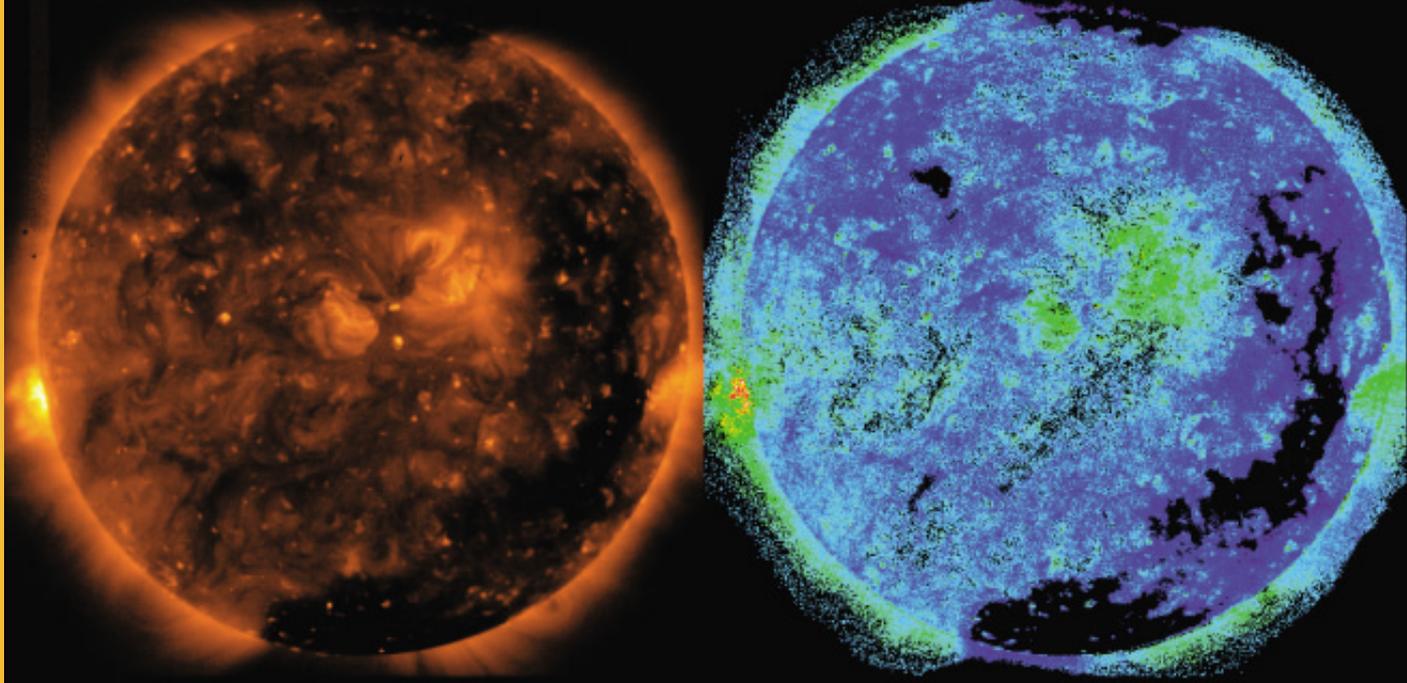


2007/02/15

100万度 250万度 400万度



太陽観測衛星「ひので」のX線望遠鏡 (XRT) がとらえた太陽全面像 (左) とその温度マップ (右)

## 宇宙科学最前線

# 上手な衛星姿勢制御系の作り方 「れいめい」衛星開発日記

坂井真一郎

宇宙探査工学研究系 助教授

### はじめに

「れいめい」衛星は、2005年8月にバイコヌール宇宙基地から打ち上げられた約70kgの小型科学衛星で、すでに2006年1月号の本欄でも紹介された通り、カメラや各種センサを駆使してオーロラ観測を行っています(図1)。このような観測のためには、衛星姿勢を狙った方向に制御する機能が必要となりますが、「れいめい」衛星では軽量化のため、これを主に磁気トルカと呼ばれる電磁石で行っています。電磁石と地磁場の間に生じる微小な回転力(トルクと呼ぶ)を利用する方法です。最終的には、軌道上で姿勢が乱れる様子から衛星がわずかに帯びている磁気を推定する方法まで開発し

て、小型衛星としては高性能な制御性能(誤差0.1度程度)を実現しています。

「れいめい」衛星のコンセプトの一つとして、インハウス開発が掲げられていました。姿勢制御系の場合でいうなら、センサなどの機器は購入する、ただし各種試験は自分たちで行う、そしてこれら機器を束ねるソフトウェアのプログラムはすべて自分たちの手で書く、という方針です。ところが、これに当たる数名のチームは、まだ採用されたばかりの私をはじめ学生に至るまで、衛星など作ったことのない素人ばかりでした。当然、開発は試行錯誤の連続になります。今回はこの、「れいめい」衛星の姿勢制御系開発において経験した苦労や工夫について紹介してみたいと思います。



図1 太陽電池パドル展開状態の「れいめい」衛星

## シミュレータを活用した制御系設計

私は大学時代、「実験によるチューニングなしに制御系を設計してはならない」と教えられて育ちました。ところが人工衛星の場合、打ち上げるまで“実験”はできないわけです。それまで宇宙分野と縁がなかった私は、まずここで途方に暮れました。残る手段は計算機シミュレーションの活用しかなかったので、概略、以下のような作戦を立てました。

- (1) ロケット分離直後に実施される初期姿勢捕捉の制御については、失敗が許されない重要な制御であるので、徹底的にシミュレーションを行う。
- (2) 定常観測用の制御系は、磁気姿勢制御であるためその安定性が理論的に保証できず、同様に慎重な検証が本来必要であるが、観測条件などによって無数のケースが想定され、現実的でない。そこで、むしろ毎日の運用計画を作成する際のチェック用シミュレーションを重視する。

(1) で用いた手法は、乱数をもとにパラメータを生成するモンテカルロ法と呼ばれるものですが、これは膨大な計算時間を必要とします。例えば1ケース20分ほどかかる計算を、さまざまな条件を変えながら実行していく必要があるからです。確認できるだけでも、4万ケース以上のデータが残っています。

そのため、複数のパソコンをネットワークでつないで分散処理をする仕組みを構築しました。といっても大掛かりなものではなく、初期条件ファイルをネットワークで配り計算開始、終わったところに結果を回収する自動プログラムを1週間ほどかけて作っただけです。開発メンバーに声を掛けて、最大で10台程度のパソコンをこの仕組みに組み込んでいました。

この仕組みを作っておいたおかげで、助かったこともあります。打上げロケットが変更になったとき、念のためと思って2000ケースほどのシミュレーションを行ったところ、正常に太陽捕捉できないケースが数例見つかりました。その後、詳しく調べたとこ

ろ、新しい軌道では地磁場の関係と太陽方向の関係がある特殊な、不幸な状態に陥る場合があることが分かったのです。慌てて制御則を工夫して対応したのですが、気付いたのが打上げ半年前のことだったので、短時間で多数のシミュレーションを実行できるこの仕組みがなかったらと思うと、ちょっとぞっとします。

