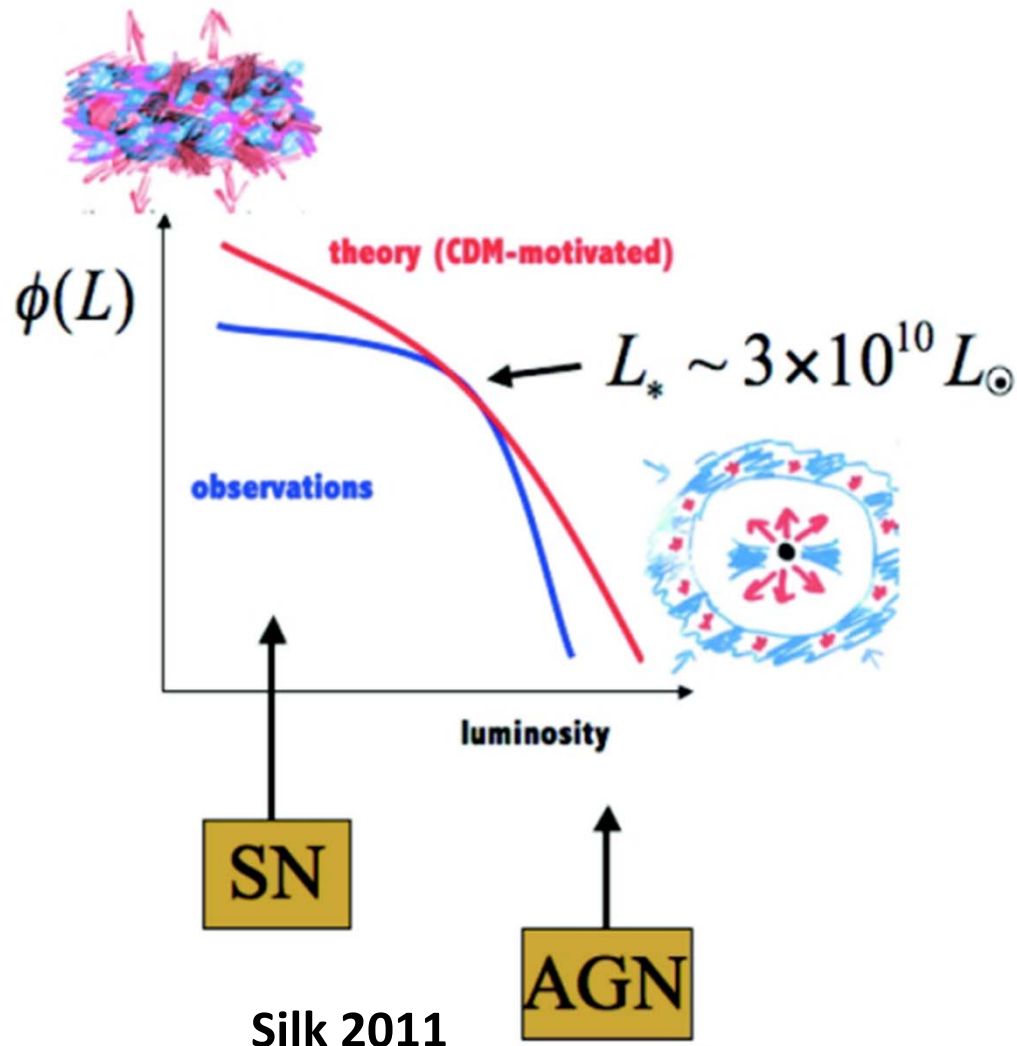


AGNトーラスの 三次元シミュレーション

齋藤貴之

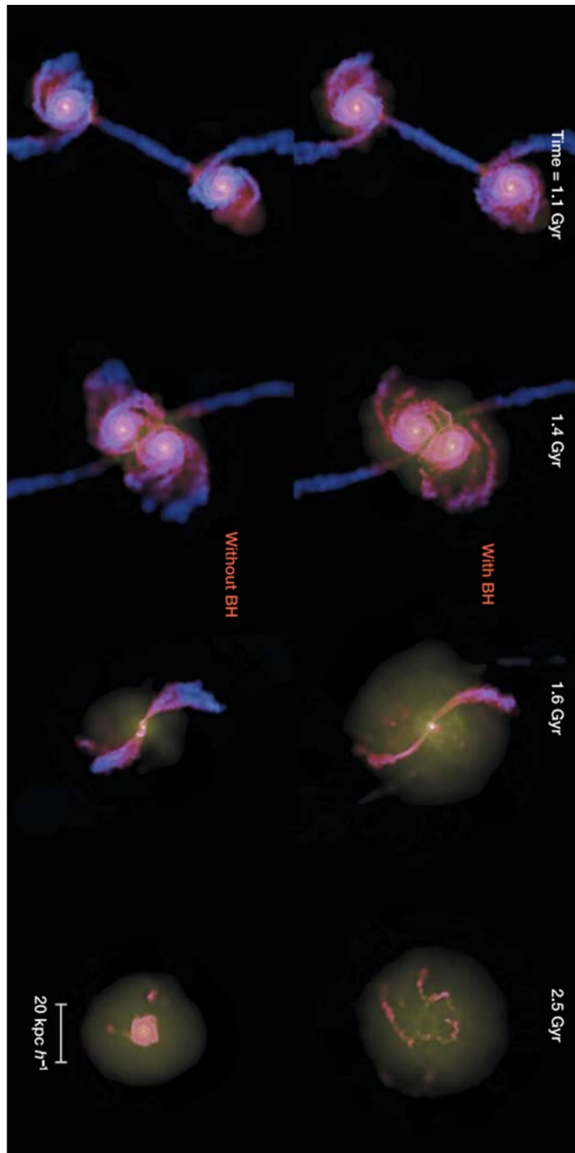
東京工業大学理学研究流動機構

AGN Activity & Galaxy Formation

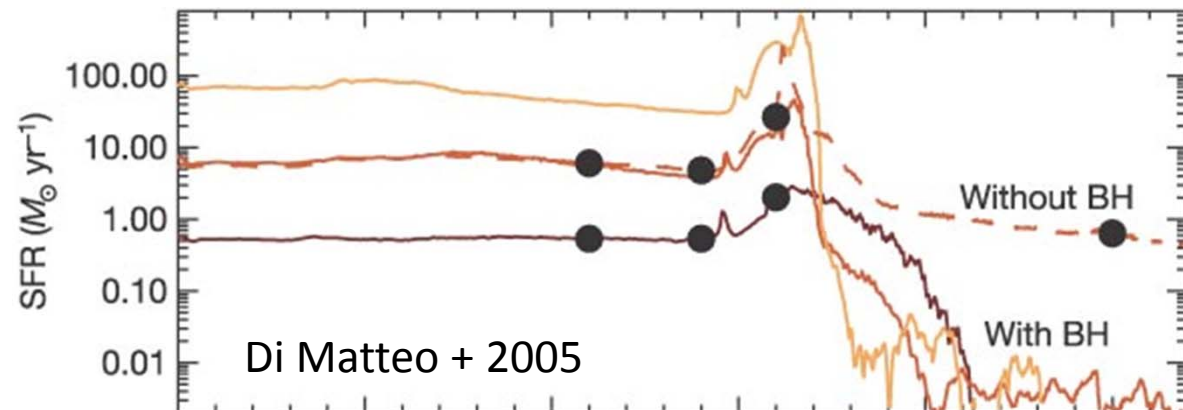


- DM halo 質量関数と銀河の光度関数の不一致
 - AGN の活動性は特に大質量側の不一致を説明すると考えられている
- 銀河形成過程での重要なプロセスの一つ

