



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

ブラックホール成長と 銀河形成に関する研究の 現状と問題点

白方 光 (北海道大学)

川口 俊宏 (札幌医科大), 岡本 崇 (北海道大), 眞喜屋 龍 (IPMU),
石山 智明 (千葉大), 松岡 良樹 (国立天文台), 長島 雅裕 (文教大),
榎 基宏, (東経大), 大木 平 (IPMU), 小林 正和 (呉高専)



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

ブラックホール成長と 銀河形成に関する研究の 現状と問題点

白方 光（北海道大学）

“Theoretical reevaluations of black hole mass – bulge mass relation

- I. Influences of the seed black hole mass”

H. Shirakata and T. Kawaguchi et al., submitted to MNRAS Letter

arXiv: 1604.05317



Introduction

AGN光度関数のfaint end @ $z \sim 4, 5$ (仁井田さん)

$z = 6, 7$ のQSO探査によるAGN光度関数への制限 (松岡さん)

Dust obscured galaxies (鳥羽さん)

Eddington distribution function

観測で得られる統計量

比較

準解析的銀河形成モデル



Introduction -SA モデル -

準解析的銀河形成モデル:

ダークハローは数値的に解く

バリオンは現象論的モデルを用いる

欠点: 星やガスの空間・速度構造が得られない

フリーパラメータが多い

(但しcosmological simulationsもフリーパラメータは0ではない)

利点: 計算コストが低い → 大きな計算体積を確保できる &

様々なモデルを試すことができる

レアな天体の統計的研究に有利



Introduction -銀河のseed BH -

“観測で存在が示唆されている, $z \sim 6$ で $10^9 M_{\text{sun}}$ 以上のSMBHは
どうやって出来るのか?” → seed BH の質量と起源

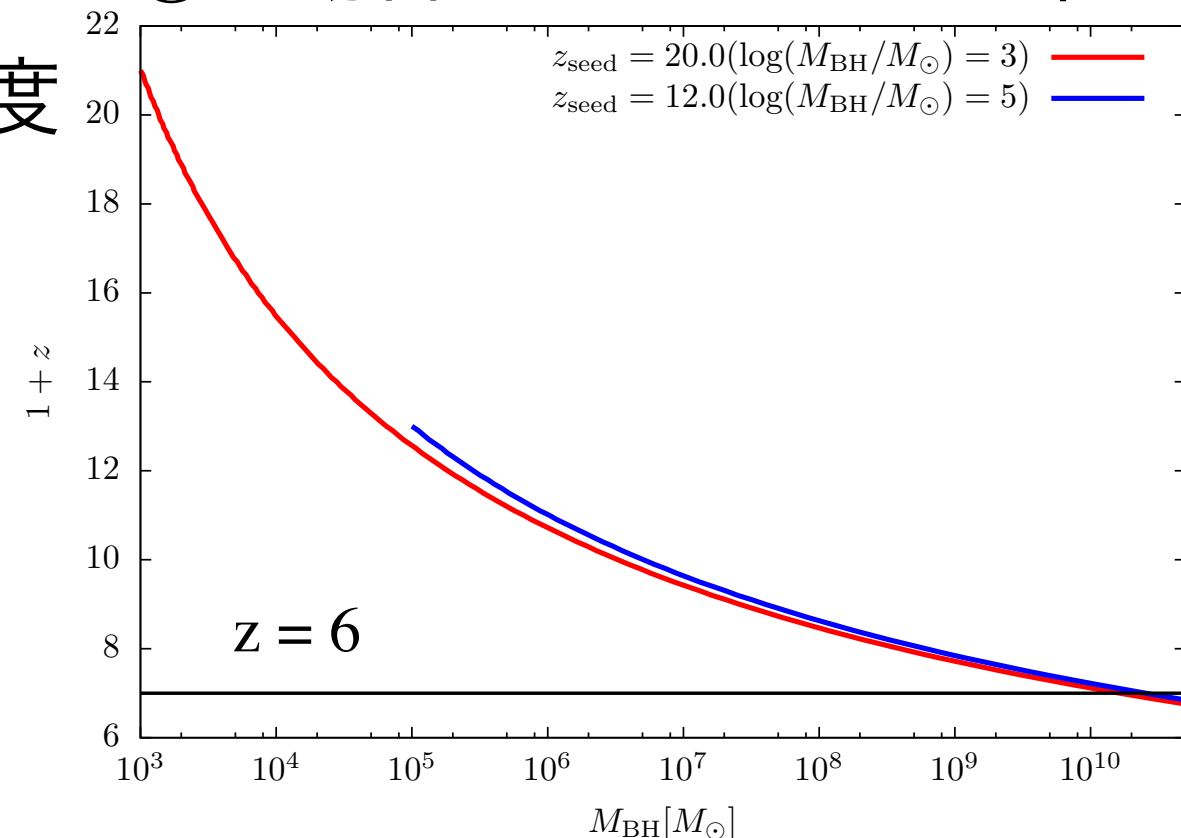
BH へのガス降着率が

① Eddington rate 以上にならない

→ seed BH のmassは $10^{4-6} M_{\text{sun}}$ 程度
(seed の formation
redshift に依存)

② super Eddington rateを許す
→ Pop III remnantsがseed だと
考えてもok ($10^{2-3} M_{\text{sun}}$)

①の場合のBH massの進化





Introduction -銀河のseed BH -

“観測で存在が示唆されている, $z \sim 6$ で $10^9 M_{\text{sun}}$ 以上のSMBHは
どうやって出来るのか?” → seed BH の質量と起源

準解析的銀河形成モデル・宇宙論的シミュレーション:
seed BH massは 全ての銀河で一定とする場合が多い
研究グループごとに $10^{2-5} M_{\text{sun}}$

近傍銀河・SMBHの性質はseed massにほとんど依存しない

seed massとして使う値にconstraintを得たい



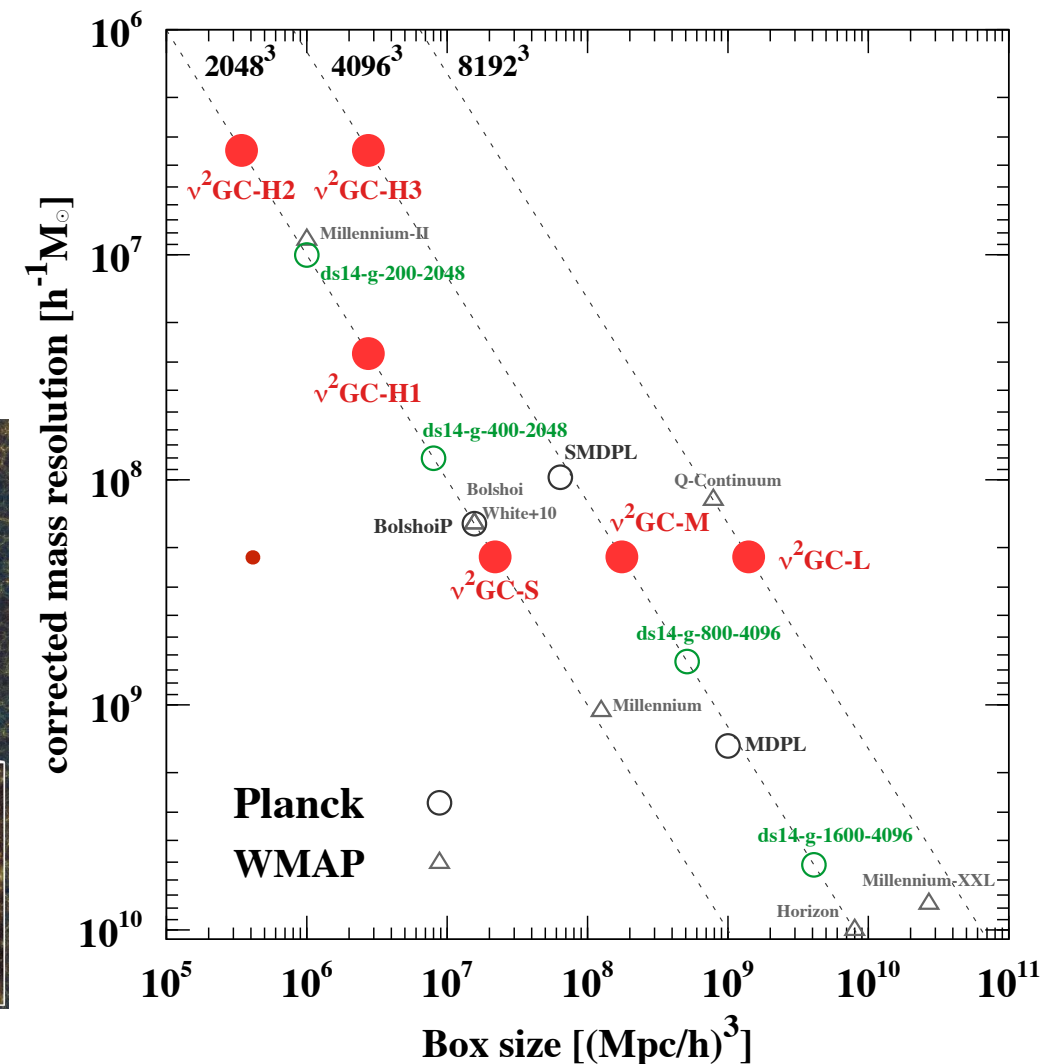
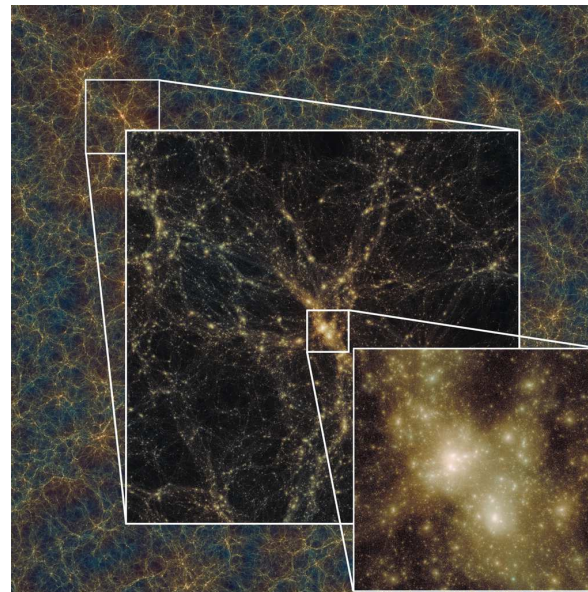
Method

“New Numerical Galaxy Catalogue” (v^2 GC; Makiya+ 2016, PASJ, 68, 25)

- ・ ダークハローは N -body simulation より (Ishiyama+ 2015, PASJ, 67, 61)

- ・ Millenium simulations
より高分解能

- ・ 本研究で
BH・バルジ成長
モデルを改良
(Shirakata+ in prep.)



