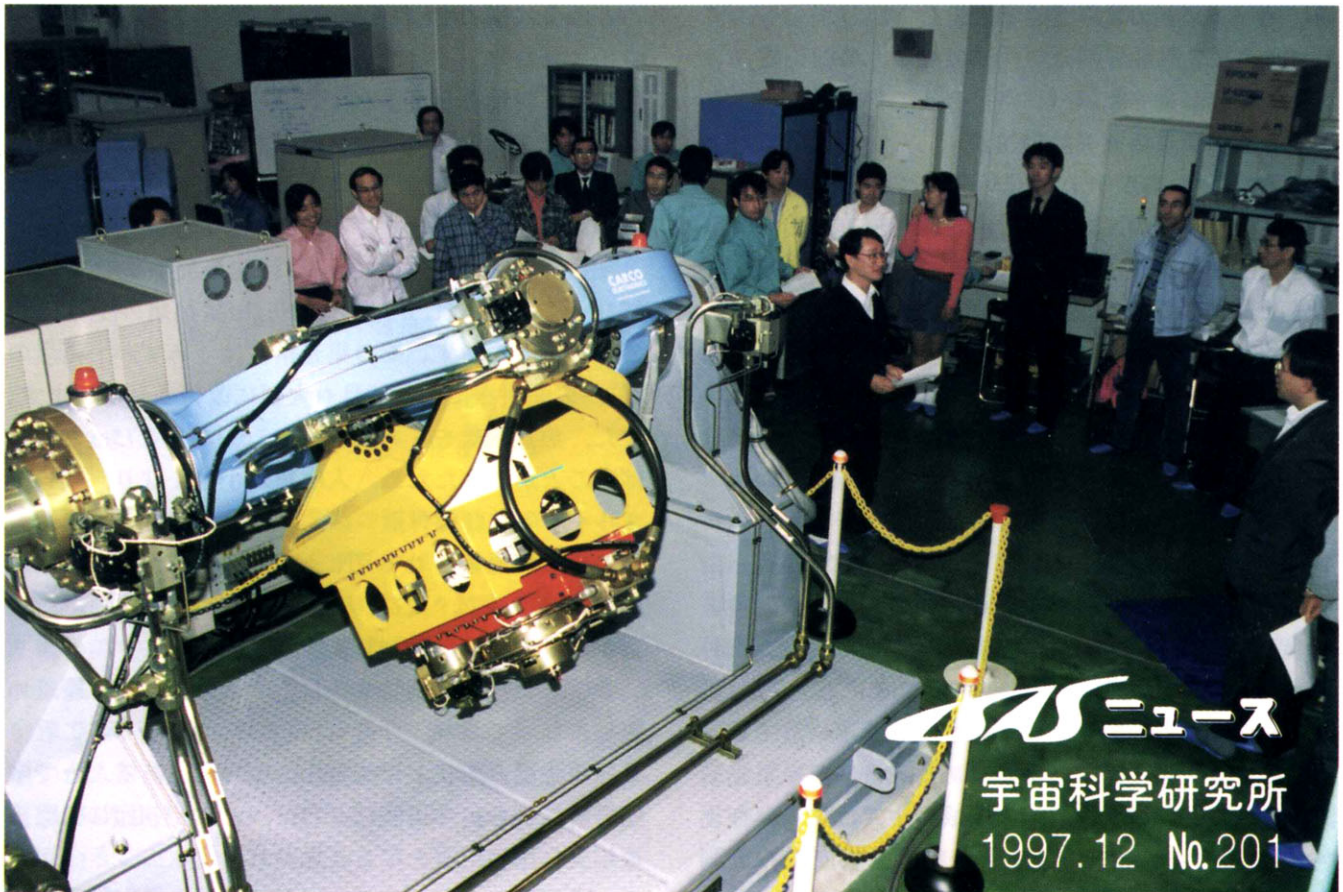




▲ M-V 3 軸モーションテーブル試験

〈研究紹介〉

21世紀の X 線望遠鏡を目指して

名古屋大学大学院 理学研究科 國 枝 秀 世

0. はじめに

今も軌道から元気に世界最新の観測データを送って来る「あすか」衛星には、日本で最初の本格的X線反射望遠鏡が搭載されています。このタマネギの輪切りの様なX線望遠鏡を御覧になったことのある方々は、「エッ、これが望遠鏡?」と思われたことでしょう。私達はこの不可思議な望遠鏡を更に進化させ、宇宙のより遠くまで、より深く見通すことで、21世紀のX線天文学を切り拓こうと思っています。ここではX線望遠鏡の開発とその応用を紹介します。

1. X線望遠鏡の特徴

可視光に比べ、3桁ほど波長の短いX線の反射は、鏡面に極めて近い(<1 度)斜め入射でなければ反射(全反射)されないことが特徴です。このため、わずかに絞られた、口径数十cmの円錐の内側で反射させ、数m先の焦点面に像を結ぶ、斜入射光学系を使います。

全体として大きな有効面積を得るために、この円錐を多数、同心円に重ねます。また、強い散乱を抑さえるためには鏡面の粗さは波長程度(0.5ナノメートル;nm)以下まで滑らかにしなければなりません。

一方、宇宙のはてまで見晴かすため、X線望遠鏡は幾つかの矛盾するような要請を満たすことが課せられています。まず、宇宙から来るX線は大変微弱で、最も明るいX線源である蟹星雲でも1平方cmに毎秒1個程度しか来ません。現在ではその5桁暗い天体までを対象とする様になり、如何に高効率で集光するかが第一の要請です。一方大気吸収を避けて、衛星軌道に持ち上げるには、X線望遠鏡は小型で超軽量でなければなりませんし、打上げ時の、あの恐ろしい振動と衝撃にも耐えなければなりません。

光学望遠鏡の技術をそのまま延長したEinstein衛星(1978年、3.5ton)では、厚いガラスを磨いて4層同心

円に並べ、最初のX線反射望遠鏡を実現しました。これによりX線撮像が初めて可能になり、X線天文学は大きく進歩しました。

2. あすか衛星搭載X線望遠鏡

このEinstein衛星が上がった直後、1979年に日本では悲願の国産初のX線天文衛星「はくちょう」(90kg)が上がりました。その後、「てんま」衛星(1983年、200kg)「ぎんが」衛星(1987年、420kg)に続き、総重量420kgが許されるAstro-D(後の「あすか」)衛星にX線望遠鏡を載せることにしました。一桁近く軽い衛星で、如何にEinstein衛星を凌ぐか、多重薄板X線望遠鏡がその一つの答えでした。

まず、結像性能は中程度でも、カバーできるエネルギー範囲を高エネルギー側に広げることでEinstein衛星を越えることを目指しました。このため、入射角を0.7度以下にすること、極限まで基盤を薄く(0.15nm)し、120枚の円錐を同心円に並べることにしました。これがタマネギの輪切りを連想させる基本構造です。これにより大幅に開口効率を高め、10keVまで集光結像ができました。天体の元素組成の中では鉄の存在比が大きく、6.4-6.7keVにある鉄の輝線を感度良く観測できるようになったことは、大きな進歩でした。「あすか」衛星で最も重要な成果の一つになった、ブラックホール近傍の強い重力場の検出は、この鉄輝線を用いて行われました。

