

2009/4/8 WISH サイエンスワークショップ @ 三鷹

# WISHで探る遠方銀河団

小山佑世(東京大学)

カラフルな夜景

# Outline

---

## 1. 銀河団の歴史を遡る

- \* なぜ銀河団を観測するのか。
- \* これまでの観測に基づく私たちの理解。

## 2. 現状の問題点と WISH への期待

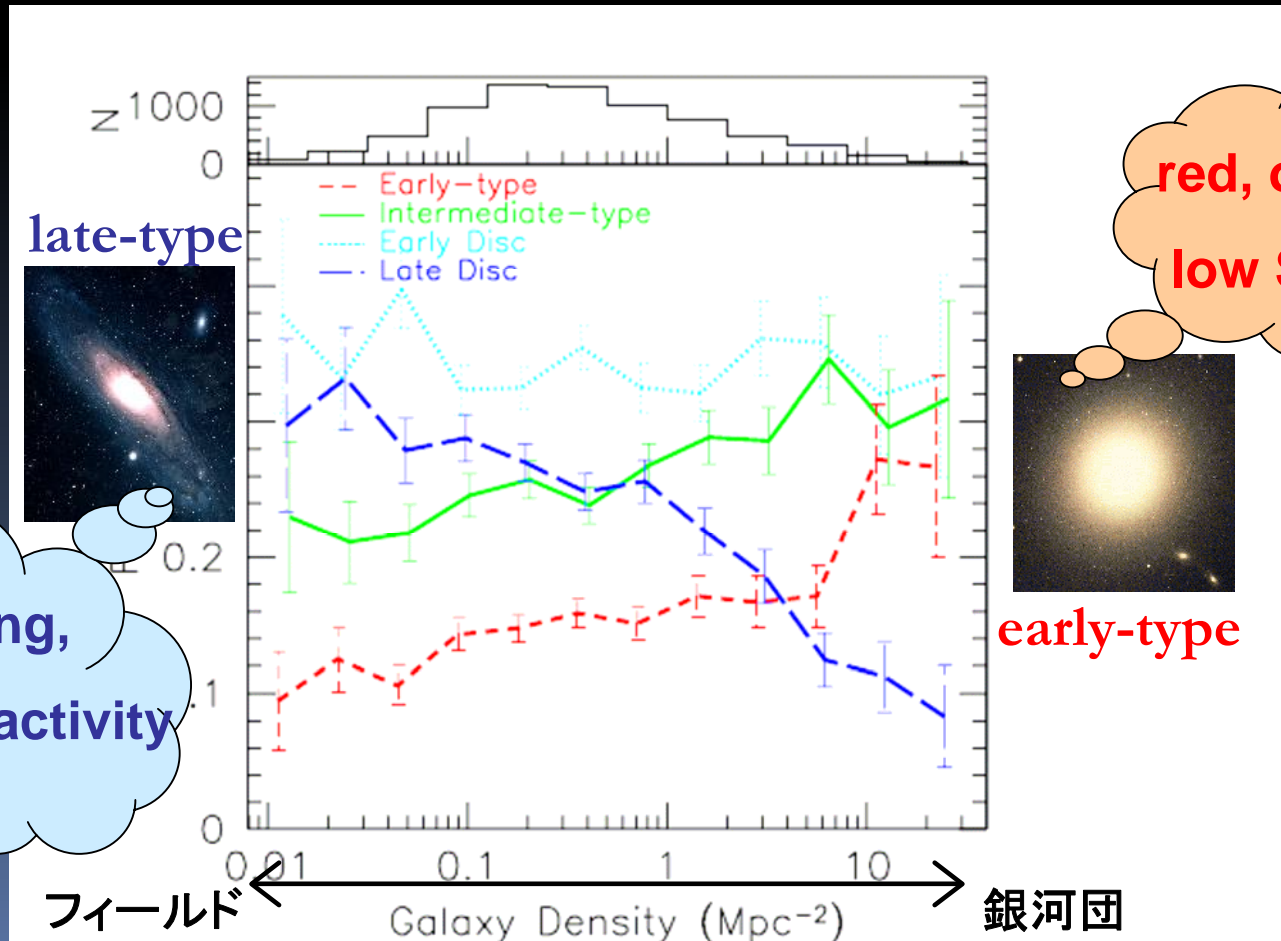
- \* WISH による銀河団サーベイの提案。

## 3. WISH で広がるサイエンス

- \* 課題1：銀河団の赤い銀河の形成。
- \* 課題2：銀河団環境とダスティー星形成。

# 銀河の性質と環境の関係

形態－密度相関 (@ $z=0$ ) from SDSS galaxies (Goto et al. 2003)



