

すばる次世代AOワークショップ (2011/9/9, @大阪大学中之島センター)

# すばる次世代補償光学による 銀河の環境効果解読

小山佑世 (国立天文台)

児玉忠恭, 林将央, 但木謙一, 田中壺 (国立天文台)

*MAHALO-Subaru collaboration*

# Outline

---

## (1) イントロダクション

- 銀河の進化と環境効果について

## (2) 遠方銀河団の星形成銀河サーベイ現状

- すばる NB 群を用いた銀河団の輝線銀河探査
- 銀河進化の鍵をにぎる環境とは？

## (3) すばる次世代AOへの期待

- 高い空間分解能で、環境効果を「解剖」する

# 銀河団

---

銀河団：赤く星形成を終えた早期型銀河 (E/S0)

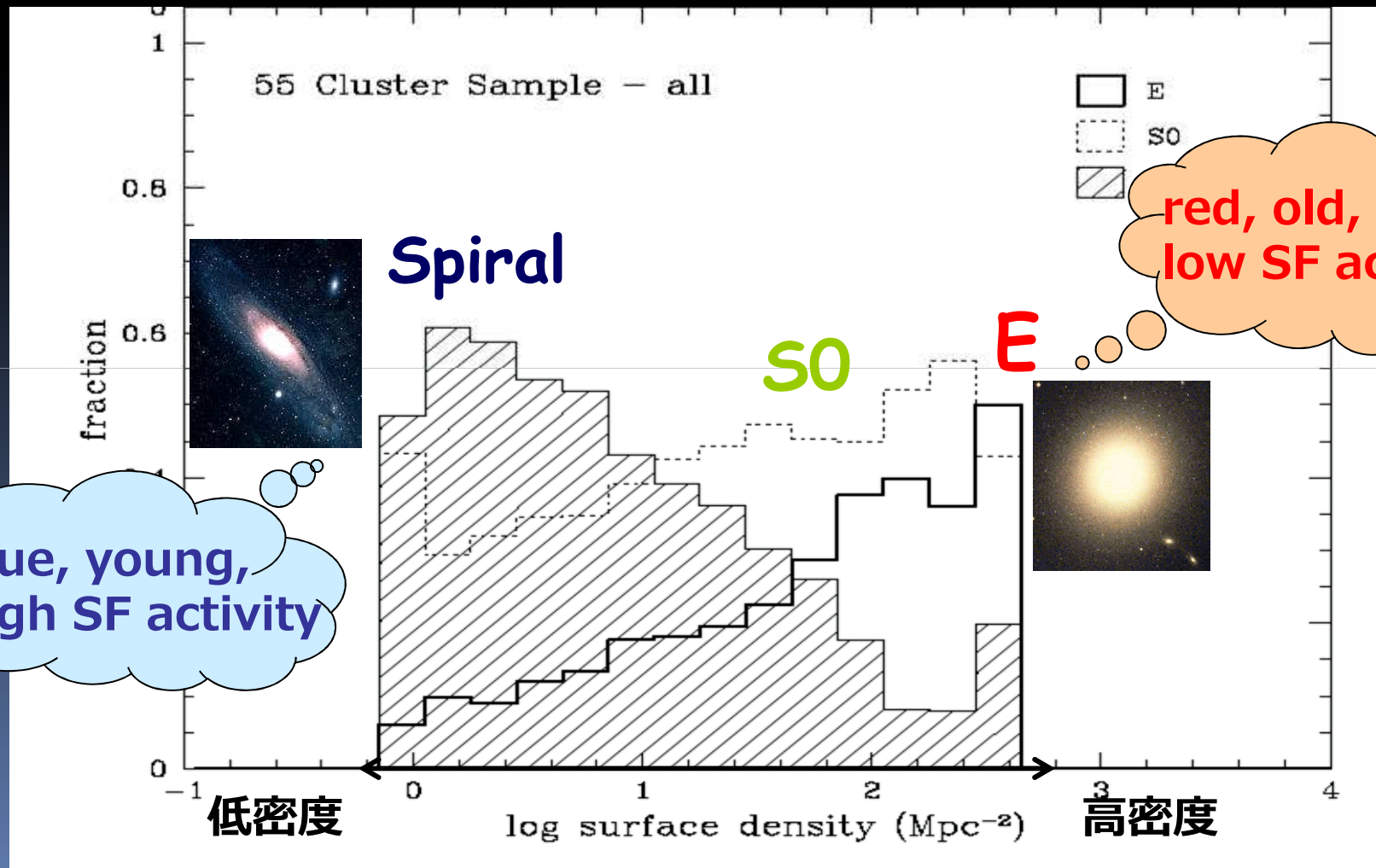
フィールド：青く星形成がさかんな晚期型銀河 (Sp/Irr)

**Why? It's still a big mystery...**

Coma cluster ( $z=0.024$ )

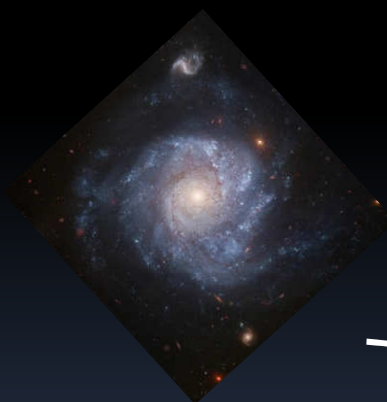
# 銀河の性質と環境の関係

## 「銀河の形態－密度相関」 (Dressler 1980)



(参考 : Lewis+02, Goto+03, Gomez+03, Tanaka+04, Balogh+04)

# 高密度環境で銀河の性質が変化する？



フィールドの  
星形成銀河

infall



Cluster / Group



(1) 星形成抑止



(2) 形態の変化



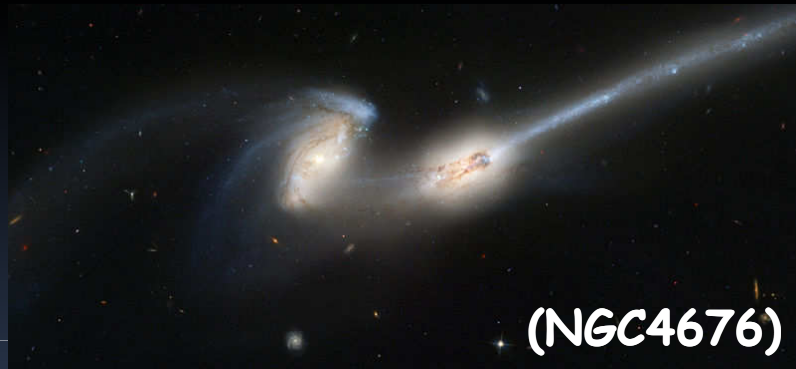
## その物理過程(環境効果)は？

- Galaxy-galaxy interaction  
(Toomre & Toomre 1972)
- Ram-pressure stripping  
(Gunn & Gott 1972)
- Strangulation  
(Larson et al. 1980)
- ... etc.

# 「環境効果」の例

## \* merger/interaction

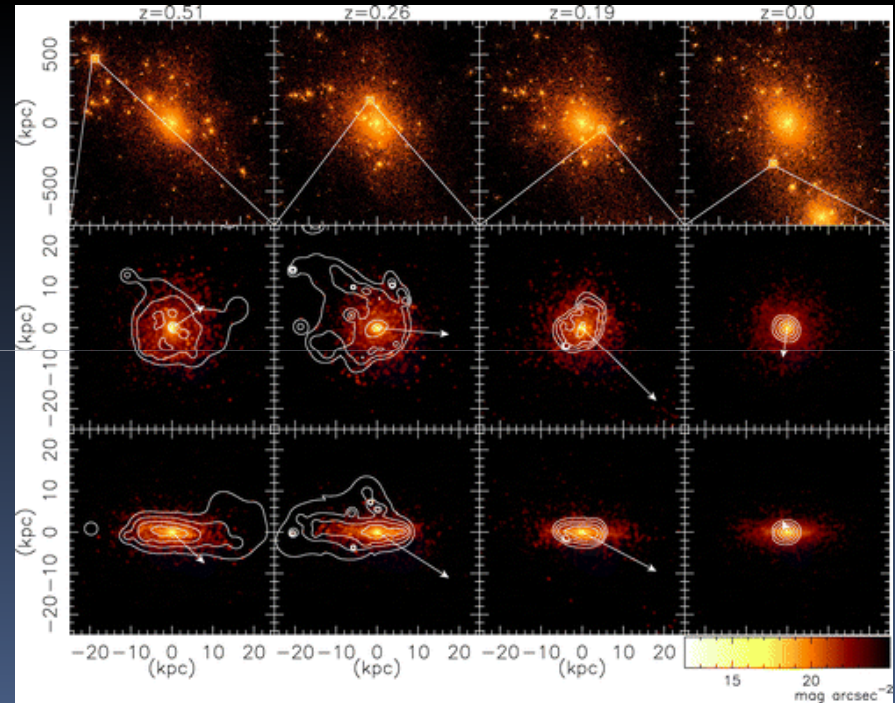
(スターバーストを伴って楕円銀河を生む?)



(NGC4676)

## \* strangulation

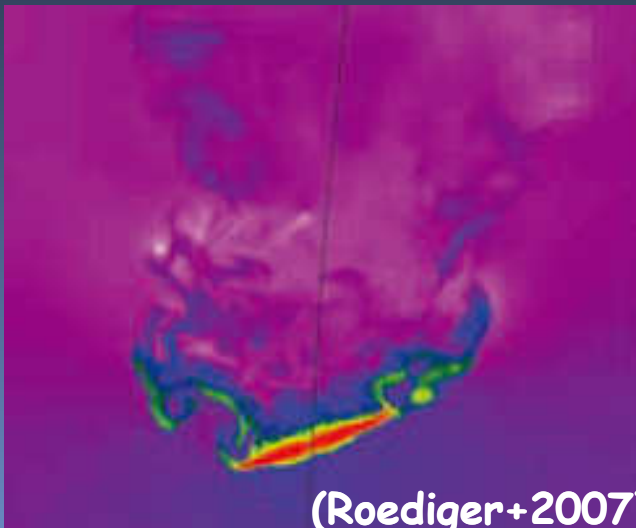
(銀河群ガスによる銀河ガスの穏やかな剥ぎ取り)



(Kawata & Mulchaey 2008)

## \* ram-pressure stripping

(高温銀河団ガスによる冷たいガス剥ぎ取り)



(Roediger+2007)

