



準解析的銀河・AGN形成モデル によるクエーサーの空間相関

大木平 (文教大学)

榎基宏 (東京経済大学)

石山智明 (千葉大学)

小林正和 (愛媛大学)

真喜屋龍 (東京大学)

長島雅裕 (文教大学)

第二回銀河進化研究会

2015.6.3 – 5

名古屋大学

Introduction

QSO/AGNの空間相関

- QSO/AGN の空間相関から何が分かるか
 - 2体相関関数 → QSO バイアス
 - QSO バイアスとハローバイアスとの比較により、QSO/AGN のホストハロー質量を推定

$$b_Q = \sqrt{\frac{\xi_Q(r)}{\xi_{DM}(r)}} \longleftrightarrow b_h(M) = \sqrt{\frac{\xi_h(M,r)}{\xi_{DM}(r)}}$$

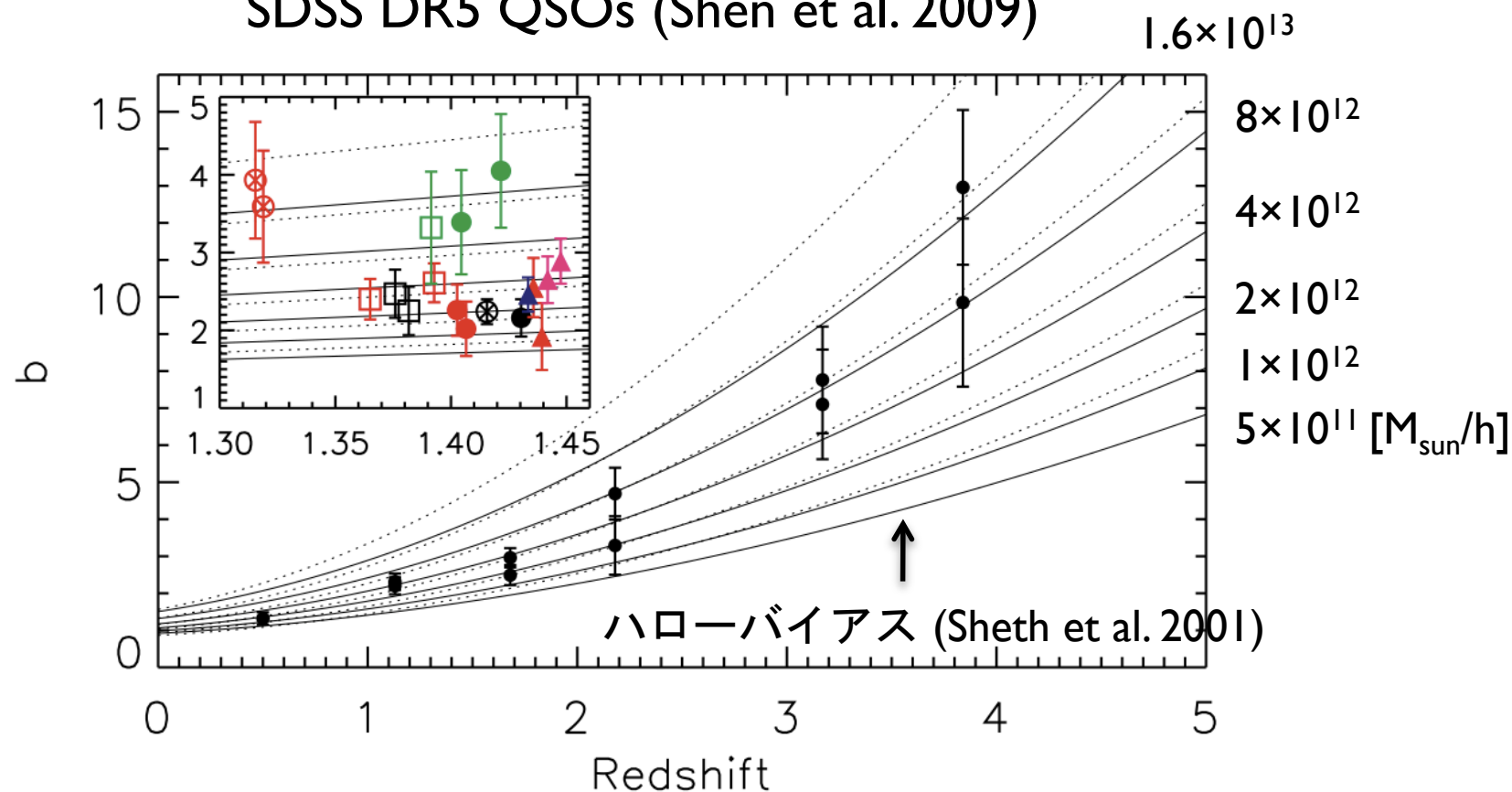
- (ホストハロー質量に 'characteristic mass' があることを暗に仮定)
- QSO/AGN のホストハロー質量
 - SMBH 形成過程に依存
 - QSO/AGN 放射過程, light curve model に依存



