

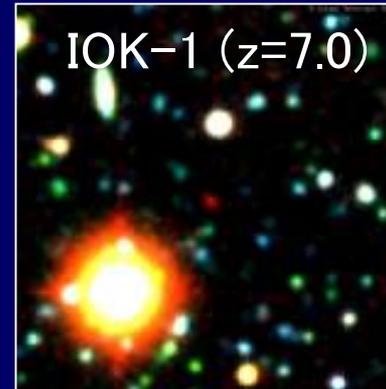
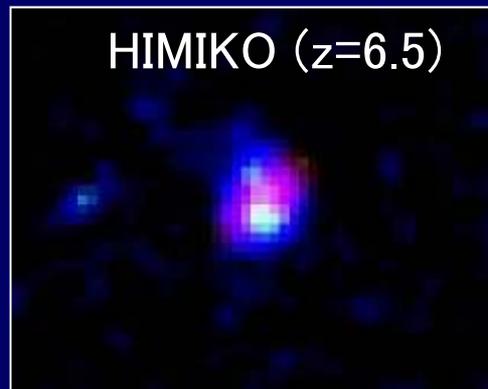
2009/9/11

TAO近赤外観測装置のサイエンス

# 遠方銀河 ( $z > 4$ ) の観測

東大・天文教室 嶋作一大

1. 宇宙再電離時代の銀河探査
2. 原始銀河団の観測
3. 独自性を出すには？ HSC 深探査領域を観測しよう



# 1. 宇宙再電離時代の銀河探査

# 宇宙再電離の謎

宇宙再電離は  $6 < z < 15$  の間に起きた  
3-10億歳

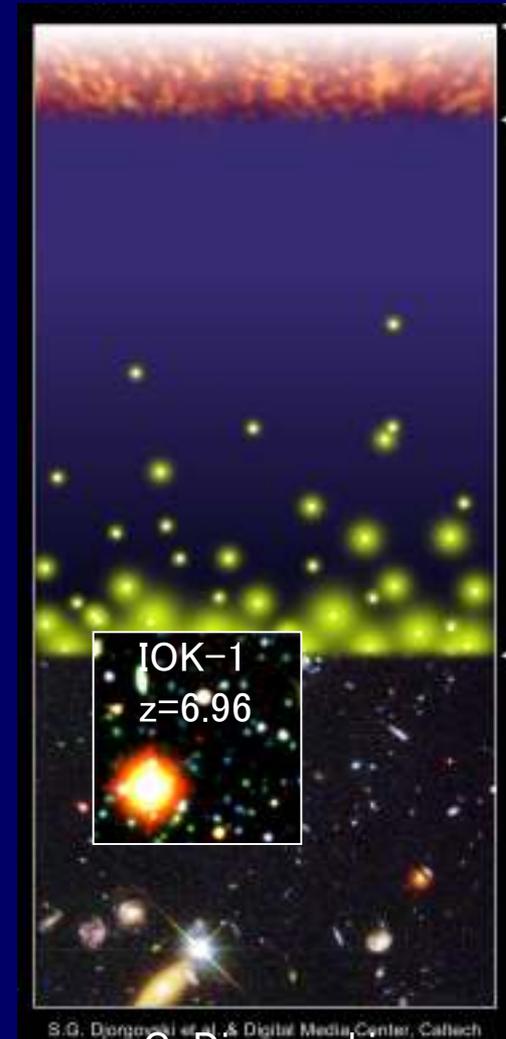
## 再電離の謎

- いつ?
- どのように? (ionizing bubbles)
- 電離源は?
- 銀河や AGN の性質
- first stars の性質

$z < 7.5$  は Hyper Suprime-Cam で研究

$z > 10$  は JWST や TMT に任せる

TAO は  $7 < z < 10$  をやる



ビッグバン  
(0歳)

初代の銀河  
(1億歳?)

再電離  
(数億歳?)

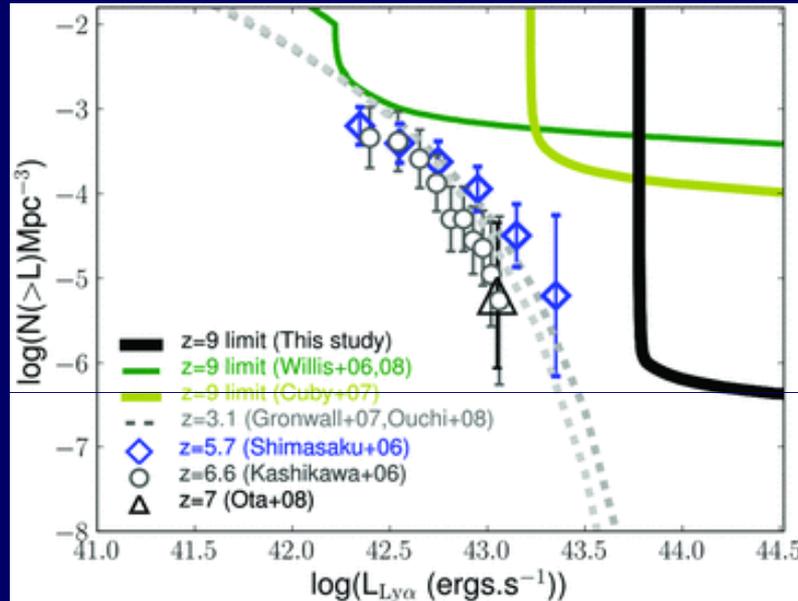
現在  
(137億歳)

