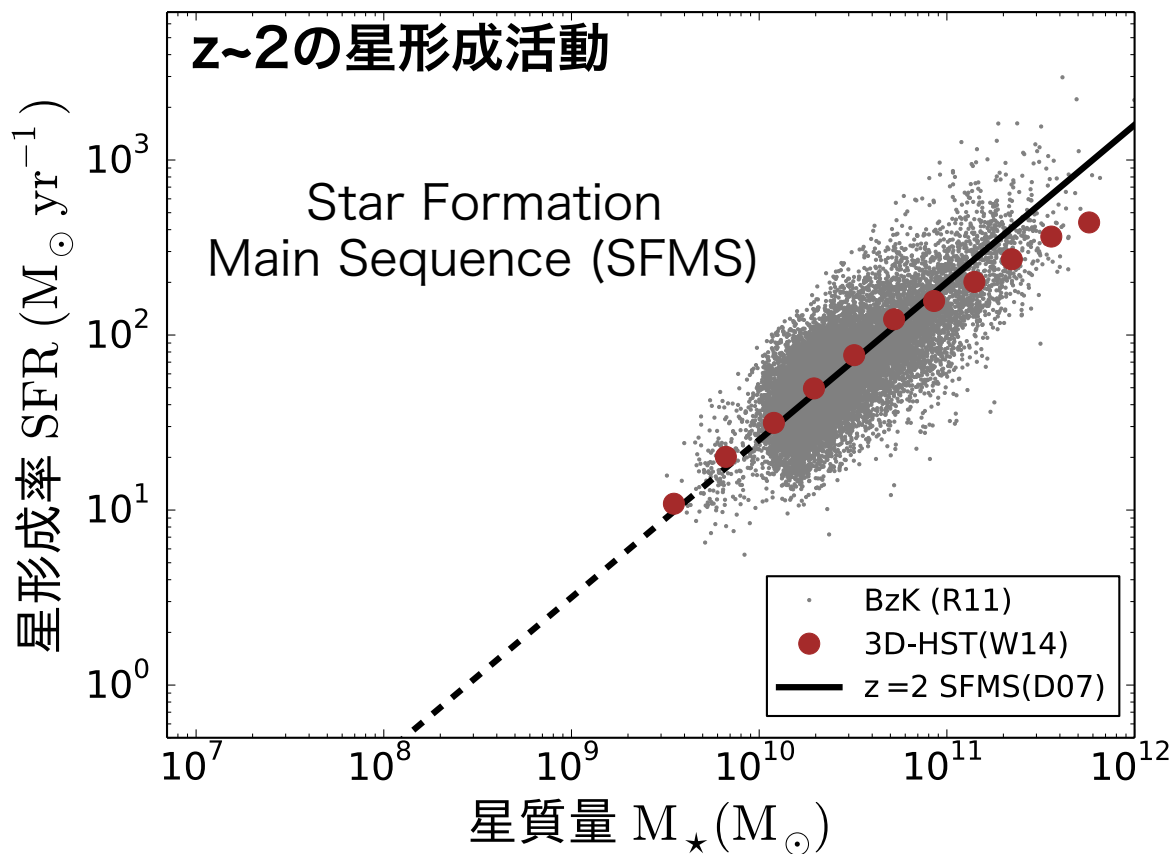


The Star Formation Activity and Its Diversity of Low-Mass Galaxies at Cosmic Noon (Kusakabe+16 in prep)

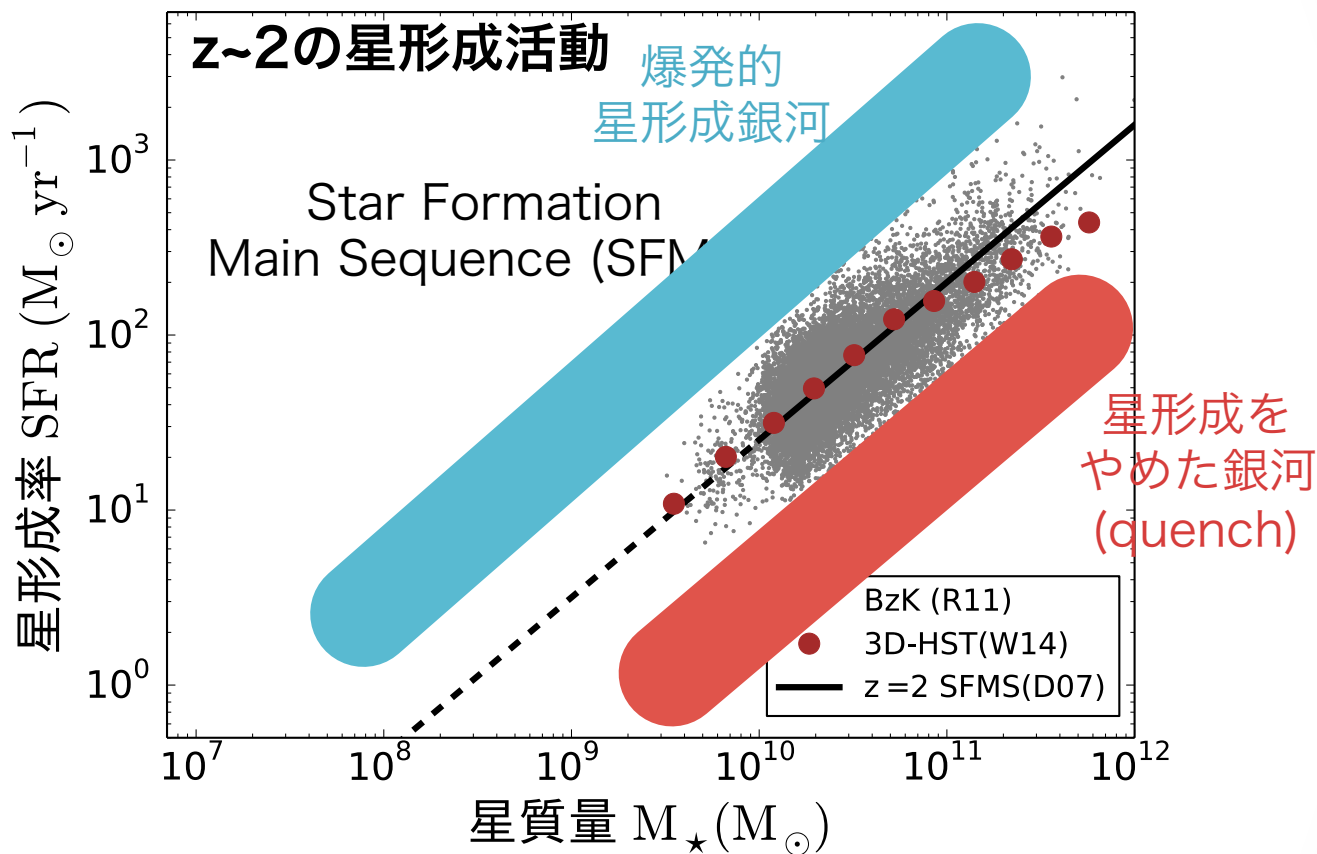
2016年6月2日 銀河進化研究会@東北大学
日下部晴香 (東京大学)