# 銀河団を環境効果の「**実験室**」として使う

---

ただし、近傍銀河団はすでに星形成を終えた銀河だらけ…

→ **遠方銀河団(=若い時代の銀河団)の観測へ!**



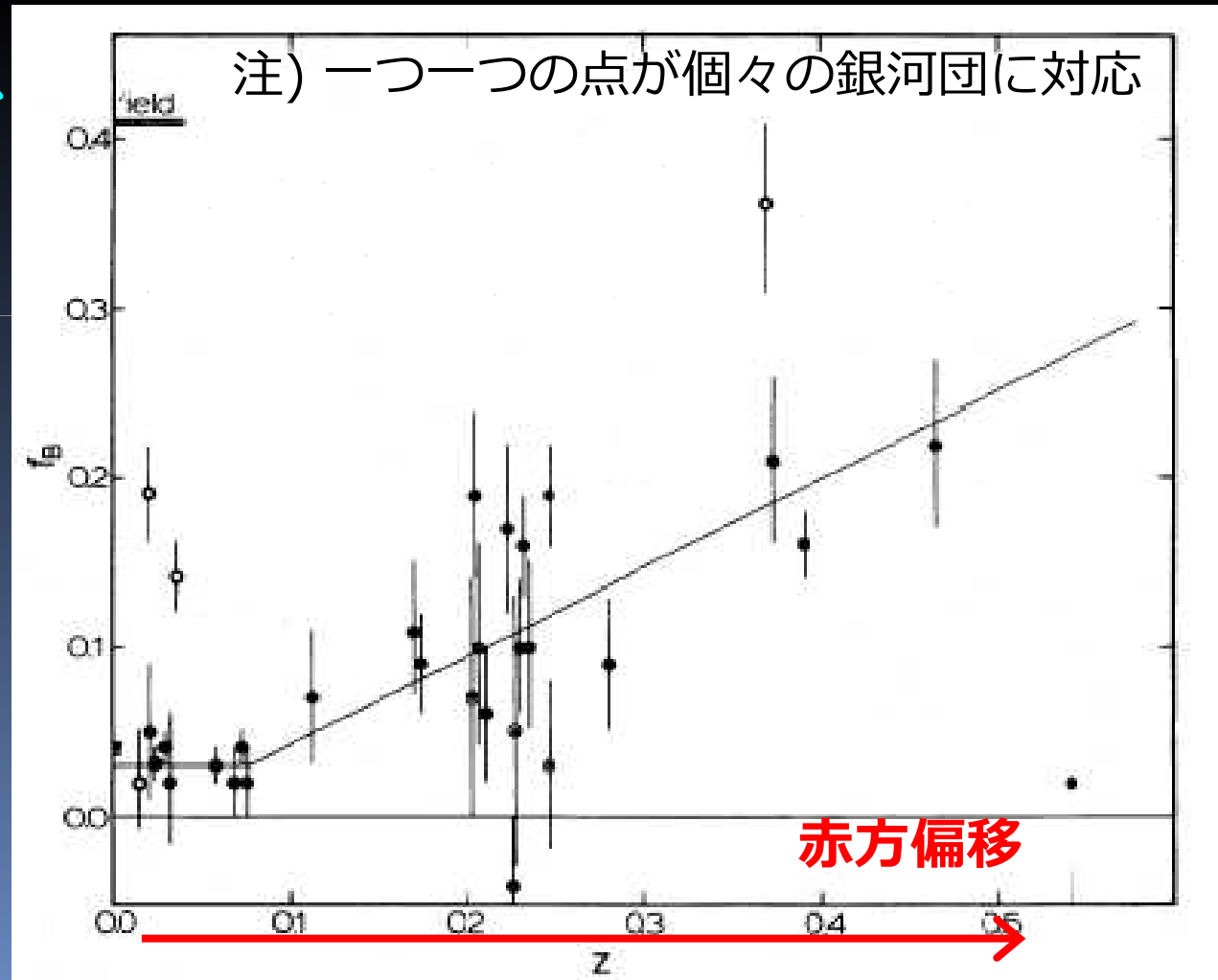
Coma cluster ( $z=0.024$ )

# 遠方銀河団の星形成銀河探査

## Butcher-Oemler effect (Butcher & Oemler 1984)

遠方の銀河団ほど、青い星形成銀河が多く存在する。

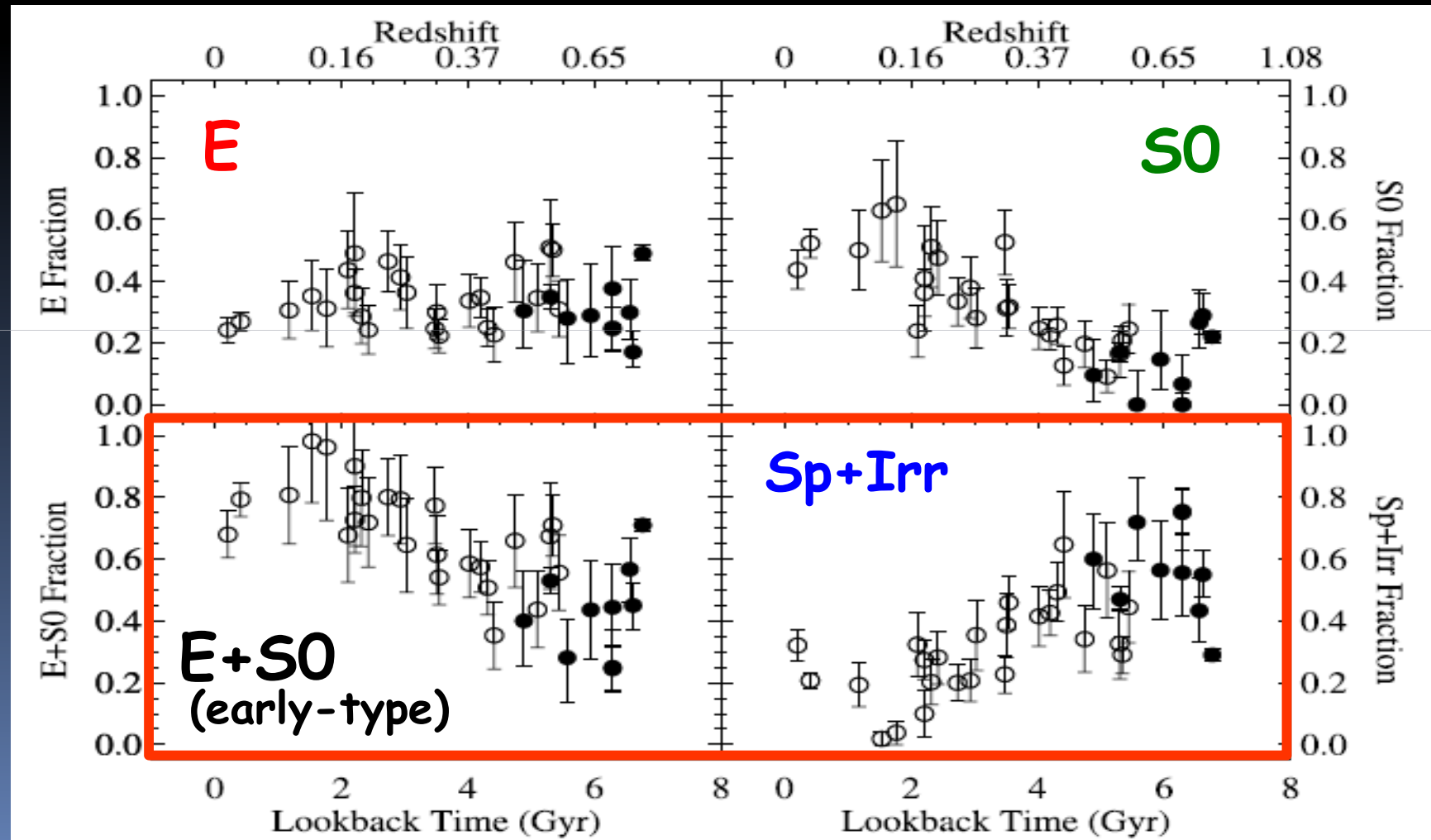
銀河団に  
おける  
青い銀河の  
割合





# 銀河団における銀河の形態進化

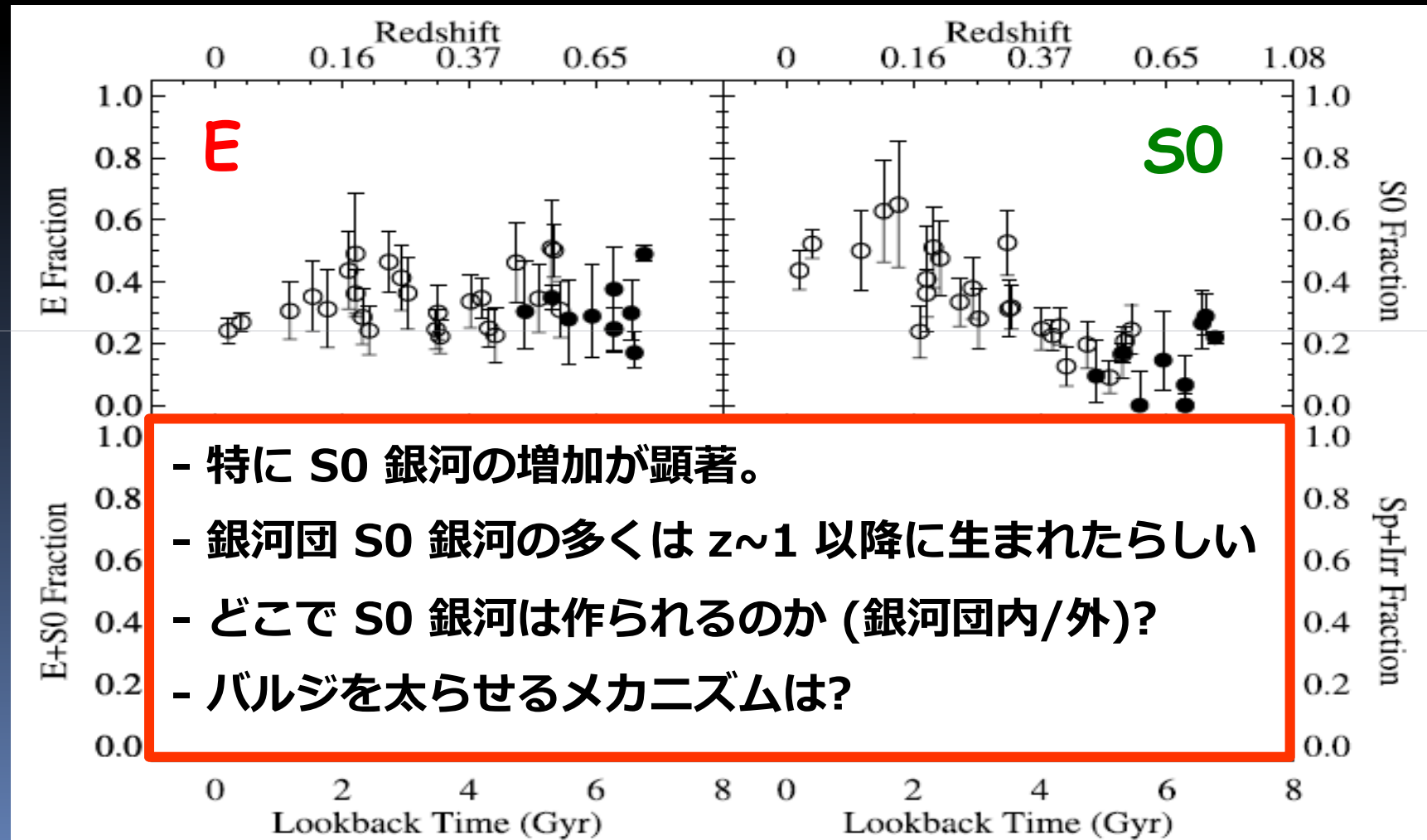
$z \sim 1$  から late-type が明らかに減少、early-type が増加。



Desai et al. (2007)

# 銀河団における銀河の形態進化

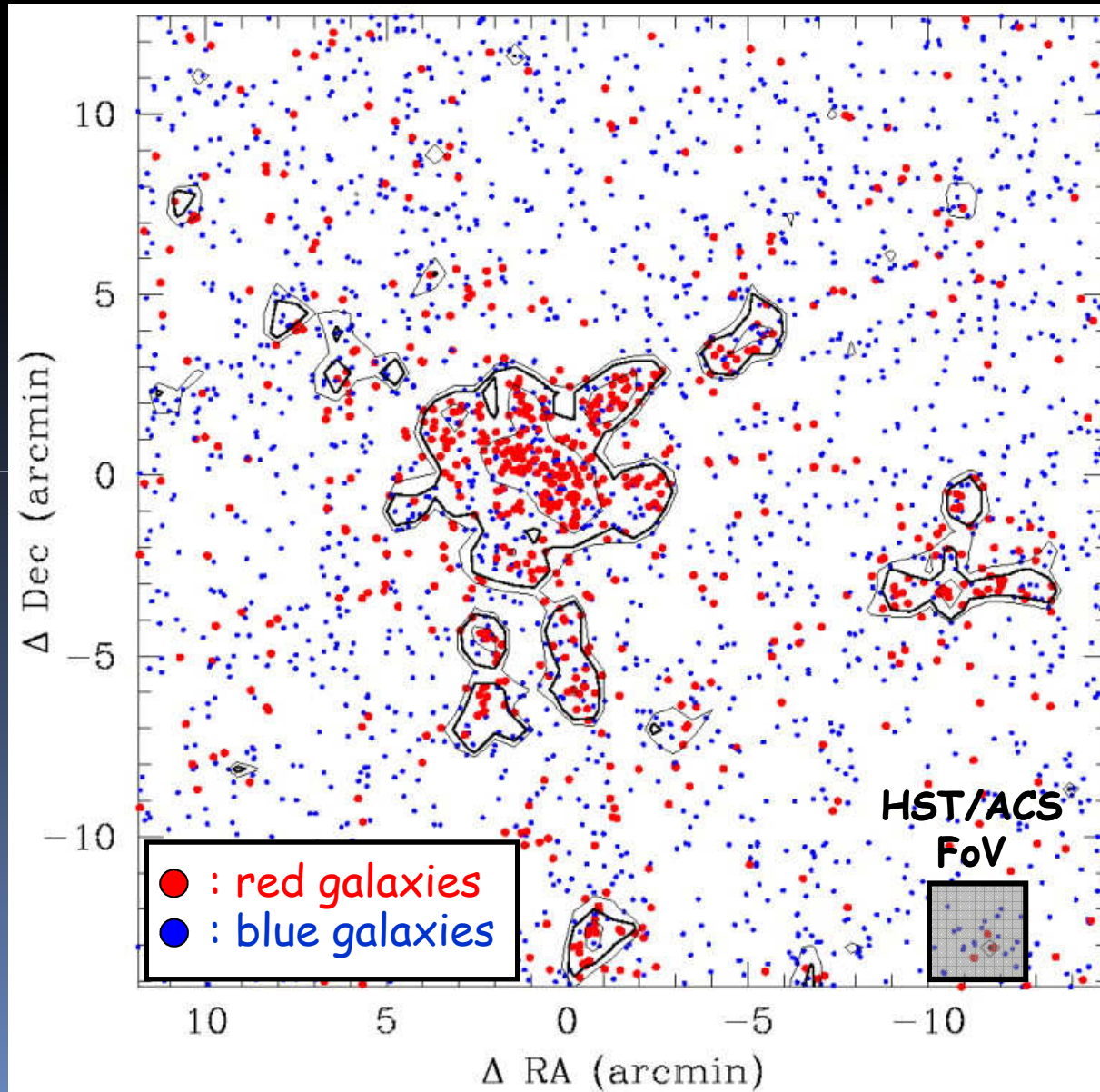
$z \sim 1$  から late-type が明らかに減少、early-type が増加。



