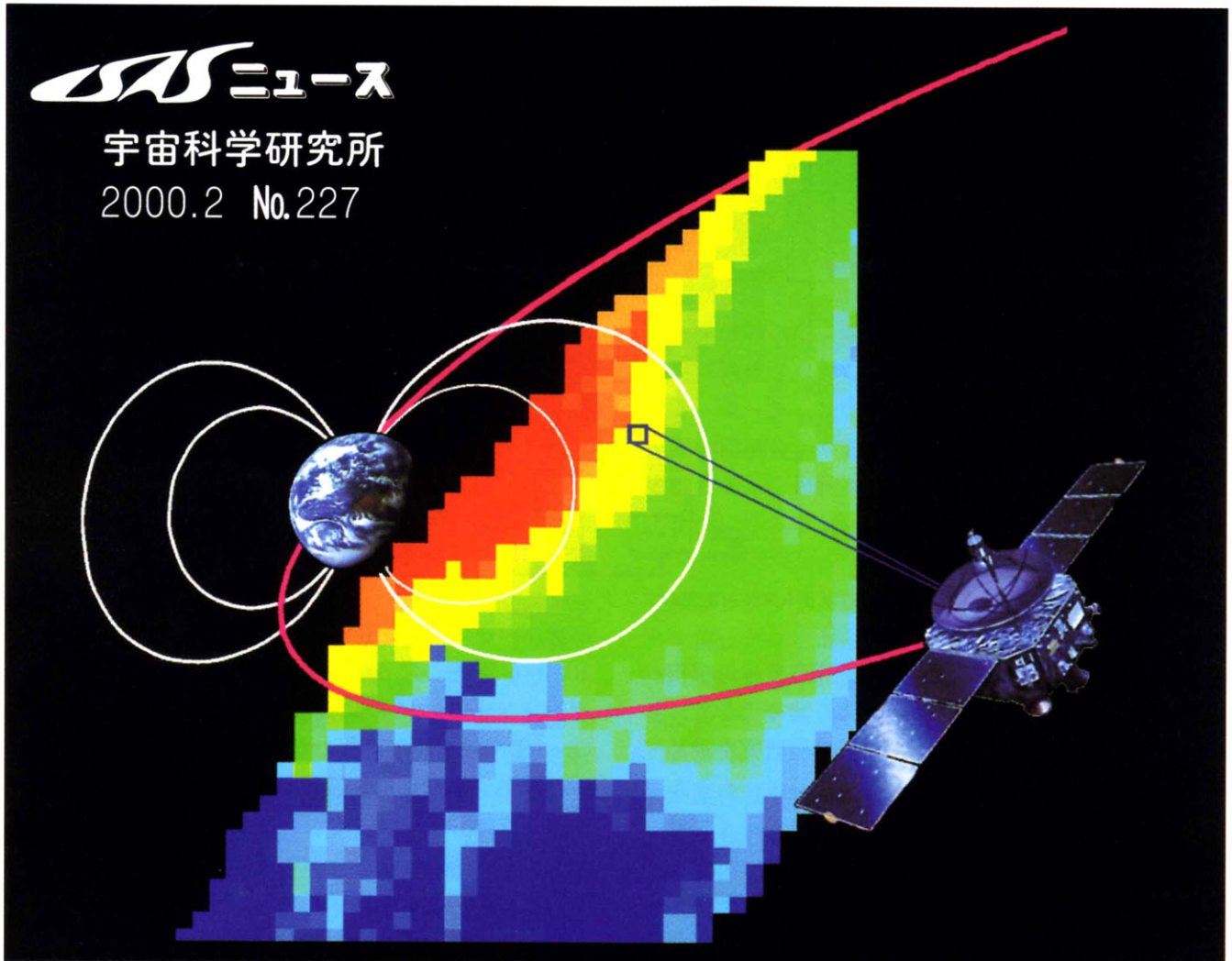



ニュース
宇宙科学研究所

2000.2 No.227



▲「のぞみ」極端紫外光スキャナー（XUV）による地球プラズマ圏撮像

〈研究紹介〉

宇宙ロボティクス・メカトロニクス

東北大学大学院工学研究科 内山 勝

はじめに

ロボットは、コンピュータを頭脳とし、機械の身体を持つシステムである。コンピュータのソフトウェアにより、機械の身体に組み込まれたセンサとアクチュエータを統合し、機械の身体に動きを与え、目的の作業を実行する。メカトロニクスは、このようなロボットなど、電子制御された機械システムの統合、設計に関する工学である。ロボティクス・メカトロニクスは、マイクロコンピュータに代表されるLSIの発展と普及に伴い、1970年代から80年代にかけて急速に発展した。

ロボティクス・メカトロニクスは、宇宙開発あるいは宇宙科学研究におけるオートメーションの有力な手段として、その重要性が広く認識されつつある。有人活動を代替する技術として、あるいは有人活動を補助

する技術として、注目に値する。マニピュレータ搭載のロボット衛星による故障衛星の点検、修理、あるいは、ロボットによる宇宙ステーションの建設、宇宙ステーションへの物資の補給、回収などは、もはや夢物語ではなく、具体的な技術開発の目標である。

マイクロコンピュータなどの電子部品を始めとして、モータ、機械部品など、近年のロボティクス・メカトロニクスの要素技術の向上には、目を見張るものがある。また、一方、1980年代から90年代にかけて、ロボティクスは目覚ましく発展し、幾何学、力学、制御などの基礎知識を蓄積した。この蓄積と要素技術の進歩が重なり、これまで不可能であったような、高度なロボットシステムの設計、開発が、現在では可能となりつつある。

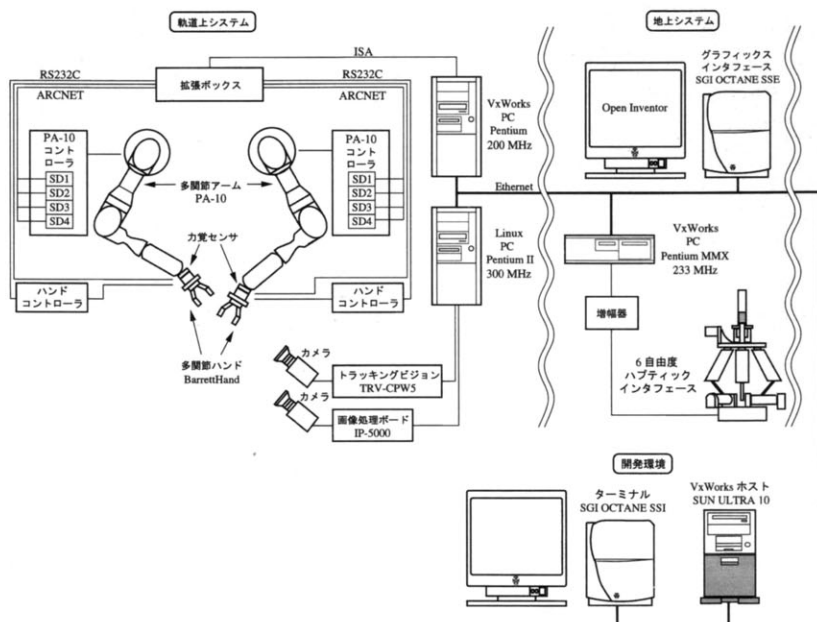


図1 双腕宇宙テレロボット実験システム

このような流れの中で、我々の研究室では、宇宙ロボティクス・メカトロニクスの研究を始めとして、各種ロボティクス・メカトロニクスの応用研究を進めている。研究を先導するキーワードは、「バーチャルリアリティ、ハプティックインタフェース、ハイブリッドシミュレーション」である。このキーワードの共通点は、すべてが「ハードとソフトの接点」に関係している点である。我々は、ここに、メカトロニクス技術の応用の場を見出している。

