

低X線表面輝度銀河団の 正体を追う



馬場崎



三石



太田

馬場崎 康 敬¹・三石 郁 之²・太田 直 美³

〈^{1,2}名古屋大学大学院理学研究科 〒464-8602 名古屋市千種区不老町,³奈良女子大学研究院自然科学系 〒630-8506 奈良市北魚屋西町〉

e-mail: ²mitsuisi@u.phys.nagoya-u.ac.jp, ³naomi@cc.nara-wu.ac.jp〉

ROSAT全天サーベイにより、力学的に安定した緩和銀河団と比べX線表面輝度が非常に低い奇妙な種族が発見された。これらは低X線表面輝度銀河団と呼ばれ、その暗さゆえ詳細解析が難しく、発見以来30年近く経つが、その起源はいまだ謎に包まれたままである。筆者らはその起源を探るべく、豊富なX線および可視光データを有する低X線表面輝度銀河団Abell 1631およびAbell 2399に着目し、詳細解析を行った。結果、緩和銀河団で見られる型とおりの分布と比較し、フラットな高温ガスの密度・エントロピー分布、中心領域での高いエントロピー、および高温ガスと銀河密度分布の弱い空間的相関、双方のクランプ中心位置の乖離、という観測事実が両銀河団で明らかになった。筆者らはこれらの観測的結果は、衝突・合体イベントおよびそこで生じるガスのかき混ぜ効果により説明しようと結論づけた。

1. 低X線表面輝度銀河団の発見

1990年に打ち上げられたX線観測衛星ROSATにより、X線を用いた銀河団研究はさらなる飛躍のときを迎えた。ROSATは1990-1991年にかけて、撮像望遠鏡を用いた初の全天X線観測を実施し、10万を超えるX線源を検出した¹⁾。この中には1,000を超える銀河団が含まれており^{2),3)}、形態が規則／不規則的なものから全体質量に対するガスの割合が大きい／小さいものなど⁴⁾、X線で検出された銀河団という一つの集合におけるそれぞれの個性（種族）にもフォーカスが当てられるようになってきた。

この中のサブサンプルに対し、X線表面輝度の動径分布を調査した結果、中心領域以外 ($0.2 \leq r/r_{200}$, r_{200} : 平均質量密度が銀河団のいる赤方偏

移における臨界密度の200倍となる半径、典型的には2 Mpc程度)ではサンプル間で驚くほど良い一致が確認されたが、特にその中心領域 ($r/r_{200} \leq 0.2$)で2桁近くの大きなばらつきが見られ周囲を驚かせた⁵⁾⁻⁷⁾。これは、一般に、ダークマターが作る重力ポテンシャルに落ち込んだ銀河団ガスが、静水圧平衡のもと、中心部に密度の高いコアとべき関数的に減少するエンベロープをもつ、普遍的な規格化表面輝度動径分布をもつことが期待されていたためである⁸⁾。

驚きはこれにとどまらなかった。ROSAT衛星が見つけた銀河団の中に中心付近のX線表面輝度が極端に低いものが数個含まれていた。このような暗い天体が、本稿で注目する低X線表面輝度銀河団(図1参照)である。これらの銀河団は輝度が低いことに加え、“コアとエンベロープ”とい

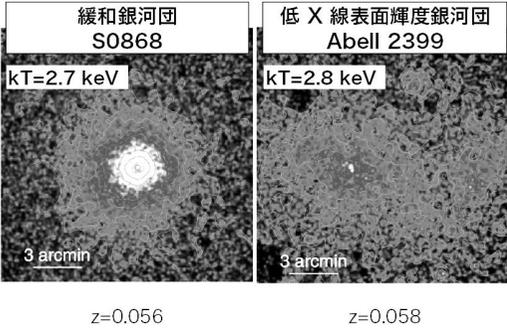


図1 力学的に緩和している緩和銀河団S0868 (左) と低X線表面輝度銀河団Abell 2399 (右) のX線イメージの比較. 温度と赤方偏移はほぼ同じであり, カラースケールはそろっているにもかかわらず, 中心の輝度に明確な差異があり, 低X線表面輝度銀河団にはガスコアがないのがわかる.

