

星・銀河形成の研究に新しい視点を加える「あかり」サイエンスWS
(2016/11/7 @ 国立天文台三鷹)

『あかり』データを用いた 銀河進化研究のこれから

小山佑世 (国立天文台ハワイ観測所)



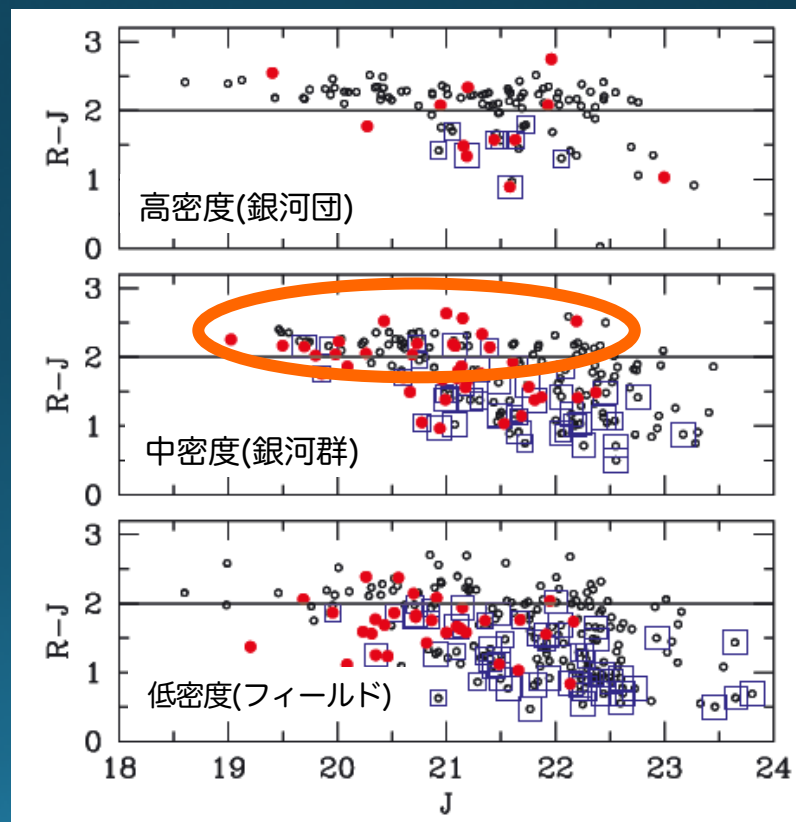
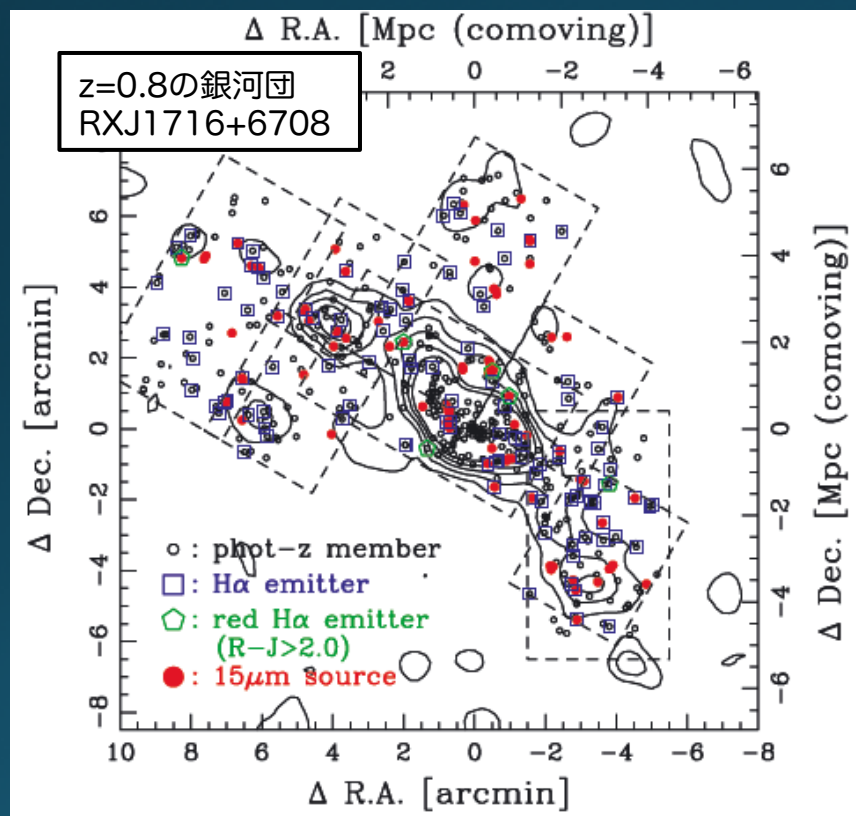
私と「あかり」

- 「あかり」の打上げ年(2006年)=私の大学院入学の年
- 修論・D論ともに「あかり」データを使わせていただいた。
- 2014年4月～2015年3月、JAXAプロジェクト研究員として宇宙研「あかり」チームで活動。



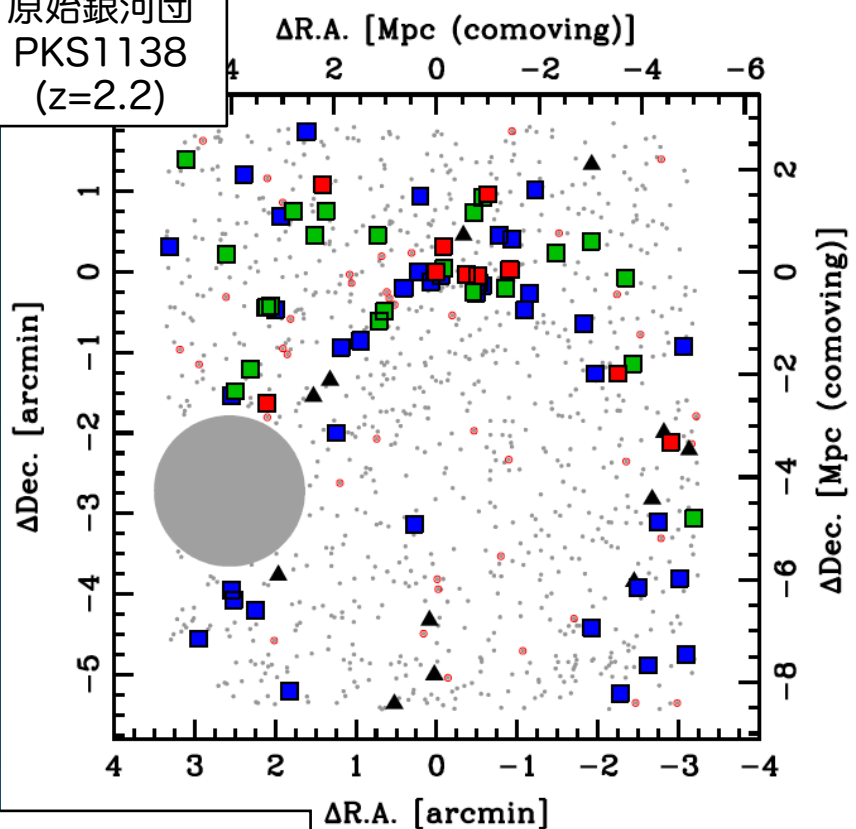
小山D論: すばるとあかりによる 遠方銀河団の広視野観測

すばるS-cam (大規模構造) x MOIRCS ($H\alpha$) x あかりIRC 15 μ m (Dust)
赤い(ダスティーな)星形成銀河が銀河団の「周辺環境」に集中していた

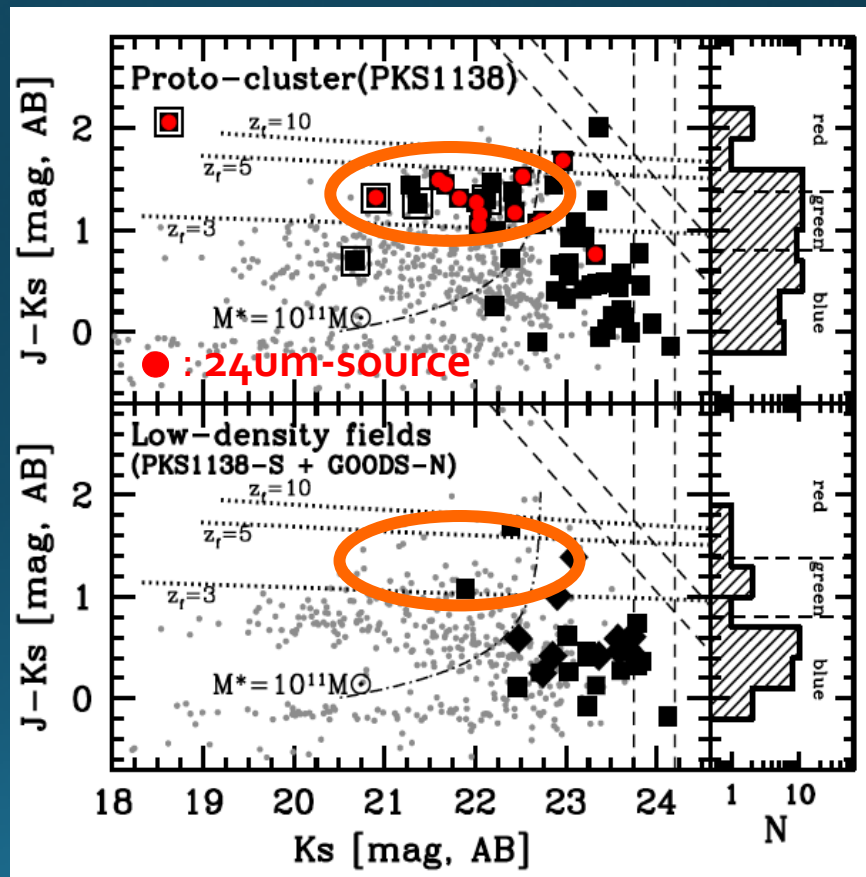


赤方偏移2を超える銀河団環境にも見られた「赤い星形成銀河」

原始銀河団
PKS1138
($z=2.2$)



- : red HAE ($J-K > 1.4$)
- : green HAE ($0.8 < J-K < 1.4$)
- : blue HAE ($J-K < 0.8$)