以下、現在実施中の研究を中心に、これまで実施した研究も付け加え、我々の研究を紹介しよう。まず、宇宙ロボットのテレオペレーション、ハイブリッドシミュレーション、および、双腕フレキシブルロボットによる対象物捕獲の研究について紹介し、最後に、その他の研究について簡単に触れる。

宇宙ロボットのテレオペレーション

現在の技術では、残念ながら、完全自律の知能ロボットの実現は難しい。したがって、宇宙ロボットには、何らかの人間の補助が必要である。テレオペレーションは、このための技術であるが、宇宙ロボットのテレオペレーションでは、通信時間遅れが存在するため、理想的なマスタスレーブ方式の実現が難しい。そこで、宇宙ロボットに一定の自律性を与え、オペレータがこれに指令するテレロボティクスの技術が、ひ

とつの解となる。

この問題に対し、我々の研究室では、最適接近速度、shared intelligenceなどの概念を提案し、これに基づきテレロボットシステムを構築し、実験を実施している。インターネットを介し、ドイツ航空宇宙研究所(DLR)より、遠隔操作実験を行い、ピン挿入などの力制御を必要とする作業を実現した。また、宇宙開発事業団(NASDA)の支援のもと、同様の実験を技術試験衛星ETS-VIIに搭載のロボットに対して行った。

つぎの目標として、双腕ロボットを遠隔操作し、トラス構造物を組み立てる実験を目指している。実験システムの構成を図1に、また、遠隔操作実験の様子を図2に示す。ロボットアームとしてPA-

10、ハンドとしてBarrettHandなど、使いやすいコンポーネント、ならびにLinux, VxWorks, MATLAB, Open Inventorなど、強力なソフトの普及が本システムの構築を迅速かつ容易にした。

ハプティックインタフェースには、独自に設計、開発した6軸フォースディスプレイを採用している。モータ、力覚センサは、小型、軽量のものをとくに選んで採用している。これらは、多指ハンド用に開発されたものである。運動機構の一部には、DELTAと呼ばれる空間平行機構を採用している。これにより、大形マウス程度の小型フォースディスプレイを実現できた。

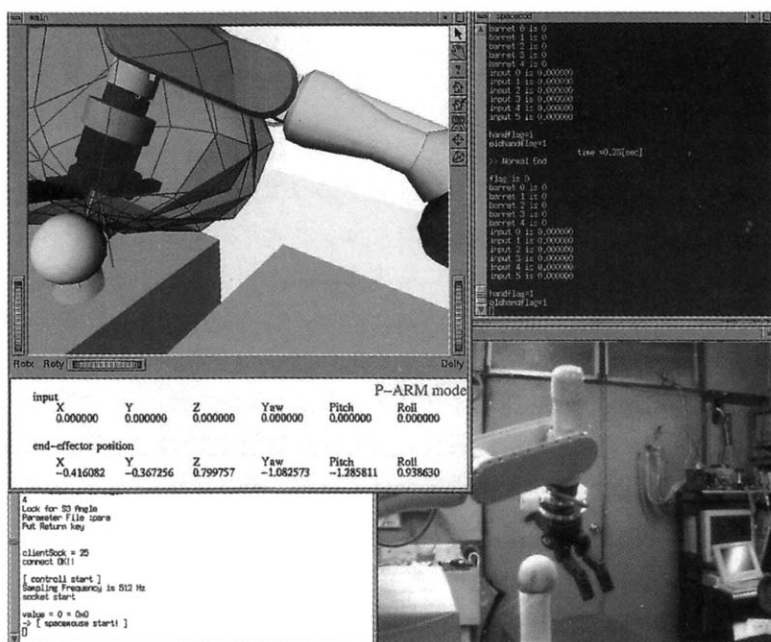


図2 遠隔操作実験の様子

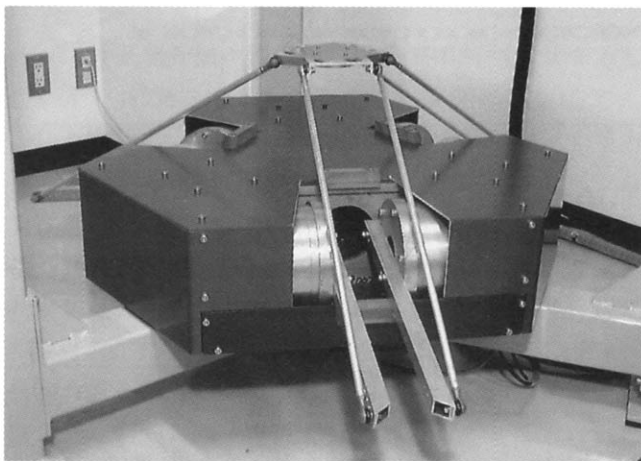


図3 HEXA機構を採用した高速モーションテーブル

宇宙ロボットのハイブリッドシミュレーション

ここでいうハイブリッドシミュレーションとは、機械と数値のハイブリッドシミュレーションである。モーションテーブルにより、機械をコンピュータ内の数値モデル、すなわちバーチャルリアリティにインタフェースし、微小重力環境など、地上では実現が難しい特殊環境下での機械の挙動をシミュレーションする。ここで鍵となる技術は、高速、高精度のモーションテーブルの技術である。

我々には、HEXAと呼ばれる空間6自由度の平行機構を採用した高速ロボットの開発実績がある。この経験を生かし、HEXA機構を採用した高速のモーションテーブルを開発した。これを図3に示す。このモーションテーブルにより、およそ40Gの高加速運動を実現している。

平行機構とは、並列に駆動される閉ループ機構で、可動範囲が狭く、複雑な空間運動能力には欠ける

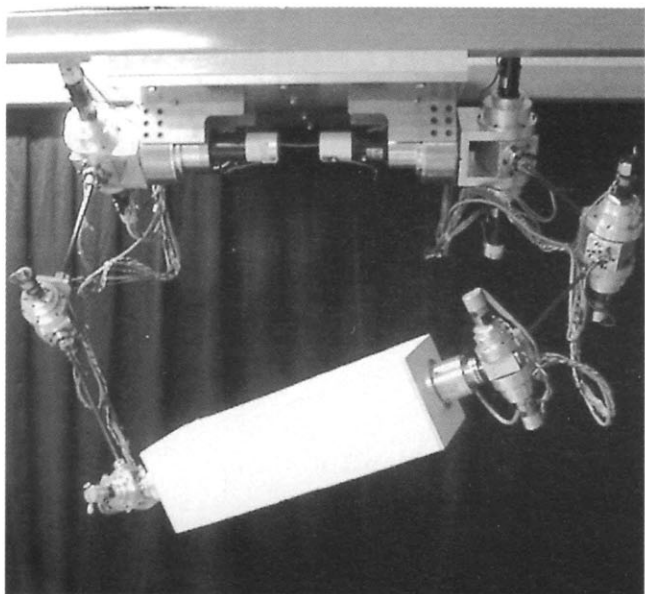


図4 双腕フレキシブルロボットによる対象物捕獲の様子

ものの、アクチュエータをベース部に集中的に配置することができ、これにより可動部の軽量化が実現される。また、閉ループ機構であることにより、可動部が軽量ながら、高剛性とできる。この機構と高速のコンピュータ、サーボモータを組み合わせることにより、従来では考えられないような高速運動が実現できる。

