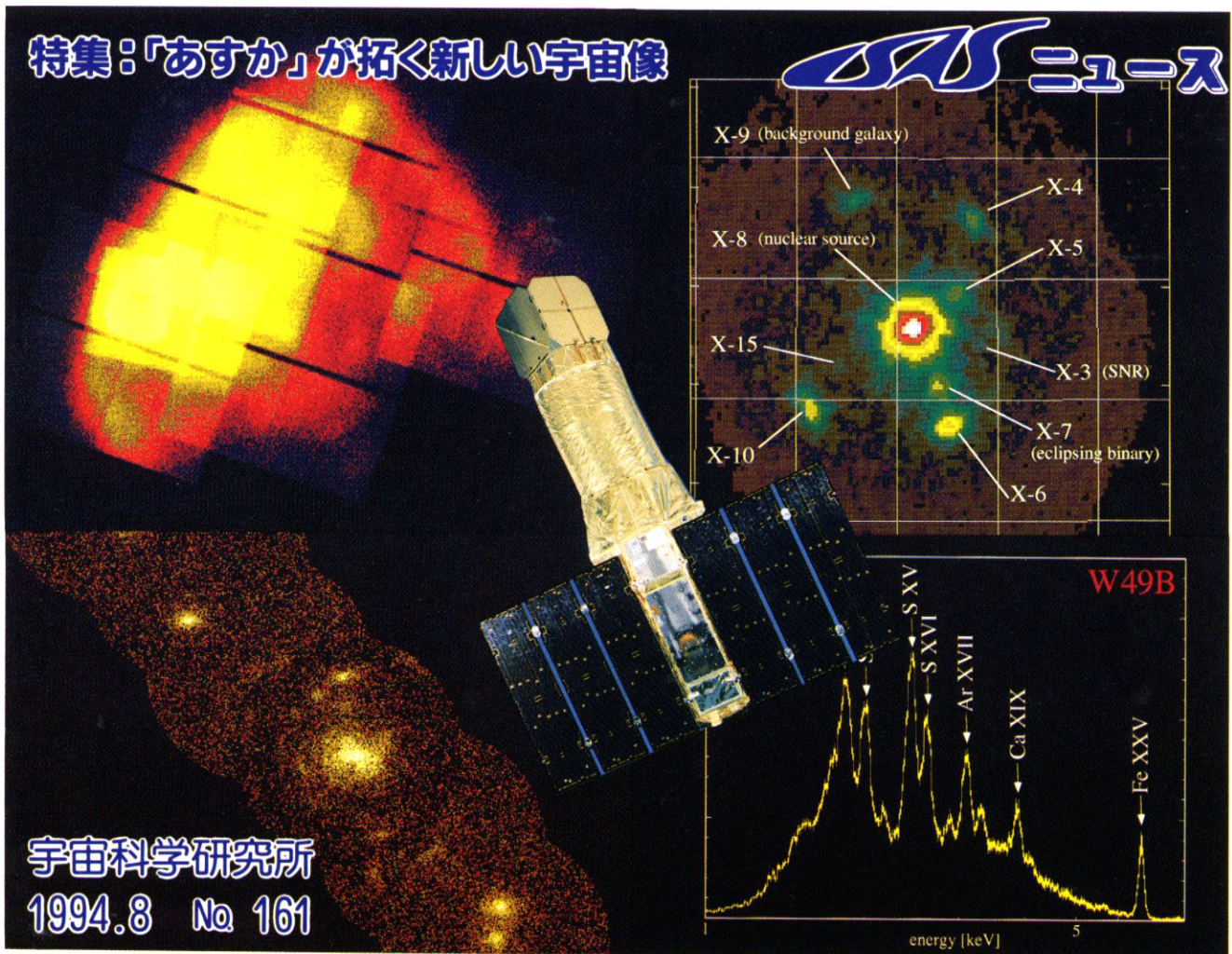


## 特集:「あすか」が拓く新しい宇宙像

AS ニュース



宇宙科学研究所  
1994.8 No. 161

## 特集号に寄せて

ISASニュース編集委員長 松尾弘毅

さきの「ぎんが」ではミッション終了後に特集し打ち上げ後5年を要しましたが、今回は最新の成果を満載して「あすか」の特集をお送りします。

ご存じでしょうか、ASCAがAdvanced Satellite for Cosmology and Astrophysicsの頭字語になっているのを。

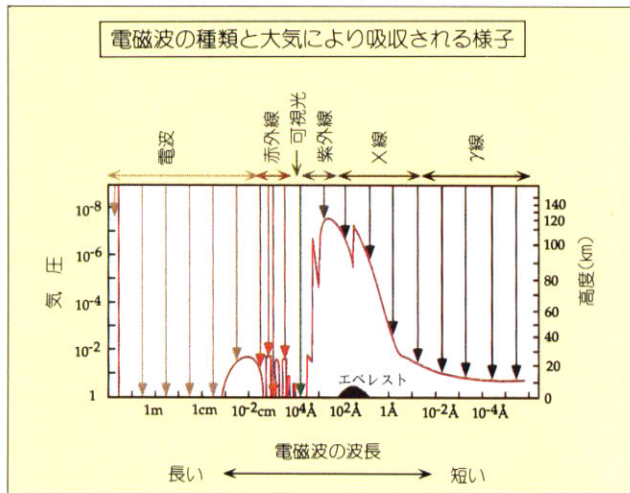
## X線天文学への招待

1940年代まで、ジャンスキーらの宇宙電波の発見などを除けば、人類が宇宙を覗く窓は、人間の目が感じる光、可視光に限られていました。1940年代以降の科学技術の進展は人類の宇宙への窓を可視光以外の電磁波（広い意味での「光」）へも広げました。特に、遠赤外線、紫外線、X線、ガンマ線等の電磁波は地上に達する前に大気に吸収されるため、人類が大気の外へ飛び出す手段を得て初めて観測することが可能となったのです。X線

天文学は、1962年マサチューセッツ工科大学(MIT)のジャック・ローニ、ロッシらがロケットに搭載した小さな放射線検出器が見た、それまでの予想と比べると異常に明るいさそり座の方向のX線天体（さそり座X-1）の発見に始まります。

X線と言いますと、一般には馴染みが薄いかも知れませんが、健康診断の時のレントゲン写真はよく御存知でしょう。レントゲン写真で使われている「体を透視する光」がX線です。X線は可視光の波長の数百分の1以下の波長を持つ「光」で





電磁波が大気を透過できる限界高度

す。光の粒,「光子」,一個のエネルギーを比較すると,X線は可視光の数倍以上で,数百万度から数億度の高温ガスなど,エネルギーの高い現象から発生します。

X線天文学が始まって以来これまでに多くのX線を放射する天体が見つかりました。特に1970年代以降,米国のUHURU衛星を先駆けとする数々のX線天文衛星の活躍によってこの分野は発展し,現在では非常に多くの種類の天体がX線を放射することが知られています。「ようこう」の活躍で御存知のように,身近な太陽もコロナと呼ばれる太陽のまわりの高温ガスからX線を発生します。

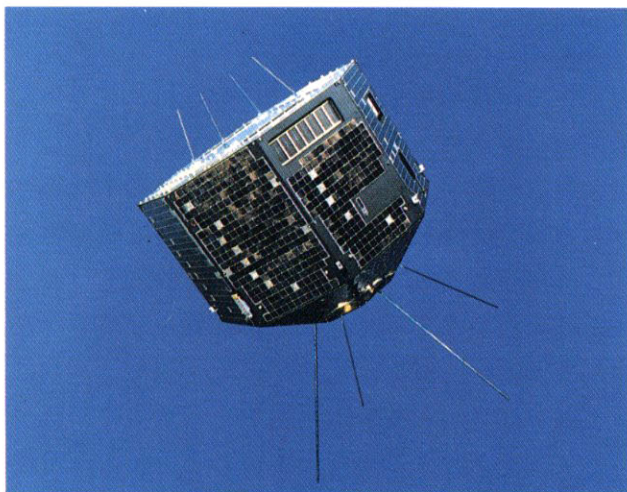
銀河系内にはさそり座X-1に代表されるX線連星と呼ばれる,中性子星,ブラックホールのように太陽程度の重さにも拘わらず数十km以下の大きさしかない重力が非常に強い星と恒星が近接した,

非常に強いX線を放射する特異星が数多くあります。そこでは,中性子星,ブラックホールの強い重力圏に落ち込む物質の重力エネルギーが源となりX線を発生しているのです。銀河系内では超新星爆発の残骸,恒星,銀河系内の高温ガス等からもX線が放射されています。銀河系の外に目を向けますと,クェーサーに代表される活動的銀河中心核と呼ばれる天体,銀河,銀河団(銀河の群)を覆う高温ガス,なども明るいX線天体です。

この様に宇宙には多種多様なX線を発生する天体があり,宇宙が高エネルギー現象で満ちあふれていることを垣間見せてくれます。X線天文学は,宇宙の高エネルギー現象の謎を解き明かす鍵としてこの30年間で発展してきました。

### 「あすか」までの道のり

日本のX線天文学は,ジャックコーニらのX線天体の発見後すぐに小田稔先生,故早川幸男先生,田中靖郎先生らによって始められ,気球,ロケットを用い太陽系近傍の高温ガスの解明などに独自の成果を挙げました。日本初のX線天文衛星「はくちょう」が軌道に乗ったのは1979年,UHURU衛星に遅れること約10年でした。この100kg足らずの小さな衛星は,しかし,銀河系内のX線天体の解明に成果を挙げ,日本のX線天文学の土台を築きました。その後「てんま」,「ぎんが」と小型ながら優れた特徴を持つX線天文衛星が計画的に打ち上げられ,その精密な観測は日本のX線天文学を世界の第一線へと飛躍させました。



「はくちょう」



「てんま」



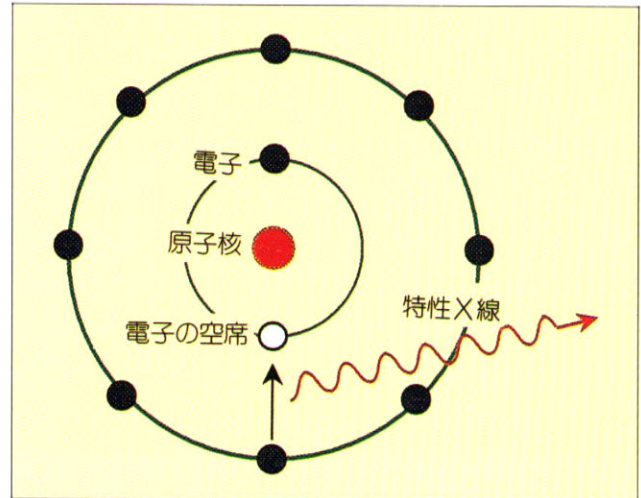
「あすか」はこれらの衛星に続く日本第四番目のX線天文衛星で、日米協力により準備が進められました。この衛星の最大の特徴は、本格的なX線反射望遠鏡を搭載し感度が高いこと、X線光子のエネルギーをこれまでになく正確に測定できることにあります。その優れた性能は、X線天文学に新たな地平を切り開いています。

### X線の精密測定

X線光子のエネルギーを正確に計れることによどのような意味があるのでしょうか？

数～数十キロボルトの電圧で加速した電子を物質に当てると、その物質を構成している元素に固有のエネルギーを持つX線光子が発生します。このX線は「特性X線」と呼ばれています。特性X線は物質にエネルギーの高いX線を当てたときにも発生します（これは特に蛍光X線と呼びます）。

原子はプラス電荷を持つ原子核と電気力で釣り合う軌道を回るマイナス電荷の電子から成り立っています。電子の軌道は勝手にはとれず、決められた「指定席」の軌道をとります（これを物理学では「量子化」とされていると言います）。また、この指定席の数は各々の軌道で決められています。電子は規則にあえば「空席」の指定席に乗り換えることができます。この時、乗り換え前後の軌道の固有エネルギーの「差額」のエネルギーが特性X線光子として放出されます。加速された電子やエネルギーの高いX線光子が原子に当たり、内側の軌道の電子を弾きとばし空席ができると外側を回る電子が空席に乗り換え、特性X線を出すのです。特



特性X線の発生原理の模式図

性X線を利用すると物質の元素の特定ができますので、半導体の不純物検査などによく使われています。同様に、天体が放射する特性X線から遠い天体の元素の数の比率などがわかります。

また、X線が放射されるような数百万度以上のガスでは、原子核を回る電子は自由な電子との衝突ではぎ取られ（電離）、原子はイオンになります。電子が次々にはぎ取られるに従い電子の指定席の軌道のエネルギーは変化し、特性X線光子のエネルギーも変化していきます。つまり、特性X線のエネルギーやその明るさを正確に計ることで、その原子の電離度が分かり、温度など天体の物理状態を示す情報が得られるのです。また、特性X線を出す物質が猛烈な速さで運動していれば、ドップラー効果で見かけの特性X線のエネルギー（波長）は変化しますから、物質の運動も分かってきます。このようにX線光子のエネルギーを正確に計ると、その天体の現象を解明する多くの情報が得られるのです。

