



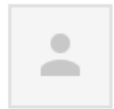
Low-metallicity active galactic nuclei: challenges toward identifying young SMBHs

Tohru Nagao
Ehime University, Japan



An e-mail from Toma-san

招待講演のお願い



Kenji Toma <toma@astr.tohoku.ac.jp>

Nov 3

to Tohru ▾

長尾様、

東北大の當真です。

「初代星・初代銀河研究会」への参加ありがとうございます。

長尾さんには

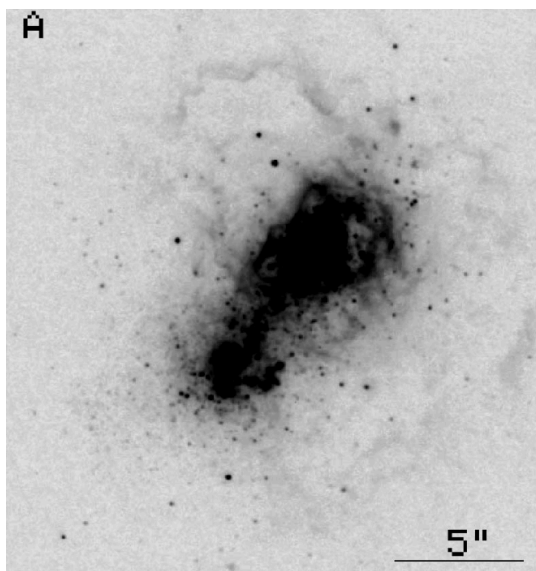
超低金属量の銀河と活動銀河核形成

について招待講演をお願いしたいと考えております。

お引き受けいただけますでしょうか？



eXtremely Metal-Poor Galaxies (XMPGs)



HSC/ACS
F555W image of
Zw 18
 $z \sim 0.0025$
 $12+\log(\text{O}/\text{H}) \sim 7.1$
Izotov+04

“超”低金属量銀河 (XMPG)

$12+\log(\text{O}/\text{H}) < 7.65$ or

$Z_{\text{gas}} < 1/12 Z_{\text{sun}}$

(e.g., Kniazev+03, Izotov+06,
Nagao+06)

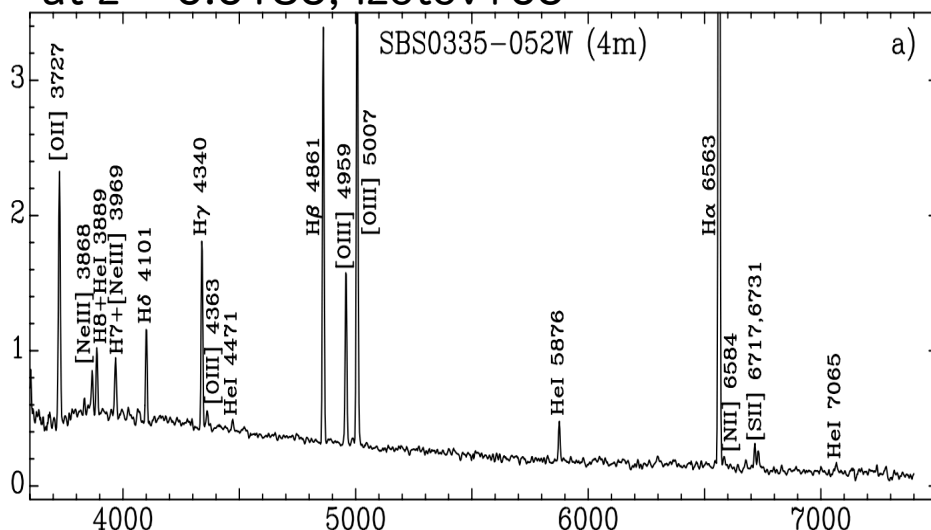
dwarf irregular galaxies
(dlrr) の特に低金属量のもの。

a few 10^2 程度の存在が
見つかっている。遠方宇宙でも

$z \sim 1$ までちらほら報告あり
(e.g., Kakazu+07, Ly, Nagao+14)

SBS 0335-052 ($12+\log(\text{O}/\text{H}) \sim 7.2$)

at $z \sim 0.0135$; Izotov+05

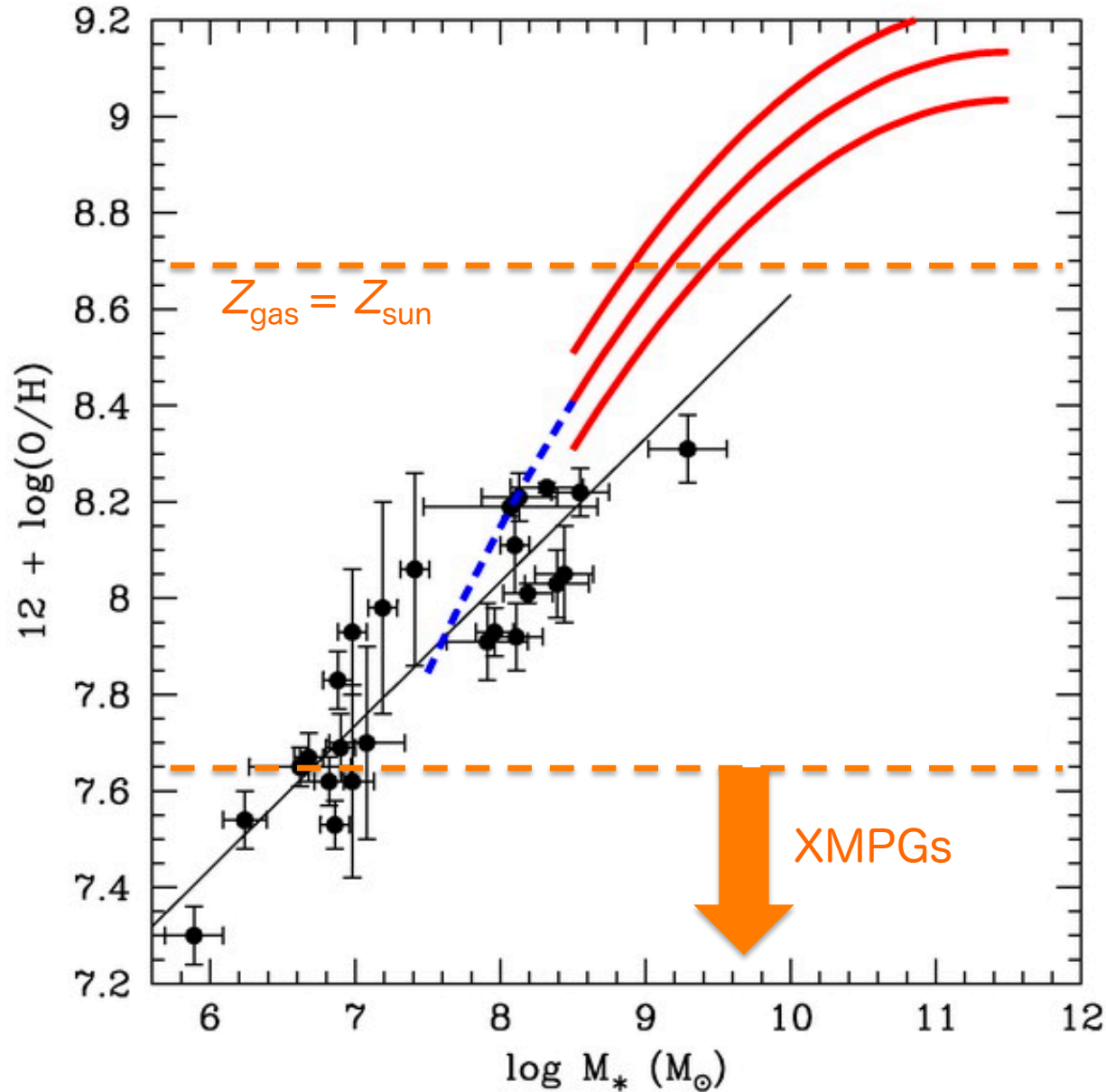


星質量も非常に軽い。

$M_{\text{stellar}} \sim 10^{6-7} M_{\text{sun}}$
(e.g., Lee+06)



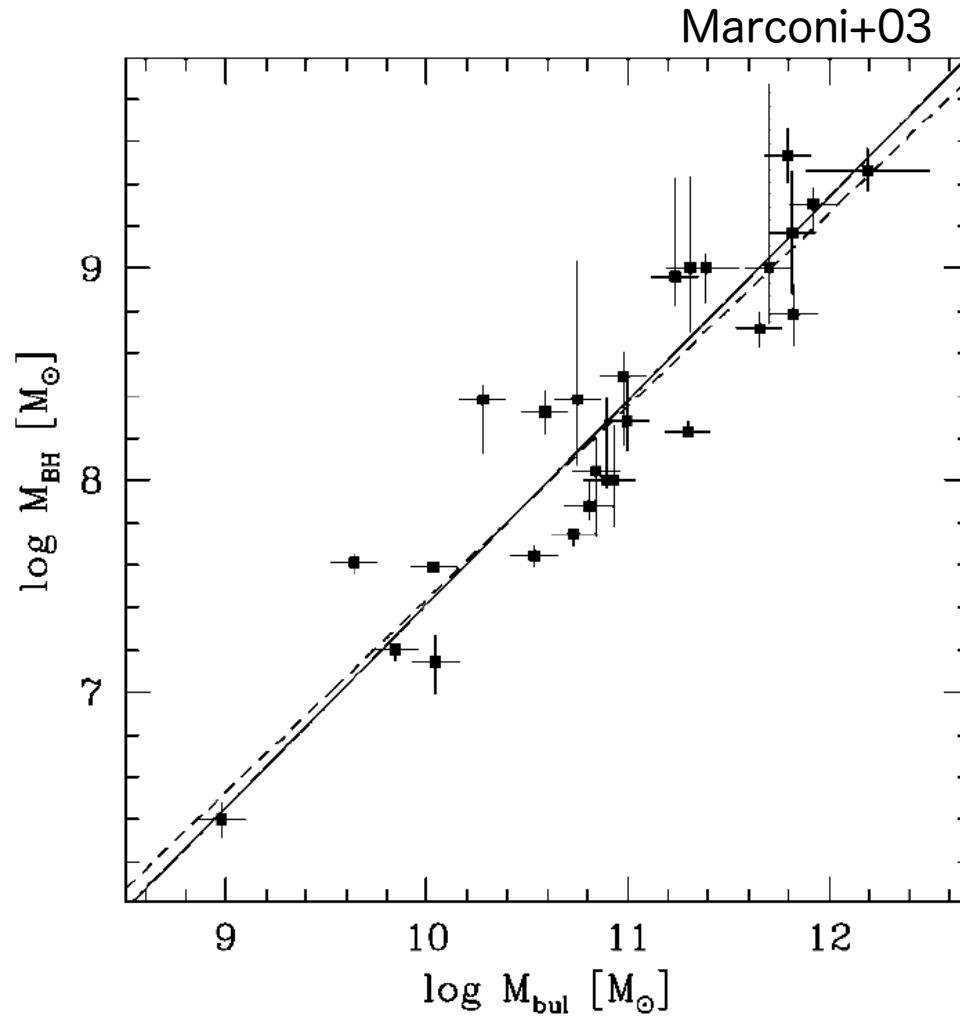
eXtremely Metal-Poor Galaxies (XMPGs)



Lee+06
Spitzer observations
for some dlrr galaxies



AGN host galaxies



AGNのSMBH質量と母銀河
(のバルジ成分)の質量は正の
相関 → “共進化” を示唆

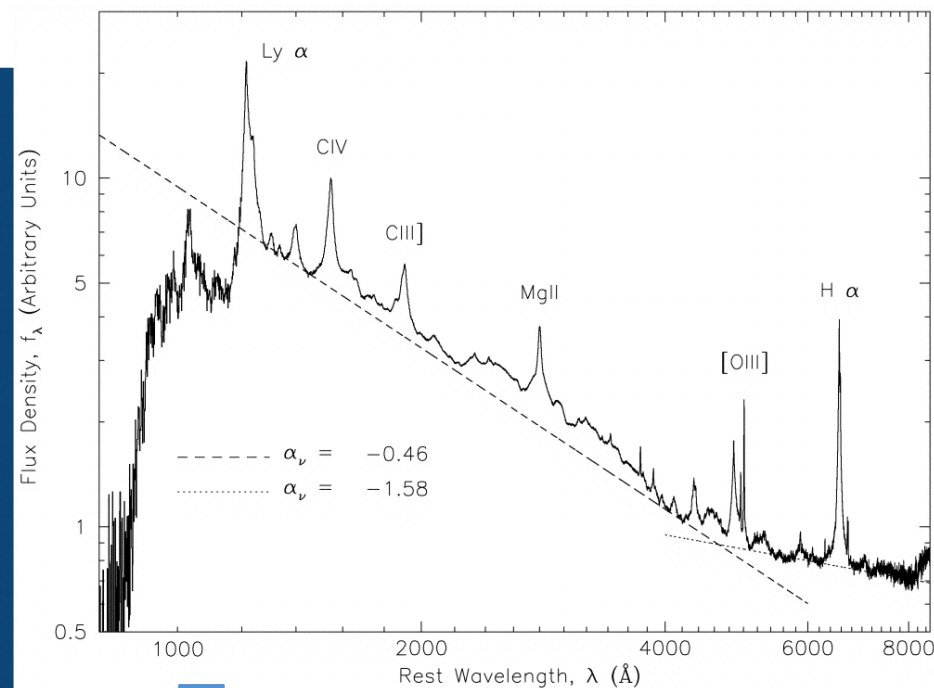
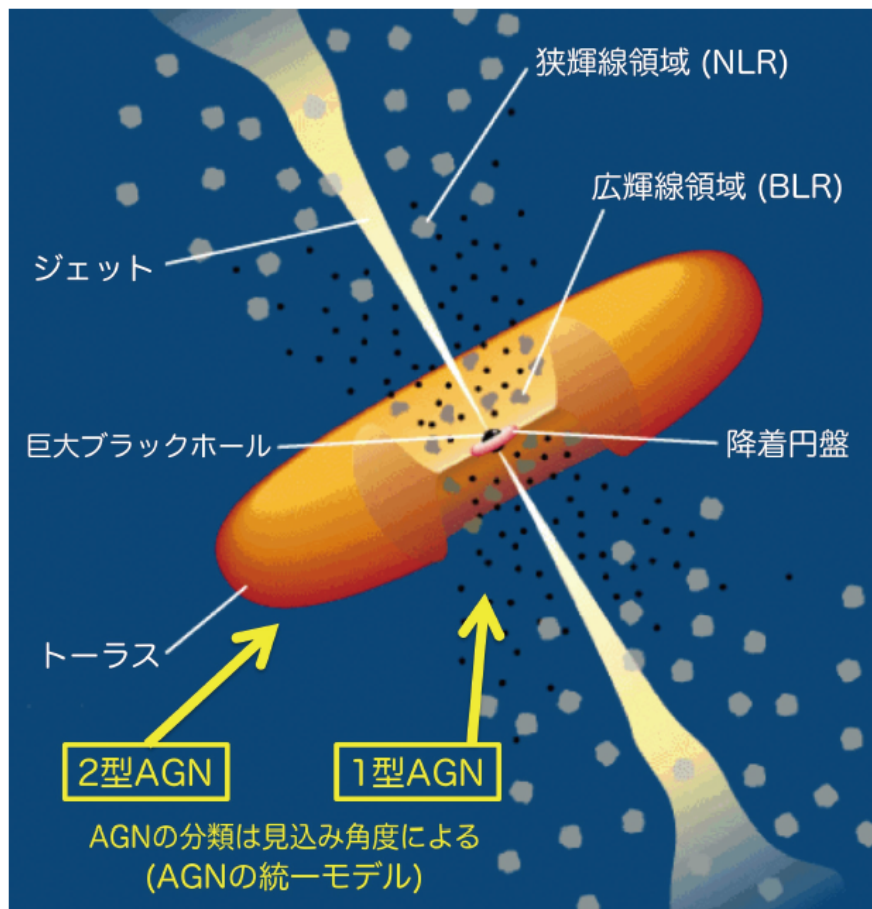
$$M_{\text{BH}}/M_{\text{bulge}} \sim 0.2\%$$

