

# The environments of giant Ly $\alpha$ blobs, traced by Wide-field Ly $\alpha$ imaging

斎藤 智樹 (東大 ICRR)

(ref: T. Saito et al., arXiv:1403.5924)  
2014年10月22日, 筑波宇宙フォーラム

(ターゲットはこっち)

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

# The environments of giant Ly $\alpha$ blobs, traced by Wide-field Ly $\alpha$ imaging

斎藤 智樹 (東大 ICRR)

(ref: T. Saito et al., arXiv:1403.5924)

2014年10月22日, 筑波宇宙フォーラム

# Abstract

- 巨大な 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 ( $L_{Ly\alpha} > 10^{43}$  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約4倍のピークを持つ高密度領域にあった。
- 高密度領域は  $3\text{-}6\text{Mpc}$  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 0.4% 以下、その数密度は  $\sim 6.4 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 。高いコントラストを示すものはさらに 1 衍少なく、 $z > 2$  電波銀河より少ない。
- 密度分布をある程度再現した領域も、光度関数の変化は再現できない。  
**LABs は非常に特異な環境に発現。**

# Introduction

# Scheme of galaxy formation

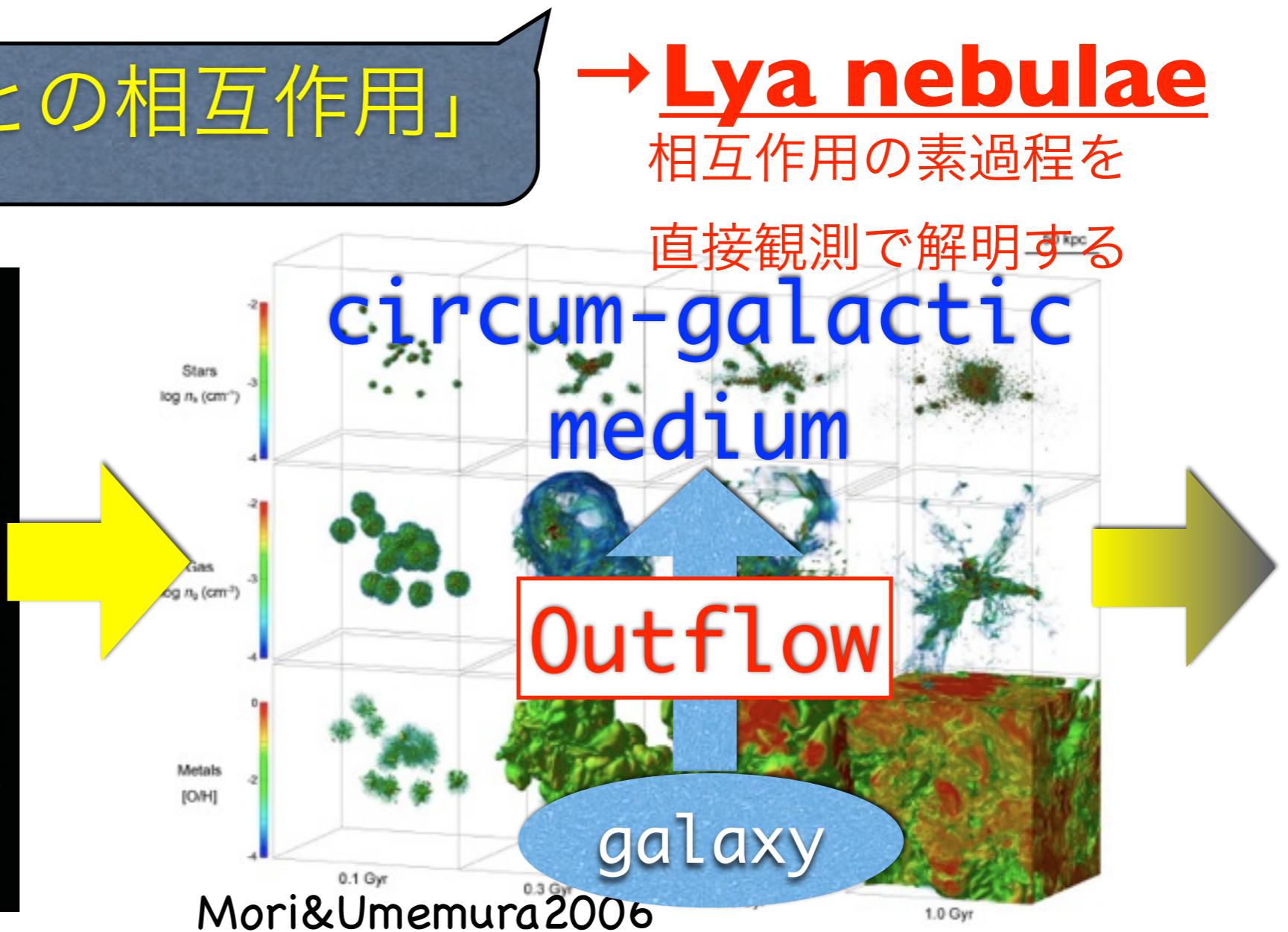
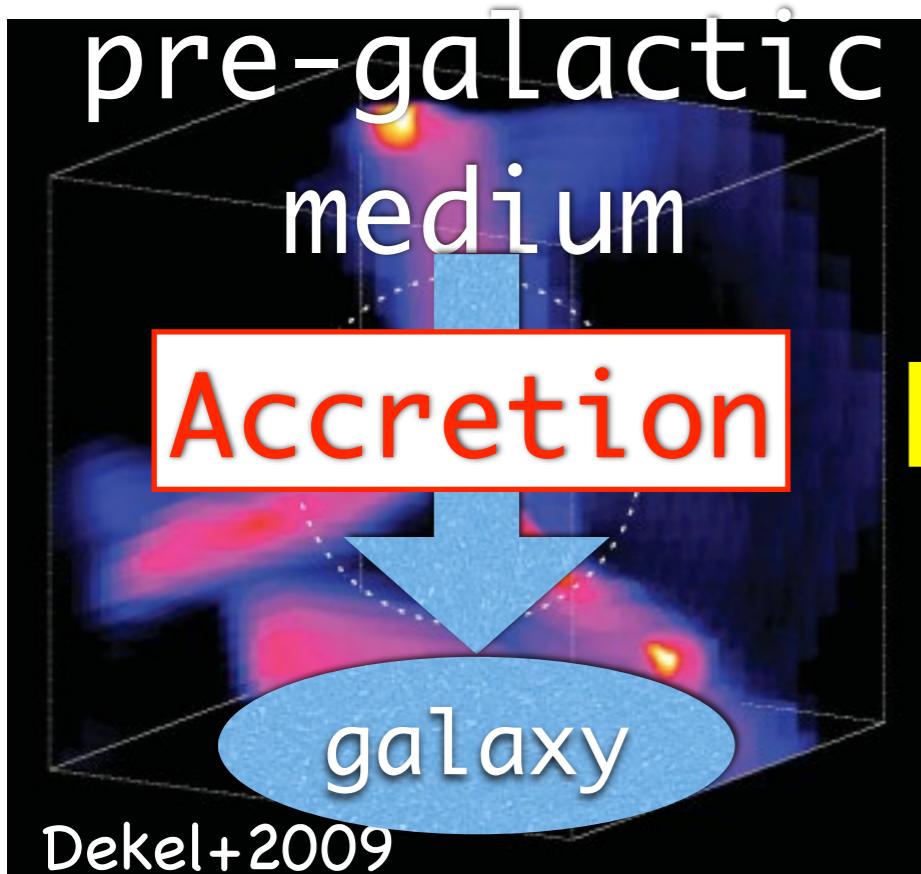
## --how do Ly<sub>a</sub> nebulae emerge?--

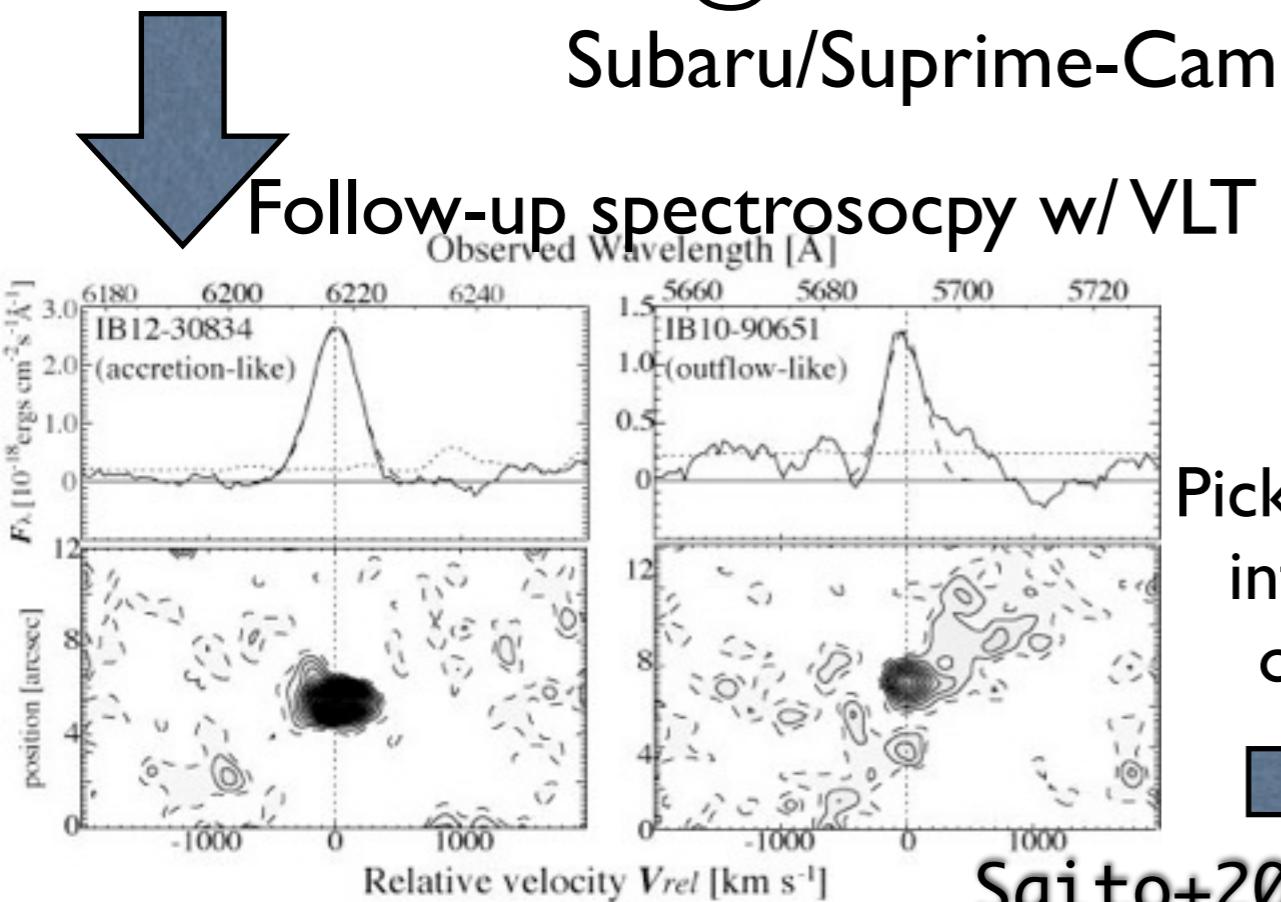
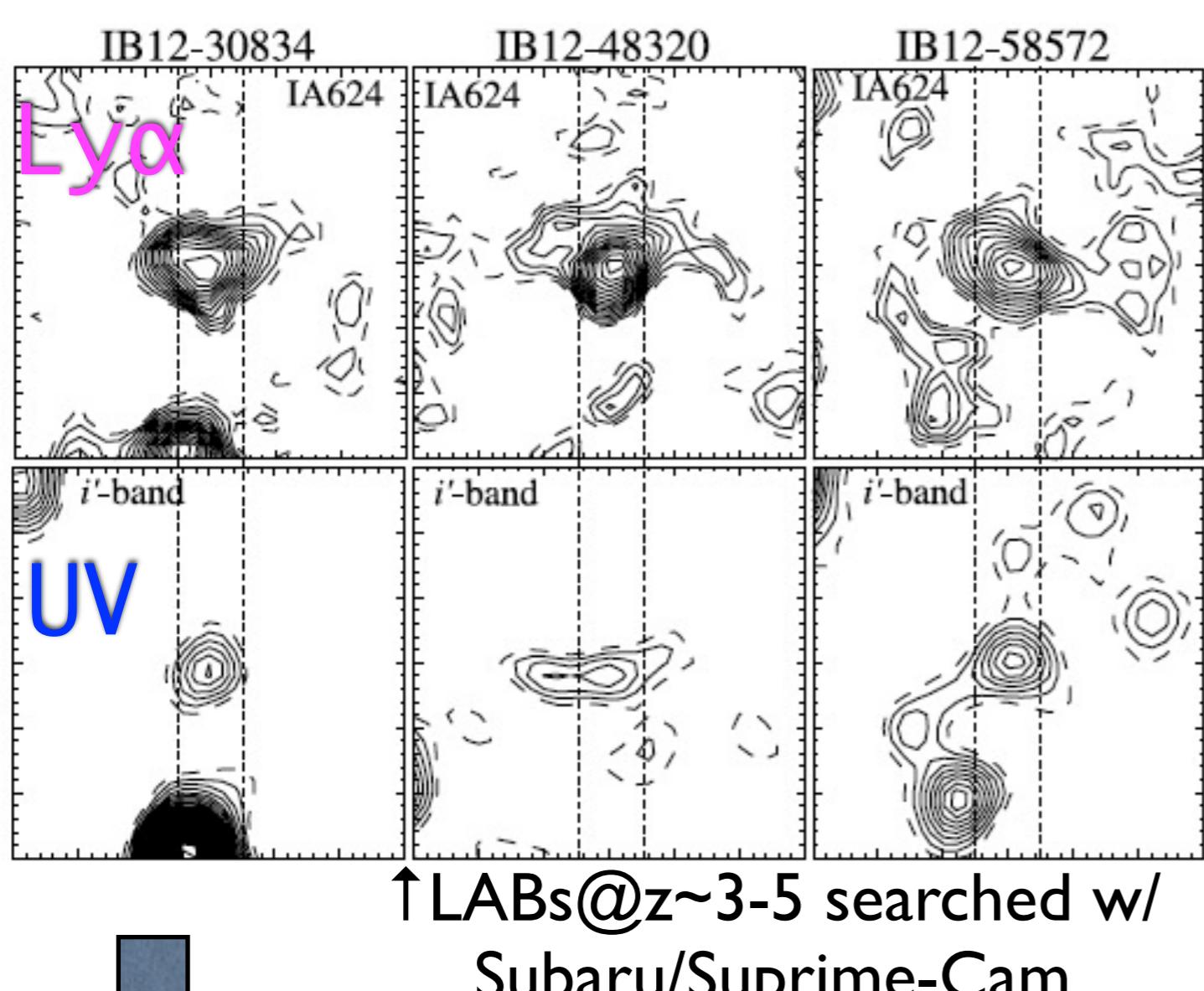
- accretion: interact w/ pre-galactic medium
- outflow: interact w/ circum-galactic medium

