

The environments of $\text{Ly}\alpha$ blobs:

Wide-field $\text{Ly}\alpha$ imaging of TNJ1338-1942,
a powerful radio galaxy at $z=4.1$,
associated with a giant $\text{Ly}\alpha$ nebula

斎藤 智樹 (東大 ICRR)

T. Saito et al., arXiv:1403.5924

2014年6月6日, 銀河進化研究会@NAOJ

(ターゲットはこちら)

The environments of $\text{Ly}\alpha$ blobs:

Wide-field $\text{Ly}\alpha$ imaging of TNJ1338-1942,
a powerful radio galaxy at $z=4.1$,
associated with a giant $\text{Ly}\alpha$ nebula

斎藤 智樹 (東大 ICRR)

T. Saito et al., arXiv:1403.5924

2014年6月6日, 銀河進化研究会@NAOJ

(ターゲットはこっち)

“Nebulosity” という括り
i.e., with/without AGN

The environments of $\text{Ly}\alpha$ blobs:

Wide-field $\text{Ly}\alpha$ imaging of TNJ1338-1942,
a powerful radio galaxy at $z=4.1$,
associated with a giant $\text{Ly}\alpha$ nebula

斎藤 智樹 (東大 ICRR)

T. Saito et al., arXiv:1403.5924

2014年6月6日, 銀河進化研究会@NAOJ

Outline

- 巨大な $\text{Ly}\alpha$ nebula を伴う $z=4.1$ 電波銀河 TN J1338-1942 周辺を SuprimeCam で撮像し、LAEs ($L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{42.8} \text{ erg/s}$) を使って環境(銀河密度)を調べた。

- 電波銀河は平均密度の4倍以上のピークを持つ高密度領域にあった。

- 高密度領域は 3-6 Mpc 程度で、大きなボイド領域と隣接していた。

- 高密度領域では LF が blank field と比較して高光度側にバイアスしていた。

銀河形成のモードの違い(環境依存性)を検出

- 準解析的モデルを用いて Millennium Simulation と比較した。

- $\delta > 3$ の領域は全体の 0.1% 以下、その数密度は $\sim 8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 。(Coma-type protoclusters と同程度)

- Gini 係数で比較すると、そのうち I 力所が辛うじて密度分布を再現。LF は再現できず: 数密度は $\sim 4.1 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ 。(z>2 電波銀河より I 桁少ない)

非常に特異な環境。再現には AGN が必要か

Scheme of galaxy formation

--how do Ly α nebulae emerge?--

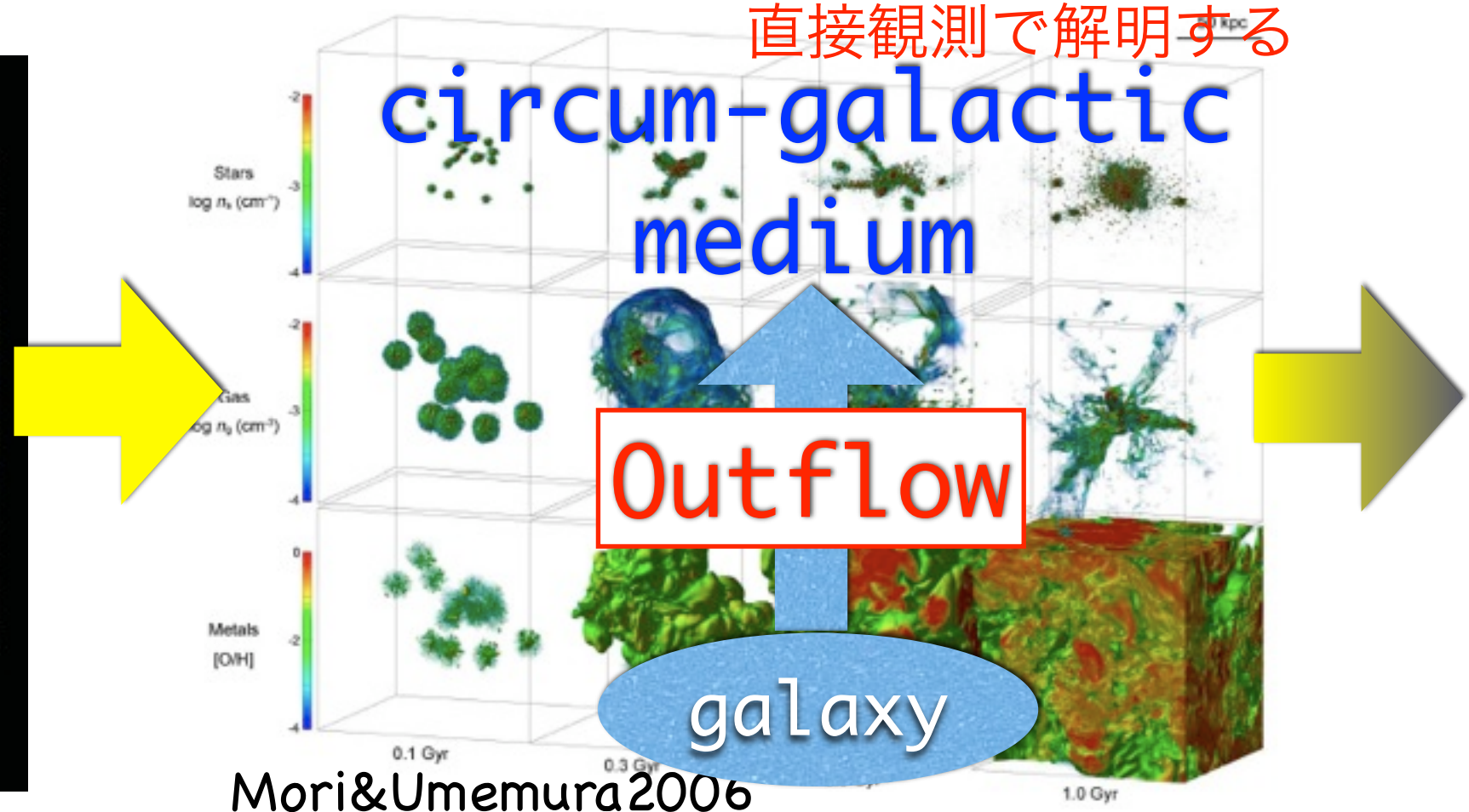
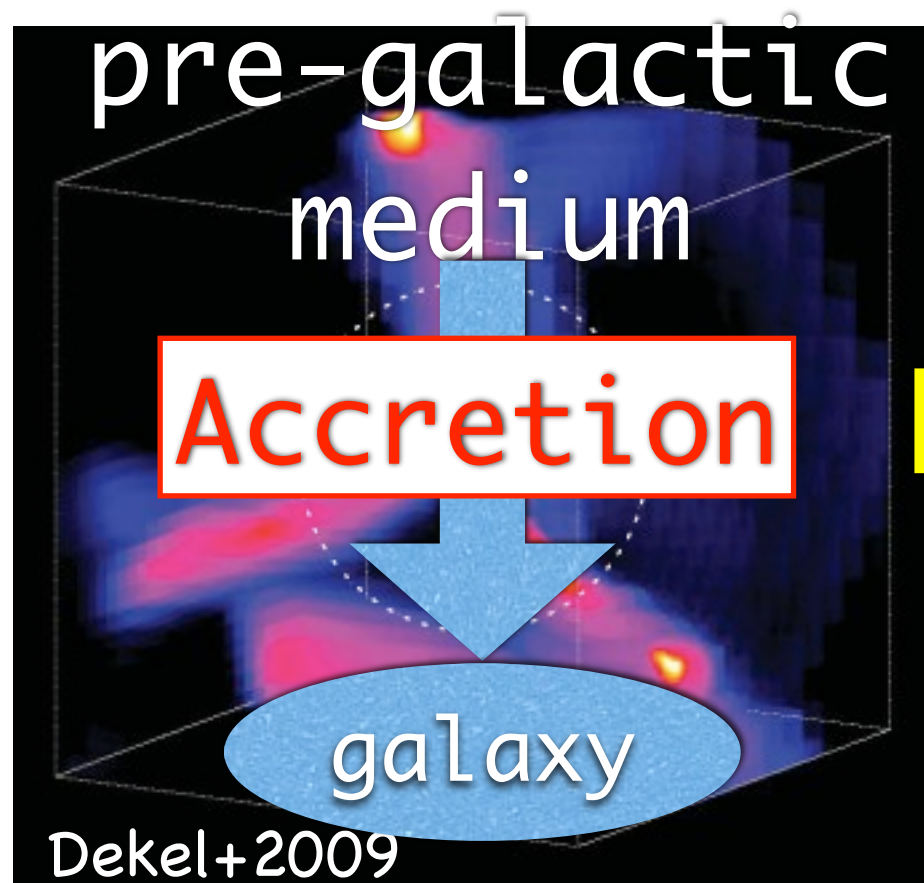
- accretion: interact w/ pre-galactic medium
- outflow: interact w/ circum-galactic medium

「周辺環境との相互作用」

→ Ly α nebulae

相互作用の素過程を

直接観測で解明する



研究の背景: blob と放射機構と環境と...

- Ly α nebula (blob) の放射機構は未解明である。予測としては:
 - 冷たい($\sim 10^4\text{K}$)ガスが降着すれば、水素の再電離輝線は光る。
 - 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離し、光る。

→ 銀河進化の phase や環境に依存しそう

- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)
 - blob の position angle は大規模構造と align している。「cold stream の成分なのは？」という主張も。
 - 「outflow 的」(丸い)なものは高密度環境、「accretion 的」(細長い)なものは密度を選ばず存在か？
 - そもそも原始銀河団によくいるし、diffuse haloes のサイズも環境に依存している。

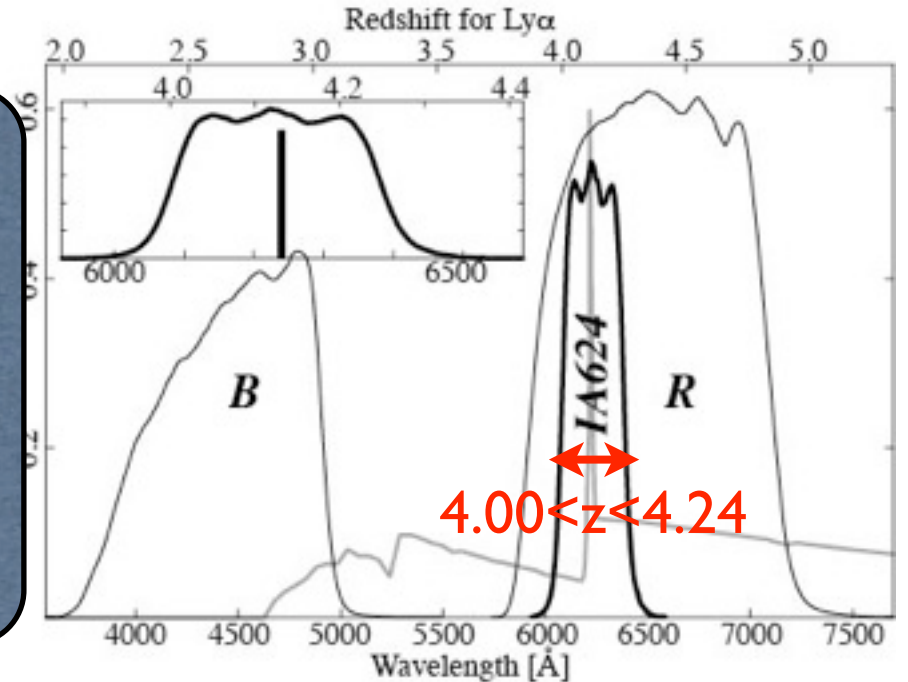
→ もう少し系統的に環境を定量化すべし

Nebula という括り で 相互作用の相手を知っておこう

Systematic survey for the environments of Ly α blobs

- Suprime-Cam + IA filter を用いた系統的探査として観測。
- >100 kpc の Ly α nebulae 6天体
- $2.6 < z < 4.1$ 、うち電波銀河4天体
- Nebulae 周辺の LAEs を用いて銀河密度を定量化する。
- 基準として一般天域 (SXDS) を同一のフィルターで撮像。
- LAE の準解析的モデル (Orsi+2008)を介して Millennium Sim. と比較。

1st target
 IA624: 26.94
 R: 26.92
 B: 26.87
 (5 σ)



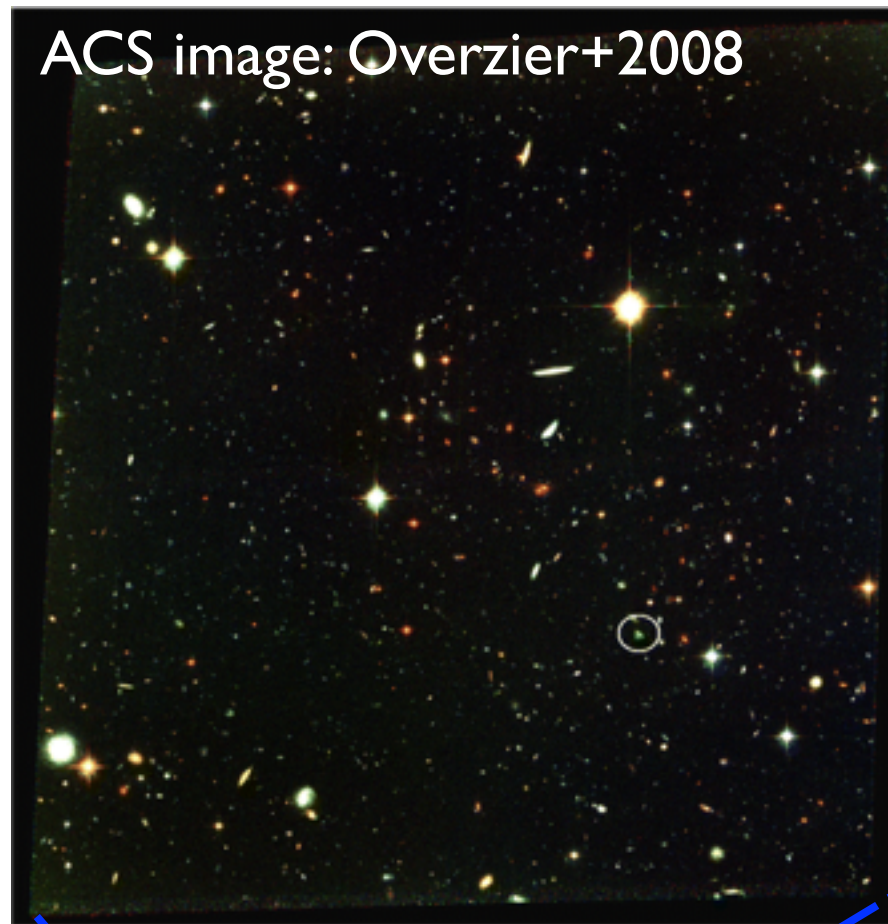
Source	z	RG	bands
TNJ1338-1942	4.1	yes	IA624, B, R
B3J2330	3.1	yes	NB497, B, V
NVSS0231	3.1	yes	NB497, B, V
S&J LAB	2.8	no	IA464, B, V
Greve LAB	2.7	no	IA445, B, V
TXS0828	2.6	yes	IA427, B, V

ターゲット: TNJ1338 (まずは明るい blob)

