

Clumpy銀河とclumpの性質

但木謙一、児玉忠恭、田中壺、小山佑世（国立天文台）、
林将央（東大）、嶋川理澄（総研大）

内容

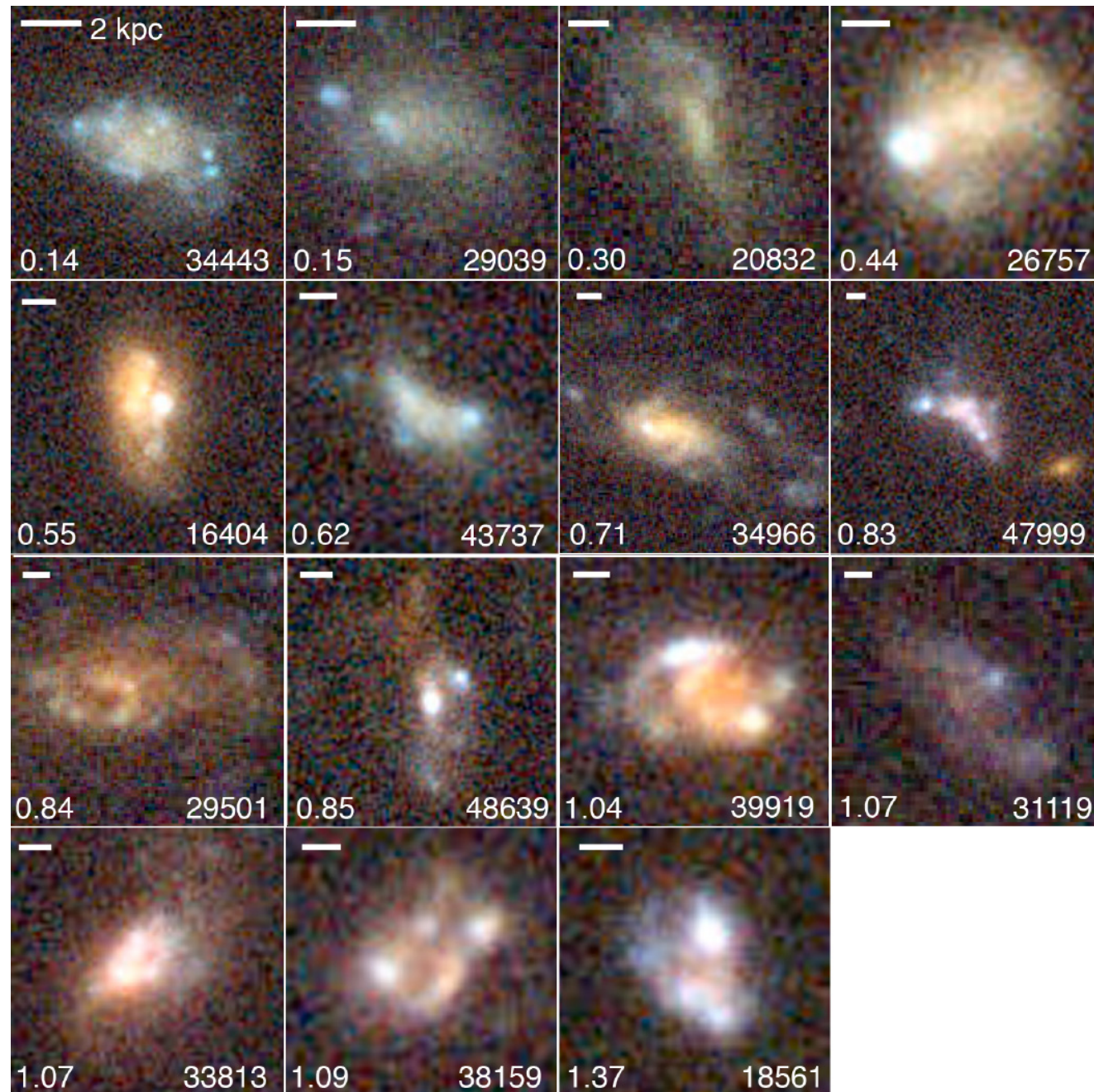
1. $z > 2$ のclump銀河とその性質
2. clump migrationとtidal disruption

内容

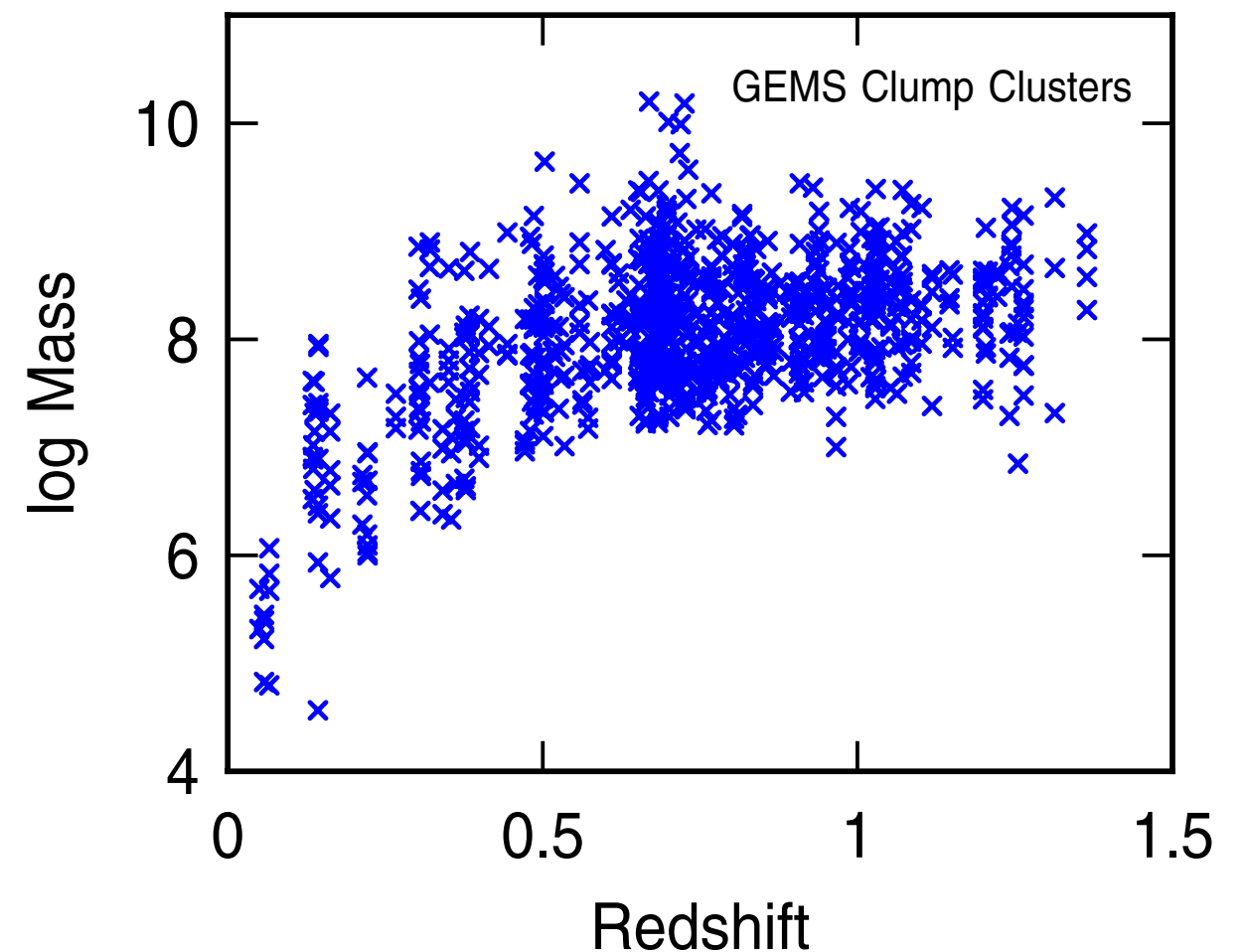
1. $z > 2$ のclump銀河とその性質
2. clump migrationとtidal disruption

Clumpy銀河 (clump cluster)

clumpy銀河のHST画像



clumpの星質量

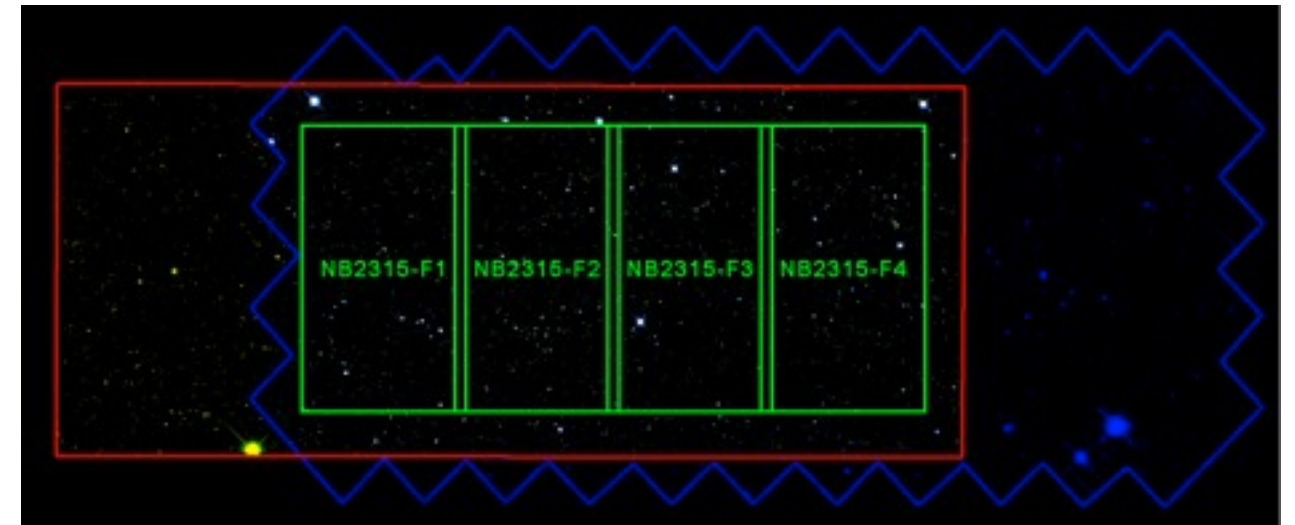
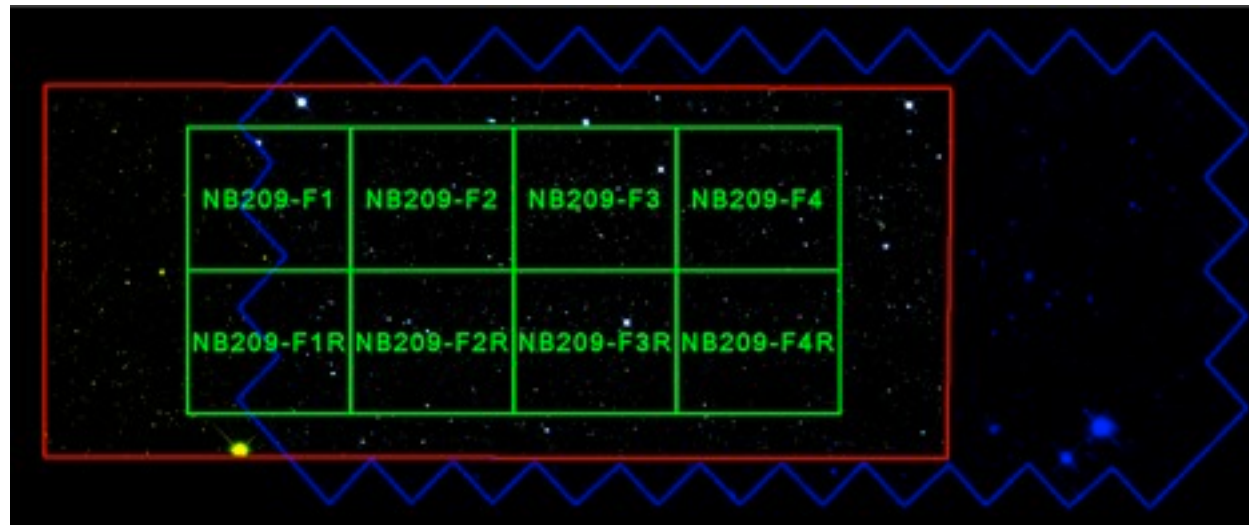


$$M_* = 10^6 - 10^9 M_\odot$$

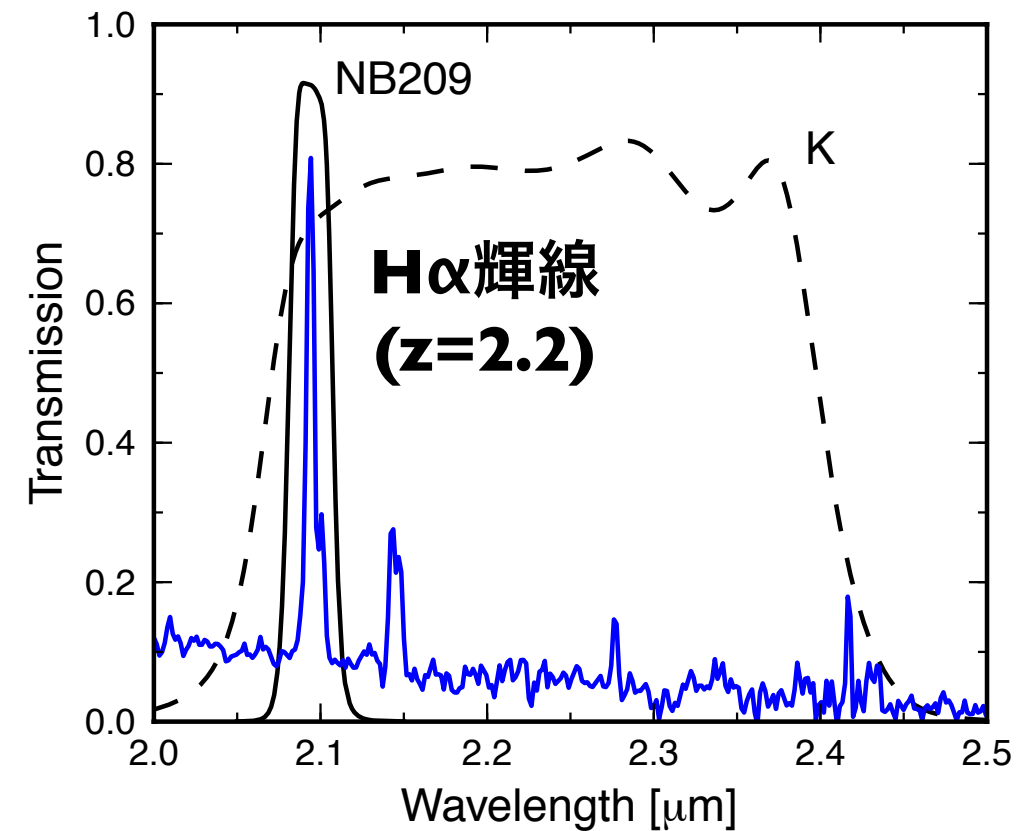
$$r = 0.5 - 1 \text{ kpc}$$

MAHALO-Subaru project (PI: T. Kodama)

SXDF-UDS-CADELS field



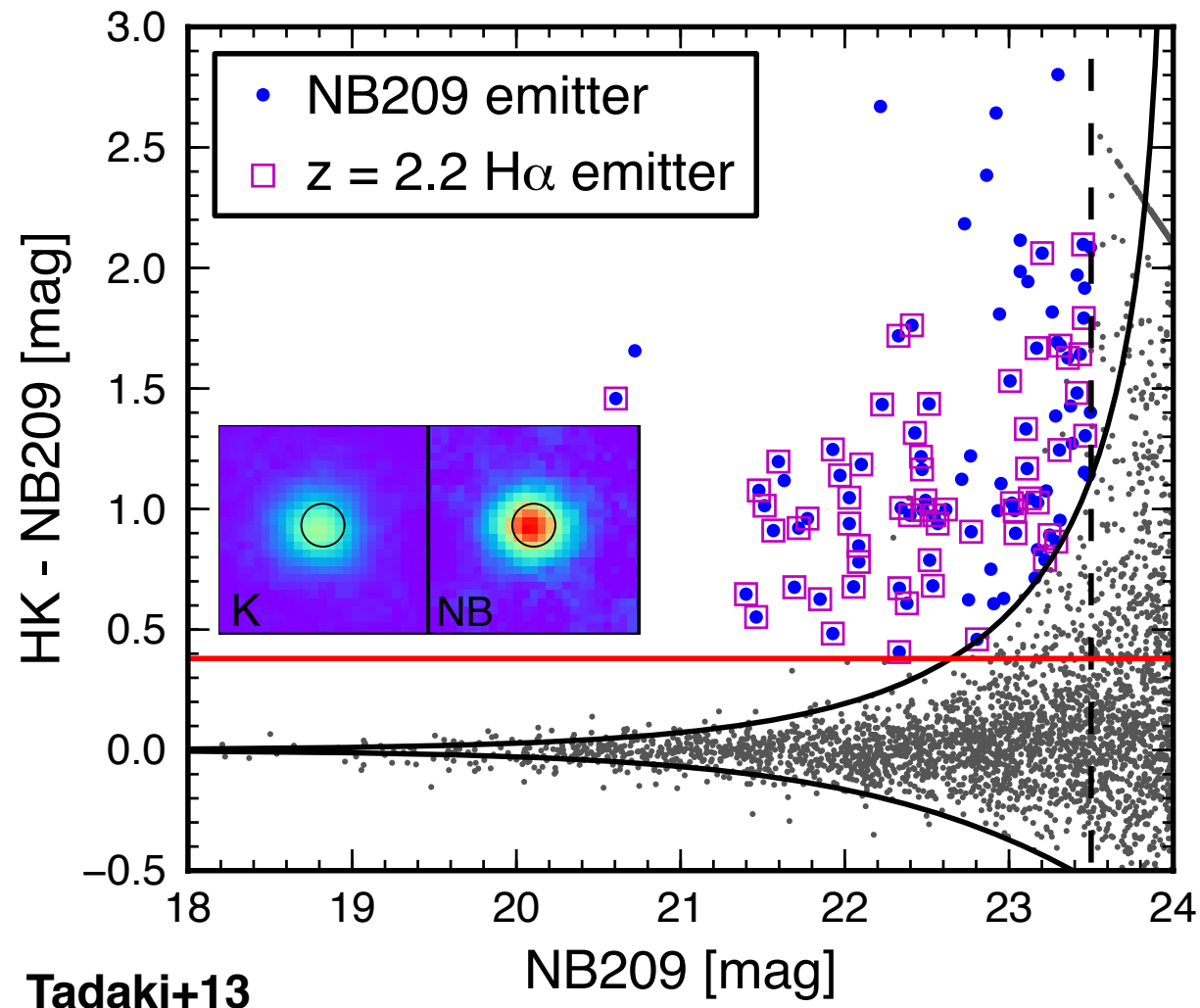
Filter	Instrument	$m_{5\sigma, AB}$
<i>u</i>	CFHT/MegaCam	27.68
<i>B</i>	Subaru/Suprime-Cam	28.38
<i>V</i>	Subaru/Suprime-Cam	28.01
<i>R_c</i>	Subaru/Suprime-Cam	27.78
<i>i'</i>	Subaru/Suprime-Cam	27.69
<i>z'</i>	Subaru/Suprime-Cam	26.67
<i>Y</i>	VLT/HAWK-I	26.69
<i>K_s</i>	VLT/HAWK-I	25.92
<i>J</i>	UKIRT/WFCAM	25.63
<i>H</i>	UKIRT/WFCAM	24.76
<i>K</i>	UKIRT/WFCAM	25.39
3.6 μ m	<i>Spitzer</i> /IRAC	24.72
4.5 μ m	<i>Spitzer</i> /IRAC	24.61



