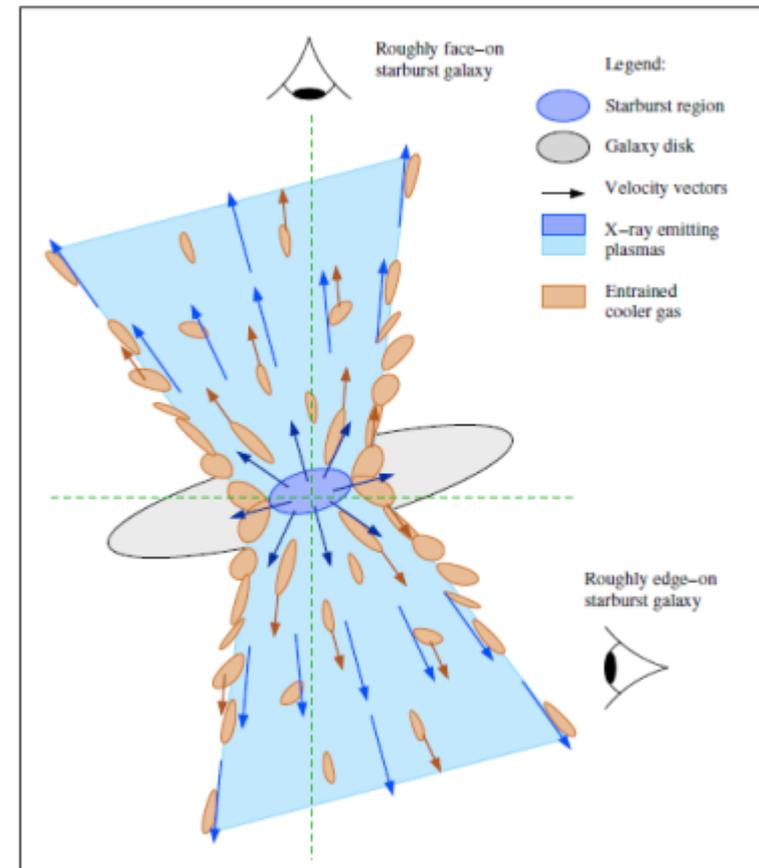


スターバーストスーパーウィンド の偏光観測

広島大学・宇宙科学センター
吉田道利

Starburst Superwind

- Giant outflow from starburst region
 - Mass flow rate $\sim 10 - 100 M_{\odot}/\text{yr}$
 - ➔ $\sim 10^9 M_{\odot}$ gas / L^* galaxy
 - $\sim 10^8 M_{\odot}$ metal to inter-galactic space
 - Energy output $\sim 10^{42} - 10^{43}$ ergs/s
 - Flow speed:
 - ~ 100 km/s for optical filaments
 - ~ 1000 km/s for X-ray emitting gas



Dust outflow from starburst galaxies

- スーパーウィンドに付随するダスト
 - 銀河ハロおよび銀河間空間へのダスト放出
 - 銀河ディスク物質のリサイクリング
- M82
 - 銀河面から数kpcに及ぶスーパーウィンド
 - スーパーウィンドに大量のダストが付随
 - 可視撮像観測、偏光撮像観測
 - サブミリ波観測
 - 中性ガス観測 (CO分子輝線、NaD吸収線)

Dusty filaments

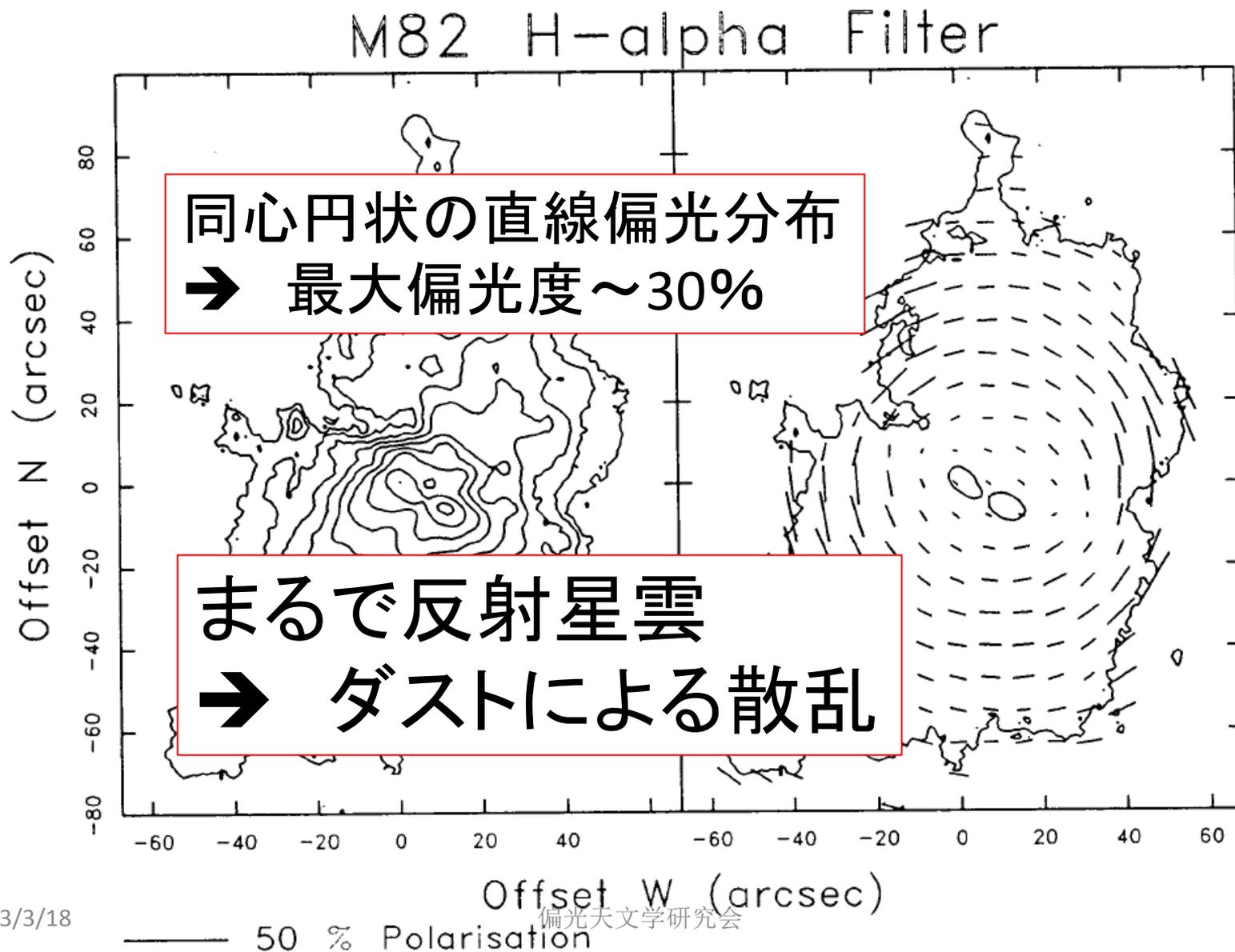


M 82 (NGC 3)

