

JASニュース

宇宙科学研究所

2003.2 No.263



▲南極大陸での大気球放球（撮影：並木道義）（本文記事参照）

〈研究紹介〉

電波望遠鏡と宇宙望遠鏡

宇宙科学研究所 村田 泰宏

はじめに

研究紹介ということで、本来は細かい研究成果についてお話したほうがよいのかもしれませんが、ここでは、電波望遠鏡の話を書きたいと思います。赤外線と電波の境については曖昧ではありますが、電波法という法律があって、その第2条に『電波』とは、300万

メガヘルツ以下の周波数の電磁波をいう。』と書かれています。波長に直すと、約0.1ミリ以上の電磁波ということになります。この「電波」で天文の研究をしているのが電波天文学です。

この「電波」は、“基本的には”人間の目で見える可視光あたりと並んで、宇宙から大気を通して天体の電磁波がとどきますので、地上にある望遠鏡を使えば観測ができます。可視光では、直径8～10mクラスの望遠鏡が最大のもので、電波望遠鏡は、直径50～100mクラスの望遠鏡がいくつかあり、さらには、鏡面が地上に固定されている望遠鏡として、アレシボ天文台の直径305mの望遠鏡（図1）もあります。

1. なぜ電波天文学？

では、なぜ電波天文学をやるのでしょうか？ それにはいくつかの理由があります。

1) 電波は重要な観測手段の1つ。

星や、銀河、宇宙のことをより知るには、できるだけ情報を集めなければなりません。可視光だけでなく、X線や、赤外線や電波や、いろいろな手段で観測すれ



図1 アレシボ天文台

ば、別の情報が得られます。人によっては「この天体は、このように良くわかっているのに電波で観測しても意味のある結果は出ないよ。」という人がいるかもしれません。そのような予測ももちろん大切ですが、一方で、われわれ観測屋とよばれる人々は、予測もできない面白いことを見つけてやりたい、と常日頃から思っています。パルサーや宇宙背景放射なども思いがけなく見つかったものです。

電波の場合波長は長く、波打ちもほかの電磁波よりゆっくりです。したがって温度が低い（低エネルギーの）天体からでも、非常に高温の活動銀河の中心にあるブラックホールの近くの高温のガスでも電波を発生することができます。強弱の差はありますが、ほとんどの天体から電波は出てきます。

2) 電波は光に比べると遠くまで見える。

電波は光と比べると宇宙のチリやガスの中の透過力が強く、例えば光で銀河系の中心方向を観測してもそのご本尊は見えませんが、電波では見るができます。

3) 電波は天体からの信号を波として観測できる。

電波望遠鏡は、ほかの波長の望遠鏡（もしくは検出器）と大きな違いがあります。それは電波を波のまま、天体からの電波の強さ（波の振幅）だけでなく、波を打つタイミング（位相）も含めて観測できます。電波は波長が長いので、その分、波打ちがゆっくりなのです（周波数が低い）。したがって、波の性質を保ったまま周波数をさらに下げたり、データを記録したりするのに使用できるデバイス（半導体や超伝導素子など）があります。ほかの電磁波では、波打ちが早過ぎてなかなかそのようなことは難しいのです。電波では波の観測ができるために、高波長分解能観測が実現できたり、4) で述べるような「干渉計」というものを実現できたりします。

4) 干渉計により高感度の装置が作れる。

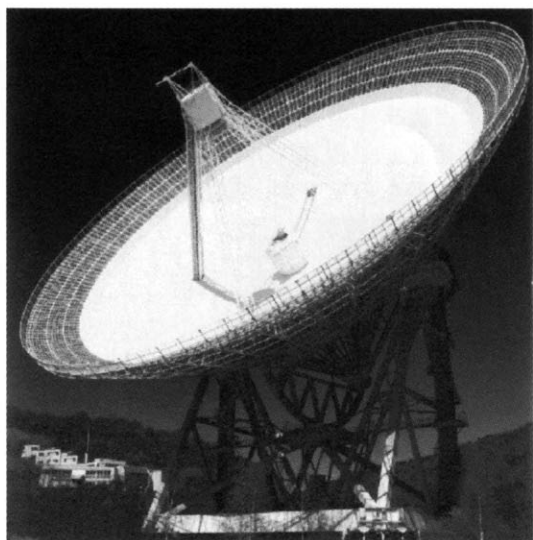


図2 マックスプランク100m電波望遠鏡(ドイツ)

電波が波として受信ができるおかげで、干渉計というタイプの電波望遠鏡を作ることができます。干渉計のしくみについては、ISASニュースの1997年7月号から1998年1月号のスペースVLBI入門、1999年8月号の「はるか」特集号を参考にしてください。複数のアンテナを組み合わせて1つの電波望遠鏡を作る技術です。干渉計の登場により、電波を集める能力（感度）をあげるのに大きな電波望遠鏡を作らなくてもよくなりました。主鏡が動かせる電波望遠鏡としては最大の100m望遠鏡（図2）ですが、感度は、VLAでの25mアンテナ27個の方が高いのです（図3）。100m望遠鏡からさらに大きさを大きくしようとすると、重すぎて、望遠鏡を作るのは至難の業です。ところが干渉計であれば、アンテナを増やせば、感度を増やすことができます。さらに、5) で述べるような利点もあります。そのようなことから、後述する次世代の巨大電波望遠鏡計画は、ALMA計画にせよ、波長の長いほうのSKA計画にせよ、すべて干渉計になっています。



図3 VLA(米国、ニューメキシコ州)

5) 干渉計により高解像度観測が実現できる。

電波でも光でも観測天文学者が大きな望遠鏡を作るのは2つの理由があります。1つは、できるだけ多くの宇宙からの光を集め、より微弱なより遠い天体まで観測したい。もう1つは、解像度をあげて、できるだけ細かく天体を見たいという理由です。解像度は望遠鏡の口径に反比例し、波長に比例します。ドイツにある100mのアンテナで波長6cmで観測をした場合、解像度は約120秒角となります。光の観測の場合は、並の望遠鏡でも1秒角をすこし切るくらいの解像度になります。結局100mクラスの望遠鏡を作っても解像度では100倍以上も悪いのです。

干渉計の場合は、電波望遠鏡としての解像度を計算するとき、望遠鏡の直径に相当するのは、干渉計を構成するアンテナ群の端から端までの距離になります。例えばVLAの場合、思い切りアンテナを広げると

