

論文要旨

Study of Structures and Emission Regions of Relativistic Jets with Optical Polarimetry and Multi-Wavelength Observation in Various Timescales

多時間スケールでの可視偏光・多波長観測による相対論ジェット の構造及び放射領域の研究

伊藤 亮介

銀河の中の約 10% には、活動銀河核と呼ばれる活動性を示す非常に明るい中心核が存在する。活動銀河核の中でも特に電波で明るいものは、相対論的速度でのプラズマ噴出流であるジェットを持つと考えられている。これらジェットを伴う活動銀河核は粒子をほぼ光速まで加速する、地上では現実不可能な規模の大加速器実験施設であり、その加速機構や形成機構の解明は宇宙物理学における大きな課題である。ブレーザー天体とはジェットを伴う活動銀河核のうち、そのジェットを正面から観測していると考えられる天体である。その放射は電波から TeV ガンマ線までの幅広い電磁放射で観測され、ジェット中の相対論的速度の電子からのシンクロトロン放射と電子と低エネルギー光子の逆コンプトン散乱による放射と考えられている。これらジェットからの放射はビーミング効果によって他放射成分より強まって観測されるため、ブレーザー天体は相対論ジェットの放射メカニズム解明の上で重要な天体であると言える。しかし、活動銀河核ジェットに対する多くの研究がなされたにもかかわらず、その形成機構や変動機構はいまだ明らかではない。これらの解明には、様々なタイムスケールでの多波長同時観測が重要である。本研究では、変動機構において重要な役割を持つ放射領域の物理描像の解明を目指し、まず電波からガンマ線帯域までにわたる幅広い波長帯域での多波長・偏光観測体制を構築した。本観測体制の大きな特徴は、数時間スケールでの多波長同時観測が可能である点である。これを用いて私は種々の活動銀河核相対論ジェットに対し、様々なタイムスケール(数分から数年)での多波長・偏光観測、具体的には 3C 66A, Mrk 421 に対する多波長同時観測、CTA 102 と PMN J0948+0022 に対する短時間可視偏光観測を実施した。

3C 66A のスペクトルの特徴としては、シンクロトロン放射のピークが可視域に、逆コンプトン散乱による放射のピークは GeV 帯域に存在することが挙げられる。さらに TeV 帯域での放射も確認されており、逆コンプトン散乱の種光子をシンクロトロン放射起源とする SSC(Synchrotron-Self-Compton) 放射だけでは説明がつかず、ジェット外からの光子との逆コンプトン散乱である ERC(External Radiation Compton) 放射の寄与が大きいと考えられている (Abdo et. al. 2011)。私は Fermi 衛星とかなた望遠鏡を用いて 1 年半の継続的な観測を行った。その結果、ガンマ線光度と可視光度/偏光の相関を調べ、時期による有意な変化(変動 or 差異)を見出した。この結果は時期により放射領域が異なる、もしくは複数の領域からの放射が重ねあわさって観測されていることを示唆している。

Mrk 421 は HSP (High-Synchrotron-Peaked-Blazar) に分類される非常によく知られた BL Lac 型天体である。その放射スペクトルは電波から TeV ガンマ線まで典型的なシンクロトロン放射 +SSC 放射モデルで説明される。また、HSP 天体としては珍しく、過去に可視帯域で高い偏光 (> 10%) が検出されたことがある天体である。しかし、HSP 天体の X 線長期モニターと偏光長期モニターが同時に行われた例は少なく、変動メカニズムを調べる上で貴重なサンプルとなることが期待されている。そこで私は、かなた、Swift、MAXI により長期で密な可視偏光・光度、X 線モニター観測を実施した。本観測では、可視偏光モニター観測の結果、2010 年に X 線のスペクトル・光度変動 (~5 倍) と連動した偏光の系統的な変化、可視増光 (~3 倍) が検出された。一方、2011 年以降の可視増光 (~4 倍) に対しては X 線光度、可視偏光ともに大きな変化は見られな

かった。これらの結果は 2010 年と 2011 年とでシンクロトロン放射の増光メカニズムが異なること、その多波長スペクトルの変化からは X 線活動期において shock-in-jet の機構により高エネルギー電子注入が行われ、増光が起こっていることが示唆された。

CTA 102 は FSRQ 天体に分類されるブレーザー天体であり、過去に可視光帯域での数時間スケールの変動が観測されている (Osterman Meyer et al. 2008)。2012 年 9 月にもガンマ線で大增光を起こし、静穏期の光度の約 30 倍まで到達した (ATel #4409)。私はこの増光にあわせ、光赤外線大学間連携多波長 ToO 観測を実施した。その結果、これまでほぼ観測例のない光度・色・偏光の数時間スケールでの短期変動を捉えた。多波長観測で得られたスペクトル変化は高エネルギー電子増加による増光機構を支持する。また、フレア中の偏光度の変化は大きいが偏光方位角変化は小さく、固有偏光成分を持つことを示唆し、数時間スケールの短期変動が磁場の非常に揃った狭い領域からの放射であることを示す。フレア中の偏光方位角は、他の時期の偏光方位角から大きく異なっており、この時期において新放射領域が出現していることを示唆する結果である。

PMN J0948+0022 は、GeV ガンマ線放射が報告されている挟輝線セイファート I 型銀河である。私は 2012 年 12 月に報告された GeV ガンマ線、近赤外線増光 (ATel #4659, 4694) を受けて、広島大学かなた望遠鏡/HOWPol と石垣島天文台むりかぶし望遠鏡/MITSuME を用いた可視偏光短時間観測を実施した。その結果、分スケールでの非常に速い、光度とよく相関した偏光度変動を初めて検出した。偏光度は数時間のうちに $36 \pm 3\%$ まで到達し、可視光度変動とほぼ時間差なく (< 10 分) 相関した変動を示した。偏光方位角はアウトバースト中にほとんど変化せず、またその偏光方位角は過去に VLBI 電波観測で見つかったパーセクスケールのジェットの向きに沿っていることが明らかとなった。高偏光度、ジェットに沿った偏光方位角は “Shock-in-Jet” シナリオを適用することにより説明可能であり、放射が非常に狭く磁場の揃った領域で起こっていることを示唆する。

これら様々なタイムスケール、種族の活動銀河核の観測結果より、多波長観測と偏光観測による放射領域分離の方法を確立した。これにより、4 天体に共通する特徴として、従来多波長観測のスペクトルフィットに用いられてきた一領域からの放射モデル (One-zone モデル) ではなく、複数領域からの放射を支持する結果を得た。また、3C 66A, Mrk 421, PMN J0948+0022 に共通する傾向として、フレア中の偏光方位角がジェットに揃いやすいことを見つけた。これはほとんど観測の行われてこなかったフレア期における、可視偏光方位角とジェットの方向の関連研究のための貴重なサンプルである。偏光方位角とジェットの方向の一致が見られた 3 天体においては、放射領域がジェットに沿って移動、ショック形成を行う shock-in-jet モデルでよく説明される。その一方で、CTA 102 で見られた数時間タイムスケールのフレアにおいては偏光方位角がジェットの位置角と大きく異なった。これは FSRQ 天体においてジェット中の磁場/伝播構造が螺旋構造となっており、ショック波面の見込み角が他の 3 天体と異なっていることを示唆する結果である。すなわちフレア期における偏光方位角とジェットの位置角の揃いやすさは、BL Lac 天体と FSRQ 天体の構造の違いを反映している可能性があることが示唆された。