

Paα Line Survey of Local LIRGs

○**館内 謙**、本原 顕太郎、小西 真広、加藤 夏子、利川 興司、内一・勝野 由夏、大澤 亮

吉井 譲、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、田村 陽一、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(ISAS/JAXA)



2010/3/10 ANIR-Work Shop

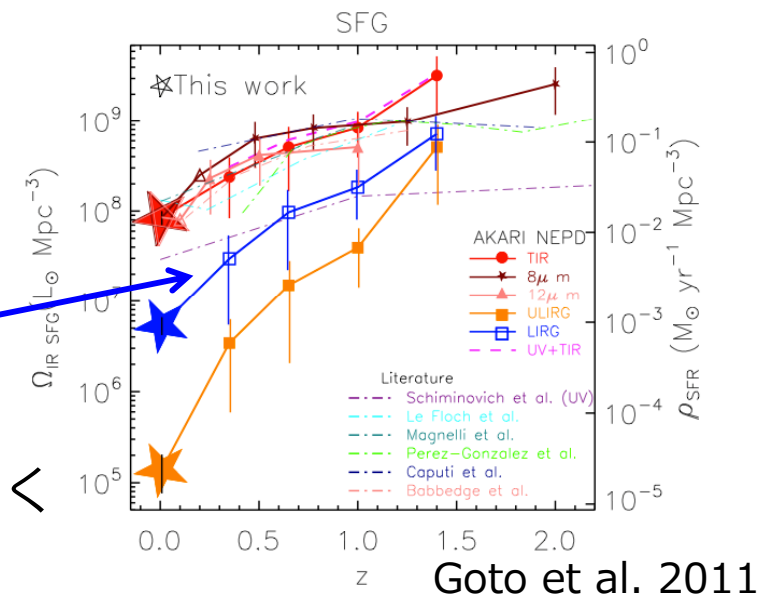
ダストが豊富な星形成が活発な銀河

✓ LIRGs

非常にダストリッチで活発な星形成が行われている銀河

✓ 遠方に行くとも重要性が増してくる

→ 星形成が活発な銀河の割合が増えてゆく
→ 近傍の星形成活動が活発な銀河の性質を詳しく調べて遠方との違いをみてゆきたい

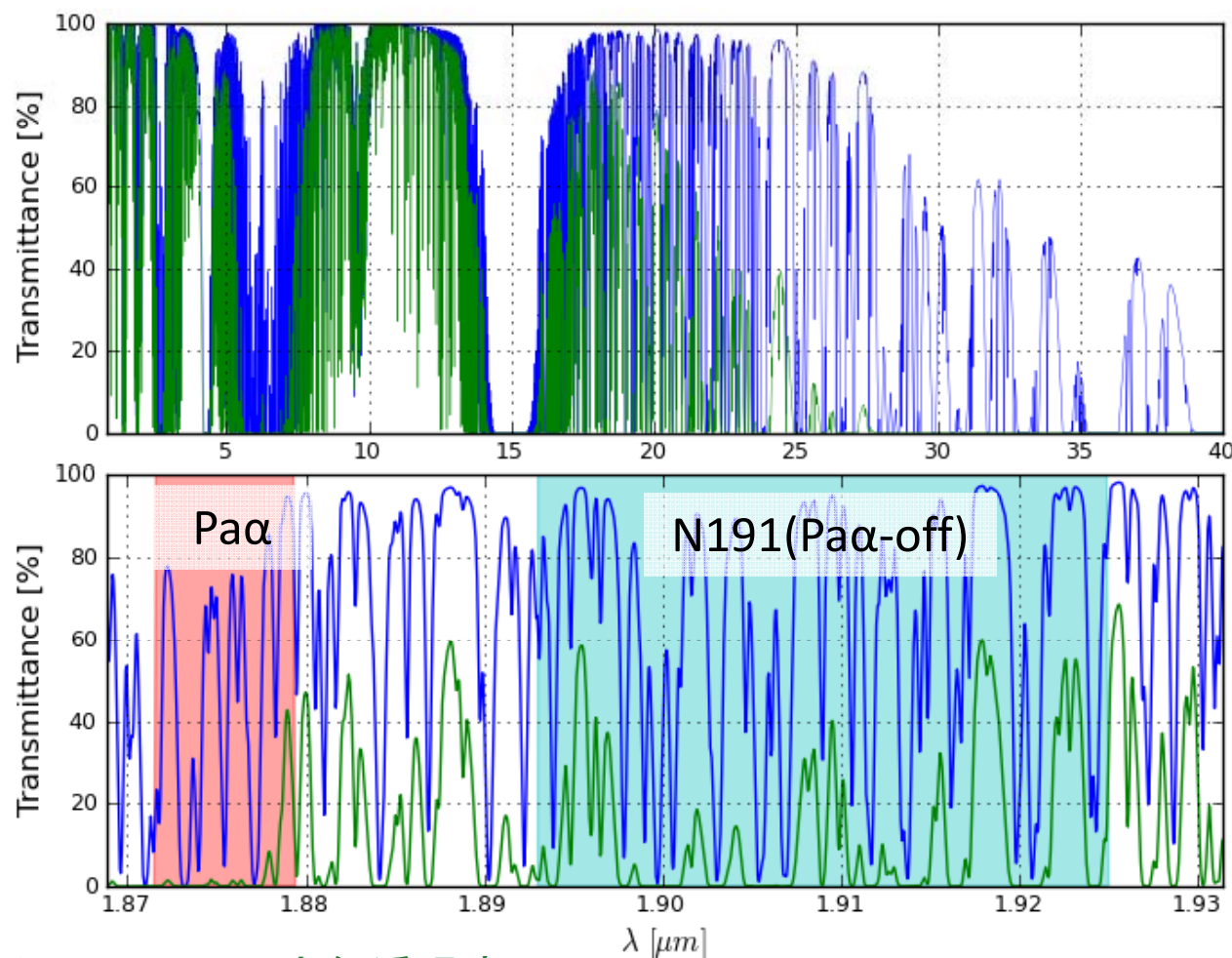


✓ 銀河活動の活発さの指標であるSFR

→ 指標なのでより正確に見積もる必要がある
→ Paα(1.875μm)ならダスト減光に強く、直接星形成領域をトレースできる！

- ① Hαに比べて強度がそれなりに強い
→ PaαはHαの1/10くらい、Brγは1/100くらい
- ② ダストによる減光の影響が比較的少ない！
→ $A_V \sim 3$ くらいでHαと強度が逆転する
- ③ 撮像観測で[NII]輝線による汚染がなくなる