高密度な領域には早期型銀河が多く、一般に星形成活動は弱い。

# 銀河団

---

現在の宇宙の銀河団は、すでに星形成活動を終えた  
赤い楕円銀河やS0銀河に満ちている。

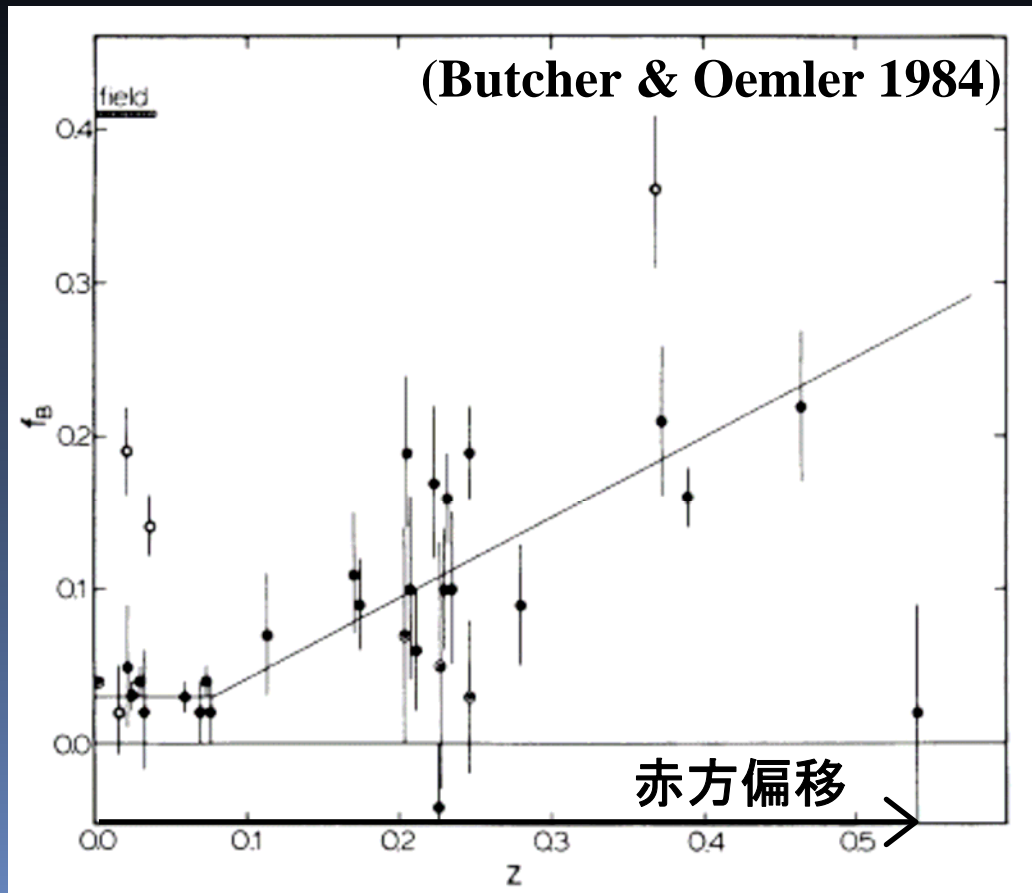


# 銀河団の歴史を遡る

## Butcher-Oemler effect (BO-effect)

過去の宇宙の銀河団には数多くの青い星形成銀河がいた。  
 $z \rightarrow 0$  にかけてこれらの星形成銀河の活動は止められた？

青い銀河の  
割合

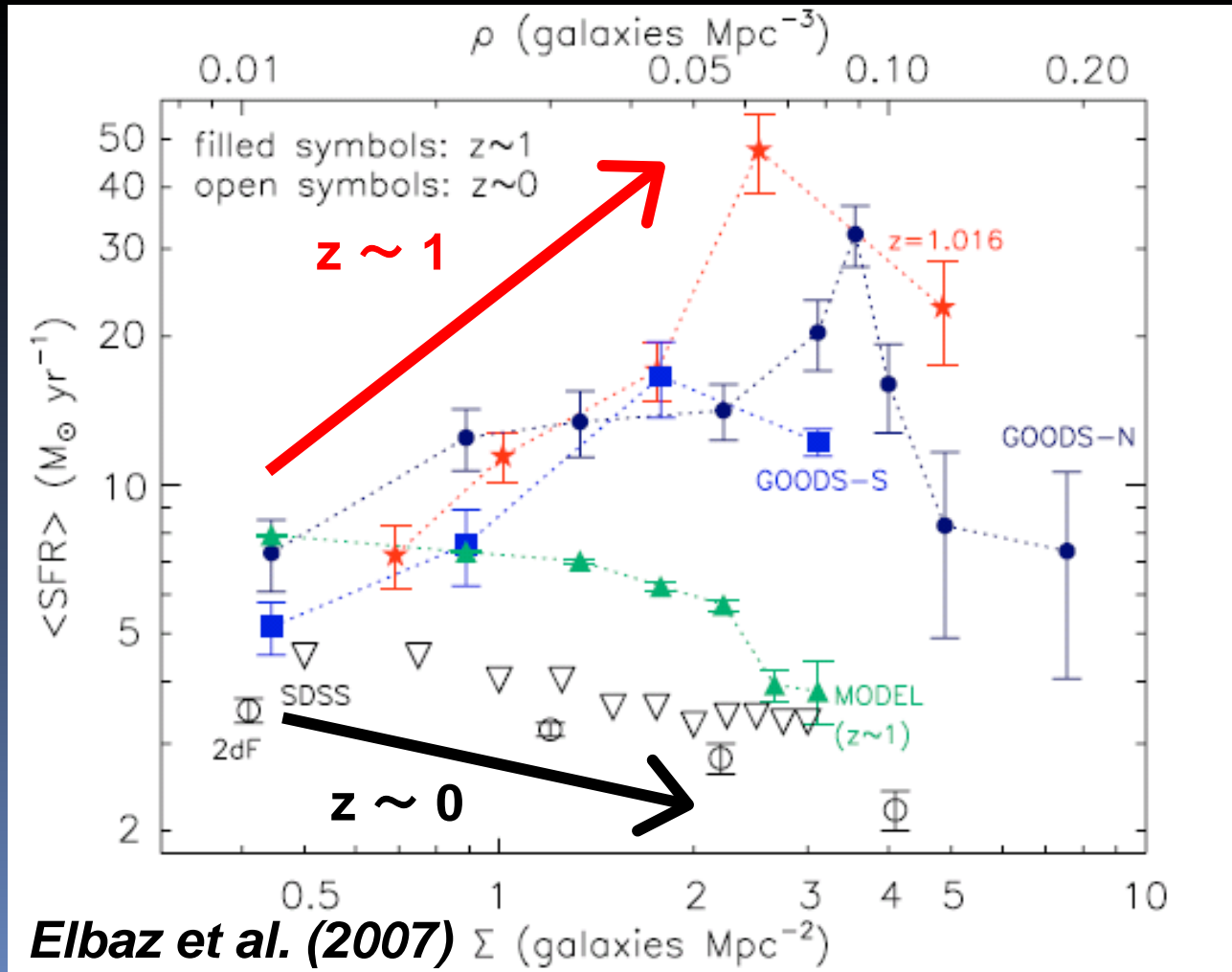


赤方偏移



# z~1 銀河の星形成活動と環境の関係

星形成活動と環境の関係は z=0 の傾向とは逆の傾向を示す。  
z=1→0 で高密度環境の星形成活動は劇的に変化した？



# PISCES プロジェクト

( Kodama et al. 2005 )

## Panoramic Imaging and Spectroscopy

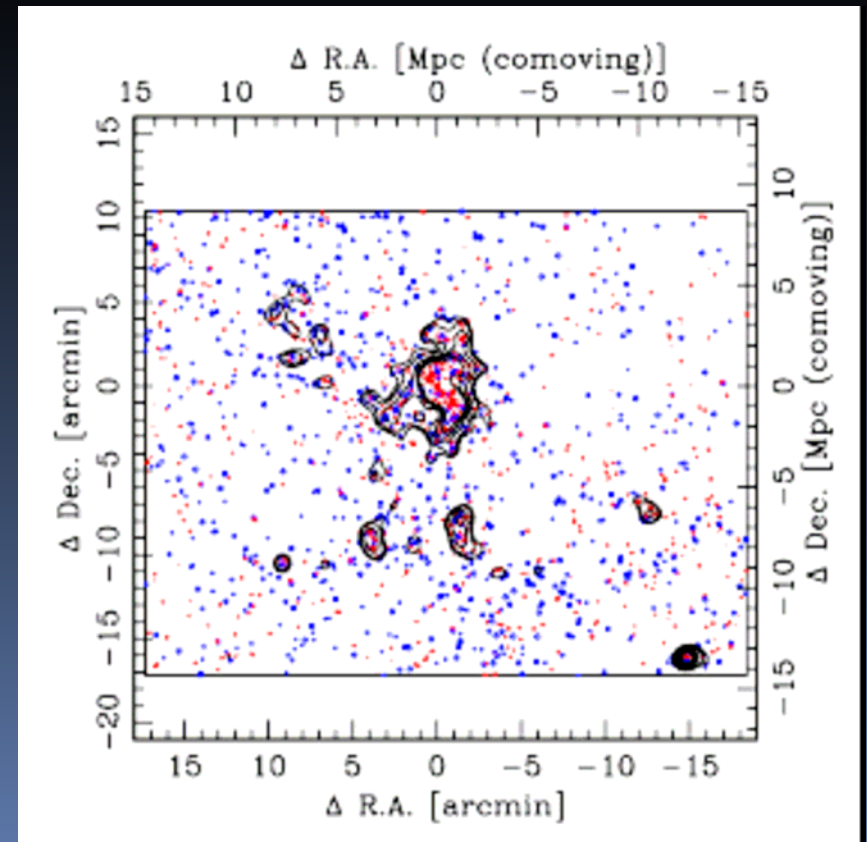
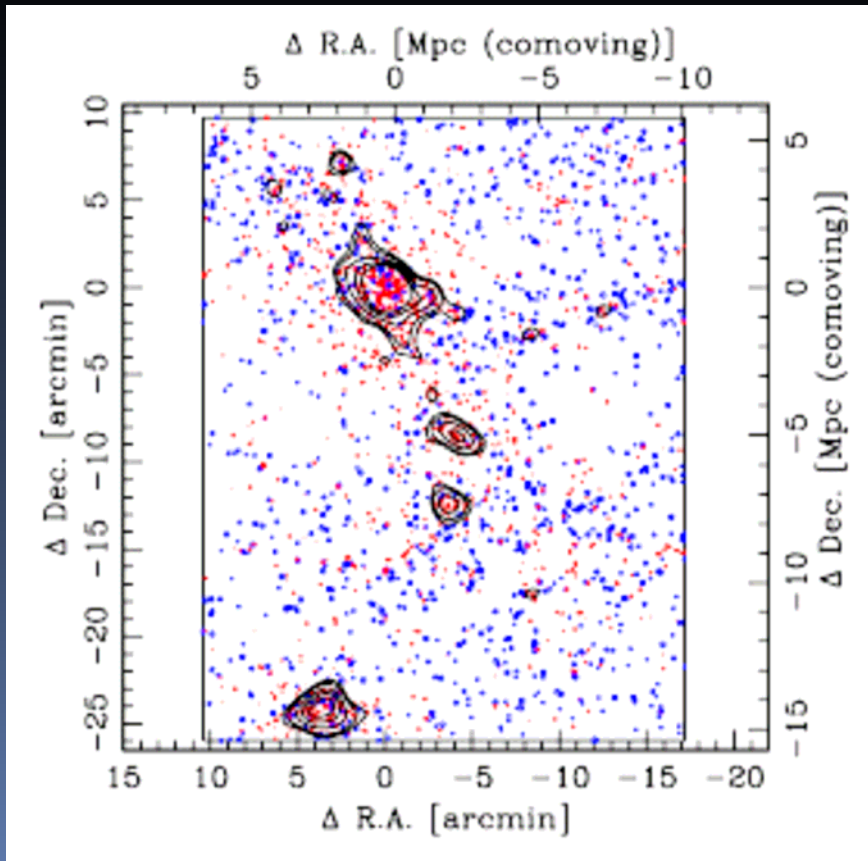
## of Cluster Evolution with Subaru

