

# AGNの活動性と sub-kpcの遮蔽構造について

川勝 望 (呉高専)  
和田 桂一 (鹿児島大)

ALMAワークショップ「AGN銀河の中心1kpc → 1pcスケールでの  
質量降着機構の理解に向けて」@国立天文台 (2015. 12.22)

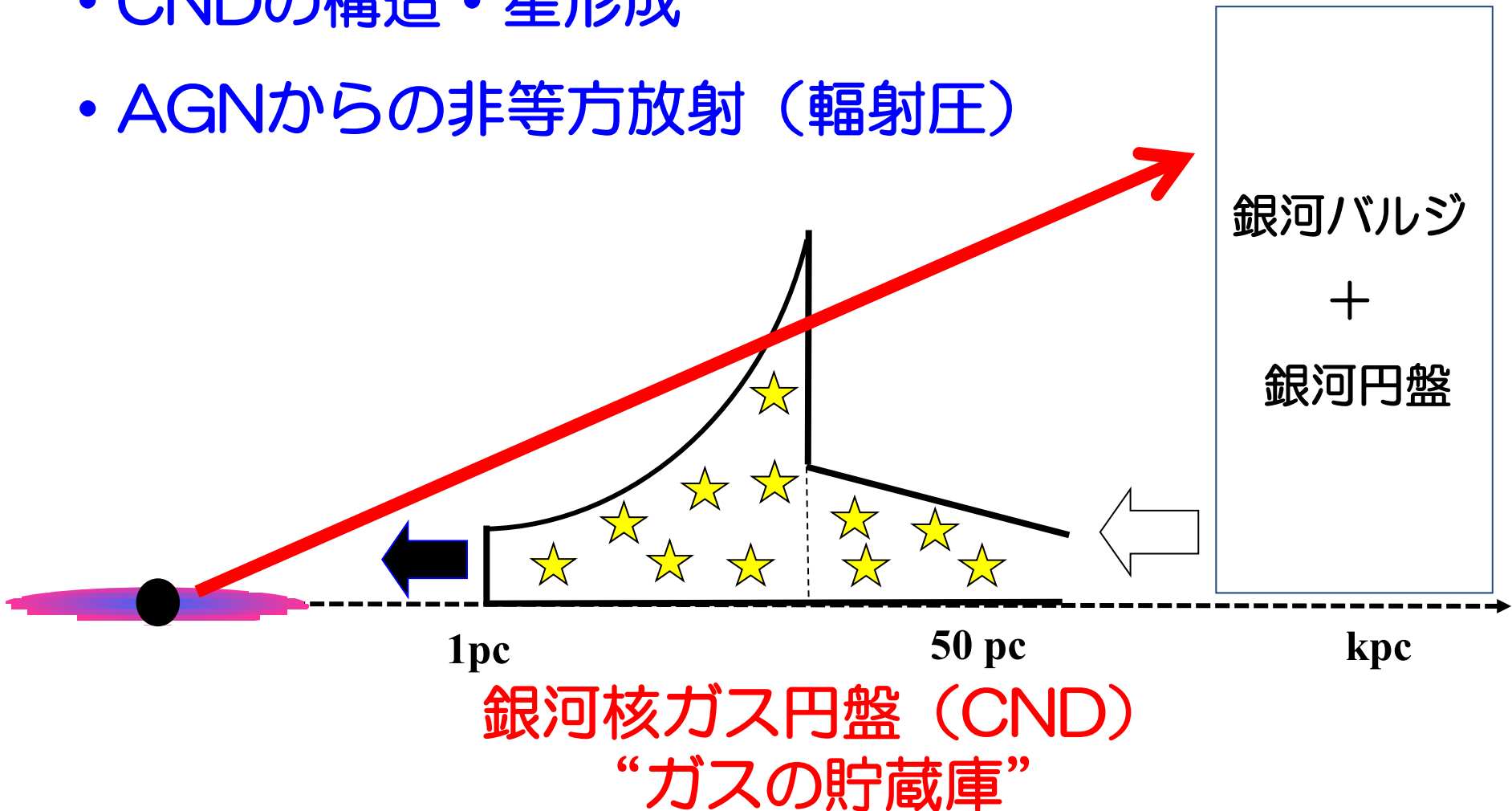
# 内容

- 銀河核ガス円盤 (1-100pc)
  - (i) BHへのガス供給
  - (ii) AGN-SB connection
  - (iii) AGN遮蔽
- ミニジェットで探るSMBH周辺環境

# < 100pcのガス降着過程

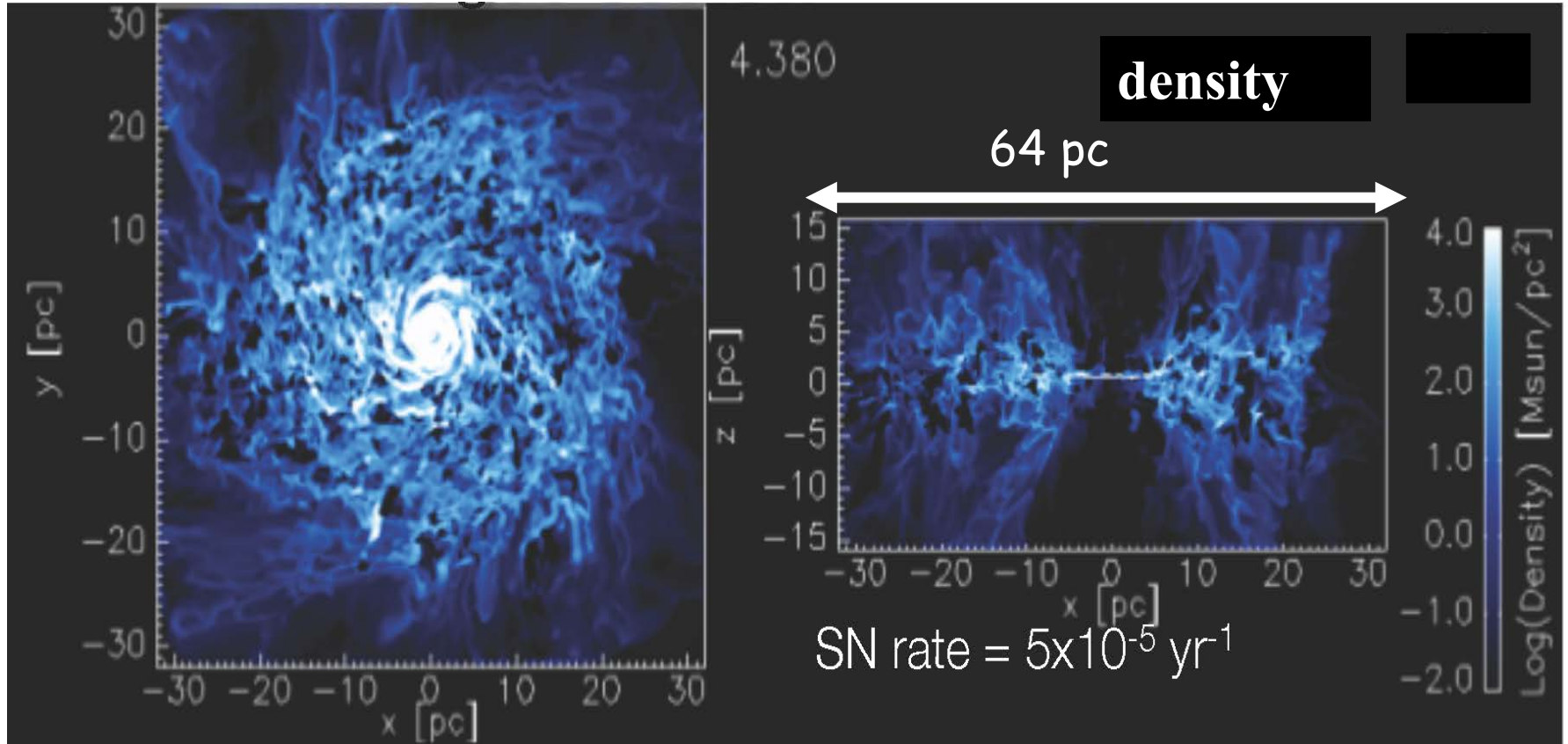
## SMBHへのガス降着

- CNDの構造・星形成
- AGNからの非等方放射（輻射圧）



# CNDの構造

(Wada & Norman 02, Wada +09, Wada +12)

