

# 補償光学+可視光面分光観測による 活動銀河核からのガス噴出の研究 -- TMTサイエンス検討からの派生研究例 --

川口 俊宏 Toshihiro KAWAGUCHI (札幌医科大学)

Collaborators: Shinobu Ozaki (NAOJ), Hajime Sugai (U. Tokyo),  
Kazuya Matsubayashi (Kyoto U.), Takashi Hattori (NAOJ),  
Atsushi Shimono (U. Tokyo), Kentaro Aoki, Yutaka Hayano,  
Yosuke Minowa (NAOJ), Kazuma Mitsuda, Yasuhito Hashiba (U. Tokyo)

2016年6月3日、第3回銀河進化研究会(東北大)

1. 背景
2. TMTサイエンス検討-AGN班での検討 & 検討テーマのその後
3. 「0.01秒分解能でのTMT面分光」時代に向けた我々の取り組み紹介:  
解析途中報告
4. —AO利用者からのねがい

## 1. 背景

2010年4月頃-- TMTサイエンス検討AGN班に参加

AGN inflow/outflow, ULX, (漂う巨大ブラックホール)などを検討  
検討結果を発表する機会 (TMT研究会):

2010年10月(三鷹)、2011年9月(京都)

+ 検討会後の多くの研究から一部紹介(結局、今も混沌)

