

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 **The Physical Properties of Star-forming Galaxies and their Environments at Intermediate Redshifts**
 (中間赤方偏移における星形成銀河の物理的性質と環境)

氏 名 柏野 大地

論 文 内 容 の 要 旨

近年の大規模サーベイにより、我々は多数の銀河の撮像イメージ、多波長測光データ、分光スペクトルなどの観測データを手に入れてきた。観測技術の発展により、より深く遠くの宇宙を観測することが可能になり、我々の銀河観測の最前線は宇宙における初代の銀河が形成された時代に届きつつある。このような大規模なデータにより、今日まで我々は、銀河の性質を詳細に調べ、銀河の形成と進化について明快な描像を与えてきた。宇宙の星形成史、つまり宇宙全体での星形成率密度の時間変化は徐々に明らかにされ、赤方偏移 1~3 で宇宙全体の星形成活動は極大となることが知られている。また、個々の銀河を見ると、その時代には、現在の 20~50 倍もの効率で星を形成していたことがわかっている。この時代の銀河を詳しく調べることは、銀河進化の全体像を明らかにする上で重要なことである。

そこで、私は共同研究者とともに、すばる望遠鏡の多天体近赤外分光観測装置 FMOS を用いて、星形成史のピーク期である赤方偏移 $z \sim 1.6$ における星形成銀河の探査「FMOS-COSMOS サーベイ」を行ってきた。本博士論文では、このプロジェクトにより得られた近赤外線スペクトルデータに基づき、この時代の星形成銀河の物理的性質を包括的に研究した成果を報告する。

星形成率は銀河を特徴付ける最も基本的な物理量であり、 $H\alpha$ 輝線の光度から見積もることができる。しかし、銀河内には星間固体微粒子（ダスト）が存在し、星やガスからの放射は吸収・散乱（減光）を受ける。そのため、正しい星形成率を求めるためには、これを見積もり補正する必要がある。そこで私はまず、個々の銀河のスペクトルを平均化し、バルマー減少率（ $H\alpha/H\beta$ 輝線強度比）を測定し、 $H\alpha$ 輝線に対する減光の量を見積もった。この結果を用いて、私はダスト減光を補正した $H\alpha$ 輝線光度から星形成率を求め、赤方偏移 $z \sim 1.6$ の星形成銀河の星形成率は近傍銀河の 10~20 倍程度大きいことを示し、星質量と星形成率の相関関係（星形成主系列）を高い精度で定量化した。また、この時代の銀河の輝線放射成分に対する減光量は、近傍銀河のそれとほぼ同程度であり、これら若い銀河においてもダスト形成が十分に進んでいること、高赤方偏移の星形成銀河では輝線放射と星からの連続光成分に対する減光量の差が近傍銀河と比較して小さいことを示した。これらは、近い将来の高赤方偏移銀河サーベイにおいて、輝線の検出率を予想し、戦略を立てる際に重要な情報となる。

次に私は、複数の元素から放出されるエネルギーの異なる輝線を用いて、星形成銀河中の電離

ガスの物理状態を詳細に調べた。星形成主系列に沿った約 700 個の星形成銀河サンプルのスペクトルデータを解析し、これらの銀河が近傍の星形成銀河と比較して、高い [OIII]/H β 輝線比を呈すること、すなわちガスの励起状態が卓越していること、また近傍銀河と比較して低い [SII]/H α 輝線比を示すことを確かめた。これらの変化は星形成領域の電離光子の量が、近傍銀河と比べて過剰であることを示唆している。このことは、観測により得られた輝線比と光電離モデルの理論計算との比較からも支持されることを確かめた。また、[SII] 二重輝線比から電子密度を推定し、電離ガスの密度が近傍銀河と比べて 2~10 倍程度高いことを確かめた。このことは、密度の濃いガス中で活発な星形成が起こっていることを示唆している。

また私は、星質量と金属量の間関係を定量化し、同じ星質量で比べたとき、高赤方偏移の星形成銀河では、近傍銀河に比べて金属量が小さいこと、一方で太陽質量の 10 の 11 乗倍以上の大質量銀河では、近傍銀河と同程度の高い金属量をもっていることを示した。さらに、金属量と星形成率の間関係を調べ、近傍銀河が示す関係と併せて、ガスの流出入と消費を考慮した化学進化モデルでよく記述できることを確かめた。

銀河はそれを取り巻く暗黒物質ハロー (DM ハロー) の内部で形成し、進化する。私は、分光観測により得られた個々の銀河の赤方偏移に基づき、銀河の 3 次元空間分布を描き、サンプル銀河を取り巻く DM ハローの性質を調べた。まず私は、サンプル銀河の 2 点相関関数を測定し、これらの銀河が共同射影距離 0.05 から 20 Mpc において強く集団化していることを示した。次に、得られた相関関数をハロー占有分布モデルと呼ばれる理論モデルを用いて、DM ハローの分布から予想される相関関数と比較することで、サンプル銀河は平均的に太陽質量の 7×10^{12} 倍程度の DM ハローの内部に存在していることを示した。DM ハローの成長モデルによると、これらのハローは $z \sim 1.6$ から徐々にその質量を増やし、現在の宇宙においては太陽質量の 3×10^{13} 倍程度の銀河群スケールのハローになっていると考えられる。また、この結果から、銀河の形成と進化のモデルを制限する上で重要な、銀河の星質量と DM ハロー質量の間関係に制限を与えた。