

アタカマ1m望遠鏡近赤外線カメラANIRによる 近傍LIRGのPa α 観測

天文センター 田中研究室
利川 興司

目次

1. イントロダクション

研究の動機

背景：LIRG、星形成率、 $\text{Pa}\alpha$

2. 東大1m望遠鏡と近赤外線カメラANIR

3. 観測と結果

4. 議論

1. イントロダクション

- ✓ 本研究の動機

- ✓ 背景

LIRG

星形成率の推定、先行研究

水素再結合線Pa α について

本研究の動機

- ✓ 赤外線光度 L_{IR} と星形成率には相関がある
- ✓ また、ある光度あたりから星形成が $10 \sim 100 M_{\text{sol}}/\text{yr}$ と、爆発的になることが分かっている
(スターバースト)
- ✓ 赤外線で見える銀河を観測することで星形成活動について探りたい

LIRG : Luminous InfraRed Galaxy

$$L_{ir} < 10^{11} L_{\odot}$$

普通の星形成銀河

$$10^{11} L_{\odot} < L_{ir} < 10^{12} L_{\odot}$$

Luminous InfraRed Galaxy : LIRG

$$10^{12} L_{\odot} < L_{ir}$$

Ultra Luminous InfraRed Galaxy : ULIRG

スターバースト

明るい

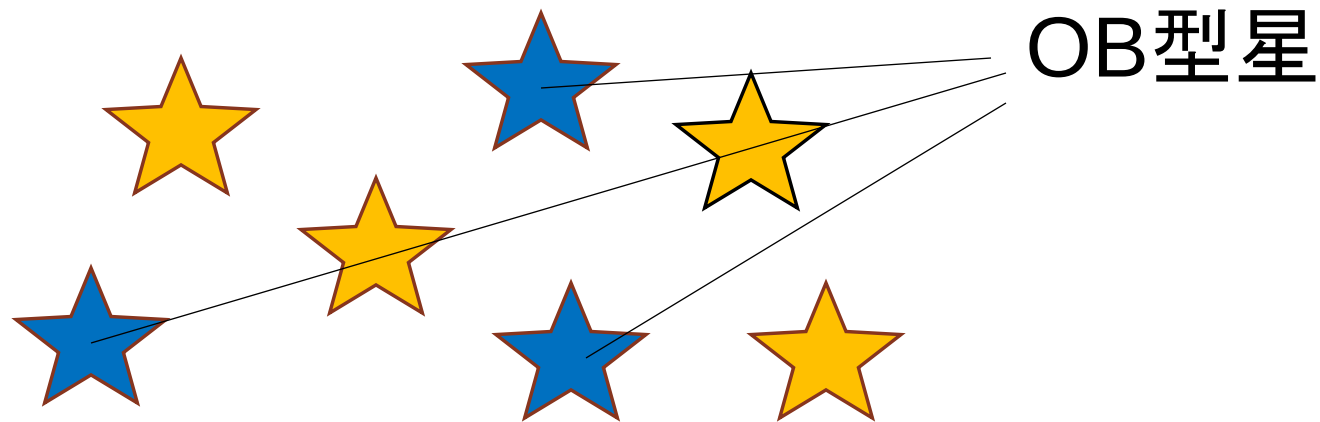
明るい銀河はスターバーストによる星形成をする

LIRGとはどんな天体か

- ✓ $z < 0.3$ の近傍にLIRGが多数見つかったている
- ✓ 星形成が盛ん： $\text{SFR} = 10 \sim 100 \text{ [M}_{\odot}/\text{yr}]$
- ✓ LIRG程度の明るさの銀河から相互作用が目立つ
- ✓ 赤外で光る主なエネルギー源はスターバースト

LIRGsの星形成活動を探る→銀河進化の理解へ

星形成率

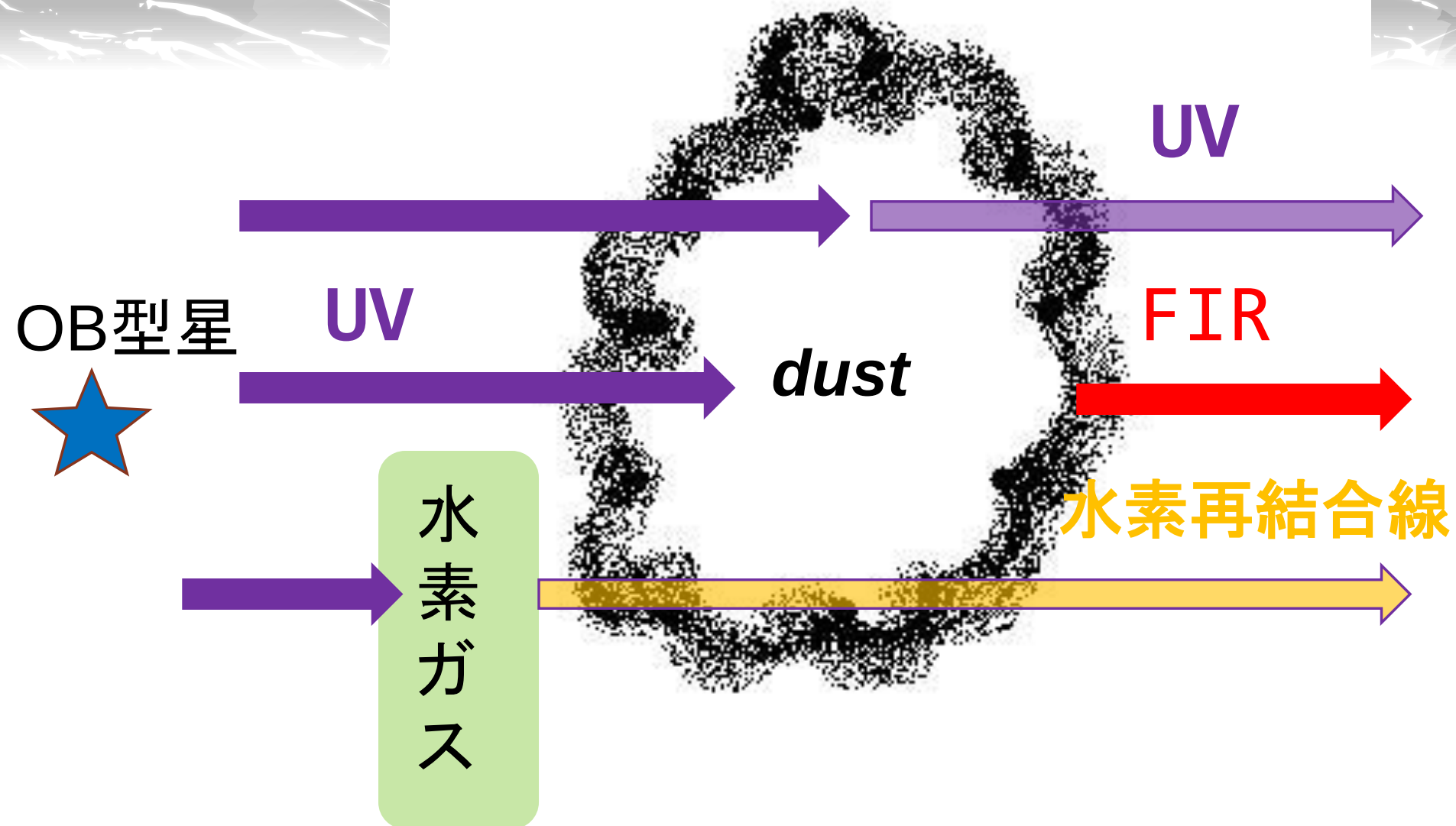


OB型星は寿命が短い

⇔ 今あるOB型星は生まれて間もない

OB型星が星形成率の指標となる

星形成率の推定



OB型星が放射する紫外線が鍵となる

それぞれの方法の特徴

- ✓ 紫外連続光

強いダスト減光を受ける

- ✓ 遠赤外線

ダストからの再放射。ダスト減光がない
ただし、観測が難しい

- ✓ 水素再結合線

イオン化光子の数をトレースする

主に可視のH α 輝線(656.3nm)を用いる

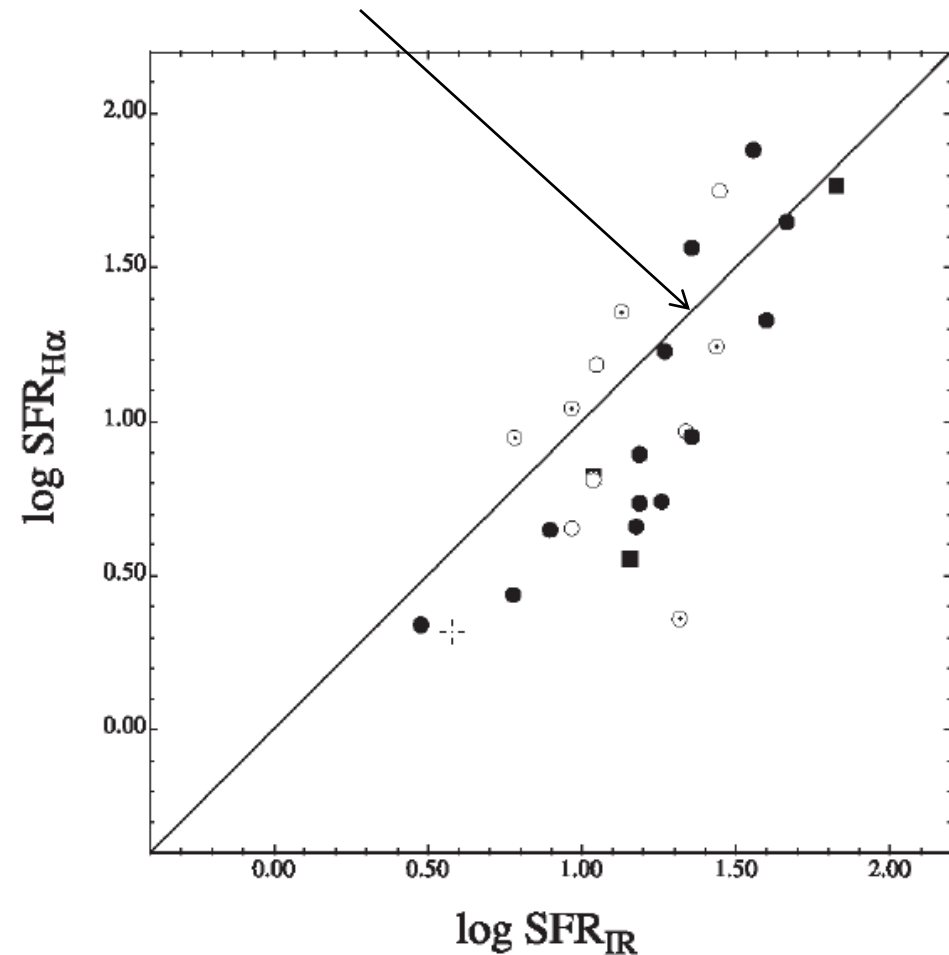
H α の欠点

H α : 可視の水素輝線 (656.3nm)

- ✓ ダスト減光の補正が必要 (H α /H β から推定)
- ✓ [NII]輝線の(654.8nm, 658.4nm)の混入
といった問題による不定性

近傍LIRGs : SFR(H α)とSFR(IR)の比較(Dopita 2002)

SFR(H α)=SFR(IR)

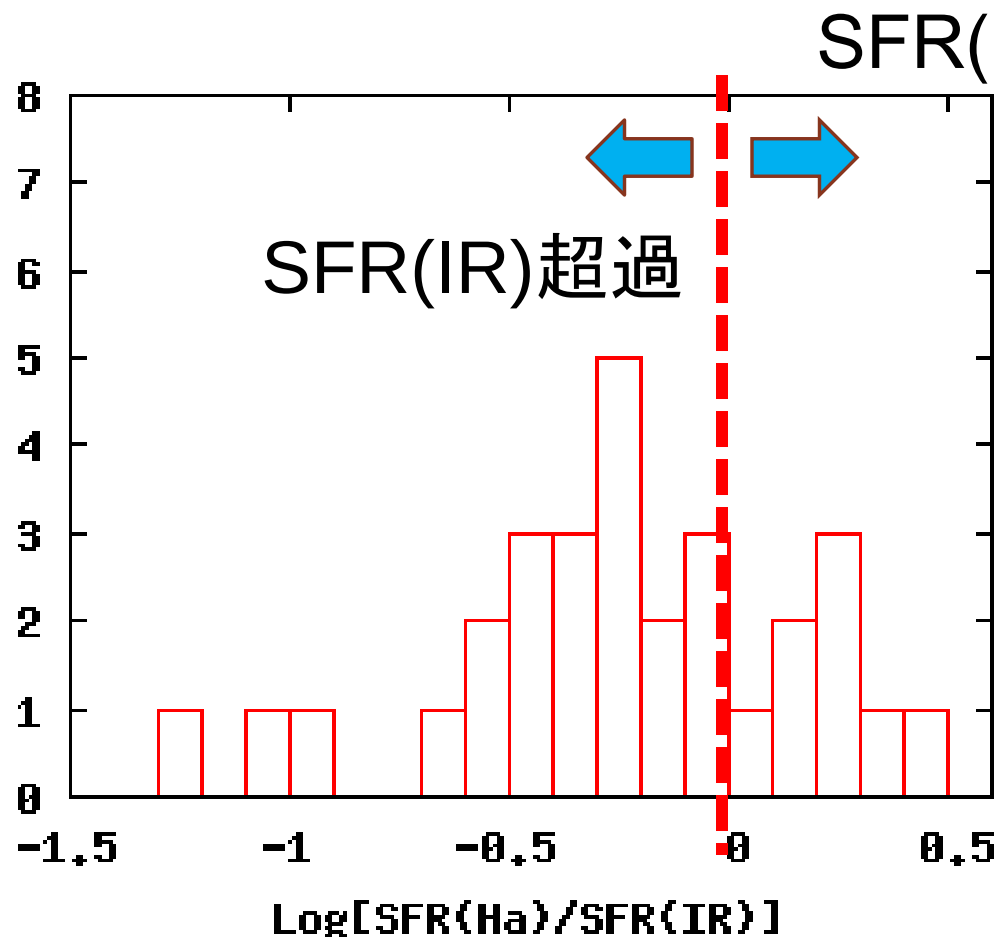


50-100Mpcの近傍
LIRGs, ULIRGs 43天体の
狭帯域撮像

- ✓ H α /H β から減光補正
- ✓ [NII]混入を仮定して除去

SFR(H α)とSFR(IR)での
相関を確認

SFR(H α)/SFR(IR)のヒストグラム



SFR(H α)とSFR(IR)の比 [対数]

