

ALMAワークショップ「AGN質量降着@sub-kpc」  
2015.12.21-22 於国立天文台

# ダストーラスの観測的現状の概観 ( $r > 1 \text{ pc}$ を考える上でのinner boundaryとして)

東京大学天文学教育研究センター  
峰崎岳夫

# 内容

- 活動銀河核の赤外線放射
  - 近赤外線放射領域＝ダストトーラス内縁部
  - 中間赤外線放射領域
- 分子ガス円盤からの水メーザー放射
- ダストトーラスの covering factor
- 星形成成分の分離
  - 空間分解中間赤外線分光
  - 遠赤外線放射の成分分解
- その他
  - ブラックホールの勢力範囲
  - ダスト減光マッピング

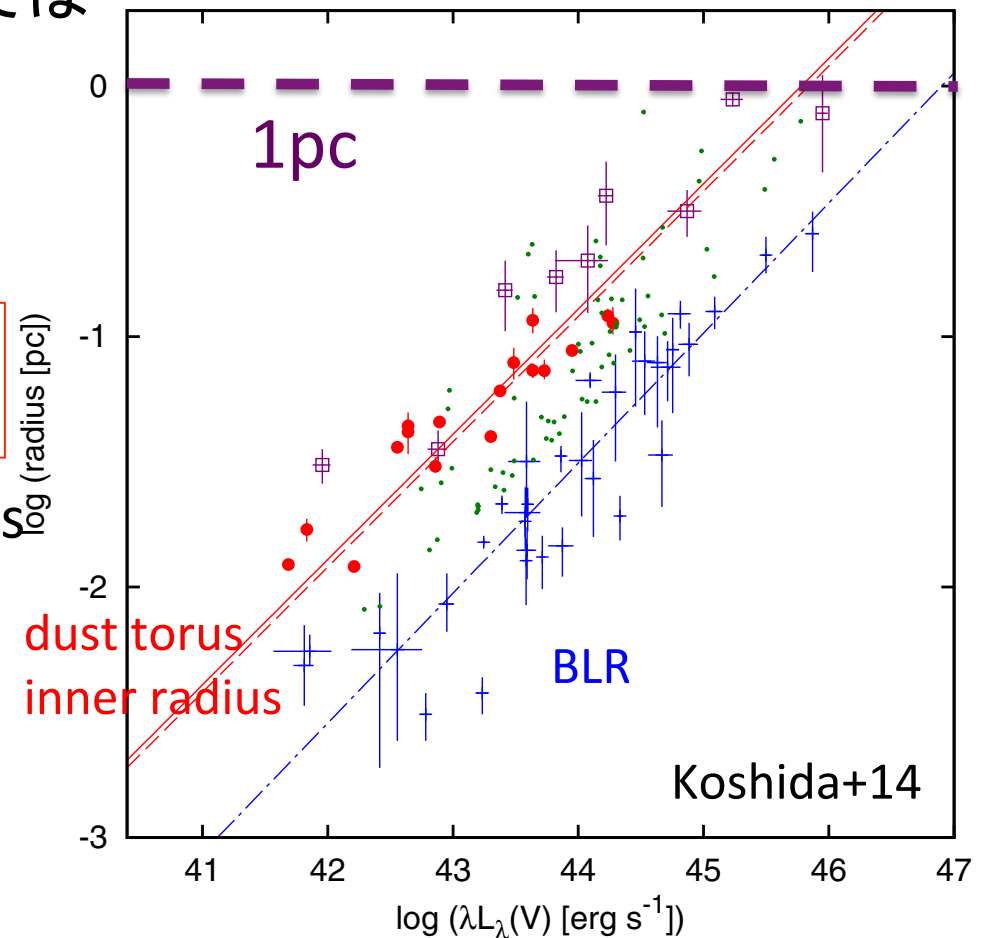
# 活動銀河核の赤外線放射

- 近赤外線放射領域

- ダストトーラス内縁  $\leq$  分子トーラス内縁  
ダスト昇華半径より内側では  
分子は解離・電離する
- 降着円盤光度に相関  
(Koshida+14)

$$\log r_{\text{in}} \text{ (pc)} = -0.88 + 0.5(L_V / 10^{44} \text{ erg s}^{-1})$$

- For most luminous quasars  
(e.g. Assef+15)  
 $r_{\text{in}} \sim 10 \text{ pc}$  (?)
- NGC 4395 (so called the  
least luminous Seyfert)  
 $r_{\text{in}} \sim 10^{-3} \text{ pc}$  (Minezaki+06)





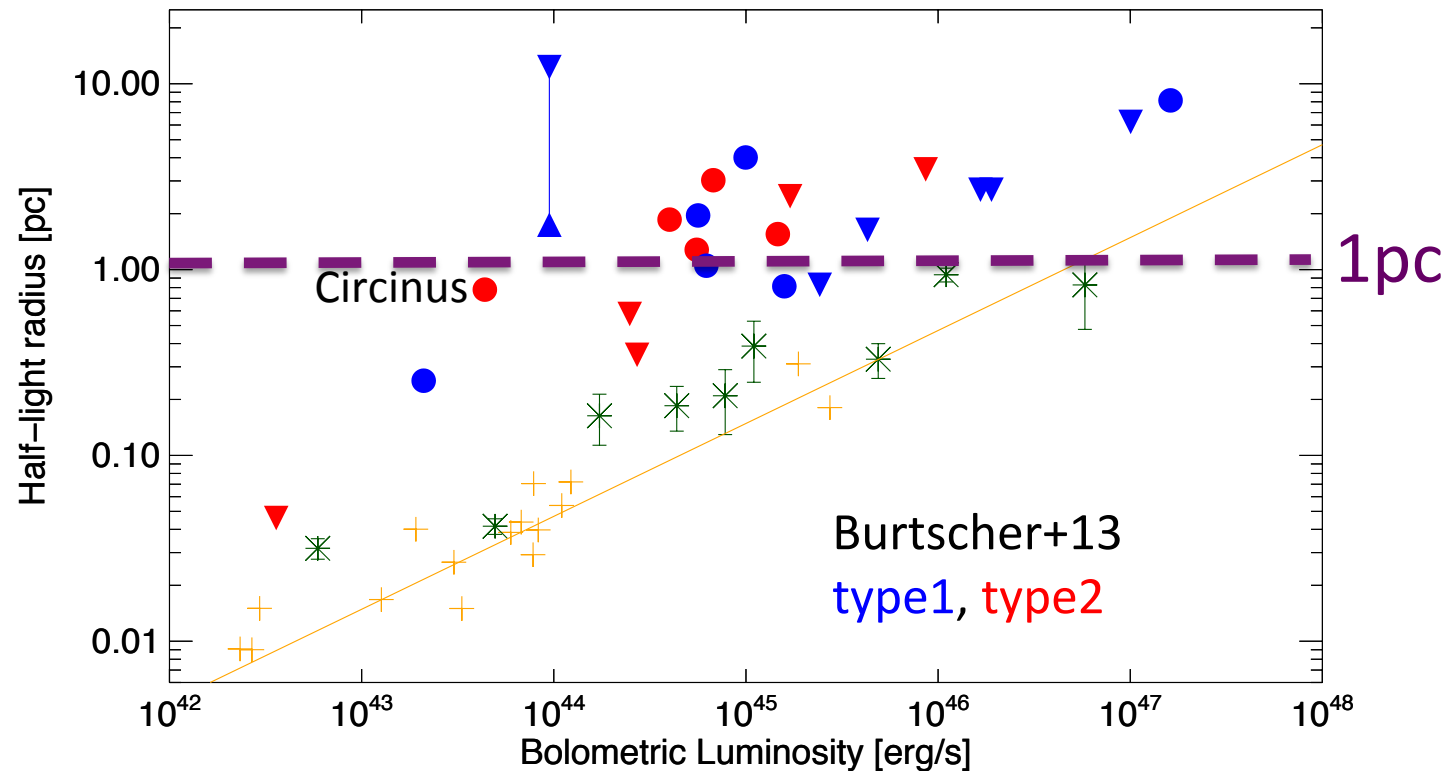


# 活動銀河核の赤外線放射

- 中間赤外線放射領域

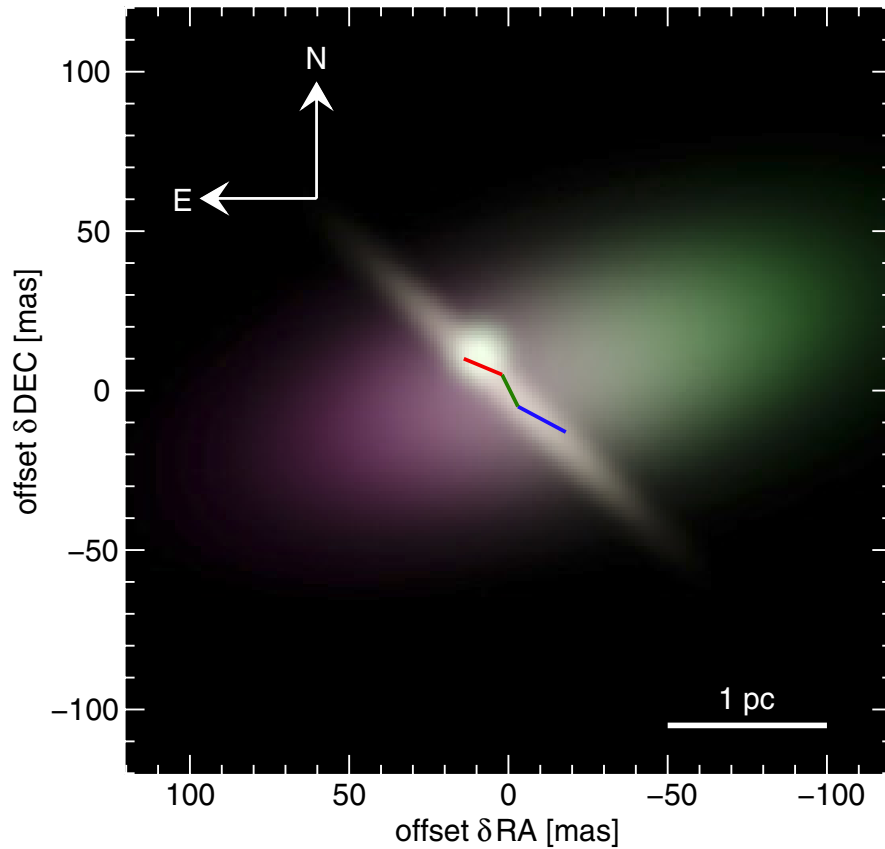
- Half-light radii from MIR interferometer (Burtscher+13)