「あすか」の精密なX線測定は、宇宙の成り立ち、宇宙を構成する物質の流転、様々な高エネルギー現象の謎、といった宇宙の謎に多くの解答をあたえました。この僅か1年半の間に得られた「あすか」の成果は世界中の研究者が注目するX線天文学の新たな地平を築いています。この特集号ではその活躍の一端をご紹介します。

（紀伊恒男）



「ぎんが」



## ■ X線天文衛星「あすか」の誕生

科学衛星「あすか」は、宇宙最深部の新たな探査と、多種多様なX線天体の精密観測を目的として、約5年間の準備期間の後、1993年2月20日に打ち上げられたわが国4番目のX線天文衛星です。

「あすか」には4台のX線望遠鏡が搭載されており、それぞれの焦点に撮像型ガス蛍光比例計数管（GIS）2台とX線CCDカメラ（SIS）2台の2種類のX線検出装置が置かれています。X線望遠鏡とX線CCDカメラは日米協力で製作されました。

衛星は打ち上げ以来極めて順調に動作しています。2月25日には、リアクションホイールを起動して角運動量を機軸と直角方向に移した後、太陽電池パドルを展開しました。さらに、3月2日には収納されていたX線望遠鏡の鏡筒部分（光学ベンチ）の伸展を行い、X線望遠鏡は所定の焦点距離3.5メートルの位置に固定され、「あすか」の軌道上での最終的な形態が完成されました。これと平行して、姿勢制御系の機能確認と調整も進められ、3月後半には、X線望遠鏡を向けたいX線天体にピタリと固定できるようになりました。3月中旬からは焦点面X線検出器の電源投入や初期設

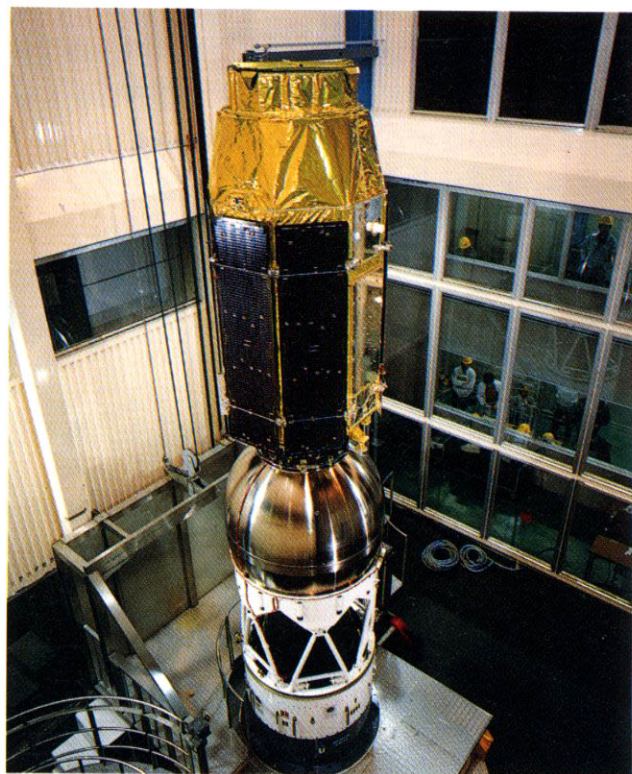


定が行われました。観測装置の基本的性能が確認された後、1993年4月19日からは本格観測が始められました。はじめの半年は、観測装置の科学的性能を評価するための試験観測にあてられ、約150のX線天体が順次観測されました。同年10月からは、日米の研究者を中心とした一般公募観測に入っています。一般公募観測では、全有効観測時間の60%を日本、15%を米国、25%を日米共同の割合でそれぞれの観測提案に割り当てられています。1994年5月からは、日本側の時間の一部が日欧共同の観測時間として割かれ、欧州の研究者にも利用の道が開かれています。「あすか」は世界の研究者に利用される軌道X線天文台として大活躍しています。

衛星はあらかじめ決められたスケジュールにしたがいおよそ1日1ターゲットの割合で各種天体を次々と観測しています。衛星の1日の運用指令は、衛星が鹿児島宇宙空間観測所（KSC）を通過するわずかの時間の間に衛星に伝えられます。その指令に従って得られた観測データは機上のデータレコーダーにいったん記録された後、KSCと、NASAの深宇宙局通過時に地上に送信されます。観測データは相模原に集められ、一次処理がされた後、それぞれの観測提案者に渡されます。このような作業が宇宙科学研究所で「あすか」チームの研究者自身の手で毎日行われています。

また、ソフトウェアの開発やデータの配信にはNASAの研究者の協力も得ています。

（井上 一）



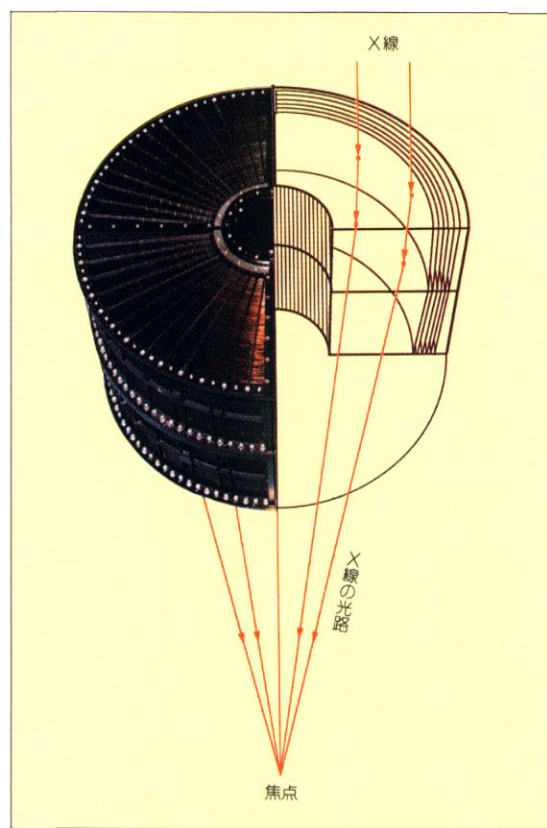
M-3SII型ロケットの上部に組みつけられたASTRO-D（「あすか」）



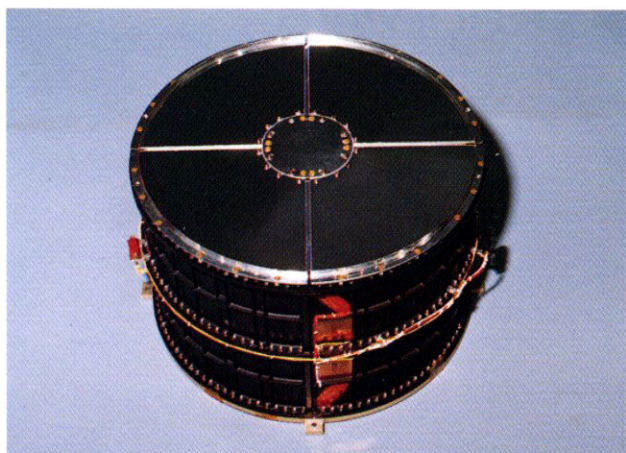
## ■ X線の目、X線望遠鏡

人工衛星に載せられるX線望遠鏡は、なるべく小さく、軽く、それでいて打ち上げ時の激しい振動、衝撃に耐え、しかもX線を効率良く焦点に集めることが要求されます。しかし、X線は波長の短い光であり、反射率がとても小さいため、反射によって効率良くX線を集めることが大変難しいことがX線望遠鏡の実現を妨げてきました。

健康診断で用いられるレントゲン写真では、X線が人体を透過する性質を用います。我々が調べているX線はレントゲン写真よりやや波長が長いですが、同じ様に鏡へ垂直に入射すると反射されることなく鏡の中へ入り込んでしまいます。X線を反射させるには、鏡面にすれすれの斜めからX線を入射させることが必要になります。X線を反射させ、1点に集める望遠鏡は、円錐の内側で反射させ、その回転軸の延長上にX線を集める形を取ります。しかし入射させる角度が1度以下と大変小さいため、円錐1個の望遠鏡の有効面積は、前から見た細いリング状となり、宇宙から来る微弱なX線を集めるには面積がとても足りません。



X線望遠鏡の解剖図と集光原理



「あすか」搭載X線望遠鏡（1台）

そこで、こうした円錐を同心円状に多数重ね合わせました。図に「あすか」に搭載したX線望遠鏡の写真とその解剖図を示しました。口径35cmのところに、120枚の円錐型の反射鏡（長さ10cm）が2段に重ねられ、X線は2回の反射後、3.5メートル先の焦点に集まって行きます。

この望遠鏡の特長は2つあります。まず、円錐形の筒が0.15ミリメートル厚のアルミフォイルできていて極めて薄いことです。これは、隙間なく円錐鏡を並べて、なるべく大きな有効面積を得ること、全体の重量を軽くすること、という目的に大変よく合っています。第二は、鏡の表面をアクリルをコーティングして滑らかにしてから金を蒸着していることです。1台当たり15平方メートルのアルミフォイルを普通の望遠鏡のように研磨するのは殆ど不可能です。このアクリルコーティングは表面の凹凸を数オングストローム以下まで減らし、X線の表面散乱を防ぎます。

こうしたアイディアはNASAゴダード宇宙飛行センターのセレミトス博士によって考え出され、名古屋大学、宇宙研を含めた共同開発により、「あすか」に適した望遠鏡として完成されました。そこに至るには多くの研究者、大学院生により数々の工夫、長い時間をかけた特性測定、打ち上げを模擬した激しい振動試験、精密な光軸調整などに努力が払われました。この開発の結晶である「あすか」の望遠鏡は、これまでになく高いエネルギーのX線まで集め、像を結ぶことを、極めて軽く小さなシステムで実現しています。（国枝秀世）



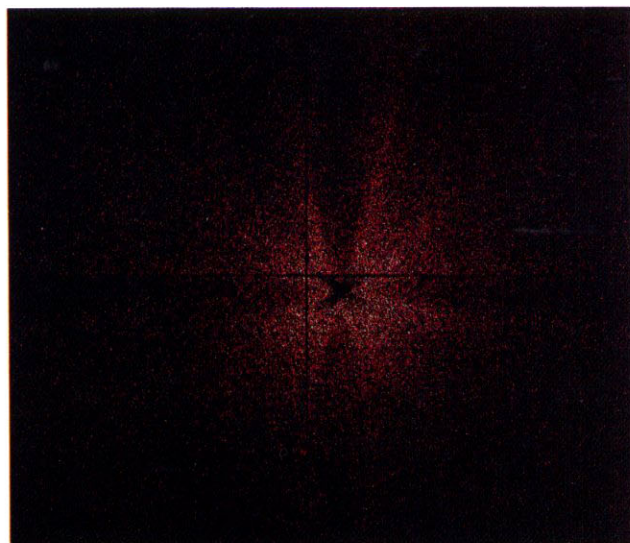
## ■ X線CCDカメラ

CCD (Charge Coupled Device:電荷結合素子) は家庭用ビデオカメラをはじめとする可視光の撮像素子として広く使用され、馴染みの深いものです。天文学の分野においても光学望遠鏡の検出器として広く用いられ、近年の可視光天文学の飛躍的な発展をもたらしてきました。一方、CCDをX線検出器として、しかも一つ一つのX線光子を検出する光子計測という方法で用いると、高い位置検出能力と高いX線エネルギー分解能（異なるエネルギーのX線光子を見分ける能力）を同時に合わせ持つ、ある意味で究極のX線検出器を作ることができます。「あすか」以前にも太陽観測衛星「ようこう」の軟X線望遠鏡はCCDをX線検出器として用いましたが、これは一つ一つのX線光子を検出するのではなくCCDに入ってきたX線エネルギーの流量を測定する方法で用いており、使い方としては可視光の撮像素子の使い方に近いものです。「あすか」のX線CCDカメラ、SIS (Solid-state Imaging Spectrometer) はX線光子計測を行うX線検出器として文字通り世界で初めて衛星に搭載されたものです。そのエネルギー分解能はこれまでの検出器の数倍以上で、X線天体の精密観測に威力を発揮し、新たな発見をもたらしています。SISはマサチューセッツ工科大学 (MIT)、宇宙科学研究所、大阪大学理学部の研究者からなるチームにより開発されました。

SISは、軌道上で放射冷却と電子冷却装置を使った-60度CまでのCCDの冷却、放射線損傷の対策、



X線CCDカメラ (SIS)



SISが初めて捉えた天体、はくちょう座X-1

DSP (Digital Signal Processor) 素子を使った衛星上でのデータ処理など、これまでのX線天文衛星では経験したことのない要素がたくさんありました。初めてであるがゆえにおきた、製作段階、打ち上げ前後のドタバタがいくつもありました。