Subaru Telescope,
2013/3/18 Copyright

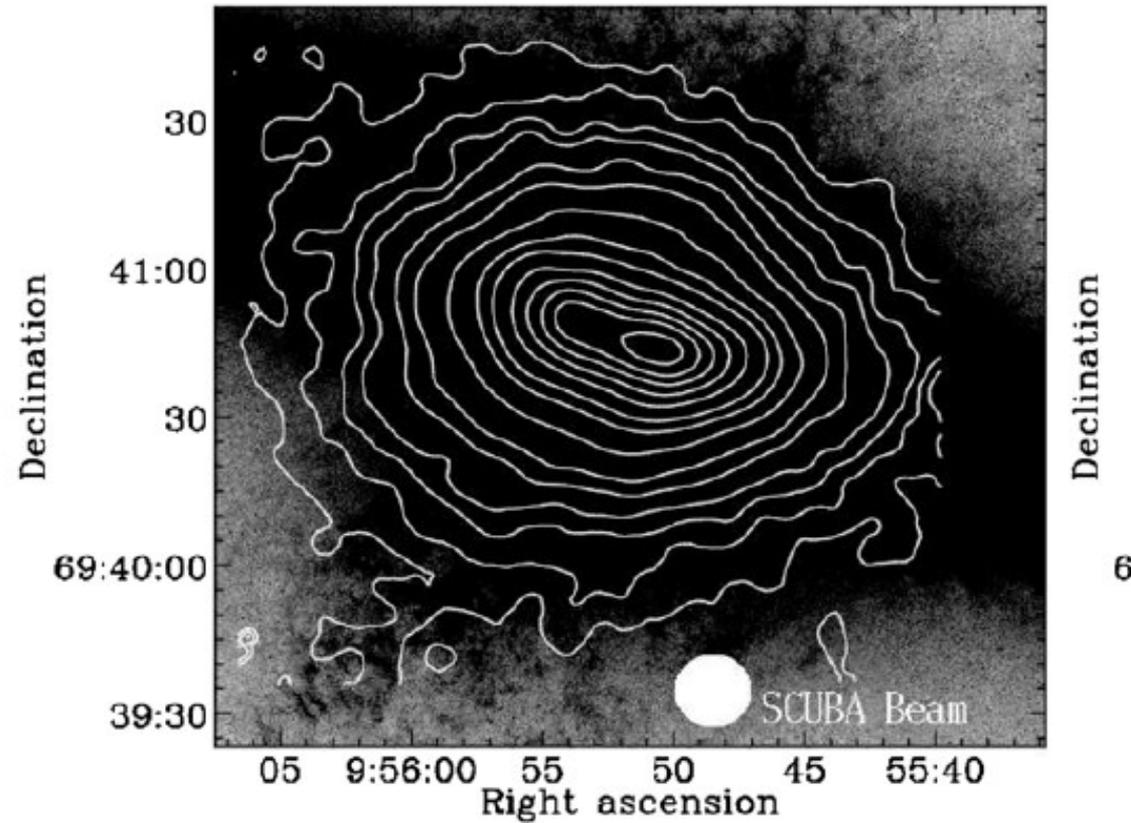
M82の可視輝線(H α)の偏光撮像観測

Scarrot et al. 1991

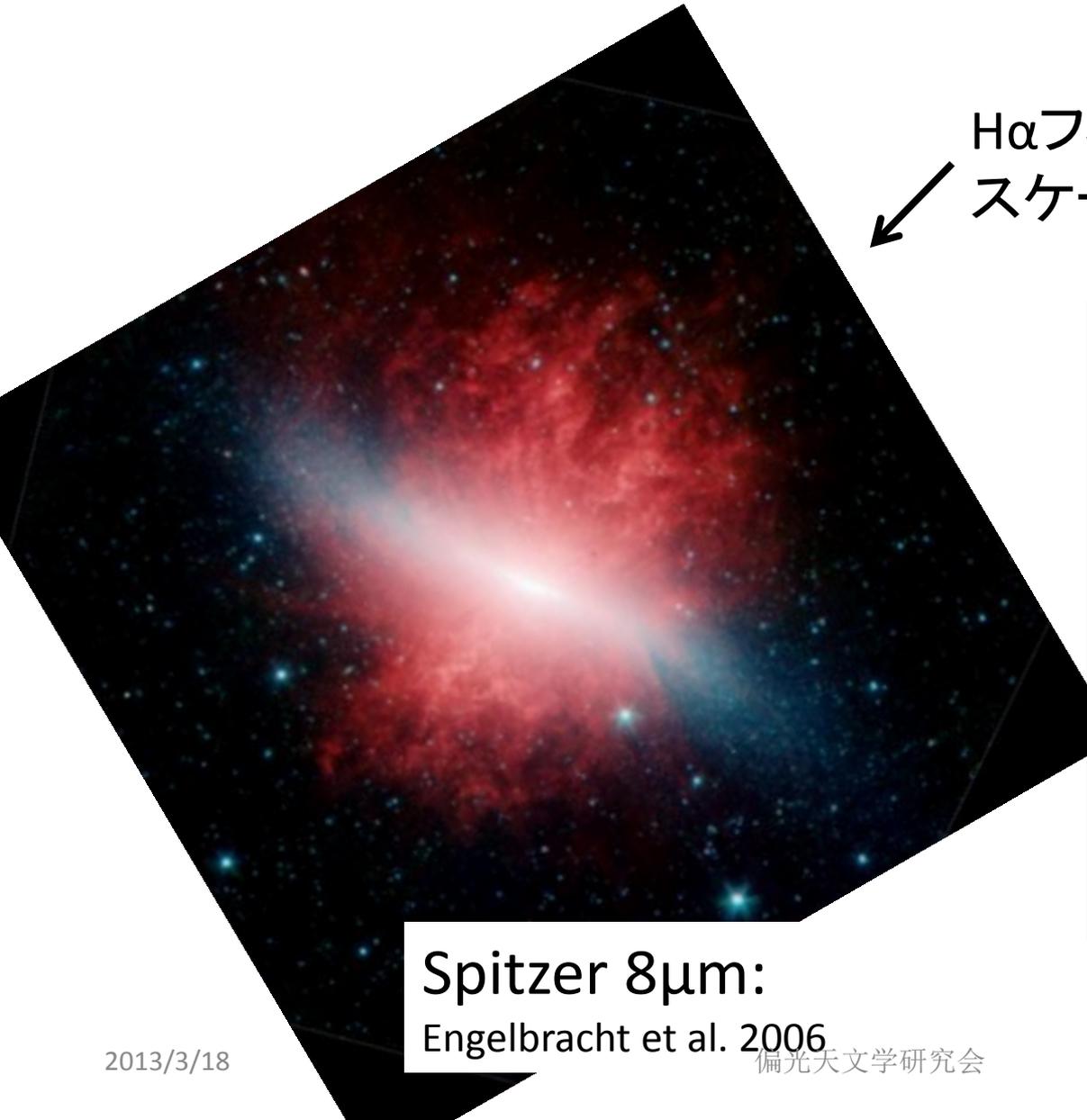


ダストからのサブミリ波放射 (850 μm)

Leeuw & Robson 2009



ダスト (PAH) からの中間赤外線放射



Haフィラメントを超える
スケールのダストフロー

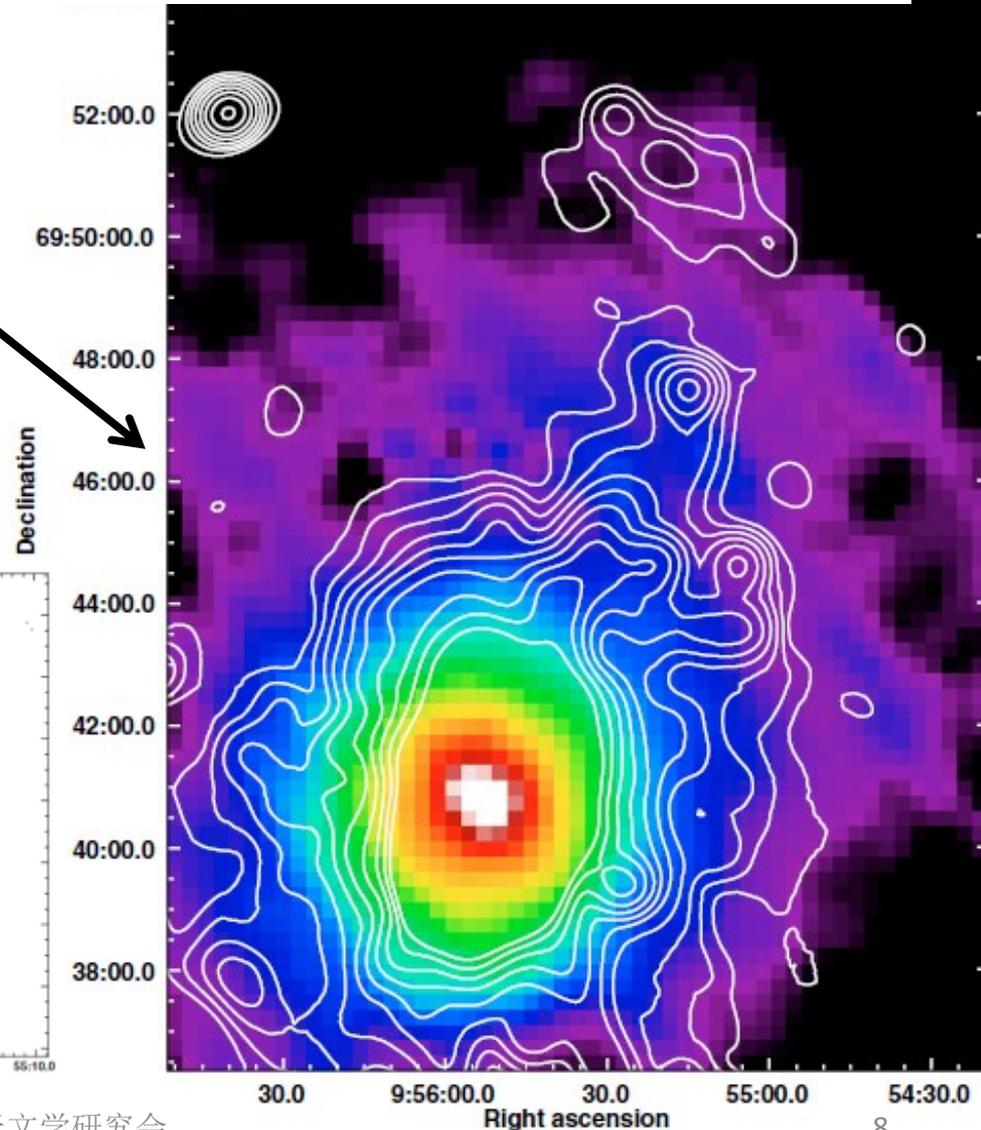
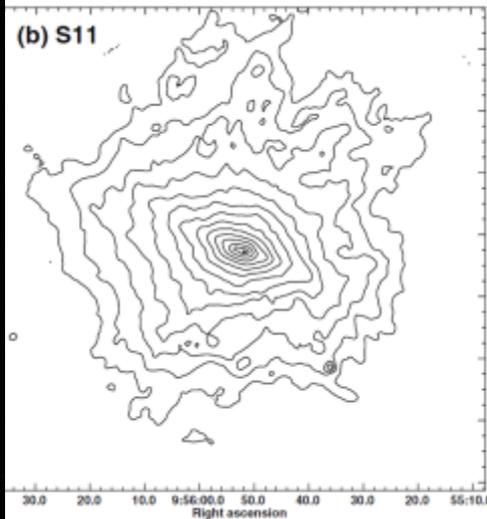