G. Djorgovski

# 2つの銀河種族

## Lyman $\alpha$ 銀河

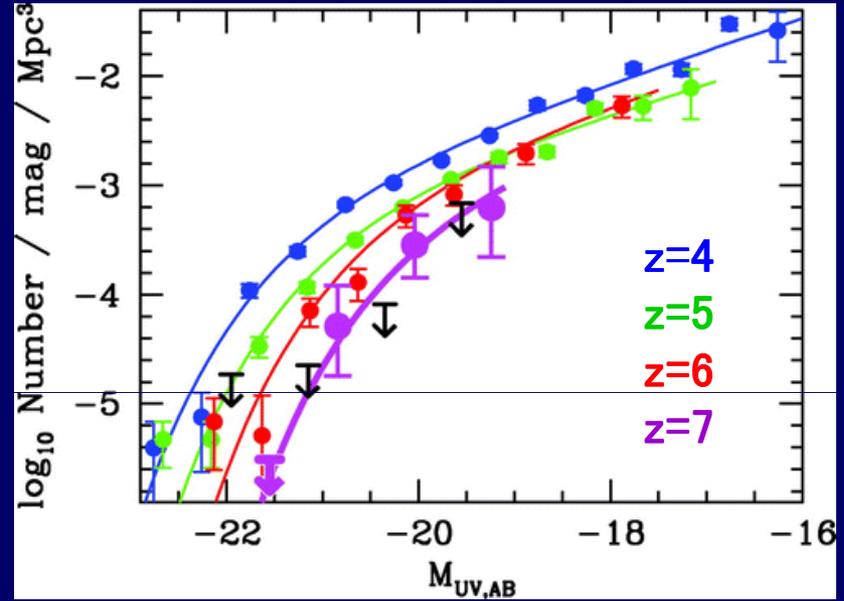
Lyman  $\alpha$  輝線の強い銀河



Sobral et al. 2009

## Dropout 銀河

遠紫外連続光の強い銀河



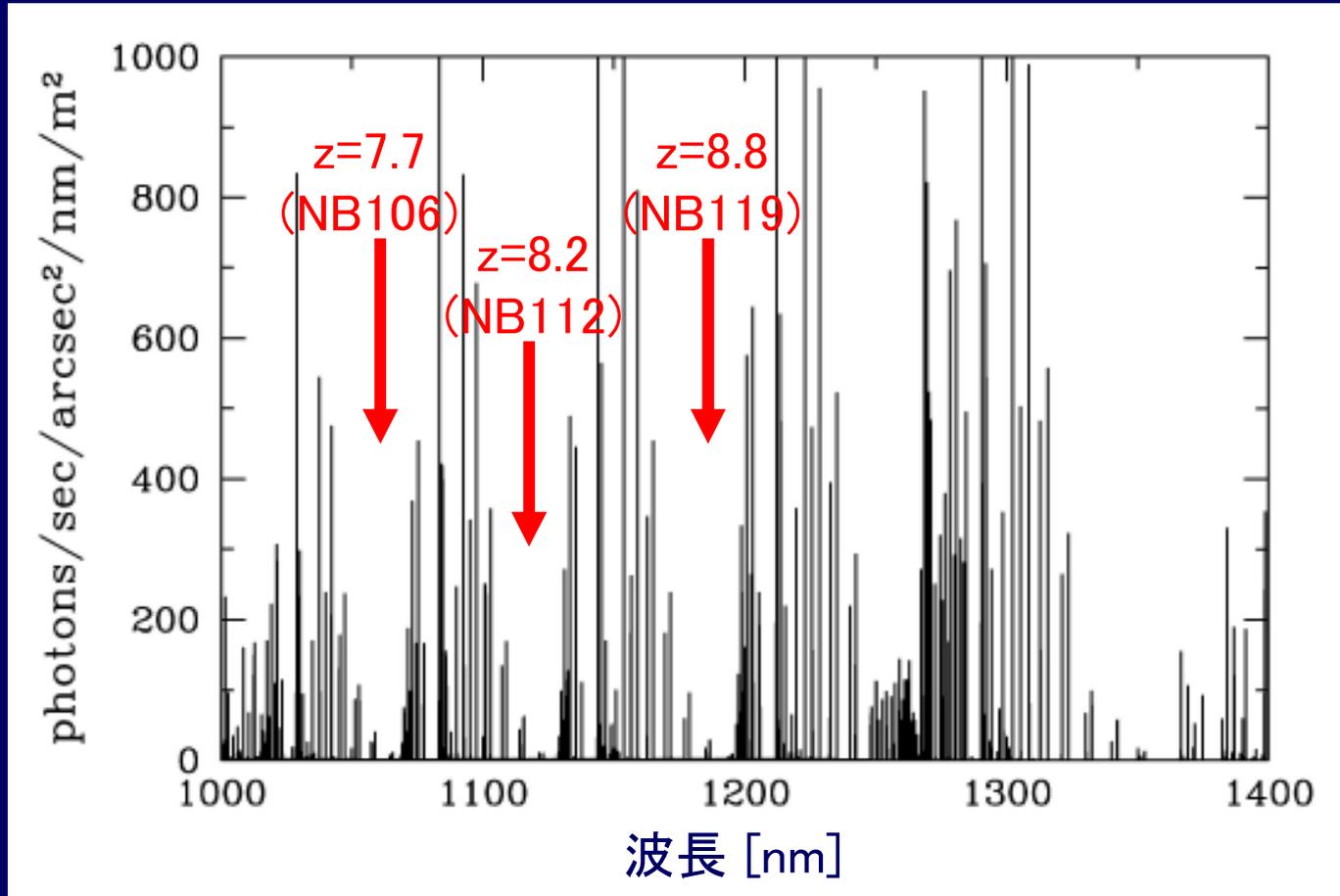
Bouwens et al. 2008

- 遠方宇宙の主要な銀河種族  
(どちらの種族も  $z > 6$  で数が減る  $\Rightarrow$  銀河の形成期?)
- 電離源の候補として、あるいは、再電離過程のプローブとしても重要