嶋作一大, 中島王彦, 後藤亮介, 大内正己, 橋本拓也,
今野彰, 播金優一

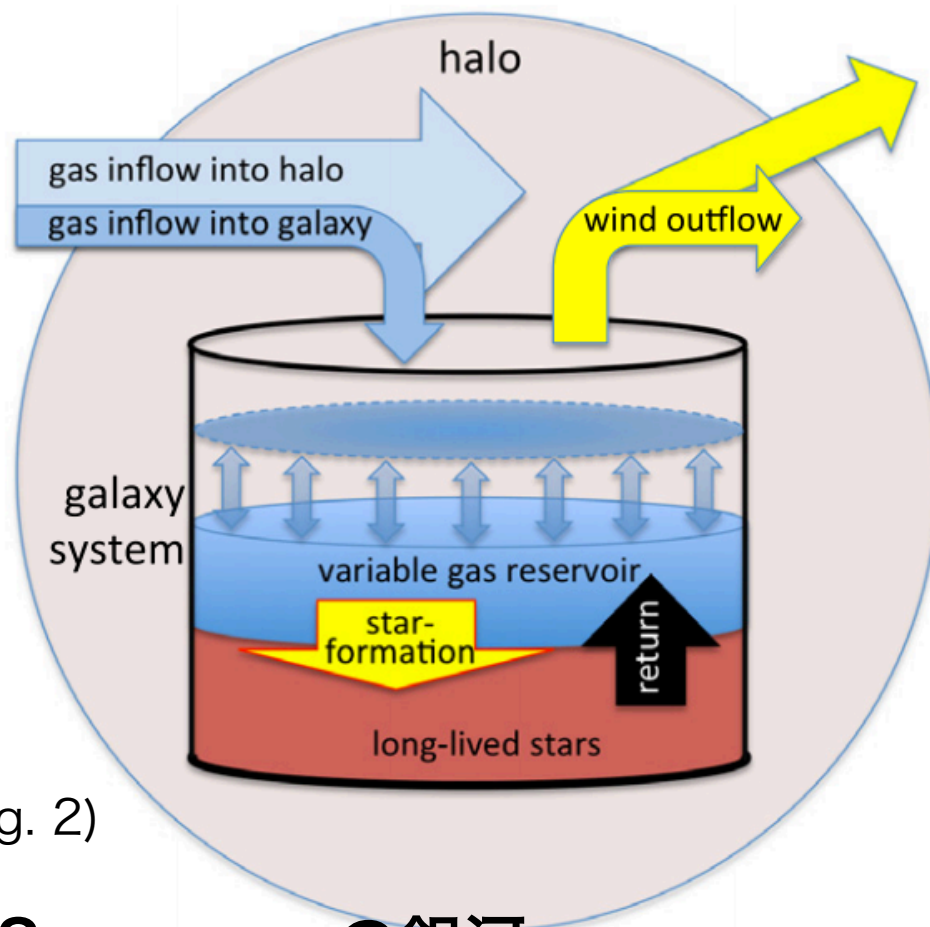
$z \sim 2$ の銀河の星形成活動



多様な星形成活動



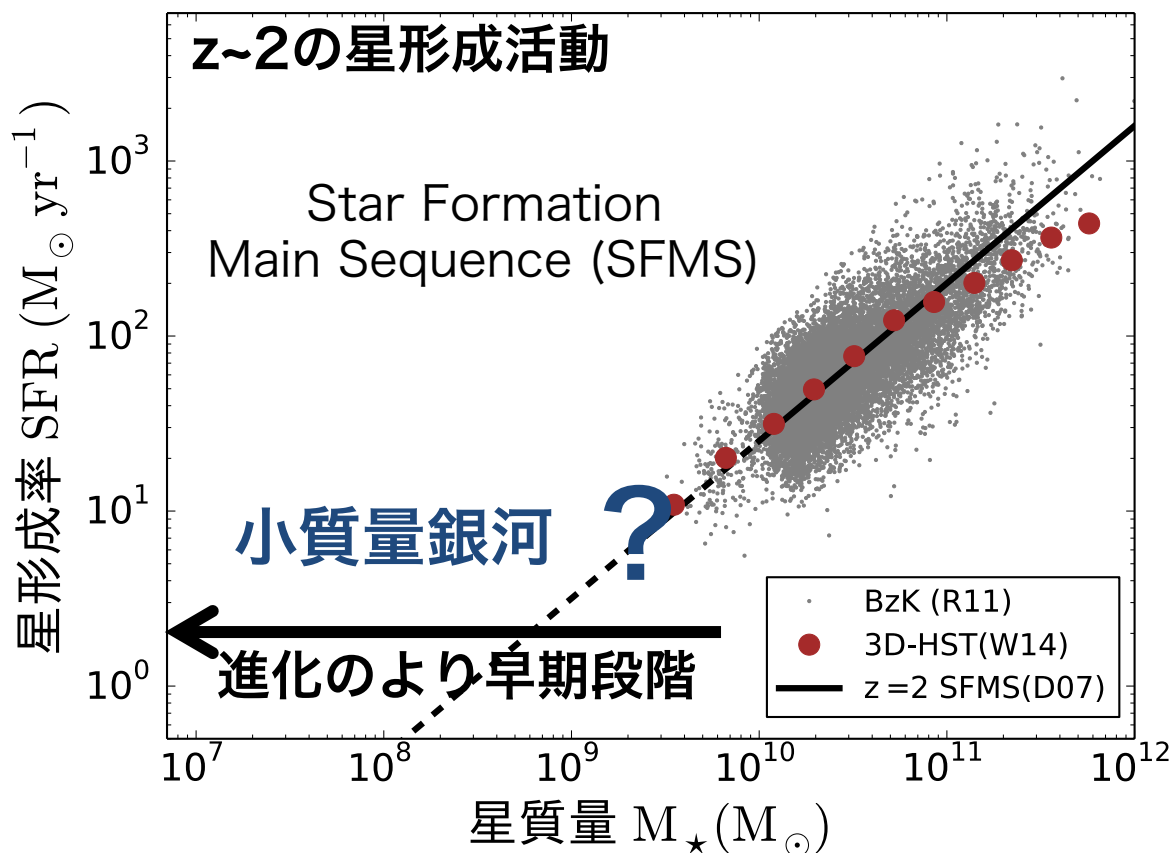
星形成活動の(準)平衡状態



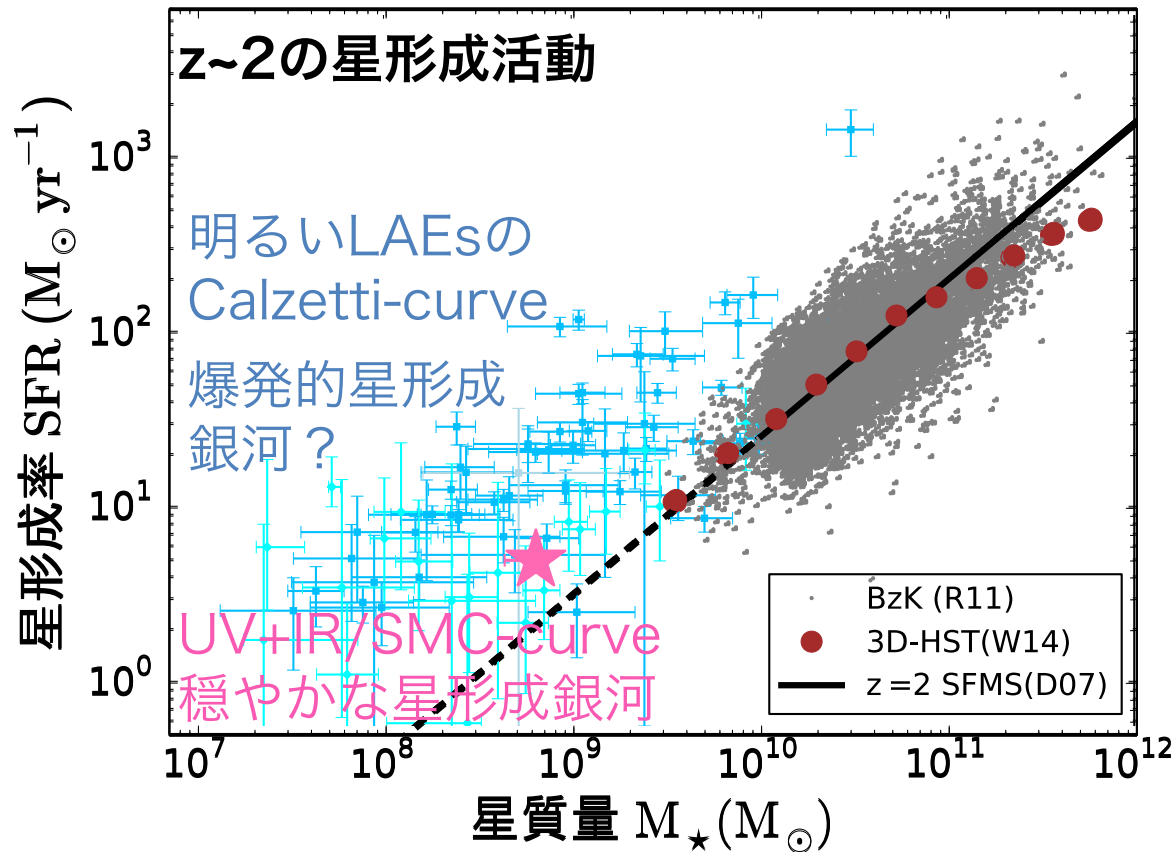
Lilly+13 (Fig. 2)

Main Sequenceの銀河:
ガスの流入・流出・星形成のつりあい
穏やかな星形成

銀河進化の鍵を握る小質量銀河



LAEsの星形成活動



多様性の議論が不十分

多様な星形成活動の議論が不十分 -星種族とDMHの結びつき-

① 星種族パラメーターの多様性 ?

×少ないサンプル数、浅いデータ、不適切な減光曲線

② ダークマターハロー(DMH)と結びつけてない

多様な星形成活動の起源を議論するには、
LAEsをsub-sampleに分け、星種族とDMH
の質量を同時に求める必要がある

本研究の概要

ターゲット: $z \sim 2$ のLAEs

- ・ 成長した銀河のパーツ(=進化の鍵)となる小質量銀河
- ・ 宇宙で最も星形成が活発な時代

多数のsubsampleに分けて、星形成率、星質量、
ダークマターハロー質量を導出

★形成初期の爆発的星形成銀河を発見★

データとサンプル

領域	SXDS field
特徴	UV-NIRの深くて広いdata
天体数	611
band (SED fit)	Subaru/Suprime-Cam B, V, R, I, z UKIRT/WFCAM J, H, K Spitzer/IRAC 3.6, 4.5, 5.8, 8.0um
Reference	Nakajima+12 (N=890)

(sample1) Giavalisco+04; Hildebrandt+06; Nonion+09; Grogin+11; Koekemoer+11; Magnelli+11; Lutz+11; Elbaz+11; Brammer+12; Nakajima+12; Magnelli+13; Skelton+14; Kusakabe+15 (sample2) Lawrence+07; Furusawa+08; Foucaud+11; Nakajima+12; Ashbt+13; SpUDS (PI:Dunlop)

