

# X24c ALMAを用いた高赤方偏移のダストに隠された銀河の探索

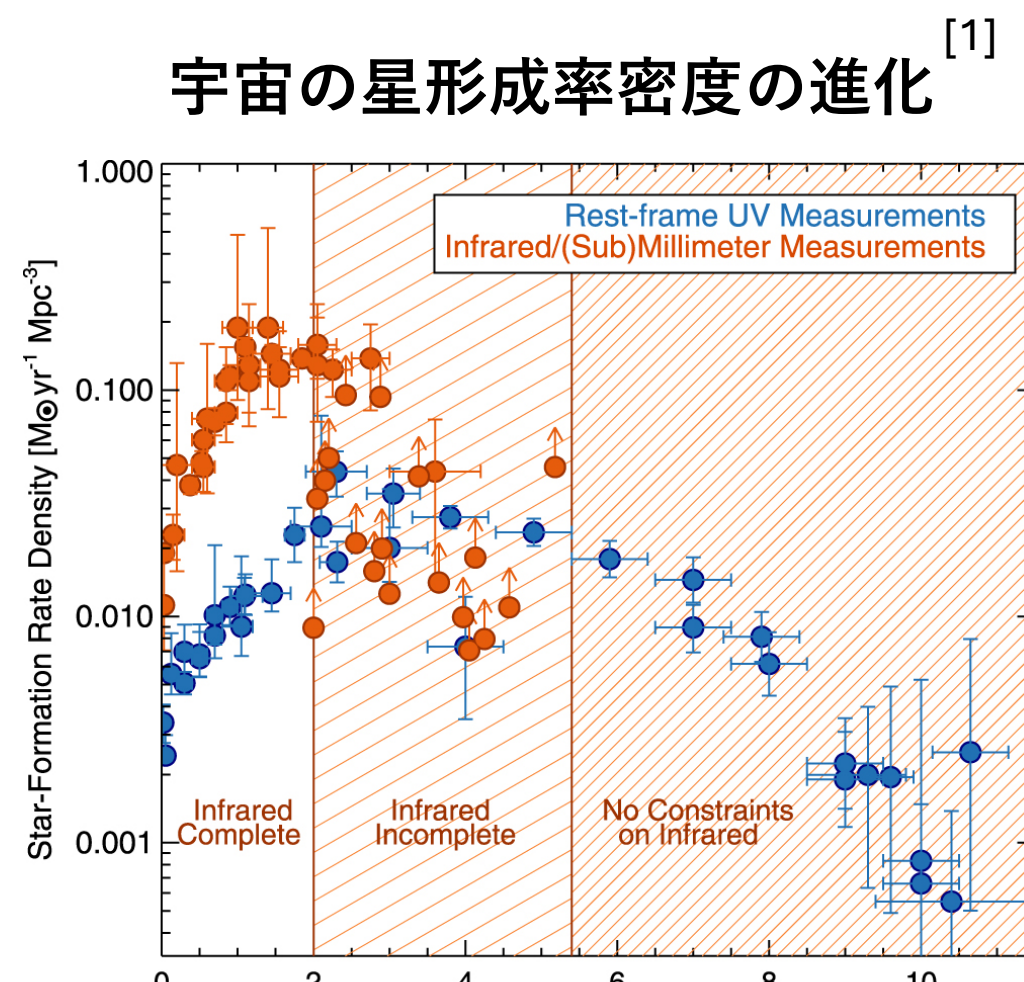
野澤大河(広島大学 学部4年生), Hiddo Algera (ASIAA), 稲見華恵 (広島大学), REBELSチーム

## 1. 背景・目的

### 初期宇宙におけるダストに隠された星形成

- ・宇宙の星形成率密度は主に静止系紫外線での観測から求められている。
- ・特に高赤方偏での静止系赤外線による観測はincompleteである。
- ・ALMAによる近年の観測から、初期宇宙における星形成率密度はダストに隠された銀河からの寄与が大きいことが示唆されている。<sup>[2, 3, 4]</sup>
- ・ALMAによる既得データの観測視野内でダスト放射を探索し、より精度よく赤外線星形成率密度を求めることを目指す。