既存面分光装置で、できることがある: Gemini/NIFS+AO を当初念頭

AO(A188) + 可視光面分光(Kyoto 3D II)が利用可能に

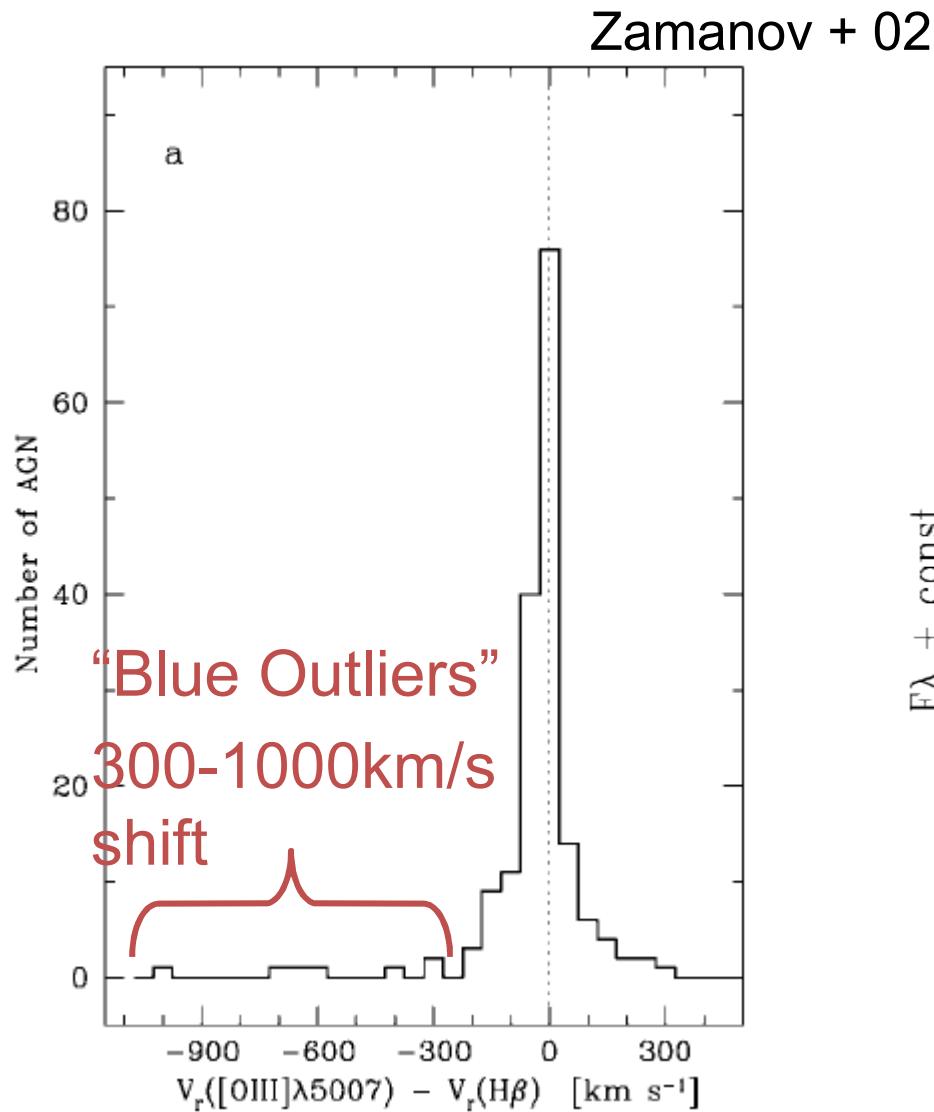
2013年3月-- すばる望遠鏡に提案開始

2014年7月-- すばる望遠鏡で観測開始: 2期続けて大気条件×

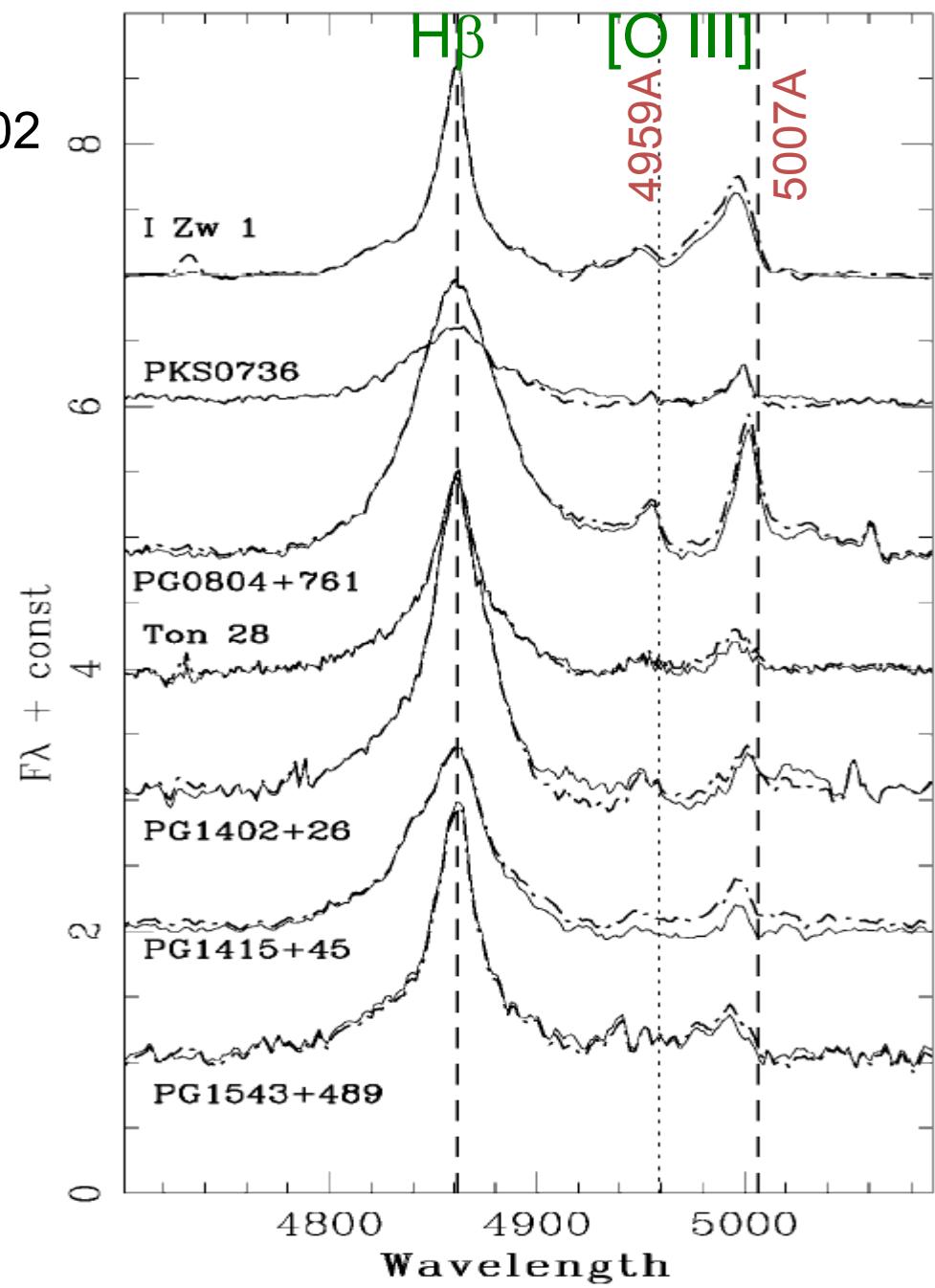
2015年9月: (ついに!) AOで約0.2秒のFWHMが得られた時間帯を  
含む可視光面分光データを取得  
現在: 銳意、解析中。途中段階ですが最後に少し紹介します。

## 2-1. [O III] blueshift observed in Narrow-Line QSOs

(Radio-quiet = not jet-driven)

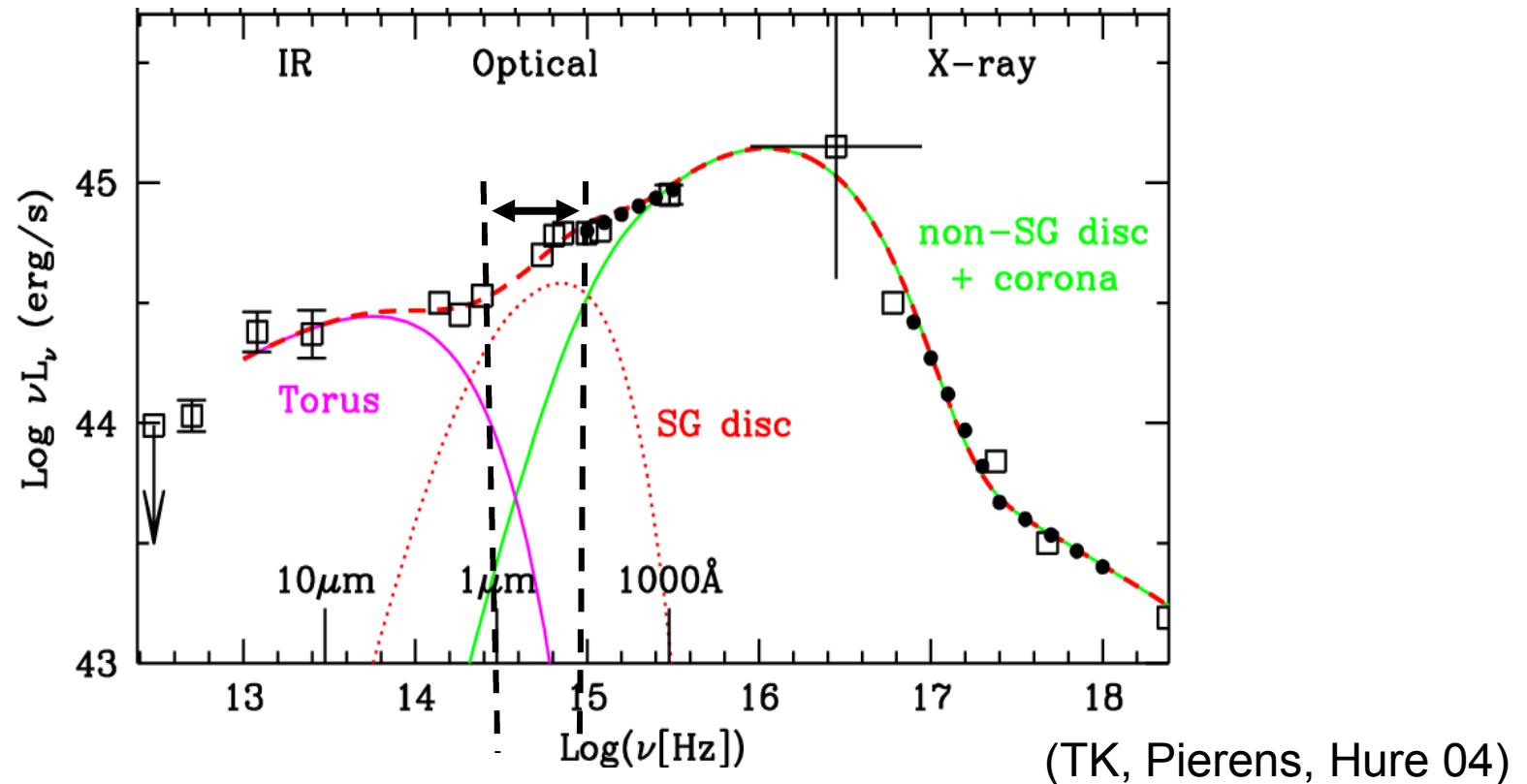


Velocity Shift H $\beta$  v.s. [O III]



