

# 「あすか」で得られた 銀河団の高温プラズマの温度分布

柴田 亮<sup>1</sup>, 渡辺 学<sup>2</sup>

1: 文部科学省宇宙科学研究所宇宙圏研究系高エネルギー第二部門 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1)  
e-mail: shibata@astro.isas.ac.jp

2: 科学技術振興事業団(文部科学省宇宙科学研究所Plain Center 派遣) 〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8 川口センタービル)  
e-mail: mwatanana@tana.plain.isas.ac.jp

0.5–10 keV の広いエネルギー帯域での優れた撮像分光能力を有する X 線天文衛星「あすか」によって、これまでに数多くの銀河団で高温プラズマの温度分布が調べられてきた。銀河団が成長していく過程では、銀河団同士の衝突合体や高温プラズマの重力収縮による加熱によって温度構造が作られるが、これらを観測的に明らかにすることで、銀河団の進化の過程を直接探ることが可能となる。ここでは、最も近傍にある 2 つの銀河団 — 「かみのけ座」銀河団, 「おとめ座」銀河団 — の結果を中心に、「あすか」で新たに明らかになってきた銀河団の姿について紹介する。

## 1. 「あすか」以前の、銀河団の高温プラズマの観測

その昔、銀河団という天体は、数 Mpc (1 Mpc が 326 万光年に相当) の空間の中に数十～数千の銀河が集まっているだけの天体であると考えられていた。しかし 1970 年頃、銀河団内から放射されている X 線が観測され、銀河団に付随した高温プラズマの存在が明らかになった。密度にして  $10^{-3}$  個/cc, 温度はおよそ 1 億度にも達するこの高温希薄なガスは、銀河の約 10 倍の質量を持っており、銀河団の全質量の 10～30% を占めていた。残りの約 70～90% は暗黒物質の質量で、これらの物質がつくり出す重力ポテンシャルが、銀河団高温プラズマと銀河団を構成するメンバー銀河の運動のエネルギー源で、プラズマの温度と銀河の速度分散の大きさを決めている。

「あすか」以前の衛星では、検出装置の制限から、主に銀河団全体のプラズマの温度が求められていた。David<sup>1)</sup> は、Einstein 衛星で得られた 84 個の銀河団のプラズマ温度に、EXOSAT 衛星、

「ぎんが」衛星で得られた銀河団のプラズマ温度を加え、104 個の銀河団のプラズマ温度のカタログを作成している。このようにして得られたプラズマ温度は、X 線輝度や銀河団の全質量との相関 ( $L_x$ - $kT$  関係,  $M$ - $kT$  関係) を調べたり、X 線の温度関数 (XTF) の進化 (温度の高い銀河団, 低い銀河団の数が、時間, 即ち赤方偏移  $z$  と共に、どのように変わったか) を調べることにより、銀河団や宇宙の進化についての手がかりが得られてきた。一方で、統計的に銀河団の進化を調べるだけでなく、銀河団内の温度分布の様子を調べることにより、個々の銀河団の進化の様子も、少しずつ明らかになってきた。その先駆けとして、ROSAT 衛星で得られた Abell 2256 の温度分布の論文<sup>2)</sup> があげられる。この論文では、X 線の表面輝度分布が中心部分で 2 つのピークを持っている銀河団, Abell 2256 の高温プラズマ温度分布が調べられている。そして、その温度分布の様子から、この銀河団は衝突合体を起こす直前の銀河団であることが示された。これ以外にも、ROSAT 衛星の観測データを用いていくつかの銀河団の温度分布が求められた

が、等温でないものについては大きく2つに分類できた。1つは、Abell 2256のように複雑な温度分布を示すもので、Abell 2255<sup>3)</sup>、Abell 754<sup>4)</sup>があげられる。もう1つは、中心部分で温度が下がっている銀河団で、銀河団の中心から動径方向に一次元温度分布が求められた、Abell 262, Abell 539, Abell 2589<sup>5)</sup>、Abell 2597<sup>6)</sup>、Abell 4059<sup>7)</sup>、二次元温度分布が求められた、Abell 1795<sup>8)</sup>、Abell 2142<sup>9)</sup>などがあげられる。Briel<sup>8)</sup>は、Abell 1795の外側で、非等方な温度分布が見られないことから、Abell 1795は、最近大きな衝突合体を起こしていないと結論付けた。そして、銀河団が力学的に平衡になって長い時間がたつと、従来考えられていたように、( $\beta$ モデルに従うような)等温の銀河団になるだけではなく、中心部分でCooling Flowを起こすというシナリオを支持した。