ANIR サイトでの Pa α 透過率



VLTサイト@2600での大気透過率

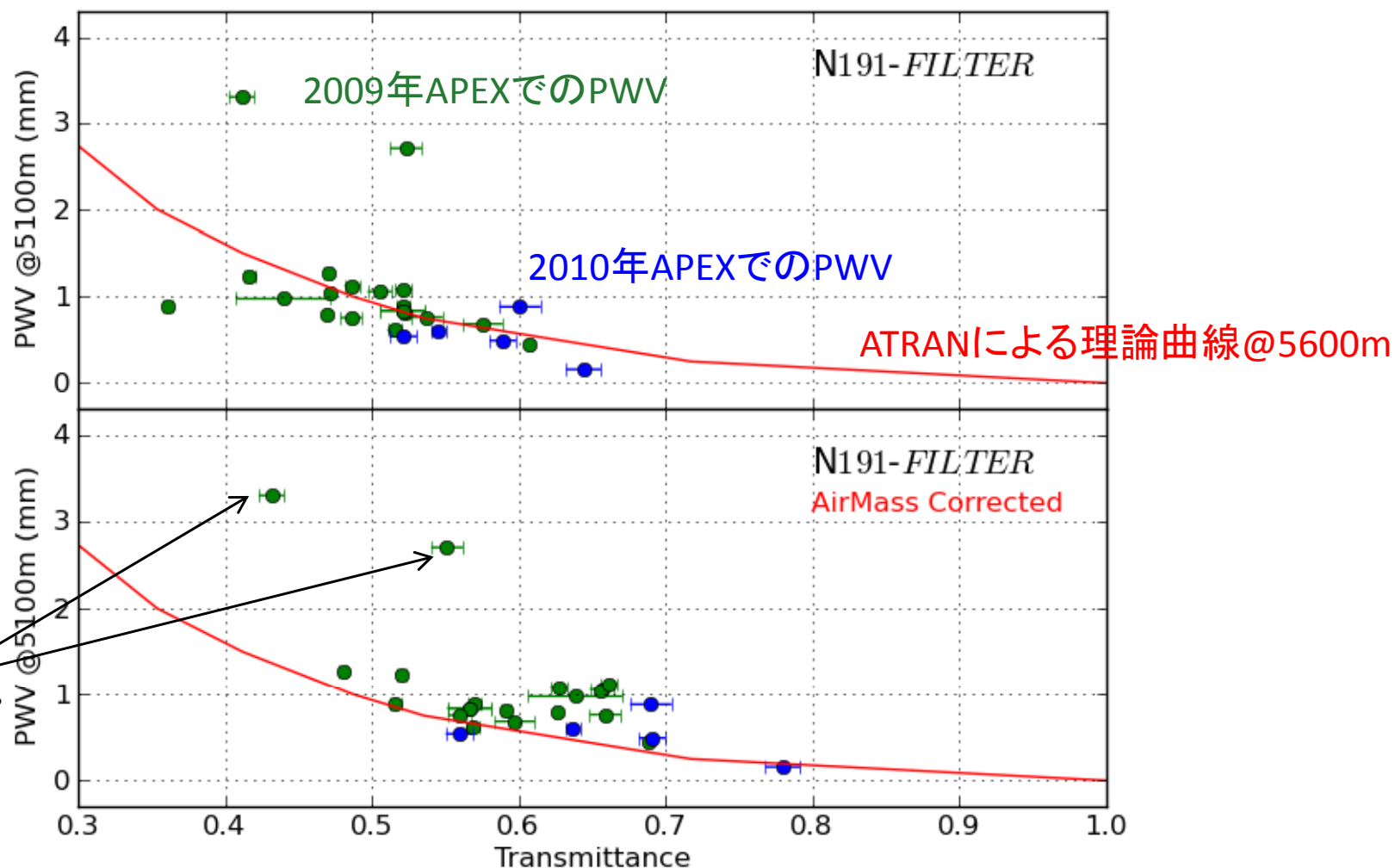
TAOサイト@5640(PWV=0.5mm)での大気透過率

Pa α の透過率が激的に向上！
ANIRはPa α 輝線のためにあるようなもの！

2010/3/10 ANIR-Work Shop



Pad 透過率 (N191) と PWV (可降水蒸気量)