## シミュレータを活用する衛星運用

一度打ち上げてしまった人工衛星はもう直すことができないため、十分な地上試験は絶対に必要です。一方、複雑さを増しているソフトウェアについては、必ずしもいわゆる地上試験によるチェックだけでは十分ではない、とも感じています。

というのも、さまざまな条件の組み合わせでソフトウェアの挙動は変わるからです。「れいめい」衛星の姿勢制御機能も、例えば地磁場の条件やオーロラ観測するタイミングなど、さまざまな条件に左右されます。このすべての組み合わせを、事前のいわゆる地上試験で網羅するのは、事実上不可能です。このような問題は最近では広く認識されており、例えばソフトウェアを自動的にチェックする研究なども行われています。しかし、このような手法を「れいめい」衛星に採用するのはまだ難しかったため、私たちは、衛星運用の前のチェックを重視するというアプローチを取りました。

そのための道具は二つあります。一つは、パソコン上で実行されるシミュレーションソフトです。ここでは簡単に、これを「ソフトシミュレータ」と呼ぶことにします。搭載ソフトウェアに、センサなどの機器の動作、衛星の運動、地上から送信されるコマンド処理などを再現するプログラムを組み合わせたもので、軌道上での制御ソフトウェアの挙動をかなりの精度で再現できるものです。先に述べた地上試験用シミュレーションプログラムは、前節(2)でも触れた通り、実はこれを見越して開発してあったので、ほぼそのまま流用することができました。

この「ソフトシミュレータ」では、実際の時間より高速な計算が可能で、例えば24時間分の衛星挙動を5分程度で計算することができます。このため、日々の運用計画立案の1ステップとして、このチェックが行われています(図2)。この一連の運用計画立案ソフトウェアは、学生が中心となり構築したのですが、いろいろな処理がなるべく自動的に行われるように工夫しており、小規模な運用体制(1日当たり1~2名程度)でも大きな負担にならないようになっています。

運用前チェックのためのもう一つの道具は、衛星ダイナミクスを計算するパソコンと、各種センサなどの電気信号を模擬できる装置、そして搭載計

算機の試験モデルからなるもので、いわば「ハードシミュレータ」とでも呼ぶべきものです(図3)。このハードシミュレータのよい点は、例えば、搭載計算機に起因する細かい問題点まで見つげられることです。その代わりに、24時間分の衛星挙動チェックには実際に24時間かかる、という欠点もあります。ですから、初期運用時や初めて行う特殊な運用の前に、この「ハードシミュレータ」を用いたチェックを行っています。例えば、初期運用時には衛星運用装置の横にこのハードシミュレータを置き、運用前にまずこれに送信予定コマンドを送ってみて、問題がないことを確認する手順となっていました。

実際に、問題あるコマンドを見つけて回避した経験もあります。「ある順番でコマンドを送信すると、コンパイラ起因の問題を誘発して計算機がハングアップする」という問題だったのですが、各コマンド自体はそれぞれ地上試験で試験済みだったため、直前まで問題に気がませんでした。個人的な意見ですが、ソフトウェアの問題にはこのように複雑な条件が絡むものが多く、これを地上試験ですべて網羅するのは、ほとんど不可能だと思っています。ですから、重要機能に絞って徹底的な試験をすることと、ソフトウェアのバグは残っていると覚悟して運用前のチェック機能を充実させることが、肝要であると感じています。

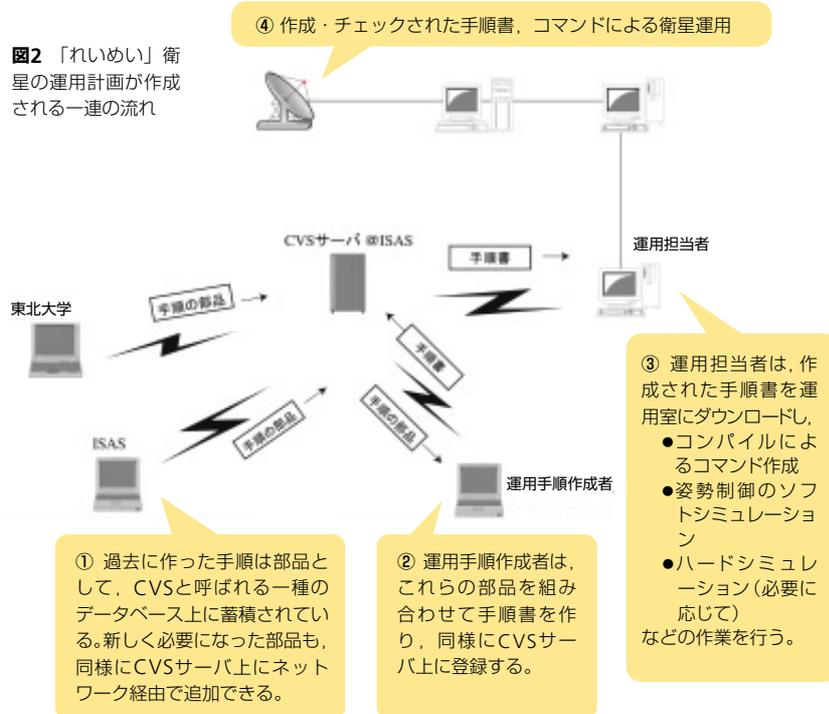
### 苦勞した点、反省点は?

うまくいかなかった点、反省すべき点についても触れてみたいと思います。

個人的な「れいめい」衛星開発の反省は、開発に時間がかかった点です。小型衛星といいながら、私が参加してからでも4~5年ほどの時間を費やしてしまいました。新規開発の衛星、経験の浅い若手の参加などの事情はあるのですが、今後の衛星開発、特に小型衛星の開発には、もっと短期間の開発が要求されると考えています。時間がかかった理由の一つは、小型化のために計算機を統合化した点も挙げられるかもしれません。大容量のFPGAに数多くの機能を詰め込むことは、小型化・低コスト化のために大きな効果がある方法ですが、少なくとも「れいめい」衛星においては、さまざまな不具合の原因ともなりました。これが私たちの腕の問題だったのか、あるいは本質的な問題なのかは分かりませんが、他山の石の一つとはなる事例かもしれません。

計算機統合の別の問題として、ソフトウェア開発環境が1台か、せいぜい2台程度しかなく、各サブシステム開発のために取り合いのような状態になったことも挙げられます。昼は姿勢制御ソフト開発、夜はテレメトリ・コマンドソフト開発といった2交代

図2 「れいめい」衛星の運用計画が作成される一連の流れ



制まで採用しましたが、それでも時間がかかったように思います。

搭載計算機上でのデバッグが容易ではなかったことも、時間がかかった一つの要因です。このように、ソフトウェア開発や検証のための道具はきちんと用意すべき、というのも、一つの反省点だと思います。ハードウェアの試験についても、同様に、今後は自動試験装置などが必要になってくると感じています。

