

論文審査の結果の要旨

氏名 須藤 大地

本論文は7章からなり、1章では宇宙論的観点から、銀河団の非対称性に着目する意味が示され、2章ではまず対称性を仮定した構造形成の理解がレビューされ、3章では非対称性に関する理論、観測の研究の現状がレビューされる。4章ではN体シミュレーションにより形成された構造と、球対称モデルとの比較がなされる。5章ではシミュレーションデータから3次元的構造の情報を取り出す手法、天球上に射影する効果が調べられ、6章では銀河団中の高温ガス分布を求めた上で観測結果との比較を行う手法を提案し、7章では結論が述べられる。

宇宙の大構造形成は、宇宙の初期揺らぎを種として、物質、暗黒物質等が宇宙膨張に逆らって重力収縮するというモデルで理解されており、銀河団規模の天体の生成率などはN体シミュレーションでよく再現されている。一方で、より小さな構造の数密度が一致しない、重力以外の天体現象による効果などの取り込み方などの問題も指摘されている。そのため重力レンズや、銀河団中の高温ガス分布などによって質量分布の観測と理論モデルの詳細な比較を行うことが必要とされている。この場合問題になるのが、実際の銀河団などの構造は、球対称ではなく、明らかに歪みを持っているものが多い。しかも観測は、3次元的な歪みを天球上に射影したものであり、真の形状は得られない。本論文では、大構造形成の理論シミュレーションにおいて、銀河団の形状に注目し、それがどのように観測されるかを定量的に評価し、観測と比較する指標を得ようとしている。

本論文では、まずN体シミュレーションと解析的な球対称収縮モデルを比較することで、重力的に束縛された系内部の速度分散により、天体が膨張から重力収縮する際の経過が単純なモデルからずれることを定量的に示した。また、N体シミュレーションによって得られた約2000個の銀河団に相当する天体を、内部構造によって分類し、客観的な指標で3軸楕円体に近似した。その結果、楕円体の中心位置、軸の方向、軸比がいずれも銀河団の中心部から外側へと範囲を増やすにしたがって変化していることを示した。これまでの解析的な理論モデルで仮定していた自己相似性の近似が不十分であることを定量的に示している。またこの楕円体を天球上の2次元に射影した場合の軸比の分布関数を、中心からの質量、および銀河団の進化（赤方偏移）ごとに求め、パラメタライズした。その結果は、重力レンズの観測によって求めた軸比の分布と直接的に比較できる。両者は現状ではよく一致するが、観測天体数が少なく誤差が大きいため、構造形成

モデルに対する決定力を持つには至っていない。

さらに本論文では、N体シミュレーションに加え、銀河団内部の超新星爆発や活動銀河核によるエネルギー注入過程を考慮したシミュレーションに、X線の放射モデルを加えてX線の輝度分布を計算し、2次元に射影した際の軸比の分布関数を求めた。この分布は、自己相似性を仮定したモデルとは明らかに異なり、シミュレーションデータからの導出の必要性を示している。またX線の観測データとの比較においても、活動銀河核の寄与をいれたモデルにおいては、10%程度の信頼性での一致を示した。

本論文により、構造形成の理論シミュレーションと観測結果との、球対称からズレを軸比というパラメータにおいて直接比較する手法が示された。これは宇宙論モデルだけではなく、星形成に伴う超新星爆発や、活動銀河核からのエネルギーフィードバックなどの天体活動をも反映しているが、3次元的な構造を観測によって検証する試みであり意義は大きい。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算・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。