



▲ASTRO-Fフライトモデル

〈研究紹介〉

銀河団の進化を探る

宇宙科学研究所 山崎典子

銀河団とは、その名の通り、数十個から1000個程度の銀河が100万光年以内程度の狭い領域に集まっている宇宙でも最大規模の天体です。1000万光年が狭い？と思われるかもしれませんが、銀河の直径を約10万光年とすると、直径の100倍の範囲に1000個仲間がいるわけです。一方太陽に最も近い恒星、 α ケンタウリまでの距離4.3光年は、太陽直径の3000万倍にあたります。銀河団の中には、銀河が集まっているということがおわかりいただけるかと思います。残念ながら、銀河団の様子を肉眼で見ることは無理ですが、望遠鏡を使えば銀河が集まっていることがわかります。写真はヘルクレス座銀河団の様子です。このような銀河団をX線、すなわちよりエネルギーの高い光で見ると、可視光とは全く違ったものが見えてきます。さらにX線の観測からは、光を発しないダークマターの存在が示されます。本稿では、「あすか」衛星を始めとするX



図1 ヘルクレス座銀河団の可視光での画像

線による銀河団観測でわかってきた銀河団の進化について御紹介します。

さて、今度はX線で銀河団をみてみましょう。図はX線で全天で最も明るい、ペルセウス座銀河団を「あすか」で13回、計5日以上かけて観測した結果です。等高線のようにかいてあるのが、X線の強度を示しています。地図の上の山のように、中心にいくほど明るい、X線で輝く固まりがあることを示します。つまり、銀河と銀河の間からもX線が放射されているのです。どのようなX線がでているのか、X線スペクトルをとって調べてみると、数千万度の温度をもつ、電離したプラズマからの放射と考えられることがわかります。これを銀河間ガス、と呼びます。銀河間ガスのX線強度は電子密度の2乗と体積の積になっているはずで、銀河団の大きさはおよそ分かっていますので、銀河間ガスの密度や、全質量を求めることができます。銀河間ガスの密度は、銀河団の中心でも100立方cmに原子1

個程度、周辺にいくにつれ密度はどんどん下がり、その千分の1から1万分の1になります。我々の銀河系の中の星間ガスは1立方cmに1原子程度なので、銀河間ガスは非常に希薄なガスです。それでも宇宙の平均密度よりは100倍以上濃いといえるのです。

ではなぜ、銀河や銀河間ガスは銀河団に集められているのでしょうか、そして銀河間ガスはこのような高温にまで熱せられたのでしょうか。銀河団は重力によって束縛された「自己重力系」と考えられています。つまり、宇宙の中で少し、密度の高いところがあると、重力によって周りのものを引き寄せ、さらに密度が高くなっていき、重力によって束縛されているということです。銀河間ガスの量と温度はわかっていますから、これだけのガスを閉じ込めておくにはどのくらいの重さが必要か、ということから、銀河団中の質量分布を求めることができます。図には、ある半径より内側にある質量を示しました。すると、この質量は、