QSO バイアス, ホストハロー質量の観測結果を理論モデルと比較することで、**SMBH 形成過程, QSO/AGN 放射過程を明らかにすることが出来る！**

QSO バイアス: 赤方偏移依存性

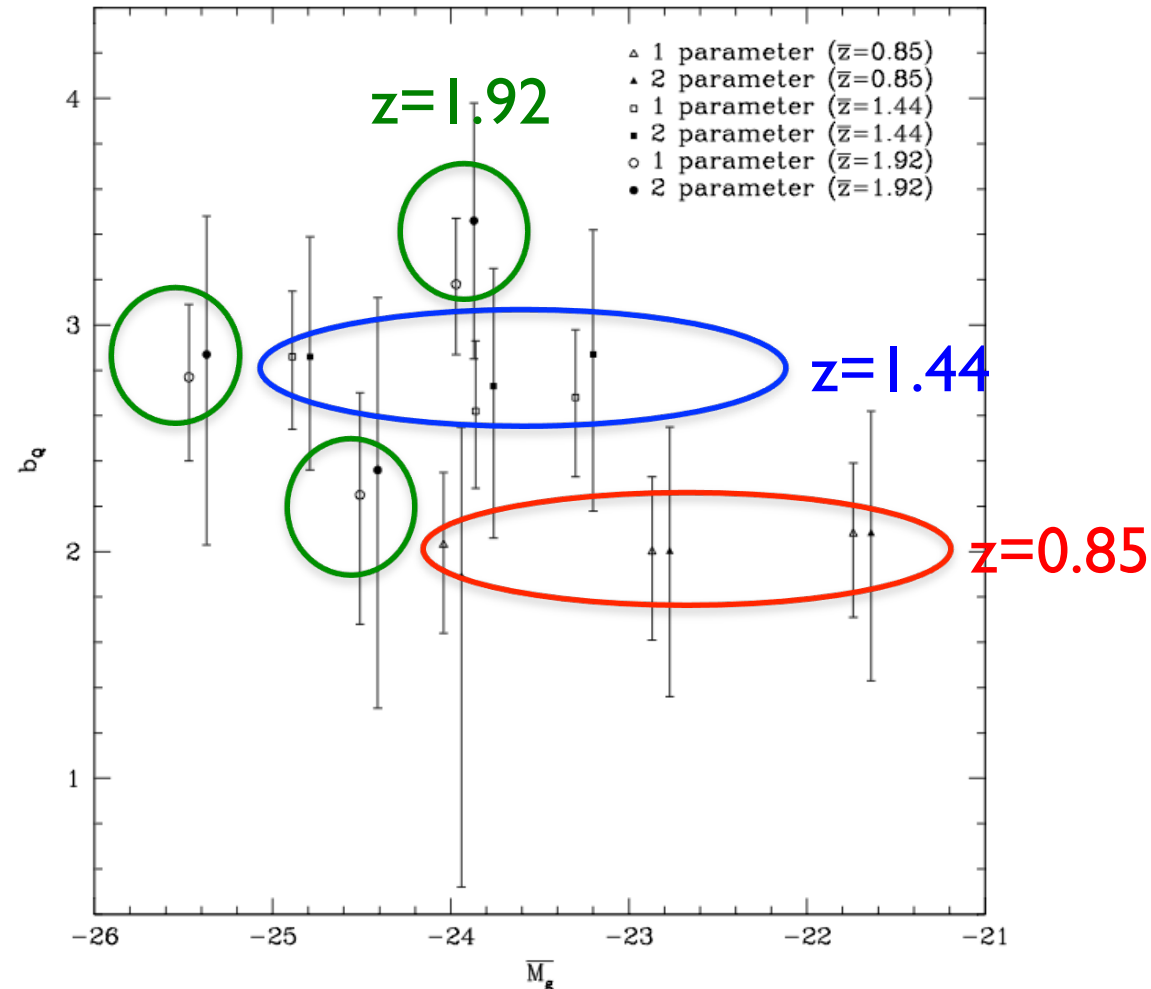
SDSS DR5 QSOs (Shen et al. 2009)



- QSOバイアスは赤方偏移とともに増加
- ホストハロー質量は赤方偏移によらない
or 赤方偏移とともに増加 (Shen+2009)

QSO バイアス: QSO luminosity 依存性

SDSS photo-z QSOs (Myers et al. 2007)



- QSOバイアスに QSO luminosity 依存性は見られない (see also da Angela et al. 2008, Shen et al. 2009 and references therein)

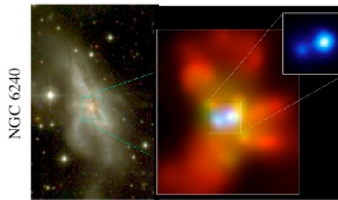
銀河合体によるAGN形成と銀河進化

(c) Interaction/"Merger"



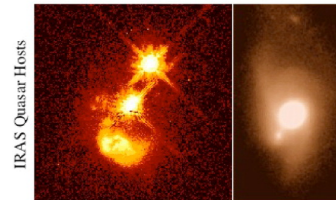
- now within one halo, galaxies interact & lose angular momentum
- SFR starts to increase
- stellar winds dominate feedback
- rarely excite QSOs (only special orbits)

(d) Coalescence/(U)LIRG



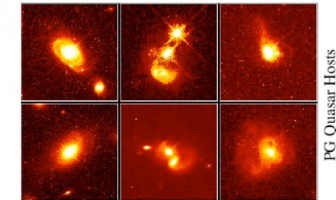
- galaxies coalesce: violent relaxation in core
- gas inflows to center: starburst & buried (X-ray) AGN
- starburst dominates luminosity/feedback, but, total stellar mass formed is small

