

赤方偏移 $z \sim 1.5$ の星形成銀河における 星間ガスの物理状態

Hayashi et al., 2015, PASJ, in press, (arXiv: 1504.05589)

林 将央 (国立天文台/日本学術振興会特別研究員)

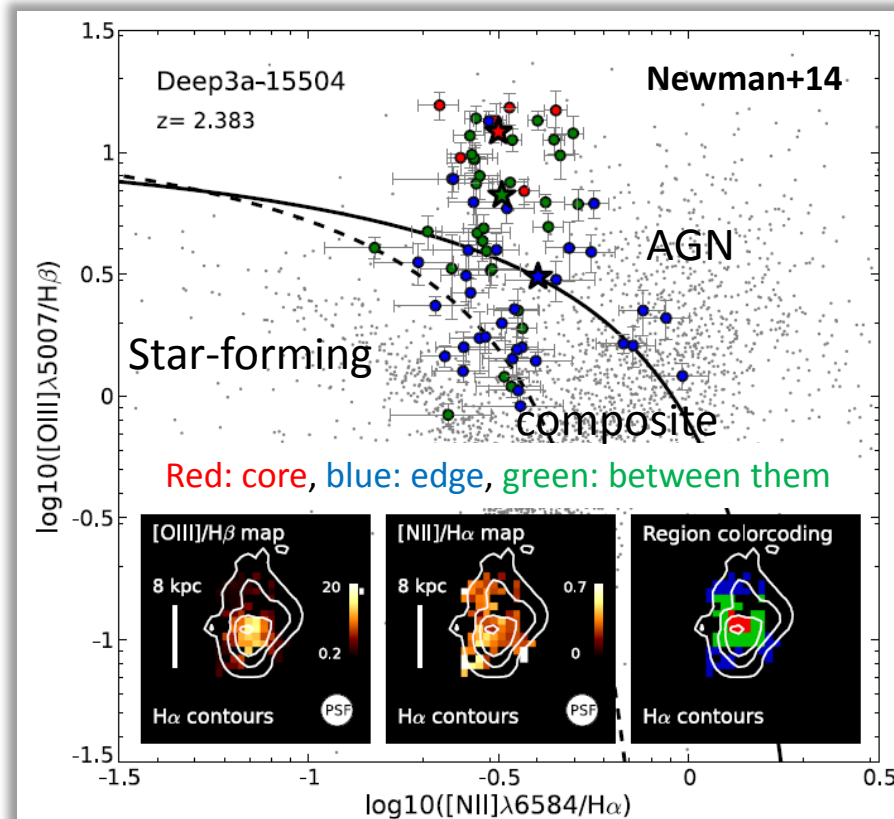
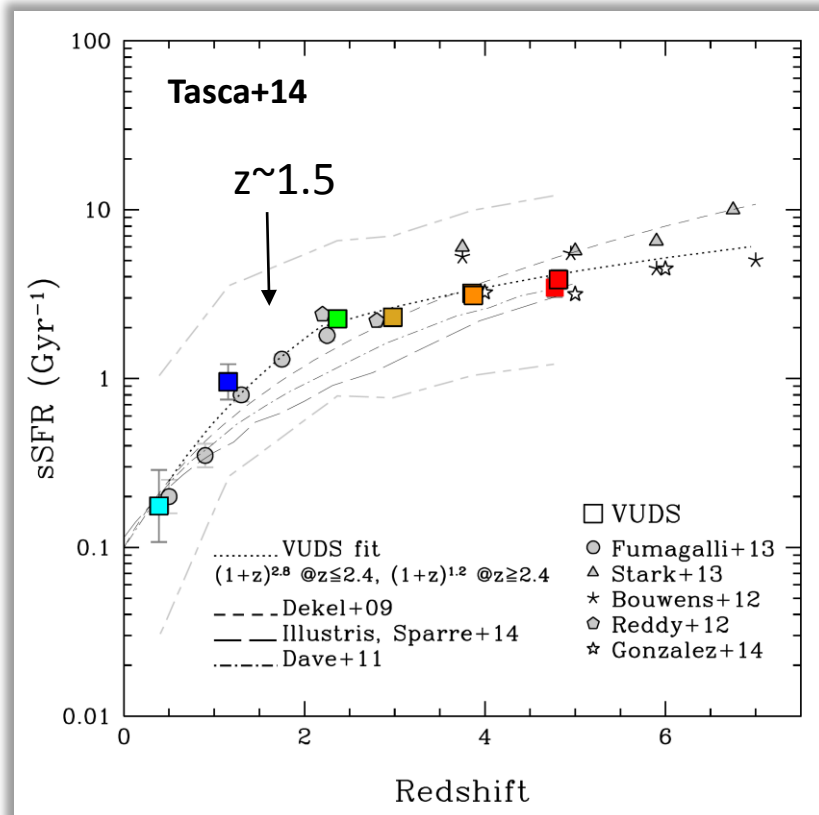
C. Ly (NASA), 嶋作一大, 本原顕太郎, 後藤亮介, 内藤嘉章 (東京大学),
M. Malkan (ULCA), 長尾透 (愛媛大学), 柏川伸成 (国立天文台)

概要

- Subaru Deep Field (SDF) 領域に存在する118個の[OII]輝線銀河@ $z \sim 1.5$ を、すばる望遠鏡/FMOSを用いて近赤外線分光
- 6個の静止系可視域の輝線: [OII], $H\beta$, [OIII], $H\alpha$, [NII], [SII]
- 輝線強度比から、星間電離ガスの物理状態を調べる