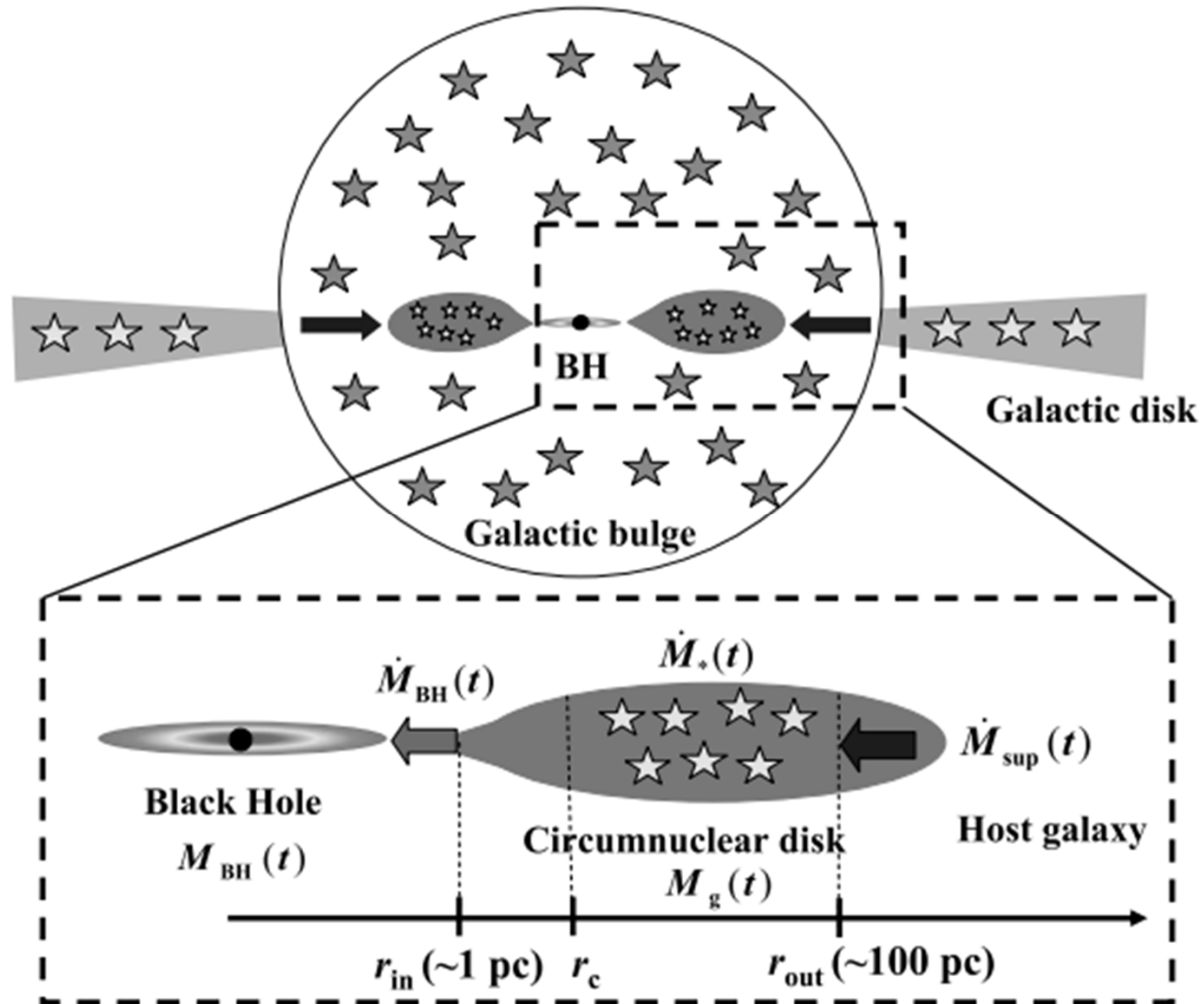
AGN Feedback



- 銀河中心への質量供給
- BHへの質量供給
 - Bondi-Hoyle accretion; $R \sim 1 \text{ kpc}$
- AGNフィードバック
- 周辺物質が吹き飛ばされる
- 星形成の抑制