ういわれる銀河団らしい分布を示さない. つまり, これといったガスコアを持たないのである. もしかするとコアができる前の若い天体なのだろうか, あるいはそもそもガスの量が少ないのだろうか. ガスの性質を調査しようにも, ROSAT衛星で, 検出された光子は数えるほどしかなかった. そのため, 薄く広がった放射に高い感度を有するすぐくやXMM-Newton衛星が登場するまで, この特異な銀河団への疑問はしばらく研究者の記憶の中にしまわれたままであった.

2. ガスエントロピーが高すぎる?

再び脚光を浴びたのはX線表面輝度でなくエントロピーという観測量を介してであった. ここでエントロピーの定義は, 熱力学の教科書と厳密には異なるが, 単原子理想気体を仮定し, $k_B T/n^{2/3}$ (T, n は各々温度と密度. 単位は $[\text{keV cm}^{-2}]$) で与えられる. 低X線表面輝度銀河団は, どうやら熱力学的な性質においてもユニークであることがわかってきたのである.

一般に, 銀河団の形成過程において, ガスは

ダークマターポテンシャルに落ち込むさいに断熱圧縮により加熱され, 同時に衝撃波によりエントロピーが注入される. こうして銀河団の成長とともにエントロピーも増大すると考えられる. このような過程が支配的であれば, エントロピーは天体の規模で規格化することで普遍的な動径分布を示すことがシミュレーションにより予想されている⁹⁾.

では, 低X線表面輝度銀河団のエントロピーはどうか. すぐく衛星を用いて最初に観測したのは, 最も輝度が低い銀河団の一つであるAbell 76 (赤方偏移0.04) である. ROSATでは1,000秒程度のデータしかなかったが, すぐく衛星の安定したバックグラウンドも幸いして, 延べ39キロ秒の観測により中心から半径850 kpcというかなり外側の領域までX線分光データを取得し, ガス温度やエントロピーの測定に成功した. その結果, ガス温度は約3 keV^{*1}である一方, エントロピー動径分布はほぼ平坦で中心で400 keV cm⁻²と, 上記の重力加熱モデルから予想される値の2倍以上の値をもつことがわかった¹⁰⁾.

これは, ガス温度のわりにガス密度が低すぎるとすることもできるが, 形態が不規則型で見た目には‘若い’天体がなぜ成長の証である高いエントロピーを獲得し得たのだろうか. 活動銀河核による加熱も非現実的である. またこの天体には, 衝突・合体イベント真っ只中にしばしば見られる高温領域も特に見当たらない. このように, 特徴的な性質を定量的に示すことはできたものの, その正体解明には至らなかった.

3. 低X線表面輝度銀河団Abell 1631とAbell 2399

そこで筆者らは, 謎のベールに包まれた低X線表面輝度銀河団の正体を探るべく, Abell 1631とAbell 2399に着目した. 両銀河団は近傍かつすぐ

*1 高エネルギー物理学ではしばしば温度を電子ボルトで示す慣例がある. 1キロ電子ボルトはおよそ1,000万度に対応する.

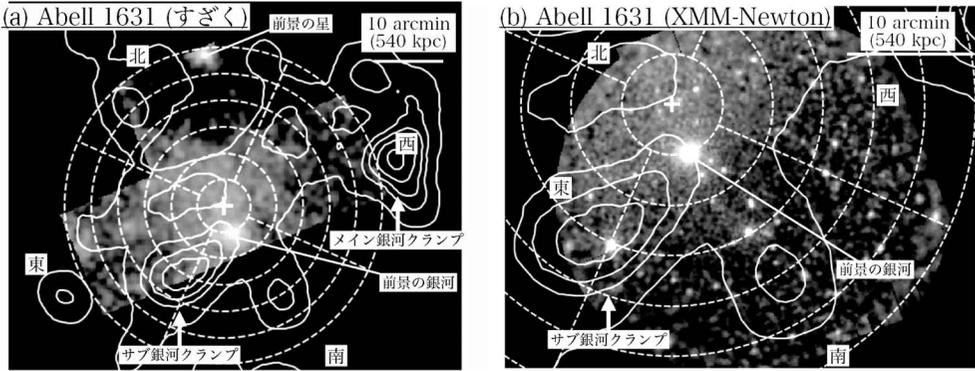


図2 Abell 1631の (a) すざく衛星および (b) XMM-Newton衛星による同領域X線イメージ (0.5–5.0 keV) に288個の分光銀河個数密度分布コンタが重ねてある。ただしスムージングが施されている。点線で示された円環領域は分光解析にて用いられた領域であり、方位角依存性を調べるため東西南北が定義されている。また、最も大きな二つの銀河クラumpはメイン/サブ銀河クラumpと定義されており、X線輝度ピーク位置は十字マークで示されている。

