



観測ロケットS-310-36号機の打上げ。1月22日午後1時、内之浦宇宙空間観測所。

宇宙科学最前線

S-310-36号機による網展開， フェイズド・アレイ・アンテナ実験の成果速報

中須賀真一

東京大学大学院工学系研究科教授

賀谷信幸

神戸大学工学部情報知能工学科教授

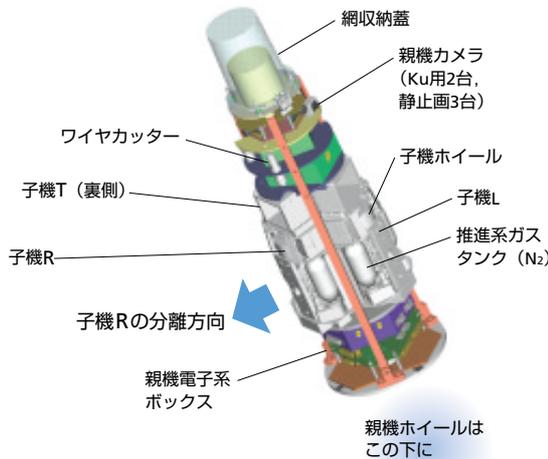
観測ロケットS-310-36号機では、宇宙研の支援のもと、東京大学・神戸大学が共同して、将来の大規模宇宙構造の候補である網構造の展開と、それを利用したフェイズド・アレイ・アンテナによるマイクロ波送電の基礎実験を行った。

宇宙空間で大面積の網や膜を必要とするミッションにおいては、伸展構造物で網や膜を広げるのではなく、端を小型衛星が担うことにより展開し形状維持する方式（「ふるしき衛星」と呼ぶ）が一つの候補としてあり得る。これにより、数百m程度が限界と予想される従来の展開方法に対し、数kmの展開も可能になると思われる。その際に重要な技術的課題は、網や膜をいかに小さな容積に折り畳んで収納し、もつれることなく展開できるか、その際に端の衛星はどのような制御をすればよいか、などである。また、その前段階

の研究として、展開時の複数の衛星と膜や網が干渉した複雑なダイナミクスを把握することも重要である。

大規模網・膜構造の応用の一つとして、網に複数の送電アンテナを配置することによりフェイズド・アレイ・アンテナを構成するというものが考えられる。将来の宇宙太陽発電衛星をはじめ、超高速通信や精密レーダーなどの超大型の宇宙アンテナを実現するためには、揺れ動くアンテナ素子でも実現可能なフェイズド・アレイ・アンテナ技術が不可欠である。フェイズド・アレイ・アンテナの制御は、レトロディレクティブ方式が有望である。レトロディレクティブ方式とは、地上からのパイロット信号を用いてそれぞれのアンテナ素子での位置の変位を測定し、その変位を補正するように送信位相を変え、受信点では常に一定の位相でビームが集中するように制御するものである。

図1 実験システム全体図



実験シーケンス

今回の実験は、以上の技術の基礎実証実験として、以下のようなシーケンスで行われた。

- (1) 親機 (MOT) 1機と子機3機 (DAU-L, R, T) がワイヤと網でつながれた状態でロケットフェアリングに搭載され、打ち上げられる。網は親機上部に収納される (図1に概略図を載せる)。
- (2) X+83秒で共通機器部とともにロケットから分離された後、親機搭載のホイールにより約0.6Hzの残留スピンを除去し静止させる (X+84.5~120秒)。
- (3) 網収納蓋がワイヤカッターにより分離され (X+130秒)、次いで子機3機がロケット機軸に垂直な平面内で120度間隔で、バネによって約1.2m/sの初速で分離され (X+133秒)、網が伸ばされていく (図2)。なお、このとき姿勢維持を図るため、親機、子機とも

バイアスモーメント状態になっている。

(4) 展開時のダイナミクスを、親機と子機3機に搭載したINS (ジャイロ・加速度計)、および親機・子機間の距離を測る電波センサにより計測すると同時に、親機から見た子機Lおよび子機Rの方向、子機Tから見た親機方向のカメラ映像 (NTSC) をKuテレメトリでダウンリンクすることにより確認する。

(5) 展開中・展開後は、親機および子機3機の底面に配置したマイクロ波送受信機にて種々のフェイズド・アレイ・アンテナ実験を行う。特に、レトロディレクティブ方式の送信方法を採用することで、衛星の姿勢・位置擾乱があっても、ある程度のアンテナ特性を維持できることを実証する。

(6) アドバンスト実験として、子機がジャイロと画像情報をもとに親機をカメラ中央でとらえるような1軸の姿勢制御、および網が展開し終わった後バウンドバックするのを防ぐためのスラストによる制御実験 (子機LとRのみ) を行う。

(7) 網の展開が完了し安定するころ (X+158秒) に、アドバンスト実験として、親機の上部に収納した網上移動装置が網の上をはう実験を行う。

網の展開実験

図2はKuテレメトリでダウンリンクされたカメラ映像で、1は親機のL方向カメラ、2は親機のR方向カメラ、3は子機Tのカメラの映像を示す。この写真は、親機から子機が分離された直後の状況を示しており、分離が正常に行われ、網の展開も開始された様

図2 子機分離直後の様子



図3 網展開完了直前の様子

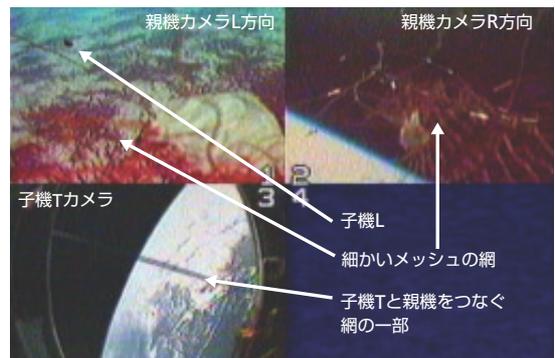
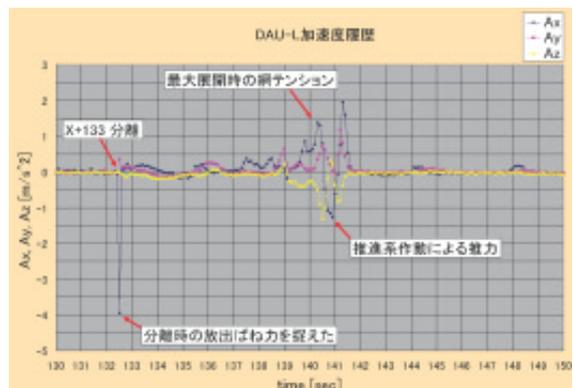
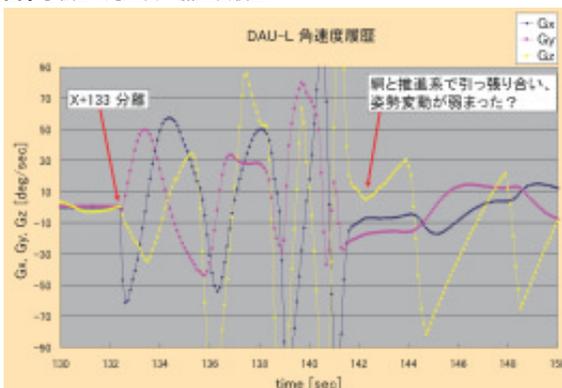


