赤方偏移6.6と7.3の ライマンアルファ輝線銀河を用いた 宇宙再電離の研究

天文学専攻修士課程2年 今野 彰

概要

- 狭帯域フィルターを搭載したSubaru/Suprime-Camを 用いて、これまでに無い深さで撮像観測し、 z=6.6/7.3 ライマンアルファ輝線銀河を探査。
- z=6.6/7.3のLya光度関数を測定、その進化を調べた。
- 宇宙再電離について議論。

宇宙再電離とは



Robertson et al. (2010)

- z~1300で再結合、水素は中性に。
- z~10-30で天体形成開始。紫外線で水素が電離??

⇒ 宇宙再電離

• <u>中性水素割合:x(HI) = n(HI)/n(H)</u>を調べる必要性。

Lya減衰翼を用いたx(HI)の推定

- 背景光源:GRB, ライマンアルファ輝線銀河(LAE)
- Lyα減衰翼:中性水素Lyα吸収プロファイル(量子論的効果)



- Lya光度関数進化からLya透過率比 ⇒ 理論モデルと比較。
 ⇒ z=6.6 で銀河間物質中の x(HI) = 0.2 ± 0.2
- x(HI) > 0.1でも測定可能。
 - cf.) QSO GPテストでは、x(HI)~10⁻⁴ が限度。

CMBを用いた宇宙再電離の研究

Bennett et al. 2013



温度揺らぎ - 偏光度の相関パワースペクトル

- 背景光源:宇宙背景放射(CMB)
- 再電離で生じる電子によってCMB光子がトムソン散乱。
- ・トムソン散乱の光学的厚み: $\tau_{el} = 0.081 \pm 0.012$
- 宇宙再電離の時期に制限。



- 宇宙再電離の発生は早い時期?遅い時期?
- 再電離源は? ⇒ 銀河形成史と関係。



- z=6.6/7.3 Lyα光度関数 ⇒ z=7.3でのx(HI)の推定。
- 宇宙再電離史と再電離源を調べる。



- Subaru / Suprime-Camを用いた広領域撮像探査。
- ・Lya輝線を効率よく捉える狭帯域フィルター。



高感度(FWHM ~40%)。 こより~160 %高い効率で観測が可能。





- LAEの選定
 - 輝線による狭帯域光度超過
 - 紫外線連続光のブレーク
- ✓ z=6.6 LAEの選定条件: m(NB921) < 26.25 and z' - NB921 > 1.0and $m(B) > m_{2\sigma}$ and $m(V) > m_{2\sigma}$ and $[(m(z') < m_{3\sigma} \text{ and } i' - z' > 1.3)]$



図はシリーズ現代の天文学 「銀河」より引用。

 $m(\text{NB101}) < m_{5\sigma}$ and $m(B), m(V), m(R), m(i') > m_{3\sigma}$

or $(m(z') \ge m_{3\sigma})$]

⇒計7天体 and $[(z' - \text{NB101} \ge 3.0)]$ or $(m(z') > m_{3\sigma})]$ (SXDS+COSMOS:3+4天体)

Lya輝線の限界光度

✓ z=7.3 LAEの選定条件:

- $-z=6.6: \sim 1.6 \times 10^{42} [erg/s]$ ⇒ 従来と比べ~1.4倍深い。
- $-z=7.3: \sim 2.4 \times 10^{42} [erg/s]$
- ⇒ 従来と比べ~4倍深い。

z=6.6 Lyα光度関数

 10^{-2} • 光度ビン毎の個数密度 過去の探査 (本研究と面積同程度) $\operatorname{Mpc}^{-3}_{-3}$ ⇒ 光度関数 Φ z=6.6 Lyα光度関数 本研究 $\phi \left[\left(\Delta \log L = 1 \right) \right]$ $\phi(L)dL = \phi^* (L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*) d(L/L^*)$ 10^{-4} - field varianceの範囲で これまでの研究と一致。 10^{-5} 過去の結果 (SXDS+SDF全領域) ⇒光度関数の導出方法に 43.0 $\overline{44.0}$ 42.0よる系統的誤差は生じない。 $\log L(\mathrm{Ly}\alpha) [\mathrm{erg s}^{-1}]$

z=7.3 Lyα光度関数



- 本研究の z=7.3 Lyα光度関数
 - field varianceの大きさは統計誤差より小さい。
 - 過去のz=7.0/7.3研究と一致 & 過去よりも深く行った。

