

「あかり」赤外線全天観測による 早期型銀河の星形成の系統的研究

第4回銀河進化研究会@大阪大学 2017/6/7-9

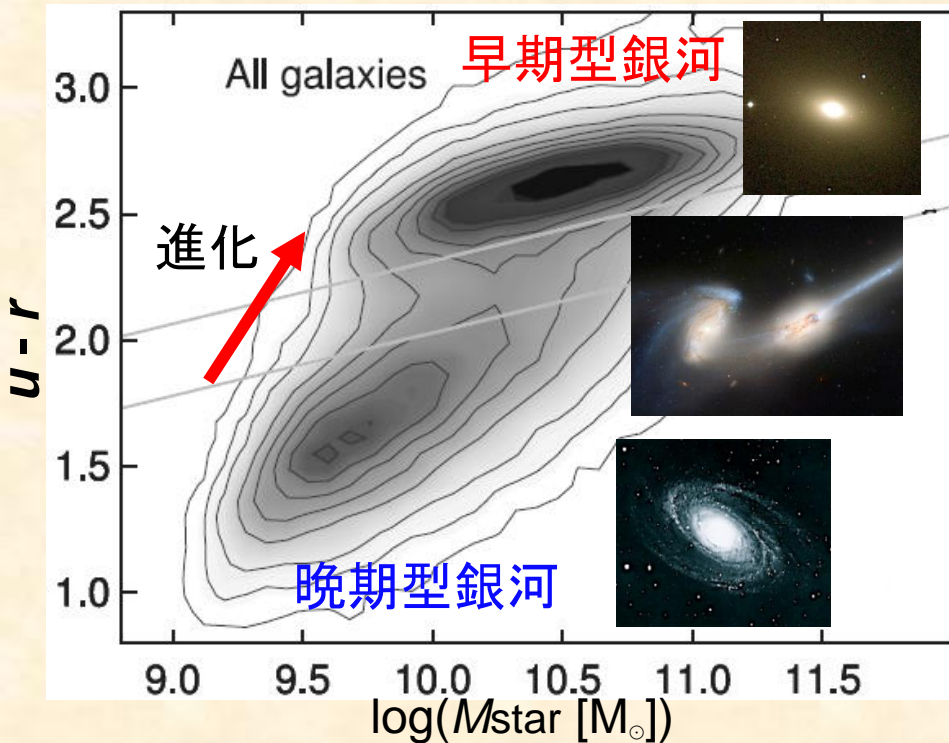
國生 拓摩(名古屋大学)

金田英宏, 鈴木仁研, 村田勝寛, 近藤晶乃(名古屋大学)
Martin Bureau(Oxford univ.), 山岸光義(ISAS/JAXA)

1. イントロダクション

早期型銀河の形成過程

Schawinski+14



1. 晩期型銀河のmerger
2. starburst/活動銀河核 (AGN) により星間物質が消費・加熱
3. X線ガスやAGNがガス収縮を妨げる (星形成を抑制)

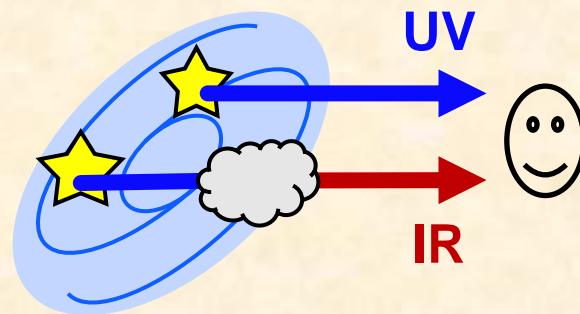
一部の早期型銀河 (~20%) から分子ガス・ダストを検出 (e.g. Young+11)
⇒ 星形成を行う環境が整っている

- $M_{\text{dust}}/M_{\text{star}} \sim 10^{-5} \Leftrightarrow$ 晩期型銀河: $\sim 10^{-3}$ (Smith+12)
- 星形成活動の物理過程はよく理解されていない

1. イントロダクション

✚ 星形成率 (star formation rate; SFR) [M_{\odot}/yr]

- 星形成に伴う放射を観測:
大質量星のUV / 高温ダストのmid IR
⇒ 初期質量関数から星の全質量を計算

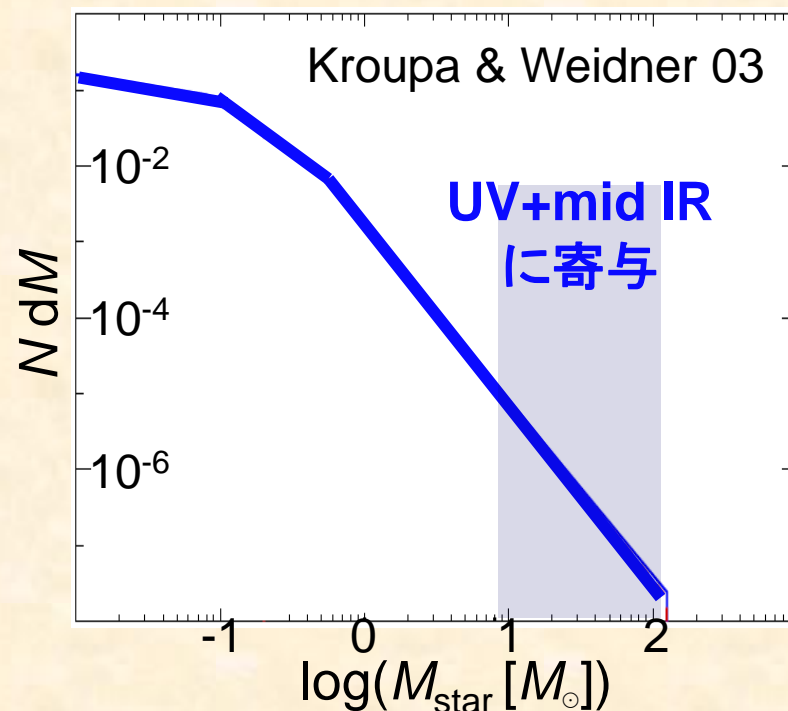


✚ 早期型銀河SFR 先行研究(Davis+14)

