

Gas accretion as the origin of the chemical abundance  
gradient in distant galaxies

Cresci et al.2010

Measurement of a metallicity gradient in a  $z=2$  galaxy :  
implications for inside-out assembly histories

Jones et al.2010

Mettalicity gradient of a lensed face-on spiral galaxy  
at redshift 1.49

Yuan et al.2011

2011/10/19

山田研D1 久保

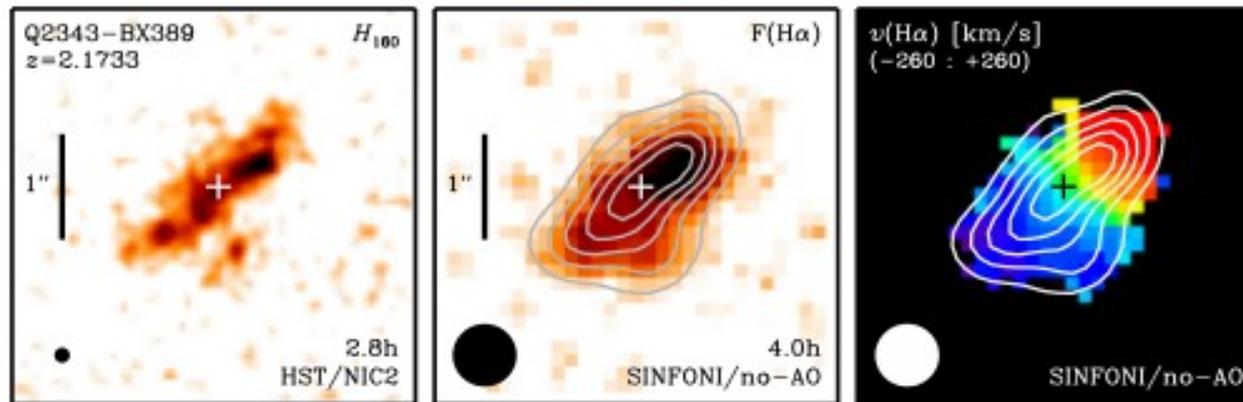
# ABSTRACT

- 近傍spiralsでは中心から外側へかけて減少するような金属量勾配が観測されている。しかしながら、この勾配がどう進化してきたかは理論、観測ともに良く分かっていない。近年、観測装置の発達でHigh- $z$ 銀河でも観測できるようになった。
- Cresci et al.2010 :  $z \sim 3$  LBGsの金属量マップを観測した。これらは星形成の活発な中心で低金属量、外側で高金属量となるような、近傍銀河と逆の金属量勾配を示した。Cold flowによる形成シナリオが考えられる。
- Jones et al.2010, Yuan et al.2011 : 一方 $z \sim 1.5, 2.0$ の重力レンズで増光された天体で金属量勾配を求め、近傍より急な金属量勾配が観測された。中心から銀河形成が進むような形成シナリオが考えられる。

# INTRODUCTION/High-z 銀河の構造

## ● $z > 2$ 銀河の内部構造の観測(2000年代後半～)

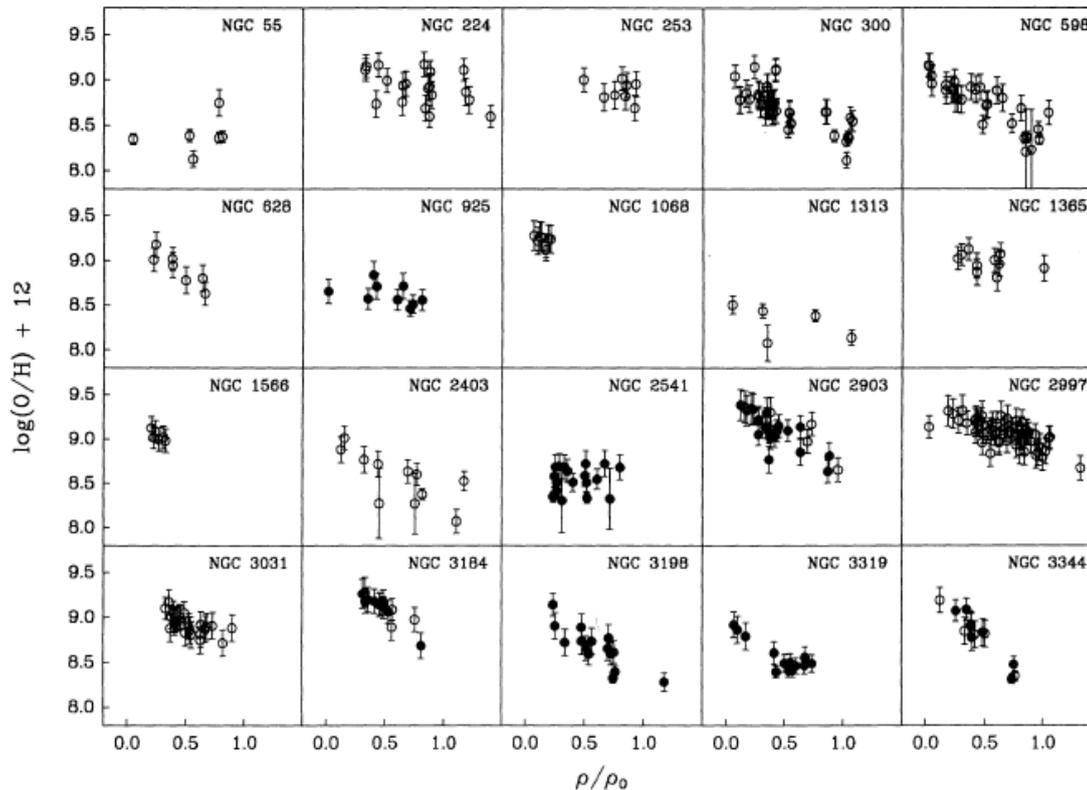
- ・ HST、AOを使った形態の観測...clumpy, chain galaxies
- ・ IFU(Integral field unit)spectrographを使った銀河の速度分布観測...rotating diskの存在



