

# Multiple merging galaxies at $z=3$

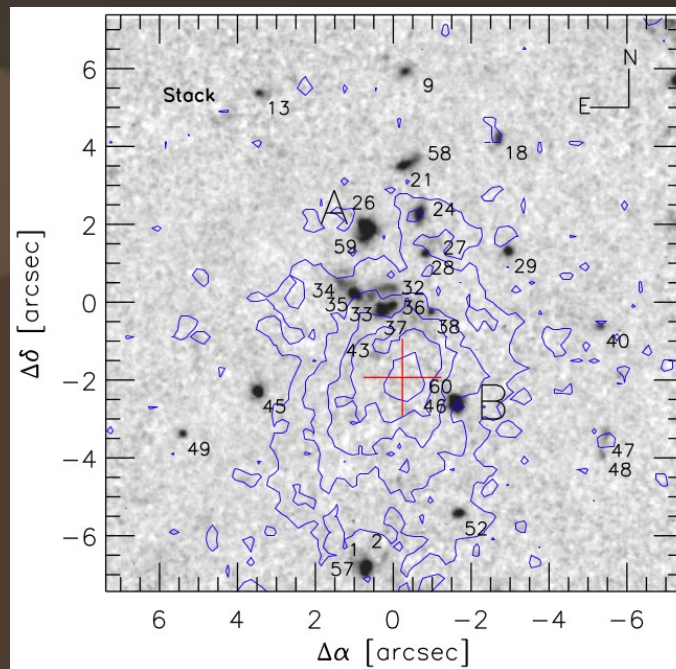
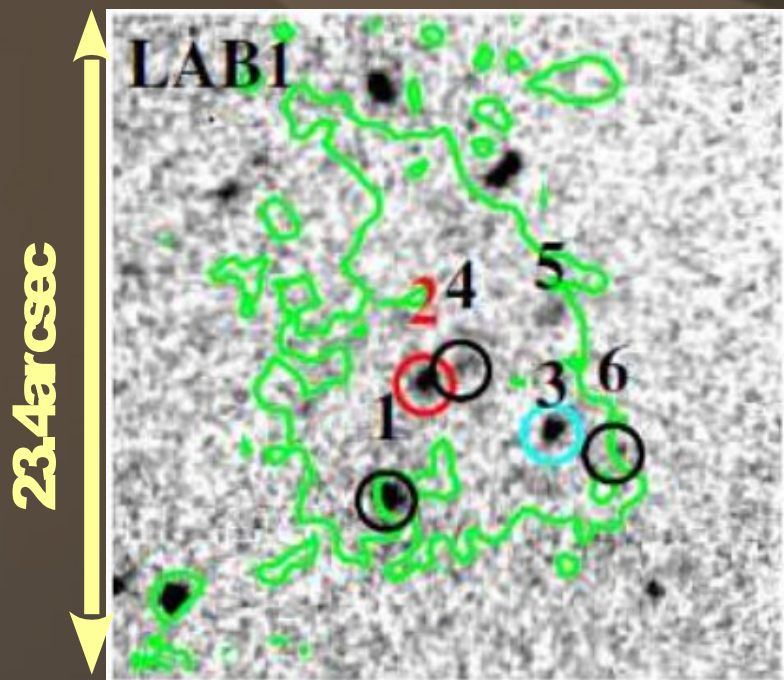
円盤銀河の形成と進化研究会

2013/9/26-28

東北大 久保 真理子

山田亨, 内一・勝野由夏, 林野友紀 (東北大), 松田有一 (国立天文台), MOIRCS team

# Multiple merging galaxies



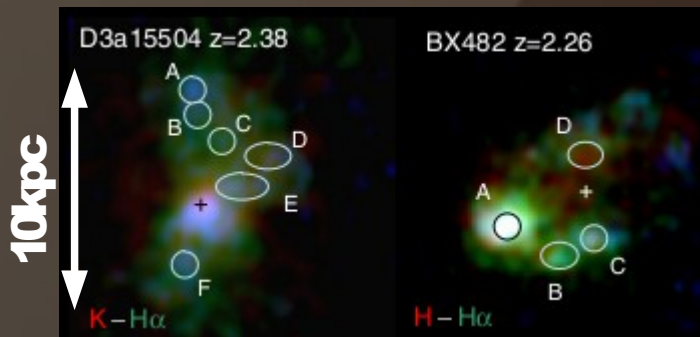
Left : K-band image ( $K=24(5\sigma)$ ) LAB01 at  $z=3.1$  SSA22 protocluster. Circles are  $z_{\text{phot}} \sim 3.1$  (Uchimoto+12)

Right: HST ACS V, NICMOS J, H-band composite image of  $z \sim 2$  LAB (Prescott+11)

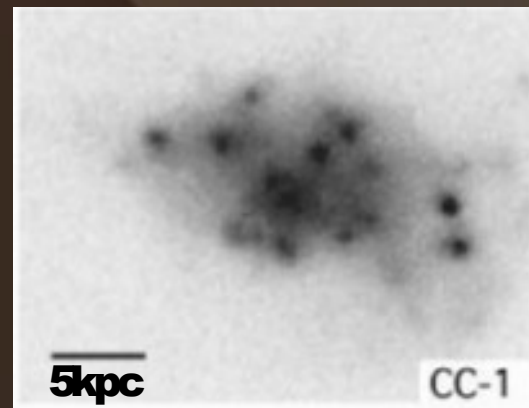
- $z > 2$  LABs や SMGs の近赤外線深撮像観測から、複数の星質量成分を検出。Photo- $z$ , 色からも対応天体らしい。  
...multiple merging galaxies?

# Multiple merging galaxies

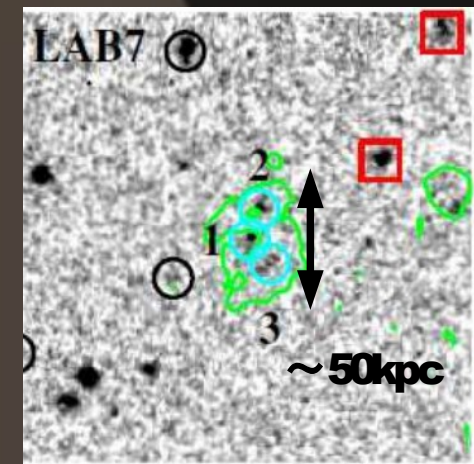
	size	Clumpの星質量 ( $M_{\odot}$ )	全星質量 ( $M_{\odot}$ )	Disk成分
multiple components of LABs	数10-100kpc	$10^9 - 10^{11}$	$10^9 - 10^{12}$	?
Clump clusters	~20kpc	$10^8 - 10^{10}$	$10^9 - 10^{11}$	Disk, bulgeは顕著でない clumpは回転? merger?
clumpy disk galaxies	数kpc	$10^8 - 10^9$	$10^9 - 10^{11}$	有



Clumpy disk galaxies at  $z=2.3$  (Genzel+11)



Clump cluster at  $z\sim 3$   
Elmegreen+05



Small LAB with multiple counterparts (Uchimoto+12)