- The 12 $\mu$ m size **scale** with luminosity, **but with larger scatter**
- Significant contribution of unresolved (<5 mas;0.1-10pc) flux

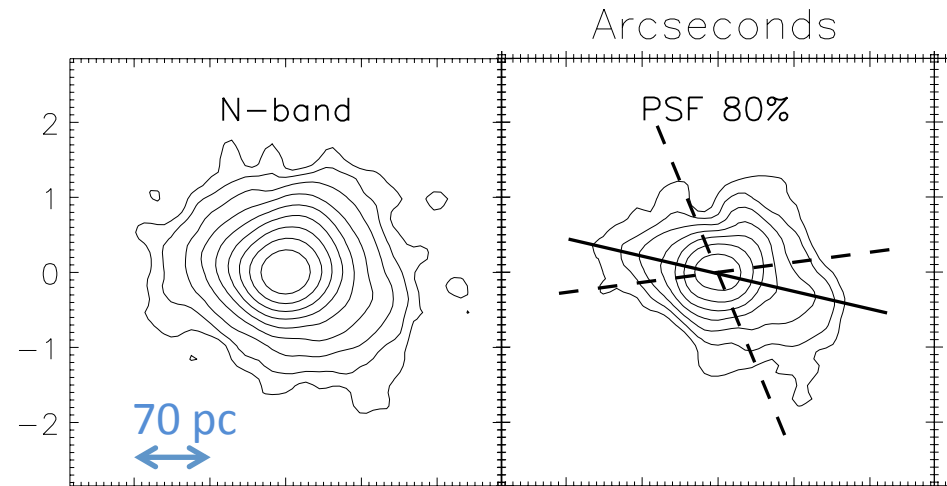


# 活動銀河核の赤外線放射

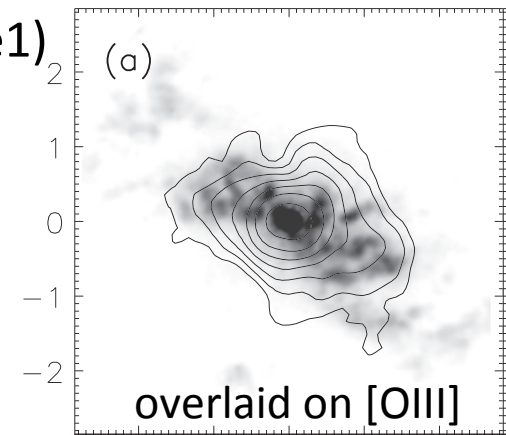
- Polar emission in mid-infrared
  - Inner wall of the dust torus or the NLR dust ?



Circinus (type2) by MIR inteferometer  
Tristram+14



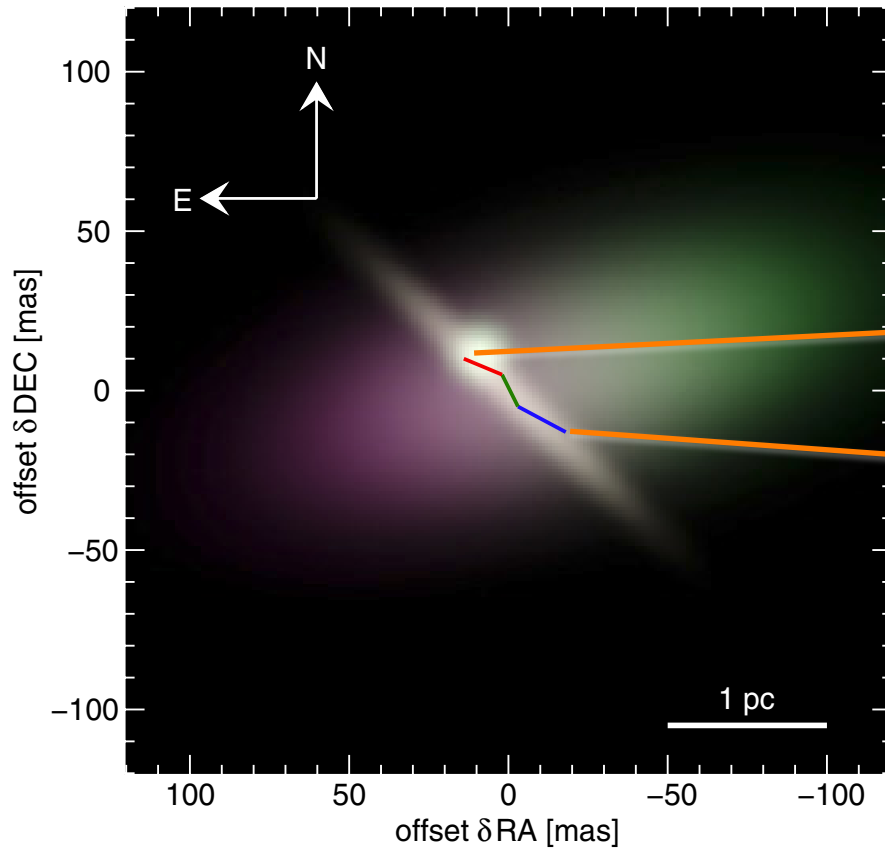
NGC 4151 (type1)  
by MIR direct  
imaging using  
ground-based  
large telescope  
Radomski+03



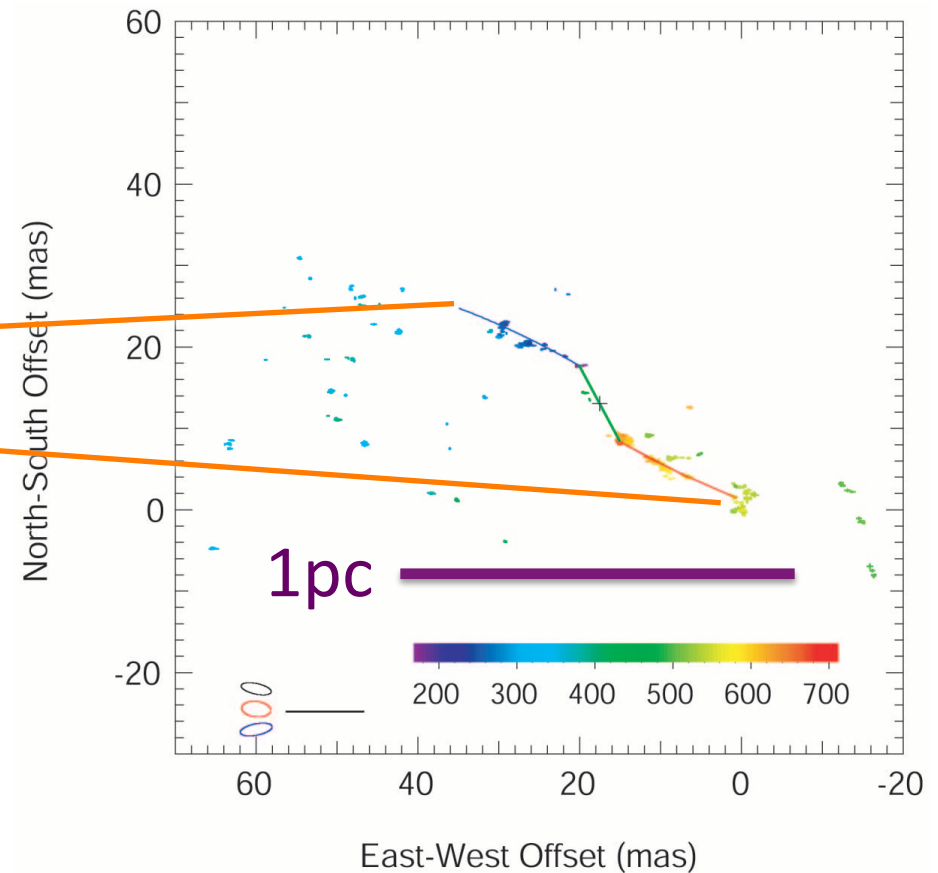
overlaid on [OIII]

# 水メーザー放射

- 水メーザー放射領域 (individual)
  - Circinus galaxy (Seyfert type 2)