## ● 今日紹介する論文

High-z銀河の中心から外側への**金属量勾配(metallicity gradient)**の観測(2010～)

# INTRODUCTION/金属量勾配

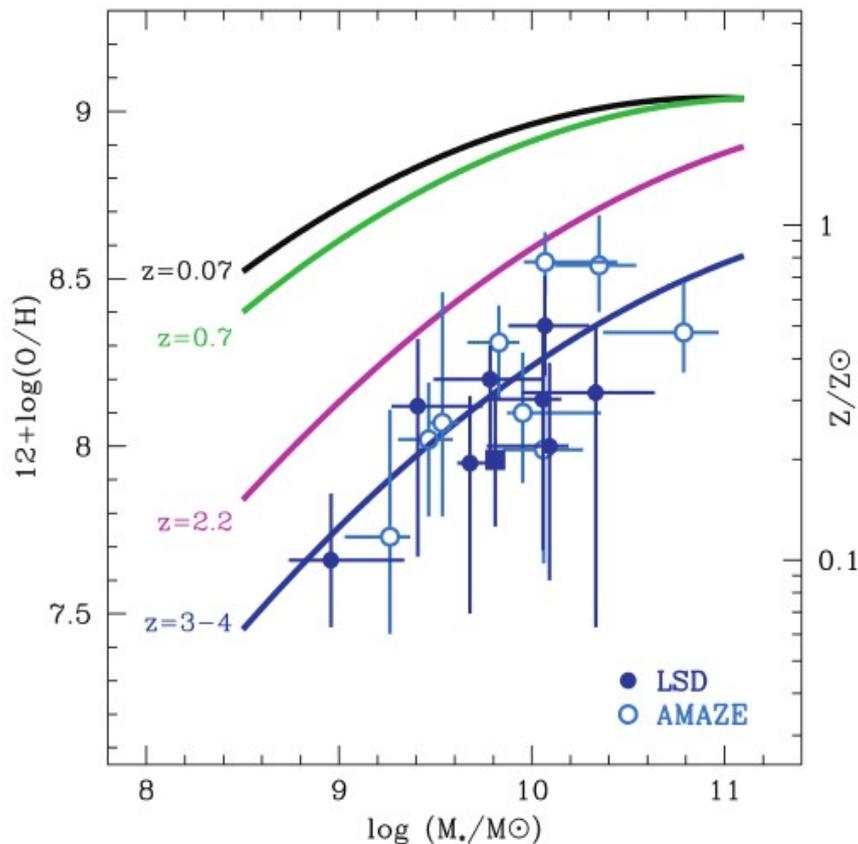


- 近傍銀河では $\sim 0.05$  dex/kpc
- 銀河のHubble type、Mergerなどに影響される。
- 現在までどう進化してきたか (平坦になったのか急になったのか)、理論、観測ともに良く分かってない。
- 高い角分解能が必要、更に High-z で nebular line を受けるのは大変なので最近まで観測が無かった。

# 金属量勾配の形成モデル

- 近傍銀河の観測を再現できるようにモデリング
  - Toshi1998, Chiappini et al. 1997, 2001 : 金属量勾配は時間とともに急に
  - Molla et al.1997; Hou et al. 2000; Prantzos&Boissier 2000; Fu et al. 2009など:時間とともにフラットに
  - どちらも中心部が最初にでき、ディスクが後から形成されるモデル。星形成の半径方向への時間変動、gas inflow,outflow, bar ,mergingなど細かい物理的設定にsensitiveなため、異なる時間進化になる。
- e.g. Magrini et al.2009など  
天の川、近傍銀河の現在 (HII領域、young star )とold population (Open clusterなど)のmetallicity gradientの比較から金属量勾配は時間とともにフラットになったとしている。

# INTRODUCTION/High-z 銀河の金属量



- $z=3-4$ くらいでも mass-metallicity relation が存在している。
- mass-metallicity relation は  $z > 2$  で大きく進化。

## \*High-z の nebular line

- 遠いので暗い。
- 赤方偏移のため近赤外、複数バンドにまたがってしまう。
- 近傍と異なる輝線を使って代替。

Mannucci et al.2009

# High- $z$ 銀河の金属量勾配の観測

## 1.直接観測

Gas accretion as the origin of chemical abundance gradients in distant galaxies / Cresci et al.2010

## 2.重カレンズを利用

Measurement of a metallicity gradient in a  $z=2$  galaxy  
implication for inside-out assembly histories / Jones et al.2010

Metallicity gradient of a lensed face-on spiral galaxy at redshift 1.49 / Yuan et al.2011

# 直接観測 : Cresci et al. 2010

観測対象 : LSD, AMAZE surveyから。

z~3 ライマンブレイク銀河(LBG) 3天体,  
力学的質量 $10^{10} M_{SUN}$ , 星形成率 $\sim 120 M_{sun}/yr$   
速度分布が対称で綺麗な回転ディスク銀河

