

ANIR Key Science Project

Pa α 輝線で探る近傍衝突銀河の性質

~LIRGs Pa α 輝線 サーベイ~

○**館内 謙**、本原 顕太郎、小西 真広、高橋 英則、加藤 夏子(東京大学)

小麦 真也、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)

他TAOメンバー

2011.8.5 第4回 ANIR-WS



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

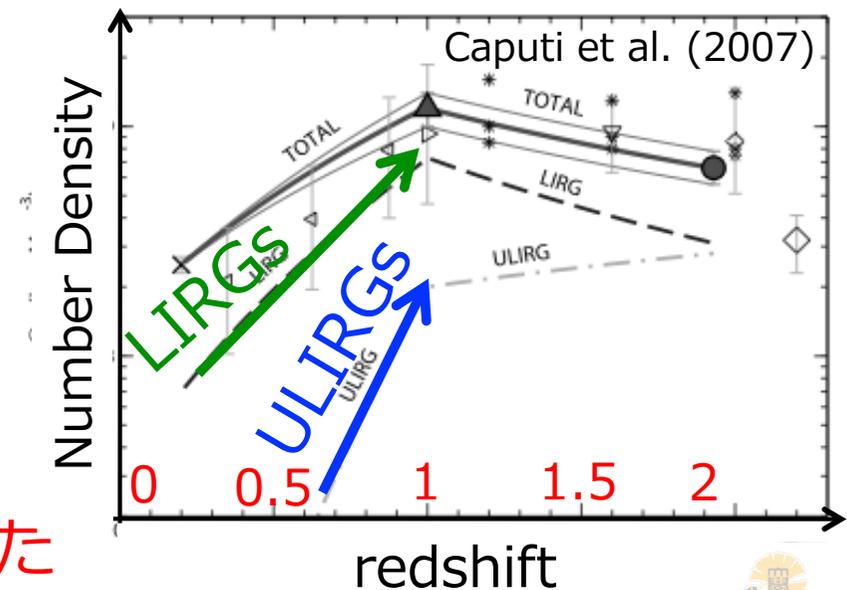
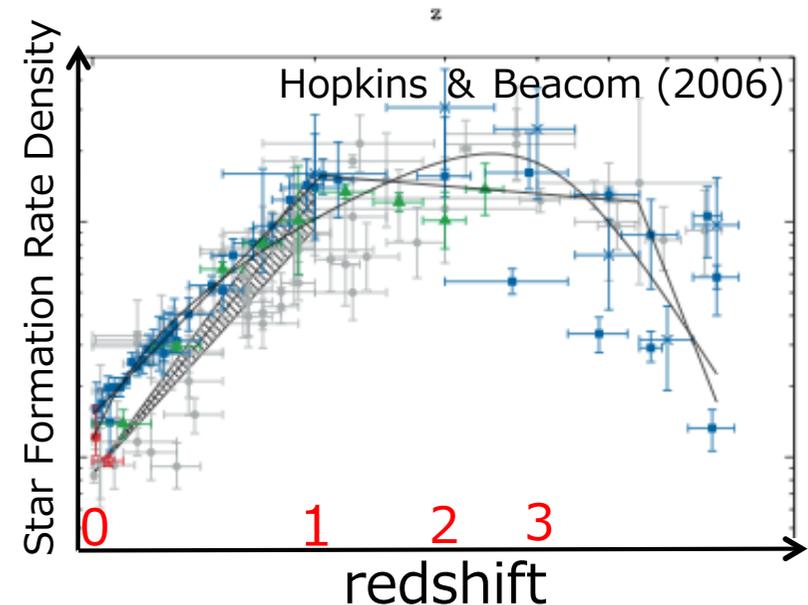
✓宇宙の活動性を担う赤外線銀河

