

宇宙再電離の原因を探る

観測的宇宙論グループ

佐藤究 鈴木良平 高橋唯基

西出朱里 藤牧千咲

目次

1. Introduction

藤牧千咲

2. Data&Sample

西出朱里

3. Analysis

鈴木良平

4. Results&Discussion1

佐藤究

5. Results&Discussion2

高橋唯基

目次

1. Introduction

藤牧千咲

2. Data&Sample

西出朱里

3. Analysis

鈴木良平

4. Results&Discussion1

佐藤究

5. Results&Discussion2

高橋唯基

1. Introduction

1-1 宇宙再電離

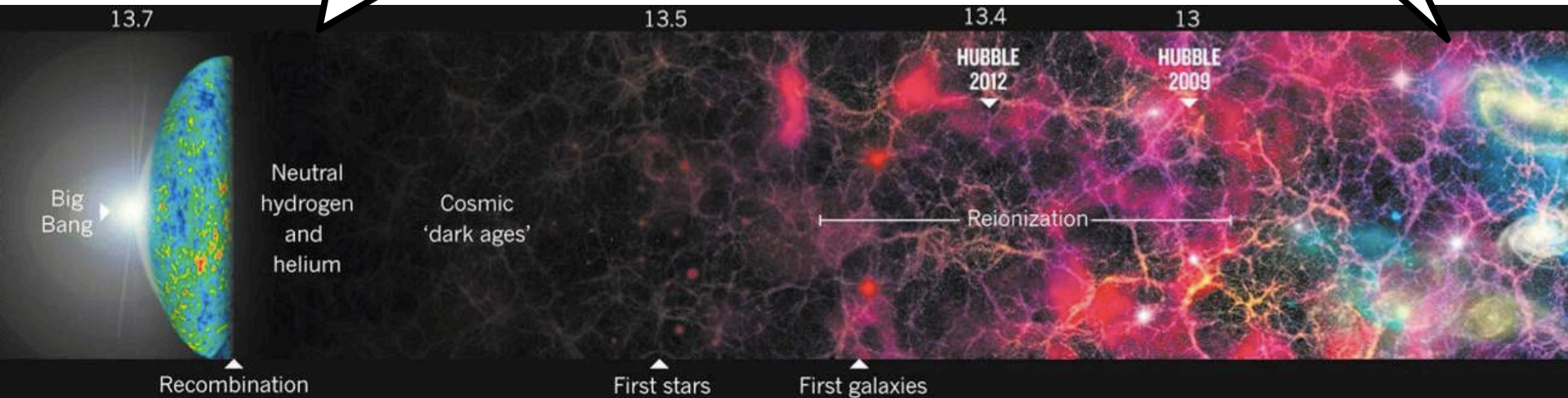
1-2 光度関数

光度密度と再電離

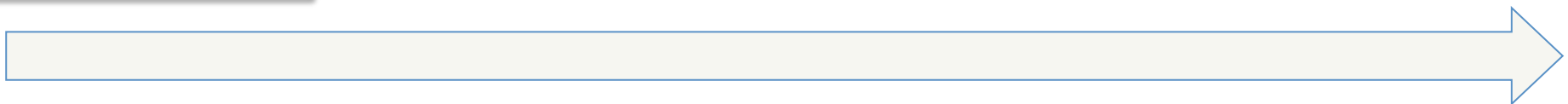
1-1 宇宙再電離

中性水素原子

現在：水素が
(陽子と電子に)
電離している



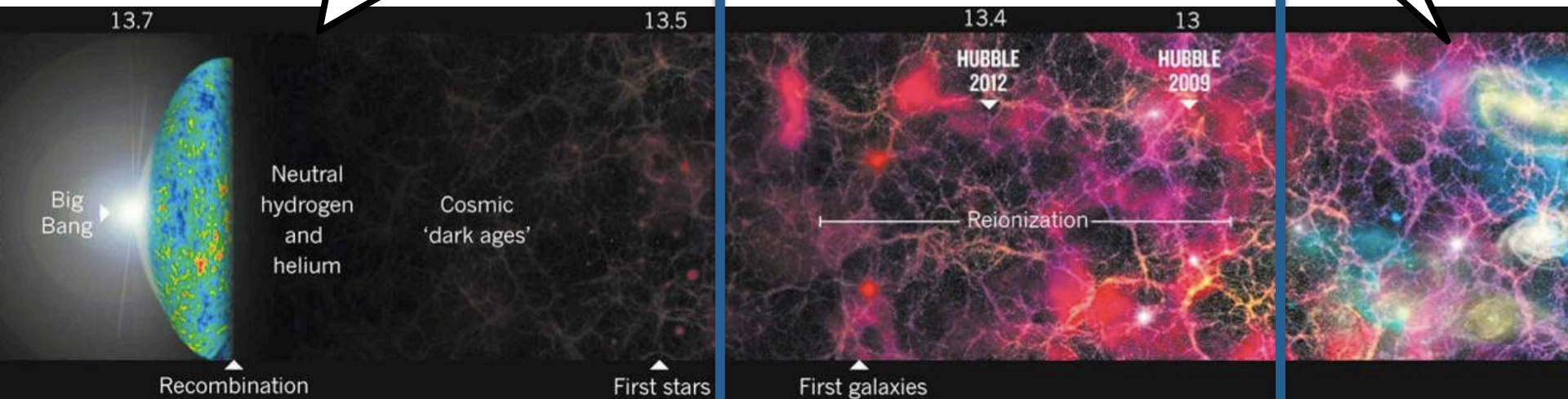
晴れ上がり



1-1 宇宙再電離

中性水素原子

現在：水素が
(陽子と電子に)
電離している

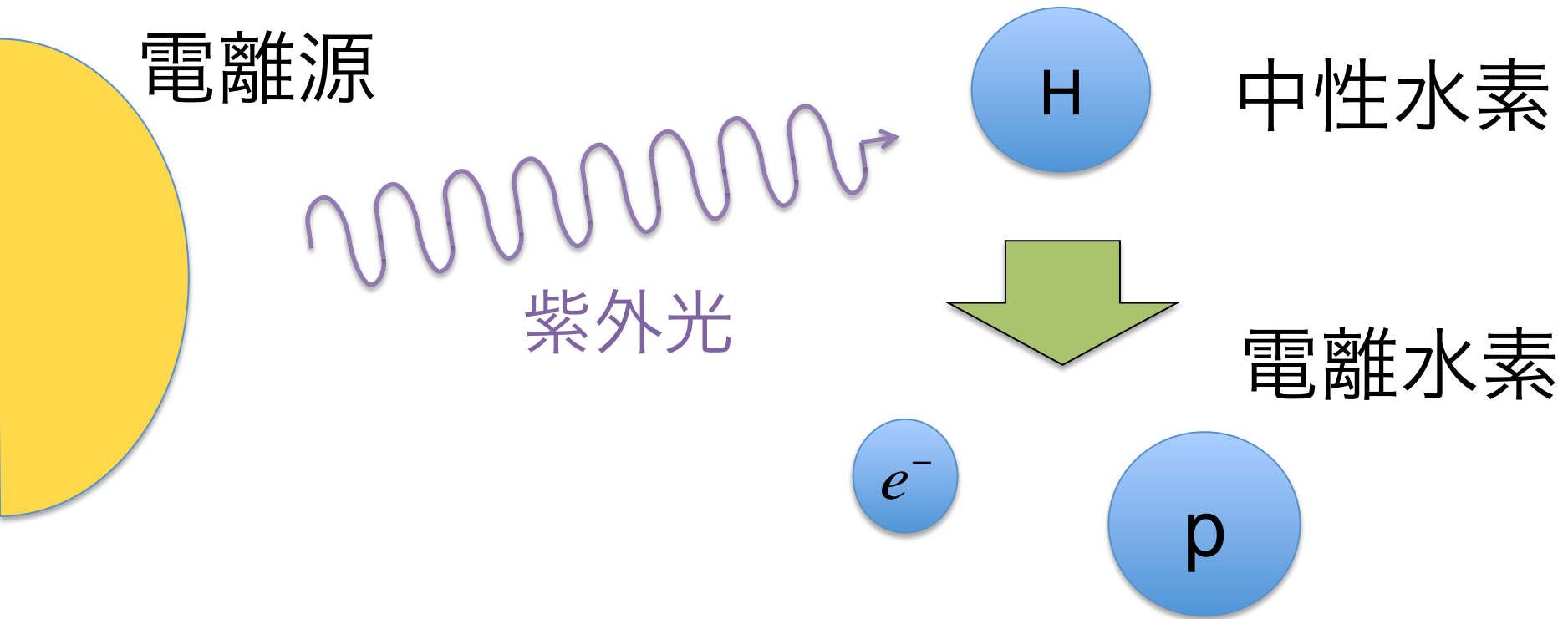


晴れ上がり

宇宙再電離時代



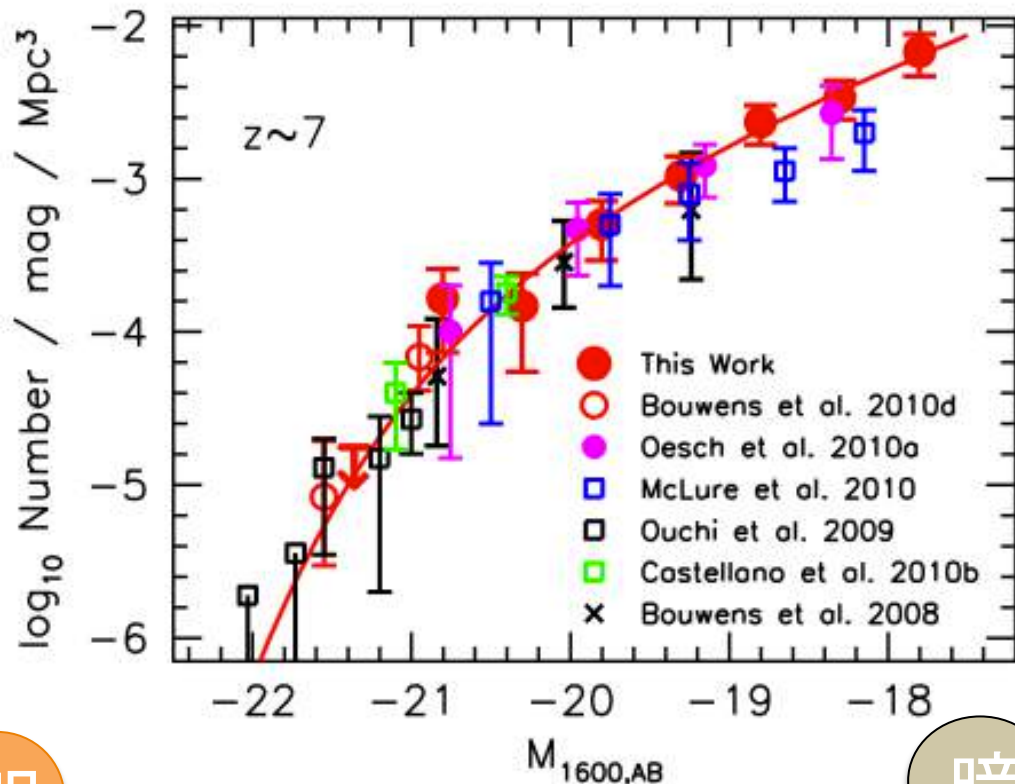
本研究の目標



• なにが電離源か？

最有力候補：星形成銀河 → 正しいのか？

1-2 星形成銀河がどれくらいあるか？



星形成銀河の個数密度
 ➔光度関数

$$\phi(L)dL = \phi^* \left(\frac{L}{L^*} \right)^\alpha \exp\left(-\frac{L}{L^*} \right) dL$$