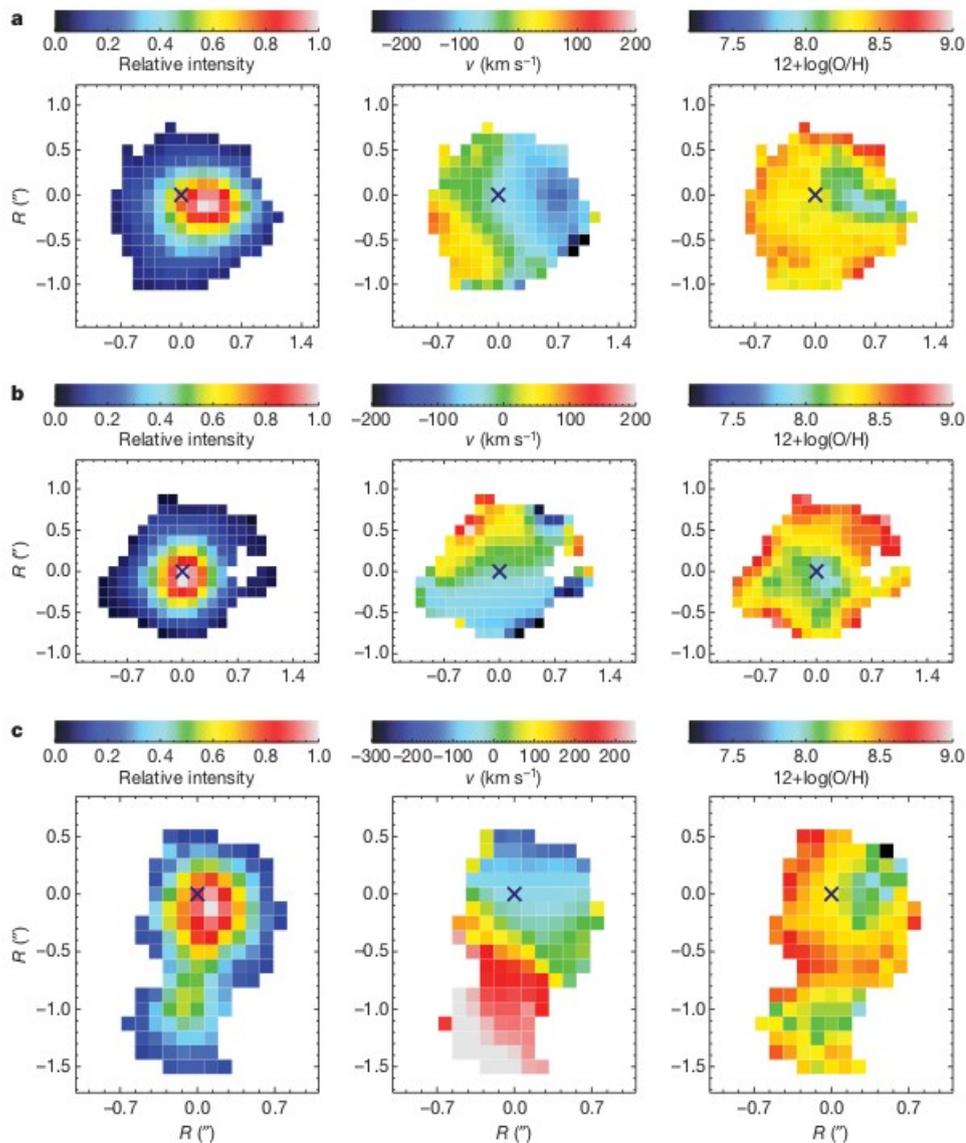
観測装置 : SINFONI on VLT, LGSAOつき

観測輝線 : 1.45~2.45  $\mu m$ の間、[OIII]5007 Å, 4959 Å, H $\beta$ ,  
[NeIII]3870 Å, [OII]3727 Å

Metallicity : 主に[OIII]/H $\beta$ から求める([OII]/[OIII]で補助)。

\*SINFONI(Spectrograph for INtegral Field Observations in the NearInfrared)

\*LGSAO (Laser Guide star Adoptive Optics)



左:[OIII]輝線強度マップ  
 中:速度分布マップ  
 右:金属量マップ

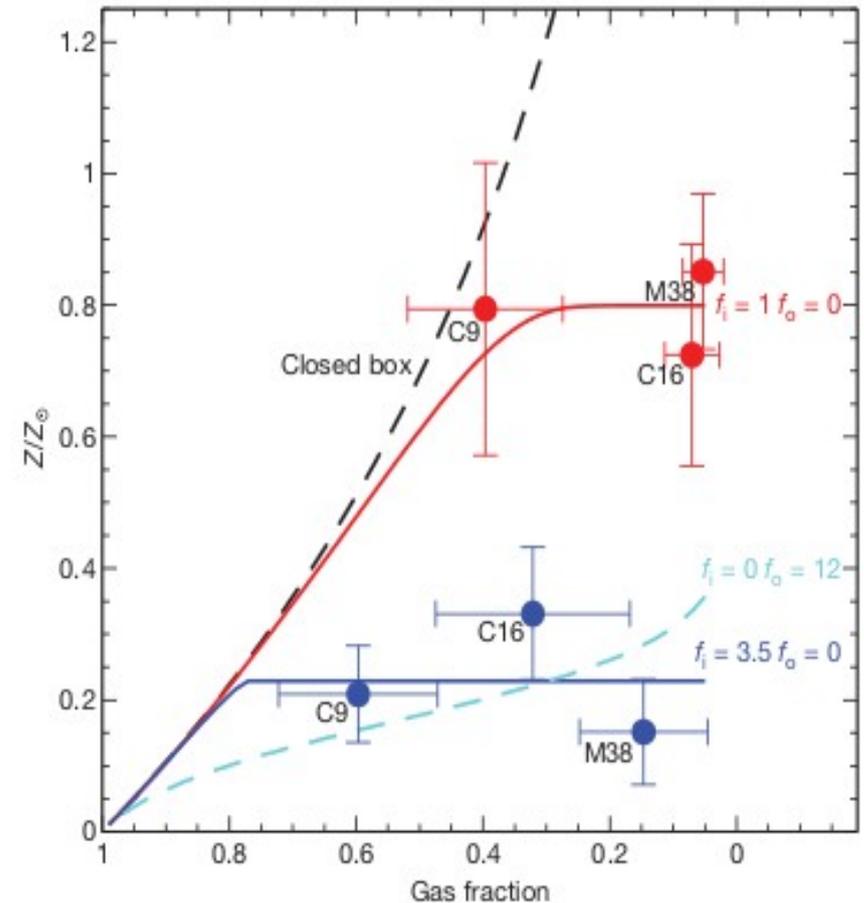
Table 1 | Properties of the sample galaxies

