



miniTAO望遠鏡 / ANIRのPaα 狭帯域撮像 でみる近傍LIRGs



利川興司、本原顕太郎、小西真広、三谷夏子、内一・勝野由夏、大澤亮、青木勉、浅野健太郎、
加藤大輔、川良公明、河野孝太郎、越田進太郎、酒向重行、征矢野隆夫、田辺俊彦、田中培生、
樽沢賢一、土居守、中村友彦、半田利弘、峰崎岳夫、宮田隆志、吉井謙(東大)、板由房(国立天文台)

1.イントロダクション

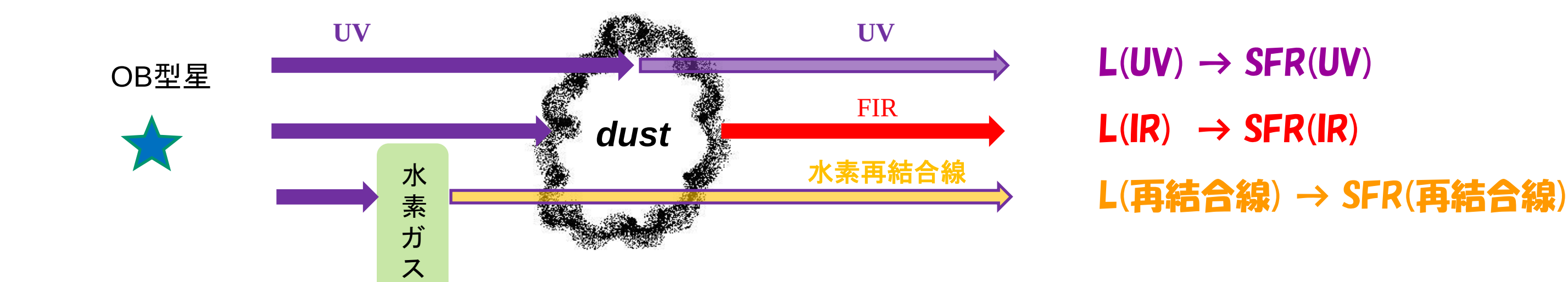
1-1.LIRG

過去の宇宙では赤外線で明るく輝く銀河(LIRG/ULIRG)が現在より遙かに多く存在していたことが知られている。
※LIRG(Luminous InfraRed Galaxy): L_{IR} が $10^{11} L_{\text{sun}}$ 以上の銀河、 $10^{12} L_{\text{sun}}$ を超えるとULIRGとよばれる。

一方、近傍宇宙($z < 0.3$)にも、観測可能なLIRGが多く見つかった。それら近傍LIRGは中心部だけでなく周辺領域も含む詳しい観測が比較的容易である。その活動性を知ること、銀河の過去から現在への進化を探りたい。
一般に星形成が活発な領域にはダストが多いのだが、本研究ではそういったダストに埋もれた星形成領域を観測で明らかにしたい。

1-2.星形成率の推定

星形成率の推定には、寿命の短いOB型星を指標とする。
OB型星の発する紫外線が鍵となる。



星形成率の推定は、星間ダストの存在により引き起こされる減光により、難しくなっている。
そこで、以下のような多くのアプローチがとられてきた。

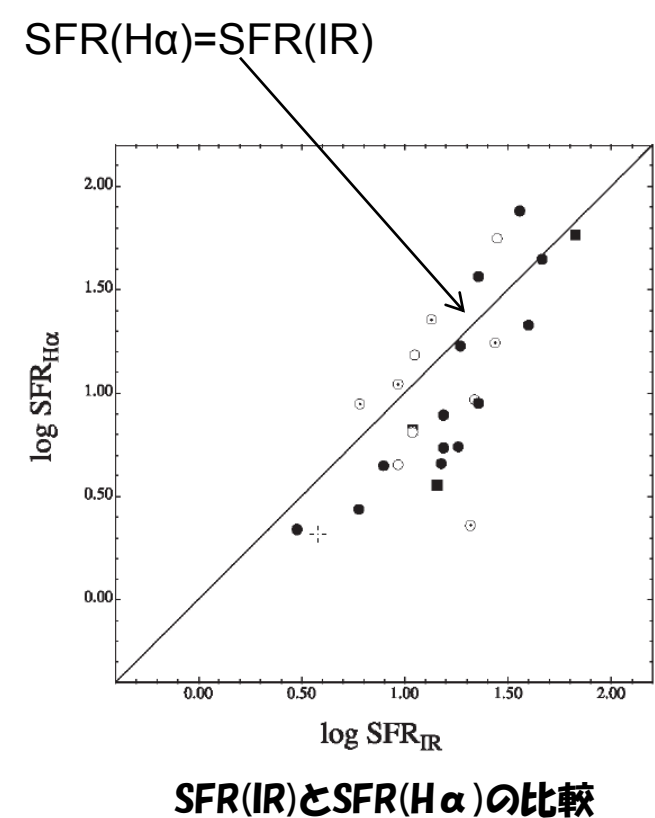
- 口紫外連続光
 - ✓ OB型星から直接放射されるものであり、その強さからそのまきOB型星の数が見積もれる。
 - ✓ **短所**: 波長が短いために強いダスト減光を受ける。
- 口遠赤外線
 - ✓ 星形成領域を覆っているダストは、OB型星からの紫外光、可視光を吸収し、遠赤外線を再放射する。減光がない点が強みである。
 - ✓ **短所**: 空間分解能の不足、地上からの観測が困難といった難点がある。
- 口水素再結合線
 - ✓ OB型星からのイオン化光子により、周辺の水素ガスは電離する。この電離した水素ガスが電子と再結合し、励起状態が変わるときに放出する再結合線の観測により、イオン化光子数をトレース。
 - ✓ **短所**: 主に可視のHα(656.3nm)の観測結果を用いるが、その場合、ダスト減光と[NII]輝線(654.8nm、658.4nm)の混入により不定性が生じる。そういった欠点を補うために近赤外波長域で、Paβ、Paα、Brγらが用いられるが、強度又は大気透過率に難。

