

THz帯で観る活動銀河核(AGN)とその母銀河

-- 高赤方偏移探査へ向けたAGNの赤外線放射の理解 --

川口 俊宏 (尾道市立大)

1. 高赤方偏移で期待されるAGNの特徴

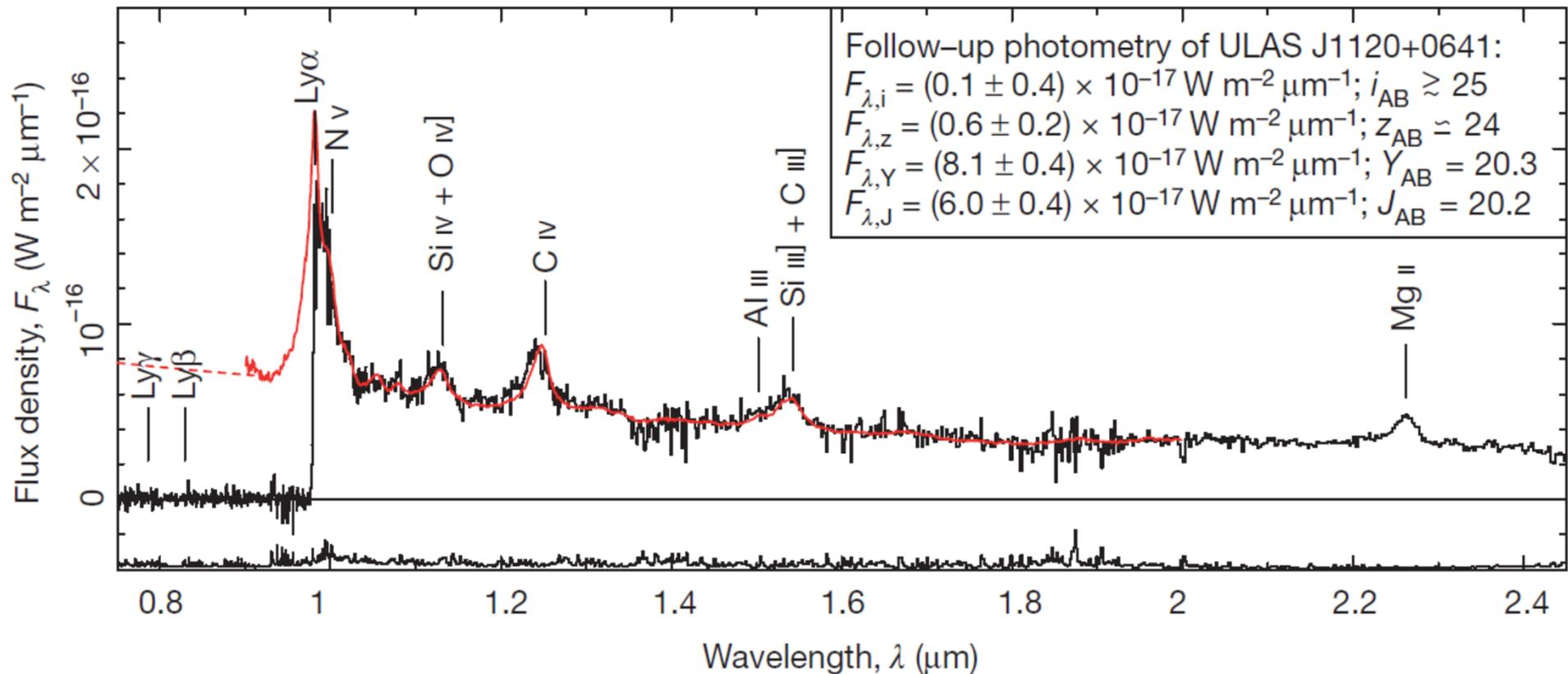
(Shirakata, Kawaguchi et al. 2019b, MN)

2. 赤外線放射が弱い (Dust poor, Dust deficient) AGN

3. 南極THz望遠鏡でのAGN輝線検出の検討

Supermassive Black Holes at high-redshift

* $>10^9$ Msun SMBHs even at $z > 7$



(Martlock +11; Banados + 18; Y. Matsuoka +19)

* How do they form? (いつから存在するのか?)

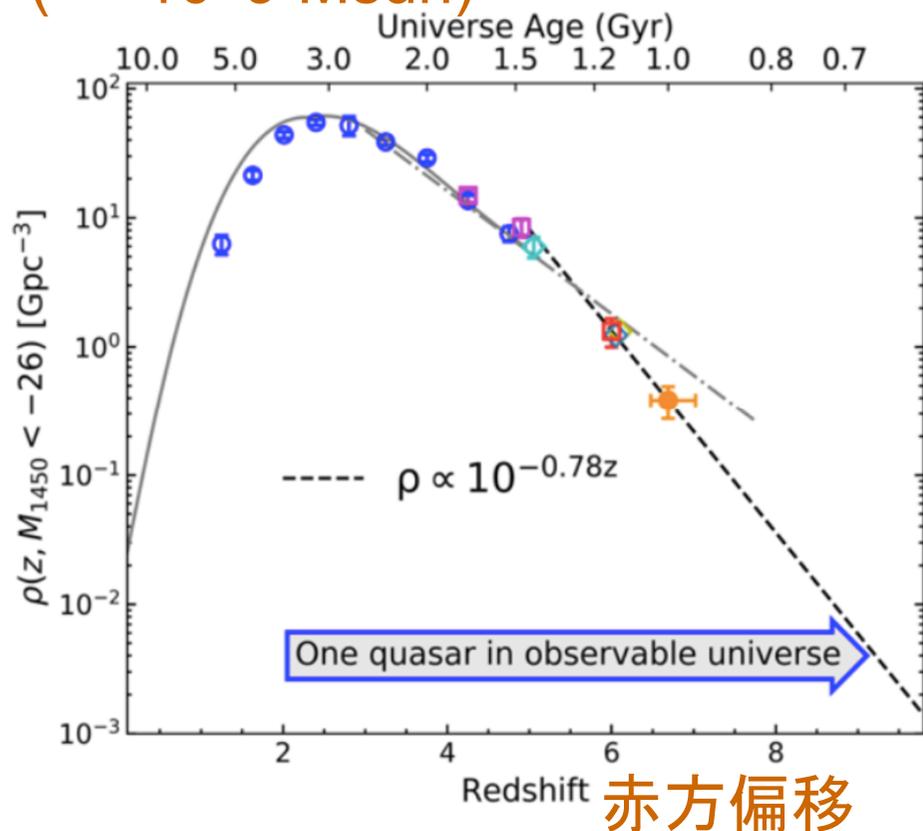
* 銀河間物質を探る光源 → Surveys at yet higher-redshift

大赤方偏移宇宙での超大質量ブラックホール

高赤方偏移($z > \sim 9$)では、大光度(大BH質量) AGNに頼った探査では、観測可能な宇宙に1個以下の期待値しかなくなる

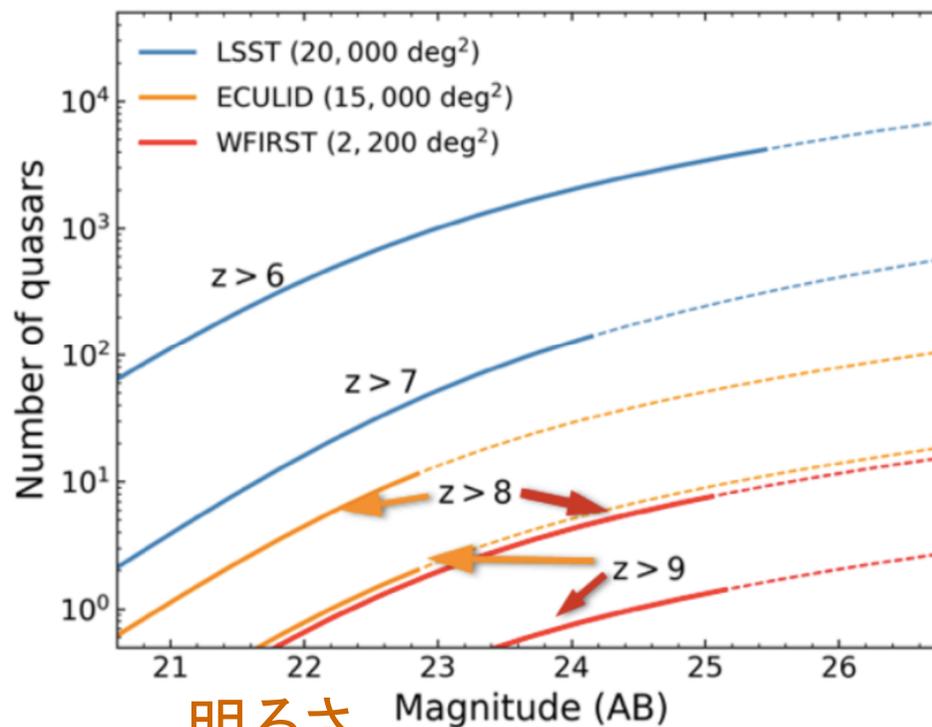
→ より低光度・比較的軽めの巨大BHの探査が必須

個数期待値
($> \sim 10^9 M_{\text{sun}}$)



(Fan 2019, arXiv:1903.04078)

探査で見つかる
個数期待値



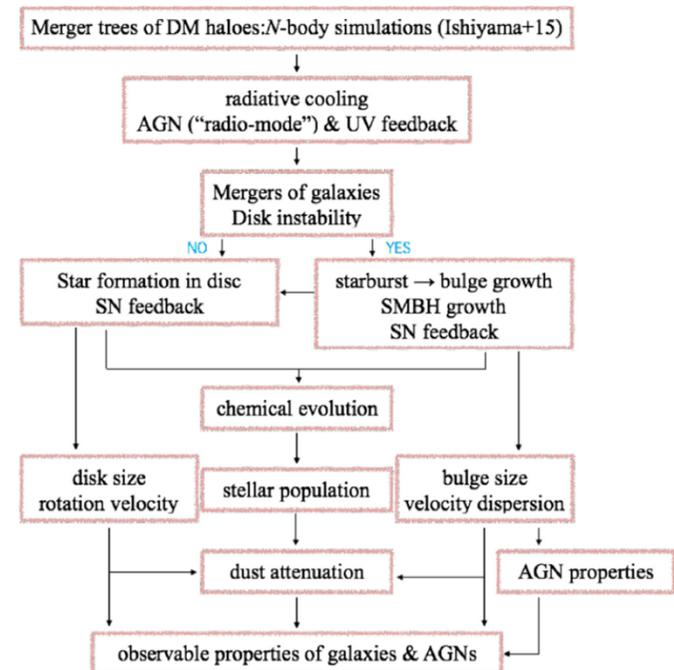
Semi-analytical approach to the SMBH growth history

* Explain many statistical properties of galaxies and SMBHs/AGNs (Ishiyama + 15; Makiya + 16; Shirakata + 19a)

- Dark matter merging tree +
- **Starburst** triggered either by galaxy merging or disc instability (bar; Efstathiou+82)
- **SMBH growth: a fraction (ΔM_{acc}) of gas** for starburst infalling towards central SMBH

