

2004年12月26日、東大本郷

# 次世代天文学シンポ サイエンス検討班(銀河班)

## 講演者

児玉(NAOJ)、千葉(東北大)、須佐(立教大)、  
阪本(NAOJ)、松下(理科大)、河合(東工大)

# 銀河班 班員構成

光赤外	有本	国立天文台	オブザーバー
	太田	京大	
遠方銀河	児玉	国立天文台	世話人 <b>講演</b>
局所銀河	千葉	東北大	<b>講演</b>
	松原	宇宙研	
	美濃和	東大	
	山田	国立天文台	
電波	河野	東大	
	阪本	国立天文台	<b>講演</b>
	祖父江	東大	
	本間	国立天文台	

理論	須佐	立教大	<b>講演</b>
	西	新潟大	
	長島	京大	
	森	専修大	
	福来	東大	オブザーバー
X線	鶴	京大	
	松下	理科大	<b>講演</b>
γ線	河合	東工大	<b>講演</b>

2004年9月1日、2日の二日間、国立天文台三鷹において、銀河班の会合を行った。但し、この時点では、当初予定されていた既存将来プロジェクトの概要は発表されていなかったため、必ずしもプロジェクトに沿った検討内容にはなっていない。

# 光赤外分野(遠方銀河)

太田(耕)、松原(英)、美濃和、  
山田(亨)、児玉

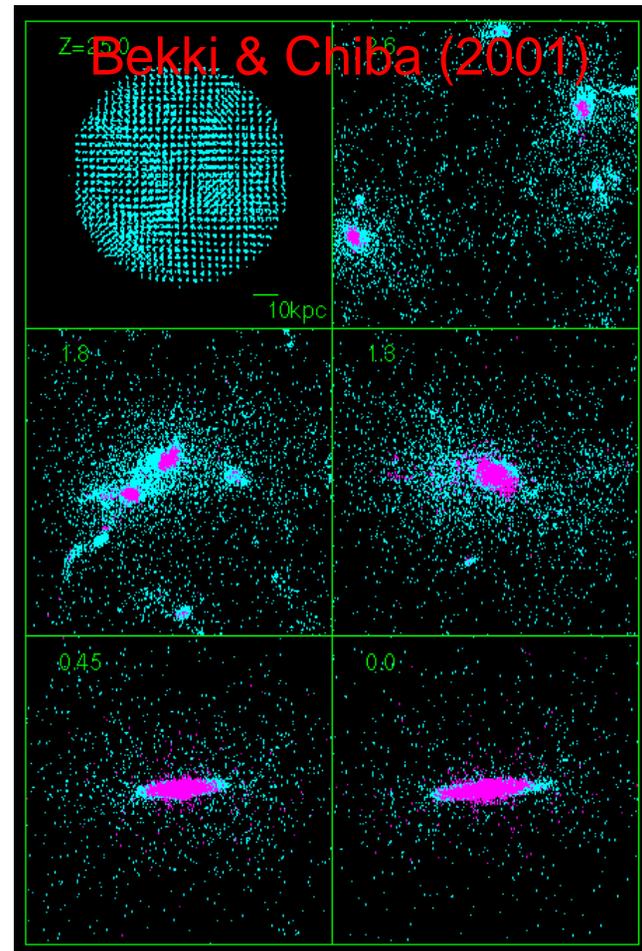
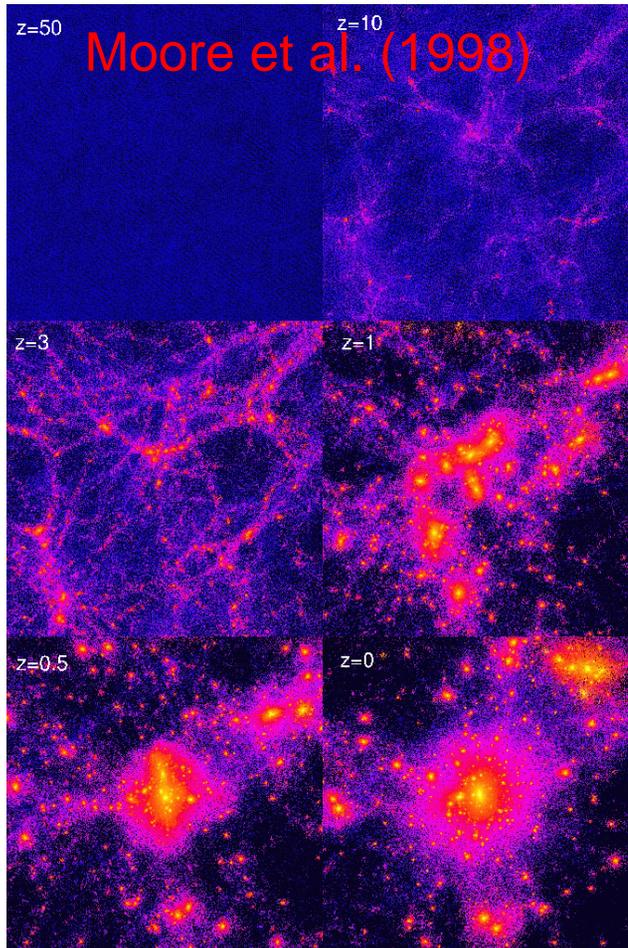
光赤外将来計画検討班の「銀河班」で検討された内容が主。

銀河班：児玉(班長)、大内、太田(耕)、小林(尚)、須佐、西、松原、山田(亨)

# 銀河の形成と進化を実証的に解き明かす

銀河団形成 ( $10^{15} M$ )

銀河形成 ( $10^{12} M$ )



現在の標準宇宙モデル(CDM)では、小さな天体が先に生まれ、それらが重力で寄せ集まってより大きな天体が形成されてくると予想されている。

# 遠方銀河のキーサイエンス

(光赤外将来計画検討会、銀河班レポートから)

- **初代天体の発見と宇宙電離史の解明**  
→ スペース広視野撮像、分光追観測 ( $\text{Ly}$  ,  $\text{H}$  )
- **形成途上銀河の内部構造の解明**  
→ 面分光 (IFU)  $\text{Ly}$  は地上、 $\text{H}$  / $\text{NeII}$ はスペース
- **銀河形態、種族の起源の解明**  
→ スペース広視野撮像、地上AO撮像、地上分光  
(アセンブリ、 $z > 3$ の形態)      ( $z < 3$ の形態)      (内部運動)

地上超大型 (30 mクラス) とスペース大型 (3 . 5 mクラス) の両方必要

# 次世代光赤外望遠鏡の必要性

- **波長限界**

サンプルバイアス (LBG/LAE: 静止系紫外光)

→ **スペース赤外ーサブミリ**

- **視野限界**

HST (3.5': 1.5Mpc), 8-10m赤外 (2') → **広視野赤外カメラ**

- **空間分解能限界**

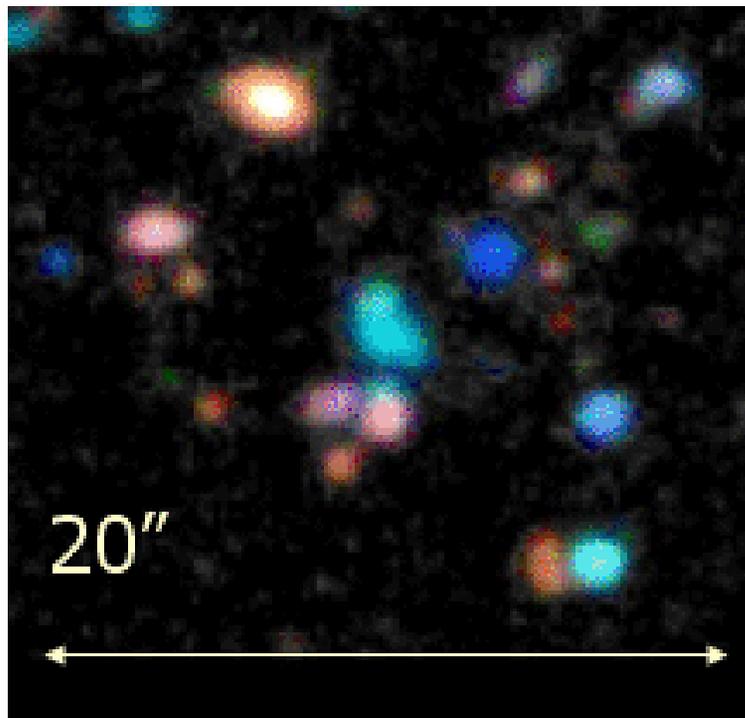
地上実視 (0.5'': 4kpc), スペース赤外 (>1'') → **大口径・AO**