- 星形成効率($\text{SFR}/M_{\text{gas}}$)が低い
⇒ AGNやX線プラズマによる
星形成の抑制

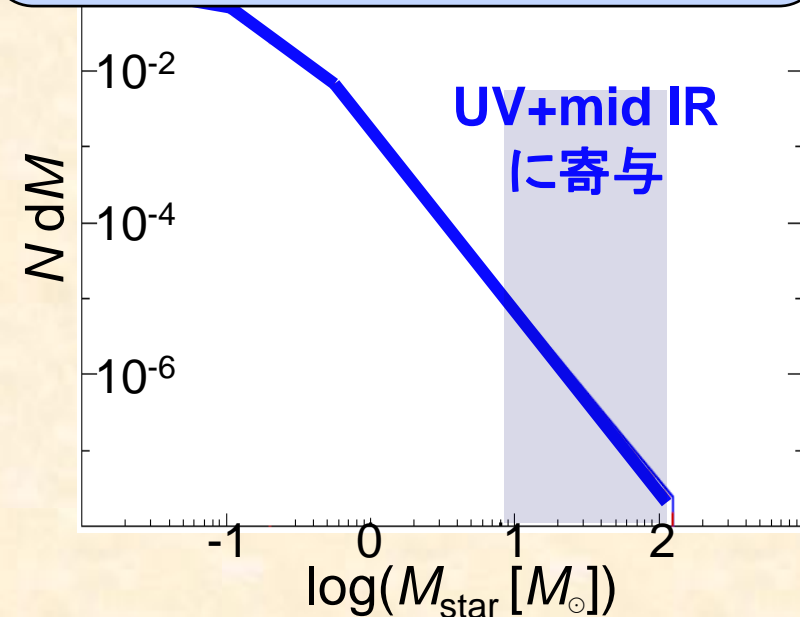
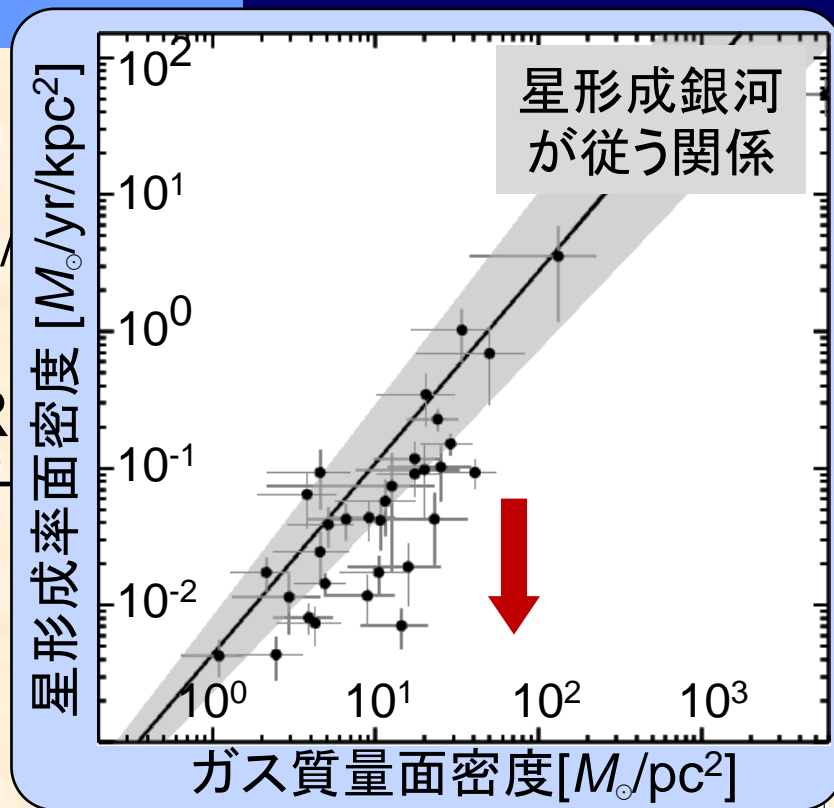
✚ SFRの不定性

- mid IR \leftarrow AGN/古い星の星周ダスト
- 中質量星を正確に捉えていない?



1. イントロダクション

- ✚ **星形成率** (star formation rate; SFR) [M_{\odot}/yr]
 - 星形成に伴う放射を観測:
大質量星のUV / 高温ダストのmid IR
⇒ 初期質量関数から星の全質量を計算
- ✚ 早期型銀河SFR 先行研究(Davis+14)
 - 星形成効率($\text{SFR}/M_{\text{gas}}$)が低い
⇒ AGNやX線プラズマによる
星形成の抑制
- ✚ SFRの不定性
 - mid IR ← AGN/古い星の星周ダスト
 - 中質量星**を正確に捉えていない?



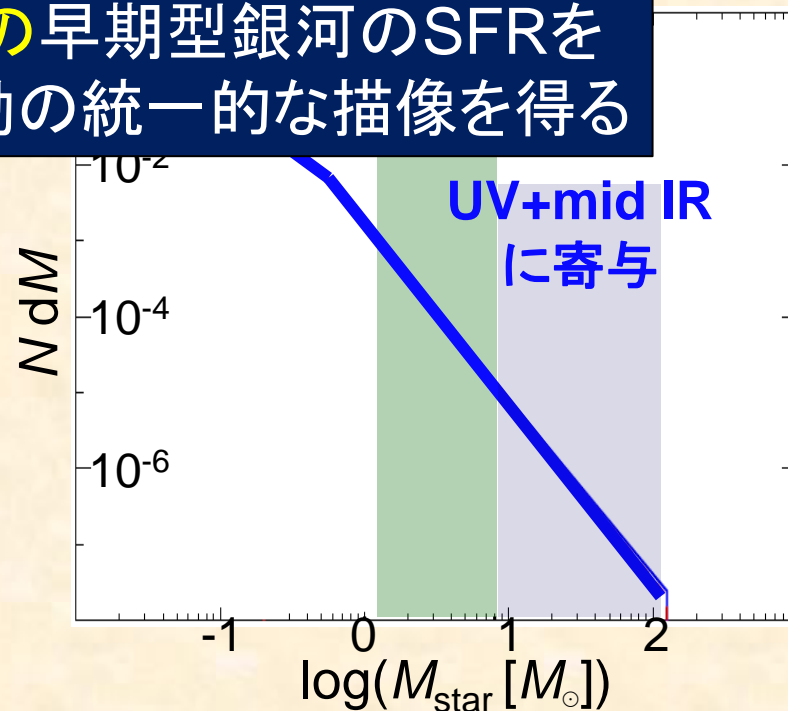
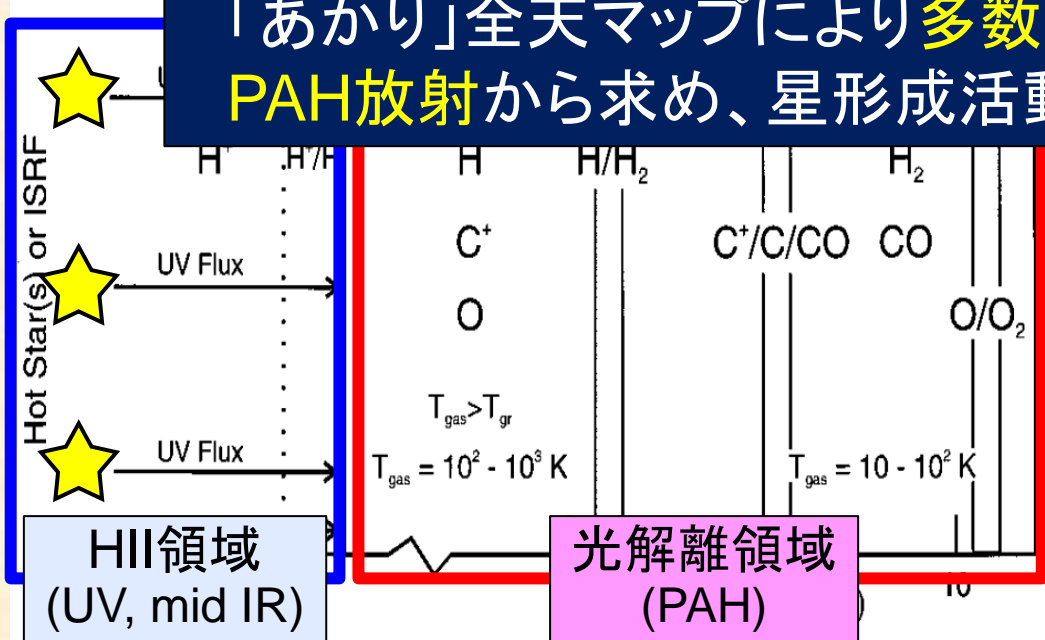
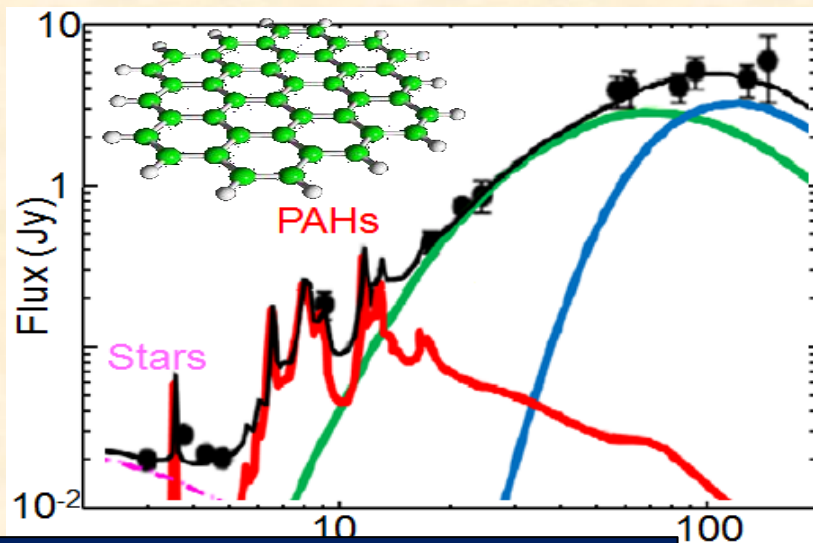
1. イントロダクション