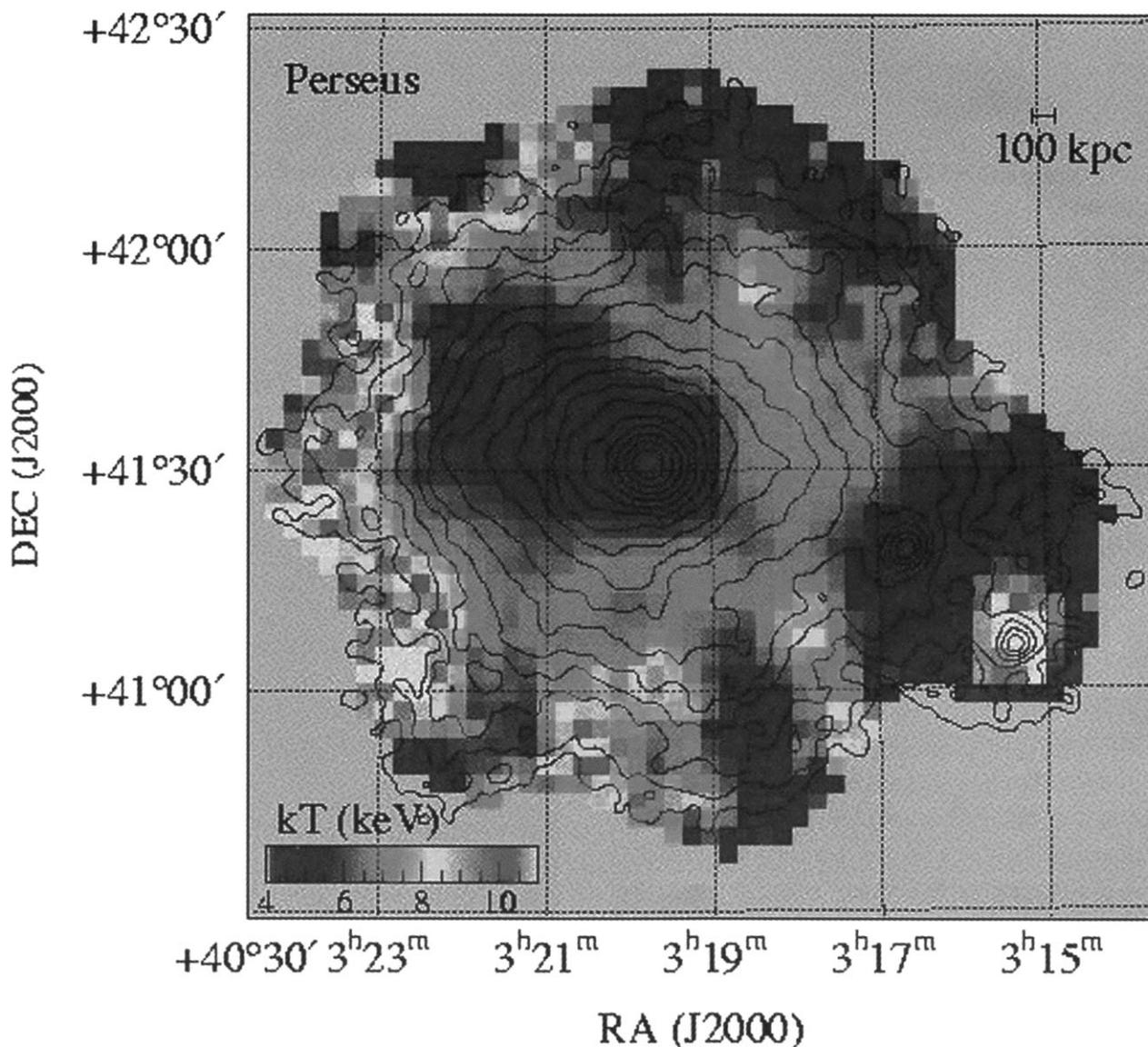


図2 ペルセウス座銀河団のX線での画像。色の濃さは銀河間ガスの温度を表す。

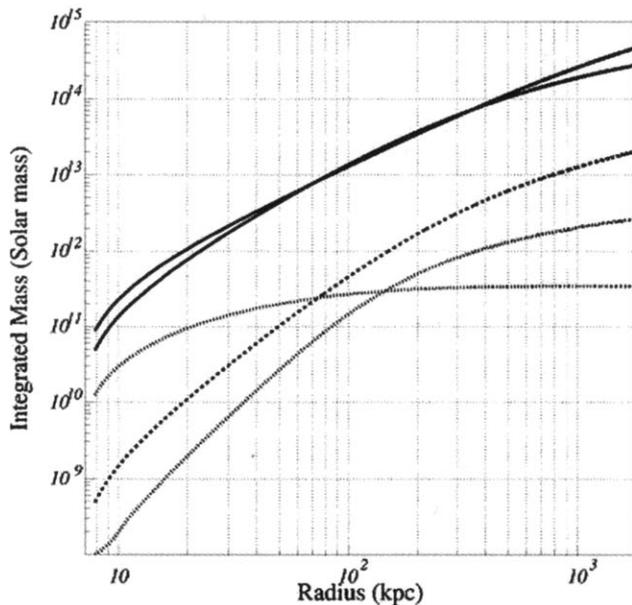


図3 A1060銀河団でのある半径内の質量。星（点線）、ガス（破線）そして全質量（実線）

銀河団に含まれる銀河、つまり星たちの質量と銀河間ガスの質量を足したものの10倍にもおよびます。つまり、銀河団には可視光でもX線でも光っていない、ダークマターが大量に含まれていることが示されたのです。

巨大な重力ポテンシャルとつりあうために、銀河や銀河間ガスは、大きな運動エネルギーを持ちます。その結果銀河間ガスは数千万度の温度になりました。この銀河間ガスの1個の粒子あたりのエネルギーが、ちょうど「あすか」の測定できるエネルギー範囲0.5-10 keV(キロ電子ボルト)とほぼ一致しています。そのため「あすか」はX線画像をとり、かつこのような温度を精度よく決定できる初めてのX線衛星となり、銀河団の内部構造を詳細に調べることができました。「あすか」によって銀河団の進化に関する理解は格段にすすんだといつてよいでしょう。

「銀河団の進化」という場合に2つの意味があります。1つは、銀河団の中の進化です。これは銀河間ガスの加熱、銀河から銀河間ガスへの重元素放出や相互作用などで、宇宙における物質の進化の解明にとって重要なことです。もう1つは、銀河団を形成した宇宙の進化についてです。自由落下によって物質が集められたとすると、銀河団ができるまでの時間は、ほぼ宇宙年齢と同じくらいかかります。つまり、銀河団はまだ形成途中にあるのです。実際、銀河団の大きさは属する銀河の数にして、数個から1000個くらい、と大きな幅をもっていて、規模の小さな銀河団が衝突合体して大きくなっていくと考えられています。銀河団の数や明

るさの分布は、いわゆる宇宙論的パラメータや、宇宙初期の密度ゆらぎがどうなっているかを調べるうえで重要な手がかりを与えます。

ペルセウス座銀河団の図の中で細かくメッシュにきって色を塗ってあるのは、X線で測った温度を表しています。このような結果は「あすか」が初めてもたらしたものです。我々は、かみのけ座銀河団、おとめ座銀河団、ケンタウルス座銀河団、AWM7、A1060など多くの銀河団の内部の温度構造、重元素量構造を調べました。その結果、銀河団の中の温度は一樣ではないことを明らかにしました。例えば我々に一番近いおとめ座銀河団は、M87銀河からM49銀河へと南北にのびた形をしており、まだ力学的緩和がすすんでいないと考えられます。M87銀河とM49銀河のちょうど中間のあまり銀河がない部分の温度は周囲より2倍も高いことがわかりました。これは、銀河団が成長する過程で、ある程度の大きさにまとまったサブクラスターが周辺から落ち込んでくる、という予想と一致します。つまりM49銀河を含むサブクラスターの衝突によって、温度があがっているのではないかと考えられるのです。このような温度構造は、銀河間ガスが希薄で、巨大なために数十億年も痕跡が残ることが示されているため、銀河団内部の温度構造は、銀河団の進化の歴史をたどる手がかりとなります。