## 2.2 Narrow-Line Seyfert galaxies の $\dot{M}$ ( $M_{\text{BH}} \sim H\beta$ 幅からの推定値)

降着円盤モデルの可視光放射強度が、観測値と一致する  $\dot{M}$  を求める。



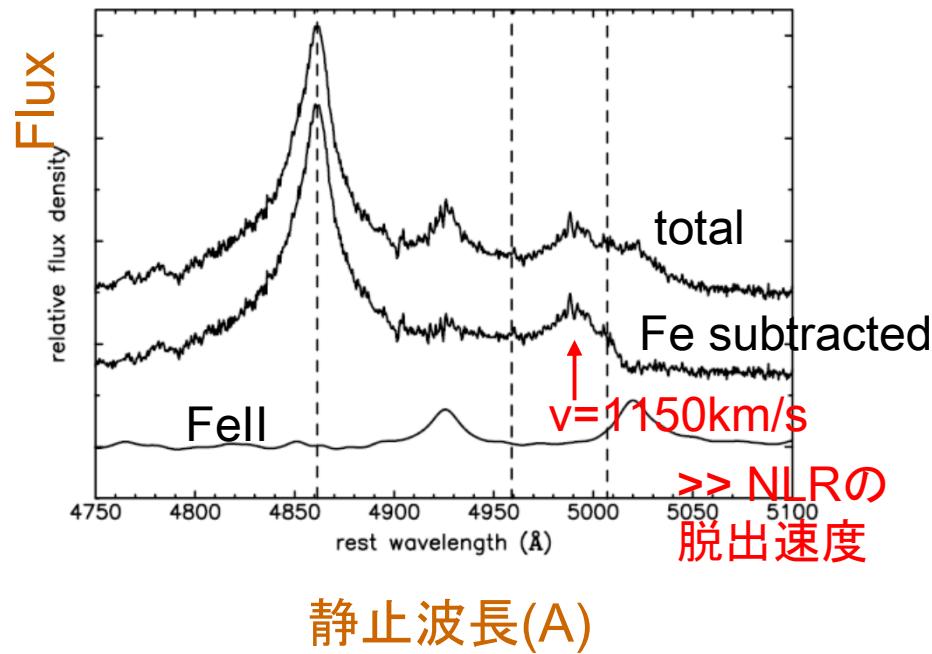
Narrow-Line Seyfert 1 galaxies:

- \* super-Eddington accretion rates ( $L/L_{\text{bol}}$  は~3で頭打ち)  
⇒ rapid BH growth • SMBH形成 (Kawaguchi +04b)

[ \* 極紫外線背景放射へ寄与 (Kawaguchi 03) ]

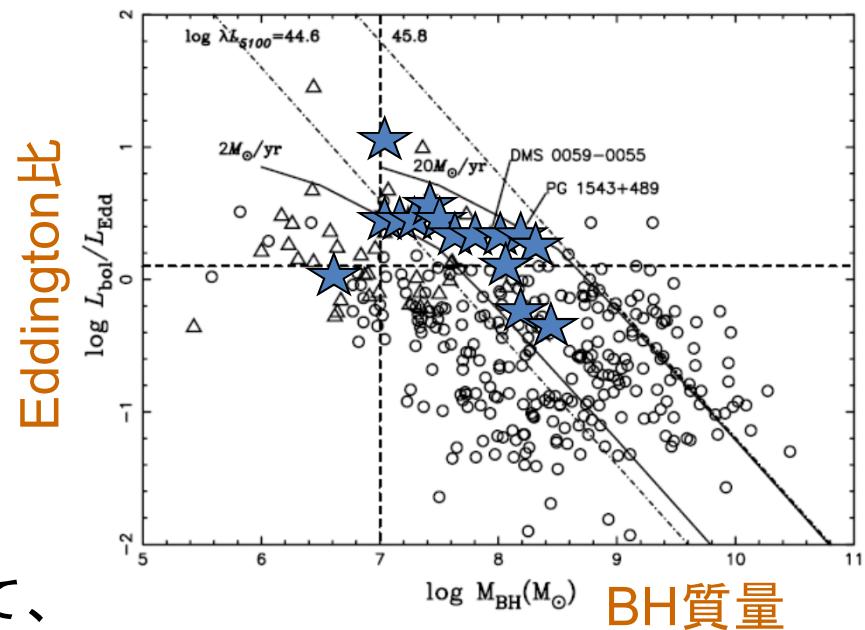
## 2.3 銀河スケール(狭輝線領域)で高速ガス噴出が起きる条件

Aoki, Kawaguchi, Ohta 05



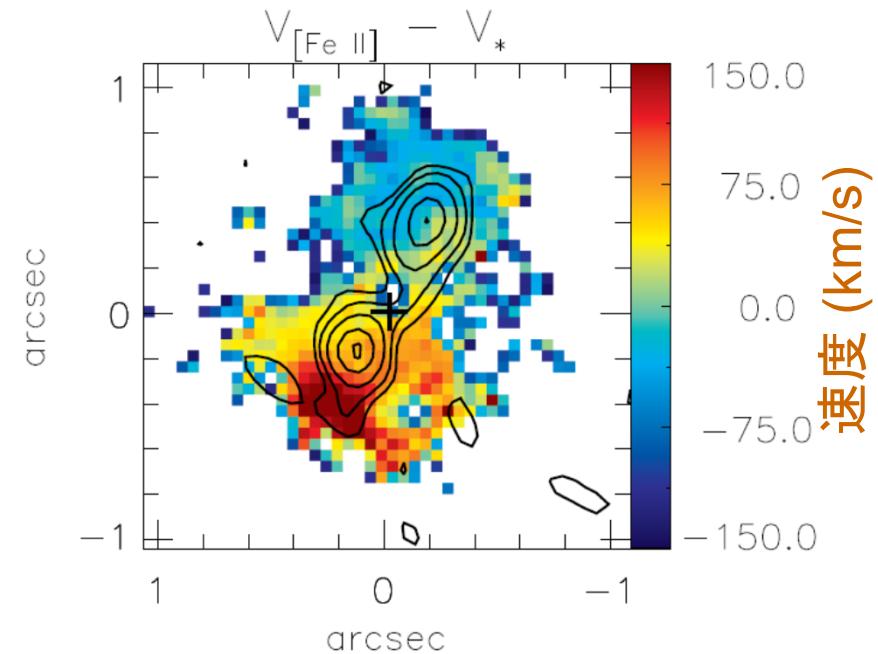
巨大ブラックホールの成長・形成に伴って、  
銀河スケールまで噴き出す高速ガス噴出(AGN feedbackの現場??)  
→ 銀河と巨大ブラックホールの共進化を理解する上で重要な天体

Outflow発現(★印)の条件:  
大降着率 and/or  
大Eddington比 (super-Eddington)  
(満たせばいつでも、ではない)



# AGNが母銀河へ与えるフィードバックの研究: 2011年頃の状況

- Riffel & Storchi-Bergmann 11:  
近傍2型セイファート,  
AO-supported 近赤外線面分光  
(Gemini/NIFS),  
~0."1 (40pc) resolution  
- 電波jet (黒等高線)に沿って、outflow  
- Kinetic power ~ 0.15  $L_{bol}$

