

M82 からの熱い風 — スターバースト銀河の X 線観測 —

鶴 剛

〈京都大学理学部物理第2教室 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉
e-mail: tsuru@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp

M82 を中心に、スターバースト銀河の X 線観測の結果とそれに関係する色々なことについて、論文にはなかなか書けない「私見」を大いに交えて紹介する。

1. 「あすか」以前

スターバースト銀河で X 線でもっとも明るい（フラックスが高い）天体は大熊座の M82 であり、そのため最も頻繁に観測されている。この銀河は世界最初の X 線衛星であるウフル衛星によって初めて検出され、その後もエアリアル V、HEAO-1 などによって検出されていたにも関わらず、X 線の業界では M82 もスターバースト銀河も長らく注目を浴びなかった。M82 から 37 分角離れた場所に M81 という低光度 AGN を持つ銀河が居たため、X 線放射がどちらからの銀河からによるものなのか、コリメーター衛星では区別が付きにくかったことと、M82 以外のスターバースト銀河はいずれも暗く、X 線で観測可能な天体が無かったためである。X 線で注目を浴びる話の前に、スターバーストとはどういう現象なのか、そこからどのような X 線放射の可能性があるか予習しておこう。

我々の銀河系では半径約 15kpc の領域に 1 年に 1 太陽質量分の星がうまれているが、M82 の中心核領域では半径約 300pc の中で 1 年に 3 太陽質量分の星が誕生している。私たちの銀河系全体の数千倍の速さで新しい星が誕生しているわけである。このように「星が爆発的に生まれる」現象を「スターバースト」と呼んでいる。星の生成は冷たく密度の高いガス（分子雲）の中で起こり、その密度が

高いほど星生成は激しくなる。スターバーストは何らかの原因で分子雲が銀河の中心に急激に集まったため始まったと考えられている。しかし、その原因については色々な要因があり一筋縄では行かない。このスターバーストによって誕生した星のうち、重い星はあっという間に寿命を終え超新星爆発を起こす。M82 の場合、中心のごく小さな領域で 3 年に 1 個程度の超新星爆発が起こっている。私たちの銀河系全体を合計しても 30 年に 1 個程度なので、いかに高い頻度で超新星爆発が起きているか理解してもらえらるだろう。冷たい星間ガスから星が生まれ、進化し、超新星爆発を起こして死んだ後から再び星が誕生する。この輪廻転生が、スターバースト銀河では中心核領域という狭い「るつぼ」の中でとんでもない速さで起こっている（しかし、それだけでは済まないことは、これからじっくりと述べさせていただくだけ）。また、銀河進化の観測的、理論的研究から、スターバースト活動は特別な銀河の特別な現象では無く、銀河形成期には必ず経験する普遍的な現象だと考えられている。

銀河を凝縮した「るつぼ」なので、ありとあらゆる天体、現象からの X 線が期待できる。まず、そこには大量の恒星が存在する。恒星は、原始星から主系列星、白色わい星も含めてほとんどすべての恒星が X 線を放射している。そのうち重い星は超新星爆発を起こし、合成した重元素¹⁾をまき散



らしながら、周囲の冷たいガスを衝撃波で加熱していく。この超新星および超新星残骸も言うまでも無く強烈なX線源である。超新星爆発から誕生する中性子星やブラックホールからなる、いわゆる「X線連星」も、もちろんX線を放射する。また、超新星爆発により大量に作られる宇宙線によって3K宇宙背景放射や星からの赤外線放射がコンプトン散乱されX線を放射する可能性もある。

しかし、こんな「るつぼ」的なスターバースト銀河も、暗くてX線スペクトルもイメージも得られない状況では、論文も書きようが無い。その状況を大きく塗り替えたのがインシュタイン衛星である。この衛星は初めて詳細な画像の撮れる衛星であり、それまで暗く観測不可能だったスターバースト銀河を検出し、続々とX線画像データをもたらしした。それによるとX線放射は最も明るい中心付近から銀河の短軸方向に伸びており、ハローに達する様子が見られた¹⁾。星が存在しない場所からX線が検出されたことから得られる結論はほとんどただ一つ、起源は高温プラズマである。この高温プラズマの温度は $\sim 10^7$ K程度であり、銀河の質量では重力的に閉じ込めることができず、銀河間空間に流れているはずだ。全く同じ様子がNGC253やNGC3628でも観測された^{1), 2)}。