赤方偏移 $z \sim 1.5$ の銀河

BPT diagram



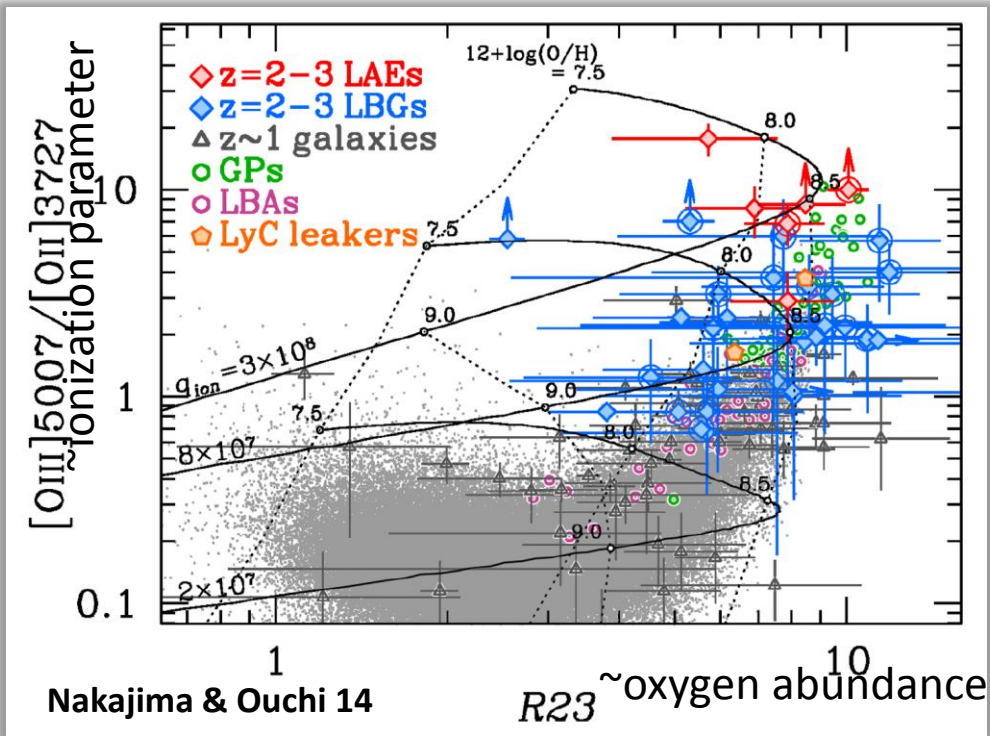
銀河のSpecific SFR (SFR/M^*) は、
高赤方偏移ほど大きい

輝線の光度比は、近傍銀河のもの
からオフセットがある

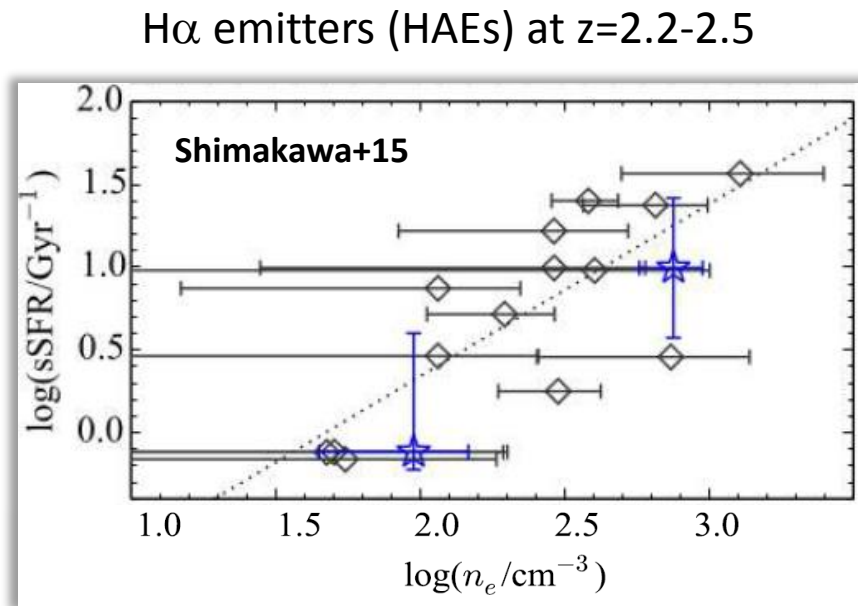
高いsSFRにより、輻射場がハードになることや電離光子の数が増えることが考えられ、高赤方偏移銀河のISMの物理状態が近傍銀河のものと異なる可能性がある

赤方偏移 $z=2-3$ の銀河のISMの物理状態

$z=2-3$ のLy α emitters (LAEs) や Lyman break galaxies (LBGs)