これに対し、複雑な温度分布を示す銀河団は、現在、衝突合体を起こし、進化の途中である銀河団であると考えられた。そして、銀河団の衝突合体シミュレーションの研究も多く行われるようになった。Schindler<sup>10)</sup>やRoettiger<sup>11)</sup>は、さまざまな質量比の銀河団が正面衝突した場合に、二次元温度分布が時間と共に、どのように変わるかを示した。質量比や初期条件によって絶対温度等は変わるが、大雑把にまとめると、衝突合体中の銀河団を衝突軸に対して垂直な方向から観測した場合、時間の経過と共に以下のような特徴が現れていた。

- A) 衝突合体直前 ( $\sim 1 \times 10^9$ 年前) … X線表面輝度分布は2つのピークを持ち、その間の領域が特に高温になる。
- B) 衝突中 … 表面輝度分布は軸対称に近い、またはやや細長くなり、高温領域は中心から、衝突軸に垂直な方向に広がる。
- C) 衝突直後 ( $0 \sim 2 \times 10^9$ 年後) … 表面輝度は衝突軸方向に細長く伸び、中心と周辺領域に、広がった高温領域ができる。
- D) 衝突後 ( $\sim 5 \times 10^9$ 年後) … ほぼ等温、軸対称に戻る。

また、正面衝突の場合以外にも、少しオフセットを持って衝突した場合のシミュレーション<sup>12)</sup>、実際にAbell 2256やAbell 754で得られた温度分布を再現するためのシミュレーション<sup>13), 14)</sup>、電子温度とイオン温度の違いを考慮したシミュレーション<sup>15)</sup>なども行われている。しかし、まだ二次元温度分布が得られた銀河団の観測例の数は少なく、また、ROSAT衛星は、0.5–2.0 keVの範囲のスペクトルから、1–10 keVにわたる銀河団の温度分布を調べていることから、高エネルギーの温度の決定精度の不定性は大きかった。なお、現在までに高温プラズマ温度分布が得られた銀河団の論文の一覧は、URL1で見ることができる。

## 2. 「あすか」による銀河団の高温プラズマ温度分布の観測

1993年に打ち上げられた日本で4番目のX線天文衛星「あすか」は、0.5–10 keVのエネルギーバンドで優れた感度と撮像能力を持っており、典型的な高温プラズマの温度、1–10 keVを持つ銀河団の温度分布を調べるには、大変都合が良かった。その反面、X線望遠鏡により、X線のエネルギーや入射角度に依存し、約3分角に広がる複雑な像を示した。この像の広がりを様々な方法で補正、または考慮し、以下にあげられるような銀河団の高温プラズマの温度分布が得られた。

### 2.1 「かみのけ座」銀河団

「かみのけ座」銀河団は、およそ140 Mpc ( $z = 0.0234$ ,  $H_0 = 50$  km/s/Mpc)の距離にあり、銀河団の中では近傍にある大規模銀河団の1つである。この後に述べる、「おとめ座」銀河団との最大の違いは、南西にあるサブクラスターを除けば、X線表面輝度や銀河の分布が比較的、軸対称を示していることで、このことから「あすか」打ち上げ以前では、力学的によく緩和した規則型銀河団の典型例であると考えられてきた。しかし、近年のより詳細な、可視、X線による観測で、いくつかのサブ構

造が明らかになってきた。可視光では、Biviano<sup>16)</sup>が、約 600 個の銀河の後退速度を調べ、この銀河団の中心部分では、2つの巨大楕円銀河を中心にした、2つの銀河グループがあることを示した。X線表面輝度分布では、Vikhlinin<sup>17)</sup>が、中心付近から NGC 4911 銀河を含む 10 個程度の銀河の集まりのある南東の部分にのびたサブ構造を見つけた。

