

# 論文審査の結果の要旨

氏名 村田 龍馬

多数の銀河の集団である銀河団は宇宙で最も重い重力束縛系であり、ダークマターハロー内に形成される。これまでの銀河団の観測により、ダークマター、ダークエネルギーや、銀河の形成と進化に関する性質が明らかになってきた。また観測データを用いて、宇宙論の標準モデルの首尾一貫性を確かめること、標準モデルを超える理論を制限することができる。銀河団が形成されるような重いダークマターハローは数が少ないため、広い視野を持ち遠方まで観測できるサーベイデータが必要となる。すばる望遠鏡によるハイパーシュプリームカムすばる戦略プログラム(HSC-SSP)など、可視光での広視野観測の発展によって、可視光データに基づく銀河団の検出が銀河団観測の強力な手法となってきた。

そこで本研究では、HSC-SSP のデータを用いて銀河団の統計的性質について解析し考察した。ダークマターハローを含めた銀河団の質量は、銀河団の物理的性質を決める重要な量である。銀河団周りの弱重力レンズ効果の測定により、銀河団質量と銀河団の中の赤い銀河の数(リッチネス)の関係の制限を行った。また銀河団の物理的性質の一つである、ダークマターハローの外側の境界を表す跳ね返し半径について、従来の研究と異なる銀河団検出アルゴリズムを用いて解析を行った。

まず第 1 章で研究の背景として標準宇宙論モデルと銀河団の概要、跳ね返し半径の従来の解析結果、HSC-SSP のサーベイについて解説し、研究の目的を述べた。第 2 章で HSC のデータに基づき CAMIRA アルゴリズムで検出された銀河団のデータを用いて、銀河団の質量とリッチネスの関係を解析した。まず、赤方偏移が 0.1 以上 1.0 以下の範囲にある銀河団に対して、弱重力レンズ効果の分布と銀河団個数の測定に基づき、銀河団質量とリッチネスの関係式を制限した。特に、赤方偏移とリッチネスをそれぞれ 3 つの範囲に分けて、弱重力レンズ効果の分布が観測とモデルでよく一致することを示した。その際、2 つの衛星による宇宙マイクロ波背景放射の観測結果に基づき、標準宇宙論モデルの 2 種類のパラメータを仮定し、どちらの場合も平均値の関係式を同精度で制限した。また、質量のばらつきとリッチネスの関係は 2 種類のパラメータで異なるふるまいを示し、この結果は、銀河団の観測から宇宙論パラメータを制限するのに、質量・リッチネスのばらつきの関係式が重要であることを示唆する。

次に第 3 章では、第 2 章で得られた質量・リッチネス関係式の解析結果を用いることで、CAMIRA アルゴリズムで検出された銀河団の跳ね返し半径を解析した。従来の研究は赤方偏移が 0.7 以下のデータに限られていたが、本研究では HSC の深い画像データにより、初

めて赤方偏移が 0.7 以上 1.0 以下の遠方の銀河団の跳ね返り半径を求めることができた。観測によって求めた半径の値と、標準宇宙論モデルと質量・リッチネス関係式に基づくモデルによって求めた半径の値が、3 つの赤方偏移の範囲で精度よく一致することを示した。また、跳ね返り半径の制限に対する赤方偏移やリッチネスの依存性、銀河の等級依存性、色の依存性について調べた。CAMIRA でなく redMaPPer アルゴリズムで検出された銀河団に対する従来の研究では、観測による半径の値がモデルによる値より 20% 小さいことが知られており、そのずれが検出アルゴリズムの選択バイアス効果によるものか、それとも標準モデルを超えた理論の必要性を示すものかを検証する必要がある。そこで模擬観測によってアルゴリズムの選択バイアス効果を調べる方法を新たに開発した。すなわちハロー占有モデルを用いて模擬銀河カタログを作成し、実際の解析で行われる測定や計算手段を忠実にまねて解析する手法を確立した。その結果、従来の redMaPPer アルゴリズムの選択バイアス効果によるずれを再現するとともに、本研究で用いた CAMIRA アルゴリズムでは選択バイアス効果が十分小さいことを示した。

以上本論文では HSC-SSP の観測データに基づき CAMIRA アルゴリズムで検出された銀河団のデータを用いて、銀河団質量とリッチネスの関係式と銀河団の跳ね返り半径の解析を行い、また模擬観測による検出アルゴリズムの選択バイアス効果の検証を行った。これらの成果は、今後の銀河団の観測や解析にとって有用なものであり、また宇宙論パラメータなどの宇宙そのものの研究にも重要な知見を与え、宇宙物理学の研究の進展に貢献するものである

なお、本論文の主要部分は高田昌広、大栗真宗、他 7 名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測及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。