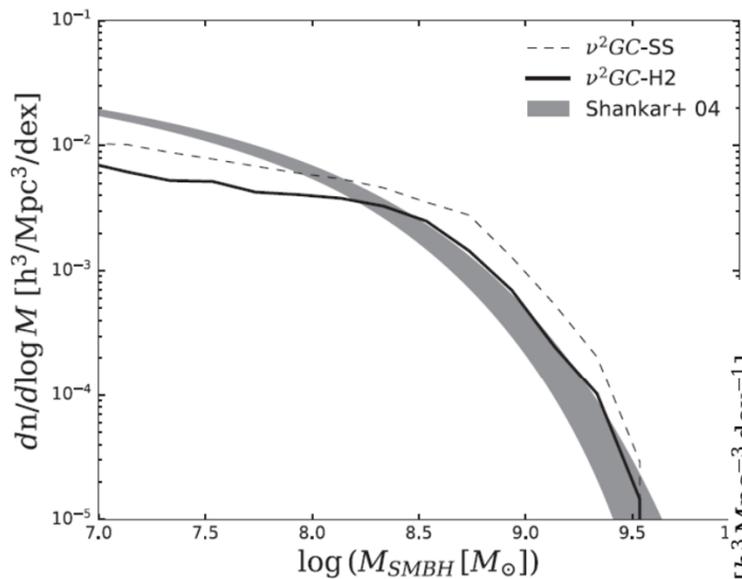
• *Accretion rate onto central BH:*

$$\dot{M}_{BH} = \frac{\Delta M_{acc}}{t_{acc}} e^{-(t-t_{start})/t_{acc}}$$



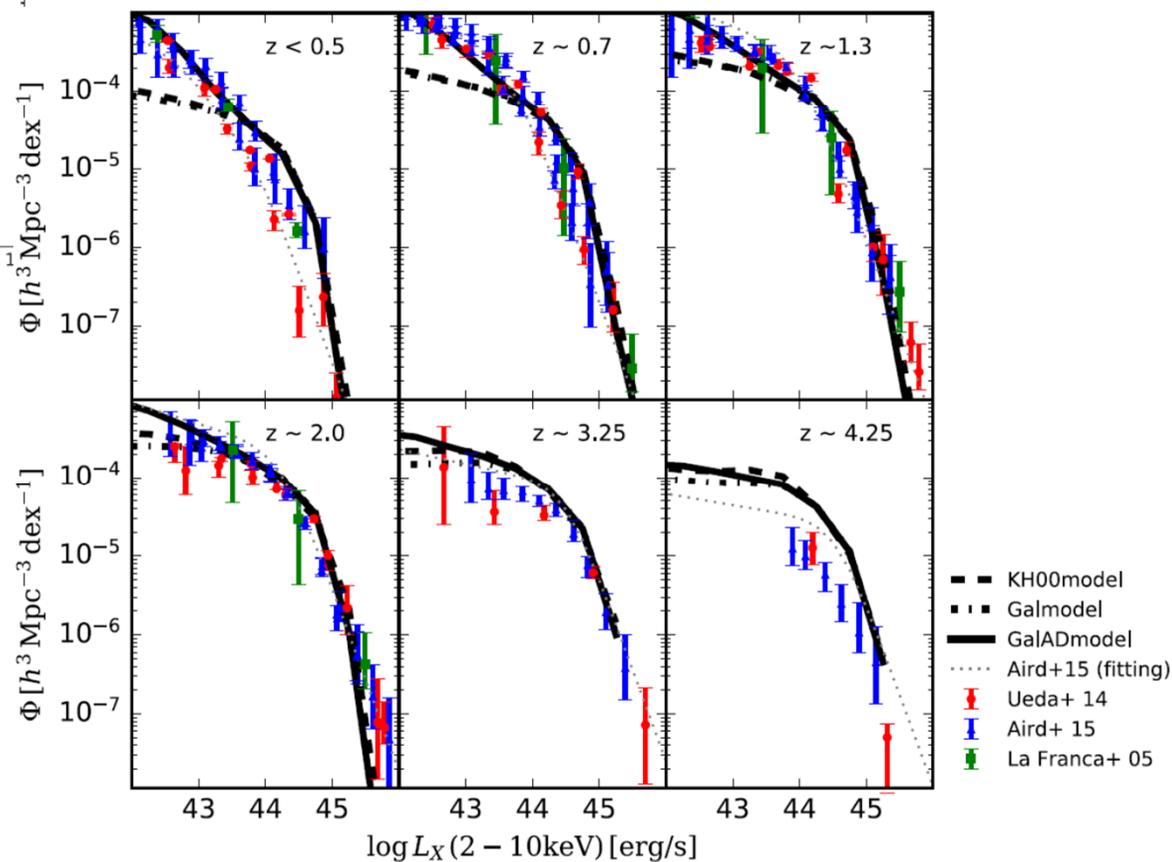
Model explains many statistical properties of galaxies and SMBHs/AGNs

(Ishiyama + 15; Makiya + 16; Shirakata + 19a)



Local SMBH mass function

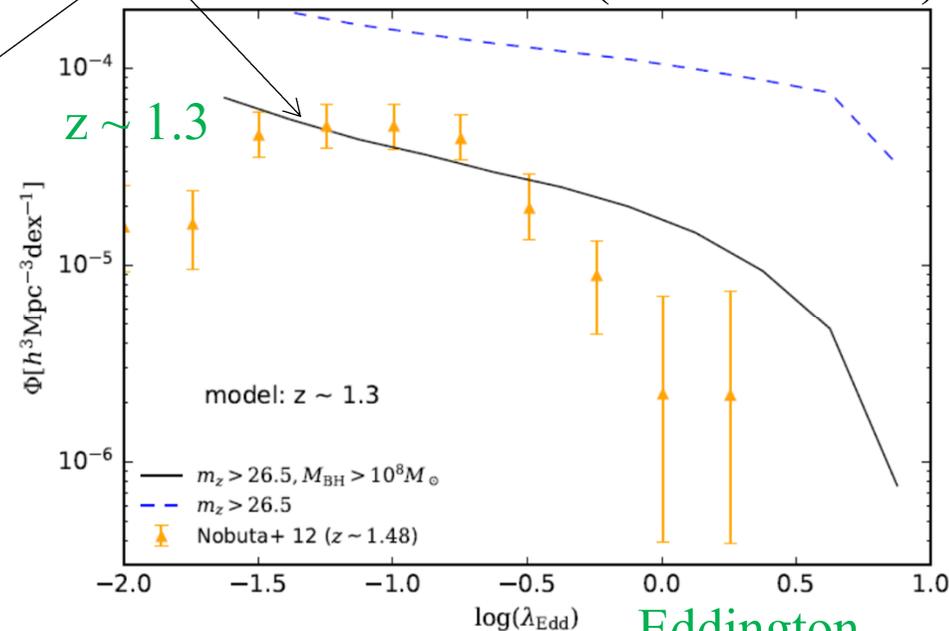
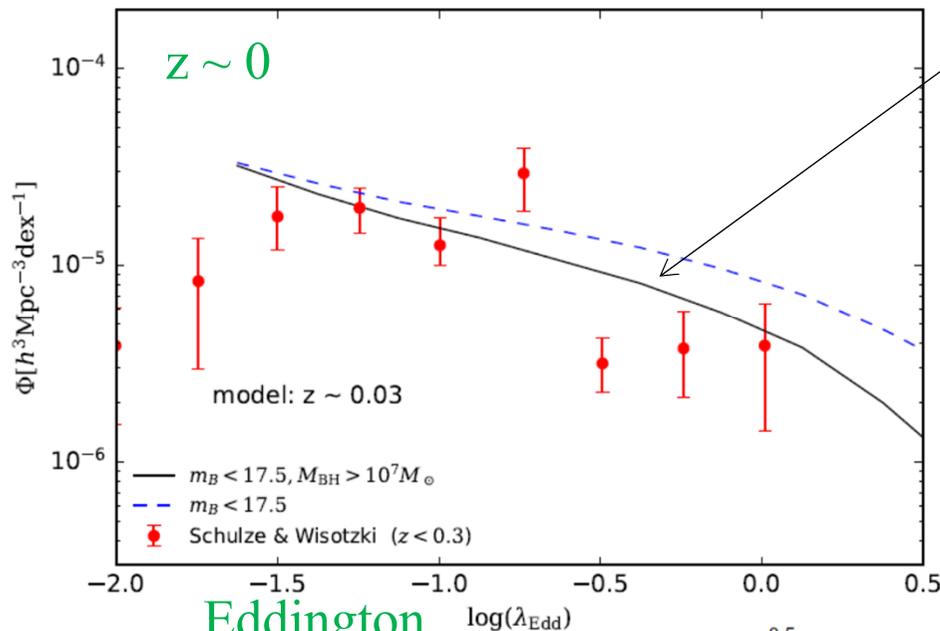
AGN luminosity function and redshift-evolution



Results (1/7): Eddington ratio distribution (v.s. observations)

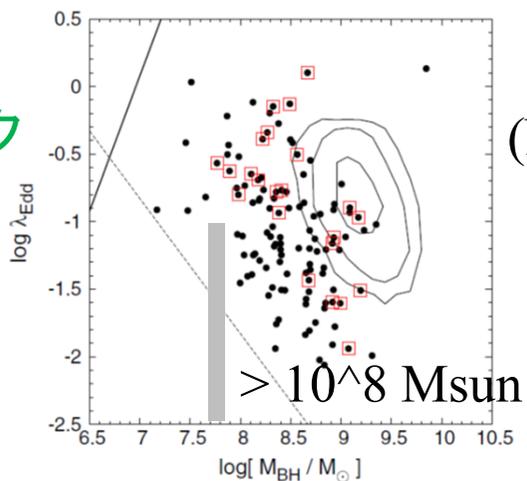
- Well explains the observed results
- Especially, when limited to $M_{\text{BH}} > 10^8 M_{\text{sun}}$

(Shirakata+19b)



Eddington Ratio
(AGN光度/中心ブラックホール質量の比)