- **分光限界**

AB ~ 23等 ( $M^*_{+1} @ z = 1$ ) → **大口径**

# 形成途上銀河の内部構造

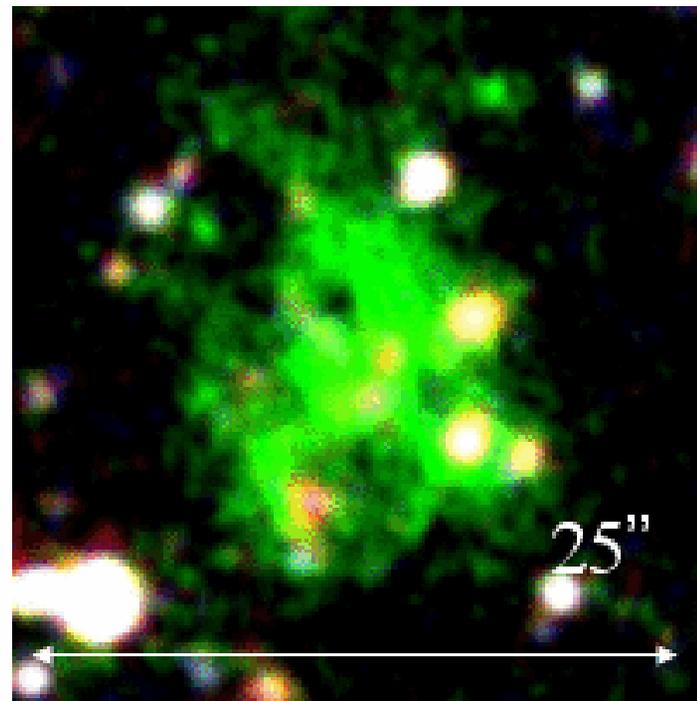
(宇宙最初の20億年)



$z=4$  (120億年前)

Yamada et al. (2003)

複数の塊に分裂している



$z=3$  (110億年前)

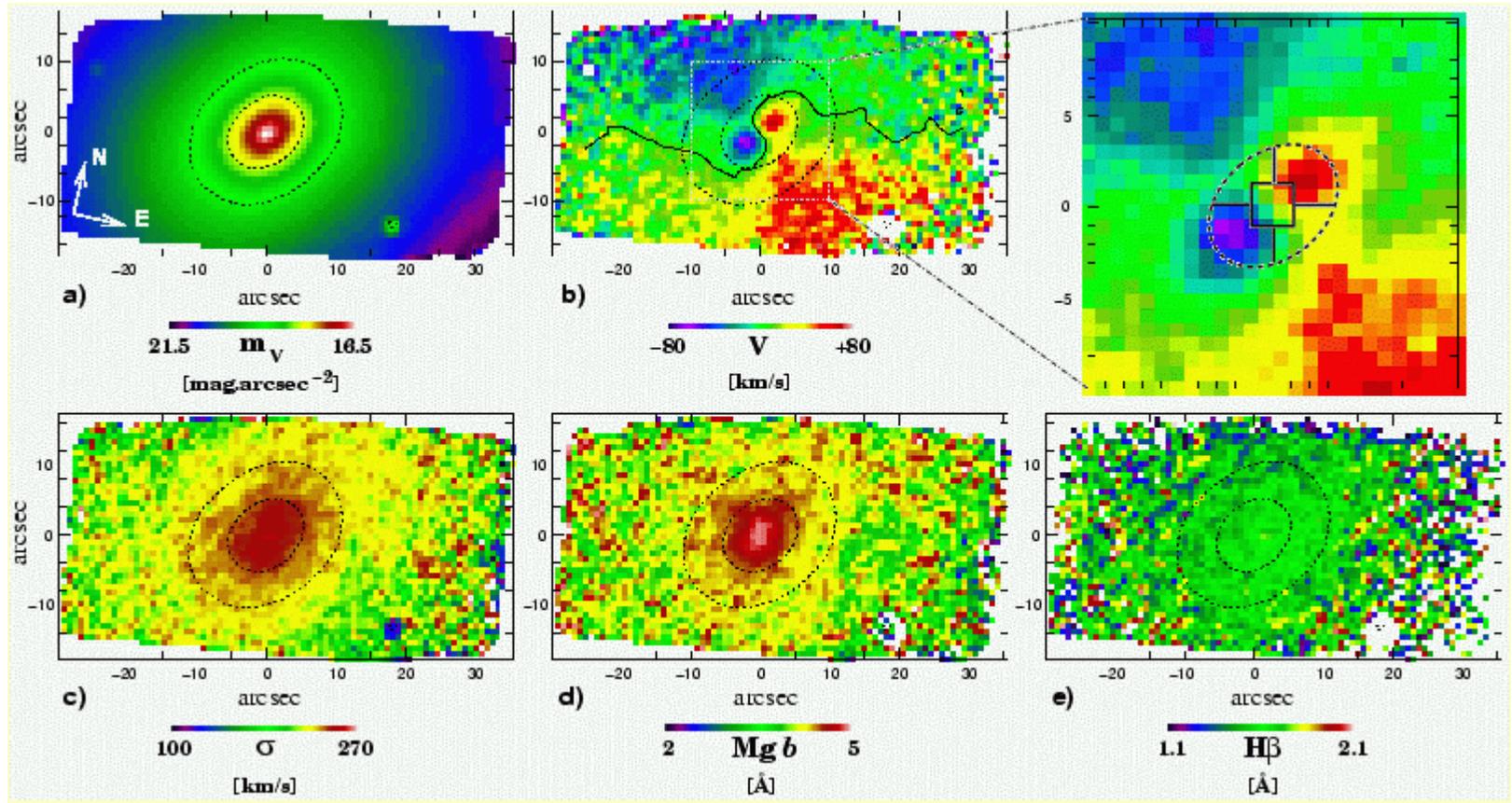
Matsuda et al. (2003)

電離水素ガスの巨大で薄い塊

原始銀河雲の冷却？ 第一世代星による電離ガス？

面分光 → 内部運動(回転、アウトフロー)、物理状態(電離、励起、重元素量)