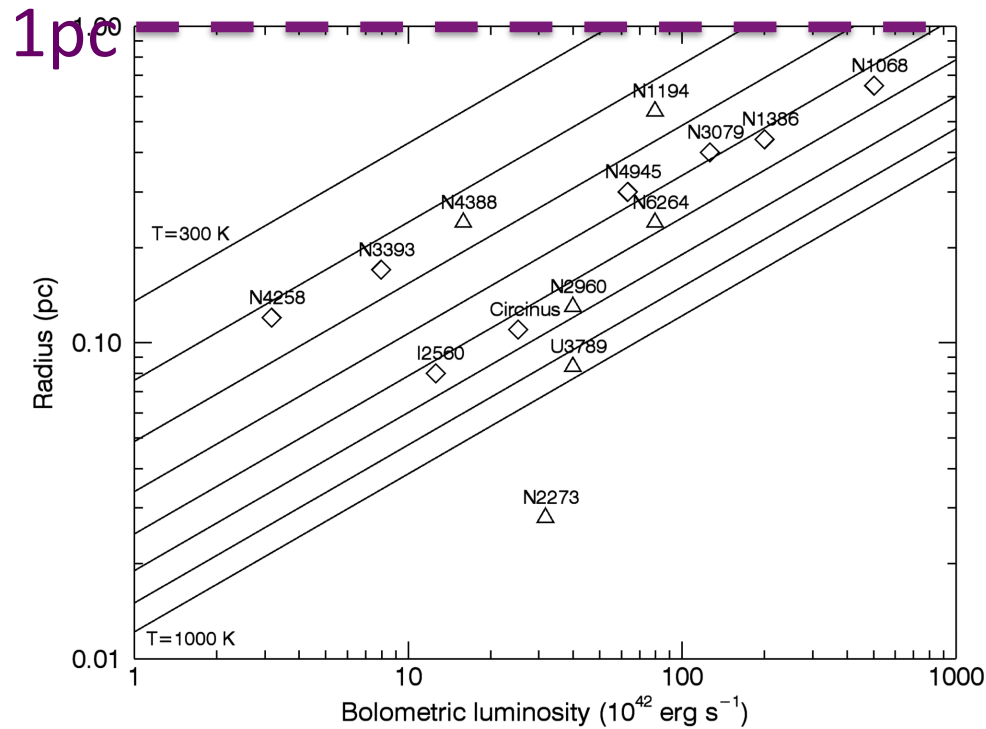
Tristram+14 MIR interferometer



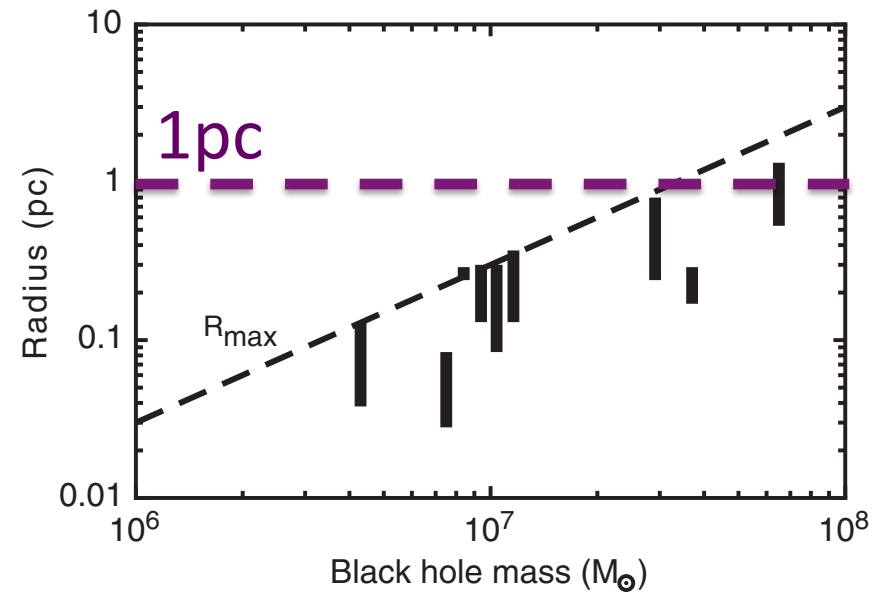
Greenhill+03 H<sub>2</sub>O maser (VLBI)

# 水メーザー放射

- 水メーザー放射領域
  - Luminosity dependence (Tilak+08, Castangia+13)
  - Blackhole-mass dependence (Wardle & Yusef-Zardeh+12)



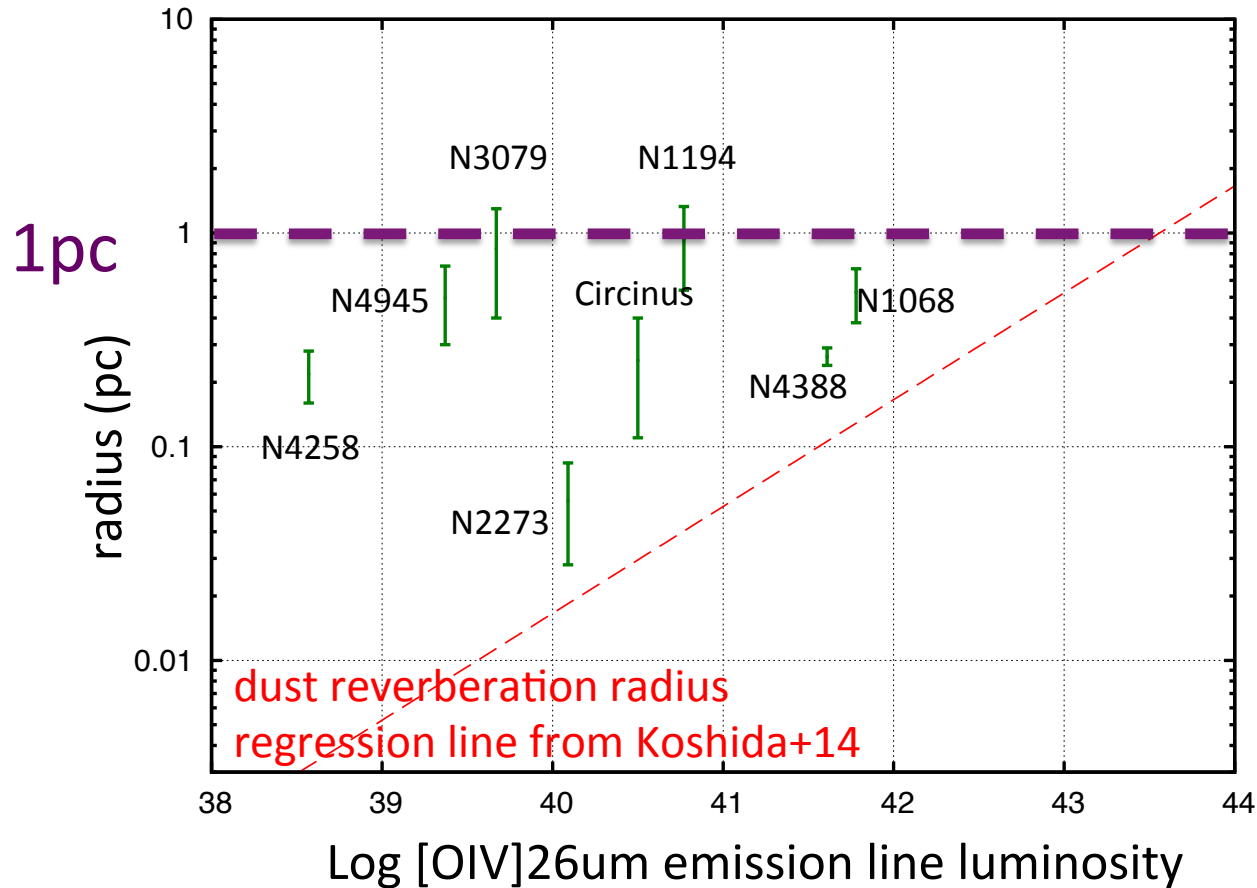
Castangia+13



Wardle&Yusef-Zardeh+12

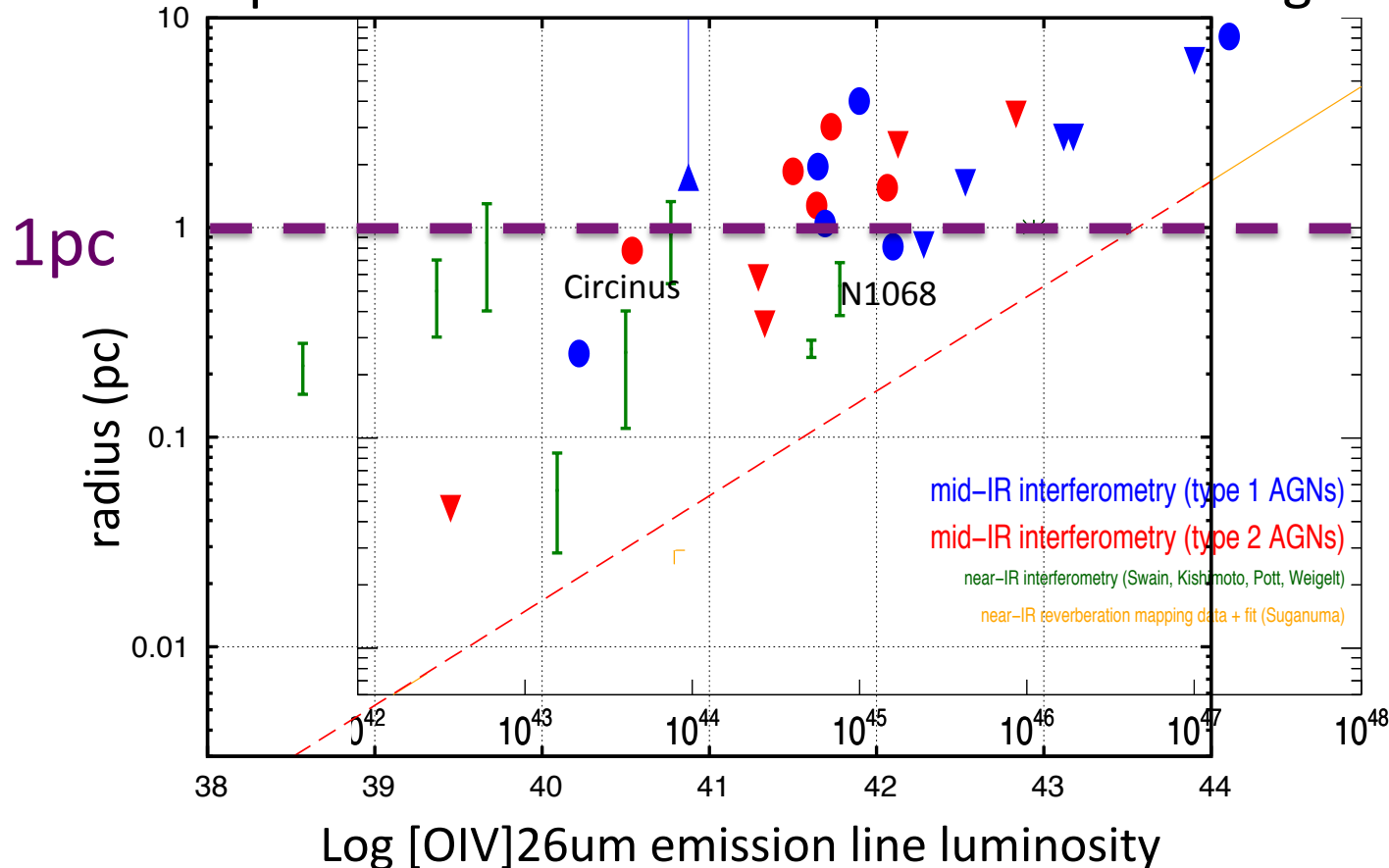
# ダスト放射領域と水メーザー放射領域

- 水メーザー放射領域
  - Luminosity dependence (Minezaki unpublished)