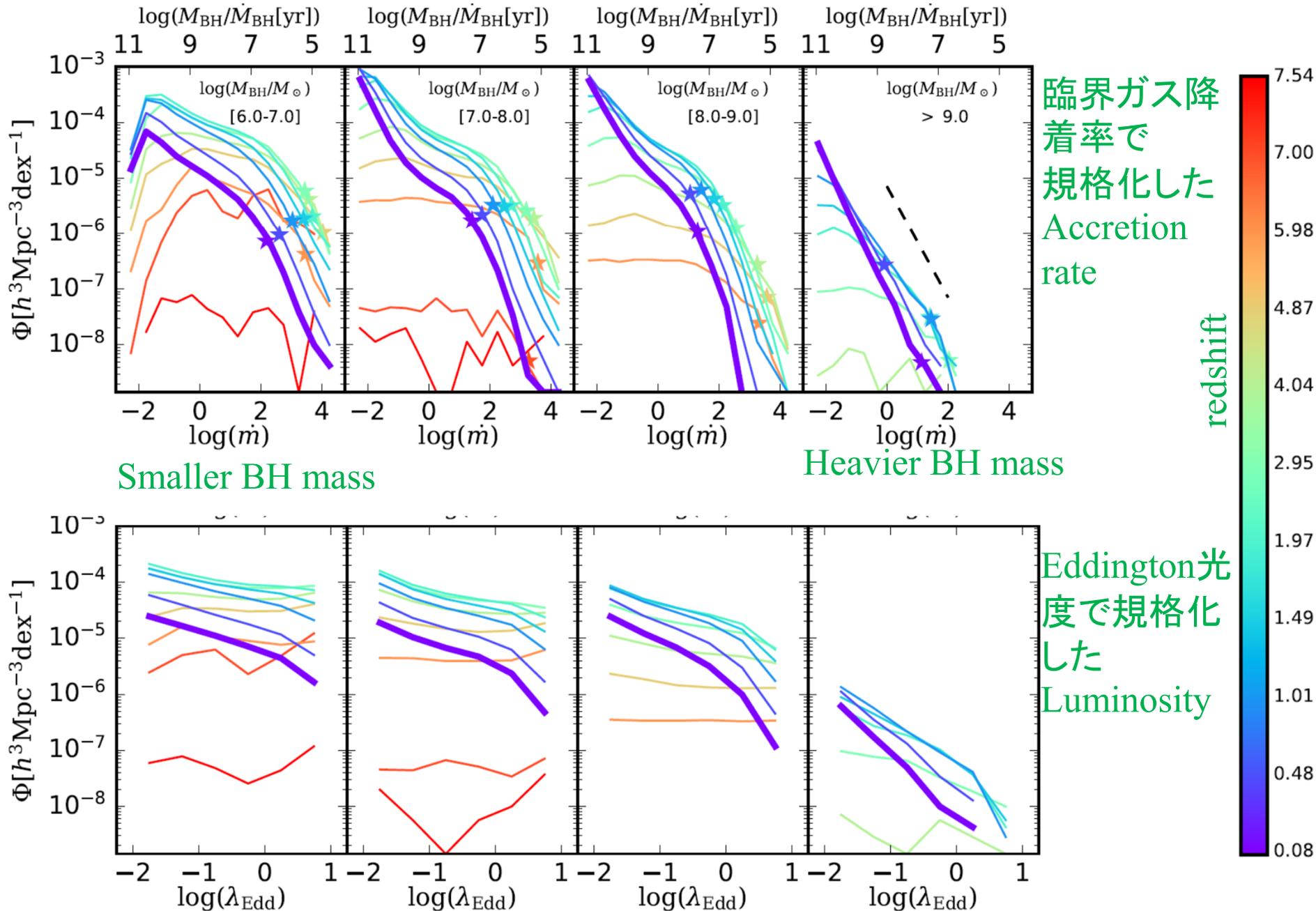
Eddington Ratio



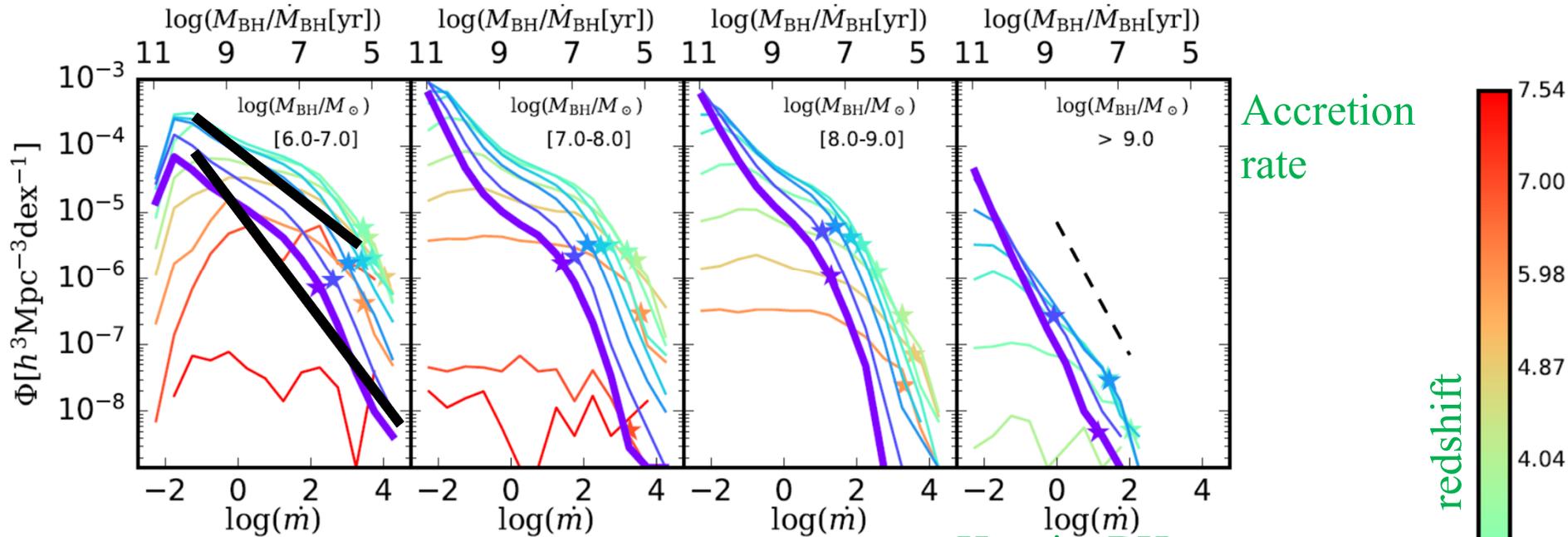
BH mass

Figure 9. Black hole mass vs. Eddington ratio of broad-line AGNs at redshifts

Results (2/7): Eddington ratio distribution (mass & z bins)



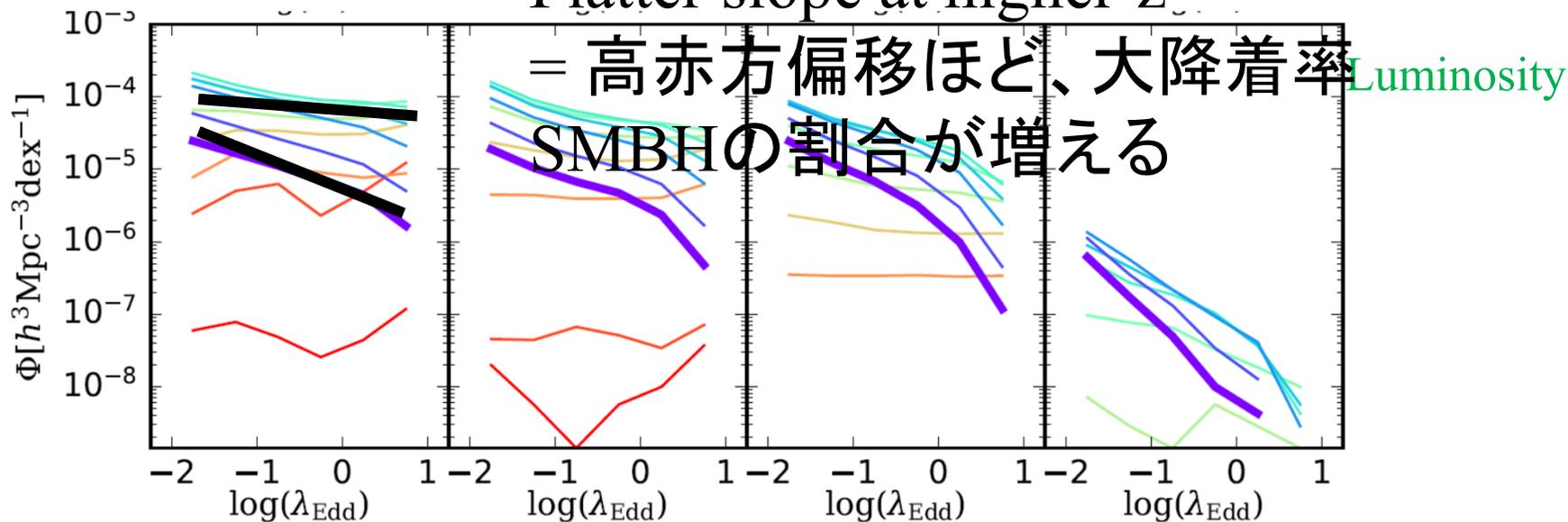
Results (2/7): Eddington ratio distribution (mass & z bins)



