

論文審査の結果の要旨

氏名 加藤 裕太

本論文は、赤方偏移(z)2~3 における3つの原始銀河団 2QZCluster、HS1700、SSA22 に対するハーシェル宇宙望遠鏡の赤外線観測により、銀河団形成を調べたものである。さらに、SSA22 における SSA22-SPIRE394 に対してアルマ望遠鏡の観測を行い、原始銀河団中にガス枯渇時間が非常に短い銀河が存在する可能性を示した。

本論文は6章および3章の補遺からなる。第1章は、序章であり、本研究の背景や論文の構成がまとめられている。理論モデルなどによると、高密度領域である原始銀河団では、銀河合体やガス流入が多いため、爆発的星形成銀河(Dusty Star-forming Galaxies; DSFGs)が多く存在し、銀河形成に伴う星形成活動が活発になっていると予想されている。DSFGsの多くは、観測が難しい遠赤外線などの長波長域でしか検出できないため、現状の観測ではあまり調べることができていない。そこで、本論文では原始銀河団に対する遠赤外線およびサブミリ波観測の研究を行うと述べられている。

第2章は、観測する3つの原始銀河団と、それらに対するハーシェル宇宙望遠鏡の観測について述べられている。3つの原始銀河団は、活動銀河核の個数密度超過があり、大規模構造のガスと関係する $\text{Ly}\alpha$ ブローブなどの天体が含まれ、銀河密度超過による数十 comoving Mpc におよぶフィラメント構造があるものとして、2QZCluster ($z=2.2$)と HS1700 ($z=2.3$)、SSA22($z=3.1$)が選ばれた。ハーシェル宇宙望遠鏡を用いて、3つの原始銀河団中心領域に対して、250 および 350、500 μm バンドの測光観測を行ったことが述べられている。

第3章は、ハーシェル宇宙望遠鏡のデータの解析と原始銀河団に付随するDSFGsを選ぶ過程が書かれている。各原始銀河団の赤方偏移に対応する2つのフラックス比、500 μm バンドの350 μm バンドに対するフラックス比 S_{500}/S_{350} と350 μm バンドの250 μm バンドに対するフラックス比 S_{350}/S_{250} 、をもつ天体のうち、赤外線光度が十分に明るい($L_{\text{FIR}} > 5 \times 10^{12}$ 太陽光度)天体を原始銀河団に付随するDSFGsとして選択している。

第4章は、ハーシェル宇宙望遠鏡のデータから得られた結果がまとめられている。第3章に述べられたDSFGsの選択を行い、2QZCluster と HS1700、SSA22 原始銀河団において、それぞれ6個と8個、5個のDSFGsの候補天体を得たと述べている。(なお、赤方偏移によるk-correctionの効果を強く受けるSSA22原始銀河団に対しては、500 μm で検出された3つの天体もDSFGs候補天体に含めている。)これらの原始銀河団で見つめられたDSFGsの個数密度は、一般天域に対して有意に超過していると主張している。次に、天球面上で原始銀河団に付随するDSFGsが半径1 physical Mpcの円内で最も高密度となる領域において、星形成率密度を求めている。その結果、これら3つの原始銀河団における最大の星形成率密度は、一般天域の100-1000倍と非常に高くなりうることを示した。

第5章は、原始銀河団領域で星形成率密度が非常に高くなる原因を探るべく、アルマ望

遠鏡の観測を行った結果について述べている。広がった水素 Ly α 輝線がある Ly α ブローブで、これらの原始銀河団の銀河の中でもガス供給が多いと考えられる SSA22-SPIRE394 天体（以降は LAB18 と呼ぶ）に対して、アルマ望遠鏡の観測が行われた。ダスト連続光を調べたところ、5 σ 以上の有意性で4つの DSFGs、LAB18.a と LAB18.b、LAB18.c、LAB18.d が検出されたと述べている。さらに LAB18.b において1.1 σ の有意性で CO J=4-3 輝線を検出したことが報告されている。LAB18.b の L_{FIR}に対する CO J=4-3 光度 L_{CO(4-3)}は、近傍や遠方銀河で知られている L_{FIR}-L_{CO(4-3)}の相関関係に対して L_{CO(4-3)}が3分の1程度であり、小さいことが示されている。経験則に基づき L_{CO(4-3)}から分子ガス質量を見積もると 4.4 $\times 10^9$ 太陽質量であり、これからガス枯渇時間を計算すると 22 $^{+14}_{-6}$ Myr になる。これは従来知られている遠方の DSFGs のガス枯渇時間(100-200 Myr)と比較して、有意に小さい値であると主張している。その他、LAB18.a と LAB18.c、LAB18.d からは CO J=4-3 が検出されず、ガス枯渇時間の上限値がさらに小さいことを示唆している。以上から、LAB18 はガス供給が多くてガス枯渇時間が長いだろう、という予想に反して、ガス枯渇時間が短かったことになる。この理由について、銀河合体の可能性を議論している。最後に、LAB18.b がこれまで知られている遠方 DSFGs と比べ、ダスト放射係数が大きく(2.3~2.6)、ダスト温度が小さい(24~32K)性質を示し、その物理的起源としてダスト組成の違いについて考察している。

第6章は論文のまとめである。

本論文で議論された原始銀河団の DSFGs は、銀河団形成と大質量銀河形成を考察するうえで大変重要な天体である。赤方偏移 3 を超える原始銀河団において、星形成率密度が一般天域の 100~1000 倍と非常に高い可能性を示したこと、さらには原始銀河団に存在する、Ly α ブローブで DSFGs の中に遠赤外線光度に対して CO J=4-3 輝線が弱く、ガス枯渇時間が非常に短い天体が存在する可能性を観測的に示したという学術的価値は高い。また、いくつかの天文学上の重要問題への示唆を幅広く議論した点も評価できる。

なお、本研究は松田有一・Ian Smail・Mark Swinbank ほか計 17 名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。