

あかり/せいめい/すばる  $> 500 \text{ Msun/yr}$   
で探す近傍宇宙の超高星形成率銀河

- 大質量銀河の形成現場を探る -

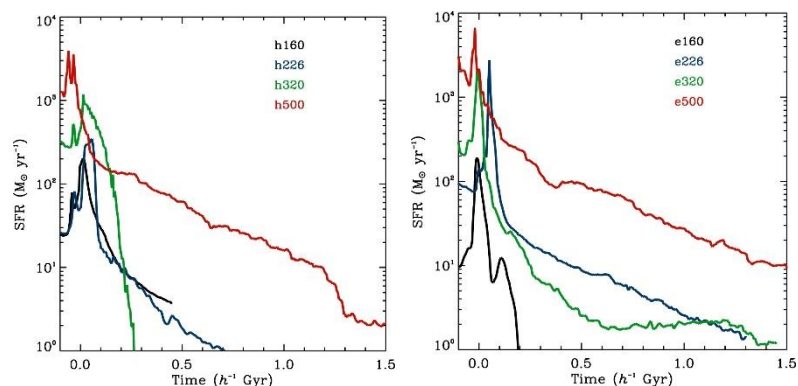
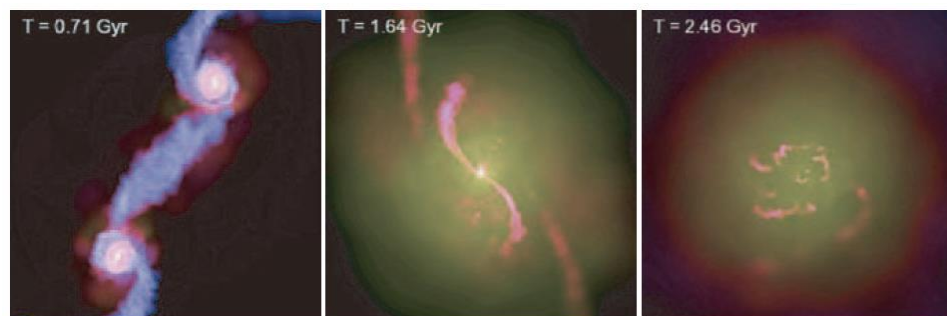
秋山 正幸、佐久間 昂太 (東北大学)  
Xiaoyang Chen (国立天文台ALMA)

共同研究者: 寺尾 航輝、市川 航平、大金原、  
赤澤 拓海、福地 輝、小久保 充、  
Abdurro'uf、山村 一誠、川口 俊宏、野田 博文

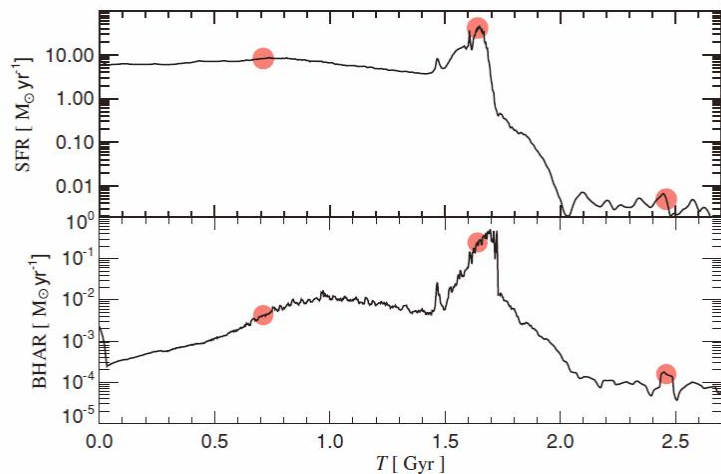
2021/08/12

# 銀河合体に伴う激しい星形成から大質量銀河の形成へ

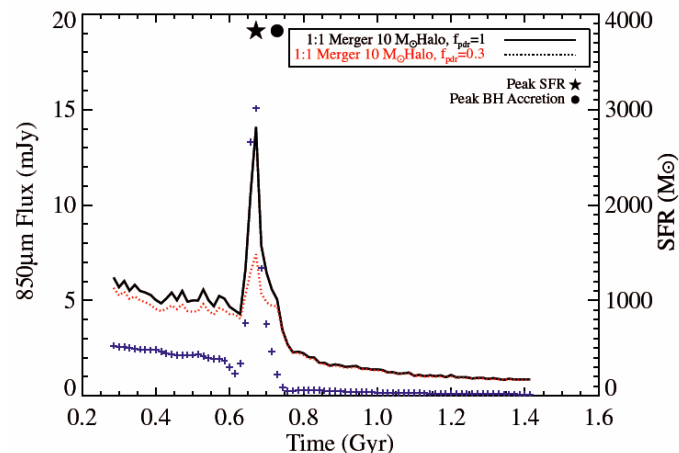
- 銀河合体に伴う潮汐トルクによるガスの中心領域への供給。
- 力学時間スケール(<0.1Gyr)の超高星形成率 (>500Msun/yr) の活動が起こる。
- 銀河合体のシミュレーションの結果でも超高星形成率の継続時間は短く、中心ブラックホールへのガス降着と同期して起こる。