多くの場合 $M_{\text{BH}} > 10^7 M_{\text{sun}}$
→ $M_{\text{bulge}} > 10^{10} M_{\text{sun}}$

AGN母銀河は、結構立派。

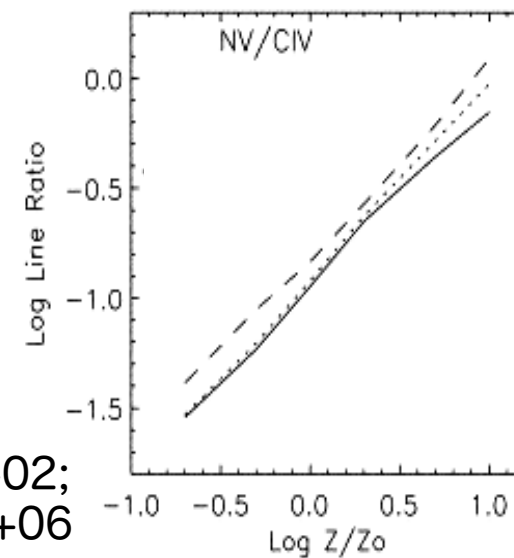


AGN metallicity?



Vanden Berk et al. (2001)

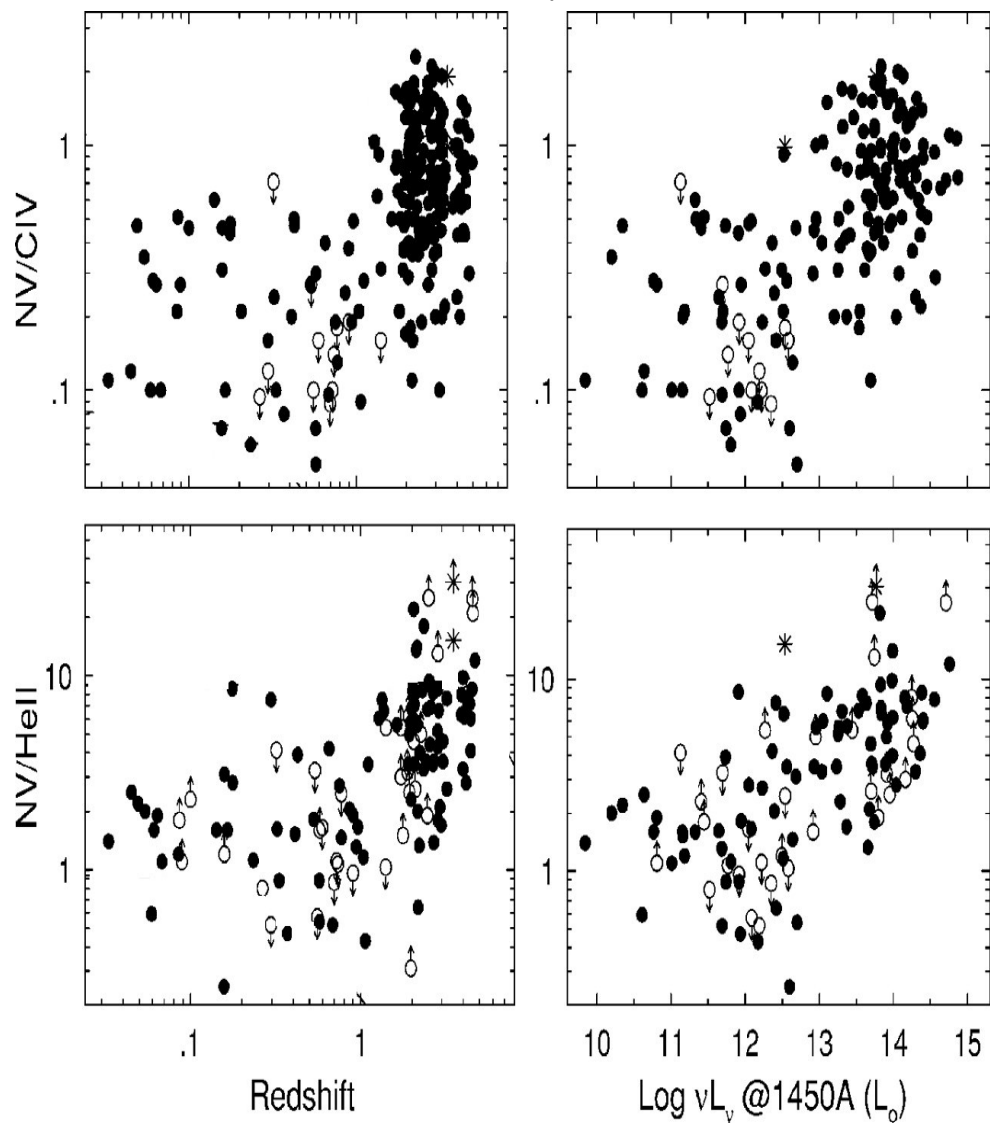
光電離モデル
for
BLR clouds



Hamann+02;
see also Nagao+06



BLR metallicity



← 10 Z_{sun} (!?)

← 1 Z_{sun}

- BLRの金属量は太陽金属量より高く、 Z_{sun} の10倍にも達する
- 高赤方偏移のAGNほど高いBLR metallicity を示す
- 高光度AGNほど高いBLR metallicity を示す
- ただし、高赤方偏移ほど選択的に明るいものばかり観測をしている、というバイアスがあるので、赤方偏移と光度のどちらが重要なのか不明瞭



BLR metallicity: SDSS view

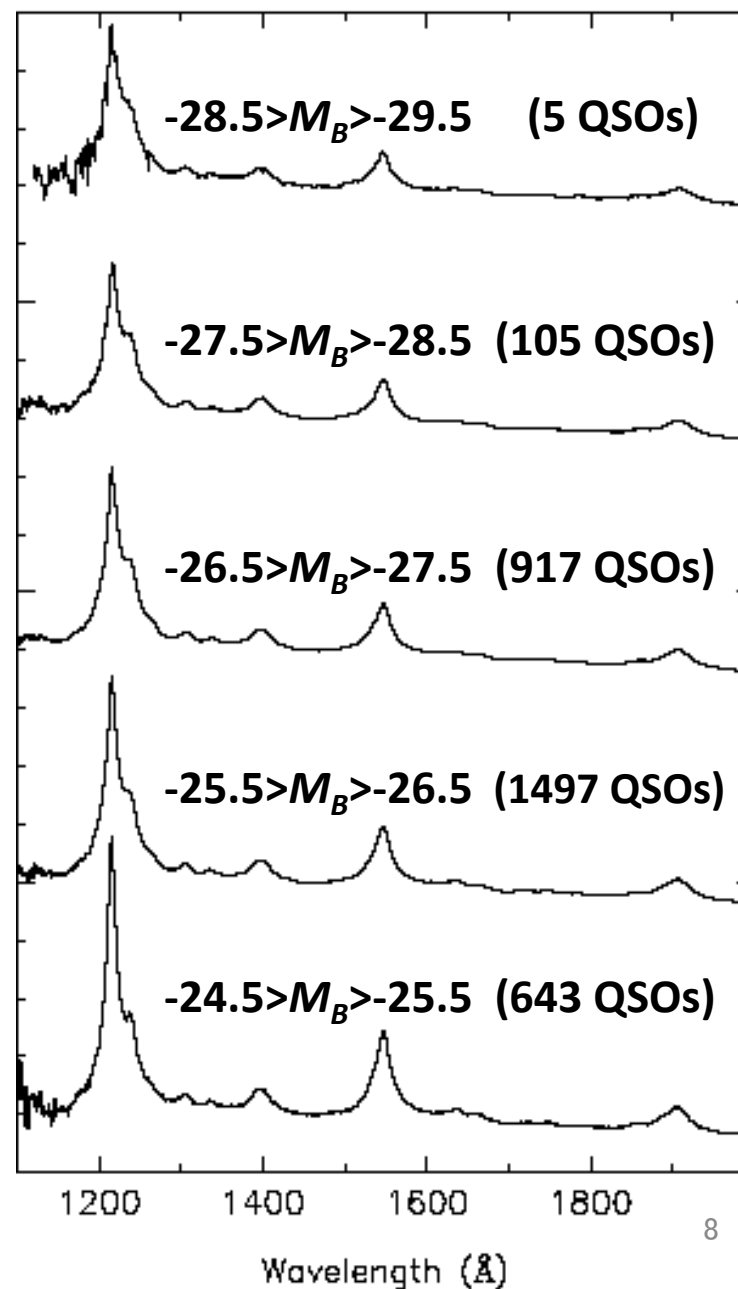
SDSS DR2 QSO at $2.0 < z < 4.5$

→ 5344 objects

	$2.0 \leq z < 2.5$	$2.5 \leq z < 3.0$
$-24.5 > M_B \geq -25.5$	643	50
$-25.5 > M_B \geq -26.5$	1497	284
$-26.5 > M_B \geq -27.5$	917	385
$-27.5 > M_B \geq -28.5$	105	71
$-28.5 > M_B \geq -29.5$	5	11

	$3.0 \leq z < 3.5$	$3.5 \leq z < 4.0$	$4.0 \leq z < 4.5$	Total
1	0	0	0	694
332	153	25	2291	
323	222	120	1967	
76	53	45	350	
16	5	3	40	

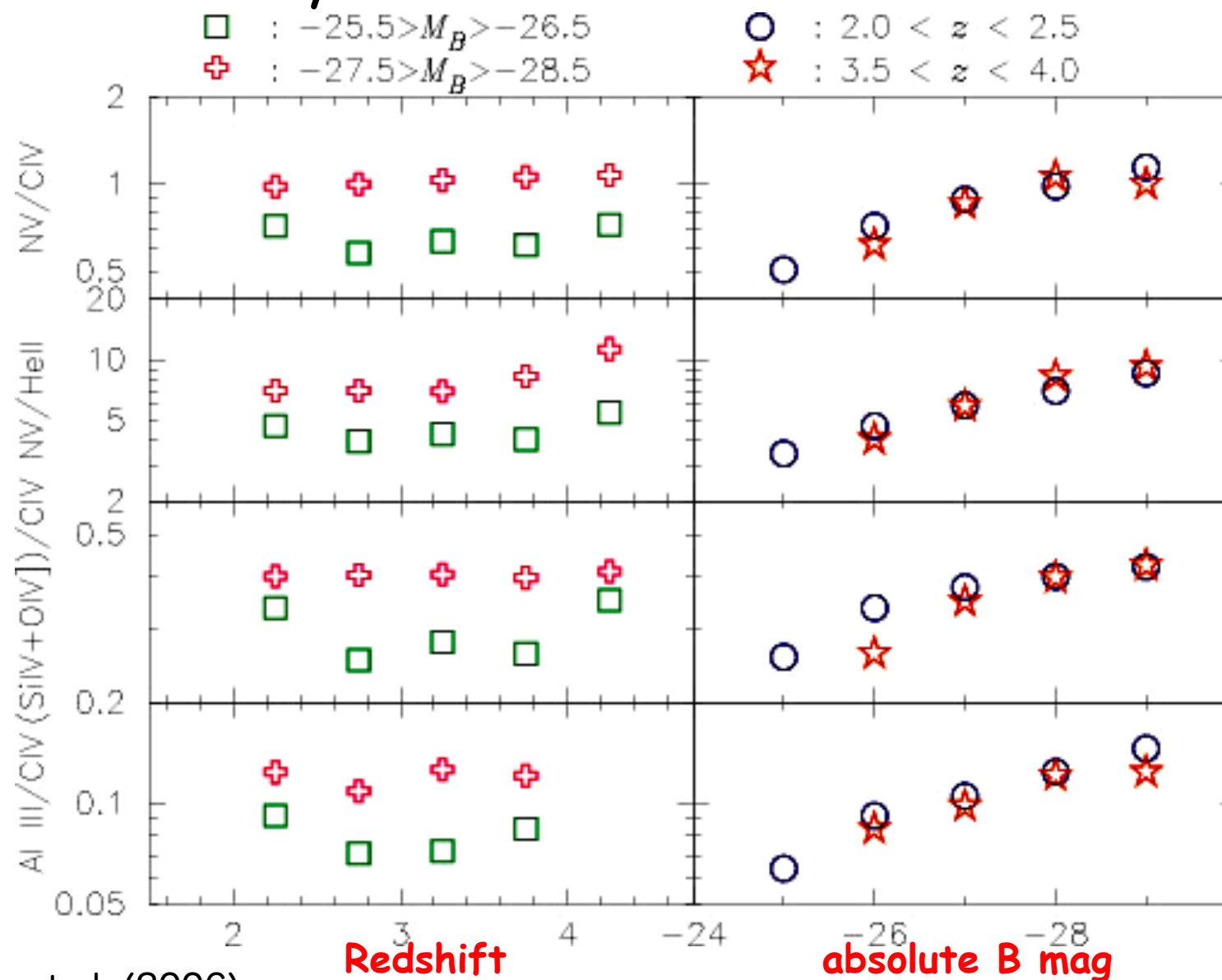
example:
Composites at $2.0 < z < 2.5$



Nagao, Marconi, and Maiolino (2006)