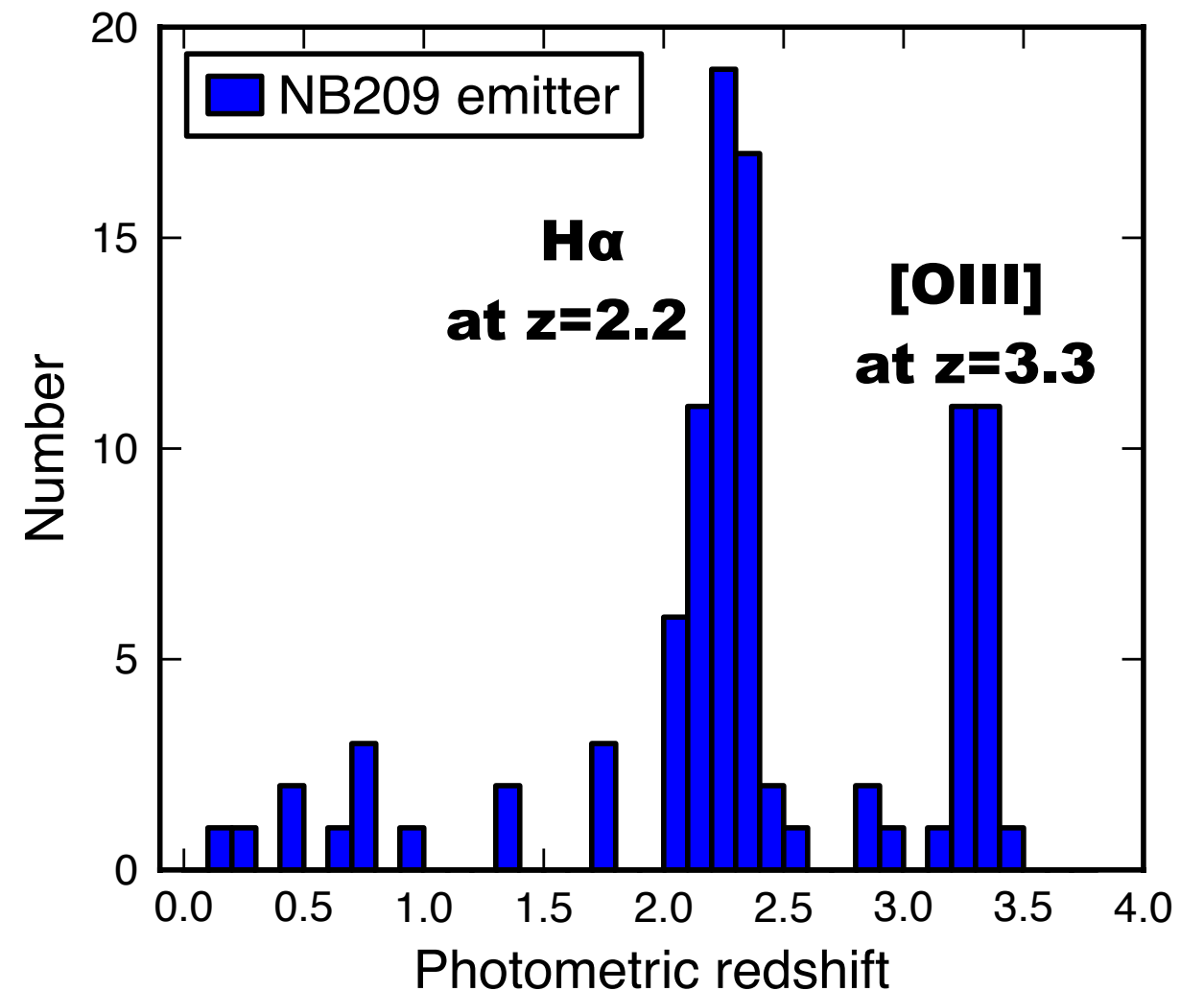
銀河の活動が最も激しい $z \sim 2$ の時代に着目

Sample selection

narrow-band (NB) emitters



The distribution of z_{phot}



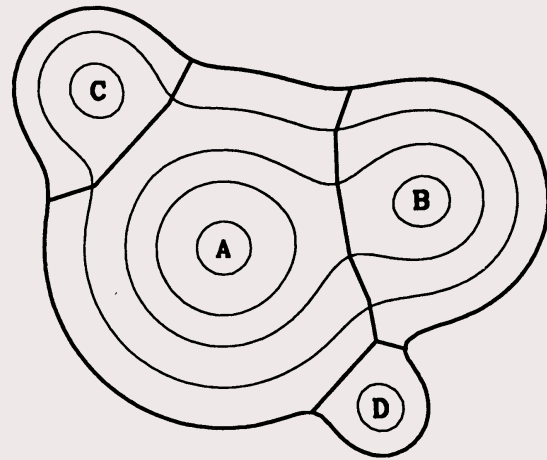
モチベーション：星形成銀河の形態を調べる

H α flux-limitedなサンプルがベスト

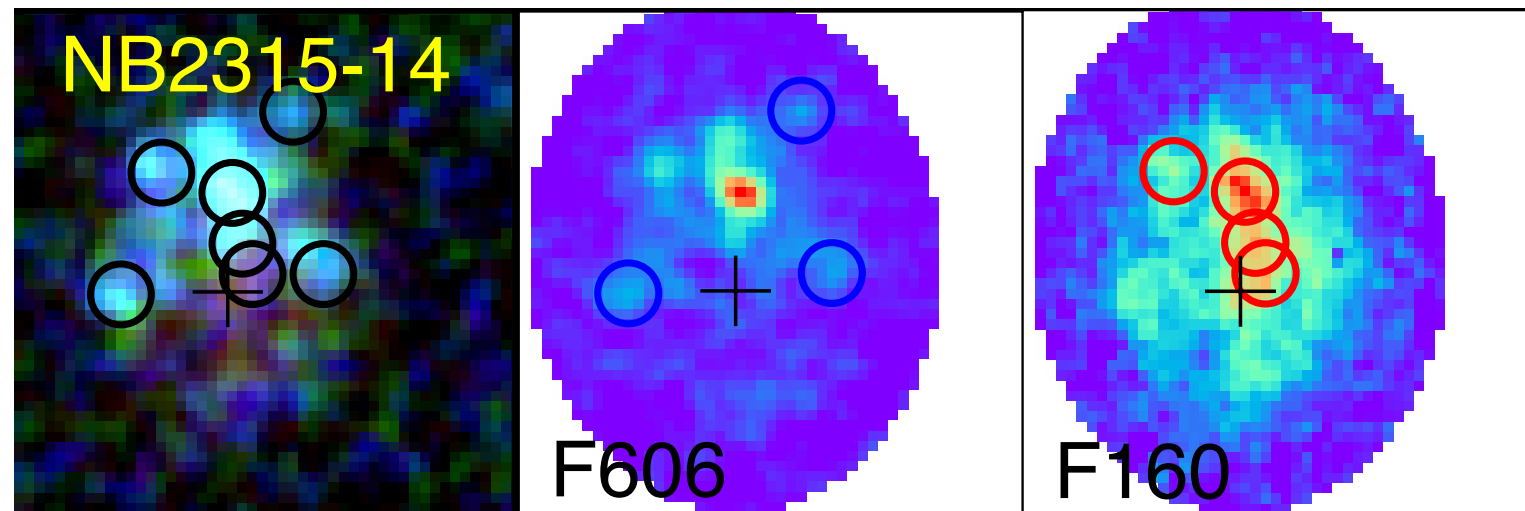
clump銀河がどの程度一般的な種族が知ることができる

Clump identification

clump-find algorithm (Williams+94)



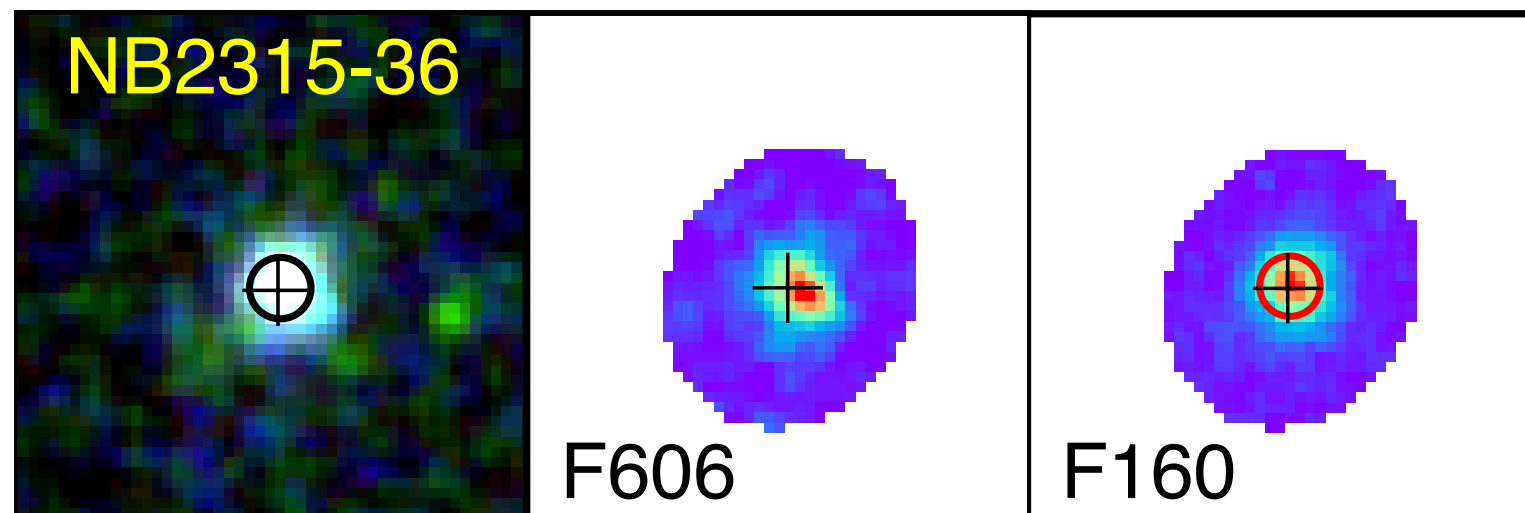
clumpy



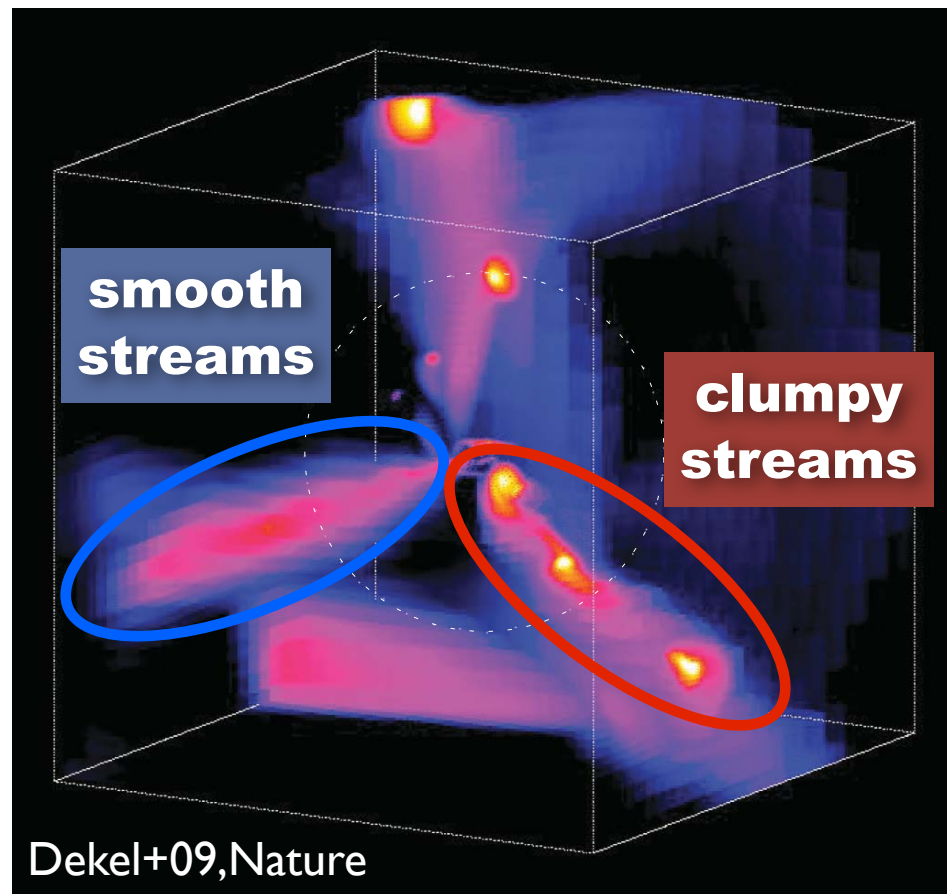
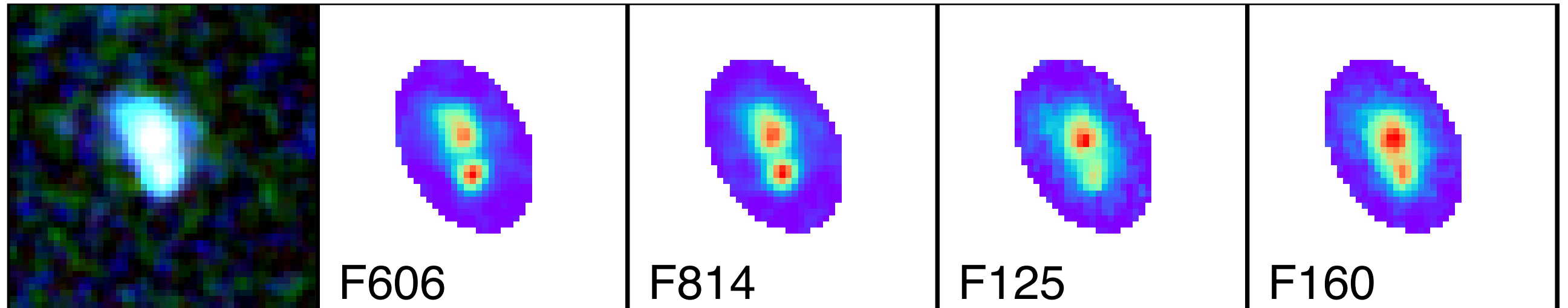
H_{160} resolution = 0.18"

→ 1.5 kpc

non-clumpy



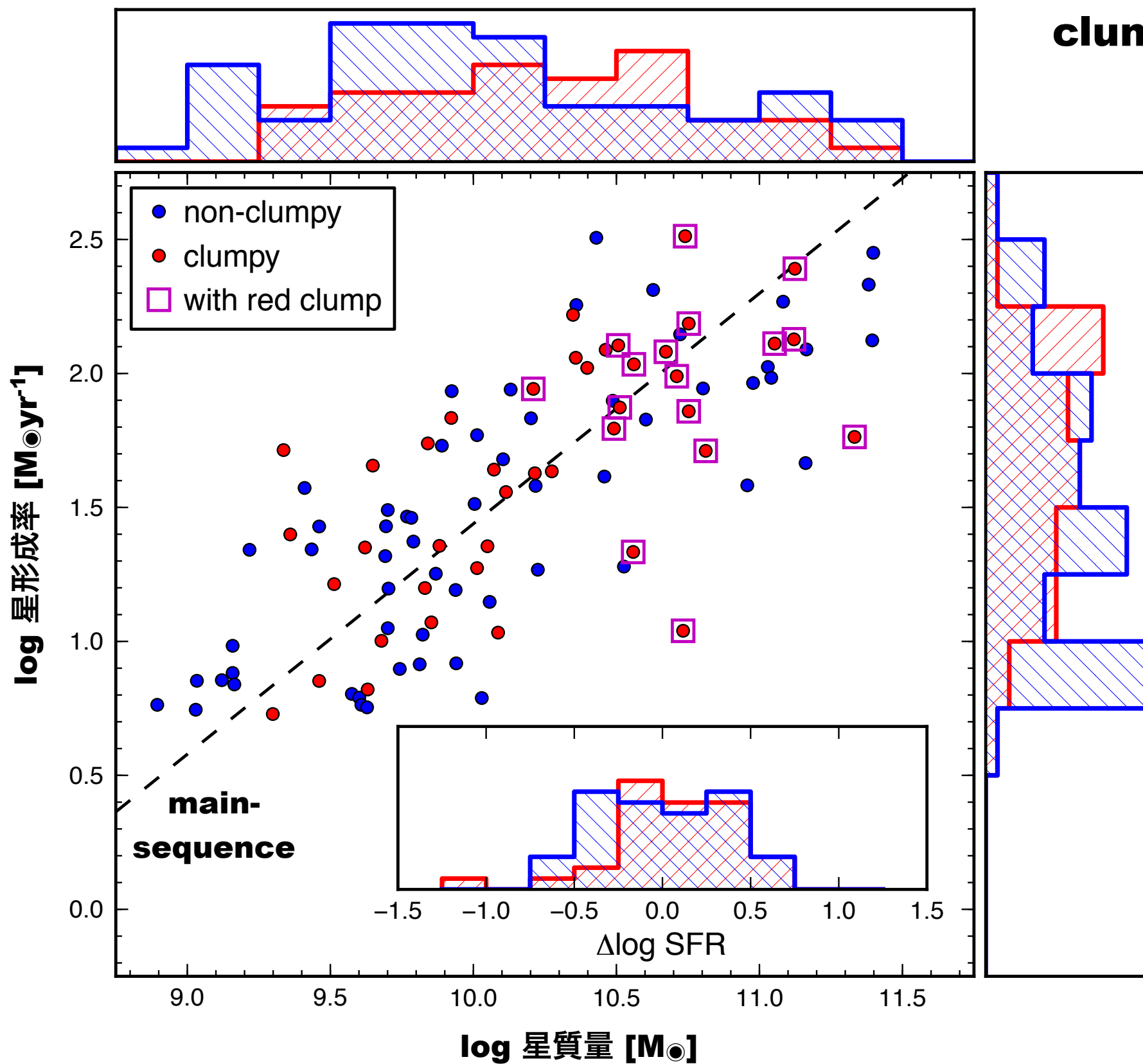
Clump or Merger ?