Spitzer 8 μ m:
Engelbracht et al. 2006

ダストからの赤外線放射

「あかり」による $160\mu\text{m}$ 放射
(Kaneda et al. 2010)

PAH放射

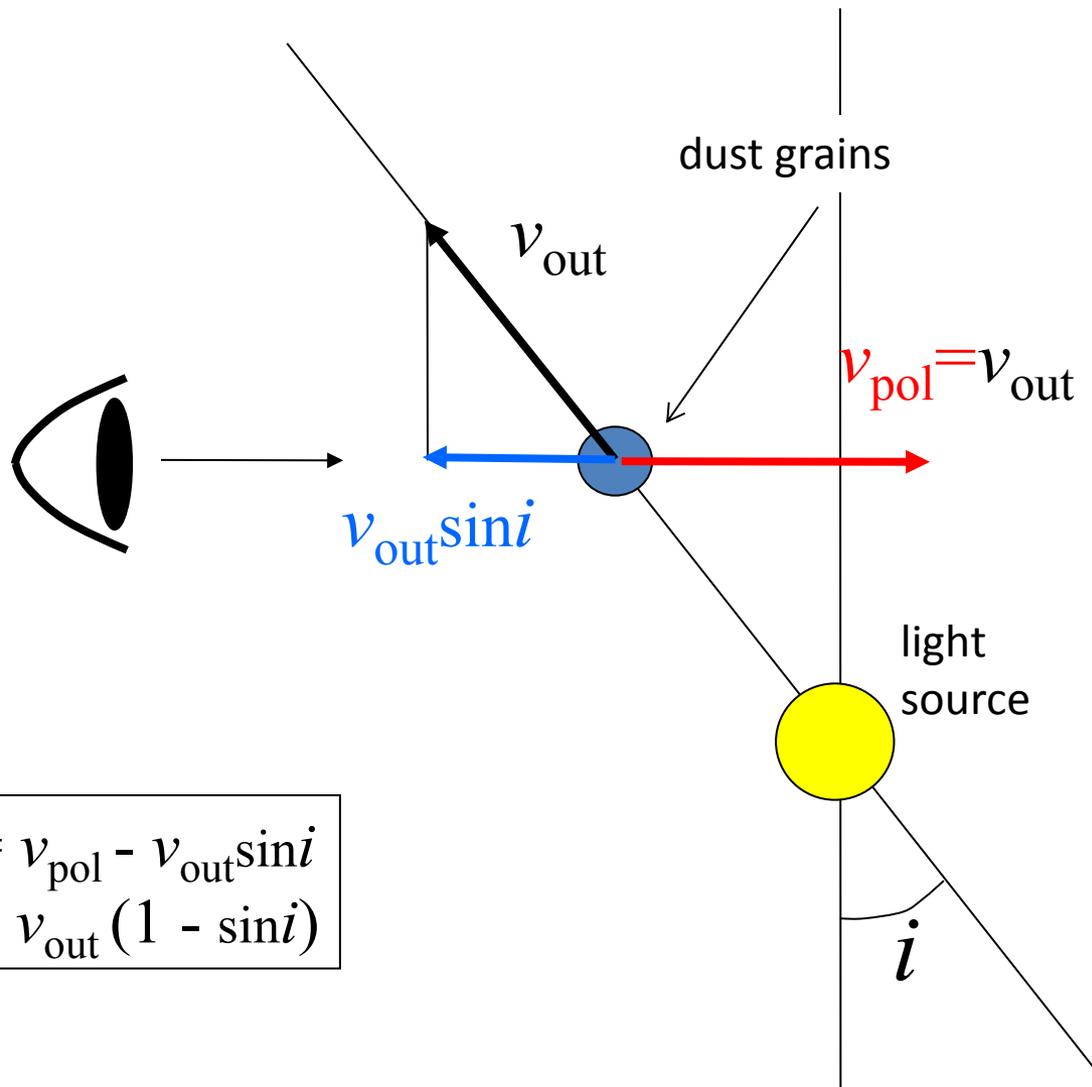


2013/3/18

偏光分光で探るダスト運動

- スターバーストスーパーウィンド中の大量のダスト
 - ➔ 運動が分からない
 - ➔ ダストの運命がわからない
 - 銀河間空間に流れ出すのか➔銀河間空間汚染
 - 再び銀河に降り積もるのか➔recycling
- スーパーウィンド中のダストの運動を偏光分光観測で探る。

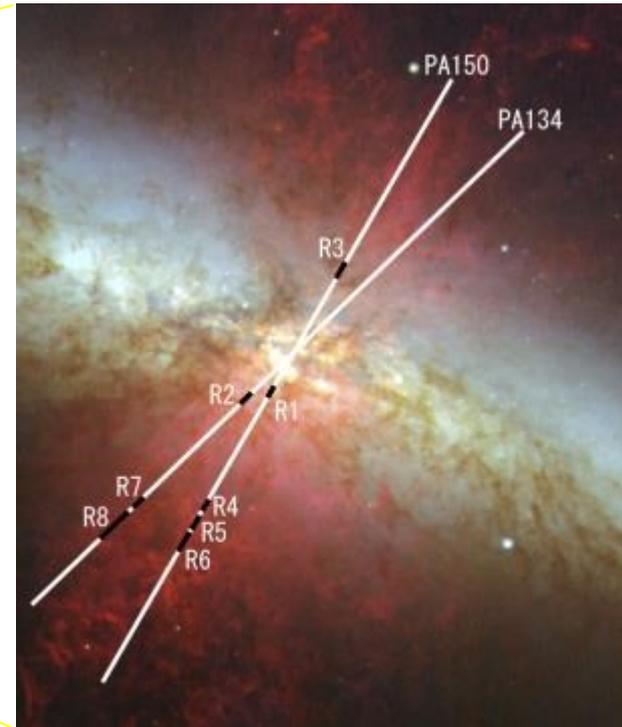
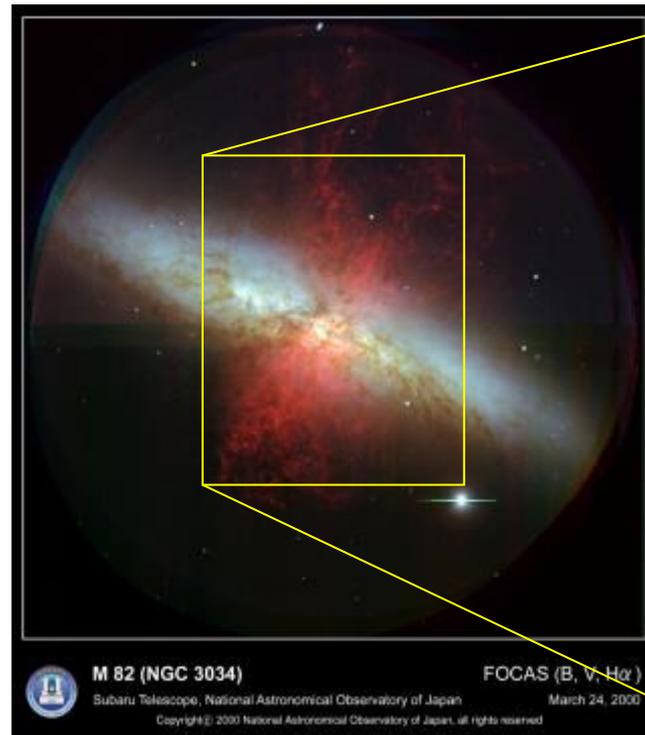
どうして偏光分光でダストの運動が分かるのか



$$\begin{aligned} v_{pol,obs} &= v_{pol} - v_{out} \sin i \\ &= v_{out} (1 - \sin i) \end{aligned}$$

