



活動的超大質量ブラックホール質量関数の 宇宙論的進化

秋山 正幸 (東北大学)

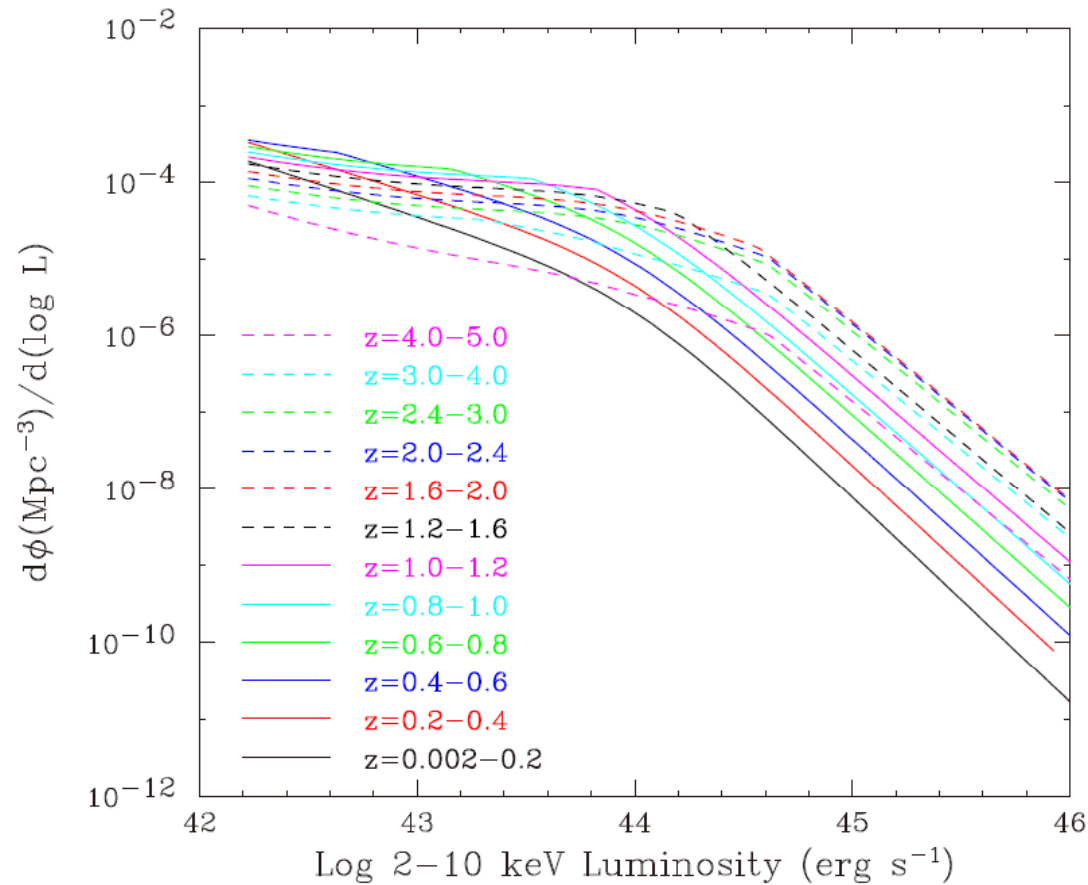
2014/11/03

「超巨大ブラックホール研究推進連絡会」



X線光度関数の進化

実際に観測されている光度関数はブラックホール質量分布関数とエディントン比分布関数のかけ合わせである。
光度関数の形は何を反映しているか？光度関数の進化をドライブしているのは何か？



