



KOOLS-IFU で探る AGN feedback

愛媛大学 D2 寺尾 航暉

共同研究者

長尾透 (愛媛大学) 橋本哲也 (国立精華大学) 柳澤顕史 (国立天文台) 松岡健太 (フィレンツェ大学) 松岡良樹 (愛媛大学) 鳥羽儀樹 (ASIAA) 山下拓時 (愛媛大学) 大西響子 (愛媛大学) 土居守 (東京大学) 小久保充 (東北大学)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus)

・銀河中心の非常にコンパクトな領域から銀河全体からの放射に 匹敵するエネルギーを放射

起源:中心に存在する超大質量ブラックホールに降着する

ガスが解放する重力エネルギー

(Salpeter 1964, Lynden-Bell 1969)

・莫大なエネルギー放射 → 周囲の環境に様々な影響を及ぼす

✔母銀河の星形成活動

AGN フィードバック



(Fabian 12, Silk & Mamon 12 など)

<u>銀河進化において重要な現象</u> (e.g., Croton+06)

・大質量銀河の数密度を抑制するメカニズム

outflow の起源によって分類 (Fabian 12)

Harrison 17

kinetic mode (radio mode)

主に電波ジェット由来

電波ジェットは母銀河やIGMへの フィードバックの重要な担い手

radiative mode (quasar mode)

主に降着円盤由来の放射によるもの (e.g., Di Matteo+05)

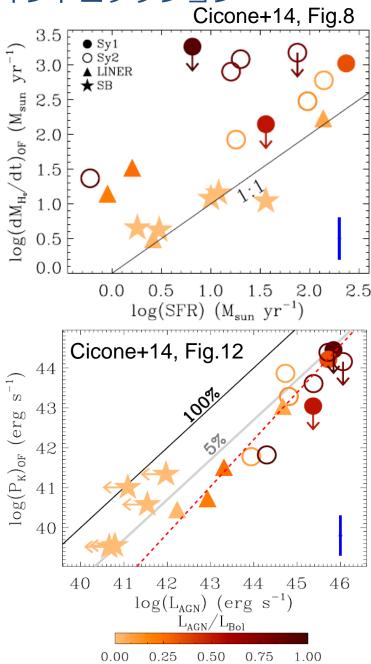
AGN wind の起源と考えられている

Gas Reservoir Usable star formation fuel AGN fuel **GROWTH (AGN)**

AGN フィードバックは母銀河の星形成に 影響を与えるか

kinematic energy $(\dot{E}_{\rm kin}) \longleftrightarrow$ bolometric luminosity $(L_{\rm bol})$

 $\dot{E}_{
m kin}/L_{
m bol} > 5$ % が理論による目安として使われている (e.g., Zubovas & King 12)



例:CO 観測による調査 (Cicone+14)

星形成率を上回る分子ガスの mass-outflow rate が 観測されている (左図)

→ 星形成に使われる前にガスを吹き飛ばしている 星形成活動に影響を与えていることを示唆

- ・いつくかの AGN は $\dot{E}_{
 m kin}/L_{
 m bol}$ ~ 5 % を示す AGN フィードバックが起きていることを示唆
- ・ただ、 \dot{E}_{kin}/L_{hol} < 5% の天体も存在

また、実際に AGN-driven outflow によって 星形成を阻害する過程が起こっているのか 確認されていない

いくつかの AGN では $\dot{E}_{
m kin}/L_{
m bol}$ < 1 % 以下を示す (Schlesinger+09; Dunn+10; Riffel+10 など)

- ・AGN フィードバックは全ての天体で起こっているはず $(M_* \sigma$ 関係や銀河数密度などの観測結果を説明するために)
 - → outflow による力学的な加熱だけでは**不十分**である可能性

outflow に起因する衝撃波による加熱に注目

→ AGN からの outflow と星間物質の相互作用によって衝撃波が発生 (e.g., King & Pounds 15)

母銀河スケール (~ kpc) での衝撃波の影響を 調査するために

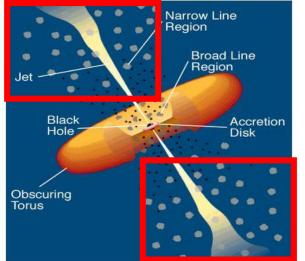
を AGN 統一モデル (Urry & Padovani 95)

