

近赤外分光観測に基く AGN の狭輝線領域における 電離メカニズムへの制限

寺尾 航暉 (愛媛大学大学院 理工学研究科)

Abstract

活動銀河核 (AGN) の狭輝線領域 (NLR) からは様々な元素から多様な輝線が放射されており、銀河スケールにおける電離ガスの状態や化学進化を深宇宙から現在の宇宙まで系統的に探るために非常に有用な道具として利用されてきた。この NLR の電離メカニズムは、中心核からの電離光子による光電離であるとする考えが広く支持されているが、電波ジェットによる衝撃波が電離に影響を及ぼしている可能性も指摘されている。

NLR の電離メカニズムの研究は、輝線強度比による診断によって行われてきたが、一般には光電離と衝撃波による電離を切り分けることが困難であった。その中で、Oliva et al. (2001) が NLR の電離メカニズムを調べる有用な手段として、近赤外線に見られる輝線 [Fe II] λ 1.257 μm と [P II] λ 1.188 μm の強度比を用いる方法を提案している。衝撃波によって電離されたガスでは、輝線強度比 [Fe II] λ 1.257 μm /[P II] λ 1.188 μm が大きく (> 20)、光電離されたガスでは小さい (< 2) ことが期待され、実際の NLR では衝撃波の寄与の違いによって、 $2 < [\text{Fe II}]\lambda 1.257 \mu\text{m}/[\text{P II}]\lambda 1.188 \mu\text{m} < 20$ の範囲に分布すると考えられる。ところが、AGN におけるこの輝線強度比はあまり調査されておらず、サンプル数が少ないために統計的な議論はほとんど進んでいない。

本研究では、岡山天体物理観測所の近赤外分光装置 ISLE を用いて近傍宇宙の AGN (計 27 天体) の中心核領域を分光観測したデータの解析を行った。その内、解析が終っている 3 天体について、[Fe II]/[P II] 輝線強度比を求めた。その結果、必ずしも全ての AGN の NLR が光電離によって電離されているとは限らない、ということが分かった。

1 Introduction

活動銀河核 (AGN) とは、銀河中心のごく狭い領域で極めて明るく輝いている天体で、そのエネルギー源は、超巨大ブラックホールへの質量降着であると考えられている。AGN からはさまざまな輝線が放射されており、輝線の速度幅が $10^2\text{--}10^3 \text{ km s}^{-1}$ 程度の輝線を放射する狭輝線領域 (NLR) は、銀河スケールにおける電離ガスの状態や化学進化の研究に非常に有用な道具としてしばしば利用されてきている (e.g., Nagao et al. 2006)。NLR の電離メカニズムは、中心核からの電離光子による光電離であるとする考えが広く支持されているが (e.g., Matsuoka et al. 2009)、電波ジェットに起因する衝撃波による衝突励起が寄与している可能性も指摘されている (e.g., Fu & Stockton 2007)。

NLR の電離メカニズムの研究は、輝線強度比によ

る診断によって行われてきたが、一般には光電離と衝撃波による電離を切り分けることは困難であり、このことが NLR の電離メカニズムの究明を長い間阻んできた。その中で、Oliva et al. (2001) が NLR の電離メカニズムを調べる有効な手段を提案している。それは、近赤外線に見られる輝線 [Fe II] 1.257 μm と [P II] 1.188 μm の強度比を用いる方法である。

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{P})} \lesssim 2 \frac{I([\text{Fe II}] 1.257 \mu\text{m})}{I([\text{P II}] 1.188 \mu\text{m})} \quad (1)$$

ここで、 n と I はそれぞれの存在量、輝線の強度を表わしている。

[Fe II] と [P II] を用いるのは、波長が近いことと、励起温度、臨界密度、電離ポテンシャル、放射再結合係数がよく似ていることが挙げられる。このことから、これらの輝線は似た物理状態の領域から放射されていると考えられる。

ところで、Fe は難溶性物質として知られており、

その多くはダストの中に閉じ込められており、一方、易溶性物質である P は、その多くがガス中にばら撒かれていると考えられる。中心核からの電離光子のみでは、ダストは破壊されにくい、衝撃波が寄与している場合は、ダストは容易に破壊され、Fe がガス中にばら撒かれることになる。そのため、衝撃波によって電離された場合は、輝線強度比 $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ が大きく (> 20)、光電離の場合は小さい (< 2) ことが期待され、実際の NLR では衝撃波の寄与の違いによって、 $2 < [\text{Fe II}]/[\text{P II}] < 20$ の範囲に分布すると考えられる (Hashimoto et al. 2011)。このことから衝撃波がどれだけ電離に寄与しているかが議論できる。

しかし、AGN におけるこの輝線強度比はこれまであまり観測されておらず、サンプル数が少ないために統計的な議論はほとんど進んでいない。そこで本研究では、近傍の AGN 27 天体の中心核領域を近赤外分光観測したデータを用いて、 $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ 輝線強度比を求めることで、NLR の電離メカニズムへ制限を加えることを目指した。