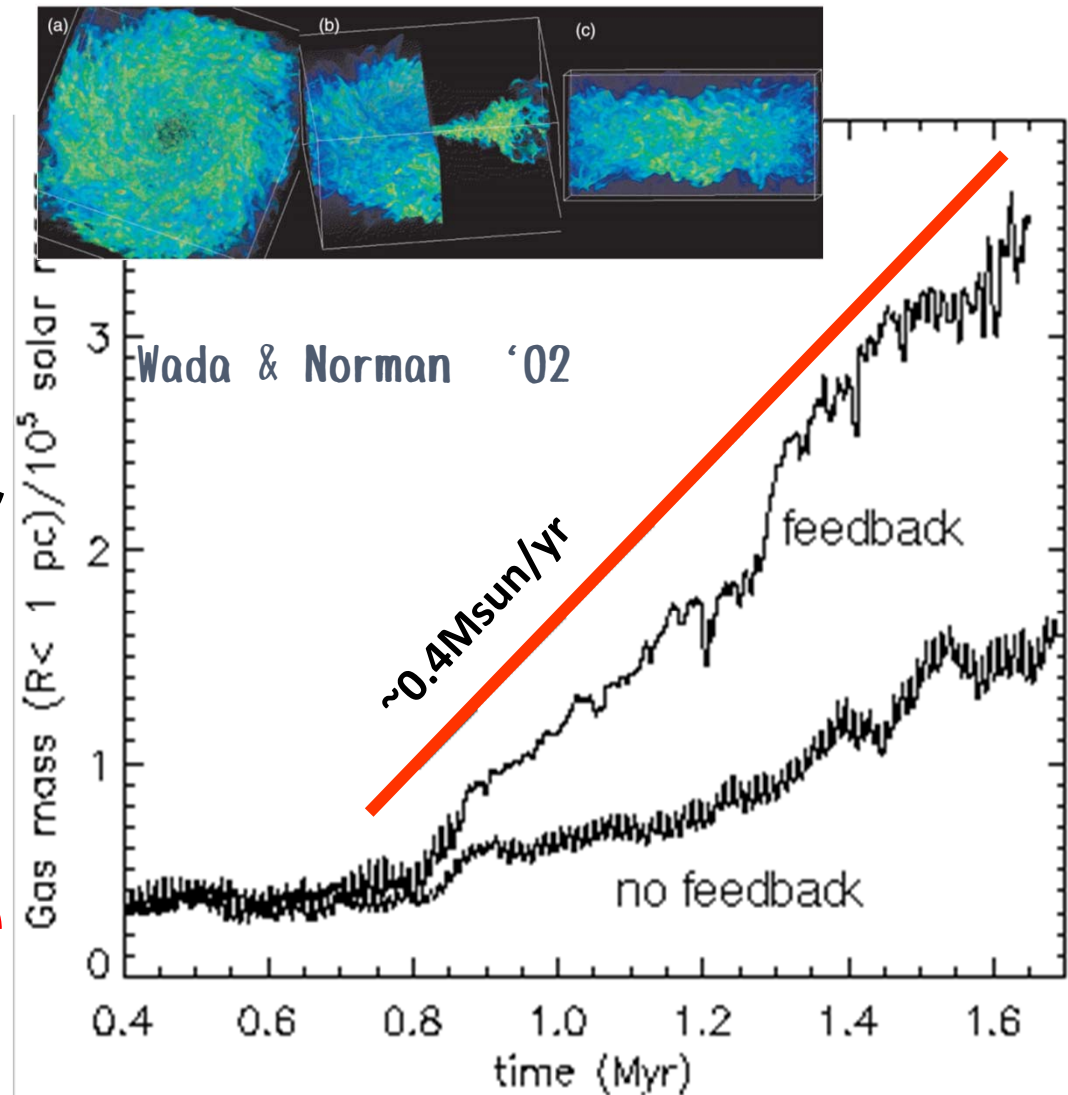


AGN torus

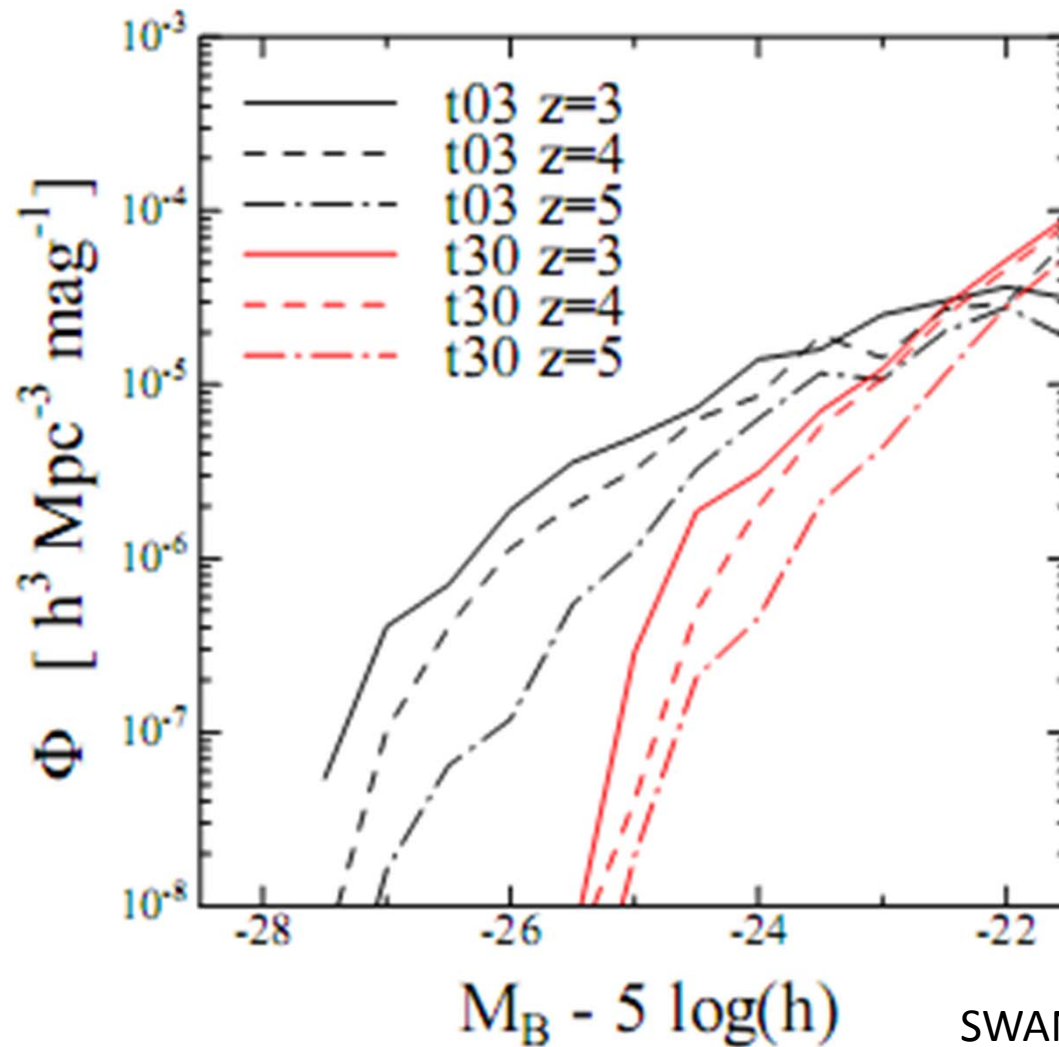


3D simulation of AGN torus

- Wada & Norman 2002;
Wada et al. 2009
 - $\sim 32\text{-}64\text{pc}^3$
 - 円盤面に埋め込まれた SNe
- SNで支えられたフレアしたトーラス構造の形成
- トーラスを構成するガスは極めて非一様
- 積分時間は \sim 数Myr
 - 長時間積分はできていない
 - 銀河との相互作用は?



QSO lifetime ?