# 概要

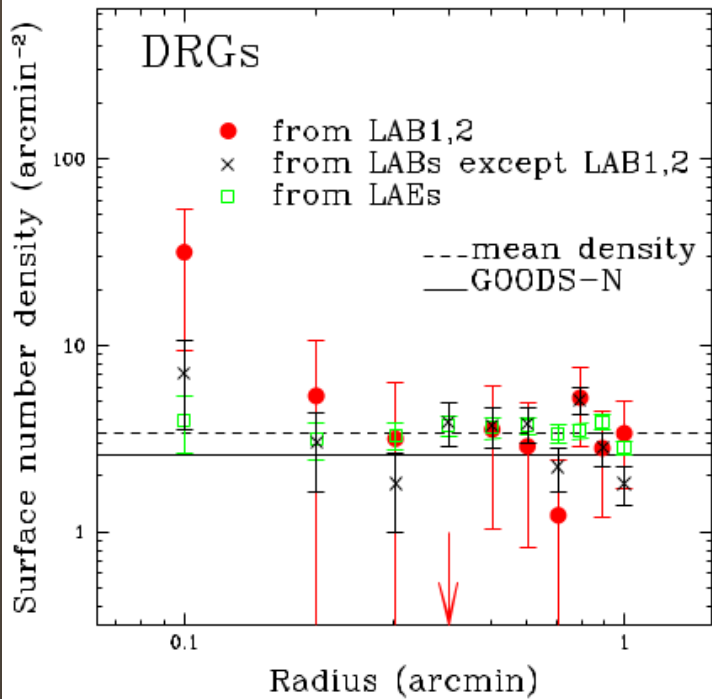
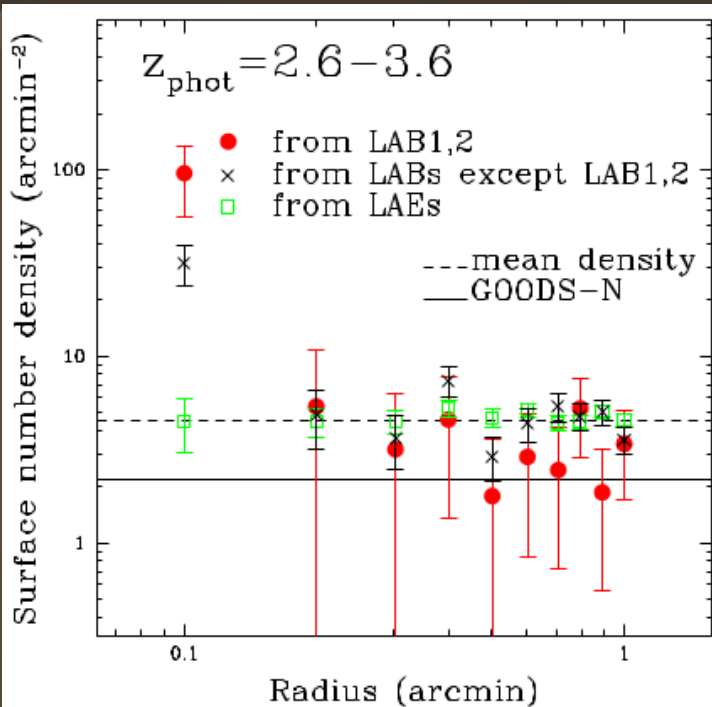
- SSA22  $z=3.1$  原始銀河団での multiple merging galaxies(候補)の検出(Uchimoto+12のレビュー+ $\alpha$ )
- 近赤外線分光観測による multiple merging galaxies の同定
- Multiple merging galaxies の photometric な性質  
(星質量, SFR, sSFR)

# Candidates of multiple merging galaxies

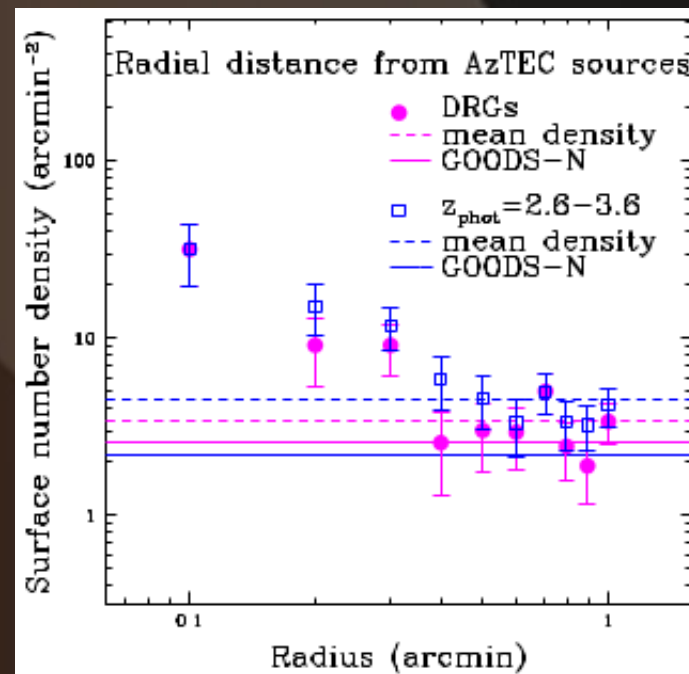
- 観測領域: SSA22 原始銀河団 at  $z=3.1$ . Narrow-band 探査で  $z=3.1$  LAEs, LABsの密度超過が検出された顕著な銀河高密度領域 (Steidel+00, Hayashino+04, Matsuda+04,05, Yamada+12)。
- MOIRCS Kバンド撮像領域  $\sim 111.8 \text{ arcmin}^2$ ,  $K_{AB} < 24 (5\sigma)$
- Kバンドで天体を検出し、 $u^*BVRi'zJHK$ 撮像データを使った SEDフィットに基づく photo- $z$  ( $2.6 < z_{\text{phot}} < 3.6$ ,  $|z_{\text{phot}} - z_{\text{spec}}| / (1 + z_{\text{sp}}) \sim 0.08$  at  $z \sim 3$ )、DRGs ( $J-K > 1.4$ )などから原始銀河団候補を選んだ。星質量  $> \sim 10^9 - 10^{10.5} M_{\text{sun}}$  (M/L比に依存)
- LABsの75%に1天体, 40%に複数の  $z \sim 3.1$ 、Kバンド対応天体を検出(Uchimoto+2012)。