40kmくらいになります。解像度は0.3秒角となります。さらに、観測した電波をとて精度の高い時計を使って磁気記録するVLBIという技術で、世界中にある電波望遠鏡が協力して1つの望遠鏡を作ることに成功しました。これにより、電波望遠鏡の大きさは、一気に地球サイズ（直径約12,000km）になりました。波長6cmの観測で、0.0015秒角（1.5ミリ秒角）となり、ハッブル望遠鏡の解像度も凌駕します。このVLBI技術により電波天文学は、もっとも高解像度が実現できる波長帯になったのです。

2. 電波望遠鏡も宇宙へ

VLBIによって100mから地球サイズまで大きくなった電波望遠鏡をさらに大きくするため、VSOP計画では電波望遠鏡「はるか」をM-V-1号機で地球の外に置きました。「はるか」は最大で21,500kmくらいの高度になるので、地球の直径分も勘定に入れると、約33,500km、地球の3倍弱くらいの大きさの電波望遠鏡を作ることができました（図4）。これにより、波長6cmでは解像度は1ミリ秒角を切って0.4ミリ秒角を達成しました。解像度をあげると物事がこまかく見えてよくわかります。0.4ミリ秒角というのは、どのような解像度になるのでしょうか？ 東京から大阪にあるものを見た場合、0.4ミリ秒角の角度は約1ミリの長さに当たります。細かい字の文書でも読めてしまうくらいです。

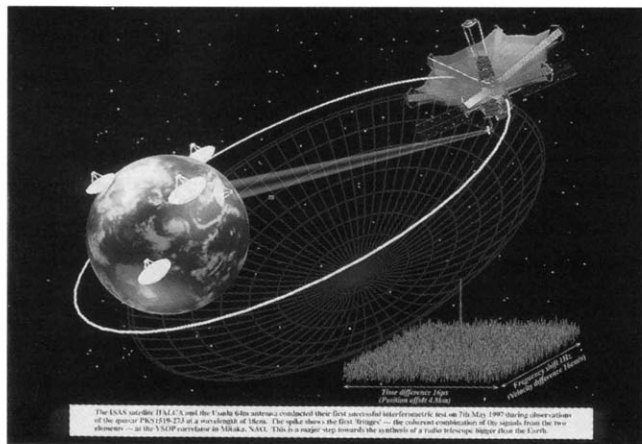


図4 VSOPが作った地球より大きな電波望遠鏡

この解像度を利用してVSOPではさまざまな成果が出ました。解像度が高いということは、細かい構造がよく見えます。VSOPの結果については、これまでもISASニュースなどで公表されましたが、その後も観測は継続しています。図5は、1928+738という天体を「はるか」で5年間観測してえられた活動銀河核からのジェットの変化の様子です。ジェットのパターンが変化しているように見えますが、よく見て明るところを追っていくと、銀河の中心から離れるようにそれぞれの明るところが動いていくことがわかります。解像度が高くなければここまではわかりません。「はるか」が観測を始めてもう6年にもなり、さらに観測を

継続して新しい成果を出していくことになります。

3. 将来の電波望遠鏡像

現在2つの大きな国際的な大電波望遠鏡建設計画が動き始めています。ひとつはALMA計画です。感度、分解能ともにミリ波、サブミリ波で最高のものになる究極の地上観測装置です。建設も米国、欧州ですでに始まっていて、これに国立天文台を中心とした日本のグループも加わろうとしています。3グループ共同でチリの海拔5,000mの高地に直径12mのアンテナ64個の干渉計を作ります。ミリ波、サブミリ波では大気の影響が大きいので、できるだけ大気の薄い5,000mの山の上に建設します。もう1つの国際プロジェクトは、センチ波より長い波長の観測装置であるSKAプロジェクトです。SKAというのは、Square Kilometer-Array（平方キロメートル干渉計）の略で、感度を増すため望遠鏡の表面積が1平方kmを超える望遠鏡を作ろうという計画です。オランダ、中国、オーストラリア、米国、カナダなどが、それぞれの望遠鏡の設計案を提案しその比較を行っています。完成はALMAよりずっと遅いですが、実現すればアレシボの直径305mの13倍以上の感度になります。ALMAやSKAは究極の地上電波望遠鏡と言われますが、電波天文の観測屋はそこで満足するでしょうか？ しばらくは満足するかもしれませんが、観測をすればさらに新しい疑問が湧いて、さらによりよいデータを求めるのは、観測屋の宿命です。もともと電波天文学は、地上でいろいろとできたのですが、科学の発展が、より高精度の電波望遠鏡を求めてきており、ALMAやSKAでの観測成果がその次の宇宙電波望遠鏡を要求することに必ずなると思います。

電波望遠鏡を宇宙に作る理由は主に3つあり、1つ目は宇宙に大気がないということです。ALMAは5,000mまで上がりましたが、もっとずっと上のほうがいいのです。それほど、ミリ波、サブミリ波では大気が邪魔なのです。ALMAだけでなく地上VLBIでも事情は同じです。大気のせいで、3ミリくらいより短い波長でのVLBIは、なかなかうまく行きません。

2つ目の利点は宇宙は広大で重力がないということ

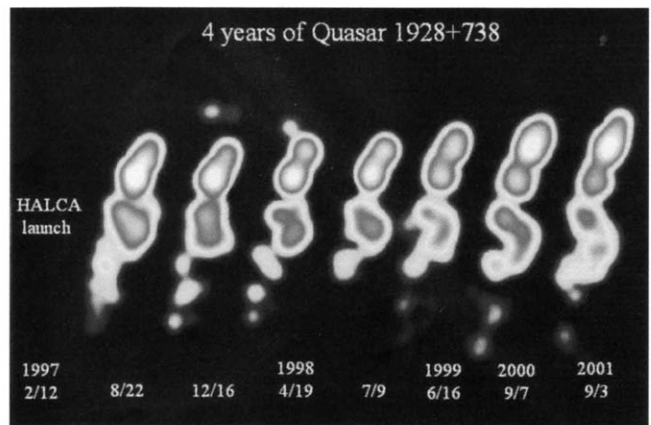


図5 VSOPで捕えられたクェーサ1928+738からのジェットの模様の変化

です。「はるか」は、基線を伸ばすために宇宙に出ました。また、重力もないことから地上よりも大きなアンテナを作る可能性があるのではないかと思います。

3つ目の宇宙の利点は、電波がないことです。電波を観測するのに電波がないとは？と奇異に思うかもしれませんが、地球上やその周辺は、特にセンチ波より波長の長いところで人工電波であふれかえっています。通信の世界では、出される電波もとてつもなく強いものばかりです。そのような人工電波の影響をなくすためにはできるだけ地球から離れればよいということになります。月の裏が良いとも言われています。