また、「あすか」によるX線スペクトルをみると、電離した鉄やシリコンに特徴的な輝線があることがわかります。いわゆる宇宙初期最初の3分間にできる元素は水素とヘリウム、ごく少量のリチウムなどで、鉄やシリコンなどの「重元素」は星の寿命の終わり、超新星爆発によって作られたものです。すなわち、銀河間ガスに重元素があるということは、一度星になったバリオンが、銀河から銀河間ガスに放出された、ということを示すのです。「あすか」はこのような重元素の空間的な広がりを調べました。ここでは長く述べませんが、銀河団によってかなり様子が違い、複雑な様相をみせています。おとめ座銀河団やケンタウルス座銀河団では、中心部で非常に重元素が多く、これは中心にいる銀河の星形成活動が活発であるためのようです。ペルセウス座銀河団や、AWM7では全体になだらかな分布を示し、銀河の分布に沿っているように見えます。かみのけ座銀河団や、A1060では「あすか」では重元素は一樣に見え、なんらかのかきませ機構が働いたかのように見えます。また鉄、シリコン、など元素の種類によっても違いがみられ、銀河団形成のい

つ、どのような超新星爆発が起きたかということも反映しているようです。

「あすか」によって始められたこのような研究は、同じようなエネルギー範囲で観測が可能なアメリカのチャンドラ衛星、ヨーロッパのXMM-ニュートン衛星によってさらに進められようとしています。角度分解能に優れたチャンドラ衛星によって、より細かな構造も見え始め、銀河と銀河団の相互作用についての研究が重要になってきています。XMM衛星は、銀河団の中心部を詳細に調べています。銀河団中心部は、これまでX線放射をだすことによって、段々エネルギーを失い冷却していると考えられてきましたが、それだけではなく未知のエネルギー供給源もあるようです。2004年度に打ち上げられるASTRO-E2衛星には、これらとは全く別な観点からの情報を得ることのできる検出器が搭載されます。1つは、エネルギー分解能にすぐれたXRSです。輝線のエネルギーを用いて、銀河間ガスの運動速度を直接測定したり、電子とイオンの温度が同じかどうか、など熱の状態をより詳しく見ることができます。また、より低温の、宇宙の大構造を形成するガスをみることもできるかもしれません。もう1つは、よりエネルギーの高いX/γ線に感度をもつHXDです。銀河団の衝突合体や、銀河間ガスを加熱していく過程で粒子加速が起こっている可能性を探ることができます。新たな観測により、より銀河団についての知見を深め、また新たな謎に出会うことを楽しみにしています。

(やまさき・のりこ)

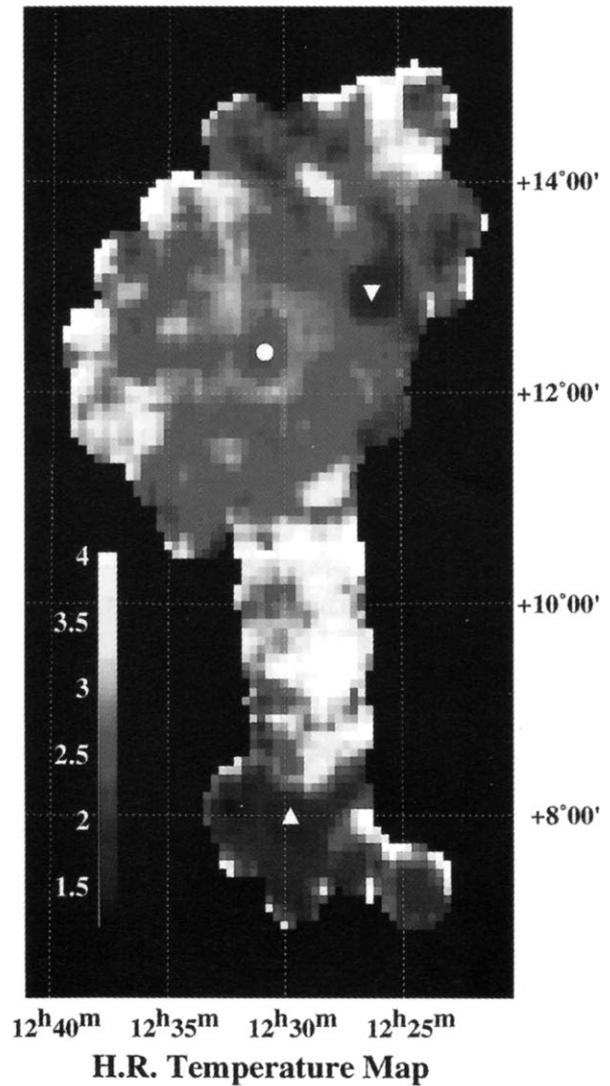


図4 おとめ座銀河団の温度

お知らせ

★ロケット・衛星関係の作業スケジュール (9月・10月)

	9 月	10 月
相模原	MUSES-C 総合試験	
	← 中旬	→ 上旬 SOLAR-B熱真空試験 (11月下旬まで)
能代	ATRエンジンシステム試験 11 ← → 1	
三陸	第2次大気球実験 → 13	