- U/LIRGsは過去ほど数密度が増える

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

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

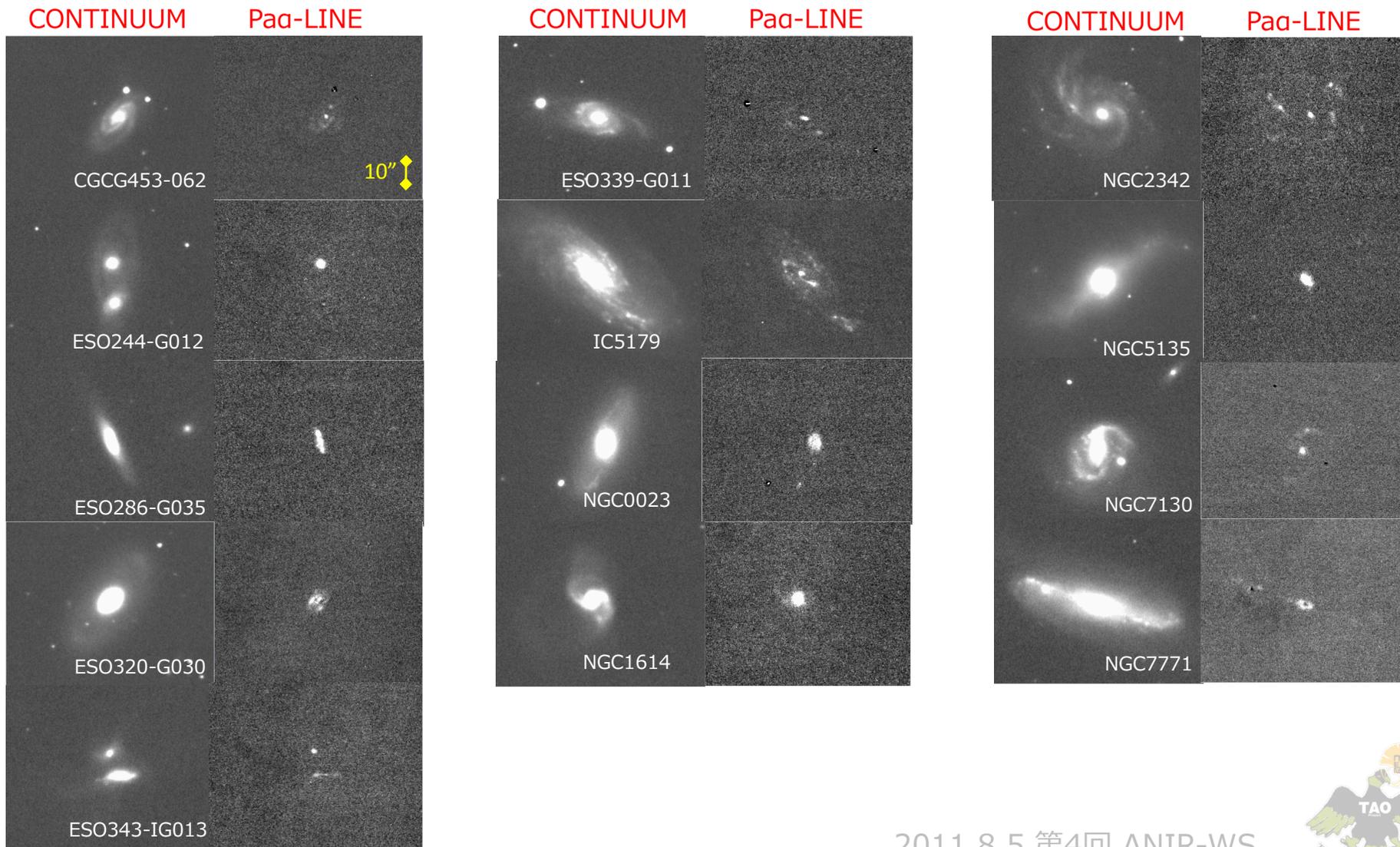