この多重薄板X線望遠鏡はNASAゴダード研究所のSerlemitsos博士のアイデアによるもので、これを共同で「あすか」に向けて更に工夫を凝らしたものです。厚み0.15nmのアルミフォイルを基板とし、これにアクリルコーティングと金蒸着を施しています。0.5nm以下の滑らかな鏡面を研磨ではなく、コーティングで実現したのはまさに逆転の発想です。

こうして超軽量化を達成し、自身が軽いことで振動・衝撃にも耐え、「あすか」衛星では軌道上で無事にX線天体の像を結ぶことができました。

3. レプリカ法の導入

「あすか」衛星の高効率の集光力を維持しつつ、より高い空間分解能を得るため、Astro-Eでは、レプリカ法を導入することにしました。「あすか」衛星で約3分角の像の広がりを決めていたのは、アルミ基板のうねり、それも表面波長10nm以下の凹凸でした。この同じ基板で、円柱をしたガラス母型(表面に金蒸着)のレプリカを取ると、アルミ基板の持っていたうねりはエポキシで埋められ、母型の形状と、滑らかさを金と共に写し取ることができました。

この金は極めて滑らかなガラス面にスパッタ法などで積まれます。通常はその積み上げた最後の層を表面にして反射鏡としますが、レプリカをした時表面に現れるのは、蒸着時の一番下の層です。そこは金が最も良く打ち込まれた層で、積み上げた最後の層よりも、やや高い反射率を示すことが分かって来ました。

現在、Astro-E搭載用X線望遠鏡の反射鏡はこのレプリカ法で作られ、今まさにFlight品が組み上げられているところです。その集光精度は「あすか」衛星の2倍、表面粗さによる散乱も大幅に改善されています。また、焦点距離を「あすか」の3.5mから4.75mまで伸ばすことができたため、入射角が小さくなり、高いエネルギー(鉄輝線付近)の集光面積が倍増されます。この原稿が掲載される頃には、宇宙研D棟1階のX線ビームラインで、1台目の望遠鏡のX線特性測定に取りかかっていると思われます。

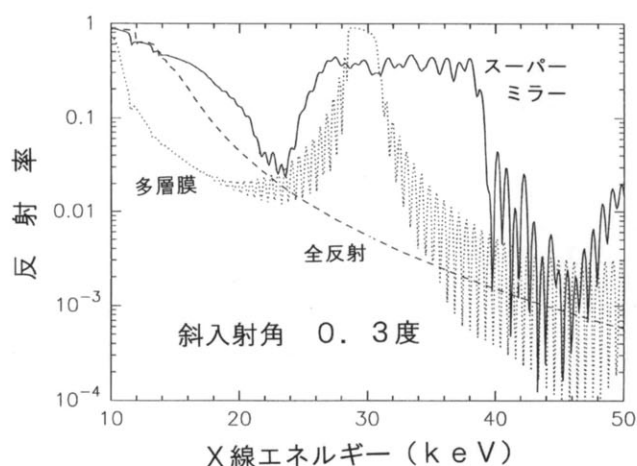
レプリカ法は、高効率を目指す世界のX線望遠鏡の趨勢になっており、今後も母型の精度を高めること、基板の強度/形状/保持方法の改良を進めることで空間分解能10秒角が可能になれば、21世紀初頭のX線望遠鏡製作法の主流となるとと思われます。

4. 多層膜スーパーミラー

ここまでの話はすべてX線を通常の全反射を用いて集光する手法でした。しかし、X線のエネルギーが高まるにつれ入射角はますます小さくせねばならず、40keVのX線は0.15度以上では全反射されません。こうした困難を避けるために考えられたのが、Bragg反射を用いて全反射の臨界角よりはるかに大きな角度で反射させる方法です。それも結晶の格子面の干渉を用いるのではなく、人工的に2種類の金属を数nm程度の厚みで積層する多層膜を使う方法です。

X線光学の世界では10年程前から多層膜の研究が急速に進み、国内でも山下広順先生を中心に精力的な研究開発が進められて来ました。積層する軽/重の金属の組み合わせ、厚さの相対比、層間隔を制御して、反射したいX線のエネルギーと入射角に合致した反射鏡を作ることが自在になって来ました。

しかし、同じ周期長を繰り返し積層する多層膜は一つの波長に対しては高い反射率を持つ(グラフの点線)ものの、天体観測の様に広い波長域をカバーしたい場合には大きな制限になっていました。この狭い波長帯域を広げるために考えられたのが周期長を徐々に変化させた、「スーパーミラー」です。異なる波長は異なる周期長の層で反射させ、全体として広い波長域をカバーするものです。



実際に製作した白金と炭素の組み合わせのスーパーミラーの反射率(実線)をグラフに示します。表面の5層は周期長5.0nmから4.6nmまで徐々に変化させ、最も低いエネルギー側の帯域をカバーします。次に4.0nm8層, 3.6nm13層, 3.3nm18層, 3.0nm25層と積層し、全体で24keVから40keVをカバーできました。ここで用いた入射角0.3度で、全反射ならば25keV以上では反射率が1%以下(破線)であるのに比べ、40%が得られていることが分かります。

5. 気球実験を目指して

このスーパーミラーを、Astro-E衛星に向けて開発中のレプリカ鏡のスペアに蒸着し、テストモデルを組み上げてみました。そして、実際に40keVまでの硬X線を照射し、焦点画像を撮像することに成功しました。これは世界でも最初の硬X線集光結像実験となり、この種の望遠鏡の実用性を世に示すことになりました。この実験は、NASAゴダード研究所のX線グループ、ガンマ線グループとの共同で行い、1999年中には気球に搭載して、最初の硬X線撮像観測を行おうとしています。できれば、これを21世紀のX線天文衛星へのステップとしたいと考えています。

6. 21世紀の宇宙物理学のために

20世紀最後の年2000年に打上げ予定のAstro-E衛星は米国のAXAF衛星、ヨーロッパのXMM衛星と共に一時代を画するものとして、大きな期待が寄せられています。これらの衛星群を越えて、21世紀のX線天文学ではより高エネルギーのX線を用いて、より深い天体の観測を目指すことが世界の流れになっています。米国ではHIXS, ヨーロッパではXEUS, 日本でも次期X線天文衛星に向けて、ここで紹介したスーパーミラー硬X線望遠鏡が主観測装置として検討されています。今回のテストモデルでの集光結像の成功は、21世紀を目指す世界のグループの中で我々がわずかばかり

前に飛び出したことを意味しています。我々としては、この望遠鏡を、更に10秒角の空間分解能、更に高エネルギーへ伸ばすことを目指し、研究を進めたいと思っています。

硬X線望遠鏡以外の多層膜の応用は、直入射軟X線望遠鏡と、多層膜回折格子を考えています。すでに、17nm付近の極端紫外線については、光学望遠鏡と同じ球面鏡(直径20cm)に多層膜を蒸着した直入射望遠鏡をロケット(S-520-19)に搭載して、天体観測に成功しています。もし、多層膜の周期長を2nmまで短くできれば、元素組成比の高い酸素の輝線によるLine Mapping観測が可能になります。一般に望遠鏡の空間分解能は口径と使用波長で決まる回折限界が上限であり、電波では大陸間や「はるか」の干渉を用いてミリ秒角以下の超高空間分解能を実現しています。しかし、X線の波長は電波より7桁短く、電波干渉計の基線長1万kmに比べ、1mで同等の空間分解能を得ることが、原理的には可能です。分光についても、反射型回折格子の反射率を多層膜で大幅に改善し、X線でも可視光並の高分散分光($\lambda/d\lambda > 1000$)を実現したいと考えています。