Chakrabarti et al. 2008



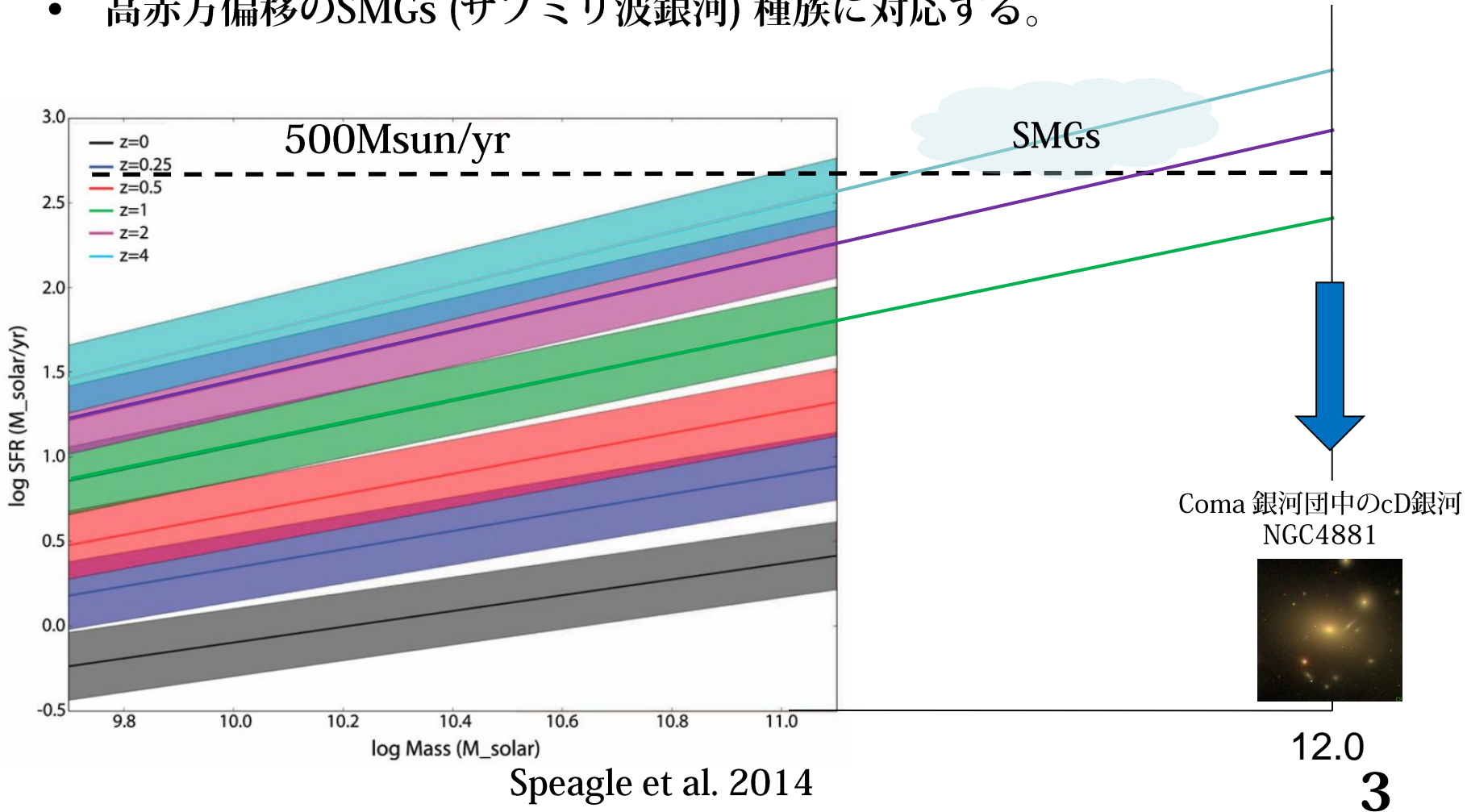
Springel et al. 2005



Narayanan et al. 2010

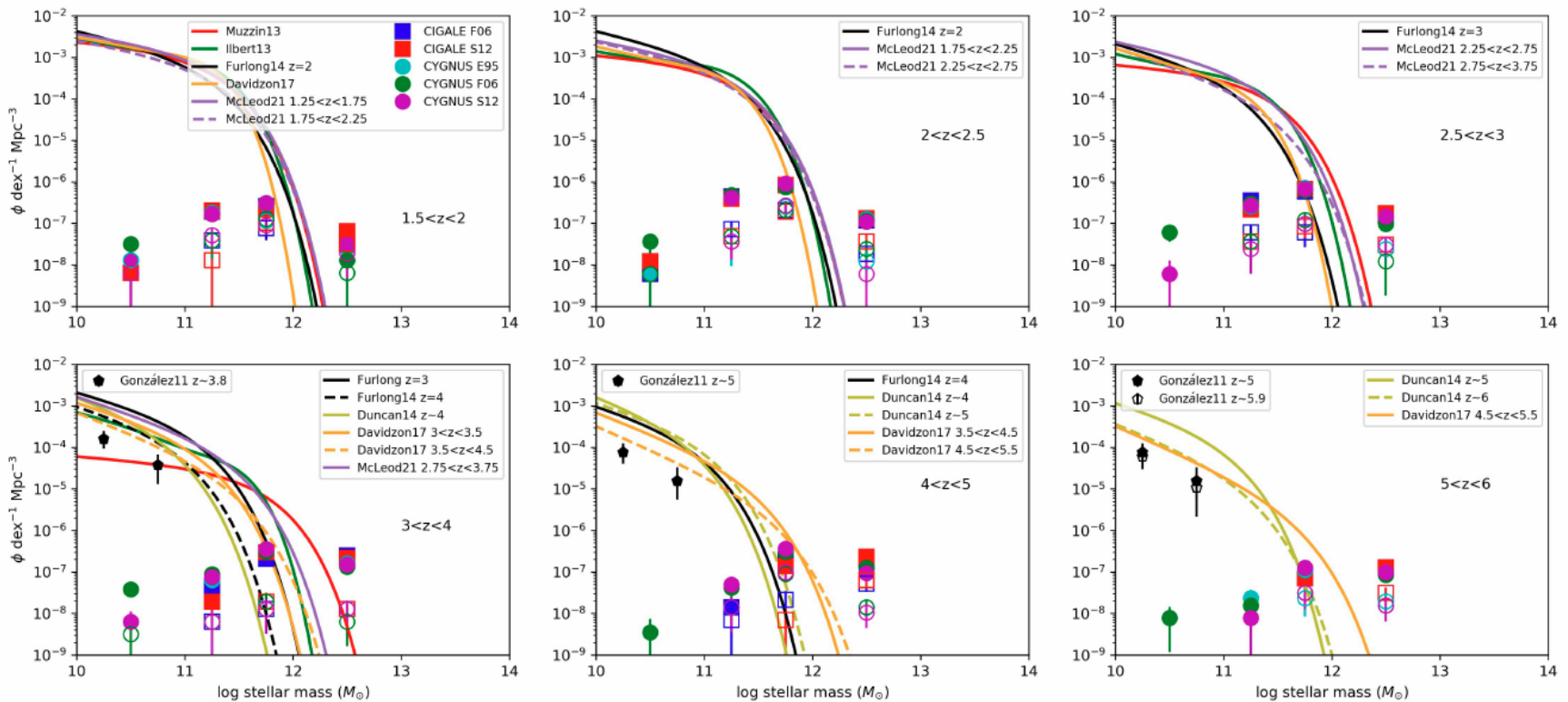
# 高赤方偏移銀河での超高星形成率の普遍性 (I)

- 銀河の星質量と星形成率の関係(星形成の主系列)の赤方偏移進化を見ると、高赤方偏移( $z > 2$ )の大質量銀河( $> 10^{11} M_{\text{sun}}$ )では定常的に起きている星形成のモードである。
- 高赤方偏移のSMGs (サブミリ波銀河) 種族に対応する。



# 高赤方偏移銀河での超高星形成率の普遍性 (II)

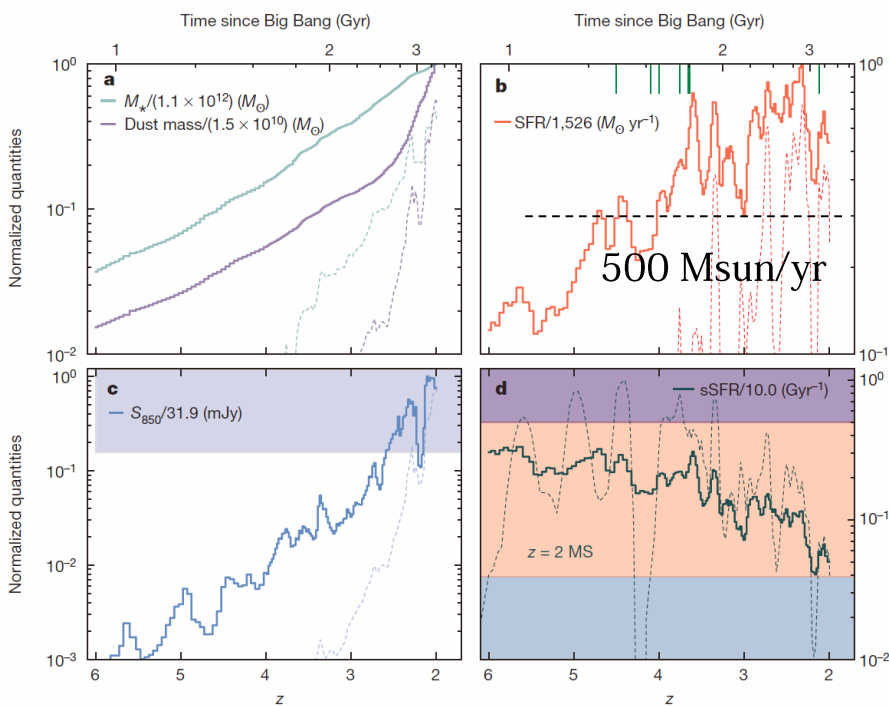
- HLIRGs ( $>10^{13}LIR$ ,  $>\sim 1000M_{\text{sun}}/\text{yr}$ ) は大質量の銀河と対応し、 $z>1.5$ での大質量銀河の数密度(実線、破線)はHLIRGs(データ点)で説明がつく。