AGN の Narrow Line Region (NLR) に着目

・空間スケール:~ <u>10²⁻⁴ pc</u>



AGN フィードバックが母銀河に 与える影響が調査できる



NLR の電離メカニズム

・中心核からの電離光子による光電離

(Osterbrock 89, Binette+96, Groves+04, Bianchi+06)

・電波ジェットに起因する衝撃波による衝突励起

(Knop+96, Wilson & Raymond 99, Fu & Stockton 07)

電離メカニズムの切り分け

→ AGNフィードバックの物理的起源が放射 or 力学的運動の どちらが支配的かについて理解が進む

電離メカニズムの研究:可視光の分光観測による輝線診断

→ 観測結果を理論予測との比較によって切り分けることができていない

(Dopita & Sutherland 95, 96, Groves+04, Allen+08, Kewley+13)

NLR の電離メカニズム

電離メカニズムを切り分ける方法

近赤外線の鉄とリンの輝線強度比

[Fe II] 1.257 μm / [P II] 1.188 μm による診断

(Oliva+01)

電離メカニズムの研究:可視光の分光観測による輝線診断

→ 観測結果を理論予測との比較によって切り分けることができていない

(Dopita & Sutherland 95, 96, Groves+04, Allen+08, Kewley+13)

[Fe II]/[P II] に注目する理由

① 輝線放射に関わる物理量

	[Fe II]1.257	[P II]1.188
臨界密度	$3.5 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$	$5.3 \times 10^4 \mathrm{cm}^{-3}$
電離ポテンシャル	7.9 eV	10.5 eV

(Storchi-Bergmann+09, Koo+13)

物理量がよく似ている



同じ物理状態にある NLR のガスからの放射が期待

[Fe II]/[P II] に注目する理由

② ダストに対する振る舞い

▶ Fe: 多くはダストに閉じ込められている

P:多くはガス中に存在

光電離 → ダストは破壊されない → ガス中の鉄が少ないまま

→ [Fe II] 輝線が弱い

衝撃波 → ダスト破壊 → ガス中の鉄が増加する

→ [Fe II] 輝線が強くなる

(Oliva+01)

[Fe II]/[P II]強度比は衝撃波の有無によって変化

[Fe II]/[P II] に注目する理由

② ダストに対する振る舞い

▶ Fe: 多くはダストに閉じ込められている

P:多くはガス中に存在

光電離 → ダストは破壊されない → ガス中の鉄が少ないまま

→ [Fe II] 輝線が弱い

[Fe II]/[P II] ~ 2

衝撃波 → ダスト破壊 → ガス中の鉄が増加する

→ [Fe II] 輝線が強くなる

例:超新星残骸

例:HII 領域

[Fe II]/[P II] ~ 20

(Oliva+01)



[Fell]/[PII]:衝撃波の影響を調査できる

[Fe II]/[P II] に注目する理由

NLR では衝撃波の寄与の違いによって 2 < [Fe II]/[P II] < 20 の範囲に分布する





<u>[Fell]/[PII]:衝撃波の影響を調査できる</u>

問題点

[Fe II]/[P II] 強度比の観測例が少ない

→ 統計的議論を行うにはサンプル数が不十分

手段

近傍に存在するセイファート銀河 26 天体の中心核領域を 近赤外分光観測

→ [Fe II]/[P II] 強度比を取得

<u>目的</u>

NLR の電離メカニズムと衝撃波の起源を調査

観測

観測

- 場所:岡山天体物理観測所(岡山県浅口市)
- 口径:188 cm
- 観測装置:ISLE (近赤外線撮像分光装置)
- 観測日時: 2010年8月、2011年1,3,4月
- Band : *J*-band (1.11 1.32 μ m)
- Slit width: 2".0
- 波長分解能: ~ 1300
- pixel scale : 0''.25 pixel⁻¹
- seeing size : 1''.0 2''.0



188 cm 望遠鏡に搭載されたISLE (http://www.oao.nao.ac.jp/~isle/index.html)

観測

観測サンプル

- 近傍 (z < 0.05) に存在するセイファート銀河 26 天体
 - **√** 6 天体で [Fe II], [P II] の両輝線を検出
 - ✓ 13 天体で [Fe II] のみ検出
 - → [Fe II]/[P II] 強度比の3σ下限値を導出