Desai et al. (2007)

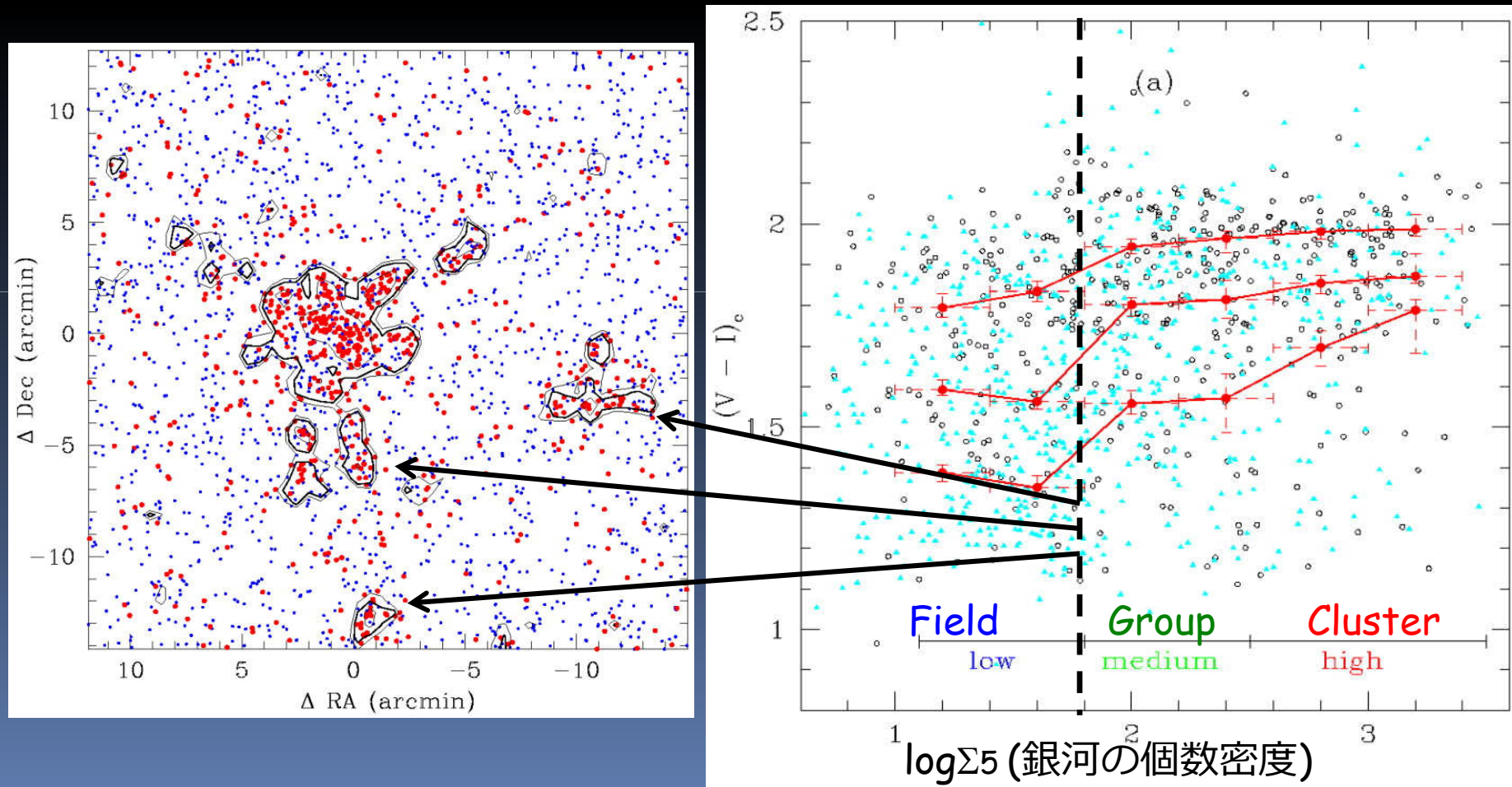
# 遠方銀河団の広視野観測

30'  
||  
~12Mpc  
@ z=0.4



# 銀河団周辺環境がカギを握る？

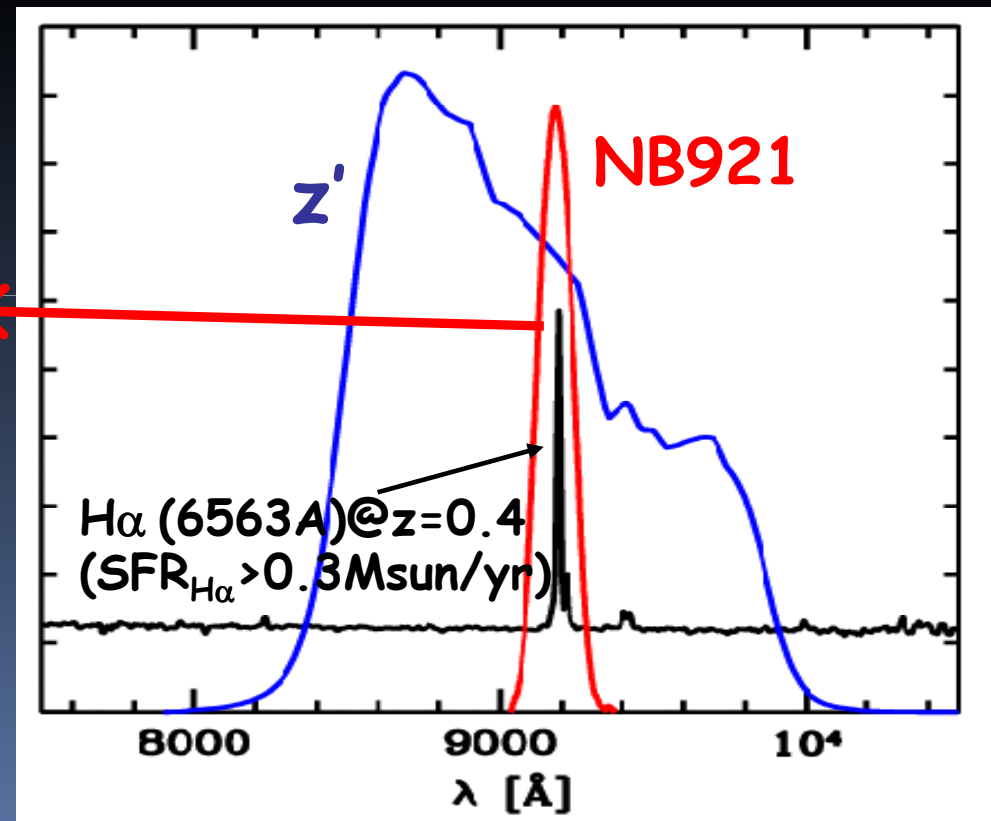
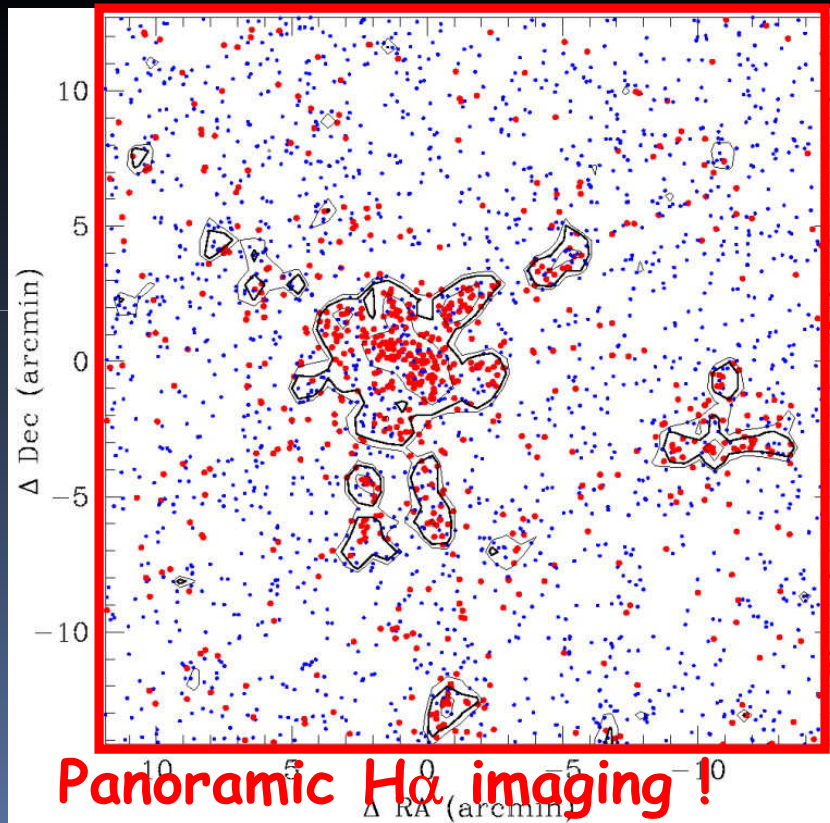
Suprime-Cam の初期成果から、銀河団周辺の銀河群環境で銀河の色が大きく変化するように見えてきた。