BLR metallicity: SDSS view

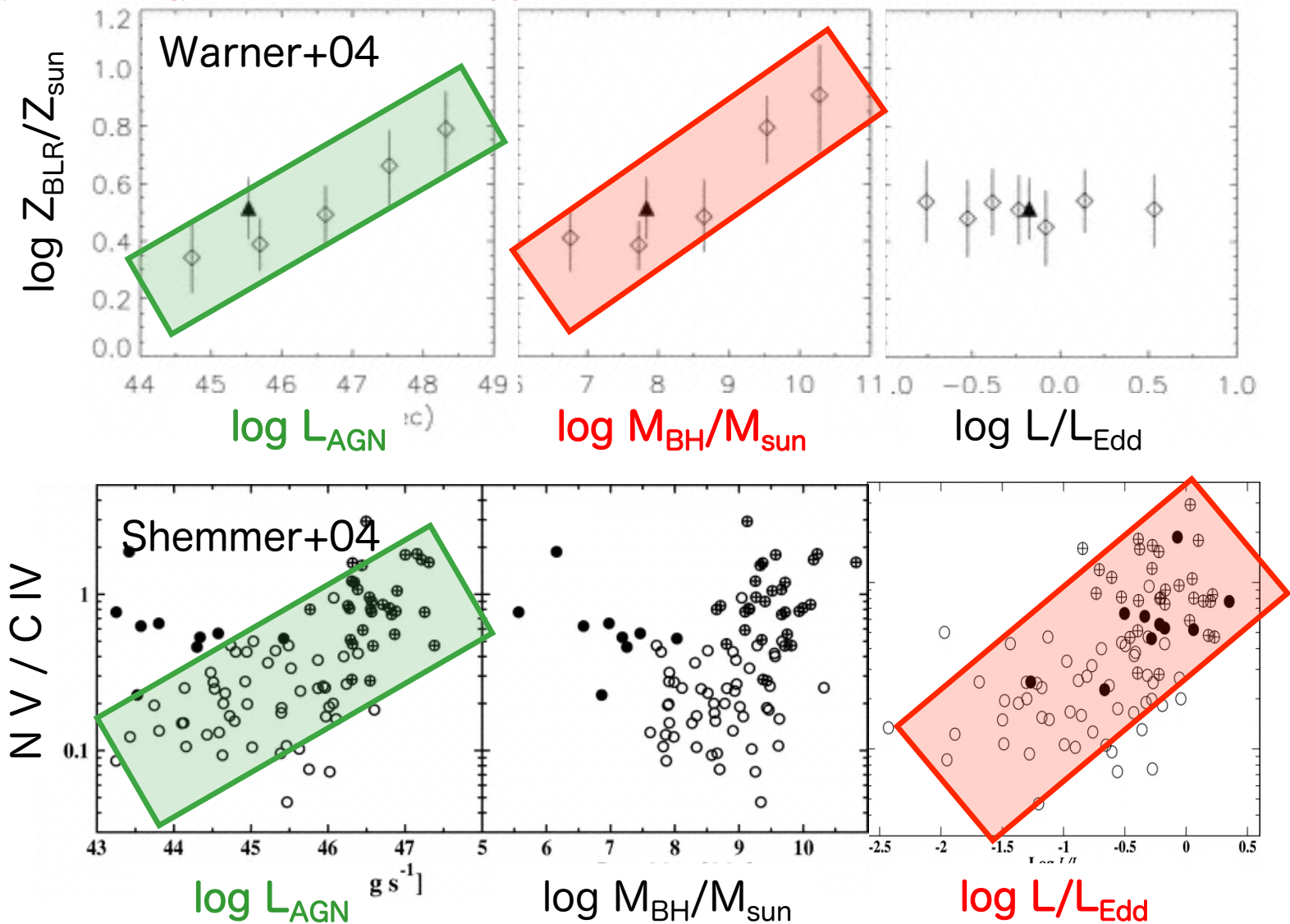


Nagao et al. (2006)



BLR metallicity: Origin of the $L_{\text{AGN}}-Z_{\text{BLR}}$ relation

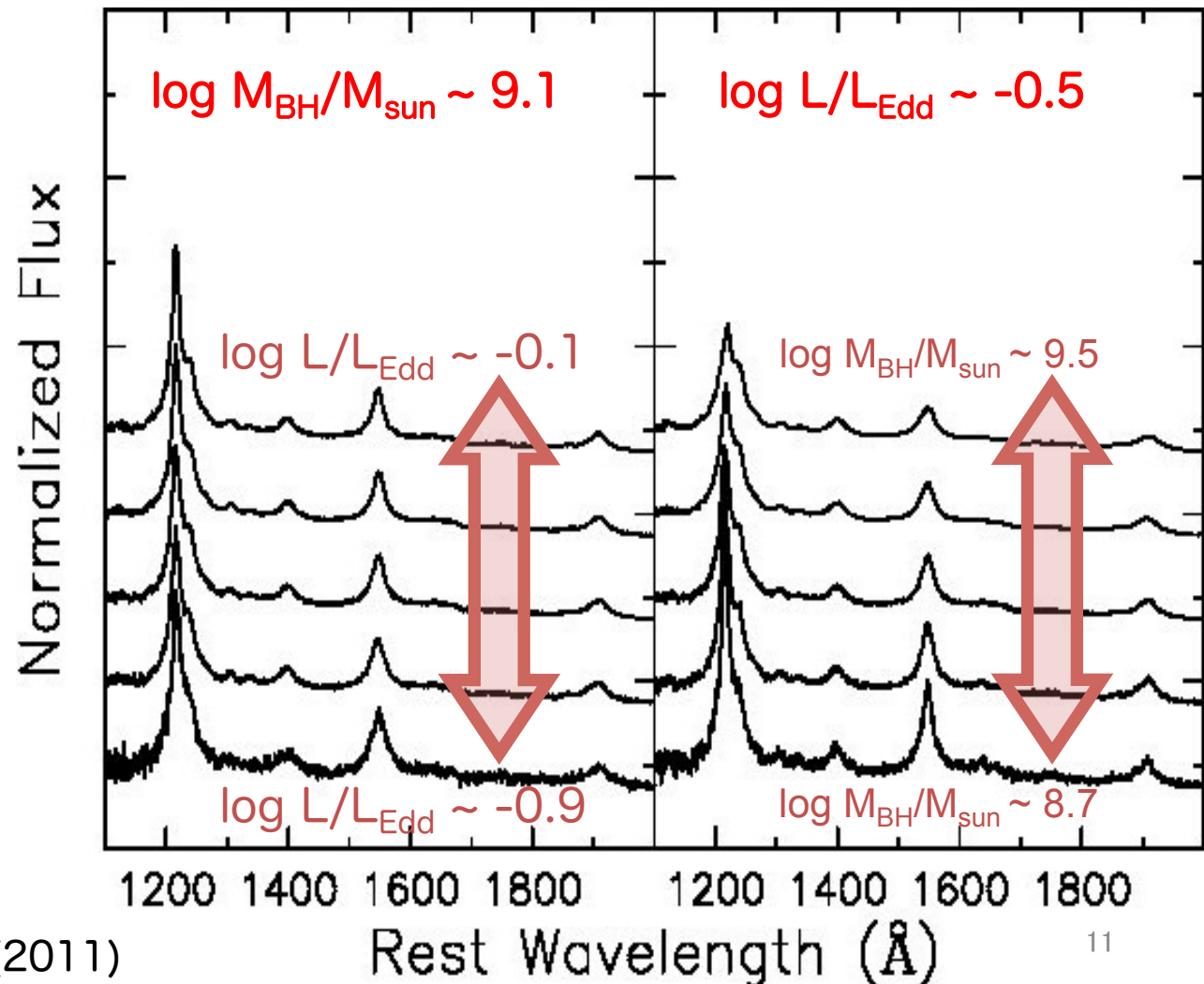
$$L_{\text{AGN}} = L_{\text{AGN}}(M_{\text{BH}}, L/L_{\text{Edd}})$$



BLR metallicity: Origin of the $L_{\text{AGN}}-Z_{\text{BLR}}$ relation



- 2677 QSOs at $2.3 < z < 3.0$ from the SDSS DR7 quasar catalog
- Making “composite” spectra for each $(M_{\text{BH}}, L/L_{\text{Edd}})$ bin

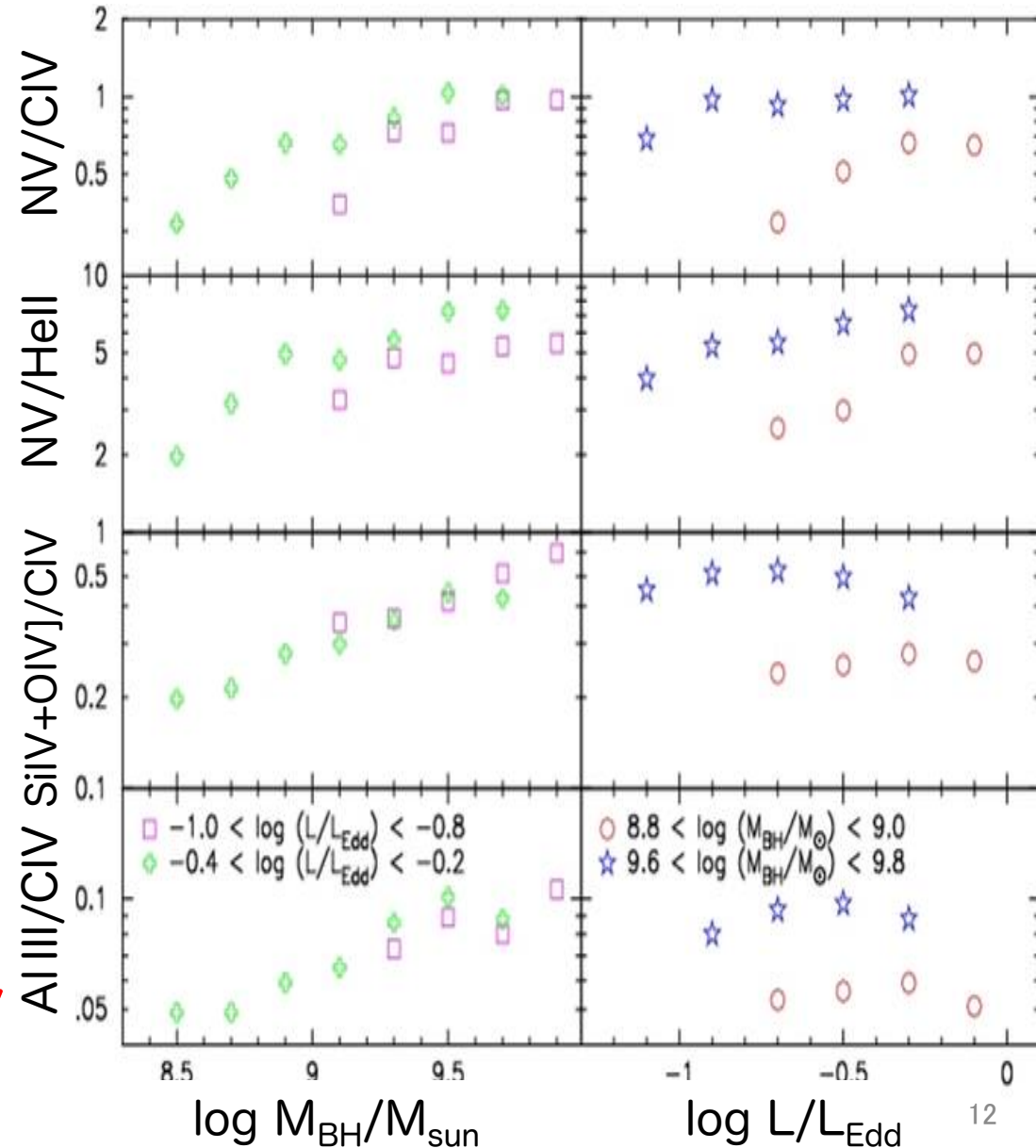


BLR metallicity: Origin of the $L_{\text{AGN}}-Z_{\text{BLR}}$ relation



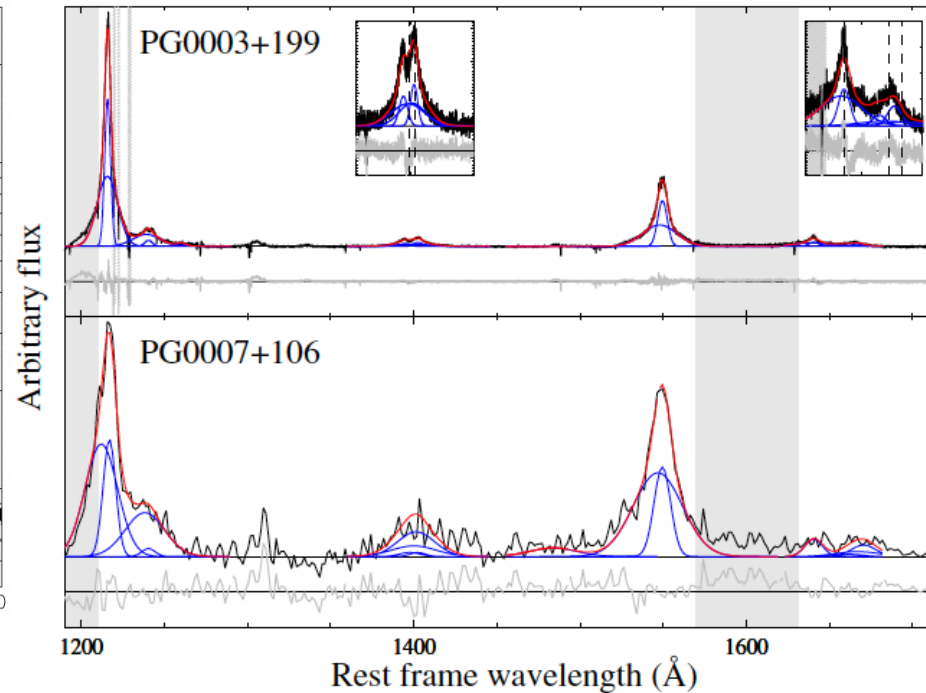
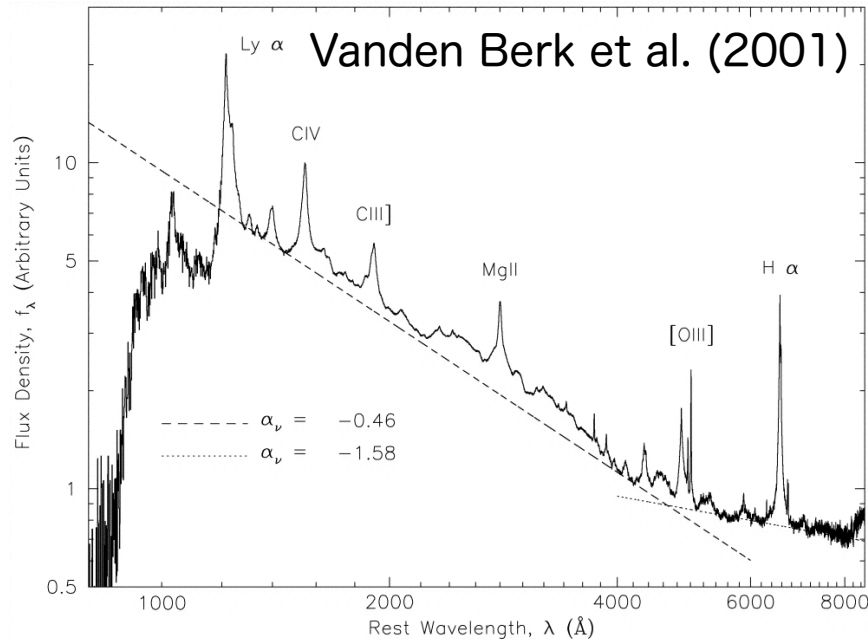
Matsuoka, Nagao, et al. (2011)

- Positive correlation between Z_{BLR} & M_{BH}
- Only weak correlation between Z_{BLR} & L/L_{Edd}
- The L-Z relation is caused by the relation between the BH mass and Metallicity
- Suggesting a strong connection with the galaxy mass-metallicity relation





BLR metallicity: at lower redshifts?