通常我々の銀河系で観測される超新星爆発の場合には、衝撃波加熱の後、輻射でゆっくりと冷えて冷たい星間ガスに戻って行く。しかし、スターバースト中心核のように狭い領域で連続的に超新星爆発が起こった場合には、一発目で作られたプラズマが輻射で冷えてしまう前に次の超新星爆発により再加熱が起こるに違いない。すると冷える間もなく圧力は上昇し、膨張することでプラズマ密度が下がっていくと予想される。するともはや簡単に冷えることは出来ず、遮るものが無い銀河の短軸方向に膨らみ、ついには銀河間空間に流れ出し、

プラズマの風を形成するだろう。これを銀河からの風「銀河風」と呼んでいる。M82で検出されたX線放射は、この銀河風から放射されたのではないだろうか。多波長での観測や数値シミュレーションでもそれをサポートする結果が得られた^{3), 4)}。後は「あすか」で観測、X線スペクトルから高温プラズマ特有の輝線を見つけ出してやれば、この銀河風説を証明できるものと私達は考えた。そこで輝線強度を見積もった。

スターバーストのタイムスケールは $10^7 \sim 10^8$ 年であり、このタイムスケール以内に起こる超新星爆発は主に2型、すなわち重い星の重力崩壊である。2型超新星爆発一発で解放されるエネルギーは 10^{51} ergs程度である。これから、観測的に求められる熱エネルギー(と同程度の運動エネルギー)には何発の超新星爆発が必要だったか分かる。一発の超新星爆発で合成される重元素量もSN1987Aや数値シミュレーションではほぼ分かっているので、上で求めた超新星爆発の個数をかけてやれば作られたはずの重元素質量が計算できる。この値を観測値であるプラズマの質量で割って宇宙組成と比較すれば、重元素組成比が求まる。

この道筋から、宇宙組成に対し1.5倍にも達する重元素が存在すると予想した。エネルギー分解能が格段に優れた「あすか」であれば、これらの重元素からの輝線が「ザクザク」見えるはずである。私達は「あすか」がどんなに強烈な輝線を見つけるか、ワクワクドキドキしながら鹿児島を受信基地から送られてくるデータを見守った。しかし、その予想は大きく裏切られることになる。

2. 「あすか」

図1は「あすか」で得られたM82のスペクトルと、ベストフィットモデルである⁵⁾。スペクトルにはマグネシウム(1.35, 1.46 keV)、硅素(1.86, 2.01 keV)、硫黄(2.46 keV)の輝線が見られる。これは高温プラズマの証拠であり、インシュタイン衛星で検出された拡がったX線は確かに銀河風であっ

a) 重元素: 天文学で言う「重金属」では無い。この記事では「超新星爆発でのみ合成される元素」という意味で使用している。

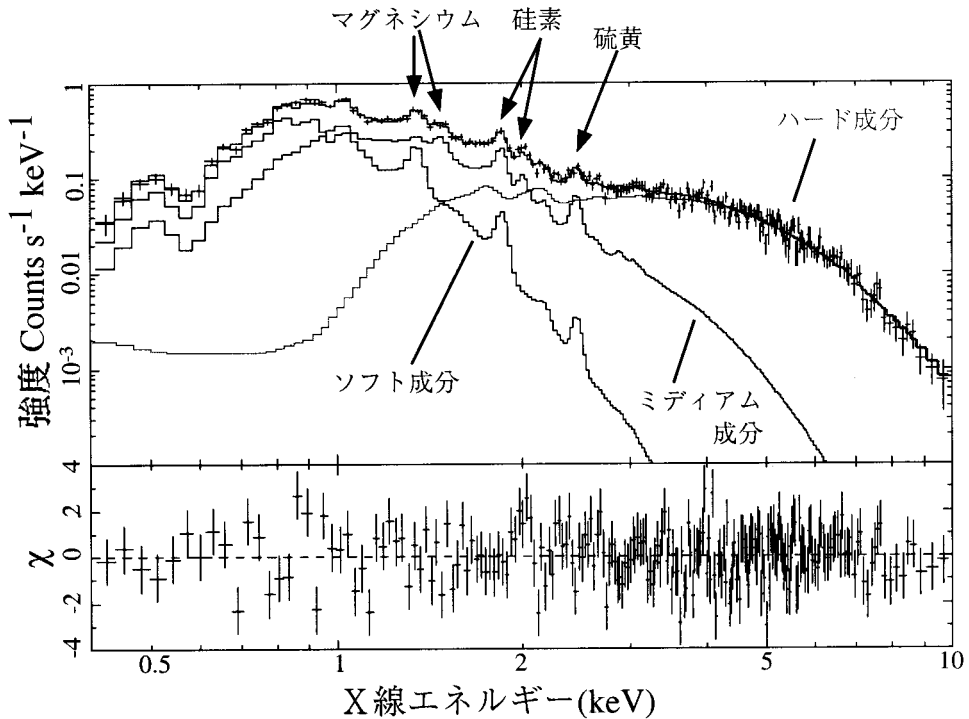


図1: 「あすか」 SISで得られたM82のX線スペクトル⁵⁾。データに対して、モデルフィットを行っている。1.5～2.5keV辺りで、マグネシウム、硅素、硫黄の各K輝線が見られる。

