

# Nature and Nurture Effects on the Formation and Evolution of Cluster Galaxies

SHIMAKAWA, R.  
M.Sc. Student  
Astronomical Science  
Optical and Infrared Astronomy  
Supervisor Kodama, T.

## Abstract

In low-redshift clusters, most galaxies appear to be quiescent.

These galaxies tend to be elliptical or S0 galaxies, which constitute conspicuous red-sequence on the color-magnitude diagrams. In contrast, in high-redshift proto-clusters, galaxies tend to have complicated morphologies and high star-formation rates (SFRs) of 100s  $M_{\odot}/\text{yr}$ .

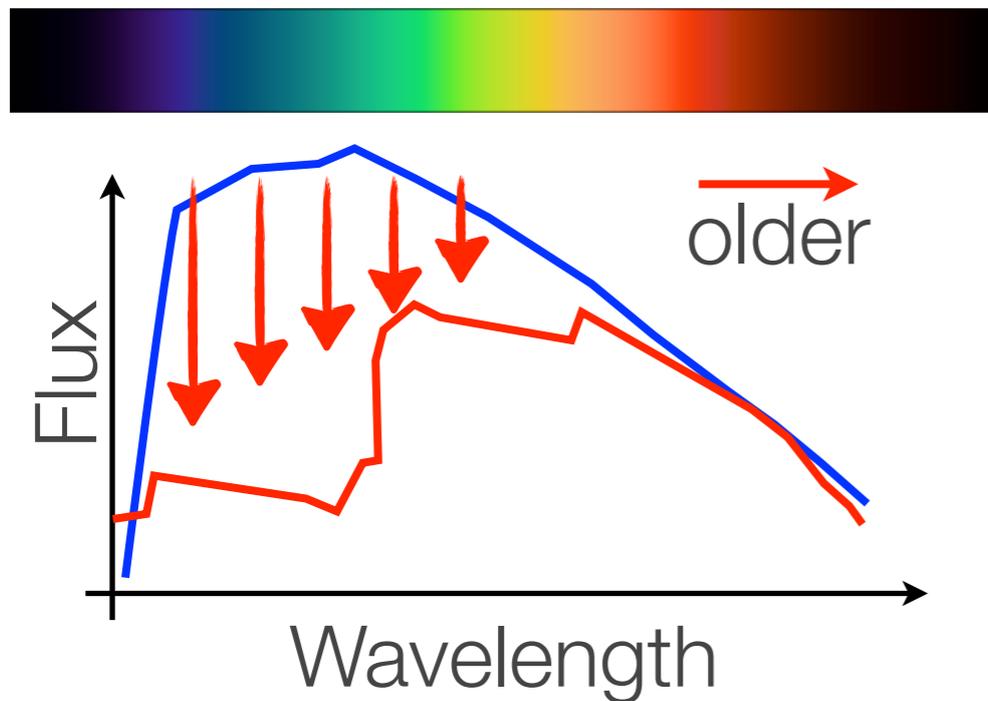
Such truncation in star formation activities can be caused by "nature" effects, i.e. accelerated galaxy formation in dense environments, and/or by "nurture" effects, i.e. galaxy-galaxy interactions/mergers and gas-stripping (e.g. Kodama et al. 2001).

Recent works (Daddi et al 2007; Mannucci et al. 2010) have presented double (main and sub) sequences of star forming galaxies on the SFR versus gas-mass plane, and a fundamental metallicity relation (FMR) where gaseous metallicity of star forming galaxies in the SDSS are determined as a function of stellar mass and SFR, both of which describe the modes of star formation and the evolutionary stages of galaxies.

Motivated by these observational phenomena, we now aim to explore these relationships (main/sub sequence and FMR) in clusters/proto-clusters based on near-infrared spectroscopy (FMOS/MOIRCS on Subaru) and ALMA observations (Mahalo-Subaru and Gracias-ALMA projects).

By comparing these relationships in clusters with the field counterparts, we will quantify the roles of environments to shape galaxies, and thus understand the origin of environmentally dependent galaxy formation and evolution.

