

爆発的星形成による 活動銀河中心核の形成と進化

渡部 靖之
(筑波大 D3 学振研究員)

平下 博之、梅村 雅之(筑波大)
川勝 望、今西 昌俊(国立天文台)

銀河中心のブラックホールまで、どのように物質を運ぶのか



Circumnuclear starburst と AGN

(中心から数100pc 領域の starburst)

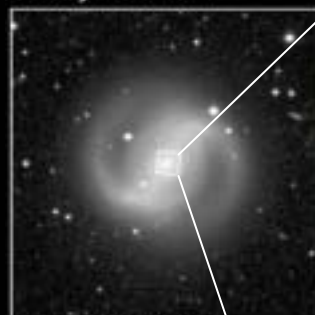
Galaxy NGC 7742



Hubble
Heritage

PRC98-28 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

Galaxy NGC 4314



McDonald Observatory

PRC98-21 • June 11, 1996
ST ScI • OPO
G. F. Benedict (University of Texas)
and NASA

HST

Hubble Space Telescope • WFPC2



半径: 数 100 pc

全光度: $10^9 - 10^{11} L_{\odot}$

爆発的星形成領域の内側の構造に注目

→ 理論モデルを観測データを用いて検証

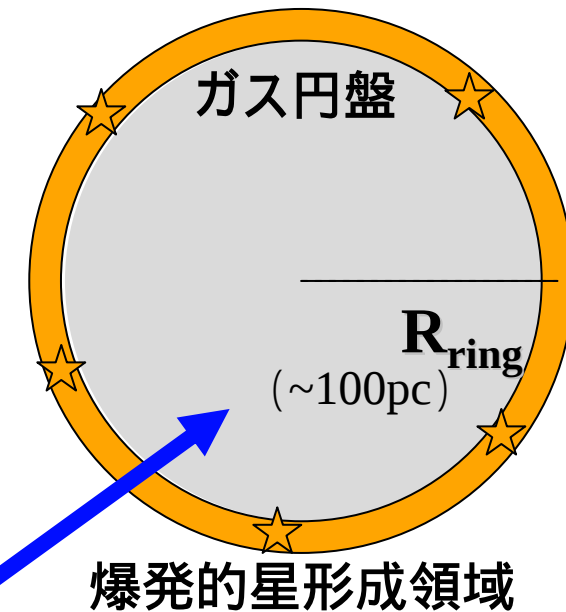
輻射流体力学モデル

構造

- ・リング状の爆発的星形成領域
- ・爆発的星形成領域の内側のガス円盤

注目する物理過程

爆発的星形成による輻射圧



ガス円盤の構造に注目

基礎方程式

動径方向

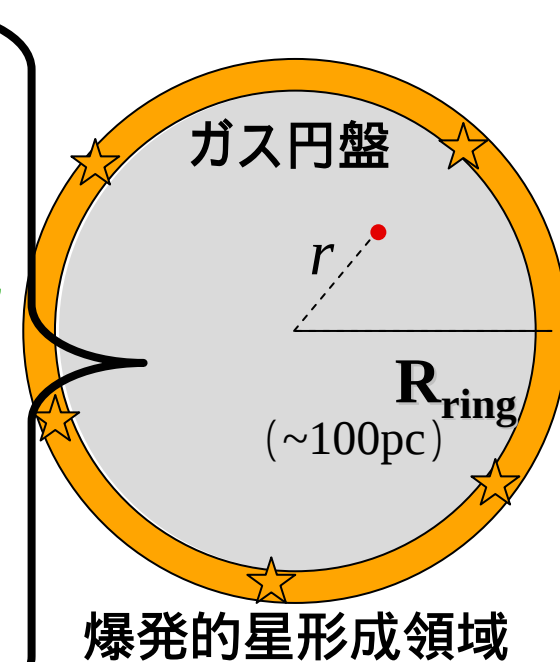
$$\frac{dv_r}{dt} = \frac{v_\phi^2}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{d\Phi}{dr} + \boxed{\frac{\chi}{c} F^r} - \boxed{\frac{3}{2} \frac{\chi}{c} E v_r}$$

typical timescale **Myr** << **Gyr**

輻射圧 輻射抵抗

方位角方向

$$\frac{1}{r} \frac{d(rv_\phi)}{dt} = \boxed{\frac{3\chi E}{2c} \frac{r}{R_{\text{ring}}} V_{\text{ring}}} - \boxed{\frac{3\chi E}{2c} v_\phi}$$



$$\frac{d\Phi}{dr} \equiv \frac{GM_{\text{dyn}}}{r^2} : \text{ケプラー回転}$$

$$M_{\text{dyn}} = \frac{V_{\text{ring}}^2 R_{\text{ring}}}{G} : \text{力学的質量}$$

χ : 質量吸収係数
 F^r : 輻射フラックス
 E : 輻射エネルギー密度
 V_{ring} : リングの回転速度

輻射圧の効果

動径方向

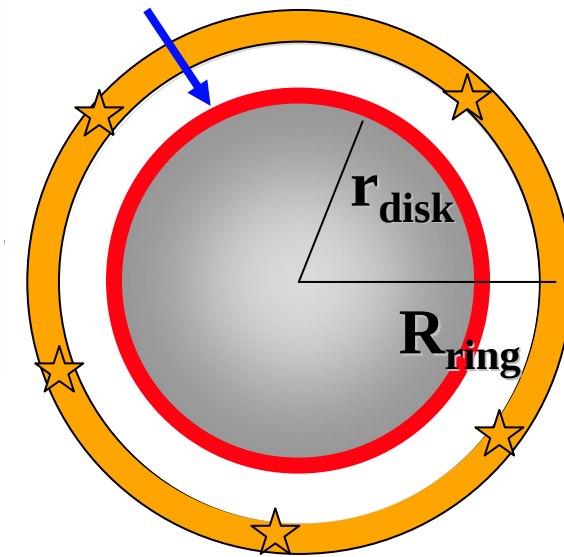
$$\frac{dv_r}{dt} = \frac{v_\phi^2}{r} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{d\Phi}{dr} + \boxed{\frac{\chi}{c} F^r}$$