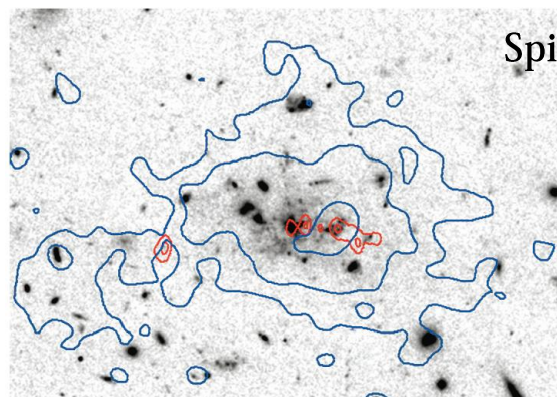
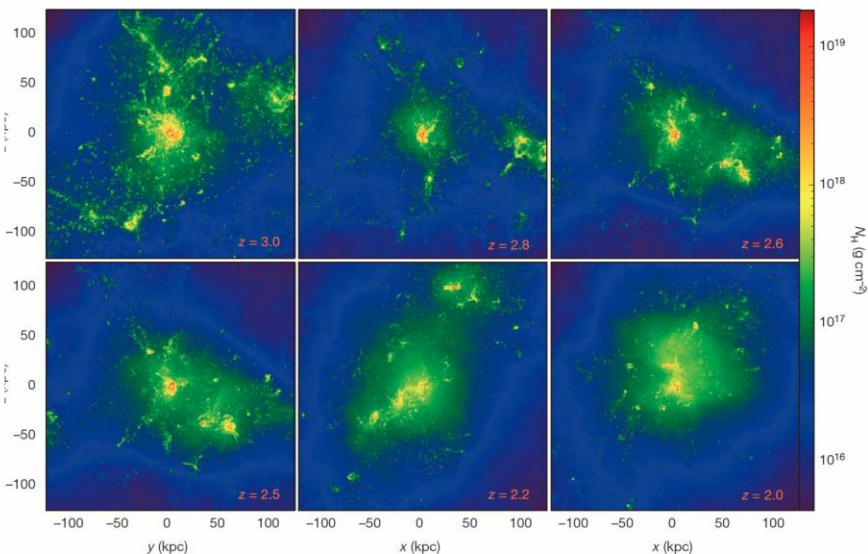
Gao et al. 2021

# 銀河衝突とは異なるモード？

- 銀河合体だけでは超高星形成率の普遍性は説明できない。大質量銀河 ( $>10^{11} M_{\odot}$ ) と大質量銀河の銀河衝突率は  $0.5-1.0 / \text{Gyr} @ z=2-3$ .
- より長く超高星形成率を継続することが必要。広がったガス貯蔵庫の中での散らばった星形成モード？



Narayanan et al. 2015

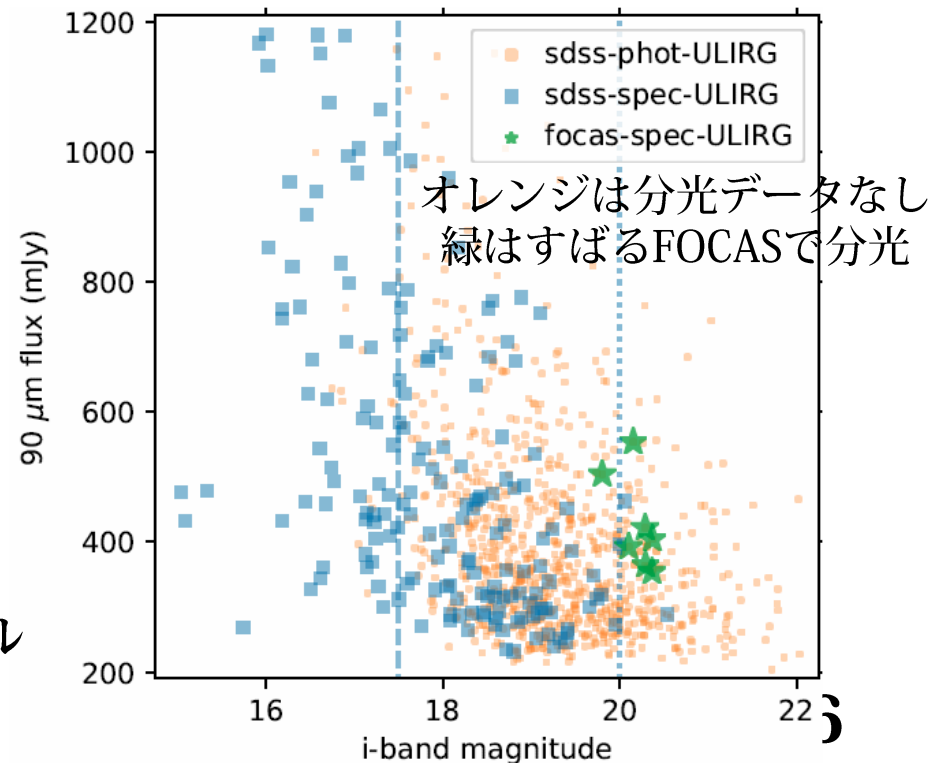
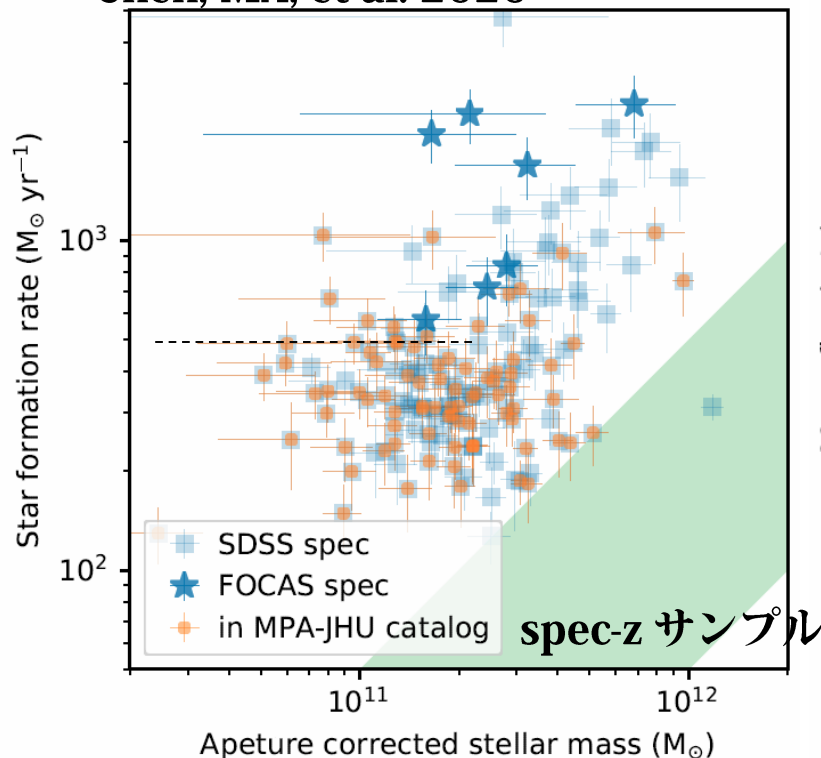


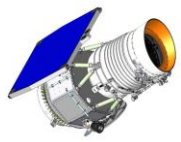
Spiderweb galaxy at  $z = 2.2$   
extended  $\sim 200 \text{ kpc}$   
Miley et al. 2006

# あかりで発見された遠赤外線銀河の統計解析

- 大質量で超高星形成率を示す銀河が中間赤方偏移 ( $z < 1$ ) にも多数存在することを示唆する。
- 中間赤方偏移の超高星形成率銀河のサンプルを構築し、内部で起きている物理過程の解明と大質量銀河の形成過程の理解を目指す。
  - 星形成の分布、ガス貯蔵庫の大きさ
  - 巨大ブラックホールへの降着、星形成との関係(共進化)