本研究:**19 天体の強度比を取得**

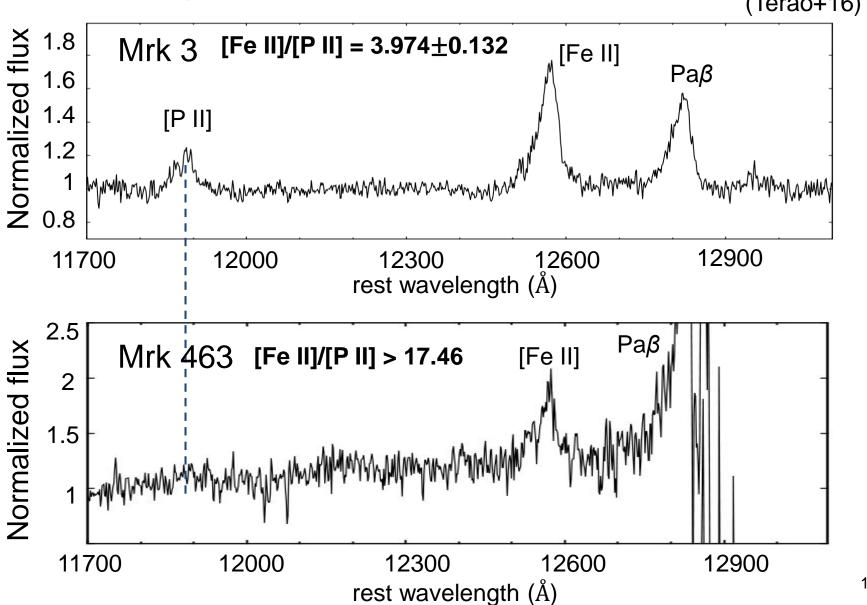
• 先行研究: 22 天体の強度比を取得



強度比サンプル:41 天体

観測で得られたスペクトル

(Terao+16)





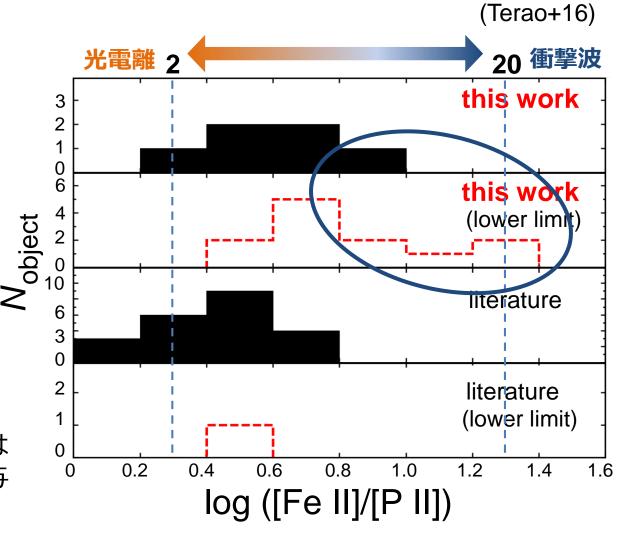
[Fe II]/[P II]強度比

多くの天体は光電離が 支配的

先行研究よりも高い 輝線比を示す天体を 発見 (青丸)