2つの可能性

- ① **smooth**なgas streamによって円盤はガスリッチになり、重力不安定性によって形成された（内的要因）
- ② **clumpy**なstreamまたはmerger（外的要因）

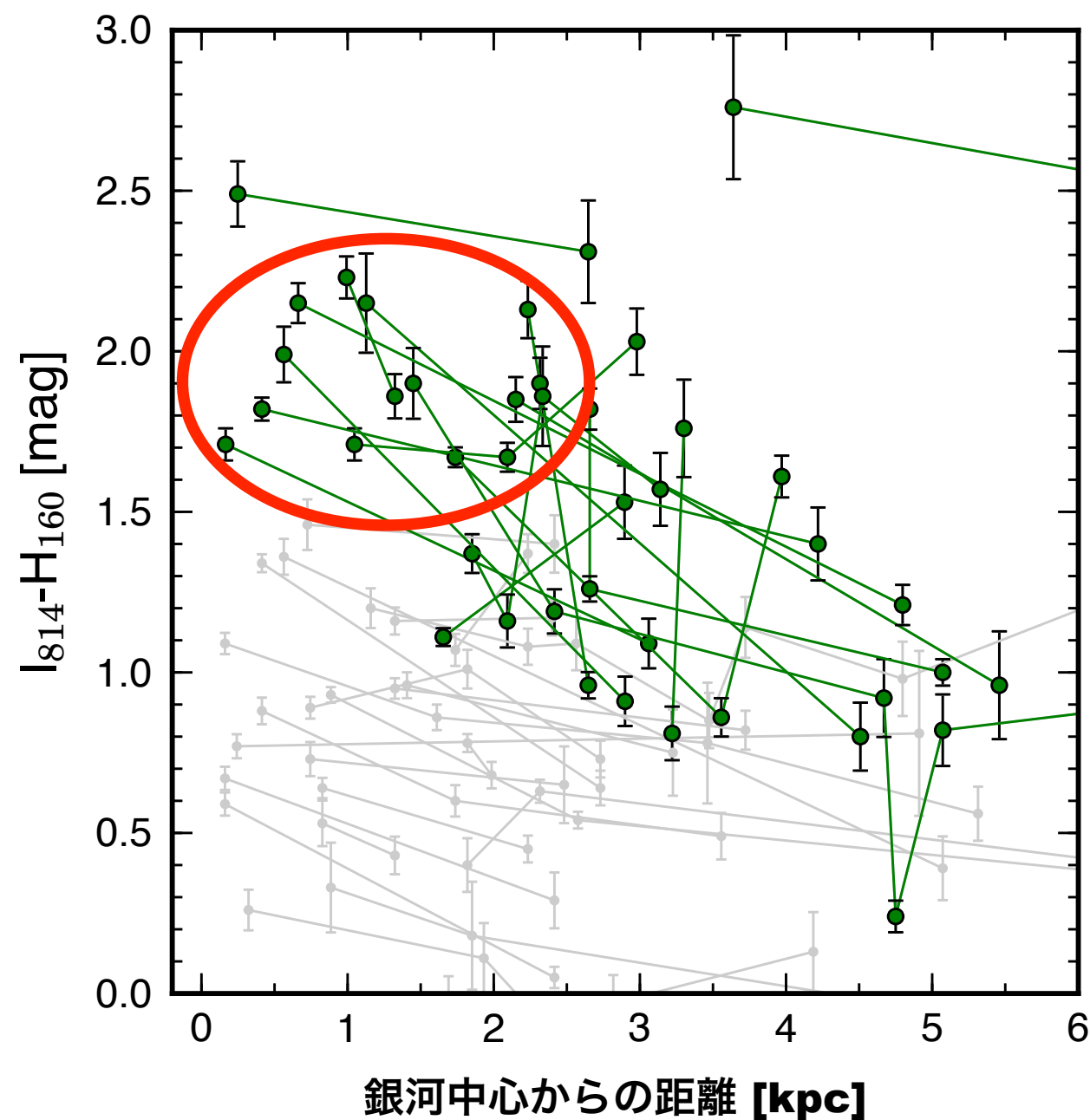
Clumpy銀河の性質



clumpy銀河の割合は40%程度

$\Delta \text{SFR}_{\text{Ms}}$ と無関係？

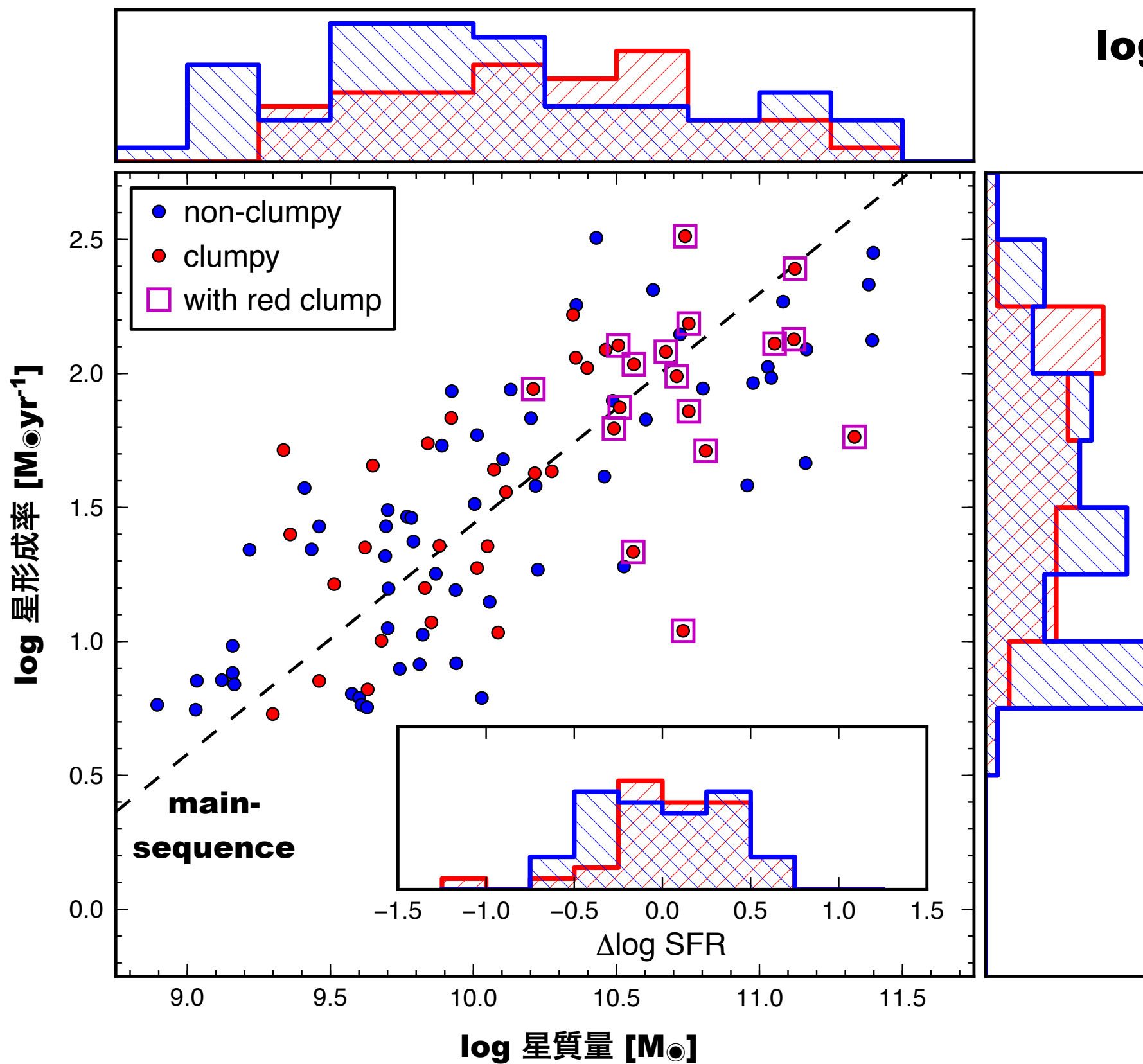
Color gradient of clumps



銀河中心に近いクランプの方が外側のクランプに比べて赤い色をしている

1. old & dusty starburst
2. old & quiescent

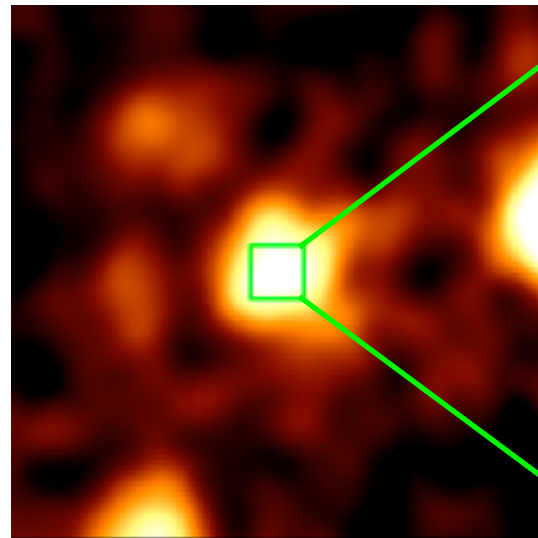
Clumpy銀河の性質



**$\log M_* > 10.5$ の clumpy 銀河で
赤いクランプが見られる
($I_{814} - H_{160} > 1.5$)**

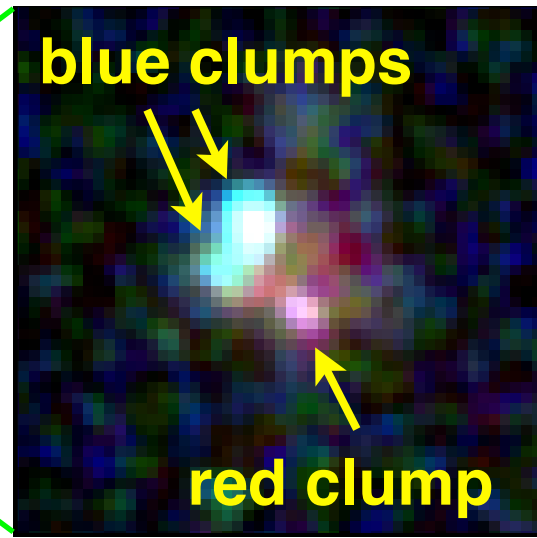
Dusty star-forming clump

Spitzer image

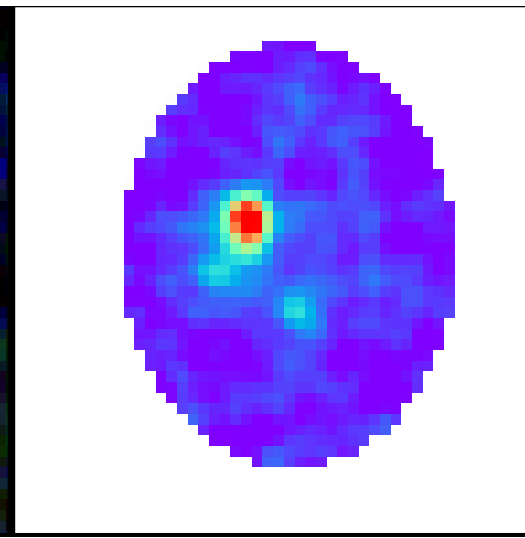


MIPS 24μm

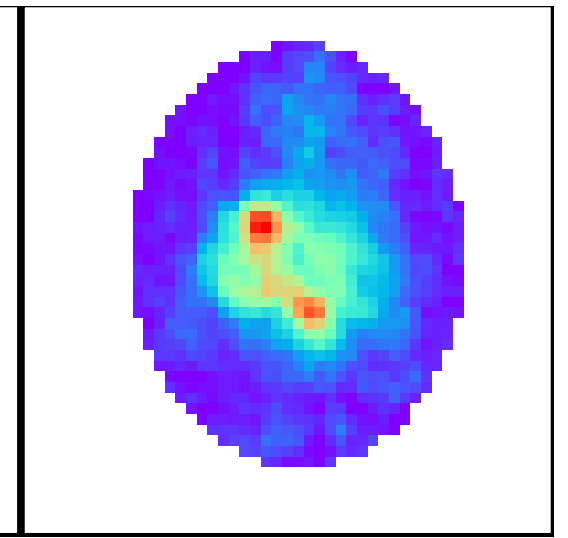
HST images



color image



rest-frame
UV



rest-frame
optical



ダスティーな星形成が
この銀河のどこかで起きている



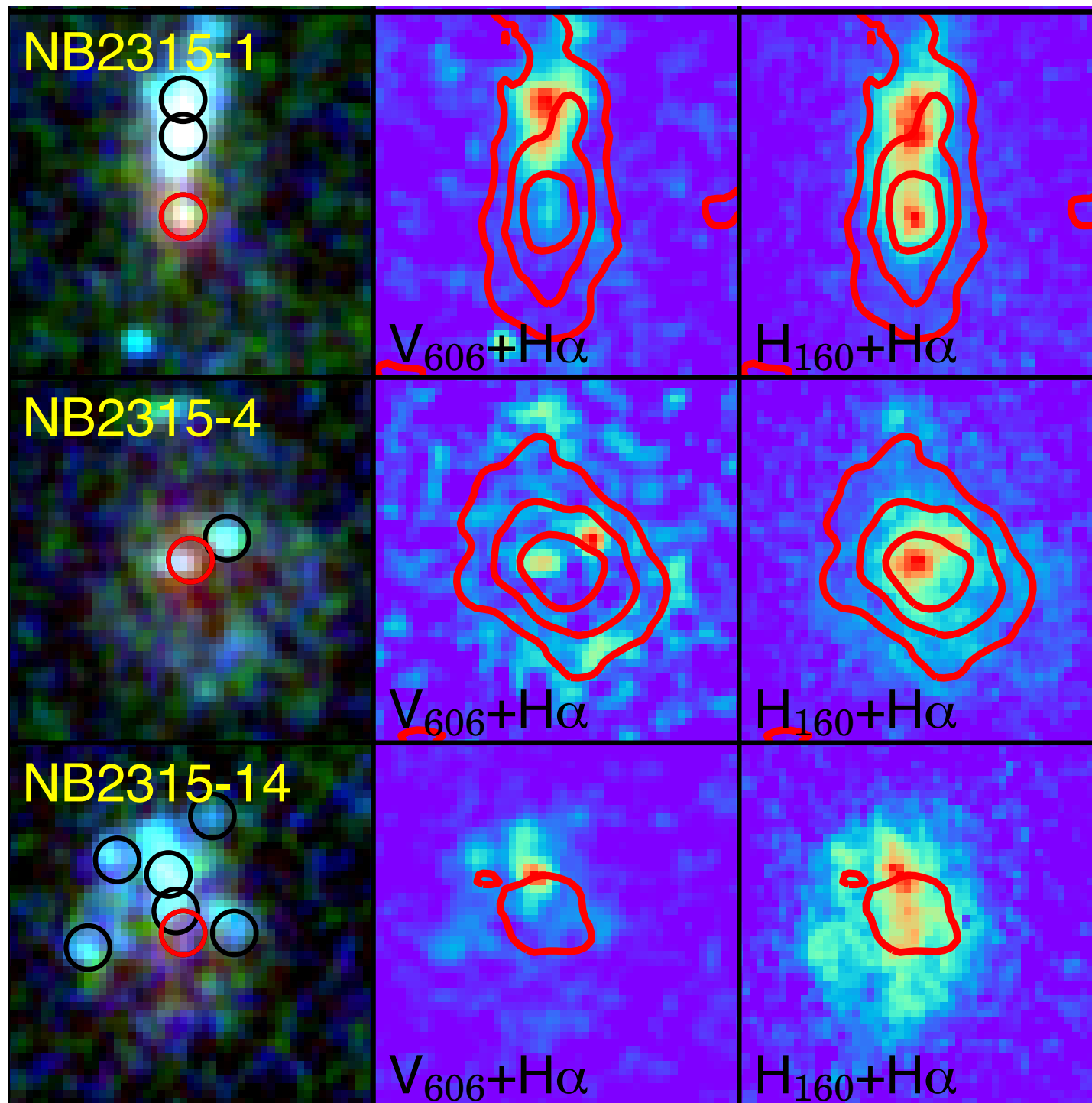
青いクラump : **less dusty**
赤いクラump : **dusty or old**