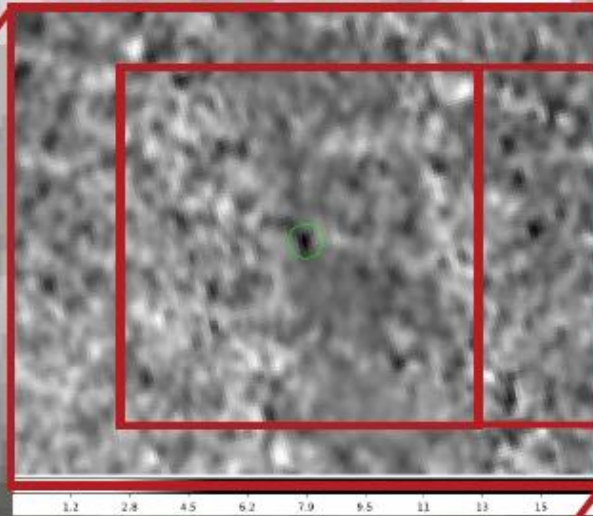
Chen, MA, et al. 2020



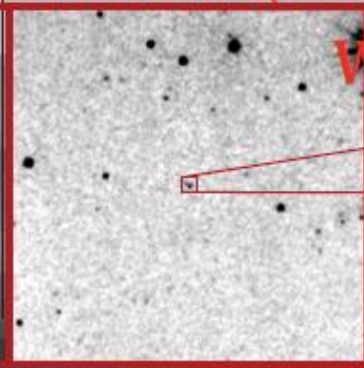


# あかりの空間分解能を生かし可視光で暗い赤外線銀河の探査 一例：AKARI-FIS-V2 J0818211+090218

AKARI WIDE-S r=60" circle



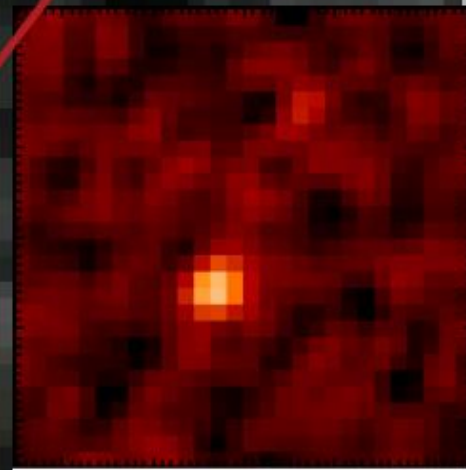
WISE W3(12um) 1200"x1200"



WISE W1-4 60"x60"



FIRST 1.4GHz



SDSS 50"x50"

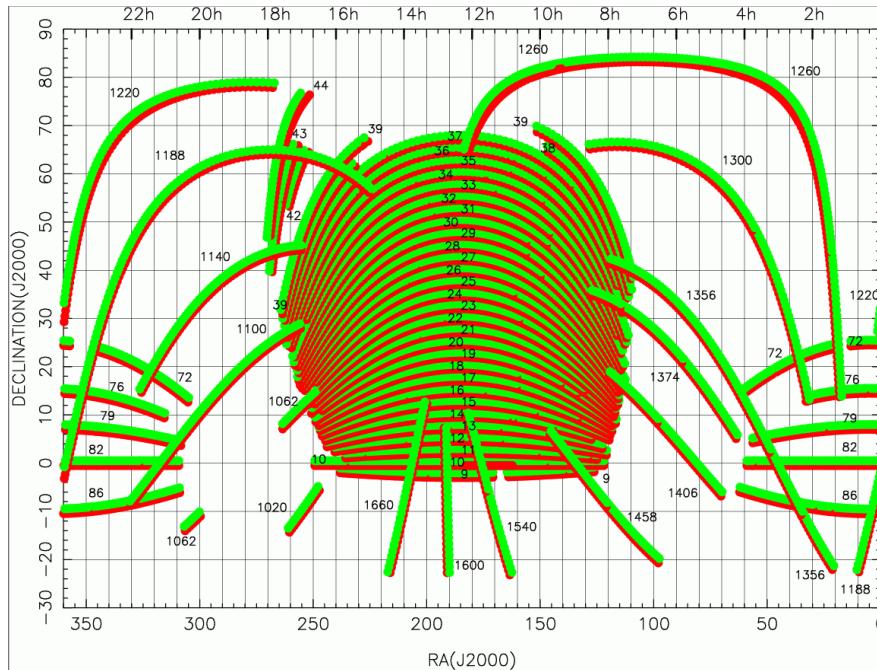


IRAS 100um



# あかり- WISE – SDSS サンプル

- AKARI-SDSS の重なる領域を考慮してサンプルを構築する、面積としては ~7000 sq.deg となり、Herschel の同じ深さのカバー領域の 10 倍。



**SDSS imaging sky coverage**  
<http://classic.sdss.org/dr7/coverage/stripemap.gif>

- 比較：Herschel-ATLAS 探査 (100, 160, 250, 350, 500um) :
  - H-ATLAS DR1 : 161 sq.deg (Valiante et al. 2016)
    - 190, 185, 37, 47, 51mJy with 5-sigma
    - 最終的には 600 sq.deg.