### おわりに

衛星開発コストが増大し、一方ではさまざまなミッションのアイデアも多様化している今日、衛星開発における一つのキーワードは「短期開発」だと、個人的には考えています。そのためには、きちんとした戦略・戦術を導入する必要があるわけで、ここで紹介した「れいめい」衛星開発も一つの事例として Lessons learnedになり、今後の衛星開発に役立つとよいと考えています。そのため今回は、「宇宙科学最前線」といいながら、あまり科学的でない話題になりました。もう少し“科学的な”研究としては、「超電導磁気フォーメーションフライト」「柔軟構造衛星の振動抑制制御(Astro-G用)」なども手掛けており、「れいめい」衛星のように、あるいはそれ以前に大学で電気自動車を作って制御実験していたころのように、なるべく自分で手を動かすということを大事にしながら研究をしています。ですが、誌面が尽きましたので今回はこのあたりで。

(さかい・しんいちろう)

図3 「ハードシミュレータ」一式。左上に見えるのが搭載計算機の地上試験モデル。



## S-310-37号機，観測ロケット実験

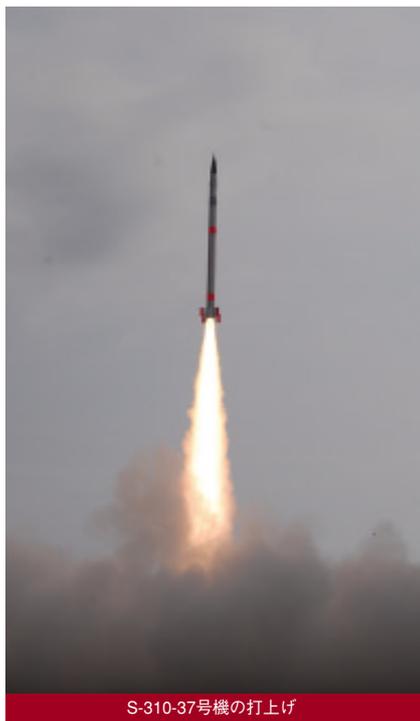
地の利，天の時，人の和に恵まれて

高度100km付近の電離圏下部と呼ばれる領域の大気やプラズマの温度は、絶対温度で約250～350Kと考えられています。ところが、内之浦から打ち上げられた観測ロケットによれば、プラズマの中の電子の温度が突如として数百Kもの上昇を示すことがあります。この不思議な現象の解明を目的として、観測ロケットS-310-37号機が2007年1月16日午前11時20分に内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられました。

高度100km付近で電子温度が上昇する現象は、これまで内之浦から多数打ち上げられてきた観測ロケットデータをもとに小山孝一郎先生（元・宇宙科学研究本部教授）が見つけたものです。その研究により、加熱現象は中緯度電離圏に存在するSq電流系と深い関係があること、その位置は日々移動することが示されました。Sq電流とは太陽（Solar）光による大気の潮汐運動に起因し電離圏下部に存在する電流系で、地磁気変動が静穏（quiet）なときに観測されます。Sq電流系は九州南部のような中緯度地方にのみ発生するので、ほかの緯度帯で繰り返し観測ロケット実験が行われたとしても、電子加熱現象は発見されなかったでしょう。中緯度に位置する内之浦が「地の利」を持っているのです。

このロケット実験では、観測対象であるSq電流系が内之浦上空に出現していることが打上げ条件です。我々が事前に行った地上磁場データの解析では、九州南部へのSq電流系出現確率は約3割。天候ほかの条件も考慮し、実験班員にはオペレーション長期化の懸念が広がっていました。打上げの2日前に行われた全体打合わせでもあまり明るい材料が見つからず、心境がすぐ表情に出てしまう実験主任の顔から、人々は楽観できない状況を読み取ったことでしょう。前日、そして予定日の早朝まで地磁気活動は比較的活発で、依然状況を好転させるデータは見つかりません。万事休す、か。

ところが予定日の1月16日午前6時ごろ、地磁気活動は凧のように穏やかになり状況が好転、電流系の位置が確認できるようになったではありませんか。しかもこの2週間で最も内之浦に近い位置に。我々はこれを千載一遇のチャンスと、活動が穏やかなまま電流系が内之浦上空に出現することを祈りました。10時半、Sq電流系は間違いなく九州南部へ近づくと確信。そして



S-310-37号機の打上げ

ついに11時20分、爆音をとどろかせてのロケットの打上げ。飛翔も搭載機器もすべて正常、とのアナウンスが場内に心地よく響きました。その後のデータを見てみると、午後1時ごろには再び地磁気活動が活発になり、結果的には午前6時からの7時間、それも打上げ時刻にタイミングを合わせて天が与えてくれた幸運だったことが分かりました。

そして今回もまた、実験を成功に導いたのは間違いなく「人の和」であることを痛感しました。ちょっとした心配事や相談も、この実験班ならば話し合えます。無理に見えるようなお願い事も「はい、いいですよ」と簡単に引き受けてもらえる。最近の打上げは半年から1年に1度の頻度ですが、本当にブランクを感じさせない滑らかなフライトオペレーションでした。私は今回、実験主任を初めて務めました。初心者マークを付けた主任を実験班がしっかりと支え、チームワークばっちりの観測ロケットチームでありました。

この観測ロケットには計8個の観測機器が搭載されましたが、その中には超熱的電子エネルギー分析器と3次元電場計測器という新規開発の野心的な測定器が含まれています。前者は、0.3eV以下の熱的電子から超熱的エネルギー領域である約5eVまで連続的に、精度よくエネルギー分布関数の測定が可能で、世界的にもユニークな測定器です。後者は、従来成功例の少なかったロケット機軸方向を含めた3次元的な電場を検出しようとするものです。取得データの初期解析により、高度97～101kmに高い電子温度の層を観測し、当初のもくろみ通りSq電流系中心付近をロケットが通過したらしいことを確認しています。

最後になりましたが、Sq電流系の位置判断については、湯元清文先生をリーダーとする九州大学宇宙環境研究センターの方々に大変お世話になりました。心よりお礼を申し上げます。本観測ロケット実験に対してご理解とご協力を頂いた漁業関係者と自治体の皆さま、心を一つにして実験を成功に導いてくれた関係の大学、研究機関、メーカー、宇宙科学研究本部の皆さま方に対して、この場を借りて深い謝意を表します。

(阿部琢美)

# 太陽コロナの謎に迫る「ひので」X線望遠鏡

太陽は、コロナと呼ばれる100万度以上のプラズマで満たされた外層大気によって覆われています。「ひので」衛星搭載のX線望遠鏡(X-Ray Telescope:XRT)は、コロナの放つX線をとらえることによってその様子を観測しています。