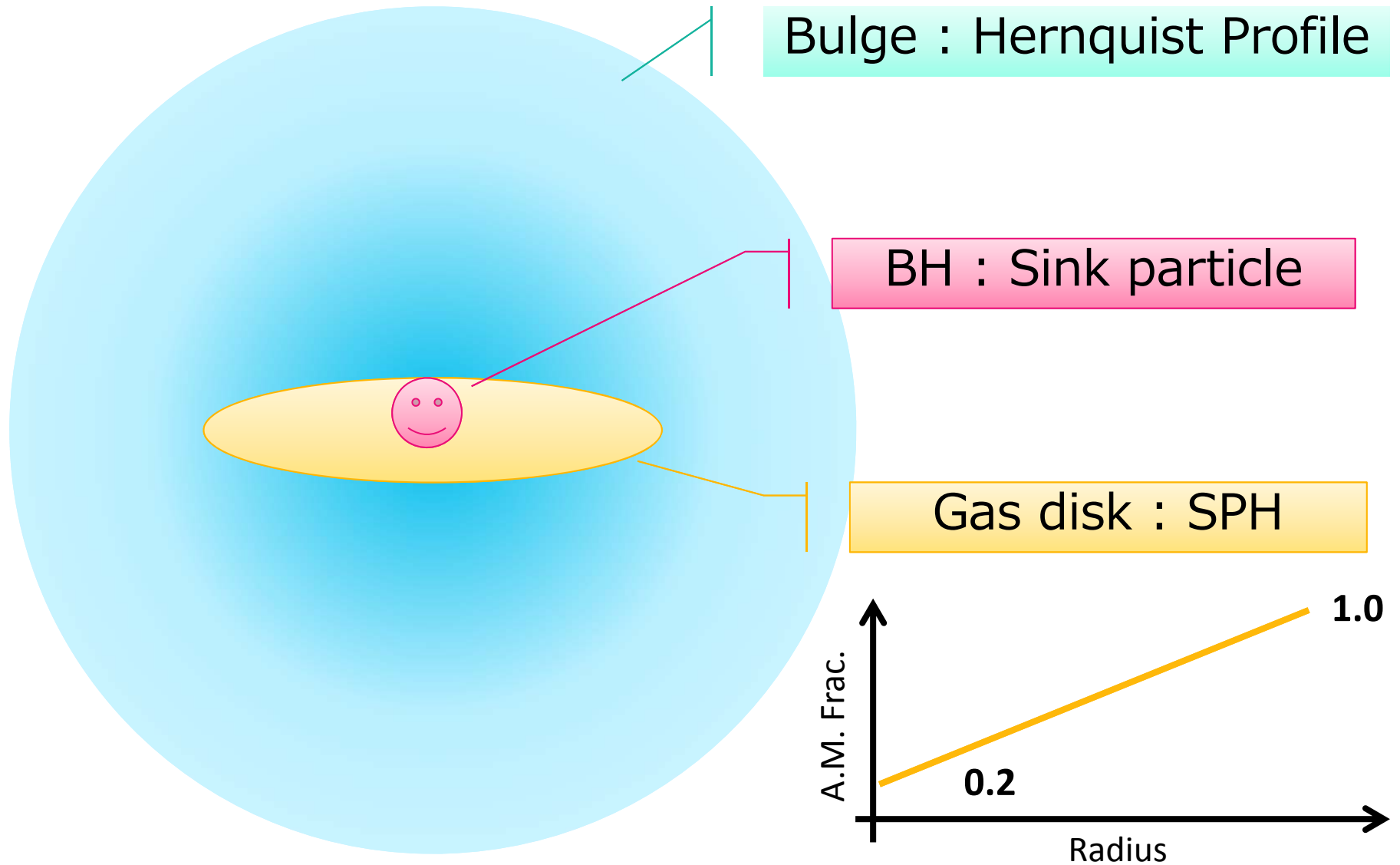
Aim

- AGN トーラスの 3D self-consistent なモデルの構築
 - より広い dynamic range
 - より長い time scale
- AGN トーラスと銀河を接続
 - トーラス構造の Build/Rebuild の時間スケール
 - AGN 活動性の持続スケール

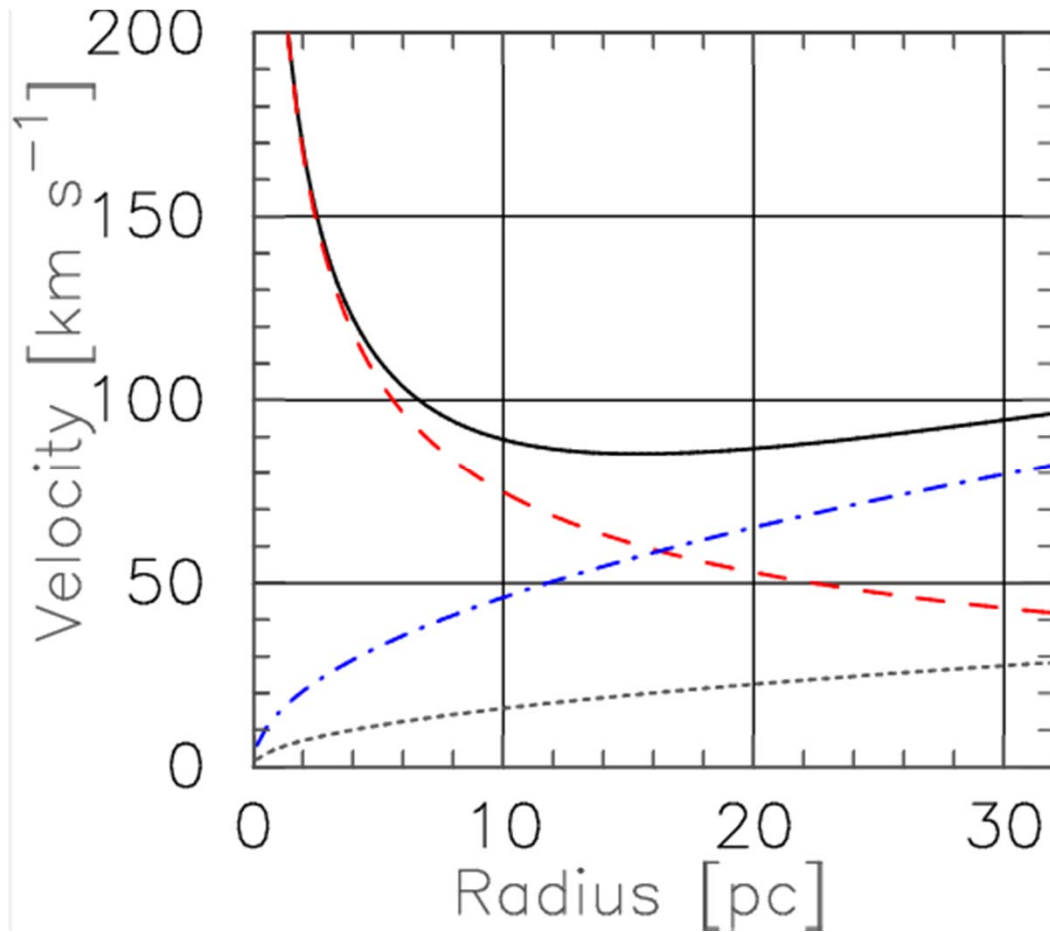
CfCA Users' Meeting 2011 2012/01/17-18



Today's Simulation



Initial Setup of Torus Run



- **BH**
 - Mass: $1.3 \times 10^7 M_{\text{sun}}$
 - Sink particle
- **Bulge**
 - Hernquist profile (potential)
 - Mass: $10 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$
 - Scale radius: 450 pc
- **Gas disk**
 - Mass: $1.2/30 \times 10^6 M_{\text{sun}}$

Modeling of the ISM

- 重力
 - Self-gravity + Ext. potential(Bulge)
 - 自己重力は Tree with GRAPE 法
 - Eps=0.1 pc
- ガス相互作用
 - Smoothed Particle Hydrodynamics 法
 - N=1M
- 放射冷却、星形成、フィードバック
 - Temperature range : 10^{1-8} K
 - SF criteria: (1) $n_H > 10^5$ /cc、(2) $T < 100$ K、(3) $\nabla \cdot v < 0$
 - これらを満たしたガスは Schmidt 則に従って星に($C^* = 1/30$)
 - 大質量星による電離: Stromgren 球内部を $T \sim 10^4$ K に
 - **トーラスの dynamical time ~ 0.1 Myr \rightarrow SNe だけのモデルは不整合**
 - TypeII SN : 10^{51} erg/SN

