# 電波光度関数の赤方偏移 依存性及び計数の評価

## 名古屋大学 銀河進化学研究室(Ω研) <u>河野 海・竹内 努</u>

# 目次 1. Introduction

- 2. Data
- 3. Method
- 4. Results
- 5. Discussion

### Introduction: 銀河からの電波放射



### Introduction: 銀河からの電波放射





活発な星形成活動が進行している銀河.



▶ 超新星残骸中の衝撃波で 加速された相対論的電子

星形成活動の指標

### Introduction: 銀河からの電波放射



### Introduction: 銀河進化

銀河の物理量は,赤方偏移に対して進化する.



Madau & Dickinson (2014)

### Introduction: 銀河進化

銀河の物理量は,赤方偏移に対して進化する.



Madau & Dickinson (2014)

### Introduction: 銀河進化

銀河の物理量は,赤方偏移に対して進化する.



### Introduction: 銀河進化の観測的評価

#### 銀河計数

✓ 単位面積当たりに検出 される天体数

#### 光度関数

✓ 銀河の光度についての 分布関数



### Introduction: 銀河計数と銀河進化



### Introduction: 銀河計数と銀河進化



### Introduction: 重力レンズ効果



Introduction: 銀河計数

#### 銀河計数へのバイアス: 重力レンズ効果



Introduction: 銀河計数

#### 銀河計数へのバイアス: 重力レンズ効果



<sup>(Jy]</sup> Lima et al. (2010)

### Square Kilometre Array: SKA

2020年代から運用が開始される<u>究極の大陸</u> <u>電波干渉計</u>.



10/29

Prandoni & Seymour (2015)

# 本研究の目的

### 各赤方偏移における光度関数の パラメータを推定



### 星形成銀河とAGNについての 進化モデルを構成

# 目次 1. Introduction

- 2. Data
- 3. Method
- 4. Results
- 5. Discussion

### Data: VLA-COSMOS 3GHz Large Project

Region	VLA-COSMOS field (1.77deg <sup>2</sup> )	1.4deg × 1.4deg
Number of sample	10,830 ( <i>S/N</i> >5)	2.8
Feature	電波で最も深いサーベイ <i>S</i> <sub>lim</sub> = 11.0(µJy), <i>z</i> < 5.5	
Reference	Smolčić et al. (2017)	

Karl G. Jansky Very large array (VLA)





カラー (Ilbert et al. 2010)

Blue & Green:  $M_{\rm NUV} - M_r < 3.5$ 



# 目次 1. Introduction

- 2. Data
- 3. Method
- 4. Results
- 5. Discussion

### C<sup>-</sup>法(Lynden-Bell 1971)による光度関数推定

✓ 銀河の密度揺らぎによる領域間分散の影響を受けない手法.

銀河団を含む擬サンプルから推定された光度関数.



### 電波光度関数

#### 銀河の種類によって異なる関数型で表される.

星形成銀河

$$L_*, \phi_*, \sigma, \alpha$$

AGN

$$L_*$$
,  $\phi_*$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ 



Mauch & Sadler (2007)

### 電波光度関数

#### 銀河の種類によって異なる関数型で表される.





# 目次 1. Introduction

- 2. Data
- 3. Method
- 4. Results
- 5. Discussion

### Results: 3GHz光度関数

全ての赤方偏移において明るい側はAGN, 暗い側は<mark>星形成銀河</mark>が それぞれ卓越.



パラメータ $L_*$ の赤方偏移 依存性を,

 $L_*(z) = L_0 f(z)$ 

としてモデル化.



# 目次 1. Introduction

- 2. Data
- 3. Method
- 4. Results
- 5. Discussion

### Discussion

#### パラメータ $L_*$ の赤方偏移依存性 $L_*(z)$

#### > 天体の個数分布, 星形成率の赤方偏移依存性

#### ➢ SKAサーベイにおける計数の評価

# <u>重力レンズ効果が計数に与えるバイアスの評価</u>

### Discussion: 銀河の赤方偏移分布

SKAのall-skyサーベイの感度で検出される銀河の個数分布:n(z).  $S_{0.12GHz} > 20.0 \mu$ Jy,  $A = 31 \times 10^{3} deg^{2}$   $S_{1GHz} > 1.0 \mu$ Jy,  $A = 1 \times 10^{3} deg^{2}$ 



▶ 全ての赤方偏移において, 星形成銀河が卓越.

▶ 観測限界光度が大きくなる 高赤方偏移では, AGNの 寄与が大きくなる.

### Discussion: 星形成率密度の赤方偏移依存性



電波-赤外線関係のz > 2における赤方偏移依存性を示唆.

#### モデルL<sub>\*</sub>(z)から計算された微分計数と観測との比較.



# 銀河種族ごとの微分計数に対するlow-z (*z* < 0.5)とhigh-z (*z* > 0.5)の寄与.



銀河種族ごとの微分計数に対するlow-z (*z* < 0.5)とhigh-z (*z* > 0.5)の寄与.



AGN

明るい側(*S* > 1 Jy)においても <mark>高赤方偏移(*z* > 0.5)</mark>の寄与が 大きい.

Mahony et al. (2015)及び, Franzen et al. (2016)による150MHzの 観測(LOFAR)から得られた微分計数と本モデルとの比較.



SKAによる10GHzのサーベイ で期待される計数も表記

 $S_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}$ 

✓ スペクトルのべき指数は,
 α = 0.8を仮定.

AGNの寄与が支配的になる フラックスは, 低振動数側で 大きい.

### Discussion: 重力レンズ効果



▶ NFWプロファイル

各ハローの増光率プロファイル

24/29

➢ Press-Schechter型質量分布
統計量への寄与

光源の赤方偏移分布▶ 本モデル: n(z)

### 単一レンズの増光プロファイル

 ✓ ダークマターハローの動径方向についての密度分布は NFW profile (Navarro, Frenk & White 1997)を仮定.

✓ 重力レンズによる増光率 $\mu(\theta)$ のハロー中心からの距離 $\theta$ に ついてのプロファイルは, <sup>10</sup>

$$\mu(\theta) = \frac{1}{[1 - \kappa(\theta)]^2 - |\gamma(\theta)|^2}$$

κ:像の大きさを変える.

γ:像の形状を歪める.





- ▶ ダークマターハローがレンズ天体としてはたらき,銀河の光度 が増加する効果を評価.
- ▶ 増光率µは、ビリアル質量M<sub>vir</sub>, レンズ天体及び光源の赤方偏移 z<sub>1</sub>, z<sub>s</sub>に依存.



### Discussion: 銀河計数と重力レンズ

#### ダークマターハローを考慮した場合, 重力レンズ効果が計数に 与える寄与を評価.



### Conclusions

#### 1. 赤方偏移z < 5.5における3GHz光度関数を *C*<sup>-</sup>法を用いて推定. 赤方偏移についての 進化をモデル化.

- 2. 星形成密度の赤方偏移分布から, z > 2に おける電波-赤外線光度関係の進化が示唆.
- 3. 重力レンズ効果の影響はS<sub>3GHz</sub> ~ 100 µJyに おいて3%程度, 星形成銀河に見られる.

### Future Works

1. 光度関数のL<sub>\*</sub>以外のパラメータの赤方偏移 依存性の観測的制限.

2. COSMOS領域における<mark>多波長光度関数</mark>を 用いた物理量のより詳細な制限.

3. 光度関数の天体ごとの赤方偏移進化を与える 理論的モデルの構築.