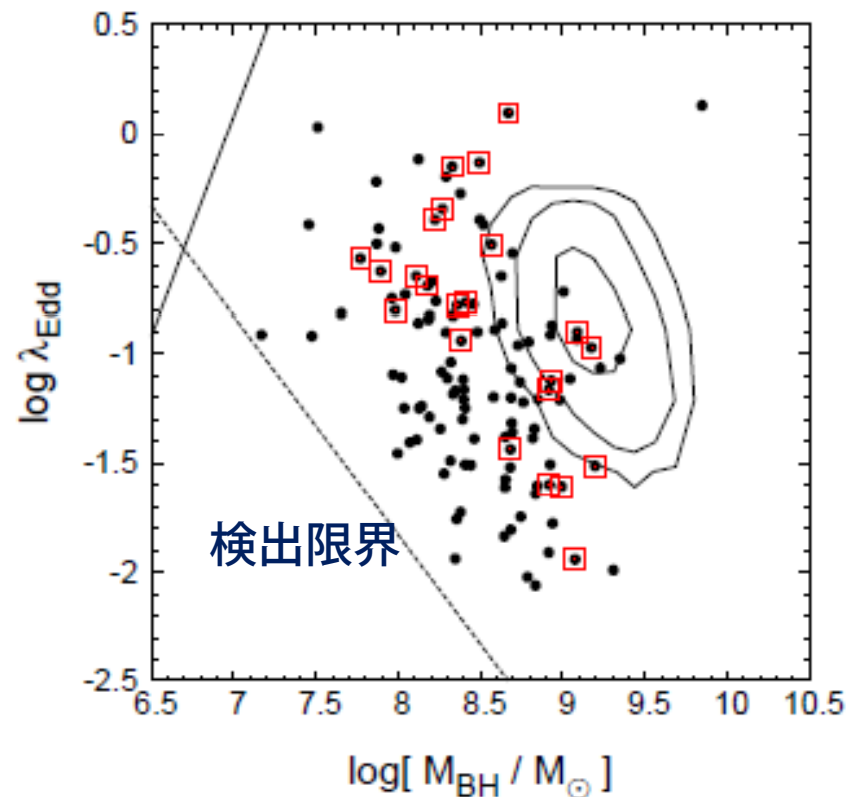
Ueda, MA, et al. 2014



SXDS: ブラックホール質量とエディントン比の分布

SMBH の激しい成長時期である赤方偏移 $1.2 < z < 1.7$ のX線選択の Broad-line AGN のサンプル。

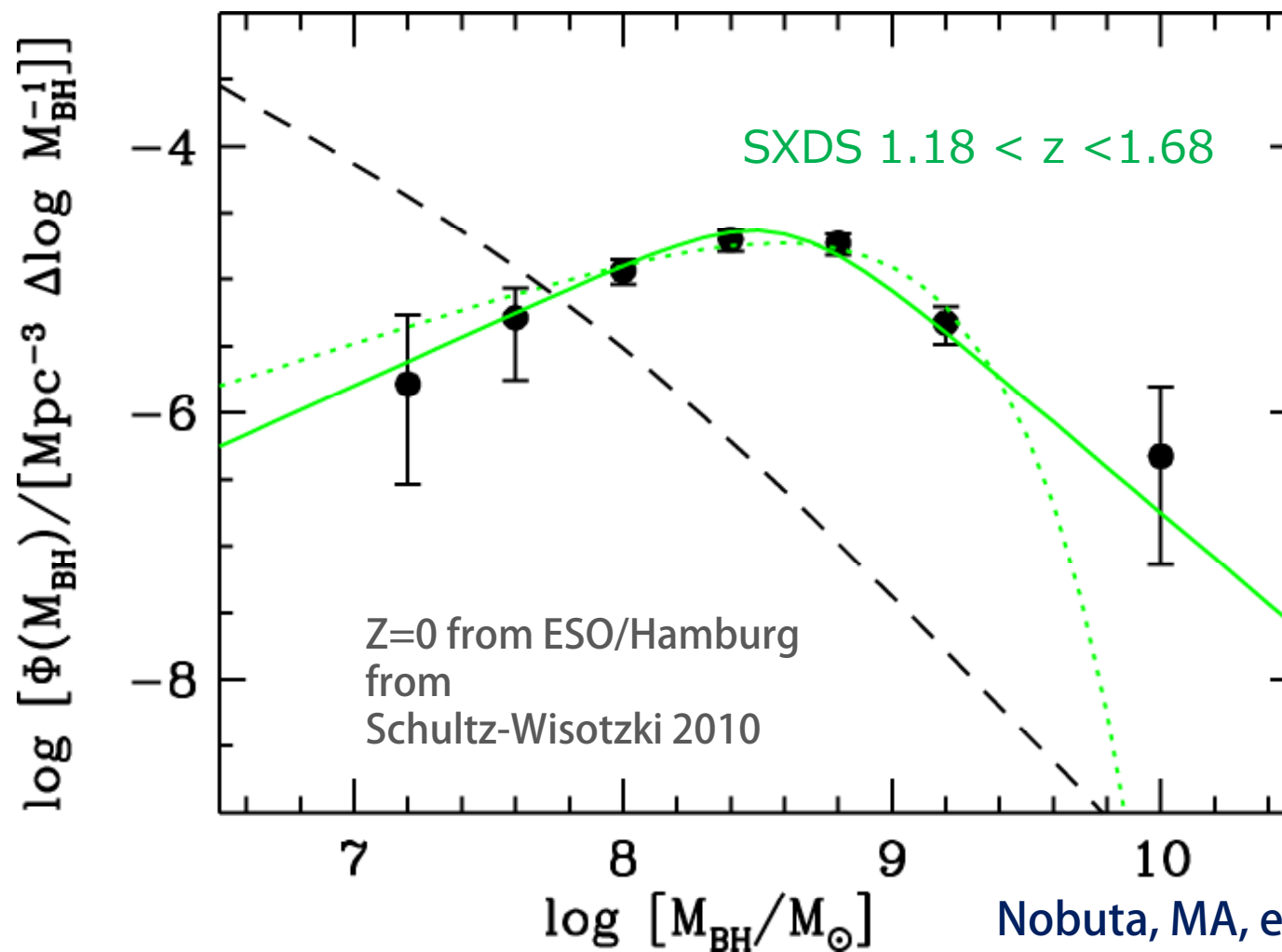
ブラックホール質量は (エディントン比の分布に対して) 比較的一定。



Nobuta, MA, et al. 2012
ApJ, 761, 143

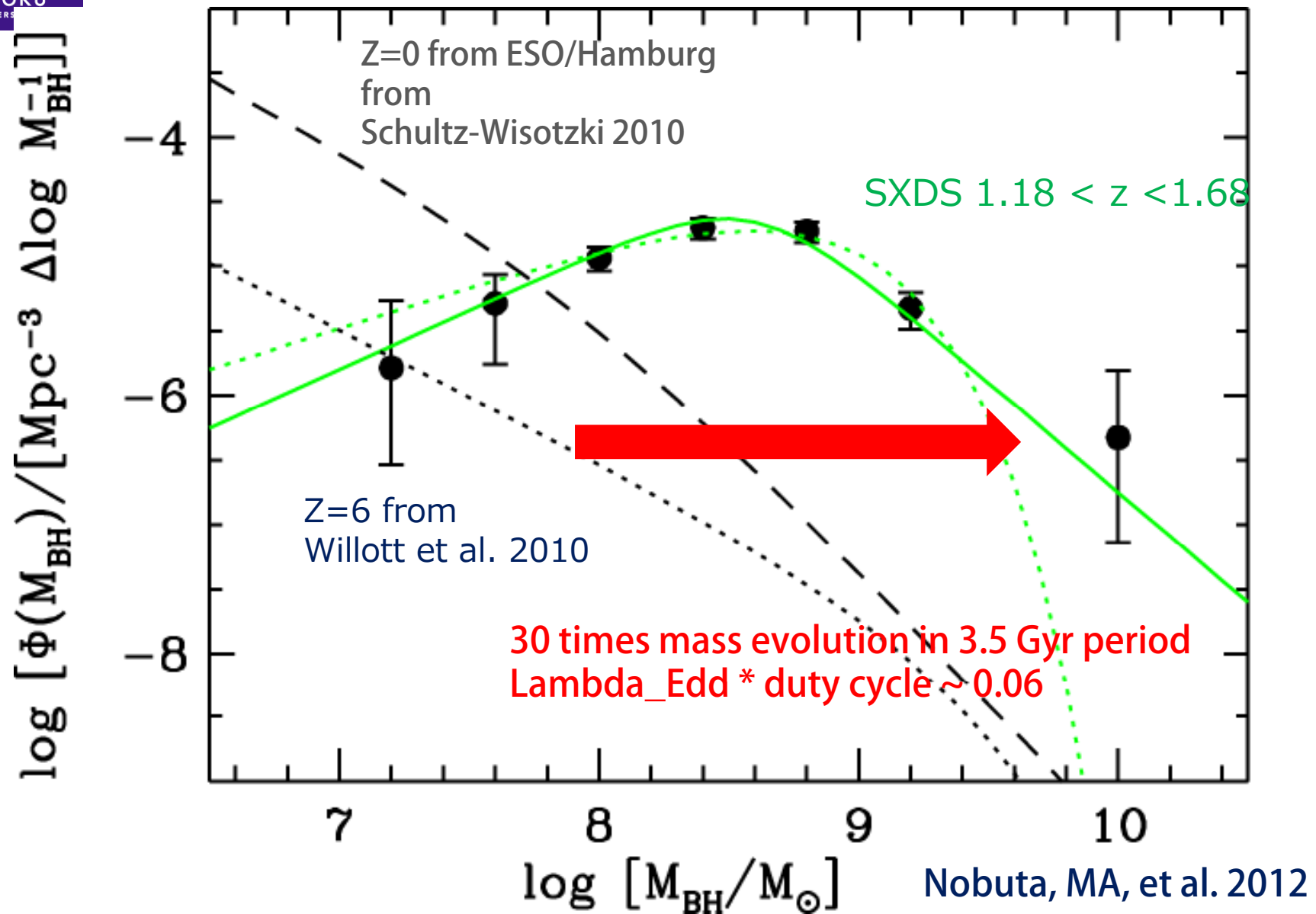
Broad-line AGNs in SXDS (データ点) and SDSS (コントア)

BL-AGN のブラックホール質量関数の進化

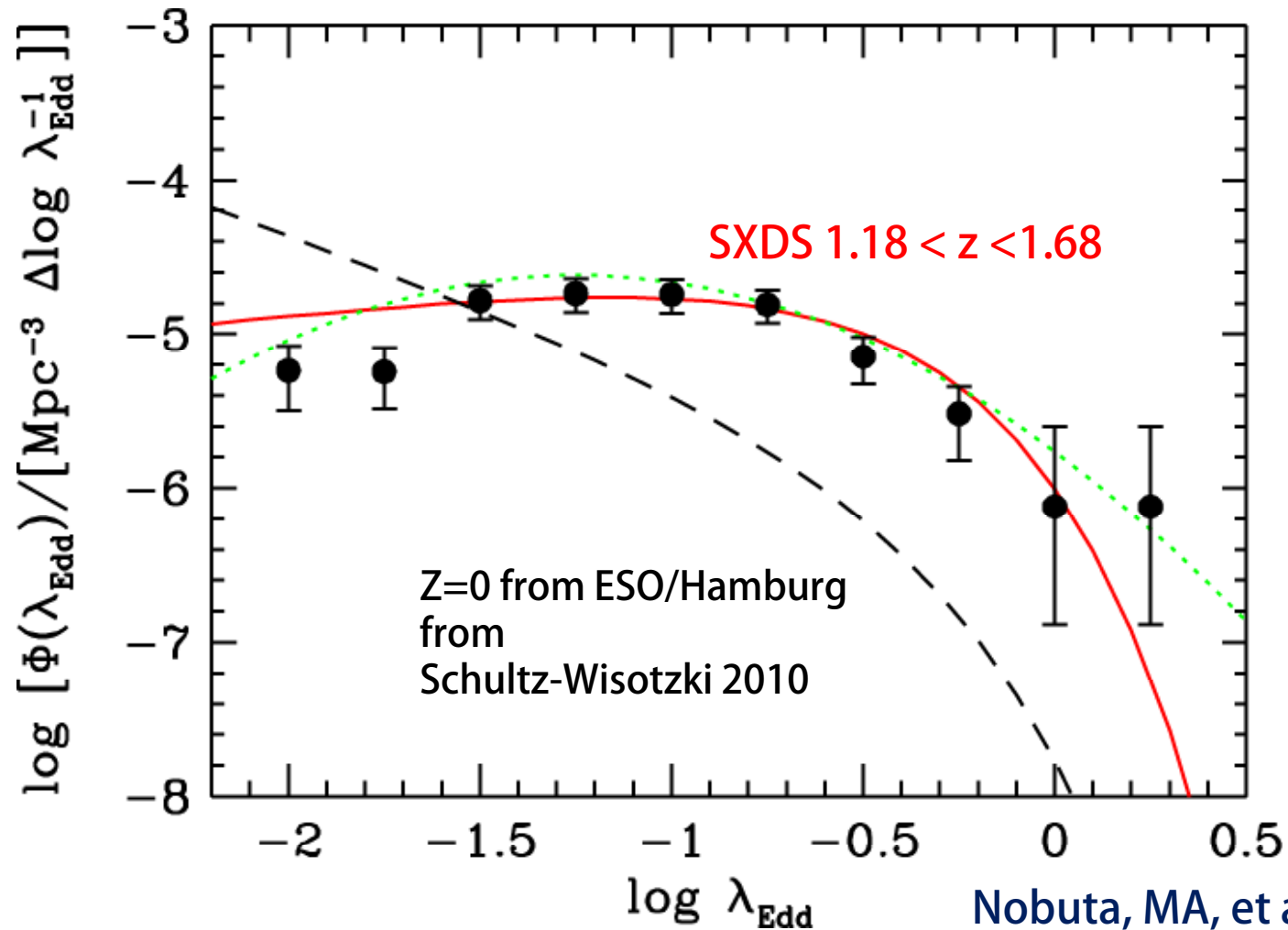


Nobuta, MA, et al. 2012

BL-AGN のブラックホール質量関数の進化



エディントン比分布関数の進化 : $z=0$ vs. $z\sim 1.4$



The evolution of ERDF from $z=1.4$ to $z=0$ indicates that the fraction of AGNs with accretion rate close to the Eddington-limit is higher at higher redshifts.



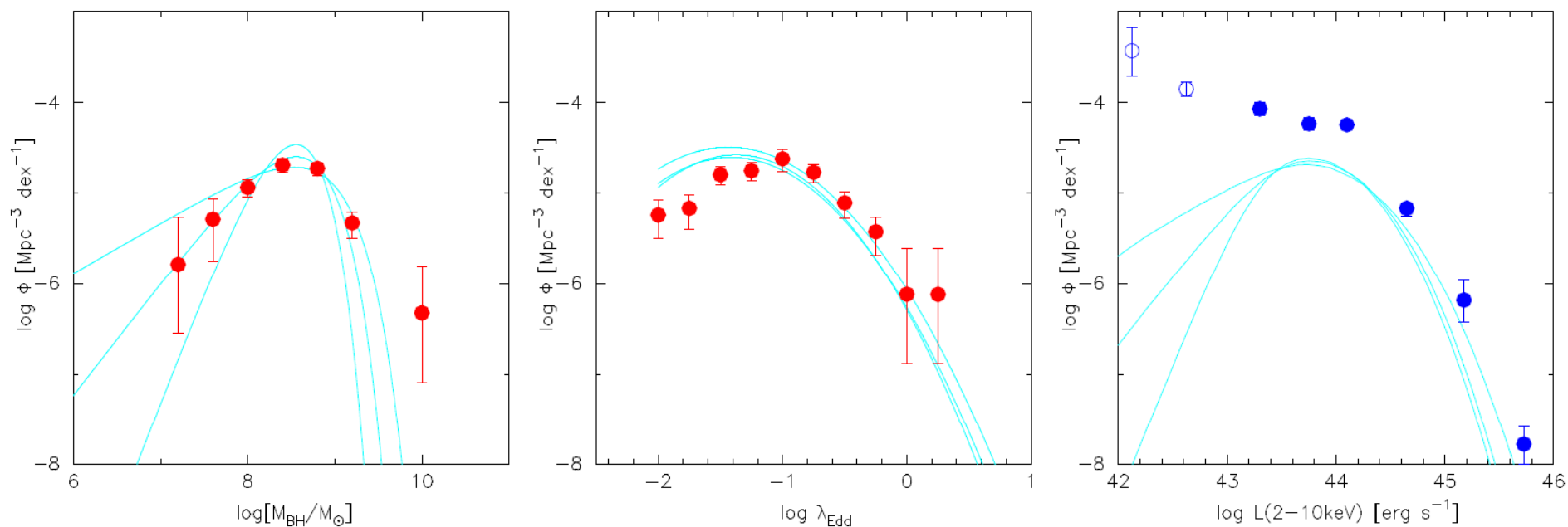
Nobuta, MA+ 2012 で考慮していなかったこと

ブラックホール質量推定に伴う不定性

X 線光度関数と比較して吸収を受けた種族の寄与
を見積もる

X 線光度関数との比較

- 光度関数(の低光度側)はたたみこみだけでは再現されない。ハード X 線の光度関数は NL-AGN (ブラックホール質量を推定することが出来ない)を含む。
- (ブラックホール質量推定の不定性も考慮した場合を実線で示す。)

