

高ガス降着率活動銀河核からの ガス噴出の面分光による研究

< Key questions >

Is there really quasar-mode feedback?

Is it powerful enough to quench star formation?

川口 俊宏 (尾道市立大学)

Collaborators: S. Ozaki (NAOJ), H. Sugai (U. Tokyo), K. Matsubayashi,
T. Hattori (NAOJ), A. Shimono (U. Tokyo), K. Aoki, Y. Hayano,
Y. Minowa (NAOJ), K. Mitsuda, Y. Hashiba (U. Tokyo)

面分光 = 視野内の場所ごとのスペクトルを得る観測手段
⇔ (古典的な)スリット分光

2017年8月28-30日 (JAMSTEC)

0. 思い出 (4頁)

1. 活動銀河核によるnegativeフィードバックは存在するか? -- 背景 --

2. 我々の取り組み・解析途中報告

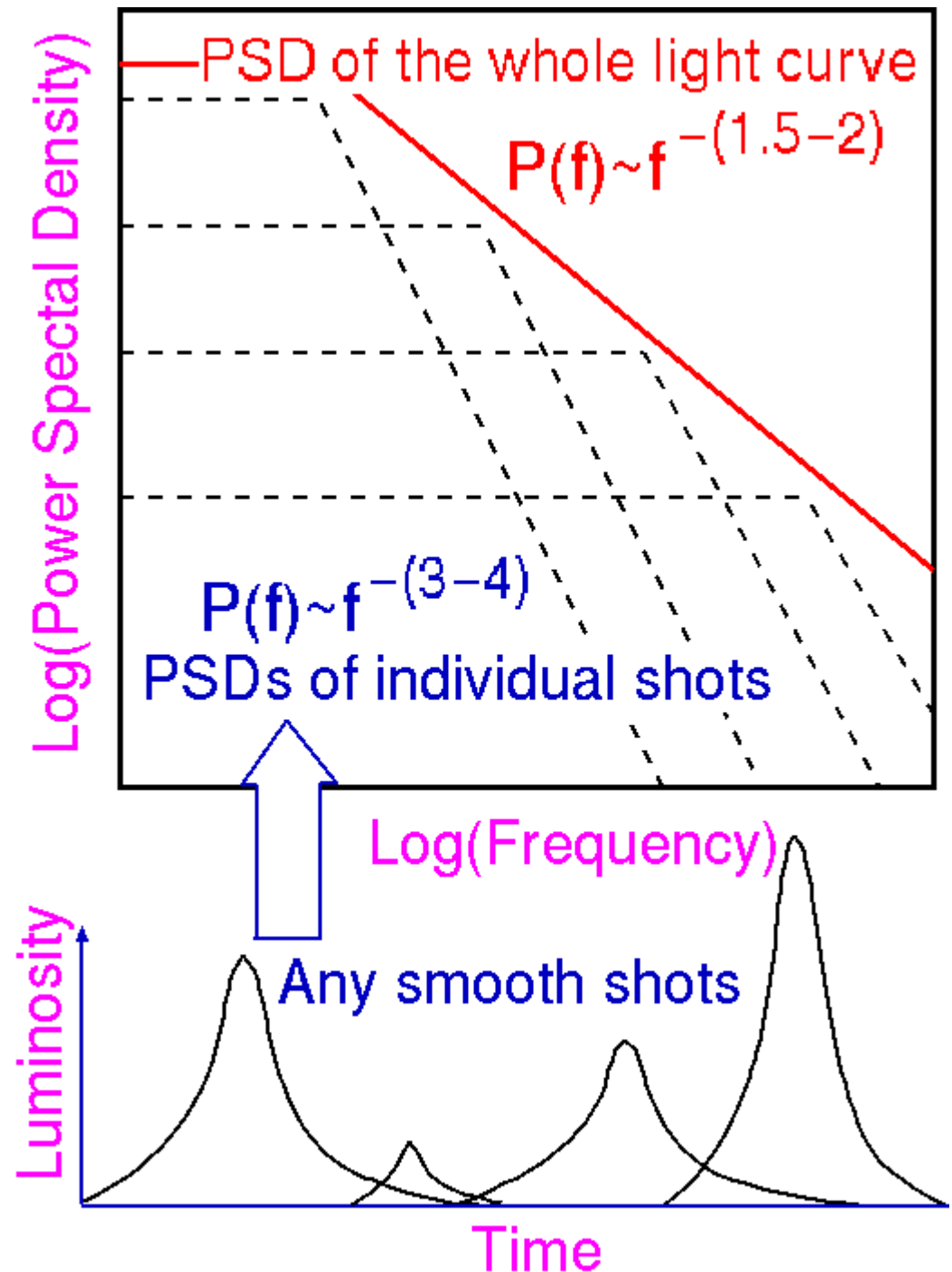
松元先生と私①

観測されるブラックホール
(BH)天体の時間変動

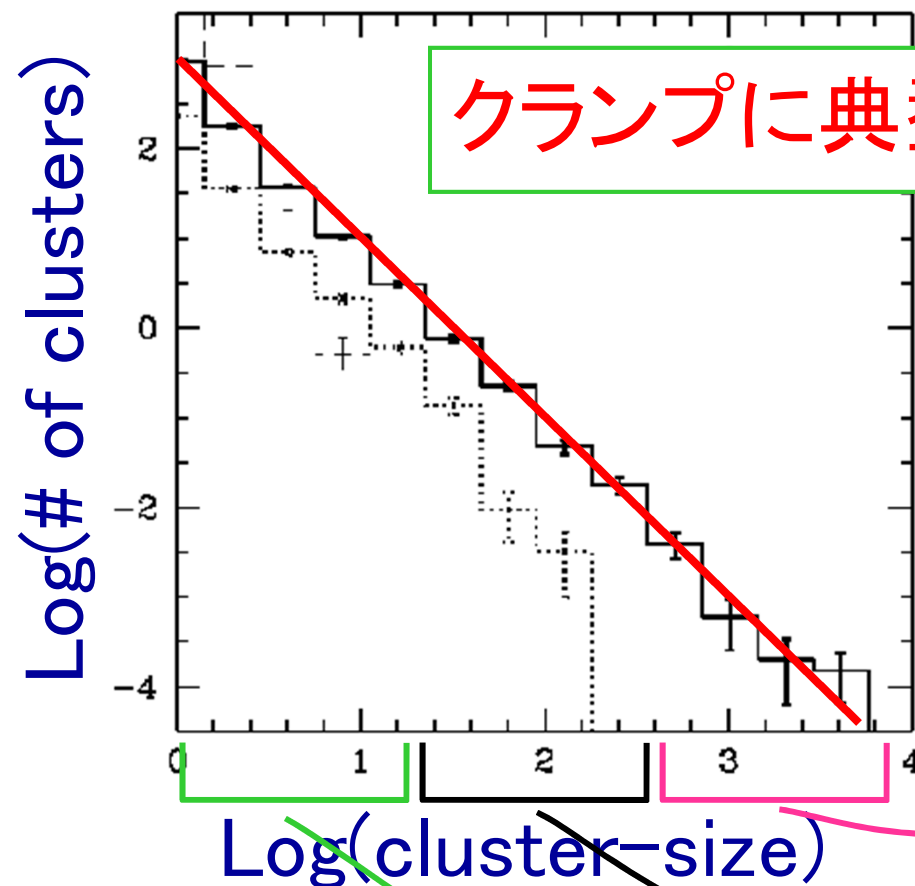
⇒ 緩やかな(2弱)傾きを持つ
パワースペクトル(PSD)