3つのパラメーター

$$\phi^* \quad L^* \quad \alpha$$

観測により決定

明

暗

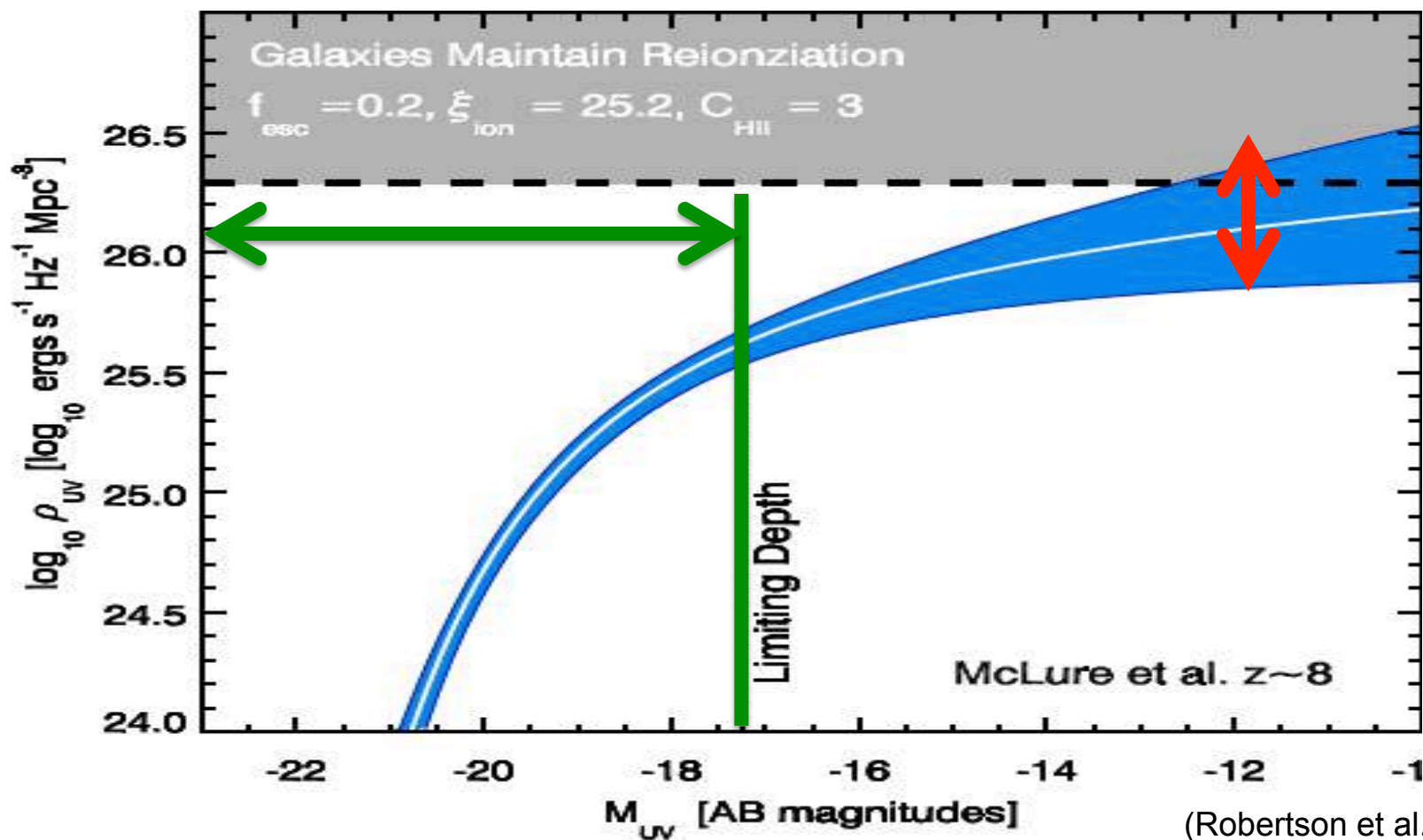
光度関数の積分値：
 紫外線の総量

$$\text{光度密度} \quad \rho_{UV} = \int_L^\infty L' \phi(L') dL' = \int_{-\infty}^M L(M') \phi(M') dM'$$

以後、光度密度を ρ_{UV} と呼ぶ

1-2 光度密度と再電離

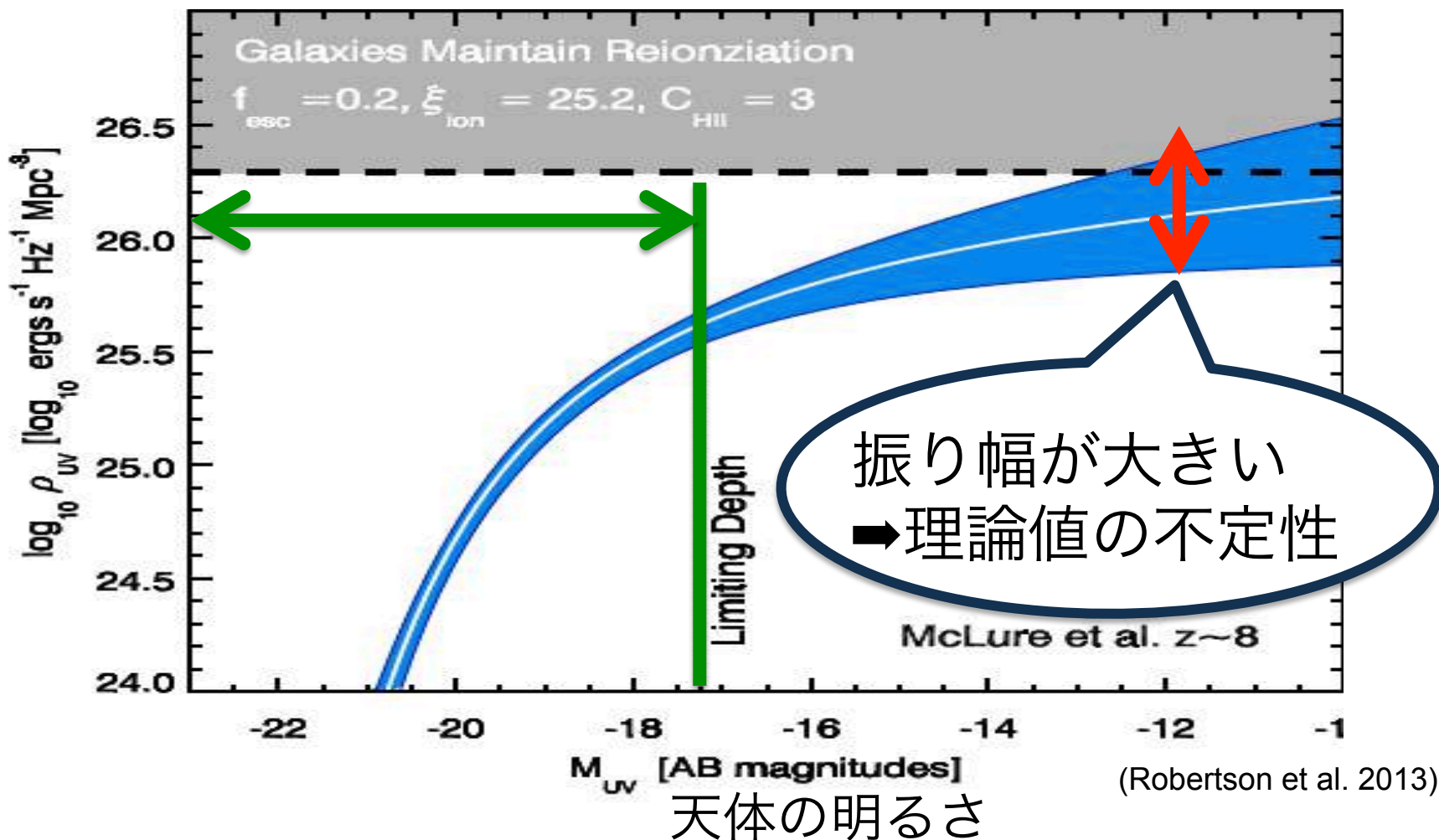
光度密度



天体の明るさ

1-2 光度密度と再電離

光度密度



重力レンズ効果を使い、暗い天体を検出
→ 銀河のみで検証可能か

目次

1. Introduction

藤牧千咲

2. Data&Sample

西出朱里

3. Analysis

鈴木良平

4. Results&Discussion1

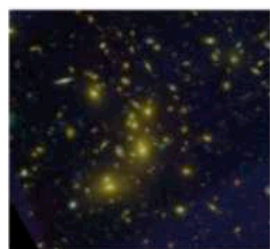
佐藤究

5. Results&Discussion2

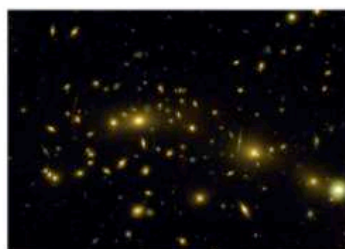
高橋唯基

観測データ

Hubble Frontier Fields (HFF)



