離機構の機能確認、④衛星通信の基礎データ取得、⑤電源系の充放電サイクルに伴う軌道上での劣化評価などを予定しています。

（北海道工業大学 佐鳥 新）

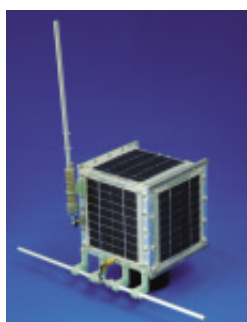
ソーラーセイルワーキンググループ「SSSAT」

SSSATは、ソーラー電力セイル実験を軌道上で実施する小型衛星です。B3PLから分離した後、搭載推進系（気液平衡スラスタ）でスピニングを行い、その遠心力で4m大のセイルを展開します。セイルの一部は薄膜太陽電池になっており、衛星の電力をまかさないです。つまり、文字通り「ソーラー電力セイル」の実験を軌道上で行うわけで、もちろん世界初の試みです。

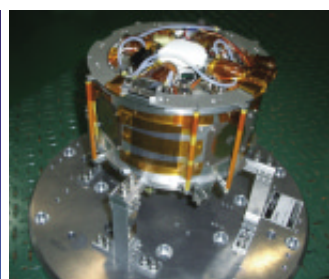
質量は6kg、開発期間は1年、川口研究室の学生と宇宙航行システム研究系のスタッフを中心に、所内外のたくさんの方々の協力を頂きながら開発しました。

M-Vロケット第3段の軌道が低いことと、セイルを展開することによる大気抵抗で、軌道上寿命は3日程度と非常に短いですが、相模原「れいめい」管制局のほか、JAXA新GN局や海外商用局の協力を得て、できる限り多くのデータを収集しようと考えています。

（津田雄一）



HIT-SATの外観



SSSAT本体。実際は円筒部外側にセイルが巻かれる。

第5回「君が作る宇宙ミッション」開催

7月31日、全国から20名の高校生が宇宙研にやって来ました(表紙参照)。第5回を迎えた「君が作る宇宙ミッション」(略して、きみっしょん)の参加者たちです。これから5日間宇宙研に泊まり込み、4班に分かれて、自分たちの実現したい宇宙ミッションをゼロから計画します。期間中、私たち大学院生がTA(Teaching Assistant)として付きっきりで手助けします。今年、最終的に出来上がったのは、「オゾンホールをわずか30年で修復する計画」「GPSを駆使した火星・木星の大気構造の調査」「冥王星サンプルリターン計画」「世界最速の火星テラフォーミング」でした。そしてこれらのミッションは、4日目の夕方にA棟2階の大会議室で、宇宙研の皆さんを前に発表させていただきました。

「きみっしょん」の一番初めの山場は、人間関係の構築です。必要なのは、単なる友達関係の構築ではありません。自分のやりたいミッションを具体的な利点を挙げながら主張し、戦い、最終的に全員が一つの方向に向かって団結するという、高度な人間関係です。これは、通常の社会生活のみならず、実際の宇宙ミッションを実現するための鍵となる、重要な要素だと思います。

例えば、火星テラフォーミングの班では、こんなたくましい戦いが繰り広げられました。当初、3人の高校生が「宇宙デブリの回収計画」を強く主張する中で、残る2人は自分の夢である火星テラフォーミングを計画したいと一歩も譲りません。そこで2人の高校生は、爆弾を使って火星の極冠にある固体の二酸化炭素と水を一気に蒸発させることで、これまでにない速度で火星を暖めることができる、というプレゼンテーションを3人の前で行い、見事説得に成功しました。そしてこれは、放射能を出さないクリーンな水爆(現在各国で研究中とのこと)を使うというアイデアに発展していきました。

テーマが決定すると、ミッションの見せ場をいかに作るのが次のポイントです。そのために高校生には、宇宙研の先生方をうならせるような三つの目玉商品を考えるよう促しました。目玉商品とは、必要な技術項目を一つ一つ計算した結果にその実現性が裏打ちされた、高校生独自のアイデアのことです。この過程で、緻密な計算と検証