このモーションテーブルを中心に、宇宙ロボットのハイブリッドシミュレータを構築中である。このシミュレータの特徴は、数値モデルの比重を高め、機械モデルを単純化しているところにある。これにより、数値シミュレーションの持つフレキシビリティを保ちつつ、実際の機械モデルを用いた実験が可能となる。なお、機械モデルの単純化によるユーザーインタフェースの劣化は、グラフィックシミュレータにより補っている。

双腕フレキシブルロボットによる対象物の捕獲

宇宙ロボットでは軽量化が重要である。軽量化に伴い、剛性の低下が生じるが、これを克服し、敢えて軽量に設計したロボットがフレキシブルロボットである。したがって、フレキシブルロボットの研究課題は、まず、剛性低下に伴う振動をいかに抑制するか、である。

我々も、各腕が7自由度の双腕フレキシブルロボットを製作したのち、まず、この振動抑制の研究に取り組んだ。そして、すでに、集中定数モデル、可制御性解析などの研究を通し、有効な振動抑制制御則を開発し、実証している。また、この成果に立脚し、力制御、双腕協調制御の基礎研究を行い、これらの制御を実現している。

以上の成果を踏まえ、最新の研究課題として、このロボットを実際の作業へ応用するための研究に取り組んでいる。目標は、スピン衛星を捕獲する作業である。一通りの作業を実現し、現在、その評価を行っている。双腕フレキシブルロボットによる対象物捕獲の様子を図4に示す。捕獲の衝撃を吸収するために、ロボットのフレキシビリティが役立つことが実証された。

おわりに

我々の研究室の研究方針ならびに、現在、実施中の主な研究課題を紹介した。ここでは紹介できなかったが、我々の研究室ではその他、力覚センサ、スキル、テザーロボット、ソフトロボット、ヒューマノイドロボット、多数のマイクロロボットによる協調作業の研究など、宇宙応用に限定せず、各種ロボティクス・メカトロニクス応用研究を幅広く実施している。

(うちやま・まさる)



★シンポジウム

高温エレクトロニクス研究会

開催日：平成12年3月13日（月）

場 所：宇宙科学研究所本館2階会議場

問い合わせ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用担当

TEL：042-759-8019

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール（3月・4月）

3 月												4 月											
1	5	10	15	20	25	30						1	5	10	15	20	25	30					
再使用ロケット燃焼試験 (NTC)																							



★宇宙学校（東大駒場）

1月7日金曜夜、退官する西田所長を囲む会を宇宙研ハーベストで開いていたときです。的川さんが寄ってきてハスキーな小声でささやきました。ぞくっとしました。「明日の駒場の宇宙学校の校長役なんだけど、声が出なくなっちゃたんだよ。かわってくれない？」

当日の講師陣は、山川、久保田、篠原、和田、岡田、今村さんでした。おなじ講師陣でおこなった昨年秋の桑名宇宙学校よりも、素朴な質問が少なかったそうです。校長としては、素朴な問いに深みがあり、味わいがあり、講師も困ると、ずいぶんとアジったつもりでしたが、東京の人は知識に囲まれているようでした[参加人数は3時限で述べ741人でした；編集部注]。

公開日でのミニミニ宇宙学校や、相模原での宇宙学校等で校長役をしたことはありますが、今回一番強く感じたことは、講師陣がたいへん若返っていることです。若い講師陣は、率直に真面目に語り、質問に答えていましたが、これはとてもフレッシュな感じで、現場の息吹を感じさせました。おなじことを話しても、若い人が話すと、ちょっと固いけれど、誠意が感じられ、好ましく感じられるようです。以前の講師陣が化け猫や妖怪だったとは申しません。でも、化け猫でもない答えられないような質問もあります。

校長としては、他分野のこのような若い研究陣と知り合えたことは収穫でした。講師として質問にさらされるのは、知的緊張にさらされます。講師陣はそんな宇宙学校を楽しんだと言っていました。アンケート結果はこのあたりを反映して好意的でした。ASTRO-E打ち上げ予定日が誕生日という小学生の男の子は、最

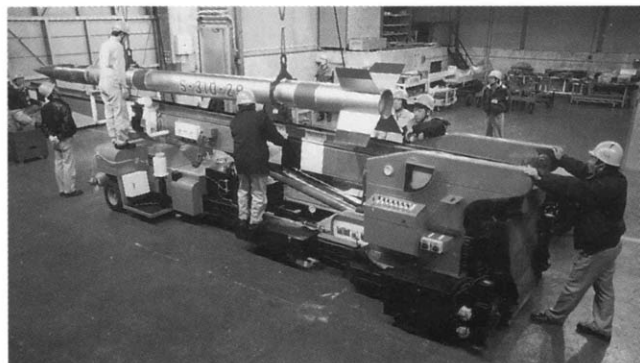
前列席にお母さんと座っていて、びっくりしていました。

さて、的川さんですが、風邪で声が出ないというのに終日出席、その責任感はほんとにご立派でした。若い校長に心配だったのでしょうか。企画広報の渡邊さんを中枢参謀として、管理部の皆さんもがんばりました。西田所長には、残り少ない任期の中、開校式で挨拶をしていただきました。

駒場の学生生活を経験していた校長、講師陣は、寮としての使命を終えた駒場寮の前を歩いてみました。夜の暗さのせいでしょうか、ずっと、ところが若き学生の日にもどってしまいました。この感傷はなんなのでしょうね。（平林 久）

★大成功に終わったS-310-29号機の実験

高さ約80-100kmには、O、O₂、Na、OHなどの大気成分から肉眼では見えない弱い光が出ていることは昔から知られていました。天の川の明るさの約 1/10程度であると思われるこれらの大気光が、時に空間的にも時間的にも縞々模様を持っていることがわかったのは、CCD素子をはじめとする光学技術が、最近急激



に発達したことによります。

この大気光の縞々模様の発生機構の解明にせまることが、今回のS-310-29号機ロケット実験の主目的で、これと同時に大気光の発光高度を地上から同定する方法を検証することを試みました。発射のオペレーションは、1月10日の0時をもってタイムスケジュールに入り、2時には打上げの準備をほぼ終えました。天気の回復が遅れ、待つこと3時間余り、この日の発射時刻の限界をわずかに2分残した5時50分、ロケットはランチャーを離れました。ロケットは順調に飛翔し、主観測物理量であった酸素原子密度をはじめとして、予定された全てのデータが取得されました。これまで、米国製マイクロロケットによって行われてきたアルミ箔による風の観測が初めて本ロケットで試みられて、大気物理量とこれと密接に関係している大気力学情報を一つのロケットで同時に得る目処がついたと考えます。