図4 子機Lの角速度・加速度履歴



子が分かる。また子機Tに搭載されたカメラの画像からは、地球を背景に親機および分離する子機Lと子機Rが見える。この前の時点で、親機のホイールにより実験装置全体の回転を静止させる制御が正常に働いたことも、映像およびジャイロの情報から確認された。

網の収納は、ストローを使い、展開時にもつれと大きな抵抗が発生しない方法を工夫した。映像および加速度計の情報より、子機3機いずれも網展開時の摩擦などの抵抗による減速は小さく、分離後8秒程度で親機との最大距離10mに達し、そのときには一辺ほぼ17mの正三角形の網展開が完了したと推測される。図3は網展開完了直前の画像を示す。親機のL方向とR方向のカメラには、網展開の最終段階で引っ張り出される網上移動実験装置用の細かいメッシュが映し出されている。図4は、子機Lの角速度、加速度の履歴を表す。親機のホイール軸(Gz)以外の2軸の連成したニューテーション運動が見え、それが網からの外乱で次第に乱されていく様子が確認できる。加速度履歴からは、展開途中の摩擦などの抵抗力、最大長まで伸びたところでの反力、推進系によりバウンドバックを防ぐ制御の様子が示されている。詳細な3次元位置・速度・姿勢の解析はこれらのテレメトリ情報をもとに現在進行中で、子機のダイナミクスや制御はその結果を待って評価したいと考えている。

アクティブ・フェイズド・アレイ・アンテナ実験

今回のS-310-36号機でのアクティブ・フェイズド・アレイ・アンテナ実験は、図5に示すように、親機に搭載されたレトロディレクティブ装置と子機3台にそれぞれ搭載されたアンテナ素子から構成され、それぞれに地上から送信されるパイロット信号を受ける

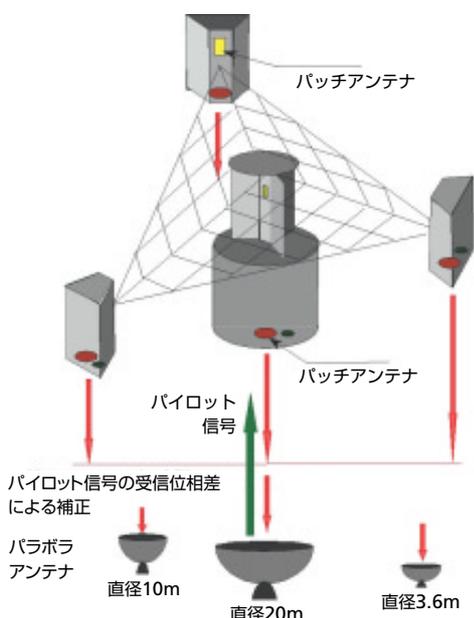


図5 レトロディレクティブ試験の概念図

受信機と、位相制御された電波を地上に送る送信機が搭載されている。内之浦にある直径20mのパラボラアンテナからパイロット信号を送信し、直径20m、10mと3.6mのパラボラアンテナで親機と子機から送信される電波を受信して、レトロディレクティブ機能を確認する。

図6に、打上げ前に行われた電波暗室での試験結果の一部を示す。レトロディレクティブ機能を用いない場合は、図中赤線で示したように、子機の位置が変化すると位相差により受信レベルが大きく落ち込むが、レトロディレクティブ機能を用いた場合は青線で示したように、子機を動かしても受信レベルは一定に保持される。この結果は、レトロディレクティブによりフェイズド・アレイ・アンテナとして機能できることを示している。ロケット実験後すぐに、親子機間の測距、パイロット信号の位相差測定から解析を開始した。図7にパイロット信号の位相差測定の一例を示す。子機が親機から離されて、地上との送信距離が変化するために、パイロット信号の位相が変化している。この位相変化は、ほぼ妥当な値を示している。次に測距データと地上での受信データを解析し、今回開発したレトロディレクティブ機能が設計通りに正常に働いているかどうかを見極める予定である。

網上移動実験装置の走行実験

網が展開された後、網上移動実験装置が網上を走行する実験を実施した。今回開発した移動装置は、永久磁石で上下に駆動機構を保持する構造となっている。2005年3月に行った航空機による無重力実験で、この移動装置は無重力下でも網上を無事に走行できた。

今回の実験は、学生の宇宙工学教育の一環として、実験用ペイロードをほとんど学生の手作りで作製したことも特徴であり、彼らが製作した装置がすべて正常に動作したことは大きな成果であった。地上試験、噛合せ、打上げ前調整、そして打上げ運用を通して、確実に動作するものを作る厳しさをはじめ、学生は多くのことを学ぶことができたと思う。辛抱強くお付き合いいただき、たくさんのことを教えていただいた稲谷・樋口・石井各先生をはじめ、宇宙研のロケットチームの皆さまに、心より感謝の意を表したい。

(なかすか・しんいち、かや・のぶゆき)