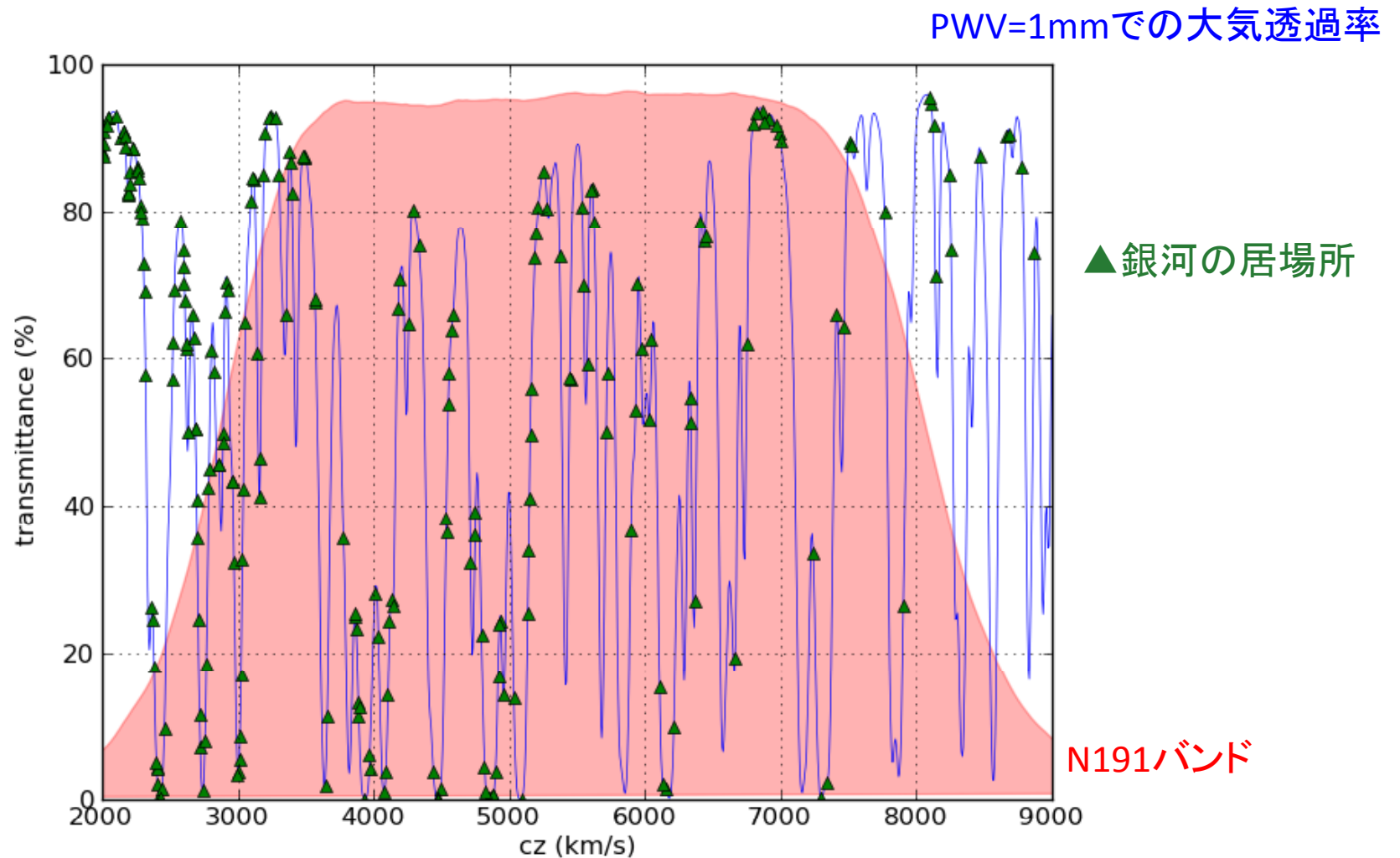


ALMA平原に水蒸気が溜まる?



PWVはPad透過率とよい相関関係にある
ALMA平原@5100mより山頂@5640mの方が水蒸気量が低い！

N191-narrow band で観測可能な近傍銀河



Sanders et al.(2003)/IRASでの銀河サンプル
→画面上には226個の銀河がプロットされている

観測天体

✓ 2010年秋のラン

10/7, 10/14, 10/15, 10/19, 10/20

✓ 大気透過率を考慮したセレクション

→ 透過率の高い + 透過率が安定している銀河を優先的にサーベイ

✓ 6天体中6天体ともPa α 輝線の検出に成功

Date	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	Link		
10/7	Instrument Trouble				Focus	Opt. Std.	UT5 (Minezaki)	LIRGS	log		
10/8	Focus	CN1 (Pignata)			Focus	UT2 (Matsunaga)		AN3	log		
10/9	Focus	UT1 (Asano)	Opt. Std.	Instrument Trouble	UT6 (Minezaki)	JX1 (Komugi)		Focus	UT5 (Minezaki)	log	
10/10	Rest Day										
10/11	Focus	CN2 (Angeloni)		AN3	ToO (GRB101011A)	Cloudy through night → Snowing → Give up			log		
10/12	Focus	CN2 (Angeloni)			Focus	UT5 (Minezaki)	ToO (GRB101011A)	AN3	log		
10/13	Rest Day										
10/14	Focus	UT3 (Matsunaga)	UT6 (Minezaki)	LIRGS	Opt. Std.	UT5 (Minezaki)	UT4 (Matsunaga)		log		
10/15	Focus	AN2	LIRGS		UT5 (Minezaki)		Opt. Std.	UT7 (Ohsawa)	UT9 (Tanabe)	AN3	log
10/16	Focus	AN2		JX1 (Komugi)		UT5 (Minezaki)	AN3	NJ1 (Nakashima)		log	
10/17	Focus	AN2	ToO (GRB101017A)	UT6 (Minezaki)	JX1 (Komugi)	AN3				log	
10/18	Rest Day										
10/19	Focus	AN2	LIRGS		UT9 (Tanabe)	UT5 (Minezaki)	UT9 (Tanabe)		log		
10/20	Focus	LIRGS		UT5 (Minezaki)	AN3	UT8 (Tanaka)		UT9 (Tanabe)	log		
10/21	Focus	UT9 (Tanabe)	NJ2 (Narita)	Opt. Std.	UT8 (Tanaka)	UT7 (Ohsawa)	NJ1 (Nakashima)	ToO (SN2010ih)	UT9 (Tanabe)	log	
10/22	Rest Day										
10/23	Focus	CN1 (Pignata)			ToO (GRB101023A)	CN1 (Pignata)	UT9 (Tanabe)	UT6 (Minezaki)	NJ2 (Narita)	log	
10/24	Focus	AN2	UT6 (Minezaki)	UT9 (Tanabe)							
Date	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h			

左クリック: レンダリングエンジンの切り替えます

中クリック: 新しいタブを開いてレンダリングエンジンを切り替

右クリック: IE Tab Plusのサイトフィルタを表示します

これまでに撮像した銀河全20天体に加えて議論をしてゆく

観測天体

No.	Name	F _{paa} (erg/s/cm ²)	Luminosity (erg/s)	SFR	IRAS SFR	後退速度(km/s)	PWV (mm)	輝線透過率 (%)
1	ngc0023	2.13E-13	9.40E+40	6.38	19.34	4566	1.00	50.4
2	eso244_g012	1.62E-13	1.61E+41	10.94	42.31	6866	0.82	92.3
3	ugc02238	4.90E-13	4.34E+41	29.45	31.36	6483	1.01	72.3
4	irasf02437+2122	2.23E-14	2.18E+40	1.48	22.20	6810	0.74	46.9
5	ngc1614	1.28E-12	6.10E+41	41.42	68.61	4744	0.81	30.3
6	mcg05_12_006	4.73E-14	3.15E+40	2.14	22.72	5622	1.51	44.9
7	eso557_g002	2.23E-13	1.89E+41	12.83	26.69	6339	0.82	38.3
8	irasf06592_6313	4.80E-14	4.79E+40	3.25	25.49	6882	1.12	88.5
9	ngc2342	9.56E-12	5.31E+42	360.79	30.65	5132	1.94	4.2
10	ic4687_6	4.80E-13	2.74E+41	18.60	61.15	5200	1.47	59.9
11	irasf18293_3413	1.11E-12	6.96E+41	47.29	111.28	5449	1.11	44.7
12	eso339_g011	1.06E-13	7.29E+40	4.95	22.72	5722	1.10	50.2
13	ngc6926	4.36E-13	3.28E+41	22.26	31.36	5970	0.86	58.3
14	ic5063	3.35E-13	7.42E+38	0.05	12.20	3372	0.72	84.8
15	eso286_g035	3.08E-15	9.62E+40	6.53	23.25	5208	0.91	73.5
16	eso343_ig013	1.68E-13	1.10E+41	7.48	20.25	5714	0.82	53.1
17	ngc7130	1.60E-13	1.26E+42	85.69	38.58	4877	0.82	1.3
18	ic5179	9.80E-14	3.90E+40	2.65	24.91	3422	0.82	49.0
19	eso534_g009	3.14E-10	9.49E+39	0.64	7.70	3393	0.45	89.0
20	ngc7469	2.51E-12	1.56E+44	10586.50	67.05	4846	0.55	0.0
21	cgcg453_062	1.61E-13	1.14E+41	7.72	35.19	7430	0.57	58.9
22	ngc7678	1.66E-13	8.60E+40	5.84	10.15	3486	0.60	88.2
23	mcg01_60_022	1.57E-13	1.63E+41	11.09	27.95	6933	0.64	93.0
24	ngc7771	3.90E-14	6.42E+40	4.36	37.71	4277	1.32	64.0