目的：赤方偏移  $z > 1$  のダストに隠された銀河をALMAを用いて発見し、その性質を明らかにする。



## 2. 観測対象

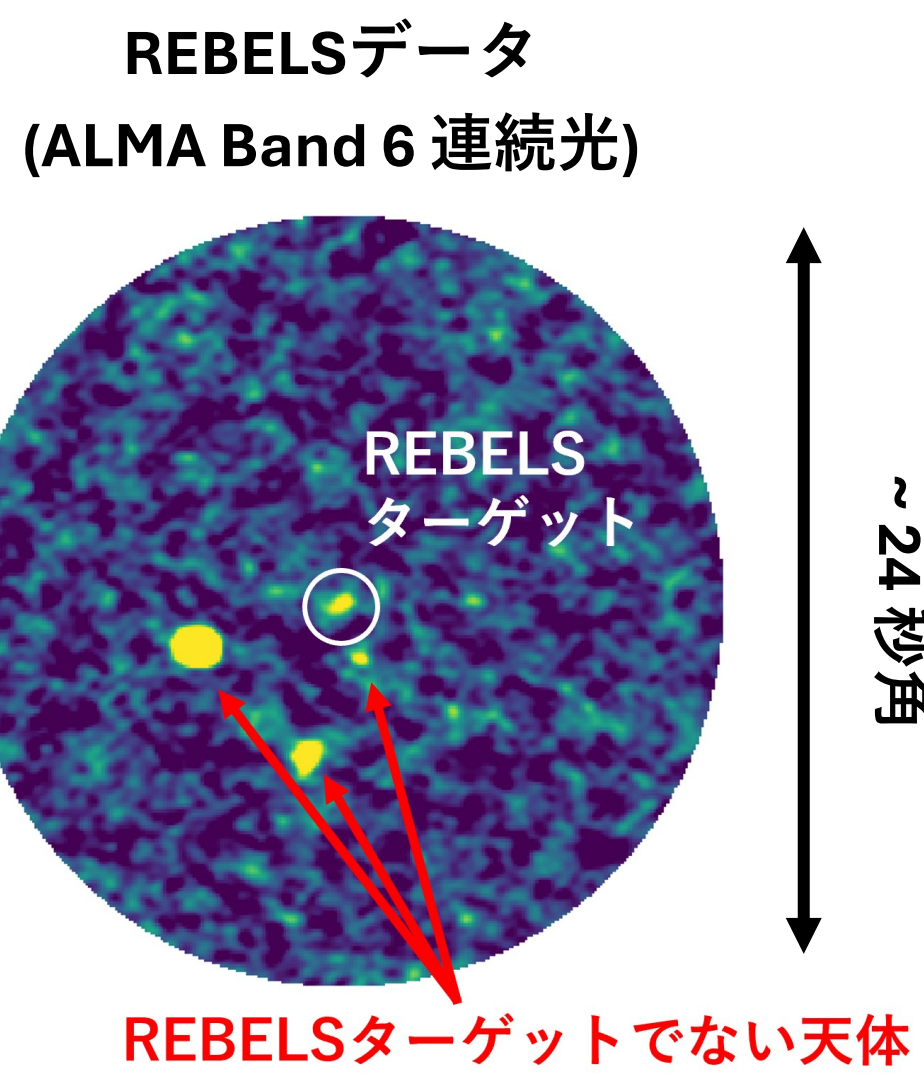
### ダストを多く持ち、 $z > 1$ である銀河の探索

- ・可視光線と近赤外線での検出が困難
- ・観測視野の狭いALMAは大規模サーベイが困難
- ➔ ALMAの既存の観測データに対してブラインドサーベイを行う

### REBELS領域におけるブラインドサーベイ

#### Reionization Era Bright Emission Line Survey (REBELS):<sup>[5]</sup>

- ・ALMA Cycle7の大型観測プログラムの一つ
- ・Band6を用いて波長~1.2mmの連続光と輝線を観測
- ・49個のターゲット：紫外線で明るく ( $M_{UV} < -21.3$  mag)、 $z_{photo} > 6.5$ の銀河
- ➔ 観測視野内のREBELSターゲットではない銀河を探索する。



