

# 論文審査の結果の要旨

氏名 川原田 円

本論文は7章からなり、1章ではこの論文の目的と構成、2章で銀河団および銀河団中の高温プラズマに関する広範なレビュー、3章では本論文で解析に用いたXMM衛星の検出器の特徴とバックグラウンドについてのべられている。4章で対象とする近傍の銀河団の選択条件、および解析手法について詳しく説明があり、特に本論文の特色となる、銀河団高温プラズマと、そこに含まれる重元素の3次元分布を推定する手法が紹介されている。5章では結果のまとめとして、高温プラズマ、重元素、星、ダークマターを主体とする全質量の銀河団中での分布が比較されている。6章では高温プラズマ中での鉄の質量と星の光度比(Iron Mass to Light Ratio:IMLR)に基づき、超新星爆発などで形成された重元素がいかにして銀河団に拡散していったかに関する議論が行われ、7章で結論が述べられている。

銀河団は半径 $10^{22}\text{m}$  ( $\sim\text{Mpc}$ ) 以上にわたる宇宙最大の自己重力系であり、80%以上の質量をしめるダークマター、銀河を形成する星、銀河間物質からなっている。銀河間物質は、密度 $10^{-7}\text{m}^{-3}$ 以下と非常に希薄であるが、質量比において星の数倍を占め、重力ポテンシャルによって1000万度以上に加熱され、X線領域で強い放射をだす高温プラズマとなっている。X線による撮像分光観測によって高温プラズマの温度、密度、さらに高階電離した重元素からの輝線によって鉄、珪素、硫黄、酸素といった重元素の量を得ることができる。これまでの研究から星の中での核融合反応、超新星爆発等によって生成された重元素のおよそ半分程度は銀河間空間に流出していることが明らかとなっていたが、その輸送過程に関しては明確な結論は得られていない。本論文では欧州のXMM-Newton衛星によって観測された12個の近傍銀河団のX線観測によって銀河団中での重元素の量、空間分布を精度良く決定し、高温プラズマ分布から推定される重力ポテンシャルを形成するダークマターの分布、近赤外線領域でのサーベイデータによる星の分布と比較して、銀河団中での重元素の拡散と銀河団形成の歴史をたどることを目的としている。

本論文では、これまでのX線天文衛星の中で最も有効面積の広いXMM-Newton衛星を用いることで重元素についての感度をあげ、力学的に緩和していると見られる対称性のよい近傍銀河団を選択している。観測されるX線放射は天球面状に2次元的に投影されたものであるが、球対称性の仮定により高温プラズマと重元素の3次元的な空間分布を決定している。結果として高温プラズマはダークマターや星よりも空間的に外

側により広がっていること、高温プラズマ中の重元素量は銀河団中心部ほど多いことが確認された。これらの結果は従来の物と一致しているが、本論文ではより多くの銀河団で系統的かつ3次元的な分布を求めている。また、本論文独自の視点として、12個の銀河団中での、ダークマター等の全質量、高温プラズマ、重元素、星、それぞれの密度を散布図によって直接比較している。これにより高温プラズマの空間的広がりが、個々の銀河団によらず、高温プラズマ密度は全質量密度の  $0.70(+0.08 -0.13)$  乗に比例すると表せることを明らかにした。同様の手法により重元素の中心集中は、鉄の密度は高温プラズマ密度の  $1.35(+0.13, -0.12)$  乗と表せる。すなわち鉄は全質量密度の  $0.99(+0.12, -0.16)$  乗である。この傾向は珪素、硫黄でも同様であるが、酸素では誤差の範囲で鉄と一致ともいえるが、中心値では高温プラズマ密度に比例するといえる。

一方で現在観測されている星の化学進化の指標となるIMLRを見ると、銀河団中心部と周辺部で1桁以上の違いがあり、中心では明るい銀河が存在するにも拘わらず、相対的に高温プラズマ中の鉄の量が少なくなっている。このことから、中心部に存在する銀河は重元素を大量に生成した爆発的星形成期以降、銀河団中心部に落ち込み光度をあげたのではないかという議論を展開している。また観測を行った最大半径までの積分値で比較すると、より高温プラズマの質量が大きいほどIMLRが大きくなる。超新星爆発頻度等が銀河団環境によらないとすると、銀河から銀河間空間への重元素の輸送過程において、高温プラズマの寄与があることが示唆され、高温プラズマの動圧が銀河中からの物質のはぎ取った可能性について議論を行っている。これらの議論の定量的展開は今後の課題であるが、結果については密度散布図など独自の手法による新たな観測的知見であると考えられる。

なお、本論文は牧島一夫との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。