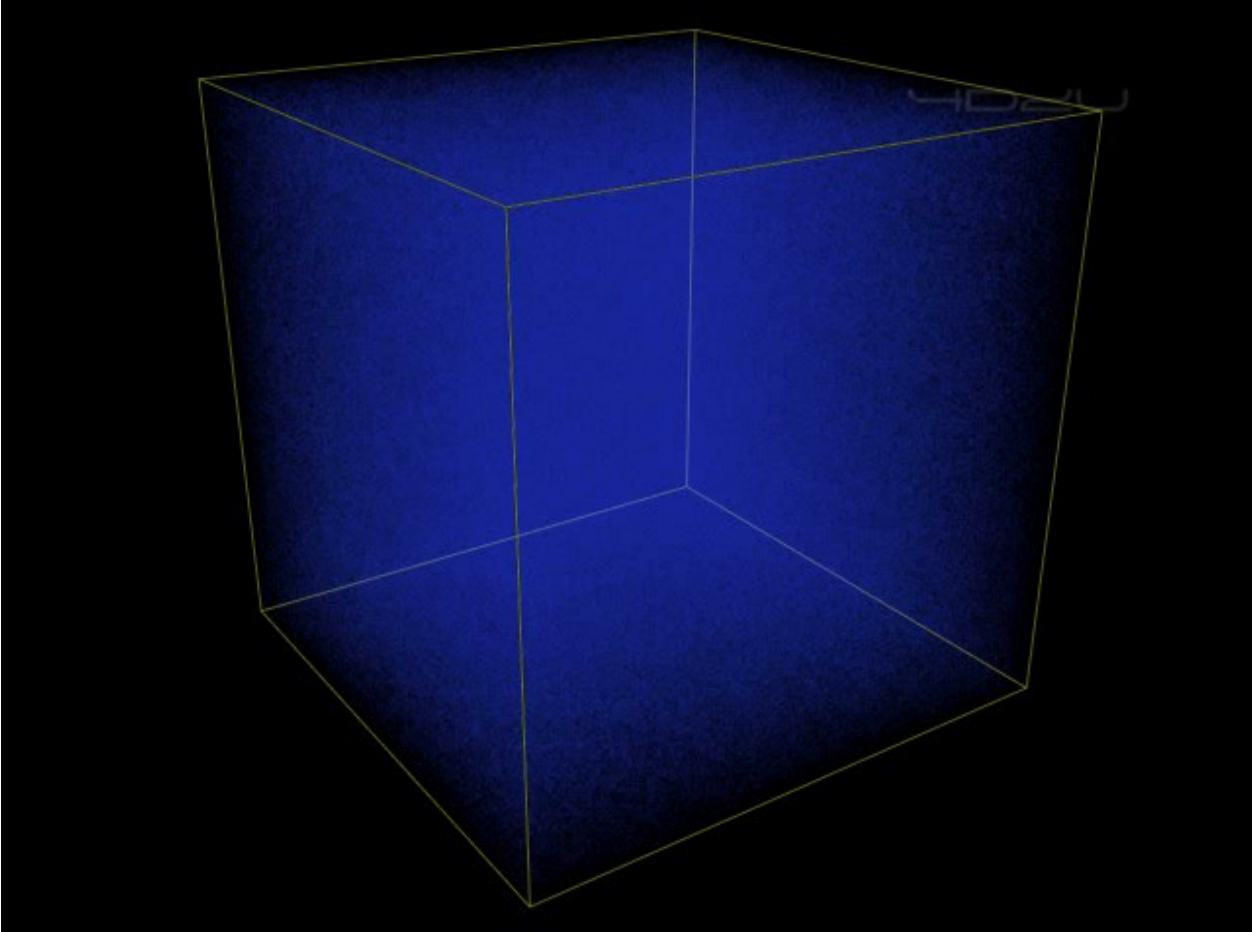


銀河形成モデルから 巨大ブラックホールへのアプローチ

長島雅裕(長崎大学教育学部) masahiro@nagasaki-u.ac.jp

Special Thanks: 榎基宏(東京経済大学)

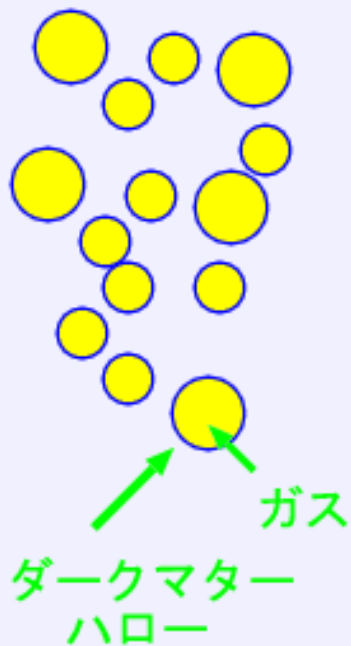
1. 銀河形成過程とSMBH/QSO形成過程…共進化
2. モデリング
3. 主な結果
4. SMBH/QSO/AGN空間分布の解析に向けて



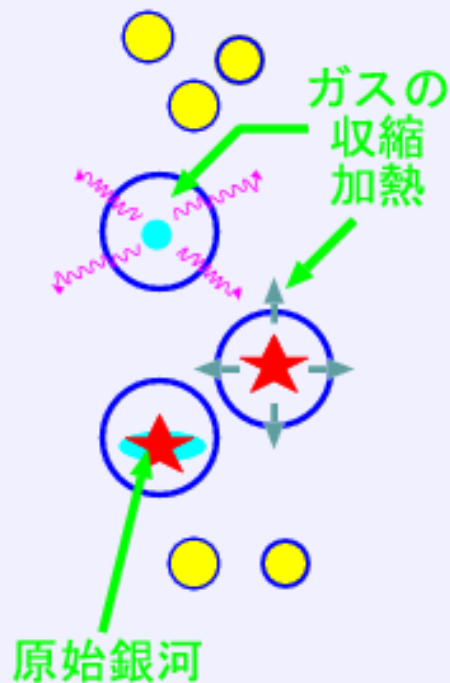
階層的構造形成説に基づく銀河形成シナリオ

宇宙初期

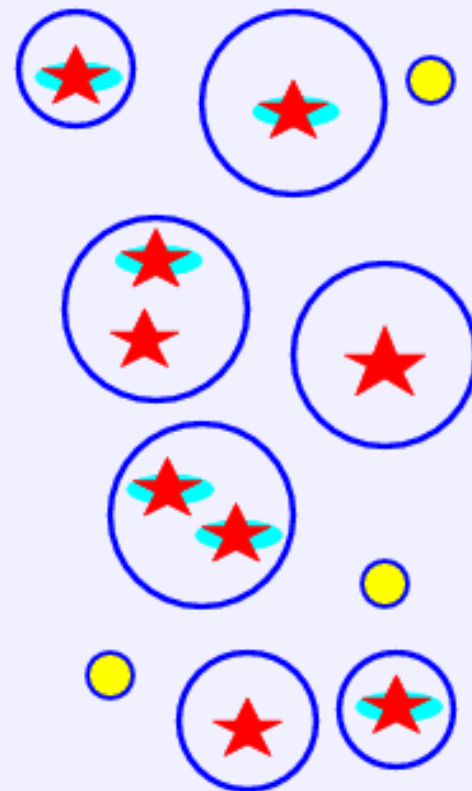
現在



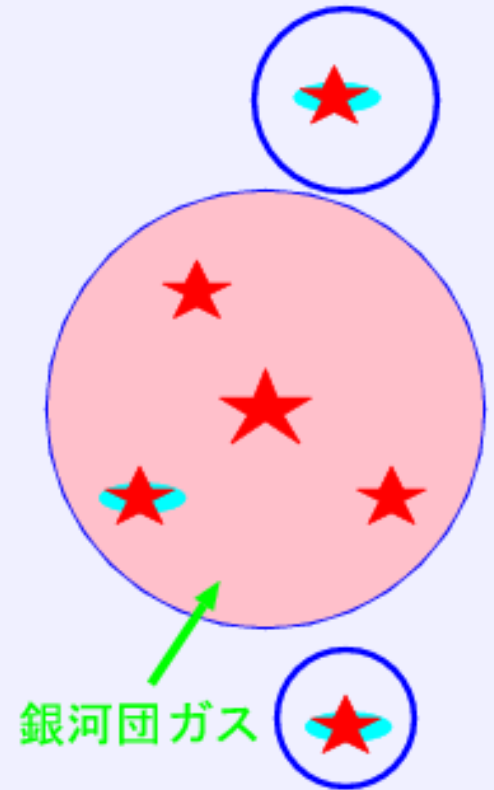
自己重力による
初期天体の形成



ガスの冷却による収縮,
星形成,
超新星爆発による
ガスの加熱

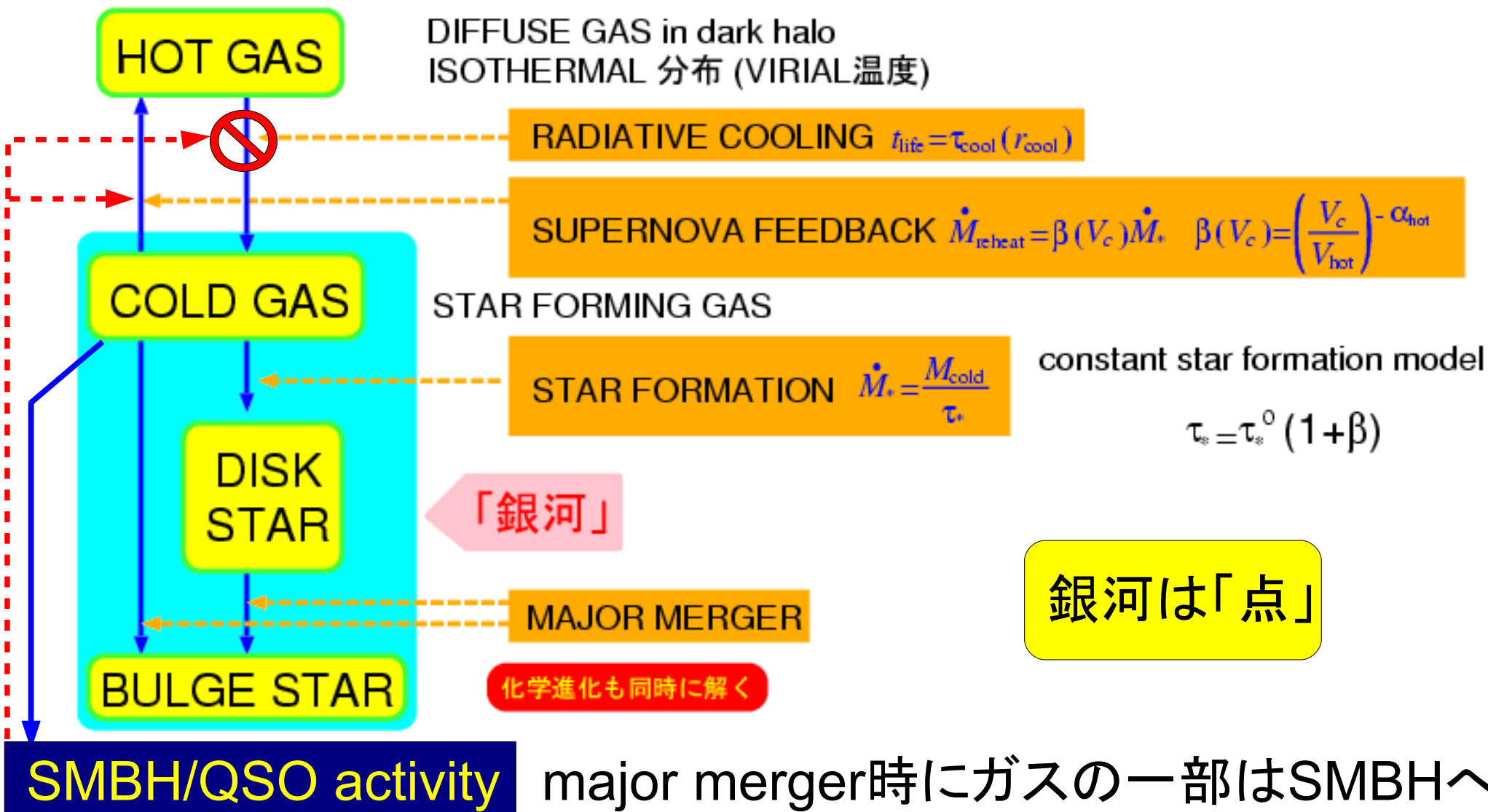
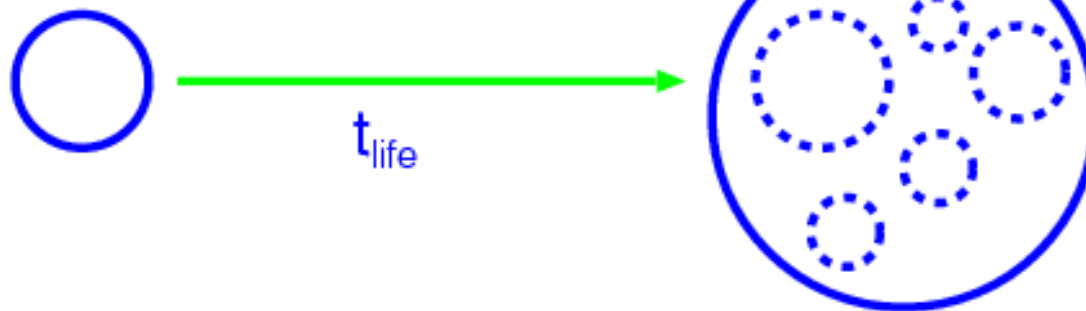