## 3. ダスト放射天体の検出

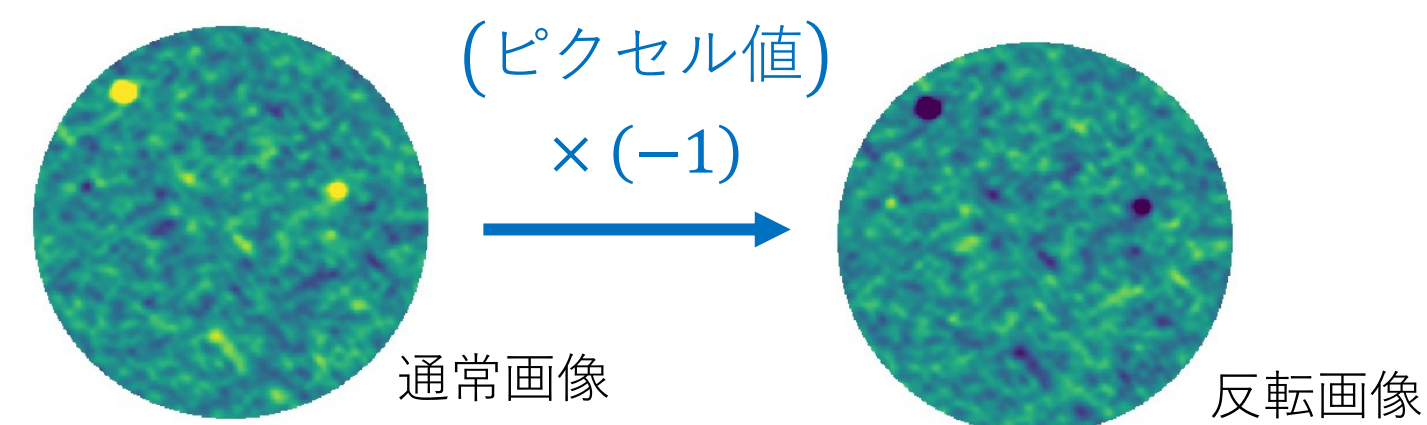
### ソフトウェア

#### Python Blob Detector and Source Finder (PyBDSF)<sup>[6]</sup>

- ・画像に2次元ガウシアンをフィットして天体を抽出
- ・検出に特に影響のあるパラメータ
- pSNR, iSNR**: 背景光を基準としたしきい値

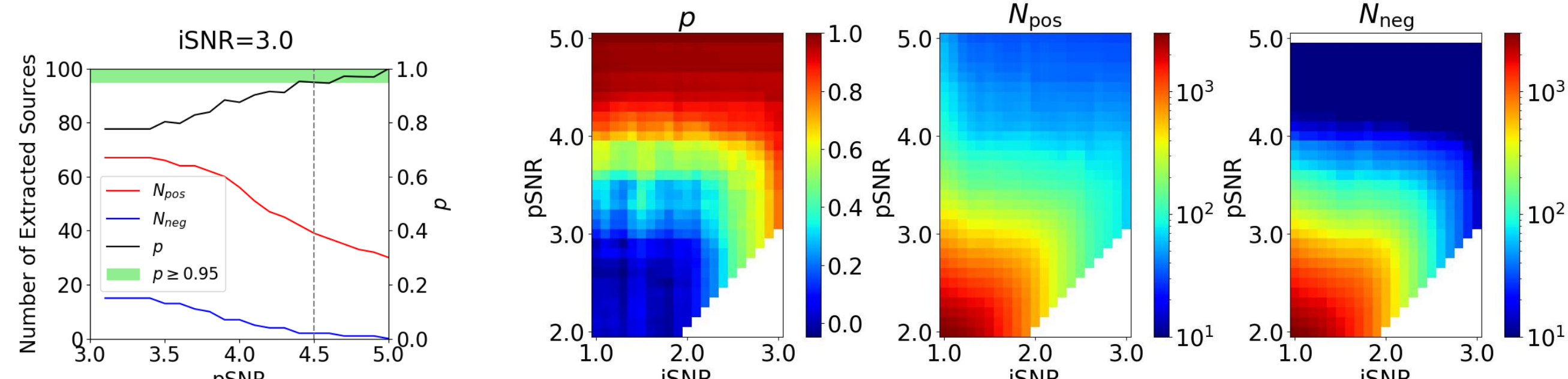
### 検出条件

- ・様々な(pSNR, iSNR)での検出の信頼性を評価



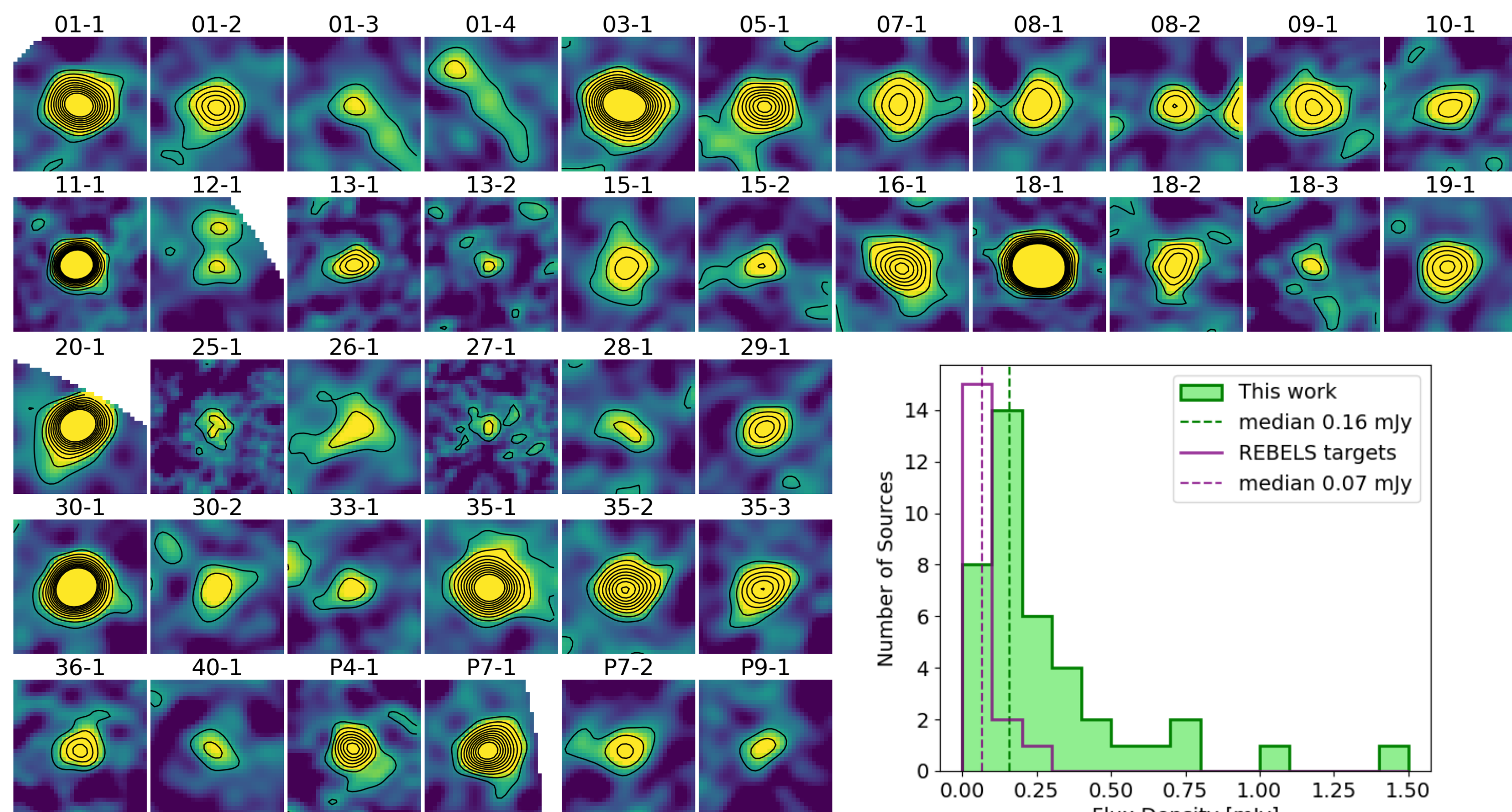
- ・  $N_{pos}$ : 通常画像における検出数
- ・  $N_{neg}$ : 反転画像における検出数

それぞれのpSNR, iSNRにおける検出数( $N_{pos}$ ,  $N_{neg}$ )と信頼度 $p$



### 結果

- ・28枚の画像から**40天体**を検出することに成功した。
- ・検出天体のフラックス密度(中央値0.16 mJy)はREBELSターゲット(中央値0.07 mJy)よりも大きいものが多かった。



検出したダスト天体の切り抜き画像(5" x 5")  
コンタは2σから20σまでの2σ間隔。

検出天体のフラックス密度分布

## 6. まとめと今後の展望

- ・ALMAの既存データを用いたブラインドサーベイによりダスト放射が見られる銀河を40個検出した。
- ・31天体が  $L_{IR} > 10^{11} L_{\odot}$  をもつ高光度赤外線銀河であった。

- ・ALMAでのみ検出された5天体は  $z_{photo} > 3$  である可能性があり、初期宇宙でダストに隠された未発見の赤外線銀河が存在することを示唆する。
- ・今後、赤外線光度関数と赤外線星形成率密度を求め、宇宙の星形成率密度への寄与を調査する。