Ishiyama+ 15, PASJ, 67, 61



Method

BH・バルジ 成長:

銀河合体, disc instabilityに付随するstarburstで起こると仮定
(バルジはdisc の星がバルジ成分になることでも太る)

銀河合体:

Hopkins et al. (2009) のsimulation baseのモデル

銀河円盤がどれだけ破壊されるかは, 合体銀河の質量比に依存

銀河円盤が完全に破壊される場合:

primary galaxy のdisk 質量 $\leq$ secondary galaxy の 質量

disc instability: 以下の関係を満たした場合, 銀河円盤は即座に破壊されてバルジとなる.

$$\frac{V_d}{(GM_{\text{disc}}/r_{\text{disc}})^{1/2}} < \epsilon_m \quad \epsilon_m = 1.1$$



Method

Starbursts:

銀河合体/disc instabilityで, バルジのcold gasは全てstarburstで消費される. 一部はSMBHへ.

$$M_{\text{acc}} = \underline{f_{\text{BH}}} \Delta M_{*, \text{burst}}$$

free parameter

BH seed:

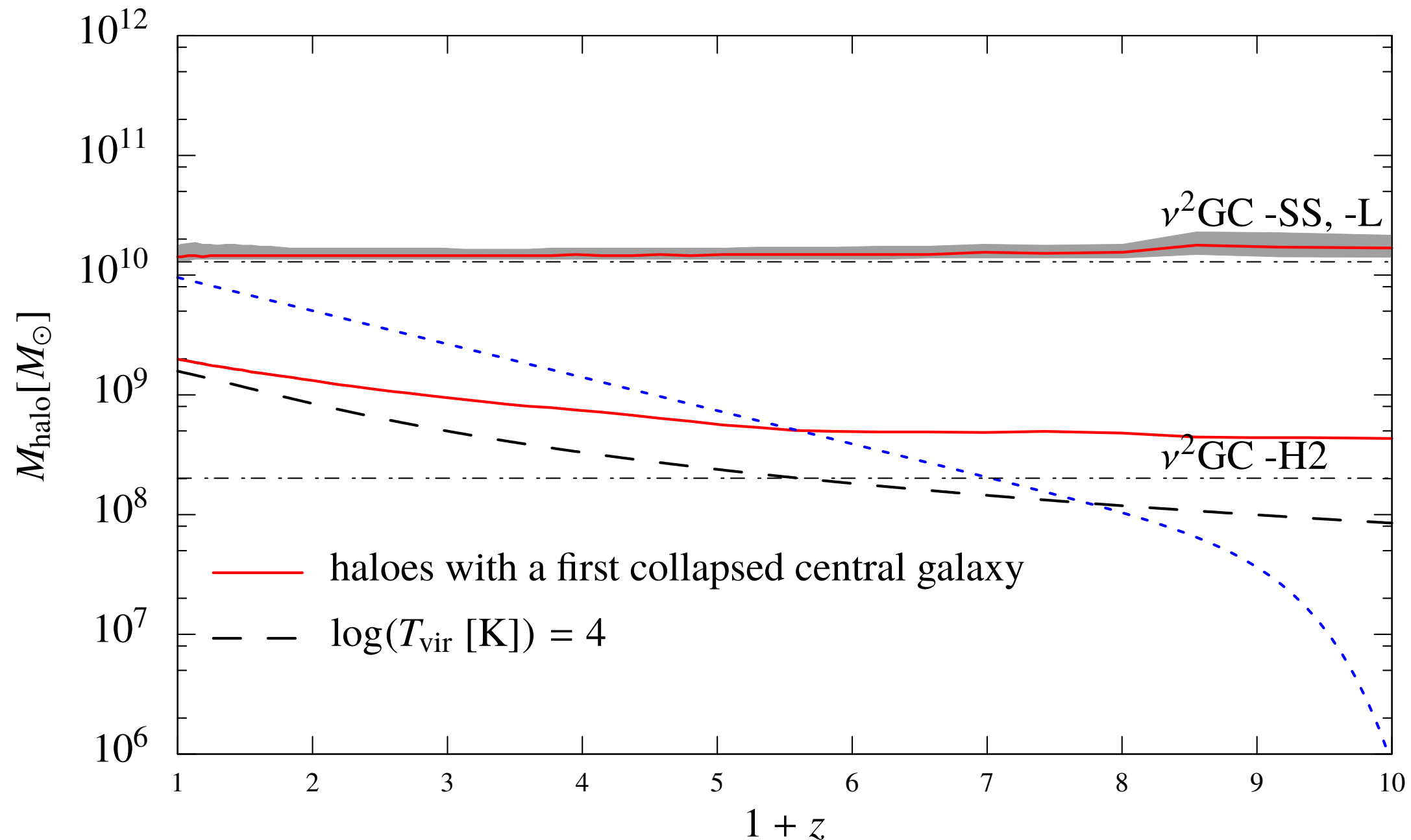
銀河が形成されたら, その銀河中心にseedを置く.

今回見せるのは, 全ての銀河についてseed massが $10^3, 10^5 M_{\text{sun}}$.



Method

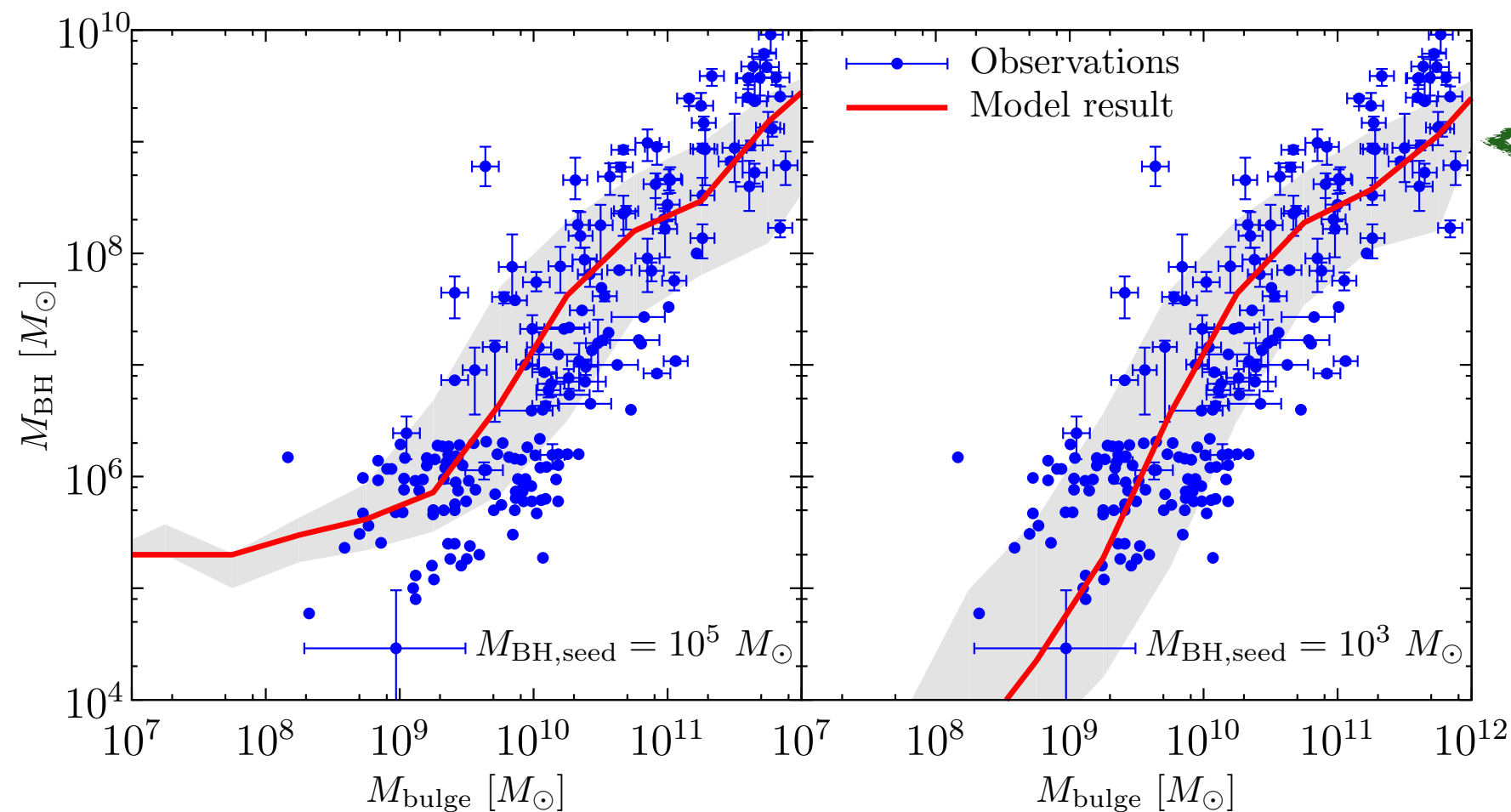
mass resolution of ν^2 GC simulations





Result

massive seed BHs (10^4 - $10^6 M_{\text{sun}}$)はレアである



全ての銀河のseed BHの
質量を,
左: $10^5 M_{\text{sun}}$
右: $10^3 M_{\text{sun}}$
にした場合の,
 $M_{\text{BH}} - M_{\text{bulge}}$ relation
($z \sim 0$)

Shirakata+ (MNRASL submitted) Fig. 1を改変



Result

高赤方偏移ほど, seed BH massに制限をつけるのは難しくなる

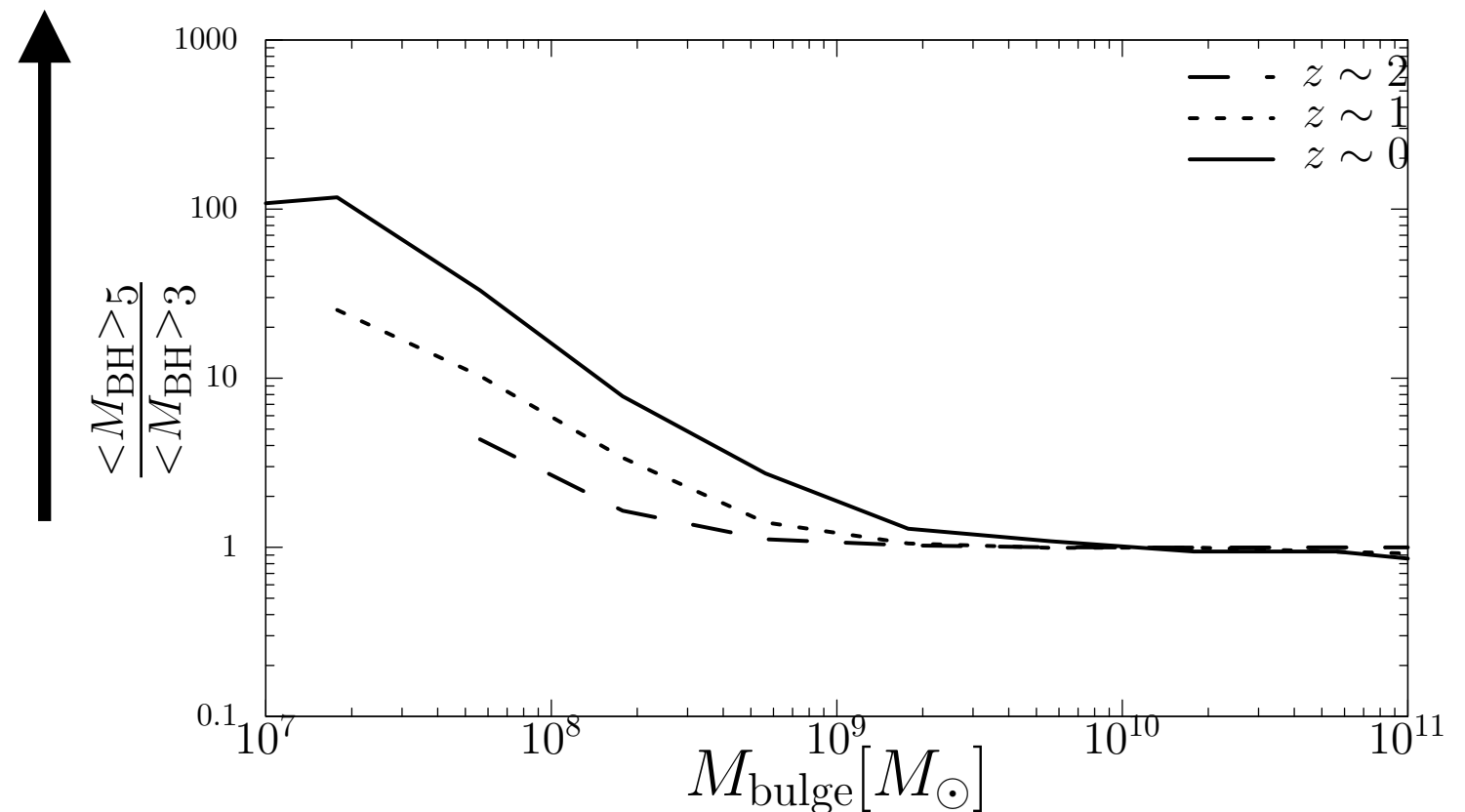
理由:

