

氏 名 山野井 瞳

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1317 号

学位授与の日付 平成 22 年 3 月 24 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Photometric Study of Galaxy Luminosity
Function in the Coma Cluster

論文審査委員 主 査 准教授 兒玉 忠恭
教授 牧野 淳一郎
教授 有本 信雄
教授 大橋 隆哉（首都大学東京）
准教授 嶋作 一大（東京大学）

本研究では、すばる望遠鏡の Suprime-Cam を用いて、かみのけ座銀河団 ($z=0.023$) の銀河密度の異なる 3 領域について深い撮像観測を行い、銀河光度関数を求めた。限界等級は B, $R \sim 26.0$ 等であり、これまで探査できなかつた非常に暗い矮小銀河を検出するのに十分な深いデータが得られた。銀河光度関数は、B-band, R-band とともに $-19 < M_{B,R} < -10$ まですべて求めることができ、広い等級範囲に渡って光度関数を求めることができた。銀河団の光度関数を求める際、同じ Suprime-Cam で撮像された Subaru Deep Field の画像を用いて背景銀河の銀河計数を見積もり、これをかみのけ座銀河団で得られた銀河計数から統計的に差し引いている。

以下に主な解析結果をまとめる。

- 銀河光度関数の暗い等級範囲の傾きは、 $dN/dL \propto L^\alpha$ で近似される。本研究で求められた、かみのけ座銀河団の中心領域での銀河光度関数は、 $-19 < M < -10$ の等級範囲で傾き $\alpha \sim -1.8$ であった。この値は、CDM 理論から推測される DM ハローの質量関数の傾きとほぼ一致する。しかし、かみのけ座銀河団の光度関数は単調増加ではなく、銀河の等級範囲によって変化しており、 $M \sim -13$ より明るい銀河では $\alpha \sim -1.5$ の傾きを示すが、さらに暗い等級になると急激に立ち上がり、傾きは $\alpha < -2$ ($-13 < M < -10$) になっていることがわかった。一方、フィールド環境で観測された光度関数は、よりフラット ($\alpha \sim -1.3$) である。
- 銀河の特性と環境依存についてより詳しく議論するため、かみのけ座銀河団に属する銀河の色等級関係をもとにして銀河を赤いものと青いものに分類し、それぞれの銀河の光度関数を求めた。銀河団の中心領域も周辺領域も赤い銀河の割合が多いが、 $-11 < M < -10$ の非常に暗くて青い銀河については、その割合が中心から外側になるにつれて、多くなっていることがわかった。これらの青い銀河は、銀河団の外から落ちてくる星形成の活発な銀河からの寄与であると推測される。銀河団中心の赤い銀河は、その構造が extend しているものと compact なものと両方の population があるのに対し、銀河団周辺では extend している銀河は少ない。Compact population の中には、球状星団も若干含まれていると予想されるが、その寄与は十分小さい。よって compact population のほとんどは ultra-compact dwarf galaxies (UCDs) であると示唆される。
- 銀河の光度関数の研究は他の銀河団でも行われているが、かみのけ座銀河団の光度関数で見られるような、暗い等級での急激な立ち上がりが現れる結果は、他の銀河団すべてに見られるものではなく、銀河団の光度関数は普遍的ではないことを示唆する。光度関数の傾きは、銀河団中の銀河の速度分散、X 線で観測した銀河団の光度・温度と相関があることがわかった。ちなみに、X 線の光度・温度の特性は、銀河団の質量に関連している。従って、大質量の銀河団では、 $-15.0 < M < -12.5$ の光度関数の傾きがフラットになっているのに対し、小質量の銀河団では急になっていることがわかる。

一方、さらに暗い等級範囲($-12.5 < M < -10.0$)では、大質量銀河団の光度関数の傾きは、小質量銀河団より急になっている。

光度関数の傾きが単調ではないこと、また環境によって光度関数の形が異なっていることから、光度関数の暗い側は、CDM 理論から推測される宇宙初期に生まれた原始矮小銀河からの寄与だけでは説明できない。したがって、後に形成された矮小楕円銀河からの寄与を考える必要がある。以下に銀河の明るさ別に推測される矮小銀河の起源を議論する。