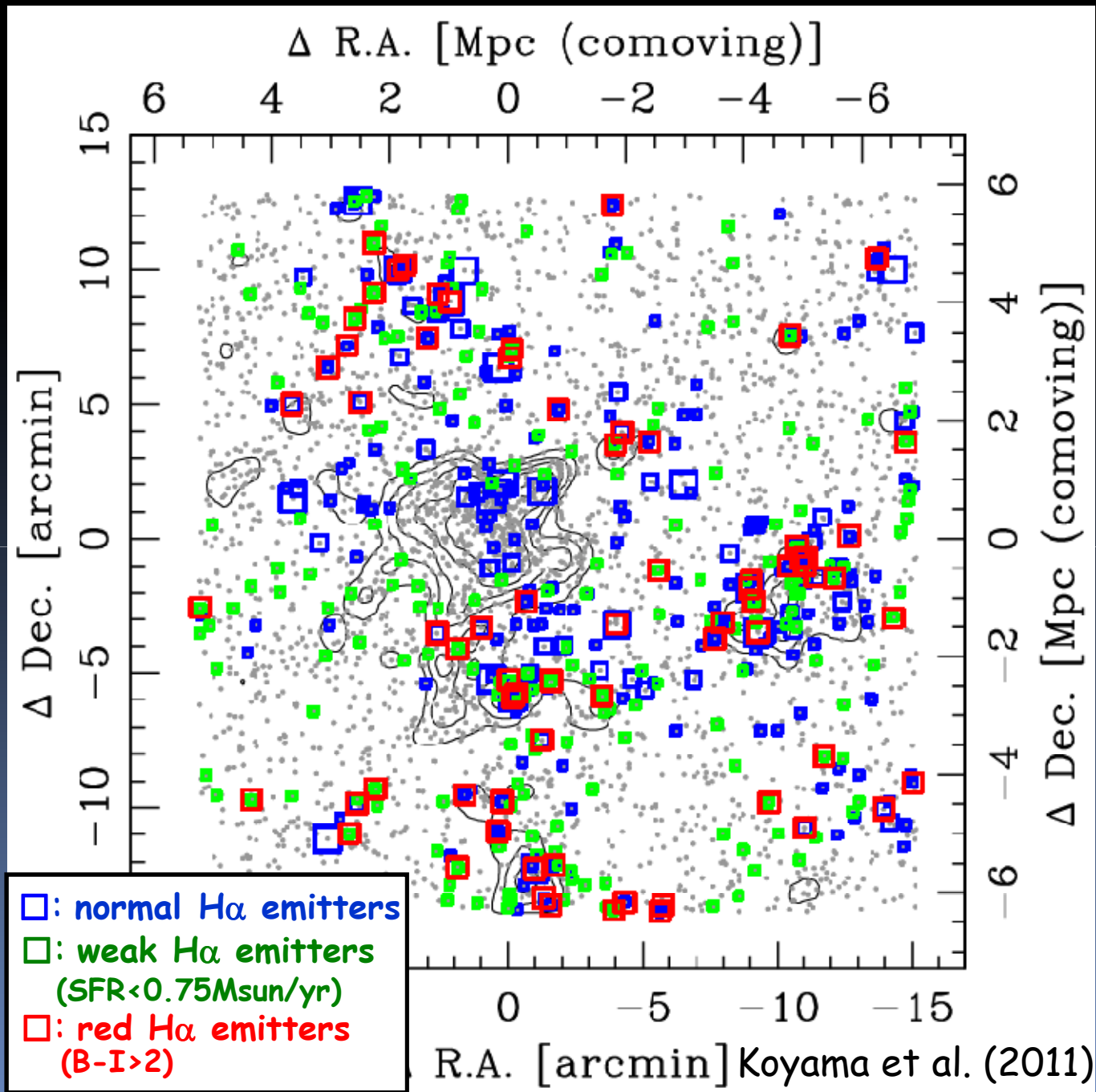
Kodama et al. (2001), see also Tanaka+05 and Koyama+08 for other redshifts

# 銀河団周辺環境がカギを握る？

Suprime-Cam の初期成果から、銀河団周辺の銀河群環境で銀河の色が大きく変化するように見えてきた。

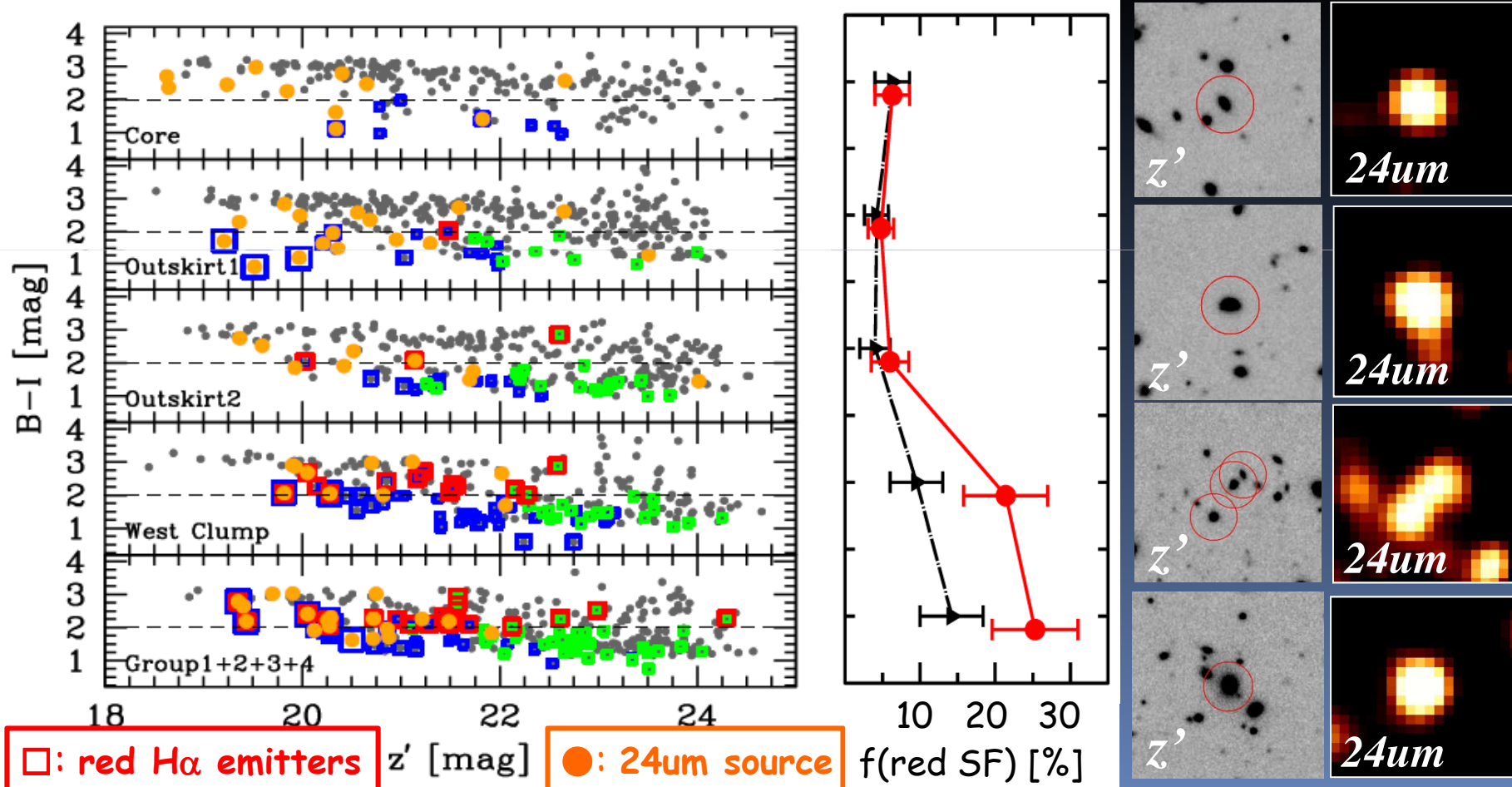


Kodama et al. (2001), see also Tanaka+05 and Koyama+08 for other redshifts



# 赤い H $\alpha$ エミッターの環境とその正体

赤い HAE のほとんどは銀河群環境に存在していた。  
なかには 24 $\mu$ m で明るいダスティースターバーストもあり。

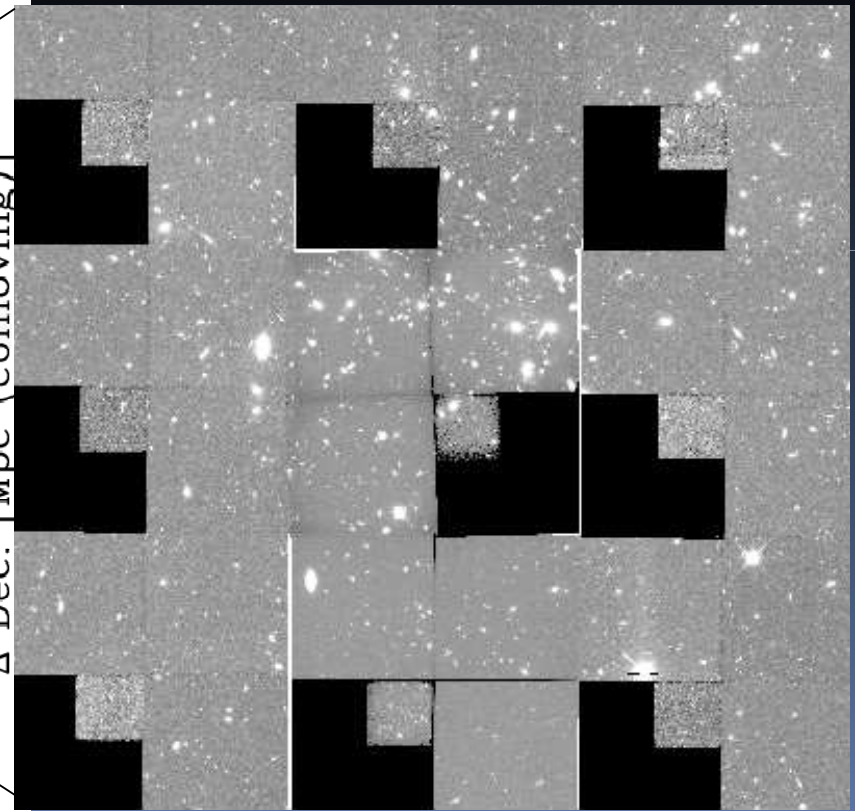
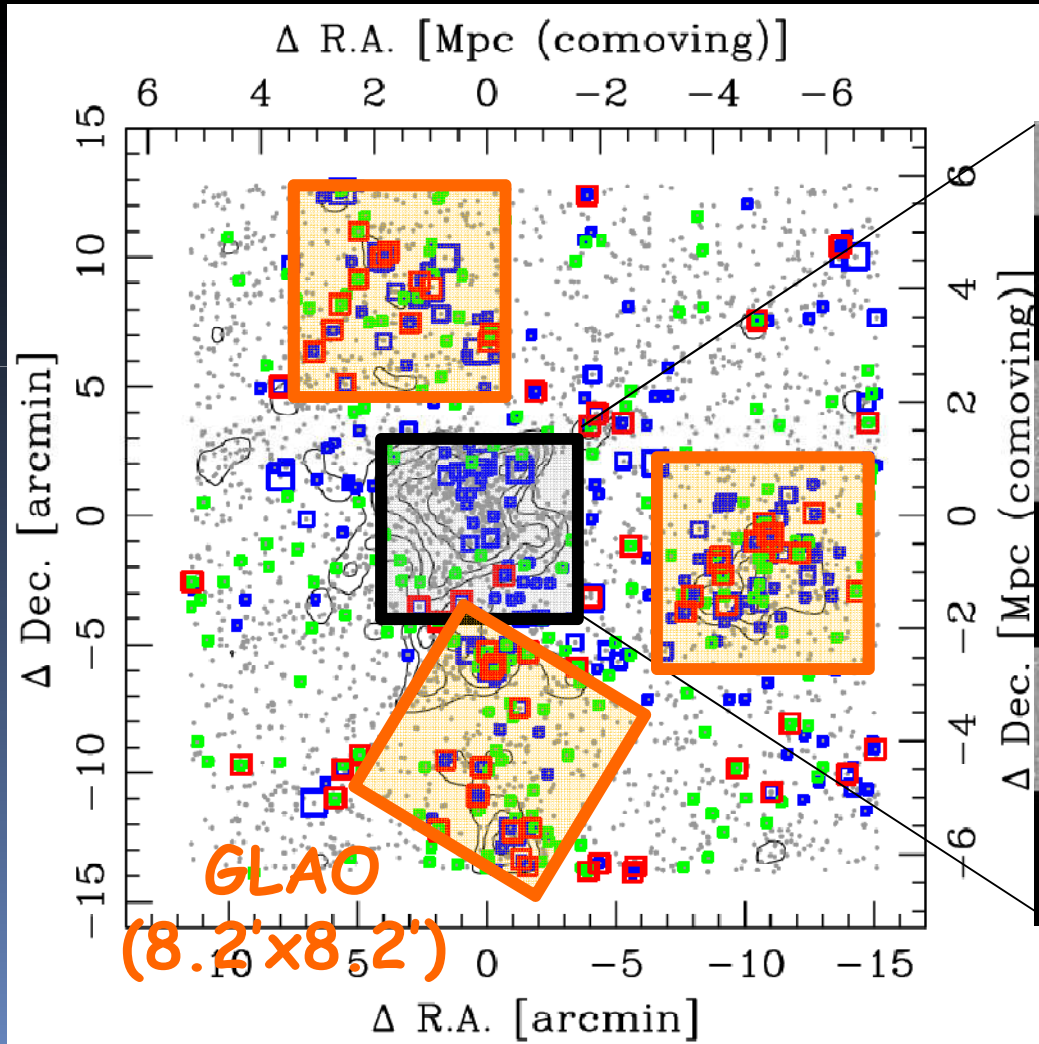


Koyama et al. (in prep.)