この「かみのけ座」銀河団の「あすか」での観測は 14 点で行われ、約  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  の範囲がカバーされた。Watanabe<sup>18)</sup>は、初めに温度分布と表面輝度分布を仮定して、「あすか」のシミュレーションを行い、結果と観測データを比較し、シミュレーションの結果と、データがエラーの範囲内で一致するまでシミュレーションを繰り返すという手法を用いて、温度分布と、表面輝度分布を導き出した。得られた温度分布を表紙の図に示す。最も顕著な特徴として、銀河団の北西部分で見られた、高温領域があげられる。この高温領域の存在は、Honda<sup>19)</sup>によってすでに示唆されていたが、その絶対温度と形状が、初めて明らかになった。また、南東に見られる低温領域は、ROSAT 衛星で見つかったイメージのサブ構造の部分、すなわち NGC 4911 銀河グループの部分と一致した。さらに、南西のサブクラスターと本体の間にも、温度が高い領域が見られた。

このような、非等方な温度分布の存在は、この銀河団が力学的に十分緩和していないことを、直接的に示している。また、北西方向に見られるような 1 Mpc 以上に広がった高温領域は、典型的なサイズが 30 kpc である単独の銀河が作るとは考えにくく、銀河団スケールの大規模な現象が起源であると考えられる。以上のことから、「かみのけ座」銀河団の温度分布の起源として、銀河団同士の衝突合体であると結論付けた。実際、北西の高温領域の起源は、

A) 周辺の広がった高温領域と、軸対称に近い表面輝度分布は、衝突合体直後  $\sim 2 \times 10^9$  年程度の銀河団の特徴と類似している

B) 可視光の観測では、「かみのけ座」銀河団の中心付近で、2つの大きな銀河グループが存在している

ことから、現在中心に存在している2つのグループが、衝突合体を起こして出来たものである、というシナリオでよく説明できる。一方、南西の高温領域は、サブグループと本体の間にあることから、現在落ち込んできているサブグループによって、作られたと考えられる。さらに、NGC 4911 グループ周辺の冷たいガスは、NGC 4911 を含む小グループのガスが見えており、「かみのけ座」銀河団本体との相互作用のために、細長く伸びたと考えられる。このように、この銀河団では現在、大小いくつもの銀河グループが同時に、衝突合体を起こしているというダイナミックな姿が明らかになった。

## 2.2 「おとめ座」銀河団

「おとめ座」銀河団は、我々の銀河系からおおよそ 20 Mpc 離れた距離にある最も近い銀河団であり、1200 個以上の銀河が集まっている。見かけの広がり、5 度以上（満月の直径の約 10 倍の角度）と極めて大きいので、銀河団を包む高温プラズマの局所的な温度分布を探るのに適している。さらに可視光による観測も数多く行なわれており<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup>、銀河団を構成する個々の銀河の形態や後退速度が詳しく調べられている。よって、高温プラズマの温度（即ち銀河団の重力ポテンシャル）とメンバー銀河の運動との相関を銀河団内で局所的に調べることが出来る唯一の系である。

X線の波長域では、これまでに ROSAT 衛星によるサーベイ観測で、0.5–2.0 keV バンドでの X線表面輝度分布が調べられているが<sup>22)</sup>、先に述べた「かみのけ座」銀河団と異なり、その形状は複雑でいくつかのサブクラスター構造を持っている。加えて「おとめ座」銀河団全体の高温プラズマの温度は  $\sim 2$  keV 程度と一般の銀河団に比べて比較的低温が低い。よってこの銀河団は未だ形成途中の若いものであると考えられている。銀河団の力学的

進化のシナリオを探る上では、このような進化の中途段階にある若い銀河団が、どのような歴史を経て現在に至っているのかを高温プラズマの温度分布から観測的に探ることが重要な手がかりになる。しかしながら、この ROSAT 衛星のサーベイ観測は露光時間が数百秒と短いために詳細なスペクトル解析を行なうことが出来ず、高温プラズマの局所的な性質は未研究であった。

「あすか」による「おとめ座」銀河団の観測は、1996年からおよそ3年をかけて全60観測点で行なわれ、約19平方度の領域（およそ満月24個分で覆われる領域）をカバーした。全観測時間は1ヶ月以上に及んだ。こうして、世界で初めて2.0 keV以上のエネルギーバンドで「おとめ座」銀河団からの広がったX線放射を確認するとともに、スペクトル解析をするために十分なデータを得ることが可能となった。

以下に、5～20'（実距離でおよそ30～120 kpc、銀河団スケールの最大1/96～1/24に相当）の様々なスケールで調べた温度分布をまとめ、高温プラズマの加熱を指標として銀河団の力学的進化を探った。データセレクションや解析手法に関する詳細と、銀河団全体の重元素組成比分布に関する研究は、Shibata<sup>23), 24)</sup>を参照されたい。

