

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小林 千 晶

本論文は、楕円銀河の形成過程を力学的化学的見地から議論したものである。1990年代に広く受け入れられるようになった冷たい暗黒物質の存在を前提とした CDM 宇宙論では、銀河は小さな塊が集合合体して次第に成長して形成されると考える。本論文では、この CDM 宇宙論に基づいて、まず宇宙初期の密度ゆらぎのシミュレーション (CDM ゆらぎ) から、将来楕円銀河になると推測される領域を切り出し、その領域の進化を三次元 N 体 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) シミュレーションによって追跡するという手法をとる。本論文の特長は、重力多体問題専用の高速計算機 GRAPE を使用して莫大な量のモデル計算を行い、銀河の内部構造を追跡して、表面輝度分布や金属量の分布 (勾配) などを観測と詳細に比較したところにある。

本論文は 4 章からなっている。第 1 章では、本研究に用いる三次元 N 体 SPH シミュレーションの概説と、楕円銀河の形成と進化に関する従来の研究がレビューされ、本研究の位置づけがなされている。

第 2 章は本論文で用いたモデルの解説である。ガスと星と暗黒物質からなる力学系としての銀河を三次元的に扱い、流体と重力多体問題を同時に解くことによってガス雲から天体の形成を追うことが目的である。流体部分の計算には SPH コードを使用し、もっとも計算時間を要する重力多体問題を解く部分は GRAPE を利用する。天体の形成に付随する物理過程には、放射冷却、星形成、星風と Ia 型および II 型超新星によるエネルギーと重元素の星間空間への還元を含めた。Ia 型超新星を含めた計算は従来にはなかったものである。

初期条件としては、標準的な CDM シミュレーションにおいて、 $z \sim 23 - 29$  にある CDM ゆらぎの  $1\sigma - 3\sigma$  の領域から、共動座標で半径 1.5 Mpc、質量  $\sim 10^{12} M_{\odot}$  の部分領域を切り出して用いた。CDM シミュレーションの種 (シード) を変えて、上記条件を満たす 72 領域を切り出し、その領域の進化を現在まで追跡した。本論文では楕円銀河に着目するので、切り出した部分領域には無次元角運動量パラメータ  $\lambda = 0.02$  に相当するごく僅かな角運動量を与えた。

天体形成のプロセスは以下のものであった。天体は小さな塊の連続的な合体によって形成される。合体の歴史はさまざま、初期条件のシードによって変わってくる。どの銀河の場合も、大部分の星は最初の爆発的な星形成活動で  $z \sim 2$  以前 (100 億年以上昔) に作られる。星形成活動のタイムスケールは 1 - 2 Gyr のものがほとんどである。現在において、半

径 20kpc の球内の星の質量が  $4.5 \times 10^7 M_{\odot}$  以上になった高密度領域を銀河として同定した。質量が  $10^9 M_{\odot}$  以下で、有効半径内の面輝度が  $SB_e > 24 \text{ mag arcsec}^{-2}$  であるものは矮小銀河と分類した。この基準で、72 領域から 82 個の楕円銀河と 42 個の矮小銀河が同定された。比較的最近 ( $z \sim 3$  以降) に同程度の質量を持つ銀河との衝突合体、いわゆる major merger を経験した楕円銀河は約半分の 36 個であった。これら 124 個のどの銀河も  $r^{1/4}$  法則に従う面輝度分布を示した。

第 3 章では、前章でできた 124 個のシミュレーション銀河の性質を調べ、観測との比較が行われている。もっとも注目すべきことは、楕円銀河は、面輝度分布はどれもほぼ  $r^{1/4}$  法則に従う均質な集団でありながら金属量勾配の強さはさまざまで、その強さが銀河の全光度と相関しないという一見不可解な観測事実を説明したことである。

銀河の形成初期には、金属量を増したガスが中心に流れつつ星形成を起こすので、星の金属量は中心ほど高いという勾配が自然に現れる。その後ガス降着が続き、銀河の外側で星形成が起こると勾配は少しずつ浅くなる。また、銀河の大部分の星が作られた後に別の銀河と衝突合体すると、相手が大量のガスを含むものでない限り、勾配が一挙に浅くなる。つまり、一般的に言って、金属量勾配は、大規模な合体を経験しない銀河では強く、経験したものでは緩やかであり、合体の歴史の違いによって多様性が生まれるのである。

質量-光度関係、基本平面関係、色-等級関係、質量-金属量関係など楕円銀河のさまざまなスケール則に関する比較も行われており、矮小銀河を除外すれば、ほぼ観測される関係を再現する。しかしながら本論文のシミュレーションでできた銀河の光度は実は現実の楕円銀河の約 10 分の 1 しかなく、スケール則の再現は光度をその分だけ補正した上でのことである。しかしながら、この問題は使用した粒子数が少ないことなどによるもので、上記の金属量勾配の多様性の起源に関する知見に影響を与えるものではないと考えられる。

第 4 章は結論であり、このシミュレーションで得られた知見がまとめられている。

以上要約するに、本論文は限定的な初期条件の下ではあるが、大規模な数値シミュレーションにより楕円銀河の形成過程を調べ、その星形成と合体の歴史を描き出し、金属量勾配の多様性の起源が合体の歴史の違いにあるということを初めて示したものである。この論文は、今後の楕円銀河の形成過程の研究に大きな飛躍をもたらす足がかりを築いた先駆的な論文と評価できる。したがって、委員会は全員一致で本論文提出者に博士 (理学) の学位を授与できると認める。