「周辺環境との相互作用」

→ **Ly<sub>a</sub> nebulae**

相互作用の素過程を  
直接観測で解明する



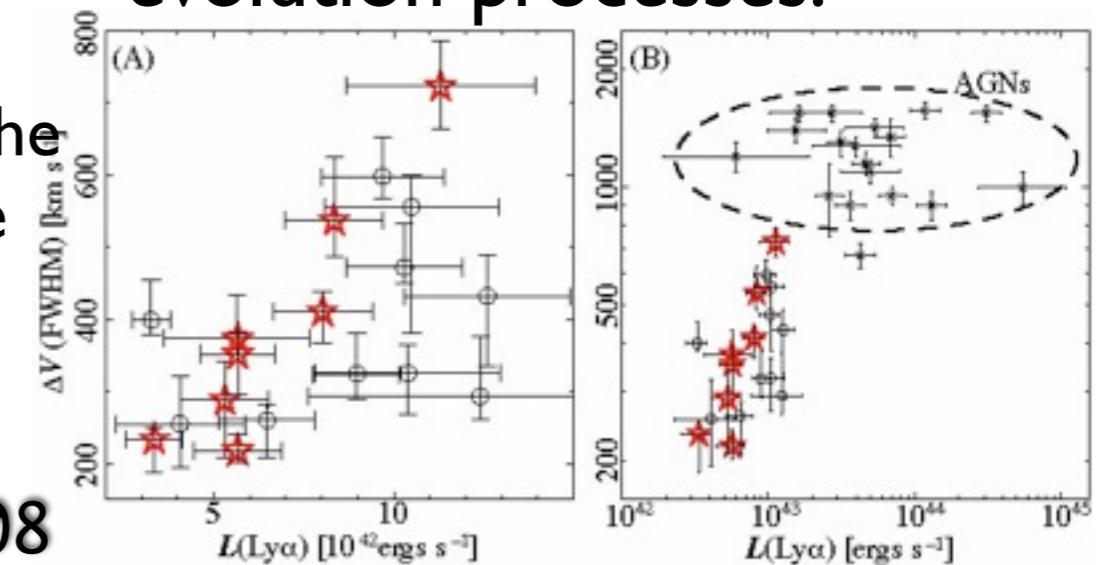


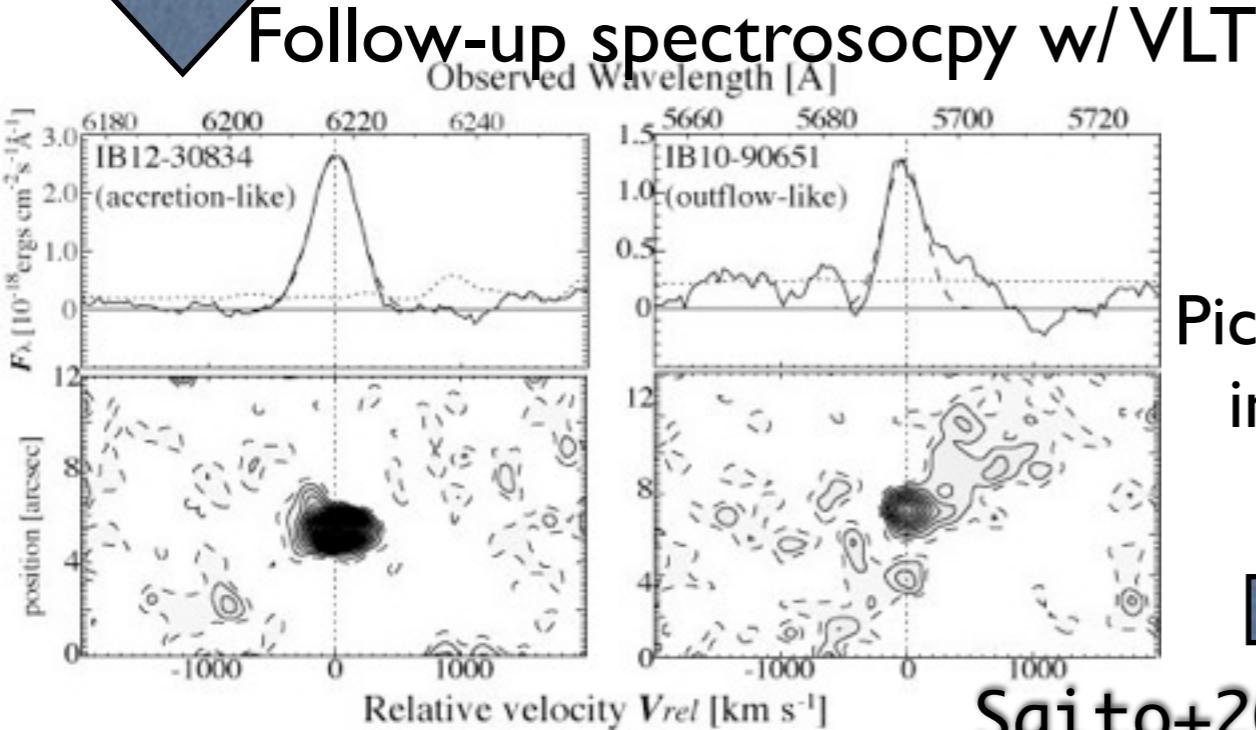
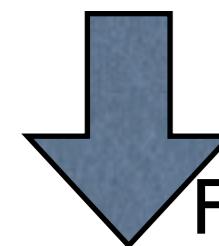
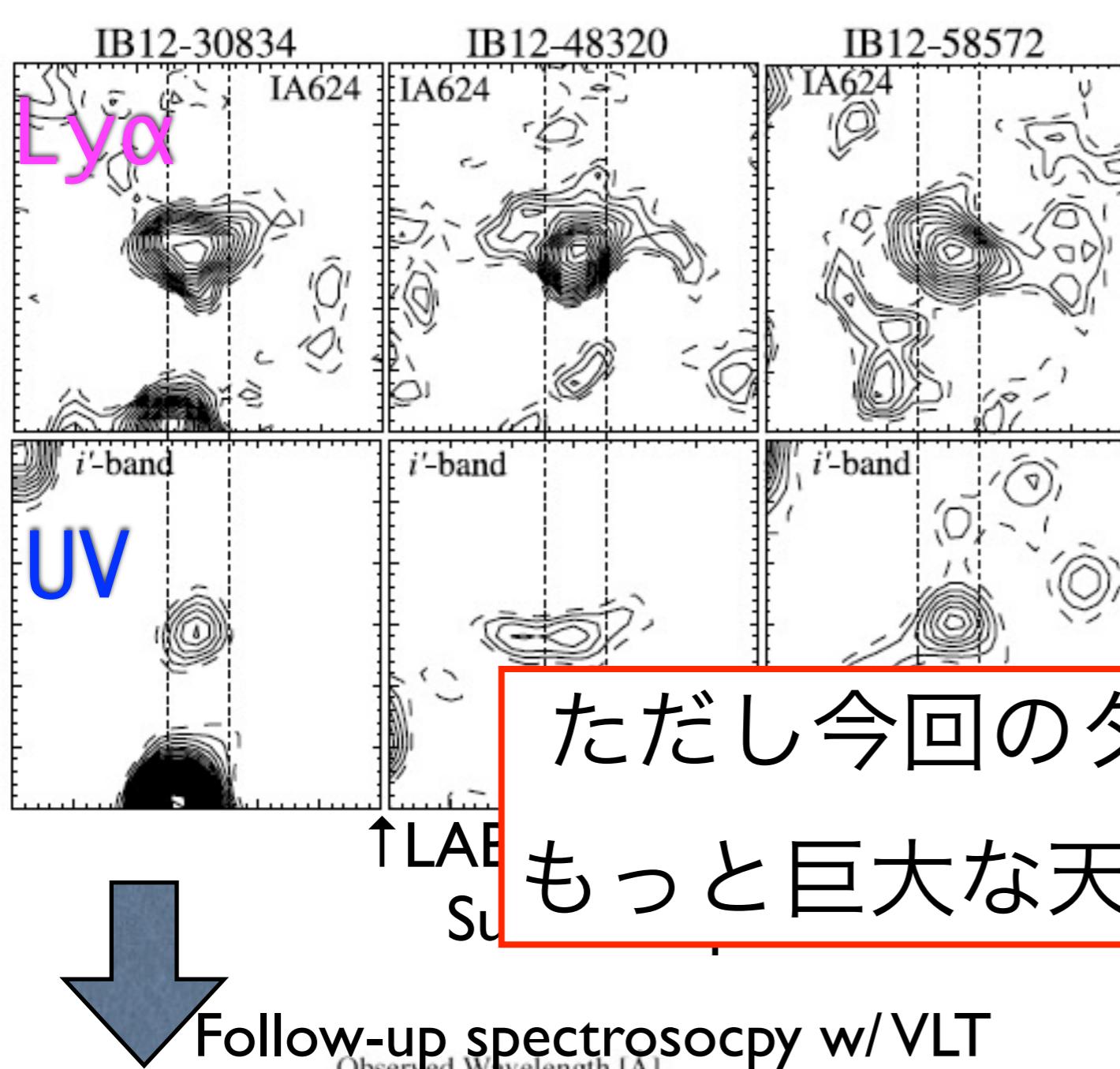
Picking up the  
inflow-like  
objects..

Saito+2006/2008

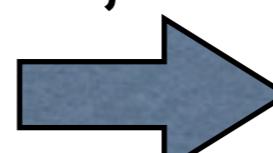
# “Ly $\alpha$ Blobs”

- Sites of galaxy-environment interaction through accretion/outflow.
  - diffuse and rare objects, but we can search efficiently w/ Subaru S-Cam (and HSC)
- Includes both inflow-like and outflow-like objects.
- Deep spectroscopy & multiwavelength studies gives excellent probes of galaxy evolution processes.





Picking up the  
inflow-like  
objects..



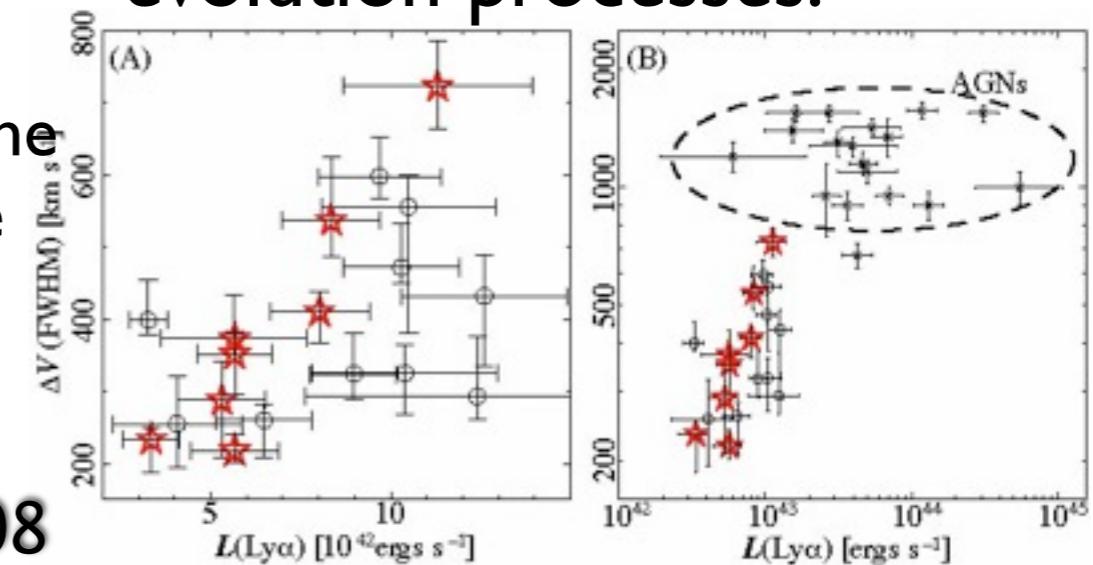
Saito+2006/2008

# “Ly $\alpha$ Blobs”

- Sites of galaxy-environment interaction through accretion/outflow.
- diffuse and rare objects, but we can search efficiently w/ Subaru S. Cam (and HSC)

flow-like and  
ects.

Follow-up spectroscopy &  
multiwavelength studies gives  
excellent probes of galaxy  
evolution processes.



# 「相互作用の素過程」をどう調べるか

- 「相互作用」を直接観測する
  - 隠された活動源を検出 (submm, X-ray, radio...)
  - ガス運動を観測 (optically-thin lines w/ IFU etc.)

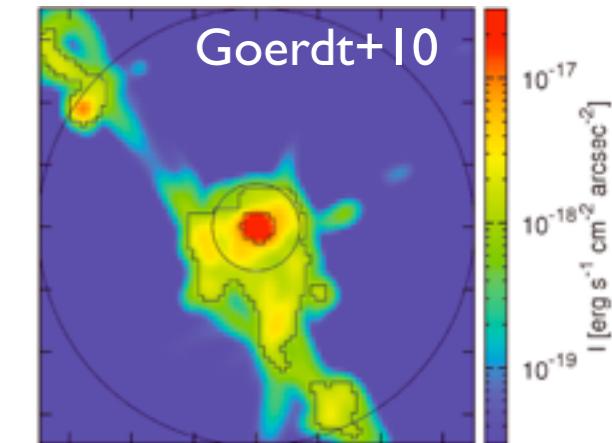
超高感度・高分解能が必要。expensive:  
TMT, ALMA 等の「宿題」か?
- 「相互作用」の相手(環境)を統計的に調べる
  - NB フィルターで広視野の撮像探査
  - 標準天域の観測・シミュレーションと比較

本研究→

すばるの得意技:  
**expensive** な観測の準備研究として重要

# 研究の背景: blob と放射機構と環境と...

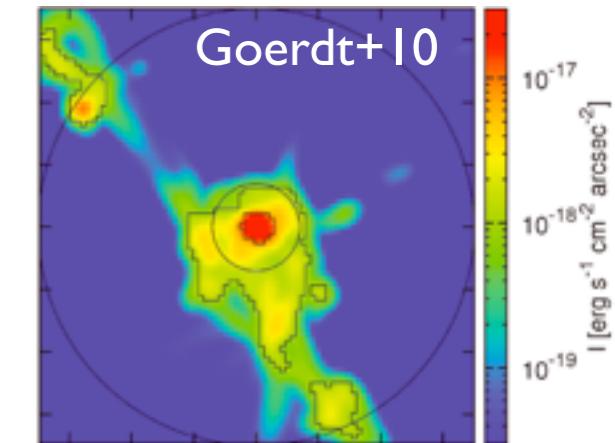
- Ly $\alpha$  nebula (blob) の放射機構の詳細は未解明である。予測としては:
  - 冷たい( $\sim 10^4$ K) HIガスが降着すれば水素の再結合線は光る。  
(e.g., Goerdt+10: ACCRETION)
  - 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離する。  
(e.g., Mori&Umemura06, Yuma+13: OUTFLOW)
- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)
  - blob の position angle 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。。
  - 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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...

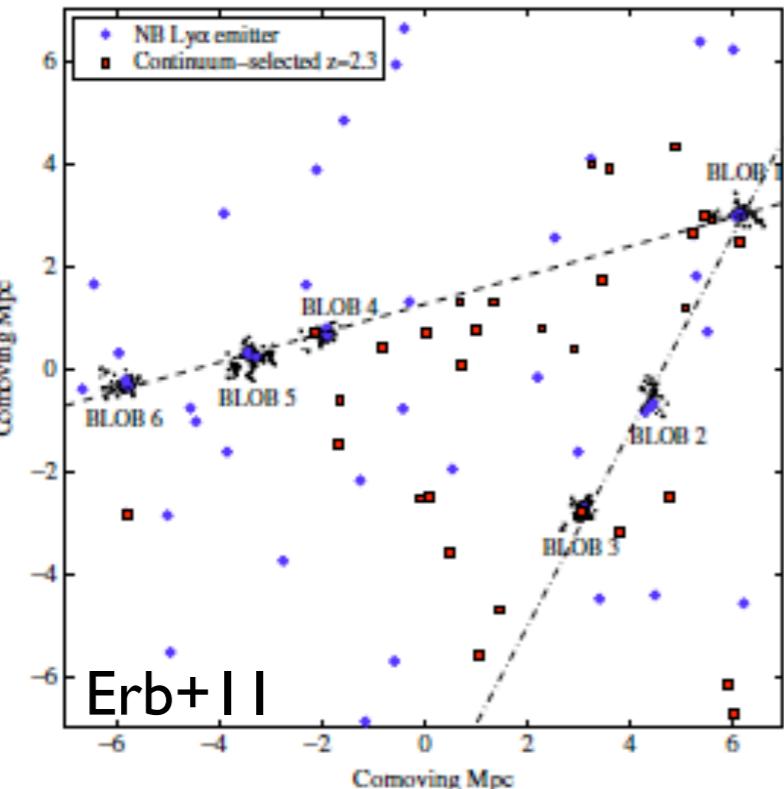
- Ly $\alpha$  nebula (blob) の放射機構の詳細は未解明である。予測としては:
  - 冷たい( $\sim 10^4$ K) HIガスが降着すれば水素の再結合線は光る。  
(e.g., Goerdt+10: ACCRETION)
  - 銀河からの feedback (galactic wind, AGN) が周囲を電離する。  
(e.g., Mori&Umemura06, Yuma+13: OUTFLOW)
- 環境との相互作用。機構は環境にも依存?
- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+11; Matsuda+11/12)
  - blob 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。。
  - 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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 $\alpha$  nebula は未解明である。予測としては:
  - 冷たい水素雲 (e.g., 銀河) が周囲を電離する。  
→ (e.g., AGN) が周囲を電離する。  
: OUTFLOW)
- blob の相互作用。機構は環境にも依存?
  - 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。。
  - 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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



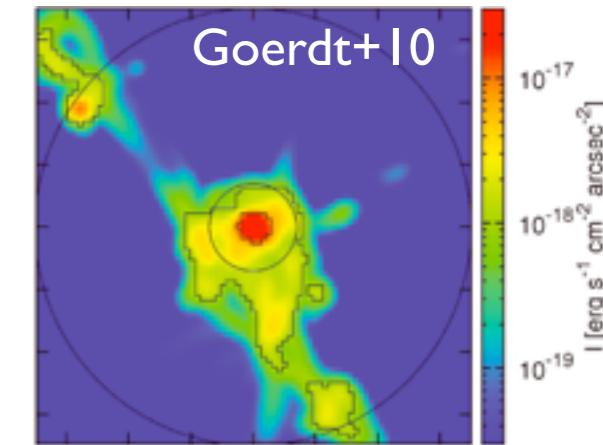
Ly $\alpha$  nebula は未解明である。予測としては:

れば水素の再結合線は光る。

)

(e.g., AGN) が周囲を電離する。

: OUTFLOW)



相互作用。機構は環境にも依存?