# これらの銀河の形態は？

分からない。HST画像は、銀河団中心にかぎられる。

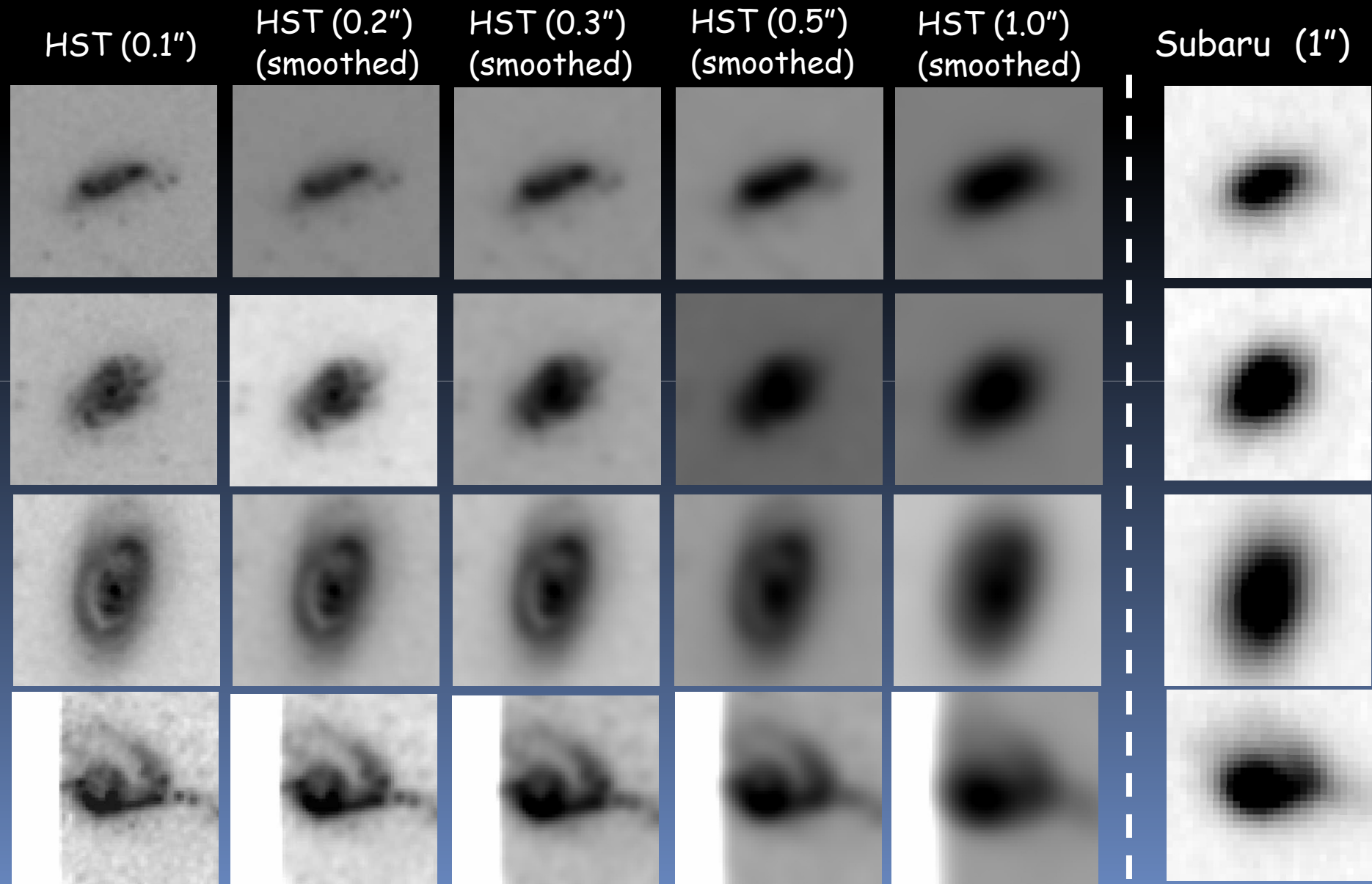
(赤いHAEのない領域)



Note: One of the well-studied cluster.  
HST image is provided by I. Smail.

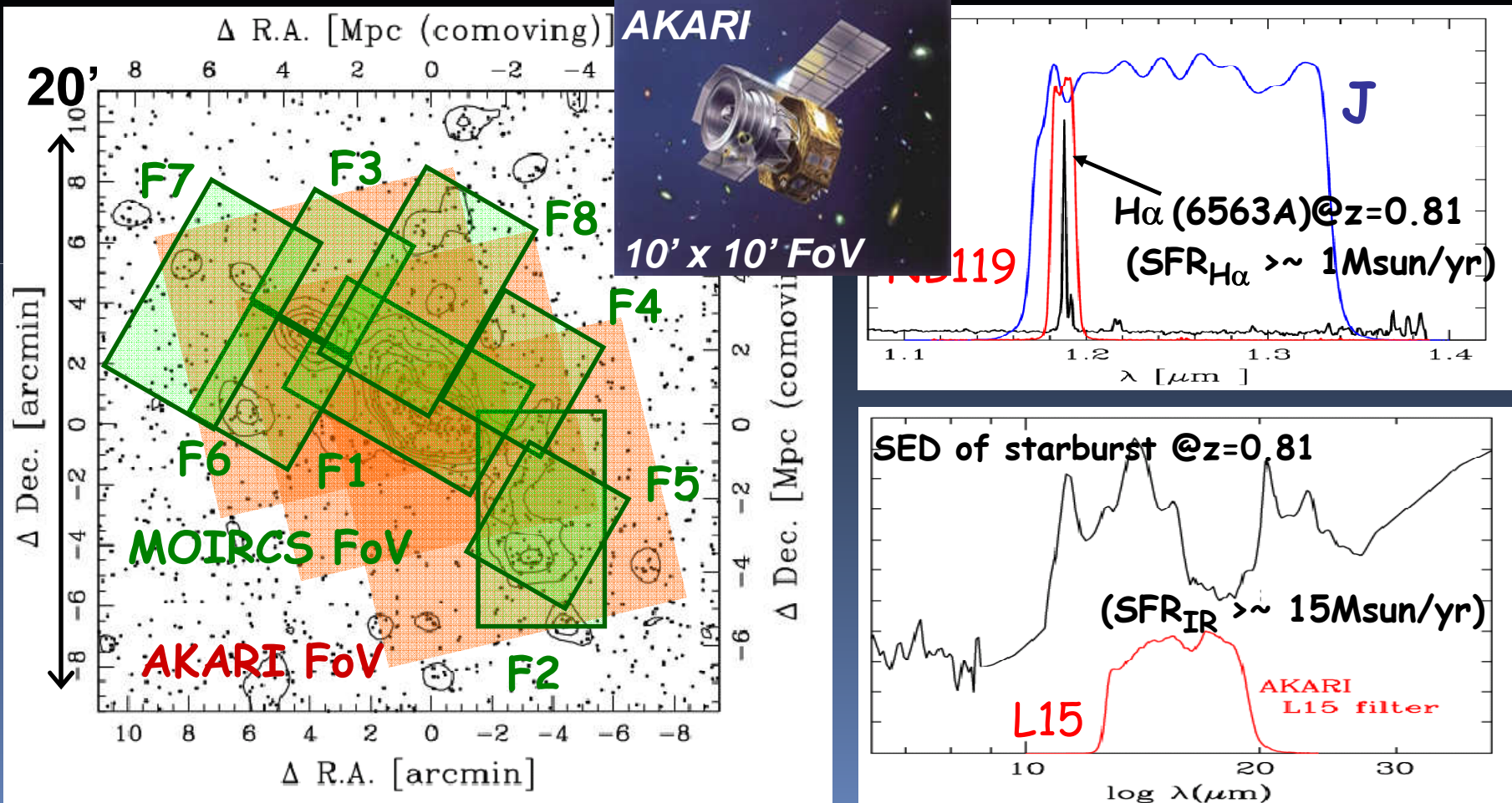


# HST視野内の銀河形態をチェック



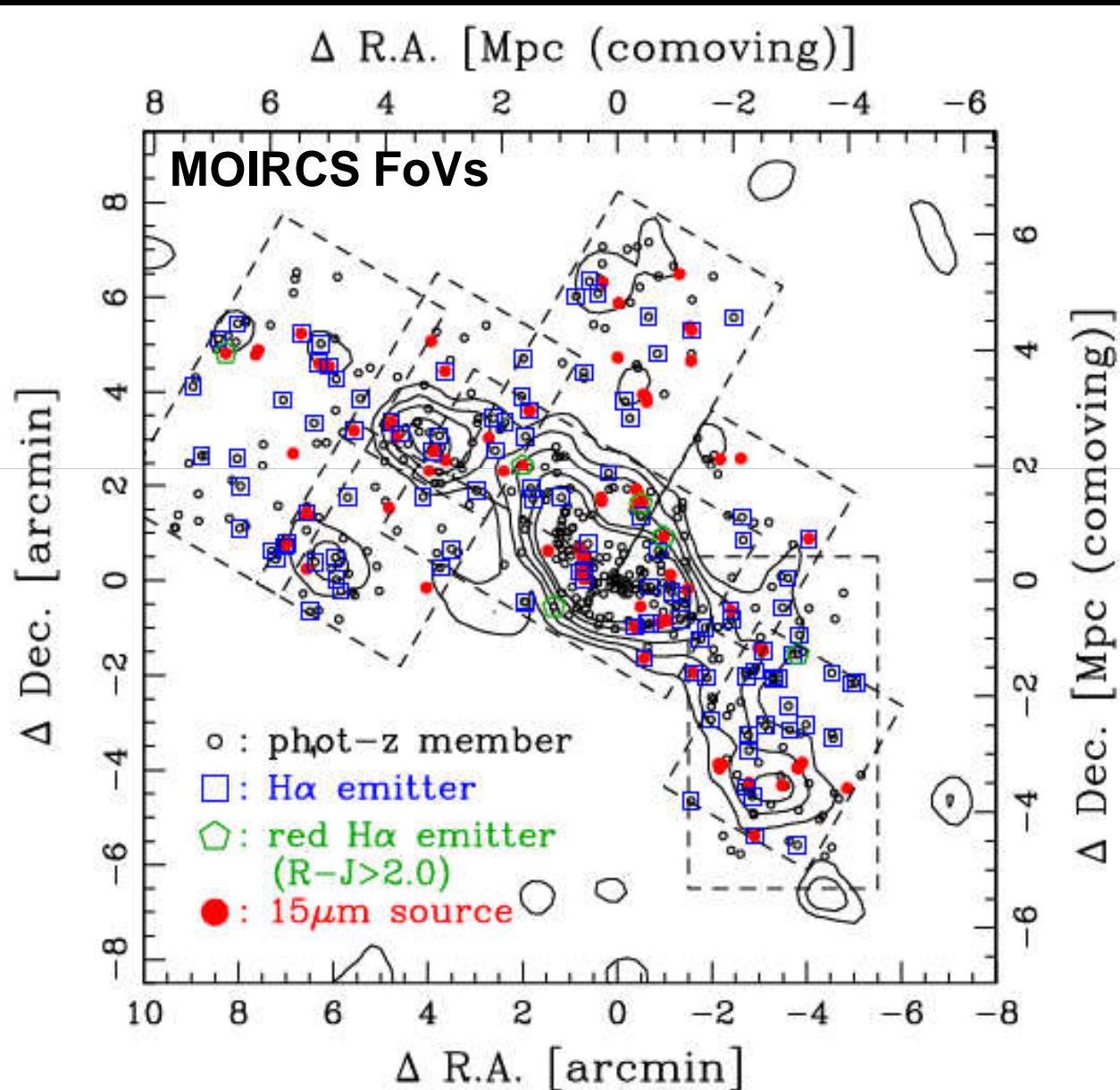
# $z=0.8$ における銀河団広視野探査の例

Subaru/S-Cam ( $VRi'z'$ ) MOIRCS ( $J, NB119$ ) AKARI/IRC ( $N3, S7, L15$ )  
**RXJ1716 cluster (@ $z=0.81$ ) Subaru & AKARI survey**