同じ M_{bulge} で見ると
high z の方が gas-rich
process で bulge が成長



SMBH も効率的に
ガスを獲得できる

seed mass の
違いが見えやすい

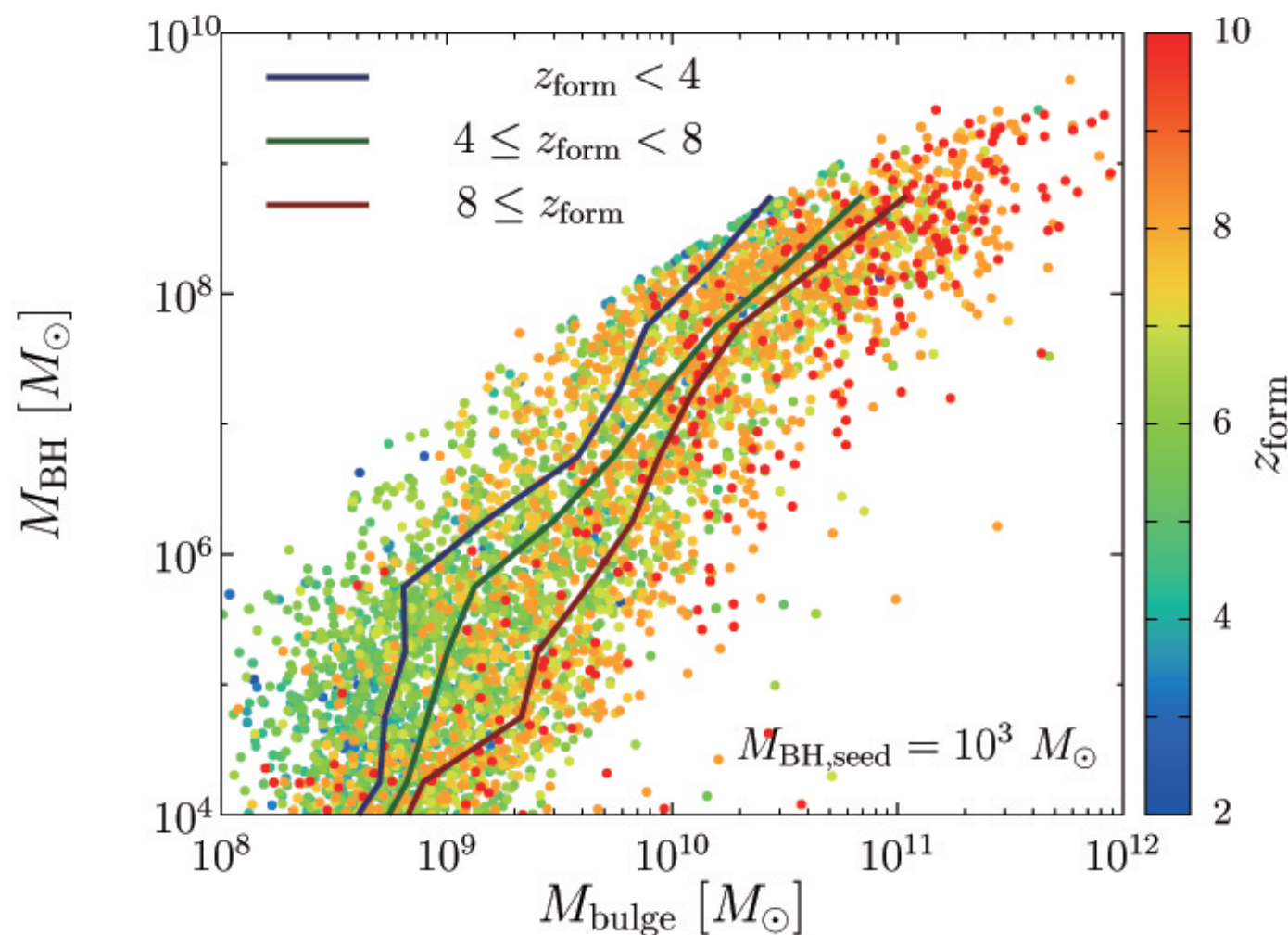


Shirakata+ (MNRASL submitted)



Discussion

近傍のdwarf galaxyは、 $z < 8$ で形成された銀河が多い



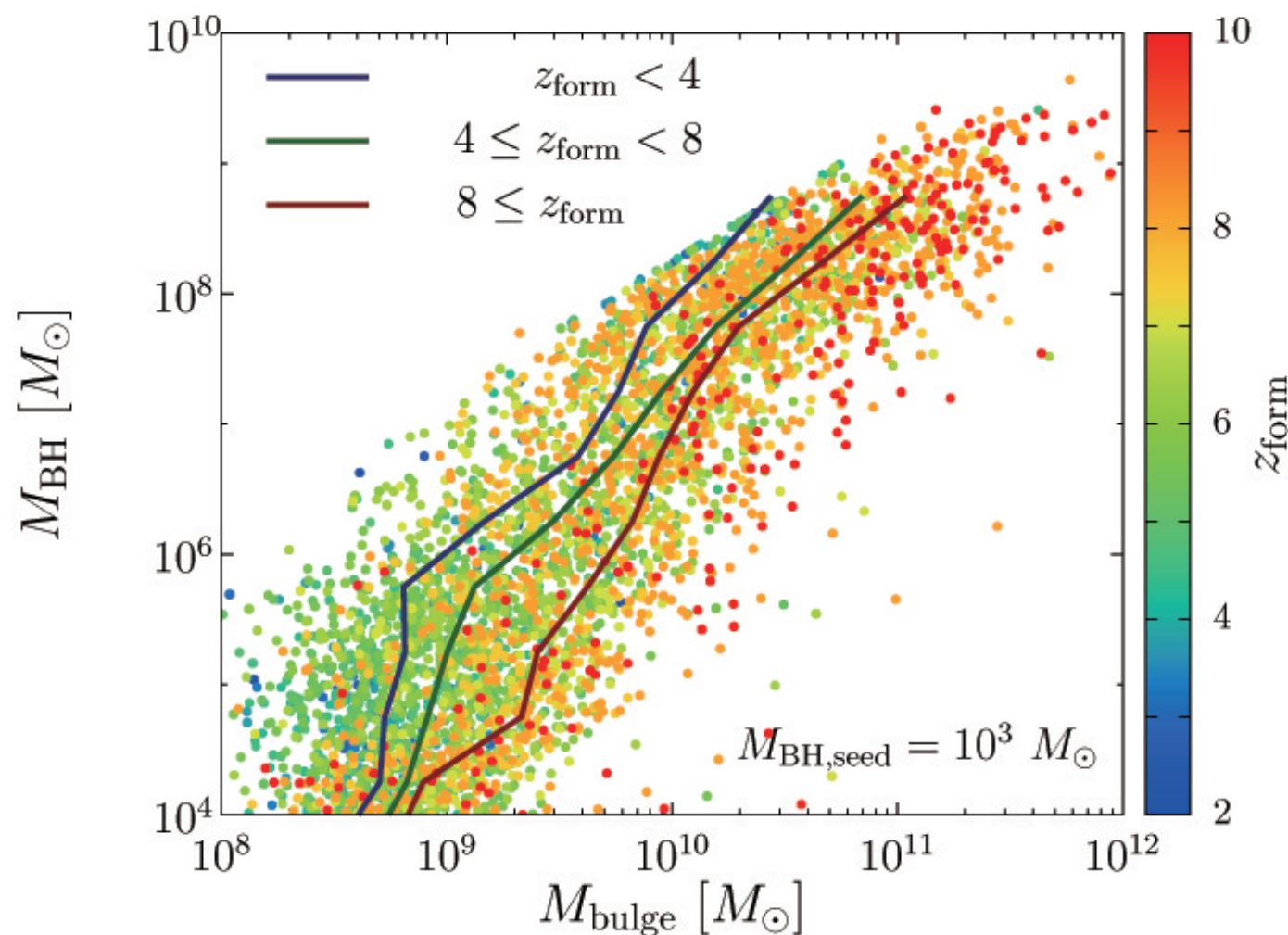
z_{form} : 銀河が生まれた redshift
(seedが置かれた)

Shirakata+ (MNRASL submitted)



Discussion

M_{BH} — M_{bulge} 関係は、銀河の形成時刻で分類すると異なる振る舞いをするかもしれない

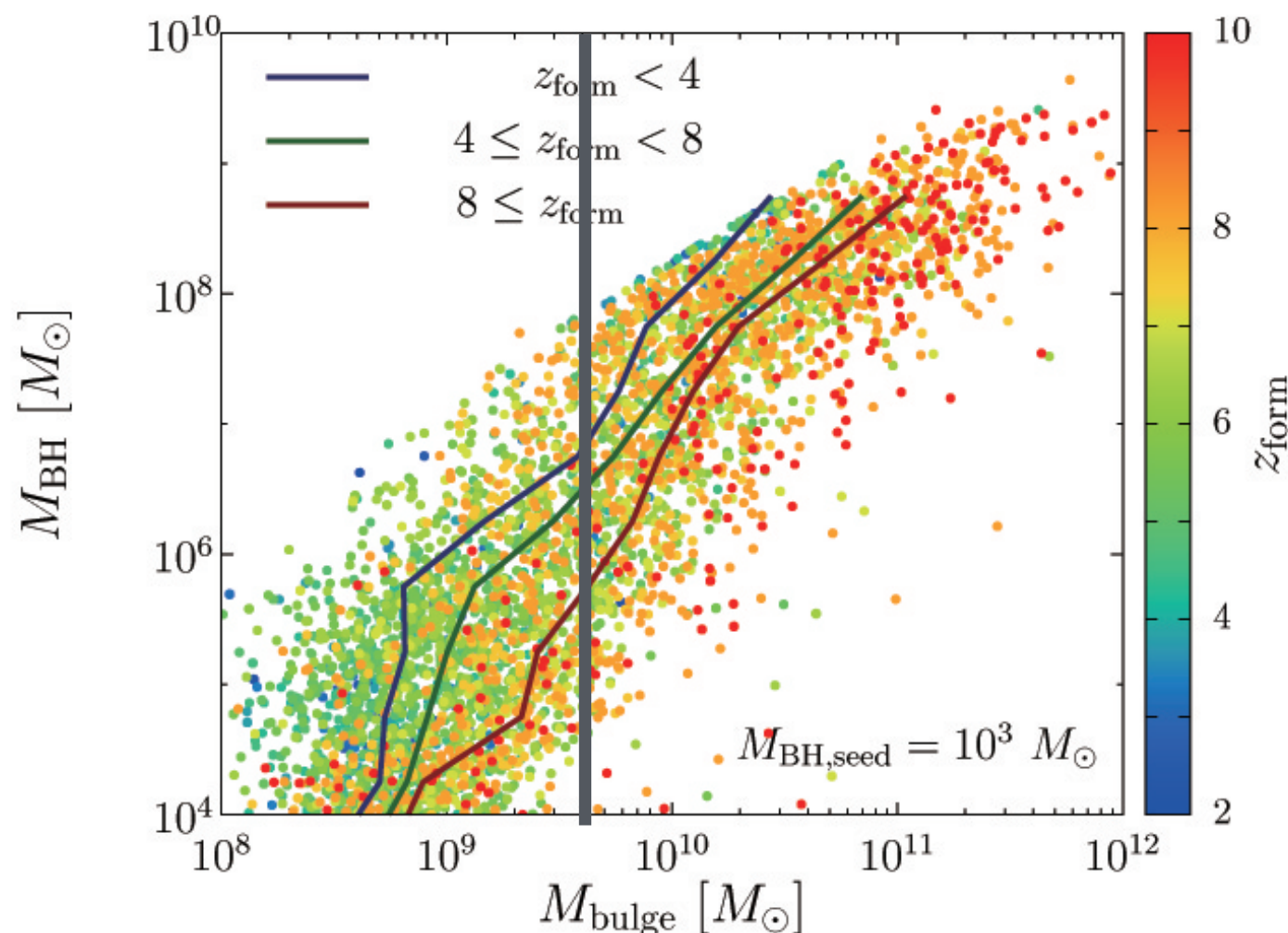


Shirakata+ (MNRASL submitted)