Lyα光度関数の進化 10^{-2} $\phi \, [(\Delta { m log} L \,{=}\, 1)^{-1} \, { m Mpc}^{-3}] \, 0_{-2}$ $\log \left(L_{z=5.7,\ 6.6\ \&\ 7.3}^{*} / L_{z=5.7}^{*} ight)$ $n = -2.8^{+0.7}_{-1.1}$ $n = -9.8^{+1.7}_{-2.7}$ $\frac{L_z^*}{L_{z=5.7}^*} \propto \left(1+z\right)^n$ 42.043.0 $\overline{44.0}$ z = 5.7z = 7.3z = 6.6 $\log L(\mathrm{Ly}\alpha) [\mathrm{erg s}^{-1}]$ $\log(1+z)$ (1) z=7.3はz=6.6に対して >90%の信頼度で有意に変化。 (2) z=6.6-7.3 で Lya光度の加速的減少明らかに。 ⇒(1),(2)とも初めて明らかに。

修士論文発表会

x(HI)の推定

- (Lyα光度密度比) (銀河進化効果) = (Lyα透過率比)
 - z=5.7 7.3でのLya光度密度の比: $\rho_{z=7.3}^{Lya,tot}/\rho_{z=5.7}^{Lya,tot}$ = 0.20
 - z=5.7 7.3でのUV光度密度の比: $ho_{z=7.3}^{UV}/
 ho_{z=5.7}^{UV}$ = 0.70
 - 関係式: $\rho^{Ly\alpha} = \kappa T_{IGM}^{Ly\alpha} f_{esc}^{Ly\alpha} \rho^{UV}$ より、 $\kappa, f_{esc}^{Ly\alpha}$ が大きく変わらないと仮定して、 $T_{IGM,z=7.3}^{Ly\alpha}/T_{IGM,z=5.7}^{Ly\alpha} = 0.29$
- 理論モデルと比較して、
 x(HI) = 0.3 0.8
- これまでのz > 7研究の 結果と一致。
- Lyα光度の加速的減少。
 ⇒ x(HI)の急激な増加。



修士論文発表会



- 盾が無いか確認。
- 3つのモデルで比較
 - A: $M_h \ge 10^9 M_{sun}$ - B: $M_h \ge 10^8 M_{sun}$ - C: $M_h \ge 5 \times 10^5 M_{sun}$
- モデルA, Bは、x(HI)推定値と合っているが、 τ_{ρ} は合わない。
- モデルCは、 τ_{el} は1 σ の範囲で合うが、x(HI) 推定値とは1σ程度ずれている。
- 本結果のx(HI)とCMBの結果と矛盾の可能 性?物理的理由:
 - 中性IGMの非一様性?(Bolton+13)
 - extended reionization ? (Dunkley+ 09)
 - 電離光子脱出率の進化?(Dijkstra+14)



まとめ

 z=7.3 LAE深撮像探査で、従来のz>7研究の~4倍の深さ に達した。

⇒ z=7.3 Lya光度関数の暗い側まで測定できた。

(1) z=6.6 – 7.3のLya光度関数進化を >90% 信頼性で検出。
 (2) z=6.6 ⇒ 7.3でLya光度の加速的減少を見つけた。
 – (1), (2)の結果は本研究で初めて。

z=7.3で x(HI)=0.3 – 0.8 という高い値。
 CMBの観測結果と矛盾?

⇒3つの物理的理由の示唆。