

QSO 吸収線と遠方銀河を用いた原始銀河団領域の構造探査

向江 志朗 (東京大学大学院 理学系研究科 天文学専攻)

Abstract

形成過程にある銀河団である原始銀河団の物質分布は、 $z \gtrsim 2$ では主に遠方銀河だけを用いて探査されてきた。しかしながら中性水素ガスや重元素ガスの分布は観測的には調べられていない。そこで、我々は SSA22 原始銀河団領域 ($z = 3.09$) において背景 QSO のスペクトルにみられる吸収線を用いて原始銀河団に付随するガスの有無に迫った。まず、Magellan/IMACS で分光同定された銀河約 131 天体の分布を調べた。次に、SDSS-III から得た 4 つの QSO スペクトルに見られる吸収線より中性水素ガスの光学的厚みに対する赤方偏移分布を求めた。その結果、銀河の高密度領域に存在する QSO 視線上の $z \simeq 3.09 - 3.10$ と比較的幅広い赤方偏移に中性水素ガスによる強い吸収がみられた。更にはそれに付随すると考えられる重元素ガス CIV doublet の吸収線もみられた。

1 Introduction

$z \gtrsim 2$ において、銀河密度に超過が見られる領域は原始銀河団と呼ばれ、形成過程にある銀河団だと考えられている。原始銀河団に対する観測研究は盛んに行われ、その諸性質が明らかにされつつある。一方で、従来の研究は原始銀河団を構成する銀河そのものの性質を調べたものであり、主な構成要素と考えられる銀河団内ガス (ICM) とそれを供給する周辺の銀河間ガス (IGM) の観測研究は、ほとんどなされてこなかった。従来の観測研究は銀河周辺物質 (CGM) のように天体周辺 (e.g. Adelberger et al. 2003, Steidel et al. 2010) に限られている。

そこで本研究は、 $z = 3.09$ の SSA22 原始銀河団領域 (e.g. Yamada et al. 2012, Steidel et al. 1998) において、背景 QSO のスペクトルにみられる吸収線を用いて原始銀河団の ICM と周辺の IGM を俯瞰し、その関係を理解することを目的とする。

銀河間空間の物質は希薄なため、直接的な観測で捕らえることができない。そのため QSO のような明るい背景光のスペクトルにみられる $\text{Ly}\alpha$ forest (すなわち中性水素ガス雲) と、重元素による吸収線が良いプローブとなり宇宙の広い範囲にわたる物質分布への重要なアプローチとなる。

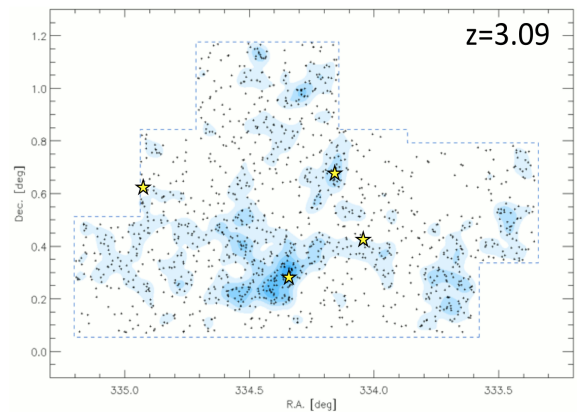


図 1: SSA22 原始銀河団領域 (Yamada et al.2012)。黒点は NB497 で観測された銀河であり、銀河密集領域が青の contour で描かれている。星印は SDSS で得られた背景 QSO の分布。

2 Methods

我々はまず、SSA22 原始銀河団領域での Magellan/IMACS 分光観測から 131 個の銀河を同定した。それぞれのスペクトルにみられる $\text{Ly}\alpha$ 輝線から赤方偏移を測定することで SSA22 原始銀河団領域における銀河の分布を調べた。分布における median の赤方偏移 z_{median} は $z_{\text{median}} = 3.087$ であった。次に、SSA22 原始銀河団領域の背景 QSO について SDSS-III のデータ (本研究で参照したのは整約済みのカタログ

グ BOSS $\text{Ly}\alpha$ forest sample: Lee et al. 2013, 2012) を調べた結果、4 個の背景 QSO ($z \simeq 3.2 - 3.5$) を見つけた。図 1 にその分布を示す。ここでは $\text{Ly}\alpha$ forest を調べる波長域は $\text{Ly}\beta$ forest との混在と QSO 近傍領域の影響 (proximity effect) を避けるために、QSO スペクトルの $\text{Ly}\beta$ 輝線と $\text{Ly}\alpha$ 輝線の間となる、静止系で $1040\text{--}1185\text{\AA}$ とした。これらの QSO の吸収線に、銀河の寄与と考えられる DLA 吸収が無いことを Noterdaeme et al. 2009 のカタログを確認して、それぞれの視線上で中性水素 $\text{Ly}\alpha$ の赤方偏移分布とその光学的厚み τ を求めた。

3 Results and Discussion

SSA22 原始銀河団領域の 4 本の背景 QSO 視線上の $z \simeq 3.095$ においてそれぞれ中性水素ガスによる吸収があることが見つかった。しかし銀河の個数分布のピークと中性水素 $\text{Ly}\alpha$ の赤方偏移分布に違いがあるようにみえる。一方で、銀河密度が最も高い天域に存在する QSO 視線上 (RA, Dec) $\simeq (334.^\circ 342, 0.^\circ 2778)$ の $z \simeq 3.09 - 3.10$ と比較的幅広い赤方偏移に、 3σ 以上の有意性で中性水素ガスがもたらす強い吸収 ($\tau \gtrsim 3$) がみられた。図 2 にそのスペクトルの拡大図を、図 3 に光学的厚み τ の赤方偏移分布を示す。更に、この QSO に注目してより高い感度の Keck/DEIMOS 観測データを調べた結果、中性水素ガスの強い吸収がみられた赤方偏移で、 $\simeq 4\sigma$ の有意性で CIV1548,1550 doublet の吸収を検出した (図 4)。これらの結果は形成過程の銀河団内部における中性水素ガスと重元素ガスの存在を観測的に示唆する。