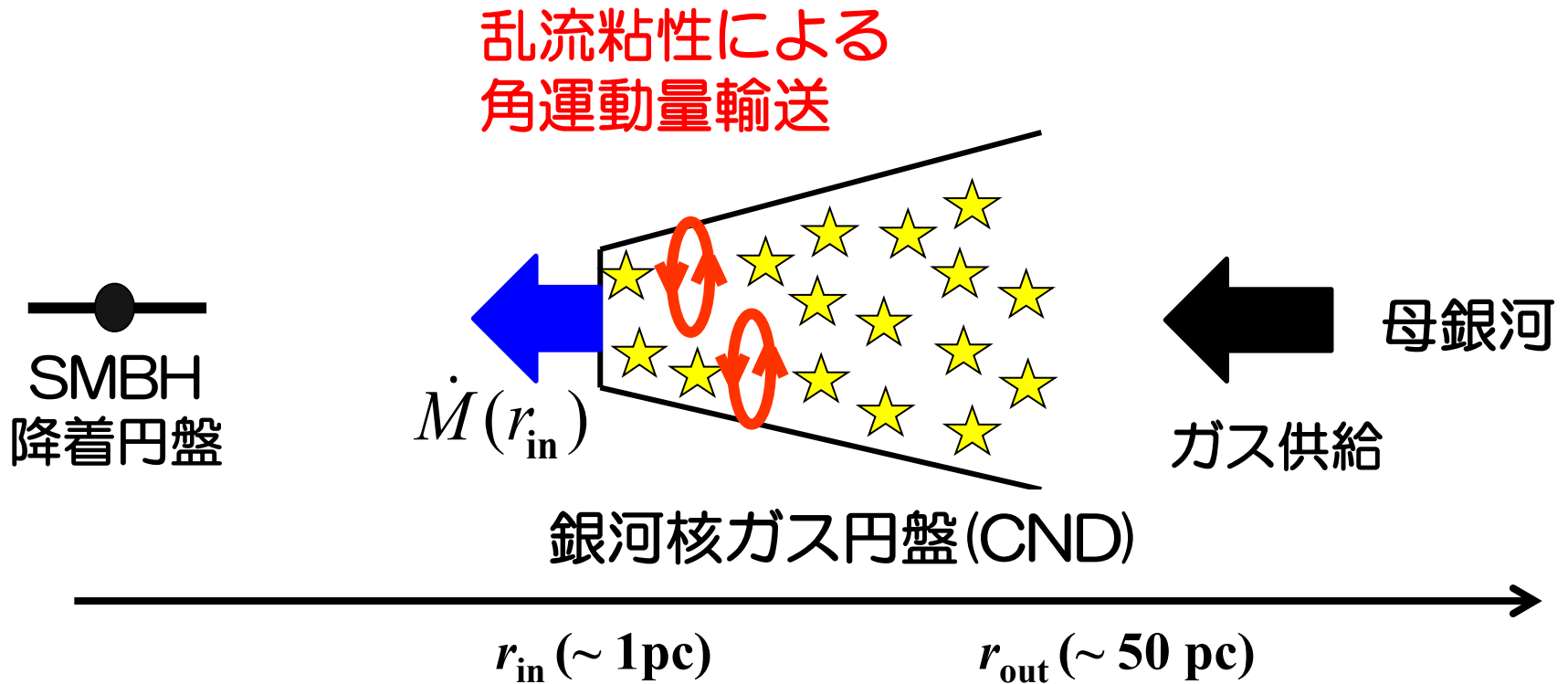


## SNフィードバック

- 乱流速度場による角運動量輸送
- 幾何学的に厚いトラス構造 → AGN遮蔽

# CNDからのガス降着

NK & Wada 2008, NK & Wada 2009, NK & Wada in preparation

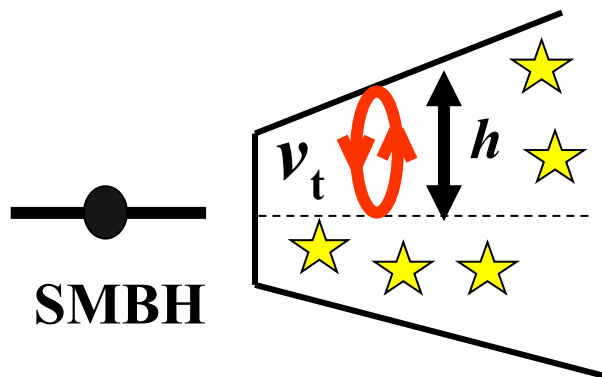


～本研究の目的～

降着率を決める物理は？ 最終的なSMBH質量は？  
CNDの構造と質量降着率の関係

# CNDのモデル

# “SN-driven model”



CND重力的に不安定  $\Rightarrow$  星形成  
 $\Rightarrow$  SN起源の乱流粘性によるトルク

(Wada & Norman 02, Wada +09, Wada +12)

$$\text{粘性係数} : \nu_t \approx v_t h$$

銀河核ガス円盤 (CND)

- 静水圧平衡 「乱流圧力」 = 「重力 (円盤に垂直方向)」

$$\rho_g(r) v_t(r)^2 = \rho_g(r) g(r) h(r) \quad (1)$$

$v_t$ : 乱流速度       $\rho_g$ : ガス密度  
 $g$ : 重力               $h$ : スケールハイト

- エネルギーバランス

「乱流エネルギーの散逸」 = 「SNからのエネルギー供給」

$$\frac{\rho_g(r) v_t(r)^2}{t_{dis}} \approx \eta S_*(r) E_{SN} \quad (2)$$

$S_*(r) = C_* \rho_g(r)$ : 星形成率

$\eta$ : 加熱率

$E_{SN}$ : SNの爆発エネルギー ( $10^{51}$  erg)

(1)+(2)  $\Rightarrow$  「乱流速度」 & 「スケールハイト」

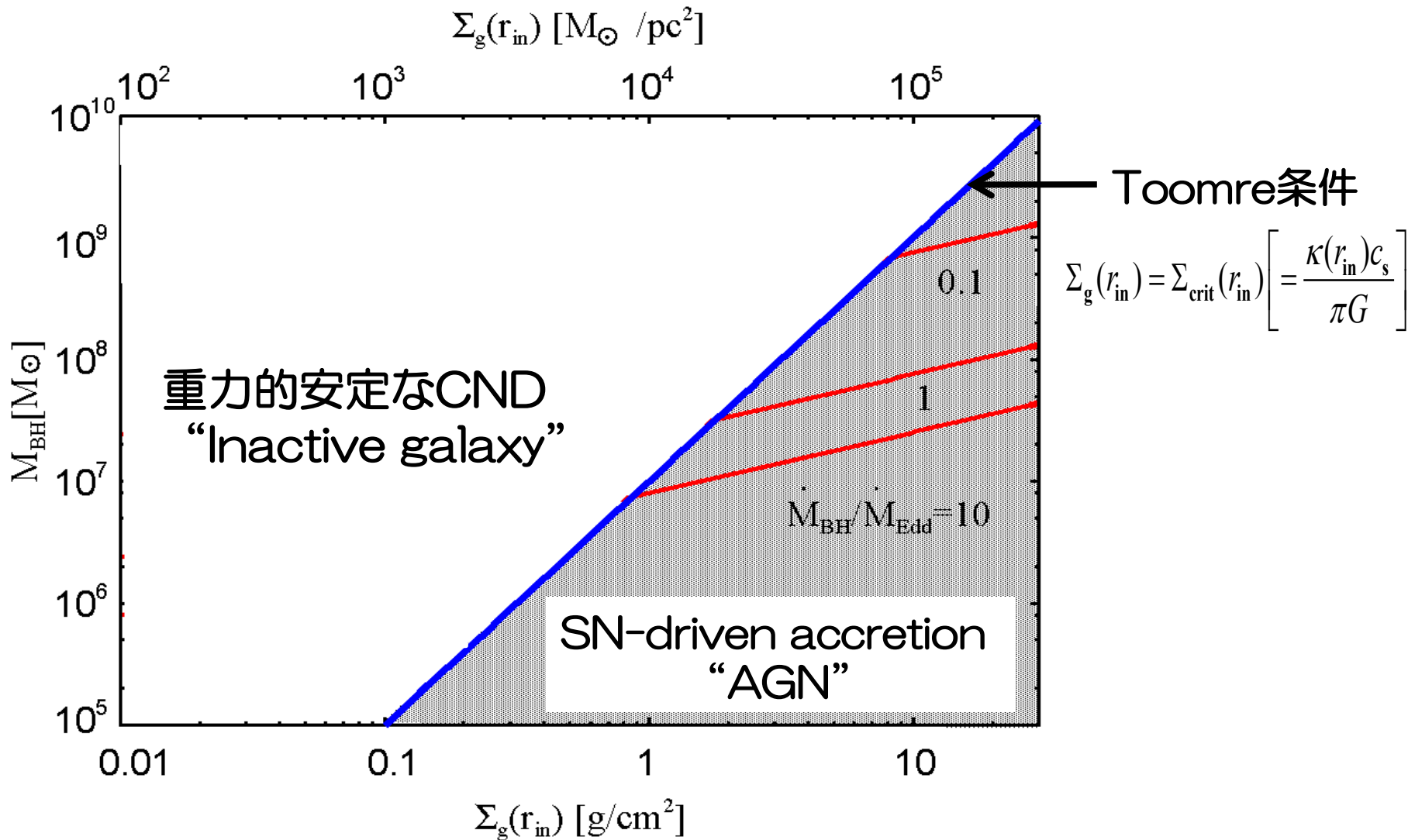
# CNDからの質量降着率

$$\dot{M}_{\text{acc}}(r_{\text{in}}) = 2\pi v_t \Sigma_g(r) \left| \frac{d \ln \Omega(r)}{d \ln r} \right|$$
$$\approx 0.13 \left( \frac{r_{\text{in}}}{3 \text{pc}} \right)^3 \left( \frac{C_*}{10^{-7} \text{yr}^{-1}} \right) \left( \frac{\Sigma_g}{1 \text{gcm}^{-2}} \right) \left( \frac{M_{\text{BH}}}{10^7 M_\odot} \right)^{-1} [M_\odot/\text{yr}]$$