TAO で  $z > 7$  の両種族を探查

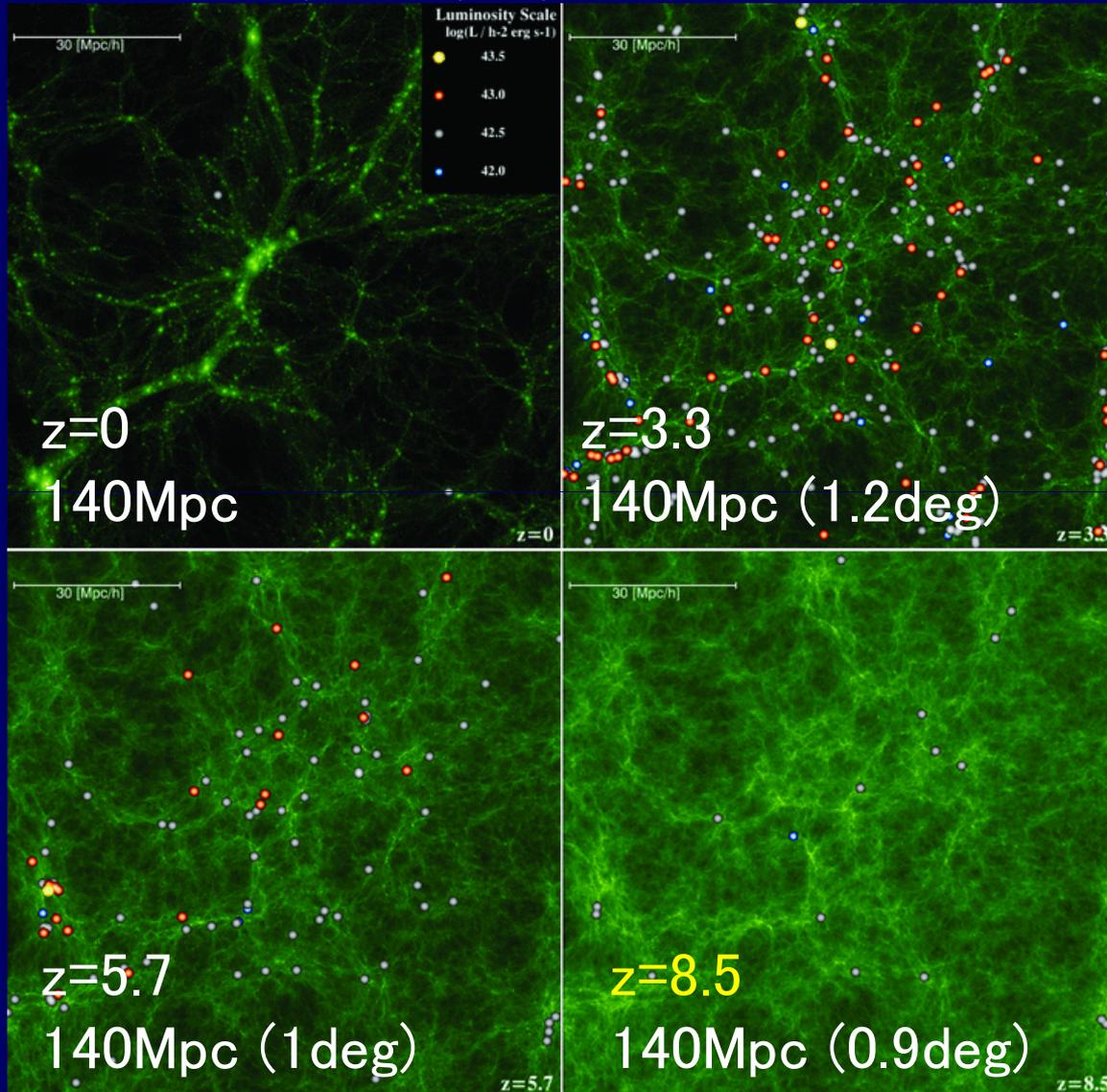
# Lyman $\alpha$ 銀河の探査

## 夜光のスペクトル



# モデルが予想するLyman $\alpha$ 銀河の天球分布

Orsi et al. 2008, MNRAS, 391, 1589

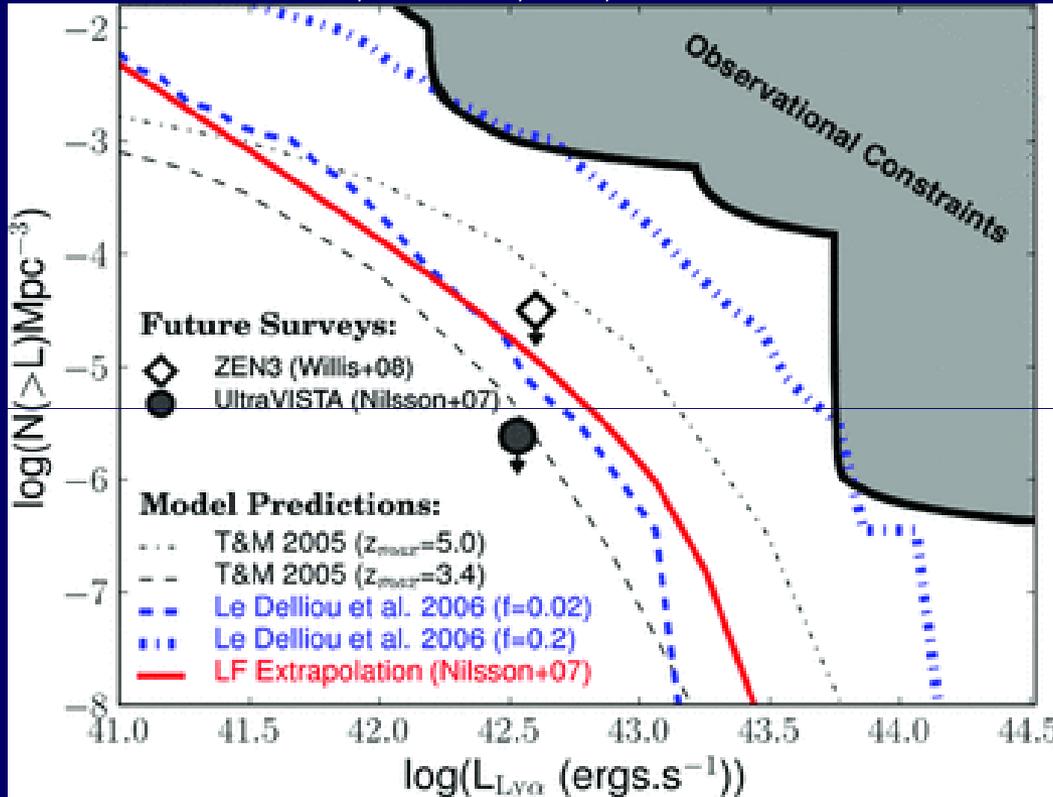


遠方に行くほど

- 明るいものが減る  
( $1E+42 \text{ erg/s}$  程度)
- clustering が強くなる  
(100Mpcスケール)