た訳だ。

しかしその一方で、1 keV 付近に見られるはずの鉄のL輝線がほとんど見られない。また、6～7 keVの鉄のK輝線も見られない。得られたスペクトルを詳しく解析したところ、 4×10^6 Kと 1×10^7 Kの2つのプラズマ成分と、3 keV以上で卓越する 1×10^8 K以上の熱制動輻射もしくはパワーローが必要であることが分かった。それぞれをソフト、ミディアム、ハード成分と呼ぶことにする。

各成分の空間的拡がりを見るためにエネルギーバンド別にイメージを作ったものを図2に示す。ここからハード成分は点源であることが分かった。この成分については後で振り返る。一方、ソフト、ミディアム成分には空間的な拡がりが見出された。ソフト成分は、ミディアム成分に比べて温度が低

く、より広がっている。スターバースト中心核で生産されたばかりのプラズマがミディアム成分で、それが銀河間空間に流れ、銀河風となったのがソフト成分と考えられる。

銀河風がX線スペクトルからプラズマ起源だと分かったものの、重元素輝線は弱かった。マグネシウム、硅素、硫黄の組成比は宇宙組成の25–50%、鉄輝線に至ってはわずか5%しか存在しないという結果になった。本来重元素の源である超新星爆発によって高温プラズマが生産されたのであるなら、もっと高い組成比になるはずである。同様の結果はM82に留まらず、NGC253などでも見られており、スターバースト銀河の一般的な性質と考えて良いだろう^{6), 7)}。

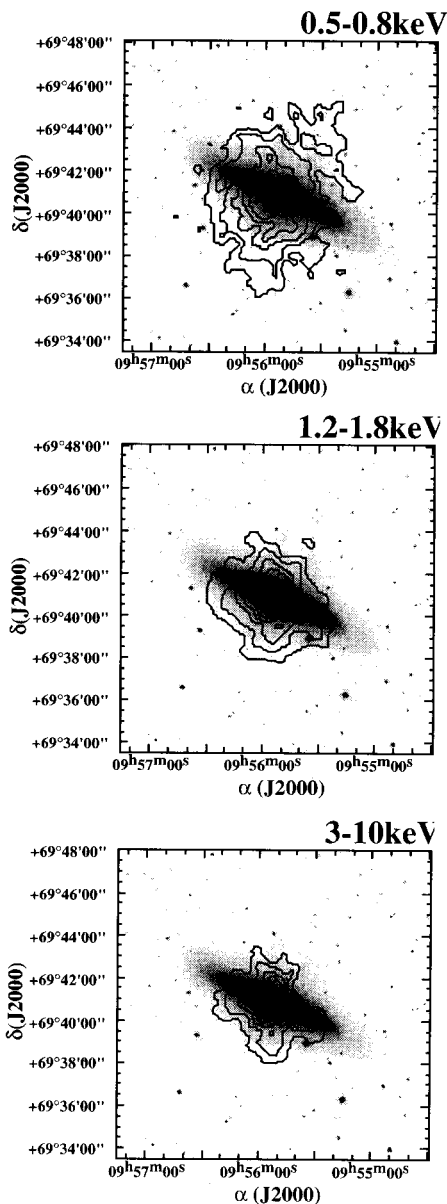


図2 「あすか」 SIS で得た M82 の X 線イメージ⁵⁾。光のイメージに等高線で X 線強度が示されている。上から、ソフト成分、ミディアム成分、ハード成分に対応する。ソフト成分とミディアム成分は空間的に有為に拡がっている。一方、ハード成分は点源と矛盾しない。ハード成分の等高線の形が「蝶々」に見えるのは、X 線望遠鏡の特性であり、実際の形ではない。