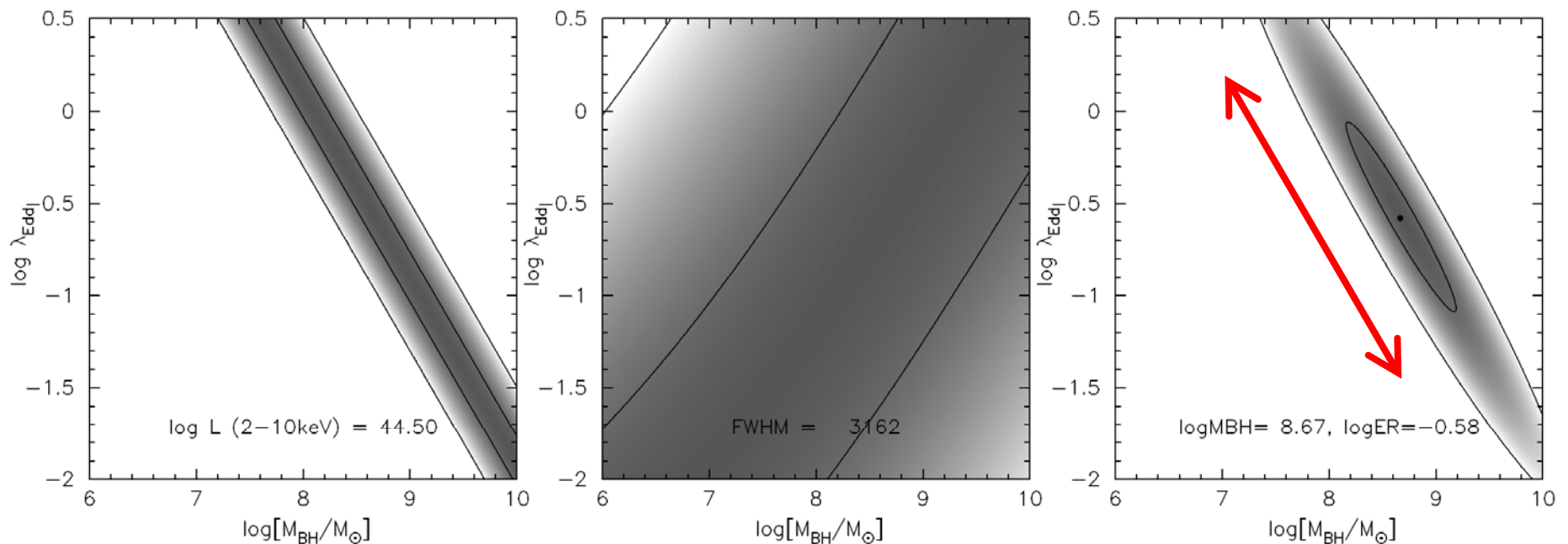


MA in preparation



ブラックホール質量とエディントン比の推定の不定性

- 1回のスペクトル観測 (“Single-epoch”) で得られる広輝線の線幅と光度から求めるブラックホール質量の推定には 0.4-0.5 dex という比較的大きな不定性がある(可能性がある)。
 - 光度を与えた際の MBH, λ への制限 (左図)。
 - 線幅を与えた際の MBH, λ への制限 (中図)。
 - 光度と線幅で得られる MBH, λ への制限 (右図)。
- 観測される質量関数やエディントン比分布関数はこの不定性によりなまらされたものが観測されることになる。

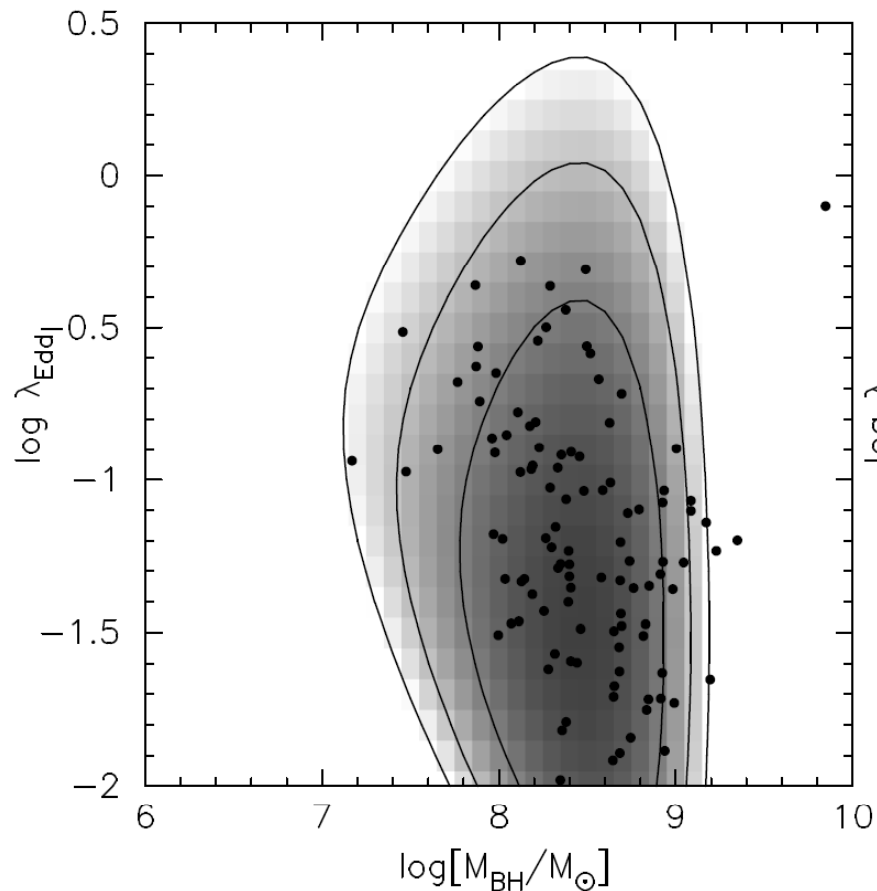




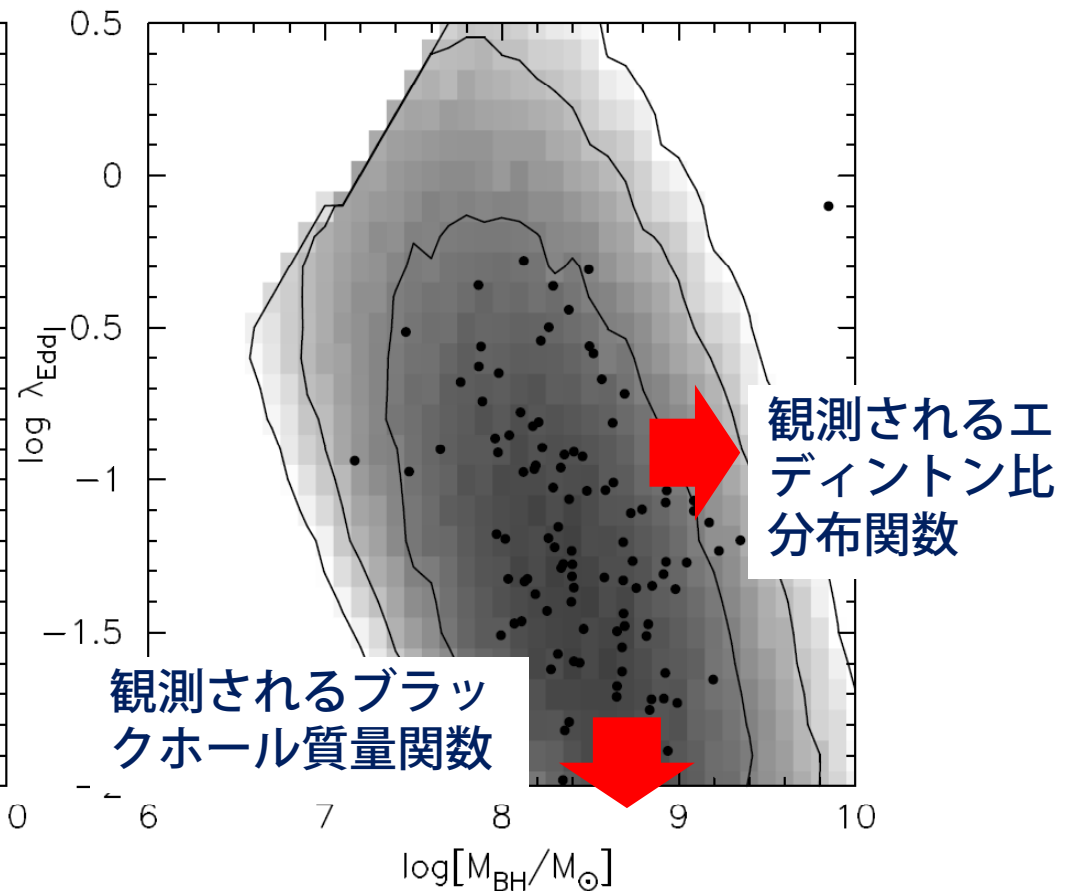
ブラックホール質量とエディントン比の分布を モデルと比較

ブラックホール質量とエディントン比の分布は再現されている。

「本来の」モデル分布



モデル分布 * 不定性

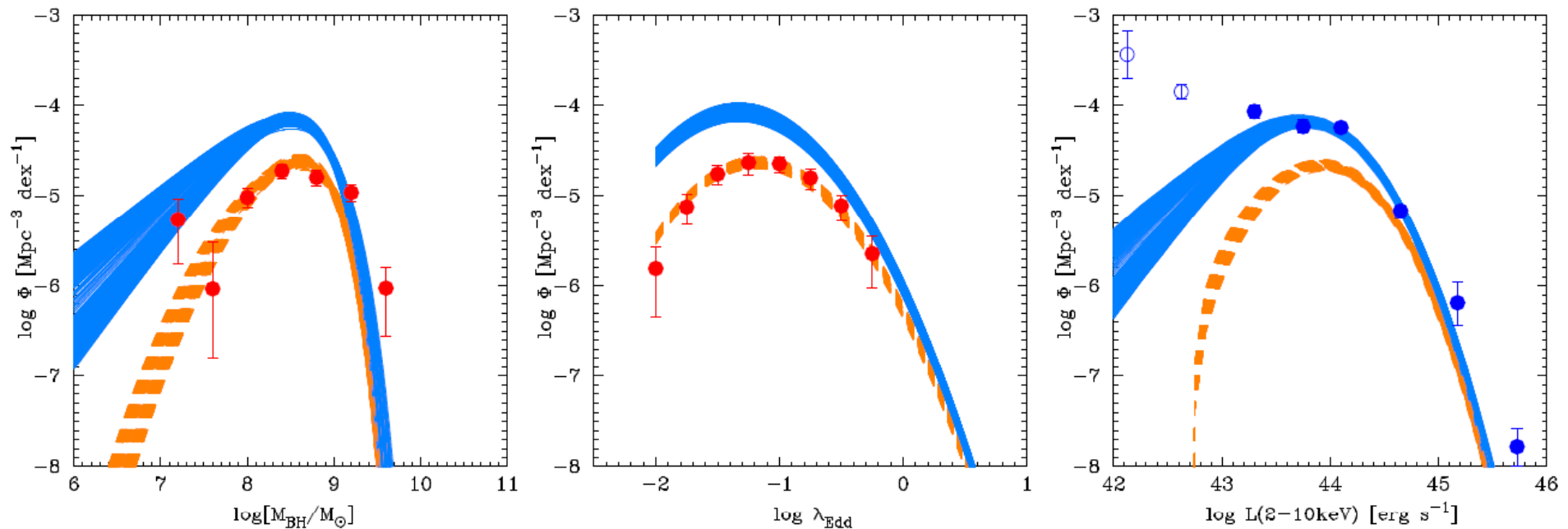




AGN 種族全体としての ブラックホール質量関数、エディントン比分布関数

- ブラックホール質量推定の不定性と NL-AGN の寄与を考慮する。
- オレンジ：BL-AGN でのみ求めた関数、青色：NL-AGN も含めたサンプルで求めた場合。