同じ金属量の銀河でもLAEsやLBGsは
イオン化パラメーターが大きい

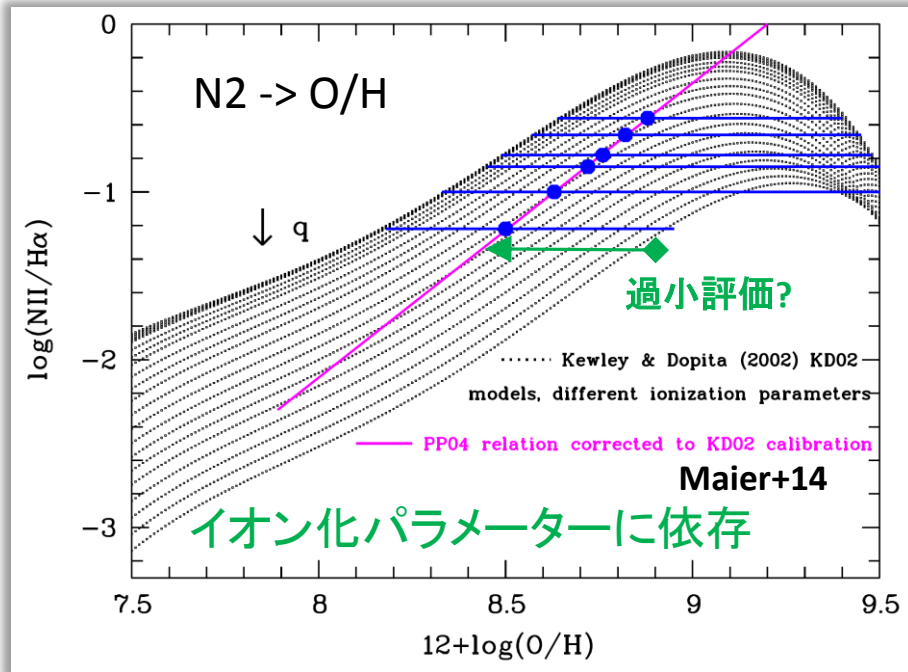


sSFRとHII領域の電子密度に正の相関

$z=1-2$ の銀河のISMの物理状態も近傍銀河のものと比べて異なる可能性がある

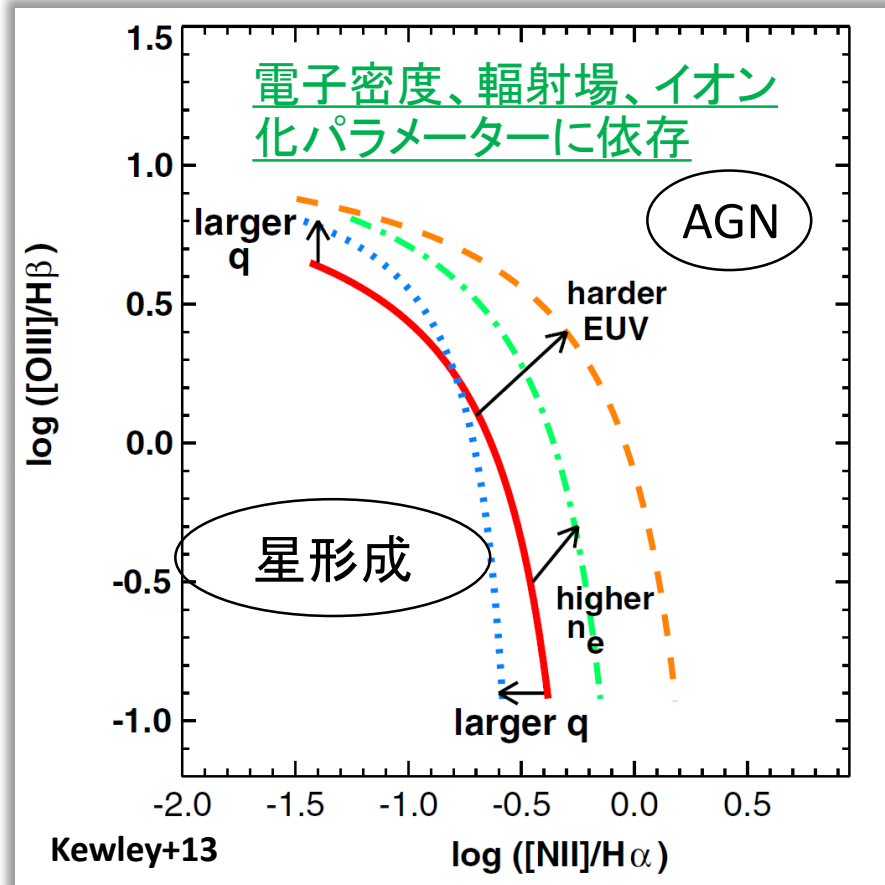
金属量の推定や星形成銀河/AGN分類への影響

[NII]/H α の輝線比(N2)は、金属量(oxygen abundance)の見積もりに使われることが多い



high- z 銀河のイオン化パラメーターが高い場合、金属量を過小評価している可能性がある

BPT diagram

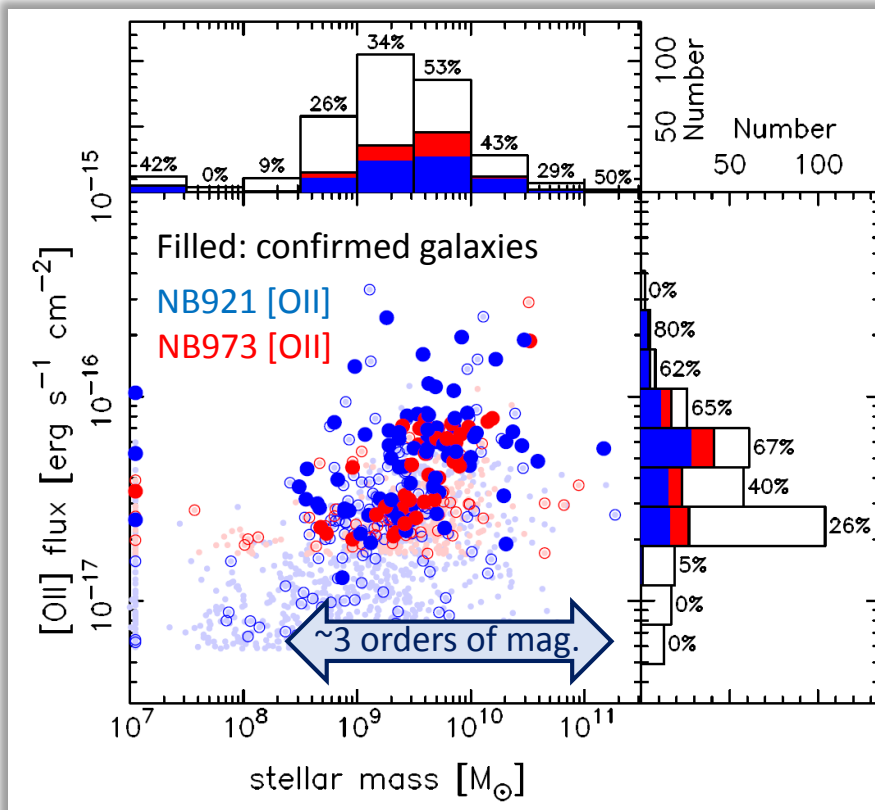


これまでよく利用されている輝線比診断法は遠方銀河に適用できないかもしれない

SDF領域における[OII]輝線銀河のFMOS分光観測

Subaru/FMOS 近赤外線分光観測 (S12A-028 and S14A-018)

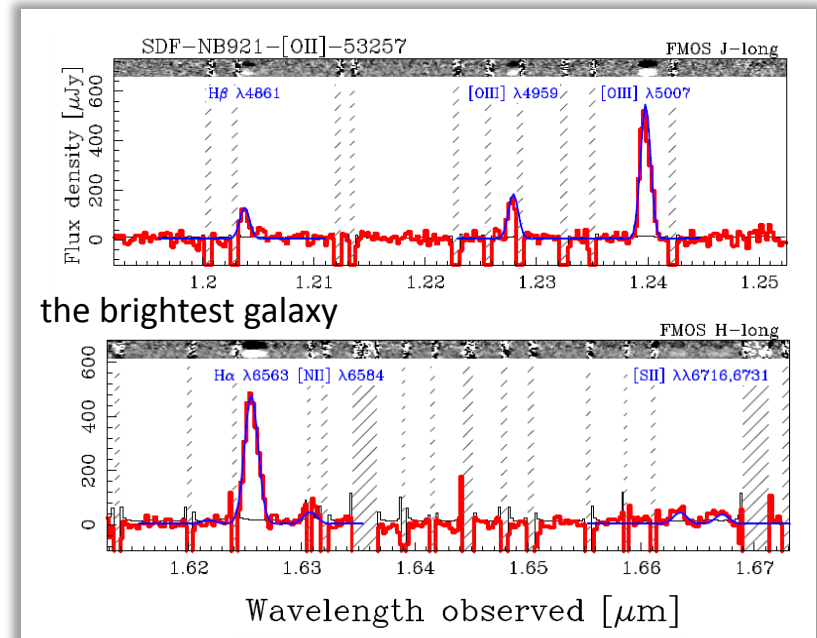
- [OII]輝線銀河: $z=1.47$ (S-Cam/NB921) と $z=1.62$ (S-Cam/NB973) (Ly+07,12)
- HR($R=2200$), J-long \rightarrow $H\beta$, [OIII] $\lambda\lambda 4959, 5007$
- HR, H-long \rightarrow $H\alpha$, [NII] $\lambda 6584$, [SII] $\lambda\lambda 6716, 6731$
- 星質量: NUVからNIRデータへのSEDフィッティング (Ly+12)