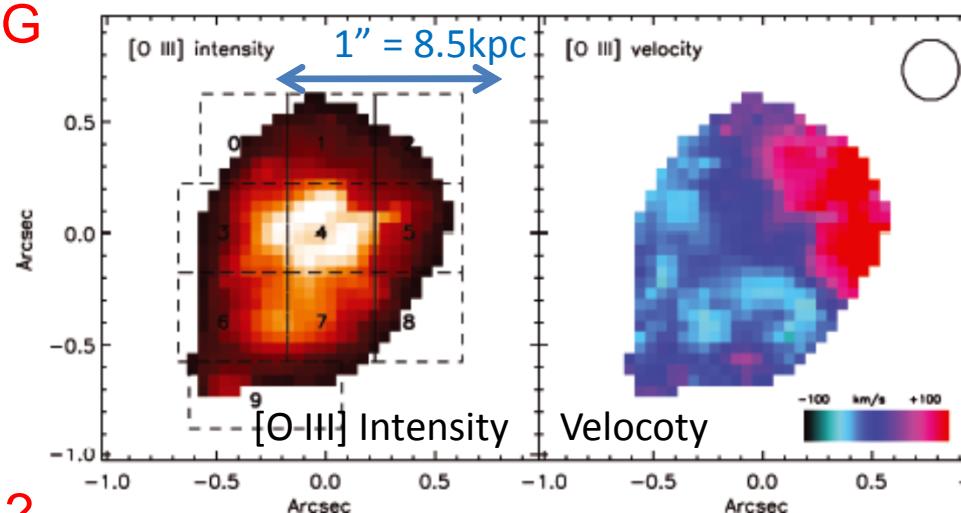


- Alexander +10:  $z \sim 2$  ([O III] がNIRに), Gemini/NIFS, 2.4kpc resolution

Quasar/ULIRG

ガス噴出が起き  
ても、母銀河の  
星形成を阻害し  
きれない？

AGN feedback  
は存在するのか？



(0.3" seeing)

[O III] outflow velocity  
~ 300km/s

TMT研究会での  
川口の発表資料  
(2011年9月)

## AGN feedbackは存在するか？

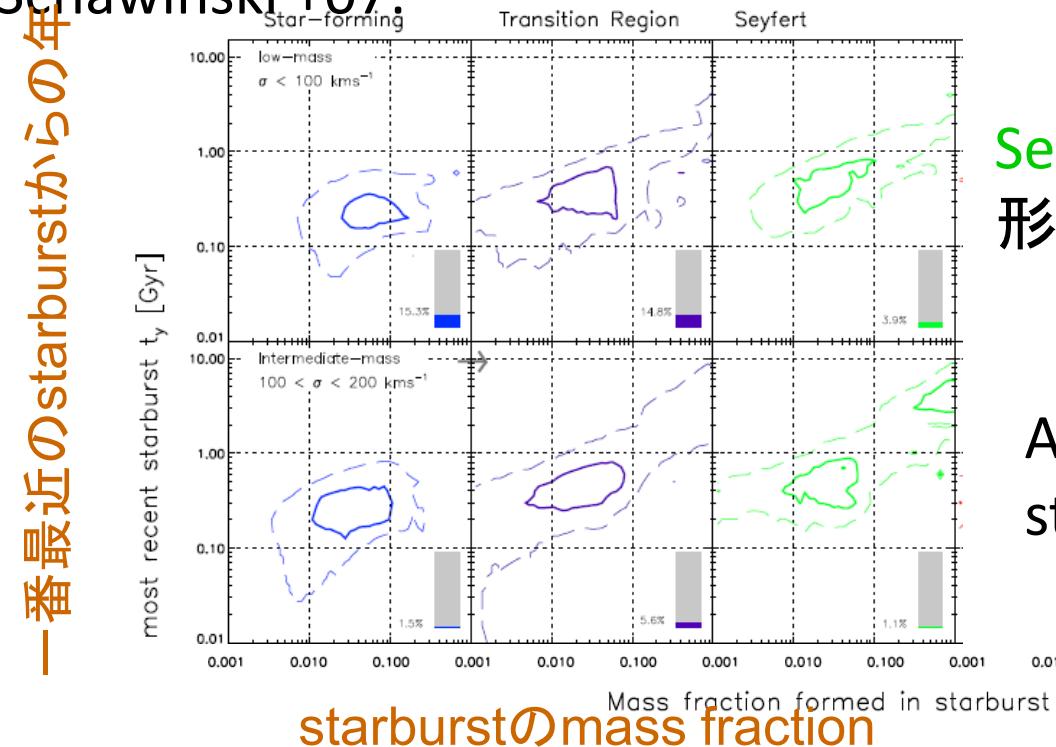
-- Quasar/Seyfert による母銀河での星形成活動へのNegative feedback --

『+』 肯定的な結果・論調の研究例: (2頁)

\* Silk & Rees 98; Fabian 99; King 03: Energy/Momentum

(wind,rad pressure)

\* Schawinski +07:



一番最近のstarburstからの年

Seyfert host galaxy の典型的星形成史 v.s. 星形成銀河

AGNによるQuenching of star formation を示唆

\* cf. モデルで使用される、bolometric 光度に対するwind powerの大きさ  
Lwind ~ 5% of Lbol (Di Matteo +05), 0.5 % (Hopkins + Elvis 10)

\* Zakamska + 2016: VLT long-slit spectroscopy,  $z \sim 2.5$  red quasars,  
 $\sim 1500 \text{ km/s} [\text{O III}]$  shift relative to H beta  
 Wind power  $\geq 3\%$  of bolometric luminosity