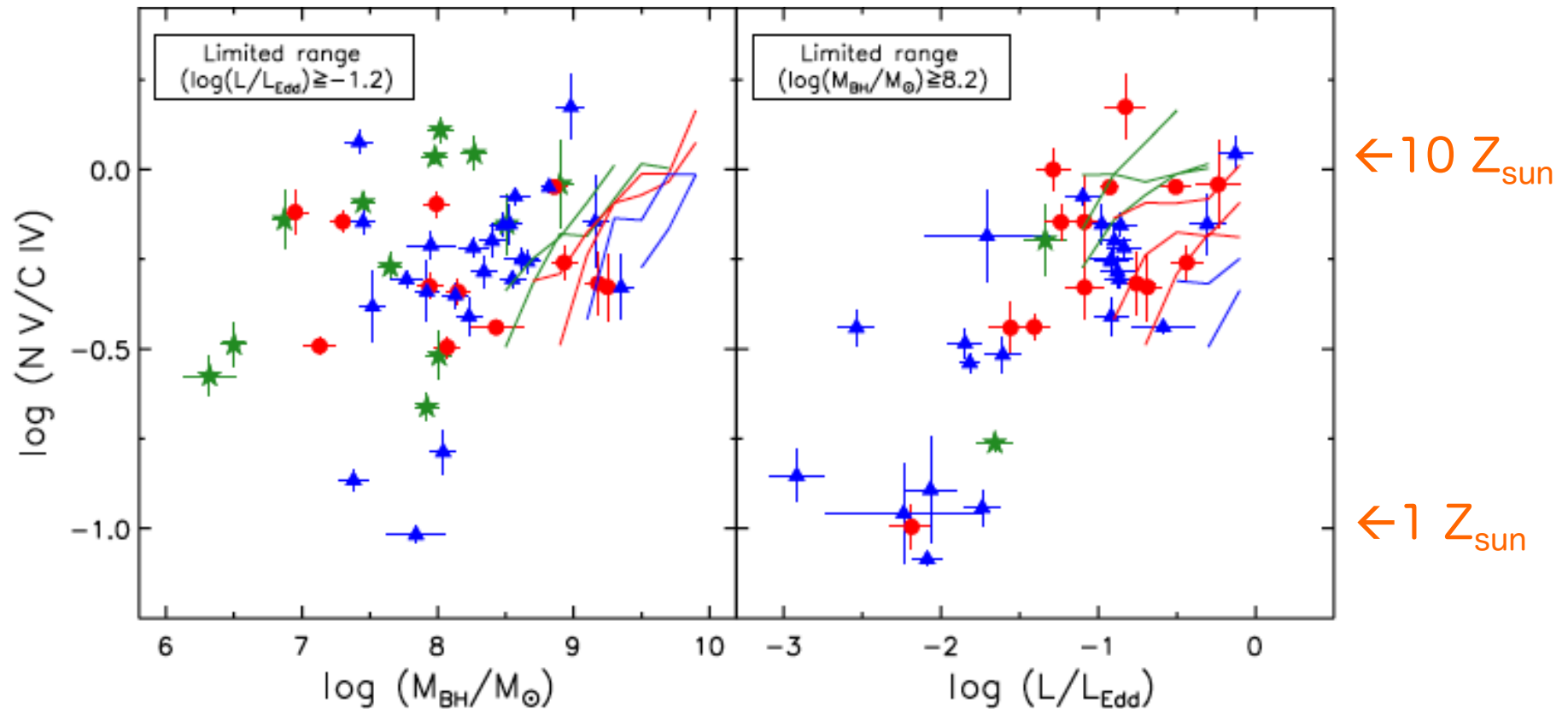
BLRからの輝線のほとんどは
静止系紫外線で放射されるので
low-z AGN で BLR 金属量を
診断することは一般に困難
(地上観測が無理なので)。

HST, IUE など UV分光した
近傍AGN (PG QSOなど) の
UV spectraをアーカイブで収集
(HST 40天体、IUE 30天体)
→ BLR 金属量を解析



BLR metallicity: at lower redshifts?

Shin, Woo, and Nagao (2013)



天体数が少なく stacking analysis ができないため、天体の個性が支配的で傾向など分かりにくい。が、low z では high z と違い M_{BH} ではなく L/L_{Edd} が BLR 金属量を決定している？
いずれにせよ low z でも $Z_{BLR} > Z_{\text{sun}}$ 、場合により $\sim 10 Z_{\text{sun}}$ に至る。

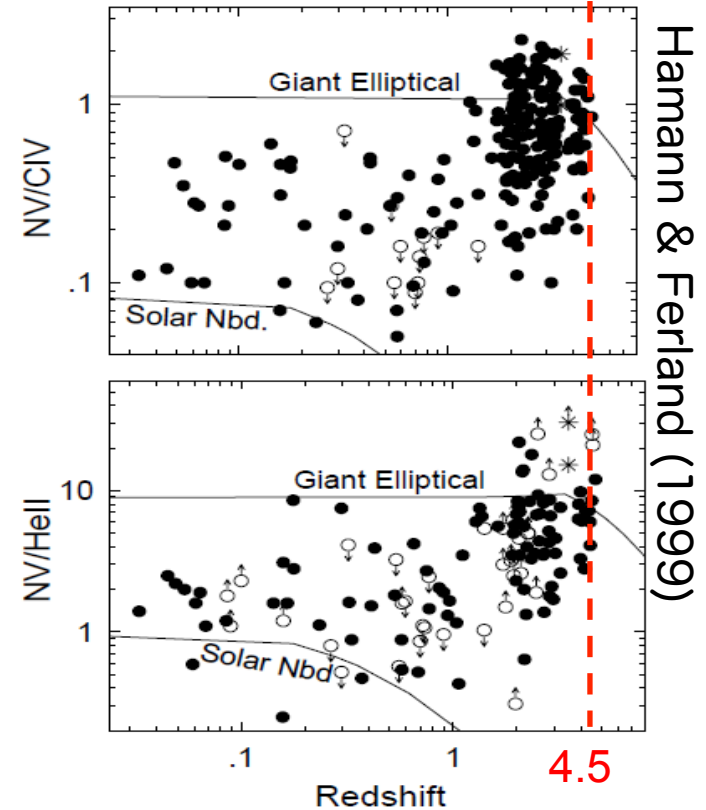


BLR metallicity: at higher redshifts?

- Requiring NIR coverage (but feasible)
- Requiring good targets at $z > 5$ (now we have many, thanks to SDSS)
- A metallicity decrease is predicted...

Table 1. (SiIV+OIV)/CIV measurements.

Name	z	(SiIV+OIV)/CIV	$\log \lambda L_{44}^a$
SDSS J000239.4+255035	5.80	0.61 ± 0.12	46.93
SDSS J000552.3-000656	5.85	0.34 ± 0.06	46.20
SDSS J001714.66-100055.4 ^b	5.01	0.58 ± 0.07	46.56
SDSS J012004.82+141108.2 ^b	4.73	0.32 ± 0.03	46.09
SDSS J015642.11+141944.3 ^b	4.32	0.16 ± 0.03	46.62
SDSS J023137.6-072855	5.41	0.29 ± 0.07	46.56
SDSS J023923.47-081005.1 ^b	4.02	0.23 ± 0.04	46.58
SDSS J033829.3+002156	5.00	0.97 ± 0.29	46.46
SDSS J075618.1+410408	5.07	0.80 ± 0.15	46.53
SDSS J083643.8+005453	5.80	0.63 ± 0.16	46.97
SDSS J085210.89+535948.9 ^b	4.22	0.42 ± 0.04	46.53
SDSS J095707.67+061059.5	5.16	0.70 ± 0.14	46.65
SDSSp J102119.16-030937.2	4.70	0.35 ± 0.12	46.58
SDSS J103027.1+052455	6.28	0.59 ± 0.20	46.68
SDSS J104433.04-012502.2 ^b	5.78	0.40 ± 0.13	46.88
SDSS J104845.05+463718.3 ^b	6.20	0.42 ± 0.20	46.81
SDSS J114816.6+525150	6.40	0.41 ± 0.08	46.95
SDSS J120441.7-002150	5.05	0.57 ± 0.12	46.63
SDSSp J120823.8+001028	5.27	0.63 ± 0.21	46.07
SDSS J130608.2+035626	5.99	0.38 ± 0.19	47.32
SDSS J141111.3+121737	5.93	0.57 ± 0.13	46.58
SDSS J160254.2+422823	6.07	0.53 ± 0.17	46.90
SDSS J160320.89+072104.5	4.39	0.39 ± 0.08	46.85
SDSS J160501.21-011220.6 ^b	4.92	0.37 ± 0.15	46.46
SDSS J161425.13+464028.9	5.31	0.34 ± 0.03	46.62
SDSS J162331.8+311201	6.22	0.54 ± 0.12	46.54
SDSS J162626.50+275132.4	5.20	0.30 ± 0.09	46.94
SDSS J163033.9+401210	6.06	0.23 ± 0.11	46.38
SDSS J220008.7+001744	4.77	0.55 ± 0.07	46.58
SDSS J221644.0+001348	4.99	0.29 ± 0.06	46.18

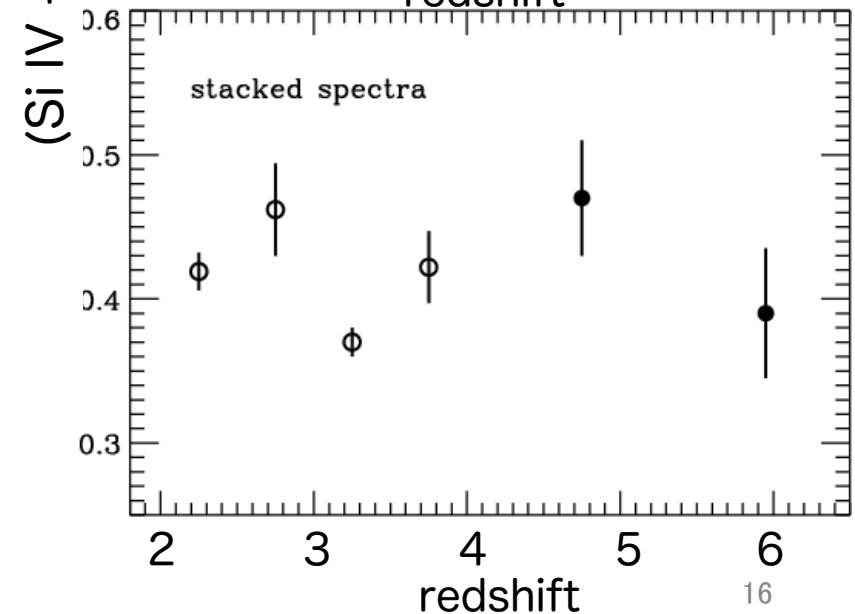
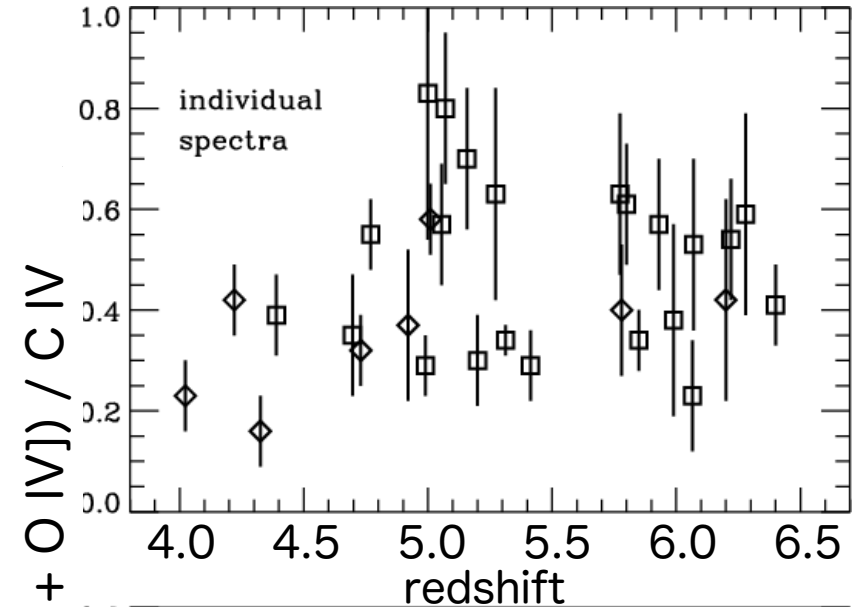
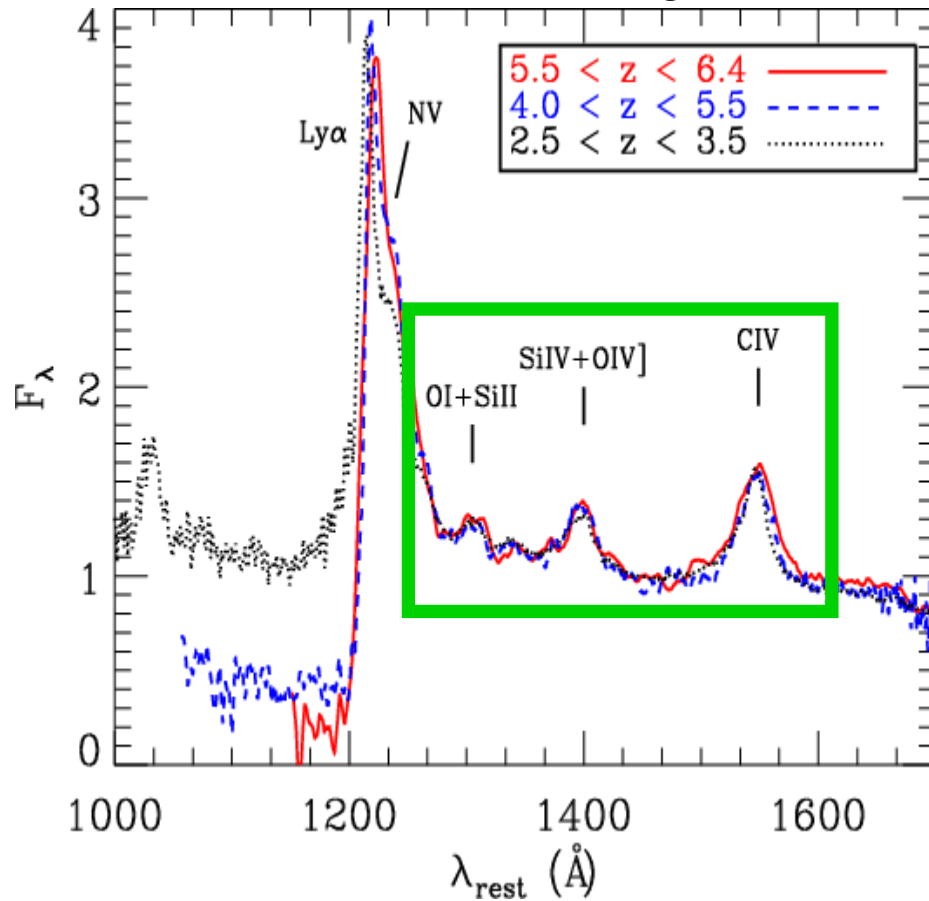


- Observations @ VLT/FORS & TNG/NICS
- Targets 30 SDSS QSOs at $4.0 < z < 6.4$ (Juarez, Maiolino, Nagao, et al. 09)



BLR metallicity: at higher redshifts?