本ロケットは、新月であること、縞々模様の大気光が見られることに加えて、快晴であること、の3つの厳しい発射条件に加えて真夜中に打上げ作業を行うことになりましたが、大隅、山川、内之浦の3ヶ所の光学観測点、および風の観測を試みた山川、信楽との連絡も順調で、ロケット発射予定期間の初日に大きな成果を得られたことは所内の皆さんと外部関係機関の大きなご理解とご支援があったことによるものです。大気観測グループを代表して、ここにお礼を述べたいと思います。なおこの実験についてはいくつかの新聞に観測ロケット実験としては珍しく、詳しく報道されました。

(小山孝一郎)

★VSOP国際シンポジウム

電波天文衛星「はるか」を中心としてすすめられているスペースVLBI観測計画（VSOP）の成果を発表する国際シンポジウムが、1月19～21日の3日間、宇宙研で開かれました。国外からの出席者は12カ国、50人でした。「はるか」に予算がついた1989年12月に、国際スペースVLBIシンポジウムを開きましたが、それから10年2カ月となります。この時は、国外から45人もの参加があって、VSOPにかけける世界の期待に身の引き締まる思いがしたものです。

中身は、重点電波源、活動銀河核、メーザー、パルサー、偏波観測、短時変動電波源、高輝度電波源、サーベイ、高エネルギー源、将来計画のセッションに分かれ、56の口頭発表、14のポスター発表がおこなわれました。これは実に多彩で多数で、たいへん中身のあるシンポジウムだったという評判でした。すでに、1998



年名古屋COSPAR総会時のセッション「VSOP First Results and Future」、1999年トロントURSI総会時のシンポジウム（Very High Angular Resolution in Radioastronomy）は、VSOP結果発表の場となりましたが、今回は結果がさかんに出始めている時期に当たりました。

シンポジウム集録を3月中に出版の予定です。これは、いままでのVSOPの成果を1冊にまとめたいい読み物になるでしょう。また、サイエンス誌の記者が3日間にわたって取材していきました。いい科学記事が出るのを期待しています。

国際シンポジウムは、3日間だけでしたが、引き続き、VSOP国際科学委員会（1月22日）、国際VSOP-2号計画会議（1月24日）、VSOPサーベイ観測解析ワークショップ（1月25～27日）等をつけ、1週間たった現在でも約10人がのこって共同研究を続けています。

シンポジウムのホストとして気苦労がありますが、旧ソ連からの参加者3人のビザには最後まで苦労し、現地大使館との電話やりとりなどは最後まであり、結局1人はシンポジウムに2日遅れとなりました。

(平林 久)

★宇宙学校相模原

平成12年1月23日に、相模原市産業会館で宇宙学校相模原が開催されました。相模原市（銀河連邦サガミハラ共和国）からはいつも立派な会場を提供していただき、安心して宇宙学校を開けます。ASTRO-E衛星の打上げを目前にした慌ただしい時期ではありましたが、今年度最後の宇宙学校を無事に行うことが出来ました。

10分間の短い講義に続く1時間の質問時間では、若い講師陣の熱意が伝わったのか、講義内容に関する質問が多く寄せられました。いつもは講義内容には関係なく、講師が回答に困るような様々な質問が飛び交う

のですが。これには子供達の参加が比較的少なかったせいもあったかも知れません。少しだけ寂しい気もしました。[参加人数は3時限で述べ536人でした；編集部注] 次回はもっと多くの子供達が参加してくれることを望みます。

ただ、講師の先生達による質問への回答が、これまで丁寧で熱意のこもったもので、今回参加された生徒の皆さんは、ずいぶん得をされたのではないでしょう。特に太陽系については、私も知らなかったことを沢山教えてもらいました。

宇宙研と子供達との交流の場として、これからも宇宙学校が元気に続いていくくれるよう、すこしでもお手伝いさせていただきたいと思っています。

(村上 浩)

★「のぞみ」による地球プラズマ圏の極端紫外光撮像

火星探査機「のぞみ」に搭載された極端紫外光スキャナー (XUV) は、1998年9月9日にパーキング軌道上からヘリウムイオンの共鳴散乱光(30.4nm)による地球プラズマ圏のグローバルな撮像観測に世界で初めて成功した(表紙の図参照)。この図はプラズマ圏の夕方側半分の形状を示したものであり、午前側は姿勢および軌道の制約から観測できなかった。その強度は最大で約10レイリーとなり、理論的予測と良く合っている。

プラズマ圏の境界は地球半径の約4倍の距離にあり、同時にin situで観測された「あけぼの」衛星の結果とも一致した。この結果は、予想外に多量のプラズマがプラズマ圏から散逸し、昼側磁気圏境界まで達していることを示唆している。図中の地球は「のぞみ」搭載マースイメーシングカメラ (MIC) による画像である(向井正(神戸大理)、野田寛大(東大院理)提供)。白い線は双極子磁場を仮定した時の、地方時6、18時のL=4、6の磁力線である(L値は、磁力線が赤道面を切る位置と地球中心の距離で地球半径で表した値)。ピンクの線は「のぞみ」の軌道を示す。

XUVは、新たに開発されたMo/Si多層膜反射鏡を用いた口径6cmの極端紫外望遠鏡であり、ヘリウムガスとイオンの共鳴散乱光(30.4nm, 58.4nm)の撮像観測により火星大気中のその分布と総量を明らかにすることを目的としている。今後、更に高性能化を図り、月探査衛星セレーネに搭載して、地球プラズマ圏及び磁気圏尾部の高効率・高精度な撮像観測を予定している。

この成果は、XUVの製作、較正、運用、データ解析を担当した中村正人、山崎敦、塩見慶(東大院理)、吉川一朗(宇宙研)、滝澤慶之(理研)の尽力によって得られたものである。

(名古屋大学大学院理学研究科 山下広順)

M-V-4/ASTRO-Eの打上げ失敗について

2000年2月10日(木)午前10時30分に、鹿児島宇宙空間観測所から打ち上げられたM-Vロケット4号機は、第1段モータの燃焼中に生じた異状により、X線天文衛星ASTRO-Eを所定の軌道に投入することができませんでした。

ロケットは第1段の点火後、予定された飛翔経路に沿って順調に飛行をつづけておりましたが、打上げ後41.5秒に第1段モータの内圧が急激に低下し、同55秒に大きな姿勢の乱れが発生して軌道が予定より高くなり、第1段燃え終わりの速度が計画を下回りました。その後第2段と第3段は、内之浦の地上局から誘導指令電波を送り、第1段の速度不足を補うために懸命の努力をしましたが、十分に回復することができず、ついにASTRO-E衛星を所定の軌道に投入することができませんでした。

現在、所外の専門家を含む「M-V-4号機調査特別委員会」を設置し、詳細な調査と徹底的な原因究明及び今後の対策についての検討を開始しています。

すでに国内外の多くの人々から、同情と激励の手紙が届いています。とりわけ有り難いのは、ESA(ヨーロッパ宇宙機関)の科学計画局長ロジェ・ボ

ネ博士から「1999年12月に打ち上げたヨーロッパのX線天文衛星〈XMM-ニュートン〉の観測時間の一部を日本の研究者に使って頂きたい」という涙の出るような申し出があったことです。これは日本のX線天文学の高いレベルに対する最高の敬意であると考えます。