相関のピークはそれほど強くない
散らばりが大きい
SFR(H α)はSFR(IR)に対し
1桁程度ばらつく

✓ SFR(H α)の方が少なめになる

近赤外波長域の水素輝線

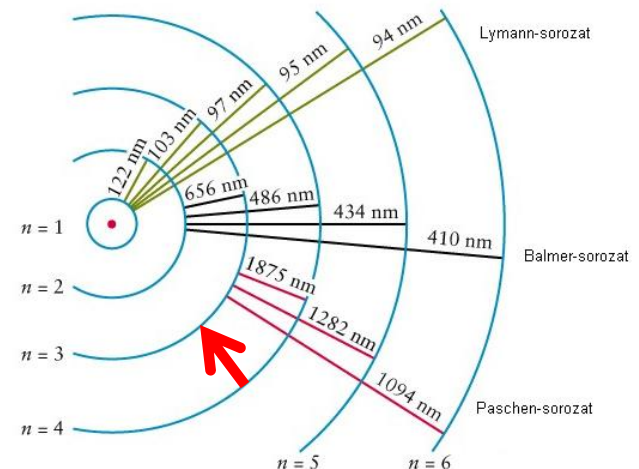
近赤外波長域の水素輝線の観測によりH α にみられる

- ✓ ダスト減光
- ✓ [NII]の混在が解決できる

候補は

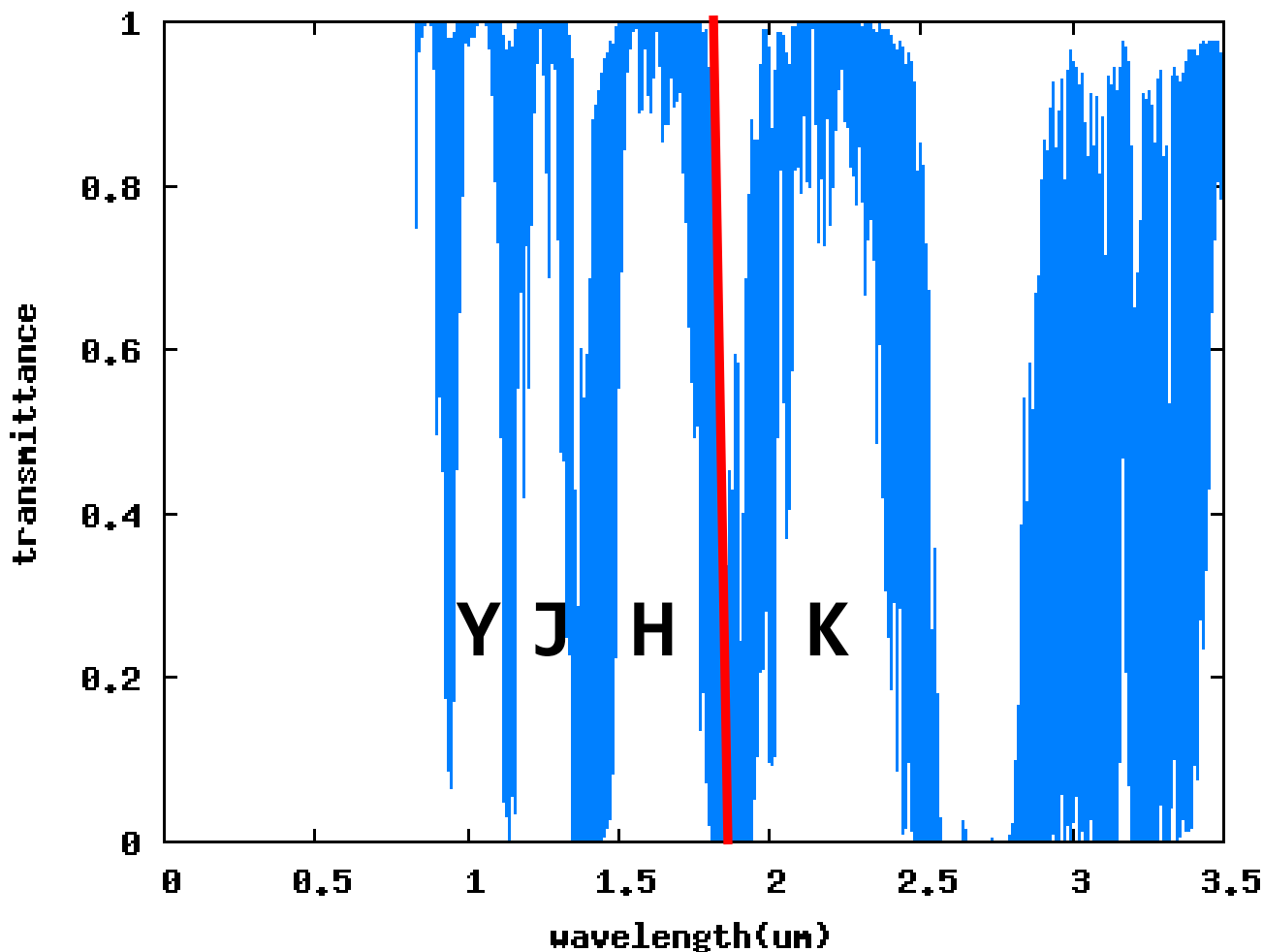
- ✓ Pa α (1875.1nm) : Pa α /H α $\sim$ 0.12 ($A_v \sim 3$ でH α と並ぶ)
- ✓ Pa β (1282.8nm) : Pa β /H α $\sim$ 0.06
- ✓ Br γ (2165.5nm) : Br γ /H α $\sim$ 0.01 ($A_v \sim 50$ でPa α と並ぶ)

→Pa α 輝線の観測をしたい



近赤外波長での大気透過率

$P_{a\alpha}$

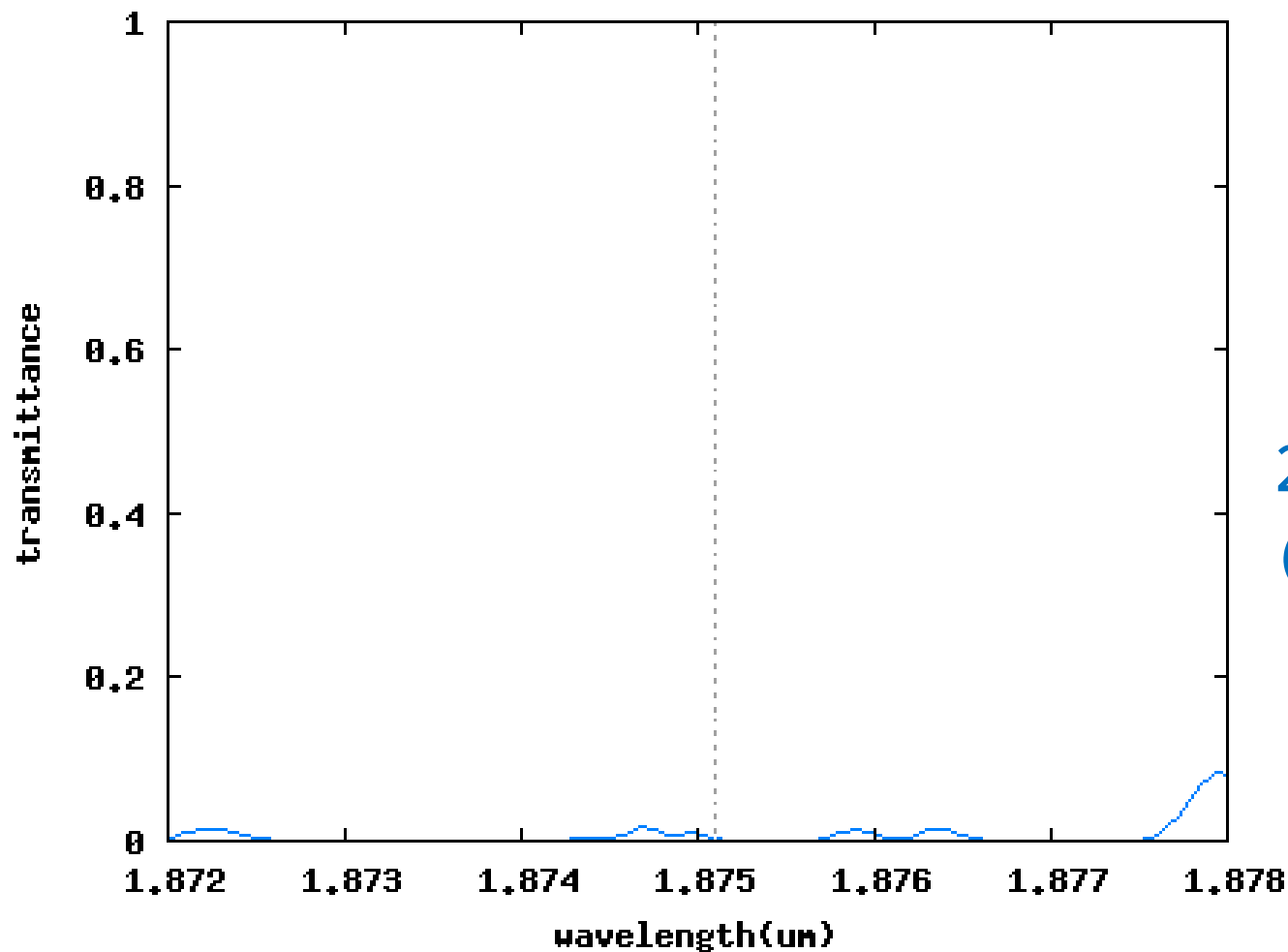


2600m
PWV=6.0mm

大気透過率の計算は
大気吸収計算ソフト
ATRANによる

$P_{a\alpha}$ の弱点：大気吸収を受ける

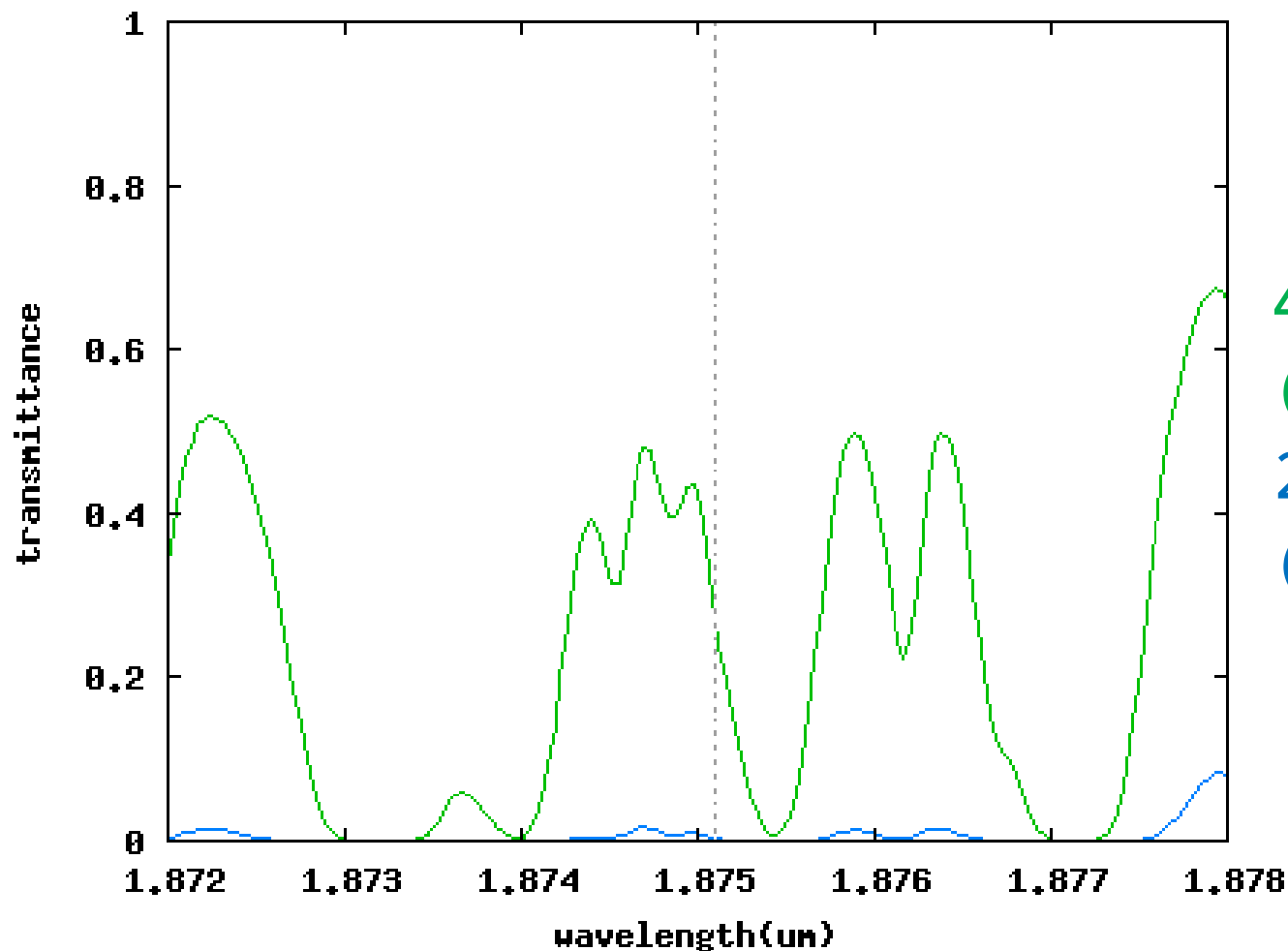
Pa α の大気透過率



2600m
(PWV 6.0mm)

