

左 : 「はやぶさ」着陸地点ミュゼスの海付近
 右上 : ウーメラ域からミュゼスの海を臨む
 右下 : ウーメラ域の反対側 (+270deg方向)

右目青、左目赤のメガネで見ると立体的に見えます。色ゼロファンを使用して、メガネを作ってみてください。なお、メガネは下記サイトなどで通信販売もしているようです。
http://www.stereoeye.jp/index_j.html

新年のごあいさつ

井上 一
 宇宙科学研究本部長

皆さま、明けましておめでとうございます。

宇宙科学研究本部において昨年は、「すざく」「れいめい」の軌道投入と運用開始、「はやぶさ」の小惑星イトカワ到着と着陸・離陸成功、うれしいニュースが続きました。必ずしもすべてがうまくいったわけではありませんが、全体として、国民の大きな関心と呼び、大きな上昇機運を作ることができました。今年2月にはASTRO-Fの打上げ、そして夏にはSOLAR-Bの打上げを迎えます。昨年の成果の上に、さらに大きな飛躍を積み重ねることができる2006年としたいものです。

さて、宇宙航空研究開発機構では、昨年早々に作成された「JAXA長期ビジョン」のもと、今後10年程度の戦略を立てる議論が進められています。その中で、宇宙科学が重要な役割を果たしていくために、検討すべき課題も少なからずあります。まず、何とんでも、宇宙科学各分野が実現を目指している宇宙科学諸計画を長期計画として束ね、目標と戦略を明確に外に示していかなければなりません。宇宙科学コミュニティー全体での、広い議論をする必要があります。その中で、JAXA長期

ビジョンに新しい柱として掲げられている「人類の活動領域を広げる月惑星探査」への対応も、重要な課題となるでしょう。宇宙研として、月惑星探査の科学的な筋道をきちんと通していくこと、および、月惑星探査の基盤技術開発をしっかり支えることが求められています。

JAXA全体での諸活動に宇宙研がいかにかわっていくか、考え方や体制的な整理をしていくことも重要です。宇宙研の構成員が、広くJAXAの中に活動を広げ、広く貢献をしていけるように、また逆に、宇宙科学の諸活動に全JAXA的な人員的支援を得ていけるように、組織の見直しも含めていろいろと考えていかなければなりません。また、宇宙科学の諸活動を通じて、JAXAの若手構成員に、自分の手を動かし、自分の頭で考えることの重要性を経験してもらう機会を提供するシステムを、ぜひ考えていきたいところです。

この2006年、上のような活動が実を結びますよう、皆さまのご協力・ご支援を、どうかよろしくお願い申し上げます。

(いのうえ・はじめ)

小型科学衛星「れいめい」とオーロラ観測

平原聖文

立教大学理学部助教授

坂野井 健

東北大学大学院理学系研究科助手

浅村和史

宇宙科学研究本部宇宙プラズマ研究系助手

小型科学衛星INDEXは、2005年8月24日3時10分(日本時間)にカザフスタン共和国にあるロシア管轄のバイコヌール宇宙基地から打ち上げられ、「れいめい」と命名されました。バイコヌール宇宙基地は、アラル海から東に200kmほど離れた広大な土漠の原野に作られた人工都市で、世界最初の人工衛星「スプートニク1号」や人類最初の宇宙飛行士ユーリ・A・ガガーリンが飛び立った軍事基地として知られています。最近では、欧米の人工衛星の商業打上げも盛んです。

「れいめい」を打ち上げたロケットは、冷戦時代、旧ソ連のICBM(大陸間弾道ミサイル)として新聞紙上ににぎわせたSS-18を商用目的に平和転用したドニエプルロケットです。専用の地下サイロから予定通りに打ち上げられ、完璧ともいえる飛行・姿勢制御・分離の後、2機の衛星が軌道に投入されました。

今回のドニエプルロケットには、打上げ後に「きらり」と命名されたOICETS衛星が主衛星として搭載されており、「れいめい」はピギーバック衛星でした。最近、大学の研究室でもピギーバック方式で打ち上げられる小型・超小型衛星の開発が盛んに行われ、話題になっています。宇宙科学研究本部でも、小型衛星を用いて、より高い頻度で、より迅速に、低予算でも学術的意義の高い先進的な宇宙探査・観測・技術試験を実施していくべきである、という議論があります。「れいめい」計画に携わってきた我々も、小型衛星計画の有用性・将来性を強く感じています。

「れいめい」の理学班では、理学観測の対象を特化することにより、小型・軽量・少数の搭

り予想外の長さとなった6年間の取り組みが、打上げ成功と衛星・搭載機器の順調な運用によってようやく報われた思いがします。打上げ前は1ヶ月とされていた「れいめい」の軌道上寿命ですが、打上げから4ヶ月経た現在でも、太陽電池パネルやバッテリー、姿勢制御・監視装置、理学観測器などすべての搭載機器が健全な状態です。この様子から、さらに1年以上は連続観測が可能であると判断しています。このような小型衛星の打上げ・運用は、宇宙研では「れいめい」が初めてで、今後も継続的な衛星観測とデータ解析、成果発表に精力的に取り組んでいきたいと考えています。

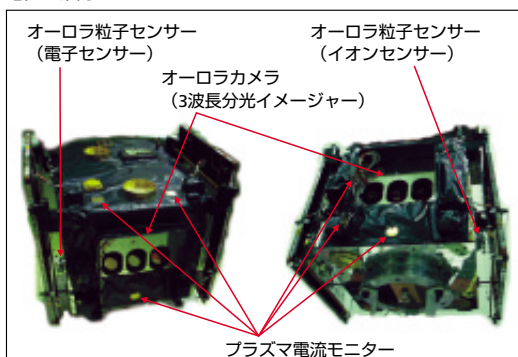
「れいめい」の科学観測

「れいめい」による理学観測目的として、我々は地球極域で起こるオーロラ現象の微細構造の解明に結び付く観測計画を提案しました。これまで、地上だけでなく人工衛星からもオーロラ発光やそれらにかかわる宇宙空間プラズマの観測が行われてきました。しかし、これら過去の観測では、オーロラの微細な構造や活発な時間変動・ダイナミクスには迫れませんでした。ここに、「れいめい」によるオーロラ微細構造観測の意義があります。