### 銀河団中心部

X線できとりわけ明るく、重力的に銀河団の中心であると考えられるM87銀河付近について、スペクトル解析を行なった。その結果、M87から10分角以上離れた領域では、単一温度の放射モデル（熱制動放射 + 重元素からの特性X線）で良く説明できるものの、よりM87近傍では低温成分の存在を示唆する1.0 keVバンド付近での超過成分、及び重元素組成比の変化を示す輝線強度の差異が見られた。 $\chi^2$ 検定で許される放射モデルは、

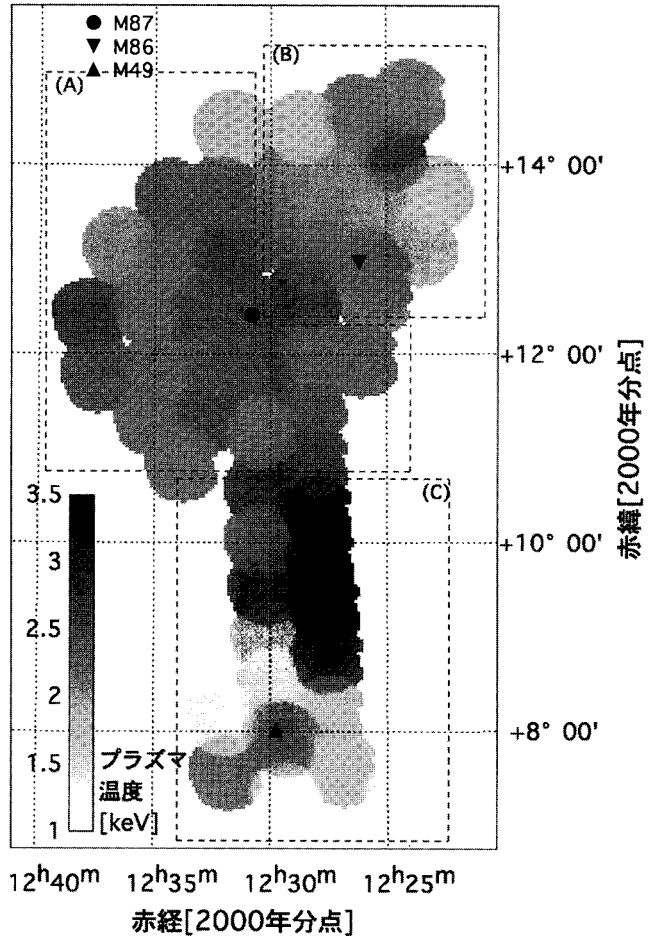


図1 GIS 検出器の視野ごと的高温プラズマの温度分布。図中の●, ▲, ▼は、それぞれM87, M49, M86銀河の位置を表す。領域(A), (B), (C)は、図2で区別した領域(M87周辺, M86周辺, M49周辺)を示す。

～1.0 keV及び～3.0 keVのプラズマ温度を持つ2温度放射モデルで、それぞれM87を包む銀河内ガス（低温成分）及び銀河団全体を覆うガス（高温成分）が視線方向に積分され同時に観測されているものと考えられる。