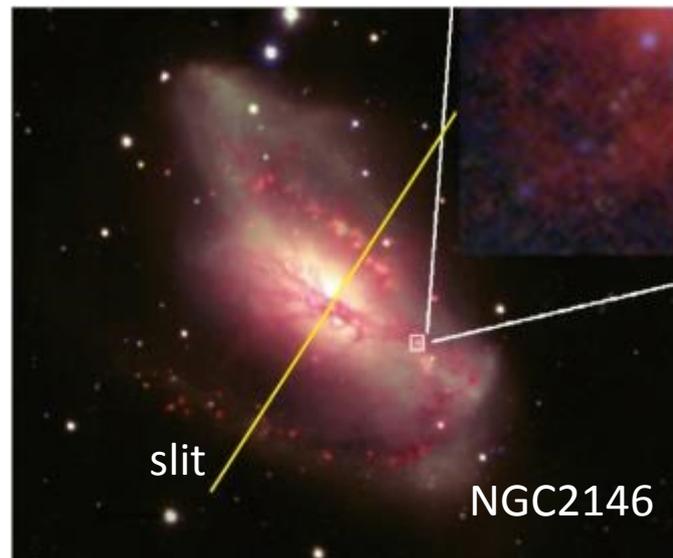
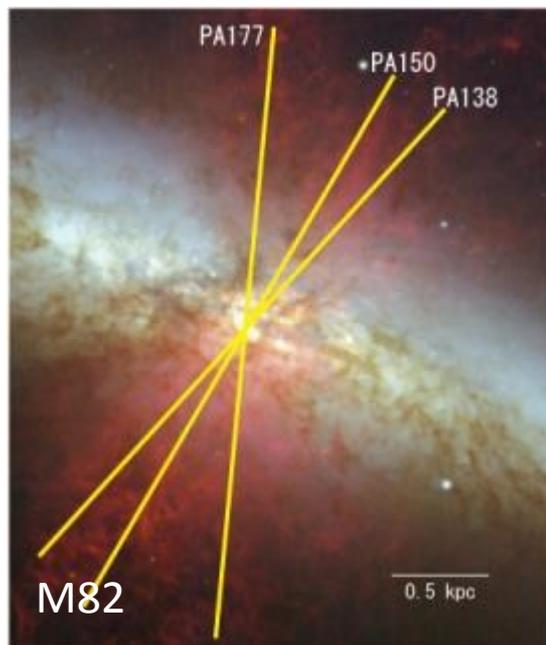
観測1.

- すばる望遠鏡 + FOCAS偏光分光モード
- 2003年12月21日、22日
- 波長分解能 ~ 1700
- 観測天体
 - M82 PA150: exp. 600s, PA134: exp. 2180s



観測2.

- すばる望遠鏡 + FOCAS偏光分光モード
- 2013年1月16日、17日
- 波長分解能 ~ 1400
- 観測天体
 - M82 PA150: exp. 1800s, PA138: exp. 1800s, PA177: exp. 1800s
 - NGC2146 PA49: exp. 1800s x 2

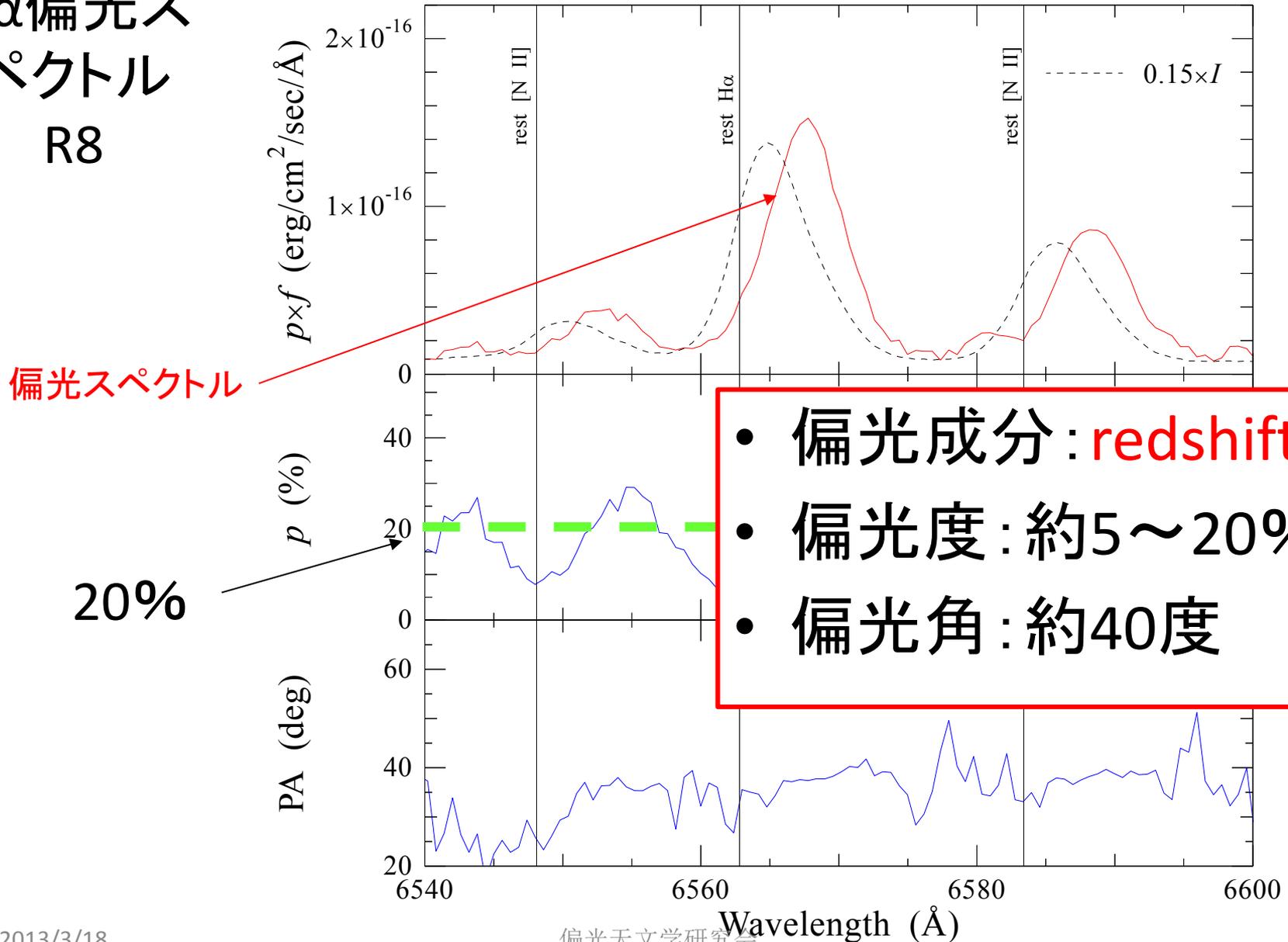


結果

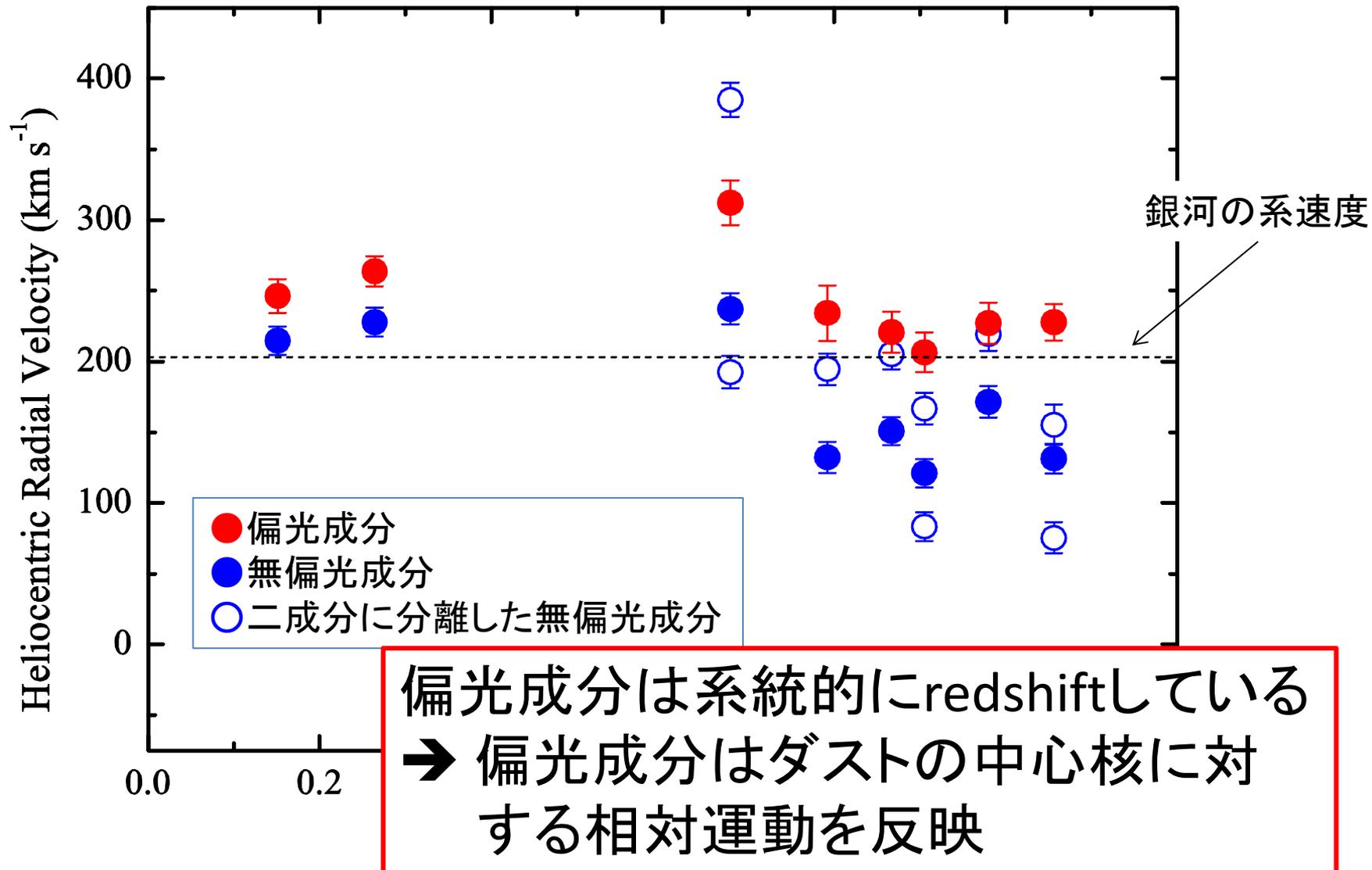
(2013年のデータは解析中)