Discussion

M_{BH} — M_{bulge} 関係は、銀河の形成時刻で分類すると異なる振る舞いをするかもしれない



後にできた銀河ほど, bulgeに対してBH が重い

理由:

形成直後の銀河はcold gas をたくさん持っている

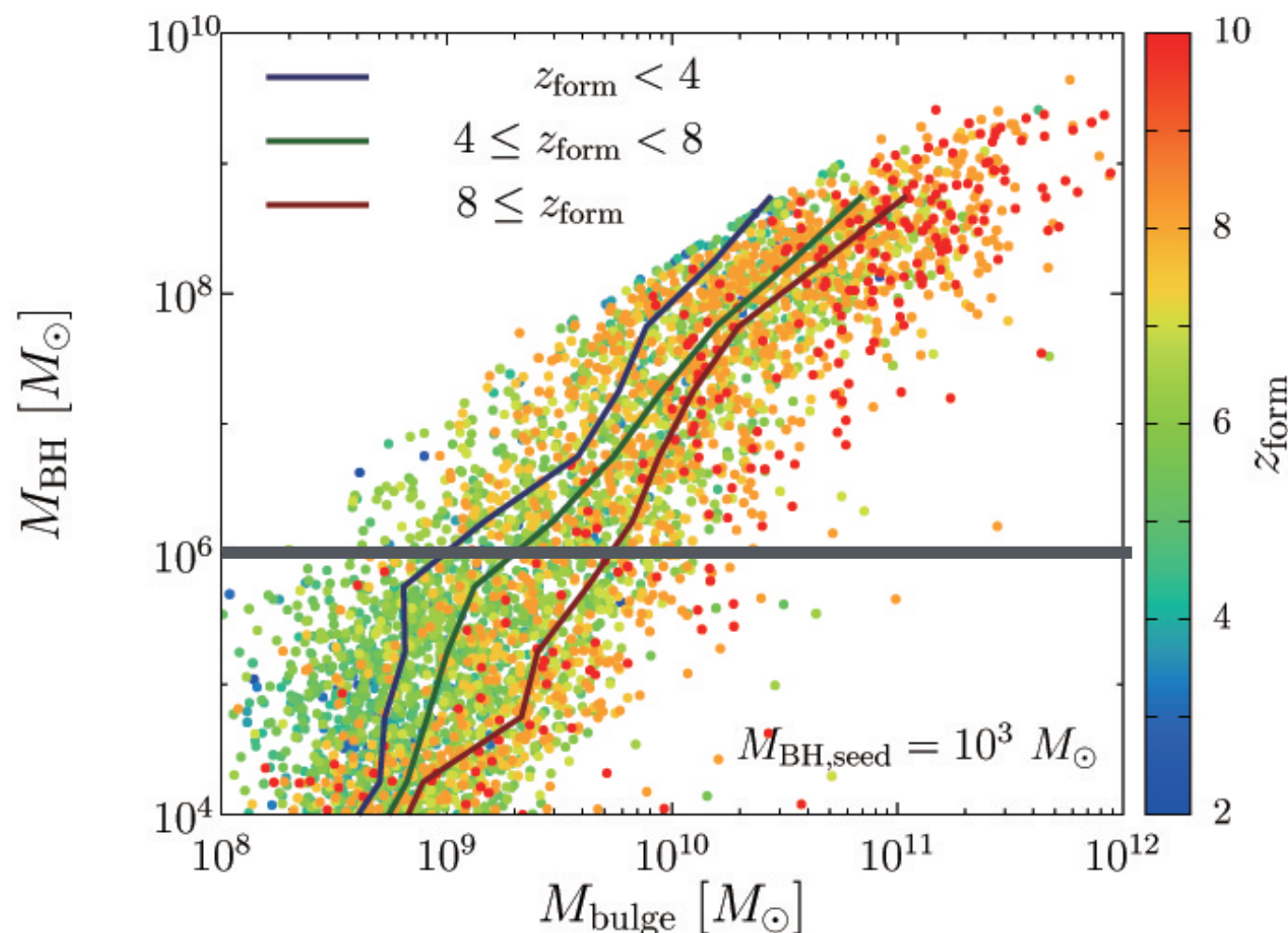
↓

BH がガスを獲得しやすい



Discussion

M_{BH} — M_{bulge} 関係は、銀河の形成時刻で分類すると異なる振る舞いをするかもしれない



先にできた銀河ほど, bulge が重い

理由:

BH はガス降着で太る

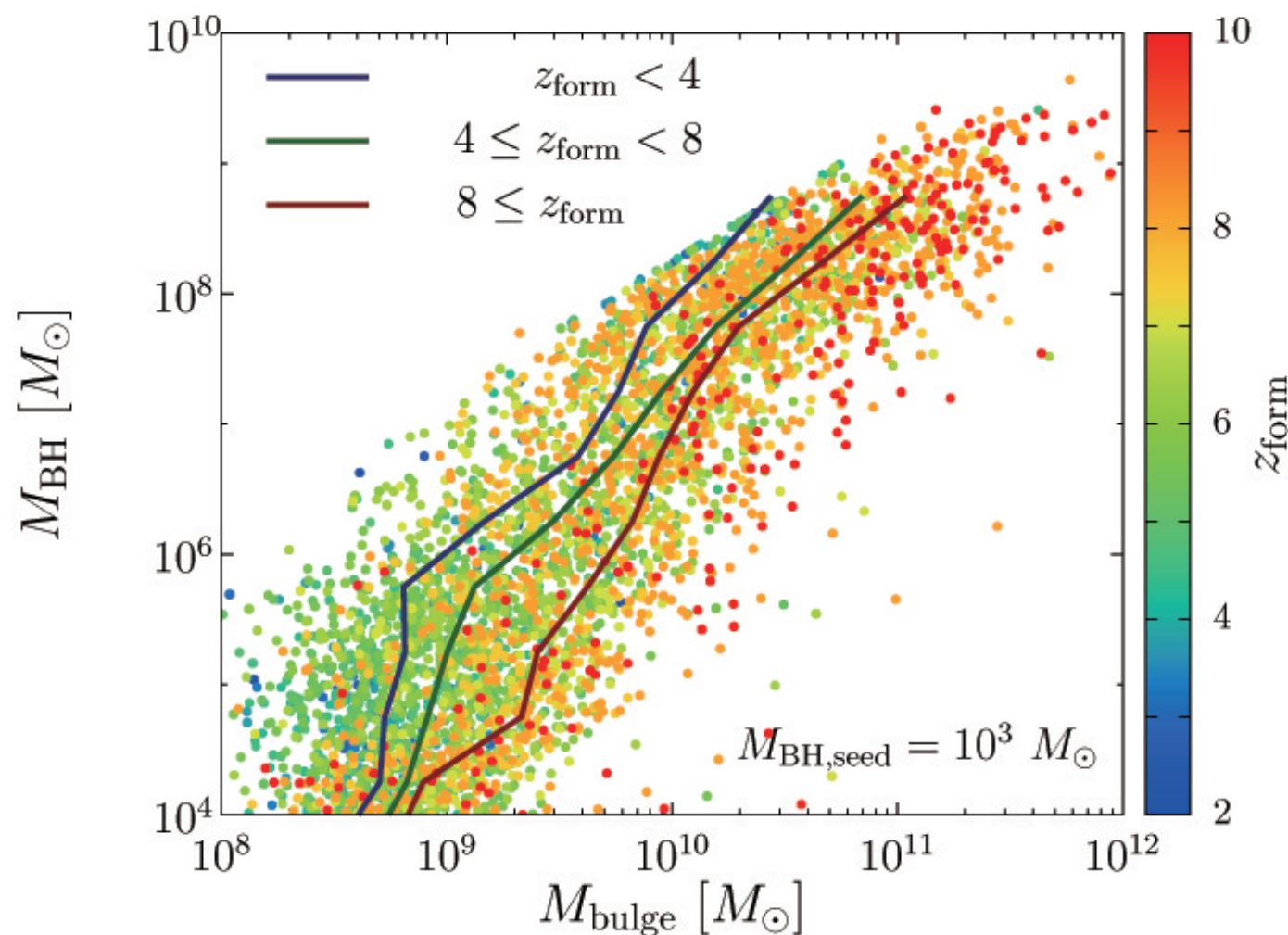
bulge はstarburst か

disc からの星の流入で太る

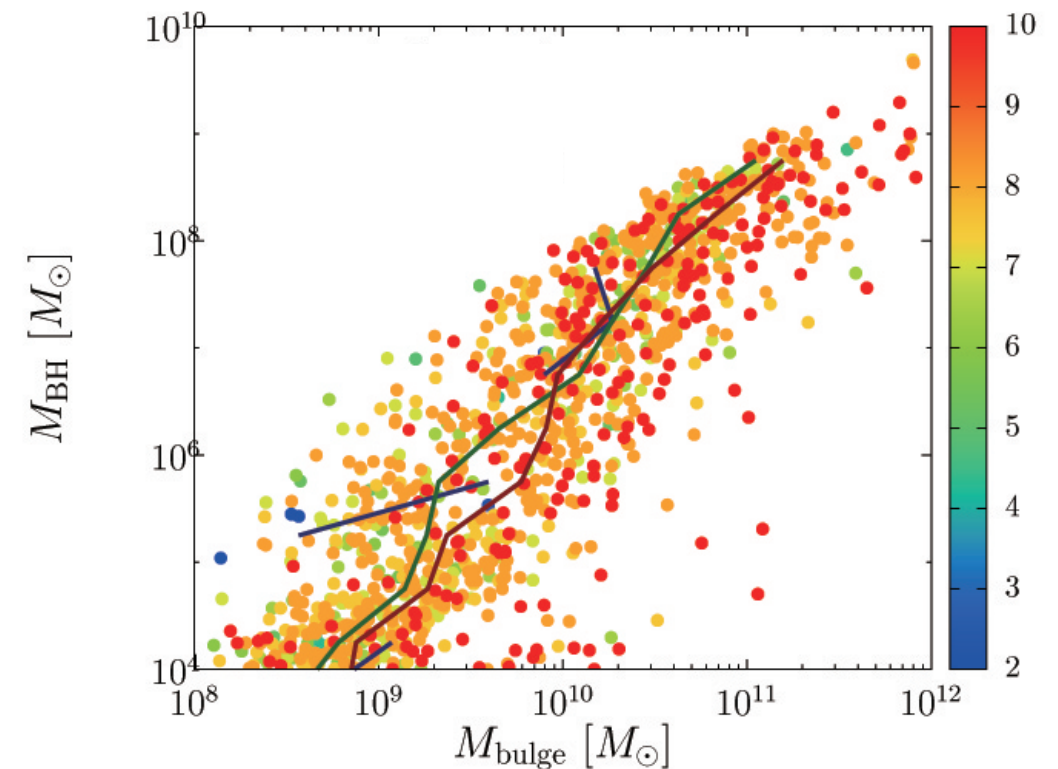


Discussion

M_{BH} — M_{bulge} 関係は、銀河の形成時刻で分類すると異なる振る舞いをするかもしれない



mergerのみでbulge・BHが
太る場合





Discussion

$z \leq 7$ では, SMBH mass functionにseed の影響が現れない

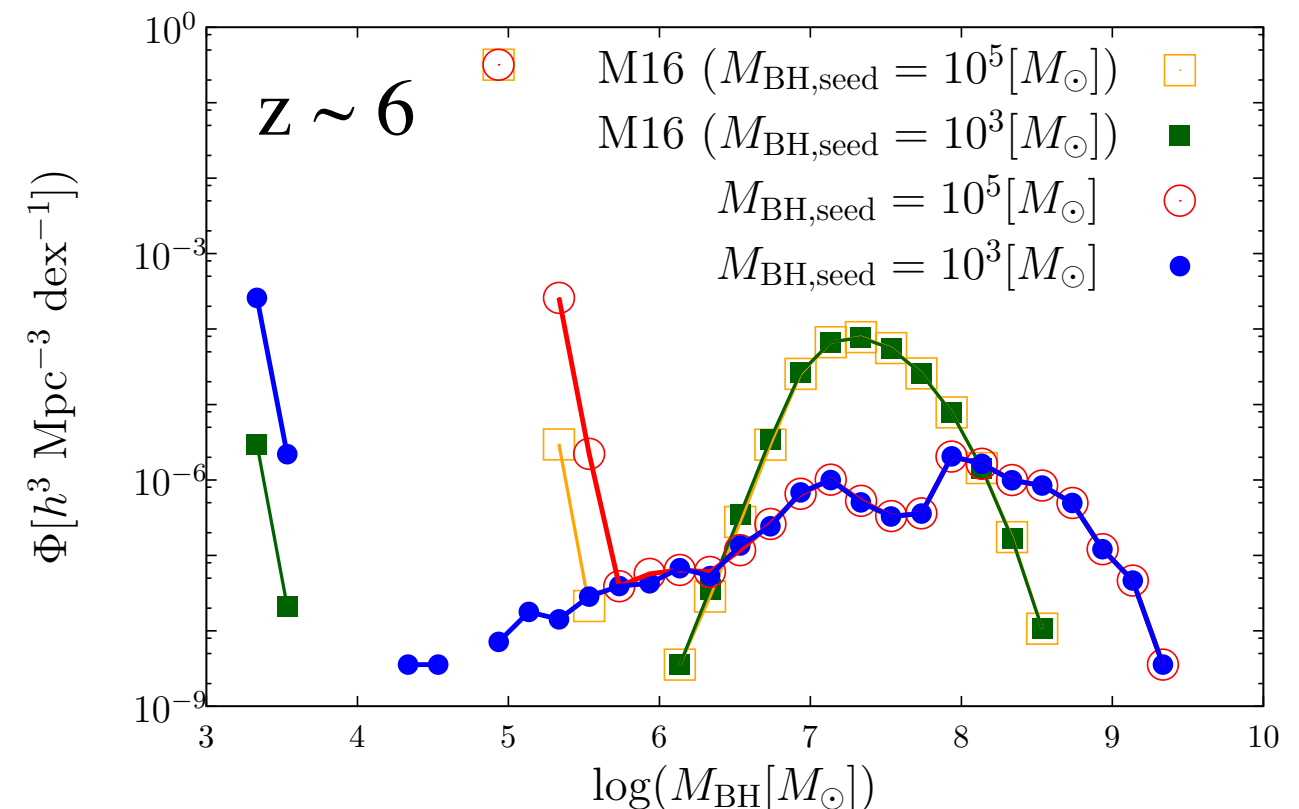
理由:

ガスが豊富に存在

↓

BH に降着するガスが
seed mass に比べて大きい

(Box size: $1120h^{-1}\text{Mpc}$ cube)



Shirakata+ (MNRASL submitted)



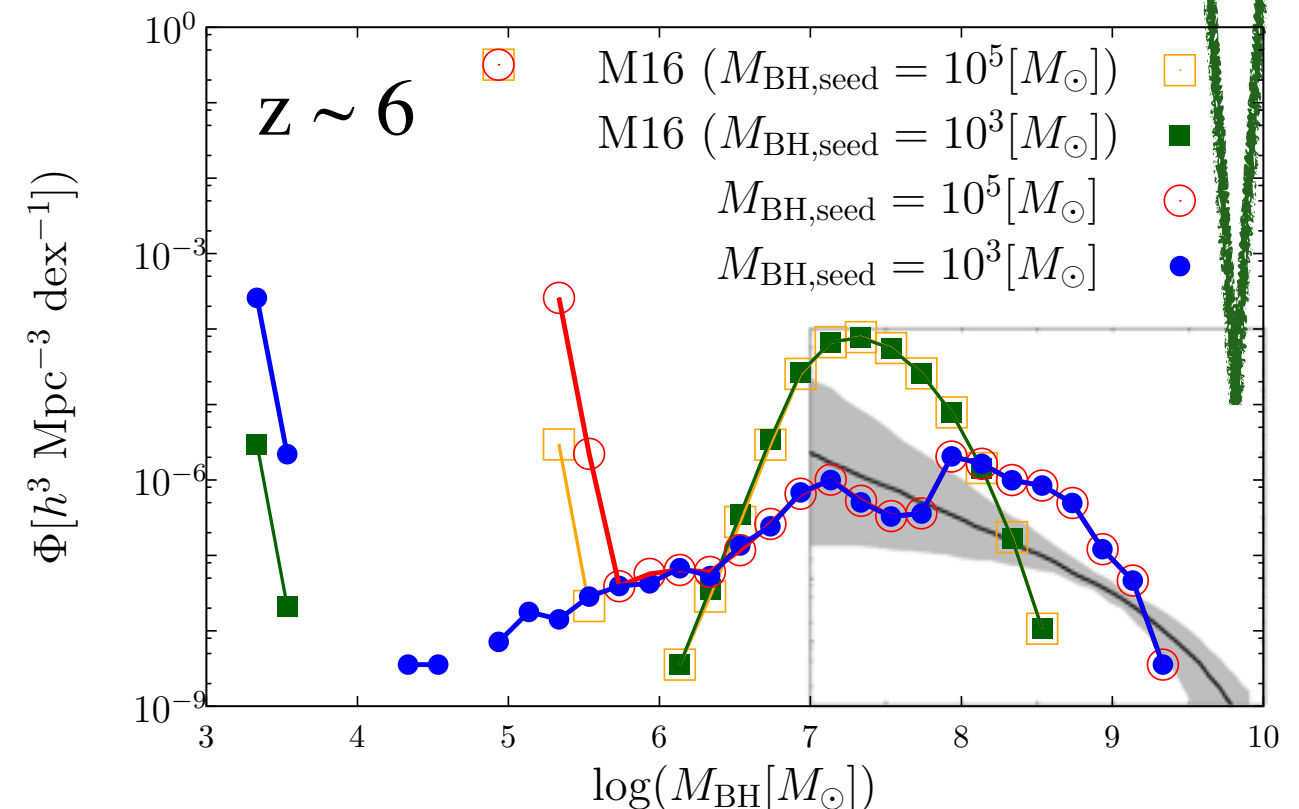
Discussion

SMBHMFは, BHへのfeeding mechanism の仮定により変化

BH へのgas accretion は,
major mergerのみではなさそう

disc instability による成長を
含めたほうが, 観測から
見積もったMF に合う

Estimations from AGN LF (Willott+ 2010)



Shirakata+ (MNRASL submitted)

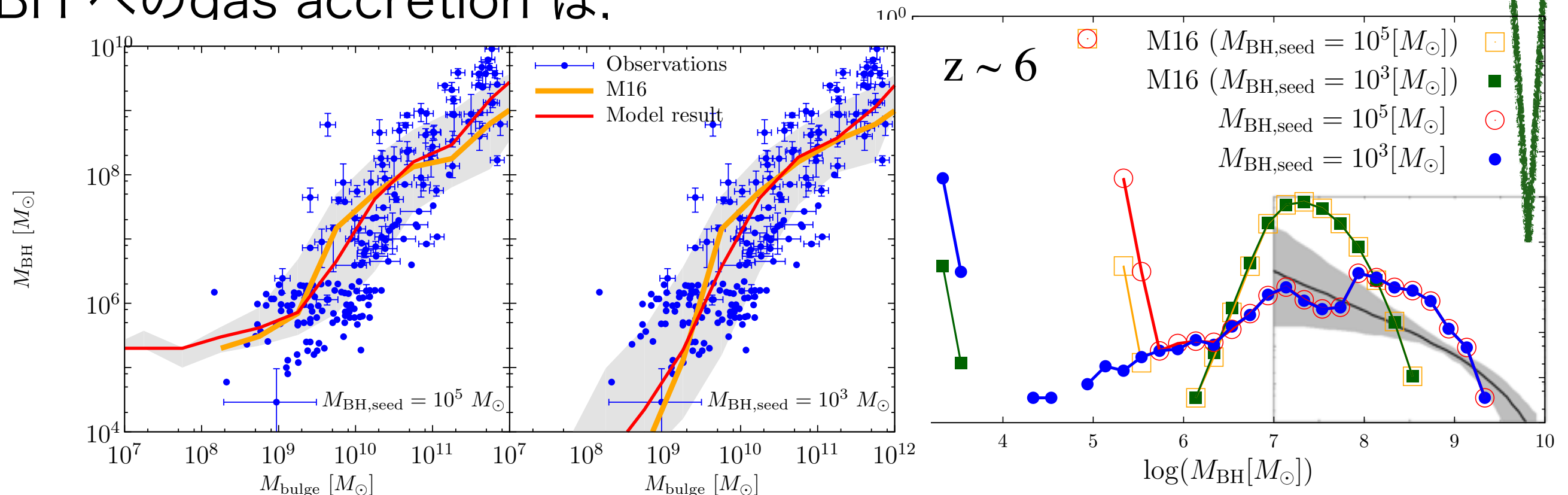


Discussion

SMBHMFは, BHへのfeeding mechanism の仮定により変化

BH へのgas accretion は,

Estimations from AGN LF (Willott+ 2010)



Shirakata+ (MNRASL submitted)