→星形成活動の大部分を担っていた
この活動性はどこから来るのか？



Pa α 輝線によるLIRGsサーベイプロジェクト

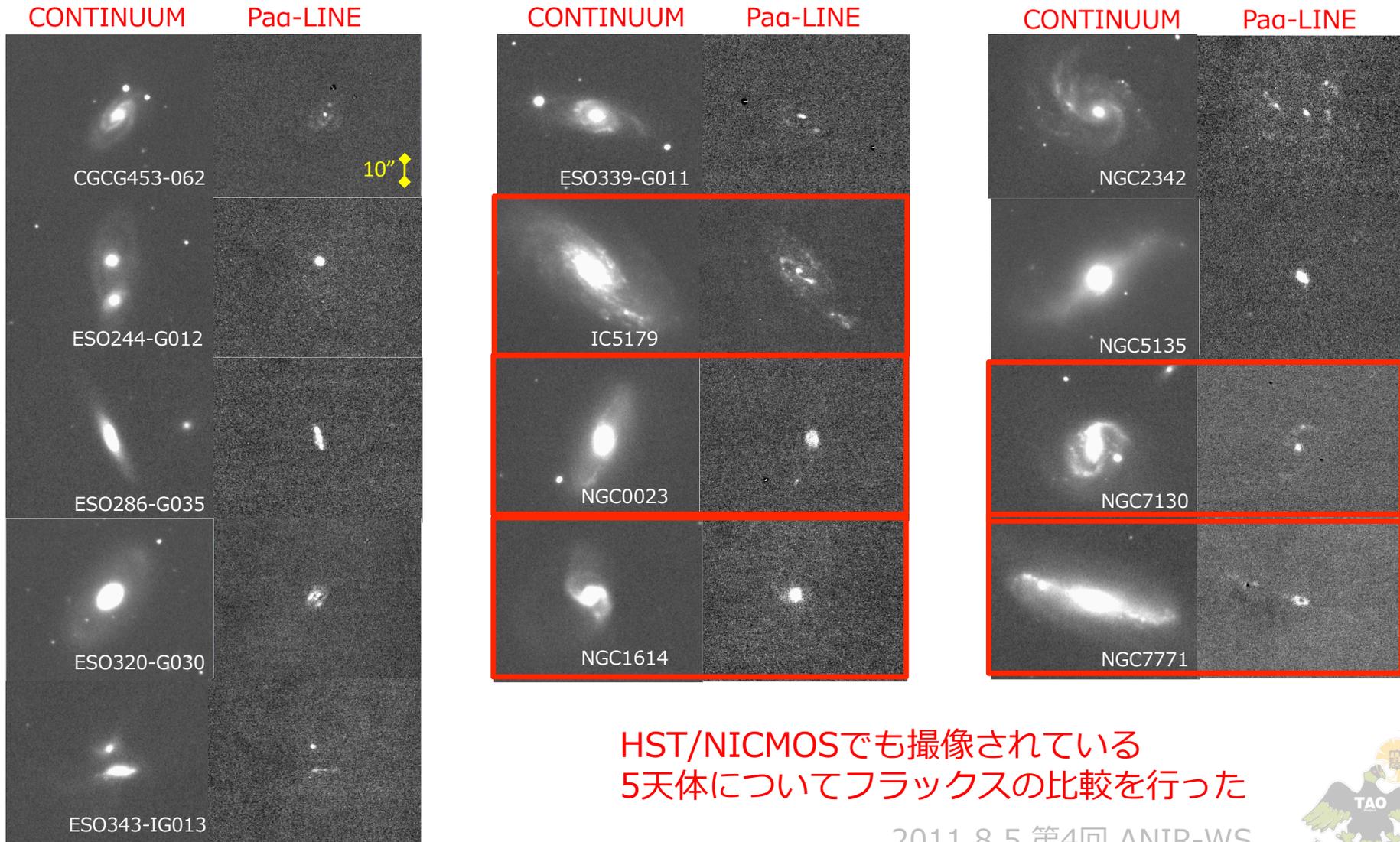
達成率 約10%
34/300

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