Juarez, Maiolino, Nagao, et al. 09

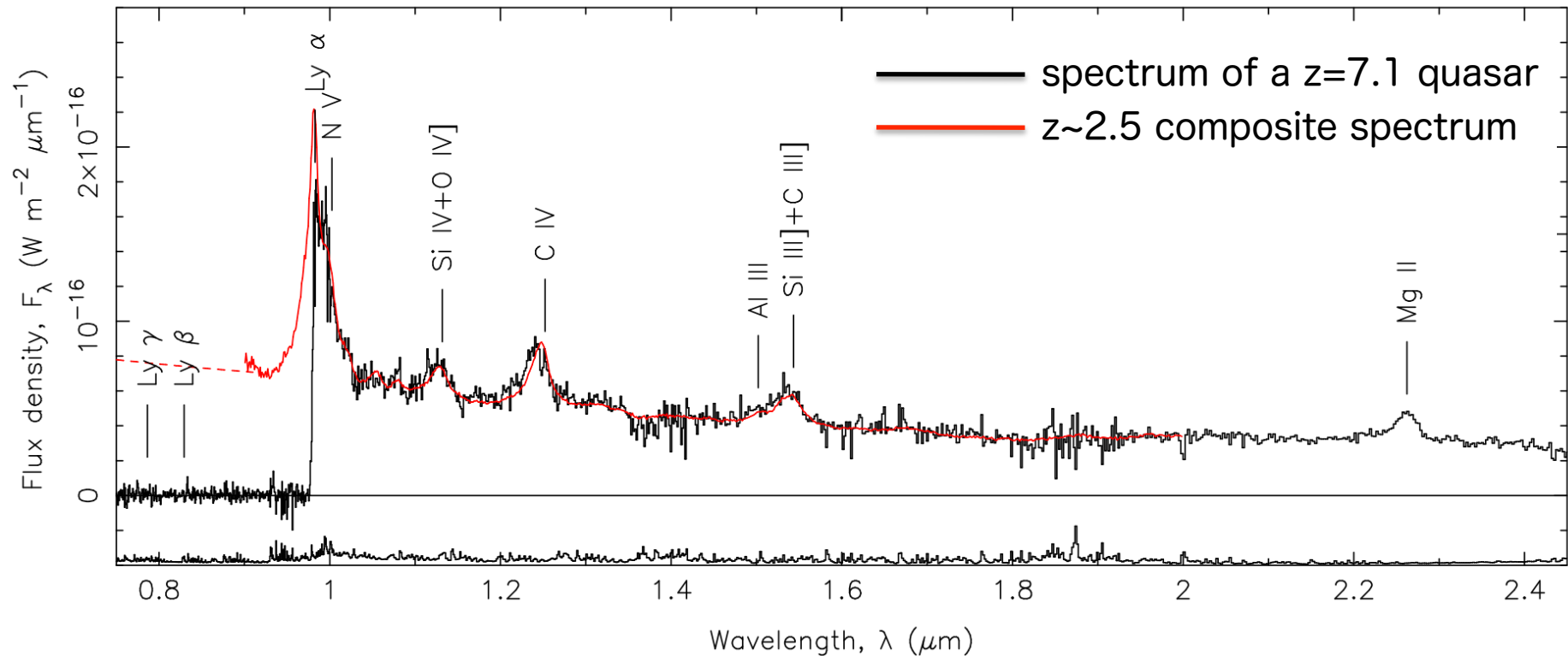


No metallicity decrease even up to $z=6.4$... ??



BLR metallicity: at much higher redshifts?

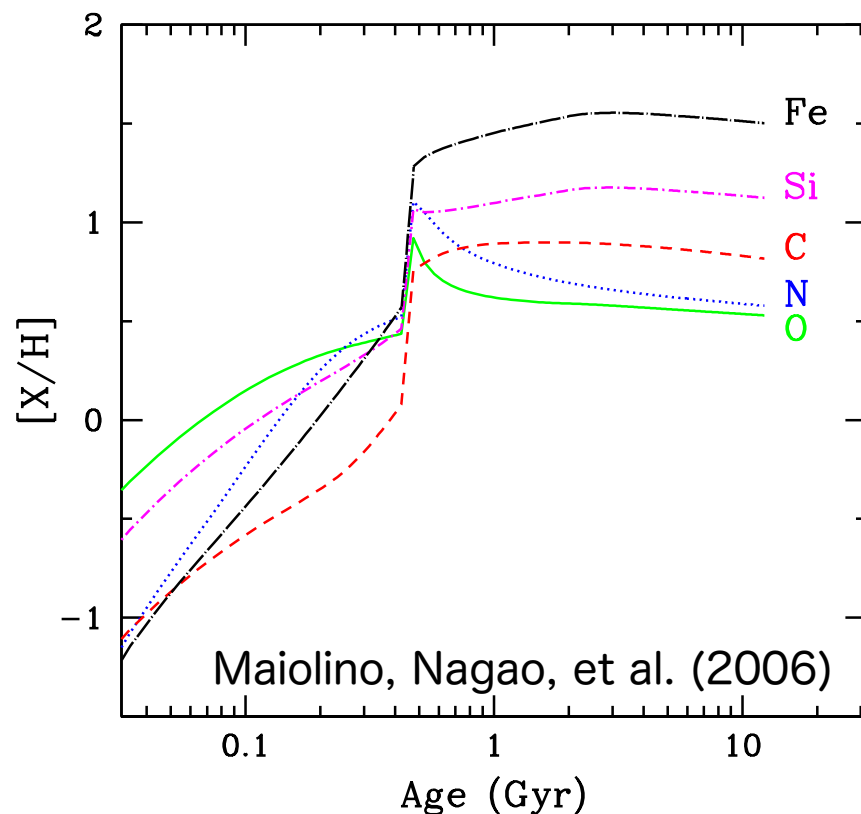
Mortlock et al. (2011)



最近の広域近赤外サーベイで見つかってきた $z \sim 7$ クェーサーのスペクトルを見ても、輝線スペクトルの様子は lower redshifts のものと大差ない (see also Venemans+13)。
SMBH質量もかなり大きい: $M_{\text{BH}} \sim 2 \times 10^9 M_{\text{sun}}$



BLR metallicity: possible concerns



$$\begin{aligned} M_{\text{BLR}} &= \frac{4\pi}{3} l^3 N_C n_e m_p \\ &= \frac{4\pi}{3} \varepsilon r^3 n_e m_p \quad (\varepsilon: \text{BLR filling factor}) \\ &\sim 10^{-3} L_{42}(\text{CIV}) M_{\text{sun}} \\ &< 100 M_{\text{sun}} \text{ for luminous quasars} \end{aligned}$$

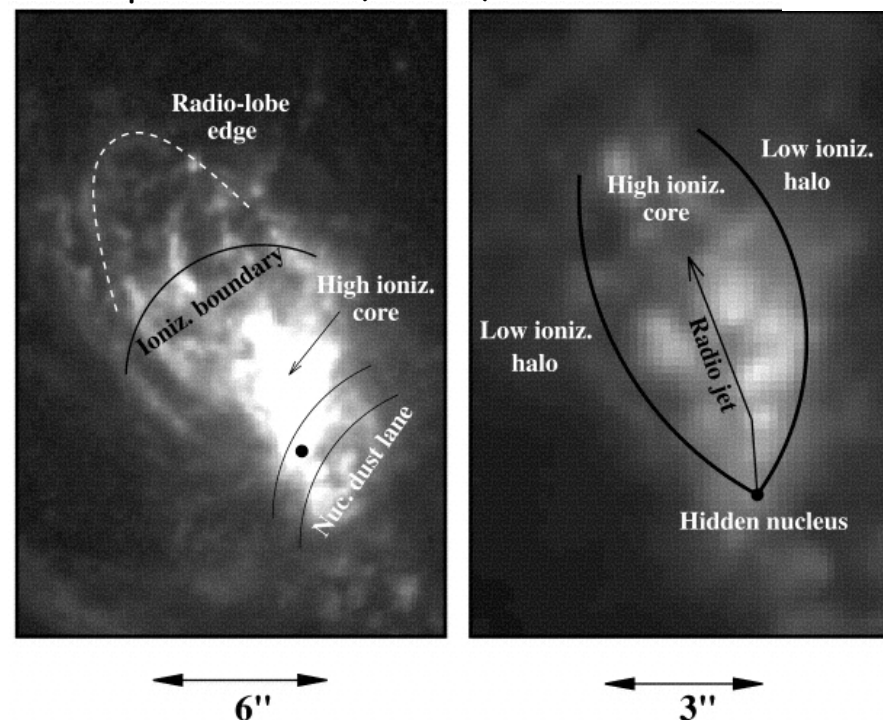
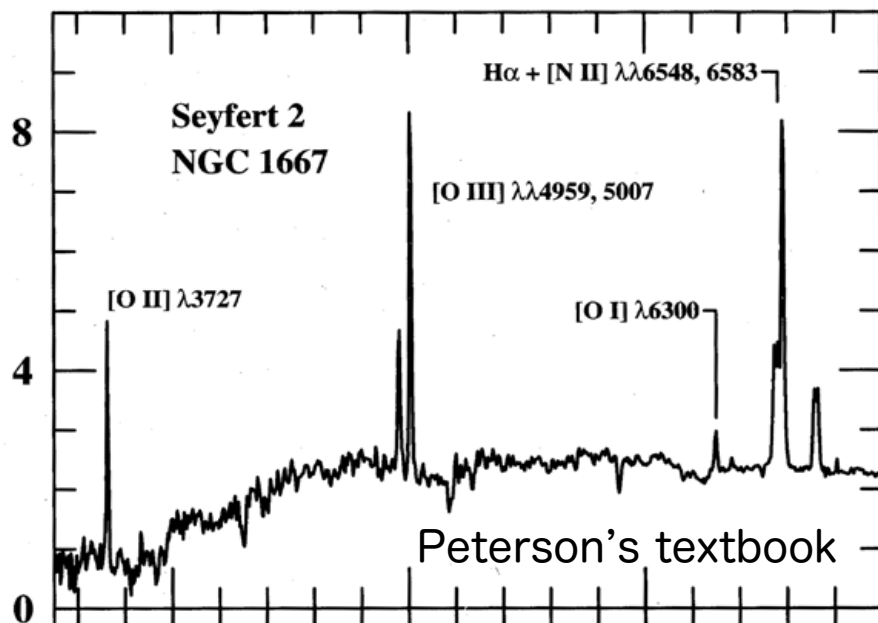
大質量銀河の化学進化を考えると、 $Z > Z_{\text{sun}}$ を実現させるには 1 Gyr 弱の時間が必要。z~7 (宇宙年齢 0.77 Gyr) で $Z > Z_{\text{sun}}$ を実現させるのは相当大変。

BLRガス雲の総量は、質量としては非常に少ない。少数の超新星爆発などの影響を受けすぎていて、母銀河としての化学進化を反映していないかも？



NLR metallicity

Capetti et al. (1997)



NLRは母銀河スケールに近い空間的広がりを持ち、ガス総量としてはBLRより何桁も大きな成分なので、母銀河の化学進化をトレースするにはBLRよりもNLRの方がよい、かもしれない。
静止系可視なので観測しやすいのも利点。
ただしNLR金属量診断方法はあまり確立されていない。



NLR metallicity: diagnostics

Nagao et al. (2006)

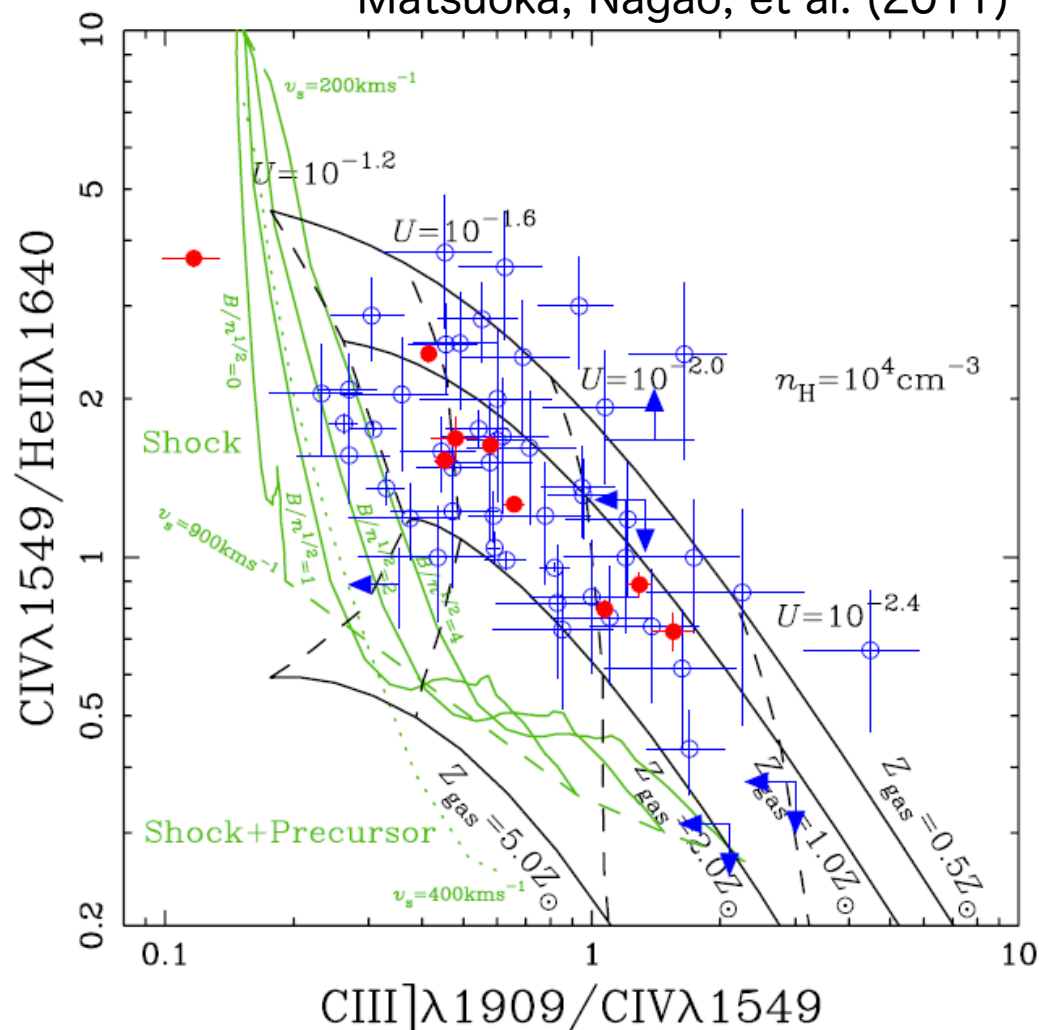
Matsuoka, Nagao, et al. (2009)