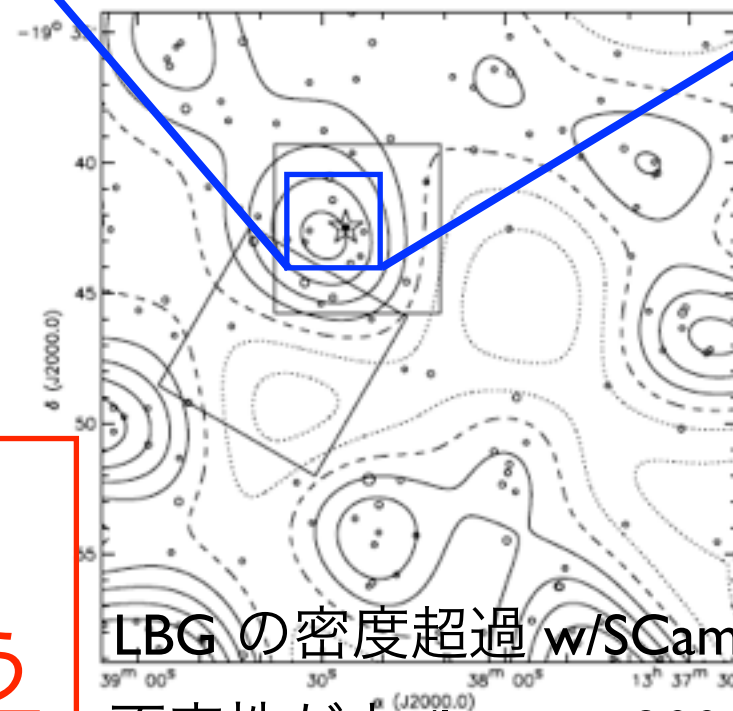
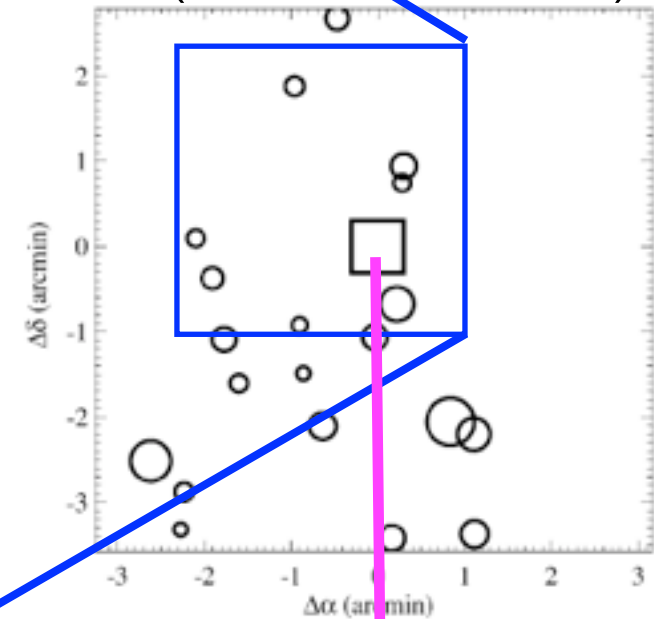
- 明るい既知の blob:
電波銀河 TN J1338-1942
@ $z4.11$ (以下 TNJ1338,
DeBreuck+98)
- $>100\text{kpc}$ の Ly α nebula を伴
う (Venemans+02)。
~20kpc 以上外側で jet-
induced SF も (Zirm+05)。
- LAE/LBG の密度超過が知
られている (Venemans+02;
Intema+06; Overzier+08)

環境の定量化は今一步。

→ 広視野で LAEs を使おう

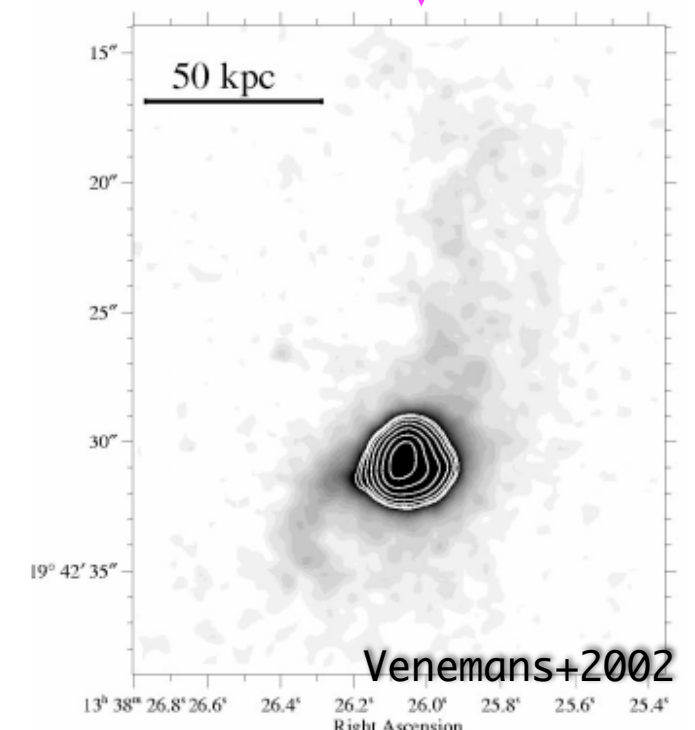


LAEs の密度超過
↓ (但し視野が狭い)



LBG の密度超過 w/SCam

z 不定性が大 (Intema+2006)

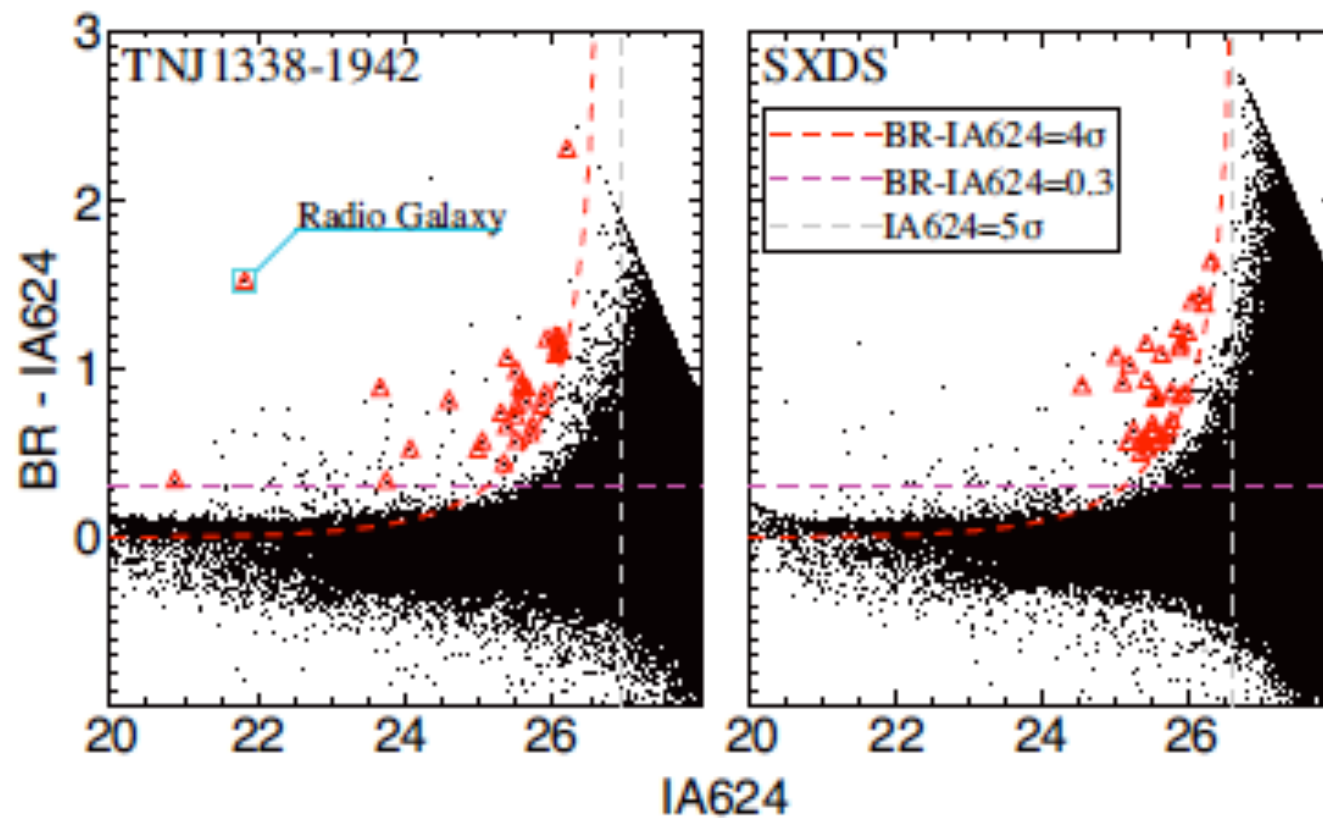


Venemans+2002

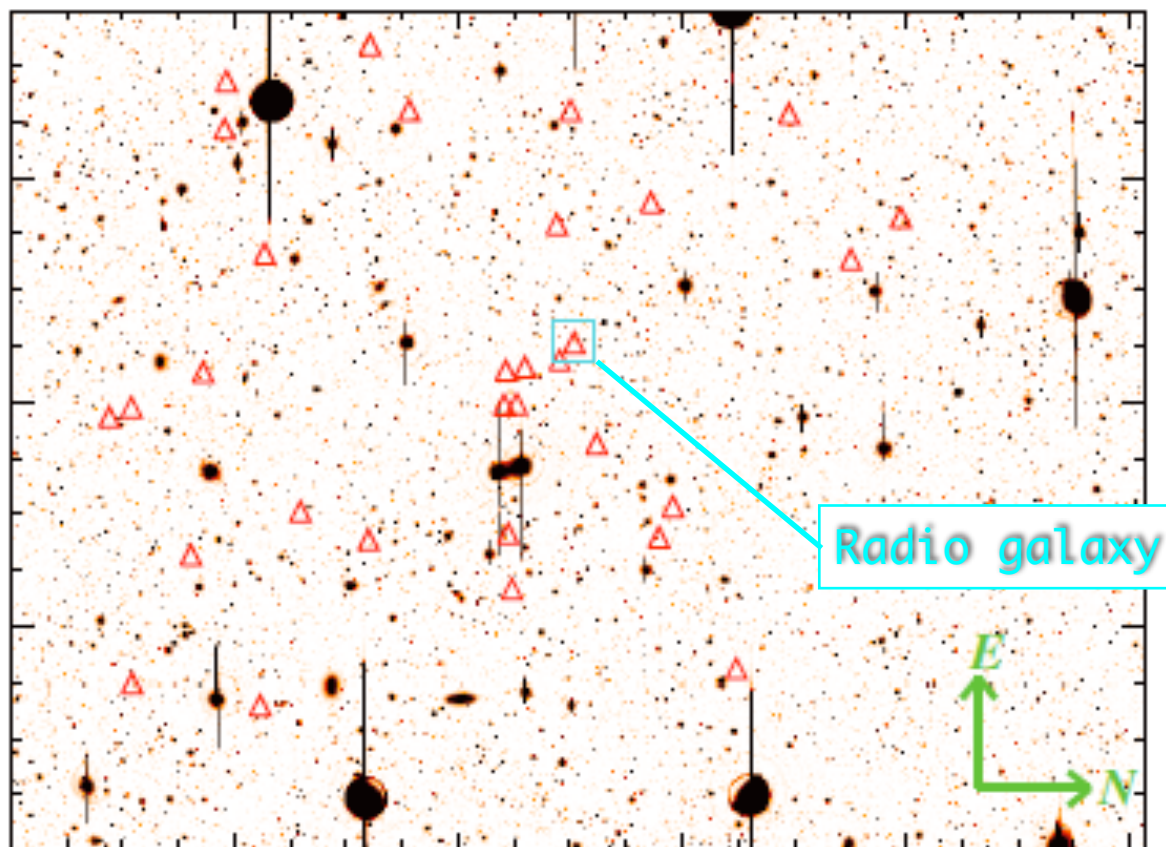
Sample selection: two samples

- 2つのサンプルで一様な条件:

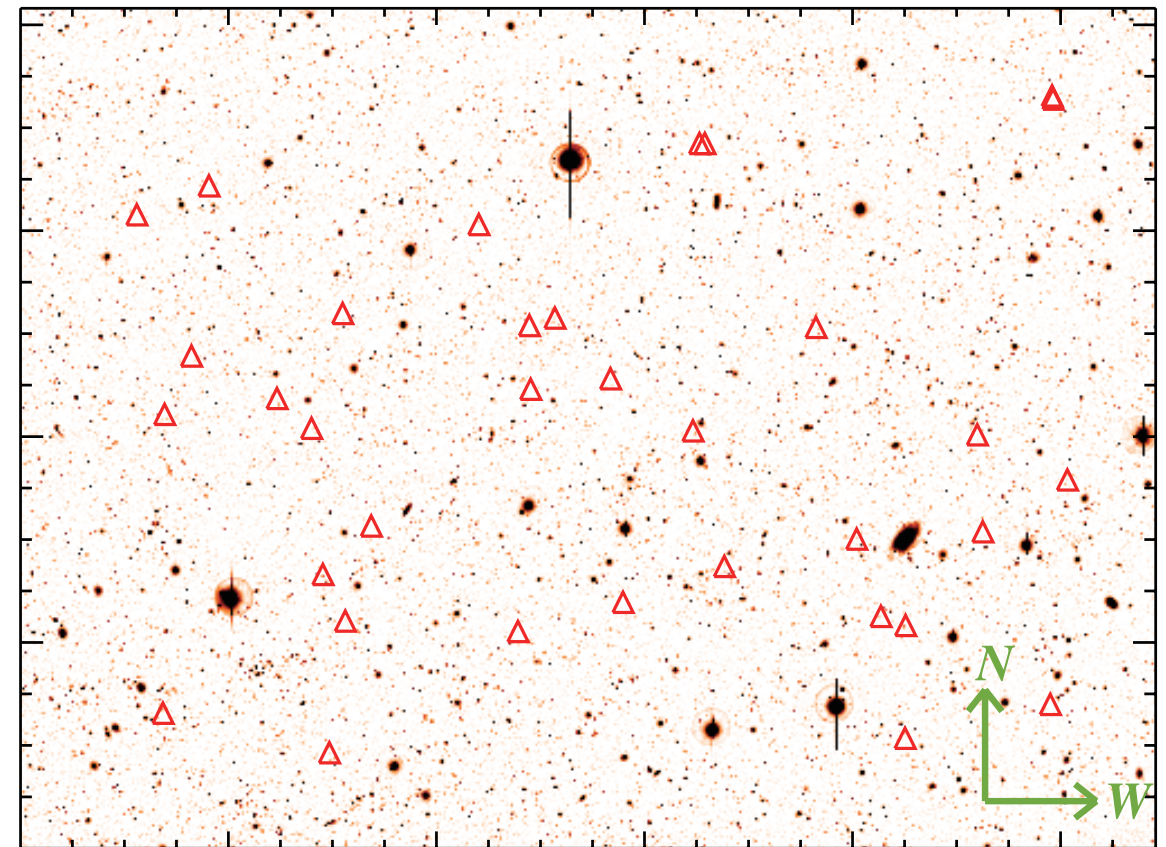
- 34 LAEs for RG field
- 32 LAEs for SXDS field



↑CM diagrams



Sky distribution (RG field)

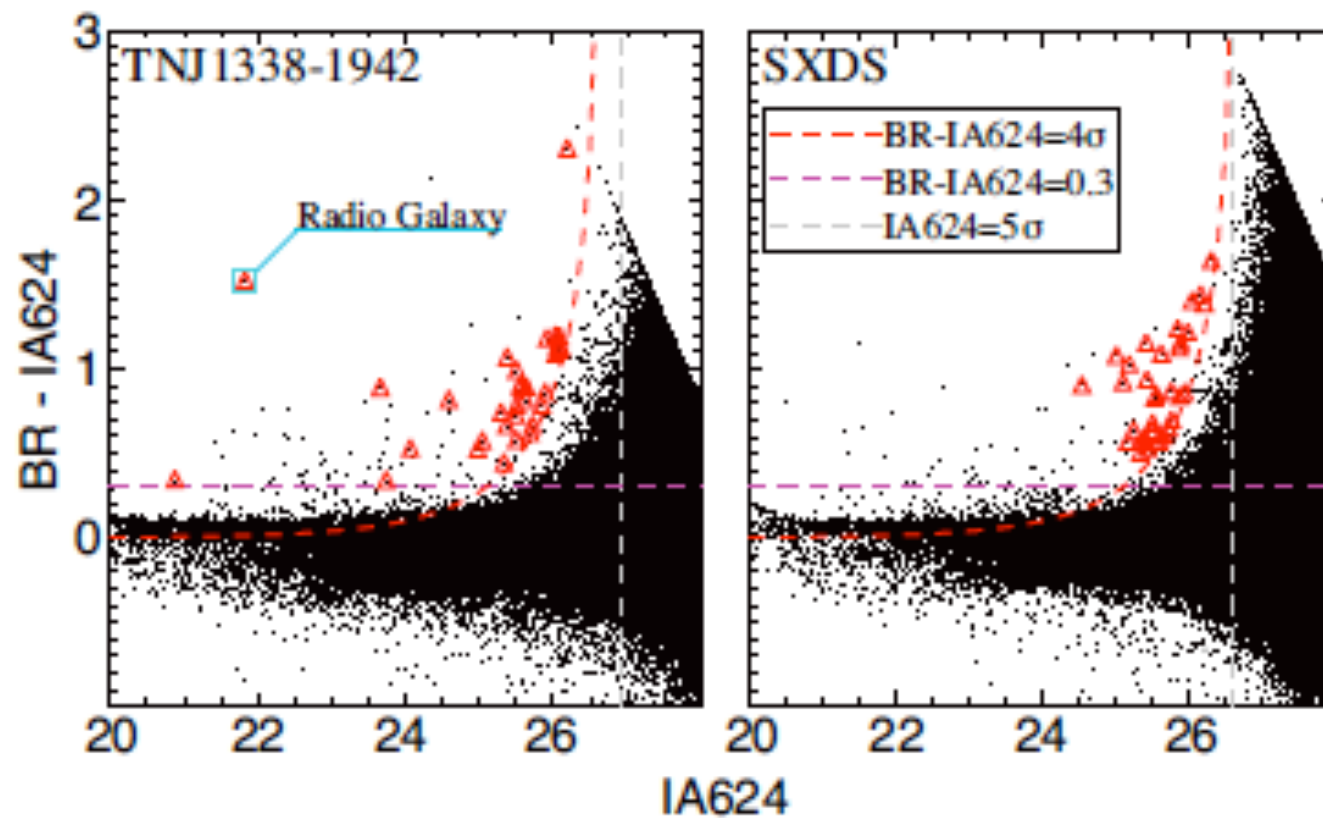


Sky distribution (blank field)