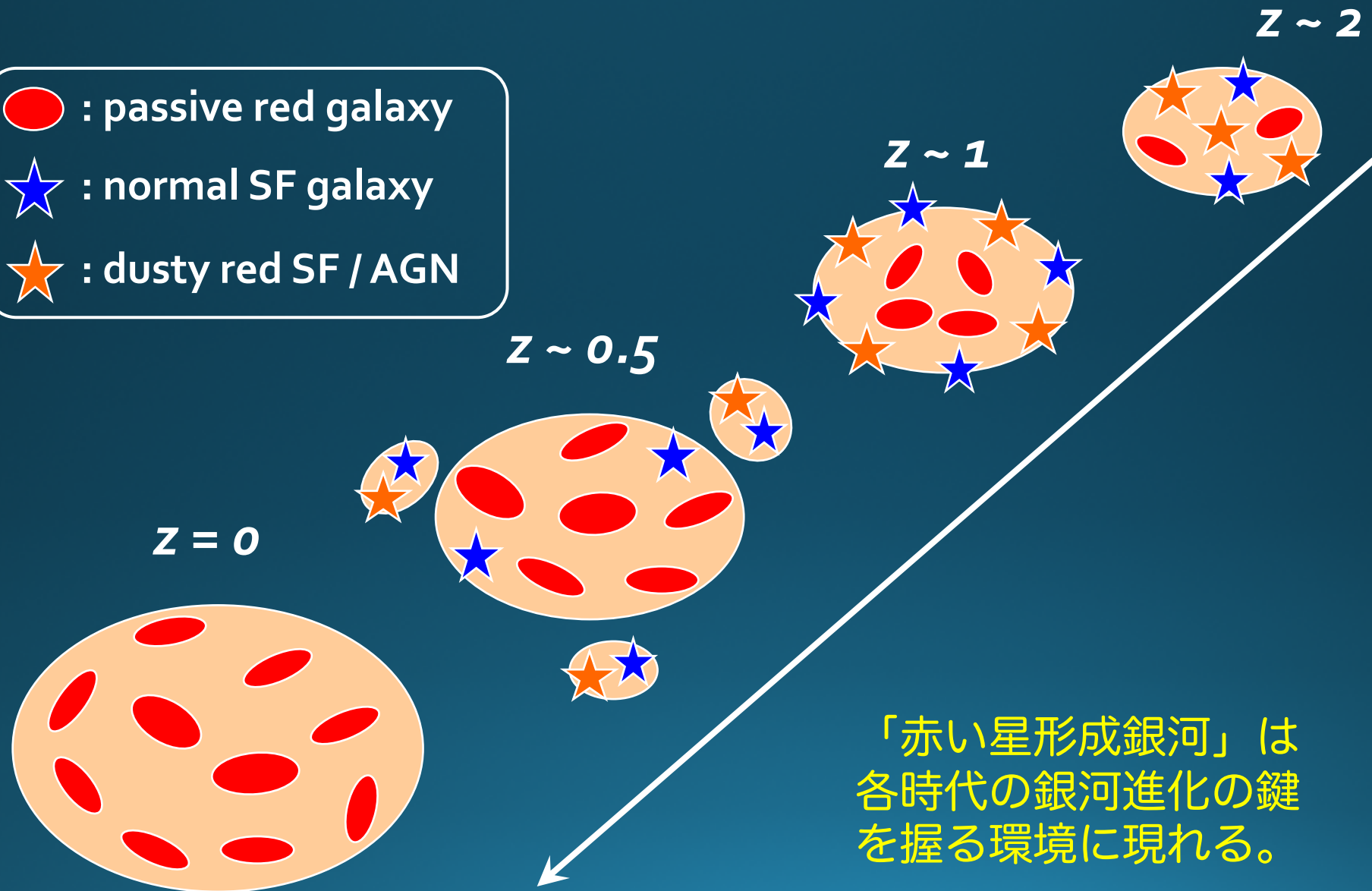
すばるMOIRCSで行った $z=2.2$ の原始銀河団(PKS1138-262領域)の $H\alpha$ 輝線銀河サーベイ (Koyama et al. 2013)

銀河団の成長と銀河の進化

● : passive red galaxy

★ : normal SF galaxy

★ : dusty red SF / AGN



「赤い星形成銀河」は
各時代の銀河進化の鍵
を握る環境に現れる。

「あかり」 全天データの特長

• 中間/遠赤外線全天サーベイ

- IRASより高い感度と分解能
- カタログを利用した、目的天体の赤外線光度やダスト温度の解析
- レアな天体の発掘
- マップのスタッキング解析による暗い天体の統計的性質の議論
- 環境効果研究への活用





「あかり」全天カタログを利用した研究例

(Koyama et al. 2015, MNRAS, 453, 879)

目的: 遠方銀河のダスト減光量を推定する(簡単な)方法を確立したい

バルマー輝線比法

H α に比べて暗く、遠方銀河で個別に検出するのは非常に難しい

H β

H α

遠方銀河でもなんとか検出できる

$$L_{\text{H}\alpha, \text{obs}} \propto \text{SFR} \times 10^{(-0.4A_{\text{H}\alpha})}$$

分解能が悪く、感度もよくない。個別の天体の検出は困難

FIR

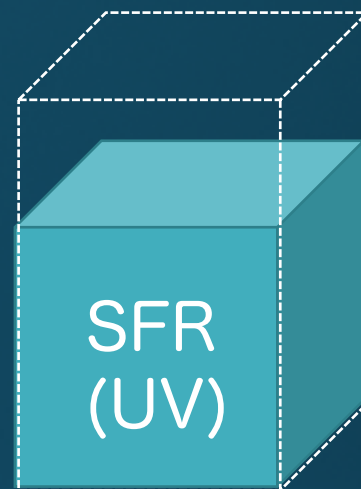
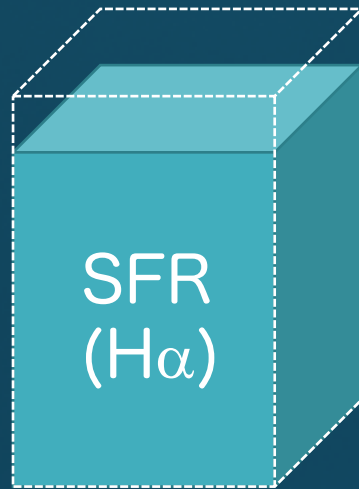
This study

UV

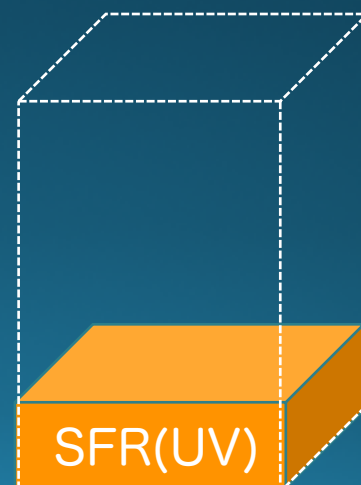
遠方銀河の場合は可視測光データで取れる

$$L_{\text{UV}, \text{obs}} \propto \text{SFR} \times 10^{(-0.4A_{\text{UV}})}$$

● 減光が小さい場合

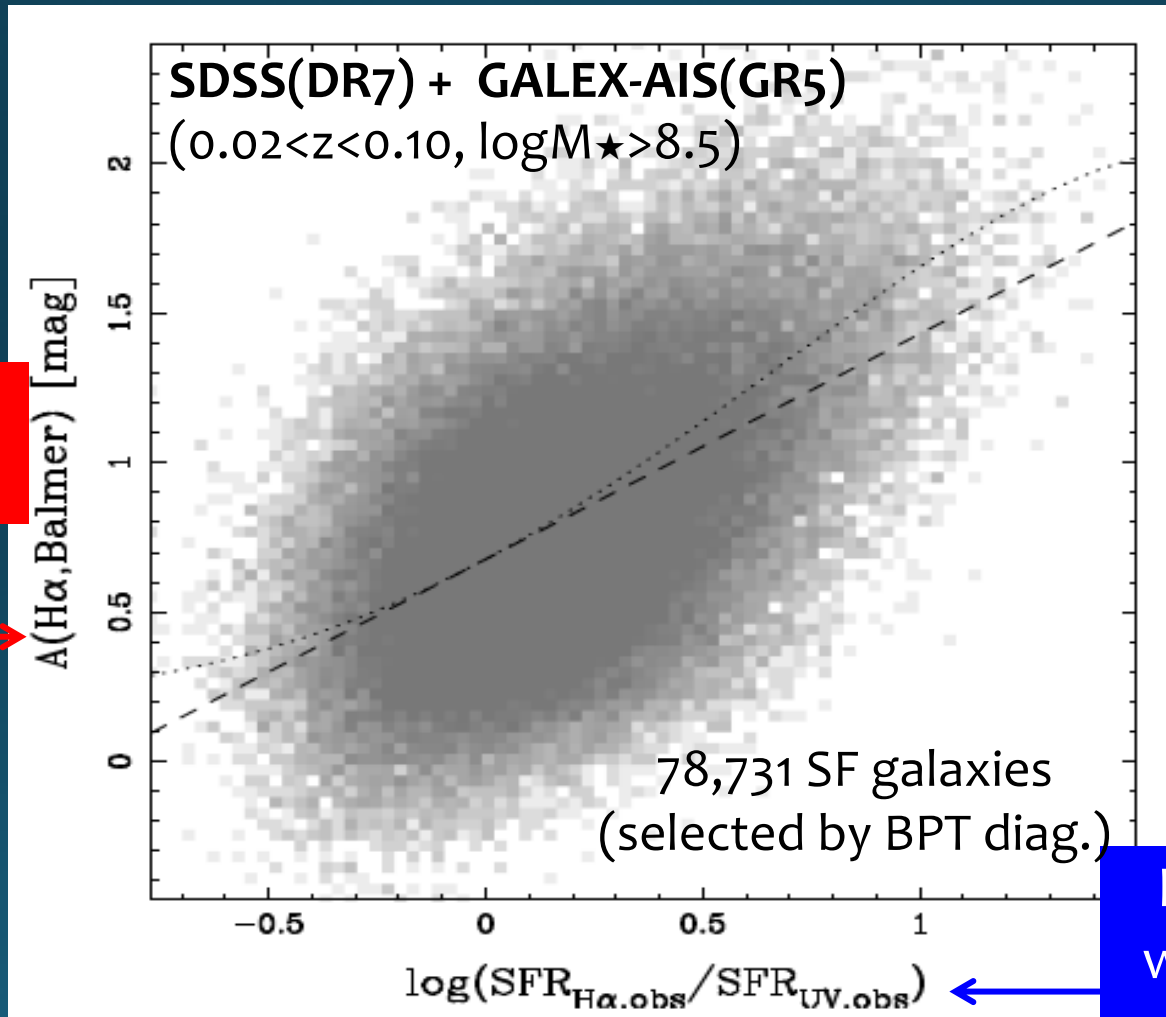


● 減光が大きい場合



H α 減光量 $A(\text{H}\alpha)$ vs. H α /UV 比

H α /UV比と $A(\text{H}\alpha)$ はたしかに正の相関を示すが、分散も大きい。



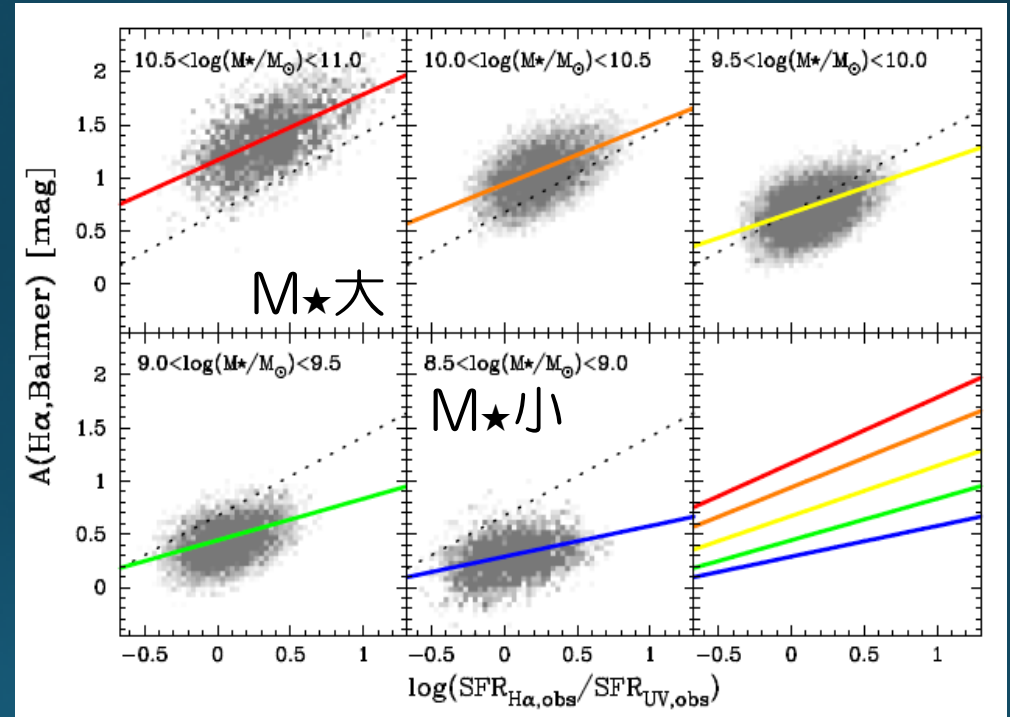
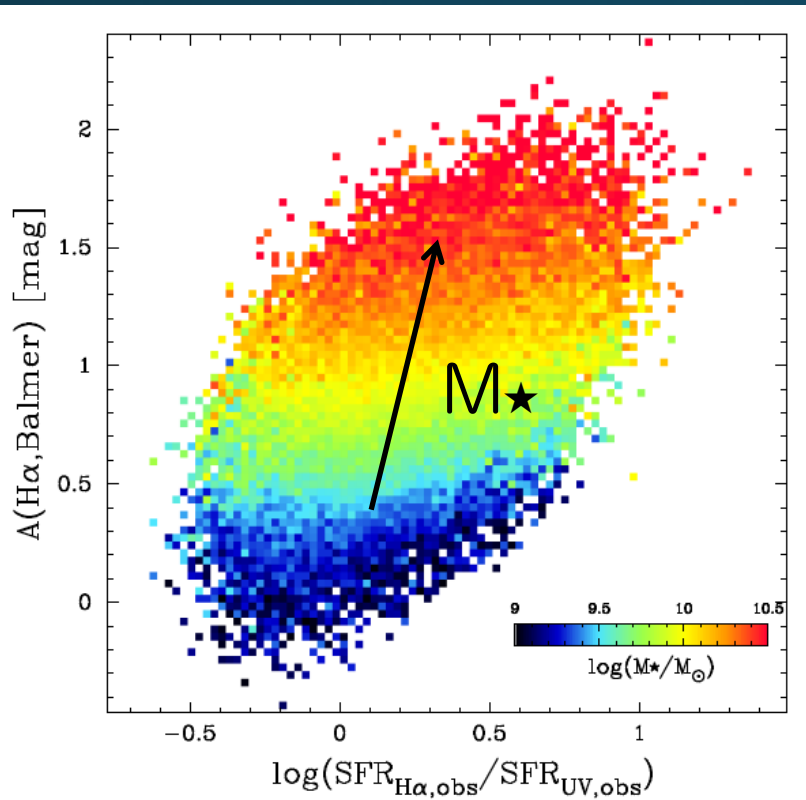
$A(\text{H}\alpha)$ from
H α /H β ratio