2 Observations

今回使用したデータは、2010 年 12 月、2011 年 1 月と 4 月に行われた、岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡の近赤外分光装置 ISLE (Yanagisawa et al. 2006, 2008) での、近傍の AGN 27 天体の中心核領域のロングスリット分光観測によって得られたデータである。観測は、J-band ($1.11\text{--}1.32 \mu\text{m}$)、スリット幅 $2.0''$ 、波長分解能 ~ 1000 、典型的なシーイング $\sim 2.0''$ という条件で行われた。本発表では、観測された 27 天体の中で、表 1 にまとめた解析の終了している 2 型セイファート銀河として知られる 3 天体 (Mrk 1073, Mrk 3, Mrk 6) について議論を進めていくことにする。

表 1: 今回の発表で議論する 3 天体のデータ

天体名	redshift	観測日時	観測時間 [s]	$2.0''$ に相当する physical scale [pc]
Mrk 1073	0.0233	2010/8/12, 14-18	17820	~ 590
Mrk 3	0.0135	2011/1/12	3360	~ 800
Mrk 6	0.0188	2011/1/13	3840	~ 1000

3 Data Reduction

データの解析には、IRAF を使用した。データ解析の流れは、flat fielding、Sky の除去 ($A - B$)、画像の足し合わせ、スペクトルの 1 次元化、波長較正、flux 較正の順に行った。スペクトルの 1 次元化の際の aperture は、 $2.0''$ とした。これは、観測が行われたときのシーイングサイズに相当する。波長較正には、comparison として観測されていた Ar 輝線を使用した。Ar 輝線の波長データは、ISLE のホームページに用意されているデータを用いた。flux 較正には、2 つの標準星を使用した (表 2)。その際、星のスペクトルは表面温度に対応する黒体輻射であると仮定した。輝線強度比は、輝線をガウシアンでフィットして、flux を求め、それらを割ることで求めた。

表 2: flux 較正に使用した標準星のデータ

天体名	スペクトル型		
	光度階級	表面温度 [K]	J_{Vega}
HIP 15648	A3 V	8594	4.796
HIP 29997	A0 V	9480	4.973

4 Results

解析によって得られた 3 天体の J-band のスペクトルを図 1 から 図 3 に示す。図の縦軸は、波長 $1.235 \mu\text{m}$ 付近で連続光の flux が 1 になるように規格化している。

観測された $[\text{Fe II}]$ 、 $[\text{P II}]$ 輝線の強度比の結果を表 3 にまとめた。

表 3: 3 天体の $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ 輝線強度比

天体名	$[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$
Mrk 3	3.72
Mrk 6	11.89
Mrk 1073	4.64

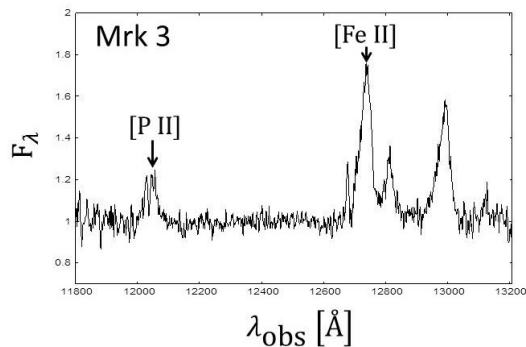


図 1: 解析により得られた Mrk 3 の J-band スペクトル。縦軸は波長 $1.235 \mu\text{m}$ 付近で連続光の flux が 1 となるよう規格化した flux、横軸は観測波長となっている。図の中で矢印を用いて [P II], [Fe II] 輝線を示している。この 2 つの輝線の他にも輝線が観測されているが、本研究の目的ではないのでここでは無視する。

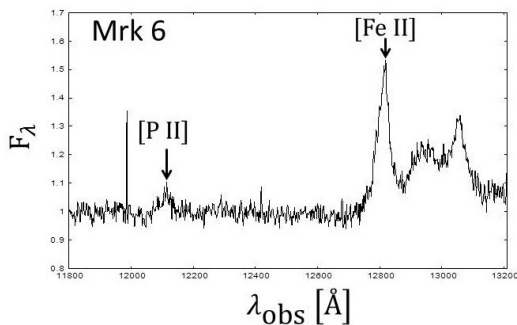


図 2: 解析により得られた Mrk 6 の J-band スペクトル。その他は、図 1 と同様。

5 Discussion

今回の観測から得られた結果について、先行研究との比較を行う。Oliva et al. (2001) において、輝線強度比 $[\text{Fe II}]/[\text{P II}] < 2$ の場合は光電離、 $[\text{Fe II}]/[\text{P II}] > 20$ の場合は衝撃波による衝突電離で決まっているとされている。今回の結果は、これらの二つの間の値となった。これは、実際の NLR の電離がどちらか一方のメカニズムだけで決まっているのではなく、両方が寄与していることを示している (Hashimoto et al. 2011)。さらに、先行研究において、計 24 天体で、すでに測定されている $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ 輝