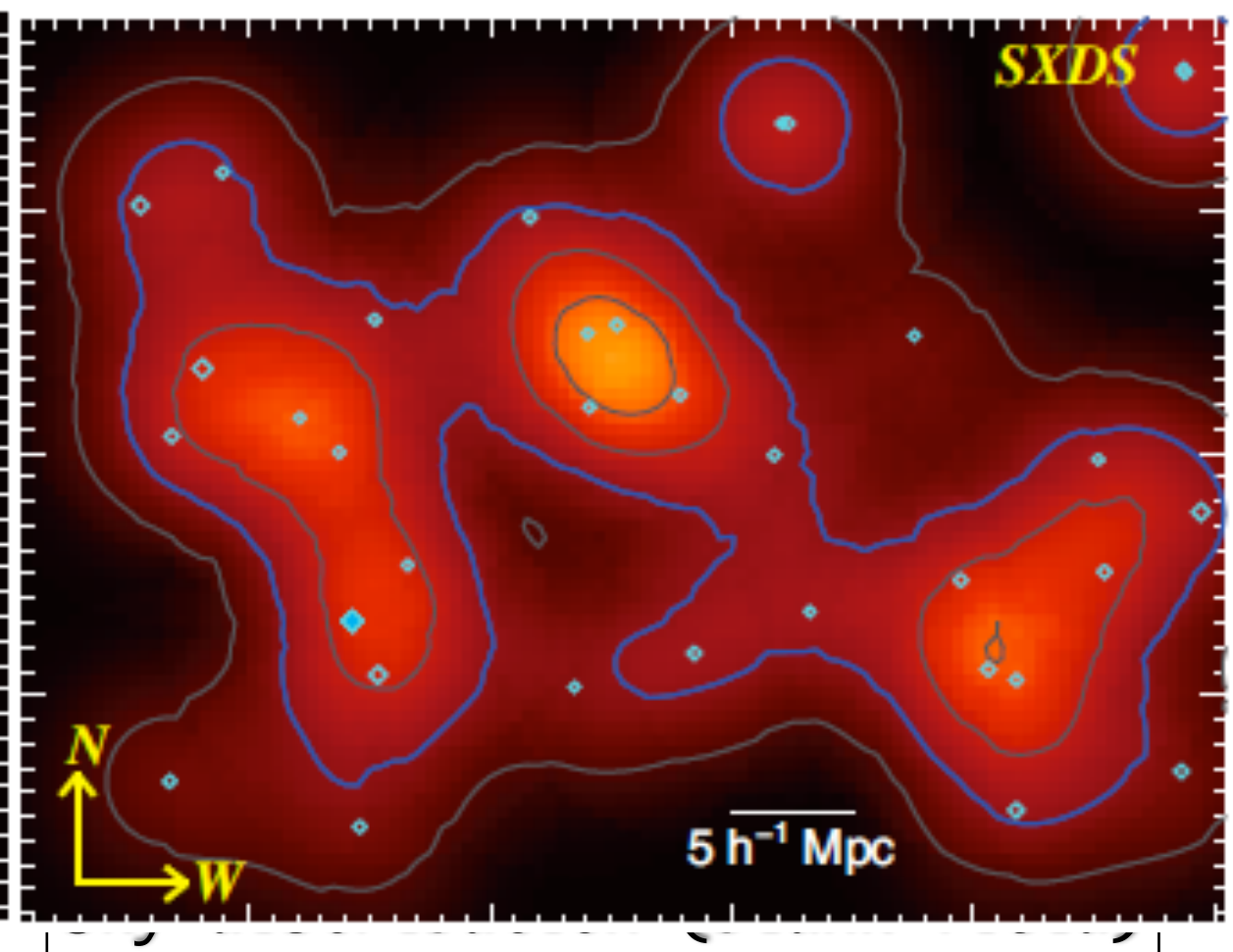
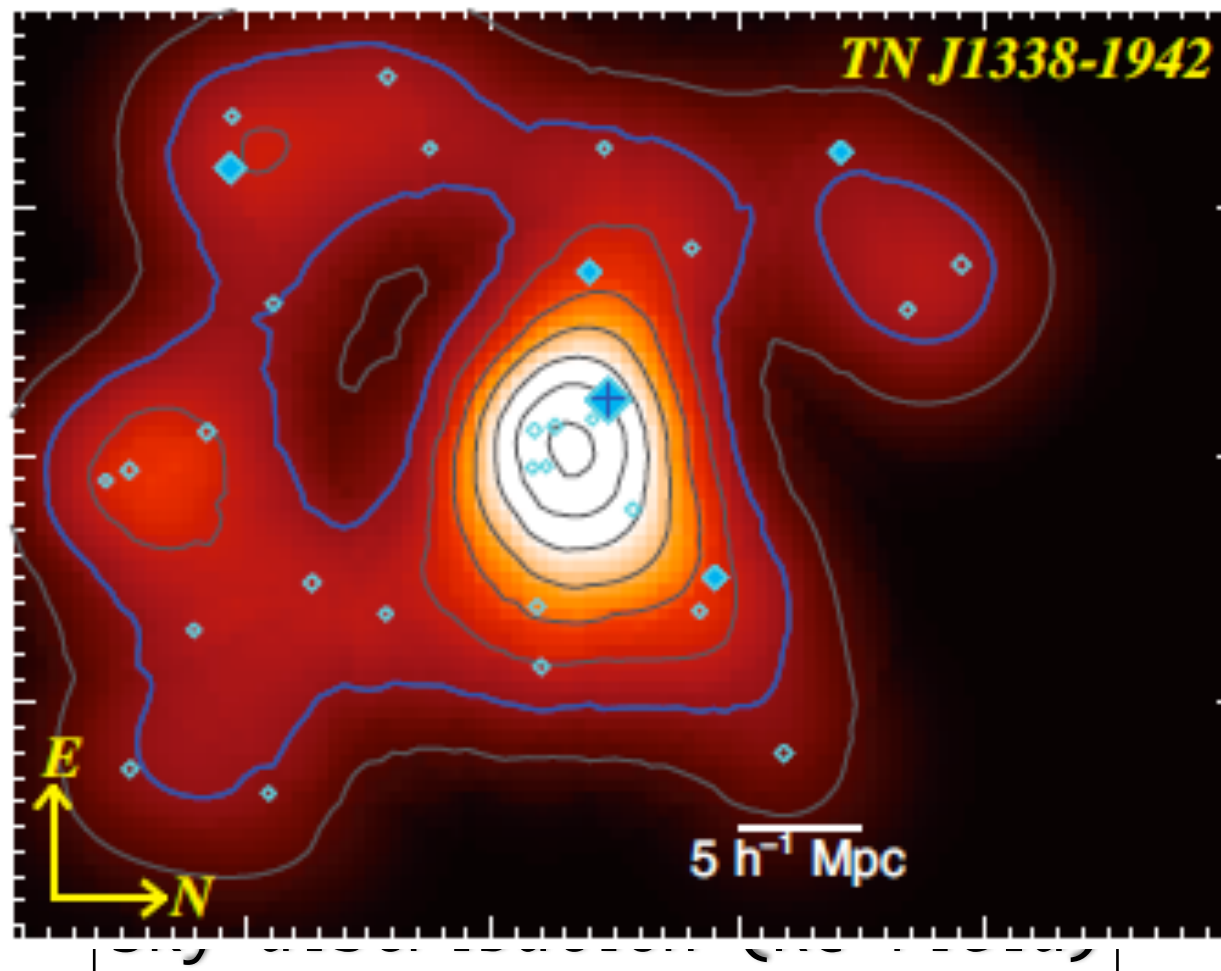
Sample selection: two samples

- 2つのサンプルで一様な条件:

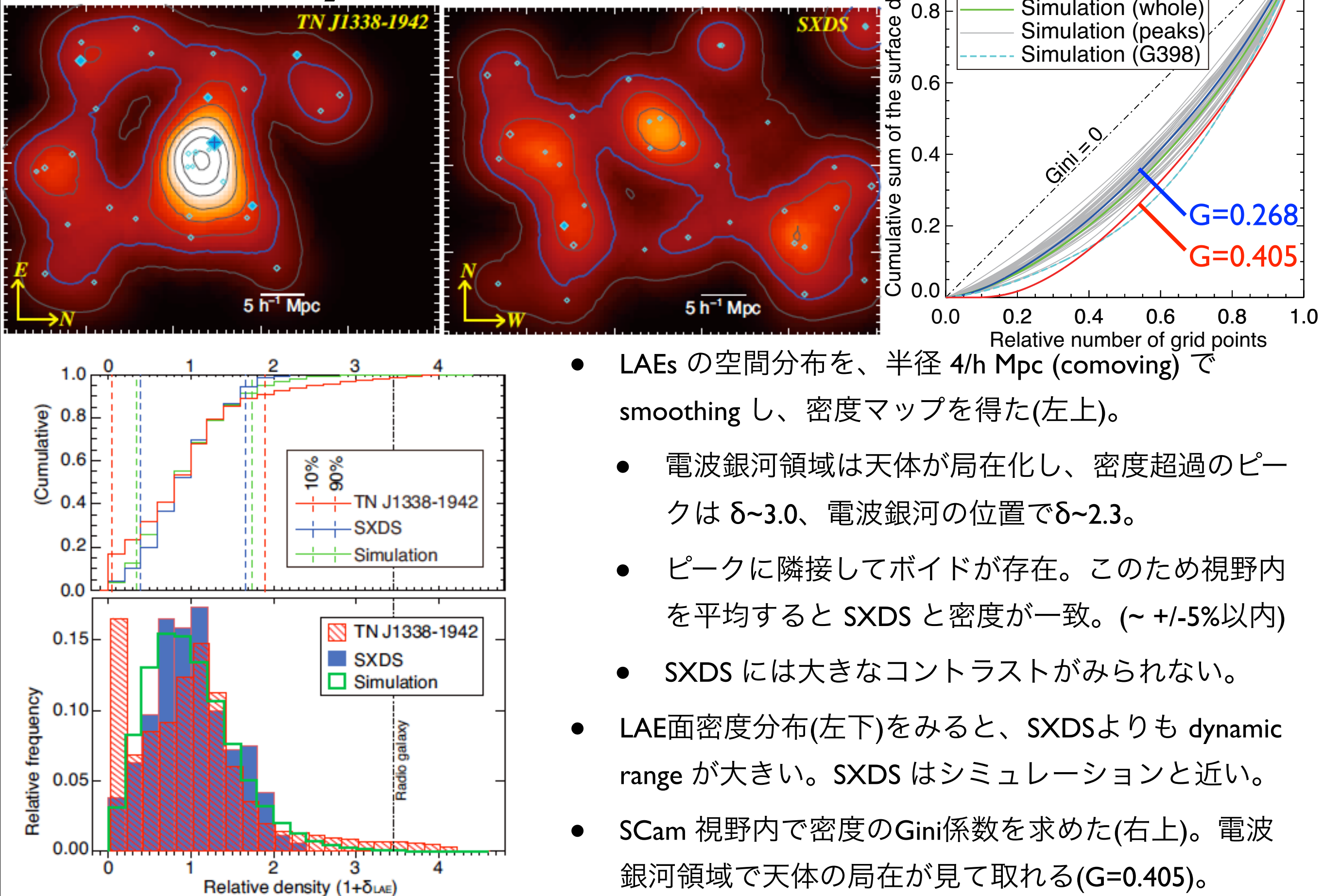
- 34 LAEs for RG field
- 32 LAEs for SXDS field



↑CM diagrams

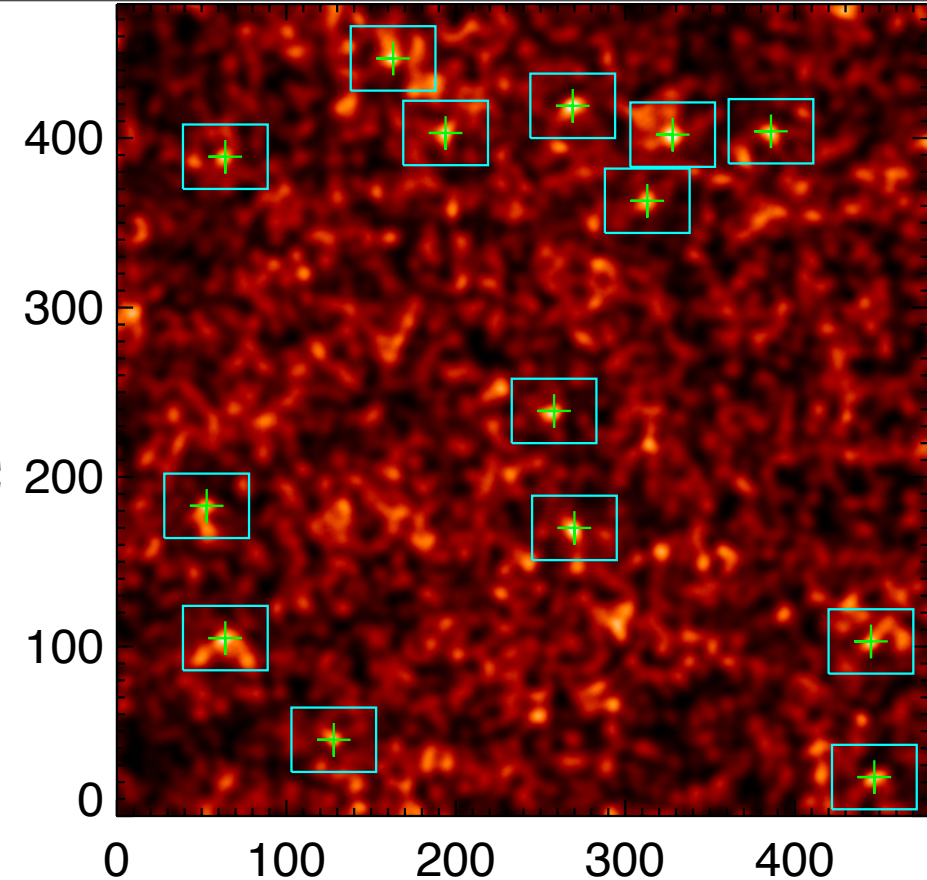
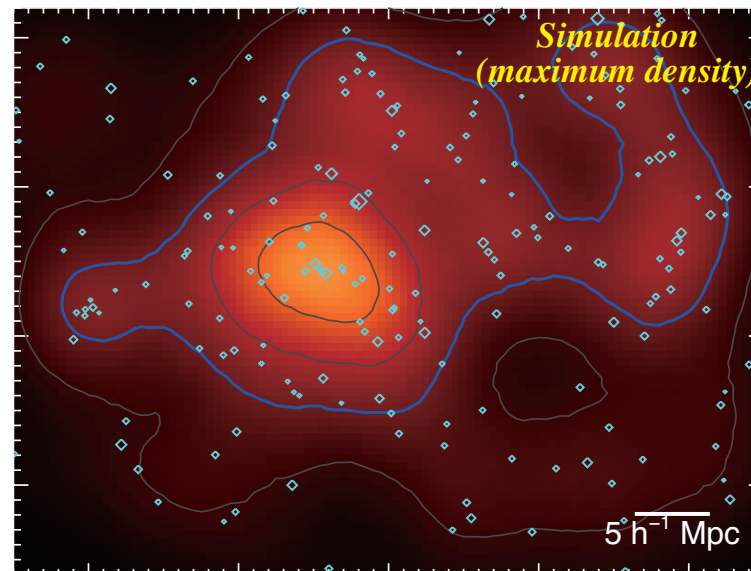
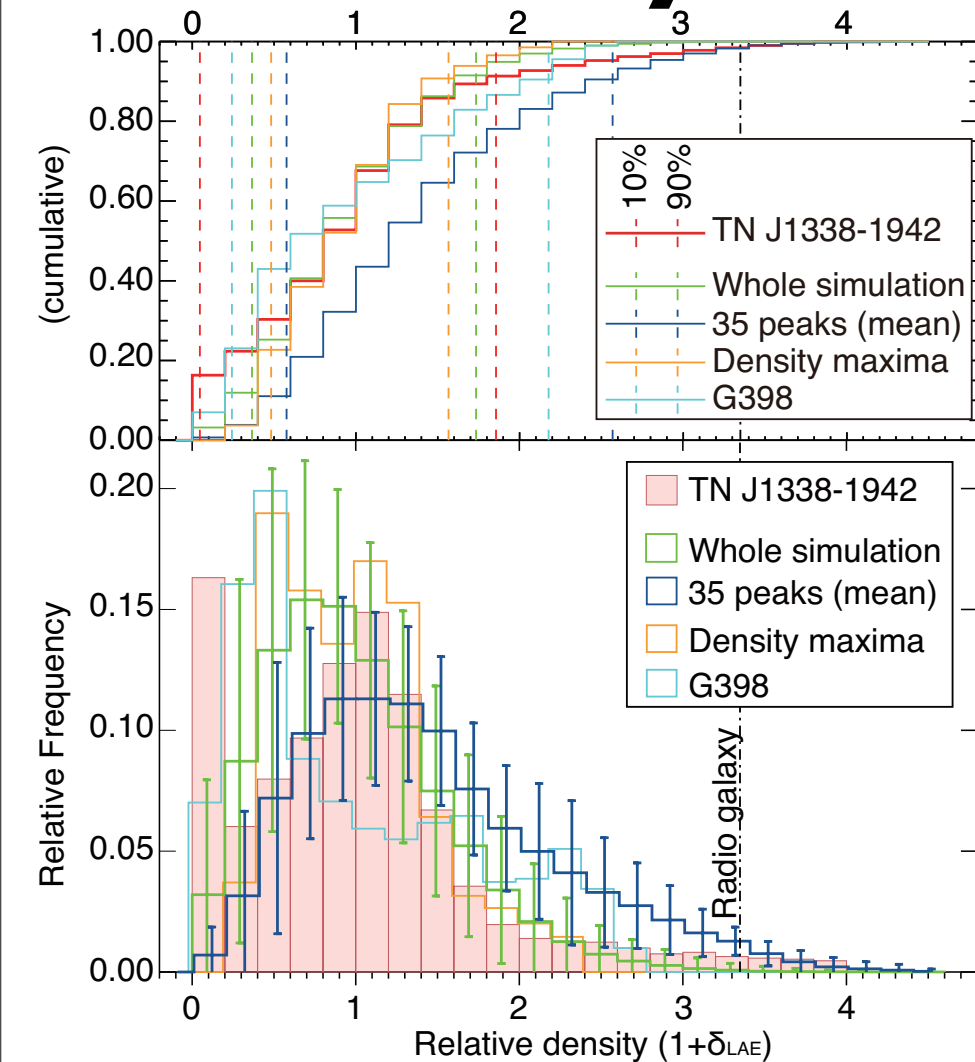