H α 偏光スペクトル R8

2003-12-22 Slit PA=134°
Chip2: Diffuse component



H α ガスの無偏光成分と偏光成分の視線速度



[SII] λ 6717,6731の偏光スペクトル

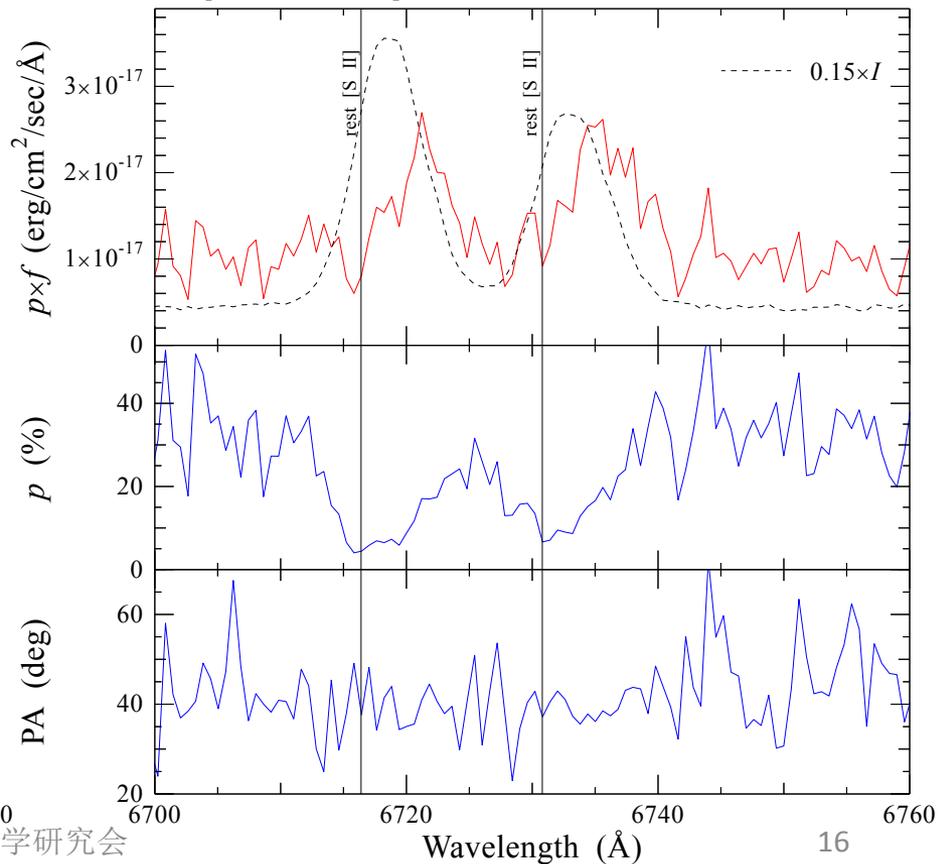
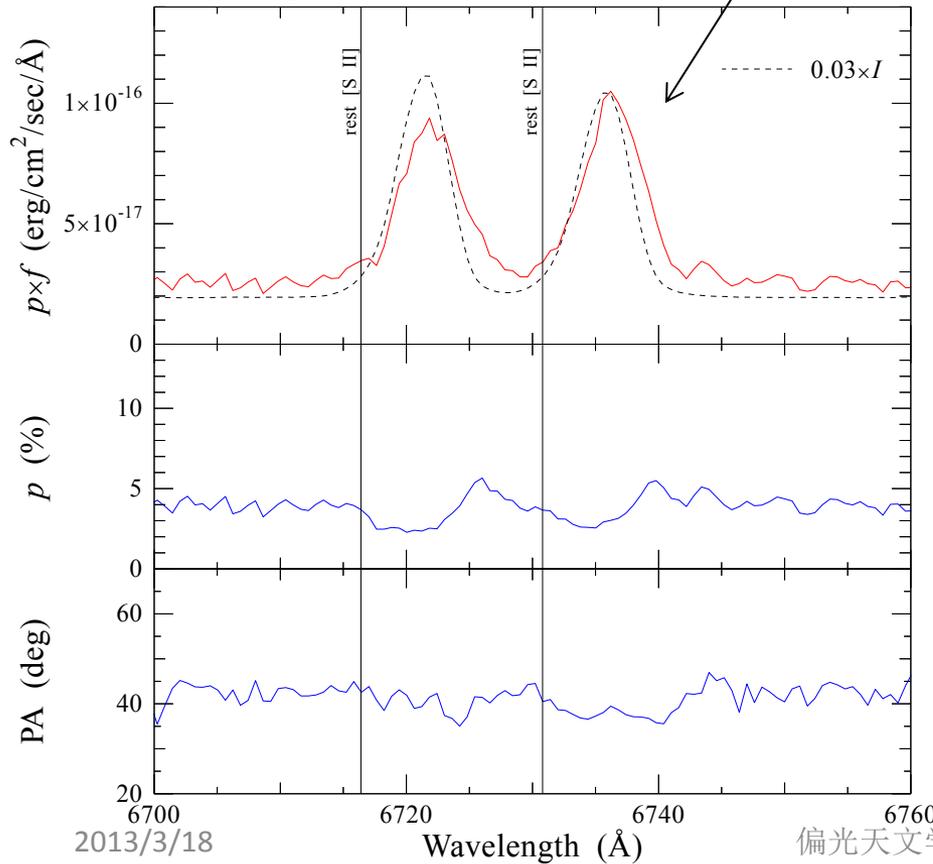
偏光成分は6731の方が強い
→ 高い電子密度