# SAURON (IFU on WHT)

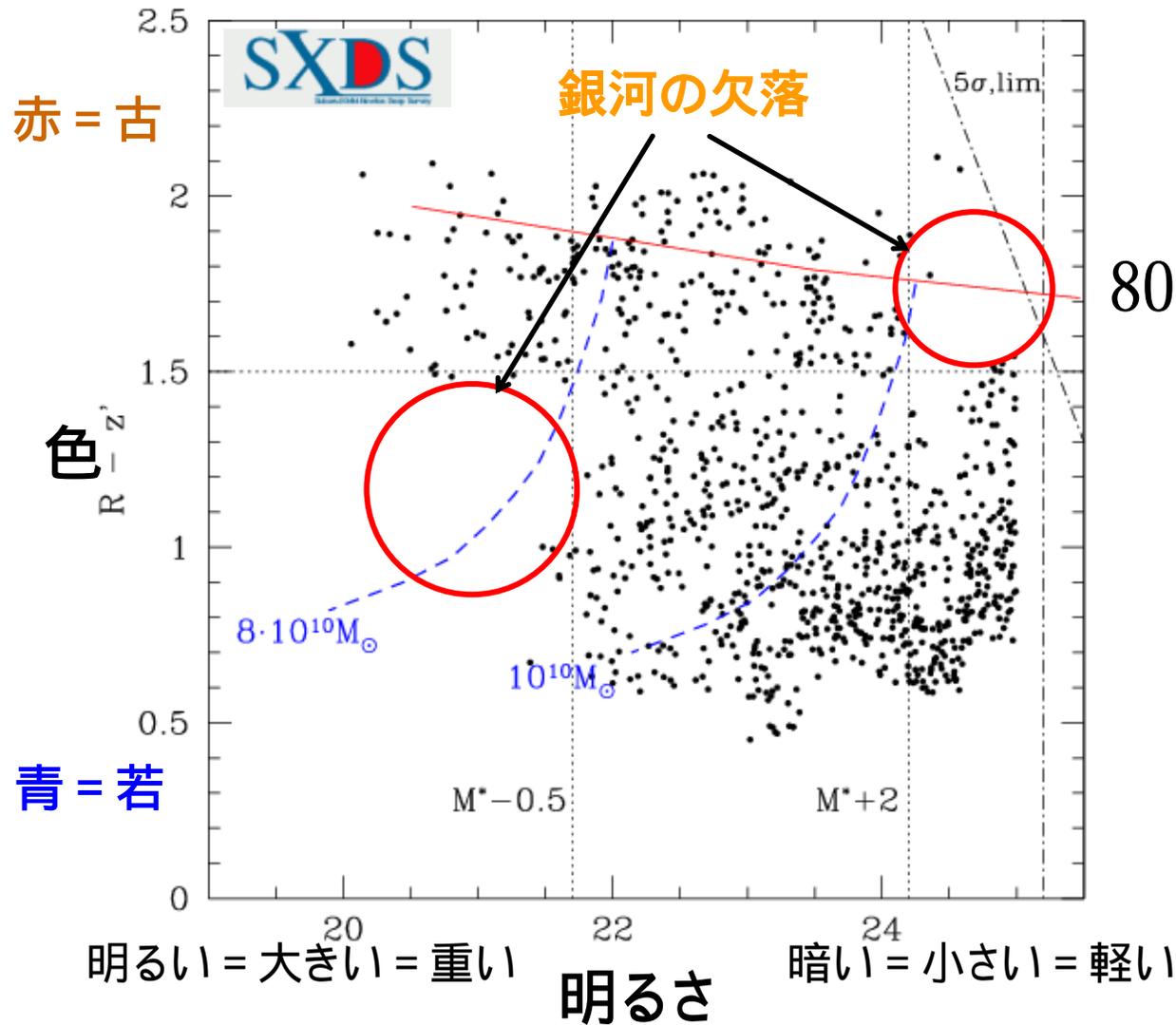


近傍楕円銀河の直交回転コア

Davies et al. (2003)

IFU(面分光)が次世代銀河天文学の目指す道の一つ!

# 銀河形成のダウン・サイジング



80億年前の銀河  
( $z=1$ )

**Kodama et al.  
(2004b)**

大きい銀河は速く成長し、小さい銀河はゆっくりできる

# ダウン・サイジングと階層的銀河形成とは？

銀河形成バイアス(先天的環境効果)？

+

小銀河の初期星形成抑制(背景UV、フィードバック)

星形成の継続(ガスは出戻る)？

- 銀河形成期の内部構物理状態と環境依存性を調べる必要
- AGNに見られるダウン・サイジングとの関係

～「銀河動物園」から「銀河科学館」へ～



**BzK**

星形成赤銀河

*High-z Zoo*

**ERO  
DRG**

極赤銀河

**SMG**

サブミリ銀河

$$b = \frac{\text{SFR}}{\text{Mstar}}$$

(銀河形成段階)

Mstar

**LAE**

Ly 輝線銀河

**LBG**

ライマンブレイク銀河

星質量選択の様々な初期銀河を共通の物差しで比較！

スペース赤外(2～10 μ)が次世代観測天文学の目指す道の一つ！

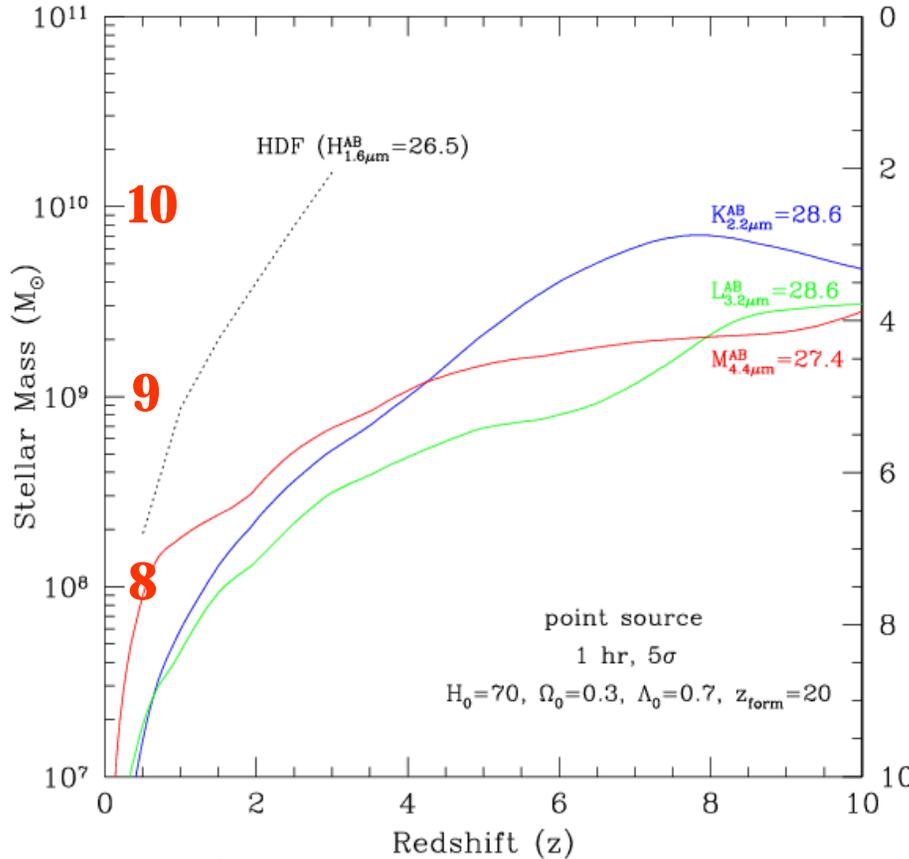
# 赤外～電波での広視野撮像・分光が鍵

- 近赤外光度 + 色 → 星質量 (**Mstar**)  
 $10^{10} M$  @  $z \sim 3$  (Spitzer),  $10^9 M$  @  $z \sim 7$  (スペース3.5m)
- 狭帯域撮像 / 分光 → H 輝線 (**SFR**), NeII, FIR  
地上 ( $0.4 < z < 3$ ), スペース ( $z > 3$ )
- 電波 (ALMA) → CO, HI (**Mgas**)  
$$R = \frac{(\text{giant})}{(\text{dwarf})} : \text{質量集積の段階}$$
$$b = \frac{\text{SFR}}{\text{Mstar}} : \text{星形成活動の段階}$$
$$c = \frac{\text{Mstar}}{\text{Mgas}} : \text{星からガスへの変換割合}$$

これらを、時間、環境、質量の関数として比較する → 銀河形成史  
(時) (空) (重)