Density field (observed)

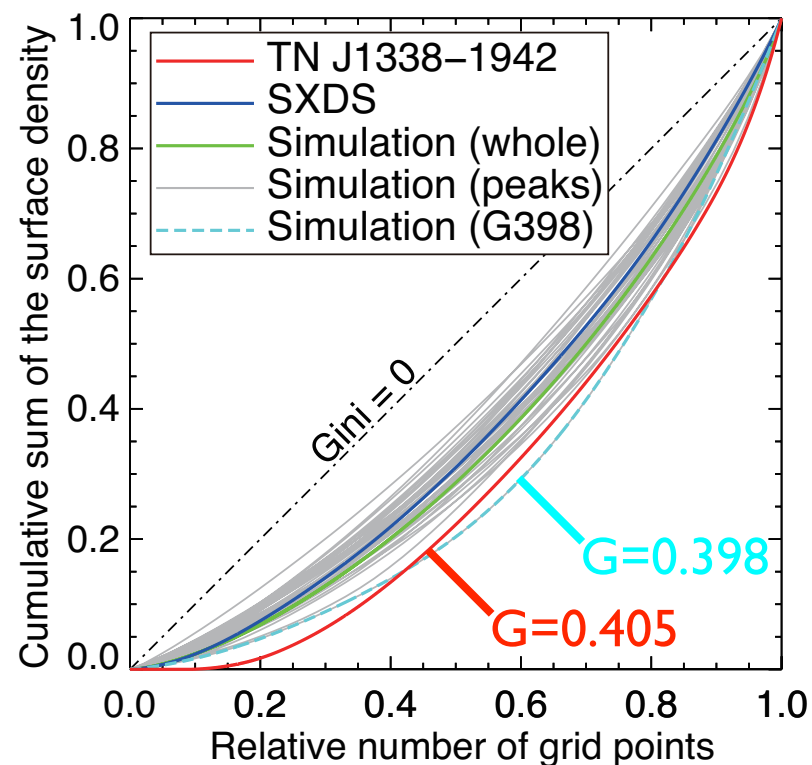


- LAEs の空間分布を、半径 $4/h \text{ Mpc}$ (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(左上)。
- 電波銀河領域は天体が局在化し、密度超過のピークは $\delta \sim 3.0$ 、電波銀河の位置で $\delta \sim 2.3$ 。
- ピークに隣接してボイドが存在。このため視野内を平均すると SXDS と密度が一致。($\sim \pm 5\%$ 以内)
- SXDS には大きなコントラストがみられない。
- LAE面密度分布(左下)をみると、SXDSよりも dynamic range が大きい。SXDS はシミュレーションと近い。
- SCam 視野内で密度のGini係数を求めた(右上)。電波銀河領域で天体の局在が見て取れる($G=0.405$)。

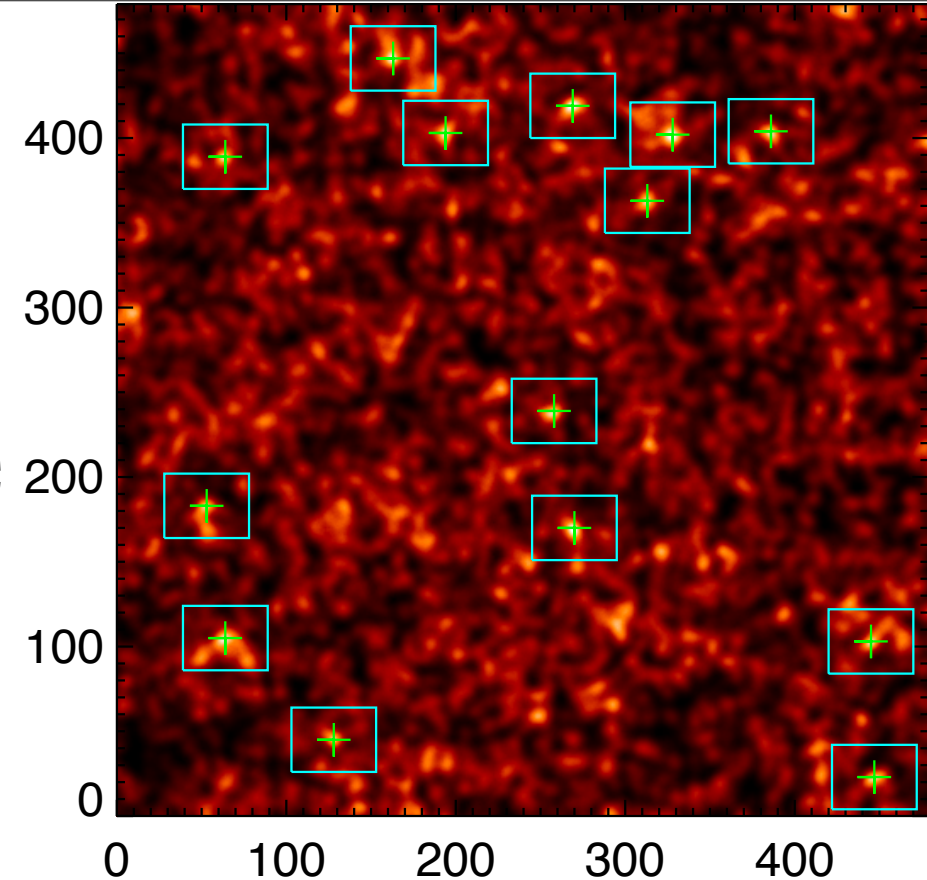
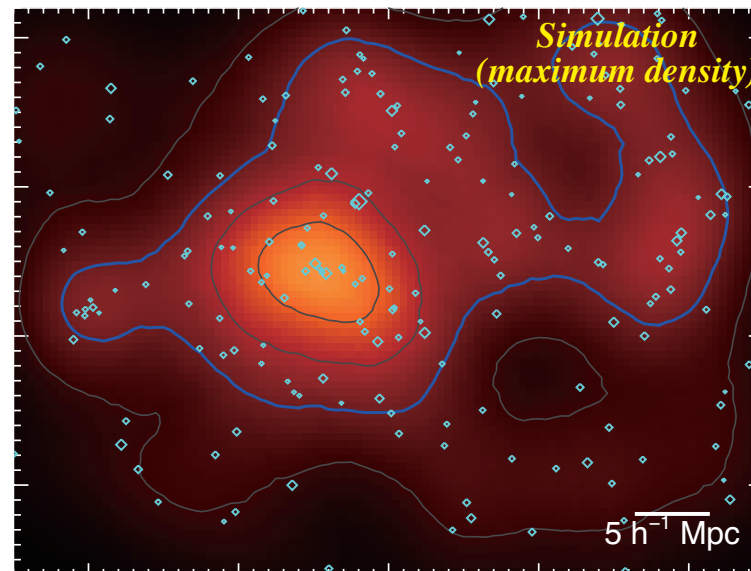
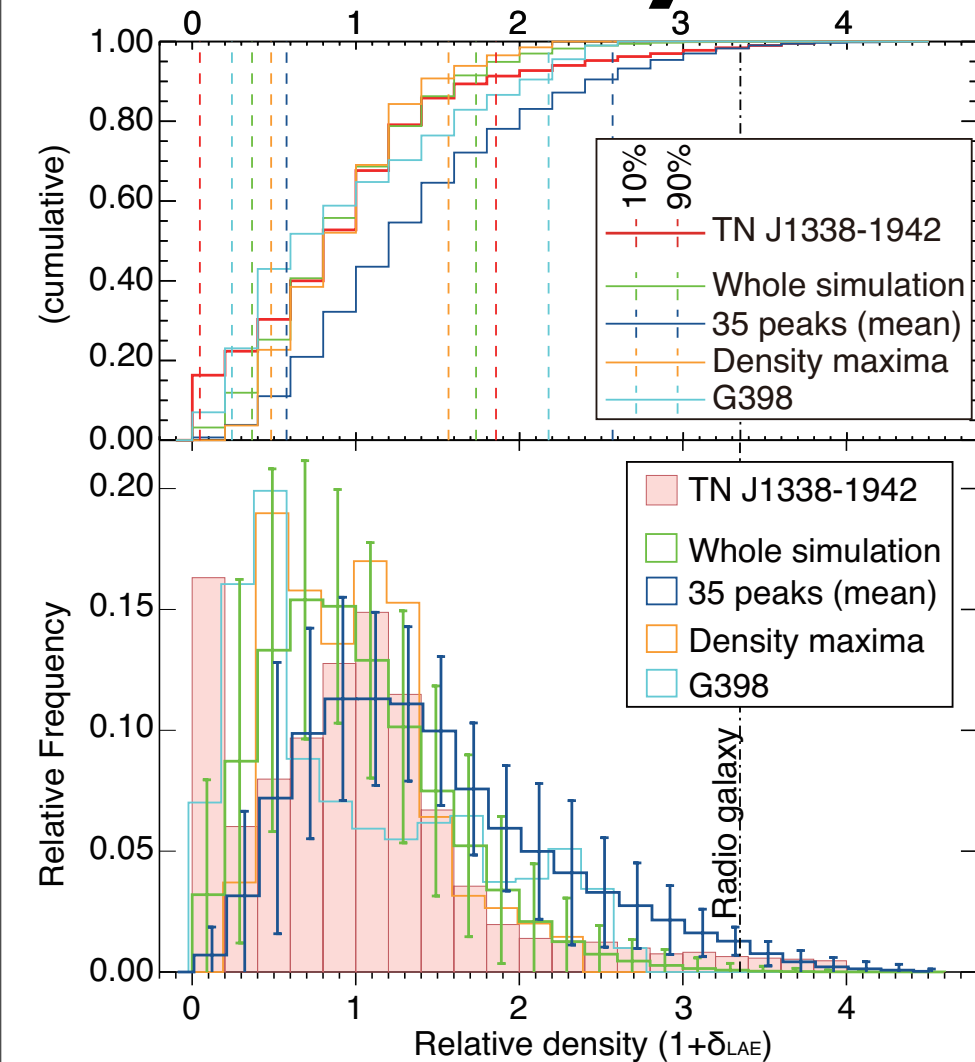
Density field (simulated)



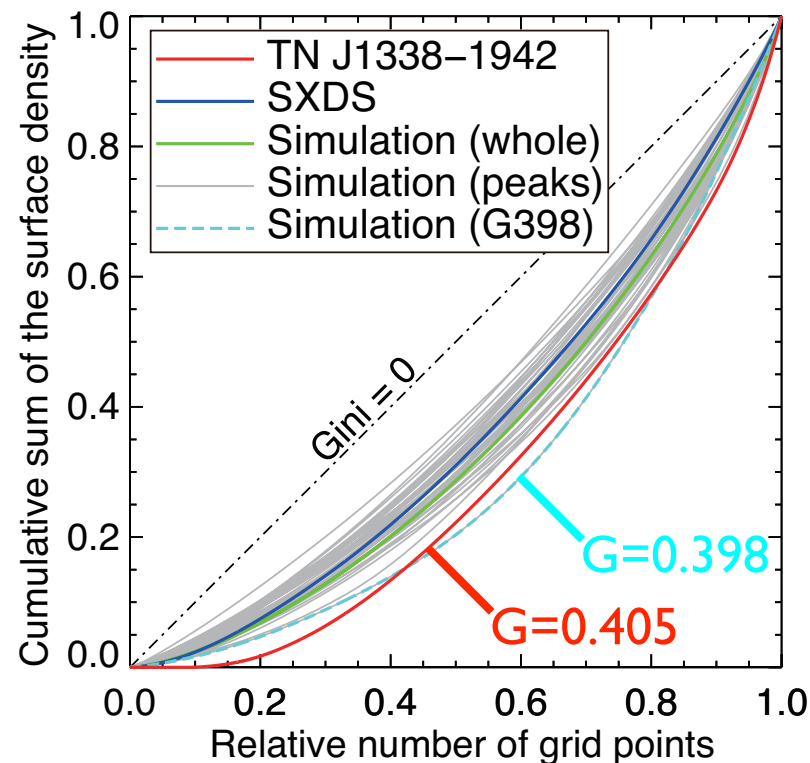
- LAEs の空間分布を、半径 $4/h$ Mpc (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(右上)。正しい数密度は不明なので、平均密度で normalise (~ 2.4 倍)。
- 電波銀河の位置での密度以上のピークを35カ所同定。数密度は $8.5 \times 10^{-8} \text{Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.09%-ile に相当する。
- SCam 視野スケールの高いコントラストは再現できない(中上)。 Gini 係数の最大値は0.398 (左下)。
- 35カ所のピーク周辺で密度分布を調べ、各密度binでの分散を求めた(左上)。電波銀河領域の特異性が分かる。



