

論文審査の結果の要旨

氏名 李 民主

本論文は、赤方偏移約 2.5 の原始銀河団にある銀河について、主に Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) を用いて電波観測を行い、銀河の低温ガスの分布や運動等を平均的銀河数密度の環境と比較しながら定量的に調べたものである。

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。近年、高赤方偏移での銀河の観測が活発に行われてきた結果、星生成活動と銀河中のガスの運動などが詳しく調べられてきた。しかし銀河の形態の起源を調べる上では、環境効果、すなわち銀河数密度の違う環境における銀河進化の違いを調べることが重要となる。本論文の研究の前には、高赤方偏移の銀河数密度の高い領域においては、大質量銀河についての観測例が少数あるのみで、典型的な質量の銀河の環境効果の研究はなされていなかった。そこで本研究では、高赤方偏移における原始銀河団領域において、初めて典型的な質量の銀河の星生成活動等を調べることとしたという動機が記されている。

第 2 章には、今回観測を行った銀河をどのように選定し、どのように観測を行ったかについて記されている。着目した高密度領域は、赤方偏移 $z=2.49$ の原始銀河団 4C23.56 であり、高赤方偏移の電波銀河の周辺を調べることによって見つかった原始銀河団である。この原始銀河団では、すばる望遠鏡による近赤外線観測、特に H α 輝線を用いた狭帯域撮像観測等によって、星生成活動の活発な銀河（以下 H α 輝線銀河）が多く見つかった。標準的な銀河形成のシミュレーションなどと比べると、この原始銀河団は、近傍ではおとめ座銀河団あるいはより大規模な銀河団に成長していくと推定され、銀河進化の環境効果の研究に適している。そこで論文提出者らは ALMA を用いてダストの指標となる波長 1.1mm の連続波および低温ガスの指標となる一酸化炭素輝線（J=3 から J=2 の遷移輝線 CO(3-2) および J=4 から J=3 の遷移輝線 CO(4-3)）の高空間分解能の観測を行った。

第 3 章ではまず CO(3-2)輝線と連続波の観測結果を示し、それらを吟味している。H α 輝線銀河 21 個を観測し、うち 7 個の銀河から CO(3-2)輝線が、4 個の銀河から連続波を有意に検出した。これらの銀河はいずれも可視赤外線の観測から求めた星の質量（以下星質量）が 4×10^{10} 太陽質量よりも大きい銀河であり、原始銀河団においてこれだけ多数の銀河から低温ガスやサブミリ波連続波を検出したのは世界で最初の例の一つである。CO(3-2)輝線から求めたガス質量と連続波から推定したガス質量は互いに矛盾のないものであった。また CO(3-2)輝線が検出された 7 個の銀河のガスの質量の星質量に対する割合は 0.53 ± 0.07 であり、平均的数密度環境の銀河と同じとして矛盾のない値であった。また銀河のガス質量の割合と星質量の間には相関がある可能性を指摘した。この相関は平均的数密度環境と違いがある可能性もあるが、統計的に有意であるとまでは言えなかった。さらに銀河全体の星生成効率と星質量の間にも相関がある可能性を指摘した。

第 4 章では、CO(4-3)輝線の観測結果を加えて銀河の性質を調べた。CO(4-3)の輝線が有意に検出された銀河は 10 個で、うち 5 個の銀河で CO(3-2)輝線も検出された。CO(4-3)輝

線のデータは0.3~0.5秒角の高空間分解能であるため、信号雑音比が8を超えた2個の銀河についてガスの運動を詳しく調べた。2個の銀河の回転運動速度と速度分散の比は互いに大きく異なるが、いずれも高赤方偏移の円盤銀河の性質のばらつきの範囲に含まれていると考えられた。いずれの銀河も合体がおきやすい原始銀河団の最も数密度の高い場所に位置しており、うち1銀河については乱雑な運動が卓越しており、比較的近く(25kpc)にある銀河と相互作用をしている、あるいは合体をしようとしている可能性があった。またいずれの銀河も高赤方偏移の平均的数密度環境における銀河回転と明るさの相関関係(Tully Fisher relation)にのっていた。したがって、ガスの運動を調べることができた2個の銀河は同程度の赤方偏移の平均的数密度環境の円盤銀河とほぼ同じ性質を有しており、仮に近傍宇宙で銀河団中心に多くみられる楕円銀河となっていくとすると、大量に角運動量を失う必要がある。

第5章は論文のまとめである。今回新たにALMAで観測した原始銀河団の銀河の性質は平均的数密度環境の銀河と有意な違いは見られなかった。ただし銀河のガス質量割合と星質量の関係に環境依存性がある可能性を指摘し、また原始銀河団中心に回転が卓越した銀河を見つけたこと、など、銀河の環境効果について示唆に富む内容が含まれており、より大規模なサンプルでの研究が望まれることを示している。

以上、本論文は原始銀河団銀河のガスの量や割合、運動について、低温ガスの観測に基づき銀河進化における環境効果を定量的に調べた初めての研究の一つであり、平均的数密度環境と明らかな違いは見られないことを示した。一方統計的には有意だと示せていないものの、将来的により大規模な観測を行うことにより、環境効果が見つかる可能性等も指摘しており、高赤方偏移における銀河進化の環境効果の先駆けとなる研究として高く評価できる。

なお、本研究は田中壱・川邊良平・河野孝太郎・児玉忠恭・鍛冶澤賢・Yun Min S.・中西康一郎・伊王野大介・田村陽一・廿日出文洋・梅畑豪紀・斉藤俊貴・泉拓磨・Aretxaga Itziar・但木謙一・Zaballos Milagros・五十嵐創・Wilson Grant W.・Hughes David H.・Iverson Rob J.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。