「れいめい」搭載の科学観測機器(図1)であるオーロラカメラとオーロラ粒子(電子・イオン)センサー、そしてプラズマ電流モニターは、空間分解能を高める、時間分解能を高める、という設計思想により開発されています。オーロラカメラでは、約2kmの空間分解能と120ms(ミリ秒)の時間分解能で、3波長に分光されたオーロラ発光の2次元画像を撮影できます。オーロラ粒子センサーは、宇宙空間から磁力線に沿って降下しオーロラを光らせる電子(オーロラ電子)や、オーロラ現象により加速され地球から宇宙空間に流れ出しているイオンを、20msの時間分解能で計測可能です。プラズマ電流モニターは、オーロラ発生時の宇宙空間プラズマの環境(密度・温度)を200Hzのサンプリングで測定します。

個々の理学観測器の最適化に加え、「れいめい」の姿勢制御能力を活用することで、オーロ

図1 打上げ前で太陽電池パドルが折り畳まれている状態の「れいめい」衛星と理学観測機器。オーロラカメラの外観は三つの観測波長別のレンズと干渉フィルターが特徴的。電子用とイオン用の2台のオーロラ粒子センサーが、展開前の太陽電池パドルと衛星本体に挟まれて見える。合計5枚のプラズマ電流モニターの電極も確認できる。



載用観測器でも高い科学意義を達成できる本格的な小型科学探査計画を目指しました。1999年に理学観測計画を提案し、搭載用観測機器の研究・開発を推進してきました。さまざまな外的状況の変化によ

ラ発光とそれに関係している宇宙プラズマ現象を高い空間・時間分解能で同時に観測することが可能になります(図2)。オーロラ画像・粒子・環境に関するデータを高空間分解能・高時間分解能で同時に取得できるのは「れいめい」が初めてであり、国内外の将来計画としてもいまだ提案されていません。

「れいめい」は高度610~670kmを飛翔し、地方時にして00時50分~12時50分の子午面を軌道面に持つ太陽同期軌道上にありますから、オーロラ現象が頻繁に起きる真夜中の南北極域を1日に最大30回繰り返し観測できます。また、3軸姿勢制御系を利用して、地上から同時・多点観測されているオーロラ発光領域にオーロラカメラの視野を向けると、衛星・地上からさまざまな角度で撮影することになり、オーロラの立体構造の解明に役立つデータが得られます。

オーロラの機構と観測

オーロラ電子に代表される宇宙空間プラズマ粒子の貯蔵庫は、地球磁気圏のプラズマシートと呼ばれる領域です。ここでは、プラズマの密度は比較的低いものの、その温度は数千万度以上です。プラズマシートから地球につながる磁力線の周りを旋回(らせん状)運動しながら電子が地球大気へと突入し、高度100~500kmの電離圏に存在する高密度の地球大気と衝突することで光るのが、オーロラです。

オーロラ電子が電離圏へ突入する際、地表に近くなるほど磁力線の密集度が高くなり、磁場強度が上がります。この場合、電子は地球磁場により跳ね返され、プラズマシートへと戻ってしまい、オーロラは光りません。オーロラが光る高度まで電子が深く突入するためには、磁力線に沿った下向き方向(地表方向)に加速しなければなりません。この機構として最有力なのが磁力線と平行方向に存在する自然の電位差(沿磁力線方向の電位差)です。オーロラ発光領域の上空には数千ボルトの大きさの電位差が数万kmの高度差にわたって広く存在し、活発に変動していると考えられています。

また電離圏では、オーロラ発光以外にもオーロラ電子降下によるエネルギー流入で大気加熱やプラズマ波動励起が起これ、電離圏イオンの上昇流を引き起こすことがあります。イオンの上昇速度が大きくなると地球重力を振り切って、宇宙空間へと流出していきます。

高度約100km以上の領域の地球大気は、分子や原子ごとに異なる高度分布を示します。例

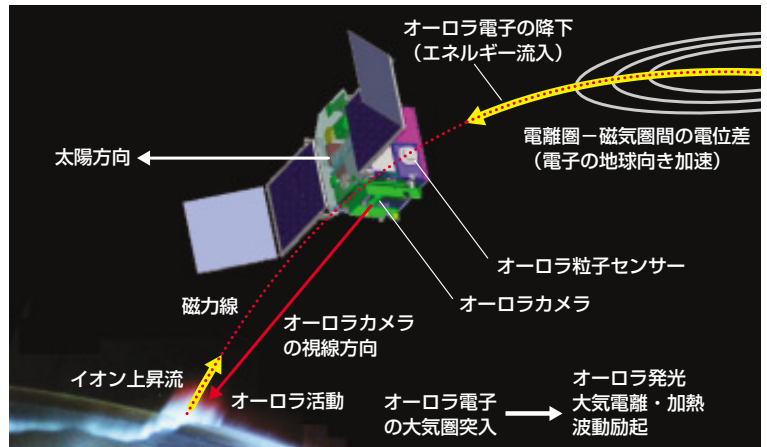


図2 「れいめい」によるオーロラ発光とオーロラ粒子の同時観測の模式図。高度約630kmの軌道上から、オーロラ発光の2次元分布をオーロラカメラにより高空間・時間分解能で分光撮影すると同時に、磁力線に沿って降下しオーロラを光らせる磁気圏起源の電子やオーロラ活動に伴って宇宙空間に流出する電離圏起源のイオンのエネルギーと運動方向、流量をオーロラ粒子センサーで計測する。

えば、下部電離圏には、主に窒素分子と酸素原子が存在します。沿磁力線方向の電位差により加速されたエネルギーの高い電子は、下部電離圏まで突入できるため、酸素原子や窒素分子と衝突し、これを励起させたり電離させたりします。この励起状態からより低い状態へ遷移するとき発光するのがオーロラですが、励起に必要なエネルギーや励起してから発光するまでの時間は、発光の種類ごとに異なります。それゆえ、オーロラ発光を分光し、その源を特定して観測すると、オーロラ電子の特徴や発光機構をリモートセンシングすることになります。また、電離圏に突入する加速された電子や電離圏からのイオン上昇流のエネルギーや運動方向、流量を高精度で観測することなしには、オーロラ現象解明につながる新しい知見は得られません。

オーロラカメラとオーロラ粒子センサー

オーロラカメラは、3組の独立した干渉フィルター・レンズ・CCDで構成されるデジタルカメラです。代表的なオーロラ発光波長である窒素分子イオンの青色、酸素原子の緑色、窒素分子の赤色に対して同時分光撮像が可能です。衛星搭載用の工夫としては、レンズの材料に宇宙放射線に耐性がある素材(石英)を用いていること、オーロラの暗い発光をとらえるために高効率・低雑音のCCDを自然冷却式機構により-10℃程度まで冷却していることが挙げられます。