# Color of Galaxies



銀河の色について簡単に説明しておく. 早期型のような星形成が終わった銀河では長波長側でフラックスが卓越していて(4000Åブレイク), 赤い銀河と呼んでいる. 観測では4000Åを挟むようにバンドをとってやって観測すれば良い. すると互いのバンドでの等級を引いた値が大きければ赤い銀河と判断できる. ただしダストによって低波長側が強く減光を受ける場合も同じように赤いと判断されてしまう事に注意. (このようなケースは非常にコンパクトな星形成を行っている銀河やAGNに見られる)

BLUE	→ galaxy evolution →	RED
HOT	→ stellar evolution →	COLD
ACTIVE	→ star formation →	QUIESCENT
YOUNG	→ cosmic age →	OLD
*SBG*	* in case of reddening by <b>dusty</b> *	

# Galaxy Evolution

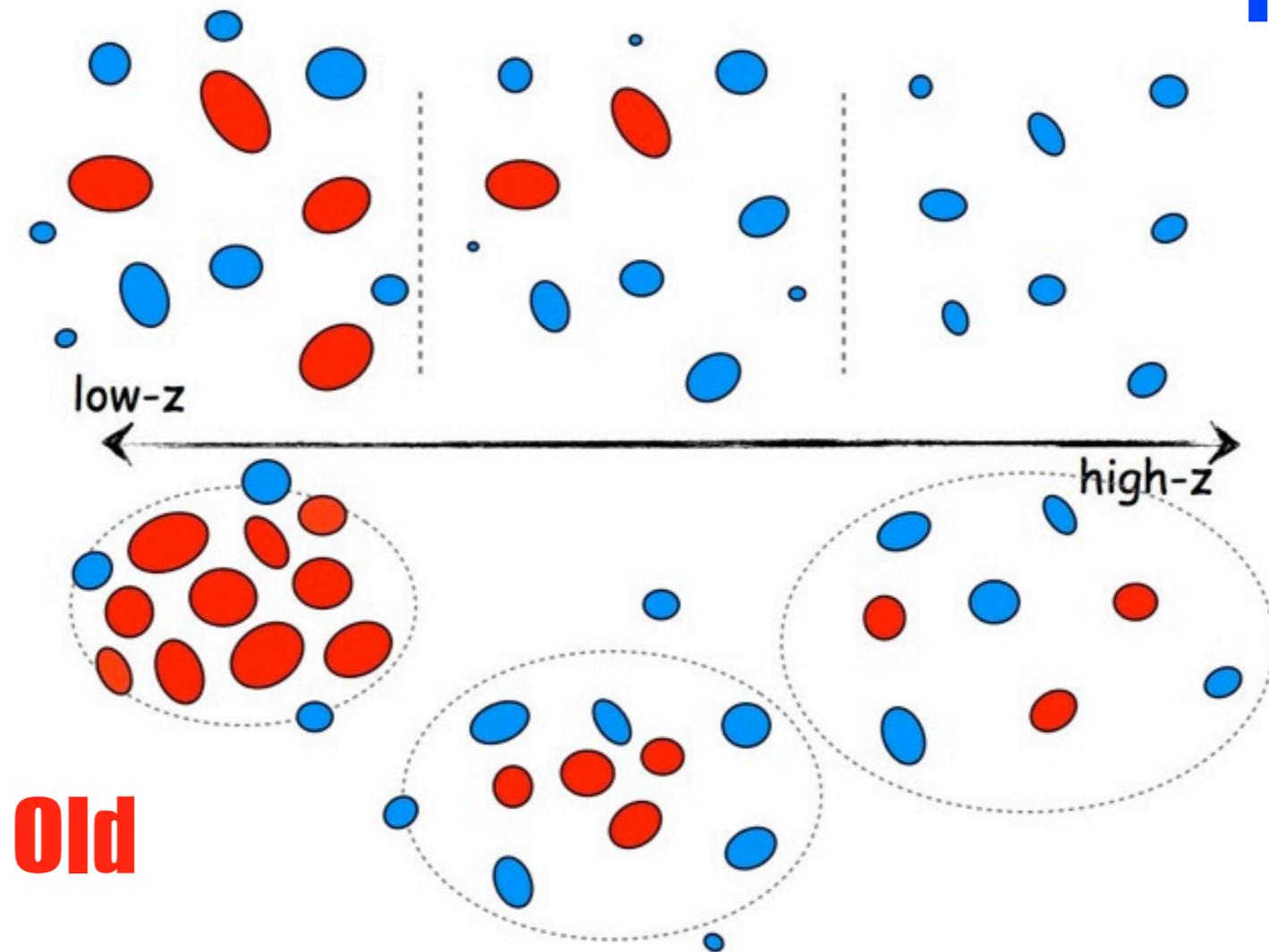
Inside-out propagation of star formation activities