があって初めて壮大な夢が実現できるという、宇宙ミッションの醍醐味を実感してもらうことが、「きみっしょん」の大きな目的の一つです。

例えば、オゾンホール修復計画の班では、人工衛星によって上空に極端に酸素濃度の高い状態を人為的に作り出し、太陽からの短波長の紫外線を使って、酸素をオゾンに効率的に変換するというアイデアを考え出しました。そして、文献やWebサイトの情報を参考にしながら、必要な酸素の量や衛星の個数を具体的に計算していきました。その結果は、日本の国家予算ほどの超規模的なものでした。しかしながら高校生たちは、数値化することで初めて絵空事のアイデアが現実的なミッションへと変貌していくことを、おぼろげながらも学びとてくれたようです。

私たちTAが得た教訓もあります。例えば、高校生にミッションの目的とその手段を明確に定義することの大切さを伝えるのに大変苦労しましたが、果たして自分自身は研究生活で実践できているのか、と反省させられました。「開発中の観測機器のアナログ性能を測ることが目的であるのに、周辺のデジタル回路やソフトウェアに無駄に凝っていなかったか」、「観測結果を5%の系統誤差の範囲で議論するべきところ、1%以下の精度の解析手法を整えようとして時間を浪費しなかったか」など、恥ずかしながら、自分が教える立場になって初めて振り返ったことがありました。

「きみっしょん」が終わって、高校生たちは一回り大きく成長し、満面の笑みを浮かべて帰っていきました。うれしかったのは、「将来、宇宙研に入ってTAをやりたい」と言ってくれた高校生がいたことです。また、「宇宙研はもっと暗いイメージがあったけど、NASAに引けをとらない最先端の研究をやっていることが分かった」など、宇宙研に対するあいまいな印象を建設的なものに変えて帰ってくれたようで、事務局長の私としてはホッとしています(笑)。

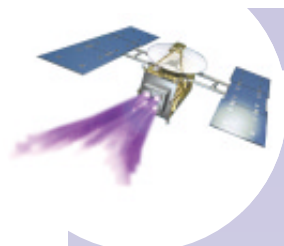
最後になりましたが、今回の「きみっしょん」を支えてくださったすべての方々に、感謝させていただきたいと思っています。ありがとうございました!

(TA事務局長/東京大学大学院 田村健一)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(9月・10月)

	9月	10月
筑波	SELENE システムPFM試験	
内之浦		M-V-7号機/SOLAR-B フライトオペレーション
三陸	平成18年度第2次気球実験	

(PFM: Proto-Flight Model)



はやぶさ近況

「はやぶさ」東奔西走

現在、「はやぶさ」の運用そのものには、大きな変化はありません。予定では、来年の2月以降にイオンエンジンを本格的に始動させ、2010年6月の地球帰還を目指すことになっています。地球帰還に向けて、毎日の運用が粛々と行われているわけです。

それに対して、昨年の「はやぶさ」の活躍については世界的にも注目されており、米国のNational Space SocietyからSpace Pioneer Awardを受賞し（ロサンゼルスにて）、また日本SF大会において星雲賞をもらいました（松島にて）。さらに、各種の国際学会で発表が行われたりするなど、ここに来て華々しい状況が続いています。ここでは、特に最近の国際学会における「はやぶさ」の成果発表について紹介します。

●シンガポール：AOGS

8月号の『ISASニュース』では、「第2回はやぶさ国際科学シンポジウム」について紹介しましたが、その直前の7月10～14日には、シンガポールでAOGS（Asia Oceania Geosciences Society）の第3回年次大会が行われました。これは、地球惑星科学に関してアジア・太平洋地域の研究者が研究発表を行

う会議です。この会議の小惑星関連のセッションでは、岡田達明氏が「はやぶさ」の成果のレビュー講演を行ったほか、3件の関連講演がありました。

●北京：COSPAR

AOGSの後（はやぶさシンポジウムの直後）の7月16～23日には、8月号でも紹介されたCOSPAR（Committee on Space Research）の第36回科学総会が北京で行われました。これは2年に一度開かれる、主に宇宙科学に関する大きな国際学会です。COSPARでは、「小天体