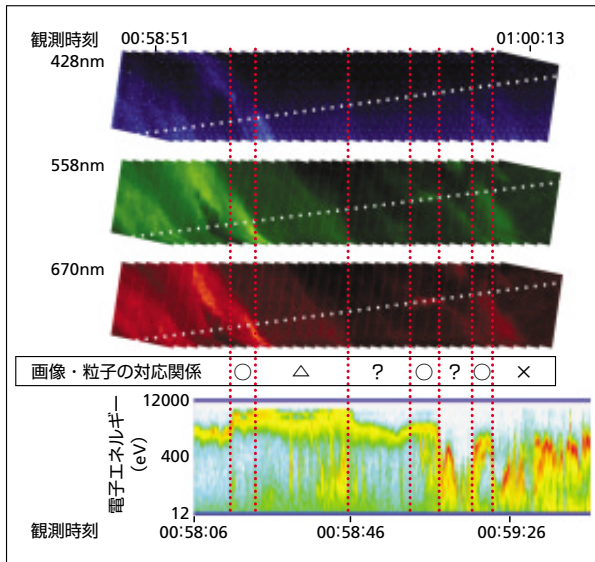
2005年8月30日の深夜、相模原市にある宇宙研「れいめい」運用室では、建物の屋上に設置された3mアンテナを用いた通信により、オーロラカメラの初めての電源投入・初期運用が行われていました。太陽光に照らされた明るい地球表面でCCDが損傷しないようにと、真夜中の日本上空を「れいめい」が通過するときに選ばれました。

ディスプレイに映し出される画像データを注

図3 「れいめい」搭載オーロラカメラが670nmの波長でとらえた夜の首都圏の衛星写真。この画像は約200mの空間分解能で撮影されている。このような夜景を撮像できるのも、オーロラ観測用の高感度カメラの特徴といえる。



図4 2005年11月5日、「れいめい」がスカンジナビア半島の北方上空を通過したときの観測例。上3図が「れいめい」のオーロラカメラによる3波長別のオーロラ合成画像。青が窒素分子イオン、緑が酸素原子、赤が窒素分子の発光分布を示す。最下図は電子センサーにより計測されたオーロラ電子のエネルギー(縦軸)別のカウント数(色)を示す。この例では、カメラと粒子センサーの観測時刻に数十秒の差があったが、特に明るいオーロラと、電子のエネルギー・カウントの増加に対応が良く分かる。



視していた我々の目に入ってきたのは、画面上を流れていく夜の大都市の人工光でした。「おっ、おっ」と、歓喜の声が運用室に響きました。画像が流れるのは、衛星が秒速7.5kmで通過するためです。その後、繰り返し再生された画像の確認作業では、当初気付かなかった雷のような発光も発見されました。流星も撮影されており、オーロラ発光に限らない地球超高層大気さまざまな発光現象が観測されています。図3は12月16日深夜、「記念写真」として最高画質モードで撮影された首都圏の夜景です。

オーロラカメラの初運用は、CCDの駆動回路やコマンド・データ通信回路に電源を投入して

観測モードを指定するだけなので、数分間で完了しました。しかし、放電事故の危険を伴う高圧電源を複数台用いているオーロラ粒子センサーの初期立ち上げには3週間以上必要でした。出力電圧を、10分間の可視運用のたびに徐々に上昇させていく慎重な運用が行われた結果、ようやく10月下旬になって定常的な観測が可能になりました。図4は初期観測データの一例です。

地上・他衛星との共同観測

太陽風・磁気圏・電離圏などのプラズマや磁場の特性パラメータが大きく違う領域間の結合(多圏相互作用)の研究に関しては、「れいめい」による観測だけでは不十分で、さまざまな地上観測網や、より高度が高い領域での衛星観測との共同研究が重要となります。我々は、「あけぼの」をはじめとする現在活躍中の衛星や、北極・南極圏で展開されているオーロラ地上カメラ網、電離圏レーダー網との共同観測に重点を置き、「れいめい」打上げ前から共同観測の立案・提案を行ってきました。すでに、さまざまな地上装置との共同観測を毎月行っています。特に新月の期間は、衛星・地上ともオーロラカメラの観測に有利ですので、とても忙しい観測スケジュールとなっています。

最後に

毎昼・毎夜の「れいめい」運用で忙しい日々を送っている我々にとって、今日はどんな理学データを目にすることができるだろうか、という楽しみに勝るものではありません。ここしばらくは、宇宙研に泊まり込み、あるいは大学と宇宙研の間を往復しながら「れいめい」を駆使し、そして見守り続ける日が続きます。(ひらはら・まさふみ、さかのい・たけし、あさむら・かずし)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(1月・2月)

	1月	2月
相模原	SOLAR-B FM総合試験 M-V-7号機 頭胸部仮組(ロケット) (IA富岡)	
筑波	SELENE システムPFM試験	
内之浦	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)

M-Vロケット8号機，第2組立オペレーション始まる

M-Vロケット8号機の第2組立オペレーションが、内之浦宇宙空間観測所で始まった。JAXAとなってからは、作業の合間に休日をきちんと入れること、無理な残業につながらないよう時間的に余裕を持ったデイリースケジュールとすることの2点が重視されるようになった。その恩恵(?)



提案庫からM組立室に向かうM-Vロケット第1段モータ下部 (SEG2)

で、今回の第2組立オペレーションも11月29日～12月28日という丸1ヶ月の長丁場となっている。実験班の面々は、家族と離れ、肝付町(町村合併により長年親しんだ内之浦という町名は消滅した)で寂しく(人によっては楽しく?)クリスマスをお過ごしことになりそうだ。

2005年度は1月、2月の打上げ期の際にM-V-8号機で打ち上げる赤外線天文衛星ASTRO-Fのほかに、観測ロケットS-310-36号機、ALOS、MTSAT-2と打上げ予定が目白押しで、関係者はスケジュール調整に追われる羽目となり、さすがのクリスマスも28日以降に預けとなってしまった。

前回ASTRO-E IIを打ち上げたM-V-6号機のオペレーションと合わせると、ほぼ休みなく各種のオペレーションが続いているといってもよく、前号機で勤を取り戻した百戦錬磨のベテラン実験班員たちは、実にスムーズに各種作業を進めてくれている。人間の学習機能が最大限活かされているように思われる。

本原稿締め切り日の12月16日までは、まだロケット機体の組立作業が中心で、第2組立オペレーションのハイライトである動作チェック・タイマテスト(ロケット搭載機器すべてに電源を入れて行われる電気系のチェック)は、まだこれからである。とはいえ、相模原で行われた噛合せ試験で電気的な問題は基本的につぶしてきたはずなので、関係者の習熟度アップも踏まえればこの先の作業も間違いなくスムーズに進み、みな気持ちよくすがすがしい気分で3日遅れのクリスマスを迎えられるものと信じている。2006年は打上げを次々と成功させ、JAXAとしてのhappy new yearとなりますように。(山本善一)