図6 地上でのレトロディレクティブ試験

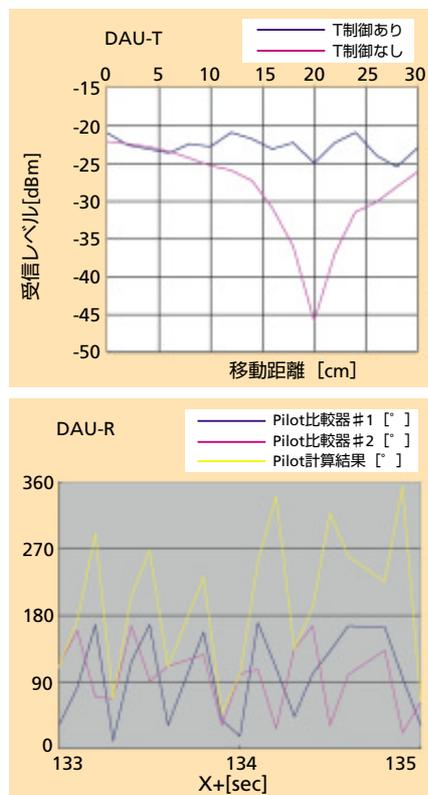


図7 ロケット実験におけるパイロット信号の位相差測定の一例

観測ロケットS-310-36号機打ち上がる

宇宙空間におけるアレイ・アンテナの構成実験を主目的とした観測ロケットS-310-36号機は、1月22日午後1時ちょうどに、内之浦宇宙空間観測所のKS台地から打ち上げられました。ロケットの飛翔および搭載実験機器の動作はすべて正常でした。ヨーヨー展開、ノーズコーン開頭、頭胴部分離、実験装置部のホイールによる姿勢安定、とシーケンスが進み、親機・子機の分離およびそれに続く網展開が、Kuテレメータを通じて地球を背景にした美しい映像で確認されたときには、みんな大喜びでした。アクティブ・フェイズド・アレイ・アンテナ実験も良好なデータが取得され、宇宙においてアレイ・アンテナが構成されたことが確認されました。また、網上移動実験装置の動作も確認されました。実験の様子は、親機・子機の運動に関する膨大な数値データとともに、画像としても見ることができました。小型観測ロケットに手作りのKu帯送信機を搭載して動画を電送できたことも、今号機の成果を支えるものでした。

本実験の成果により、宇宙空間におけるアレイ・アンテナの利用、複数衛星の相互ダイナミクスの理解、柔軟展開構造物の構築、大面積太陽電池アレイの構築などの研究と実用化が、いっそう加速されることになると考えています。

この搭載実験は、神戸大学賀谷研究室と東京大学小須賀研究室との密接な連携で実施できたもので、

多くの学部生・大学院生がPI（搭載実験装置部）の当事者として刻苦精励した結果が大きな喜びとなって返ってきました。実験班編成が総勢114名という規模も、S-310の実験としては画期的だったと思います。観測ロケットの工学実験利用においても、今後を占う大切な実験だったと思います。

当初の計画では1月18日の打上げ予定でしたが、あいにくこの日から天候が悪化し、結果として4日間も雨が降り続けました。1月にこのように雨が降くことはない、内之浦の人たちが話していました。ちょうど関東地方が一面の銀世界と化していたころ、実験班は予想外に降り続く雨に恨めしく天を見上げていました。何種類もの天気予報はみんな少しずつ異なりましたが、実験場のある山の上の天候についてはどれも当たりませんでした。5日目の正直、ようやく22日になって朝から快晴となり、S-310-36号機は、美しい飛跡とともに南西の空に消えていきました（表紙写真）。

まず、観測ロケット打上げにご協力いただいた漁業者の方々をはじめとする関係各位に、心より感謝を申し上げます。また、ASTRO-F/M-V-8の準備作業や衛星地上系運用との干渉などを通じた長期にわたるご支援とご理解に、実験班員一同よりお礼申し上げます。さらに、着実な打上げに向けて大きな盛り上がりを見せた実験班員全員に、この場を借りて謝意を表します。（樋口 健）

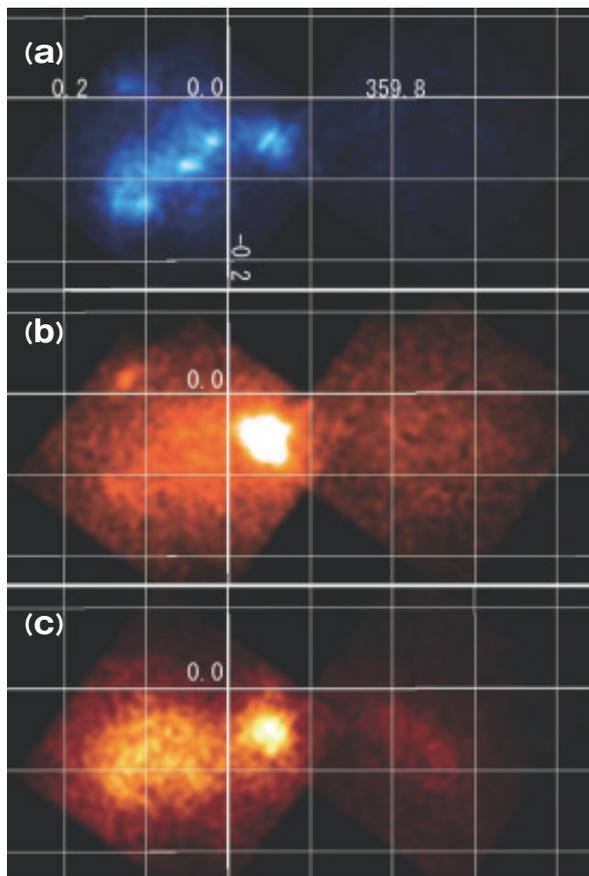
「すざく」100観測達成！

そして4月からは国際公募観測へ！

2005年7月10日に打ち上げられたX線天文衛星「すざく」は、8月16日からX線天体の観測を開始しました。「すざく」は、0.3keV（キロ電子ボルト）から600keVと、2000倍もエネルギーの異なるX線を同時に高感度で観測できる世界唯一の天文台であり、その特徴を活かして宇宙の高エネルギー現象の正体を探ります。観測は順調に進んでおり、2006年1月31日現在で、74天体をターゲットとして、109の異なる空の領域を延べ154回観測しました。天体数よりも領域数や観測数が多いのは、望遠鏡の視野よりも大きな天体をいくつかに分けて観測したり、X線放射の

時間変動を調べるために時間を置いて何度も見たりするからです。

これまでに「すざく」の行った観測とその成果の一例として、わが太陽系の所属する天の川銀河の中心が挙げられます。そこは単に太陽のような恒星が密集しているのみではありません。私たち日本のX線グループが、数億度の超高温のガスが高い密度で存在していることを発見し、しかも氷点下200度以下の酷寒ガスと共存していることを明らかにした特別な場所です。このような著しい不均一性をもたらしているものは何か？ 銀河中心は、これらの特徴から、



「すざく」が見た銀河中心。図の幅は0.7度で約400光年に相当する。温度の異なる物質は異なる種類のX線を放射することを用いて、氷点下200度の低温ガス(a)、1億度の超高温ガス(b)、そして中間の1000万度の高温ガス(c)の分布を示す。村上弘志氏 (ISAS/JAXA) および兵藤義明氏 (京都大学) 提供。

極限宇宙の「実験室」として重視されるようになった領域なのです。X線の放射が特別に強い領域の大きさはざっと1000光年四方、視野角にして2度と、「すざく」X線望遠鏡の視野サイズ0.3度よりもかなり大