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。。

「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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

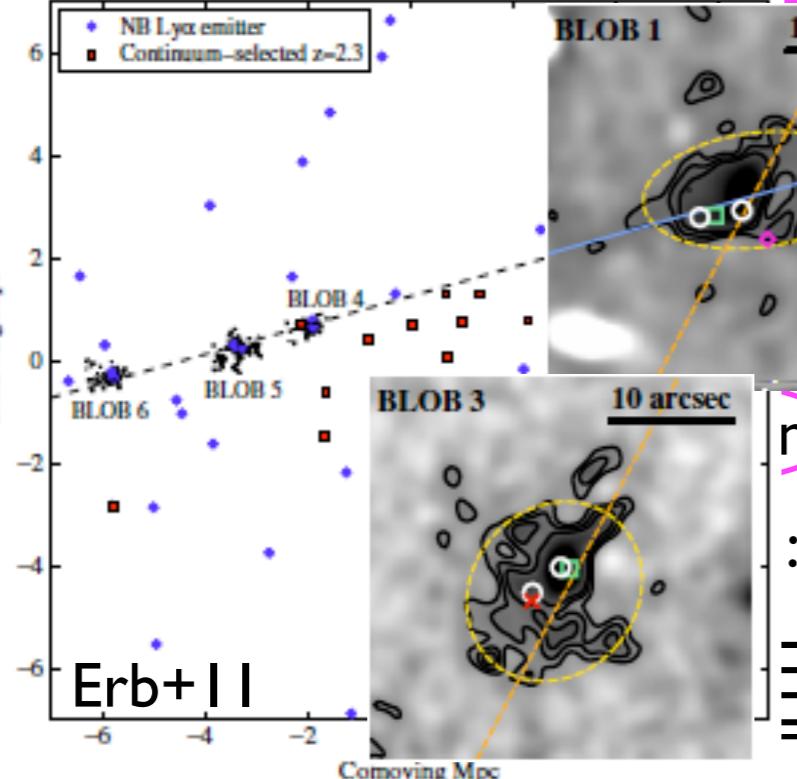
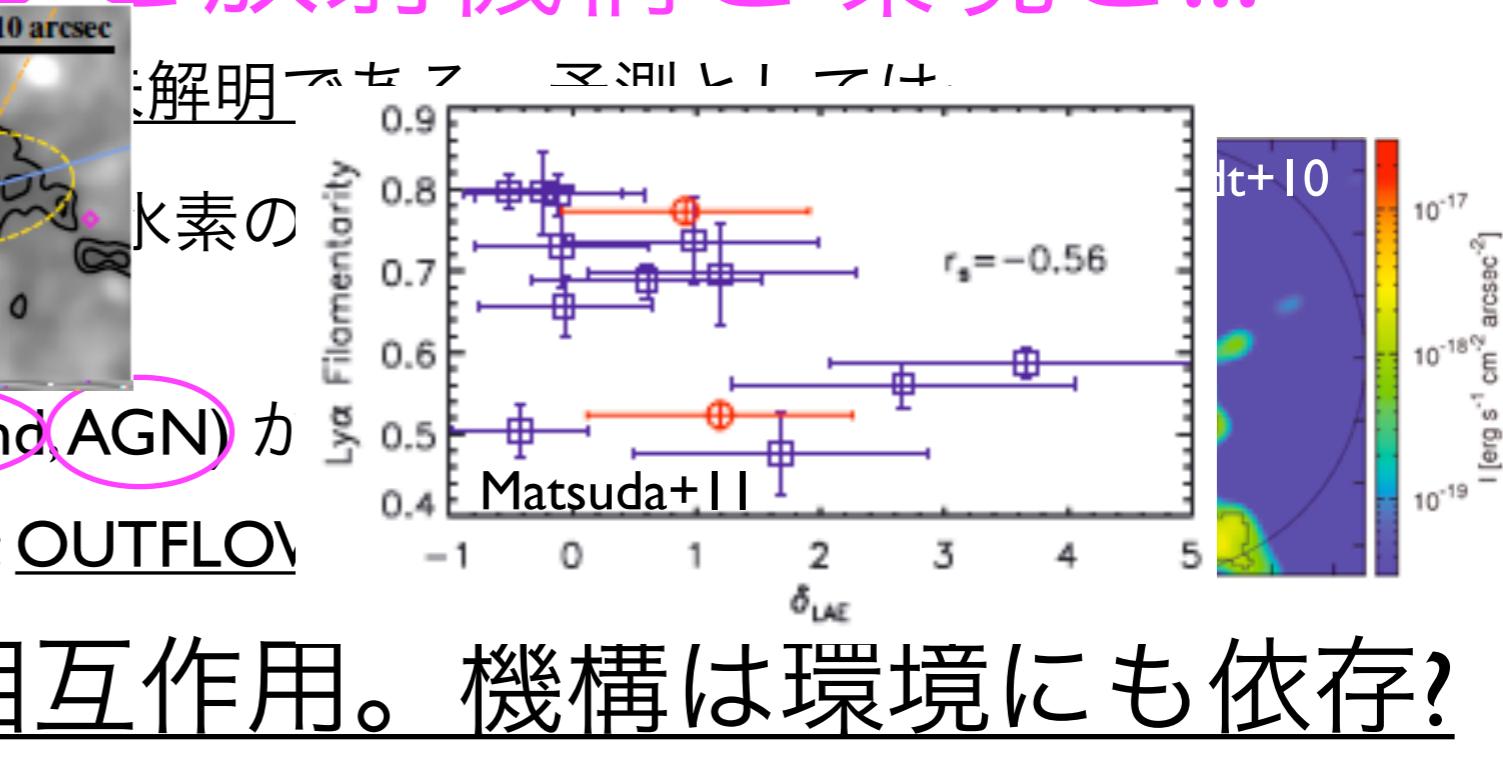
Nebula という括りで相互作用の相手を知っておこう

# 研究の背景・blob と放射機構と環境と...

- Ly $\alpha$  nebulae が周囲の環境によって解明である。予測としては:
  - 冷たい水素雲 (e.g., 銀河系)
  - 熱い水素の再結合線は光る。
- AGN が周囲を電離する。  
→ outflow
- 相互作用。機構は環境にも依存?
- 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。。
  - 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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 $\alpha$  nebulae
- 冷たい  
(e.g. 銀河系)
- 銀河  
(e.g. Erb+II)
- 
- 
- 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+II; Matsuda+II/I2)
- 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。。
- 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow 的」(丸い)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...

- $\text{Ly}\alpha$  nebula
  - 冷たい  
(e.g. 銀河)
  - 热い  
(e.g. 銀河)
  - 環境の依存性は少しずつ示唆されている。(e.g., Erb+II; Matsuda+II)
  - blob の position angle は大規模構造と align している。  
なぜ？」という主張も。。
  - 「accretion 的」(細長い)なものは低密度環境、「outflow」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
- 解明すべきマジックライン  
水素の  
nd, AGN) カ  
: OUTFLOW

Ly $\alpha$  filamentarity

$r_s = -0.56$

Matsuda+II

It+10
- (a) Ly $\alpha$ :  $2.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 5.5$  (130),  $1.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 2.5$  (273),  $0.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 1.5$  (861),  $-1 < \delta_{\text{Mpc}} < 0.5$  (864); Protocluster LBG (24)

(b) Ly $\alpha$ :  $21 < \text{BV} < 25$  (31),  $25 < \text{BV} < 26$  (203),  $26 < \text{BV} < 27$  (894),  $27 < \text{BV} < 29$  (1000); Protocluster LBG (24)

(c) Cont:  $2.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 5.5$  (130),  $1.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 2.5$  (273),  $0.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 1.5$  (861),  $-1 < \delta_{\text{Mpc}} < 0.5$  (864); Protocluster LBG (24)

(d) Cont:  $21 < \text{BV} < 25$  (31),  $25 < \text{BV} < 26$  (203),  $26 < \text{BV} < 27$  (894),  $27 < \text{BV} < 29$  (1000); Protocluster LBG (24)

(a) Ly $\alpha$ :  $2.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 5.5$  (130),  $1.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 2.5$  (273),  $0.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 1.5$  (861),  $-1 < \delta_{\text{Mpc}} < 0.5$  (864); Protocluster LBG (24)

(b) Ly $\alpha$ :  $21 < \text{BV} < 25$  (31),  $25 < \text{BV} < 26$  (203),  $26 < \text{BV} < 27$  (894),  $27 < \text{BV} < 29$  (1000); Protocluster LBG (24)

(c) Cont:  $2.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 5.5$  (130),  $1.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 2.5$  (273),  $0.5 < \delta_{\text{Mpc}} < 1.5$  (861),  $-1 < \delta_{\text{Mpc}} < 0.5$  (864); Protocluster LBG (24)

(d) Cont:  $21 < \text{BV} < 25$  (31),  $25 < \text{BV} < 26$  (203),  $26 < \text{BV} < 27$  (894),  $27 < \text{BV} < 29$  (1000); Protocluster LBG (24)

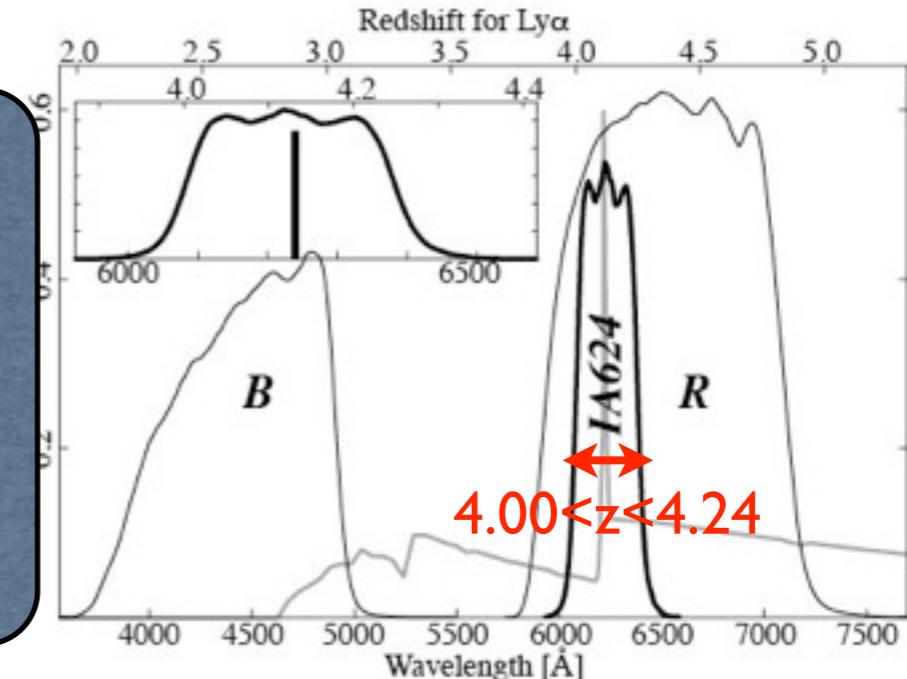
Nebulaという括りで相互作用の相手を知っておこう

# Observations (+ mock sample)

# Systematic survey for the environments of Ly $\alpha$ blobs

- Suprime-Cam + IA filter を用いた系統的探査として観測。
  - >100 kpc の Ly $\alpha$  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 $\sigma$ )



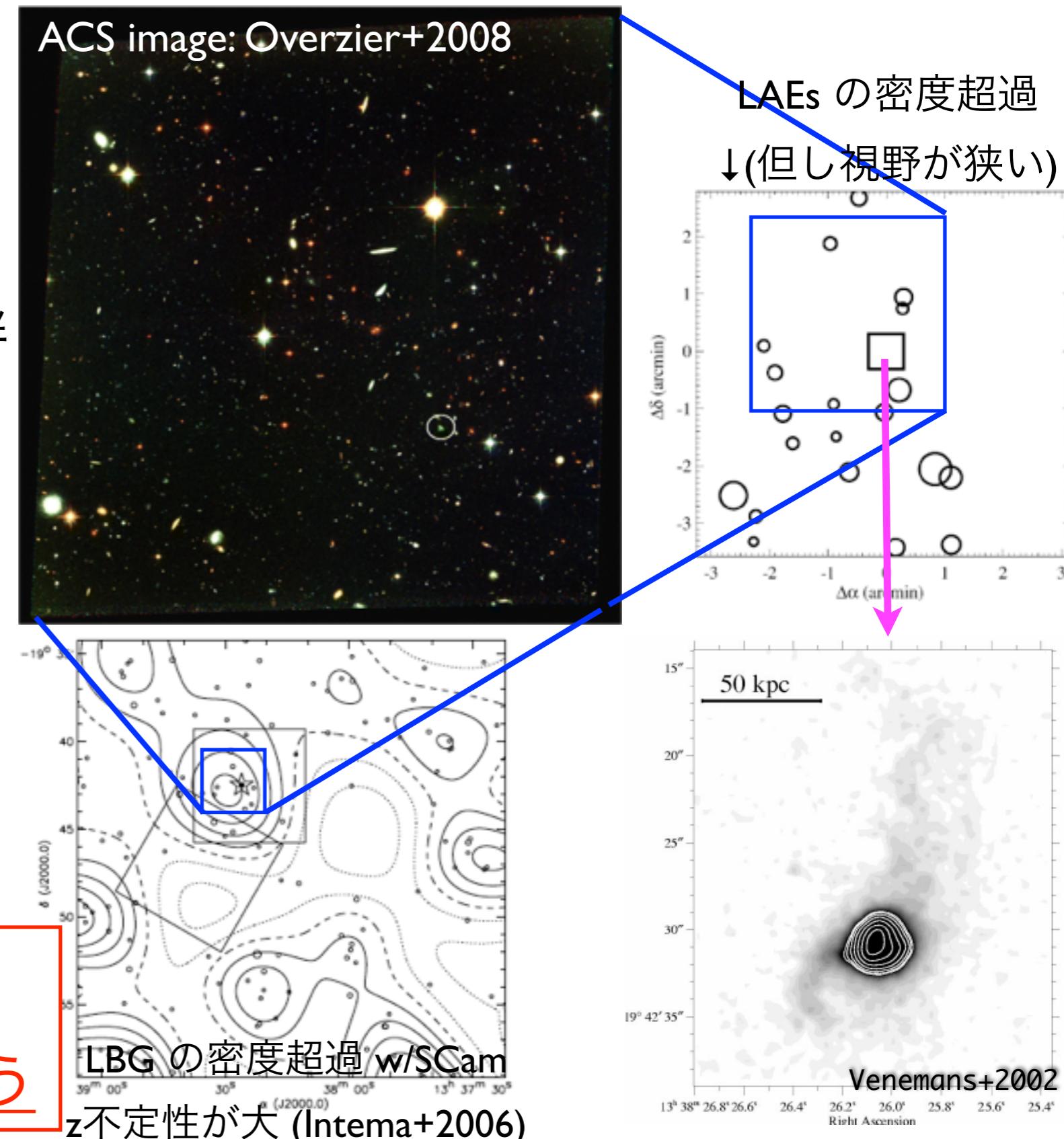
Source	z	RG	bands
TNJ1338-1942	4.1	yes	IA624, B, R
B3J2330	3.1	yes	NB497, B, V
NVSS023 I	3.1	yes	NB497, B, V
S&J LAB	2.8	no	IA464, B, V
Greve LAB	2.7	no	IA445, B, V
TXS0828	2.6	yes	IA427, B, V

# ターゲット: TNJ I 338 (まずは明るい blob)

- 明るい既知の blob:  
電波銀河 TN JI338-1942  
@z4.11 (以下 TNJ I 338,  
DeBreuck+98))
- >100kpc の Ly $\alpha$  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)

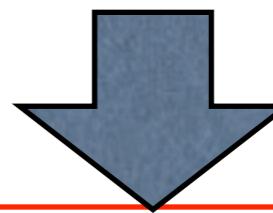
環境の定量化は今一歩。

→広視野で LAEs を使おう

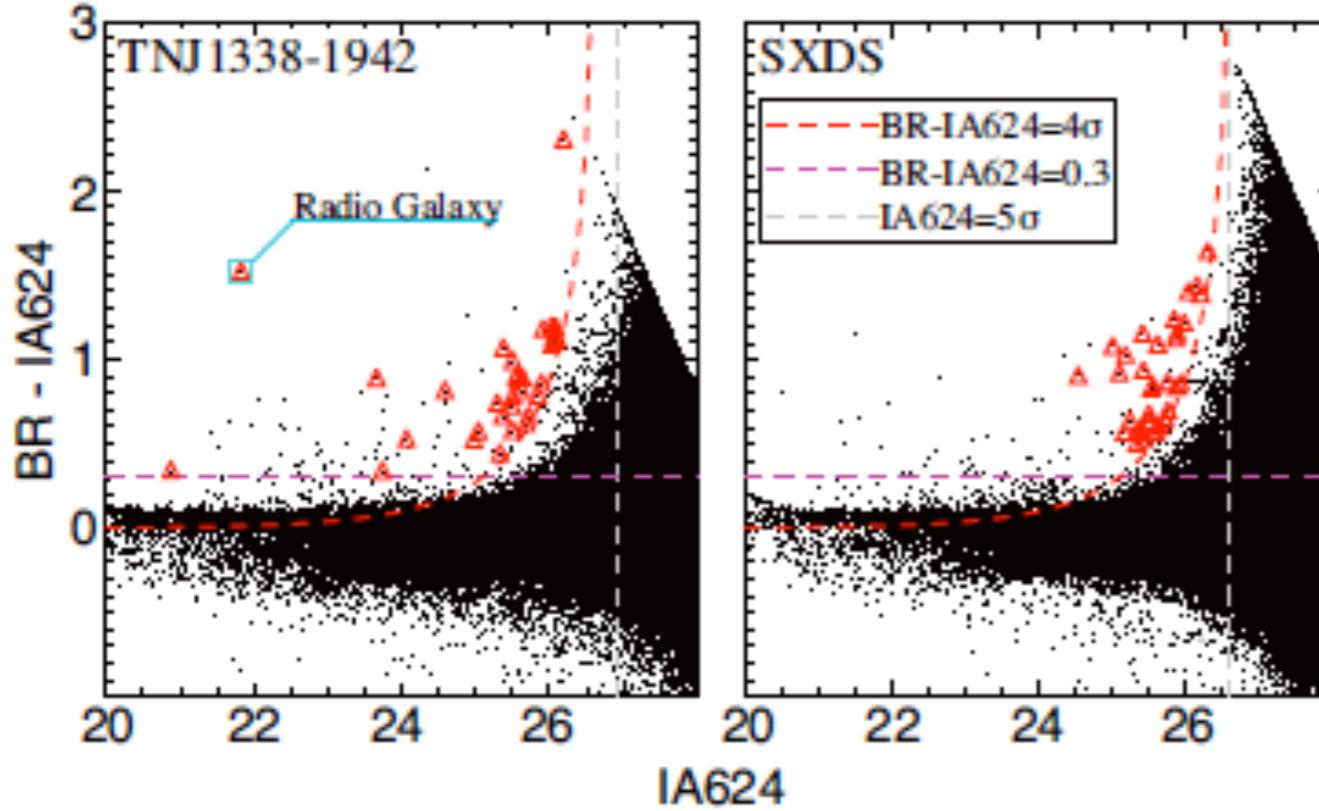


# Sample selection: two samples

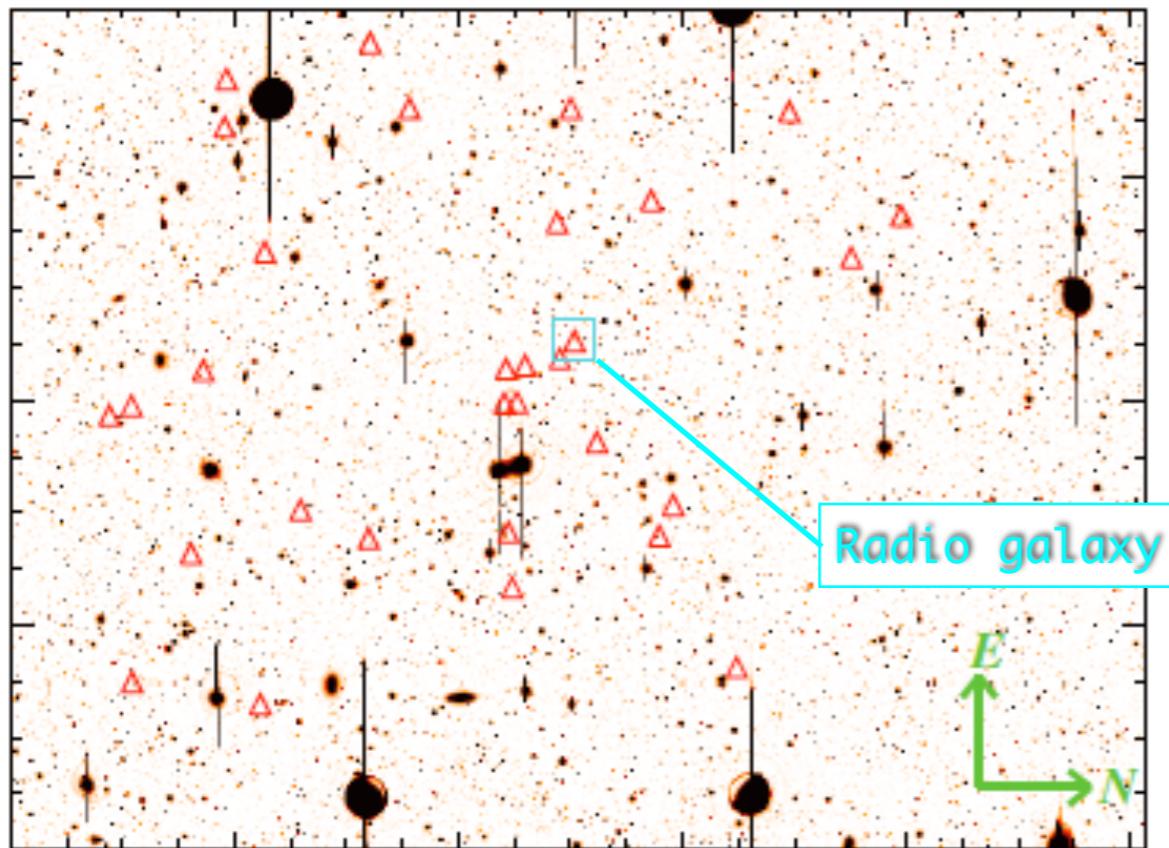
- Detection w/ IA624
- Continuum w/ B & R
- 2つのサンプルで一様な条件:
  - $20.0 < \text{IA624} < 26.6$
  - $\text{BR} - \text{IA624} > 0.3$
  - $\text{BR} - \text{IA624} > 4\sigma$
  - $B > 27.87$  or  $B - R > 2.17$