⇒ 様々なShot-Durationと
Amplitudeが必要
(典型的なサイズがあると、
急な傾きになる)

「エネルギーのReservoir
(蓄積機構)としての磁場」
の可能性の検証

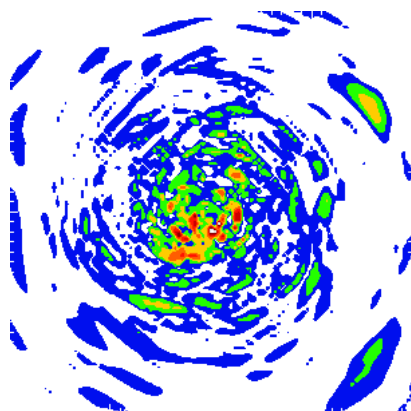
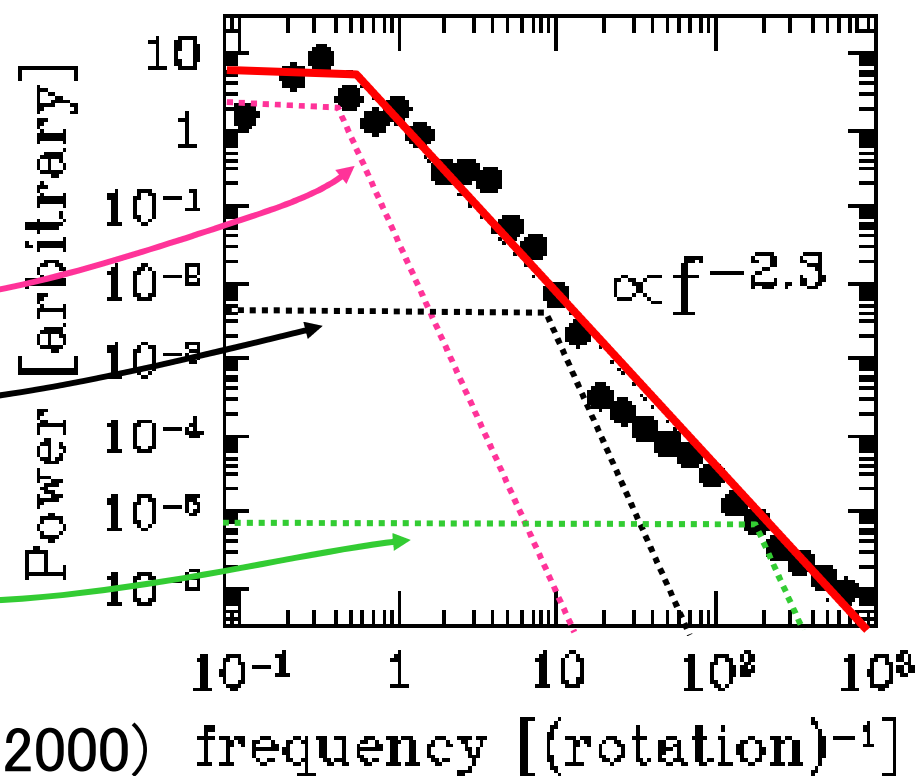


降着円盤内のフラクタル構造と時間変動



クラumpに典型的なサイズ無し.