HST/NICMOSとminiTAO/ANIRのPa α -Fluxの比較

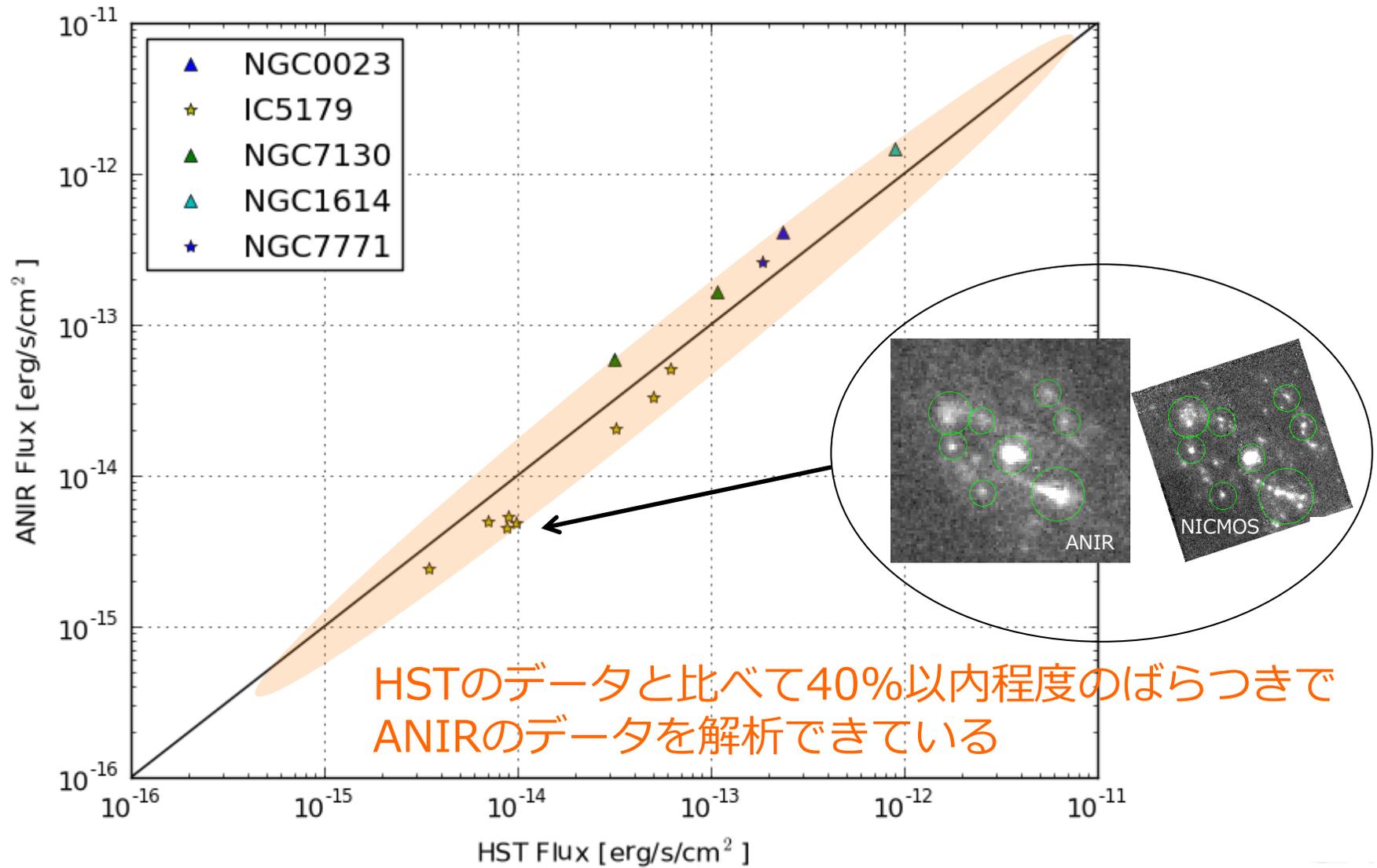
3000 km/s <後退速度< 8000 km/s の U/LIRGSのPa α 輝線サーベイプロジェクト
2009年6月～ 現在までに34天体のPa α 輝線検出に成功



