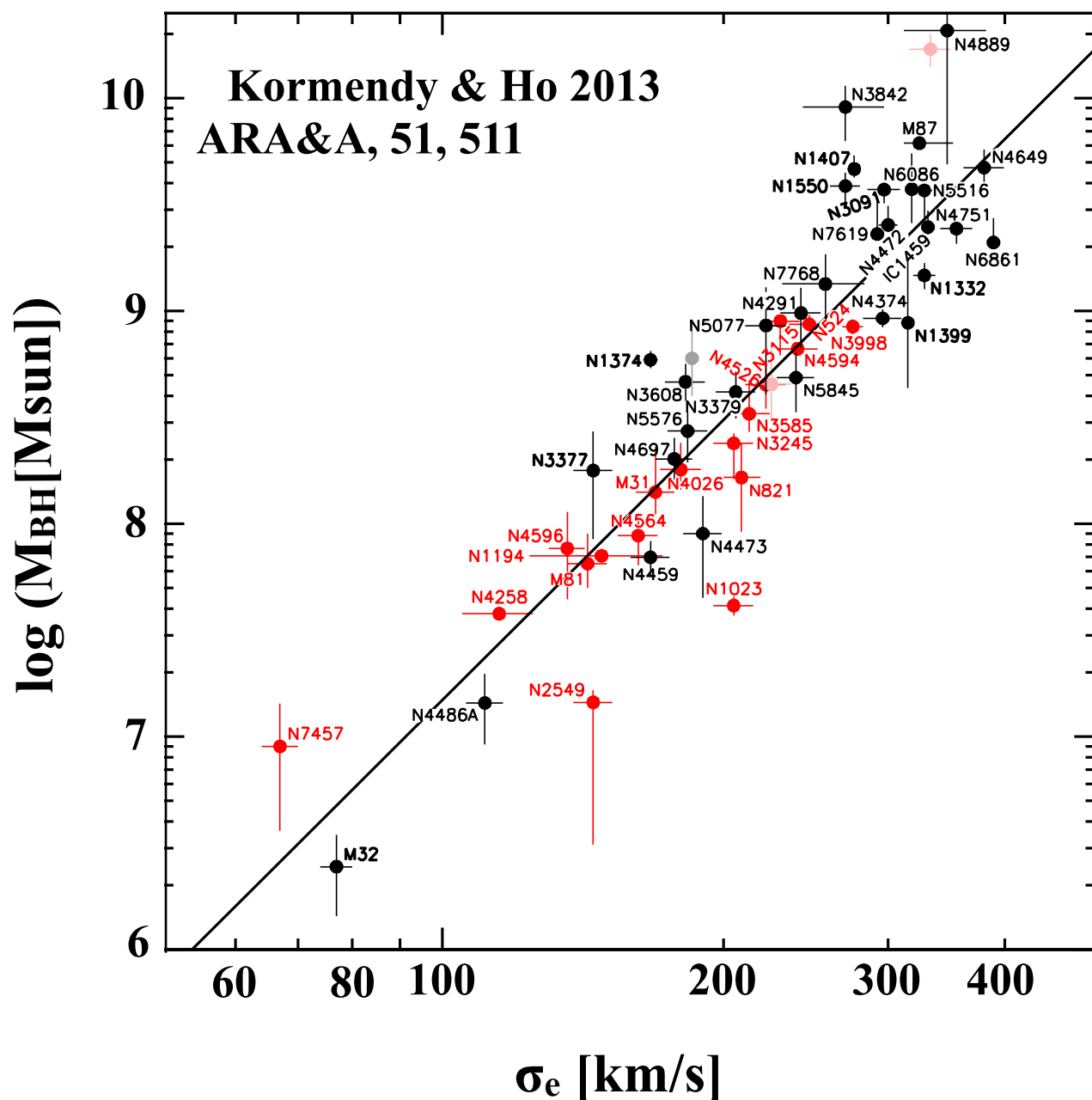


ALMAで探るSMBHと 銀河中心高密度ガス円盤の共進化

泉拓磨 (IoA/東京大)

河野孝太郎 (東京大)、川勝望 (呉高専)





銀河-SMBH共進化

- ・ 銀河バルジの速度分散と、その中心の巨大ブラックホール (SMBH) の質量には相関がある (共進化)。
- ・ SMBHの形成過程は謎。
- ・ 活動銀河核(**AGN**)は、銀河進化において極めて重要な役割を果たす (AGN feedback/feeding)。

SMBHの**成長機構**は？ (銀河中心の分子ガスが重要なはず)

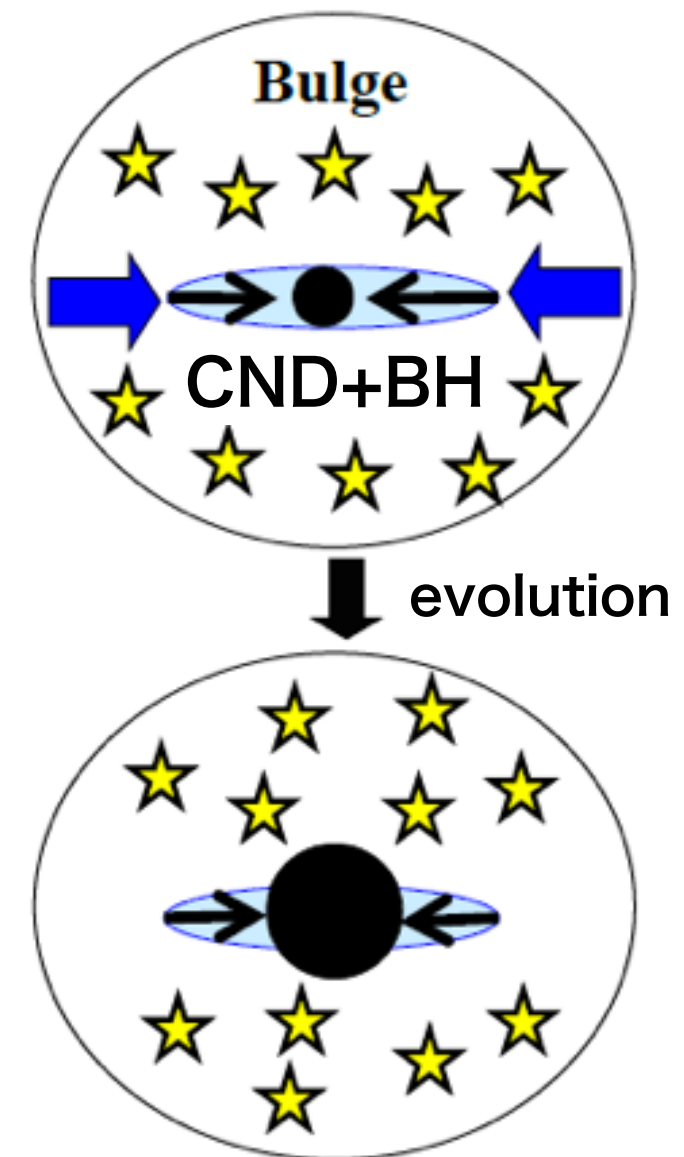
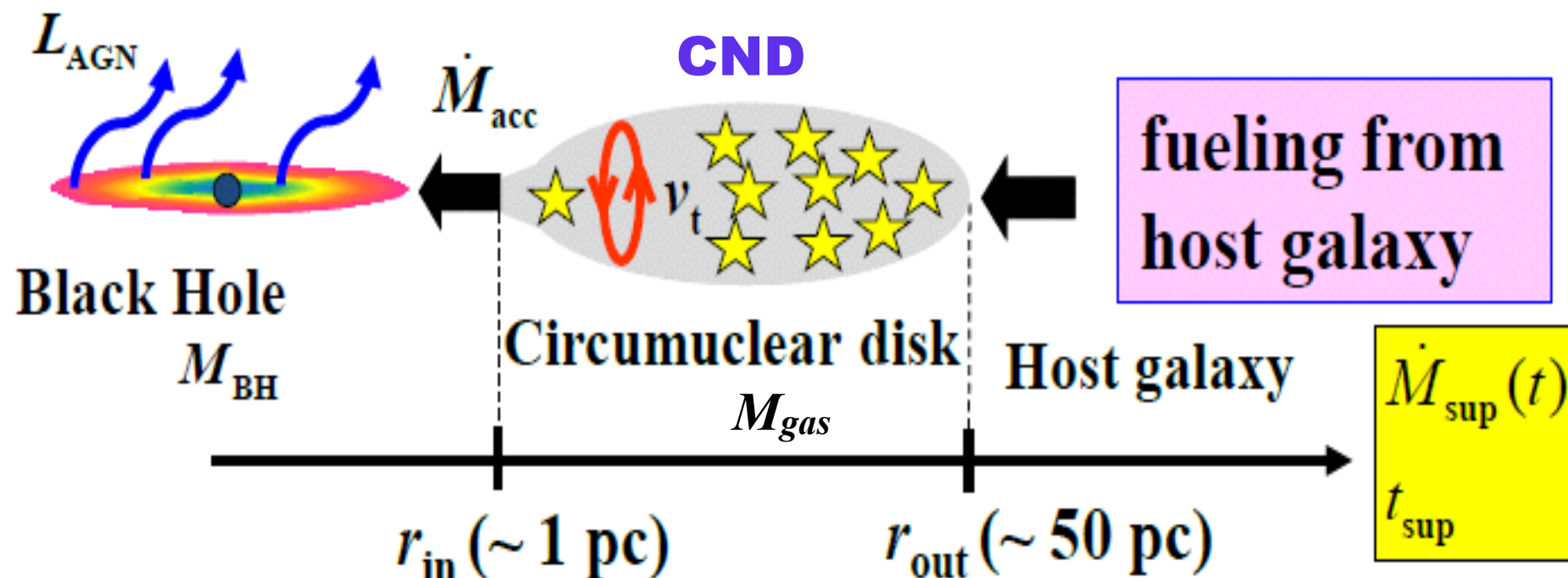
AGNを発現させる**トリガー**は？