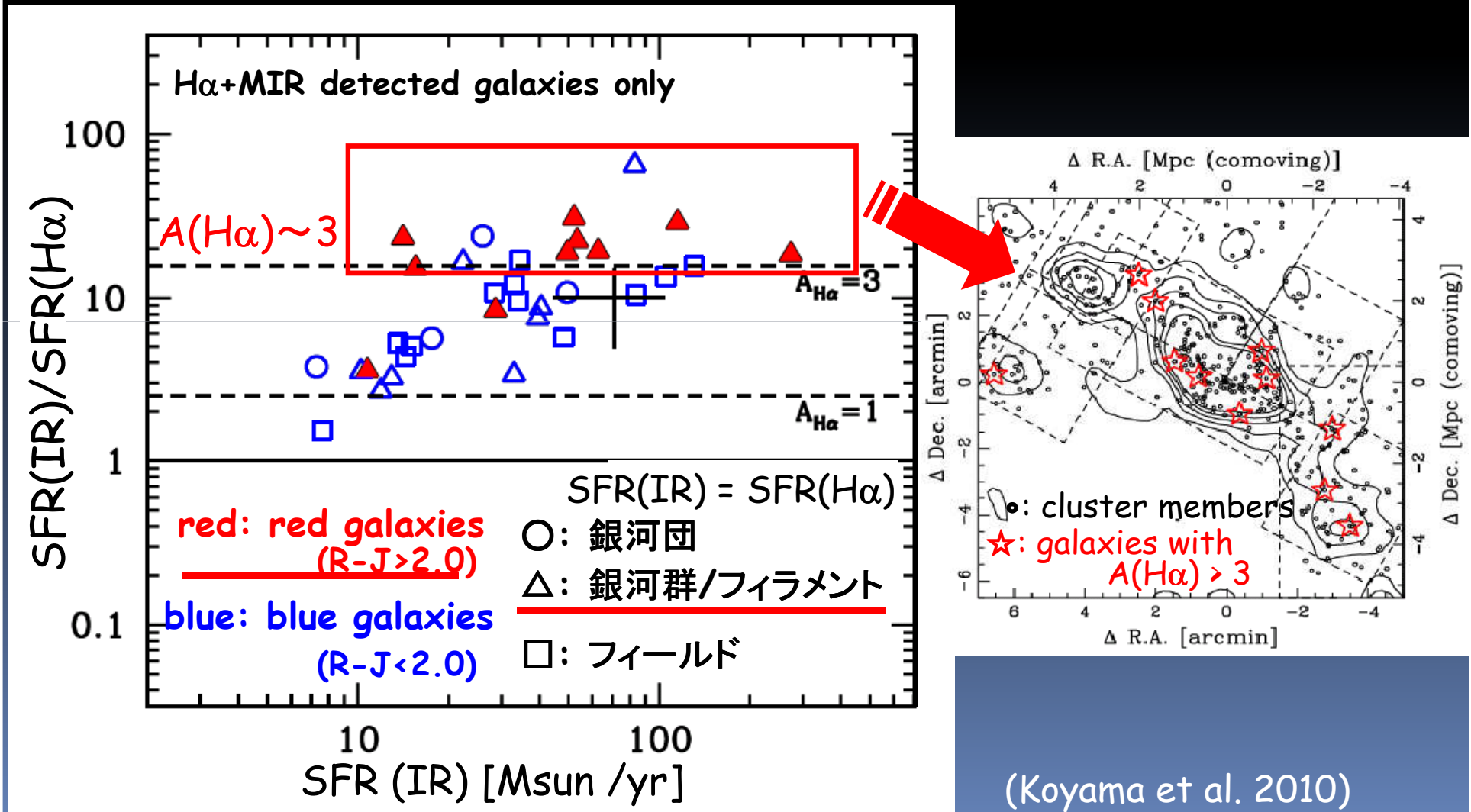
(Koyama et al. 2010)

# 大規模構造に沿って分布する $H\alpha$ emitter/MIR source



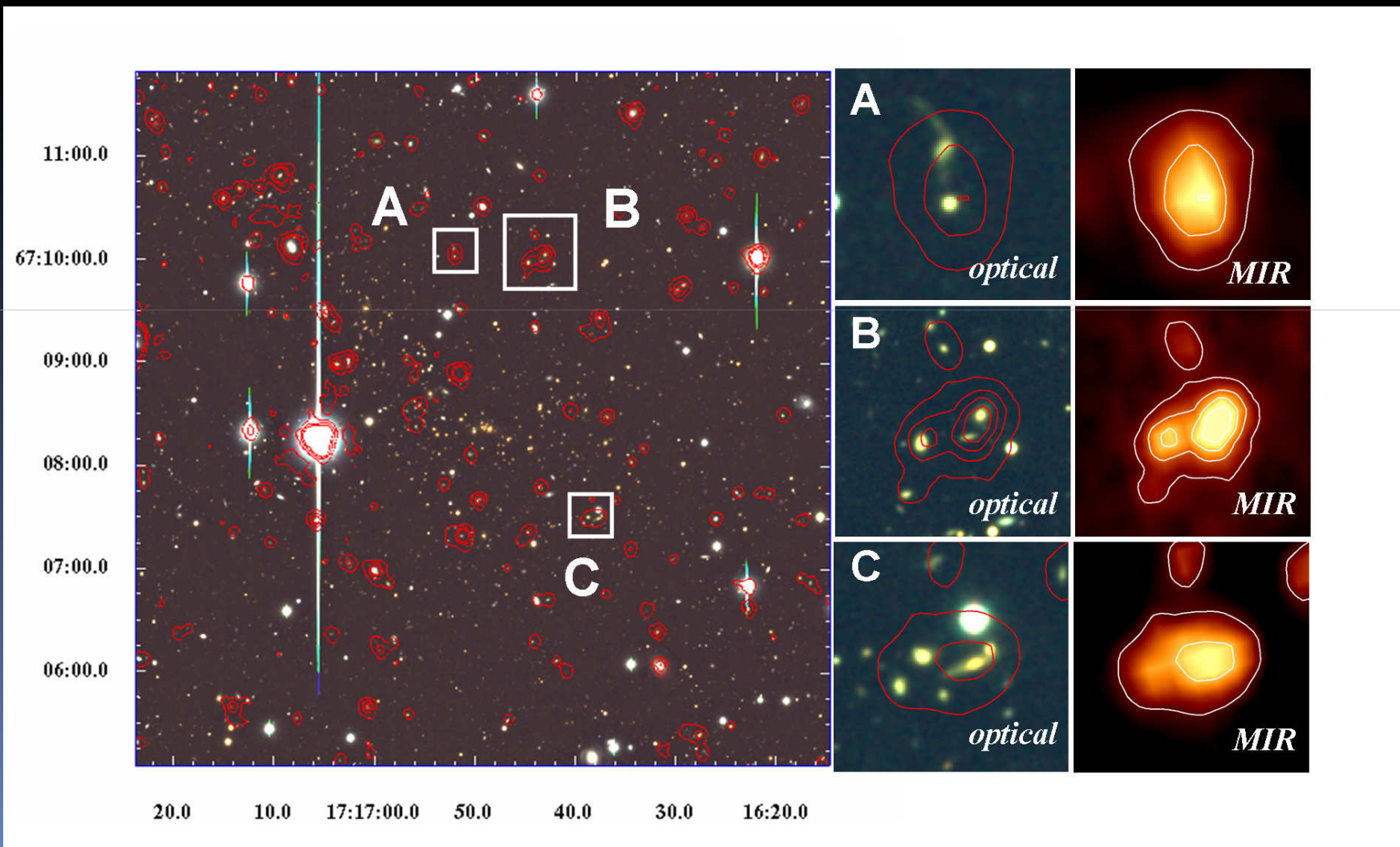
# SFR(H $\alpha$ ) vs SFR(IR)