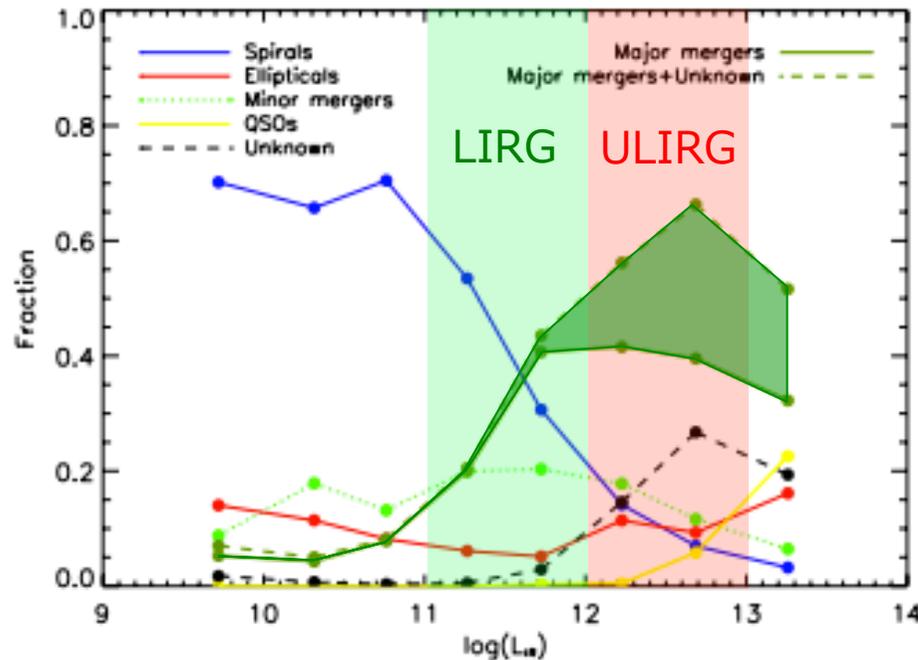
2011.8.5 第4回 ANIR-WS



HST/NICMOSとminiTAO/ANIRのPa α -Fluxの比較



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 ($z < 1$)
Kartalpe+ 2010

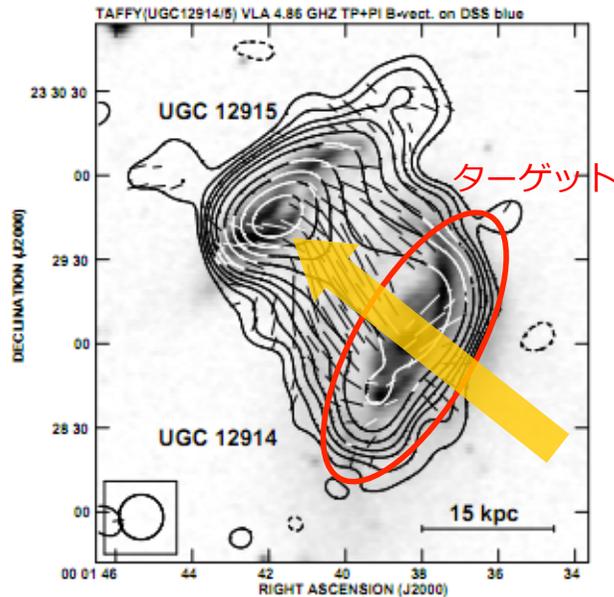
ULIRGs : 50-80%
LIRGs : 25-40%

銀河活動性における
相互作用の寄与は大きい

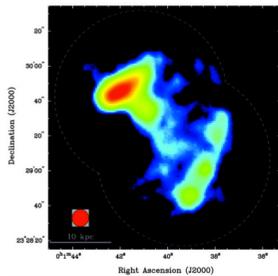
✓ 衝突の際いつ・どこで・どのように星形成が活発化するか?
→ 近傍の銀河を詳細に観測

✓ 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

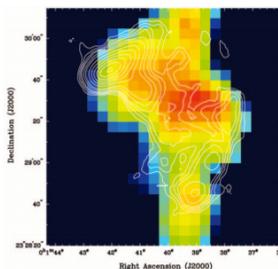
初期衝突銀河 —TaffyI—



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 ~ 0.01
 - 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

- 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

これは、

SFR(PAH、H α)が

GasMass(L/M)予想から出るSFRより低いせい?

→PAHは直接的なトレーサー?

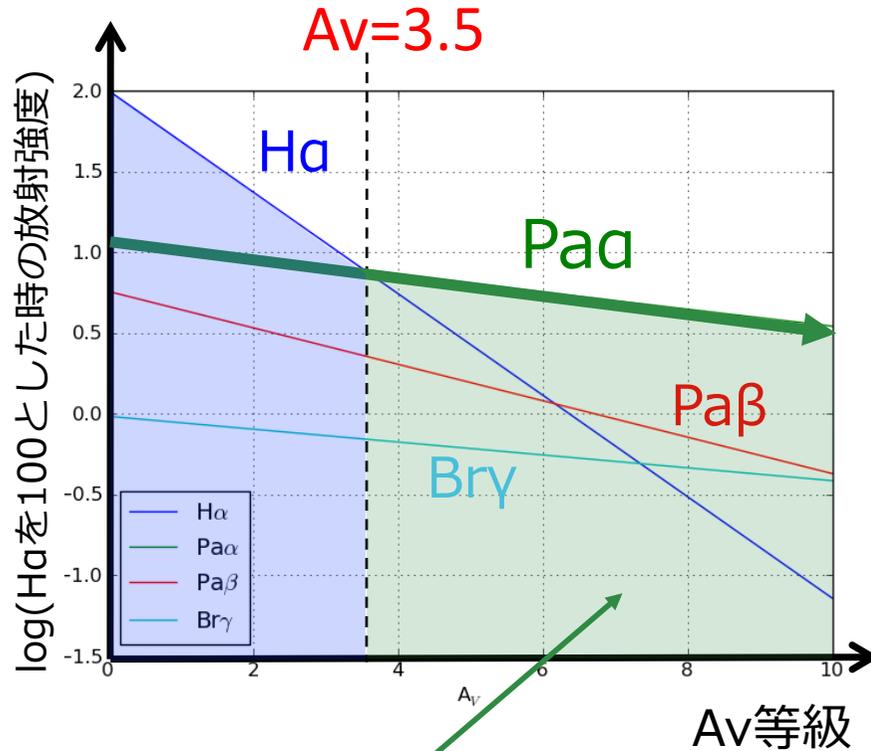
→ダストが濃くてH α では見通せていない?