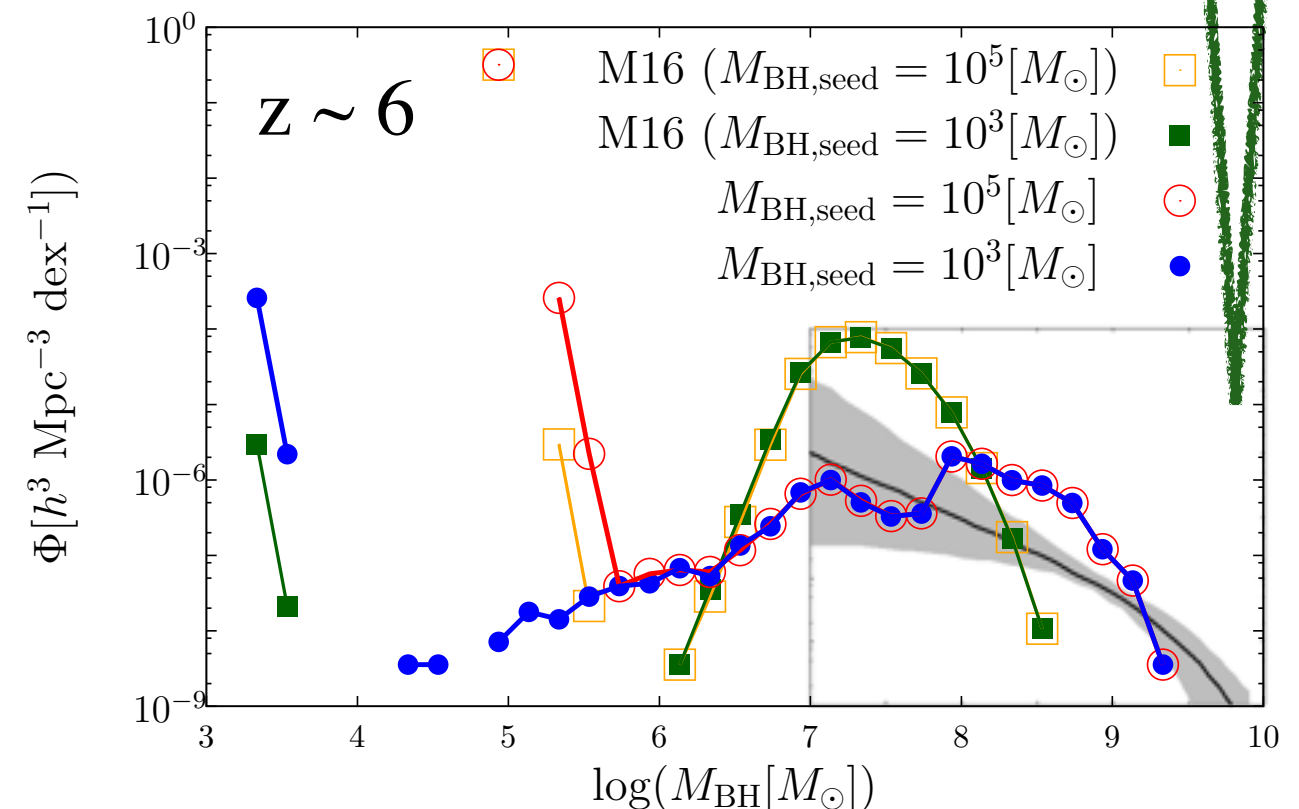
Discussion

SMBHMFは, BHへのfeeding mechanism の仮定により変化

BH へのgas accretion は,
major mergerのみではなさそう

disc instability による成長を
含めたほうが, 観測から
見積もったMF に合う

Estimations from AGN LF (Willott+ 2010)



Shirakata+ (MNRASL submitted)



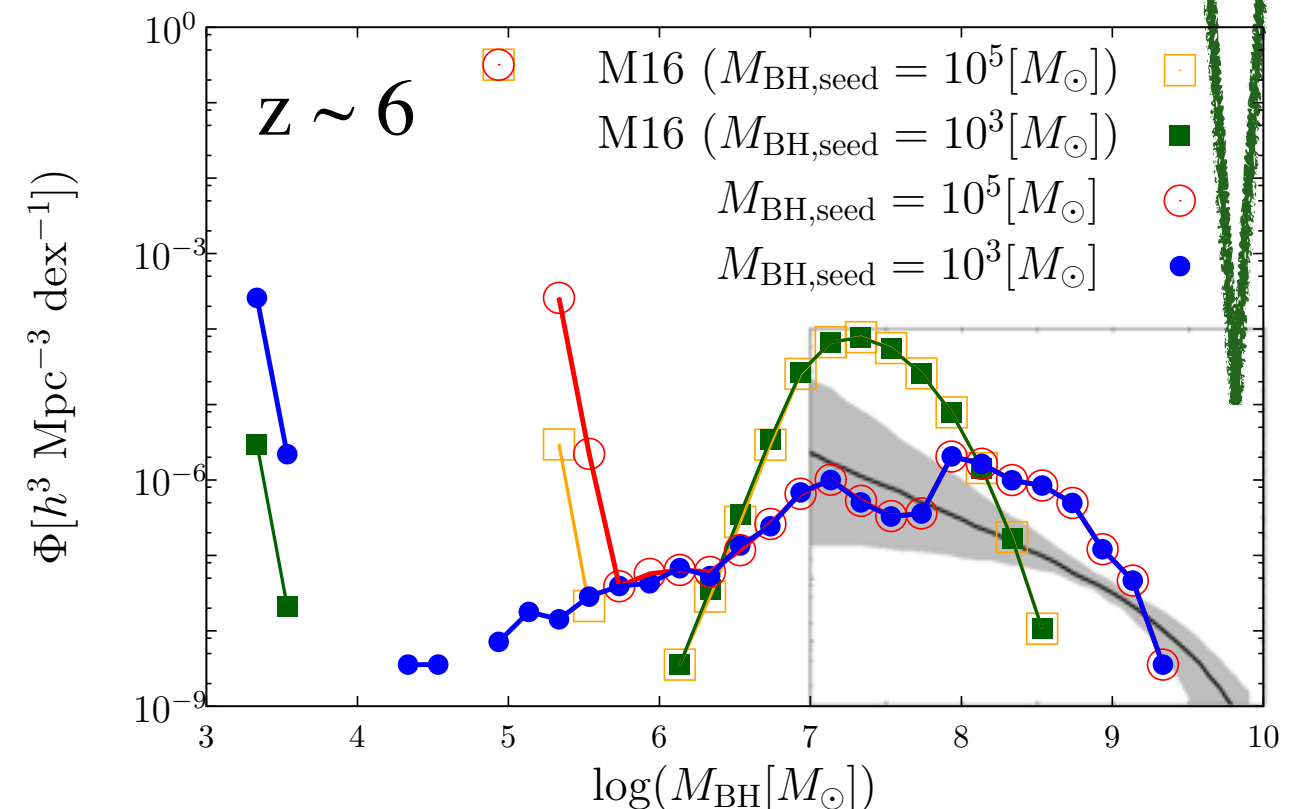
Discussion

Willott+2010 の, SMBHMF @ $z \sim 6$ の見積もり:
SDSS optical selected QSOs ($5.74 < z < 6.42$)
 $M_{1450} < -24.7$

HSC-SSP の枠で,
 $z \sim 6 - 7$ の QSO探査が,
より暗い側まで行われている
($M_{1450} < -22$)

BH 成長モデルへのさらなる
constraint を期待

Estimations from AGN LF (Willott+ 2010)



Shirakata+ (MNRASL submitted)



Discussion

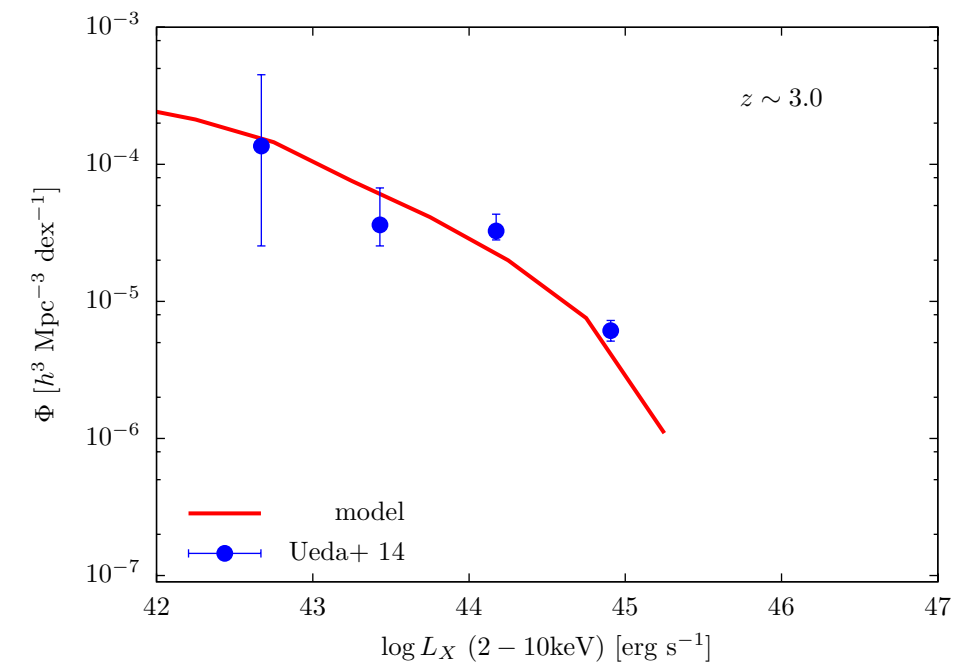
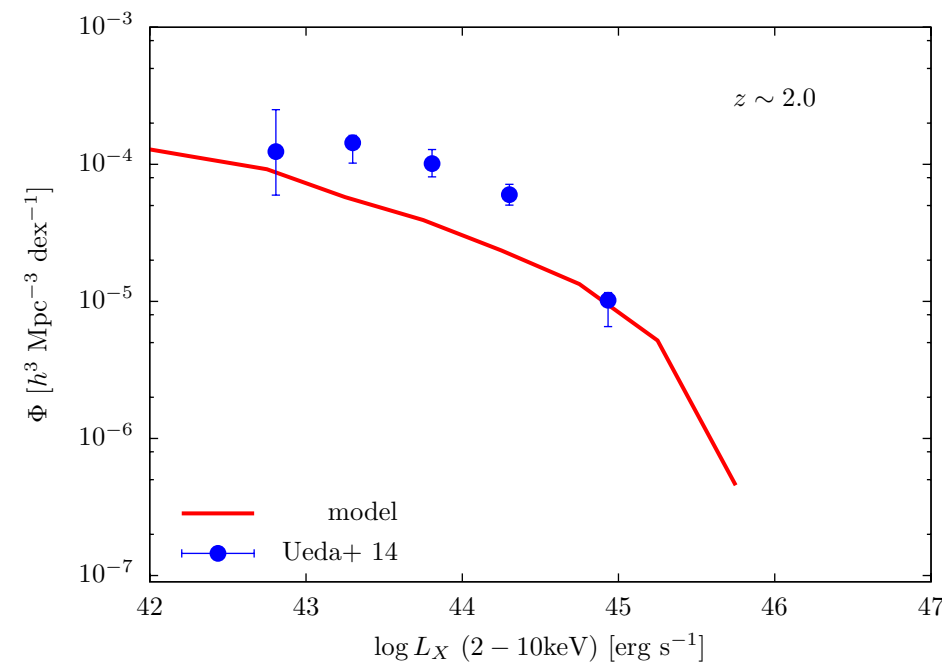
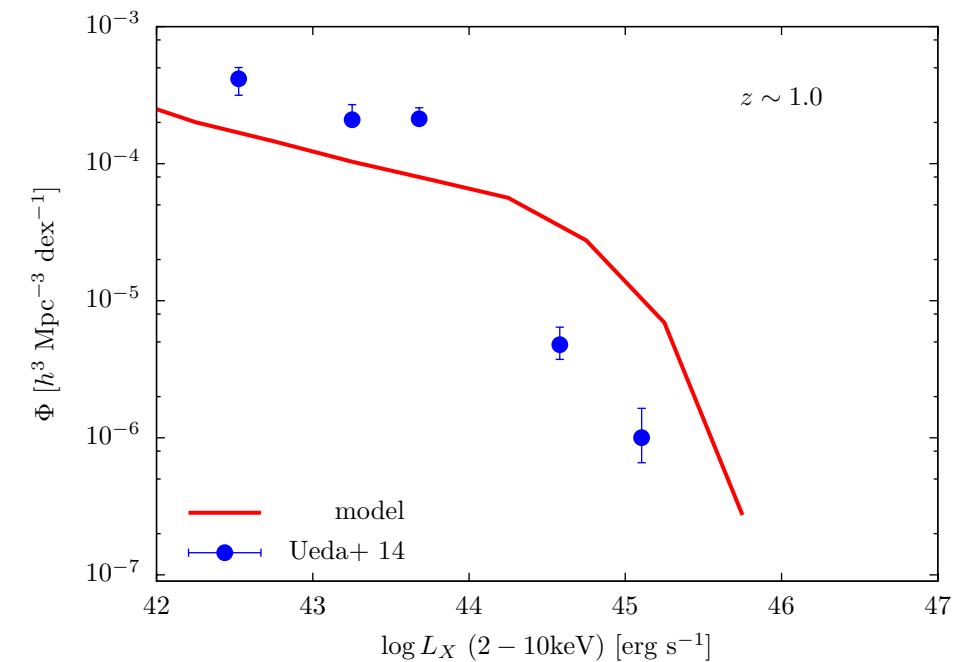
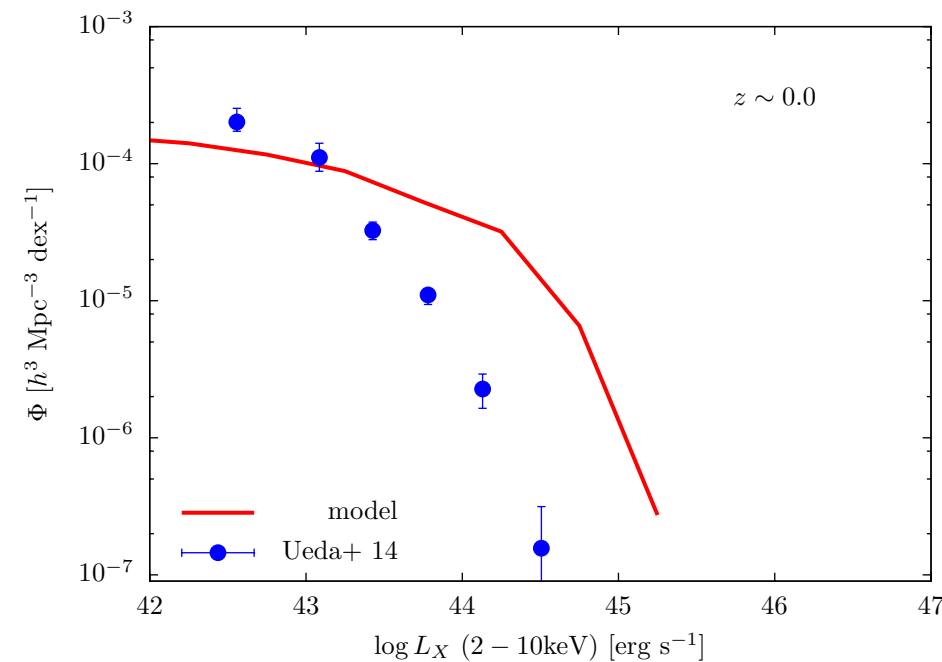
AGNLF (hard X-ray)

