

# 論文審査の結果の要旨

氏名 张 海滨

本論文は8章からなる。第1章は、イントロダクションであり、宇宙初期の構造形成、初期銀河、星形成銀河について整理し、高赤方偏移の星形成銀河周辺に存在する水素ライマンアルファ ( $\text{Ly}\alpha$ ) 輝線の重要性とこれまでの研究についてまとめている。 $\text{Ly}\alpha$  輝線銀河 (LAEs) の中でも高光度で空間的に大きく広がった  $\text{Ly}\alpha$  ブロップ (Lyman  $\alpha$  Blob: LAB) と、LAB よりもやや低光度の  $\text{Ly}\alpha$  ハロー (Lyman  $\alpha$  Halo: LAH) について導入し、宇宙初期の銀河形成を探る上でも、こうした天体のサンプルを観測的に揃えること、形状や周辺環境の系統的な解析が必要なことについて述べている。その後、博士論文の位置付け、および解くべき課題について整理している。第2章は、銀河形成や広がった  $\text{Ly}\alpha$  輝線の分布を説明する理論モデル、輝線スペクトルの形状について述べられている。第3章は、すばる望遠鏡の超広視野カメラ、Hyper Suprime-Cam (HSC) で取得したデータの解説である。観測に使用したフィルタ、データのリダクションなどの説明がなされている。第4章は、サンプルの定義である。赤方偏移がおよそ 4.9 と 7.0 における LAEs のフィルタ観測によるイメージからの選定方法がまとめられ、赤方偏移 4.9 では 141 の、また赤方偏移 7.0 では 34 の LAEs を選び出している。さらに広がり解析から赤方偏移 4.9 と 7.0 でそれぞれ、9 個と 1 個の LAB の候補を選び出した。候補天体からさらに詳細な分光観測を行うために、 $\text{Ly}\alpha$  輝線の光度が最も明るく、空間的にも大きく広がった z49-1, z70-1 の二天体を選び出した。加えて、過去の観測データから赤方偏移 5.7 および 6.6 の天体をそれぞれ 2 個および 3 個加え、合計 7 天体を本論文で系統的に研究を行うサンプルとして定義した。第5章は、系統的解析を行うために必須の分光観測についてまとめたものである。z49-1 は Magellan 望遠鏡/LDSS3, z70-1 は Keck 望遠鏡 DEIMOS, z57-1 と z57-2 についてはすばる望遠鏡/FOCAS を用いて行われた。z70-1 の赤方偏移は 6.965 と判明し、これまでに見つかった中で最も遠方の LAB であることがわかった。輝線の形状、中心周波数、幅などのデータをそれぞれ取得し、整理している。第6章は7つの LAB 天体の解析およびその結果がまとめられている。特に、 $\text{Ly}\alpha$  輝線の広がりを定量的に求めるために必要なバックグラウンドの差し引きや望遠鏡の PSF (Point Spread Function) の効果の補正を行い、 $\text{Ly}\alpha$  輝線の表面輝度分布を求めた。中心核の半径とハロー成分の半径をフィッティングで定め、エラーの評価をモンテカルロ法を用いて実施した。さらにハロー成分の半径 (Halo scale length) が  $\text{Ly}\alpha$  輝線の強度や幅あるいは赤方偏移などとの関係を過去の観測で求められた LAE によるものと比較した。LAB の周辺環境は、LAB と銀河形成の関係を探る上で重要である。これまでの手法にもとづいて、本論文のサンプルである7天体が全て、LAE がより集中した空間領域に存在することがわかった。6章では、X線観測や分光観測の結果を用いて、AGN の活動について過去の観測とともに議論し、本論文のサンプルを含む、赤方偏移が5以上の LAB 天体には AGN 的活動性が確認できないことを示した。z49-1 および z70-1 の2天体について  $0.5\mu\text{m}$  から  $6.0\mu\text{m}$  にかけての SED (Spectral Energy Density) フィットを行い、解析したサンプルは様々な星形成率を示すことを確認した。第7章は博士論文全体の議論である。第一に本研究で発見した Z70-1 はこれまでで最遠方の LAB であり、 $\text{Ly}\alpha$  輝線の空間的広がりには連続成分にくらべて 87% の信頼度でより広がっていることを議論し、z57-2 が他のサンプル、あるいは宇宙論的流体シミュレーションによって得られたモデル銀河にくらべても広がっていることを示した。また、 $\text{Ly}\alpha$

輝線の線幅は約 600 km/s と他の LAB サンプルよりも広がっており、銀河の衝突・合体などのシナリオの可能性が示唆される。本論文のサンプルをこれまでの観測による LAB と組み合わせると LAB の数密度は赤方偏移が 3 から 5 の間で最大になるが、現時点ではサンプル選定の偏りの効果が影響している可能性がある。LAB 天体の性質には、類似天体 LAH との大きな違いは見出されなかった。第 8 章は結論となっており、赤方偏移 4.9 から 7.0 で、新たに行った LAB 天体のイメージング観測、分光観測の結果を整理し、2 個の、そして、その一つは最遠方の LAB 天体の発見という成果とともに、それが多様な星形成率をもち、これらの天体がスターバーストあるいはノンスターバーストの段階にあることを結論づけている。

高赤方偏移の星形成銀河周辺に存在する淡い水素 Ly $\alpha$  輝線は、初期銀河形成を研究する上で非常に重要であり、すばる望遠鏡のような高感度、広視野の望遠鏡で系統的に、各赤方偏移にて調べることが必要である。また、可視光撮像において各種フィルターで候補天体を識別し、さらにそれを分光観測することによって、光度や広がり異なる LAE 銀河、LAB 天体と LAH 天体の比較検討も可能となる。本研究では、最遠方の LAB を発見し、様々なアプローチで解析を行い、LAB 天体が高赤方偏移の LAH 天体と大きく違う点がないことを明らかにした。

本論文は Masami Ouchi, Ryohei Itoh, Takatoshi Shibuya, Yoshiaki Ono, Yuichi Harikane, Akio K. Inoue, Michael Rauch, Shotaro Kikuchihara, Kimihiko Nakajima, Hidenobu Yajima, Shohei Arata, Makito Abe, Ikuru Iwata, Nobunari Kashikawa, Satoshi Kawanomoto, Satoshi Kikuta, Masakazu Kobayashi, Haruka Kusakabe, Ken Mawatari, Tohru Nagao, Kazuhiro Shimasaku, Yoshiaki Taniguchi との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び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。