

ALMAを用いた $z\sim 1.4$ における 星形成銀河の分子ガスの性質

世古 明史 (京都大学)

太田 耕司, 岩室 史英 (京都大学),
廿日出 文洋, 矢部 清人 (国立天文台),
秋山 正幸 (東北大学), 田村 直之 (東京大学)

銀河の激動進化期

銀河進化

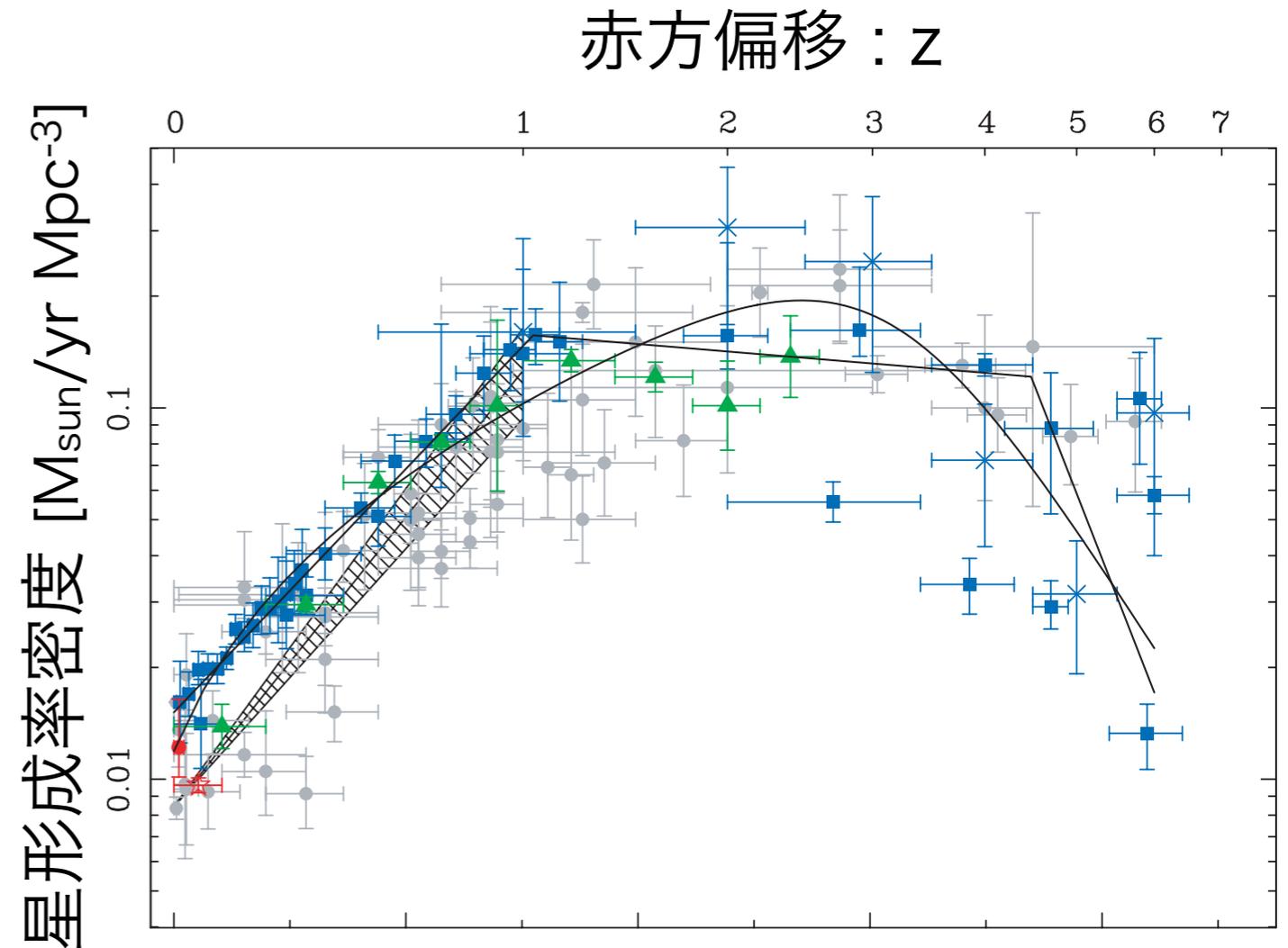
= ガスから星への転換史

星形成率密度

- $z \sim 2$ 前後で宇宙における星形成は最も活発

銀河の形態

- $z < 1$ では形態確立
- $z > 3$ では不規則な形態



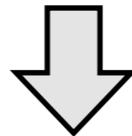
Hopkins & Beacom 2006, ApJ, 651, 142

$z \sim 1-3$ 付近：銀河の激動進化期

分子ガスの重要性

分子ガス = 星形成の母体

- ・ 質量(M_{gas}) → 作られうる星の質量の指標
- ・ 星質量に対する割合(f_{gas})
→ どれだけガスを星に転換してきたのかを表す指標
 - * $f_{\text{gas}} = M(\text{H}_2) / (M(\text{H}_2) + M_{\star})$
- 星質量やmetallicityに依存すると思われる



銀河進化の解明へ

激動進化期の分子ガス研究

- main sequence 銀河のCO観測

- $M_{\text{gas}} > 2 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$

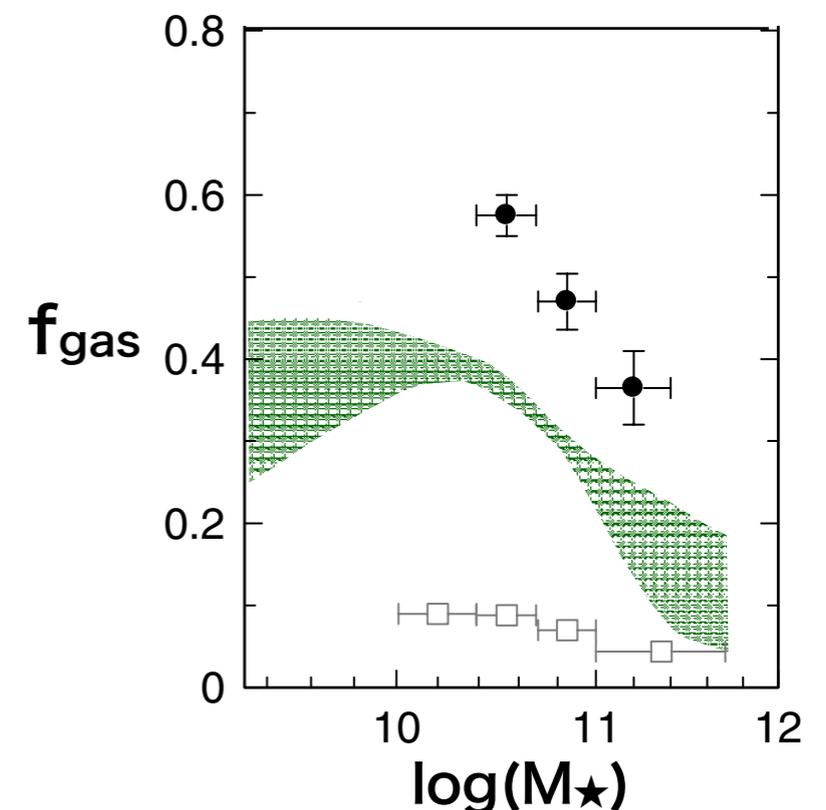
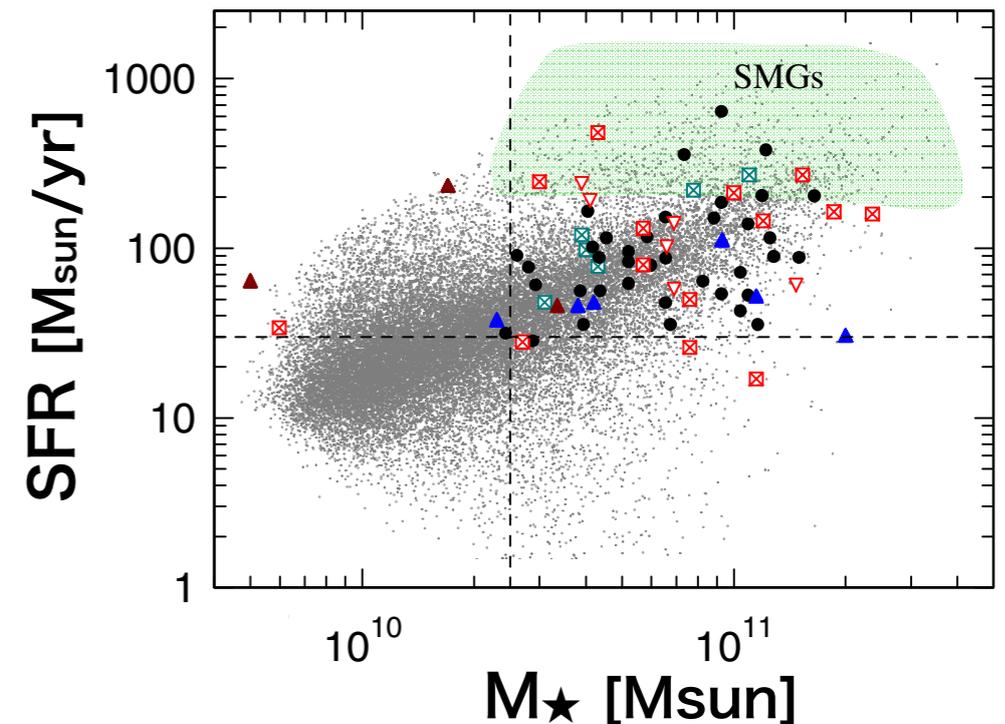
- f_{gas} **34** % @z~1.2
44 % @z~2.2