4. 究極の宇宙電波望遠鏡は？

たとえば、ALMAの次世代だとどのような望遠鏡になるのでしょうか？ ほんとはどのような科学を目的とするかを意識しなければならないのですが、感度を10倍にしようとする30mクラスのアンテナを100個、データの速度は落とさなければならないので相関器も宇宙に上げて、データレートを落として地上にデータを送ります。干渉計としての広がりも10～100kmくらいでしょうか？ でも大気がないことを考えると10mクラスのアンテナを30個くらい使った干渉計でも地上望遠鏡と勝負になるかもしれません。

一方、将来のスペースVLBIの1つの方向としては、サブミリ波で解像度10マイクロ秒角をねらうというも

のがあります。近くの銀河の中心にあるブラックホールを影としてみるための仕様になります。（これは、この仕様であればほぼ確実に見えるだろうと言われていているものです。もっと甘い仕様でもいいかもしれません。）この場合は、基線長は10,000kmでよいことになります。この基線長は別にスペースVLBIというものではありませんが、サブミリ波だと地上ではVLBIは難しいので宇宙望遠鏡にする必要が出てきます。

5. 次のスペースVLBI計画にむけて

われわれは、「はるか」で世界で初めてのスペースVLBI衛星を実現しました。しかも前節で述べたように、電波天文学の世界でも宇宙での観測が今後クローズアップしてくる可能性がとても高いのです。世界に先行している宇宙での電波天文の流れをこのまま大きな流れにしなければなりません。前節のような話は今の段階では、かなりの夢物語ではありますが、次のスペースVLBIの計画も、より短い波長へ、より高感度でというような方向で開発を進めています。衛星の仕様は望めばキリがありません。面白そうな成果が出るところで、できそうな所はどのあたりかを見据えつつ、計画を進めていかなければなりません。ここでは、一般的な話をさらに妄想的に書きましたが、具体的な次のスペースVLBI計画については別の機会に譲りたいと思います。（むらた・やすひろ）

お知らせ

★人事異動

発令年月日	氏 名	異 動 事 項	現（旧）職等
		（採 用）	
15. 2. 1	たむら たか ゆき 田村 隆 幸	宇宙科学企画情報解析センター助手	

★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	MUSES-C 総合試験 INDEX 第1次嚙合せ試験 下旬 末	M-V-6 頭胴部仮組立 (1A富岡)
内之浦	M-V-5 第2組立オペレーション 6 28	MUSES-C 射場オペレーション 中旬
	再使用型ロケット複合材タンク試験 (中旬：内之浦)	再使用型ロケット地上燃焼試験 中旬 (能代) 末



★「のぞみ」地球スイングバイに成功

平成10年7月4日に打ち上げた火星探査機「のぞみ」は、平成15年末に予定している火星周回軌道投入をめざして惑星間軌道を巡航中です。去年の年末12月21日に地球に接近し、無事スイングバイを実施しました。地球への最接近は同日午後4時37分ころ、距離は、約3万kmです。一時は、3億6,000万kmまで地球を離れたこともある「のぞみ」の久々のご帰宅ですが、最接近時は日本からは見えない時間帯に当たりました。このスイングバイで、探査機は黄道面から多少離れ、地球の北側を進む軌道に移りました。

「のぞみ」は、昨年4月21日に起こったコロナマス放出を伴う大規模な太陽フレアに遭遇した後、搭載機器の損傷により一部の電源系に不具合を生じ、テレメータが送信できない状態が続いています。そのため巡航軌道上での科学観測は停止しています。しかし、軌道決定のための測距やコマンド受信は正常に動作し、また搭載の自律機能を用いたビーコン電波のオンオフによるテレメトリの代替という裏技も活用して、姿勢制御や軌道制御を実施しています。現在は、不具合の詳細な解析および復旧のための運用の検討を進めているところです。

今後、「のぞみ」は、6月19日に再び地球スイングバイを行い黄道面内の巡航軌道に移り、今年末の火星周回軌道投入の準備に入る予定です。（中谷一郎）

★第3回宇宙科学シンポジウム

1月9～10日の2日間にわたり第3回宇宙科学シンポジウムが開かれました。宇宙科学研究所の看板シンポジウムとして始まり、ついに3回目を迎え、そろそろその真価を問われる時期ですが、参加者は約320名を数え、発表件数は150件（内ポスター92件）という盛況ぶりでした。

1日目は、WG報告を含む将来計画提案、2日目には衛星基盤技術・将来計画提案の一部、そして特に今回は、宇宙科学の進むべき一つの方向を見出すために「小型衛星・小型飛翔体」セッションを設けてみました。結果としてこのセッションへ35件もの発表申し込みをいただき、企画自身は成功であったといえます。

しかしながら、このセッションで小型衛星等のレビュー的な講演が無く、参加者にとって必ずしも有意義な情報を与えるものとなり得なかった点は反省点の一つです。また、今回提案予定のミッションがSELENE-Bとソーラーセールの2件あったこともあり、Working Group報告への時間配分が大きく、本シンポジウムの基本であるポスター発表の時間が、2時間あまりと短くなってしまったことも残念です。

なお、今回初の試みとして、山村助手（原始宇宙物理学部門）の努力により、講演会場の様子をTV会議システムによってポスター会場及びSuperSINETに配信することができました。（世話人一同）

MUSES-C 月報-2

★熱真空試験で宇宙空間を体験

12月に機械環境試験を終えた探査機は、模擬推進剤を排出・乾燥させ、いま再度の機能確認試験を行い、1月半ばから熱真空試験が始まった。

試験は巡航中だけでなく、小惑星への降下と着陸フェーズを模擬して行われる。もっとも熱的に厳しいのは、実はこの着陸フェーズである。探査機下面は約100℃あるいはそれ以上と想定される高温の表面に正対することになる。解析された熱数学モデルが正しいことが確認されるはずである。

これに引き続き、イオンエンジンを探査機本体にマウントした実装状態で、チェンバーの中で稼働させるというユニークな試験が予定されている。おそらく世界でも類をみない実装状態での運転試験であり、最終のイオンエンジンの動作確認を飛行状態でしようというものである。

一連のチェンバー内の試験が終了するのは2月半ばになる。その後、熱真空試験後の機能確認と、センサライメント、慣性諸量の計測が終わると、いよいよ鹿児島へ輸送される予定である。