銀河同士の合体

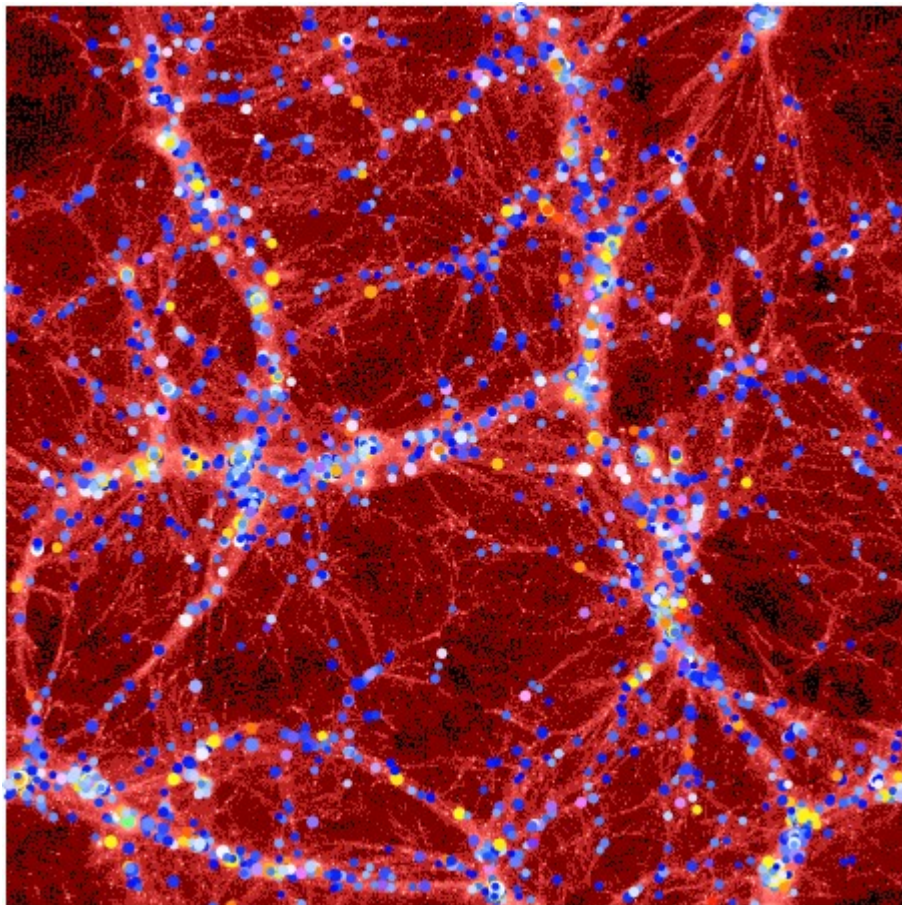


-現在の宇宙-
銀河団の形成
我々の銀河の形成

バリオンガスの進化サイクル



理論モデルを作り、観測結果と比較する



理論モデルにより得られた分布

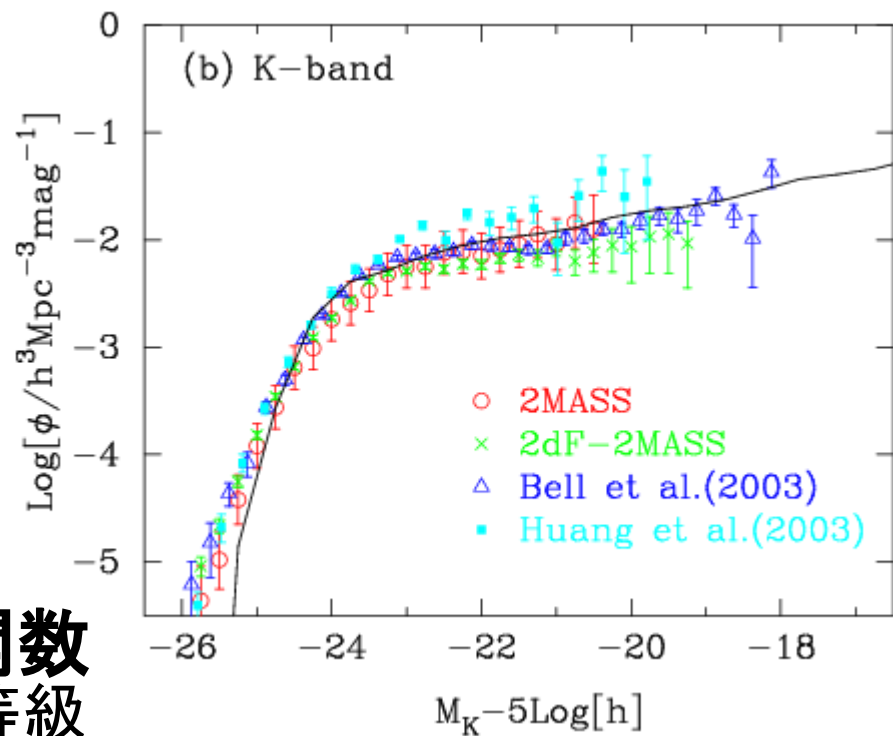
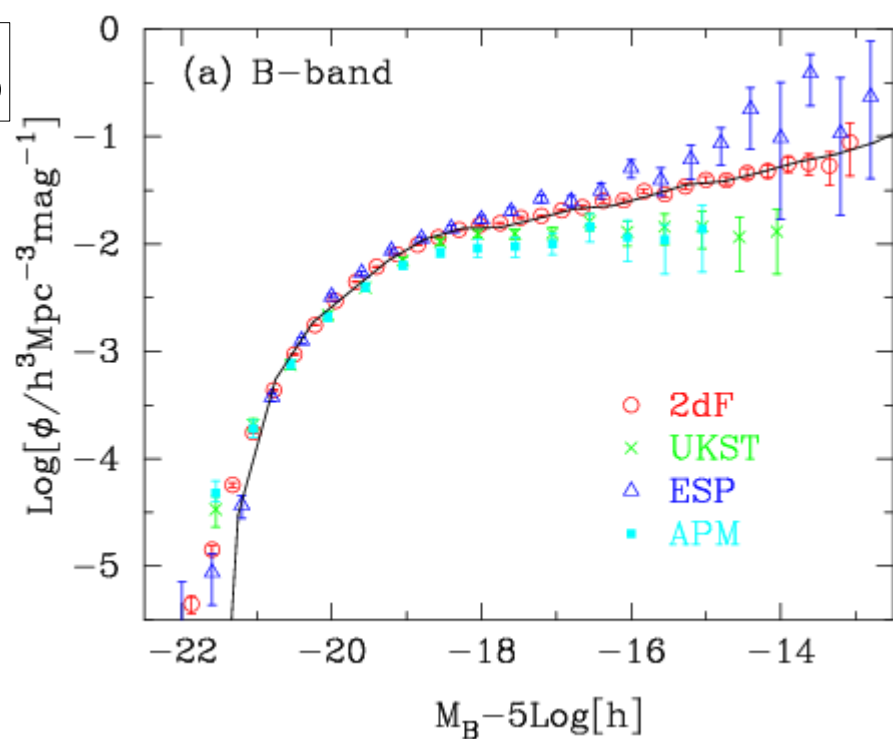
赤の濃淡: ダークマター密度

色つき丸: 銀河

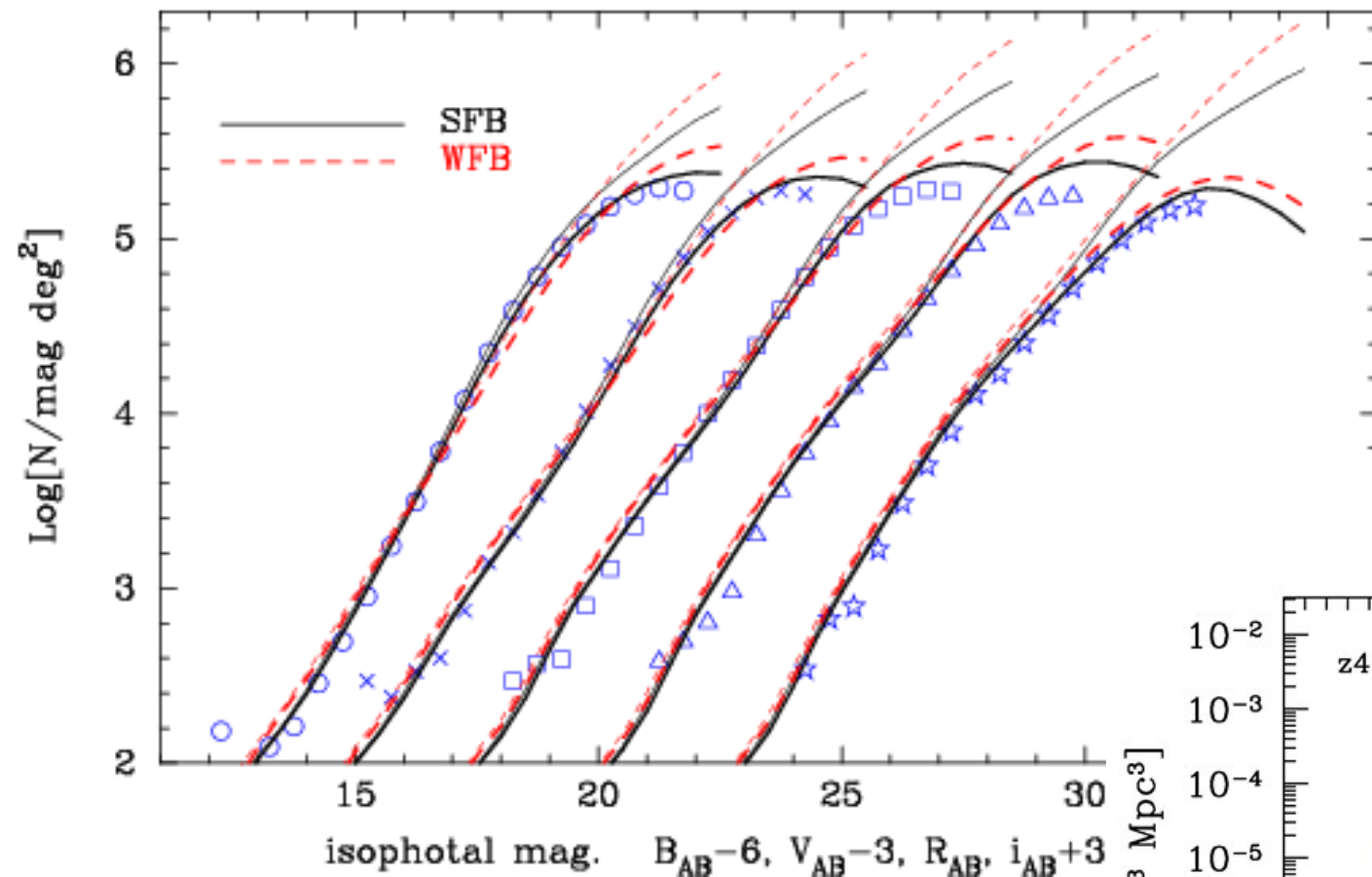
光度関数

横軸: 銀河の等級

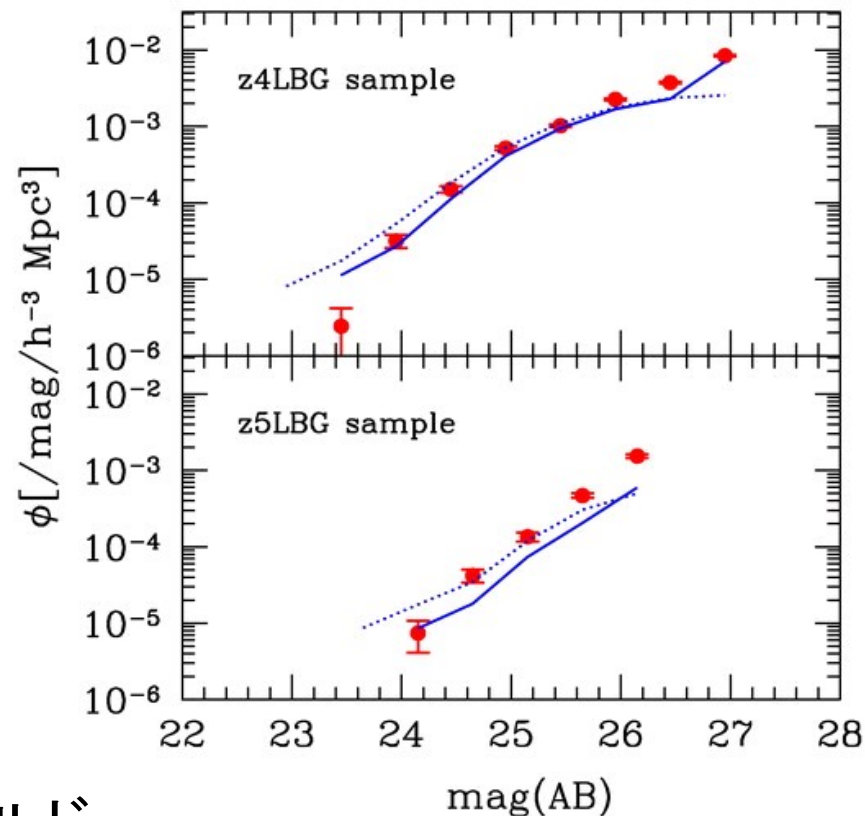
縦軸: 個数密度



Nagashima et al.(2005)



