

すばるのスペクトルデータを用いた

SMBH 質量とエディントン比に関する研究

信田 和哉 (東北大学 天文学専攻 秋山 正幸研究室 M1)

1. Abstract

私が行なっているのはすばる望遠鏡の FOCAS(Faint Object Camera and Spectrograph) を用いて行なわれた SXDF(Subaru XMM-Newton Deep Field) の AGN(Active Galactic Nuclei : 活動銀河中心核) 可視データの解析である。AGN を用いて銀河進化を議論するには AGN の中心の巨大質量ブラックホール(SMBH:Super massive Black Holes)の質量を求めてえやる必要がある為、現在はデータを与えることで、自動的にスペクトルをガウシアンフィットして FWHM(Full Width of Half Maximum) を測定し、SMBH 質量の推定までを行なうプログラムを組み立てている段階である。周囲の使わない輝線やノイズを正確に除去することでより正確にフィットできるようにし、定量的に銀河進化について考えていく予定である。

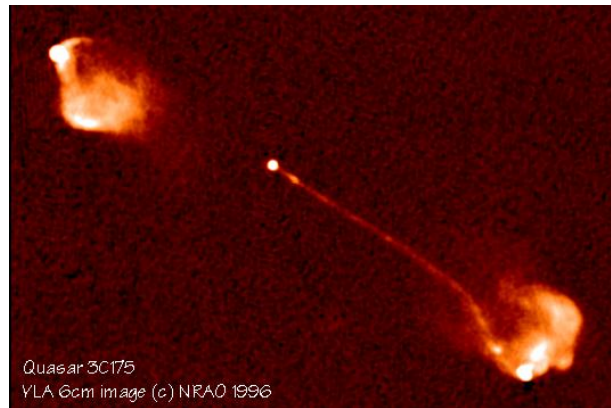


図 1 : AGN の電波画像([Alan Bridle's Image Gallery](#) より)

2. Introduction

多くの銀河にはその中心に SMBH が存在しており、銀河の球状成分(バルジ)が大きい程中心の SMBH が大きいという傾向があり、このことから銀河の成長とブラックホールの成長には強い相関があるとされている。この関係を定量的に評価する為には SMBH の質量の推定を正確に行なう必要がある。質量推定には、SMBH の周囲の物質が SMBH に落ち込んでいく際に重力エネルギーを様々な過程で解放し明るく輝く AGN 現象を利用する。AGN では反響マッピングという方法で質量推定を行うことができるが、ひとつの AGN を長時間モニタリングしなければならないという欠点がある。そこで、反

響マッピングにより得られたデータから(輝線を発している物質の SMBH の周囲でのケプラー回転運動に対する) 速度分散と連続光の強度を用いることで、より短時間の観測で SMBH の質量を推定することができる。以下では、反響マッピングや Scaling relation を用いた SMBH の質量の推定方法について説明し、現在の進捗状況について順を追って説明していく。

2-1. Reverberation Mapping (反響マッピング)

反響マッピングは、連続光を放射する中心領域と BLR (Broad Line Region: 広輝線領域) と呼ばれるドップラー効果などにより幅の広い輝線を発している領域とが離れた位置に存在する為に、BLR からの輝線の強度変化が連続光の強度変化に対して遅れて伝わることになる。これにより、その変化の遅れ Δt が光速 c で伝わる情報の遅れと見ることで $c \times \Delta t$ として AGN 中心から BLR までの距離を推定する方法である。図 2 は 3000 Å 付近の連続光の強度変化に対する MgII 輝線の強度変化の遅延時間に対する相関で、遅延時間が 50 日程で相関がよくなっていることが分かる。この方法と、スペクトルから得られる速度分散を用いることで SMBH の質量に対する制限が得られるが、連続光の強度変化をとらえる為には Seyfert I 型銀河で数カ月になるなど長期間のモニタリング観測が必要となってしまう。しかし、これまでの反響マッピングによる観測データから、連続光の強度と BH 中心から BLR までの距離の間には相関が見出されており、それを用いることでより短時間で BLR までの距離が見積もれる。

