

# 論文審査の結果の要旨

氏名 岡村 拓

本論文は、高赤方偏移( $z = 2 \sim 4$ )における銀河ディスクの角運動量の進化を調べるとともに、より遠方( $z \sim 6$ )での銀河のサイズと光度の関係をシミュレーションと合わせて探ったものである。

本論文は10章からなる。第1章は序章であり、銀河の形態や力学構造とその進化についてまとめられている。 $\Lambda$ CDM宇宙論において、銀河とダークマターハローのもつ単位質量あたりの角運動量の比(角運動量保持率)は力学摩擦、ガス冷却や様々なフィードバックプロセスなど銀河形成の物理を反映すると考えられ、銀河の形成進化の理解に重要な情報を与える。近傍宇宙ではこの値が0.8程度となることが知られており、何らかのプロセスでバリオンの角運動量が失われたと考えられ、その赤方偏移進化を理解する重要性が説明されている。また、 $z > 6$ の遠方宇宙では宇宙論的な面輝度低下の影響により銀河のサイズ測定が非常に困難になるが、たとえば銀河の光度関数を正しく求めるためには銀河のサイズ分布を正確に理解する必要があることが説明されている。

以下、第2章から第6章は銀河ディスクの角運動量の赤方偏移進化について、第7章から第9章は $z \sim 6$ でのサイズ-光度関係を調べたものである。

第2章は今回用いたデータについてのまとめである。3D-HSTおよびCANDELSのデータセットから測光的赤方偏移、星質量および星形成率を算出して、最終的に $z \sim 2$ で $10^9$ 太陽質量、 $z = 3, 4$ で $10^{10}$ 太陽質量までコンプリートな星形成銀河1万天体あまりのサンプルを構築した。

第3章では各銀河の面輝度プロファイルフィットから形態を測定した。サンプルの7割程度の銀河について、サイズの指標となる半光度半径と形態の指標となるセルシック指数を算出することに成功している。

第4章ではその結果をもとに銀河の性質を調べた。銀河のサイズ-質量関係を赤方偏移ごとに算出したところ、高赤方偏移になるほどサイズは小さくなり、関係の傾きも小さくなった。これは先行研究と合致する結果である。

第5章は各銀河が含まれるダークマターハロー質量の推定方法の説明である。この推定には二つの独立した手法が用いられた。一つは銀河のクラスタリングを用いる手法であり、銀河同士の角度相関を求め、その相関長から銀河が含まれるダークマターハローの質量を推定するものである。もう一つはアバンダンスマッチングと呼ばれ、銀河の数密度と合致する数密度のダークマターハローの質量を求めるものである。両方の手法で赤方偏移ごと・星質量ごとに分けた銀河のダークマターハロー質量が求められ、合致する値が得られた。

第6章では銀河ディスクの角運動量の推定の方法が説明されている。本来であれば銀河の角運動量はその回転速度から求められるべきものであるが、遠方銀河ではそれは非常に困

難である。そこで本研究では銀河ディスクの角運動量はそのサイズと形状に相関するという関係を用いた。各銀河の半光度半径とセルシック指数より、赤方偏移ごと・星質量ごとに銀河単位質量あたりの角運動量を算出し、第5章で求めたダークマターハローの情報と合わせて角運動量保持率を算出したところ、質量、赤方偏移にかかわらず0.8程度と近傍宇宙と同程度の値となった。より詳細に見ると角運動量保持率はダークマターハロー質量と反相関しており、その傾きが $z = 3$ から4で大きくなる傾向を示した。これはこの間に銀河内部のフィードバックプロセスに変化があった可能性があるかと結論づけている。さらに、宇宙論的銀河形成シミュレーションとの比較を行った。その結果、シミュレーションはいずれも角運動量保持率を小さく見積もってしまい、初期宇宙におけるディスク銀河を十分に再現できていないことを明らかにした。このような観測とシミュレーションとの比較は初の試みであり、今後のシミュレーションへのフィードバックが期待される。

第7章は自身で行った3次元ズームインシミュレーションの説明である。GADGET-3と呼ばれるコードに初代星形成、非平衡化学進化、およびダスト形成モデルを組み込んで、高赤方偏移での銀河形成に特化した計算を行うプロジェクト(the First Billion Years; FiBY)のコードを用い、赤方偏移6の銀河をシミュレートしている。第8章はそれら銀河の前景に銀河団Abell 2744を置き、重力レンズ効果を通して模擬的に観測した。これにより、シミュレーションで生成した銀河が観測的にどのような半光度半径と扁平率を持つかを求めた。これは実際にハッブル望遠鏡を用いた $z \sim 6$ 銀河の観測(Hubble Frontier Fields)を模したものである。

第9章はシミュレーション結果の議論である。模擬観測から得られたサイズ-光度関係は実際の観測結果とほぼ一致した。ただし、模擬観測から得られたサイズ及び光度は真の値に比べて小さくなっており、これを考慮すると実際の観測結果の取り扱いには十分な注意が必要となると結論づけている。

第10章は論文のまとめである。

本論文で議論されている銀河の角運動量保持率は、 $\Lambda$ CDM宇宙におけるガスの集積を通じた銀河の形成と進化を理解する上で大変重要な情報であり、それを $z = 2 \sim 4$ にある遠方銀河まで測定するとともに理論と比較して考察したことの学術的価値は高い。さらに将来的にそれをさらに遠方まで拡張することを視野に入れ $z \sim 6$ での銀河のサイズ測定の信頼性をシミュレーションを合わせて議論したことも評価できる。

なお、本研究は嶋作一大・川俣良太・荒田翔平・長峯健太郎・矢島秀伸との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。