くとXMM-Newton両衛星のX線データがあり、加えて豊富な可視光分光データ^{11)–13)}がある唯一のサンプルとなる。すざく衛星は低くかつ安定したバックグラウンドを活かし、輝度の低いプラズマの分布や、銀河団の特徴的な大きさを示すピリアル半径に至るまでの高温ガスの分光特性を調査するうえで有用である。XMM-Newton衛星の特長は、15秒角程度の角度分解能と大きな有効面積であり、輝度や温度などの不連続面探査や多波長データと組み合わせた詳細な空間分布の議論などに威力を発揮する。

一方、可視光分光データはメンバー銀河の選定やその空間分布調査、速度分散を用いたダークマターの質量推定など、X線データとは独立にさまざまな相補的な情報収集に役立つ。さらにはこれらの情報を組み合わせることで、力学特性への制限も試みる。

3.1 Abell 1631のX線・可視光特性

Abell 1631のすざく・XMM-Newton両衛星によるX線イメージを図2に示す。すざくイメージから高温ガスがMpcスケールで広く不規則に分

布していることが明らかになり、XMM-Newtonイメージと合わせることで特に南側領域のガス量が極端に少ないことがわかる。次に東西南北に分け、各方位角方向に対し分光解析を実施し、ガスの温度・密度・エントロピーの動径分布をピリアル半径まで調査した。結果、クールコア^{*2}は存在せず、特に密度・エントロピー分布は力学的に緩和している緩和銀河団と比較しフラットな動径分布を示した。南側では中心から動径距離 ≥ 650 kpc領域でのガスの有意な検出はなく、エラーが大きかったこともあるが、その他顕著な方位角方向による違いは見られなかった。さらに中心領域 ($r/r_{200} \leq 0.1$) の密度 (方位角方向の平均値: $\sim 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$) は、温度 (~ 2.9 keV) からの予想値より低く、ゆえにエントロピーは高い値 ($\geq 400 \text{ keV cm}^{-2}$) を示した。ここでもこの高いエントロピー値は活動銀河核だけでは説明できなかった。なお、輝度や温度の不連続面は検出されなかった。これらは先行研究であるAbell 76と同様の観測的特徴を示す結果となった。

次に可視光データに目を移してみよう。先行研

*2 衝突・合体現象を長年経験していない力学的に十分緩和した銀河団中の高温ガスの温度は、100 kpc程度を境に中心に向かって下がっていく傾向が見られる¹⁴⁾。この低温の中心領域はクールコアと呼ばれている。

究でメンバー銀河と同定された分光銀河個数密度分布コントアを図2に重ねた。まず、銀河個数密度分布も緩和銀河団で見られるような球対称形をなしておらず、複数のクランプ構造を有していることがわかる。最も大きな二つの銀河クランプをメイン（図2(a)中の西側）/サブ（東側）銀河クランプと定義すると、メイン銀河クランプはすざぐ衛星の視野外ではあるものの、全天をカバーしている ROSAT衛星データを調べても周辺に対応するX線源は見当たらない。加えて、サブ銀河クランプの中心位置とX線輝度ピーク位置も大きく (>100 kpc) 離れていることがわかった。また極端にガスの少ない南側領域にも多くのメンバー銀河が存在しており、銀河とガス分布が大きく乖離していることもわかる。さらには観測された高温ガスのX線光度は、メンバー銀河の速度分散から予想されるX線光度¹⁵⁾と比較すると1/4程度と低いことがわかった¹⁶⁾。

- 以上、特筆すべき観測の特徴をまとめてみると、
- (1) 高温ガスの密度・エントロピーの動径分布は緩和銀河団と比較しフラットな傾向
 - (2) 高温ガスの中心 ($r/r_{200} \leq 0.1$) エントロピーが重力加熱モデルのみから予想され

る値より大きい

- (3) メンバー銀河の個数密度分布において複数のクランプ構造が検出
- (4) 銀河クランプとガスクランプのピーク位置が100 kpcスケールでずれており、お互いの分布に相関が見られない

といったところであろうか。さて、これらの結果から Abell 1631の正体についての議論を始める前に、ここでいったん本稿で着目しているもう一つの低X線輝度表面銀河団である Abell 2399の観測結果も見てみよう。