解析の流れ

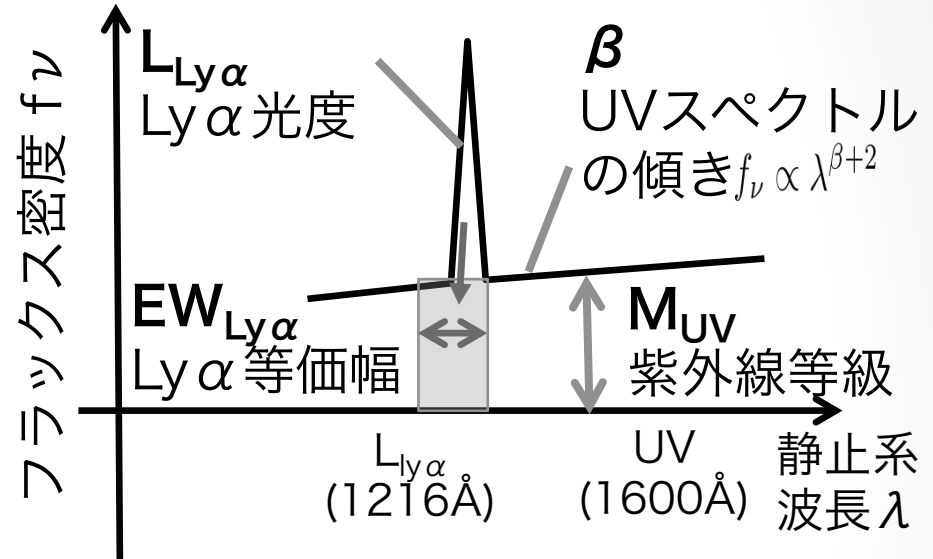
星形成活動を反映しそうな
4つのUV物理量でサンプル
をそれぞれ3分割

SXDF 611天体
4×3=12
サブサンプル

スタッキング解析

SED fit

星種族パラメータ

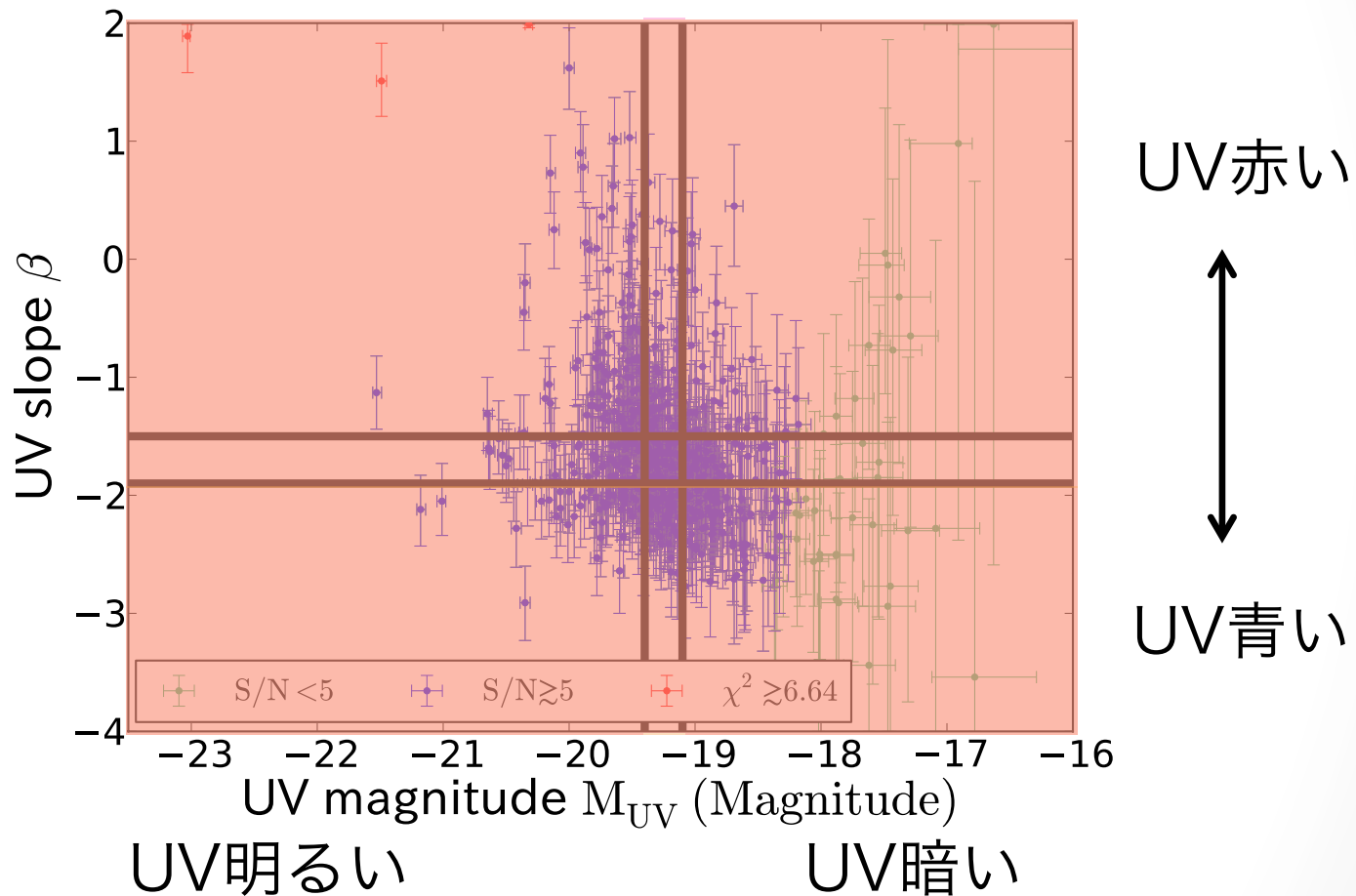


クラスタリング解析

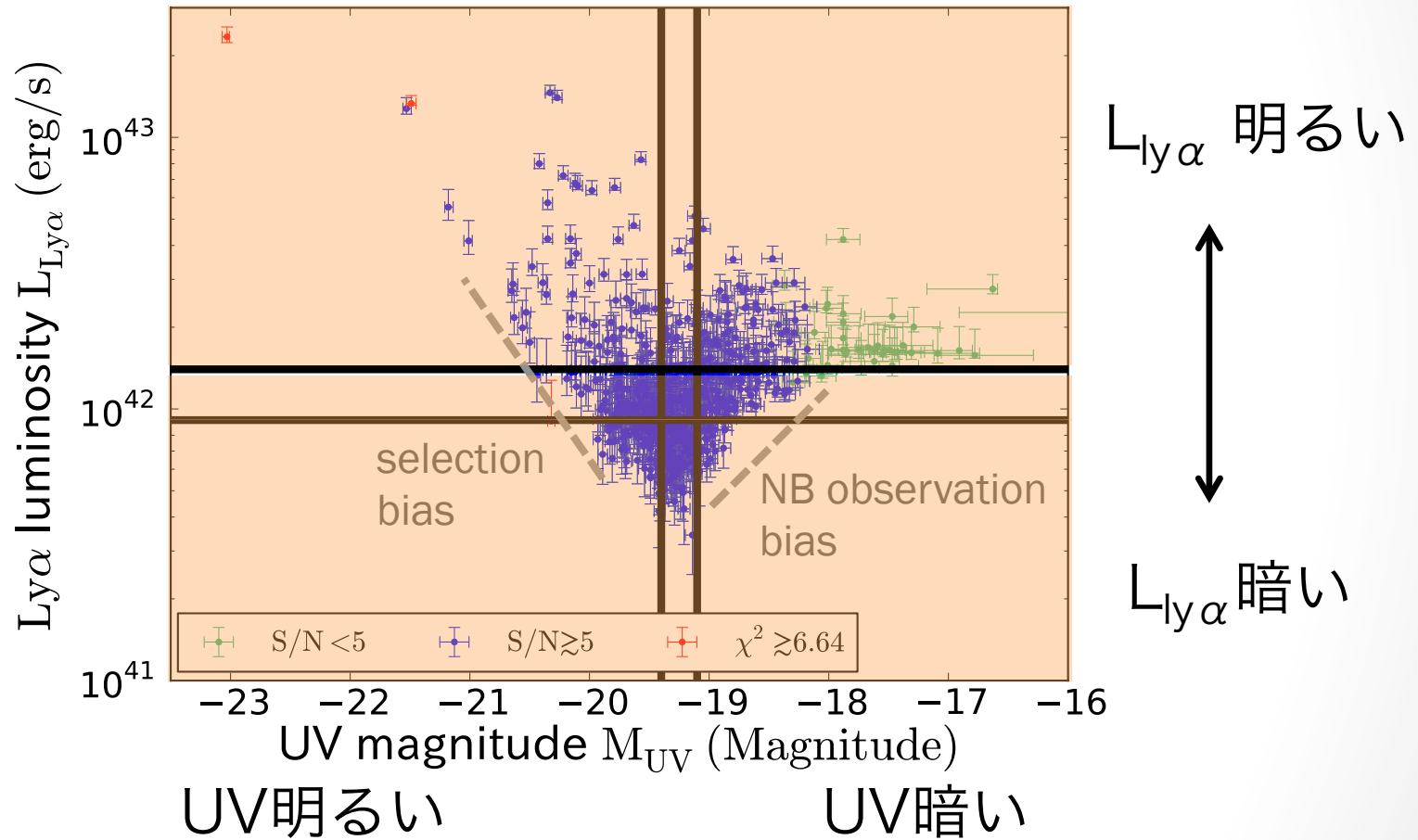
DMH質量

LAEsの分類条件