Young

gravitationally  
alone

Field  
≠  
Cluster

ensemble of  
galaxies

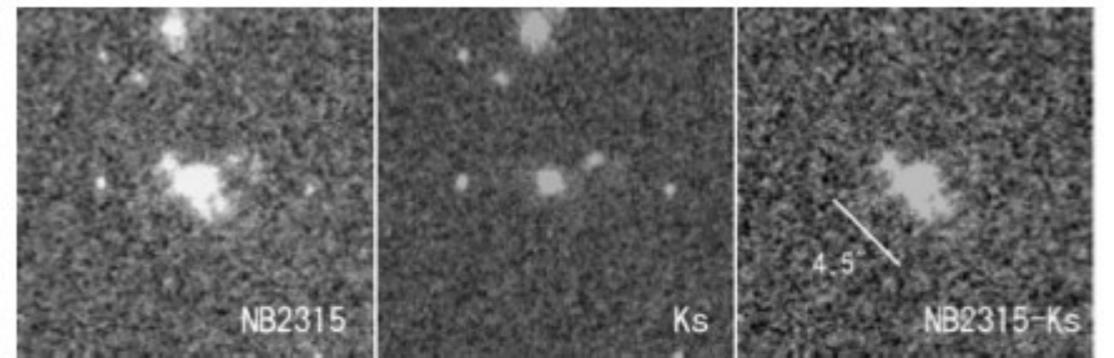


宇宙年齢において星形成は観測などから $z=2\sim 3$ で卓越している事がわかっている. 一般にこれを銀河進化の激動期と呼ばれている. このような時代にある銀河には非常に多くのサイエンスが存在しているはずであり, 研究対象として非常に面白いと考えている. 激動期で非常に星形成が盛んであるので, 現在に比べ, その時代にある銀河の多くは星形成銀河である. しかし宇宙年齢とともに大質量銀河から徐々に衰えていく. 特に銀河の密度が非常に密である銀河団領域では銀河間の重力的相互作用のないフィールド銀河に比べ顕著である. この違いは単なる密度によるものなのか, はたまた銀河団のような高密度で支配的となる現象によるものなのか. これを探るのが我々の目的である.

# Observation

- すばる望遠鏡 MOIRCS
- NB撮像よりH $\alpha$  emitter を同定
- H $\alpha$  emitter - 星形成の良い指標
- Redshift も分かる
- 可視光でカラーを同定 ( $\rightarrow$ 次の次)

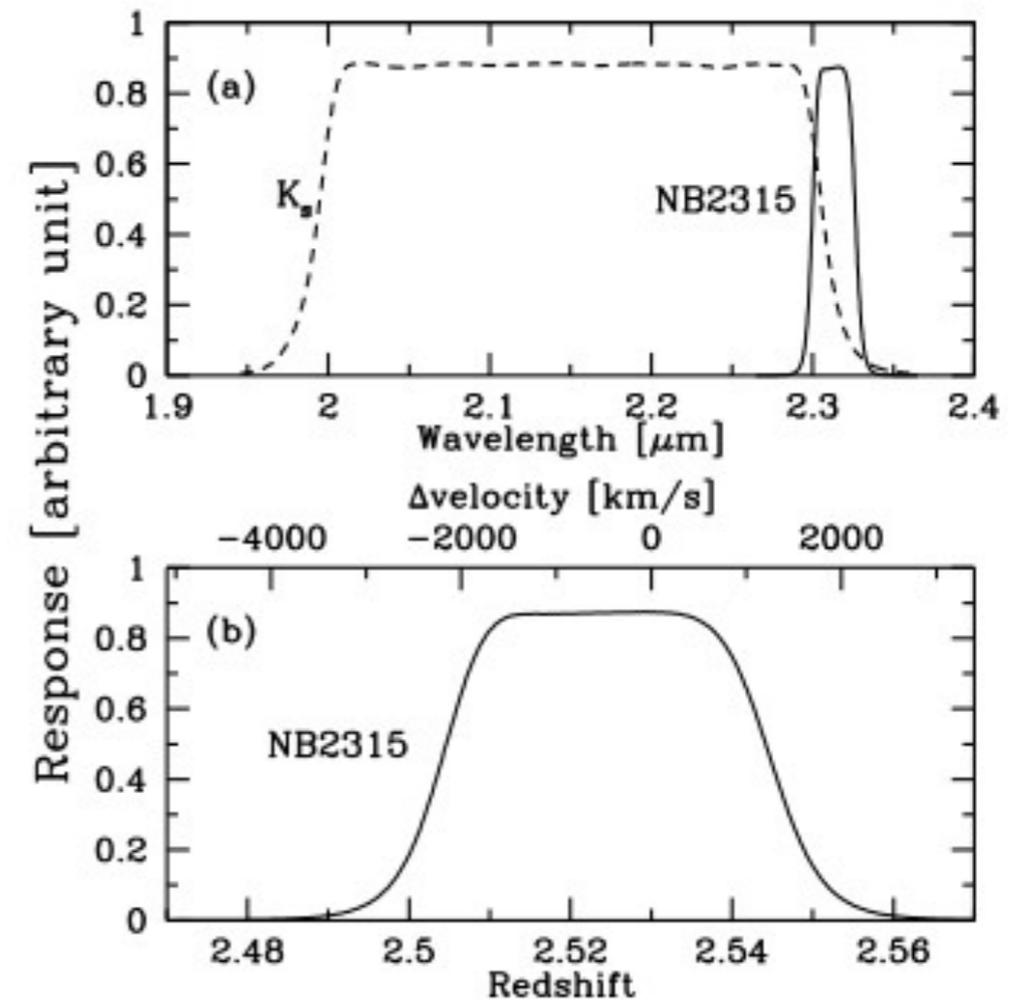
narrow bandとbroad bandを比べてやることでnarrow bandの特定領域に輝線がきているかどうかを見分ける事ができる. ある赤方偏移にある輝線がドップラーシフトしてちょうどnarrow bandにくるようにしてあるので受ければその輝線天体の赤方偏移がおおよそ同定できる.