日本のX線天文学とそれを支えるロケット・グループは、1976年の「コルサ」衛星の打上げ失敗にもめげず、不死鳥のように再起し、わずか3年で「はくちょう」(1979年)によって雪辱を果たした歴史を持っています。以来、常に世界のX線天文学をリードし、アメリカ・ヨーロッパ・ロシアの国々の科学者とともに宇宙の謎に挑戦しつづけてきています。世界の科学者は、互いにライバルであると同時に、宇宙の謎を解く事業における同志でもあります。ボネ博士の提案のような暖かい申し出は、こうした科学者同士の固い団結と高い連帯の精神の発露です。ISASニュース編集委員会は、今回の打上げ失敗が宇宙科学研究所の魅りの契機になることを心から期待しています。

「おおすみ」30周年

野 村 民 也

「おおすみ」が誕生して満30年、記念として何か書けと云う松尾編集長からの依頼である。「おおすみ」を打ち上げたL-4S型ロケットの計画の始まりや、何度にも亘る失敗の経緯、打上げに成功した日の模様などについては既に纏めてあり、その一部、特にL-4S計画の技術面の評価に就いては「宇宙空間観測30年史」にも採録されているから、それらと重複を避けて「おおすみ」の誕生に就いて、改めて思い起こして見たい。今春、大学時代の同級生から貰った年賀状に「H-II（の失敗）や臨界事故に民族の疲労の様なものを感じます。ラムダの時代は本当に良かった。緊迫感がありました」とあった。L-4S計画が始まった1964年は東京オリンピックの年である。東海道新幹線が開業し、高速道路も建設されて、世の中は高度成長期の熱気に包まれていた。L-4Sは失敗が重なり、公にはマスコミなどの厳しい批判に晒されたが、その一方で、私に^{ひそ}かに激励・声援を送って下さる方々が少なくなかったのは、矢張り、新しい挑戦的な試みに興奮する時代風潮の反映であったのであろう。当初、科学衛星計画におけるM-4Sロケットのテスト機と云う位置付けであったL-4Sは、何時しかそれ自体、目的と化していた。

L-4S型ロケットは、1号機を打ち上げた1966年度に3機、「おおすみ」が打ち上げられた1969年度にも、L-4T型1機を含め3機が製作されている。これだけの機数を用意できたのは、当時は第1次オイルショックの前であり、経済の好況に支えられて国の財政に余裕があったこともあるが、政府筋にもこの計画を是認し、支持する向きがあったと云うことであろう。「おおすみ」誕生の直後、当時の佐藤栄作総理は玉木・齋藤両先生を官邸に招いて、昼食を共にして労を労われた。また「おおすみ」の成功の2ヶ月後に中国が初の人工衛星「東方紅」を打ち上げた時、「兎も角も先に上がっていて良かった」と云われたそうであるが、これにも、同総理のこの計画に掛けた一種の期待感が読み取れるように思う。因みに糸川先生は、一時期、同総理のブレインであった。

科学衛星計画の本命はMロケットである。その開発の具体的な第一歩は、1964年の1/3サイズの第1段の地上燃焼実験に始まる。従って、Mロケットの開発はL-4S計画とほぼ並行しているが、「宇宙空間観測30年史」の年表によると、開発のための地上試験は、L-4Sの開発に比べ、遥かに細かく丁寧に行われている。こ

の違いは、Mロケットが全くの新規開発であるのに対して、L-4Sは既開発のL-3Hロケットが土台になっていることによるのであるが、既開発と思っていた技術に思わぬ落とし穴が潜んでおり、その辺に対する注意に欠ける所があったことが悔やまれる。その一つが1段目の切離し技術である。成型火薬によるノイマン効果を利用したものであるが、その薬量の多さは、「お前達はロケットを壊す気か」と米国の専門家を呆れさせたと云う。切離しの衝撃が、2号機における4段目の結合外れを招き、然らば結合を強くすれば良からうと、3号機で結合用のピンをアルミから鉄に安易に変えた結果、却って結合を切れ易くしてしまった。

「おおすみ」成功に至る過程で、最も残念なのが4号機である。それに先だって行われたL-4Tの打上げで明らかになった残留推力の問題に対処するため、姿勢制御装置を含む4段目に、小型のキックモータを付けることとしていたのが、一寸した不注意からそれが適わなくなってしまった。本来ならば、ここで4号機の打上げを延期し、十分な処置を施した上で打上げに臨むべきであったと思う。そうすれば、時期は同じようなものであっても、4号機を以て衛星を誕生させることができたであろう。L-4Tから4号機の打上げに至るまでは僅か3週間足らず、この間に急遽行われた実験による残留推力の大きさの推定から、4段目の切離し時期を遅らせることで追突は避けられると云う結論で4号機は打ち上げられたのであるが、結果は、切離し時期



を遅らせたことが却って裏目に出、制御を終えた4段目の姿勢に、回復不能な乱れを与える結果となってしまった。現在のM-V型ロケットの技術は、極めて高い完成度に達している。今後は、部分的な改良程度はあるであろうが、全システムを通じて新しいロケットの開発を、宇宙研が手掛ける機会はないのではないかと。「おおすみ」が誕生して30年、草創の頃から苦楽を共にしてきた職員諸君も、多くは宇宙研を去った。これからは、皆が丸丸となって共に成功の美酒に酔い、時には失敗に涙すると云った光景には、お目に掛かれなくなるのではないかと。宇宙研は、旧き良き時代に別れを告げるターニングポイントに差し掛かっている。宇宙研の将来、特に工学系の将来に如何なる方向性を与えるのか、大切な時期である。大変なことと思うが、松尾新所長に大いに期待したい。

(名誉教授 のむら・たみや)

赤外線天文学は極低温冷却技術と不可分に結びついて発展してきた。赤外線観測において冷却が必要なには二つの大きな理由がある。第一は通常赤外線検出器として使われる半導体の性質によるものである。赤外線領域で使われる半導体中の電子のエネルギーギャップは常温での熱運動のエネルギーより小さいため、冷却しないと雑音ばかりで感度が無くなってしまうのである。

第二は宇宙からの赤外線観測では観測装置全体を冷却することによって感度を大幅に向上させることができることである。地上の通常の物体は常温で波長10ミクロンを中心とした大量の赤外線を熱放射しており、地上観測ではこれが最大の雑音源となっている。しかし、宇宙では望遠鏡や観測装置を冷却すれば、まわりに熱放射源はなく、雑音が無視できる状態を実現できる。つまり、宇宙からの赤外線観測では、大気による吸収で邪魔をされ地上から観測できない波長で観測できることだけでなく、このように感度が飛躍的に高くなるというメリットも存在するわけである。

地上の実験室では液体ヘリウムや液体窒素などの冷媒を用いたデュアーで容易に冷却ができるが、宇宙における冷却はそれほど簡単ではない。液体は無重量状態では表面張力によってタンク内壁に張り付いてしまい、冷媒が気化した気体だけを取り出すことが難しい。このため、超流動液体ヘリウムと熱機械効果を利用するポーラスプラグ（セラミック等の細かい粒を固めたプラグ）が通常用いられる。超流動液体ヘリウムがビーカーの縁をはい上がるのと基本的には同じ原理である。