現在のX線天文学の感度、精度は可視光で言うならば、公共天文台にもある1mクラスの望遠鏡の開口面積と、波長分解能しか達成しておらず、まだまだ発展途上の波長域であることは事実です。10mクラスの光学望遠鏡が本格的に動き出す21世紀に、我々は何とかそれに見合ったX線観測を可能にし、新たな発展期を作り出して行きたいと思っています。

7. 硬X線結像光学システムへの応用

先に述べた様に、透過力の強い硬X線の集光結像システムは、天文学以外の多くの分野への応用が可能です。放射光では表面物性や生態観察に利用され、X線望遠鏡への応用も重要です。医療では結像による診断、集光による治療に道を拓くと考えられます。地上のしがらみから離れて天を見つめる天文学者は、霞を食べて生きている仙人の様な存在と言われたのは遠い昔の話で、ひょっとすると我々も人の命を救う手助けができる時代が来るかも知れません。現代の科学では、最先端の技術を多方面から結集してBreakthroughを起こし、そこで得られた成果はまた多方面に応用されて行くことが重要であると思います。今後とも、各方面の方々の御協力をお願い致します。

(くにえだ・ひでよ)

宇宙学校開催のお知らせ

今年も宇宙学校を下記のとおり開催します。

[A会場]

日時 平成10年1月10日（土）9:30～16:30

会場 東京大学教養学部13号館1323教室
（目黒区駒場3-8-1）

内容 第1時限 宇宙の謎を探る
第2時限 惑星と生命
第3時限 ロケットと人工衛星

[B会場]

日時 平成10年2月8日（日）9:30～16:30

会場 相模原市立産業会館
（相模原市中央3-12-1）

内容 第1時限 宇宙の謎を探る
第2時限 惑星と生命
第3時限 ロケットと未来の宇宙開発

問合せ先：宇宙科学研究所庶務課企画・広報係 TEL0427-51-3911（内線 2205）

宇宙輸送シンポジウム

日時 平成10年1月8日（木）～9日（金）

場所 宇宙科学研究所本館1階入札室・2階会議場

宇宙科学企画情報解析シンポジウム

日時 平成10年1月13日（火）

場所 宇宙科学研究所本館2階会議場

問合せ先：宇宙科学研究所研究協力課共同利用係

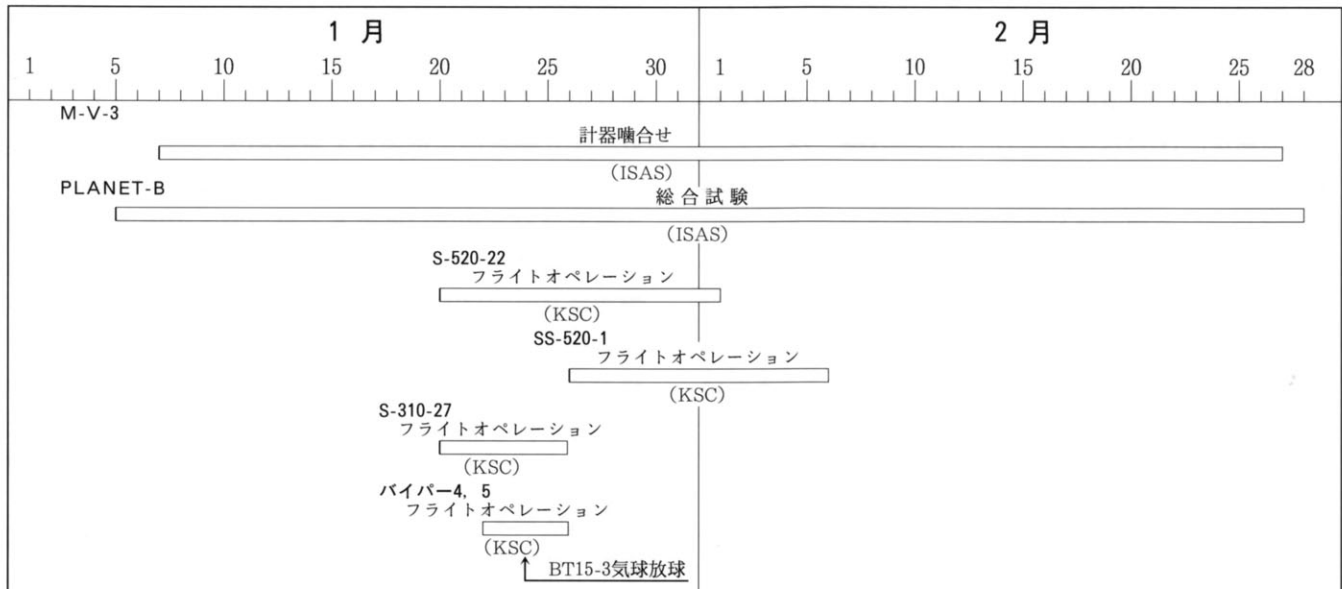
TEL 0427-51-3911

（内線2234, 2235）

[人事異動]

発令年月日	氏 名	異動事項	現(旧)職等
		(所内昇任)	
9.10.16	久保田 孝	宇宙探査工学 研究系助教授	宇宙探査工学 研究系助手
		(採 用)	
9.11. 1	かねだ ひでひろ 金田 英宏	宇宙圏研究系助手	
〃	しのはら いく 篠原 育	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（1月・2月）



★宇宙学校・金沢

小中学校の休校日にあたる第二土曜日を選んで、11月7日、宇宙学校・金沢が、金沢大学工学部の秀峯会館で開かれました。共催の金沢市教育委員会、そして本研究所の管理

部の皆さんの祈りが通じたのでしょうか。当日は11月の金沢には珍しいさわやかな天気恵まれ会場は大賑いで、私達もいよいよ気分が盛り上がってきます。

的川教授、石原教育長の挨拶を開校の辞として、太陽系よりはるかに遠い宇宙をテーマにした第一時限、





太陽系とE.T.をテーマにした第二時限、そして第三時限はロケットと人工衛星の話と授業が続きました。

宇宙学校の特色は今さら述べるまでもなく子供達とのなごやかな交流でしょう。子供達の大きな関心の一つはブラックホールとE.T.です。ブラックホールはどうしてできるのでしょうか、宇宙研究の目的はズバリ何でしょう、と子供達は意表をついた、そして本質をついた質問の変化球を投げかけてきますが、さすがに担任の皆さん、ニコニコと、平静を装って素晴らしい回答ぶりです。

子供達は現在の教科書が取り扱えない太陽系を越えた広大な宇宙に思いを馳せ、その想像を拡げています。子供達に直接新しい宇宙の事象を語りかけることのできるユニークな宇宙学校は、継続的に行うことによってこの理科教育のすき間を埋めるという大きな役割を担うことができるかもしれませんし、印刷屋の使い走りをやっていた少年時代のファラデイに研究の面白さを教えた無名の科学者の役割を私達が果たせる日が来るかもしれません。

(宇宙学校・金沢 校長 小山孝一郎)

★M-V-3 モーションテーブル試験 (表紙写真参照)