NB2315

Ks

NB2315 - Ks



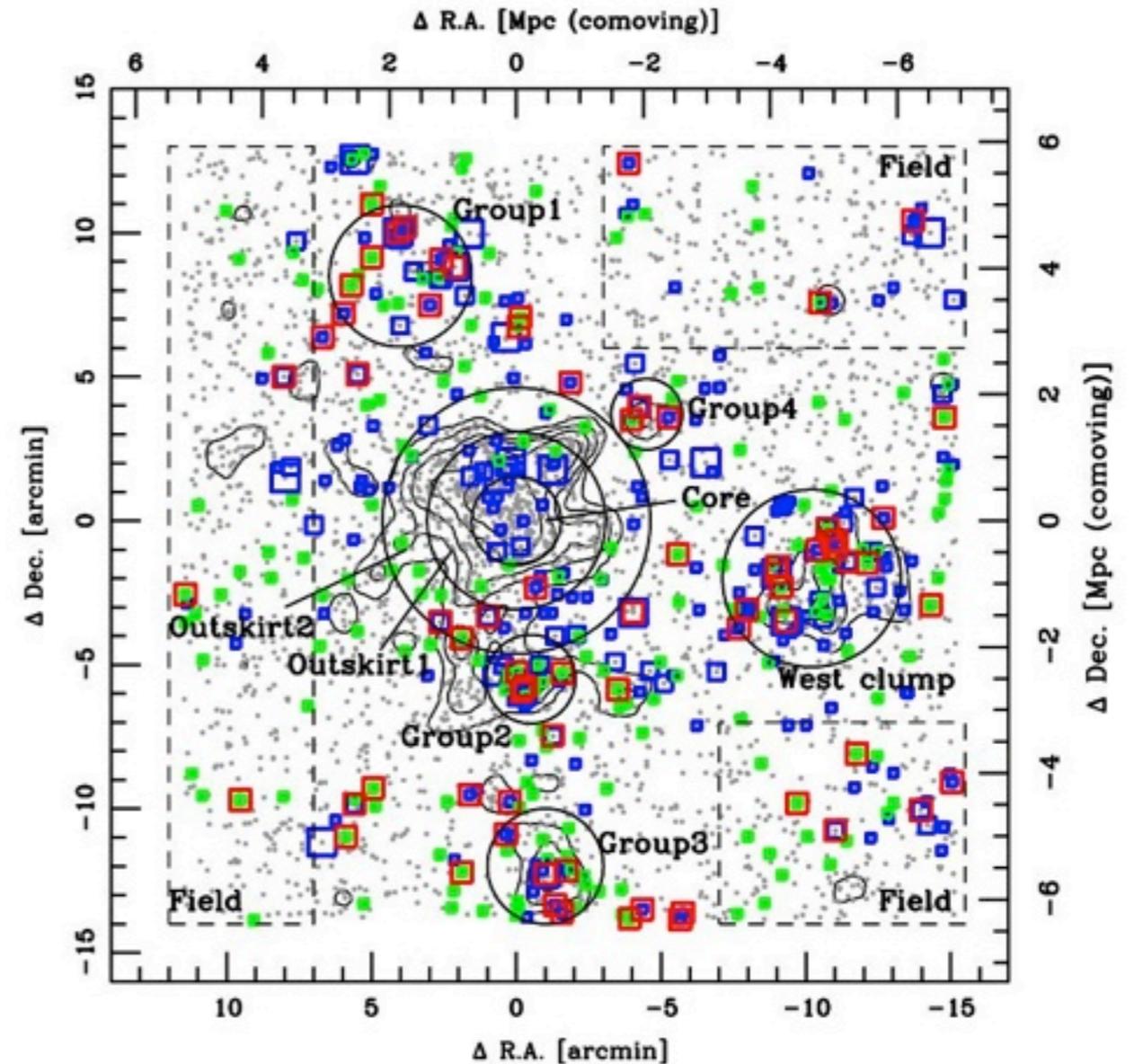
# Environmental Effects

- Secondary effects from developing environments
- □ Star formation galaxies (usual)
- □ Specific SF galaxies? (SBG)