※Sanders 2003と合わせるため、 $\Omega_{\Lambda}=0.7$ 、 $\Omega_m=0.3$ 、 $H=75$ (km/s)で計算

観測天体

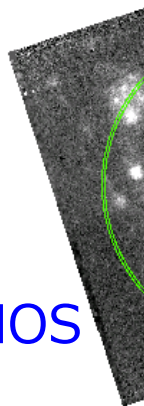
IC4687/6



※H(青)、Ks(緑)、Pa

IC5179の比較

NICMOS



ニュートン「別冊」掲載写真



ork Shop



データリダクション

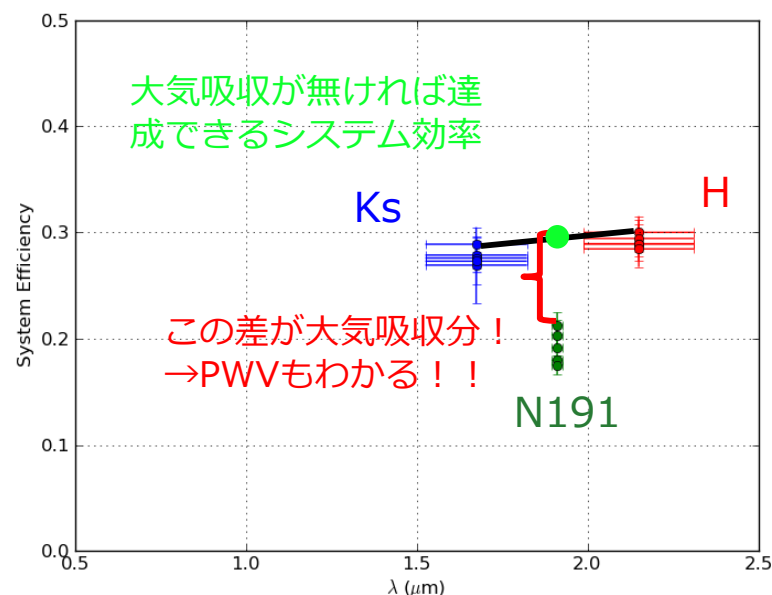
- ✓ 第一次処理：一般的な画像処理
フラットなどの修正、ディザリング、足し合わせ、など
- ✓ 第二次処理：輝線画像処理
H-band、Ks-bandを用いてContinuumを作成
Paa画像とのレベルを合わせるための、星を使ったContinuum調整
PSFをそろえるためにガウシアン調整
(Paa - Continuum)により輝線画像を作成
- ✓ 第三次処理：大気吸収補正
システム効率を使ったPaa輝線透過率(またはPWV)推定

基本的には一般的な赤外線で行われている解析手法と変わらない

Paa-bandやN191-bandは大気吸収にきわめて敏感

→この問題をどう解決するかがポイントとなってくる

システム効率によるPVW、大気透過率推定



※N191のシステム効率はHとKsの2MASSカタログ等級の内挿から求めている

✓ 大気吸収とPWVには相関がある

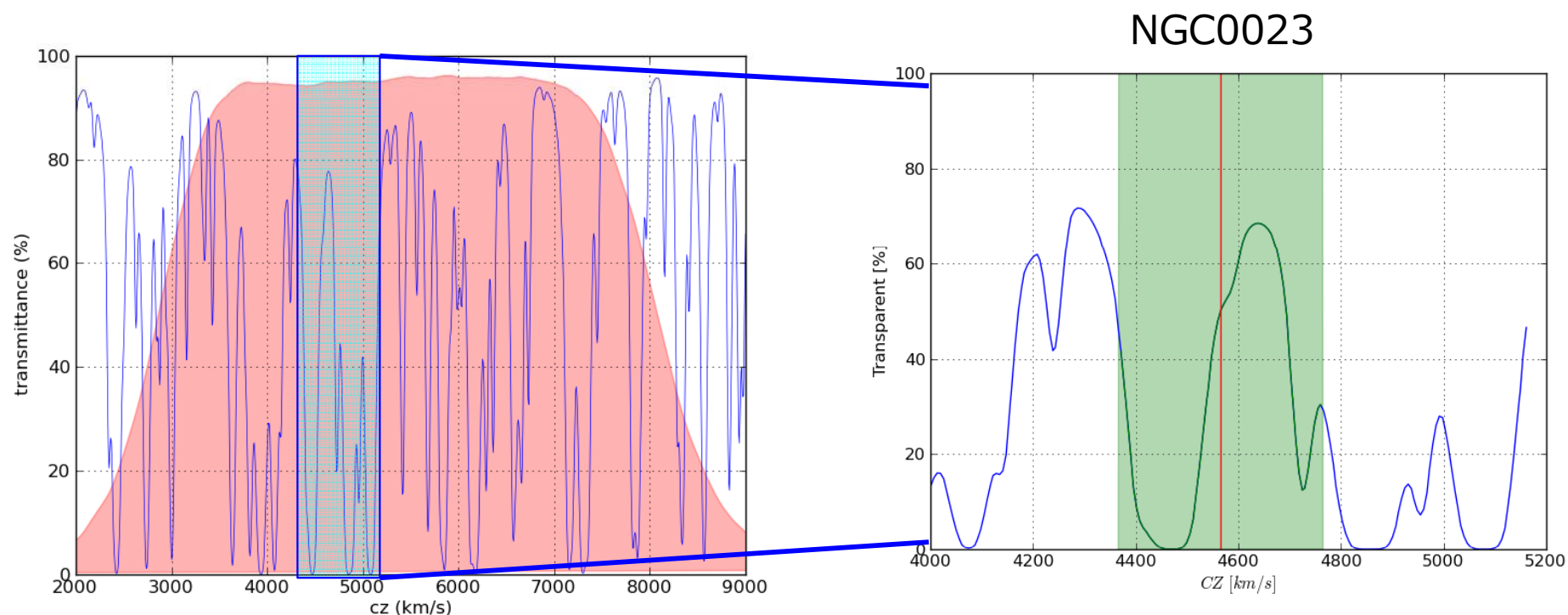
各バンドによるphotonのロスが大気吸収以外全て同じであると仮定

- 様々な観測機器類由来のロスは同一
- 各フィルターでのロスは補正

KsとHによる内挿でN191本来のシステム効率を予測可能！！
→ある観測あたりのN191バンドが受けた大気吸収率が出せる！！

→N191の大気吸収レベルはわかったが・・・

システム効率によるPVW、大気透過率推定



- ✓ 右図の緑部分はredshift波長から ± 200 km/sの範囲
- ✓ 銀河内構造によってどの程度吸収を受けるかが変わってくる
正確に求めるには分光をするしかない