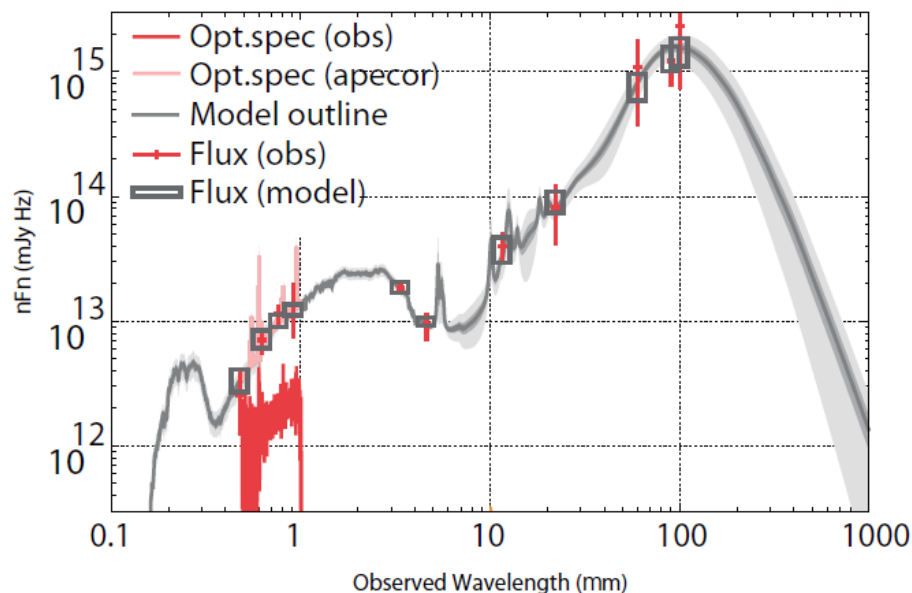
# AKARI-WISE-SDSS

## 可視光で(+近赤外線でも)”暗い”遠赤外線源

- WISEで見つかるHyLIRGsに比べると中間赤外線の寄与が小さい = 星形成成分の寄与が大きくAGNが卓越していないHyLIRGsが見つかる。

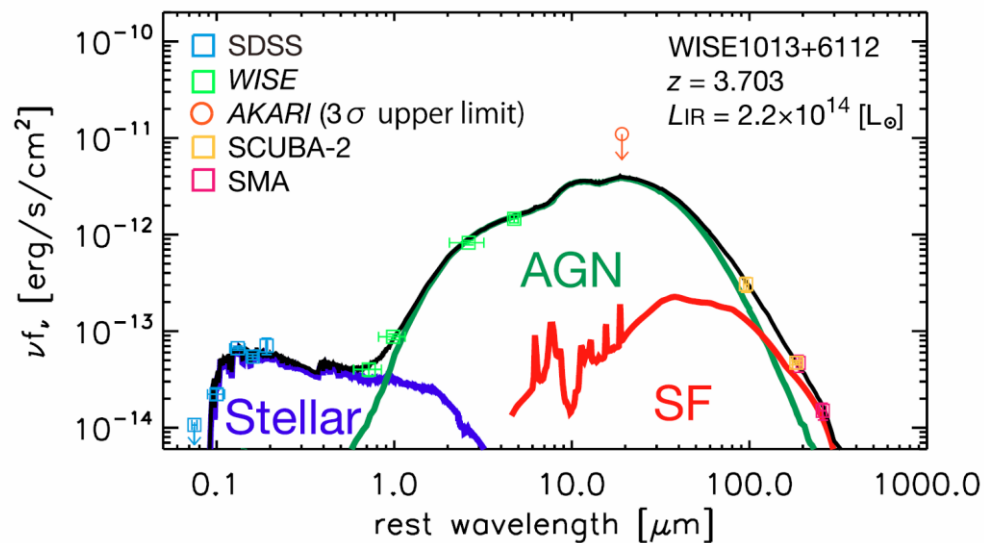
AKARI-selected

J1227502+151558  $z=0.61$



Chen 2019

WISE-selected



Toba et al. 2018

# 最も星形成率の大きい銀河は5,000Msun/yr

- 赤方偏移 0.7 にある。可視スペクトルとSEDは星形成成分が支配的でAGNの寄与はほぼ必要ない。

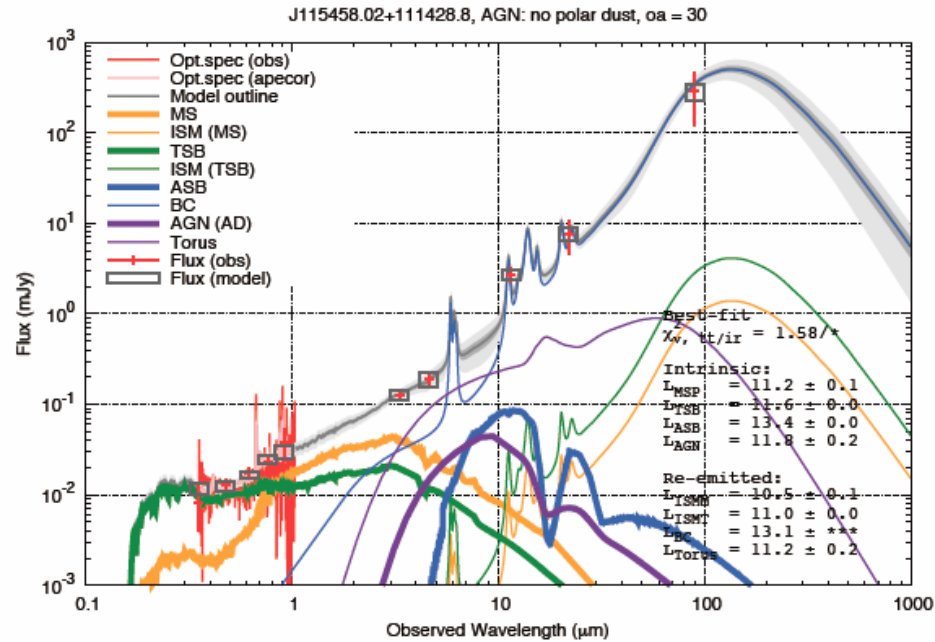
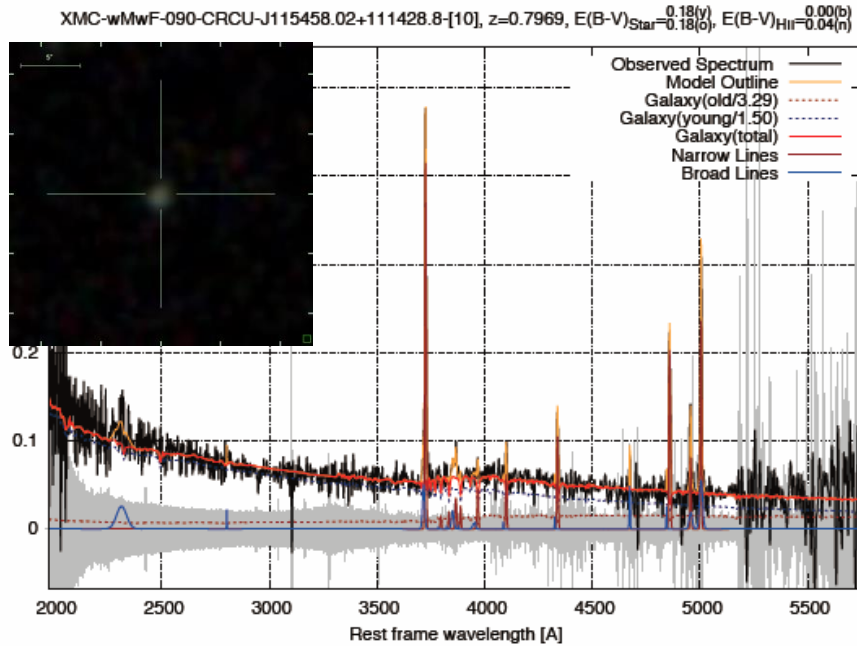
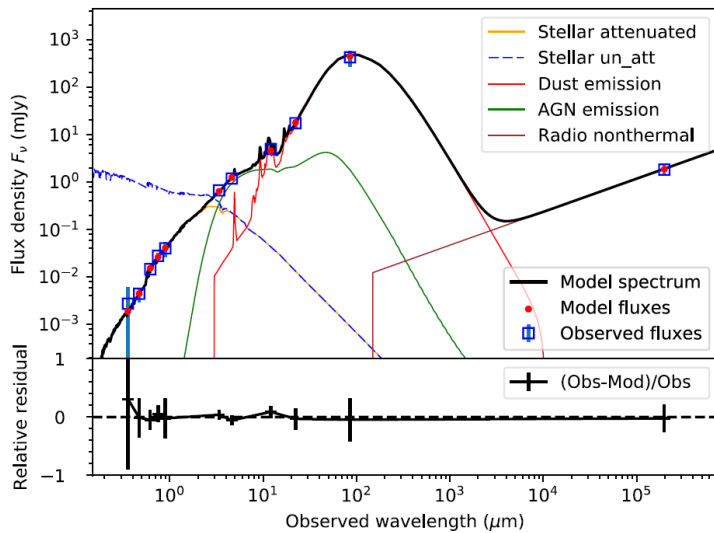


FIGURE 2.28: Best-fit spectral (left) and SED decomposition (right) results of a ULIRG, J115458.02+111428.8. The legends in the left panel are the same as those used in Figure 2.13. The legends in the right panel are the same as Figure 2.18.

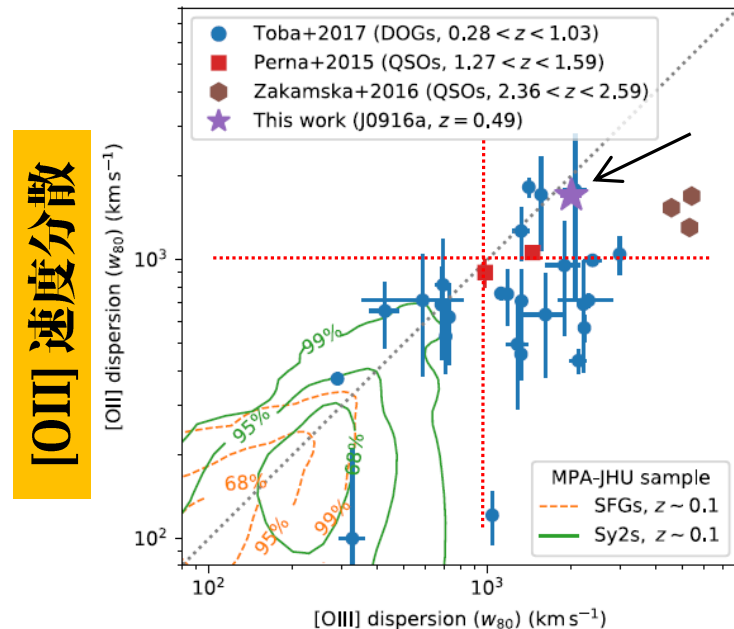
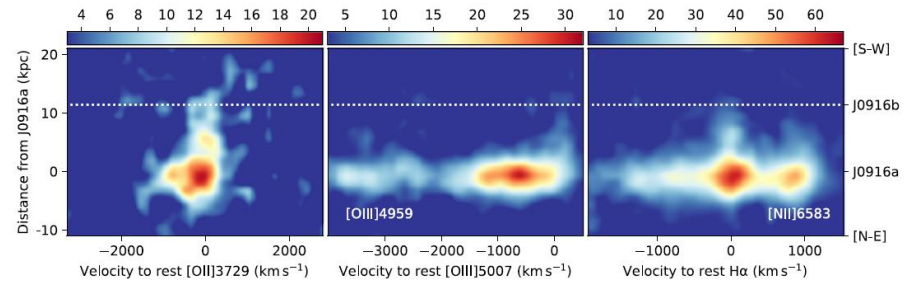
# 超高星形成率銀河 ( $\sim 1,000 M_{\text{sun}}/\text{yr}$ ) に同居する高速アウトフロー成分