すばるディープフィールド
でのナンバーカウント
Nagashima et al.(2005)

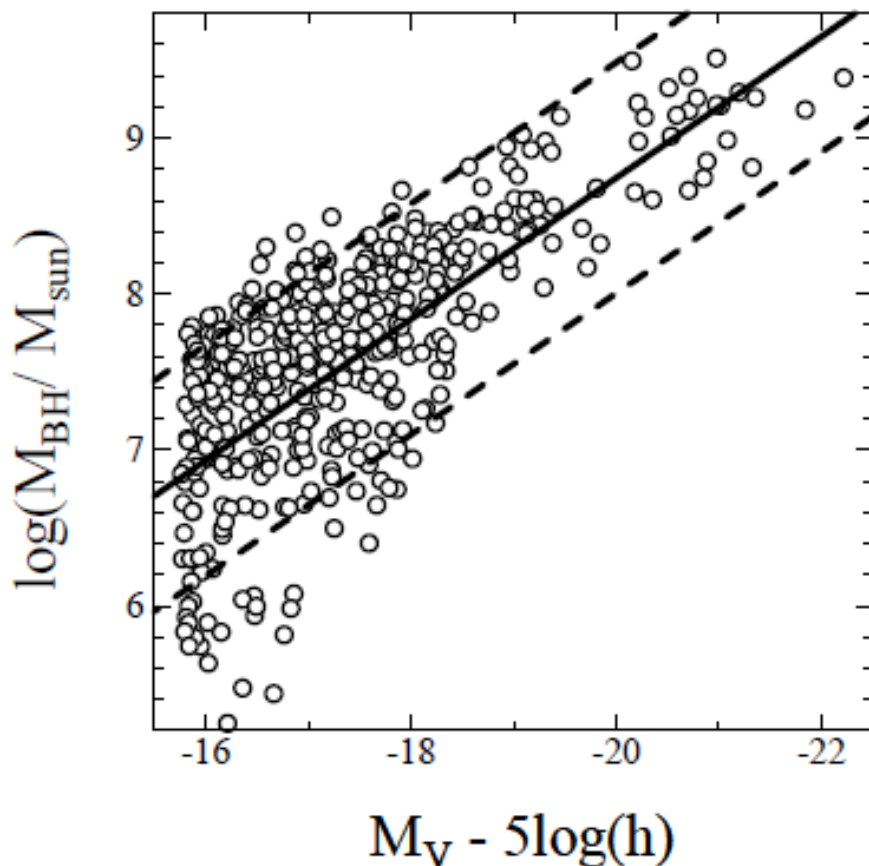


すばるディープフィールド
での銀河の光度関数

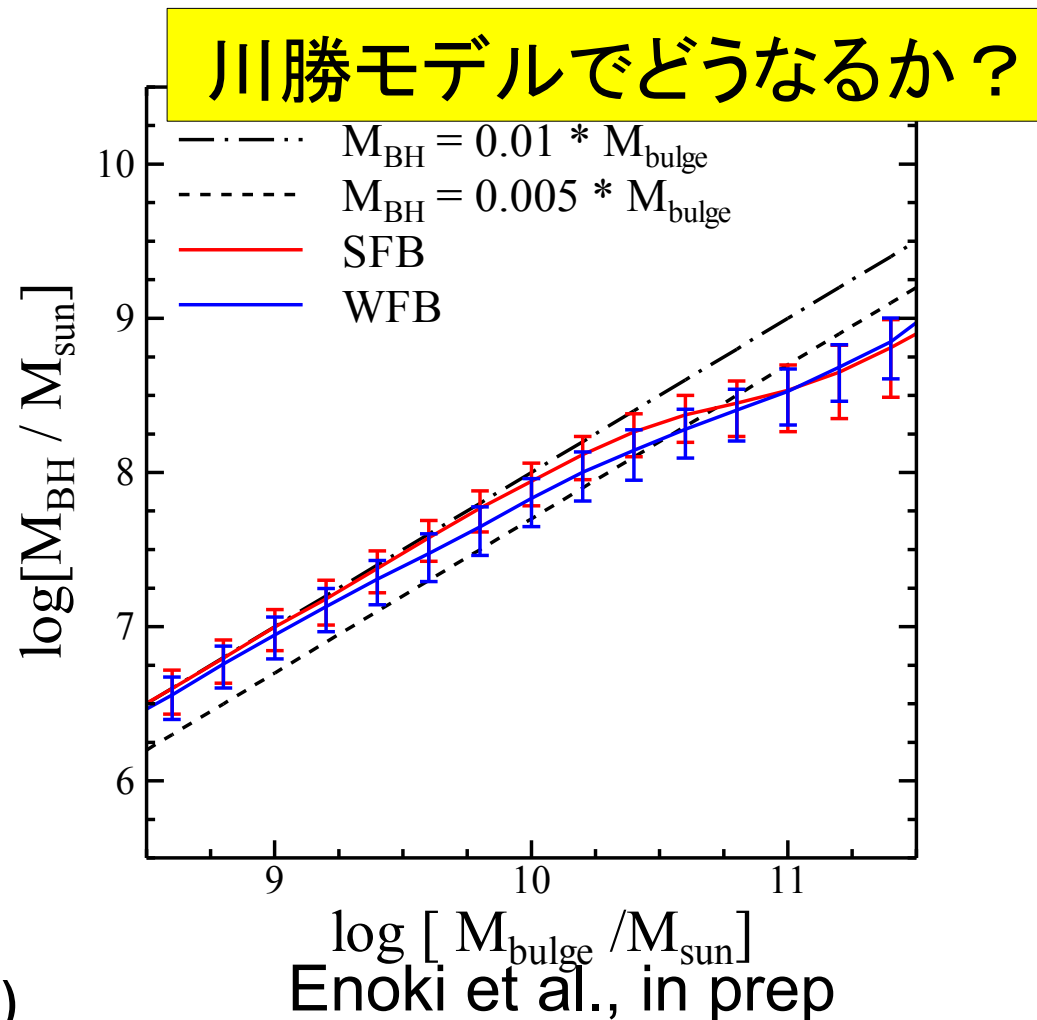
Kashikawa et al.(2006)

Gas accretion onto SMBHs

- まずは、gas→SMBH (AGN feedback は無視)
- major merger の時、starburst で星になる質量の f_{BH} 分のガスが SMBH に降着すると仮定 $\Delta M_{BH} = f_{BH} \Delta M_{*,burst}$
 - ▶ SFRに比例

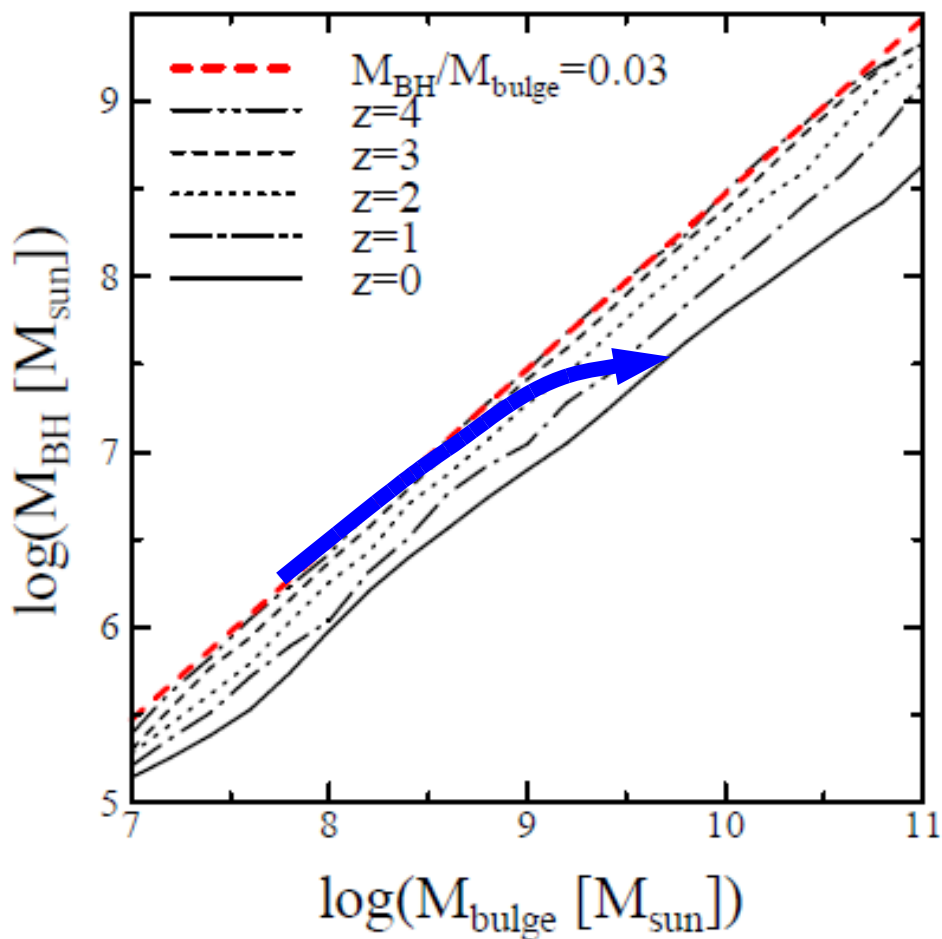


Enoki, Nagashima & Gouda (2003)



Enoki et al., in prep

Growth of SMBHs



high-z では gas accretion で、
 low-z では BH merger で太る
 (low-zにはガスがあまりない)

Enoki, Inoue, Nagashima & Sugiyama (2004)