今回の結果は ± 200 km/sまでの範囲をエラーバーとして表現した

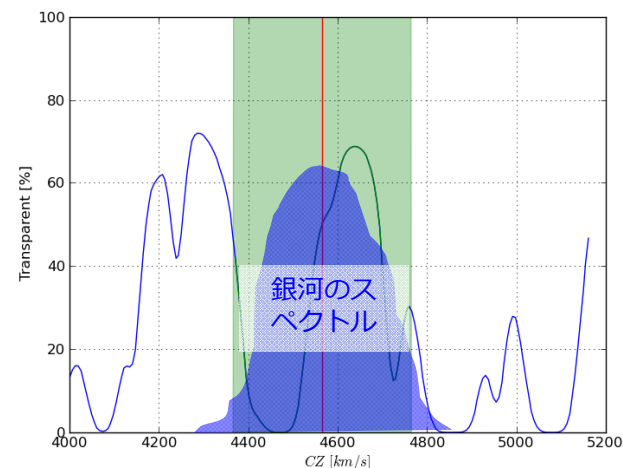
システム効率によるPVW、大気透過率推定

- ✓ もっと細かいPaα輝線量を求めたい場合
→分光するしかない・・・

① 銀河全体のPaα輝線量

→銀河を覆うスリットによる分光

各速度成分ごとの量がわかれば予測される透過率プロファイルをもとに量を再現できる！

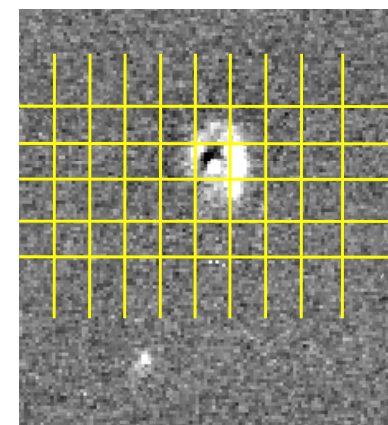


② Paα輝線の細かい位置ごとの議論

→撮像データの各点ごとの速度成分が分かる必要がある

より細かいスリットを切って各領域毎に分光

→面分光、マイクロシャッターアレイがあれば便利・・・



いずれにせよ、今回は第0近似で平均して吸収量を補正して議論してゆく

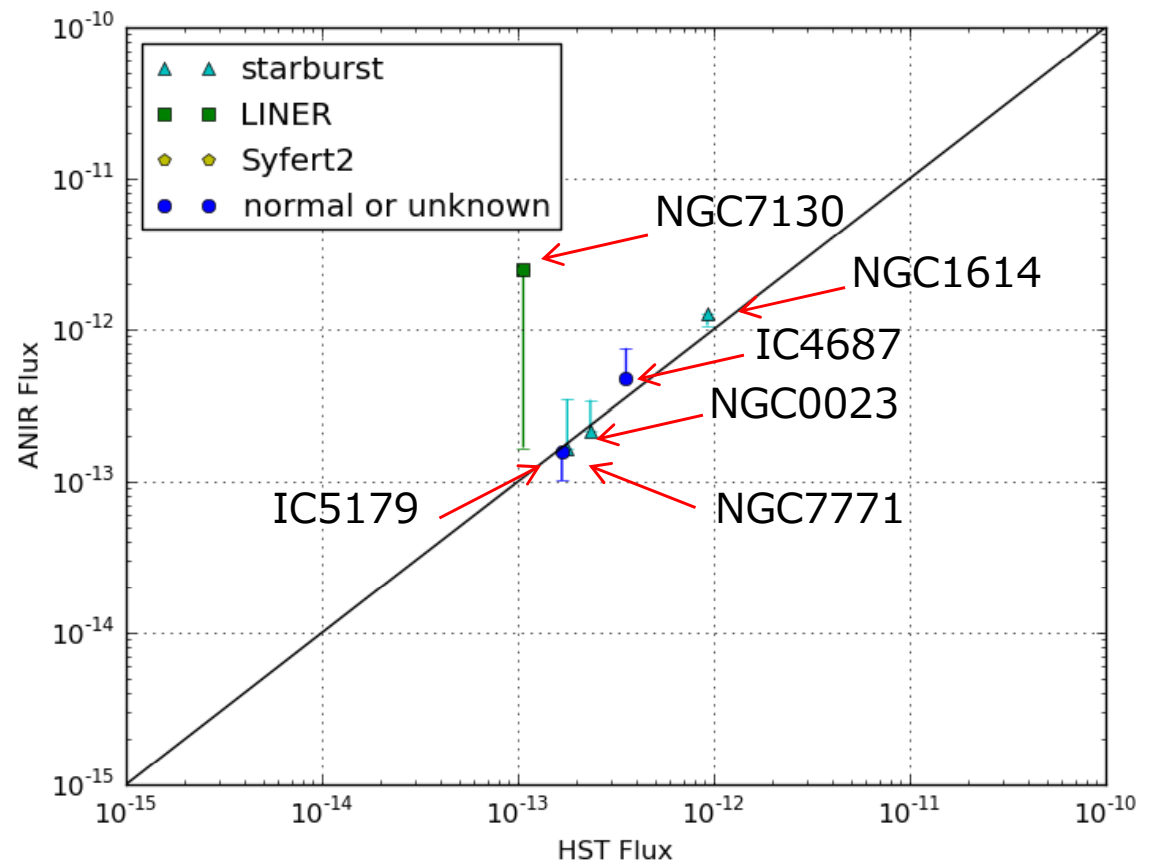
ANIRでどの程度正確な議論ができるのか？

✓ HST/NICMOSとANIRを直接比較
どちらもPa α 輝線
→正確に一致するはず？！

✓ 全6天体で比較可能

	HST Flux	ANIR Flux	HST/ANIR
ngc0023	2.35E-13	2.13E-13	1.10
ngc1614	9.28E-13	1.28E-12	0.72
ic4687_6	3.57E-13	4.80E-13	0.74
ngc7130	1.07E-13	2.51E-12	0.04
ngc7771	1.79E-13	1.66E-13	1.08
ic5179	1.68E-13	1.57E-13	1.07