H α /UV ratio
without dust
correction

(Koyama et al. 2015)

何が分散を決めるのか？

H α /UV比が同じでも大質量銀河ほどダスト減光量は大きい。



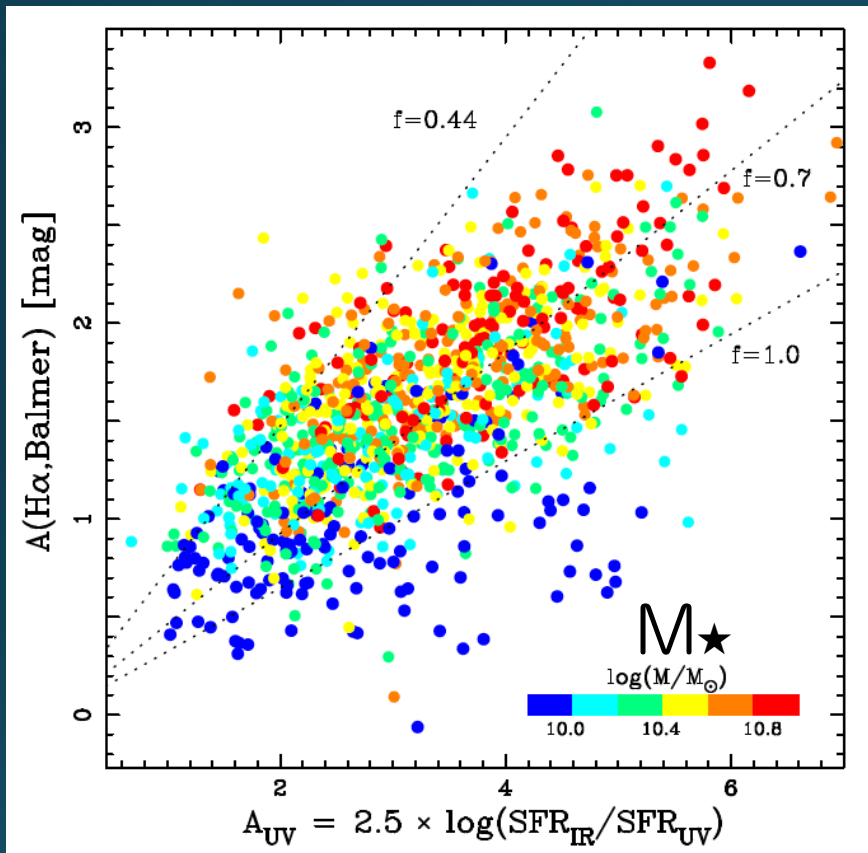
$$A_{\text{H}\alpha} = a(\log M_\star) \times \log(\text{H}\alpha/\text{UV}) + b(\log M_\star),$$

$$a(\log M_\star) = 0.210 \times \log M_\star - 1.597,$$
$$b(\log M_\star) = 0.493 \times \log M_\star - 4.121.$$

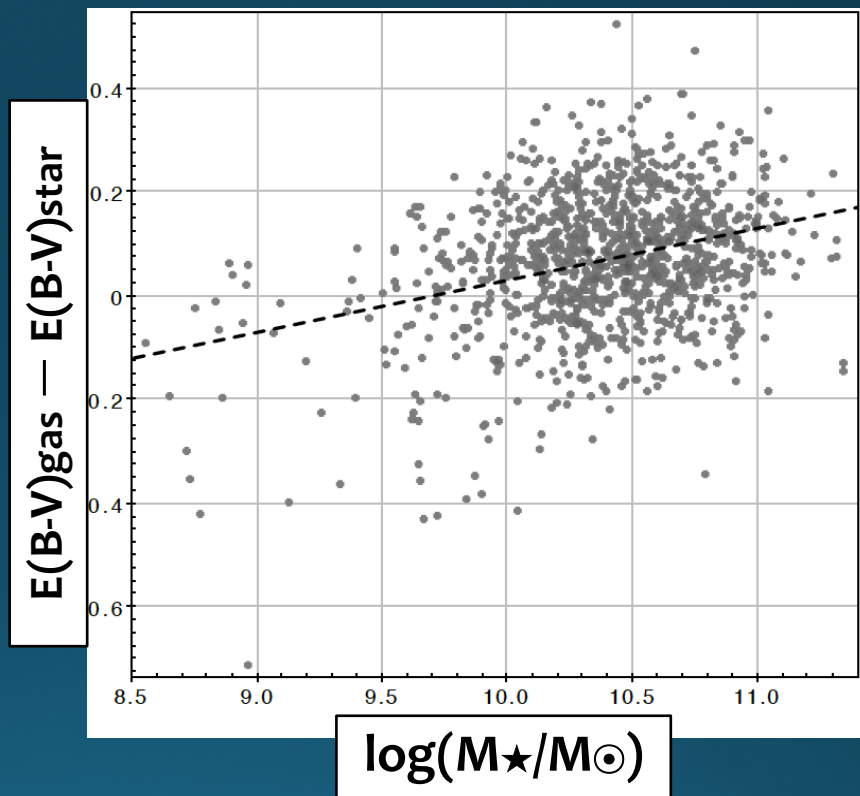
H α /UVの情報に M_\star の情報を加えることで、より現実的なA(H α)の見積りが可能になる。

解釈: ガス輝線/星連続光への減光量の違い

H α /H β : ガス輝線への減光量



IR/UV: 星の連続光への減光

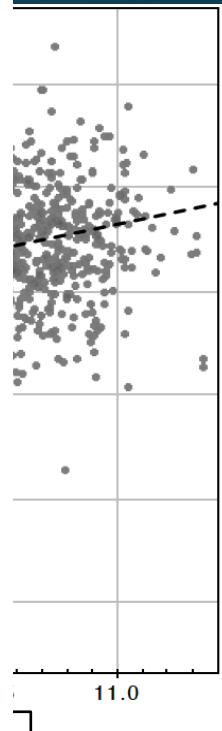
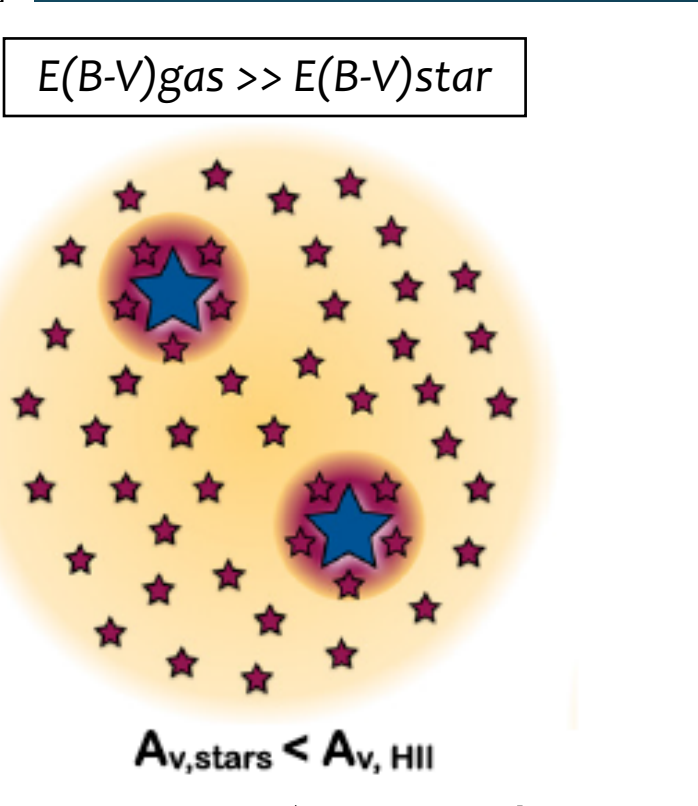
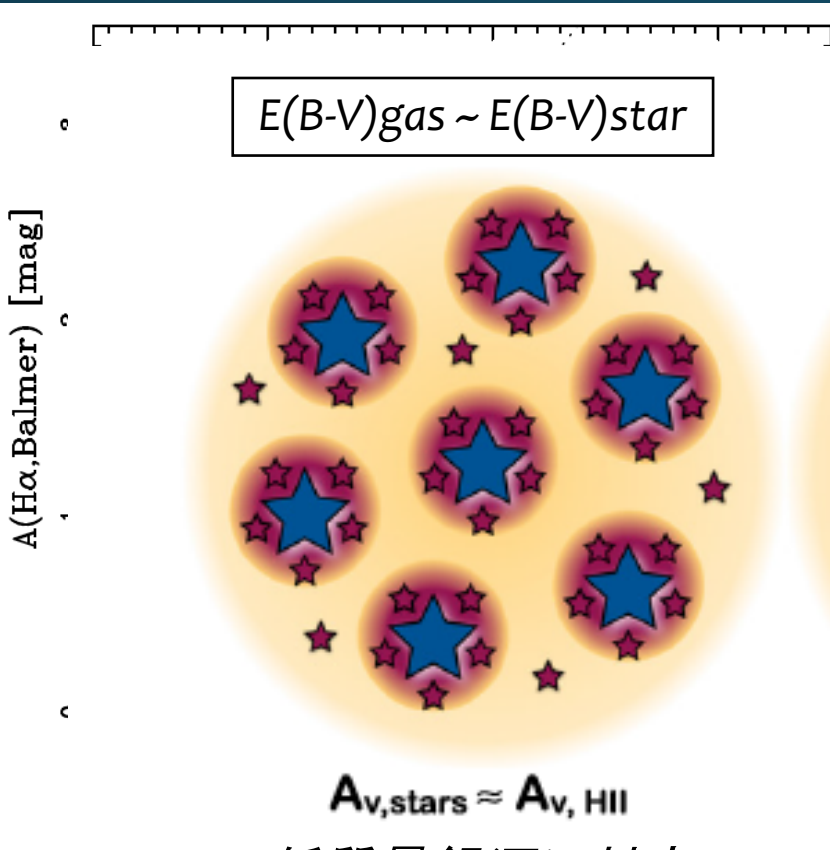


大質量銀河ほど連続光よりも
ガス輝線が選択的に減光される

(Koyama et al. 2015)

解釈: ガス輝線/星連続光への減光量の違い

H α /H β : ガス輝線への減光量



(Illustrated by Price et al. 2014)