若い担当者にとっては、実機の試験から打上げに通ずる貴重な経験であり、意欲的になるのは当然であるが、一方では老練の担当者が退官を目の前にしつつも着実な作業を心がける姿が対照的である。数々の修羅場をくぐりぬけてきた先輩たちから、少しでも経験に裏付けられた仕事ぶりを学べればこれに越したことはない。MUSES-Cは、新型エンジンを搭載する自律性の高い最新鋭の探査機である。探査機とともに世代を交代しつつあるといえる。

（川口淳一郎）



★M-V-5号機第1組立オペレーション

M-V-5号機（MUSES-C）の打上げ実験の第1組立オペレーションが、平成15年1月10日～19日の期間、鹿児島宇宙空間観測所にて行われました。

第1組立オペでの作業は後部筒、第1段・第2段モータ、ノズルフェアリングの組立てが中心です。まず後部筒の作業が始まり、並行して第1段推力方向制御系の作業、そして第2セグメントとノズルの結合へと進み、同時にノズルフェアリングの作業も行われました。第1段に後部筒が組み付けられサーマルカーテンが付くと第1段の作業はほぼ一段落。続いて第2段モータへのノズル組付け、推力方向制御系の最終整備が行われ、予定の作業を終えました。

4号機から数えて3年ぶりのオペレーション。性能向上と低価格化を図った第2段モータやキックモータは新規開発品です。実験班員の顔ぶれも歳月とともに変わっています。これらのプレッシャーを感じながらも、5号機を必ず成功させるぞという気概が実験班の全員に溢れていました。事故や失敗は気が付かない所に隠されている落とし穴のようなもの。だから、基本事項・安全事項をよく確認しましょう。そう呼びかけ合いました。最後の検討会では皆の安全と無事に感謝し、反省点を検討し、得られた教訓を第2組オペやフライトオペに活かし、5号機を成功に導こうと確認いたしました。（嶋田 徹）



第2段モータ(M-25)とノズルの結合作業

★南極で大気球を揚げる

1992年11月14日、宇宙科学研究所では3人目となる第34次南極観測隊員として晴海埠頭から砕氷艦「しらせ」に乗り、大気球を放球するため南極「昭和基地」に向かってからちょうど10年目、今回は気球工学のメンバーである松坂、齊藤と3人で第44次南極観測隊員として再び南極「昭和基地」で大気球実験を行うことになった。10年前と変わったことは、「しらせ」が11月14日に晴海埠頭を出航、観測隊員はそれから2週間後の11月28日に成田からオーストラリアのフリーマン

トルに向けて空路で行き、そこから「しらせ」に乗船し南極に向かうことである。

昨年暴風圏で「しらせ」が最大52°という驚異的な揺れに見舞われたが、今年は例年になく海が穏やかで27°の揺れが最大であった。フリーマン港を12月3日に出港し、12月17日には昭和基地へ30マイルの地点に到着、順次大型のヘリコプターに搭乗し、昭和基地に降り立った。我々の実験をできるだけ早く行うため、全ての気球用の資材は緊急物資としてヘリコプターによる輸送が行われた。気球用物資中最大重量でしかも大量に輸送された物は、7m³型ヘリウムボンベ544本であった。

大気球の放球は天候および各種のトラブルに巻き込まれたが、1月13日10時45分および同日15時15分快晴の青空に吸い込まれるように1日2機の大気球の放球に成功した。この2機は地球物理観測器で、同時飛翔観測を目的の一つとしており30kmの上空で、1月29日現在、南極大陸をおよそ半周し飛翔を続けている。

（並木道義）

★第21回システム研究会開かれる

さる1月24日、宇宙科学研究所の研究・管理棟会議場において、第21回システム研究会が開催されました。今回は「われわれは宇宙で何をするのか（その3）」で、テーマとして「宇宙開発戦略を語る」が選ばれました。幹事の小林康徳教授の挨拶の後、秋葉鏖二郎先生の「宇宙政策論活発化への期待」と題する講演に始まった8人の講師の話はすべて非常に示唆に富む内容のものばかりでした。最後に講演者と会場の参加者との自由討論が行われ、現在の宇宙開発の課題をめぐって活発な議論がたたかわされました。長期的な戦略を打ち立てるべきこと、国の経済活動の活性化にも貢献できる戦略を打ち出すべきこと、「宇宙のしきい」を低くするための「オープン・ラボ」構想、有人活動始動の提案、有人飛行は当面suborbital flight（弾道飛行）をめざすべきという意見などが述べられました。宇宙開発の展望を拓くための苦闘は続くでしょう。一層の論議の深まりを期待したいものです。（的川泰宣）

★LUNAR-Aプロジェクトの近況

LUNAR-Aプロジェクトは、MUSES-Cミッションの打上げ延期に伴うスケジュール変更を行った。昨年11月26日にプロジェクトチーム全員が集まり、再キックオフ会議を開催し、2004年度以降の打上げを目指して全員が邁進することを確認した。新しいスケジュールでは、今年2月からはペネトレータと母船の噛み合わせ、10月からは総合試験が行われる予定で、現在それらの試験のための準備が進められている。

現在もっとも大きな仕事として行われているのは、ペネトレータに搭載される送受信器の調整である。貫入試験用、実機ペネトレータ用の通信機の性能確認が

連日、NTスペース社内、およびC棟3階の電磁シールド室や1階の恒温槽内に作られた電磁シールドボックスの中で行われている。ペネトレータに搭載される月震計も通信機と同様に貫入試験用のもの、実機用のものが製作されつつある。それぞれ製作工程確認のために、工程の各段階毎に通信機、月震計の性能確認を行うので、関係者は大変忙しい日々をおくっている。

ペネトレータに搭載される月震計はまた、名古屋大学犬山地震観測所のトンネルの中で、世界標準になっている高帯域地震計と並べて、実際に地震記録を取りながら比較試験も行われている。これまでの結果によると、LUNAR-Aの月震計は地上の地震計に比べて極めて小型軽量、小電力型ながら、地面の震動を極めて精度良く記録していることが判明している。

LUNAR-Aプロジェクトにとって、2003年は大きな節目になる年になる。プロジェクトチーム全員の力で打上げまでの準備を滞り無く進めたい。(水谷 仁)

★カナダ宇宙庁長官来所

昨年12月3日にカナダ宇宙庁(CSA)長官M. Garneau博士他2名が宇宙研を訪問されました。国際宇宙ステーションの会議に来日された機会をとらえた来所でした。

あいにく所長が不在であったため、私ほか数名で対応しました。最初に、意見交換ということで私が宇宙研の歴史、組織、将来計画等について簡単に紹介しました。宇宙研が行なっている科学ミッションの規模、多様さとその成果に驚かれたようでした。