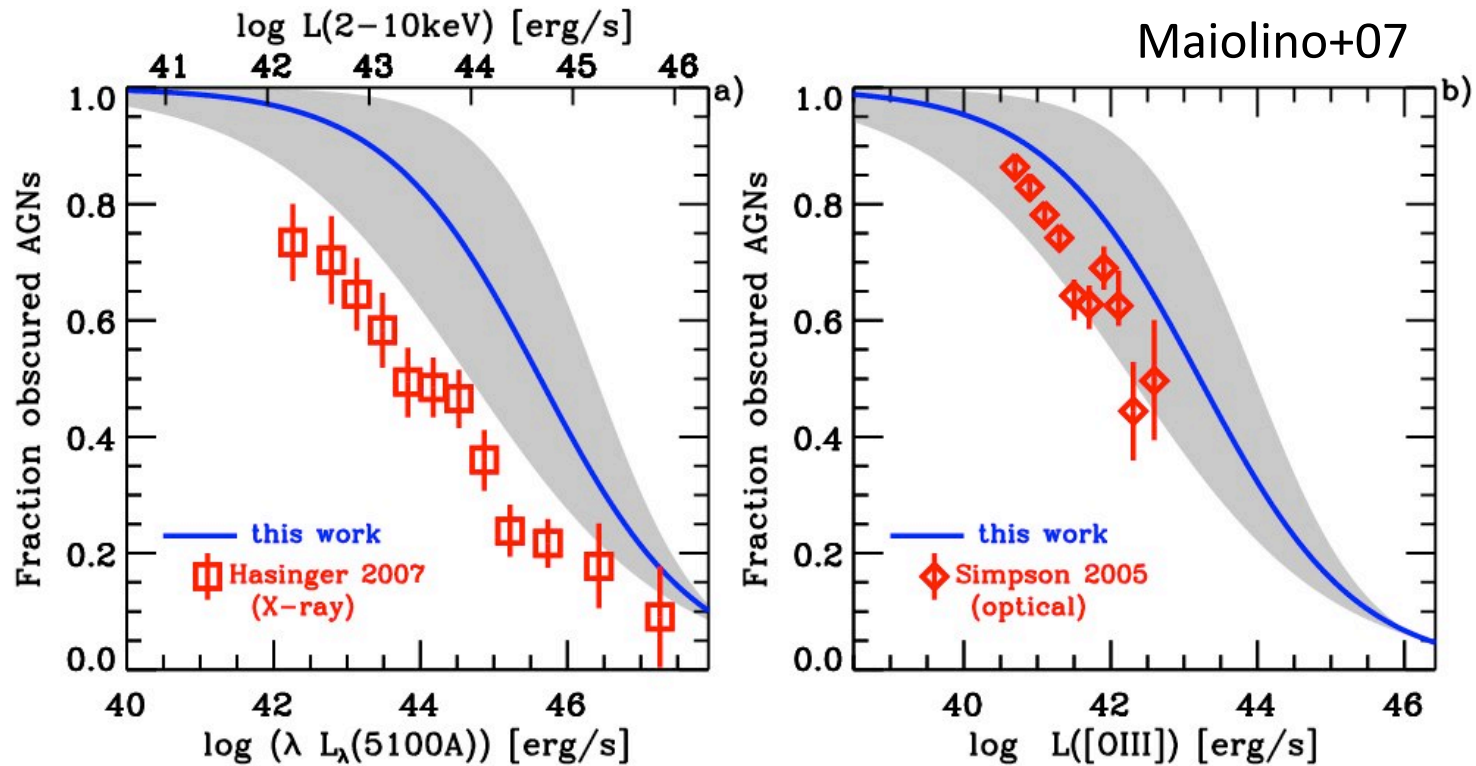
# ダスト放射領域と水メーザー放射領域

- 水メーザー放射領域と MIR half light radii
  - H2O maser may originate in the equatorial molecular disk
  - Comparable to or smaller than the MIR half light radii



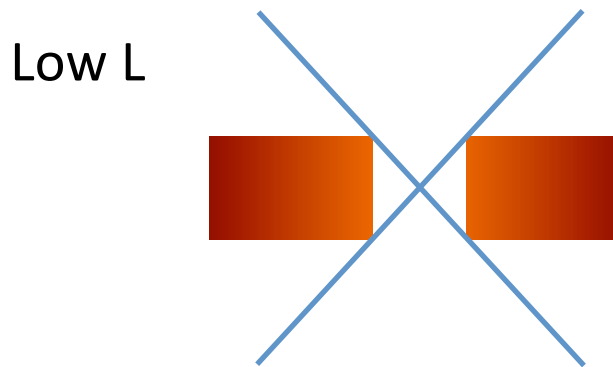
# ダストトーラスの高さ

- ダストトーラスの covering factor
  - Covering factor 0.7  $\rightarrow$  half opening angle  $\sim 45^\circ$  (h $\sim$ r)
  - 大光度で covering factor, obscured fraction は減少
  - Receding torus model (Lawrence 91)

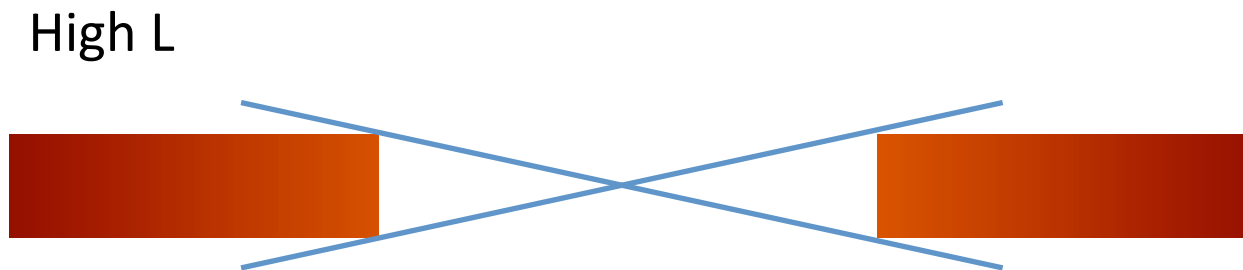


# ダストトーラスの高さ

- ダストトーラスの covering factor
  - 大光度で covering factor, obscured fraction は減少
  - Receding torus model (Lawrence 91)



- $h$  constant
- $r_{in} \propto L^{1/2}$
- $\rightarrow$  half opening angle  $\propto L^{-1/2}$





# ダストトーラスの高さ

- ダストトーラスの covering factor
  - 大光度で covering factor は減少？
  - 研究や手法によって異なる結果; redshift dependency?

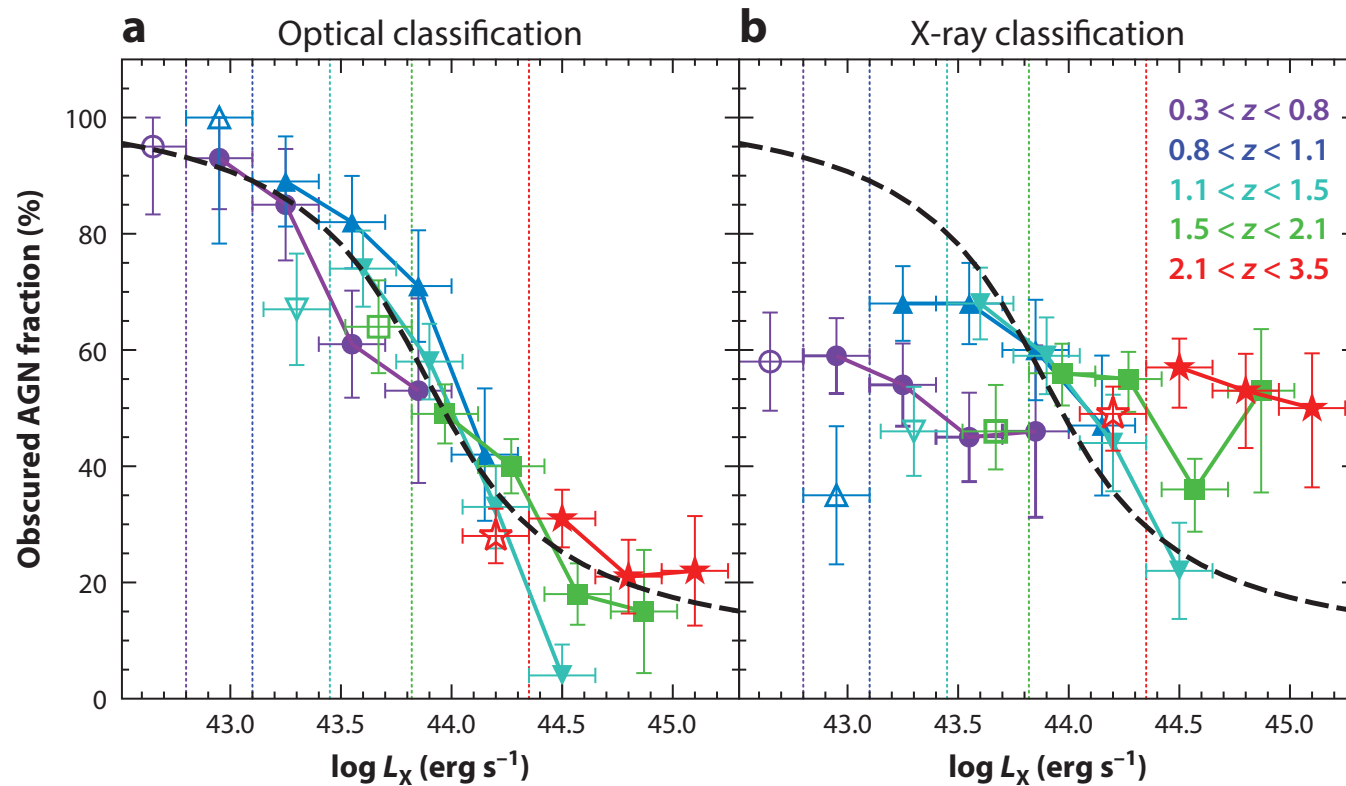
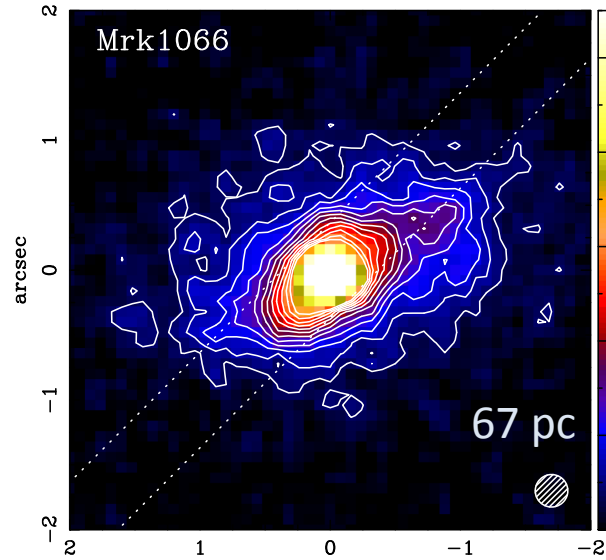


