

# 論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 賢太

本論文は、初期宇宙における形成中の銀河団であると考えられている電波銀河 4C23.56 の周囲にある赤方偏移  $z=2.48$  の原始銀河団をミリ波・サブミリ帯で観測し、それにより多量のダストに覆われた爆発的星形成銀河を多数検出するとともに、その性質を可視からミリ波までの多波長観測から詳細に調べることによって、銀河団形成についての新たな知見を示したものである。

本論文は8章から構成される。第1章はイントロダクションであり、銀河団環境における銀河形成、これまでの高赤方偏移原始銀河団観測研究について得られた知見、サブミリ波観測の重要性とこれまでなされたサブミリ波銀河(Sub-Millimeter Galaxy : SMG)による銀河進化研究がまとめられている。

第2章は南米・チリにある ASTE 望遠鏡に搭載されたミリ波ボロメータカメラ AzTEC により、 $z=2.48$  にある電波銀河 4C23.56 周囲の星形成銀河(電離水素  $H\alpha$  輝線銀河 : HAE) 密度超過領域を中心とした天域を 1.1mm 連続波で撮像観測をまとめたものである。これにより、166 平方分に 43 個の SMG を検出した。とくに密度超過領域では HAE の分布と良く相関していることが明らかになった。その数密度は、フラックスの明るい側でフィールドに比べ数倍の超過を示しており、原始銀河団で生じている爆発的星形成活動を捉えたものである。

第3章は前章で検出された SMG のうち HAE と重なる 4 天体について、Plateau de Bure 干渉計(PdBI)によりおこなった 1.8mm 帯分光観測をまとめたものである。この観測の空間分解能は 3 秒角であり、1.8mm 連続波で 8 天体が検出され、そのうち 4 天体が HAE と同定されるとともに、内 2 天体については CO 分子輝線も同時に検出されている。

第4章は電波銀河 4C23.56 領域の他波長データのまとめであり、すばる望遠鏡/SuprimeCam による可視 B バンド、MOIRCS による近赤外線 Ks バンド、Spitzer 宇宙望遠鏡による中間赤外線 3.6/4.4/5.8/8.0/24 $\mu$ m、Herschel 宇宙望遠鏡による遠赤外線 250/350/500 $\mu$ m の撮像データとその詳細が述べられている。

第5章はここまで得られた多波長データから、SMG の性質を調べたものである。赤方偏移が分かっていない SMG については、ダスト温度を仮定することにより遠赤外線とミリ波のデータから赤方偏移を推定している。赤外線光度を推定した結果、太陽光度の  $10^{12}\sim 10^{13}$  倍程度であり、星形成率に直すと 300~2000 太陽質量/年に相当する爆発的星形成を行っていることを示した。

第6章はCO分子輝線を用いて、原始銀河団に含まれるHAE 2天体の分子ガス量を調べたものである。ガス量は変換係数に大きく依存するものの、2天体とも $4\sim 20\times 10^{10}$ 太陽質量程度であることが示された。分子ガスが銀河のバリオンに占める割合は少なくとも7~60%と大きなばらつきがあり、同じ原始銀河団内でも銀河進化ステージの様々な段階にあるものが存在することを示唆した。

第7章では以上の結果をまとめた議論を行なっている。1.1mmで検出されたSMGの星形成モードを探るため、分子ガス量の指標であるCO分子輝線強度と星形成率の指標である赤外線光度を比較し、半数は近傍の高光度赤外線銀河のような高い星形成効率を示すのに対し、半数は近傍の円盤銀河のように静穏な比較的低い星形成効率を持っていることを明らかにした。このことより、論文提出者は原始銀河団では大規模な星形成を行なっている爆発的星形成銀河が多数いる一方で、その進化段階や星形成のモードには様々な多様性があると主張している。

第8章は全体のまとめである。

以上、本論文ではミリ波・サブミリ波により遠方の原始銀河団の撮像観測を行い、銀河団形成期における爆発的星形成銀河の性質を明らかにしたものである。特に、(1)静止波長可視域でのH $\alpha$ 輝線銀河(HAE)とSMGの対応を明らかにした初めての結果であり、(2)原始銀河団でSMGの数密度超過があることを示し、(3)SMGの進化段階や星形成モードに多様性があることを明らかにしたことは、今後の銀河団形成と進化の研究にも大きな影響を与える独創性の高い重要な成果である。

なお、本論文の第2章~第6章は河野孝太郎、田村陽一、五十嵐創、梅畑豪紀、廿日出文洋、川邊良平、中西康一郎、鍛冶澤賢、伊王野大介、大島泰、江澤元、Rob Ivison、田中壱、児玉忠恭、Grant W. Wilson、Min S. Yun、David H. Hughes、Itziar Aretxaga、Milagros Zeballos、Kimberly S. Scottとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測、データ解析、及び科学的議論を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。