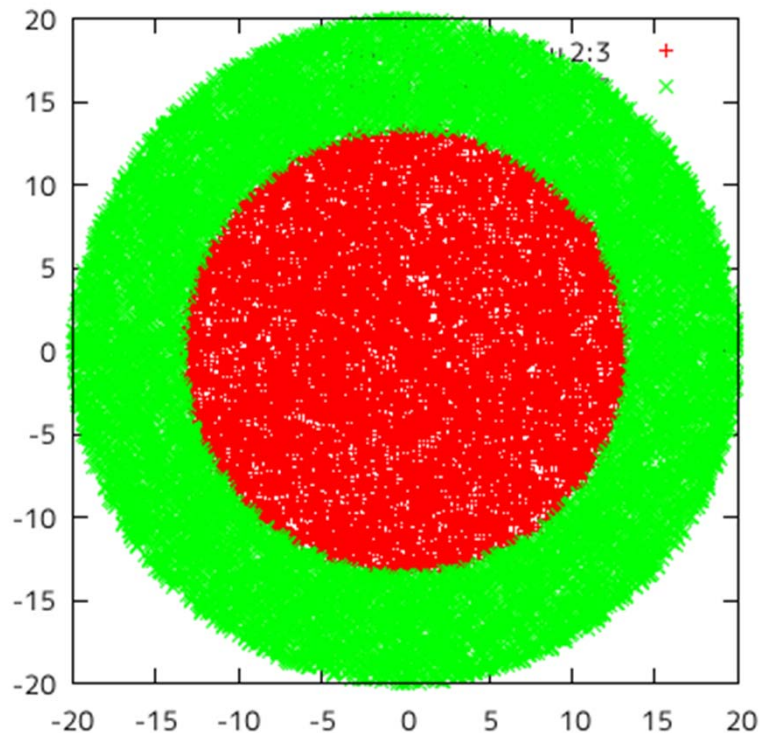
HII region model

- 若い大質量星からの電離光子($> 13.6\text{eV}$)は、周りの星間空間を電離する
 - HII領域は、大質量形成直後から、100-1000万年継続
 - SNよりも速く効く \rightarrow 星形成の抑制に影響する可能性大
 - 特に力学的時間が10Myrよりもずっと短い場合
- 典型的なスケールは $n_{\text{H}} \sim 100\text{cm}^{-3}$ で 3pc
- HII領域が形成される星形成領域の幾何学的スケールより小さいので、電離領域は構造に埋め込まれているという近似を使う(つまり丸いとする)

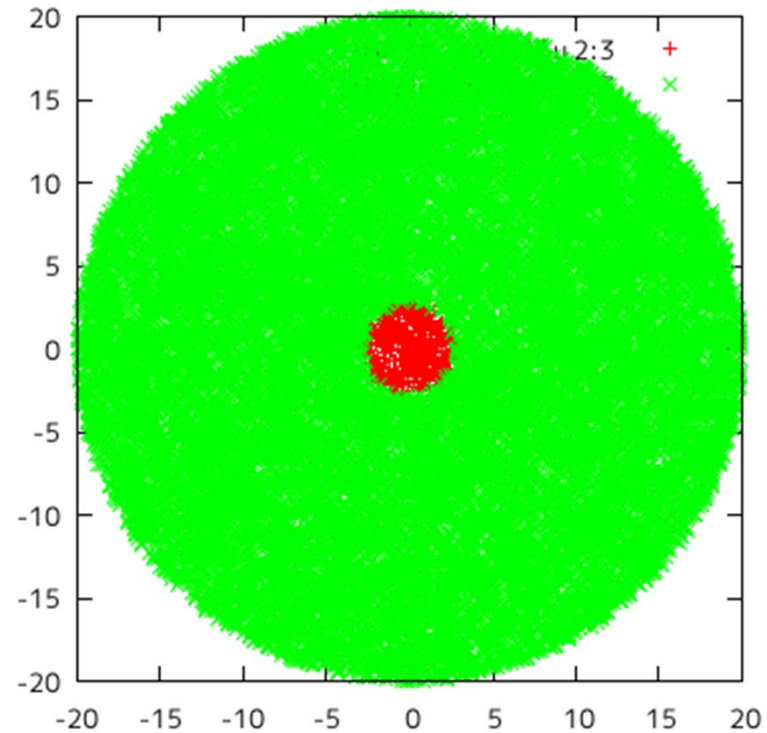
HII region model tests

一様球(26万粒子)の中心に $1e49$ 個/sの電離光子を出すソースを置いた場合

- $n_H = 10/cc$
 - $R_s = 14.6$ pc
 - $R_{s_eva} = 13.4$ pc



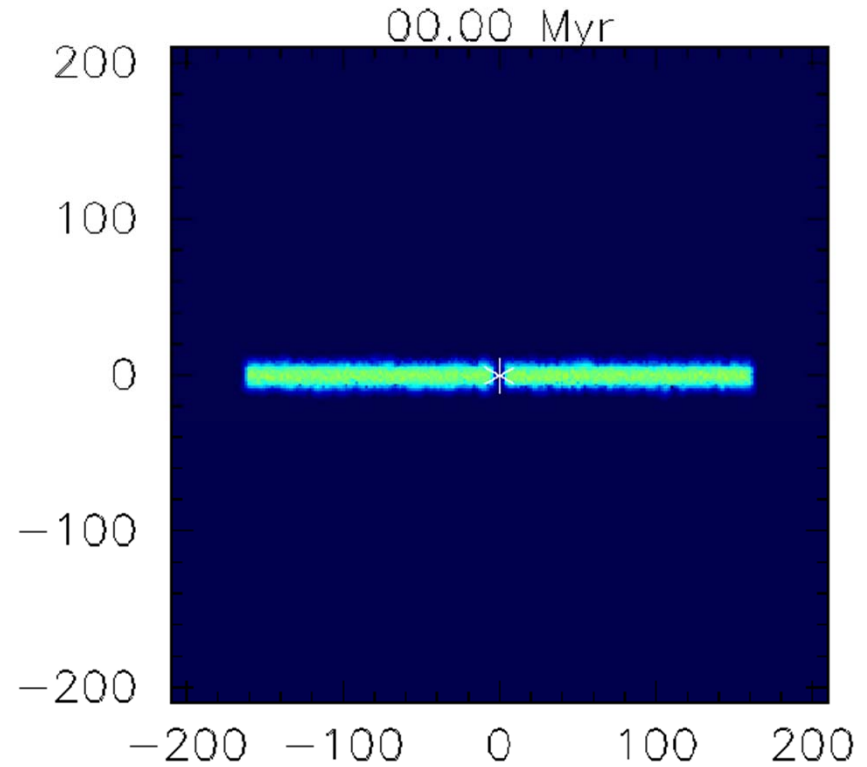
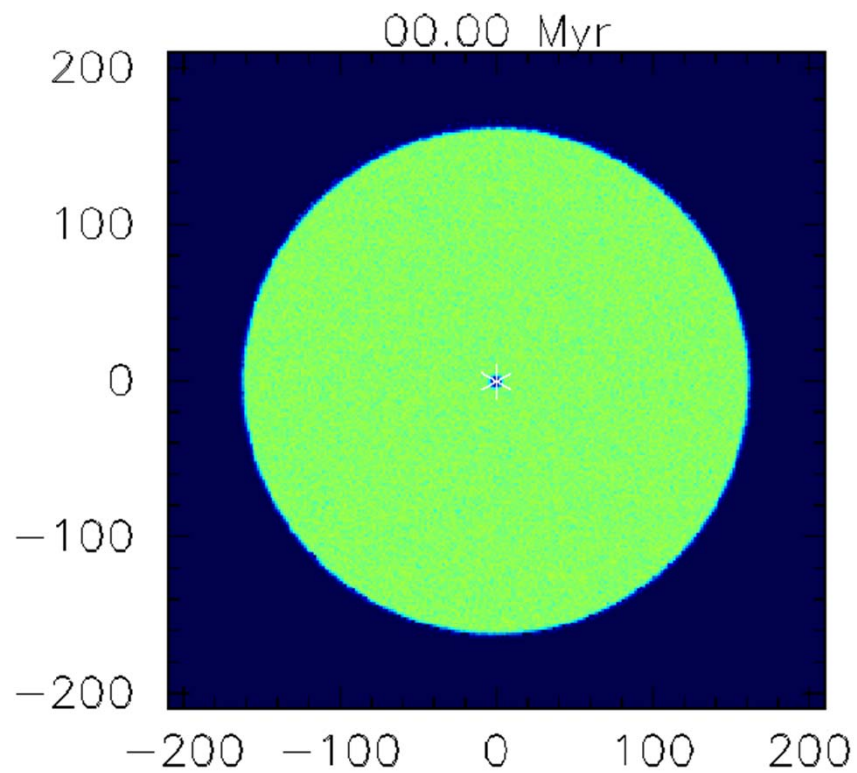
- $n_H = 100/cc$
 - $R_s = 3.1$ pc
 - $R_{s_eva} = 2.9$ pc



