

学 位 論 文 題 名

Clusters of Galaxies and Cosmological Parameters

(銀河団に対する宇宙論的パラメータの影響)

学位論文内容の要旨

銀河団の形成過程は、宇宙モデルと密接に関係しており、銀河団の性質から、宇宙モデルへの制限を導こうという研究が精力的に行なわれている。銀河団は、宇宙初期の密度揺らぎが自己重力により成長して形成される。この形成過程で解放された重力エネルギーは、銀河団内部のガスを衝撃波加熱により熱して、銀河団は強い X 線源となり、この X 線により銀河団内部の構造を詳細に観測することができる。

Richstone (1993) らは、密度パラメータの大きな宇宙では銀河団の形成が比較的最近起こり、形成の過程の痕跡を不規則な形状として持っている銀河団が多く期待されることを解析的に明らかにした。この可能性、特に銀河団の X 線形状と宇宙モデルの関係、をより詳細に調べるため、数値モデルによる銀河団形成の研究が、近年いくつか行なわれている。しかし、これらの研究には次のような問題点がある。: (1) 銀河団の X 線形状に重要であると考えられるガス成分を考慮していない。(2) 様々な宇宙モデルへの系統的な依存性が十分調べられていない。(3) モデルや計算方法に不十分な点がある。(4) サンプルとなった銀河団の数が少な過ぎる。これらの問題点の全てを回避した計算はまだなされていない。

我々はガスとダークマターの 2 成分を考慮した計算を行ない、銀河団の X 線形状の宇宙論的パラメータ (密度パラメータ Ω_0 、宇宙項 λ_0) への依存性を系統的に調べた。ここで考慮した宇宙モデルは以下のものである。: Einstein-de Sitter model ($\Omega_0 = 1, \lambda_0 = 0$)、Flat model ($\Omega_0 = 0.3, 0.2, \lambda_0 = 1 - \Omega_0$)、Open model ($\Omega_0 = 0.3, 0.2, \lambda_0 = 0$)

重力計算には GRAPE3A を使い、流体力学の計算には Smoothed Particle Hydrodynamics 法を使った。

計算の結果、次のことが明らかになった。Einstein-de Sitter model では、いくつかの subcluster から成る銀河団が多く形成され、各 subcluster は球対称に近い形状をしている。それに対して、Flat model では、subcluster を持った銀河団は少ないが、より不規則な形状の銀河団が多く見られる。Open model では球対称に近い形状の銀河団が多く見られる。

銀河団の形状の不規則性を定量化するために、我々は、銀河団 X 線等輝度面の形状の重心変移、軸比、多重極モーメントによる解析を行なった。重心変移、軸比による解析では、密度パラメータの大きな銀河団がより強い不規則性を示し、同じ密度パラメータのモデルでは、宇宙項を持ったモデルの銀河団がより不規則であるという結果を得た。一方、多重局モーメントによる解析では、Flat model の銀河団がより強い不規則性を示すとい

う結果を得た。この結果は、近年 Einstein-de Sitter model に代わる有力な宇宙モデルの候補と考えられている Flat model の密度パラメータに強い制限を課すものである。

こうして定量化された形状の違いの統計的有意性を判定するために、我々は、Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて解析を行なった。その結果、軸比、重心変移によって、Einstein-de Sitter model が他の宇宙モデルから有意に識別され得ること、また、多重極モーメントを用いることで、Flat model が Open model から識別可能なことが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主査	教授	藤本正行
副査	教授	石川健三
副査	助教授	羽部朝男
副査	助教授	兼古昇

学位論文題名

Clusters of Galaxies and Cosmological Parameters

(銀河団に対する宇宙論的パラメータの影響)

宇宙モデルのパラメーターを求めることは、現在の宇宙論の中心的な問題である。宇宙モデルの研究は、従来は、主として、遠方の銀河の性質を対象としてきたが、最近、銀河団の進化と宇宙論モデルの関連に注目した研究が盛んになってきている。これは、この間、電波・X線衛星による観測、CCD技術の進展に伴い、銀河団等の大規模な構造に対する情報が増加してきたこと、および、計算機の発展により、宇宙初期における構造形成の大規模な数値実験が可能となり、冷たいダークマターが支配的であるとする宇宙モデルが支持を得てきたためである。現在の標準的な宇宙論では、銀河団は、宇宙初期の密度揺らぎが自己重力の影響で成長して形成されてきたとされるが、その形成時間は、現在の宇宙年齢に近いので、宇宙モデルが形成過程に与える影響を、観測的に識別できる可能性がある。

著者の研究も、そのような新しい試みの一つであり、銀河団の質量集積過程での衝突併合・融合の痕跡を、銀河団の形状の不規則性として捕らえようとするものである。このような関連の可能性は、半解析的な近似法により、Richstone 達 (1992) によって指摘された。その後、この可能性、特に、銀河団のX線で観測される形状と宇宙モデルの関係を調べるために、いくつかのグループにより、数値実験がなされてきた。しかし、これまでの研究には、X線を出すガス成分を考慮していない、また、計算例が少なく銀河団の形状を議論するには不十分である等の問題点があり、この可能性についての結論は得られていなかった。

著者は、これらの問題点を解決するため、ダークマターとともに、ガス成分を Smoothed Particle Hydrodynamics 法で扱い、重力計算に重力専用計算機 GRAPE3A を用いることによって、銀河団形成の大規模な数値実験を遂行し、宇宙論的なパラメータ (密度パラメータ、宇宙項) に対する依存性を系統的に調べた。この数値実験に基づいて、密度の高いモデルでは、銀河団は subclusters を含み、不規則な形状が多いとい

う結果を示し、Richstone 達の予測を確証するとともに、宇宙項を含む平坦なモデルでは、subclusters は少ないが、球対称からずれた不規則な銀河団が多くみられるとの新しい知見を得ている。

さらに、数値実験で多数の銀河団を構成したことによって、形状の不規則性の定量的な解析が可能となり、著者は、形状を、銀河団の X 線輝度分布の軸比、重心偏移、多重極モーメントで表わし、統計的な有為性の判定に Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて、宇宙モデルとの相関を議論している。その結果、軸比と重心偏移は、Einstein-de Sitter のモデルと開いたモデルとの識別に有効であるとの、統計的に有意義な結果を導きだし、懸案の問題に対する明快な解答を与えた。また、多重極モーメントを用いると、宇宙項のある平坦なモデルを開いたモデルから識別することが可能であることを初めて指摘した。

これらの結果は、銀河団の形状の観測から、宇宙モデルの弁別が可能であること、また、それに有効な解析方法を理論的に明らかにすることによって、今後の、銀河団の観測、および、それによる宇宙モデルの研究に重要な示唆を与えるものである。

以上に述べた意味で、この研究は、CDM 理論における、銀河団の形成過程の理解、および、宇宙論の研究を進める上で、大切な寄与をなしたと判断される。よって、著者は、北海道大学博士 (理学) を授与される資格があるものと認める。