きいです。まずは最も興味深い銀河の中心とそのごく近傍を観測した結果をまとめたのが、左の3枚の図です。ほぼ一様に広がる超高温ガスと、その中に極低温ガスがくっきりと浮かび上がりました。このような高精度の分布図は初めてであり、まさに「すざく」の性能を極限まで追求した実験チームの勝利といえるでしょう。この美しい姿は実は想像を超える超高エネルギー活動の反映だと考えられており、その解明に向けた解析が精力的に進められています。

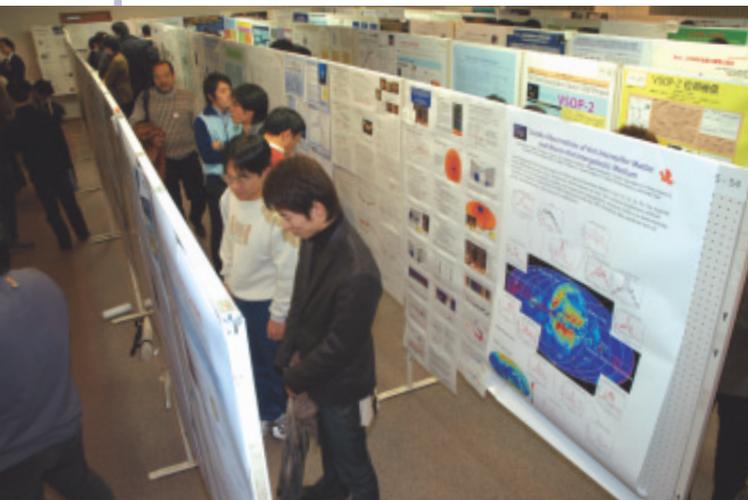
科学観測を安定してできるようになり、検出器動作の評価と理解も着々と進む中、1月7日を締め切りとして、「すざく」の第1期国際公募観測の提案募集が行われました。「すざく」は世界に開かれた国際天文台であり、観測の公募開始は大きなマイルストーンといえます。アメリカからの応募が164件、ヨーロッパからの応募が51件、そして日本とアジアの国々からの応募が133件と、その数は合計348件にもなりました。競争倍率も激しく、三つの地域枠に応じて3倍から6倍にも達しています。「すざく」の精密分光系が失われた痛恨の事故の前にも同様の公募をしているのですが、そのときよりもむしろ競争は激しくなっており、広い帯域を見る新しい天文台としての「すざく」に、世界から大きな期待が寄せられていることが分かります。観測提案は委員による審査を経て3月までに選定を行い、4月からはいよいよ公募観測がスタートします。これまでの性能実証観測のデータ解析も進みつつあり、「すざく」の特徴を活かした新しい発見が期待されます。

(「すざく」チーム 文責・中澤知洋)

第6回宇宙科学シンポジウム開催される

新年早々の1月5日、6日の2日間、宇宙科学シンポジウムが相模原キャンパス本館2階大会議場で開催された。このシンポジウムは、飛翔体を用いた宇宙科学研究について、その将来計画を左右する重要な議論の場として開催されているもので、今回で6回目となる。将来計画の提案、それを支える技術開発の状況、これまでの飛翔体を用いた成果などについて、口頭発表およびポスター発表にて報告され、活発な議論が行われている。

今回は、第25号科学衛星の選定が審議中の状況であることから、将来計画に関する各ワーキンググループからの報告は一律20分の口頭発表とし、ワーキンググループを組織していない小型の計画、あるいは萌芽的計画などの口頭発表にも時間を割いた。また、昨年はX線天文衛星「すざく」、小型衛星「れいめい」の打上げ、工学実験探査機「はやぶさ」の小惑星イトカワ着陸と、大きな成果があったので、従来はポスター発表のみとしていた飛翔結果についても、各プロジェクトマネ



熱気にあふれるポスター会場

ージャからその概要報告が行われた。

企画セッションとしては、「宇宙科学と日本の太陽系探査戦略」と「これからの科学衛星と打上げロケット」の二つが行われた。前者については、「JAXA長期ビジョン」で掲げられ、現在その具体的実施方法を検討中の月惑星探査について、日本の太陽系探査戦略の中で

の位置付けや、宇宙科学研究との関係についての意見交換が行われた。特に、JAXAが月探査を行う意義、実施する体制、他天体探査との関係などが熱心に議論された。後者については、宇宙科学の健全な発展には、小型の衛星を用いた頻度が高くハイリスク・ハイリターンの計画が重要なこと、同時に大型衛星を用いた人類史上に残る大発見を目指す計画も必要であること、などが提起され、多様化する科学衛星に対してJAXAの打上げロケットはどうあるべきかの議論が行われた。

ポスター発表については、昨年まで使用していた本館1階ロビーは、衛星などの展示が充実してきたため使用することが困難となった。そのため今年は、新A棟2階会議室をポスター会場としたが、参加者のあまりの熱気に真冬でありながら室内は高温となり、来年以降の対応に注意が必要であることが分かった。

今年も大盛況で、延べ参加人数は昨年を上回っていたが、新規の科学衛星選定にかかわる発表がなかったためか、瞬間最大風速的には、ちょうど会場が満席になる程度であった。懸案事項である開催場所の問題は、また来年に持ち越しになっている。(橋本樹明)

平成17年度日本・ブラジル共同気球実験

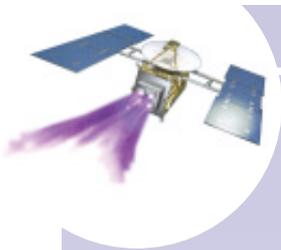
平成17年度より、宇宙科学研究本部、名古屋大学、ブラジル国立宇宙研究所（INPE）間で学術協定を取り交わし、6年間の共同気球実験が開始されることとなった。来年度から本実験に挑む名古屋大学の硬X線望遠鏡（NUSMIT）および遠赤外線干渉計（FITE）は、観測器重量が1トンと1.5トン、気球も容積50万 m^3 と30万 m^3 の大型気球を使用し、総浮力が2トンを超える超大型気球実験である。

最大の課題は、望遠鏡の長さが8mと20mという大構造物をいかに安全に確実に放球できるかにあった。宇宙研大気球観測センターでは、日本独自の開発で実用化したセミダイナミック放球方式が最適な放球方法と考え、放球技術の訓練と修得を目的に、平成17年12月10日から12月23日にかけて、ブラジルのINPE気球基地（カシヨエイラ・パウリスタ）で共同実験を行った。12月15日に総浮力500kgの放球試験、12月16日に測風気球によるテレメータ、コマンドおよび追尾受信装置の試験、12月20日には観測器重量1.3トン、総浮力2トンの放球試験と厳しい日程をこ

なした結果、INPE側気球責任者エルゼッチ、ランチャー主任ヘノらに「この放球方法」は「It is easy」と言わせる大きな成果を得るとともに、本実験に向け大きな自信となった。(山上隆正)