3. 銀河団高温プラズマへの重元素供給

ここで少し視点を変え銀河団の方からスターバースト銀河を眺めてみる。銀河団には重力的に閉じ込められ、 $10^7 \sim 10^8$ K の温度を持つ高温プラズマが存在する。これを ICM (IntraCluster Medium) と呼んでいる。ICM の質量はメンバーである銀河の総和より大きく、典型的な銀河団では数倍程度である。銀河の集団と言いながら実は高温プラズマの塊と言う表現の方が相応しいわけだ。ICM の起源は、ビッグバンの中からそのまま、銀河になり損ねた始源ガス^{b)}(水素とヘリウムのみから成る)と、銀河形成後に銀河から放出され重元素を含んだガスの混合だと考えられている。実際 ICM の X 線スペクトルをとると、鉄をはじめとして酸素、マグネシウム、硅素、硫黄など重元素の輝線が見つかる。これら ICM に含まれる重元素の質量は、銀河の星の中に含まれる重元素量の総和とほぼ同じかむしろ多い。銀河が生産した重元素の半分以上は銀河から放出され ICM の中に存在するのである。これを観測すれば放出過程や銀河のダイナミックな進化を調べることができる。

ICM 中の重元素は銀河の中の超新星爆発でのみしか合成されないのだから、その質量は超新星爆発の数に比例する。超新星爆発の数は星の数、すなわち銀河の質量に比例する。その結果 ICM 中の重元素質量と銀河の質量は比例するだろう。そういう考えで「あすか」で得られた結果を元に、銀河団の ICM に含まれる重元素の質量と銀河の質量と比較した結果が図3である⁸⁾。

ICM が 4×10^7 K 以上の温度を持つ大きな銀河団では鉄、硅素共に星の質量に比例しており、上記のストーリーが基本的に正しいことを示している。

b) 始源ガス: Primordial Gas の意味で使っている。どなたか適当な日本語訳を作って下さい。

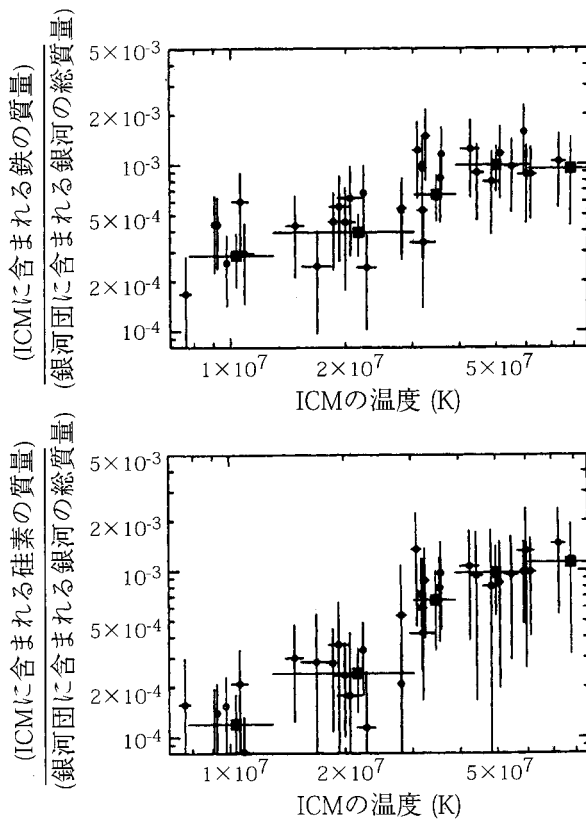


図3: 銀河団のICMに含まれる鉄および硅素の質量とメンバー銀河の質量の比とICMの温度の相関⁸⁾. ICMの温度が 4×10^7 Kの銀河団では比が一定である。その一方で、 4×10^7 K以下の銀河団では、ICM中の重元素量が相対的に少なくなっている。

る。一方ICMが 4×10^7 K以下の小さな銀河団では、星の質量に比べ相対的に重元素質量が少なくなってきたことが分かった。

ICMの温度は重力ポテンシャルの深さを示している。もしわずかな追加熱があれば、浅い重力ポテンシャルに閉じ込められたICMは銀河団から流失してしまうだろう。もしくは、一部のICMが重力収縮できなくなるかも知れない。銀河形成期に起こったと考えられている激しい星生成—すなわちスターバースト活動に伴う銀河風を使えば追加熱は可能だ⁹⁾。温度が高く大きな運動エネルギー

を持つ銀河風が吹き、ICMに追加熱を行い、重力ポテンシャルの浅い銀河団ではICMの流失が起こる。もちろん銀河風には超新星爆発で合成された重元素が大量に含まれるはずだから、ICMの重元素もついでに銀河風が起源とすればよい。これで、全ての観測結果を説明することの出来るすっきりとしたストーリーが完成した、かに見えた。