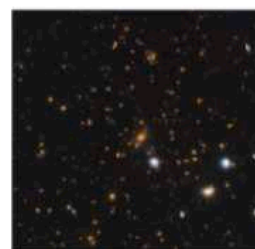
Abell 2744



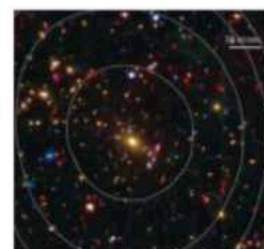
MACS J0416.1-2403



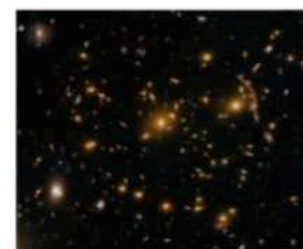
MACS J0717.5+3745



MACS J1149.5+2223



Abell S1063

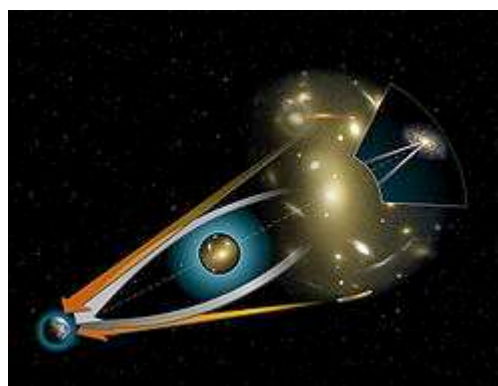


Abell 370



Hubble宇宙望遠鏡

+



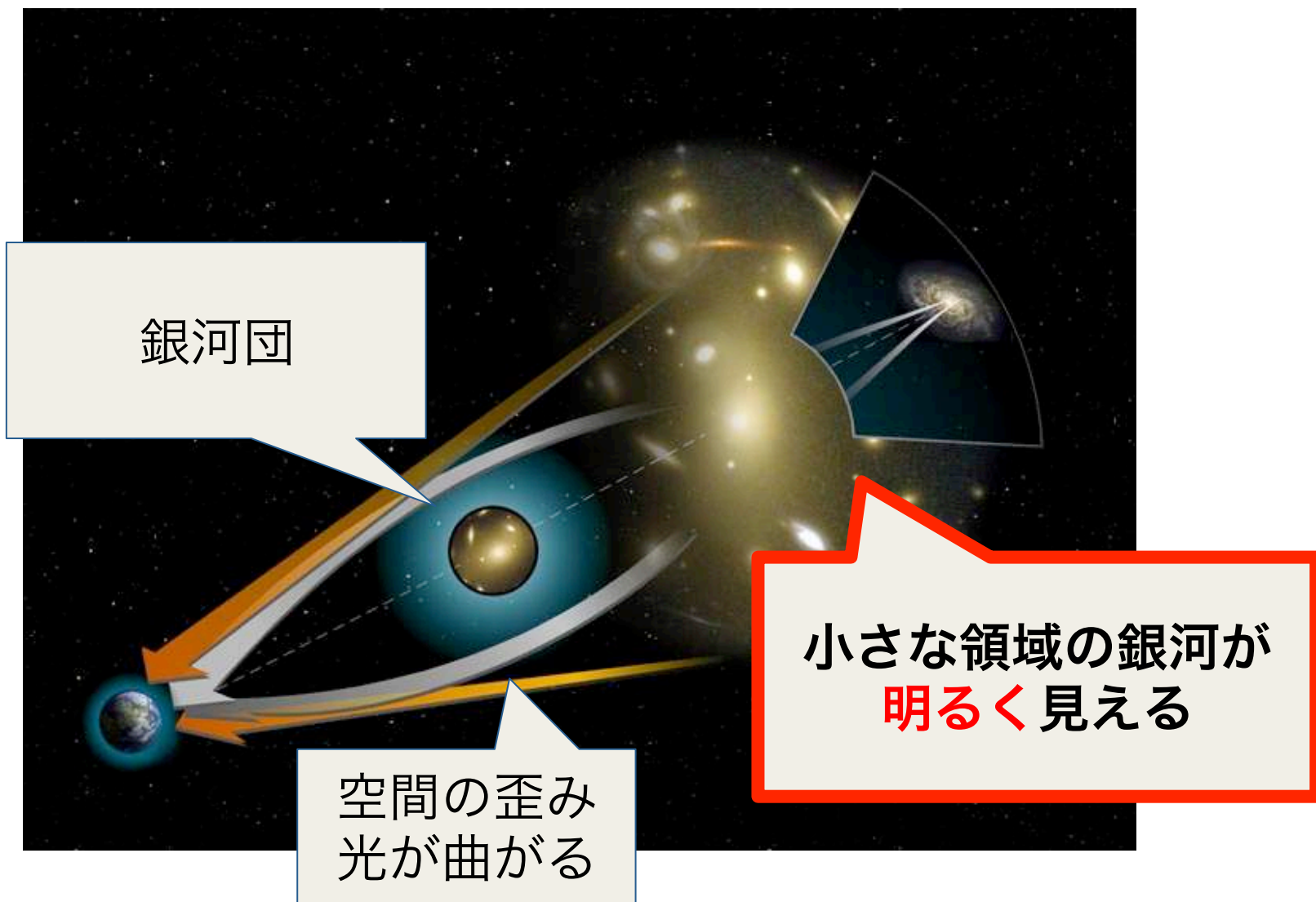
重力レンズ

→

これまで検出できなかった暗い銀河

限界等級：30等級

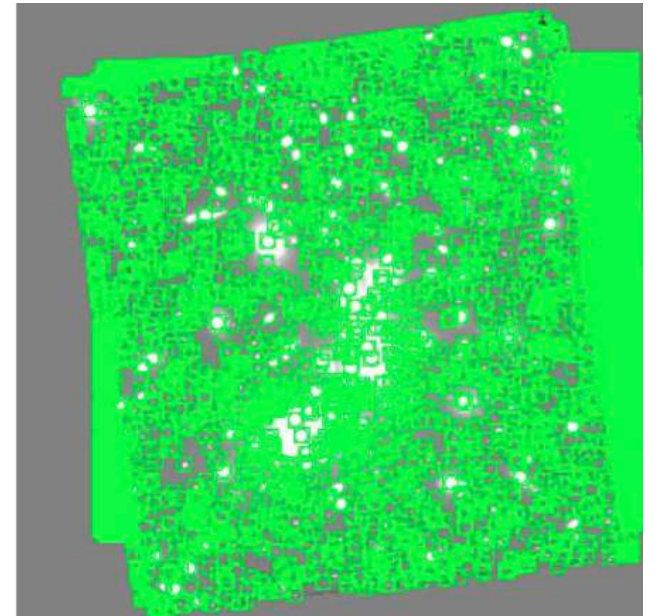
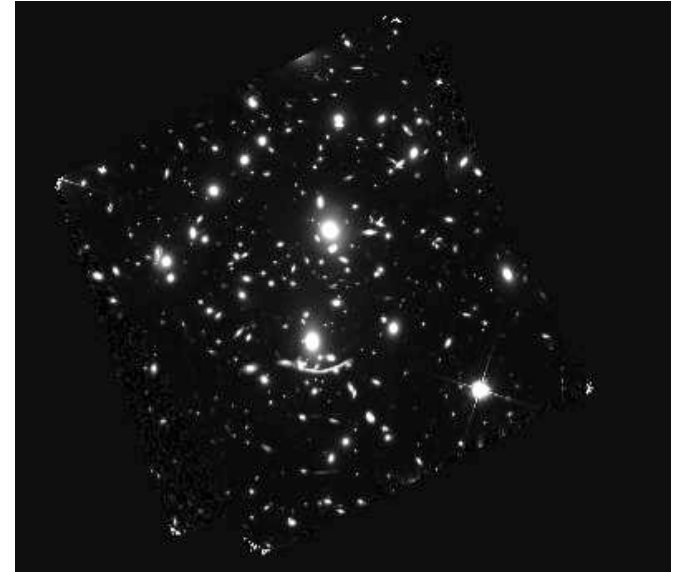
重力レンズ効果（HFFの場合）



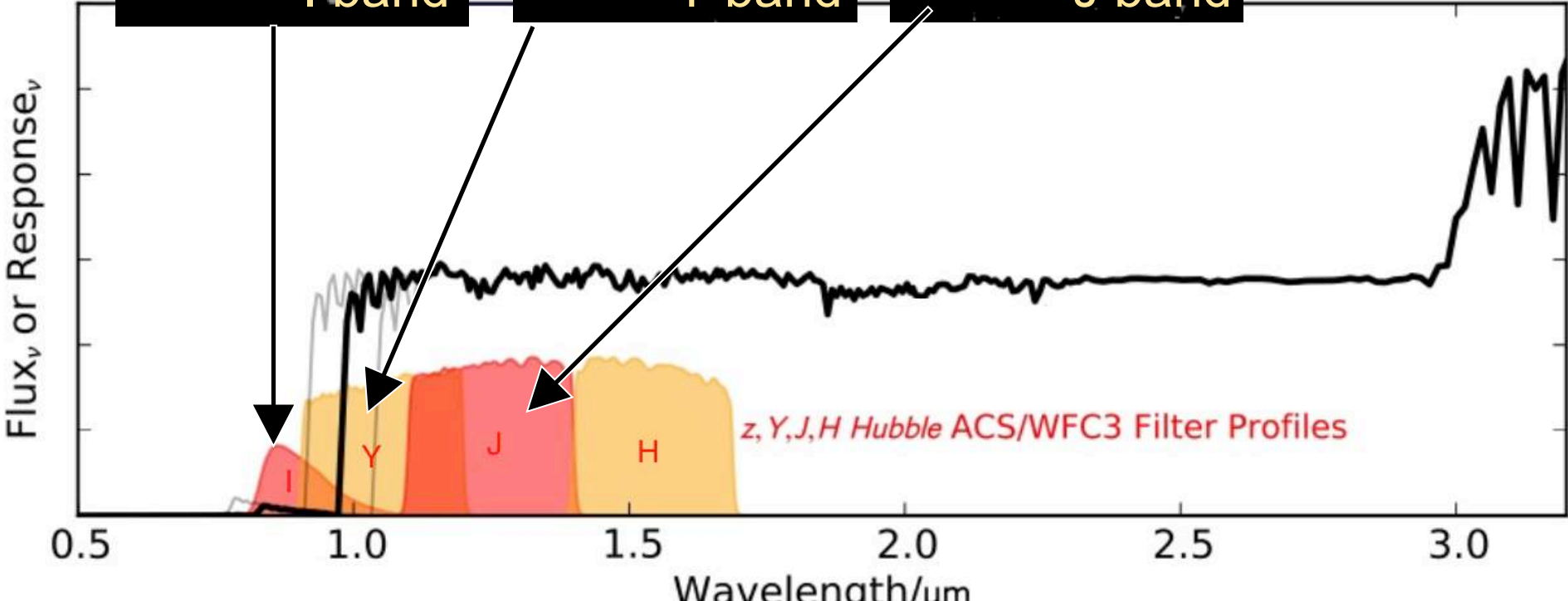
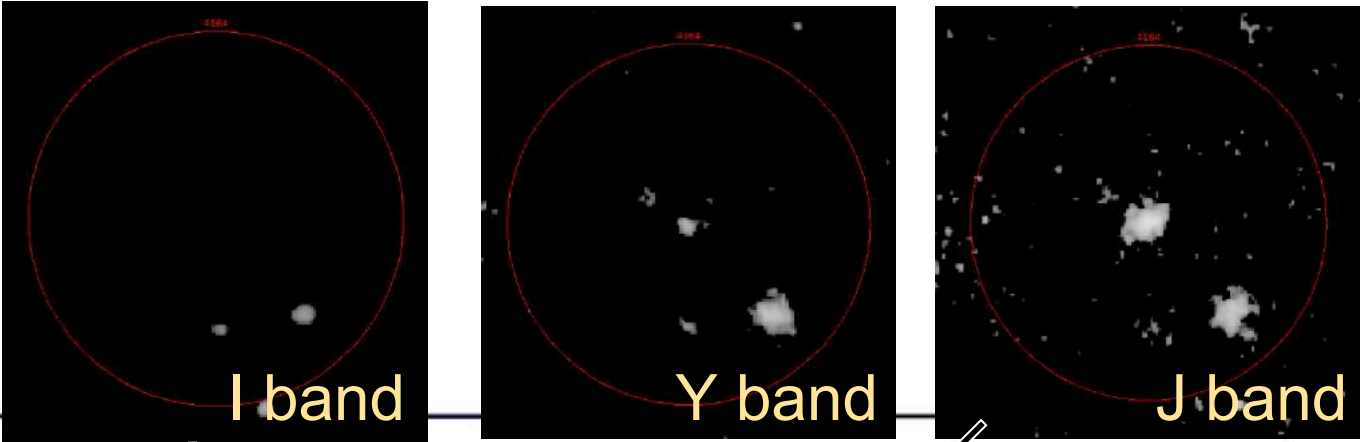
天体の検出