(e) "Blowout"



- BH grows rapidly: briefly dominates luminosity/feedback
- remaining dust/gas expelled
- get reddened (but not Type II) QSO: recent/ongoing SF in host
- high Eddington ratios
- merger signatures still visible

(f) Quasar



- dust removed: now a "traditional" QSO
- host morphology difficult to observe: tidal features fade rapidly
- characteristically blue/young spheroid

(b) "Small Group"

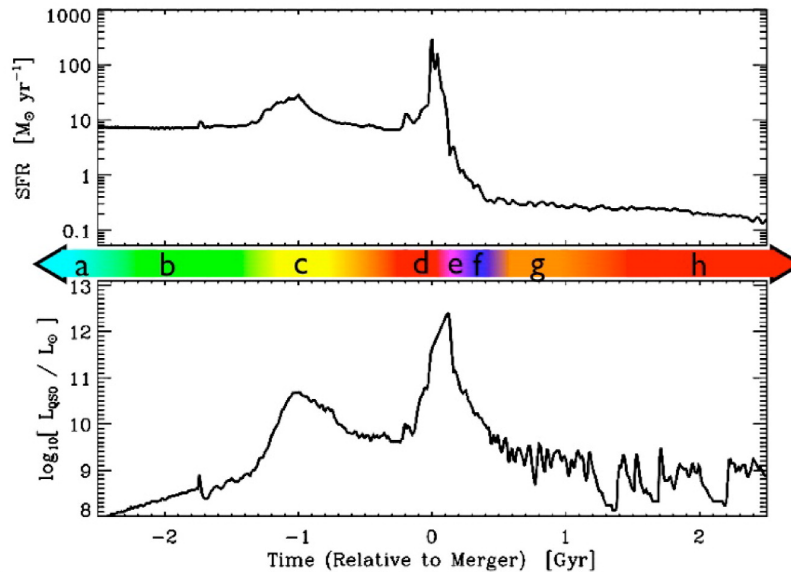


- halo accretes similar-mass companion(s)
- can occur over a wide mass range
- M_{halo} still similar to before: dynamical friction merges the subhalos efficiently

(a) Isolated Disk



- halo & disk grow, most stars formed
- secular growth builds bars & pseudobulges
- "Seyfert" fueling (AGN with $M_{\text{B}} > -23$)
- cannot redden to the red sequence



Hopkins et al. 2008

(g) Decay/K+A



- QSO luminosity fades rapidly
- tidal features visible only with very deep observations
- remnant reddens rapidly (E+A/K+A)
- "hot halo" from feedback
- sets up quasi-static cooling

(h) "Dead" Elliptical



- star formation terminated
- large BH/spheroid - efficient feedback
- halo grows to "large group" scales: mergers become inefficient
- growth by "dry" mergers

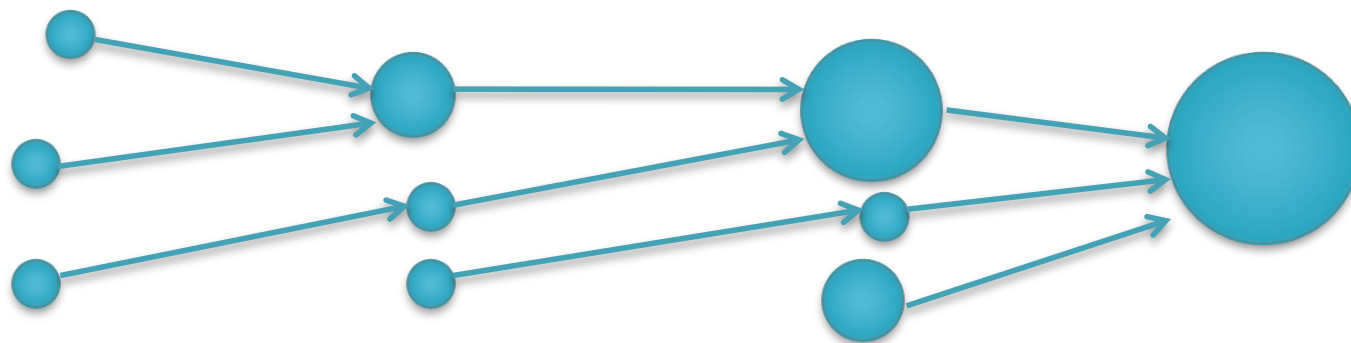
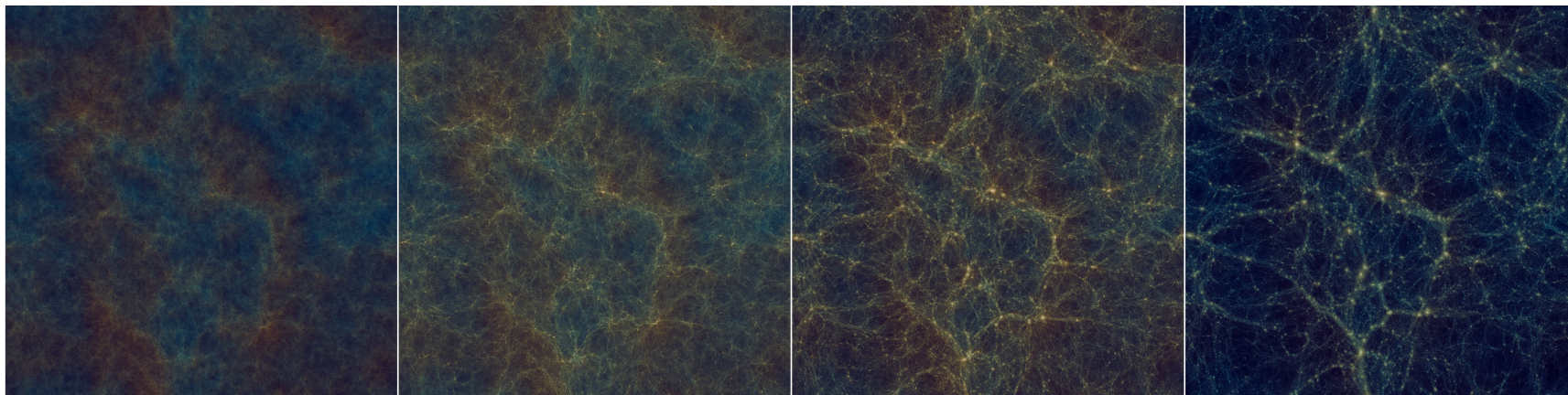
- QSO/AGNクラスタリングを用いて、'合体仮説'を検証する