しかし前の章で示した近傍のスターバースト銀河のX線観測結果は、このストーリーを否定する材料ばかりであった。まず観測された銀河風の温度はICMの温度よりも一桁低い。これではICMへの追加熱は不可能である。また、銀河風に含まれる重元素組成比はICMよりも同程度かむしろ低かった。重元素を含まない始源ガスに低い重元素組成比をまぜて、より高い重元素組成比を作るのは原理的に不可能である。結論として、スターバースト活動はICMへなら寄与をしなかったことになってしまった。

ICMへのもう一つの重要な重元素供給源と考えられている楕円銀河でも、深刻な問題が起きている。楕円銀河には重力的に閉じ込められた $10^6 \sim 10^7$ K程度の高温の星間ガスが存在し、X線で観測される。この高温星間ガス起源は、進化した星からのゆっくりとした質量放出や、時々起こる1a型超新星爆発である。楕円銀河からICMへの重元素供給は、高温星間ガスが音速以下でゆっくりと流れ出したり、楕円銀河が銀河団の中を動き回るうちに、この高温星間ガスがICMによって剥ぎ取られたり、という形で行われる。実際NGC4406などでは「剥ぎ取られ」がX線で観測されている。

楕円銀河がICMへの主な重元素供給源であれば、その媒介を勤める高温星間ガスには大量の重元素が含まれていなければならないはずだ。「あす



か」以前には、この考えから星間ガスの重元素組成比は宇宙組成値の数倍にもものぼるだろうと我々は予想した。これまた強烈な輝線がザクザクと「あすか」で観測されるはずである。しかし、鹿児島島の受信基地から送られてきたデータは再び我々の期待を大きく裏切ったのである。

楕円銀河の高温星間ガスのスペクトルには再び弱い輝線しか見つからず、硅素、硫黄、鉄の量は宇宙組成程度に過ぎないことが分かった^{10), 11)}。この「あすか」の観測結果は、楕円銀河が ICM の重元素の供給源であるという説に対して深刻な問題を投げかけたのである¹²⁾。供給先の ICM には大量に重元素が見つかるのに、その供給源であるはずのスターバースト活動や楕円銀河には、生産場所として恥ずかしいほどの量しか見つからない。私達は見つからないことを称して「鉄隠し」と呼んでいる。さらにスターバースト銀河で観測される銀河風は弱く、とても ICM を加熱出来たとは思えない。一体どうしたら良いのだろう。

一番簡単なのは、生産されたはずの重元素が銀河の中に隠されて見えてなければ良い。「あすか」による超新星残骸の観測から、硅素などの重金属だけで出来ている塊が飛んでいる様子が観測されている¹³⁾。この様な塊が冷えると、鉄のみまたは硅素のみだけで出来た天体が誕生するだろう。冷えてしまえば自ら光れないので観測にはかからない¹⁴⁾。この様な「鉄星」や「硅素星」の形で銀河の中に重元素が隠されているのかもしれない。

また、輝線が隠されている可能性もある。プラズマ構造や X 線放射の過程で何か、例えば多温度構造、共鳴散乱など、を見落としているのかも知れない¹⁵⁾。また、基礎に置いている星や超新星爆発、銀河の進化の理論に何か考え落としがあるのかも知れない。しかし、個人的には、理論計算のパラメーターがどうのという話では無く、全く予想もつかない「あっ！」という裏技が潜んでいる気がする。これを解く最も良い方法は、さらに性能の良い観測装置を作り、実際に誕生し進化つ

ある銀河と銀河団をこの目で見ることであろう。いずれにしても、この謎の解明は将来に持ち越しである。

4. AGN が誕生する場所

M82 に戻ることにする。3 成分の内、最も温度の高いハード成分は「あすか」の分解能では点源に見えたことは既に述べた。「あすか」の以前のコーリメーター観測装置であるウフル、エアリアル V、HEAO-1、アインシュタイン(MPC)、EXOSAT、「ぎんが」衛星で検出されていたのは、実はこの成分であったのだ。私達はその明るさを比較してみたところ、それぞれの観測の間で 5 倍もの違いがあることが分かった¹⁶⁾。衛星間の相互のキャリブレーションが完全で無くても、これほどの違いを作ることは出来ない。しかし、いずれも画像を取得できないコーリメーター検出器なので、この話を誰かにする度に「えー？お隣さん(M81 のこと)がコンタミってんじゃ無いの？」と言われ続けてきた。そこで私と当時京大の大学院生(現 MIT 海外学振)だった松本浩典君の二人で、「あすか」を用い半年に渡り 9 回のモニター観測を行った。その結果、見事に時間変動を捕らえることに成功した(図 4)¹⁷⁾。9 回の観測を詳細に調べたところ、3 時間程度の短時間変動も見つかり、スペクトルも変化していることが分かった。