(近傍のspirals **2-14** %)

- f_{gas} の星質量への依存性

- M_{\star} 大 \rightarrow f_{gas} 小 ($M_{\star} > 10^{10.5} M_{\text{sun}}$)

- f_{gas} のmetallicityへの依存性は？

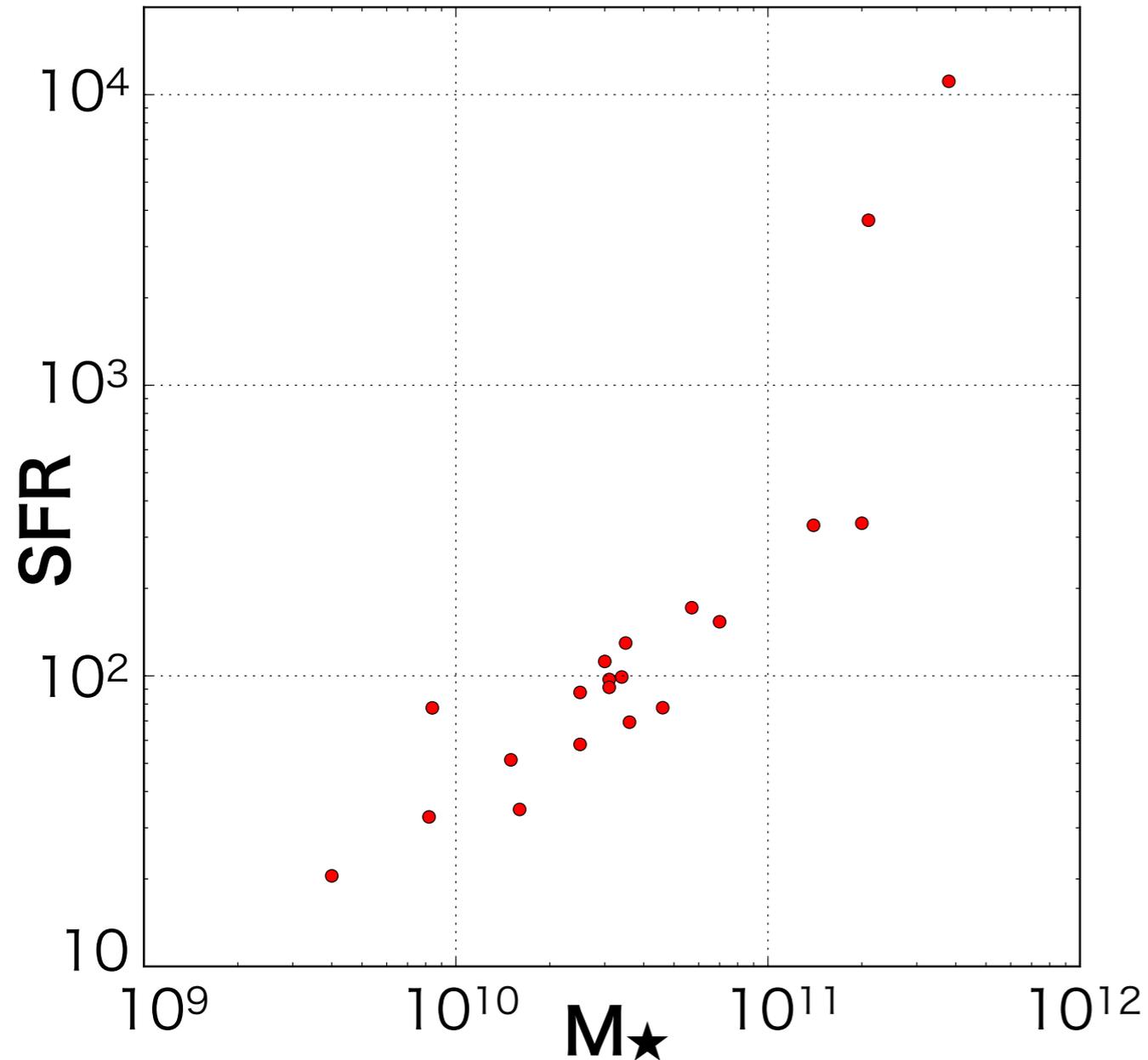


サンプル

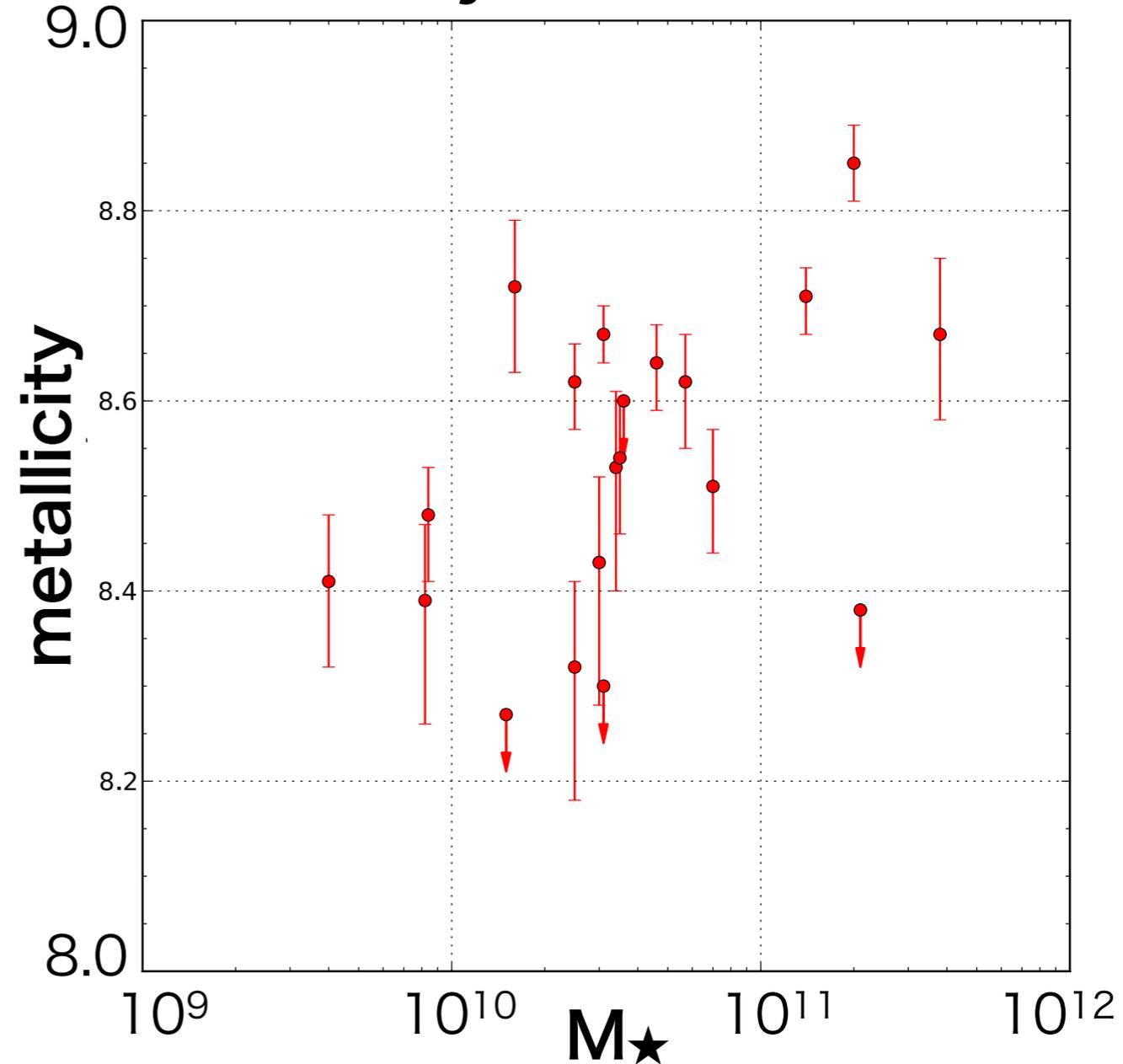
● $z \sim 1.4$ の星形成銀河 20天体 @SXDS領域

FMOSの分光観測で赤方偏移、metallicityが決まっている

SFR - M_{\star}



metallicity - M_{\star}

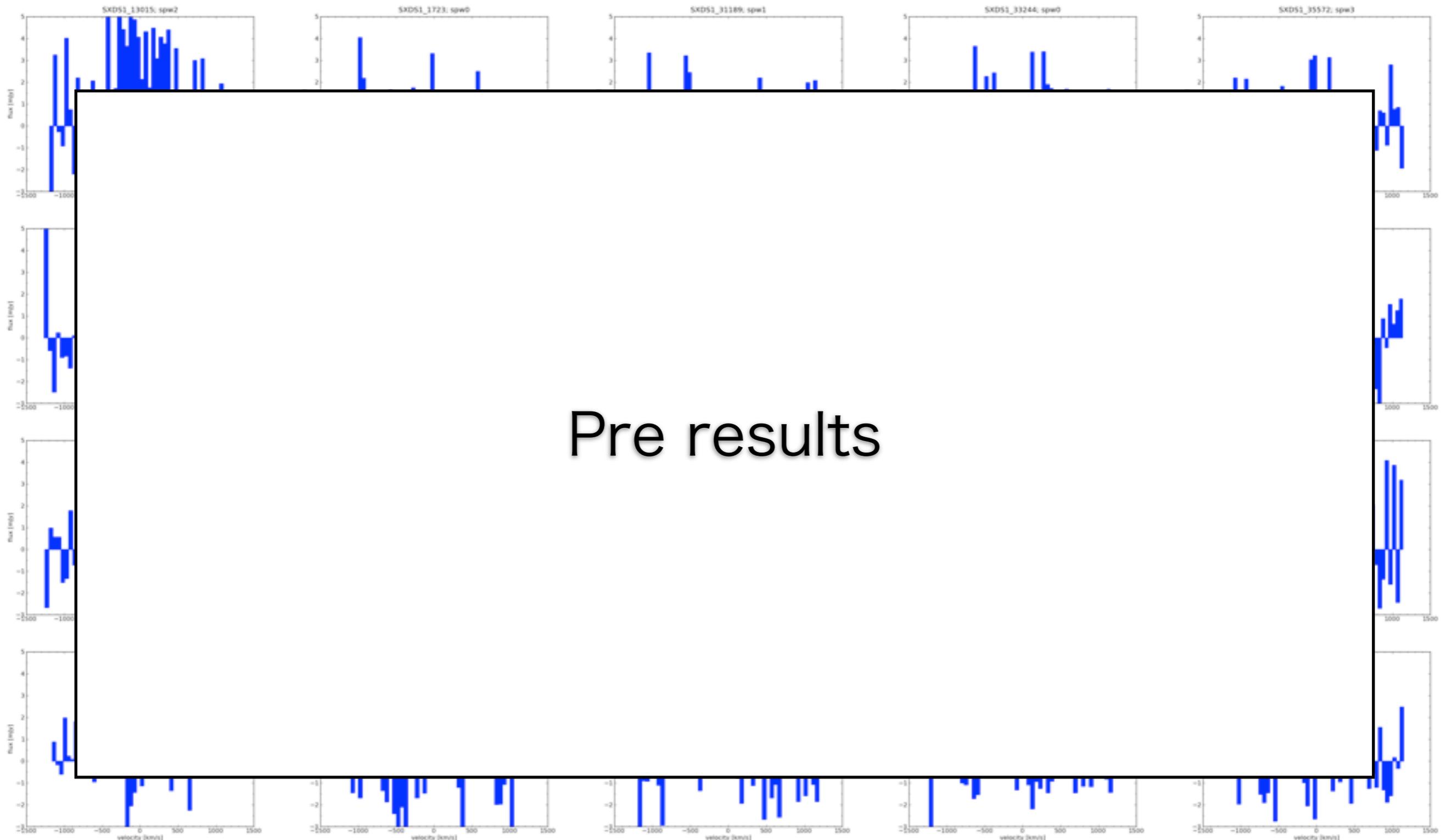


観測

- **ALMA** (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)
- 2012年 8月
- 観測輝線 : **CO(J=5-4)**