DATA SET

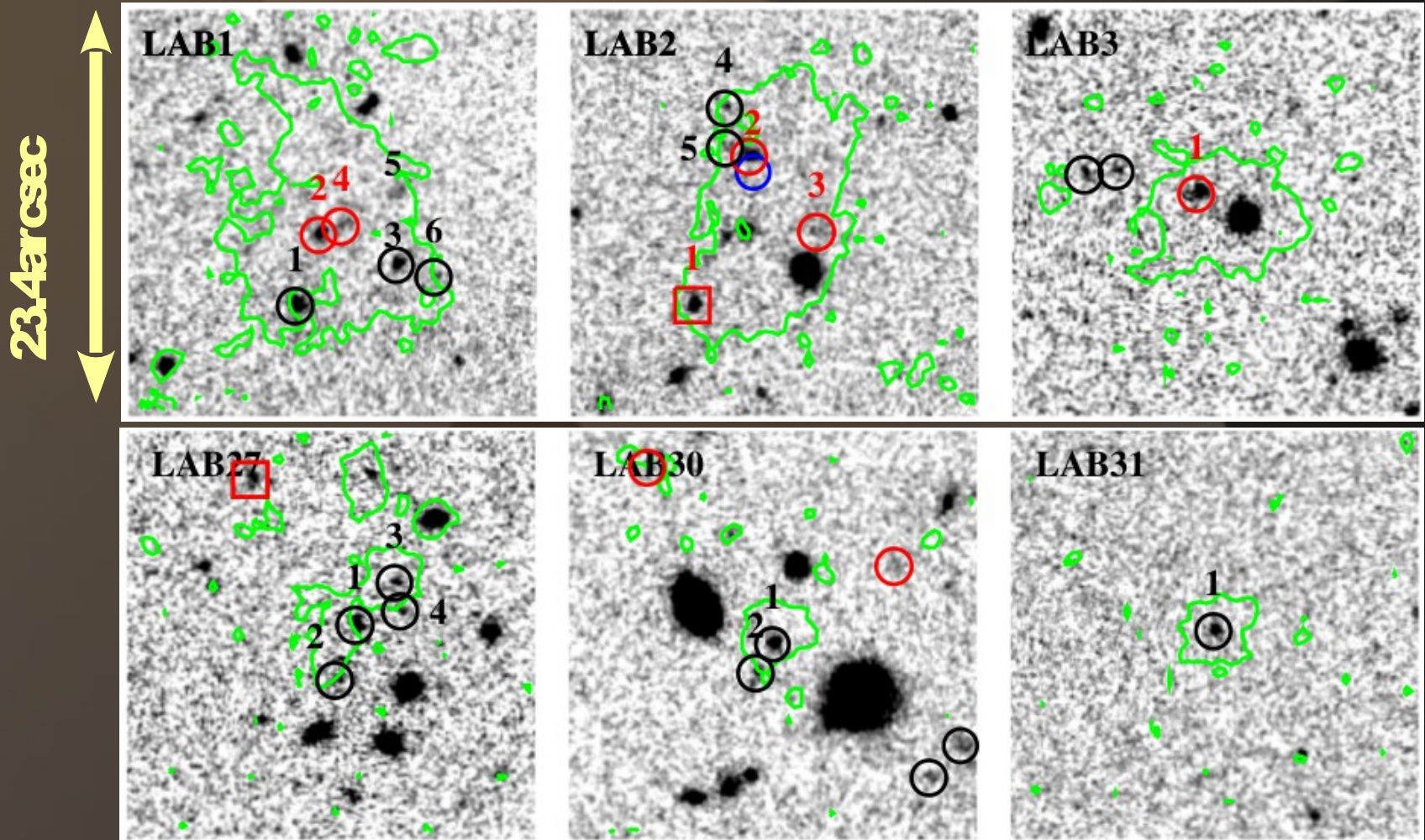
Band	Instrument	Reference	Depth ( $5\sigma$ )
<i>JHK</i>	MOIRCS/Subaru	Uchimoto et al. (2012)	24.5-25.0, 23.6-24.0, 24.1-24.5
<i>u*</i>	MegaCam/CFHT	P.I. Cowie	26.1
<i>BVRi'z'</i>	Suprime-Cam/Subaru	Matsuda et al. (2004)	26.45, 26.5, 26.6, 26.2, 25.5
3.6, 4.5, 5.8 $\mu\text{m}$	IRAC/Spitzer	Webb et al. (2009)	24.1, 23.9, 22.5, 22.1



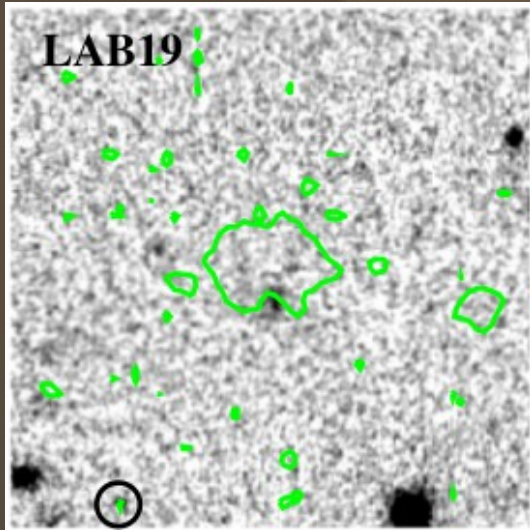
- $Z=3.1$  LABs周辺 ~ 10arcsec以内で顯著に $z_{\text{phot}} \sim 3.1$ , DRGsが増加。
- SSA22原始銀河団ではASTE/AzTEC 1.1 mm サブミリ源(Tamura+09)の密度超過も検出されている(Beam size  $\approx 20''$  diameter) ~150kpc に35% (6/17) に複数の $z \sim 3.1$ 対応天体



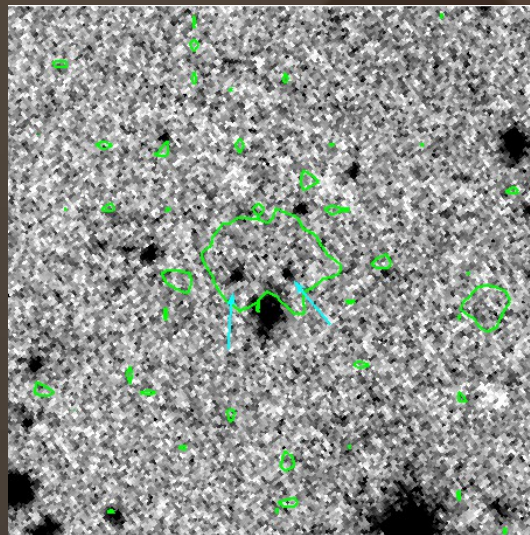
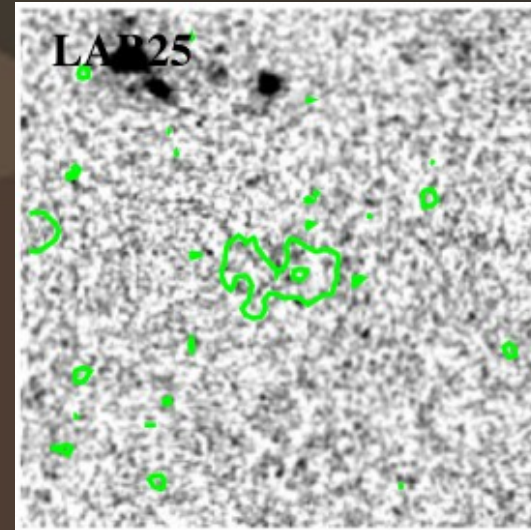
# *Multiple-counterparts of LABs*