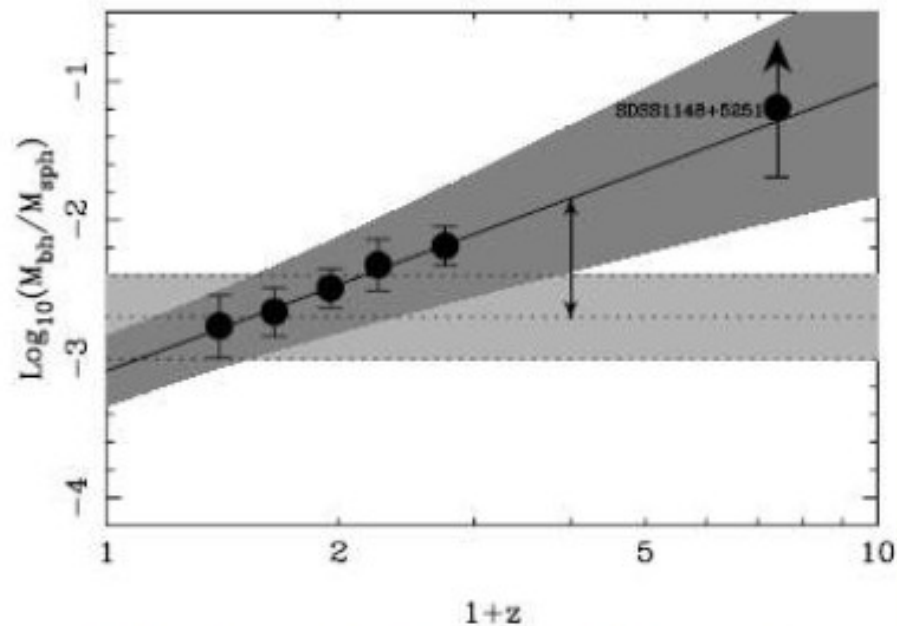
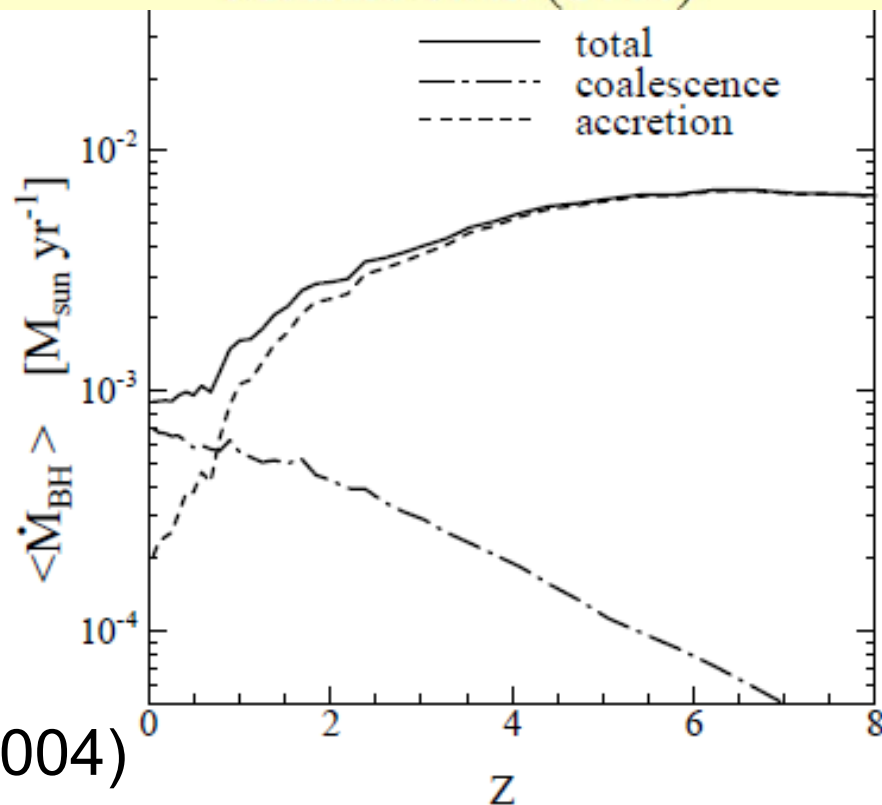
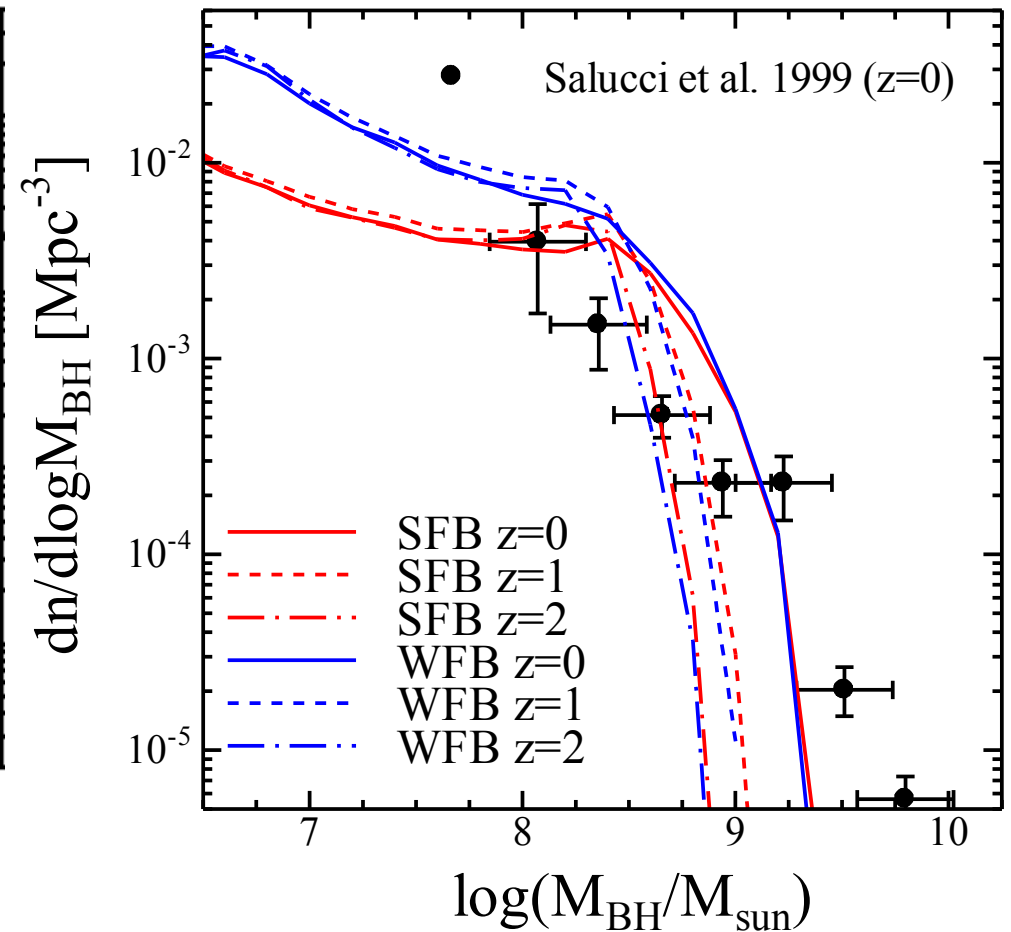
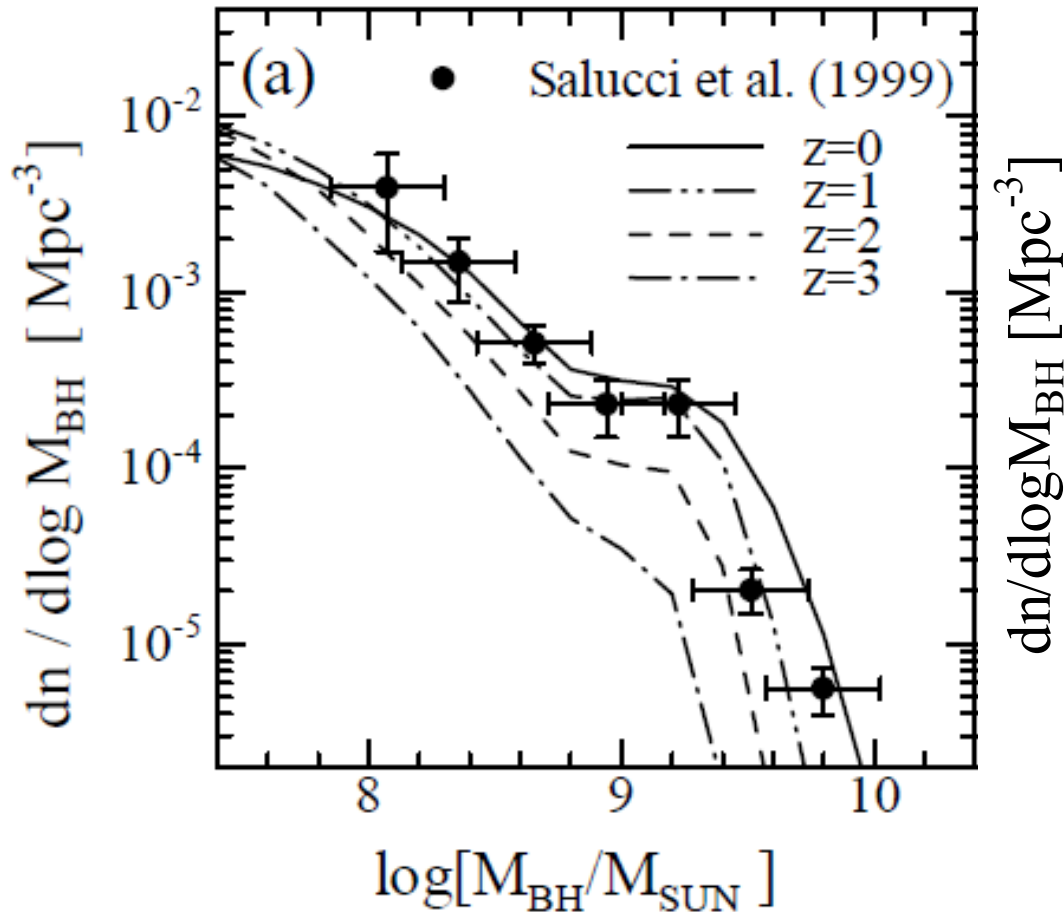


Figure 4. The evolution of the $M_{\text{bh}}:M_{\text{sph}}$ ratio for the 3C RR sample as McLure et al. (2006)

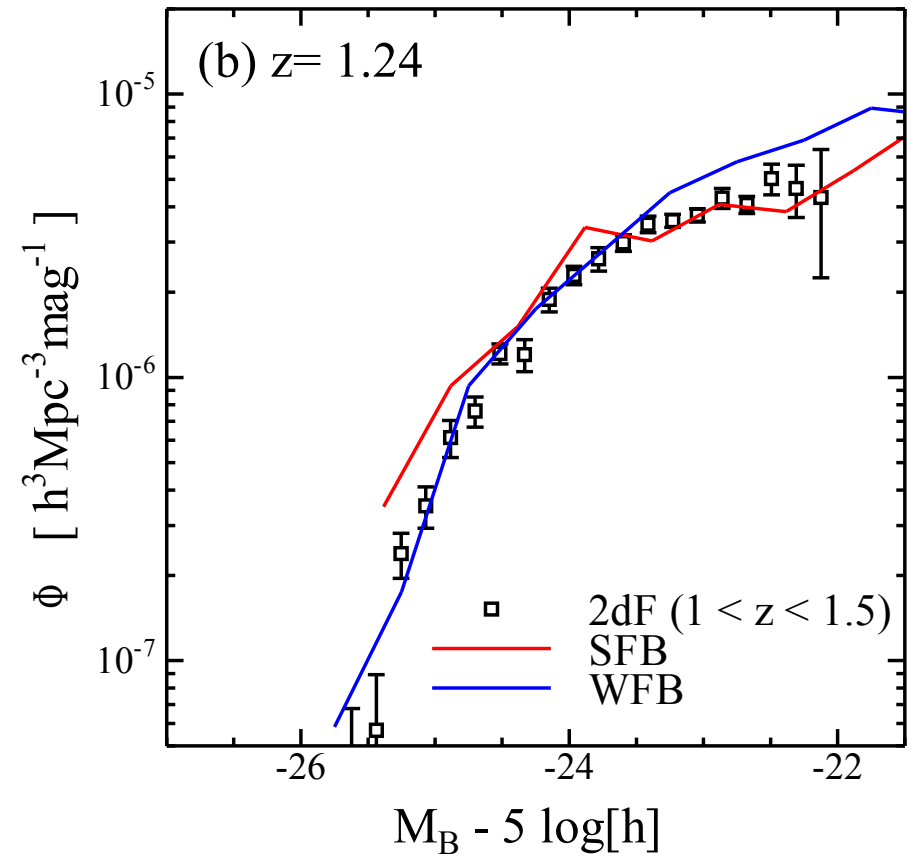
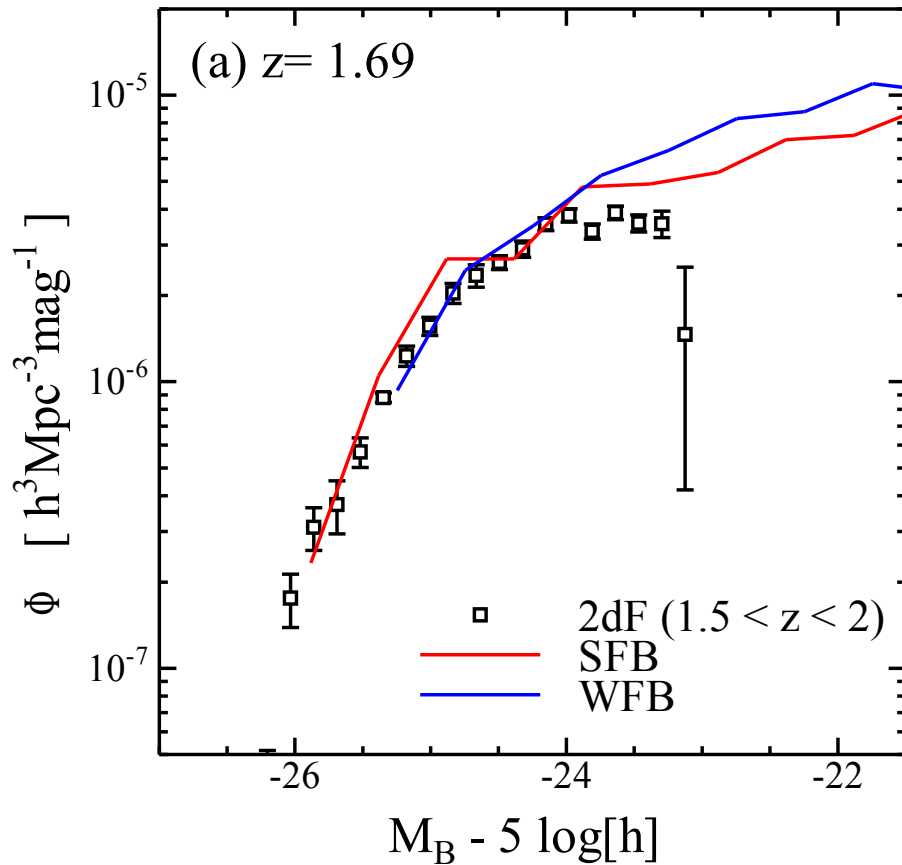