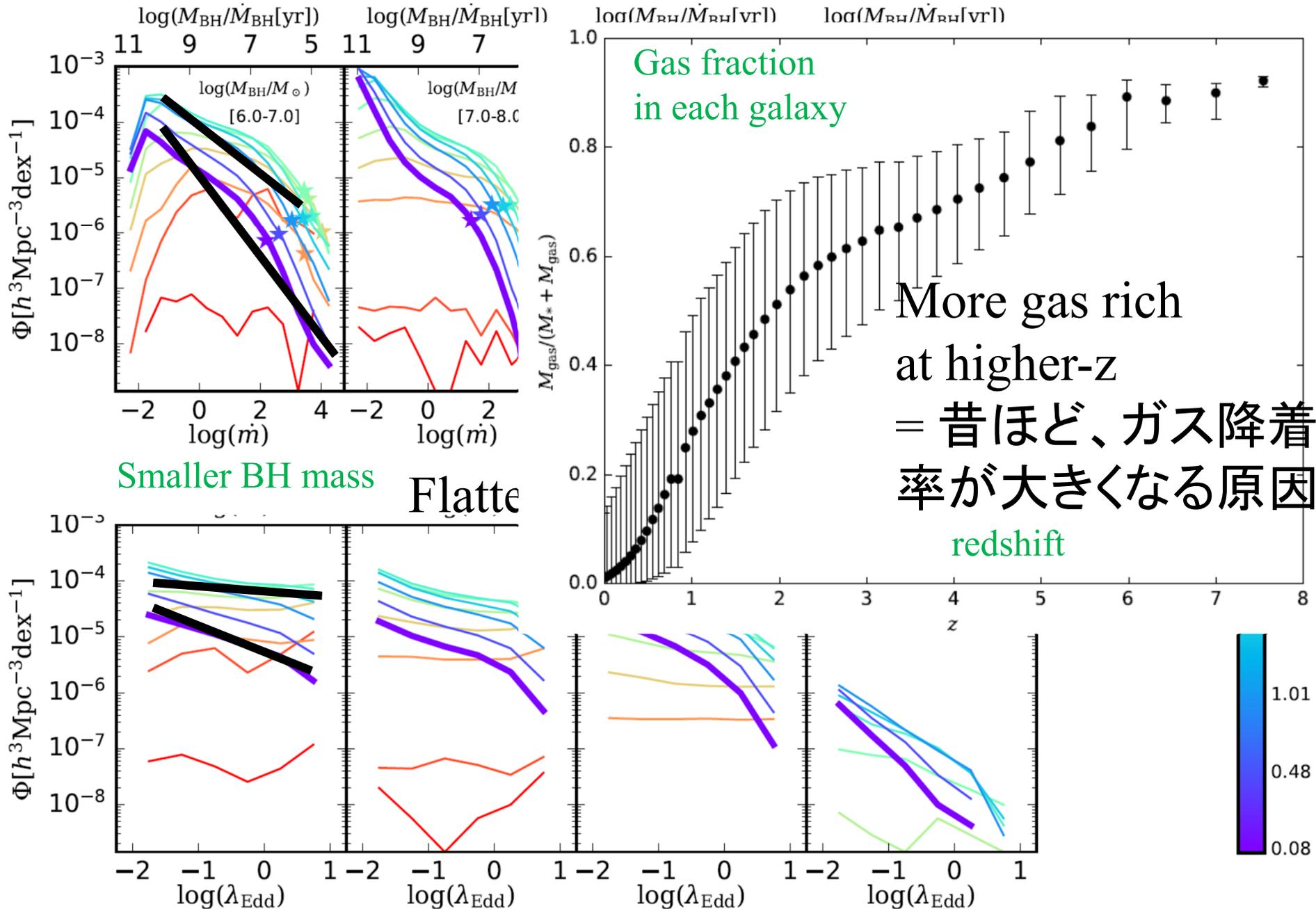
Flatter slope at higher-z

= 高赤方偏移ほど、大降着率

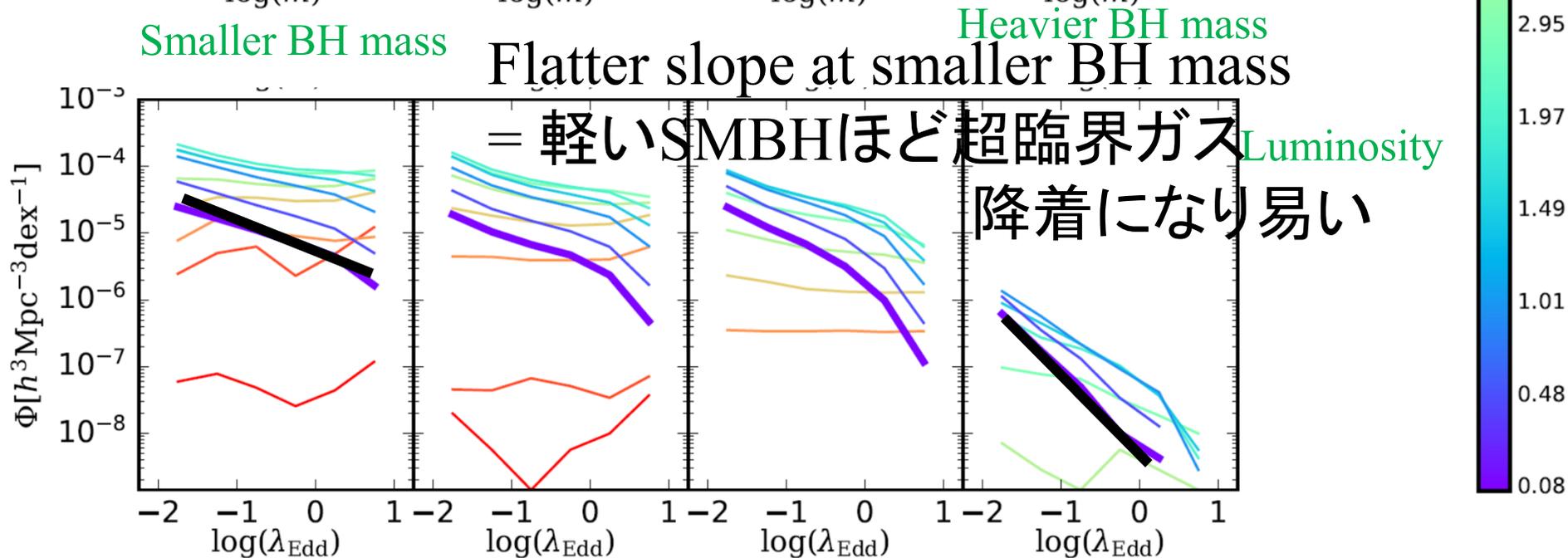
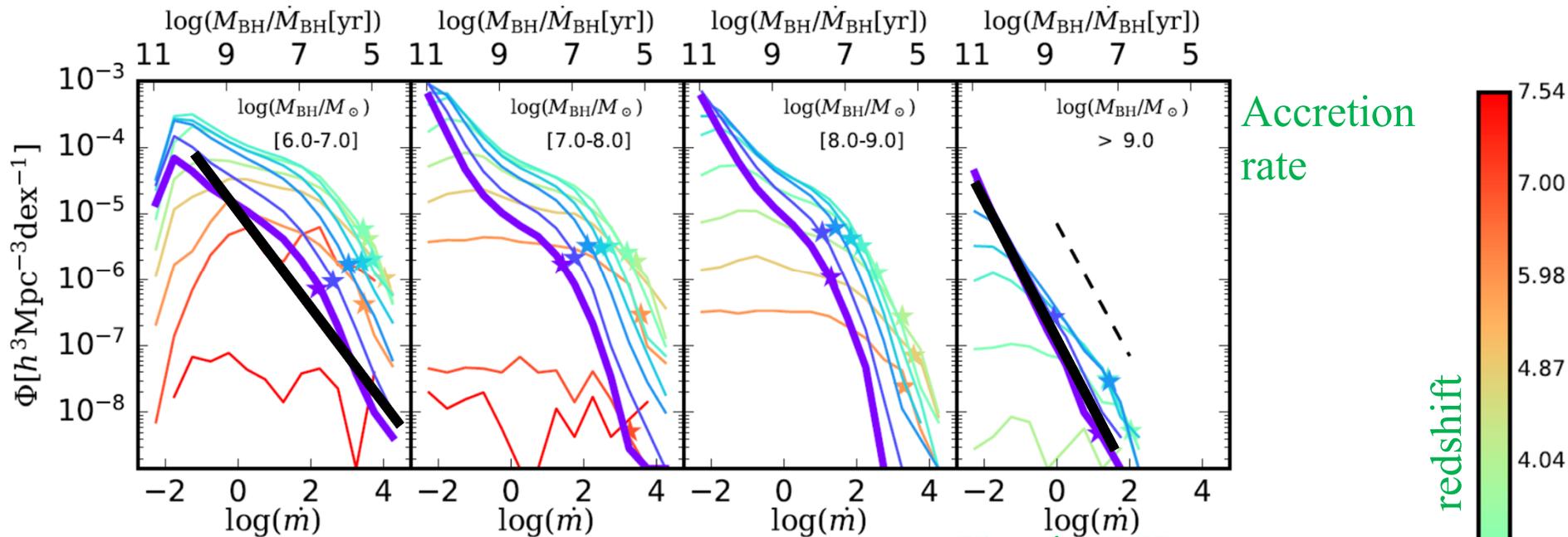
SMBHの割合が増える



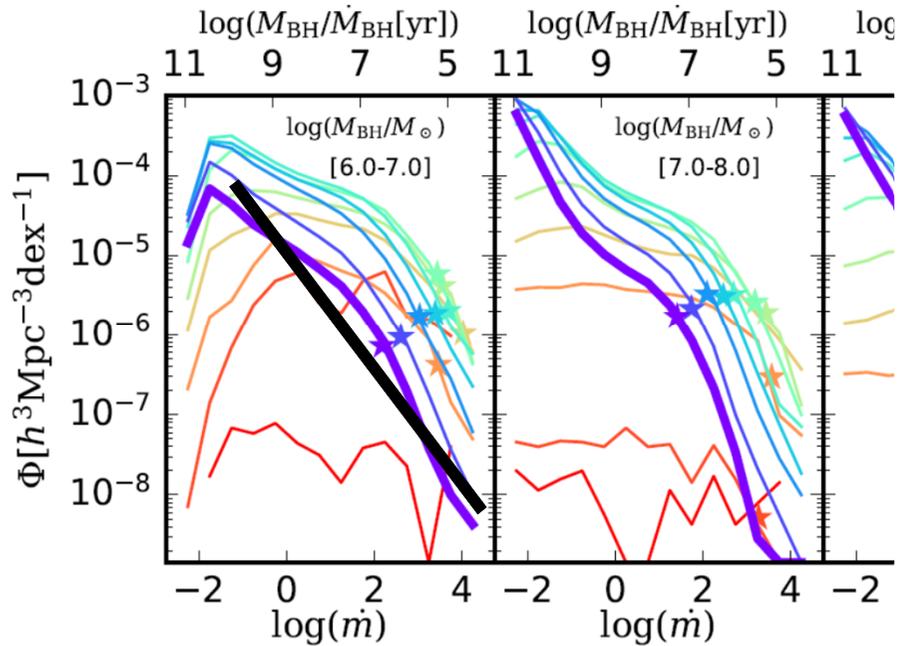
Results (2/7): Eddington ratio distribution (mass & z bins)



Results (2/7): Eddington ratio distribution (mass & z bins)

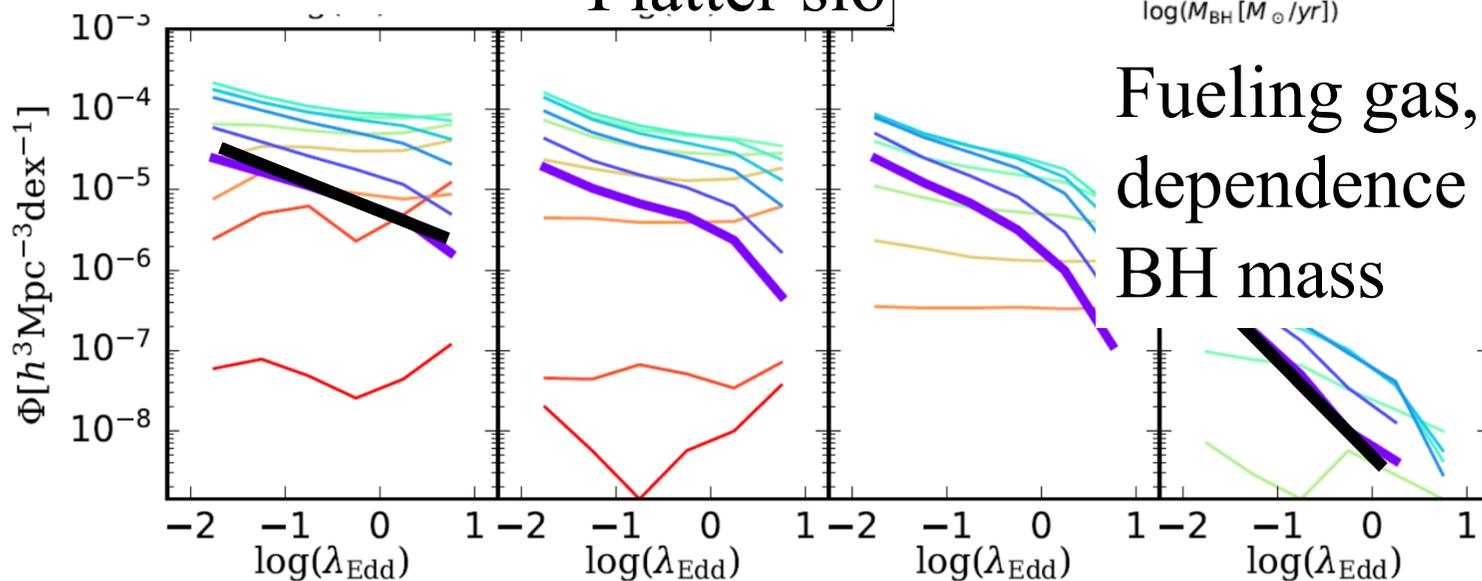
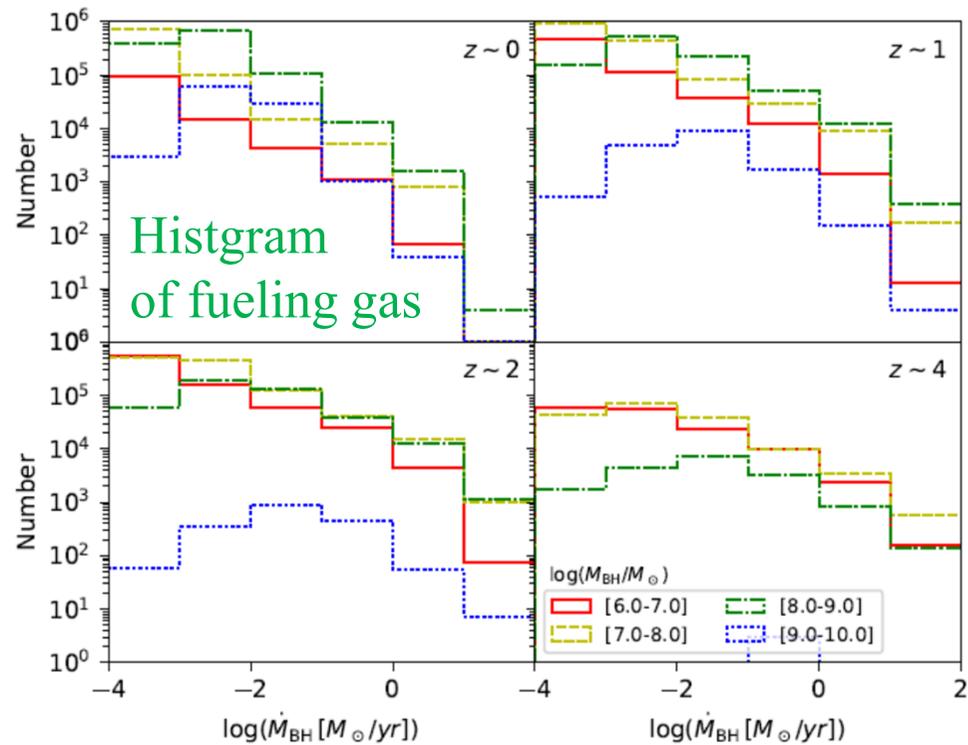