気球がクレーン車の上に立ち上がる様子

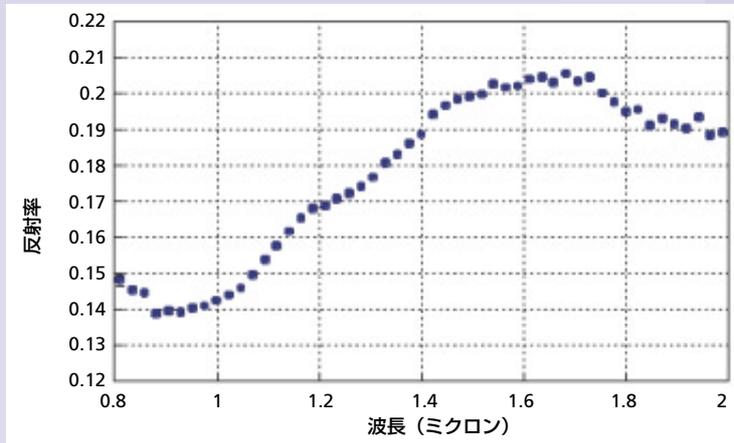


はやぶさ近況

近赤外線分光器で見た小惑星イトカワ

探査機「はやぶさ」が小惑星イトカワに滞在中に、ホームページなどで公開された取得画像は、皆さんの注目を集めました。その理由は、画像というのは人間の感覚になじみやすく、また対象を直感的に把握することのできるものだからです。しかし、我々は画像の情報だけでは満足できず、画像に映っているものが何でできているのか、表面の状態はどうなっているのかを、さらに詳しく知りたくになります。

そのために、「はやぶさ」には近赤外線の分光器が搭載されていました。Near InfraRed Spectrometerを略してNIRS^{ニルス}と呼ばれています。NIRSでは、具体的には0.8ミクロンから2.0ミクロンの波長を約24ナノメートルごとの波長の光に分けて小惑星からの光の強さの違いを調べました。図は、装置が測定した観測結果の一例です。横軸が波長、縦軸が波長ごとの光の強さ（スペクトル）です。ただし、縦軸は波長ごとの太陽の光の強さを考慮して補正してあるので、具体的には小惑星イトカワの反射率のスペクトルになっています。この図からまず分かることは、1ミクロン付近と2ミクロン付近に反射率の低下があること



探査機「はやぶさ」に搭載された近赤外線分光器のスペクトルの一例。1ミクロン付近と2ミクロン付近の反射率の低下は、イトカワの表面にかんらん石や輝石が存在することを示している。

を示しています。スペクトルを詳しく調べることにより、さらに、かんらん石と輝石の含まれている割合や、表面の粒子サイズ、表面の変成の程度などを知ることにもできるので、現在結果を詳細に検討しているところです。これらの情報は、小惑星イトカワがどのような環境で形成され、また形成された後どのような変化を受けたのかを考える上で重要な情報になります。NIRSは、イトカワ滞在中に8万点以上のスペクトルの取得に成功しています。

(安部正真)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール (2月・3月)

	2月	3月
相模原		SOLAR-B FM総合試験
内之浦	ASTRO-F/M-V-8号機 フライトオペレーション	
つくば		SELENE システムPFM試験

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

浩三郎の 科学衛星秘話



「ジオテイル」



井上浩三郎

ジオテイル衛星は直径2.2m、高さ1.6mの円筒形で、姿勢をスピン(20rpm)によって安定に保つとともに、円筒部周囲に貼った太陽電池から必要な電力を供給する方式になっています。衛星重量は971kgで、その中には制御用のヒドラジン332kgと放射線シールド24kgを含んでいます。

搭載機器

日陰になると太陽電池からの電力を当てにできなくなるので、ミッション中の最大日陰に備えて容量19AHのバッテリーを3台搭載しています。通信系としては、Sバンドの送信機に加えXバンドの送信機を持っており、65kbpsでリアルタイムデータを地上局に送ります。

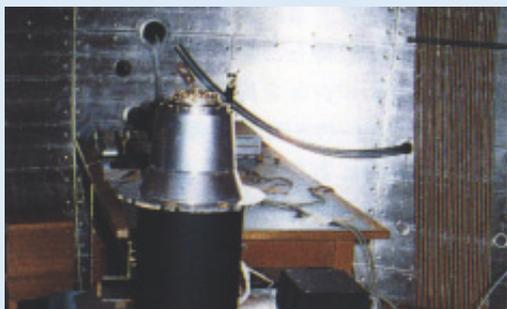
搭載アンテナも、地上局のポインティングを可能にする工夫をしました。高利得アンテナを当初のオフセット・パラボラから変更し、Sバンド用にヘリカル・タイプ、Xバンド用にホーン・タイプを採用しました。それらは、機械的デスパン機構の上に搭載されています。

観測機器は、磁場、電場、プラズマ、高エネルギー粒子、およびプラズマ波動の測定装置を搭載することにしました。

第一次計器合せ・噛合せ試験

思い出すのは、打上げの2年足らず前、1990年11月26日から翌年の3月19日まで約3ヶ月半にわたって行った第一次計器合せ・噛合せ試験です。それまでの衛星とは異なるジオテイル衛星に特有の事柄としては、次のようなことが挙げられます。

第一に、従来の宇宙研の衛星に比べてサイズが1.4倍程度もあることです。これまでは作業をする人の手の届く範囲にある衛星ばかりでしたが、それを超えると衛星の組上げ手順に大きな影響があるか、あらためて実感させられました。そして試験に要する時間も従来以上に必要になることも、よく分かりました。



磁気シールドルームでの電磁干渉試験

磁気圏尾部観測衛星ジオテイル その2

第二に、速度修正能力800m/sを持つRCS(Reaction Control System)の組上げも、従来にはなかったスケールのもので、このサイズに関連して種々のテストへの影響が生じました。

第三に、科学観測のための電磁干渉対策や汚染防止対策が特に重要になることが、設計の最初の段階から予測されました。そこで、サブシステムを単体で試験するとか、計装配線のルートまで細かくチェックするなど、綿密な対応が計られました。

電磁干渉対策

科学衛星に搭載されるプラズマ波動観測装置では、必ずほかの搭載機器からの干渉ノイズが問題となります。ジオテイルよりも前、1989年に打ち上げられた「あけぼの」衛星では、打上げに先立って、各機器からの干渉ノイズ源を特定し、その対策についてかなりの努力が払われました。それによって、電磁干渉適合(EMC: ElectroMagnetic Compatibility)試験やノイズ軽減に対するノウハウが蓄積されたのでした。