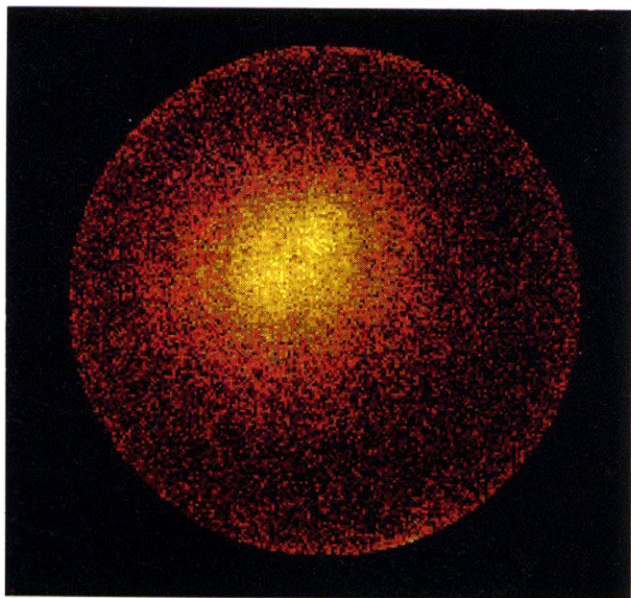
CCDは打ち上げ時には素子の汚染を避けるため真空容器に入っていました。観測を開始するには容器の上部についた蓋（我々はドアとよんでいた）を開けなければなりません。1992年10月28日に行われた衛星の熱真空試験の最終段階で、このドアを開けの試験が行われました。2台の検出器のうち1台目のドアがまず開き、続いて2台目のドアを開けるコマンドを送りました。しかし、ドアが開いたというステータス信号がなかなか返ってきません。返ってきたのはなんと、コマンドを打ってから数時間後でした。その後、さまざまな実験を行ったところ、ドアを開けるのに使われるバネの力がX線を観測するのに十分な程度に開けるだけの力はあるが、温度環境によってはステータスを返すところまでは開かないことが分かりました。軌道投入後の1993年3月26日、相模原の「あすか」運用室には大勢の関係者が集まってSISのドアの開くのをかたずを飲んで見守っていました。ドアが開いた瞬間、はくちょう座X-1のX線像が、モニターに現れるとどこからともなく拍手がまきおこりました。（満田和久）



## ■位置検出型蛍光比例計数管

1983年に誕生した「てんま」は、田中靖郎・松岡勝先生らの主導で開発されたガス蛍光比例計数管(GSPC)を搭載し、優れた成果を挙げました。GSPCはそれまでの比例計数管に比べ、2～3倍も優れたエネルギー分解能をもつことが特徴です。その頃から小山勝二・井上一の両氏を中心に、GSPCに撮像能力をもたせた改良品の開発が始まりました。この開発は、GSPCおよび「ぎんが」の開発に豊富な経験をもつ大橋隆哉氏をリーダーとして引き継がれ、東京大学理学部を中心としたGIS (Gas Imaging Spectrometer: 位置検出型蛍光比例計数管) 計画となりました。

GISは1台の電子回路部と2台のセンサから構成されます。センサはX線望遠鏡の焦点面に置かれ、一個一個のX線光子のエネルギーと位置を精度よく測定します。X線はキセノンガスを詰めたガスセルの中で吸収され電子に変換されます。この電子は8,000ボルトの高い電圧で加速されてキセノンの原子を励起し、そこから紫外線が放出されます。この紫外線は、入射光の位置を識別できる特殊なフォトマル(光電子増倍管)で検出され、その電気信号は電子回路部に送られます。ここには国産のASTRO系の観測装置として初めてCPUが使われており、紫外線の光量からX線のエネルギー、入射位置(約0.5mmの精度)が決まります。



GISで観測された銀河団A2256



位置検出型蛍光比例計数管 (GIS)

こうした設計のおかげで、GISは多くの優れた性能を実現することに成功しました。エネルギー分解能と軟X線感度ではSISに譲りますが、望遠鏡の視野いっぱいをカバーする広い面積、60 $\mu$ sの速い時間分解能、硬X線に対する優れた感度などでは、SISを凌いでいます。低く安定したバックグラウンドもGISの誇る性能で、日本のお家芸とも言うべき、大きく広がったX線放射の研究に威力を発揮しています。詳しい地上実験を通じて動作が正確に較正されていることも、GISの大きな利点のひとつでしょう。

しかし打ち上げの直前まで、GISはじつはトラブルの連続でした。楽屋落ちで恐縮ですが、フォトマル(晴天のへきれき)、ガスセル(今度こそと思って失敗を重ねるうち取り返しがつかなくなる)、ハイボム(ひそかに心配していたことが現実となり顔面蒼白になる)などの表現が生まれたほどです。幸いGISは、軌道上で予想以上の活躍をしてくれています。これもひとえに、ベストを尽くして下さったメーカーの方々、窮地を助けて頂いた宇宙研の先生方、忍耐づよくGISを見守って下さった関係の皆様、そして開発実験のあらゆる場面を支えてくれた東京大学および宇宙研の(元および現)大学院生の諸君のお陰だと思います。この場をお借りして改めてお礼を申し上げます。とくにGISの開発および較正をテーマとして誕生した12篇の理学修士論文は、GISの貴重な足跡となるでしょう。

(牧島一夫)

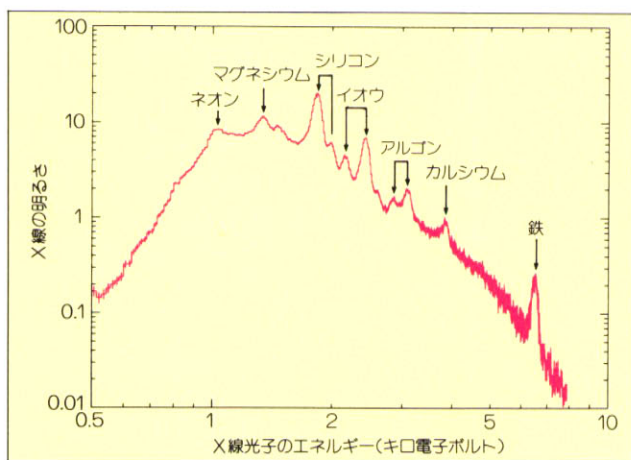


## ■ 超新星残骸

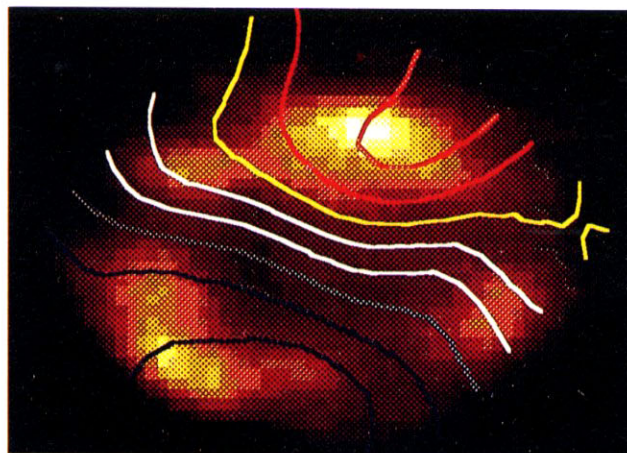
太陽の数倍以上重い恒星は、やがて超新星爆発と呼ばれる銀河一つに匹敵する明るさの大爆発を起こし、星自身が粉々に壊れてしまいます。銀河系全体では、何十年かに一度の割合で起こるようですが、銀河系の中の物質に遮られ銀河系内の超新星はそれほど頻繁には見えません。しかし、近傍で起きた超新星爆発は大層明るく、しかも何ヵ月にわたって見えるので、カニ星雲（藤原定家の明月記）、ケプラーの超新星、ティコの超新星など、いくつかは歴史的文献に記録されています。超新星爆発の名残を超新星残骸といいます。

恒星は内部で起きる核融合反応をエネルギー源として光っており、恒星の大部分を構成する水素から炭素、酸素、珪素、鉄といった各種の重元素が合成されます。こうして作られた重元素は、超新星爆発によって宇宙空間に撒き散らされるわけです。その重元素が回り回って地球などを作り、私たちの身の回りにある物質となります。血液中のヘモグロビンに含まれる鉄だって、その昔、どこかの星の核融合でできたのです。

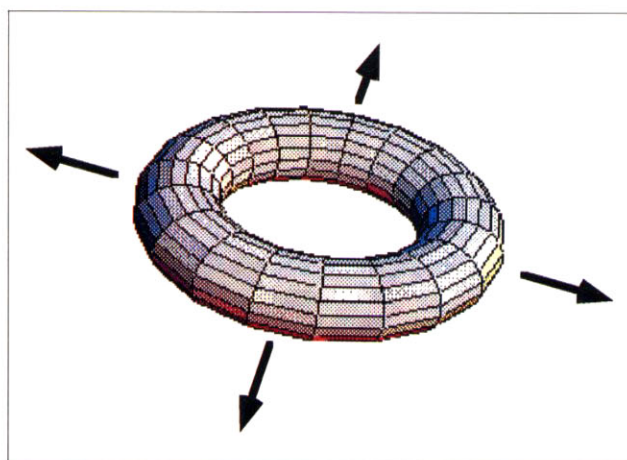
超新星爆発で生じた爆風は周りの宇宙空間の物質とぶつかり衝撃波を生じ、それが何千万度という高温になります。この高温ガスは、可視光ではほとんど見えませんが、X線では大層明るく輝きます。衝撃波は次第に周りに球面状に広がり、爆発後数百年すると数光年の大きさになります。こうして、宇宙空間の物質は吹き飛んだ物質とともに爆風による衝撃波によってかき集められ、X線



カシオペアAのX線スペクトル



カシオペアAのX線画像と、視線速度分布



観測から得られたカシオペアAの模式図

で光るガスはちょうどテニスボールの皮のように分布するわけです。もっとも、密度は大変低いので、すべてが透けて見えます。

爆発後せいぜい数百年と言う「若い」超新星残骸は、恒星内部で重元素がどのようにしてどのくらい作られたか、どのようにして宇宙空間にばら撒かれていくのかを直接調べる絶好の天体です。恒星の内部を直接覗くことは難しいですが、超新星残骸は、全てが透けて見え、しかも高温なため、特性X線が多く情報を与えます。まさに「あすか」の研究対象としてはもってこいです。

さて、若い超新星残骸の中で、カシオペアAは衝撃波によるX線が最も強く見える天体です。画像をみると、少しヒシャゲたリング状に見えます。テニスボールの皮を遠くから透かして眺めれば、外周部が丸くより輝き、リング状に見えるのです。

カシオペアAのX線スペクトルを眺めると、た

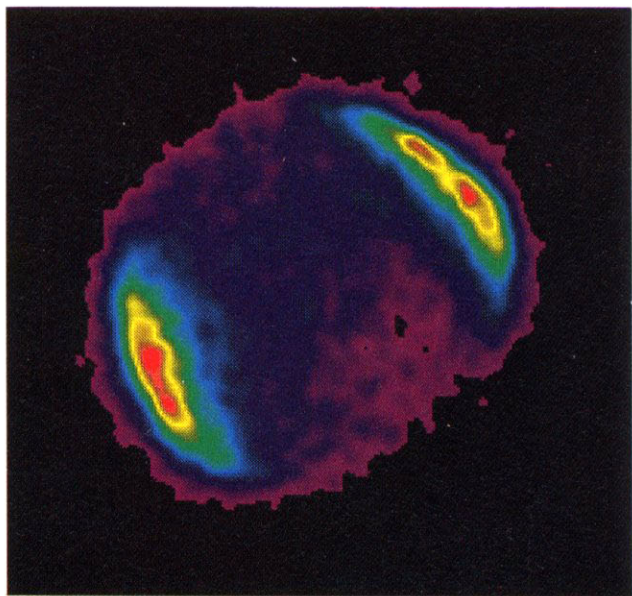


くさんのピークが見えます。これが特性X線です。画像と特性X線とがこんなにはっきり観測できたのは「あすか」が初めてで、場所毎にどんな物質が、どのくらいあるかはっきり分かります。

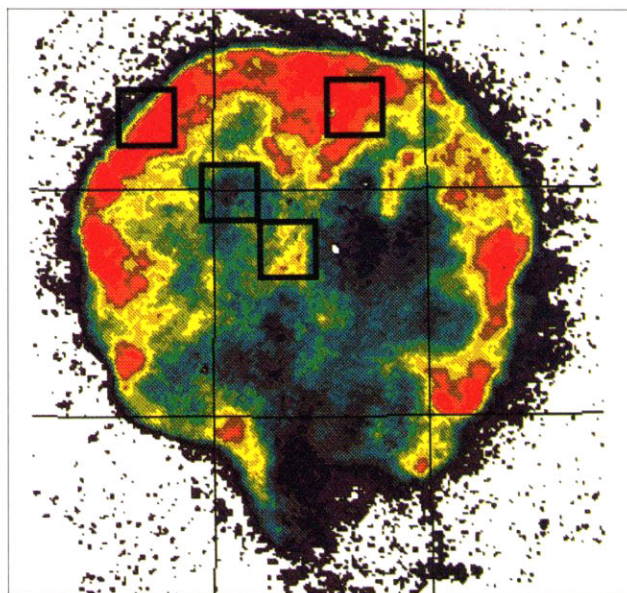
明るい特性X線を詳細に調べてみると、場所によって、僅かながらX線エネルギーに差のあることが判りました。これは、高温ガスの運動によるドップラー効果で、その速度分布を図に等高線で示しました。赤い線は遠ざかることを、青い線は近づいていることを表します。ところが、この視線方向の速度分布は、高温ガスが球面状に広がっているのではなく、むしろ、ドーナツ状に広がっていることを示しています。これまでは、超新星爆発が起こった時、物質は、爆発点を中心に球面状に広がるだろうと思っていたわけです。カシオペアAの場合には、なぜかドーナツのように広がっているようです。その原因は良く判りません。他の若い超新星残骸ではこのような不思議なことは無いようです。