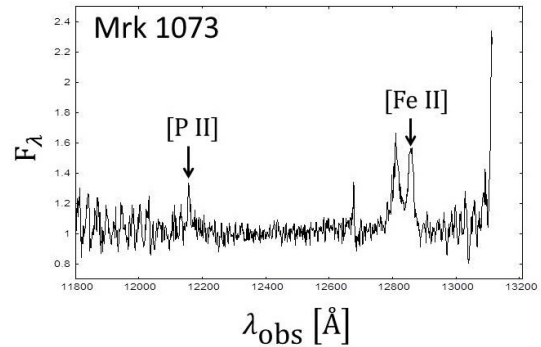


図 3: 解析により得られた Mrk 1073 の J-band スペクトル。その他は、図 1 と同様。

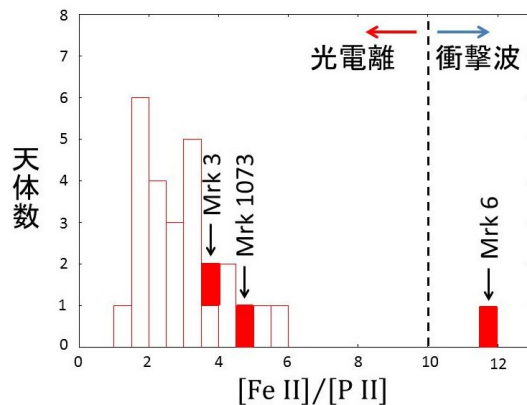


図 4: $[\text{Fe II}]/[\text{P II}]$ 輝線強度比のヒストグラム。先行研究の結果を白で、我々が調査した 3 天体を赤で示す。横軸は輝線強度比、縦軸はビン幅を 0.5 としてその範囲に入ってくる天体数となっている。横軸が 10 のところにある縦の破線は、光電離が支配的、衝撃波が支配的だと考えられる領域を分ける目安。

線強度比のヒストグラムを作成し (Oliva et al. 2001; Ramos Almeida et al. 2006; Riffel et al. 2006; Jackson & Beswick. 2007; Krajinović et al. 2007; Ramos Almeida et al. 2009; Hashimoto et al. 2011; Riffel & Storchi-Bergmann 2011; Riffel et al. 2013)、その中で今回の 3 天体がどこにくるかを赤で塗り潰して示したものを図 4 とした。

先行研究での、輝線強度比の平均は 2.82、分散が 1.19 である。以上より、Mrk 3、Mrk 1073 については光電離によって電離されていると考えられるが、Mrk 6 については、光電離だけでは説明できないよ

うな高い輝線強度比が得られたため、Mrk 6 の NLR の電離には衝撃波も寄与している可能性があると考えられる。このことから、全ての AGN の NLR の電離は、光電離のみで決まっているわけではないということが考えられる。

6 Conclusion

本研究では、近傍の AGN の中心核領域について、J-band ロングスリット分光観測により得られたデータの内、3 天体について解析を行った。解析した 3 天体からは、[Fe II]、[P II] 輝線がそれぞれ検出できた。[Fe II] λ 1.257 μ m と [P II] λ 1.188 μ m の輝線強度比から、AGN の NLR の電離メカニズムが光電離によるものか、衝撃波によるものかを切り分けることができると考えられているので (Oliva et al. 2001)、検出できた輝線の強度比を求めると、Mrk 3、Mrk 1073 では光電離されていると考えられるが、Mrk 6 では、衝撃波の寄与がなければ説明がつかないような高い輝線強度比が得られた。このことから、全ての AGN の NLR の電離が光電離によって決まっているとは考えられない。

今後は、解析が終っていない残り 24 天体のデータ解析を進めることと、新たに観測を行うことにより、より大規模なサンプルを構築し、統計的な議論へ繋げていくことで、NLR の電離メカニズムの解明に取り組んでいきたい。

Reference

- Fu, H., & Stockton, A. 2007, ApJ, 666, 794
Hashimoto, T., et al. 2011, PASJ, 63, L7
Jackson, N., & Beswick, R. J., 2007, MNRAS, 376, 719
Krajinović, D., et al. 2007, MNRAS, 374, 385
Matsuoka, T., et al. 2009, A&A, 503, 721
Nagao, T., Maiolino, R., & Marconi, A. 2006, A&A, 447, 863
Oliva, E., et al. 2001, A&A, 369, L5
Ramos Almeida, C., et al. 2006, ApJ, 645, 148
Ramos Almeida, C., et al. 2009, ApJ, 694, 1379

- Riffel, R., et al. 2006, A&A, 457, 61
Riffel, R., & Storchi-Bergmann, T. 2011, MNRAS, 417, 2752
Riffel, R., et al. 2013, MNRAS, 430, 2249
Storchi-Bergmann, T., et al. 2009, MNRAS, 394, 1148
Yanagisawa, K., et al. 2006, Proc. SPIE, 6269, 62693Q
Yanagisawa, K., et al. 2008, Proc. SPIE, 7014, 701437