10月1日より、M-Vロケット3号機用のモーションテーブル試験が開始されました。この試験は、ロケットの姿勢制御用のセンサやその制御論理が妥当かどうか、どこかに見落としがないか、を最終的にチェックする目的で行われます。制御系は、この試験をパスして打上げに備えることとなります。いわば、最後の関門ともいえる重要な試験です。それだけに、関係者の意気込みも並々ならぬものがあり、連日、夜遅くまで繰り返し試験が行われています。こうした努力にも支えられ、試験は概ね順調に進んでいます。

モーションテーブルとは、供試体を載せたテーブルを任意の姿勢に設定する装置です。テーブルの姿勢は専用の高速計算機によって、瞬時に動かすことが可能

です。試験では、センサ (B1ジャイロ・B3IMJ) をテーブルの上に載せます。高速計算機でロケット飛翔中の姿勢のシミュレーション計算を行い、テーブルをあたかもロケットが飛翔中であるかのように動かして、制御系のチェックを行っています。

ところがこのモーションテーブル、「本番」に弱いのでしょうか。先日、大勢の人が見に来たとき、突然装置が動かなくなる、ということがありました。この件については、論理的な制御を設計しているはずの関係者の間でも超論理的な説が支配的で、「M助教授が来ると災いが起きる」、「いやいや。ISASニュースのM-Vロケット特集号で、モーションテーブルのことが、一言も触れられなかったので、へそを曲げてしまったんだ」など様々な風聞が飛び交っています。

(澤井秀次郎)

★M-V 3号機 M-34TVC システム試験

M-V型ロケット3号機第三段用TVC (推力方向制御) 装置のシステム試験が10月28日～11月4日の期間、日産自動車研究開発センター (川越) において行われました。本TVC装置は、電動リニアアクチュエータによる可動ノズル方式の制御装置で、ノズルを偏向させることにより制御力を得ることができます。

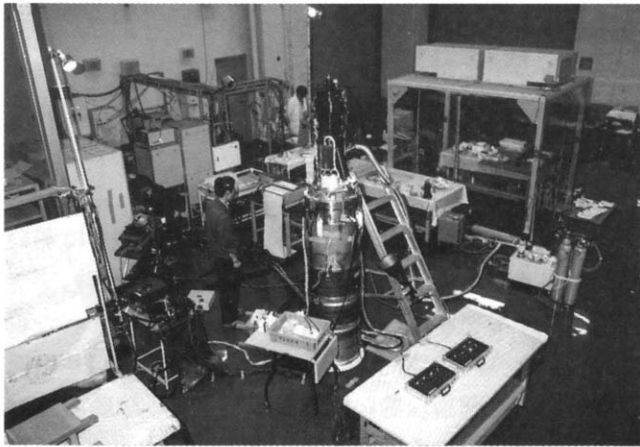
試験は、ノズルアライメント計測の調整に始まり、静特性、周波数応答/共振点サーベイ、そしてステップ応答特性の取得まで順調に行われ、間近に控えている制御系モーションテーブル試験に向けて良好なデータが取得されました。なお、3号機では、火星探査を目的とした飛翔計画により第3段制御終了後のハーフパーキングの時間が長くなります。この時、可動ノズルは確実に固定されていることが必須条件であることから、アクチュエータを機械的にロックし、さらにサーボアンプの電源をオフするシーケンスを追加しています。本試験では、この機能確認も併せて行い、これについても良好な結果が得られました。

本TVC装置のシステム試験が終了すると、直ちにモーションテーブル試験を行い、続いて噛合せ試験、そしてKSCにおける一連のオペレーションを行った後、飛翔試験に臨みます。

(安田誠一)

★S-520-22 噛合せ

S-520-22号機は、太陽の最大の謎の一つである、「太陽表面でのエネルギーの輸送とコロナの加熱」を調べるため今年度冬期の打上げを目指して準備が進められている。当初噛合せは、10月20日から11月10日までを予定していたが、準備に手間取り、若干の手違い等も重なり、結局作業が実質ほぼ2週間ほど遅れて始



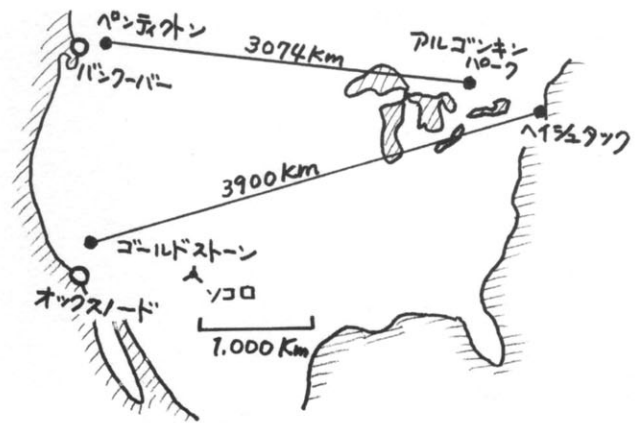
められた。そのため、同じくこの冬期に打ち上げるため、引き続いて囁合せを行う予定であった、他の2機のロケットの日程にもかなりの変更をお願いするという、いささか残念な事態になってしまった。しかし、その後は予定の作業がすすめられている。

観測器は極めて精度の高い極端紫外の望遠鏡で、太陽全面にわたってプラズマの運動を詳細に観測する。そのため、望遠鏡を姿勢制御により正確に太陽に向ける。しかしそれだけでは十分な精度と安定度を保証し難いので、さらに望遠鏡の副鏡をコントロールして視野を十分な精度と安定度で太陽に向けるように工夫してある。また、搭載したデータレコーダの回収によりテレメータで取得するデータを大幅に上回る量のデータの取得も期待している。この観測は、いろいろな意味で現在計画中のSOLAR-B衛星へとつながるもので、大変難しい観測であるが、実験班全員の協力で所期の成果をあげたいと願っている。日程の調整等で多大のご尽力を頂いたS-310、SS-520関係の皆様には深く感謝する次第である。(小川原嘉明)

★VSOP 国際観測運用チーム、バンクーバーに集結

「はるか」を使ったスペースVLBI試験観測は、国内のVSOPチームのみならず国際チームの必死の努力で、1.6、5GHz帯では主要な試験観測目標をほぼクリアし、科学観測の割合が大勢を占めるようになりました。毎週電話会議を続けてきましたが、電話では十分に尽くせないことがあります。2月の打上げ後初めて、7月31日からの2日間、JPLグループのいるパサデナから西の海岸のオックスノードで科学運用レビュー会議を行いました。そしてまた、11月11日からの3日間、バンクーバーで2回目を行いました。

メープルの黄葉にはちょっと遅いバンクーバーに、10人の日本チーム（日本人6人、他4人）が参加しました。会議の内容は、試験観測が進むに従って、観測運用・データ取得から、イメージ処理・科学運用へと移っ



世界初のVLBI実験成功は、カナダのグループによってもたらされた

ています。AO1の観測をどう消化するか、来年のAO2に向けて、どこまで観測装置上の見とおしが立てられるかも問題です。頭の痛い事や、ちゃんとオーガナイズされていない事や、いろいろありますが、「それでも何とかよくやってるじゃないか」と、自分達で思わない事には身が持ちません。嬉しい事には、10年以上も夢に見たような綺麗な絵（データ）も出てきました。