- 30(+1) LAEs for TNJ1338 field
- 34 LAEs for SXDS field

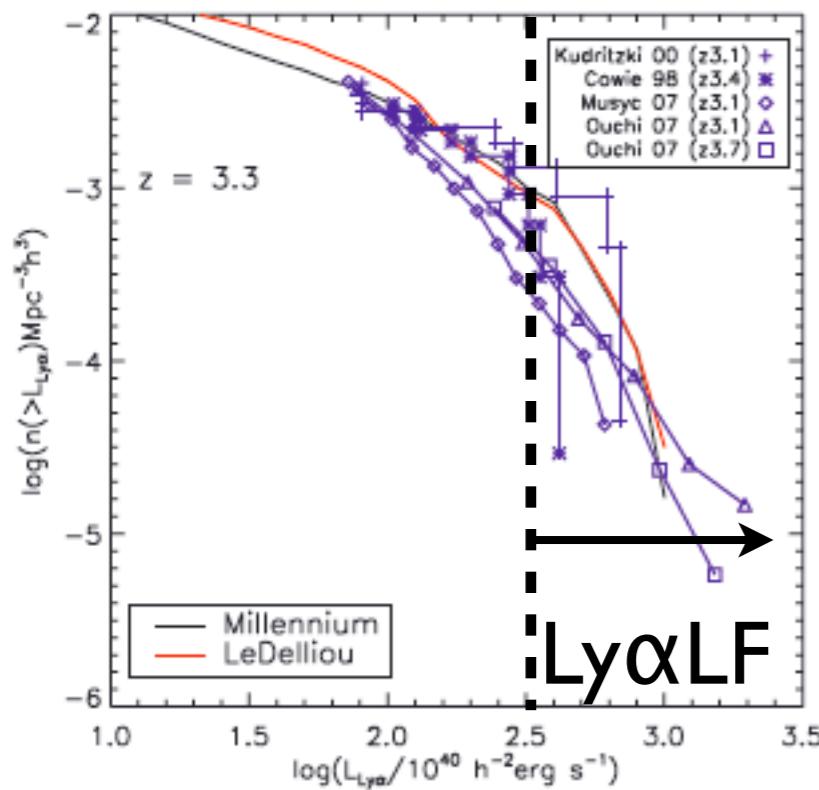


↑CM diagrams

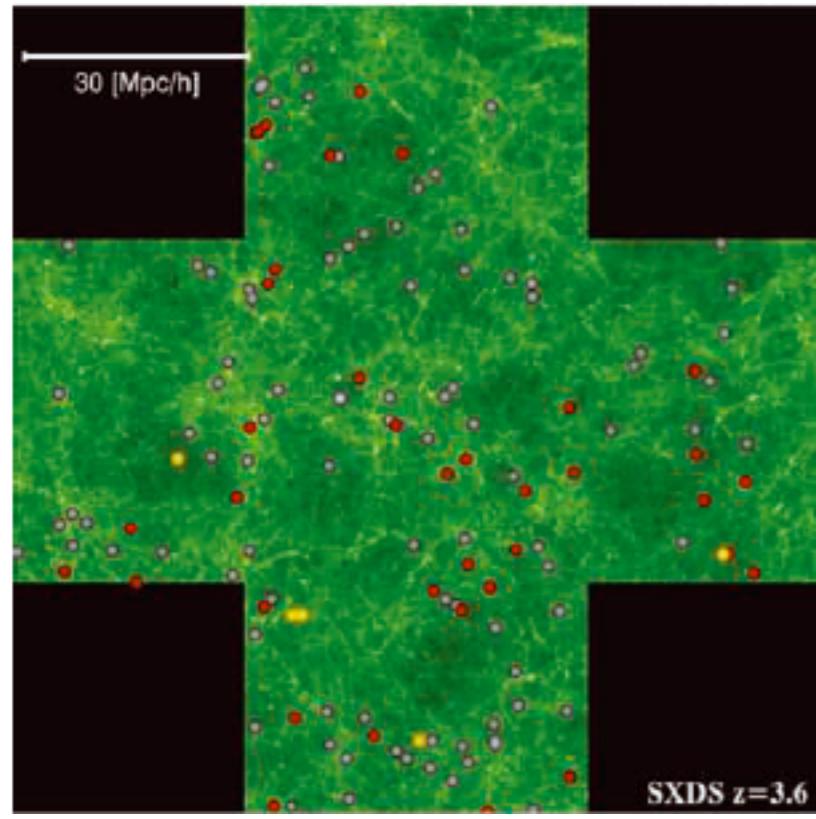


Sky distribution (RG field)

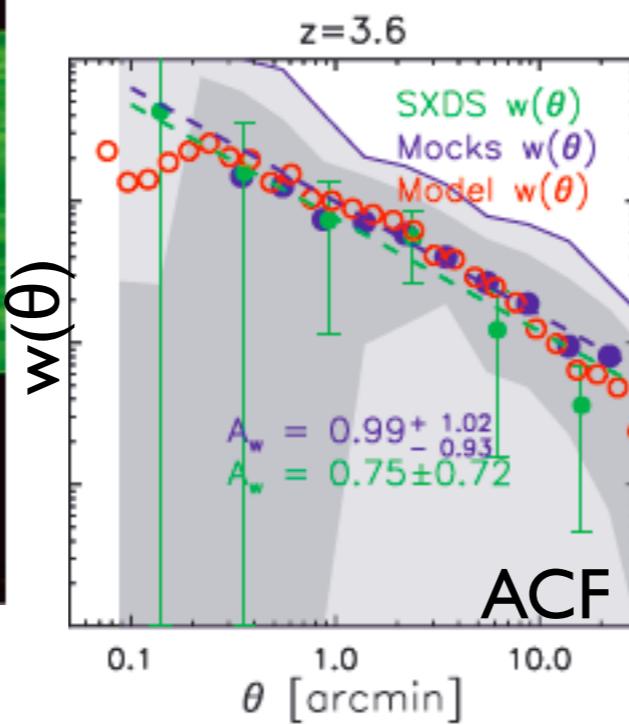
# Mock LAE catalogue (Orsi+2008)



- Millennium Simulation (Springel+05) を使用
- LAE の準解析的モデル(GALFORM: Cole +2000; LeDelliou+2005)を DH に配置。
  - IMF  $\propto m^{-x}$ ,  $x=0$  for SB,  $x=1.5/0.4$  for others
  - stellar mass  $0.15 M_\odot < m < 125 M_\odot$
  - Ly $\alpha$  photon  $\propto$  ionising photon



空間分布の例@ $z \sim 4$



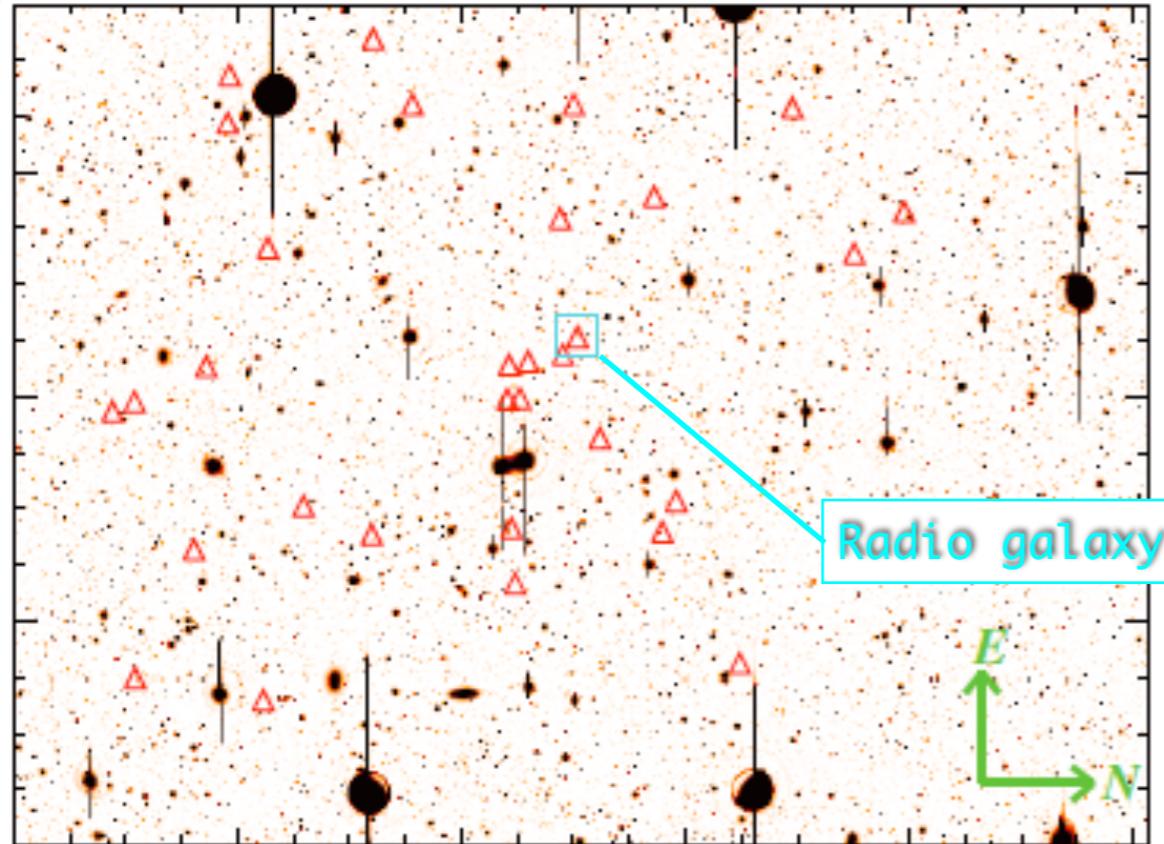
- 観測されたLF およびクラスタリングを良く再現する。
- これらより観測データと同条件で、 $z \sim 4.1$  LAEs を選択。

→ 60k 天体

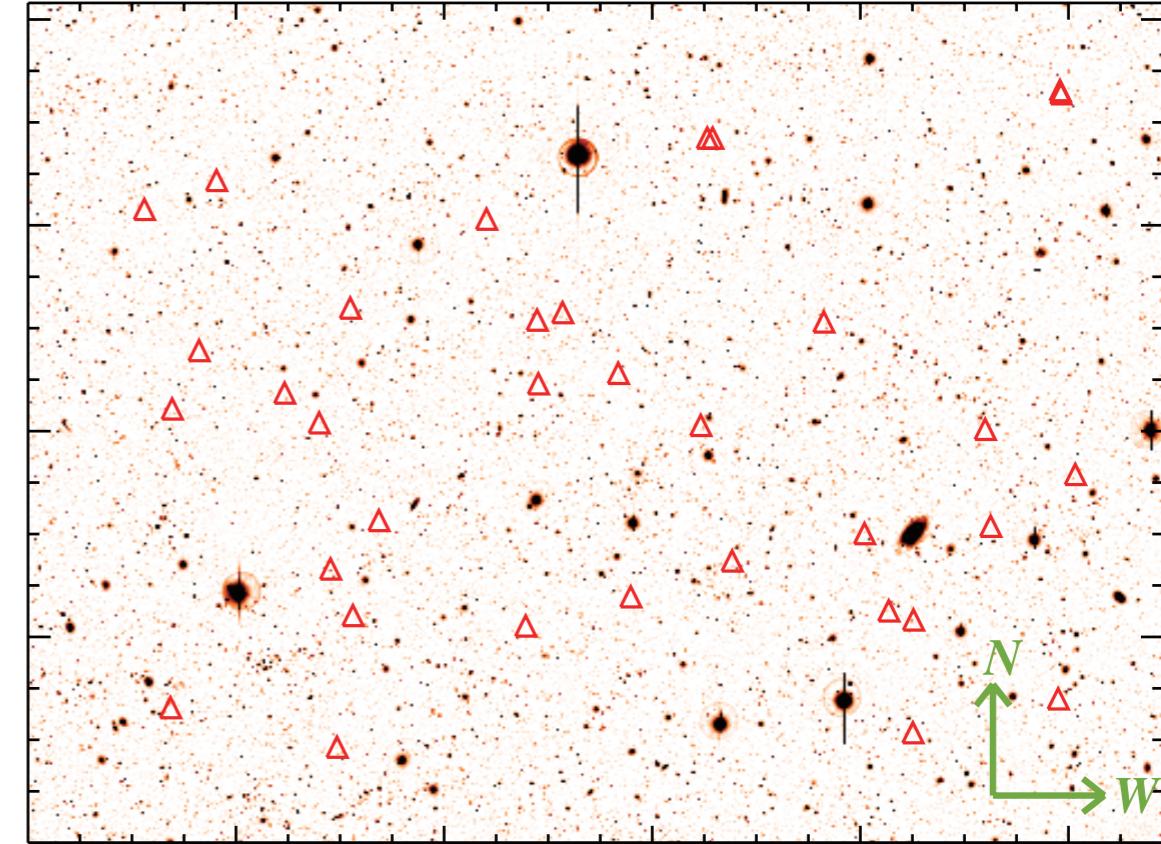
# Results & Discussion

# Density field: (observed)

- 2つのサンプルの空間分布より、面密度分布を得る。
- $r=4/h$  Mpc の Gaussian で smoothing
- 各グリッドで LAEs を計数
- 端を除いた視野全域で密度を規格化



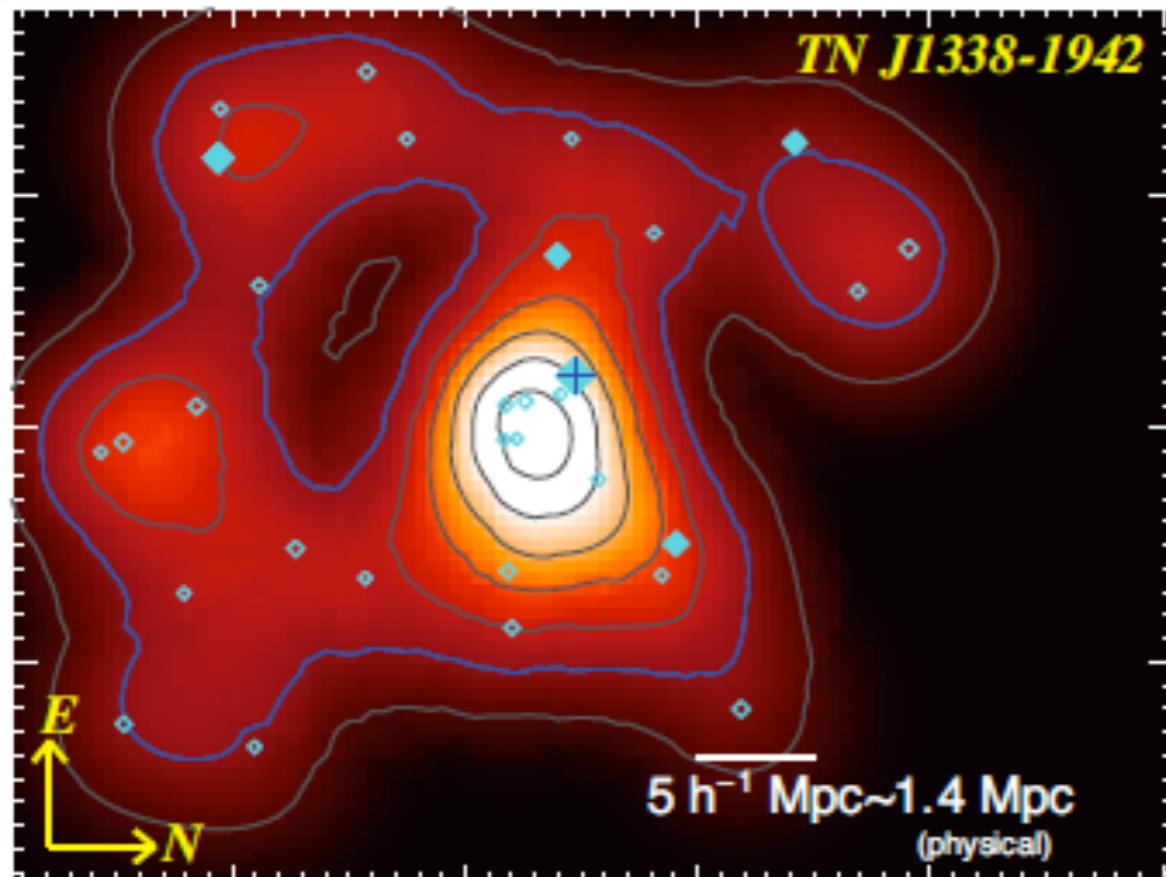
- TNG138 field:
  - ピーク密度  $\delta=2.8+/-0.5$ 。電波銀河の位置で  $\delta=1.9$ 。
  - ピーク周辺 数 Mpc に天体が集中。約 10 Mpc 程度隔てて大きなボイドに隣接。
- SXDS field:
  - ピーク密度  $\delta=1.4$ 。比較的一様な分布。
  - 平均密度は 2% 以内で一致。