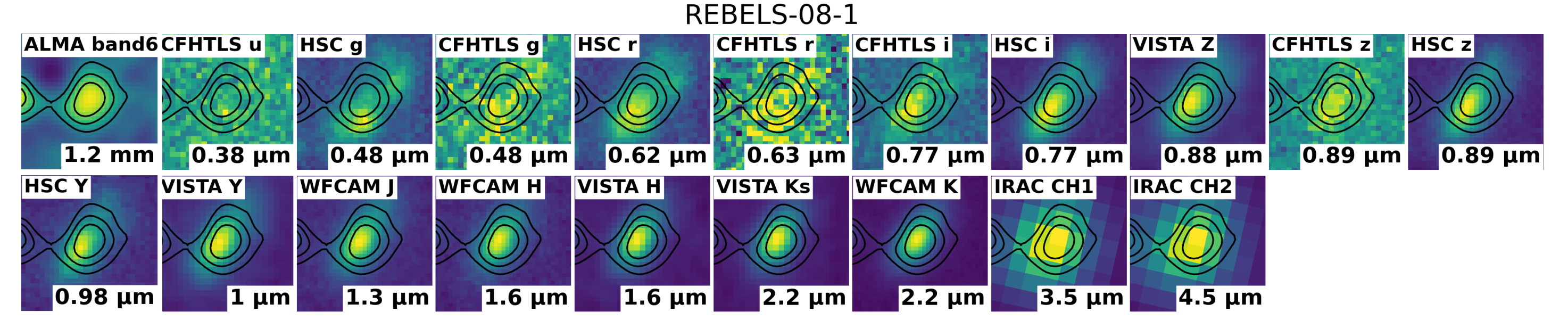
## 4. 検出天体の同定

### 可視光・赤外線での銀河カタログ

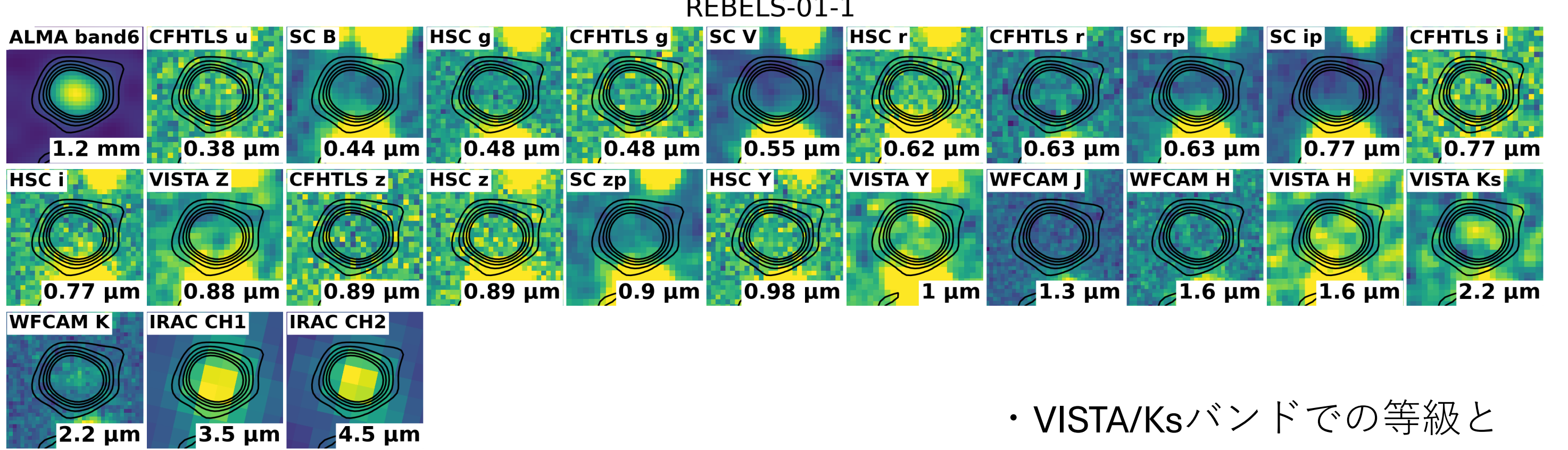
- ・カタログ：COSMOS2020 (Classic / Farmer)<sup>[7]</sup>, COSMOS super-deblended,<sup>[8]</sup> UDS DR11<sup>[9]</sup>