1-3.先行研究

Hαによる星形成率の推定(Dopita et al. 2002)

50-100Mpcの近傍LIRG,ULIRG43天体をHαで狭帯域撮像した。SFR(IR)とSFR(Hα)に良い相関を確認、SFR(IR)がやや超過。典型的にはSFR(Hα)がSFR(IR)の1/2~2/3程度である。

ただし、
✓ダスト減光の補正(Hα/Hβから推定)
✓[NII]輝線の混入
による不定性が残っている。



1-4.本研究の動機

- ✓近傍の観測可能なLIRGの星形成の活動性を探りたい。
- ✓従来、星形成率の推定に用いられた紫外連続光、遠赤外線、Hα輝線らの観測にはそれぞれ欠点がある。

→近赤外波長域の(ダスト透過力のある)水素再結合線であり、且つ、単独輝線であるものを観測ができれば解決できるのではないかと？

但し、地上観測では大気透過率の問題をパスするという条件がある。また、強度もあるものが望ましい。

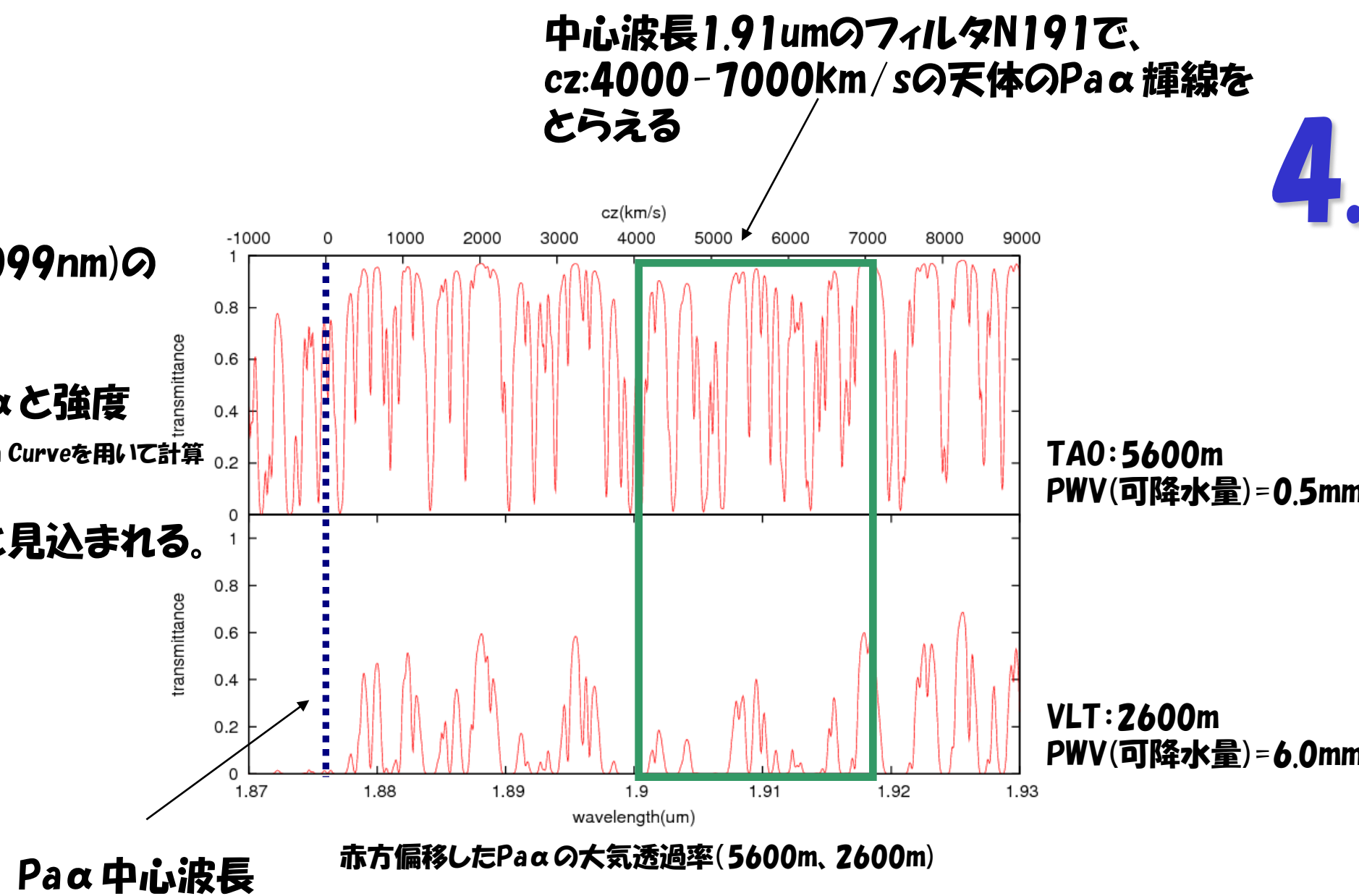
2.観測

2-1.Paα 狭帯域撮像

Hα狭帯域撮像による先行研究にみられた問題を、近赤外波長の水素輝線であるPaα(n:4→3, 1875.099nm)の狭帯域撮像により解決する。