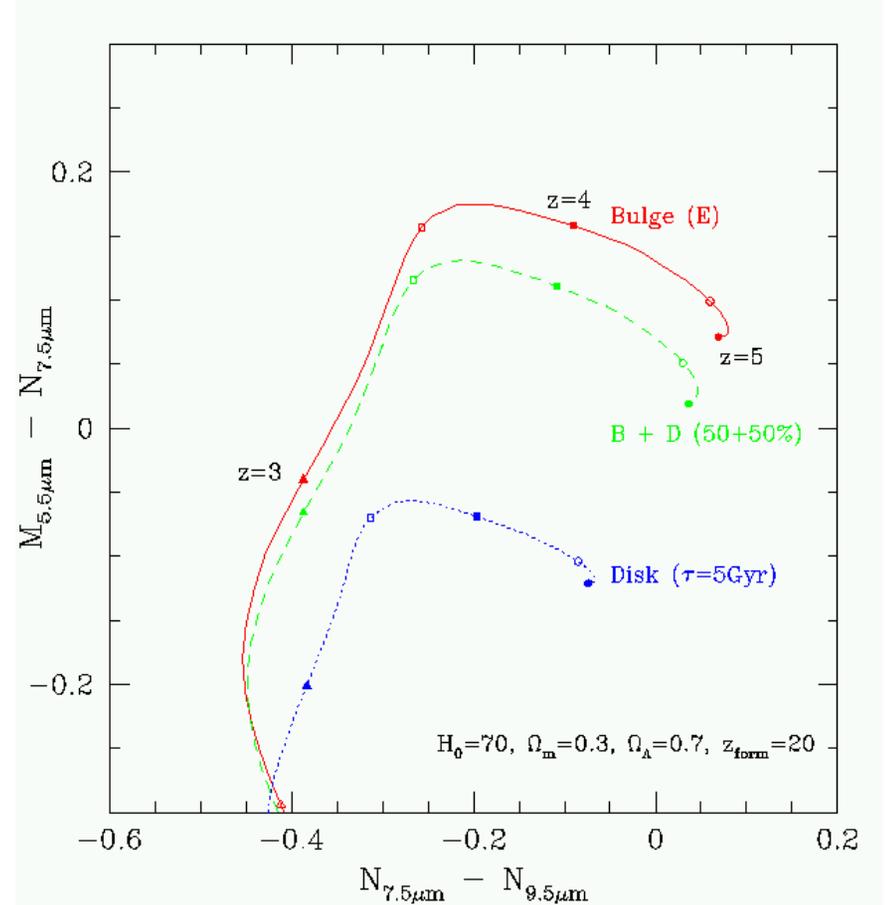
# SPICA/JTPF (スペース3.5m)

## 限界星質量



**$10^9 M_{\odot}$  to  $z \sim 7$  for passive evol.**

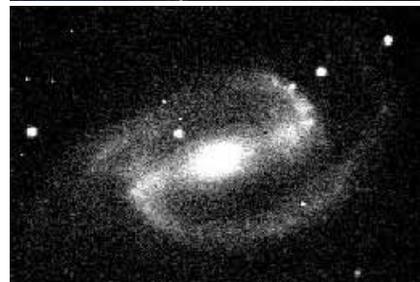
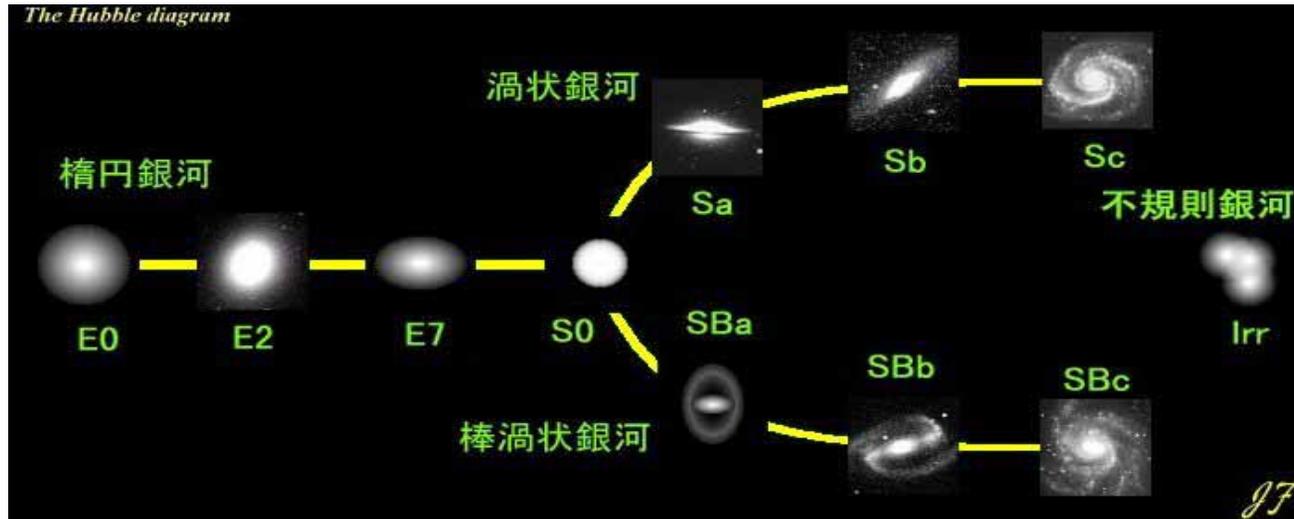
## Photometric Redshift at 5-10 $\mu m$



Based on Kodama et al.'s (1999) model

**スペース赤外 (2 ~ 10  $\mu m$ ) が次世代観測天文学の目指す道の一つ!**

# 銀河ハッブル系列

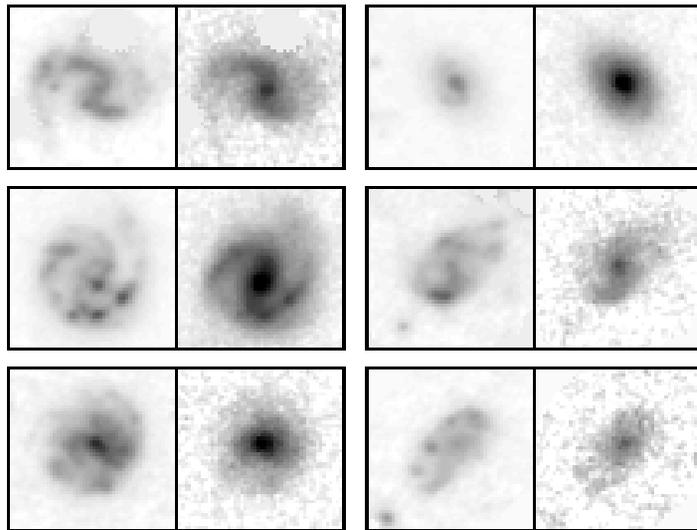


# 銀河形態の発現は $z > 1$ (80億年以上前)

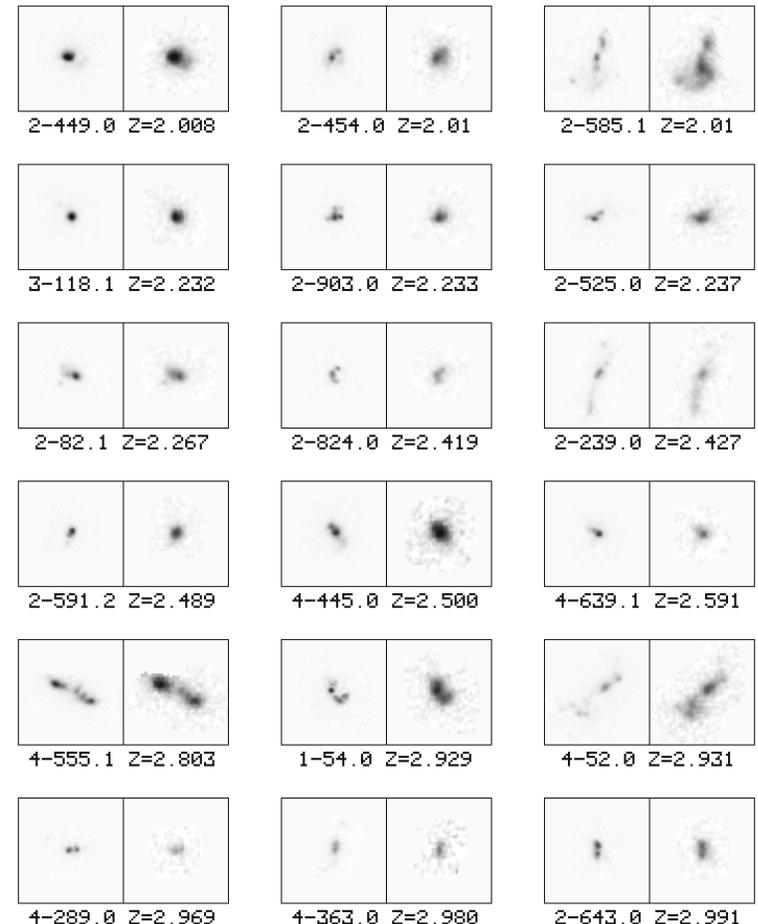
$z \sim 1$  渦巻銀河

$z \sim 2-3$  ライマンブレイク銀河

rest=3000 , 6500



rest=1700 , 4300



一辺は4秒角 (32kpc)