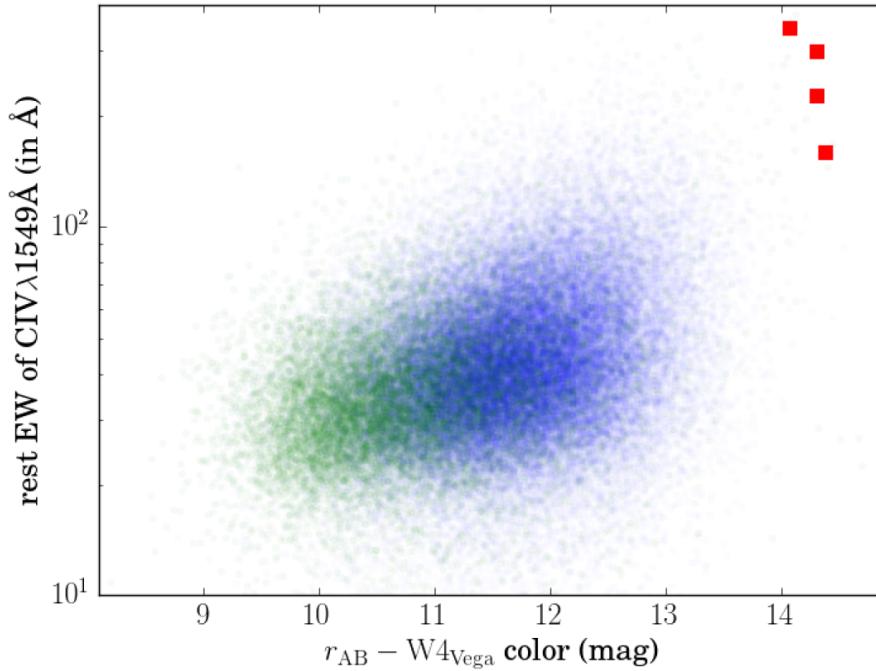
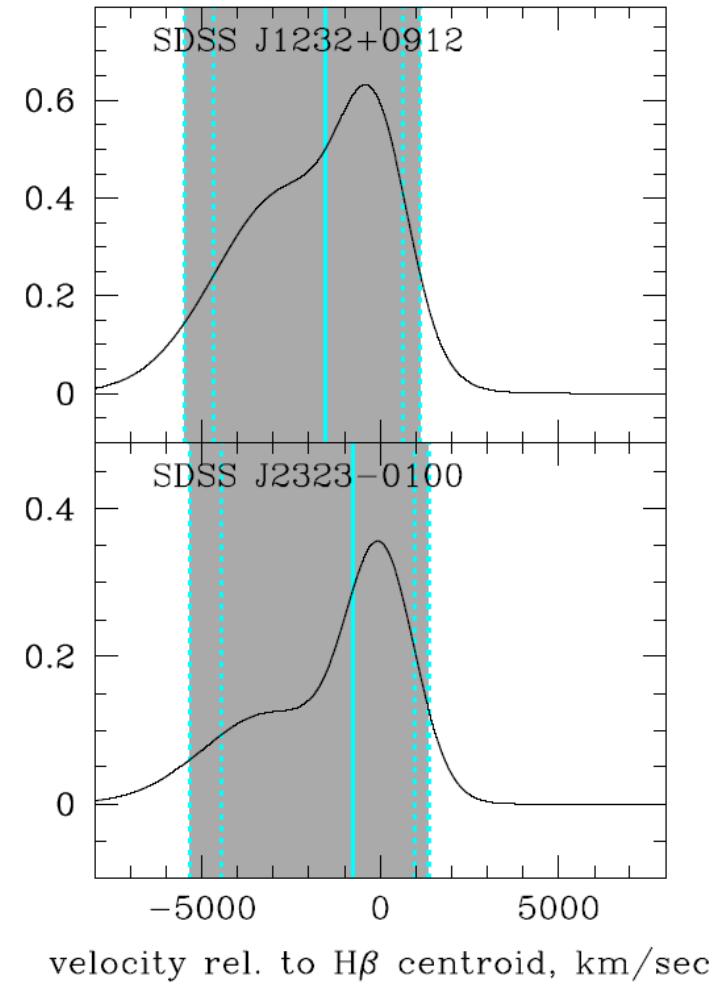


FIG. 2.— Optical-to-infrared colors and rest equivalent widths of CIV in the four objects presented in this paper (red squares) compared to those of DR12 BOSS quasars at  $2 < z < 3$  (Pâris et al. 2014, Pâris et al. in prep.). Green points show  $\sim 18,000$  objects that are detected in W4, whereas blue points correspond to  $\sim 147,000$  W4 upper limits, and therefore their  $r - W4$  colors are constrained to be smaller (bluer) than shown. Our targets stand out both in terms of their very red optical-to-infrared colors and their high REW of CIV $\lambda 1549\text{\AA}$ .



(Zakamska + 2014: Wind power  $\sim 4\%$  of bolometric luminosity)

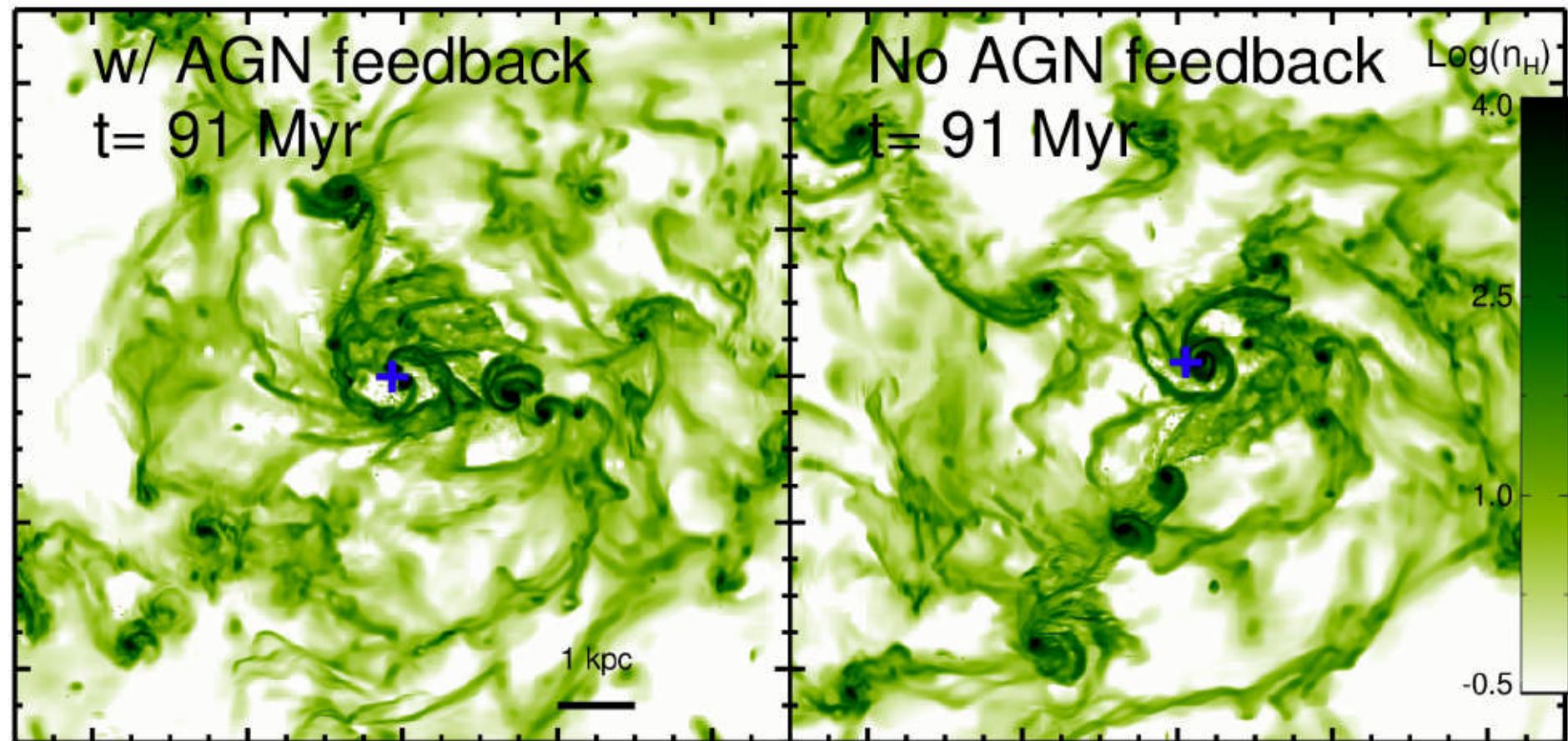
\* Ciccone +14: CO (radio), AGN boost outflow, Loutflow  $\sim 5\%$  of Lbol