SMBH mass function



Enoki, Inoue, Nagashima & Sugiyama (2004) Enoki et al., in prep

QSO LFs



SFB : $t_{\text{life}}(0) = 1.0 \times 10^7 \text{ yr}$, $\epsilon_B = 0.0045$

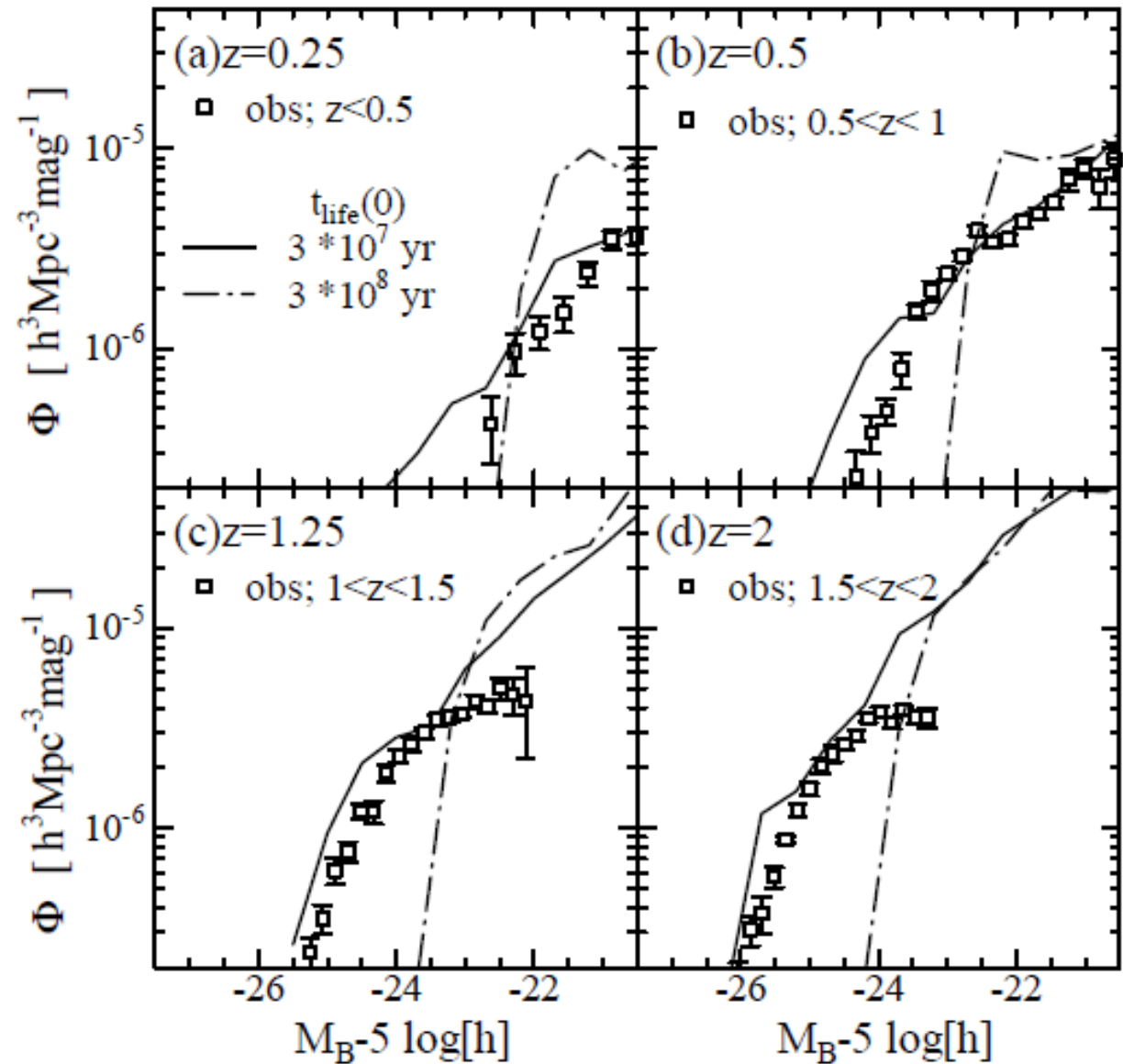
WFB: $t_{\text{life}}(0) = 0.6 \times 10^7 \text{ yr}$, $\epsilon_B = 0.0025$

$$L_B(t) = \frac{\epsilon_B M_{\text{acc}} c^2}{t_{\text{life}}} \exp\left(-\frac{t}{t_{\text{life}}}\right)$$

$\epsilon_B, t_{\text{life}}$ がパラメータ

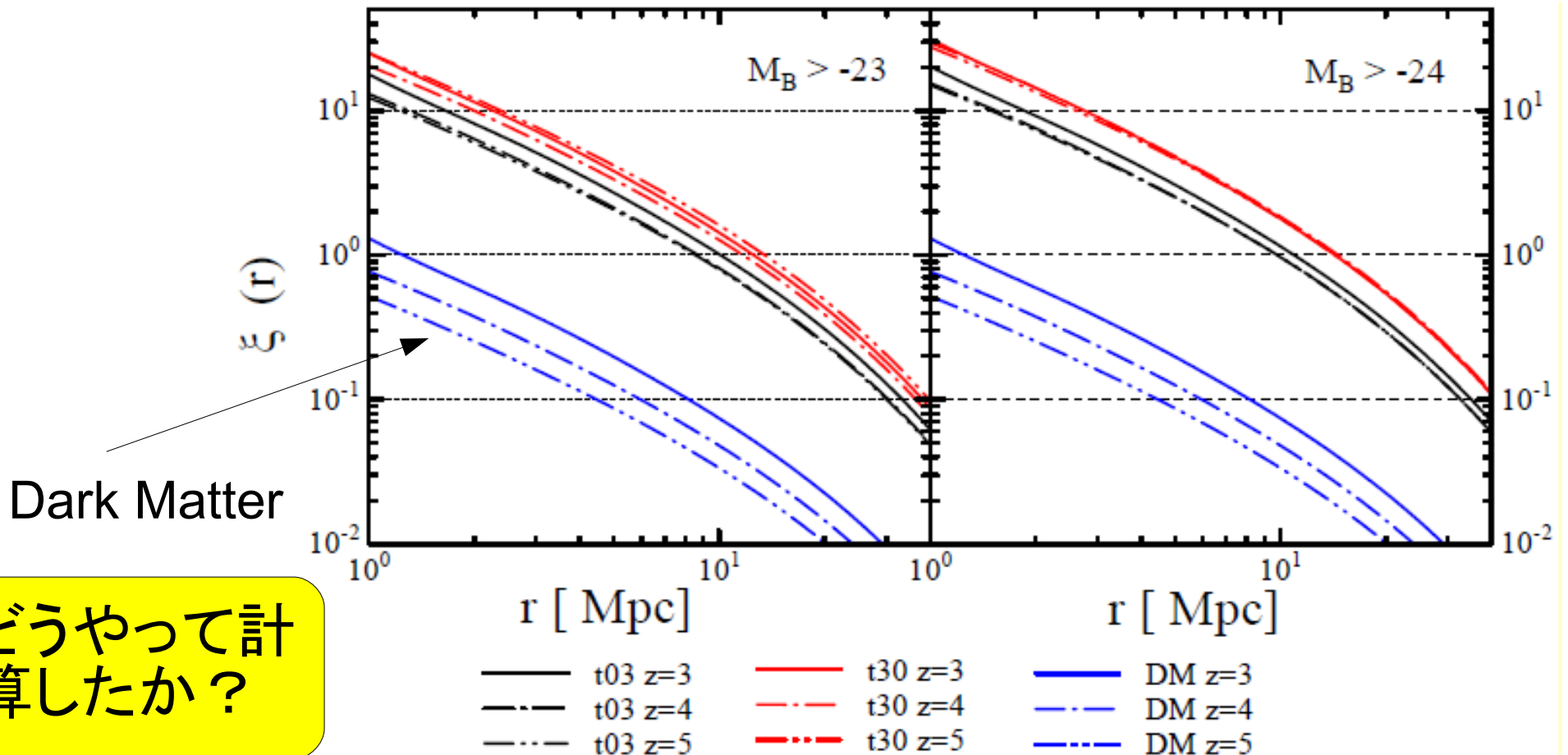
QSO life-time & luminosity function

- t_{life} 長い
 - ▶ 存在確率は増えるが、光度は上がらない
- t_{life} 短い
 - ▶ 光度は上がるが存在確率が減る



QSO correlation function

- with halo bias model
 - ▶ t_{life} 長い $\rightarrow \Delta M$ が大きくなないと、考慮する等級に達しない
 \rightarrow massive halo にいる QSO のみがひっかかる \rightarrow amplitude 大