天体検出&測光ソフトウェア
SExtractor

- 画像データのピクセルごとの
カウント数（明るさ; S ）を測定。
- 背景のノイズ(N)を測る。
- $S/N > 3$ のピクセルが4つ以上
繋がっているものを天体として
検出する。
- 宇宙初期の銀河 を選ぶ。



遠方銀河スペクトルの特徴



遠方銀河を選ぶ条件式

$z=6\sim 7$

$$I - Y > 0.8$$

$$Y - J < 0.8$$

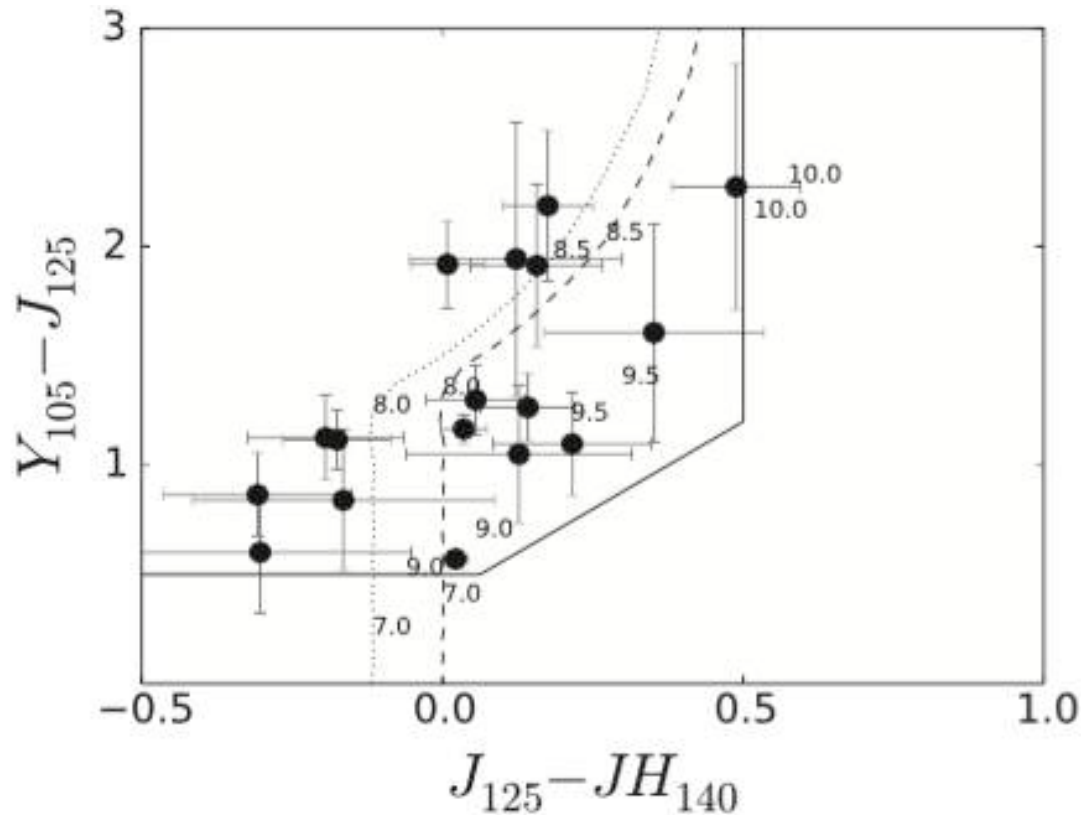
$$I - Y > 2(Y - J) + 0.6$$

$z=8$

$$Y - J > 0.5$$

$$J - JH < 0.5$$

$$Y - J > 0.4 + 1.6(J - JH)$$



→ $z = 6\sim 7$ 87個

$z = 8$ 13個 の銀河を選択

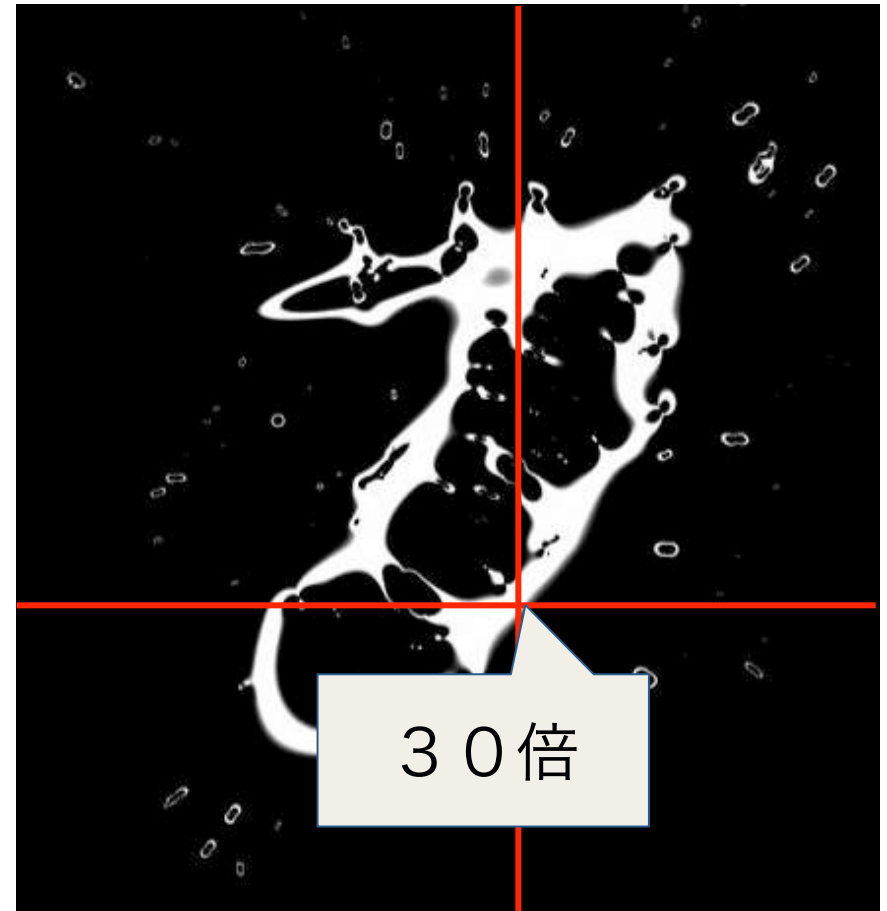
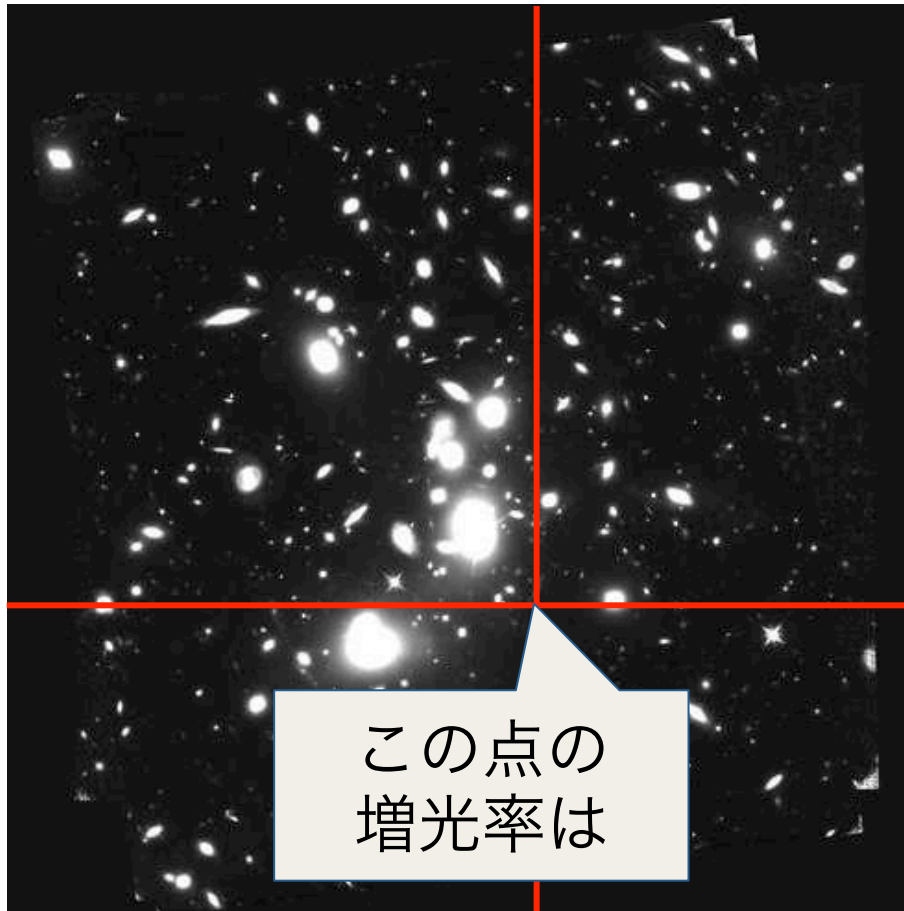
目次