主にすばるを用いた  $z \sim 1$  銀河団の多色撮像・分光プロジェクト

	Class ( $z$ )	Cluster	RA (J2000)	Dec (J2000)	$z$	$L_X$ $10^{44}$	Bands	Coordination
$z \sim 0.4$	0.4	CL 0024+1652	00 26 35.7	+17 09 43	0.39	3.2	$BRz'$ , NB	ACS, XMM, Cha
		CL 0939+4713	09 42 56.6	+46 59 22	0.41	9.2	$BVRI$ , NB	XMM
		RX J2228.5+2036	22 28 34.4	+20 36 47	0.41	16.5	$BVRi'$	Cha, S-Z
$z \sim 0.55$	0.55	MS 0451.6-0305	04 54 10.9	-03 01 07	0.55	12.0	$BVRI$	ACS, S-Z
		CL 0016+1609	00 18 33.3	+16 26 36	0.55	26.0	$\dagger BV Ri' z'$	ACS, XMM, Cha, S-Z
		MS 2053.7-0449	20 56 22.4	-04 37 43	0.58	5.0	$BVRi' z'$	ACS, XMM, S-Z
$z \sim 0.85$	0.85	RX J1716.4+6708	17 16 49.6	+67 08 30	0.81	2.7	$\dagger V Ri' z'$	Cha, ASTRO-F, Spi
		MS 1054.4-0321	10 57 00.2	-03 37 27	0.82	20.0	$VRi' z'$	ACS, XMM, Cha, S-Z, Spi
		RX J0152.7-1357	01 52 41.0	-13 57 45	0.83	16.0	$VRi' z'$	ACS, XMM, Cha, S-Z, Spi
		CL J1226.9+3332	12 26 58.0	+33 32 54	0.89	53.0	$VRi' z'$	ACS, XMM, Cha, S-Z, Spi
		CL J1604+4321	16 04 31.5	+43 21 17	0.92	2.0	$VRi' z'$	ACS, XMM, Spi
$z \sim 1.2$	1.2	RDCS J0910+5422	09 10 00.0	+54 22 00	1.11	2.1	$VRi' z'$	ACS, Cha, Spi
		RDCS J1252-2927	12 52 54.4	-29 27 17	1.24	6.6	$VRi' z'$	ACS, XMM, Cha, Spi
		RX J1053.7+5735	10 53 39.8	+57 35 18	1.14	2.0	$\dagger V Ri' z'$	Cha, Spi
		RX J0848.9+4452	08 48 56.3	+44 52 16	1.26	2.8	$BVRi' z'$	ACS, XMM, Cha, Spi

# $z \sim 1$ 宇宙の大規模構造

$z \sim 1$ では Suprime-Cam 視野全体に広がるような大規模構造が銀河団周囲に存在していることを証明。

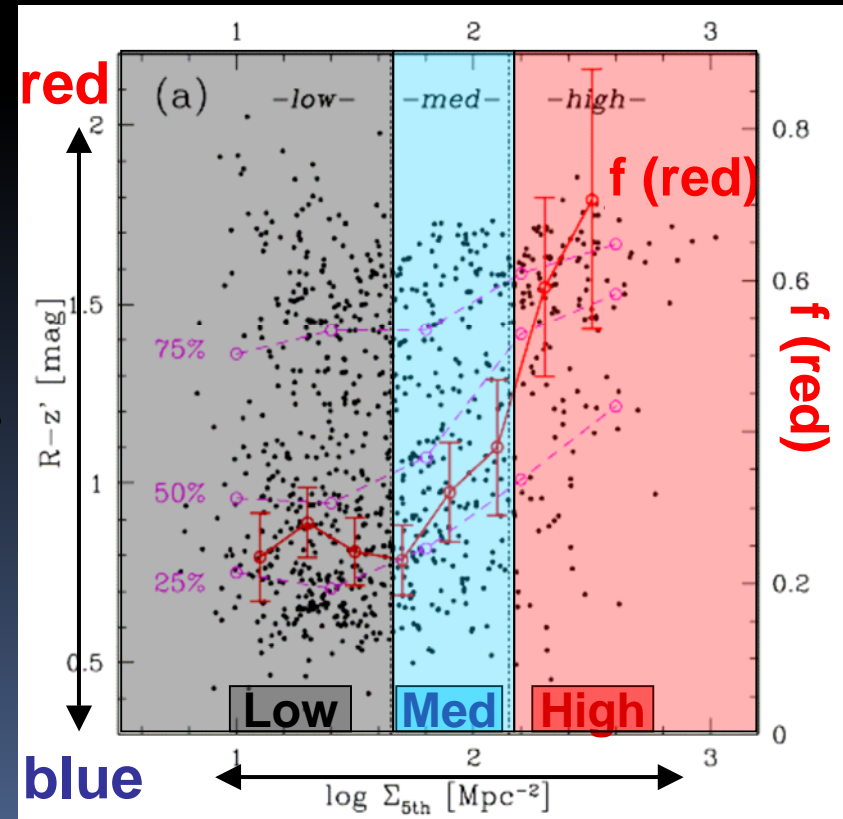
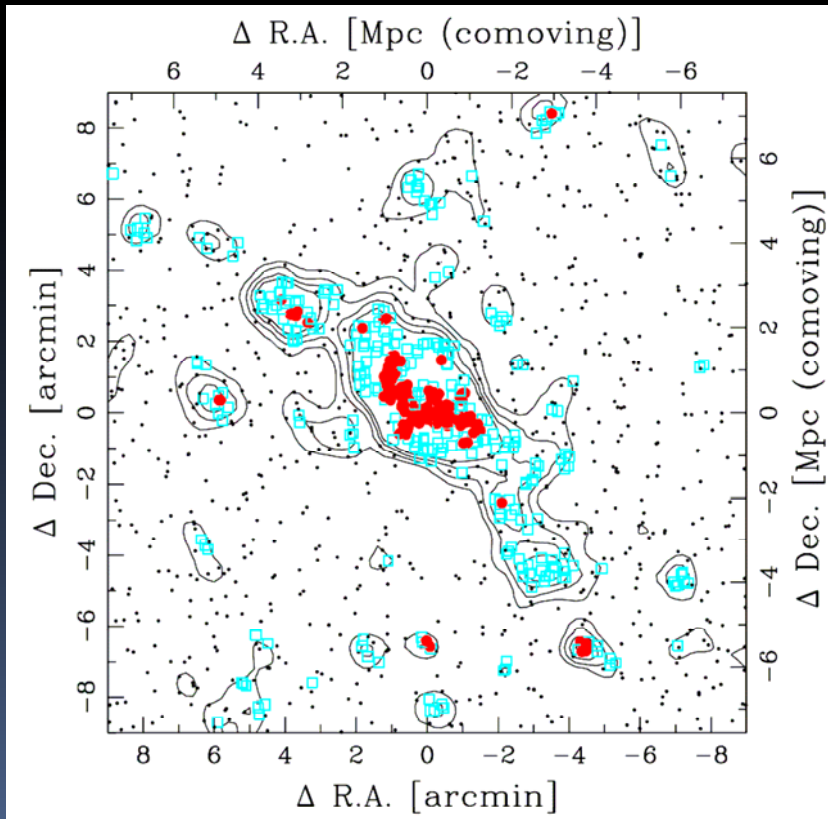