➡ active=blue H $\alpha$  emitter

➡ extreme active=red (dusty) H $\alpha$

- The star burst galaxies dominate cluster's formation and evolution



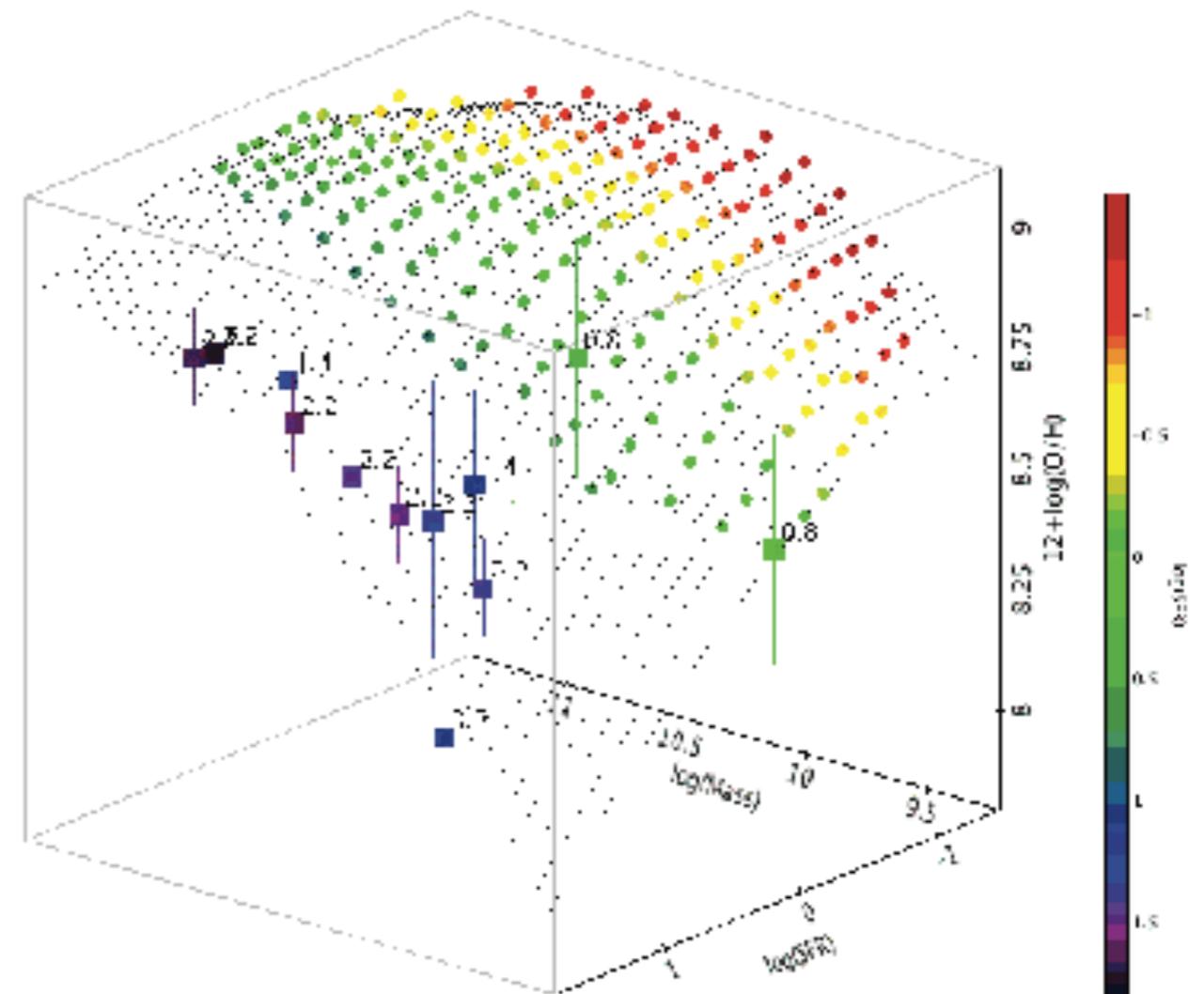
Koyama et al. 2011

今回は環境効果と考えられるいくつかのうちスターバースト銀河について述べる。イメージとしては単なる星形成銀河では単体でactiveなのに対し、スターバーストと言われるほど活発であると、周囲の銀河に影響を及ぼす。つまり、銀河団の形成や進化に影響を与える事になる。

近年ホットな話題となっている. FMRについて簡単にまとめた.

# Fundamental Metallicity Relation

- Stellar mass と Metallicity の間には相関関係