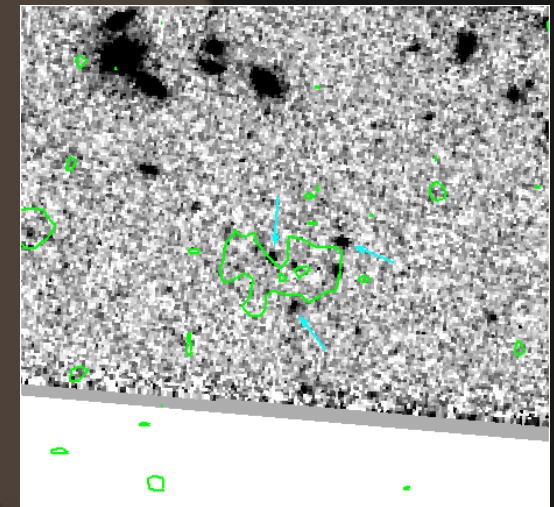
The counterparts of LABs at  $z=3.1$  in the SSA22 protocluster with  $K_{AB} < 24$  and at  $2.6 < z_{\text{phot}} < 3.6$  (Uchimoto+ 2012)



**MOIRCS**  
**K\_AB < 24 (5 $\sigma$ )**  
**(Uchimoto+12)**



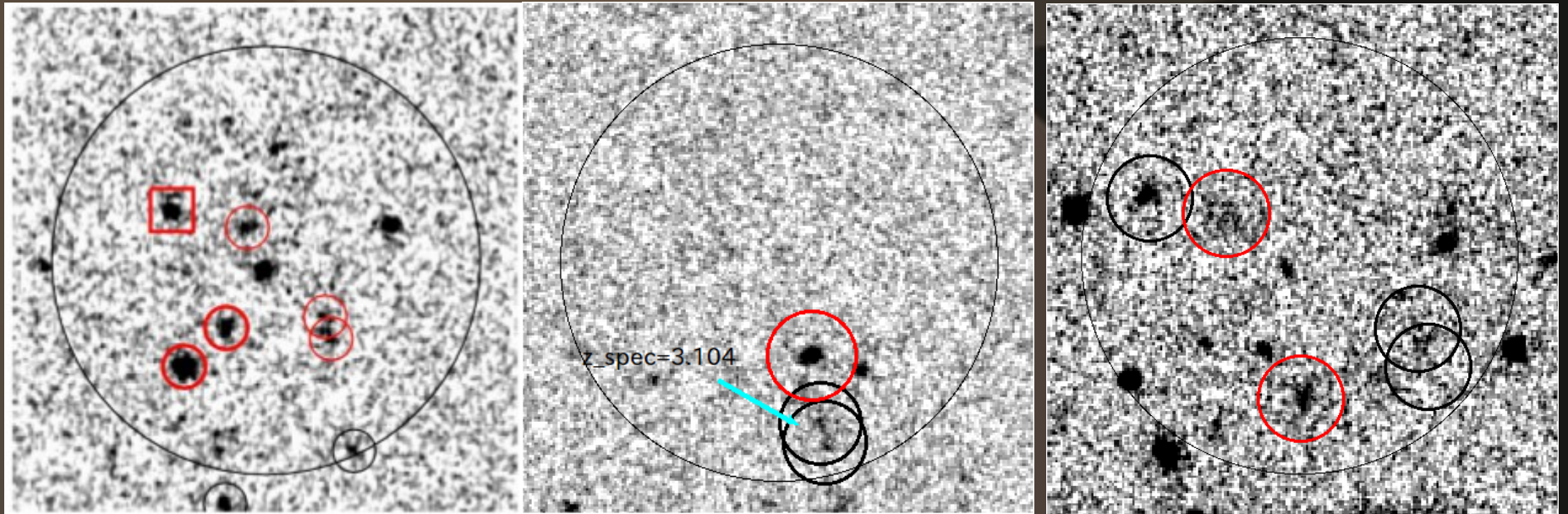
**WFC3/HST**  
**F160W\_AB**  
**~26 (5 $\sigma$ )**  
**(HST Archive)**  
Cyan vector:  
z~3 LBGs and/or  
zphot~3.1





# *Multiple counterparts in SMGs*

- サブミリ源にも複数の対応天体



The counterparts of ASTE/AzTEC 1.1mm source (Tamura+09,10, Umehata+in prep) in SSA22

Large circles: beam size of ASTE/AzTEC  $\sim 20''$  diameter

Black circles: K-selected galaxies at  $2.6 < z_{\text{phot}} < 3.6$

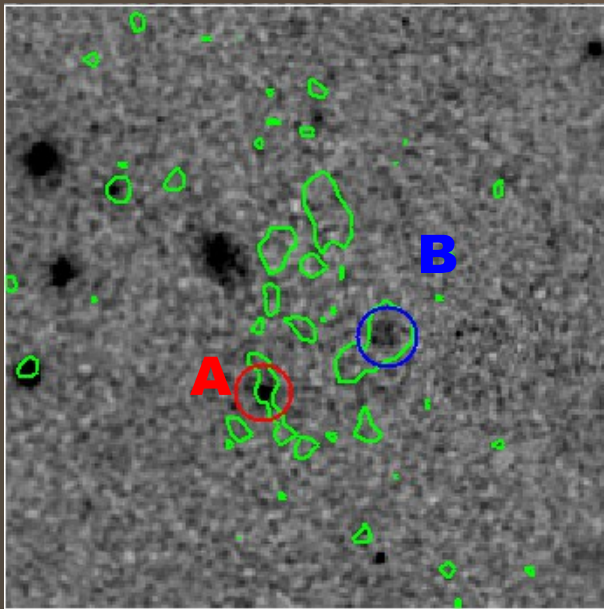
Red (thick) Circles: DRGs  $J-K > 1.4$  (HEROs  $J-K > 2.1$ ) at  $2.6 < z_{\text{phot}} < 3.6$

Red square: HERO ( $J-K > 2.1$ )

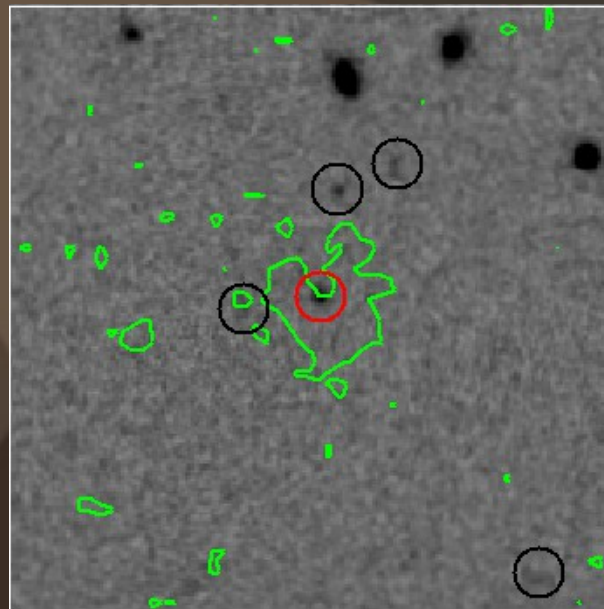
# *NIR spectroscopic observations of LABs and SMGs*

- Photo- $z$ の精度 $\sim 0.3$ ...同じ $z$ の銀河群であることを示すには、より精度よく(できれば $\Delta z < 0.0005$ )  $z$ を決定する必要。
- 昨秋、MOIRCS 近赤外線多天体分光観測を行った (2012/Sep-Oct)。
- [OIII] $\lambda\lambda 5007$  輝線を検出し、赤方偏移を決定。
- VPH-K (  $R \sim 1700$  ) and HK500( $R \sim 500$ ) グリズムを使用
- 3.6~4.4 hour exposure with  $0''.4$ - $0''.6$  seeing
- 4 LABs, 2 SMGs を観測し、**4 LABs and 1 SMG** の対応天体を同定した。