解放されたエネルギーの
パワースペクトル

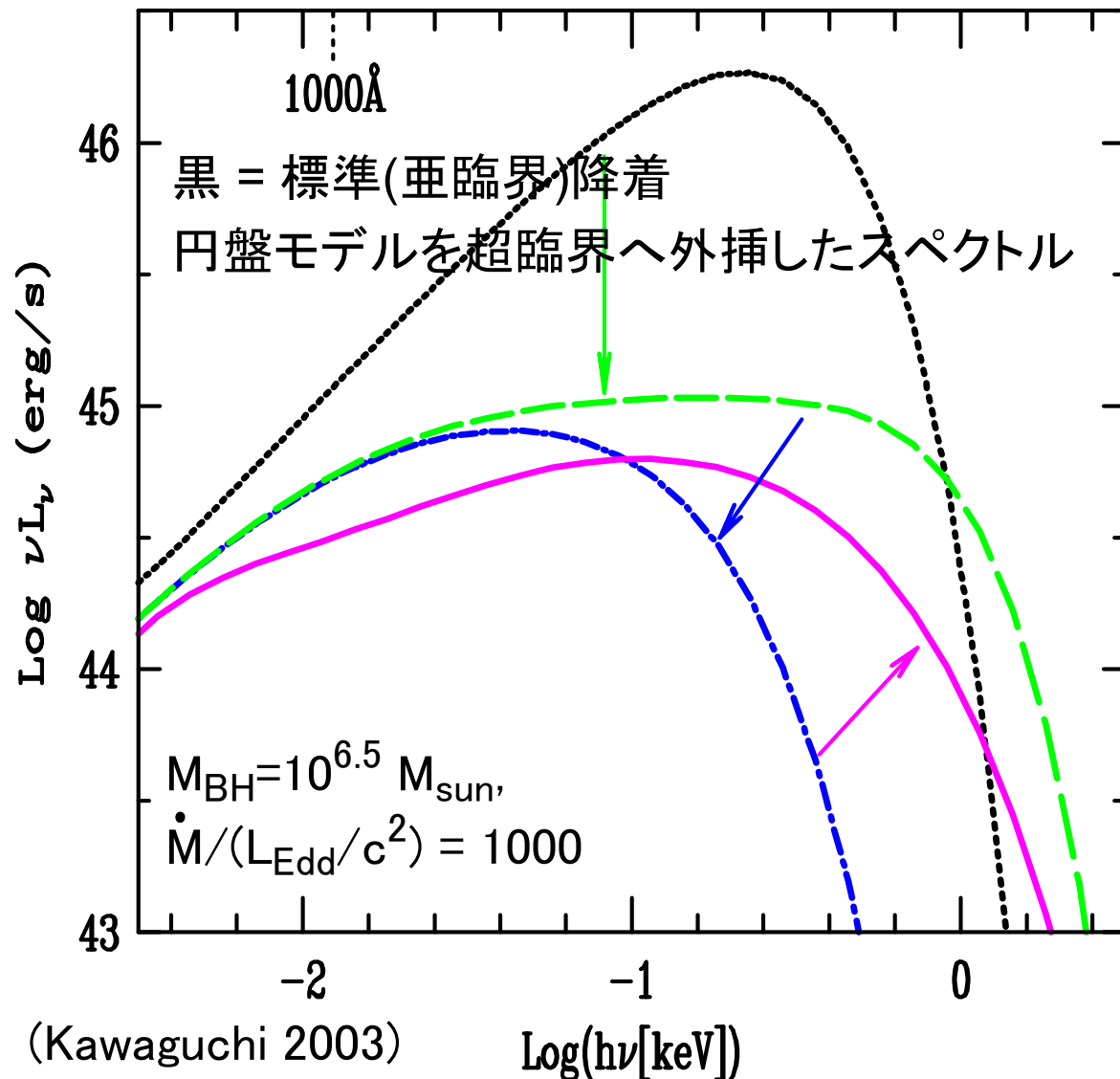


電子速度 ($\propto j/\rho$) 大
の領域 ("cluster")

(Kawaguchi et al. 2000)

松元先生と私②

松元さん(+本間さん、竹内充(みつる)さん、渡會さん)コード
+ 輻射素過程の計算



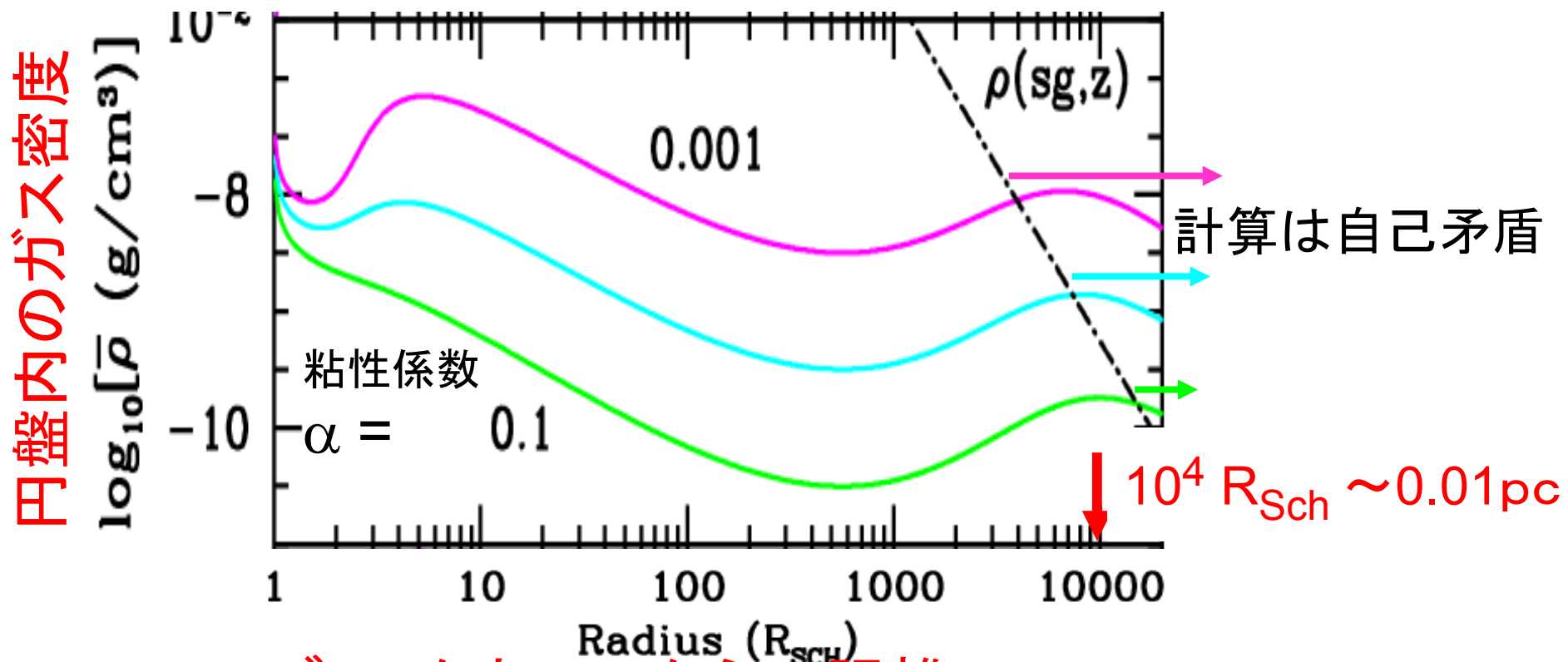
+ 輻射冷却の効率が
悪いことを考慮
(Mineshige, Kawaguchi,
M. Takeuchi, Hayashida, 2000)

+ 重力赤方偏移
+ 横ドップラーシフト
(ブラックホール周辺
からの放射は暗くなる)

+ 電子散乱の効果
⇒ 観測と(ようやく)合う

超臨界ガス降着円盤の自己重力

- ◆ 解が自己矛盾していないか検算中に、偶然みつかった：
ブラックホールからの重力に比べ、ガス円盤の自己重力は
たいてい無視できるほど小さい。⇒ 無視して計算していた。
- ◆ 解が一転破線よりも上にある
⇒ 超臨界降着流では、ガスの自己重力が降着流を支配



ブラックホールからの距離 Kawaguchi (2003) ⇒ TK+04b

高ガス降着率活動銀河核からの ガス噴出の面分光による研究

< Key questions >

Is there really quasar-mode feedback?

Is it powerful enough to quench star formation?