# $z \sim 9$ の Lyman $\alpha$ 銀河の数密度

Sobral et al. 2009, MNRAS, 398, L68



発見するには

$$L(\text{Ly } \alpha) < 3\text{E}+42 \text{ erg/s}$$

$$\Leftrightarrow 3\text{E}-17 \text{ erg/s/cm}^2$$

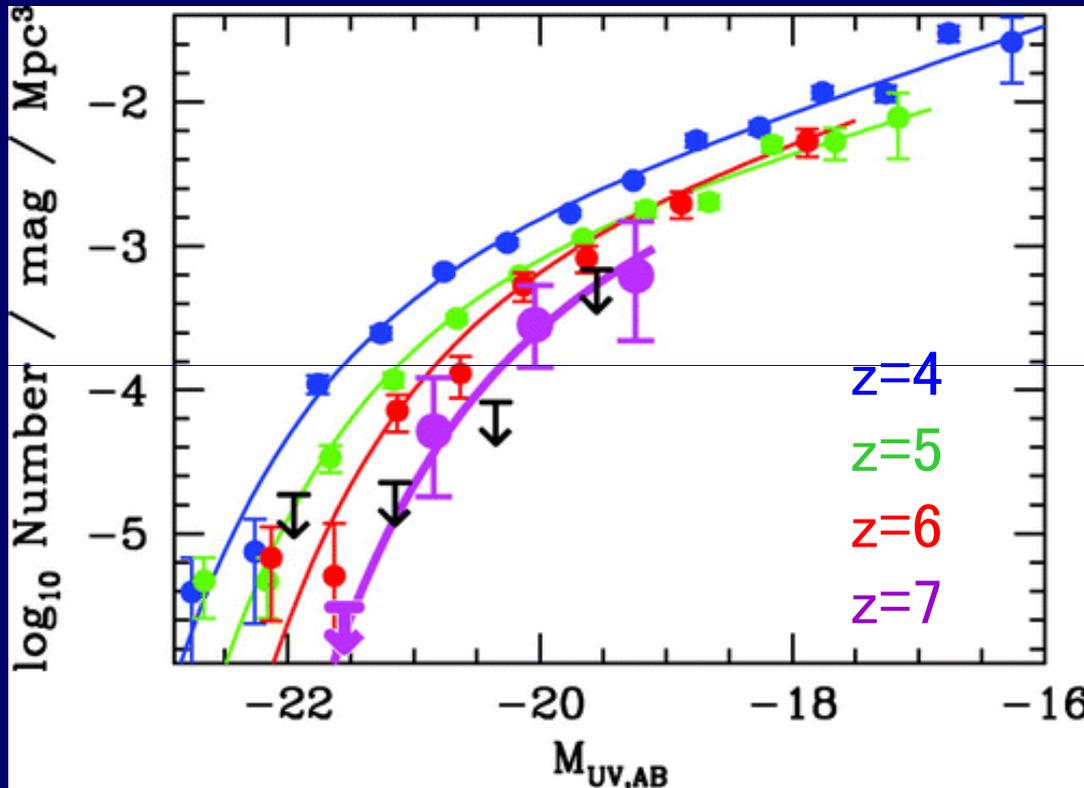
$$\text{volume} > 1\text{E}+5 \text{ Mpc}^3$$

$$\Leftrightarrow 0.2 \text{ 平方度}$$

が必要

# Dropout 銀河の探査

## Dropout 銀河の光度関数



見かけ等級 **26mag** は  
-20.9 at  $z=7$  (z-drop)  
-21.1 at  $z=8$  (Y-drop)  