また、打ち上げ時に持つことのできる限られた量の冷媒を長い期間保持するためには、外部から極低温部に流入する熱量をできるだけ小さくすることが求められる。GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）等の熱伝導率が低くかつ強度がある複合材料によって極低温部を吊る構造や、MLI（放射による熱流入を断つ多層膜）等による放射断熱など、さまざまな工夫が必要とされる。

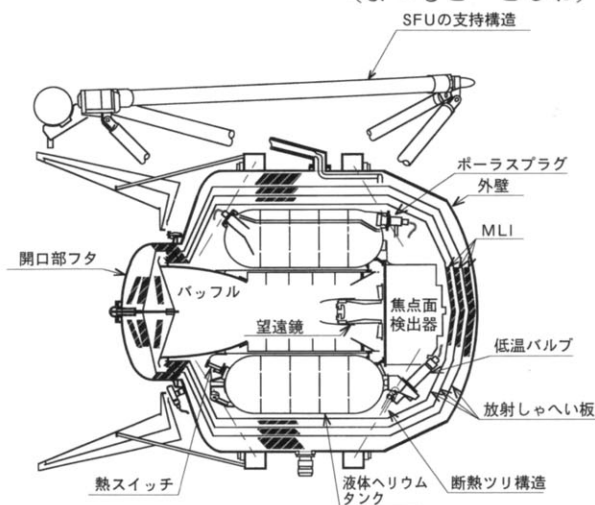
このように宇宙での冷却は、さまざまな技術が総合されてはじめて実現できるものであり、そのためか、宇宙からの赤外線天文観測は他波長に比しやや遅れて始まった。最初の赤外線天文衛星はNASAのIRASで1983年に打ち上げられたが、それ以後もCOBE、ISO等片手で数えられる赤外線天文衛星が打ち上げられているに過ぎない。我が国では先駆的なロケット観測を

受け、1995年に赤外線望遠鏡IRTSを搭載したSFUが打ち上げられた。図はIRTSの断面図であり、軌道赤外線望遠鏡の標準的な構造を示している。IRTSは望遠鏡を絶対温度2度に冷却するとともに、ヘリウム3（ヘリウムの同位体）の吸着式冷凍機を内蔵し検出器を絶対温度0.3度に冷却した。これはその時点で、衛星で実現した最低温記録と思われる。IRTSは若田さんによって回収され、現在は宇宙科学研究所本館1階ロビーに展示されている。一度じっくりと見ていただきたい。

IRTS以後も宇宙研の衛星には宇宙での冷却技術が積極的に取り入れられている。X線天文衛星ASTRO-Eには断熱消磁冷凍機が搭載され、宇宙機での最低温記録、絶対温度0.1度を目指した。

ところで、図に示したような赤外線望遠鏡の構造は簡便とはいえ、大きな問題を抱えている。液体ヘリウムなどの冷媒を積む以上その寿命に限りがある。また、地上試験や打上げ時でも真空断熱するため装置全体を真空容器とする必要があり、望遠鏡の大きさに比し容器の重量が大きくなり、大口径望遠鏡を宇宙にあげることが非現実的になってしまう。これを解決するために常温で望遠鏡を打ち上げ、宇宙に投入された後に機械式冷凍機によって望遠鏡を冷却する方式が将来に向け考えられている。2003年に打上げが予定されている赤外線天文衛星ASTRO-Fには世界で初めて2段スターリング冷凍機が搭載され、少量の液体ヘリウムで長期間の観測の実現を目指している。これが将来の夢につながる第一歩となることを望んでいる。

（まつもと・としお）



SFU搭載の赤外線望遠鏡IRTSの断面図

インド物理学研究所訪問記

小 杉 健 郎

インドの大地には我々の日常の生の営みとは異なったペースで悠久の時間が流れている。これはたしか、堀田善衛『インドで考える』のなかの一節です。インドを旅すると、やみつきになるか二度と来たくなくなるか、どちらかだとも書いてあったと思います。私は後者のようです。インド訪問はこれが三度目です。

インド宇宙局の物理学研究所（Physical Research Laboratory ; PRL）のJain博士から、「ようこう」の成果を踏まえて、インドで進行中の太陽フレアX線分光観測（SOXS）計画に助言をしてくれとの依頼が飛び込んできたのは今年の夏まえのことでした。なにしろ、インドには3つの季節（hot, hotter, hottest）しかありませんから、すこし涼しくなった頃を見計らって出かけたわけです。

1月16日、日曜日、夕刻ニューデリー着。インド科学技術省のプロトコル・オフィサーPrakashさんに出迎えていただき、ゲストハウスへ。民家の2階を借り切ったゲストハウスは、一流ホテルなみとは言えないにしても、まあまあでした。翌朝は3時半に起床、6時の飛行機でPRLの所在地アーメダバードへ。ゲストハウスで一服したのち、10時にPRLに行き、SOXS計画のミーティングに参加。このミーティングにはバンガロールのインド天体物理学研究所（Indian Institute of Astrophysics ; IIA）その他からの参加者も含めて、約20名ほどが出席していました。

月曜午前にさっそく「ようこう」の一般的紹介。午後には「ようこう」の観測装置について、やや詳しい話をしました。火曜、水曜も、SOXS計画について要所所で意見を求められるので、うとうとすることもできません。また、太陽フレア磁気リコネクション説、日本の太陽物理学の現状、アメリカのHESSI計画を紹介して、意見交換。木曜日、全所のコロキウムで100名ほどの聴衆を相手に再度「ようこう」の成果を話しました。また、Agarwal所長を表敬訪問しました。

というわけで、PRLではハードスケジュールでした。でも楽しいことも多々ありました。ゲストハウスからPRLまでの徒歩で15分くらいの道すがら、孔雀やオウム、リスなどの野生動物に接することができました。ゲストハウスにはイギリス人教授ご夫妻が滞在中で、食事ときには楽しい会話がはずみました。教授

は昔オーストラリアのCSIROでPaul Wild教授について太陽電波天文学を学んだとのことで、共通の話題があったことも幸いでした。

問題は、アーメダバードが属するジャイムール州がドライ・ステートであったということ。砂漠に近く、駱駝が街を歩いていることが問題なのではありません。酒を売っていないのです。成田でウィスキーを買って行って正解でした。でも、インド人を私の部屋に招待して酒盛りをやったのは、違法だったかな？

毎日毎日、ゲストハウスのコックさんが腕によりをかけて3食を作ってくれるのですが、全くのベジタリアン・フード。せめてタンドリー・チキンぐらいは一度でいいから食わせろと支配人と交渉、色よい返事は貰えたものの、私の出発までにはとうとう出てきませんでした。3ヶ月滞在すると言ってたあのイギリス人ご夫妻は今ごろ食べさせてもらえたのでしょうか？

木曜日には夜行列車で8時間かけて250キロほど北上、次の目的地ウダイプールに行きました。ここはPRLのウダイプール太陽観測所の所在地です。また、長い歴史を誇る有名な観光地でもあります。ここで旧知のBhatnagar先生ほかの方々と、じっくり日印の太陽物理学共同研究の相談ができました。ウダイプールは日震学の世界的ネットワークであるGONGの観測基地のひとつで、この方面の研究がさかんです。太陽活動の光学観測も、年間300日以上晴天という好立地を活かして、活発に行われています。光学干渉計による高分解能観測の基地実験もやっています。金曜、土曜だけの短い滞在でしたが、若い研究者が自分の研究を熱っぽく紹介しコメントを求めてくる、その熱心さには胸を打たれました。この若い人たちには、土曜の午後、ウダイプールの王宮や近郊のヒンズー寺院を案内していただきました。多謝。