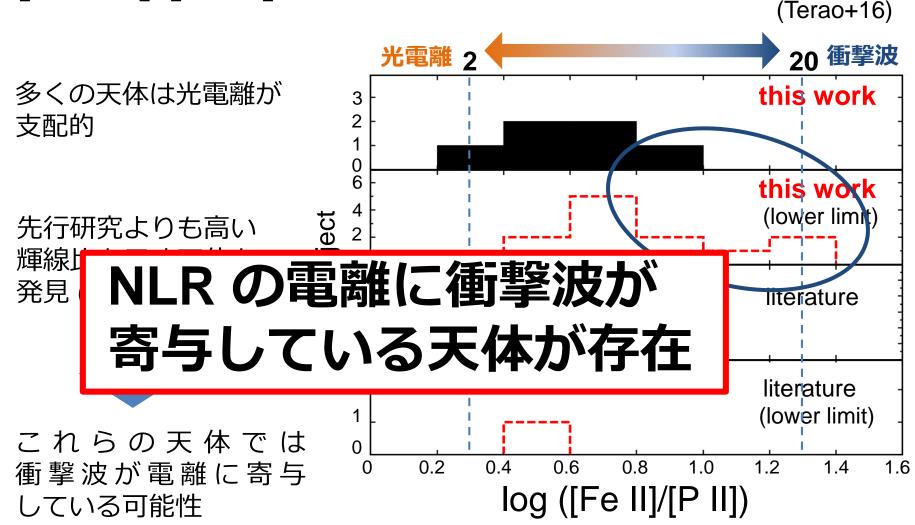


これらの天体では 衝撃波が電離に寄与 している可能性





[Fe II]/[P II]強度比

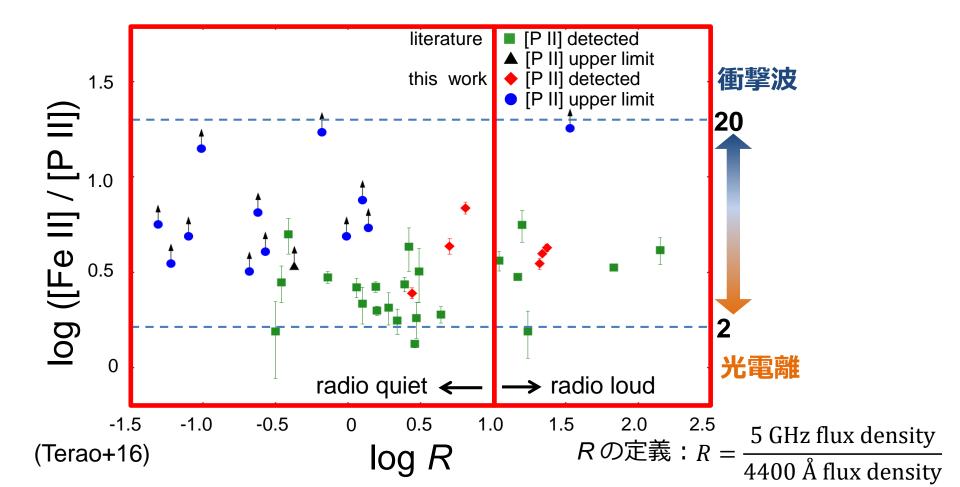




衝撃波の起源:電波ジェット

radio loudness (*R*):電波ジェットの強弱の指標

- ・radio loudness と強度比は無相関
- ・高い強度比を示す天体は幅広い radio loudness の値を示す

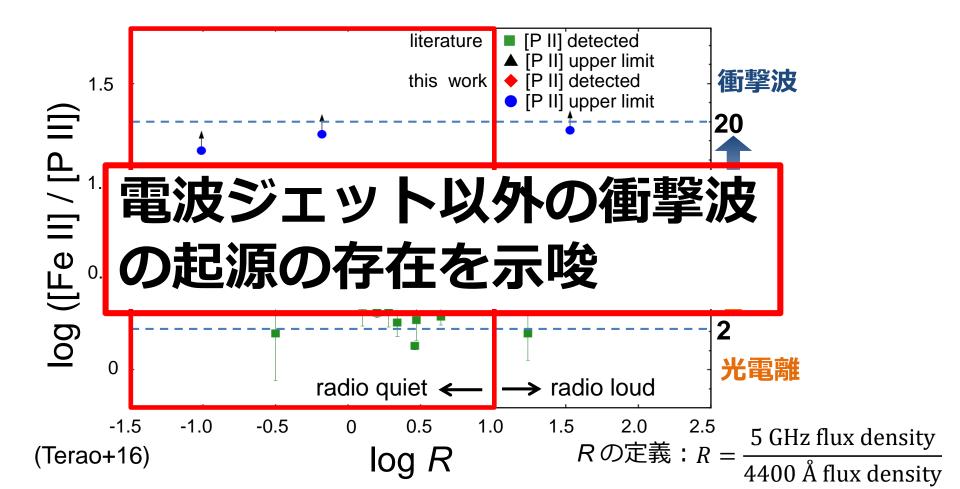




衝撃波の起源:電波ジェット

radio loudness (*R*):電波ジェットの強弱の指標

- ・radio loudness と強度比は無相関
- ・高い強度比を示す天体は幅広い radio loudness の値を示す



議論

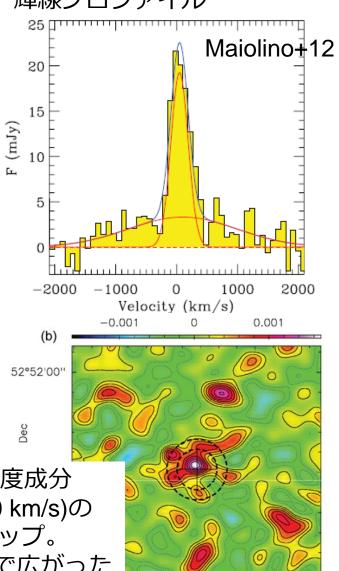
衝撃波の起源

AGN アウトフロー

- ・約1000 km/s 以上で運動するガス
 - 、✔ 速度幅の大きい輝線
 - → ✓ blueshiftした輝線 (吸収線)
- ・kpc スケールまで広がっている(右下図)
- ・放射立体角が大きい
- \bigcirc J1148+5152 (z = 6.4189)
 - ·~ 1300 km/s の速度成分を観測(右上図)
 - mass outflow rate > 3500 $M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
- Mrk 231 (z=0.042)
 - ・~ 1000 km/s の成分を観測

(Rupke+11, Feruglio+15)