3.2 Abell 2399のX線・可視光特性

Abell 2399のすざぐ・XMM-Newton両衛星によるX線イメージを図3に示す。Abell 1631と同様、Mpcスケールで広がる非対称な高温ガスの存在が明らかになった。さらに二つ目玉の構造も興味深い特徴である。先行研究¹⁷⁾でもこの構造については言及されており、高温ガスの形態が複雑であること、また中心の密度が低く⁷⁾、エントロピーが高い可能性も示唆されている¹⁸⁾。しかしながら本天体にスポットを当て、その起源を探るためのX線詳細解析や多波長データを用いたアプローチはなされてこなかった。

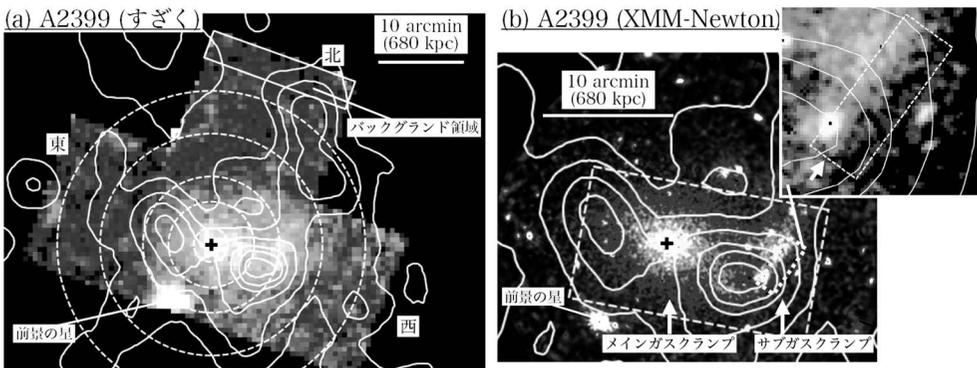


図3 Abell 2399の (a) すざぐ衛星および (b) XMM-Newton衛星による同領域X線イメージ (0.5-5.0 keV) に234個の銀河個数密度分布コントアが重ねてある。ただしスムージングが施されている。点線で示された円環および長方形の領域は分光解析にて用いられた領域であり、特に前者については方位角依存性を調べるため東西南北が定義されている。また、最も明るいガスクランプはメイン/サブガスクランプと定義されている。(b)の右上部分には輝度不連続面が検出された領域の拡大図も示しており、矢印が不連続面に対応している。X線輝度ピーク位置を十字印で示す。

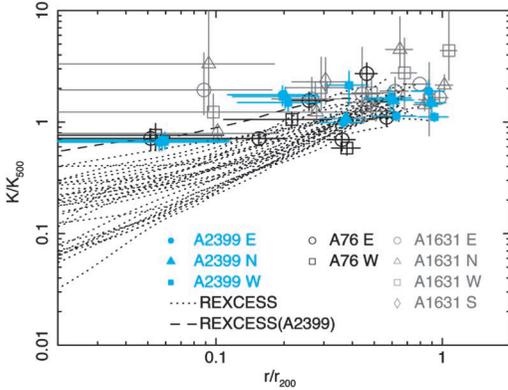


図4 Abell 2399 エントロピー動径プロファイル¹⁹⁾. 縦軸は r_{500} でのエントロピー値で規格化されている. 比較のため低X線表面輝度銀河団 Abell 76¹⁰⁾, Abell 1631¹⁶⁾ および他銀河団サンプル結果¹⁸⁾ も示す. 本稿で紹介した Abell 76, Abell 1631, Abell 2399 は顕著に中心領域のエントロピーが高く, またビリアル半径にかけてフラットな分布を示している.

筆者らは Abell 1631 と同様の解析を実施したところ, 驚くべきことに観測結果 (1)–(4) すべての傾向が本天体にも見られた¹⁹⁾. 中心の高いエントロピーについては, やはり活動銀河核によるフィードバックで説明することは難しそうだ. 実際に得られたエントロピーの動径分布を図4に載せる. 縦軸は r_{500} でのエントロピー値で規格化してあるが, 他銀河団と比較すると特にその中心領域 ($r/r_{200} \leq 0.1$) での値が高く, ビリアル半径に至るまでフラットであることが見てとれる. これらは他の低X線表面輝度銀河団 Abell 76, Abell 1631 と共通の傾向である.

