

論文審査結果の要旨

高 橋 勲

銀河団は宇宙最大の自己重力系であり、そこに広がった高温プラズマは、既知のバリオンの中でもっとも質量の大きな系である。これまで主として X 線による観測がなされてきたが、高温プラズマの維持機構は、依然として未解明である。

銀河団中心では密度が高く、放射冷却が優勢である。冷却で温度が低下すると、プラズマの圧力が下がり、外縁部からプラズマが中心に流入する。その結果、密度が上昇し、さらに放射冷却が進むと考えられてきた。この現象をクーリングフローと呼ぶ。X 線観測の精度を増すに従って、このような単純なモデルでは、説明がつかないことが明らかになり、銀河団プラズマの熱的状态を理解するためには、一層詳しい観測が必要である。研究、観測の一つの切り口は、温度の空間分布である。これまでの X 線観測衛星を用いた研究で、銀河団プラズマの温度分布は、単調で中心に向かって温度が低下していくとする Single Phase モデルと、高温と低温の 2 成分が存在し中心に向かって低温成分が増えていくという Two Phase モデルが提唱されている。クーリングフローとの親和性という意味では、Single Phase モデルの方が自然であるが、モデルは銀河団プラズマの維持機構とも密接にかかわっており、慎重な判断が必要である。本論文は、XMM-Newton 衛星を用いて、信号強度、空間分解能においてこれまでのレベルを遥かに上回るレベルでの観測を行い、Single Phase, Two Phase に焦点を当てた解析を行った。論文の第 1 章では、こうした背景と動機が説明される。

第 2 章は、これまでの銀河団研究のレビューである。銀河団プラズマにおける基礎物理過程、特に X 線輻射機構について概説される。また、これまでの X 線観測衛星、特に ASCA による研究結果が紹介される。注目すべき点は、Two Phase モデルが ASCA の解析結果から提唱された点と、観測された低温成分の温度、体積占有率が、クーリングフローと矛盾することがわかった点である。

第 3 章は、測定装置と解析手法の紹介である。用いた衛星は XMM-Newton であり、有効面積 (約 $1000\text{cm}^2@1\text{keV}$) と角度分解能 (5 秒) において、優れた望遠鏡である。検出器には PN 型-CCD(0.15-15keV)、MOS 型 CCD(0.15-12keV)が用いられている。論文提出者は、背景ノイズの評価を工夫し、精度の高い測定を可能とした。XMM-Newton は、

さらに回折格子型分光器を備えており、点光源に対して優れたエネルギー分解能で観測することが可能である。

測定対象として、明るく近いケンタウルス銀河団と Abell 1795 を選んだ。これらは、中心に低温成分を持つことが知られている。第 4 章では、これらの概要が述べられる。さらに、X 線スペクトルを求めるために、どのようなデータ処理、解析を行ったのが説明される。

第 5 章、第 6 章は、それぞれケンタウルス銀河団および、Abell 1795 の解析結果を示したものである。これらに対し、Single Phase としての解析、Two Phase としての解析を行い、どちらのモデルがもっともらしいかを調べた。特にケンタウルス銀河団に対してはさまざまな解析を行った。銀河団は球形に広がっているが、半径方向に 11 区分した領域での X 線スペクトルを求めて、これに対して、単一温度もしくは複数温度を当てはめた。また、区分数を減らすことで、空間分解能を犠牲にして統計精度を向上することが可能であり、そのような解析を行い、2 つのモデルを比較した。その結果、当てはめのよさには、明らかな差があり、Single Phase よりも Two Phase (2.0keV, 3.8keV) の方が、観測をより正しく表すことができることがわかった。また、Two Phase とは別に、銀河団中心部に低温成分 (0.7keV) が存在することが、回折格子分光器などの解析からわかった。Two Phase では 0.7keV 成分も含めて、3 つの温度成分を仮定しているが、さらに多数の成分が含まれると仮定して当てはめを行った。その結果、Two Phase がもっともらしいこと、クーリングフローとは、温度と強度の関係が矛盾することがわかった。以上から、Two Phase がもっともらしいことを、これまでよりも量的にも質的にも高い信頼度で明確にした。

第 7 章では、Two Phase を可能とする機構として、磁場に垂直方向の断熱効果があり得ること、さらに、プラズマの加熱機構として、磁場を介した銀河およびダークマターの運動エネルギーのプラズマのエネルギーへの変換が紹介される。

以上の成果は、銀河団研究、X 線天文学に、新しい知見をもたらすものであり、博士 (理学) の学位を授与するに値することを、審査員の全員一致により確認した。なお本研究の一部は、牧島一夫氏との共同研究であるが、その中で申請者は中心的な役割を果たしており、また牧島氏からの同意承諾書も完備している。