- ・マッチ条件：検出天体からの距離が0.5秒角以内
- ➔ カatalogがカバーする30天体のうち、23天体について対応天体を特定した。
- ・撮像データから更に10天体を同定した。

### 検出天体の可視光・赤外線画像

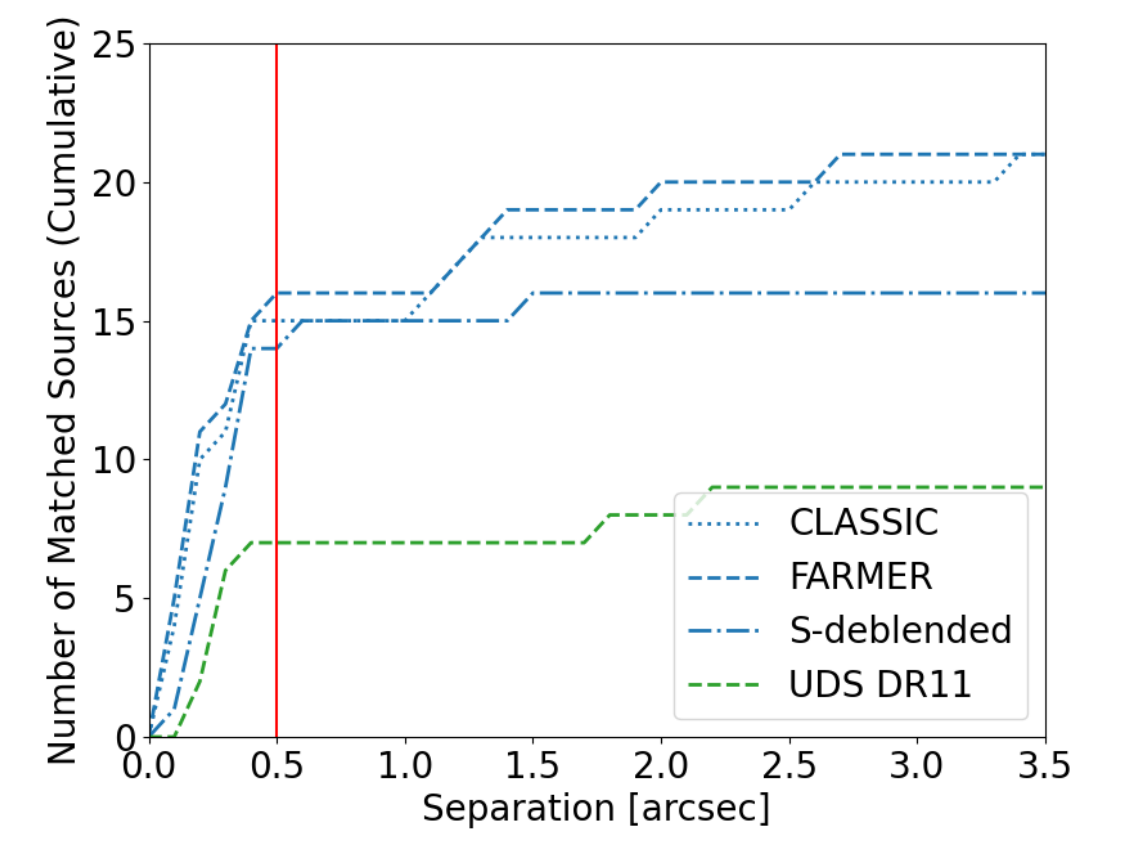
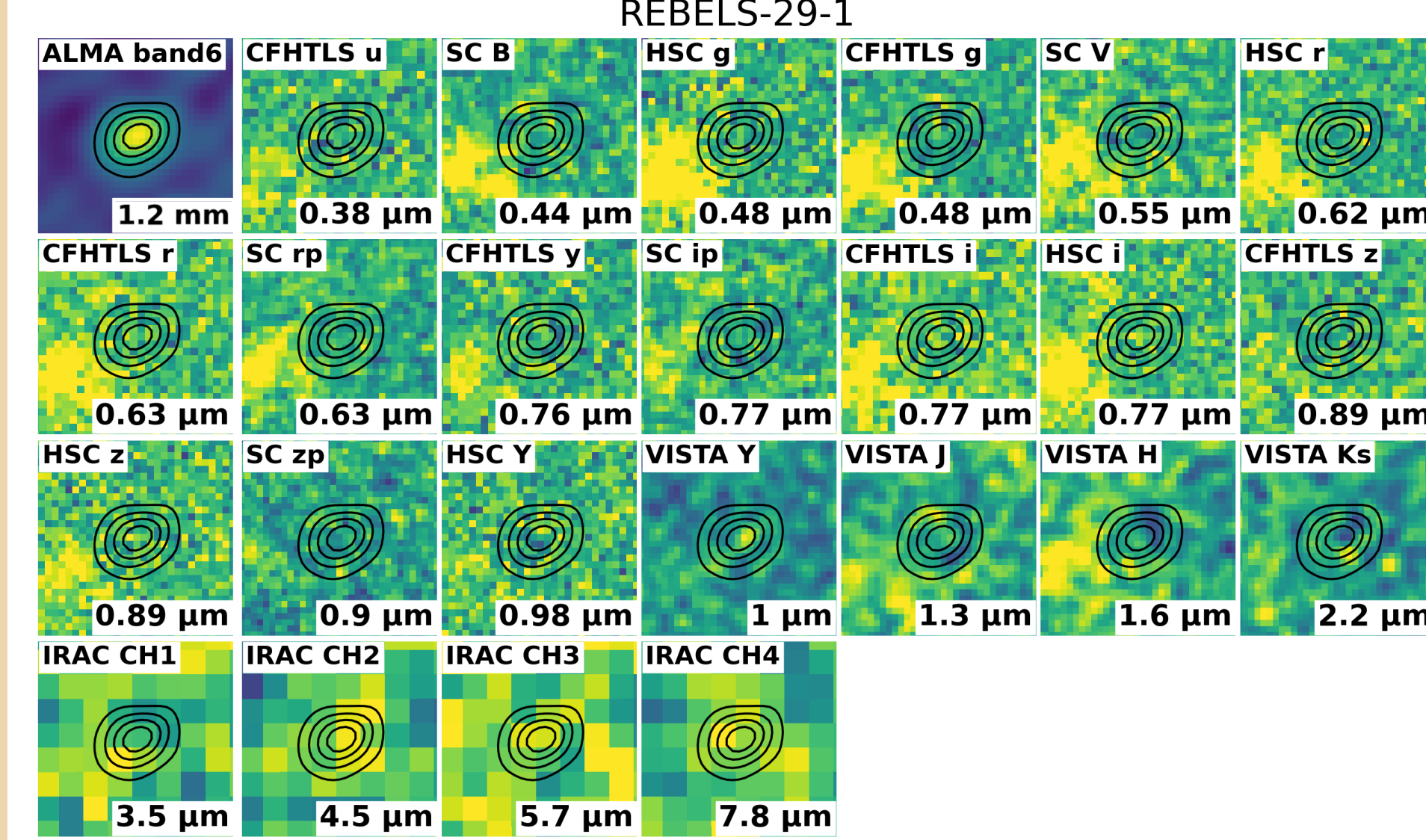
- ・20天体が可視光線と近赤外線、Spitzer/IRACで検出された。