も
方入輝線が選択的に減光される

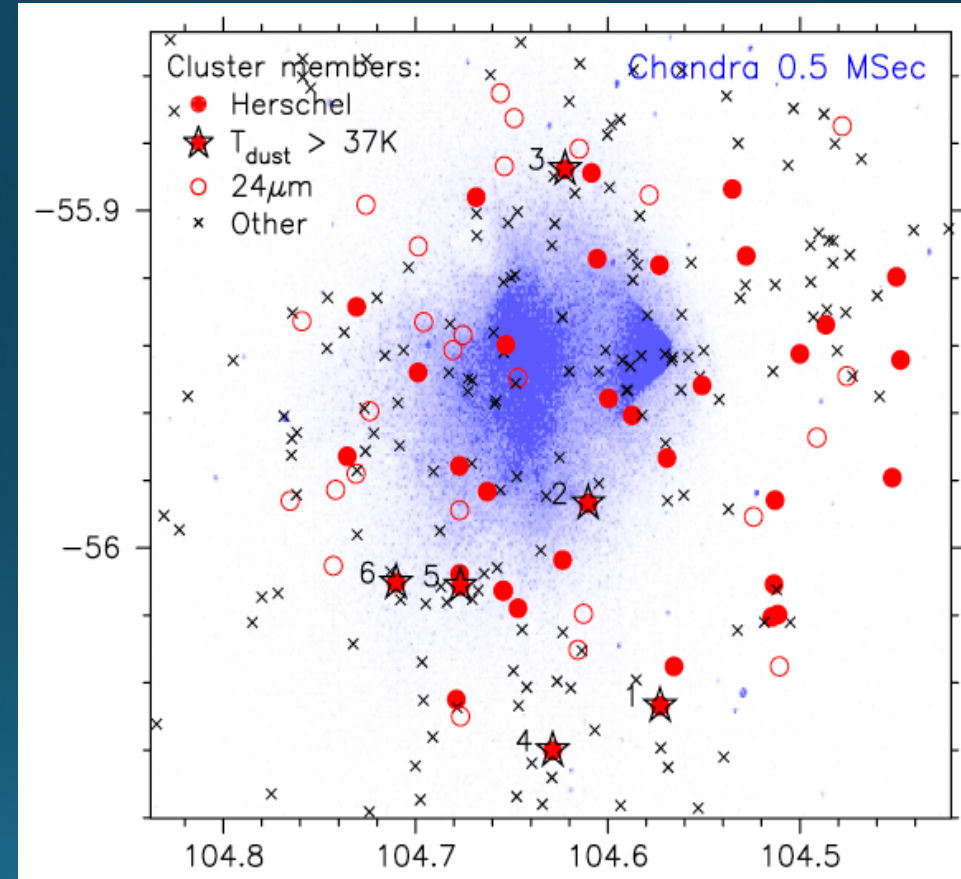
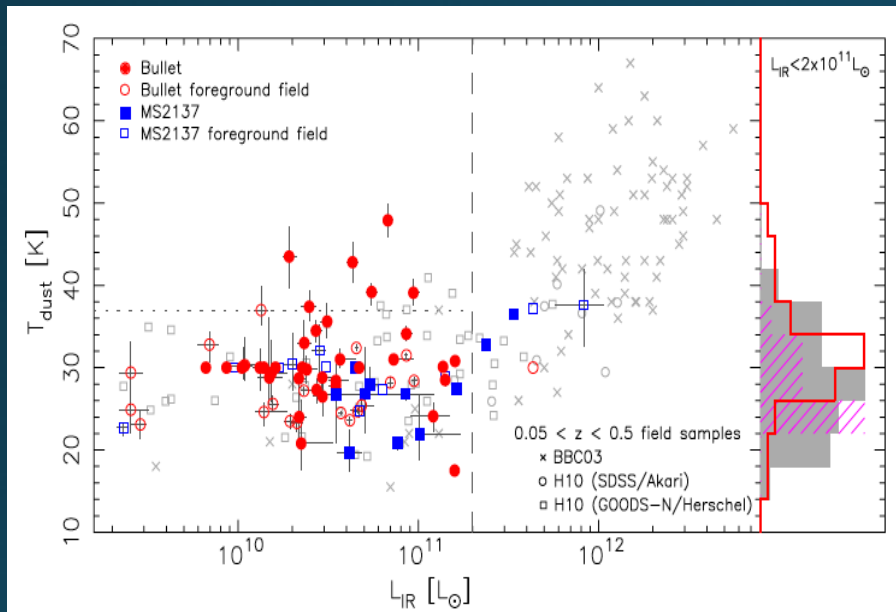
(Koyama et al. 2015)

2. 「あかり」全天マップを 利用した研究例

(Matsuki, Koyama, Nakagawa, Takita 2016, MNRAS, submitted)

高密度環境でのダスト剥ぎ取り？

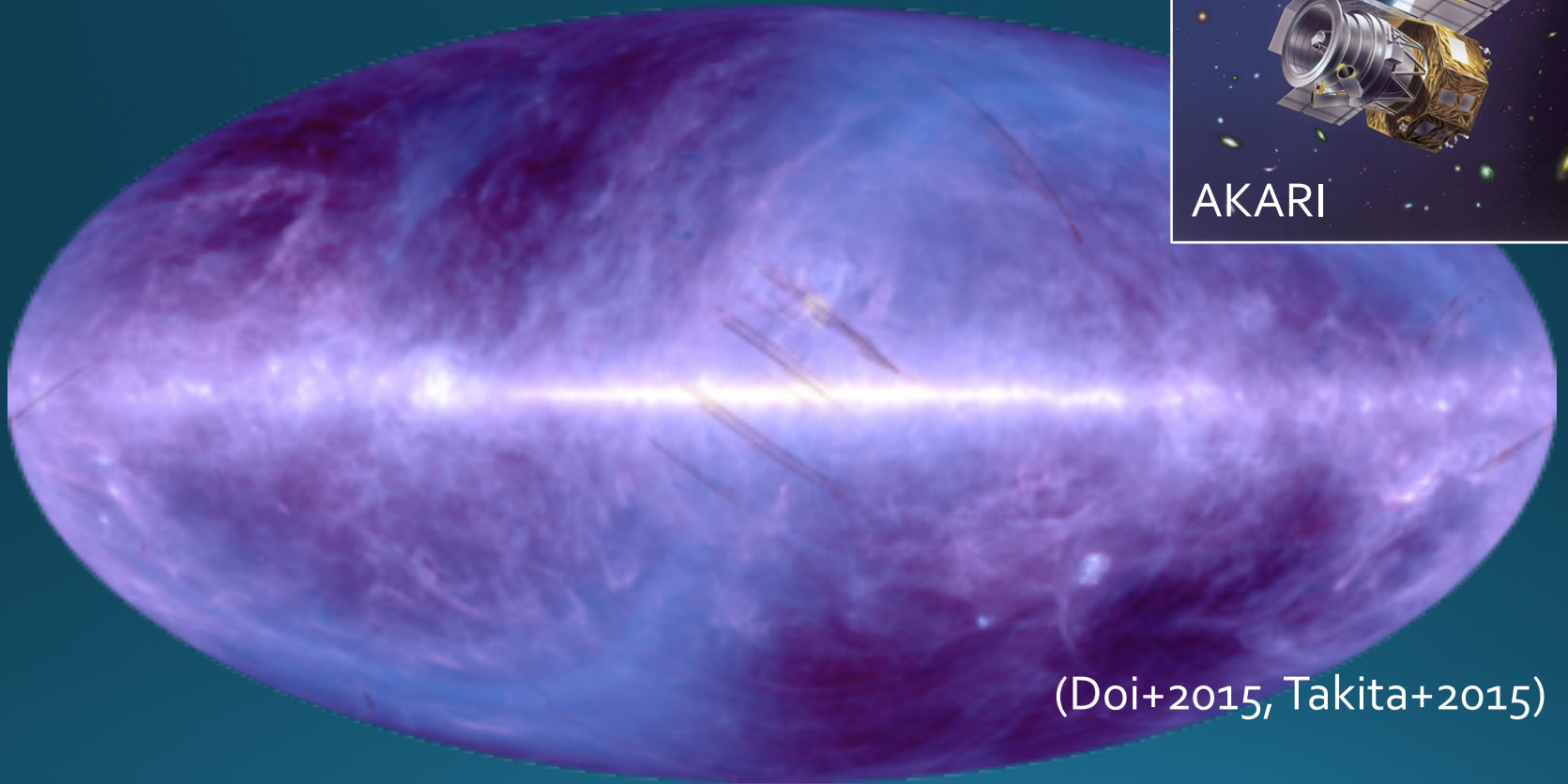
Herschelで $z \sim 0.3$ の銀河団に見つかった“Warm dust galaxies”



高密度環境ではram pressureなどにより銀河外縁部の冷たいダストが選択的に剥ぎ取られ、銀河のダスト温度が高くなる？

(Rawle et al. 2012)

AKARI FIS 全天マップ (60, 90, 140, 160 μm)

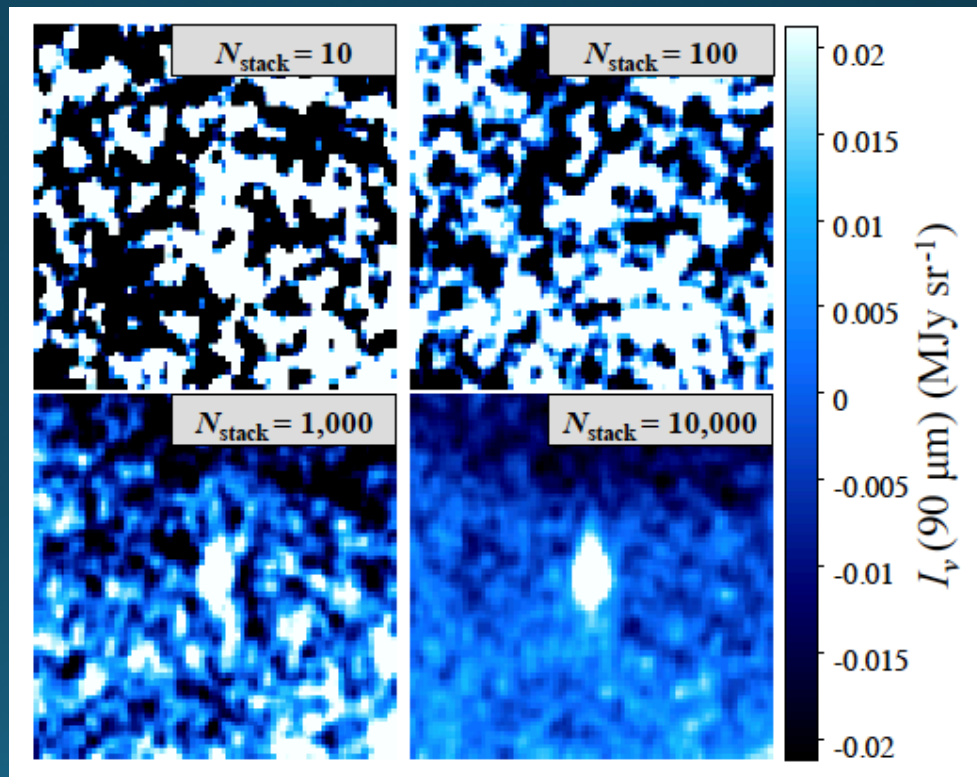
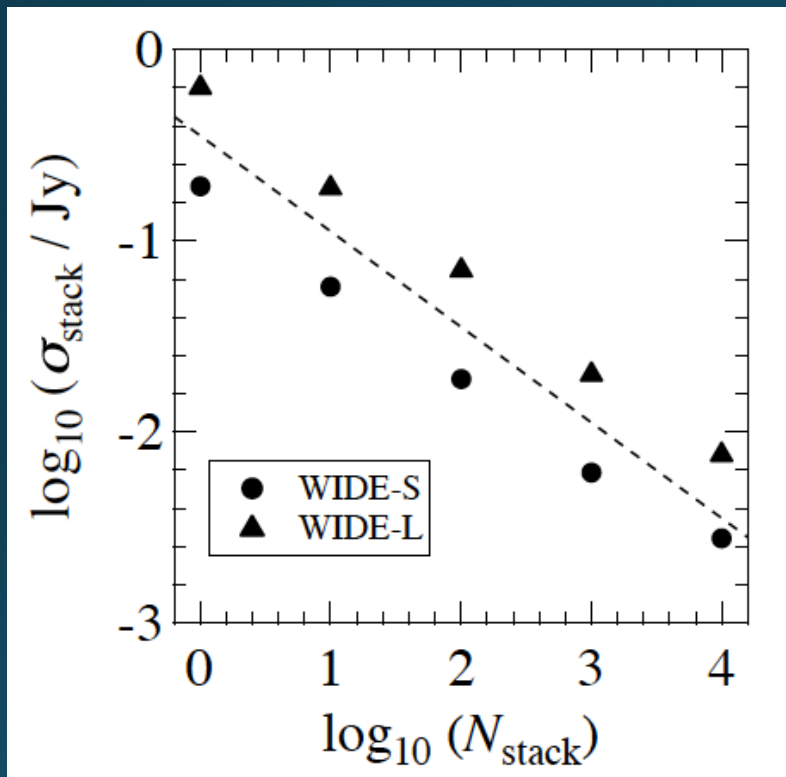