川口 俊宏 (尾道市立大学)

0. 思い出 (4頁)

1. 活動銀河核によるnegativeフィードバックは存在するか? -- 背景 --

2. 我々の取り組み・解析途中報告

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)

結局、今も混沌

補償光学(AO188) + 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 ×

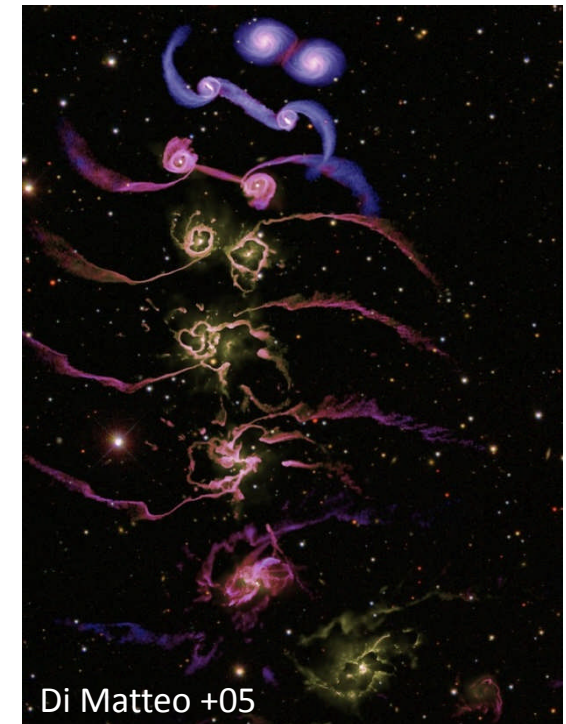
2015年9月: (ついに!) AOで約0.2秒のFWHMが得られた時間帯を
含む可視光面分光データを取得
現在: 鋭意、解析中。途中段階ですが後半で少し紹介します。

AGN outflows regulate black hole (BH) and galaxy evolution?

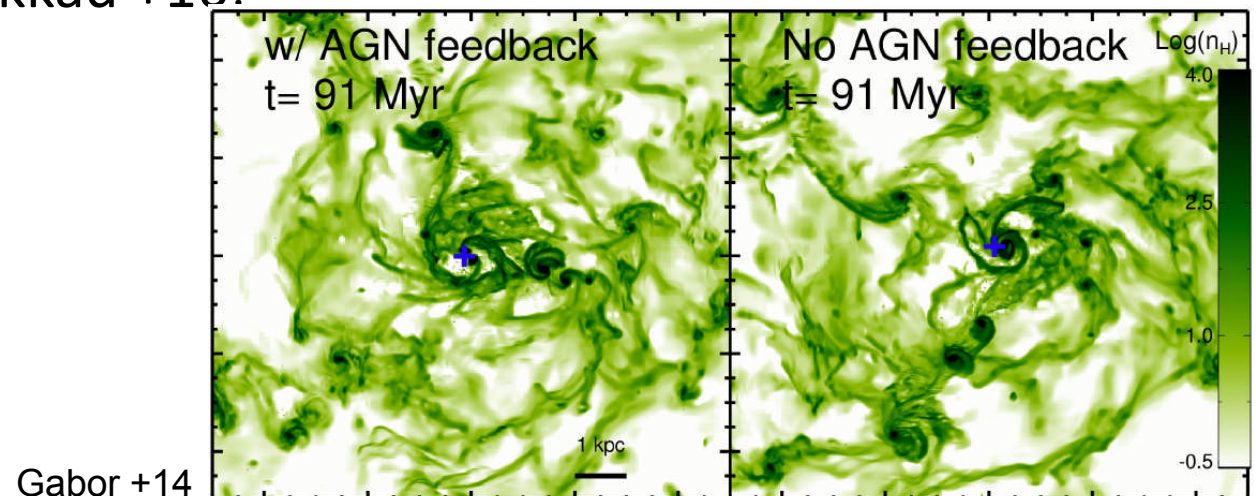
(朝比奈さん、野村さん 講演)

Yes: Silk & Rees 98; Fabian 99; King 03;
Schawinski +07, ...

Di Matteo +05:
銀河衝突、
銀河中心へガス降着、
AGN点火、
quasar-mode feedback、
ガス供給止まる



No: Balmaverde +16; Kakkad +16:
Carniani +16;
Villar-Martin +16 ...



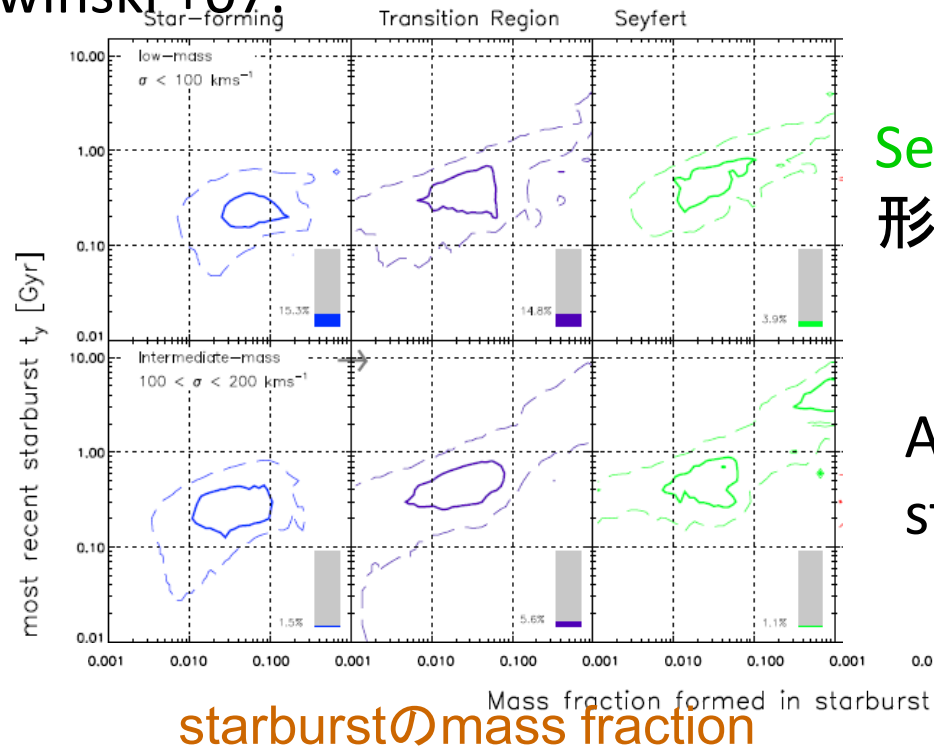
AGN feedbackは存在するか？ (1/3)

-- 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: (1頁)

* Silk & Rees 98; Fabian 99; King 03: Energy/Momentum
(wind, rad pressure)

* Schawinski +07:



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

* モデルで使用する、bolometric 光度に対するwind powerの大きさの例
 $L_{\text{wind}} \sim 5\% \text{ of } L_{\text{bol}}$ (Di Matteo +05), 0.5 % (Hopkins + Elvis 10)