大気透過率の計算は
大気吸収計算ソフト
ATRANによる

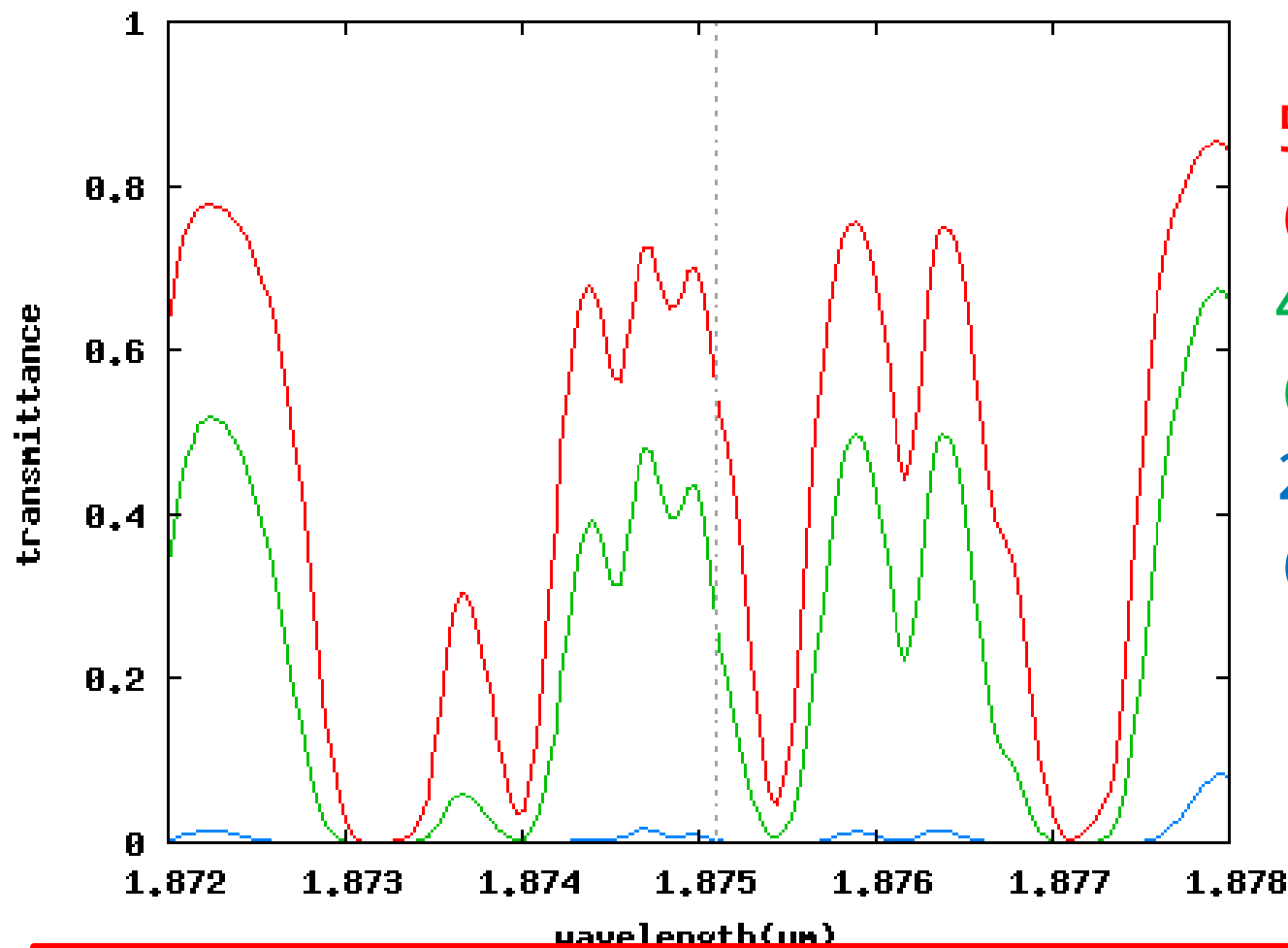
Paαの大気透過率



4200m
(PWV 1.0mm)
2600m
(PWV 6.0mm)

大気透過率の計算は
大気吸収計算ソフト
ATRANによる

Pa α の大気透過率

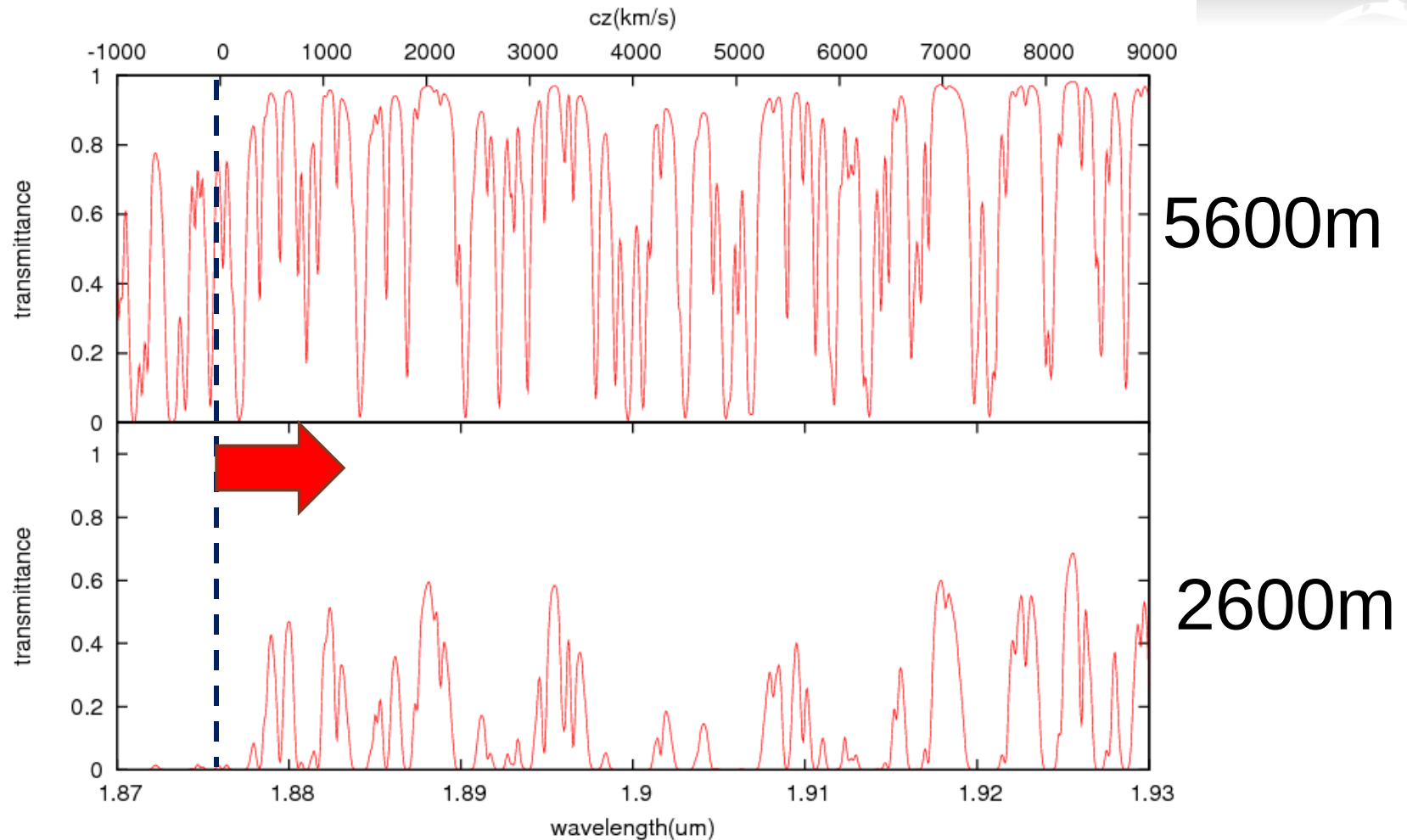


5600m
(PWV 0.5mm)
4200m
(PWV 1.0mm)
2600m
(PWV 6.0mm)

大気透過率の計算は
大気吸収計算ソフト
ATRANによる

5600mまで高度を上げればPa α を観測できる

赤方偏移したPa α



長波長側にシフトしたPa α も十分に観測可能である

2. 東大1m望遠鏡と近赤外線カメラANIR

- ✓ 東大アタカマ1m望遠鏡
- ✓ ANIR
- ✓ HST/NICMOSによるPa α 観測との違い

東大アタカマ1m望遠鏡



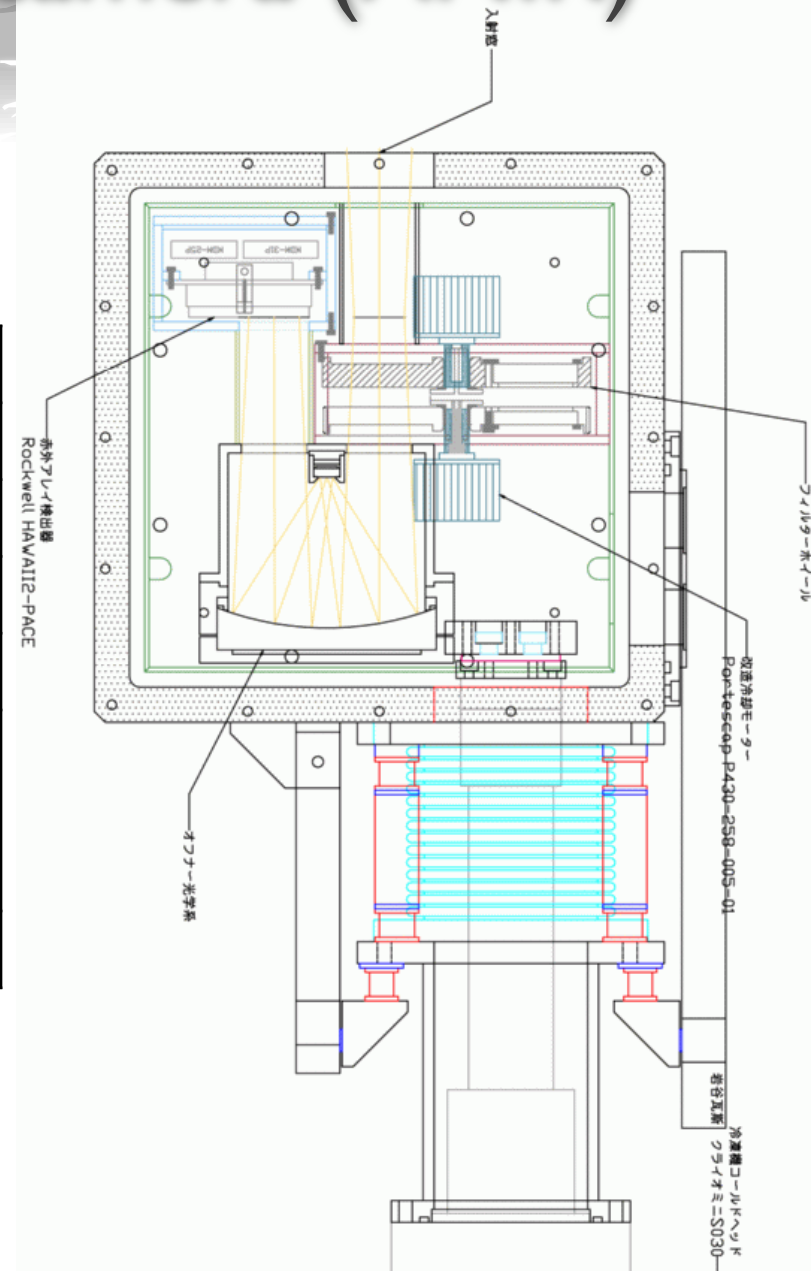
- ✓ 主鏡口径 1m
- ✓ 光学系 Cassegrain
- ✓ 最終F比 12
- ✓ 視野直径 10'



南米・チリのチャナントール山頂(標高5600m)

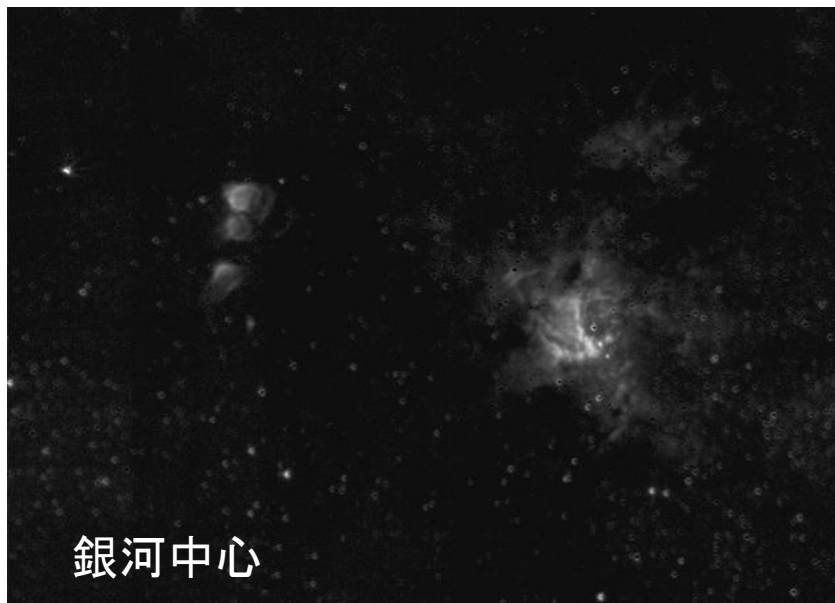
Atacama Near Infrared camera (ANIR)