(Doi+2015, Takita+2015)

我々のアプローチ: M_{\star} , SFR, SSFR, 環境などで分けた銀河サンプルでスタッキングを行い、平均的な振る舞いを調べる。

スタッキング解析

環境で分けたサンプル毎(D1-D5)に各バンドでスタッキング

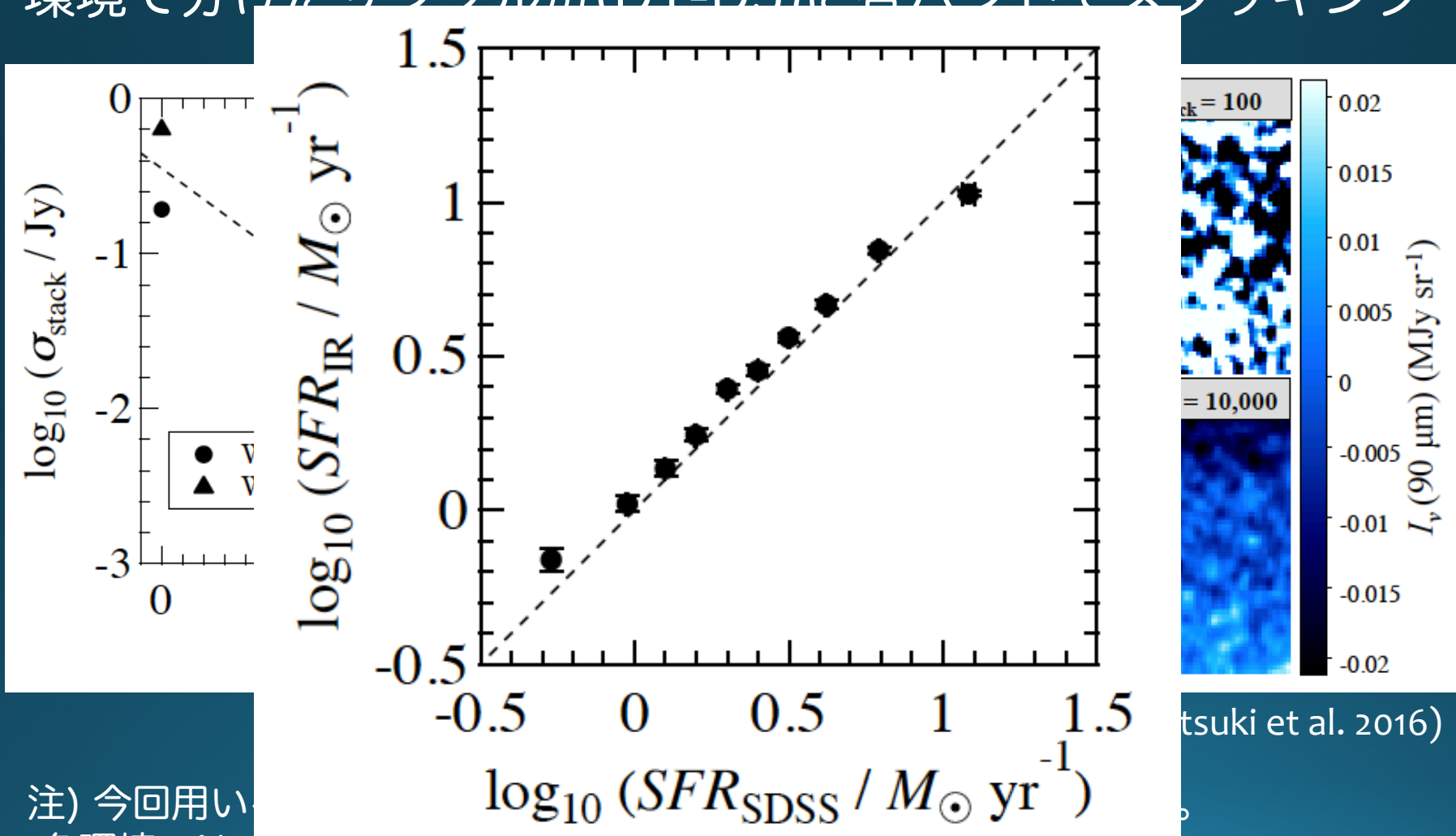


(Matsuki et al. 2016)

注) 今回用いるのは $0.05 < z < 0.07$ の星形成銀河 ($\log M_{\star} / M_{\odot} > 9.2$)。各環境で $N=5000-10000$ 天体をスタック。

スタッキング解析

環境で分けたサンプル毎(D1-D5)に各バンドでスタッキング

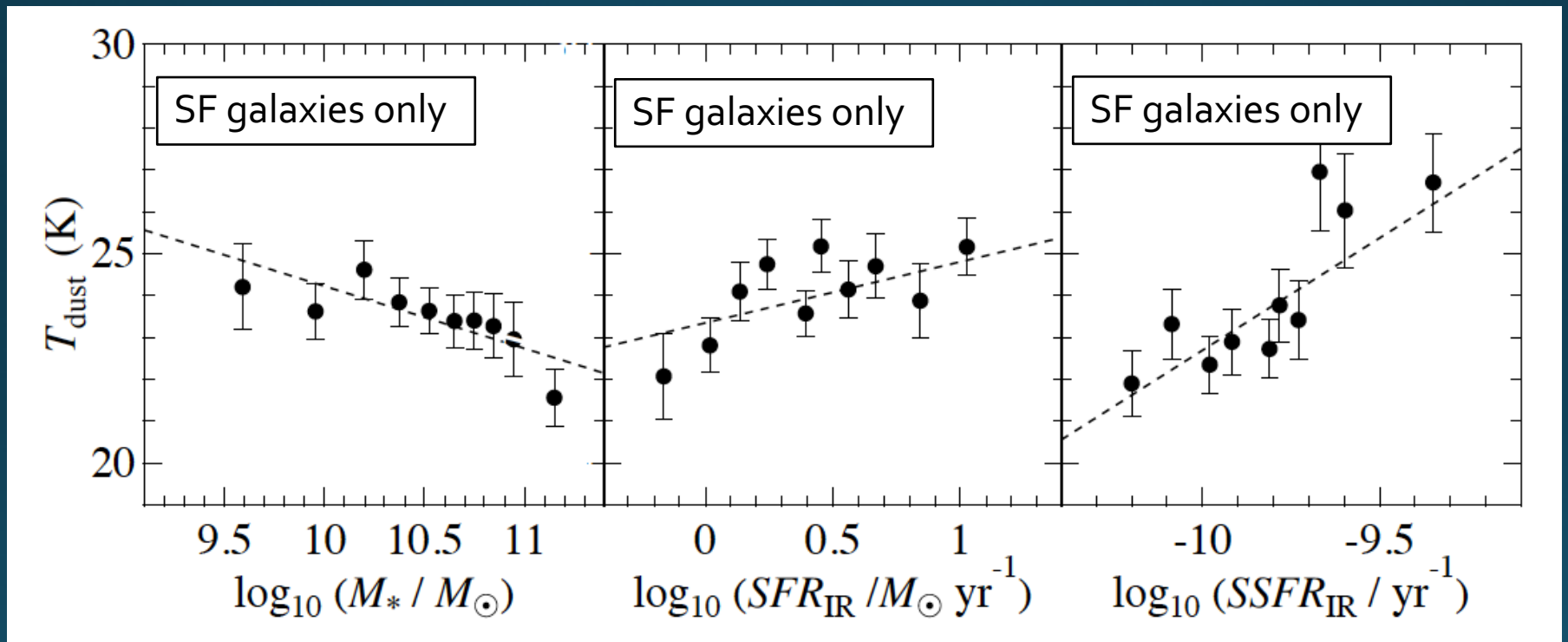


注) 今回用いたサンプルは、
各環境でN=5000-10000天体をスタック。

(tsuki et al. 2016)