赤方偏移 $1.18 < z < 1.68$ の AGN のブラックホール質量関数、エディントン比分布関数、X 線光度関数の同時フィット



Akiyama et al. in preparation



X線サンプルとしてどのような AGN が拾われるのか
SED 分布と「銀河」の SED との比較

X線AGNの光度・吸収量分布

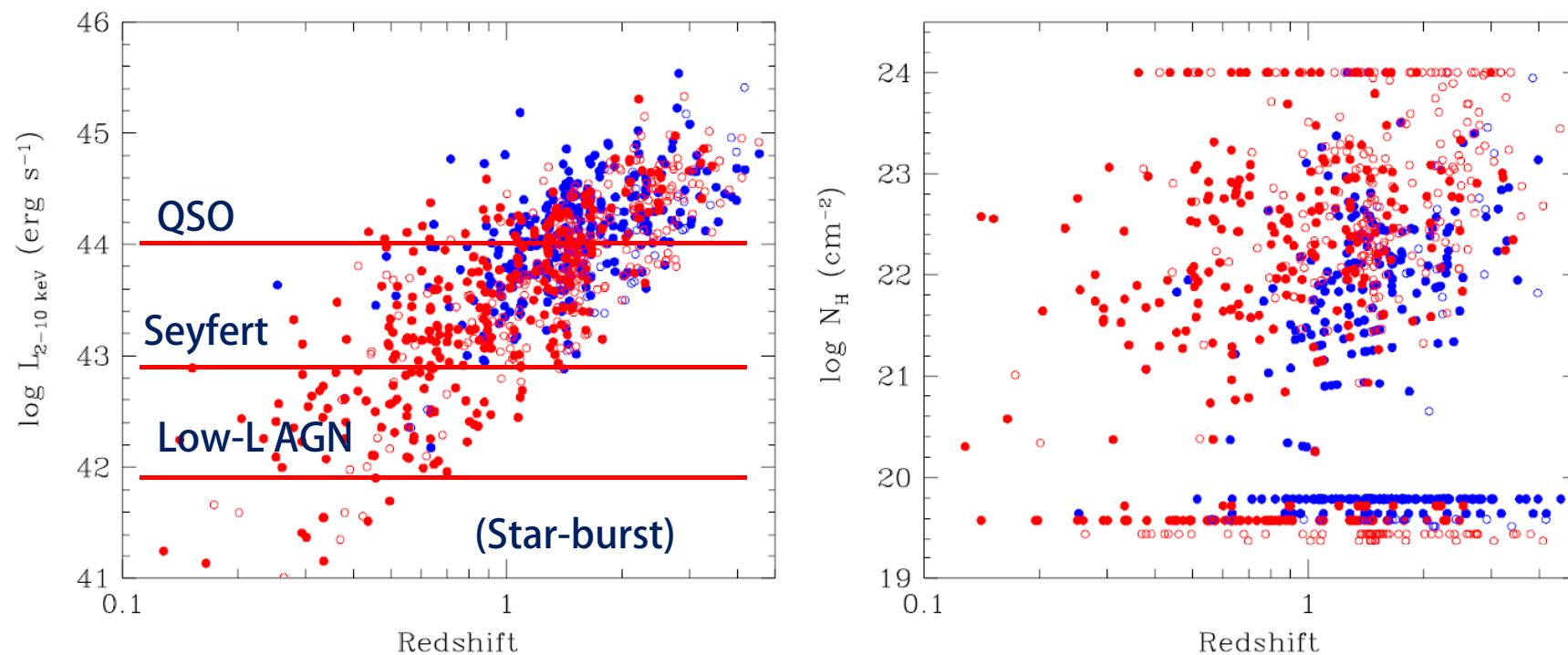
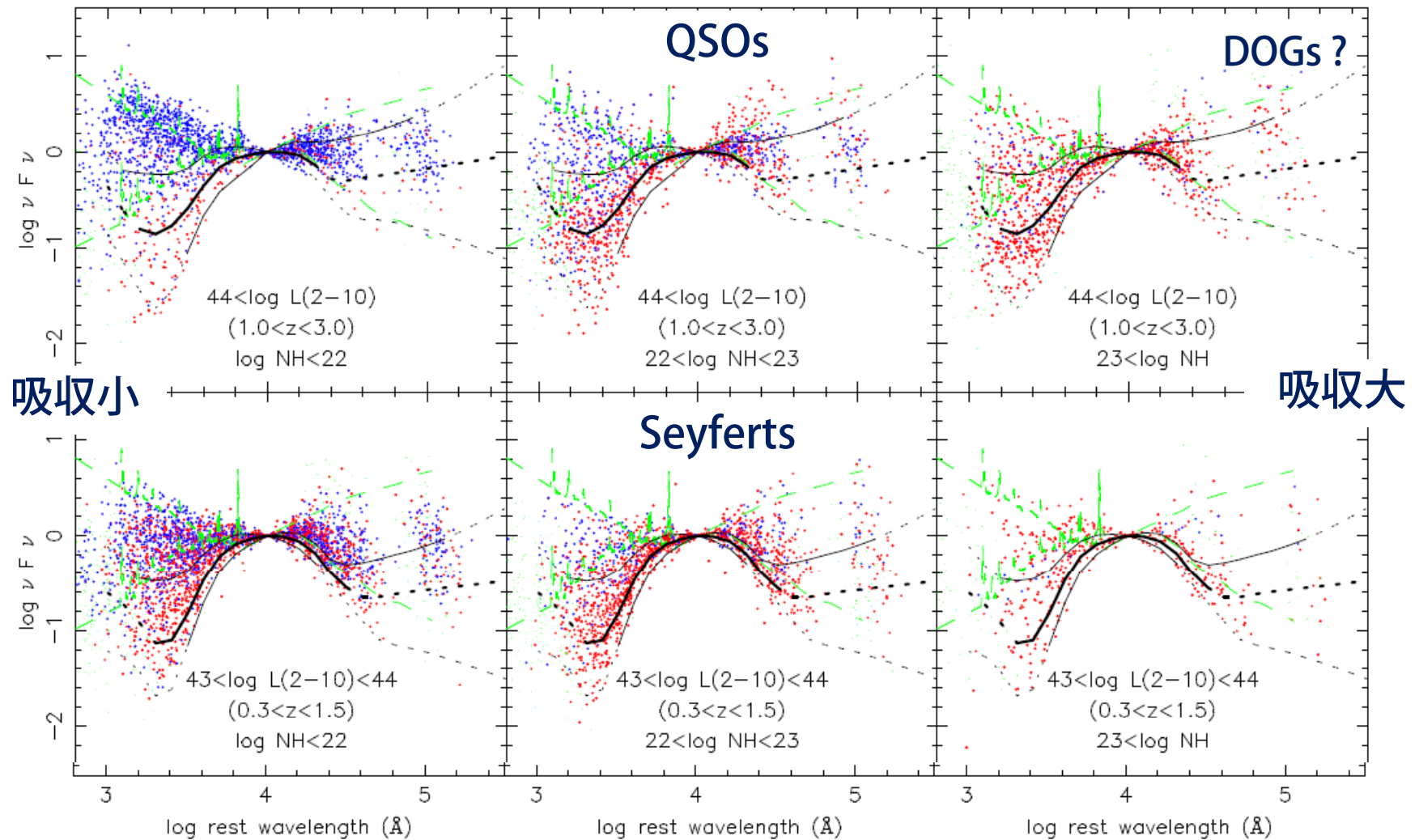


Fig. 13. Left) Redshift vs. luminosity of the broad-line (blue) and narrow-line AGNs (red). Open symbols represent objects plotted with photometric redshift. Right) Redshift vs. $\log N_{\text{H}} \text{ (cm}^{-2}\text{)}$. Same symbols as in the left panel.

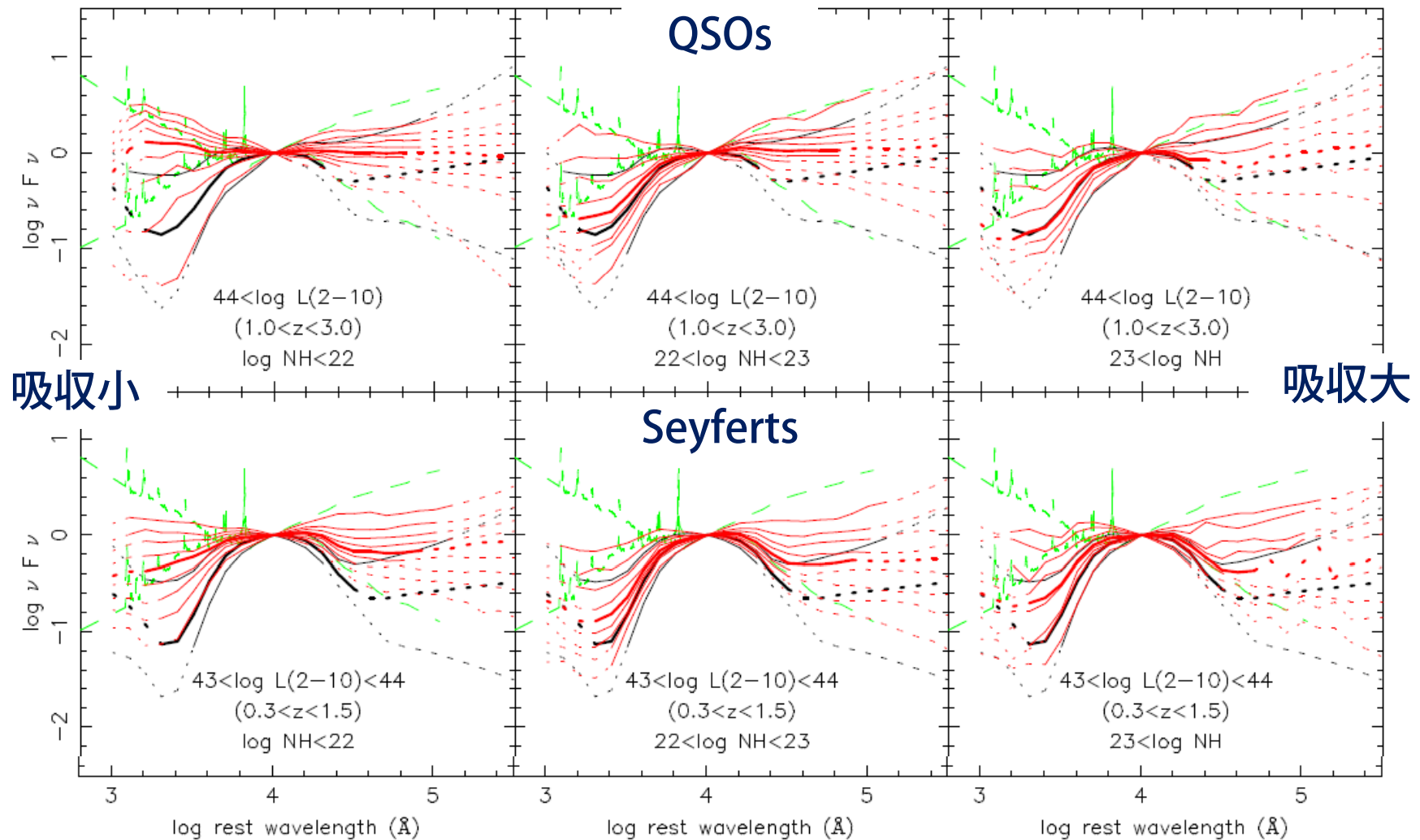
X線AGN の UV-MIR SED : 光度・吸収量別

- X線AGNのSEDを同じ赤方偏移、星質量の「銀河」のSEDと比較する。青点：BL-AGN、赤点：NL-AGN
- 「銀河」のメジアン SED：黒太線、10-90% 範囲：黒細線