✚ PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)

- 各銀河に遍在する巨大有機分子
- 光解離領域のFUVで励起
- AGNのハードな輻射場：破壊
- 中質量星でも光解離領域を形成

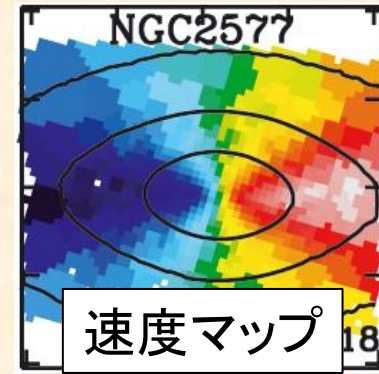
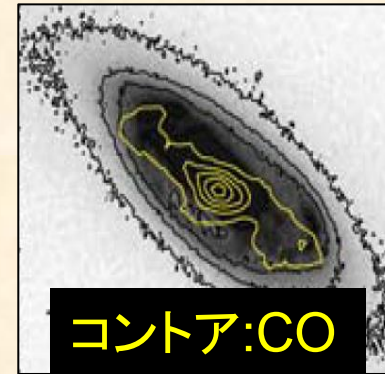
⇒ 本研究の目的：

「あかり」全天マップにより多数の早期型銀河のSFRをPAH放射から求め、星形成活動の統一的な描像を得る



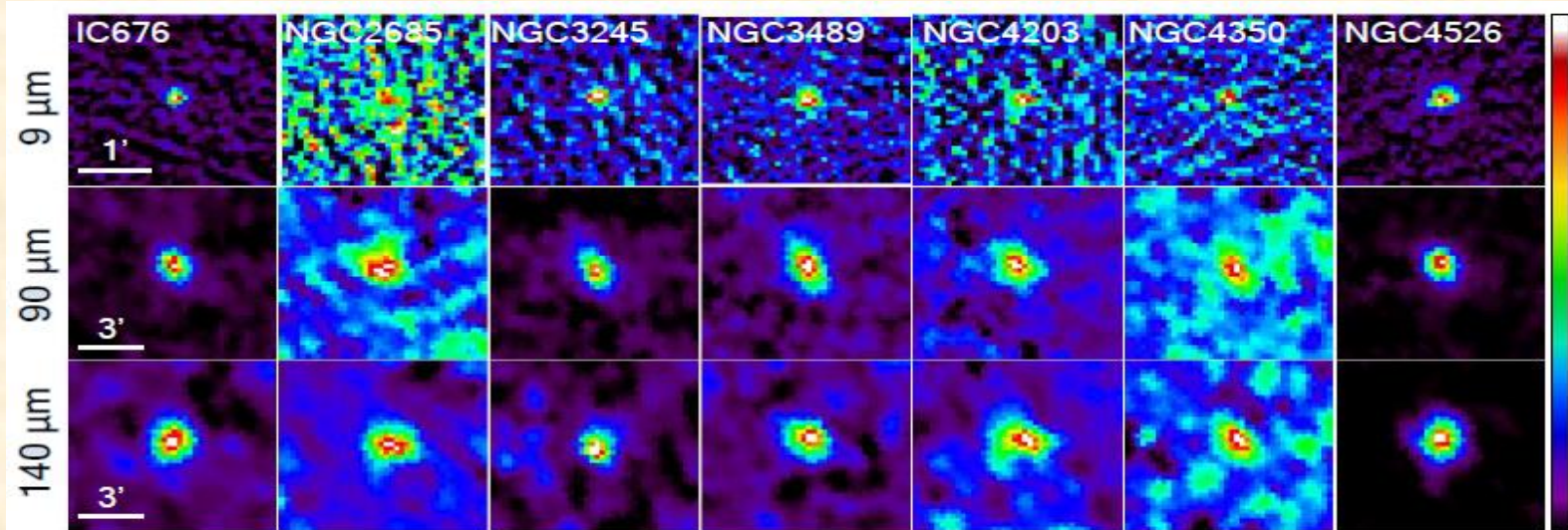
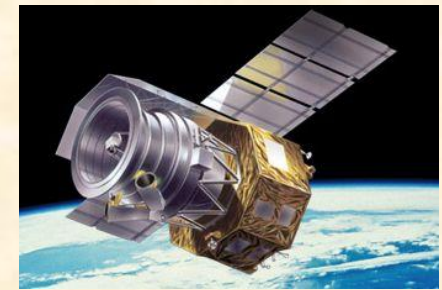
2. サンプルと解析方法