R2

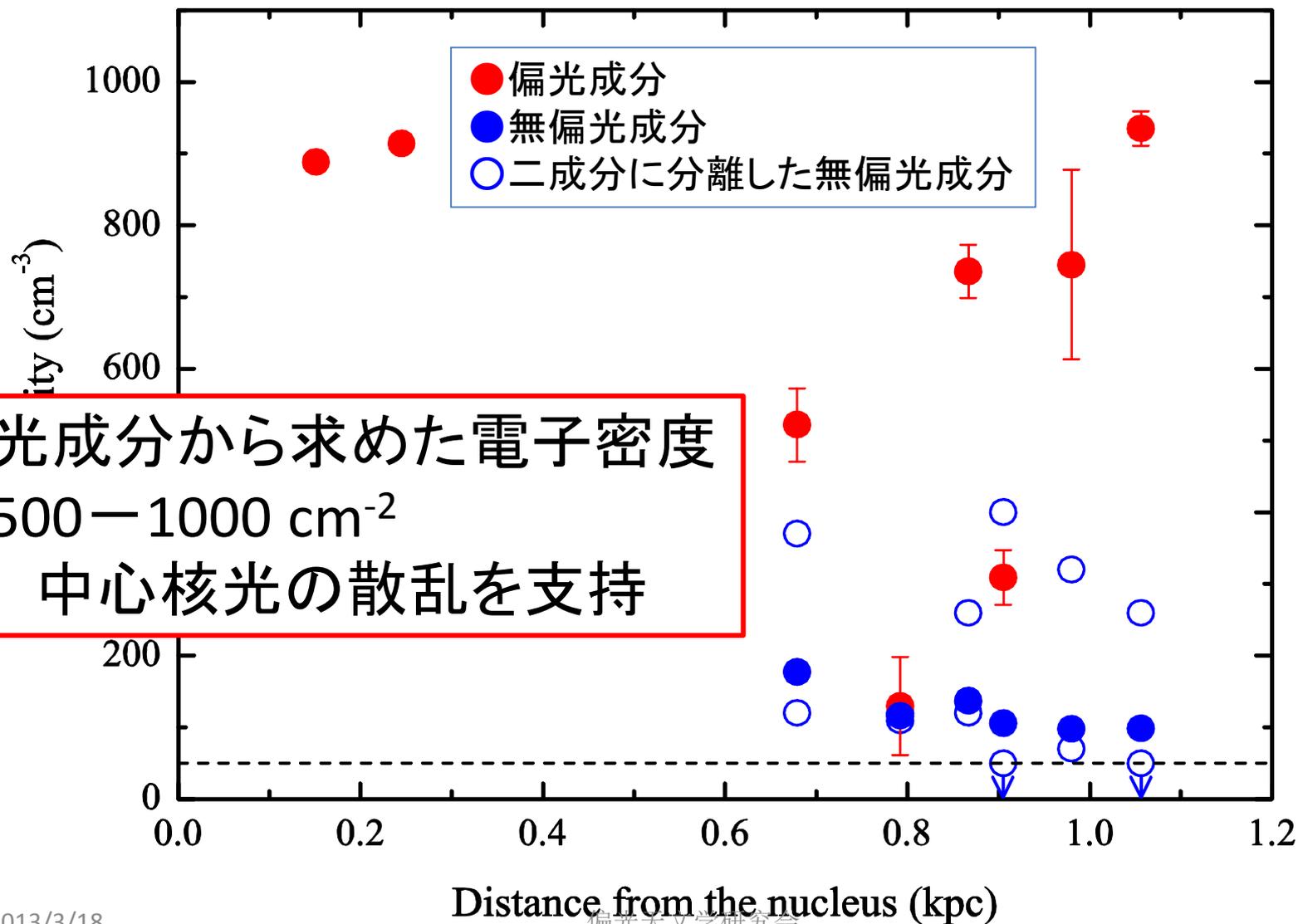
R8

2003-12-22 Slit PA=134°
Chip1: Bright knot near nucleus

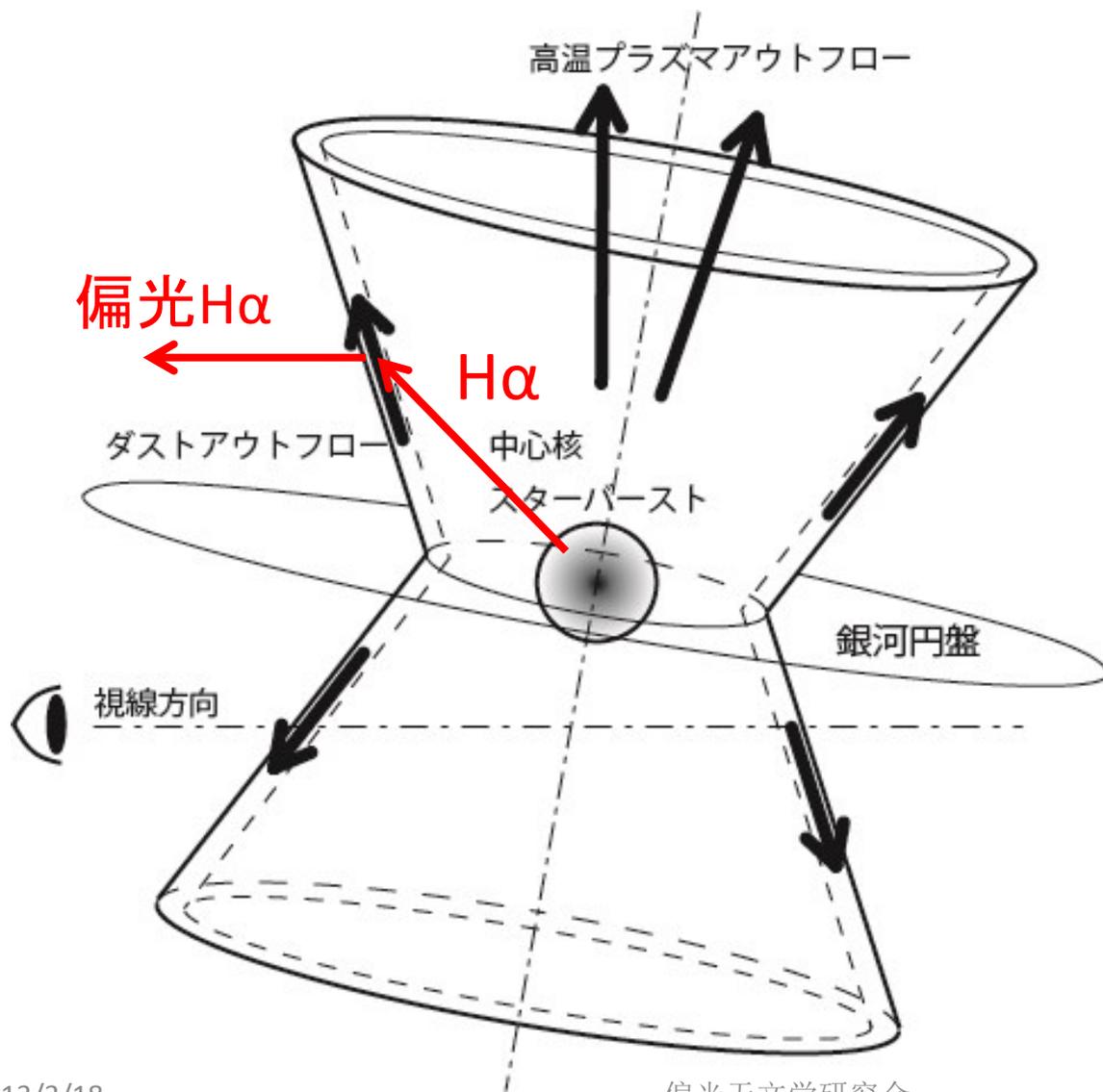
2003-12-22 Slit PA=134°
Chip2: Diffuse component



[SII]6717/6731から求めた電子密度



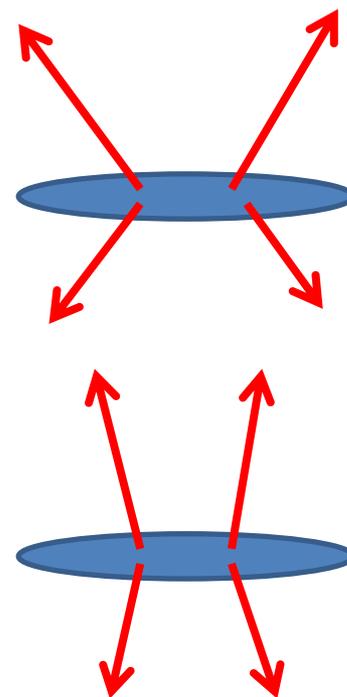
ダストアウトフローのモデル(中空コーンフロー)