VSOP計画での相関処理は、観測の種類に応じて、三鷹、ソコロ（USA）、ペンティクトン（カナダ）の3カ所で行われます。会議の後、ロッキーに近づく山波350kmを車で抜けてペンティクトン電波天文台に出かけました。穏やかで牧歌的な谷間に、銀河面の掃天観測をしている超合成アレイ型電波望遠鏡が並び、1967年にカナダの東西（アルゴンキンパーク、ペンティクトン間の3074km）を結んで、世界初のVLBI観測を成功させた歴史的なアンテナも立っていました。VLBI実験は、カナダグループが、アメリカグループに1ヶ月先駆けて成功しました。パルサーが発見された年、「はるか」が打ち上げられた今年より30年前の事でした。30年たって、VLBIの基線は10倍に伸びたわけですから。相関器もしっかり動いておりました。

世界初のスペースVLBI観測は、このように世界各地の科学施設との有機的な連携で始動しています。みんなでいっぱい働いて、次は、来年の4月、桜の咲く相模原で集まろうかと考えています。(平林 久)

★学術審議会宇宙科学特別部会による科学衛星プロジェクトの評価

科学衛星プロジェクトのように大型の計画は、政府の定めた「科学技術基本計画」及び学術審議会が取りまとめた「学術研究における評価のあり方について（中間報告）」においても厳正な事前・中間・事後において研究評価を行うことが強く要請されているという考えに基づき、近年の科学衛星プロジェクトについて

宇宙科学特別部会が学術的な観点から研究評価を行うこととなった。このために、同部会の下に「科学衛星プロジェクトレビュー・ワーキンググループ」(主査:佐藤勝彦東大教授)が設置された。同ワーキンググループで評価の素案を作り部会に諮るという形で評価が行われる予定である。10月に2回、既に該当するプロジェクトの代表から意見聴取が行われた。今後、数回のワーキンググループ会合を経て年度内に報告書として公開される予定である。評価の対象となる衛星プロジェクトは「あけぼの」衛星以降であり、宇宙研の国際的な評価も確立してきた時期の衛星であるが、評価を受けることに伴うある種の緊張感を所内に醸し出したことは確かであろう。今後の宇宙研の衛星プロジェクトの遂行にプラスに働くような評価報告が出ることを期待する。

(鶴田浩一郎)

★小田稔元所長に勲一等瑞宝章授与

去る11月3日の文化の日に、小田稔先生が勲一等瑞宝章を受けられた。小田先生は1966年、東京大学原子核研究所から同宇宙航空研究所へ教授として迎えられ、同研究所が改組されて宇宙科学研究所となった後の1988年まで在任された。最後の4年間は所長として、日本の宇宙科学を指導されると共に、科学技術会議専門委員、学術審議会委員、宇宙開発委員会参与や多くの国立研究所評議員として広く科学行政に貢献された。専門はX線天文学で、“すだれ”コリメーターの発明者として、内外に知られている。この技術はX線天文学の初期に、X線天体の位置や広がりや正確に決定する方法として威力を発揮し、ブラックホールの発見にもつながった。「はくちょう」衛星に搭載され、小型衛星ながら多くのX線天体を効率よく観測した。後に、撮像装置として発展し、気球によるかに星雲のX線分布の観測や「ようこう」衛星に搭載の硬X線望遠鏡となった。これらの業績に対し、仁科記念賞、東レ科学技術賞、日本学士院賞恩賜賞、文化功労者、文化勲章他多くの科学賞を受賞された。「はくちょう」、「てんま」、「ぎんが」、「あすか」等のX線衛星、および「ようこう」等の太陽観測衛星計画を指導され、日本のX線天文学を世界の最先端にまで引き上げた。理化学研究所理事長、国際高等研究所長を歴任された後、現在は東京情報大学長の要職にある一方で、“すだれ”の他の分野への応用も考えておられるようである。

(槇野文命)

★日本企業映像フェスタ'97ビデオコンクール第2位

宇宙研の「チャレンジングな」ミッションに毎日毎晩泣かされている中で、日本企業映像フェスタ'97ビ



デオコンクールで私たちが2位を受賞した事を知らされたのは、久々の清涼剤でした。

宇宙研が毎年製作している教育用ビデオ<宇宙へ飛び出せ>シリーズの第6巻として、平成8年度には、「人工衛星—人工の星に魂を吹き込む—」を、衛星工学グループが中心になって担当しました。

宇宙研は従来からMロケットの開発と打上げが、原動力となって宇宙理工学の大きな成果を上げてきました。M-Vが完成した現在では、その成果を最大限に生かすように、人工衛星や探査機の高機能化に大きな期待がかかっています。そんな時代の背景の下に、ここに人工衛星のビデオを製作する事になりました。

ロケットよりも地味で、子供達の目にも触れにくい人工衛星の周回軌道の原理や内部のしくみ、そのむずかしさ、そして将来への夢を、どのようにわかりやすく映像化するか、苦労しました。

人工衛星について、従来にはあまり取り上げられていなかった事があります。それは、人工衛星に限られた体積、重量の中で、エネルギーと、情報と、機械的な要素を調和をもたせて機能させて、一つの人工衛星ミッションの目的のために魂が込められたかのように動作する点です。これを「砂漠の中のソーラーカー」という身近なものとして映像化しました。

人工衛星の明るい未来は、衛星の小型化のはてにあるマイクロスペースクラフトにあります。そこでは、若い学生でも衛星を設計、製作していける夢が近づいている事を、最後に訴えたつもりです。製作にあたられたイメージサイエンスの方々とは徹夜の作業を共にして、たのしい限りでした。そして、衛星環境試験の映像や、SFUのデブリ衝突痕等、宇宙研ならではの映画を提供して下さった各位に感謝します。

(斎藤宏文)

★臼田宇宙空間観測所新研究実験棟竣工

昨年11月から建設工事が行われていました宇宙空間光通信研究実験棟が、去る11月7日に竣工し、11月19

たかが「げっぷ」 されど「げっぷ」

世の中思いもかけないところに危険が潜んでいるものだ。私事で恐縮であるが、ご参考までに私の経験をご紹介します。

その日、予約していた胃の内視鏡（胃カメラ）検査を受けに宇宙研の近くの某大学病院に出かけた。定期検診や人間ドックの「胃の精密検査を要する」の判定を3回ほど無視していた後ろめたさと、最近の「げっぷ」の多さ、胃の存在感が私の重い足を内視鏡検査に向かわせたものだった。勿論、胃の内視鏡検査は日常茶飯事。検査結果に拘わらず、その日は前日から翌日に連続的に繋がるはずだった。

検査はてきばきと時間通りに始められた。内視鏡が十二指腸に及ぶと、いつも通り苦痛が始まり、胃の拡張のために空気が胃に送り込まれると更に苦痛が増す。「げっぷを我慢して」との呼びかけに拘わらず、我慢のしようが無く、「げっぷ」が出てしまう。1回。2回目は血と思われる赤い液体の嘔吐をも伴う。やっと「はい終わりです」の声があり、内視鏡が抜き始められ、ほっとしたところで3回目の「げっぷ」。と同時に胸に激しい痛み。内視鏡の抜けきる感覚。息が出来ない。やっと仰向けになり、周りを取り巻いて茫然（と私には見えた）と見おろす数人に、痛みと呼吸困難を訴える他は何もできない。

後に判ったことではあるが、この時、上記の「げっぷ」は、肉厚約3mmの食道下部を1.5～2.5cmに亘って

裂き、食道周辺の縦隔と胸壁を貫き、左胸腔に達し、流入した空気などにより左肺が気胸状態に潰れていたらしい。医師によれば「げっぷの圧力のかかり方が悪かったとしか言いようがない」そうであるが、筆者のげっぷはよほど強力なものだったことになる。