- ATLAS^{3D} galaxies (Cappellari+11)
 - 距離 < 42 Mpc, K mag. < 11.6, #260
 - CO, HIガスの観測 (Young+11, Davis+14)
 - 可視の面分光観測 (Cappellari+11)
- ⇒ 星・ガスの運動



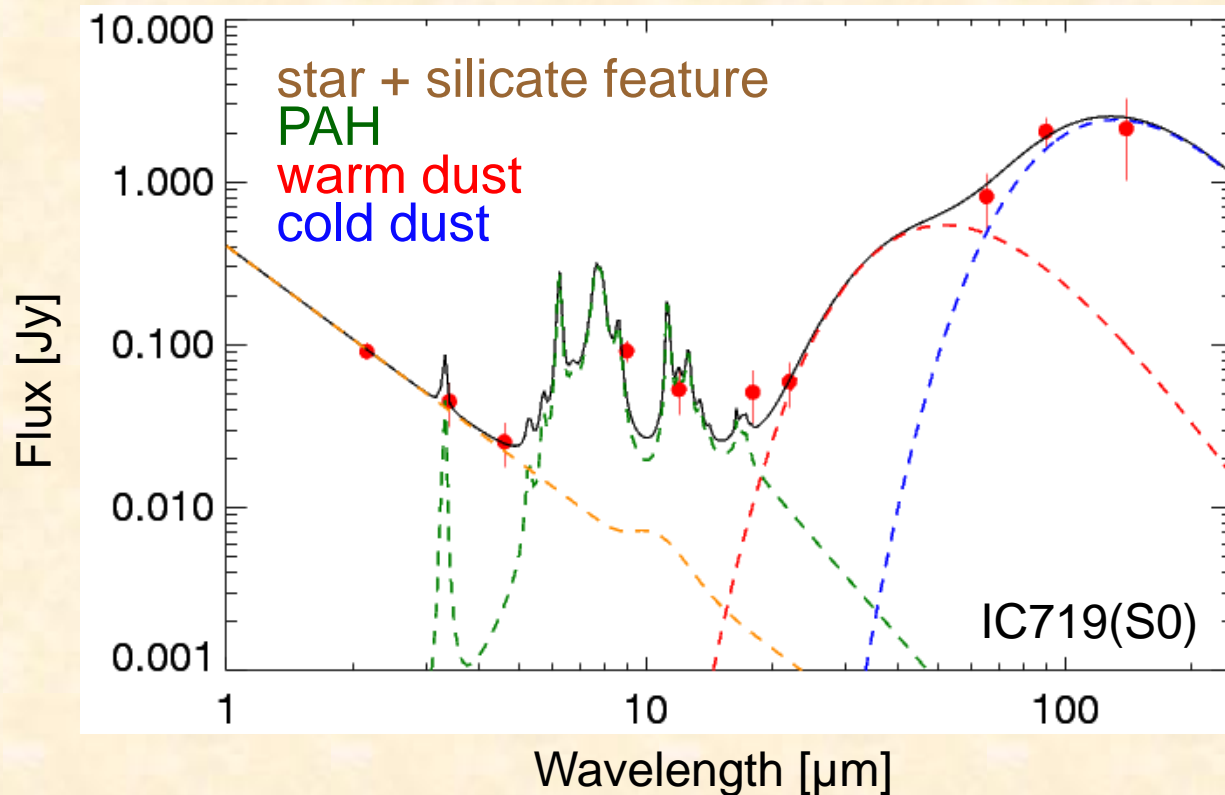
観測データ

- 「あかり」: 9, 18, 65, 90, 140 μm
- 2MASS, WISE: K , 3.6, 4.2, 12, 22 μm



2. サンプルと解析方法

- Model fit to spectral energy distributions

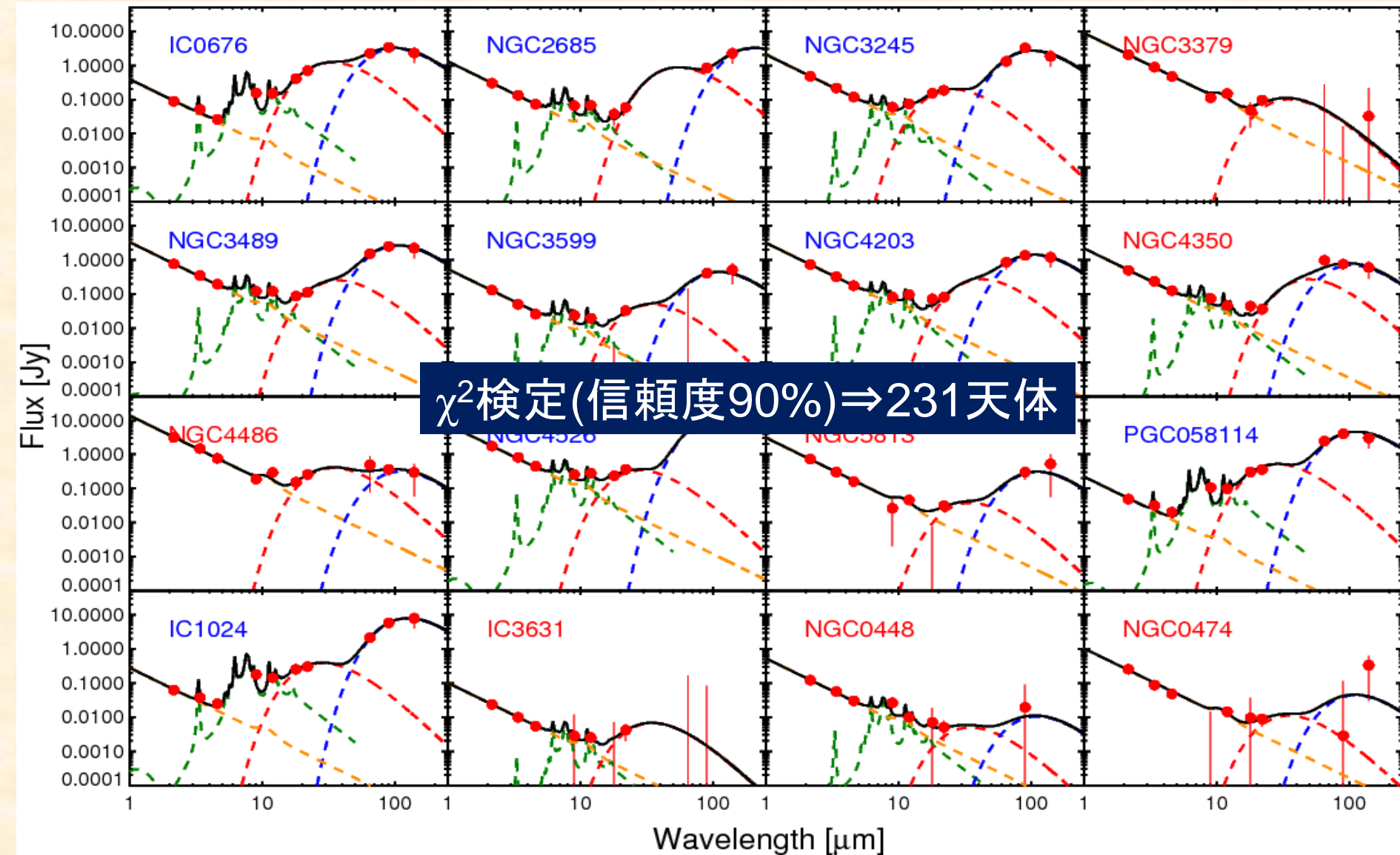


- 星の放射: power law + silicate feature
- PAH: Draine&Li07モデル
- ダスト放射: gray body ($\beta=2$)