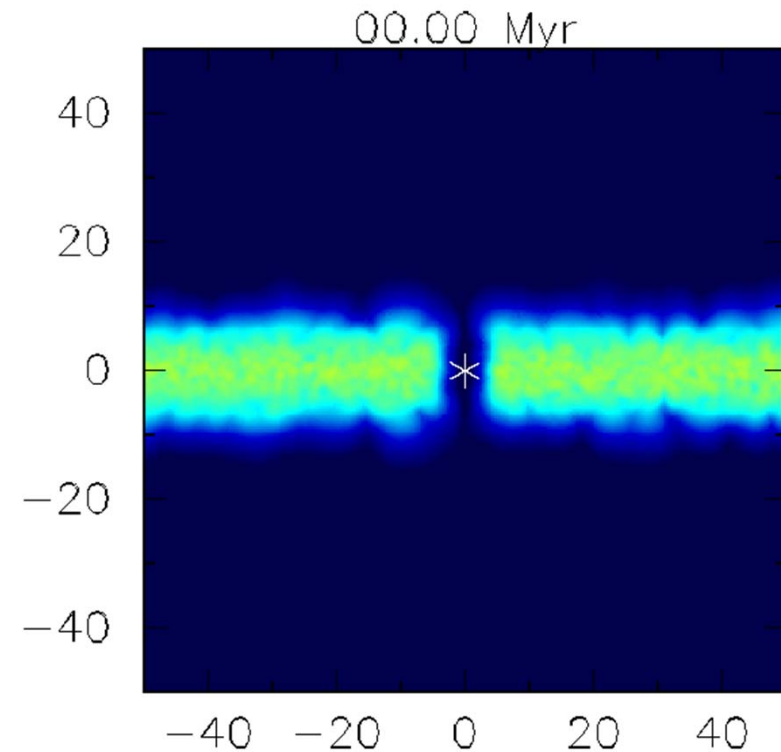
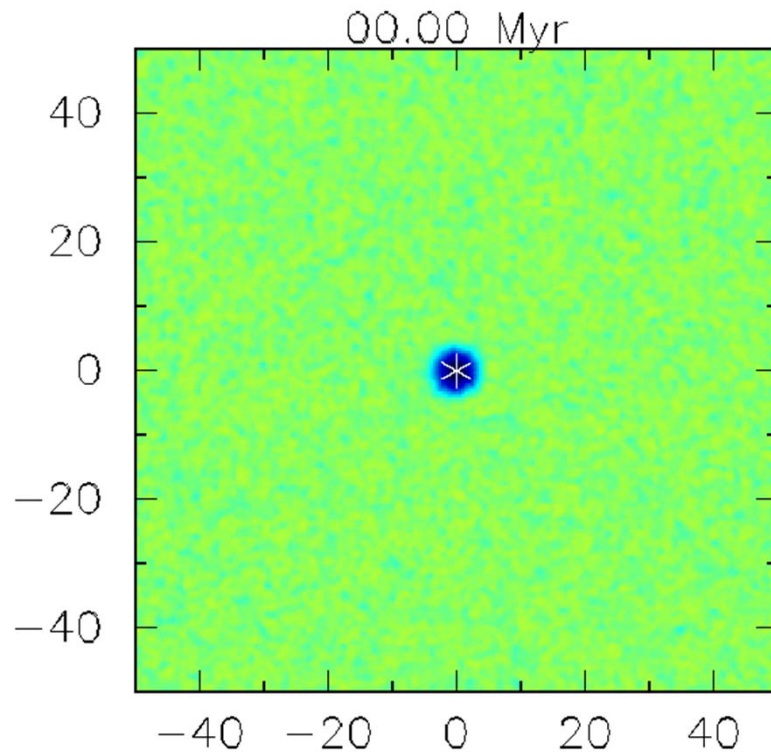
SMBH

- SMBH 粒子を導入
 - 重力相互作用を通じて周りの物質と相互作用
 - !=fixed BH ポテンシャル
 - SMBH へのガス降着は sink particle 法(Bate et al. 1997) を用いて扱う
 - 吸い込み条件
 - $r < r_{\text{sink}} = 0.1\text{pc}$: 吸い込み半径よりも内側に位置する
 - BHに拘束されている
 - 遠点の位置が r_{sink} 以下の軌道を持つ

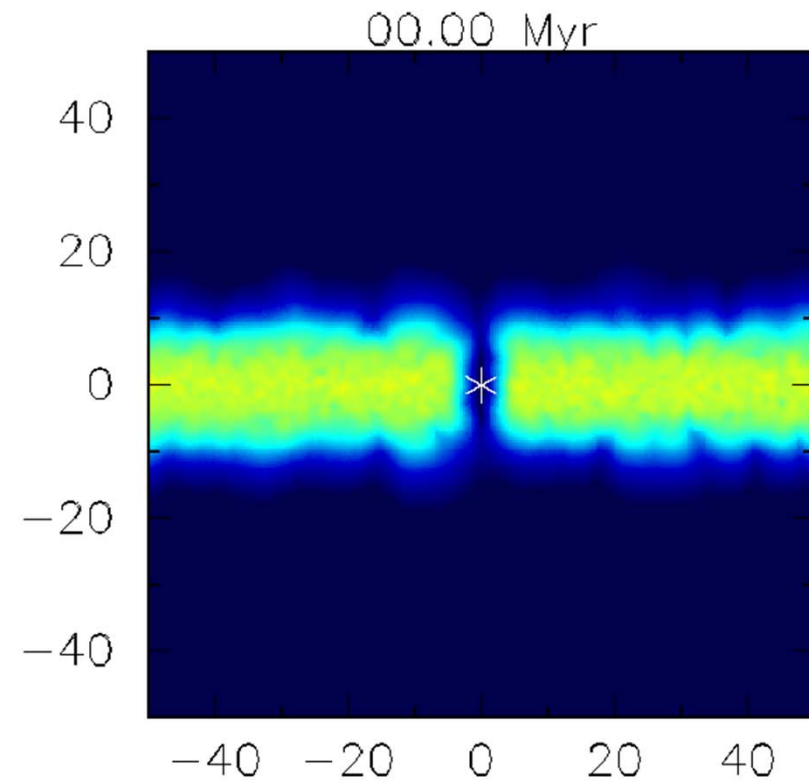
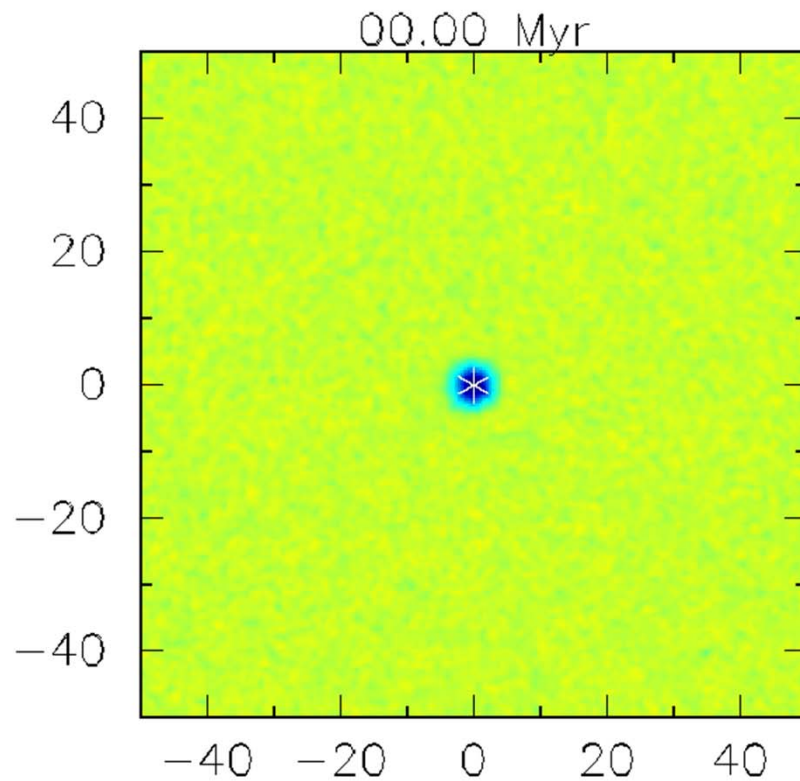
Animation: $M_{\text{gas}}=6 \times 10^6 M_{\text{sun}}$