X線AGN の UV-MIR SED : 光度・吸収量別

- X線AGNのSEDを同じ赤方偏移、星質量の「銀河」のSEDと比較する。X線AGNのSEDの散らばりを赤線で示す。





X線サンプルで落ちている天体は？

0. Weak-line 電波銀河

1. Compton-thick AGNs

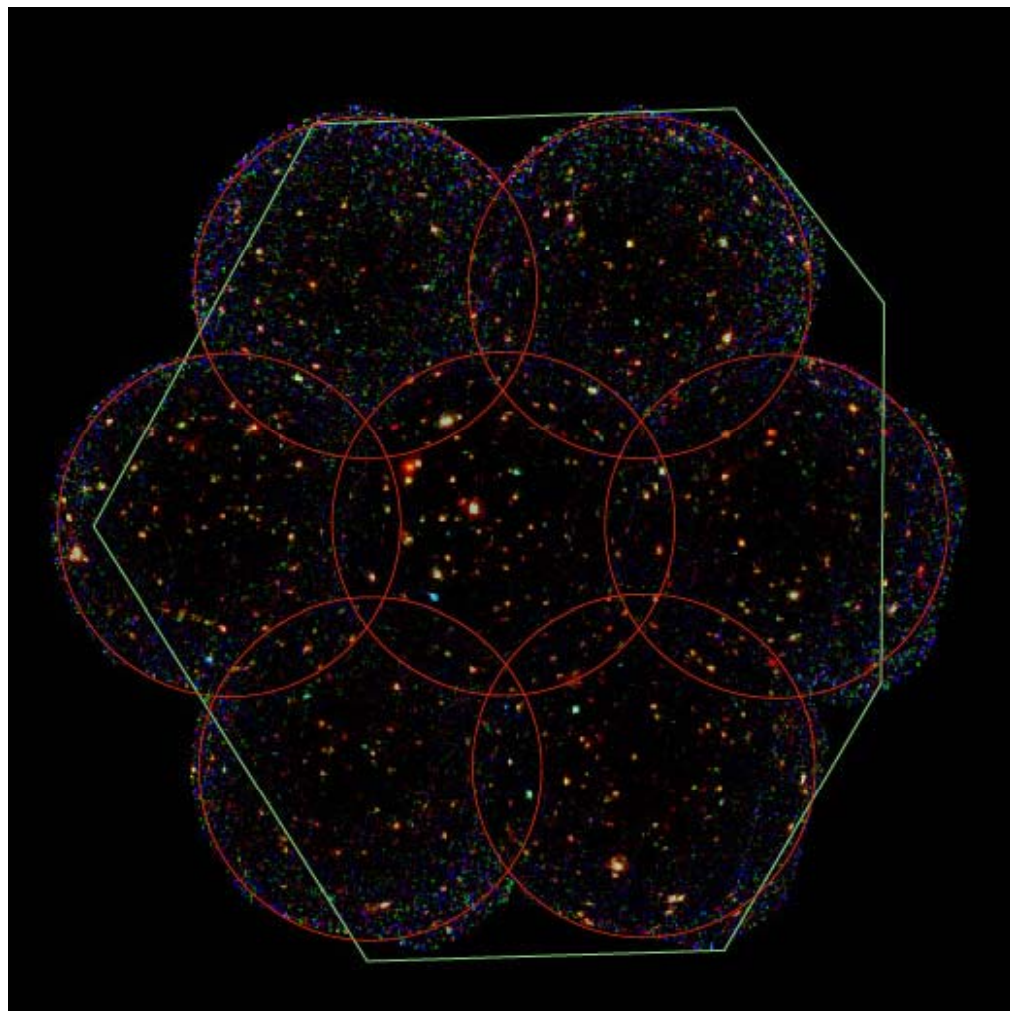
SMBH の成長が激しく起こる $z \sim 1.4$ 付近での静止系可視光輝線、特に[OIII] 輝線を用いた探査。

2. 低質量ブラックホール：“Very-”Narrow-line Sy 1s？

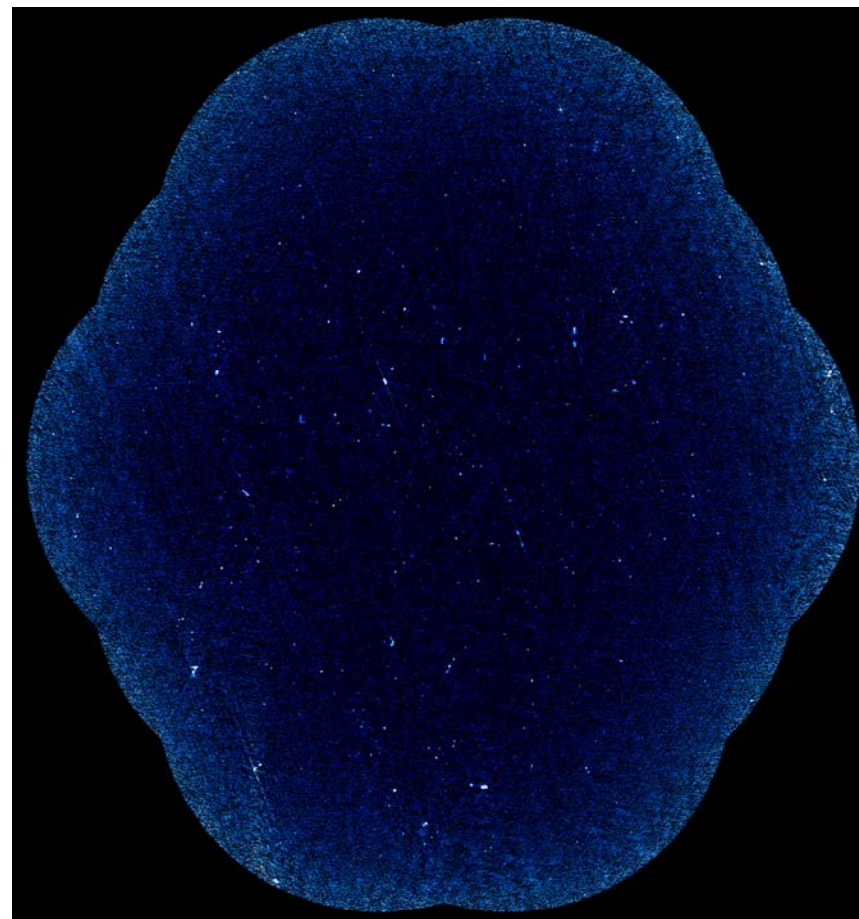


X-ray AGNs vs. Radio AGNs

SXDS: X-ray

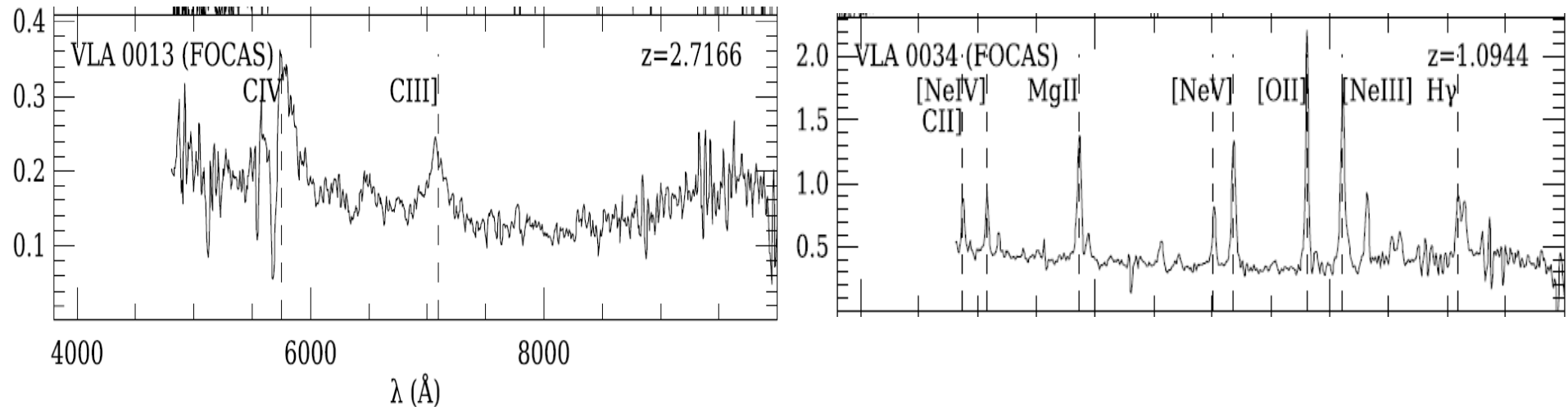


SXDS: 1.4GHz radio

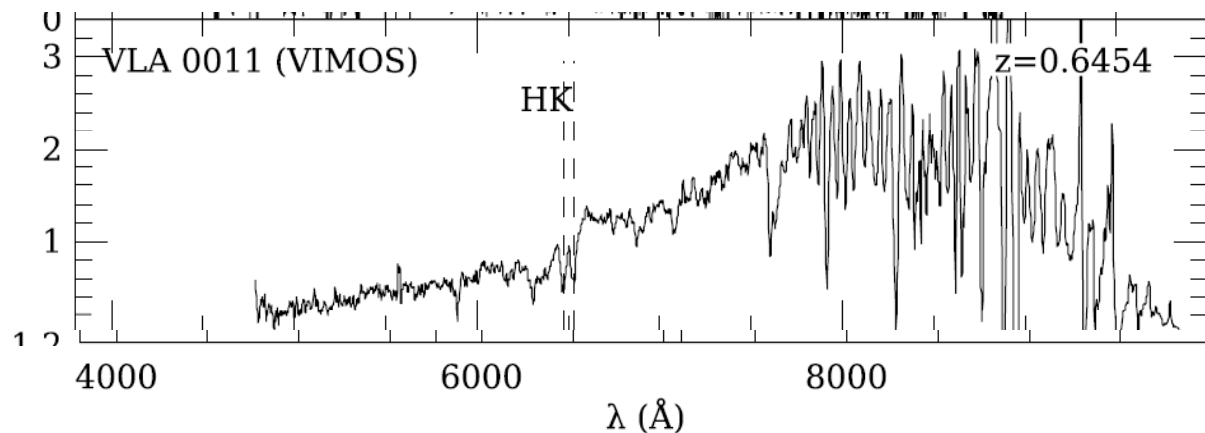
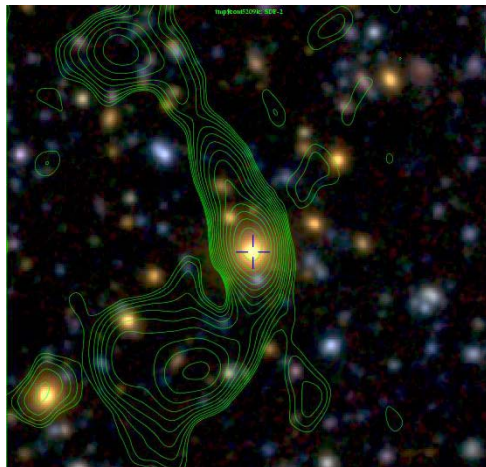