苦しい中、レントゲン撮影や、CT検査などが行われ、約6時間後に医師団は緊急手術を選んだ。この頃には筆者の意識は混濁し、手術承諾書にサイン云々の話に、承諾書を手にとった記憶が最後で、何を書いてあったかは勿論、サインしたかどうかにも記憶がない。岩を詰め込まれたような口中の乾きが次の記憶であり、その後、集中治療室で何本ものチューブやケーブルで機械につながれている自分が徐々に認識されてくる。

幸い、食道の縫合を含む手術と以降の経過は順調で、10日後には流動食が許された。久しぶりに胃に入れる食事はおいしく、ひとしきり食べて（飲んで）気が付くと立派な「げっぷ」。3週間弱で退院にまでこぎ着けることが出来た後も「げっぷ」はますます健在である。さて、ここで話を元に戻すと、元々は胃の検査に病院を訪れたもの。検査結果はどうであったかと医師に尋ねると、「8割がたは見て大きな問題はなかった」とのこと（検査は途中で締め、大出血のないことだけを確認して「終わり」としたらしい）。ここで問題は、残りの2割の為にもう一度胃カメラを飲むかどうか。あなたならどうしますか？（小野田淳次郎）

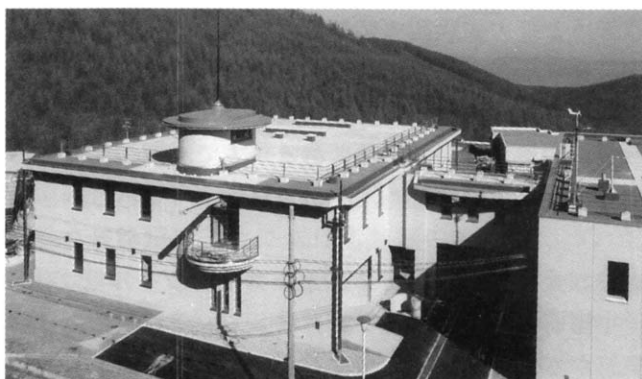
日に竣工式典が現地で行われました。

式典は、臼田町長（代理）をはじめとした臼田町関係各位、施工業者、宇宙研からは松尾副所長、松本管理部長等の列席のもとに執り行われ、施工3社に対し、所から感謝状が贈られました。

既存の研究棟は、主として、深宇宙探査機の運用管制のための施設ですが、新研究実験棟は、主として探査機のデータ処理解析、探査機を利用した電波科学実

験等の各種実験、およびミリ波から光の波長に至るまでの将来の宇宙通信の研究を行うための施設です。今後、水素メーザシステムをはじめとして、順次設備を整えていきたいと考えています。

なお、この施設は延べ面積約1,400m²の2階建てで、既存研究棟とは、2階の渡り廊下で連結されています。（二宮敬度）





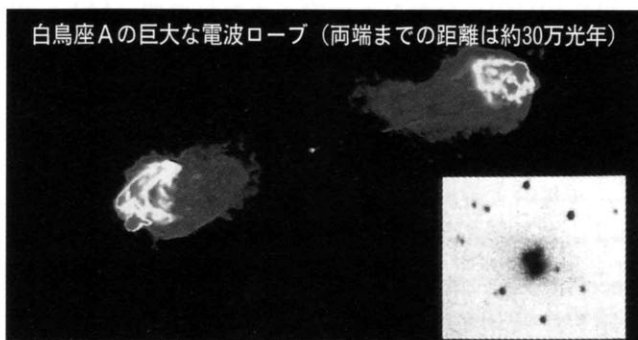
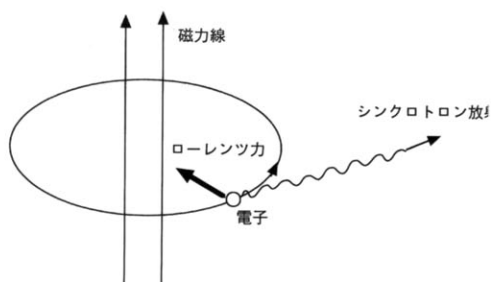
第12回 「シンクロトロン放射」

宇宙科学研究所 榎野 文 命

電子を磁場
の中で運動さ
せると、電子
の進行方向と
磁場の方向に

直角な方向の力を受ける。これをローレンツ力という。この力は電子に円運動をさせる力となり、電子は磁力線の周りを回転する。電子が円運動をすると、電波を放射する。電子の速度が光速よりも十分遅い時の電波の強度分布は図に示すように、電子の進行方向とその反対方向に対称な8字型となる。放射される電波の周波数は電子の円運動の回転周波数と同じになる。電子の速度が光速に近くなると、相対論的な効果のため、電子が近づいて来る時には強度が強くなり、遠ざかる時には弱くなる。これは、電波の周波数がもはや回転周波数だけではなく、高調波（回転周波数の整数倍の周波数の電波）を含んでいることを意味する。つまり、このような歪んだ波は回転周波数の波と高調波の重ね合わせで表すことができるからである。電子の速度がさらに大きくなり、ほぼ光の速度に達した時には、さらに極端になり、電子が近づいてくる短い時間だけ観測され、それ以外の時は観測されなくなってしまう。このような電波は周波数でいうと、回転周波数の高調波を無数に含んでいることになり、連続的な周波数分布になっている。これをシンクロトロン放射という。シンクロトロンというのは電子や陽子を光速に近い速度に加速する装置である。加速器で加速された電子からの放射をシンクロトロン放射光といい、理工学の研究に広く利用されている。シンクロトロン放射では、電子の速度と磁場の強さに従って、電波からX線までのあらゆる波長の強い電磁波を発生することができる。

シンクロトロン放射は宇宙では電波の発生の原因として極めて重要である。1948年、かに星雲からの強い電波放射が発見された。放射は可視光、後にはX線まで続いていることがわかった。ロシアのシュクロフスキーが、この放射がシンクロトロン放射であること



白鳥座Aの巨大な電波ローブ（両端までの距離は約30万光年）

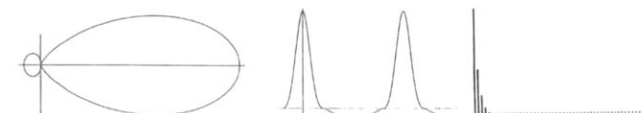
Astronomy: from the Earth to the Universe Fourth Edition
by Jay M. Pasachoff Saunders College Publishing

を指摘したが、1955年、予想通りの強い偏波（波の振動面がそろっていること）が観測され、シンクロトロン放射説の確立となった。かに星雲は1054年に爆発した超新星の跡としてよく知られているが、この中心から1968年にパルサーが発見された。パルサーは強い磁石を持ち、高速で回転している中性子星である。近傍の強い電磁場で加速された電子による磁極でのシンクロトロン放射がパルスとして観測される一方、電子は外へ拡散し、広がったシンクロトロン雲をつくる。さらに大規模なシンクロトロン放射は銀河や電波銀河、活動銀河核に見られる。銀河電波は高エネルギーの宇宙線電子が銀河内の弱い磁場で放射するものである。活動銀河核からは高速の粒子がジェットとして噴出しており、ジェットと薄い銀河間ガスの衝突で発生した高エネルギー電子によるシンクロトロン放射が超光速運動をする電波雲や大規模な電波ローブとして観測される。活動銀河の中心核からは電波からX線まで、シンクロトロン放射で放射しているものもある。シンクロトロン放射は太陽フレアをはじめあらゆる天体に見られる重要な放射過程である。（まきの・ふみよし）