ジオテイル衛星では、この経験を踏まえて、わが国の科学衛星としては初めてEMCの規制レベルが設定されました。そして、システムレベルでのEMC試験に先立って各機器単体レベルでのEMC測定を行い、規定値を満足しないノイズ源の特定とその対策があらかじめ行われたのです。測定は相模原キャンパスの磁気シールドルーム内で行われました。

EMC測定に際しては、できるだけシールドルーム外部の影響を取り除かなければなりません。そのため、被測定機器に電源を供給するバッテリーや接続装置を、シールドルーム外部にあるデータ処理装置と電気的に分離する必要があります。そこで特別に光アイソレーターを新たに製作しました。

試験中に発生した電磁干渉の一例を紹介すると、ラッチングバルブ(電磁弁)からの電磁干渉を受け、それを低減するために電磁弁に電磁シールドカバーを取り付けたところ、電磁弁が動かなくなりました。このときは電磁シールド再製作で解決しましたが、ほかにもいろいろと干渉低減の難しさを経験することになりました。

当時、電磁干渉の低減にご尽力された故 山本達人先生は、『ISASニュース』GEOTAIL特集号で「電磁干渉とのたたかい」と題して、大変苦勞してEMCを測定したことを語っておられます。

(いのうえ・こうざぶろう)

宇宙の開拓者

～アンドロメダ銀河～

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 高橋弘充

アンドロメダ銀河(図1),見た目の大きさが月の6倍もあるこの渦巻銀河を,皆さん一度はどこかで目にしたことがあるでしょう。満天の星空のもと,もしくはきれいな天体写真として,はたまたそれはマンガの世界だったかもしれません。しかし20世紀の初頭まで(現在でも愛着を込めて),この天体がアンドロメダ「星雲」と呼ばれていた(いる)ことを,皆さんはご存知でしょうか? 超新星残骸のカニ星雲や散光星雲のバラ星雲などと同列に,銀河系の内部にあると考えられていたこの天体が,いかに銀河として認識されるようになったか,それに伴って人類の宇宙観がいかに切り開かれていったのか,今日はこのお話を致しましょう。

肉眼でも見え古くからその存在が知られてきたアンドロメダ銀河が,最初に「星雲」と名付けられたのは,1771年にメシエが作ったカタログの31番目に記載されたときでした。当時この天体は,太陽系と同じような惑星系が誕生している現場であり,中心星の光を周囲の円盤状のガスが反射している,と考えられていました。こうした誤解もあり,我々の銀河系こそが宇宙の中心にして唯一の存在であるという,今にしてみれば人類の単な

る思い込みは,実はほんの100年前まで続いていたのです。

アンドロメダ星雲が我々の銀河系の外にあることを初めて明らかにしたのは,アメリカの天文学者ハッブルです。1923~1924年にハッブルは,そのとき完成したばかりのウィルソン山天文台の直径100インチ(2.5m)望遠鏡でアンドロメダ星雲を何回も観測し,そこにセファイド変光星を見つけ出しました(図2)。当時からすでにセファイド変光星は,明るさの変動の周期が長いほど,絶対光度が大きいことが知られていました。ハッブルはこの性質を利用して,アンドロメダ星雲までの距離が,銀河系の大きさ(3万光年)よりもはるかに遠いことを明らかにしたのです(現在ではアンドロメダ銀河までの距離は230万光年と求まっています)。こうしてついにアンドロメダ星雲は2000億個もの星の集合体であることが分かり,銀河系の外にいるお隣さん,今日のアンドロメダ「銀河」となったのです。

ハッブルは,このアンドロメダ銀河の距離の測定を皮切りに,有名な銀河の形態分類を行うとともに(1926年),遠方の銀河ほど我々から速く遠ざかっている,すなわち宇宙は膨張しているというハッブルの法則を発見していきます(1929年)。1920年代は,銀河系が宇宙の中心だったそれまでの宇宙観が覆されただけでなく,さらにそれまで考えが及びもしなかった膨張宇宙という現代の宇宙論の礎までもが築かれ,人類の考える宇宙のスケールが一気に1万倍も開拓された10年間だったのです。

アンドロメダ銀河は我々に最も近く,さらに円盤とバルジをもつ構造や大きさが銀河系と似ていることもあって,これまで多波長で多数の望遠鏡によって観測され,そのたびに銀河の新たな一面を見せつけてくれています(図3)。我々の銀河系も外から眺めると,きっとこんな姿をしているはずです。現在,両銀河は互いの重力で引っ張り合い,毎秒50kmの速度でどんどん接近しており,約30億年後には両者は衝突すると考えられています。そのころには,我々の子孫は月や火星だけでなく太陽系さらには銀河系をも飛び出して,この近づいてきたお隣さん銀河にもごあいさつに伺っているかもしれません。そして人類の宇宙観も,きっと今の我々が想像だにしなかったものへと変遷しているに違いありません。

(たかはし・ひろみつ)



図1 アンドロメダ銀河
(1辺=2.5°) 写真提供: DSS

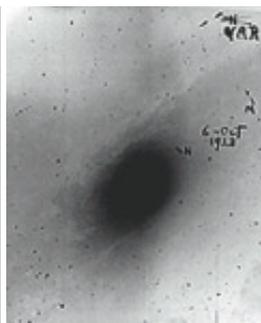


図2 ハッブルが観測したアンドロメダ銀河の写真乾板。右上の「VAR (variable star)」が発見したセファイド変光星。
写真提供: ウィルソン山天文台

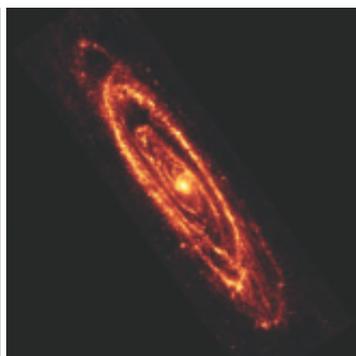
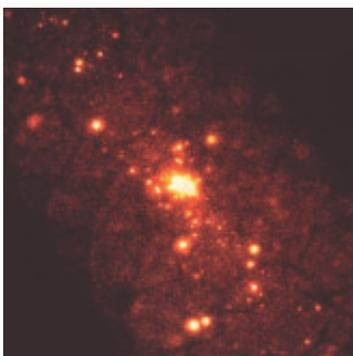


図3 X線(左)と赤外線(右)で見たアンドロメダ銀河
(図1と同じ領域を表示) 写真提供: MPE, NASA

ブラジル

長旅

今年度から始まった日本ブラジル共同気球実験のため、2005年12月10日から2週間ほど出掛けてきました。宇宙研としてのブラジルにおける気球実験は、超新星1987Aの爆発をきっかけに1988年から1992年にかけて行われて以来14年ぶりで、私にとっては初めてのブラジル訪問です。日本からブラジルへの飛行機は直行便がなく、主としてアメリカで乗り継いで十数時間のフライトをハシゴするしかありません。おかげで映画もたくさん観られます。