図1aとbは、XRTがとらえたフレアと呼ばれる太陽系最大の爆発現象です。フレアは、コロナ中に蓄えられている磁場エネルギーが磁気再結合(磁気リコネクション)と呼ばれるプロセスによって短時間のうちに解放される現象であると考えられています。XRTの前任望遠鏡である「ようこう」衛星の軟X線望遠鏡(Soft X-ray Telescope:SXT)は、10年以上にわたって、フレア過程における磁気再結合の観測的証拠を数多く発見しました。XRTの目的の一つは、SXTの後を引き継ぎ、フレアにおける磁気再結合の物理を解明することです。XRTは1秒角(太陽面上で約730km,SXTの約3倍)という優れた空間分解能を持つと同時に、暗いものもはっきりと識別できる能力を持っています。図1a,bのフレアにおいては、磁気再結合を示唆するプラズマの流れや、フレアによって発生した衝撃波といったフレア周囲で見られるかすかな(フレアに比べて暗い)現象をとらえることに成功しました。これらの「かすかな現象」はこれまでの望遠鏡ではごくまれにしか観測できなかったのですが、XRTでは高頻度で観測でき、大きな成果を挙げるのではないかと期待されています。

XRTは、これまで活動が静かだと思われていた領域でもさまざまな現象を発見しています。一つの例が極域です。図1cは太陽の北極域で発生しているジェット現象です。詳しい解析は現在進行中ですが、1時間当たりおよそ10個のジェットが発生しています。この発生頻度はこれまで考えられていた数よりも多く、極域は、研究者の注目が集まる場所になりました。また、これまで静穏領域と呼ばれていた場所も、XRTで見ると活動的であることが分かりました。活動領域に比べて規模は小さいものの頻繁に爆発が起こっており、爆発によってコロナに伝えられる総エネルギーはこれまでの予想以上と考えられます。このことは、1万度の太陽面の上に数百万度のコロナが定期的に存在するという、コロナ加熱のミステリーを解く鍵

になると期待されています。

XRTは温度感度の異なる9種類のX線フィルタを持ち、100万度から1000万度以上という広い温度範囲のプラズマを見ることができます。さらに、2種類以上のフィルタを用いて観測することで、コロナの温度を見積もることができます。図2は、低温コロナ(100万度)に感度のあるフィルタで撮像した活動領域(図2a)と、2枚のフィルタを用いて見積もった温度のマップ(図2b)です。1秒角という高空間分解の温度マップは、加熱場所の特定に役立ちます。さらに高時間分解の温度マップムービーを作成することが可能で、エネルギーの輸送や散逸の過程の解明に役立ちます。

「ひので」の観測は始まったばかりですが、上で述べた以外にも多くの発見をしています。XRTの観測によって、コロナの謎が一つ、また一つと明らかにされていくことでしょう。「ひので」X線望遠鏡にご期待ください。

(成影典之)

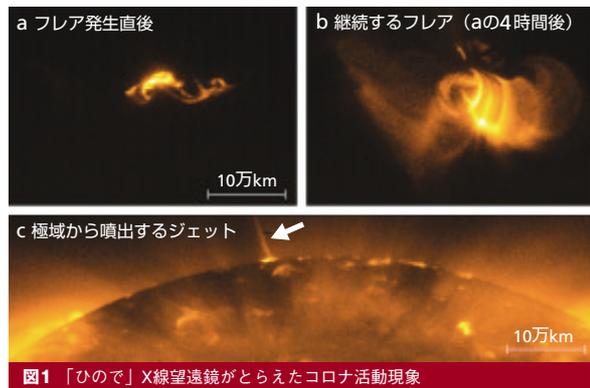


図1 「ひので」X線望遠鏡がとらえたコロナ活動現象

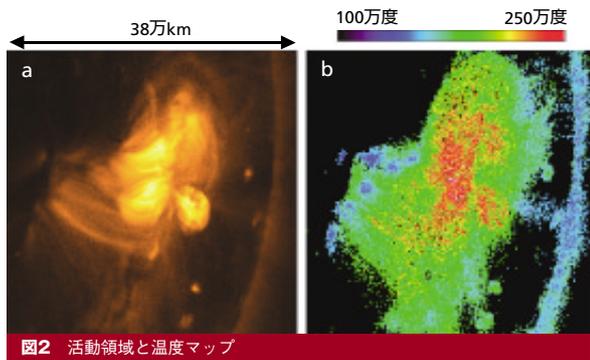


図2 活動領域と温度マップ

## 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		
筑波			SELENE システムPFM試験			

(PFM : Proto-Flight Model)

## 第7回「宇宙科学シンポジウム」開催される

年の瀬も押し迫った2006年12月21～22日の2日間、「宇宙科学シンポジウム」が相模原キャンパスで開催された。このシンポジウムでは理学・工学両分野の研究者が集まって、現在提案されている計画をはじめ、将来計画のワーキンググループ報告、衛星基盤技術、衛星・ロケット・観測気球により得られた成果などについて、まとまった議論を行う。1月初めの開催が慣例となっていたが、今年度は観測ロケット実験や国際会議との重なりを避けるために年末の開催となった。

昨年度から今年度にかけて、「はやぶさ」が小惑星への着陸を成し遂げ、またオーロラ観測小型衛星「れいめい」、X線天文衛星「すざく」、赤外線天文衛星「あかり」、太陽観測衛星「ひので」という新たな科学衛星が相次いで誕生した。そこでシンポジウムの開始に当たって、まずこれらの衛星による最新の成果を各ミッションチームから報告してもらった。宇宙科学の黄金時代が到来したような状況に、会場からは労をねぎらう声寄せられ、一時祝賀ムードとなった。次に将来計画として、急ピッチで検討が進んでいるSELENEの後継の月探査、「はやぶさ」後継の小惑星探査について、各ワーキンググループから詳しい紹介が行われた。また、それ以外の惑星探査計画や天文衛星計画、地球観測計画についても各ワーキンググループから報告がなされた。

企画セッションとしては、「これからの宇宙科学プログラム」が設けられた。このセッションでは、2005年度に提示されたJAXA長期ビジョンを具体化する惑星探査、天文・宇宙物理研究、宇宙環境利用、

工学研究のロードマップや、それらの推進体制について招待講演が行われた。その後の総合討論では、時間内に収まらない活発な意見交換が行われた。近年は科学としての探査だけでなく、人類のフロンティアの拡大とそれに必要なインフラ技術の習得への取り組みも強調されており、そのような観点からの意見もあった。もう一つの企画セッション「宇宙科学への敷居を下げるテクノロジー」では、新たな科学観測の可能性を拓く飛翔体および衛星の基盤技術についての講演が並び、基盤技術研究の全体像を俯瞰できる貴重な場となった。いずれの企画セッションにおいても、日ごろは表に出てにくい講演者の本音を存分に聞いたことはよかったといえるだろう。

講演会場となった2階会議場はほぼ満席で、会場横に設けたテレビ中継に見入る人も見られた。ポスター発表は前年度に引き続いて新A棟2階会議室で行われたが、新たな衛星の成果が増えたため会議室の外の廊下にもポスターを並べることとなった。例年にも勝る盛況ぶり、会場が狭いという意見も聞かれた。来年度以降はさらに成果発表のポスターが増えることも予想される。成果発表の件数を衛星プロジェクトごとに制限するか、あるいはポスター会場を拡充する必要があるだろう。

参加者数は、事前申し込みが195名、当日参加が355名であった。このうちJAXA内からは167名である。シンポジウムは全体として成功だったと思われるが、本シンポジウムの主催者の一人であられた宇宙物理学委員長の小杉健郎先生が昨年11月に急逝され、当日の会場におられなかったのは、大変残念なことであった。（今村 剛）