1. Introduction	藤牧千咲
2. Data&Sample	西出朱里
3. Analysis	鈴木良平
4. Results&Discussion1	佐藤究
5. Results&Discussion2	高橋唯基

重力レンズモデル

HFT撮像データ

増光率マップ



Abell2744

[Kawamata+ 2016]

model error ~ 30%

増光率補正

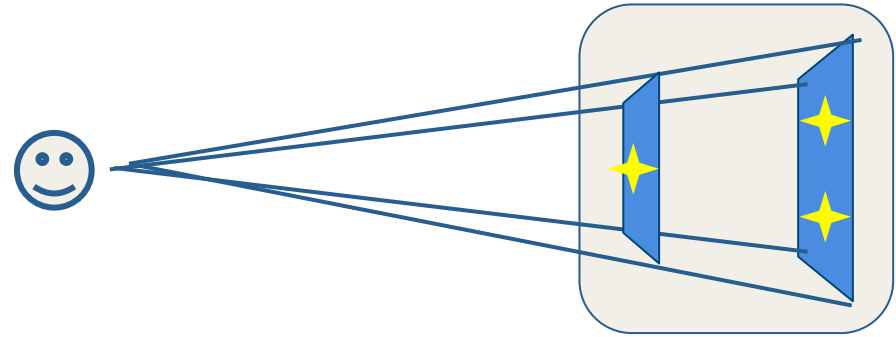
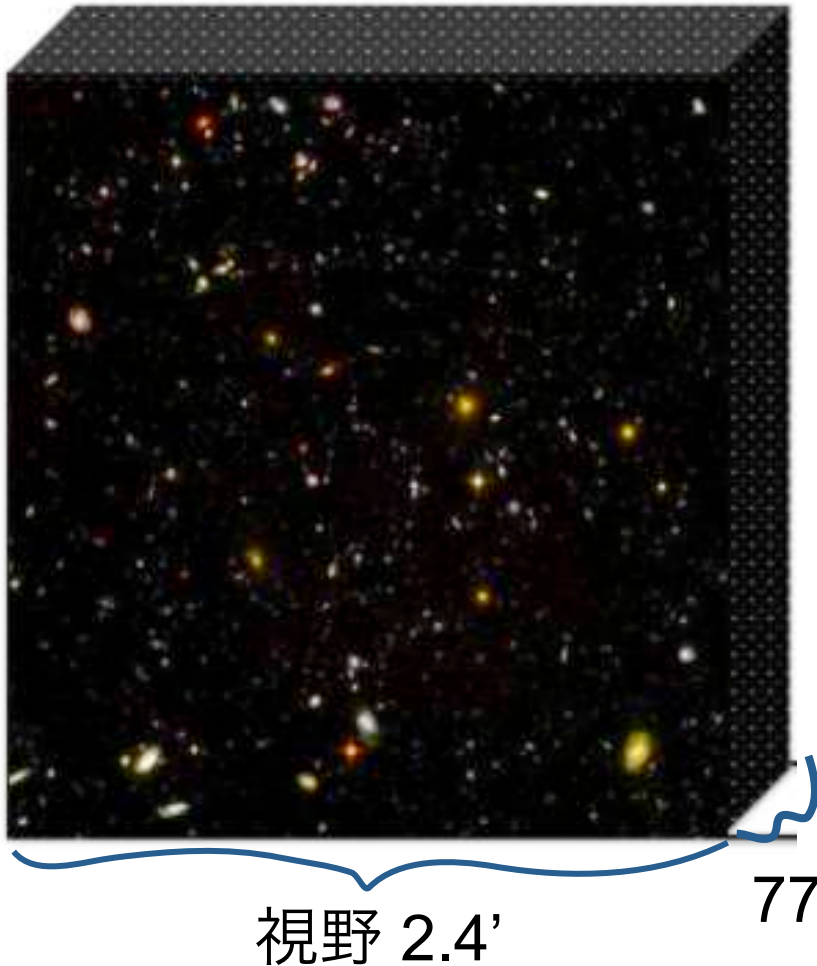
重力レンズ効果による銀河の見かけの等級 m_{ap}