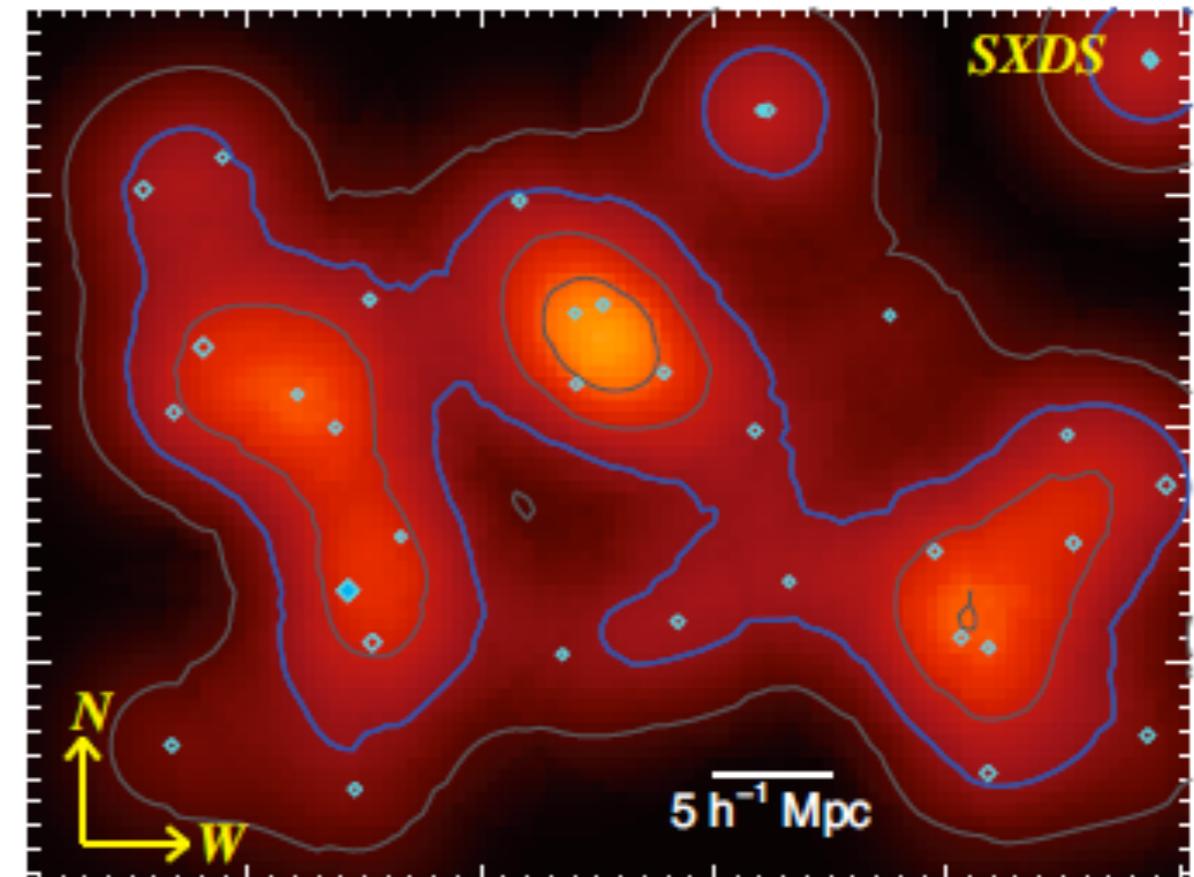
# Density field: (observed)

- 2つのサンプルの空間分布より、面密度分布を得る。
- $r=4/h \text{ Mpc}$  の Gaussian で smoothing
- 各グリッドで LAEs を計数
- 端を除いた視野全域で密度を規格化

- TNJ1338 field:
  - ピーク密度  $\delta=2.8+/-0.5$ 。電波銀河の位置で  $\delta=1.9$ 。
  - ピーク周辺 数  $\text{Mpc}$  に天体が集中。約  $10 \text{ Mpc}$  程度隔てて大きなボイドに隣接。
- SXDS field:
  - ピーク密度  $\delta=1.4$ 。比較的一様な分布。
  - 平均密度は 2% 以内で一致。

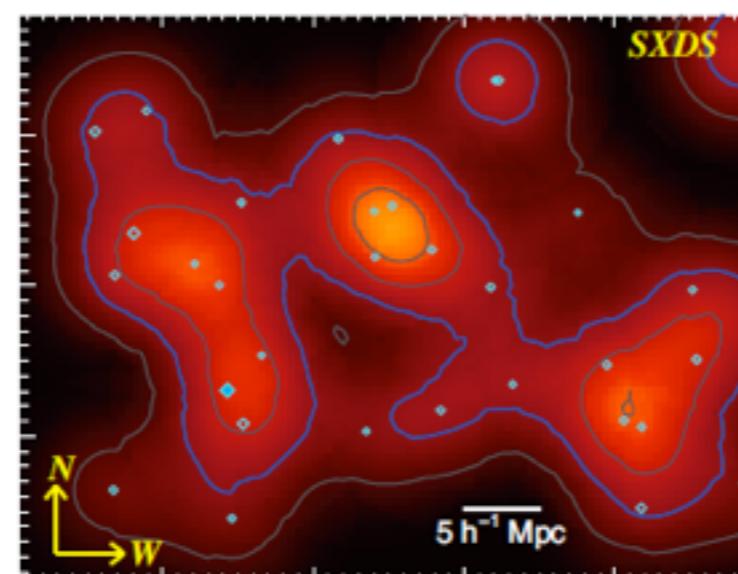
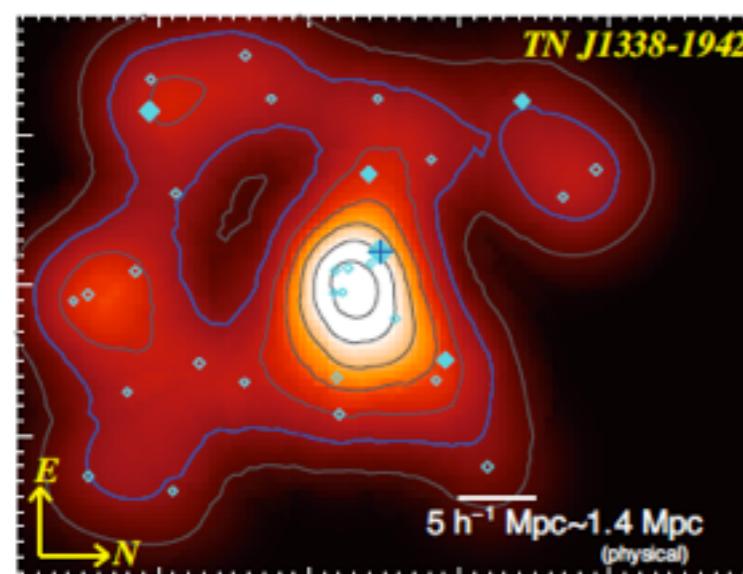
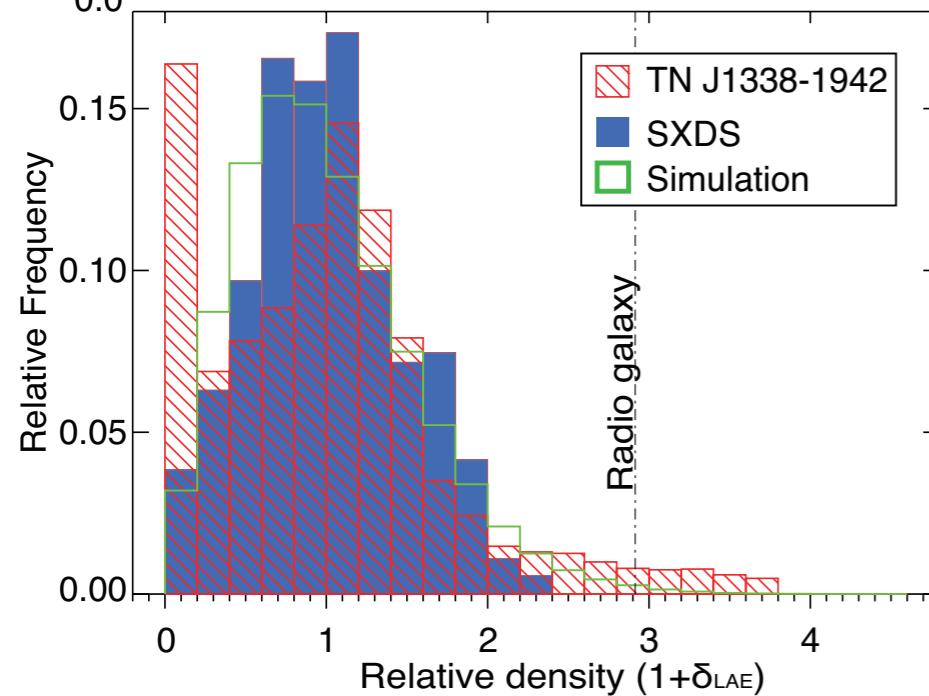
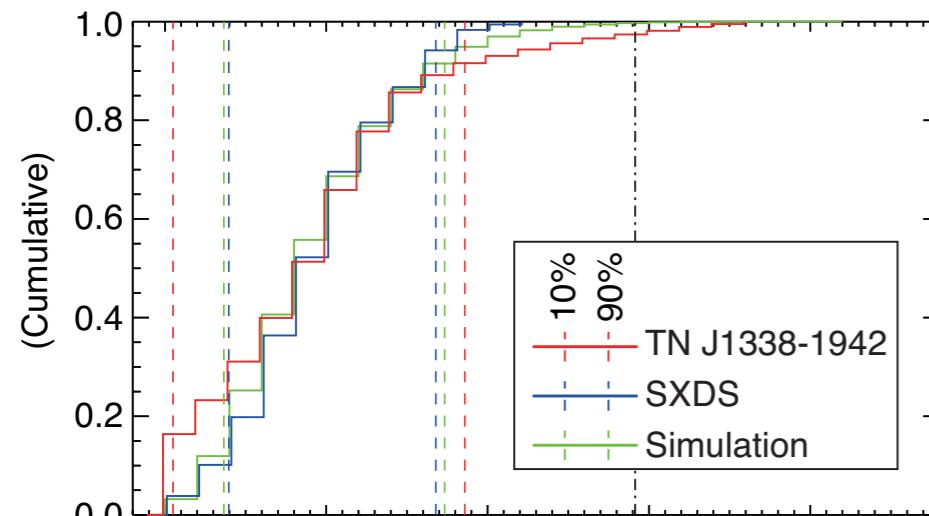


Sky distribution (RG field)

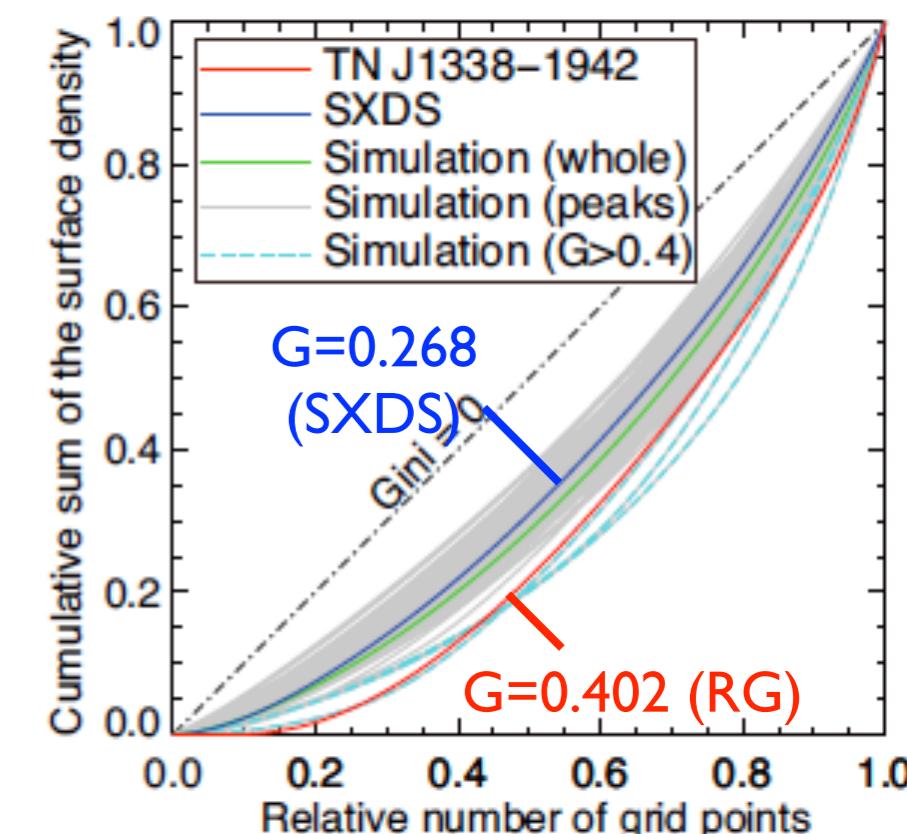


Sky distribution (blank field)

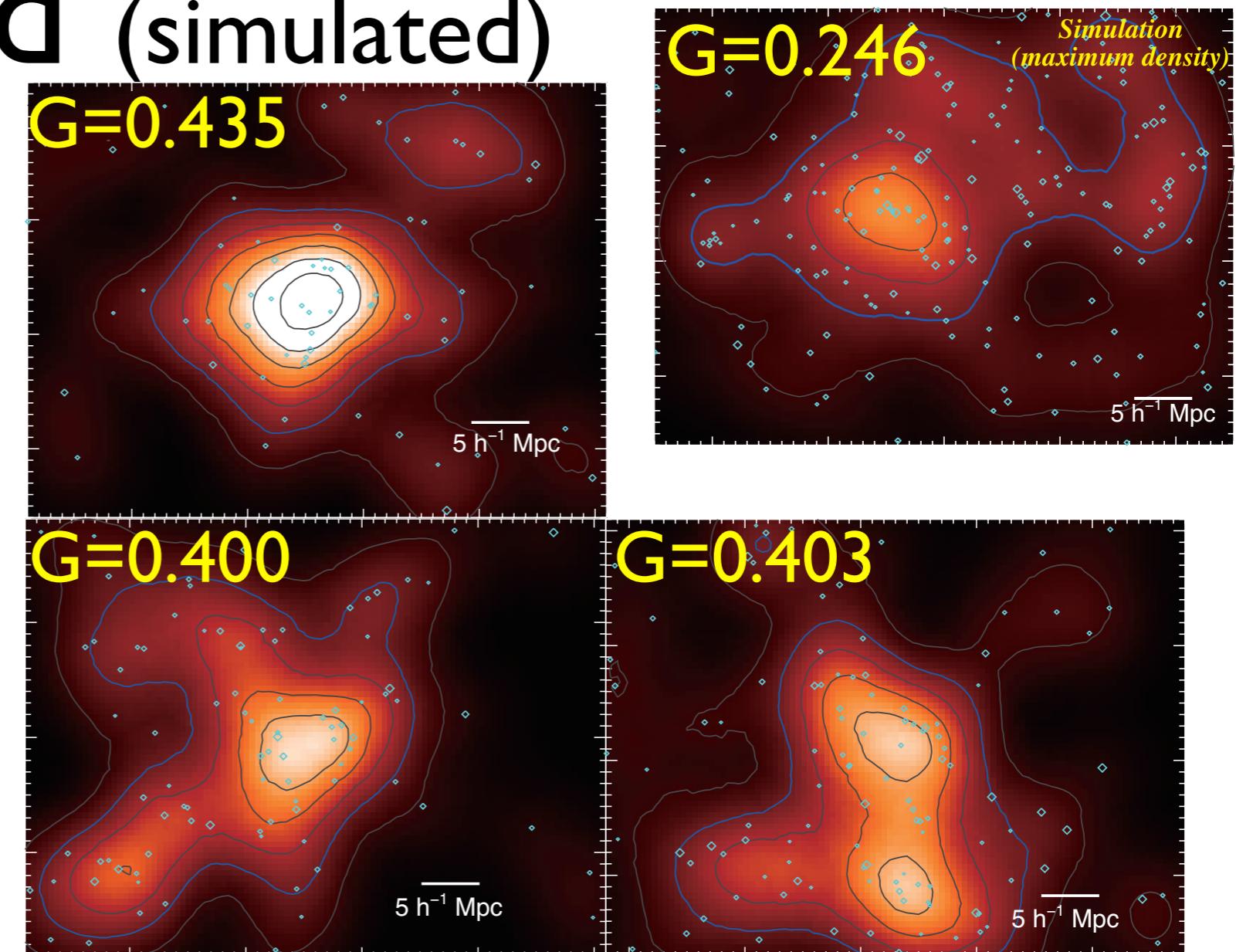
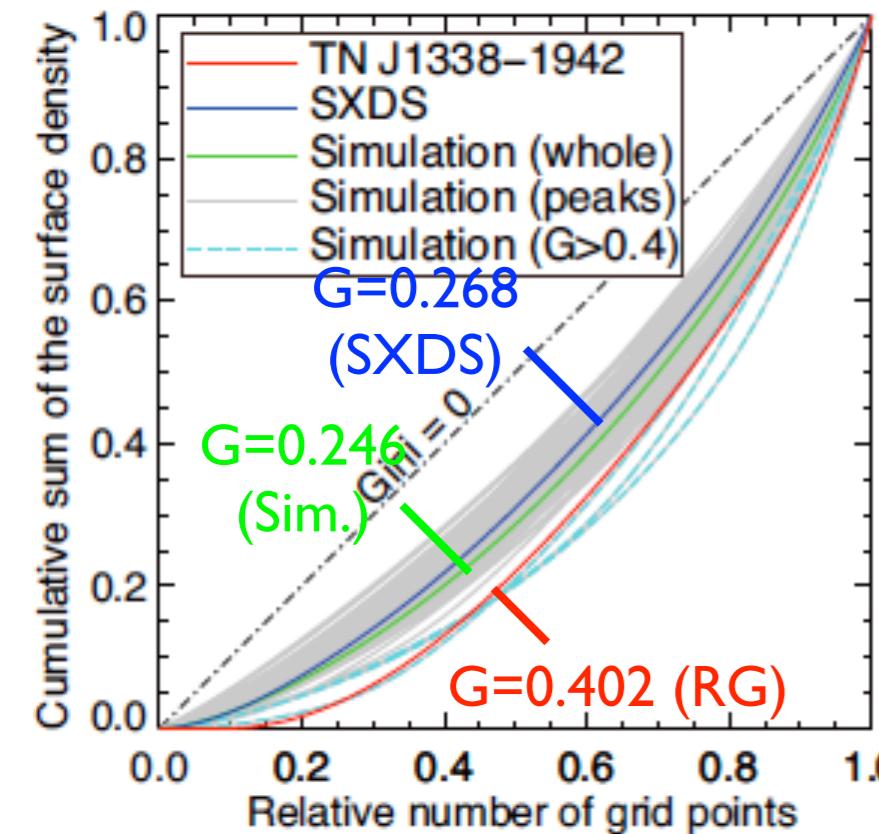
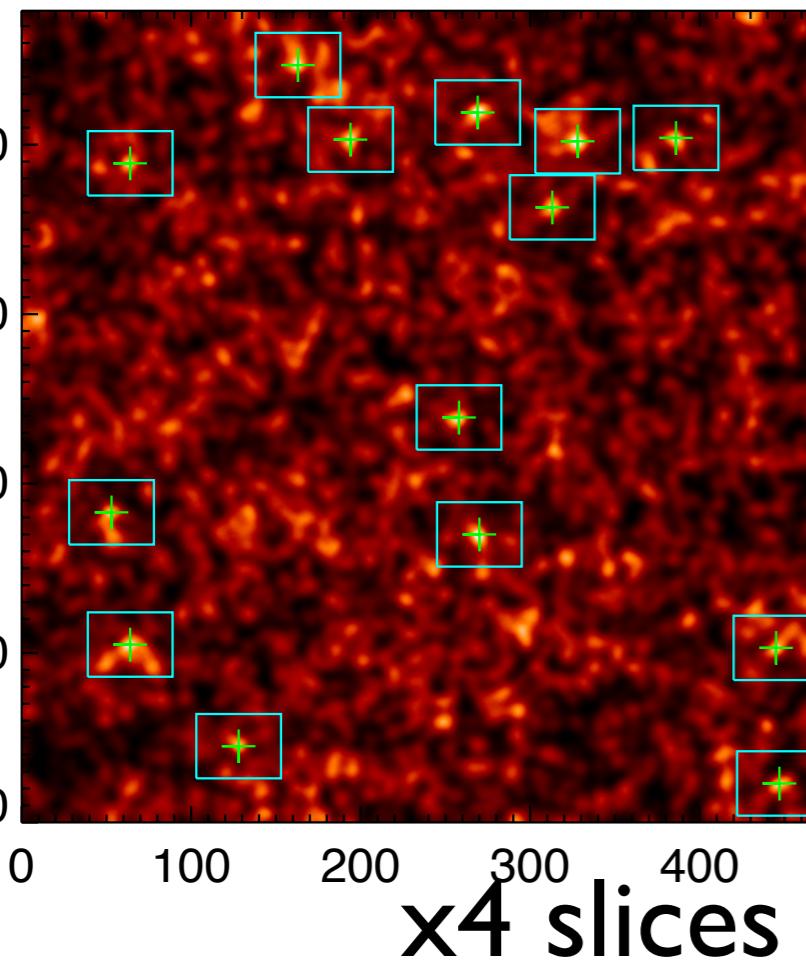
# Density field (observed)