Matsuoka, Nagao, et al. (2011)

高赤方偏移でも観測されている (type-2 の)電波銀河について NLRの輝線強度比を調査し、光電離モデル計算と比較。

左図では、金属量が高いほど電離ガスの平衡温度が下がり C^{3+} の衝突励起頻度が低下して CIV emissivity が下がる事を利用して、この時、CIV emissivity は U-parameter にも依存することを横軸の $CIII] \lambda 1909 / CIV \lambda 1549$ で補正している。

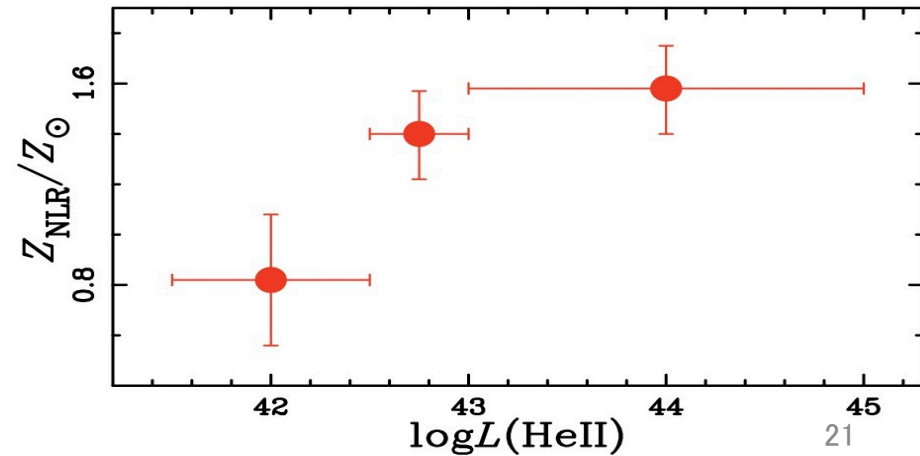
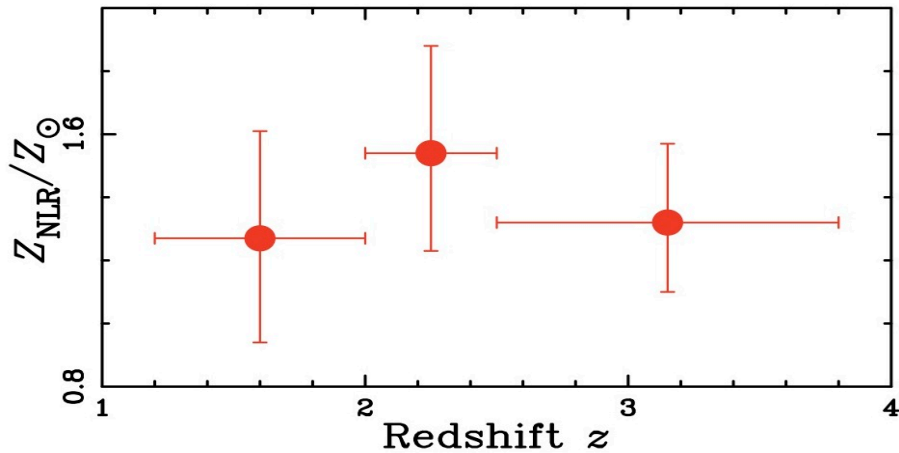
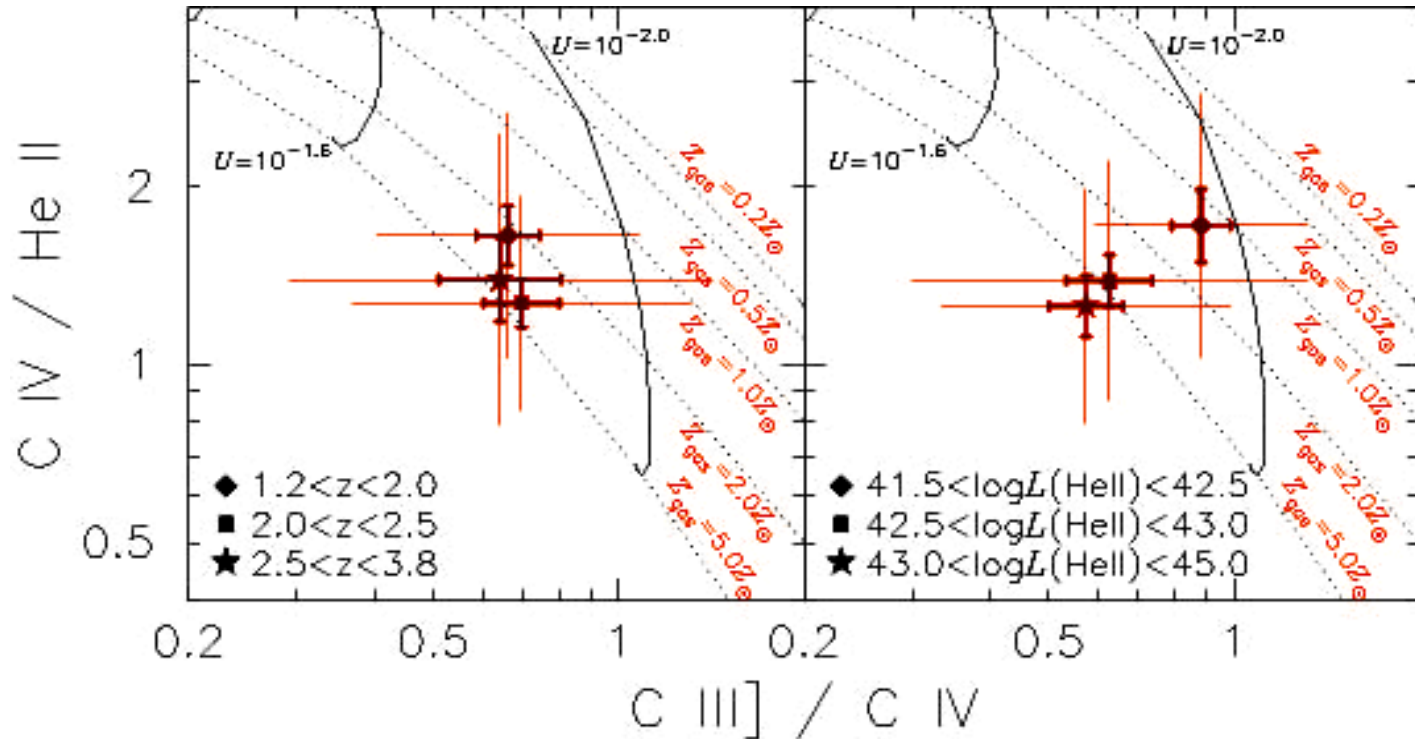
この計算ではダスト微粒子は電離ガス雲内に存在しないと仮定している。





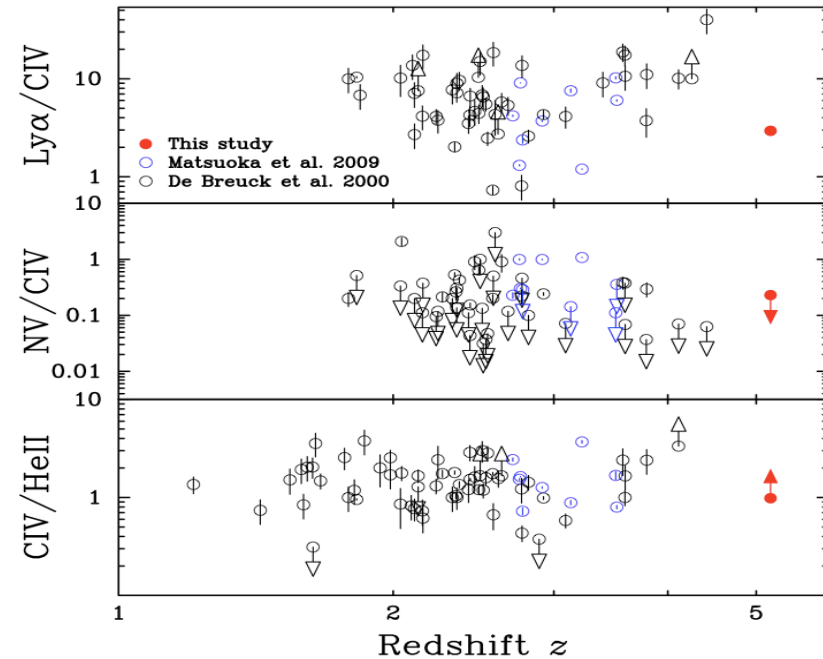
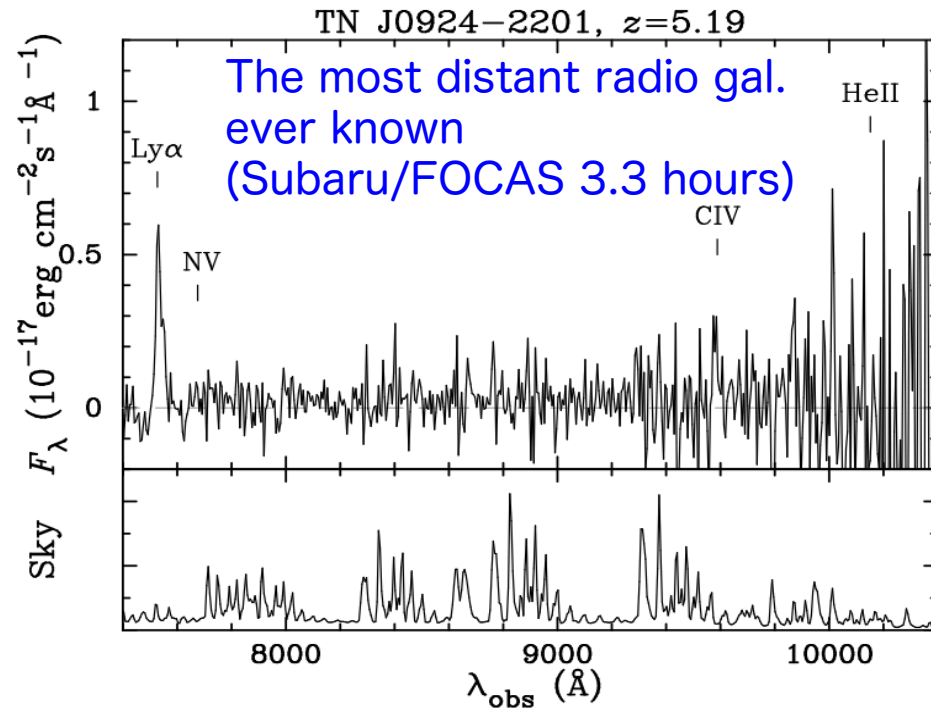
NLR metallicity: evolution

Nagao et al. (2006)
Matsuoka, Nagao, et al. (2009)





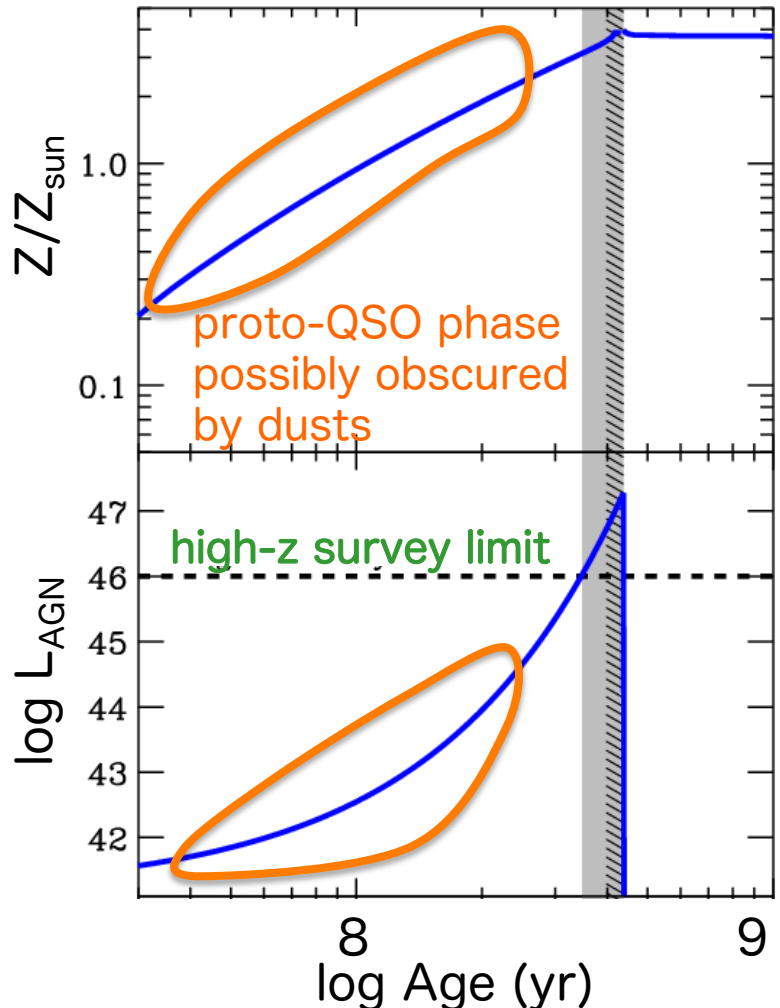
NLR metallicity: at higher- z



This highest- z radio galaxy had been already experienced a significant fraction of its chemical evolution (the C/O elemental ratio had reached at least $\sim 30\%$ of the solar value)

Matsuoka, Nagao, et al. (2011)

Why no evolution in Z_{AGN} , or why no low- Z_{AGN} objects



Galaxy-BH co-evolution models

Assuming mass-accretion events triggered by nuclear star-formation

- We see only brightest QSOs at high-z
- Sampling only well-evolved objects
- No-evolution due to selection effects?? (and those young QSOs could be dusty)

How about the metallicity in high-z low-luminosity dusty AGNs?

