

Pa α とPa β を用いた近傍赤外線銀河の星形成活動の性質 ~ISLEを用いたPa β 輝線による新規観測提案~

○ **館内 謙**、本原 顕太郎、小西 真広、高橋 英則、加藤 夏子 (東大天文センター)

小麦 真也、柳澤 顕史、伊王野 大介、金子 紘之(国立天文台)、植田 準子、
田村 陽一(東京大学)、高木 俊暢(JAXA)、斎藤 貴之(国立天文台)

吉井 謙、土居 守、河野 孝太郎、川良 公明、田中 培生、宮田 隆志、田辺 俊彦、峰崎 岳夫、酒向 重行、
諸隈 智貴、青木 勉、征矢野 隆夫、越田 進太郎、中村 友彦、浅野 健太郎、内山 瑞穂(東京大学)、半田 利弘(鹿
児島大学)、板 由房(東北大学)、加藤 大輔(JAXA)



銀河激進化期の終焉

✓宇宙の星形成史（星形成率密度の推移）

- $1 < z < 3$ でピーク
- $z=1 \rightarrow 0$ (? 億年)にかけて大きく減少
可視光：Lilly+ 1996; Steidel+ 1999 など
赤外やサブミリ波でも同様の増加が見られる
Le Floc'h+2005 など

→後半から急速に星形成活動が弱まってきた

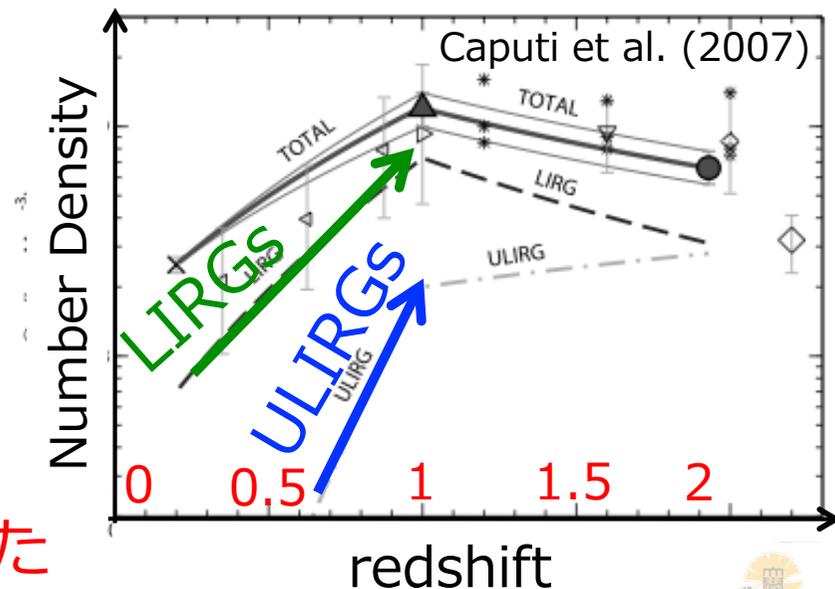
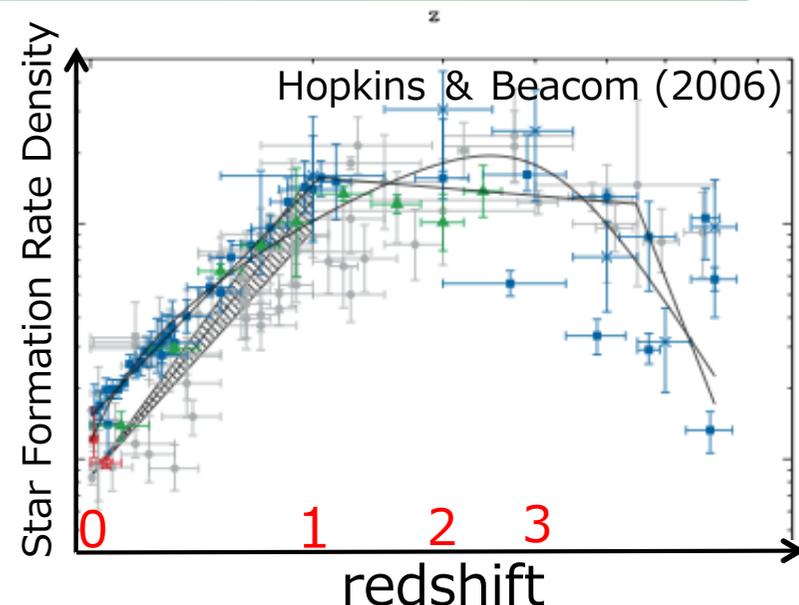
✓宇宙の活動性を担う赤外線銀河