この時間変動と $\sim 10^{41}$ ergs/s にも達する明るさを、超新星や超新星残骸、X 線連星の足しあわせ、高温プラズマ、コンプトン散乱で説明することは不可能だ。唯一の答えは太陽の 100 倍以上の質量を持つブラックホールである。つまりスターバースト銀河 M82 の中心領域に低光度の AGN が潜んでいたのである。M82 は有名な銀河なのでこれまで多波長で非常に多くの観測されていた。それにも関わらず AGN の報告は無く、これが最初の確かな証拠である。恐らく冷たい星間ガスによる吸収やスターバースト領域の複雑な構造に隠され、他の波長では AGN を見つけるのが難しかったのであ

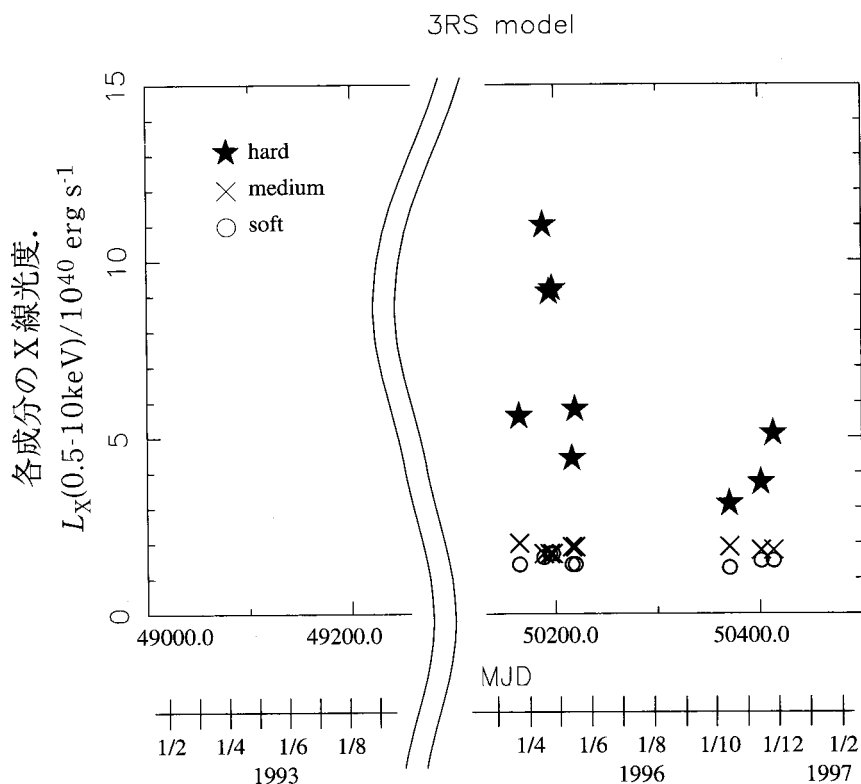


図4 M82 3成分のX線フラックス時間変動¹⁶⁾. ソフト, ミディアム成分が一定である一方で, ハード成分は数倍の時間変動が見られる.

ろう 私達の結果と空間分解能の優れた ROSAT 衛星の結果を比較してこのX線源の場所を正確に求めたところ, 赤外線で二番目に明るい領域に居る電波源と一致した¹⁷⁾. 明るさ的には他の電波源と変わらないのだが, この電波源は過去に大きな時間変動を経験していた¹⁸⁾. しかも実は ROSAT 衛星でも時間変動が見つかった天体であった¹⁹⁾. 奇妙なのは, この天体は実は力学中心ではなく, みかけの角度で約 150 pc 離れた場所に居ることである(そうすると, 「どこが AGN や!」という声がどこからか飛んで来そうだが...). さらに, 「あすか」で得られた光度と吸収量に相関があることや, 「ぎんが」衛星で得られたスペクトルはパワーロー的ではなく, 熱制動輻射に近いことなど, 明るい典型的な AGN と違う性質も示している.

さて, この AGN であるが, まずはスターバースト活動に伴って誕生したと考えるのが自然であろう. そうすると年齢は 10^8 年程度となる. 想像を逞しくするなら, スターバースト活動に伴う超新星爆発で大量に作られた中性子星や太陽質量程度のブラックホールが合体成長し, そして力学中心に沈みこんでいる最中なのかも知れない. 私達はまさに誕生しつつある AGN を, わずか 3Mpc という近距離から詳細に観測できるまたと無いチャンスを得たのではないだろうか.