Results (2/7): Eddington ratio distribution (mass & z bins)

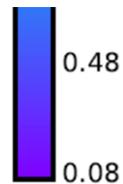


Smaller BH mass

Flatter slope



Fueling gas, w/ little dependence on central BH mass



Results (3/7):

Representative normalized accretion rate (mass & z dependency)

規格化したAccretion
rateのkneeの値

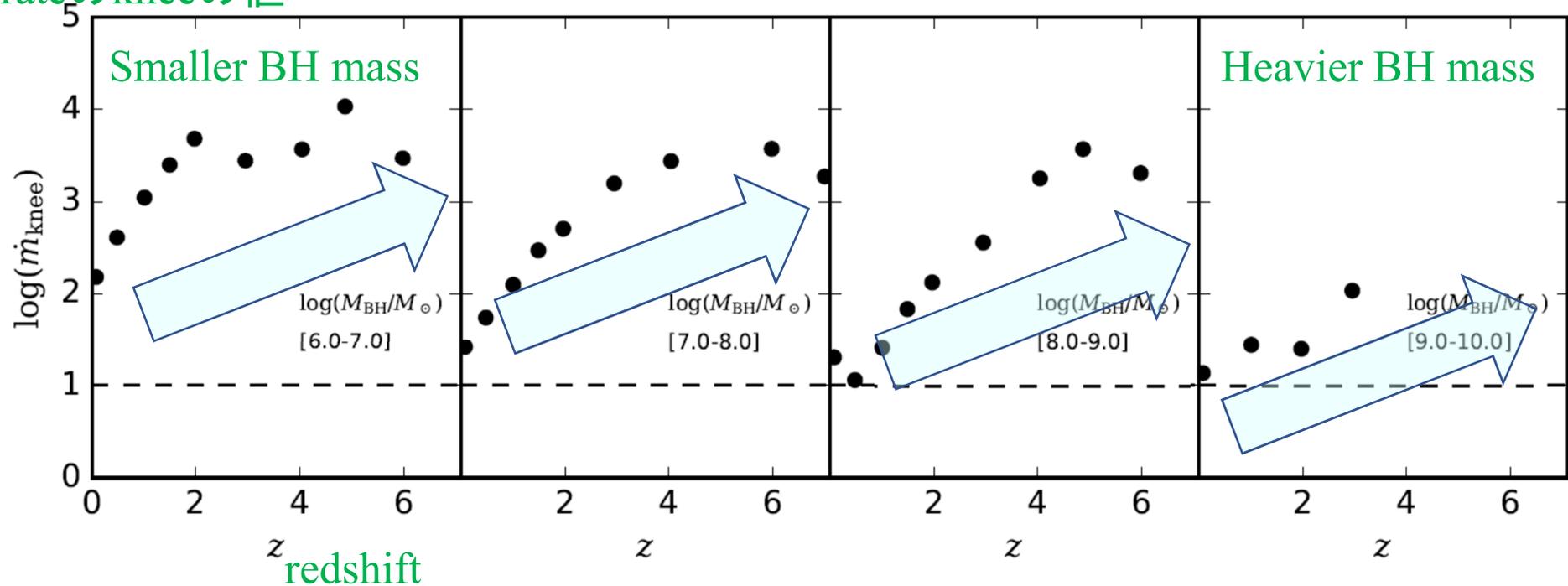


Figure 6. The evolution of the \dot{m} at which the slope of ERDF becomes ~ -1 . Four panels show the results with the different M_{BH} bins, and are shown as stars in Fig. 4. Dashed lines indicate $\dot{m}_{\text{knee}} = \dot{m}_{\text{crit}}$.

Super-Eddington accretion is more common at higher- z
and smaller mass BHs

THz帯で観る活動銀河核(AGN)とその母銀河

-- 高赤方偏移探査へ向けたAGNの赤外線放射の理解 --

川口 俊宏 (尾道市立大)

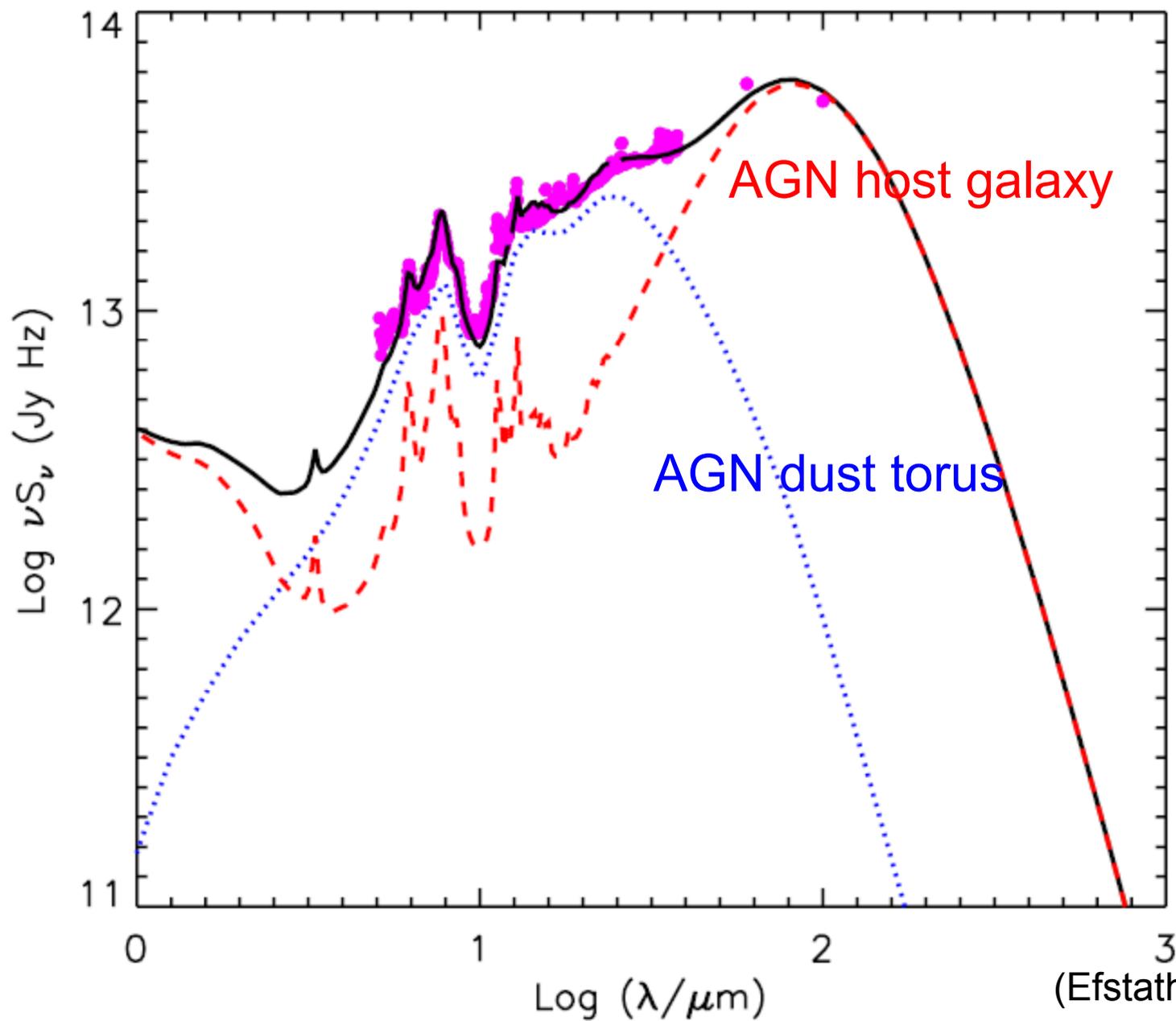
1. 高赤方偏移で期待されるAGNの特徴

(Shirakata, Kawaguchi et al. 2019b)