1.4 GHz サンプルとの比較

- 強い BL-AGN, NL-AGN は X 線サンプルと共通。



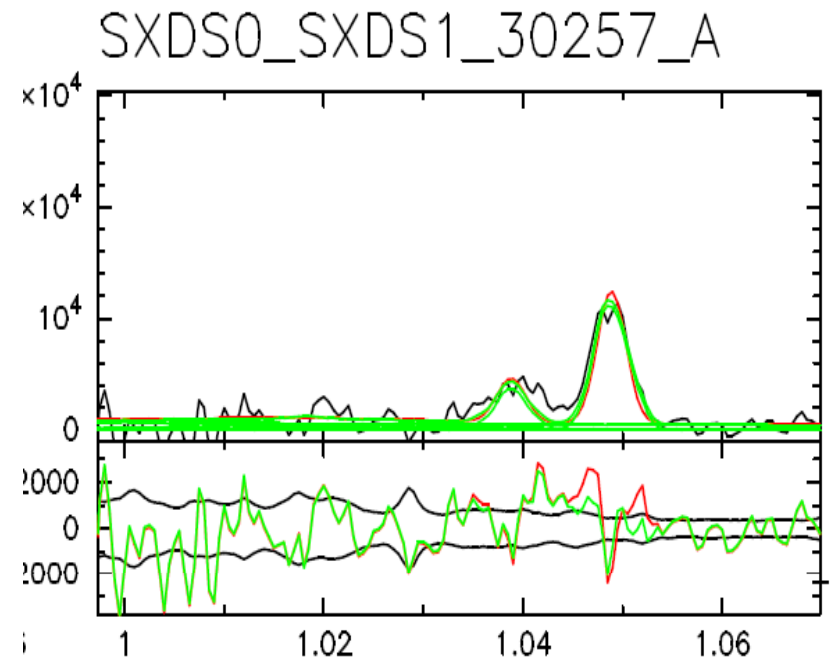
- 楕円銀河に付随する Narrow-line もほとんどない電波銀河は X 線で検出されない。





静止系可視光の輝線を用いた Compton-thick AGN 探査

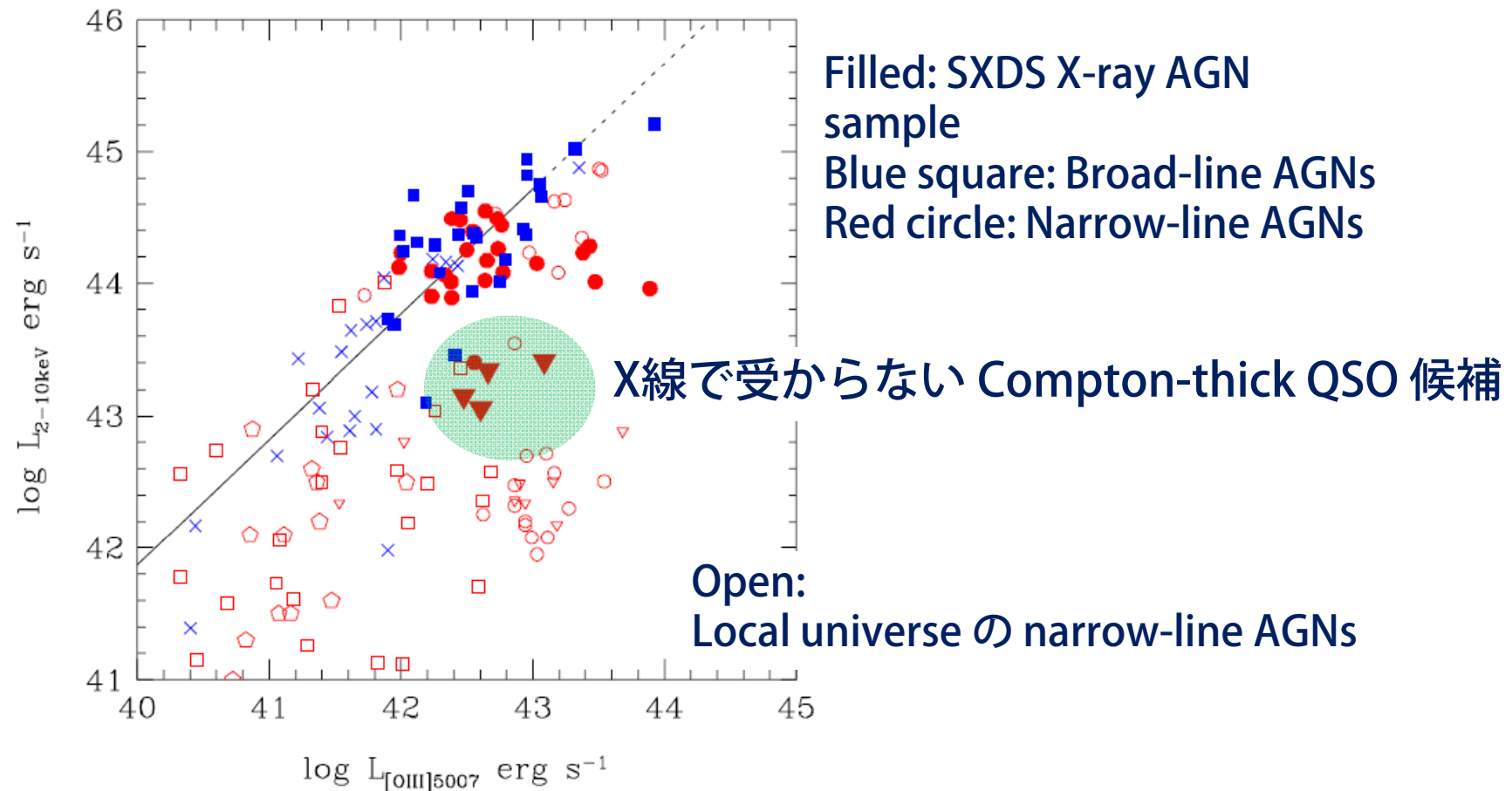
- Subaru/FMOS を用いて $z \sim 1-2$ の銀河の静止系可視光の輝線を 0.9-1.8 μm の近赤外線分光探索し、Compton-thick AGN 候補を探す。
- ターゲットとしては特に大質量銀河、Spitzer IRAC で選択される AGN 候補をターゲットとする。
- 下は強い [OIII] 輝線を出す AGN 候補天体の例。





Compton-thick QSO 候補

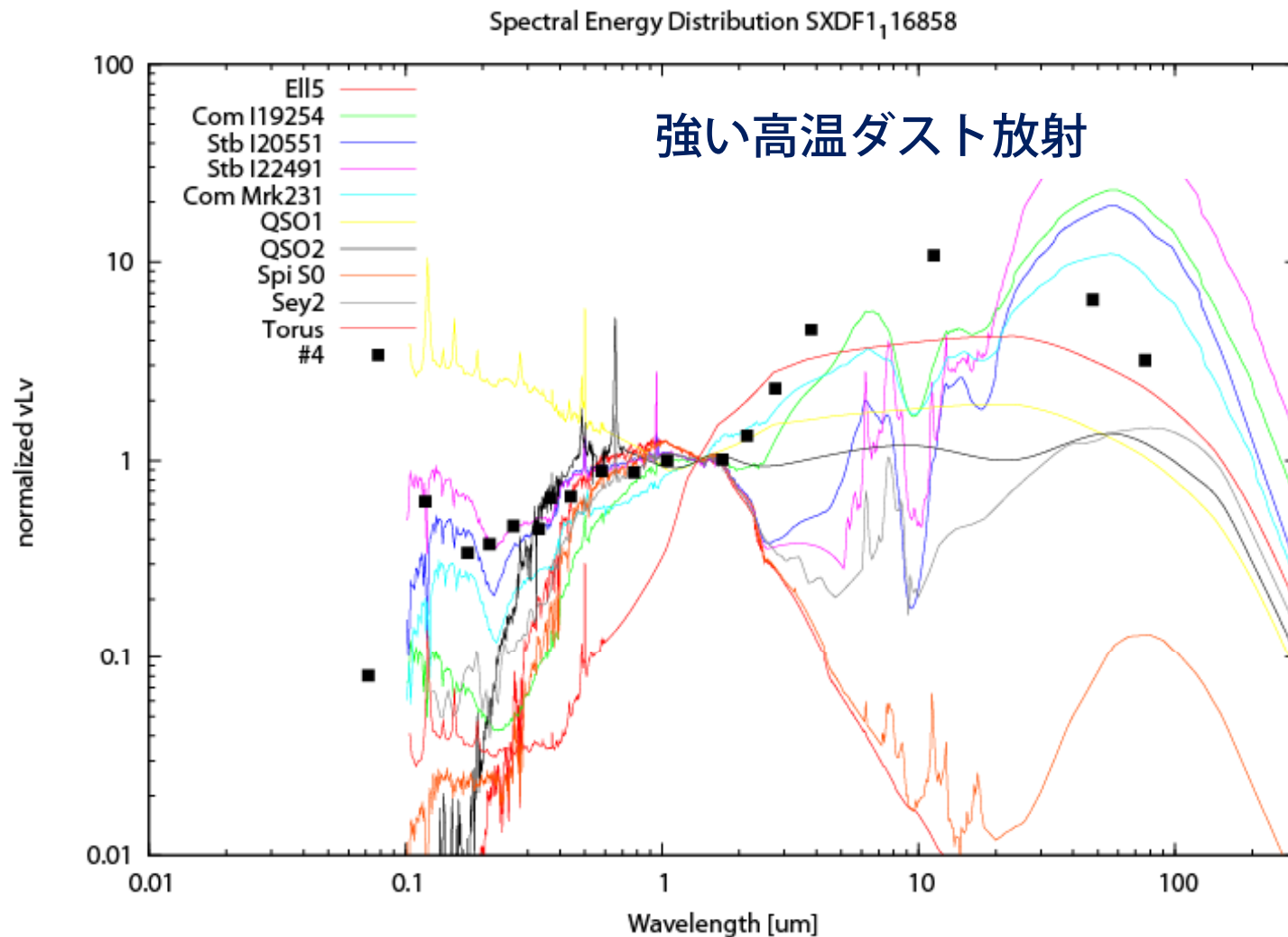
- X線で検出されない大光度 [OIII]-line 選択の QSO 候補が見つかった。小さい $L_x/L[\text{OIII}]$ 比は X 線でも非常に大きな吸収を受けていることを示唆する。