母銀河 (10kpc) とSMBH (<1pc) の**つながり**は？

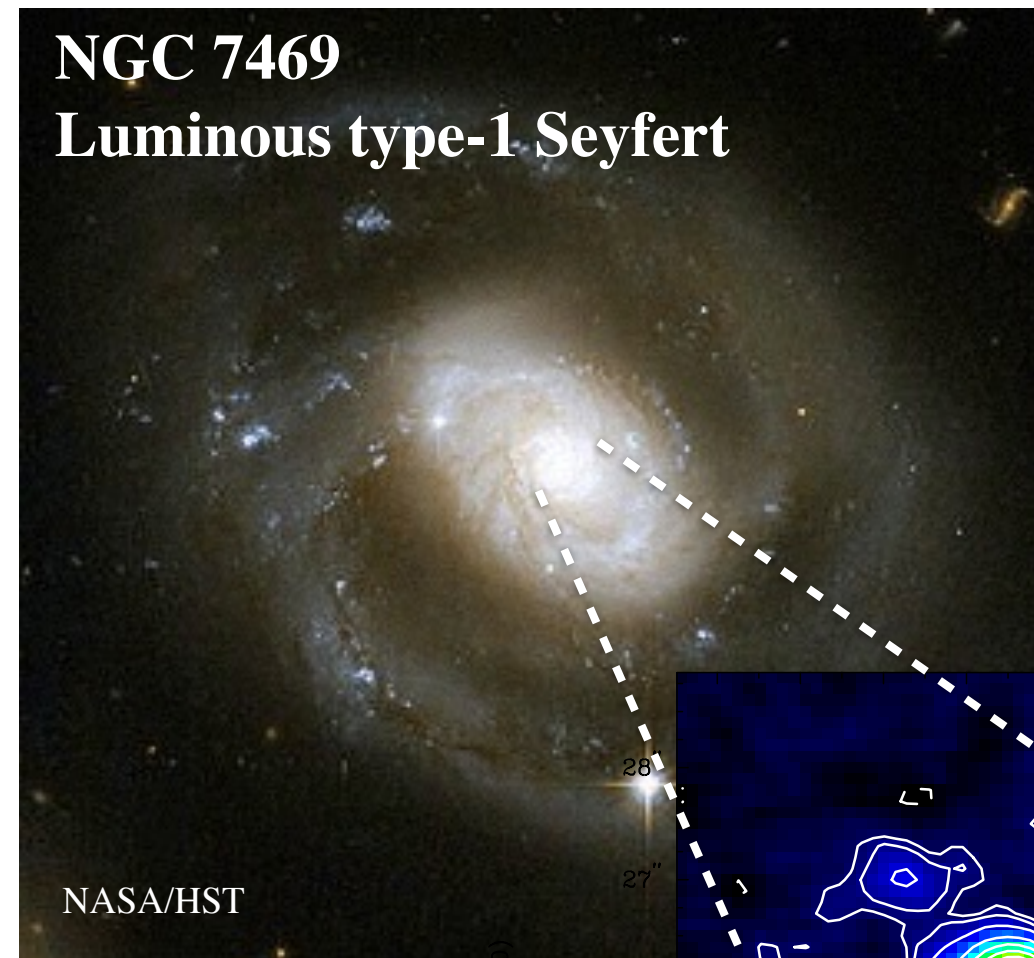
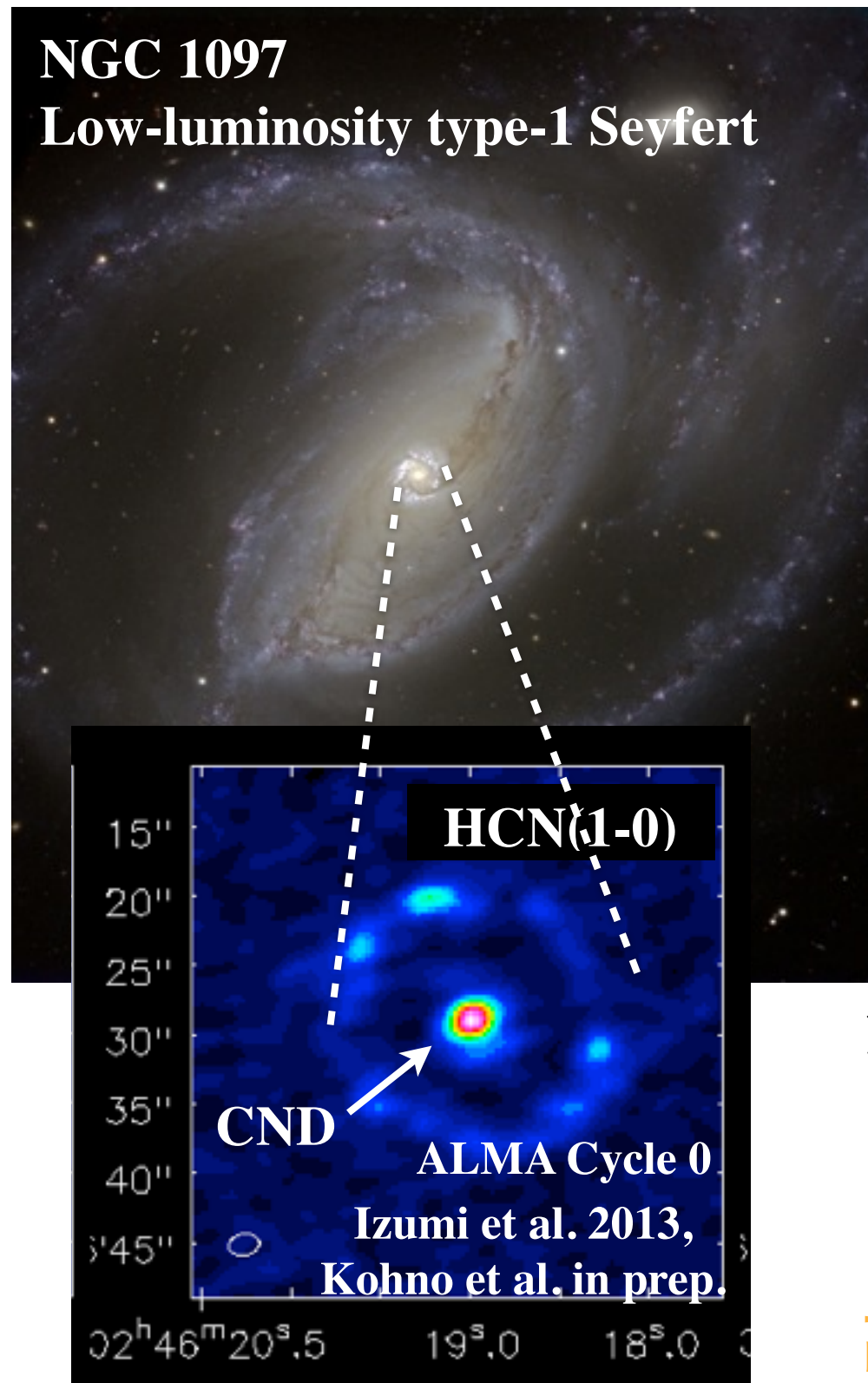
BH成長の鍵？