- 観測周波数 : 221-254 GHz (Band-6)
- T_{sys} : 66-100 K
- 積分時間 : 8-15 min (1天体あたり)
- noise : 0.5-1.1 mJy/beam (50 km/s binning)

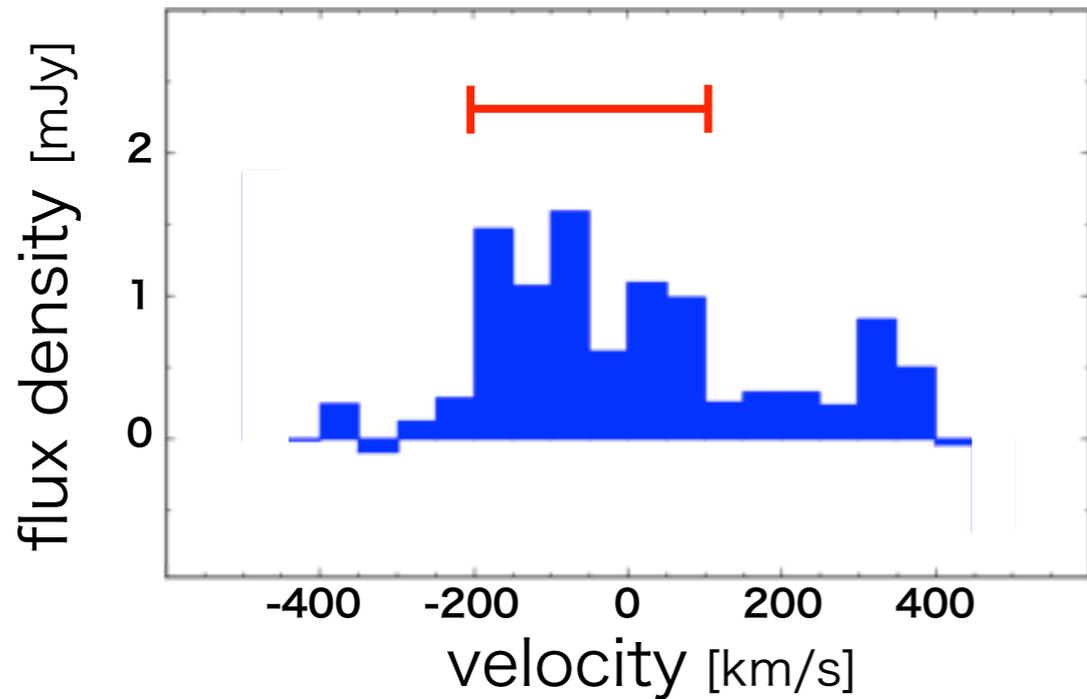


観測結果 | line profile



今回は銀河の平均的な性質を求めるため、スタッキング解析

分子ガス(H₂)質量



CO輝線光度

$$L'_{\text{CO}} = (c^2/2k) \nu_{\text{obs}}^{-2} D_L^2 (1+z)^{-3} \int S_{\text{CO}} dv$$

[K km/s pc²]

CO輝線比

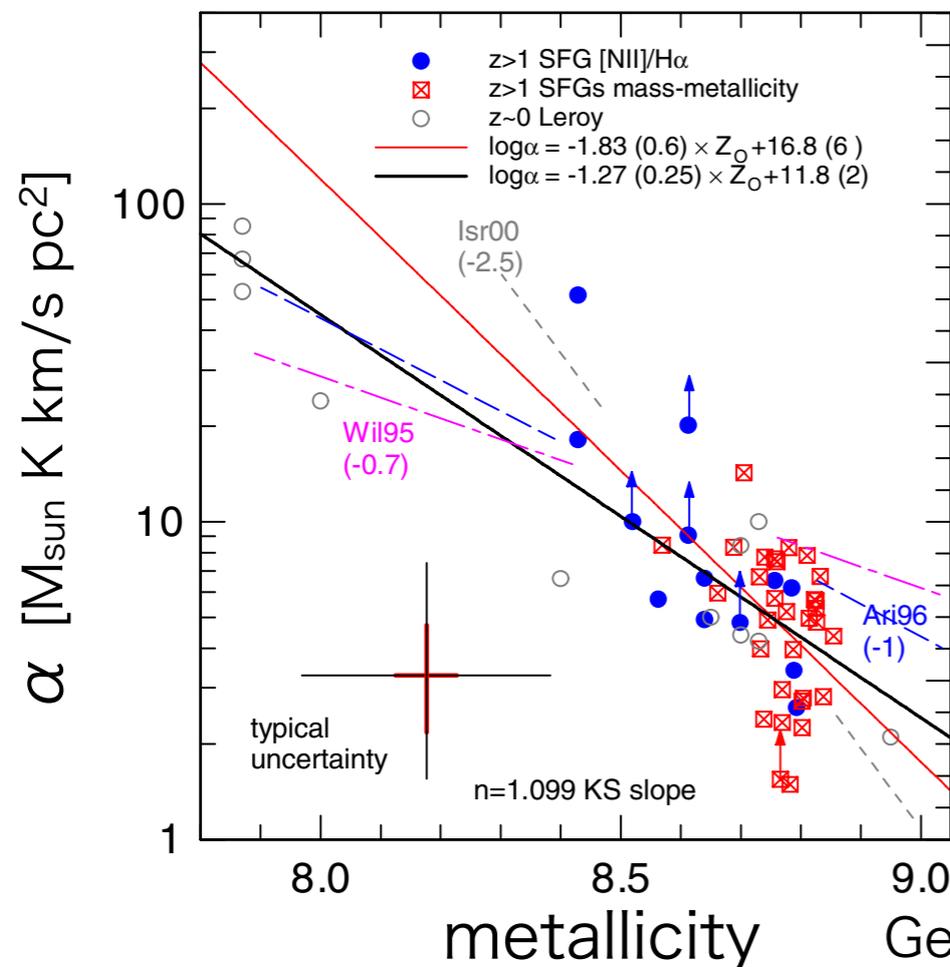
$$\frac{\int S_{\text{CO}(5-4)} dv}{\int S_{\text{CO}(1-0)} dv} \sim 6 \quad (\text{e.g., BM/BX})$$