118の銀河を分光同定

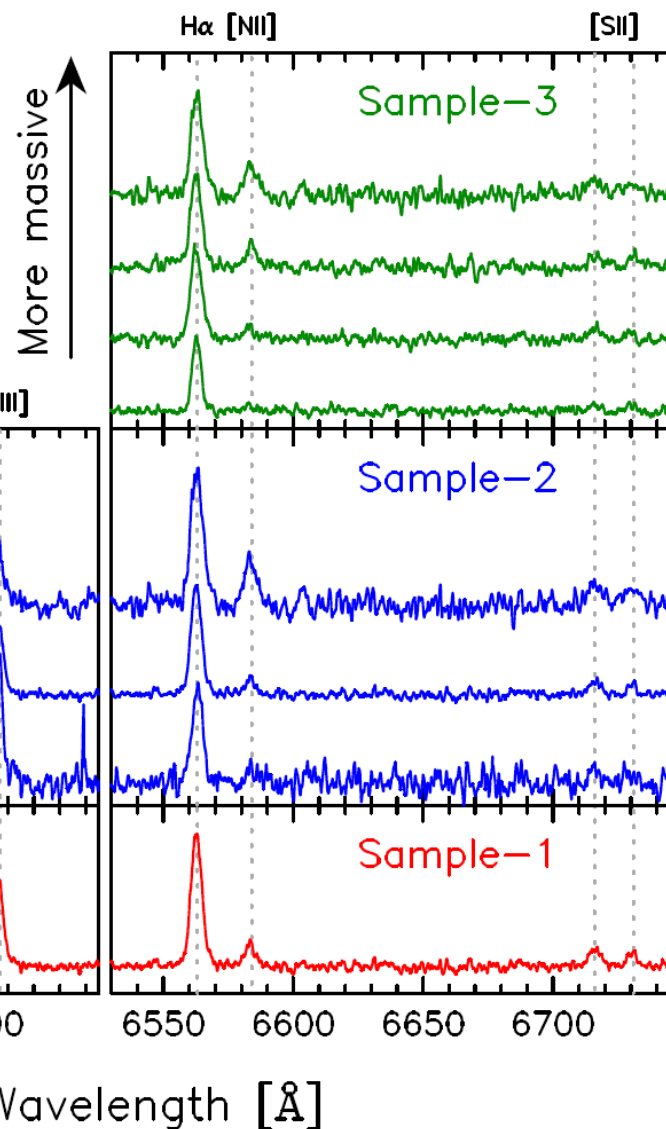
(115 $H\alpha$ / 45 [OIII] / 13 $H\beta$ / 16 [NII] / 6 [SII])

[OII]光度はすべての銀河で既知



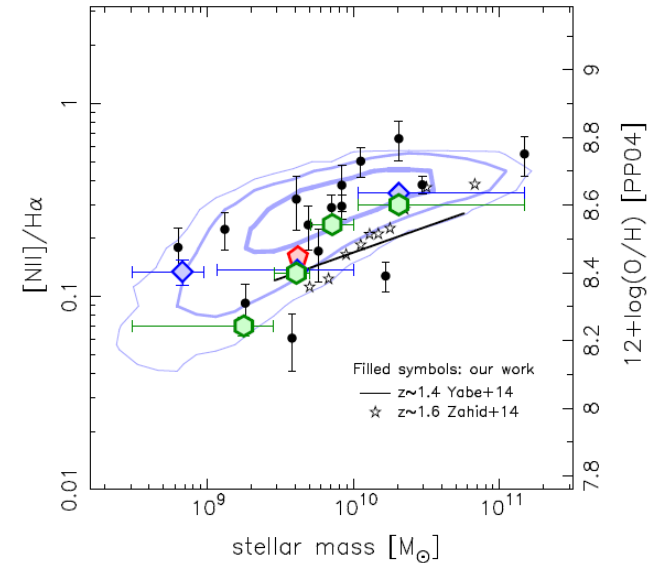
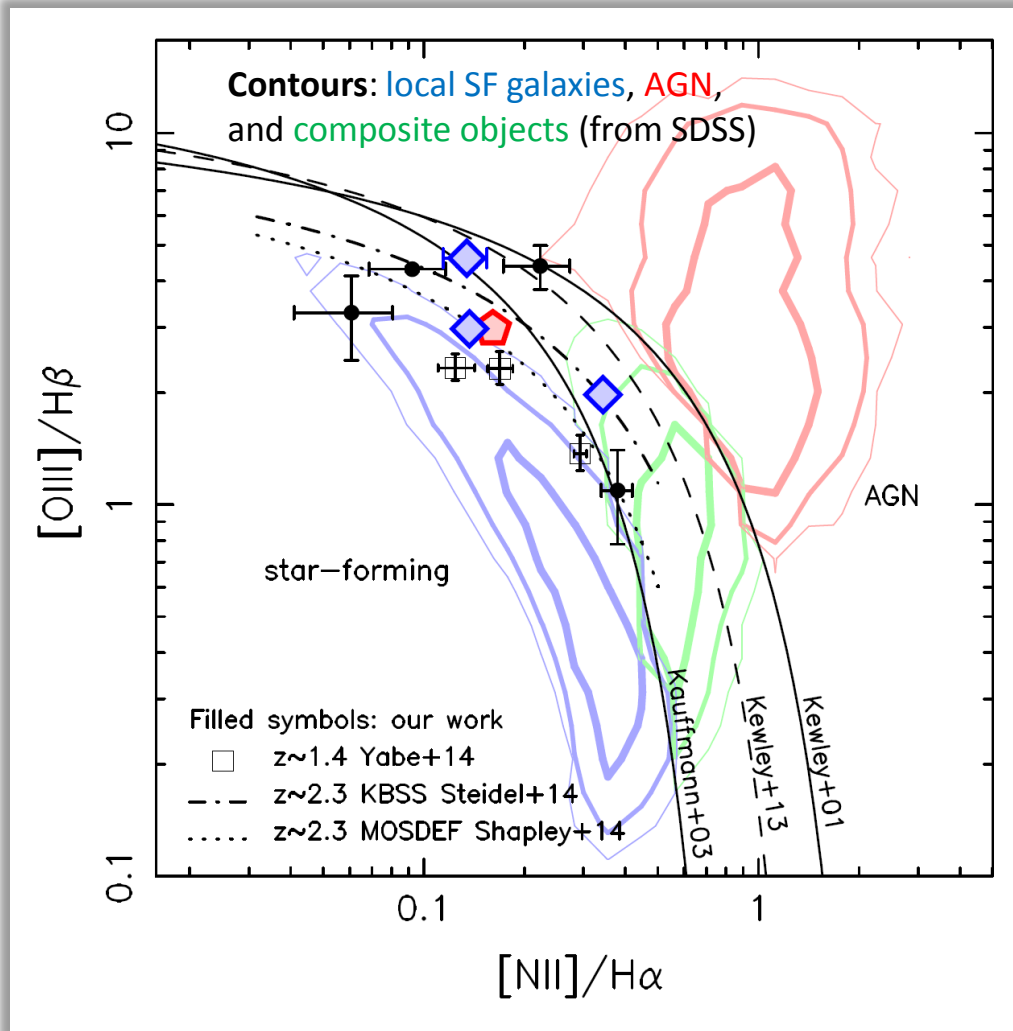
[OII]輝線銀河@ $z \sim 1.5$ のスペクトル (stacked spectrum)