- U/LIRGsは過去ほど数密度が増える

$$\text{ULIRGs} : 10^{12} < L_{\text{IR}} [\text{Lsun}] < 10^{13}$$

$$\text{LIRGs} : 10^{11} < L_{\text{IR}} [\text{Lsun}] < 10^{12}$$

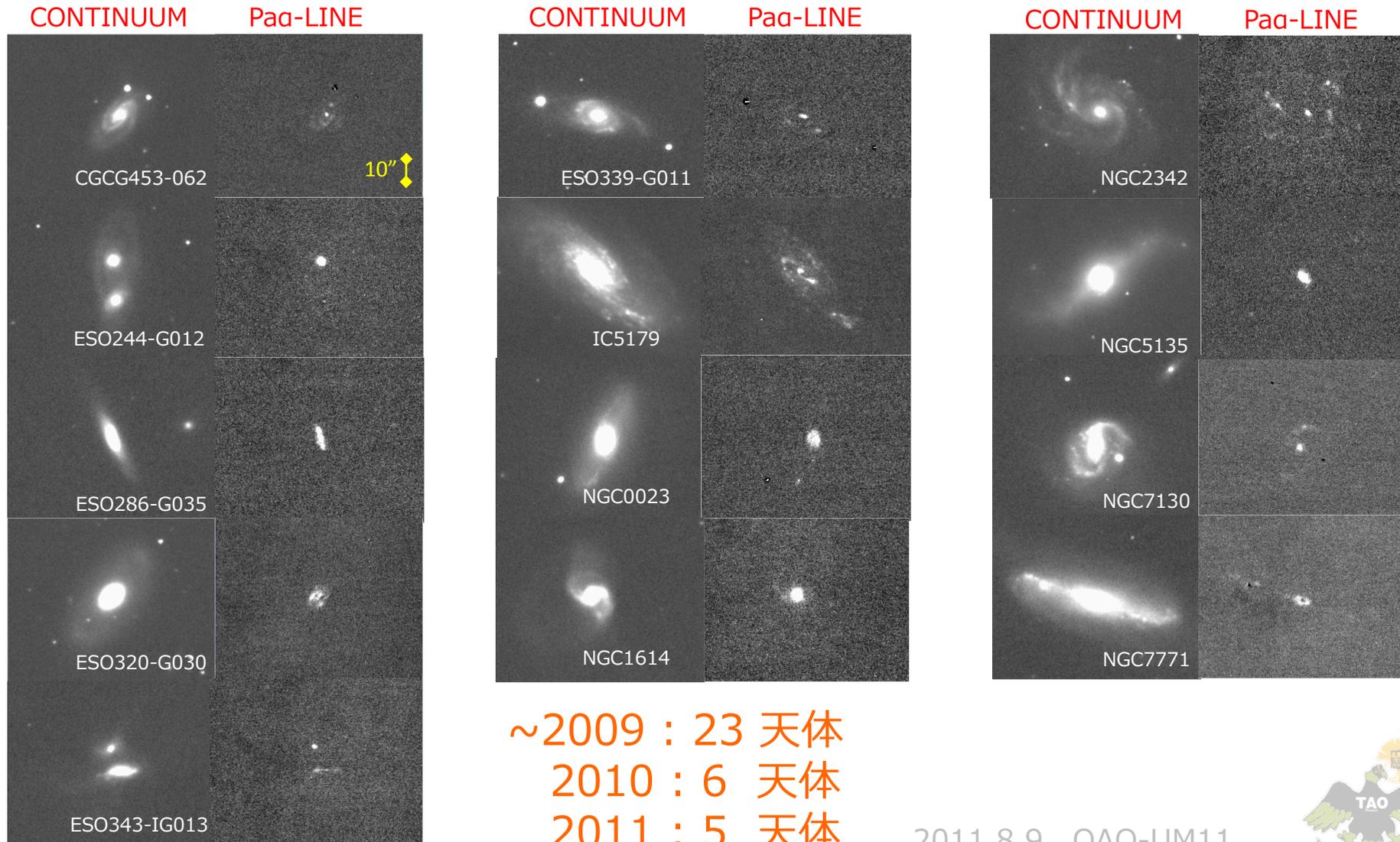
→星形成活動の大部分を担っていた
この活動性はどこから来るのか？



達成率 約10%
34/300

Pa α 輝線によるLIRGsサーベイプロジェクト

3000 km/s < 後退速度 < 8000 km/s の U/LIRGsのPa α 輝線サーベイプロジェクト