2. 赤外線放射が弱いAGN

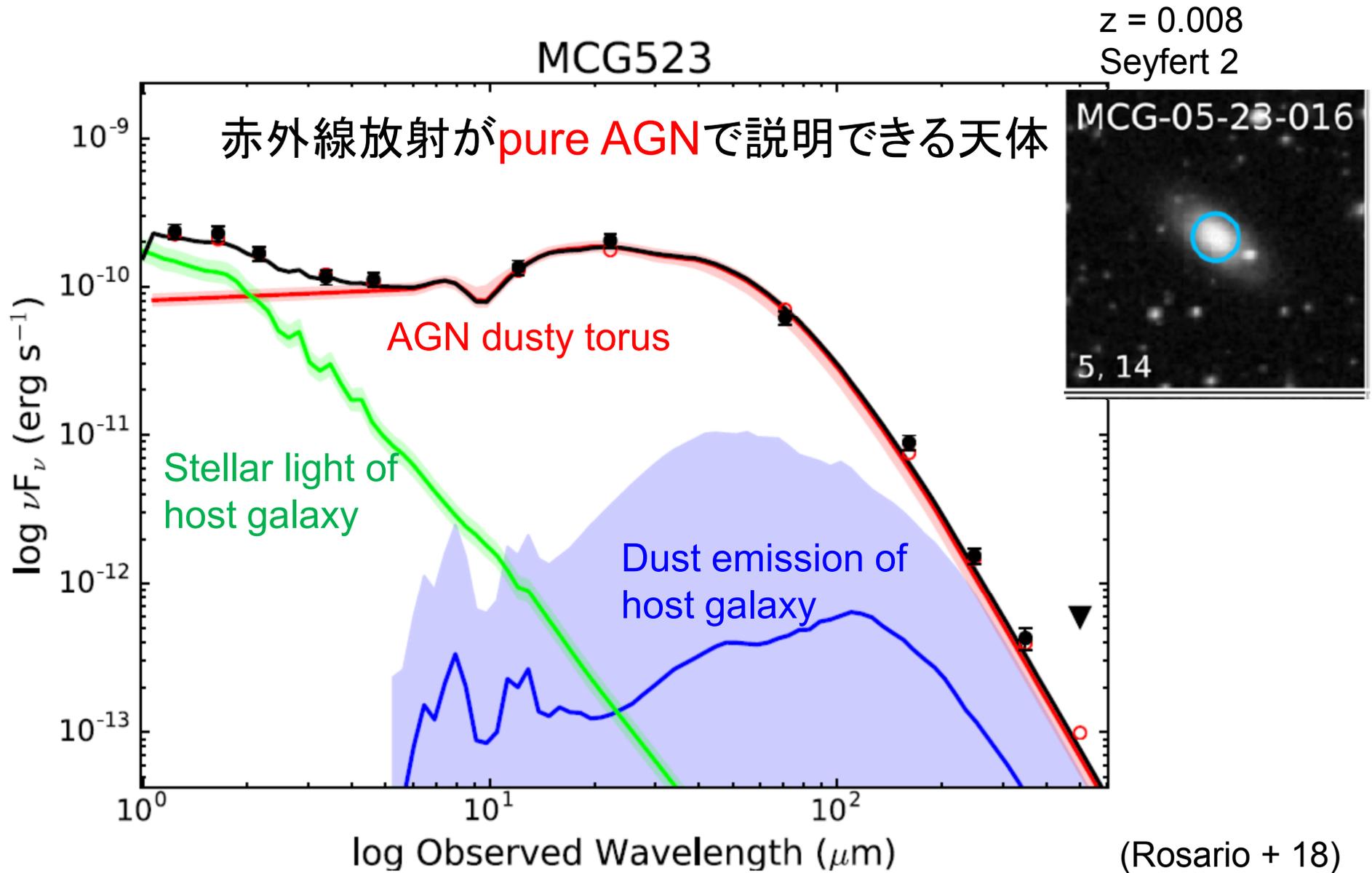
3. 南極THz望遠鏡でのAGN輝線検出の検討

AGNの赤外線放射(1/2): 2型天体の成分分離の例

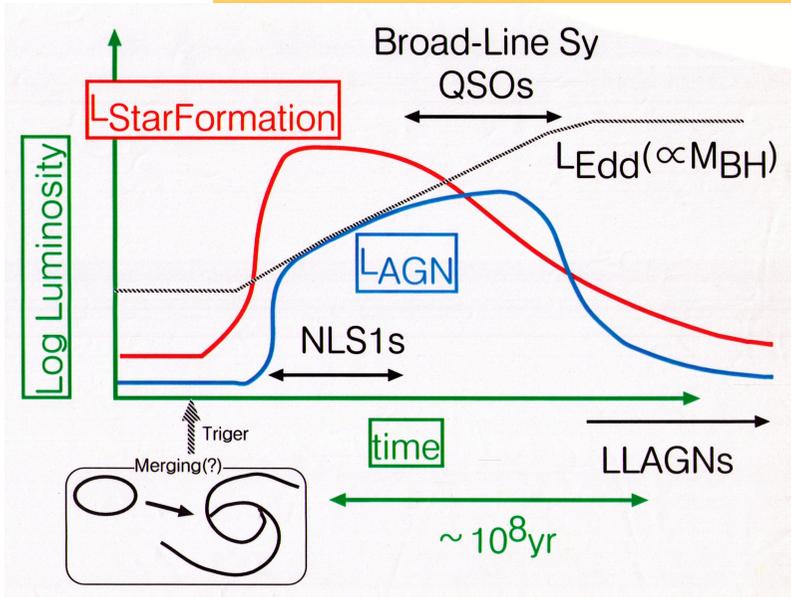


(Efsthathiou + 2013)

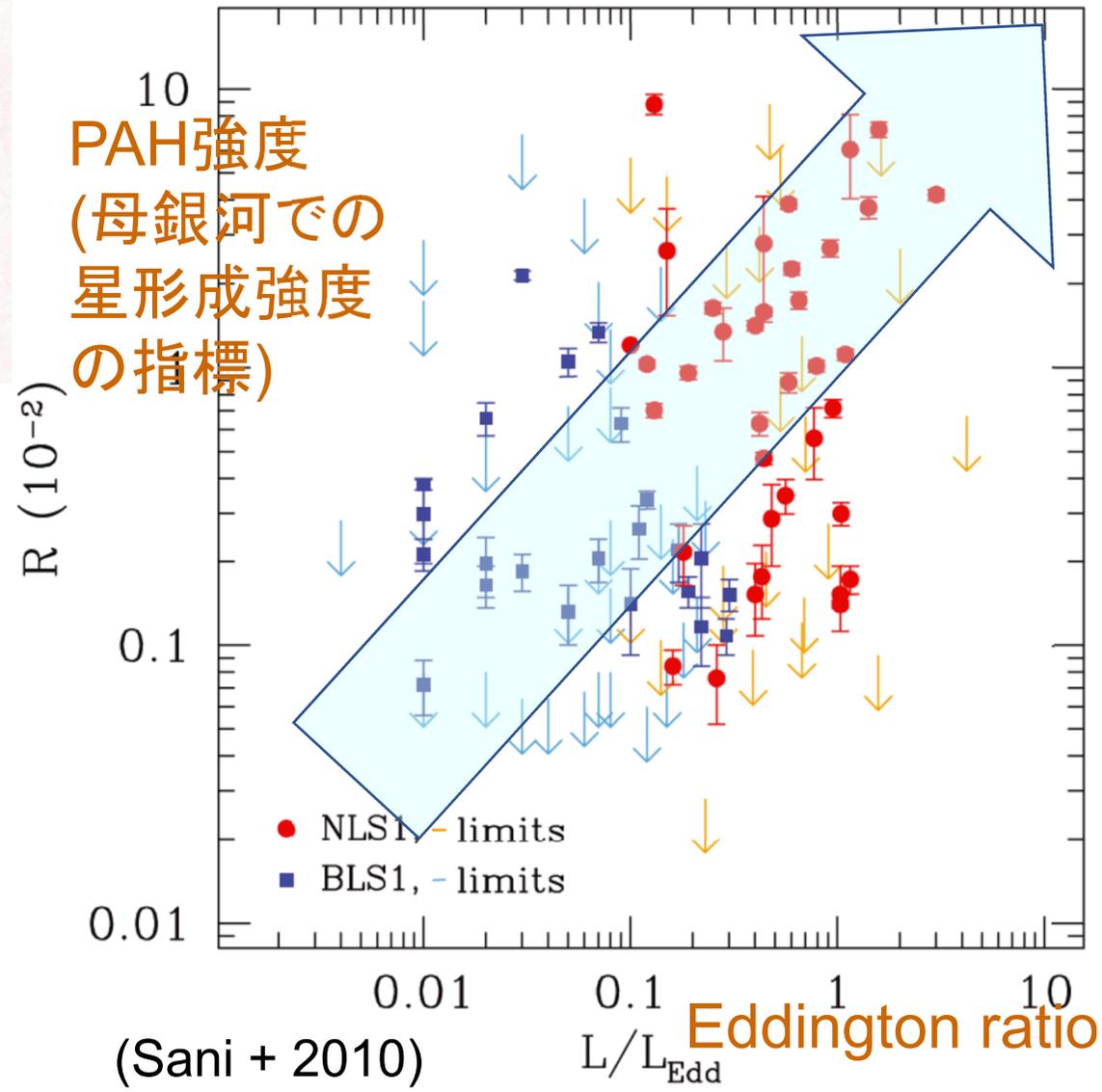
AGNの赤外線放射(2/2): 例外的に母銀河の赤外線放射が極めて弱い天体も



大降着率AGNの赤外線放射(1/2): 赤外線は強いかも



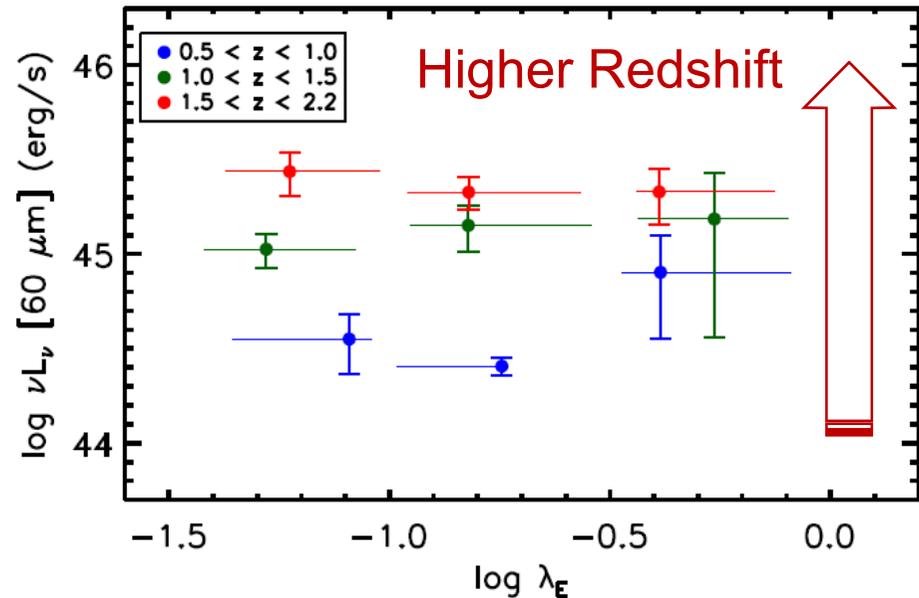
(Kawaguchi + Aoki 2001, Mexico)



(Sani + 2010)

大降着率AGNの赤外線放射(2/2): 赤外線強度は Eddington比と関係無いかも

~星形成光度

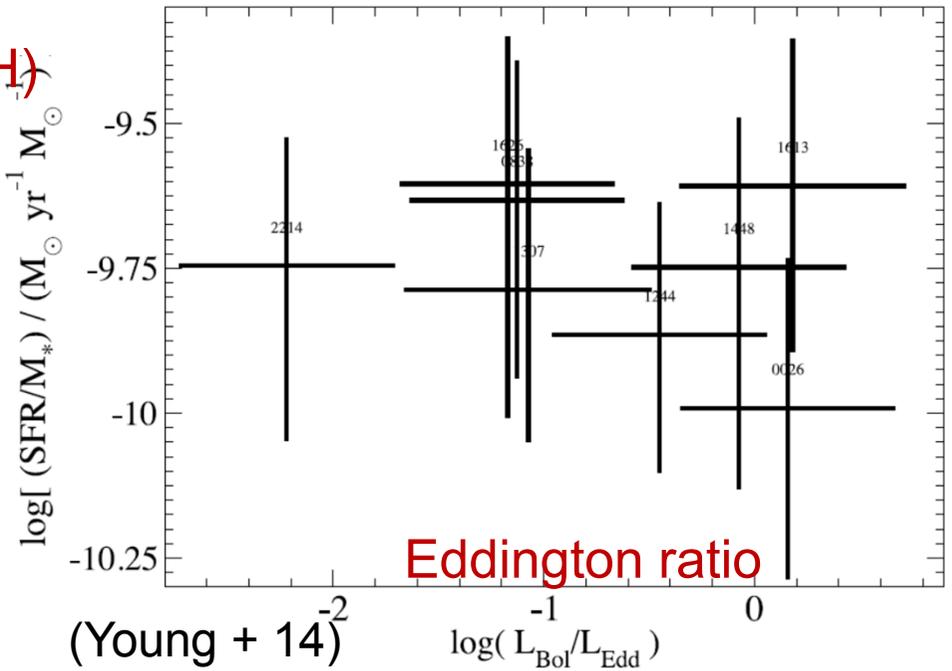


Eddington ratio ($\sim L_{AGN} / M_{BH}$)

星形成率/星質量比

(Rosario + 13)