Dickinson (200), HDF-N

# 銀河形態 & 種族の起源を探る

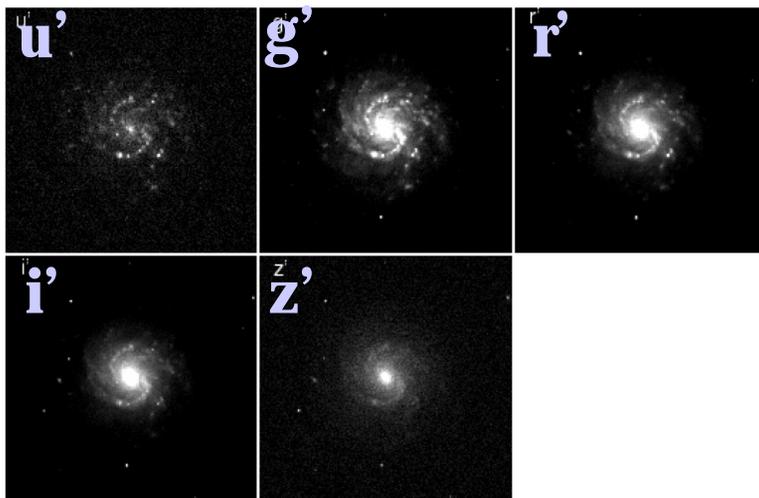
- 視覚形態
- 質量集積
- 内部運動

これらの進化を**環境との関わりあいの中**で見る必要がある！  
(形態－密度関係)

# 銀河形態の見え方の実験

Minowa, Kobayashi et al. (2004)

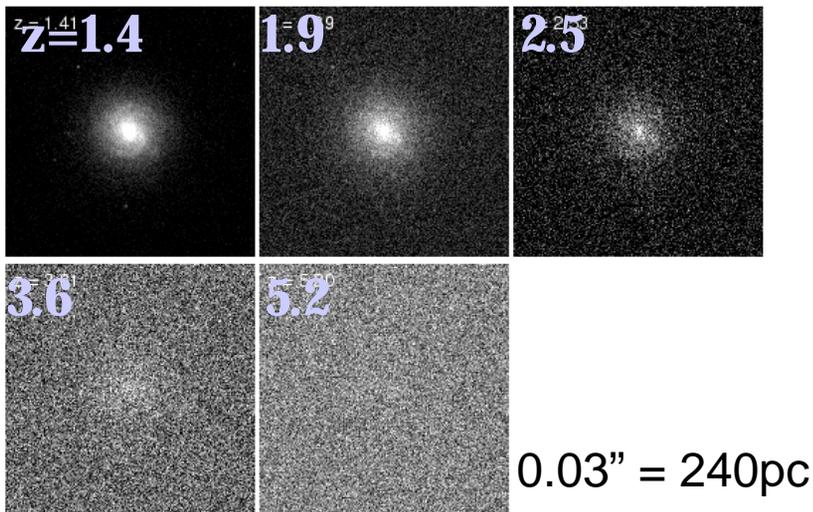
元銀河 (S a)



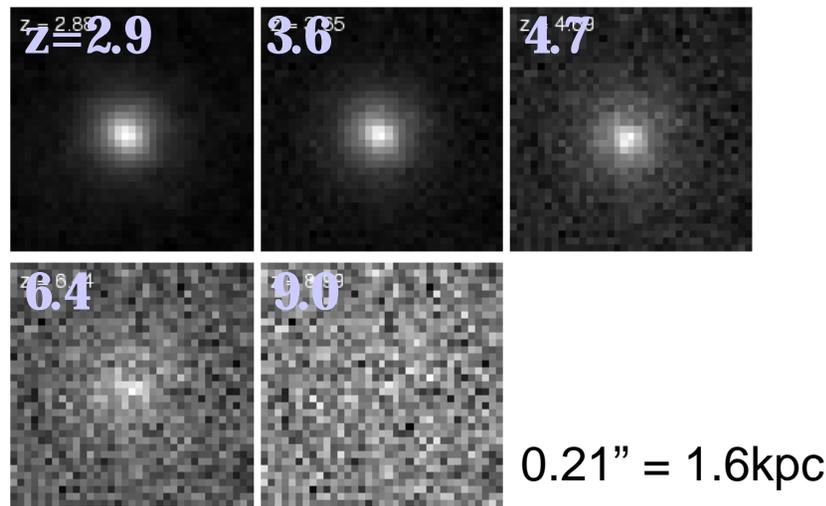
結論

$z < 3$  は地上 (AO)

$z > 3$  はスペース



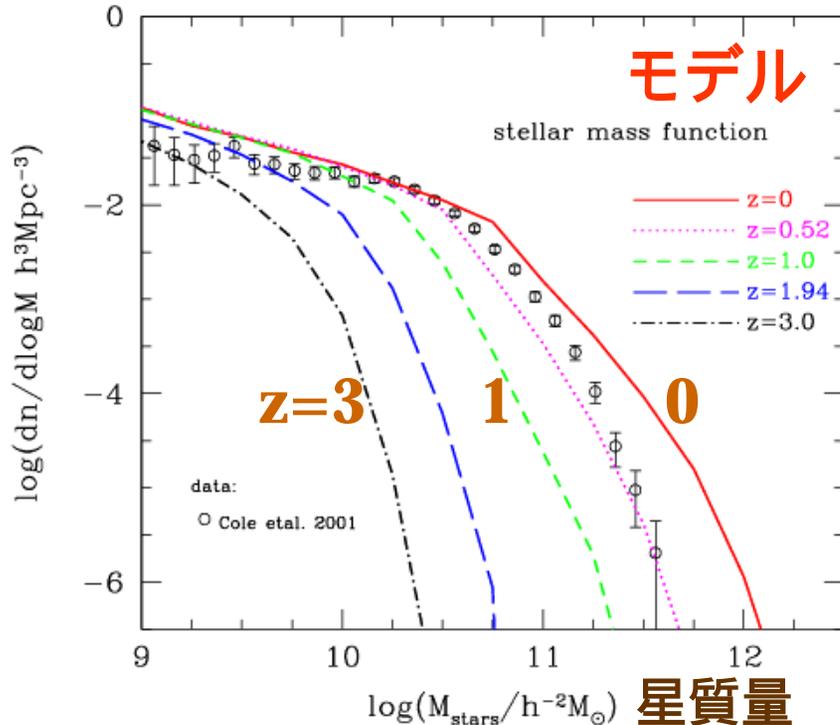
地上 20m + AO (Kバンド)



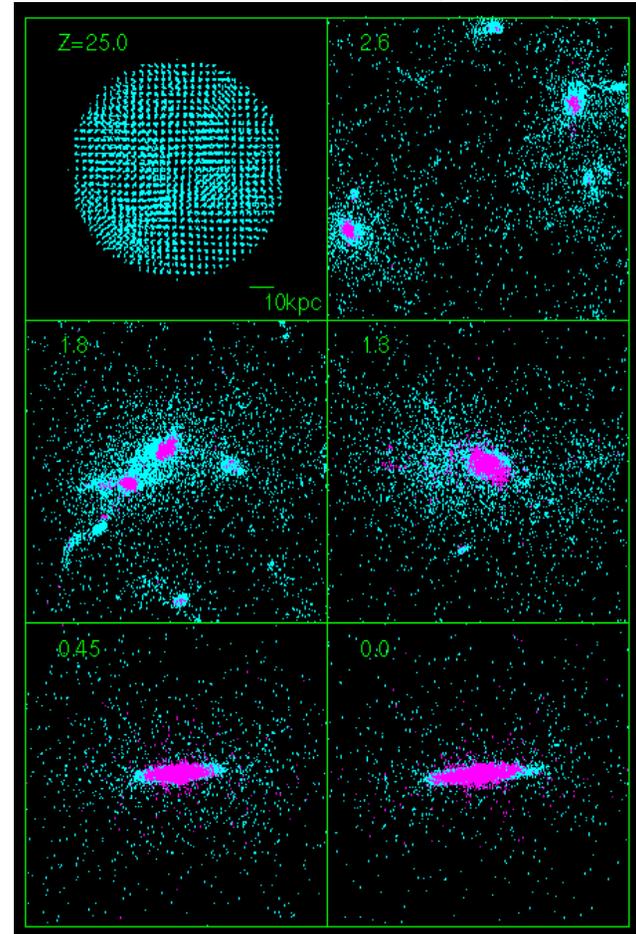
スペース 3.5m (Lバンド)