2009年6月～ 現在までに34天体のPa α 輝線検出に成功

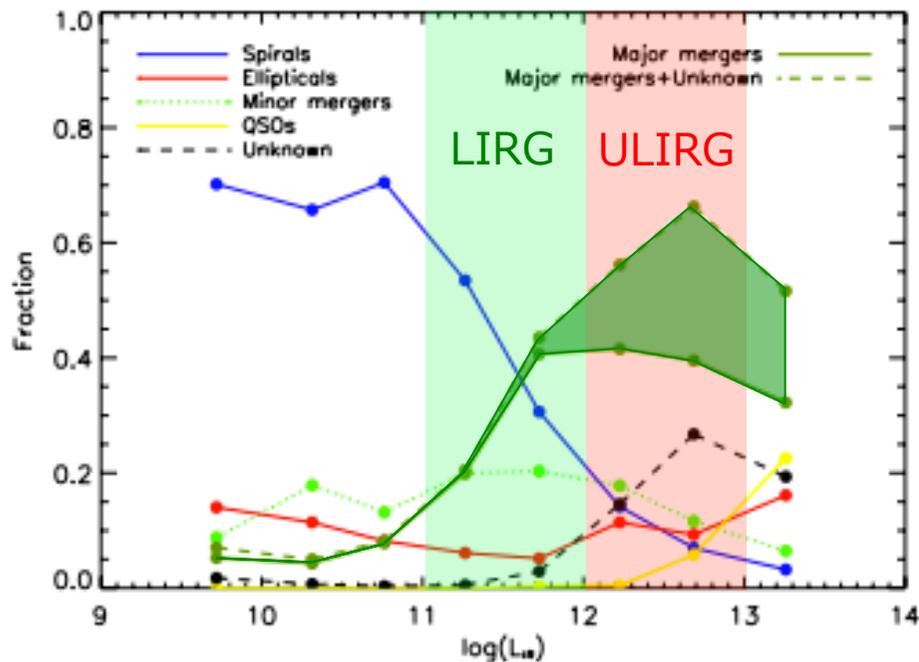


~2009 : 23 天体
2010 : 6 天体
2011 : 5 天体

2011.8.9 OAO-UM11



銀河間相互作用と星形成活動



✓ 赤外線銀河に占める相互作用銀河の割合

Spitzer 70 μm による結果 ($z < 1$)
Kartaltepe+ 2010

ULIRGs : 50-80%
LIRGs : 25-40%

銀河活動性における
相互作用の寄与は大きい

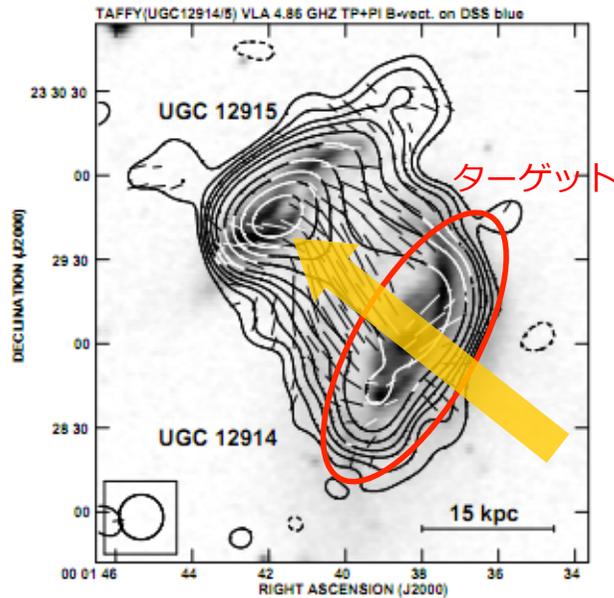
✓ 衝突の際いつ・どこで・どのようにに星形成が活発化するのか?