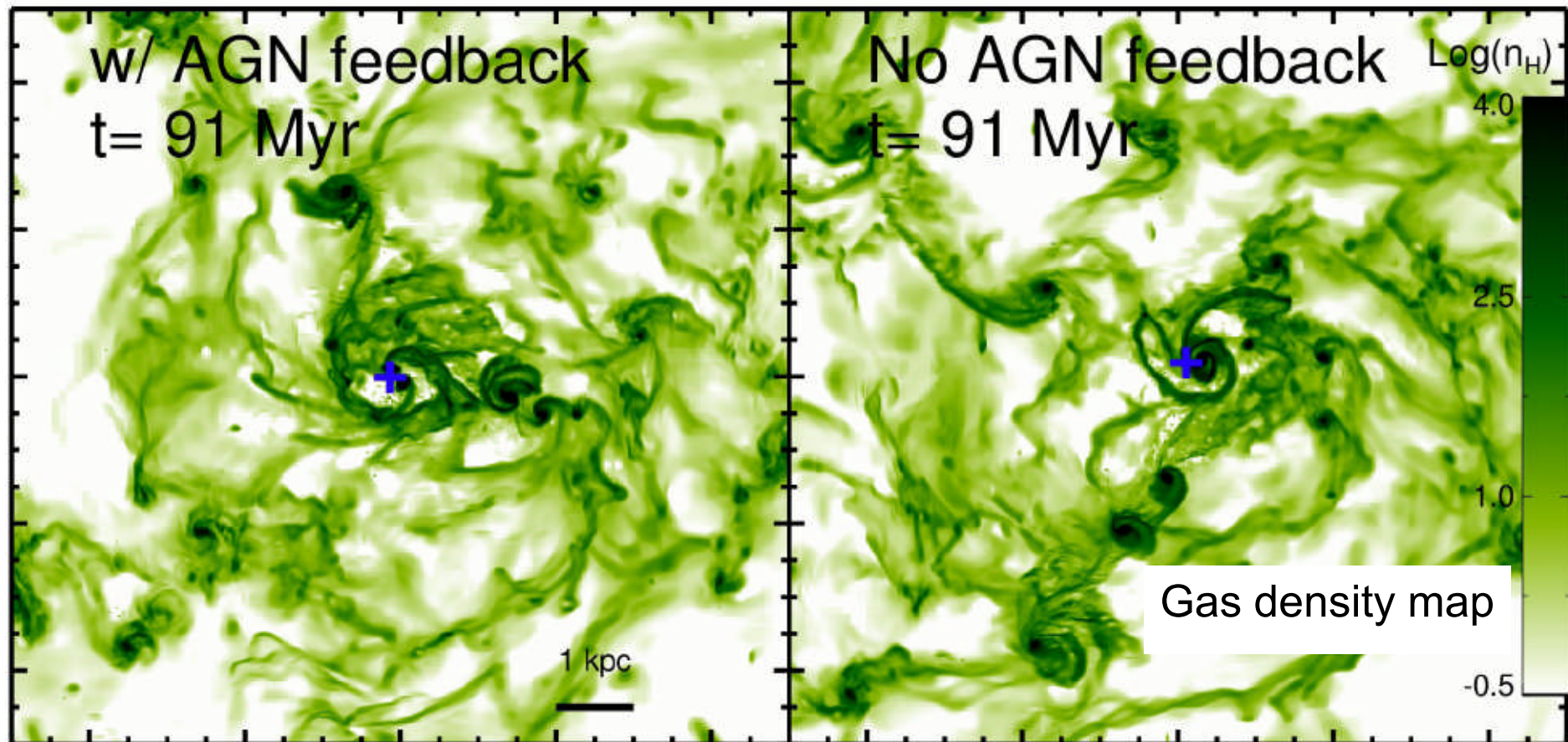
AGN feedbackは存在するか？ (2/3)

-- 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: (2頁)

* Gabor + 14: Hydrodynamical simulation: $L_{\text{wind}} = 15\%$ of L_{bol}

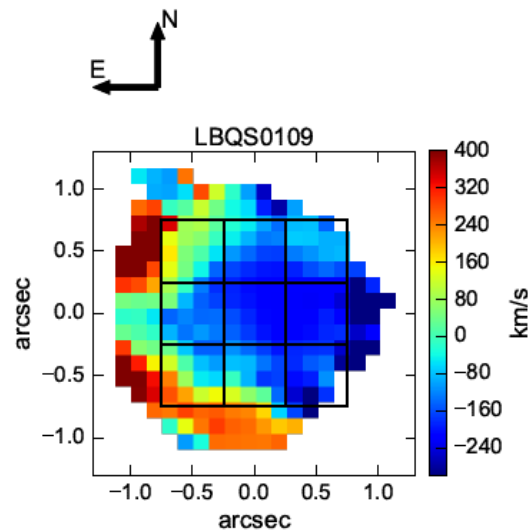
→ Little impact on starforming galaxy disc



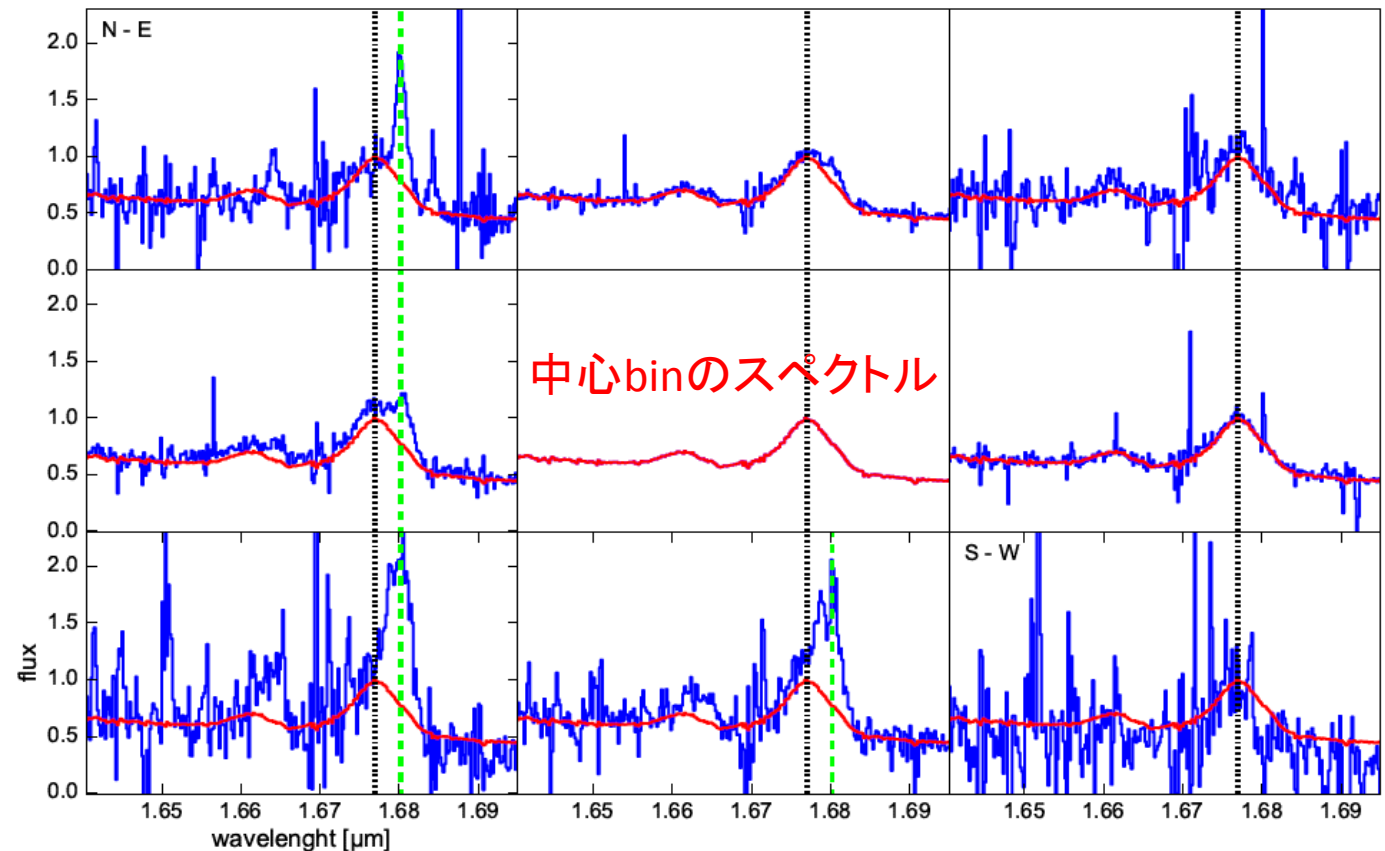
Carniani +16: [SINFONI, w/o AO (FWHM $\sim 0.6''$), $z \sim 2.4$ quasars]

