

論文内容の要旨

論文題目

Long-term UV-Optical Spectral Variability of Active Galactic Nuclei and an Implication to the Variability Mechanism

(活動銀河核の紫外可視長期スペクトル変動と光度変動機構への示唆)

氏名 坂田 悠

2010年12月17日

活動銀河核の中心には巨大質量ブラックホールが存在し、そこに物質が落下するときに解放される重力エネルギーはブラックホール周囲に形成される降着円盤によって変換され、莫大な量の紫外線可視連続光として放射されると考えられている。活動銀河核放射の光度は様々な波長において時間変動することが知られており、この放射の時間変動の性質を調べることは活動銀河核の構造や放射機構を理解するうえで重要であるが、紫外線可視連続放射に時間変動をもたらすメカニズムはいまだ解明されていない。いくつかの理論モデルは提唱されているもののいずれもが光度変動の観測的性質の一部を説明するにとどまっている。

とくに降着円盤を起源とする紫外線可視連続放射について光度変動にともなうそのスペクトルの変化は、降着円盤の放射・変動メカニズムを解明するうえで重要な鍵となる。例えば、降着円盤内での局所的なフレア現象によって光度変動が生じている場合には、降着円盤全体の放射とフレアからの放射のスペクトルは異なると考えられるため、光度変動にともない紫外線可視連続放射のスペクトルは変化すると予想される。一方で、光度変動に関わらずスペクトル形状があまり変化しない場合には、降着円盤の温度構造は変化しないと考えられる。

これまで多くの活動銀河核について、それが明るくなると観測されるカラーは青くなることが示されており、そのような観測結果をもとに Givon et al. (1999), Webb & Malkan (2000) は活動銀河核が明るくなるとその可視連続放射のスペクトルは青くなると主張した。しかし Winkler (1997) は活動銀河核の光度変動にともなって、ある波長で観測される放射強度と別の波長で観測される放射強度が線形に相関していること示し、このことから光度変動が生じてても可視連続放射のスペクトル形状は変化しないと主張した。このように、紫外線可視連続放射が明るくなるとそのスペクトルは青くなるとするものと、紫外線可視連続放射が光度変動してもそのスペクトル形状は変化しないと対立する主張がなされており、いまだに決着をみていない。

ここで重要となるのは観測される放射のなかに含まれる降着円盤起源の紫外線可視連続放射以外の成分、例えば母銀河中の星からの放射の影響である。一般に紫外線可視連続放射に比べて母銀河

からの放射のほうがスペクトルが赤いため、紫外線可視連続放射のスペクトルが光度変動によらず一定であったとしても、観測される両者を合わせた放射は明るくなるとそのスペクトルは青くなり、観測されているカラー変化を説明できる可能性がある。ところがこれまでの研究では、観測される放射に含まれる母銀河成分の評価は必ずしも精確ではなく、ときにはそれを仮定したり無視することもあった。

このような背景のもと本研究では、可視光および紫外線波長域における活動銀河核の多波長長期測光モニター観測データにもとづき、光度変動にともなう多波長光度間の相関関係を調べ、また母銀河中の星からの放射をはじめとする紫外線可視連続放射以外の放射成分を定量的に評価したうえで、光度変動にともなう紫外線可視連続放射のスペクトルの変化を検証し、降着円盤放射の放射・変動メカニズムの解明を試みた。

まず、MAGNUM 望遠鏡によって行われた近傍活動銀河核の最大 7 年にわたる高精度多波長モニター観測データを用い、可視波長域における降着円盤を起源とする連続放射の光度変動にともなうスペクトルの変化を調べた。母銀河成分の精確な評価のため、ハッブル宇宙望遠鏡による高空間分解画像が存在する 9 個の近傍セイファート銀河と 2 個の近傍クエーサーを解析対象とし、強い広輝線を避けるため B, V, I バンド (観測波長 $\lambda = 4400, 5500, 7900\text{\AA}$) での測光データを用いた。同じ日に観測された二つの異なるバンドでの放射強度のペアを一つのデータ点として、B バンドフラックスー V バンドフラックス図および V バンドフラックスー I バンドフラックス図上にプロットしたところ、全ての天体においてこれらのデータ点は幅広い変光範囲で直線上に分布し、異なるバンドの放射強度のあいだに光度変動にともなう線形の強い相関があることを確認した。さらにハッブル宇宙望遠鏡による高空間分解画像をもとに表面輝度分布フィットによって母銀河の形状パラメータを求め、これを用いて測光アパーチャ内における母銀河放射を評価し、また過去のスペクトル観測から観測バンドに含まれる狭輝線放射の影響を評価して、観測フラックスに含まれる変動しないと考えられる放射成分を見積り、これをフラックスーフラックス図上にプロットした。この結果全ての天体において、非変動成分フラックスの推定誤差の範囲で、それが観測データのフィット直線の延長上にのることがわかった。これらの結果は、可視波長域においては、降着円盤を起源とする連続放射のスペクトルの光度変動にともなう系統的な変化は小さく、光度変動のあいだスペクトルはほぼ一定を保つということをサポートしている。またすべての天体の可視連続放射は観測期間中に大きな光度変動を示し、近傍活動銀河核 2 天体については変動幅が 10 倍以上に達するものもあった。