探査」のセッションの最初に、「はやぶさ」関連の9件の発表が連続して行われました。これらは「はやぶさ」の科学成果についての発表でしたが、さらに「宇宙機の力学」のセッ

ションでは、筆者が「はやぶさ」の軌道運用についても講演しました。

●プラハ：IAU

8月14～25日には、チェコのプラハで、IAU（国際天文学連合）の総会が行われました。これは3年に一度開催されるもので、今年は特に「惑星の定義」が議論されたこともあって、世界的にも非常に注目された総会となりました。その総会の中で、地球接近天体（NEO：Near Earth Object）についてのシンポジウムと惑星探査ミッションについての講演会において、招待講演として筆者が「はやぶさ」の成果について講演を行いました。

●キーストーン：AIAA/AAS

IAUの総会と重なって8月21～24日には、アメリカ・コロラド州のキーストーンにおいて、AIAA/AAS（AIAA：American Institute of Aeronautics and Astronautics, AAS：American Astronautical Society）による宇宙工学に関する大きな学会が行われました。その中のAstrodynamics Specialist Conferenceでは「はやぶさ」についてのセッションが持たれました。「はやぶさ」のプロジェクトマネジャーの川口淳一郎先生をはじめとして日本から7名が参加し、外国の研究者の発表も合わせると、11件の「はやぶさ」関連の研究発表がなされました。

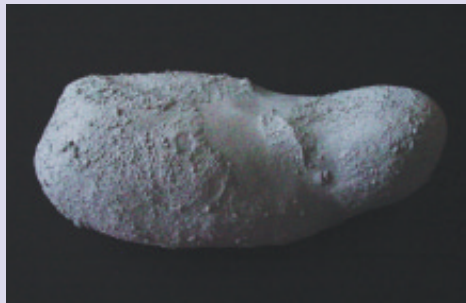
このように、今年は「はやぶさ」の成果の発表のために、「はやぶさ」ミッションチームやサイエンスチームのメンバーが世界各地を渡り歩いて発表を行っています。それぞれの発表において、各国の研究者の関心は非常に高いものとなっています。ちなみに、上記の各学会には宇宙教育センターが作製したイトカワの精密な模型を持っていっていますが、これも多くの研究者の関心の的となっていました。IAU総会では、会場で発行されていたニュースに、イトカワの模型の写真が掲載されました。

「はやぶさ」の成果の発表は、これからも学会や論文誌上で続きます。「はやぶさ」は、わずか3ヶ月間の探査でしたが、小惑星についての科学を大きく進展させました。また、打上げから現在に至るまでの3年余りの運用は、宇宙工学においても新たな進歩をもたらしました。「はやぶさ」は、まだ運用途中です。2010年に地球に帰還することで、理工学のさらなる成果が出ることを期待したいと思います。（吉川 真）

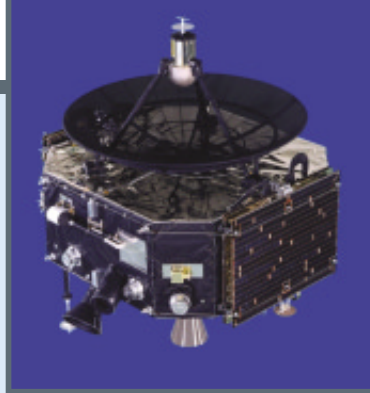
図1 キーストーンにおけるAIAA/AASの会合での「はやぶさ」セッションのひとつ。会場は、研究者の熱気にあふれている。



図2 宇宙教育センターが作製したイトカワの1:2000の詳細な模型（本物のイトカワの写真ではない）。この模型の写真がIAU総会で配布されたニュースにも掲載された。



浩三郎の 科学衛星秘話



「のぞみ」



井上浩三郎

第18号科学衛星PLANET-Bは1998年7月4日3時12分にM-Vロケット3号機によって内之浦から打ち上げられ、近地点約135km、遠地点約460km、軌道傾斜角31.1°の地球周回軌道にいったん投入され、続いて発射1225秒後にクリスマス島上空高度340kmにおいて第4段モーターに点火。予定通り、近地点約350km、遠地点約58万6000kmの月遷移軌道に投入されました。日本の惑星探査の本格的な幕開けへの期待と、「あなたの名前を火星へ」キャンペーンに応募した27万人の人々をはじめとする国民の期待を表現すべく、「のぞみ」と命名されました。