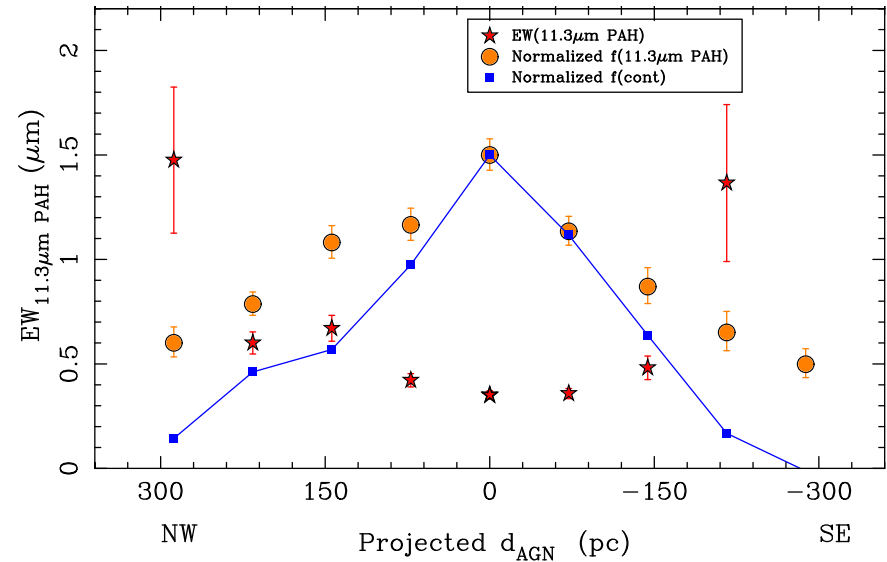
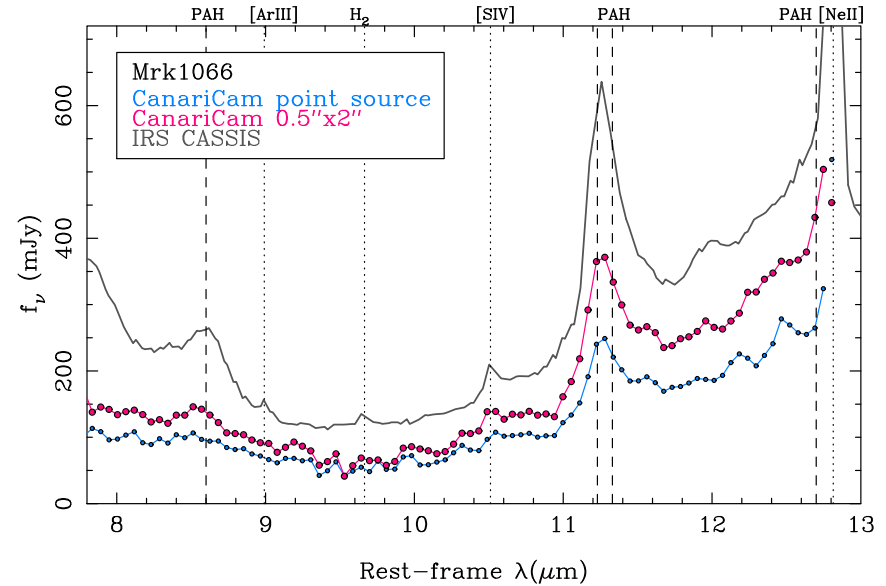
Figure from Netzer 15, originally presented by Merloni+14

# 星形成成分の分離

- 空間分解分光(10-100pc)
  - PAH 11.3  $\mu\text{m}$  feature flux peak at the nucleus
  - 中心10-100pc でも星形成活動が付随  
(e.g. Alonso-Herrero+14)



Mrk1066 (type 2)



# 星形成成分の分離

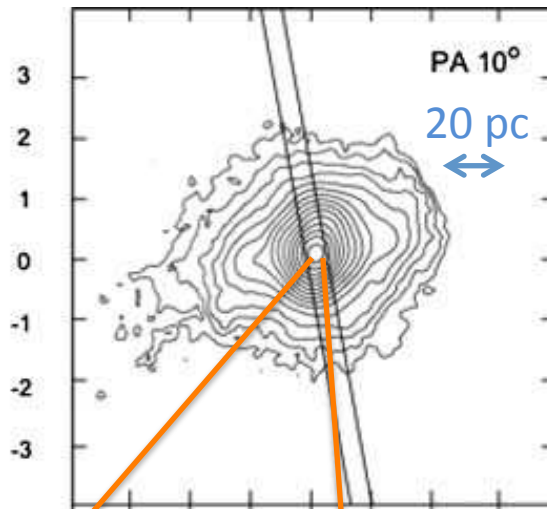
- 空間分解分光(1-10 pc); PAH 11.3  $\mu\text{m}$  feature

– Circinus

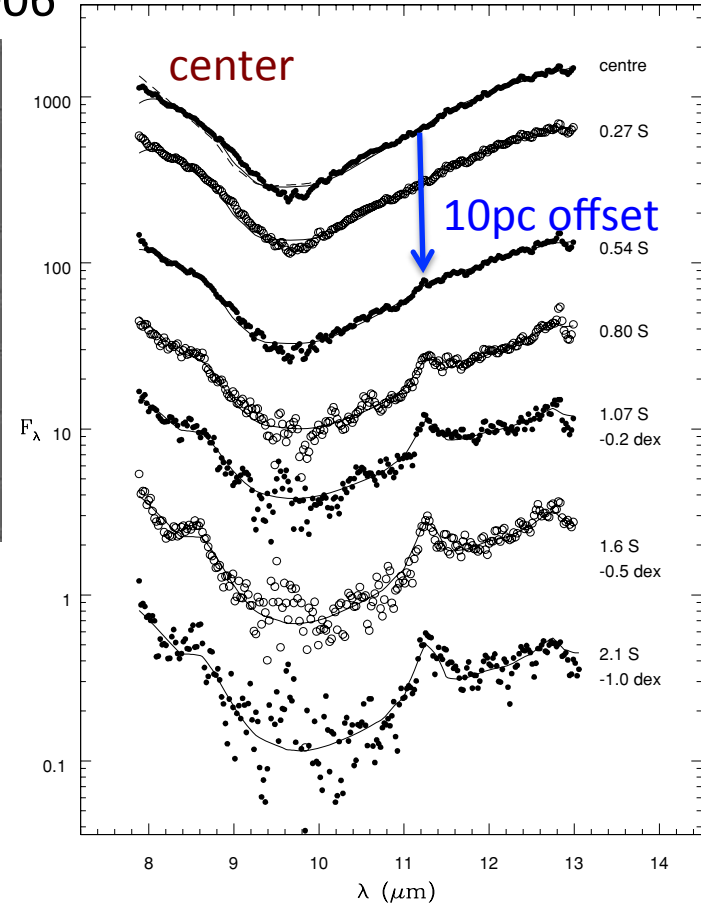
直接撮像

干渉計

Roche+06

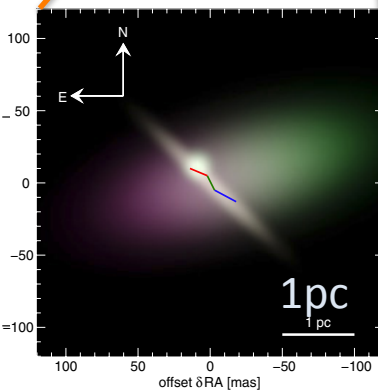
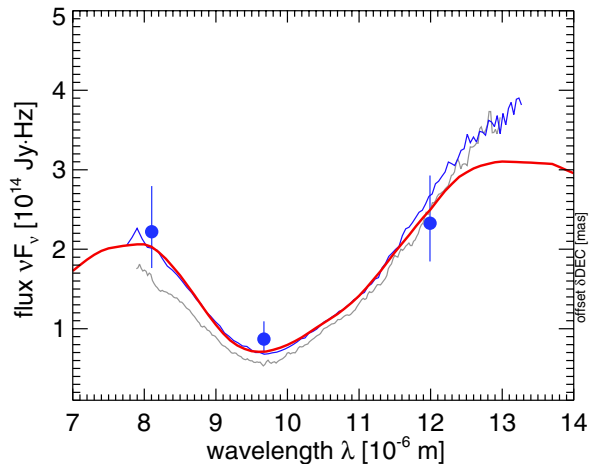