この原稿を書く直前に, 電波でもジェットを検出したという論文が発表された²⁰⁾. しかし, 我々の検出したX線源とは場所がずれているようである. また, RXTE 衛星もX線で時間変動を検出したという報告もされたようだ²¹⁾. しばらくは目が離せない.

5. 「あすか」以後

私は博士論文のテーマとして, 「ぎんが」衛星による通常銀河, スターバースト銀河, 楕円銀河, 銀河群, 銀河団のX線観測のデータ解析を選んだ²²⁾. 私はその中で「高温プラズマ」というキーワードで, 超新星爆発から銀河と銀河団の進化まで結び付け, お互いの関係をきれいに解き, シナリオを描いて見せたつもりであった. そして, 自分の



博士論文で立てた予想を「あすか」衛星を使って確認し、この領域の研究はおしまいにさせてやろう、と実は不遜にも考えていたのである。しかし、これまで述べたとおり予想はいずれも大きく外れ、銀河風の低い重元素組成比と低い温度、楕円銀河の高温星間ガスの低い重元素組成比など、逆に訳のわからないことだらけになってしまった。

ここでは詳しくは書かなかったが、銀河団研究に関して「あすか」が行った仕事は実に目覚ましいものがあった。多くの現象が良く理解できるようになった。しかし、重力質量や重元素の空間的分布、低温成分の起源、宇宙論的な進化、 $z \sim 1$ の奇妙な銀河団など、理解した以上に新しい発見、定説の覆しがあり、さらに新しい謎が増えた、というのが私の正直な感想である。今のところ謎がどう解けるのか皆目見当もつかない。まだまだ挑戦のしがいがあるし、新しい発見をして驚いたり楽しんだりすることもできるわけだ。では私はこれからどうしよう。私は物作りと観測が好きだ。それなら新しい観測装置を作り、別の側面から切り込み、さらにはより遠くを見ることにしよう。言うまでも無く ASTRO-E 衛星である。

来年 2000 年 2 月に「あすか」に続く次期 X 線天文衛星 ASTRO-E が打ち上げられる予定である。(毎度の事であるが)この画期的な衛星は、X-Ray Spectrometer (XRS), X-ray Imaging Spectrometer (XIS), Hard X-ray Detector (HXD)の3種類の X 線検出器を搭載している。XRS と XIS はそれぞれが X-Ray Telescope (XRT)の焦点面に置かれている。ASTRO-E 衛星は天文月報 1999 年 5 月号で某先生によって既に紹介が済んでいるので²³⁾、詳細はそれを参照していただくとして、ここでは ASTRO-E がスターバースト銀河の研究にどう使えるかを考えてみよう(実は私のプロポーザルのネタばらしである)。

マイクロカロリメーターである XRS は ASTRO-E の目玉商品で、 $\sim 12\text{eV}$ ($\lambda/\Delta\lambda \sim 500$) のエネルギー分解能を達成する。これまでで最高のエネルギー分解能が「あすか」に搭載された X 線 CCD カメラ

SIS が達成した $\sim 120\text{eV}$ (6keV の X 線に対する値)であることを考えれば、実に一桁の性能向上である。このエネルギー分解能を使えば $\sim 50\text{ km/s}$ 程度までのドップラー運動を検出できる。スターバースト銀河の銀河風の速度は $100 \sim 500\text{km/s}$ と予想しているので、これを測定するには十分である。また、輝線を初めて微細構造まで分解することが可能になるので、イオン温度やイオン化状態を直接測定できる。本当に銀河風に重元素が存在しないのか、それとも含まれているが何らかの理由で輝線が隠されているのか調べることができる。

HXD は井戸型シンチレーションカウンターとシリコン半導体検出器を組み合わせた低バックグラウンドの高エネルギー X 線検出器で、 $10 \sim 700\text{ keV}$ で過去最高の検出感度を持つ。これを用いて、超新星爆発で合成される寿命の短い元素からの核ガンマ線の検出に挑戦する。検出できれば、過去どれだけ超新星爆発が起こったのか、さらには現在の超新星爆発の頻度を仮定無しに決めることができる。特に NGC253 は既にガンマ線の検出の報告があり、注目天体である²⁴⁾。

私が開発に関わっている XIS は X 線 CCD カメラであり、空間分解能、時間分解能、エネルギー分解能のバランスの取れた汎用の X 線観測装置である。XIS は「あすか」に搭載された X 線 CCD カメラ SIS の経験を元に、様々な点を改良し完成度の高い検出器となった。XRT との組み合わせで、ミラー衛星として世界最大級の有効面積を備える。これまで観測できなかった遠方のスターバースト銀河の探査や、近傍のスターバースト銀河の詳細な撮像分光、低光度 AGN の検出に活躍するであろう。