衛星の概要と運用

「のぞみ」には、理学の観点からは、火星上層大気と太陽風プラズマとのせめぎ合いを研究することを主目的として14の科学観測機器を搭載しました。工学の観点からは、今後我が国が惑星探査に本格的に取り組むに当たって必要な技術、例えば軌道制御、超遠距離通信、軽量・高機能な搭載機器、自律運用システムなどを確立することが目的です。

探査機の重量は540kg、そのうち推進剤が280kgを占めています。多くの国との協力関係を持つ国際ミッションで、アメリカ、ドイツ、スウェーデン、カナダ、フランスの各国が製作した観測機器を搭載しています。

追跡局は、臼田の64mアンテナおよび内之浦の34mアンテナ。データ処理はすべて相模

火星探査機「のぞみ」その1

原にある深宇宙管制局で行われ、相模原と臼田、内之浦との間は地上データ回線で結ばれています。このほかに、NASAのDSN（深宇宙ネットワーク）による追尾も加わります。

「のぞみ」運用では、地球を回る衛星と比べ、運用上特別な配慮が必要です。探査機への電波の往復の遅れ時間が40分を超える時期があり、地球からのリアルタイムのコマンドは不可能になります。また、探査機が太陽の裏に隠される数週間は通信は途絶し、放置状態になります。このため機内で自律的な運用を可能とするインテリジェント化を行っています。

初期運用状況

内之浦局では、第1回の「のぞみ」からの電波を、日本時間7月4日13時34分に受信しました。太陽電池パドルの展開をはじめとして、すべてのシステムの動作は正常で、太陽電池の出力、衛星のスピンレートも正常でした。軌道制御は合計9回行い、遠地点は月の軌道を越える40万～50万km前後、近地点は800～1700km前後を保ち、いずれも正常に実施されました。そして9月24日16時23分に、第1回の月スイングバイを成功裏に行いました。スイングバイ時の最接近距離は4100km、その後の遠地点は171万kmになりました。1990年の「ひてん」以来蓄積してきた軌道制御技術が見事に開花したものです。

搭載観測機器のチェックと試験観測も順調に行われていきました。この間MDC（ダスト計測器）は、9月末までに星間塵によると思われるダストを十数個検出しました。MIC（火星撮像カメラ）は近地点通過の際に「地球と月のツーショット」を撮り、周辺減光、解像度などの詳細なチェックを行いました。このツーショットは一般の人たちの反響が非常に大きく、可視光のカメラを搭載する意味について、大いに自信を深めました。

第1回月スイングバイ以後衛星は順調に飛行していましたが、第2回月スイングバイの2日後、12月20日に行った地球離脱のための地球パワー・スイングバイで、「のぞみ」の運命を決する大事件が発生しました。スラスタバルブの不具合です。その詳細は次号で述べることにしましょう。（つづく）（いのうえ・こうざぶろう）



「のぞみ」が撮影した地球と月のツーショット



ロケットの電気屋さんの仕事 (その2)