長官からは、カナダは国の経済規模が小さいこともあって国際協力を通じて宇宙開発・宇宙科学を進めていること、今後は小型衛星の独自開発も考えているが、限られた経費を考慮し特定の分野に重点化するつもりであること等カナダの宇宙開発の現状の紹介がありました。カナダが独自の宇宙開発戦略を持ち、少ない経費で効率良く宇宙開発を進めていることが印象的でした。

日本とカナダはこれまでも惑星間プラズマ等を中心



カナダ大使館参事官 CSA科学部門長 CSA長官
Dr. T. Philip Hicks Dr. David J. W. Kendall Marc Garneau

に活発な国際協力が行なわれてきましたが、今回の訪問を機会に今後もっと枠を広げ、いろいろな分野での協力の可能性を追求することでお互いの意見が一致しました。

意見交換のあと所内見学をしていただきましたが、クリーンルームで試験中のMUSES-C、SOLAR-Bにとりわけ強い興味と関心を示されました。

カナダ宇宙庁長官の宇宙研訪問は初めてのことでしたが、活発な意見交換がなされ、今後の協力関係を一層発展させる上で大変有益な機会となりました。

(松本敏雄)

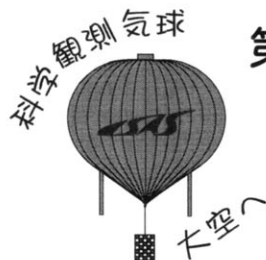
★ジャッコーニ氏ノーベル賞受賞

2002年のノーベル物理学賞が、小柴氏、デービス氏と並んで、リカルド・ジャッコーニ氏に授与された。ジャッコーニ氏の受賞理由は「X線天体の発見に導いた、X線天体物理学への先駆的貢献」であった。わが国では小柴氏の受賞がたいへん大きく取り上げられたため、ジャッコーニ氏の受賞が目立たなくなってしまったが、宇宙科学にとっては、X線天文学とのかかわりや、スペースからの科学観測の成果が受賞対象になっている点から、たいへん大きいニュースであった。

ジャッコーニ氏はX線天文学の観測の最前線を切り開いてきた。太陽より遠い宇宙からのX線を初めて検出した1962年のロケット実験、主な宇宙X線源の種類と性質を明らかにした史上初のX線天文衛星「ウフル」、宇宙X線観測に初めて反射望遠鏡を導入しほぼあらゆる種類の天体からX線を検出した「アインシュタイン」衛星と、X線天文学の大きな飛躍をもたらした計画に強いリーダーシップを発揮し、直接の大きな貢献をした。さらには、可視光観測の最高分解能に匹敵するほどの解像度を実現した現在活躍中のX線天文衛星「チャンドラ」のアイデアを提案したのもジャッコーニ氏であった。

ジャッコーニ氏がX線天文学の黎明期を切り開いてきた第一人者であることを疑うものはだれもいないが、X線天文学の発展には、当然ながら他にも多くの貢献があった。ジャッコーニ氏が宇宙X線観測の最前線を切り開いた第一人者とすれば、その天体物理学としての重要性を確立する重要な貢献をした第一人者は、元宇宙科学研究所所長で一昨年急逝された小田稔先生であった。

事実、ジャッコーニ氏の受賞講演でも、再三小田先生の名前があげられその功績が紹介された。もしご存命でおられたら、同時に受賞された可能性もあったかと思うと、そのご逝去がいまさらながら惜しまれる。さらに、ジャッコーニ氏は、小田稔先生・田中靖郎先生に率いられた日本のX線天文衛星群の、X線天文学の発展への寄与についても、言及された。それらの開発にかかわってきたものとして、たいへんうれしいことであった。(井上 一)



第5回

大気球実験と気象

井筒直樹

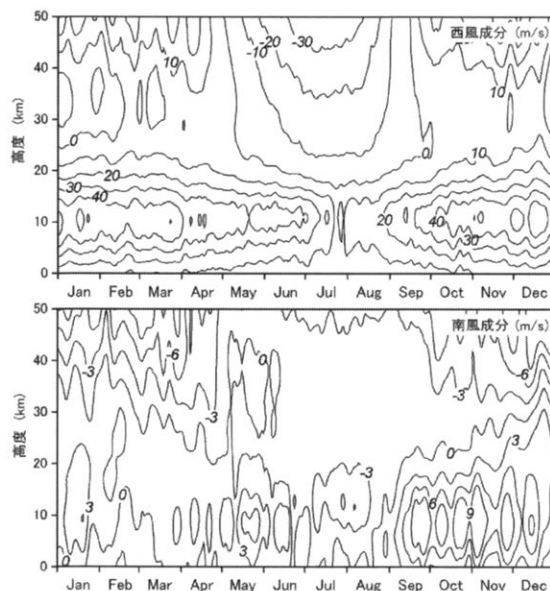
地上を離れた大気球は風とともに移動し、その飛翔速度や航路の変更は浮揚ガスの排気とバラスト投下による高度変更によってのみ可能となる。このようなことから、飛翔時の安全性を確保するためにも、高層気象情報が欠かせない。日本の三陸付近では右上の図に示したような風があり、気球は東西方向に飛ぶ。飛翔時間を長くするためには、上昇中に気球が太平洋沖に進むための偏西風が強く、浮遊高度における風が東よりで弱い、5～6月と8～9月が適している。

放球後、所定の浮遊高度に達するまでの上昇フェーズでは、予測上昇経路が定められた範囲にあるかどうかを調べ、観測が行われる浮遊時には、高度調節により望ましい航路を選択する必要がある。観測終了で気球と観測器を降下させる際には、迅速・安全に回収可能なように、指定された範囲に降下させるために高精度の経路予測が求められる。これは科学気球による実験を進める上でたえず研究していかなければならない問題である。

このようなリアルタイムでの予測に利用可能な高層気象データとしては、古くから利用されているラジオゾンデによる観測値があり、最大高度30km程度までのデータが得られる。また、綾里で高度60kmまでの気象ロケット観測が週1回行われていたが、残念ながら2001年3月で打ち切られた。これらは観測地点と時間が限られるため、利用には限界がある。

