

THE ざっし会

5月末日

本日の紹介論文

MASS FUNCTIONS OF THE ACTIVE BLACK HOLES IN  
DISTANT QUASARS FROM THE LARGE BRIGHT  
QUASAR SURVEY, THE BRIGHT QUASAR SURVEY,  
AND THE COLOR SELECTED SAMPLE OF THE SDSS  
FALL EEQUATORIAL STRIPE

M.Vestergaard & Patrick S. Osmer

ApJ, **699**, 800, 2009

# めにゆ～・・・

- I. Introduction
- II. Data
- III. Black hole mass estimates
- IV. Black hole mass functions
- V. Cumulative mass densities – 時間があれば
- VI. Summary

ブラックホール統計

# INTRODUCTION

# 業界用語 Part 1



NGC3621 (Opt & IR で AGN )

画像元:

[http://sag2009.starspace.lv/public/ngc3621\\_aiz\\_lokalas\\_grupas\\_robezam\\_19092009.html](http://sag2009.starspace.lv/public/ngc3621_aiz_lokalas_grupas_robezam_19092009.html);

## AGN(活動銀河核)

- 銀河中心のブラックホール (BH) への質量降着により、ポテンシャルエネルギーを解放し、明るく輝く現象
- 活動的ブラックホールとはこういうやつのこと



## BH を間接的に見る手段

光らない BH を光らす!!

# イントロ

- 最終目標

- 観測と理論の両面から活動的 & 非活動的 BH のモデルをすりあわせることで、BH 種族全体の一般的な描像(銀河の進化や形成など)を明らかにする

- どうやって??

- 活動銀河核(AGN)の光を捉えられれば、BHの近傍の様子が見れる
- AGNを用いて、BHの質量と活動性などからBHの進化を紐解く!

# ブラックホール統計

- Luminosity function (LF) と Mass function (MF)
  - LF では重い BH に降着率が低い状態で物質が落ち込んでいるのか、軽い BH に降着率が高い状態で物質が落ち込んでいるのかは分からない
- 二つを使えば、放射効率の質量依存性を解読可能!!
  - 降着過程などに制限がつく

そこで...

$z < 5$  までの MF を用いることで、  
BH の観測的特徴から  
BH の全体像について考察する

**DATA**

# DATA

- Data Resources

- BQS ( Bright Quasar Sample ) (Vestergaard&Peterson(06))

- 非常に近傍で、**明るい**天体ばかり ( BJ < 16.1 mag )
    - $Z < 0.5$  (  $H_{\beta}$  )
    - UV excess sample (  $U - V < -0.46$  )
    - 86 個

- LBQS ( Large Bright Quasar Sample )

- Optical Selected ( BJ < 19 mag )
    - $0.2 < z < 3.4$  (  $H_{\beta}$ ,  $Mg_{II}$ ,  $C_{IV}$  )
    - 978 / 1067  $\square$  ( Broad line が測れるもの ) ( 969  $\square$  :  $Z \leq 3$  )

- SDSS ( Sloan Digital Sky Survey ) color selected sample

- $3.6 < z < 5.0$  (  $C_{IV}$  )
    - 1350Å luminosity は Vestergaard et al.(2004) より
    - Color selected ( *ugriz*,  $i^* < 20$  )
      - AGN は広い波長帯で光っているため

# LBQS sample

**Table 1**  
Line Widths and Nuclear Luminosities of the LBQS Quasars

Name	$z$	FWHM(H $\beta$ ) (km s $^{-1}$ )	FWHM(Mg II) (km s $^{-1}$ )	FWHM(C IV) (km s $^{-1}$ )	log[ $L_{\lambda 1350}$ ] /erg s $^{-1}$ ]	log[ $L_{\lambda 2100}$ ] /erg s $^{-1}$ ]	log[ $L_{\lambda 3000}$ ] /erg s $^{-1}$ ]	log[ $L_{\lambda 5100}$ ] /erg s $^{-1}$ ]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Q0000 + 0159	1.073	...	4000 $^{+500}_{-450}$	...	42.81 $^{+0.18}_{-0.31}$	42.52 $^{+0.25}_{-0.62}$	42.29 $^{+0.32}_{-42.29}$	41.94 $^{+0.45}_{-41.94}$
Q0001 - 0050	1.459	...	4000 $^{+400}_{-400}$	5000 $^{+350}_{-325}$	42.98 $^{+0.20}_{-0.39}$	42.69 $^{+0.28}_{-0.98}$	42.46 $^{+0.36}_{-42.46}$	42.11 $^{+0.50}_{-42.11}$
Q0002 - 0243	0.432	3200 $^{+325}_{-300}$	3111 $^{+92}_{-124}$	...	41.99 $^{+0.14}_{-0.20}$	41.70 $^{+0.19}_{-0.34}$	41.47 $^{+0.24}_{-0.61}$	41.12 $^{+0.35}_{-41.12}$

**Notes.** FWHM measurements are based on Forster et al. (2001), and the luminosities are computed from the  $B_J$  survey magnitudes (Hewett et al. 2001, and references therein). For cases where the relative luminosity error exceeds 1.0, the negative error of the logarithm of the luminosity cannot be computed and this error is instead assigned the value of the luminosity itself.

# SDSS sample

**Table 4**  
Line Widths and Nuclear Luminosities of the SDSS Color-selected Quasars

Name	$z$	$p^a$	FWHM(C IV) (km s $^{-1}$ )	log[ $L_{\lambda 1350}$ ] /erg s $^{-1}$ ]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
J001950.06 - 004040.9	4.32	0.90	4706 $^{+1396}_{-539}$	43.436 $^{+0.020}_{-0.020}$
J003525.29 + 004002.8	4.75	0.99	2150 $^{+150}_{-100}$	43.366 $^{+0.031}_{-0.033}$
J005922.65 + 000301.4	4.16	0.78	3325 $^{+425}_{-175}$	43.536 $^{+0.012}_{-0.012}$

**Notes.** FWHM and luminosity measurements are adopted from Vestergaard (2004a).

<sup>a</sup> Selection probability (Fan et al. 2001a).

And also, Bolometric Luminosities & Eddington ratios

# **BLACK HOLE MASS ESTIMATES**

# Broad Line を用いた mass estimates

- Broad line って??