Name	$z$	$\log(M_*/M_\odot)$	Metallicity, whole galaxy ( $12+\log(\text{O}/\text{H})$ )	Metallicity, low- $Z$ region ( $12+\log(\text{O}/\text{H})$ )	Metallicity, high- $Z$ region ( $12+\log(\text{O}/\text{H})$ )
SSA22a-C16	3.065	$10.68^{+0.16}_{-0.54}$	$8.36^{+0.06}_{-0.06}$	$8.18^{+0.13}_{-0.14}$	$8.52^{+0.14}_{-0.07}$
CDFa-C9	3.219	$10.03^{+0.40}_{-0.08}$	$8.36^{+0.06}_{-0.05}$	$7.98^{+0.14}_{-0.16}$	$8.56^{+0.12}_{-0.12}$
SSA22a-M38	3.288	$10.86^{+0.18}_{-0.41}$	$8.26^{+0.09}_{-0.11}$	$7.84^{+0.22}_{-0.23}$	$8.59^{+0.05}_{-0.07}$

- 中心付近に低金属量領域
- 低金属量領域がもっとも輝線が強い領域と一致。

# Model との比較

- 黒点線: closed box model (no gas infall, outflow)
- 赤丸: 高金属量領域(外側)  
赤線: SFRの1 倍infall model
- 青丸: 低金属量領域(中心)  
青線: SFRの3.5倍のinfall
- 水色点線: SFR12倍outflow
- 中心に強いinflowがある...cold flow model

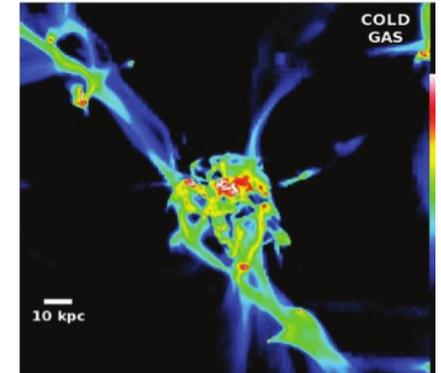


# 銀河形成モデルとの比較

## 1. Monolithic collapse (e.g. Larson 1976)

## 2. Hierarchical merging (e.g. White & Rees 1978)

- Minor ,major mergerで銀河形成。星形成はmergerによる。
- mergerの結果は、主にspheroid, ellipticals (e.g. Bournaud et al.2007)
- Gas rich mergerではdisk銀河も形成しうる (e.g. Robertson & Bullock 2008).ただし観測のclumpinessは再現できない。



## 3. Cold gas flow (e.g. Noguchi et al.1999, Dekel et al.2009)

- 断続的にcold gas が中心に流入、星形成
- High-z銀河のClumpy disk, rotation、高い星形成率を説明可
- 中心は低金属量なcold gas流入で高い星形成+低金属量、外側はoutflow(SNe, stellar wind)で高い金属量…LBGsの観測と一致?

Ceverino, Dekel and Bournaud(2010)