- この関係に付随する分散はどうか  
らSFRにあるらしい
- 一番分散のないFundamental plane ( $\log M - 0.32 \log \text{SFR}$ )
- $z=2$ までFMRは成り立つ模様
- FMRを高密度環境で構築し環境の違いが出るかどうか
- Magrini et al. ではでなかった



いろいろ試みて環境効果を具体的に表そうとなされているものの、なかなかうまい結果に結びつかない現状.

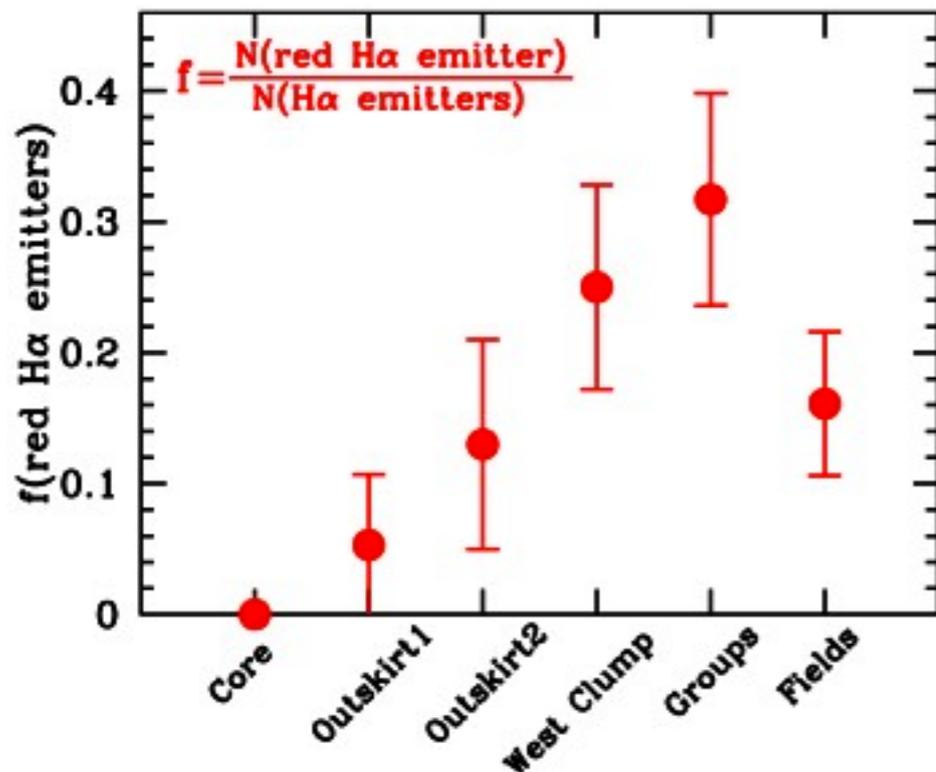
## Previous Studies

- The way to investigate the environmental effects.
  - Red H $\alpha$  emitter (e.g. Kodama-G)
  - Fundamental metallicity relation (e.g. Mannuci et al. 2010)