# 銀河の星質量集積 (アセンブリ)

Baugh et al. (2002)



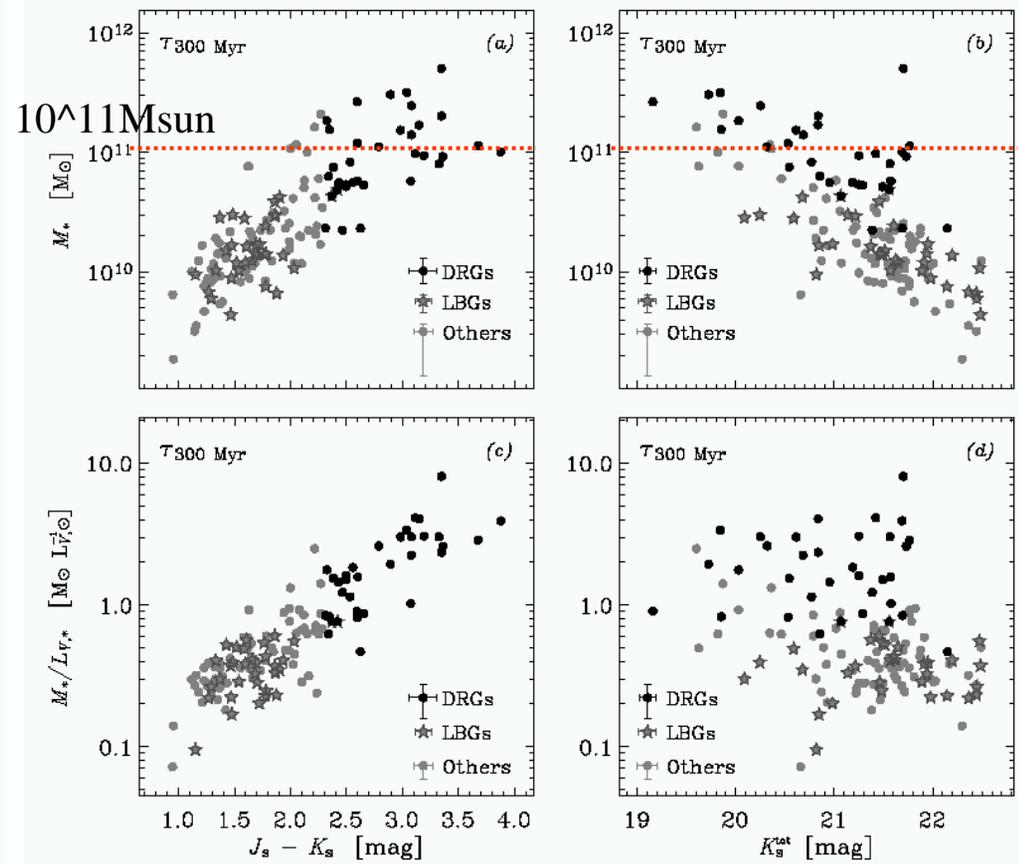
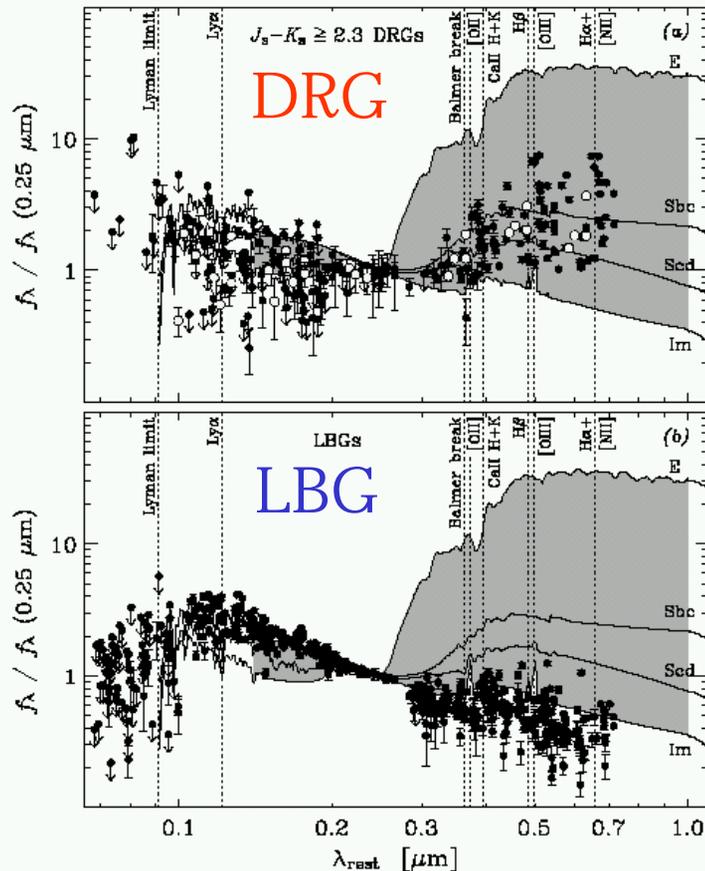
Bekki & Chiba (2001)



階層的銀河形成モデルでは銀河の質量関数が時間と共に大きく変化する。

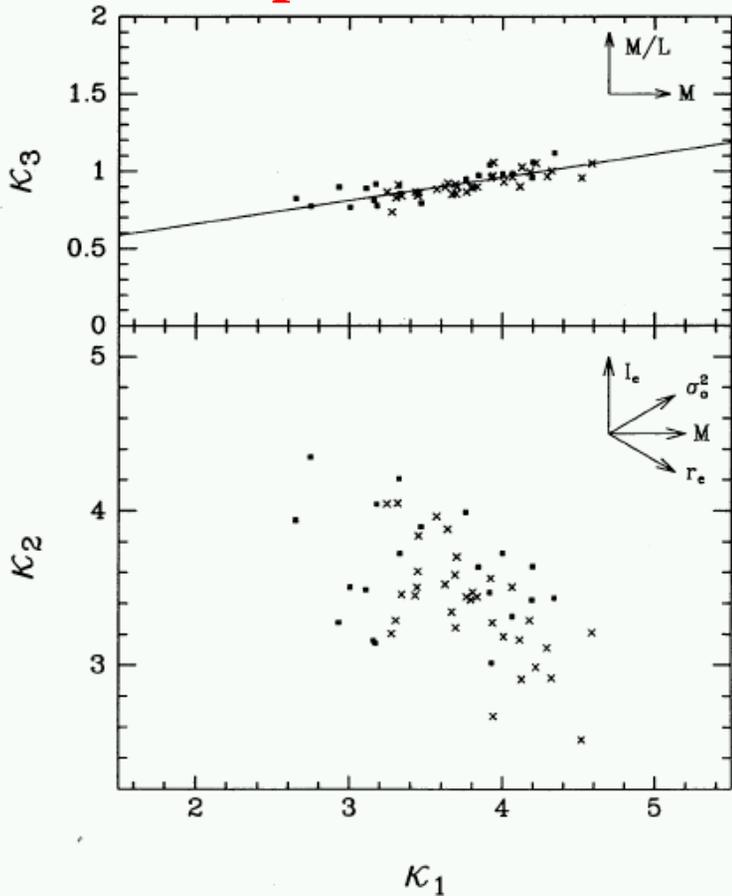
# Distant Red Galaxies (DRG) at $2 < z < 3$ by the FIRES Survey

Franx + (2003), van Dokkum + (2003), Forster Schreiber + (2004)



Significant mass contribution at high- $z$  Universe: DRG  $\sim 2 \times$  LBG !