赤外線天文衛星ASTRO-Fが内之浦に到着



トレーラーで発射場に搬入されるASTRO-F衛星

赤外線で天体観測を行うASTRO-F衛星は、相模原キャンパスでの試験をすべて終了し、昨年末に鹿児島県肝付町(旧内之浦町)の発射場に運ばれました。相模原からの出発は、日本列島が寒波に覆われ鹿児島でさえ積雪!という状況の中でしたが、無事に発射場に搬

入され、ほっとしました。

振り返ってみると、ASTRO-Fミッションの提案が認められプロトタイプ的设计が始まってから9年が過ぎようとしています。長い道のりでしたが、いよいよ打上げに向けての作業開始です。衛星自身の準備作業だけでなく、追跡運用やデータ解析の準備、そしてM-Vロケット8号機の打上げ準備が急ピッチで進んでいます。多くの人の手で支えられて宇宙に飛び立とうとしているASTRO-Fが、期待を裏切らない素晴らしい成果を挙げ、今年が良い年になることを信じて、もうひと頑張りしたいと思います。(村上浩)

宇宙学校・ながさき

12月17日、長崎大学文教キャンパス中部講堂で「宇宙学校・ながさき」が開催されました。寒波が押し寄せて特

に寒い日でしたが、附属中学校の子供たち400人をはじめ、遠く五島列島からの子供たちや大人の総勢約600人。



次々と挙がる手、手、交通整理に戸惑った

まず、ペンシルロケット50年を記念した的川泰宣先生の70分の講演、そして「M-V」の映画で午前中の1時限が終わりました。午後1時より始まった2時限では橋本正之先生の電気とロケット、加藤學先生の月探査計画、

3時から始まった三時限では海老沢研先生のブラックホールの話、黒谷明美先生の無重力場でのカエルの振る舞いの映像などを交えた話に、皆さん楽しい時間を過ごしたようです。

快適な室温に加え、講堂の壇上が観客席とほぼ同じ高さであり、4人の先生は皆さんを親しく感じることができたのではないかと思います。質問の手が次々に挙がり、残念ですが、途中で質問を打ち切らざるを得ませんでした。来年度からは前もって質問を受け付けるなど、何か対策を考えておいた方がよいのかもしれませんが。地元の協力が大成功の大きな要因であることを強く感じさせた「宇宙学校・ながさき」でした。（小山孝一郎）

太陽観測衛星SOLAR-B総合試験，いよいよ正念場

夏の暑い季節にインテグレーションから始まったSOLAR-B総合試験も、各サブシステムの機能試験、初期アライメント計測を経て、望遠鏡性能確認試験、機械環境試験、機械環境



SOLAR-B京都会議の参加者（京都市国際交流会館にて）

後アライメント確認へと進むうちに、いつしか冬を迎えました。12月には、コンタミネーション（汚染）に弱い三つの望遠鏡を外してロケット頭胴部仮組みが行われました。スケジュール的には順調なのですが、望遠鏡を外すこの機会を利用して、いくつかの機器に改修を施すことにしました。総合試験で異常が見つかったもの、「すざく」やASTRO-Fで行われた改修を踏襲するものなどですが、これらは基本的には、より信頼性を高めるための改修です。さらに、発生頻度が低いためにいまだ原因不明の不具合が1件。こ

れについては年末年始を返上しての作業が続いていますが、この記事が『ISASニュース』に掲載されるころには片付いていることを切に願っています。

閑話休題。11月

には京都で「第6回SOLAR-B科学国際会議」を開催しました。打上げが近いということで、米・英・欧、それに中国、韓国、台湾を含む海外13の国と地域から75名（国内からは64名）もの参加が得られました。会場は、南禅寺近くの京都市国際交流会館。京都大学花山天文台にお世話をいただき、SOLAR-Bで花開く太陽物理学について、ゆったりとした雰囲気の中で深い議論ができたのは収穫でした。京都大学の皆さん、ありがとうございました。（小杉健郎）

「総研大アジア冬の学校」を開催

2005年12月19日から21日の3日間の日程で「Sagamihara Lectures on Space Science 2005」が開催され、大成功のうちに終了しました。本講座は総合研究大学院大学（総研大）が行う「総研大アジア冬の学校」の一環として開催される、国内を含むアジア地域の大学院生および若手研究者を対象とした公開講座で

す。宇宙科学研究本部としては今回が初めての試みとなりましたが、中国の北京大学から9名、韓国のソウル大学から2名、国内の各大学から5名、総勢20名弱の参加者が集まりました。

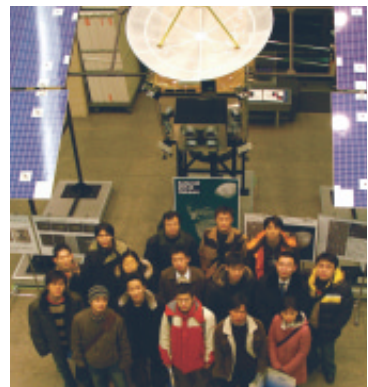
「宇宙科学におけるシミュレーションの活用：宇宙機開発から現象理解まで」と題し、宇宙科学におけるさま

さまざまなシミュレーション技術に関する講義を手始めに、現在宇宙研で行っている最先端の衛星プロジェクト、「すざく」「れいめい」「はやぶさ」の紹介、相模原キャンパスの施設見学などを行いました。歓迎会では宇宙研の学生も参加し、同年代の気安さからさまざまな情報交換が行われ、交流の輪が広がりました。参加学生からは、宇宙研の研究活動は非常にユニークで興味深いといった声が聞かれるなど、本講座は十分満足のいくものだったと思います。

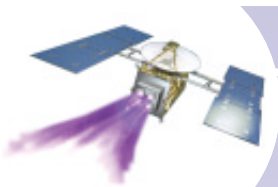
最後になりましたが、本公開講座は総合研究大学院

大学および本校内教職員の皆さまの協力に支えられて、無事に開催することができました。ここに記して、謝意を表します。

(高木亮治)



総研大アジア冬の学校を終えて



はやぶさ近況

距離を測る光の矢

小惑星イトカワの詳細観測と着陸・離陸を成功させた「はやぶさ」ですが、その後のトラブルにより、残念ながら地球への帰還は延期されることになりました。2005年12月末現在、探査機姿勢の復旧作業を継続しています。