★MUSES-C 日米ジョイントサイエンス会議

MUSES-Cは一部分、工学と理学にまたがって、日米の協力関係が持たれています。理学に関係する部分では、搭載機器である撮像カメラ、近赤外線分光器、ライダーによる観測にそれぞれ米国側からの研究者が参加、協力します。また持ち帰られたサンプルの日本での初期分析に参加すること、およびサンプルの10%の供与やこれへの日本の研究者の参加などが予定されています。過去3回、毎年1回のペースで標記の会合がもたれてきました。今年は8月20、21日の2日間、宇宙研にて行われました。まずプロジェクトの進捗報告、各サイエンス機器のFM試験、キャリブレーション試験の進捗状況、運用計画の報告などの後、データ処理その他についての協力内容について話し合い、基本的な点について科学者レベルで合意を得ました。探査対象小惑星の名前についての候補も2-3の提案がありました。回を重ねるにつれ、メンバー間の気心も知れ、信頼関係もできてきているように思いましたが、ミッションが近づいてくるにつれ、観測運用やデータ処理方法に関して双方の間でより緊密な連絡と日常的な議論の必要性を感じました。初日にFM試験中のMUSES-C探査機の見学を行いました。4E、5Eといったサイズのクリーンスーツや大きな靴を探すのに慌てました。(藤原 顕)

★MUSES-C 総合試験の続報

昨年12月に始まったMUSES-Cの総合試験は、7月に大きなステップである機械環境試験を終えました。これは各軸の振動試験と衝撃試験で、打ち上げ時の環境を模擬したものです。その後、太陽電池パネルの火工品試験、レーザ高度計と近赤外分光器のアライメント試験、機械環境試験向けに入れていた擬似推葉の排出、近距離レーザ距離計とサンプルトリガ用の距離センサの連動試験、太陽電池の照射試験などと目まぐるしい日程を終え、今は熱真空試験の準備として熱電対の張り付けを行っています。折しもスケジュールの中で、一般公開が行われましたが、MUSES-Cの総合試験では日程マージンが少なく、土曜返上で作業を行っていたため、ご見学いただいた方々には実際の臨場感ある作業風景をご覧いただけたものと思います。探査機全体も、構造モデルの時とは違い、今はまさに飛行前のその勇姿を示していましたので、見学いただいた子供さんたちも満足してもらえたかなと思います。最近は、ようやく世の中の関心も集まってきたのでしょうか、見学者が非常に多くなってきました。一番関心を持っているのは、サンプルかなと思います。次はカプセルでしょうか。ほかの天体から標本を持ち帰る

うということですから、当然といえます。ただ、この2つ、本当にご覧いただけた方は、とても幸運だといえるでしょう。作業上の手順などで、どちらかがはずしてある場合が多く、試験が始まって以来、延べで2週間ほどしか両方がついていたことはなかったかもしれません。ましてサンプルが伸展していた瞬間となると、プロジェクトの中ですら、見たことがない方も多いかと思います。さて、あなたはご覧になりましたか？

(川口淳一郎)

★INDEX 衛星の FM 機器合わせ

INDEX衛星は、2002年はFM開発期間にはいっています。6、7月には筑波と相模原にて、MTM振動試験、音響試験をこなし、FM機器あわせを、8月中旬にかけて行いました。10月からは、FM一次かみ合わせ試験に入ります。

INDEX衛星は、H-2Aの副次的なペイロードとして2004年度打上げを予定している60kg級の小型衛星です。衛星技術に関する先進的な開発成果をいち早く軌道上で実証して、次なる衛星技術開発の早いサイクルへつなげていくための、先進的技術開発衛星です。1台の高速CPUですべての衛星機能を処理する統合化制御システム、高密度リチウムイオン2次電池、SOIデバイス等の搭載実験をします。理学ミッションとしては、理学委員会からの公募の結果、オーロラの微細構造観測のための3波長カメラと、粒子計測器が搭載されます。

INDEXは、先進的な衛星機器を搭載している一方で、衛星のシステム設計、搭載ソフトウェアの開発、衛星試験は、衛星システムメーカーにたよらず、宇宙研の職員の手でこなしています。その実践の開発のなかから、次世代の衛星技術の萌芽をうみだすインキュベーターの役割を担っています。ベンチャー技術者と密な協力関係をもちながら、技術に立脚した試験作業、討議のなかで、新A棟4階で、楽しく試験をこなしております。(齊藤 宏文)

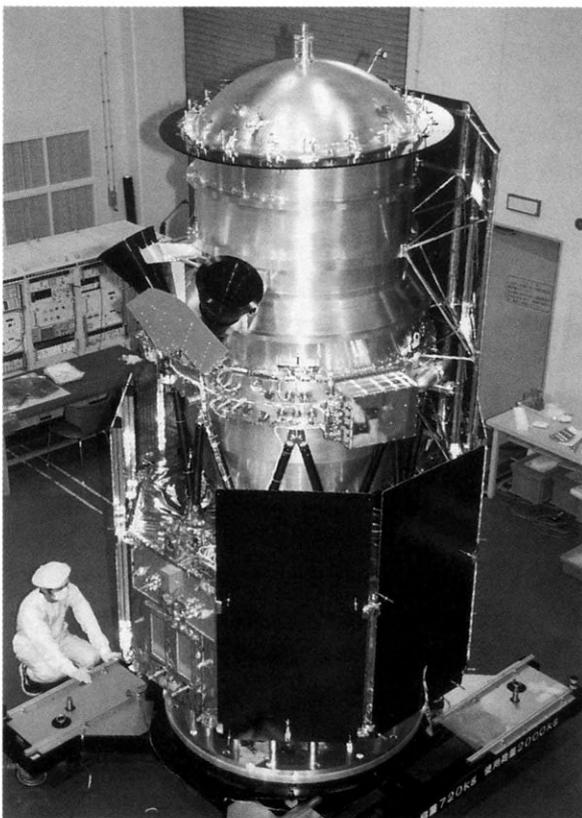
★第二回 ASTRO-E2 Science Working Group Meeting (8/29-30, 2002. Waikoloa, USA)