ところで、超新星爆発は場合によっては中心部に中性子星やブラックホールを残します。強い磁場を持つ中性子星が残ると、その磁場の影響により放射されるX線が特性X線よりずっと強く輝き、カニ星雲に代表されるように中性子星の自転によって周期的に明るさを変えるものもあります。

もう少し歳を取った超新星残骸に、1000年ほど



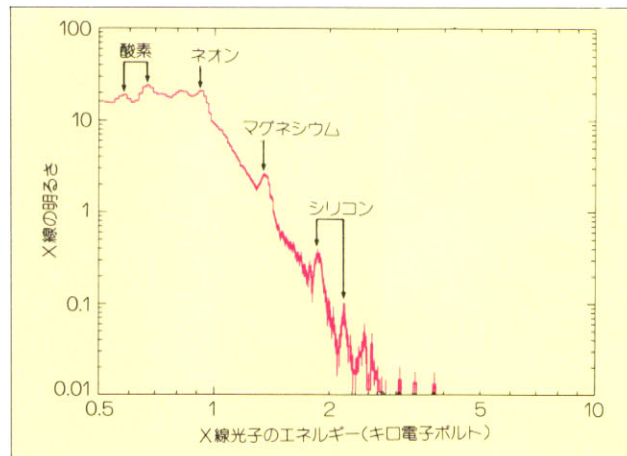
SN1006のX線画像



アインシュタイン衛星の白鳥座ループのX線画像

前に爆発したSN1006と呼ばれる天体があります。これはきれいな円形をしていて、やはり周辺部分が明るいのが分かります。これを場所別に詳しく調べてみると、明るい周辺部分には、特性X線が見えず、カニ星雲のように中性子星の磁場に関係しているように見えます。ところが、中心部分の、少し暗いところからは、酸素をはじめ、たくさんの特性X線が見えます。中心に中性子星がいれば、中心部分が磁場に関連したスペクトル、はるか離れた周辺部分には特性X線を含むスペクトルになると想像していたのですが、これも天文学者が想像もしていなかった天体だったのです。

超新星残骸が、さらに、ずっと歳を取るとどうなるでしょう。爆発後2万年くらい経っている白鳥座ループを例にあげましょう。これは可視光で



白鳥座ループのX線スペクトル



も見え、「網状星雲」として知られています。ほぼ球形で今では直径が50光年くらいになっています。このくらい古いと、高温ガスに含まれる爆発した星の物質はすっかり薄まっています。

「あすか」は、白鳥座ループを少しずつ観測していますが、一度に見える領域は図に示した正方形の一つですから、まだまだ時間が掛かります。

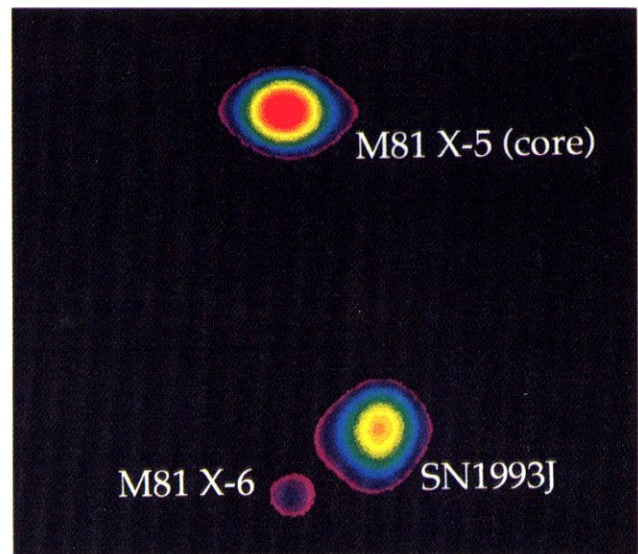
それでも、周りの星間ガスのムラムラが影響して複雑な構造をしていることが分かりました。X線スペクトルを調べてみると、酸素やネオンの輝線がはっきり見えるのですが、どうもこれまで考えられていたほどこれらの重元素の質量はないようです。その原因は、良く判っていません。

(常深 博)

## ■ 超新星SN1993Jの観測

「あすか」が打ち上げられて約40日後、その全機器が観測状態に入った直後の1993年3月30日、大熊座の方向にある近傍の銀河M81（メシエ81、距離約1千万光年）の中に超新星SN1993Jが発生したとの国際天文連合電報による通報がありました。SN1993Jは3月28日に増光が確認され、その後3月31日には10.5等級に達したもので、大マゼラン雲で1987年に起きた超新星SN1987A（この超新星が出現したのは、「あすか」の兄貴分である「ぎんが」が打ち上げられて約20日後だった。）を別格とすると1972年以来の明るい超新星でした。

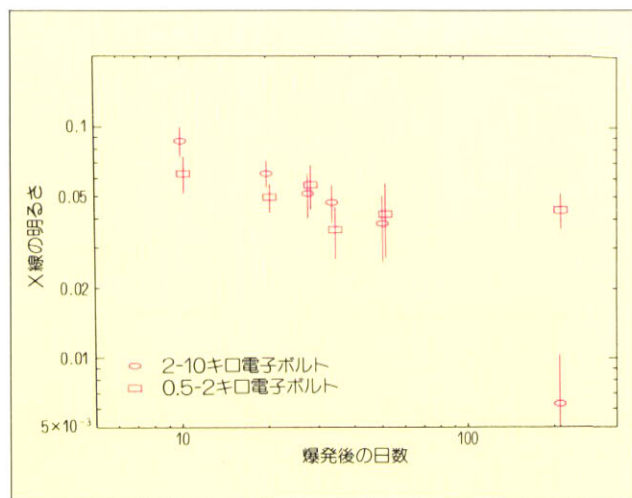
このような明るい超新星をその爆発直後からX線で観測した例は「ぎんが」によるSN1987Aの観測しかありませんでしたが、SN1987AからのX線は、爆発から4ヵ月ほどは受かりませんでした。超新星発生の際に接した「あすか」は、急遽予定を変更して4月5日と7日にX線望遠鏡をこの超新星の方向に向け、ドイツのX線天文衛星ROSATと相前後して観測を行いました。その結果、「あ



M81のX線天体と超新星SN1993J

すか」はROSATとともにSN1993Jからの強いX線を検出しました。図に、4月7日にX線CCDカメラ（SIS）で得られたM81中心方向のX線像を示しましたが、M81の中心部から約3分角はなれた位置にある超新星から強いX線が出ていることがわかります。超新星爆発後10日以内の早い時期にX線を検出したのは今回がはじめてのことです。

「あすか」によって観測されたX線の強さから計算された全X線放射量は、太陽の放出する全エネルギーの百万倍もあり、X線スペクトルは、温度1億度以上の超高温ガスから発せられているものと考えて矛盾はないことを示していました。爆発によって飛び散った星の物質が、爆発の直前に星から放出されていた濃いガスと衝突して高温になりX線を出していたものと考えられます。この超新星からのX線放射量は時間とともに減少し、爆発からおおよそ200日後には、10日後の強度の十分の一になってしまいました。（井上 一）



SN1993Jの爆発後の長時間のX線の明るさの変化



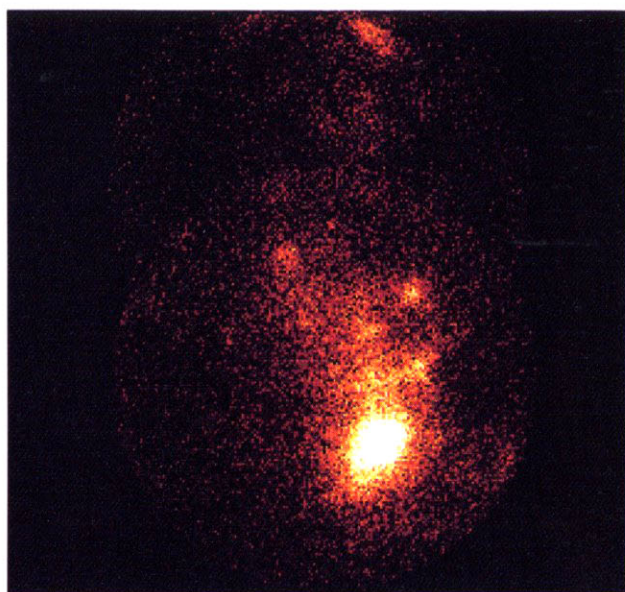
## ■ X線で見える星のドラマ

### 星の誕生をつげるX線

恒星は冷たいガスが集まって生まれます。その冷たいはずの赤ちゃん星が超高温ガスをもち強いX線を放射しています。自然の織り成す技は驚嘆に値するでしょう。図に有名なオリオン大星雲の「あすか」のX線写真を示しました。最も明るいうところが星雲の中心部で、特に若く重い星がいるところです。上の方にはX線が広がってみえますが、このあたりは若く軽い星がたくさんいるところです。もっと若い今まさに生まれつつある星（原始星）はX線を出すのでしょうか？原始星は濃いガス（暗黒星雲）の中にありますから、透過力の強い電磁波でないと観測が困難です。「あすか」はこの観測にピッチシンの衛星なのです。近隣の星が生まれつつある領域、へびつかい座の暗黒星雲を透過力の強いエネルギーの高いX線で撮影してみると、暗黒星雲の中心部分の冷たいガスの中でいくつかの原始星がX線を放っていることが分かってきました。なんと2～7千万度もの高温ガスが原始星の周りにいるのです。あるものは突然燃え上がるかのようにX線が明るくなり、別の原始星は自転を示すかのようにX線の明るさが変化しています。

### ヘビー級の星々のX線

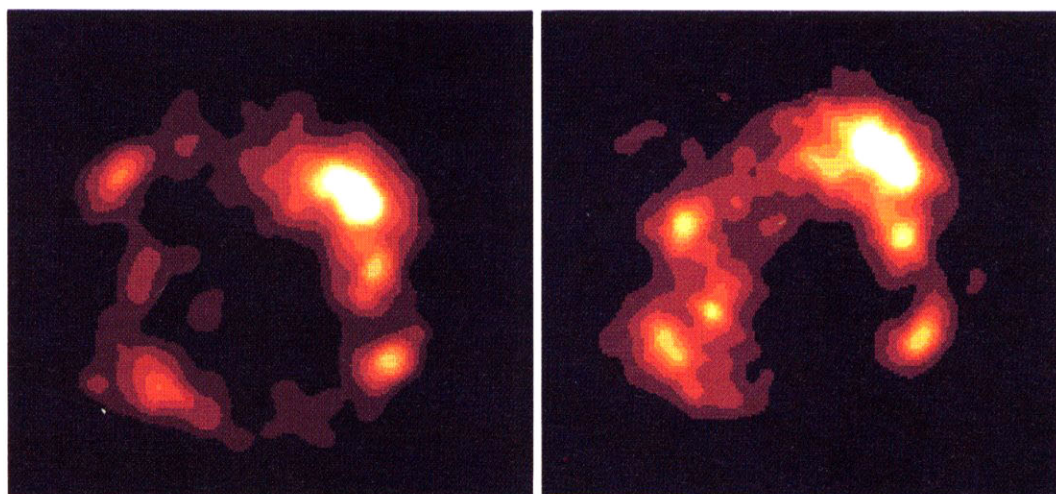
一般に恒星は成長して行くにつれてX線は逆に弱くなるようです。しかし、巨大な星は少し事情が違うようです。そこでは強い物質の流れ（星風）が外側に向かって吹き、そこからX線がでていま



オリオン大星雲のX線画像

す。オリオン大星雲の中心部もそうですが、もっとすごいのがりゅうこつ座η(イータ)星です。この星は太陽の100倍以上の重さと4百万倍の明るさを持つと言われています。天の川のヘビー級チャンピオンです。「あすか」の観測から、この星は3千万度のガスを周りに持ち、それがさらに約1光年にも広がった1千万度の巨大ガスに取り巻かれている事が分かりました。この星はあまりにも重いいため不安定なようです。巨大ガスは過去に大量の星風が吹いた結果できたものでしょう。近いうち（といっても百万年以内ですが）に超新星爆発で自身を粉々にしてしまうことでしょう。その時こそ、星のドラマのクライマックスにふさわしい、さらに強烈なX線が放出されるはずです。