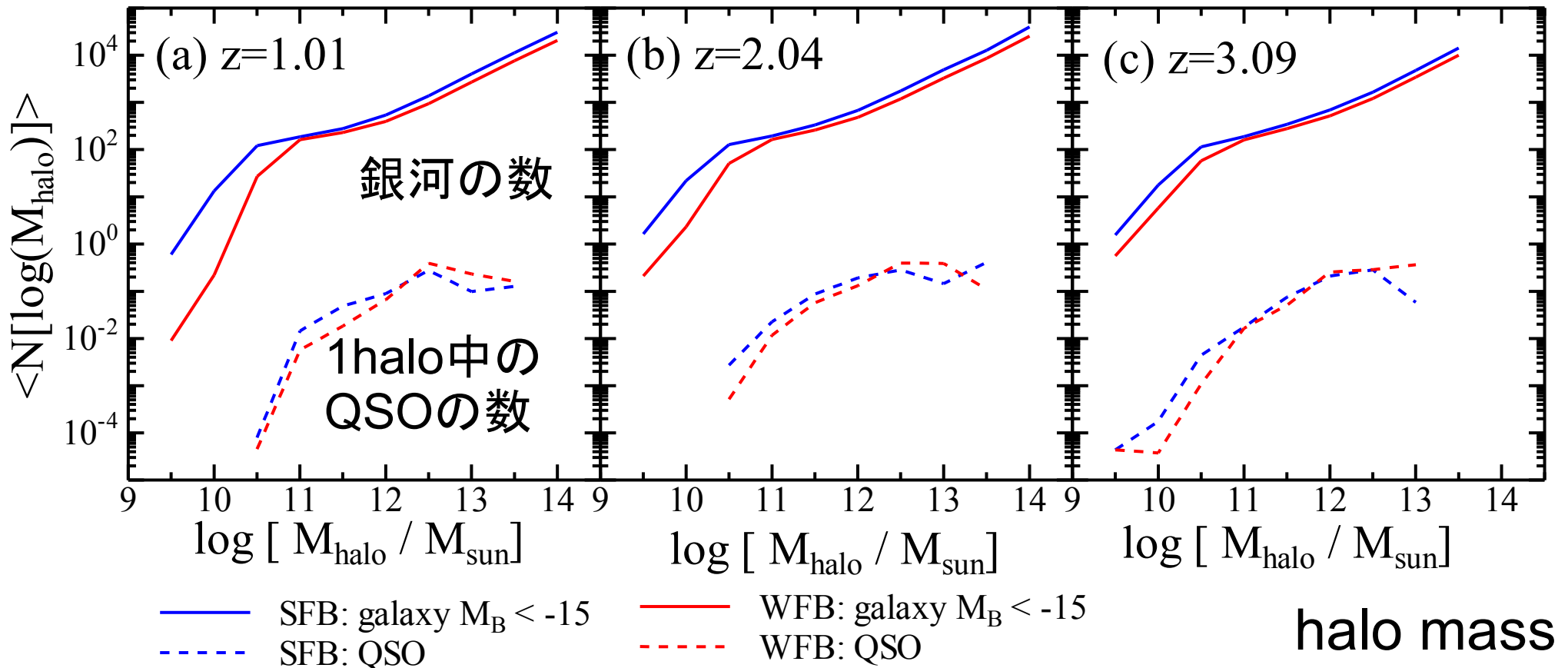
どうやって計算したか？

QSO halo occupation distribution

halo bias model \rightarrow

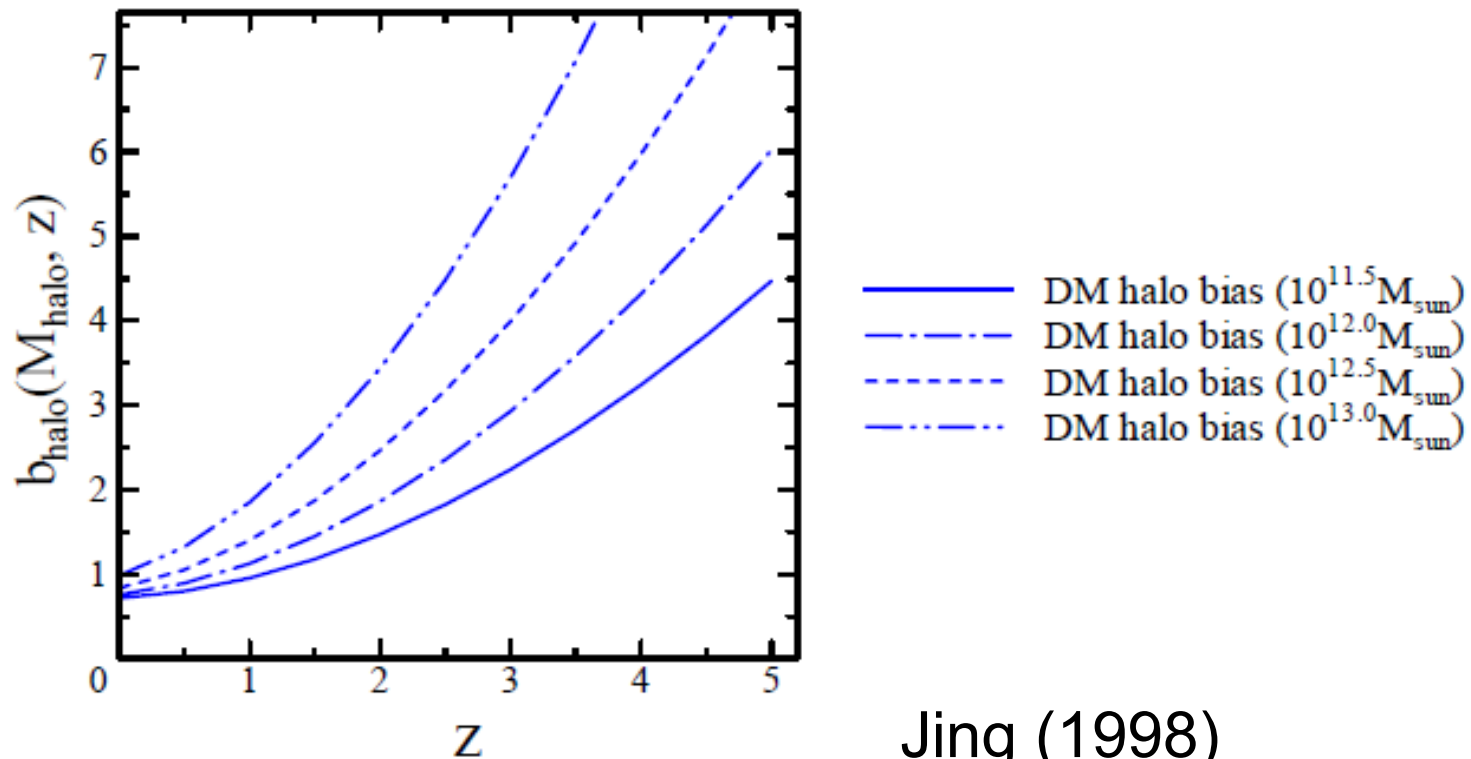
$$b_{\text{eff}}(z) = \frac{\int b(M, z) \langle N(M, z) \rangle n(M|z) dM}{\int \langle N(M, z) \rangle n(M|z) dM}$$

halo mass function



halo bias

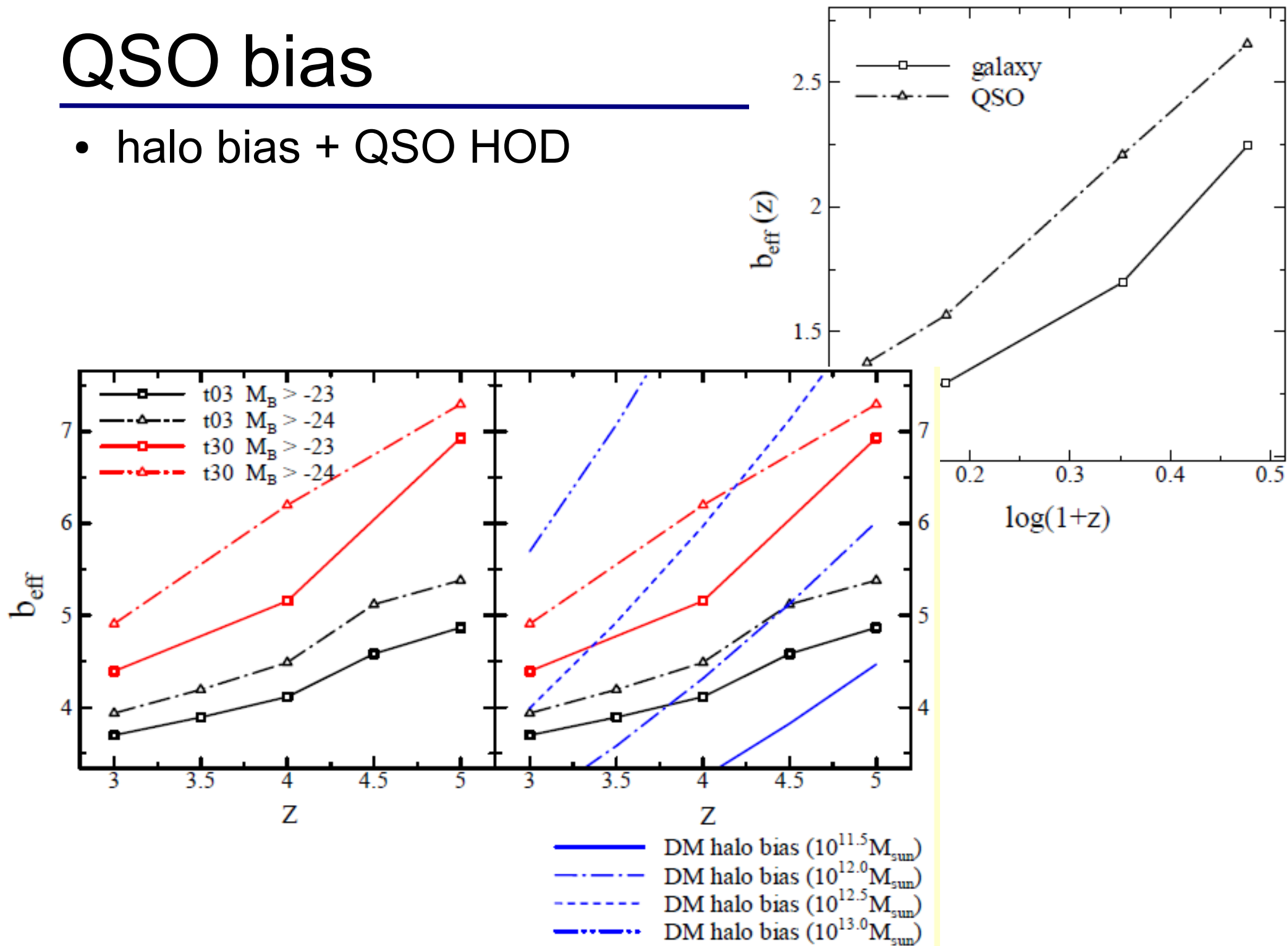
$$\xi_{QSO} = b_{QSO}^2 \xi_{DM}$$



Jing (1998)

QSO bias

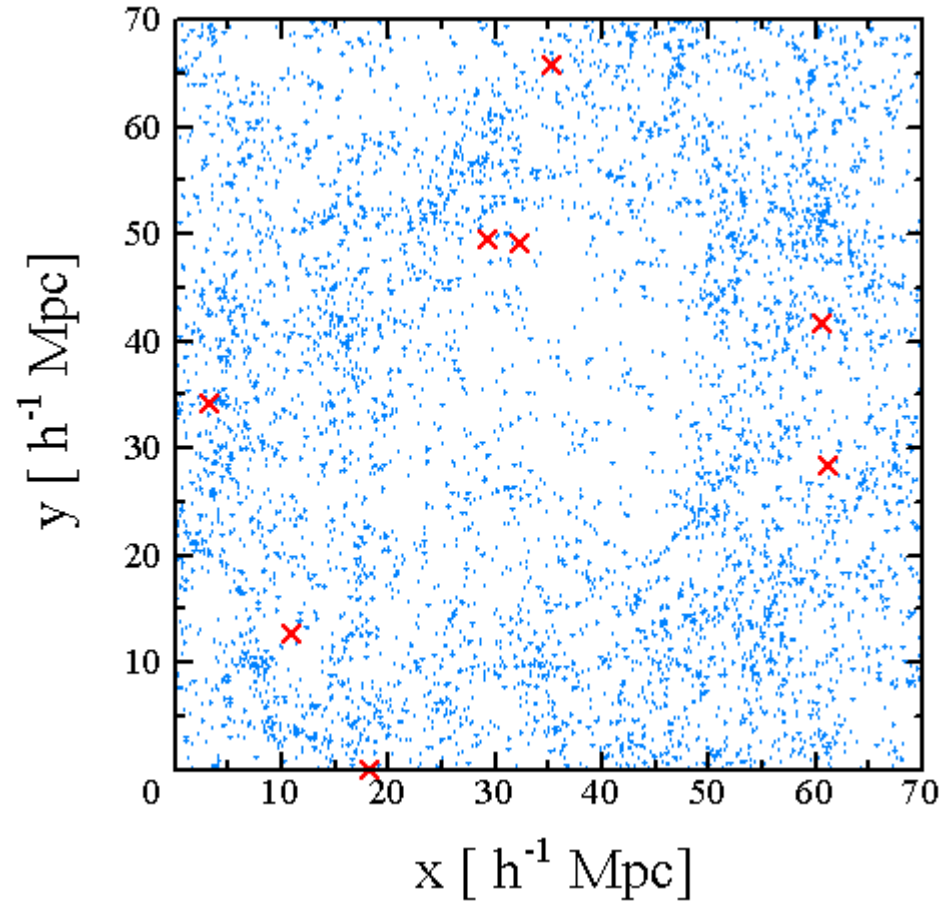
- halo bias + QSO HOD



spatial distribution of QSOs

- vGCにQSO modelを積んでみた

70Mpc/h (=100Mpc) box に
QSOが10個もない!