2004年度冬期の打上げを目指してFM製作の始まっているASTRO-E2のSWGの会議が8月末、米国で行われた。参加者は日本側34名、米国側31名(含NASA本部3名)、欧州からのアドバイザー3名であった。最初の各機器、ソフトウェアチームからの現状報告によれば、若干の遅れはあるものの、おおむね順調に準備が進んでいる。勿論、「試験の結果、期待通りの性能が確認された」と一言で済まされた報告のために、それぞれのチームがこの会議までに大変な努力を重ねたことは

想像に難く無い。今回の会議で最大の議題は、ASTRO-E2の目玉である高分解能X線分光素子のピクセルフォーマットの選択であった。ASTRO-E以降、エネルギー分解能等の向上と2次元アレイ化がはかられ、ASTRO-Eの2倍の分解能6eVが6×6のフォーマットで得られることが分かった。会議ではASTRO-E以前の20倍も高い分解能で、輝線の微細構造、熱運動の検出が可能になり、チャンドラ、ニュートンで見られない新たな世界が拓かれる期待が述べられた。技術的にはASTRO-Eのタイプの素子はすべての試験を終了しているのに対し、新しいタイプはほぼ確立されているものの、まだ若干の試験を残している。技術的、時間的に詳しい議論をした上で、我々としては、今後の試験で問題がない限り、新しいタイプを目指すことを決めた。会場はリゾート地にあり、休暇を楽しむ人々を横目に熱い議論を闘わせることとなった。(國枝 秀世)



ASTRO-E2のSWGの一コマ



一次かみ合わせ中のASTRO-F(表紙も参照)

★ASTRO-F 衛星FMの一次かみ合わせ試験が終了

赤外線天文衛星ASTRO-Fのフライトモデル(FM)の一次かみ合わせ試験が、飛翔体環境試験棟において、4月から行われてきました。試験はほぼ予定通りに行われ、8月の初旬に一次かみ合わせ試験は終了しました。現在、ASTRO-Fは再び分解され、各サブコンポーネントの試験を行っています。宇宙での高感度の赤外線観測を行うために、ASTRO-Fの観測機器は、約-270℃という極低温に冷却されます。そのために、クライオスタットと呼ばれる大きな真空容器の中に、観測機器を全て収めます。この容器の中に液体ヘリウムを入れて、観測機器を冷却します。観測機器の試験の際には、液体ヘリウムを特に低温に保つために、大きな真空ポンプが24時間体制で動き続けています。一次かみ合わせ試験の中では、多くの問題が発見されました。これらの問題を解決し、来年4月から総合試験が行えるよう、チーム一丸となっており取り組んでいます。

(中川 貴雄)

★これも魅力(南日本新聞 8/17付け「記者の目」より)

文部科学省宇宙科学研究所の観測ロケット2機の打ち上げ取材で7月30日から5日間、内之浦町の鹿児島宇宙空間観測所に通った。実験は夏場、高度100km周辺の電離圏に突発的に発生し、電波などの異常伝搬を引き起こす「スプラディックE層」の構造や発生要因を探るのが目的だ。そのため普段と違い、好天でも目当てのスプラディックE層が出現しなければ、打ち上げはない。「突発的」というから、たびたび出現するものと思っていたら、少々甘かった。結局、発射場から約500m離れた峠で4晩、午後8時から3時間半くらいの待ち時間を過ごすことになった。2日目からは虫よけスプレーと敷物が必需品に。疲れてきたら寝っ転がって待つのだ。

やっとロケットが打ち上がった8月3日も、直前まで打ち上げの気配は全くなし。「きょうも延期か」と帰り支度を始めた午後11時すぎ、管制室の動きが急に慌ただしくなったと思ったら、ロケット2機はあっという間に星空に駆け上がっていった。

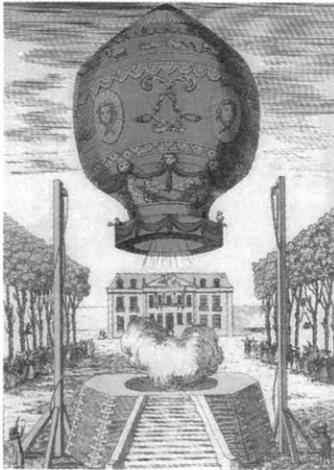
「非常に活発なスプラディックE層をとらえられた」。未明の記者会見、疲労の色ありありながらも、満足そうな担当者の表情に、こちらの疲れも吹っ飛んだ。

しかし、今回の取材で何より感じたのが予定調和的なものとは違う「不確実」のおもしろさだ。打ち上げを待つ間、普段はよく見ない満天の星を眺め、熱心な見物客と宇宙の話題で話が弾んだ。待ち時間もロケット打ち上げの大きな魅力と考えれば、楽しい。

(鹿屋支社・深野修司)



宇宙科学研究所気球工学部門は、科学観測および宇宙工学実験を行うための飛行体の1つである気球システムの研究・開発を行っています。その研究は、気球本体、放球方式、飛行・追跡・受信システム、観測器・

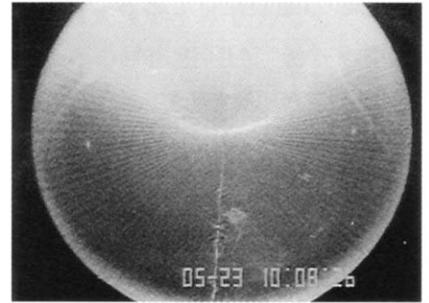


気球の回収システム、テレメータ・コマンド等の基本搭載機器の開発と多岐に渡っています。世界で初めて気球をあげるのに成功したのは、モンゴルフィエ兄弟で1783年6月4日とされています。その気球は、直径約11m、体積750m³で、薄い麻布に紙を裏打ちして作られ、高度1,950mまで上昇したとのことでした。