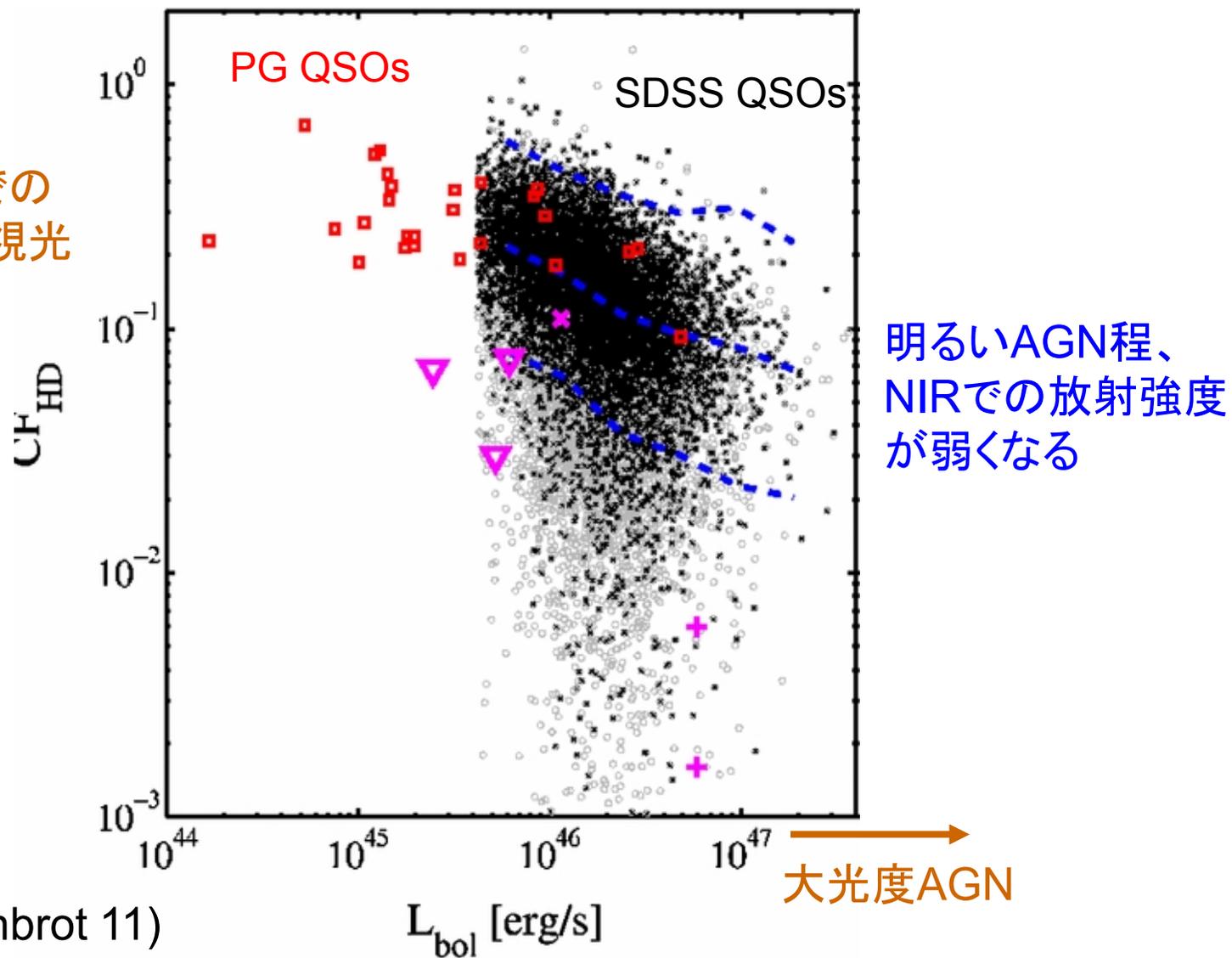
しかし、Selection bias 込み
 (大Eddington比AGN:
 low BH mass & low galaxy mass
 を含みがち
 → SFR 低く出る)



(Young + 14)

赤外線が弱いAGN・母銀河がどんどん見つかってきた (1/2)

Rest-frameでの
近赤外線/可視光
の光度比

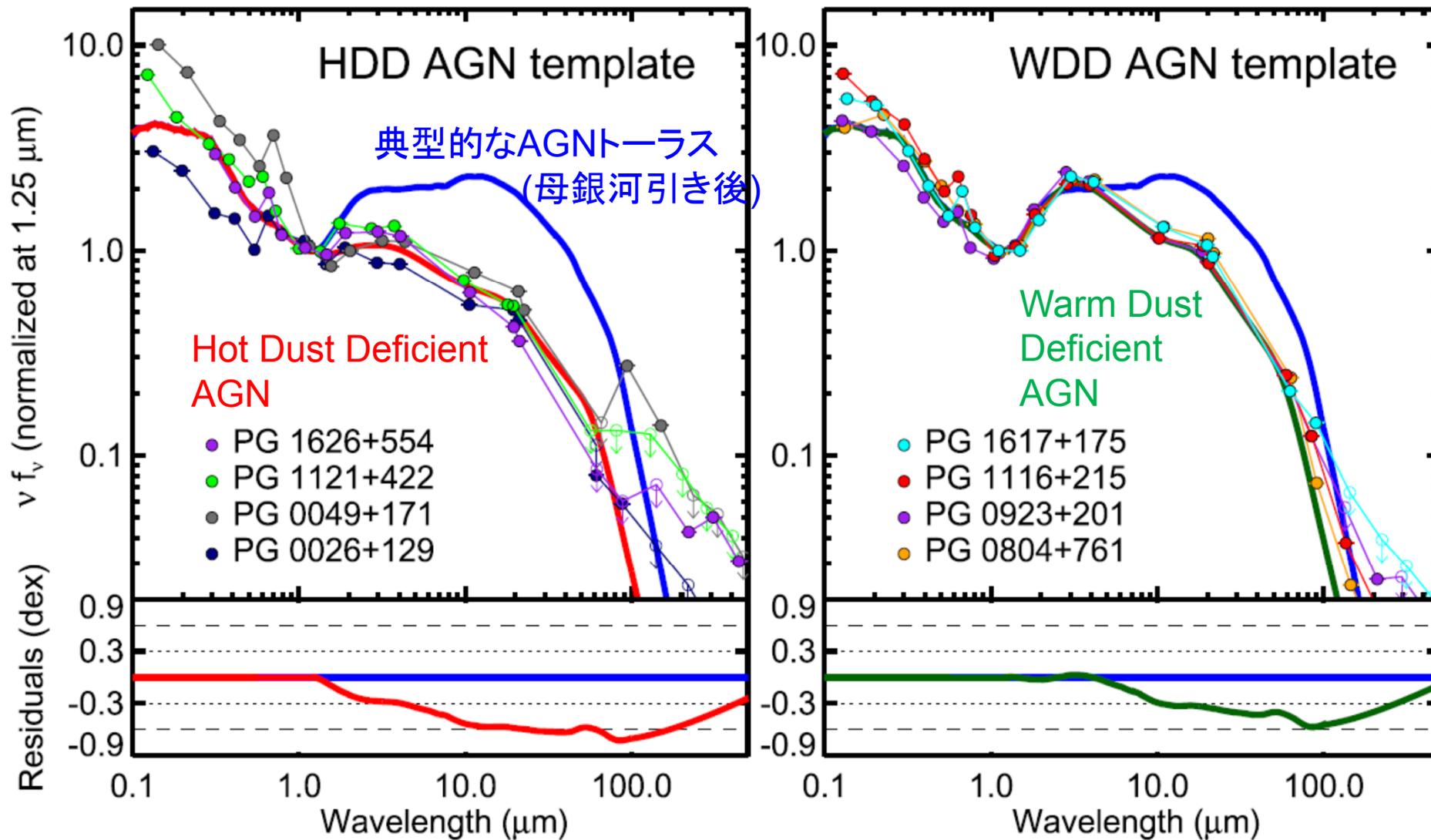


(Mor & Trakhtenbrot 11)

赤外線が弱いAGN・母銀河がどんどん見つかった (2/2)