- BH 周辺の、virialize された電離雲から放射されていると考えられている広がった輝線
- 1000 km/s 以上の速度分散を持つ
- 中でも、CIV、MgII、H $\beta$ 、H $\alpha$  などは強い輝線で、速度分散を測りやすい(埋もれにくい)

# AGN Spectrum

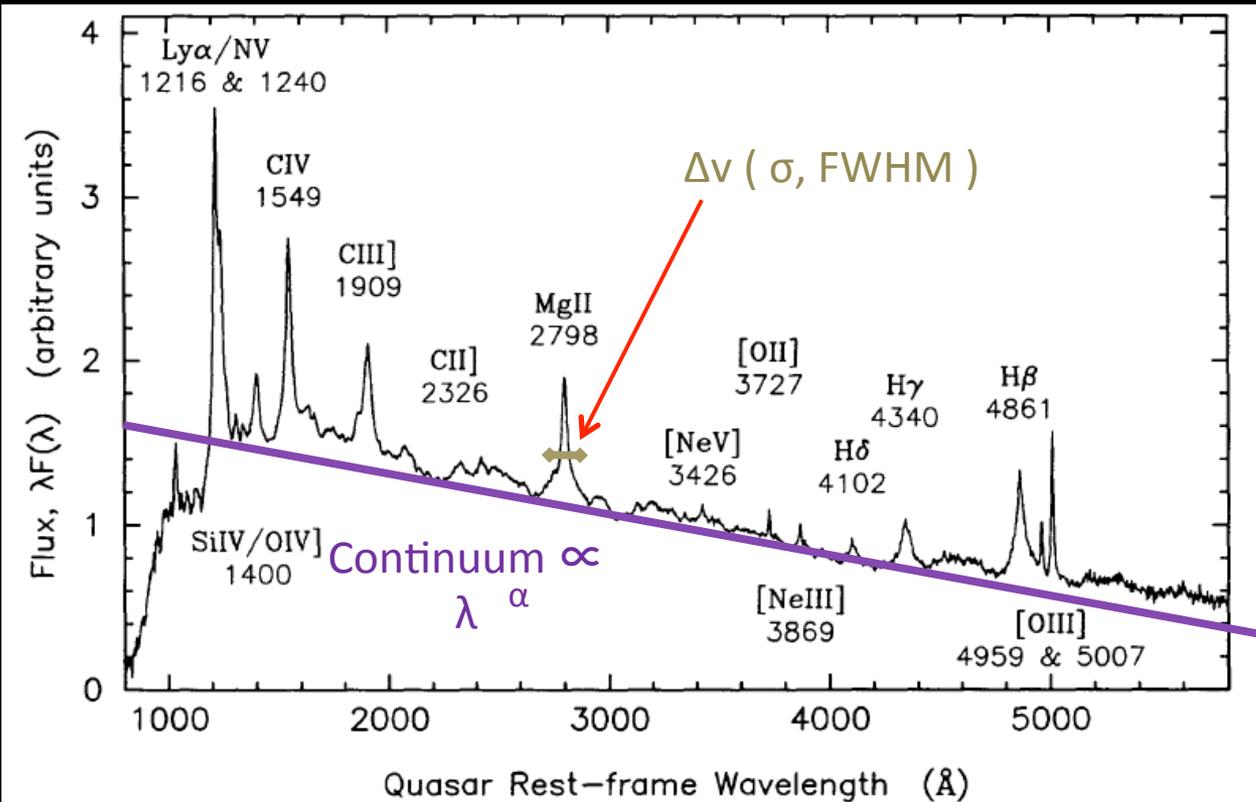


FIG. 2.—Composite spectrum plotted as  $\lambda F(\lambda)$  vs. rest-frame wavelength with the principal emission features identified. The flux scale is in arbitrary units.

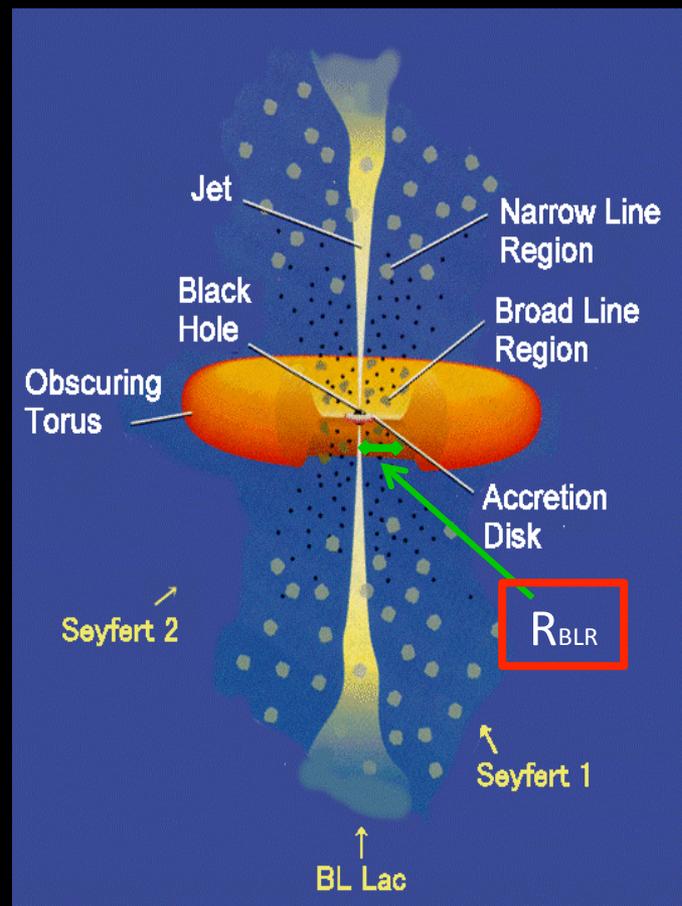
AGN のスペクトル ( Francis et al.( 1991 ) )

# Reverberation Mapping

- 中心の連続光 (continuum) を出している領域と、輝線を出す電離雲までに距離があるため、連続光の変化に対してその距離の分だけ輝線の強度変化に時間差が生じることを利用した、距離の推定方法
- **問題点**
  - 両方の変化が見られるまで観測しないと  
いけない ( $\Delta t \approx$  数10日)
- $R_{\text{BLR}} = c * \Delta t =$  距離
- 速度分散( $\sigma$ ) = 電離雲の運動状態