（坪井陽子）



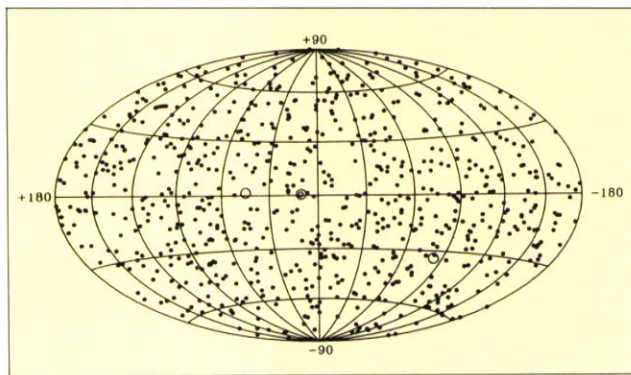
へびつかい座の暗黒星雲のエネルギーの低いX線（左）とエネルギーの高いX線（右）による画像



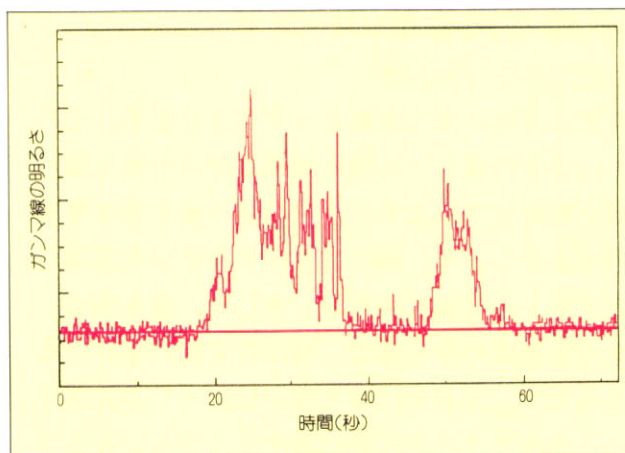
## ■ガンマ線バースト

ガンマ線バーストと言っても、何のことだか分からない人が多いでしょう。ガンマ線バーストとは光子のエネルギーが高いガンマ線によって未知の天体が急に明るく輝き出す現象です。しかも普通は1分以下の非常に短い時間で終わってしまい、詳しく見てやろうと思っても跡形も無く、正確な方向を決めることができません。ガンマ線バーストを発生する天体の手がかりはこれまでほとんどありませんでした。銀河系の中から来るのか、外から来るのかも分かりませんでした。ガンマ線の観測から大雑把に方向を決めて発生方向を天球上にプロットしてみると、等方的に分布します。このため天の川とは関係のない銀河系の外の遠い宇宙の端の現象と考えている人も多いのです。

ガンマ線バーストを起こす天体にはガンマ線バーストを繰り返し発生する変わり者（リピーター）がいます。天球図で○で示した3つです。ガンマ線バーストはいつ、どこで発生するか、予言することが難しいと述べましたが、このリピーターだけは発生場所が分かっています。あと発生時間さえわかれば「あすか」の狭い視野でも観測ができますが、リピーターでさえ気まぐれで、発生時間を誰も予言できません。しかし、アメリカのガンマ線天文衛星コンプトンがリピーターの一つの活動再開を見つけて知らせてくれました。10年ぶりの復活です。「あすか」はすぐに調査を始めました。二日間の調査中に、幸運にもガンマ線バーストが「あすか」の視野の中で発生しました。バーストの発生方向を精密に決め、詳細に観測した結果、



ガンマ線バーストの発生方向の天球上の分布、天球図の赤道は天の川



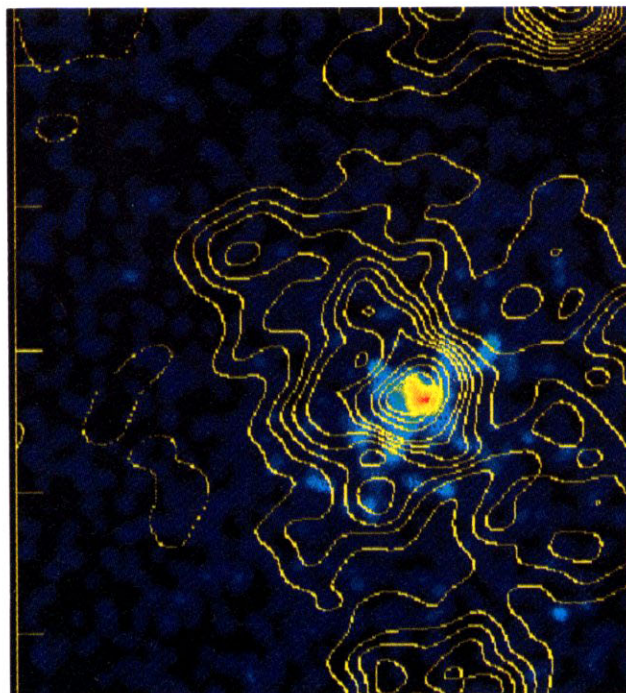
ガンマ線バーストの一例

そこに新たに中性子星と思われるX線天体を発見しました。また、電波の観測からそこには銀河系内の超新星残骸があることが分かりました。

ガンマ線バースト・リピーターは超新星残骸の中の中性子星から来ていたのです。では他のガンマ線バーストはどうなのでしょう？

リピーターは他のガンマ線バーストとは少し性質が違います。超新星の残骸は天の川に集中していて、等方的には分布していませんし、全部が同じだとは結論できません。今後の観測で天文学の基礎を揺るがす結果が出る予感がします。

(村上敏夫)



「あすか」が観測したガンマ線バースト源のX線像と電波の明るさの分布（等高線で示した）

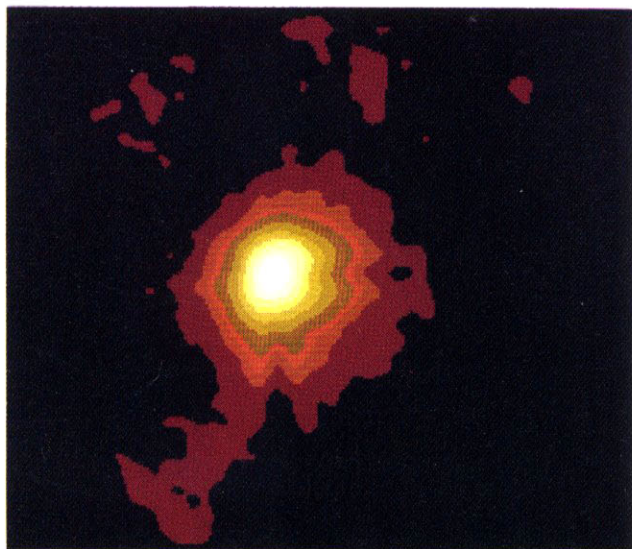


## ■小さなモンスターSS433

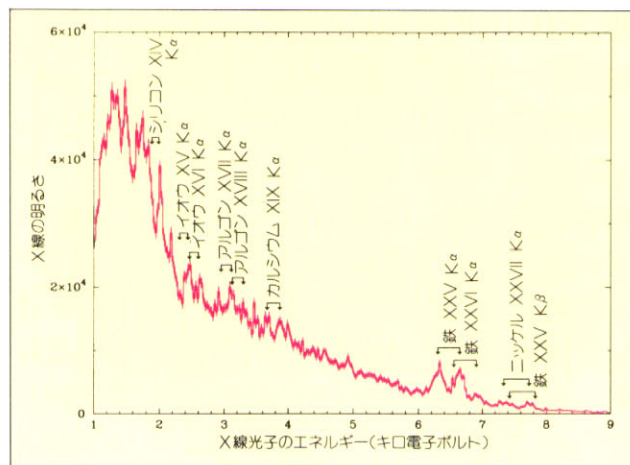
宇宙のかなたの活動的銀河中心核を電波で見ると、「ジェット」を吹き出しているものが見つかります。その中心では太陽の1億倍もの重さのブラックホールが周りの物質をエネルギー源として莫大なジェットを放出していると推定されています。一方、天の川の中にも、光の4分の1の速度でジェットを正反対な2方向に吐き出す小さなモンスターがいることが15年ほど前に発見されました。この天体はSS433と呼ばれています。

SS433のジェットは、可視光のスペクトルが大きなドップラー偏移をしていることから発見されました。さらに不思議なことに、このジェットが160日余りの周期で首を振っているのです。水をまくホースを振り回すと水が螺旋を描くように、SS433のジェットは末広がりの螺旋を宇宙に描いているのです。「あすか」が撮影したX線画像にも、SS433をはさんだ両側に、ジェットが100光年ほど走ってから周囲の星間物質と衝突してできたと思われるぼんやりした雲が写っています。

ジェットが首を振るのにつれて、可視光スペクトルのドップラー偏移も164日周期で変化しますが、X線でも同じようなドップラー偏移が1980年代に見つかりました。ただ、当時のX線観測はスペクトル分解能がそれほど良くなかったので、鉄イオンの特性X線が1本、動き回るのが検出されただけでした。「あすか」は、SS433の観測で真価



SS433と、ジェットが作ったX線の雲

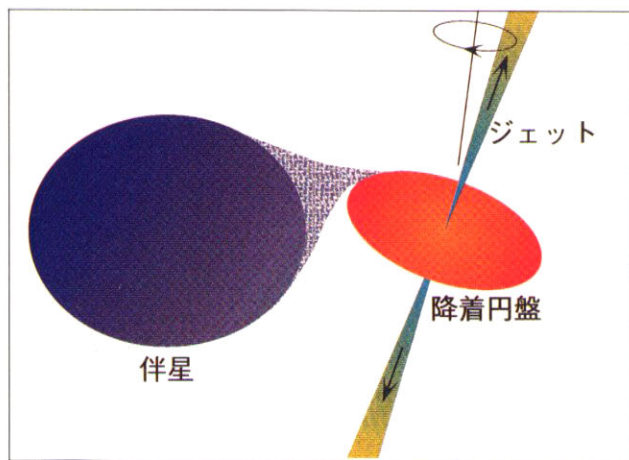


SS433のX線スペクトル、正反対に運動するジェットに対応する2本ずつ特性X線が見える

を発揮しました。正反対方向に放出されたジェットの速度に対応して異なるドップラー効果を受けた二本の鉄イオンの特性X線がはっきり分かれて観測できたのです。さらに、いままでには見つかっていなかった、珪素、硫黄、アルゴンなど様々な元素の特性X線が各々、二本のジェットに対応して二本ずつ観測されました。

このスペクトルには、今までの観測に比べて何倍もの情報が詰まっています。可視光は1日ぐらいい飛んで冷えたジェットから放射されていますが、X線はモンスターから吐き出されたばかりのあつあつのジェットが放ちます。ところが、「あすか」が観測したあつあつのジェットの速度は、可視光で観測した冷えたジェットの速度と若干違っていたのです。もしこれが本当ならば、ジェット発生之谜を解く手がかりになりそうです。

(河合誠之)



SS433の想像図



## ■天の川の中心

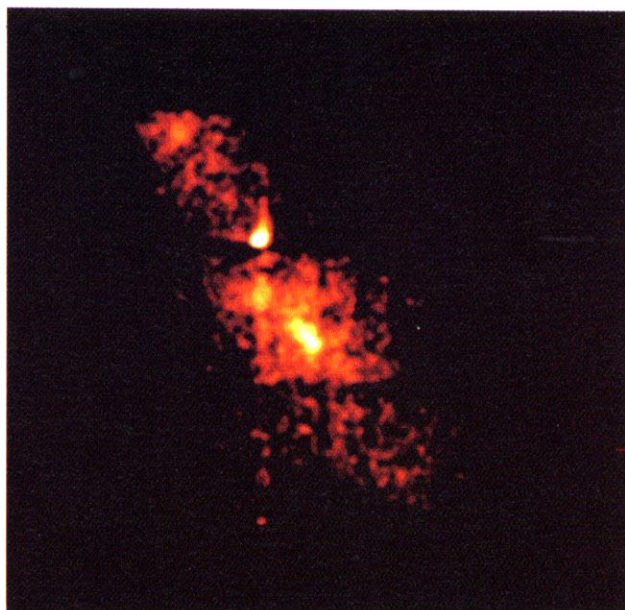
### 大質量ブラックホールはいるか？

銀河系の中心はちょうど天の川が最も明るい、いて座の方向にあります。そこには0.1光年以内の小さな領域に太陽の百万倍の質量が閉じ込められていると推定されています。そこに大質量ブラックホールが存在するのでしょうか？ブラックホールに物質が落ちると、X線を放出することが期待されますから、銀河中心に明るいX線天体が見つければ、大質量ブラックホールがいる証拠といえます。しかし、これまでは銀河中心付近の厚いガスに妨げられ十分な観測ができませんでした。