Carilli & Walter 2013, ARA&A, 51, 105

$$M(\text{H}_2) = \alpha \times L'_{\text{CO}(1-0)}$$

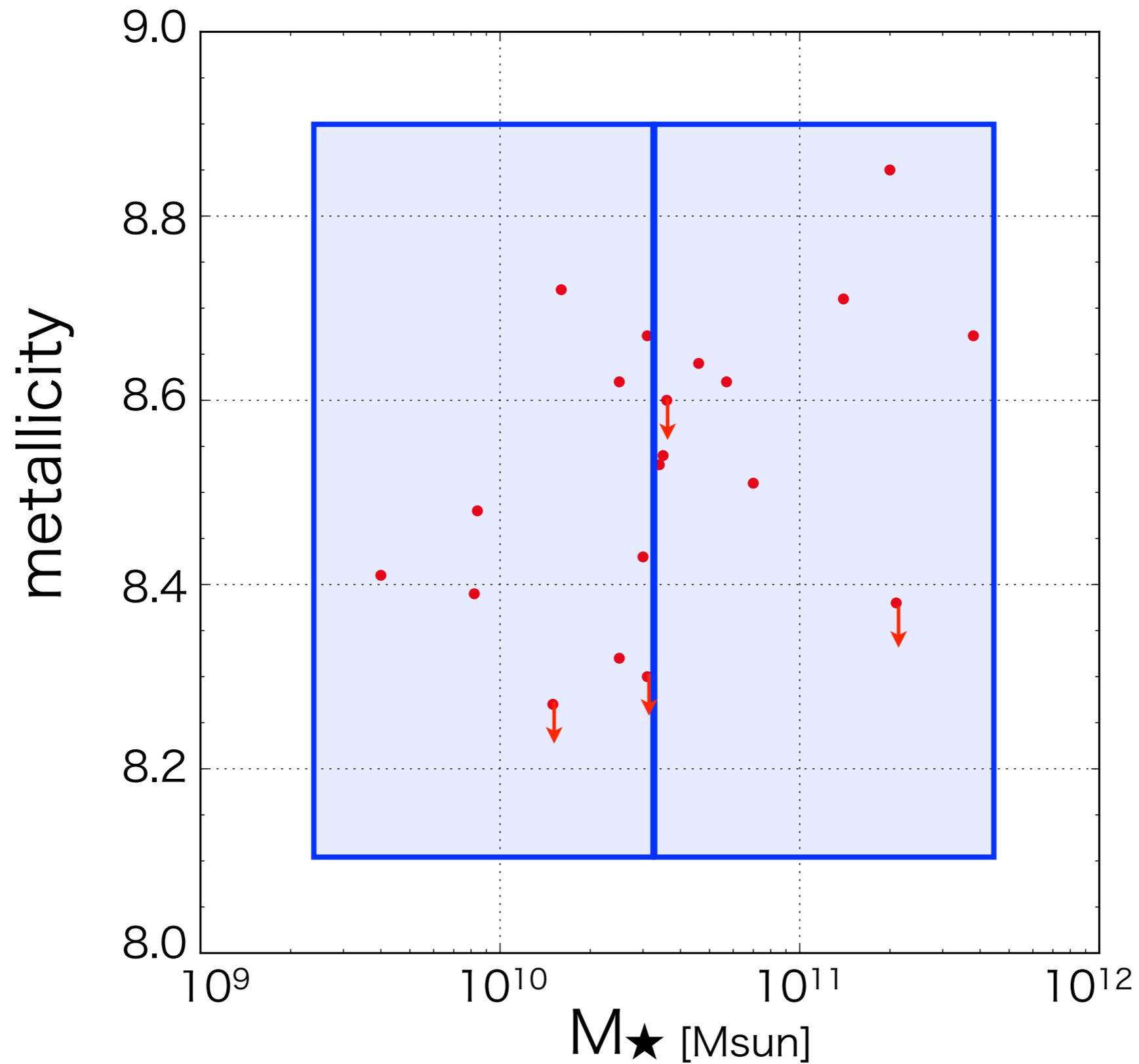
CO-to-H₂ 変換係数

- metallicityが小さい銀河ほど変換係数は大きい



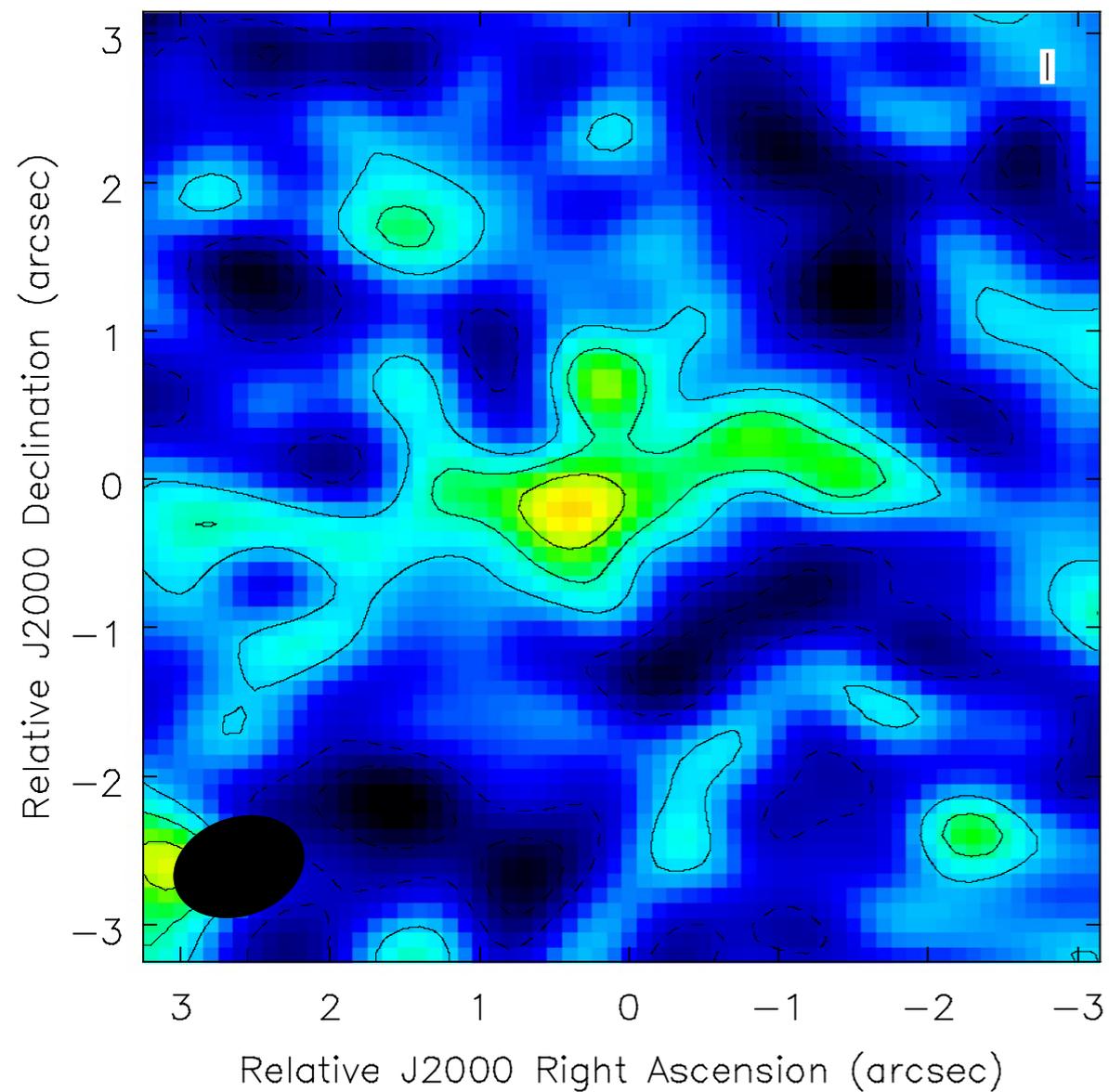