Pa α 観測により解決させたい!

- 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=10000Kを仮定

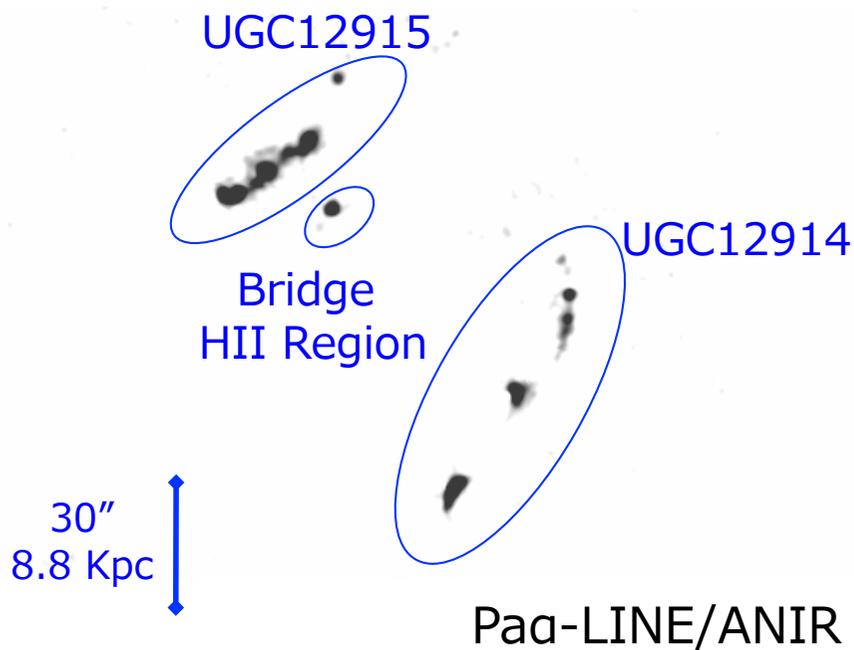
- ① 水素再結合線なので
星形成領域を直接トレース
→ 若い星形成(~ 10 Myr)
- ② ダストによる減光の影響が少ない
→ 特に $A_V > 3$ mag以上のU/LIRGsには好都合
(Alonso-herrero+ 2006)
- ③ 赤外放射する水素再結合線の中では
最も放射強度が強い
→ より面輝度の低い領域までトレース可能



