

氏 名	須 佐 元
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1796 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 24 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	理学研究科物理学第二専攻
学位論文題目	The Thermal Evolution of Primordial Gas Clouds: A clue to galaxy formation (原始銀河雲の熱的進化: 銀河形成への手掛り)
論文調査委員	(主 査) 教授 佐藤文隆 教授 小山勝二 教授 堀内 昶

論 文 内 容 の 要 旨

膨張宇宙での銀河形成問題は、今日の宇宙物理学における中心課題のひとつである。標準的な宇宙での構造形成の理論では銀河は、より大規模な構造と同様に、自己重力による凝集で形成されたと思われる。しかし銀河は単なる質量の塊ではなく、星の系として観測され、また銀河は球状星団や分子雲などのサブ構造を持っている。このように銀河形成論は銀河のこれらの特性を説明しなければならない。しかしこれまでは膨張宇宙での原始揺らぎからこのような視点での銀河形成を論じた研究は殆ど進んでいない。

申請論文はこの問題に関連して、膨張宇宙の脱結合期直後の原始雲の重力崩壊を考察した。一様モデルや準解析的な方法、さらに流体シミュレーションという手法を用いて、原始雲の収縮を分子形成、冷却、放射過程を含めて計算し、分裂する典型的なスケールについてその初期条件依存性を含めて詳細に分析した。まず重力収縮の一般的描像として、密度揺らぎが板状に収縮し、さらにディスクの不安定からシリンダー状の構造ができ、そのあとシリンダーが収縮してより小さい天体に分裂していくというシナリオを考える。このシナリオの特徴はディスクやシリンダーといった構造を入れることによって、分裂の質量が推定できることにある。

本申請論文ではまず一様モデルを用いた原始雲の収縮でディスクが形成される定性的な考察をする。しかし実際には非一様性に伴う衝撃波による加熱が起きる。その結果ガスが電離、再結合していく過程で水素分子による冷却が再結合よりも速くおき、 $T < 10^4$ K での電離度が平衡値を大きく上回ることが知られている。この余剰の電離度はそれを触媒とした水素分子の形成を促し、その結果ディスクはさらに低温まで冷却される。申請者はこの過程を電離度—温度平面での進化として捉え、ほぼ準解析的に説明することに成功している。

さらに本申請論文ではディスク状の収縮を完全に動的に扱うために次元の流体力学のシミュレーション計算を行っている。この計算の新しい点はすべてのメッシュの上で冷却と分子形成の化学反応を解かなければならないことであるが、その空間的な分解能はラグランジュ座標を用いることによって保たれる。

計算によれば $T \sim 10^4$ K で衝撃波後面の温度が振動することが示されているが、これは十分な分解能をもつ動的な計算を行ってはじめてわかったことである。また系の運動のタイムスケールとシートが分裂するタイムスケールを比べることによって、シートから分裂するシリンダーの温度や密度に関する情報が得られる。これに様なシリンダーの収縮の議論を組み合わせて、最終的に得られる分裂の質量についても議論している。分裂の質量は初期のガス雲の質量や密度に依存して ($1 M_{\odot} < M < 10^3 M_{\odot}$) の範囲で大きく変わるが、その初期条件に対する依存性や、傾向についても詳細な議論がなされている。

論文審査の結果の要旨

膨張宇宙での構造形成はまず原始揺らぎの大規模構造への発展として論じられたが、観測されている銀河は星の集団としての天体であり原始揺らぎから星質量スケールの天体に至る過程の研究が十分なされていない。申請論文の主題はこの点に関係した基礎過程の研究である。

申請者は重力収縮の一般的シナリオにのって、平板の収縮で出来る衝撃波面後の後れで起こる物理過程を詳細に調べた。銀河質量スケールの原始雲が、より小さな構造(星, 球状星団など)に分裂し、星系としての銀河の性質を備えていくためにはジーンズ質量が下がって分裂が進むように放射冷却が十分に起こらなければならない。原始雲の化学組成は水素とヘリウムがほとんどをしめ、星間空間などで放射冷却の担い手となる重元素、それによって作られる塵状物質などは存在しない。従って原始雲の冷却過程は水素、ヘリウム、水素分子というきわめて単純かつ特徴的な性質を持つ冷媒による過程となり、独自に考察されねばならない。申請者はこれらの事実を踏まえて銀河形成の観点から原始雲の熱的力学的進化を詳しく調べている。

申請論文では原始組成ガスの衝撃波後面での熱、分子過程を、タイムスケールの比較というシンプルな議論できわめて明快に説明している。これは電離度—温度平面を使えば密度に依存しない議論が出来るという着想をしたものであるが、今後の議論にも見通しのよいガイドを与えるものとして評価される。

また液体シミュレーション計算では今まで知られていなかった一万度付近の振動現象を発見しそれに物理的説明を加えている。また、分裂質量に対する簡明な議論を行っており、今後のさらに進んだ計算の解析、さらには銀河形成問題に大いに寄与する結果が得られているといえる。

以上に述べたように申請論文では原始銀河雲の熱的進化について衝撃波後面の冷却過程が準解析的に理解され、動的な計算によって分裂の質量が見積もられており、今後の諸過程を含む総合的な銀河形成過程の研究への重要な寄与を含んでいると認められる。

参考論文はいずれも膨張宇宙初期での天体形成に関連したものであり、申請論文と密接に関連するものである。よって、本論文は博士の学位論文として価値あるものと認めるものである。

なお、本論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。