というわけで、中身の濃いインド訪問になりました。日曜日にニューデリーに戻り、帰国の飛行機を待つ午後のひととき、再びインド科学技術省のPrakashさんにお世話になって、クトブの塔などの観光名所を訪れることができました。このインド訪問は、日本学術振興会とインド科学技術省による日印科学技術協力事業により実現したものです。関係各位に深謝。

（こすぎ・たけお）

液体水素の巻

長友信人

私は大学の卒業設計で日本最初の液体水素エンジンの設計をして以来、液体水素ロケットを作りたくて仕方ありませんでした。しかし、電話一本で液体水素を届けてくれる現在とは違い、水素ガスを買って自分で液化する以外に方法がない時代です。その液化器も、液体水素ロケットというのはまだ日本国の宇宙開発の予定表にはなかったもので、宇宙予算からは出てきません。そこで私は講座研究費をヘソくって2年かかって毎時2リットルの研究用の液化器を買いました。これを駒場の今はなき耐爆実験室でこっそり組み立てていたのですが、原料の水素ガスを真っ赤なボンベで何十本も運び込むと一騒ぎ起きそうなので、白状したところ「能代でやれ」ということになりました。

能代実験場は固体ロケットの地上燃焼実験設備しかなかったのですが、その少し前から二次流体噴射の推力方向制御の実験に必要なとか何とか理屈を付けて建物や台車の運べる軌道を作ってもらい、これを100%利用する台車式のテストスタンドを作りました。諸先生のご理解で推進研究班の基礎開発研究費をいただき、経費節約のために主なものは基本的な加工だけをユシヤ製作所に外注し、残りの鉄骨の枠組みや配管は、日本最初の液体水素ロケット実験チーム（私と橋本保成君の二人）が自らアセチレンと電気溶接機を使って作ったのであります。

このチームの目標は再生冷却式推力1トン燃焼器の実験で、この燃焼器も最終の銀蠟付けを三菱名航にお願いした以外はパイプの購入、成形加工までは工作工場と協力して完成させ、何が何でもやり遂げたいという気がありました。

ただ、液化器がだだっ子で、メーカーの住重平塚の楠井さんがあやしているうちは良いのですが、調整が終わって帰ってしまうと途端に気むずかしくなり、これに慣れるのに2、3回能代往復をしました。最初の実験チームの旅費は私の教官旅費だけで、とても旅館には泊まれず、しばらく能代実験場の三浦さんにお世話になりました。

液化器はいつも付き添って面倒を見ているとまああご機嫌よく、運転にも慣れてきました。普通は朝5時に起きて液体窒素で予冷し始めて、ジュールトムソン弁が働き出すのが7時前、9時に液面計の針がぴくぴく動き始めて溜まってきたぞと眺めつつ、運んできた朝飯をその場で食べる。そうやって昼飯も食べる。時々液体水素をロケットのタンクに移して、これが冷えて溜まってくれば本当に燃料として使える液体水素です。もともとロケット燃料として使うような量を作る装置ではないので、夕方の5時頃にはむずかりだすのでここで止めて、液化器の水素をロケットのタンクに全部移して晩飯です。

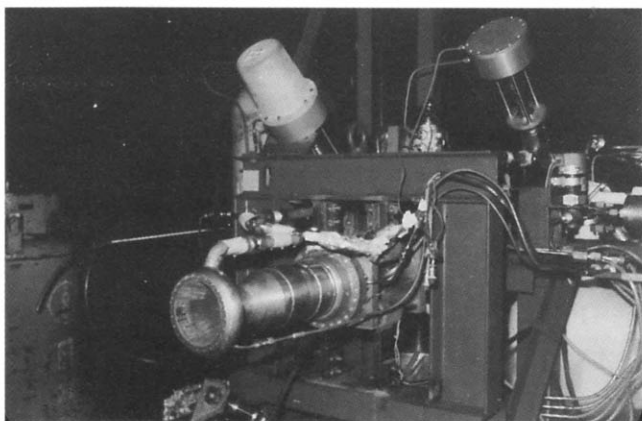
夜なべは液化器の台車からロケットの台車を切り離して、実験する位置に押し出して計測の配線をし終わった時は、100キロ推力の燃焼器では10時、1トン推力の燃焼器の場合は翌日の午前1時過ぎです。そこで気を落ち着けて最後の準備というわけです。

1トンの時は大事をとって海岸近くの大規模テストスタンドの所までエンジン台車を出しました。私は実験主任の特権で近くのテストスタンドの建屋の陰にかくれて秒読みを待ちました。風もなく波が静かな夜で、秒読みの声をはっきり聞こえます。バルブが次々と開く音が聞こえます。シナリオ通りであれば、「次はこの辺り一帯が轟音に包まれて昼間のように明るくなる」はずの瞬間、音響はシャーッと弱々しく、夜目にも白くガスと液体が流れ出しました。確信は期待に、期待は疑惑に変わり、いつまで続くのかと思われる長い間むなしく流れ続け、やがて静寂が戻ってきました。実はその間数秒、まるまる1日かけて作った液体水素は液体酸素と共に能代海岸の夜空に蒸発してしまったのであります。明るいシナリオは掻き消えてただの暗闇の中、重い気分で押すロケットの台車のこれまた重いこと。眠たい頭の中では、点火器への疑い、火付きの悪い水素への愚痴、実験の金の心配等、要するに悔しさだけが目覚めていました。

結局、私が本当にやりたかった液体水素ロケットは、1トン燃焼器の試作をただけで、あとは水素の液化や装置作り等、やりたくもない仕事ばかりやって終わりにになりました。それから20年以上経って久しぶりに能代に行ったときもこの実験を思い出して、「1トンの実験は出来なくて残念だった」と思いこんでいたのですが、最近、日記を読み返していて「今度はうまくいった。うれしかった」と一言書いてあるのを発見して驚きました。失敗したショックが強過ぎて、次の実験に成功した記憶が残らなかったらしいのです。

（この項終わり）

（ながとも・まこと）



液体水素ロケット推力1トン燃焼実験装置



わき役・予感・引き際

林 紀 幸

芝居の世界では主役とわき役がある。どんな世界でも、主役をつとめる人、わき役をつとめる人がおのずといる。宇宙科学研究所でもその役割ははっきりしている。教授・助教授・助手・技官と言うように。我々技官層のわき役の中にも、目立つわき役と目立たないけれど、キラリと光るわき役がいる。それぞれ自分達は何をしなければいけないか、良く仕事に対して理解していて、ロケットの実験と言う目的（頂点）に向けて、心を一つにして進む。

私は42年間ロケット班の一員として、秋田県道川のロケット実験場、能代実験場（地上テスト）、鹿児島県内之浦と約430機のロケット飛翔実験と地上テストにわき役と言うより裏方として参加してきた、おそらく平和目的のロケット飛翔をこの目で確かめた（機数では）世界でも数少ない一人ではないか。