輻射圧

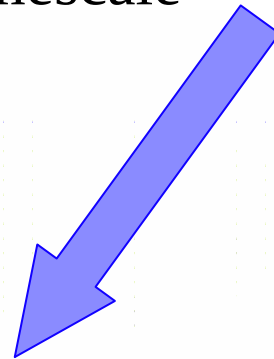
typical
timescale

Myr

圧縮されたガス円盤



爆発的星形成領域

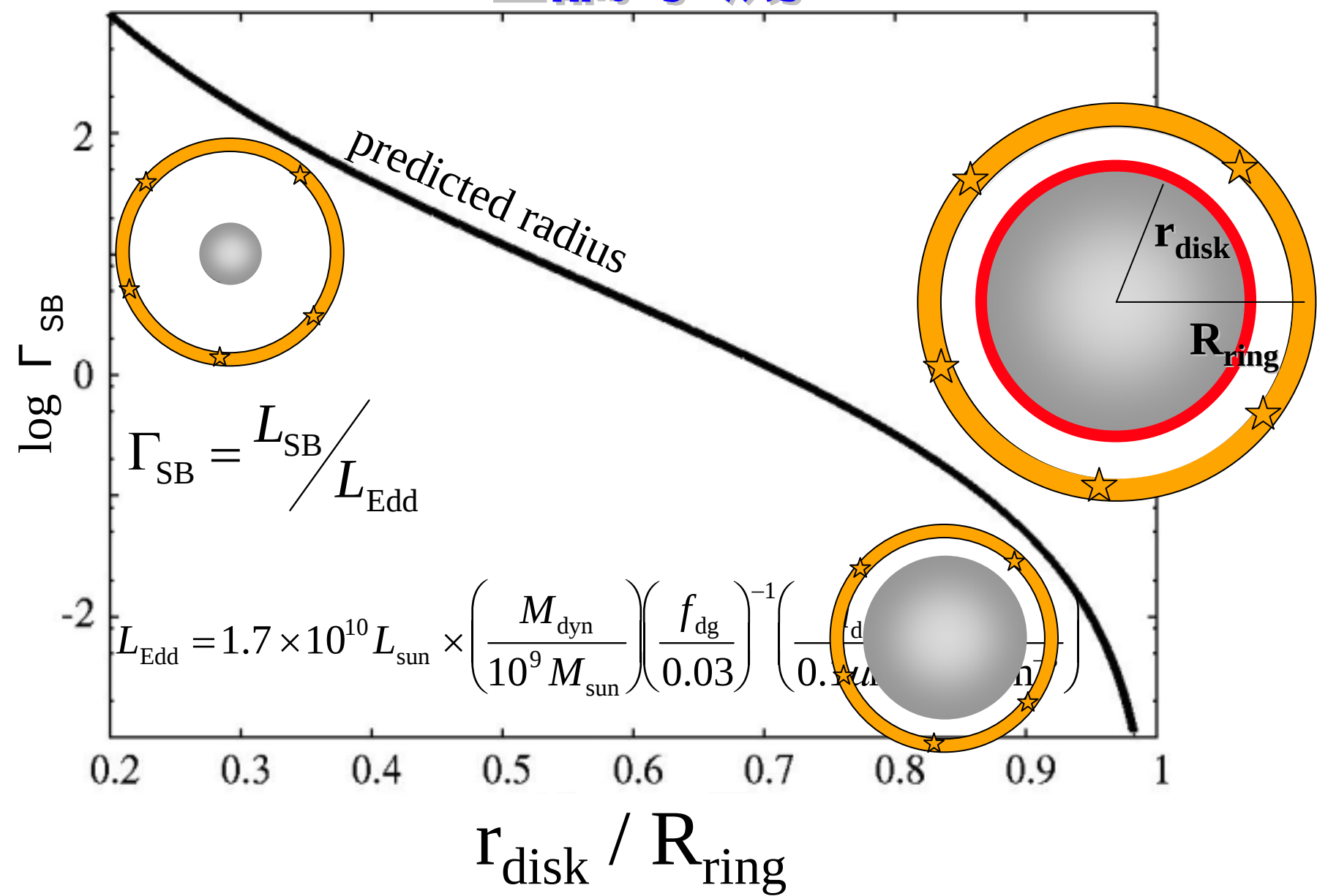


動径方向の輻射圧によるガス円盤の圧縮

→ 回転平衡 (重力、遠心力、輻射圧)
のガス円盤が形成される

- 見積もり -
圧縮されたガス円盤
の平衡半径

理論予測



サンプルデータ

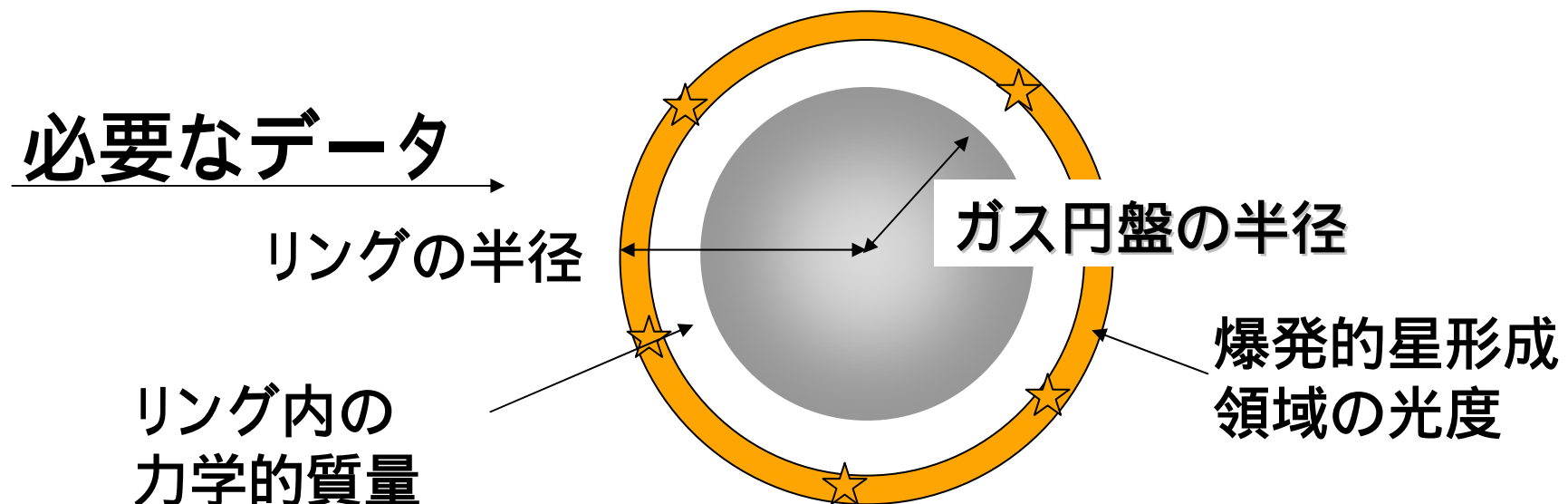
Knapen 2005

non-AGN (15)

NGC278, 1300, 1512, 2903, 2997, 3184, 3344, 3351,
3593, 4254, 4984, 6574, 7552, 7742, 7771

AGN (12)

NGC1068, 1097, 3486, 4303, 4314, 4321, 4736, 4826,
5248, 6951, 7217, 7469, Circinus galaxy



サンプルデータ

Knapen 2005

non-AGN (15)

NGC278, 1300, 1512, 2903, 2997, 3184, 3344, 3351,
3593, 4254, 4984, 6574, 7552, 7742, 7771

AGN (12)

Seyfert galaxy

LINER

NGC1068, 1097, 3486, 4303, 4314, 4321, 4736, 4826,
5248, 6951, 7217, 7469, Circinus galaxy

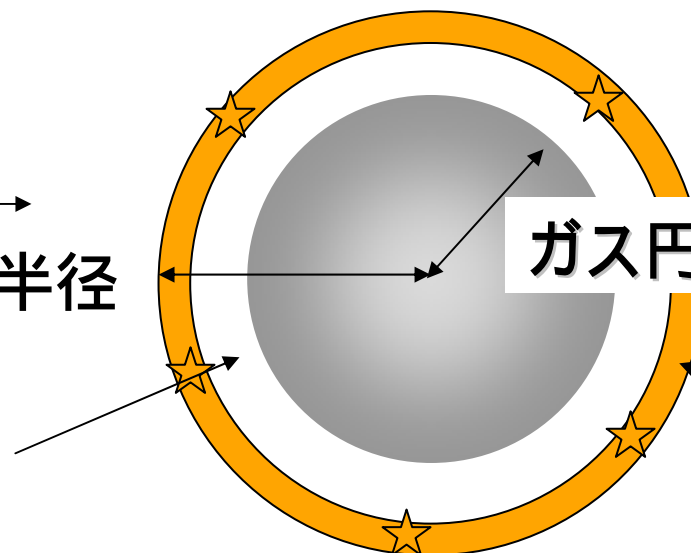
必要なデータ

リングの半径

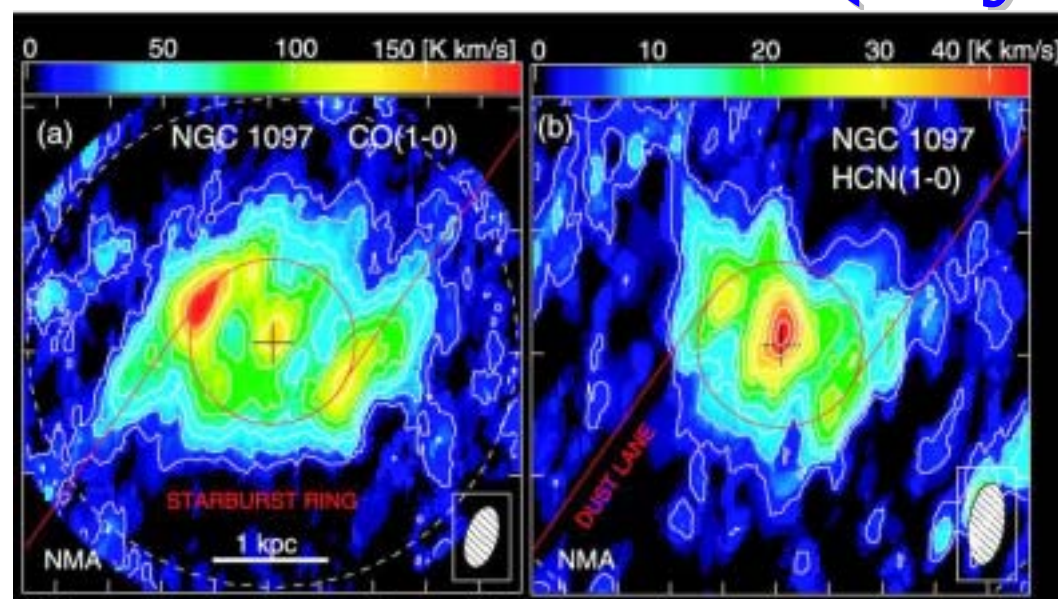
ガス円盤の半径

爆発的星形成
領域の光度

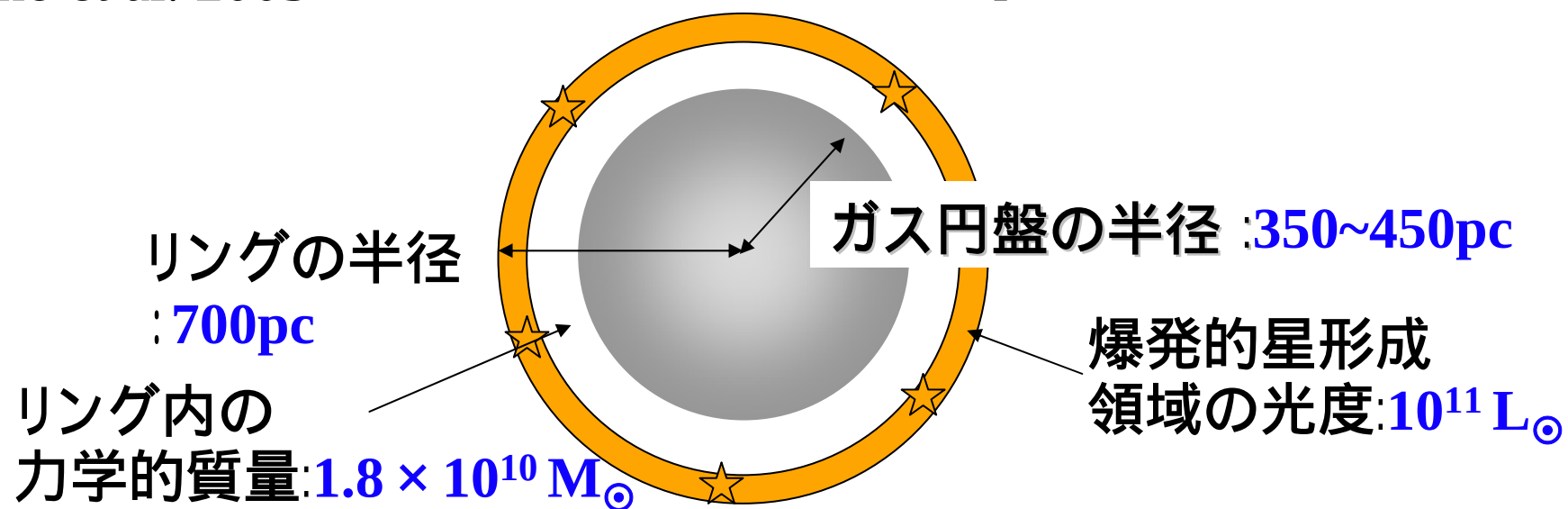
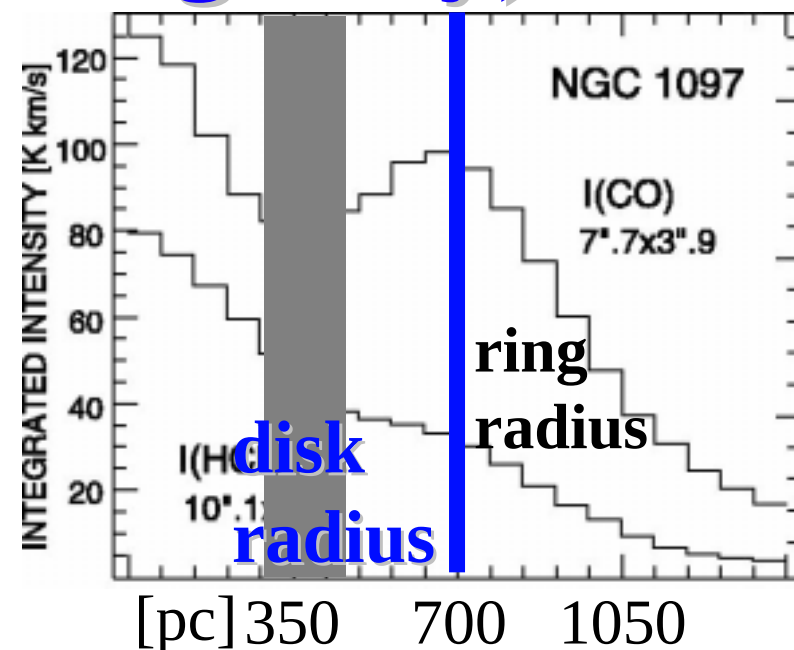
リング内の
力学的質量