Circinus PA 10 South



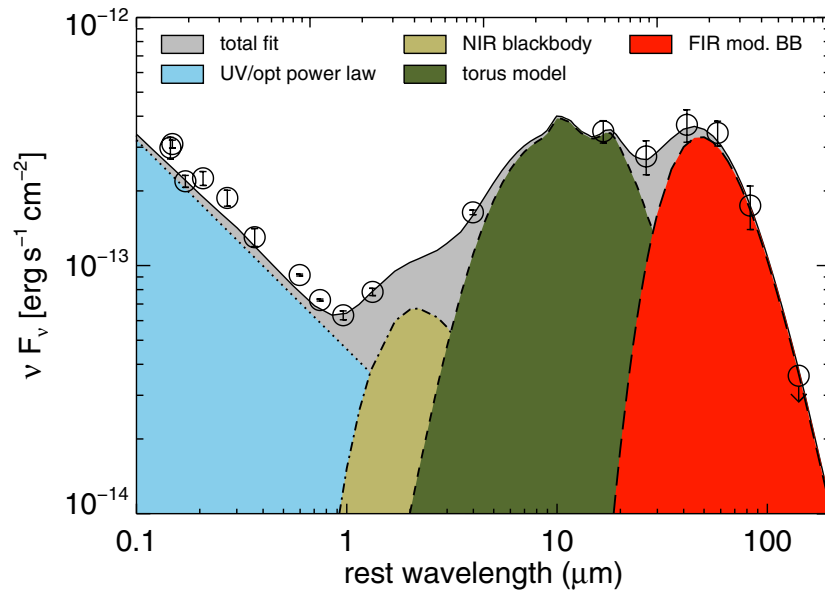
Tristram+14

Blue line: MIDI total flux

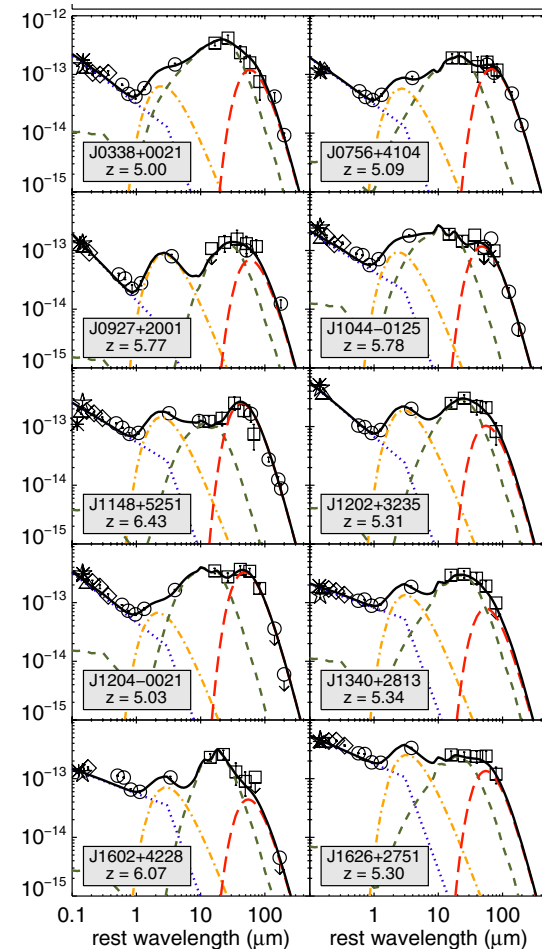


# 星形成成分の分離

- 赤外線放射の成分分解
  - 遠赤外線放射 → 星形成成分 + intrinsic AGN dust torus
  - many studies with different samples and methods
  - large diversity