### 温度分布

初めに、銀河団全体にわたって高温プラズマ（ここでは銀河団成分のガス）の40'スケール（検出器の1視野に相当）での温度分布をスペクトル解

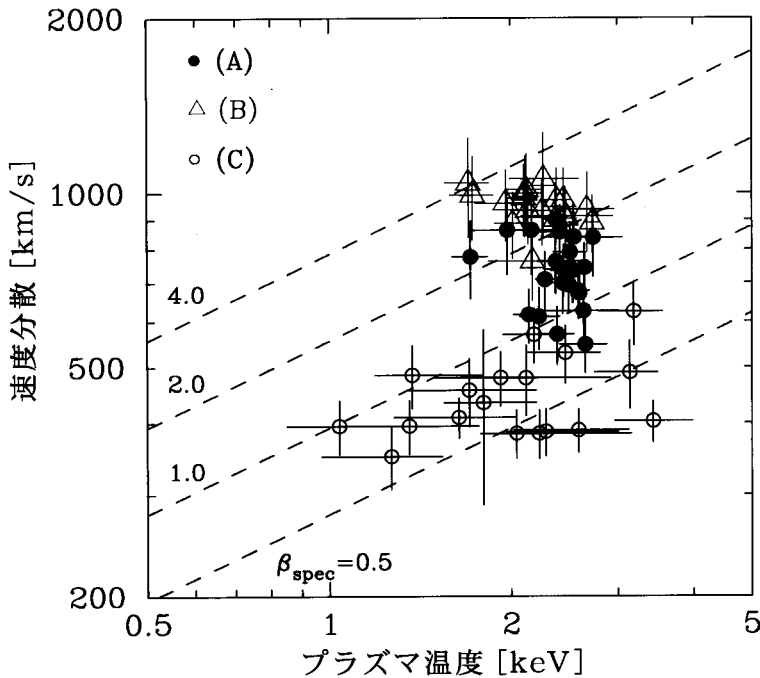


図2 局所的な高温プラズマ温度と銀河の速度分散の関係 (GIS 検出器の視野単位). 図中の●, △, ○は, それぞれ M87 周辺, M86 周辺, M49 周辺を示す (図 1 参照). 点線は,  $\beta_{\text{spec}} = 0.5, 1, 2, 4$  を示す.

析から求めた (図 1 参照). その結果, 銀河団中心であると考えられる M87 周辺 ( $\sim 1^\circ$ ) は比較的等温であるのに対し, それよりも外側の領域では統計誤差以上の温度のバラツキが見られた. また, M49 サブクラスターとつながる領域では, 周囲に比べて 1 keV 以上も温度の高い領域が見つかった<sup>25)</sup>. 前者は, 高温プラズマの密度が銀河団中心付近に比べて 1 桁以上低いため, 熱伝導による等温化が未だ不十分であることを示しており, 後者は, M87, M49 サブクラスター同士の合体衝突に起因する高温プラズマの加熱が起こっていると考えられる.

ここで, 先と同様に  $40'$  スケールでメンバー銀河の局所的な速度分散を求め, 高温プラズマの温度との相関を調べた結果を図 2 に示す. 図中に示した  $\beta_{\text{spec}}$  とは, 銀河の運動エネルギーと高温プラズマの熱エネルギーの単位質量当たりの比で定義される ( $\mu m_p \sigma^2 / kT$ ). 得られた結果は, 銀河団内の

大部分の領域 (M87 周辺, M49 周辺) が  $\beta_{\text{spec}} \sim 1$  の周りに分布しているものの, M87 の北西領域 (M86 周辺) のみ, 非常に大きな  $\beta_{\text{spec}}$  の値 ( $> 2$ ) を示した. これは, 銀河団全体では (特に周辺部で) 温度ムラが観測されているものの, 局所的に見れば, これらの高温プラズマはそれぞれ熱平衡に達しており, メンバー銀河の運動エネルギーで測られる重力ポテンシャルに相当した温度を示していると考えられる. 一方で, M87 の北西領域は, 高温プラズマの温度に比べて, 銀河の速度分散が大きいと考えられる. 理由として, M87 の背後 1 Mpc の距離からおよそ 1000 km/s の相対速度で近づいている M86

サブクラスターの存在によって, そのバルクな運動が求めた速度分散に含まれてしまう効果や, プラズマの重力収縮による加熱が未だ十分で無い可能性が挙げられる.

次に, 高温プラズマの典型的な温度ムラのスケールを探るために, より小さなスケール ( $\sim 5'$ ) での温度分布を求めた (表紙の図参照). ここでは, 得られたデータの 0.7–2.0 keV バンドと 2.0–7.0 keV バンドの光子数の比が温度の関数となることを利用する Hardness Ratio 解析法を用いている. 得られた温度分布の特徴は, 基本的に先のスペクトル解析の結果と一致し, M87 から  $2^\circ$  ほど離れた銀河団周辺部での顕著な温度ムラや, M87–M49 サブクラスター間的高温領域がより鮮明になった. この結果を用いて, 自己相関関数を求めた結果を図 3 に示す. 仮に, 温度ムラが単に統計的なバラツキに依るものであれば, 自己相関関数は, どのよ