M-Vロケット 電気系主任

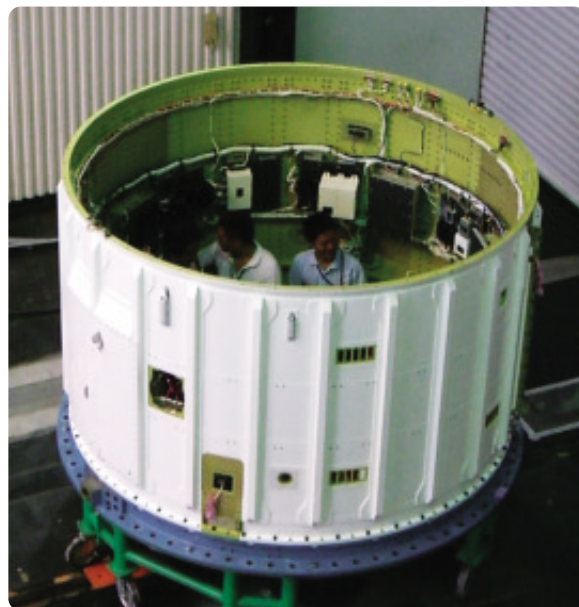
山本善一

一度火がついたらものすごい勢いで火炎を吹き出しながら飛んでいくM-Vロケット。これは例えるなら、アクセルペダルを底まで目いっぱい踏んで全速力で走っている車だ。一度ペダルを踏み込んだら二度と緩めることはできない。こんな荒れ狂うロケットを狙い通りに飛ばすためにはどうしたらよいか？ 少なくともハンドルは必要だ。実は、よく見てみると、M-Vロケットには尾翼が付いていない。昔のロケットには空気の力で姿勢を安定させる尾翼が付いていたが、最近のロケットには付いていないものが多い。それはなぜか？ 時には真すぐに、時にはカーブさせながらロケットの姿勢を自在に操れる姿勢制御装置を備えているからだ。それが、TVCと呼ばれる噴射口(ノズル)の向きを変えられる装置だ。ものすごい勢いで燃料が吹き出しているノズルの向きを変えなければいけないので、TVC装置にはとても力持ちの腕がそれぞれ2本付いていて、その腕を伸び縮みさせることでコントロールする。1段目のTVC装置はとても大きな力を必要とするので油圧式だが、2段目、3段目は電気モータによる電動式だ。**TVC班**という機械系に強い電気屋さんたちがお守りを担当する。

ロケットの2段目分離後、3段目に点火するまで少し間が開くが、この時はまだ3段目から燃料が吹き出していないので、いくらTVC装置を動かしてもハンドルが切れない。そこで、SMSJ(小型固体ロケットを利用したサイドジェット)と呼ばれる小さな装置を載せ、3段目に点火するまでの間、姿勢をコントロールする。SMSJの制御には電気パルスで指令を送るので、やはり電気屋さんが登場する。

でもよく考えてみると、いくら自分の向きを変えられるといっても、空を飛ぶロケットには道路も標識もない。自分が今いったいどこを飛んでいるのか、どういう向きに飛んでいるのか、それが分からなければお手上げだ。そこで、ロケットが自分の姿勢と位置を知ることができるよう、慣性誘導装置と呼ばれる特別な装置が載っている。この装置は、ジャイロと呼ばれる仕掛けを利用し、自分の向きをものすごく正確に測ることができる。慣性誘導装置にはあらかじめ、どうロケットを飛ばせたいかという情報が書き込まれており、これから外れないようにTVCやSMSJといった装置に指令を送る。手足にどう動けばよいかを指令する、ロケットの脳のような装置だ。だから、ロケットをちゃんと飛ばして衛星打上げを成功させる上で、**姿勢制御班**の電気屋さんたちの責任は極めて重い。

ただし、どう飛ぶかをロケットだけに任せておくと少し心配なので、地上のレーダーからロケットの追跡を行



M-Vロケット第2段計器部(円筒裏側にびっしり搭載機器が並んでいる)

う。ロケットにはレーダートランスポンダという応答装置を積んでいる。これは、地上レーダーからの呼び掛けに対して返事をする装置だ。地上レーダーから「もしもし」という声を掛けると、その声は遠くを飛んでいるロケットにしばらく時間がかかって届く。声が届くと、レーダートランスポンダからすかさず「はいはい」という返事を返す。その声が、またしばらく時間がかかって地上に戻ってくる。往復の時間が短ければロケットは近くを飛んでいると分かるし、長ければ遠くを飛んでいることになる。実際には、声ではなく電波を使って「もしもし」に相当するパルスを送ると、それに対する返事がレーダートランスポンダからパルスで返ってくる。送信したパルスと受信パルスとの間の時間差を測れば、地上局とロケットの間の距離が正確に分かる。あとは、レーダーアンテナがどちらを向いていたか正確に測れば、ロケットの位置を割り出せる。レーダーにはロケットを自動で追いかける仕掛けがあり、連続して追跡ができる。ロケットに逃げられないようちゃんと追いかけるのが、**レーダー班**と呼ばれる電気屋さんたちの使命だ。