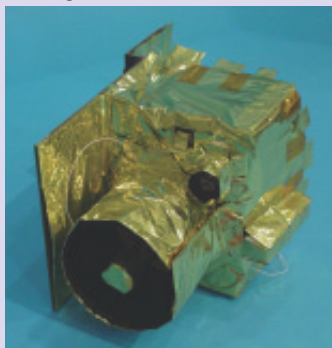
本連載では、今月から数回にわたって、イトカワ観測に活躍した装置の紹介をします。第1回目は、LIDAR(レーザ高度計)です。

LIDARは「Light Detection And Ranging」の略で「ライダー」と呼ばれ、レーザパルスを発射して探査機と小惑星の距離を測定するレーザ高度計です。小惑星イトカワに接近・着陸する「はやぶさ」にとって、LIDARは大変重要な航法センサーであるとともに、イトカワの自転を利用した表面形状測定、重力推定などの科学観測を行う観測機器でもあります。LIDARは大きく分けて、レーザ送信機、受信光学系、制御回路部の三つの部分から構成されています。

レーザ送信機は、距離測定のために15ns(ナノ秒:10億分の1秒)の光のパルスを作る部分です。光は1nsに約30cm進みますから、レーザパルスは約4.5mの長さになります。使用しているレーザはYAGレーザで、Nd:YAG(Neodymium doped Yttrium Aluminum Garnet)結晶に半導体レーザで光を当ててレーザ発振させ、直径3mm、波長1.064 μ m(1 μ m=1/1000mm)の赤外光を、1秒に1回の割合で出しています。レーザは、蓄えられたエネルギーをQスイッチといわれる方法で一気に放出することで、1MW(100万ワット)のレーザ光を出射します。言い換えれば、LIDARは、心臓部であるガーネット宝石のレーザからイトカワに向けて、長さ4.5mの光の矢を1秒に1回放っているわけです。

放たれた光の矢は小惑星表面に当たると砕けて飛び散りますが、飛び散った光(散乱光)はわずかながらLIDARの方へ戻ってきます。50kmも離れたときの光のエネルギーは約150億分の1に減衰してしましますが、口径100mmのカセグレン望遠鏡と電子雪崩を使った検出器(APD:Avalanche Photo Diode)を組み合わせた鋭い目で、返ってきた光を見つけ出します。制御回路部では、レーザパルスを発射してから散乱光を検出するまでの間、デジタルカウンターを回して光の往復時間を測定します。この光の往復時間から、小惑星と探査機の距離を1mの精度で測定することができます。

はやぶさ搭載LIDAR。測距範囲50m~50km、重量3.7kg。



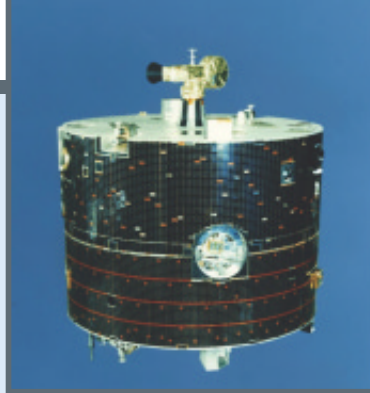
「はやぶさ」に搭載されたLIDARの特徴は、構造材にマグネシウムを採用して徹底的に軽量化を図り、3.7kgというノートパソコンに匹敵する軽さであることと、小惑星への接近から着陸まで50kmから50mという大変広い距離測定範囲を持っていることです。

開発途中では数え切れないほどの不具合を出したLIDARですが、イトカワ到着から着陸までの本番では、完璧な動作でタッチダウンを成功に導いてくれました。さらに、延べ1140時間の観測で、イトカワに向けて410万本もの光の矢を放ち、イトカワの詳細形状、重力、密度など、極めて重要な科学データを私たちにもたらしました。

最後になりましたが、LIDARの開発に当たって、搭載直前までご尽力くださったNEC東芝スペースシステムの技術者の方々、利害を超えて結集してくださった技術者の方々、多くのご支援と励ましをくださった所内の方々に、心から敬意と感謝を表します。

(水野貴秀)

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(GEOTAIL)衛星は、発射予定日より10日遅れて1992年7月24日14時26分(世界標準時)、アメリカ・ケネディ宇宙センターの発射台LC17Aから、デルタII型ロケットによって打ち上げられました。当初投入された軌道は、遠地点高度34万9985km、近地点高度184.8km、軌道傾斜角28.66度で、打上げ精度は満足すべき結果でした。

打上げロケットの変更

打上げロケットとしては、当初スペースシャトルが予定されていましたが、1986年のあのチャレンジャー事故によって、急速デルタロケットに変更になりました。それまで有人ミッションによる打上げということで、厳しい安全基準をクリアするのに苦労していたわけですが、皮肉にもそれがなくなったのは不幸中の幸いでした。

この打上げロケットの変更、宇宙研の衛星試験装置(磁気シールドルーム、恒温槽)の搬入口拡張などによって、衛星の最大寸法に対しても制約が緩和されることになりました。その結果、衛星円筒部の直径を2.1mから2.2mに、また高さを1.5mに増やすことができました。そのため、太陽電池の発生電力にも余裕ができ、3年間の飛翔による劣化を考慮しても、寿命の最後に約340Wを確保できる見通しとなりました。

本格的な国際協力ミッション

当時、地球周辺の空間に多数の衛星を打ち上げて、太陽から地球の電離圏にかけての広大な領域で総合的な観測を行う太陽地球系物理学国際共同観測(ISTP: International Solar Terrestrial Physics Program)が計画されていました。NASA(米)、ESA(欧)、IKI(露)、ISAS(日)の共同プロジェクトです。



宇宙研としては初めての本格的な国際協力ミッションとあって、プロジェクト・マネジャーの西田先生を中心として、計画段階では工学側から上杉先生、二宮先生、中谷先

DELTA-IIロケットによるジオテイル衛星の打上げ

磁気圏尾部観測衛星ジオテイル その1

生、観測側から木村磐根先生(京大)、鶴田先生、向井先生、システム担当として横山(幸)先生、橋本(正)先生等々、そうそうたるリーダーたちがその任に当たりました。

取り決めとして、ロケットはアメリカ側が担当し責任をもって衛星を打ち上げ、衛星は日本側が担当し、設計・製作・試験・運用を行うこととなりました。

ミッションプラン

ミッションとしては、1年目には遠地点200Re(Reは地球半径=6378km)の長楕円軌道に投入し、月の引力を利用して衛星が常に夜側にいるように調節しながら、磁気圏尾部の遠隔領域を探索します。太陽風プラズマが磁気圏の尾部へどのようにして侵入するのか、その過程を研究するのです。これがDistant Tailのフェーズです。

2年目以降は、ジオテイル衛星を近地点8Re、遠地点30Reの赤道軌道に置き、磁気圏尾部の比較的地球に近い領域を通過させて、磁力線リコネクション過程についてその発生条件や粒子加速機構を研究します。Near Tailのフェーズです。