-21.3 at  $z=9$  (J-drop)

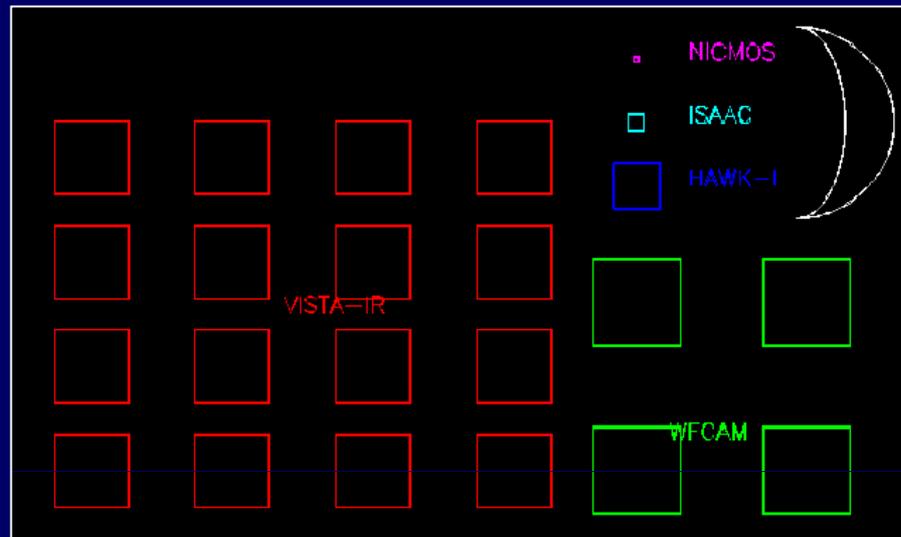
遠方で数密度が急減  
⇒  $z > 7$  では、最低でも  
 $1E+6 \text{ Mpc}^3$  が必要  
 $\Delta z=0.5$  では **0.3平方度**

Bouwens et al. 2008



# VISTA 望遠鏡 (ESO)

Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy



口径 4.1m

Paranal (2635m)

2010年から観測開始？

16 枚の検出器 = 0.6平方度

0.34arcsec/pix

PSF = 0.51arcsec (telescope+camera)

Z,Y,J,H,Ks,NB118

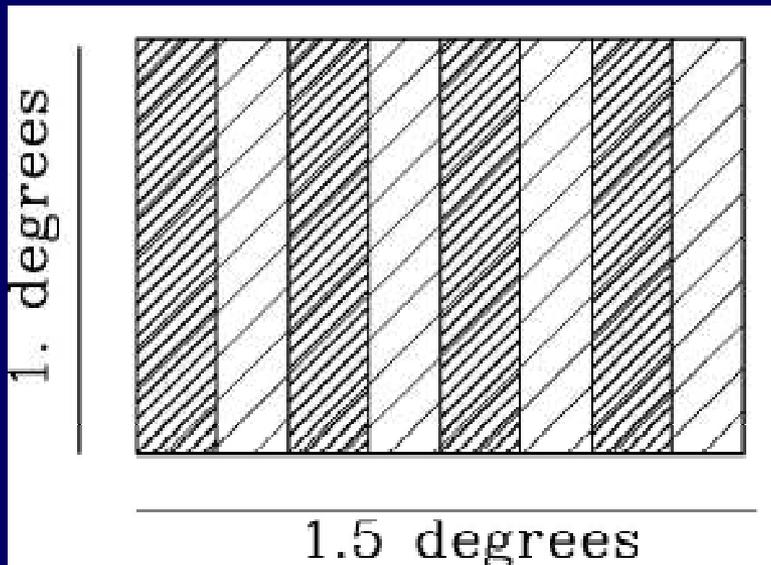
75%は大規模パブリックサーベイ (236夜/年)