2. サンプルと解析方法

CO検出 CO未検出
(Young+14)

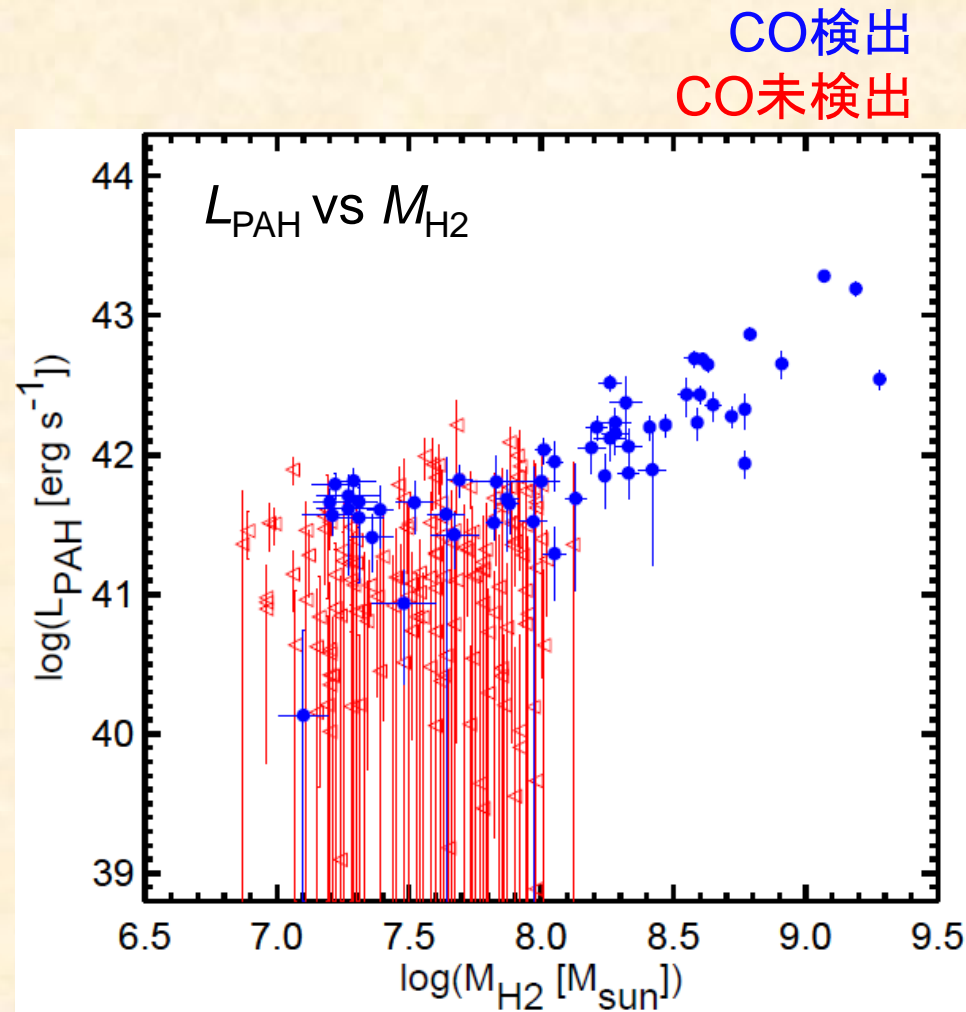
Model fit to spectral energy distributions



3. 結果: L_{PAH} VS M_{H_2}

CO観測: 260天体 (Young+11)

- CO (1-0)輝線強度 $\Rightarrow M_{\text{H}_2}$
 $X_{\text{CO}} = 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}/(\text{K km s}^{-1})$
- CO検出銀河において L_{PAH}
と H_2 が相関
($R=0.81, p<0.01$)
 \Rightarrow 分子ガスは星形成の材料



3. 結果: 星形成率

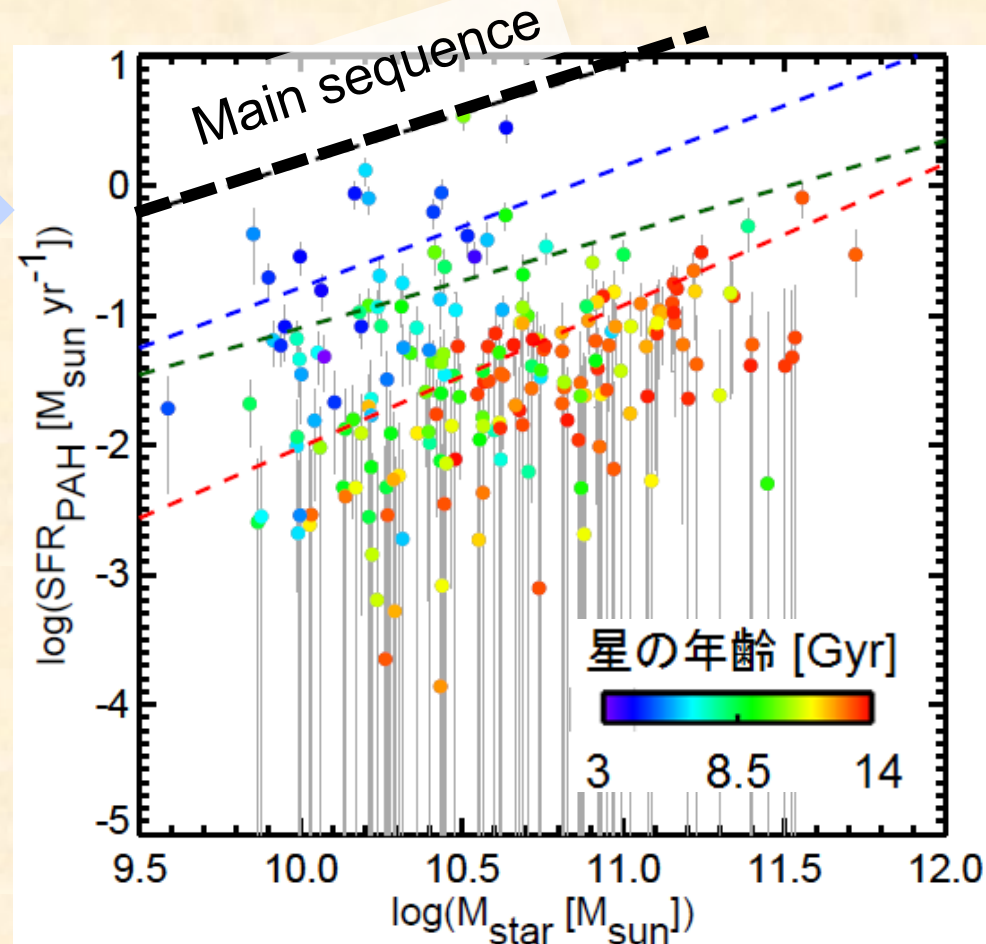
- PAH光度 \Rightarrow SFR: $\log \text{SFR}[M_{\odot}/\text{yr}] = \log L_{\text{PAH}}[\text{erg/s}] - 42.56$ (Shipley+16)
- SFRと M_{star} の相関: star formation main sequence (Elbaz 07)

