

論文内容の要旨

論文題目 Exploring Clusters of Galaxies
(銀河団の探究)

氏名 大野 博司

この論文は、銀河団中の物理的な構造を観測量を使っていかにして再構築し、明らかにするかといった方法論に主眼を置いている。また、実際に、我々が考案した再構築の方法を銀河団のシミュレーションなどに対して適応し、その有効性についても議論する。

近年、宇宙背景輻射の非等方性の観測などにより、宇宙の構成要素、幾何学などが明らかにされはじめている。宇宙背景輻射の観測で、とりわけ詳細な情報をもたらしてきた観測衛星に、Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) がある。この衛星がもたらした報告によると、宇宙は、幾何学的に平坦であり、しかも、未知の構成物によって、宇宙全体のエネルギーのほとんどを占められていることが確認された。この未知の構成物は、ダークマターとダークエネルギーと呼ばれており、それぞれ、宇宙全体のエネルギーの30%と70%近くを占めるとされている。この事実を支持する観測は様々にあり、例えば、Ia型の超新星爆発や、大規模構造などによる観測結果などがある。このように、宇宙のモデルは、急速に収束へと向かいはじめている。また、この宇宙の大半のエネルギーを占めるとされる未知の構成物質の候補はいくつか存在する。しかし、これらの構成物が何であるかを同定できるまでの観測的な確証はいまだ得られておらず、それらの詳細な特性は明きらかにされていない。

ダークマターが作る重力場によりできたと思われる天体の中に、銀河団がある。銀河団とは、50個以上の銀河が重力により集まってできたもので、宇宙の中で最もスケールが大きく、重い系である。現在の我々の認識では、それら銀河団は銀河や小銀河団サイズのガス雲がマージングしながら階層的につくられたのだと考えられている。また、それらのマージングは、現在でも活発である可能性が高く、銀河団は、現在に近い時期に生成されたのだと考えられている。銀河団の観測者からの距離の近さと、スケールの大きさは、銀河団の観測を比較的容易にしている。実際、銀河団に関して、様々な観測が行われており、今後も新たな観測装置が多く予定されている。それらの観測の中でも、Chandra や XMM-Newton といった観測衛星は、銀河団から来る X 線を調べ、銀河団の温度や、密度を見積もること

に成功した。また、Sunyaev-Zel'dovich(SZ)効果といわれる、銀河団の内部の圧力と密度に比例する効果や、重力レンズ効果も近年盛んに観測されている。特に、重力レンズは、銀河団が持つ質量のみに影響を受けるので、その観測結果は、銀河団を作り上げたダークマターの量や、性質を解明するのに非常に有効であり、実際、銀河団中のダークマターの量に重力レンズで制限を付ける試みは多くなされている。また一方で、銀河団ガス中に存在する磁場の存在も、シンクロトロン放射や、偏向を持った光のファラデーローテーション効果などといった観測により明らかにされた。それらの観測は銀河団中に約 $1 \mu\text{G}$ もの強い磁場が存在するというを示唆している。その事実は、そのような磁場を生み出すものの適切な候補が見つからないため、非常に衝撃的であり、近年、磁場の起源を探る研究が活発になっている。

このように、銀河団の観測は非常に多くなされているが、いまだに銀河団に関する我々の知識は十分とはいえず、銀河団中の磁場の起源のように解決されていない問題もある。特に磁場に関しては、銀河団ガスのダイナミクスや、非熱的振る舞いを記述するのにその存在が重要であるにもかかわらず、あまり詳細がわかっていない。磁場起源を知る手がかりを得るためにも、銀河団磁場の大きさの分布や、その構造を詳細に再構築する方法が必要とされてきている。しかし、従来のような限られた数のソース源からくるラジオ波の偏向に対するファラデーローテーション効果を見るだけでは、詳細な磁場構造の再構築は難しい。そこで、我々は、宇宙背景放射が偏向を持っていることに注目し、その偏向を使って、銀河団磁場を再構築する方法を考案した。宇宙背景放射は、宇宙全体を満たしており、空間的に連続的な量でもあるので、銀河団中を通過してきた宇宙背景放射の偏向のファラデーローテーション効果を観測してやることにより、非常に詳細な銀河団中の磁場の情報を得ることができると考えられる。しかし、ファラデーローテーション効果は、密度分布と、視線方向の磁場をかけ合わせたものの積分量で表され、この効果の単独的な観測では磁場の情報を取り出すのは難しい。そこで、ファラデーローテーション効果の密度と磁場の縮退をとくために、我々は、さらに、SZ効果や、X線の観測を使って密度分布を求め、縮退をとく方法を考案した。ただし、ここでは、我々は、銀河団の球対称性を仮定する。また、我々の方法がどの程度うまく磁場を再構築できるのかを調べるため、銀河団のシミュレーション結果に、我々の方法を実際に適応してみた。そして、我々の方法が、磁場の大きさと、構造の詳細な再構築に非常に有効であることを確かめた。この研究は本論文の第4章に収録してある。

銀河団の構造を知る上では、銀河団内の重力場を知ることは非常に重要である。なぜなら、現在の重力不安定説による構造形成理論によれば、銀河団は主に重力によって形づくられてきたからである。ここで、重力場の主な担い手はダークマターである。また、銀河団中のダークマターの密度分布に関して、銀河団の中心部付近で理論と観測とが一致しないという問題がある。これは、理論ではダークマターの衝突断面積を非常に小さいと仮定し、ダークマターが起こすかもしれない圧力を無視していることに起因する可能性が指摘され

ている。このような、ダークマターの性質に関する問題を明らかにする糸口としても、銀河団中の重力場の詳細な再構築は重要である。真っ先に重力場の検出をするための観測量として考えられるのは、重力レンズ効果であるが、重力レンズ効果は、重力ポテンシャルを 2 次元面に投影した量になっているので、そのままだと空間の情報が失われている。それゆえ、銀河団本来が持つ 3 次元的な重力場の情報を得ようと思うと、銀河団の球対称性を仮定するなどといった工夫が必要になる。そこで、我々は、X 線や、SZ 効果の観測と重力レンズの観測を組み合わせ、空間情報を補完してやり、3 次元的な重力場の再構築する方法を考案した。ここでは、Richardson-Lucy アルゴリズムとよばれる、数学的な背景をもった逆変換の方法を採用している。また、重力ポテンシャルとガスの密度分布の関係を求めるために、静水圧平衡を仮定する。我々は、キングモデルと言われる密度分布を持ち、かつ静水圧平衡を満たし、温度が一様な分布をもった理想的な銀河団に我々が考案した方法を適応し、この方法が重力場の再構築に非常に有効な手段であることを確認した。この研究は本論文の第 5 章に収録してある。