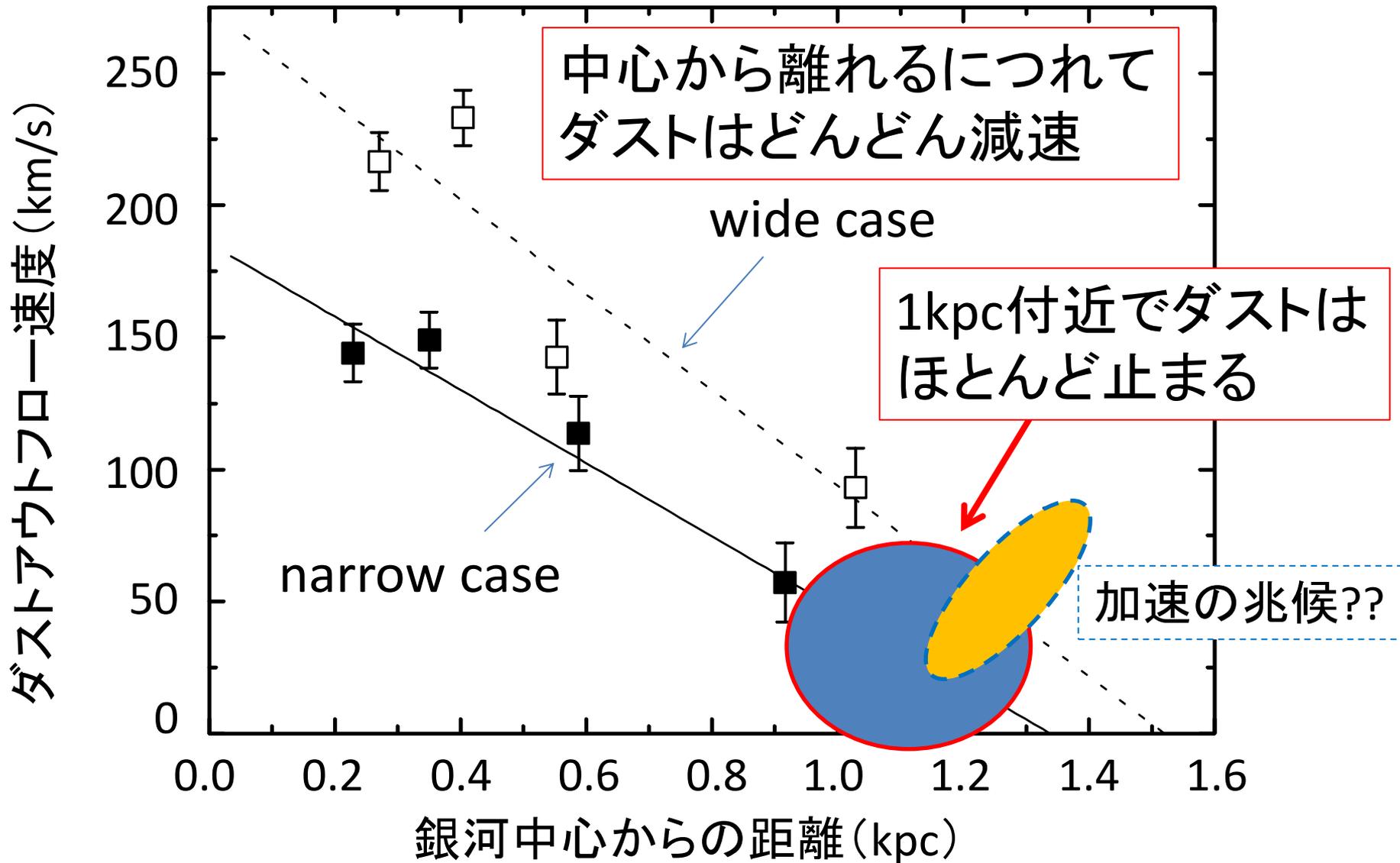
二つのケース

$\theta = 25^\circ$: wide case

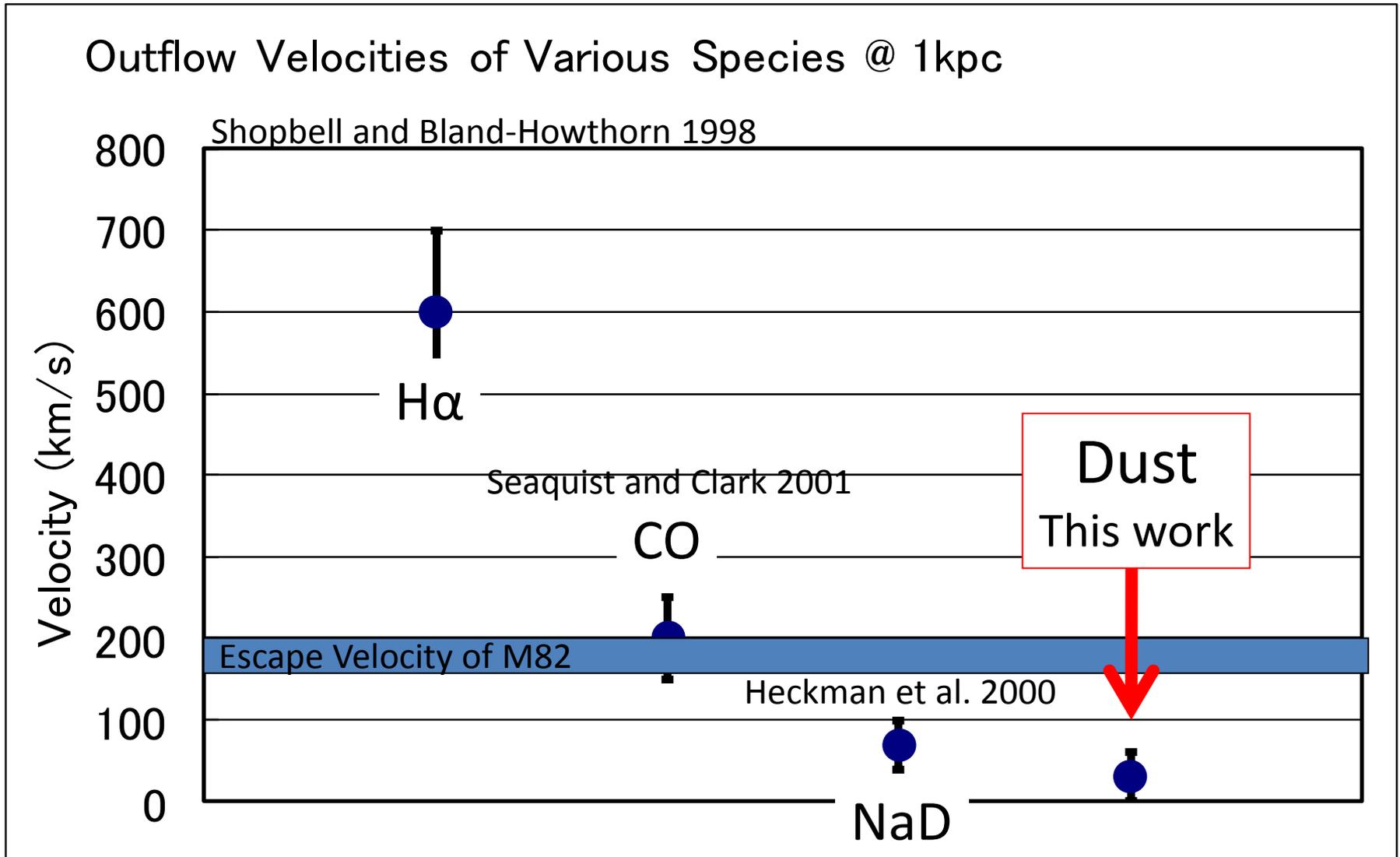
$\theta = 12.5^\circ$: narrow case



ダストフローの運動学



他のアウトフロー物質との比較



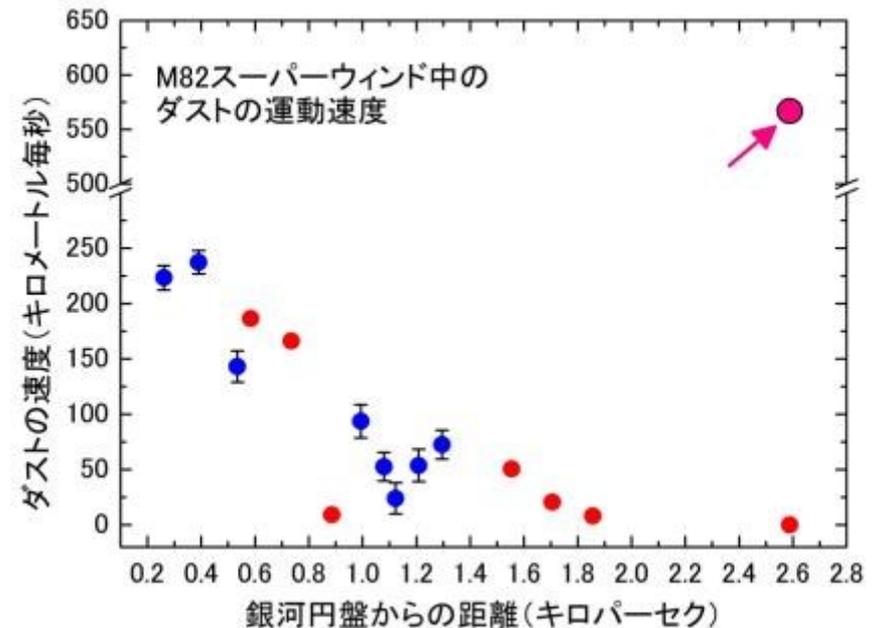
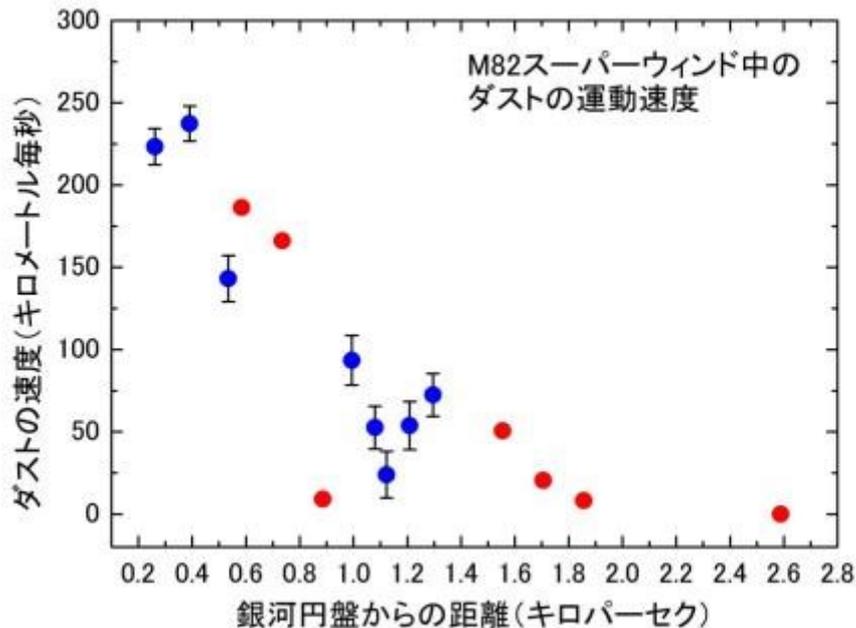
議論

- M82スーパーウィンド中のダストは脱出速度より遅く、銀河ポテンシャルを逃れられない。
 - 電離ガス(H α)はOK。分子ガス(CO)は微妙
- 輻射圧によって加速する可能性
 - $r \geq 1$ kpcで加速の兆候??
- ダストの供給源は？
 - スーパーウィンドのみが供給源か？
 - M81との相互作用によって外から降ってきた可能性 ← HIガステイル