また筆者らは Abell 2399 のみで見られた特徴的な構造である二つ目玉のガスクランプに着目し解析を進めた. この二つ目玉のガスクランプを, 各々メイン (図3(b) 中の東側) / サブ (西側) ガスクランプと定義し, まずはこの二つのガスクランプ間をつなぐ領域の分光解析を行い, その輝度および温度分布を調べた (図5参照). 結果, 輝度はメイン/サブクランプにてピーク構造をもつものの, 温度については明確なピークが存在せ

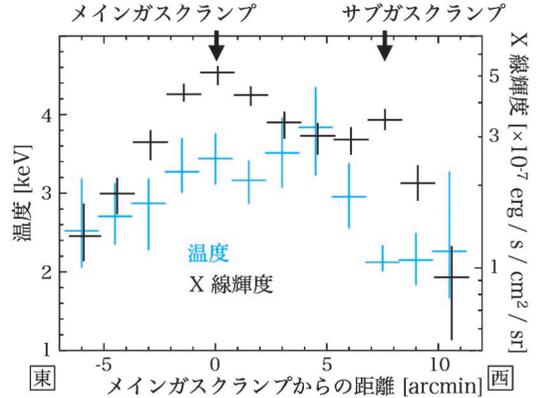


図5 Abell 2399 中のメイン-サブガスクランプ間を結ぶ軸上の温度および輝度分布. 輝度ピークと温度ピークが一致せず, かつメイン/サブガスクランプ間で温度がフラットになっている.

ず, ガスクランプ間は ~ 3 keV 程度でフラットとなっていた. これはガスクランプ間での何らかの相互作用 (= 加熱機構) の可能性を示唆する. 一方, メイン/サブガスクランプ間の外側ではやや温度が下がる傾向が見え, 特にサブガスクランプから西側領域では, メインガスクランプ東側領域と比較し急な減少 (~ 1 keV) を示し, 非対称性も検出された.

さらに筆者らは輝度の不連続面探査を行った. 結果, 図3(b) 中で示されているサブガスクランプの西側縁部にて, 図6のような輝度不連続面を発見 (F 検定により $>97\%$ の有意度) した. 輝度のとびは1.6倍程度となり, また不連続面をまたぐ内側 (図3(b) 東側に対応し, 密度の高い側), 外側 (西側に対応し, 密度の低い側) 領域のガス温度はそれぞれ約 1.8, 3.7 keV となっていた. よって, 高密度側で温度が低く, 不連続面はいわゆるコールドフロントと考えられる²⁰⁾. またこの境界面ではエラーの範囲で圧力平衡と考えて矛盾がない.

3.3 起源の議論: キーワードは衝突・合体!?

ここでは低X線表面輝度銀河団 Abell 1631, Abell 2399 の正体を議論するうえで, 緩和銀河

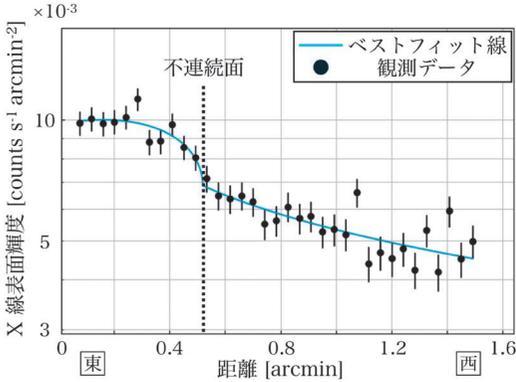


図6 Abell 2399のサブガスクラump縁部で検出された輝度分布上の不連続面。観測データ（黒丸）に対し、密度としてべき型を仮定し、視線方向に積分した関数でフィッティングを試みた。点線は不連続面の位置を表す。

団・原始銀河団・衝突銀河団の特徴と比較し、論じていくことにする。

緩和銀河団は力学的に平衡状態にある、いわゆる（さまざまな物理量の間スケール則が成り立っているような）型にはまった種族である。しっかりとした型にはまるには、大規模な衝突・合体イベントを経たのち、それなりの時間を要する。低X線表面輝度銀河団はもともとほぐれもの(!?)の集まりとして知られてはいたが、本稿ではさらに定量的に密度やエントロピー分布、および可視光観測結果が加わり、観測結果(1)-(4)すべての項目について緩和銀河団と一致しない結果となった。よって緩和銀河団とは違う進化段階にあると結論づけることができる。