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

- ・ ショックによるダスト破壊？
- ・ 金属量の違い？

Paα

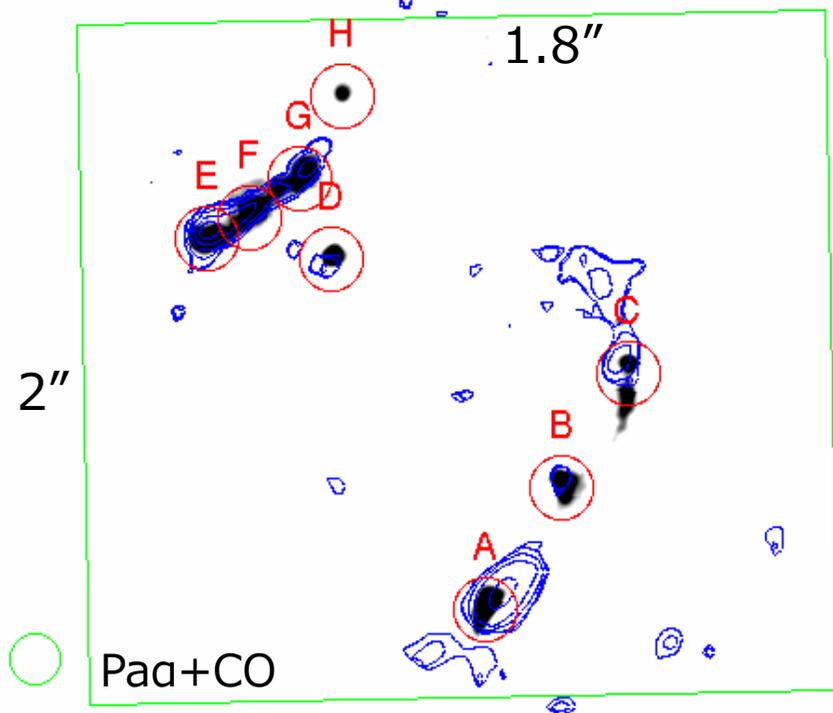
- ・ overestimateしていないか？

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



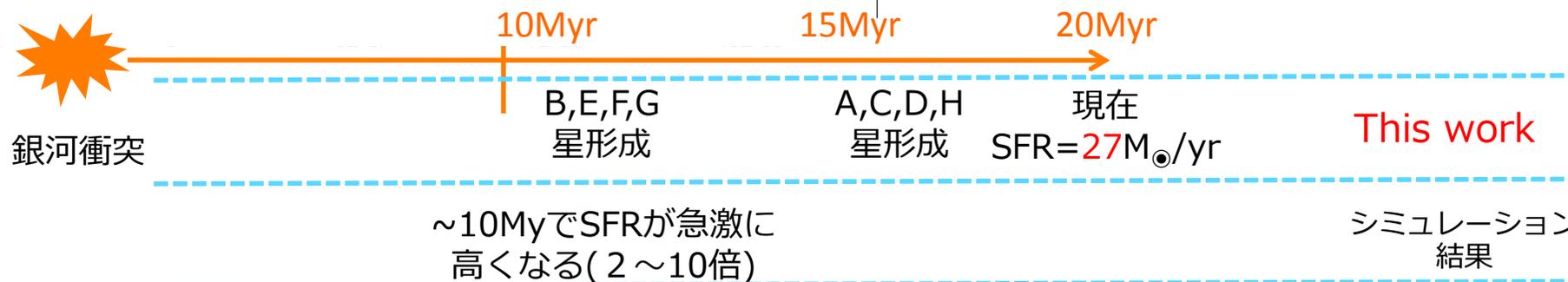
結果② Pa α EWを使った星形成領域の年齢推定

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



~10MyでSFRが急激に高くなる(2~10倍)

This work
シミュレーション結果

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



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 輝線の観測を予定(Pa β -offバンドが入るので観測可能！)
- TaffyIの星形成シナリオの整合性の確認

Pa α のサンプルを増やしてゆく！



新規観測提案 近傍($z \sim 0.1$)銀河のPa α 観測

① Pa α 輝線によるLIRGsサーベイ($z \sim 0.001$) : 継続中(ANIR + NAO + JAXA)

→ TaffyIなど個別天体の議論 + LIRGの統計的議論

② Pa β 輝線によるLIRGsサーベイ : 新規観測予定 (ANIR-team)