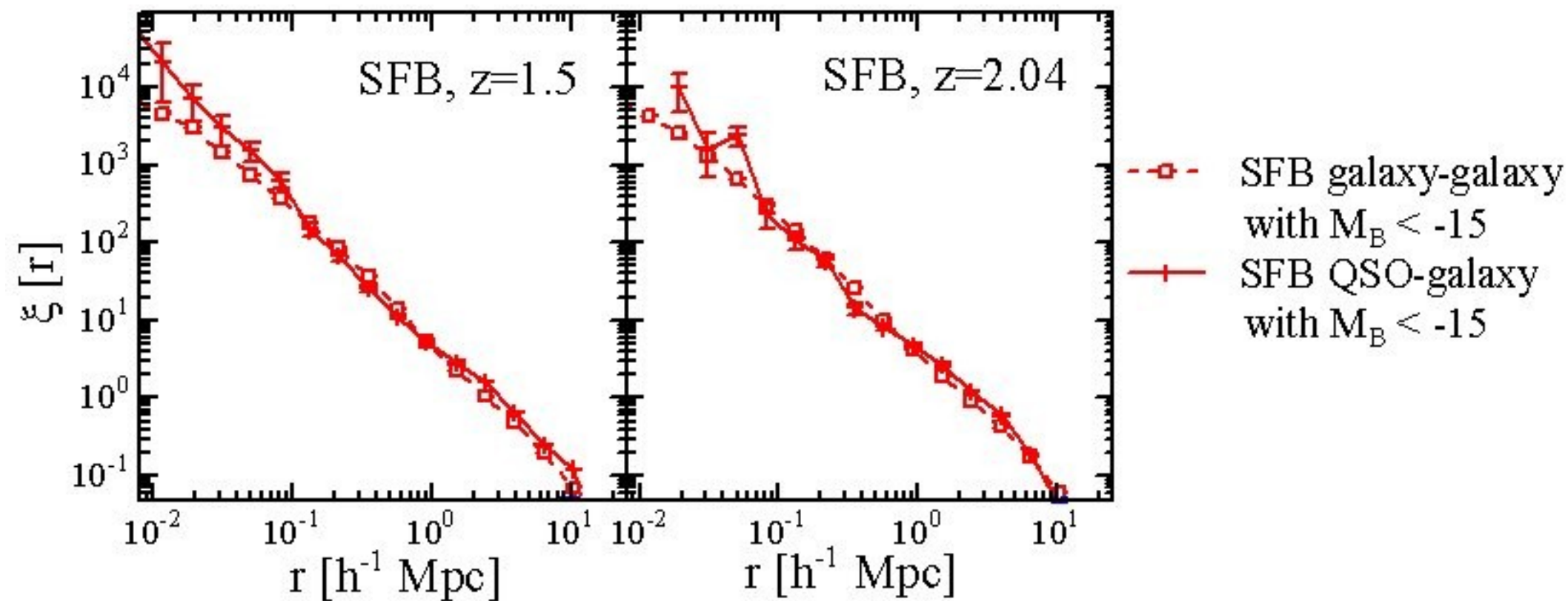


× : QSO

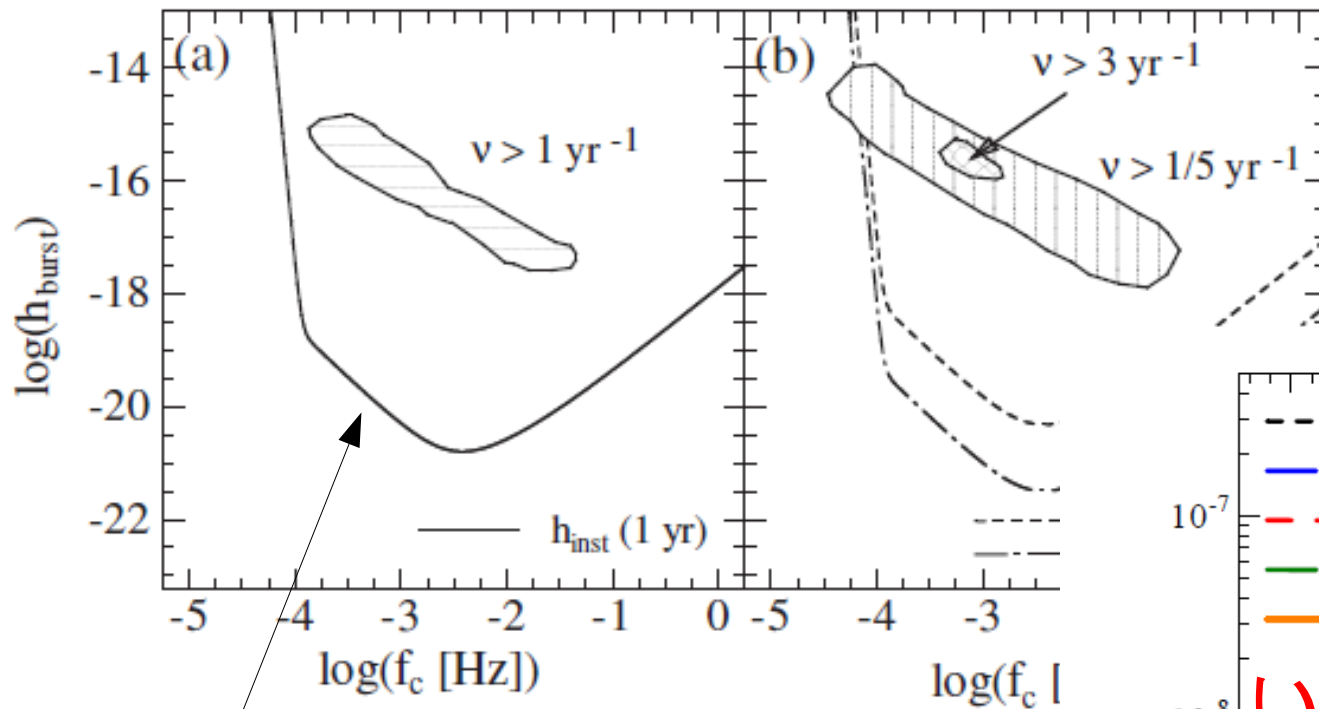
• : galaxy $M_B < -18.0$

Enoki et al., in prep.

cross correlation



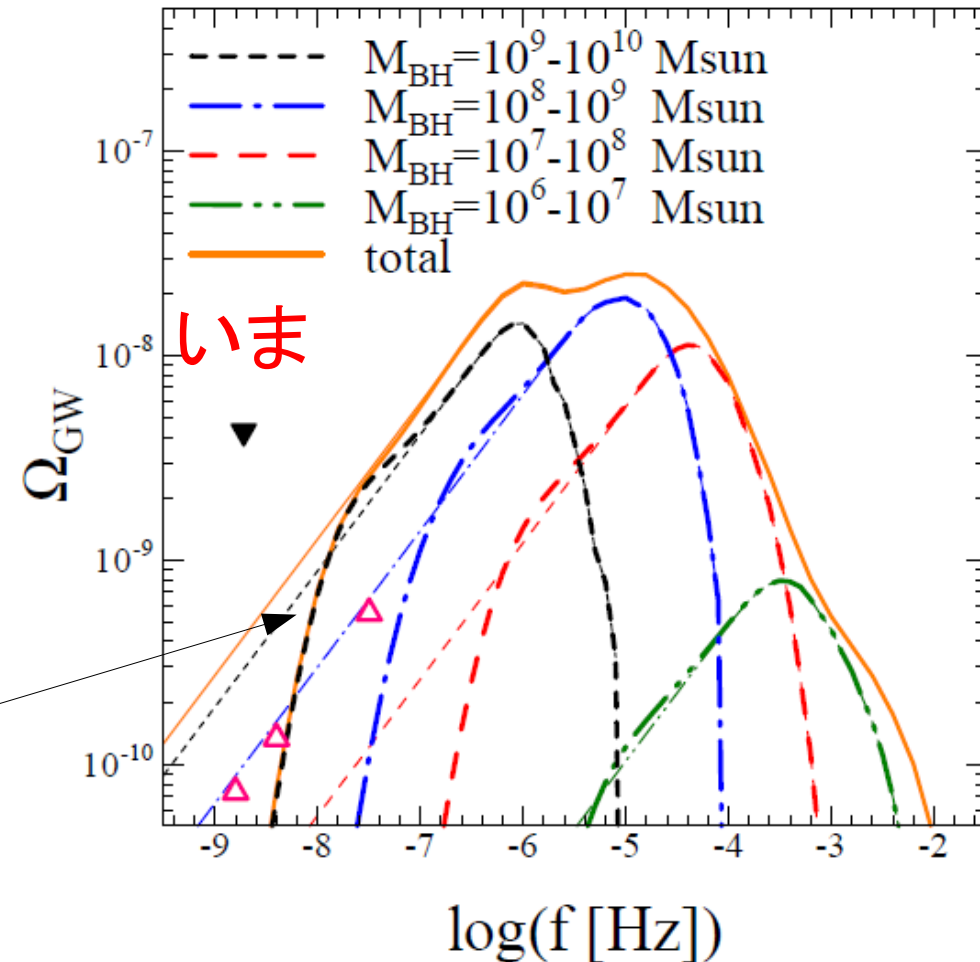
関連：重力波で検証可能



Enoki et al. (2004)

LISA detection limit
年に1発程度検出？

Pulsar timing arrayで
検出可能？



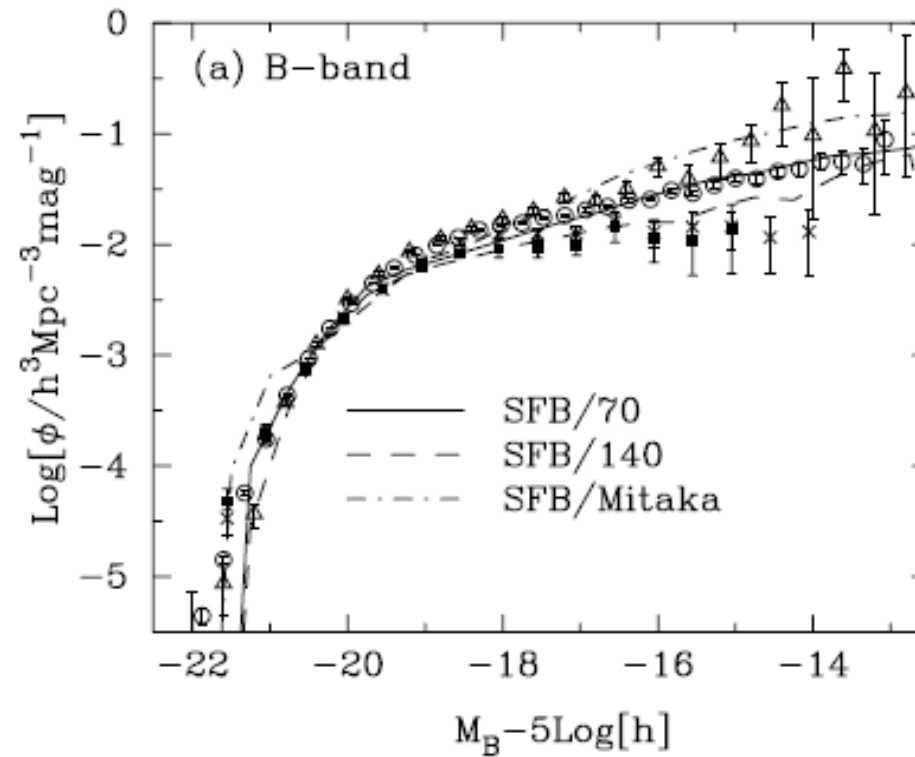
Enoki & Nagashima (2007)

vGCの現状での限界

- 現状では box size が 100, 200, 300Mpc/h
- しかし、QSO個数密度は 10^{-5}Mpc^{-3} 程度(暗いものも含め)
 - ▶ 100Mpc box では高々10個程度
 - ▶ 300Mpc box でも300個程度
- QSO autocorrelation はちょっと難しい(500Mpcは欲しい)
- box size を大きくすると?
 - ▶ resolution が落ちる
 - 100と200Mpc box では結果が少し異なる
 - ▶ 2048^3 が動けば、500Mpc box でも意味のある計算ができそう
 - 明るい銀河のみに着目すれば問題はなさそうだが…