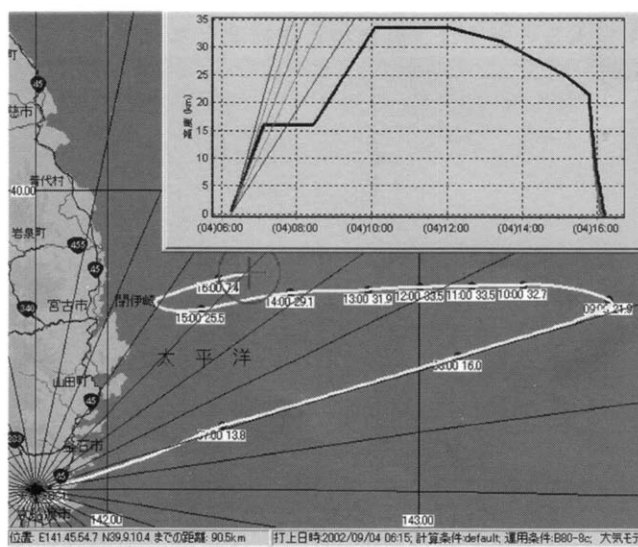
一方、気象衛星による間接観測や地上観測を含めて様々な測定値を同化させた客観解析が多くの機関で行われている。近年インターネット上での情報公開が進み、これらの一部を利用することができる。NCEP CMWFによるものが有名である。日本でも気象庁が高度16kmまでながら公表している。この他、高度55kmまでの同化データがBADCにより公開されている。こうした新しい手段を取り入れた気球飛翔を支援するシステムの構築を図ってきた。これは、国外における実験にも対応できるよう配慮されている。

右下の図は、放球前の飛翔予測の例である。ただし、以上に述べたような様々なデータを用いたとしても、その精度から、高々度における気球の飛翔を正確に予測することは現時点では不可能であり、自前の観測も必要となる。したがって、事前に測風気球を上げて高度40km以上までの風のデータを取得し、上記のシステム運用の補完を図っている。



他方、気球飛翔のシミュレーションを行う時や実際の飛翔制御においては、風の変化に対する気球の応答の遅さに注意をはらう必要がある。大気球のように直径数十m以上、総質量1トンともなると、高度35kmでは変化した風にのるのに10分も要する場合がある。これは上昇中の気球にとっては、向きが変わるまで数kmも上昇してしまうことを意味し、より高い高度をめざす気球にとっては、飛翔制御の難しさの一因ともなっている。このような巨大ガス構造体としての気球のダイナミクスも研究の対象となっている。

(いづつ・なおき)



今回のインド訪問は日本学術振興会の海外交流事業の一つである第8回日・印先進複合材料生産科学セミナーに出席するためであった。このセミナーは毎年日本とインドで交互に開かれ、今回は12月の第一週にインドで開催された。小生のインド行きも4回を数え、会議自体は少々マンネリ化してきているが、インドは行くたびに違った姿を見せてくれ、今回も驚きの連続であった。

セミナーの開催場所は、デリーの北約200km、ヒマラヤ山脈の麓のMussoorieという町であった。ここはイギリス統治時代に夏の避暑地として開かれたところで、海拔2,000m程の山の上にある。景観はすばらしく、南側にはヒンドスタン平原が広がり、少し小高い丘の上からは北側に40km程離れたヒマラヤ山脈の高峰が眺望できる。このあたりには、聖なる川とあがめられているガンジス川の源流があり、観光案内によればインドのヒンズー教やシーク教等の神々を祭る聖地が散在する。それら聖地には、夏になると沢山の巡礼者が登ってくるとのことであるが、我々が行ったのは初冬でもあり、観光客の数はまばらであった。

セミナーの間に骨休みにと小バス旅行が企画された。バスは巡礼者の道の一つを辿り山奥に向かった。1,000mにも達する深い谷の急峻な斜面に作られ、路肩も固められていない細い道をバスは疾走した。対向車とのすれ違い時には、谷底に落ちはしないかと手に汗を握り、日本人参加者からはこんな所にくるのであればもう参加はごめん被るとの苦情も発せられた。到着したのは森林公園で、ヒマラヤ山脈が間近に見える絶景の場所であった。

隣接して小学校があった。小学校といっても20～30m²程の土間の教室一つしかなく、40人ほどの生徒が3グループに分かれて授業を行っていた。学校があるのは標高3,000mの峠にある小さな町で、辺りを見回すと斜面を利用して段々畑が遙か谷底まで作られている。民家は畑の間に散在しており、眼下に広がる斜面を5マイル以上も徒歩で通っている生徒もいるとのことである。制服を着た小学生たちは赤い頬をしており、二本線の鼻を垂らしている子もいる。北部インド人は目が大きく彫りが深いためか、驚くほど聡明そうに見える子もいる。我々のデジカメの映像を物珍しそうにのぞき込む目は輝いていて、死んだ目をした大学生に授

業をしている身にとってはことさらかわいく見える。

朝早く町中を散歩すると、小学校の低学年くらいの子供が大きなバケツを持って路地に設けられた井戸に水くみに次々と現れ水を満たして帰って行く。家の掃除や農作業の手伝いも忙しく、学校は友達と遊べる楽しみの場なのであろうか。日本人には昔懐かしい風景であった。

最初にインドを訪れたのは平成6年である。そのときには首都のデリーでも道路端にテントが並びそこで寝泊まりしている人をたくさん見た。訪れるたびに、テント生活者は減り、町をうろつく牛の数も減って経済的には豊かになっているのが実感される。一方相変わらずなのは多量のゴミである。特殊な場所を除き人の集まる場所はゴミに覆われている。今はまだ人々がものを多く持たない生活をしているのでこの程度で収まっているが、今後ものが増えたらどうなるのか人ごとながら心配である。インドという我々訪問者にとって水などの衛生状態が問題にされるが、その解決の第一歩はゴミ処理なのかもしれない。

自動車の運転のすごさは相変わらずある。ひっきりなしにクラクションが鳴り、一車線の道路でも常に追い越しを狙って対向車線側に半分身を乗り出して運転している。自分の車線に引っ込むのは対向車が来たときそれもすれ違いのほんの一瞬である。一級国道でも牛車が荷物（今回の場合はサトウキビ）を満載してゆっくり走るため、牛車を追い越すのは必然であるが、自分より遅い車は追い抜こうとする。追い越す車は必ずクラクションを鳴らす。町中に入れば、道端に露天が並び人も多く交通渋滞がしょっちゅう起きる。そのときにもクラクションが一斉に鳴らされる。外を出歩けば、店では買わないかとの声がかかり、道行くオートリキシャからも乗れとの声がかかる。人・車の喧噪で慣れない身には疲れることこの上ない。

ワークショップでは発表を終えると質問の声がそこかしこからあがる。日本の講演会のように質問がなく司会者が渋々質問を考えるとすることはまず不要である。私共の研究室でも学生の多くは卒業旅行とやらで海外旅行に出かける。行く先の多くは欧米である。そんなとき筆者は「インドにでも行って人生を考え直しては？」と勧めるのであるが、実行した学生は一人もいない。
(はった・ひろし)