Compton-thick AGN 候補の SED

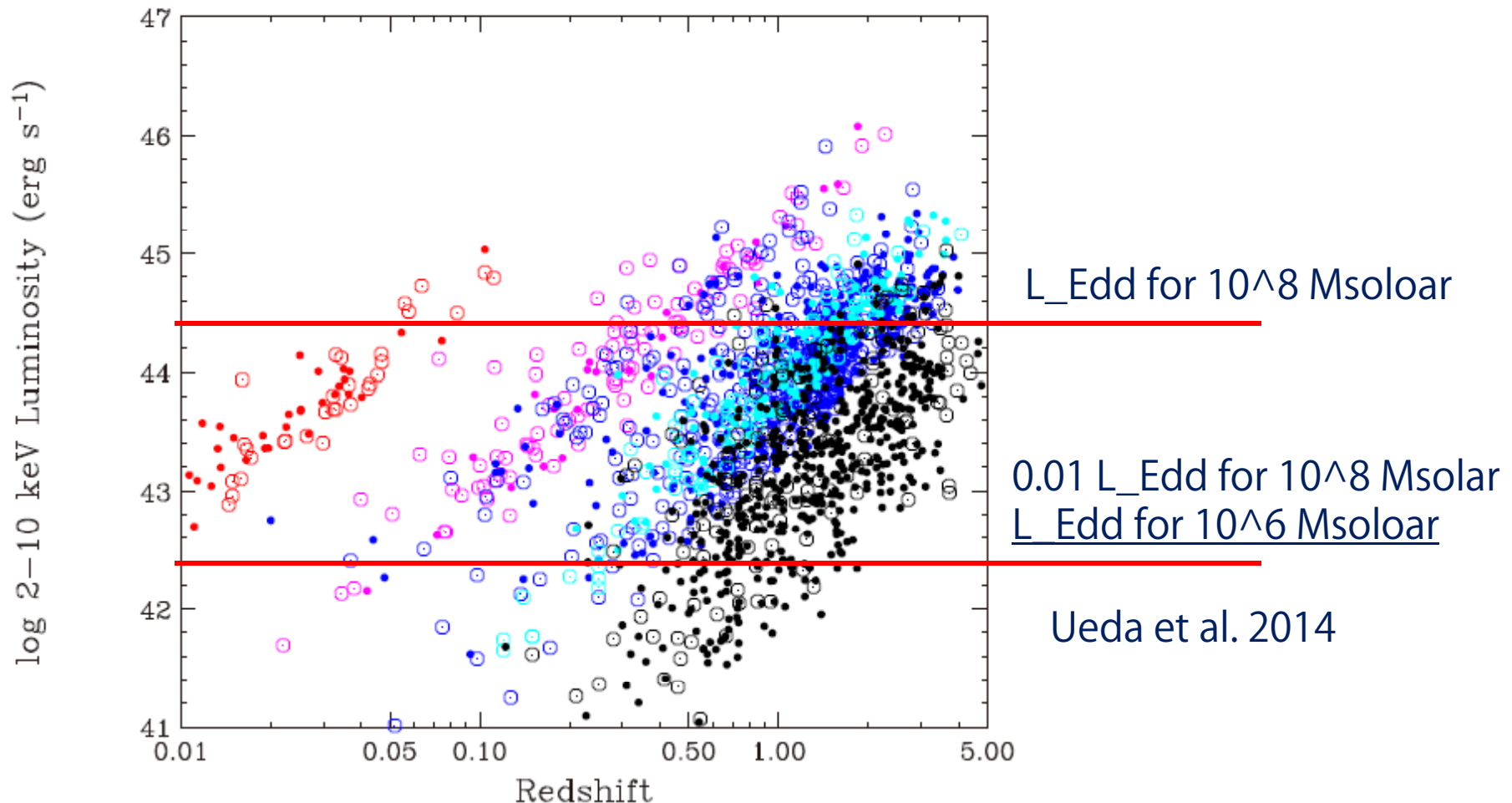
- [OIII] 輝線で見つかった Compton-thick AGN 候補は中間赤外線でも強い高温ダスト放射を示す。しかし、このような高温ダスト放射を示さない天体もある。





低質量 SMBHs の進化：低光度 AGN のサンプル

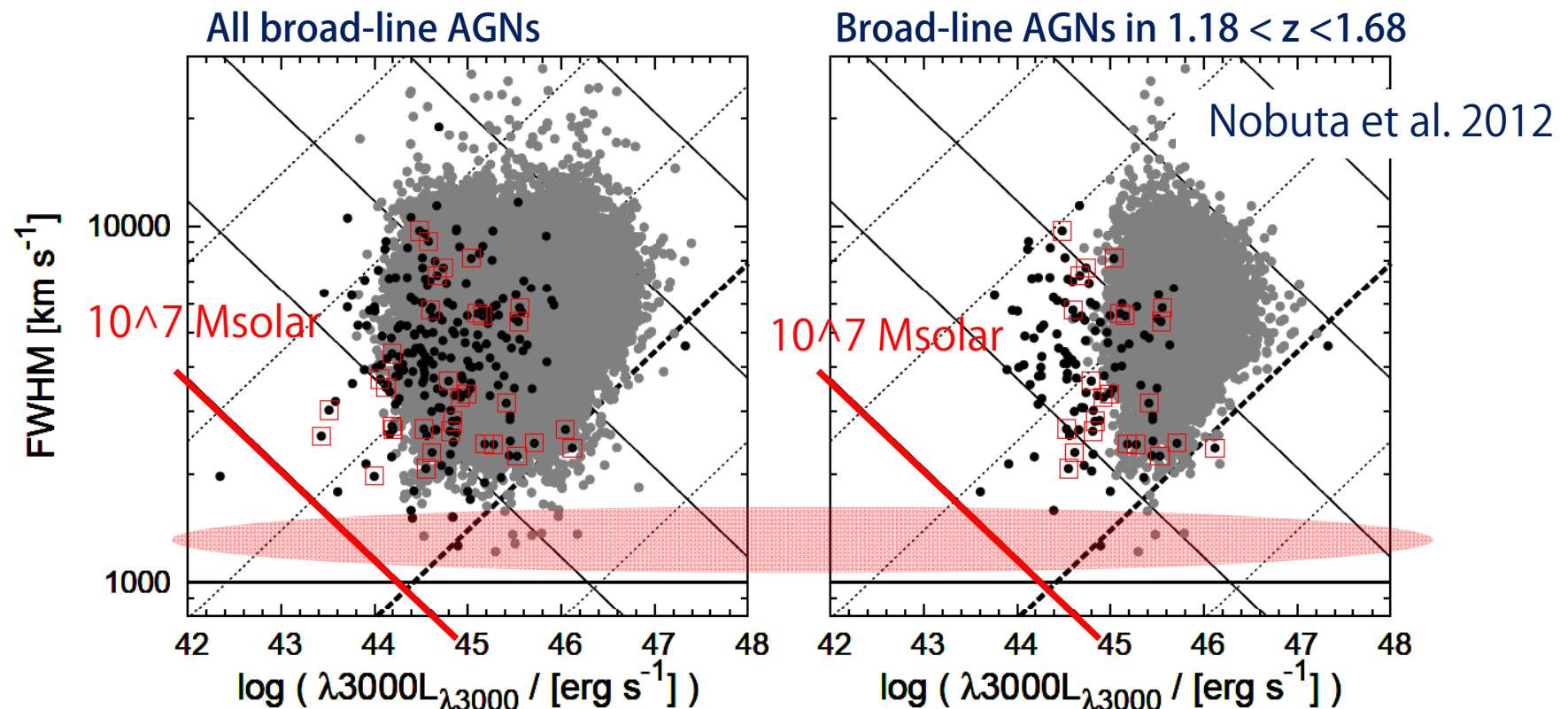
- 現在の検出限界は銀河系の 2×10^6 Msolar のブラックホールの進化を理解するには深さが足りない。楕円銀河中のブラックホールの進化過程に対して、ディスク銀河バルジ中のブラックホールの進化過程は大きく異なる可能性がある。 **バルジの成長過程と合わせて低光度 AGN の進化を明らかにする必要がある。**





低質量 SMBHs の進化：Broad-line の尽きるころ？

- SXDS のサンプルでは $\text{FWHM} < 2000 \text{ km/s}$ で Broad-line AGN サンプルが急に減少する (Nobuta et al. 2012)。
- 低質量 SMBHs の進化を捉えるには、より低光度というだけでなく、より狭い輝線のAGNを捉えなければならないが、現状の手法ではなぜかそのような種族は(効率的に)捉えられていない。





低質量 SMBHs の進化：Broad-line の尽きるころ？

- SDSS のサンプルを見ても $\text{FWHM} < 2000 \text{ km/s}$ でサンプルが急に減少する。

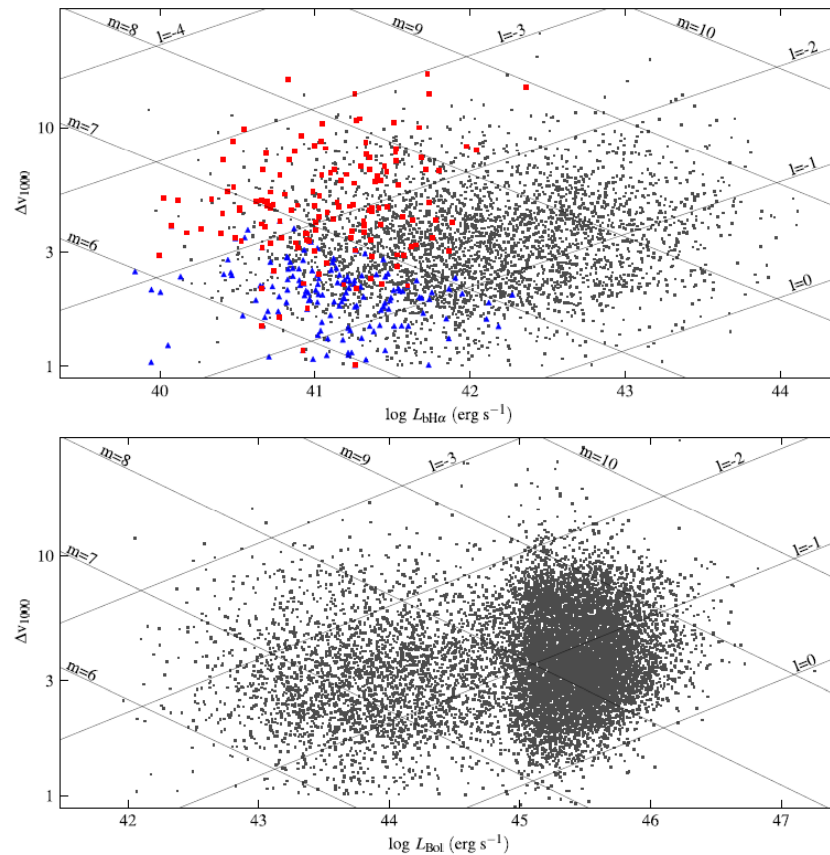


Figure 6. (Upper panel) The distribution of the T1 sample objects in the $L_{\text{H}\alpha}$ vs. Δv plane. Large coloured markers are as in Fig. 2. Objects with $m \leq 6$ or $l \leq -2.8$ are selected against. The Eddington limit ($l = 0$) sets a minimum Δv with increasing $L_{\text{H}\alpha}$ for $L_{\text{H}\alpha} > 10^{42.5} \text{ erg s}^{-1}$. This, together with the rarity of AGN with $m > 9$, leads to a decrease in the range of observed Δv values with increasing $L_{\text{H}\alpha}$. (Lower panel) The distribution of the T1 sample + QCIV sample (values from Shen et al. 2008, see text) in the L_{Bol} vs. Δv plane (L_{Bol} is from eq. 6). The Eddington limit is clearly seen. Note there is a similar steep decline in the number of objects with $\Delta v > 10000 \text{ km s}^{-1}$, at all luminosities. The decline is not set by our selection criteria.