- すばるサービス枠でFOCASでの分光観測で同定された。
- 超高星形成率銀河に付随する銀河スケールのアウトフロー成分を発見。
- アウトフローによる星形成の抑制シナリオとは矛盾する。

Best model for SDSS\_J091624.75+073021.7 at  $z = 0.491$ . Reduced  $\chi^2=0.24$



Chen, MA, et al. 2019, PASJ

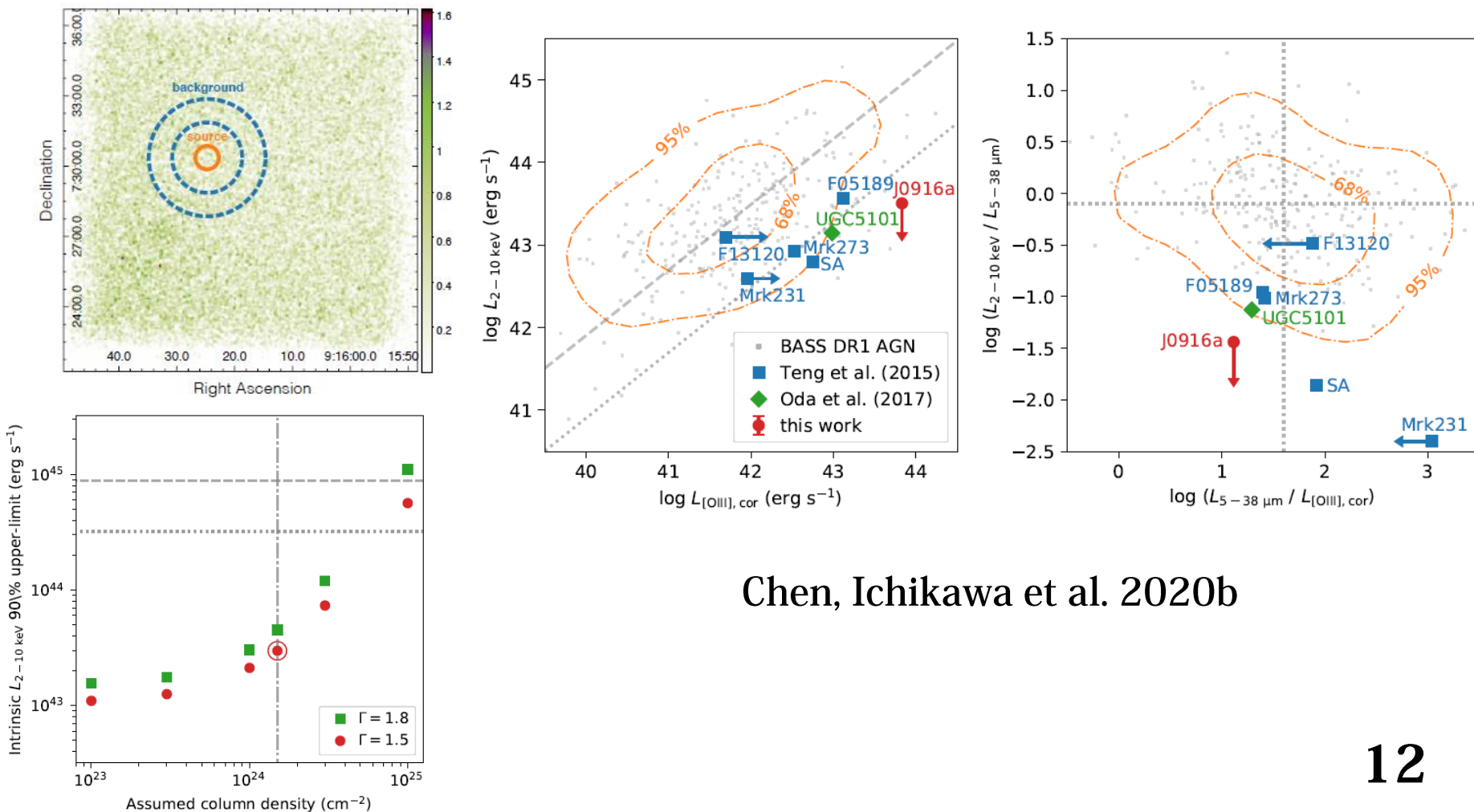


[OIII] 速度分散

[OIII] 速度分散

# 超高星形成率銀河 ( $\sim 1,000 M_{\text{sun}}/\text{yr}$ ) に同居する高速アウトフロー成分

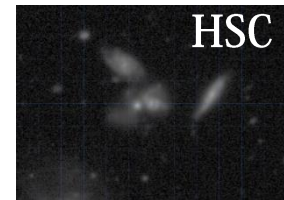
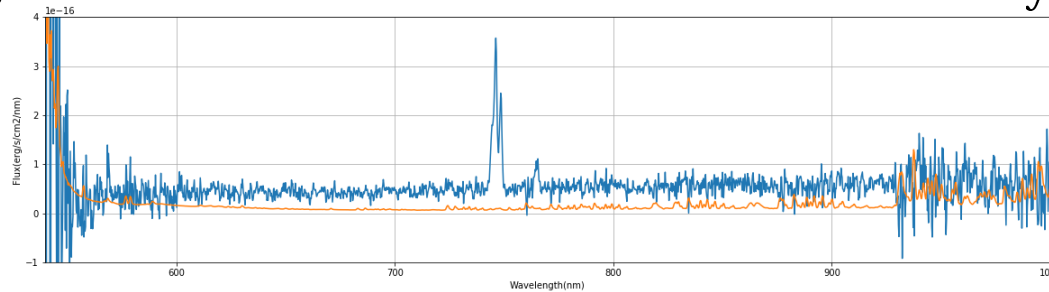
- NuSTAR 6-24keV 100ksec の観測では未検出。
- [OIII] の明るさに対して X 線、中間赤外はかなり暗い：faded AGN？



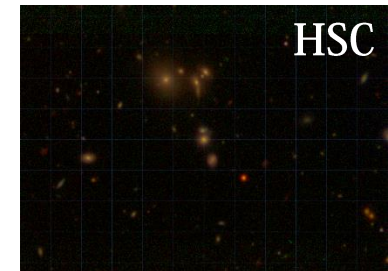
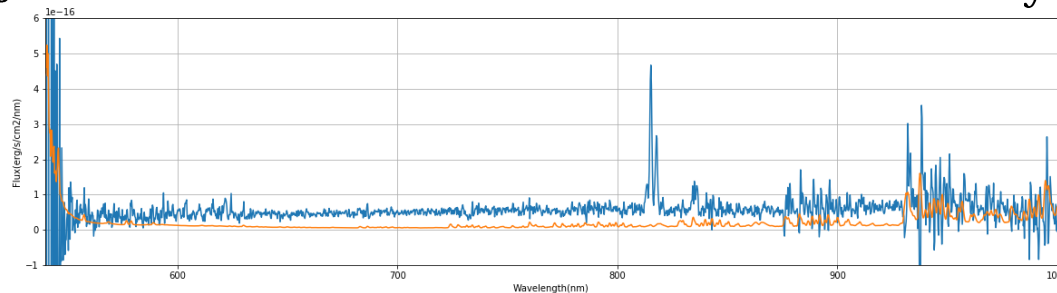
# せいめい / KOOLS での観測例

- 20B 8n, 21A 8+1n の割り当て、20B ~6n, 21A ~1.5n の観測実施
- $i < 19.5$  であれば 2 時間程度の積分で連続光が検出される。