質量降着率は、次のパラメータに依存する。

- 星形成効率に比例
  - ガスの面密度に比例
  - ブラックホール質量に反比例
- ⇒観測的な検証が必要

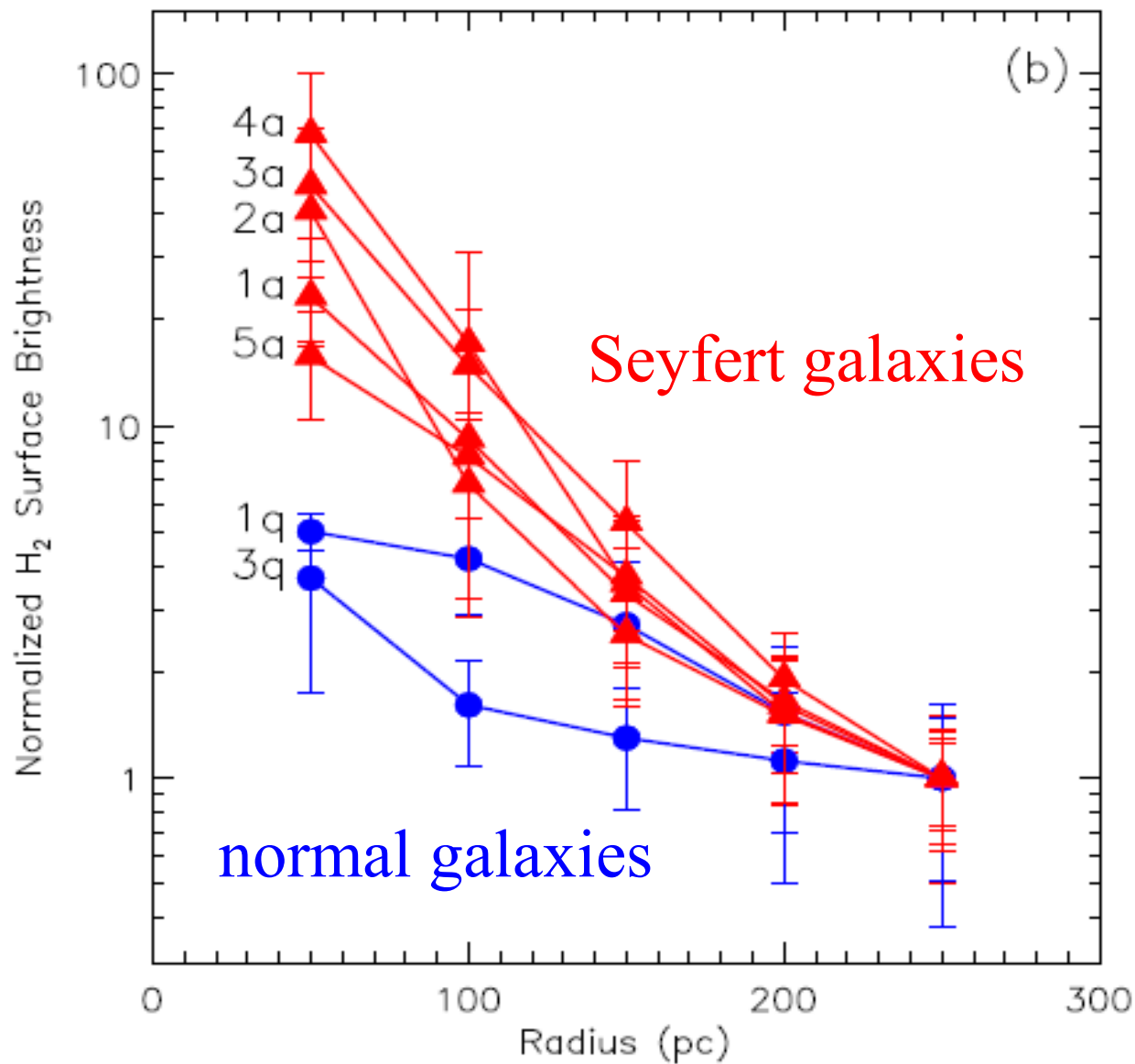
# SMBH質量とCND面密度の関係



- Inactive/Active のスイッチ：CNDのガス面密度
- 重いSMBHほど、高い面密度が必要である。

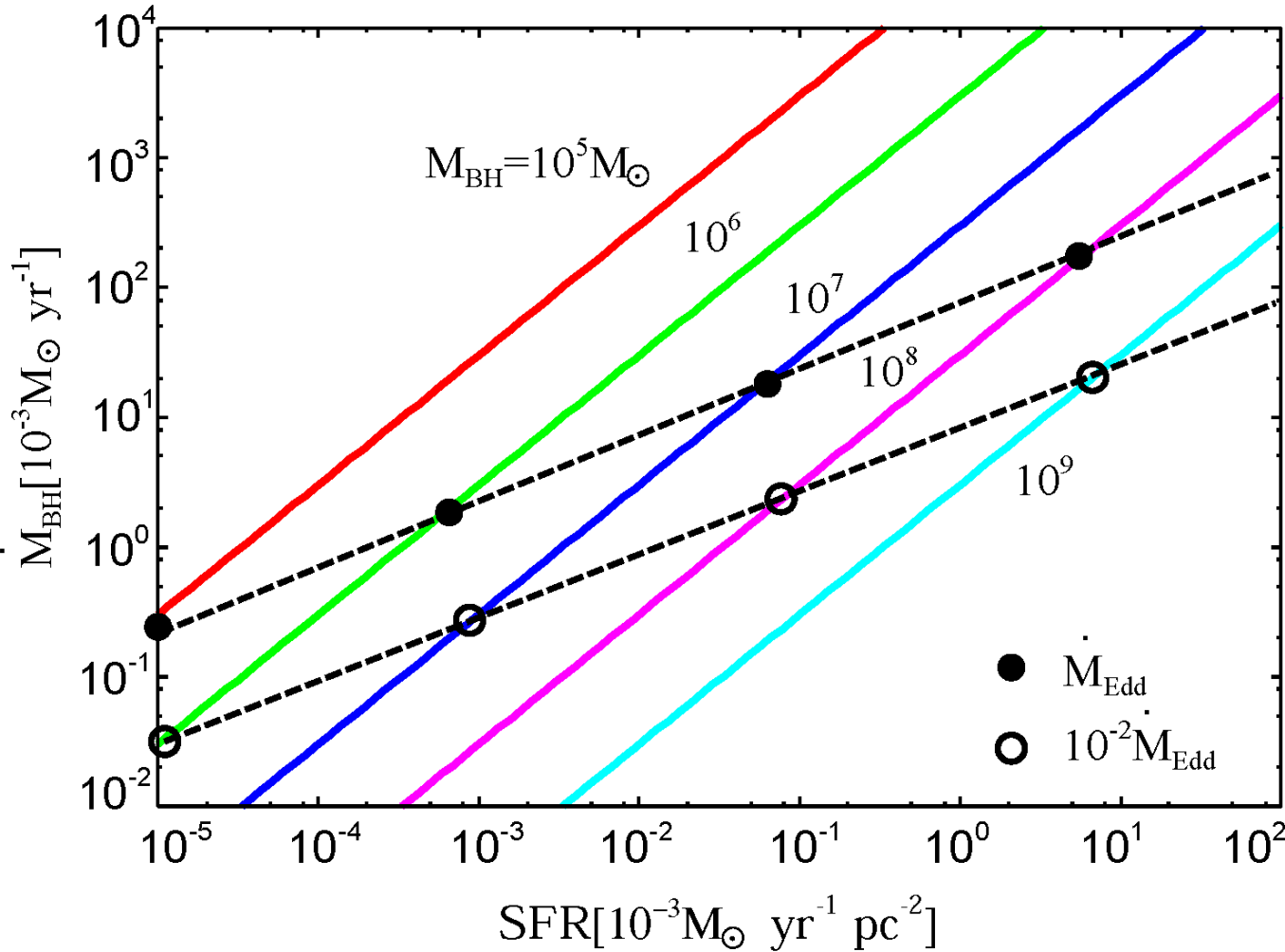


# AGNは面密度が高い？



Hicks +2013

# AGN-Nuclear SFR Relation



Eddington  
比一定

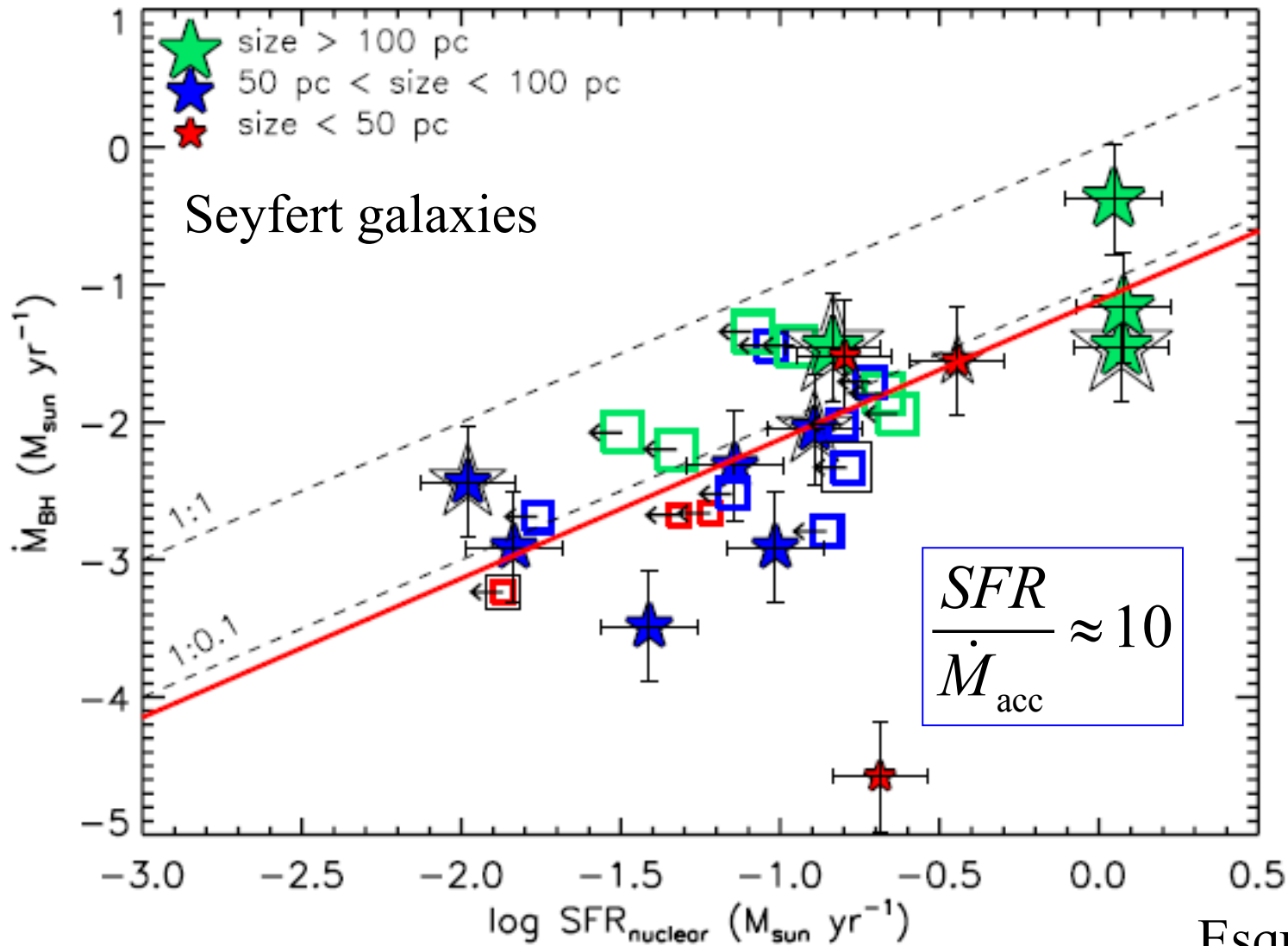


強い相関

(e.g., Imanishi & Wada 2004; Imanishi+2011)