Kodama et al. (2005), Tanaka et al. (2005)



# $z = 0.81$ 銀河団周辺部で銀河の色が変わる

RXJ1716 銀河団 ( $z=0.81$ ) の例。 ( Koyama et al. 2008 )



*med* = outskirts / group / filament

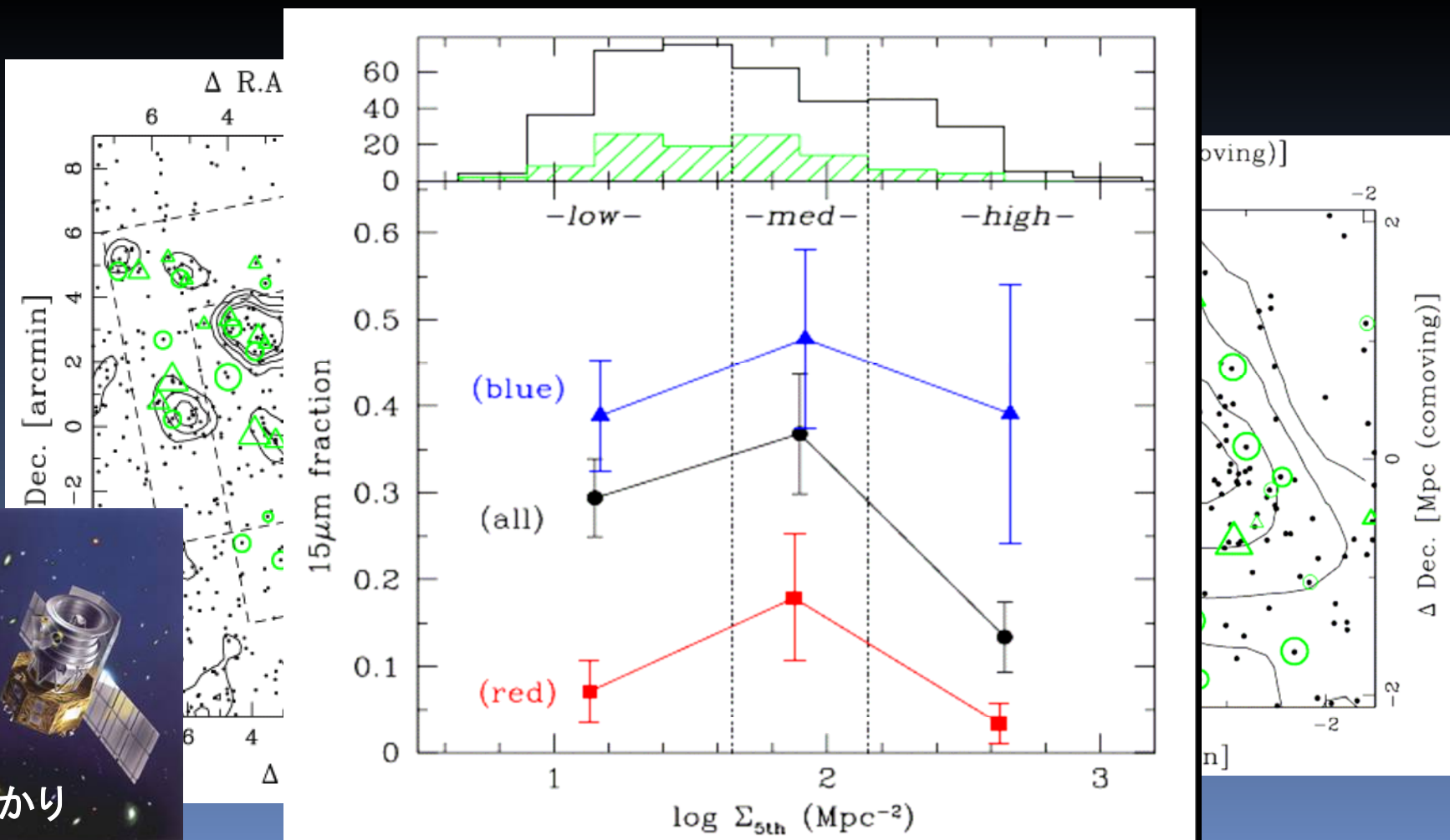
(Galaxy density)