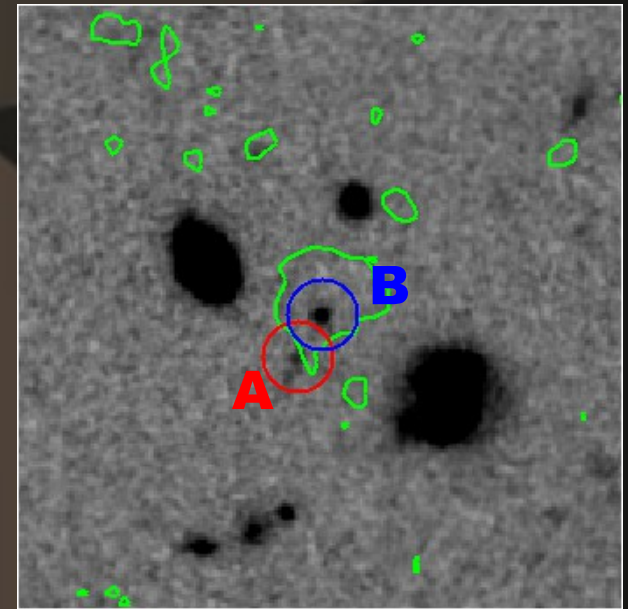
# *LAB12, LAB16, LAB30*



A :  $z_{\text{OIII}}=3.1141$  (K13)  
B :  $z_{\text{Ly}\alpha}=3.094$  (S03)



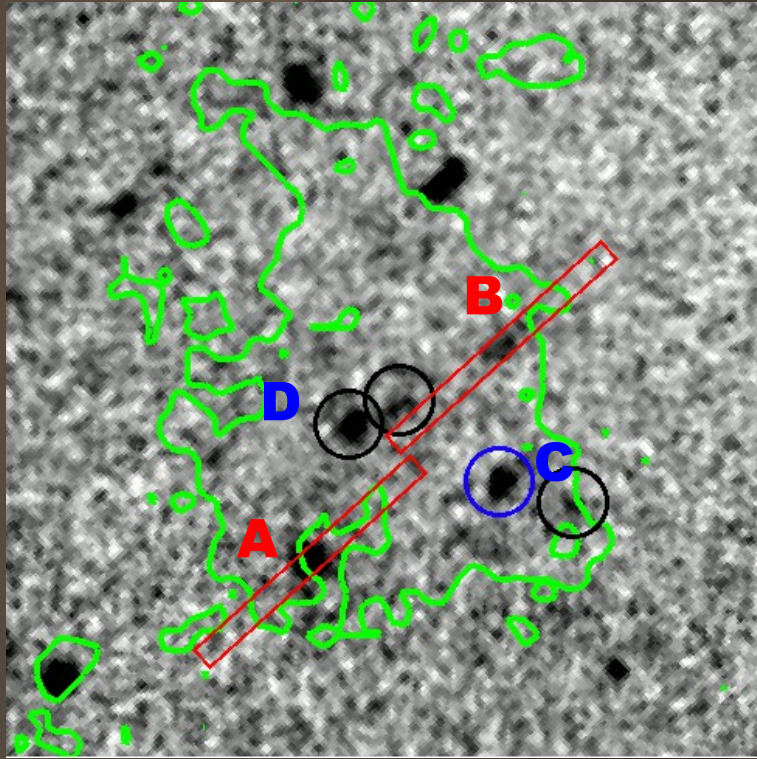
A :  $z_{\text{OIII}}=3.0690$  (K13)



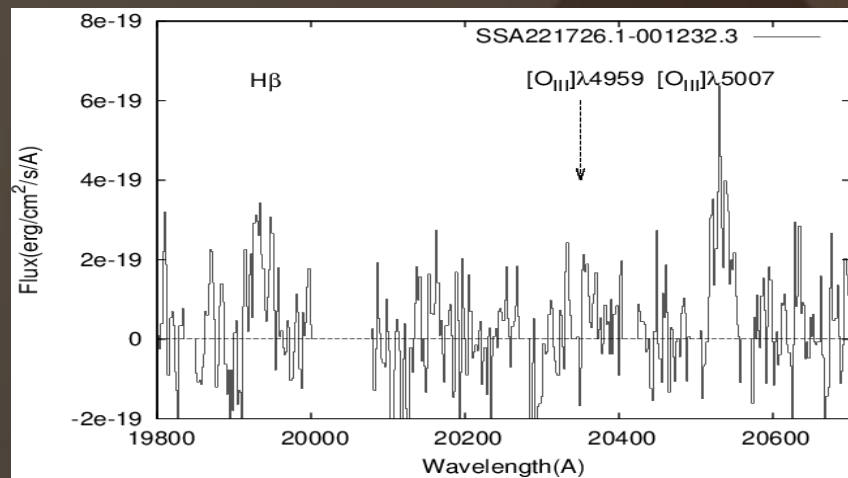
A :  $z_{\text{OIII}}=3.0687$  (K13)  
B :  $z_{\text{OIII}}=3.0679$  (K13)  
B :  $z_{\text{Ly}\alpha}=3.086$  (S03)

- Red ( $z_{\text{[OIII]}}=3.1$  K13), Blue ( $z_{\text{Ly}\alpha} = 3.1$ ; Steidel+03) and Black ( $z_{\text{phot}}=2.6-3.6$ ; Uchimoto+12)

# LAB01



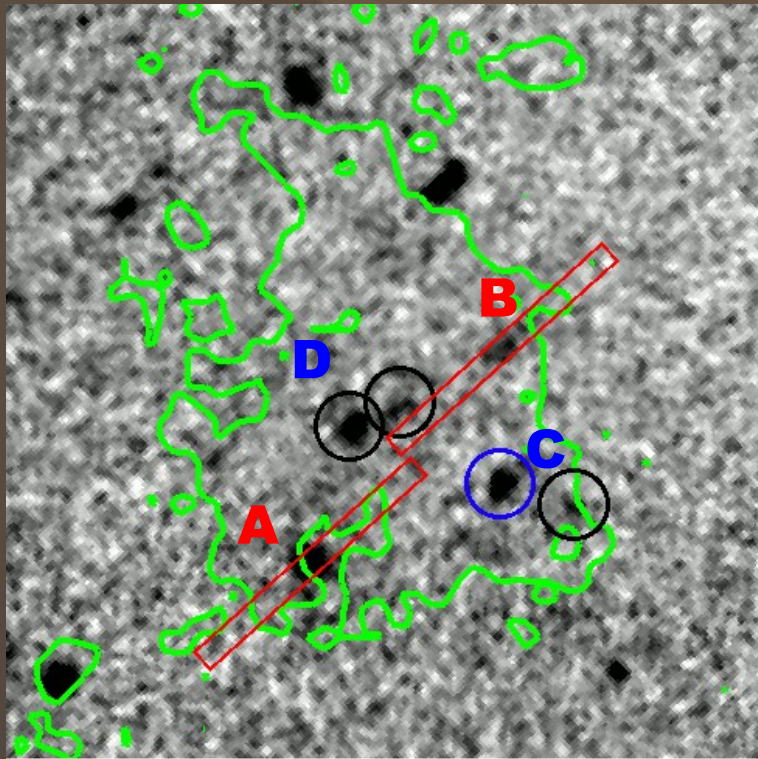
- **A**:  $z_{[\text{OIII}]}$  =  $3.1000 \pm 0.0006$
- **B**:  $z_{[\text{OIII}]}$  =  $3.1001 \pm 0.0006$  (tentative)  
(MOIRCS, Kubo)
- **C**:  $z_{[\text{OIII}]}$  =  $3.0999 \pm 0.0004$   
(NIRSPEC McLinden+13)
- **C**:  $z_{\text{Ly}\alpha}$  =  $3.1000 \pm 0.0002$   
(SAURON Weijman+10; McLinden+13)
- **D**:  $z_{\text{Ly}\alpha}$  =  $3.097 \pm 0.001$   
(SAURON Weijman+10)