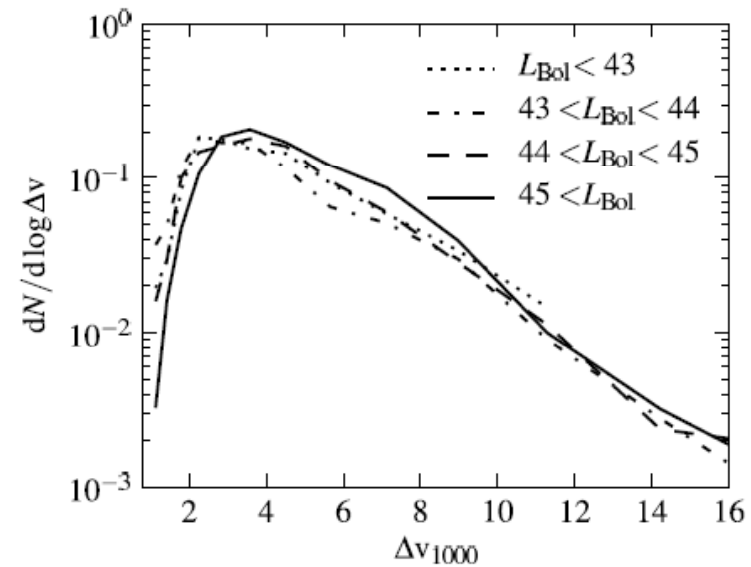


Figure 7. The FWHM distribution of the combined T1 + QCIV sample (Shen et al. 2008), presented in Fig. 6, at different L_{bol} bins. The distributions are similar. The origin of this similarity is not clear. The Δv distributions should be set by the distribution of m and l values. Either these distributions somehow lead to a Δv distribution which is independent of L_{bol} , or it may imply that Δv , rather than m and l , sets the observed Δv distribution through some unknown mechanism. Note the effect of the Eddington limit at $\Delta v_{1000} < 3$, which increases the minimal Δv and the peak position with increasing L_{bol} .

Stern & Laor 2012



おわり

低質量 SMBHs の進化：NL-Sy1s in Barred galaxies

• Bar ?

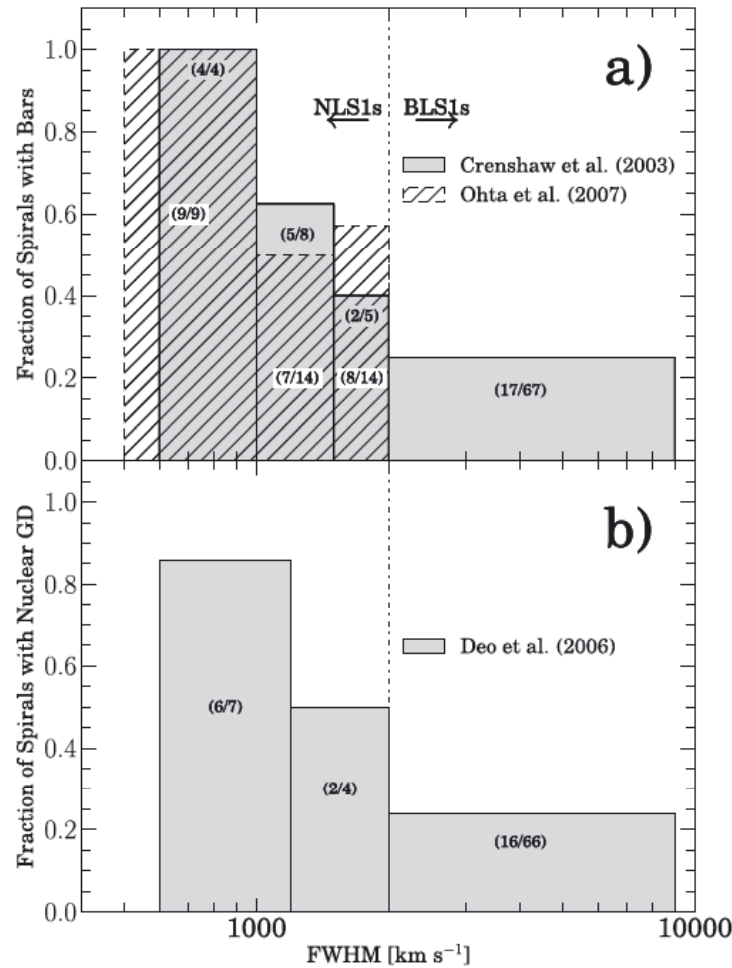


Figure 1. Histograms presenting the fraction of Seyfert 1 spirals (a) with bars and (b) without bars as a function of their broad line FWHM [km s⁻¹]. The data are from Crenshaw et al. (2003), Ohta et al. (2007) and Deo et al. (2006).

De Xivry et al. 2011

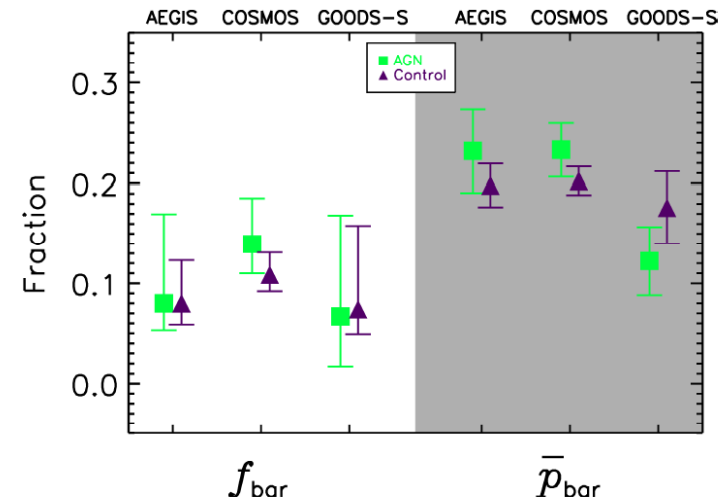


Figure 4. Left: The bar fraction, f_{bar} , of the AGN (green squares) and non-AGN control samples (purple triangles) for the AEGIS, COSMOS, and GOODS-S surveys. Right: The average bar likelihood, \bar{p}_{bar} , of the AGN and non-AGN control samples for the three surveys. The error bars on f_{bar} and \bar{p}_{bar} are the 68.3% binomial confidence limits and standard error, respectively. There is no statistically significant difference in f_{bar} or \bar{p}_{bar} between the AGN and non-AGN control samples across all three surveys, indicating that there is no large excess of bars in AGN hosts.

Cheung et al. 2014

NL-AGN の母銀河星質量

- 光度・赤方偏移によらず星質量はほぼ一定。

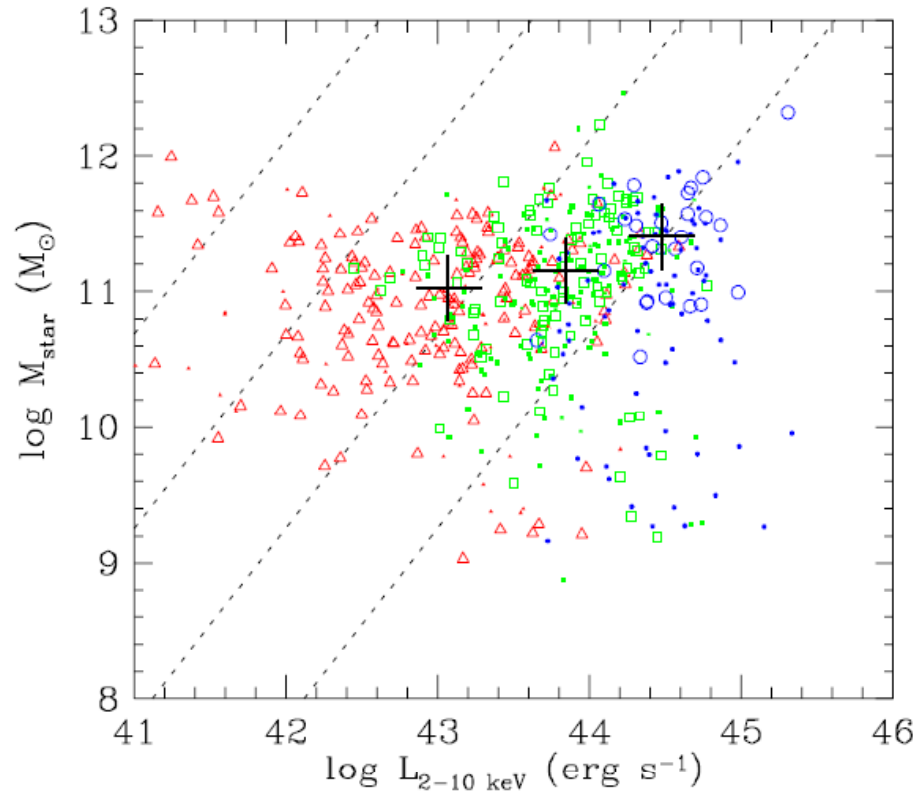


Fig. 14. Estimated stellar mass vs 2–10 keV luminosity for narrow-line AGNs. Symbols are coded with redshift; red triangles are for $z=0.1-1.0$, green squares are for $z=1.0-2.0$.

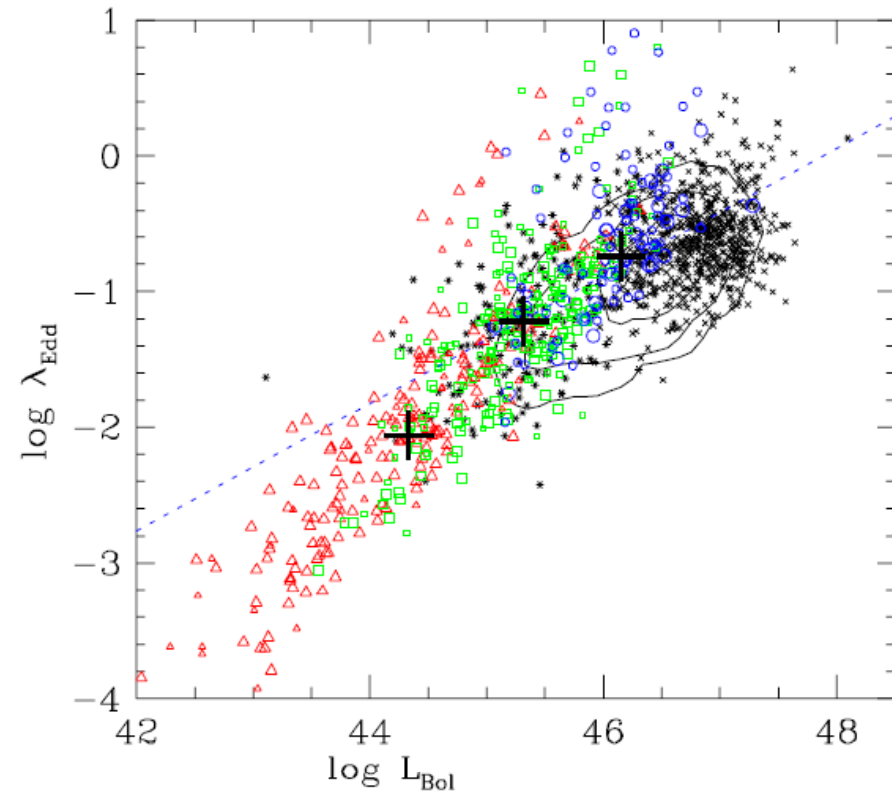


Fig. 15. Estimated λ_{Edd} vs. L_{bol} for narrow-line AGNs. Symbols are same for Figure 14.