Circumnuclear Disk (CND)

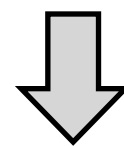
- 数十～百pcスケールの大質量CNDがBH周辺に形成されると予測されている
⇒ **BHへの直接的な質量供給源？**
 - e.g., Kawakatu & Wada 2008, ApJ, 681, 73
- BHの活動性**と、 **$M_{\text{gas}}/M_{\text{BH}}$ の質量比**に関係あり？



CNDs in Nearby Galaxies



銀河中心のガスは濃い
& コンパクト



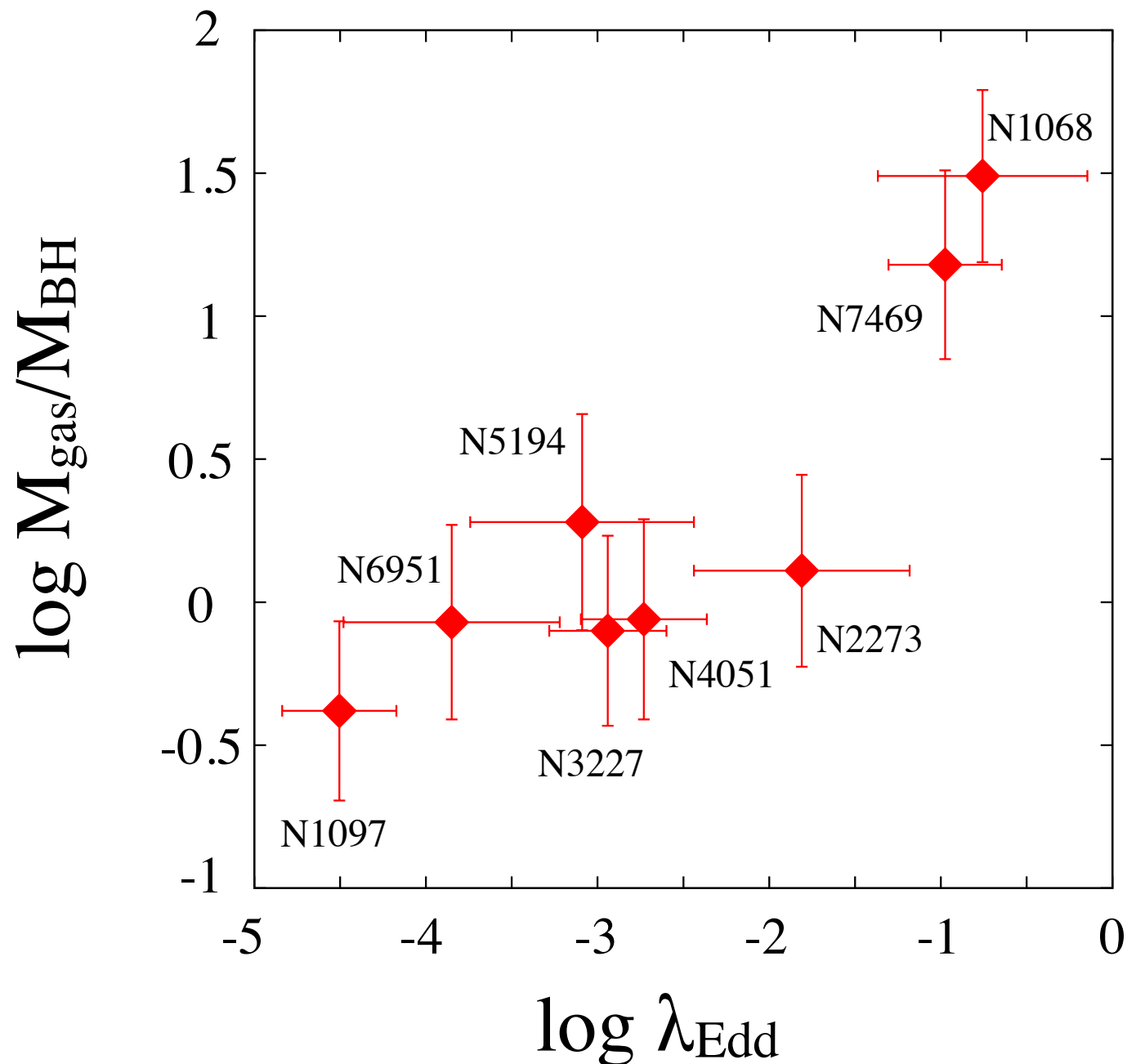
高密度ガストレーサーの干渉計観測が重要

Methods

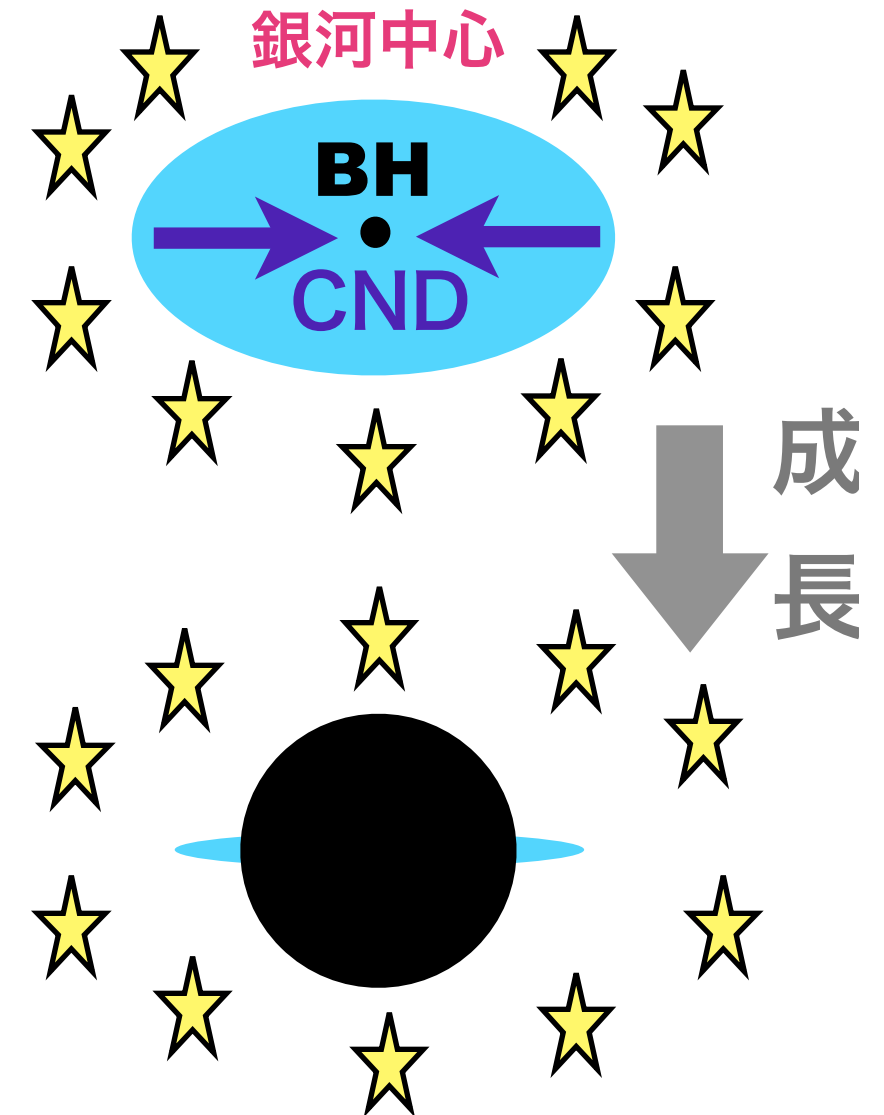
必要なのは、(1) CNDのガス質量 (M_{gas})、(2) BH質量 (M_{BH})、
(3) BHの活動性の指標 $\Rightarrow$ Eddington比 (λ_{Edd})