星質量: 星の運動から計算

(Cappellari+13)

星年齢: 可視スペクトル+恒星種族
モデルから計算(McDermid+15)

星形成銀河のSFR- M_{star} 関係を
維持したままSFRは減少



Kokusho+17

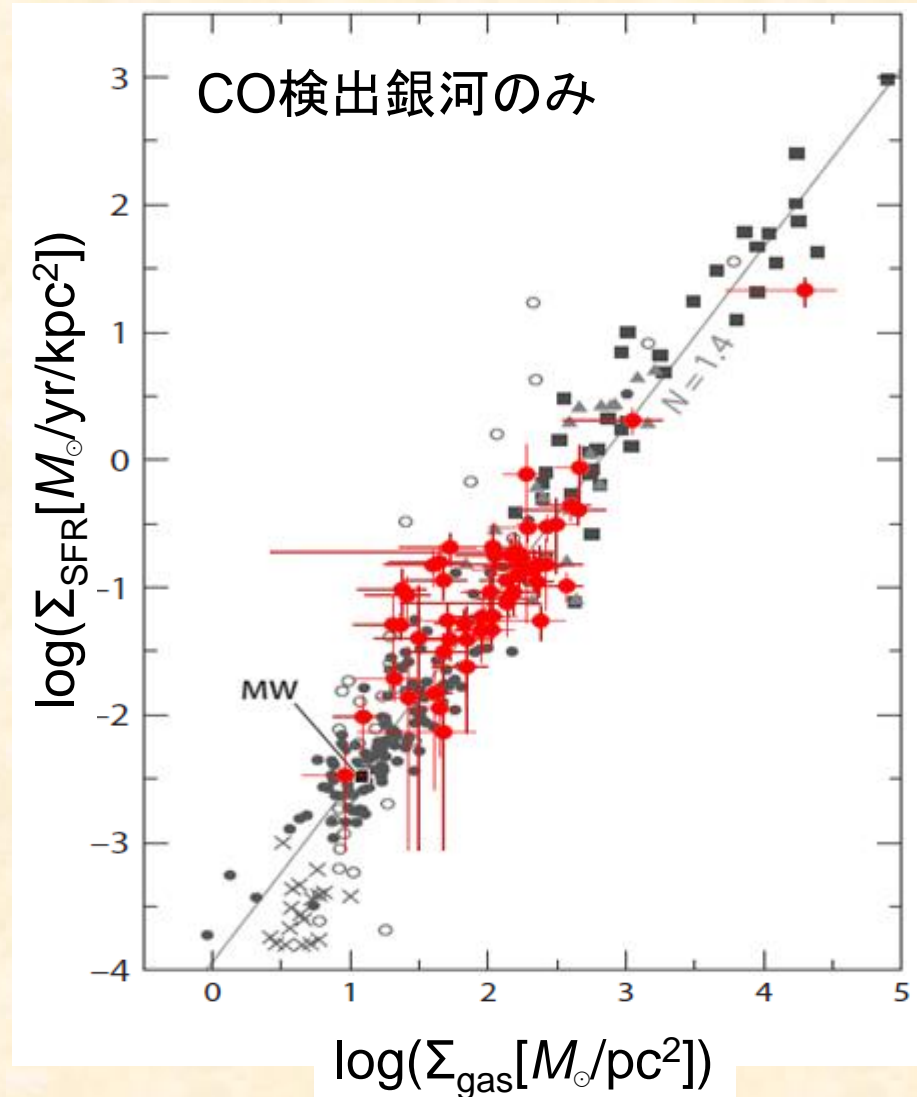
3. 結果: Kennicutt-Schmidt則

$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto (\Sigma_{\text{gas}})^{1.4}$$

本研究の結果

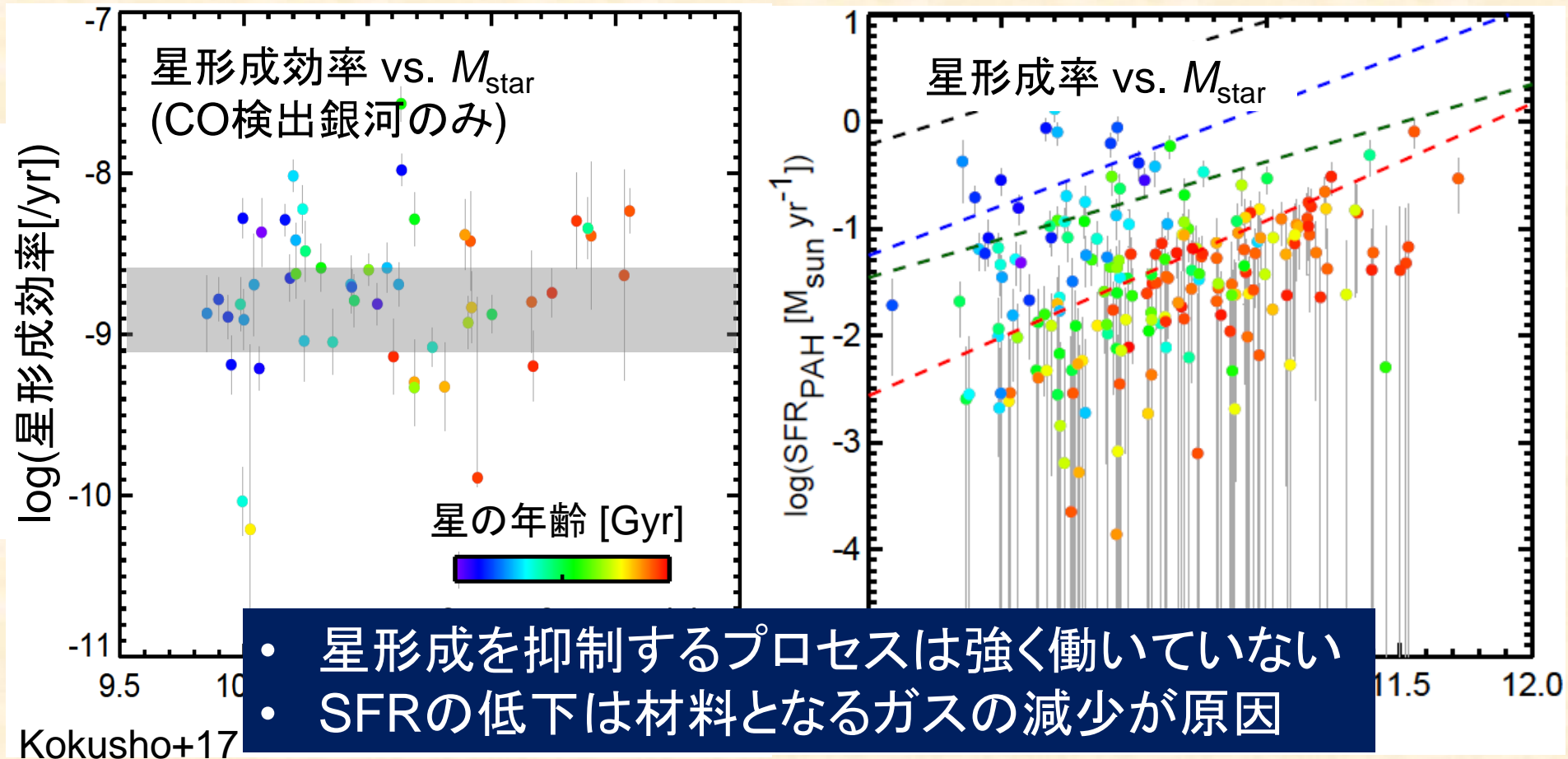
- PAH光度から求めたSFR
- ガス質量: $\text{H}_2 + \text{HI}$ (Young+11,13)
- 星形成領域のサイズ:
CO, 24 μm , UV, 可視光 (Davis+14)

