

論文審査の結果の要旨

氏名 川俣 良太

本論文は、最遠方の宇宙で観測される再電離期の銀河のサイズと光度の関係、および光度関数を導出し、それにもとづいて銀河形成への示唆を考察したものである。

本論文は5章からなる。第1章は序章であり、本論文の背景や研究動機などがまとめられている。赤方偏移 $z=6-10$ の宇宙は、初代の星や銀河によって銀河間空間の水素が電離されたという「宇宙再電離」の時代とされ、銀河形成のなかでも特に重要な時代である。近年の大望遠鏡や宇宙望遠鏡の登場で、この時代の銀河の形成や進化の様子が直接観測されるようになってきた。特に、ハッブル宇宙望遠鏡を銀河団に向けると、銀河団の巨大な質量による重力レンズ効果で背景の銀河が増光されるため、最も遠方にある暗い銀河を空間分解して検出することができる。本論文は、6個の銀河団を観測した世界最先端のハッブルフロンティアフィールド(HFF)のデータを解析し、銀河のサイズと光度の関係、また、銀河の光度関数(光度の関数としての数密度)を求めた。同じ明るさでもサイズが大きいと面輝度が下がり検出が難しくなるため、光度関数を正しく導出するためには検出効率を正しく扱う必要がある。そのためにはサイズ-光度関係と光度関数を同時かつ整合的に求めなくてはならない。しかし過去の研究においては、サイズ-光度関係を固定して光度関数を出したため、バイアスがあった。この両者を整合的に統計解析して求めたのは本論文が初めてである。そしてその結果を基に、銀河のサイズがどのような物理過程で決まっているのかについて考察を行った。

第2章は、用いたデータとサンプルの説明である。HFFの全ての銀河団領域のデータを用いて、 $z=6-7$, ~ 8 , ~ 9 の三つの範囲でライマンブレイク銀河のサンプル(それぞれ 334, 61, 37 個)を構築する過程が記述されている。

第3章は、銀河団による重力レンズ効果のモデル化についての説明である。重力レンズ効果は `glafic` というソフトウェアを使用して、6つの銀河団の質量分布モデルを用いて計算された。精度のよいモデルの構築には、多重像を示す銀河の再現性が鍵となるが、各銀河団 (Abell 2744, MACS J0416.1-2403, MACS J0717.5+3745, MACSJ1149.6+2223, Abell S1063, Abell 370) の質量分布の制限には、それぞれ 132, 202, 173, 108, 141, 135 個の多重像を使った。これらのうち、182 個は本論文で同定されたものである。また、構築されたモデルは重力レンズされた超新星の観測を矛盾無く再現できることが検証された。

第4章はサイズ-光度関係と光度関数の導出である。レンズ効果の歪みを考慮したモデルプロファイルを観測された銀河像に2次元フィットすることで、銀河のサイズと等級を求めた。強い重力レンズ効果のおかげで、最も暗い銀河のものとしてはこれまでで最大のサンプルを実現した。銀河の検出効率を正しく取り扱うため、本論文ではサイズ-光度平面上の銀河分布の最尤推定を用いて、サイズ-光度関係と光度関数を同時に決定した。その結果、 $z=6-7$ における真のサイズ-光度関係のベキが $\beta = 0.46 \pm 0.08$ (ただし半径 r と光度 L の関係を $r \propto L^\beta$ と仮定) と求めた。これは、 $z=4-5$ でのそれ(0.22-0.25)よりも、かなり急で

ある。急な傾きをもつサイズ-光度関係に対応して、暗い部分の傾きがより平坦な光度関数が得られた。 $z\sim 8$ と 9 でのサイズ-光度関係と光度関数の推定値は $z\sim 6-7$ のそれらと無矛盾であったが、銀河数が少ないため、推定値には大きな不定性がある。宇宙再電離に重要な紫外線光度密度の推定には光度関数の測定が不可欠であるが、本論文の結果は、サイズ-光度関係を正しく扱わなければ間違った結論を導出してしまう恐れがあることを示している。また、銀河サイズの理論モデルと比較検討を行い、小さなサイズの銀河ほど、暗黒物質ハローの角運動量に比べて星が持つ角運動量が相対的に低くなっていることを初めて見いだした。

第5章は論文のまとめである。

再電離期の銀河は宇宙再電離の解明や銀河形成の理解のために大変重要な対象である。そのデータから物理量を正しく抽出するために、サイズ-光度関係と光度関数を正しい取り扱いで導出する方法論を本論文が確立し、さらに、銀河の角運動量とサイズの関係について新たな知見を得たことは高く評価できる。

なお、本研究は石垣真史、大内正己、大栗真宗、嶋作一大、谷川真悟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。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。