パラメータ	手法	Ref.
M	α α	Sani et al. (2012), Kohno et al. (1996, 2008), This work
M	恒星速度分散と M- σ 関係を利用	Gültekin et al. (2009), Ho et al. 2009, HyperLEDA
L	$\kappa \times L$	Marconi et al. (2004), Panessa et al. (2006), Brightman et al. (2011), Marinucci et al. (2012), Liu et al. (2014)
λ	L	-

$\log \lambda_{\text{Edd}}$ vs $\log(M_{\text{gas}}/M_{\text{BH}})$ in CNDs



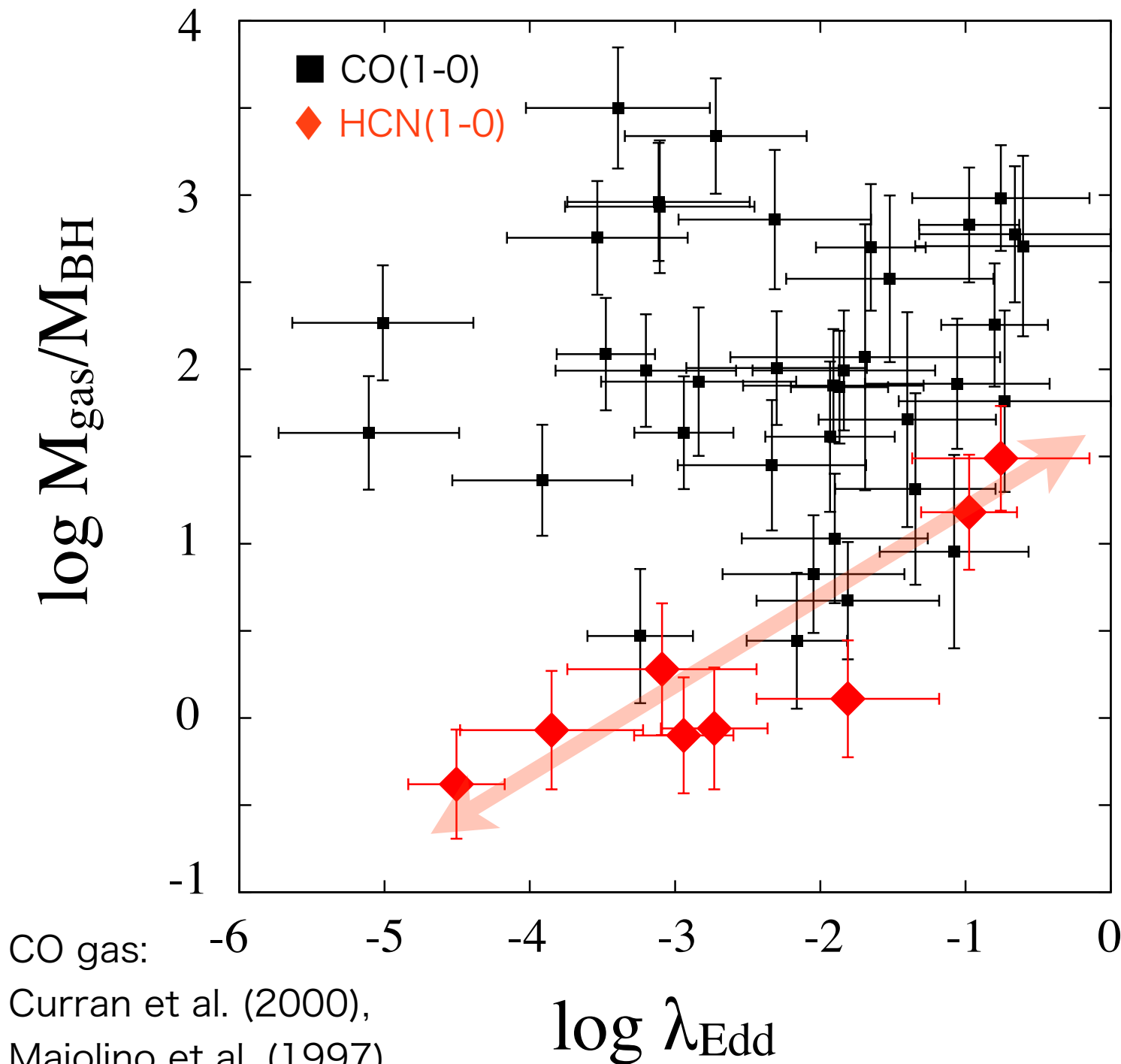
$\log \lambda_{\text{Edd}}$ と $\log(M_{\text{gas}}/M_{\text{BH}})$ が相関すること（共進化）を、観測的に初めて発見。



（高密度）CNDは、BHを成長させる**直接的な質量供給源**だろう。

CND 「が」 重要なのか？

母銀河スケールのガスの場合は？

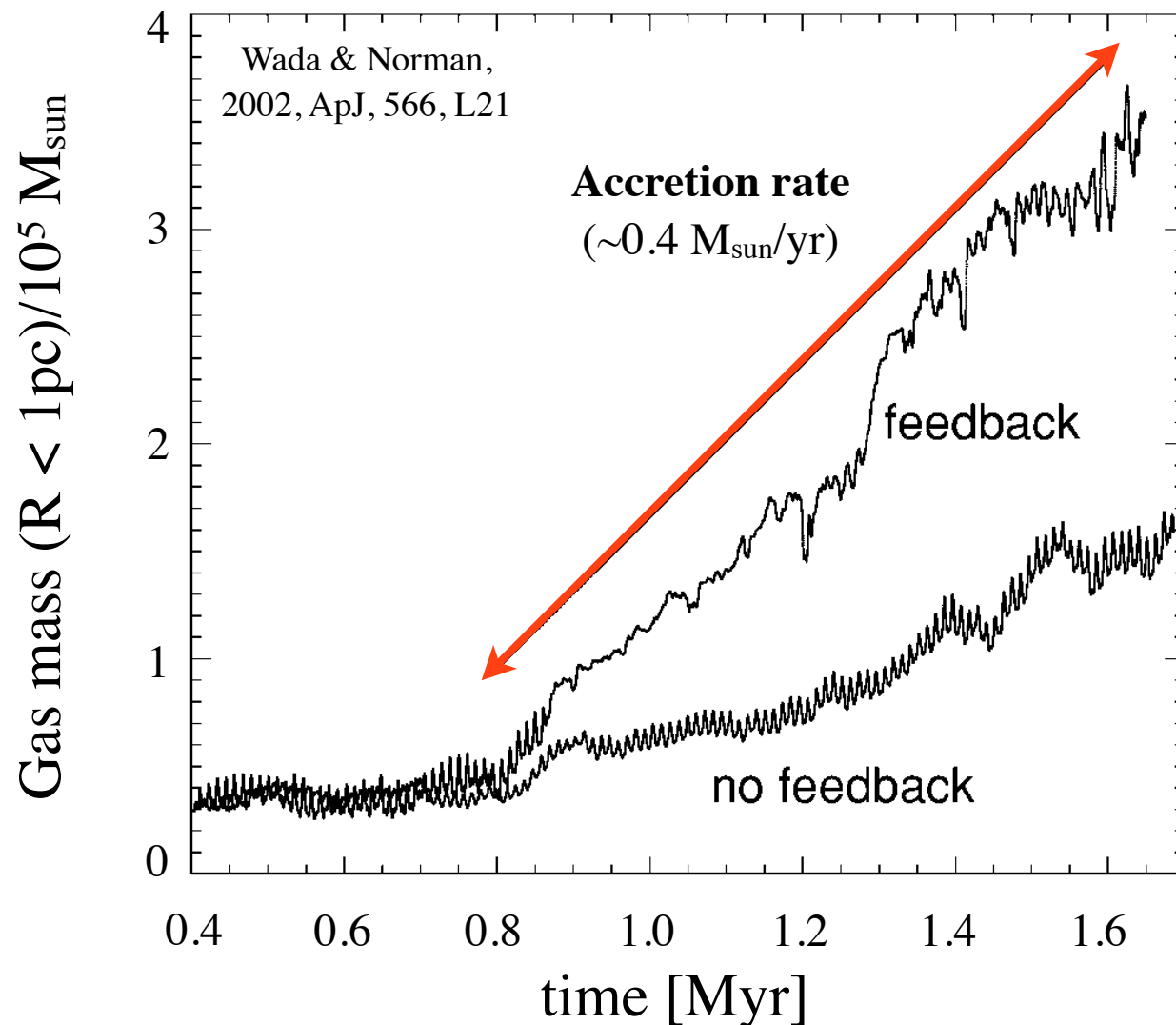


Curran et al. (2000),
Maiolino et al. (1997),
Gao & Solomon (2004)