ダスト温度を決める物理量

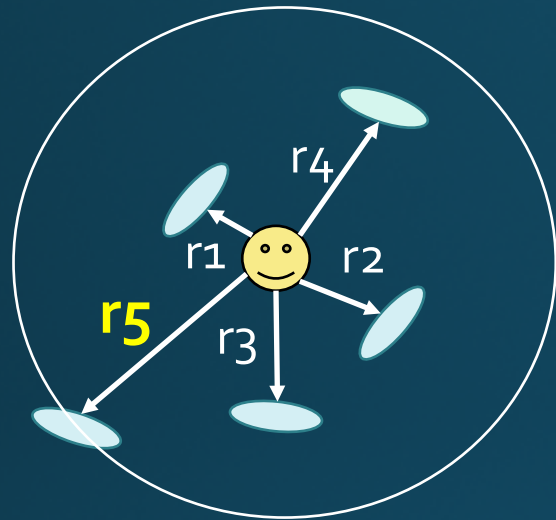
ダスト温度(T_{dust})はsSFRと強い正の相関を示す。



※) ここでダスト温度は、Wide-S(90um)とWide-L(140um)の測光値から解析的に求めた。

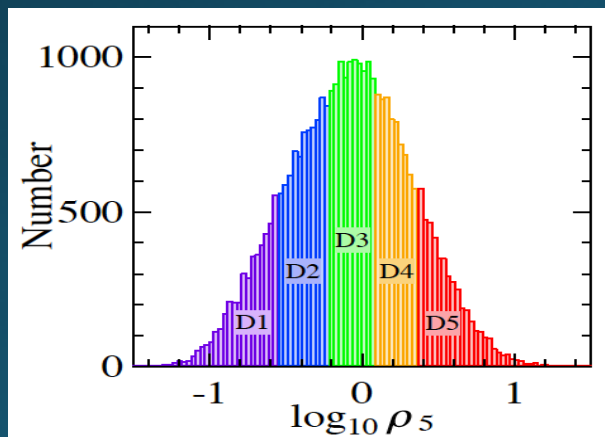
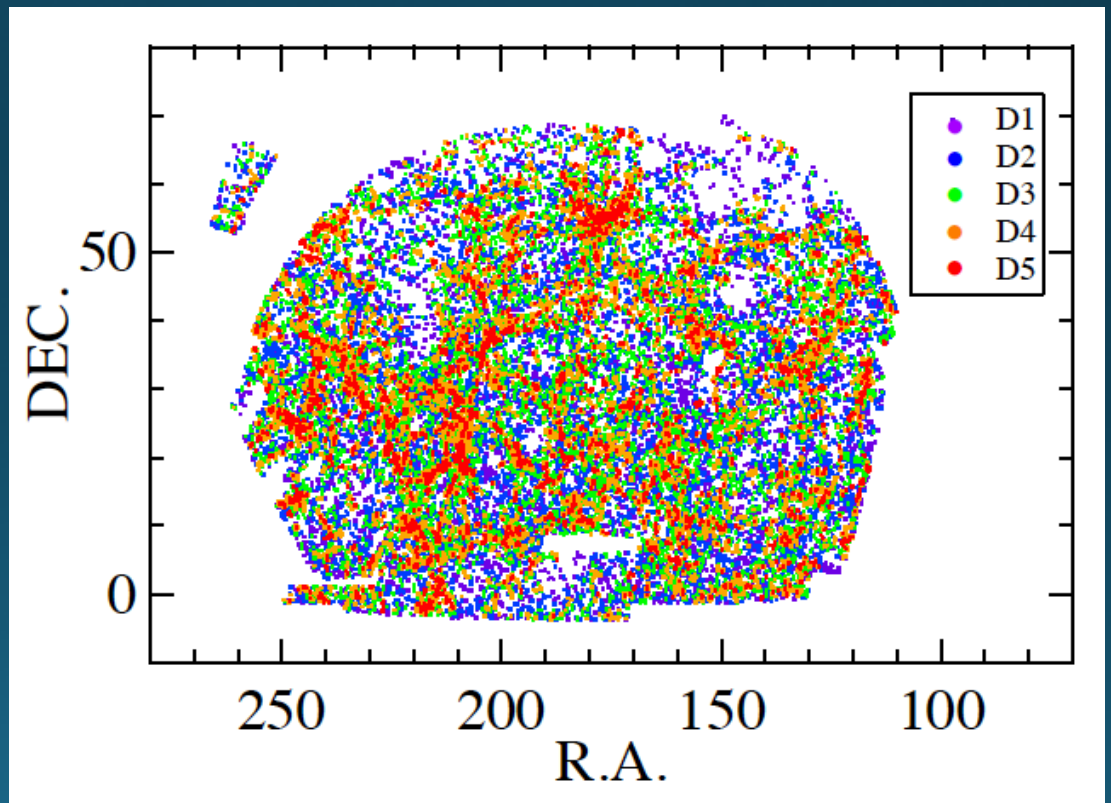
(Matsuki et al. 2016)

銀河環境を定義する(SDSS)



いわゆる nearest neighbor 法で各銀河の個数密度を計算 (ただし $|\Delta v| < 1000 \text{ km/s}$ の銀河を利用)、D1-D5を定義した。

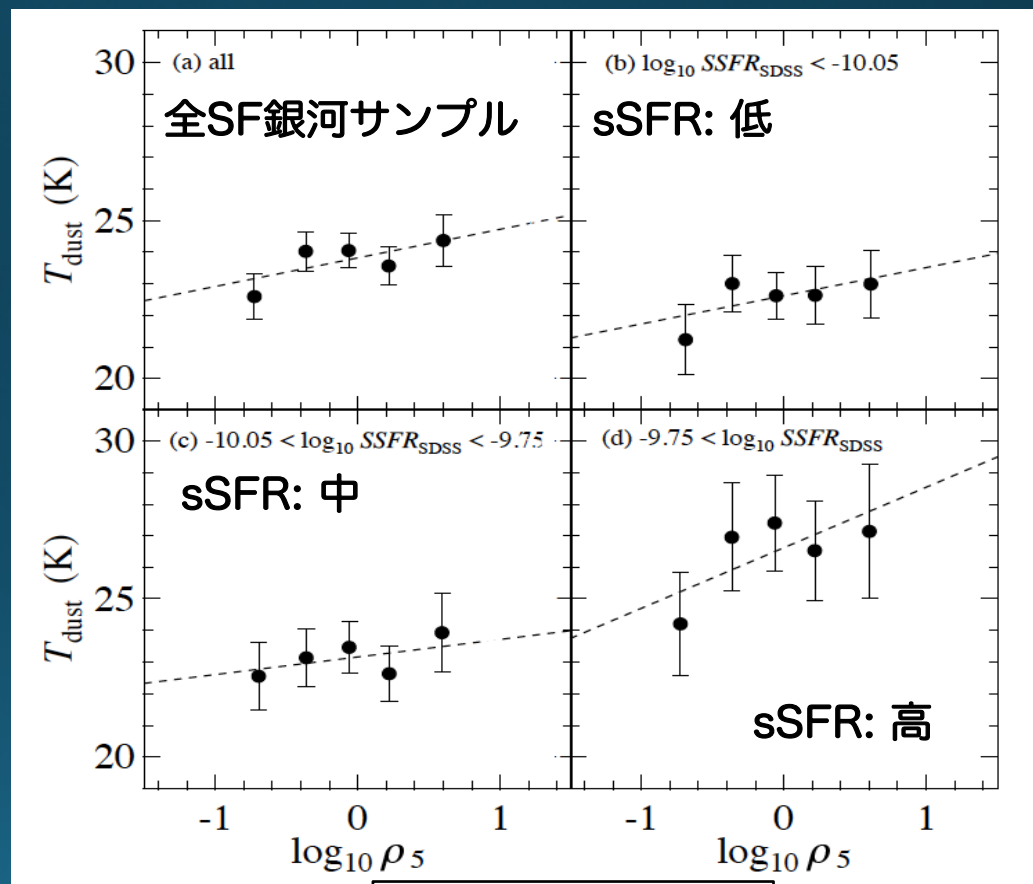
$$\Sigma_{5\text{th}} = 5 / \pi r_5^2$$
$$\rho_{5\text{th}} = \Sigma_{5\text{th}} / \langle \Sigma_{5\text{th}} \rangle$$



(Matsuki et al. 2016)

ダスト温度と銀河環境の関係

- 緩やかに、**高密度環境**ほど**平均的なダスト温度**が高い傾向あり。
- SSFRでサンプルを分けても同様の結果。
- 高密度環境で急にダスト温度が上がるというより、**低密度環境(D1)**でダスト温度が低い？



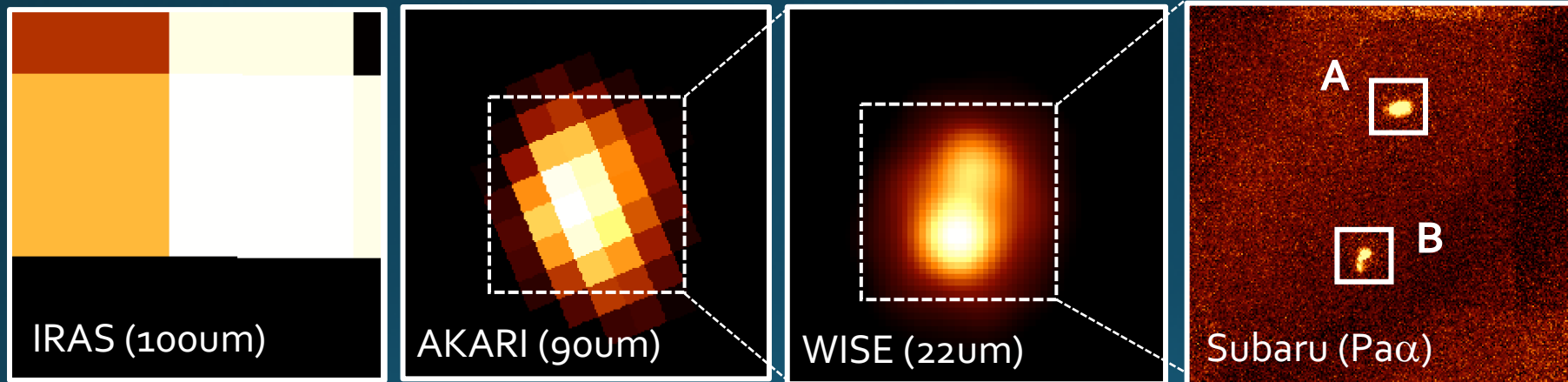
SF galaxies only

3. 「あかり」データからの 発展的な研究例

赤外線銀河を解剖する

PARADISES-Subaru :

Pa-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starbursts with Subaru

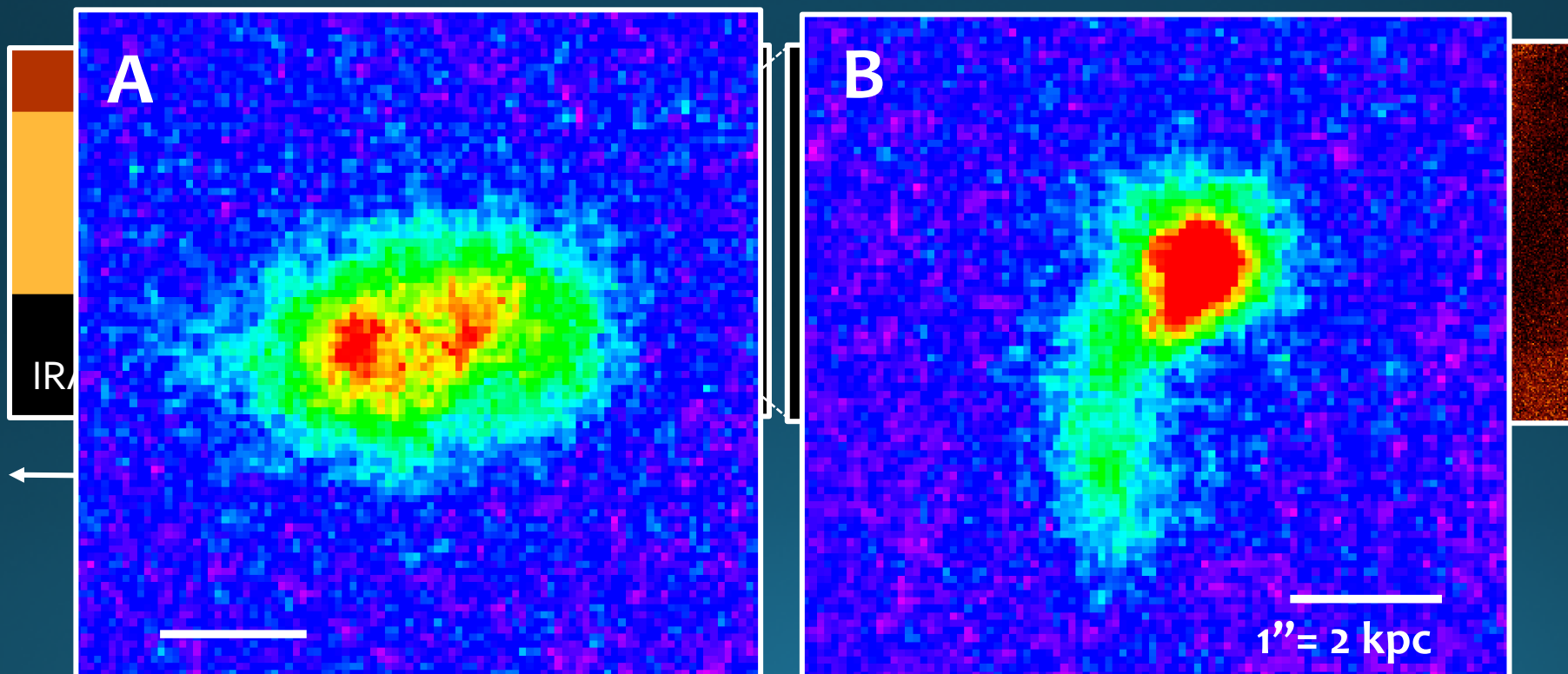


3'

赤外線銀河を解剖する

PARADISES-Subaru :