- LAE面密度分布(左):
  - SXDSよりも dynamic range が大きい。10- & 90%-ile は、TNJ1338 では (0.05, 1.86)、SXDS では (0.40, 1.68)。
  - 両天域とも平均付近にピークを持つ。TNJ1338 では void fraction が極めて大きい。
- 密度分布のGini係数(右下):
  - TNJ1338で天体の局在が見て取れる( $G=0.405$ )。
  - SXDS では分布が一様に近く、シミュレーション(後述)と近い振る舞いをする ( $G=0.268$ )。

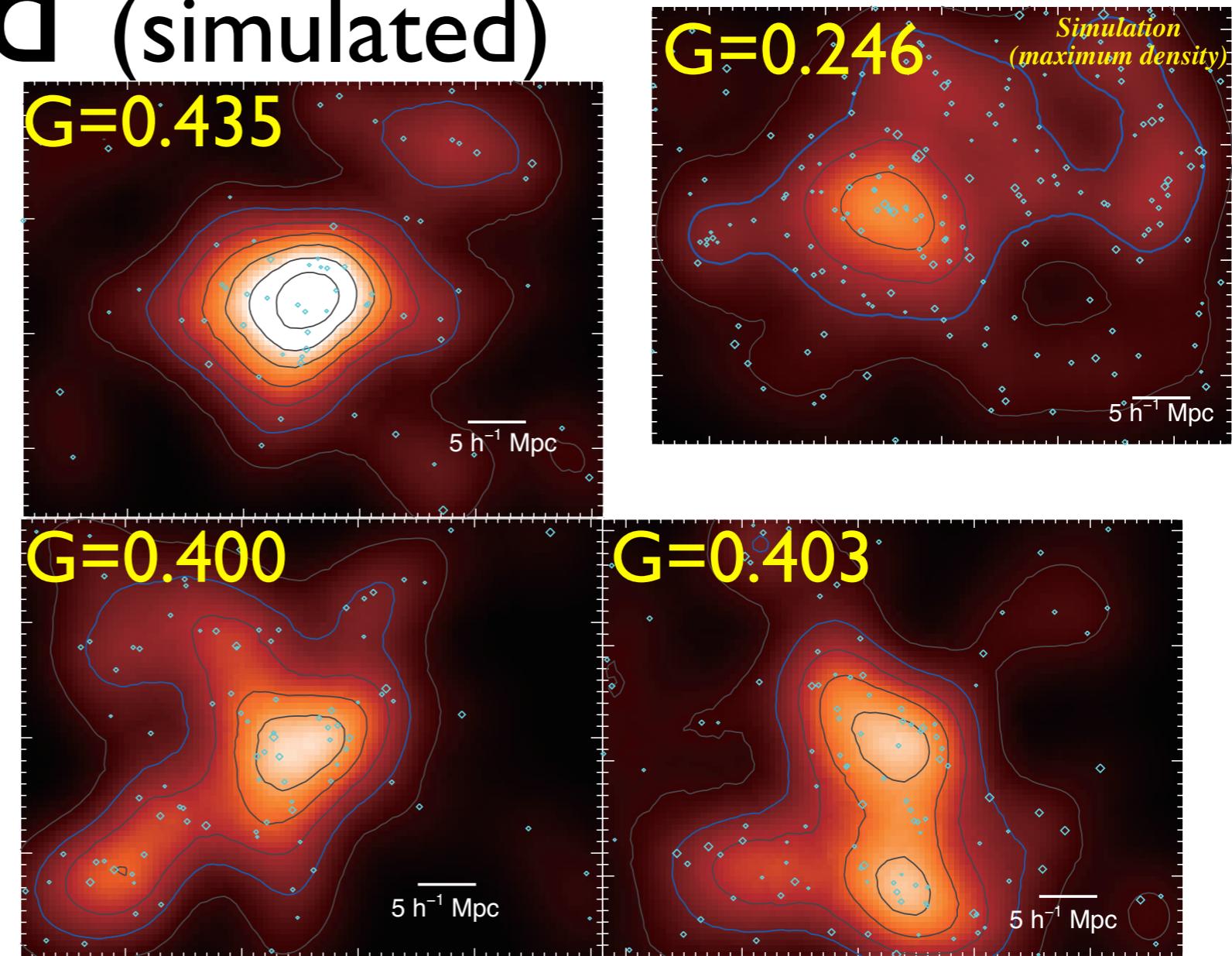
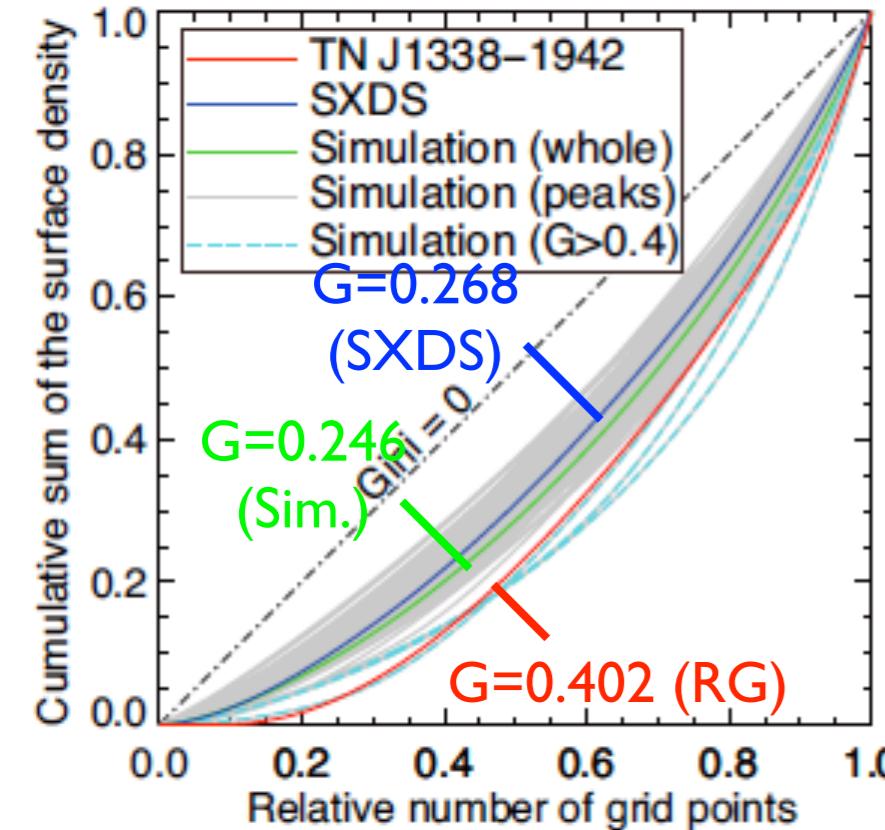
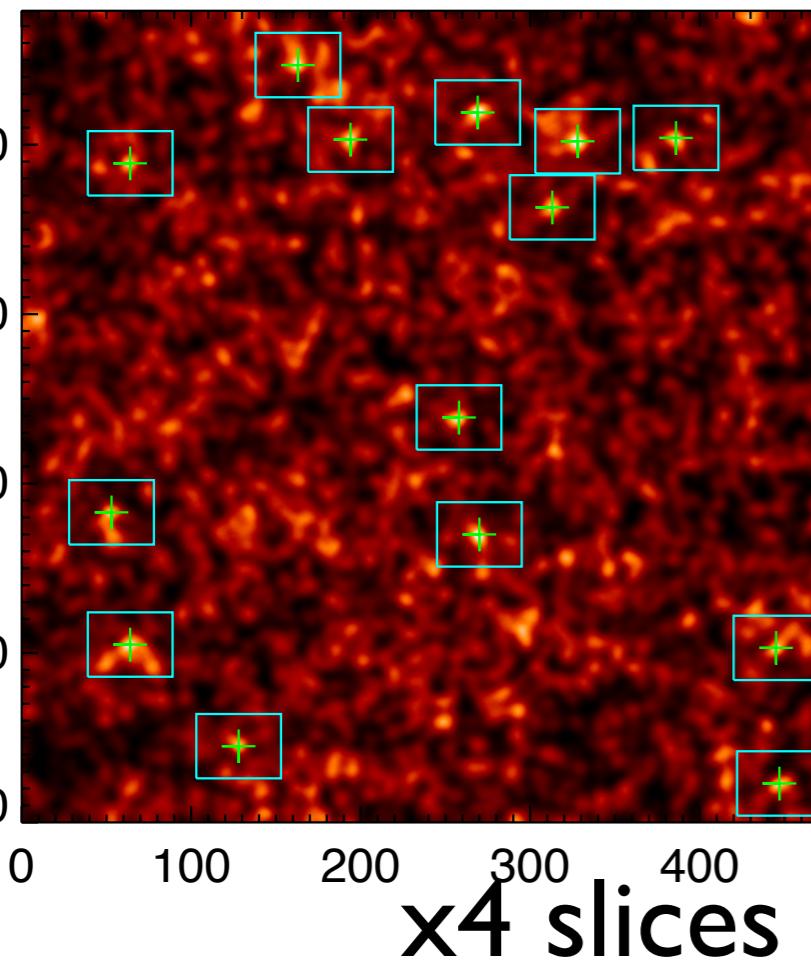


# Density field (simulated)



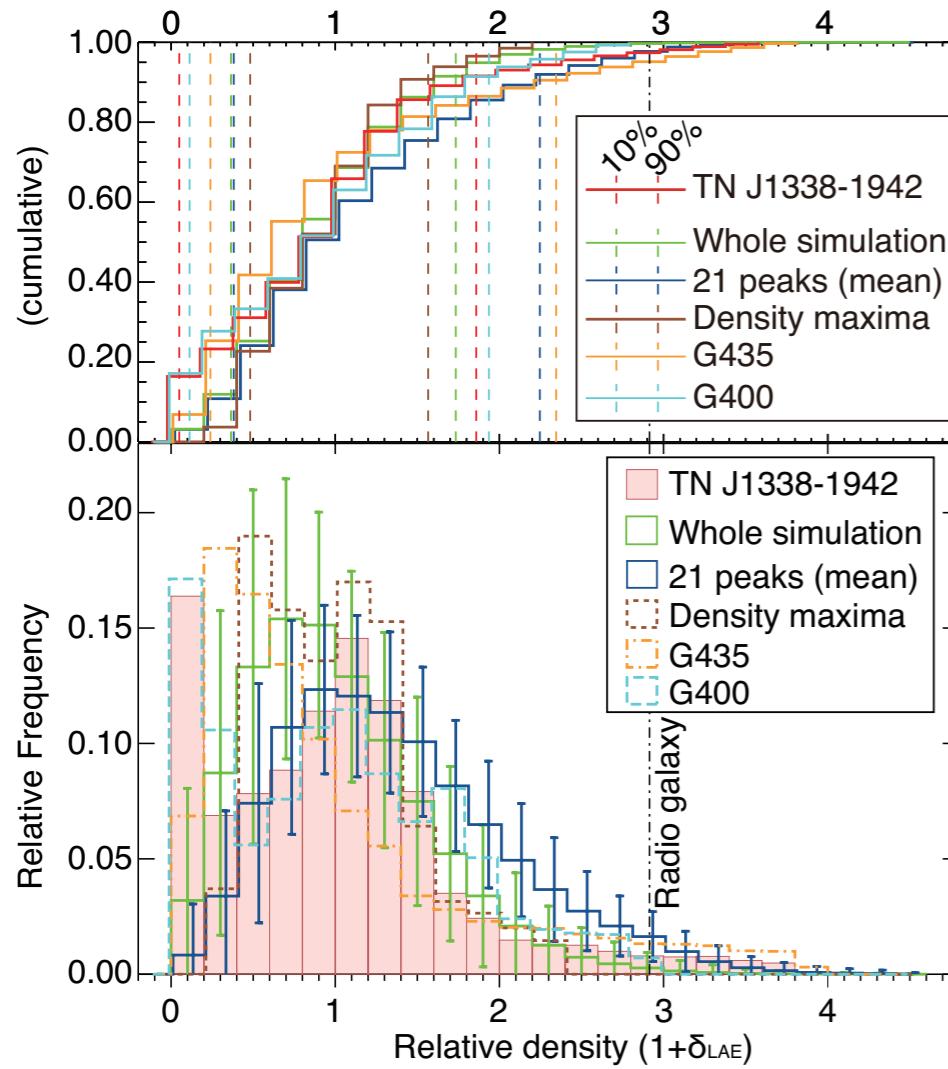
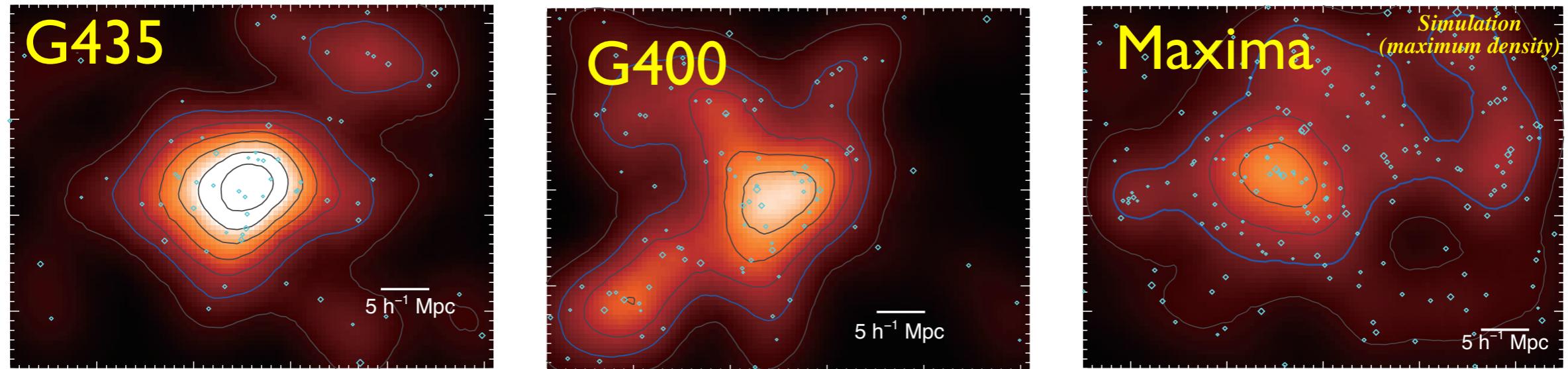
- LAEs の空間分布を、半径  $4/h$  Mpc (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(左上)。正しい数密度は不明なので、平均密度で normalise (~2.4倍)。
  - 電波銀河の位置での密度以上のピークを94カ所同定。数密度は  $6.4 \times 10^{-8} \text{Mpc}^{-3}$ 、高密度な 0.4%-ile に相当する。
  - ピーク密度最大の領域では高いコントラストは再現できない。3領域が  $\text{Gini} \geq 0.4$ 、21領域が平均を超える  $\text{Gini}$ 。