日本初の科学衛星「しんせい」(後編)

井上 浩三郎

軌道に乗った「しんせい」は、ほぼ90分の周期で回って来て観測データを送り続けました。当時の衛星運用の周辺の事情についてお話をします。

当時のテレメータ受信は内之浦一局だけで行い、受信回数は毎日5回か6回。現在の様に手軽に計算機が導入できる時代ではなく、伝送装置も無く、すべての運用管制の作業は人間の手で処理されました。衛星から送られてくるテレメータデータは、ペンレコーダ、アナログデータレコーダ、デジタルプリンタ等に記録されました。衛星の状態を見るためのクイックルック(QL)は、デジタルプリンタに印字される2進10進変換された値を換算表によって物理量に変換し、衛星の機器のオン・オフ等の状態把握は復調器に表示される2進のランプ表示モニターで行われるという状況でした。

また衛星へのコマンド送信は、衛星テレメータセンタに設置された指令コード発生装置のパネル面上にあるサムホイールスイッチによってコマンド番号を設定した後、実行ボタンを押すことにより行われました。これらの作業をまとめるのが運用管制の指揮者の作業でした。受信が終了すると取得したデータの整理、アナログテープの郵送等休む暇が無く、90分で1周してくる次の受信の準備に入らなくてはならないという具合でした。この運用指揮者を何回か経験しましたが、これを1週間も続けるとくたくたになったことが思い出されます。貴重な経験でしたが衛星運用がいかに忍耐強さを必要とするかを実感しました。その頃寝食をともにし、運用終了後酒を飲み交わした人たちとの友情は今では経験できない楽しい思い出になりました。

衛星から送られてくるテレメータデータはビットレート64bps(1秒間に64ビット)という、今では大変遅い速度で地上へ伝送され、地上の受信機や復調装置を経てアナログデータレコーダの磁気テープに記録されました。記録されたテープは、航空便または郵送で駒場の研究所へ送られ、そこで再生されました。再生して得られたテレメータ信号は、PCM復調装置でデジタル信号にし、大型計算機(HITAC-5020F)へ伝送されました。大型計算機はその信号をフォートラン(コンパイラ)のソフトで読める信号に変換してデジタルテープに記録しました。その後この処理は、当時のミニコンピュータ(M-4)を使用して、ビットレートの4倍の速さで一次処理され効率化が計られました。内之浦局でデータを受信して、研究者の手に渡るのに

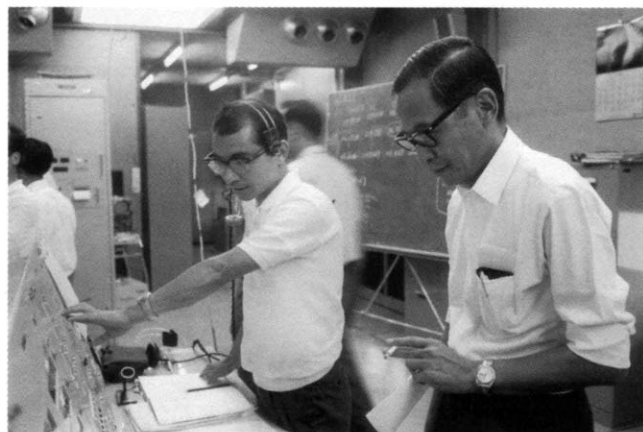
1週間位はかかったと記憶しています。専用の高速デジタル回線を使用しリアルタイムでデータ処理・モニターできる今とは隔世の感です。

「しんせい」はスピンで姿勢を安定に保持していたため、姿勢を正確に決めることは、重要な要素でした。当時は専用の伝送回線が無かったため、姿勢データ(地磁気センサと太陽センサ)は、テレメータデータの中から姿勢データだけを紙テープに抽出し、当時50ボ(後に200ボ)の電話回線で時間をかけて駒場へ伝送し大型計算機で姿勢計算を行うという方法をとっていました。回線を使った初めてのデータ伝送でしたが、姿勢を決めるにも、大変な苦労がありました。

「しんせい」に搭載された3つの観測器からはそれぞれ興味ある観測結果が得られました。まず、南米大陸付近の異常な電離を見出し、太陽電波観測では短波帯の太陽電波の発生機構を明らかにし、宇宙観測装置も中南米地帯での異常カウントを見出しました。特に南米上空の異常現象については、その後打ち上げられた「たいよう」衛星で詳細に観測されました。当時、科学の伊藤富造先生は、『我が国の電離層直接観測についてのハイライトは初の科学衛星「しんせい」による電子密度の観測であろう。これまでロケットだけに頼っていたために時間的および空間的に限られた範囲しか得られなかった直接観測データがworld wideに、しかも昼夜にわたって得られるようになったのは大きな前進である。』と語っておられます。

第1号科学衛星「しんせい」は、はじめての衛星観測の経験でしたが、新しい事実が多く見出され、その価値の大きさを見事に証明した衛星でした。

(いのうえ・こうざぶろう)





気球、世界を結ぶ

矢島 信之

自分の定年を意識し始めた頃、親しくしていた外国の気球関係の友人も次々と定年を迎えて行くのに気付いた。その方々は、60年代に宇宙機関が科学気球を組織的に開始した第一世代の後を受け、80年代中葉から90年代を通じ、国際化、大規模化に尽力された。一つの時代の区切りを感じる。

スウェーデン北部の宇宙基地Espaceの所長であったJ. Englundさんは、気球以外の分野でも宇宙研との繋がりが深い方である。私は、1996年に行われた大規模な北極圏での気球キャンペーンが縁となった。翌年にスウェーデンでESAの観測ロケットと気球に関するシンポジウムが開催された時、事務局長役のKemiさんと図り私を招待して下さいました。これが、以後活発化したヨーロッパや米国での研究発表の端緒となった。その頃には、三陸で気球を打ち上げるという実務から解放され、気球自体の基本的研究に専念できるようになっていた。それなりの結果も出せていたので、大変よいタイミングを与えて下さったと感謝している。

フランスの気球基地の所長D. Bawcomさんともキルナでの実験が縁である。氏は、それまで“フランスの気球”であったものを、ESAの気球に発展させた功労者といえる。フランス語以外話そうとしないスタッフに対し、国際性の重要さを説き、率先して英会話の勉強に励んだと聞く。