BH の質量

$$M_{\bullet} \simeq \frac{R_{\text{BLR}} \sigma^2}{G}$$



AGN の概略

(Penn State university HP より)



# Mass estimates : C<sub>IV</sub> & H<sub>β</sub>

- Vestergaard & Peterson ( 2006 )

– C<sub>IV</sub> & H<sub>β</sub> に対する scaling mass relation

C<sub>IV</sub>



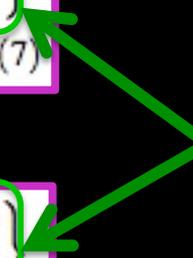
$$\log M_{\text{BH}}(\text{C IV}) = \log \left\{ \left[ \frac{\text{FWHM}(\text{C IV})}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right]^2 \left[ \frac{\lambda L_{\lambda}(1350 \text{ \AA})}{10^{44} \text{ ergs s}^{-1}} \right]^{0.53} \right\} + (6.66 \pm 0.01). \quad (7)$$

H<sub>β</sub>



$$\log M_{\text{BH}}(\text{H}\beta) = \log \left\{ \left[ \frac{\text{FWHM}(\text{H}\beta)}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right]^2 \left[ \frac{\lambda L_{\lambda}(5100 \text{ \AA})}{10^{44} \text{ ergs s}^{-1}} \right]^{0.50} \right\} + (6.91 \pm 0.02). \quad (5)$$

R ( ∝ L<sup>0.5</sup> )



# Mass estimates : Mg<sub>II</sub>

- SDSS DR3 のデータセットから導出 ( Vestergaard et al.( 2009 ) )

$$M_{\text{BH}} = 10^{z_p(\lambda)} \left[ \frac{\text{FWHM}(\text{MgII})}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right]^2 \left[ \frac{\lambda L_\lambda}{10^{44} \text{ erg s}^{-1}} \right]^{0.5},$$

$$\lambda = 1350 \text{ \AA} : z_p(\lambda) = 6.72$$

$$\lambda = 2100 \text{ \AA} : z_p(\lambda) = 6.79$$

$$\lambda = 3000 \text{ \AA} : z_p(\lambda) = 6.86$$

$$\lambda = 5100 \text{ \AA} : z_p(\lambda) = 6.96$$

C<sub>IV</sub> の M<sub>BH</sub> と比較することで、Mg<sub>II</sub> の scaling relation を推定

# Bolometric luminosity & Eddington ratio

## ① Bolometric luminosity

- LBQS & SDSS
  - Richards et al.( 2006 ) の変換式を用いて  $\lambda=3000\text{\AA}$  luminosity などの continuum から定数倍して推定
- BQS
  - Sanders et al.( 1989 ) から引用

## ② Eddington ratio

- 実際の光度と、 $M_{\text{BH}}$  から得られる理論上の限界光度との比

$$\text{Eddington ratio} = L / L_{\text{bol}} (M_{\text{BH}})$$

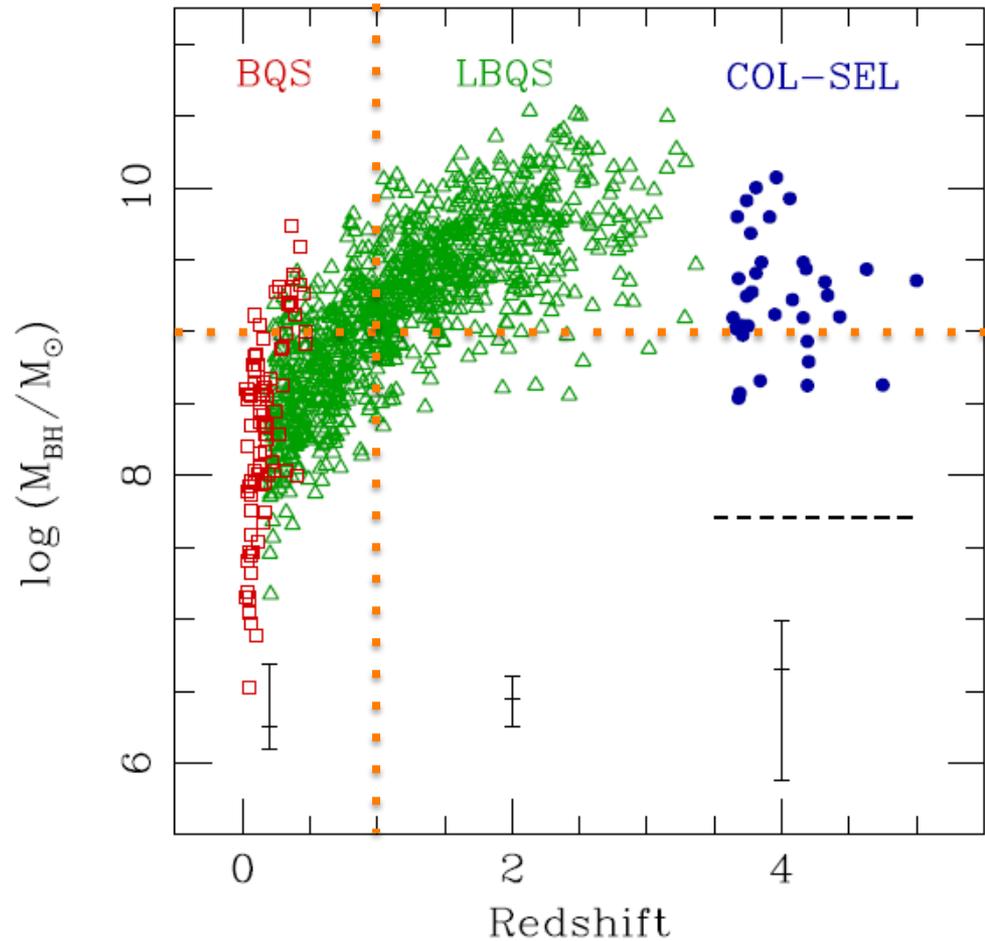
## $M_{\text{BH}}$ distribution depending on redshift

### 特徴

サンプルが明るいのが多いため、 $M_{\text{BH}}$   
もけっこう大きいのがとれている

SDSS の flux limit を  $M_{\text{BH}}$  に換算したも  
のも示す

$z > 1$  の LBQS & SDSS のすべてが  
 $10^9 M_{\text{sun}}$  以上??  
(8乗なら分かるが...)