$$L_{\text{bol}} = \frac{\epsilon_{\text{bol}} M_{\text{acc}} c^2}{t_{\text{life}}} \exp(-t/t_{\text{life}})$$

$$\epsilon_{\text{bol}} = 0.4$$

$$t_{\text{life}} = 10^8 \text{ yr (at } z \sim 0)$$

bolometric correction:
Marconi+ 04, MNRAS, 351, 169





Summary

- ・ 準解析的銀河形成モデルを使った銀河・SMBH共進化に関連する研究を行った
- ・ $z \sim 0$ の $M_{\text{BH}} - M_{\text{bulge}}$ 関係から, BH のseed massは $10^3 M_{\text{sun}}$ 程度であることを示した
- ・ ただし, $z \sim 0$ の矮小銀河について.
- ・ $z \sim 6$ の $10^9 M_{\text{sun}}$ SMBH のseedも, $10^3 M_{\text{sun}}$ からで形成可能
- ・ BH 成長モデルに対して, 観測からのconstraintが欲しい
- ・ HSC-SSPに期待



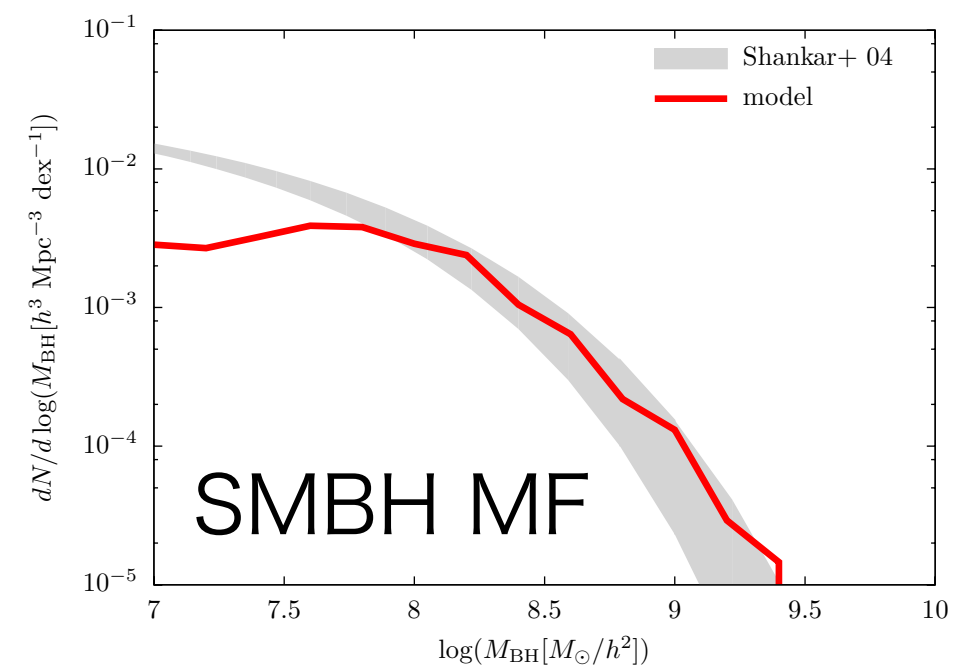
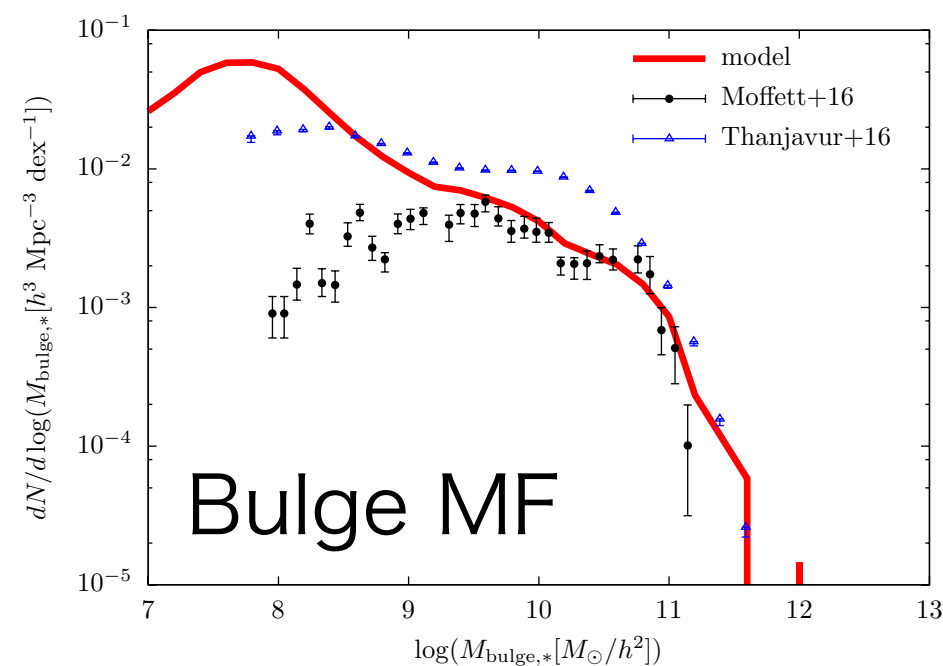
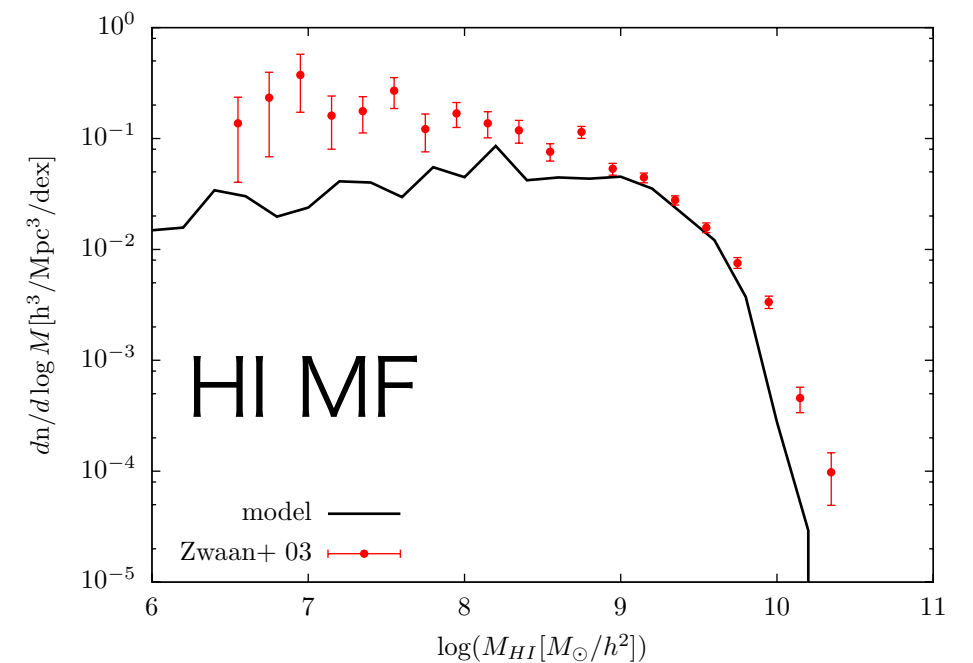
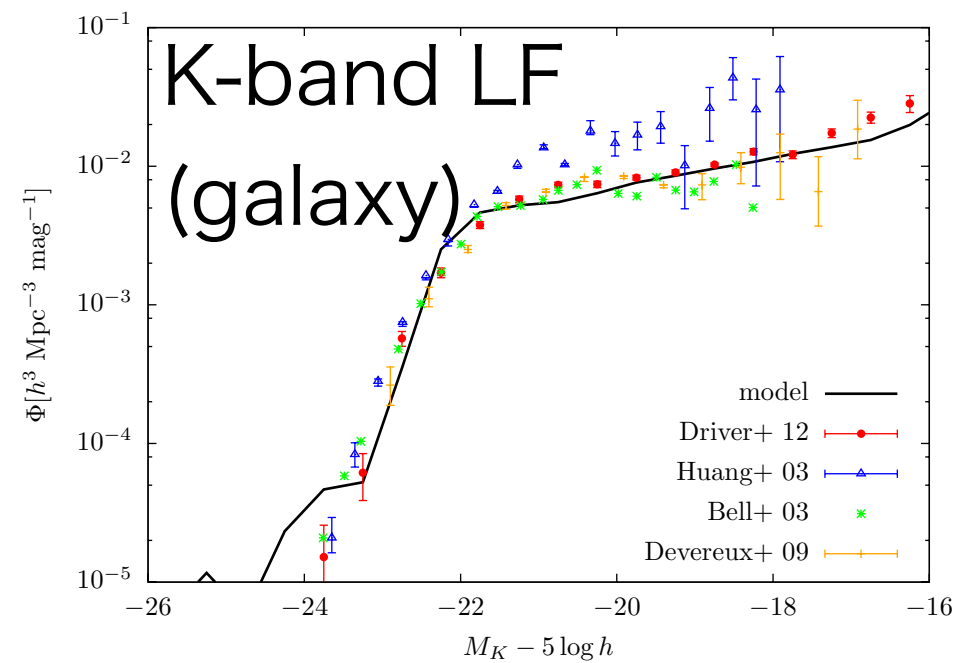
北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