- 母銀河スケールのガス観測 (CO(1-0)を用いて M_{gas} を導出；分解能 > 3kpc) では相関が出ない。
- SMBHへの直接的質量供給の観点からはCND 「が」 重要！**

SMBHへの降着率は何で決まるのか？

⇒ 角運動量輸送問題に結びつく

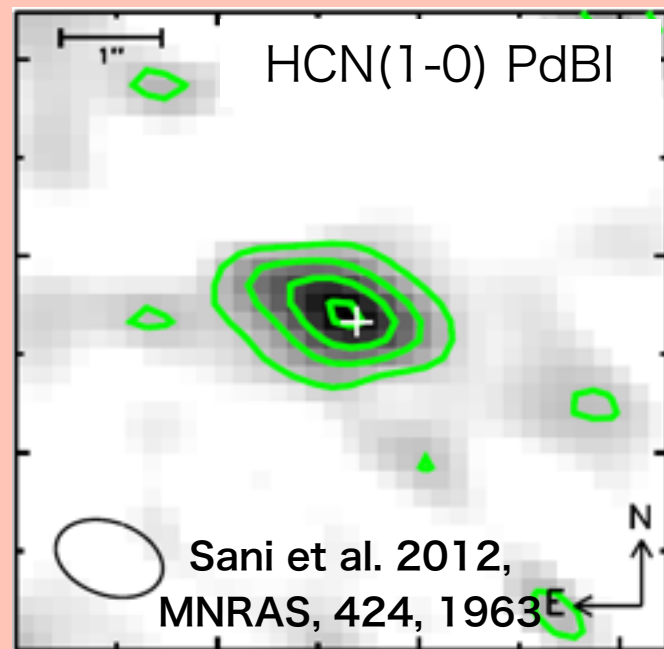


- 粘性による輸送が重要。
- CNDの場合、Supernovaによる乱流粘性は有効だろう (Wada & Norman 2002)。
- これは星形成活動に依存。
- すなわち、SMBHへの降着率は、**CNDの重力不安定性**に依存？

CNDの重力不安定性、星形成活動を調べたい

Kinematic structures of CNDs

NGC 4051 vs NGC 1097



NGC 4051
 $\log \lambda_{\text{Edd}} = -2.7$
 $H/R = 0.25$
 (ただし $Q > 1$ という結果;
 Sani et al. 2012)

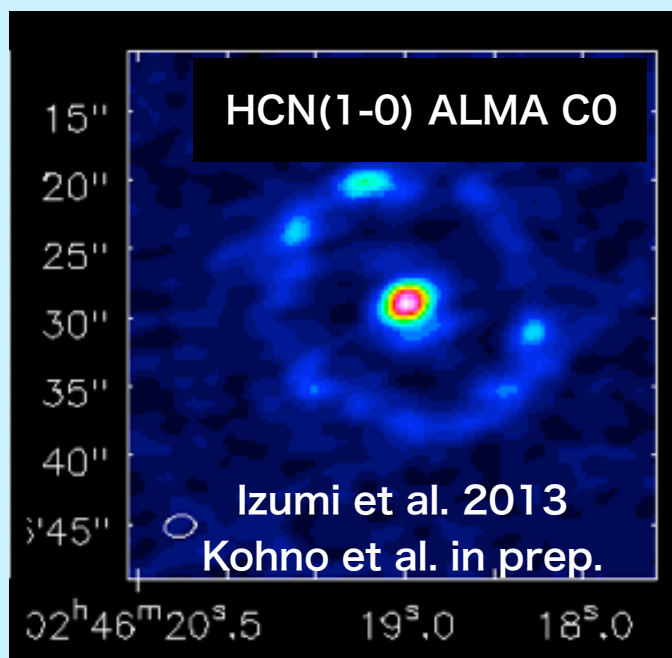
$$Q \equiv \frac{c_s \kappa}{\pi G \Sigma}$$

High -accretion phase

Toomre $Q < 1$



turbulent pressure
 supported **thick** disk



NGC 1097
 $\log \lambda_{\text{Edd}} = -4.5$
 $H/R < 0.01$
 Fathi, Tl, et al. 2013