実験場所はブラジル南部、サンパウロとリオデジャネイロの中間に位置するカシオエイラ・パウリスタという小さな町。ブラジルの国立宇宙研究機関であるINPEの広大な敷地内には、気球関連施設に加え、気象関係の研究棟などが

ポルトガル語を駆使すれば、何とかなるもの。私たちも、INPEや日本の大学からの共同研究者たちと一緒に舌鼓を打ち、異文化交流を楽しみました。

辛党の皆さんへのお勧めはピンガ（カシャーサともいいます）。サトウキビから作られる蒸留酒で、アルコール度数は40度もあります。ストレートでも飲まれますが、砂糖とライムを混ぜたカクテル「カイピリーニャ」なら口当たりも良く、早速私もサウージ（乾杯）！ただし、ラテン系のノリで飲み過ぎるとベバド（酔っ払い）になってしまいますので、そこは要注意。

さて、ブラジルといえば、やはりサッカー。どんな小さな町でも、子供たちがボールと戯れている姿が見られます。私たちもINPEのスタッフたちと少しボールをけりましたが、なるほど、どのオジサンも基本ができていっしょる！滞在中にはサッカーチームの世界一を決めるトヨタカップの決勝戦が行われており、街中の飲食店には日本からの生中継を食い入るように見つめるサポーターの人ばかりができていました。そして、地元のサンパウロFCが王者に輝いた瞬間には、花火が上がったり車のクラクションが鳴り響いたり。サッカーが国技であり生活の一部でもあるということもうなずけます。

贈物

肝心の気球実験は、というと、2回の放球試験と1回の測風気球追尾試験を順調にこなし、予定通り完了させることができました（詳しくは「ISAS事情」参照）。

当初の帰国予定では、12月24日にアメリカで乗り継ぎ、日付変更線をまたいでクリスマスの晩に日本着、というクリスマスイブの夜がないスケジュールでした。そのため、サンタさんからプレゼントをもらえない！と心配していましたが、結果的には予備日を前倒しして帰国できるという思わぬプレゼントを授かることになりました。もっとも、予定より早く着いた日本は、やはり寒かったです。

こうして地球の裏側にまで、東西だけでなく南北にも「奔走」した年の瀬でしたが、来年度以降の本格実験開始に向け、実り多き遠征とすることができました。

(ふけ・ひでゆき)



連日の炎天下での作業で皆すっかり日焼けしてしまいました

点在しています。

風物

季節が日本と逆転するブラジルは、まさに夏本番。照り付ける太陽が、厳冬からの訪問者に容赦なく光を浴びせます。暑さで消耗した体力の回復には、何といてもシラスコが最高！鉄ぐしに肉の塊を刺して焼いた豪快な郷土料理で、肉の種類も豊富です。また、ガラナという果実から作られるジュースも、カフェインが多く強壯作用があるとして愛飲されています。

現地では驚くほど英語が通じないため、料理を注文する際にはひと頑張りしないとけません。それでも、成田からの機内で一夜漬けた



血のたぎり

2005年の11月、私は「はやぶさ」の取材のため、相模原の宇宙科学研究本部を何度も訪問した。

イトカワはラッコにも例えられる奇妙な折れ曲がった形状をしており、表面はごつごつの岩だらけだった。着陸できそうなのは、ラッコの胸と腹の間に当たる部分の狭い砂場のような場所——ミューゼス海と命名された地域だけだった。地球の自転周期が24時間で、イトカワの自転周期が約12時間。自転周期がほぼ2対1であることから、地球方向から「はやぶさ」がイトカワに降下していき、ミューゼス海にタッチダウンするためには、いつも前日夕刻から降下を開始、夜明けから朝方にかけてタッチダウンする必要があった。

「はやぶさ」の降下のたびに、私はネットでJAXA広報部のテラキンさんこと寺菌淳也さんが書いていたblogで降下開始を確認してから、午前2時ごろにバイクにまたがって相模原へと向かった。

リハーサル、そして本番、また本番——そのたびに手がしびれそうな寒さの中、私はノートパソコンとデジタルカメラを詰めたナップザックを背負って、相模原に向けて深夜の国道129号をバイクで走った。信号で止まるたびに夜空を見上げた。寒さとともに澄みゆく大気層を通して、星がまたたいていた。

寒い中をバイクに乗ってまでして相模原へ。いったい何が、これほどまでに自分を駆り立てるのだろうか。そう自分に問うた。これはもはや、興味などというものではない。血のたぎりだ。「はやぶさ」の何が、私の血をたぎらせているのか。

特設のプレスルームになった本館2階の会議場は、独特の高揚感が漂っていた。集まった記者たちは長時間の待機と緊張のため、皆、呼吸に疲労感をにじませていたが、それでも何かへの

松浦晋也

ノンフィクション・ライター

期待感がその場を支配していた。——レンジャーやマリナー、そしてヴォイジャーやヴァイキングがそれぞれ目標に近づいたときのJPLも、こんな雰囲気だったのだろうか。そう考えたとき、突如として私は、自分の血管の中で踊っている衝動の本質を理解した。

「そうか、未知の世界に分け入るといふことは、こういうことなんだ」

未知の世界へ分け入り、誰も見たことがない風景を見ること。そのこと自体が本質として、背筋を震えさせ、後頭部をしびれさせ、そして何より血をたぎらせるのだ。そう私は理解した。それは、不快な感覚ではなかった。むしろ



11月26日早朝、プレスルームに設置されたウェブカム映像に、サンプル採取成功を示す的川教授のVサインが映った。この時の高揚感を、私は一生忘れないだろう。後の調査で、サンプル採取時にプロジェクティル（弾丸）が発射されなかったらしいことが判明したが、それでも私の記憶を消すことはできない。

(撮影：喜多充成)

圧倒的な快感だった。

宇宙科学研究本部は過去にも数々のミッションで、宇宙の知られざる姿を我々に見せてくれた。しかし「はやぶさ」は、未知の世界に挑むことのエッセンスを、非常に分かりやすい形で我々の前に提示した。

だからこそ、インターネットであれほどの多くの人々が、「はやぶさ」の状況に興味を示したのだろう。匿名掲示板の「がんばれ」という書き込み、擬人化された「はやぶさタン」マンガ、フラッシュ動画、そして応援メールに差し入れのリポビタンD(!)。そのどれもが、多くの人々が「はやぶさ」の探査を通じて、血のたぎりを感じていることの証であろう。