NGC1097 (Seyfert galaxy)



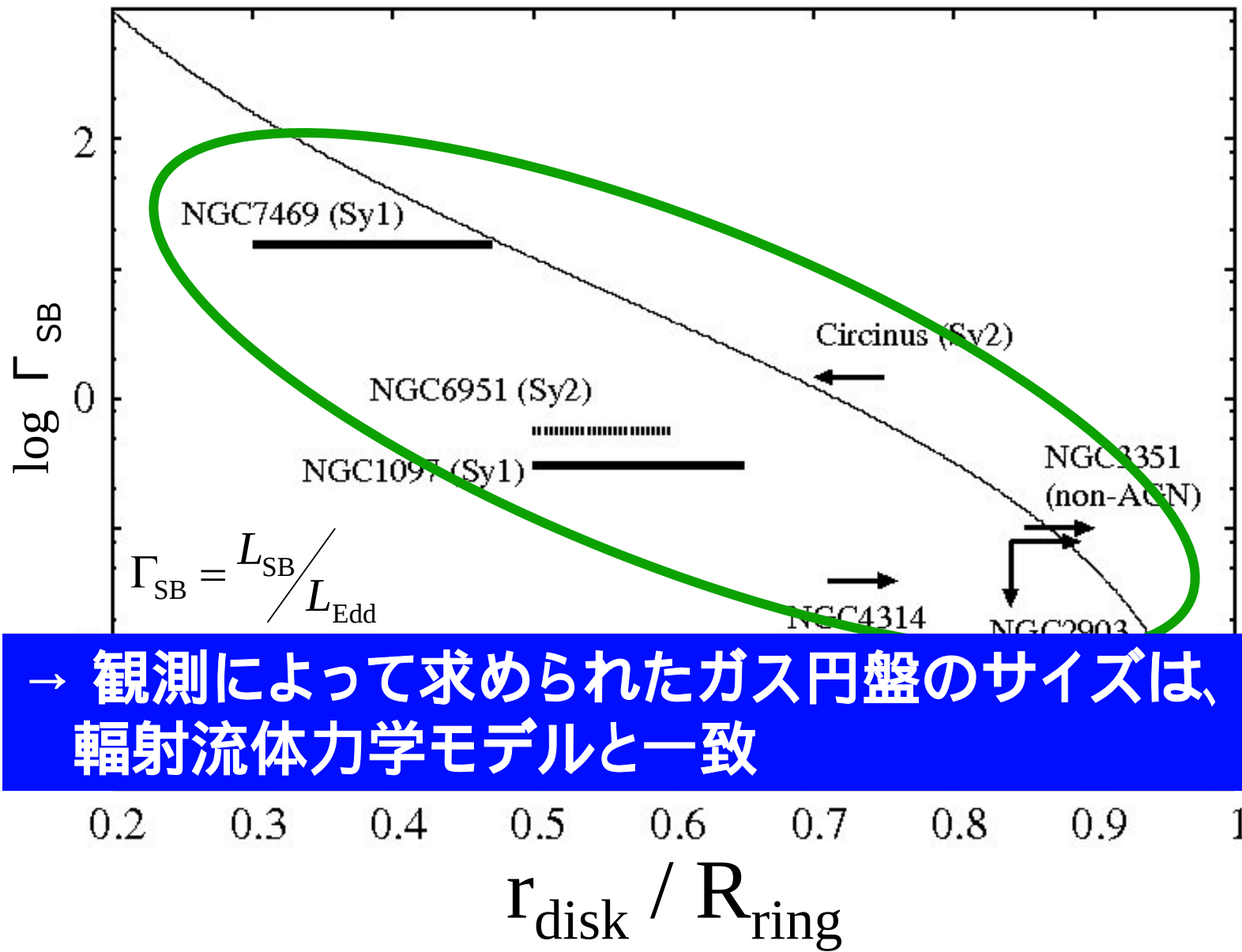
Kohno et al. 2003



結果：理論と観測の比較

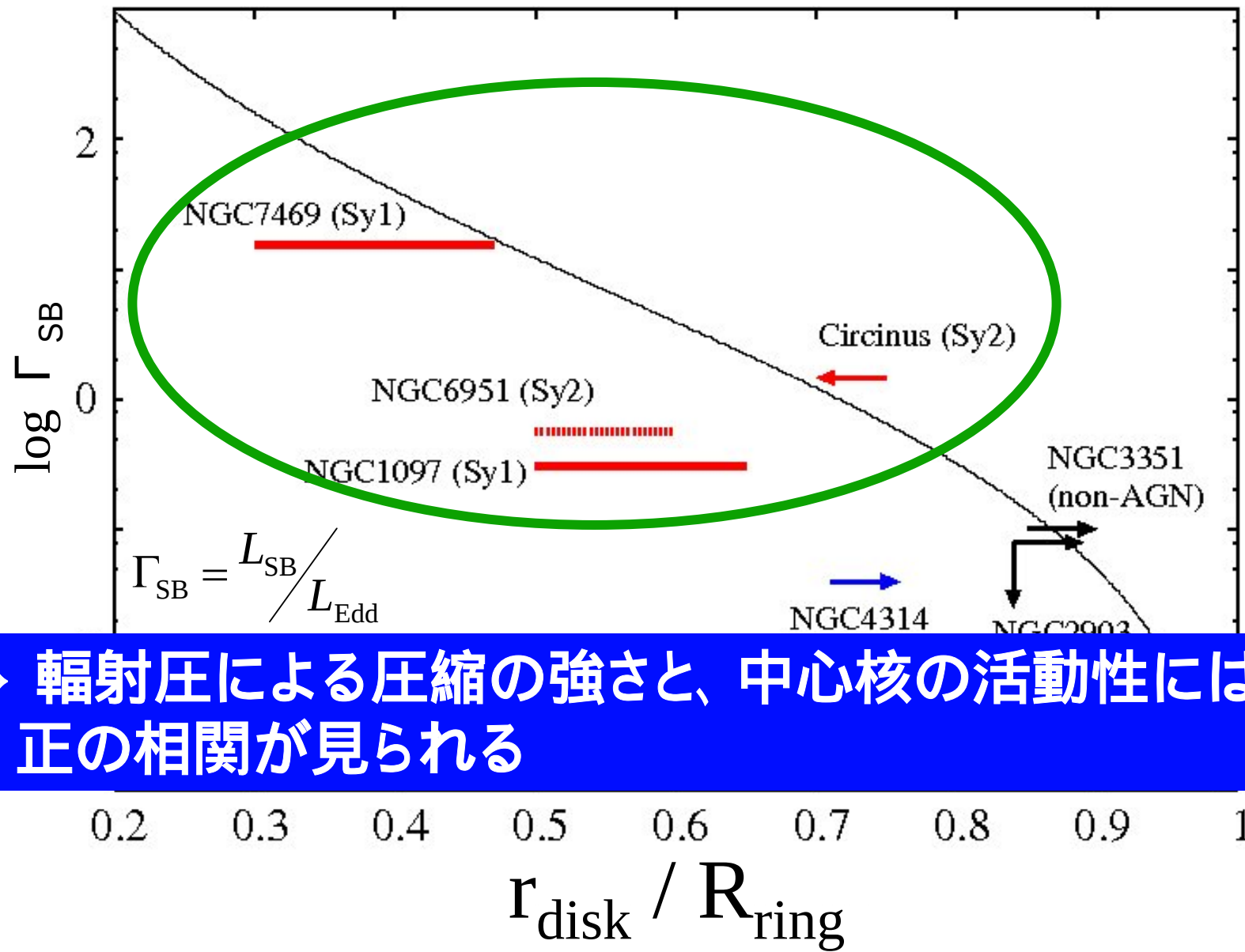
- ・ 輻射圧によるガス円盤の圧縮
- ・ 爆発的星形成による中心核活動性

結果: 輻射圧によるガス円盤の圧縮



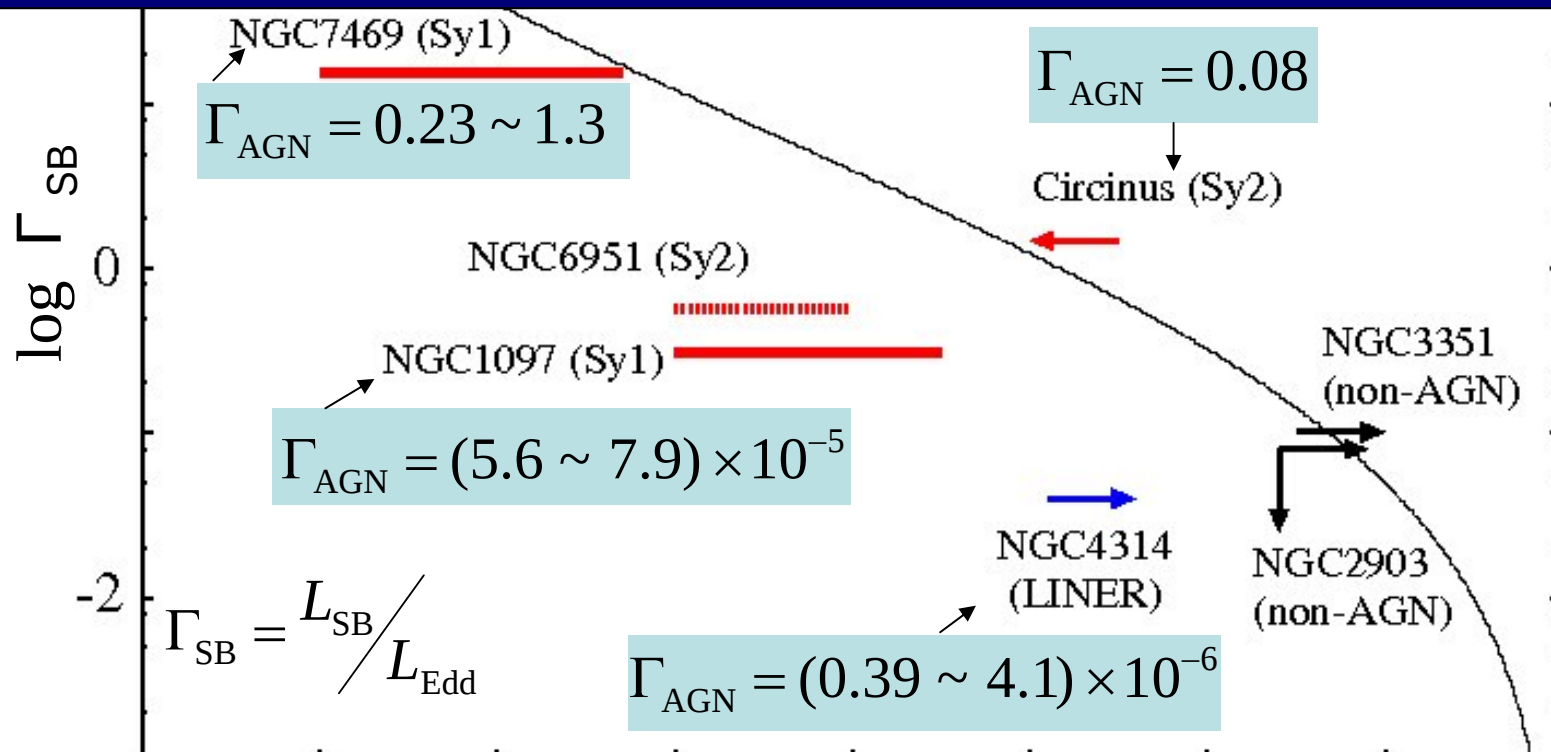
→ 観測によって求められたガス円盤のサイズは、
輻射流体力学モデルと一致

結果:爆発的星形成による中心核活動性



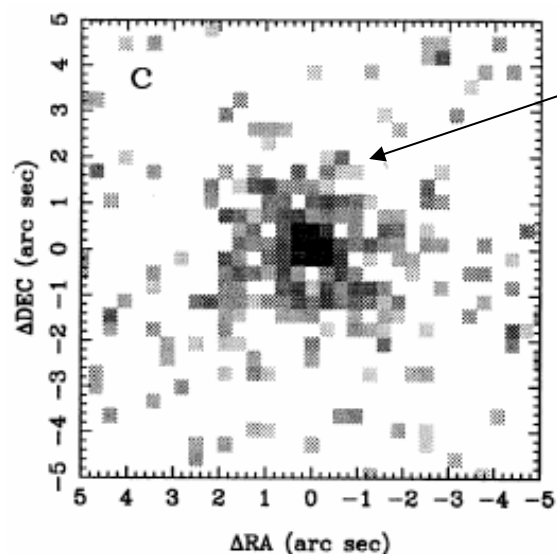
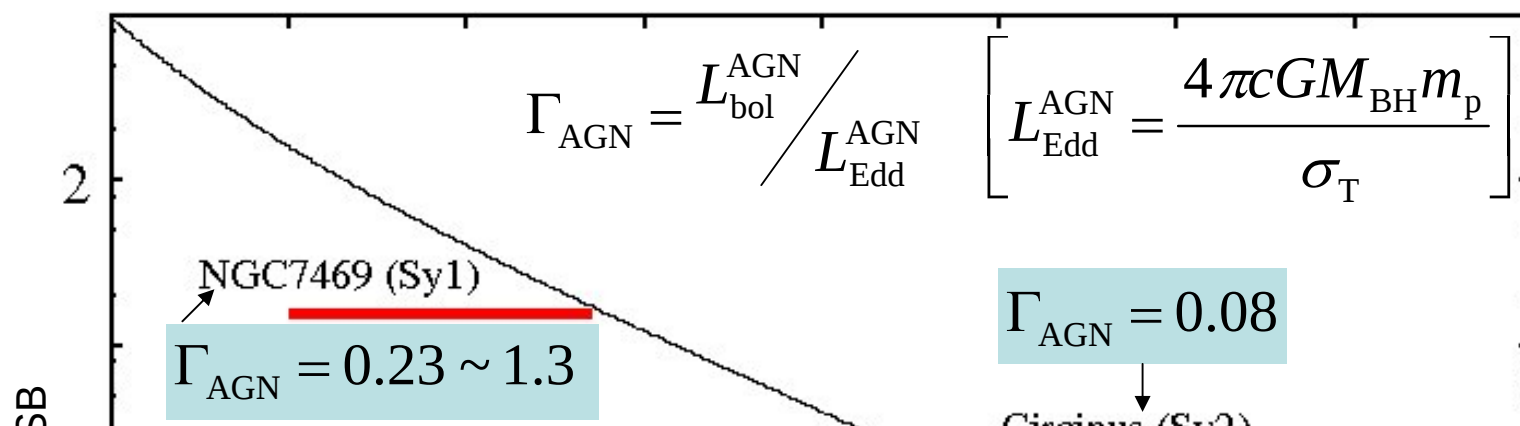
→ 輻射圧による圧縮の強さと、中心核の活動性には、正の相関が見られる