box size dependence

- 同じパラメータセットで、100(=70/h)Mpcと200(=140/h)Mpc box でLFがどう変わるか

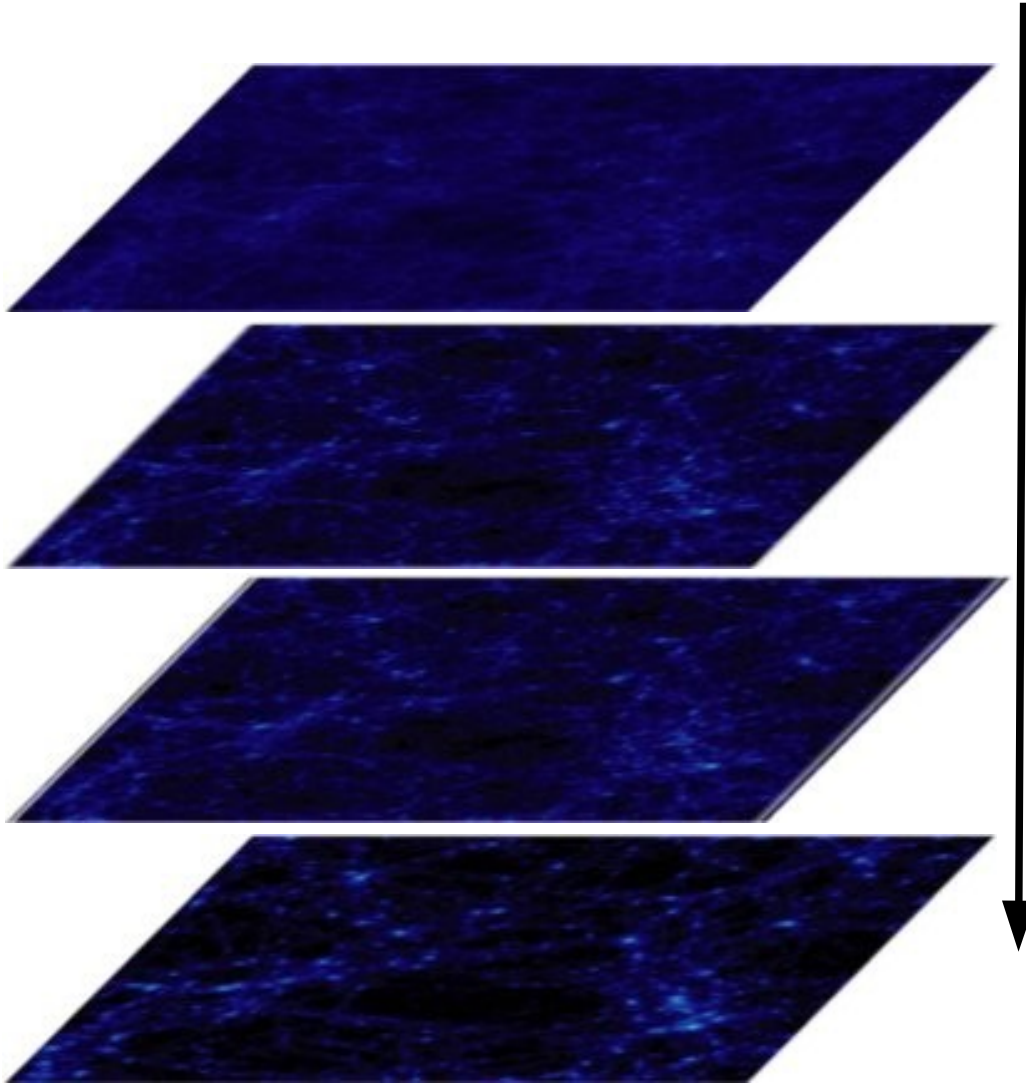


ハイブリッドモデル

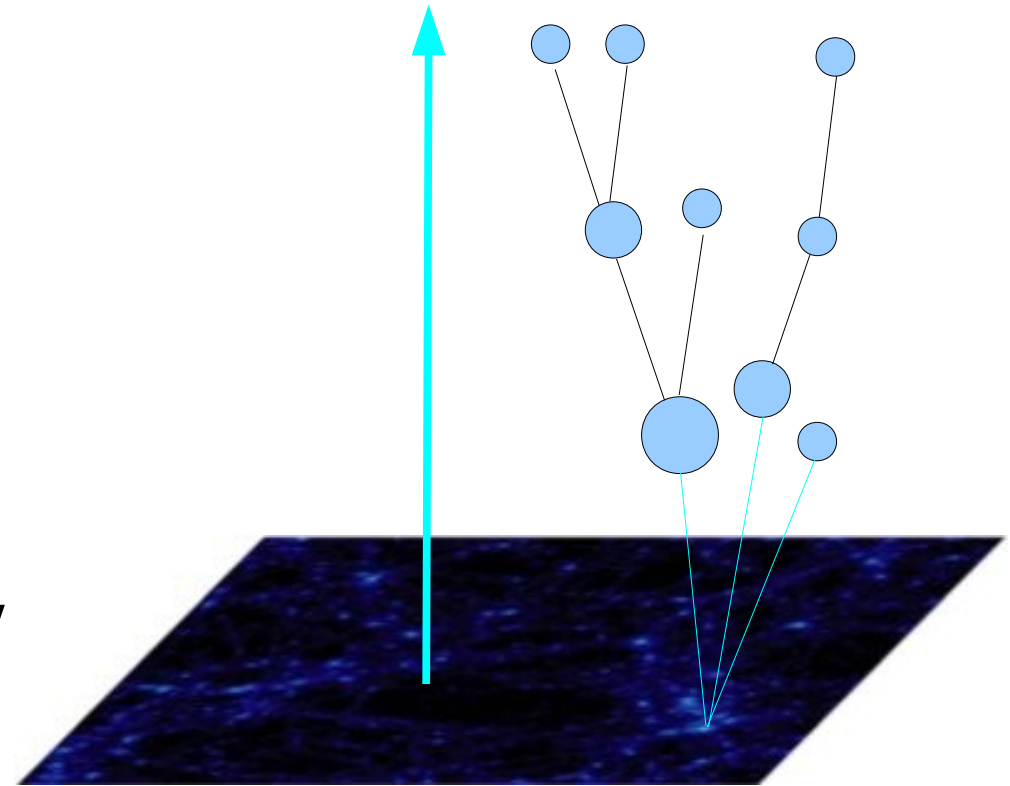
- 今計画中の方法: N-body + Extended Press-Schechter のハイブリッドモデル
 - ▶ large-scale (>500Mpc)のN-body snapshot で得られた root halo のそれぞれに対し、Extended Press-Schechter で progenitor halo を確率的に得ていく
 - output redshift での halo の位置だけ N-body で与える
 - ▶ 精度は多少落ちるが(検証は可能)、QSO/AGNについては強力な手法となり得る
 - ▶ full N-body が広く使われる前に使われたことがある (e.g. Benson et al. 2000)
- vGCではゴミのようなhaloも後に影響を与えるが、Extended Press-Schechter は実質的に resolution free なので、N-body でゴミのようなhaloがなくても大丈夫
 - ▶ box size をデカくできる

ハイブリッドモデルの概念

N-body snapshots



Extended Press-Schechter model で過去にさかのぼる
(以前からの準解析的モデルと同じ)



ハイブリッドモデルの御利益

- 巨大な領域を一度に計算できる
- SDSSなどの長波長データと比較可能
- BAO (Baryon Acoustic Oscillation)にも使える？
- vGCと比較しつつ、キャリブレーションを慎重にする必要

*AGN feedback modelの例

Cronton et al (2006), Bower et al.(2006)

どう入れるか？
闇雲に入れても…

SMBHへの物質降着

- QSO mode: merger 時に cold gas が降着
- radio mode: hot gas が降着 (Bondi 降着などで)

AGN feedback

- radio mode 時に、hot gas を直接加熱

*Star Formation

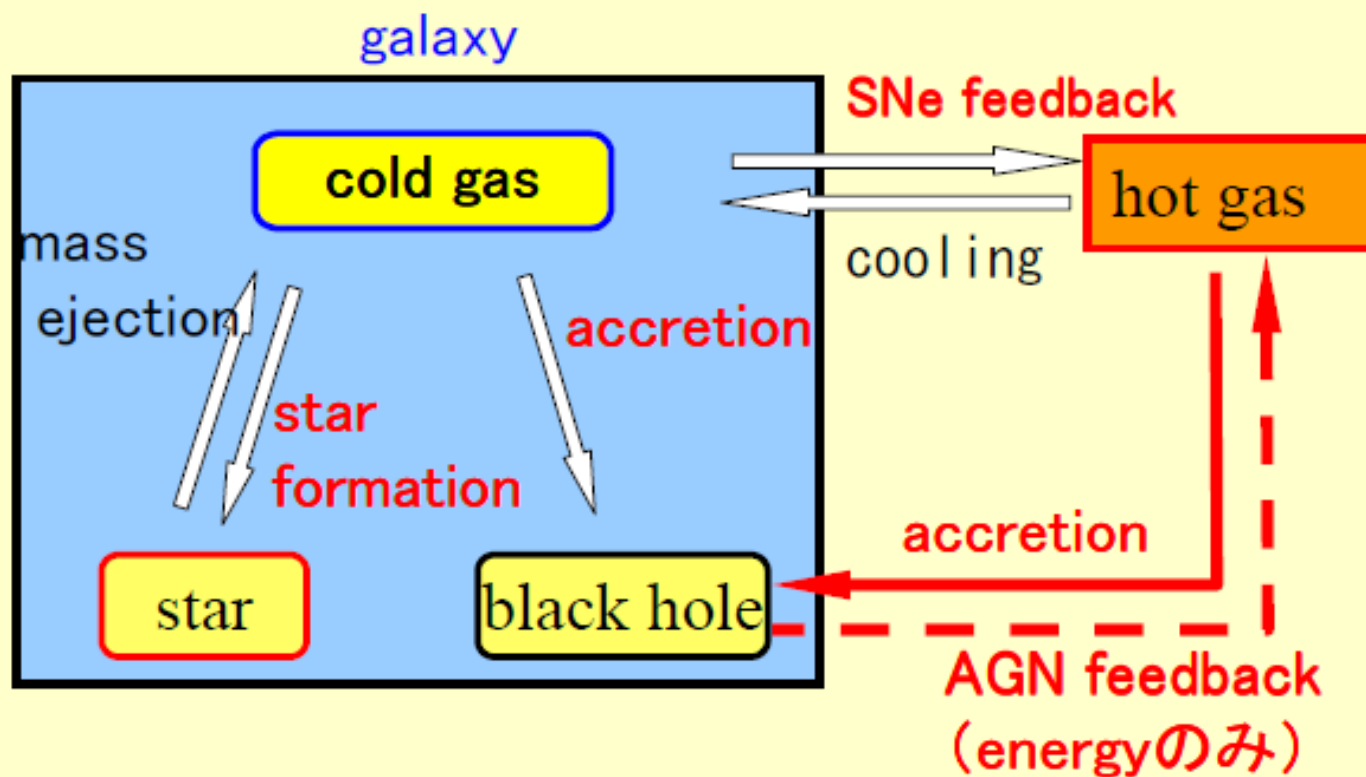
cold gas → star

*SNe feedback

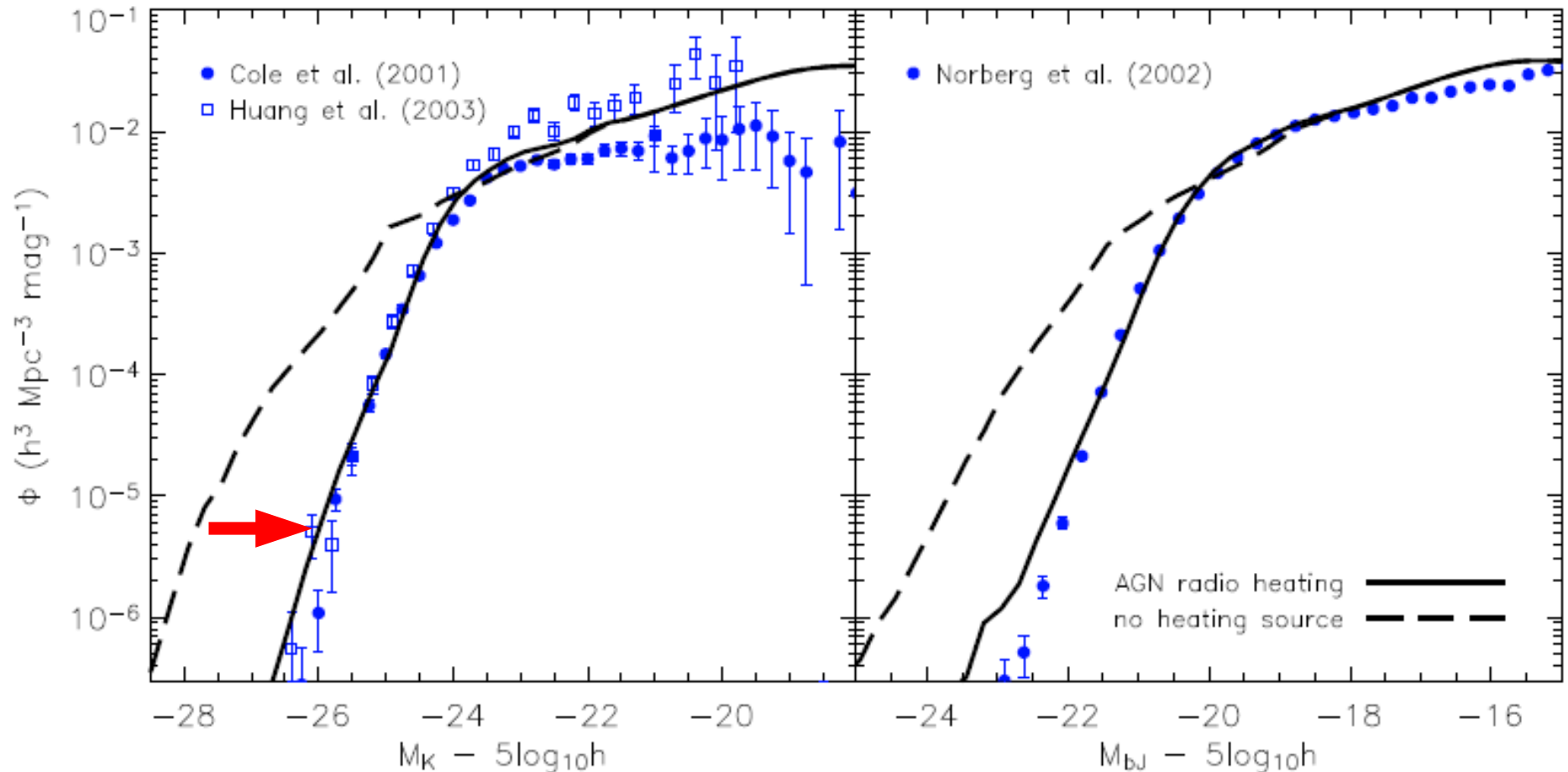
cold gas → hot gas

*AGN feedback

hot gas を加熱



AGN feedbackを導入した例



Cooling flow が止まる

無論、efficiency等パラメータが入っている

Croton et al.(2006)

課題

- QSO/AGN環境
 - ▶ 観測と比較可能な計算は可能になりつつある
- AGN feedback
 - ▶ “radio mode” というアヤシゲなものからどう脱却するか
 - ▶ SMBHまわりの理論との結合
- SED
 - ▶ 現状は、とりあえずB-band LFに合うよう efficiency を決めているだけ
 - ▶ 他波長(含むX)で予言可能なSED modelをどうするか

榎基宏先生に励ましのお便りを出そう!