- $M = -12.5$ より明るい矮小銀河は、渦巻銀河のようなガスの豊富な銀河同士が合体する際にできた、tidal dwarf galaxies であると推測される。銀河団のような高密度環境は、銀河同士の衝突合体を多く経験しているため、これによって tidal dwarf galaxies の数が増加したと考えられる。一方で、大質量の銀河団では、銀河団の強い重力や銀河同士の接近衝突により tidal dwarf galaxies が壊されてしまうため、tidal dwarf galaxies の増加が抑制され、小質量銀河団に比べややフラットな光度関数の傾きが説明できる。
- $M = -12.5$ より暗い矮小銀河の増加には、宇宙初期に形成された原始矮小銀河のからの寄与、tidal dwarf galaxies と同じ時期に形成された UCDs からの寄与、そして tidal dwarf galaxies が壊された際に残った tidal remnants からの寄与が考えられる。特にかみのけ座銀河団のような大質量銀河団で、かつ NGC4839 グループのような銀河の小集団が銀河団の中心に降着している最中の銀河団では、潮汐作用が強く働くと予想されるため、tidal dwarf galaxies の破壊とそれに伴ってできる tidal remnants の増加がより顕著であると示唆される。かみのけ座銀河団の光度関数に見られる $M > -13$ の upturn は上記のシナリオによって説明できる。

銀河団の光度関数の暗い側は、起源の異なる複数の種族の矮小銀河から成り立っており、その形成は、銀河団同士、または銀河同士の衝突合体の過程と密接に結びついていると考えられる。

現在の標準宇宙モデルでは、宇宙初期にまず矮小銀河が大量に生まれ、それらの一部が集合・合体をくり返しながらいより大きな銀河が形成されてきたと考えられている。また一部の矮小銀河は、親銀河や銀河団の中心部の強い潮汐場の影響で細ったり破壊されたりすることも予想されている。しかし観測的には、現在の銀河団の中に矮小銀河がそもそもどのくらいの個数存在し、それがどういう光度（質量）分布で存在するのかという基本的な性質でさえ、その暗さ故、まだよく分かっていないのが現状である。このような矮小銀河の形成や破壊のプロセスは、銀河を取り巻く環境（銀河団の規模や密集度、銀河間ガスの圧力など）に大きく依存することが予想されるが、これも観測的には、ほぼ未知であると言っている。

このような背景の中、本論文は、すばる望遠鏡の広視野可視光撮像カメラ Suprime-Cam を用いて、近傍のかみのけ座銀河団の環境の異なる3領域について深い撮像観測（BとRバンド）を行い、銀河の光度関数を非常に暗い等級（絶対等級で -10 等級）まで求めたものである。そして光度関数の形や暗い側の勾配や、銀河の色別の光度関数を求め、それらの環境依存性や、規模の異なる銀河団同士での比較などを行って、矮小銀河の形成と進化について議論を行っている。

本論文のベースとなった、かみのけ座銀河団の測光撮像データは、その広さと深さの組み合わせにおいて、従来のデータを大きく凌駕しており、すばる望遠鏡の広視野カメラの特長を生かした、世界第一線のデータである。この特長あるデータを有効に活用し、非常に暗い等級にまで至る矮小銀河の個数や性質を調べた。その結果、かみのけ座銀河団の中心部では、 $-19 < M < -10$ の等級範囲での光度関数は、全体として光度の -1.8 乗の冪則で表せるが、 -13 等辺りで折れ曲がりがあり、それより暗い側では急激に立ち上がることが分かった。これは矮小銀河の成因の理解に対して大きな影響を与えうる、重要な観測的結果である。かみのけ座銀河団の中心部と外側とでは、光度関数に有意な違いは見られなかったが、他の銀河団と比較したところ、大質量銀河団ほど最も暗い側($M > -12.5$)の傾きは急であるという示唆を得た。またそれより少し明るい側($-15 < M < -12.5$)では逆に傾きが平坦であることも示唆した。出願者はこれらの傾向の解釈の一つとして、大質量銀河団では、銀河同士の衝突合体時に -12.5 等より明るい矮小銀河が生成されるものの、その後潮汐力によって壊され、その残骸が -12.5 等より暗い矮小銀河となって多数観測されるという仮説を提唱している。

これほど暗い側の光度関数を、さらに環境や銀河団の規模の関数として測定したことはこれまで例がなく、すばる望遠鏡による独自データによって、初めてそれを定量的に求め、光度関数の傾きに折れ曲がりがあることを示した本研究の意義は高く評価される。また、データ整約、解析、結果の取りまとめ、議論など、論文作成の一連の過程において、出願者が主体的に行っていることが認められる。これにより審査委員会は、全員一致で本論文が博士論文として十分な価値を有し、合格であると判定した。