## AGN feedbackは存在するか？

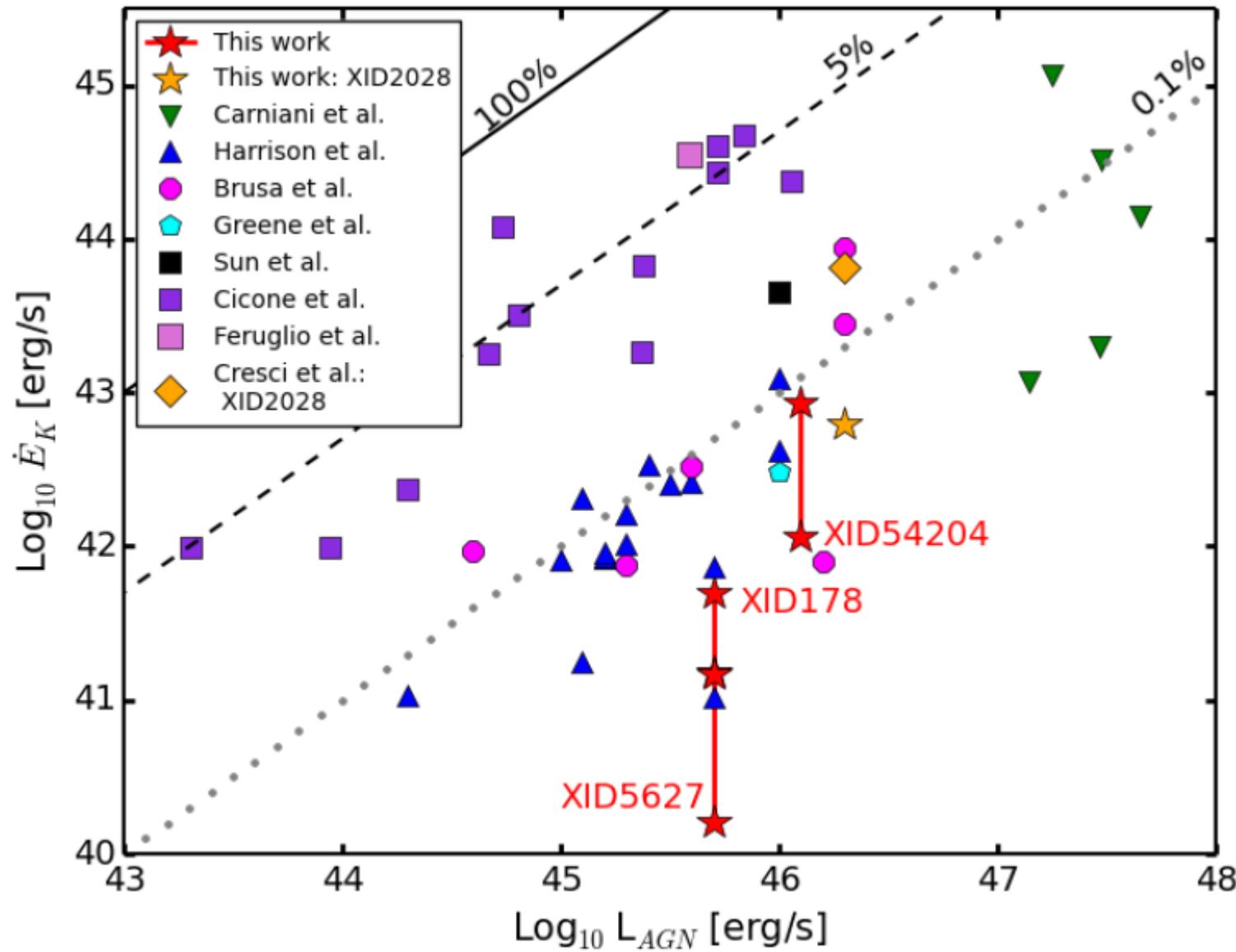
-- Quasar/Seyfert による母銀河での星形成活動へのNegative feedback --

『一』 否定的な結果・論調の研究例: (3頁)

\* Gabor + 14: Hydrodynamical simulation:  $L_{\text{wind}} = 15\% \text{ of } L_{\text{bol}}$   
→ Little impact on starforming galaxy disc



\* Kakkad + 16: SINFONI, w/o AO,  $z > 1.2$  AGNs, observing [O III] kinematics:  
 →  $L_{\text{wind}} \sim 0.2\%$  of  $L_{\text{bol}}$  ?