まとめ

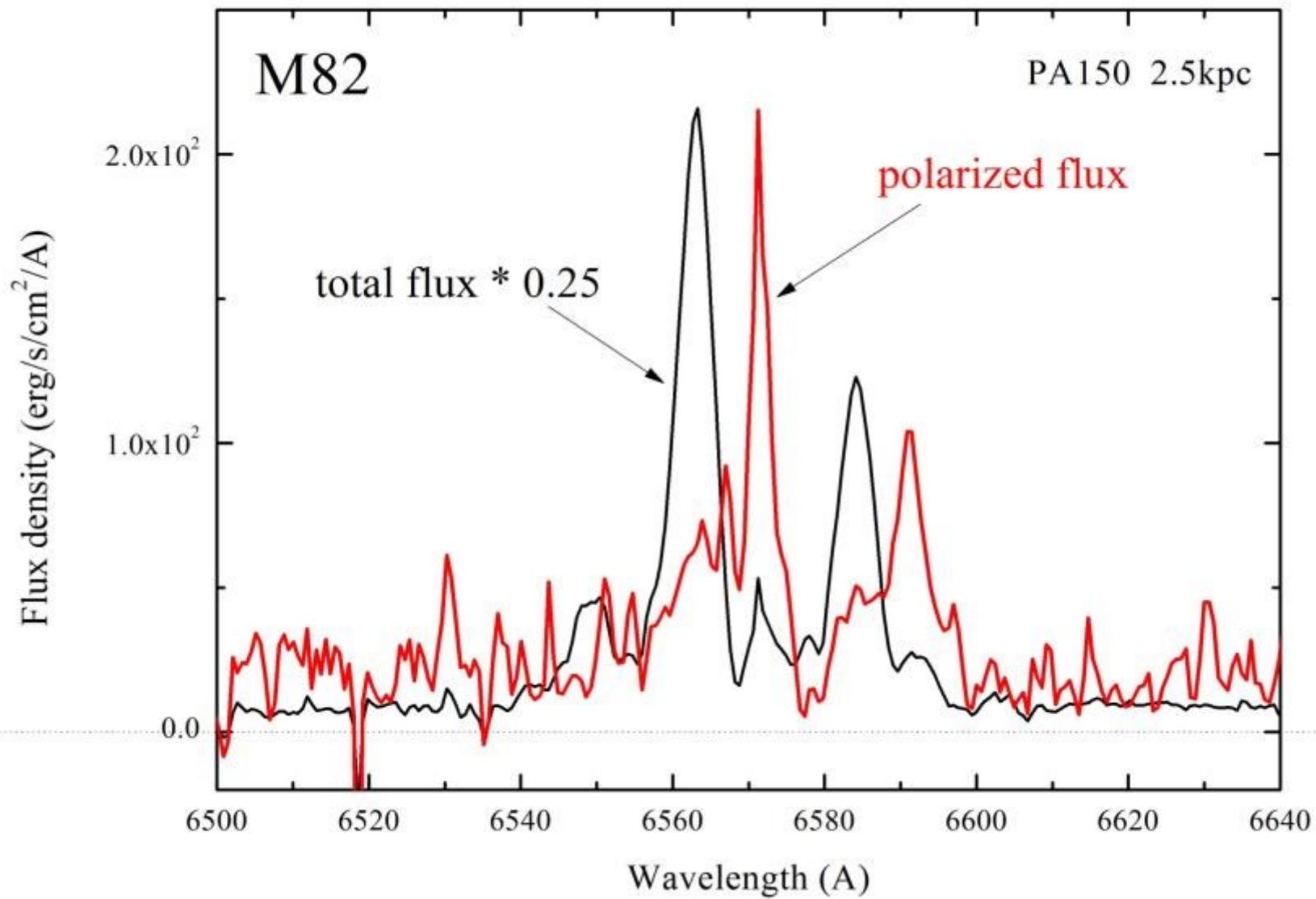
- 可視偏光分光観測 = スーパーウィンドのダストフローの運動を調べる強力な手段
- M82スーパーウィンド領域の可視偏光分光観測
→ スーパーウィンド中のダスト速度を求めた。
- ダスト速度 $< 50\text{km/s}@1\text{kpc}$ → 電離ガス、COなどと比べてかなり遅い。 $(< v_{\text{esc}})$
- 他の加速機構がなければダストは銀河間空間に出て行けない → 銀河の物質循環
- より広範な偏光分光マッピング、冷たいガスとの詳細な比較 → スーパーウィンドモデルへ
- 他のスターバースト銀河の系統的観測 → スターバーストによるダストフローの運命

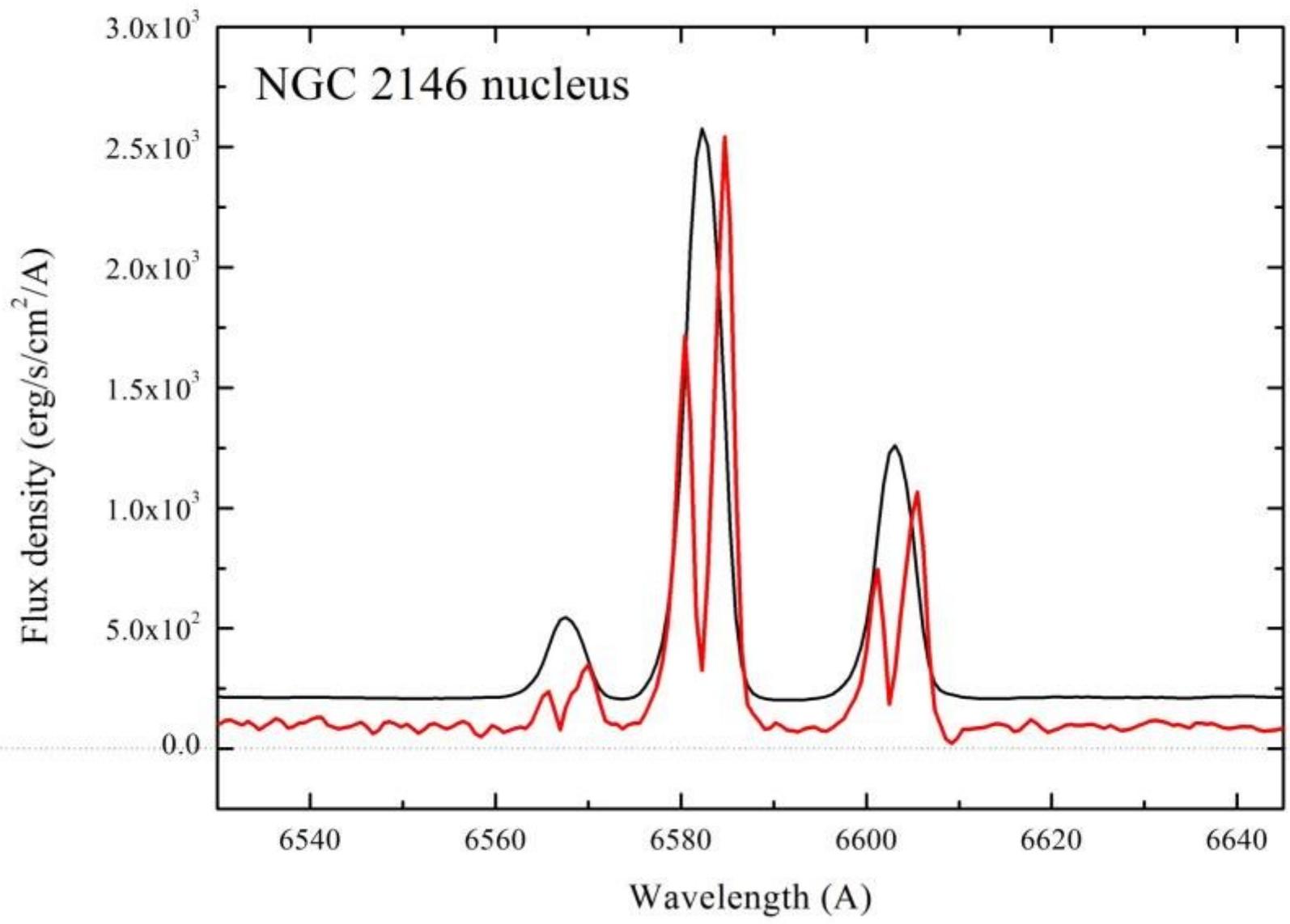
新しいデータを加えてみた (preliminary results)



やっぱり減速しているように見える

非常に速い速度成分
加速されたダスト？
別起源のダスト(潮汐尾)？





おわり

Process of superwind

1. Collective effect of stellar winds from massive stars and supernovae in the starburst region forms very hot gas ($T \sim 10^8 \text{K}$) around the region
2. Continuous energy input from the SB region \rightarrow hot gas pressure is increased
3. The hot gas extends toward the direction of high pressure gradient (= disk minor axis) \rightarrow superbubble ($\tau \sim 10^6 \text{ yr}$)
4. Long period SB input more power to the bubble \rightarrow the bubble is blown out \rightarrow metal-rich hot gas flows to the intergalactic space freely