「あすか」による透過力の強い高いエネルギーのX線の観測は銀河中心を観測するのに最適です。

「あすか」の観測した銀河中心の画像は二つ目玉のようになっていました。図の左側のX線源はやや広がってみえますが、右側は点源のようです。電波の観測から銀河の中心であると言われている天体はやや広がった左側の天体であることが詳しい解析から分かりました。

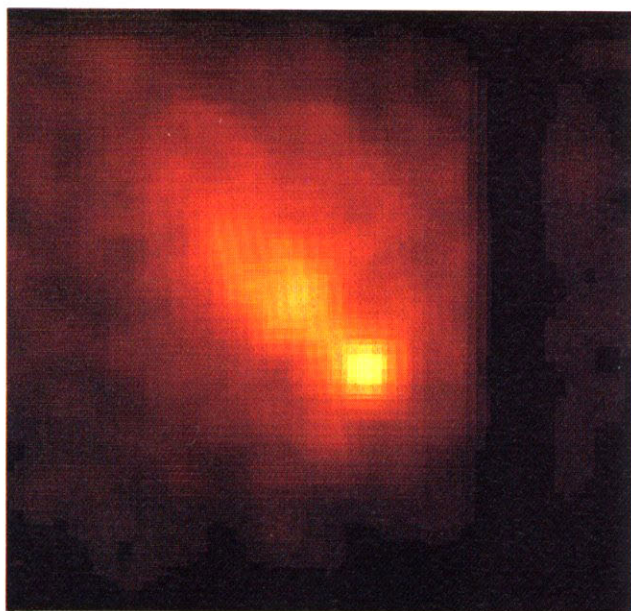
ところで、「あすか」の観測結果は意外な方向に発展しました。「あすか」は銀河中心から少し離れた空に強い鉄の特性X線を放射する広がったガス雲を発見したのですが、この特性X線は高い電離



銀河系中心付近の低い電離度の鉄の特性X線の明るさの空間分布

度の鉄イオンから放出されたものと、低い電離度の鉄イオンから放出されたものとに分離できたのです。前者は、銀河中心付近の高温ガスから出ていると考えられます。ところが、後者は低温ガスに強いX線を照らす莫大なエネルギー源がないと説明できないのです。「あすか」が捉えた銀河中心の天体ではX線の明るさが不十分です。

この不思議な現象は次のように考えると説明できます。銀河中心には莫大なX線を発生する天体があるのですが、我々の方からはX線が非常に厚い雲によって遮られて見えません。しかし、横の方向に進んだX線は、周りの比較的薄い低温ガスに飛び込んで低電離度の鉄イオンに当たり蛍光X線を放射します。これこそ「あすか」が観測した低電離度の鉄の特性X線というわけです。このとき必要な銀河中心の天体のX線は通常のX線天体よりはるかに明るいと推測できます。ここにはやはり大質量ブラックホールが必要なのかもしれません。このような描像は、隠された巨大ブラックホールを持つと考えられている2型活動的銀河中心核と全く同じものです（「見えかくれするモンスター」を参照）。「あすか」は、間接的ながら銀河系中心の巨大ブラックホールの尻尾を捕まえたようです。（前田良知）



銀河系中心付近のX線画像



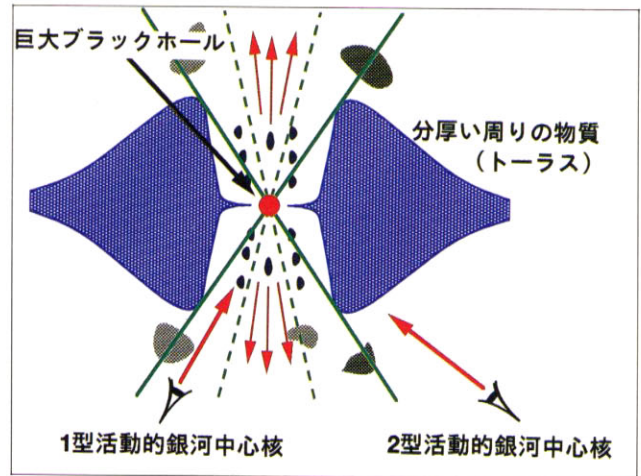
## ■見えかくれするモンスター

銀河の多くは構成する多数の星の光で輝いています。しかし、銀河の中の約1%ではあるのですが、その中心が非常に明るい銀河がいます。このような銀河の明るく輝く中心部を活動的銀河中心核と呼んでいます。その光度は、太陽の1億倍～1千億倍にも及び、電波からX線、ガンマ線の広い波長の電磁波で輝いています。これは星々の光では説明できません。その正体は正確には分かっていませんが、中心部の大きさが地球と太陽の距離程度と非常に小さいことなどから太陽の百万倍から十億倍の重さの巨大なブラックホールが中心におり、そこに大量の物質が落ち込むときに生じる重力エネルギーをエネルギー源として輝いていると考えられています。まさに、モンスターがその中心にいるのです。

活動的銀河中心核は、モンスターの存在を誇示するもの、その存在感の薄いものに大別することができます。それぞれ1型活動的銀河中心核、2型活動的銀河中心核と呼ばれています。この2種類の活動的銀河中心核は、見かけ上異なった性質を示しますが、この相違がモンスターの性質によるかどうかが問題でした。「あすか」はいくつかの2型活動的銀河中心核の観測を行い、この問題に挑戦しました。

2型活動的銀河中心核NGC 4507は、モンスターが周りの厚い物質に隠されているようです。ただ可視光では見えなかったモンスターも透過力のある高いエネルギーのX線ではさすがに姿を表し、「あすか」の観測から推測すると、やはり大変明るく存在感のあるモンスターがいるようです。

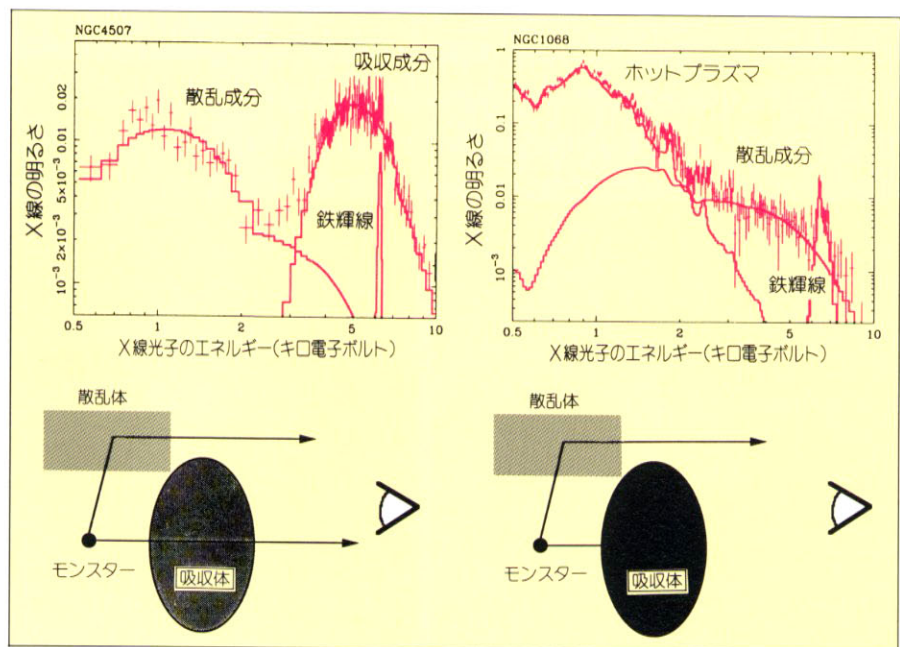
2型活動的銀河中心核NGC 1068は、さらに厚い物質でモンスターが隠されていて、透過力のある高いエネルギーのX線でさえ見通せないようです。しか



モンスターはドーナツ状に分布した塵によって覆われている。中心のモンスターをトーラスを通して見るか見ないかで1型と2型に区別される。

し、周りの物質によって散乱されたX線が漏れ出てきています。また、モンスターから出る強いX線にその物質が照らされるため、鉄の特性X線（蛍光X線）が明るく見えています。このモンスターは、完全に隠れたつもりでも、しばしば見えていたわけです。モンスターの見かけの存在感はモンスターを覗く方向に関係していたようです。

隠されたモンスターはまだたくさんいるようですし、キューサーのような非常に明るい、隠されたモンスターもいることでしょう。「あすか」は現在も活動的銀河中心核の素顔に迫ろうとしています。（栗木久光，上野史郎）



NGC4507, NGC1068のX線スペクトル



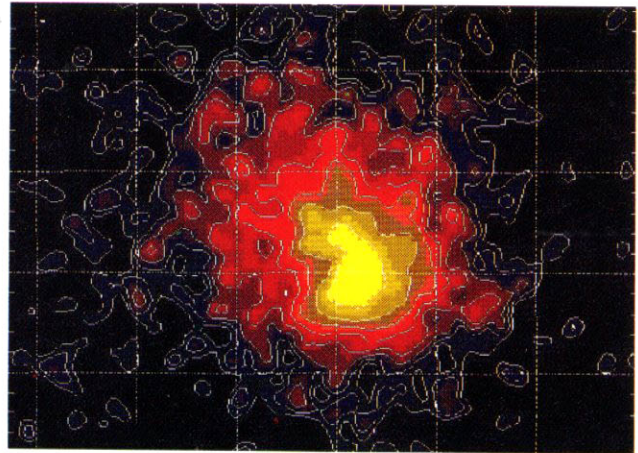
## ■ 銀河からのX線

星は数百億個から数千億個が集まって、銀河と呼ばれる大集団を形作っています。私たちの住む天の川（銀河系）やアンドロメダ大星雲は、その例です。銀河は必ずしも強いX線天体ではありません。しかし、「あすか」の優れた能力は、銀河の驚くべき側面を明らかにしつつあります。

はるか遠方（すなわち遠い昔）の宇宙にはクェーサーと呼ばれる怪物銀河が群れており、その中心の針の穴ほどの領域から、すさまじいエネルギーの電波、赤外線、可視光、X線、ガンマ線などが放射されています。クェーサーの中心には太陽の百万倍から1億倍の重さの巨大ブラックホールがあり、そこに大量のガスが吸い込まれていく結果と解釈されます。では宇宙の進化とともに、怪物たちはどこに行ったのでしょうか。私たちの近傍に見られる普通の銀河に化けてしまったのではないのでしょうか。

「あすか」が近傍の銀河を観測したところ、そのいくつかの中心から、高いエネルギーをもつX線が検出されました。このことは普通の銀河の中心にも巨大なブラックホールが潜んでいる可能性を示しています。エネルギーの発生量としてはクェーサーの数万分の1ほどに過ぎませんが、これはブラックホールに落ち込むガスの量が少ないためでしょう。はたしてクェーサーはみな普通の銀河へと進化してきたのかどうか、答えを求めて「あすか」の挑戦が続いています。

ビッグバン宇宙論によれば、宇宙の初めの3分



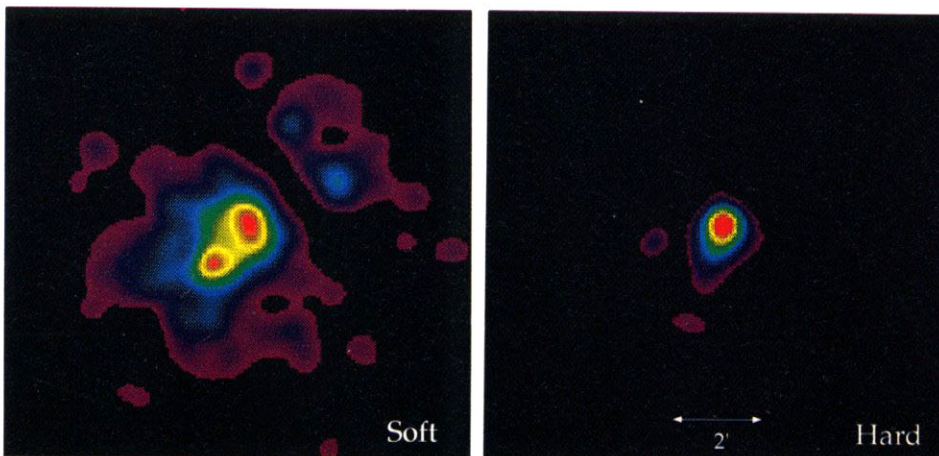
楕円銀河NGC4472の周りに光るX線

間で水素とヘリウムが合成され、宇宙の最初は水素とヘリウムだけであったと考えられます。その後恒星ができ始めると、恒星の中の核融合炉や超新星爆発によって酸素、鉄などの重い元素が合成され、宇宙空間にばら撒かれるのです。ここ15年ほどのX線観測によれば、銀河と銀河の間の広大な空間にはしばしば高温ガスが充満し、その中にも重元素が存在しています。そこでの重元素の濃度は星の中の3分の1ほどですが、高温ガスは大量にあり、宇宙の重元素のかなりの部分が銀河と銀河の間の高温ガスの中に含まれる計算になります。この重元素は、星が作ったものが銀河から吹き出した結果でしょうから、そのもととなる銀河の周辺では重元素の濃度が高いはずですが。