	Coverage	N_{total}	N	$\log(M_{\star}/M_{\odot})$	$H\beta$	[O III]	$H\alpha$	[N II]	[S II]
sample-1	J and H	89	89	9.26 [8.49, 11.2]	13	43	86	14	5
sample-2	J and H	89							
(1)			9	8.83 [8.49, 9.00]	2	7	7	1	0
(2)			68	9.62 [9.00, 10.0]	9	30	67	8	3
(3)			12	10.3 [10.0, 11.2]	2	6	12	5	2
sample-3	H	113							
(1)			47	9.25 [8.49, 9.45]	—	—	44	3	1
(2)			30	9.46 [9.45, 9.70]	—	—	30	3	1
(3)			22	9.85 [9.70, 10.0]	—	—	22	4	1
(4)			14	10.3 [10.0, 11.2]	—	—	14	5	2



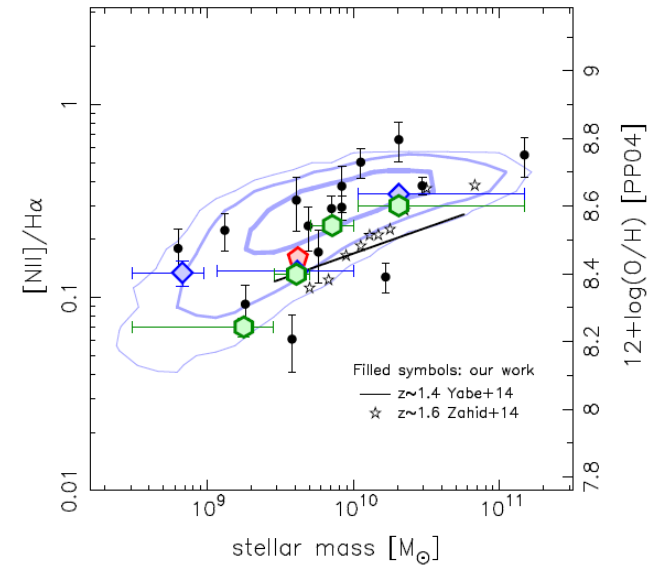
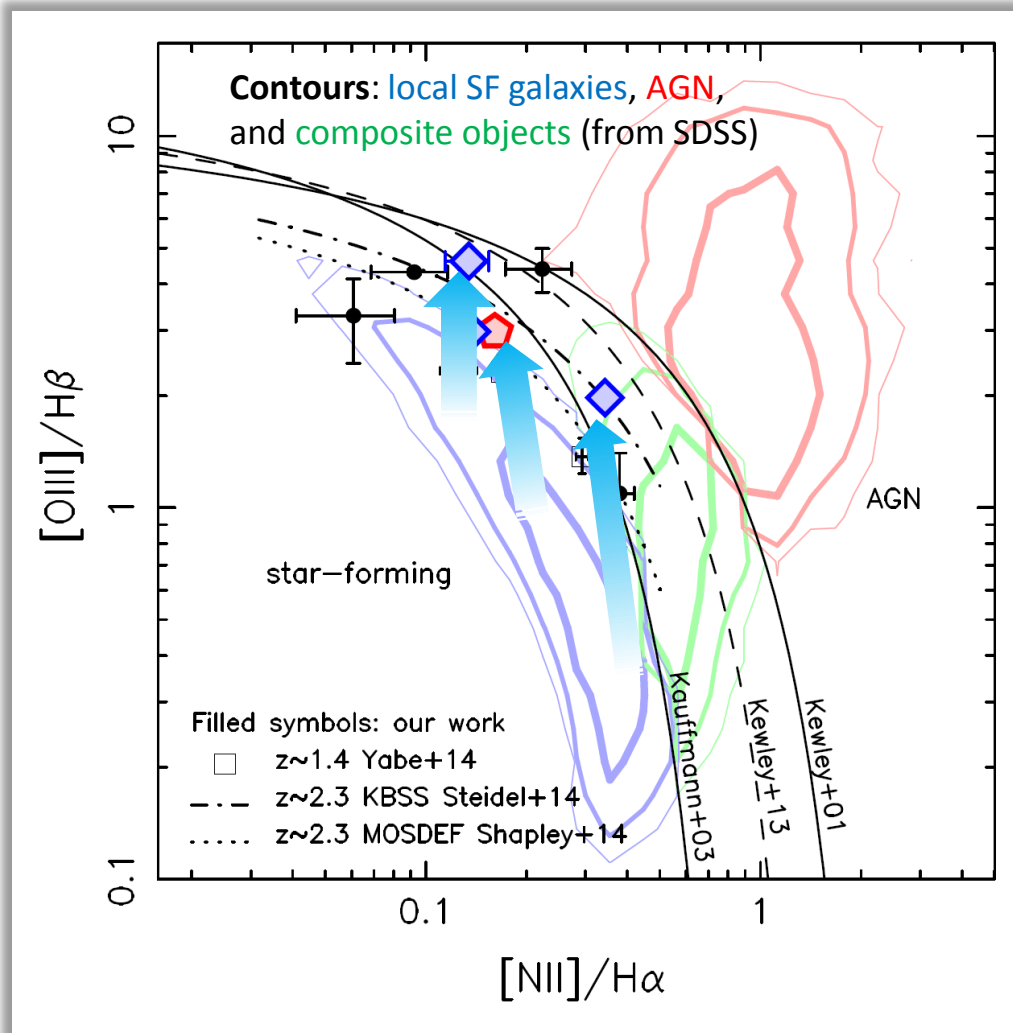
6つの輝線の光度を利用
可能 ([OII], $H\beta$, [OIII], $H\alpha$,
[NII], and [SII])

BPT図 ($[\text{OIII}]/\text{H}\beta$ vs. $[\text{NII}]/\text{H}\alpha$)



近傍銀河の輝線比からオフセットが見られる

BPT図 ([OIII]/H β vs. [NII]/H α)