本研究

- 我々の銀河・AGN 形成モデル
Numerical Galaxy Catalog (ν GC) を用いて、QSO クラスタリングを調べる
 - QSO host halo の質量分布
 - QSO バイアス
 - QSO luminosity 依存性
 - 赤方偏移依存性
- QSO バイアスについて、現状の観測結果とモデルからの結果を比較する

Numerical Galaxy Catalog (ν GC)

I. 宇宙論的N体シミュレーション

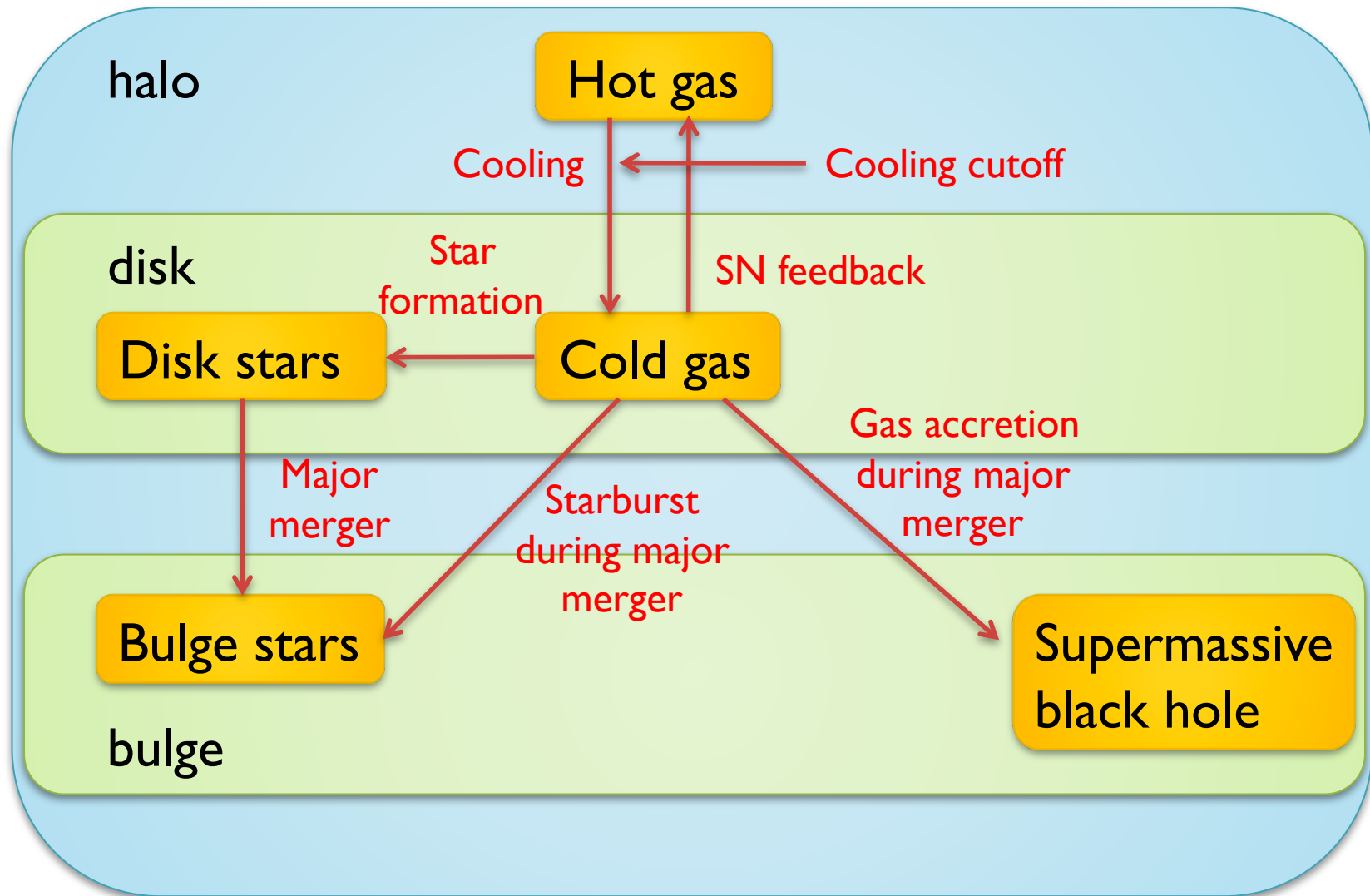


Boxsize (Mpc/h)	N	m (M_{sun}/h)	ε (kpc/h)	M_{min} (M_{sun}/h)	Cosmology
560.0	4096^3	2.20×10^8	4.27	8.79×10^9	Planck