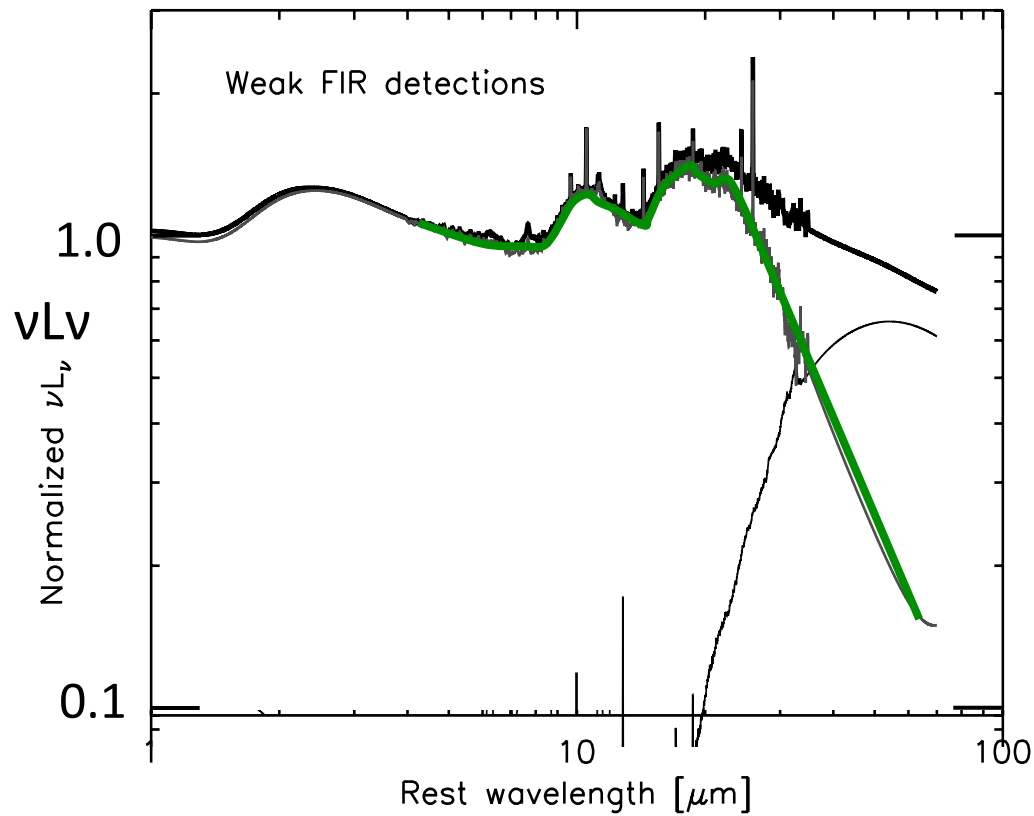
A schematic figure; Leipski+14



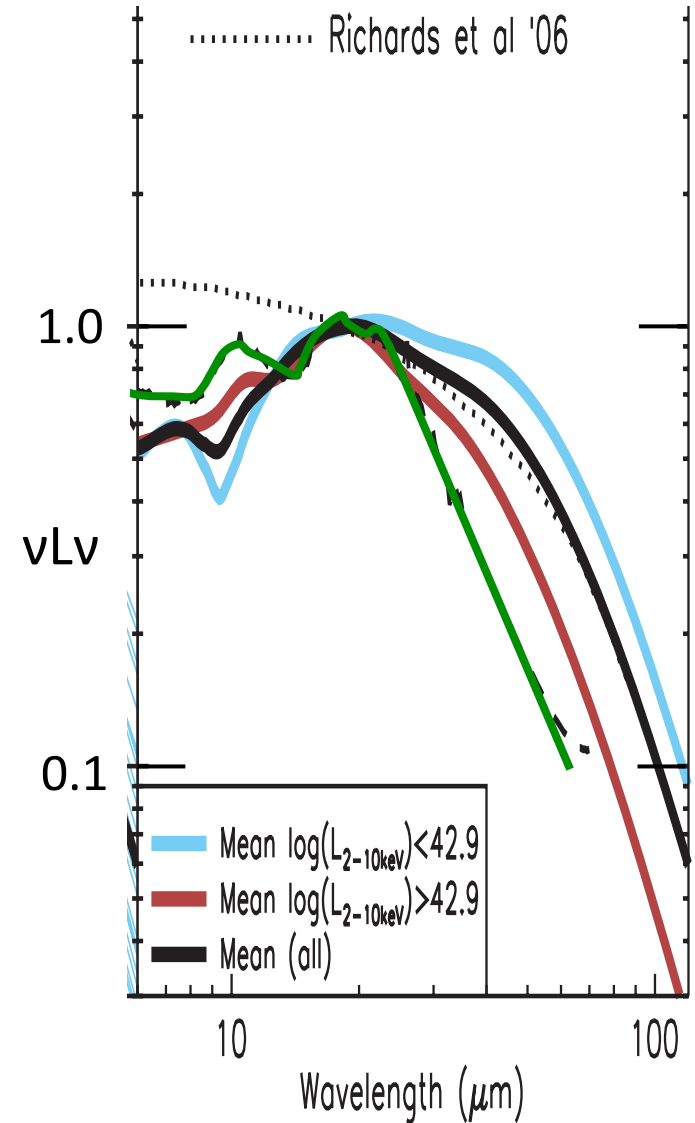
Leipski+14  
z=5-6 quasars

# 星形成成分の分離

- 赤外線放射の成分分解
  - Intrinsic AGN SED in FIR



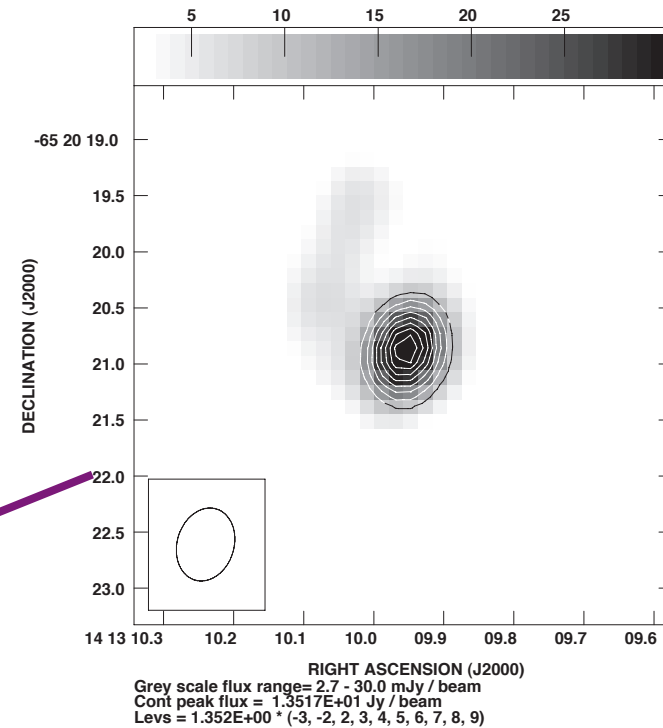
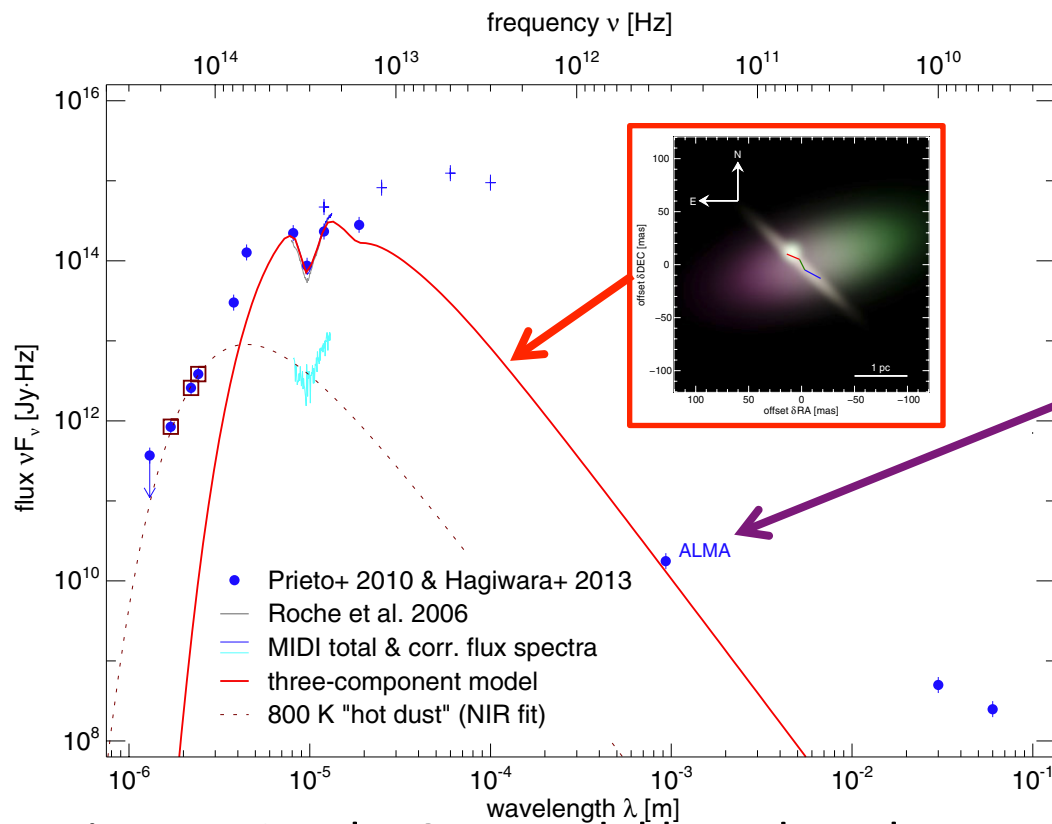
Netzer+07 PG quasars "weak FIR" sample



Mullaney+11 Seyfert galaxies

# 星形成成分の分離

- Recent results with ALMA
  - Circinus (1 arcsec = 20 pc)

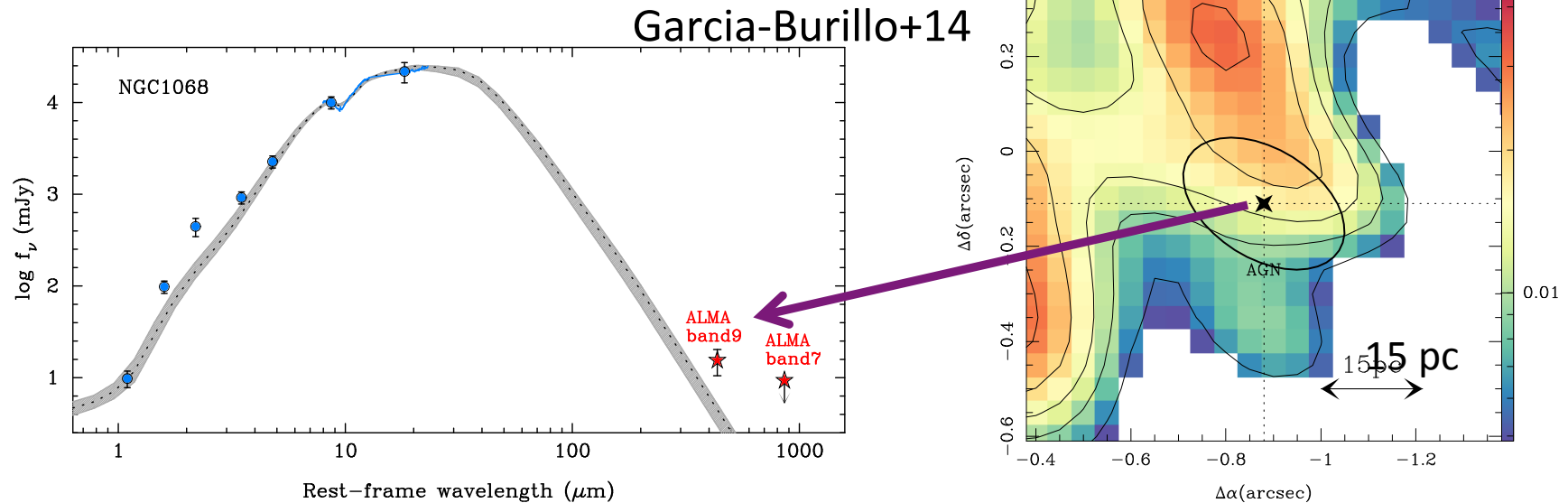


Hagiwara+13  
 321GHz continuum  
 (gray scale)  
 Flux within  $\phi$  26 pc

Tristram+14; the SED model based on the MIR IF data  
 Does NOT need additional cool dust for the ALMA flux

# 星形成成分の分離

- Recent results with ALMA
  - NGC 1068 (1 arcsec = 70 pc)



ダストトーラスモデル (CLUMPY Nenkova+08) フィットによるトーラス外半径

- NIR+MIR only (Alonso-Herrero+11)  $6^{+1}_{-2}$  pc
- + ALMA (Garcia-Burillo+14)  $20^{+6}_{-10}$  pc

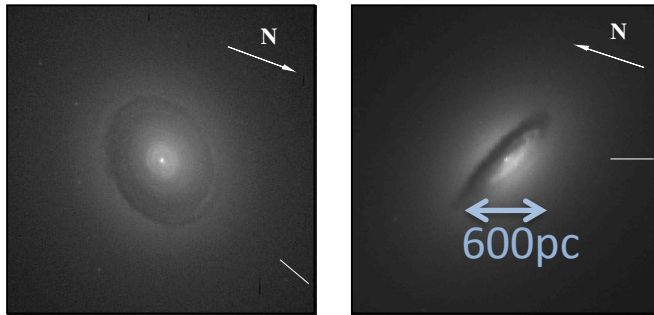
しかし、dust cloud number density の半径分布に強く依存; clouds は中心集中  
 そもそも band9 image の AGN 位置に point source が見えない

# ダスト減光マッピング

- ダスト放射が見られない ≠ ダストが存在しない
- ダスト減光マッピング

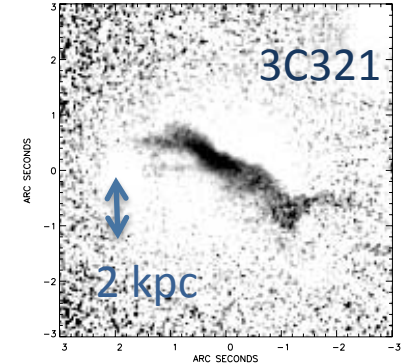
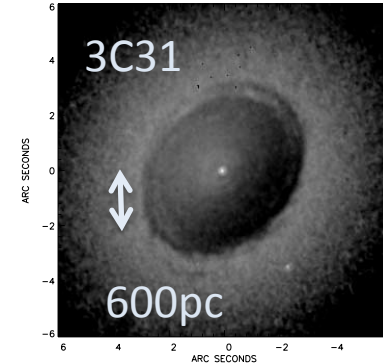
3C 31

NGC 7052



4"