このほか、レーダートランスポンダには地上からの簡単な指令をついでに送る仕掛けがあり、これを利用してロケットの軌道を人が修正することもできるようになっている。これを行うのが**電波誘導班**と呼ばれる電気屋さんたちだ。軌道がどうずれているかをレーダーからの情報で常に監視し、飛んでいる途中で、もう少し下を向きなさいとか右を向きなさいといった具合に、ロケットに指令を出すのだ。
(やまもと・ぜんいち)



国際会議

「Challenges of Relativistic Jets」

今回の出張は、思わぬ困難に直面することから始まりました。サッカーのワールドカップが原因です。僕が参加する予定のポーランドでの国際会議が始まる6月25日は、まさにワールドカップの真っ最中で、ドイツ経由ポーランド行きの航空券が手に入らなかったのです。キャンセル待ちの中、6月12日、あの日本対オーストラリア戦を迎えました。日本が勝てば航空券はますます手に入らなくなりそう、負ければキャンセルが出るかもしれないという、複雑

な気分でのテレビ観戦でした。ご存じの通り、ジーコジャパンは幾分衝撃的な敗戦を喫し、その結果、幸か不幸か航空券を手に入れることができませんでした。

というわけで、「Challenges of Relativistic Jets」と題して6月25日から7月1日にかけてポーランドのクラクフ(Cracow)で行われた国際会議に参加してきました。

ブラックホールなどによって作られる相対論的ジェットの最新の研究結果をそれぞれが発表し、我々が直面している問題点や研究課題を浮き彫りにすることを目的として催された国際会議で、世界中から有力な研究者がごぞって参加しました。

世界遺産の街クラクフ

ポーランドのクラクフは、1596年にワルシャワに遷都されるまでは、ポーランド王国の首都だったという「古都」です。旧市街は第2次世界大戦による破壊を免れ、ユネスコの世界遺産にも登録されています。前ローマ法王ヨハネパウロ2世は、法王就任前はクラクフの司教だったそうで、前法王の肖像を街で時々見掛けました。

今回はあまり街を見て回れませんでした(何

せ6日間、エクスカッションもなく会議の予定がびっしりと詰まっていたので)、歴史を感じさせる建物が街に数多くあり、特に街の中心となっている中央広場は、かつての栄華を連想させる素晴らしいところでした。

ところで先日、テルーの唄が印象的な映画『ゲド戦記』(スタジオジブリ)を観たのですが、そこに出てきたマントや武器を売るお店が、クラクフの中央広場にある土産物屋さんにとっても似ていたことを指摘しておきます。

コペルニクスの学びやで

さて、会議の話に戻しますと、会場はヤギェウォ大学のカンファレンスセンターで、宿も兼ねています。ヤギェウォ大学はポーランド最古の大学で、あのコペルニクスも学んだところだそうです。宿もかなり年季が入っていて、虫も入り放題と、正直あまり快適ではありません。Fさん(宇宙研)の部屋にはタオル交換すら来なかったという、切ない話も聞こえてきます。宿はともかく、食事はおいしかったので、まあよしとしましょう。

日本からは、僕のほかに、星野さん(東大)、片岡さん(東工大)、浅田さん(国立天文台)、紀さん(大阪大)、藤本さん(宇宙研)が参加されました。講義室のようなところで30分程度の口頭発表が朝から夕方まで毎日続き、とても勉強になりました(その分、疲れましたけど)。僕自身は、スピッツァー宇宙望遠鏡でキューサーの巨大ジェットを観測した結果を、ポスターで発表しました(なお、この結果に関してはアメリカでプレスリリースを出しました)。出発前のバタバタもあって、ポスターの出来自体はいまひとつだった気がしますが、幸い何人かの人が口頭発表で我々の成果を取り上げてくれました。

数年前にクラクフで今回のような国際会議があったときは、エクスカッションとして、アウシュビッツ強制収容所へ行くツアーがあったそうです。もし今回もアウシュビッツ行きがあったなら、このポーランド出張記は、気が重くなって書けなかったかもしれません。スピルバーグ監督の映画『シンドラのリスト』の舞台となった工場もクラクフにあったそうで、今回のクラクフ訪問を機に、この映画を観てみようかなと思っています。