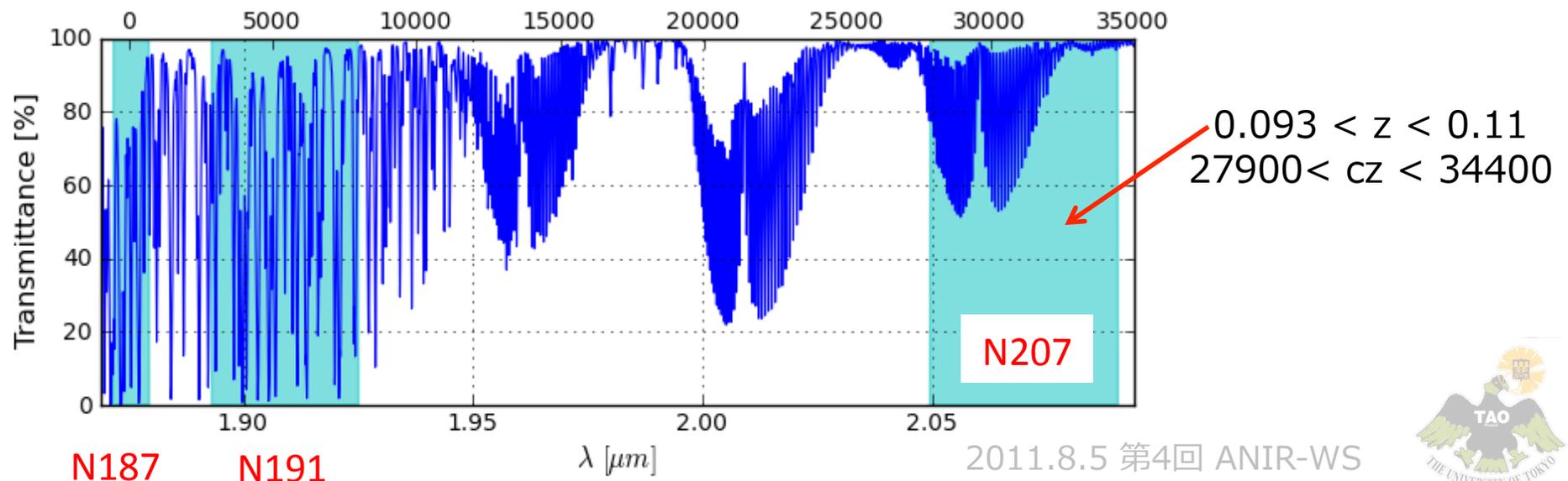
→ Pa α LIRGsサーベイでのサンプルの追観測

ダスト補正を"Paschen Decrement"(Pa β /Pa α)により評価する

③ $z \sim 0.1$ のPa α のよる銀河観測 : 新規観測予定 (ANIR、高木、松浦 (JAXA)、小麦 (ALMA))

→ より遠方の銀河のサーベイ

ADF-Sのカタログから銀河を選定



※名前募集中

ANIR Auto Data Reduction Tool For Near IR

2011.8.5 第4回 ANIR-WS



ANIR Auto Data Reduction Tool のアウトライン

- ✓ 第一次処理：一般的な画像処理
フラットなどの修正、ディザリング、足し合わせ、など

β-version

Release (Risk-Sharing)

↑ NIRの共通処理

↓ Pad観測特有の処理(Pad輝線のキャリブレーション)

- ✓ 第二次処理：輝線画像処理
H-band、Ks-bandを用いてContinuumを作成
Pad画像とのレベルを合わせるための、星を使ったContinuum調整
PSFをそろえるためにガウシアン調整
(Pad - Continuum)により輝線画像を作成

Under Development

- ✓ 第三次処理：大気吸収補正
システム効率を使ったPad輝線透過率(またはPWV)推定

Under Development

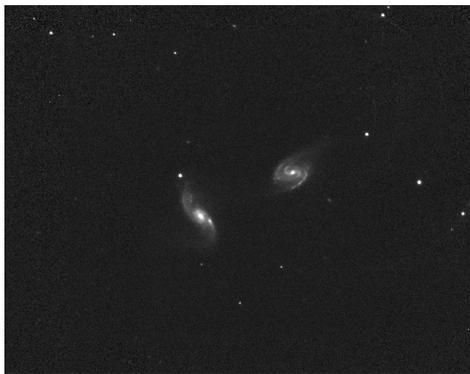
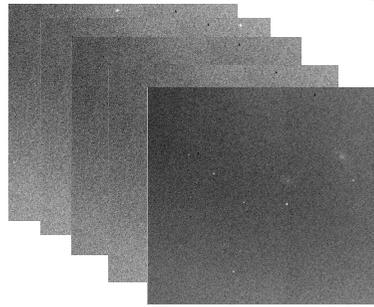
ANIR Auto Data Reduction Tool

特徴



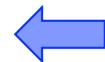
ワンクリックで画像が出来上がる！

※適切なパラメータを入力した場合のみ。詐欺ではありません。



大まかな自動解析内容

- ・セルフスカイ作成
- ・天体マスクを作成
- ・作成した天体マスクを用いてのセルフスカイ再制作
- ・天体マスクを作りなおす
- ・※スカイの高次補正
- ・2massカタログ自動取得
- ・2massカタログを参考にWCSを自動で張る
- ・WCSをガイドにディザをもどし、スタックする
- ※フラットやバッドピクセル処理なども入れてある



星のたくさん写っている領域などセルフスカイフラットを作れない画像は注意が必要！

※要個別相談

現在：浅野さん,田中(高橋)さんから相談を受けています

2011.8.5 第4回 ANIR-WS



お申し込みは随時受け付けております

 はじめてのお客さま

お申し込みから使用までは**3つのシンプルステップ**！



※即座に対応できないかもしれませんがご了承下さい

※星の密度が高い領域でのご使用は注意が必要です。適切な用法用量を一緒に探しましょう。

※β版なので、今後メジャー・マイナーバージョンアップをしてきます

※データはためこまず！解析は計画的に！