Genzel et al. 2012, ApJ, 746, 69

M_{gas} と f_{gas} の M_{\star} 依存性

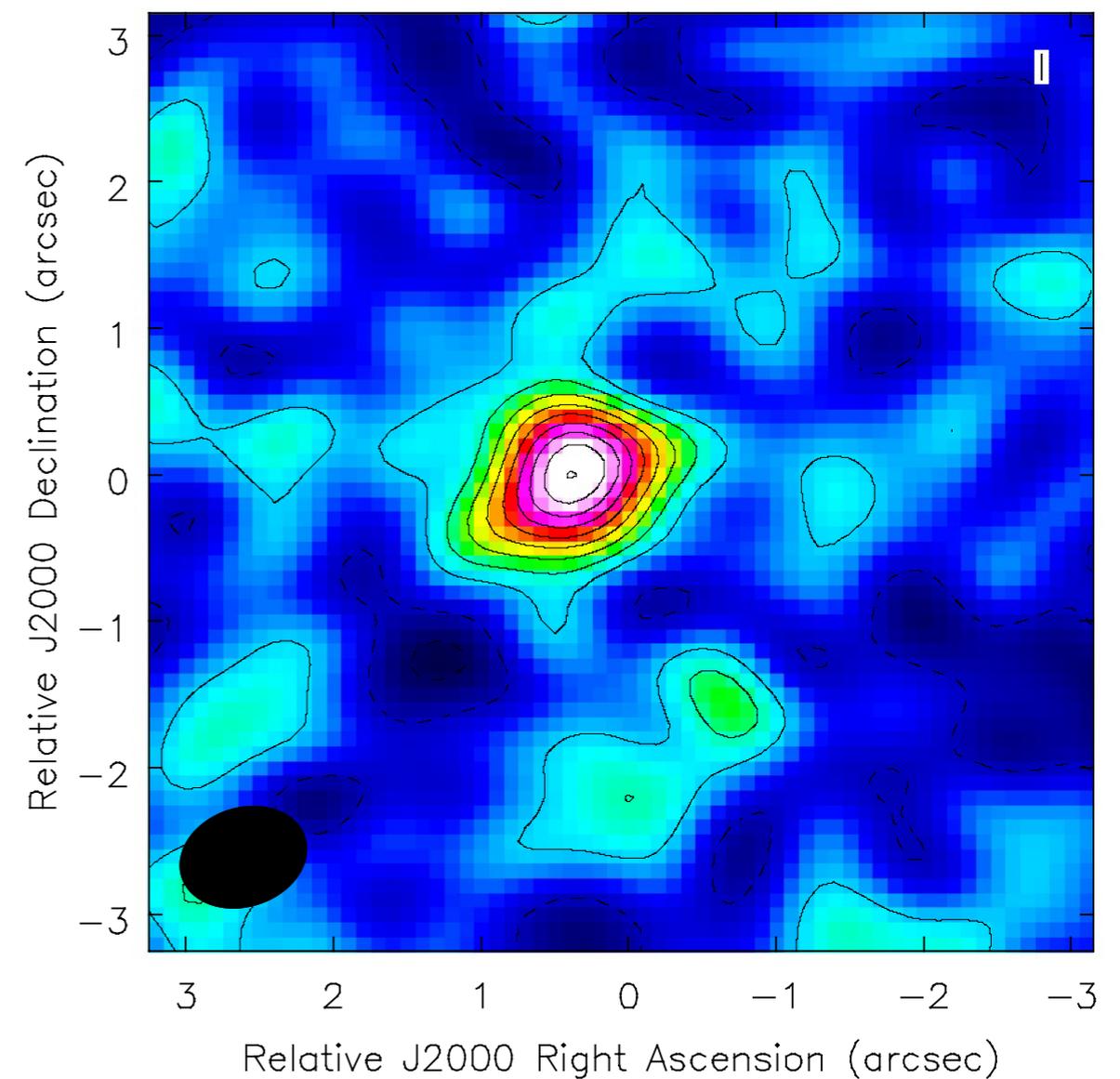


スタッキング解析 | M_{\star} 依存性

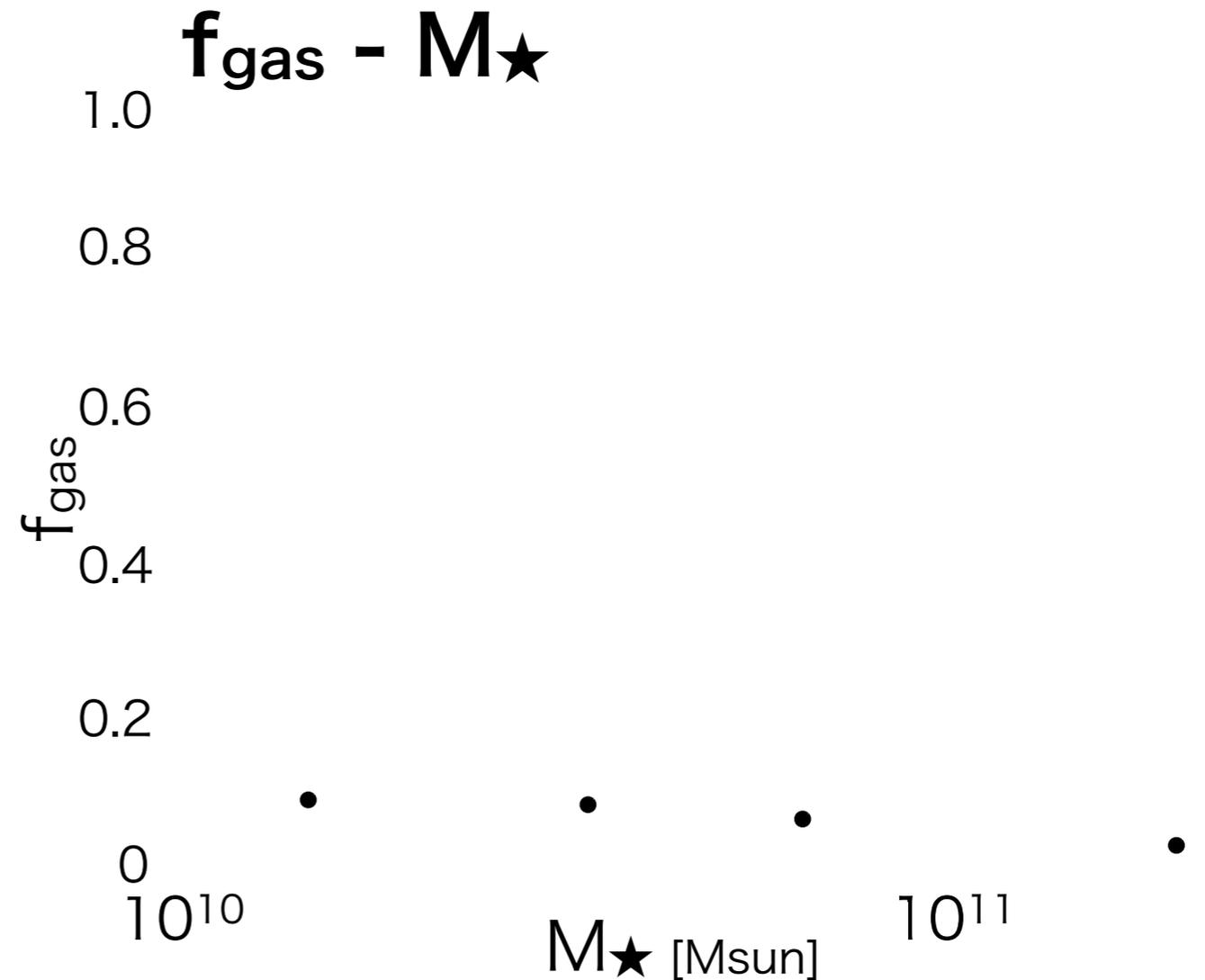
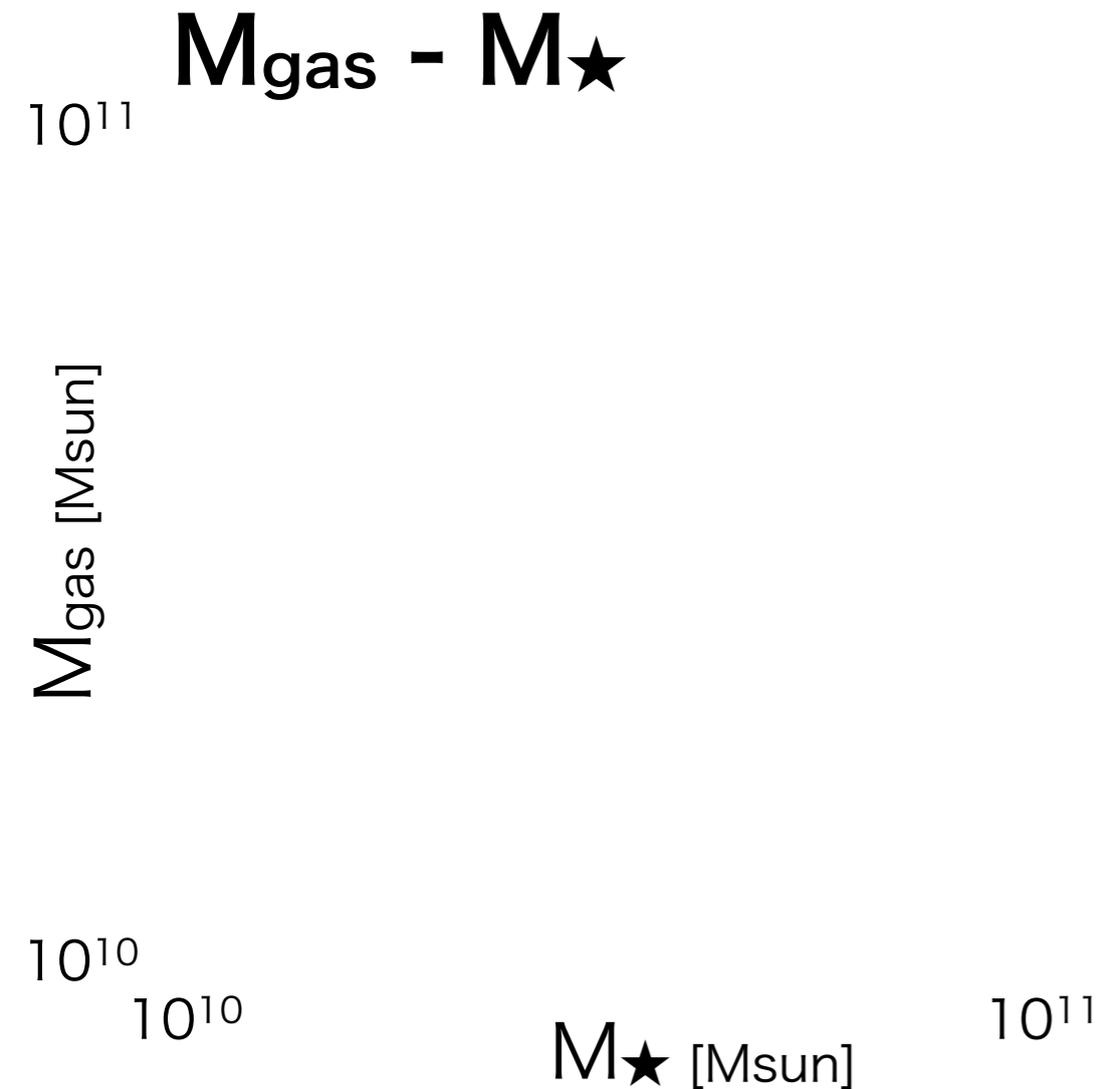
low mass