- ・13天体が可視光線では検出されなかったものの、Spitzer/IRACで検出された。

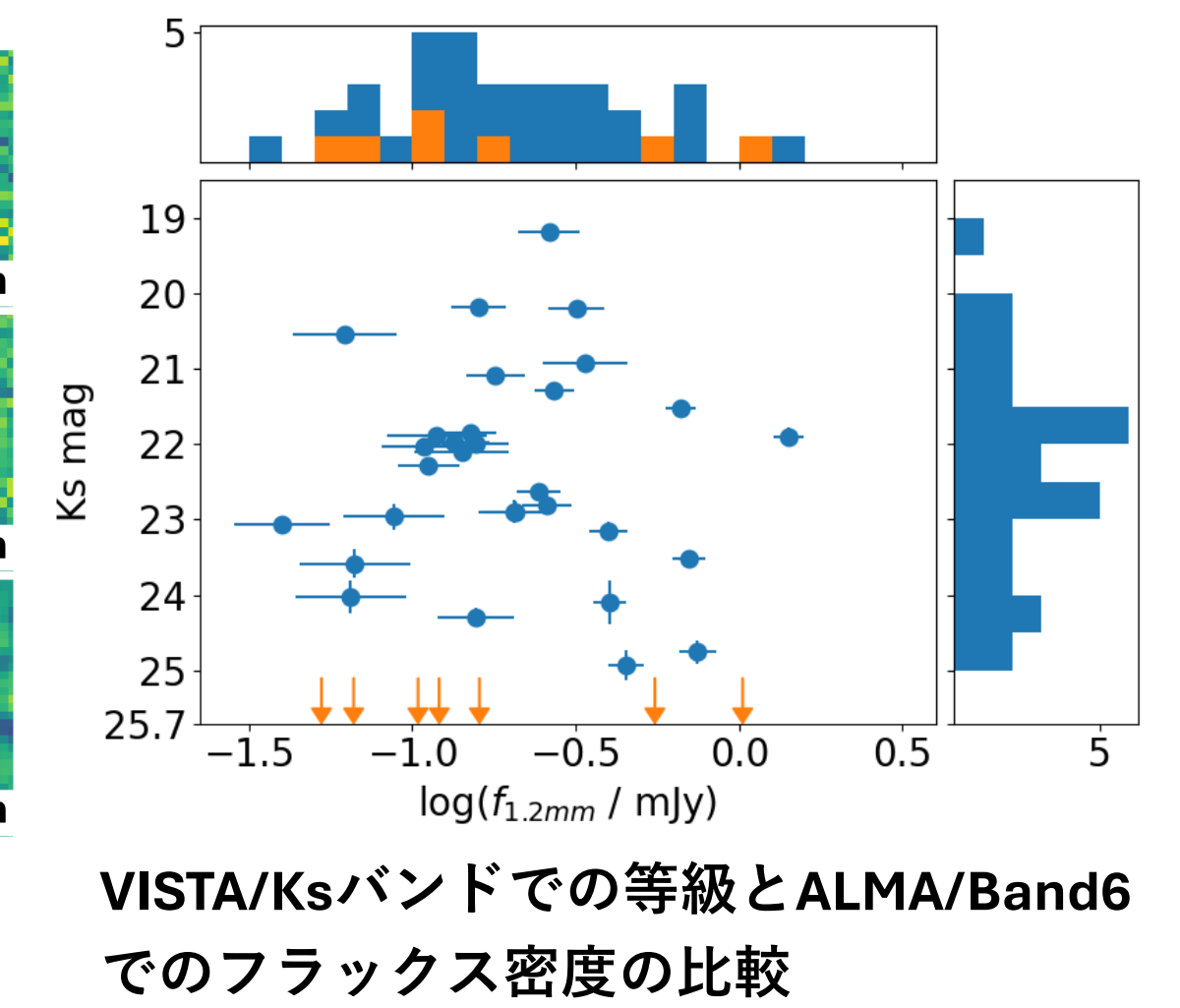


- ・5天体は可視光線と赤外線の画像において検出されなかった。



検出天体とカタログに登録されている最も近い銀河との距離の累計数

- ・VISTA/Ksバンドでの等級とALMA/Band6でのフラックス密度に相関関係は見られなかった。



VISTA/Ksバンドでの等級とALMA/Band6でのフラックス密度の比較