## 宇宙学校・沖縄

2006年12月9日の土曜日、「宇宙学校」が沖縄の恩納村で開かれました。恩納村は「おんなそん」と読みます。那覇空港から北に向かってバスに揺られること2時間ほど、人口約1万人の静かな村で、JAXAの追跡局があるところです。

ポスターをご覧になった方は作者、黒谷先生の画才に心を打たれたことと思います。青い空をバックに朱雀が躍っています。私が初めてこのポスターの原稿を見たときの反応は、「日展にポスター部門はなかったかなあ」でした。

宇宙学校の冒頭は平林先生のお話です。「私たちを生み出した不思議な宇宙」と題する実に楽しい、そして分かりやすい講演。校長（筆者）も身を乗り出して聴き入り、なるほど宇宙ってこんなに面白いんだとあらためて納得した1時間でした。続いて澤井先生のお



展示されたペンシルロケットの模型に、宇宙科学者の卵たちの人気が集まりました。

話は題して「ロケットと宇宙への飛翔」、岡田先生は「太陽系をさぐる」、松浦先生は「赤外線宇宙をさぐる」、黒谷先生は「重力といきもの」。いずれも工夫を凝らした力のこもった講演で、昼食と映画を挟んで6時間の長さにわたり、小学生たちや父兄の皆さんを飽きさせませんでした。また質問のセッションでは素直で素朴な質問が続出して、答える先生方もうれしくなった様子でした。

聴衆のほとんどは小学生でしたが、延べ250人、村の人口の何と2.5%でした（東京都に換算すると30万人ですね！）。

うっかり持参したセーターはもちろん不要。ジャケットも、いつも着ないで手に持っていました。暖かい気候とエメラルドブルーの透き通った海、そして素朴で熱心な子どもたち……。講師陣や支援スタッフ一同、すっかり恩納村のファンになりました。（中谷一郎）

## 日本・ブラジル共同気球実験

平成18年度日本・ブラジル共同気球実験は、2006年10月29日から11月25日まで、ブラジル・サンパウロ州カシュエラパウリスタにあるINPE(ブラジル国立宇宙研究所)の気球基地で実施されました。

名古屋大学と大阪大学の観測グループが10月上旬に出発し観測器の組み立て調整を進めている中、ISAS気球班の第1陣は10月29日に、第2陣は11月3日に出発し、実験に加わりました。当初予定した11月8日の放球に向け、低高度宇宙通信実験システムを使った気球追尾装置の調整、気球荷姿の製作、観測器への気球基本搭載機器の組み込み調整も順調に終わり、観

測グループの準備もほぼ予定通りに進みました。しかし、高度35km以上の上層風の風向が安定せず、風速も遅いため、数値解析による上層風予測モデルと測風気球の実測データとの比較によるモデルの検証の日々が約10日続きました。

11月18日には持参した最後の高高度気球で高度40kmまでの上層風の状態を確認するとともに、地上風の予測も放球に最



観測器がランチャーから離れた瞬間

適な2m/s以下であることから、11月19日午後6時の放球を決定しました。観測器は幅1m、長さ8m、高さ2mで重量1.2トン、気球(B500)を含めて総浮力2.9トンと、超大型気球の放球となりました。約1時間遅れましたが、昨年ブラジル人に教え称賛を浴びた日本のセミダイナミック方式での完璧な放球ができました。上昇中での日没、バケツをひっくり返したような雨と雷、停電騒動などで大変苦労しましたが、気球は水平浮遊高度37.9kmに到達しました。しかし、予測に反し気球は強い北風に乗ってリオデジャネイロ沖に流され始め、飛翔経路を変えるべく努力にもかかわらず南下を続けたため、安全性を

考慮して観測器を大西洋上に緩降下させました。

今回の観測の目的は、20~60keVの硬X線領域での撮像観測による活動銀河核の解明でした。観測器を回収できなかったことは、観測グループ側に多大な負担を負わせる結果となり、返す返すも残念です。あらためて自然の驚異を目の当たりにした思いです。(山上隆正)

## 「あかり」初期成果研究会の開催

日本で初めての赤外線天文衛星「あかり」は、軌道に打ち上げられてからちょうど1年になりました。観測装置は順調に動作しており、宇宙の赤外線地図作りを続けています。

1月25、26日には、「あかり」の科学的成果について議論する初めての研究会が催されました。これまで「あかり」がとらえた印象的な赤外線画像を、この誌面や新聞などで発表してきました。今回の研究会は、これらのデータにさらに詳しい解析を加えて得られる天文学的成果を、まずはプロジェクト内部で議論するのが目的でした。使われたデータは、昨年4月から5月にかけて行われた試験観測において、観測装置の実力を見るためにとられたものが中心です。プロジェクト内の研究会とはいえ、英国、韓国からの出席者を含めて70名近くが集まりました。議論された対象は太陽系内の天体から



宇宙の果ての銀河まで、まさに何でも観測する「あかり」ミッションならではの研究会となりました。議論の内容も、どのような発見があったかという天文学的なものだけでなく、実際に軌道上で観測装置が示す特性や解析のやり方にまで及び、活発な議論が行われました。今後は日本天文学会などで

の発表や、論文出版を目指すことになります。

今回議論された成果は「あかり」の膨大なデータのごく一部を使ったものですが、本格的な解析の第一歩となりました。衛星の運用は続いており、忙しい中での解析となりますが、宇宙の赤外線地図を完成させ、大きな成果を出せるよう頑張りたいと思います。新しい発見は、論文としての発表だけでなく、『ISASニュース』の読者の皆さんにもできるだけお知らせしていきます。どうかお楽しみに。(村上 浩)

## 「総研大アジア冬の学校」の開催報告

2006年12月4日～7日の4日間、韓国、中国、タイ、インドネシア、ベトナム、インドなどから博士課程、若手研究者など29名が参加して、筑波宇宙センターで第2回「総研大アジア冬の学校」が開催された。その開催結果を報告する。

国立大学法人 総合研究大学院大学（以下「総研大」と略す）では、物理科学研究科の5専攻（宇宙科学専攻、核融合科学専攻、機能分子科学専攻、構造分子科学専攻、天文科学専攻）の連携のもと、総研大で行われているレベルの高い研究・教育内容を広く総研大以外のアジアの国々の学部生、大学院生、若手研究者および国内留学生などの教育に活用することを目的とし、受講希望者を招聘し、集中講義および実習を行うプログラムを2005年度より実施している。2005年度は、総研大として「シミュレーション技術の応用」を課題として設定し、上記5専攻でこの課題に沿ったカリキュラムを作成した。宇宙科学専攻では、「宇宙科学におけるシミュレーション技術の応用」として、2005年12月に相模原キャンパスで集中講義を実施している。