固有の等級 $m_{\text{intr}} = m_{\text{ap}} + 2.5 * \log_{10} \mu$



銀河個数密度の計算

例： $z=6-7$



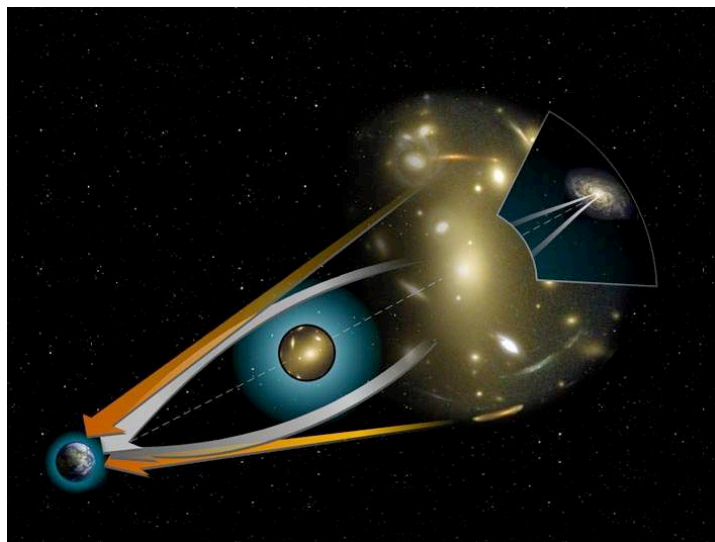
m_{intr} の関数として
銀河の個数密度を求める

銀河の個数/共動体積

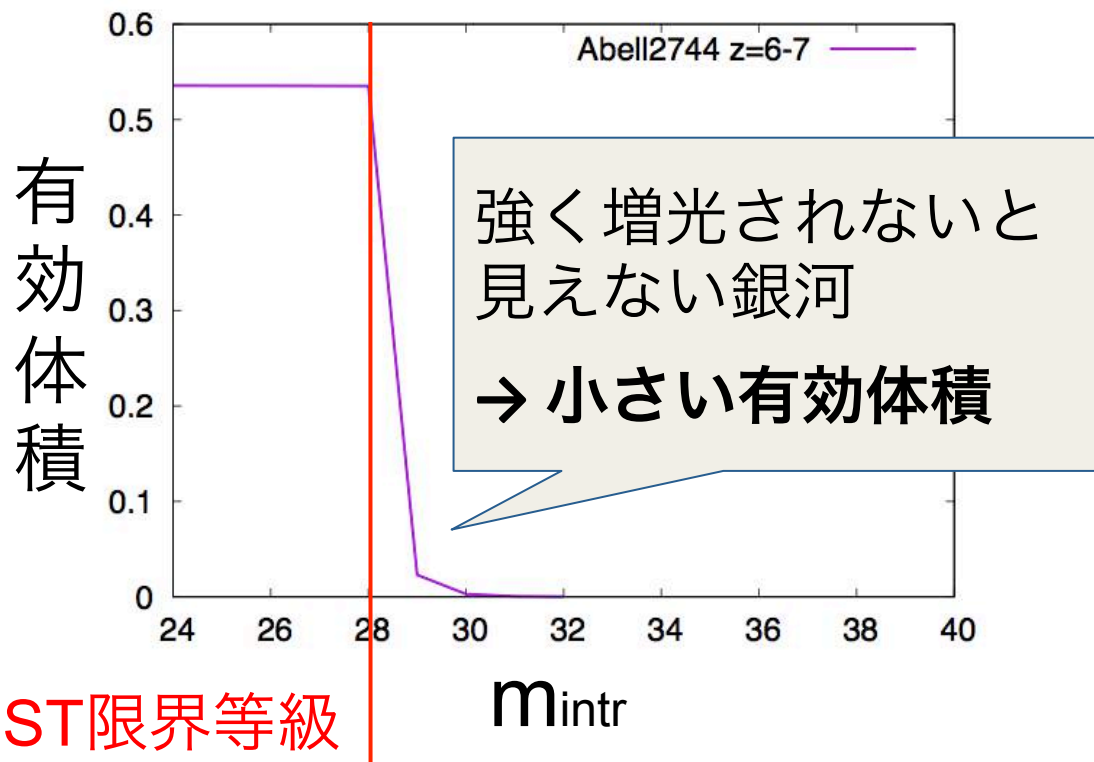
宇宙膨張の効果を
排除した体積

有効体積補正

重力レンズ効果によって
見かけよりも狭い体積の
領域が観測されている！



m_{intr} ごとの有効体積を
重力レンズモデルから算出！



銀河個数

光度関数 Φ の決定

$$\Phi = \frac{N(M)}{V(M)}$$

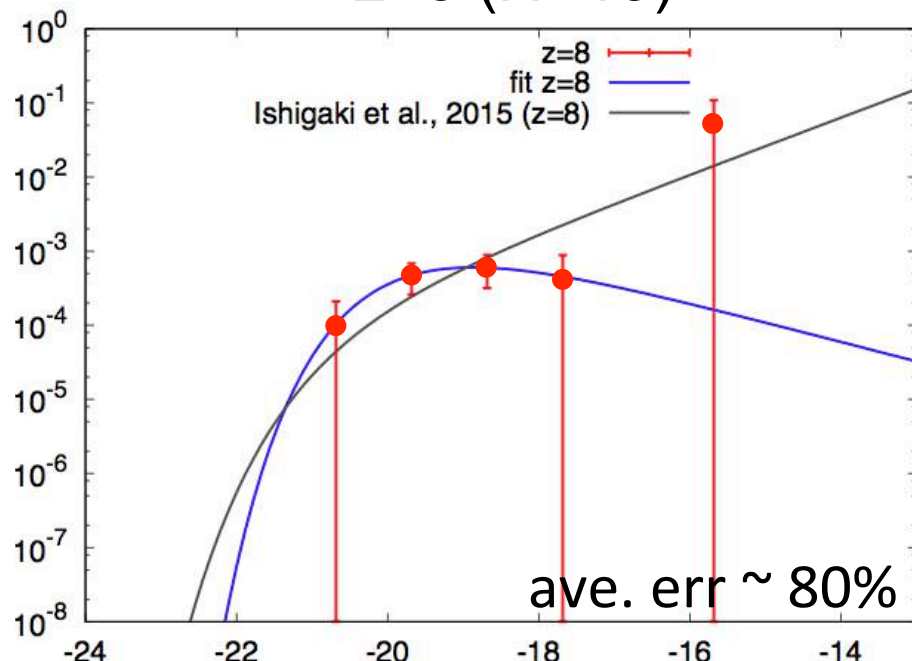
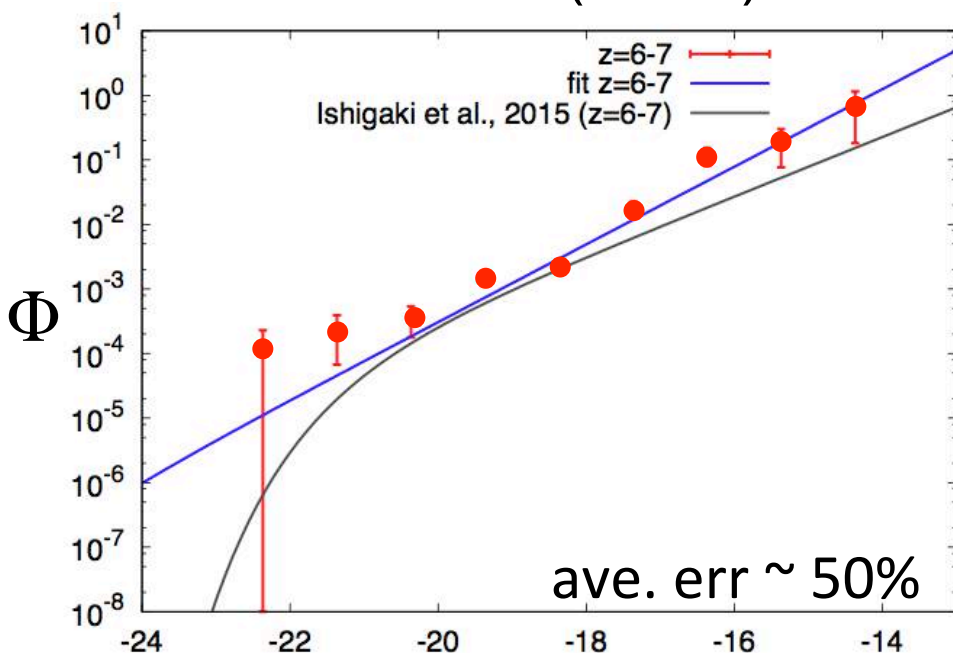
Schechter関数(経験的モデル)でフィット

$$\Phi(M) = 0.4 \ln 10 \phi_* [10^{0.4(M_* - M)}]^{1+\alpha} \exp[-10^{0.4(M_* - M)}]$$

有効体積

z=6-7 (N=87)

z=8 (N=13)



M (絶対等級)

M

目次

1. Introduction	藤牧千咲
2. Data&Sample	西出朱里
3. Analysis	鈴木良平
4. Results&Discussion1	佐藤究
5. Results&Discussion2	高橋唯基

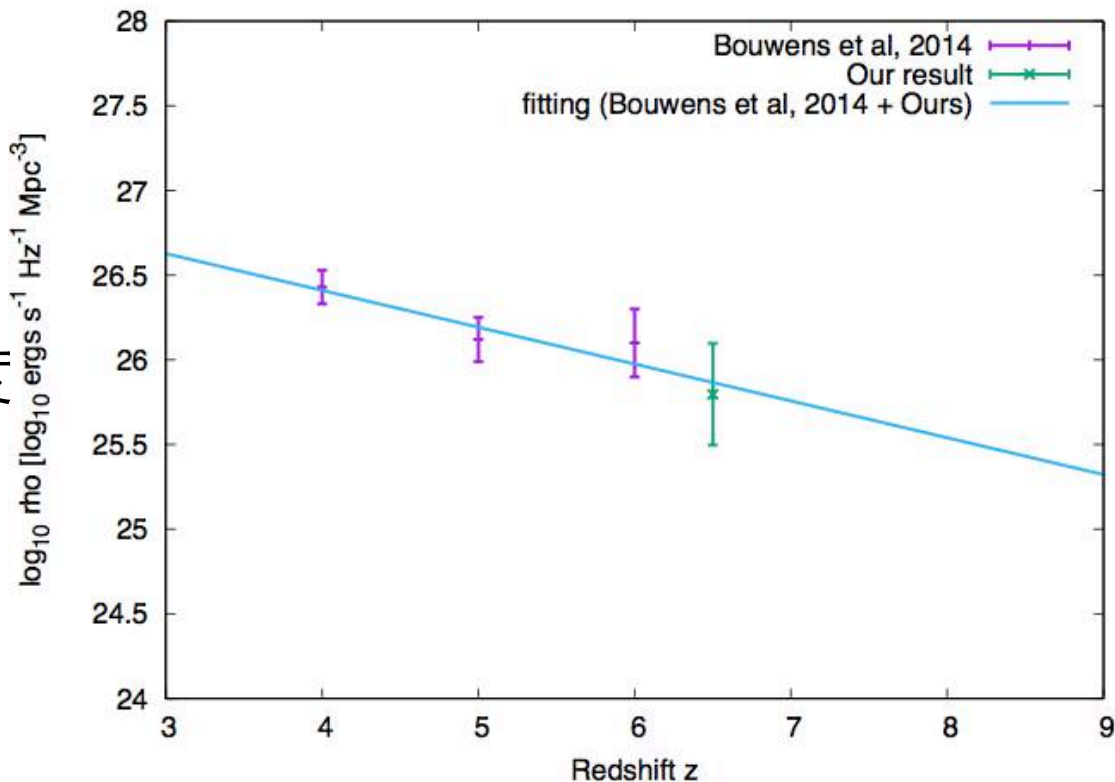
4-1 UV光度密度

私たちの観測結果！

$$\rho_{UV} = \int_{-\infty}^{M_{UV}} \Phi(M) \times L(M) dM$$

個数密度 銀河の光度
等級Mをもった銀河の光度の密度

光度密度



ρ_{UV} を決定！

4-2 電離水素の割合 Q_{HII}

電離光子の個数密度の時間変化

$$\dot{Q}_{\text{HII}} = \frac{\dot{n}_{\text{ion}}}{\langle n_{\text{H}} \rangle} - \frac{Q_{\text{HII}}}{t_{\text{rec}}}$$