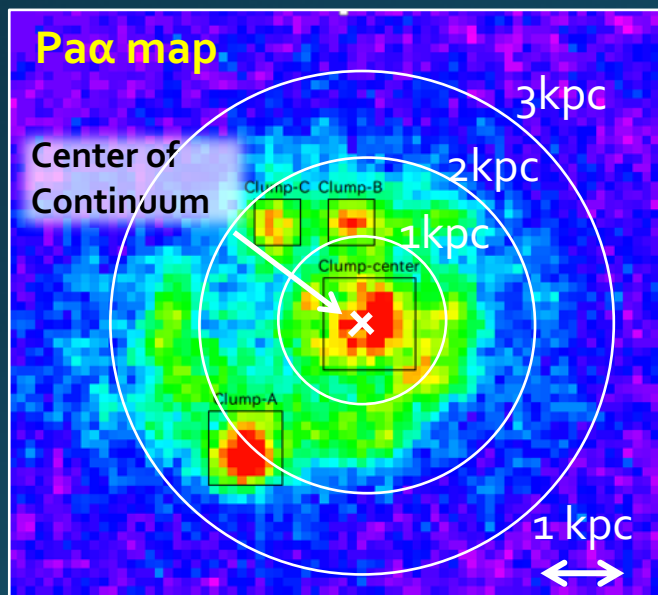
Pa-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starbursts with Subaru



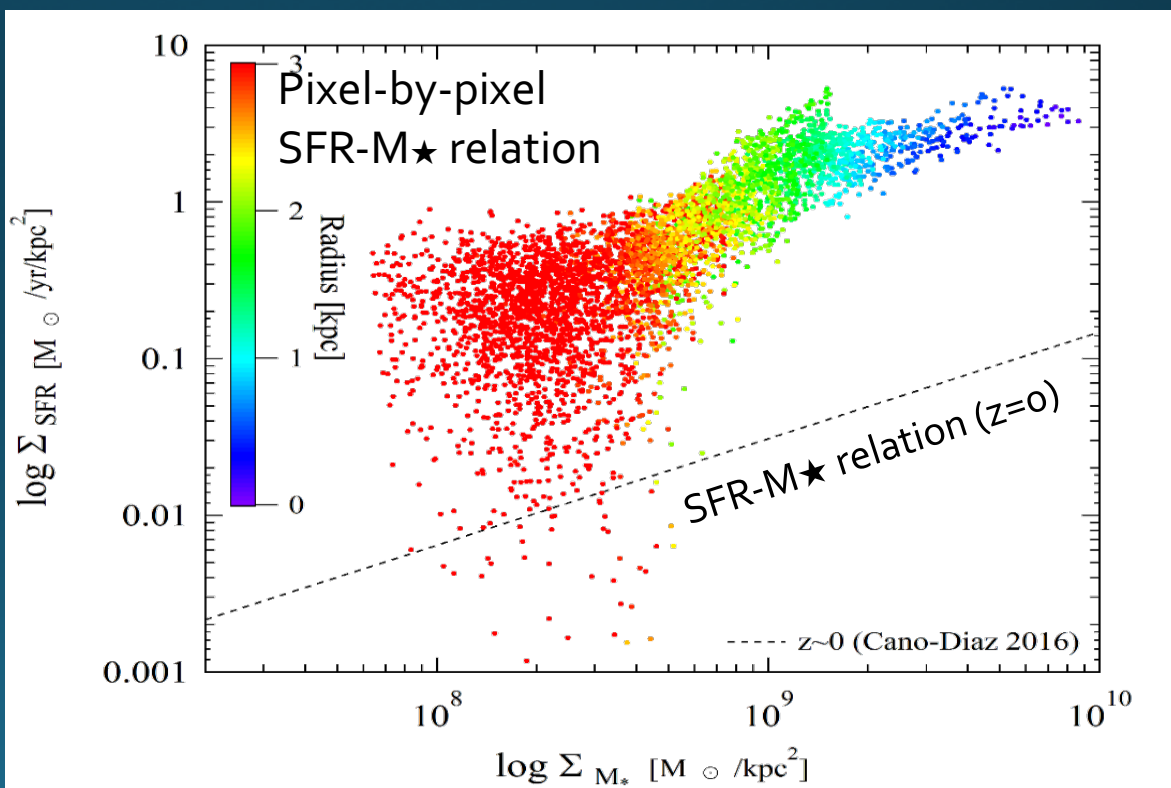
赤外線銀河を解剖する

PARADISES-Subaru :

Pa-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starbursts with Subaru



Pa α NB imaging with Subaru IRCS+AO188 (0.2'' resolution)

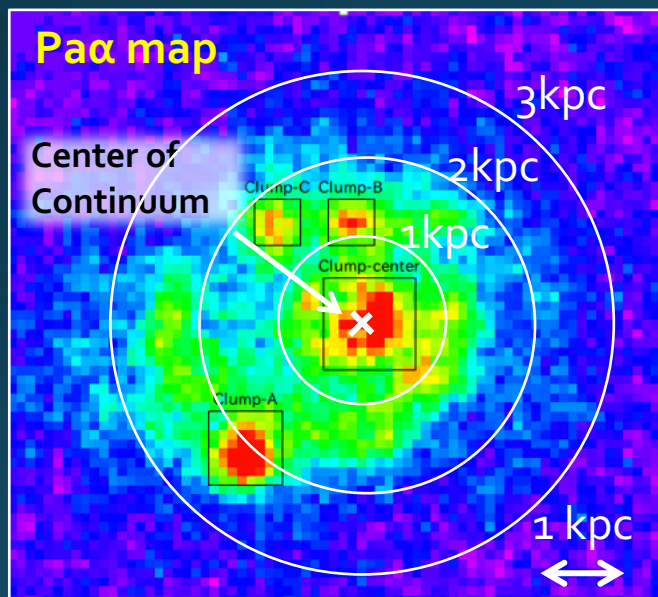


(Kitagawa, Koyama, Motohara, et al. in prep)

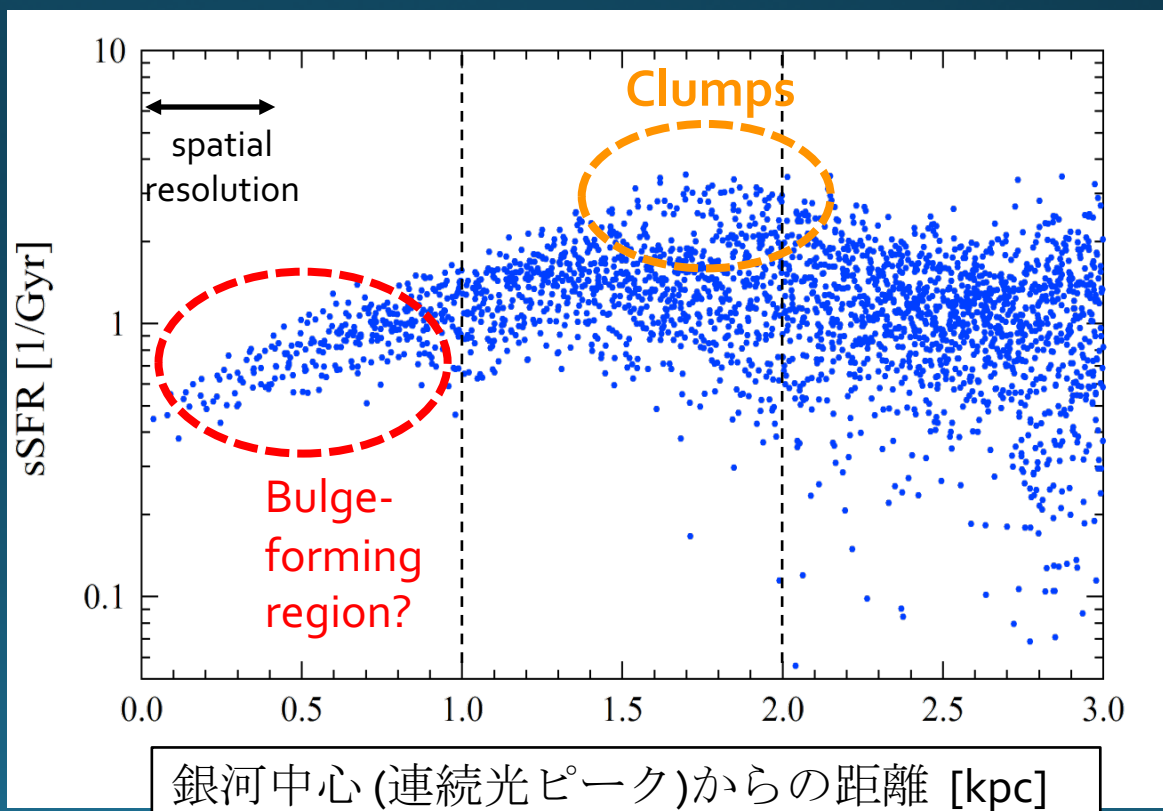
赤外線銀河を解剖する

PARADISES-Subaru :

Pa-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starbursts with Subaru



Pa α NB imaging with Subaru IRCS+AO188 (0.2'' resolution)



銀河中心 (連続光ピーク)からの距離 [kpc]

(Kitagawa, Koyama, Motohara, et al. in prep)

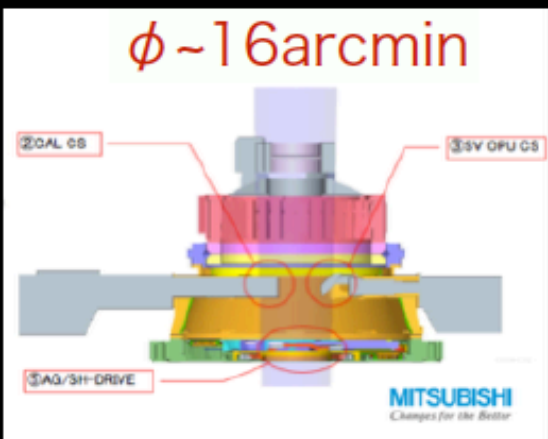
ULTIMATE-Subaru (~2024-)

すばる望遠鏡次世代補償光学計画 (近赤外, 0.2" 分解能, 15' FoV)

(3) 波面センサー x 8

カセグレン焦点

$\phi \sim 16 \text{ arcmin}$

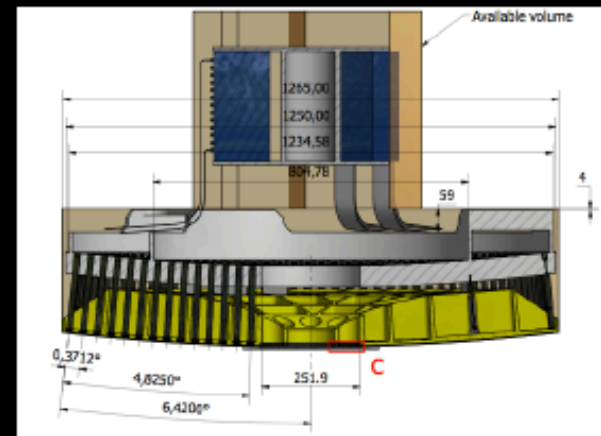
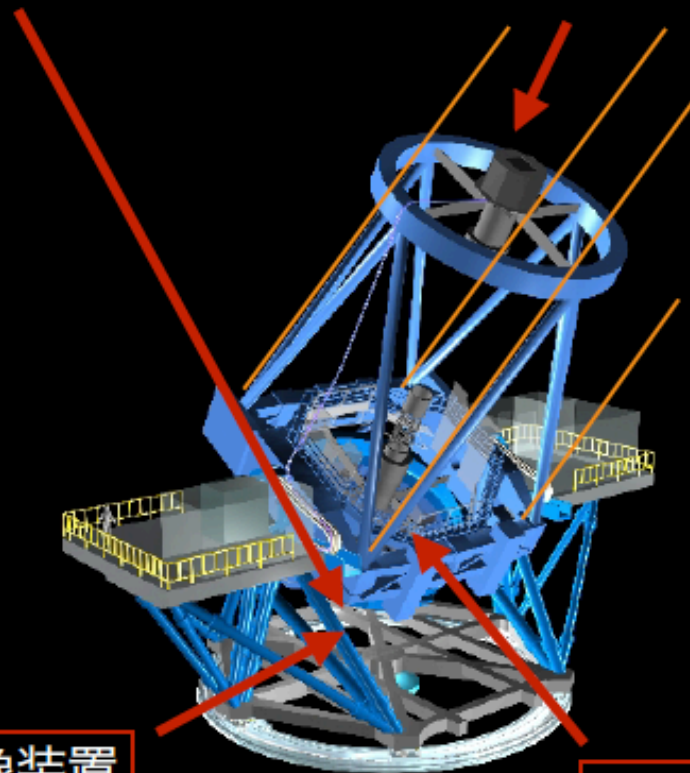