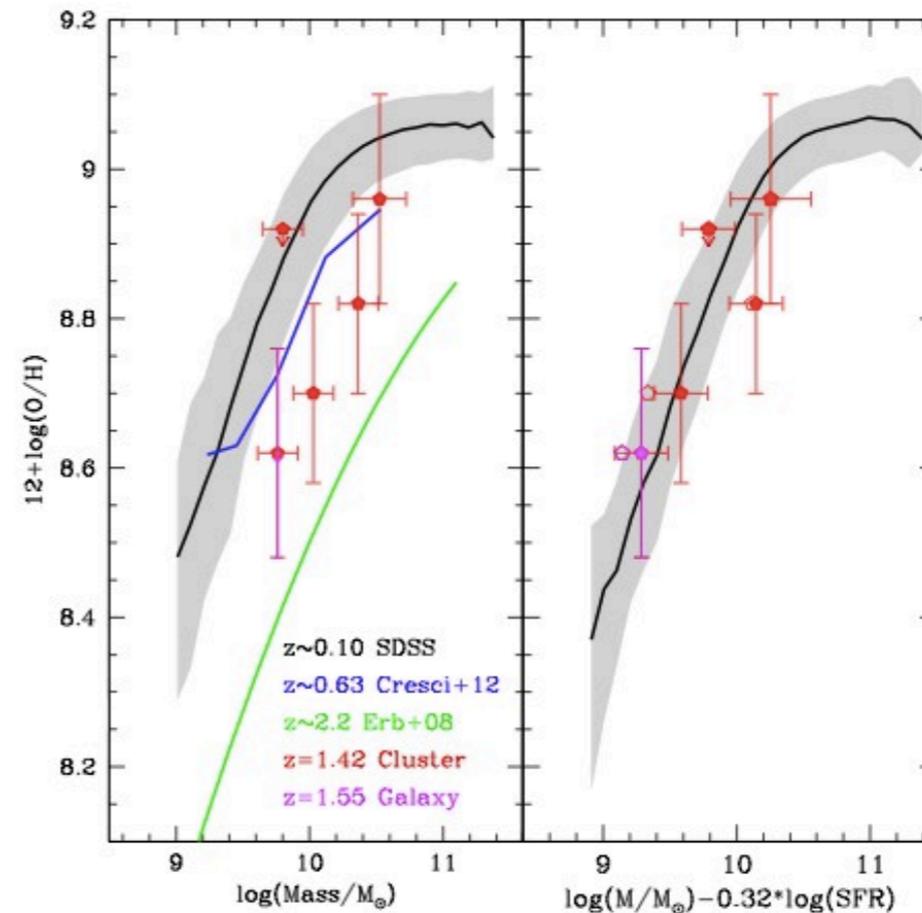
➡ But it have not been found the environmental effect yet ...

➡ It also can be observed in field

➡ Similar between field & cluster



Koyama et al. 2011



Magrini et al. accepted

# At the Moment

- なかなか見えない環境効果. そもそも環境を定量的に扱うのも難しい  
例えばsimulationで制限を掛ける

★FMRなんかでは, まだまだ cluster のsample が少ない

すばるの近赤外分光装置FMOSで[NII]/H $\alpha$ からmetallicityを求める (6, 9月観測)