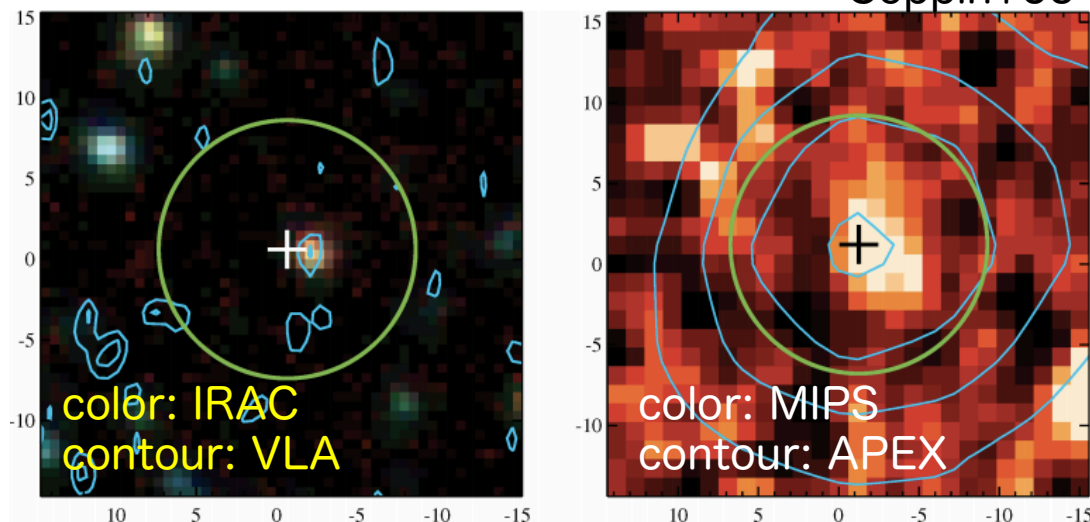
Kawakatu et al. 03,
Granato et al. 04,
Juarez, Maiolino, Nagao, et al. 09



Metallicity in high-z low-L dusty AGN

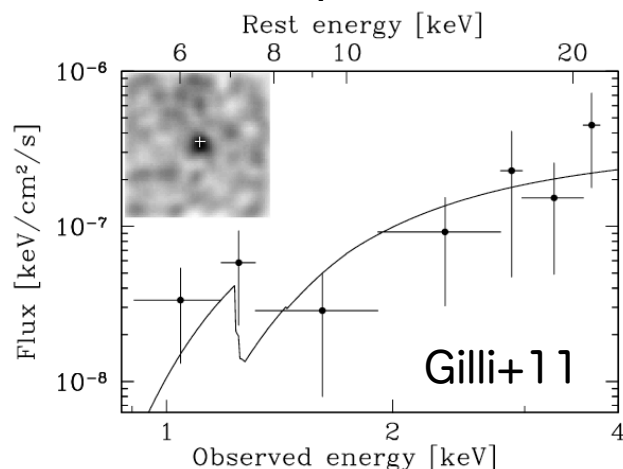
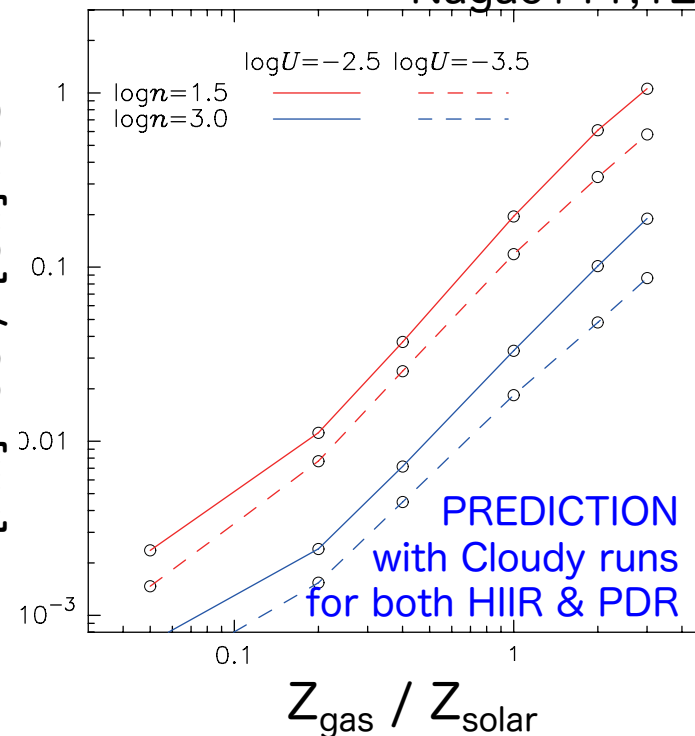
Coppin+09

Nagao+11,12



A submillimeter galaxy (SMG)
LESS J033229.4-275619 at $z=4.76$
Dusty starburst ($SFR \sim 1000 M_{\text{sun}}/\text{yr}$)
with a Compton-thick AGN (Gilli+11)

[NII]205 / [CII]158



Optical diagnostics useless for dusty objects

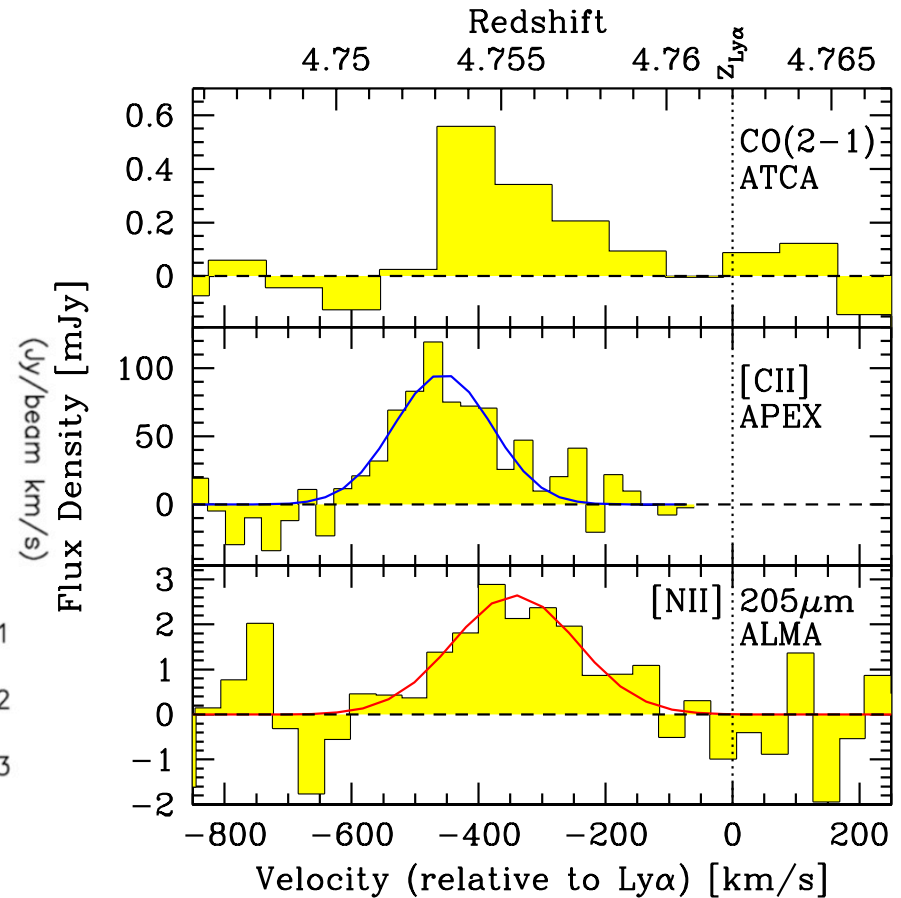
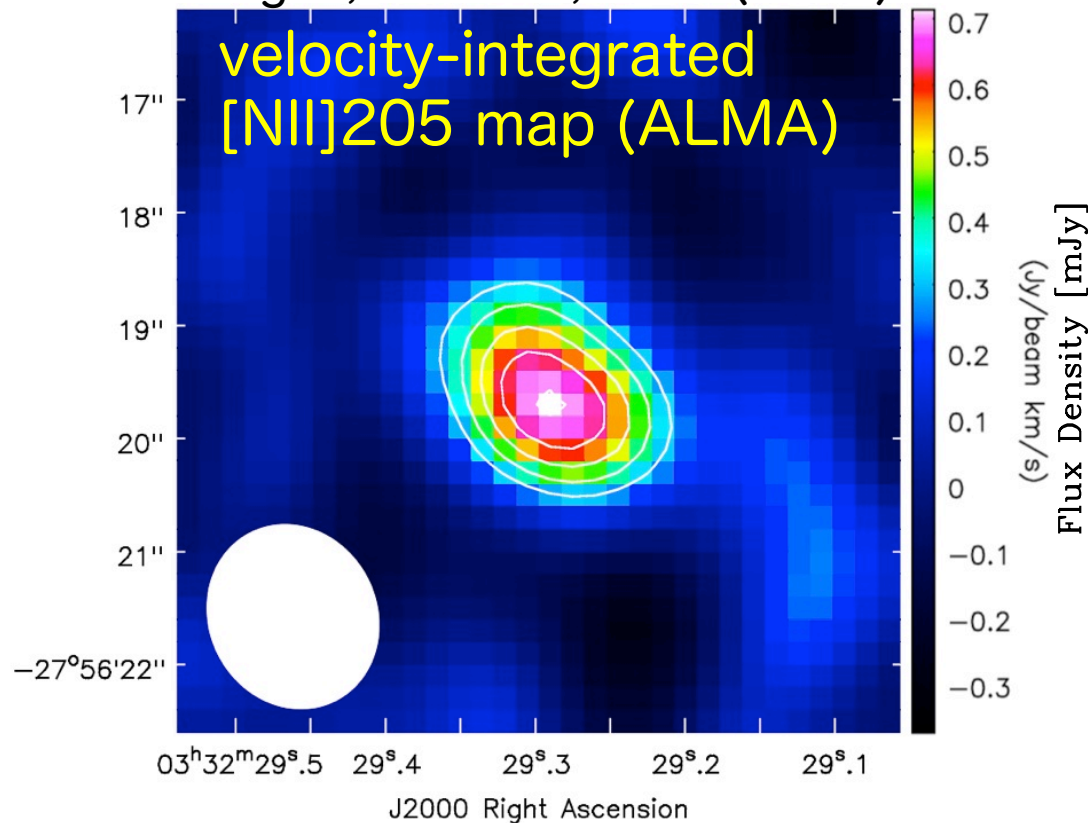
New metallicity diagnostics for dusty objects
that consist of FIR fine-structure lines

High-z \rightarrow redshifted to the ALMA frequency!
([CII] has been observed for this object with APEX)



The ALMA view

Nagao, Maiolino, et al. (2012)



ALMA cycle 0 observation
band 6, compact configuration
3.6 hours with 18 antennas

[NII] clearly detected with S/N~8
while its flux is only ~5% of [CII]
(ALMA is really powerful!!)



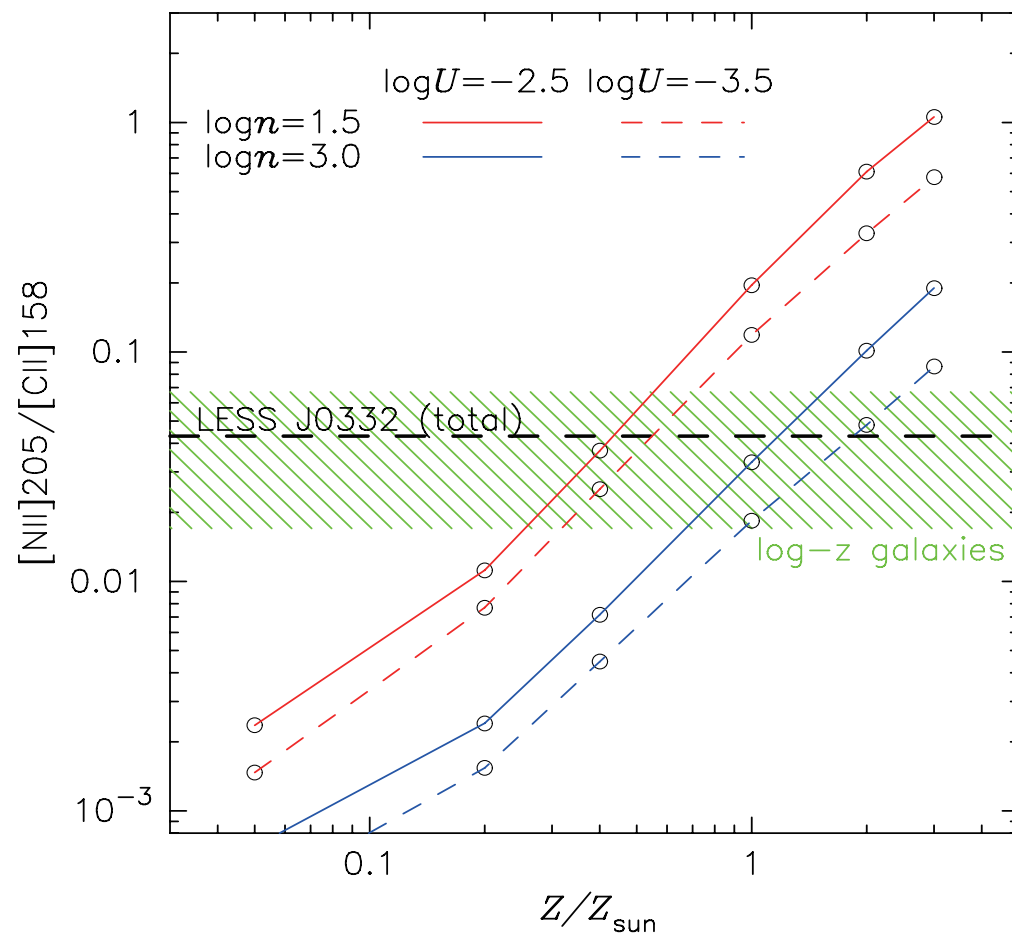
The ALMA view

The [NII]/[CII] ratio is comparable with that seen in low- z galaxies



This SMG has a substantially high metallicity ($\sim Z_{\text{sun}}$) even at $z \sim 4.76$

しかし冷静に考えてみると (考えるまでもないかも?) dusty とか言ってる時点で そこそこ metal-rich なのは 予想されることではある。

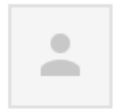


Nagao, Maiolino, et al. (2012)
(model details are given in Nagao+11)