ダスティー銀河が銀河団周辺環境に多く存在することが分かる。

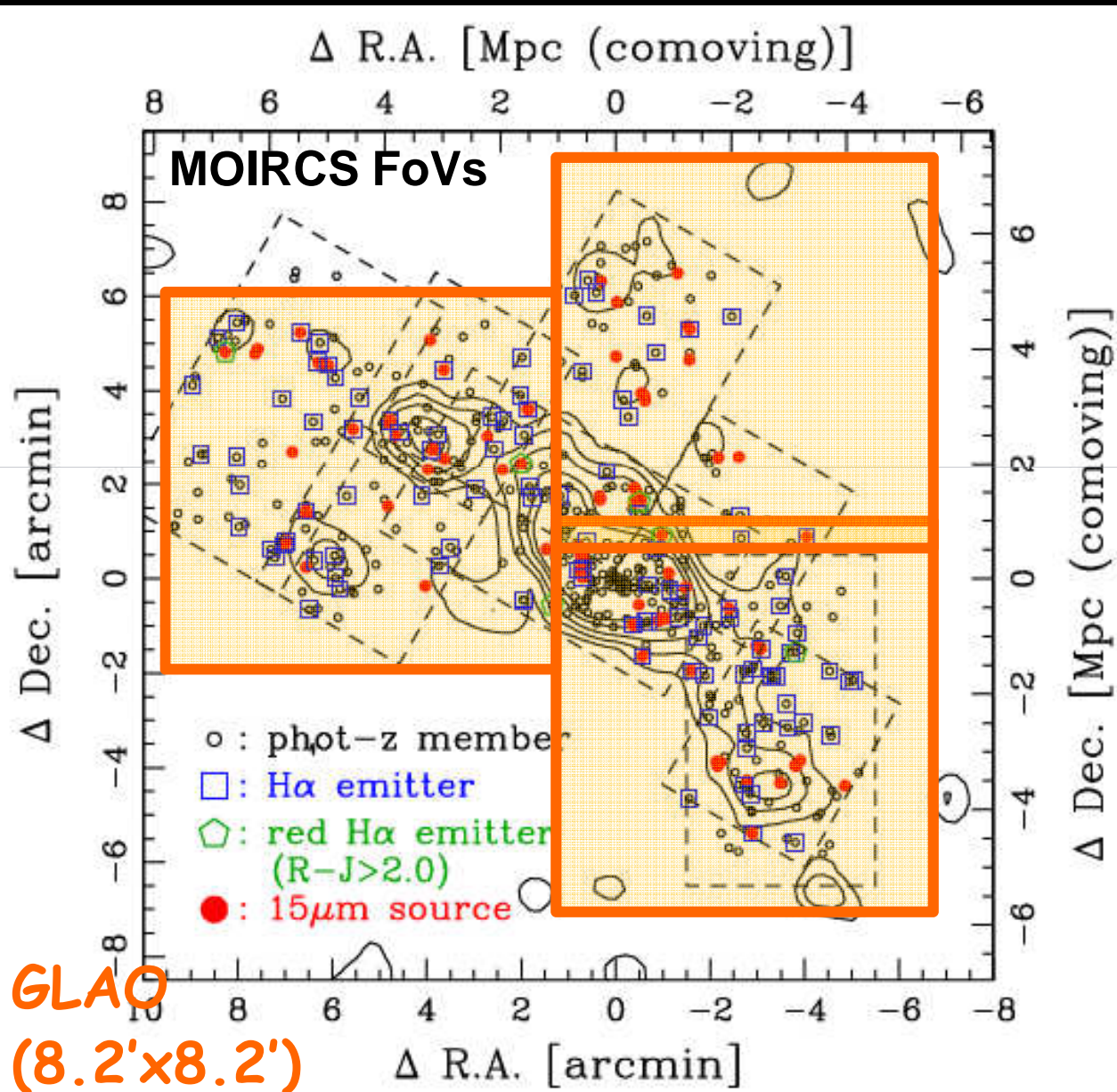


# ダスティー銀河の形態は？

ダスティー銀河の一部は merger-driven に見える。



# GLAO視野との対応



# AO + NB撮像 で広がるサイエンス

---

## 個々の銀河内部で空間分解された輝線強度の情報

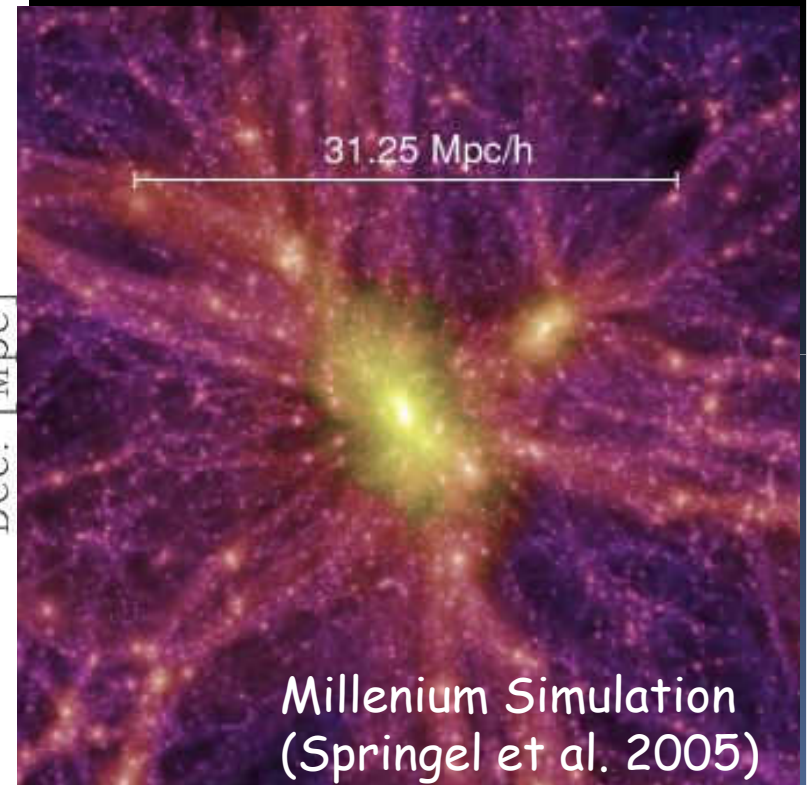
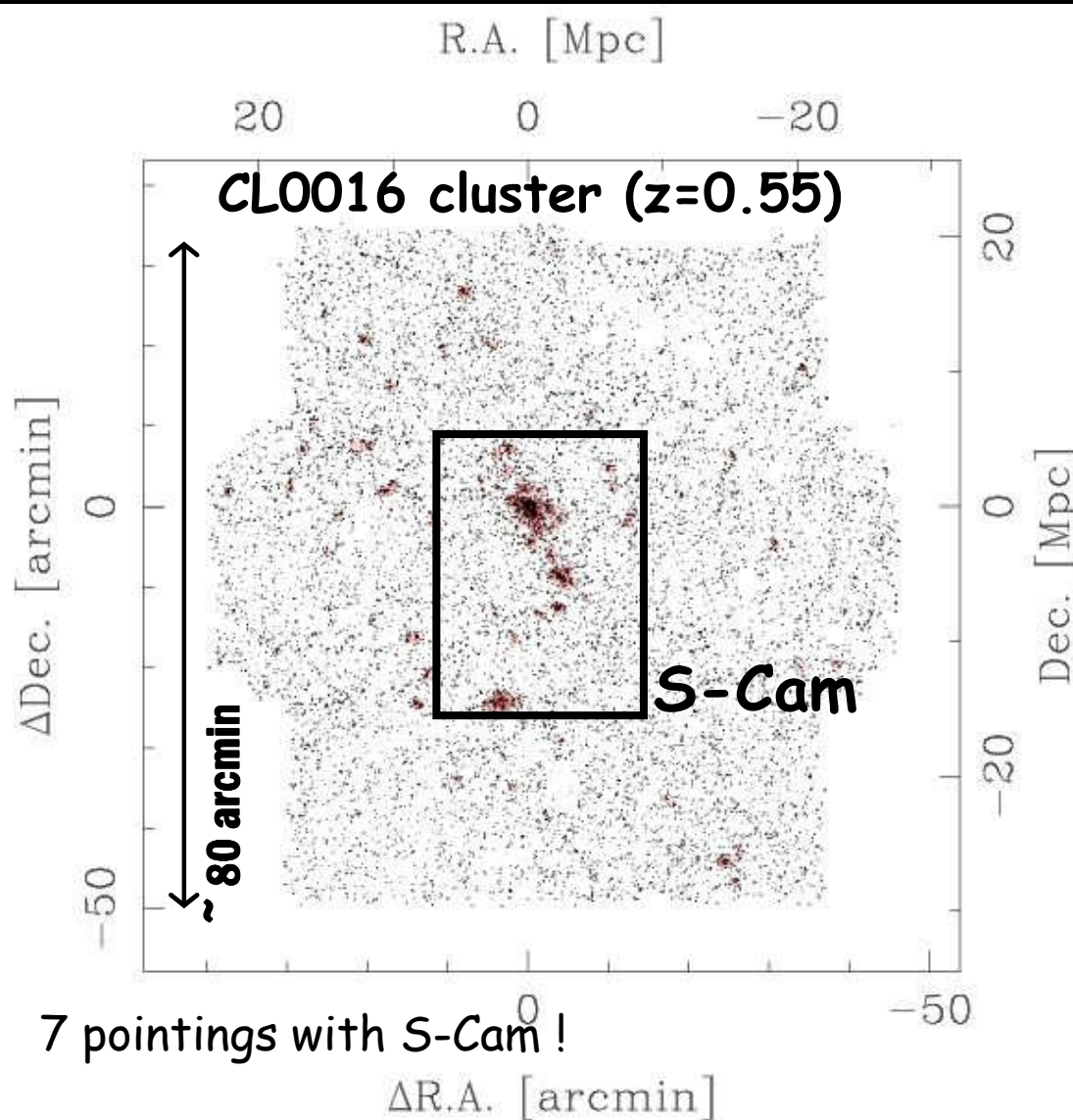
- 銀河内のどこで星形成が起こっているか?  
(nuclear starburst か、extended disk SF か)
- S0銀河の形成とも関係  
(bulge growth?)

## Tunable filter 検討の可能性は？

- HSC や FMOS などによって今後見つかるあらゆる redshift の大規模構造を NB サーベイするイメージ。  
(サンプル数の圧倒的な向上 + multi-line survey)
- 参考: SPICA も広視野を目指す。

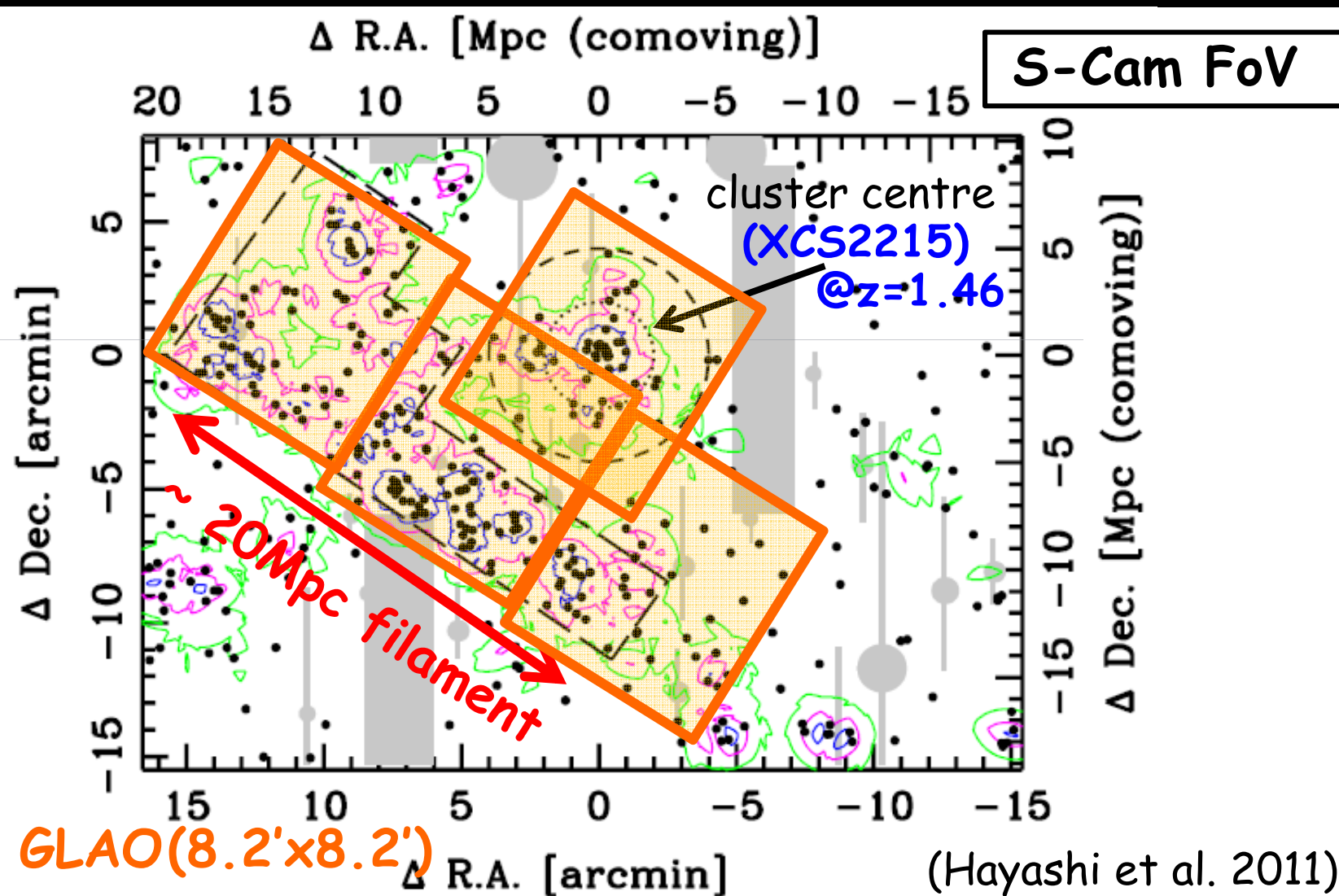
# A Huge Cosmic Web at $z=0.5$ over 50 Mpc

(Tanaka et al. 2009)





# Suprime-Cam を用いた [OII] 輝線銀河探査 で明らかになった $z=1.5$ の大規模構造



# MAHALO-Subaru Project (PI: T.Kodama)

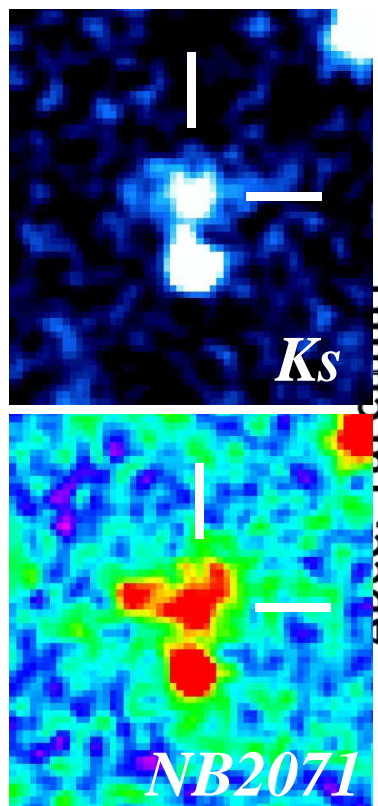
*M*apping *H*-*A*lpha and *L*ines of *O*xygen with Subaru  
 Narrow-band emitters ( $H\alpha$ , [OII]) surveys for  $0.4 < z < 2.5$

Table 2: The complete list of our NB imaging surveys for star-forming galaxies, including the past observations.