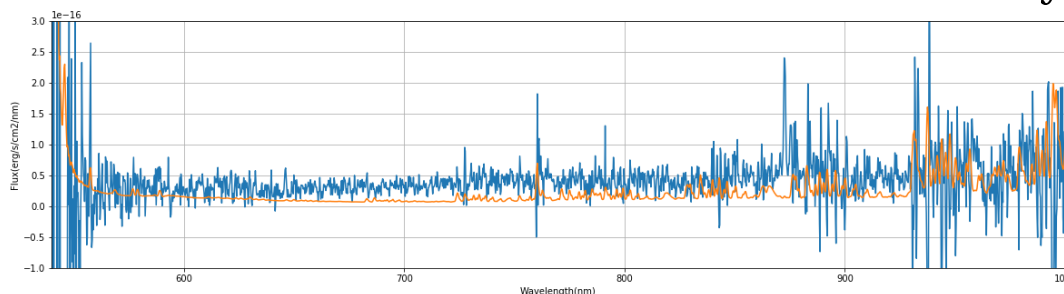
- J000010.65+041704.8  $i=17.93$   $z=0.1364$  519Msun/yr (15x6 min)



- J003009.09-002744.3  $i=18.45$   $z=0.2420$  767Msun/yr (20x4 min)

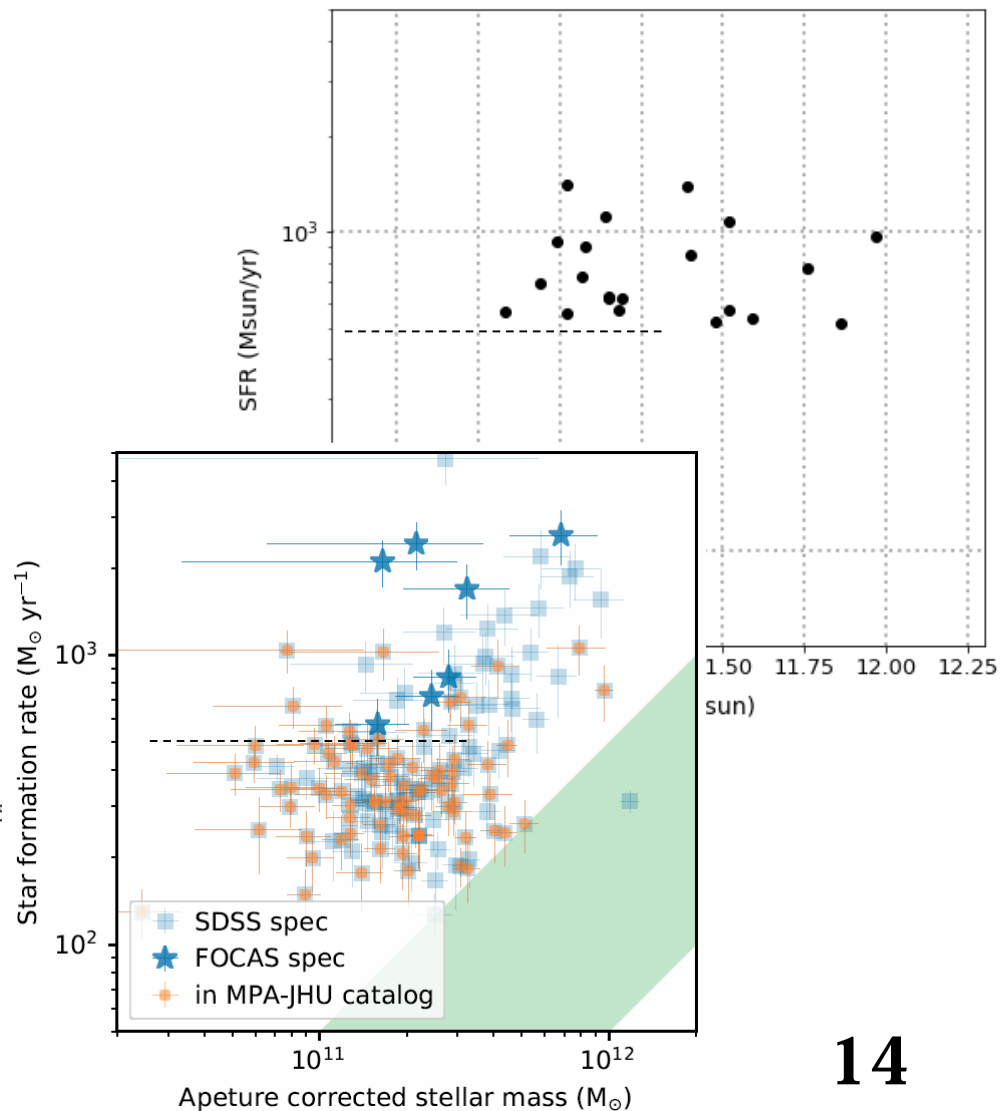
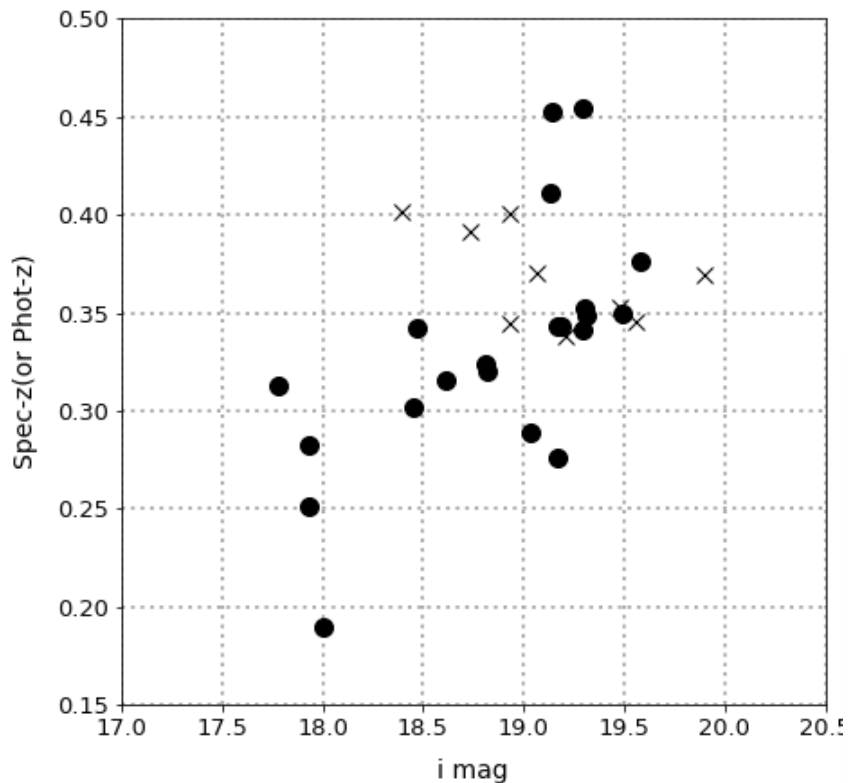


- J014606.48+012145.8  $i=19.31$   $z=0.3297$  936Msun/yr (20x6 min)