J1148+5152 (z = 6.4189) で 観測された [CII]158 μm の 輝線プロファイル



[CII] の高速度成分 (300-1300 km/s)の 輝線強度マップ。 ~ 16 kpcまで広がった 成分を観測

Maiolino+12 178

R.A.

shock が発生している天体では何が起こっている?? shock の起源は何なのか??

→ IFU 観測による空間情報が必要!

<u>2017年12月に西はりま天文台にて long-slit による可視光 IFU 観測</u>

観測諸元

・口径:2 m

・観測装置:LISS (可視光撮像分光装置)

• slit width : 1".0

・波長分解能:~ 1000

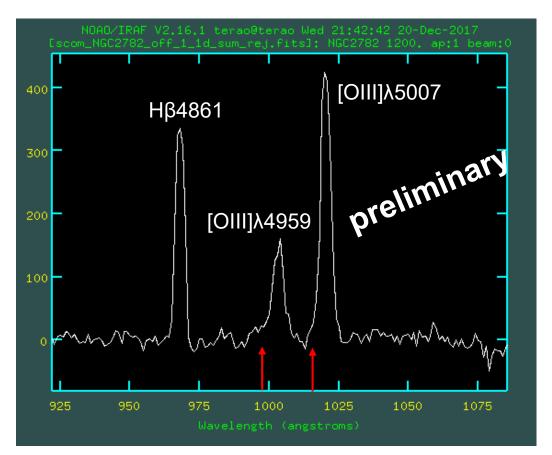
- [FeII]/[PII] > 5 の衝撃波の存在が示唆される 4 天体について、 outflow が存在するのか調査
 - → NLR 起源である [OIII] に高速度成分が存在するかどうか
- ・観測結果 (解析途中の段階)
 - 1天体について、outflow の兆候??を確認
- ※ long-slit による IFU は観測・解析が難しい
 - ・それぞれの観測における位置合わせ (guide star など明るい星を参照)
 - ・観測時間の増加 (複数ポジションでの観測が必要)

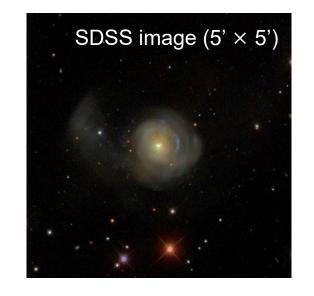
outflow の兆候らしき成分??が見えた天体

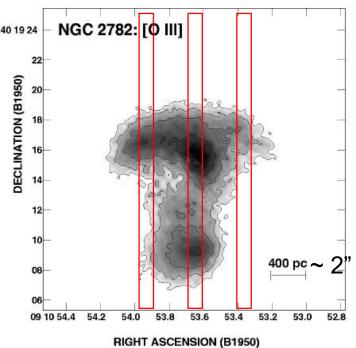
NGC 2782 ([FeII]/[PII] > 15.88, PA = 90°)

- 2" offset 領域 (2 h 積分)
 - →裾野に非対称成分 (wing) ? が見えている
 - → 高速度成分 (outflow) の存在を示唆?

