# 観測的宇宙論 ~宇宙再電離の謎を解く~

#### 2016/3/12

### 臼井菫 津名大地 中塚洋佑 降旗 大岳 丸石崇史

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2 津名大地
   藤本征史 菅原悠馬大内正己
   観測的宇宙論
   ~宇宙再電離の謎を解く

中塚洋佑

臼井菫

丸石崇史

# CONTENTS

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2







## 再電離と銀河成長

- ・銀河間物質の電離水素比Q<sub>H</sub> を計算する
  - ・銀河光度関数Φ ←観測から決定



・銀河の紫外線エネルギー密度  $ho_{\rm UV}$ 





・視線方向の電離ガス総量(トムソン散乱の光学的厚さτ測定済)(PLANCK)

銀河が原因の場合のての表式



 $\dot{n}_{
m ion}$  と  $ho_{
m UV}$  は以下のような関係

$$\dot{n}_{\rm ion} = f_{\rm esc} \xi_{\rm ion} \rho_{\rm UV}$$



紫**外線の**光度密度(理論値)

再電離方程式



## 先行研究



The Astrophysical Journal, 799:12 (21pp), 2015 January 20, Ishigaki

- ・再電離が行われたZ>8でのデータが少ない
   ⇒再電離がどのように始まったか知ることが出来ない。
- ・より高いZの銀河を用いたτの解析を行うべき



・宇宙背景輻射の偏光⇒電離水素の光学的厚さての決定(WMAP)

## 再電離と銀河成長

・銀河光度関数Φ

←観測から決定

- ・銀河の紫外線エネルギー密度  $\rho_{\rm UV}$
- •電離水素比Q<sub>HI</sub>
- 光学的厚さτ

# CONTENTS

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2

# 重カレンズ効果による増光



Hubble宇宙望遠鏡で得られたデータ
視野:4.7平方分
(約0.03度の正方形ぐらい)











・それぞれのzについて

**HFF** (Hubble Frontier Field :PI J. Lotz);

・銀河団領域×4 重力レンズ

• parallel  $\times 4$ 

**UDF**(Hubble Ultra Deep Field: PI Ellis et al. 2013) × 1;

<mark>最深</mark>領域のデータ

## データの性質~限界等級~

**HFF** (Hubble Frontier Field :PI J. Lotz);

·銀河団領域×4

限界等級~29等級、重力レンズ(さらに1~2等級程度深く) →30~31等級を見ることが可能

• parallel  $\times 4$ 

**UDF**(Hubble Ultra Deep Field: PI Ellis et al. 2013) × 1;

最深領域のデータ

限界等級~30等級



深撮像データ(Hubble宇宙望遠鏡)

•波長:400~1600nm (7種のフィルターで網羅)



天体検出

#### 天体検出&測光ソフトウェア <u>SExtractor</u>

画像のピクセルごとの明るさをスキャン →全体の平均と分散σ

天体は平均より優位に明るいはず 3oを超えるピクセルが6個以上繋がって いれば天体として検出

▪候補天体数 □数万程度

→様々な条件を課して

z=7,8,9,10の天体に絞り込む



ss 2014 より



wavelength





# CONTENTS

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2



#### **Abell2744**





#### Ishigaki et al. 2015





#### 銀河の個数密度を求めた し

観測領域の<u>共動体積</u>を求 める 例)z~8のとき

z=8.6

361Mpc(共動距離を計算)





光度**関数** 

#### 銀河の明るさ毎にその個数を見積もる関数



$$\Phi = \frac{M_{def}}{V_{eff}}$$

#### 各観測領域の体積で割る ことで、全体領域の個数の 関数が得られる





光度関数のfitting@z=7  
<sub>光度関数</sub>: 
$$\phi(L)dL = \phi^* \left(\frac{L}{L^*}\right)^{\alpha} \exp\left(-\frac{L}{L^*}\right) dL$$

絶 対 等 級



絶対等級



絶対等

級



絶対等

級



# CONTENTS

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2

UV光度密度の進化  $\rho_{UV} = \int \Phi(M) \cdot L(M) \, dM$  積分区間は M <= -17等級





# $\rho_{\text{UV}}$ から $Q_{H_{II}}$ 電離水素の割合を決定 (電離度の時間発展eq) $\dot{Q}_{\text{HII}} = \frac{\dot{n}_{\text{ion}}}{\langle n_{\text{H}} \rangle} - \frac{Q_{\text{HII}}}{t_{\text{rec}}} \qquad \dot{n}_{\text{ion}} = \dot{n}_{\text{ion}}(\rho_{UV})$ 電離の割合 再結合の割合

ishigaki et al. (2015)



## 足りない電離光子源はなにか?

- Z=10でのτ~0.04
- →銀河の光だけでは再電離を説明できない
- ・銀河以外の再電離源候補
   非常にくらい銀河(-17等級以上)
  - 超新星爆発
  - ブラックホールからのX-ray
  - X線連星
  - AGN
  - BH-BH合体によるγ線バースト



# CONTENTS

- Introduction
- Data&Sample
- Analysis
- Results&Discussion1
- Results&Discussion2





## RESULTS &DISCUSSION2

•Z=10の異常性





ダークハロー:銀河の星を取り囲む暗黒物質の集団。 星・ダークハロー質量比: M\*/M\_H



星・ダークハロー質量比 vs ダークハロー質量

- Z = 0から8まで求 まっていて, 増加
- Z=0から9までは 増加している
- 9から10でファク
   ター4以上の有意
   な減少

Z=9から10での間で 重要な物理機構を 確認

1.0e-01 z=7 ⊢ 7=8 z=10 Z=9 Z=8 TI 1.0e-02 7=7 FI 比 HI-I Z=10 1.0e-03 1x10<sup>11</sup> M\_halo[M\_sun] 両軸logスケール

はじめての発見!!!

考察

- Z=0から8への増加:Berhoozi et al, 2013と一致
- Z=8から9へさらなる増加
- Z=9以前で星・ダークハロー比の9から10で
   ファクター4以上の有意な減少
- ・ 星形成が加速

初代星形成に始まる初期の銀河形成の兆候を とらえた可能性(はじめて!!)

# 研究のまとめ

- HubbleのHDFとUDFのデータを使った
- Z=7,8,9,10の銀河をそれぞれ271,107,55,0個 見つけた
- UV光度関数,UV光度密度,電子の光学的厚み
   を求めた

電離源として銀河だけでは不十分 SMHRの急激な減少→初代星形成に始まる初 期の銀河形成の兆候をとらえた可能性





## 研究の目的

晴れ上がり	再電離
~1,000	~6 Z
「ダークマターハローと銀河の 共成長がどのように進んだの か」 ↓ $\frac{M_*}{M_h}$ の成長を計算 $M_h$ $M_*$ :光る物質の質量 $M_h$ :ダークマターハロー質量	<ul> <li>「再電離は銀河からの電離項のみで実現できるのか」</li> <li>↓</li> <li>・遠方銀河(Z&gt;6)の光度を計算・電離水素比Qの成長を計算・光学的厚みτを計算する</li> <li>→WMAPの結果と比較</li> </ul>
⇒先行研究(z<8)と比較	

## 研究の目的