初めてロケット実験に参加したのは昭和33年4月K-150T-1号機で勿論道川実験場だった。糸川先生始め皆さん年齢が若く、生き生きとして議論に夢中になっている姿は、今でも忘れられない。ロケットの技術的なことが少し解りかけてきた頃だったと思う。そしてその後ロケットが大型化するにつれて、宇宙開発事業団が発足し、ロケット時代を迎えるわけだが、常にこの最初のロケット開発に携わった人達がイニシアチブをとって、日本の宇宙開発を支えてきたと言っても過言ではない。

今時代は変わろうとしている。日本でも相次ぐロケットの失敗、アメリカの火星探査機の着陸失敗など、ロケット先進国の方がより多くの問題を抱えているように思える。世の中が不況になるとパーツの品質が悪くなる、というのが私の持論。小さなビス1本まで製造する人たちが、この部品がどのようにロケットに使用されているか、理解していることが理想である。そしてそれを使う側も、機能部品も適切に組み立て、必要な時に完全に故障しないで力を発揮させるよう細心の注意で望むことである。

失敗と言えばこの42年間で何機のロケットの失敗に直面したか、昭和33年頃は発射するとロケットは正常に飛翔するが、電子機器（今は電子だが、その頃は真空管）が故障することが多く、データの取得がままな

らない状態が続いた。昭和34年にK-7-1号機が、昭和37年5月24日には点火と同時にK-8-10号機が大爆発する事故になった。結局秋田県道川はその後実験場として使用することならぬと、町当局から言い渡され現在に至っている。

鹿児島県内之浦町の宇宙空間観測所（KSC）は昭和37年8月から本格的に稼動を開始、現在まで372機の飛翔が行われた。KSCでも失敗はある。ラムダロケットが人工衛星を軌道に投入しようとして、失敗が続いている頃、K-10C-2号機が、姿勢制御装置の故障により、第2段ロケットがランチャ上で点火、第2段ロケットのみ飛翔する事故が起こった。新聞沙汰になる大きな事故は秋田・鹿児島でのこの2件であるが、小さな失敗は他にもあった。ラムダロケットは軌道に乗せられないこと4回、振り返って見ると、背筋の寒い日が続いた……。

その頃自分の中で変化が起こりつつあった。それはL-4S-4号機実験前の予感である。ふとこのロケットは失敗するのでは、という予感、それは現実になり、その後いくつかのロケットでも似たようなことが起きた。

根拠と言う程のことではないが、秋田県能代実験場で雪の夜、一時間に一度モータの温度計測を言いつかり、吹雪の中に出るのが大変なので、モータのそばに目覚まし持参で毛布を持ち込み寝起き（何日も）していたことがある。ロケットと一体となって寝起きをしているうちにロケットと仲良くなり、いつの間にか、ロケットと話ができる人になっていたのではないか、これは私だけが持つ特殊な状態だと自負しているが、本当のところは解らない。

何はともあれ、42年間、宇宙科学研究所では、人身事故もなく、私自身は健康で過ごせたことは、私を理解してくださった方たちのおかげである、と心から思う。今こうして引き際にあたって、思い残すことなく、潔く、後輩である吉田裕二君にすべてを託したいと……。

（はやし・のりゆき）



「私と内之浦」

小川原 嘉 明

内之浦の実験場に来るようになってすでに30年以上が過ぎた。この間、何回くらいここまで往復したのか数えたことは無いが、多分100回前後になっているような気がする。

初めてここへきた時の記憶は極めて鮮烈である。東京から夜行寝台車で20時間以上かけて西鹿児島駅に到着、鹿児島市内でひと息いれて食事、買物を済ませ、さてこれからいよいよさらなる遠方の地内之浦へ向かうのだと覚悟を新たにして垂水行きの栈橋へと急いだものである。今の桜島栈橋の近くにあった船着場から漁船のような粗末な船で湾を斜めに横切り、垂水に着く。今より遥かに長い時間がかかったはずであるが、その前後の旅の時間に比べるとこの船に乗っている時間などは全く気にならなかった。

さらに垂水から、実験場の車（定員10名程度の小さな車）に乗り、大隅半島を横切ったあと海岸沿いの崖っ縁の曲がりくねった坂道を数時間縫うように走り、ようやく内之浦町に入る。この坂道が極め付きのラフロードで、舗装など全くない雨上がりの山道に人の頭ほどの石がゴロゴロ転がっていて後ろの方におとなしく座っていた私は、跳ね上げられて車の天井に頭をぶつけてしまいながら「いったいこの道をどうやってあのロケットを運んだんだろう」とただただ感心しながら丸1日半近い行程を終えた。真夏の灼熱の日射しが降り注ぐ町の表通りには、砂埃の中を子供達が元気に裸足で駆け回っていた。

以来幾星霜、夜行寝台列車はやがて途中まで新幹線、そして今では内之浦行きは飛行機の利用が普通になり、雨が降る度に崖崩れで”通行止め”になった崖っ縁の難路も、拡幅、ショートカット、舗装、を重ね、今では羽田空港を出てからほとんど5時間で内之浦の町に立てるようになった。このような目覚ましい変遷は、実験場の施設整備拡張とともに、高度成長に伴う社会全体の基盤整備が整ってきたことによるものであろう。

僅か24kgの試験衛星「おおすみ」から始まった科学衛星計画も1.7トンの第19号衛星ASTRO-Eにまで成長した。しかし、いま日本の社会全体が根本的な構造の見直しをせまられ、厳しい改革を進めている。行政

改革の一環として宇宙開発全体の体制の議論も活発に行われている。しかし、もっと身近な現実問題として、今宇宙研が既定計画としてすすめているM-Vによる各ミッションも、その実現のためには今の宇宙研の衣はいささか小さすぎてその成長した体に合わなくなっていることは明らかである。今回、ASTRO-Eの開発を進めてみてその感をますます深くした。

我々観測担当の苦労は当然であるにしても、特に衛星の構造、熱、姿勢制御、打上げなどを担当する宇宙工学関係者の負担もほとんど限界にきているように思われる。各種施設の整備も勿論であるが、最も重要なことは、研究所の体制の見直しであろう。これから予定されている各ミッションは科学的な意義は十分に高いが、技術的な障壁の高さも大変なものである。このような先端的な技術に支えられた科学ミッションの遂行こそまさに宇宙研の任務である。今回の行政改革が今後の正しい発展の良い足がかりとなることを切望する。

ところで今、久しぶりにASTRO-E衛星打ち上げのため内之浦の実験場に長期滞在し、昔なじみの宿で、文字通り「いも焼酎」を傾けながらこれを書いている。「銀河荘」は新しく「コスモピア」に生まれ変わり、温泉もでき、町の様相はすっかり変わってしまった。しかし、実験場の皆さんをはじめ町の人たちの暖かい心は少しも変わっていない。間もなく宇宙研を去るが、最後まで精一杯働く機会を与えられたことに深く感謝しながら飲むお湯割コップの向こうに、これまで苦楽を共にした多くの人々、お世話になった多くの人々の顔が浮かんでくる。

(おがわら・よしあき)



今、内之浦から帰ってきて、校正をしながら原稿を読みなおしています(原稿は先月末に集めたもの)。

後輩の我々に「しっかりやれ!頼むぞ!」という原稿が多くて励まされてしまうのは、ASTRO-Eの打ち上げが残念な結果に終わったからでしょうか。(早川)

ISASニュース

No.227 2000.2

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8009

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話(庶務課法規・出版係)までお願いいたします。(無断転載不可)

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