ただ、非対称成分はとても弱い







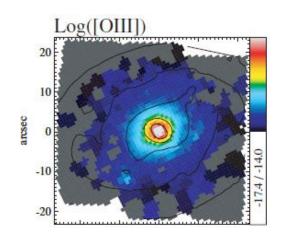
(Jogee+98: WHT)

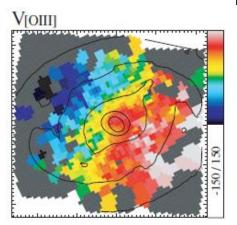
KOOLS-IFU による AGN フィードバックの調査

京大3.8 m 望遠鏡の KOOLS-IFU によって、微弱な非対称成分を 検出できる観測をやりたい

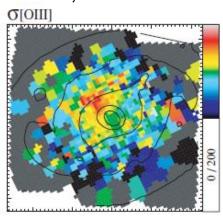
また、検出可能な領域が増えることで outflow の詳細な空間構造を 取得できる

- ・[Fell]/[PII] 強度比を基にしたサンプル構築
- ・空間分解した電離ガスの運動 (速度マップの作成)
- ・outflow の有無・空間構造、物理状態の調査
- ・KOOLS-IFU (FoV: 14".8) では、一度に NLR 全体を観測可能 下図のような図を作成 → outflow の調査が可能

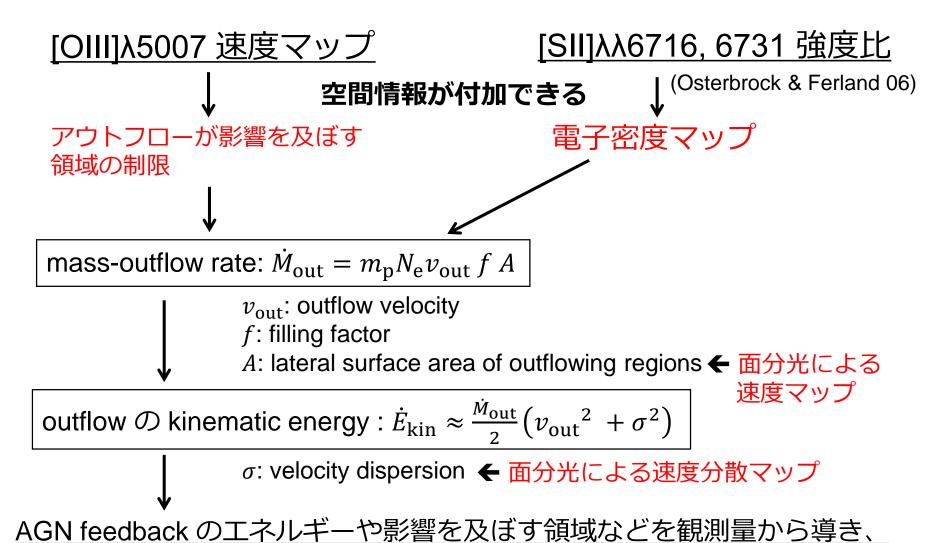




NGC 2273; Falcon-Barroso+06



可視光面分光観測



形成を止める・銀河外へガスを吹き飛ばすことができるか評価する

まとめ

- ・近赤外線の [Fe II] 1.257 µm/[P II] 1.188 µm 強度比
 - → NLRにおける衝撃波の影響の調査が可能
- ・近傍 AGN 41 天体において、NLRの電離メカニズムは多くの天体は主に光電離であると考えられるが、衝撃波が寄与している天体が存在することが分かった
- ・強度比と radio loudness の間に相関が見られないため、 電波ジェット以外の衝撃波の起源の存在を示唆
- ・AGNアウトフローがNLRにおける衝撃波の起源の可能性
- ・[FeII]/[PII] サンプルに対して、KOOLS-IFU による可視光面分光観測から、outflow の有無・起源を調査したい (特に [FeII]/[PII] が高い天体)
 - → AGN フィードバックの理解につながる調査を行う