赤いクラumpでダスティーな星形成をしている可能性が高い

Dusty star-forming clump

ACS V₆₀₆
静止系UV

WFC3 H₁₆₀
静止系可視



red contour: H α map
red circle: red clump
black circle: other clumps

静止系UVでは暗いがH α で明るい



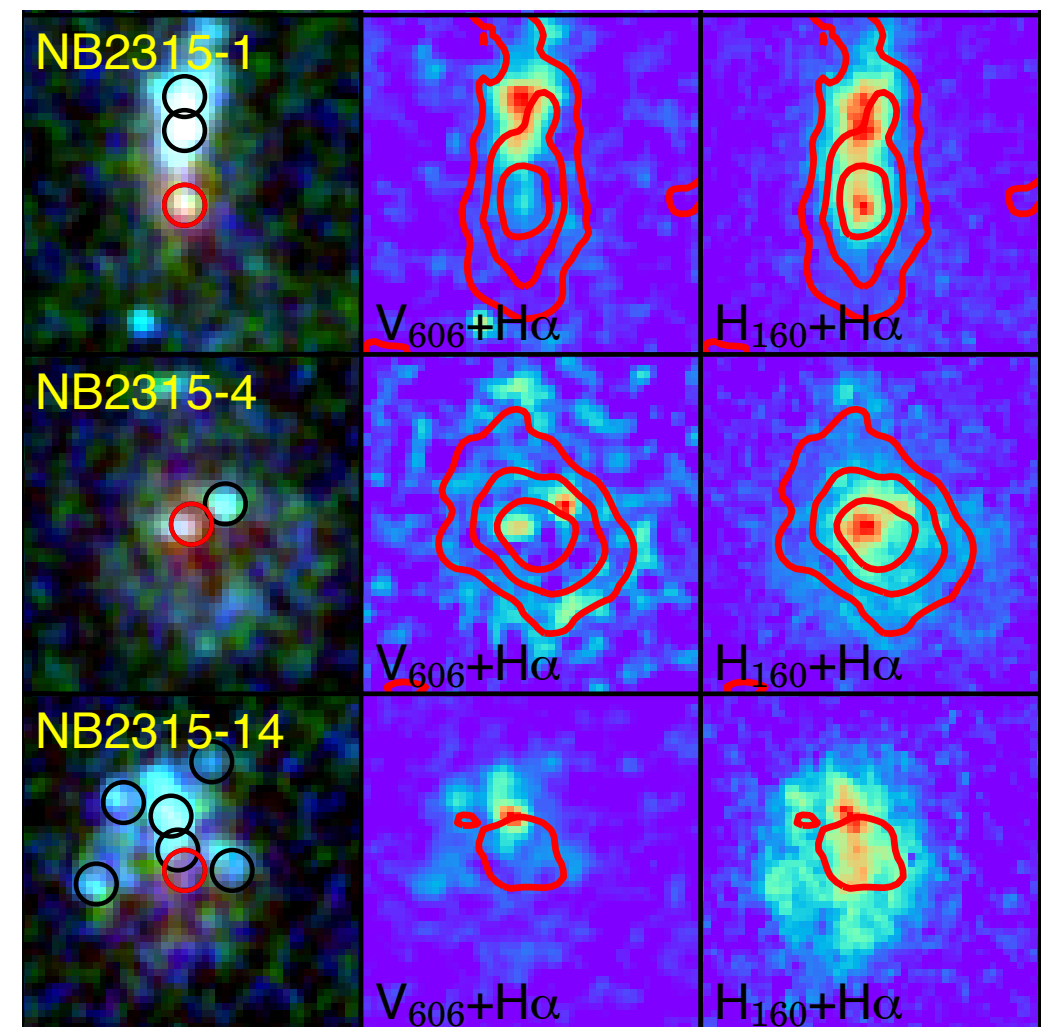
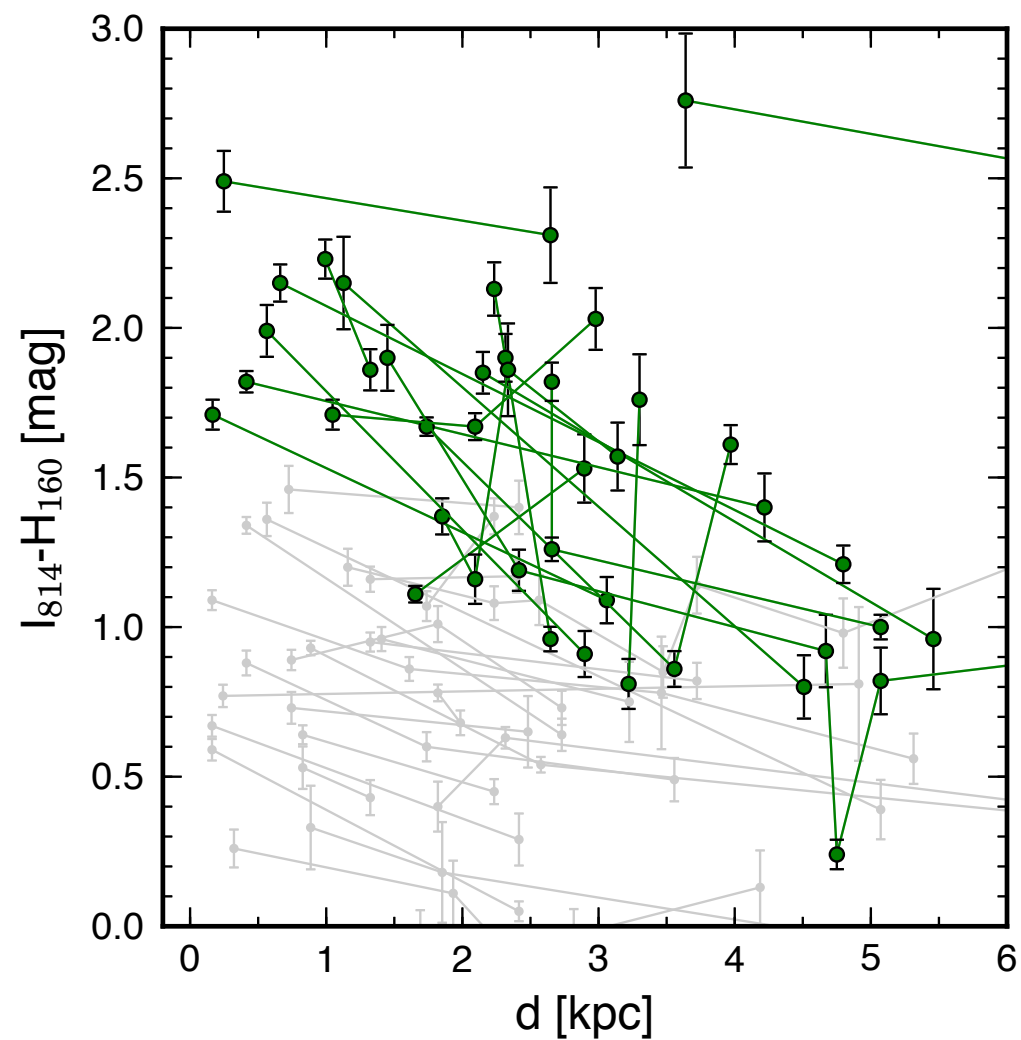
ダスティーな星形成

まとめ

massiveなclumpy銀河の中心で

激しい星形成が起きている

→ バルジを作っている？



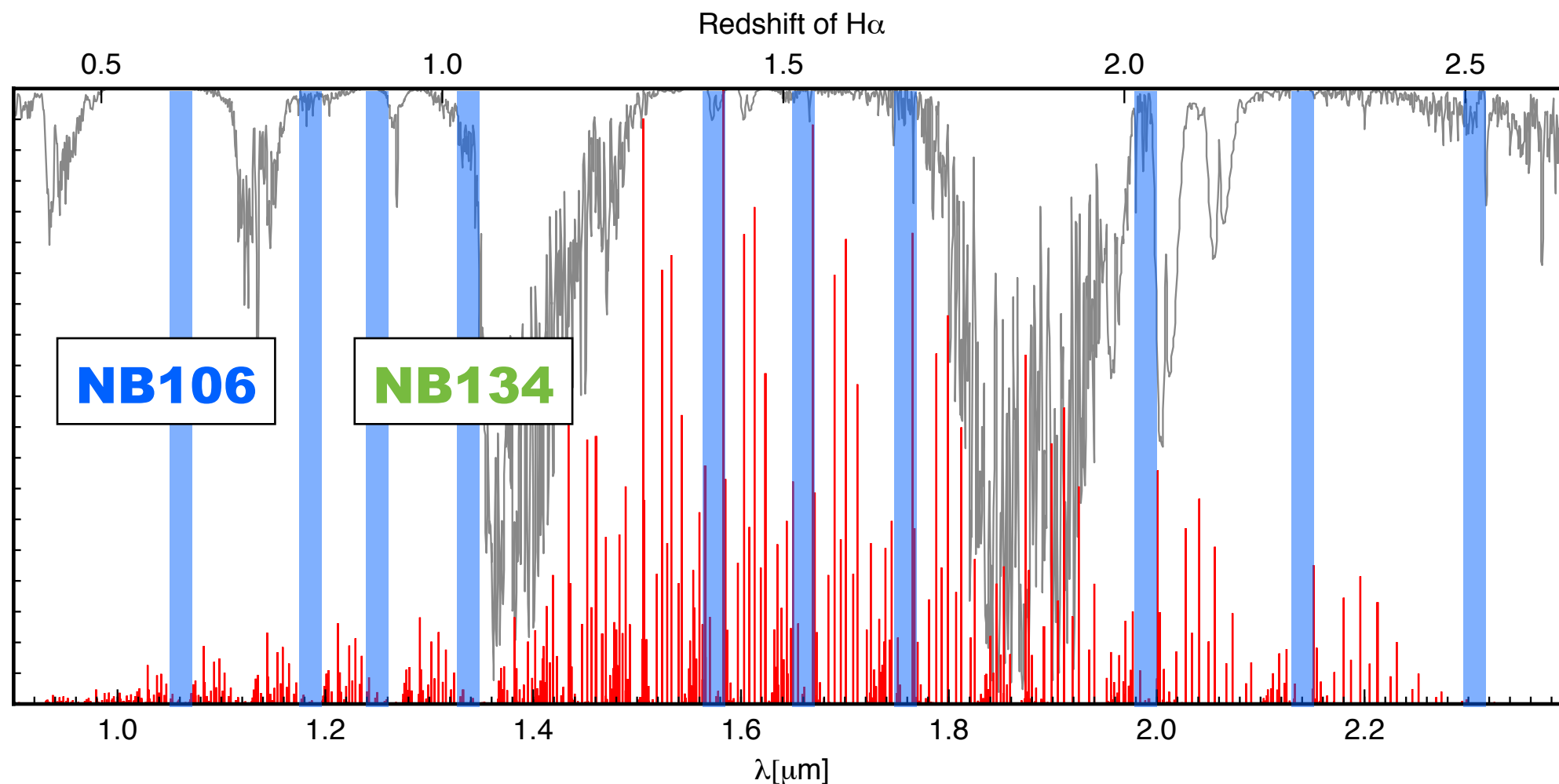
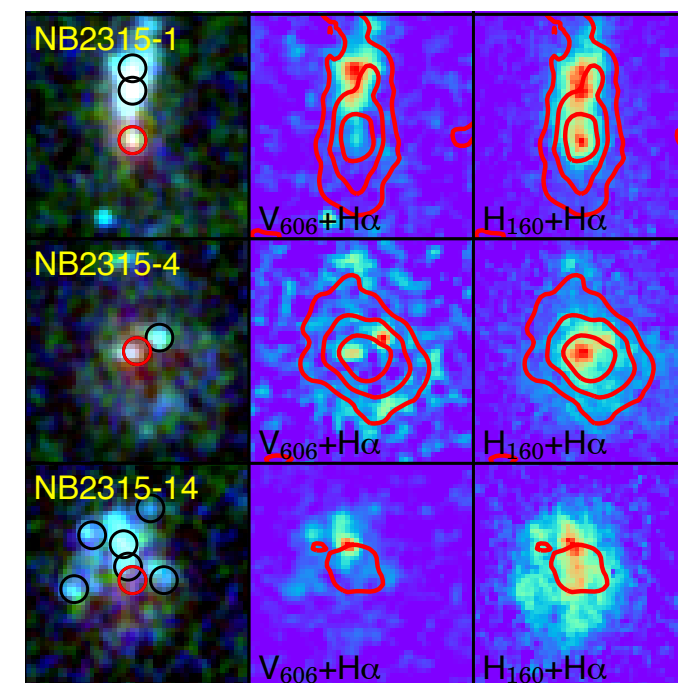
すばる次世代GLAO

GLAOの利点

1. 高い感度
2. 広い視野
3. 高分解能
4. 地上にある

GLAOは0.2"の分解能を達成
(WFC3と同程度)

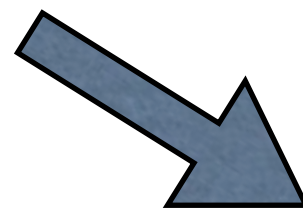
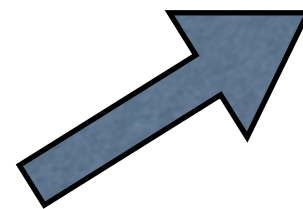
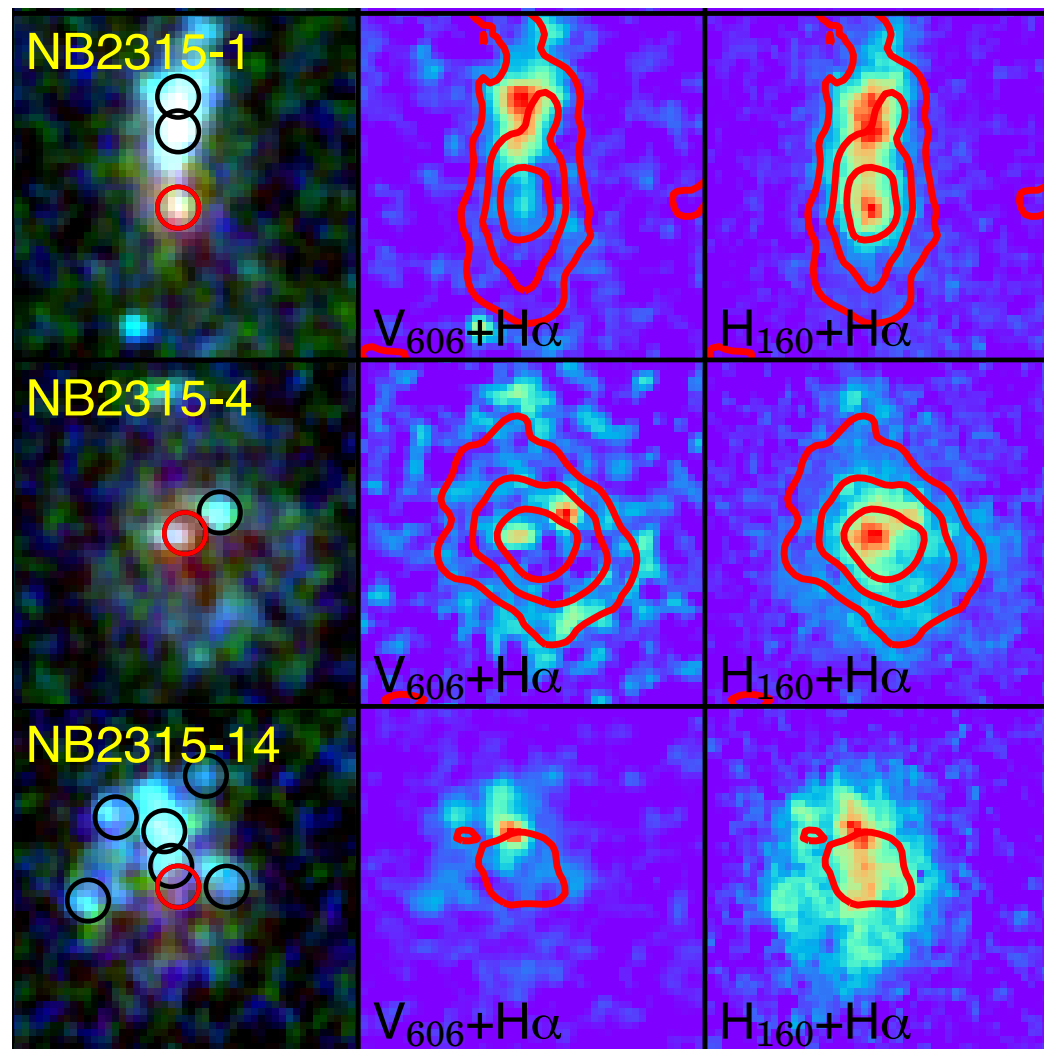
GLAO+NB filterの組み合わせが
最も競争力のある観測装置となる



