

# X-ray substructure in clusters of galaxies and its implications for the physics of the intergalactic plasma

その他のタイトル	銀河団内のX線構造の研究と銀河間プラズマ物理への示唆
学位授与年月日	2016-03-24
URL	<a href="http://doi.org/10.15083/00073281">http://doi.org/10.15083/00073281</a>

# 論文審査の結果の要旨

氏名 一戸 悠人

銀河団は宇宙最大の重力束縛系であり、銀河団ガス (ICM) と呼ばれる高温のプラズマをつなぎとめている。この ICM は観測されるバリオンの大部分を占めるが、その運動や輸送に関するミクロな物理的性質については未だに理解されていない点が多い。本論文は、ICM が放つ X 線の観測を通して、その解明に取り組んだものである。本論文は全体で8つの章から構成されている。第1章の序論に引き続き、第2章では銀河団および ICM に関するこれまでの研究のレビューを行っている。第3章で観測に用いた3つの X 線衛星 (Chandra, XMM Newton, Suzaku) の概要を、第4章でデータ解析の手法について述べた後、第5章、第6章、第7章で3つの異なる銀河団 (Abell 85、ペルセウス座銀河団、Abell 3667) について、それぞれ解析と考察を行っている。第8章ではそれらの結果をまとめた結論と、将来への展望が記述されている。主な成果は以下の通りである。

Abell 85 銀河団では、3つの X 線衛星の観測データを相補的に用いることにより、主銀河団と南側に位置する副銀河団の相互作用を詳しく調べている。副銀河団が主銀河団と接する部分で、主銀河団のガスの流れ (Gas Sloshing) によって、およそ 200 kpc にわたって直線状に副銀河団のガスが剥ぎ取られている現象を見出した。そのサイズスケールの解析から、直線構造において強い乱流やガス拡散などの輸送現象が強く抑制されていることを示し、銀河団衝突における ICM の振舞いの理解を深めた。

ペルセウス座銀河団においては、Chandra 衛星で取得された高解像度 X 線イメージを詳細に解析し、北東部で Gas Sloshing によって生じたと考えられる二重のコールドフロントを検出した。さらに、この2重構造は表面輝度分布だけではなく、温度、電子密度、圧力などの変化としても確認された。また、X 線スペクトルの解析から、この領域の X 線放射は2温度成分からなっていることが示され、2重構造の中間部分の高温成分は2重構造の外側の部分の温度と、低温成分は内側の部分の温度と一致することなどから、流体計算モデルも参考にして、この2重構造が Kelvin Helmholtz 不安定性によって生じた可能性を指摘した。また、この不安定性が最終的に乱流として散逸する際の加熱効率をおよそ  $3 \times 10^{-26} \text{ erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$  と見積もり、それが冷却効率とバランスしていることを示した。また、この銀河団の西部に見られる楕円状構造が磁気圧によるガスの押し出しであると仮定して、磁場強度をおよそ  $30 \mu\text{G}$  と求め、ICM の磁場強度に対する定量的評価を与えた。

Abell 3667 銀河団は、銀河団衝突で生じたと考えられるマッシュルーム状の特徴的構造をもつ。本論文では、その先端に見られるコールドフロントの構造を Chandra 衛星の高解像度 X 線データを用いて解析した。その結果、このコールドフロントは滑らかな構造では

なく、 $10^\circ$  から  $25^\circ$  のスケールで変動していることを示した。この変動はコールドフロントで生じる Kelvin Helmholtz 不安定性によるものと見られ、その仮定の下に、空間変動スケールの最小値から、プラズマの実効的な粘性を  $7 \times 10^{28} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  と見積もった。これは ICM の粘性を観測的に求めた初めての例である。この値は、過去に求められた上限値、下限値とも矛盾なく、Spitzer 粘性に比べて 1–2 桁小さい。

このように、本論文は 3 つの銀河団に対する X 線観測データの詳細な解析から、ICM の持つ基本的な物理的性質の一端を明らかにしたものである。ICM の微細な構造に着目し、ミクロな物理過程とのつながりを追究した着想は独創的であり、得られた結果も十分な学術的価値がある。また、本論文の解析および考察は、指導教員および共同研究者の助言のもとに、論文申請者が自ら着想して実行したものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。