- ✓PaαはE(B-V)=1.16 ($A_V=3.57$, $A_{Pa\alpha}=0.47$)でHαと強度が逆転。※Osterbrook(1988)の輝線強度比、Pei(1992)の式によるExtinction Curveを用いて計算
- ダスト透過力に強み。
- ダスト減光の補正無しでの星形成率推定が可能と見込まれる。
- ✓単独の輝線である

右図は大気透過率の波長依存性の高度による比較
Paα波長域は大気吸収により観測が困難
しかし、標高を5600mまで上げれば地上からのPaαの観測が可能

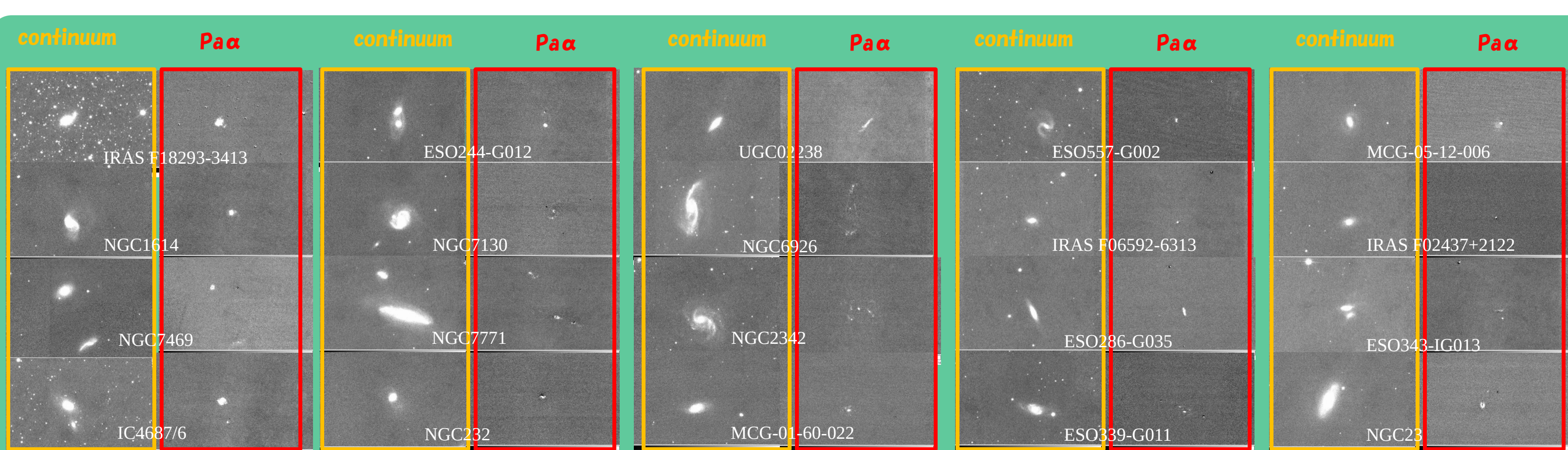


2-2.観測概要

- ✓望遠鏡: 南米チリ・チャントール山頂(標高5640m)の東大アタカマ1m望遠鏡(通称:miniTAO望遠鏡)→V67b峰崎講演
- ✓観測装置: 近赤外線カメラANIR(Atacama Near InfraRed camera)→V75b本原講演
- ✓観測日程: 2009.6.11~12, 10.14~27
- ✓観測対象: 近傍LIRG 20天体(D:50~100Mpc)→Sanders et al.(2003)のThe IRAS Revised Bright Galaxy Sampleより選択
- ✓使用フィルタ: H, Ks, N191