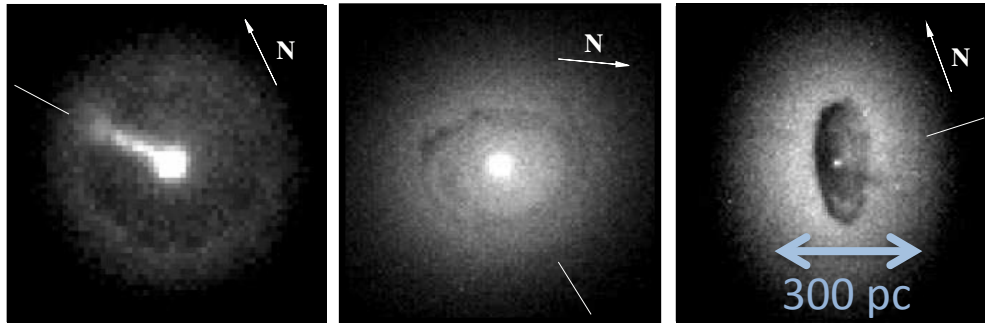
2"



3C 264

3C 465

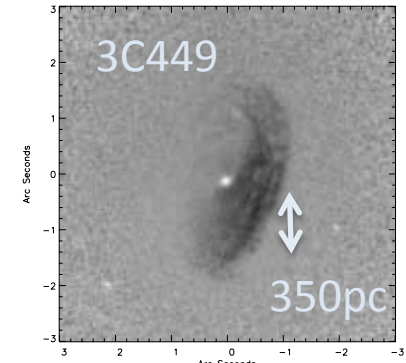
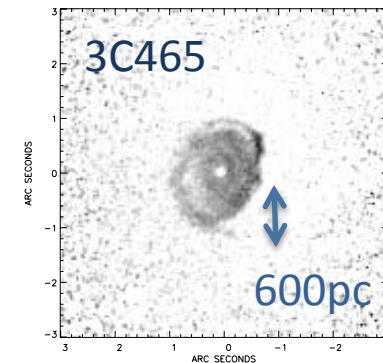
NGC 4261



1"

2"

2"



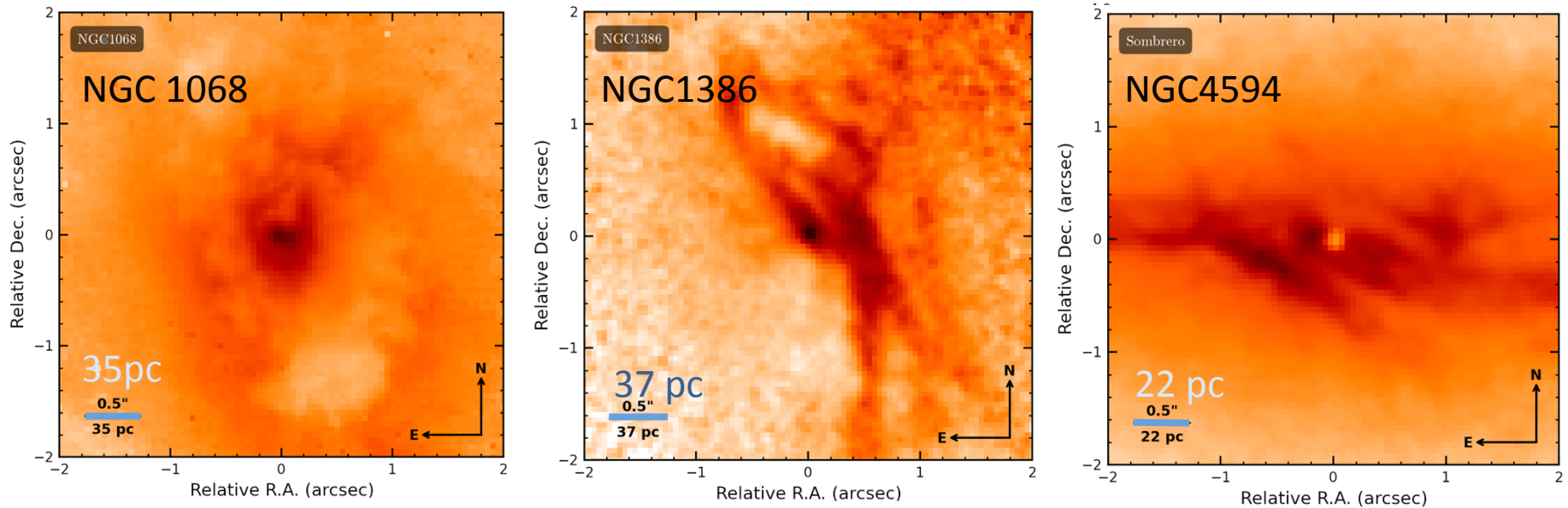
HST/WFPC2 images (Capetti & Celotti 99)

1.6um/0.7um color map by HST  
Tremblay+07



# ダスト減光マッピング

- ダスト放射が見られない ≠ ダストが存在しない
- ダスト減光マッピング

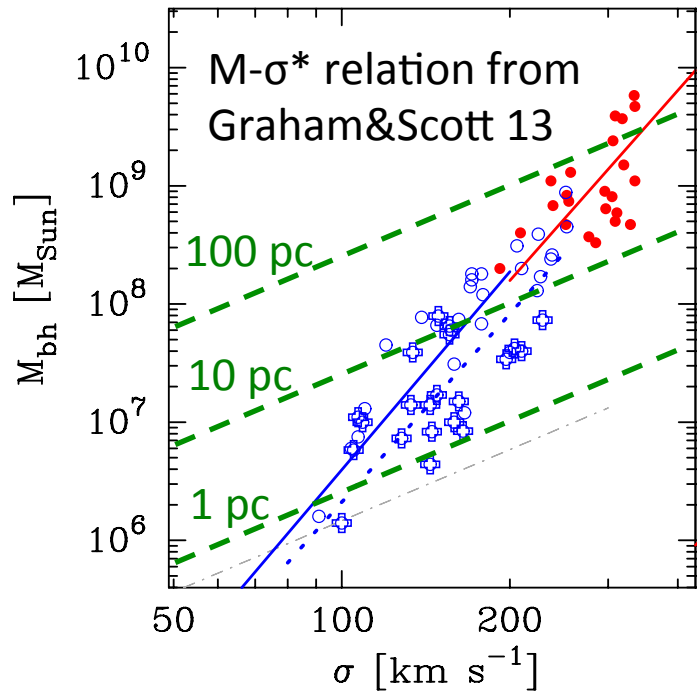


Dust extinction map based on the NIR/OPT color image  
Prieto+14

\* 減光を示す疑似カラーの表示は同一ではないことに注意

# ブラックホールの勢力範囲

- “Sphere of Influence”

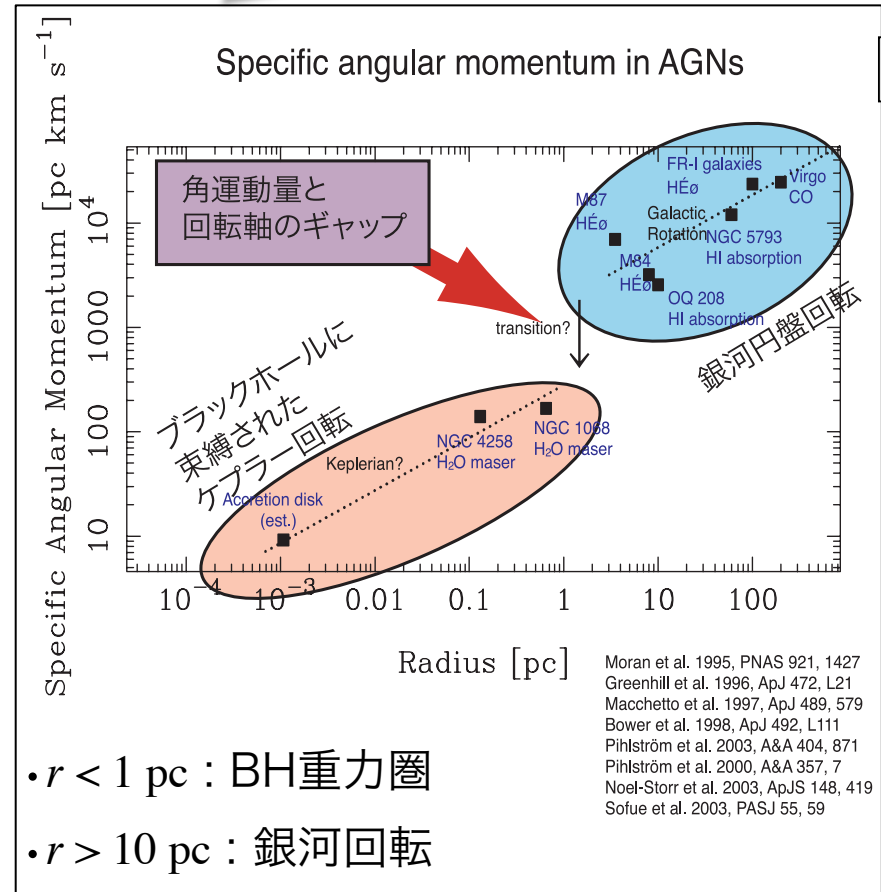


$$r_h = \frac{GM_{BH}}{\sigma_*^2} \approx 10 \frac{(M_{BH}/10^8 M_\odot)}{(\sigma_*/200 km s^{-1})^2} pc$$

$$r_h \sim 1 - 100 pc$$

- 角運動量

亀野他 ALMA近傍AGN workshop  
2011/06/11 スライドより



# 終わりに

- ダストーラスの大きさ : 1~10 pc
  - MIR 放射で見て
  - 光度に依存? 散らばり大
- ダストーラスからの幾何学的構造
  - 赤道方向の赤外線放射はコンパクト
  - 極方向の放射: ダストーラスの内壁 and/or NLR dust?
  - 赤道方向の薄い円盤 : H<sub>2</sub>O メーザー放射領域?
  - Receding torus : 何が obscuration の高さを決めているか?
- ダストーラス外縁部
  - 冷たいダストの寄与は小さい ~ 放射領域はコンパクト
  - 放射が無い ≠ 存在しない : obscuration, gas fueling
  - ブラックホールの勢力範囲 : 1~100 pc