# 重力レンズで増光された天体の金属量勾配

MEASUREMENT OF A METALLICITY GRADIENT IN A  $z = 2$   
GALAXY: IMPLICATIONS FOR

INSIDE-OUT ASSEMBLY HISTORIES

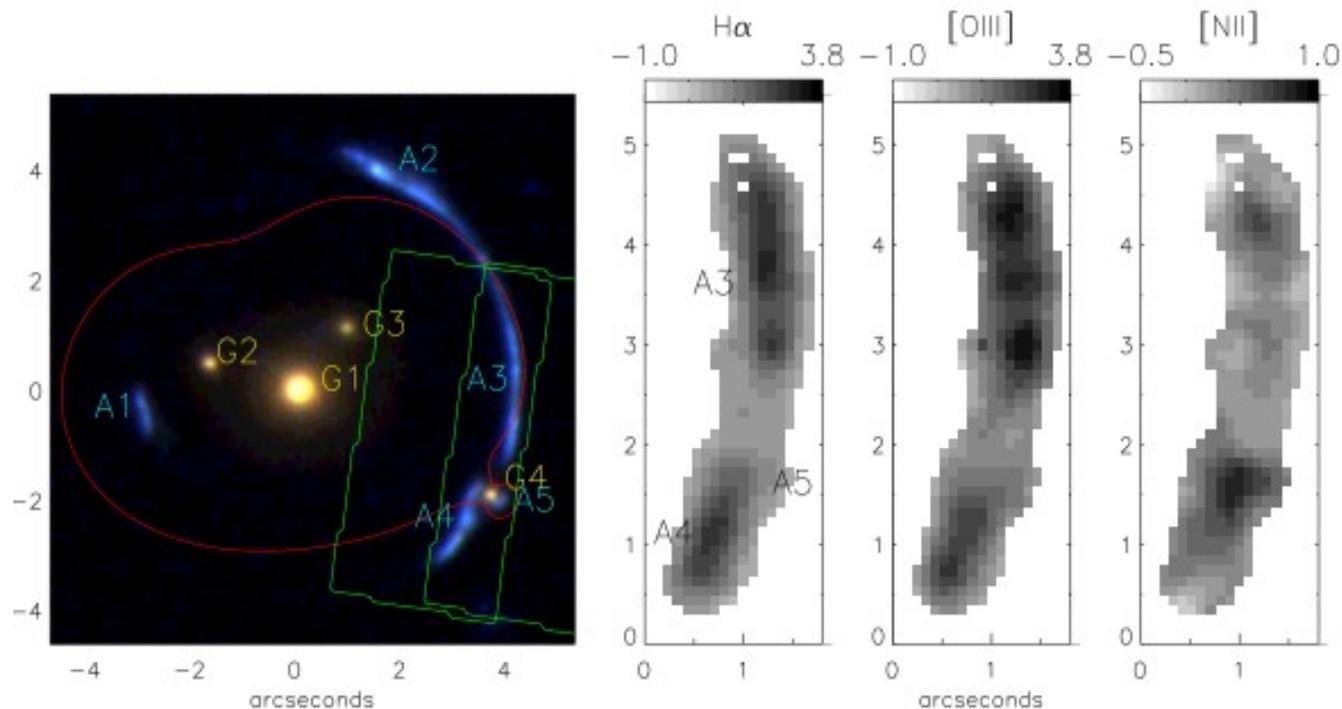
Jones et al.2010

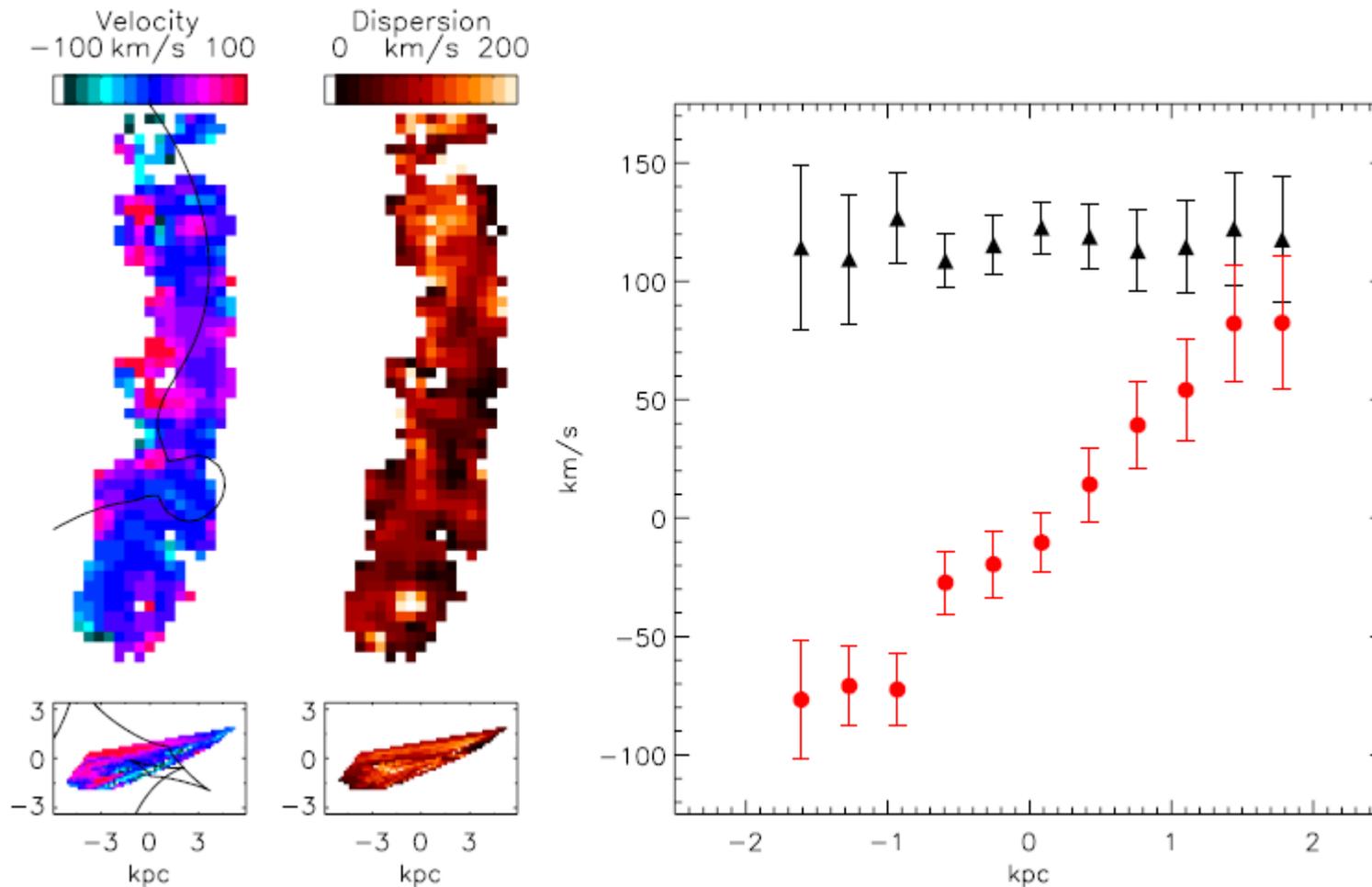
METALLICITY GRADIENT OF A LENSED FACE-ON SPIRAL  
GALAXY AT REDSHIFT 1.49