Ishiyama et al. 2015

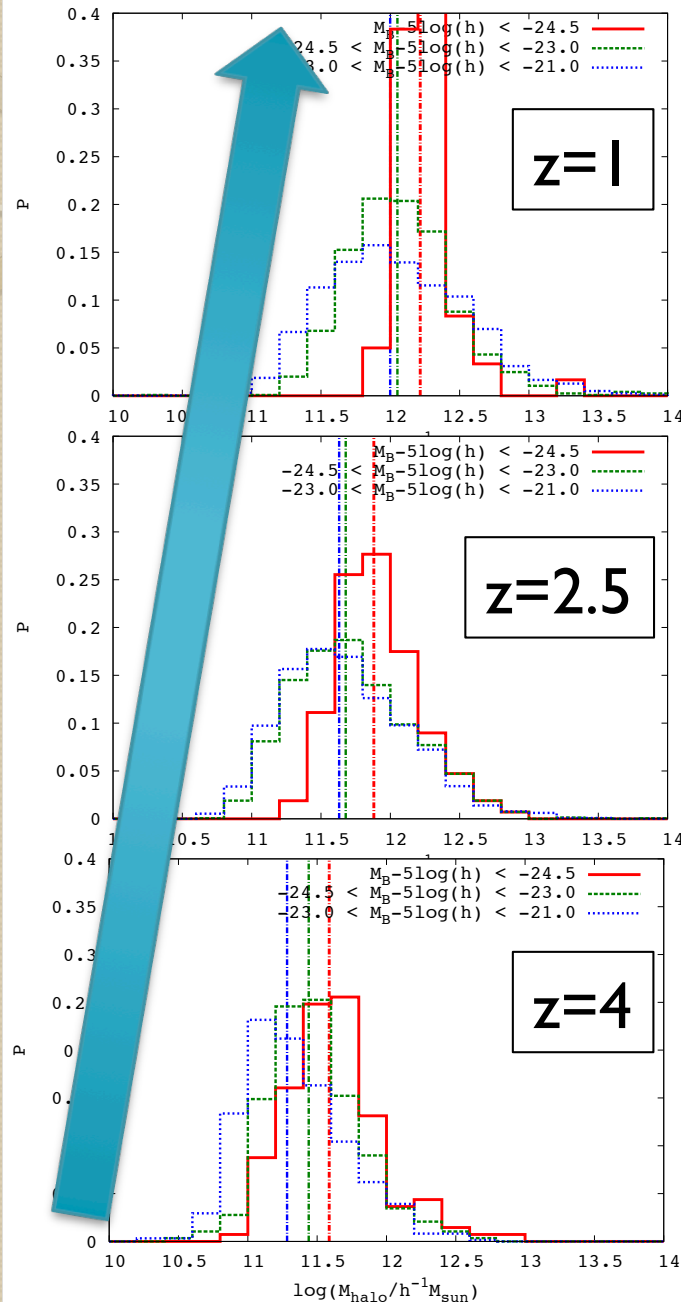
Numerical Galaxy Catalog (ν GC)

II. バリオンの進化



Nagashima et al. 2005, Enoki et al. 2003, 2014

QSOホストハローの質量分布



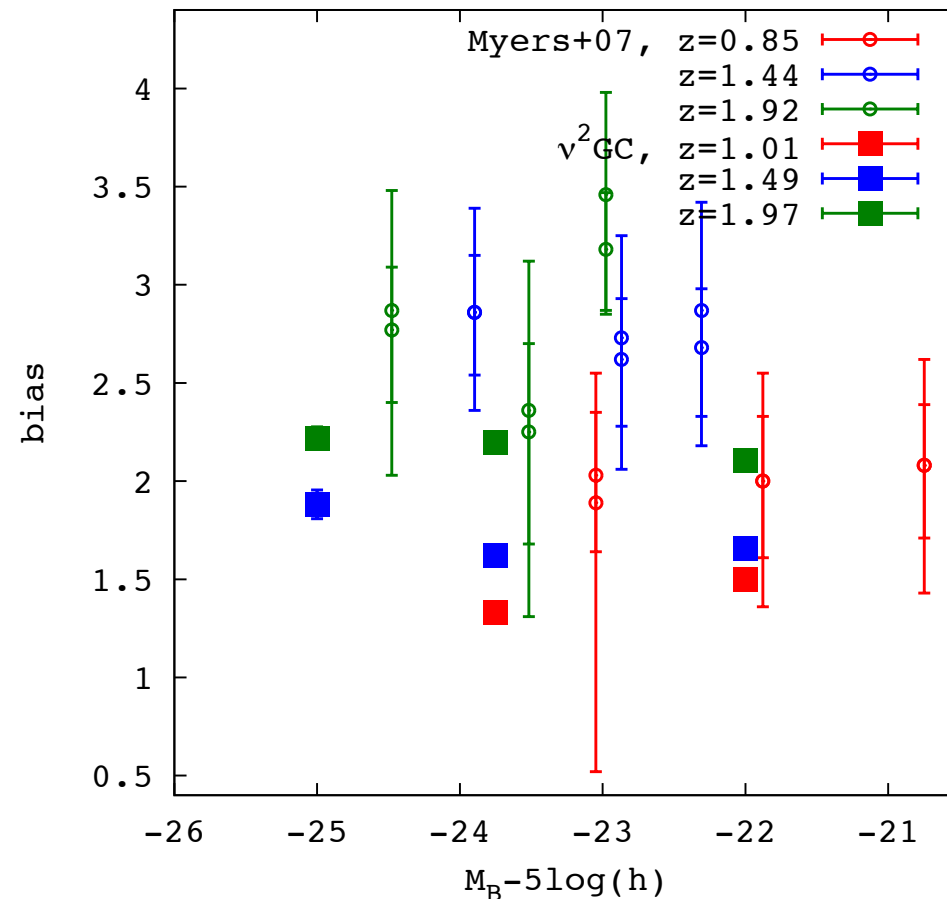
QSO [$M_B - 5\log(h) < -24.5$] : Bright
 QSO [$-24.5 < M_B - 5\log(h) < -23.0$] : Intermediate
 QSO [$-23.0 < M_B - 5\log(h) < -21.0$] : Faint