# Fundamental Plane of Elliptical Galaxies

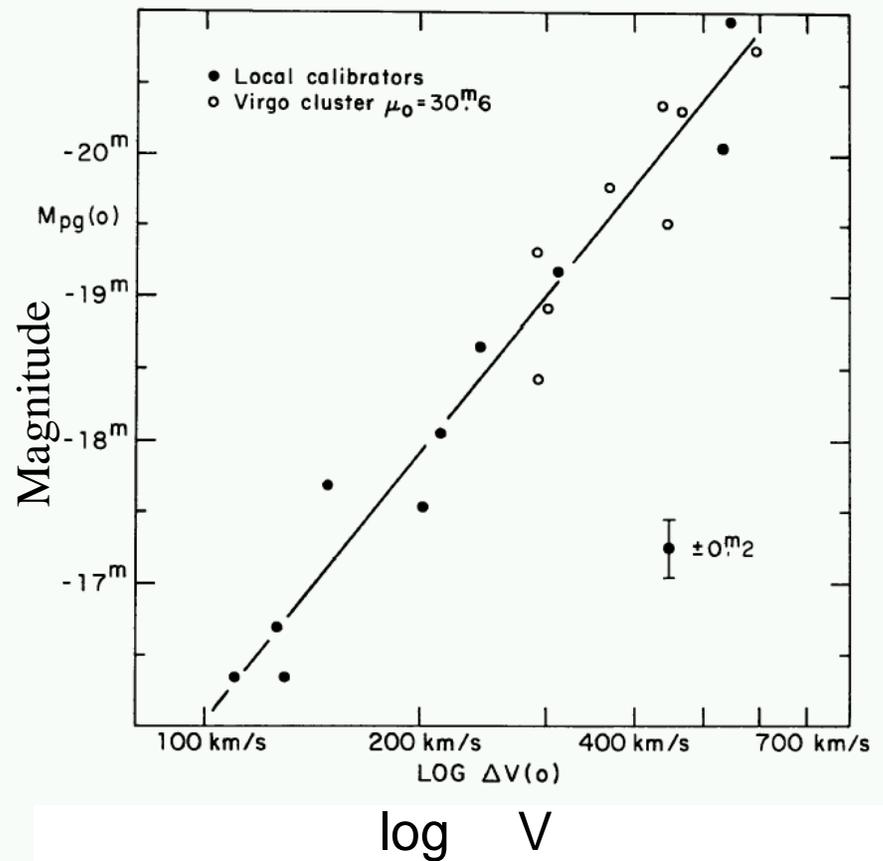


Bender et al. (1992)

- $\sigma_0$  ... central velocity dispersion
- $r_e$  ... effective half light radius
- $I_e$  ... mean surface brightness within  $r_e$

FP : M / L    M

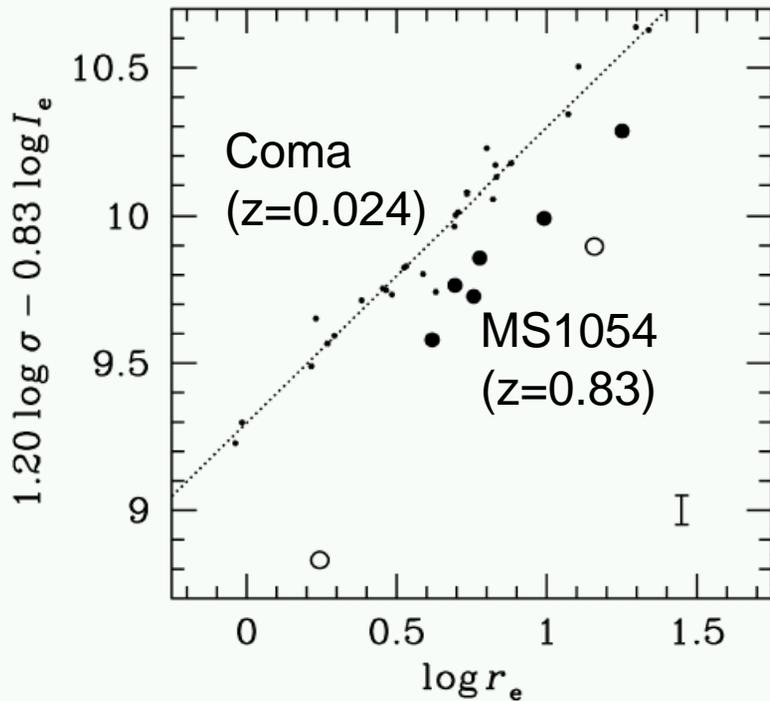
# Tully-Fisher Relation of Spiral Galaxies



Tully & Fisher (1977)

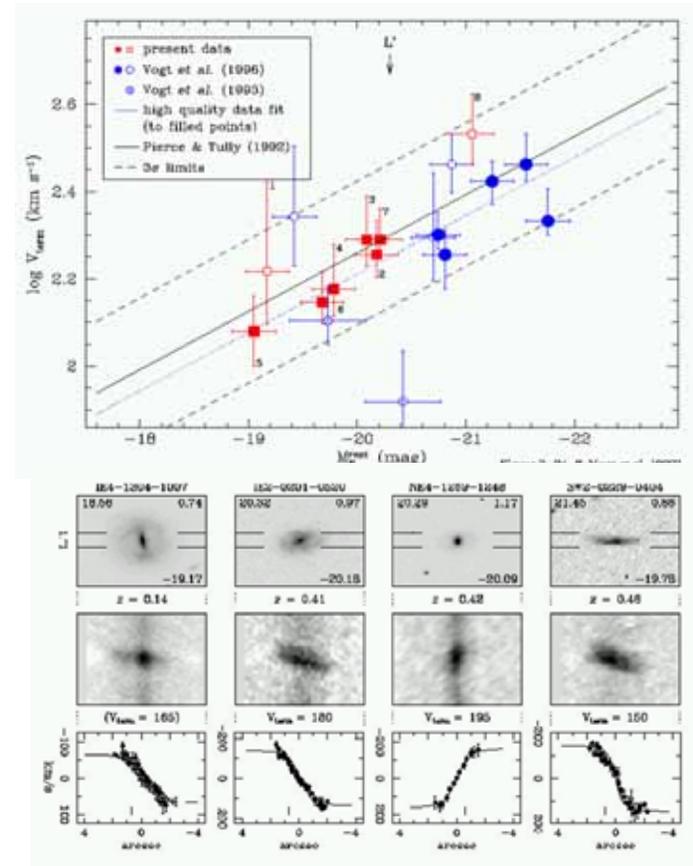
# Evolution of FP and TF

FP



van Dokkum et al. (1998)