そこで「あすか」は、おとめ座銀河団の中のいくつかの楕円銀河を観測しました。楕円銀河は多くの暗黒物質をもつため重力が大きく、大量の高温ガスを抱え込んでいるのです。驚くべきことに、

楕円銀河のまわりの高温ガスの重元素の濃度は、上に述べた予想のわずかな数分の一しかありませんでした。いったい銀河の中で作られた重元素はどうやって広大な銀河間の空間に運ばれるのか、この謎は大きな波紋を呼んでいます。

（牧島一夫）



M106の低いエネルギーのX線(左)と高いエネルギーのX線(右)の画像

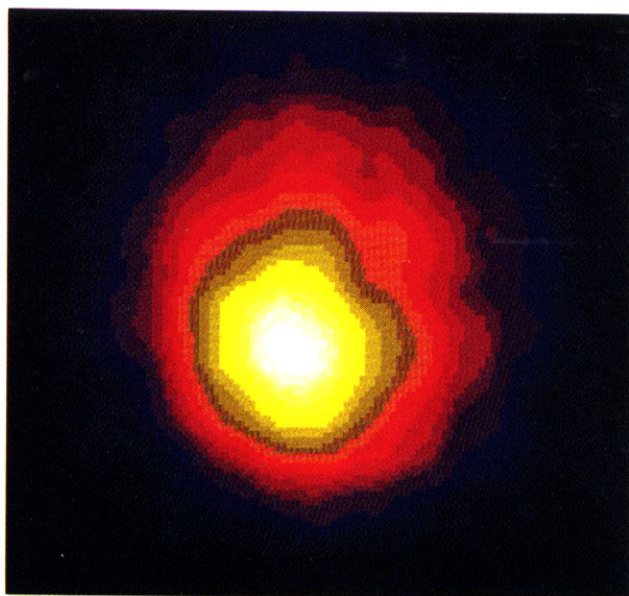


## ■ 銀河団を覆う高温ガス

銀河団は宇宙の階層構造の頂点に位置し、大きいものでは銀河が1000個以上も集まっている銀河の集団で、各々の銀河が銀河団の重力に束縛されています。ところが一個一個の銀河の速度の測定から銀河団を重力的に束縛するのに必要な質量を推定すると、可視光で見えている銀河全部の質量の数十倍にも達してしまいます。これは、銀河団の中には光で見えない暗黒の物質（ダークマター）が充満していて、おそらく宇宙を形作る物質の大部分の質量が謎に満ちたダークマターによるものだろうということを示しています。

1970年代になってX線天文学は、銀河団の中の銀河と銀河の間の空間は実は真空ではなく、1億程度近くにも達する多量の高温ガスで満たされているという大発見をもたらしました。高温ガスの質量は、銀河全部の質量の3～5倍にも達し、それまでダークマターと思われていた質量の20%ぐらいいは高温ガスによるものでした。残された問題は、この大量の高温ガスの起源と、まだ説明のつかない残り80%のダークマターの正体です。

「あすか」は優れたエネルギー分解能と空間分解能を生かしていろいろな銀河団を観測しました。特に特性X線を使って、鉄やケイ素といった高温ガスの中の重元素の空間分布を調べることに初めて成功しています。ケンタウルス座銀河団の観測では、鉄元素が中心に濃く集中するという見事な結果を得ました。この銀河団の中心には巨大な楕円銀河がありますが、これは他の銀河を共食いしな

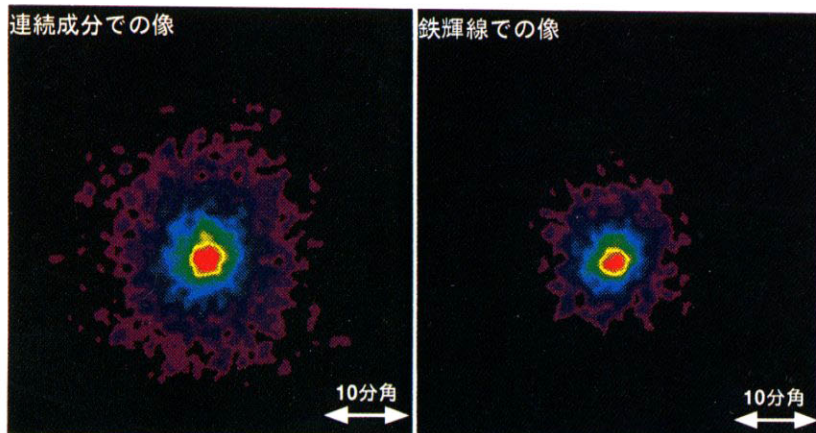


ペルセウス座銀河団のX線画像

がら成長してきたものと考えられています。こうした巨大銀河が進化の過程で、ある時期に頻繁に超新星爆発を繰り返し、重元素を銀河間空間に放出したのでしょう。そのために銀河自身の質量も20%ぐらい減ってしまうほどだったと考えられます。従って高温ガスは、宇宙のはじめからあった（銀河になり損ねた）ガスと、銀河から出て行ったガスが混じったものだといえます。

一方、謎に満ちたダークマターの性質を調べる上でも、銀河団を満たす高温ガスの観測が役に立ちます。「あすか」が見たペルセウス座銀河団のX線の空間分布は差し渡し700万光年以上と大きく広がっています。この高温ガスの場所ごとの温度が、「あすか」の登場によって初めて調べられるようになりました。観測の結果、ペルセウス座銀河団の中心から200万光年も離れた場所に温度の高い領域があることが発見されました。その原因はまだわかりませんが、高温ガスの温度は重力場の強さを表すと考えられますから、あるいはダークマターの分布にムラがあるのかもしれません。「あすか」による銀河団の観測は、このようにダークマターの正体の解明へ向けて、新しい手掛かりをもたらしているのです。

（大橋隆哉）



ケンタウルス座銀河団のX線画像



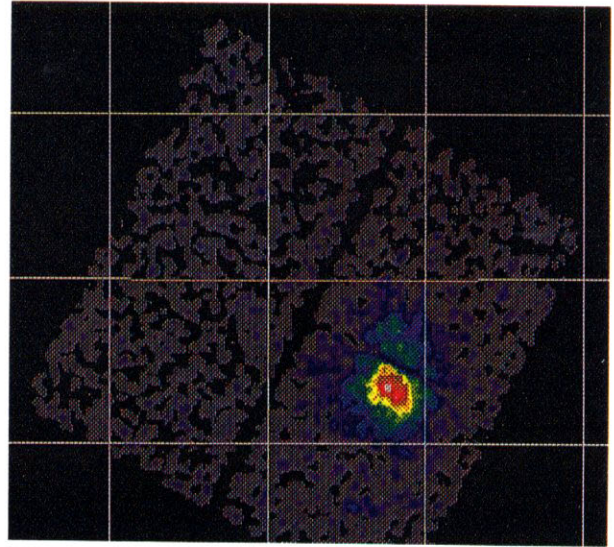
## ■宇宙の大きさを測る

1929年にハッブルはより遠方にある銀河になるに従い、我々から遠ざかっていく速度が速くなることを発見しました。これはハッブルの法則と呼ばれ、宇宙の始まり「ビッグバン」以降宇宙が膨張している証拠と考えられています。ところが、遠方の銀河との距離を正確に求める事は難しく、銀河の距離と遠ざかる速度の正確な関係がなかなか決まりません。遠ざかる速度が光の速度になる距離が宇宙の大きさに当たりますし、その宇宙の果てまで光が到達する時間が宇宙の年齢ですから、宇宙の大きさ、宇宙の年齢という最も基本的な数値が分からないことになります。現在でも、宇宙の大きさや年齢を観測から求めると、人によって2倍も異なった値が出てきています。

銀河団はX線で非常に明るく、宇宙の果てに近い遠方においても比較的容易に観測できるX線天体です。この銀河団を利用して宇宙の大きさを測ってやろうという天文学の最も基本的な問題に「あすか」は挑みました。

CL0016+16と呼ばれる銀河団はうお座の方向にあって、秒速12万キロメートルという光の速さの半分近い高速で我々から遠ざかっていて、これまでX線で観測された銀河団としては最も遠方にあるものです。過去のX線の観測ではその温度を測ることができませんでした。「あすか」はこの銀河団の高温ガスの温度がほぼ1億度であることを初めて観測から明らかにしました。

この高温ガスの温度が正確に測定できると、X線での見かけの明るさ、見かけの広がり（直径）と電波の観測の結果とから、高温ガスの実際の広がり（直径）が分かってくるのです。電波の観測は、ビッグバンの名残であるマイクロ波背景放射が銀河団の高温ガスの中を通ってくる時、高温ガス中の電子と衝突してその強度が減少しますので、その減少分が測定されます。電波の減少分とX線の明るさはいずれも高温ガスの温度、密度、大きさに関係しますが、この両者の観測から高温ガスの大きさが分かります。銀河団の実際の大きさが分かっ

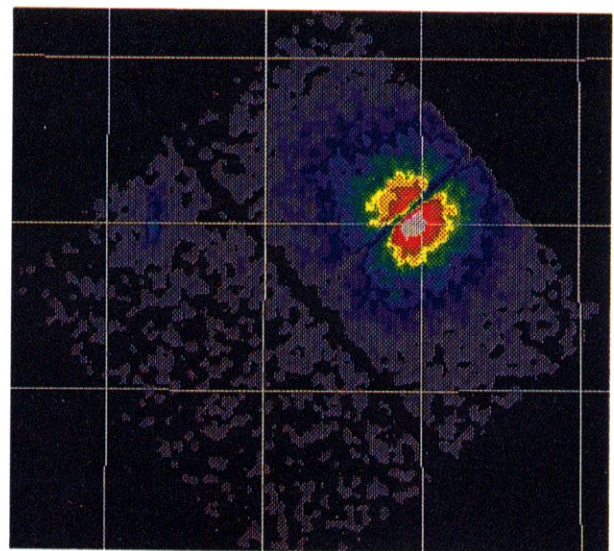


CL0016+16のX線画像

離が算出できるわけです。

可視光などを用いたこれまでの距離決定法は、経験則から銀河の絶対的な明るさを推定し、見かけの明るさから距離を導きました。この方法では3億光年程度の距離までしか計れませんし、絶対的な明るさの推定も不確かです。「あすか」がCL0016+16で求めた距離は70億光年でした。

この測定は、「あすか」が遠方の天体の高温ガスの温度を正確に決められる特長を生かしたもので、これまでのX線天文衛星では得られない結果でした。今後このような方法を用いて、さらに多くの遠方の天体の距離を測ることにより、宇宙膨張の様子を直接調べ、宇宙の大きさや年齢をより詳しく知ることができるでしょう。（田原 譲）



遠方の銀河団の例 (A665)



## ■ 遠い宇宙のX線天体の探査

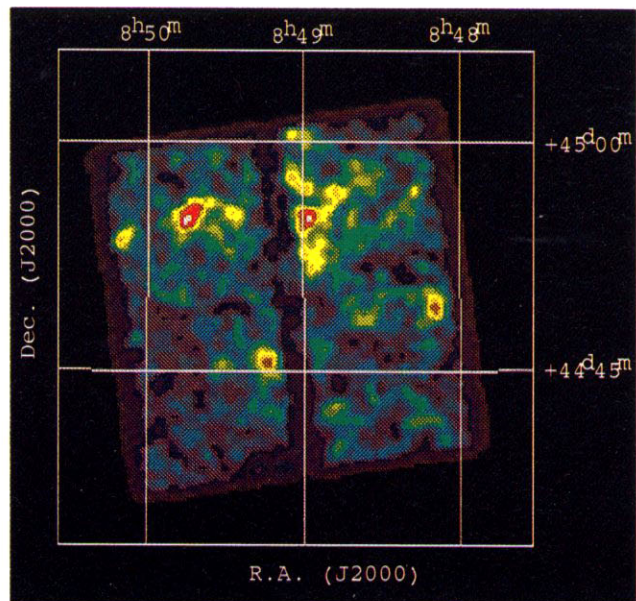
「あすか」の最大の特長は、これまでのお話に紹介されたように、精密なX線スペクトルの計測にあるのですが、2～10キロ電子ボルトのエネルギーの高いX線領域ではこれまでの観測に比較にならない高い感度も合わせ持っています。これまでも「あすか」は宇宙のまさに端近くにいる天体の観測に何例か成功しています。この特長を生かした、はるか彼方の微弱な遠方の天体を捉える事も「あすか」の大きな目的です。

遠方のX線天体を捉える意味は何なのでしょう？ X線で天空を見ると、空全体がX線で明るく光っています。この空全体に光るX線は宇宙X線背景放射と呼ばれています。現在では、宇宙全体が一樣に光っているわけではなく、宇宙のはるか彼方の、活動的銀河中心核などの、天体が多数折り重なり、空全体が一樣に光っているように見えるのだろーと考えられています。