- ホストハロー質量は QSO luminosity にほとんど依存しない
- $z=4$ から $z=1$ にかけて、ホストハロー質量は $\sim a \text{ few } 10^{11} \rightarrow \sim a \text{ few } 10^{12} M_{\text{sun}}/h$ が増加
 - low- z では観測と一致
 - z とともに、ホストハロー質量が増加する傾向を示唆する Shen et al. 2009 の観測結果とは不一致

QSOバイアス

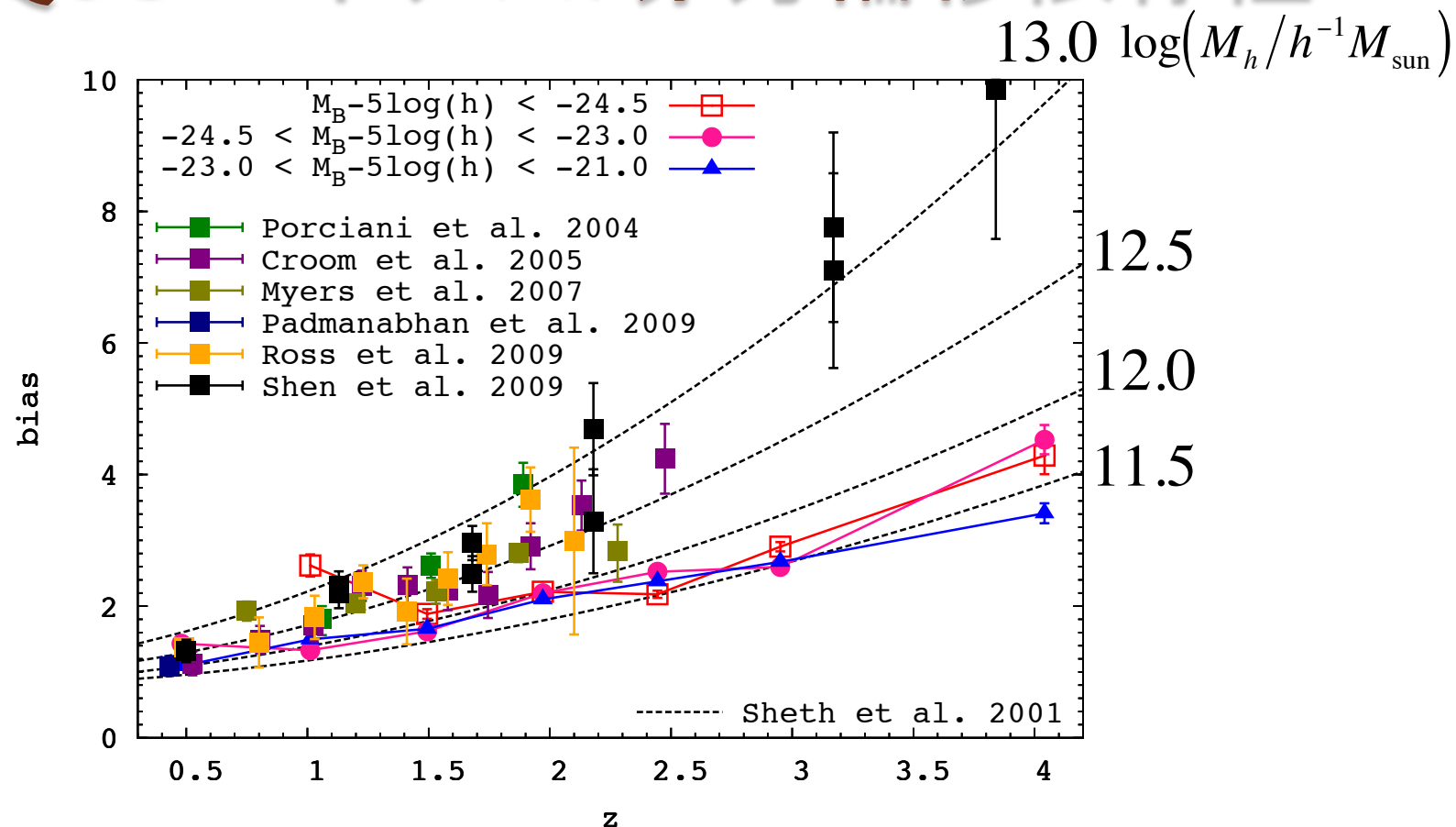
QSO luminosity 依存性

$$b_Q = \sqrt{\frac{\xi_Q(r)}{\xi_{DM}(r)}} = \frac{\xi_{QG}(r)}{\sqrt{\xi_G(r)\xi_{DM}(r)}}$$