- ✓地上からの、近傍LIRGのPaα狭帯域撮像は**本研究が初**である。

2-3.撮像結果



※を列上から赤外線光度の大きい順に並べた

ContinuumとPaα輝線の画像

- ✓Continuum画像: Hバンド、Ksバンドの画像から内挿して、Paαの波長の連続光の画像を作成した
- ✓Paα輝線画像: N191フィルタで撮った画像からContinuumの画像を引いて作成

3.Paα 輝線フラックス及び星形成率の計算

Paα 輝線フラックス導出の注意点

一般に、輝線のフラックスは

$$F(\text{輝線}) = f(N191) \Delta \lambda - f(\text{連続光}) \Delta \lambda$$

(F:フラックス, f:フラックス密度)

として求められる。
しかし、地上観測でPaα輝線のフラックスを求める際には大気の透過率に関して以下の点に注意する必要がある。

- ✓波長による変動が非常に大きい
- ✓大気中の水蒸気量(天候、時間による)によって大きく変動する

Paα輝線の透過率 $\epsilon_{Pa\alpha}$ と、フィルタ波長幅での平均透過率 ϵ_{eff} が異なることに注意して、Paα輝線のフラックスは

$$\epsilon_{Pa\alpha} \times F(\text{Pa}\alpha \text{ 輝線}) = \epsilon_{eff} \times f(N191) \Delta \lambda - \epsilon_{eff} \times f(\text{連続光}) \Delta \lambda$$