→ 近傍の銀河を詳細に観測

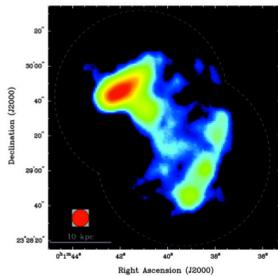
✓ 近傍の衝突初期の銀河

→ 星形成が活発化する瞬間を直接しらべることができる

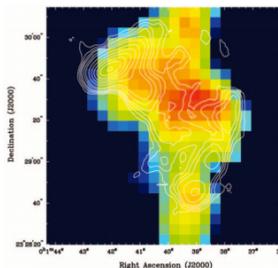
初期衝突銀河 —TaffyI—



DSS+4.86GHz(コントア)+B-ベクトル
Drzazga+ 2011 submitted



CO(J=1-0)
Gao&Zhu 2003
BIMA



HI 21cm
Gao&Zhu 2003
VLA

諸元

- 距離 61 Mpc
 - 衝突してから20Myr (Condon+ 1993)
 - $L_{IR} = 8.1 \times 10^{10} L_{\odot}$ (Gao&Seaquist 2003)
 - $M(HI) \sim 1.5 \times 10^{10} M_{\odot}$ (Condon+ 1993)
 - $M(H_2) \sim 4.5 \times 10^{10} M_{\odot}$ (Gao+ 2003)
- Arp244(アンテナ銀河)、Arp220(近傍ULIRG)の3倍のガス量
→ガスの大部分がBridge領域に存在する