## Eddington ratio distribution depending on redshift

### 特徴

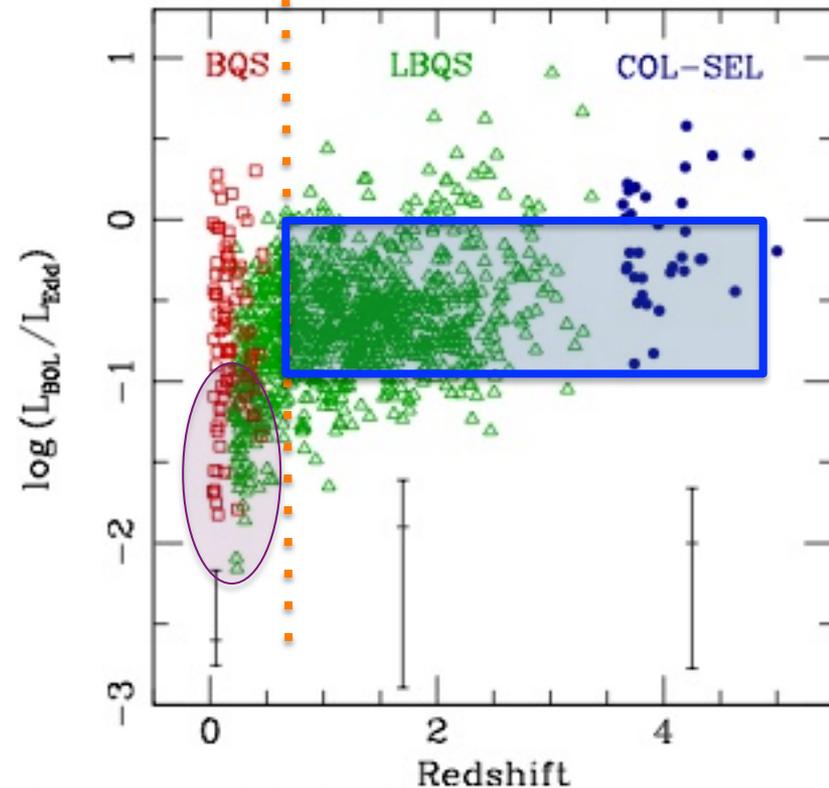
$z > 1$  だとほとんどが  $0.1 \sim 1.0$  の間に存在 (他の論文を支持)

||

ほとんどが Eddington limit で降着が起きている

$z < 1$  だと  $0.01$  付近のも増えてくる (近傍ほど活動性が低い)

Error bar が大きいいため、遠方 ( $z \geq 1$ ) は微妙な気がするが...

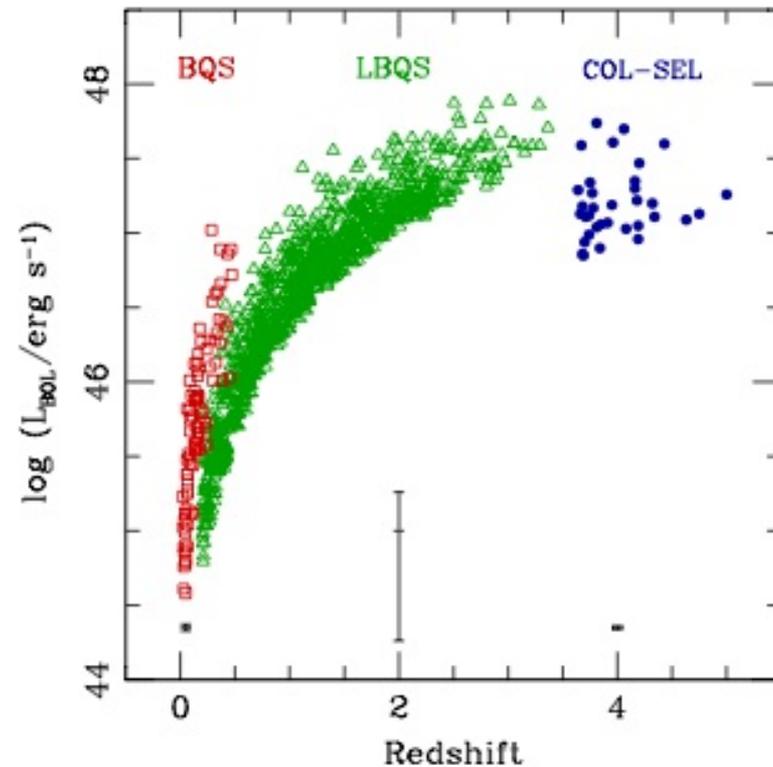


**Figure 2.** Distributions of black hole mass,  $M_{\text{BH}}$ , (top panel) and Eddington luminosity ratios,  $L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}$ , (bottom panel) as a function of redshift for the LBQS, BQS, and SDSS color-selected samples. Symbols are as in Figure 1. The dashed line in the top panel shows the SDSS flux density limit folded with the line width cutoff of  $1000 \text{ km s}^{-1}$  adopted for SDSS quasars. See the discussion for details.

## Bolometric Luminosity distribution depending on redshift

LBQS & BQS は high luminosity sample ( 16 mag 以上とか )

LBQS は不確定性も大きい( Band luminosity から補正しているため )



**Figure 1.** Distributions of bolometric luminosities,  $L_{\text{bol}}$ , as a function of redshift for the LBQS (triangles), BQS (squares), and SDSS color-selected (filled circles) samples. Typical measurement errors are shown in the lower portion of the diagram. For the LBQS the  $L_{\text{bol}}$  values are based on the survey  $B_J$  magnitudes, causing large errors due to the necessary extrapolation across the spectrum.