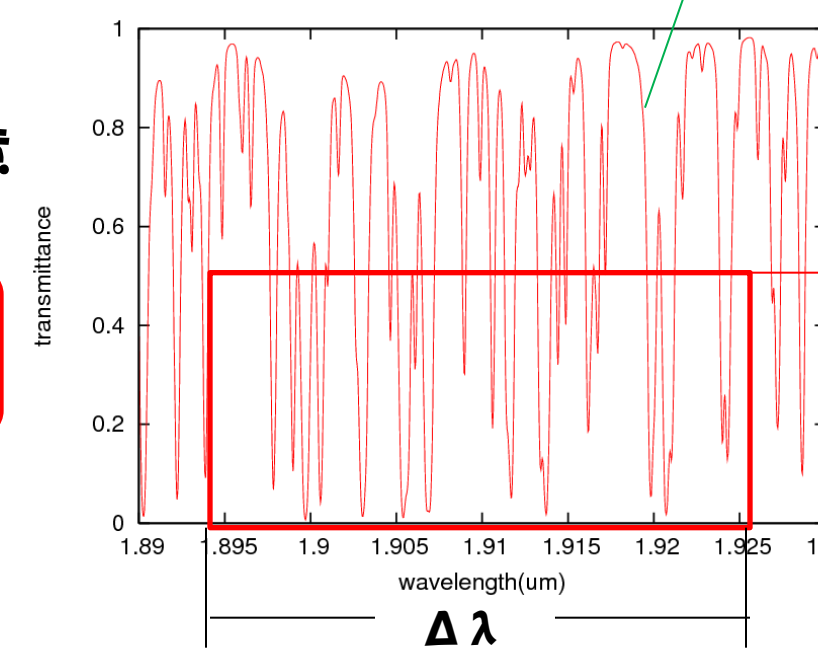
として求められる。

観測量

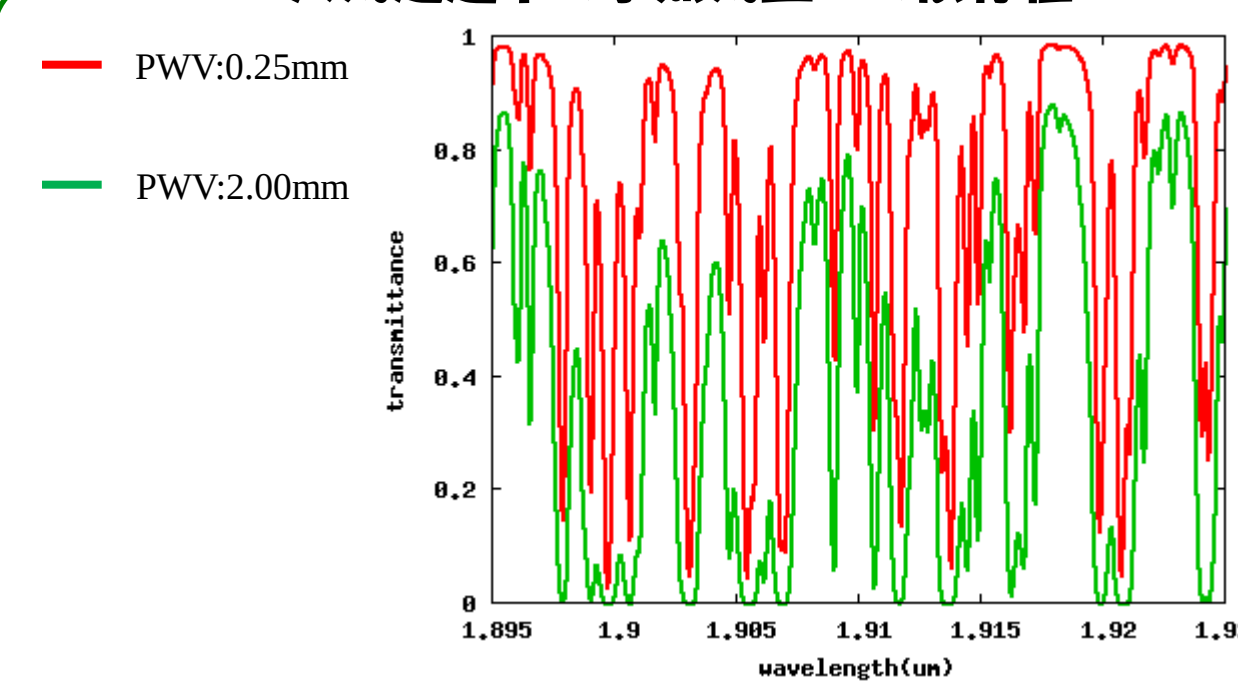
但し、
✓f(N191): N191フィルタで撮った画像から求めたフラックス密度
✓f(連続光): H, Ksでのフラックス密度から内挿して求めた、N191波長での連続光のフラックス密度である。