苦労したアンテナ伸展

打上げ約20時間後に臼田局の64mアンテナでジオテイル衛星からの電波が受信され、衛星が正常であることが確認されて以降、所定の初期運用がされたのですが、アンテナの伸展には苦労がありました。

共通機器の動作チェック、各観測機器への電源投入、高圧電源投入などが行われた後、8月27日に4本の50mワイヤーアンテナの伸展を行いました。これは、一部問題が生じたものの、あらかじめ考案されていた回復手順に従って無事作業を終了しました。

9月4日に行われた2本の6mマスト伸展においては、一方のマスト(MAST-F)は完全に伸展したものの、もう一方(MAST-S)が2.7mで停止する事態になってしまいました。検討の結果、原因が解明され、スピンを低下させて9月16日にはマストは完全に伸展されたのですが、一時はどうなるかと肝を冷やす事態でした。

こうしてジオテイル衛星の初期運用は正常に終了し、9月8日に行われた月スイングバイで近地点80Re、遠地点220Reの長楕円のDistant Tail軌道に無事投入され、いよいよ常運用に入りました。

(いのうえ・こうざぶろう)

宇宙のシンデレラ

赤外・サブミリ波天文学研究系助手 山村一誠

こと座の1等星ベガといえば、日本では織り姫星としてよく知られています。天の川を隔てて彦星(わし座の1等星アルタイル)と向き合う姿は、夏の夜空を代表する眺めとして、七夕の物語とともに我々になじみの深いものです。

この織り姫星、ベガは、実は「宇宙のシンデレラ」とでも呼べる物語の主人公でもあったのです。

星の明るさを表すのに、「何等星」という言い方をします。これは、昔の人々が明るい星から順番に1等星、2等星……6等星とランク付けしたことからきています。現代の天文学では、この昔ながらの等級の呼び方はそのままに、星の明るさを厳密に定義しました。それによれば、1等級の差がある星は、2.5倍の明るさの差があることになります。

星の明るさを測ることを「測光」といいます。夜空の星は、赤・青・黄などさまざまな色で光っています。星の性質をよく調べるためには、異なる色(波長)で測光を行う必要があります。1960年代の中ごろ、測光観測の開拓者であるJohnsonは、測光を行ういろいろな波長のフィルターの組み合わせ一式と、測定の方法を提唱しました。その中で彼は、すべての星のあらゆるフィルター波

長での等級を、ベガを基準として測ることにしました。つまり、「ベガはどんな波長で測っても常に0等である!(厳密には、+0.03等だそうです)」として、それとの明るさの比2.5倍ごとに1等級という物差しを作り上げたのです。それから長らく、ベガは「測光標準星」として、天文学の世界の基礎をしっかりと支えてきました。

まさかの転機が、1983年に訪れます。この年、世界で初めての赤外線天文衛星IRASが、全天の赤外線天体のカタログを作ることに挑みました。IRASが測定する赤外線での明るさも、ベガを基準として測ろうとしたことは言うまでもありません。最初の王子様候補は、オランダでアルバイトに雇われていた学生でした。彼は、ベガの観測データを見て、この星が波長60ミクロン、100ミクロンといった遠赤外線でもとても明るいことを見つけ、先生に「ベガは使えますよ!」と報告しました。しかし、不運だったのは、このとき彼が見ていたのが検出器の出力そのままだったことです。その直後、アメリカにいた別の王子様たちが、同じようにベガの明るさを詳しく調べ、その明るさが遠赤外線では予想よりも何倍も明るいことに気がきました。そして、これはベガの周りに惑星を作りかけているチリがあるためだ、という報告をしたのです。太陽系以外で初めて惑星があるかもしれない、という期待を抱かせる大発見でした。このような星は、IRASで数十個見つかり、「ベガ型星」と呼ばれています。今では、「惑星を作っている最中」という解釈は正しくないことが分かりましたが、それでも惑星の存在と密接に関係するかもしれない現象として、盛んに研究が続けられていることは、このシリーズ2人目の「宇宙の隣人」で述べられた通りです。

この大発見によって、地味な裏方から一躍天文学の最前線に躍り出たベガ。しかし、測光標準星の座からは栄えある引退となってしまいました。一方、ベガ型星の第一発見者の座を逃した不幸な学生は、今では教授となって、星の周りのチリの研究で世界をリードする研究者の一人として活躍しています。

IRASから20年たった今、日本の赤外線天文衛星ASTRO-Fは、最新の技術を使ってIRASサーベイの改訂に挑みます。ASTRO-Fは、どのような発見を我々にもたらすのでしょうか? そして、どのような物語が作られるのでしょうか。

(やまむら・いっせい)

図1 IRASによるベガの測光データから、星の光の成分を差し引いた後の、遠赤外線での超過(右側)。左側の点線は、あまり意味がない。Aumannらによる最初の発見の論文(1984, ApJ 278, L23)の図に加筆、修正。

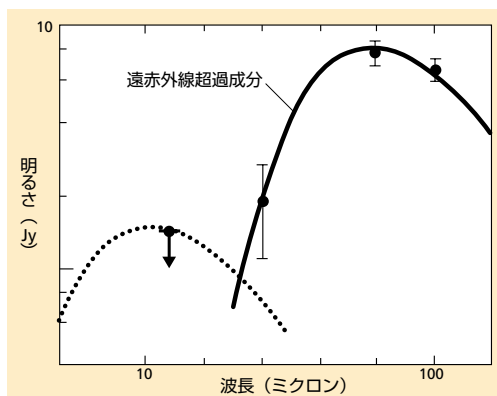
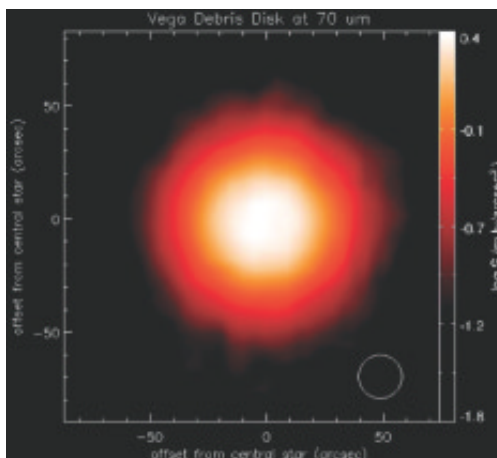


図2 スピッツァー宇宙望遠鏡が観測したベガの周りのチリの様子。星のみならば、右下の円で示した装置の分解能程度の大きさに見えるはずだが、それを超えて、ダストが広がっているのが見える。(Su et al. 2005, ApJ 628, 487)