(うちやま・やすのぶ)



クラクフの中央広場の一角
(撮影：国立天文台 浅田氏)



思い返せば30年

木下伸也

NEC東芝スペースシステム株式会社 営業本部

JAXA宇宙科学研究本部の『ISASニュース』9月号の「いも焼酎」に何か執筆してほしいとのご依頼を受けました。私ごときに、このような依頼が来る？今までに宇宙科学、工学の高名な先生方が執筆されている「いも焼酎」に書かせていただける。このような名誉なことはないと思い、新入社員で駒場の東京大学宇宙航空研究所に通い始めてからの30年を振り返りたいと思います。

30年前にNECに入社し、今日から君は東大担当の営業をやるようにとの指示を上司から受けて以来、駒場の東京大学宇宙航空研究所に毎日通い、研究所も文部省 宇宙科学研究所、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所と変わり、場所も駒場から相模原に変わった現在も、回数は減ったもののせせと通学させていただいております。入社当時から、顔から火が出るような恥ずかしい質問（なぜロケットは飛ぶのか？ すだれコリメーターで何が分かるのか？など）を次々と口にしては先生方を困らせたものです。

初めに担当した衛星は、1977年に打ち上げたMS-T3（たんせい3号）試験衛星で、太陽電池セルを貼っていない2週間の寿命の衛星でした。それから、オーロラ観測の「きょっこう」、磁気圏観測の「じきけん」、X線天文観測の「はくちょう」と1年1機の割合で打ち上げが続き、1980年に打ち上げたMS-T4（たんせい4号）試験衛星は、それまでのスピン制

御方式からモーメントホイールを使った3軸姿勢制御方式となり、かつ太陽電池パドルを搭載した衛星に進化していきました。

それとともに私も「門前の小僧、習わぬ経を読む」で、“宇宙人”に成長していったと思います。「新規技術開発品を衛星に搭載するんだ」「世界に冠たる研究を」という意気込みを糧に、先生方、また一緒に開発を進めた私どもメーカーも時間を忘れて議論し、絶対に良いものを作るんだという熱い思いで歩んできました。

Mロケットの性能向上に合わせて衛

星重量は、1978年に打ち上げた「きょっこう」の129kgから、2005年に打ち上げたX線天文衛星「すざく」の1700kgへと大型化しました。これからは、観測ミッションを損なうことなく衛星の小型化を推進して打ち上げまで含めた総コストを削減し、30年前の1年1機の衛星打ち上げを実現すべく研究開発を進めることが、開発メーカーとしての責務と考えています。

間近に迫った太陽観測衛星SOLAR-Bの打ち上げで慣れ親しんだ「Mロケット」も終了し、新たなロケットの世紀に変わろうとしています。この変化に対して、衛星メーカーとして高信頼性で小型化、軽量化、低コスト化を目指した開発を進めていくことが、今までの30年にも増して必要になると考える今日このごろです。（きのした・しんや）



長年苦楽を共にしてきた折井武氏と（筆者は向かって右）

宇宙のからくりを知りたい

高エネルギー天文学研究系 助手

中澤知洋

——X線天文学がご専門ですね。

中澤：X線天文衛星「すざく」に搭載されている硬X線検出器の開発に、大学院時代から10年近く携わってきました。2000年のASTRO-Eの打上げにも立ち会いました。残念ながら打上げが失敗して、その後の撤収作業を手伝っていると、大の大人が何十人も、おいおい泣きながら作業しているんです。その場面は今でも忘れられません。ASTRO-Eの再挑戦をやると聞いて、ぜひ私もかわりたいと宇宙研に入りました。

——「すざく」が打ち上げられて1年になりますね。

中澤：自分たちがつくった検出器が想定通り動いた瞬間、本当にうれしかったですね。この硬X線検出器は、今までの日本のX線天文衛星よりも1桁高いエネルギーのX線を、世界一の感度で見ることができます。自分の手で今までにない性能の検出器をつくって、新しい宇宙の姿を見る。それが私の研究の軸です。