輝線の透過率 $\epsilon_{Pa\alpha}$

平均透過率 ϵ_{eff}

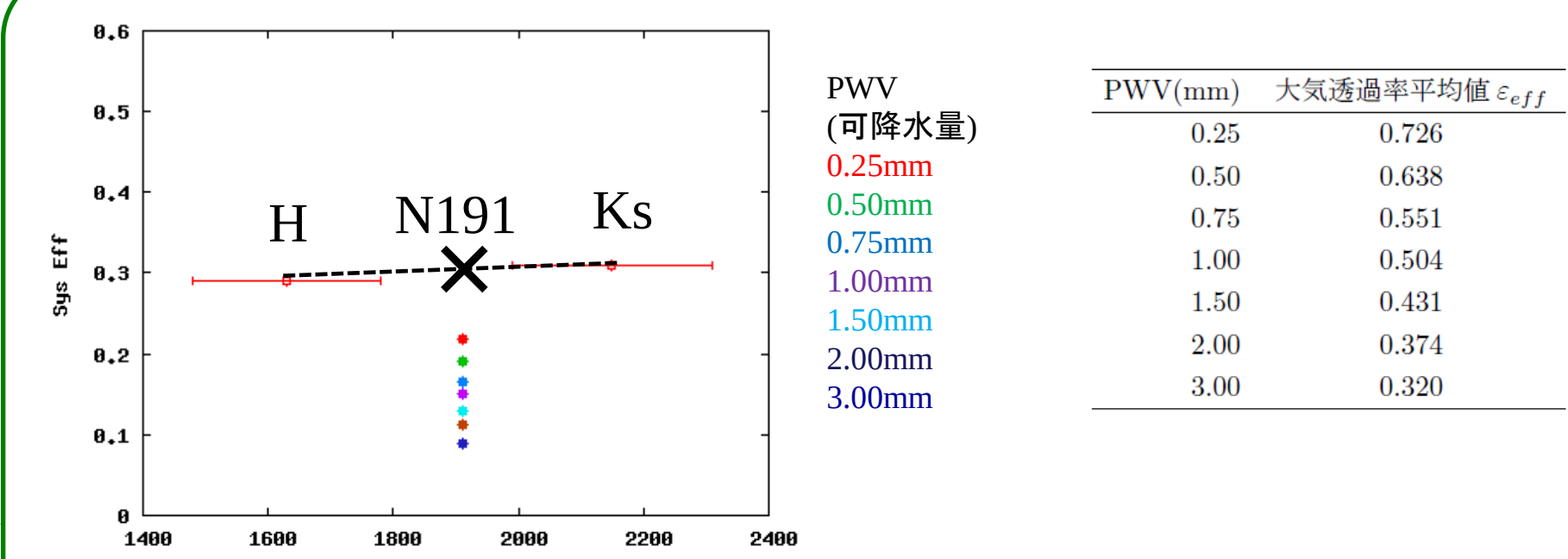


大気透過率の水蒸気量への依存性



大気中の水蒸気量により、透過率が大きく変わる為、 $\epsilon_{Pa\alpha}$ や ϵ_{eff} を知るためには水蒸気量を見積もる必要がある。

水蒸気量の推定&大気透過率の決定



水蒸気量は、観測で得られたシステム効率を用いて予測する。

※システム効率: 大気に入射してくる光子数に対する、検出器で受かった光子数の割合。

観測により得た画像の視野中にある星について、「測光値」と「2MASSカタログのAB等級」を比較して求める。

- Hバンド、Ksバンドのシステム効率から内挿して得られるN191のシステム効率は、大気透過率が100%の場合の値にあたる。
- その値に平均透過率 ϵ_{eff} をかけて、水蒸気量ごとにシステム効率を推定する。
- これと、実際のN191でのシステム効率を照らし合わせて水蒸気量を見積もる。※N191での、星のAB等級はHバンド、Ksバンドの値から内挿したものをを用いる。
- 見積もった水蒸気量から、赤方偏移したPaαの波長での大気透過率を得る。

Paα 輝線フラックスより推定される星形成率

天体名	SFR(IR)	SFR(Hα)	SFR(Paα)	$\epsilon_{Pa\alpha}$ (%)	天体名	SFR(IR)	SFR(Hα)	SFR(Paα)	$\epsilon_{Pa\alpha}$ (%)
IRAS F18293-3413	84.61	-	44.7	71.14	NGC2342	26.15	-	14.6	75.12
NGC1614	46.50	58.0	48.3	40.65	MCG-01-60-022	18.09	36.5	9.37	96.42
NGC7469	43.39	-	167.5	97.17	ESO 557-G002	21.25	2.28	5.84	58.41
IC 4687/6	42.41	21.2	28.9	5.48	IRAS F06592-6313	19.38	-	3.58	94.04
ESO 244-G012	28.67	-	24.4	73.63	ESO 286-G035	17.28	-	9.03	83.73
NGC7130	29.34	-	6.96	97.17	ESO 339-G011	15.40	-	7.10	69.82
NGC7771	29.33	-	4.58	9.97	MCG-05-12-006	16.88	-	16.0	52.18
NGC0232	26.76	-	2.69	86.84	IRAS F02437+2122	18.09	-	5.85	95.74
UGC02238	25.55	-	14.1	80.12	ESO 343-IG013	14.70	5.47	6.09	57.32
NGC6926	22.26	9.29	9.88	77.86	NGC0023	13.41	-	5.91	46.57

※表は、赤外線光度の大きい天体の順に並べた。

F(IR) → SFR(IR) : Kennicutt(1998)

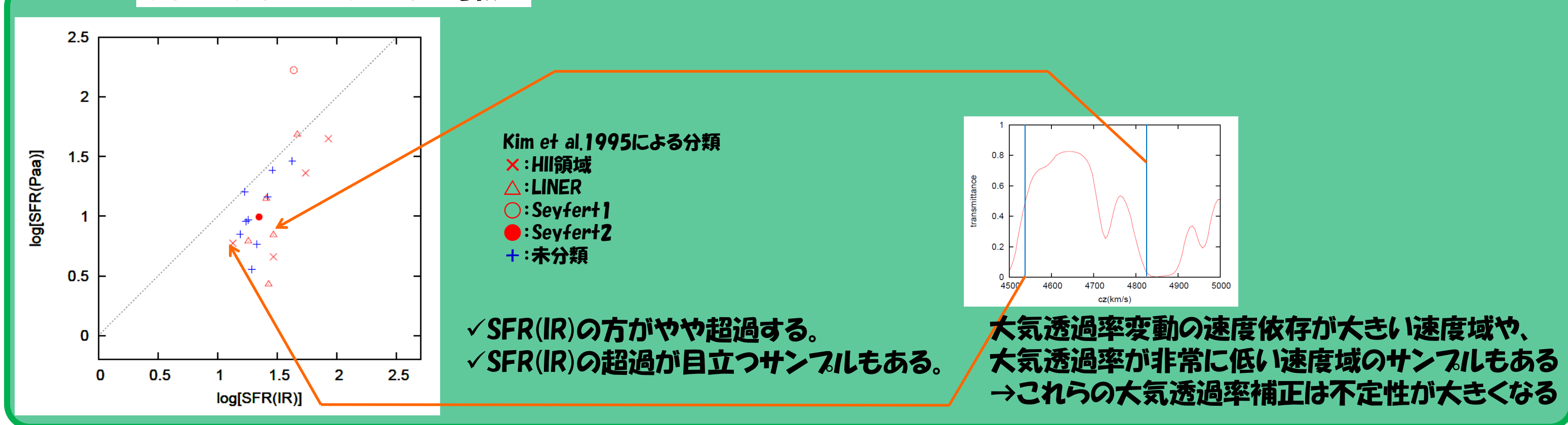
F(Hα) → SFR(Hα) : Kennicutt(1998)

F(Paα) → SFR(Paα) : Alonso-Herrero et al. (2006)