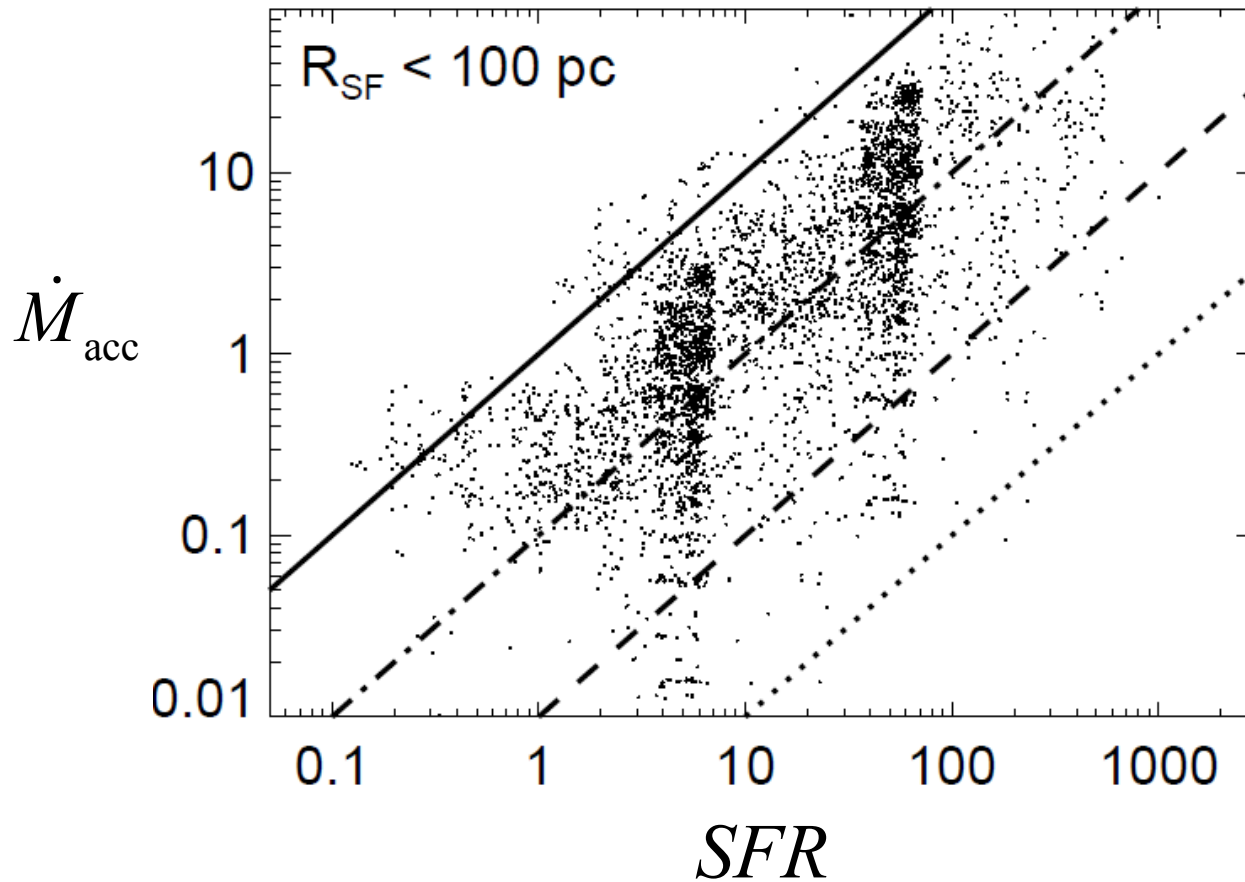
$$\frac{SFR}{\dot{M}_{\text{acc}}} \approx 10 \left( \frac{r_{\text{in}}}{3\text{pc}} \right)^{-3} \left( \frac{r_{\text{out}}}{30\text{pc}} \right)^2 \left( \frac{M_{\text{BH}}}{10^7 M_{\odot}} \right)$$

BH質量に比例



BH質量の大きいQSOはどうか？

★Hopkins and Quataert (2010)



$$\frac{SFR}{\dot{M}_{\text{acc}}} = 1 - 100$$

理論モデルで異なる

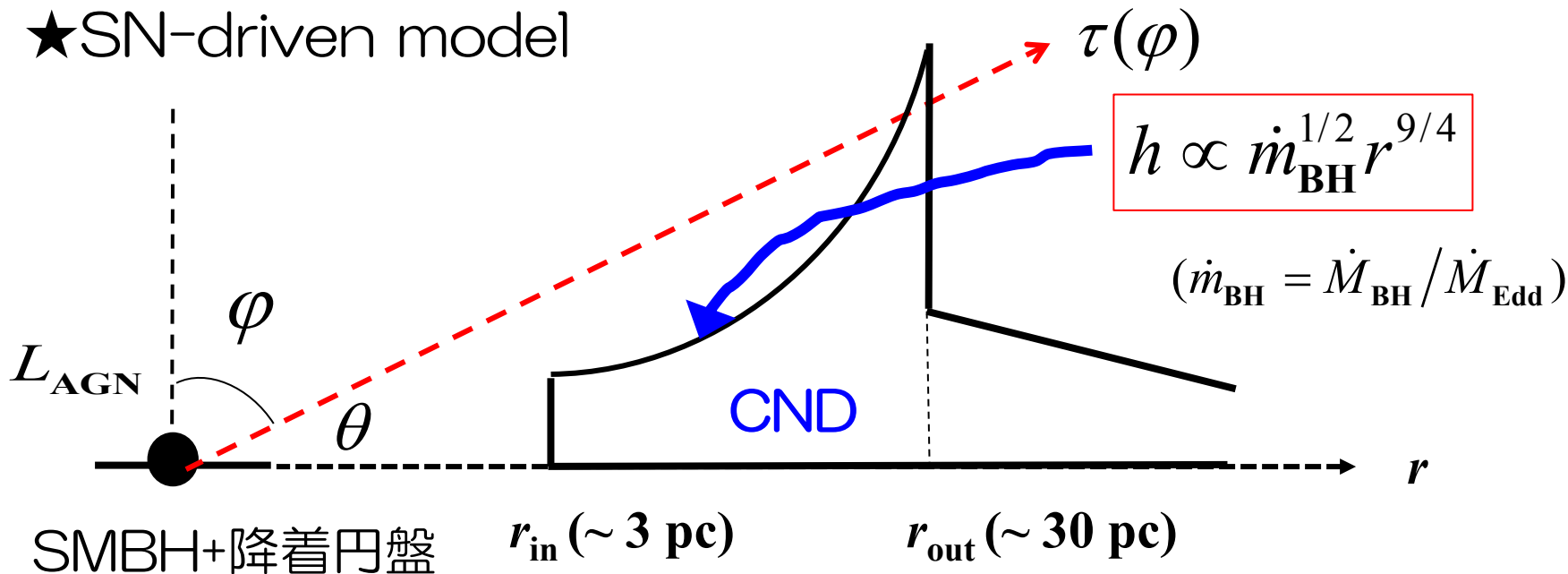
$$\frac{SFR}{\dot{M}_{\text{acc}}} \approx 10^3$$

★Thompson et al. (2005)

**Radiation-pressure supported CDN model**

# CNDの構造とAGNフィードバック

★SN-driven model



★AGNフィードバック（輻射圧）

Effective Eddington luminosity : 非等方放射 & 光学的厚み

$$\frac{\chi_d}{c} F(\mu) \frac{1 - e^{-\tau(\varphi)}}{\tau(\varphi)} = \frac{GM_{\text{BH}}}{r^2}$$

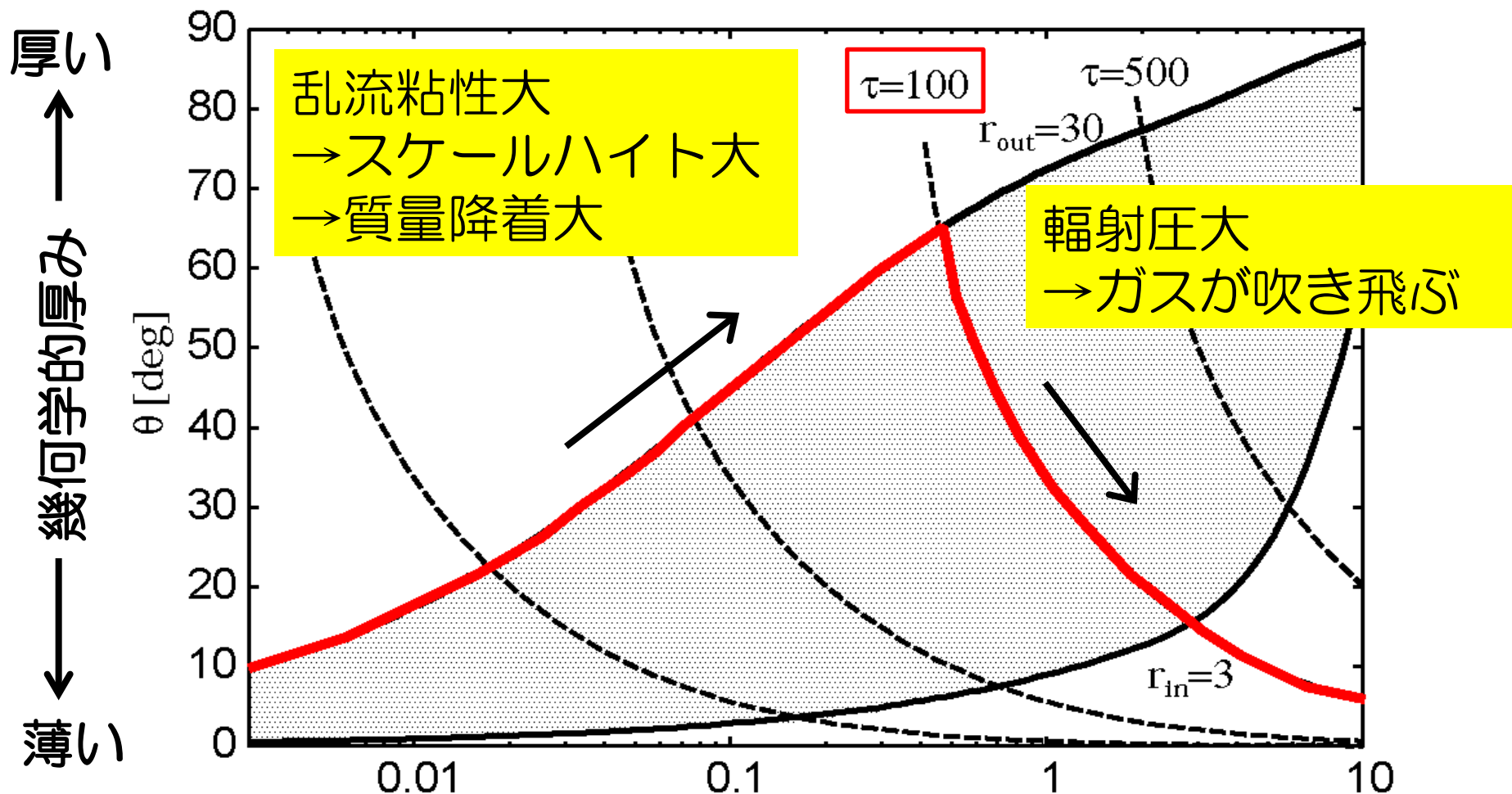
輻射圧

BH重力

$$F(\mu) = \frac{6}{7} \frac{L_{\text{AGN}}}{4\pi r^2} \mu(1 + 2\mu) : \quad \mu = \cos \varphi$$