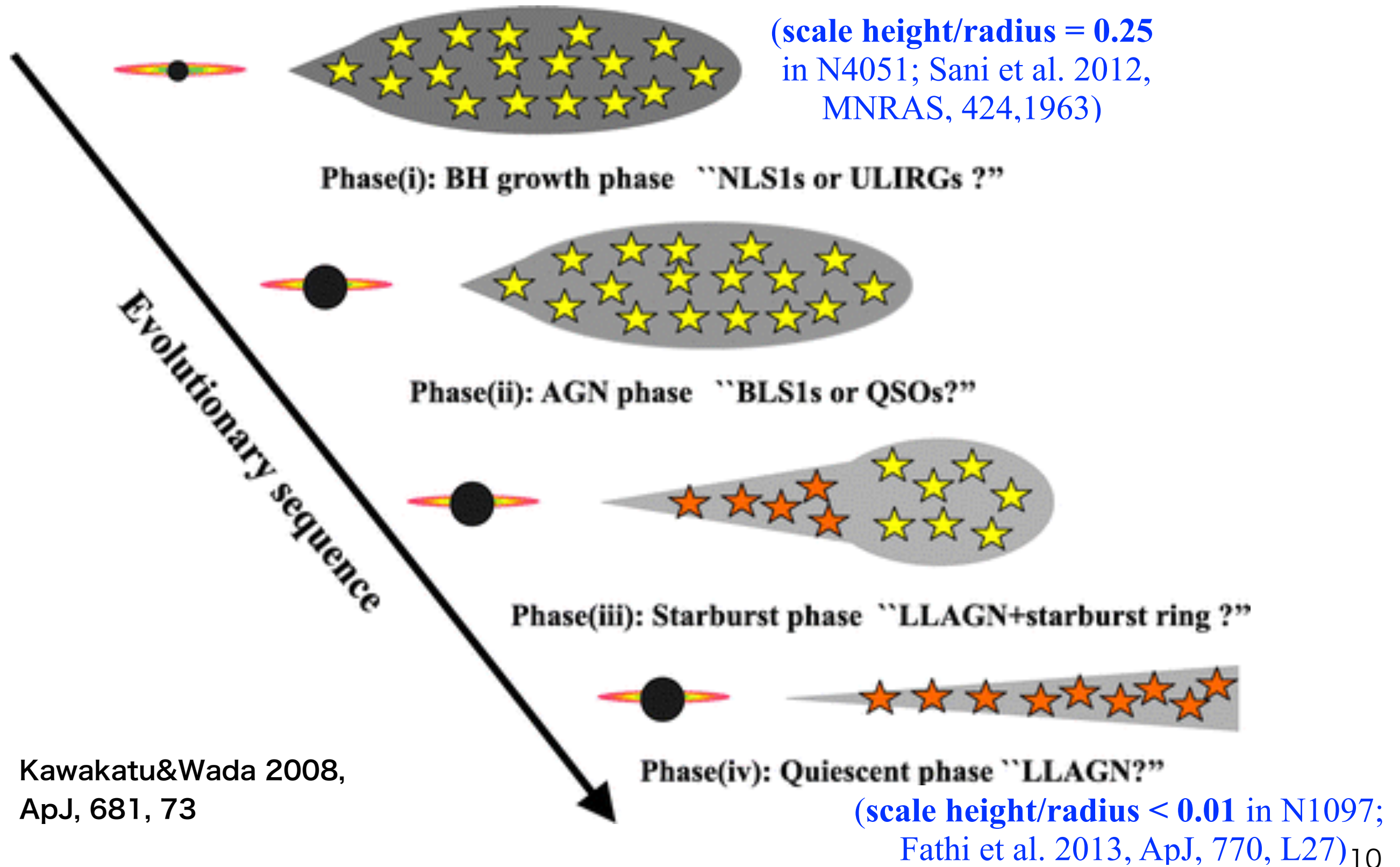
Low-accretion phase

Toomre $Q > 1$

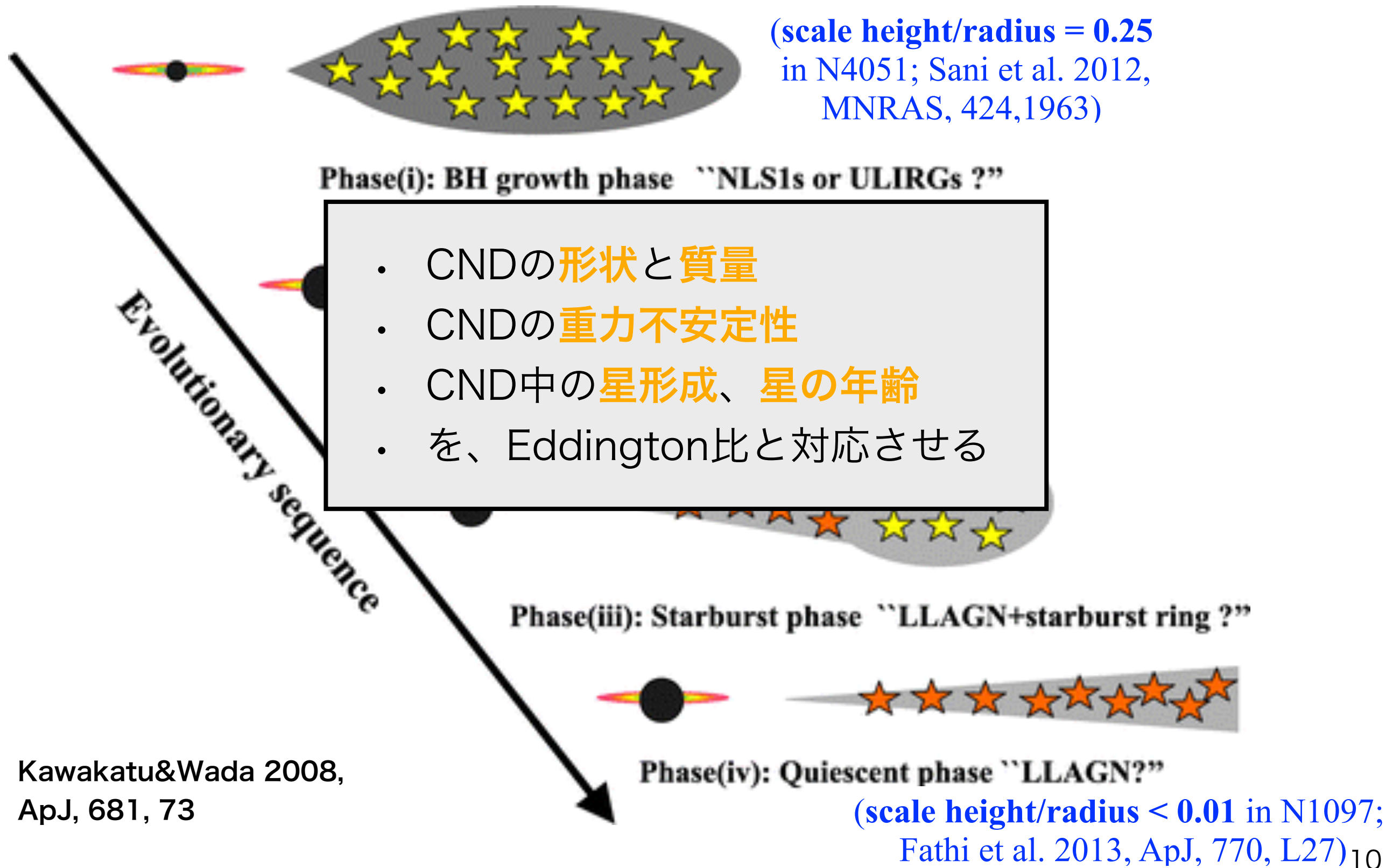


gas pressure
 supported **thin** disk

Black hole evolutionary sequence?



Black hole evolutionary sequence?



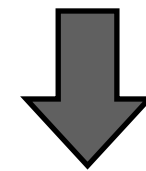
Future Work (1)

CNDの質量、形状、重力不安定性



たとえば質量...

$$\alpha_{\text{HCN}} \times L'_{\text{HCN}(1-0)} [\text{K km/s pc}^2], \alpha_{\text{HCN}}=10$$



$$M_{\text{gas}} [M_{\odot}] \sim \frac{\sqrt{n_{\text{H}_2}}}{T_b} \left(\frac{L'}{\text{K km s}^{-1} \text{ pc}^2} \right)$$