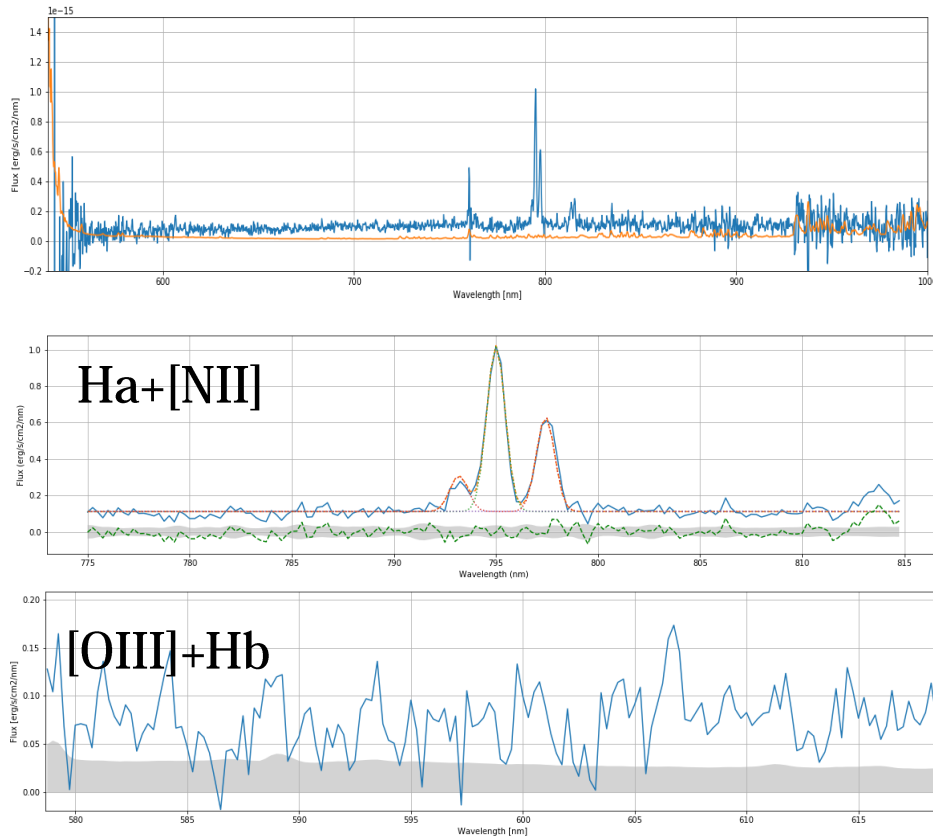
# せいめい / KOOLS での観測まとめ

- 30天体を観測、21天体を同定
- いくつかは輝線が検出されず(×印)、強い Ha 線が夜光が強い範囲に入るため？

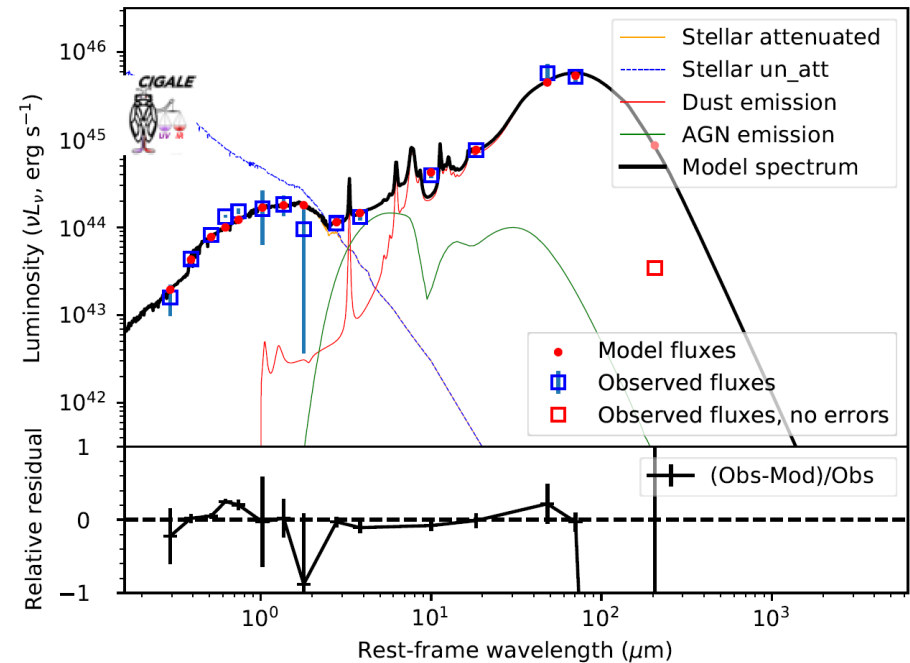


# せいめいでの新たな超高星形成率銀河の発見

- 新たに分光同定された天体の多くは broad Ha 線の成分を必要とせず、星形成銀河として説明されるスペクトルを示す。
  - SED fit の結果を見てもAGNの寄与(緑実線で示す成分)は小さい。
- J092204.16+132153.3  $i=17.93$   $z=0.2112$  1,056 $M_{\text{sun}}/\text{yr}$  (10x6 min)

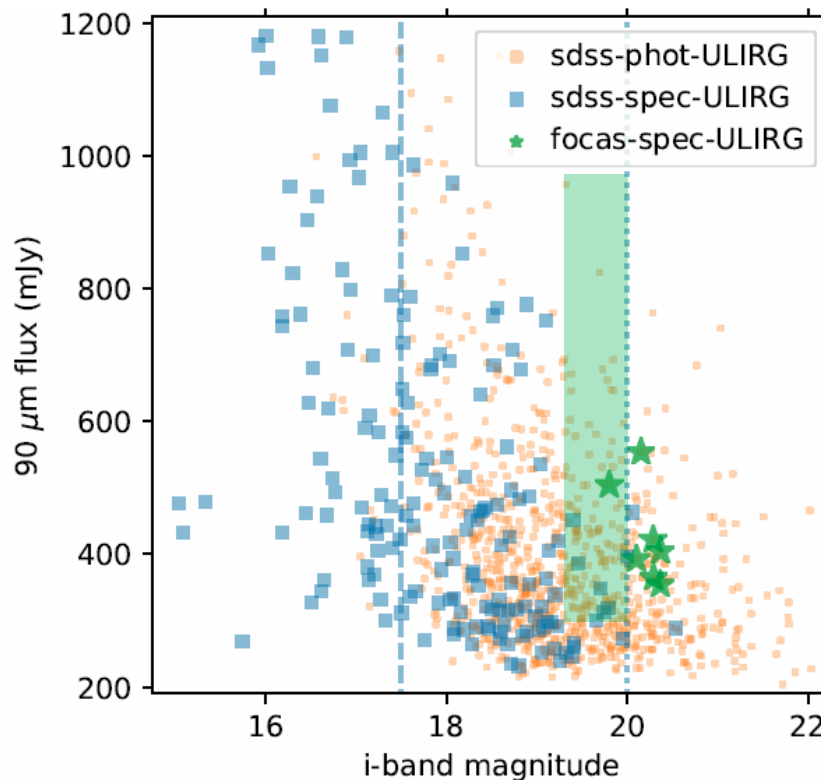


Best model for J092204.16+132153.3 at  $z = 0.211$ .  $\chi^2=17.94$



# せいめい次期以降への期待

- 観測への対応ありがとうございます。
- SDSS spec サンプルでは理解の進んでいない  $i \sim 19.5-20$  あたりのターゲットの観測を進めたい。
- より暗い～やや遠い～より星形成率が大きい。
- 高効率の望遠鏡+分光器は重要：2020/11と2021/05は写り具合に差があった印象 (木野さんに言われたからかもしれないが)。



Chen, MA, et al. 2020



# Empirical Instrument performance (2020/11)

- Readout noise rms=2.6ADU (4.0e-/pix) with Gain 1.55 e-/ADU
- Sky continuum  $\sim 5\text{ADU/pix}/10\text{min} = 7.8\text{e-/pix}/10\text{min}$  at center of each fiber
  - rms=1.8ADU (2.8 e-/pix/10min at center of each fiber)
- i~18mag galaxy continuum  $3\text{ADU/pix}/10\text{min} \sim \text{SN}=1$  at center of the central fiber
  
- i~19mag galaxy :  $1.2 \text{ADU/pix}/10\text{min}$  :
  - RON=2.6ADU/pix, Sky rms=1.8ADU/pix/10min : noise 3.2ADU/pix
  - SN~0.4/pix : SN~0.7/fiber : SN~2.3/10fibers : SN~5.6/10fibers in 4x10min
  
- i~20mag galaxy :  $1.4 \text{ADU/pix}/30\text{min}$ 
  - RON=2.6ADU/pix, Sky rms=3.1ADU/pix/30min : noise 4.0ADU/pix
  - SN~0.4/pix : SN~0.7/fiber : SN~2.3/10fibers : SN~5.6/10fibers in 4x30min