さて道具は揃った。これでどこまで謎が解けるのか、いやいや謎が増えるだろうか。これまで以上にワクワクドキドキする発見と謎解きを楽しみにしている。



謝 辞

この記事を上上げる上で、松下恭子@都立大さんと松本縁@東大さんにお世話になりました。ありがとうございます。

参 考 文 献

- 1) Fabbiano G., 1988, ApJ, 330, 672 (M82 & N253)
- 2) Fabbiano G., Heckman T., Keel W. C., 1990, ApJ, 355, 442
- 3) Nakai N., Hayashi M., Handa T., Sofue Y., Hasegawa T., Sasaki M., 1987, PASJ, 39, 685
- 4) Tomisaka K., Ikeuchi S., 1988, ApJ, 330, 695
- 5) Tsuru T.G., Awaki H., Koyama K., Ptak, A., 1997, PASJ, 49, 619 (M82 No.1)
- 6) Ptak A., Serlemitsos P., Yaqoob T., Mushotzky R., Tsuru T., 1997, AJ, 113, 1286
- 7) Dahlem M., Weaver K. A., Heckman T. M., 1998, ApJS, 118, 401
- 8) Fukazawa Y., 1997, PhD Thesis, The University of Tokyo (ISAS RN 664)
- 9) (例えば) White R. E. III., 1991, ApJ, 367, 69.
- 10) Matsushita K., 1997, PhD Thesis, The University of Tokyo (ISAS RN 640)
- 11) 松下恭子, 1998 天文月報 12月号 586 頁
- 12) (例えば) Arimoto N., Matsushita K., Ishimaru Y., Ohashi T., Renzini A., 1997, ApJ 477, 128
- 13) Tsunemi H., Miyata E., 1997, "Thermonuclear Supernovae" eds P. Ruiz-Lapuente, R. Canal and J. Isern, p 561
- 14) Fujita Y., Fukumoto J., Ohkoshi K., 1996, ApJ, 470, 762
- 15) Shigeyama T., 1998, ApJ, 497, 587
- 16) Tsuru T., Hayashi I., Awaki H., Koyama K., Fukazawa Y., Ishisaki Y., Iwasawa K., Ohashi T. et al., 1996, in "X-ray Imaging and Spectroscopy of Cosmic Hot Plasmas", eds F Makino, K Mitsuda (Universal Academy Press) p157
- 17) Matsumoto H., Tsuru T. G., 1999, PASJ, 51, 321
- 18) Mulxow T. W. B., Pedlar A., Wilkinson P. N., Axon D. J., Sanders E. M., de Bruyn, A. G., 1994, MNRAS, 266, 455
- 19) Collura A., Reale F., Schulman E., Bregman J. N., 1994, ApJ, 420, L63
- 20) Wills K. A., Pedlar A., Muxlow T. W. B., Stevens I. R., 1999 MNRAS, 305, 680
- 21) Gruber D. E., Rephaeli Y., 1999, AAS Meeting 194, 2407
- 22) Tsuru T., 1992, PhD Thesis, The University of Tokyo (ISAS Reseach Note 528)
- 23) ASTRO-E チーム, 1999, 天文月報 5月号 282 頁
- 24) Bhattacharya D., The L.-S., Kurfess J. D., Clayton D. D., Cehrels N., Leising M. D., Grabelsky D. A., Johnson W. N., Jung G. V., Kinzer R.L., Purcell W. R., Strickman M. S., Ulmer, M. P. 1994, ApJ, 437, 173

**The Baking Hot Wind from M82
- X-ray Observation of Starburst Galaxies -
Takeshi Go TSURU**

Department of Physics, Kyoto University

Abstract: I introduce results from ASCA observation of the starburst galaxy M82 and related issues. 1) We detected emission lines from thermal plasmas with temperatures of $10^6 \sim 10^7$ K, which establishes the existence of the galactic wind of a starburst galaxy. 2) However, the temperature and the metal abundances of the galactic wind are much lower than the previous expectations. 3) ASCA results on starburst galaxies and elliptical galaxies gave some serious difficulties to the idea that the ejecta from the galaxies are the origin of heavy metals in ICM existing in a cluster of galaxies. 4) We newly detected a time variable source in M82 in hard X-ray band, which is probably a low luminosity AGN embedded in dense cool matter. 5) I also introduce important roles of ASTRO-E for the study of starburst galaxies.