

審査の結果の要旨

氏名 黄 燦

本論文は4章からなる。第1章は、イントロダクションであり、本研究の背景と目的が述べられている。銀河形成は赤方偏移 $z = 2 - 3$ 付近でピークを迎え、現在ある星質量の大部分が形成されたこと、一方でこれらの銀河において星形成活動がどのように促進・停止されるのかはまだわかっていないことが説明され、これらを総合的に理解するために歴史的に可視赤外線での分光観測が行われてきたことが説明されている。しかしながら、近年の観測で星形成活動の多くがダストに隠されていることがわかってきており、ミリ波・サブミリ波での輝線のブラインドサーベイ観測の重要性が述べられている。

第2章は SSA22-AzTEC26 フィールドにおけるアタカマミリ波・サブミリ波干渉計 (ALMA) によるバンド3 (84.5 – 113.7GHz) のスペクトルスキャンサーベイ観測の結果が述べられている。総積分時間 6.2 時間の観測で、 5.2σ 以上の輝線天体 4 天体を検出することに成功した。すべてについて可視赤外線対応天体が検出され、測光的赤方偏移を求めた結果、1 天体が $z=2$ 付近の一酸化炭素 CO(3-2) 輝線、2 天体が $z = 1$ 付近の CO(2-1) 輝線であると同定された。残りの 1 天体については測光的赤方偏移に対応する電波輝線がなく、同定ができなかった。さらに、バンド4 (143 – 146.7GHz と 154.9-158.7GHz) およびバンド7 (340 – 356.2GHz) による追観測も行い、 $z = 2$ 天体については [CII](1-0) 輝線も検出されたことが述べられている。続いて CO 輝線強度から水素分子質量を導出することによって、3 天体とも 10^{10} 太陽質量を超える大量の分子ガス雲があることを示している。これに加え、これら天体の可視から遠赤外線にかけての spectral energy distribution (SED) 解析により星質量や星形成率を導出した。その結果、2 天体は典型的な星形成銀河であり、星質量・星形成率関係や分子ガス質量・星形成率関係などのスケーリング則に従うことが示された。ただ残りの 1 天体は、ほぼ星形成を行っていない銀河であるにも関わらず分子ガス量がスケーリング則から予想される値より一桁以上大きく、分子ガスがあるにも関わらず星形成を妨げる何らかのプロセス、たとえば AGN や超新星爆発によるフィードバックや形態による星形成活動の抑制 (morphological quenching) が働いているのではないかと議論している。また、ダストに完全に隠された星形成の可能性も排除しきれず、さらなる観測が必要であると指摘している。

第3章は近傍の衝突銀河 VV114 の ALMA 観測データの背景に映り込んでいる CO 輝線で検出された二つの銀河 ($z = 2.467$ の J0107a および $z = 2.31$ の J0107b) の詳細な解析である。まず、J0107a について、ALMA による複数バンド(3, 4, 6, 7)のデータと、あらたにジェームズウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)で得られた $1.5\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ の赤外線撮像デ

ータを組み合わせることによって銀河の力学モデルを新たに構築した。JWST のデータからこの銀河は大きなバーを持った棒渦巻銀河であることを明らかにするとともに、その形態から銀河の傾き角を正確に求めることに成功している。その結果、以前の解析に比べてディスクの回転速度が大幅に大きいことが明らかになり、速度分散に比べて回転成分が卓越した銀河円盤である事を初めて示した。また、付近に相互作用している銀河がないことから、円盤不安定によってバー構造が形成された可能性を示した。そして、バー構造によって活発な星形成が引き起こされていると結論づけている。

さらに、VLA による CO(1-0)観測を行い、その結果も加えた複数の CO 輝線比解析から分子ガス雲の物理状態をモデル化し、CO 輝線強度・水素分子ガス量係数(α_{CO})を導出した。その結果から水素分子ガス量を導出し、二つの銀河は $2 - 3 \times 10^{11}$ 太陽質量という多量の分子ガスを持つことを明らかにした。

第 4 章は第 2 章、第 3 章のまとめで、CO 輝線によって多数の星形成銀河が発見できることを改めて強調するとともに、今の ALMA などの干渉計は視野が十分に大きくなく、サーベイ効率上がらないことから、次世代の単一鏡大型サブミリ望遠鏡と広帯域の分光計の必要性を述べている。

以上のように、本論文は ALMA を用いて CO 輝線で検出された銀河の詳細な性質を、VLA および JWST などのデータと組み合わせることにより、可視光・赤外線・サブミリ波・ミリ波の非常に広い波長帯域で包括的に議論したものである。特に銀河の形成のピークである $z \sim 2$ の時代における銀河形成活動を分子ガスの視点から切り込み、総合的に理解しようとする先駆的で重要な研究であると位置付けられる。

本論文第 2 章は、梅畑豪紀・川邊良平・河野孝太郎・Minju Lee・田村陽一・甘日出文・馬渡健との共同研究、第 3 章の一部は川邊良平・河野孝太郎・斉藤俊貴・水越翔一郎・伊王野大介・道山知成・田村陽一・Christopher C. Hayward・梅畑豪紀との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析及び議論・検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。