# Density field (simulated)



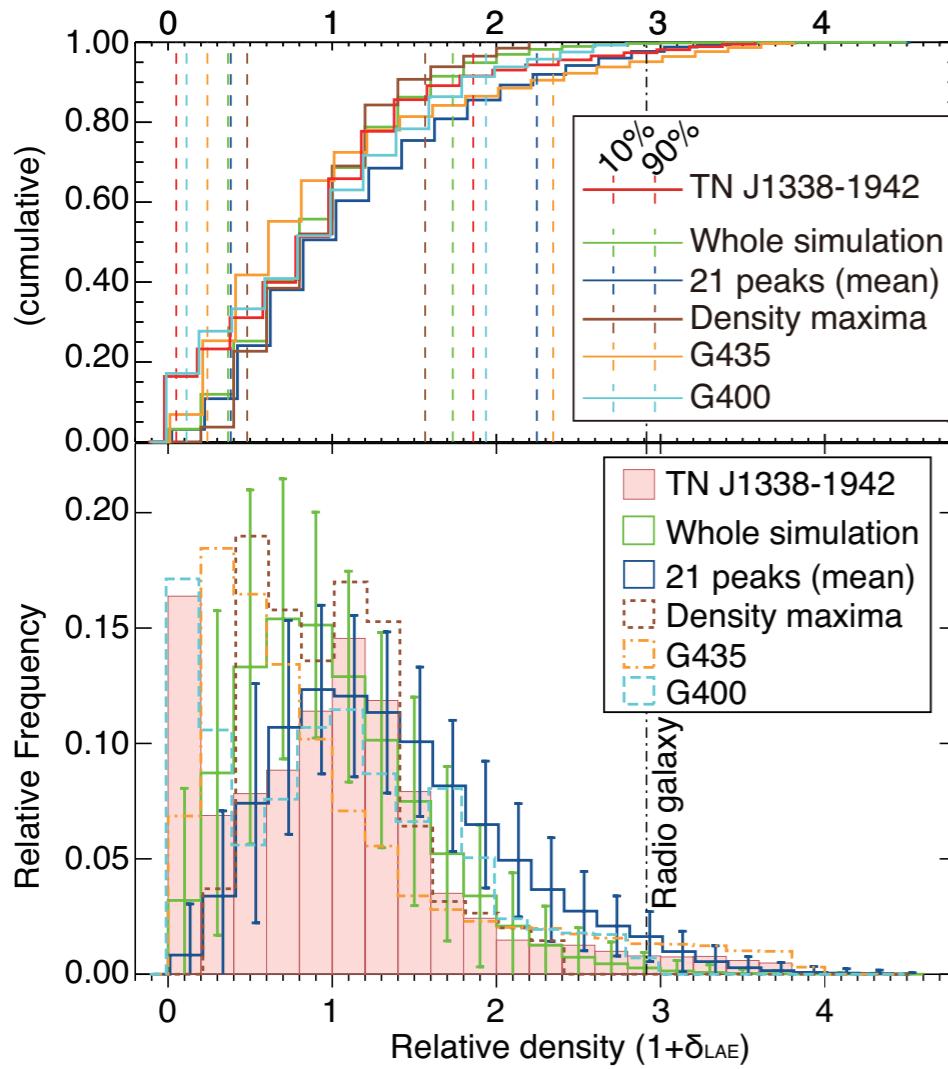
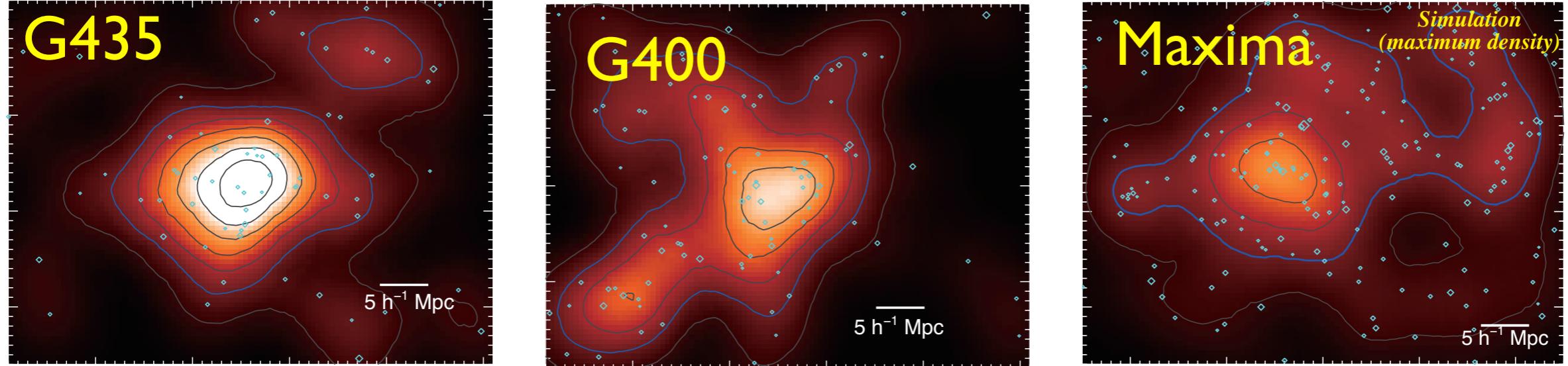
- LAEs の空間分布を、半径  $4/h$  Mpc (comoving) で smoothing し、密度マップを得た(左上)。正しい数密度は不明なので、平均密度で  $n_{\text{H}}$  とした。
- 数密度は既知の  $z>2$  電波銀河と同程度
- Coma cluster の祖先とも同程度 (Chiang+13)
- 電波銀河の密度は  $6.4 \times 10^8 M_{\odot} h^{-1}$
- ピーク密度
- 密度分布を再現できる領域の数密度は、既知の  $z>2$  電波銀河より小さい。
- ない。3領域が  $\text{Gini} \geq 0.4$ 、21領域が平均を超える  $\text{Gini}$ 。

# Density field (simulated)



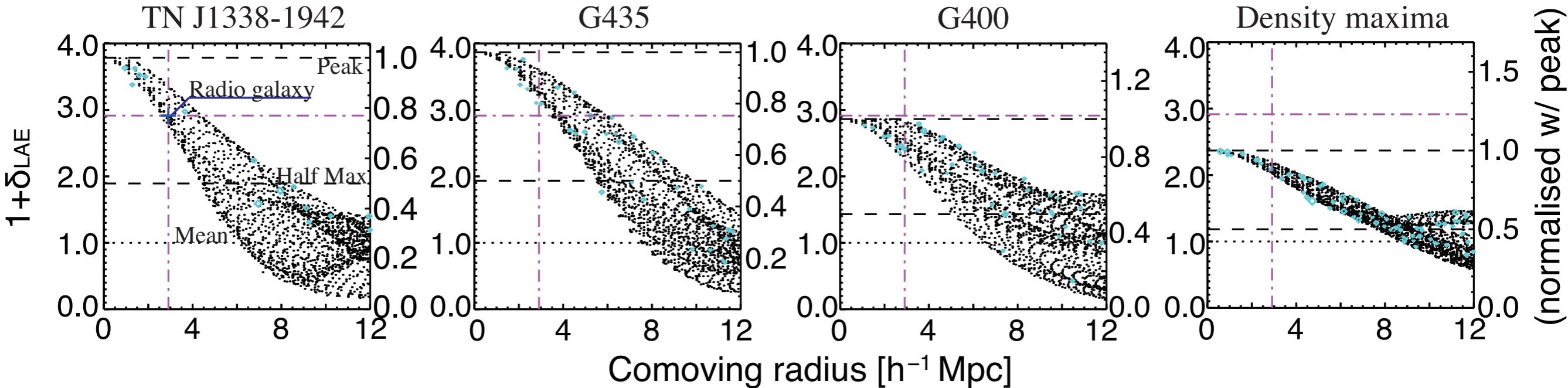
- 各条件で SCam I 視野分の領域内の密度分布を得た。
  - ランダムな400箇所 (緑)
  - $\delta > 2.8$  のピーク94箇所中 Gini が平均を上回る21箇所(青)
  - シミュレーション体積中最大密度のピーク(茶)
  - Gini が最大となる領域 ( $G=0.435$ , “G435”、 橙)
  - void fraction が最大となる領域 ( $G=0.400$ , “G400”、 シアン)
- ランダムおよび最大密度の領域では分布を再現できず。
- 密度分布(ヒストグラム)の再現性では G400 がベスト。

# Density field (simulated)



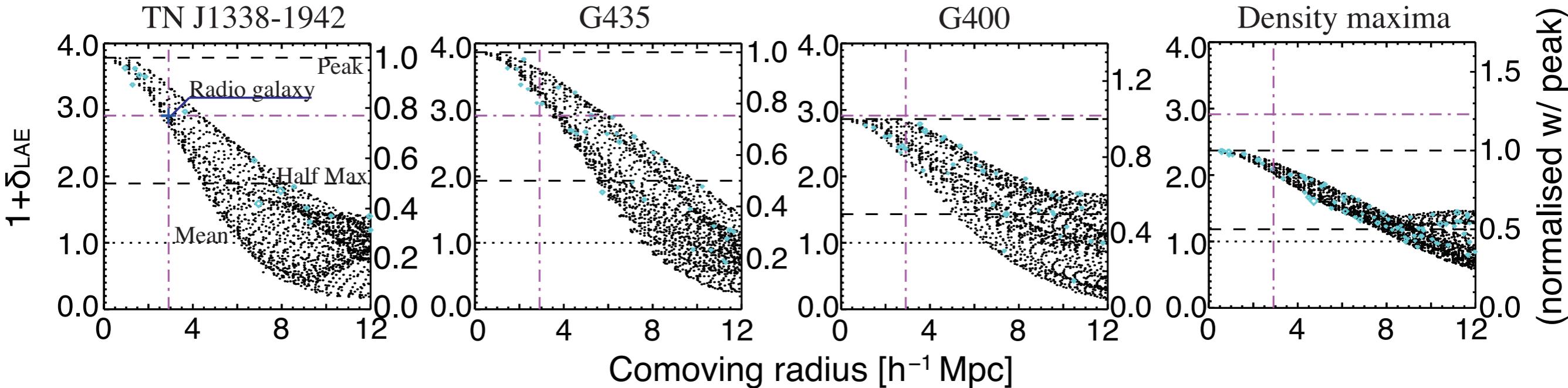
- 各条件で SCam I 視野分の領域内の密度分布を得た。
  - ランダムな 400 箇所 (緑)
  - $\delta > 2.8$  のピーカー 94 箇所中 Gini が平均を上回る 21 箇所 (青)
  - シミュレーション体積中最大密度のピーカー (茶)
  - Gini が最大となる領域 ( $G=0.435$ , “G435”, 橙)
  - void fraction (voidfrac) 密度分布を再現できるのは、  
およそ 1 箇所程度。 (完全ではない)
- ランダムおよび最大密度の領域では分布を再現できず。
- 密度分布(ヒストグラム)の再現性では G400 がベスト。

# Density-peak profiles



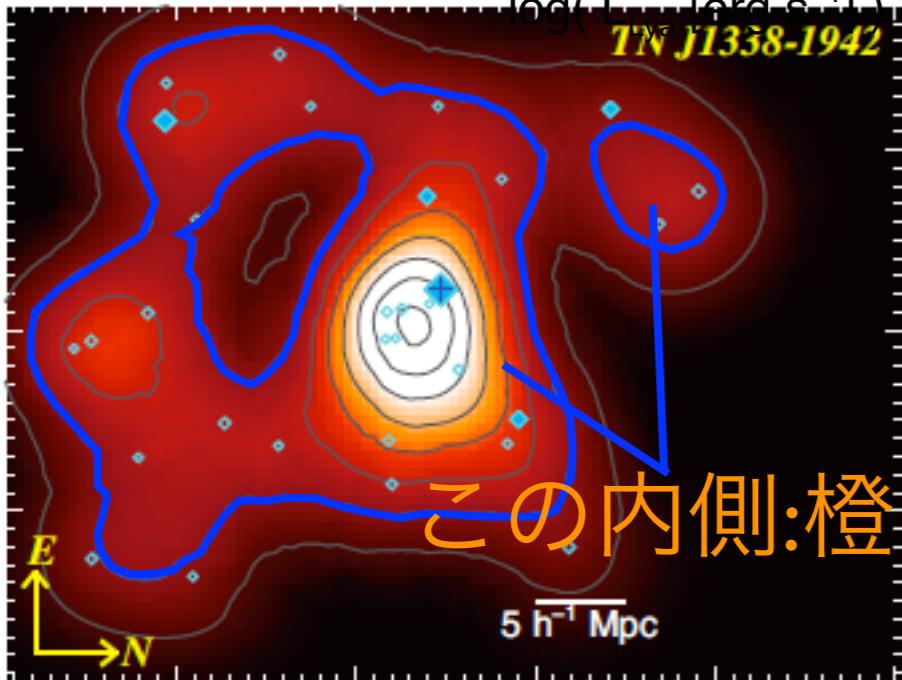
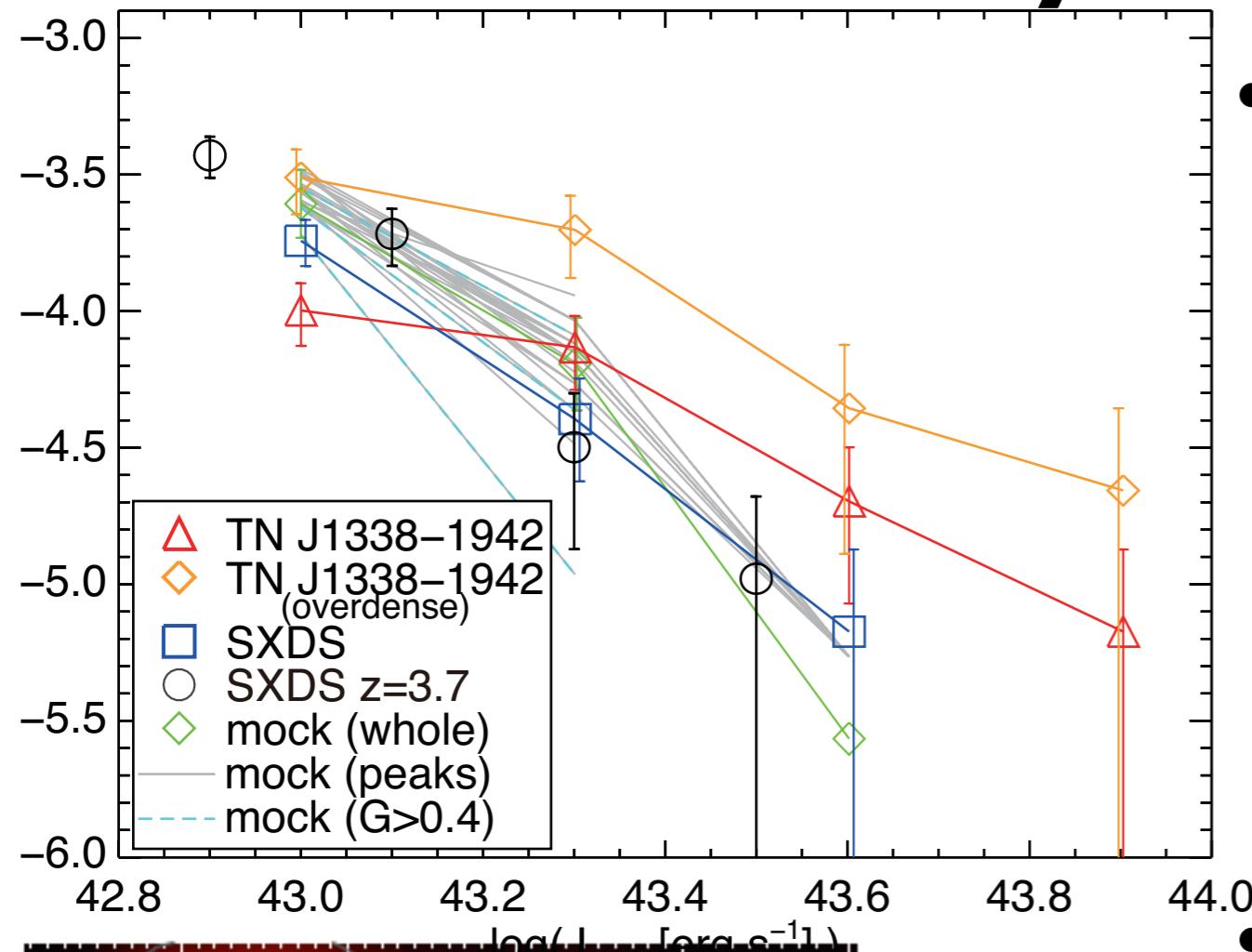
- LAE 面密度ピークを中心とした radial profile。(密度は視野内平均で規格化した)
  - Spherical collapse を仮定、物質降着のスケール  $\sim 9 h^{-1} \text{Mpc}$  (comoving) と見積もられた。
  - 急峻かつ孤立したプロファイルは、(予想通り) Gini の大きなピークで再現された。
- 観測(左) とシミュレーション(右3枚) の比較:
  - ほとんどの領域では、シミュレーション全体の平均で規格化するとピーク密度が下がる。==> 観測を再現しているのは極めて希。例外が G435。
  - ピーク幅 (i.e., 物質降着のスケール) も含めて再現性が高いのはほぼ唯一。