see also Liu & Zhang 11; Kawaguchi & Mori 11

# CND構造とEddington光度比



- Eddington光度比の増加 → 幾何学的厚くなる。
- Eddington光度比が閾値を超える → 幾何学的に薄くなる。

AGNの遮蔽構造はEddington比に強く依存する。

# 臨界Eddington光度比

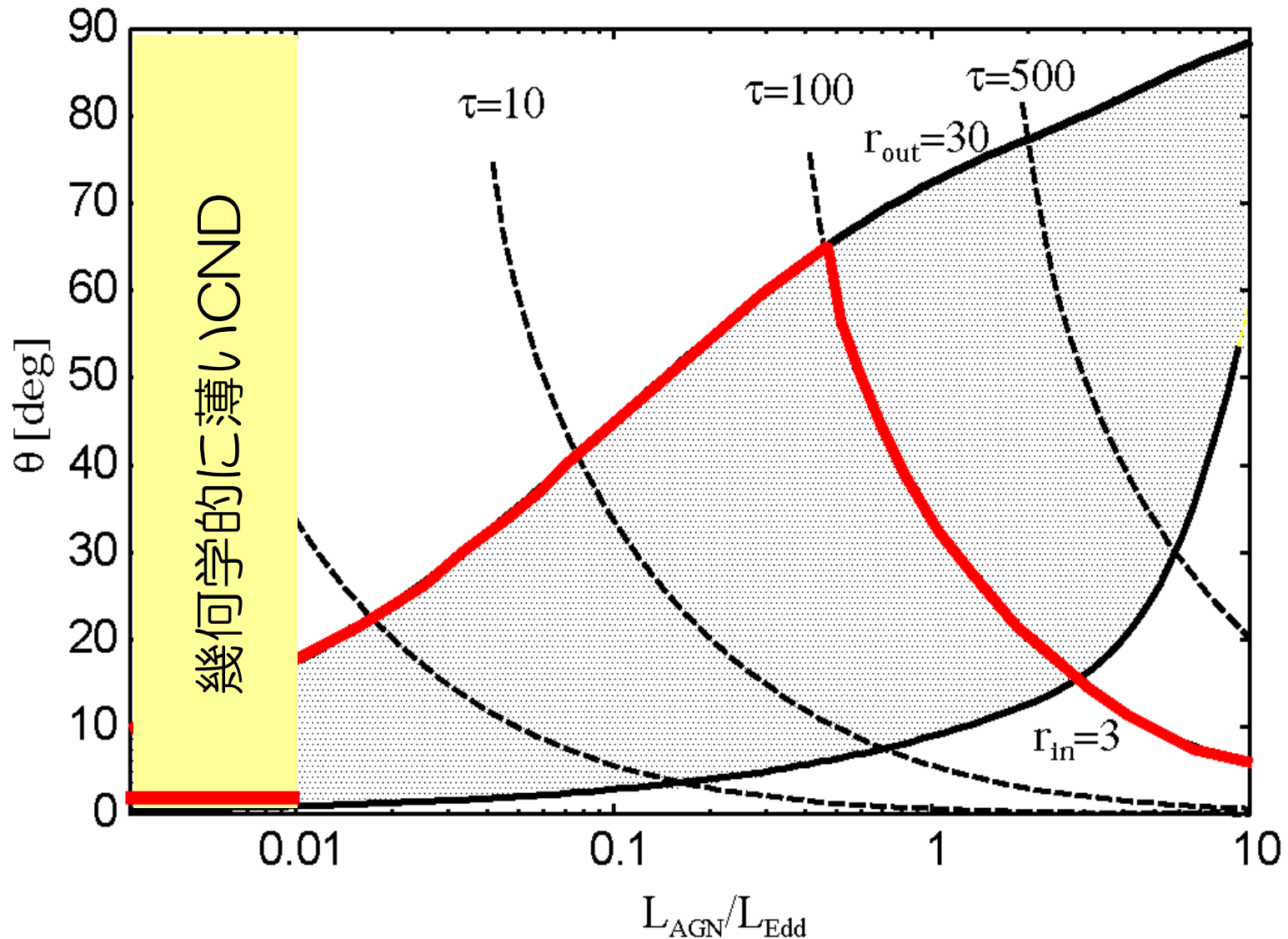
CNDが重力的に不安定になる条件

$$\left(\frac{\dot{M}_{\text{acc}}}{\dot{M}_{\text{Edd}}}\right)_{\text{crit}} \approx 0.1 \left(\frac{r_{\text{in}}}{3\text{pc}}\right)^{3/2} \left(\frac{C_*}{10^{-7}\text{yr}^{-1}}\right) \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}}\right)^{-3/2}$$
$$\Rightarrow \left(\frac{L_{\text{AGN}}}{L_{\text{Edd}}}\right)_{\text{crit}} = 0.01 \left(\frac{r_{\text{in}}}{3\text{pc}}\right)^{3/2} \left(\frac{C_*}{10^{-7}\text{yr}^{-1}}\right) \left(\frac{M_{\text{BH}}}{10^8 M_{\odot}}\right)^{-3/2}$$