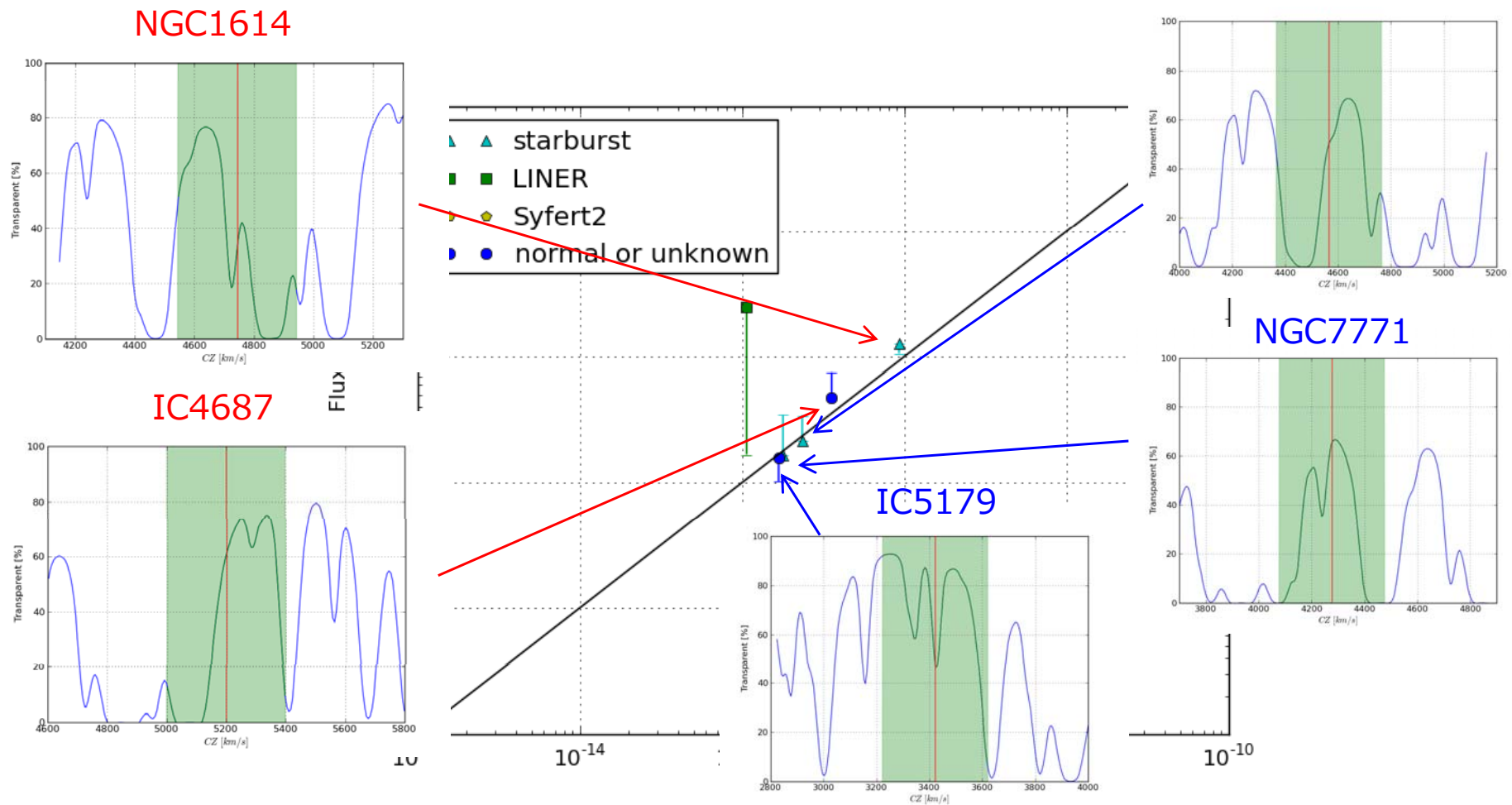
→1~2割程度の誤差



※フラックスの単位 [erg/s/cm²]

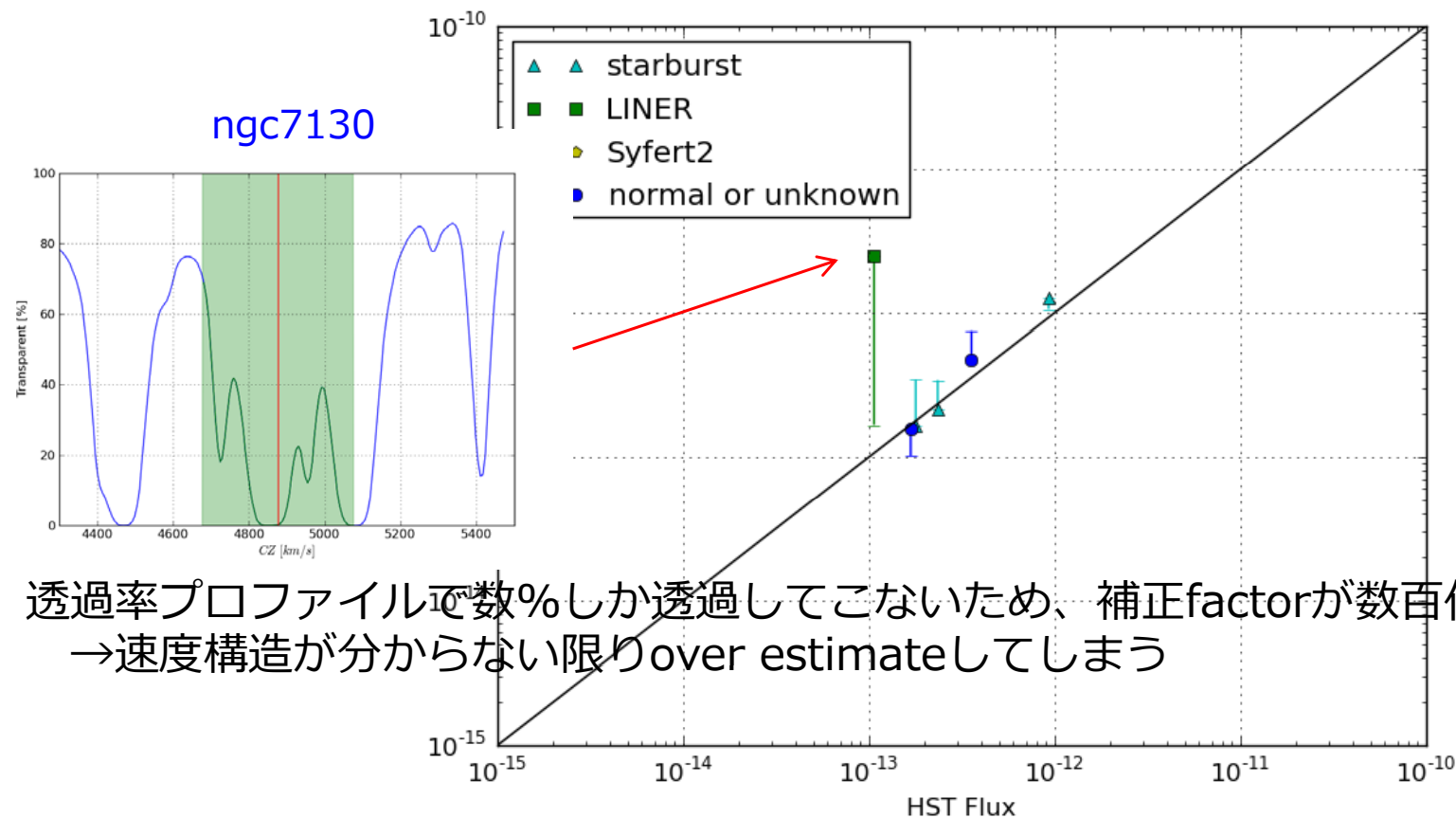
Error-barを含めれば
ANIRでPa α 輝線を正確にPhotometryができていることが分かる！