## 5. SEDフィッティング

### ソフトウェアとパラメータ設定

#### Bayesian Analysis of Galaxies for Physical Inference and Parameter Estimation (BAGPIPES)<sup>[10]</sup>

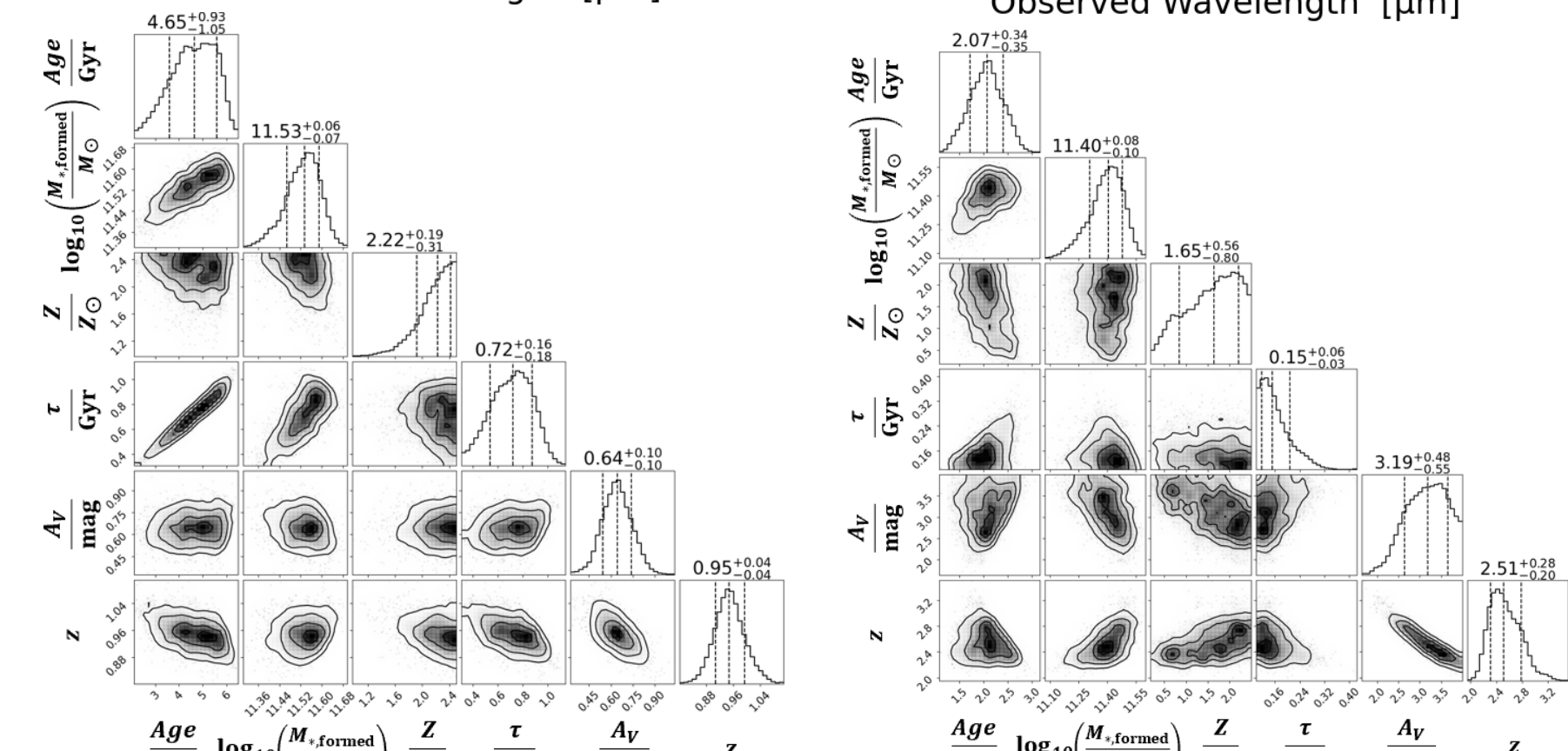
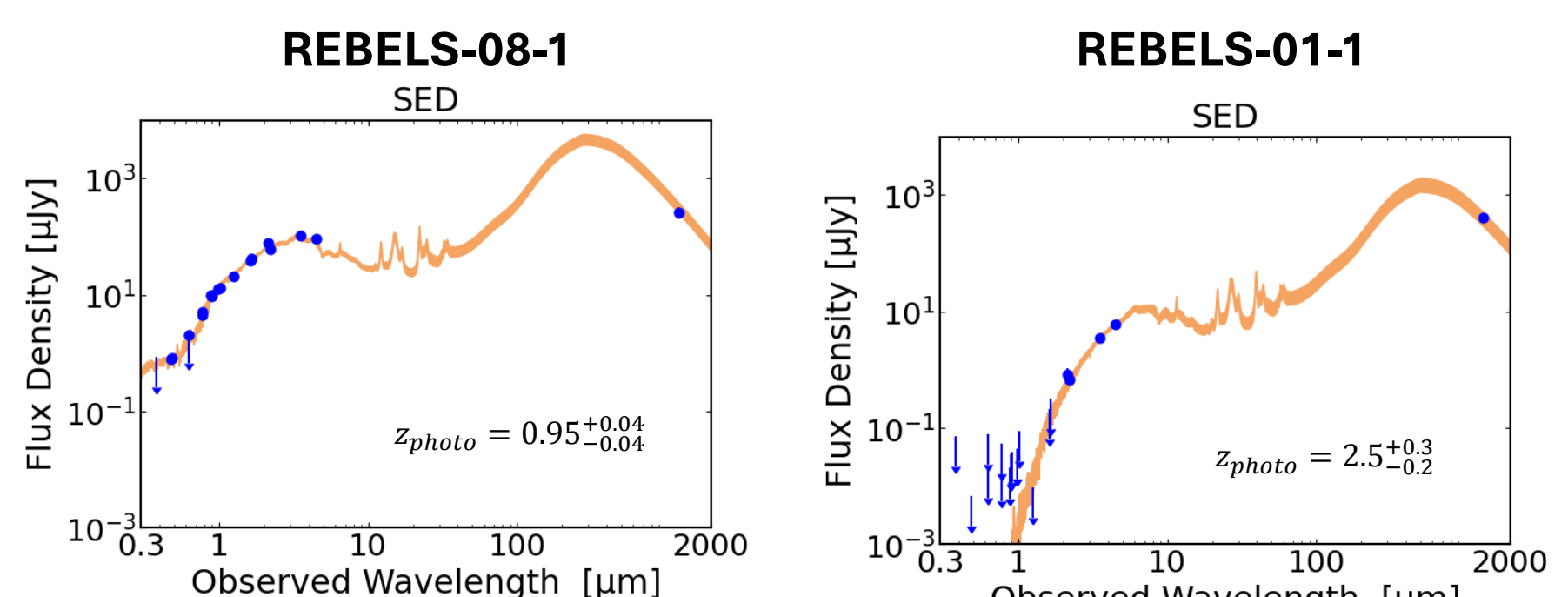
- ・星形成史：delayed- $\tau$ モデル
- ・ダスト減光：Calzetti et al. (2000)