その異国文化、初めて
口にするスパイスが如し

宇宙輸送工学研究系助手
羽生 宏人

水(未知)との遭遇

2005年11月27日、筆者は7名の技術調査団の1人として、シンガポールを経由してインドのChennai-Madras国際空港に降り立った。渡航目的は、インドで実績のある観測技術の調査と、国際協力に関する会議への出席であり、目的地はインドの南部TrivandrumとBangaloreであった。私にとって初のアジアの旅。しかも、ここは未知の国インドである。

インドといえば、やはり気になるのが「水事情」である。実は“Delhi belly (デリー腹)”というスラングがあるほど、インドの衛生状態は欧米の旅行者にも恐れられているようである。旅行経験者からは「とにかく水には気を付けて」とアドバイスを受け、用心深い筆者は、スーツケースに下痢止めの薬とペットボトルの飲料水を忍ばせての訪問となった。

当初、インドの研究者と親交の厚い小山教授を除いては、食に関して戦々恐々といった感じであ

った。インドの国内線は現在でもフライト時間にかかわらず機内食が提供されているようで、ChennaiからTrivandrumへの空路、たかだか1時間程度でも機内食が出た。実は、これが我々にとって初めてのインドの食事であり、この機内食こそ“Delhi belly”の恐怖におののく“水との遭遇”とな

った。目前に並ぶ料理とともに小柄なペットボトルが一つ。やはり気になる存在である。まずは、戸惑いながらも恐る恐る料理を口に運ぶ。想像通りカレー風味だが、実にうまい。しかし、やはり辛い。のどの渴きを感じながらふと見渡すと、一行の皆さんは、ペットボトルに記載されている小さな文字から製造場所やら製造日の解読に必至であった。結局のところ、キャップがしっかりと閉まっていれば特に問題はないようである。食に関してさほど神経質になる必要はなく、訪問先でいただいたカレーやそのほかの料理はとても美味であったし、少なくとも筆者は、この旅行中に“Delhi belly”になることはなかった。

インドの宇宙開発

インドの宇宙開発に関する情報は、中国のそれに比べるとずいぶん少ない。インドには国家機関であるISRO (Indian Space Research Organization)という組織がある。ロケット発射実験を1963年に着手して以来、規模の大小はさまざまだが、実験機を含め相当数のロケットを打ち上げている。ISROは、国内にロケットから衛星およびこれらの関連技術に関する21ヶ所の施設を持ち、インド初の衛星ARYABHATAを1975年にロシアのロケットで打ち上げた。この打上げを皮切りに、自国のロケットでは1979年に衛星RTPを打ち上げ、他国のロケットによる打上げを含めると、これまで大小40機以上の衛星打上げ実績を誇る。特に最近10年を見ると、自国の打上げロケットPSLV、GSLV-Mark I、GSLV-Mark IIでGTO (静止トランスフェ軌道)に1.4~2トン級の衛星を投入しているようである。このように、ロケットの開発をはじめインドの宇宙開発は、まさに熱気に包まれているといった印象であった。我々も負けてはられないと、決意新たにすところである。

路上に隙(間)はない

移動のほとんどはISRO側手配の車を利用させていただいたため、苦勞することはまったくなかった。彼らの心配りには大変感謝している次第である。移動中、車窓から垣間見る市民生活は興味深く、とても印象に残る。特に交通事情には驚かされた。乗せていただいた車は、さほどスピードが出ていない(出せない?)のだが、それでも懸命に前方の車を追いかけ、クラクションを鳴らし、追い越していく。ほかの車や単車も同じようだ。まるで「邪魔だからどけ」と言わんばかりである。後で聞いたところ、クラクションは「私はここにいるから気を付けて」という意味なのだそう。信号待ちでは片側2車線の道路に4台は並んでいただろうか。車同士の間隔はわずかだし、少しでも隙間があれば単車が突っ込んでくる。さらに、その隙間を新聞売りやら雑貨売りが歩いてくるのだから驚きである。信号待ちの路上にはまったく隙間がないのだ。

彼らの日常に腰を抜かした筆者は、独特な文化のスパイスに刺激され、すっかり魅了されてしまった。今回ゆっくりと目を通すことのできなかったインドの旅行ガイドをあらためてめくり、「次はアレに挑戦だ……」と次の渡航に向け、すでに臨戦態勢なのである。(はぶ・ひろと)

ヒゲ対決は完敗です。宿泊先ホテルにて (撮影：荒川 聡)



「はやぶさ」に思う

野本陽代

サイエンスライター・宇宙開発委員

日本初の小惑星探査機「はやぶさ」のハラハラドキドキのミッションの経過を耳にするにつれ、日本のロケット開発の歴史を取材した14年前のことを思い出す。一癖どころか何癖もあった糸川英夫先生の名前の付いた小惑星、東京から鹿児島まで22時間半もかかった特急と同じ名の探査機。名前だけでもスナリいかないう感じがしたが、現実はずっとスリリングに進行しているようだ。

日本のロケット開発は、糸川先生の「太平洋を20分で横断する飛翔体を作る」というハッタリから始まった。あちこちからかき集めた初年度の予算は、産学全部合わせてもわずか560万円。これでは50年前でもペンシルロケットを飛ばすのがせいぜいだっただろう。でも、新しいことに取り組もうという東京大学生産技術研究所の工学者や富士精密工業（当時）の技術者たちの意気は高かった。

ロケット開発が現実的なものとなるのは、1957～58年の国際地球観測年にロケット観測で参加したいと願う科学者と手を組んでからのことである。科学観測のためのロケットを作るといふ明確な目標がなければ、生研での開発はすぐに挫折していたかもしれない。

秋田県道川海岸で始められた打上げ実験は、試行錯誤の結果、1958年に7回、上層大気観測に成功することで当面の目標を達成した（ロケット観測に成功したのは5ヶ国のみ）。その後、舞

台を鹿児島県内之浦に移して人工衛星の打上げに取り組むことになるが、これも簡単にはいかなかった。失敗また失敗、5度目の試みで日本初の人工衛星「おおすみ」が上がるのは1970年2月のこと。ソ連、アメリカ、フランスに次いで4番目であったが、まったくの自力で一大学が衛星を上げた例は、世界でも最初で最後だと思う。また、衛星打上げロケットの大きさ、最小の記録は今でも破られていない。

限られた開発時間、潤沢とは程遠い予算、手探りの技術開発、周りの無理解、先行する華々しいイメージと過剰な期待。これらのことが、開発が始まった当初から現在に至るまで、ロケットや衛星に付いて回っている。期待が大きいことは悪いことではなく、お金と時間が十分にあればいいものができると思ったものでもない。しかし、表面をとらえての批判のための批判だけは、何とかならないものかと思う。