近・中・遠赤外線が弱い

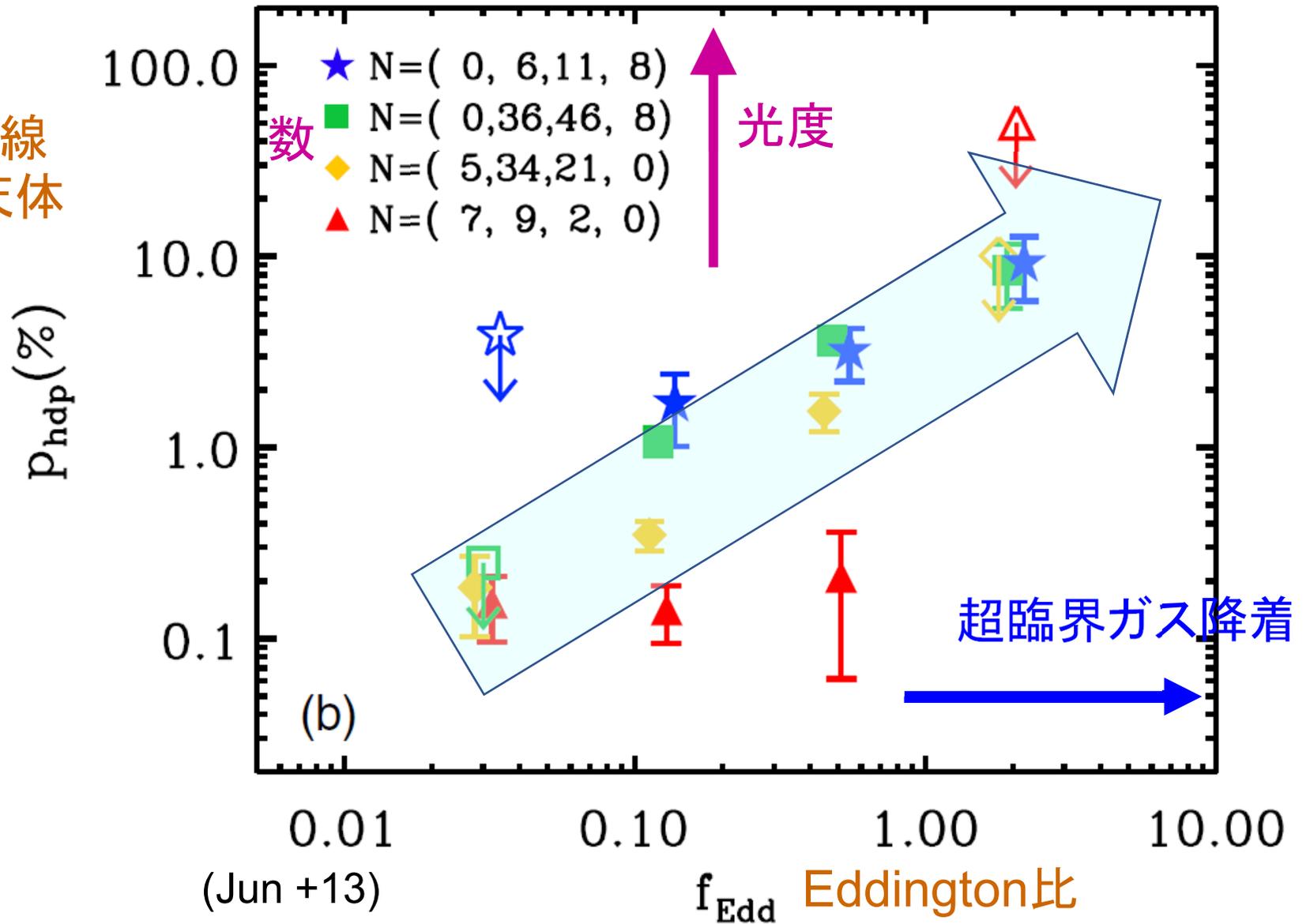
中・遠赤外線が弱い



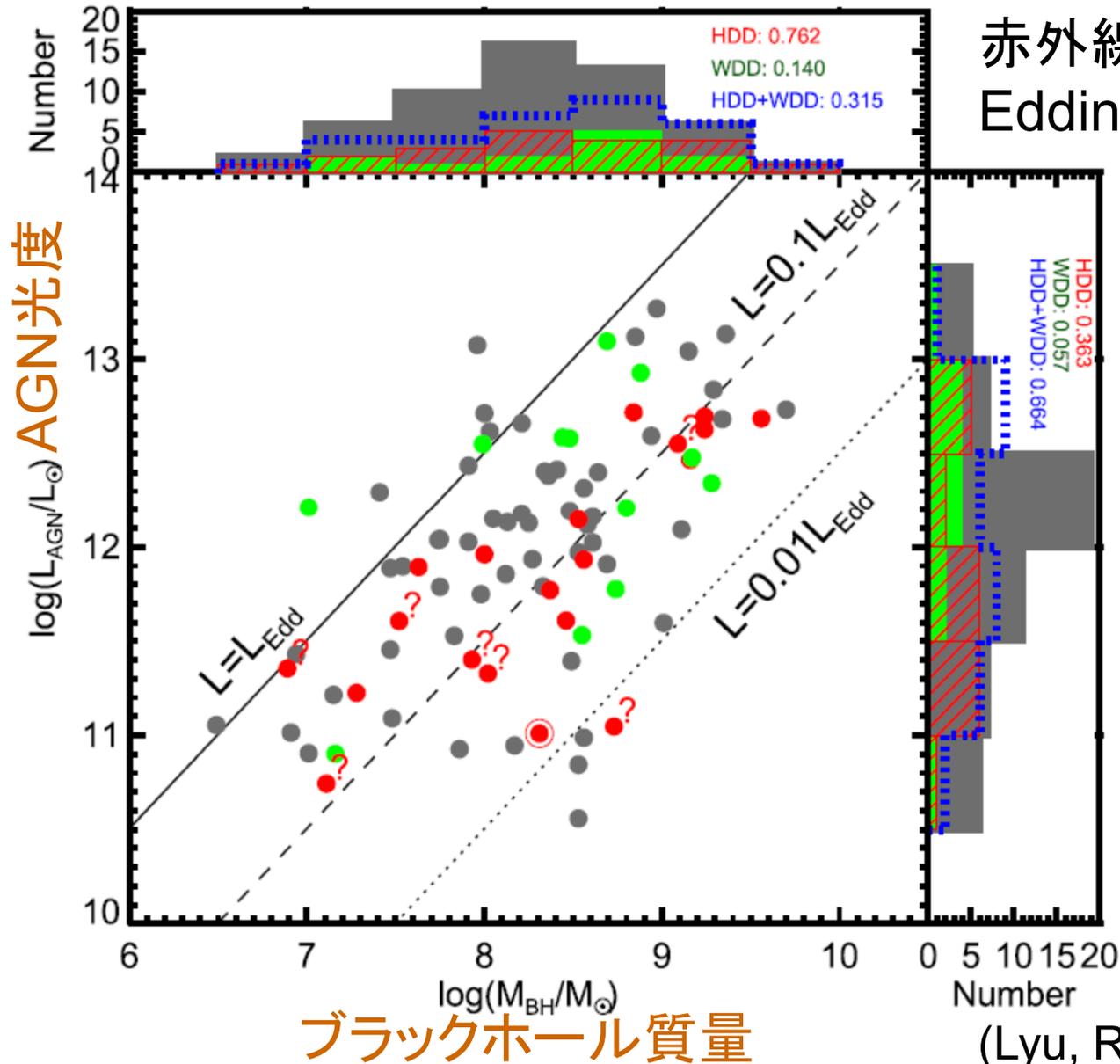
(Lyu, Rieke, Shi 2017)

赤外線が弱いAGN・母銀河の特徴 (1/2):
 近赤外線が弱いAGNは、Eddington比が大きい天体が占める

近赤外線
 weak天体
 の割合



赤外線が弱いAGN・母銀河の特徴 (2/2):
赤外線が弱いAGNは、Eddington比と関係ないかも



赤外線が弱いAGNは、
Eddington比が大きい天体が
多いわけではない
赤点(HDD)も
緑点(WDD)も、
灰色(典型的AGN)より
左上に寄っている
わけではない

弱赤外線AGNは
まだ少し混沌?

(Lyu, Rieke, Shi 2017)

THz帯で観る活動銀河核(AGN)とその母銀河

-- 高赤方偏移探査へ向けたAGNの赤外線放射の理解 --

川口 俊宏 (尾道市立大)

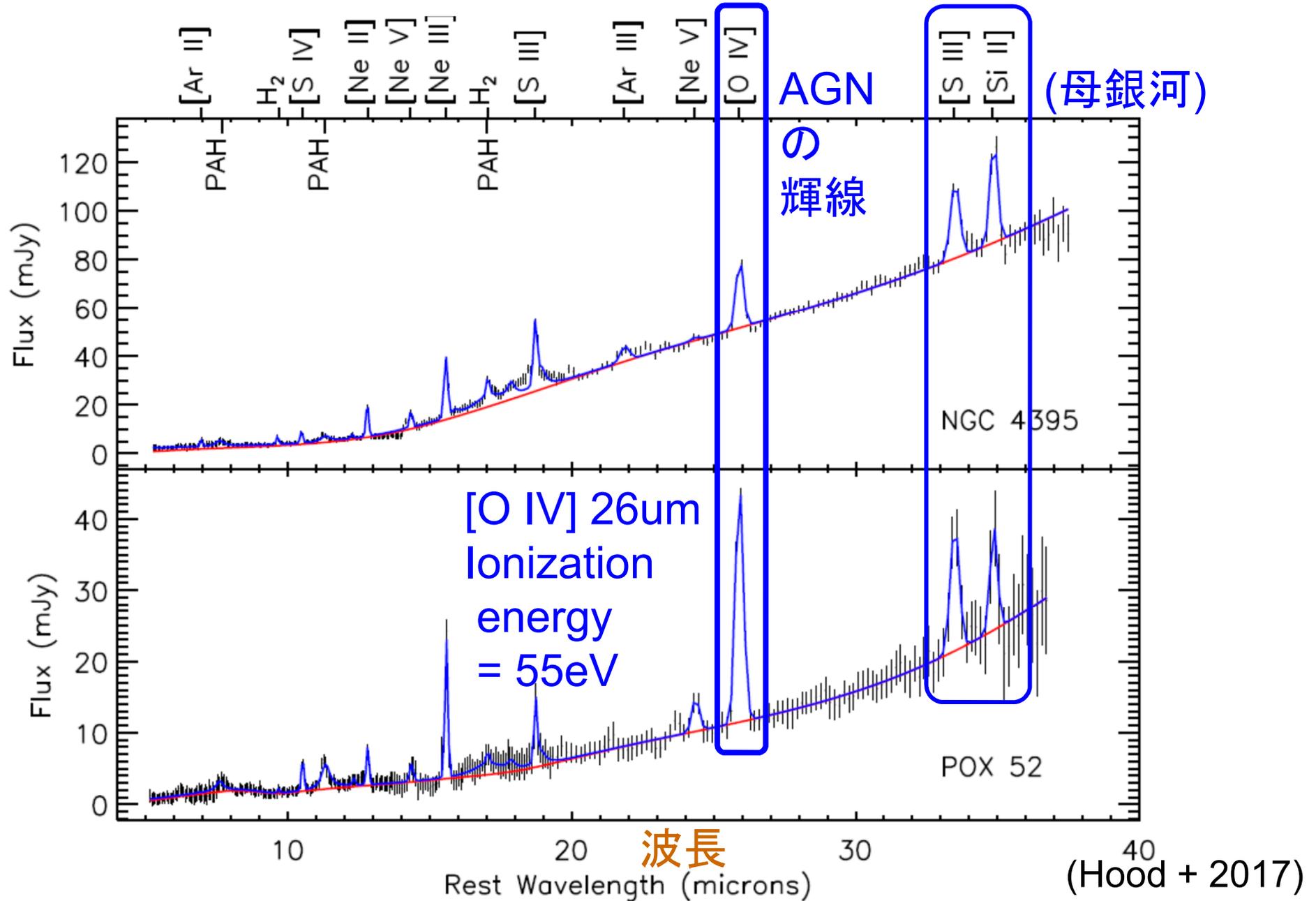
1. 高赤方偏移で期待されるAGNの特徴

(Shirakata, Kawaguchi et al. 2019b)

2. 赤外線放射が弱いAGN

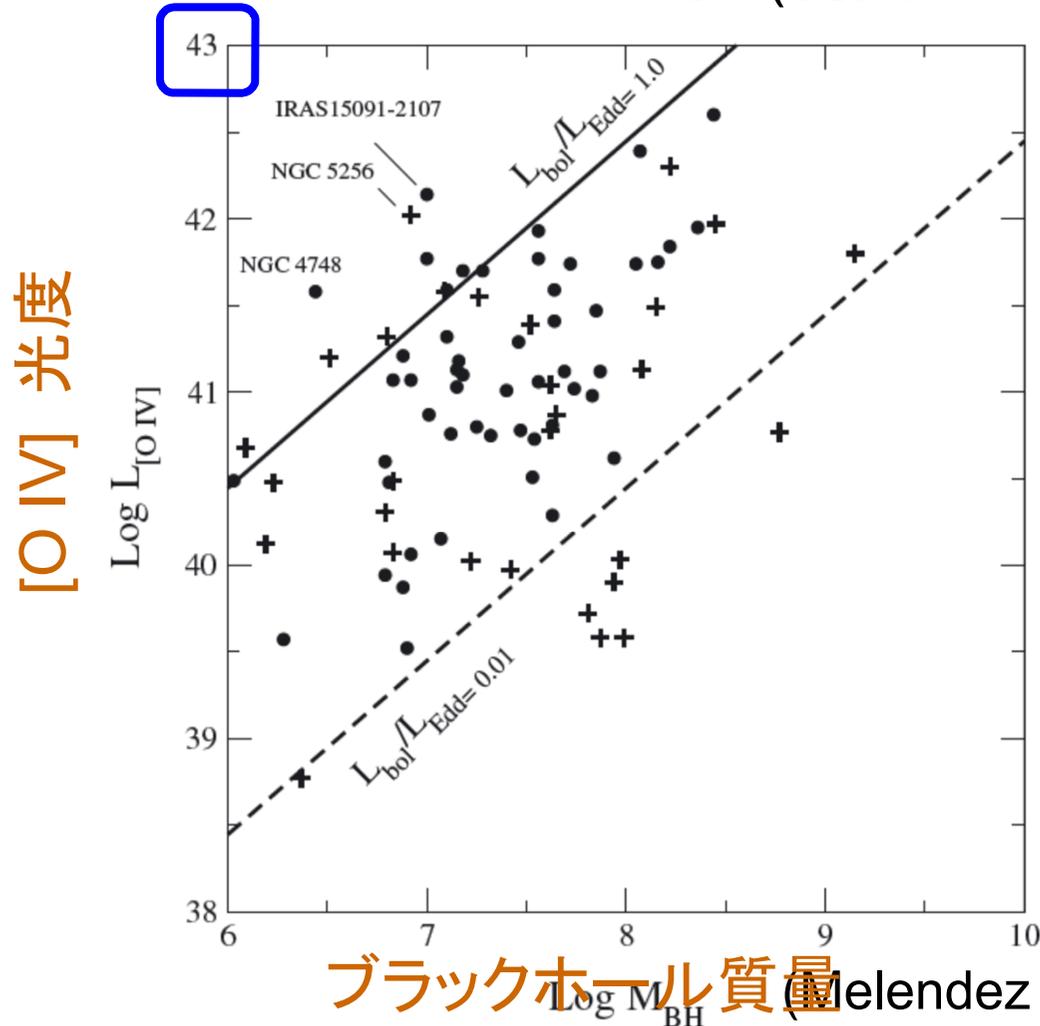
3. 南極THz望遠鏡でのAGN輝線検出の検討

AGN・母銀河からの赤外線輝線 (1/2)



AGN・母銀河からの赤外線輝線 (2/2)

- * $z \sim 10$ のAGNからの[O IV] 26 μm 輝線
- * 10^{43} erg/s の光度, 300km/s の輝線速度幅を想定
- * 1THz (300 μm)で、1分露出の感度を基
→ ~ 100 日 on-source必要 (現実的には無理そう)



* 急いで試算しているので、
間違っていたらすみません

* SPICAなどより短波長側装置で、[O IV]がもっと明るい天体を見つければ、現実的に?

* [S III], [Si II]の検出の方がより現実的か

ブラックホール質量 (Melendez + 2010)

まとめ

高赤方偏移(e.g., $z > \sim 9$)では、大光度(重BH)だけを狙っては探査できない

- 期待個数 $\sim < 1$
- 質量分布(mass function)右下がり: 典型的BHでない

高赤方偏移・軽めの巨大BHでは、超臨界ガス降着天体が相対的により多く(どんどん多数派に)

(Shirakata et al. MN, 2019b)

大降着率AGN・母銀河の赤外線放射・星形成が強いのかどうかは未解決

[O IV] 26um 輝線(@ $z \sim 10$)は南極THz望遠鏡では検出難しそう

(2019年12月21日 「テラヘルツ波が拓く新しい宇宙像」研究会)