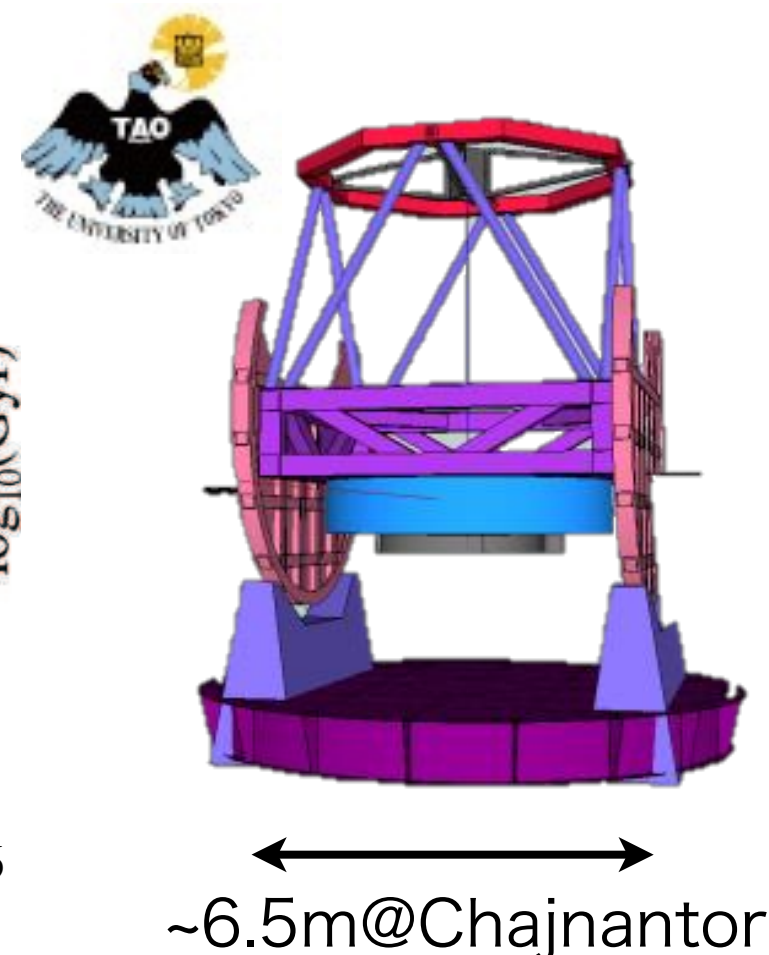
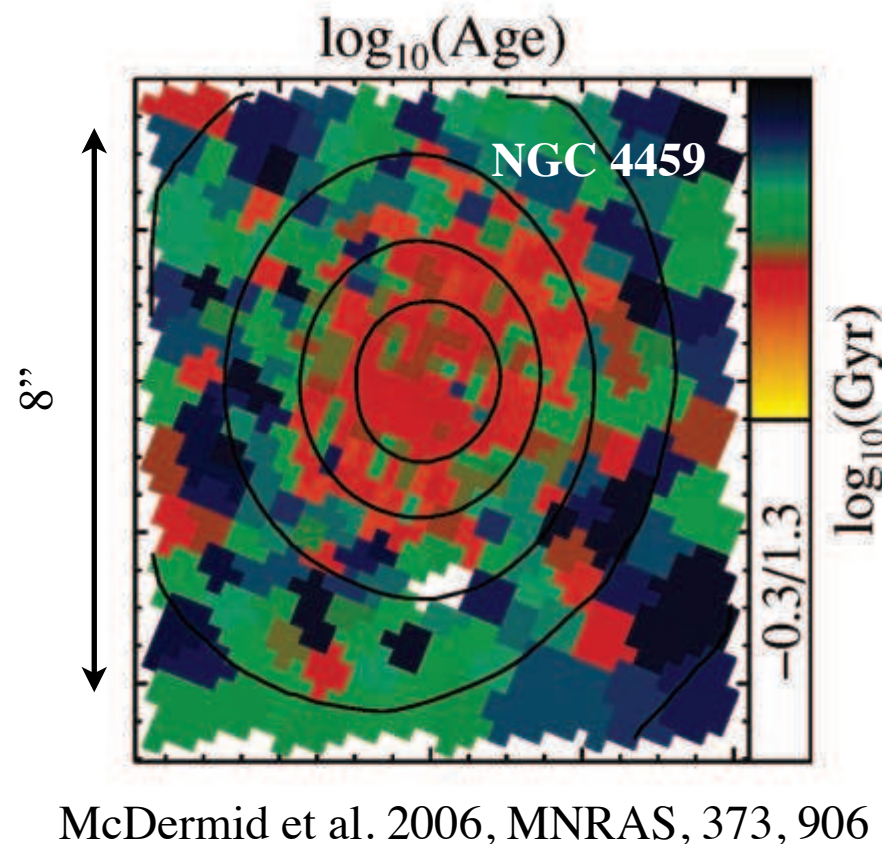
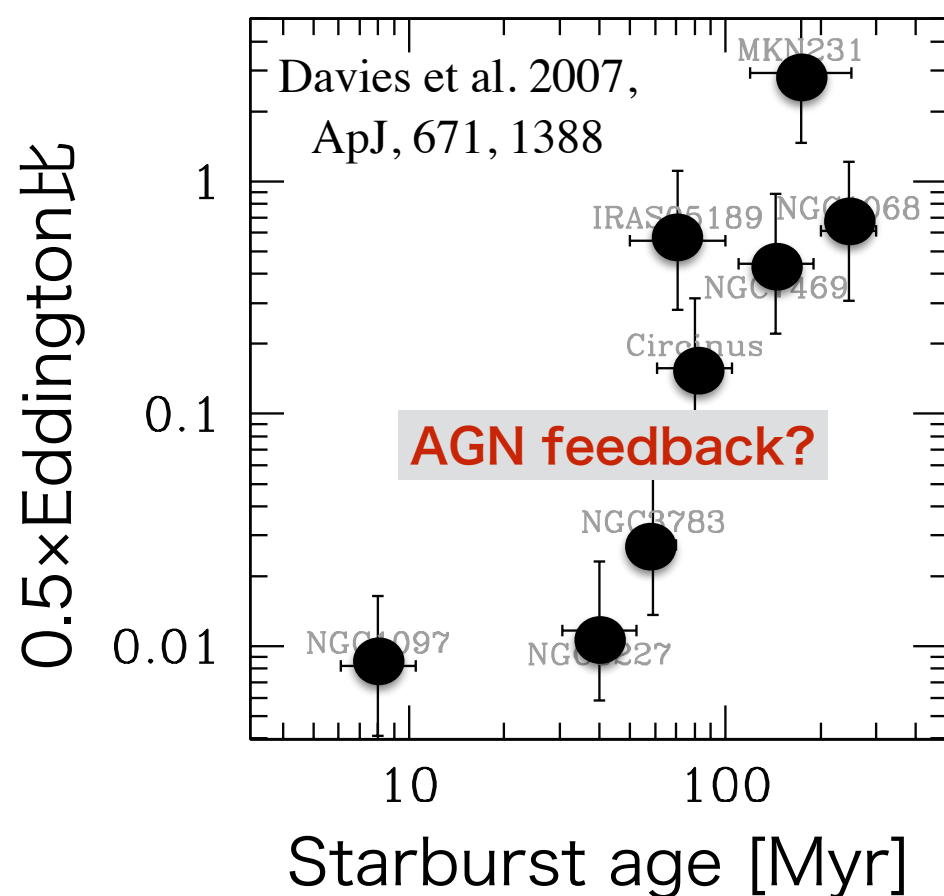
(virialized)

ガスの励起条件（温度、
密度）+輻射輸送

- 高密度ガストレーサーの観測が鍵。
- つまり、**ALMA**の出番！（high-zはSKA？）
- **多輝線、多遷移解析**でガスの物理状態を制限することが重要。
(see Izumi et al. 2013, PASJ, 65, 100)
- 形状については、 σ/V_{rot} が（観測量で構成できて）良い指標だろう。

Future Work (2)