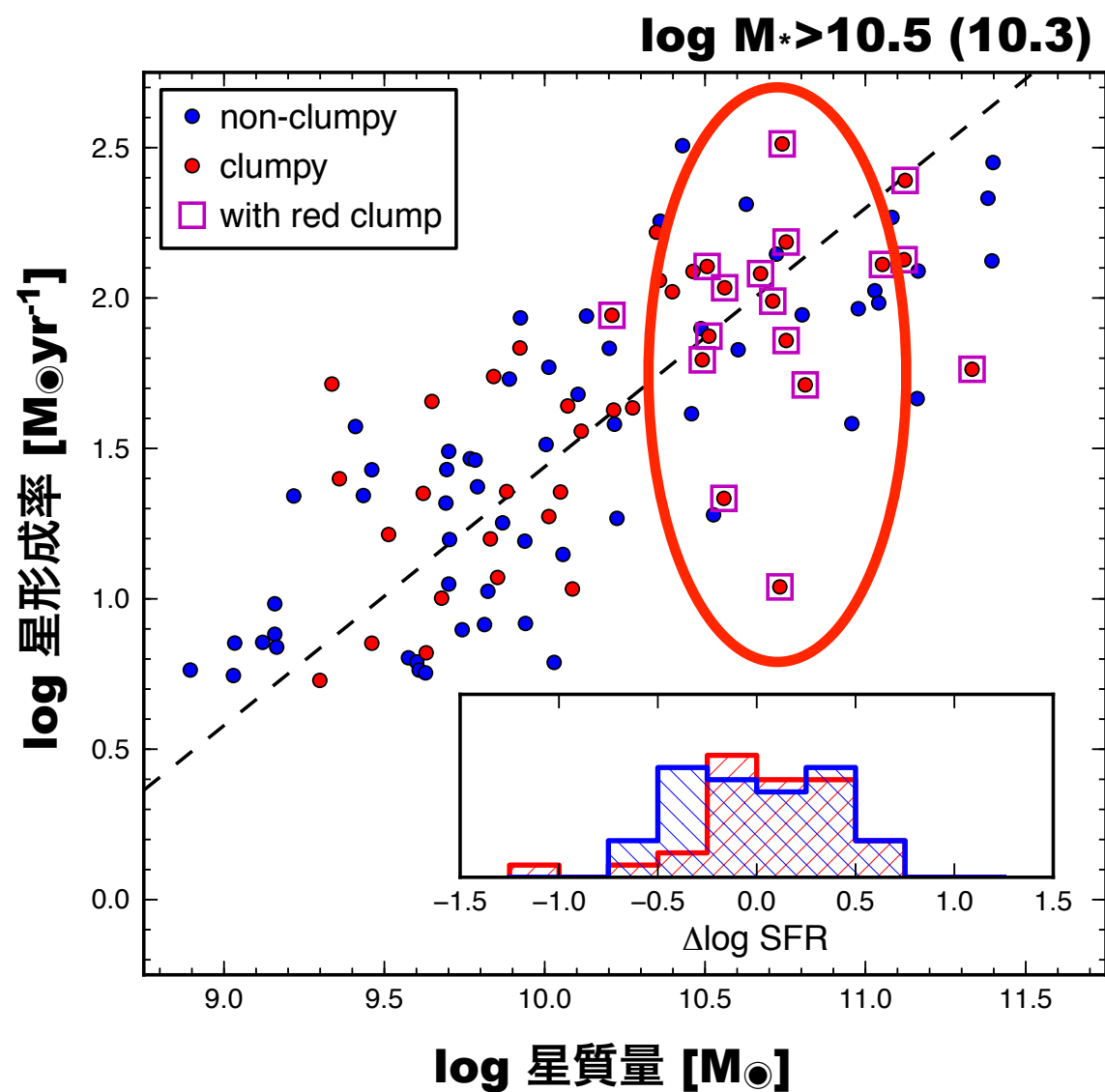
内容

1. $z > 2$ のclump銀河とその性質
2. clump migrationとtidal disruption

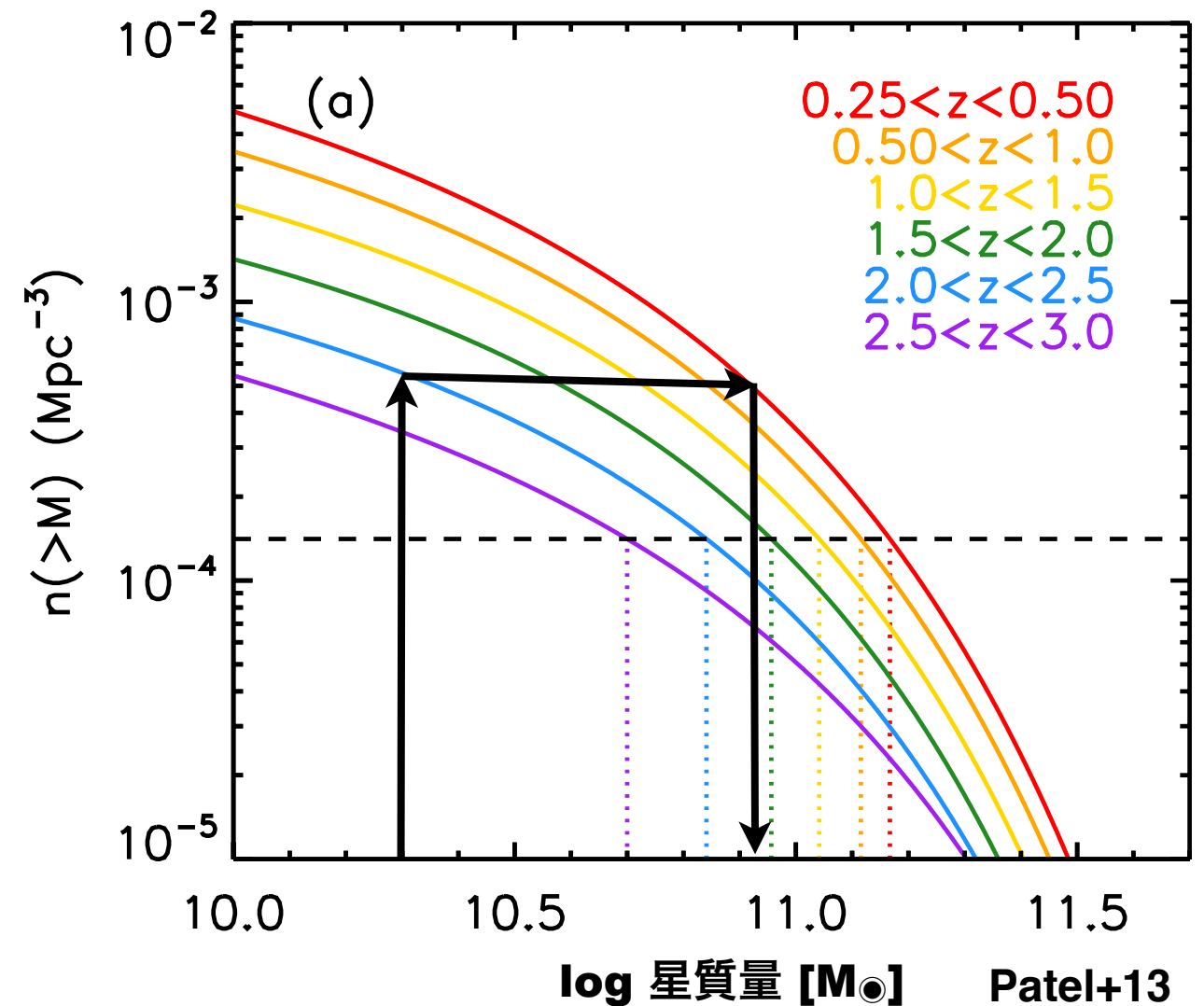
Clumpy銀河は円盤銀河になるのか？



Clumpy銀河は円盤銀河になるのか？



constant number density method



赤いクランプを持つclumpy銀河は

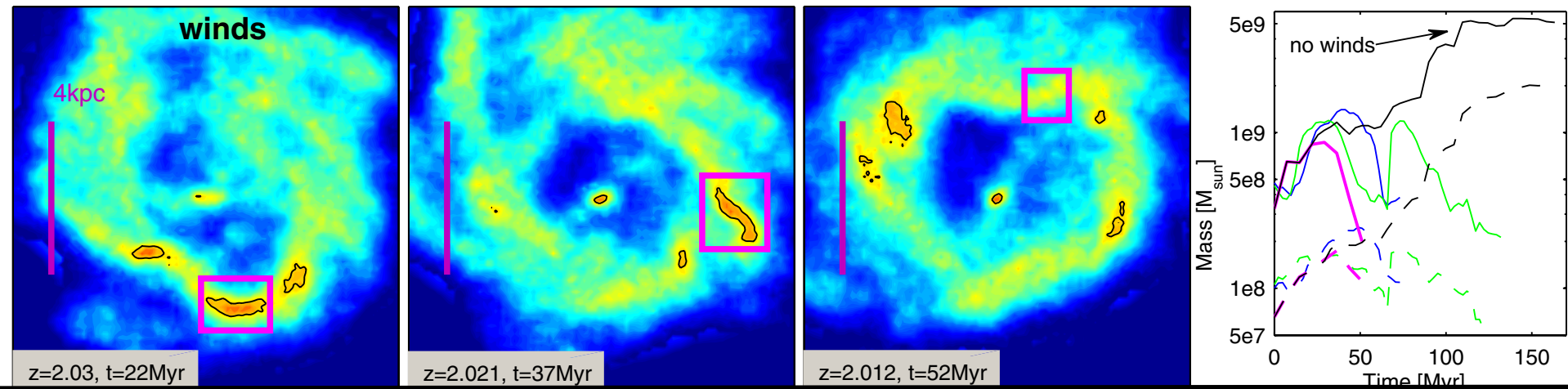
円盤銀河というよりは巨大楕円銀河へと進化するだろう

(実際、銀河の中心で原始バルジ的なものがすでに存在)

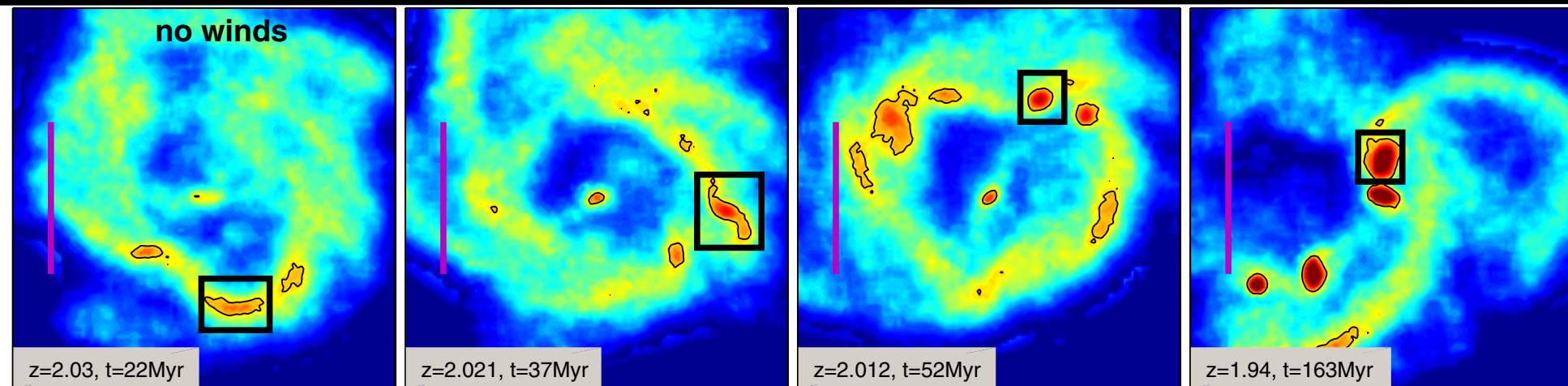
Clump migration

銀河の中心で激しい星形成を起こすにはガスを銀河中心に運ぶ機構が必要である

including
strong feedback



no winds



clump migrationシナリオの都合の良い点

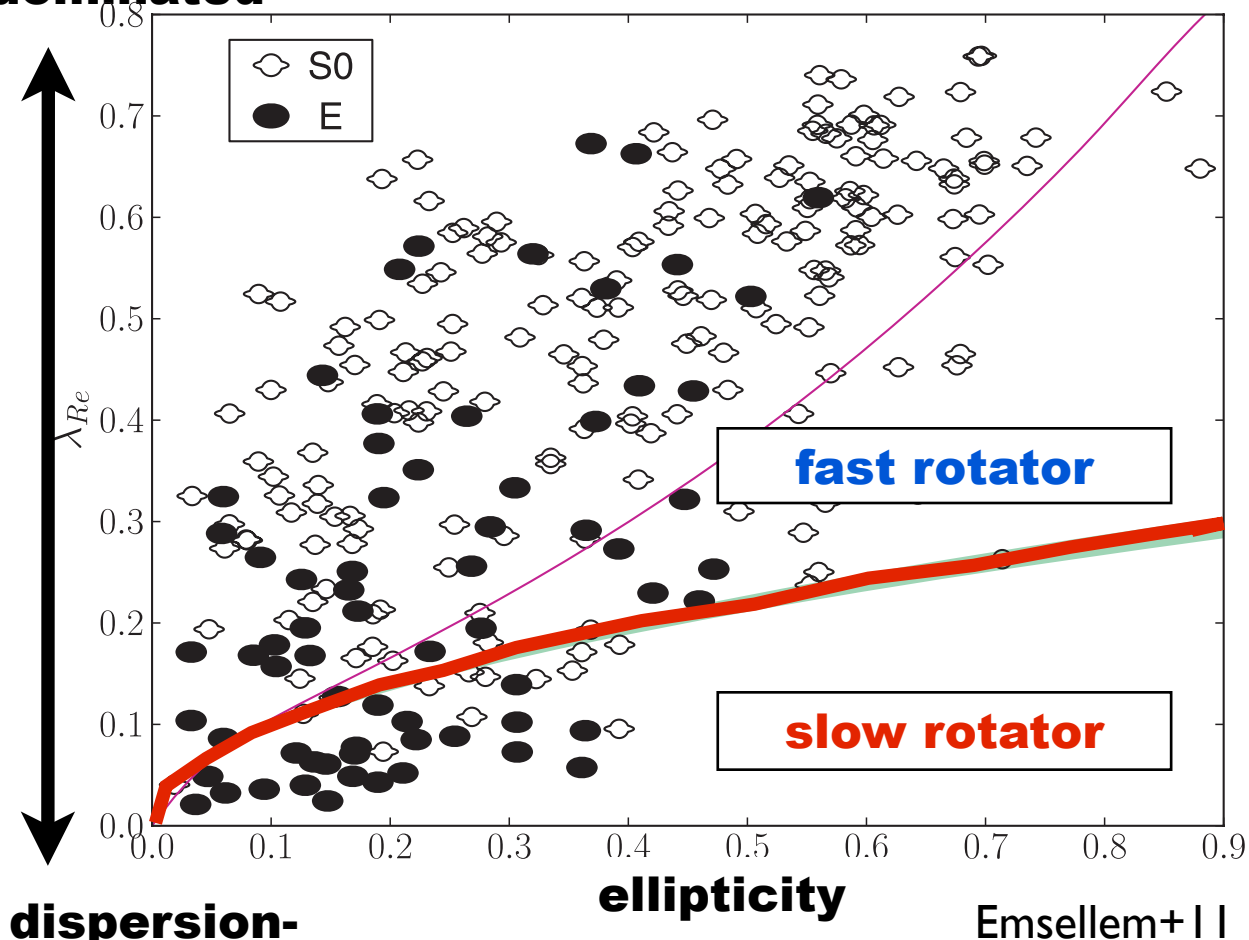
Genel+12

1. 星を銀河中心に運ぶ (直接的なバルジ形成)
2. ガスを銀河中心に運ぶ (銀河中心での激しい星形成・BHへのガス供給)

clump migrationシナリオを観測的に検証する必要がある！

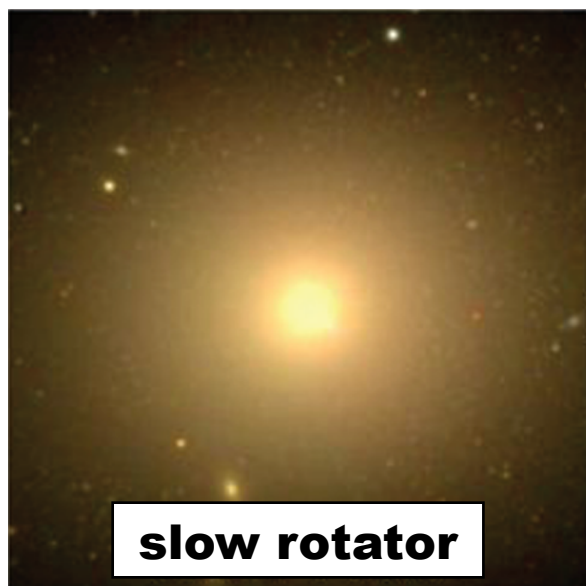
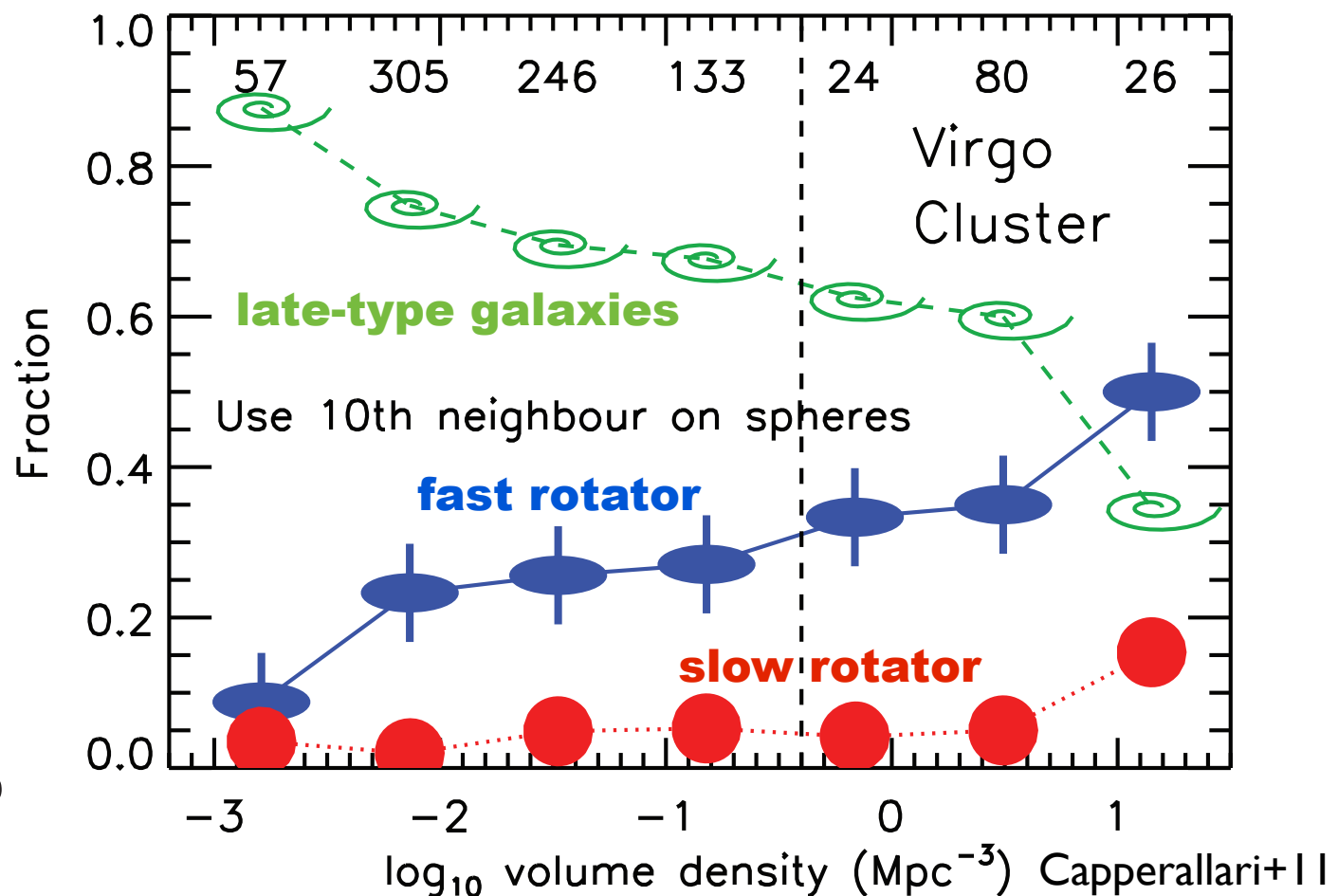
slow rotator & fast rotator