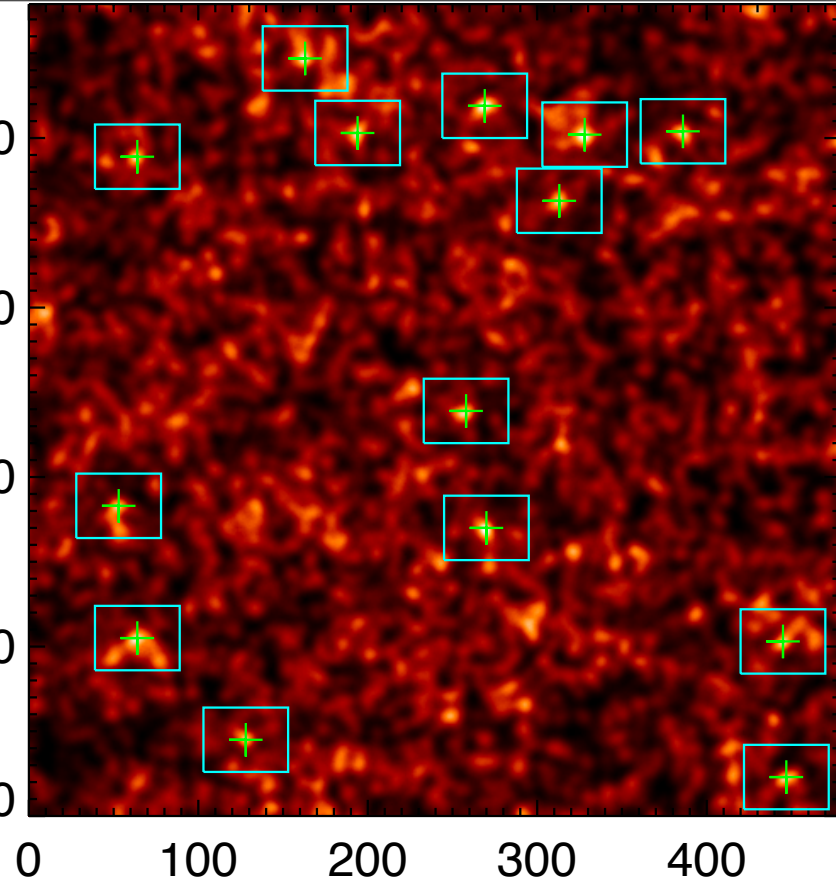
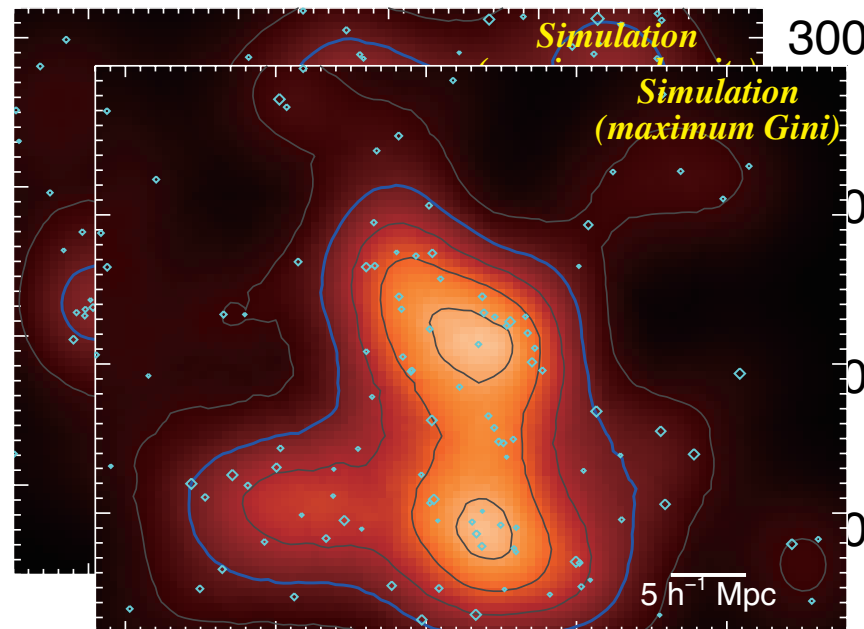
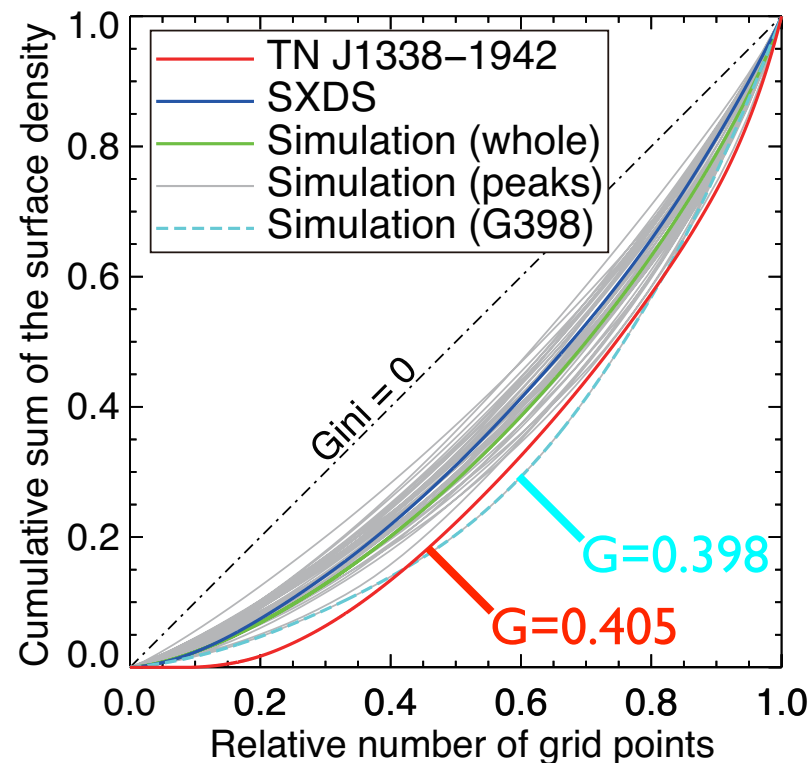
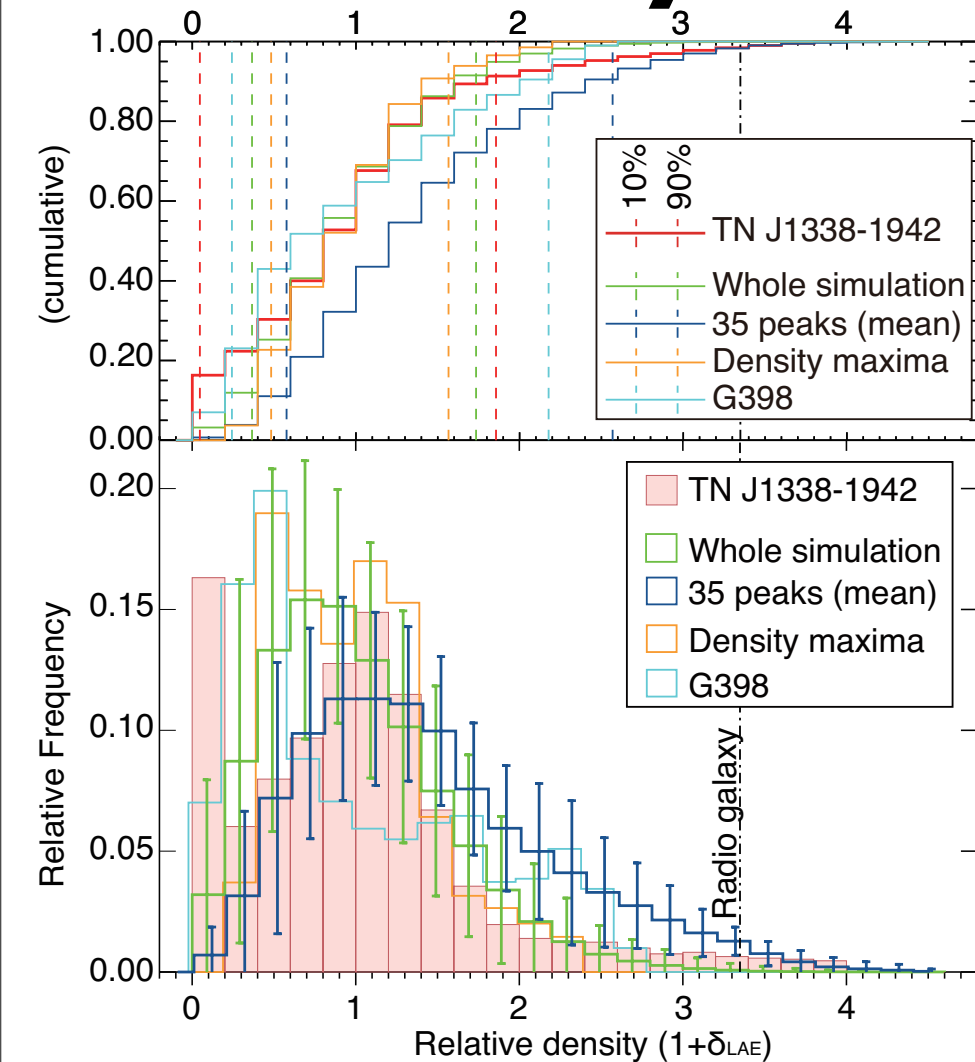
Density field (simulated)



- LAEs の空間分布を、半径 $4/h$ Mpc (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(中上)。平均密度で $n_{\text{LAE}} = 8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.09%-ile に相当する。
 数密度は既知の $z > 2$ 電波銀河と同程度
 Coma cluster の祖先とも同程度 (Chiang+13)
- 電波銀河の空間分布を再現できなかった。密度は $8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.09%-ile に相当する。
- SCam 視野スケールの高いコントラストは再現できない (中上)。Gini 係数の最大値は 0.398 (左下)。
- 35カ所のピーク周辺で密度分布を調べ、各密度binでの分散を求めた(左上)。電波銀河領域の特異性が分かる。

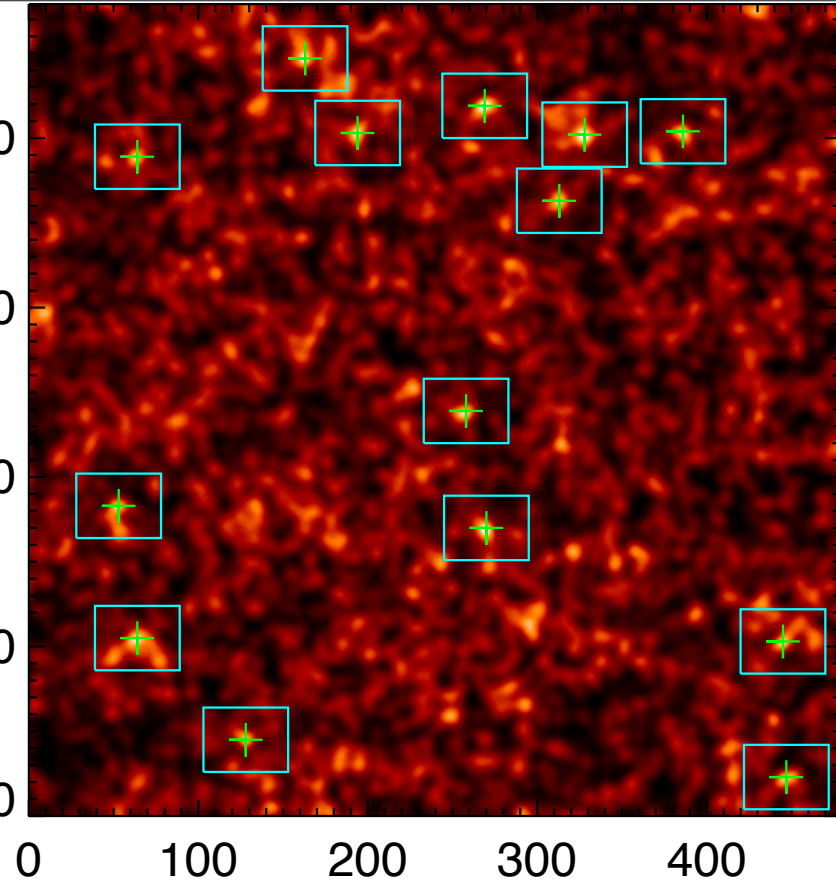
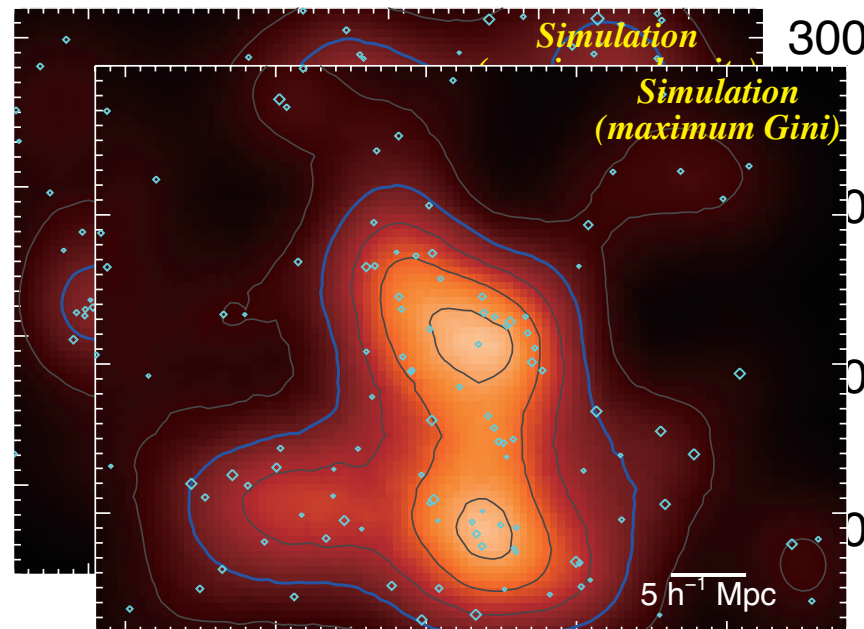
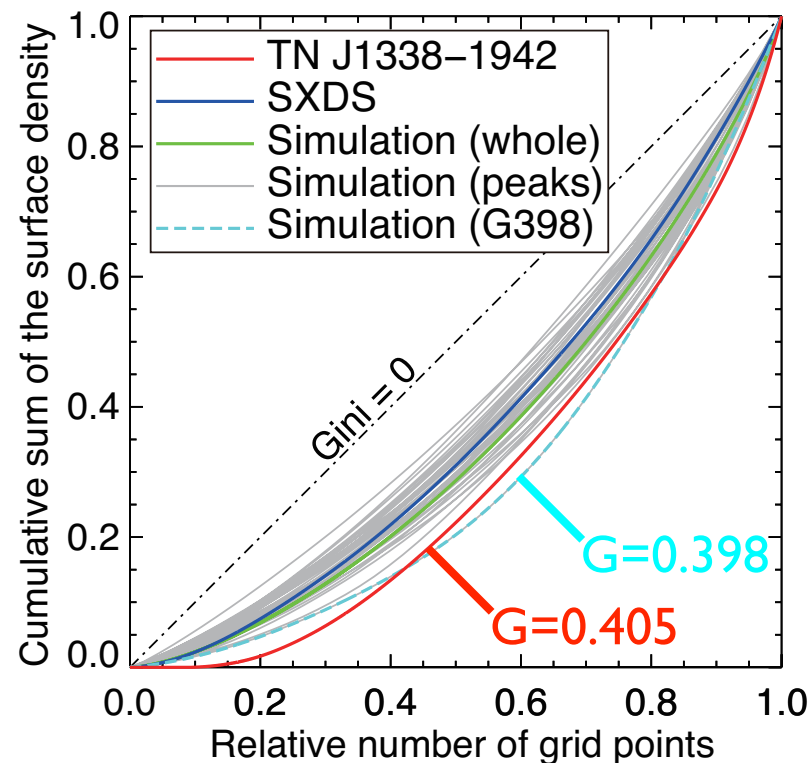
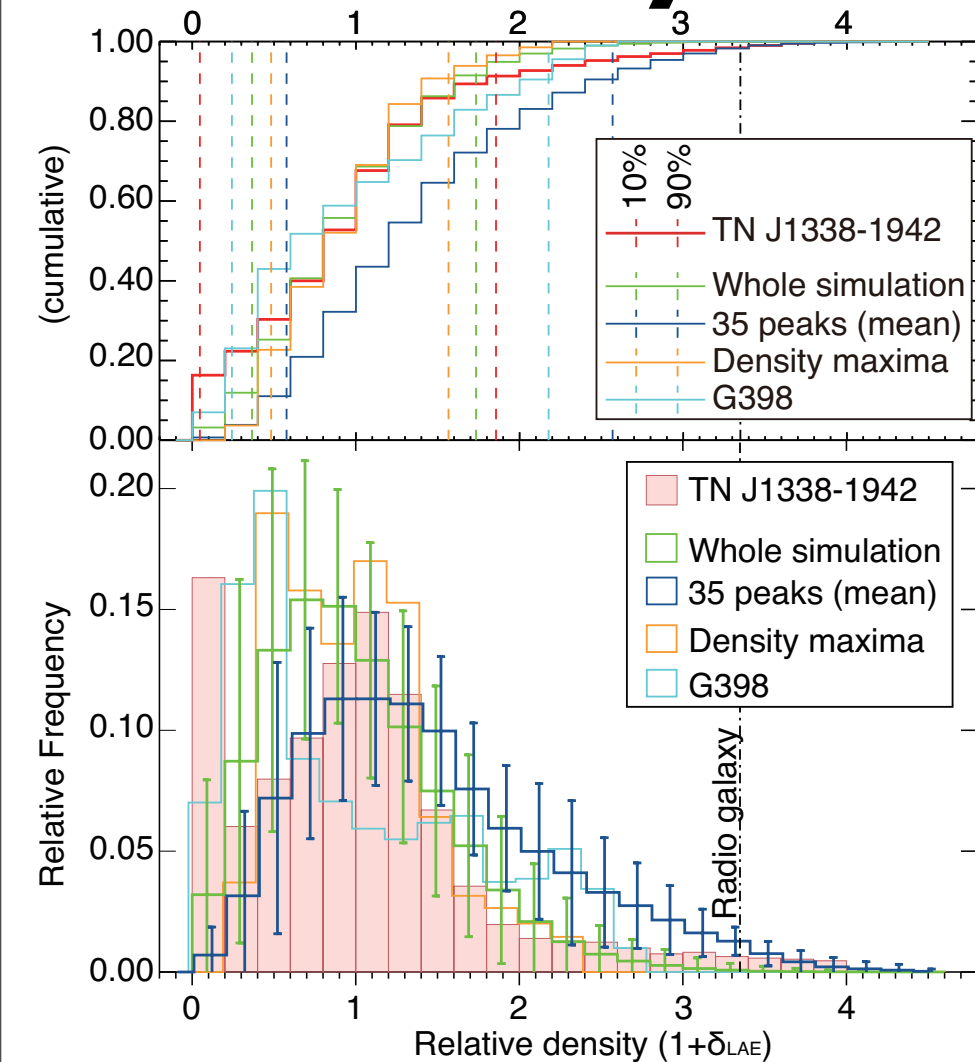