ところが、これまでの多くのX線天文衛星の努力にも関わらず、観測的には宇宙X線背景放射の100%全てを説明できる数の遠方の天体を探査できていません。また、これまで探査された遠方のX線天体は、主に1型活動的銀河中心核（「見えかくれするモンスター」参照）なのですが、この天体のX線スペクトルは、宇宙X線背景放射のX線スペクトルとは全く違った形をしている事が分かっています。つまり、単純な1型活動的銀河中心核の重ね合わせでは、宇宙X線背景放射を説明することは難しそうなのです。

「あすか」以前の探査は主に2キロ電子ボルト以下で高い感度を持ったものでした。一方、宇宙X線背景放射は、4～20キロ電子ボルトの範囲のX線が明るく、宇宙X線背景放射の起源となる微弱なX線を探査するには、これまでの探査に比べ、高いエネルギーのX線で行う必要があります。

「あすか」はその探査を行う性能を持っています。また、このような探査からこれまで知らなかった新たな種類の天体を発見する楽しみもあります。このような発見が将来の天文学を変えるかも知れません。



遠方のX線天体探査の画像、いくつかの微弱な天体が「あすか」によって捉えられています。

先ほど、宇宙X線背景放射とこれまで探査された微弱なX線天体のX線スペクトルが随分違うとしましたが、「あすか」のこれまで観測した視野の中に、この矛盾を解決できるようなX線スペクトルを持っている天体も発見しています。その例が2型活動的銀河中心核です。実際に宇宙X線背景放射を十分良く説明する数のこれらの天体があるかどうか、まだ分からないのですが、宇宙X線背景放射がやはり遠方の微弱なX線天体の重ね合わせであることを観測的に実証するかなり強い証拠です。

宇宙X線背景放射を手掛かりに微弱なX線天体の探査を進めていくと、宇宙の始まり「ビッグバン」以降、銀河がいつどのようにでき始めたのか、銀河、活動的銀河中心核がどのような進化を遂げたのか、といった宇宙の成り立ちを考える上で基本的な問題が浮び上がってきます。宇宙X線背景放射の起源を完全に突き止めたとき、我々は、このような問題に大きな証拠を与えることができるのです。

「あすか」は、宇宙X線背景放射の謎を解くため、未知の遠方の天体の探査を試みています。今後の成果が楽しみです。

（紀伊恒男）



## ■「あすか」からASTRO-Eへ

宇宙科学研究所は、これまで、「はくちょう」・「てんま」・「ぎんが」・「あすか」と継続的にX線天文衛星を軌道に投入し、すばらしい成果をあげてきました。いまや、日本のX線天文学は世界をリードしています。ASTRO-E衛星は、「あすか」に続くわが国5番目のX線天文衛星として1999年度の打ち上げを目標に検討が進められているものです。この衛星には大きな集光力とすぐれた分光能力のある軟X線望遠鏡と低雑音硬X線検出器が搭載され、宇宙に存在する多種類のX線天体の精密な分光を広いエネルギー範囲にわたって行います。そして、各種の元素の生成・流転から宇宙の大構造の進化まで、宇宙の進化を総合的に探ります。

X線天文学の観測対象は大きく広がり、近傍の星から宇宙のはて近いクェーサーまで、ほぼすべての天体が含まれています。X線による観測は、中性子星やブラックホール等の相対論的天体、重元素をばらまく超新星残骸、銀河団中に満ちている1億度近い高温ガスや、クェーサー等の活動銀

河、宇宙のはて近くからきているらしい宇宙X線背景放射等の問題について多くの画期的な新しい知見をもたらし、天文学の最先端を切り開いてきました。ASTRO-E衛星は、「あすか」よりさらに高感度、高解像度ですぐれたX線望遠鏡を搭載し可視距離をさらに宇宙深部に伸ばすとともに、従来のX線検出器を格段に上回る分光能力をそなえて本格的X線分光を可能とします。また、これまで観測が手薄であった硬X線領域をカバーする装置も搭載します。これらの新しい観測機器の採用により、X線天文学にさらに大きな進展をもたらすものと期待されます。

ASTRO-E衛星が実現されれば、新型ロケットM-Vによる総重量1トンをこえる大型科学衛星としてははじめてのものとなります。これから計画されるであろう、いろいろな波長領域での大型宇宙天文台の第一歩として重要な役割を担うことになります。また、観測機器の一部は国際協力で開発されることになっており、国際的にも大きな期待を受けています。みなさまの、あたたかいご声援をよろしくお願いいたします。（井上 一）

### 殺到する観測希望

「あすか」は初期の試験観測を終了後、観測時間を日米を中心とした一般研究者に公開し、観測の一般公募を行っている。これまでに半年の観測期間に対する一般公募を2回行った。第一回目の公募では日本の研究者から195件、米国の研究者から約250件の観測提案があった。第二回目からは欧州の研究者にも応募の道が開かれ、日本197件、米国200件以上、欧州211件の観測提案があった。これらの提案は審査によって各国の持ち時間の範囲で採用の可否が決められる。これまでの観測提案の平均競争倍率は日本が3倍程度、米国が4～5倍程度、欧州は5倍以上である。

この数字を見ても「あすか」の成果に世界の研究者から熱い目が注がれていることがお分かり頂けるだろう。（紀伊恒男、長瀬文昭）

### 大学院生からみた「あすか」

私たちが宇宙研に来るようになったころ、「あすか」はまだASTRO-Dと呼ばれる作りかけの機械

であった。時期が時期だけに、私たちは実働部隊として最前線に立たされた。一次噛合せ試験、総合試験、熱真空試験、等々、あっという間に過ぎ去っていく毎日であった。相次ぐトラブルに、何度間に合わないと思ったことであろう。

1993年2月20日、ASTRO-Dは無事打ち上げに成功。私たちは相模原運用室の粗末なスピーカでM-3S II-7号機の豪快な発射音を聞いた。無事に軌道に入ったという安堵感と、やっと終わったという解放感に満たされ、これまでの一生でもっとも幸せな一時であった。神様も打ち上げ直後に超新星爆発という大きな花火で祝福してくれた。打ち上げ後は少しは楽になるかと思っていたが、データの解析、搭載機器の較正、そして衛星の運用など、やはり忙しい。

全体から見ればたいした寄与ではなかったかもしれないが、それでもこのような素晴らしい計画に大学院生として参加し貢献できたことを誇りに思う。（藤本龍一）





1994年3月のX線天文学国際  
会議 “New Horizon of X-Ray  
Astronomy” (東京都立大学)

## ■「あすか」の日米協力

As the US Project Scientist during the development and early post-launch phases of the ASCA Observatory, I have had a unique opportunity to participate in all facets of the ASCA activities.

From the initial conception of ASCA, Tanaka-sensei was anxious to assure that it would be on the cutting edge of astrophysics research. At this suggestion, we (at the GSFC) submitted an unsolicited proposal to NASA Headquarters for utilizing the conical foil optics that Peter Serlemitsos was developing for BBXRT, and the group at MIT led by George Ricker followed shortly after with a similar proposal for CCD detectors that were being developed for AXAF (Advanced X-ray Astronomy Facility). The scientific advisory structure supporting the NASA astrophysics program was very much in favor of active NASA collaboration with ISAS on this mission.

The development phase for ASCA was fraught with the usual “impossible” problems, but it was a delight to work with our Japanese colleagues to solve them. My favorite example of the kind of “can do” attitude exemplified by the scientists working on ASCA was when the mass estimates for all the instrument and spacecraft systems were some 28 kg

(or more than 5%) over the maximum spacecraft mass. In a typical NASA program, the Project Manager would have insisted on reducing functionality in order to recover sufficient margin (usually 15% or more), so that a reduction in capability that would have reduced the mass

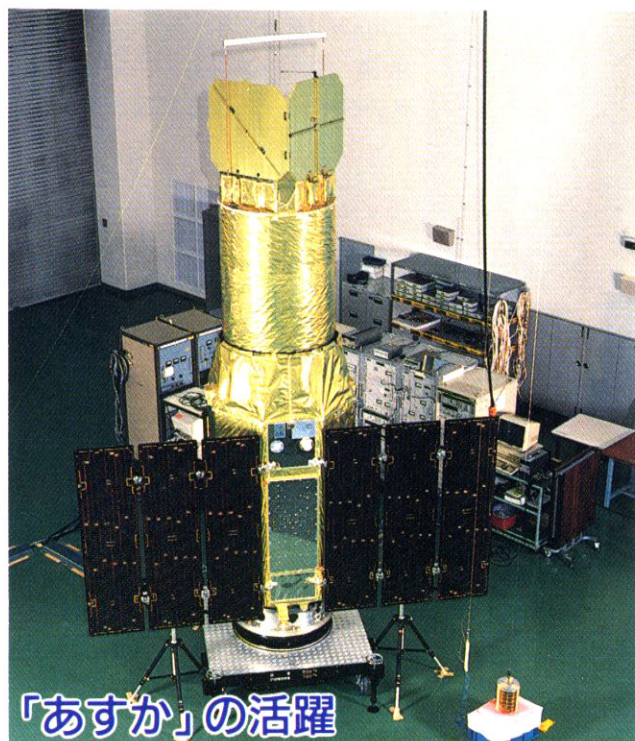
by almost 100 kg would have been required! In this case, Tanaka-sensei quietly reminded all the participants that they had to work individually to reduce the mass in their own area of responsibility for the common good, and it worked—no functionality was lost as the mass was trimmed to within an acceptable level.

All the Japanese groups at ISAS, at KSC, and at the participating universities and institutes are to be congratulated for a flawless launch, and for the efficient scientific operation of the ASCA Observatory. In spite of the time and energy put into pre-launch preparations for calibration and data operations, it is clear that an enormous amount of unanticipated work had to be done by both the Japanese and NASA operational staffs—this is the kind of work that goes largely unappreciated by some Guest Investigators who are inexperienced in flight programs, since they have never had to do it themselves.

It has been a wonderful opportunity to have participated in ASCA as a member of the team, and I am enthused about the possibility of continuing our international collaboration on ASTRO-E.

Steve S. Holt, NASA/GSFC  
(スティーブ・S・ホルト, 米国航空宇宙局/ゴダード宇宙飛行センター)





「ぎんが」に続くX線天文衛星「あすか」(第15号科学衛星・ASTRO-D)が打ち上げられて、はや1年半近くになる。関係者全員が総力を挙げて造り上げた野心作「あすか」が予想通りの性能を発揮し、無事に働き続けているのは誠に嬉しいことである。

「あすか」は新世代のX線天文衛星第1号と呼んでも良いユニークな性能を備えたもので、「ぎんが」の数百倍の高感度を有し、世界で初めて、X線の撮像と高分解能分光が同時に可能なX線天文台である。米国科学者との密接な協力も高性能化に大きく貢献している。「あすか」には世界中から観測申込が殺到、4～5倍の競争率が続き観測プ

ログラム責任者の長瀬教授も嬉しい悲鳴を上げている。なにしろこの様な高分解能X線分光は初めてのことであり、観測毎に驚きの声があがるほど、これまでとは質の異なる新しい情報が日々もたらされている。

「あすか」は打ち上げ早々、爆発直後の超新星SN1993Jを捉えることに成功、更に10月にはガンマ線バーストの一種、軟ガンマ線リピーターが稀に起こすガンマ線バーストを幸運にも視野に捕捉、超新星残骸中の中性子星が源であることを初めて突き止めるなど、“つき”にもたっぷり恵まれてきた。このような偶然の出来事を別にしても、「あすか」の観測対象はX線星、超新星残骸、銀河系、活動的銀河中心核、銀河団等々、宇宙の全ての種類の多数の天体に及び、その成果は、X線天文学を一段高いレベルに持ち上げるものとなることは確実である。或いは、X線天文学は新たな時代に入ったといっても過言ではなかろう。

「あすか」の初期の成果は、去る3月東京都立大学で行われた国際シンポジウム“New Horizon of X-Ray Astronomy”で発表されたが、百人を超える多数の外国人参加者があったことは「あすか」に対する関心の強さを如実に物語る。

終わりに、この「あすか」の活躍の陰には、運用を支えている全国の若い研究者、多数の大学院生の献身的な働きがあることを特記したい。その重要な貢献に対し心から感謝するものである。同時に「あすか」チームメンバー以外の多くの方々からのご支援や温かいお励ましに厚く御礼申し上げます。(田中靖郎)



「あすか」は私にとって、衛星の構想から打ち上げまで参加できた初めての衛星であり、日本のX線天文学のパイオニアの一人であり私にとっては恩師である早川幸男先生が打ち上げ1年前に亡くなったことなど、個人的な思い出が大変強い衛星です。この特集号の編集を担当できたことは大変幸運だ

と思っています。

「あすか」はその英語名に相応しく、幅広い分野で新たな宇宙像を提示してくれています。ここではその成果の一端を紹介しました。ここに紹介できなかった数多くの成果は今後のISASニュースの紙面に譲ります。最後に、「あすか」をご支援頂いた数多くの方々に心から感謝します。(紀伊)

**ISASニュース**

No.161 1994.8.

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

◆ISAS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。