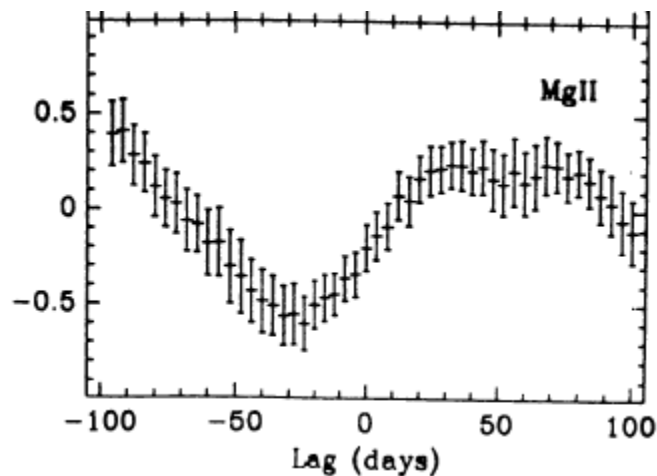


図 2: 連続光と輝線強度の時間変化の相関 (J.Clavel et al. (1991) より)

縦: 相関の良さ、横: 遅れの大きさ

2-3. Scaling relation

BH 中心から BLR までの距離 R と AGN の連続光の強度 L の関係は、AGN の構造がどの AGN に対しても同じようなものであると仮定することで、反響マッピングで得られたデータから求めることができる。R.J.McLure & M.J.Jarvis (2002) によると R と L は図 3 のような相関を持つ。

さらに、SMBH の周囲の物質が SMBH を中心としたケプラー運動をしているという仮定により、BLR 輝線のスペクトルから速度分散 σ を得ることができれば、ケプラー運動における中心部の重力源の質量は

$$M_{\bullet} \simeq \frac{R_{\text{BLR}} \sigma^2}{G}$$

として与えられることから、

$$M_{\bullet} = 3.37 \left(\frac{\lambda L_{3000}}{10^{37} [\text{W}]} \right)^{0.47} \left[\frac{\text{FWHM}(\text{MgII})}{\text{km/s}} \right]^2 M_{\odot}$$

として SMBH の質量が推定できる。redshift の大きさの範囲により Civ や H β などのうちどの輝線を用いるかが変わり、今回のデータであれば MgII がベストである。

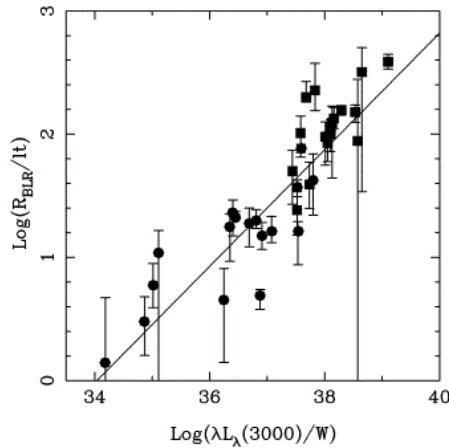


図 3：連続光の光度と BLR までの距離の関係

3. Sample Data

すばるの FOCAS でとられた SXDF に存在する 172 個の AGN の可視光領域のデータを用いている。多くのデータの redshift は $Z \sim 1$ 付近である。

4. Fitting

ガウス関数でスペクトルをフィッティングして χ -square の計算を行ない、それを最小にするようにパラメータの推定を行なう。動かすパラメータは

- ① 連続光の傾き
- ② 連続光の強度
- ③ 輝線の幅
- ④ 輝線の高さ(強度)
- ⑤ 輝線の中心波長

の 5 つである。

まず、連続光のパラメータの初期値を求めて、そのときの標準偏差を計算し、 5σ 以上離れたデータを除いてからガウスフィッティングしている。図 4 は MgII の輝線をフィッティングしている様子を表しており、赤の点が観測データの値(5σ 以上は除いてある)、ピンクが初期値によるフィッティング、青が χ -square を最小にするようなパラメータでのフィッティングである。よりデータ点の分布を再現するよ