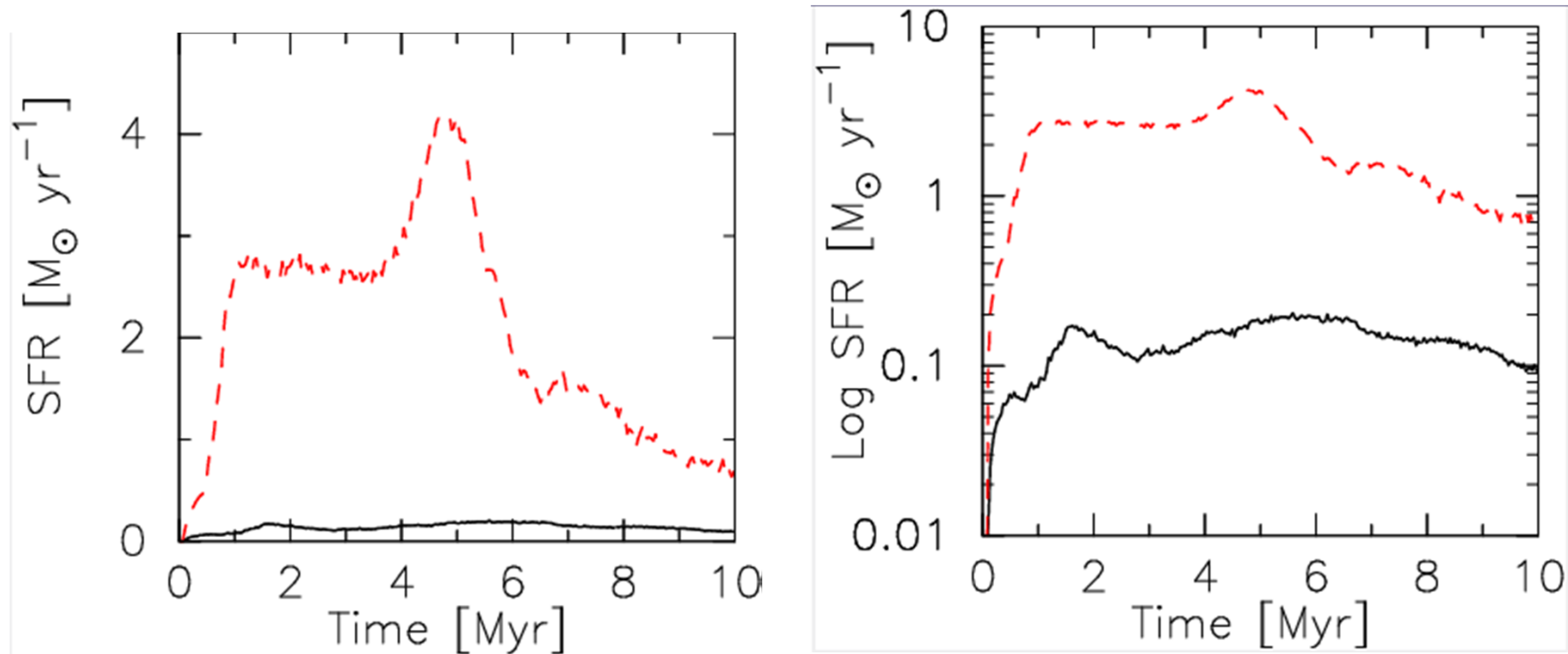
Animation: $M_{\text{gas}}=6 \times 10^6 M_{\text{sun}}$