光速より
十分小さい



光速の30%



光速の99%



電子の速度

放射される電波の強度分
布（電子の運動方向→）

観測者が見る一回転周期
の間の強度変化（負の値
は電子が遠ざかる場合）

観測される電波の周波数
分布
（回転周波数の整数倍の
波の強度）

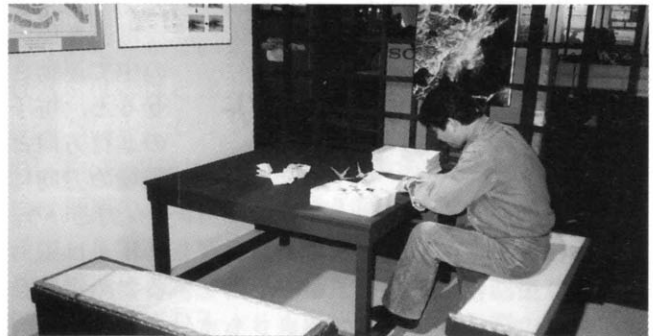
折り紙三昧の日々

小 野 緑

毎年10月頃に行われる国際宇宙航行連盟（IAF）の総会が、今年はイタリア北部ピエモンテ州トリノ市で、6日（月）～10日（金）の間、開かれました。今回で48回を数えるこの国際会議は、世界の研究者や技術者が宇宙科学・宇宙開発について論文発表などを行う大規模な会議で、毎年世界各地を持ち回りで開催されています。今年の全体テーマは“Developing business from space”（宇宙の商業化）で、会議と同時に“space '97”と題した宇宙関連の展示も行われました。

私の今回の仕事は、宇宙開発事業団（NASDA）と共同で、広さ150m²のジャパンプースの展示を担当するという事でした。入札で決まったイベント屋さんのアイデアで、伝統的折り紙コーナーを作ることになりました。その発案を聞いた的川先生の鶴の一声“折り紙といえばミウラ折りだ！”……というわけで、今回の折り紙三昧となったのです。開催前日は、ブースの準備でした。先発隊のイベント屋さん2人、運送会社の方、NASDAの米澤さんに、イタリア人の大工さん達も交えて、準備万端整ったと思いきや、思わぬハプニングが……。NASDAで用意していた擬似インターネットのソフトを入れたMOが、現地で借りたパソコンに合わないのです。実は、まだイタリアではMOが普及しておらずFD用のものしかなかったのです。四方八方手をつくし、結局使えるようになるには2～3日かかってしまいました。

さてオープニング当日は、入場門での警備の物々しさにビックリしました。それもそのはず、イタリア大統領が、オープニングセレモニーに出席されたためでした。トリノ市長もたすきをかけて、同行していました。トリノ市は人口約100万人、イタリア全国の自動車生産量の約77%のシェアを持つ自動車産業の中心都市で、フィアットの工場が市の南の地域を大きく占めています。今回の会場も元フィアットの工場の跡地に建てられたものです。展示会場は4つのエリア…イタリア、ヨーロッパ、北アメリカ、アジア及びその他の国から成り、91のブースが各々工夫をこらした展示を繰り広げていましたが、中にはあっさりとパネルが並んでいるのみで、説明員もついていないブースもありました。また、事前にもらっていた予定表では、最後の2日間のみ午後10時までで、あとは6時まで展示するようになっていました。ところが、現地で配られた予定表では、毎日午前9時～午後11時までのオープンとなっていて、皆思わず“聞いてないよ～”と叫んでし



折り紙のコーナー

まいりました。午前中は会議参加者と学校（小・中・高）の生徒達で、午後からは一般の人、特に夕方から夜は、ファミリーで散歩がてら夕食の前あるいは後に訪れるというパターンでした。ちなみに、登録されていた学校の生徒数約3500人、学会登録者1500人、そのうち日本人会（日本人参加者の交流会）に参加した方は7～80人、それらを含めた展示入場者は延べ3万5千人でした。宇宙研からは21人（林・秋葉名誉教授も含め）の参加でした。

宇宙研独自のリーフレットは、M-V、将来計画、最近の成果、VSOP各1000部、ミウラ折りのカラーパンフと折り方各1万部で、NASDAが用意したパンフレットの種類と数の多さにはとても及ばず、リーフレットは最終日を待たずしてなくなってしまいました。また、PLANET-B、LUNAR-A、MUSES-C等の将来のプロジェクトに関するパンフレットを希望する人が多かったのですが、応ずる事ができず残念な思いでした。折り紙コーナーは連日盛況で、もちろんミウラ折り、はばたく鶴やピョンピョン蛙、ロケット等も実演しました。折っているそばから手がでてきて、次々に折りあがるのを待っているという状態で、人波が切れるとホッとしました。でも、折りあがって手にした時のうれしそうにキラキラ輝く瞳をみると、疲れも吹っ飛んでまた折ってしまうのでした。林先生や名取先生も応援して折って下さり、林先生の「かもめ」や「小鳥」は写実的な上にかわいいので、人気を独り占めしてしまいました。的川先生もミウラ折りをすっかりマスターされ、強力な助っ人になり、自分で折ってみようという熱心な見学者達に、一生懸命教えて下さいました。かくして、あこがれのミラノもベネチアも諦め、一度だけ午後2時30分から出発したアオスタ市へ行くツアーに参加しただけで、あとは展示会場に張り付き、折り紙に明け暮れたのでした。（おの・ゆかり）

スペースVLBI入門 (5)

— 干渉計の画像処理 —

宇宙科学研究所 村田 泰宏

前回は、仮想レンズを作って大きな仮想望遠鏡を作って高解像度の画像を作るお話をしました。この仮想望遠鏡、いいことばかりではなく、欠点もいくつかあります。そのうちの1つは、衛星の運動や地球の自転を利用してレンズ面を作っていくのですが、軌道運動や地球の動きは制限されていますので、どうしてもレンズ面を完全に形成することができません。レンズ面のあちこちが汚れていて、光が遮断されているようなものです。

図1にUV図というものを示します。これが作られた仮想レンズ面をほぼ示しています。黒線の部分が実際にデータがとられている部分です。内側の部分が地上の望遠鏡同士でとられたデータ、左右の大きな弧が、「はるか」と地上の望遠鏡の間でとられた部分です。線のないところはデータがないところで、レンズ面のほとんどは隠されています。このような、不完全なレンズで見た場合は、焦点で作られる像に強いゴーストイメージが立ちます。図2に、この仮想望遠鏡で見たときに焦点に写る天体（キューサ1156+295）の像を示します。これが本当の天体の像、ではなく、たくさんゴーストが立っているために、どれが本当の像でどれが、ゴーストか全くわかりません。このような像では、天体のことを調べることができません。

ここで、干渉計の画像処理技術が威力を発揮します。図1から、「もし、相手が構造を持たない点状の天体であれば、どのようにゴーストが立つか」ということが計算できるのです。それを計算した結果が図3です。中心の一番強いところが、点状の天体で、あとは全てゴーストです。相手の天体がもっとも単純な構造でも、

こんなにゴーストが現れてしまいます。図2はほとんど嘘の像です。しかし、ゴーストの立ち方はこれでわかりました。あとは、いちばん強いところはゴーストではないのですから（ゴーストは、