正確な議論ができるサンプル



より正確にFluxの見積もりができるのは
透過率が高いものより、プロファイルが安定しているものである

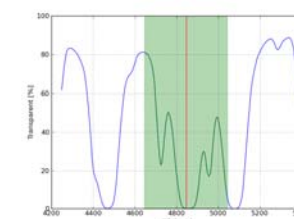
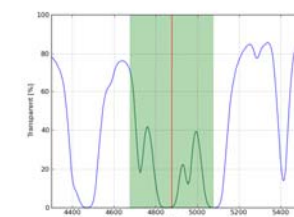
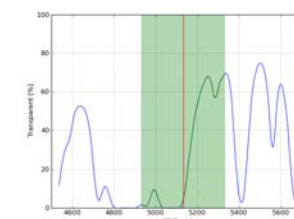
正確な議論ができないサンプル



撮像データだけでは補正が上手くいかない場合がある
透過率プロファイルを見ながら慎重に議論に使うサンプルを選ぶ必要がある

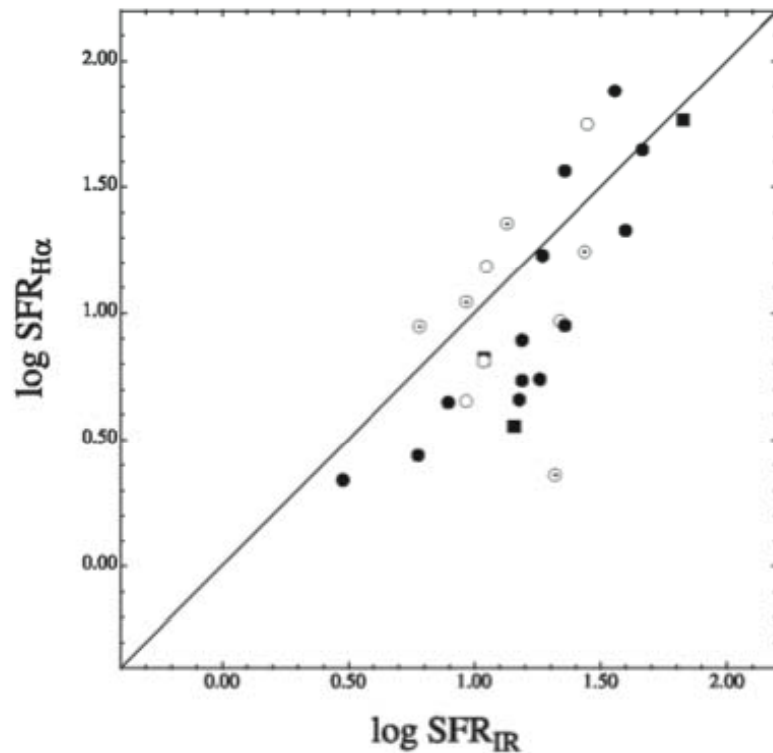
透過率プロファイルによるセレクション

No.	Name	F _{pa} (erg/s/cm ²)	Luminosity (erg/s)	SFR	IRAS SFR	後退速度(km/s)	PWV (mm)	輝線透過率 (%)
1	ngc0023	2.13E-13	9.40E+40	6.38	19.34	4566	1.00	50.4
2	eso244_g012	1.62E-13	1.61E+41	10.94	42.31	6866	0.82	92.3
3	ugc02238	4.90E-13	4.34E+41	29.45	31.36	6483	1.01	72.3
4	irasf02437+2122	2.23E-14	2.18E+40	1.48	22.20	6810	0.74	46.9
5	ngc1614	1.28E-12	6.10E+41	41.42	68.61	4744	0.81	30.3
6	mcg05_12_006	4.73E-14	3.15E+40	2.14	22.72	5622	1.51	44.9
7	eso557_g002	2.23E-13	1.89E+41	12.83	26.69	6339	0.82	38.3
8	irasf06592_6313	4.80E-14	4.79E+40	3.25	25.49	6882	1.12	88.5
9	ngc2342	9.56E-12	5.31E+42	360.79	30.65	5132	1.94	4.2
10	ic4687_6	4.80E-13	2.74E+41	18.60	61.15	5200	1.47	59.9
11	irasf18293_3413	1.11E-12	6.96E+41	47.29	111.28	5449	1.11	44.7
12	eso339_g011	1.06E-13	7.29E+40	4.95	22.72	5722	1.10	50.2
13	ngc6926	4.36E-13	3.28E+41	22.26	31.36	5970	0.86	58.3
14	ic5063	3.35E-13	7.42E+38	0.05	12.20	3372	0.72	84.8
15	eso286_g035	3.08E-15	9.62E+40	6.53	23.25	5208	0.91	73.5
16	eso343_ig013	1.68E-13	1.10E+41	7.48	20.25	5714	0.82	53.1
17	ngc7130	1.60E-13	1.26E+42	85.69	38.58	4877	0.82	1.3
18	ic5179	9.80E-14	3.90E+40	2.65	24.91	3422	0.82	49.0
19	eso534_g009	3.14E-10	9.49E+39	0.64	7.70	3393	0.45	89.0
20	ngc7469	2.51E-12	1.56E+44	10586.50	67.05	4846	0.55	0.0
21	cgcg453_062	1.61E-13	1.14E+41	7.72	35.19	7430	0.57	58.9
22	ngc7678	1.66E-13	8.60E+40	5.84	10.15	3486	0.60	88.2
23	mcg01_60_022	1.57E-13	1.63E+41	11.09	27.95	6933	0.64	93.0
24	ngc7771	3.90E-14	6.42E+40	4.36	37.71	4277	1.32	64.0