これ以下になるとCNDは重力的に安定となる。

- ⇒ 星形成が抑制され、幾何学的に薄くなる（ガス圧で支える）
- ⇒ AGN遮蔽には効かない

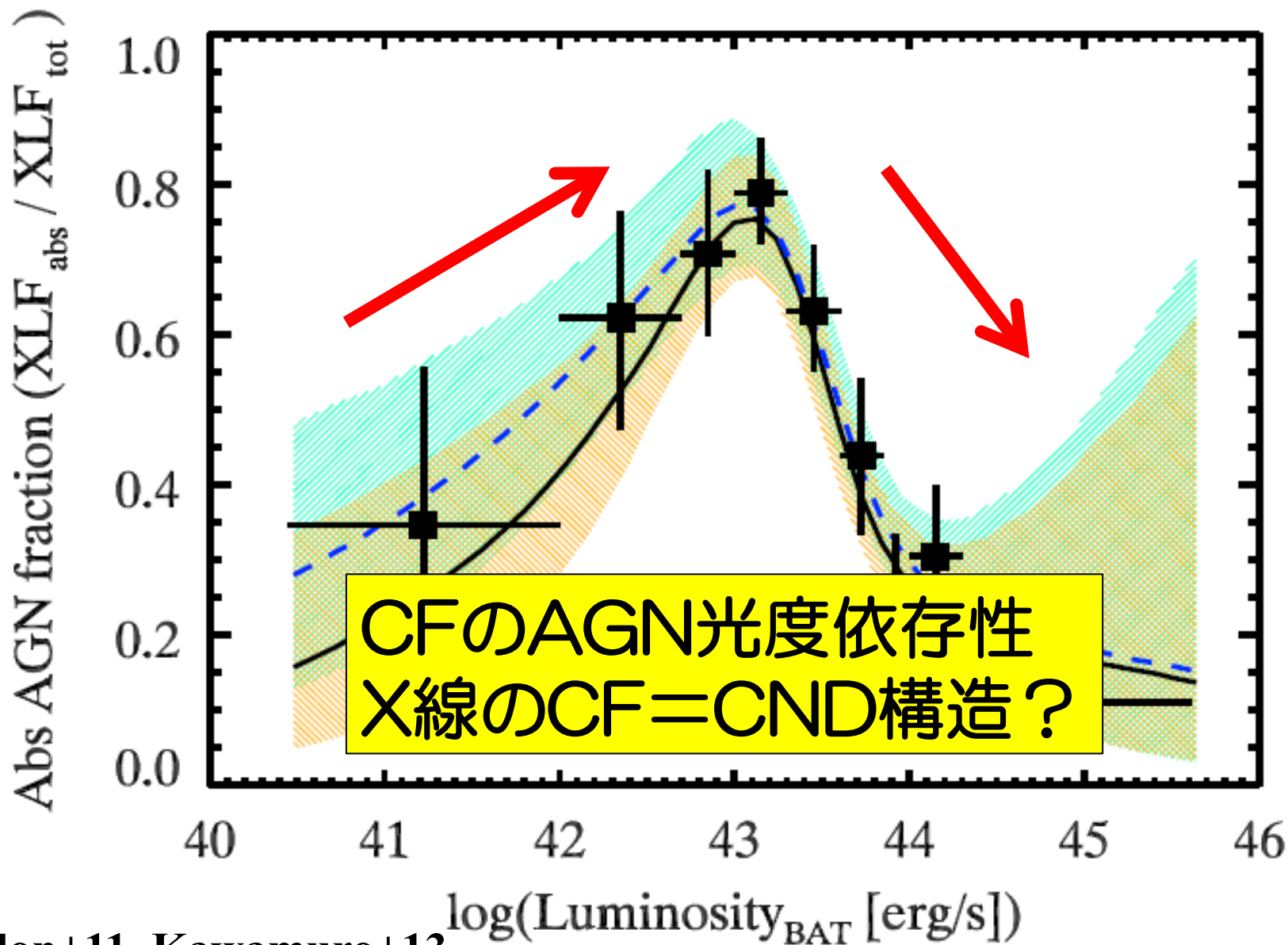
# CNDs in Low Eddington AGNs



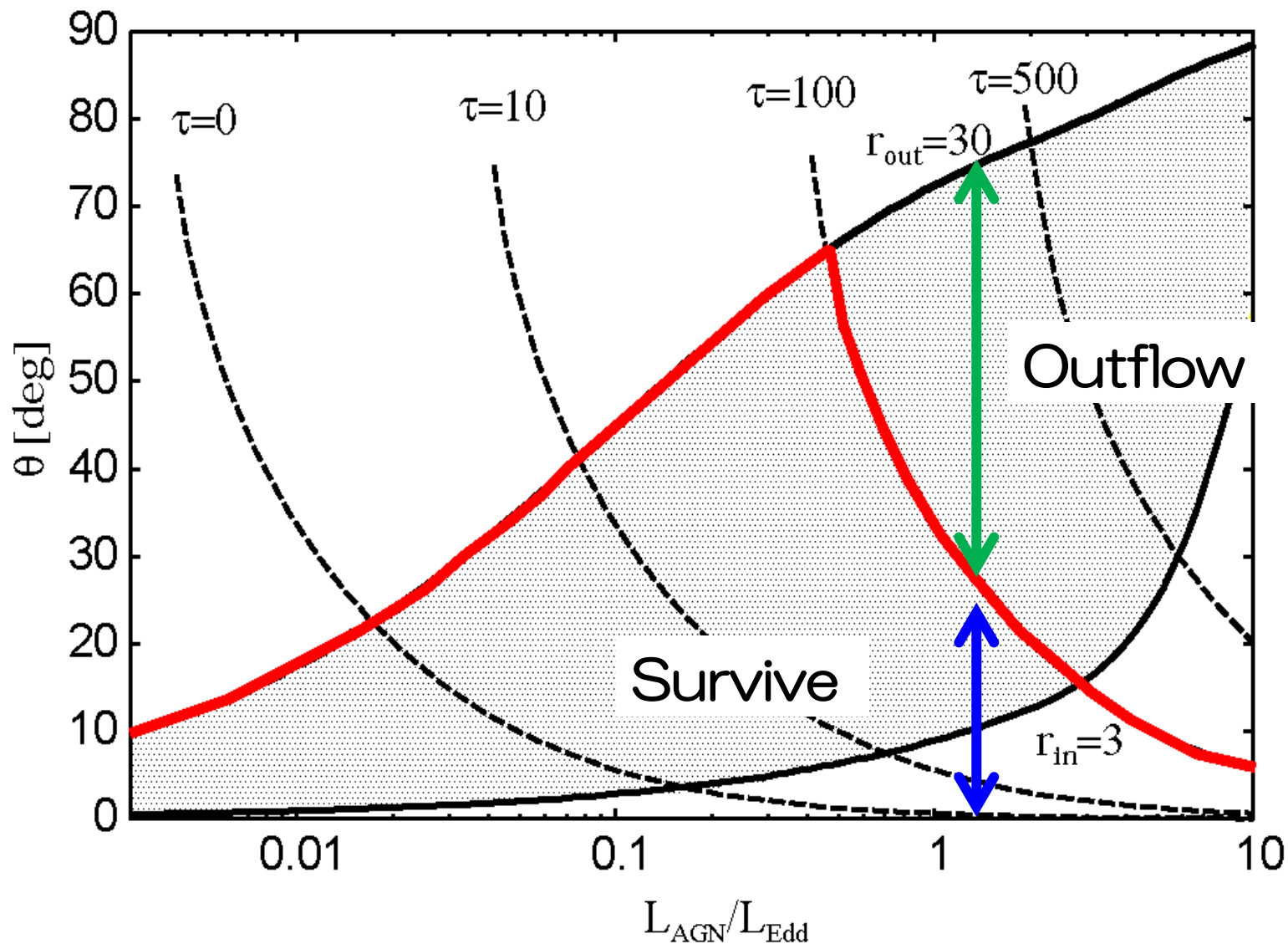
臨界Eddington光度比以下になると、Thick CND消失



# 観測：3 year SWIFT-BAT survey



# Super Eddington降着+AGN wind

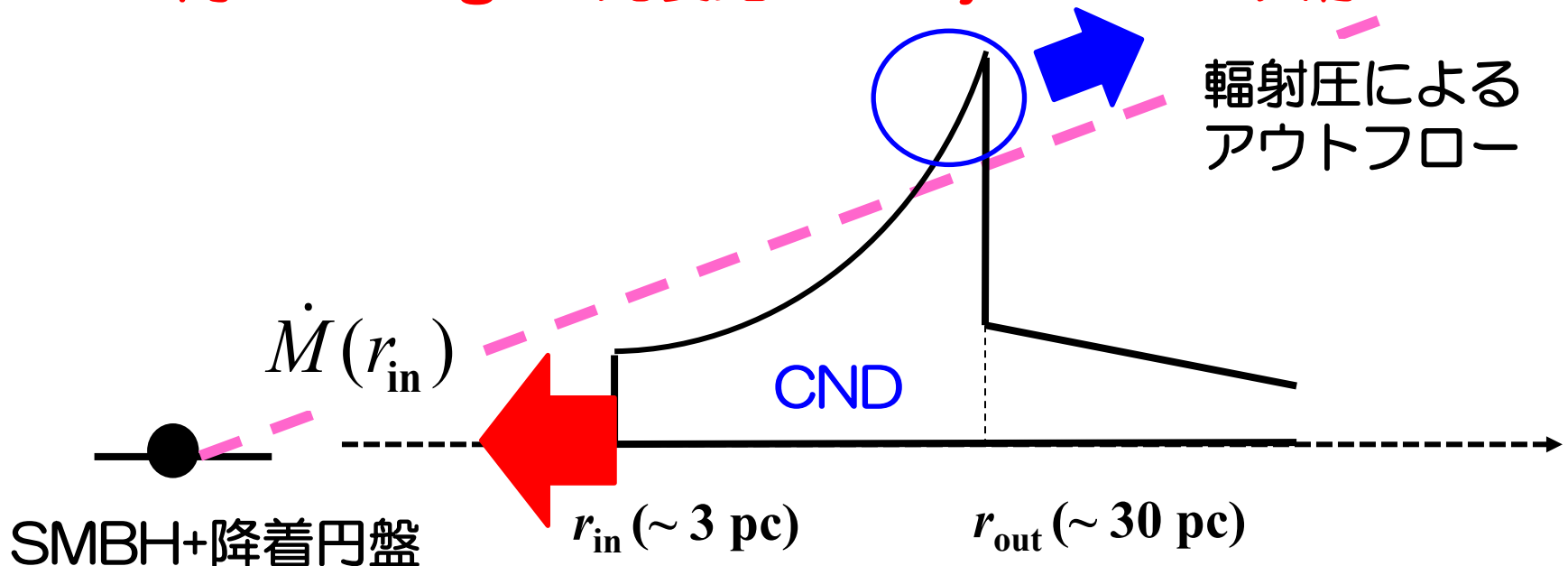


輻射圧によるWindとSuper-Edd降着は共存できる

# 小まとめ

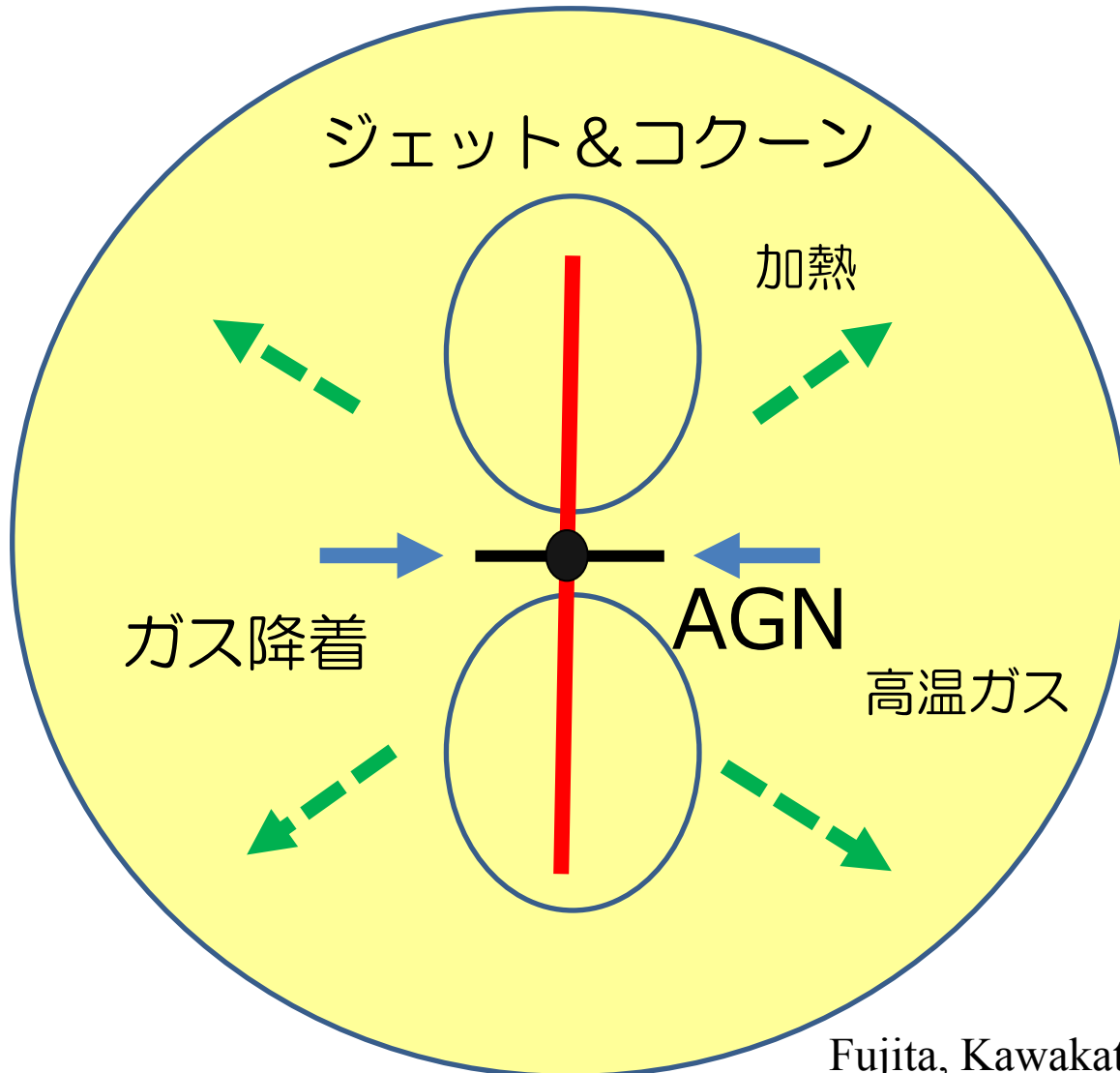
- 質量降着率はCNDの面密度とSMBH質量に依存する。
- 最終的なSMBH質量は、CNDの面密度で決まる。
- AGN遮蔽は、Eddington光度比に依存する。
  - (i) 臨界Eddington光度比以下：幾何学的に厚いCND消失
  - (ii) Eddington光度比とともに、幾何学的に厚くなる。
  - (iii) あるEddington光度比を超えると、AGN windにより幾何学的厚みは小さくなる。