TF



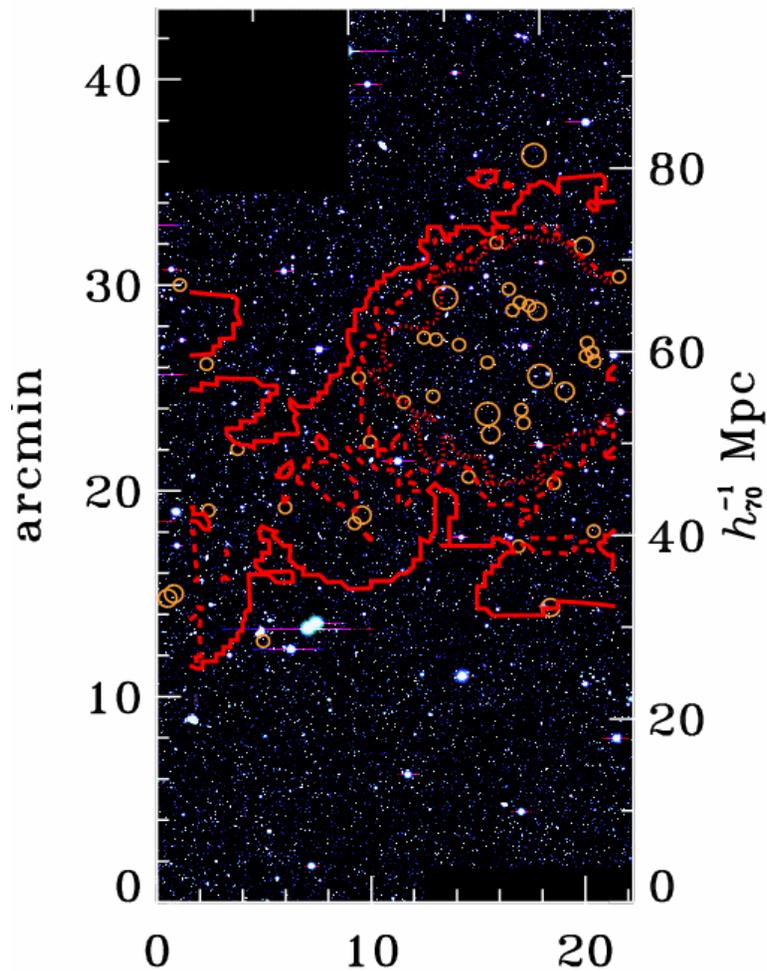
Vogt et al. (1997)

$z \sim 1$ までは単純な光度進化のみ

$z \sim 1$ が8 - 10 m望遠鏡の限界。 $z \sim 2$ まで行くには、30 m望遠鏡が必要。

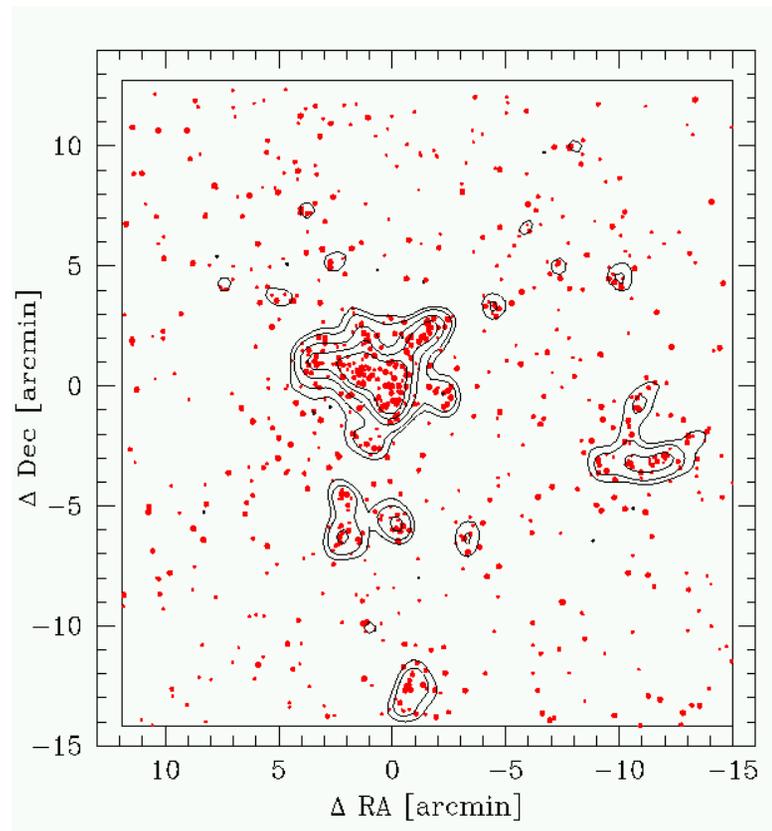
# すばるが見た遠方銀河宇宙の大規模構造

$z \sim 5$  ( $\sim 10$  億年)



Ly 輝線銀河  
(Shimasaku et al. 2003)

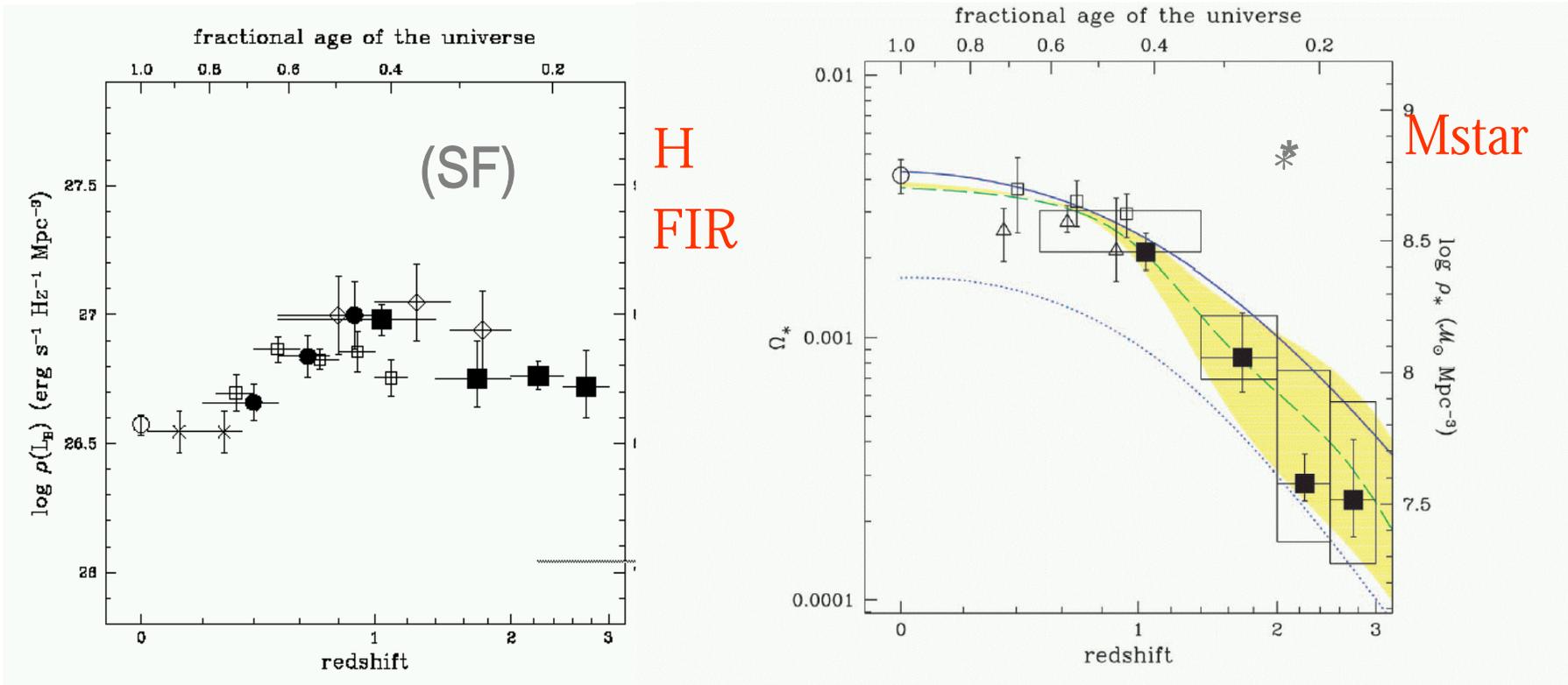
$z \sim 0.4$  ( $\sim 100$  億年)



銀河団周縁部  
(Kodama et al. 2001)

→ 広視野観測の重要性 (1平方度以上)

# 大局的星形成史を(環境、質量、形態)の関数で!



大質量星の寄与



小質量星の寄与

副産物として宇宙のIMFを測る

(SF) /  $\rho_*$   $\longrightarrow$  IMF (z)

# 光赤外 (遠方銀河) のまとめ

- **スペース 3.5 m + 広視野赤外カメラ (10分角)**  
銀河形態、質量集積、ダスト吸収銀河
- **地上 30 m + AO (補償光学) + IFU (面分光)**  
形成途上銀河の内部構造、物理状態