2006年度は「極限状態の科学」の課題が設定され、極限環境として微小重力、放射線などの宇宙環境を利用する宇宙利用科学をカリキュラムとすることが決定された。宇宙利用科学分野は、微小重力を利用する科学としての材料科学、流体科学、燃焼科学、生物への微小重力/宇宙放射線影響などを明らかとする生命科学、基礎科学などから構成されている。これらを踏まえて宇宙利用科学分野でのカリキュラムを設定するに当たっては、以下の点に配慮した。

アジア諸国のうち、宇宙環境を利用する宇宙利用科学研究を行っている国は中国だけで、来日する学生、若手研究者はほとんど宇宙環境を利用する科学を知らない。そのため、微小重力、宇宙放射線を利用した科学の基礎を講義することに重点を置く。実習を行うとともに、その結果を踏まえて各自に宇宙実験の計画を立案させ、その計画の科学的目的、方法などについて皆で議論することにより、宇宙利用科学に対する理解を深める。また、アジア諸国から来日する学生・若手研究者がこの機会をとらえ、日本を含めた各国参加者間で相互理解を図ることは重要であると考えた。上記を踏まえて、開催日数は4日間とし、各分野の講義、見学、実習および実験計画の発表と議論とした。



植物実験の実習風景

開催周知のために、ウェブサイトの立ち上げ、中国、韓国などのこれまで懇意にしている研究者への直接の告知、海外留学生が多く在籍する大学関連組織や総研大各組織への告知などを行い、できるだけ多くの参加者を募った。海外からもできるだけ多くの参加者を募るため、インドネシア、タイおよびベトナムからの招聘者について、国際宇宙ステーションアジア協力プログラムを有する宇宙基幹システム本部宇宙環境利用センターと協議し、招聘のための支援を得た。海外招聘者は、韓国7名、中国5名、タイ2名、インドネシア2名、ベトナム2名となり、また国内に関しては、インド、カナダ、ブルガリアなどを含めて11名の参加を得た。

第1日目は、総研大小平学長による開会の辞の後、八田専攻長によるJAXA宇宙科学の現状の説明、微小重力科学概論、微小重力科学利用技術、国際宇宙ステーション計画の概要、微小重力利用と材料科学、燃焼科学などの講義を行った。2日目は、微小重力利用と凝固、無容器処理技術による科学などの講義とともに、日本の実験モジュールなどを含めた筑波宇宙センターの見学、さらに宇宙生命科学の概要の講義を行った。3日目は、微小重力利用と生命科学、宇宙放射線と生命科学の講義に引き続き、実習としてタンパク質結晶成長実験、ダストプラズマ実験、無容器処理技術による熱物性計測実験、植物生育実験などとともに、4日に行う宇宙実験計画の発表準備を行った。最終日の4日目は、実習で学んだ知識、実験結果を踏まえて、宇宙実験計画をグループで作成し、実験目的の科学的意義、方法、得られる結果などについて皆の前で報告するとともに、全員での議論を行った。その後、「総研大アジア冬の学校」の修了証書を参加した学生に授与し、終了した。

全体を通じて、参加した学生は極めて熱心に講義を聴講し、また多くの質問をしていた。発表の準備に当たっても、夜遅くまで資料作成を行っていた。

誌面の都合から、詳細は報告書をご覧ください。ことにして、第2回「総研大アジア冬の学校」は、宇宙環境を利用する宇宙利用科学の理解、将来の人材育成、およびJAXAを含めて参加学生各国の相互理解を深めることに貢献したといえる。ここに関係者へ謝意を表したい。

（依田真一）



# ロケットとの通信

M-Vロケット テレメータ班

加藤輝雄

ロケットの電気屋さん。今回は、ロケットとの通信についてお話しします。

ロケットが正常に飛んでいるかどうかや、搭載機器の状態を、電波で地上に知らせる装置を「テレメータ」と呼んでいます。M-Vロケットには5台のテレメータが搭載されています。ロケットの1段目に1台、2段目にカメラを含めて3台、そして3段目に1台が搭載されていて、それぞれの段の飛行中の状態を時々刻々知らせてきます。ロケットが決められた方向に飛んでいるか、ロケットのエンジン（モータ）の状態は正常か、ロケットの切り離しは正常に行われたか、といった150種類ものたくさんの情報（データ）を送ってくるのです。搭載カメラでは、1, 2段目のロケットの燃焼炎の状態や切り離し、そして3段目ロケットの切り離し・点火の画像を送り、目で直接その状態を確認できるようになっています。

ロケットから送られてくるテレメータ電波は、打上げ場のある鹿児島宇宙センター内之浦宇宙空間観測所で受信され、「テレメータセンター」と呼ばれる場所でコンピュータ画面やペンレコーダにデータが表示されて、ロケットの飛行中の状況が確認できるようになっています。このテレメータセンターで集められたデータは飛行保安の部署へ送られ、ロケットが安全に飛んでいるかどうか監視されます。もし、ロケットが異常な飛行をしたときには、ここからコマンド（指令）電波が発信され、ロケットを破壊し事故を未然に防ぎます。今まで飛行中にロケットの破壊コマンドを送ったことは一度もありませんが、打上げ前にはロケットを安全に飛ばすためにいろいろな異常状態を想定した練習が何回も行われています。

先ほどテレメータ電波を内之浦宇宙空間観測所で受信すると書きましたが、実は、ほかの場所でも受信しています。テレメータ電波は、ロケットの燃焼ガスの影響により弱められ、ロケットの真後ろ方向では受信できなくなることがあります。また、地球が丸いことから水平線の向こうにロケットが行くと受信ができなくなります。そのため、ロケットの飛行する途中の何箇所かに受信局を設けて、そこからテレメータセンターにデータを送ります。これを「ダウンレンジ局」といいます。M-V-6号機（X線天文衛星「すざく」を打ち上げたロケット）では宮崎、小笠原、クリスマス島のダウンレンジ局を使用してデータを受信しました。M-V-8、7号機（赤外線天文衛星「あかり」および太陽観測衛星「ひので」を順に打上げ）では飛行方向が違うため、種子島、オーストラリア（ドンガラ局）をダウンレンジ局として使用しました。

さて、ここでダウンレンジ局について少し紹介します。移動式の宮崎局は、宮崎大学校内（当初は宮崎医科大学、



内之浦宇宙空間観測所のテレメータセンター

統合により宮崎大学医学部、その後工学部に移る）の敷地をお借りして、毎回ロケット打上げ直前に設営しています。最初のころは、横でヤギが遊んでいるような場所でした。そこから電話回線で、受信データを内之浦のテレメータセンターへ送っていました。小笠原局は父島にあり、実験班員（M-Vロケットの打上げ隊は「実験班」と呼ぶ）は船（小笠原丸）で24時間余りかけて現地に赴きます。局の入り口近くには蝟の木の林があったりします。そんな島の緑の中に、真っ白なテレメータ受信アンテナがあります。クリスマス局は、ハワイの南2000kmに位置する赤道直下の珊瑚礁の島、クリスマス島（キリバス共和国）にあります。椰子の木に囲まれ、珊瑚礁の海が近くに見える、とてもきれいな場所にあります。ここからは通信衛星を介してデータを送ります。オーストラリアのドンガラ局は、米国の受信会社所有の施設で、実際にはこの会社に受信を依頼しています。オーストラリアの西海岸寄り、バースの北300数十kmの草原の中にあります。道すがらカンガルーが遠くに見えたり、オウムのような鳥の群れが道路に戯れたりしています。「ドンガラ」とは、オーストラリア先住民であるアボリジニの言葉で「アザラシの集まる所」の意味だそうです。

