

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小野 宜昭

本論文は、現在発見されている最も遠方、すなわち最も初期の宇宙に存在する銀河である赤方偏移  $z=6\sim 7$  のライマン  $\alpha$  エミッタ銀河(LAE)、及びライマンブレイク銀河(LBG)の性質を、すばる望遠鏡を中心とする観測機器により得られた多波長撮像・分光データを用いて調べ、初期宇宙の再電離についての新たな知見を示したものである。

本論文は4章から構成される。第1章はイントロダクションであり、赤方偏移が6を超えるような遠方銀河および宇宙の再電離についてのこれまでの知見をまとめている。

第2章はすばる XMM ニュートンディープサーベイ(SXDS)フィールドですばる望遠鏡/Suprime-Cam の狭帯域フィルタ撮像によって検出された  $z=5.7$  及び  $z=6.6$  の LAE のスペクトルを調べたものである。SXDS フィールドにはすばる望遠鏡/Suprime-Cam による可視広帯域フィルタ撮像に加え、UKIRT 望遠鏡/WFCAM による近赤外撮像、Spitzer 宇宙望遠鏡/IRAC による中間赤外撮像の非常に深いデータがある。しかし、個々の LAE の連続光は非常に暗く、これらデータをもっとしても検出はできない。そこで  $z=5.7$  と  $6.6$  LAE の画像を 165 天体と 91 天体、それぞれ重ね合わせるスタッキング解析を行った。これにより、検出限界を一桁前後深くすることができ、静止波長で  $0.1\mu\text{m}$  から  $1\mu\text{m}$  でのこれら LAE のスペクトルエネルギー分布(SED)を得ることに成功した。

さらにこの SED を銀河のモデルスペクトルによりフィットした。LAE のようなダストが少なく、活発な星形成を行なっていると考えられる銀河では各種輝線の等価幅が大きくなることが予想される。論文提出者は、広帯域フィルタであってもその等価幅の大きな輝線の影響は無視できないと考え、恒星の連続光だけでなく、電離ガス雲から発せられる輝線を含んだモデルスペクトルを導入した。その結果、恒星の連続光の上に電離ガス雲の輝線が乗った若い銀河のスペクトルモデルで SED を説明できることを示した。また、これら銀河の典型的な質量は  $10^{7-8}$  太陽質量と非常に軽く、年齢は数百万年と非常に若い。そのことから、これら銀河は近傍のフィールド銀河の元 (building block) になった天体であると推測した。

ここで、大質量星から放射される水素電離光子の内、銀河内の中性水素に吸収されずに銀河間空間に漏れ出したものの比率(電離光子脱出率)は、 $z=6$  付近で完了したと考えられている宇宙の再電離を引き起こした天体を明らかにする上で非常に重要である。そこで、電離光子脱出率をフィッティングパラメータとして上記 SED のモデルフィットを行い、これら銀河からの電離光子脱出率の推定を試みた。

第3章は、すばるディープフィールド及び、Great Observatories Origins Deep Survey North(GOODS-N)フィールドで同定された、 $z\sim 7$  の LBG 候補 11 天体の Keck 望遠鏡/DEIMOS による非常に深い可視分光フォローアップ観測結果である。この観測により、3 天体で強いライマン  $\alpha$  輝線を検出し、赤方偏移の同定に成功した。その中でも一天体は  $z=7.213$  にあり、これまで発見された最も遠方の非対称なライマン  $\alpha$  輝線プロファイルを

もつ、すなわち確実に  $z=7.213$  にある LAE だと見なせる天体である。これら分光結果にこれまでの他の分光観測結果を合わせることにより、紫外連続光光度が小さい LBG 中の LAE の割合が  $z<6$  で単調増加してきたにもかかわらず  $z=7$  で大幅に減少していることを明らかにした。これに対して、紫外連続光光度が大きい LBG については大幅な減少は見られない。これらの結果より論文提出者は、 $z=6$  から 7 へと時代を遡ることで紫外連続光光度が小さい銀河の周囲、すなわち銀河の低密度領域で宇宙の電離度が大きく減少した可能性があり、これは高密度領域ほど宇宙再電離が先に起こるとする”inside-out”のモデルに合致することを指摘した。

第4章は全体のまとめである。

以上、本論文は現在人類が観測できる最遠方の宇宙での銀河の性質と、それが宇宙再電離とどのように関連しているのかを、現在入手できる最も深い観測データを用いて明らかにしたものである。特に(1)  $z\sim 6$  の LAE の SED が非常に強い輝線を含めたモデルでよく再現できることを示したこと、(2) 最遠方の LBG を分光同定し、LBG 中の LAE の割合の進化を宇宙再電離の視点からまとめ直して解釈したことは、すばるを始めとした現在の最先端観測装置の性能を極限まで用いた独創性の高い成果である。これらは、今後 TMT や JWST が更に遠方、あるいは暗い天体の観測を進めていく上でも基礎的な情報になる結果であり、学問的価値も高い。

なお、本論文の第2章および第3章は大内正己、嶋作一大、岡村定矩、柏川伸成、中島王彦、James Dunlop、Duncan Farrah、Ross McLure、Hooshang Nayyeri、Mark Dickinson、Kyle Penner、Benjamin J. Weiner、Jeyhan S. Kartaltepe、Bahram Mobasher、Daniel Stern、Hyron Spinrad 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。