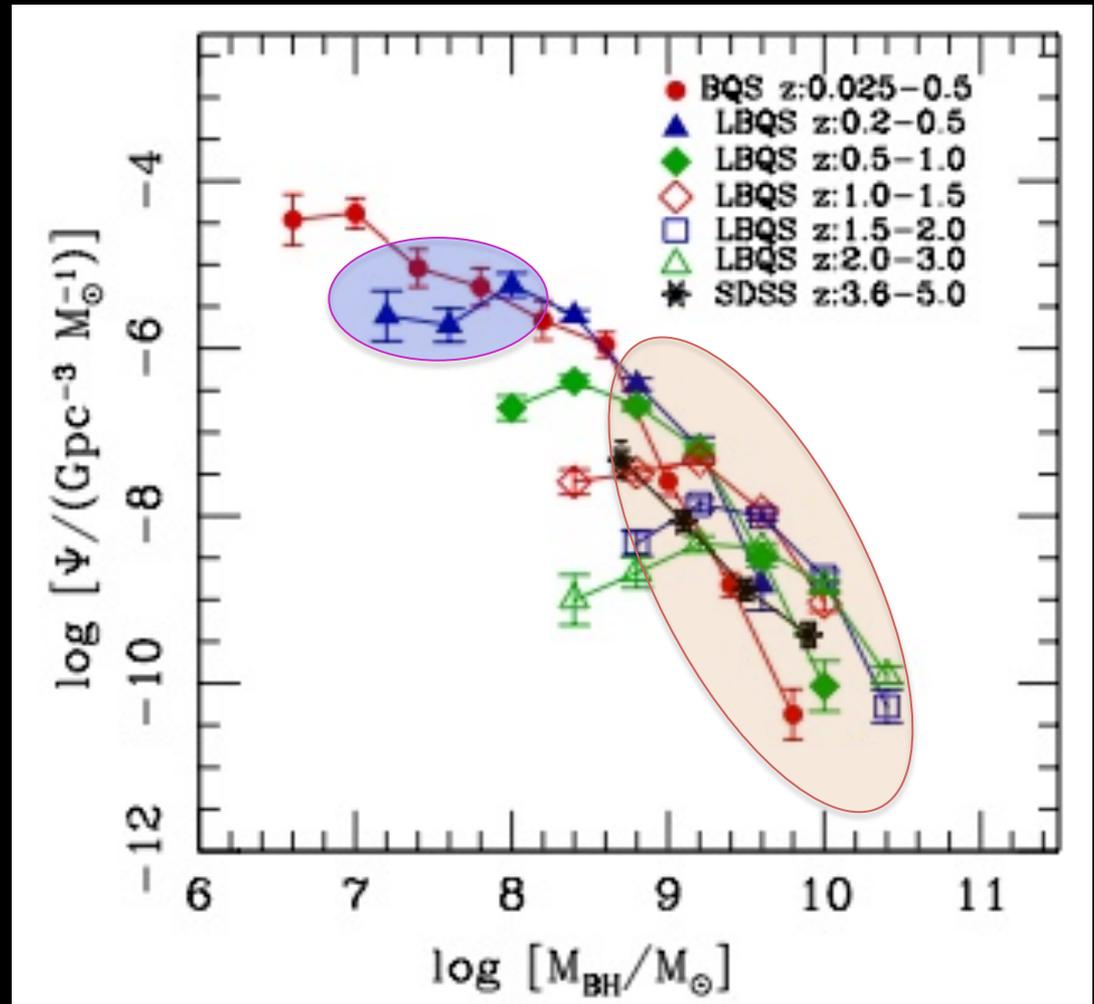
# BLACK HOLE MASS FUNCTIONS

# BH mass functions depending on $M_{\text{BH}}$

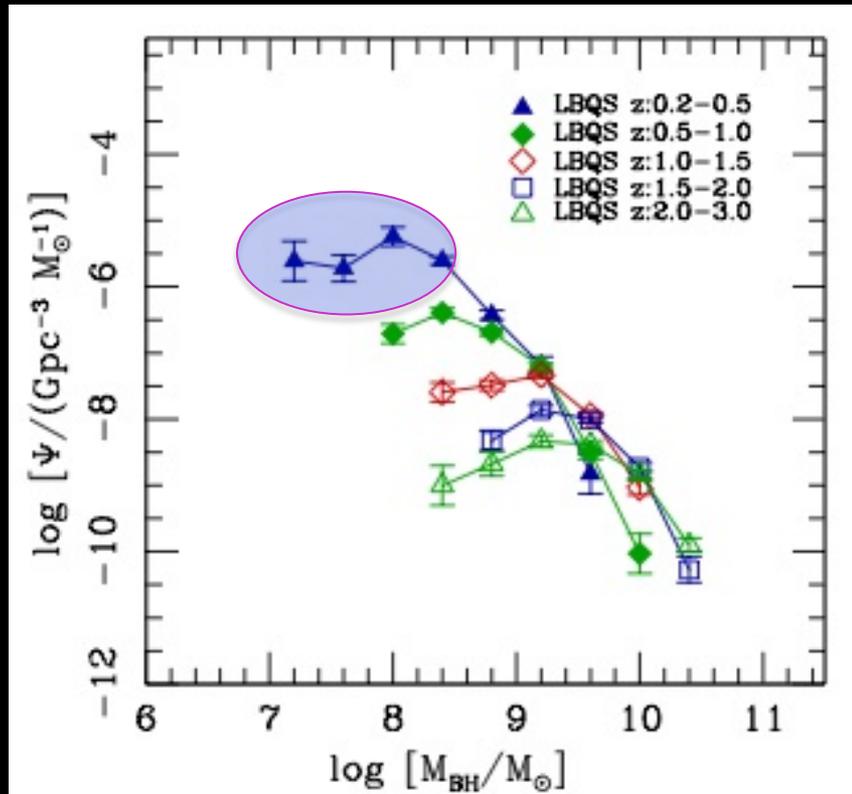
Line の情報が無いものは抜いてある

## 特徴

1. LBQS の Low mass end での跳ね上がり
2. High mass end の slope の傾きが redshift が変わってもほとんど一致
3. High mass end が
  - $z=4 \rightarrow 2.5$ : 増加
  - $z=2.5 \rightarrow 0$ : 減少
4.  $z=4$  (SDSS) の density が非常に少ない



# Low mass end での跳ね上がり



- Low mass 側ですっと増加するわけではない
- Low mass での検出率が低い?!
  - Kelly et al.(2009)でも同様に、これは real な傾向であろう