再結像光学系	オフナー型
検出器	PACE-HAWAII-2
ピクセルフォーマット	1024×1024
ピクセルスケール	0.31"/pix
視野	5.3' × 5.3'
フィルタ	Y, J, H, Ks, Paα, N191 (Paαoff), Pa β , N207
最終F比	12



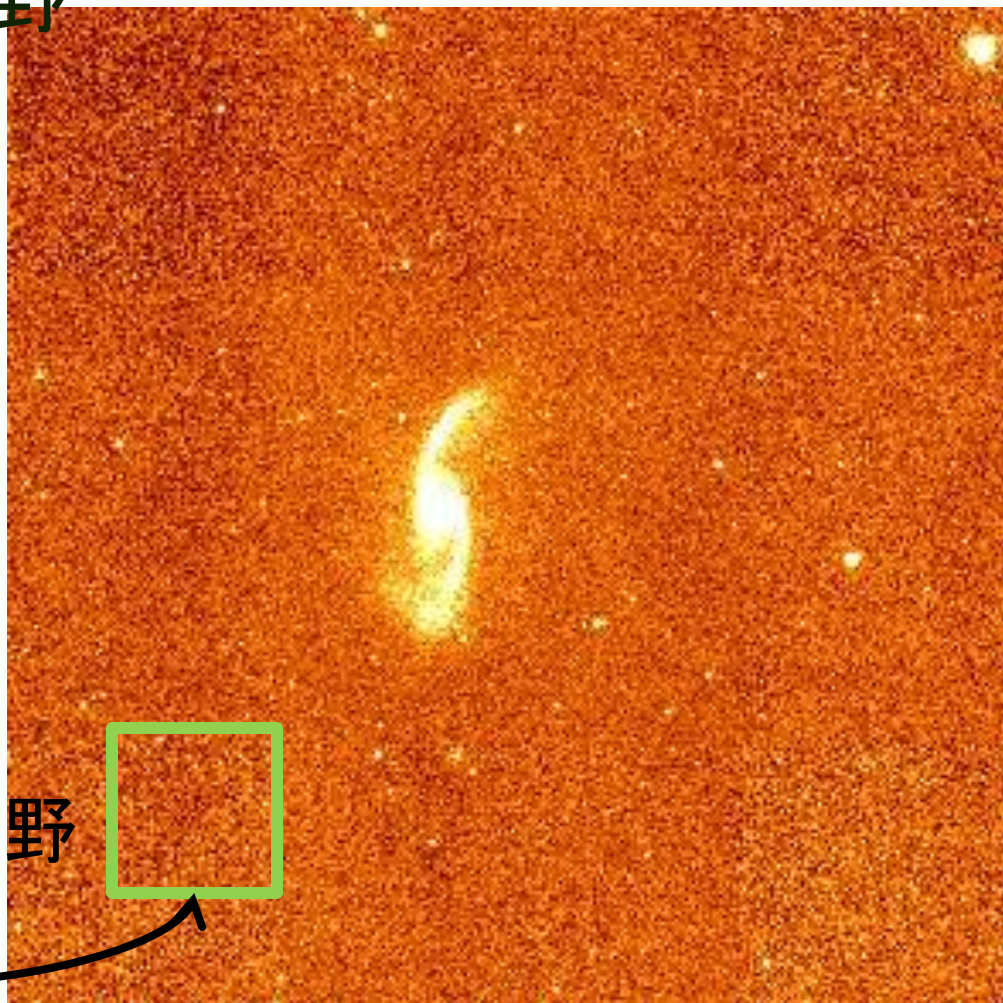
ANIRの目的

- ✓ Pa α による初の銀河面サーベイ
→ 銀河系内の電離ガスの分布を明らかにする
- ✓ 近傍LIRGの星形成をPa α で探る



HST NICMOSとの違い

✓ 広い視野

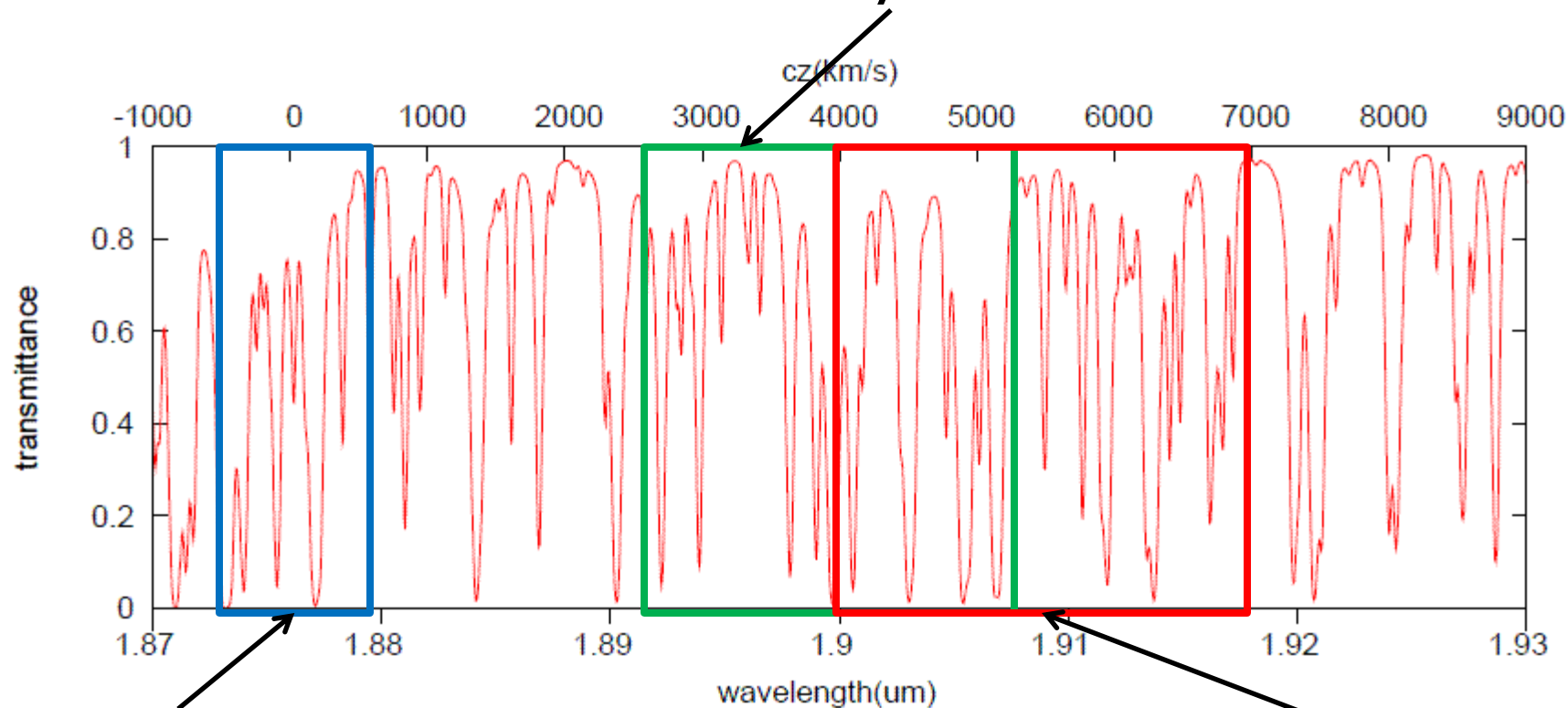


NICMOSの視野
 $51'' \times 51''$

5.3'
ANIRの視野

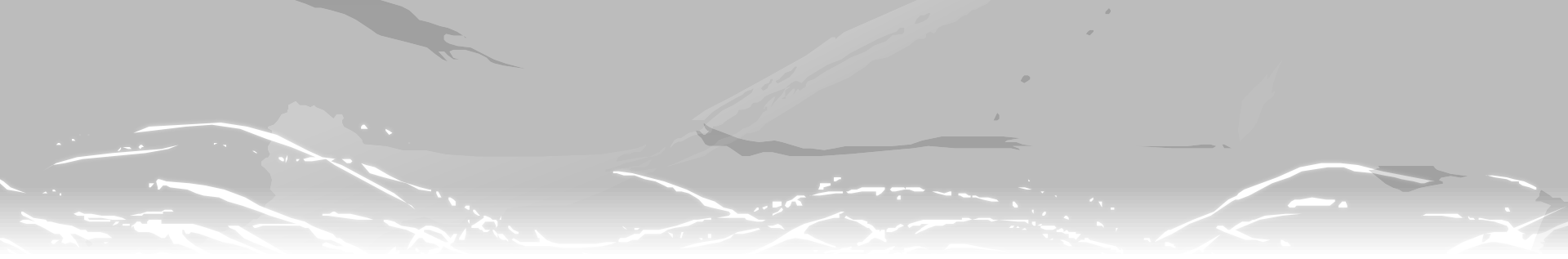
✓ 観測可能な天体

HST/NICMOS:N190



ANIR:Paα

ANIR:N191



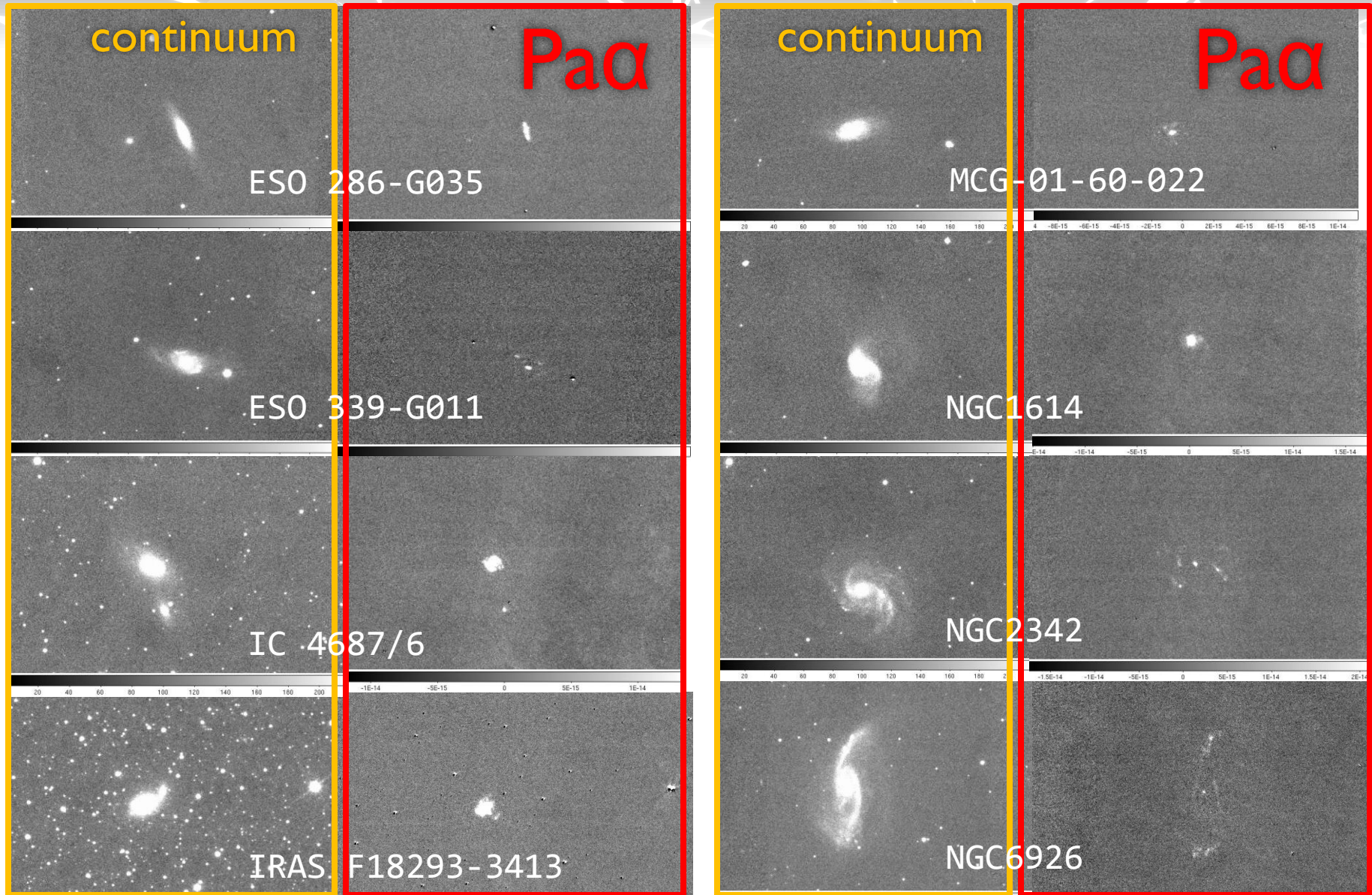
3.観測および結果

- ✓ Pa α の観測結果から星形成率を求める

観測概要

- ✓ 観測日程: 2009.06.11~06.12
10.14~10.27
- ✓ 観測天体: LIRGs 20天体 ($D: 50 \sim 100 \text{Mpc}$)
“THE REVISED BRIGHT GALAXY SAMPLE”
(Sanders et.al 2003)より選択
- ✓ 使用フィルタ: N191, H, Ks