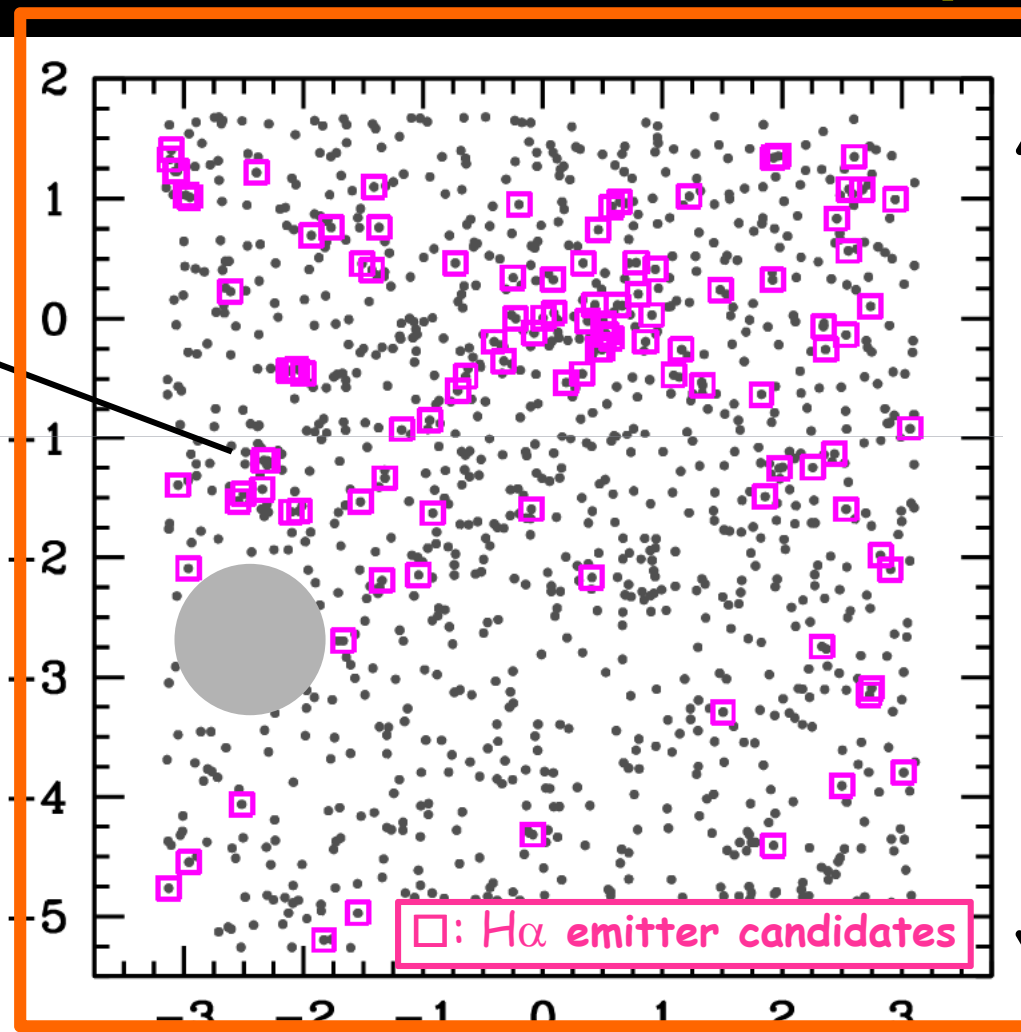
environ- ment	target	$z$	line	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	camera	NB- filter	conti- num	ALMA visibility	status
clusters	CL0024+1652	0.395	$H\alpha$	0.916	S-Cam	NB912	$z'$	Yes	Kodama+'04 [13]
	CL0939+4713	0.407	$H\alpha$	0.923	S-Cam	NB921	$z'$	No	Koyama+'10,'11
	RXJ1716+6708	0.813	$H\alpha$	1.190	MOIRCS	NB1190	$z', J$	No	
	XCSJ2215-1738	1.457	[OII]	0.916	S-Cam	NB912	$z'$	Yes	Hayashi+'10,'11
	4C65.22	1.516	$H\alpha$	1.651	MOIRCS	NB1657	$H$	No	On-going
	Q1126+101	1.517	$H\alpha$	1.652	MOIRCS	NB1657	$H$	Yes	
	Q0835+580	1.534	$H\alpha$	1.664	MOIRCS	NB1657	$H$	No	
	CL0332-2742	1.61	[OII]	0.973	S-Cam	NB973	$z, y$	Yes	
	IRC0218-A	1.62	[OII]	0.977	S-Cam	NB973	$z', y$	Yes	
	PKS1138-262	2.156	$H\alpha$	2.071	MOIRCS	NB2071	$K_s$	Yes	
4C23.56	2.483	$H\alpha$	2.286	MOIRCS	NB2288	$K_s, K_{\text{cont}}$	Yes		
USS1558-003	2.527	$H\alpha$	2.315	MOIRCS	NB2315	$K_s, K_{\text{cont}}$	Yes		
fields	GOODS-N (2.5 pointings)	2.19	$H\alpha$	2.094	MOIRCS	NB2095	$K_s$	No	Tadaki+'10 [27]
	[OII]		1.189	MOIRCS	NB1190	$z', J$	No	Tadaki+'10 [27]	
	SXDF (3 pointings)	2.19	$H\alpha$	2.094	MOIRCS	NB2095	$K$	Yes	On-going
	$H\beta$		1.551	MOIRCS	NB1550	$H$	Yes		
			[OII]	1.189	MOIRCS	NB1190	$z', J$	Yes	

# Large-scale structure at $z=2.16$

星形成銀河で浮かび上がる  $z=2$  の大規模構造 (PKS1138領域)



GLAO  
(8.2'x8.2')



MOIRCS  
2 FoVs  
(Ks/NB2071)

~ 11 Mpc  
(comoving)

(Koyama et al. in prep)

# IFU ?

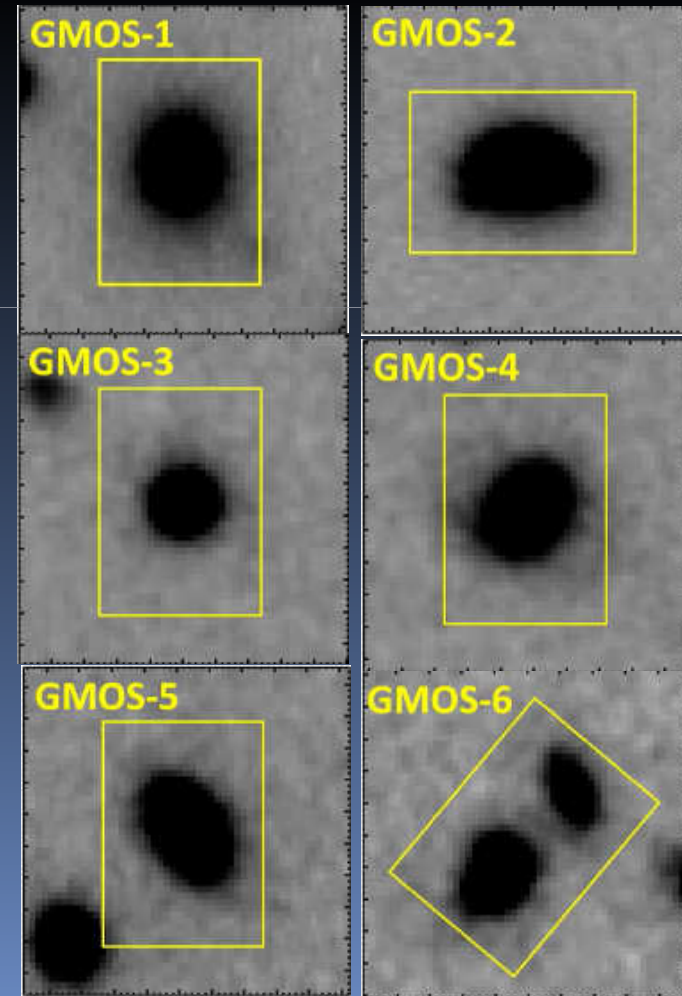
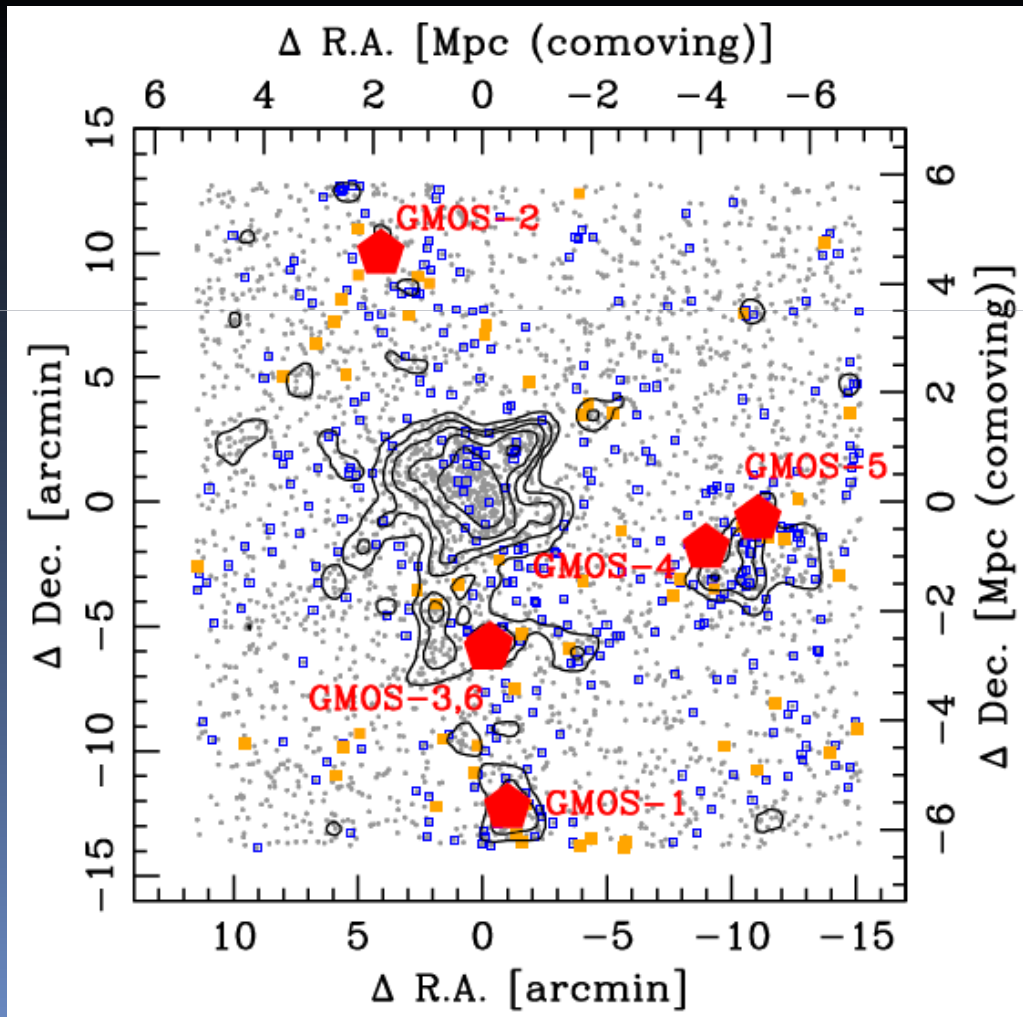
---

## 面分光観測の有用性

- 銀河内のどこで星形成が起こっているか?  
(nuclear starburst か、extended disk SF か)  
ただしこれはAO+NB撮像で観測視野全体で行える。
  - kinematics の情報  
(merger の兆候はあるか、普通の disk rotation か)
  - 空間分解された分光情報 (AGN,  $H\alpha/H\beta$ , metallicity)
- 面分光機能(+MOAO)もほしいのは事実…  
他望遠鏡との競争、TMTにはかなわないさびしさ

# IFU ?

GMOS(N) による面分光観測の予定 (2012年1月)。  
晴天ならば、空間的に分解された環境効果が見えてくるはず。



# まとめ

---

- **GLAO** のほうが(個人的には)魅力的に見える。
- **~10' FoV** で  $z > 1$  大規模構造の効率よい観測が可能。  
(**20' 視野**が実現できれば、low- $z$  銀河団探査やブランクフィールドサーベイにも大きなメリットになるだろう)
- **PSF=0.2"-0.3"** でも大きなゲインありそう。
- **NB** (できれば **tunable filter**) でサイエンスが広がる。
- NB も TF もなしの場合は、MOAO+IFU を使った多天体 IFU のほうが魅力的か。