赤い銀河が銀河団周辺の中間的な密度環境で増え始めている。

Group / filament のような環境で星形成が止められている！

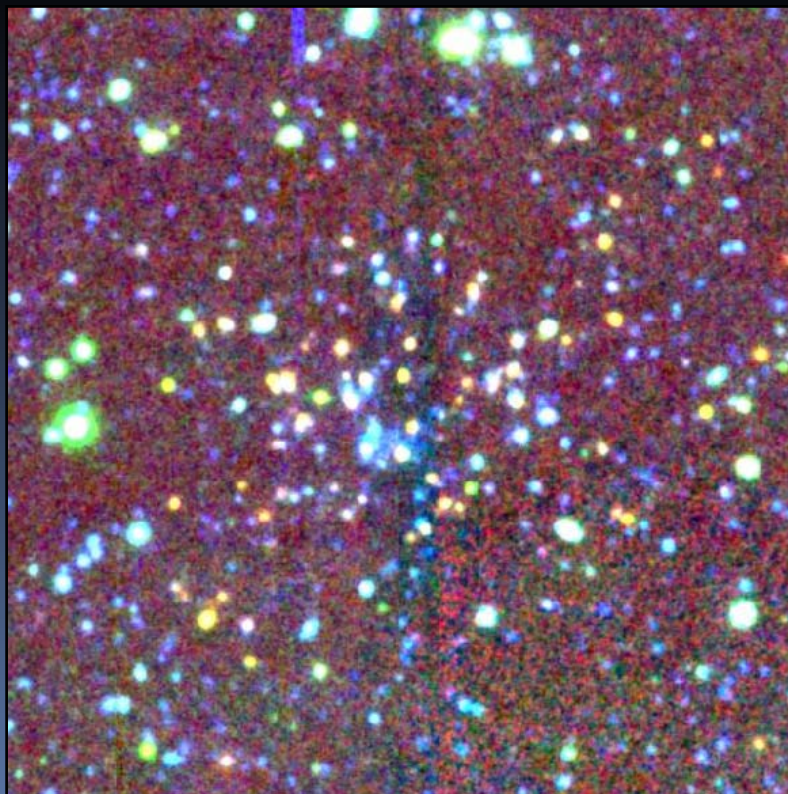
# 銀河団周辺部で銀河の星形成活動が高まる？

あかりの中間赤外線観測では同じ「中密度環境」に多くの $15\mu\text{m}$ ソースが見つかった。星形成活動の抑制メカニズムと関係？

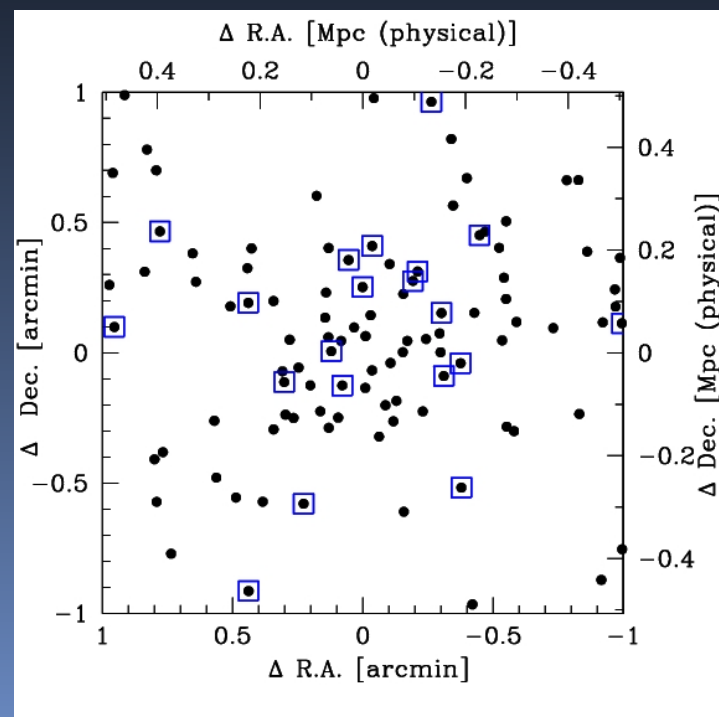
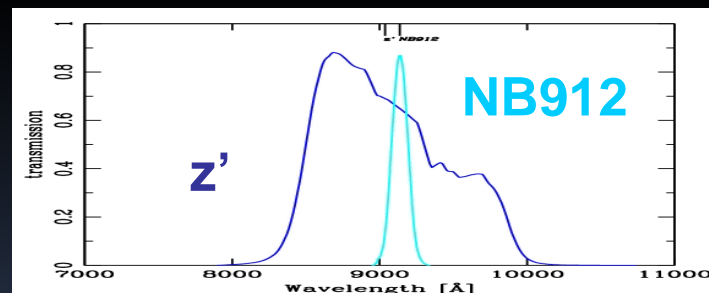


# $z \sim 1.5$ 銀河団における星形成活動

XCS2215 (X線最遠方銀河団,  $z=1.46$ ) の[OII] 輝線サーベイ。  
[OII] 輝線銀河は銀河団の中心近くにも多く存在 ( $\sim 50\%$ ! )。



Hayashi et al. (in prep)



# ここまでのまとめ

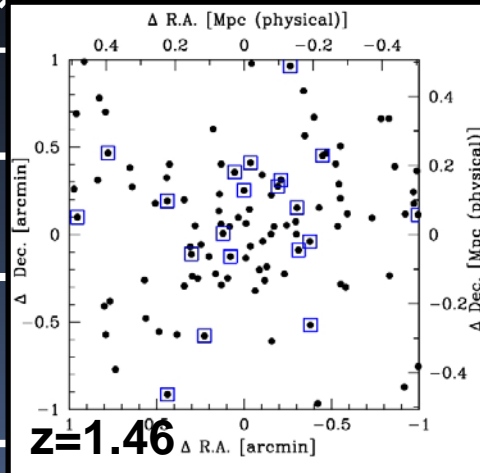
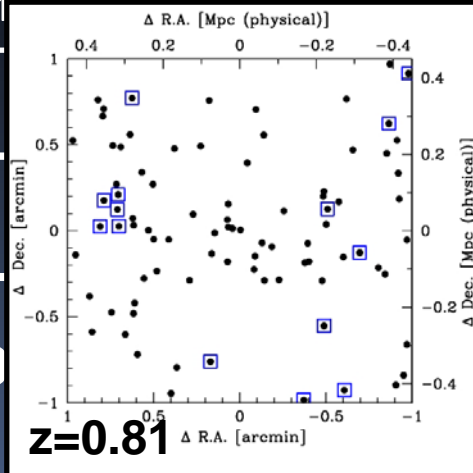
見えてきた  $0 < z < 2$  での宇宙の銀河団の進化のイメージ。

ほとんどの銀河団銀河の  
星形成が終わっている時代

銀河団周辺にはバースト的な  
激しい星形成銀河もいる時代

$z = 0$

$z = 0$



$z = 2$

銀河団領域にも星形成銀河  
がいる時代(BO-効果)。  
S0銀河の形成。

銀河団コアも形成途上の時代。  
銀河団中心にかなり近い場所  
にも星形成銀河が存在する。

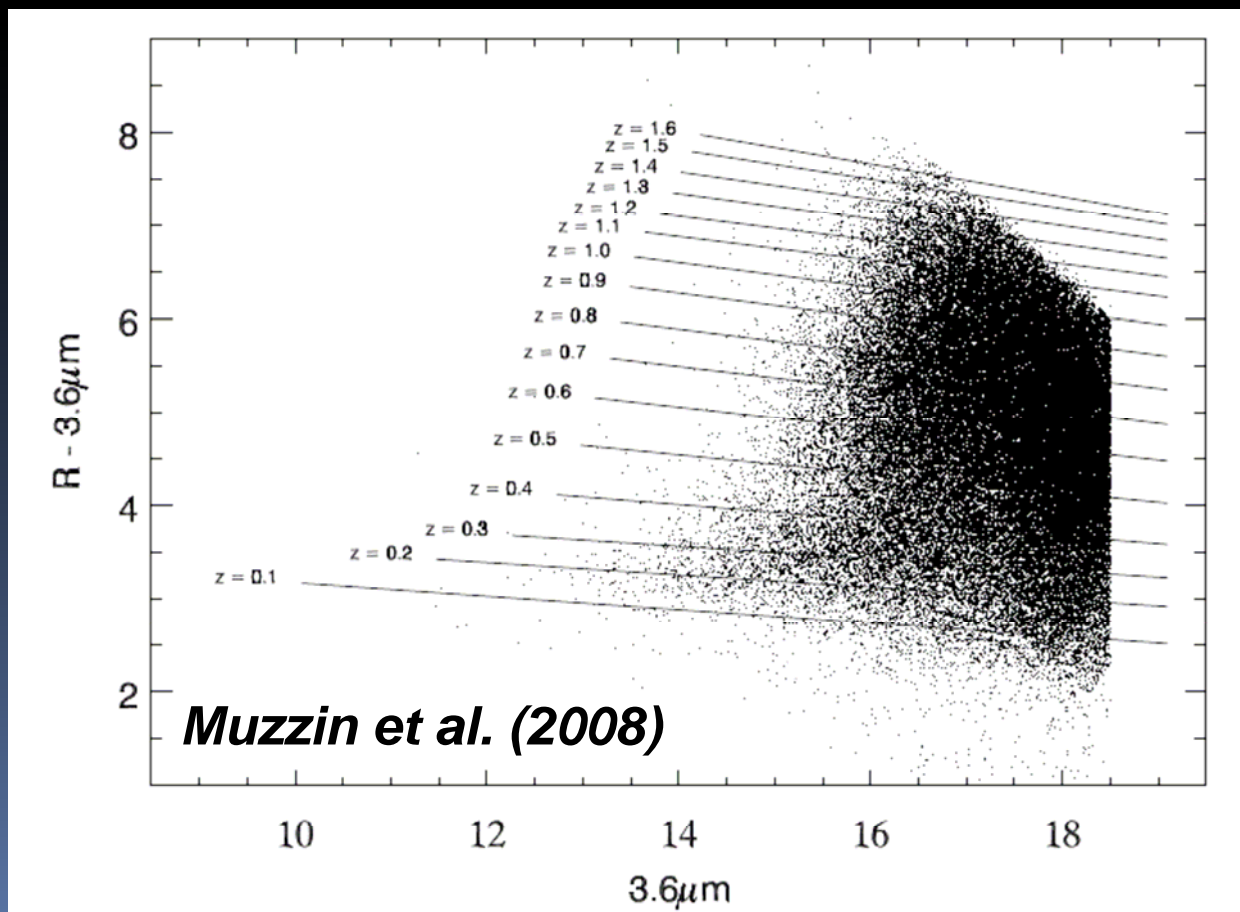
# 問題点、および次のステップは？

---

- \*  $z > 2$  : 電波銀河等の周りを探す手法がメイン。  
 $z < 1$  銀河団との関係は？ WISH は赤い銀河に注目した大規模な銀河団サーベイができるはず。
- \*  $1 < z < 2$  : AKARI や Spitzer で少し見つけられているが、  
 $z < 1$  に比べて圧倒的に数が少ない。X線も届かない。  
(X線は最遠方のもので $z=1.456$ )
- \*  $z < 1$  : 可視光による大規模な銀河団サーベイはいくつかある。  
ただし  $z \sim 1$  での可視光は青い側を見ているので、  
長波長データできちんと星質量で議論できるのは  
もちろん大きい。