- サーベイスピードは圧倒的
- TAO は、口径、標高、PSF、AO で上回るが...

# Ultra-VISTA

Dunlop et al.

6つのパブリックサーベイの1つ



**0.8平方度**

COSMOS field

Y=26.7 (200hr) **すべて5 $\sigma$ , AB**

J=26.6 (200hr)

H=26.1 (200hr)

K=25.6 (200hr)

NB118=26? (90hr)

**2014年完了**を予定

## サイエンス

- dropout 銀河 (個数は  $LF(z=6)$  が無進化の場合)
  - $z=6.3$  (i-drop, 560個),  $z=7.5$  (z, 450),  $z=8.5$  (Y, 180),  $z=10$  (J, 6)
- Lyman  $\alpha$  銀河
  - $z=8.8$  (NB118= $3.7E-18$  erg/s/cm<sup>2</sup>, 15-30個)
- mass-selected galaxies at  $z=1.5-5$
- QSOs at  $z>3$

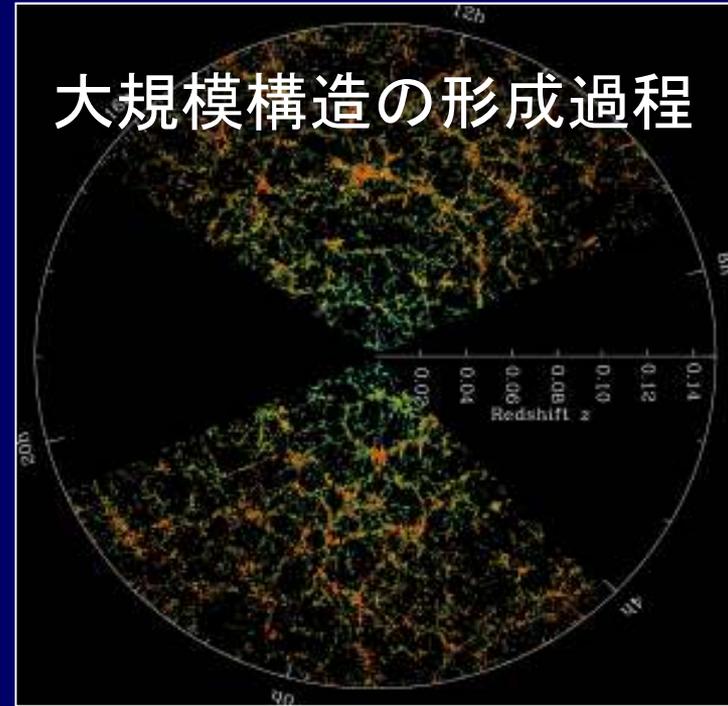
## 2. 原始銀河団の観測

# 原始銀河団の重要性

楕円銀河の形成過程、  
形態-密度関係の起源



大規模構造の形成過程

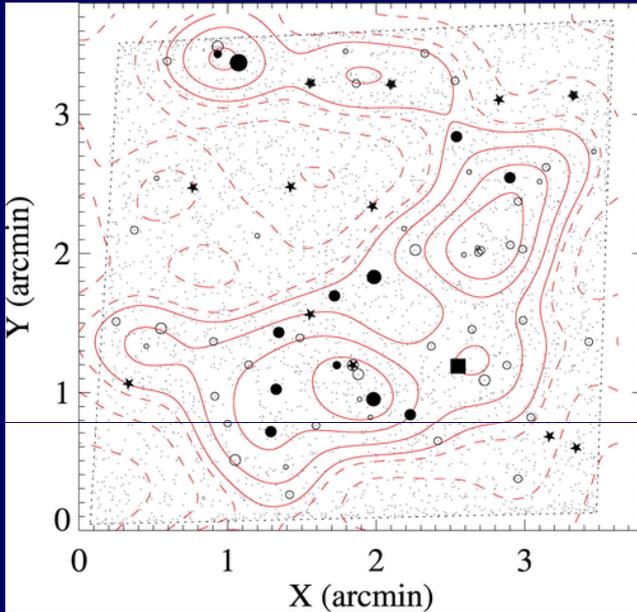


原始銀河団（や原始大規模構造）では、  
どんな銀河がどう分布しているのか？  
できるだけ過去で調べたい

# 見つかっている原始銀河団

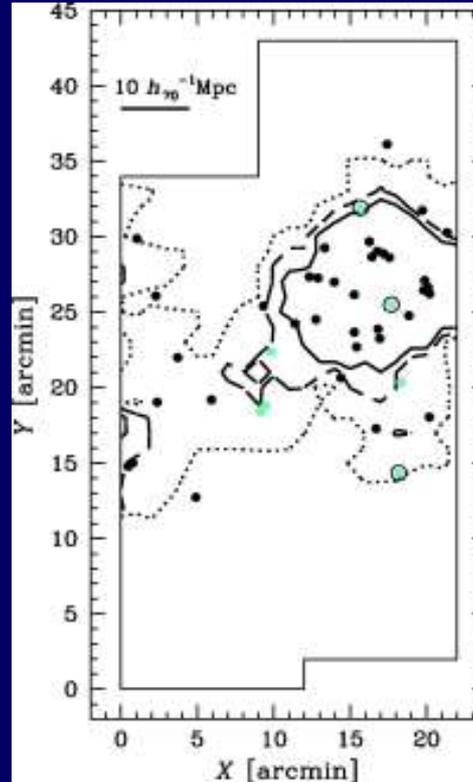
$z=4.1$

Overzier et al. 2008



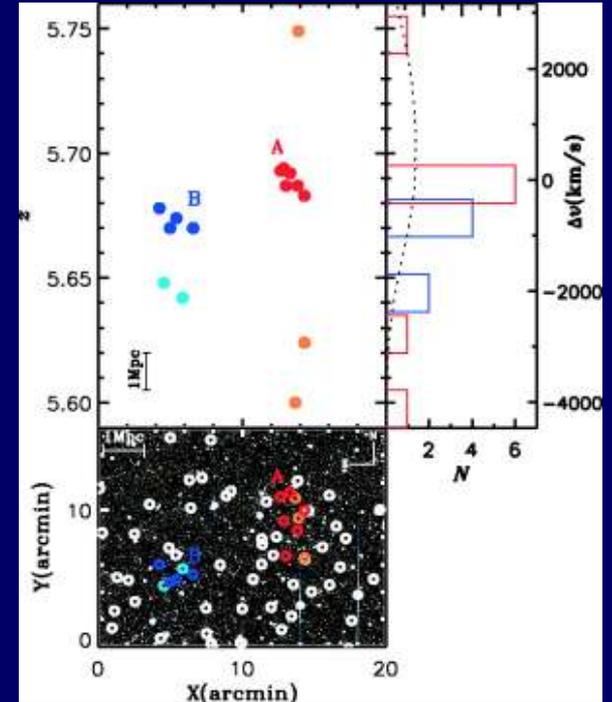
$z=4.9$

Shimasaku et al. 2003



$z=5.7$

Ouchi et al. 2005



- どれも数分から 10 分の大きさ  $\Rightarrow$  TAO NIR Camera にぴったり
- NIR の観測はきわめて乏しい (暗いから)