アメリカなどで多いのですが、観測装置をつくったことのない研究者は、こういう性能の観測装置があるから、こんな現象を見ることができるはずだ、という議論をします。それも大切なことなのですが、一方で私たちは、こういう性能の観測装置をつくれば、こんな世界初の成果が出せるはずだ、という議論をします。日本では、装置を開発する人がサイエンスもやるスタイルですが、アメリカでは分業制が主流です。私は日本のスタイルが好きで、アメリカだったらこの分野にいなかったと思います。みんなで装置を開発するのも楽しいし、その装置で観測したデータをもとにサイエンスの議論をするのもすごく楽しい。もともと私は、メカオタク兼宇宙・物理オタクなんです。

——工学や宇宙・物理が好きになったきっかけは？

中澤：私が6〜7歳のころ、父が創刊間もない科学雑誌『Newton』を買ってきてくれました。スペースシャトルの特集号で、それを見て“格好いい!”と思ったんです。それが私の原点です。その特集には、スペースシャトルの仕組みがとても詳しく書いてあって、何度も読み返して楽しみました。中学生のころには、よく自分で宇宙船などの設計をしていました。今から思うと初歩的なレベルですが、専門書を買ってきて自分でいろいろな計算をしてみたり、マニアックな知識をたくさん持っていましたね。そのころの夢は、SFアニメ「機動戦士ガンダム」の影響もあって、自分が生きている間



なかざわ・かずひろ。1974年、横浜生まれ。理学博士。2001年、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年、宇宙科学研究所特別研究員を経て、同宇宙圏研究系（高エネルギー天体物理グループ）助手。専門はX線天文学、X線・ガンマ線観測器開発。

にスペースコロニーをつくることでした。

やがて大学受験のため物理の勉強をして、その面白さにハマりました。世の中で起きる現象の仕組みを説明できる道具として、すごく好きになったのです。大学に入ると、宇宙

論など今につながる興味もわいてきました。学科を選ぶときには、航空宇宙工学科に行くか、物理学科にするか悩みました。そのころにはさすがに、私が生きている間にスペースコロニーはつくれそうもないと思いました。隣の恒星へ行くことも技術的に無理。今の技術を飛躍させる何らかの物理理論が必要です。それを研究しようと思って物理学科へ進みました。

——天文観測を選んだ理由は？

中澤：学部的时候、宇宙が好きな仲間が4人いました。自主ゼミと称していろいろな勉強を一緒にしていたのですが、あるとき将来を語り合いました。計算がすごくできるやつと直感が鋭いやつは理論へ進め。実験が得意なやつと私は観測に進んで、おまえたちがつくった理論を検証してやろう。そういう壮大な夢を立てたんです。私はX線天文学、もう1人は電波天文学、あとの2人は宇宙論の研究室へ進みました。

私は自分がつくった検出器で宇宙を観測して、宇宙論や物理理論を検証することに興味があります。例えば硬X線検出器の感度を今よりも3〜4桁向上させてブラックホールを観測すれば、今の物理理論では説明できない現象がきっと見えてくるはずです。

——単なるメカオタク・宇宙オタクと、研究者との分かれ道はどこだと思いますか。

中澤：それはよく分かりませんが、私は子供のころ、例えばスペースシャトルの全長が何メートルかには興味がありませんでした。100トンのスペースシャトルを2000トンのロケットで打ち上げている。1対20、この比率はどこからくるんだろう。そういうことに関心がありました。物事には理由や仕組み、からくりがある。私は、メカでも宇宙でも、からくりを知りたい。からくりが分かった瞬間のわくわく感、それがたまらなく好きなんです。

ISASニュース No.306 2006.9 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学本部
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台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。

デザイン／株式会社デザインコンビニア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

冥王星が格下げになったニュースが話題となっている。惑星でなくても、冥王星はそこに存在して太陽を回っていることに変わりはないのだけれど。次なる惑星にどう英名が付いて、どう和名化されるかに興味があつたので残念。娘が好きだったセーラー・ムーンがリメイクされる際、「冥王せつな」の処遇も心配です。

(石川毅彦)

*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

PRINTED WITH
SOYINK
Trademark of American Soybean Association