Density field (simulated)



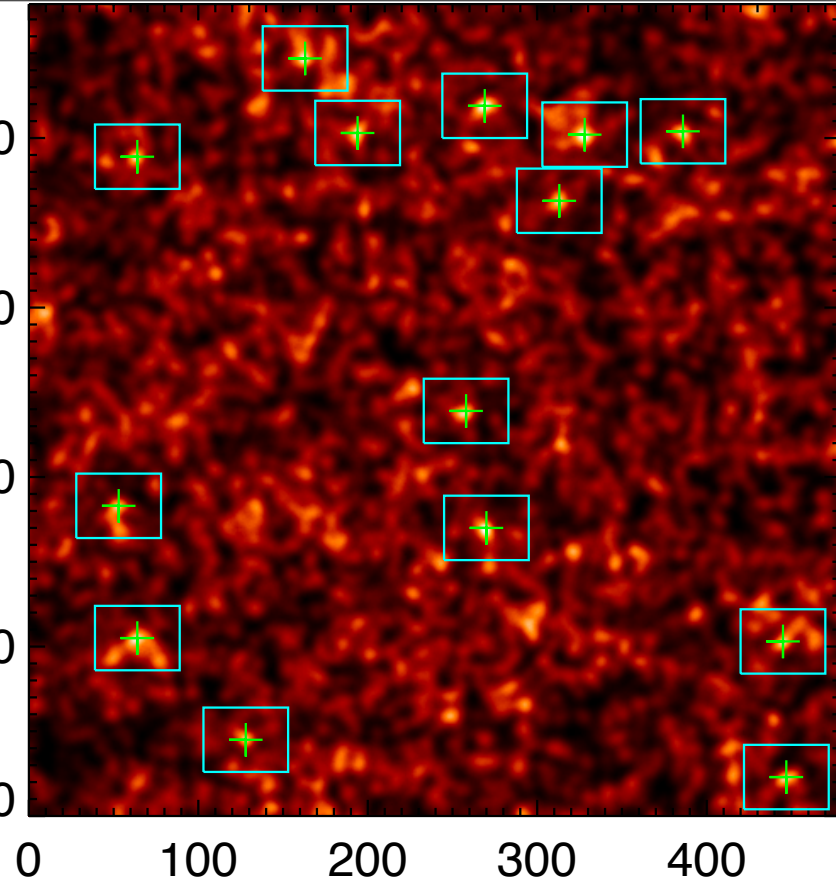
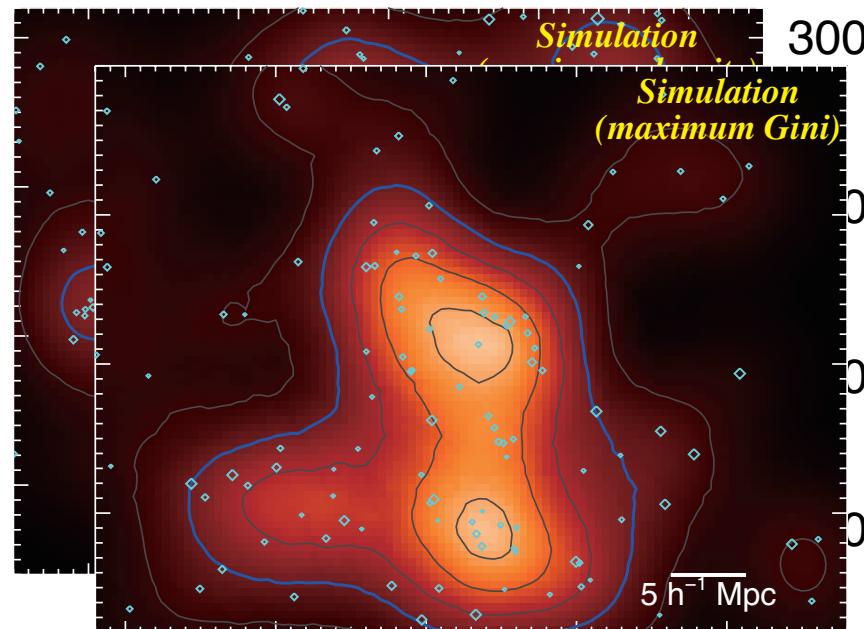
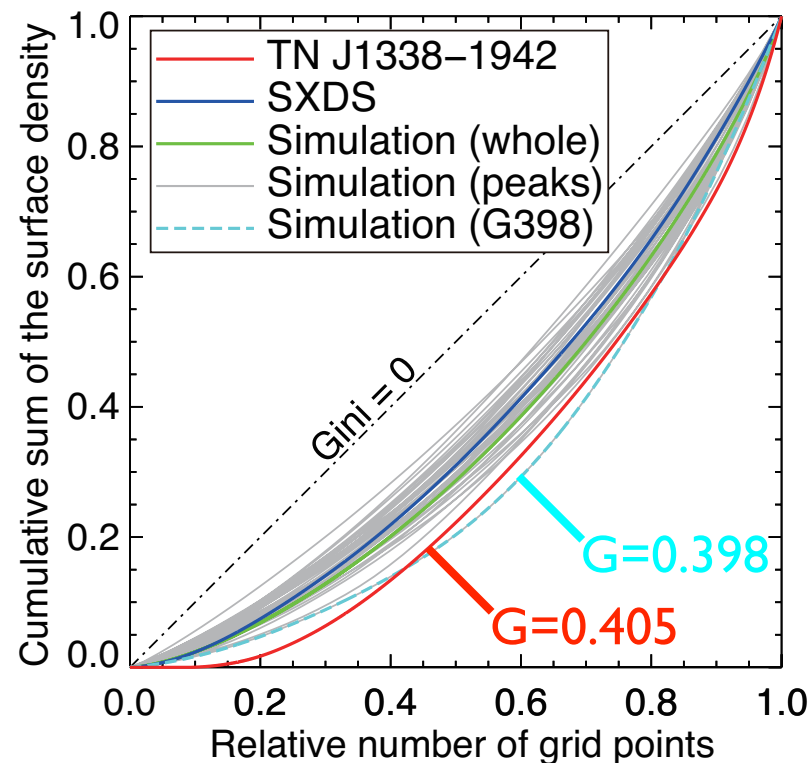
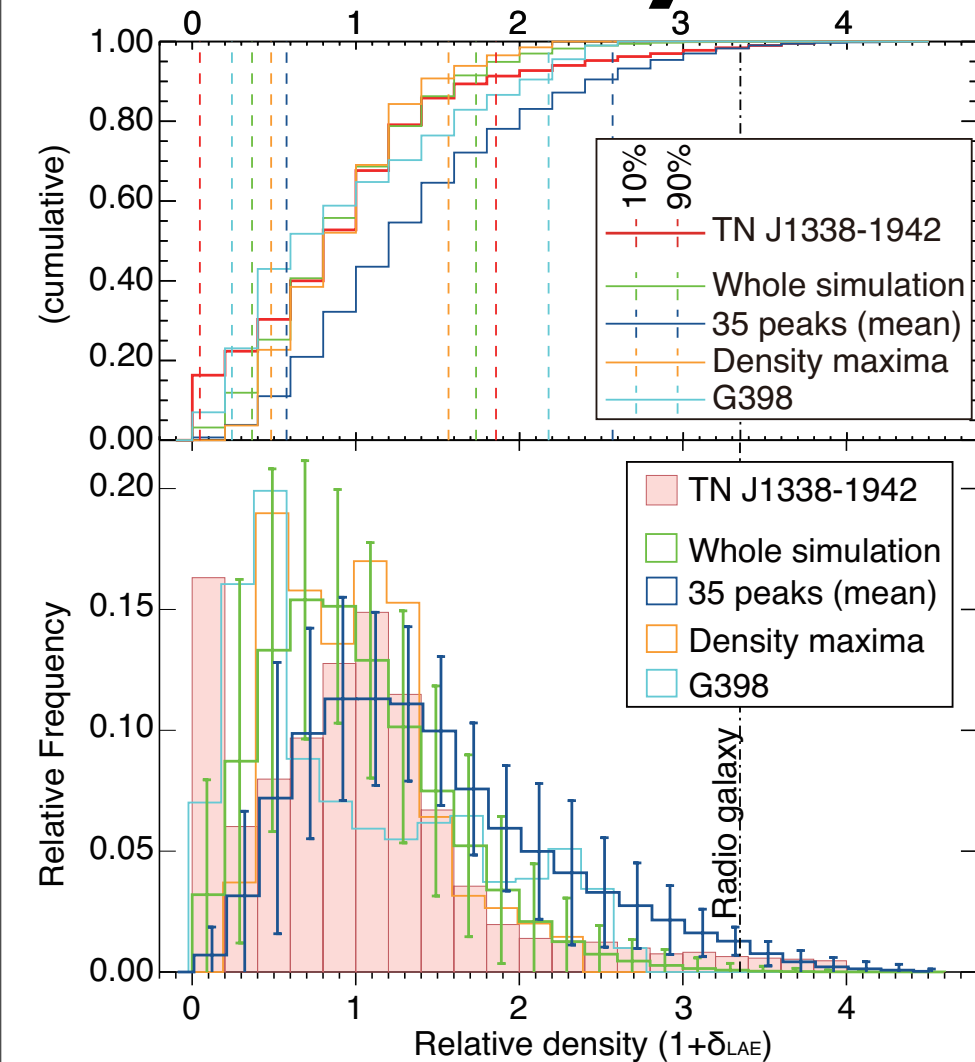
- LAEs の空間分布を、半径 $4/h \text{ Mpc}$ (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(中上)。平均密度で $n = 8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.09%-ile に相当する。
数密度は既知の $z > 2$ 電波銀河と同程度
Coma cluster の祖先とも同程度 (Chiang+13)
- 電波銀河領域の密度は $8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.09%-ile に相当する。
- SCam 視野スケールの高いコントラストは再現できない (中上)。 Gini 係数の最大値は 0.398 (左下)。
- 35カ所のピーク周辺で密度分布を調べ、各密度binでの分散を求めた(左上)。電波銀河領域の特異性が分かる。

Density field (simulated)



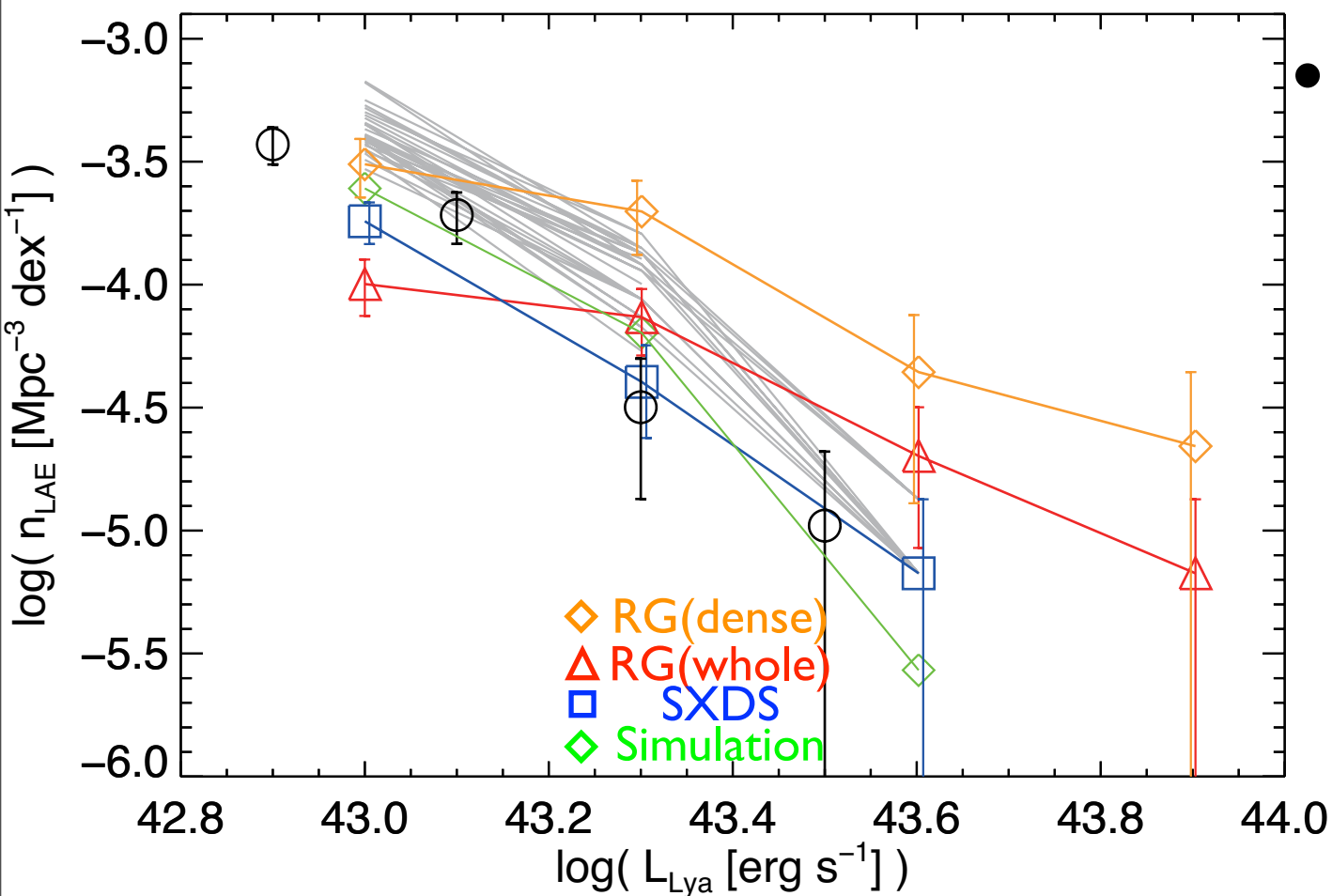
- LAEs の空間分布を、半径 $4/h$ Mpc (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(右)。下は、数密度は不明なので平均密度で $n = 1.5 \times 10^{-4} h^3 \text{ Mpc}^{-3}$ とした。数密度は既知の $z > 2$ 電波銀河と同程度 Coma cluster の祖先とも同程度 (Chiang+13)
- 電波銀河の空間分布を再現する密度マップを得た。密度は $8.5 \times 10^{-4} h^3 \text{ Mpc}^{-3}$ とした。1カ所がかろうじて密度分布を再現か
- SCam 視野 → 数密度はもう一桁少ない (中上)。Gini 係数の最大値は0.398 (左下)。
- 35カ所のピーク周辺で密度分布を調べ、各密度binでの分散を求めた(左上)。電波銀河領域の特異性が分かる。