今で言う熱気球でした(左上図)。1945年頃になるとプラスチックフィルムが工業生産化できるようになり、アメリカを中心に大型科学観測用気球の組織的研究が始まりました。日本でのプラスチック気球による科学観測は、1954年に容積500m³の気球に原子核乾板を搭載し宇宙線の観測を目的に鳥取県米子市から放球されたのが始まりでした。1965年東京大学宇宙航空研究所に大気球専門委員会が設けられ、取り扱うべき大気球事業の内容と気球部門の役割が検討され、これまで全国の研究所および大学で行われていた気球実験を統合した本格的な科学観測が始まりました。その委員会では軽量で高々度まで上がる気球システムを開発し、多分野の科学観測を可能にしていく、という方針が立てられました。1966年から気球工学部門が中心になって基礎的な技術開発に着手すると共に、同年より気球実験を開始しました。科学観測の計画は、全国の研究者からの公募をもとに、大気球専門委員会が年度ごとの観測実行計画を審議決定し、気球工学部門が中心になって、それを実行するという体制が作られ、この体制が今日まで続いています。1966年の気球実験は茨城県大洋村において行われ、この大洋村では2年間、次いで福島県原町市で3年間実験を行いました。どちらの実験場も仮設のものでありました。大気球観測事業を本格化するためには、恒久基地が必要不可欠でありましたが、1971年に岩手県気仙郡三陸町に三陸大気球観測所が建設されました。以後、大気球観測事業は大きく発展していくこととなりました。1965年から1978

宇宙科学研究所 山上 隆正

年までは、気球の大型化が進められ、容積20,000m³の気球までの飛行に成功しています。また、三陸に移ってからは、ブーメラン気球、リレー気球、衛星中継気球



等の長時間飛行の技術が大きく発展しました。2001年迄の総放球数は510機を数え、うち三陸大気球観測所から放球された気球の数は357機に達しています。この間、国際協力による気球観測も初期の頃から、さまざまな規模で行われてきました。日本での気球および観測技術の進歩、蓄積が国外での観測計画を可能にし、10カ国以上との国際協力が行われています。国際協力の中の特記事業としては、宇宙空間観測所から東支那海を越え、中国へ向けて気球を飛ばした「日中大洋横断気球」があります。また、宇宙科学研究所の着想と技術のもと国立極地研究所において実現した「南極周回気球(PPB)」では1ヵ月以上におよぶ長時間観測が行われました。1990年より10kg程度の観測器を50kmを越える高々度まで飛行させることを目的に、気球フィルム、気球製作用バンドシラー、放球方式、基本搭載機器の軽量化等の研究が進められ、超薄膜型高々度気球の開発に成功しました。2002年には世界で初めて開発した厚さ3.4μmのポリエチレンフィルムを用い、容積60,000m³の気球を製作し、高度53kmまでの飛行に成功しました。この高度は、30年ぶりに世界最高高度51.8kmを更新することとなりました(上図)。また、日没になっても気球高度を一定に保つために、気球内に圧力をかけたスーパープレッシャー気球の理論的解析およびテスト飛行実験も行われ、将来、軽量で数ヶ月程度の長時間観測が可能な気球の開発・研究も進められています。また、衛星科学観測の中には、気球実験を経て衛星実験への道に発展している観測項目も数多くあります。さらに、気球実験が貢献していることの1つとして若い科学者の育成があります。今日次々と新しい観測テーマが若い科学者から提案され、観測の立案から実施までのハード・ソフトの両面における勉強を通して、1つの科学観測を為し遂げるといった教育面でも、大いに気球という飛行体が利用されてきました。今後10回に渡り、気球の連載が計画されていますが、各専門分野での興味深い話が連載されることと思っています。

東で奔走し、西へ走る

満田和久

これは6月24日から始まる3週間の話である。(海外は最後の1週間だけであることをご容赦願いたい。)

[東で奔走]

○6月24, 25日 ASTRO-E2衛星設計確認会 (宇宙研)

ASTRO-EからE2衛星への変更部分に焦点をあて、その必要性・設計とその検証方法の妥当性を各サブシステムに報告してもらい、6人の先生方にReviewしていただいた。設計確認会での報告と議論ももちろん重要であるが、そこへ至る準備の道のりも大変重要であったと思う。ASTRO-Eからの変更点を、部品レベルから網羅した分厚い資料ができた。これは、今後プロジェクトをすすめてゆく上で間違いなく役立つであろう。

○6月27日 小田先生を偲ぶ会 (東京一ツ橋)

小田先生が急逝されてからはや1年以上すぎた。井上先生が代表発起人となり、“小田先生に感化を受けたもの、先生に教えを受けたものたちが集い、先生を偲び、先生が種をまかれた学問分野それぞれがいかに発展をとげているかを紹介し合い、今後の学術研究の方向へ思いをめぐらす”ことを目的として、2部構成でこの会を行った。第一部ではX線天文学、宇宙線、電波天文、太陽、脳科学の各分野の先生方に講演していただいた。小田先生の発想の豊かさとひらめき、そして、その実現に着実に努力されたことを再認識した。会食形式で行なわれた第二部では、作曲家大澤徹訓さんによる小田先生へのレクイエムがピアニスト田中美紀さんにより演奏され、ひととき荘厳な時間が流れた。

○7月1~5日 国際天文連合アジア太平洋地区会議 (IAU APRM2002, 東京一ツ橋)