Appendix



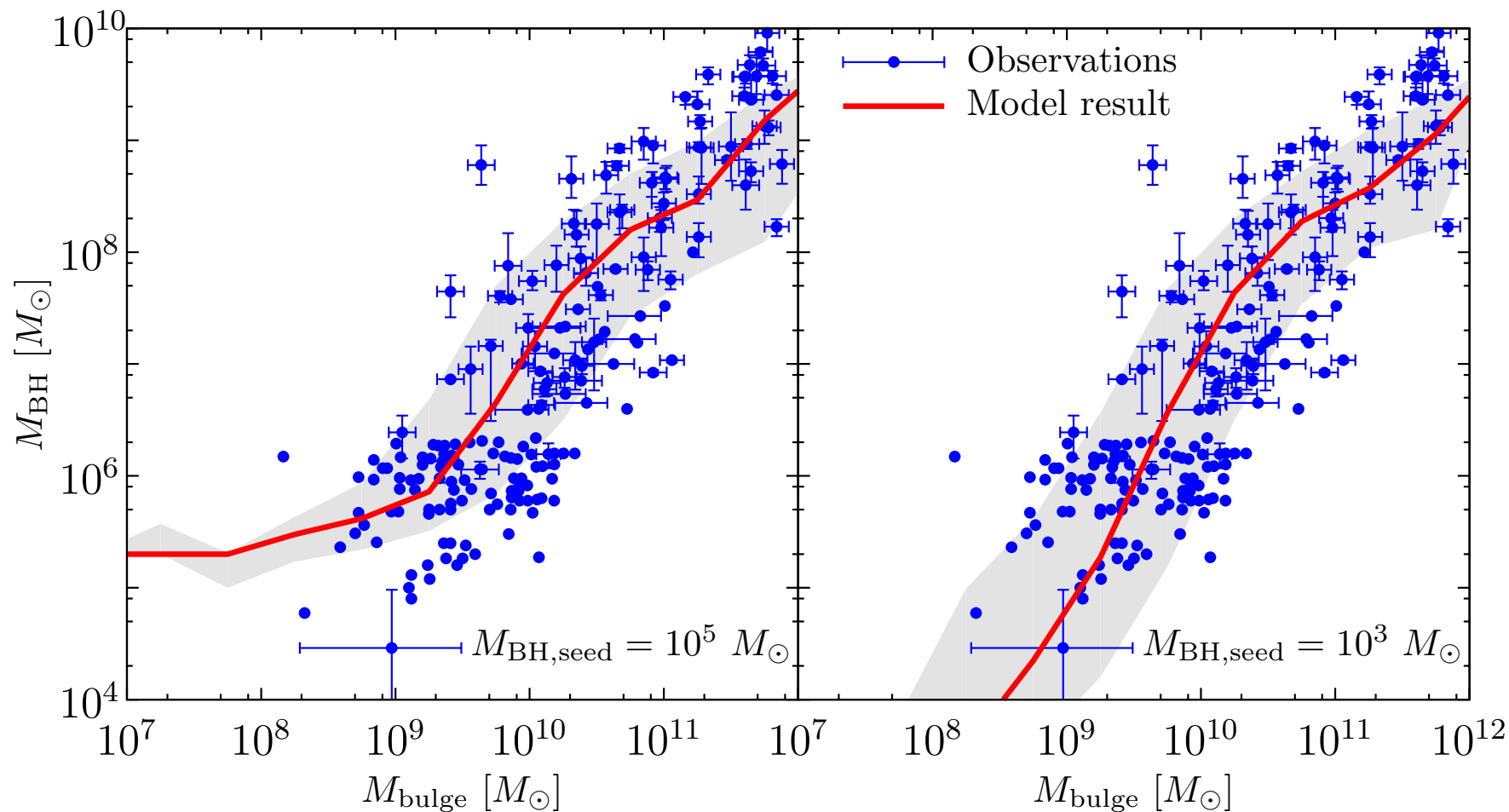
Appendix

$z \sim 0$ での 統計量比較





Appendix



<<observations>>

(quiescent BHs)

- McConnell & Ma (2013)
- Kormendy & Ho (2013)

(active BHs)

- Graham & Scott (2015)
- Graham + (2016)

Shirakata+ (MNRASL submitted) Fig. 1を改変



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

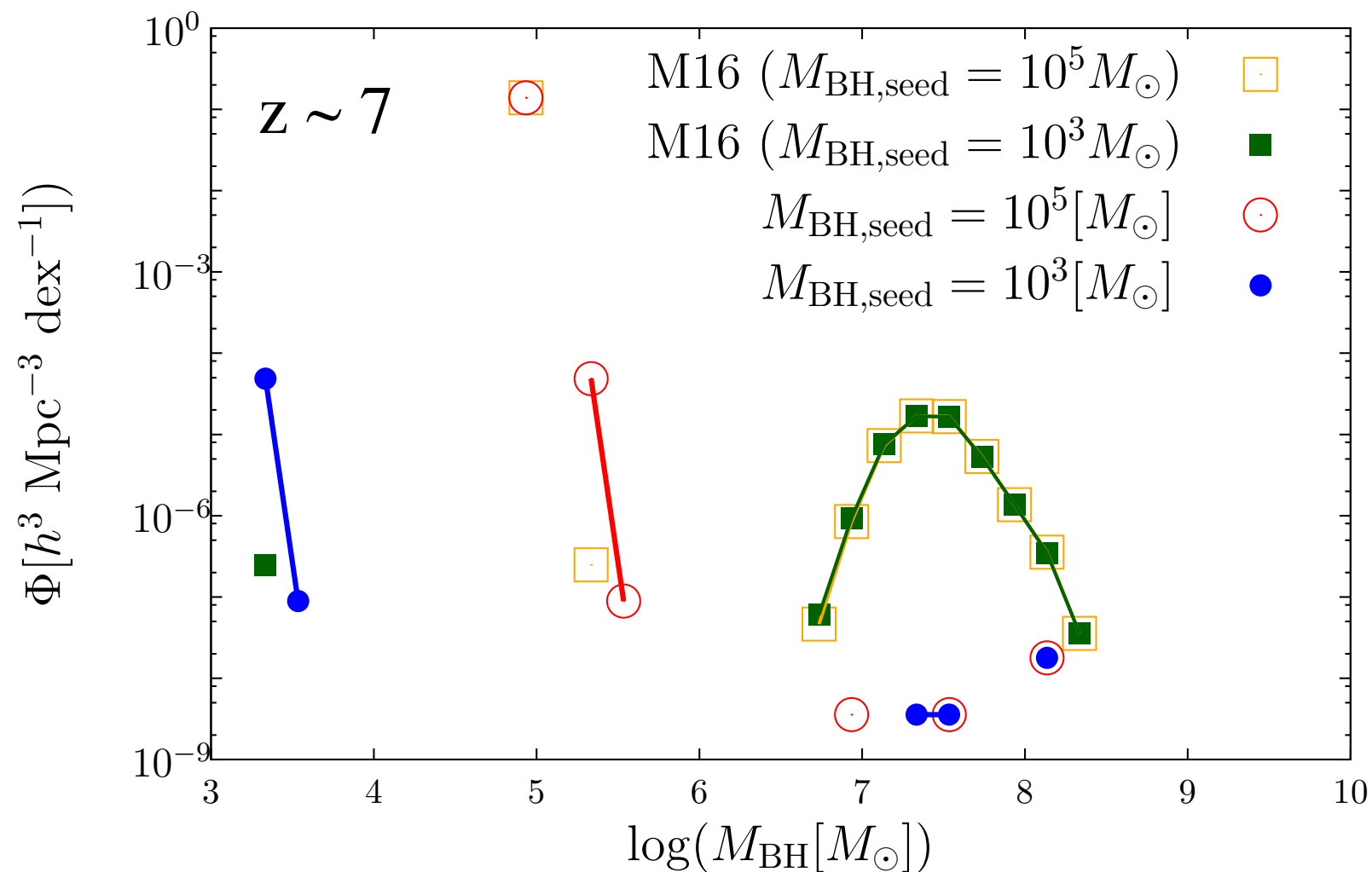
Appendix

SMBHMF @ $z \sim 7$



Appendix

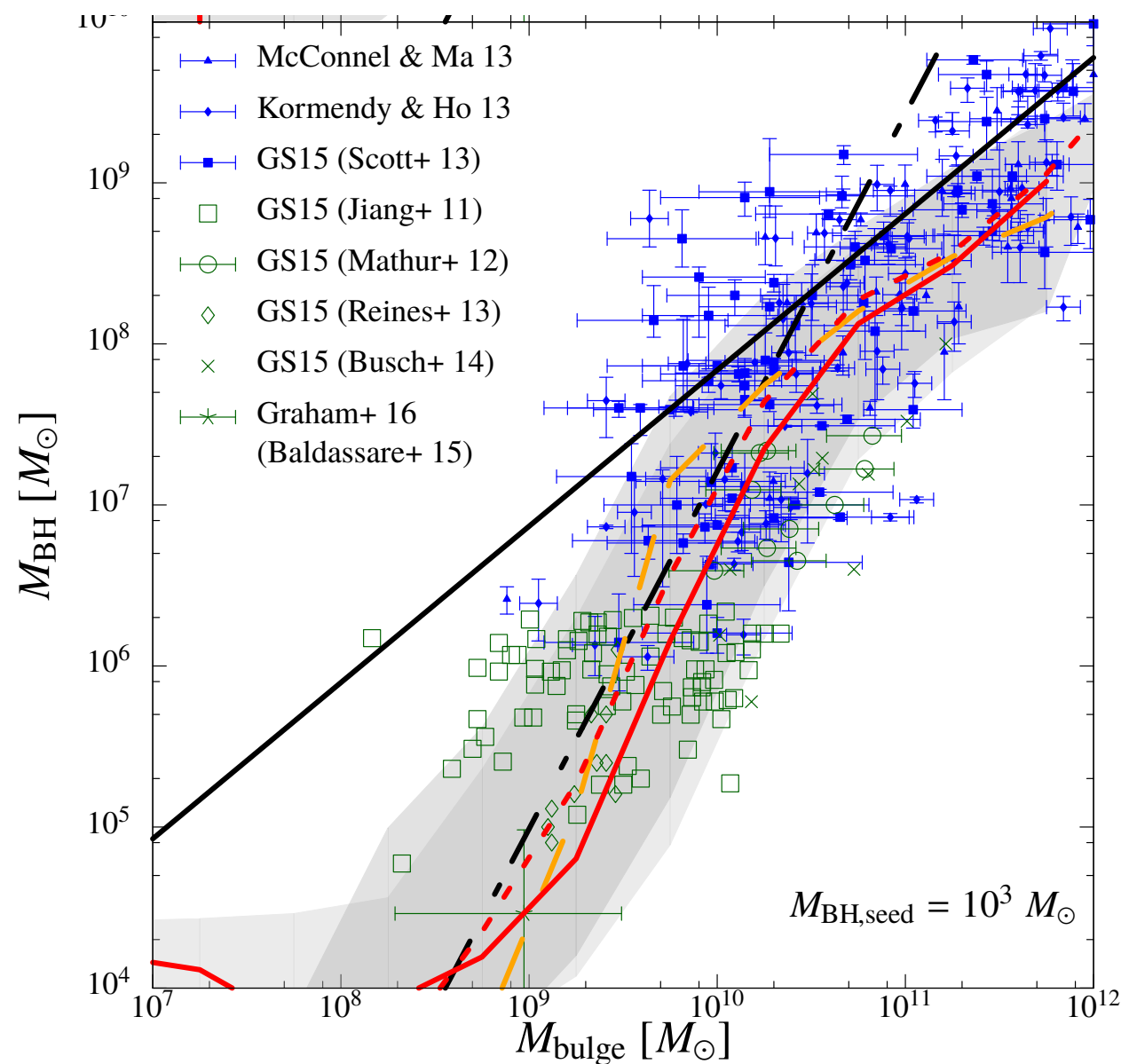
SMBHMF @ $z \sim 7$





Appendix

The impact of mass resolution



--- $\nu^2 \text{GC-SS}$

— $\nu^2 \text{GC-H2}$

(100 times higher resolution)