rotation-dominated



dispersion-dominated

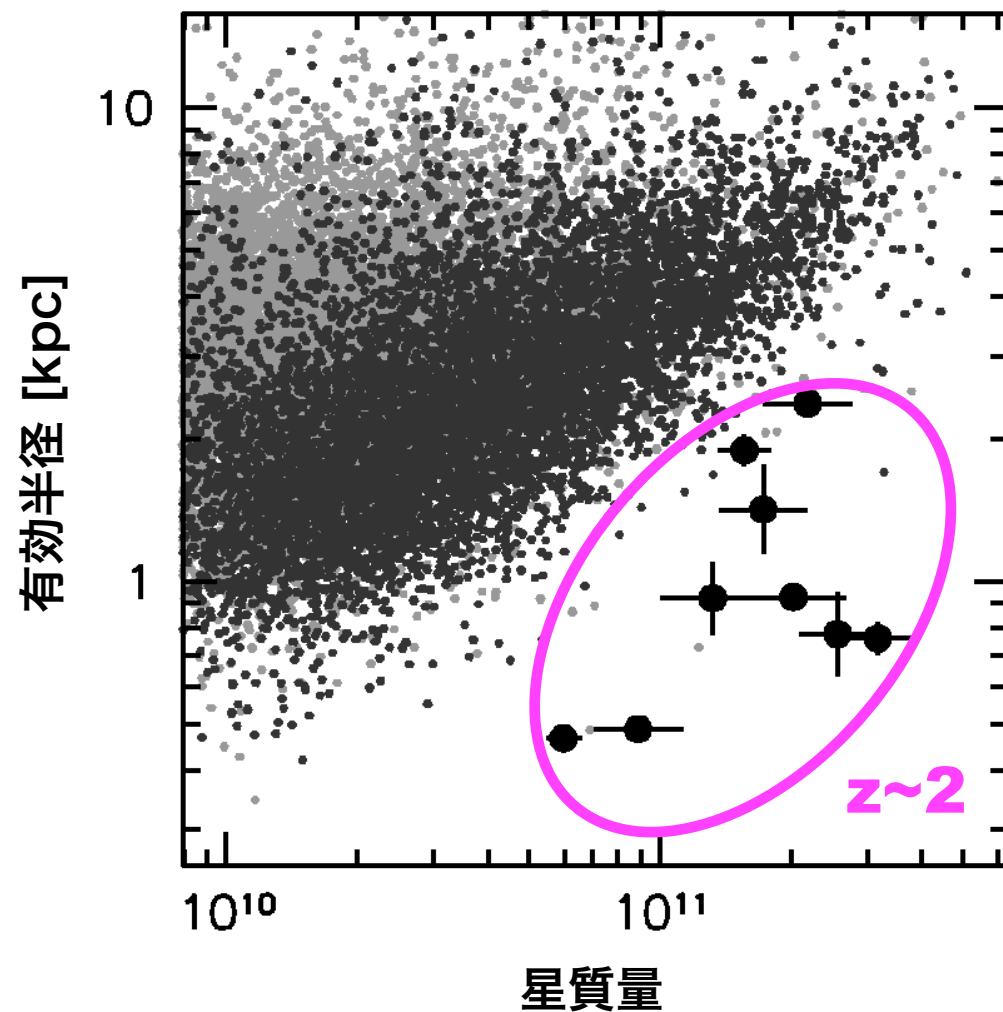
morphology-density relation



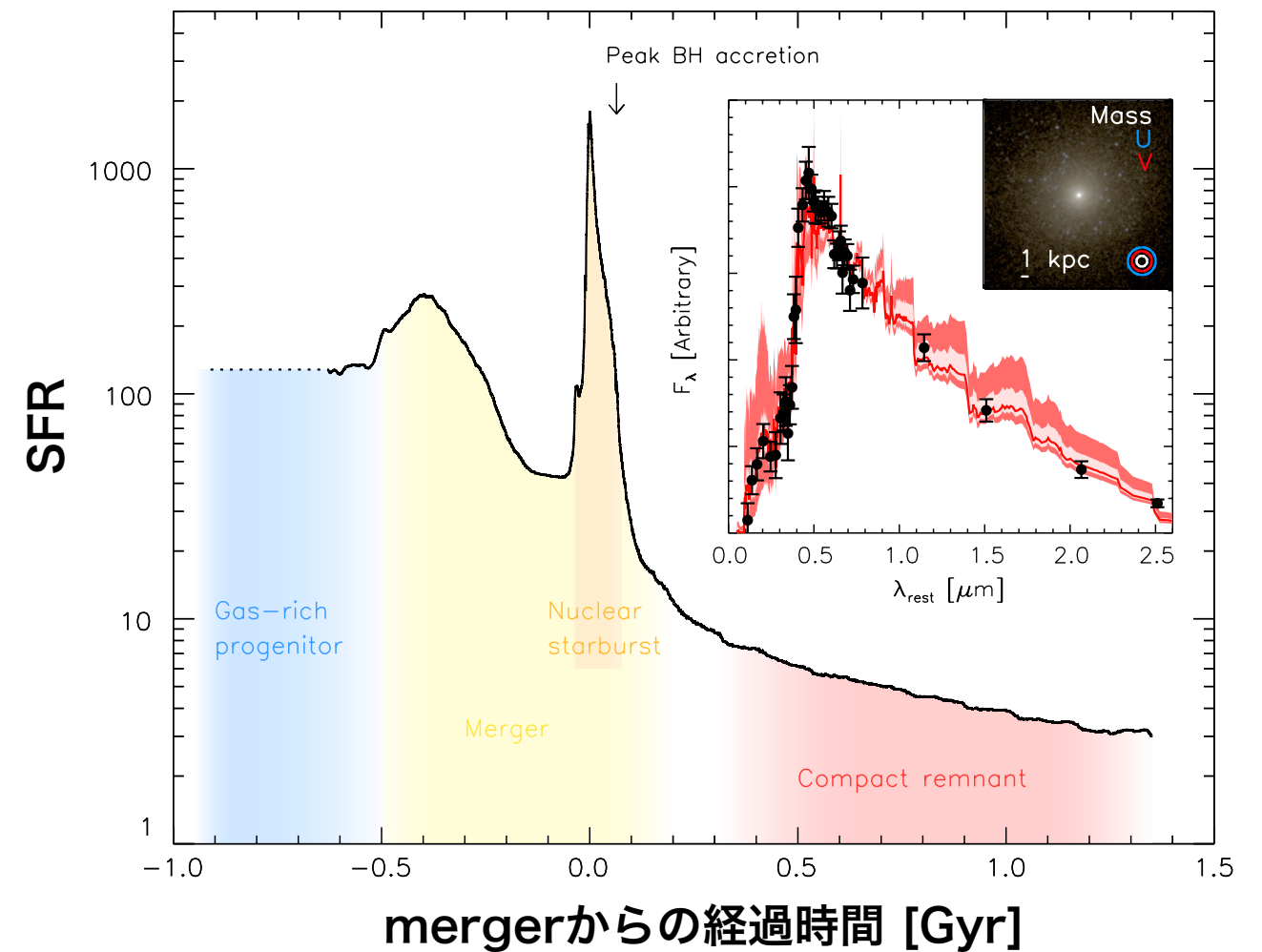
- slow rotator (classical bulge)
merger起源
- fast rotator (pseudo bulge)
internal evolution?

Compact quiescent galaxy

compact quiescent galaxies
(van Dokkum+08)

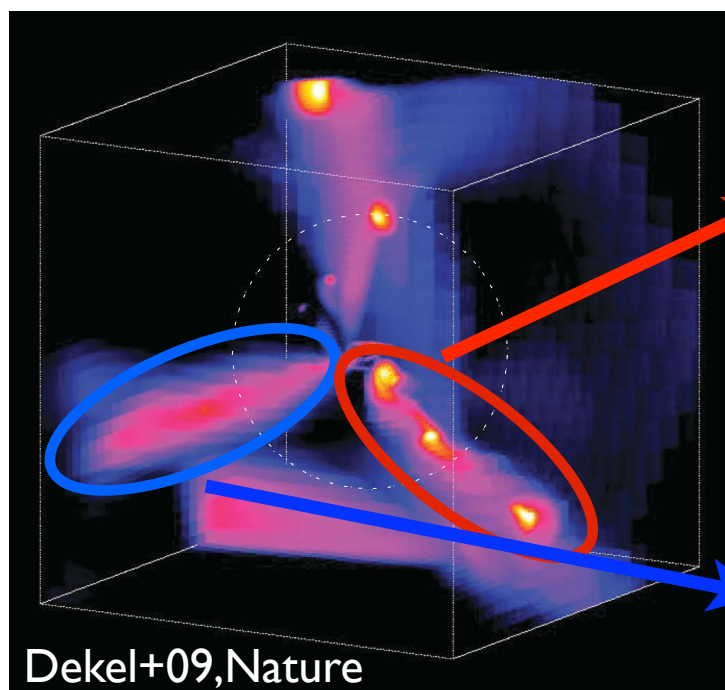


simulated merger remnants (Wuyts+10)