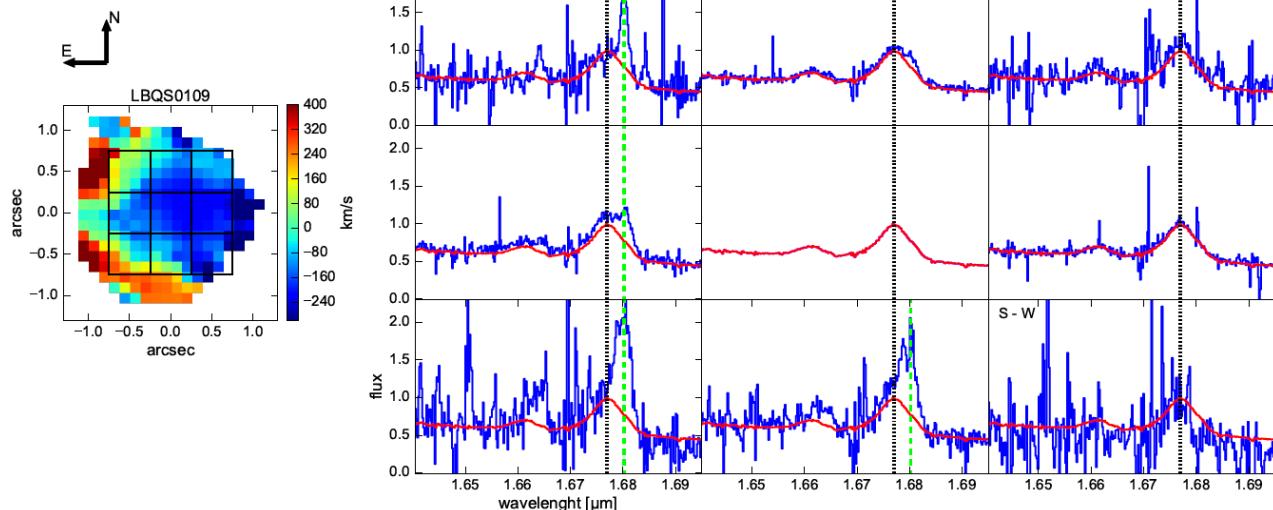


- \* Balmaverde +16: Herschel observations of  $z < 1$  quasars  
 $[\text{O III}]$ ,  $[\text{O II}]$  **strongly outflowing** and **weakly outflowing** objects  
 $\rightarrow$  similar star formation rates

- \* **Spatial resolution** is important to estimate wind/outflow power.  
Otherwise,  $\times(10\text{--}1000)$  overestimate

(Husemann+16; Villar-Martin +16)

- \* Carniani +16:  
SINFONI, w/o AO  
 $z \sim 2.4$  quasars:  
局所的には、  
negative/positive  
feedbackあっても、  
**母銀河全体には無い?**



「AGN feedbackはあるか?」今も混沌としている。地道に、銀河スケールで高速ガス噴出が起きているfeedbackの現場候補を、なるべく高い実スケール分解能で観測するしか。 $\rightarrow$  我々の取り組み

### 3. AO+可視光IFU (AO188 + Kyoto3DII) を用いた我々の取り組み

#### ● 目標: quasar-mode feedback

本当に起きているのか？

星形成活動に影響を及ぼすほどの強度なのか？  
(AGN活動発現中に普遍的に発生するのか？)

Outflow rate ( $\dot{M}_{\text{out}}$ ), kinetic power ( $\sim \dot{M}_{\text{out}} \times V^2$ )

などを定量的に、かつ高い空間分解能で調べる事が最初のステップ  
(AO付き可視光面分光装置: 8m級で、すばるKyoto3DII+AO188が初)

(Matsubayashi +2016, PASP)

#### ● 観測ターゲット

\* (long slit分光で得た)[O III]輝線に明らかにblueshiftが見えている天体

\* Narrow-line regionの見かけ直径  $\geq 1''$

(NLRサイズ推定: Bennert+02; Schmitt +03)

Aoki, Kawaguchi, Ohta 05; Komossa +08の2文献から、  
最近傍の2天体を選択した。

2015年9月24日 晩に、観測。2天体。

## これまでの「面分光で狙うAGN feedback (& feeding)観測」との違い (1/2)

- Alexander +2010:  $z \sim 2$  ( $[\text{O III}]$ が近赤外に), AO 無し (Gemini/NIFS)  
 $[\text{O III}]$ が近赤外にくるよう、high- $z$  を狙う研究は(今も)多数。  
× 実スケールでの分解能悪い
- Storchi-Bergmann group:
  - \* 近赤外: Gemini/NIFS+AO
    - type 1 AGN: NGC4151 (Storchi-Bergmann+10, 8pc resolution),  
Mrk79 (Riffel+2013):  $\sim 100\text{pc}$  resolution
    - NLS1: NGC4051 (Riffel+08)
    - type 2 AGN :Mrk1157(Riffel+11, 35pc resolution),  
NGC1068(Mazzalay+13, coronal lines)
  - × ガス密度がわからぬので仮定している。  
→ mass outflow rate等がかなり不確か  
(アブストラクトは勇ましく書いてあるものの)

## これまでの「面分光で狙うAGN feedback (& feeding)観測」との違い (2/2)

- Storchi-Bergmann group:

\* 可視光: Gemini/GMOS

LINER/Sy2 NGC1097 (Fathi+06, [N II]6583, spiral streaming)

Nearby 6 Seyferts [Barbosa+09,06, Ca II triplet 8500, [S III]9069, rotation + outflow (along with the radio jet)]

- 我々の計画: [O III] outflow objectを狙い feedback の現場を2Dで観る

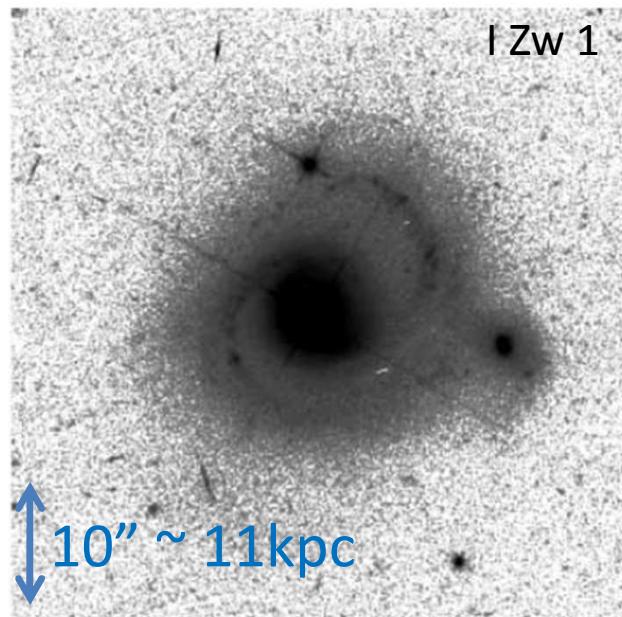
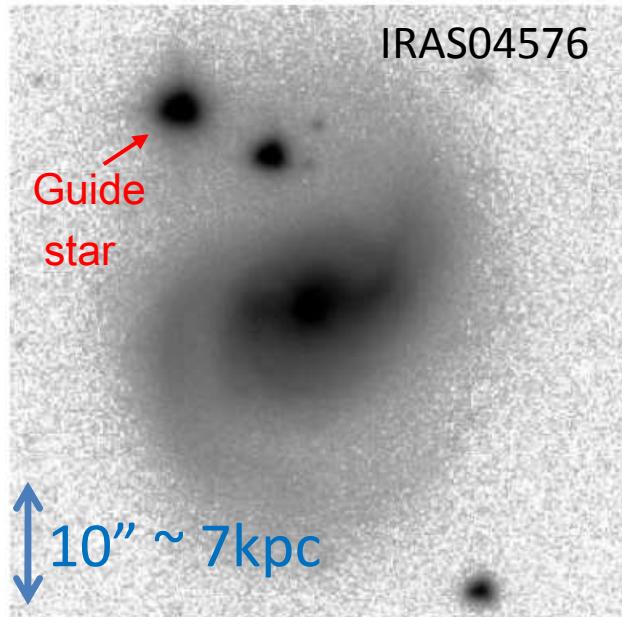
○ 可視光で観測: ガス密度が[S II]輝線比からわかり、定量的結論