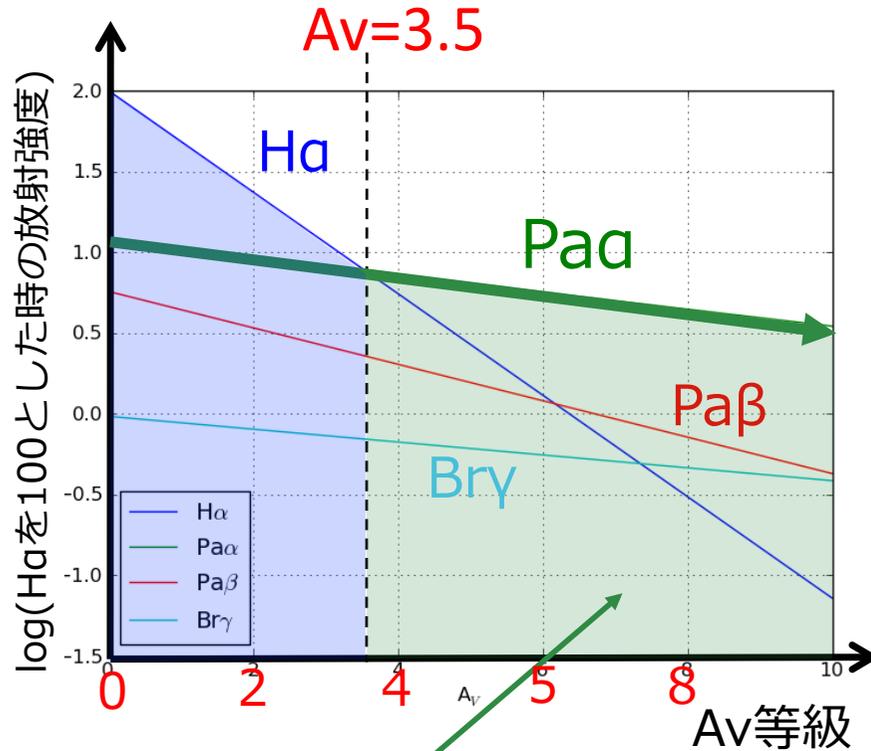
$$SFE = SFR / Mass(H_2)$$

どのくらい効率よくガスが星に変換されるかの指標

- ① SFEが20Myr経っているのにNGと同じ値？
→理論予測では～10Myrで2～10倍との示唆
- ② 衝突直後の星形成はどこで起こっているのか

Pa α 輝線で Dusty Star formation の現場を見通す

Pa α 輝線 (1.875 μ m)の利点



$A_V = 3.5$ 等以降では
Pa α 輝線の見かけの強度が一番強い

※CaseB $T = 10000\text{K}$ を仮定

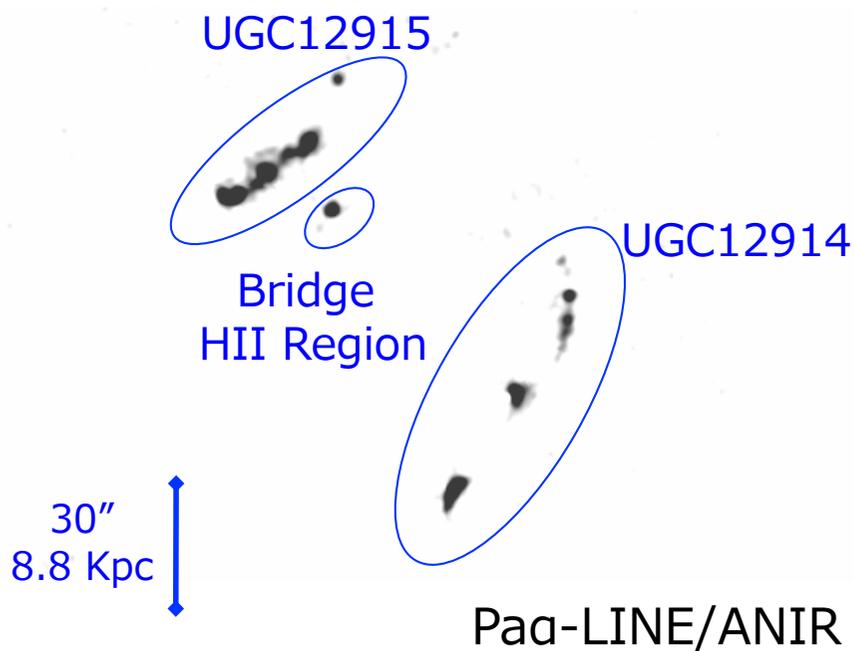
- ① 水素再結合線なので
星形成領域を直接トレース
→ 若い星形成($\sim 10\text{Myr}$)
- ② ダストによる減光の影響が少ない
→ 特に $A_V > 3\text{mag}$ 以上のU/LIRGsには好都合
(Alonso-herrero+ 2006)
- ③ 赤外放射する水素再結合線の中では
最も放射強度が強い
→ より面輝度の低い領域までトレース可能



miniTAO/ANIR
TaffyIをN191
フィルターにて観測

結果① TaffyIの星形成効率

ANIR/SFR(Pad)、NRO45m/CO(J=1-0) → 星形成効率(SFE)を求める



Roussel+ 2001	This work
$SFR_{7\mu m} = 6 M_{\odot} yr^{-1}$	$SFR_{Pa\alpha} = 27.3 M_{\odot} yr^{-1}$
$M(H_2) = 1.23 \times 10^{10} M_{\odot}$	
$SFE_{7\mu m} = 4.8 \times 10^{-10} yr^{-1}$	$SFE_{Pa\alpha} = 3 \times 10^{-9} yr^{-1}$
一般的なnormal galaxy と同じレート	normal galaxyと starburst galaxy の間のレート