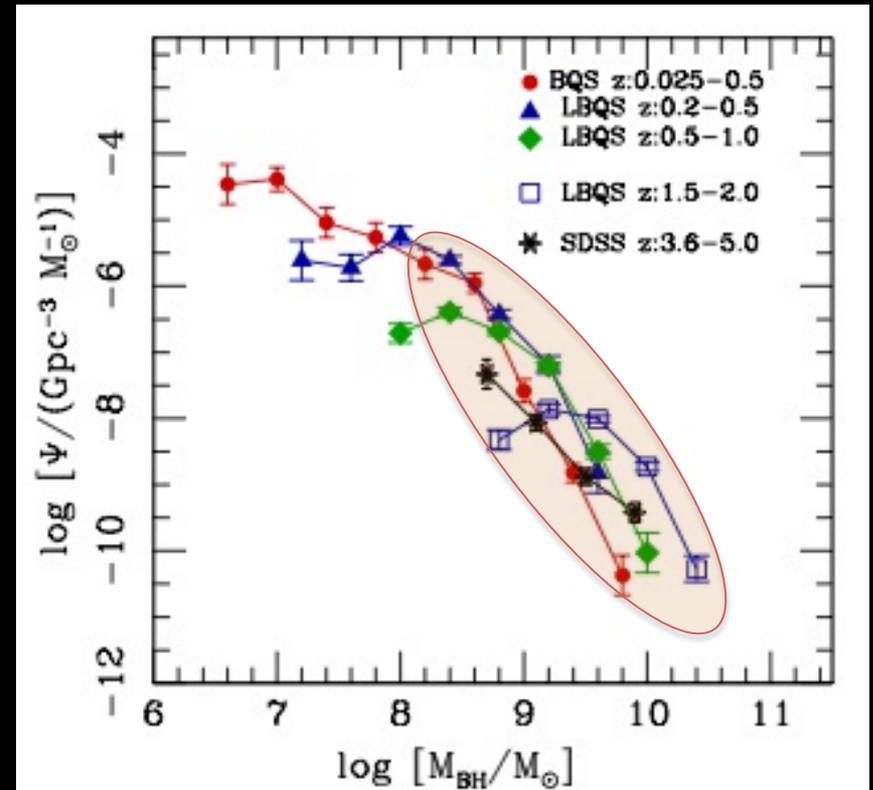
# High mass end slope

- High mass end について

$$\Psi \propto M^\beta$$

として  $\beta$  を計算 & 比較  
(Vestergaard et al. (2008))

- $Z > 3.5$  or  $Z < 3.5$  で  $\beta$  の  
値は大きく変わる



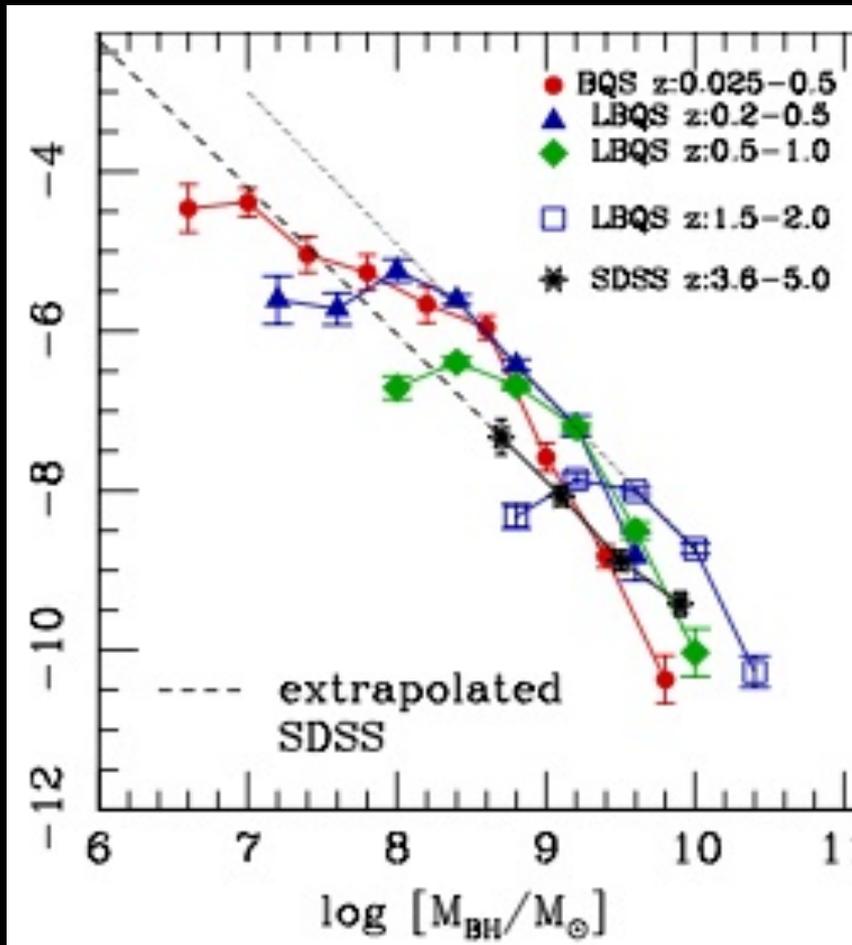
# Slope @ $z < 3.5$

- LBQS :  $\beta = -3.0 \sim -3.4 \pm 0.4 \sim 1.4$
- BQS :  $\beta = -3.6 \pm 1.0$  @  $M_{\text{BH}} \approx 8.6$  dex
  - Error の範囲で一致
  - このように slope にほとんど変化がなければ、進化などの微小な変化を議論するのは非常に難しくなる
- 他の論文 ( SDSS DR3 )
  - Vestergaard et al.( 2008 ) :  $\beta \approx -3.3 \pm 0.4 \sim 1.3$  @  $z < 3.8$