high mass



M_{gas} と f_{gas} の M_{\star} 依存性

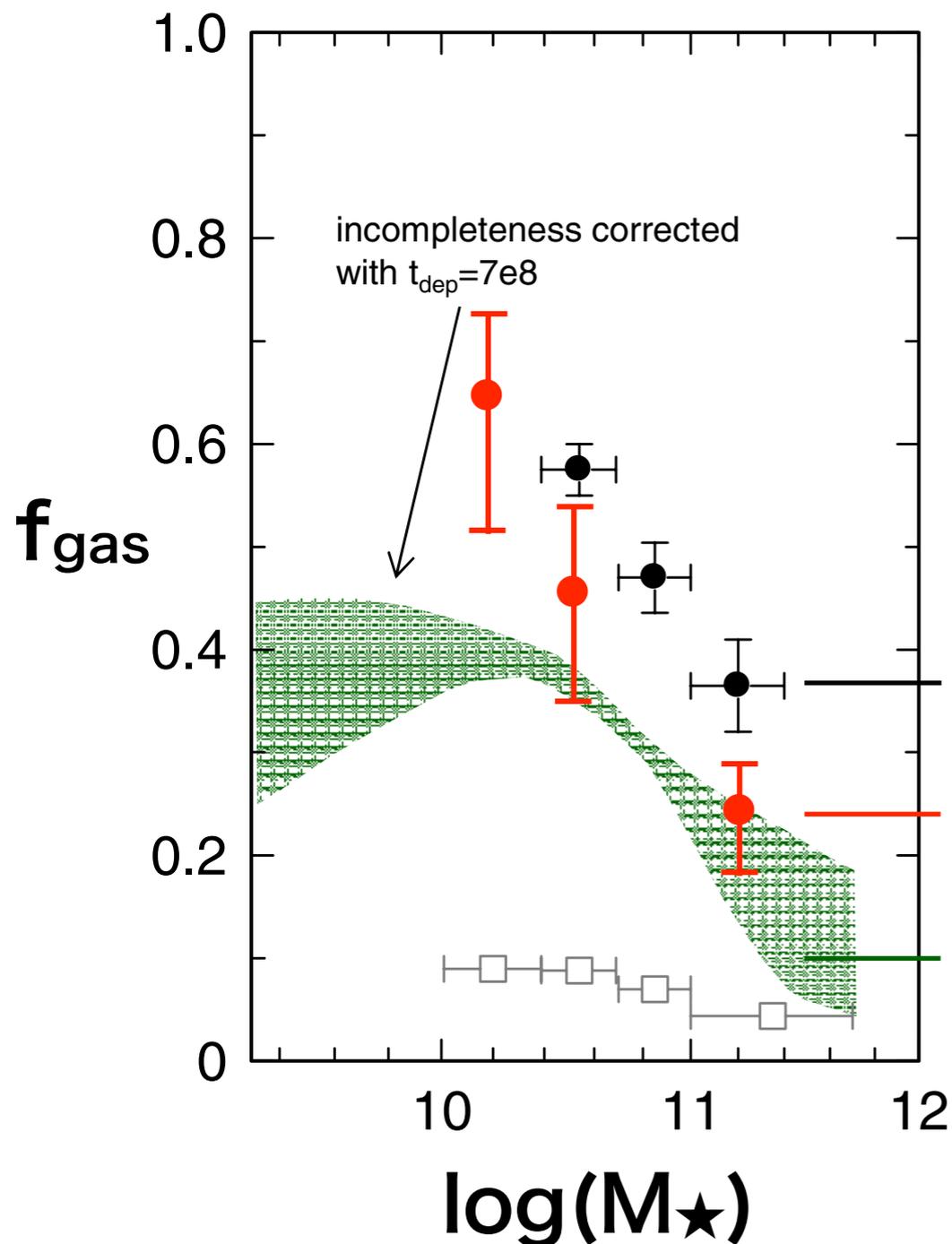


- M_{gas} の stellar mass 依存性はあまり見られない

- f_{gas} は近傍銀河に比べると非常に大きい
- massive な銀河ほど f_{gas} は小さい

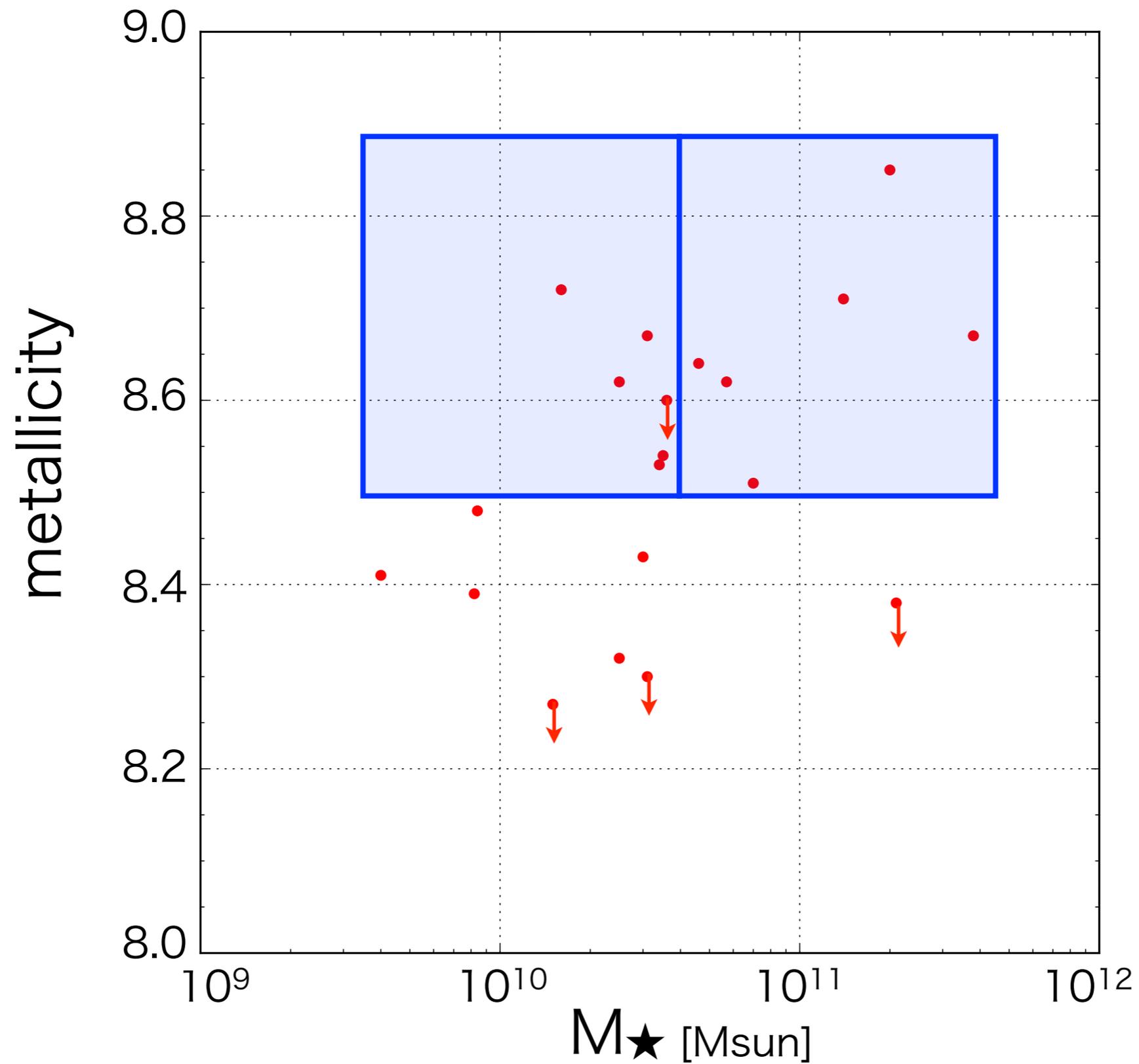
f_{gas} の M_{\star} 依存性

● Tacconi et al. (2013) との比較