Pa α 輝線の撮像結果



輝線フラックスの計算

観測量

Pα輝線のフラックスを求める

普通は

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

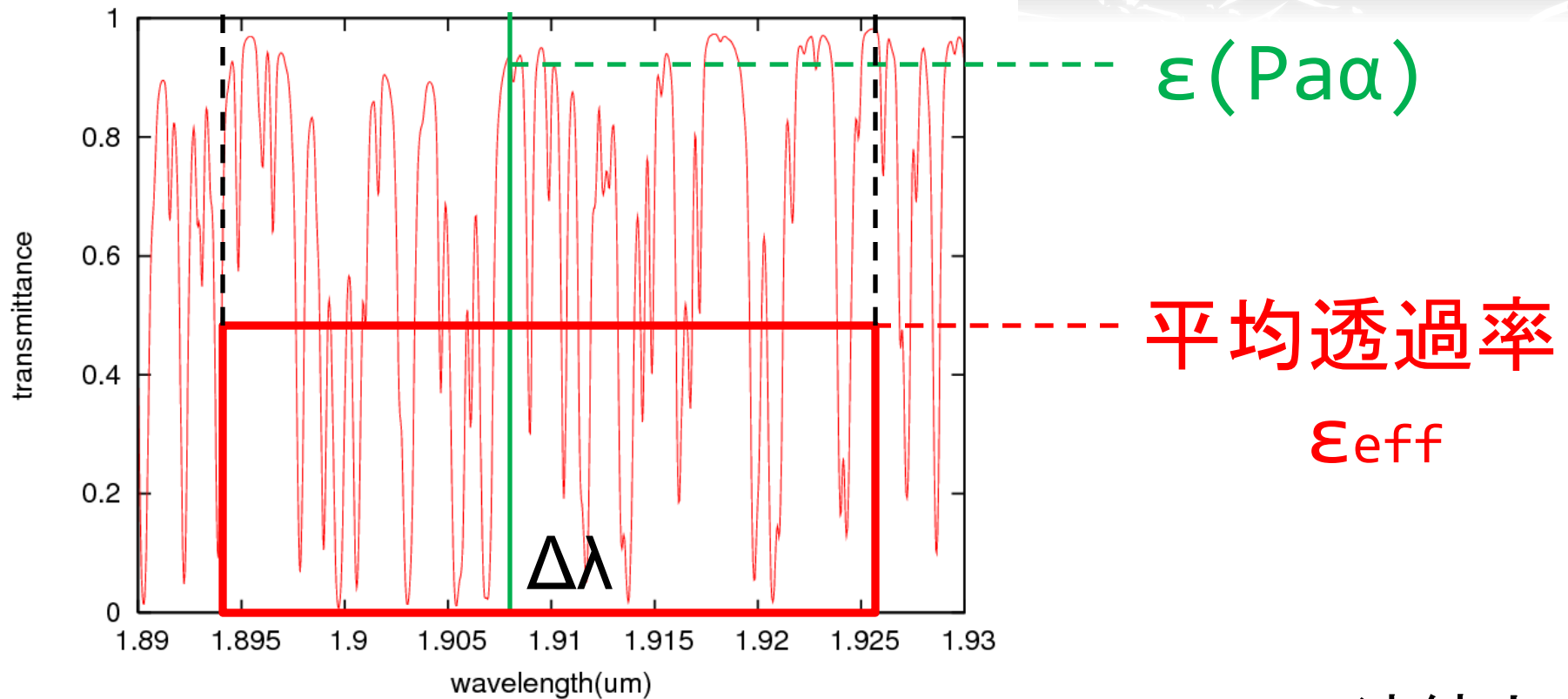
(F: フラックス, f: フラックス密度)

しかし、ここでは大気の透過率を考慮する

大気の透過率は

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

Pa α 輝線フラックスの算出



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

この値が ϵ_{eff} でない
ところに注意

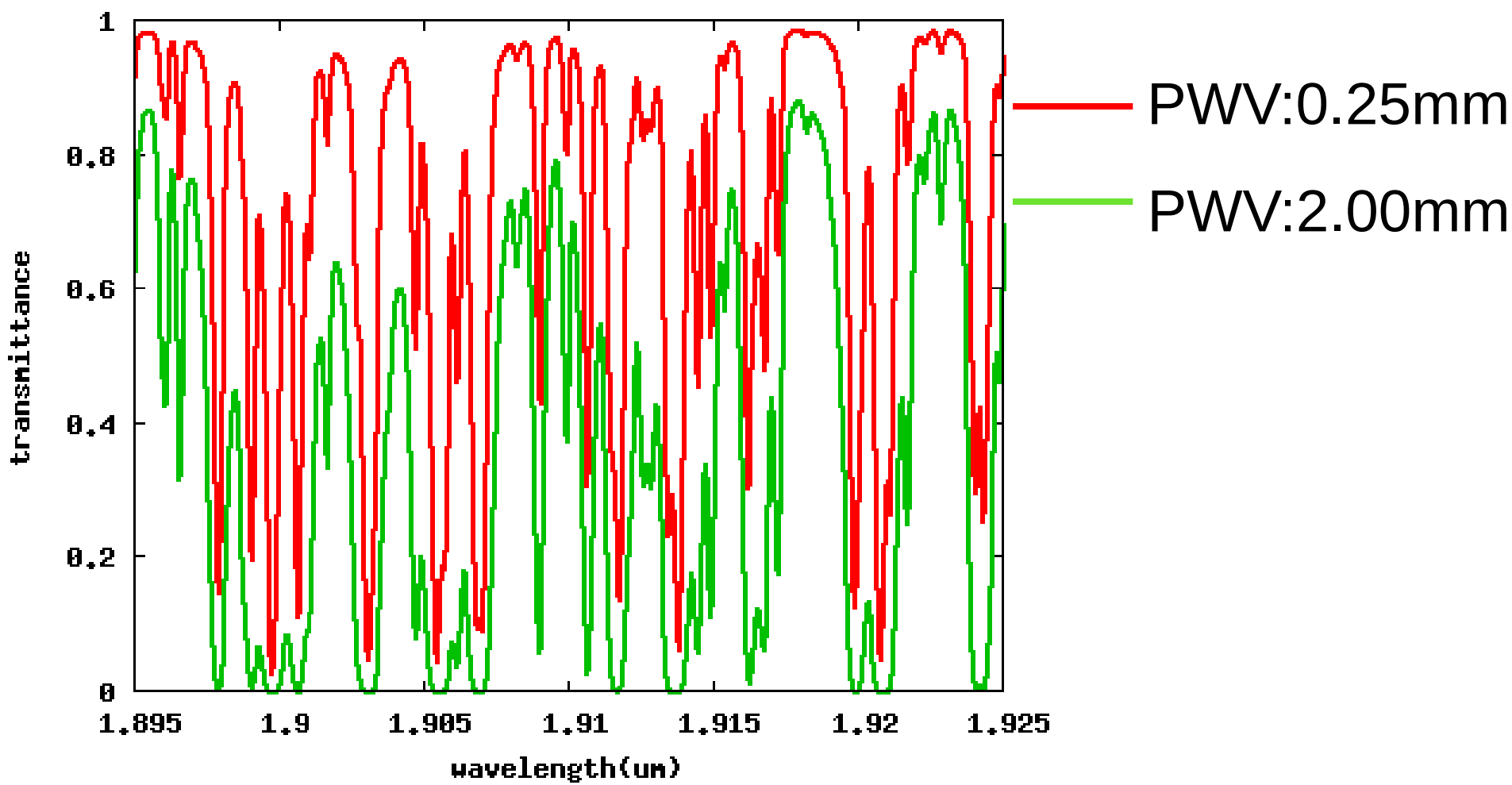
$F(\text{Pa}\alpha)$: 輝線のフラックス

$f(\text{obs})$: N191フィルタ観測によるフラックス密度

$f(\text{連続光})$: H、Ksの連続光から内挿して予測

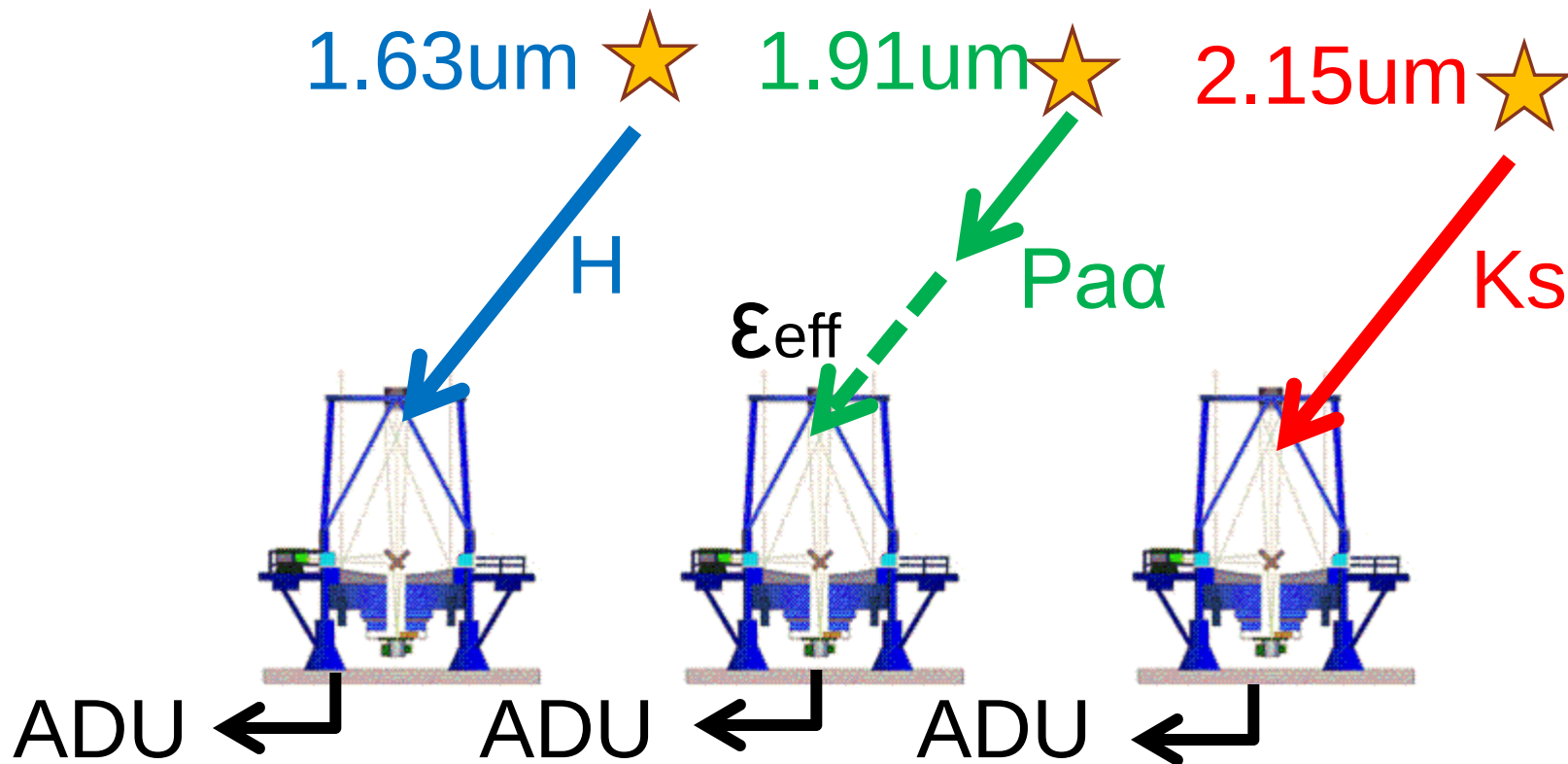
大気透過率の変動

✓ 大気透過率は水蒸気量で変動する(天候次第)

