

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22540252

研究課題名(和文) 偏光の時間変動を利用した活動銀河核ジェットの磁場構造の研究

研究課題名(英文) Study of the magnetic-field structure in the jet of active galactic nuclei using the time variation in polarization

研究代表者

植村 誠 (Uemura, Makoto)

広島大学・宇宙科学センター・准教授

研究者番号：50403514

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は活動銀河核から噴出する「ジェット」現象を可視光における偏光の時間変動を手掛かりに調べたものである。従来は偏光観測は頻度が低く、その時間変化に系統的な特徴を見出すことは困難だった。そこで本研究では高い頻度で観測を行い、ベイズモデルなどを応用した新しい解析手法を用いた。その結果、1)数日のタイムスケールで変動する短時間フレアに対しては偏光の変化が付随する傾向にあること、2)短時間フレアより長いタイムスケールで変化する別の偏光成分が存在すること、などを明かにした。以上、本課題に関連する成果は査読論文30本にまとめられ出版された。

研究成果の概要(英文)：We studied the jet in active galactic nuclei using the time variation in optical polarization. The polarization variation was supposed to be just erratic in past studies with sparse observations. We performed polarimetric observations with a short cadence, and analyzed the data with new techniques we have developed. As a result, we found that 1) polarization variations tend to associate with short flares having a time-scale of days, 2) another polarization component having a long variation time-scale is occasionally present, as well as short flares. Those new findings were reported in 30 papers in refereed journals.

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：光赤外線天文学

### 1. 研究開始当初の背景

活動銀河核のなかでも「ブレイザー」と呼ばれる天体はジェットからの放射が卓越していることが以前から知られていた。実際に可視光の観測からは高い偏光が確認され、可視光が磁場の強い領域からのシンクロトン放射であることがわかっている。磁場はジェット構造を支えるのに本質的な役割を果たしていると考えられているが、直接磁場を観測することは難しい。そこで、偏光の強さや方向を手掛かりに研究が進められてきた。しかし、ブレイザーは激しく時間変動し、それに伴って偏光も変化することが知られており、従来は偏光の時間変動の挙動に系統的な特徴は見出されていなかった。

しかし、従来の研究では観測の頻度が低く、時間変動を十分に調べることができていなかった。また、複数の放射源が存在する場合、偏光成分を分離して議論する必要もあった。

### 2. 研究の目的

そこで、本研究ではブレイザーに対して頻度の高い偏光観測を行い、得られた時間変動データに対して適切な新しい解析手法を用いることで、偏光の時間変動について普遍的かつ系統的な特徴を見出すことを目的とした。

### 3. 研究の方法

観測には広島大学「かなた」望遠鏡を用いた。この望遠鏡は大学所有の望遠鏡であり、従来は多かった共同利用装置では難しい、頻度の高い、かつ長期的なモニター観測を行うことが可能になった。解析手法については、偏光の成分分離を行うために新しいベイズモデルを開発した。このモデルなどを用い、観測される変動成分が単一ではなく複数存在することに着目し、データを解析した。

### 4. 研究成果

ブレイザー30 天体のデータを系統的に解析することで、以下のような普遍的な特徴が明らかになった：1) 光度が上がると高エネルギー電子の割合が増加する傾向が9割程度の天体で確認された。これは変動の大半が衝撃波などによるエネルギー注入によることを示唆する。2) 光度と偏光の相関は弱い。3) 偏光方位角が回転する現象を調べるためにはより頻度の高い観測が必要となる。これらの成果は Ikejiri, et al. (2011) で発表された。論文では図1のような各天体の挙動が公開され、現在までに31件の論文から引用されており、ブレイザーの偏光を研究する領域ではマイルストーン的な成果として認識されつつある。

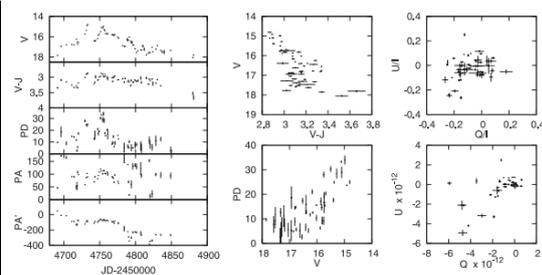


図1：ブレイザーの時間変動の例

偏光の挙動については開発した成分分離モデルなどを用いて、天体毎に詳細な解析を行った。その結果、特にタイムスケールが数日の短時間フレアについては偏光の変動が付随する傾向にあることが明らかになった。また、長期的に変動する偏光成分が普遍的に存在することも判明してきた。これは重なっている長期的な変動成分の寄与を差し引いた結果、明らかになった特徴であり、本研究における頻度の高い観測によって達成された成果といえる。

例えば、ブレイザーのプロトタイプである「BL Lac」では、2007年と2008年とでは系統的に2007年の偏光が高く、数か月のタイムスケールで長期的な変動成分が減衰したことがわかった。また、長期成分が強い時期には光度と偏光度に明確な反相関関係が現れた(図2)。これは短期成分の偏光方位角と長期成分の偏光方位角が直行していることを意味する。長期成分の偏光方位角からは、放射領域の磁場がジェットの軸に対して垂直であることが推定される。このことから、中心ブラックホールから比較的遠方で、大規模な衝撃波が存在していることが示唆された。一方で、短期フレアの放射領域では磁場がジェットの軸に対して並行であることが示唆され、磁場はブラックホール近傍で例えば螺旋状になっているなど、複雑な形状をしている可能性があることがわかった。