# Slope @ $Z > 3.5$

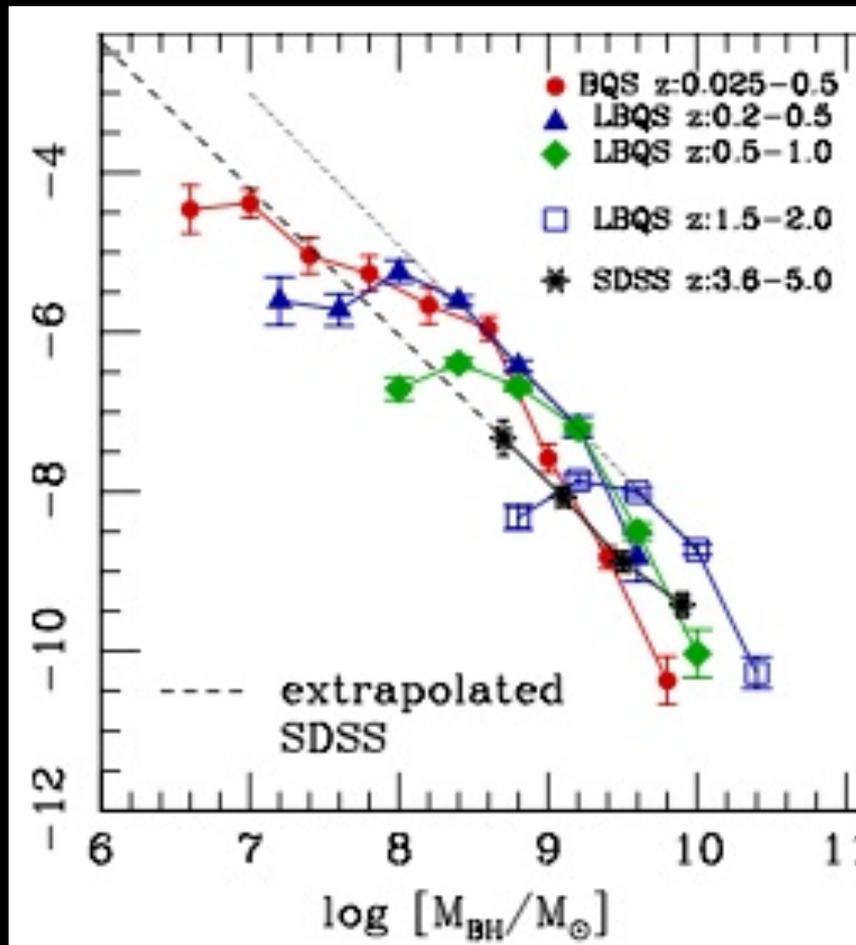
- SDSS color selected データ
  - $\beta \approx -1.75 \pm 0.56$  @  $M_{\text{BH}} \geq 8.6$
  - Lower redshift データよりも flat な slope
  - 質量に関係なくほとんど変わらない密度
- 他の論文
  - Vestergaard et al.( 2008 ) :
    - 同様な傾向
    - Completeness が低いせいだとしていた
- 今回の結果から、flatなのは real

# Density が他よりも小さい @ Z = 4



- 遠方であることによる、low mass BH の見逃し?!
- SDSS を low mass に延長して検証 (dashed line)
  - Dotted line は LBQS の成長
- 2つの line は平行・・・だが、近傍の方が  $M_{\text{BH}}$  and / or density が大きい

# Density が他よりも小さい @ $Z = 4$



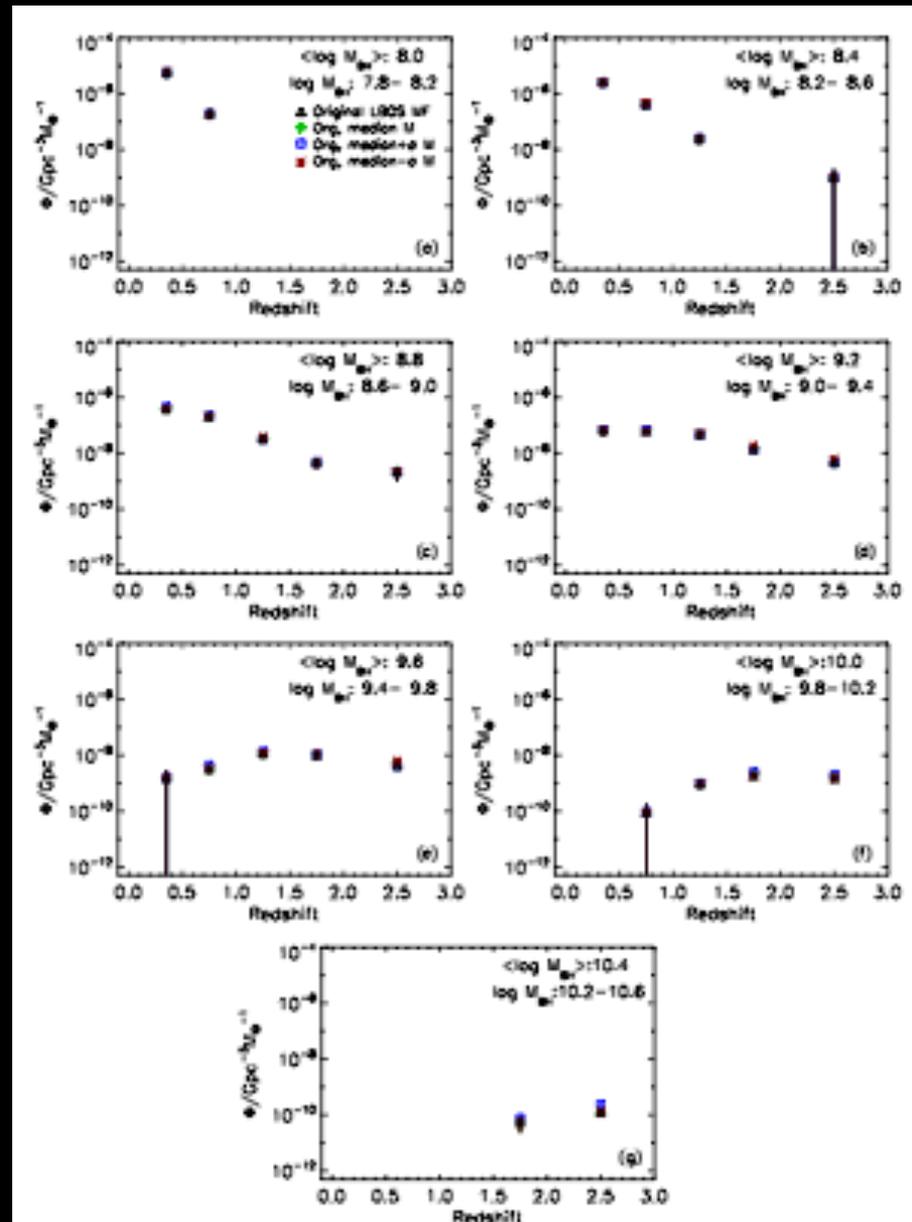
- $Z = 4$  から  $Z = 2.5$  の間 ( $\approx$  数 Gyr) で、QSO が増加し、 $M_{\text{BH}}$  が急増?!
- QSO の寿命は 1 Gyr 未満とされている (Hernquist (2008) など)
- $Z = 4$  から  $Z = 2.5$  の間で新しく quasar が増えないといけない
  - 活発な Merger を示唆