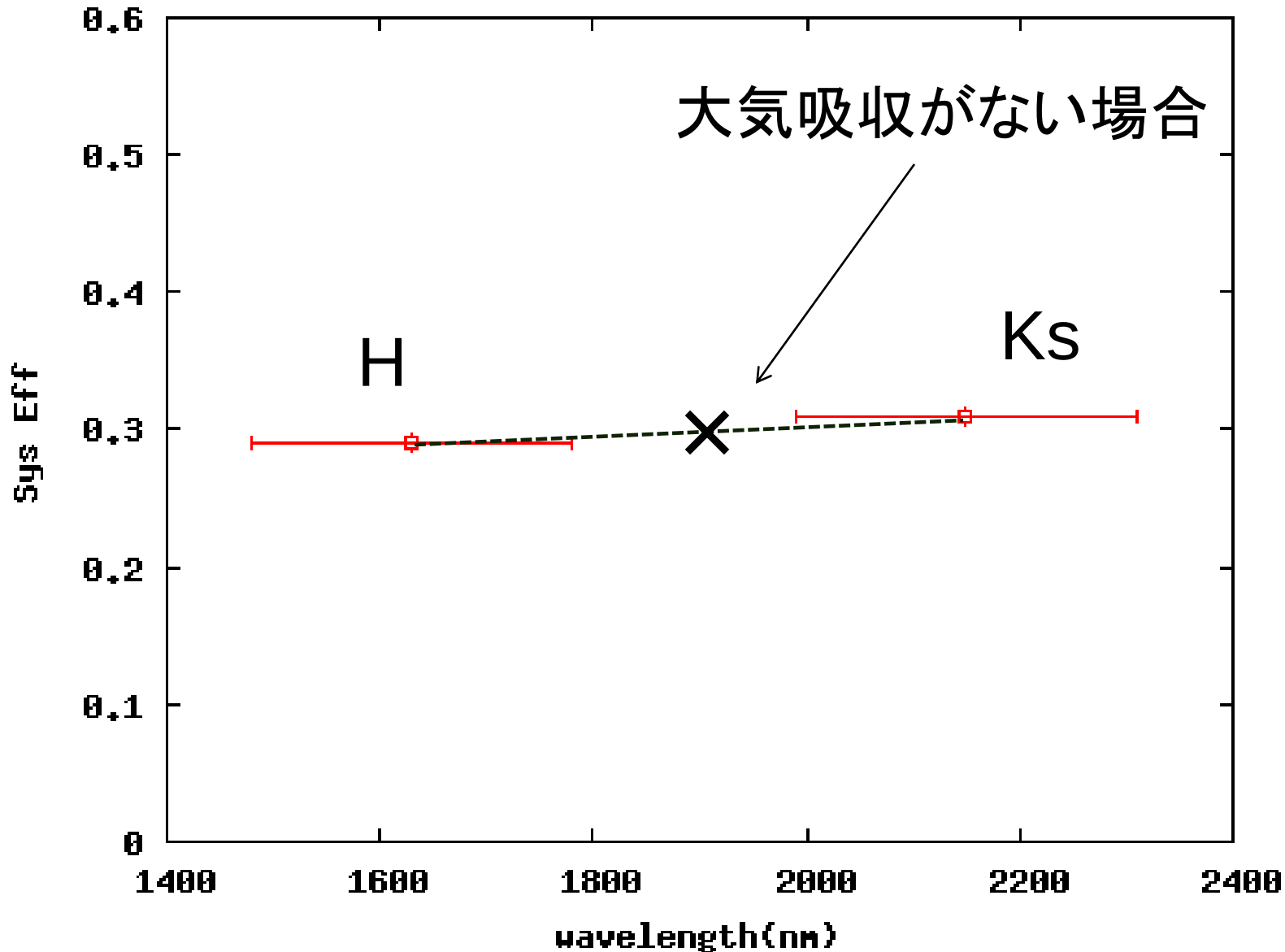


大気吸収の推測

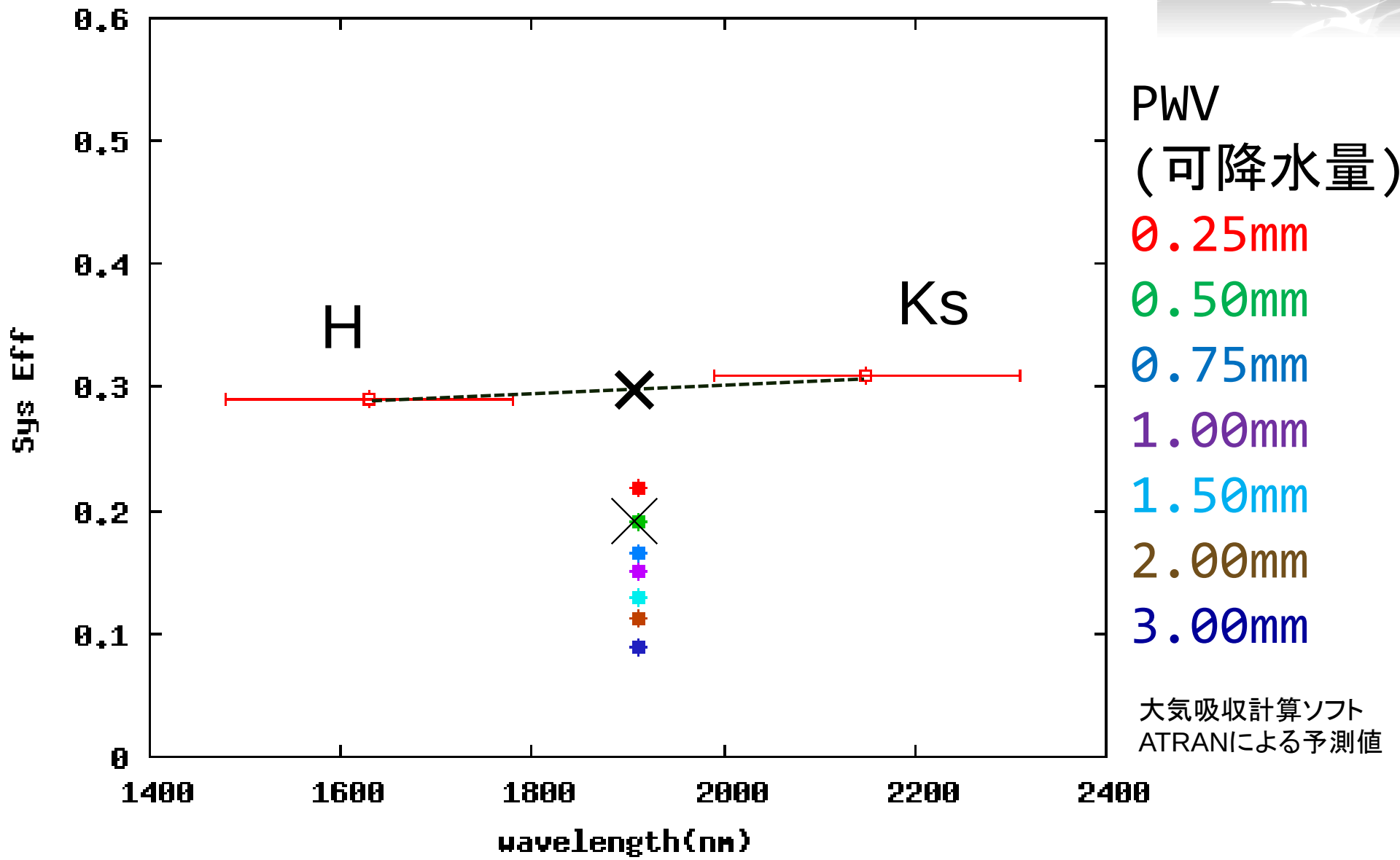
- ✓ 大気 & 1m望遠鏡 & ANIRのシステム効率
H, Ks と N191の比較で大気の吸収を見積もる



システム効率から水蒸気量を推測



システム効率から水蒸気量を推測



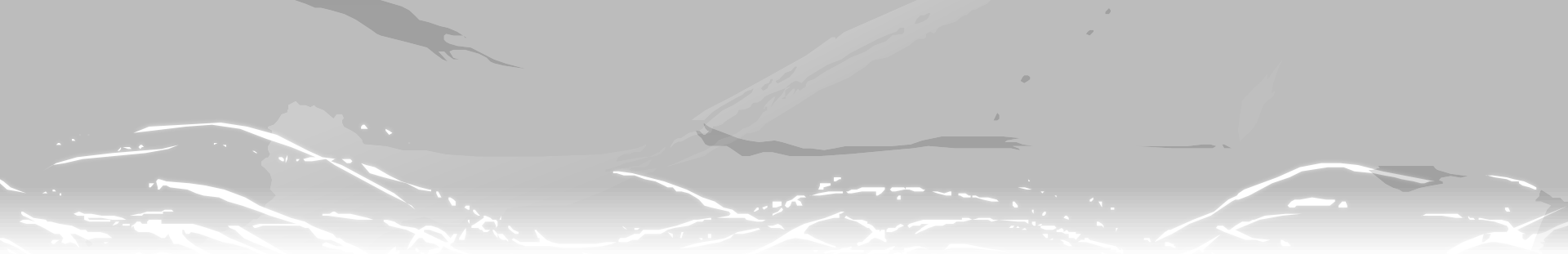
SFR(Pa α)の計算結果

単位は[M_{sol}/year]

天体名	$\epsilon_{Pa\alpha}(\%)$	$SFR(Pa\alpha)$	天体名	$\epsilon_{Pa\alpha}(\%)$	$SFR(Pa\alpha)$
NGC0023	46.568	5.91	IC4687/6	73.631	28.9
NGC0232	86.840	2.69	IRAS F18293-3413	71.138	44.7
ESO 244-G012	97.172	24.4	ESO 339-G011	69.818	7.10
UGC02238	80.123	14.1	NGC6926	77.862	9.88
IRAS F02437+2122	95.745	5.85	ESO 286-G035	83.728	9.03
NGC1614	40.649	48.3	ESO 343-IG013	57.322	6.09
MCG-05-12-006	52.184	16.0	NGC7130	9.974	6.96
ESO 557-G002	58.413	5.84	NGC7469	5.482	167.5
IRAS F06592-6313	94.096	3.58	MCG-01-60-022	96.416	9.37
NGC2342	75.125	14.6	NGC7771	79.543	4.58

近傍LIRGsのSFR(Pa α)は $10^0 \sim 10^1$ のオーダー

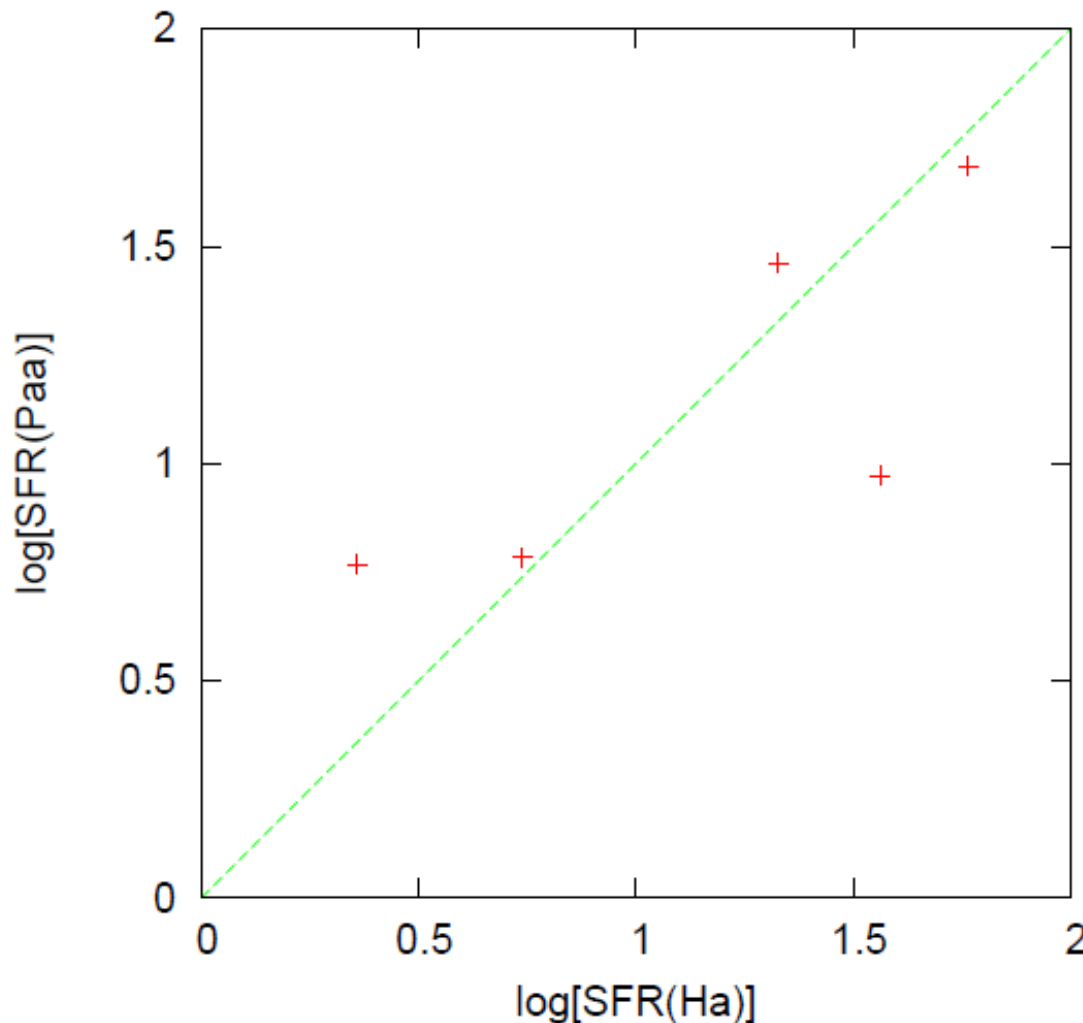
$$SFR(Pa\alpha)[M_{\odot}/yr] = 6.79 \times 10^{-41} L(Pa\alpha)[erg/s] \quad (\text{Alonso Herrero et. al 2006})$$