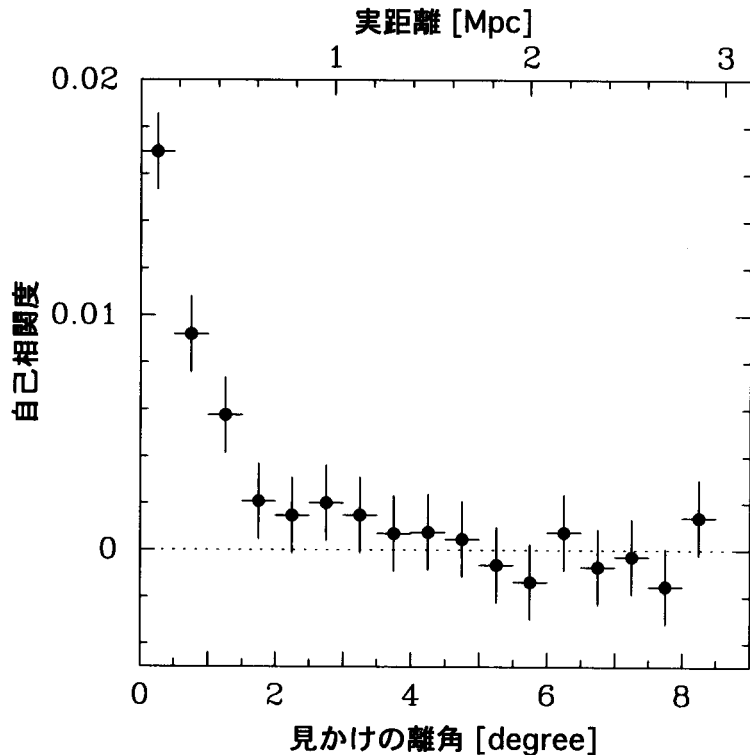


図3 表紙の図で得られた高温プラズマの温度分布の自己相関関数.  $\sim 1^\circ$  以内の距離スケール ( $\sim 300$  kpc) で有意な相関があることを示している.

うな距離スケールでもゼロに落ち着くはずである。しかしながら得られた結果は、 $2^\circ$ 以上の距離スケールでは単に統計的な揺らぎだけで説明できるものの、 $\sim 1^\circ$ 以内の距離スケール ( $\sim 300$  kpc) では有意な相関があることを示した。

以上の結果を踏まえて、高温プラズマの温度分布から「おとめ座」銀河団の力学的進化を考察する。一般に温度ムラをなくすプロセスとして考えられるものは熱伝導であり、そのタイムスケールはおよそ  $2 \times 10^9$  年 (典型的な温度ムラのスケールを 300 kpc, 高温ガスの温度及び数密度を 2.5 keV,  $1 \times 10^{-3} \text{cm}^{-3}$  とした場合) と見積もられる。一方、X線強度 ( $\propto$  ガス密度) 分布がスムーズになるタイムスケールは  $3 \times 10^8$  年と見積もられ、熱伝導によって温度ムラが解消されるタイムスケールよりもかなり短い。得られた X線表面輝度分布は、

M87を中心として温度ムラが見られるスケールではかなり滑らかであり、温度分布との相関も特にない。即ち、現在の「おとめ座」銀河団はプラズマの密度分布はスムーズになったが温度ムラがまだ残っている段階に相当すると予想され、少なくとも今から  $10^8 \sim 10^9$  年以内の比較的最近にガスの加熱が起こっていることを示唆している。また、図3で求めた温度ムラの典型的な距離スケール ( $\sim 300$  kpc) は、一般的な銀河よりは大きく、それが数個集まった銀河群の典型的な大きさに相当し、高温ガスが重力収縮していく際には、200  $\sim$  300 kpc 規模の高温ガスの塊が互いに混ざり合うのではないかと思われる。そして現在観測されている温度ムラは、個々の塊が当初持っていたポテンシャルに相当するガス温度が残っている

ものと考えられる。

先に述べたように、局所的なメンバー銀河集団の速度分散とその領域での高温プラズマの温度との比較から、一部の銀河団ガスはまだ十分に加熱が行われていない可能性が強いことも観測的に初めて明らかになった。これまで「おとめ座」銀河団は、X線表面輝度分布や銀河分布が同心円状ではなく複雑な形をしていることで、進化の段階にある若い銀河団であると認識されてきた。今回の観測によって、高温プラズマの物理状態からそれをより直接的に明らかにすることができたと言える。