同じ星質量の銀河をみたとき、
[NII]/H α は大きく変わらない

[OIII]/H β が大きくなる方向へ
シフトする必要がある

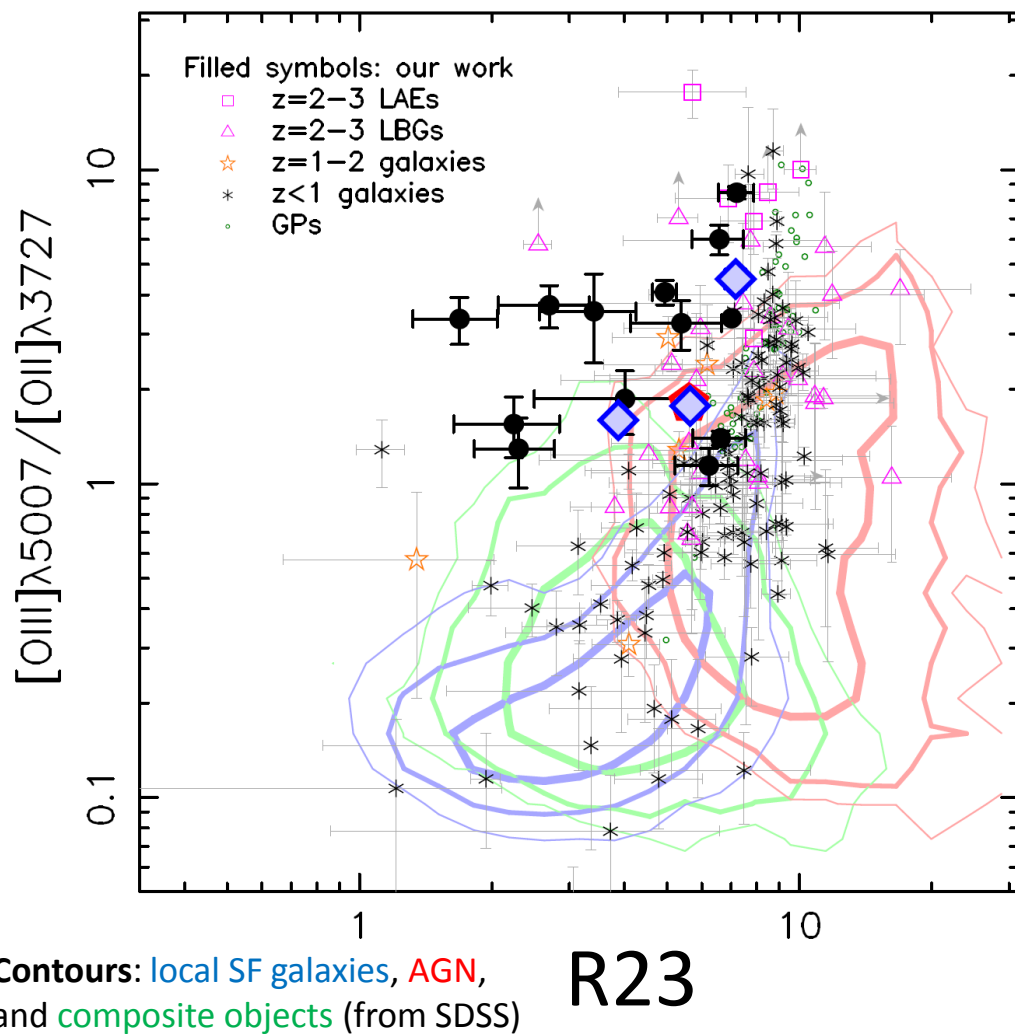
[NII]/H α の方向にシフトしていると主張する
論文もある (e.g., Masters+14, Shapley+15)

近傍銀河の輝線比からオフセットが見られる

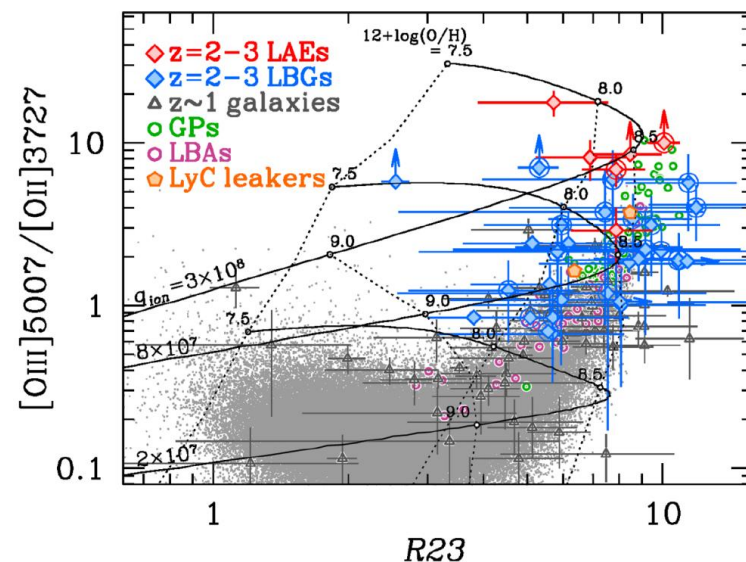
イオン化パラメーター (q)

[OIII]/[OII]: イオン化パラメーターの指標

$R23 = ([OII] + [OIII]) / H\beta$ (i.e., oxygen abundance)