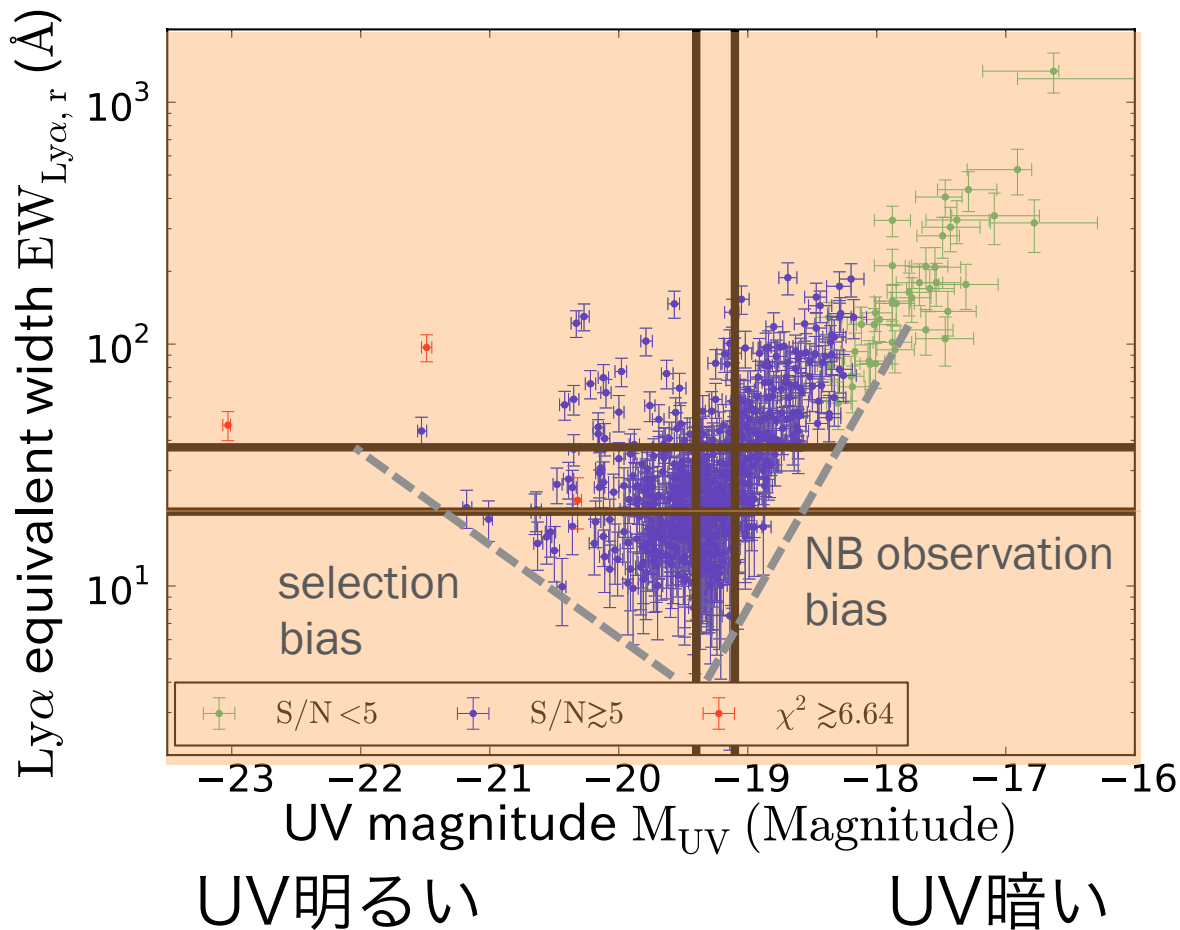
紫外物理量に応じて~200 LAEs × 3サブサンプルに分ける



LAEsの分類条件



LAEsの分類条件

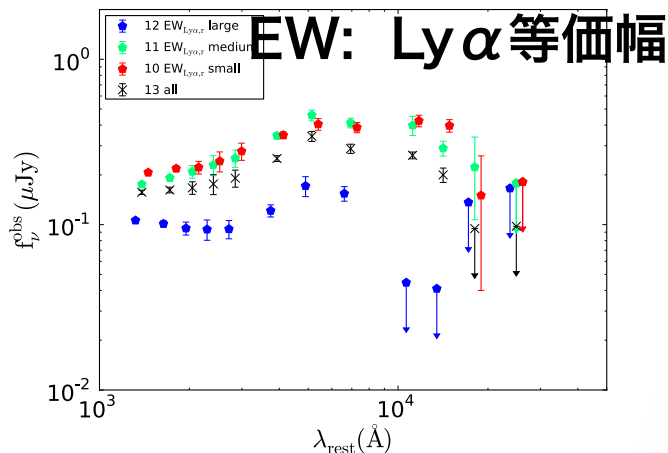
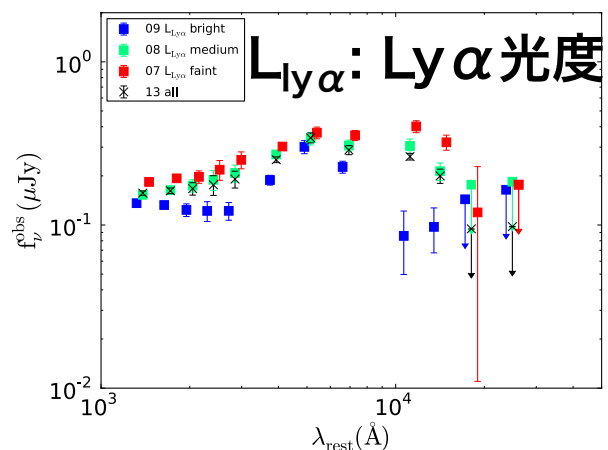
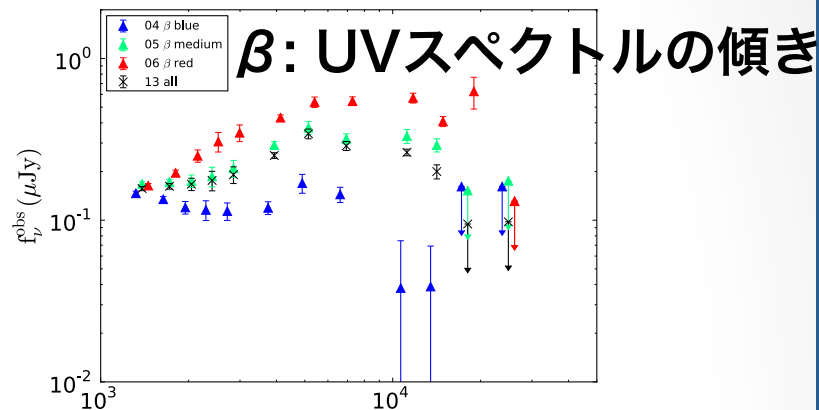
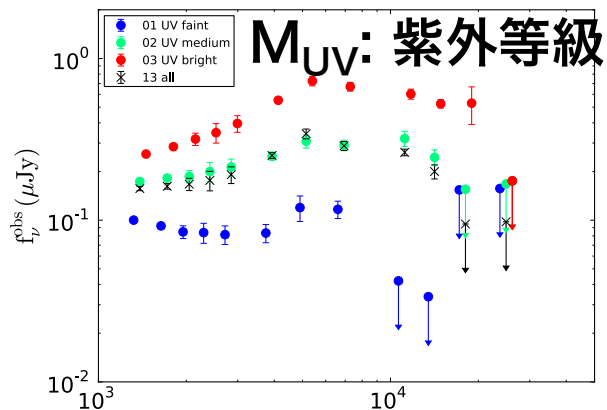