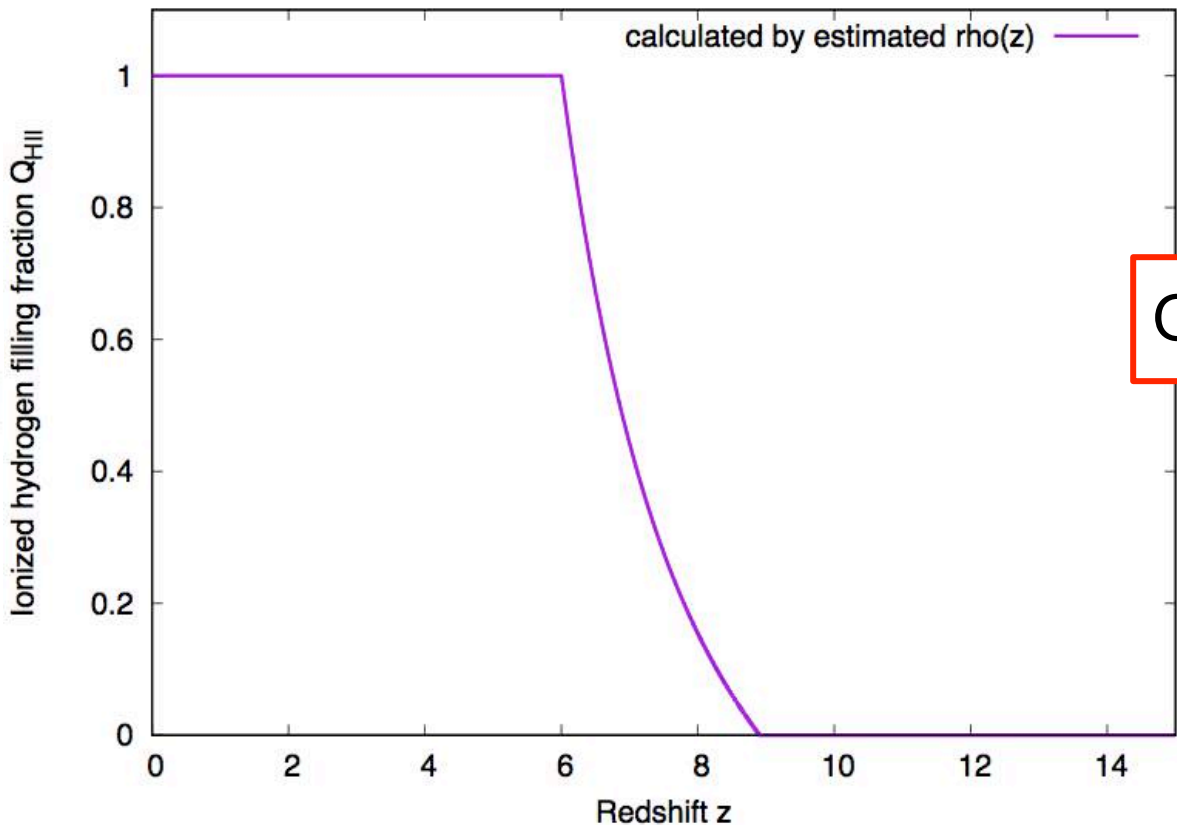
電離の割合 再結合の割合

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

銀河から出てきて
水素を電離できる

UV光度密度

Q_{HII}

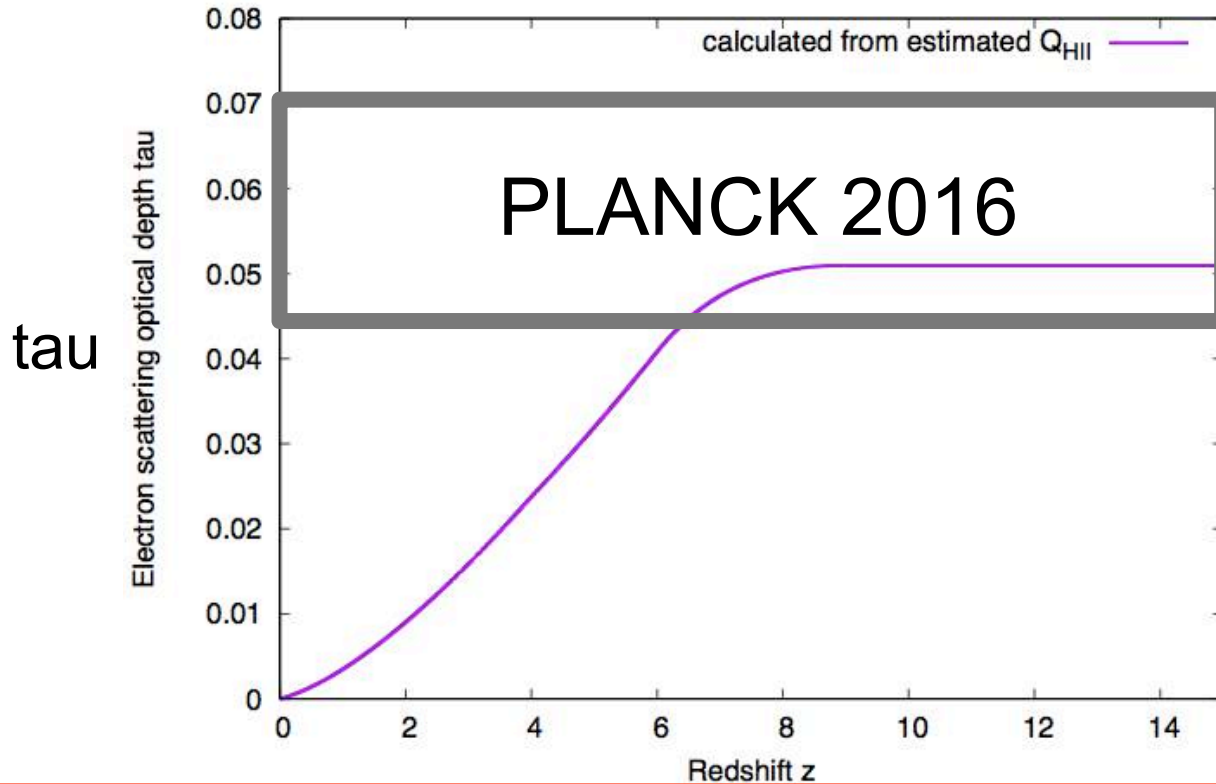


$Q_{\text{HII}}(z)$ を決定！

4-3 星形成銀河で説明可能か？

$$\tau(z) = \int_0^z C_{scale} \times \sigma_T \times Q_{HII} dz'$$

トムソン散乱断面積 電離水素の割合



Our Result!

**結論：宇宙再電離は星形成銀河の紫外線だけで説明可能！
(誤差の範囲で)**

目次

1. Introduction

藤牧千咲

2. Data&Sample

西出朱里

3. Analysis

鈴木良平

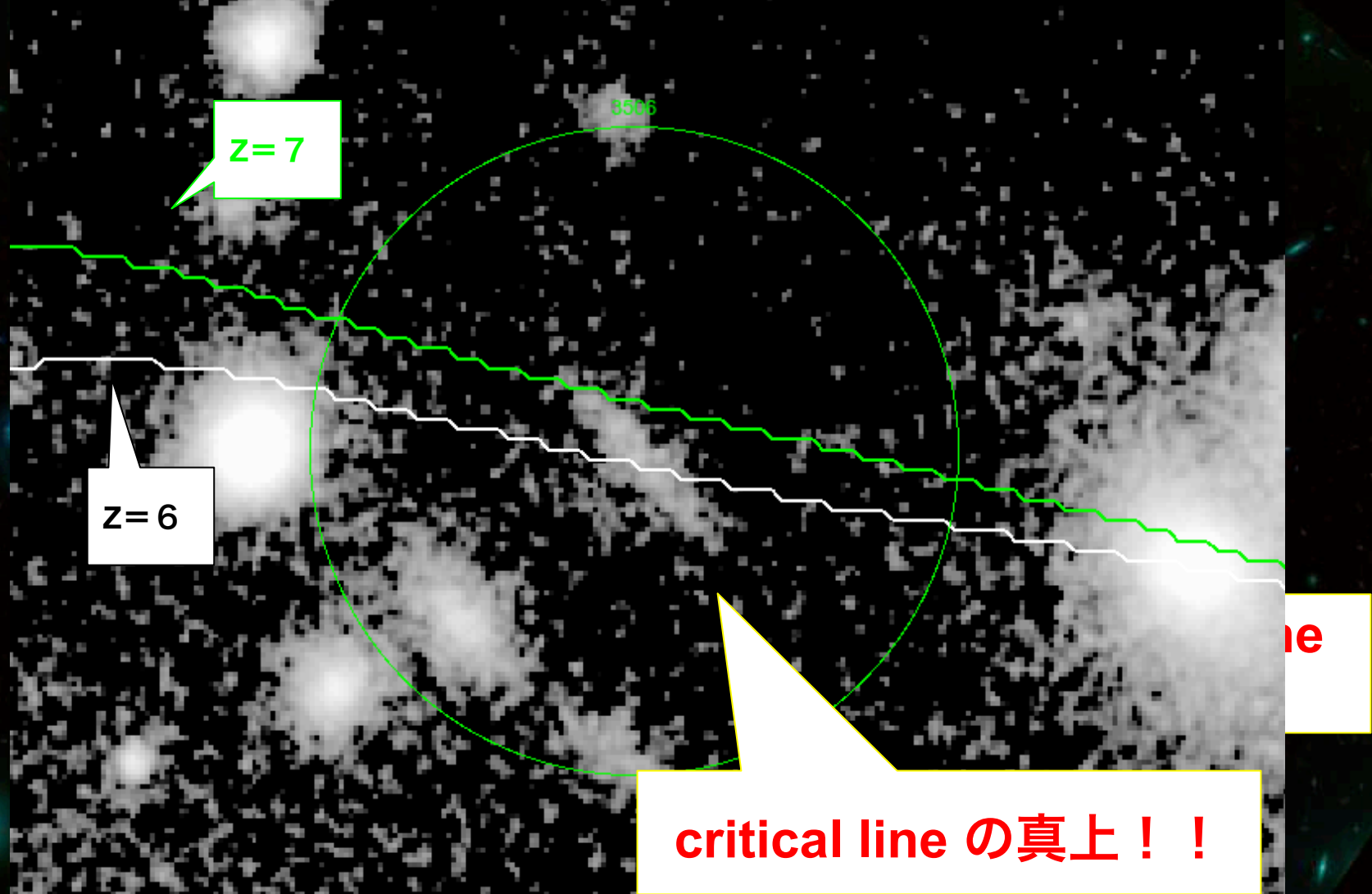
4. Results&Discussion1

佐藤究

5. Results&Discussion2

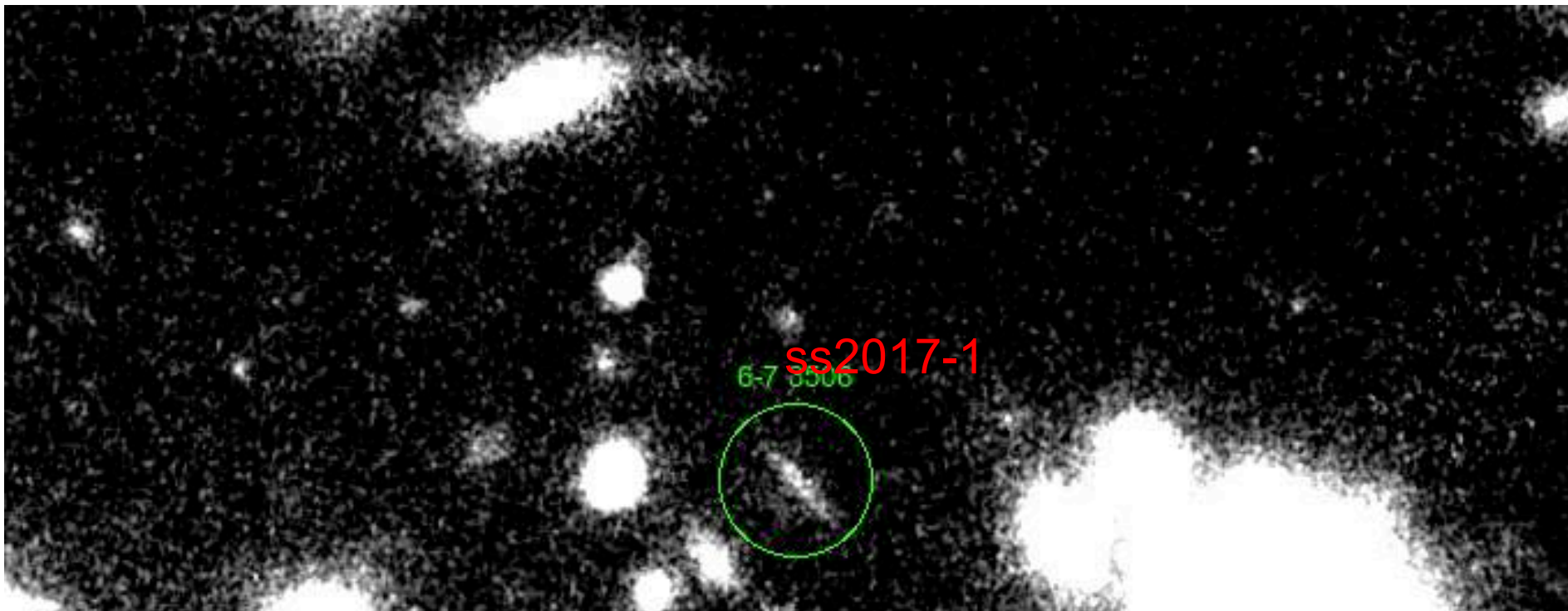
高橋唯基

SS2017-1 (私たちが発見)