次に、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) によって行われた Stripe 82 領域における最大 9 年にわたる多波長モニター観測データを用い、紫外線波長域における降着円盤を起源とする連続放射の光度変動にともなうスペクトルの変化を調べた。Stripe 82 領域に存在する活動銀河核のなかから、観測バンドの静止波長が紫外線となりかつ強い輝線を避けられる赤方偏移 $z = 1.05, 1.54, 1.71, 2.35 \pm 0.05$ にあり、十分な精度で測光されている 10 個の大光度クエーサーを選んだ。やはり同じ日に観測された二つの異なるバンドでの放射強度のペアを一つのデータ点として、フラックスーフラックス図 (短波長側は $\lambda_{\text{rest}} \sim 1400\text{\AA}$ あるいは $\sim 1730\text{\AA}$ 、長波長側は $\lambda_{\text{rest}} \sim 2200 - 3600\text{\AA}$) 上にプロットしたところ、全ての天体においてこれらのデータ点は直線上に分布した。さらに観測フラックスに含まれる母銀河放射を、母銀河のバルジ成分の質量とブラックホール質量との相関から、母銀河放射のスペクトルと質量光度比を仮定して見積もった。これをフラックスーフラックス図上にプロットしたところ、10 天体中 9 天体について母銀河放射は観測データのフィット直線の延長上にはならず、紫外線波長域における降着円盤を起源とする連続放射

のスペクトルは明るくなると青くなる傾向を示すことを支持するものであった。

以上の観測結果をまとめると、活動銀河核の長いタイムスケールにおける大振幅の光度変動にもなって、降着円盤からの紫外線可視連続放射は、可視波長域ではスペクトル形状はほとんど変化しないと考えられるのに対し、紫外線波長域について大光度クエーサーでは明るくなると青くなる傾向を示すと考えられる。Giveon et al. (1999), Webb & Malkan (2000) を本研究と比較検討すると、彼らは観測される放射のなかに含まれる母銀河成分の評価が不十分であるため、観測された活動銀河核のカラー変化をそのまま降着円盤を起源とする連続放射のスペクトル変化と解釈していたと考えられる。いっぽう Vanden Berk et al. (2004) は 2 回観測されている多数の SDSS クエーサーについて両観測のあいだでの多波長光度変化を調べ、短波長になるほど変光振幅が大きくなることを示した。われわれは彼らの波長-変光振幅関係を仮定して、Stripe 82 領域のクエーサーの紫外線波長域におけるフラックス-フラックス図上の分布が解釈できることを示し、両者の結果が矛盾しないことがわかった。

最後に、紫外線可視連続放射の光度変動にもなうスペクトルの変化についての本研究の結果をもとに、降着円盤放射の光度変動モデルについて考察した。可視波長域では連続放射のスペクトル形状があまり変化しないことから降着円盤の局所的な変化や超新星爆発を起源とするモデルは主要な光度変動メカニズムとしては棄却されると考えられる。X 線再放射モデルは、可視波長域において連続放射のスペクトル形状があまり変化しないことを説明できる可能性があるが、活動銀河核の X 線光度は一般に紫外線可視光度に比べ 1 桁程度も小さいことから大振幅の紫外線可視光度変動をもたらすことは難しく、長いタイムスケールにおける主要な光度変動メカニズムとしては考えにくい。最後に標準降着円盤において質量降着率を変化させるモデルを検討した。このモデルでは可視波長域においては光度変動にもなうスペクトル形状の変化は小さく、われわれの観測に一致する。また紫外線波長域においては、ブラックホールの質量が大きいときには降着円盤からの連続放射は明るくなると青くなる傾向を示し、Stripe 82 クエーサーの紫外線波長域でのフラックス-フラックス図上の分布がこのモデルによって説明できることがわかった。従って標準降着円盤の質量降着率変化モデルは我々の紫外線可視連続放射の光度変動にもなうスペクトルの変化をよく説明できる。