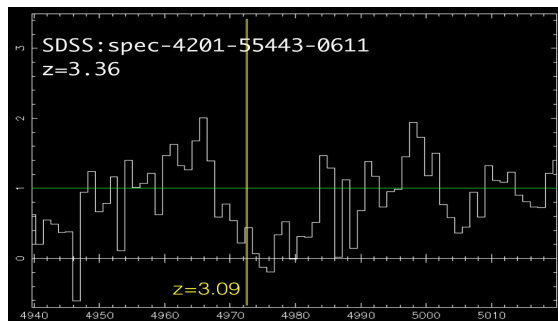


図 2: 銀河密度が最も高い領域に存在する背景 QSO のスペクトル ($R \simeq 1800$)

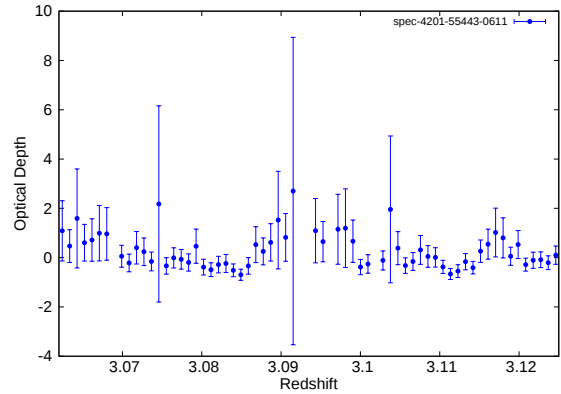


図 3: 視線における中性水素 $\text{Ly}\alpha$ の赤方偏移分布とその光学的厚み τ 。 $z \simeq 3.09 - 3.10$ に中性水素ガスによる強い吸収がみられる。

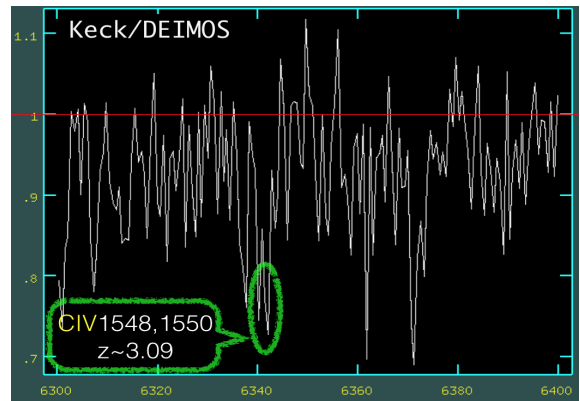


図 4: 図 2 と同じ背景 QSO の Keck/DEIMOS スペクトル ($R \simeq 2000$)。 $z = 3.091$ の CIV1548,1550 doublet の吸収線が検出された。

4 Prospects

今後は、SSA22 原始銀河団領域における他の QSO について、より感度の高い観測データを詳細に調べることで形成過程にある銀河団内部の中性水素ガスと重元素ガスに迫る。 $z \simeq 2$ であれば可視光波長域に入る $\text{MgII}2798$ 吸収線を探ることができるため、SDSS の QSO と今年度観測開始の HETDEX サーベイで見つかる $1.9 < z < 3.5$ の LAE を合わせた大量サンプルで、銀河の高密度領域における銀河間空間ガスを調べることができる。

また、QSO よりも個数密度が高い、明るい背景銀河を用いて宇宙の物質分布をトレースすることもでき、Ly α forest トモグラフィー (Lee et al.2014a, 2014b) と呼ばれる。将来的には Subaru/HSC と Subaru/PFS を用いた広視野かつ高精度で、NB で観測した銀河と背景銀河を用いて銀河間空間ガスから宇宙の物質分布を描き出すトモグラフィーマッピングを目指す。これらは銀河間空間での物質循環 (Dekel et al.2009) の研究に発展ができ、銀河形成の現場やその物理的背景理解へ繋がるとされる。

Reference

- Adelberger, K. L., Steidel, C. C., Shapley, A. E., & Pettini, M. 2003, ApJ, 584, 45
- Dekel, A., Birnboim, Y., Engel, G., et al. 2009, Nature, 457, 451
- Lee, K.-G., Hennawi, J. F., Stark, C., et al. 2014a, ApJL, 795, L12
- Lee, K.-G., Hennawi, J. F., White, M., Croft, R. A. C., & Ozbek, M. 2014b, ApJ, 788, 49
- Lee, K.-G., Bailey, S., Bartsch, L. E., et al. 2013, AJ, 145, 69
- Lee, K.-G., Suzuki, N., & Spergel, D. N. 2012, AJ, 143, 51
- Noterdaeme P. et al., 2012, A&A, 547, L1
- Steidel, C. C., Erb, D. K., Shapley, A. E., et al. 2010, ApJ, 717, 289
- Steidel, C. C., Adelberger, K. L., Dickinson, M., et al. 1998, ApJ, 492, 428
- Yamada, T., Nakamura, Y., Matsuda, Y., et al. 2012b, AJ, 143, 79