Yuan et al.2011

# Jones et al.2010 Clone arc @z=2.0

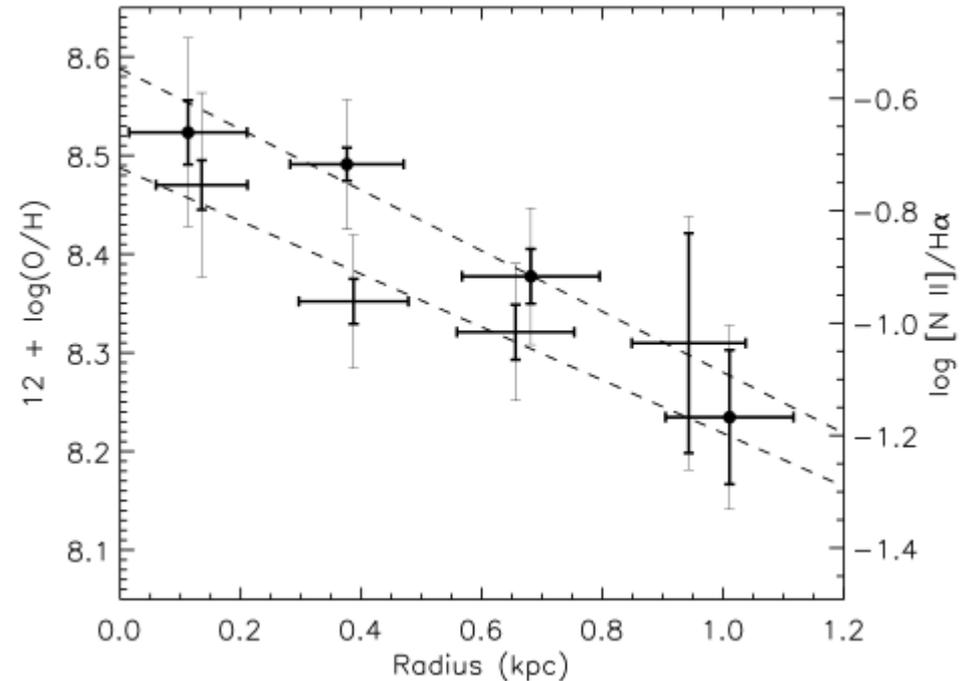
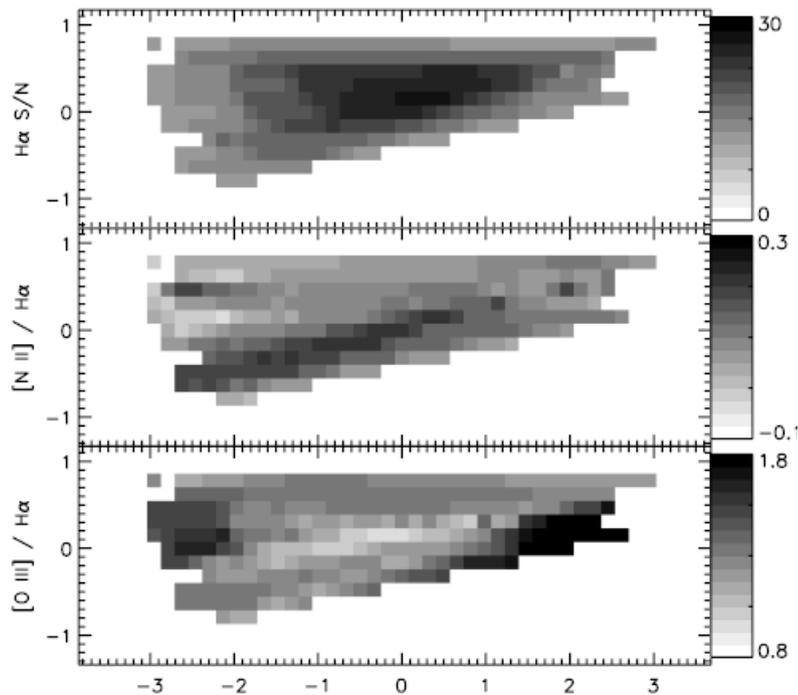
- Clone ark(SDSS120601.69+514227.8) z=2.001
- OSIRIS on Keck 2 with LGSAO
- $H\alpha$ , [NII](Kn1 filter), [OIII](Hn1), [OII](Zn4)をターゲット、うち $H\alpha$ , [NII],[OIII]で十分な検出。