うにガウス関数の形が変化していることが見て分かる。このフィッティングして結果から輝線の FWHM を抽出し、ブラックホール質量を計算していく。SXDF_0010_1 のデータに関してはブラックホール質量として

$$M_{\bullet} \simeq 1.5 \times 10^7 M_{\odot}$$

という値が得られており、これは Seyfert I 型の AGN の SMBH の質量の範囲に入っている。

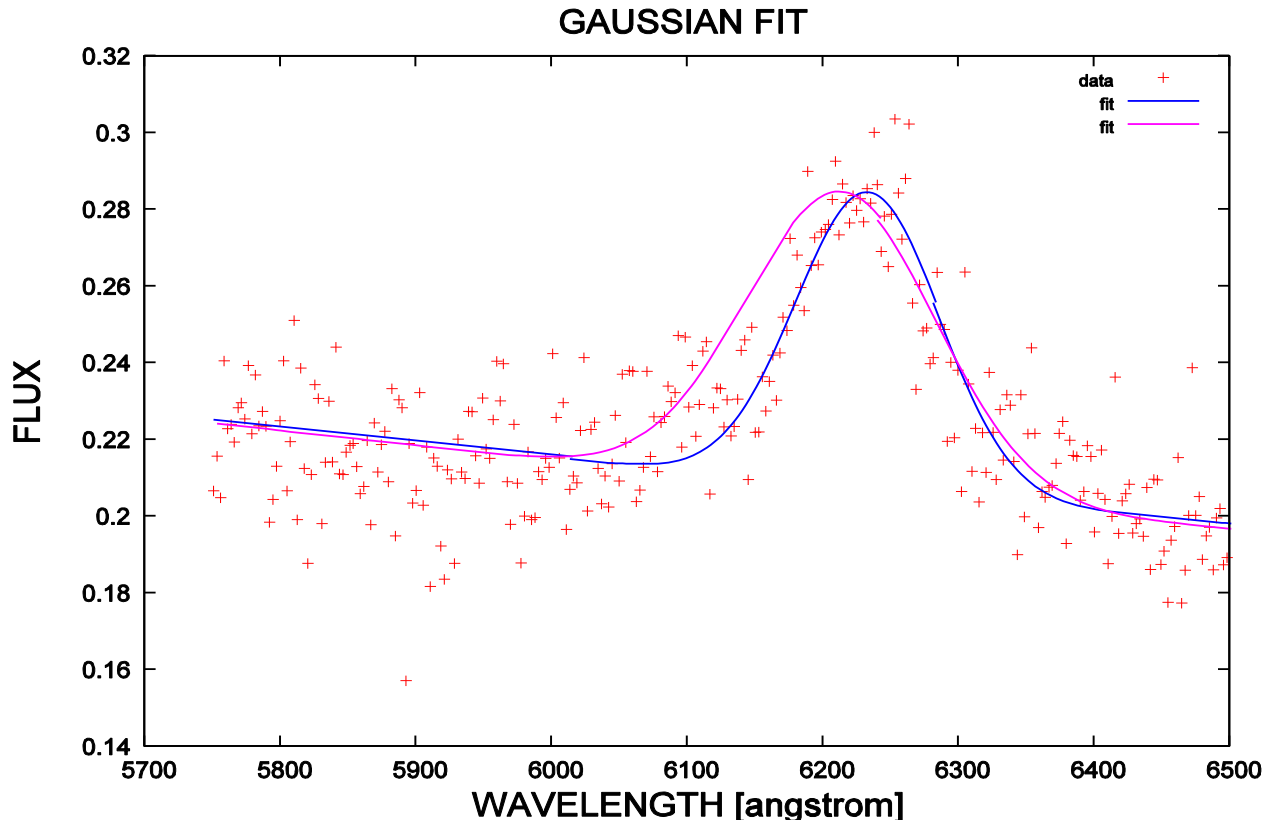


図 4: SXDF_0010_1 のフィッティング結果

5. Future work

他のフィッティングを行なっている論文を参考に、鉄輝線やノイズの除去などの手法を精査してより精度のよい推定を行なうとともに、他の波長帯も含めた光度から全光度を求めることにより、その AGN が SMBH 質量から考えられる理論上の最大の光度(エディントン光度)に対してどのくらいの光度で輝いているかを見てやることで SMBH への質量降着量についても見てやる必要である。また、MgII 以外の輝線を用いることにより、異なる範囲の redshift を持つ AGN についても研究していこうと考えている。それにより SMBH と銀河の宇宙論的進化についても考察していきたい。