slow rotator (classical bulge)の起源？

楕円銀河の形成シナリオ



EARLY-TRACK

wet major merger



blue nugget



red nugget

dry minor merger



slow rotator

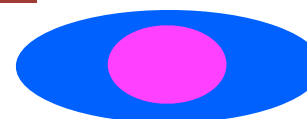
LATE-TRACK

smooth stream



extended disk with clumps

clump migration



dusty star-forming bulge

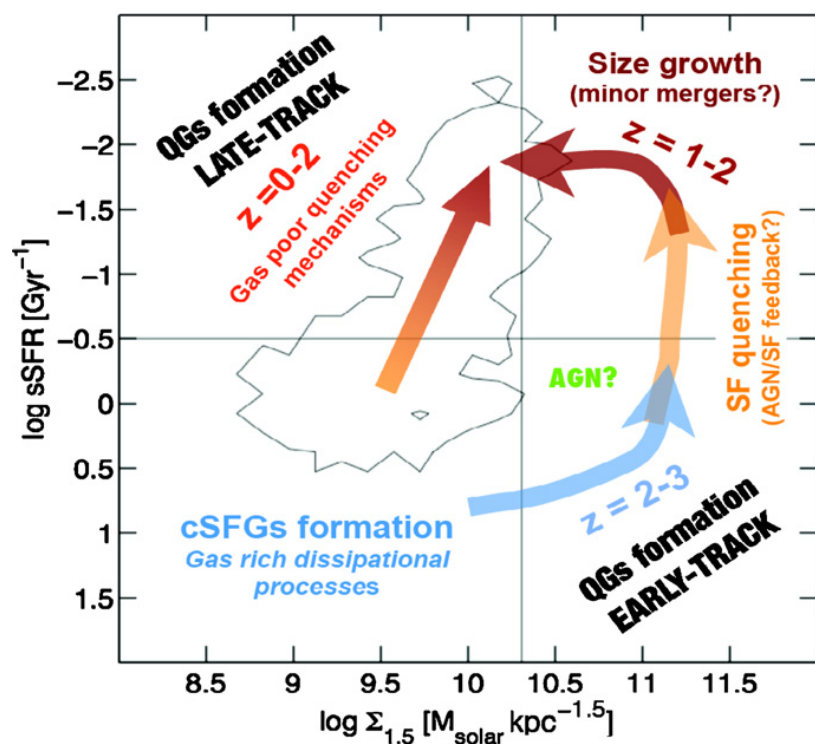


fast rotator

z~2

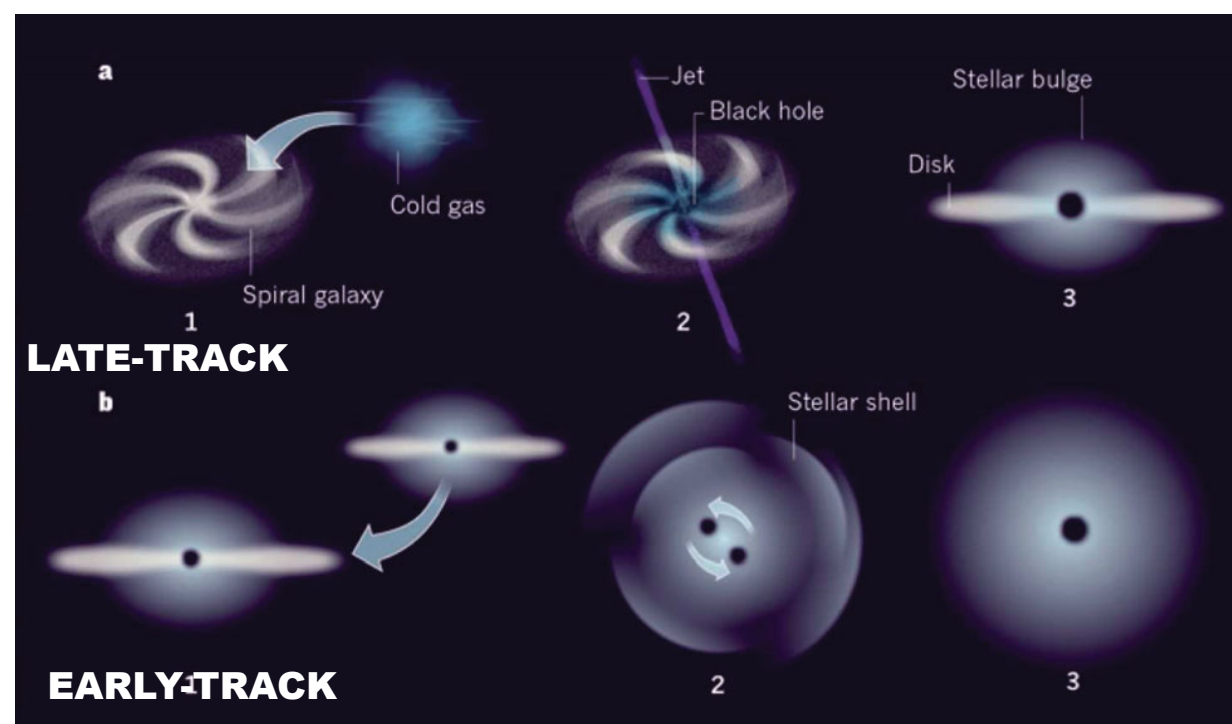
z=0

Tadaki+

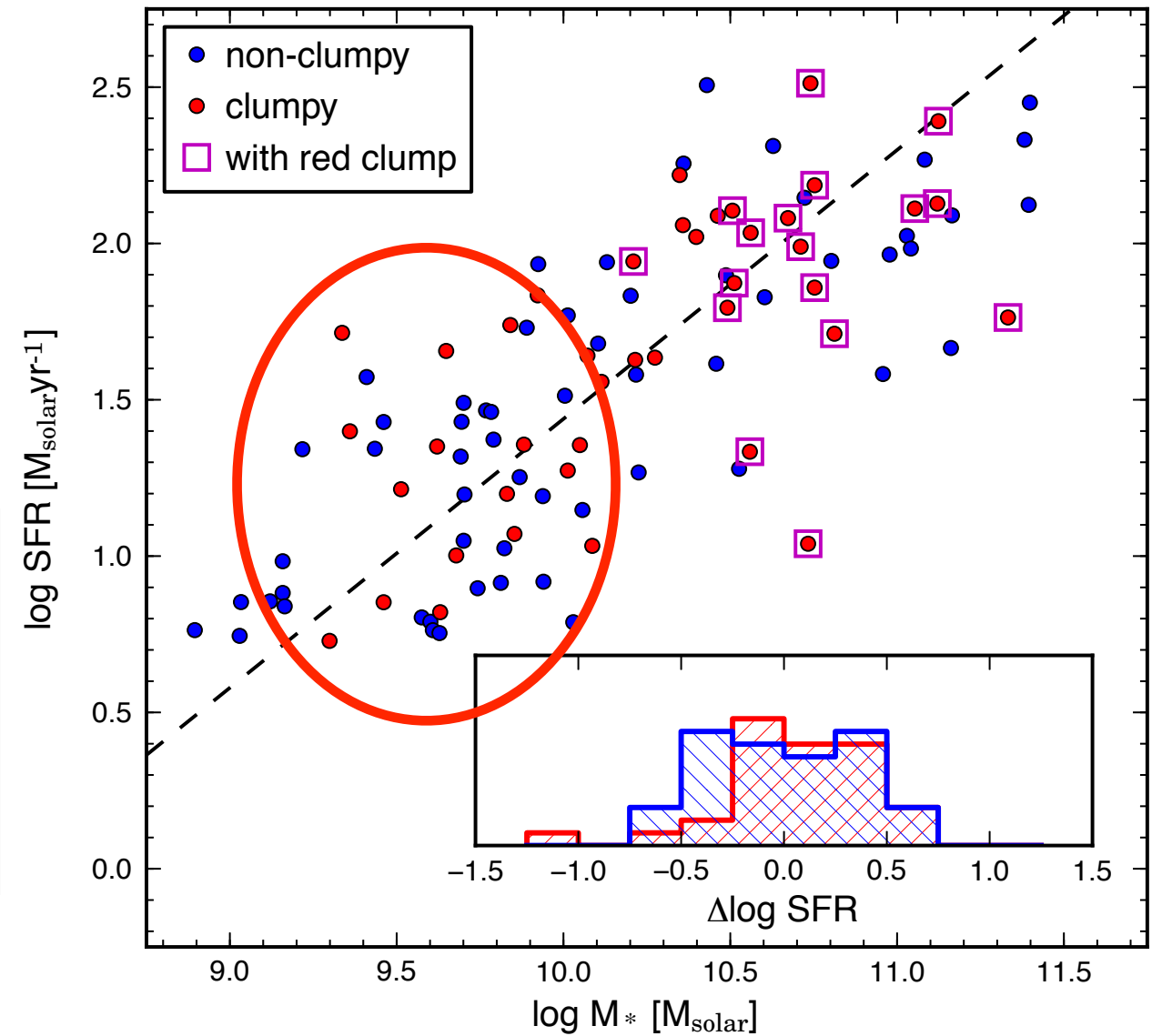
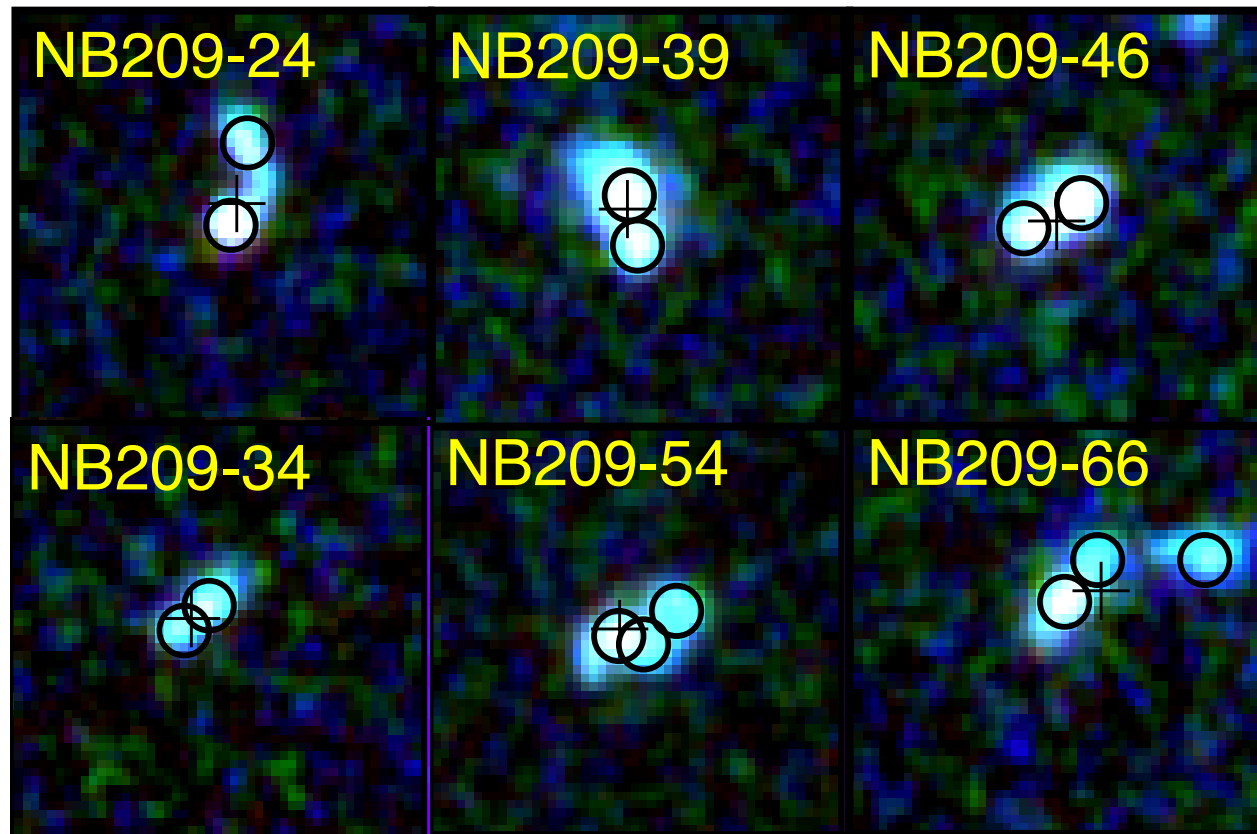


Barro+13

Cappellari+13



Clumpy銀河は円盤銀河になるのか？

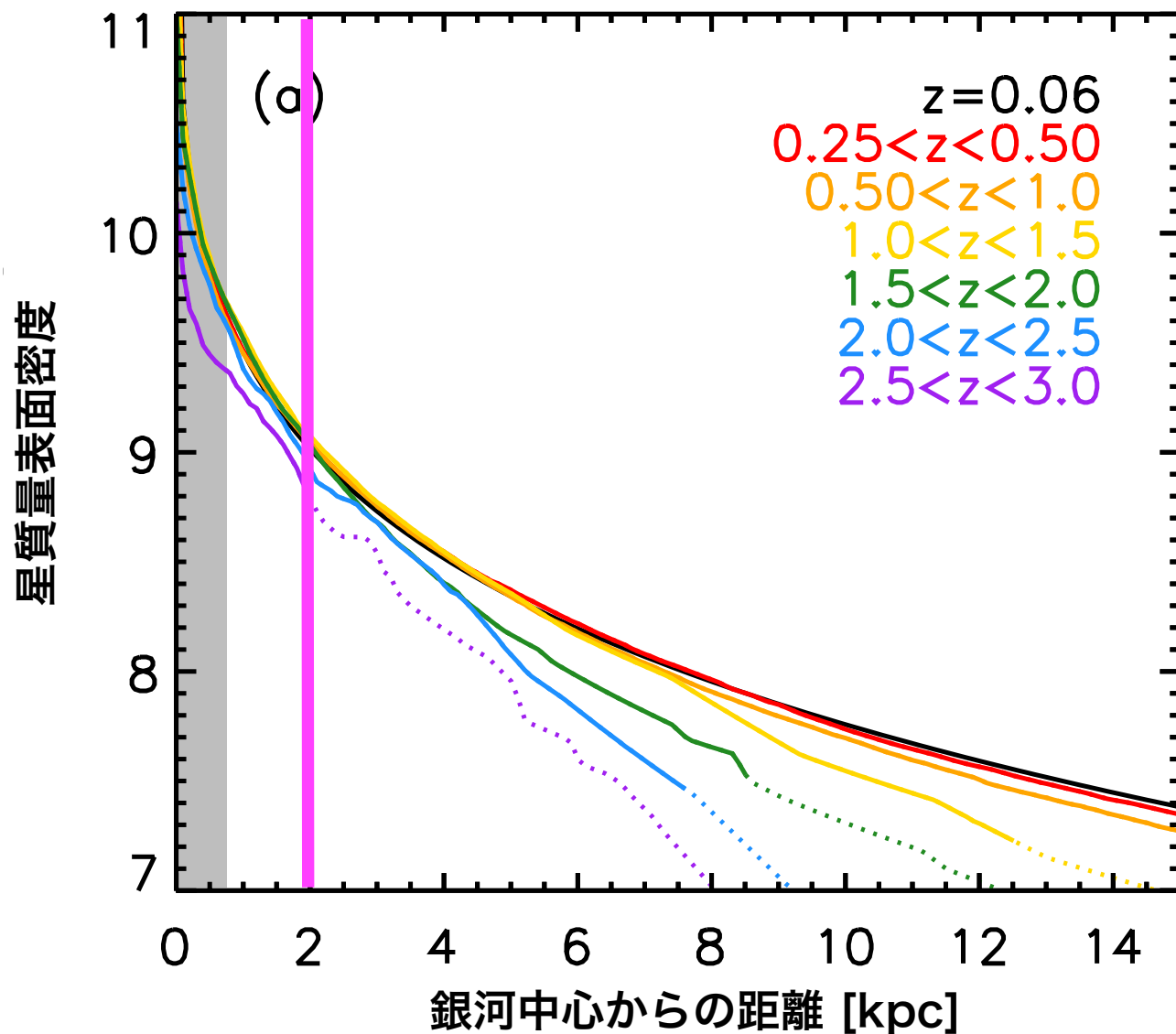


less massiveなclumpy銀河は

現在の宇宙の円盤銀河へと進化する可能性が高い

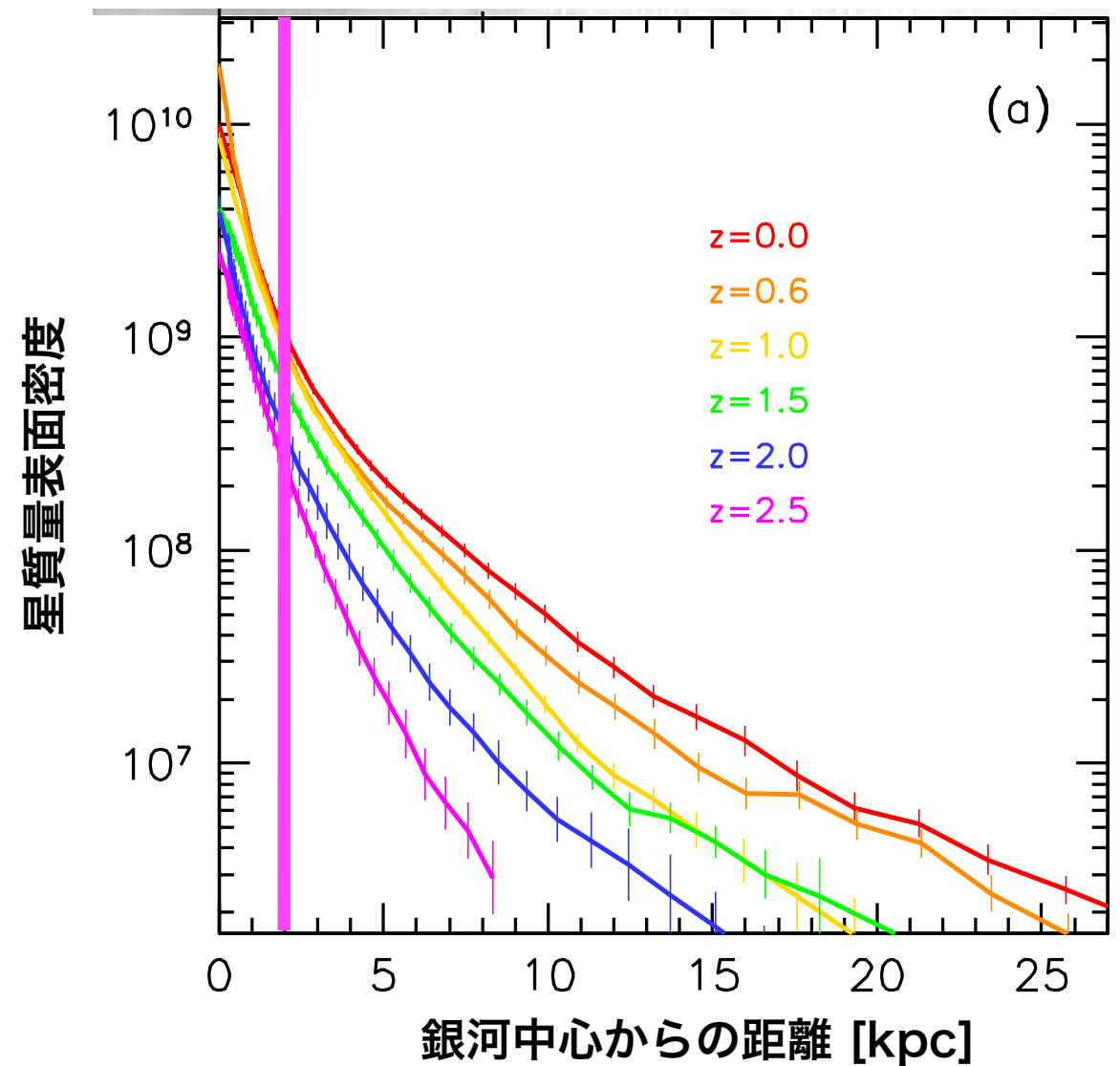
Clumpy銀河は円盤銀河になるのか？

log M* ~11.2 at z=0
(Patel+13)



$r < 2\text{kpc}$: $z \sim 2$ で形成され、成長しない
 $r > 2\text{kpc}$: $z \sim 0.5$ までに徐々に成長

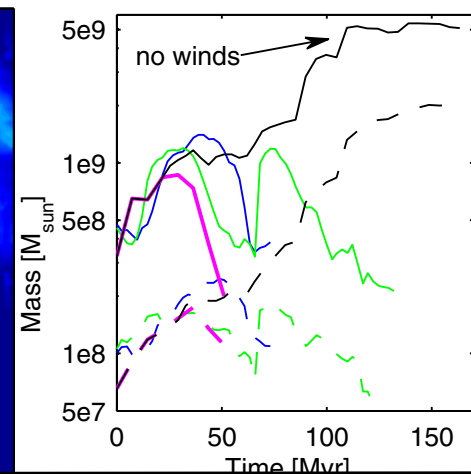
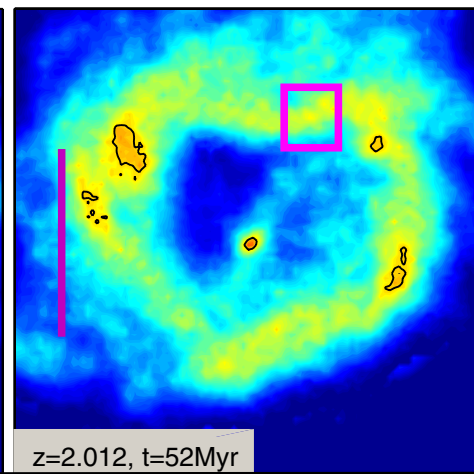
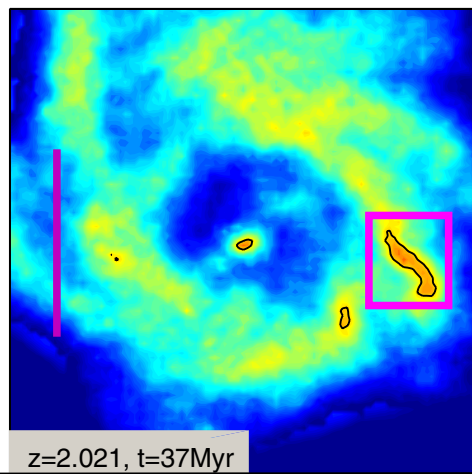
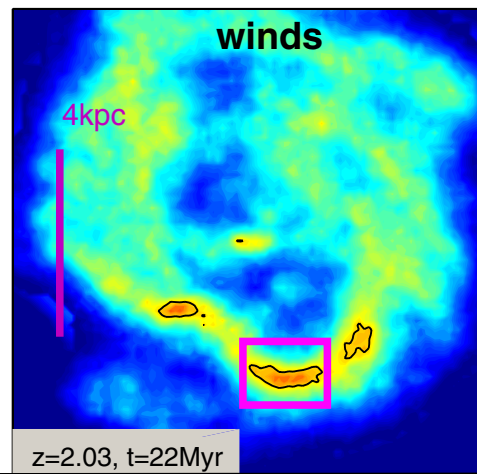
log M* ~10.7 (MW-like) at z=0
(van Dokkum+13)



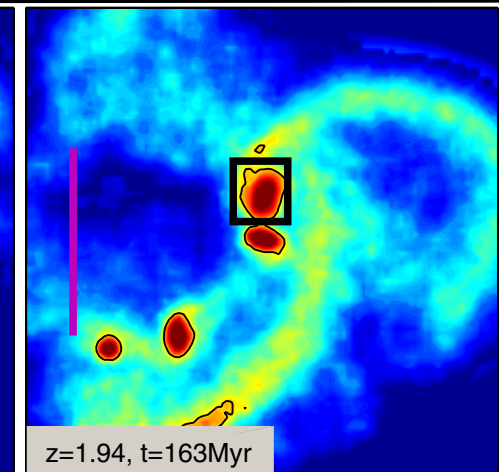
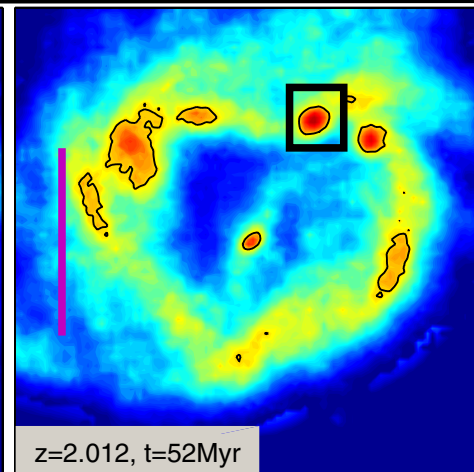
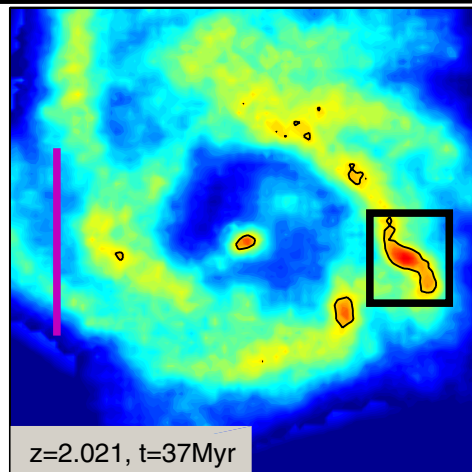
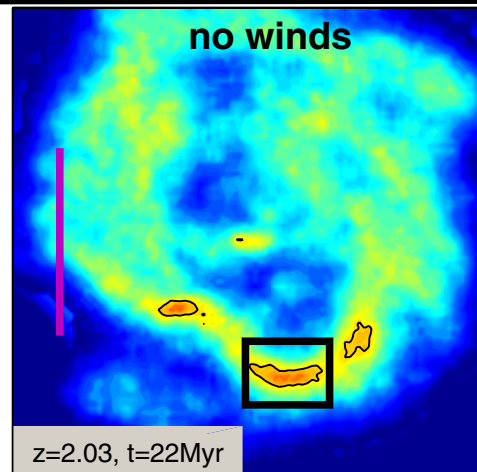
$r < 2\text{kpc}$: $z \sim 1$ まで円盤と共に成長
 $r > 2\text{kpc}$: $z \sim 0$ までに徐々に成長

