

氏名	たき さわ もと かず 滝 沢 元 和
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2035 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	TWO-TEMPERATURE NATURE OF INTRACLUSTER MEDIUM:SHOCK HEATING AND NONEQUIPARTITION OF ELECTRONS AND IONS (銀河団ガスの二温度性:衝撃波加熱と電子・イオン間のエネルギー等 分配の破れ)
	(主査)
論文調査委員	助教授 嶺 重 慎 教授 稲垣省五 教授 大谷 浩

論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、宇宙で最も大きな天体である銀河団の形成・進化過程およびその現在における構造を、精緻なシミュレーションで明らかにした。

申請者はまず、球対称銀河団における重力多体成分(暗黒物質と銀河)とガス成分(銀河団ガス, ICMと呼ばれる)の二つの成分それぞれの進化を、N体+TVDコードを用いて調べた。宇宙初期に与えられた、太陽質量の10の15乗倍程度の質量をもつ密度揺らぎは、赤方偏移 z が1程度のところで、宇宙膨張から分離して収縮へと転じる。やがて中心から0.1Mpcほど離れたところに衝撃波が発生し外側へと拡がっていく。外からほぼ自由落下してきた低温ガスは、衝撃波を通して加熱され、高温となるのである。衝撃波の中の高温領域では、100km/s程度の落下速度が残るものの、ほぼ静水圧平衡が成り立っている。こうして銀河団のX線光度は、衝撃波の発生に至るまでの初期では急激に上昇するが、その後は、高温領域におけるガスの緩やかな断熱圧縮と、衝撃波の伝播によって高温領域が拡がることとの2つの要因によって緩やかに上昇する。

今回の計算によって申請者は、従来のSPH法では、はっきりとはとらえられなかった衝撃波の構造や進化を明らかにし、ICMの加熱過程として衝撃波加熱が重要な役割を果たしていることを明確に示した。さらに銀河団の形成過程でICM中を音波が外側へと伝わっていくことも発見し、音波の伝播によってガスの温度および密度分布に10%ほどの揺らぎが生じることを見いだした。

ついで申請者は、電子とイオンの間の緩和過程を考慮に入れた銀河団ガスの進化モデルについて調べた。先に確認したように、宇宙論的構造形成の標準シナリオによれば、ICMは暗黒物質の作る重力ポテンシャルの井戸への降着中に、衝撃波によって加熱される。このとき、ガスの運動量の大部分がイオンによって運ばれていることから、イオンの方が優先的に加熱されると考えられる。その後、電子はイオンとのクーロン衝突によってエネルギーを獲得し、十分な時間があれば両者は同じ温度に落ち着く。しかしながら申請者は簡単なオーダー評価より、エネルギー交換の効率が十分でないため、電子とイオンの温度が大きく異なる領域が、銀河団の外側、Mpcスケールで拡がることを新しく見いだした。

さらに申請者は計算をすすめ、銀河団の中心から1Mpc離れたところでは電子温度はプラズマ平均温度の約半分まで下がることを見いだした。このため電子温度分布を用いて静水圧平衡を仮定して質量を求めると、50%ほど質量を過小評価する可能性がある。ポリトロピック係数は電子温度分布では1.3程度、一方、プラズマ平均温度では1.5程度となり、最近一部の銀河団で見つかっている傾きのきつい電子温度分布と、自己相似解や数値シミュレーションの結果から予想されている比較的平坦なプラズマ平均温度の分布とを矛盾なく説明することができることを示した。

論文審査の結果の要旨

現在の標準的な宇宙の構造形成シナリオによると、より小さなスケールの天体が最初にできて合体・吸収を繰り返し、より大きなスケールの構造を生み出したとされる。宇宙でもっとも大きなサイズをもつ天体である銀河団も同様に、密度ゆらぎが自己重力不安定により重力収縮し、中心部が形成された後も少しずつまわりのガスが降り積もり、成長していくのである。従来の理論研究の主流はこのような天体形成のシナリオを宇宙規模で行ってきた。しかしながらそれでは個々の銀河団の構造を精度よく求めるのには少々無理がある。一方で、銀河団の観測はX線をはじめとして急速に進められている。申請者はそこで、銀河団の一つの種が成長していく過程を、衝撃波のふるまいに注目して、高精度のメッシュ法シミュレーションで明らかにした点に大きな特徴がある。

申請者はまず、球対称銀河団の進化計算を行った。銀河団全体のダイナミクスは質量が圧倒的な暗黒物質がおもに受け持つが、観測にかかるのはガス成分である。したがって両成分の相互作用をきちんと押さえることが肝要である。申請者は、前者をN体で、後者を衝撃波に強いTVDコードを用いて調べ、(1)落ち着いたように見える銀河団内部には、100km/s程度の落下運動が存続していること、(2)X線光度は初期に急激に上昇した後、断熱圧縮および衝撃波の伝播に伴う高温領域の拡大によって、緩やかに上昇すること、(3)音波が外側へと伝わる際、ガスの温度および密度分布に10%ほどの揺らぎが生じることなどを、明確に示した。特に(3)でのべた変化は、将来うまく観測されれば、銀河団のポテンシャルやICMの温度の内部構造を探る新しいプローブとして使える可能性があり、当該分野の研究へ与えるインパクトの大きさには、はかり知れないものがある。

ついで申請者は、銀河団進化における二温度プラズマ系の効果を調べた。

すなわち衝撃波中ではイオンの方が優先的に加熱されると考えられるのだが、電子とイオンとのクーロン衝突があまり頻繁におこらないため、電子温度はイオン温度より有意に下回ることを申請者は明快に示した。さらに申請者は、球対称銀河団の進化モデルを二温度プラズマ効果を入れて、再計算し、中心から1 Mpc離れたところでは、電子温度はプラズマ平均温度の約半分にまで下がるという、それまで誰も予想もしなかった結果を得た。こうして得られた温度分布の傾向は、観測されたものに一致する。

このように、今まで無視されてきた物理機構をとりあげて、その新しい効果を見いだすセンスのよさには優れたものがある。また見事に観測・理論の間の不一致の一つの重要な要因を解明したことは、当該分野における重要な成果と位置づけられる。よって、本申請論文は、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。なお、本論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。