PAH

- ・ 輻射圧によるダスト破壊？
- ・ 金属量の違い？

Paα

- ・ overestimateしていないか？
- ・ 減光を考慮していない

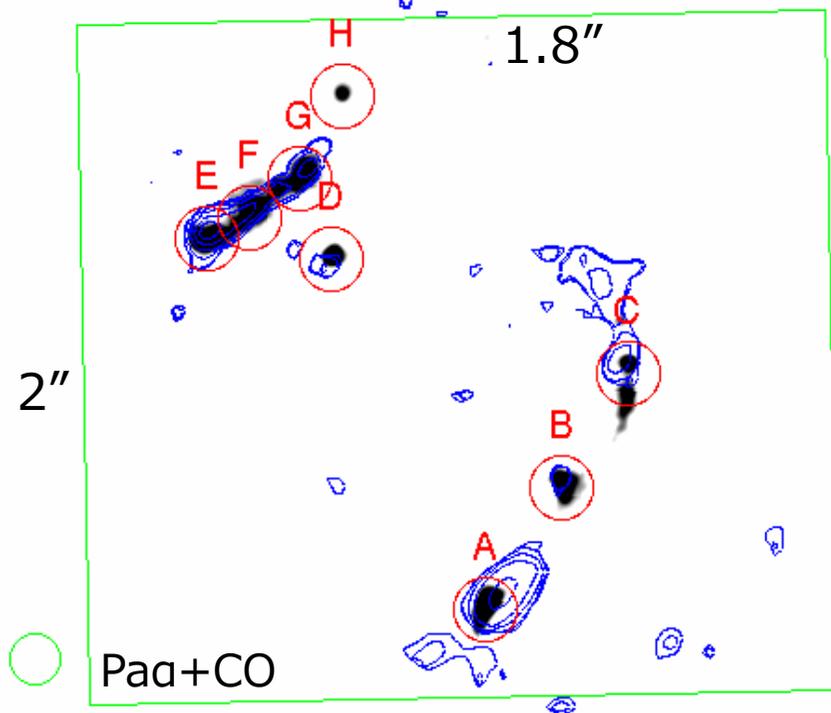
7umによる結果からはSFEが一桁以上低かった
→starburstへ移行中の銀河である可能性を示唆

2011.8.9 OAO-UM11



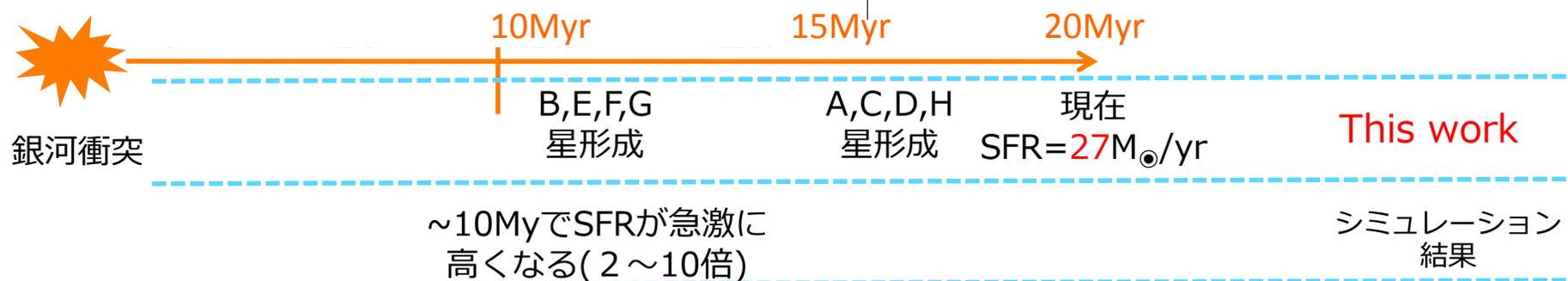
結果② Pa α EWを使った星形成領域の年齢推定

各星形成領域ごとにPa α の等価幅から年齢を見積もる(starburst99モデルより)



	SFR(Pa α) M_{\odot}/yr	年齢 Myr
A	12.6	4.4
B	0.884	>7.4
C	4.34	<3.5
D	6.85	<3.5
E	0.859	6.3
F	1.06	6.2
G	0.499	6.3
H	0.198	4.1