4. 議論

✓ SFR($\text{Pa}\alpha$)とSFR(IR)、SFR($\text{H}\alpha$)を比較

SFR(H α)との比較



前述のDopita(2002)と
共通のサンプルでの
SFR(H α)との比較

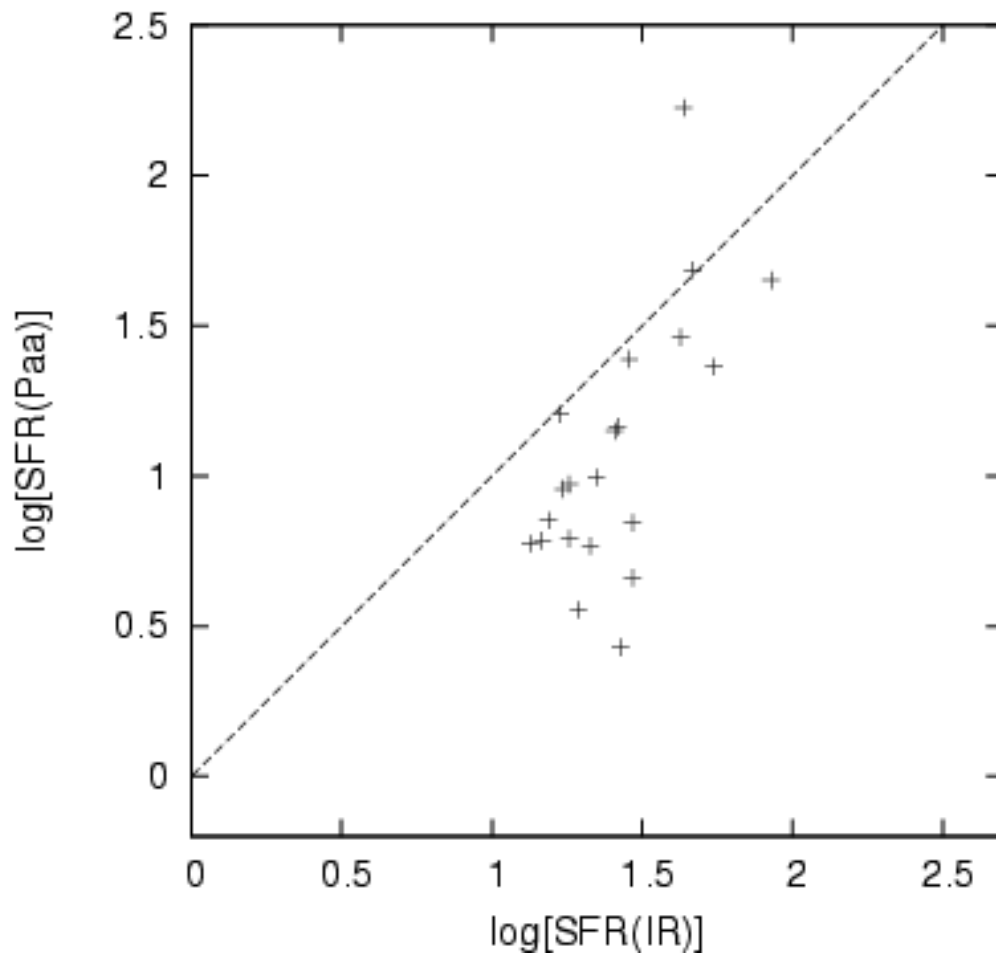
相関がみられる

→Pa α からのSFR予測は
H α 程度の妥当性はある

減光補正をしていない分、
Pa α の方が不定性が少ない
と見込まれる

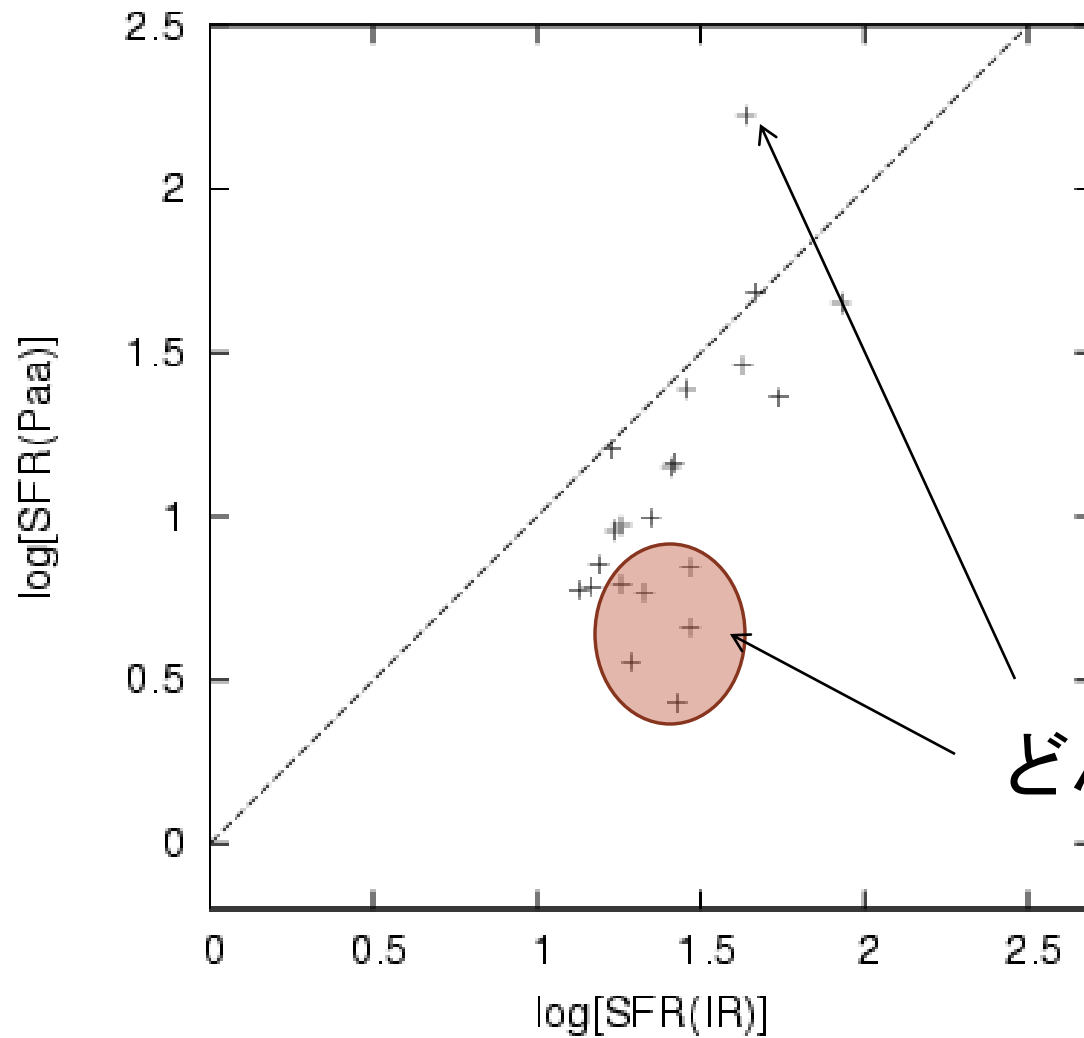
SFR($\text{Pa}\alpha$)とSFR(IR)の比較

SFR($\text{Pa}\alpha$)=SFR(IR)が等しいとき

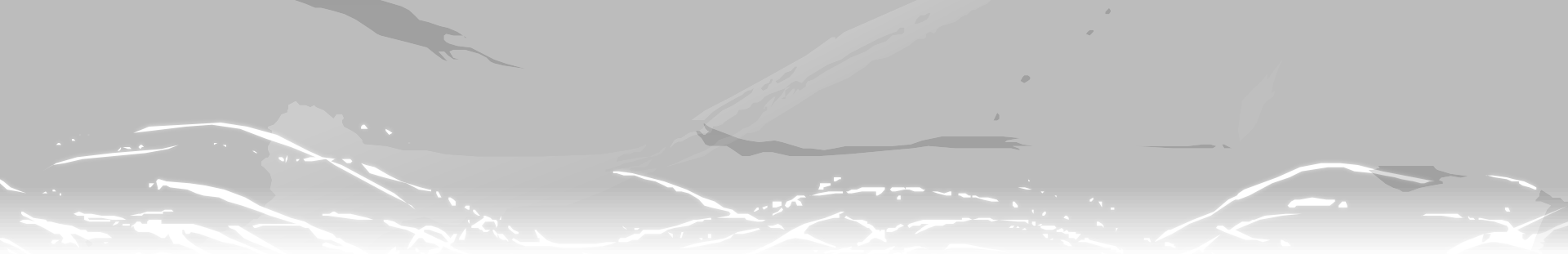


SFR($\text{Pa}\alpha$)はSFR(IR)より
やや小さくなる

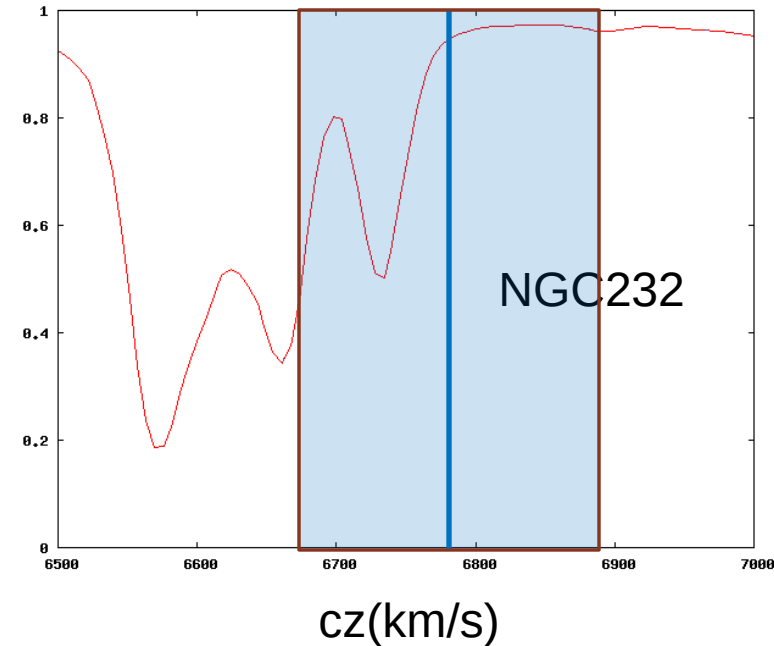
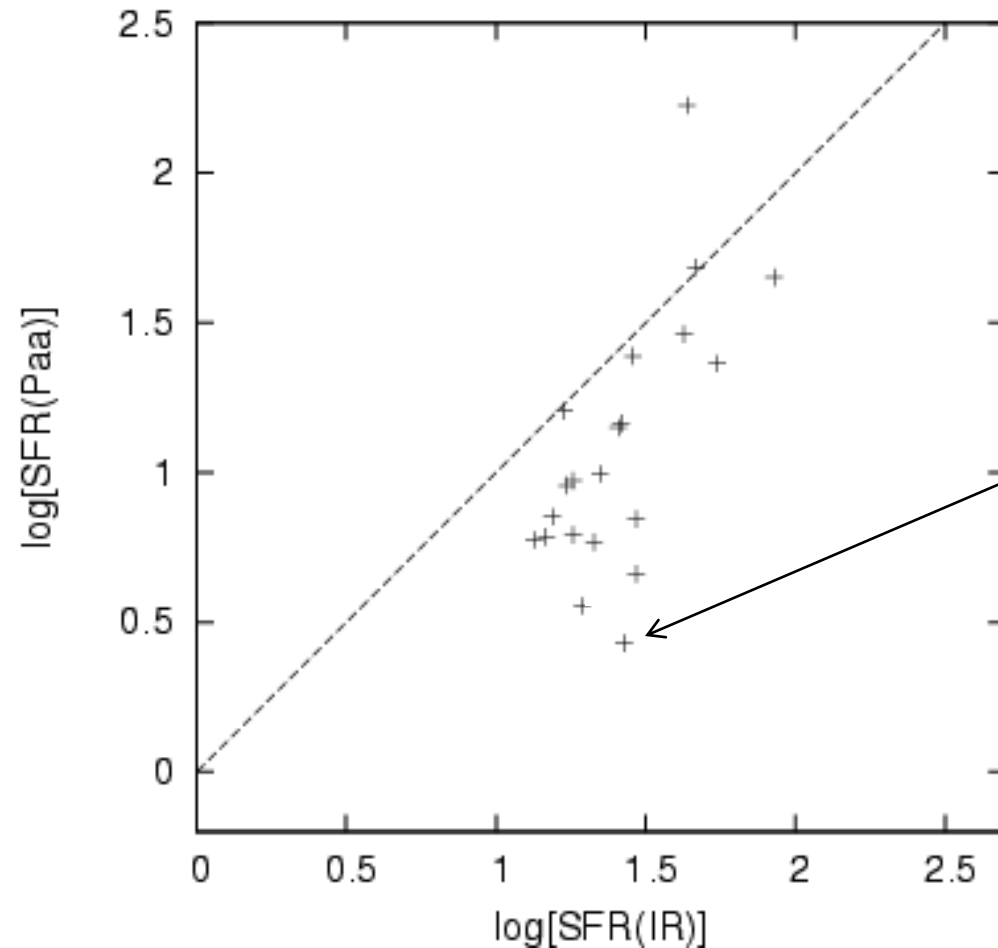
SFR(IR)の超過が目立つ
サンプルもある



どんな銀河なのか

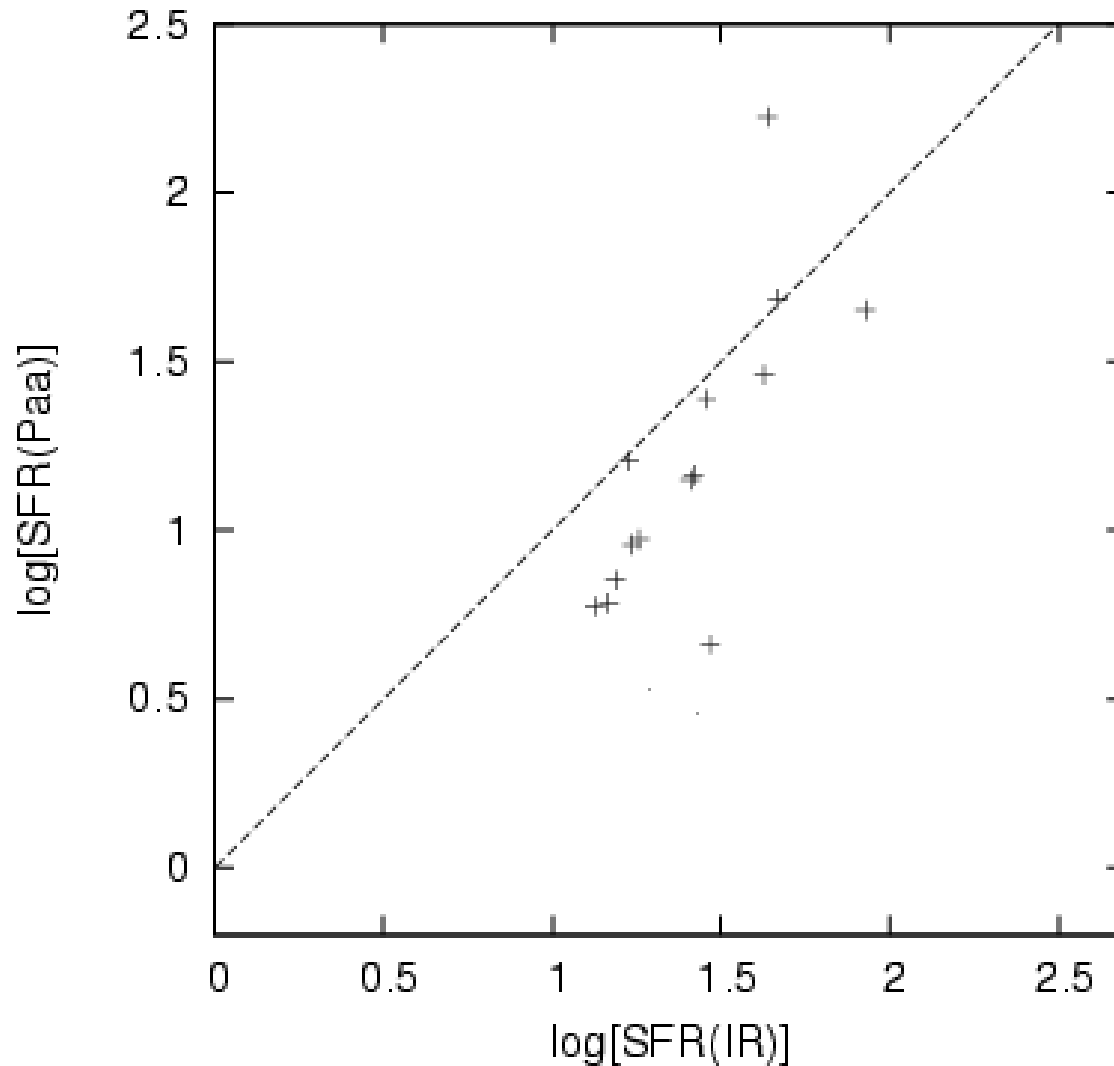
- 
- ✓ 大気透過率の補正
 - ✓ AGNの寄与：ダストが暖められてMIR-FIR超過