K-band Spectrum of object A

全て対応天体(空間分布は不明)

# Properties of counterparts of LAB01



**A:  $9.15 \pm 0.2 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$**

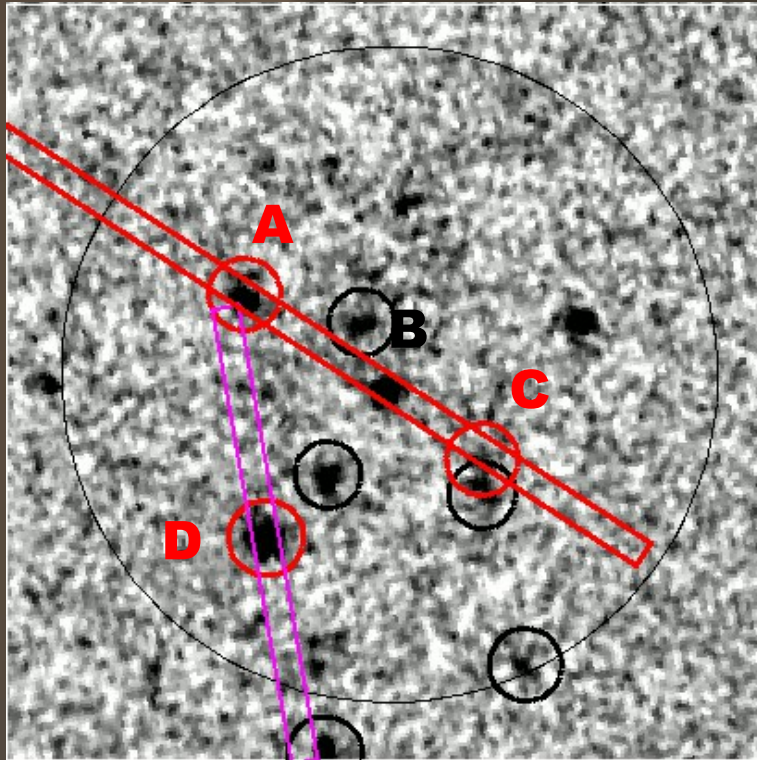
**B:  $4.4 \pm 0.4 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$**

**C:  $2.1 \pm 0.2 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$**

**D:  $1.2 \pm 0.1 \times 10^{11} M_{\text{sun}}$**

- A,B,C,D 全て LAB01対応天体。
- **A&D**: Spitzer MIPS 24um 源 ( $SFR_{\text{IR}} > \sim 1000 M_{\text{yr}}$  の dusty starburst or AGN), サブミリ源 (Chapman+04) の対応天体? サブミリ源が広がっている ( $> 4''$ ; Matsuda+07) 予測と合う。
- **B**: 静止系紫外線で明るい...  $SFR_{\text{UV}}$ , corr  $\sim 1000 M_{\text{sun/yr}}$

# *A<sub>z</sub>TEC14*

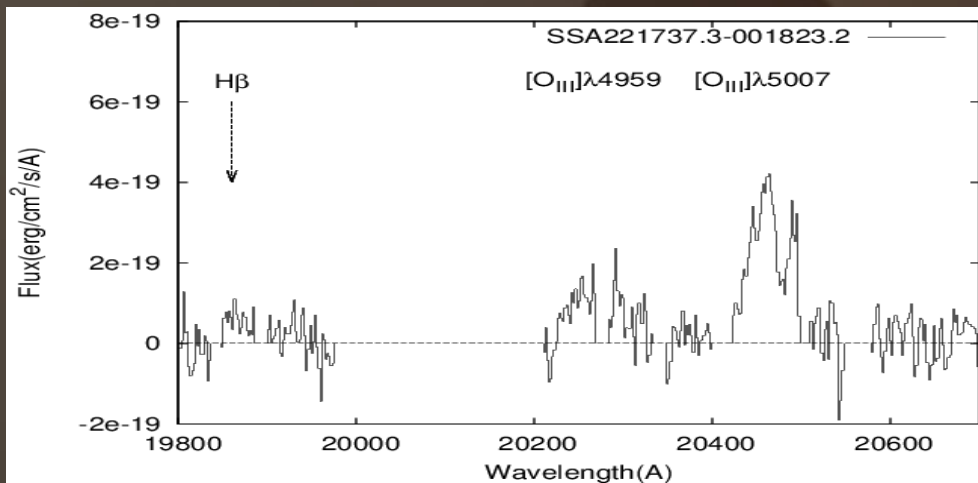


- **A**:  $z_{[\text{OIII}]}$  = 3.0863  
X-ray source and HERO
- **C**:  $z_{[\text{OIII}]}$  = 3.0856  
DRG
- **D**:  $z_{\text{cont}} \sim 3.1$   
Quiescent galaxy