Γ_{SB} - Γ_{AGN} 関係 爆発的星形成の”実効的な”輻射の効果と AGNの活動性 の関係



→ 輻射圧による圧縮の強さと、質量降着率の間にも
 正の相関が見られる

連続的な爆発的星形成



3.3 μm PAH 輝線 Mazzarella et al. 1994

→ 100 pc以内の爆発的星形成を示唆

輻射圧によるガス円盤の圧縮
→ 星形成を誘発する可能性

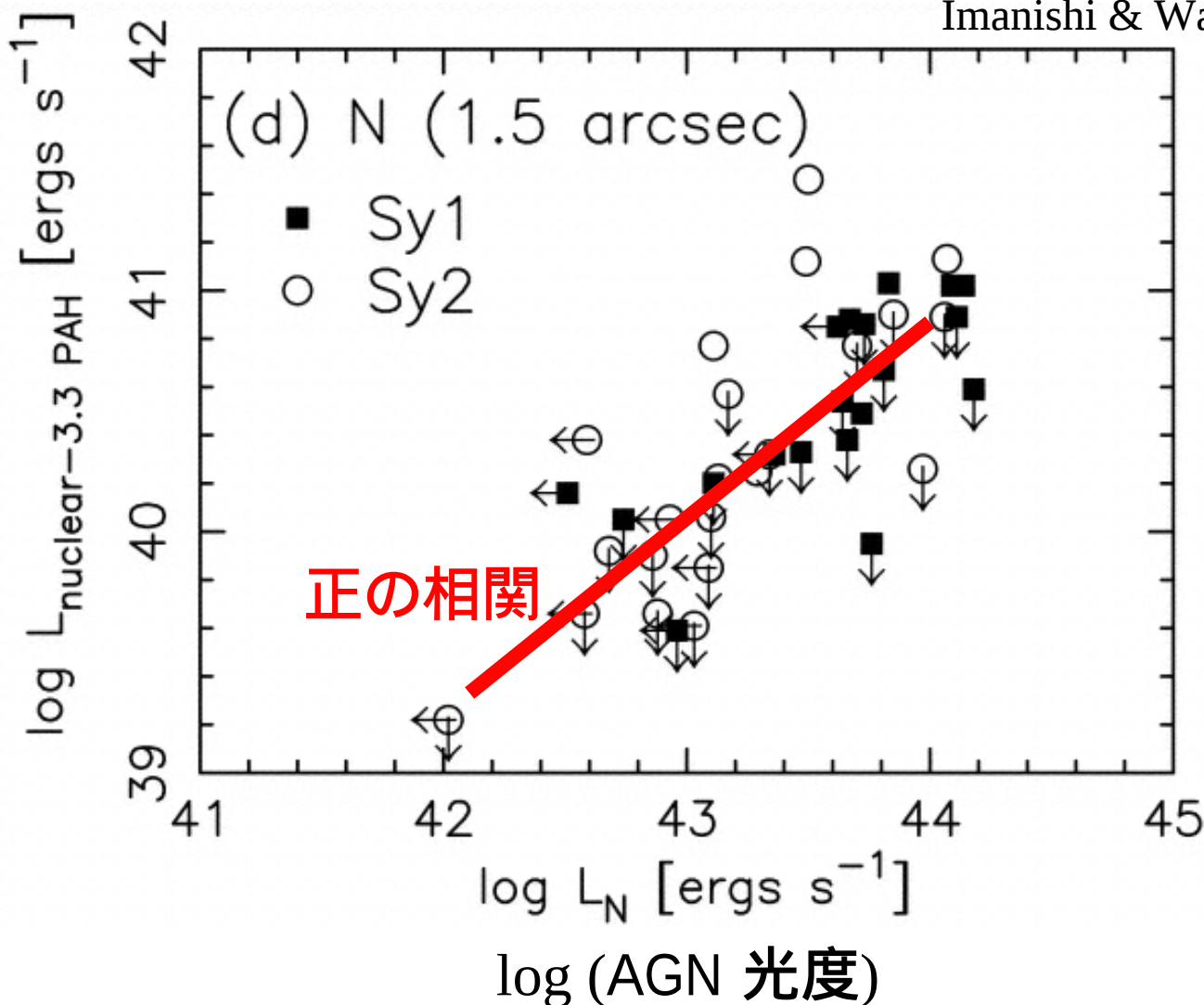
連続的な爆発的星形成が、
さらに中心へガスを供給すると考えられる

Nuclear-starburst とAGN光度

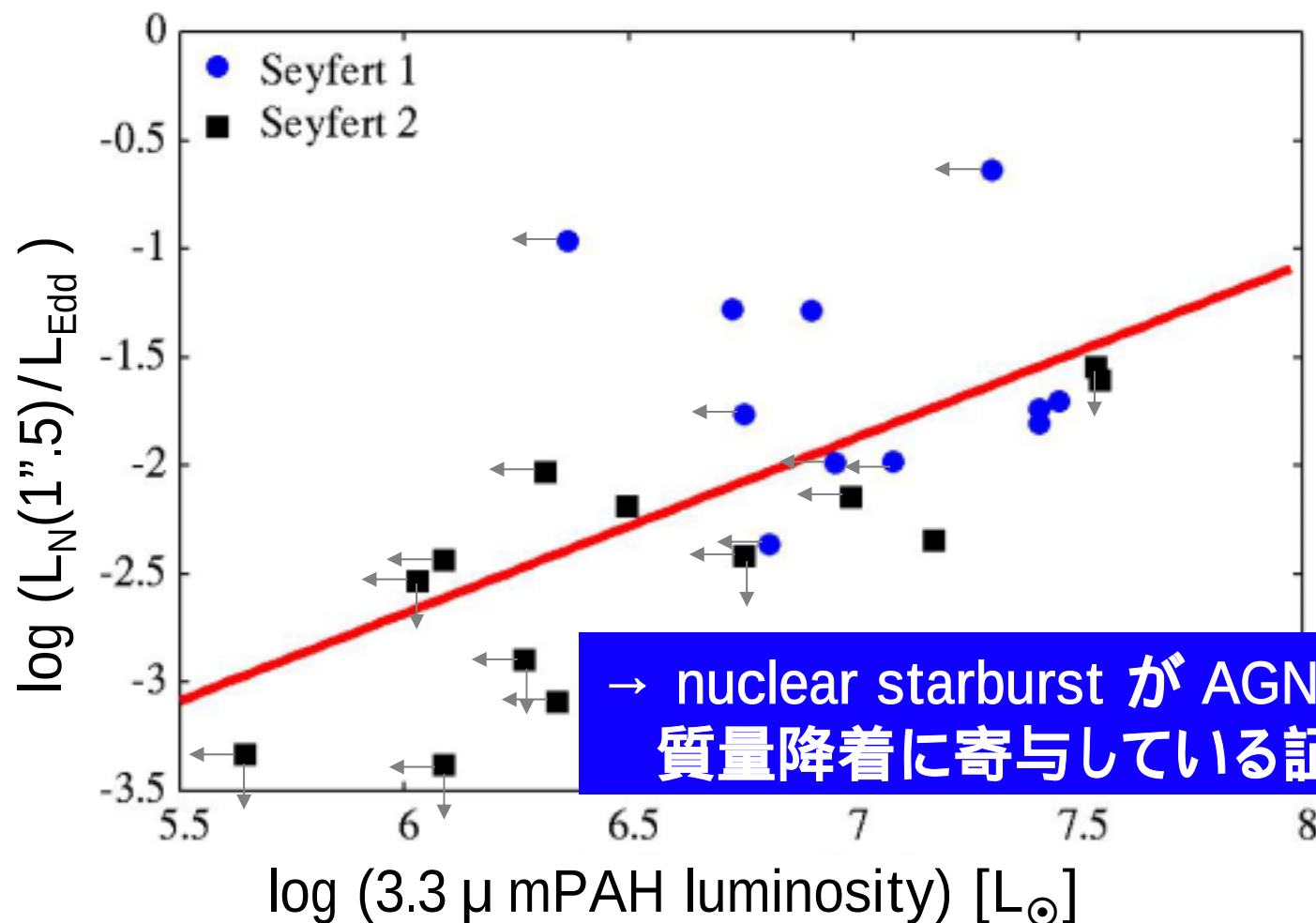
(中心から100pc 以内のstarburst)

Imanishi & Wada 2004

log (nuclear starburst の光度)



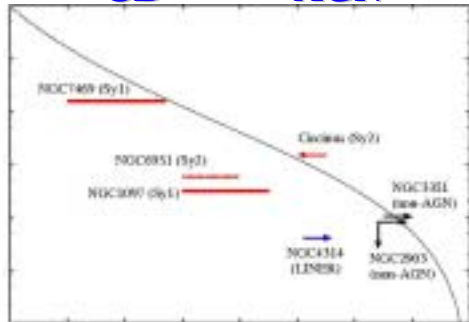
結果: *Nuclear starburst* - AGN 燃料供給



3.3 μm PAH 輝線光度と $L_N(1''.5)/L_{\text{Edd}}$ は正の相関を示す

理論・観測に基づく 「爆発的星形成 - AGN」関係の構築

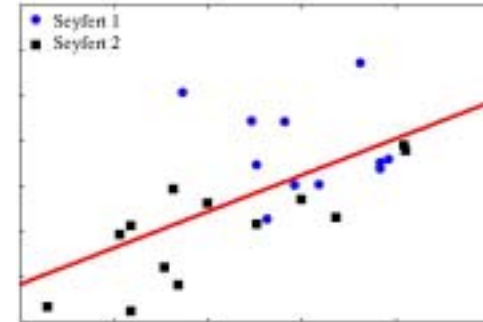
「 L_{SB} - L_{AGN} 」



Circumnuclear
starburst

数100pc

「Nuclear starburst - AGN 燃料供給」



Nuclear
starburst

1 ~ 100pc

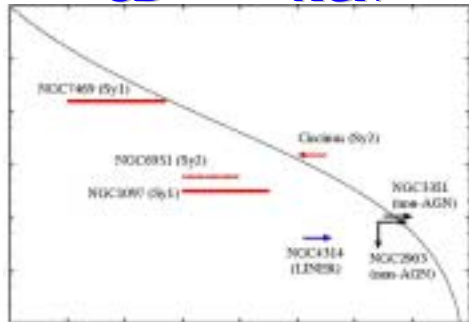
ブラック
ホール



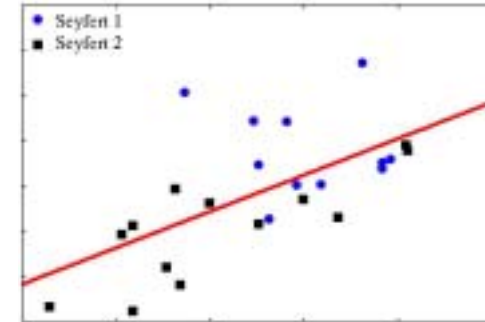
理論・観測に基づく

「爆発的星形成 - AGN」関係の構築

「 $L_{SB} - L_{AGN}$ 」



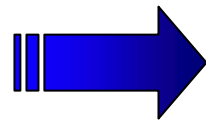
「Nuclear starburst - AGN 燃料供給」



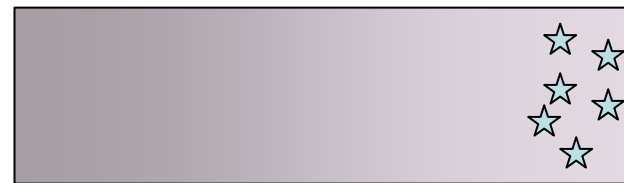
circumnuclear
starburst



輻射圧



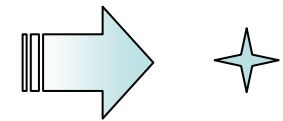
ガス円盤の圧縮



nuclear
starburst

1 ~ 100pc

AGN



燃料供給

circumnuclear
starburst
→ 圧縮

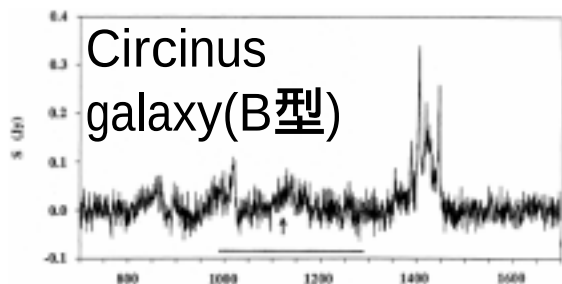
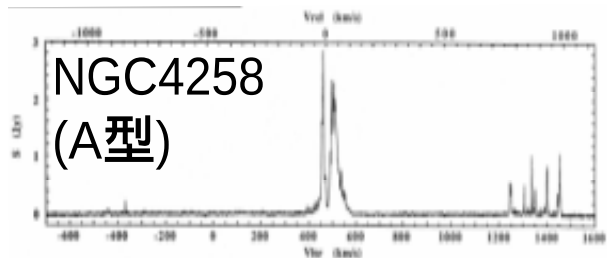
ガス円盤の圧縮
→ ・AGN 燃料供給
・nuclear starburst

nuclear starburst
→ AGN 燃料供給

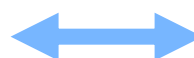
その他の観測

水メーザー観測

輝線	円盤質量	速度分散
A型	低	低
B型	高	高



ガス分布、量
降着量



爆発的星形成

相関を示唆

各AGNについて、もう少し

	AGN全光度[L_{sun}]	M_{BH} [M_{sun}]