# WISH で探す新しい銀河団

銀河団の赤い銀河に着目する標準的な方法 (Goto et al. 2008 など)。



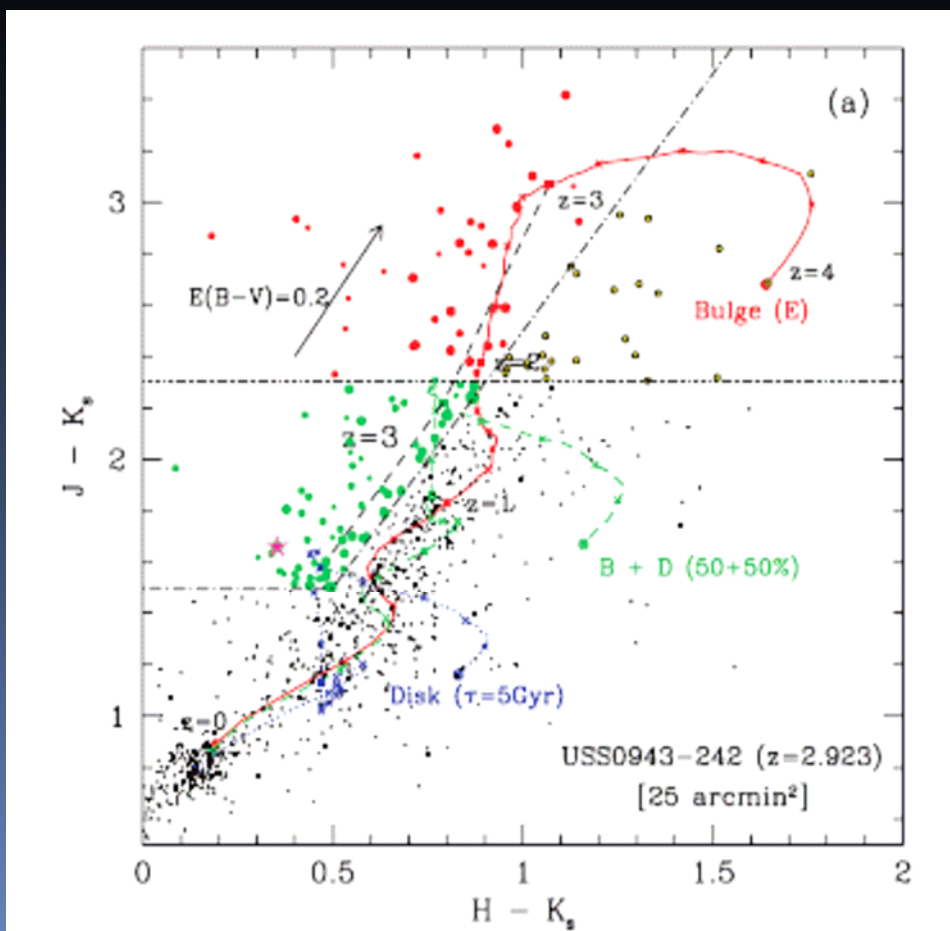
Spitzer / IRAC を使った  $z \sim 1$  の銀河団サーベイの例。

広さ・深さともに WISH が圧倒

できる (今、2010年)

# WISH で探す新しい銀河団

$z \sim 1.5$  では銀河団中心の $\sim 50\%$ が星形成銀河だったことに注意。  
星形成銀河も捉えられるようなカラーセレクションの工夫を。



← 近赤外線バンドの組み合わせで  
passive銀河 / SF銀河も両方  
拾える工夫の例。

(Kodama et al. 2007)

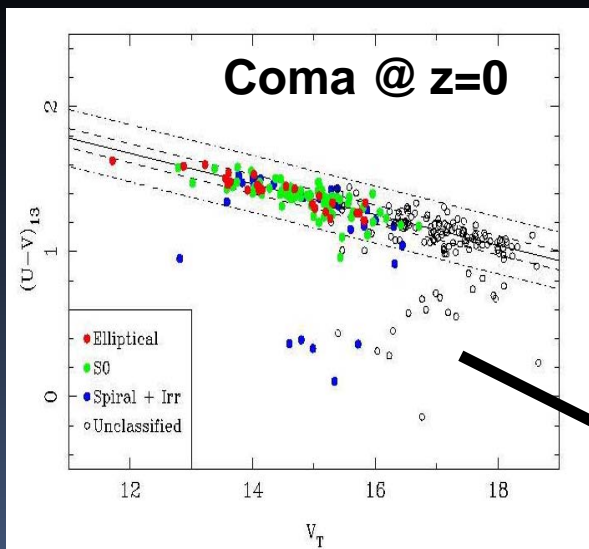
phot-z を精度よく求めるには、  
可視光バンドによるサーベイと  
組み合わせることも重要。

青い銀河ばかりの集団は  
いないか？

# 重要課題1: 銀河団の赤い銀河の起源

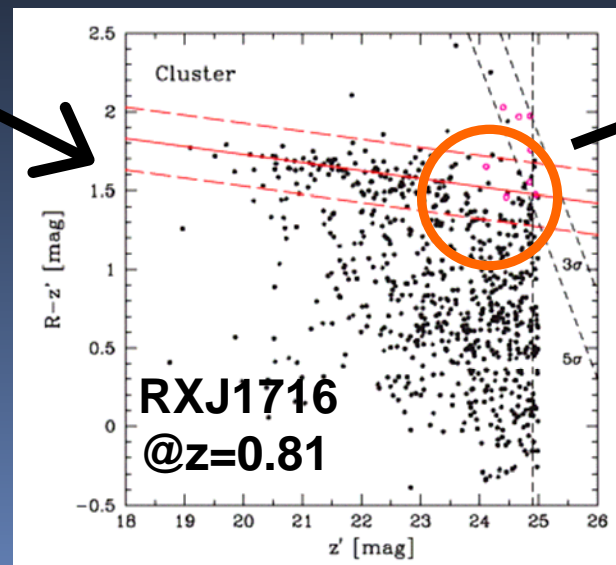
銀河団 "red sequence" はどの時代に見られなくなるのだろうか？

→ 巨大な近赤外サーベイエリアをもってこそ、実証可能な課題。

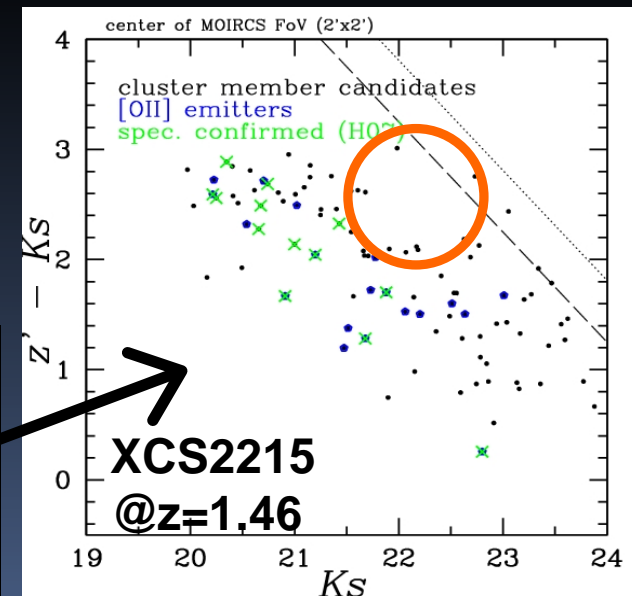


(Terlevich et al. 1992)

“暗く赤い銀河の欠落”  
= ダウンサイジング



(Koyama et al. 2007)