Nakajima & Ouchi 14

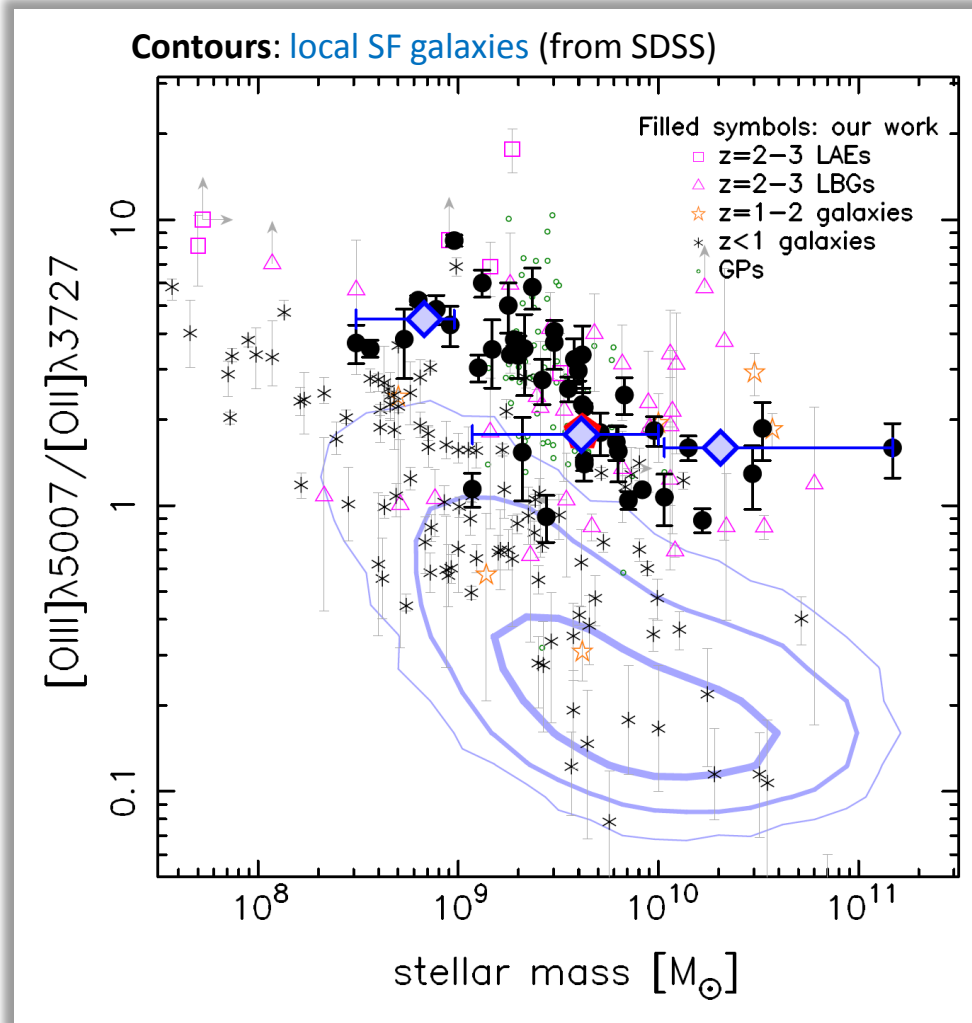


- 近傍銀河と比べて、[OIII]/[OII] 強度比が大きい
- LAEs/LBGs at z=2-3と同等の [OIII]/[OII]比

イオン化パラメーター: $\langle \log(q / \text{cm s}^{-1}) \rangle = 8.1$

[OII]輝線銀河@z~1.5の[OIII]/[OII]比は大きく(>1)、イオン化パラメーターが大きいことを示唆

[OIII]/[OII]輝線比の星質量依存性



- 低質量銀河ほど [OIII]/[OII]輝線比が大きい
- 低質量銀河のほうが specific SFR が大きいことに起因するかもしれない

高いイオン化パラメーターの原因は？

$$q = \frac{Q_{H^0}}{4\pi R_s^2 n_H}$$

Q_{H^0} is the number of ionizing photons

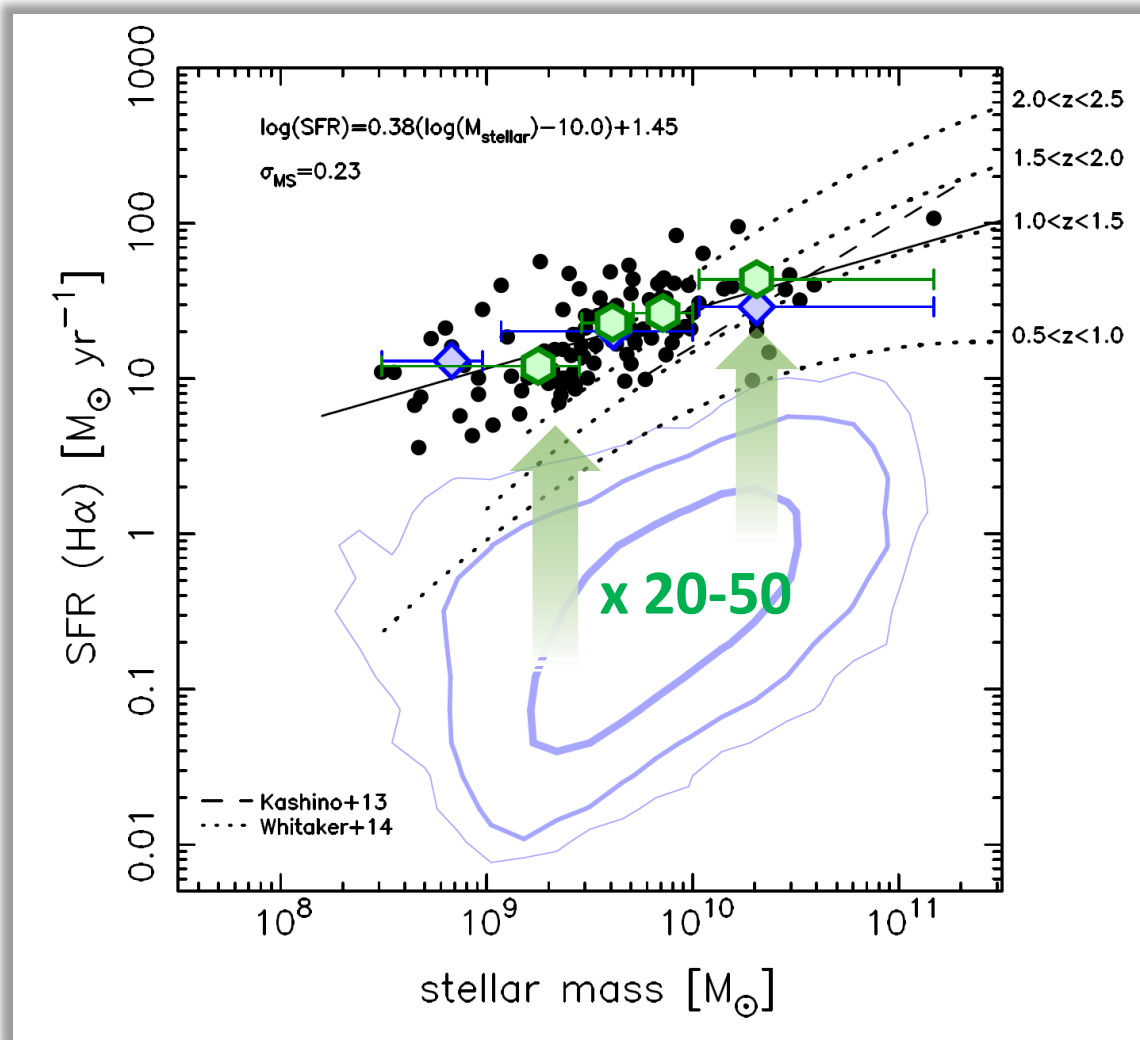
R_s is the Strömgren radius

n_H is the hydrogen density

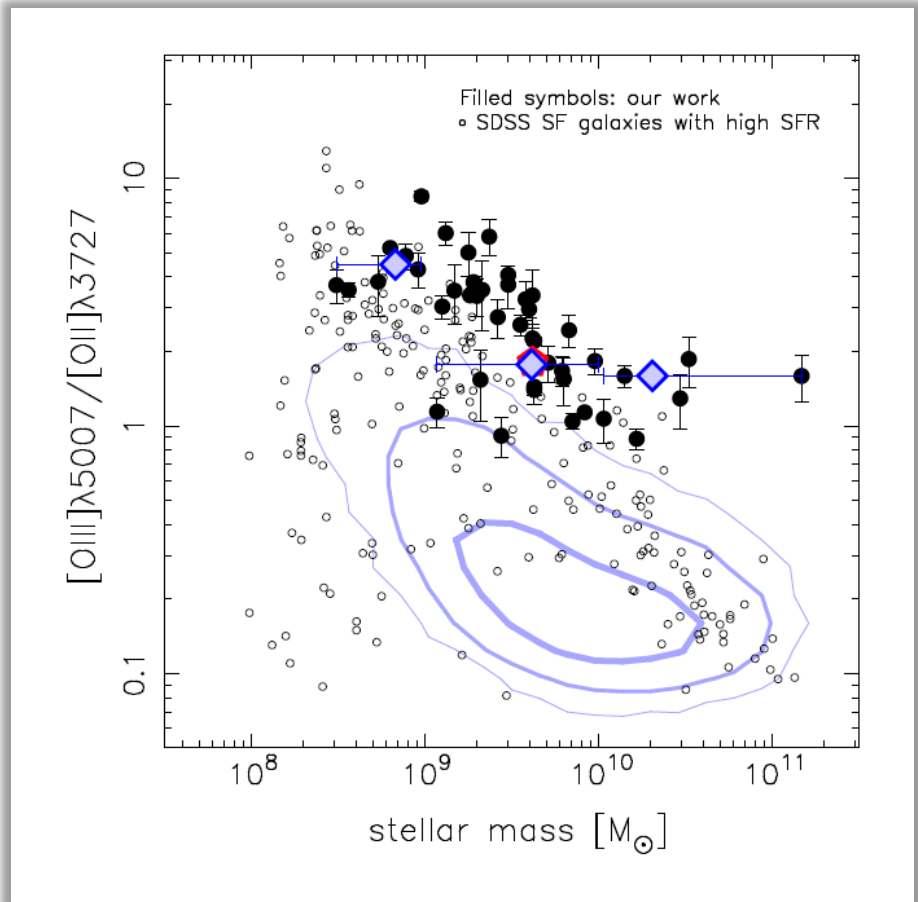
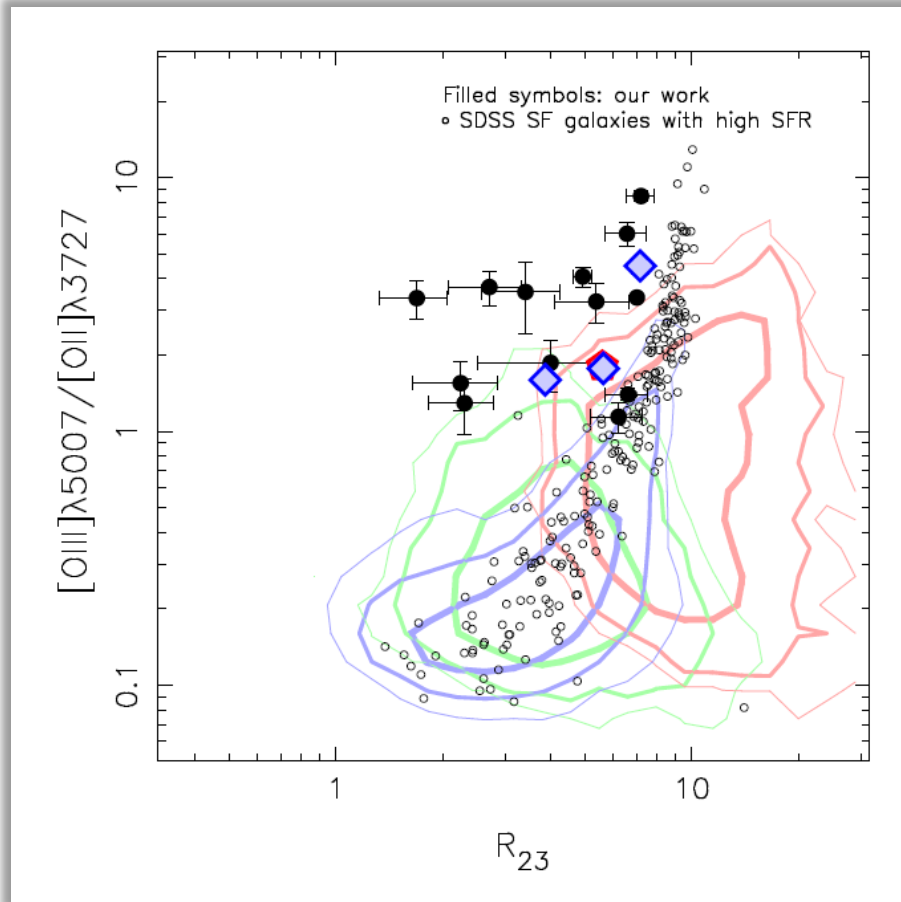
※ [SII]6716/6731の輝線比から、HII領域の n_e は近傍銀河と同等

星形成銀河の main sequence