Density field (simulated)

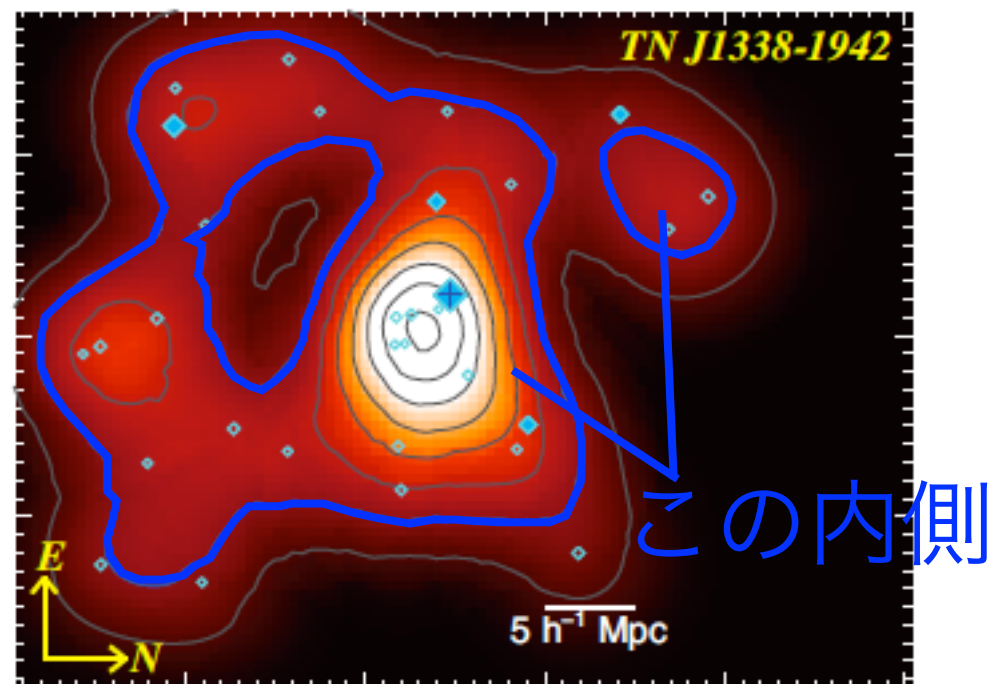


- LAEs の空間分布を、半径 $4/h \text{ Mpc}$ (comoving) で smoothing し、密度マップを得た。ただし、数密度は不明なので平均密度で $n = 4.1 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ とした。数密度は既知の $z > 2$ 電波銀河と同程度 Coma cluster の祖先とも同程度 (Chiang+13)
- 電波銀河の空間分布を再現する。1カ所がかろうじて密度分布を再現か密度は $8.5 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ 程度
- SCam 視野 (中上)。→ 数密度はもう一桁少ない Gini 係数の最大値は 0.398 (左下)
- 35カ所の散を求め。残った1カ所も完全には再現していない → $> 4.1 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$

Luminosity function (LF)

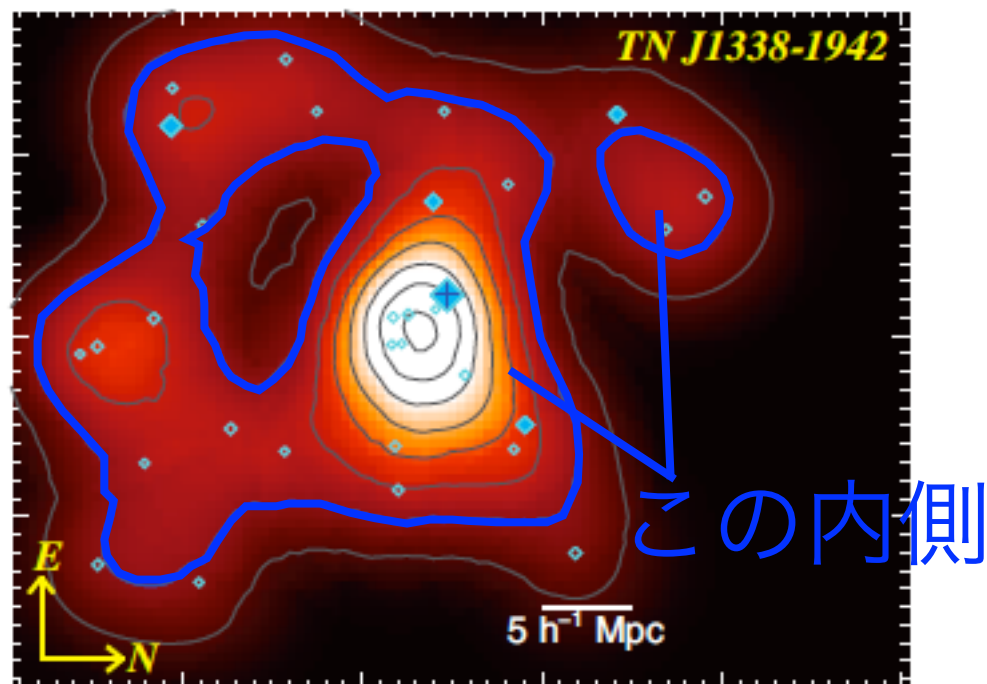
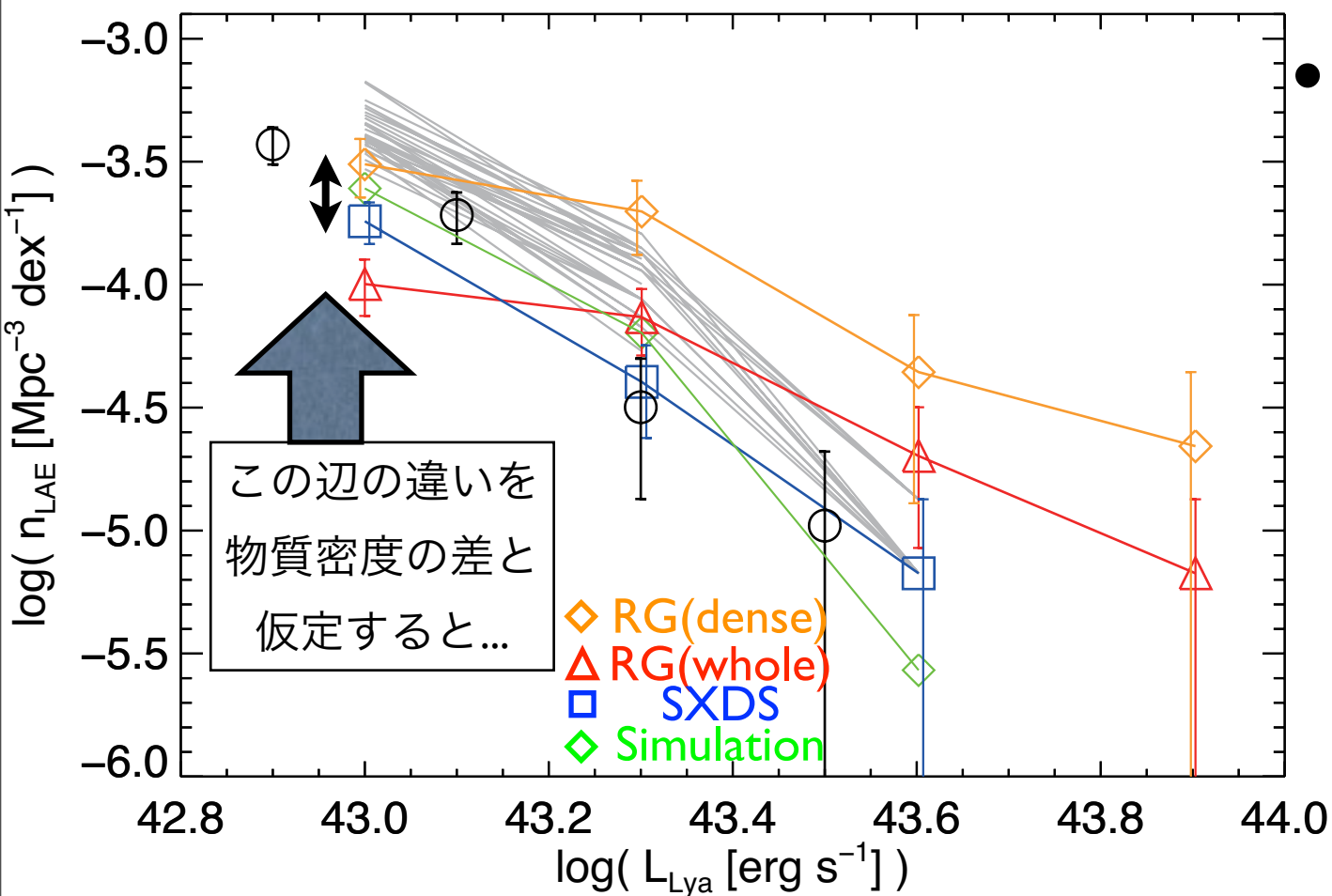


- 電波銀河領域と一般領域のLy α LFを比較。
TNJ1338では高密度($\delta > 0$)領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
- SXDS は Ouchi+08 の $z=3.7$ Ly α LF と良く一致。基準として妥当である。
- TNJ1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。
環境による星/銀河形成のモードの違い?
- モデルと観測の LF を比較。



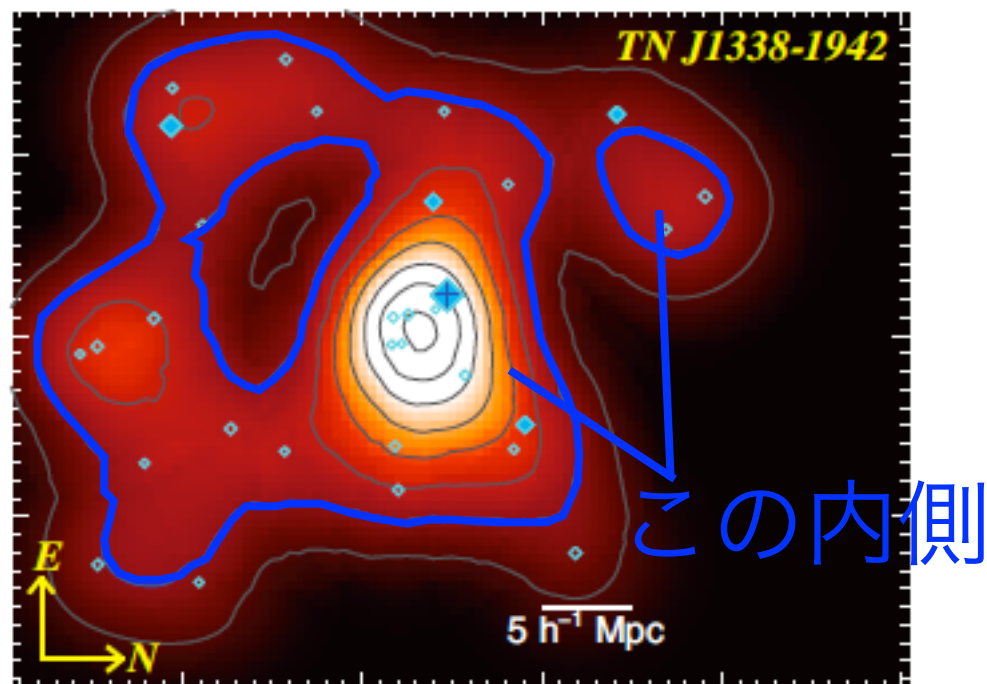
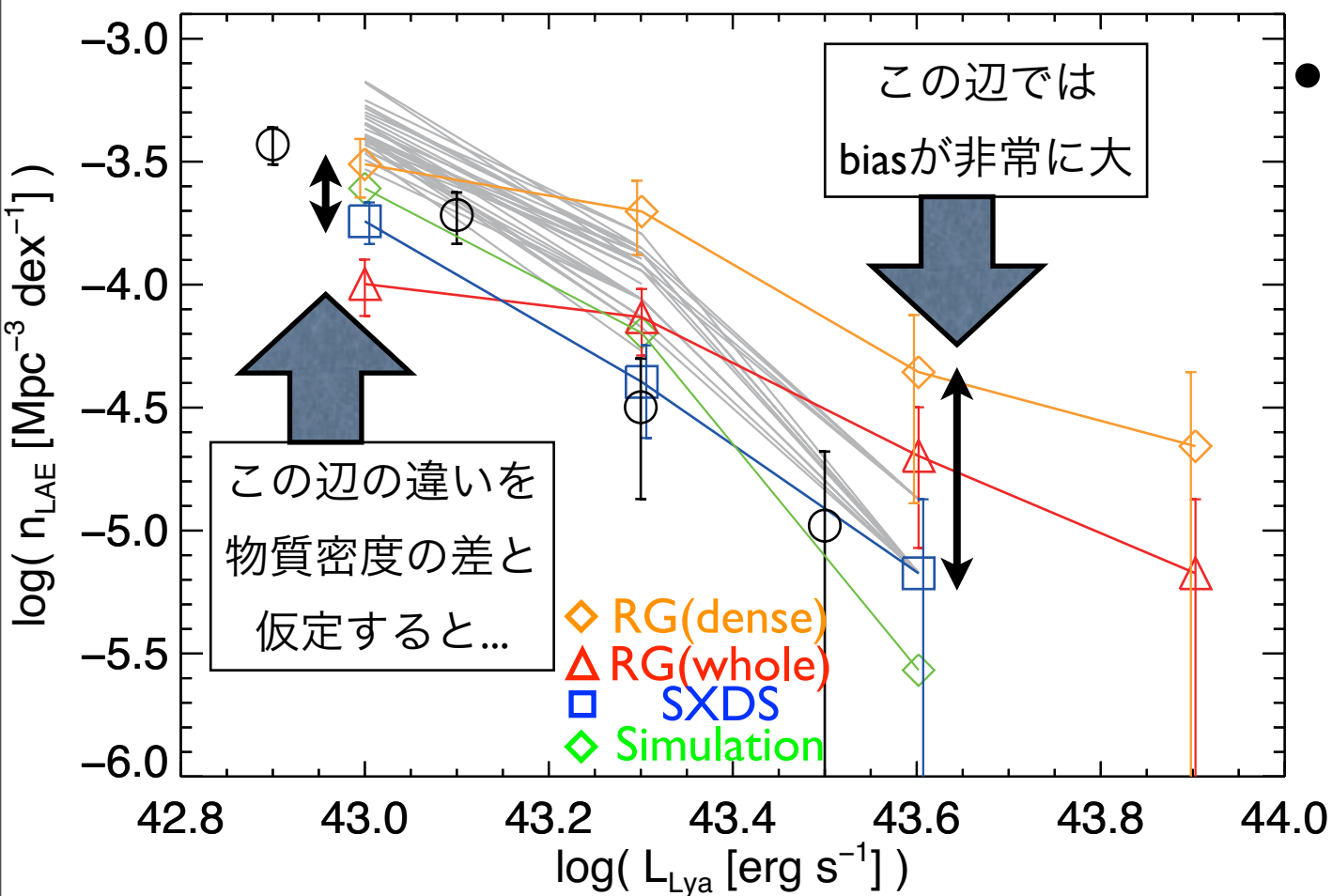
- 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
- 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない。電波銀河周辺のような特異な環境は再現できていない。
電波銀河領域の特異性を支持

Luminosity function (LF)