高いEddington光度比+dusty outflow 共存

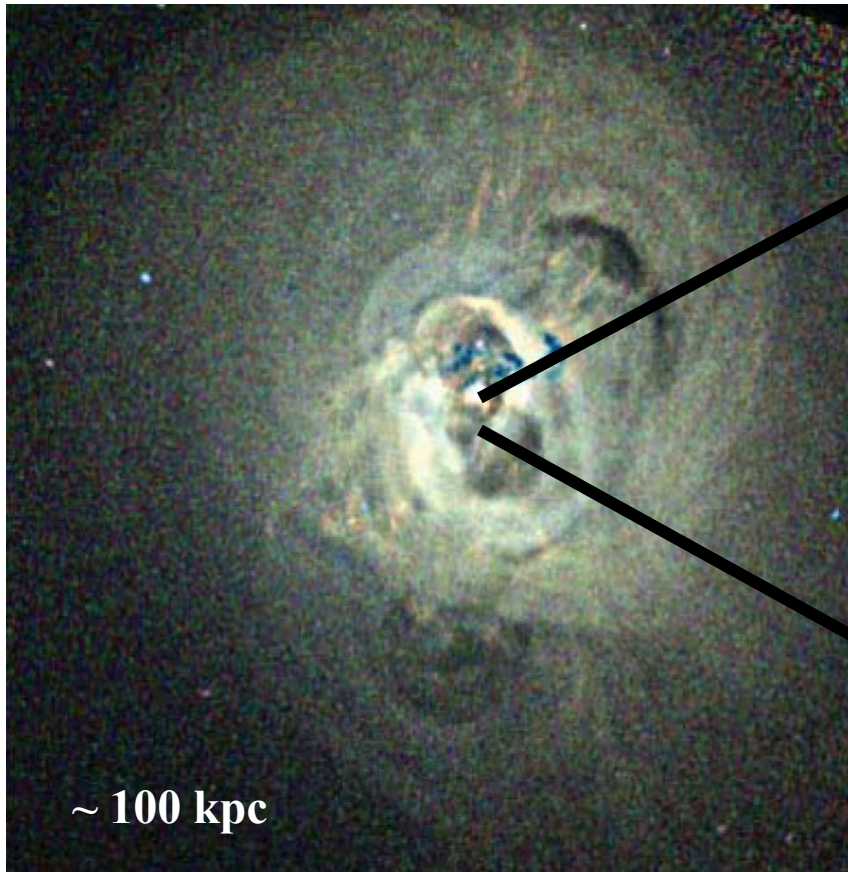


# SMBH近傍(～10pc)の環境

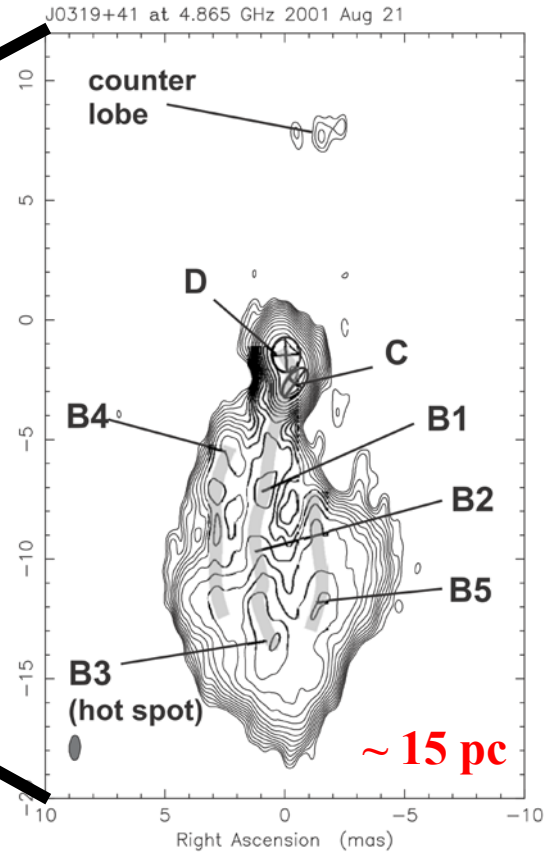
ミニジェットを持つ電波銀河に注目



# ターゲット：3C84 (NGC1275)



Core of the Perseus (Fabian et al. 2008)



VSOP observation Asada et al. (2006)

コクーンモデル+電波観測  
⇒ ~10pcのガスの特徴を探る!

# ココーンモデル

**jet momentum is balanced with ram-pressure**

$$\frac{L_j}{v_j} = \rho(r_h) v_h(t)^2 A_h(t)$$

$L_j$ : jet power (constant)

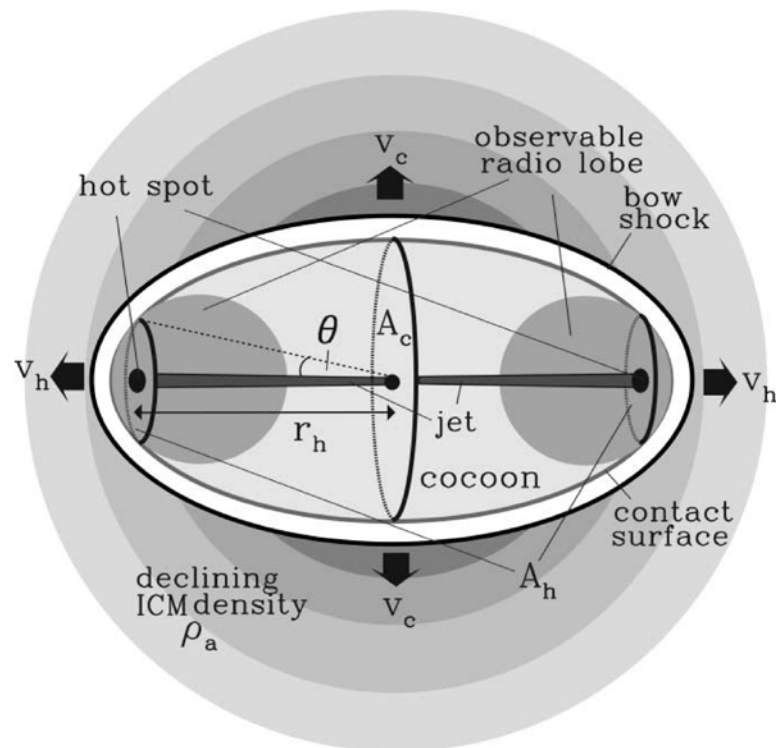
$v_j$ : jet matter velocity ( $\sim c$ )

$\rho$ : ambient gas density

$v_h$ : jet advance velocity ( $< c$ )

$A_h$ : area of jet head

$$\rho(r) = \rho_B (r/r_B)^{-\alpha}$$

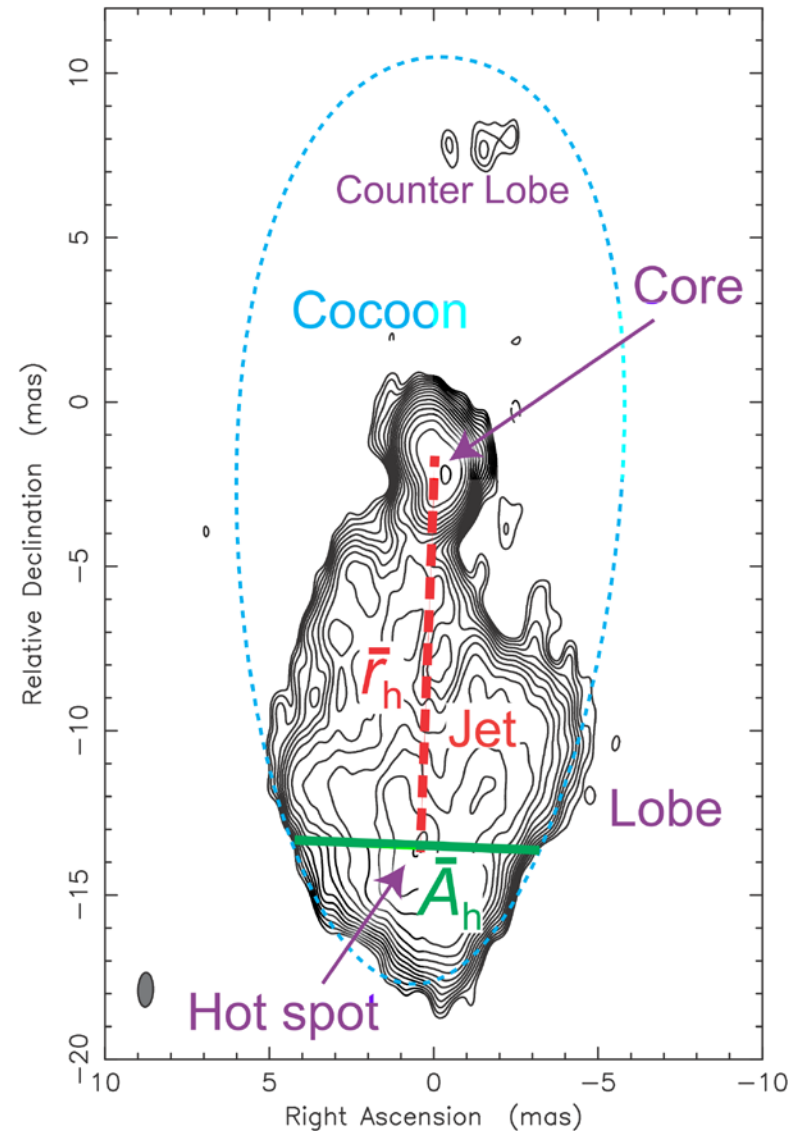


Ito et al. (2008)