では極端な例として、原始銀河団ではどうか。原始銀河団は近傍宇宙でわれわれが目にする立派な銀河団の祖先に当たるものであり、まさに成長しつつある実年齢の非常に若い銀河団に対応する。原始銀河団は主に可視光・赤外・電波などを

用いて比較的赤方偏移の大きな ($z \geq 2$) ところで銀河集団として検出されることが多い²¹⁾。付随する高温ガスの観測例は非常に限られており²²⁾、その温度・密度の空間分布はいまだわかってはいないものの、いわば成長の証であるエントロピー値が高いという、上記観測結果(2)を説明することは難しい。また先行研究²³⁾において、成熟した銀河団中の早期型銀河が示す色等級関係^{*3}が、両銀河団ですでに形成されているという報告もこれをサポートする。よって、原始銀河団もすべての観測的結果を説明するには至らない。

最後に衝突銀河団はどうだろう。大別して衝突前・衝突真っ只中・衝突後という分類があるが、特に後者二つのフェーズでは温度・密度・エントロピー分布が複雑になる。この分布は二つの銀河団の質量比や衝突時のインパクトパラメータ、合体後の時間に大きく依存するため、必ずしもこのフェーズにあると考えられている観測例がフラットな密度・エントロピー構造を示しているわけではない。しかしながら衝突合体を経ることで、両銀河団において、エントロピーの低い内側の高密度ガスと高い外側の低密度ガスのかけ混ぜが促進される。結果、今回観測されたような中心領域での高かつフラットなエントロピー分布と同時に、密度も平均化され低輝度となることがシミュレーションにより予想されている²⁷⁾（観測結果(1), (2)を説明）。

さらにこれらの衝突フェーズでは、ダークマターや銀河などの無衝突系成分と、そうでないガスのような成分の分布が顕著にずれ、どちらの成分も複数のクラump構造をもちうることは観測的にもよく知られている²⁸⁾（観測結果(3), (4)を説明）。衝突銀河団では、衝突の真っ只中では一時的にガスが圧縮され輝度や温度が上がるが、その

*3 成熟した銀河団の早期型銀河は、その色と明るさの間に強い相関があり、明るいほど赤いことが知られている²³⁾。これらは近傍銀河団のみならず $z \geq 1$ の高赤方偏移銀河団でもその形成が観測的に示されているが²⁴⁾、原始銀河団では形成途中にあるという観測結果も報告されている^{25), 26)}。

後は放射冷却およびダークマターによる束縛から逃れ拡散してしまうガスが出てくるため、X線光度が始状態より下がってしまう可能性がある²⁹⁾。そのため観測されたX線光度が速度分散から予想されたものより低かったことにも説明がつく。また、しばしば衝突銀河団中で見られるガスクラump間でのフラットな温度構造や、輝度不連続面がAbell 2399でも発見されたことにも納得がいく。

以上より、どうやら衝突銀河団という描像はわれわれの観測結果と矛盾しないようだ。筆者らはAbell 1631 & Abell 2399両銀河団中の銀河クランプの速度分散を調べ、ダークマター質量を推定したところ、メインとサブの質量比はそれぞれ2-3:1程度であり、同程度の質量をもつもの同士の衝突であることが示唆された。ガスのかき混ぜは、質量が近い衝突ほど効果が大きいことがシミュレーションから予想されているため、この質量比が低X線表面輝度銀河団誕生の鍵を握っているのかもしれない。Abell 76についても、可視光観測はないものの、X線形態や分光特性はAbell 1631と多くの類似点を持つため、同様のシナリオで説明できる可能性がある。最後に、これら両銀河団は超銀河団中に存在するため、このような衝突・合体現象が頻繁に起きうる環境にいたことも付け加えておく。

4. 今後への展望と期待

筆者らは、1990年初めに発見されて以来、多くの謎に包まれていた低X線表面輝度銀河団の正体を探るべく、X線・可視光データをもとにAbell 1631およびAbell 2399に着目し解析を進めてきた。結果、上述のようにその謎を解くキーワードが“衝突・合体”であろうことを突き止めた。この描像を検証するにはやはりダークマター分布が重要であろう。よって筆者らは弱い重力レンズを用いたフォローアップ観測の実施を目指し準備を進めている。またその他の低X線表面輝度銀河団にも同様の解析手法を適用し、系統的な調