$EW_{Ly\alpha,r}$
大きい



$EW_{Ly\alpha,r}$
小さい

スタック後のスペクトル



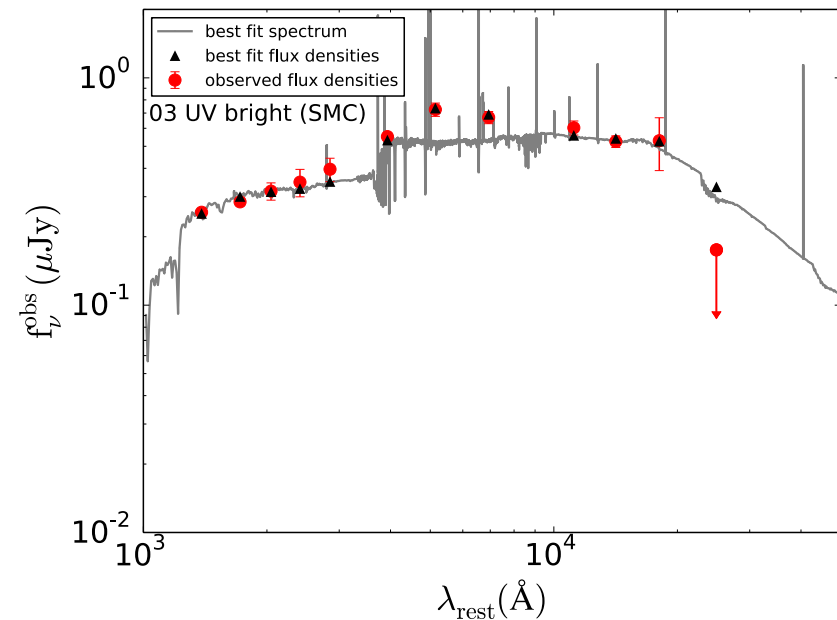
M_{UV} 暗い、 β 青い、輝線が強い

M_{UV} 明るい、 β 赤い、輝線が弱い

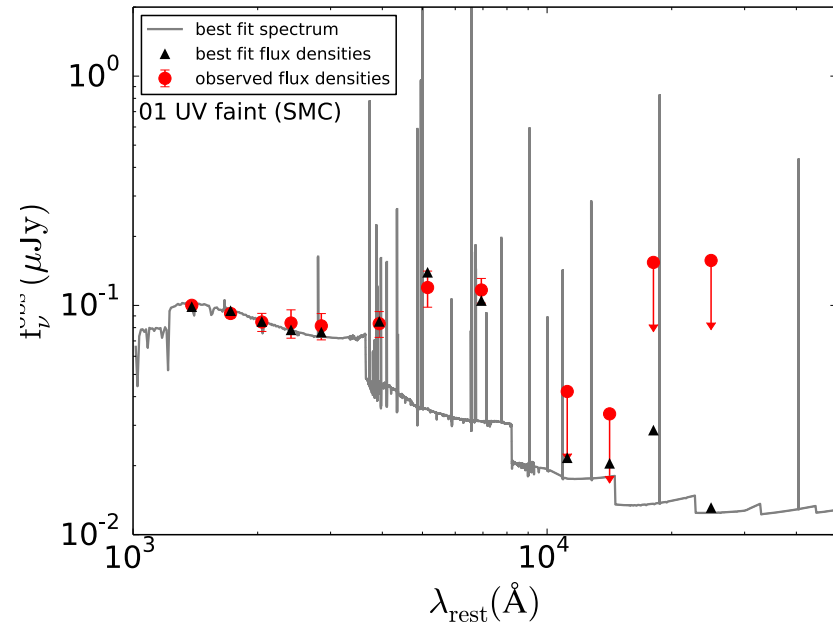
各物理量のmedium

サブサンプルのSED fit

UV 明るい

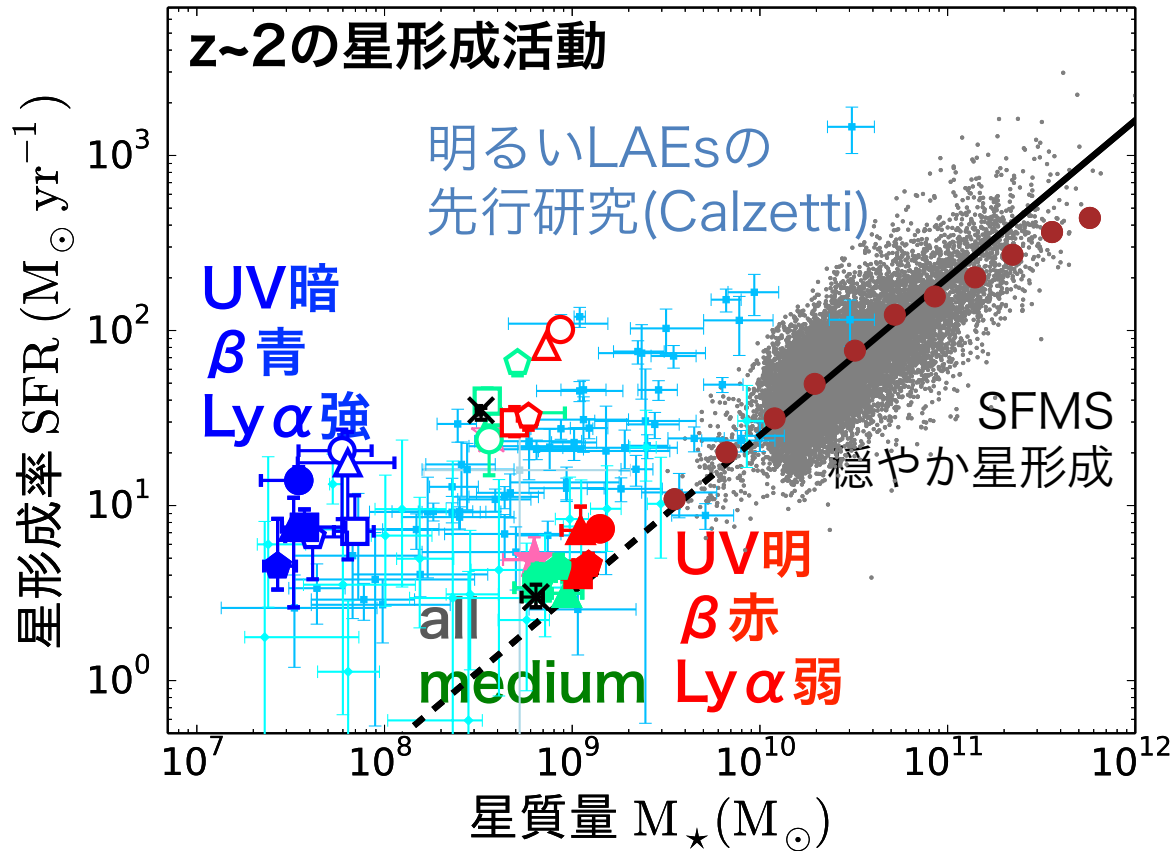


UV 暗い



- BC03+emission
- Salpeter IMF
- constant SFH
- SMC-curve (Calzetti-curve)

LAEsの星形成活動の多様性



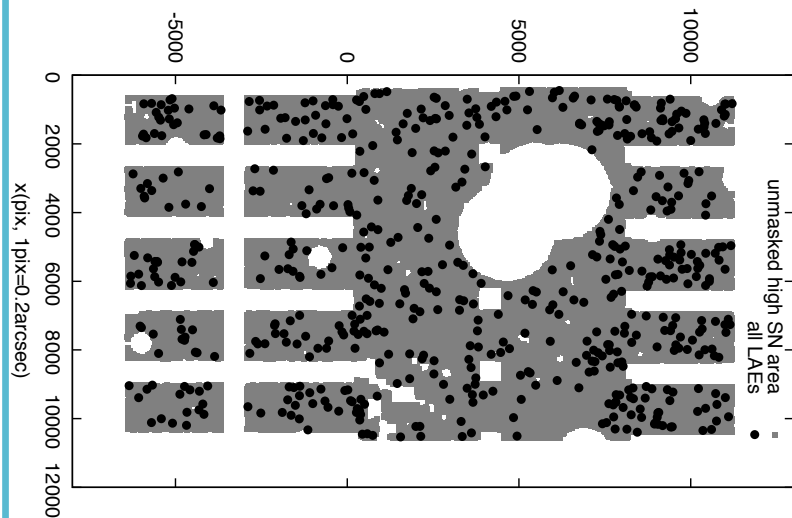
- 2/3はSFMSの外挿にのる、穏やかな星形成銀河
- SFMSは $10^9 M_{\odot}$ まで続いている
- 1/3は $\sim 10^7 M_{\odot}$ という低質量で爆発的星形成