- どの星形成領域も衝突後に形成
- 10Myr経たないと星形成は起こらない



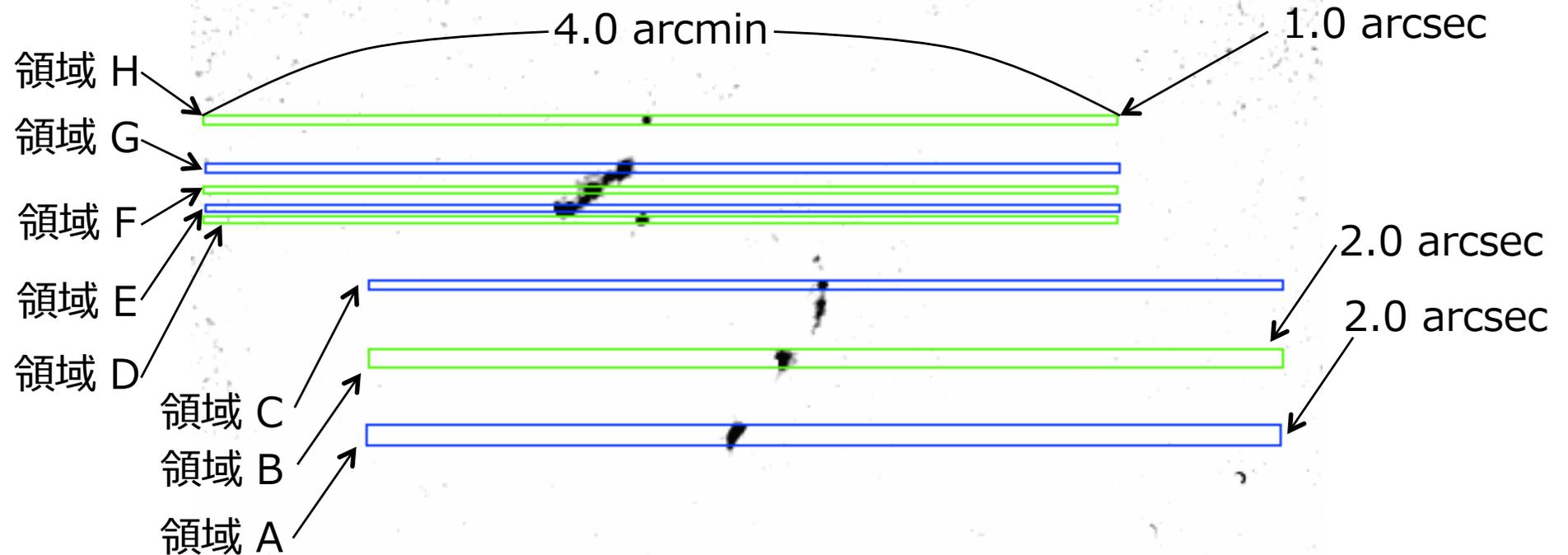
衝突銀河における星形成シナリオを観測的に示すことができた
→今後整合性の確認が必要!

Jog&Solomon 1992
Saitoh 2009



OA0/ISLEによるTaffyIのPa β (1.28 μ m)追観測提案

各領域のPa β 輝線強度をISLEの分光観測により取得したい R=2000~3000



- ✓ 全8領域のPa β 輝線分光情報
Pa β /Pa α による“Paschen Decrement 法”により減光度を見積もる
TaffyIが既に星形成が活発に行われている確固たる証拠とする
- ✓ ースリットあたり1H積分 × 8領域 = 8H
→S/N ~ 10 ...どのくらいで受かるかは若干不明

まとめ

- ✓ Pa α によるSFR推定と、45mのCOデータからSFEを算出
Normal GalaxyとStarburst Galaxyの間くらいの値となった
→現在星形成はかなり進みつつある？
- ✓ Pa α のEWから、星形成領域の年齢を見積もり
中心領域よりも衝突・diskのエッジ領域のほうが若い
→衝突銀河における星形成シナリオを観測的に示すことができた

衝突から～10Myrほどで星形成は誘発される

ショックで高温になったGMCがCoolingするのに必要な時間

→星形成タイムスケールの理論的研究への制限

✓今後

- Pa α に対するダスト減光の影響を詳しくしらべる必要がある
→Pa β 輝線の分光観測を提案
- TaffyIの星形成シナリオの整合性の確認