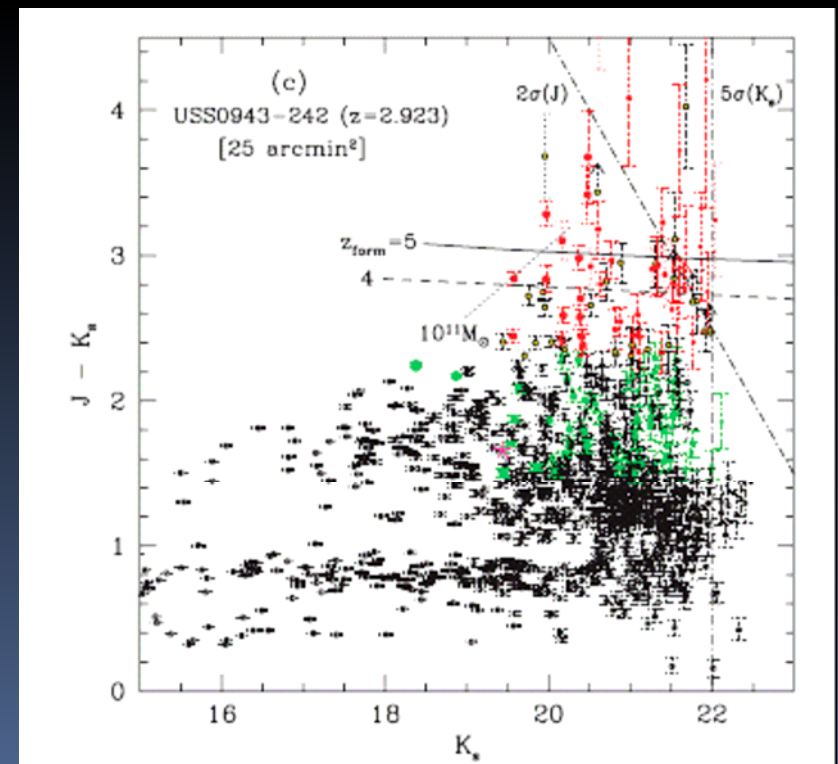
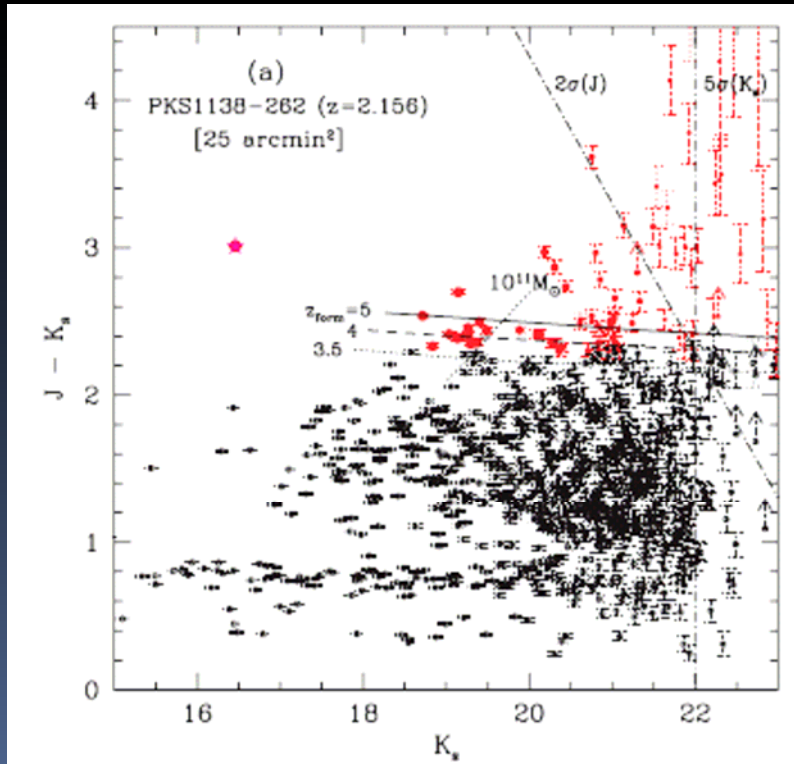


(Hayashi et al. 2009)



# $z=2\sim 3$ が鍵？

$z\sim 2$ ではすでに massive な赤い銀河が多く見られるが  $z\sim 3$  で見られなかった。

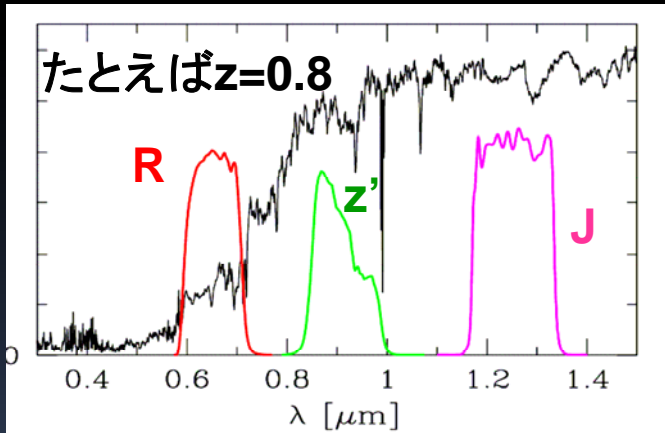


*Kodama et al. (2007)*

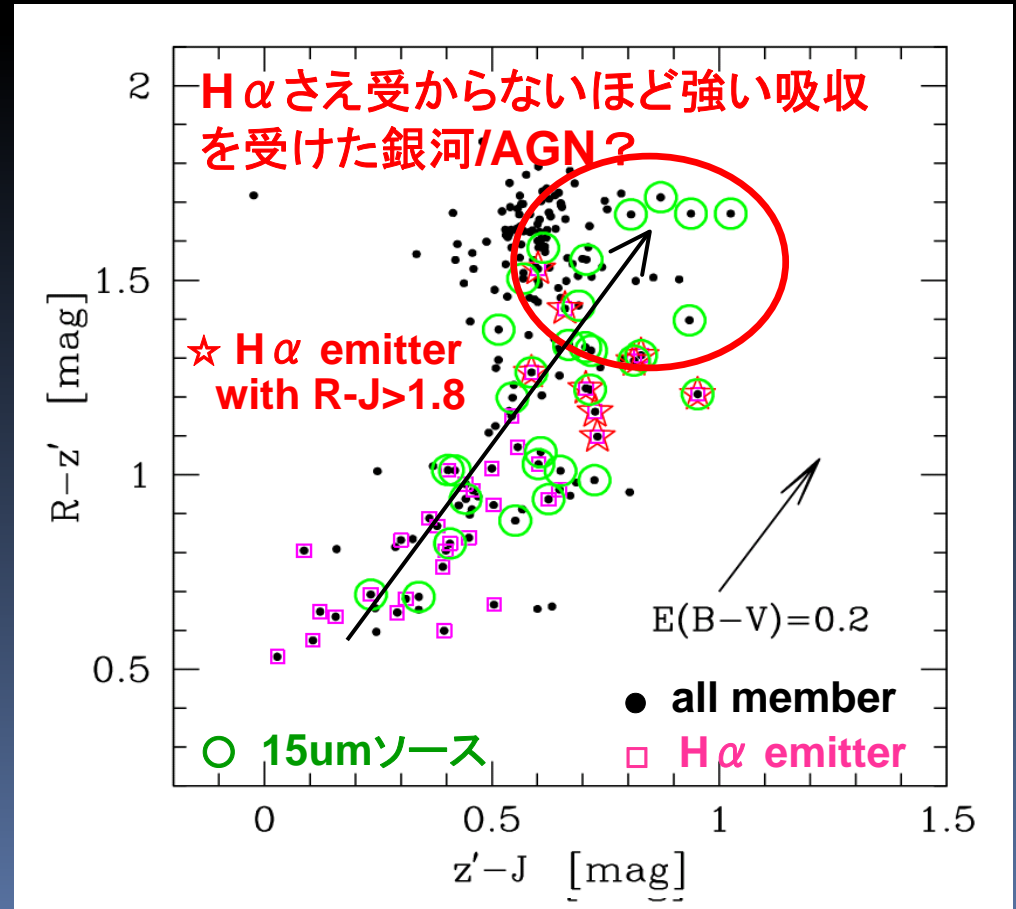
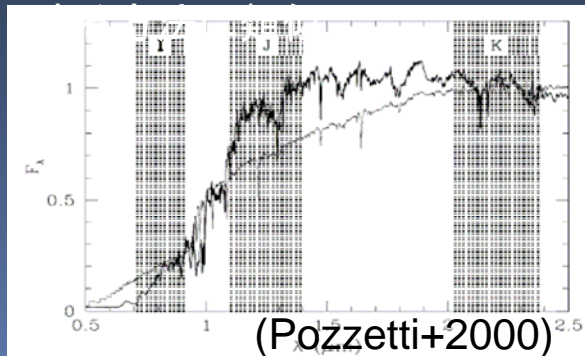
Red sequence が消えるのはもっと過去なのかもしれない。  
WISH による深い  $z>3$  の red sequence 探査は非常にユニーク。