各物理量の事前確率分布(一様分布を仮定)

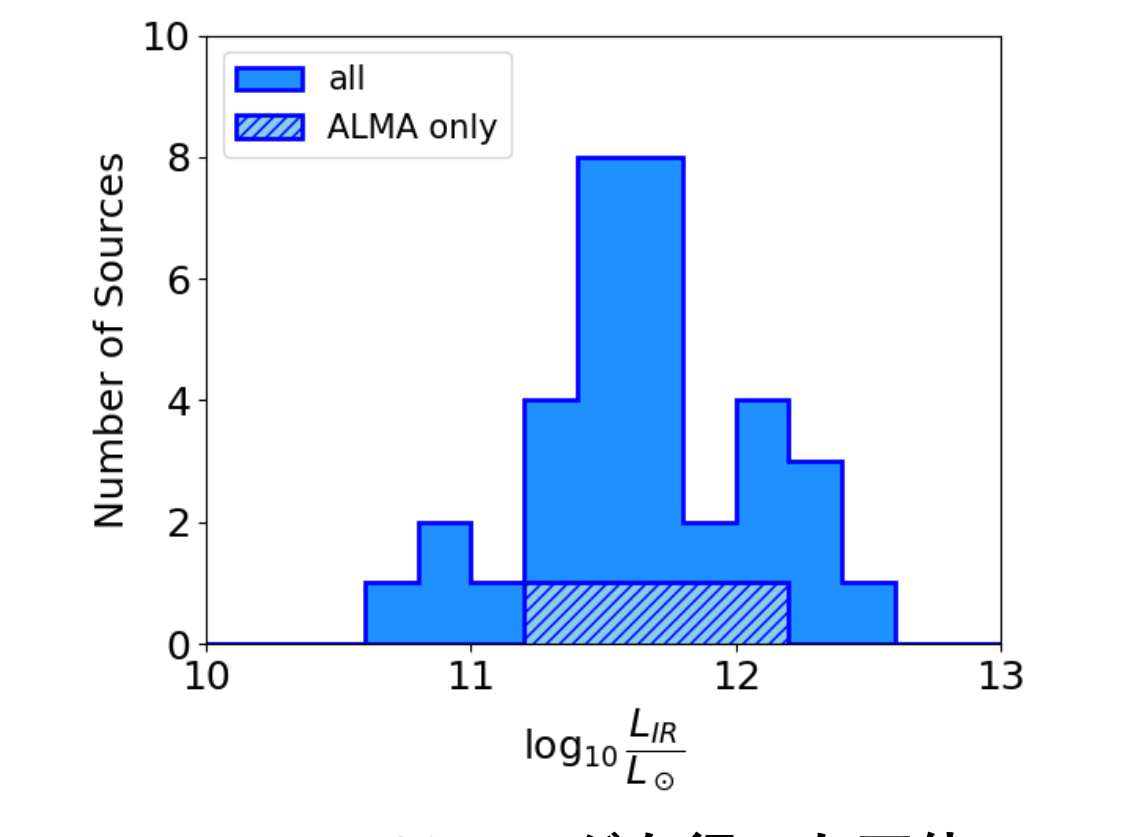
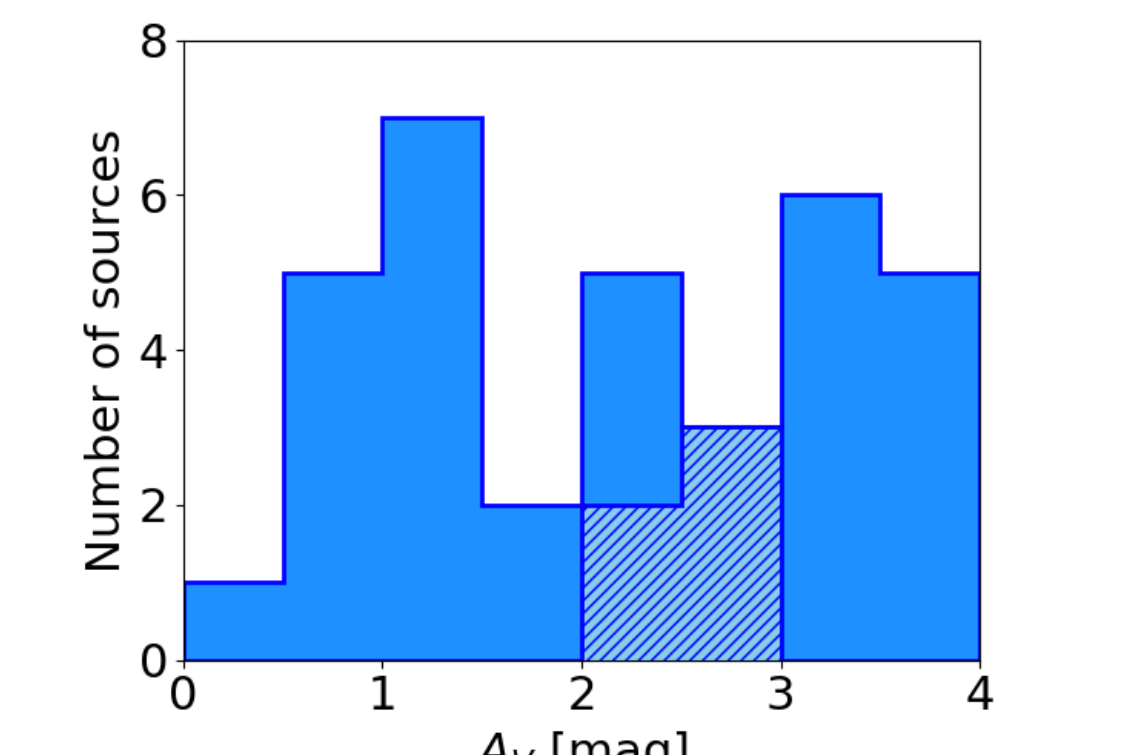
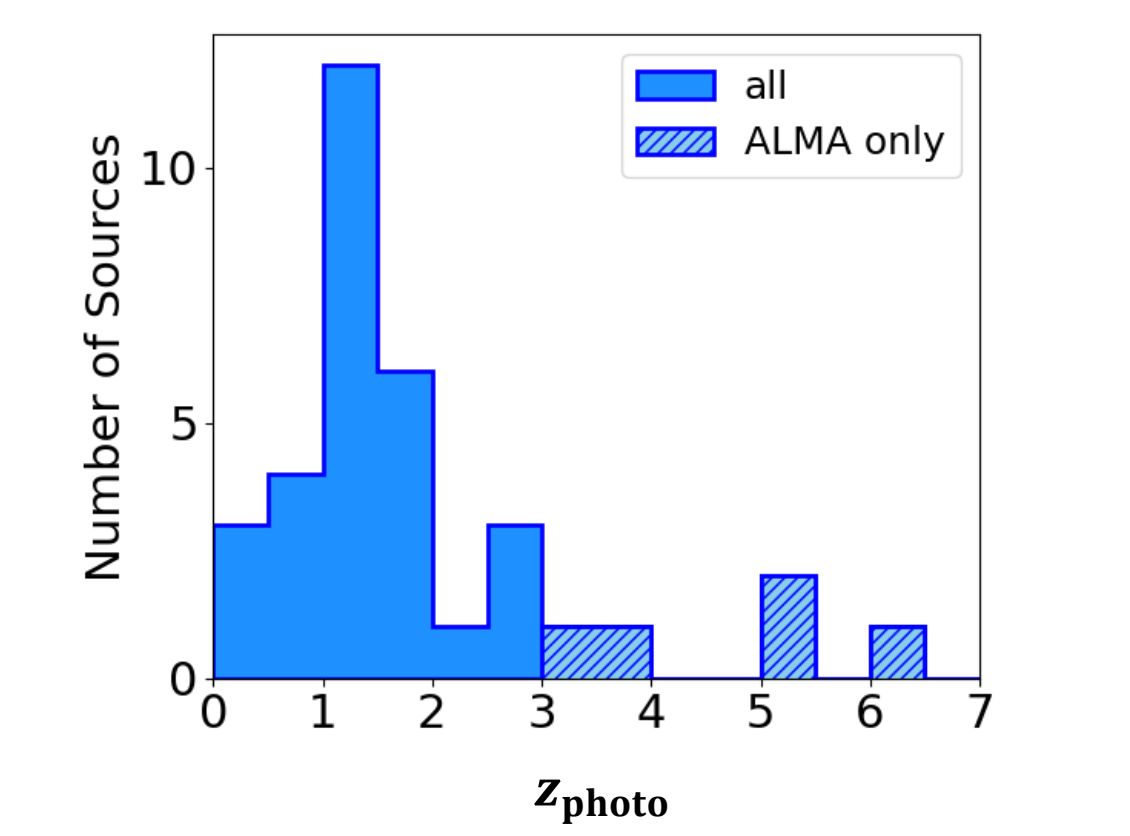
パラメータ	範囲	単位
赤方偏移 ( $z_{photo}$ )	[0, 10]	
形成された恒星の総質量 ( $M_{*, formed}$ )	[6, 13]	$\log_{10}(M_{*, formed}/M_{\odot})$
金属量 ( $Z$ )	[0, 2.5]	$Z_{\odot}$
星形成が開始されてから経過した時間 (Age)	[0.1, 15]	Gyr
星形成の減衰のタイムスケール ( $\tau$ )	[0.1, 9]	Gyr
ダストによるVバンドにおける減光 ( $A_V$ )	[0, 4]	magnitude

### 結果

- ・モデルフィットを行った34天体のうち、27天体が  $z_{photo} > 1$  であることが分かった。
- ・ALMA Band6でのみ検出された5天体は  $z_{photo} > 3$  である可能性があり、新発見の赤外線銀河である。
- ・11天体が特に強いダスト減光 ( $A_V > 3$ ) を示している。
- ・全赤外線光度が  $L_{IR} > 10^{11} L_{\odot}$  である高光度赤外線銀河は31天体であった。



可視光で検出された天体(左)と可視光で検出されなかった天体(右)のSEDと各物理量の事後分布



SEDフィッティングを行った天体の測光赤方偏移 ( $z_{photo}$ )、ダスト減光 ( $A_V$ )、全赤外線光度 ( $L_{IR}$ ) の分布

[1] Casey et al. (2018) ApJ, 862, 77 [2] Gruppioni et al. (2020) A&A, 643, A8 [3] Algera et al. (2022) MNRAS, 518, 6142 [4] Fudamoto et al. (2021) Nature 597.7877, 489 [5] Bouwens et al. (2022) ApJ, 931, 160 [6] Mohan et al. (2015) ASCL, record ascl:1502.007 [7] Weaver et al. (2022) ApJS, 258, 11 [8] Jin et al. (2018) ApJ, 864, 56 [9] Almaini et al. in prep. [10] Carnali et al. (2018) MNRAS, 480, 4379