J. Randさんは気球を製作するWinzen Int. 社の社長であった。だが、経営者と言うより、元 Texas A & M大学の教授という学者肌の方であり、米国気球の理論と実践の両面にわたるリーダー的存在であった。残念ながら、1993年に、気球製造体制の合理化が図られRaven社に買収されてしまい、別れてWinzen Engineeringなる小さな会社を設立して活動を続けられた。不本意であったであろう。私のスーパープレッシャー気球の研究を高く評価して下さい、1999年のAIAAのコンファレンスでは、ご自身の発表の中でまで紹介して下さいました。私の発表が最優秀論文に選ばれたのも、Randさんと、次に紹介するSeelyさんの後押しがあったのではないかと思います。

そのL. Seelyさんは、Winzen社からRaven社に移った方で、工場長の立場である。化学が専門で、気球フィルムの権威である。ジャズバンドの仲間を持ち、100

kgを超える巨体で弾くベースの腕は相当なものである。今春、心臓を痛めたとのメールをもらって驚いた。幸い危機は脱したとのことではっきりしている。早く完全回復し、気球、飛行船グッズが所狭しと並び、博物館と自称する工場のオフィスに復帰してほしいものである。

D. Bawcomさんは、米国の気球基地の所長であった。初めてそこを訪れた時、70年代の有名な大型気球天体望遠鏡計画、“Stratoscope II”，用に作られた大きな建物が、論文で見た通りに残っていて感激した。私の気球への関わりは、望遠鏡の方向制御に始まったからである。3年程前に所長を退かれて間もなく、奥様を亡くされたと伝え聞き、お悔やみのメールを出そうかと逡巡しているうちに時が過ぎてしまった。最近、若く、しかも億万長者の女性に見込まれて再婚されたと聞いた。当然、今もお元気である。

まだまだ記したい多くの人がいるが紙面がない。最後に、落としてはならない人がいる。長く三陸大気球観測所の事務主任であり、昨年退職された小松錦司さんである。上記の外国の友人達が来日した折りには、基地近くの小松邸を必ず見学コースに加えた。築100年を越える格調ある家で、山野草が植えられた手入れの良い庭は、裏の杉林から溪流へと続いている。元JPL所長のB. Murrayさんご夫妻を御案内した時には、“これぞ国宝”，と感心された。中尊寺の金色堂を見物してから訪問したのに。その小松邸の前で撮られた写真の一コマを示し、ISASニュースへの最後の筆を置くこととする。

(やじま・のぶゆき)



左からSeelyさん、Bawcomさん、Kemiさん、小松夫人、私、Englundさん、小松さん



宇宙研での36年を振り返って

廣澤 春 任

宇宙3機関統合を半年後に控え、研究所の皆様が専らこれからのことを考えておられる時に、こうして過去を振り返るのはたいへん気が引けるのですが、本稿ではそれを許して頂けると幸いです。36年に及ぶ本研究所での勤めが終わりに近づいた今、長い年月の出来事が走馬燈のように思い返されます。幾つか思い出すことを書き綴ってみます。

衛星「はるか」ではプロジェクトの責任者を務めました。「はるか」は、開発段階で、工学実験衛星という位置づけと、電波天文観測のための衛星という国際的にも担った期待と、さらに本当はM-Vロケット初号機打ち上げ実験に積む（簡単であってほしい）衛星である、という三つの性格を持っていました。私自身、M-Vロケットの開発にも関わっていましたので、上の三重の性格のもとで、三重の立場に立つ必要がありました。「はるか」が成功を取めたのは、衛星チーム、M-Vチームの大勢の方々の言語に絶する努力の結果で、私が何とか役目を果たすことができましたのも全くこのような大勢の皆様の御陰です。

宇宙研の大型地上設備についても、沢山の仕事をさせて頂きました。臼田64mアンテナ局とKSC20mアンテナ局の建設では林友直先生の先導のもとで働きましたが、それから後の新精測レーダとKSC34mアンテナ局の建設、臼田64m局のX帯アップリンク機能付加などでは、立場の巡り合わせから、私が先導役を務めました。KSC18mアンテナの撤去もさせて頂きました。宇宙研のこれまでの衛星追跡設備の開発、建設の歴史は科学衛星の発展と共にあります。科学衛星と地上系の間のこのような関係は今後も変わらないはずで、新機関になって施設管理の仕組みが多少変わっても、地上系に関する研究・開発を科学衛星と一体のものとして積極的に進めていっていただきたいと思います。

時代は遡りますが、三陸大気球観測所の建設にも深く関わりました。1970年前後のことです。三陸の大気球は西村純先生のリーダーシップのもとに、大きく発

展しました。三陸初期の頃の気球実験は、私がまだ若かったこともあって、忘れがたい思い出です。共同利用研究所というものの意味を理解したのも大気球観測実験を通してであったように思います。三陸町や地元の方々とのお付き合いは、建設前の基地調査の頃も含めると、35年近くにわたります。宇宙研のこれまでの多くの活動は、施設がある地域からの支援の上に成り立っています。新機関において三陸の所属は変わりませんが、所属が変わる内之浦も臼田も宇宙科学が今後も施設の主たる使用者であることに変わりはありません。いずれの場所においても、土地の方々との関係を大切にしていきたいと思います。

上にお話したような宇宙研の本務の仕事とともに、ほかに、マイクロ波を使ったりリモートセンシングに関する研究をしてきました。1970年代中頃のことですが、東大の田無の農場で場所をお借りして、土壌からのマイクロ波の散乱を測る、という実験をしたことがあります。その実験で、後方散乱係数の水分依存性の感度が、送受偏波が平行の場合よりも直交している場合のほうが高い、ということを発見して、それ以降、専ら偏波の伝える情報という観点からリモートセンシングの研究を進めることとなりました。数多くの大学院生諸君がこの分野の研究に取り組んでくれました。今から見ると草創期であり、原理的なことで楽しめる時期でした。

思い出話は打ち切りといたします。長年にわたり、研究所の皆様には、たいへんお世話になりました。ここに深く感謝を申し上げます。新機関の中で宇宙科学がより大きく発展していくことを心からご期待申し上げます。（ひろさわ・はるとう）



5月のMUSES-Cの打上げ準備に加えて、10月の新機構発足に向けての準備も本格化してきました。東大生産技術研究所での9年、東大宇宙航空研究所での17年、宇宙科学研究所での22年の経験を糧に、新しい組織での宇宙科学のさらなる発展をめざしたいものです。（周東）

ISASニュース

No.263 2003.2

ISSN 0285-2862

発行：宇宙科学研究所(文部科学省) ☎229-8510 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 042-759-8008

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(庶務課企画・広報係)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>)。