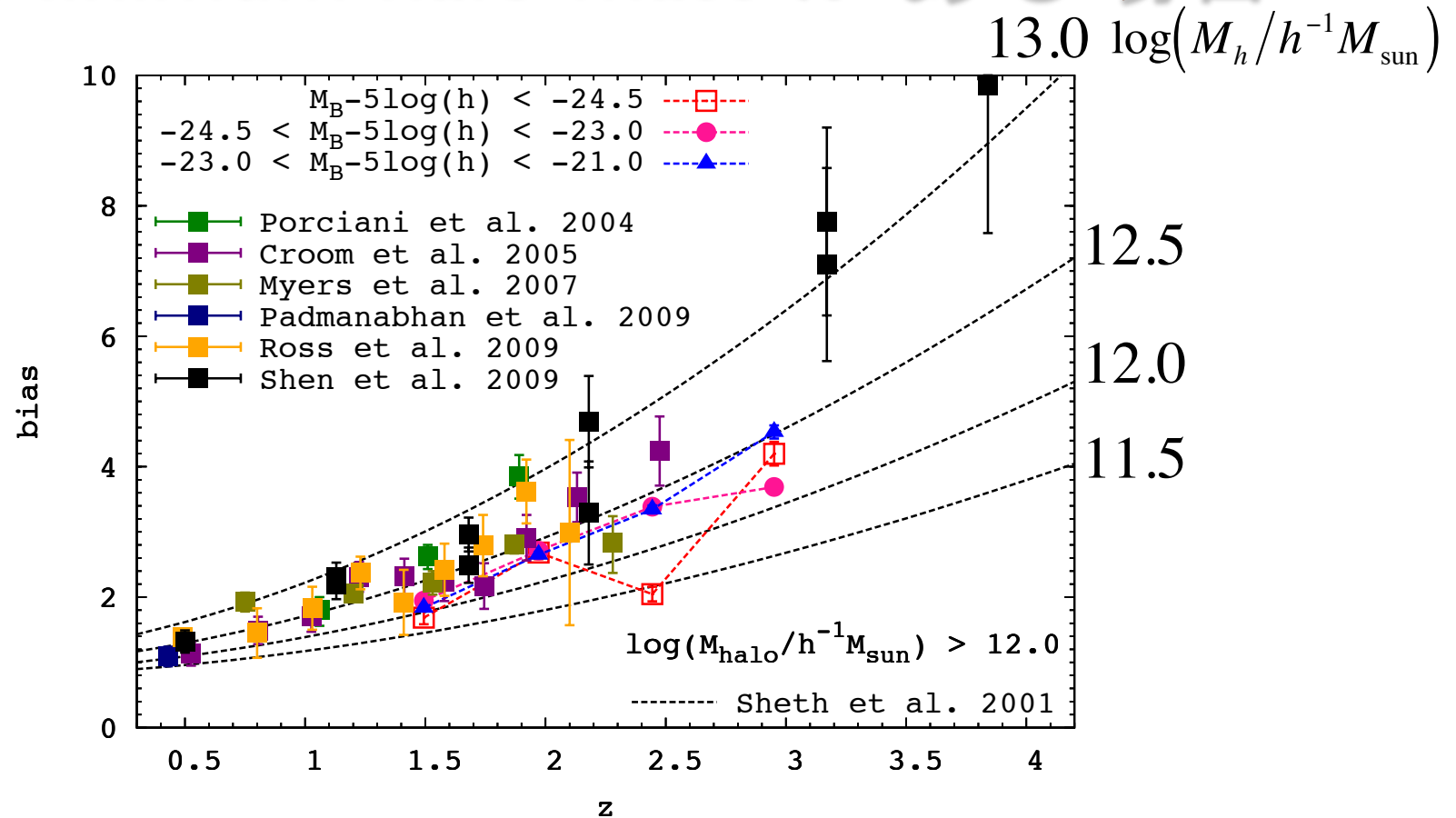
- モデルは QSOバイアスがQSO luminosity に依存しないことを自然に再現