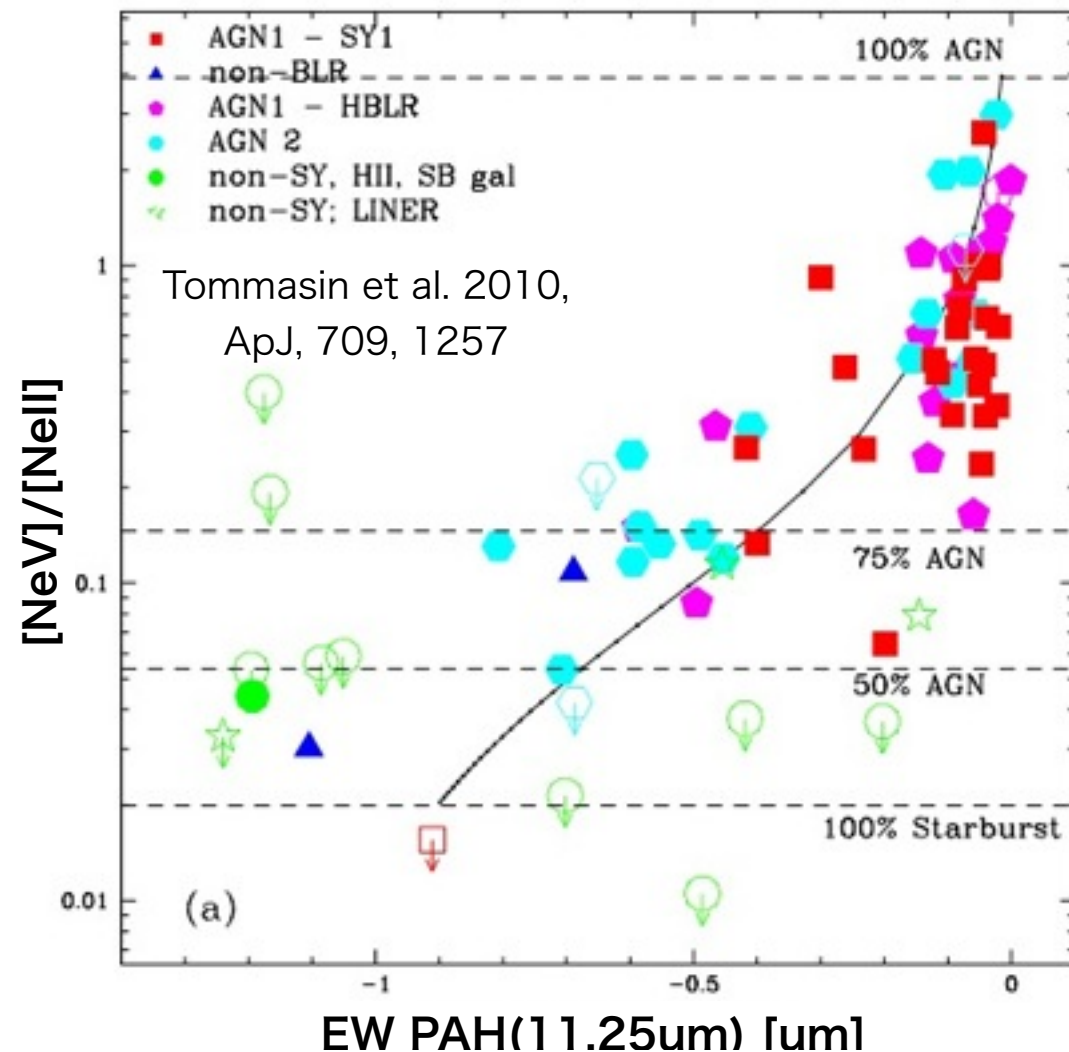
CNDでの星形成、星の年齢



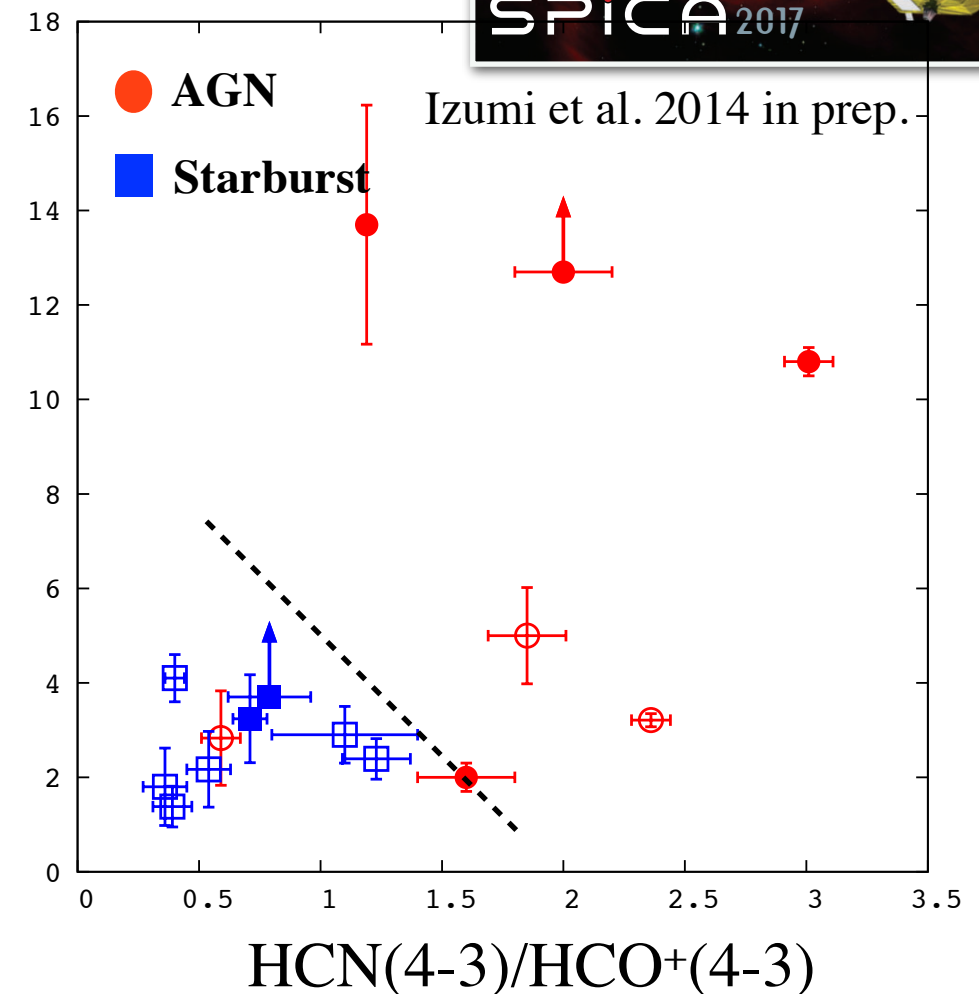
- High (Low) λ_{Edd} のBH周りには、若い星が多い？年老いた星が多い？
- ダスト減光に強い波長帯で、SFRやageを正確に出したい。
- TAOを用いたPa系列輝線 (**Pa α**) の観測、しかも**面分光**が切り口か？
⇒ loA 舘内さん、本原さん

Future Work (3)

異なる進化段階のAGNを見る



HCN(4-3)/CS(7-6)

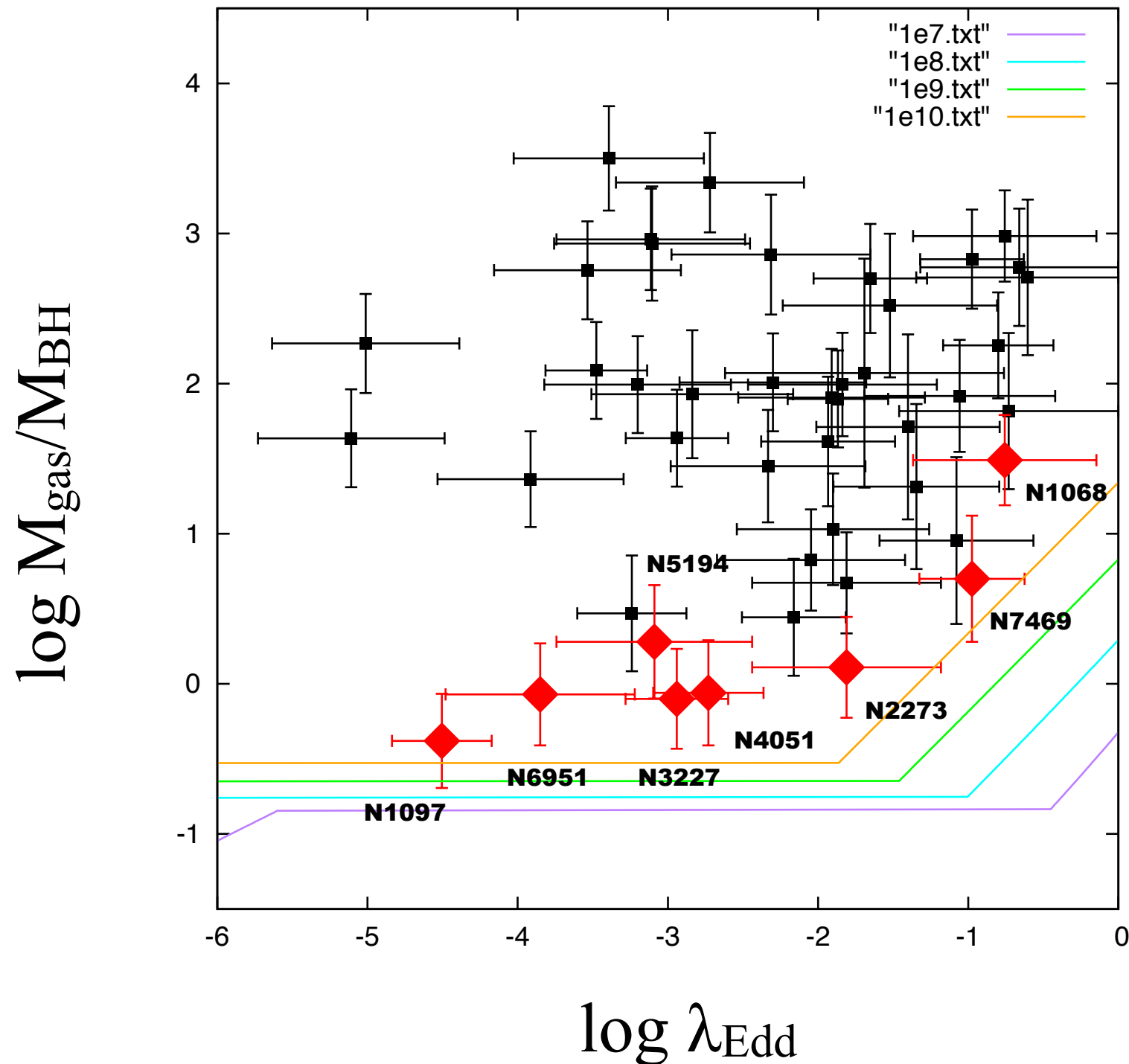


- まさしく 絶賛成長中のAGNは未開拓。Dust-obscuredな天体 (ULIRGなど) が重要だろう。SMGとQuasarの関係も？
⇒ SPICA & ALMAが活躍
- 埋もれたAGNの発掘&大サンプルの構築**を目指す。

まとめ

- SMBHの成長機構、AGN現象のトリガーを探ることは、SMBHや銀河の進化を考える上で重要である。
- $\log \lambda_{\text{Edd}}$ と $\log(M_{\text{gas}}/M_{\text{BH}})$ の相関を観測的に初めて発見。
- CNDはBHへの直接的質量供給源として機能している。
- CNDの重力不安定性が、BH降着率を左右する鍵かもしれない。
- 今後は測定精度の向上はもちろん、多波長観測で、異なる進化段階に応じたCNDの性質（大きさ、質量、形状、星形成、重力不安定性など）を明らかにすることを目指す。

おまけ



(注) KW08モデルでは、
粘性パラメータ

$$\nu_t(r) = \alpha v_t(r) h(r)$$

において $\alpha=1$ (最大値) を
採用している。