NGC7469	$(0.52 \sim 3) \times 10^{11}$ Petrucci et al. 04; Davies et al. 04	$\sim 7 \times 10^6$ Collier et al. 98; Wandel et al. 99

見積もり: $\Gamma_{\text{AGN}} = \frac{L_{\text{bol}}^{\text{AGN}}}{L_{\text{Edd}}^{\text{AGN}}} \left[L_{\text{Edd}}^{\text{AGN}} = \frac{4\pi c G M_{\text{BH}} m_{\text{p}}}{\sigma_{\text{T}}} \right]$

all data

Galaxy	Activity	R_{ring} [pc]	L_{SB} [$L_{\odot}$]	v_{ring} [km/s]	M_{dyn} [$M_{\odot}$]
NGC7469	Sy1	480	3.0×10^{11}	100	1.1×10^9
NGC1097	Sy1	700	1.0×10^{11}	330	1.8×10^{10}
NGC6951	Sy2	470	3.9×10^{10}	145	2.3×10^9
Circinus	Sy2	200	1.1×10^{10}	150	1.0×10^9
NGC4314	LINER	400	1.5×10^9	—	$> 2.1 \times 10^8$
NGC2903	non-AGN	313	8.2×10^9	—	$> 2.7 \times 10^9$
NGC3351	non-AGN	400	2.4×10^9	—	$> 3.5 \times 10^8$

L_{E} [$L_{\odot}$]	Γ ($\equiv L_{\text{SB}}/L_{\text{E}}$)	$r_{\text{core}}/R_{\text{ring}}$	$r_{\text{eq}}/R_{\text{ring}}$
1.9×10^{10}	15.8	0.3 - 0.47	0.48
3.1×10^{11}	0.32	0.5 - 0.65	0.80
4.0×10^{10}	0.98	0.5 - 0.6	0.72
1.7×10^{10}	0.65	0.6 - 0.8	0.75
$> 0.4 \times 10^{10}$	< 0.38	> 0.71	0.78
$> 4.7 \times 10^{10}$	< 0.17	> 0.84	0.84
$> 0.6 \times 10^{10}$	< 0.4	> 0.85	0.79

timescale

Galaxy	t_{age} [Myr]	t_{rad} [Myr]	t_{drag} [Myr]
NGC7469	a few $10^{[1]}$	1.2	0.6×10^3
NGC1097	6 - 50 ^[2]	3.6	3.9×10^3
NGC6951	—	3.2	4.5×10^3
Circinus	40 - 150 ^[3]	1.7	2.9×10^3

$$t_{\text{drag}} = \frac{8\pi c^2 R_{\text{ring}}^2}{3\chi L_{\text{SB}}} \quad t_{\text{rad}} = \left(\frac{4\pi c R_{\text{ring}}^3}{\chi L_{\text{SB}}} \right)^{1/2}$$