査にも乗り出したいと考えている。

本描像がその他の低X線表面輝度銀河団にも当てはまる場合、我々は多くの衝突銀河団、ひいては銀河団の個数密度を低く見積もっている可能性がある。特に大質量銀河団が含まれていた場合、宇宙論パラメータにも影響する。またこの中心エントロピーの“超過”の度合いは、質量比やインパクトパラメータなどの衝突条件に大きく依存し、かつ衝突後もその状態を保ち続ける可能性もあるため、緩和銀河団で観測されているエントロピー超過現象の一部の起源となっているかもしれない。いずれにしろこれらの低X線表面輝度銀河団は、今年打ち上げが予定されているROSATの後継機であり、より大きな有効面積で全天掃天を行うSRG衛星搭載軟X線観測装置eROSITAにより再び脚光を浴びることになるであろう。

謝辞

本稿の内容は筆者らの博士論文³⁰⁾や投稿論文^{15), 19)}の内容に基づいている。この場を借りて共著者の方々に深く感謝いたします。また、本稿の執筆を勧めていただいた岡部信広編集委員に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Boller, Th., et al., 2016, A&A, 588, A103
- 2) Böhringer, H., et al., 2013, A&A, 555, A30
- 3) Böhringer, H., et al., 2017, AJ, 153, 220
- 4) Popesso, P., et al., 2007, A&A, 461, 397
- 5) Neumann, D. M., & Arnaud M., 1999, A&A, 348, 711
- 6) Ota, N., & Mitsuda, K., 2004, A&A, 428, 757
- 7) Croston, J. H., et al., 2008, A&A, 487, 431
- 8) Navarro, J. F., et al., 1997, ApJ, 490, 493
- 9) Voit, G. M., et al., 2005, MNRAS, 364, 909
- 10) Ota, N., et al., 2013, A&A, 556, A21
- 11) Smith, R. J., et al., 2004, AJ, 128, 1558
- 12) Valentinuzzi, T., et al., 2009, A&A, 501, 851
- 13) Moretti, A., et al., 2017, A&A, 599, A81
- 14) Zhang, Y. -Y., et al., 2011, A&A, 526, A105
- 15) Babazaki, Y., et al., 2018, PASJ, 70, 57
- 16) Maughan, B. J., et al., 2012, MNRAS, 421, 1583
- 17) Böhringer, H., et al., 2010, A&A, 514, A32
- 18) Pratt, G. W., et al., 2010, A&A, 511, A85
- 19) Mitsuishi, I., et al., PASJ, 70, 112

20) Ghizzardi, S., et al., 2010, A&A, 516, A32
 21) Toshikawa, J., et al., 2016, ApJ, 826, 114
 22) Wang, T., et al., 2016, ApJ, 828, 56
 23) Valentinuzzi, T., et al., 2011, A&A, 536, A34
 24) Snyder, G. F., et al., 2012, ApJ, 756, 114
 25) Kodama, T., et al., 2007, MNRAS, 377, 1717
 26) Zirm, A. W., et al., 2008, ApJ, 680, 224
 27) Zuhone, J. A., 2011, ApJ, 728, 54
 28) Clowe, D., et al., 2004, ApJ, 604, 596
 29) Mastroiello, C., & Burkert, A., 2008, MNRAS, 389, 967
 30) 馬場崎康敬, 2018, 博士論文 (名古屋大学)

Exploring the Origin of Low X-Ray Surface Brightness Clusters

Yasunori BABAZAKI, Ikuyuki MITSUISHI, and Naomi OTA

¹ Graduate School of Science, Nagoya University,

² Faculty of Science, Nara Women's University

Abstract: The *ROSAT* All-Sky Survey revealed a strange cluster population with extremely lower X-ray surface brightness compared to dynamically relaxed clusters around 30 years ago. However, the origin of the low X-ray surface brightness clusters (LXBCs) still remains a mystery. To explore the origin, we focused on two LXBCs, i.e., Abell 1631 and Abell 2399, which have rich X-ray and optical data. Our imaging and spectroscopic analysis demonstrated some interesting signatures: flatter density and entropy profiles and a high-entropy core compared to relaxed clusters, a weak spatial correlation in the gas and galaxy distributions, and, a large spatial offset between the peaks of the hot gas and galaxy clumps. To explain the results, we propose a scenario that an ICM mixing induced by a merger event produces such observational features.