星形成銀河と同じ関係に従う
⇒ 星形成効率が同程度




4. 議論: 早期型銀河の星形成効率

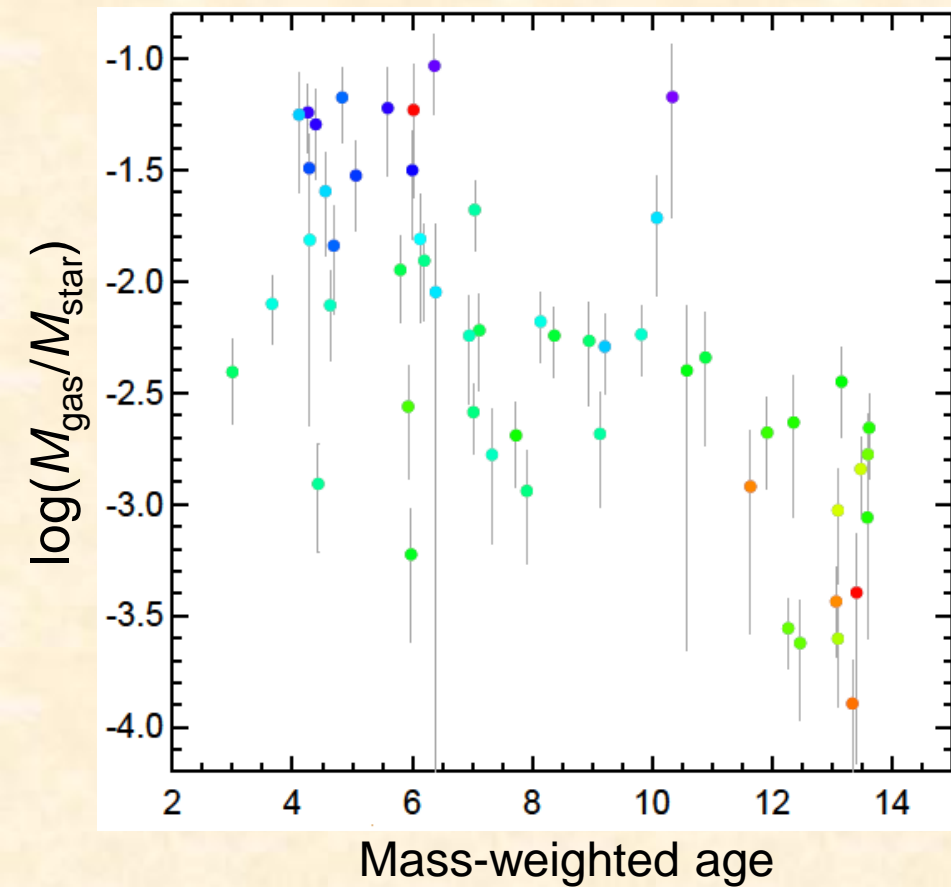
✚ 星形成効率($\text{SFR}/M_{\text{gas}}$)と年齢, M_{star} の関係



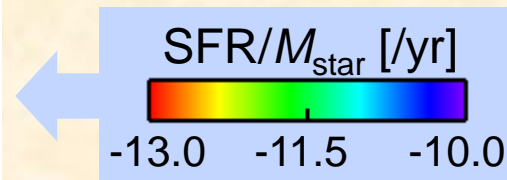
星形成効率は星形成銀河と同程度で、進化段階(年齢、SFR)に依存しない

4. 議論：早期型銀河の星形成効率

 $M_{\text{star}}/M_{\text{gas}}$ と年齢の関係



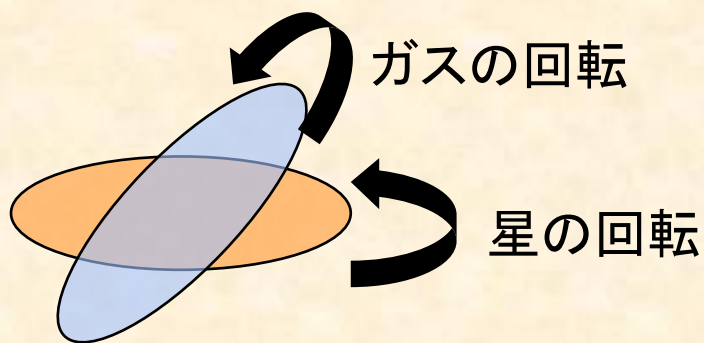
- 比星形成率で分類：
 $\text{SFR}/M_{\text{star}} = \text{SFE} \times M_{\text{gas}}/M_{\text{star}}$



4. 議論: ガスの起源と星形成の関係

✚ ガスと星の運動に応じて分類 (Davis+11)