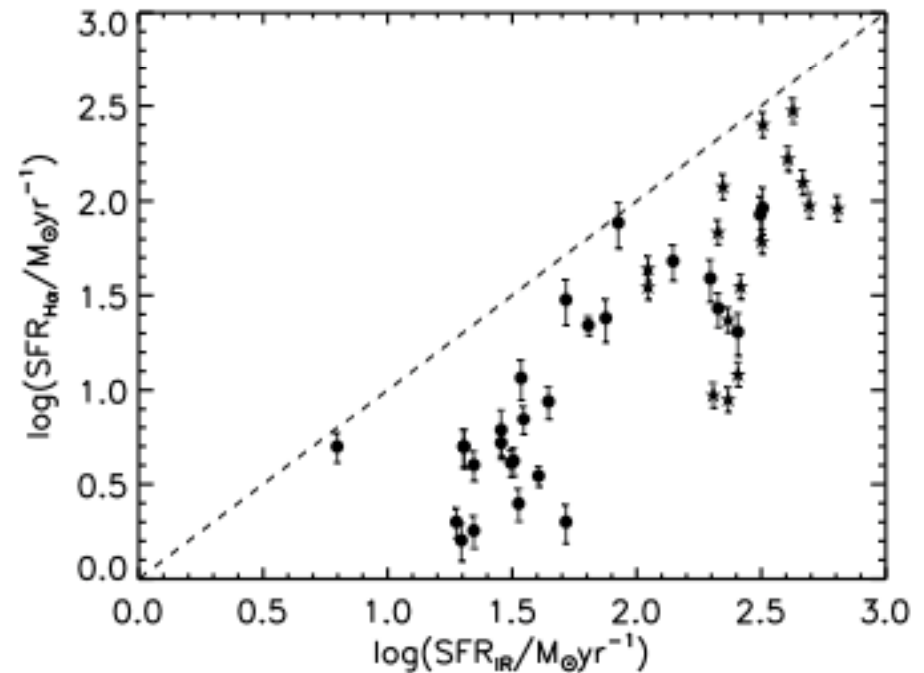
以降は上記赤印以外のサンプルのみを使って議論を進めてゆく

H α と Pa α の比較



Ha(Dopita et al. 2002)

H α はダスト補正すれば赤外線光度とよく相関するという立場

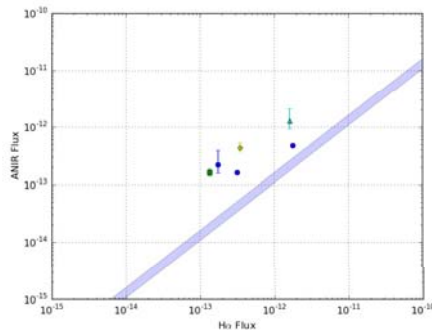
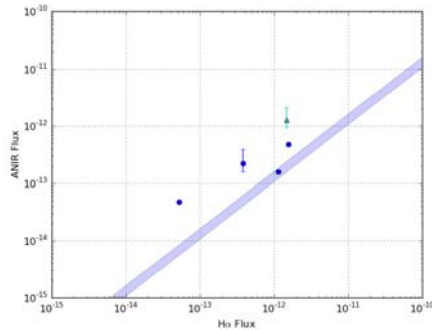
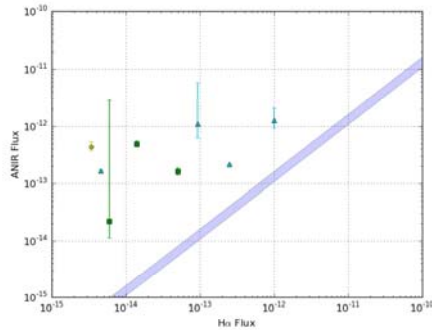


Ha(Rodriguez et al. 2010)

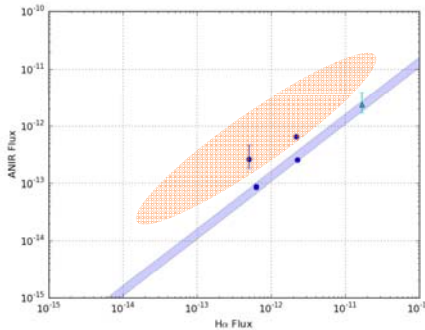
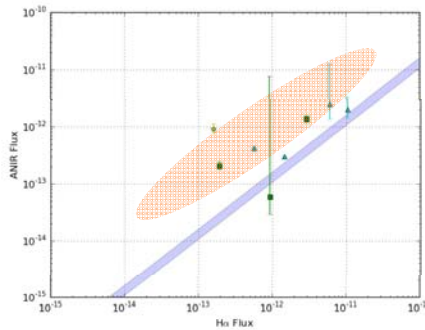
H α はダスト補正をしてもオフットがかかっているとする立場

赤外線でみた時とH α でみた時では、どちらがdust richであるU/LIRGsの若い大質量星の正確な量の測定ができているかは定かではない

Ha flux と Pa α flux の比較



ダスト減光補正前



ダスト減光補正後

Ha(Veilleux et al. 1995)

スリット分光観測、減光補正はHa/H β のバルマーライン比を使用

Ha(Rodriguez et al. 2010)

面分光観測、減光補正はHa/H β のバルマーライン比を使用 ※中心部のE(B-V)

Ha(Dopita et al. 2002)

狭帯域撮像、減光補正はHa/H β のバルマーライン比を使用

Ha輝線ではダストに埋もれた星形成領域を見通せていない！？

まとめと今後

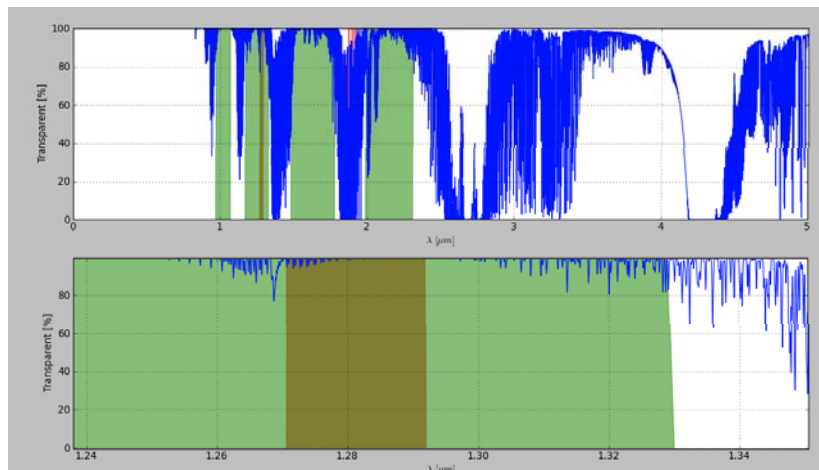
- ✓ ANIRによるPa α 輝線は大気吸収をどう補正してゆくかがポイント
- ✓ Pa α 輝線はダストに深く埋もれた星形成領域をより確実にみることができる

現在バルマーラインでの減光補正を行っているが、赤外放射する線で減光補正をしたらどうなるかを調べてゆく

→Pa β による撮像で実現可能！

赤外線で測るとシラス成分の影響を受けて正確なSFRができない可能性がある(低SFR)

→より低光度の銀河が実際にはどうなるかを調べてゆく



Pa β とPa β -offのある
波長における大気吸収