ダークマターハロー (DMH) 質量

重いDMHの銀河ほど強く群れている

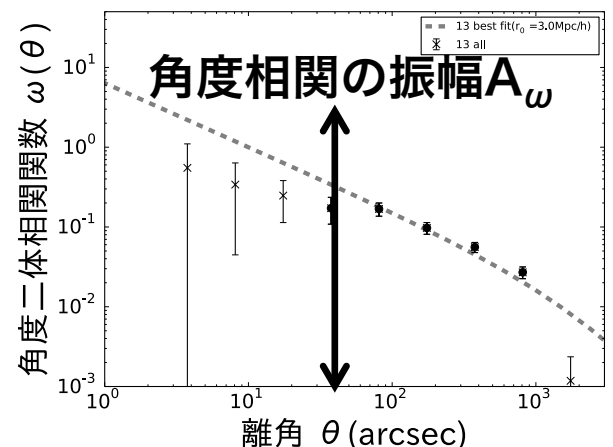
LAEsの天球分布

y(pix, 1pix=0.2arcsec)



灰色:使用領域 黒丸:LAEs

ランダム分布からのずれ



ω_{obs} : Landy&Szalay+93
(error: poisson)

ω_{model} : Simon+07,
 $\beta=0.8$ 固定, $\theta=40-1000''$ を fit

群れ具合からDMH質量の導出

A_ω



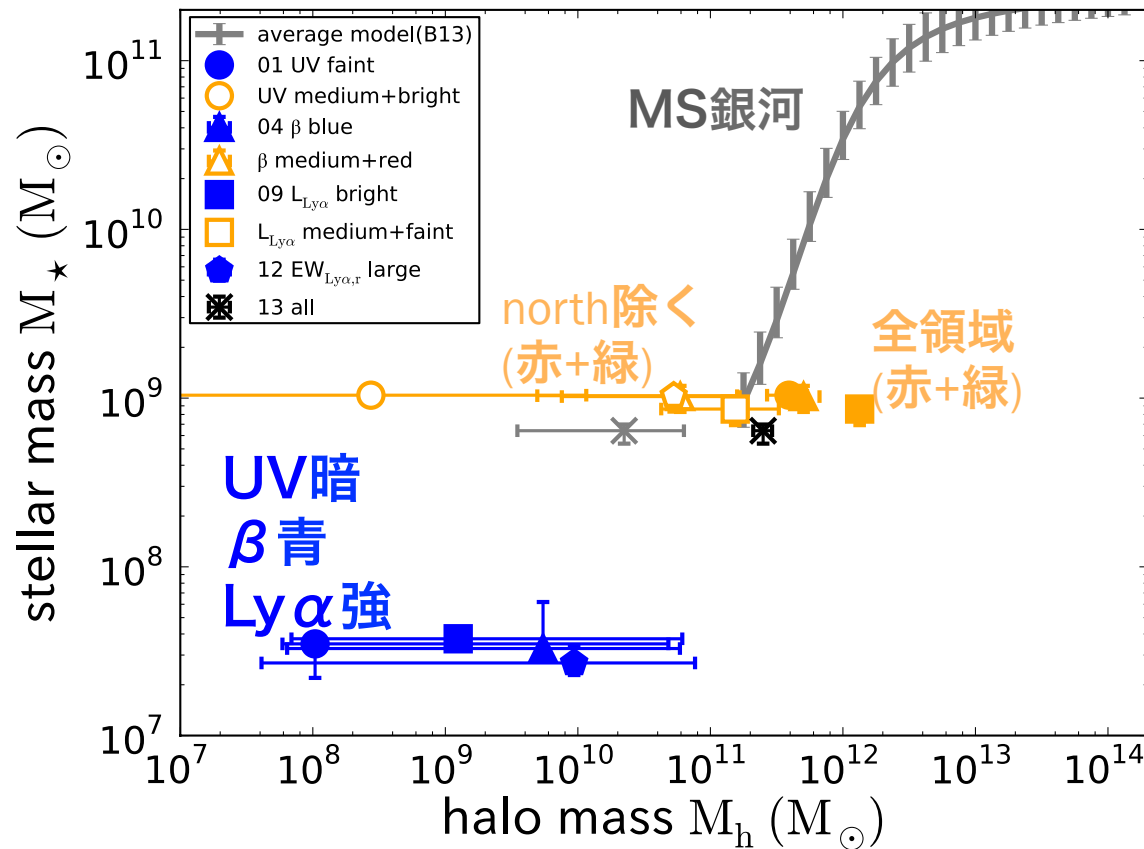
3次元の相関長

Λ CDM model
(Tinker+10)



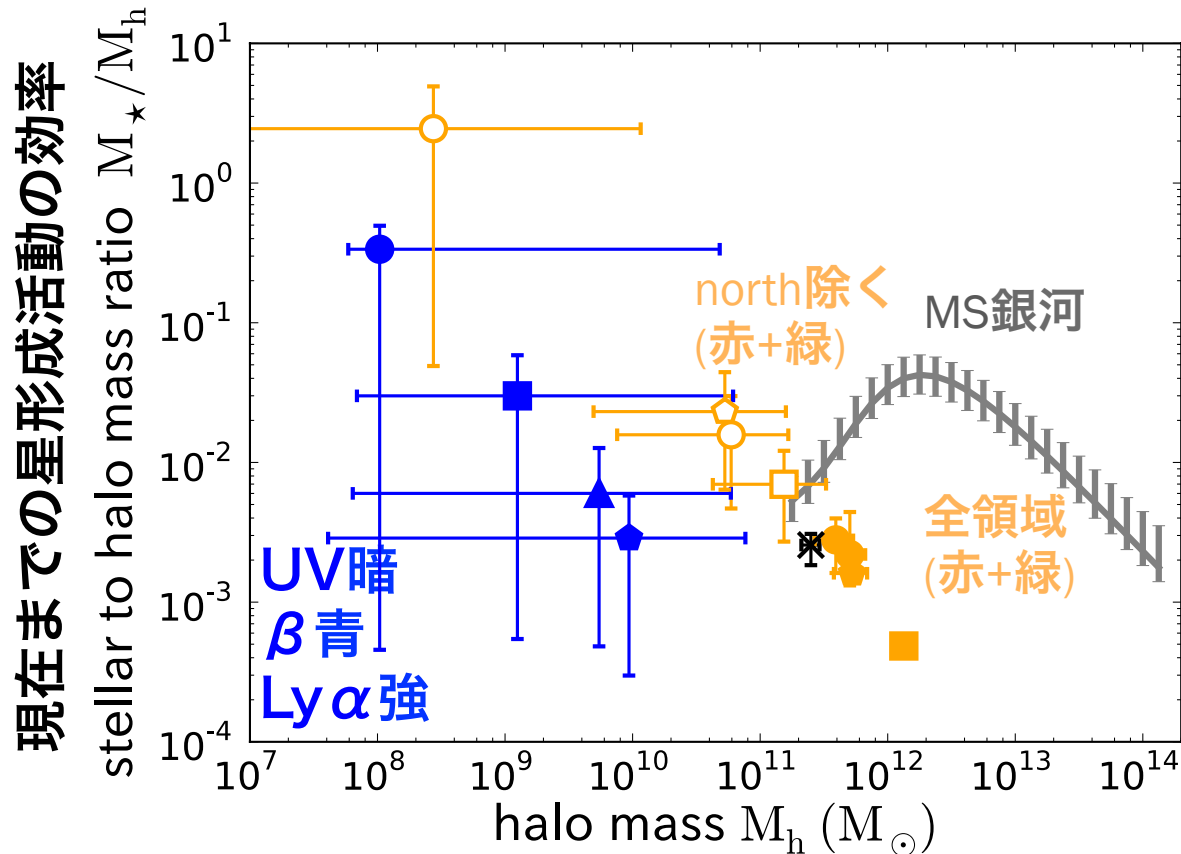
DMH質量

LAEsのダークマターハロー質量 M_h



- 二極化して幅広く分布している可能性
- 青色サンプルは、 M_h が非常に軽い可能性

現在までの星形成活動の効率($\text{SHMR} = M_*/M_h$)