# 何をどうやって調べるか

## (0) $z > 4$ の原始銀河団の探査

- Hyper Suprime-Cam “Deep Survey”
- 電波銀河、QSO、サブミリ銀河を目印にする
- 原始大規模構造

約10平方度  $\Rightarrow 1E+8 \text{ Mpc}^3 \Rightarrow 10^2$  原始銀河団  
分光同定は可視で行なう

## (1) TAO で撮像観測

分光銀河の静止系可視の SED  $\Rightarrow$  銀河の星種族  
分光銀河の形態  
old/dusty な銀河の探査

## (2) TAO で分光観測

[OII] から星形成率を推定  
4000Å break をトレース

可視で見つけて、TAO で物理を調べる

### 3. 独自性を出すには？

Hyper Suprime-Cam 深探査領域を観測しよう

# TAO の強み

## 装置の強み

- 広い視野
- 2波長同時観測
- 大口径
- 広い大気の窓
- 視野全体の AO

## 運用の強み

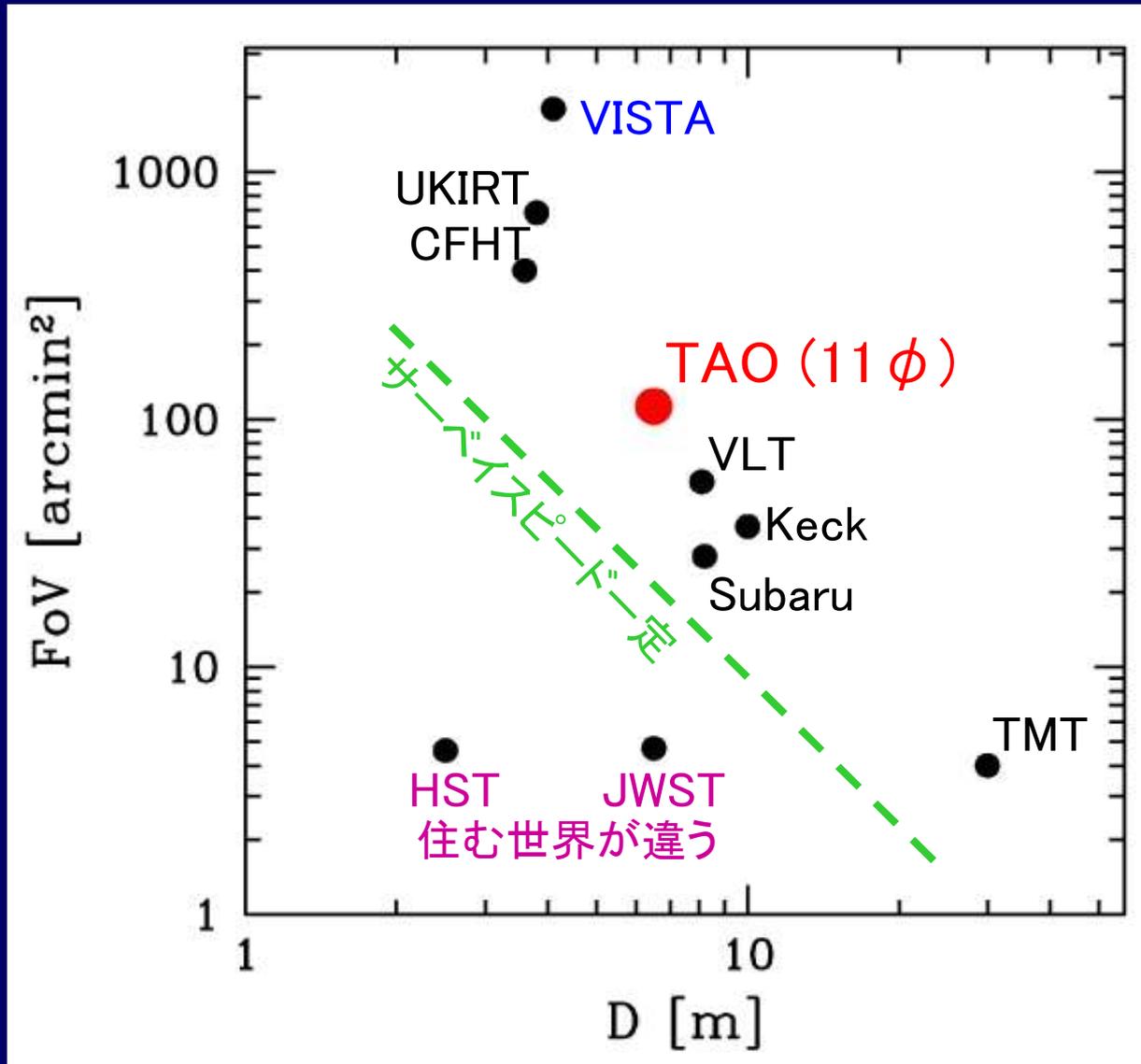
- 時間の集中投資
- 柔軟な運用

しかし 10 年後は心もとない

(VISTA, HST, JWST などが活躍)

観測モード、天域、運用に工夫が必要

# 大望遠鏡の赤外カメラ



UKIRT/WFCAM  
 CFHT/WIRCam  
 VLT/Hawk-I  
 Keck/MOSFIRE  
 Subaru/MOIRCS  
 HST/WFC3  
 JWST/IRMS  
 TMT/NIRCAM

運用によって  
 深さ(右方向)  
 広さ(上方向)  
 で勝負

独自のターゲットで勝負

分光器にもライバル  
 Keck/MOSFIRE  
 JWST/NIRSPEC

# TAO で何をする？

広帯域バンドの深探査（～1平方度）