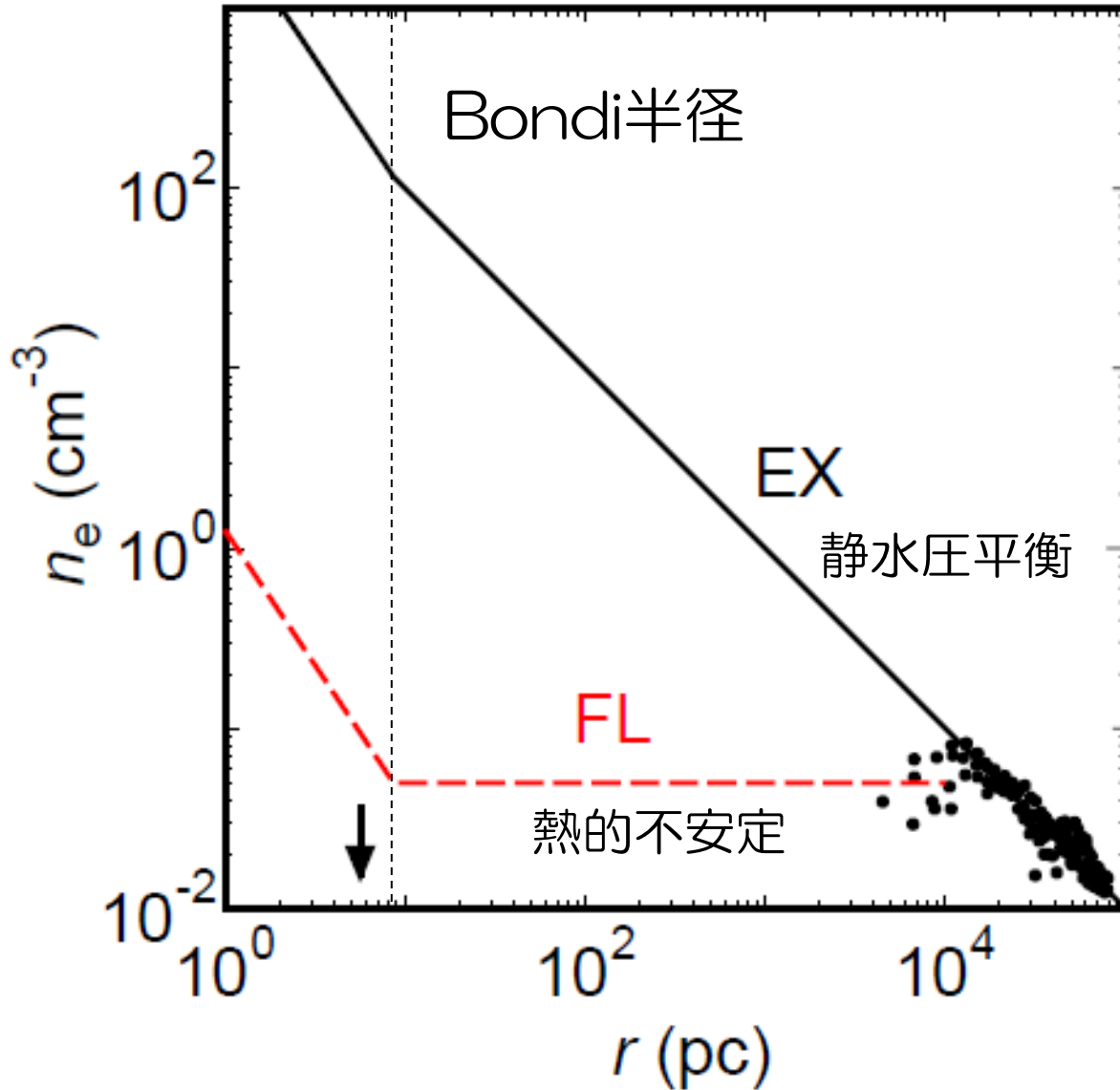
# 3C84 : 観測

- Asada et al. (2006)
  - Jet length
    - $r_h(t_{\text{age}}) = 5.6 \text{ pc}$
  - Velocity of the hot spot
    - $v_h(t_{\text{age}}) = 0.32 c$
  - Area of the cocoon head
    - $A_h(t_{\text{age}}) = 5.9 \text{ pc}^2$



Fujita, Kawakatu, Shlosman, Ito (2015)

# 周辺ガスの密度分布



矢印：  
ジェットサイズ



# 結果

## ★ Model EX; high density

$$2 L_j \sim 10^{47} \text{ erg s}^{-1}$$

$$2 L_j / L_{\text{Edd}} \sim 1$$

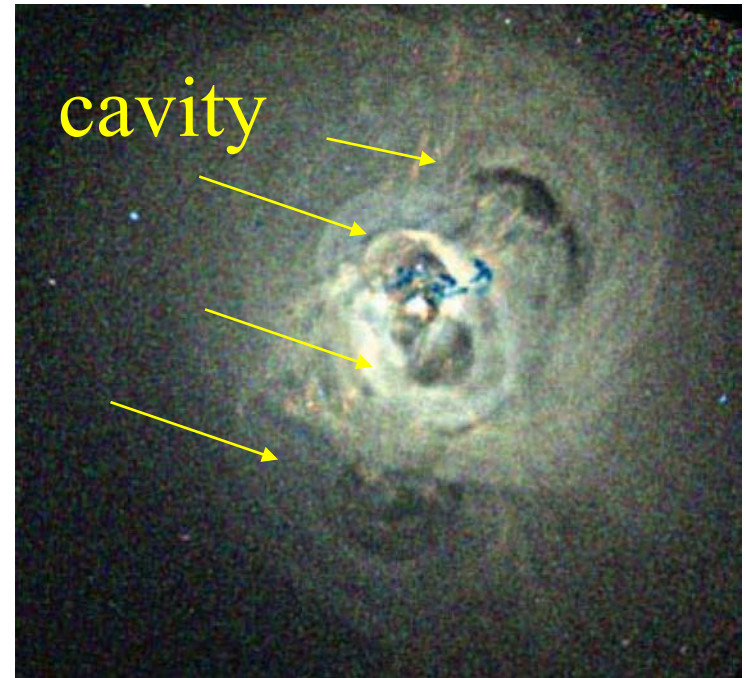
$$2 L_j / P_{\text{cav}} = 870 \gg 1$$

## ★ Model FL; low density

$$2 L_j \sim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$$

$$2 L_j / L_{\text{Edd}} \sim 10^{-4}$$

$$2 L_j / P_{\text{cav}} = 0.4$$



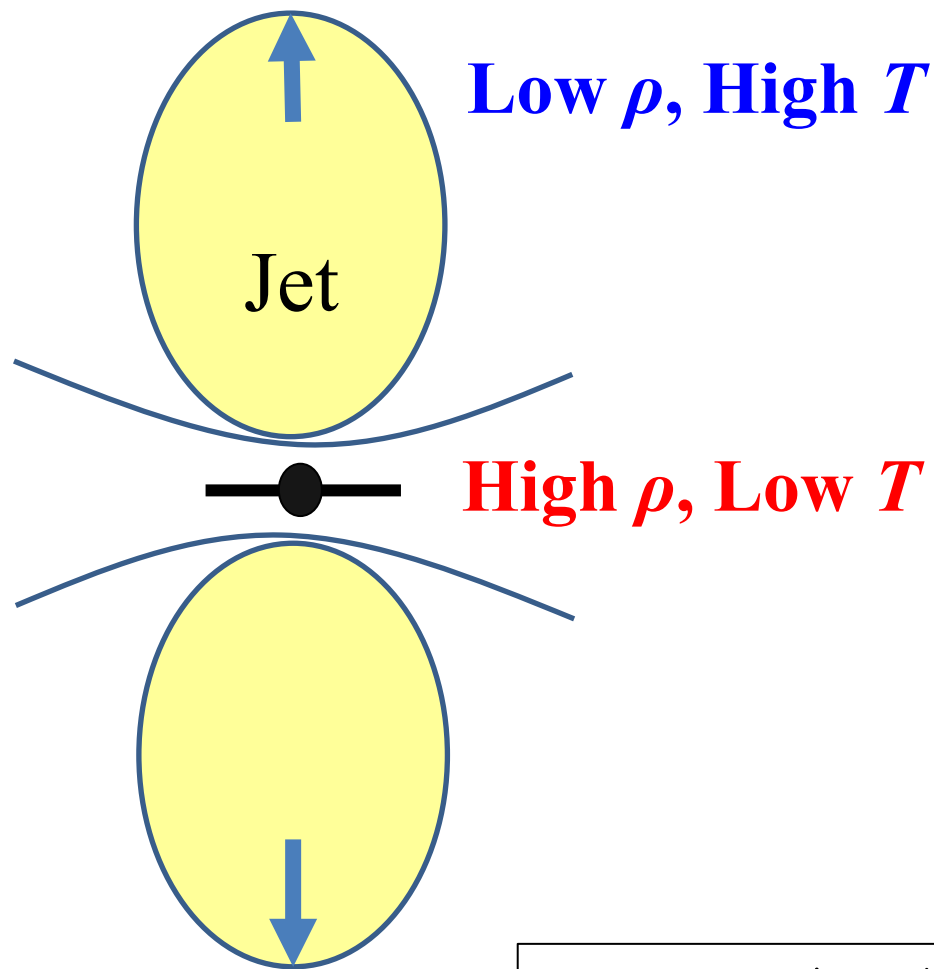
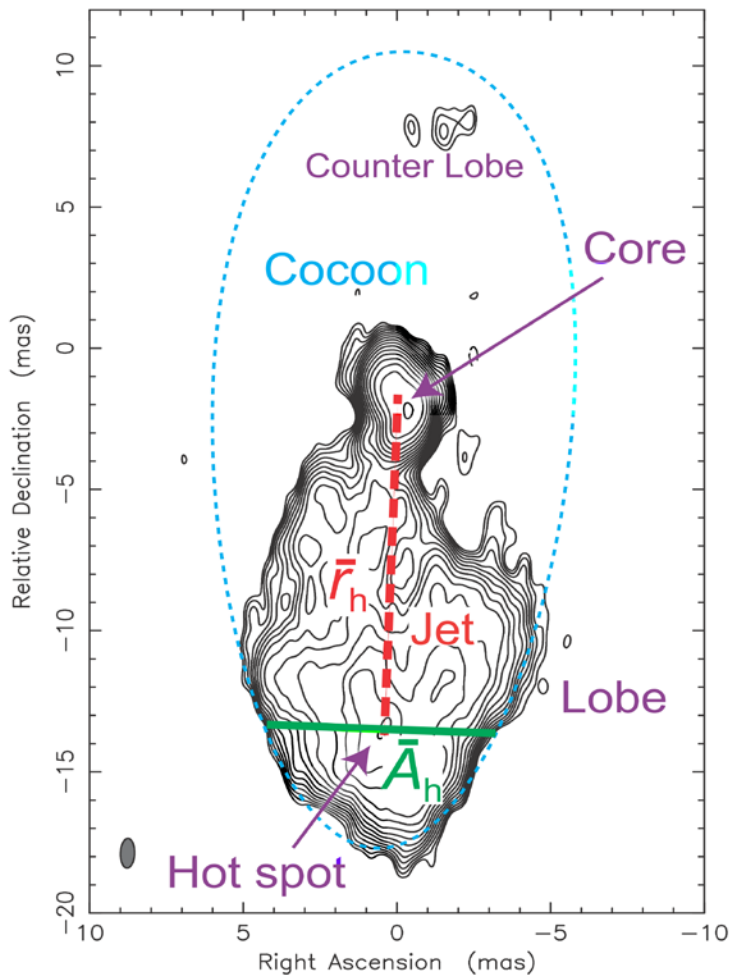
Core of the Perseus  
(Fabian et al. 2008)

$$P_{\text{cav}} = 1.5 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$$

“old x-ray cavity”

ミニジェット周辺ガスの密度は低い ( $0.05 \text{ cm}^{-3}$ )

# 議論



ALMAで観測

高密度ガスの存在  $>10000 \text{ cm}^3$   
(O' Dea et al. 1984)

$2 L_j / L_{\text{Edd}} \sim 10^{-4}$   
 $\Rightarrow$ 幾何学的に薄いCNDが存在か。