大気透過率の補正は出来ているか

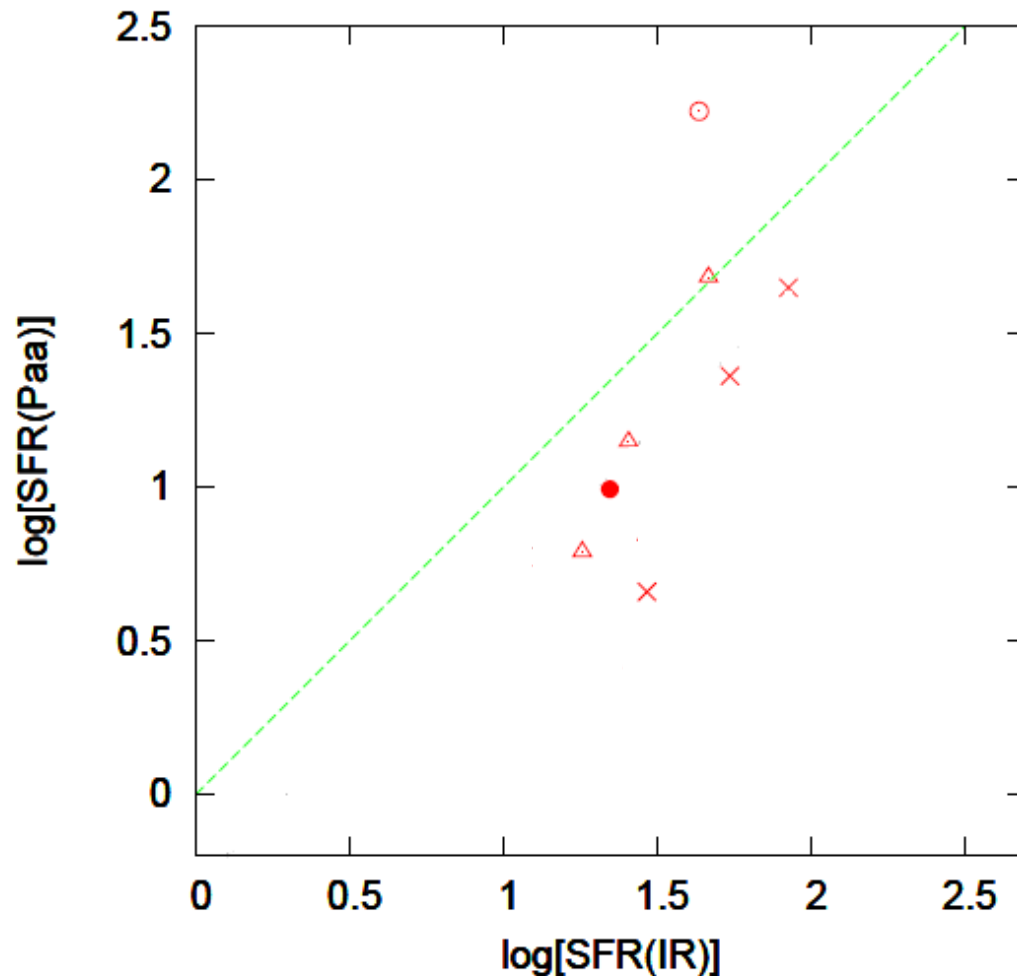


透過率の変動が激しい
領域によっては透過率補正
が不足する可能性

大気透過率の安定しているサンプル



銀河のタイプ別の分布(Kim et al.1995)



× : HII領域

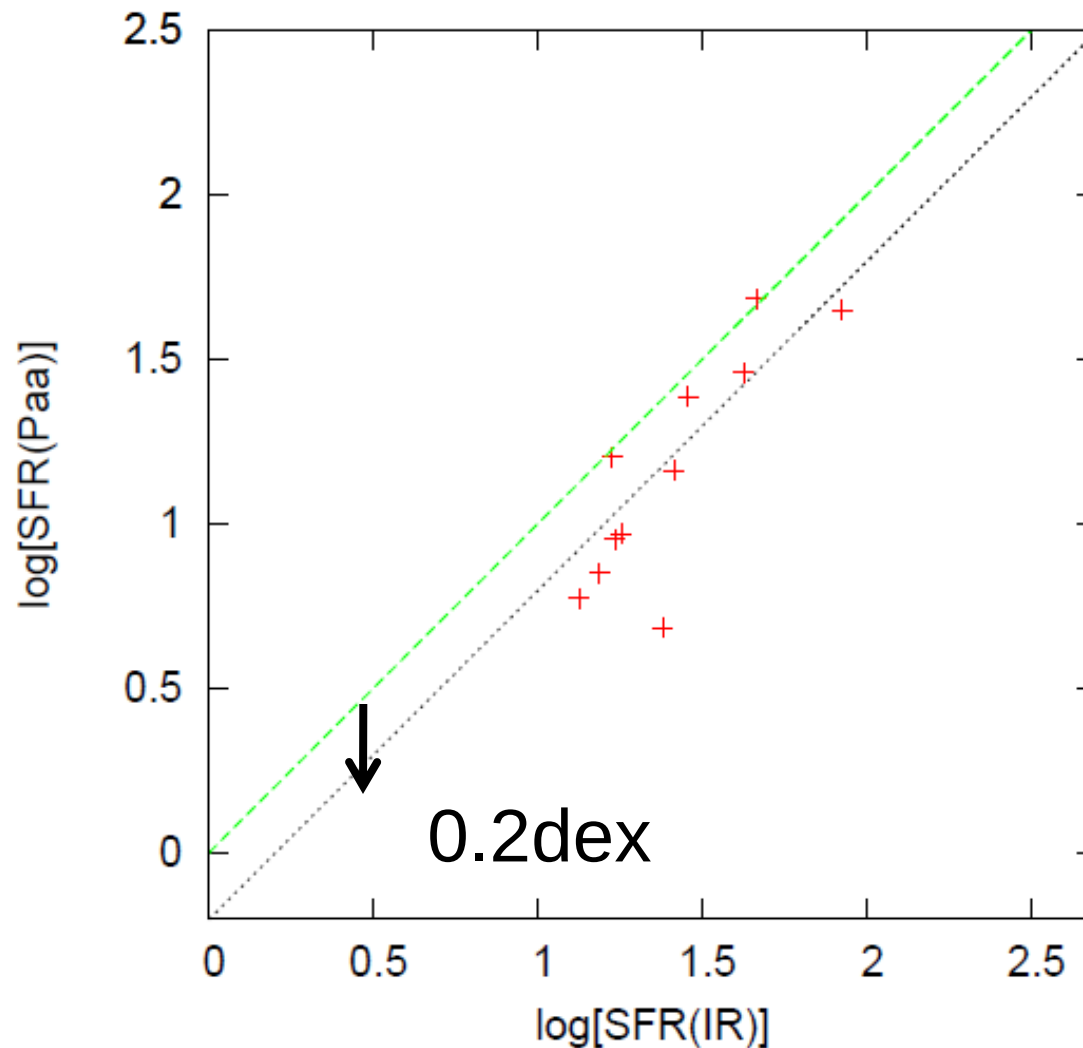
△ : LINER

○ : Seyfert1

● : Seyfert2

Sy1のP α 超過
→ブロードラインか

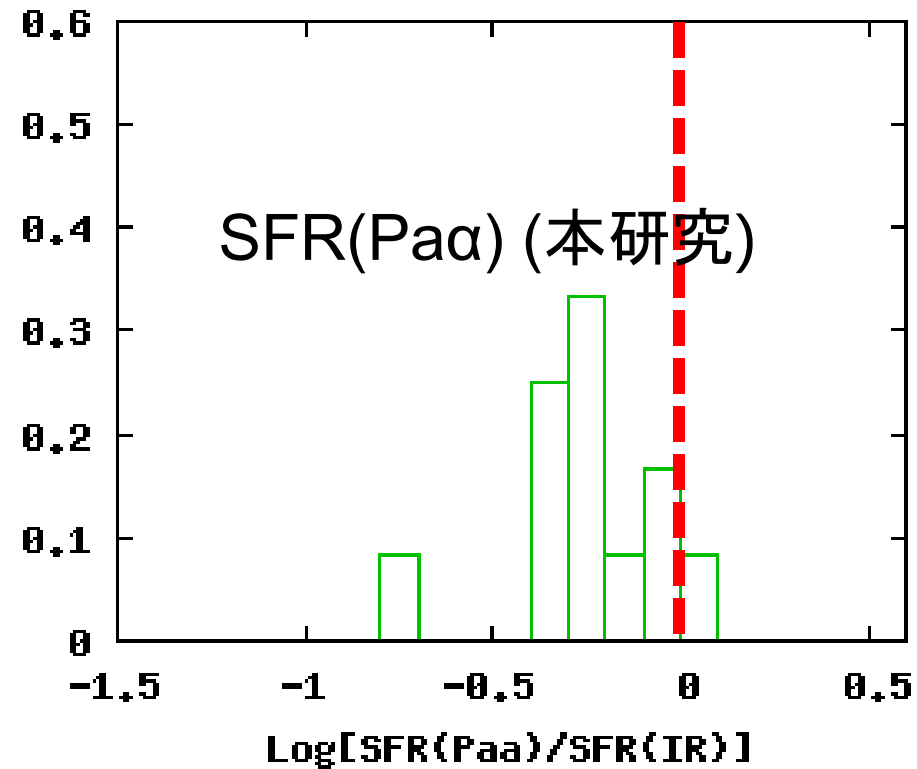
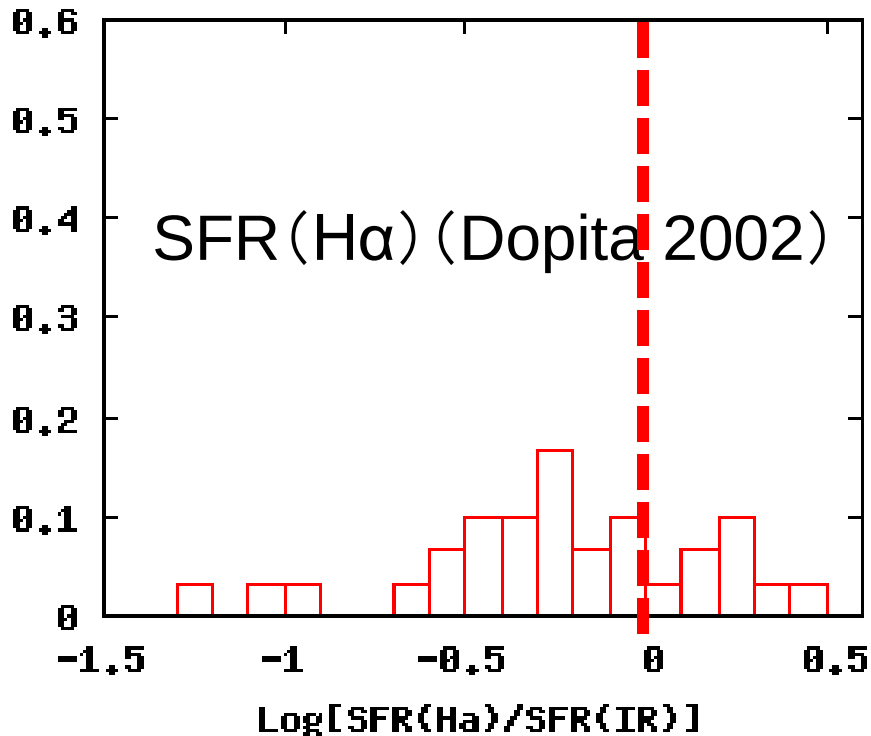
SFR(IR)と再度比較



SFR(Pa α)がSFR(IR)の2/3程度

SFR(Pa α)とSFR(H α)の分散の比較

- ✓ SFR(Pa α)の方が相関のピークがはっきりしている



まとめ

- ✓ 地上からの近傍LIRGのPa α 撮像観測に初めて成功
→ 星形成率推定の新しい手法を確立した
- ✓ SFR(Pa α)はSFR(H α)とよく一致したことで、
Pa α 輝線の大気透過率補正方法がある程度確立
但し、大気透過率の波長依存性の大きさが課題
- ✓ SFR(Pa α)はSFR(H α)より分散が少ない
- ✓ SFR(Pa α)はSFR(IR)と比べると2/3程度となる