$$\mathbf{A: 1.40 \pm 0.10 \times 10^{11} M_{\text{sun}}}$$

$$\mathbf{C: 8.60 \pm 0.96 \times 10^{10} M_{\text{sun}}}$$

$$\mathbf{D: 3.31 \pm 0.08 \times 10^{11} M_{\text{sun}}}$$

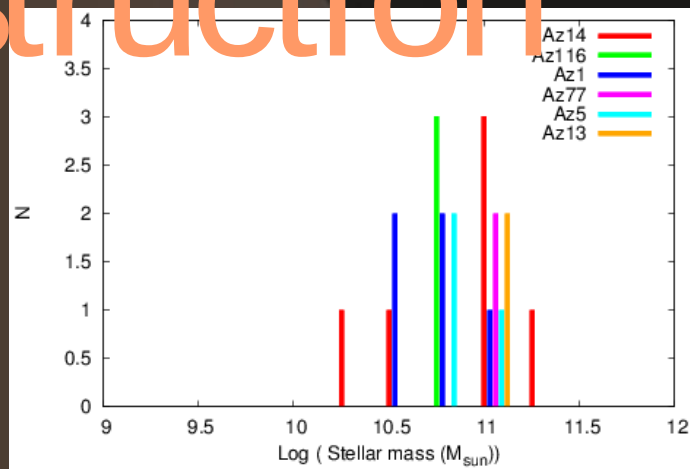
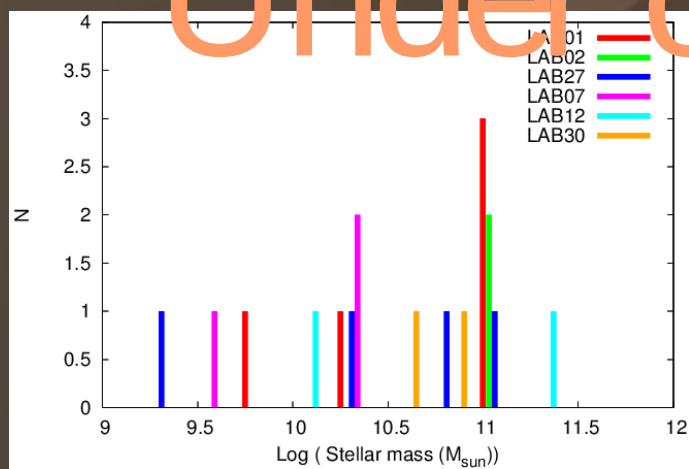
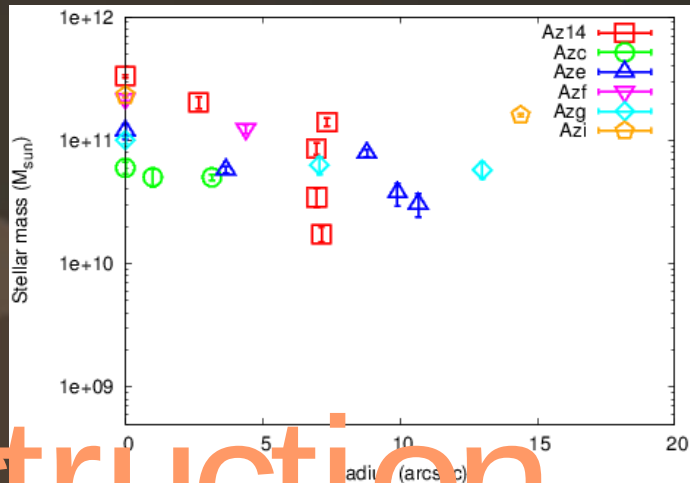
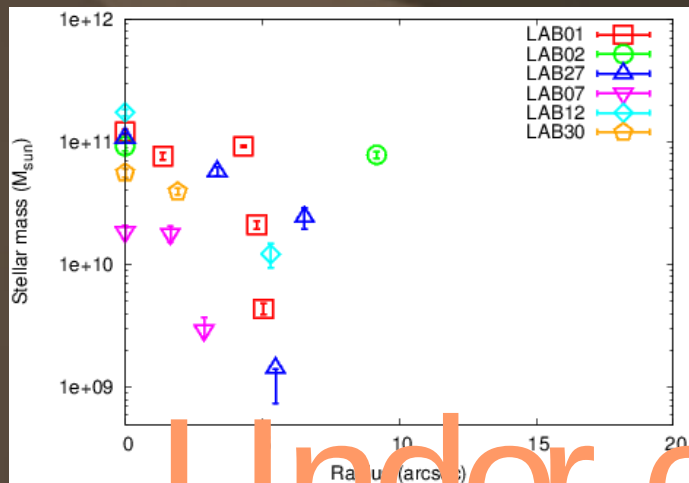


K-band Spectrum of object A

# *The properties of Multiple-merging galaxies*

- 近赤外線分光観測から、photo-z・色から選んだmultiple merging galaxiesが確かに同じzに分布する銀河群であるとがわかった。
- Photo-zのみで選んだmultiple counterpartsも $z=3.1$ と仮定。
- u\*BVRi'z'JHK+IRACを使ったSEDフィットに基づき星質量、SFRを求めた。Bruzual & Charlot+03 モデルを使った。
- 6 LABs、6 ASTE/AzTEC SMGsについて解析を行った。
  - Stellar mass, SFRs, sSFR
  - Radial dependence
  - SMGとLABのMMGsは同じ？違うもの？

# Stellar mass

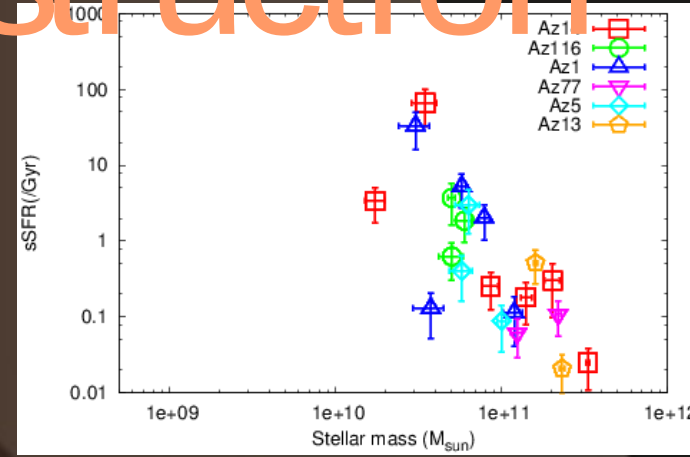
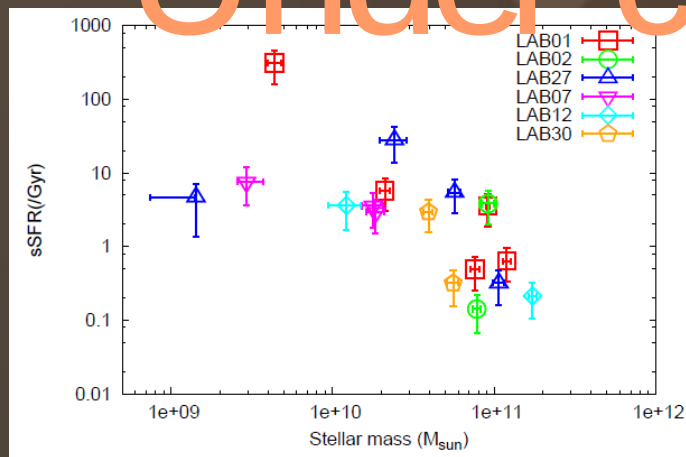
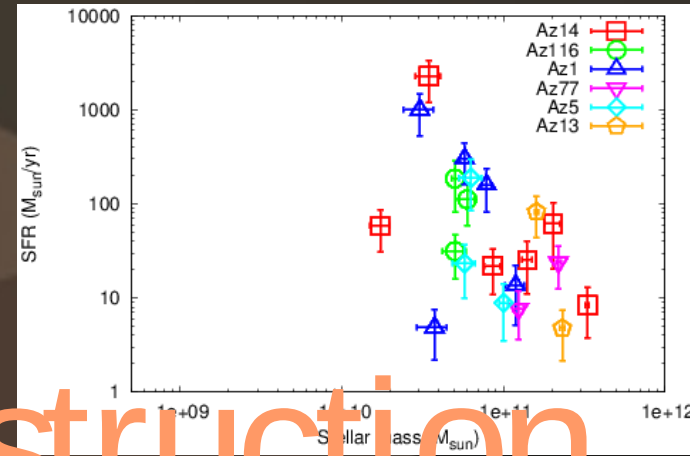
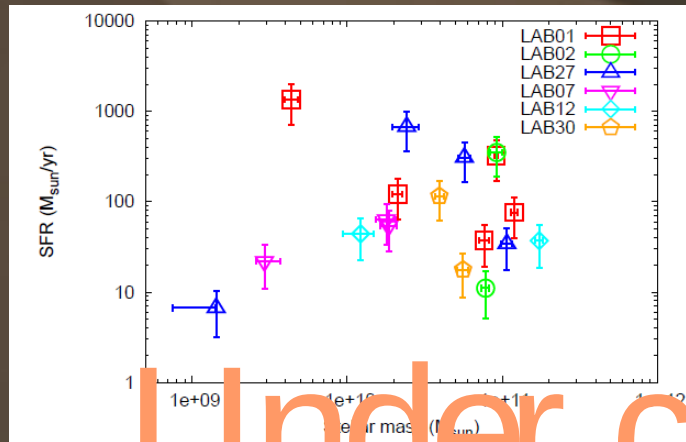