Questions

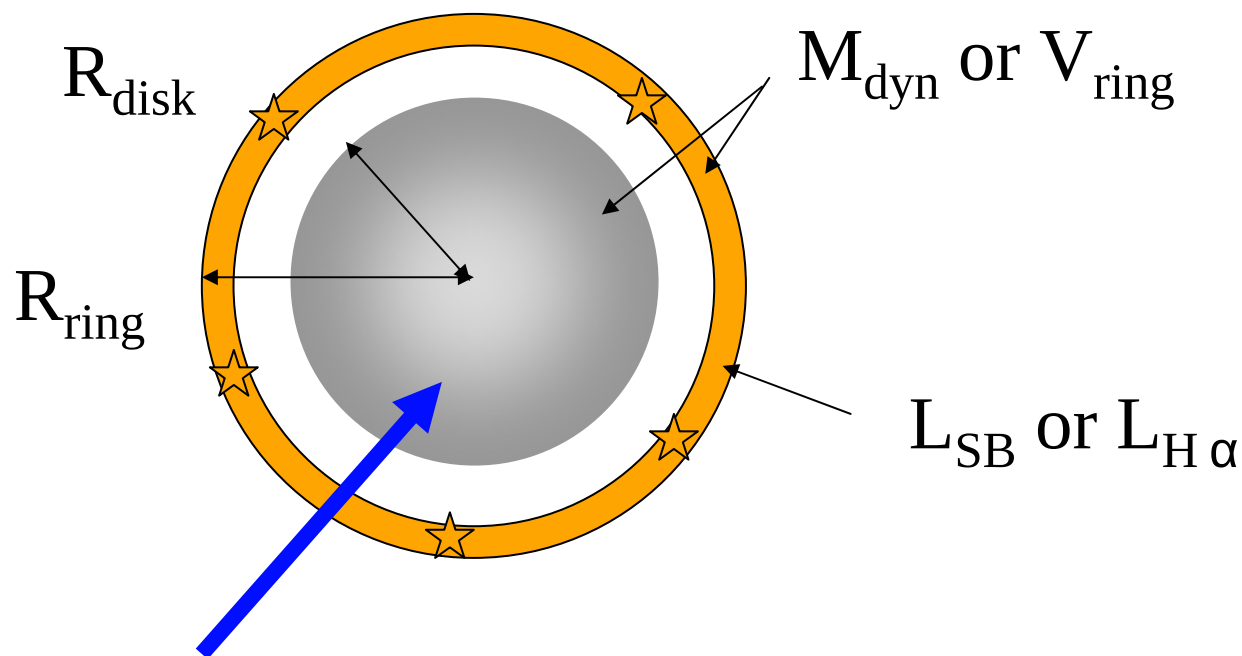
What has caused the galactic nuclear activity ?

Are there any relations between
the nuclear activity and galaxy evolution ?

REQUESTS !!!

Our results provide important idea, based on which

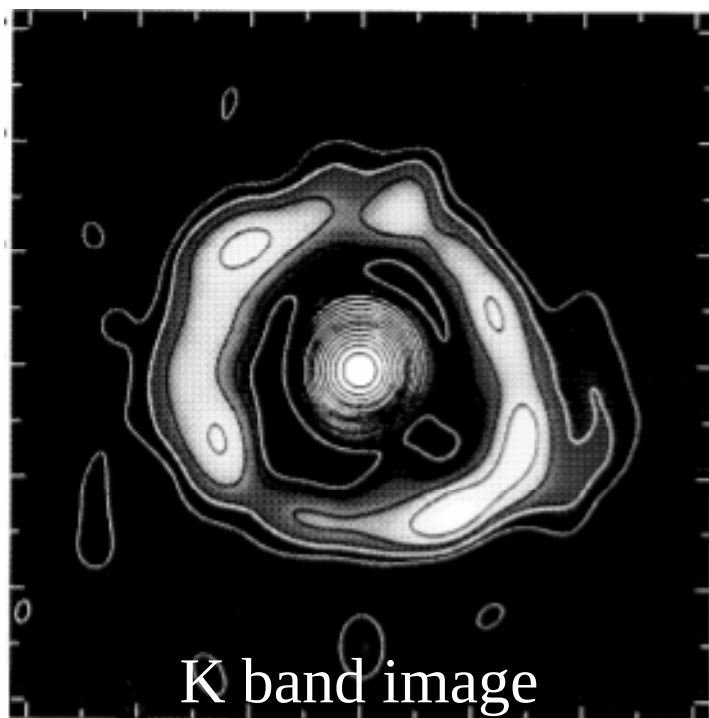
“future high-resolution observations” can be planed
to reveal the **physical origin of starburst - AGN connection**



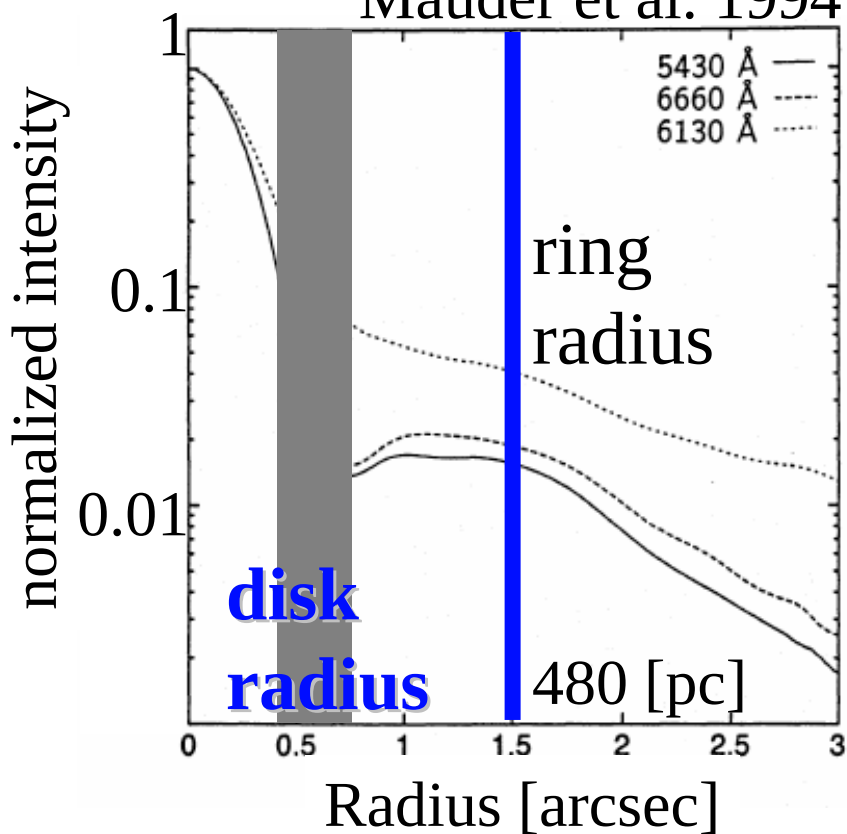
detailed disk structure: ALMA

NGC 7469 (Seyfert 1)

Genzel et al. 1995



Mauder et al. 1994



$$R_{\text{ring}} : 480 \text{ pc}$$

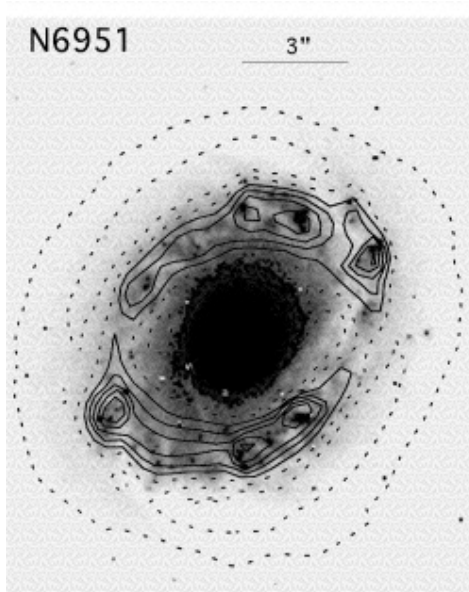
$$L_{\text{SB}} : 3 \times 10^{11} L_{\odot}$$

$$V_{\text{ring}} : 100 \text{ km/s}$$

$$\rightarrow M_{\text{dyn}} : 1.1 \times 10^9 M_{\odot}$$

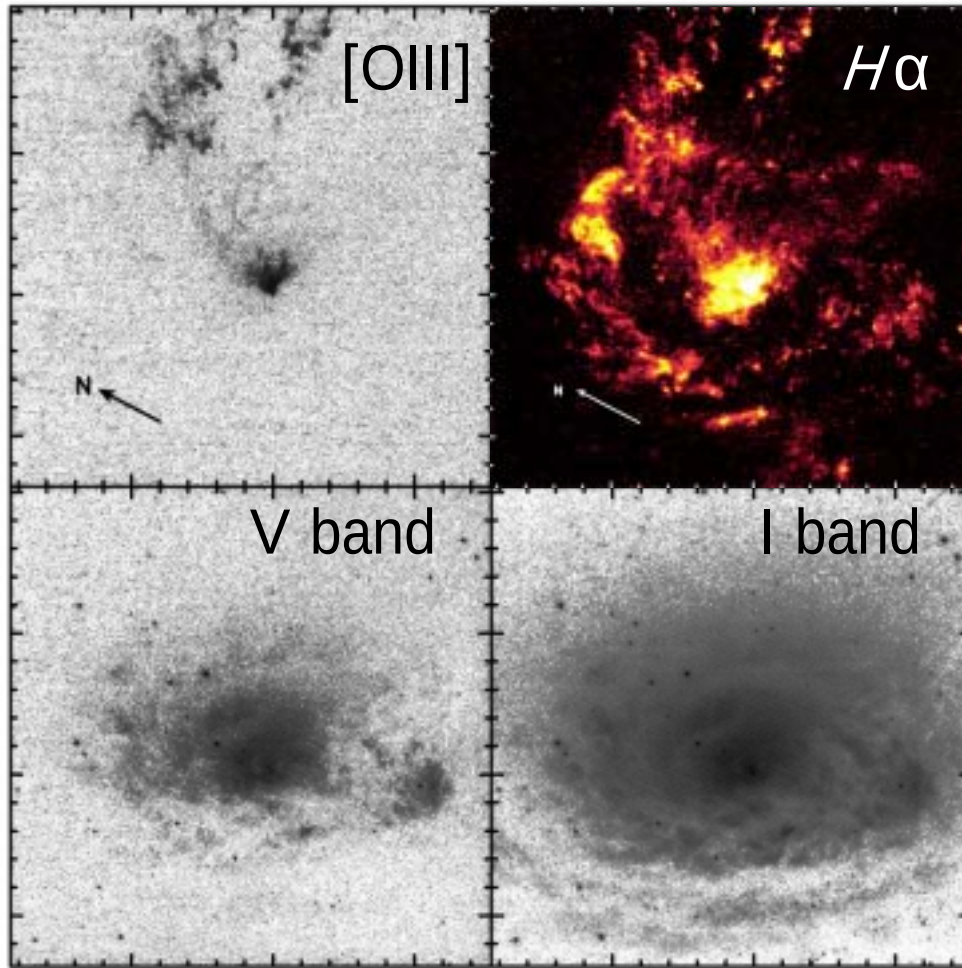
$$r_{\text{disk}} / R_{\text{ring}} \sim 0.3 - 0.47$$