An e-mail from Toma-san, revisited

招待講演のお願い



Kenji Toma <toma@astr.tohoku.ac.jp>

Nov 3

to Tohru ▾

長尾様、

東北大の當真です。

「初代星・初代銀河研究会」への参加ありがとうございます。

長尾さんには

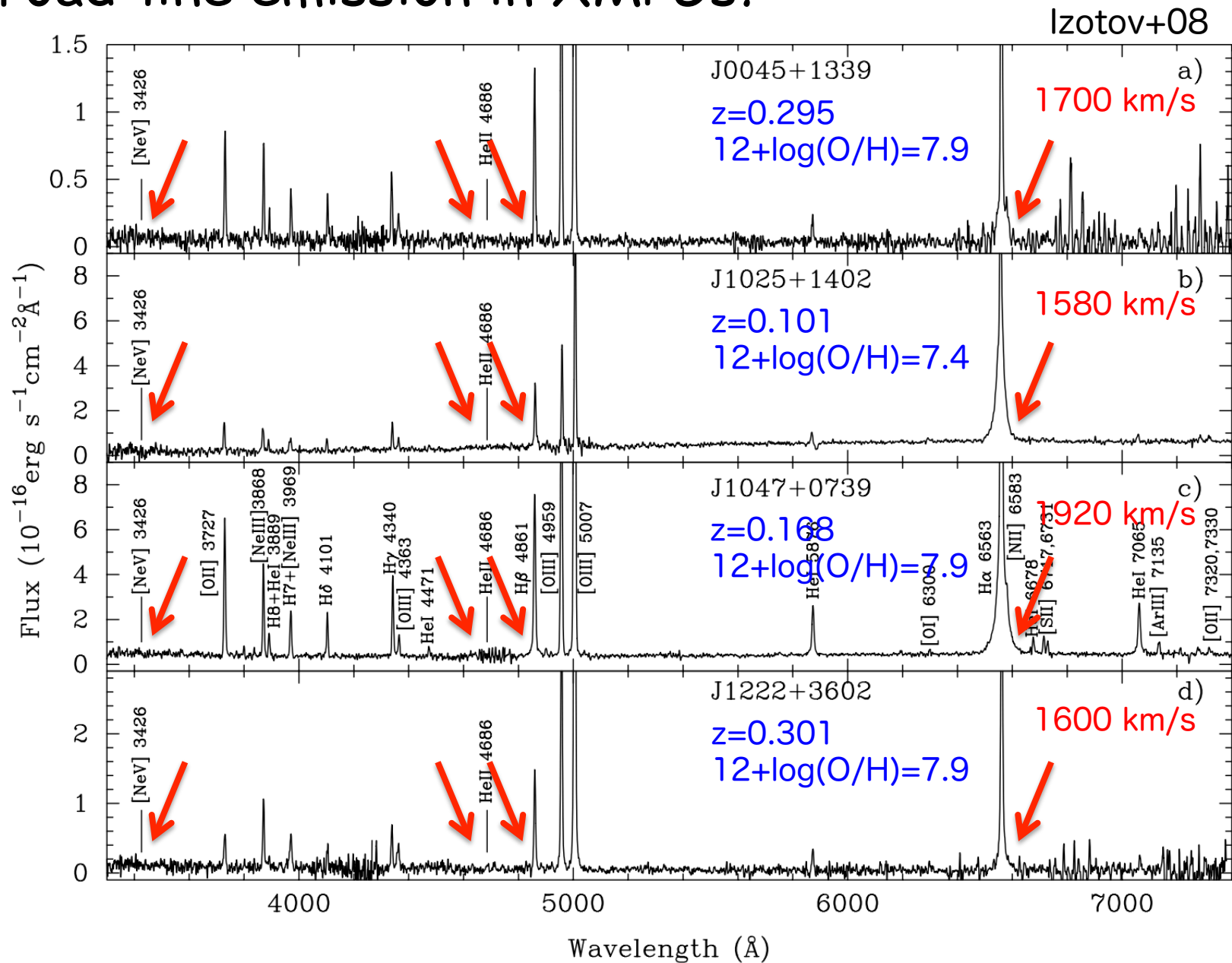
超低金属量の銀河と活動銀河核形成

について招待講演をお願いしたいと考えております。

お引き受けいただけますでしょうか？



Broad-line emission in XMPGs?





Broad-line emission in XMPGs: what are they?

WR? Winds from luminous blue variable?
SN-related something (e.g., bubbles)?

expected $L(\text{H}\alpha_{\text{broad}}) \sim 10^{36-40}$ cgs, but
observed $L(\text{H}\alpha_{\text{broad}}) \sim 10^{41.5-42}$ cgs → たぶん違う

shocks propagating in the circumstellar envelopes of
Type II In Snc?

constant $L(\text{H}\alpha_{\text{broad}})$ for 3-7 years → なので違う

BLR emission from AGN (消去法だがもっともらしそう)

→ metal-poor AGN with $\log M_{\text{BH}}/M_{\text{sun}} \sim 6 - 6.5$

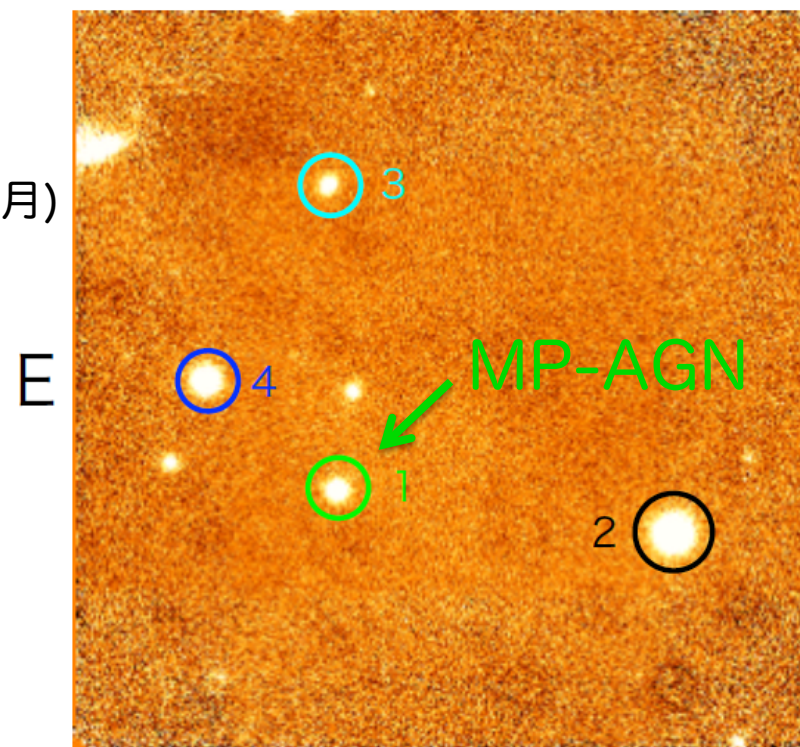


AGNs in XMPGs: Subaru NIR imaging

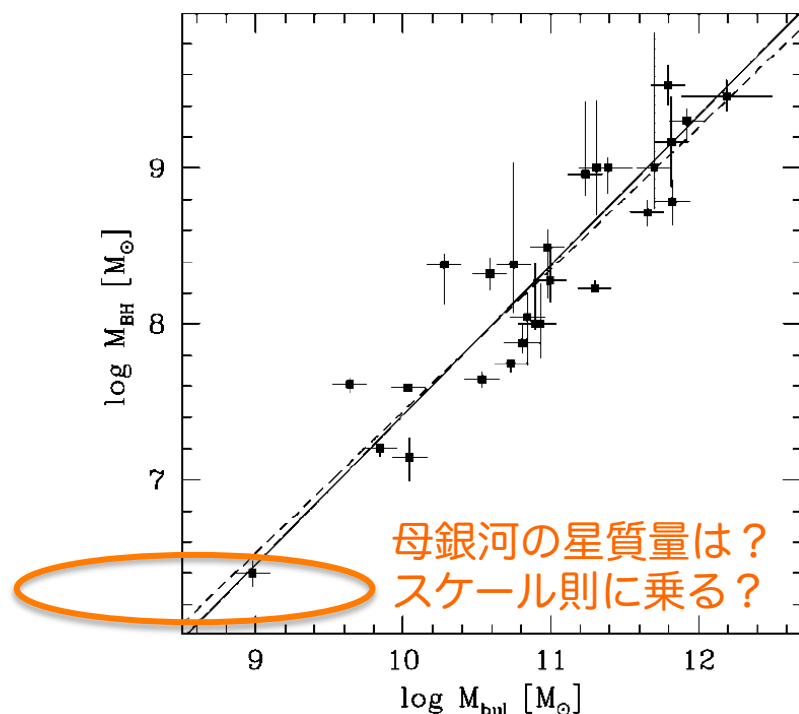
N

M_{BH} が測定されているので、
母銀河の星質量やサイズが気になる
→ Subaru/IRCS K-band撮像 (2014年3月)

悪天候 (30分くらいしか晴れず)
AO観測で空間分解しなかったが
分解できず...

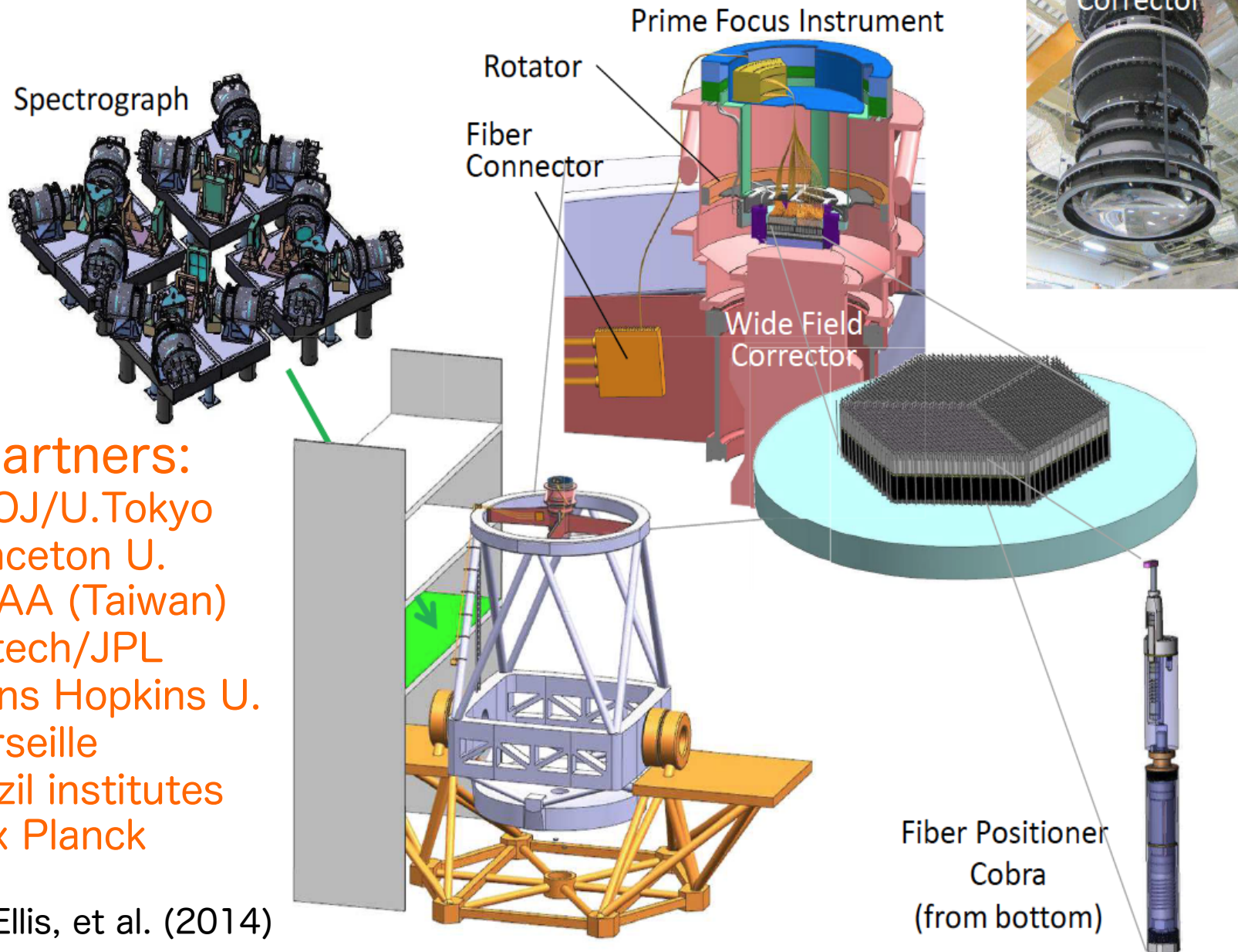


卒業研究 (川崎光太@愛媛大)



若い時期のAGNを調べる上で興味深い
ターゲットだが、現時点で数天体しか
知られていない
→ SDSS分光限界が浅すぎるため

Subaru Prime Focus Spectrograph (PFS)



PFS Partners:

- ~ NAOJ/U.Tokyo
- ~ Princeton U.
- ~ ASIAA (Taiwan)
- ~ Caltech/JPL
- ~ Johns Hopkins U.
- ~ Marseille
- ~ Brazil institutes
- ~ Max Planck

Takada, Ellis, et al. (2014)



PFS parameters and survey plan

Takada+14

Number of fibers	<u>2400</u> (600 for each spectrograph)		
Field of view	<u>1.3 deg</u> (hexagonal – diameter of circumscribed circle)		
Field of view area	1.098 deg ²		
Fiber diameter	1.13'' diameter at the field center; 1.03'' at the edge		
	Blue arm	Red arm	IR arm
Wavelength coverage [nm]	380–670	650–1000	<u>970–1260</u>
Spectral resolution $\lambda/\Delta\lambda$	1900	2400	3500
Pixel scale [$\text{\AA}/\text{pix}$]	0.71	0.85	0.81
Read-out noise [e^- rms/pix]	3	3	4 ^a
Detector type/read-out mode	CCD	CCD	HgCdTe/SUTR
Thermal background [$e^-/\text{pix}/\text{sec}$]	None	None	0.013
Dark current [$e^-/\text{pix}/\text{sec}$]	3.89×10^{-4}	3.89×10^{-4}	0.01
Spectrograph image quality [μm rms/axis]	14	14 ^b	14

IR arm, not only blue & red arms

~ wide field-of-view AND wide wavelength coverage

Multi-layer survey (not yet fixed)

~ cosmology component (15 min x 2 visits for >1000 deg²)

~ galaxy/AGN component (longer exposure for 10-30 deg²)

~ Galactic archaeology component (for specific fields)

First light in 2017, legacy survey will start in 2019 (?)



Summary

- AGN電離領域は一般に super-solar metallicity
 - ~ high-z ほど metal rich と言われていたのは観測バイアス
 - ~ 明るいAGN (M_{BH} の大きなAGN) ほど metal rich
 - ~ 高赤方偏移で金属量が低くなるトレンドは見られない
 - ~ BLR を見ても NLR を見ても同様
 - ~ ALMA で high-z low-L dusty AGN を見ても metal rich

- 超低金属量銀河 (XMPG) の中に AGN が見つかった
 - ~ SDSS で $z \sim 0.1-0.3$ に数天体の発見が報告されている
 - ~ broad $H\alpha$ だけを頼りにしているので確実かどうかは??
 - ~ 若いAGN/SMBHの状況を調べる良いターゲットかも

- Subaru Prime Focus Spectrograph
 - ~ 暗くてレアな天体を分光探査するための最強装置
 - ~ 2017年頃 first light、2019年頃にレガシー探査を開始