広視野
近赤外線装置

(4) 広視野近赤外線撮像装置

- ・ 撮像
- ・ 多天体分光
- ・ 多天体面分光

(1) 可変副鏡

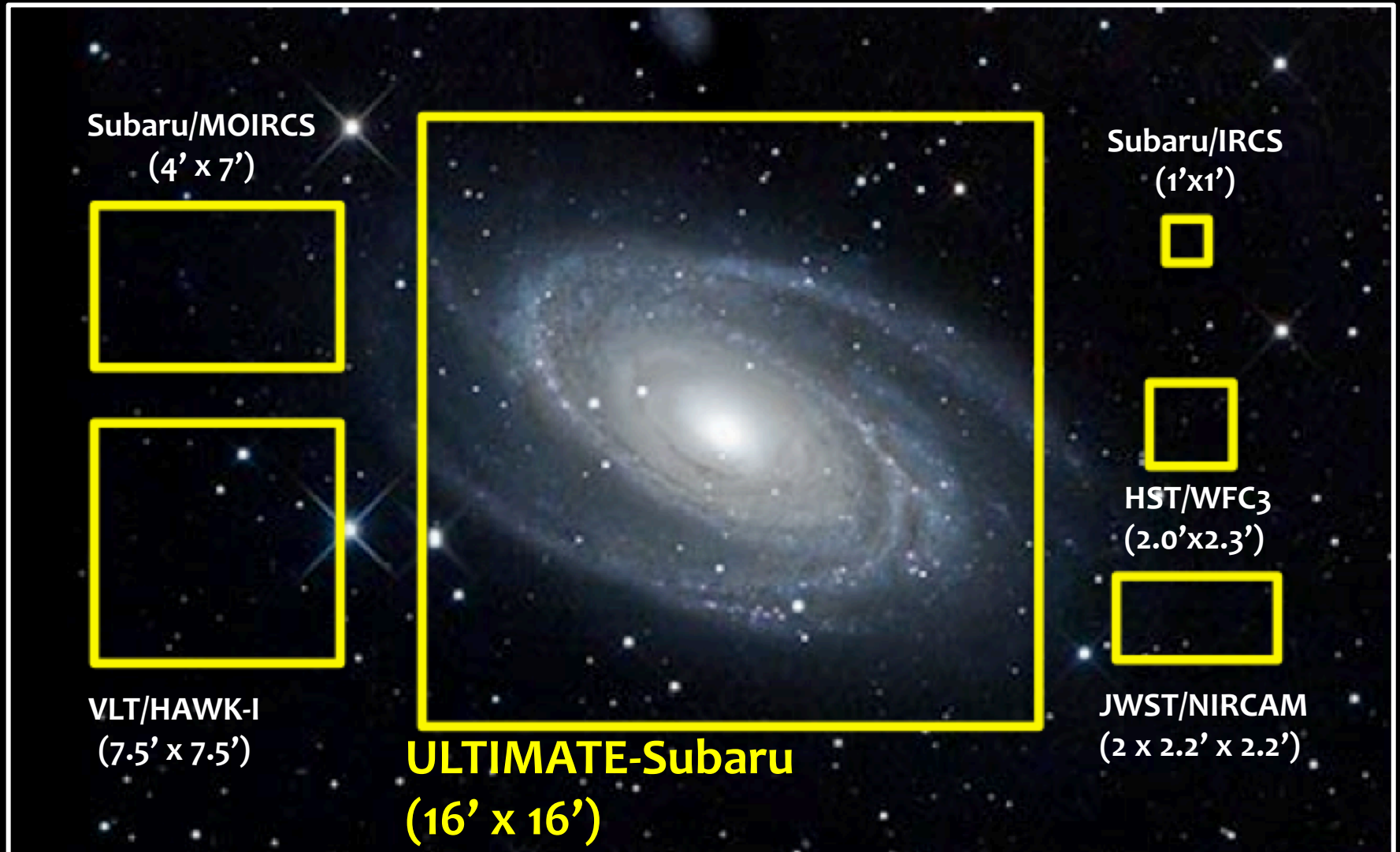


Microgate ADS

(2) レーザーガイド星 x 4

TOPICA ファイバーレーザー (589nm) x 2

ULTIMATE-Subaru: 視野の広さがユニーク

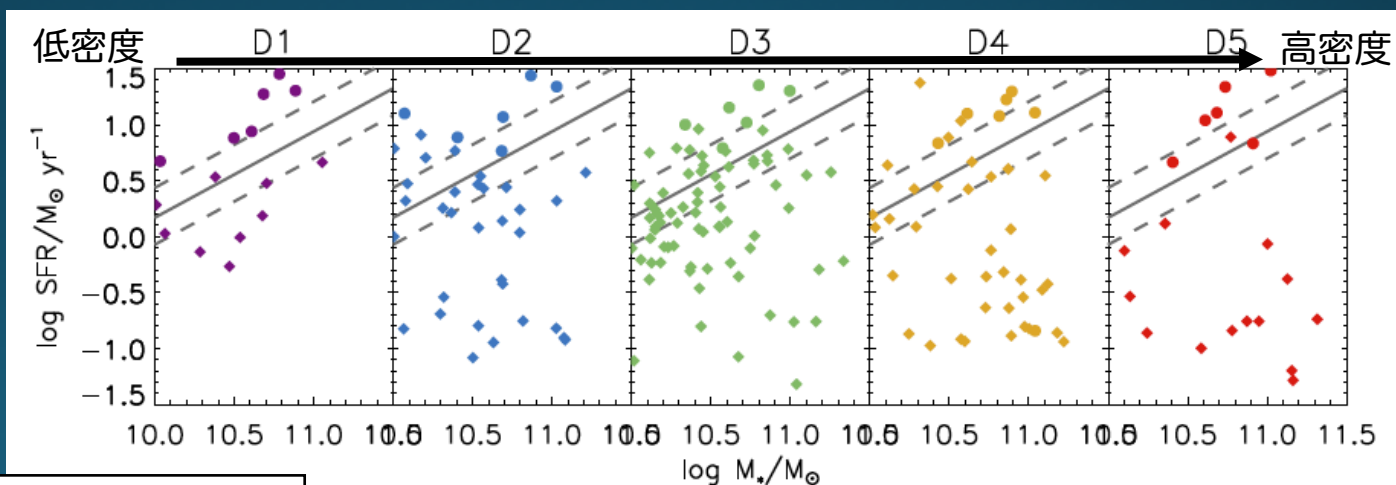
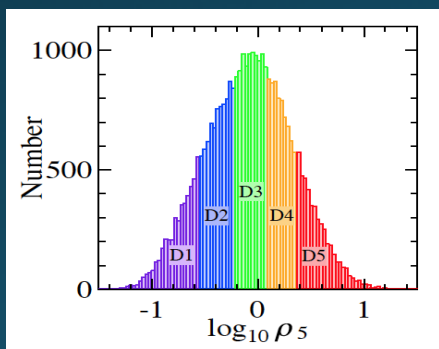


「あかり」サンプルの分子ガス フォローアップ観測

GENCI (元気) project:

Galaxy Environment with Nobeyama Co Imaging

- 幅広い M_{\star} , SFR, かつ幅広い環境レンジを網羅
- あかりデータはスターバースト銀河の選出に活用



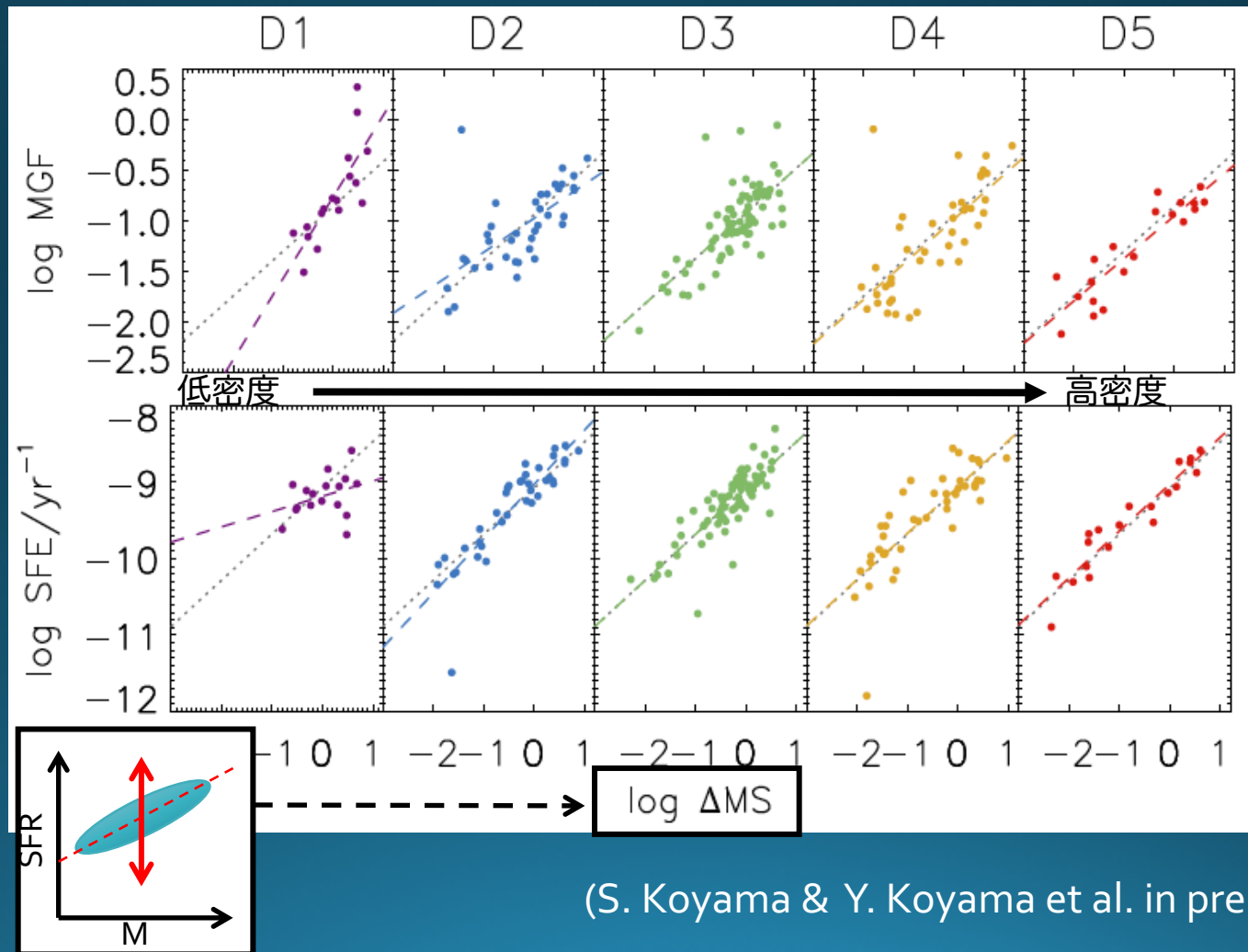
- : Our NRO sample
- ◆: COLDGASS sample

(S. Koyama & Y. Koyama et al. in prep)

密度環境が2桁変わっても f_{gas} (SFE) vs ΔMSの関係は共通

f(H₂): M(H₂) / M★
分子ガスの質量割合

SFE: SFR / M(H₂)
星形成効率



(S. Koyama & Y. Koyama et al. in prep)

まとめと今後

- 「あかり」**全天カタログ**は、(近傍)赤外線銀河のコンプリートなサンプル。赤外線銀河の統計的な研究に最適なデータである。
- 「あかり」**全天マップ**のスタッキングにより、個別に検出できない天体の性質の平均的な振る舞いを調べることができる。
- 全天をカバーする「あかり」データは、**銀河環境効果の研究**にも適している。
- 「あかり」ミッションの終了はあくまでスタート地点！**多波長でのフォローアップ観測**はまだまだ始まったばかりである。