「はやぶさ」にかかわったすべての人々にエールを。我々はあなた方の「はやぶさ」で、未知の世界を探索することが、かくも血をたぎらせることだと初めて知ったのだ。

イトカワ着陸があった11月の間、私はことあるごとに太陽を見上げた。決して目には見えないが、太陽よりもちょっと西、太陽に先行した位置にイトカワがあり、そこには「はやぶさ」がいるはずだった。多くの人々が長い時間をかけて丹精した、我々の「はやぶさ」が、吸い込まれそうな青空の奥にいる。そう考えるだけで、宇宙と自分との間の関係を、確かな手触りをもって感じられるような気がした。

「はやぶさ」のイトカワへの降下は、確かに偉業と呼び得る事業だった。しかしそれは同時に、小さな、最初の第一歩だ。

青空の向こう側、「はやぶさ」がいる場所からこそ、新たな宇宙への道が、血をたぎらせる未知と驚異への旅が始まる。
(まつうら・しんや)

心優しきスパイ

宇宙科学情報解析センター助教授
橋本正之

——宇宙科学情報解析センターのホームページでは業務内容について「宇宙科学の発展のために」とありますが、橋本先生のお仕事は？

橋本：人工衛星や探査機の“健康状態”を自動的に監視して診断するシステムの構築に力を入れています。せっかく打ち上げた衛星や探査機が長生きして活躍できるように支援しよう、というものです。正式名称は、衛星・探査機異常監視・診断システム (ISACS-DOC) です。電源、通信、データ処理、姿勢軌道制御、観測装置の各システムが正常に動いているかどうか、衛星や探査機に搭載したコンピュータなどの機器を常時監視して、異常があればいち早く警告を出します。そして、専門家に対応してもらおう。これまでに、GEOTAIL、「のぞみ」「はやぶさ」に対応したシステムを構築し、運用してきました。

——実際に、衛星や探査機の危機を救った例もあるのですか。

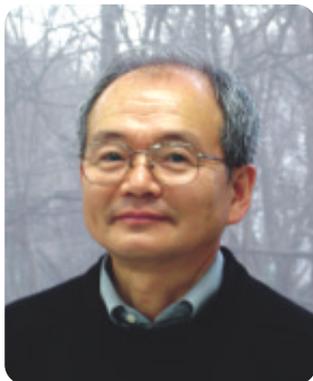
橋本：はい、いくつもあります。例えば、衛星の軌道や姿勢を制御するためのヘリウムガスが漏れそうだという異常を察知し、無事対処できたこともありました。もし発見が遅れて全部漏れてしまったら、衛星の制御ができなくなり、運用停止です。

ISACS-DOCは、実は開発当初、診断機能に重きを置いていました。診断機能とは、異常が起きたときにその原因を教えるものです。でも実際に運用してみると、本当に大事なものは、何か起こりそうだと初期段階で異常をとらえ、専門家に適切な処置をしてもらうことだと考えるようになりました。現在は、監視機能に重点を置いています。

ISACS-DOCはこれまで、地球から遠く離れる軌道をもつ衛星・探査機向けでしたが、現在、低軌道地球周回衛星であるASTRO-F向けのシステムを構築しています。衛星は、地球の低軌道を周回するものが大多数です。それらの衛星の“健康維持”に役立つことができたいと思っています。

——異常監視・診断システムの構築には、衛星全般にわたる幅広い知識が求められますね。

橋本：ISACS-DOCはエキスパートシステムといって、各分野の専門家の知識をコンピュータに組み込み、専門家がそこにいるかのごとく監視するものです。このシステムが成功するかどうかは、広い視点で全体を見て、バランスよく、いかに重要な知識を集められるかにかかっています。私はこれまで、ロケットから衛星までいろいろなことに関係してきました。そういう経験が役立っているかもしれません。昔は一



はしもと・まさし。1942年、岩手県生まれ。工学博士。1965年、東京大学宇宙航空研究所。1981年、宇宙科学研究所。専門は宇宙電子工学。一貫してロケット、人工衛星、人工惑星に搭載する電子機器および関連する地上支援電子装置の研究開発とそれらの設計、開発、打上げ、運用に従事。

つのことに集中したいと思うこともありましたが、最近では世の中に経験して無駄なことはないという気がしています。

——知識を集めるために必要なことは？

橋本：それぞれの専門家の大切な知識をもらってくるわけですから、スパイのようなものかもしれ

ませんね(笑)。メーカーの場合には独自のノウハウもあります。それを教えていただくのですから、信頼関係が重要です。知識を提供してくれた人の装置のためになるということをきちんと説明して、私たちに信じていただくしかありません。私は前面に出ていくことが好きではないので、皆さんのやることをニコニコしながら傍観させてもらっていることが多いですね。こういったキャラクターも、知識の収集に少しは役に立っているのかもしれませんが。人間はみんな、それぞれの生き方と考え方がある。いろいろな考え方を尊重して、認めることも大切です。それは、仕事でも家庭でも同じかな。

——3月に定年を迎えるとのことですが、その後の計画は？

橋本：人と自然が好きなので、地域社会で自然とかかわることができればいいと思っています。今、神奈川県津久井に住んでいるんですよ。目の前には丹沢が見える。岩手の山奥でサルのように野山を駆け巡って育ったものですから、自然の中が好きなんです。家庭菜園も面白いですよ。植物も生きているんだと実感します。これまで機械を相手にしてきましたが、もう一度若いころに戻るとしたら、生き物相手の仕事を選ぶかもしれませんね。

——宇宙研の若い研究者・技術者、あるいはこれから宇宙関係の仕事を目指そうという人に一言。

橋本：それぞれの人が自分のやりたいこと、そして価値があると思うことを、プライドを持って精いっぱいやるのが大事だと考えます。今私たちが抱えている「宇宙科学はこれから何をやっていくべきか」という大きな問題についても、そういう人たちの白熱した議論の中から必然的にいい解が出てくるでしょう。「はやぶさ」の運用を見ていると、みんな若い。あの計画を初めて聞いたときには、ずいぶん無謀だなと思ったものです。でも、しっかり成果を出している。それを支えているのは、どうしてもやりたいという情熱でしょうね。

ISASニュース No.299 2006.2 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。

* 本誌は再生紙 (古紙100%) 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

編集後記

ASTRO-F/M-V-8の打上げ準備で忙しい内之浦で、編集後記を書いています。M-Vロケットの打上げでは、相模原キャンパスから大挙して実験班として移動して来るので、常日ごろ合うチャンスのない職員とも親しくなり、知られざる一面を発見できたりします。やはり同じ釜の飯を食って苦楽を共にすることが、大きなプロジェクトを進める上での重要なポイントなのだと思っています。(周東三和子)

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