[OII]輝線銀河 @ $z \sim 1.5$ は、星形成銀河の main sequence 上に分布
→ starburst 銀河ではなく、普通の星形成銀河



高い星形成率を持つ近傍銀河との比較



- 同じ $[OIII]/[OII]$ 輝線比でも金属量が異なる
- 高い星形成率を持つ銀河が必ずしも高い $[OIII]/[OII]$ 輝線比を持つとは限らない

ハードな輻射場が原因
であることを示唆

- Subaru Deep Field (SDF) 領域に存在する118個の[OII]輝線銀河@ $z \sim 1.5$ を、すばる望遠鏡/FMOSを用いて近赤外線分光
- 6個の静止系可視域の輝線: [OII], $H\beta$, [OIII], $H\alpha$, [NII], [SII]
- 輝線強度比から、星間電離ガスの物理状態を調べた

本講演

◆ 強い [OIII] 輝線

- 近傍銀河と比べて、[OIII]/[OII]輝線比が大きい
- 低質量銀河ほど、[OIII]/[OII]輝線比が大きい (星質量依存性)

◆ 高いイオン化パラメーター

- 若い星種族によるハードな輻射場
 - 大質量星からの電離光子の数の増加
- } に起因すると考えられる

◆ $H\alpha$ と [OII] に強い相関 (ただし、 $H\alpha$ /[OII]は星質量や[OIII]/[OII]にも依存)

- [OII]光度は $z \sim 1.5$ でも星形成率の指標として有効

金属量の見積もりや議論においては、イオン化パラメーターやN/O存在比の赤方偏移進化を考慮することが重要である