

論文審査の結果の要旨

氏名 清水 守

本論文は6章からなり、1章ではこの論文の目的と構成、2章では構造形成理論のレビューと、本論文で用いる定式化について述べられている。3章では構造形成理論と観測結果の比較から、非重力的加熱過程の重要性が指摘される。4章では銀河団の質量・温度関係を導き、非重力的加熱過程の効果を定量的に調べ、加熱の重要性を示す。5章では銀河団の合体史の中で超新星爆発、電波銀河のジェットによるガスの加熱、およびガスの冷却の過程を具体的に計算し、シミュレーションと観測結果の比較を行うことで非重力的加熱の量を求めている。6章では結論が述べられる。また付録として、5章で用いたシミュレーション手法の詳細と観測量との比較方法についてまとめられている。

銀河団とは、ダークマター、銀河、高温ガスが重力的に束縛された比較的単純な系であり、X線光度とガスの温度の相関関係(光度・温度関係)は、ガスの温度、密度分布で決定される。しかし単純な仮定では観測量を説明できず、ガスの冷却や銀河からのエネルギー供給などを考慮する必要がある。本論文では重力的加熱過程以外の物理過程の性質、すなわち、重力的加熱以外にどの程度のエネルギーの増減が必要か、ガスの加熱、冷却のどちらが強く働いているのか、その源は何なのか、を定量的に明らかにすることを試みている。

多体数値シミュレーションにより銀河団内の質量密度分布はある関数で近似できることが分かってきた。また銀河団内の高温ガスは、等温で重力ポテンシャルと静水圧平衡にある、という近似が成立する。よって、銀河団の質量・温度関係、ガスの総量を与えれば、銀河団からのX線放射光度が求められる。逆に観測による光度・温度関係を再現するように、質量・温度関係を定めることができる。また銀河団の個数分布関数によっても質量・温度関係が推定できる。

本論文ではガスの温度が銀河団の質量の冪関数で表されると仮定し、その規格化定数と冪指数の値を求めた。その結果、光度・温度関係と個数分布関数からの制限を共に満たす解が存在することが分かった。また銀河団ガスに影響を与えているのは主に加熱過程であり、小さな銀河団ほど影響が大きいことが示唆された。

非重力加熱源についてのこれまでの研究は、(1)標準的な星形成史から期待される超新星爆発のみでは、銀河団の光度・温度関係は再現できない、(2)活動銀河核を考慮すれば、説明できる可能性がある、ということだけであり、いつ、どの程度の加熱が、どのような天体によってなされたのかということは解明されていなかった。

そこで、本論文では以下のようなモデルを構築した。銀河団の重力進化を、ダークマターの重力束縛系であるダークマターハローの合体史として再現し、ガスの進化を

計算する。星形成に伴う重元素汚染、重元素量を考慮した冷却、超新星爆発からのエネルギー供給と電波銀河のジェットによる加熱を考慮する。この二つの加熱源は、発生する時期や場所という点において相補的である。これらを同時に計算に取り入れたのは、現実の進化を考察する上では重要であり、本論文の大きな特徴である。また加熱の量をパラメータ化することで、近傍宇宙での観測量からの制限を緩め、広い可能性を考察することを可能とした。このモデルによって観測値である光度・温度関係、高温ガスの質量の割合、重元素量、ガスのエントロピーなどを再現し、加熱源に対して定量的な制限を求めた。

結果として、加熱源に対して、大きく分けて二通りの可能性が考えられることが分かった。一つは、標準的な量の超新星爆発からのエネルギー供給に加えて、電波銀河のジェットによる加熱を行なうものであり、もう一つは、標準値の数倍の量の超新星爆発を考えるものである。後者に関しては、超新星爆発の総数を低赤方偏移では標準値以下に押え、高赤方偏移で著しく強くすることでも光度・温度関係を再現させることが可能である。この結果は星形成史と銀河団ガスの加熱とを関連づけて考察する必要性を示唆している。

本論文は構造形成における銀河団の進化を、物理的な理解に基づいて適切なモデル化を行うことで、非重力的加熱の影響について定量的な解析を行い、新たな結果を得ている。また、高赤方偏移での銀河団性質との比較など、今後の発展も見込まれる手法である。具体的なガスの加熱機構の検討、可視光の観測結果などによる銀河の進化史との比較等が今後の課題ではあるが、これらの研究により、銀河団進化の理解が進展すれば、他の天体の形成・進化や宇宙の熱的進化の解明へとつながる重要な知見であると考えられる。

なお、本論文は須藤靖、佐々木伸、北山哲との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、計算および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。