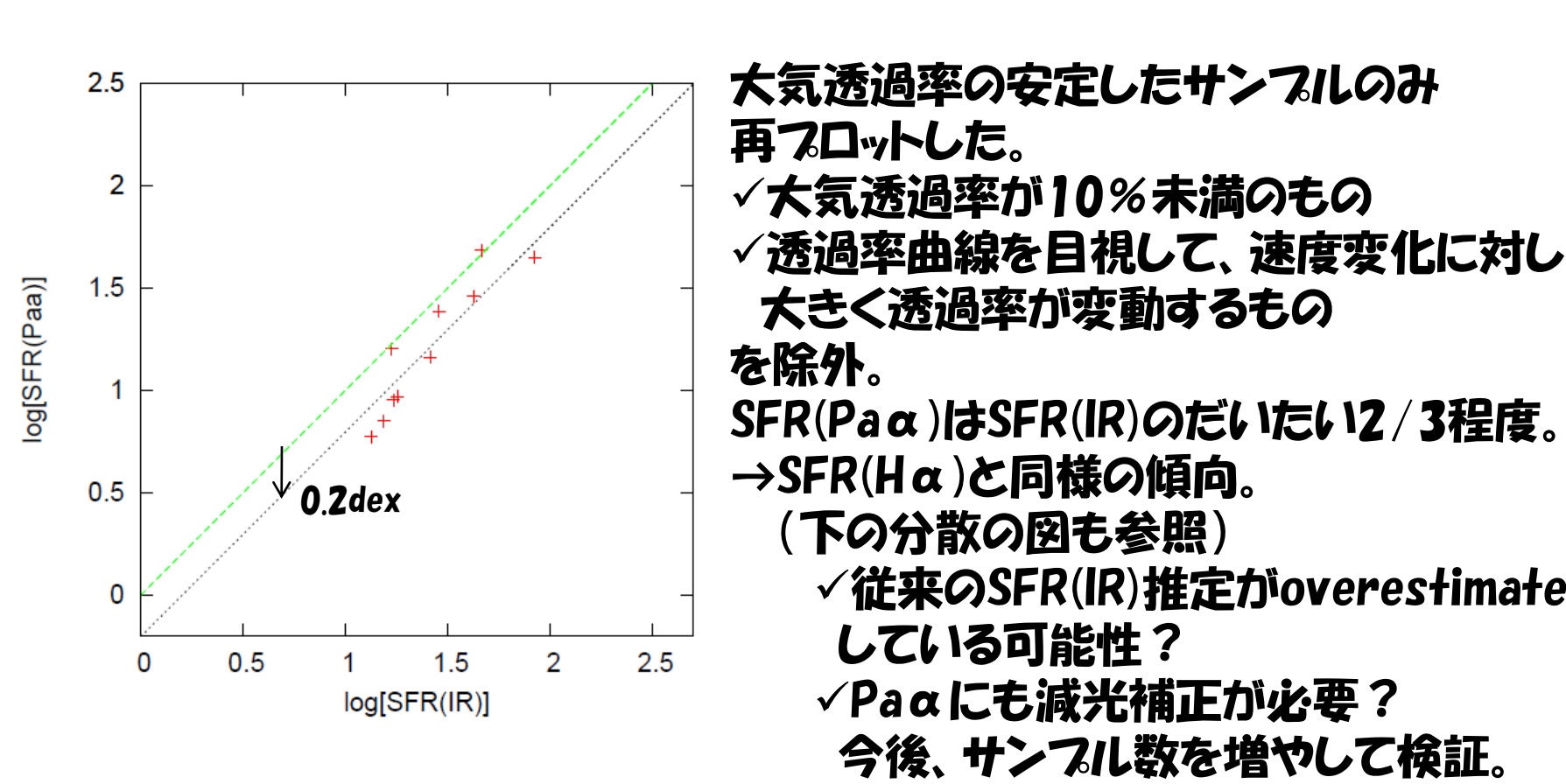
SFR(Paα)は1~10 [Msol/yr]のオーダーとなった。

4.結果と議論

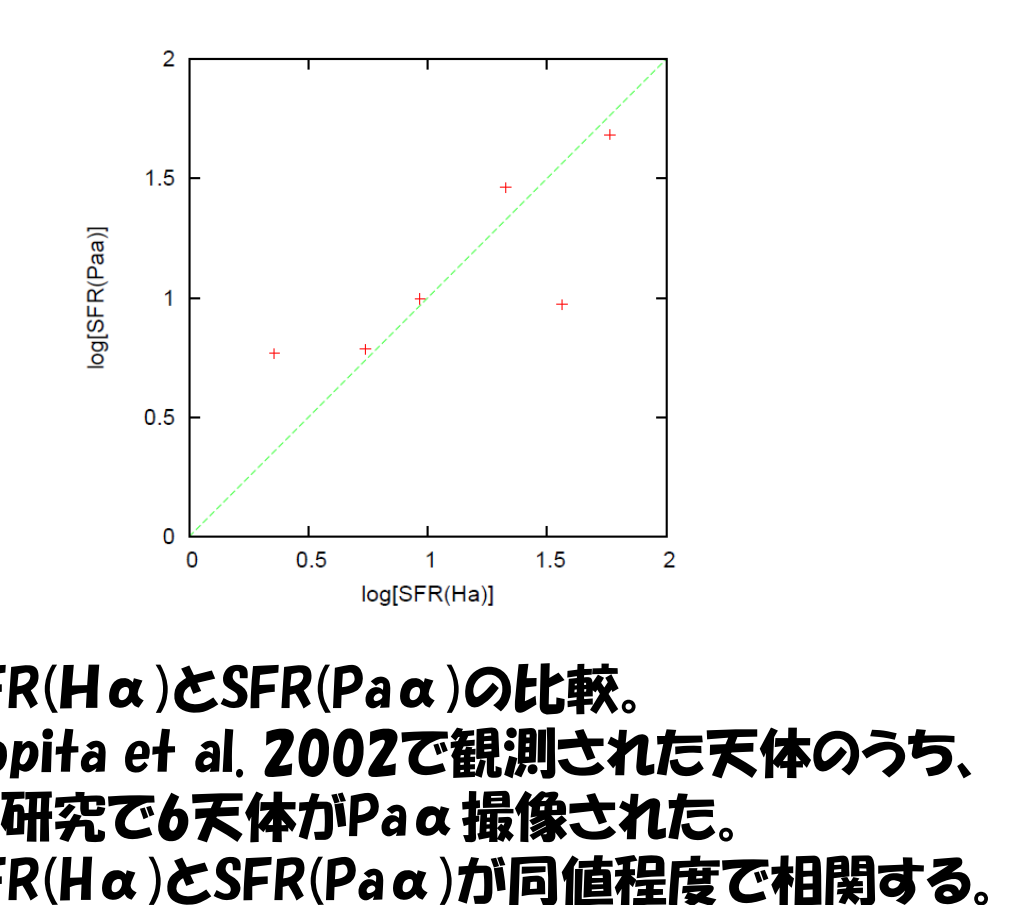
(1)SFR(IR)とSFR(Paα)の比較



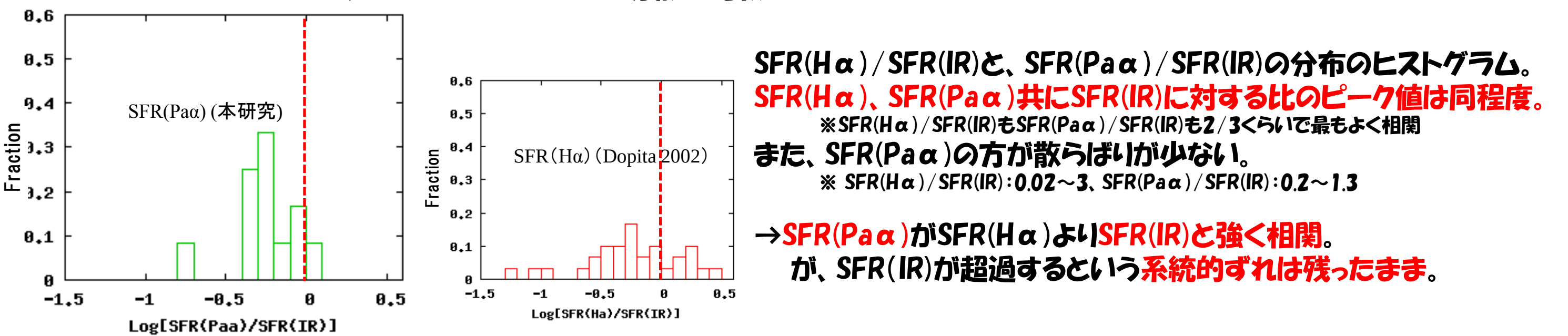
(2)大気の安定したサンプルでのSFR(IR)とSFR(Paα)の比較



(3)SFR(Hα)とSFR(Paα)の比較



(4)SFR(Paα)/SFR(IR)、SFR(Hα)/SFR(IR)の分散の比較



5.まとめ

- ✓近傍LIRGの、地上からのPaα撮像に初めて成功し、星形成の推定の新たな手法を確立した。
✓ただし、大気透過率の波長依存性の大きさが課題である。
- ✓SFR(Paα)はSFR(Hα)に比べて、より強くSFR(IR)と相関した。
- ✓大気透過率の安定しているサンプルにおいて、SFR(Paα)、SFR(Hα)共にSFR(IR)の2/3程度となる。
→LIRGにおいては、SFR(IR)の見積もりの方が30%程overestimateしている可能性?
→観測可能なLIRGが60サンプル程残っており、今後観測サンプルを増やして詳細に調査したい。