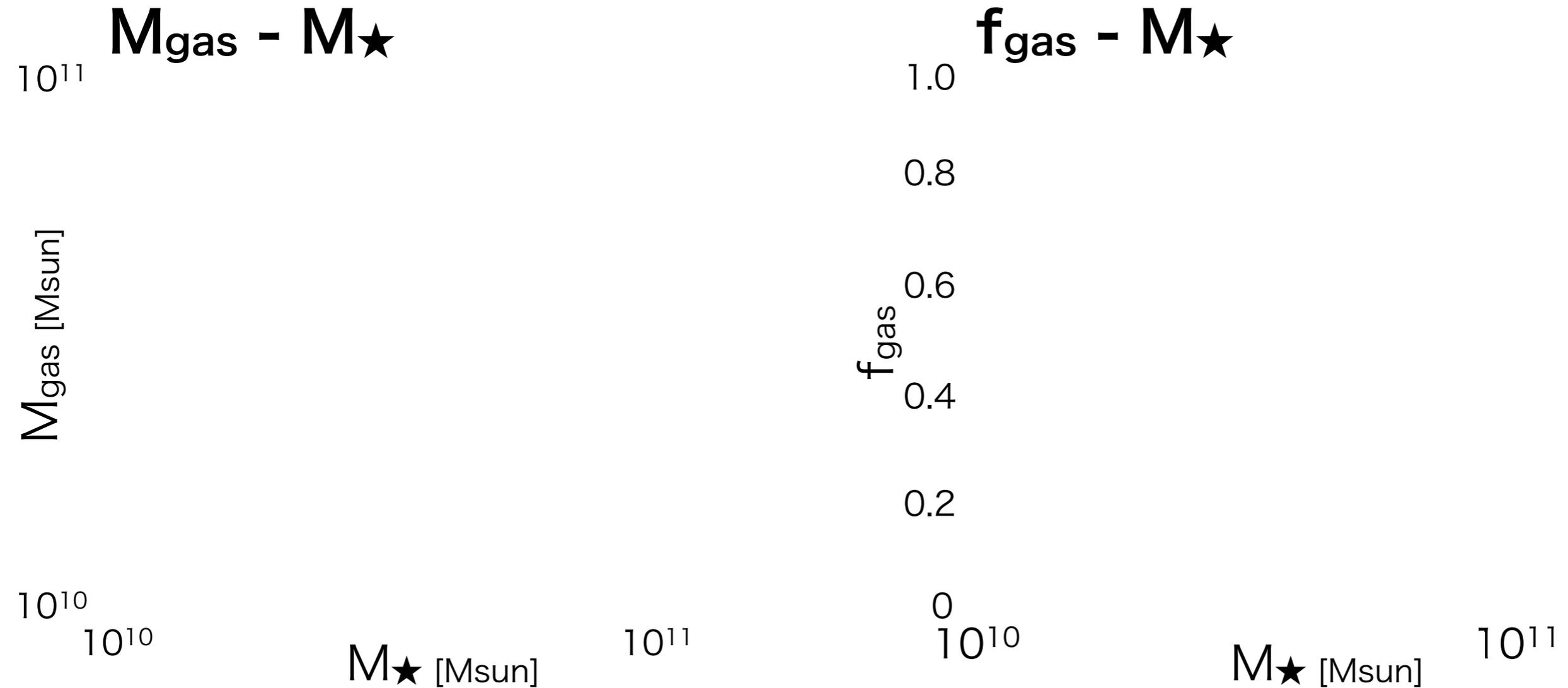


- 同じ傾向
(M_{\star} 大 \rightarrow f_{gas} 小)
- Tacconi et al. (2013) の incompleteness を補正した値と massive 側はほぼ一致

M_{gas} と f_{gas} の M_{\star} 依存性 (metal固定)



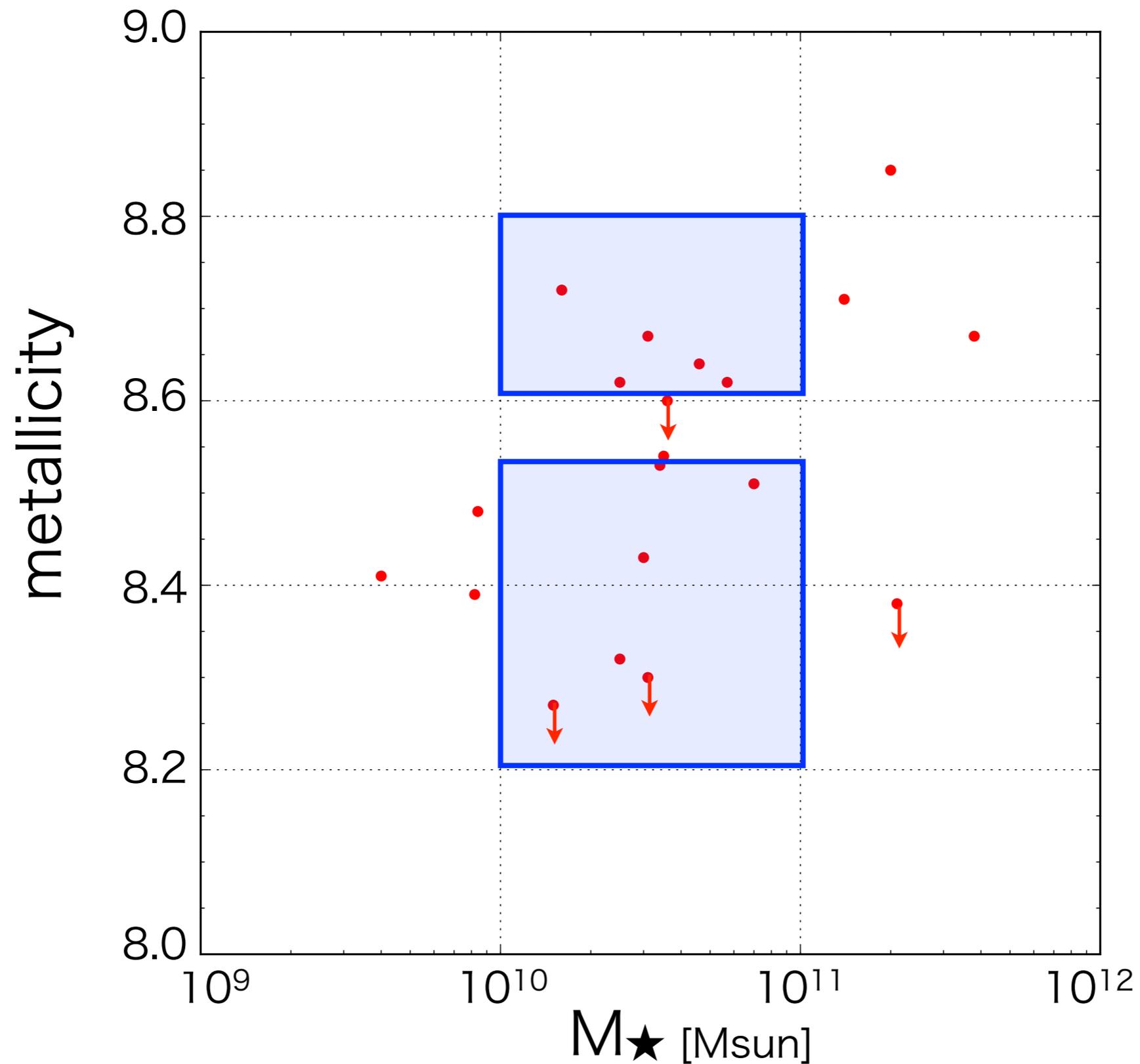
M_{gas} と f_{gas} の M_{\star} 依存性 (metal固定)