### 2.3 「あすか」の他の観測

上に述べた2つの銀河団以外にも、多くの銀河団で、高温プラズマの温度分布が求められてきた。Shibata<sup>26)</sup> は、 $z = 0.1971$  とやや遠方の X線表面輝

度が明らかに2つのピークを示している Abell 115 銀河団の温度分布を求めた。そして、2つの銀河団の相互作用している領域の温度 (11 keV) が、他の2つのピークの領域の温度 (~ 5 keV) より高いことから、これら2つの系は現在衝突合体を起こしていることを示した。Furusho<sup>27)</sup> は、比較的近傍にある A1060 銀河団, AWM7 銀河団, Centaurus 銀河団について、Hardness Ratio 解析法を用いて2次元温度分布を求めた。そして、各銀河団の重元素組成比分布や中心部の低温成分と、X線表面輝度分布からは直接見えない温度構造を比較することで、銀河団の形成過程に対する具体的な描像を導き出した。また、Ikebe<sup>28), 29)</sup> は、Centaurus 銀河団, Fornax 銀河団, Hydra A 銀河団の1次元温度分布を調べ、これを元に、これらの銀河団の重力ポテンシャルの分布についての議論を詳細に行った。

また、個々の銀河団の温度分布を求めた論文だけでなく、多くの銀河団の温度分布から、その特徴についての議論も行われた。Markevitch<sup>30)</sup> は、ROSAT 衛星のイメージを利用して「あすか」の像の広がりを考慮することで、30個の銀河団の1次元、または2次元の温度分布を求め、銀河団の外側で、多くの銀河団のプラズマ温度が下がっていると指摘した。これに対し、White<sup>31)</sup> は、エネルギーバンドごとにイメージを分け、望遠鏡で広がったイメージを元に戻し、その後、銀河団の動径方向の1次元温度分布をスペクトルフィットで求めるという手法で、106個の銀河団の温度分布を求め、銀河団の外側まで、温度は等温になっていると結論付けた。その後出された、ROSAT 衛星の Hardness Ratio を使った解析<sup>32)</sup> や、Beppo SAX<sup>33)</sup> の解析結果では、等温説を支持している。この問題については、現在のところ、まだ論争中である。

### 3. まとめ

10 keV の高エネルギー帯域にまで優れた感度と撮像能力を持つ「あすか」の登場により、銀河団を包む高温プラズマの温度分布が詳細に調べられ

るようになった。その結果、X線表面輝度分布が比較的同心円状でスムーズであることから、十分に進化を遂げたと考えられてきた銀河団についても、激しい温度構造が発見され、X線表面輝度分布が必ずしも銀河団の力学的進化の指標になり得ないことが明らかになった。

今回詳しく述べた2つの大光度近傍銀河団で得られた高温プラズマの温度構造は、以下の原因により生じたものだと考えられる。

(1) 銀河団同士、又は銀河団とサブクラスターの衝突合体による加熱

(「かみのけ座」銀河団の北西部、「おとめ座」銀河団の M87-M49 中間領域)

(2) 重力収縮による加熱

(「おとめ座」銀河団の周辺部)

前者は、熱伝導による温度ムラ解消のタイムスケールの見積もりから、 $10^8 \sim 10^9$  年前—宇宙年齢に比べればごく最近—にこれらの温度構造が作られていることを物語っている。また後者は、我々に最も近い「おとめ座」銀河団の観測によって初めて得られた証拠であり、高温プラズマが銀河団周辺部では未だ十分な加熱が起こっておらず、銀河群スケールのガスの塊が重力収縮していくうえで、当初のポテンシャルを反映していることで説明できる。以上のことから、これら二つの要因が合わさり、程度は異なるもののほとんどの銀河団は、未だ力学的進化の中途段階にいるものと思われる。

2000年に入り、大集光力・高空間分解能力を持つX線望遠鏡を搭載した Chandra 衛星, XMM-Newton 衛星が始動し、現在、さらに詳細な高温プラズマの温度分布や重元素組成比分布の結果が、少しずつ明らかになってきている。また、2004年度打ち上げ予定の ASTRO-E II 衛星に搭載されるX線マイクロカロリメータでは、高温プラズマ内の重元素からの特性X線のエネルギーを現在主流のX線 CCD カメラよりもさらに1桁高いエネルギー分解能で捉えることが可能となる。これによって、