NGC6951 (Seyfert 2)



Elmegreen et al. 1999

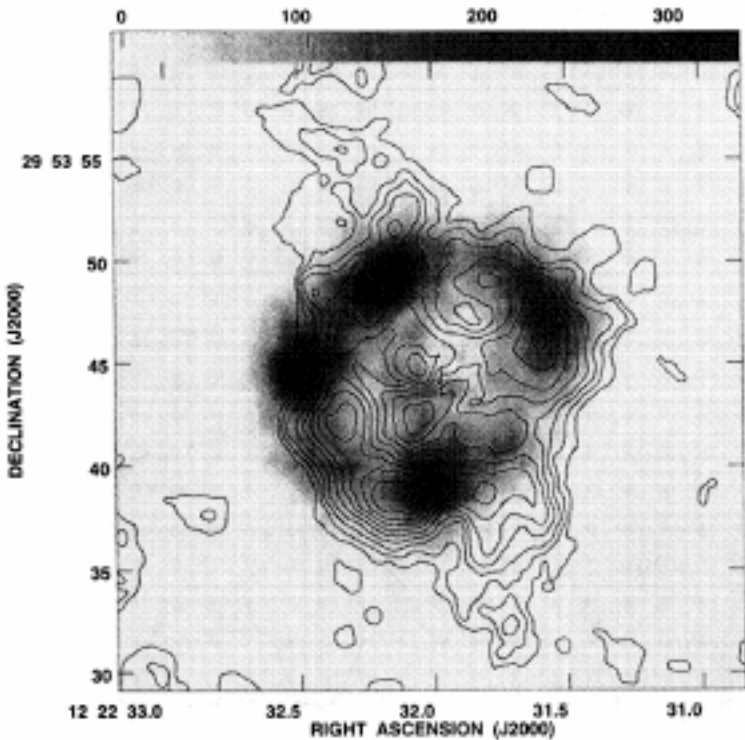
Circinus galaxy (Seyfert 2)



Wilson et al. 2000

NGC4314 (LINER)

Benedict et al. 1996



contour: CO

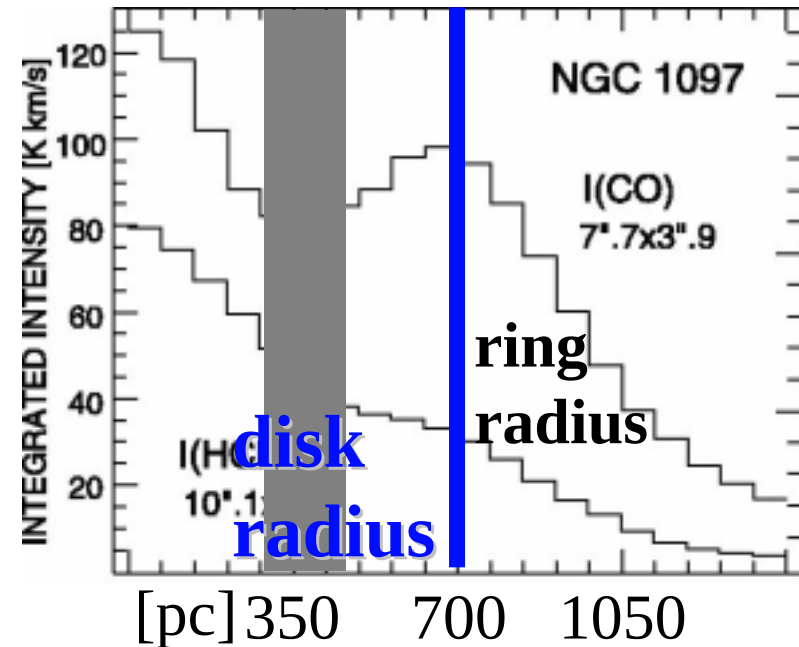
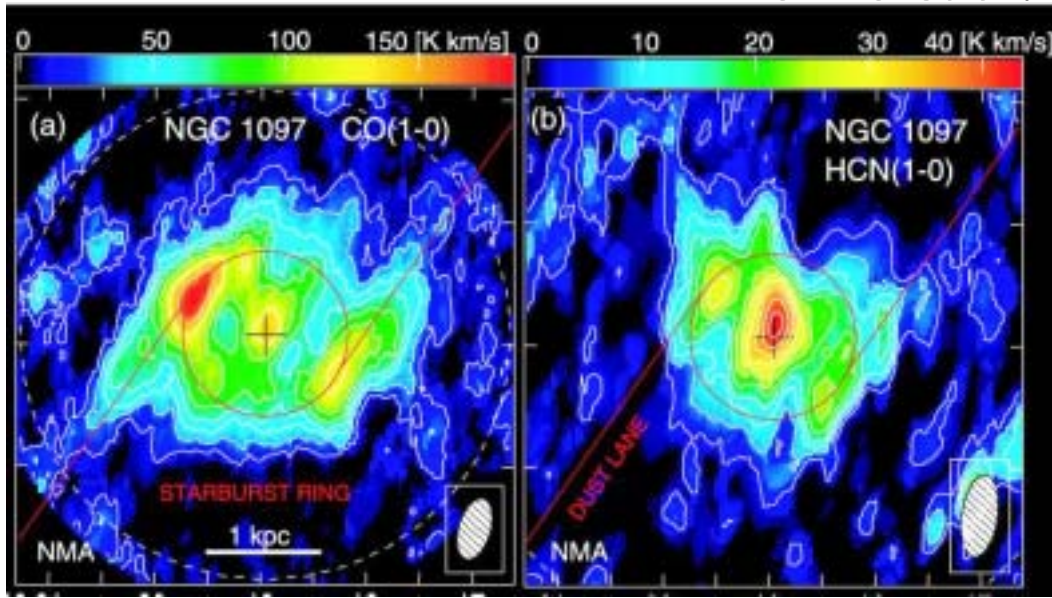
gray scale: H α +NII

NGC2903 (non-AGN)

NGC3351 (non-AGN)

NGC1097 (Seyfert galaxy)

Kohno et al. 2003



$R_{\text{ring}} : 700 \text{ pc}$

$L_{\text{SB}} : 10^{11} L_{\odot}$

$M_{\text{dyn}} : 1.8 \times 10^{10} M_{\odot}$

$r_{\text{disk}} / R_{\text{ring}}$
 $\sim 0.5 - 0.65$

爆発的星形成－AGN関係

- 観測 -

数100pc領域の爆発的星形成

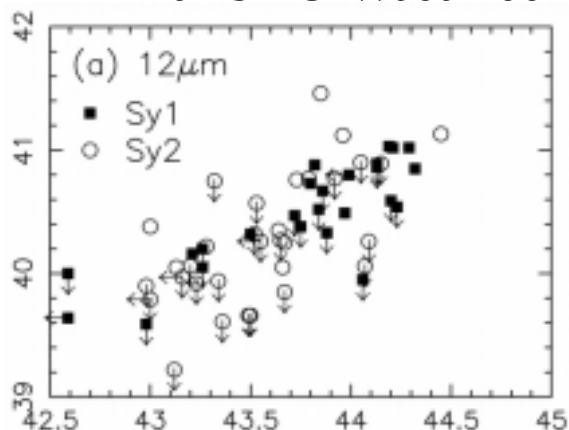
Seyfert 2 > Seyfert 1

e.g. Heckman et al. 1989

数100pc領域以内の爆発的星形成

log (爆発的星形成
領域の光度)

Imanishi & Wada 2004



log (AGN power)