私はこの会議の実行に地区実行委員として1年半前くらいからかかわってきた。会議には23の国/地域から462名の参加があり宇宙研からも多くの方が参加した。会議が大成功であったことは裏方としては嬉しい限りであるが自分が喋ったセッション以外は、誰の講演も聴きけなかったのが残念である。

○7月6日 アジア太平洋地区の高エネルギー宇宙物理学 (東京一ツ橋)

インドはX線天文衛星を打ち上げ、韓国は米国と共同で紫外線衛星を開発するなど、アジア地区の高エネ

ルギー宇宙物理学の活動は高まりつつある。APRM 2002を利用して、韓国、中国、台湾、インド、オーストラリア、その他の国の研究者が集まり将来計画などの情報交換を行なった。特に、私達が、アジア太平洋地区からASTRO-E2衛星公募観測プロポーザルを受け付けることを表明したことは、今後の協力関係に大きなはずみをつけるであろう。

[西へ走る]

○7月8~12日 レオナルドダビンチサマースクール (イタリア・ボローニャ)

サマースクールは「X線・ γ 線天文学の衛星計画と観測装置設計」をテーマとし、7月1日から12日の間に、科学目的・検出器・電子回路・データ処理などの講義が52人の講師により行なわれた。私はX線マイクロカロリメータの話をするためによばれ、量子マイクロカロリメータの原理、超伝導を利用したX線カロリメータは何故高いエネルギー分解能が期待できるのか、ASTRO-E2衛星搭載のマイクロカロリメータ、宇宙研・都立大で開発中のTES型カロリメータ、さらに硬X線や可視光への応用などの話をした。45分の時間には盛り沢山すぎたかもしれない。次々と様々な分野の専門家が登場し、話を聴く方は、頭を切り換え消化するのに、さぞ大変だったと思う。

サマースクールは、ボローニャ駅からバスで10分弱の所にあるCNR Area Della Ricerca Di Bolognaの中のCentro Congressiで行なわれた。Area Della Ricerca Di Bolognaは、研究機関のためのインフラストラクチャーを提供する組織で15の研究機関が“テナント”として入っている。フランクフルトからボローニャの飛行機で隣席だったイタリア人(彼は以前ここでバイトをしていた)の話によれば、以前はこれらの研究機関はボローニャのあちこちに散らばっていたが、それが一か所に集まりインフラストラクチャーを共有することで経費を削減している、とのことである。統合による効率化の一種であろうか? イタリア、といえば食べ物である。MAXI計画について講義をされた松岡先生の計らいでボローニャ在住のMassimo Cappiの案内でRistoranteに行った。そのパスタもドルチェもどれも美味であった。何故イタリアの食は他とこうも違うのか? 終わりうまければ全てよし、としよう。bene, arrivederci!



日本初の人工衛星「おおすみ」誕生（後編）

井上 浩三郎

受信レベルとしては、136MHzのビーコン信号は正常で、ロックオンしたときのレベルが -133dBm 、最高で -113dBm だった。296.7MHzパイロット信号および295.6MHzテレメータ信号は低めだった。

その後、第2周目の受信を18時30分06秒から18時41分23秒の間に行ったが、受信レベルは低く、翌2月12日第6周の受信はきわめて微弱な信号を捉えたのみで、第7周の受信も試みたが受信できなかった。米国航空宇宙局の追跡でも、南アのヨハネスブルグ局が、2月12日4時30分(日本時間)に弱い信号電波を受信したのが最後だった。この結果、「おおすみ」の信号は発射後14~15時間で途絶したものと思われる。

搭載した電池は30時間以上の寿命と推定されていたが、予想以上の高温になったため電池の容量が急速に失われ、予定より早く信号の途絶を招いたと考えられる。電池が搭載されている計器部の温度上昇は、第4段燃焼の際にモーター部に蓄積した熱が伝わったもので、設計の際に取り付けの熱絶縁、機器をアルミニウム蒸着のマイラー膜で包む放射防御等対策はされていたが、予想以上の蓄積熱量があり放熱しにくいところがあったものと考えられる。後日、送信機の温度が上がると周波数が高くなる特性があるので、搭載したものと同等のもので温度試験を行った結果、予想以上に高温まで電波を出し続けていたことが確認された。

「おおすみ」の軌道は遠地点5151km、近地点337kmと、当初の予想に比べ近地点が低く遠地点がいちじるしく高いものになったが、飛しょう経路が低かったのと、第4段の速度成分が大きかったことによるものであった。

衛星の軌道推定は、18mφパラボラアンテナが296.70MHzのパイロット信号を自動追尾した時の角度データと136MHzビーコン信号のドップラー受信機から得られるドップラーデータを用いて行われた。即ち、ドップラー・シフトから距離変化率を求め、これを積分して角度データと組み合わせることによって軌道推定を行う方法が取られた。推定は良く合っており、追跡のための有力なデータを提供した。

「おおすみ」は32年以上経った今でも地球を回っている。昨年内之浦の榮楽技官が、NASAの軌道情報をもとに「おおすみ」の撮影に成功したことはすでに報じられた。打ち上げ時の軌道と比較すると遠地点高度がかなり低くなっているが、仮に遠地点が1日に80~100m下がるとしても、まだまだ地球を回り続けると

考えられる。

当時ロケットの性能計算をしていた計算機について少しふれてみたい。飛翔経路の計算は空気抵抗のような非線形項を含んでおり、数値計算が必須で、手まわし計算機しか実用にならず、数多くの計算をこなす努力は並大抵ではない時代だった。性能計算にコンピュータが本格的に使われるようになったのは、内之浦に移った1962年頃だった。

ロケットの飛翔性能計算式として、L-4S計画の始動に伴い、1964年頃から3次元6自由度の運動方程式が衛星投入までの軌道計算で使われており、当時大学院生だった松尾先生、的川先生、上杉先生が昼夜計算しておられたのを思い出す。