# MF depending on the redshift

考えている質量のBHが、どのredshiftで最も支配的かを表している

## 特徴

- Downsizing が見られる
- Most massive は、ピーク ( $z \approx 2.0$ ) でも近傍の low mass の半分以下しか存在しない



# SUMMARY

# Summary

BHMF と previous studies (主に Vestergaard et al.( 2008 )) との比較から、

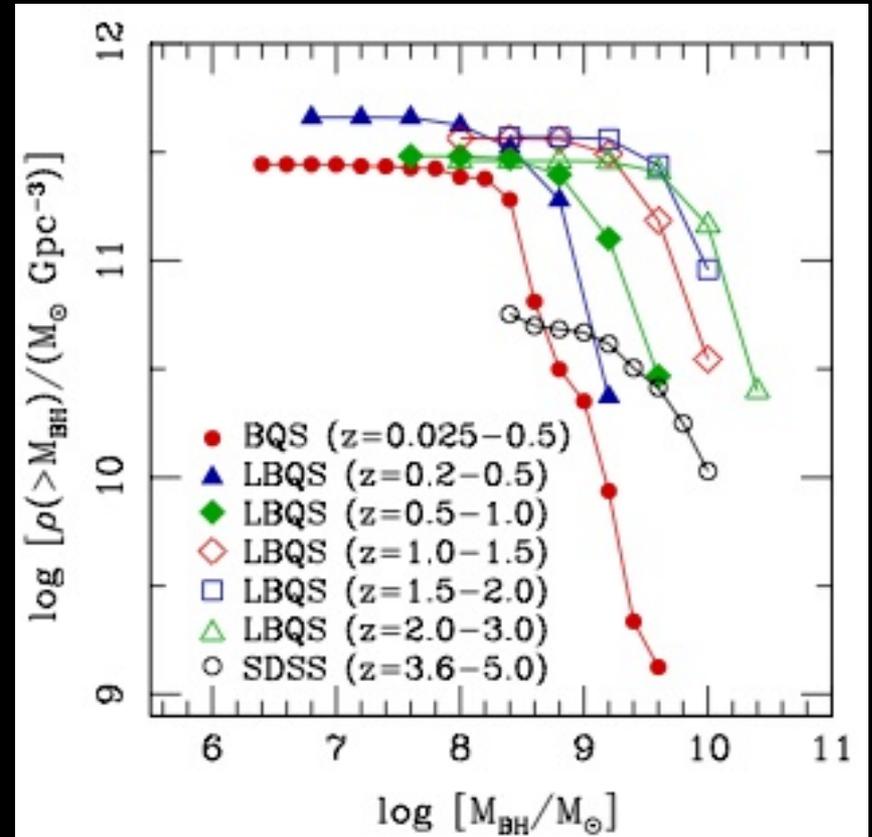
- ① High mass end slope の一致 @  $Z < 3.5$
- ②  $Z = 4$  から  $Z = 2.5$  に渡る大規模な massive BH の生成

Fin.

# CUMULATIVE MASS DENSITIES

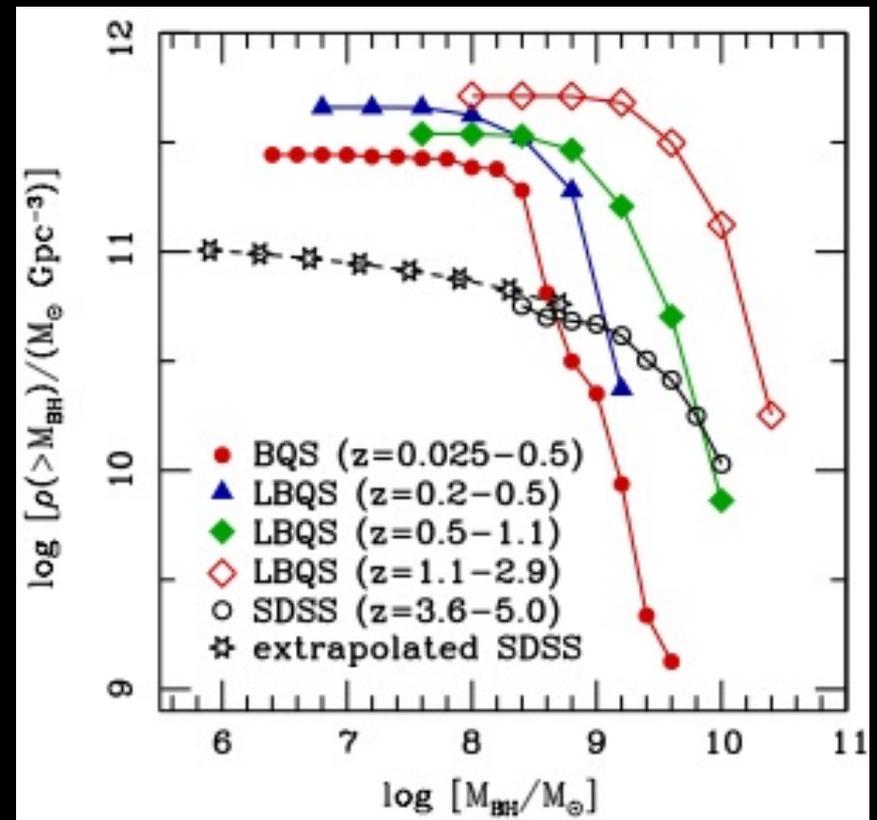
# Cumulative mass densities

- 大きい方から足し上げていく
- どこかで飽和する



# SDSS を延長

- MF と同様に low mass まで延長



# High mass end の大きさ

- $z = 4$  から  $z = 2.5$  へ行くときには振幅は5倍増加、その後は減少??