- 理論 -

爆発的星形成による影響

輻射圧によるガス構造の変化

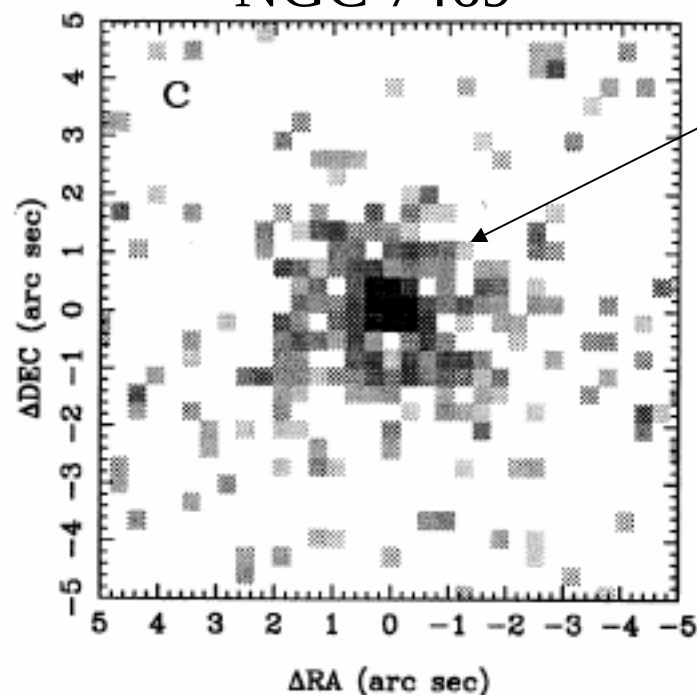
Umemura, Fukue & Mineshige 1997, 1998

Ohsuga et al. 1998

目的: 関係を生み出す
物理機構の解明

連続的な爆発的星形成

NGC 7469



3.3 μm PAH 輝線

→ 100 pc以内の
爆発的星形成を示唆

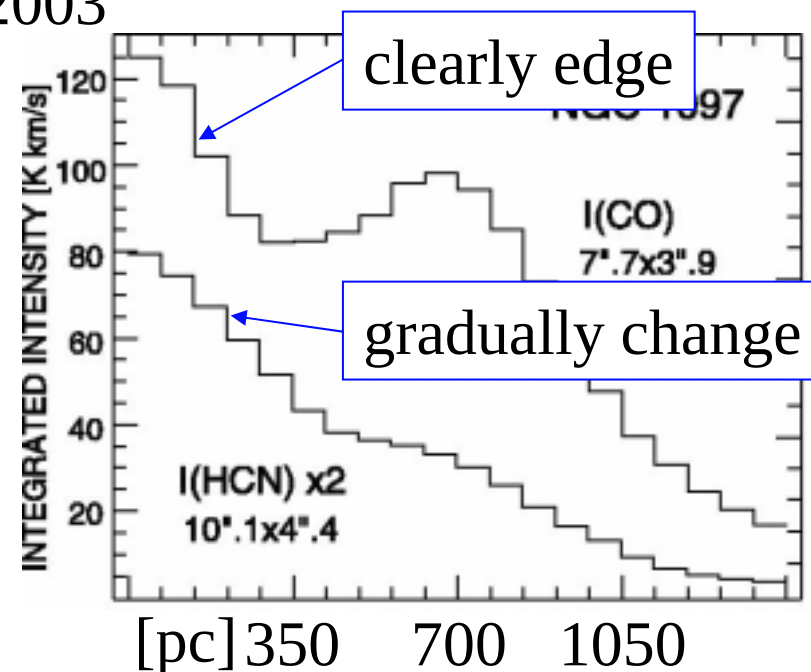
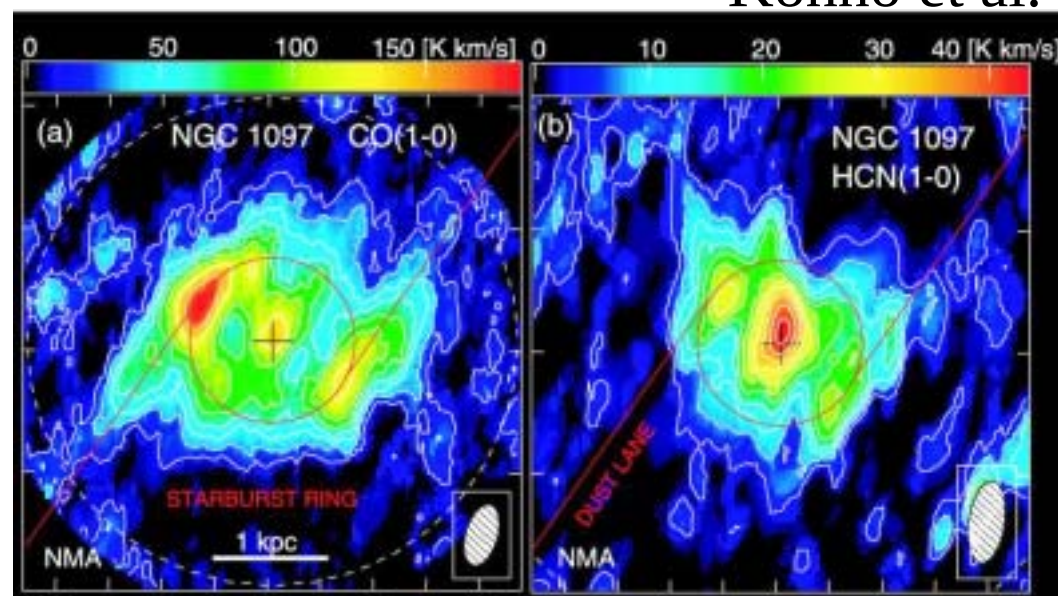
輻射圧によるガス円盤の圧縮
→ 星形成を誘発する可能性

Mazzarella et al. 1994

連続的な爆発的星形成が、
さらに中心へガスを供給すると考えられる

議論: 輻射の効果

Kohno et al. 2003



critical density:

$\text{HCN}(1-0) \gg \text{CO}(1-0)$

光学的厚みに依存した構造



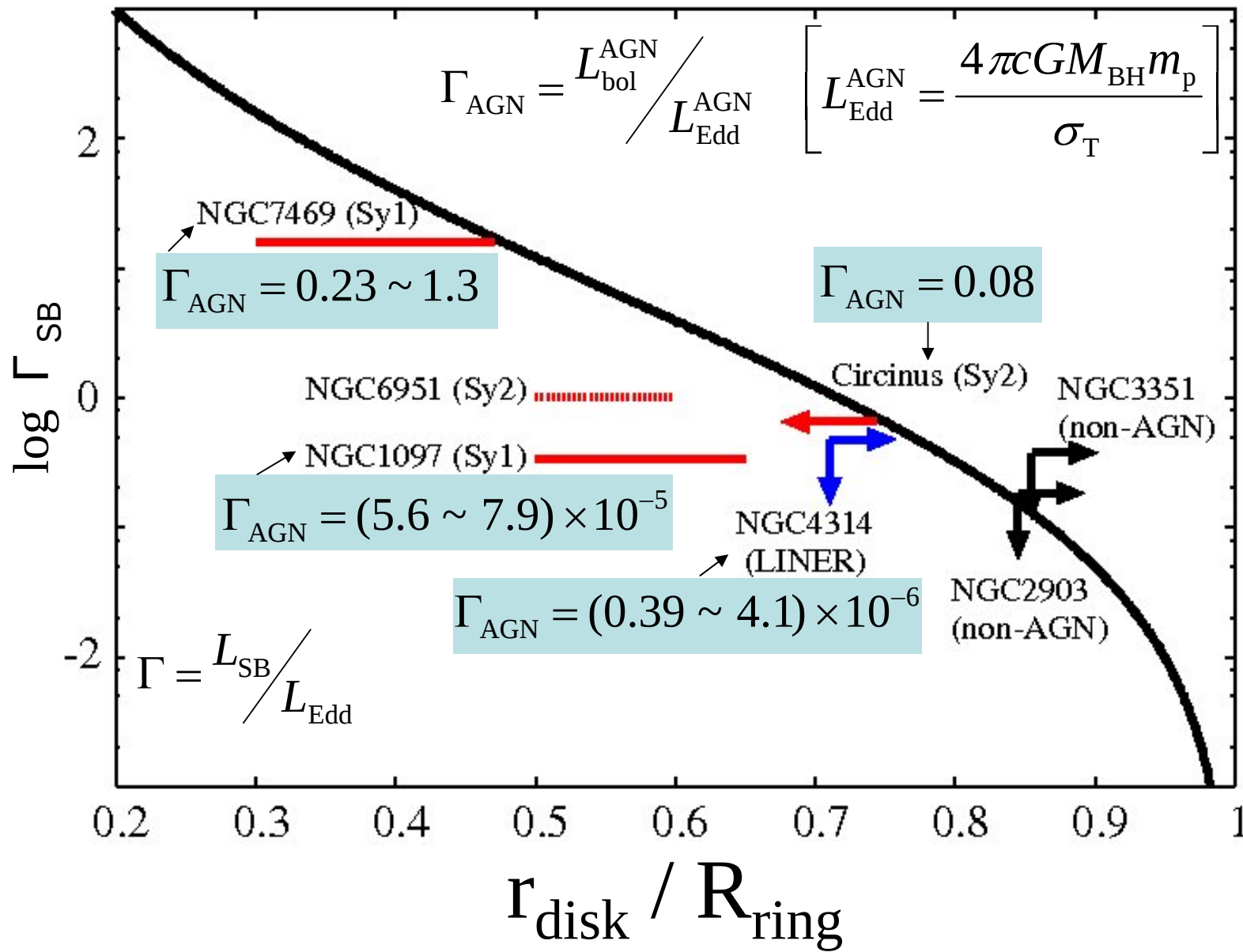
輻射流体力学モデルの検証

各AGNについて、もう少し

	AGN全光度[L_{sun}]	M_{BH} [M_{sun}]
NGC7469	$(0.52 \sim 3) \times 10^{11}$ Petrucci et al. 04; Davies et al. 04	$\sim 7 \times 10^6$ Collier et al. 98; Wandel et al. 99
Circinus	$\sim 10^{10}$ Moorwood et al. 96	$\sim 4 \times 10^6$ M_bulge- M_{BH} relation
NGC1097	$(2.2 \sim 3.1) \times 10^8$ Nemmen et al. 04; 06	$\sim 1.2 \times 10^8$ Lewis & Eradeous 06
NGC4314	$(0.2 \sim 1.34) \times 10^6$ Ho et al. 99; Pellegrini 06	$(1 \sim 1.6) \times 10^7$ Pellegrini 05; Dong 06

見積もり: $\Gamma_{\text{AGN}} = \frac{L_{\text{bol}}^{\text{AGN}}}{L_{\text{Edd}}^{\text{AGN}}} \left[L_{\text{Edd}}^{\text{AGN}} = \frac{4\pi c G M_{\text{BH}} m_p}{\sigma_T} \right]$

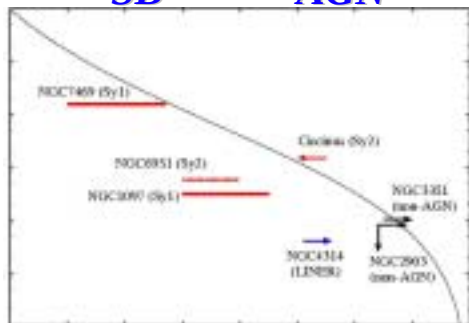
$\Gamma_{\text{SB}} - \Gamma_{\text{AGN}}$ 関係



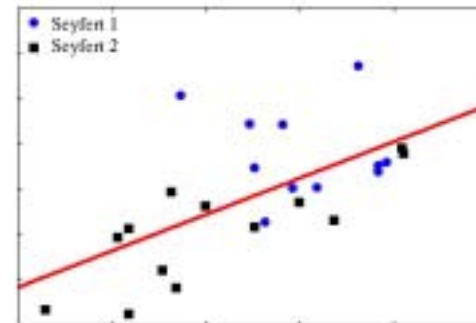
理論・観測に基づく

「爆発的星形成 - AGN」関係の構築

「 $L_{SB} - L_{AGN}$ 」



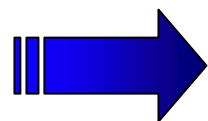
「Nuclear starburst - AGN 燃料供給」



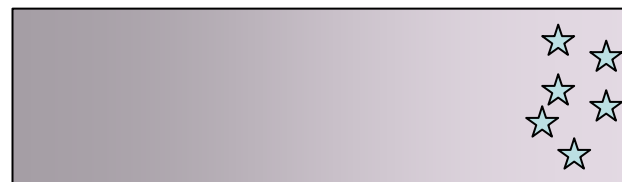
circumnuclear
starburst



輻射圧



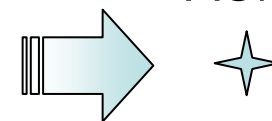
ガス円盤の圧縮



nuclear
starburst

1 ~ 100pc

AGN



燃料供給

circumnuclear
starburst
→ 圧縮

ガス円盤の圧縮
→ ・AGN 燃料供給
・nuclear starburst

nuclear starburst
→ AGN 燃料供給