局所的にはには、AGN feedbackあり。ただし、outflow cone edgeでの星形成の兆候などもあり、**母銀河全体にnegative AGN feedbackが強く効いていることは無さそう。**

5007 Å



[O III]輝線
上:速度マップ
右:各ビンのスペクトル



「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** → 我々の取り組み

高ガス降着率活動銀河核からの ガス噴出の面分光による研究

< Key questions >

Is there really quasar-mode feedback?

Is it powerful enough to quench star formation?

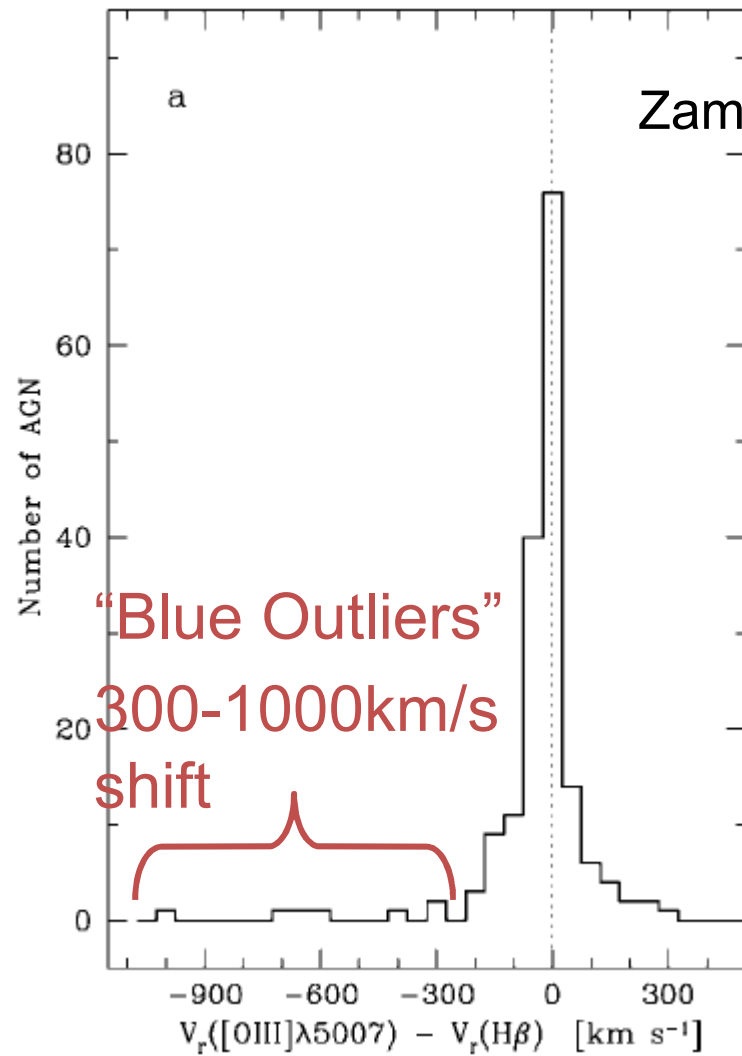
川口 俊宏 (尾道市立大学)

0. 思い出 (4頁)