○ [O III] outflow天体を狙う: CIV 輝線 bluetail, BALやX線吸収線で観測されるoutflowと違い、BHの重力圏の外まで確かに噴出している天体。

近さだけで選んだサンプル(Storchi-Bergmann group)と異なり、feedbackの現場が見えると期待される。

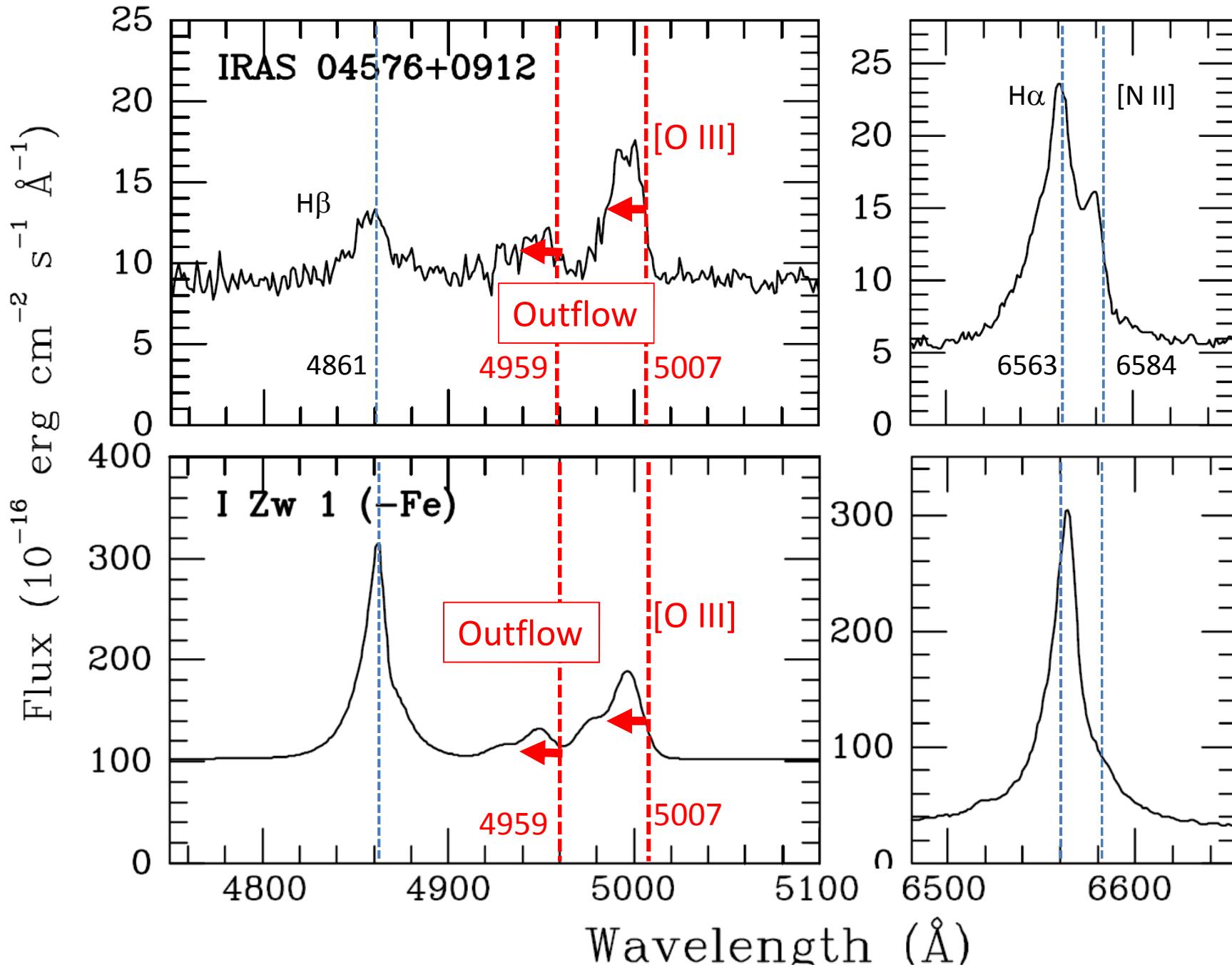
○ NLS1がターゲット: Rapid BH growthに付随する AGN feedback を調べる (--> BH-galaxy coevolutionを探る).

## ターゲット2天体の母銀河

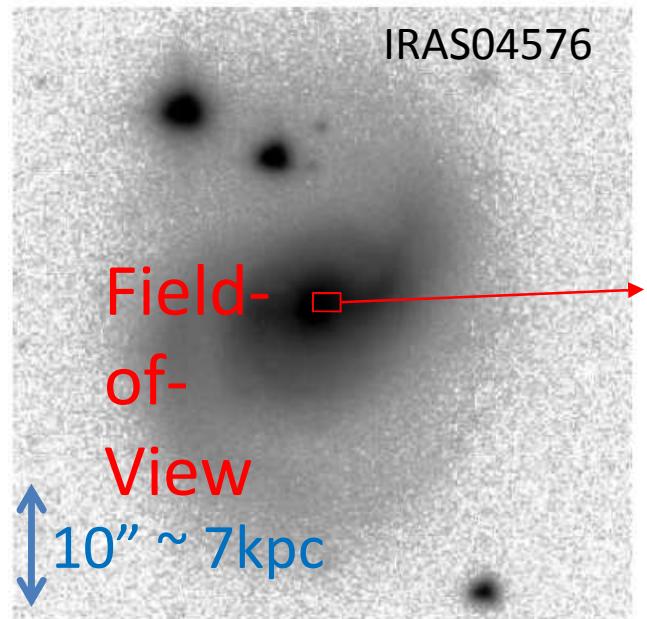


Ohta, Aoki, Kawaguchi, Kiuchi 2007

# ターゲット天体のスリット分光データ (Veron-Cetty +01): 頗著なOutflow



# ターゲットのうちの1天体(IRAS045)の解析状況



# ターゲットのうちの1天体(IRAS045)の解析状況: マップの一例 (Preliminary!)

現在、解析途中なので、視野全面ではなく、緑で囲った部分のみの領域の 3x3 bin のデータについての結果を紹介。

## まとめ

「活動銀河核から母銀河へのnegativeフィードバック」が本当なのかどうか調べるため、(8m級で)すばる望遠鏡だけが持っていた、補償光学+可視光面分光観測性能を活かし、昨年観測に成功しました。急いでデータ解析を行い、成果発表へ繋げていきます。それを素にTMTでの研究に繋がればと思います。