左:Clone arkの速度、速度分散マップ。下:source画像

右:横軸=中心からの距離、縦軸速度。黒=観測、赤sourceに直したものの



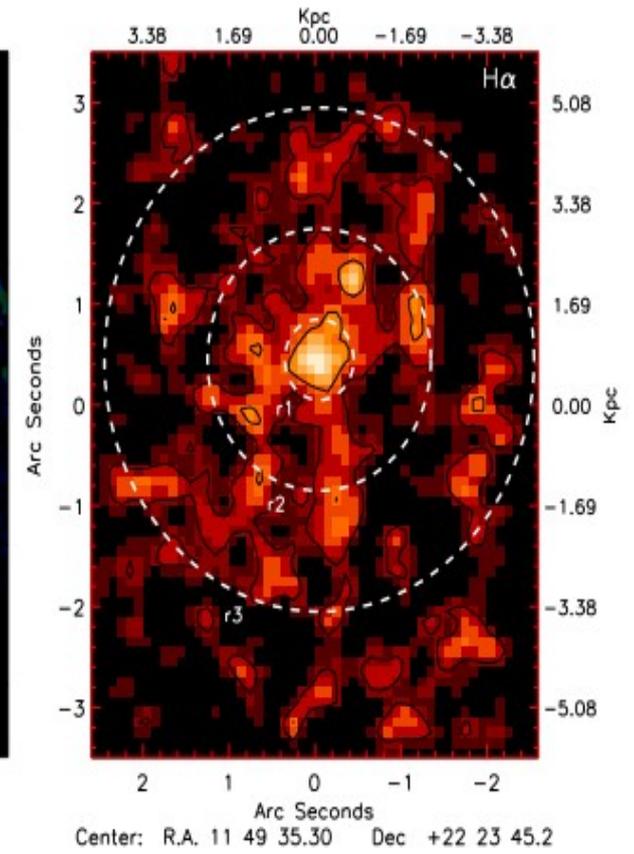
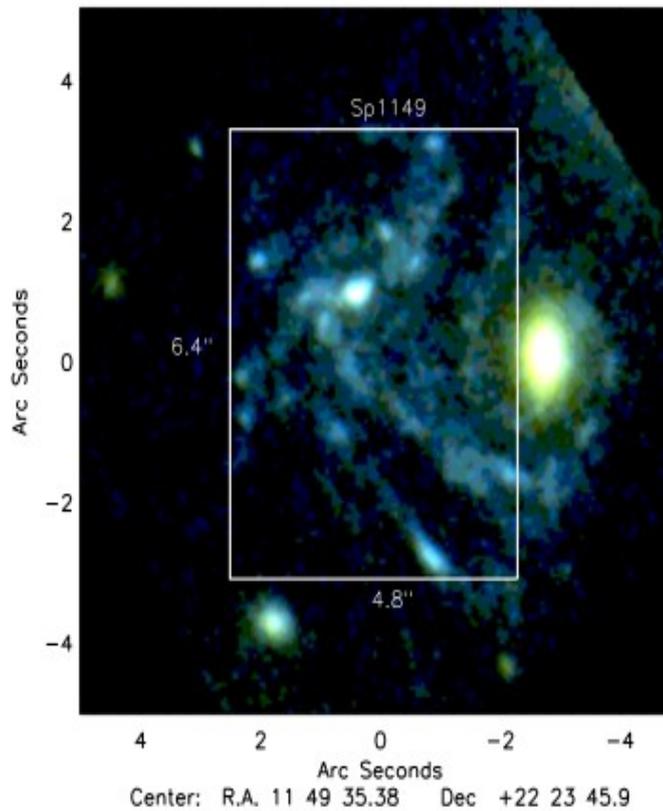
左:輝線比マップ.  $SFR = 50M_{\text{sun}}/\text{yr}$

右:Clone ark金属量勾配  $12 + \log O/H = 8.90 + 0.57 \times \log [NII]/H\alpha$

- 中心部の金属量  $12 + \log O/H = 8.59 \pm 0.04, 8.49 \pm 0.04$
- 金属量勾配  $\frac{d \log O/H}{dR} = -0.27 \pm 0.05 \text{ dex kpc}^{-1}$
- 近傍  $\sim 0.05 \text{ dex kpc}^{-1}$  と比較すると急な勾配
- Clone arkの年齢 $\sim 500\text{Myr}$ …急激な星形成

# Yuan et al. 2011 Sp1149 $z=1.49$

- 観測天体: MACS1149.5+2223 (Sp1149) @  $z=1.49$
- $z > 1$  ではもっとも明るく、かつ HII 領域が見えている。
- OSIRIS @ KECK II  
LGSAO を使用。
- $H\alpha$ , NII 輝線を狙い  
Hn3 フィルタで観測