宇宙科学研究所での宇宙への取り組みは、50年前から工学者と科学者のせめぎ合いによって進められてきた。より良い観測装置、科学衛星を飛ばし

たい科学者と、その要望を何とかかなえようとする工学者。数々のプレッシャーの中、足りない分は知恵を出し合い、独創的な工夫を重ねることで、ロケットも衛星も開発が進められてきたように思う。宇宙航空研究開発機構となった現在、旧宇宙開発事業団のもっていた組織力・技術力でさらにパワーアップして、世界に冠たる宇宙科学大国になってもらいたい。

小惑星の物質採取に成功したのかしなかったのか、無事に地球に帰還できるのかできないのか。まだハラハラドキドキが続きそうだが、将来の惑星探査の礎となるであろう「はやぶさ」の今後を見守りたい。

（のもと・はるよ）



糸川英夫先生とペンシルロケット

見えない宇宙を見てやろう

宇宙科学研究本部研究総主幹
小杉健郎

——太陽の観測を続けてこられたそうですね。

小杉：太陽フレアの理論研究を行っていた大学院生のとき、野辺山の太陽電波観測所で甲斐敬造先生に出会ったのが大きかった。甲斐先生はオーストラリアで最先端の電波望遠鏡の建設に参加していたのですが、日本に呼び戻されて野辺山にいたのです。しかし当時、野辺山にあった望遠鏡は、オーストラリアの望遠鏡に性能で上回る点の一つもなかった。甲斐先生は、ある一点でも世界一の性能を持つ、特色のある望遠鏡を作らなければ駄目だと口癖のように言っていました。新しい望遠鏡を作れば、宇宙のまだ見えていなかった現象が見えてきます。太陽にこだわりがあったわけではなく、甲斐先生の執念が乗り移り、“見えない宇宙を見てやろう”をモットーに研究を始めました。私は野辺山の一員となり、電波干渉計を作り、そのデータを集めてコンピュータの中で太陽の電波画像を合成する技術の開発を行いました。それが結実したのが「野辺山電波ヘリオグラフ」です。ただし私は、その計画の立案や設計には参加しましたが、建設には携わっていません。太陽X線観測衛星「ようこう」計画に専念するようになったからです。



こすぎ・たけお。1949年、愛知県生まれ。理学博士。1976年、東京大学大学院理学系研究科天文学専門課程博士課程中退。同年、東京大学東京天文台助手。1988年、東京大学理学部助教授。1992年、国立天文台教授。1998年、宇宙科学研究所教授。2005年、宇宙科学研究本部研究総主幹。専門は太陽フレア物理学。太陽観測衛星SOLAR-Bのプロジェクト・マネージャーを務めている。

——SOLAR-Bの次のアイデアは？

小杉：それは若い世代に任せたいと思います。ただし宇宙研の中で純粋培養されて、今までの延長線上でしかものを見ていないと、出てくる発想は従来と同じ路線で、さらに大きな望遠鏡

を衛星に積もう、となってしまいます。科学衛星には三つの段階があります。例えば、宇宙はX線で輝いていることを初めて見つける第1段階。次は、どんな天体がX線を出しているのかを調べる第2段階。そして、ロケットで打ち上げられる限りの最大規模の望遠鏡を衛星に載せて詳細に観測する第3段階です。次の第4段階で望遠鏡をさらに大きくするだけでは、コストの割に学問の前進できる距離が短くなってしまいます。学問の進展には、大きな望遠鏡も確かに必要ですが、新機軸が絶対に必要です。

——新機軸を打ち出すには何が重要ですか。

小杉：学問におけるビジョンとは、できないことを言うことでも、必ずできることを言うことでもない。そのぎりぎりのところに学問の前進はあります。いろいろな分野の動向を見て、それらをどう組み合わせると新しいことができるか、その見極めがとても重要です。それには、自分の分野や所属組織にこだわらず、それまでの分野で身に付けた技術や感性を、ほかの分野で生かすことも必要です。

もともと宇宙研は、衛星は小さくても独創的なアイデアでチャレンジする、いわばゲリラ戦で成功してきました。例えば、「はやぶさ」はとても独創的な試みです。小惑星のサンプルを持ち帰ることができれば、太陽系の成り立ちを調べる最良の研究材料となり、新しい学問分野が切り拓かれます。しかし「はやぶさ」2号・3号を誰が担うのか。1号のチームには、同じことをやるのは嫌だという人もいるでしょう。それはゲリラとして、とても正常な感覚です。一方で、「はやぶさ」2号・3号を担当して新しい学問分野の確立に殉じたり、国際協調などで大きな衛星を担う、いわば正規部隊も必要です。JAXAの中で両方のバランスをうまく取っていかないと、日本の宇宙科学はこれ以上発展しません。そのための体制作りが、私たちの時代の役目だと思っています。

——なぜ、X線観測衛星に分野を移したのですか。

小杉：1981年に小田稔先生たちが「ひのとり」を打ち上げました。回転すだれコリメーターという装置で太陽からのX線をとらえる衛星です。そのX線データから画像を合成するアイデアを私は出しました。電波干渉計での画像合成と数学的によく似ていたのです。このアイデアをさらに発展させて製作したのが、1991年に打ち上げられた「ようこう」の硬X線望遠鏡です。「ようこう」のように極めて高いエネルギーのX線を観測できる太陽観測衛星は、私も携わったアメリカのRHESIが2002年に打ち上げられるまで、現れませんでした。

——「ひのとり」「ようこう」に続く日本の太陽観測衛星SOLAR-Bを、いよいよ今年打ち上げますね。

小杉：太陽表面は6000度ですが、その上の太陽大気であるコロナは100万度という超高温です。それは、太陽内部からわき上がってくる磁力線が太陽表面の運動でねじり上げられ、そのエネルギーがコロナを加熱するからです。私たちは、そのプロセスのすべてを知るために、太陽表面で時々刻々変化する磁場を高解像度で観測する可視光の望遠鏡と、同時にコロナを観測するX線と紫外線の望遠鏡をSOLAR-Bに搭載します。

ISASニュース No.298 2006.1 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。 古紙配合率100%再生紙を使用しています



編集後記 昨年は「すざく」の打上げ・初期運用、「はやぶさ」のイトカワ接近・着陸運用に明け暮れ、ほかの仕事がまったくできず皆さまにご迷惑をおかけしました。今年はこの『ISASニュース』編集担当を皮切りに社会復帰する予定です。と言いつつ、間もなくASTRO-Fフライトオペレーションで別世界へ行ってしまいます。（橋本樹明）

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