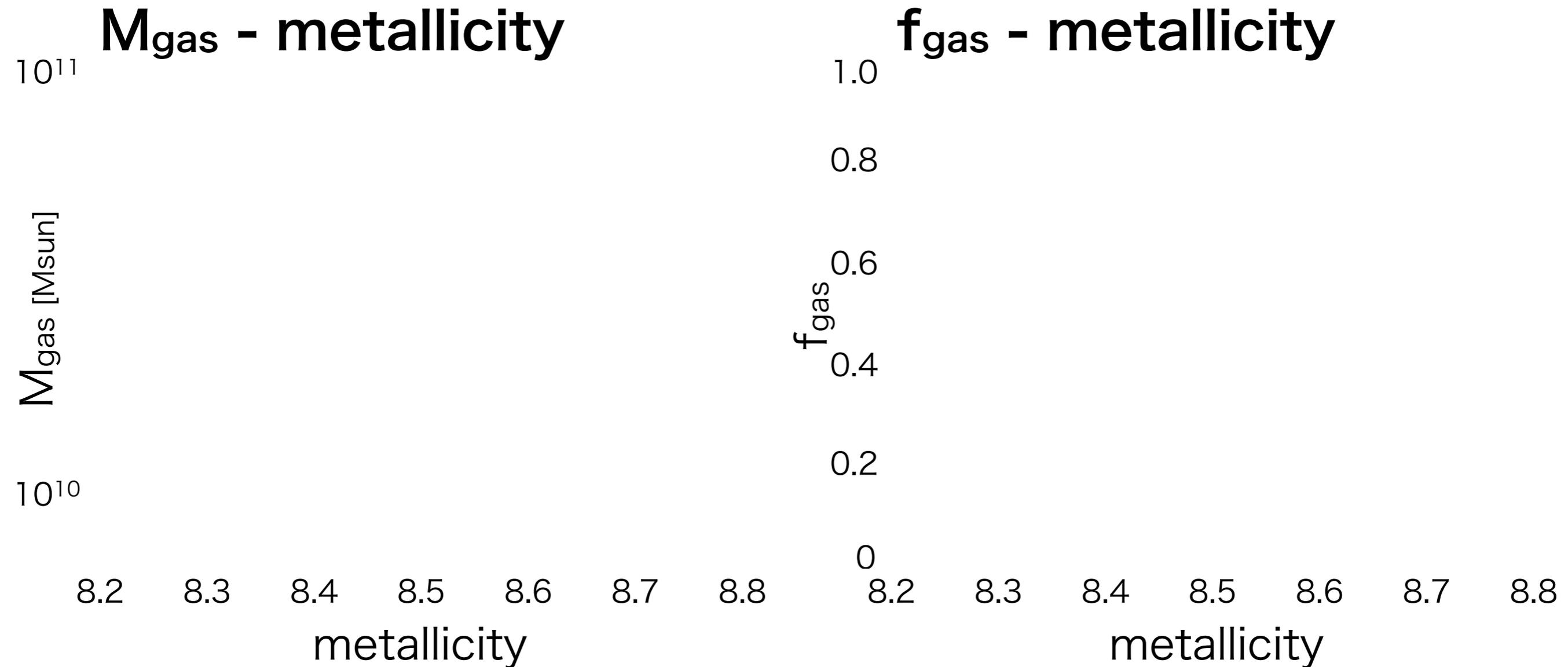
metallicity固定でも同じ結果！

M_{\star} が 大 \rightarrow M_{gas} は あまり 変わらない
 f_{gas} は 小

M_{gas} と f_{gas} の metal 依存性 (M_{\star} 固定)



M_{gas} と f_{gas} の metal 依存性 (M_{\star} 固定)



- M_{gas} 、 f_{gas} とも **metallicity** 依存性はあまり見られない

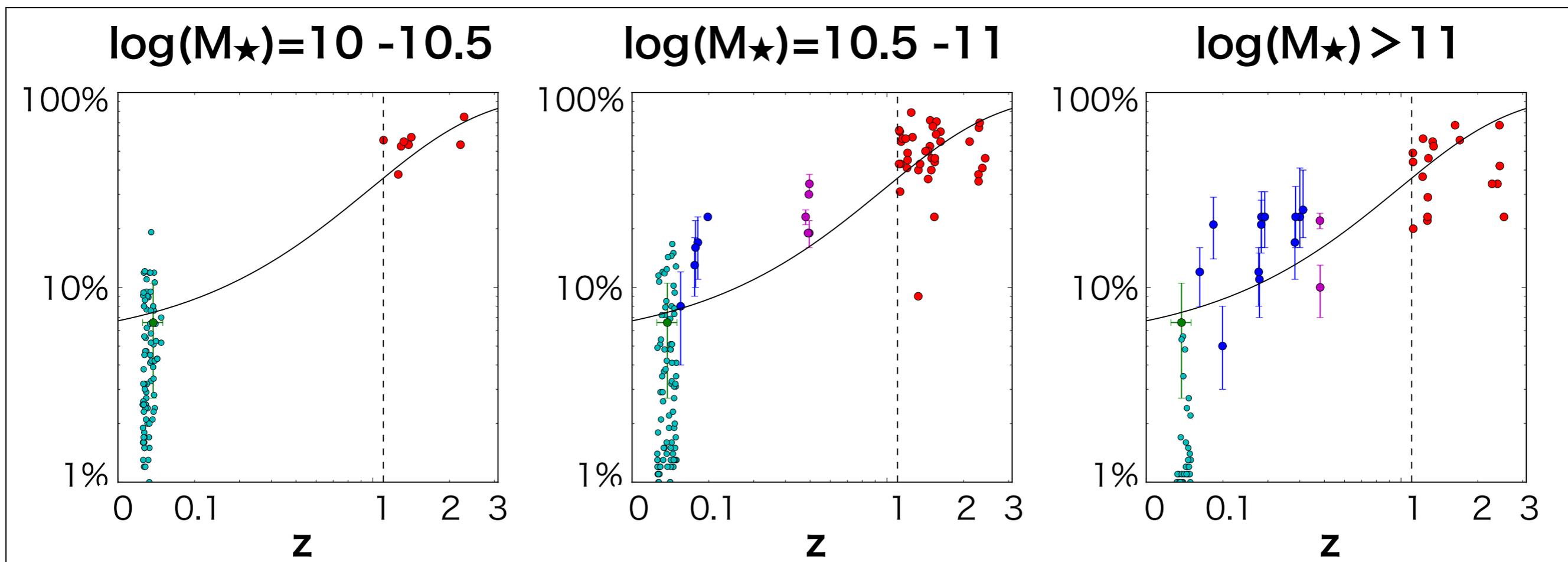
まとめ

- $z \sim 1.4$ の星形成銀河の分子ガスの性質
- M_{gas} , f_{gas} の M_{\star} , metallicity への依存性
→ M_{\star} , metallicity 広範囲のサンプル20天体の
CO(5-4)輝線観測
- スタッキング解析の結果
 - M_{\star} が **大** → M_{gas} はあまり変わらない
 f_{gas} は **小**
 - metallicity にはあまり依存しない

2020年代

ALMA (個人的には2020年までに)

- 激動進化期のmassiveな銀河はあと2-3年でほとんど理解できる(だろう)
- low mass銀河 & 中間redshift の CO観測



2020年代

ALMA (個人的には2020年までに)

- 激動進化期のmassiveな銀河はあと2-3年で大きく進む(だろう)
- low mass銀河 & 中間redshift の CO観測
- Milky Way Progenitor (ただし、extended ALMA?)

SKA (竹内さんの講演?)

- 銀河の激動進化期における HI ガス
- 近傍銀河($z < 0.1$)の inflow ガスの直接検出