Under construction

- 上：最も星質量が大きい天体からの距離に対する星質量分布
- 下：対応天体の星質量分布
- 1、2番目に重い天体のmass比 > ~0.5 ...Major merger
- SMG 対応天体は全体的にかなり大質量...multiple major merger

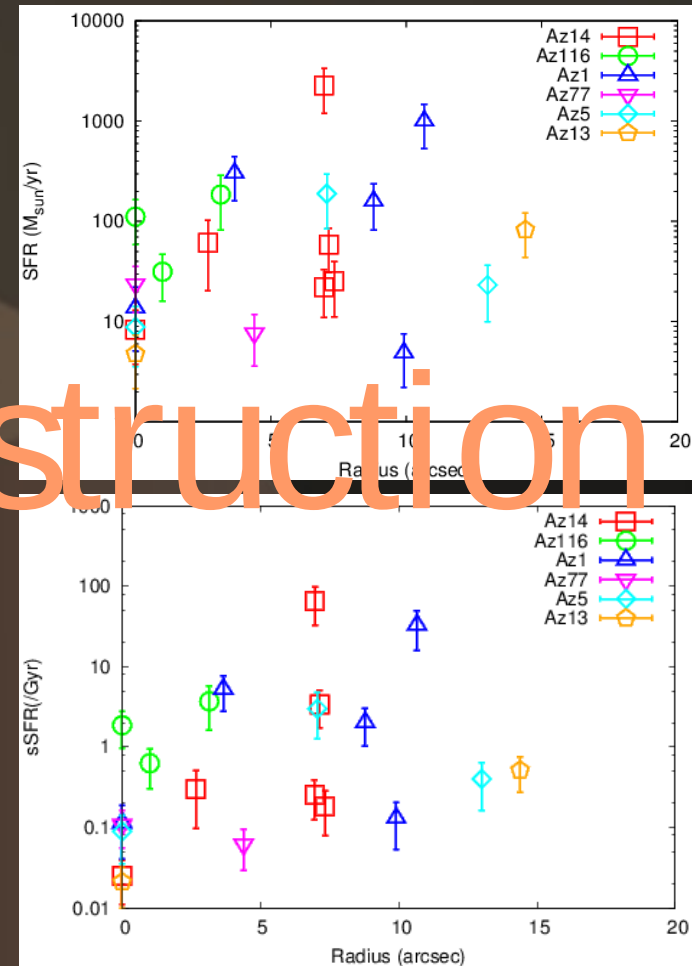
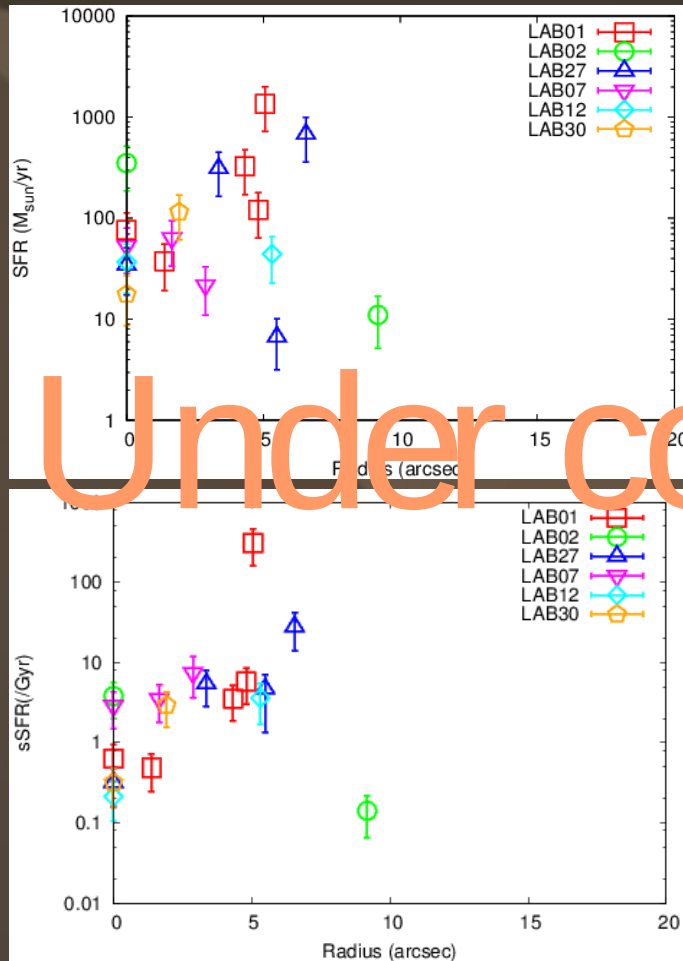


# SFR and sSFR



Under construction

- 上 : SFR v.s. Stellar mass, 下 : sSFR v.s. Stellar mass
- SFRはExtinction corrected SFR in UV
- 特にSMGの大質量銀河は low SFR and sSFR



Under construction

- 最も星質量が大きい天体からの距離に対するSFR, sSFR
- 中心天体(最も大質量の天体)が最も小さいSFR and sSFR.
- LABsでは外側に行くにつれsSFRが増大する傾向

# *Discussion*

- 1st, 2nd massive galaxies の星質量比  $\sim >0.5$   
... major merger、特にSMGs はmultiple major merger
- LABsにはsSFRが外側にゆくにつれ増大する傾向。また、星質量のバラつきが大きい。  
...外側で活発な星形成が起きて銀河が形成され、中心の大質量銀河に落ちる？
- SMGsはsSFR, SFRのRadial dependence がなかった。対応天体は全体に大質量。特に大質量な星質量成分がquiescent  
...各星質量成分は早期に同じように形成され、multiple major merger

## *Conclusion and Future works*

- 近赤外線の高い撮像観測からLABs, SMGの対応天体として multiple merging galaxies 候補を検出し、分光観測によってその存在を確かめた。
- LABsとSMGs の multiple merging galaxies は異なる性質をしめしていた。Multiple merging galaxies は色々な起源を持つと考えられる。
- 今回の結果・ Multiple merging galaxies のサンプルは端緒に過ぎない。LABs、SMGに限らずに、原始銀河団以外の領域でも解析する必要がある。