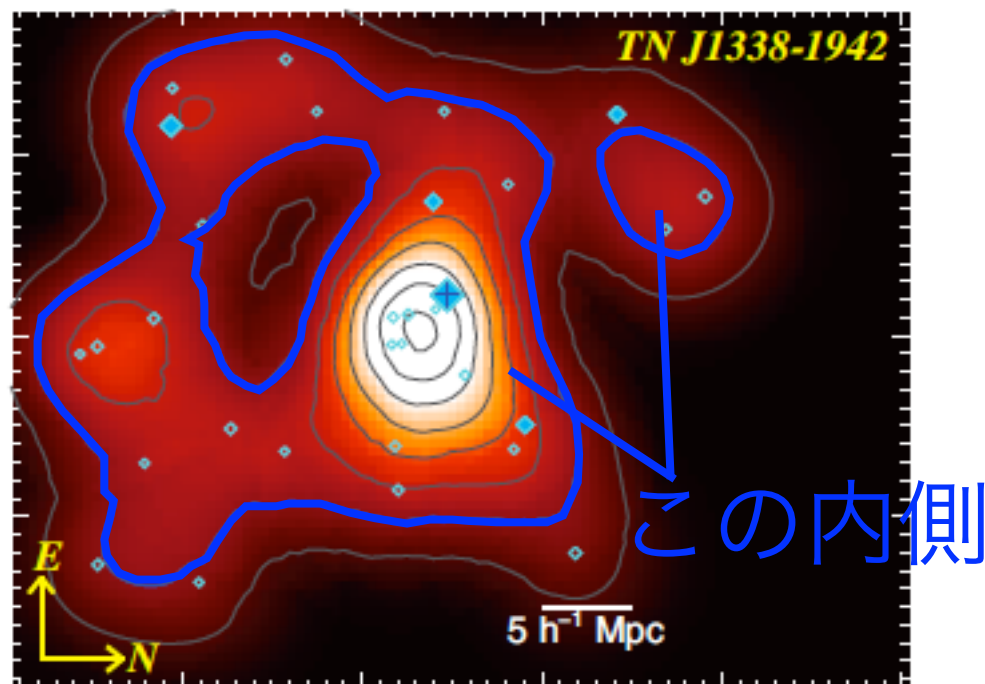
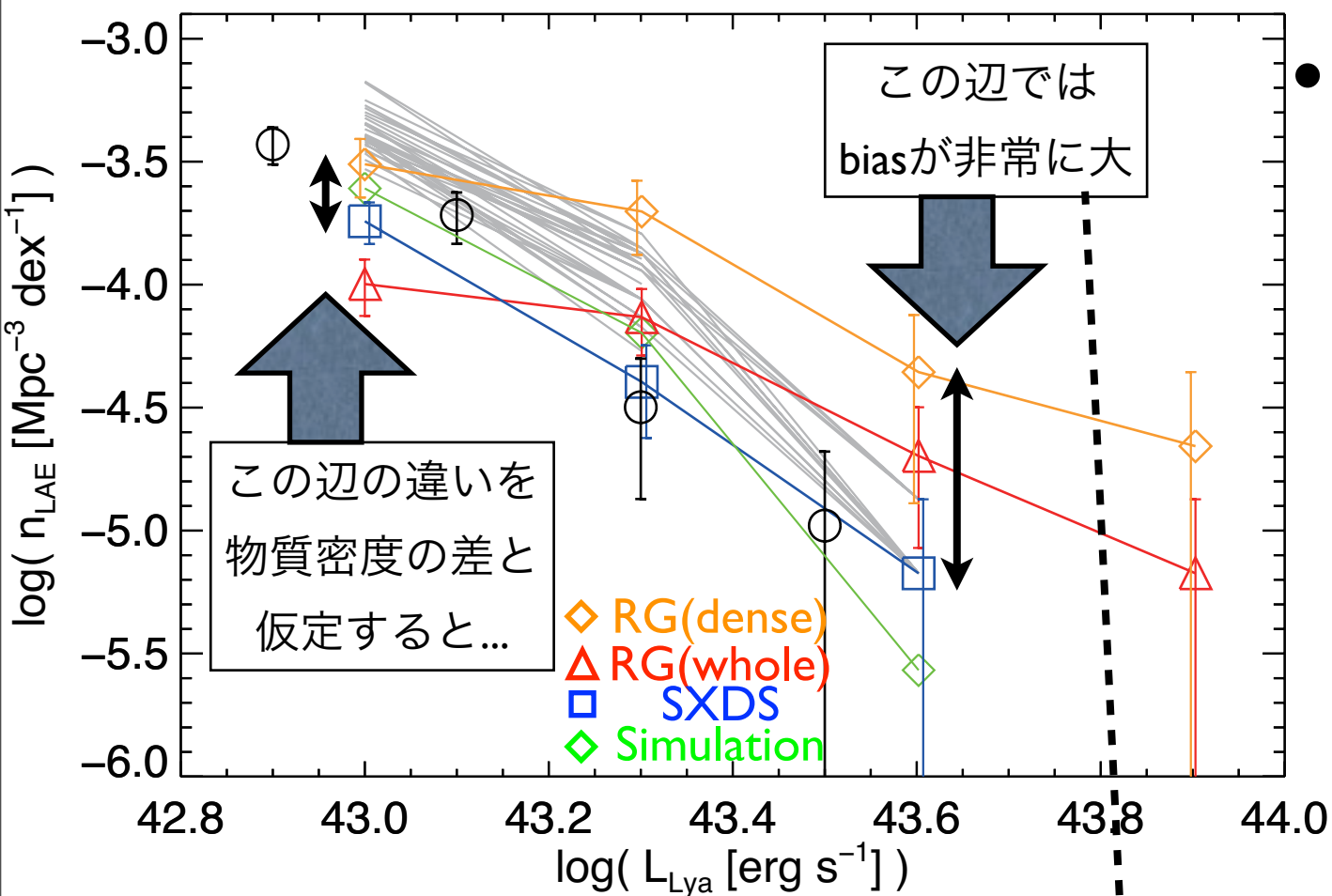
- 電波銀河領域と一般領域のLy α LFを比較。
TNJ1338では高密度($\delta > 0$)領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
- SXDS は Ouchi+08 の $z=3.7$ Ly α LF と良く一致。基準として妥当である。
- TNJ1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。
環境による星/銀河形成のモードの違い?
- モデルと観測の LF を比較。
 - 全体の平均は SDS と良い一致を示す。
 - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない。電波銀河周辺のような特異な環境は再現できていない。
電波銀河領域の特異性を支持

Luminosity function (LF)



- 電波銀河領域と一般領域のLy α LFを比較。
TNJ1338では高密度($\delta > 0$)領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
- SXDS は Ouchi+08 の $z=3.7$ Ly α LF と良く一致。基準として妥当である。
- TNJ1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。
環境による星/銀河形成のモードの違い?
- モデルと観測の LF を比較。
 - 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
 - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない。電波銀河周辺のような特異な環境は再現できていない。
電波銀河領域の特異性を支持

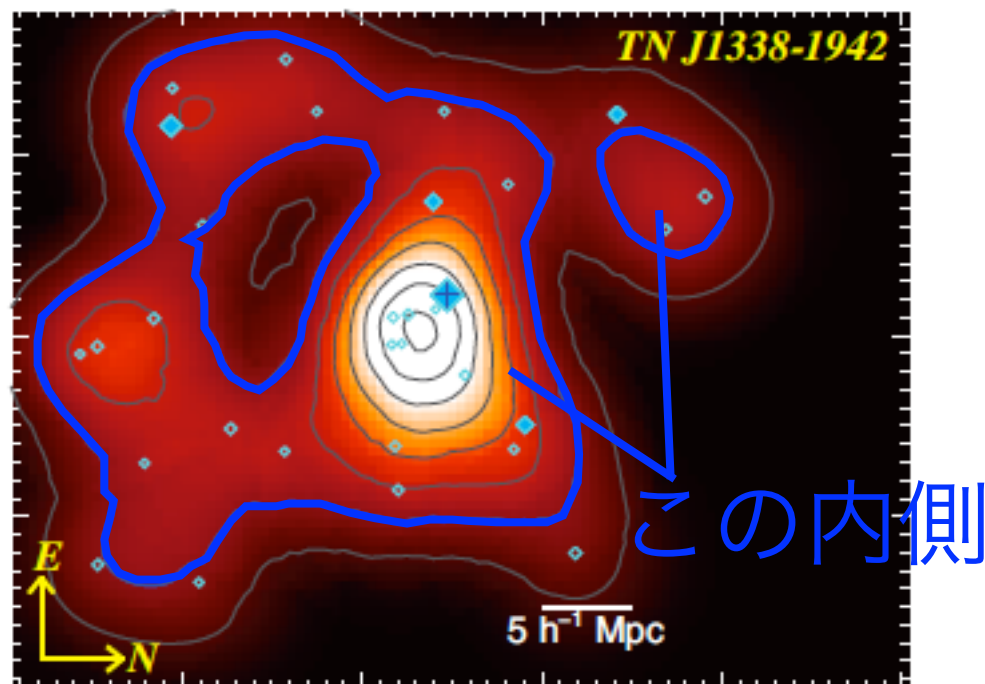
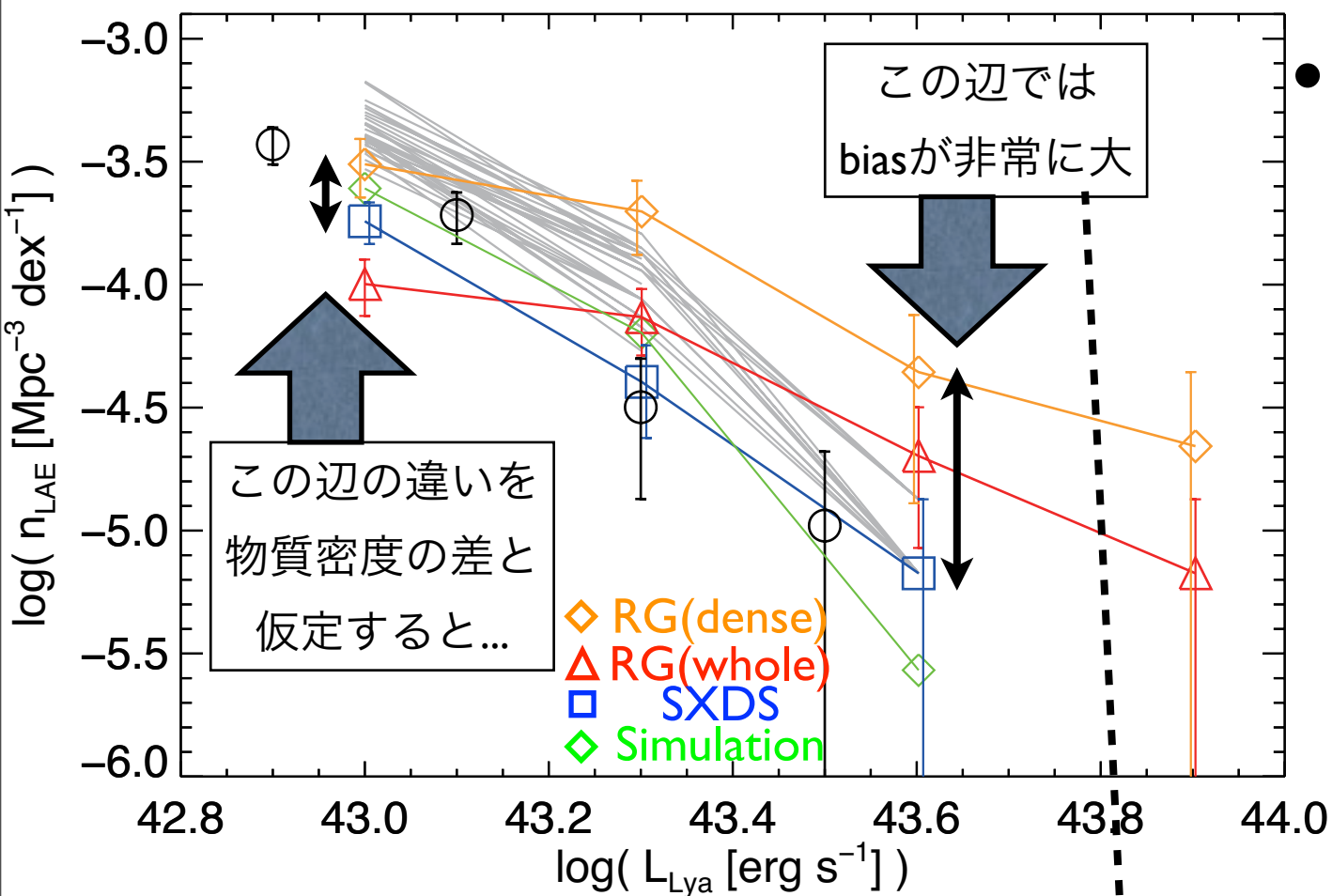
Luminosity function (LF)



ということは
biasの大きな
種族が高光度
側をdominate

- 電波銀河領域と一般領域の $\text{Ly}\alpha$ LF を比較。
TNJ1338では高密度($\delta > 0$)領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
- SXDS は Ouchi+08 の $z=3.7$ $\text{Ly}\alpha$ LF と良く一致。基準として妥当である。
- TNJ1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。
環境による星/銀河形成のモードの違い?
- モデルと観測の LF を比較。
 - 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
 - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない。電波銀河周辺のような特異な環境は再現できていない。
電波銀河領域の特異性を支持

Luminosity function (LF)



ということは
biasの大きな
種族が高光度
側をdominate

モデル(grey)では
形の変化は
再現できず

- 電波銀河領域と一般領域のLy α LFを比較。
TNJ1338では高密度($\delta > 0$)領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
- SXDS は Ouchi+08 の $z=3.7$ Ly α LF と良く一致。基準として妥当である。
- TN J1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。
環境による星/銀河形成のモードの違い?
- モデルと観測の LF を比較。
 - 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
 - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない。電波銀河周辺のような特異な環境は再現できていない。
電波銀河領域の特異性を支持

Summary

- 巨大な $\text{Ly}\alpha$ nebula を伴う $z=4.1$ 電波銀河 TN J1338-1942 周辺を SuprimeCam で撮像し、LAEs ($L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{42.8} \text{ erg/s}$) を使って環境(銀河密度)を調べた。

- 電波銀河は平均密度の4倍以上のピークを持つ高密度領域にあった。

- 高密度領域は 3-6 Mpc 程度で、大きなボイド領域と隣接していた。

- 高密度領域では LF が blank field と比較して高光度側にバイアスしていた。

銀河形成のモードの違い(環境依存性)を検出

- 準解析的モデルを用いて Millennium Simulation と比較した。

- $\delta > 3$ の領域は全体の 0.1% 以下、その数密度は $\sim 8.5 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 。(Coma-type protoclusters と同程度)

- Gini 係数で比較すると、そのうち I 力所が辛うじて密度分布を再現。LF は再現できず: 数密度は $\sim 4.1 \times 10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ 。(z>2 電波銀河より I 桁少ない)

非常に特異な環境。再現には AGN が必要か

研究の背景: blob と放射機構と環境と...

- Ly α nebula (blob) の放射機構は未解明である。予測としては:
 - 冷たい($\sim 10^4\text{K}$)ガスが降着すれば、水素の再電離輝線は光る。
 - 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離し、光る。

→ 銀河進化の phase や環境に依存しそう

- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)
 - blob の position angle は大規模構造と align している。「cold stream の成分なのは？」という主張も。
 - 「outflow 的」(丸い)なものは高密度環境、「accretion 的」(細長い)なものは密度を選ばず存在か？
 - そもそも原始銀河団によくいるし、diffuse haloes のサイズも環境に依存している。

→ もう少し系統的に環境を定量化すべし

Nebula という括り で 相互作用の相手を知っておこう

研究の背景: blob と放射機構と環境と...

- Ly α nebula (blob) の放射機構は未解明である。予測としては:
 - 冷たい($\sim 10^4\text{K}$)ガスが降着すれば、水素の再電離輝線は光る。
 - 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離し、光る。

→ 銀河進化の phase や環境に依存しそう

- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)
 - blob の position angle は大規模構造と align している。「cold stream の成分なのは？」という主張も。
 - 「outflow」**今回はこれ**高密度環境、「accretion 的」(細長い)なものは密度を選ばず存在か？
 - そもそも原始銀河団によくいるし、diffuse haloes のサイズも環境に依存している。

→ もう少し系統的に環境を定量化すべし

Nebulaという括りで相互作用の相手を知っておこう

研究の背景: blob と放射機構と環境と...

- Ly α nebula (blob) の放射機構は未解明である。予測としては:

- 冷たい($\sim 10^4\text{K}$)ガスが降着すれば、水素の再電離輝線は光る。
- 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離し、光る。

→ 銀河進化の phase や環境に依存しそう

- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)

- blob の position angle は大規模構造と align している。「cold stream の成分なのは？」という主張も。

- 「outflow **今回はこれ**」
選ばず存在か？

**TMT/ full(extended) ALMA
多波長観測(但し高感度)**

- そもそも原始銀河団によくいるし、diffuse haloes のサイズも環境に依存している。

→ もう少し系統的に環境を定量化すべし

Nebula という括りで 相互作用の相手を知っておこう