少々脱線しましたが、M-Vロケットを打ち上げるためにそれぞれの場所で、遠くは海外でもその電波を受信していること、そしてそのためにロケットの電気屋さんか苦勞し、時に喜びを感じながら活躍していることをお分かりいただければ幸いです。（かとう・てるお）



探し求める『あかり』  
ハワイ・マウナケア山頂にて

「先生、先生、そっちは出口じゃありません!」

おっと、しまった。稲見さんの声で我に返った。「あかり」がついていないので、よく見えないから間違えた。それに、ここは空気が薄いので頭に酸素が足りていないらしく、ちょっとしたことが思い出せなかったりする。私と丹下君(東工大M1)、稲見さん(明大B4)の3人は、ハワイ・マウナケア山の山頂にあるカリフォルニア工科大学(カルテク)サブミリ波天文台のドームの入出扉を開けて外に出た。今晚の天候は必ずしも良いとはいえない。雲が所々にある。月が明るい。風もちょっと出ている。でも、昨日よりも寒いから、まあまあ、といったところか……。

「うーん、でも星がよく見えるね。あれが“すばる”かな?」

「いえ、あれはたぶん単なる雲ですよ。プレアデスは天頂に近い、こっちですよ」と、大学の天文部かつ「天文学とプラネタリアム」で活躍中の稲見さんが教えてくれる。ここカルテクサブミリ波天文台からは、国立天文台の「すばる」望遠鏡のドームが月あかりに照らされて、今日はとてもよく見える。「歩いて行ってみよう」などと、丹下君も稲見

さんも初めてのマウナケア山天文台での観測にかなり興奮気味で、山頂の酸素を吸い過ぎるものだから、一緒に歩いている僕は酸欠になってしまった……。

実は我々3人がこうして休憩している一方で、アメリカ(コロラド大、カルテク)の仲間、マット君とリエコさんは、ミリメートルほどの波長帯で分光観測ができるZ-Specという名前の装置で、「大光度赤外線銀河」の分子スペクトル線の観測を続けている。大光度赤外線銀河とは、赤外線波長帯でそのエネルギーのほとんどを放出しているような銀河で、

赤外線天文衛星「あかり」でもまさに観測が進行中の天体である。

マット君は、まさにアメリカン! 夕飯に大きいステーキを2枚お代わりして、さらに甘〜いアイスクリームを平然と平らげるし、英語はまったく容赦ない。ネイティブのスピードで延々と話し続ける。学生がPardon?と聞き返しても、決してスピードを緩めない。しめしめ、学生たちはこれをきっかけに英語の重要性を理解するだろう。一方、リエコさんは美人で優しいお姉さん。稲見さん(丹下君もか?)が、すっかり大ファンになっていた。観測中ずっと英語で会話をしていたのだが、最終日に知った事実……実はリエコさんは日本語がペラペラだった! やられた、やられた。悔しい。そういえばお母さんが日本人で、日本の小学校に通っていたとのこと。「ににんがし」と言葉が短いから、掛け算は英語でなく日本語でするそうだ。

天気がどうにも好転せず、観測をあきらめて中腹の宿泊施設(ハレポハク)に戻った。こういうときのために、宿泊施設には至れり尽くせりの食堂と並んで、ビリヤードやダーツで遊べるようになっている。丹下君が目を輝かせて皆を誘うので、深夜にもかかわらず8ボールに興ずることになった。丹下君は実によくルールも知っていてびっくり!! 隠れた才能を発揮して、がんがんポケットにボールを落としていた。私vs丹下君&稲見さんでの対抗戦だったのだが完敗してしまった。丹下君はきっと宇宙研での日々の研究の後に、仲間たちとビリヤードの研究をしているに違いない。そのときには私も呼んでほしかった……。

スペースからの観測と違って、地上からの観測は天気次第、というところが悲しい。今回我々は4晩を山頂の天文台で過ごしたが、最初の3日間は夜中の0時ごろに山を降りて宿泊施設に戻ることになるほど天気が悪く、良いデータがとれなかった。最終日だけは、なんと夜中の2時ごろから天候が好転したため、朝の太陽が昇ってきても観測を続けることになってしまったが。この観測を終えた朝に撮った記念写真が左のものである。「あかり」も、いくつか大光度赤外線銀河の赤外線スペクトル観測を行っており、とても面白い結果が出てきている。今回は準備不足で間に合わなかったけれど、「あかり」で見つかった面白い天体をぜひZ-Specのミリ波のデータと合わせて、その正体に迫りたいものだ。(まつはら・ひでお)



カルテクサブミリ波天文台前で、観測後に。左からマット君、リエコさん、稲見さん、松原、丹下君。服装が薄着からだんだん厚着になっている。

赤外・サブミリ波天文学研究系教授  
松原英雄



# ペンシルロケットの思い出

## 岸野長一郎

秋田県由利本荘市岩城地域自治区 区長

秋田の片田舎にロケットがやって来た。

それは昭和30年8月、私が小学校6年生の真夏のことである。小六の私にとって何であるのかよく理解できないことであったが、子ども心に驚くべき事柄であるに違いないと感じていた。東京大学生産技術研究所の星合正治博士、糸川英夫博士、文部省の岡野澄学術課長をはじめとする科学陣十数名による第1回「ペンシルロケット」実験が、秋田県由利郡岩城町の道川海岸で行われることになったのだ。

実験は、昭和30年8月6日午後2時18分と同3時32分の二度行われた。聞けば、この日の道川海岸は、晴れ、地上では風速5m。1000m上空の風速は7mで、南東の微風は吹いていたものの、打上げには最適の日和であったという。ペンシルロケットは、全長32cm、重量230g、推進薬搭載量50gの小さなロケットであった。2mのランチャーは発射角度70度。実験班の表情は、緊張と興奮に包まれていた。

やがて、6つのスピーカーから実験開始の音が流れ、打上げ3分前に煙火が上げられた。糸川博士の口から流れるカウントが「ゼロ」になったとき、第1弾が発射された。しかし、これは失敗。「今まで水平の実験だけしてきたため、上空に打ち上げるにはロケットの支えが不完全で、地上を転々とした」というのである。ただちに原因を調査し、第2回目の実験の準備が行われた。

そして、一瞬の静寂を破り、熱く灼けた砂浜に水を放ったような「シューッ」という鋭い金属音が鳴り響いたのが、いまだに耳元に記憶として残っている。秒速120mで白い煙の尾を引いて、高さ600mまで上がり、水平距離700mで海上に落

下した。この間わずか16.8秒。あっという間に、どうやら実験は終了した。緊張していた糸川博士の顔がほころんだ。「大成功」。その言葉は、博士の口からもたらされた。日本科学陣の明るいスタートであった。