★ $z=1.5\sim 3$  でより多くの銀河団銀河を調べる必要

➡  $z=1.5\sim 2.5$  で銀河団中心にred H $\alpha$  emitter が存在してるのが見つかったる

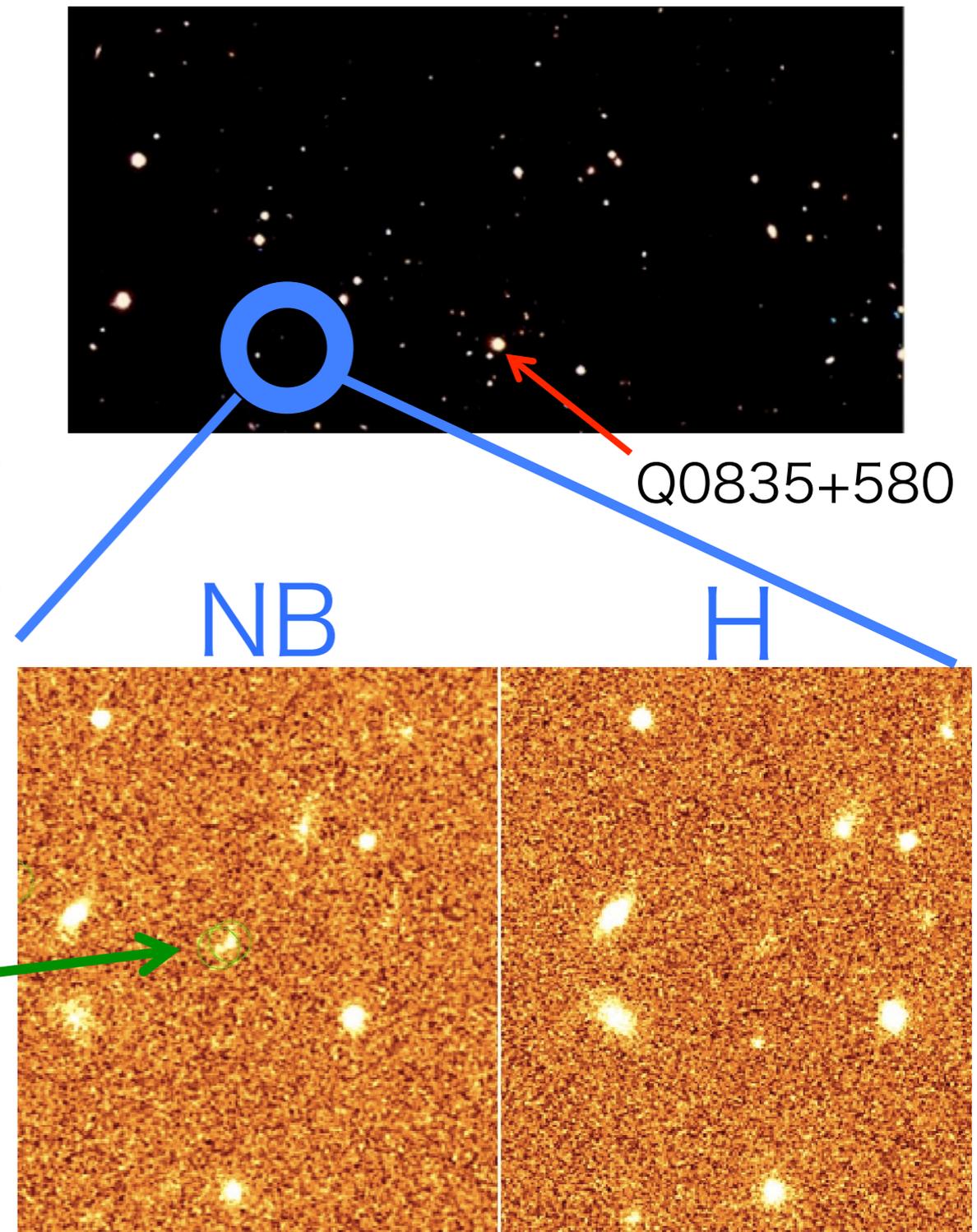
Inside-out propagation of star formation activities

➡ ただ,  $z>2.5$ ではH $\alpha$ やNIIがKバンドより外へ...

今までの研究から, 遠く銀河団ほど中心で赤い星形成銀河, つまりスターバースト銀河らしきものがありそうである(Koyama et al. 2008; Hayashi et al. 2012 などなど).  
FMOSで銀河団銀河を分光→[NII], H $\alpha$ から銀河の金属量がわかる.

# Future work

- ★ MOIRCSでとった銀河団?の解析
- ★ NBとHバンドでH $\alpha$  emitterを同定
- ➡ H $\alpha$  emitterのredshift同定→構造調べる
- ➡ 先行の研究では1天体 (Hall et al. 2001)
- ✳ 可視光データ無し→YJKで色識別可能
- ✳ 現在：既にほぼ10天体はdetected
- ✳ しかも見るからにMergingっぽい有り
- ✓ 来年には結果をまとめる



現在解析中のデータについて. 我々のデータは先攻の研究に比べずっと深いので楽しみな結果が得られそう.  
と言うより現段階で興味深い天体あり→

The authors thank the Yukawa Institute for Theoretical Physics at Kyoto University, where this work was initiated during the YITP-W-12-08 on "Summer School on Astronomy & Astrophysics 2012".