Animation: $M_{\text{gas}}=3 \times 10^7 M_{\text{sun}}$

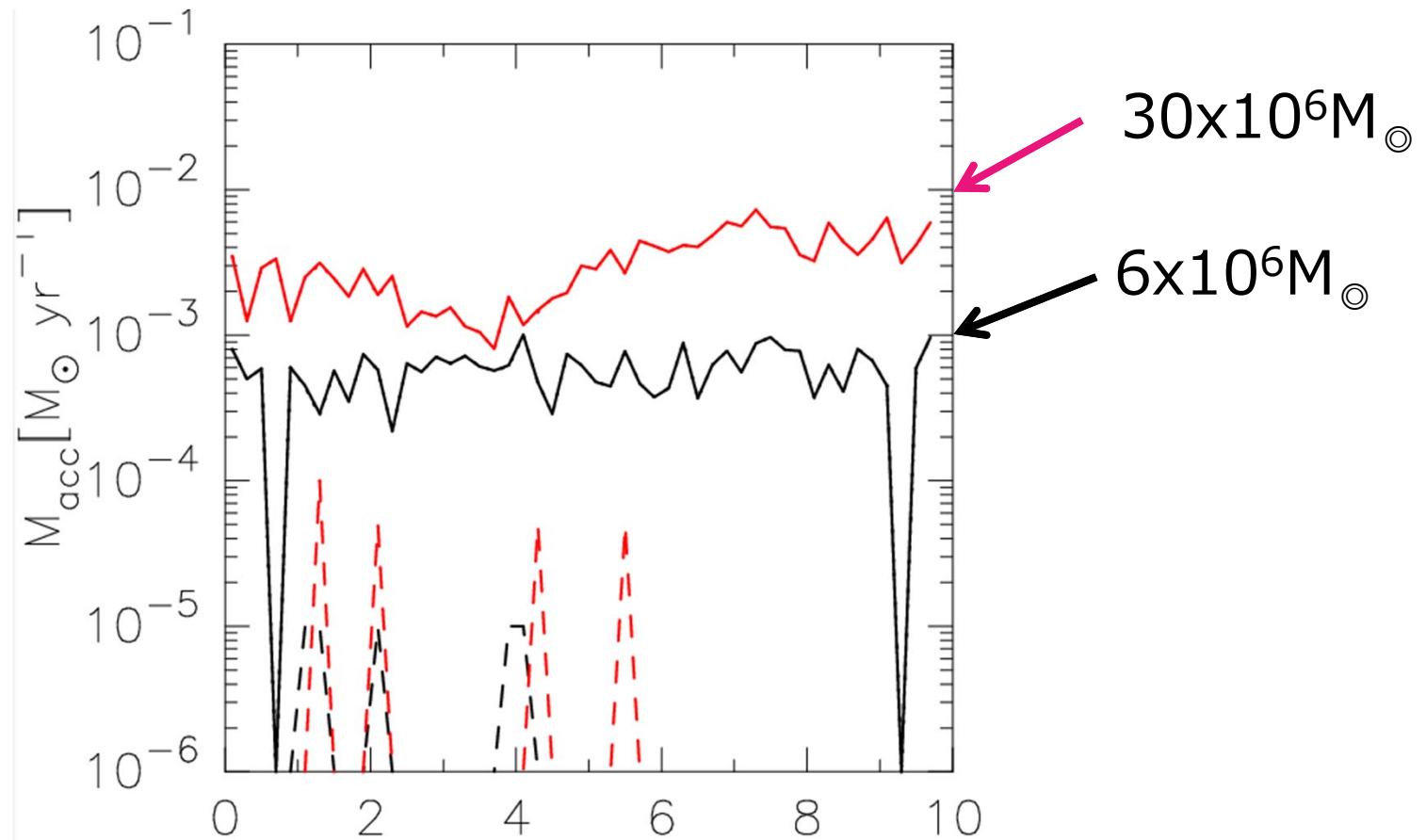


Star Formation Rate



- $6 \times 10^6 M_{\odot}$ のモデルは、 $>2 \text{ Myr}$ で準平衡状態へ
- 重たいモデルはバーストの影響が $>5 \text{ Myr}$ で見えている
 - この時期以降トーラスは破壊される

BH Accretion Rate



- 降着率 $\sim 10^{-3} M_{\odot}/\text{yr}$: ($E \sim 10^{51} \text{erg/yr}$: $\text{SFR} \sim 100 M_{\text{sun}}/\text{yr}$)
- ガス質量に依存
- トーラス破壊後もSMBHへの降着が止まらない

Aim

- AGN トーラスの 3D self-consistent なモデルの構築
 - より広い dynamic range
 - より長い time scale

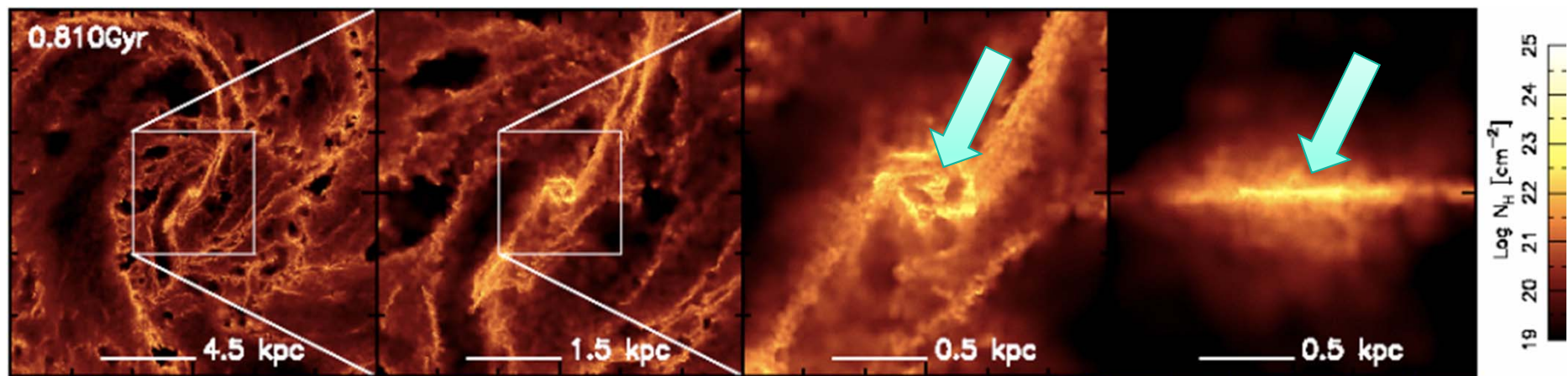
- AGN トーラスと銀河を接続
 - トーラス構造の Build/Rebuild の時間スケール
 - AGN 活動性の持続スケール

Future prospects

- 考えられる方向は二つ
 1. BH モデルを銀河/銀河形成シミュレーションに埋め込む
 - Disk model
 - Merger model
 - GF simulation
 2. AGN feedback の導入

Galaxy/GF Sim. with "BH Particle"

- トーラスの材料供給過程をより自然なものへ
 - たとえば、モデル銀河への組み込み(↓)



図の提供：馬場淳一(東工大)

AGN Feedback Model

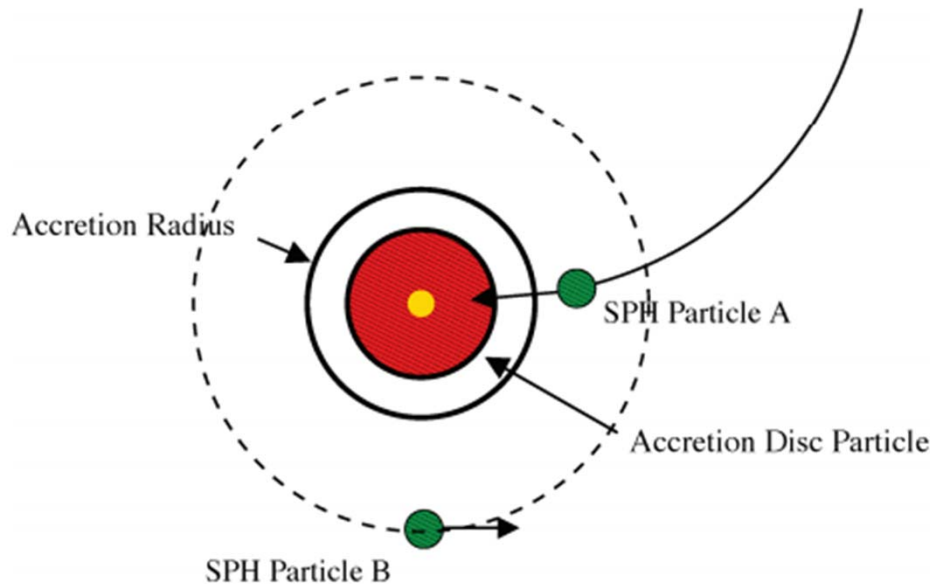


Figure 1. The ADP method: The ADP is a collisionless sink particle that consists of a black hole and its accretion disc. SPH particle A has a small angular momentum and so its orbit brings it within the ADP's accretion radius R_{acc} , at which point it is added to the accretion disc. SPH particle B's angular momentum is too large for it to be captured. The black hole feeds from the accretion disc on a viscous time-scale t_{visc} . Both R_{acc} and t_{visc} are free parameters in the ADP method. See text for further details.

- Power+2011
 - 吸い込んだガスを Accretion disk へ
 - Accretion disk からBH へは subgrid モデル
 - BH への降着率からFB

Power+2011

BH粒子

吸い込んだガス

BHそのものへの降着

まとめ

- AGN トーラス構造の長時間進化を知るために、AGN トーラスの 3D self-consistent なモデルの構築を行った
 - 自己重力、流体力学、放射冷却、星形成、HII region形成、Type II SNe
- 1M 粒子を用いた~10 Myr のシミュレーションを実行した
 - ガス質量/BH質量と進化の関係などを調べている
 - 準平衡構造を長時間保つのは難しい？
- 今後、銀河スケールのシミュレーションへの統合を行う