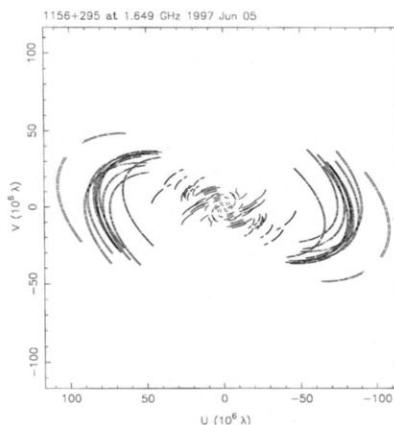


図1：UV図（～仮想レンズ面）

から）、図2のなかから強いところを探しだし、それは本物だと思ってそのゴーストを取り除きます。また、その次に強いところをさがしては、そのゴーストを取り除く、ということを繰り返して行くと、ゴーストの影響がどんどんとれて行きます。最後には、図4のような像が得られます。これがほんとうの天体の像です。右下の黒いところが銀河の中心部で、そこから左上のほうに伸びているのが、銀河から吹き出している銀河ジェットからの電波です。

このような画像処理を、デコンボリューションといいます。不完全なレンズしか作れない干渉計では、このような画像処理が重要な役割を果たします。デコンボリューションのやりかたも幾つかの方法があり、このほかに、できた画像をつかって、焦点の位相の補正をかけ直したり、個々のアンテナの利得を補正したり、いろいろな処理技術が開発されています。

（むらた・やすひろ）

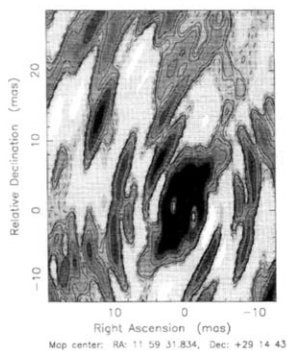


図2：画像処理前の天体像（+ゴースト）

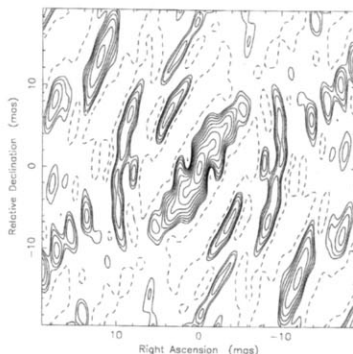


図3：天体が点状のときのゴーストの現れ方

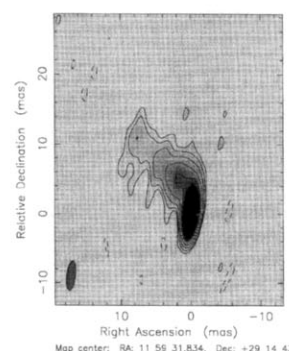


図4：画像処理後の天体像（1156+295, HALCA+VLBA）



テストマッチ

河野 長

学会や調査などで国外へ出るといろいろ面白いことがある。昔は学会の合間にモンブラン一人で登りにいったなどという快(怪?)事もあったが、近頃はホテルと会議場の往復だけしかできなかったという情けない出張の方が多くなっている。まあ出張旅費をもらって出かけているのだから文句を言えた義理ではないが。

昨年夏は第4回のSEDIシンポジウムがオーストラリアであり、7月の1週間ブリスベンに出かけた。この時も学会参加と会議だけで、シンポジウム終了後アメリカやフランスの友人達がグレートバリアリーフあたりへ遊びに出かけるのを見送って、そのまま帰国した。(ちなみに彼らも勿論出張旅費をもらって来ている。違うのは出張期間にバカンスを組み合わせ、自分のお金で国外で休暇を取れることである。そろそろ日本の出張制度にもこうした自由度が取り入れられて良い頃だ。)しかしこの時はちょっと面白い経験もできた。そのてん末をここに書いてみたい。

ブリスベンについて翌日には、早速学会の理事会が朝から夕方まで開かれた。会場のコンベンションセンターは、市の中心からちょっとはなれた川沿いの美しい公園の中にある。会議が終って、市内へ戻るためにフェリーを使ってみることにした。川から見るブリスベンの夜景はなかなか素晴らしく、見とれていたら次の乗り場で中年の男達が5、6人乗り込んできた。全員首も腕も太く胸板が厚いがっしりした体つきだ。ちょっと見ただけでは「ラグビーのフォワードでもやっていたみたいな体型だな」と思った。そのうちに何となく彼らのリーダー格の男と話を始めた。聞くと彼らはニュージーランドからラグビーのテストマッチの応援に来たと言う。そういえば、ヨーロッパの5ヶ国対抗の向こうを張って、3ヶ国対抗というのをニュージーランド、オーストラリア、南アフリカの3国で始めたというニュースをどこかで聞いたことがある。ゲームはホームとアウェイの2試合ずつおこなわれ、ニュージーランド対オーストラリアの第一戦はすでにニュージーランドが勝った。今週末第二戦があるので応援に来たという。

その晩はそれだけだったが、水曜日の新聞に「少々

切符の残あり」という小さな広告が載っているのを偶然に見つけた。切符があるなら是非見たい。一緒にいた妻にそう言うと、彼女はいろいろ手を尽くして本当に切符を手に入れてくれた。何でも切符を買いに行ったラグビー協会は郊外のかかなり離れたところであって、野道を歩いていったら小さな川に橋がなく、戻って大回りをしなければならなかったりしたと言う。

おかげでとうとう土曜日の午後スタジアムに観戦に出かけることができた。ラグビー一流国同士のテストマッチを見るのは勿論初めてだ。出かけてわかったのは客の約3分の2はニュージーランドからの応援団、オーストラリア側のお客の方がずっと少ない。ニュージーランドがオールブラックスを国の誇りにしているのに対し、オーストラリアにはオージー・フットボールという人気のスポーツもあり、ラグビーに入れあげている人は相対的に少ないということだろうか。

試合はまた大変だった。第一戦に負けているオーストラリアはホームゲームに勝とうと意欲にあふれており、名手キャンピージーの活躍などもあって前半を16-9とリードした。しかし後半は徐々にニュージーランドが力を見せ、終了間際にはとうとう逆転して25-32でオーストラリアの夢を打ちくだいた。オールブラックスにはロムーなど若いパワフルなバックスが揃っており、体力的にもワラビーズを上回ったようである。素晴らしい試合でさすがはラグビーワールドカップの第1回と第2回の優勝国間の試合だと思った。観客達も興奮さめやらず、スタジアムから中央駅に向かってぞろぞろ帰りながら、途中のパブに少しずつ消えていく。我々も駅近くまで歩いてからパブに入って試合の余韻を楽しんだ。(東京大学理学部教授 こうの・まさる)



今時のワープロを使ってISASニュースの割付けを考えている。比較的簡単にでき、訂正変更も容易で便利である。ただ微妙な調整や見栄えを気にしだすと、とたんに厄介になる。道具は変わっても、出来映えにこだわると技とセンスを要求されるのは、今も昔も変わらない。ちなみに実際はプロが仕上げているので、私の「技」は関係ない。(川田)

ISASニュース

No.201 1997.12

ISSN 0285-2861

発行：宇宙科学研究所(文部省) ☎229 神奈川県相模原市由野台3-1-1 TEL 0427-51-3911

The Institute of Space and Astronautical Science

◆本ニュースに関するお問い合わせは、庶務課法規・出版係(内線2211)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>)。