こうして道川海岸は、日本の「ロケット発祥の地」としての第一歩を印した。

それから51年後の平成17年には、小惑星探査機「はやぶさ」が目標の「イトカワ」に到達したという。「イトカワ」教授は今、あんなに遠くにおられたのだ。私が住む



秋田県・道川海岸に建つ「日本ロケット発祥記念の碑」

地域の人たちはすべて「糸川博士＝ロケット」と思っている。今では「日本ロケット発祥の地」という石碑しかないが、あの青空の彼方の宇宙に小惑星となって「イトカワ」博士がおられる。そして、「はやぶさ」はその石を持ち帰るといふ。本当にわくわくしてしまう。

一昨年3月、岩城町は市町村合併により「由利本荘市」となった。「ロケット発祥の地」を擁する市として、ロケットにちなむ「サイエンスフェスティバル」や「宇宙学校」の開催など、“科学する心の育み”に努めているところである。「サイエンスフェスティバル」は、一昨年7月、3日間の日程で開かれた。道川海岸でペンシルロケットが打ち上げられてから50年の節目であることから、「今、宇宙は、地球は、そして環境は」をテーマに、子どもたちから大人までみんなで“科学する心の育み”を念じて開催したものであり、3日間の参加者は延べ1100人であった。その中で特徴的なのは、「科学何でも相談室」に小学生から182問の質問が寄せられ、この中から代表的なものを90問選び、小冊子を発行して、その年の小学校卒業生へ贈呈したことである。

また、昨年11月にはJAXAによる東北では初めての「宇宙学校」が1日7時間の日程で開催された。「宇宙のなぞに迫りたい」をテーマに、延べ600人が参加して、「道川のロケットから50年」と題した講演をはじめ、最新の宇宙研究について学習する機会を得た。

こうした“科学する心の育み”をこの地域の特色として、永く継続できる“科学の地”に育て上げていきたいと念じている。

(きしの・ちょういちろう)

# 現場主義

技術開発部探査機機器開発グループ 開発員

川原康介

## ——技術開発部では、どういう仕事を？

川原：ロケットの打上げがあるときは、レーダ班としてロケットの追跡をします。打上げ以外の期間は、主に飛翔体に搭載するアンテナの開発をしています。飛翔体には、ロケットや衛星、探査機がありますが、一番ユニークなのは探査機ですね。ロケットや衛星に搭載するアンテナは、既存のもので要求される仕様をほぼ満足していますので、わざわざ新しい試みをする必要はないわけです。宇宙業界では実績が重要視されますからね。それに対して探査機は、通信距離が長いことに加えて、厳しい環境下での成立性も要求されているので、アンテナに課せられる要求もさまざまなのです。そのような点で探査機の場合、新しいことにチャレンジできる機会が増えます。

今は、水星探査機BepiColomboの水星磁気圏探査機(MMO)と、金星探査機PLANET-Cに搭載するアンテナの開発をしています。MMOは厄介ですね。水星は太陽に一番近い惑星です。太陽との距離は、地球の3分の1ほどですから、アンテナへの熱入量も大きくなります。探査機搭載用のメインアンテナは普通、小惑星探査機「はやぶさ」に搭載されているような、おわん形をしています。電波を1点に集中させる点では有効な形状なのですが、同時に熱も集中させてしまうのです。そのような観点からMMO搭載用のメインアンテナにおわん形状は適していなかったため、私たちは構造的に焦点のない平面なアンテナを開発しています。

## ——平面アンテナは世界初ですか。

川原：地上では衛星放送の受信アンテナとしても使われていますが、宇宙で使うのは初めてだと思います。水星の熱環境に耐えられるアンテナの開発は、MMOミッションの成否に直結します。実績重視の世界ですが、新規開発に着手する必要があったわけです。このような新しい技術に挑戦する機会がもっと増えるといいと思います。

## ——町を歩いていると、アンテナが気になったりしますか。

川原：つい見てしまいます。この仕事をするまでは、まったく興味なかったのですが。私の大学院での専門は、非線形力学系の研究。具体的には、カオスや複雑系の理論研究でした。一見、予測不可能な事象の中にルールが隠されている。そのような分野にかかわっていることが面白かったです。アンテナはもちろん、宇宙工学と直接かかわりのない研究でした。

## ——では、なぜ宇宙研に？



かわはら・こうすけ。1976年生まれ。鹿児島大学大学院理工学研究科(博士前期)物理学専攻修了。2002年4月、宇宙科学研究所文部科学技官。現在、宇宙科学研究所技術開発部探査機機器開発グループ開発員。飛翔体搭載用アンテナの開発、レーダによるロケット追跡業務などを行う。

川原：JAXAになる前は国家公務員だったので、1次試験を経たのち各省庁の面接を受け、配属が決まっていた。物理分野では気象庁の募集が多く、自分も気象庁に行くと思っていました。でも、宇宙研でたまたま物理の募集があったので、練習も兼ねて(笑)面接を受けたら、運よく採用されたのです。

私は、宇宙が好きだったわけではありません。義務教育中は、宇宙は地学として学んでいましたよね。地学は記憶の部分が多かったのが嫌でした。その点、公式さえ理解してしまえばいろいろな問題が解ける物理の方が楽しかったのです。でも、多くの人がそうであるように、宇宙に対して潜在的なあこがれを持っていたのだと思います。宇宙は神秘的でロマンがあって、高度なことをやっているに違いない。そういうところで仕事ができればいいなと。

## ——実際に仕事をしてみてどうですか。

川原：少なくとも私のかかわる範囲では、世間離れたハイテクなことをやっているわけではなく、むしろ地道な作業が多いです。宇宙研に入る以前は、宇宙機搭載品ともなれば、すべてシミュレーションで解析され裏付けされたものが作られ、地上では大事に扱われると思っていたのです。でも実際は、大型振動試験装置に載せて揺らしたり、ハンマーでたたいてショックを与えてみたり……。直接的な試験が多いことに驚きました。

大学では、パソコンの前で数値シミュレーションをする日々でしたから、アンテナ開発という、ものを作り測定するというスタンスになかなか慣れません。どうしても少ない頭で先に考えてしまいます。いけない癖です。あれこれ考えるよりも、まず自分の手でやってみる精神が大事なのだと、つくづく感じさせられます。

## ——これからやりたいことは？

川原：JAXAとなったことで、いろいろなことに挑戦するチャンスが増えたと思っています。しかし、夢を語るほど自分の中で培ってきたものはありません。日々の業務をこなしていくだけで精いっぱいです。でも、一つだけ忘れずにいたいことがあります。それが現場主義。今後、どういう立場で仕事をするにしても、現場を重視できる人でいたいですね。

ISASニュース No.311 2007.2 ISSN 0285-2861

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

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ピリア 制作協力/有限会社フォトンクリエイト

**編集後記** 「あかり」が満1歳の誕生日(2月22日)を迎えます。打上げ前後の慌ただしさが遠い日の夢のように感じられますが、いまだ夢の中なのかもしれません。夢の中で夢の実現を目指してもがいている、今日このごろです。(山村一誠)

\*本誌は再生紙(古紙100%)、大豆インキを使用しています。