QSOバイアス: 赤方偏移依存性



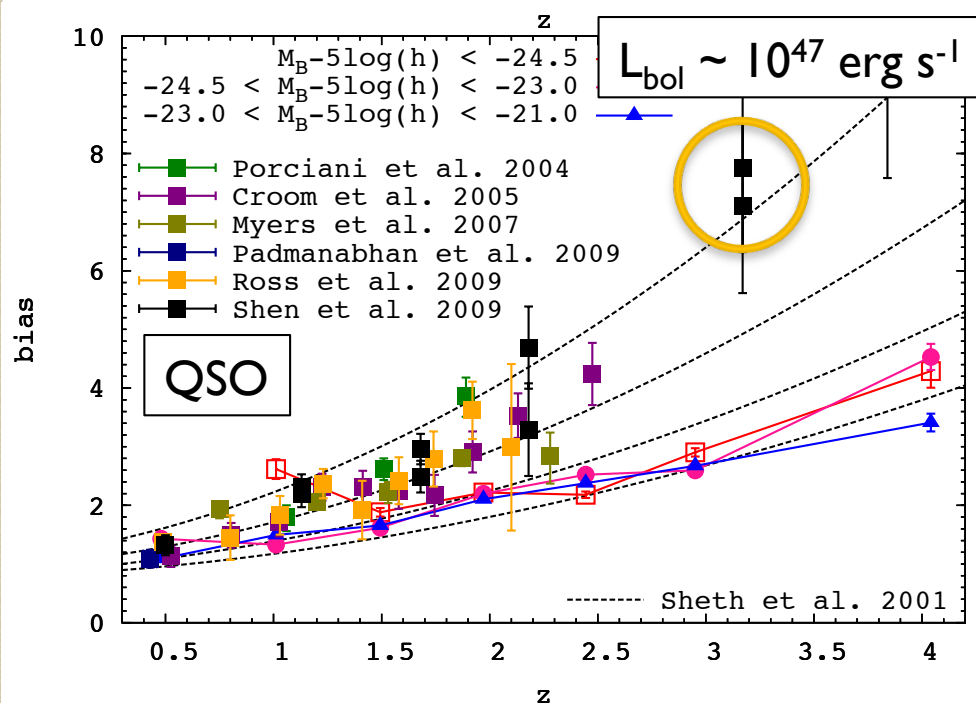
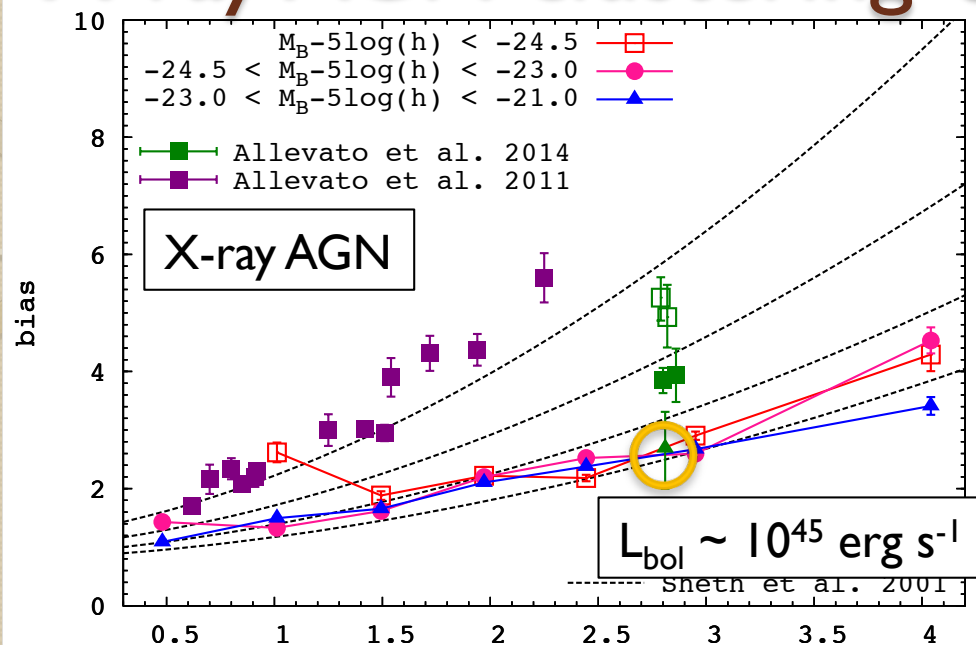
- QSOバイアスは赤方偏移とともに増加
- QSOバイアスは、ハロー質量の median に Sheth et al. 2001 を適用して得られるバイアスの値とほぼ一致
 - QSOバイアスはホストハロー質量で決まっている
- low- z では観測と一致するものの、 $z > \sim 2.5$ では不一致が見られる

Minimum halo mass がある場合



- ハロー質量が $10^{12} M_{\text{sun}}/h$ 以上の QSOs のみを用いてバイアスを求めると、 $z \sim 2.5$ の観測を再現できる
- high- z の QSO バイアスを説明するには、大質量のハローで選択的に QSO が形成される物理過程が必要？

X-ray AGN clustering との比較



- high- z X-ray AGN は (比較的) 合うセンス
- $z \sim 3$ で QSO バイアスの luminosity 依存性が示唆
- HSC での低光度クエーサー探査が必要

まとめ

- Numerical Galaxy Catalog (ν GC) を用いて、QSO のクラスタリングを調べた
- ホストハロー質量
 - QSO luminosity にほとんど依存しない
 - $z=4$ から $z=1$ にかけて、 $\sim a \text{ few } 10^{11} \rightarrow \sim a \text{ few } 10^{12} M_{\text{sun}}$ に増加
- QSOバイアス
 - モデルは、QSOバイアスが QSO luminosity に依存しないという観測結果を自然に再現
 - low- z では観測と一致するものの、 $z > \sim 2.5$ では不一致が見られる
- high- z ($z > \sim 2.5$) QSOs について、新たな形成過程を考える必要があるかもしれない
- 今後は、さらに X-ray AGN, 低光度クエーサーまで含めた統一的理解を試みる