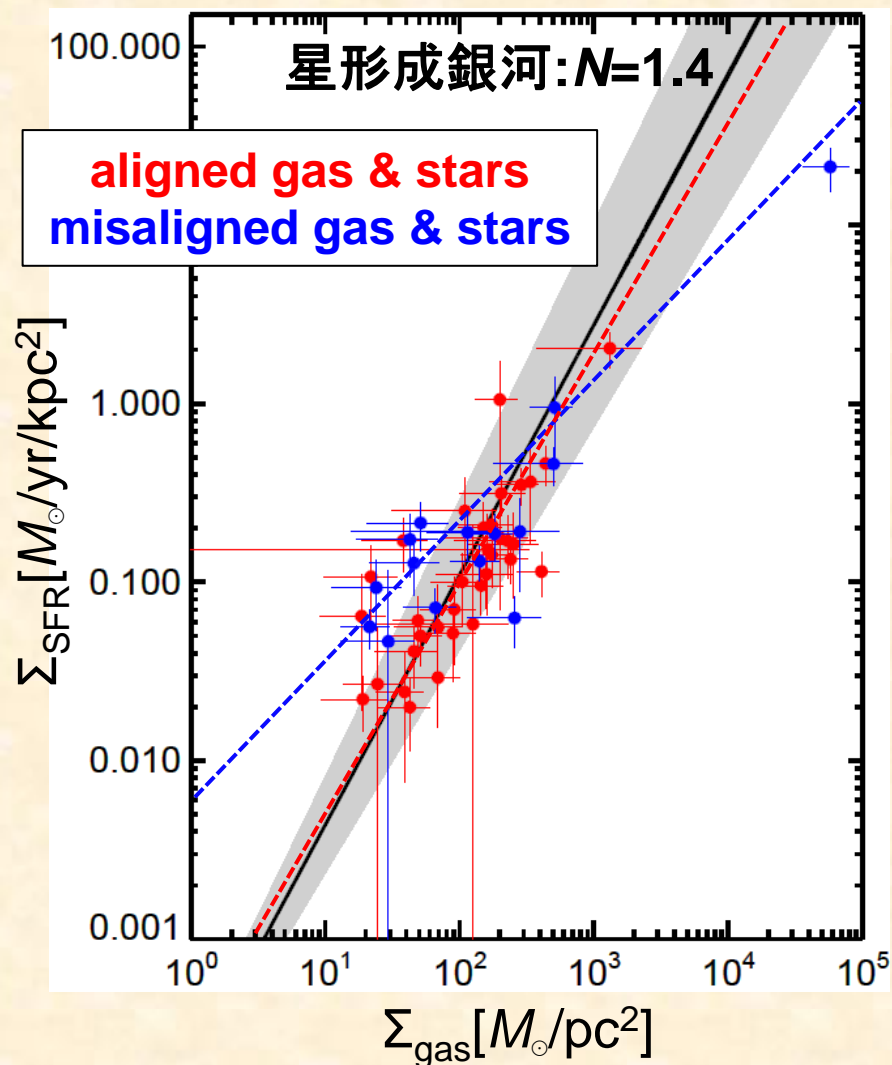
$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto (\Sigma_{\text{gas}})^N$$



ガスと星が異なる運動

⇒ 外部(merger)起源のガスが残存

外部起源のガスを持つ銀河で $N \sim 1$
⇒ ガス降着に誘発された星形成?



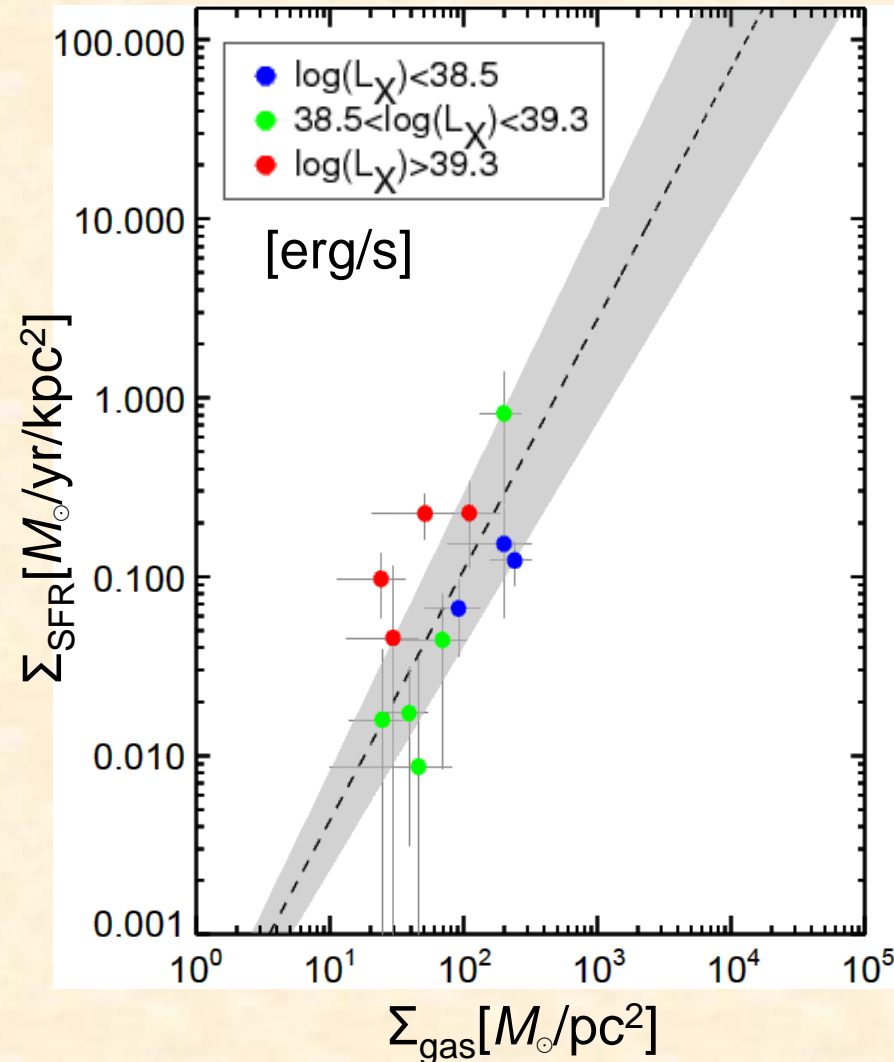
4. 議論: ガスの起源と星形成の関係

$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto (\Sigma_{\text{gas}})^N$$

✚ 銀河中心核($\sim 0.1 \times 0.1 \text{ kpc}^2$)のX線観測
(Pellegrini10): Chandra, 2-10 keV

- 銀河中心のX線光度が高いほど
星形成効率も高い
- L_X に対する星形成の寄与:
 $\log(\text{SFR}) = \log(L_X) - 39.77$ (Ranalli+03)
 SFR_{PAH} から L_X への寄与を計算
 $\Rightarrow \log(L_X [\text{erg/s}]) \sim 38$

AGNによる星形成の促進?



5. まとめ

- ✚ 早期型銀河は進化の最終段階にあり、AGNやX線プラズマが星形成を抑制していると考えられていた。
- ✚ ATLAS^{3D}銀河について「あかり」赤外線全天マップをもとにPAH光度を新たに得て、SFRを求めた。
- ✚ 早期型銀河の星形成効率は星形成銀河と同程度で、進化段階に依存しない。SFR減少の要因は、AGN等による星形成効率の低下ではなく、材料となる星間物質の減少である。
- ✚ 外部起源のガスを保持する銀河でKS則のべきが小さくなる傾向があり、ガスの獲得過程に応じて星形成のモードが異なることが示唆される。