1964年に宇宙研にデジタル計算機HIPAC103とHITAC502Fが導入されて計算能力が向上したが、それでも今では数秒の計算が1時間近くかかっていたと思う。しかし衛星投入が風まかせと評された第1段ロケットの風の影響を吟味する上で威力を発揮していた。

当時もミッション達成上、第4段計器部の重量に厳しい制限が加えられた。マグネシウムを主材料とする軽合金を用い、金属ケースは最小限度にとどめ、わずかに高周波部と電池の気密保持にのみ使用された。テレメータ送信機の既製の筐体にドリルで多数の孔をあけて(1号機と2号機のみ)減量を図るなどポッティング、コネクタ、ネジ1本に至るまで重量の管理を行う苦労もあった。衛星重量の軽量化はここから始まったと思う。

こうして実験班が心血を注いだL-4Sによる衛星が誕生した。成功を実験班と共に喜び町をあげて歓迎してくれた内之浦の方々の協力が大きな力になった。今でもその時の感謝の気持ちは忘れない。

(いのうえ・こうざぶろう)





考証：チューハイ缶と宇宙研の関係

三浦 公亮

芋焼酎もなつかしいが、最近ではチューハイも衣替えして、モダンなのみものになってきたことで人気が出てきている(写真)。今日は、そのチューハイ缶と宇宙研との関係を、まじめに考証してみましょう。

この缶チューハイを一度でも飲んだことがある人は、だれでも知っているが、開けると、プシューッと音がして、写真左側からとつぜん右側のかたちにとつぜん変形する。普通、缶ビールをあけたあとは、缶はふにゃふにゃで、たよりないが、このチューハイ缶は、あけたあと、とつぜんかたくなって、しっかりする。その変化が面白いのか、よくわからないが、とにかく売れるようである。

手元に、東京大学工学研究所報告1951年11月号の、相当に酸化してしまった冊子がある。この号の論文で、吉村慶丸先生は、航空機の胴体のような薄肉の円筒は、「概不伸張有限変形」で座屈すると喝破された。その特殊な変形の展開可能面は、いま吉村パターン(Yoshimura-pattern)と呼ばれているもので、まさしく右側の缶のかたちである。吉村先生は、駒場の研究所の時代におられたえらい先生のお一人である。いまの時代には、えらい先生という言葉は死語になったのかもしれないが、そうとしか言えない。当時、公務員の通勤手当というのがはじまった頃で、そのような少額の手当は教授にたいしてたいへん失礼である、と辞退されたという噂がある。とにかく昭和20年代の、駒場の話である。

それから時が経って、1969年11月、宇宙航空研究所のREPORTに、その特殊な展開可能面がふたたび現れる。こんどは、破壊のかたちとしてでなく、構造の新しいかたち(PCCPシェル)としてである。この仕事には、NASAもからんでいる。筆者は、1966年から67年NASAのラングレー研究所で、極超音速機の胴体の破壊の研究をしていた。その過程で、吉村パターンのいろいろなバリエーションを考え、そのモデルをつくった。ところで、まったく偶然だが、ある日、その破壊のモデルが、非常に安定した構造であることに、手の感触で気づいたのである。もともと、この一群の展開可能面の、幾何学的美しさに魅せられていたので、そのインパクトを素直に受容する素地ができていたのである。それからは、破壊の研究はちょっとお預けで、破壊の仮面をした構造に身がはいる始末であった。破壊したあとの研究に何の意味があるのか？とはNASAの仲間のつぶやきである。それもそうかもしれない。

仲間の言ったとおり、世間はまったく冷たかった。この論文は自分の書齋で長年のほこりをかぶり、早晚ゴミ箱行きの運命にあった。1995年早春のころ、相模原に移った研究所三階の名誉教授室で、筆者は、T製缶会社の方とお会いしていた。テーブルの上におかれた製品をみたとき、あ、捨てない

でよかったと一瞬おもったものである。お話によると、T社の技術者がPCCPシェルの論文をみつけ、困難をきわめた開発がひそやかに進行していたのである。まさに日本の製造技術のすごさを見せていただいたのだ。

チューハイ缶の誕生には、こうして、1951年の吉村先生の座屈の論文、1969年の筆者の論文、が関係しており、また組織としては、理工研、宇航研、NASA、宇宙研がからんでいたことになる。もちろん最後はT製缶会社が、開発でしめてのことである。

考証はさておき、この缶は考えさせるいろいろな特徴をもっている。中身を賞味しながら、考えることをおすすめする。
*周方向のダイヤモンド・パターンの数は、13である。奇数を選ぶのは、そのほうが「丸い」からである。その数学的および生産的理由は？

*この缶は、円筒の缶に印刷してから、加工する。展開可能面への伸びない変形だから、画がゆがまない。

*缶をあけたとき、缶は、座屈の形状になるから、高さがちいさくなり、断面積も小さくなる。従って容量が小さくなるはずだが、中身のこぼれる心配をするほどではない。

筆者が心配するのは、「チューハイ缶ごときのために、仕事をしたのではない」という、えらい先生のおしかりの声が聞こえてきそうだからである。宇宙での実現には、先生、もうすこし時間をください。

(本所名誉教授、みうら・こうりょう、2002.8.10)



広報活動はボランティアじゃない、みんなの仕事だ！などと力んでも、自分自身これ以上はなかなか時間も取れない今日この頃。秋が近づきおいしいものの季節がやって来た。とりあえずそれだけで幸せである。(中澤)

ISASニュース

No.258 2002.9

ISSN 0285-2861

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>)。)