Clumpは銀河中心まで落ちることができるのか？

including
strong feedback



no winds

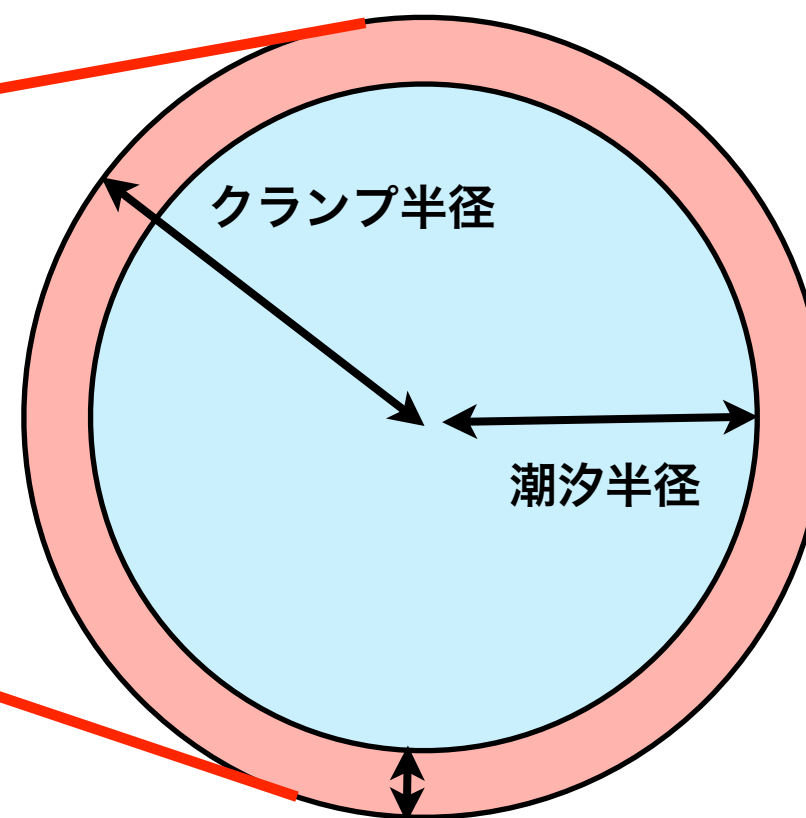
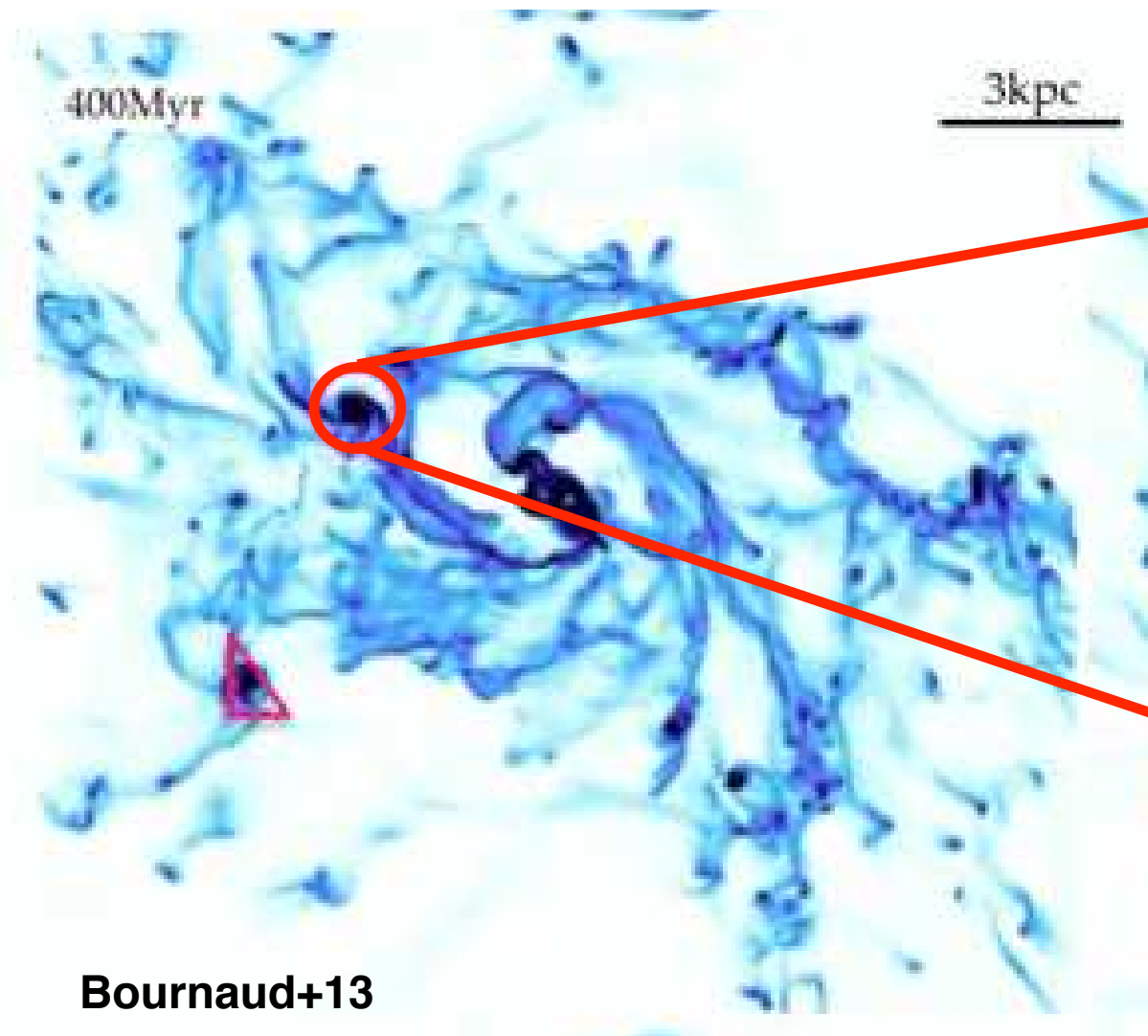


Genel+12

stellar feedbackによってクラumpは壊れる

clumpのlifetimeを観測的に見積もることが重要

クラumpは円盤形成にも寄与するのか？



潮汐破壊によって円盤の一部となる

クラump位置でのポテンシャルの勾配が大きければ、クラumpの一部は潮汐力によって破壊されてしまう。壊されたクラumpの星成分は円盤の構成要素となる。

clump migration/tidal disruptionを検証するには

クラump内の質量変化

星質量：
$$\frac{dM_{\text{star}}}{dt} = \text{SFR} - \frac{M_{\text{star}} \times f_{\text{tidal}}}{\tau_{\text{tidal}}}$$

潮汐破壊

アウトフローによる破壊

ガス質量：
$$\frac{dM_{\text{gas}}}{dt} = \left(\frac{dM_{\text{gas}}}{dt}\right)_{\text{in}} - \left(\frac{dM_{\text{gas}}}{dt}\right)_{\text{out}} - \text{SFR} - \frac{M_{\text{gas}} \times f_{\text{tidal}}}{\tau_{\text{tidal}}}$$

力学的質量：
$$\frac{dM_{\text{total}}}{dt} = \left(\frac{dM_{\text{gas}}}{dt}\right)_{\text{in}} - \left(\frac{dM_{\text{gas}}}{dt}\right)_{\text{out}} - \frac{M_{\text{total}} \times f_{\text{tidal}}}{\tau_{\text{tidal}}}$$

クラumpに取り込まれるガス

どういう物理量に制限を与えれば良いか？

tidal strippingによるクラump破壊を円盤のクラump以外での星形成と比較することで、クラump破壊による円盤形成への寄与を調べることが可能

$$\sum \frac{M_{\text{star}} \times f_{\text{tidal}}}{\tau_{\text{tidal}}} > \text{SFR}_{\text{disk}}$$

クラumpの散逸時間とクラumpの典型的なmigration timescale (200-300 Myr)と比較することで、クラump移動の検証が可能

$$M_{\text{total}} / \left(\frac{dM_{\text{total}}}{dt}\right) > \tau_{\text{mig}}$$

クラumpのlifetime

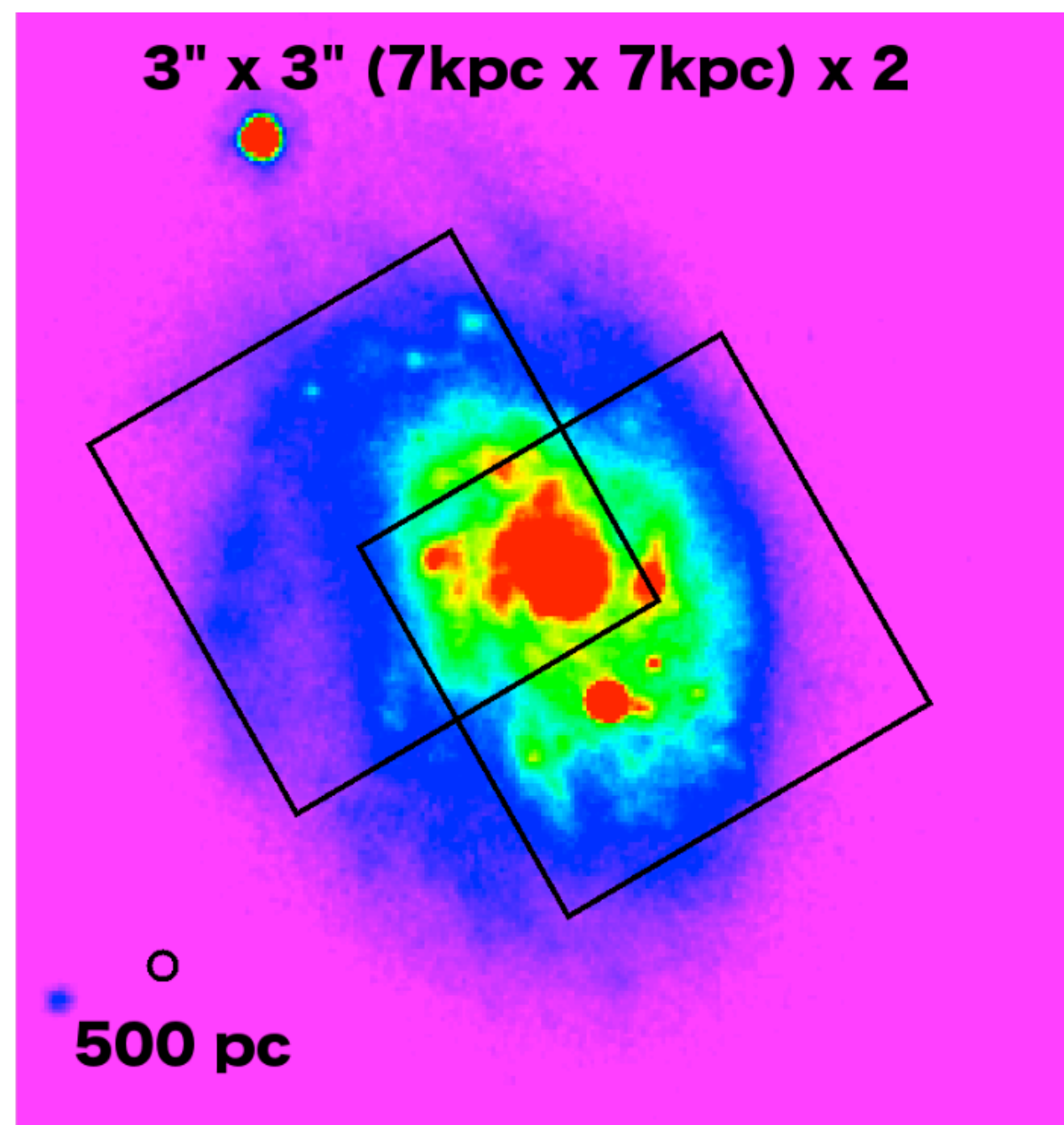
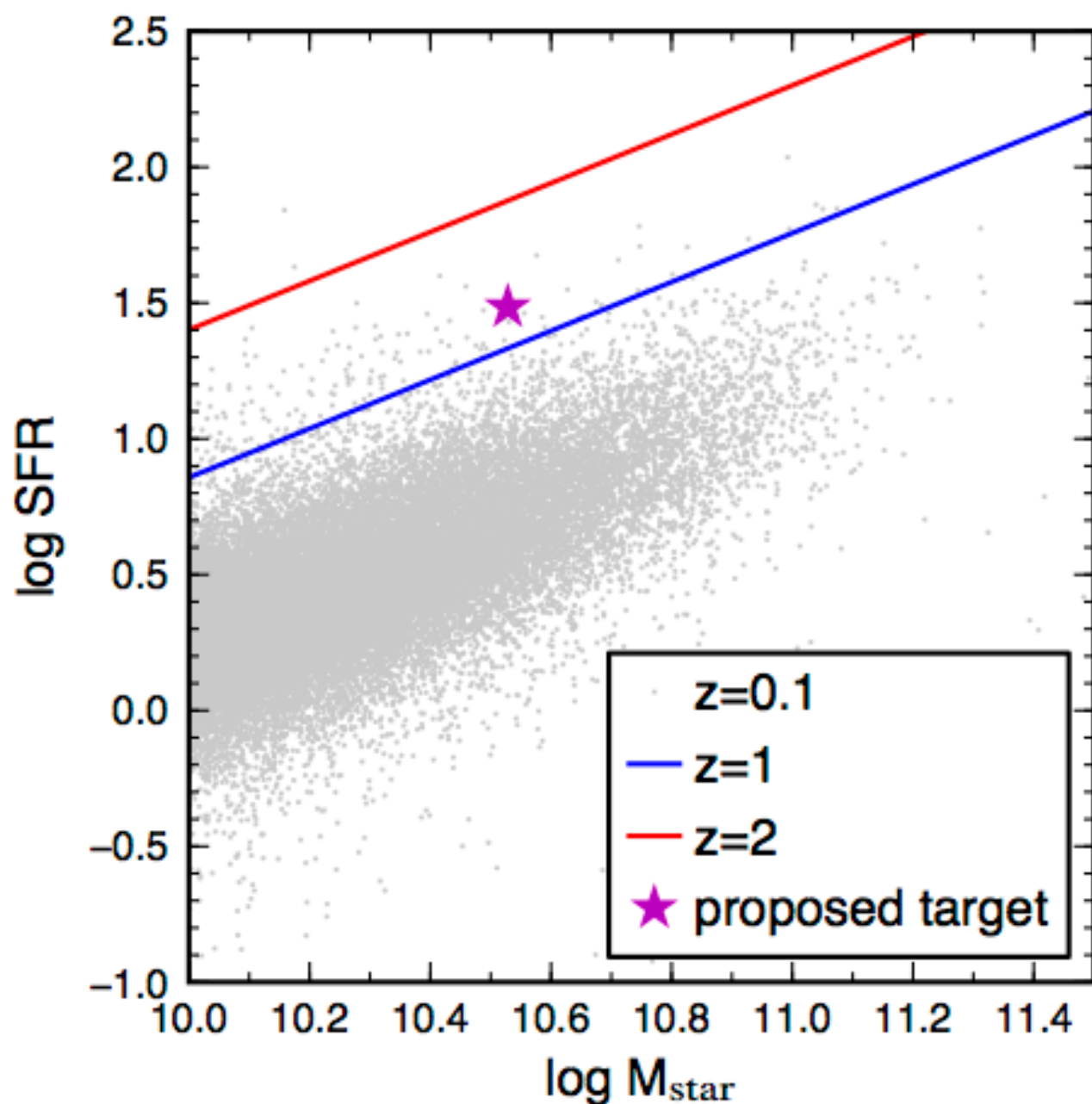
TMT・ALMAを用いて $z > 2$ の小質量clumpy銀河のkinematicsを明らかにする必要がある

近傍LIRGのPa α IFU observation

既存の装置やnuMOIRCSで何かできないか？

$z \sim 0.1$ clumpy LIRGをターゲットにした面分光観測は、

銀河の形態獲得シナリオに対して重要な制限を与えることが可能！



Summary

わざわざクランプにこだわらなくても・・・

- $z > 2$ の時代は**clumpy**な形態をした銀河が多い
- これらの**clump**が形態獲得に何らかの形で寄与したと考えるのは自然
- **clump**が銀河中心に落ち込んで疑似バルジになるという予測がある
- **clump**が銀河円盤で壊れてディスクになるという予測もある
- これらの予測の観測的な検証は難しい
- 模擬**high-z SFG**として近傍**LIRG**の**IFU**ならどうだろうか？
- 将来的には**TMT**で $z > 2$ の**clumpy**銀河に対して**sub-kpc**分解能で**IFU**を行う
- もしかすると2つの銀河が合体しているのが、分解能が悪いせいで**rotation**に見えているというオチかもしれない