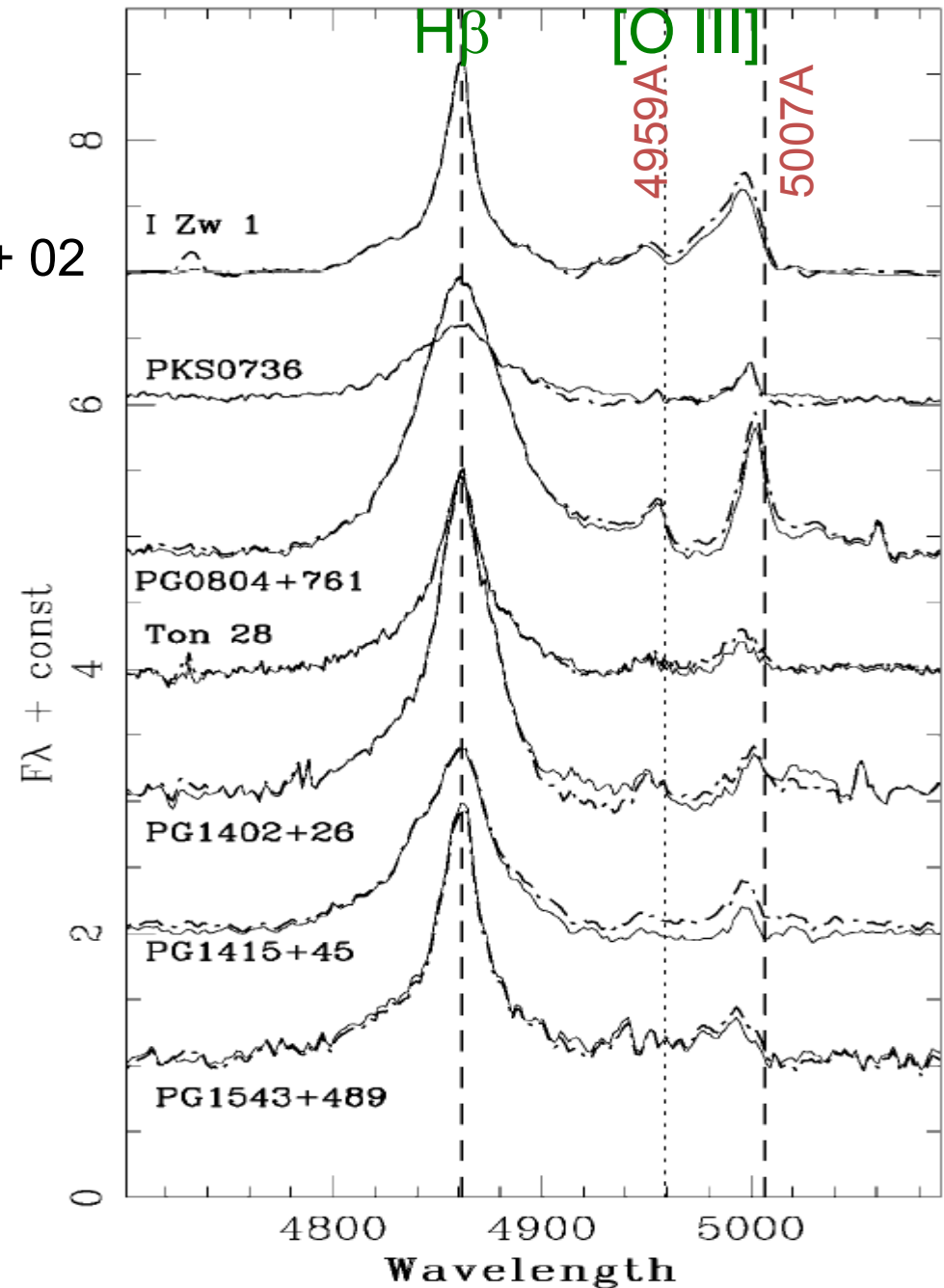
1. 活動銀河核によるnegativeフィードバックは存在するか? -- 背景 --

2. 我々の取り組み・解析途中報告

2-1. [O III] blueshift observed in Narrow-Line QSOs (Radio-quiet = Not jet-driven)

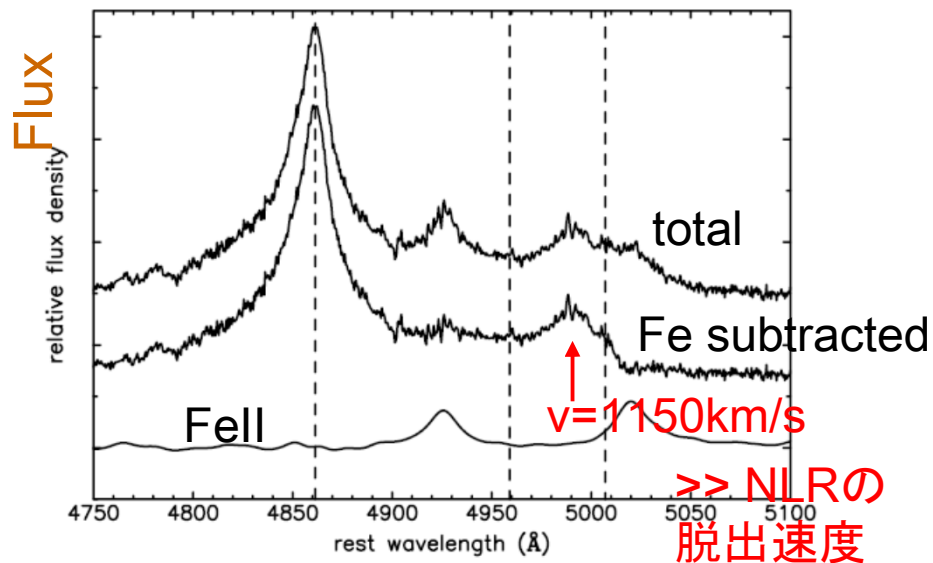


Velocity Shift H β v.s. [O III]



銀河スケール(狭輝線領域, NLR)で高速ガス噴出が起きる条件

Aoki, Kawaguchi, Ohta 05



静止波長(Å)

>> NLRの
脱出速度

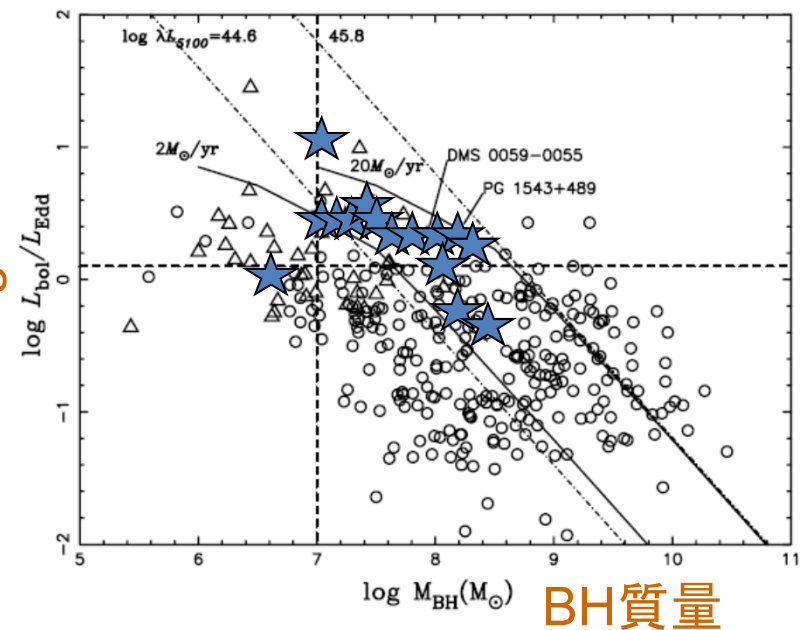
Outflow発現(★印)の条件:

大降着率 and/or

大Eddington比 (super-Eddington)

(満たせばいつでも、ではない)

Eddington比



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

2. 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 Seyfert 1 galaxies

⇒ 2015年9月24日 晩に、ついに観測成功。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: $z \sim 2$, AO 無し (Gemini/NIFS)

[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 @ 8pc resolution (Storchi-Bergmann+10),

Mrk79 @ ~ 100 pc resolution (Riffel+2013)

NLS1: NGC4051 (Riffel+08)

type 2 AGN :Mrk1157@ 35pc resolution (Riffel+11),

NGC1068(Mazzalay+13, coronal lines)