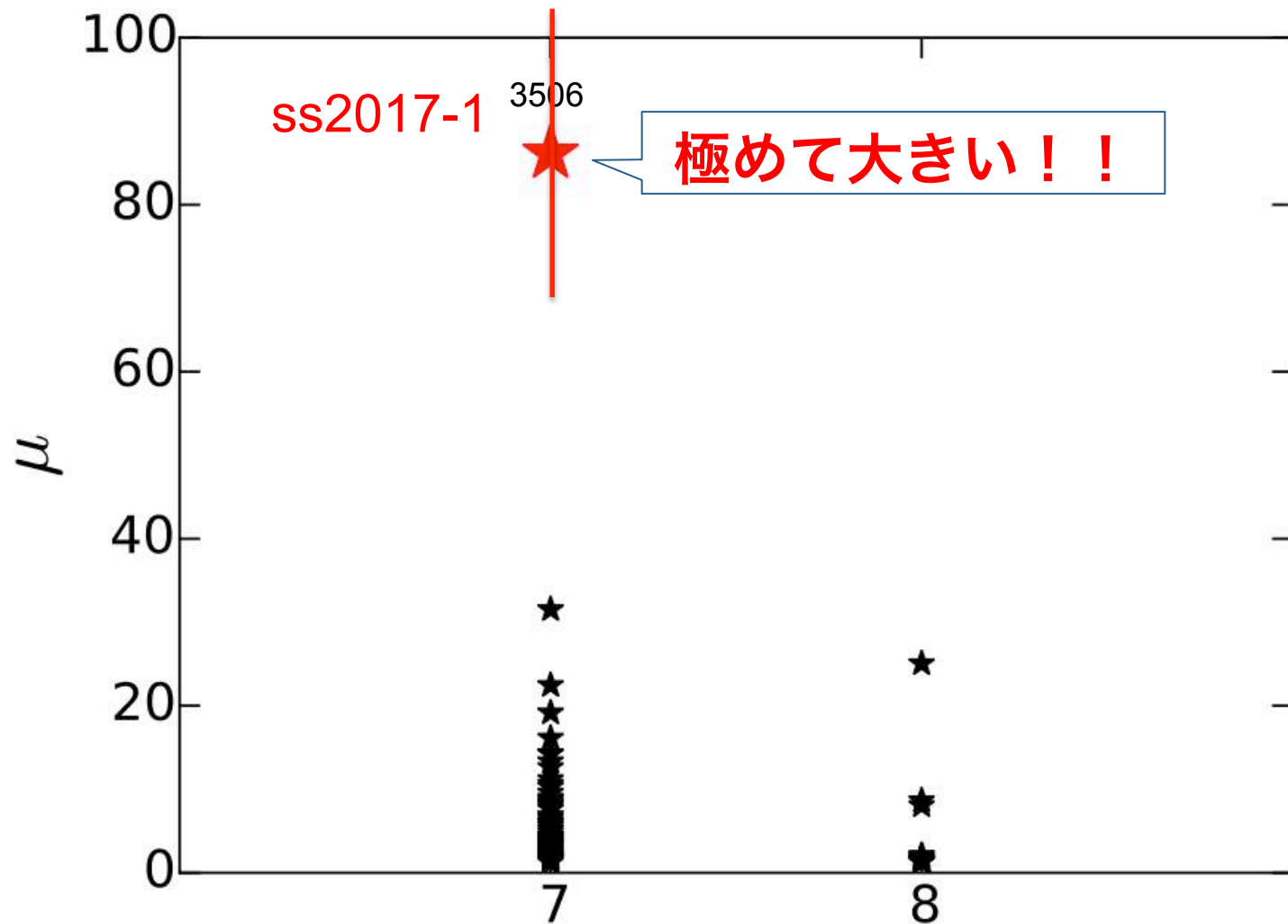
※ critical line : 点源に対して、増光率が無限大になる線

Abell2744 SS2017-1 ($z=6\sim 7$)



Abell2744の中で

86 \pm 26倍も増光された
天体を**初めて発見!**

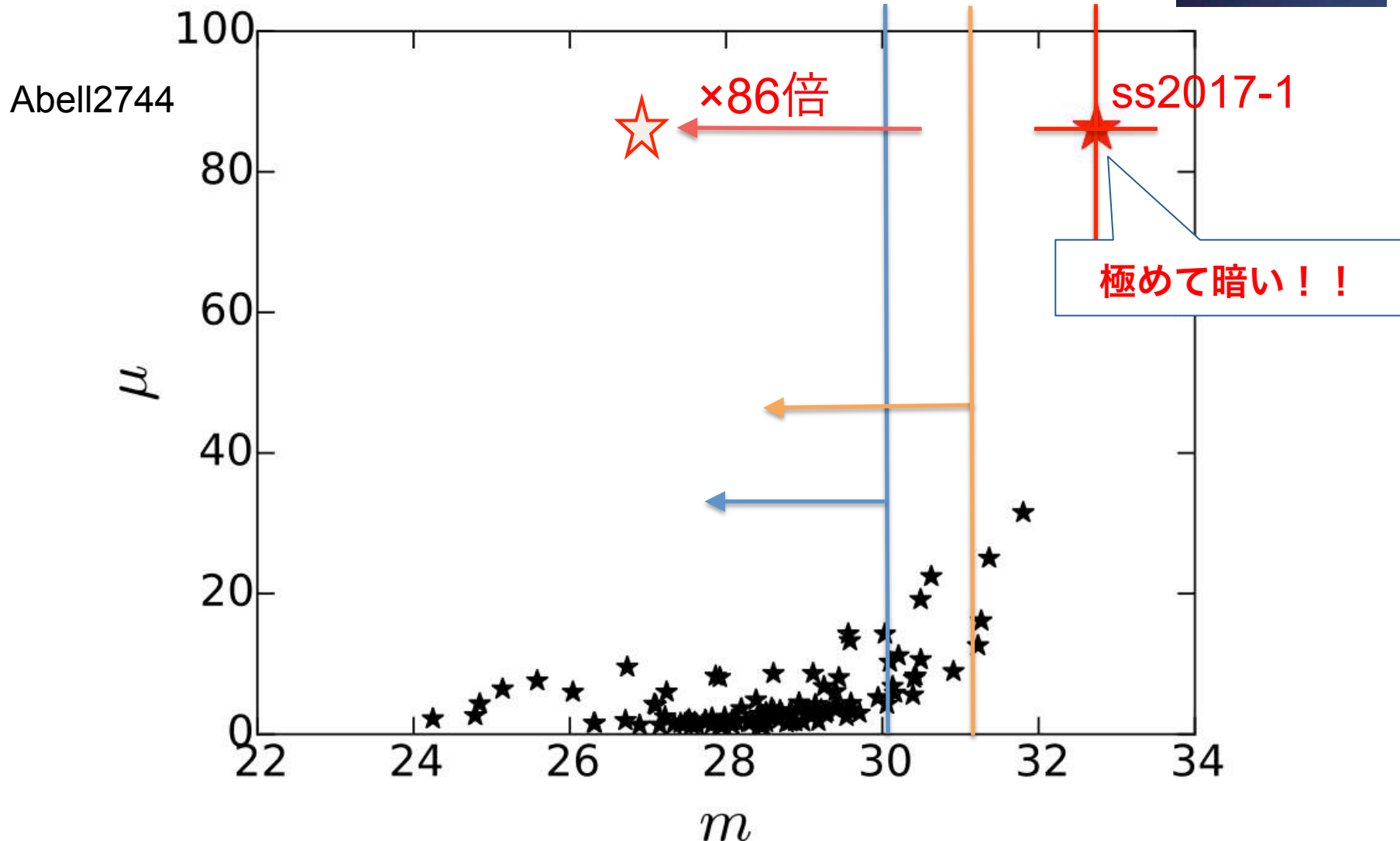
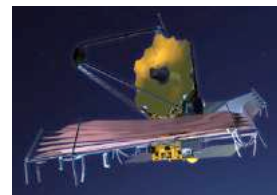


赤方偏移 z に対する増光率 μ のグラフ



HST

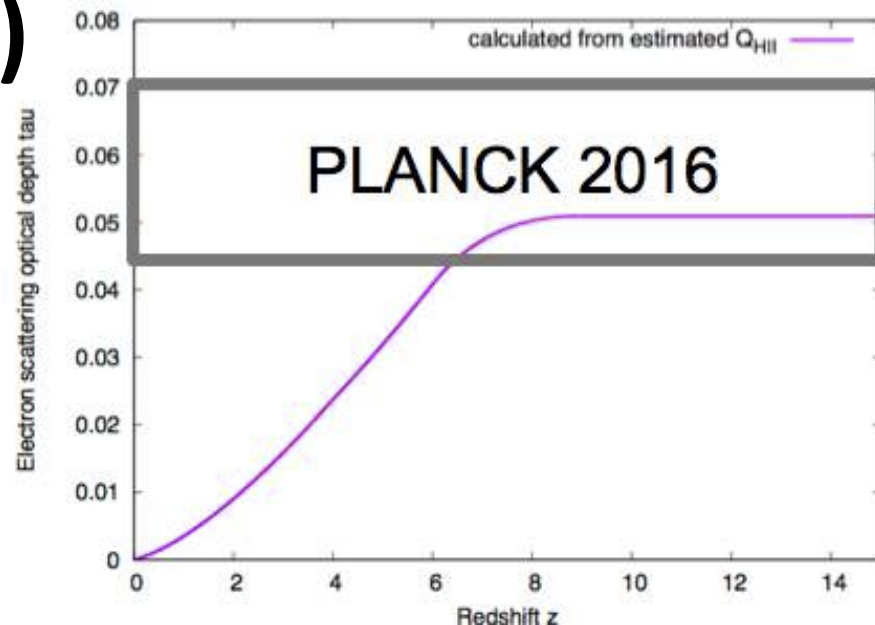
HSTの後継機
JWST



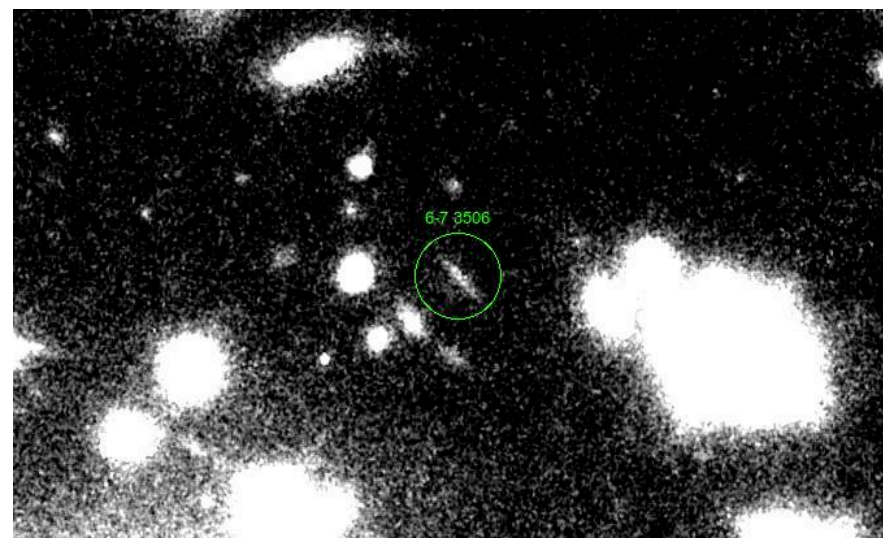
固有の等級 m に対する増光率 μ のグラフ

今回の成果(まとめ)

1.
星形成銀河のみで
再電離を説明可能！



2.
増光率**86倍**の
天体(SS2017-1)を発見
非常に暗い！



1