VISTA, HST, JWST などで行われてしまう

大規模分光探査

Keck/MOSFIRE (6' × 6') などで行われてしまう

狭帯域探査に特化する？

広帯域データのある天域を狙う（後発組の権利）

Hyper Suprime-Cam の深探査領域を観測する

可視の最強の撮像データ

共同提案者：大内（Carnegie）

# HSC の 2 つの深探査 (案)

## Ultra Deep Survey

3 平方度

30 hr/band/pointing

u,g,r,i,z,y (27–28mag), NB数枚 (26–27mag)

2天域 (UKIDSS/UDS, Ultra-VISTA?)

## Deep Survey

40 平方度

3 hr/band/pointing

u,g,r,i,z (26–27mag), NB数枚 (25–26mag)

5天域

- きわめて深く広い可視の撮像 (BB, NB)
- $z < 7.5$  の銀河を多数検出

# TAO による観測

- $z \sim 7$  銀河の分光同定 ( $z=7$  LAE  $10^2$ 個、 $z$ -drop  $10^3$ 個)
- $z=6.5$  LAEs の  $\text{Ly } \alpha$ 、 $\text{HeII}$ 、 $\text{CIV}$  輝線の分光
- 狭帯域バンドの  $z > 7$  Lyman  $\alpha$  銀河の探査
- $z \sim 4$  以上の原始銀河団の観測 (撮像、分光)
- $z < 4$  の銀河のさまざまな分光・撮像観測

- 独自のサンプル
- 時間を集中投資

あればうれしい

GLAO

波長分解能  $R \sim 2000$  以上 (J band 付近)

tunable NB filters

3つの検出器のうち1つを可視 CCD にする