# 重要課題2: 銀河団環境とダスティー星形成

ダストに隠された星形成活動の重要性は、遠方でますます高まるはず。

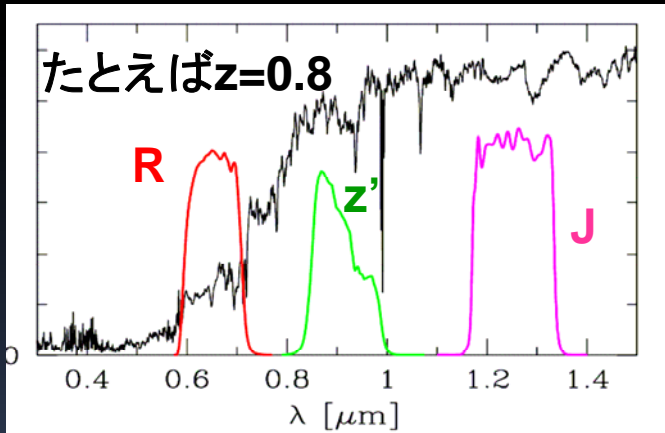


EROを passive/dusty に  
分類

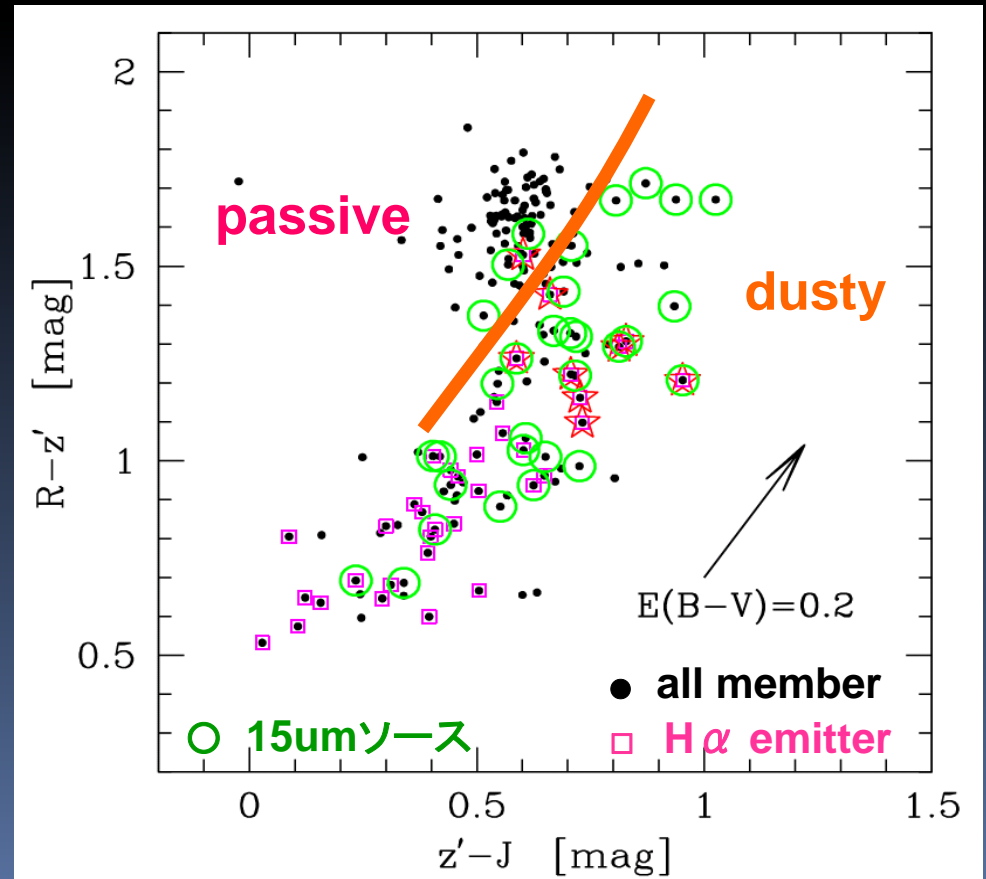


# 重要課題2: 銀河団環境とダスティー星形成

ダストに隠された星形成活動の重要性は、遠方でますます高まるはず。



EROを passive/dusty に  
分類



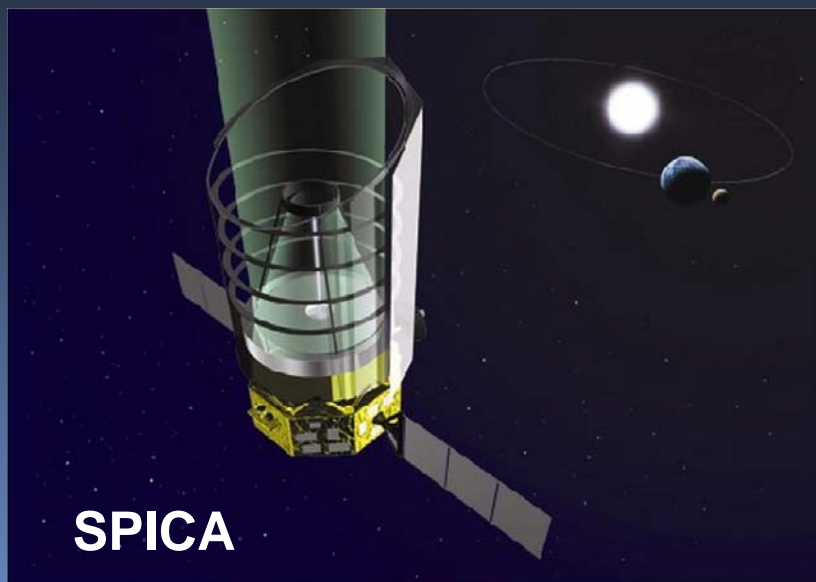
# SPICA とのシナジーがユニーク

---

ダストに隠された星形成の「候補」だけでなく、直接放射も捉えたい。

SPICAの広視野サーベイと(一部)領域を合わせるとおもしろい。  
(たとえば  $z \sim 3$  では4000Å break が1.6 $\mu\text{m}$ , 7.7 $\mu\text{m}$  PAH が30 $\mu\text{m}$ )

銀河団形成期には LIRG / ULIRG だらけの銀河団もいるかも。



# まとめ

---

## ・ WISH による $z > 1$ より遠方の銀河団の大規模サーベイ

Red sequence をもとに探す銀河の集団。

ただし、遠方では星形成銀河も捉える工夫。

## ・ 銀河団の形成現場へ

銀河団 red sequence の生まれた時代までの探査。

## ・ SPICA (MIR) との相補性

$z \gg 1$  銀河団でのダストに隠された星形成活動も探査できる。

## ・ その他

$z$  の分かっている proto-cluster ( $z > 3$ ) の Ha NB imaging ??