# Density-peak profiles



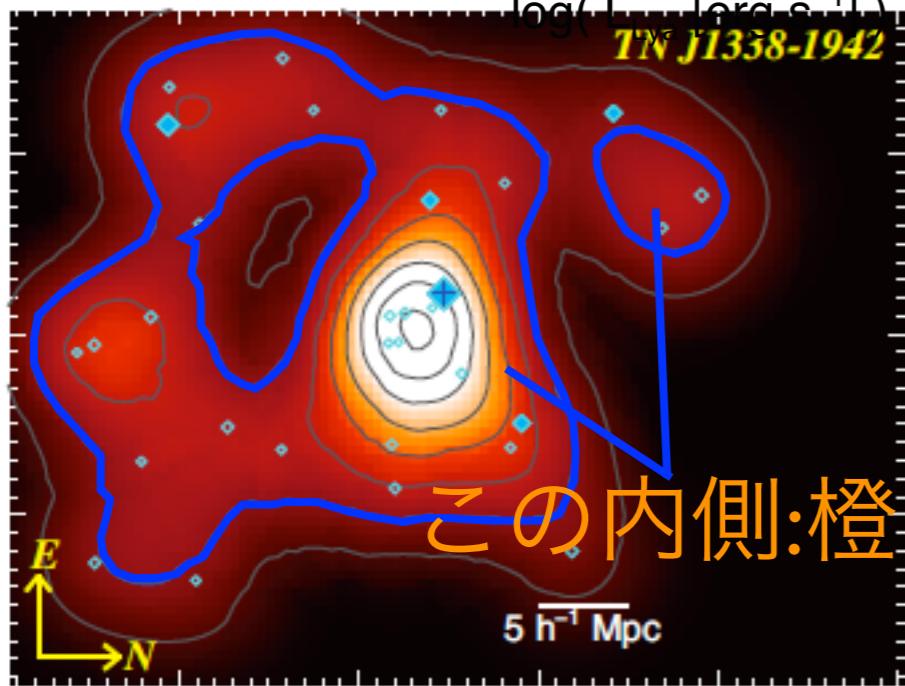
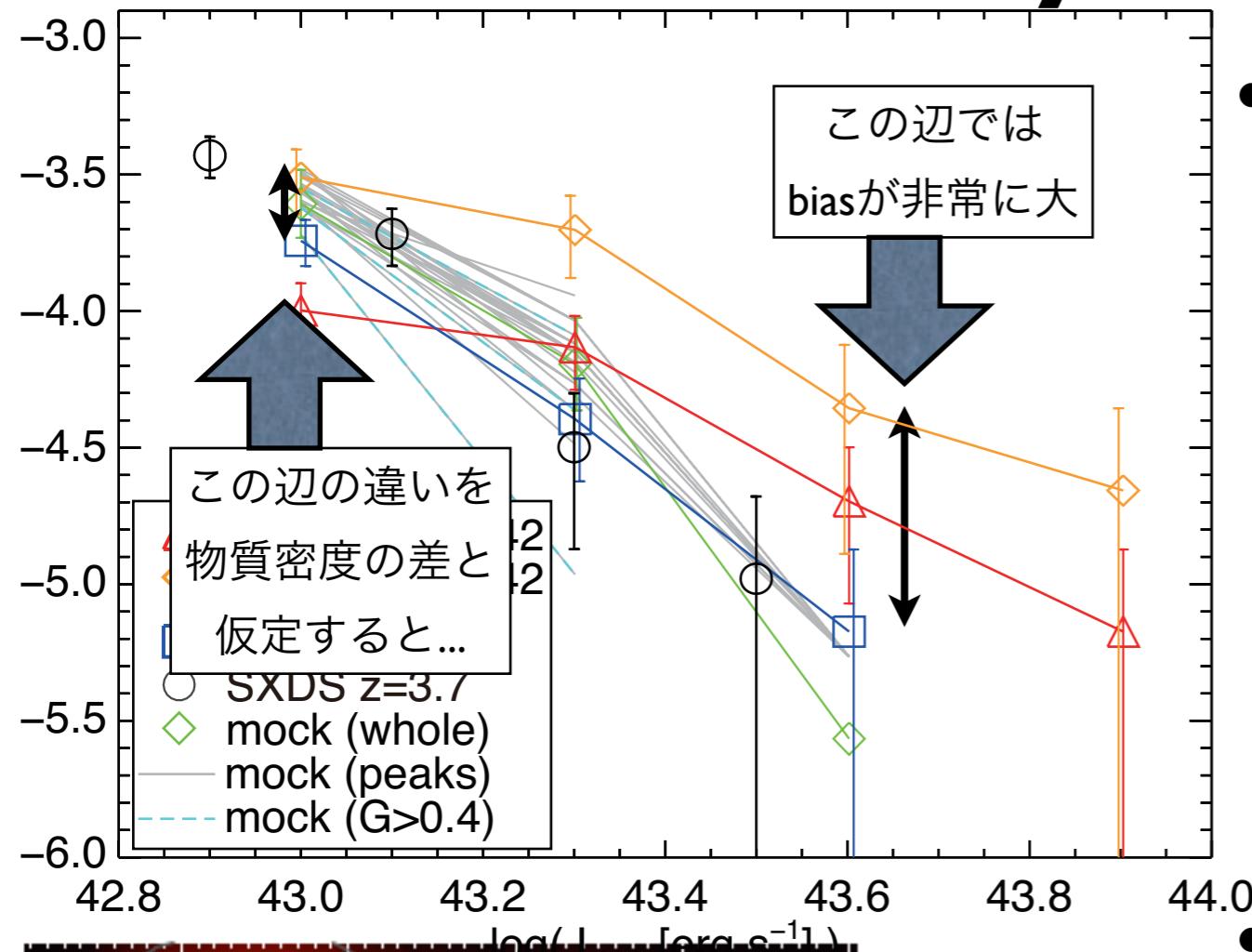
- LAE 面密度ピークを中心とした radial profile。(密度は視野内平均で規格化した)
  - Spherical collapse を仮定、物質降着のスケール  $\sim 9 h^{-1} \text{Mpc}$  (comoving) と見積もられた。
  - 急峻かつ孤立したプロファイルは、(予想通り) Gini の大きなピークで再現された。
- 観測(左) とシミュレーション(右)
  - ヒストグラムをより再現するのは G400
  - プロファイルをより再現するのは G435
- ほとんどの領域では、シミュレーションの密度が観測よりも下がる。==> 観測を再現しているのは極めて希。例外が G435。
- ピーク幅 (i.e., 物質降着のスケール) も含めて再現性が高いのはほぼ唯一。

# Luminosity function (LF)



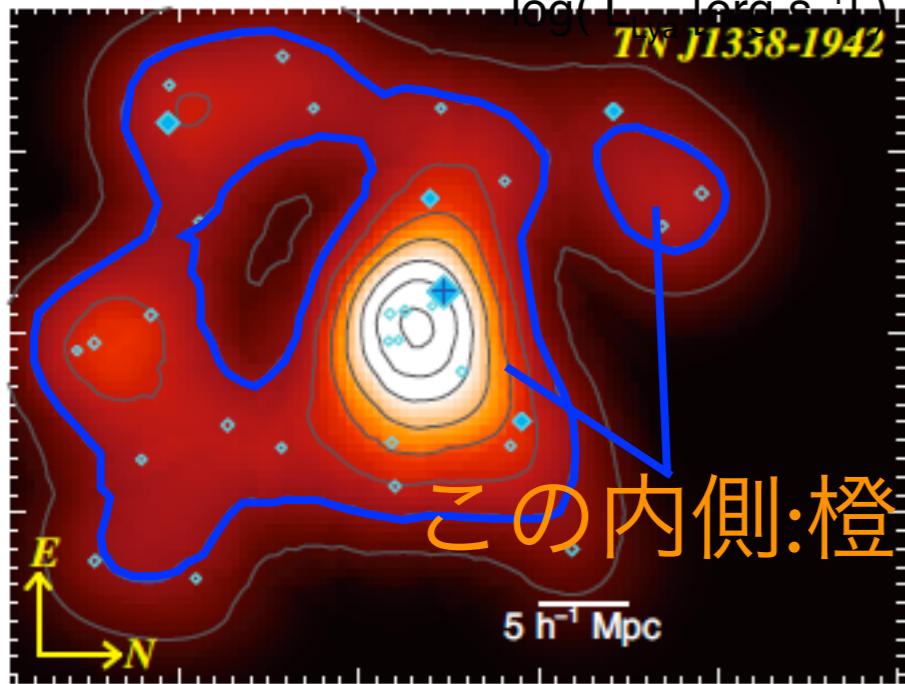
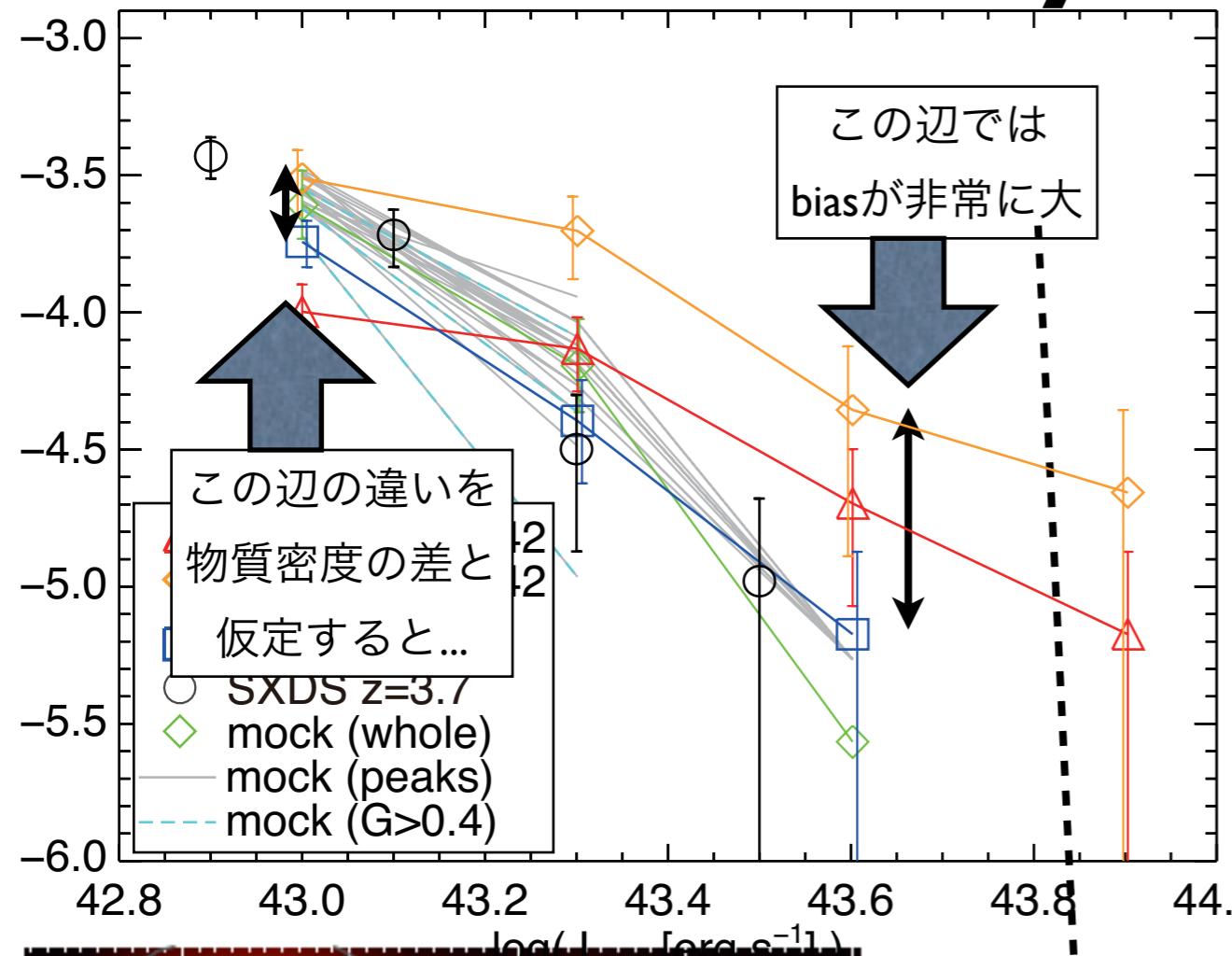
- 電波銀河領域と一般領域のLy $\alpha$  LFを比較。  
TNJ1338では高密度( $\delta > 0$ )領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
  - SXDS は Ouchi+08 の  $z=3.7$  Ly $\alpha$  LF と良く一致。基準として妥当である。
  - TNJ1338 は高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。  
[環境による星/銀河形成のモードの違い?](#)
- モデルと観測の LF を比較。
  - 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
  - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない(含 high-Gini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

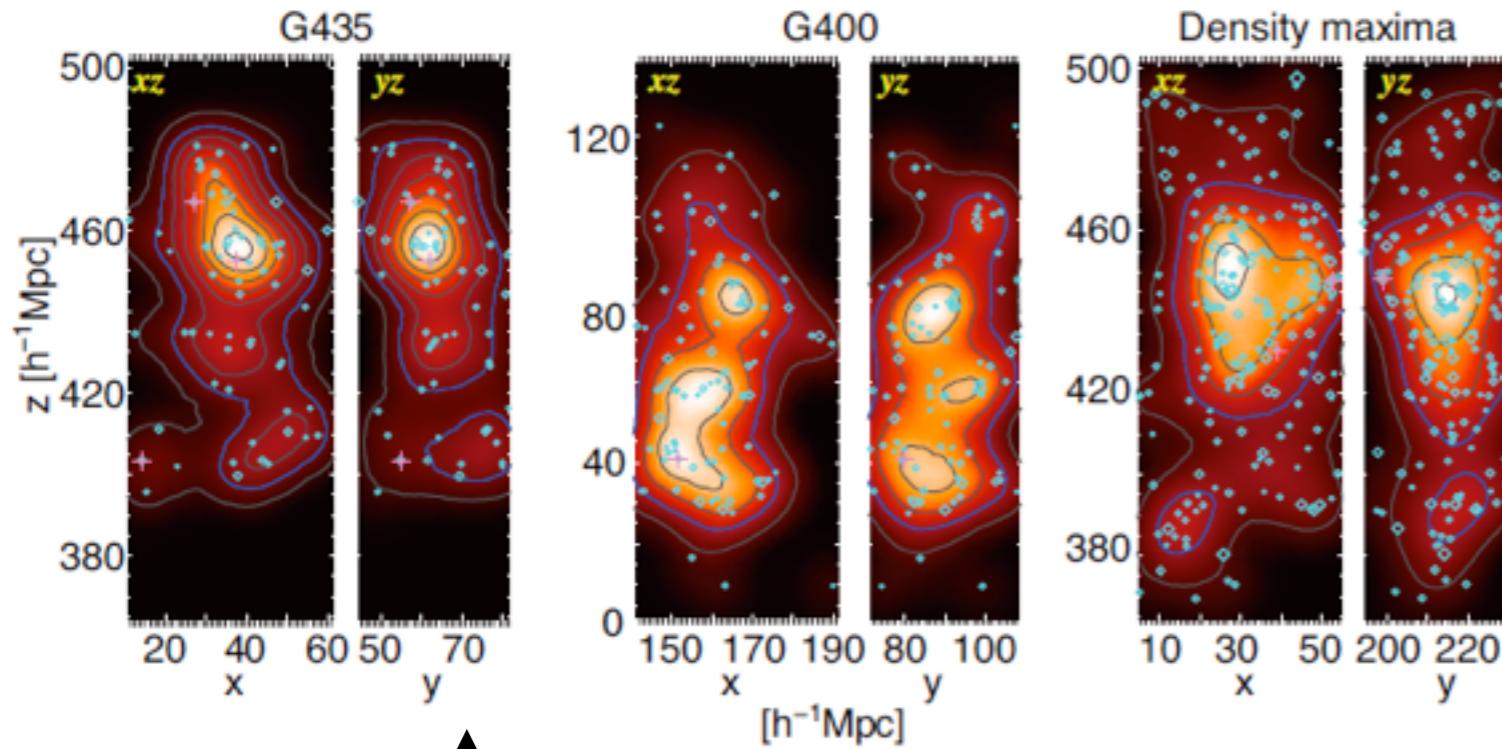


- 電波銀河領域と一般領域のLy $\alpha$  LFを比較。  
TNJ1338では高密度( $\delta>0$ )領域のみのサブサンプルでもLFを求めた。
  - SXDS は Ouchi+08 の  $z=3.7$  Ly $\alpha$  LF と良く一致。基準として妥当である。
  - TNJ1338 は **高光度側の天体が有意に増加し、低光度側が相対的に減少。**  
[環境による星/銀河形成のモードの違い?](#)
- モデルと観測の LF を比較。
  - 全体の平均は SXDS と良い一致を示す。
  - 密度ピーク周辺でも LF の形は有意には変わらない(含 high-Gini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

# How can we verify our results...?

- 観測 -- より深い(complete な) サンプルと、分光観測が必要。
  - 深い一様な撮像観測 : HSC + NB624 (?) filter
  - 系統的な分光追観測 : PFS
    - 本当にこの環境がリアルか？
    - AGN の寄与はいかほどか？
- 理論 -- 何かしら改善すべし(... 教えて下さい)
  - bright end LAEs (例外的なSB・AGN)の扱い
  - 大規模な計算が必要？

# 3-D density field



現時点できえること

空間的に成長しそうな高密度領域  
では説明がつかない。



観測者

これが物理的に  
何を意味する？

- “G400/G435 は本当に高密度領域か”
- 視線方向に  $112/h \text{ Mpc}$  の smoothing
- filament? multi clumps?  
**Maybe Yes.**
- Dark halo mass との関係は？
- 最大質量のDHは high-Gini 領域には含まれていない。
- Maxima 周辺の最大 DH 質量は  $1.7 \times 10^{12} \text{ Mo}$  **No significant correlation, so far...**

Table A1. Density measurements around the high-density peaks

Field	$N_{\text{tot}}^a$	$\max(1 + \delta_{\text{LAE}})^b$	$N(\delta_{\text{LAE}} > 0)^c$	$N(\delta_{5\text{th}} > 0)^d$	$N(\delta_{10\text{th}} > 0)^d$	$N(\delta_{20\text{th}} > 0)^d$
G435	66	3.9	39 (34)	16	10	1
G403	112	2.8	74 (84)	38	27	2
G400	92	2.9	69 (73)	27	6	0
Density maxima	192	2.4	121 (174)	74	53	43
TN J1338-1942	30 <sup>e</sup>	3.8	26 <sup>e</sup>	-	-	-
(SXDS) <sup>f</sup>	34	2.4	29	-	-	-

↑local/global density を用いた密度分布の測定

# Summary

- 巨大な 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 ( $L_{\text{Ly}\alpha} > 10^{43} \text{ erg/s}$ )を使って環境(銀河密度)を調べた。
- 電波銀河は平均密度の約4倍のピークを持つ高密度領域にあった。
- 高密度領域は  $3\text{-}6 \text{Mpc}$  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 0.4% 以下、その数密度は  $\sim 6.4 \times 10^{-8} \text{ Mpc}^{-3}$ 。高いコントラストを示すものはさらに 1 行少なく、 $z > 2$  電波銀河より少ない。
- 密度分布をある程度再現した領域も、光度関数の変化は再現できない。  
**LABs は非常に特異な環境に発現。**