高温プラズマの 100 km/s 規模の運動を直接観測的に探ることが初めて可能となり、銀河団の力学的進化を探る上で貴重な情報を得ることになるであろう。これらの外的・内的側面から、高温プラズマの物理状態を探ることで、未だ活発に成長を続ける銀河団の素顔にさらに迫ることができると思われる。

### 謝辞

著者らが中心となって行なってきた「かみのけ座」銀河団、「おとめ座」銀河団の温度分布の研究には、山下広順教授（名古屋大学理学部）、大橋隆哉教授（東京都立大学理学部）をはじめとする、多くの方の御指導をいただきました。また、解析ツールを開発した、SimASCA, SimARF チームをはじめ、「あすか」の管理、運用に携わった「あすか」チームの皆さんに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) David L. P., et al., 1993, ApJ, 412, 479
- 2) Briel U. G., Henry J. P., 1994, Nature, 372, 439
- 3) Davis D., White III, R. E., 1998, ApJ, 492, 57
- 4) Henry J. P., Briel U. G., 1995, ApJ, 443, L9
- 5) David L. P., Jones C., Forman W., 1996, ApJ, 473, 692
- 6) Sarazin C. L., Mcnamara B. R., 1997, ApJ, 480, 203
- 7) Huang Z., Sarazin C. L., 1998, ApJ, 496, 728
- 8) Briel U. G., Henry J. P., 1996, ApJ, 472, 131
- 9) Henry J. P., Briel U. G., 1996, ApJ, 472, 137
- 10) Schindler, S., Muller E., 1993, A&A, 272, 137
- 11) Roettiger, K., Loken C., Burns J. O., 1997, ApJS, 109, 307
- 12) Ricker P. M., 1998, ApJ, 496, 670
- 13) Roettiger K., Burns J. O., Pinkney J., 1995, ApJ, 453, 634
- 14) Roettiger K., Stone J. M., Mushotzky R. F., 1998, ApJ, 493, 62
- 15) Takizawa M., 1999, ApJ, 520, 514
- 16) Biviano A., et al., 1996, A&A, 311, 95
- 17) Vikhlinin A., Forman W., Jones C., 1997, ApJ, 474, L7
- 18) Watanabe M., et al., 1999, ApJ, 527, 80
- 19) Honda H., et al., 1996, ApJ, 473, L71
- 20) Binggeli B., et al., 1985, ApJ, 90, 1681
- 21) Binggeli B., et al., 1993, A&AS, 98, 297
- 22) Boehringer H., et al., 1994, Nature, 368, 828
- 23) Shibata R., et al., 2001, ApJ, 549, in press (Astroph/0010380)
- 24) Shibata R., et al., 2001, in preparation
- 25) Kikuchi K., et al., 2000, ApJ, 531, L95
- 26) Shibata R., et al., 1999, ApJ, 524, 603
- 27) Furusho T., et al., 2001, PASJ, submitted
- 28) Ikebe Y., 1996, PhD thesis (University of Tokyo)
- 29) Ikebe Y., et al., 1997, ApJ, 481, 660
- 30) Markevitch M., et al., 1998, ApJ, 503, 77
- 31) White D. A., 2000, MNRAS, 312, 663
- 32) Irwin J. A., Bregman J. N., 1999, ApJ, 519, 518
- 33) Irwin J. A., Bregman J. N., 2000, ApJ, 538, 543

URL 1)

<http://www.u.phys.nagoya-u.ac.jp/~watanabe/cluster-topics.html#temp-distribution>

### Temperature Distribution of the Hot Intra-Cluster Medium in the Clusters of Galaxies observed with ASCA

Ryo SHIBATA<sup>1</sup> & Manabu WATANABE<sup>2</sup>

1: Department of High Energy Astrophysics, Institute of Space and Astronautical Science, 3-1-1, Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa 229-8510 Japan

2: Japan Science and Technology Corporation (JST), Kawaguchi center building, 4-1-8, Motomachi, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

Abstract: ASCA satellite provided first comprehensive spatially resolved spectroscopy in 0.5–10 keV band, and its capability enabled us to look into detailed structure in the plasma temperature distributions in clusters of galaxies. The origins of the temperature structure are thought to be a cluster merger, and collapse of a dark halo. They give us important clues to know when clusters were formed and how those were evolved. Here, we present the results of the temperature distributions of the clusters derived with ASCA, especially in two nearby rich clusters, the Coma and the Virgo clusters.