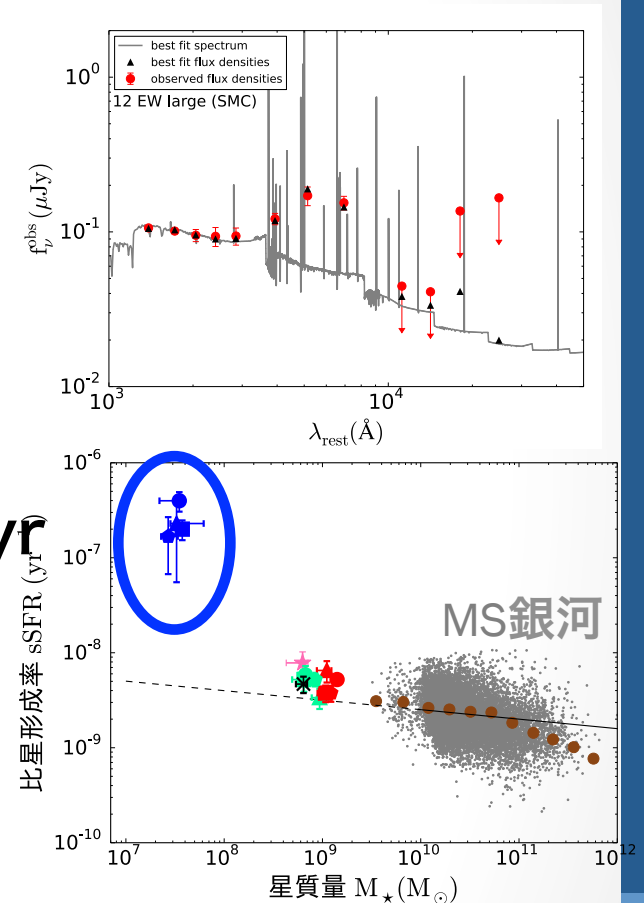
- 青サンプルの M_*/M_h が非常に高い可能性
ガスの変換効率 $\text{BCE} = \text{SFR} / \text{ガスの降着率} > 1$?
- M_h 小 \rightarrow SHMR, BCE 大 or M_h 大 $\rightarrow f_{\text{gas}}$ 大

青色サンプルはどんな銀河か？

UVが暗い、 β 青い、 $\text{Ly}\alpha$ 強いLAEs

- Nebular emissionが卓越
 - 星質量が非常に小さい: $10^7 M_\odot$
 - 年齢が非常に若い: 数Myr
 - 星形成が爆発的: 比星形成率 $> 10^{-7} \text{ /yr}$
 - DMH質量が非常に軽い: $\lesssim 10^{10} M_\odot$?
 - ガス変換の効率(BCE)が高い: > 1 ?
- 星形成活動が平衡状態にない

形成初期の爆発的星形成銀河
個数密度 $\sim 6 \times 10^{-4} \text{ /Mpc}^3$



青色サンプルの星形成メカニズム

①星形成率 > ガス降着率を実現し得るシナリオ

(a) 銀河の中にたまっていたガスが一気に星に化けた

(b) 偶然銀河にガスが一気に降ってきて星に化けた(銀河合体)
ガスが非常に豊富 (どこかにガスが蓄えられていた)

②非常に高い星形成効率が必要となること

$M_h \lesssim 10^{10} M_\odot \rightarrow \text{ガス質量} \lesssim 10^9 M_\odot$

星形成効率: $\text{SFE} = \text{星形成率} / \text{ガス質量} \gtrsim 10^{-8} \text{yr}^{-1}$

少なくとも、

IRで明るい爆発的星形成銀河

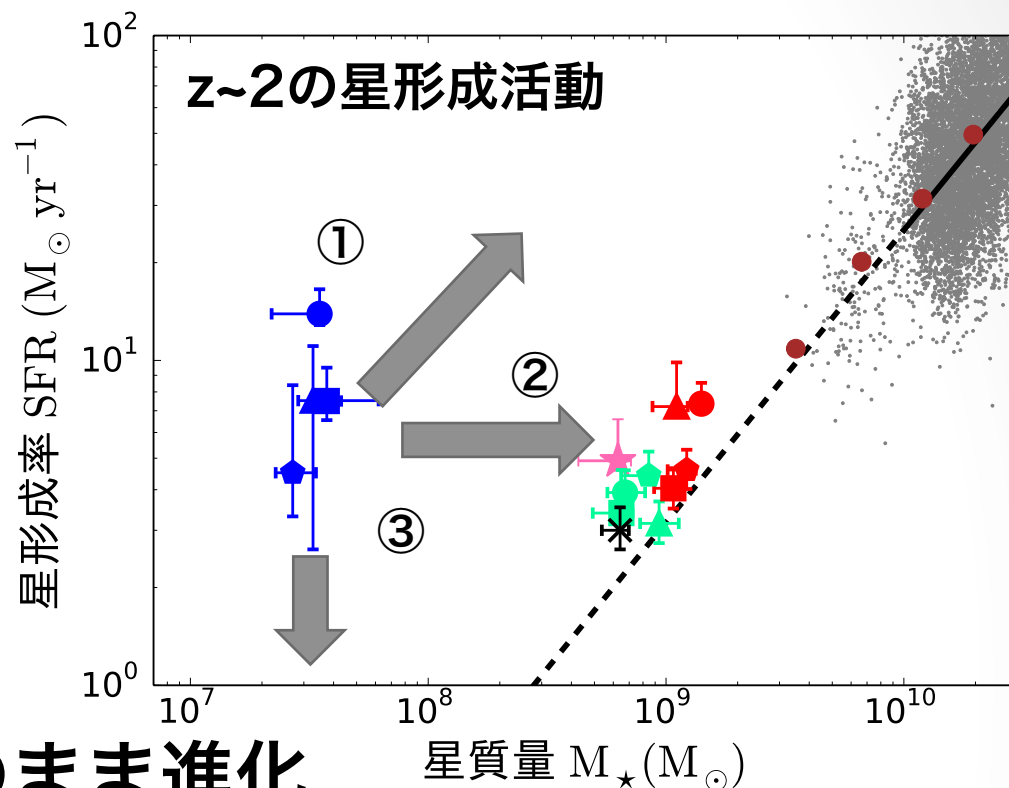
銀河内のdense cloud並みの高さ

本研究のまとめ

LAEsを用いた $z\sim 2$ の小質量銀河の星形成活動

- 星形成活動は多様
- 約2/3はSFMSにのる穏やかな星形成銀河
- 約1/3は形成初期の爆発的星形成銀河: 青色サンプル
高いガス変換効率、高い星形成効率
本研究で初めて発見 (~200天体)
Subaru/ HSCで統計を改善、詳しい研究が可能!
→超遠方銀河のヒント
→銀河形成理論のテスト

ISGsの進化



×①爆発的星形成のまま進化

- ・ガスの供給が追いつかない
- ・進化経路上に十分な数にLAEが見つからない

×②星形成率一定で進化しMSに融合

- ・進化経路上に十分な数のLAEが見つからない
- ・ダークハローの成長が追いつかない

○③星形成率が急降下

- ・高いガス変換の効率と合う

物理量