× **ガス密度**がわからないので仮定している。

→ 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

○ 面分光: NALや電波・赤外線スペクトルなどだと1次元情報

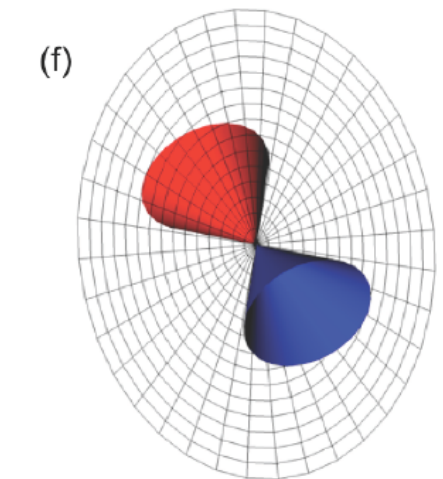
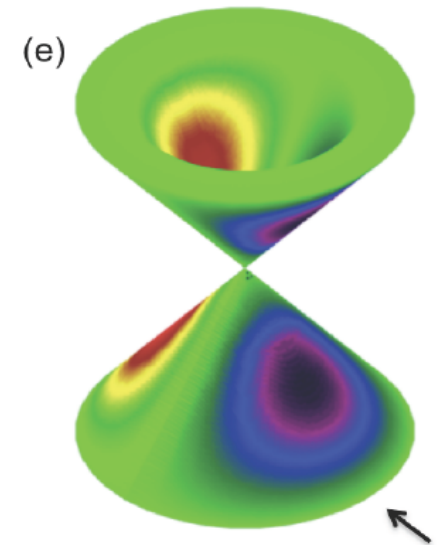
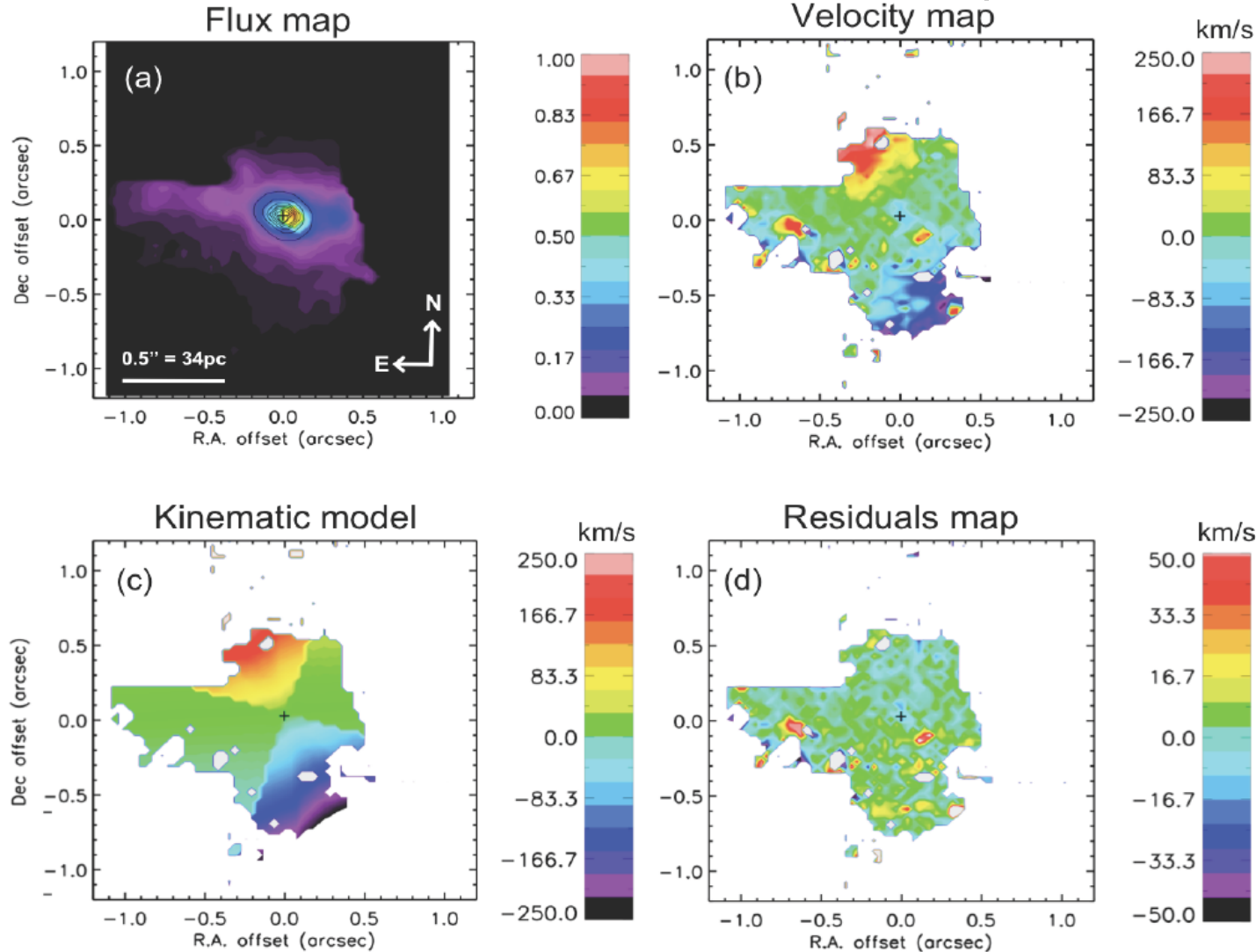
○ [O III] outflow天体を狙う: CIV 輝線 bluetail, BALや X線吸収線で
観測されるoutflowと違い、**BHの重力圏の外まで確かに
噴出**している天体。

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

○ 狭輝線1型銀河(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)

「面分光観測→データ解析→モデル構築」例

Muller-Sanchez+11



我々の方針: + 密度マップ ⇒ 運動量マップ、Kinetic power map ...

* 密度の不定性が、outflow/inflow rate の推定の大きな壁

(e.g. Storchi-Bergmann 2014)

Preliminary results (1/3)

3.1'' ~ 2.2kpc



Spectral fit for 615 lenslets

(Kawaguchi + in prep.)

Preliminary results (2/3)

Preliminary results (3/3)

まとめ

- * 「活動銀河核から母銀河へのnegativeフィードバック」仮説の検証
- * (8m級で)すばる望遠鏡だけが持っている(た)、
補償光学＋可視光面分光観測性能を活用
(→ガス密度にsensitiveな硫黄の輝線)
- * 2015年9月観測に成功
 - 急いでデータ解析中: Try & Error
(数)100pc スケールで、速度・ガス密度・電離源等の
構造が観えつつある
 - ガス噴出の兆候も観えてきた
 - VLT/MUSE可視AO面分光 に先駆けて成果発表へ