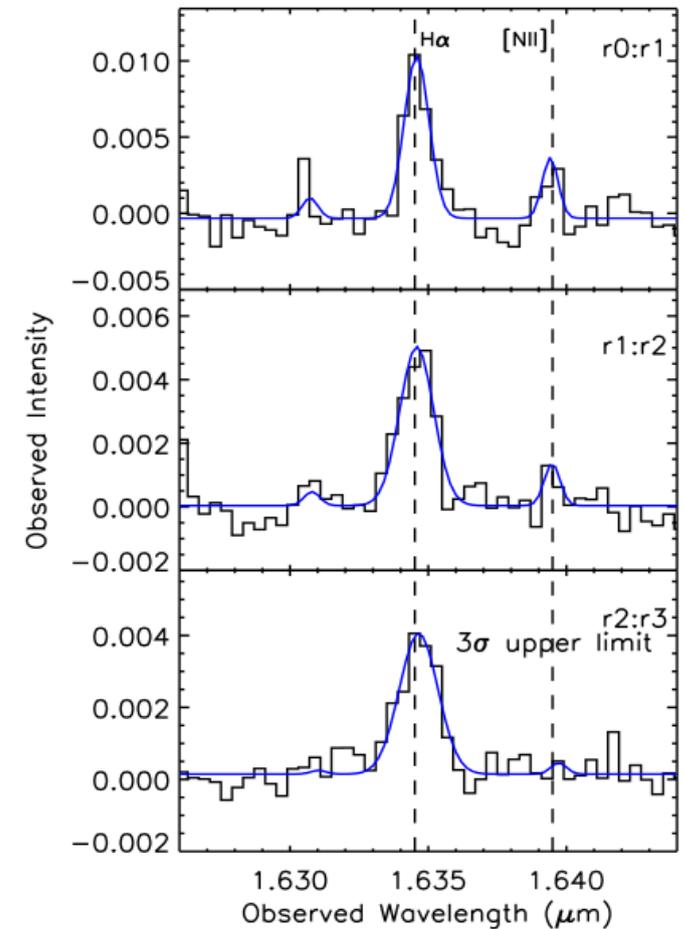


# 観測結果

- $r1 = 0.72 \pm 0.1$  kpc
- $r2 = 2.34 \pm 0.2$  kpc
- $r3 = 4.5 \pm 0.4$  kpc

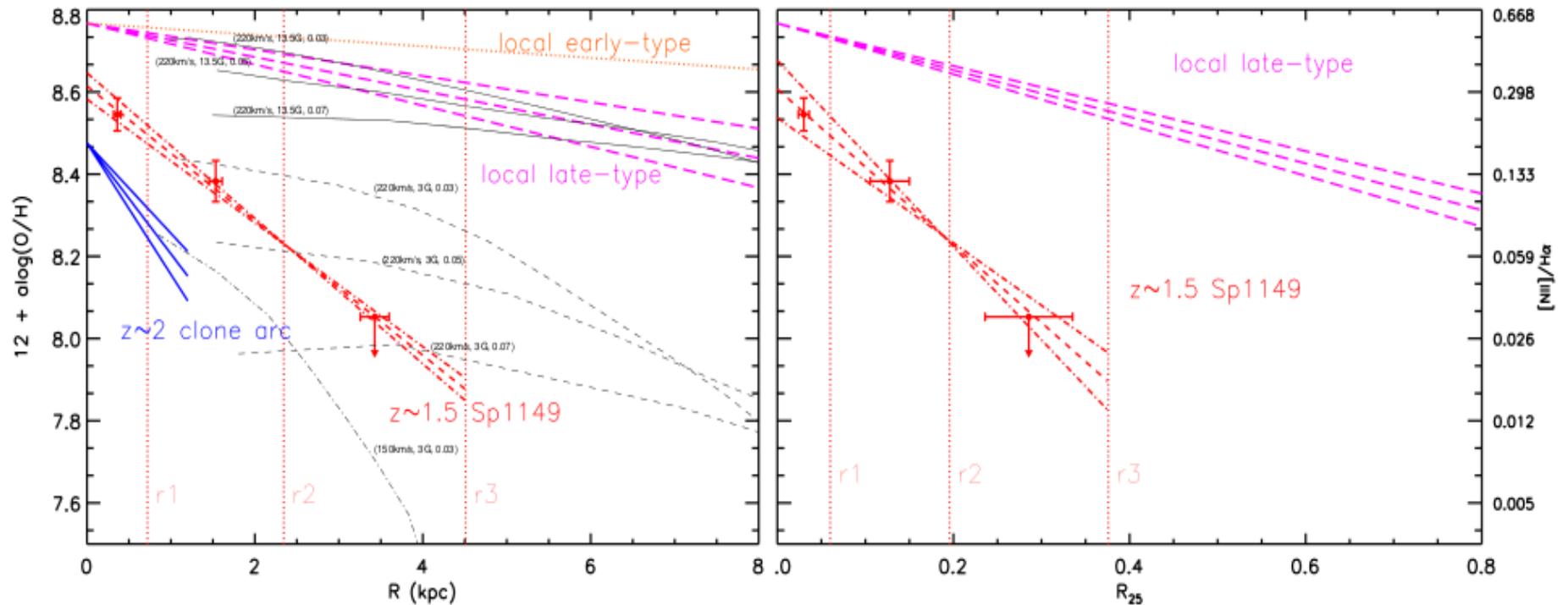
- $V_{rot} = 212 \pm 50$  km/s,
- $M_{dyn} = (2.6 \pm 0.4) \times 10^{10} M_{sun}$

- Luminosity weighted magnification  $\mu = 22 \pm 2$
- Intrinsic magnitude in I =  $23.4 \pm 0.3 \dots M_B \sim -20.7$
- x、y方向に $\sim 5$ 倍引き伸ばされている。



# 近傍、モデルと比較

- 金属量勾配 =  $-0.16 \pm 0.02 \text{dex kpc}^{-1}$
- $V_{rot} = 220 \text{km/s}$  のモデルとは合わないが、 $150 \text{km/s}$ と同じ勾配
- Jones et al.2010の結果も $150 \text{km/s}$ モデルでフィットできる。



# まとめ

- Jones et al.2010(@z=2.0),Yuan et al.2011(@z=1.49)  
近傍より急な金属量勾配、中心付近では既に現在に近い金属量だった。  
初期は中心で活発な星形成、徐々にoutflow や混合,外部での星形成で金属量勾配がフラットになってゆく描像
- Cresci et al.2010の結果…cold flowで中心から星形成
- まだ観測、理論モデルとも不十分。