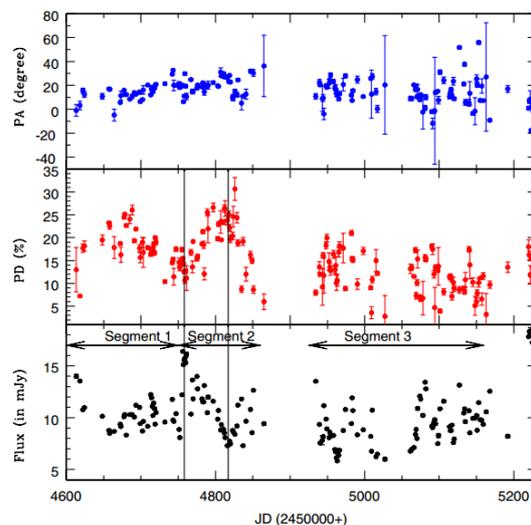


図2 ブレイザー「BL Lac」の光度と偏光度の反相関

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計30件)

1. Sokolovsky, et al. (52 名中 46 番目), “Two active states of the narrow-line gamma-ray-loud AGN GB 1310+487”, *Astronomy & Astrophysics* (査読あり), Volume 565, 2014, id. A26, 18, DOI: 10.1051/0004-6361/201220703
2. Sasada, Uemura, et al., “Extremely High Polarization in the 2010 Outburst of Blazar 3C454.3”, *The Astrophysical Journal* (査読あり), Volume 784, 2014, article id. 141, 7, DOI:10.1088/0004-637X/784/2/141
3. Gaur, Gupta, Wiita, Uemura, Itoh, Sasada, “Anti-correlated Optical Flux and Polarization Variability in BL Lac”, *The Astrophysical Journal Letters* (査読あり), Volume 781, 2014, article id. L4, 5, DOI: 10.1088/2041-8205/781/1/L4
4. Itoh, et al. (15 人中 9 番目), “Minute-scale Rapid Variability of the Optical Polarization in the Narrow-line Seyfert 1 Galaxy PMN J0948+0022”, *The Astrophysical Journal Letters* (査読あり), 2013, Volume 775, article id. L26, 6, DOI: 10.1088/2041-8205/775/1/L26
5. Itoh, et al. (38 人中 32 番目), “Dense Optical and Near-infrared Monitoring of CTA 102 during High State in 2012 with OISTER: Detection of Intra-night “Orphan Polarized Flux Flare””, *The Astrophysical Journal Letters* (査読あり), 2013, Volume 768, article id. L24, 5, DOI: 10.1088/2041-8205/768/2/L24
6. Sakimoto, Uemura, et al., “Photopolarimetric Monitoring of the Blazar BL Lac in the Optical and Near-Infrared Bands: Decay of the Long-Lived Component”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), 2013, Vol.65, Article No. 35, 8, DOI: 10.1093/pasj/65.2.35
7. Rani, et al. (37 人中 34 番目), “Radio to gamma-ray variability study of blazar S5 0716+714”, *Astronomy & Astrophysics* (査読あり), 2013, Volume 552, id. A11, 24, DOI: 10.1051/0004-6361/201321058
8. Itoh, et al. (28 人中 25 番目), “A Study of the Long-Term Spectral Variations of 3C 66A Observed with the Fermi and Kanata Telescopes”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), 2013, Vol. 65, Article No. 18, 9, DOI: 10.1093/pasj/65.1.18
9. Pacciani, et al. (67 人中 7 番目), “The characterization of the distant blazar GB6 J1239+0443 from flaring and low activity periods”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (査読あり), 2012, Volume 425, pp. 2015-2026, DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.21540.x
10. Hayashida, et al. (92 人中 31 番目), “The Structure and Emission Model of the Relativistic Jet in the Quasar 3C 279 Inferred from Radio to High-energy  $\gamma$ -Ray Observations in 2008-2010”, *The Astrophysical Journal* (査読あり), Volume 754, 2012, article id. 114, 22, DOI: 10.1088/0004-637X/754/2/114
11. Sasada, Uemura, et al., “Multi-Wavelength Photometric and Polarimetric Observations of the Outburst of 3C 454.3 in 2009 December”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), Vol. 64, 2012, Article No. 58, 8, DOI: 10.1093/pasj/64.3.58
12. Ackermann, et al. (219 人中 196 番目), “Multi-wavelength Observations of Blazar A0 0235+164 in the 2008-2009 Flaring State”, *The Astrophysical Journal* (査読あり), 2012, Volume 751, article id. 159, 20, DOI: 10.1088/0004-637X/751/2/159
13. Ikejiri, Uemura, et al., “Photopolarimetric Monitoring of Blazars in the Optical and Near-Infrared Bands with the Kanata Telescope. I. Correlations between Flux, Color, and Polarization”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), Vol. 63, 2012, pp. 639-675, DOI: 10.1093/pasj/63.3.327
14. Sasada, Uemura, et al., “Prominent Polarized Flares of the Blazars A0 0235+164 and PKS 1510-089”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), 2011, Vol. 63, pp. 489-497, DOI: 10.1093/pasj/63.3.489
15. Sasada, Uemura, et al., “Multiband Photopolarimetric Monitoring of an Outburst of the Blazar 3C 454.3 in 2007”, *Publications of the Astronomical Society of Japan* (査読あり), 2011, Vol. 62, pp. 645-652, DOI: 10.1093/pasj/62.3.645

[学会発表] (計 25件)

1. 植村誠, 加藤太一, 野上大作, Ronald Mennickent, 「全変動最小化を使ったドップラー・トモグラフィ」, 日本天文学会 2014 年春季年会, 2014 年 3 月 19-22 日, 国際基督教大学
2. 植村誠, 加藤太一, 野上大作, 「WZ Sge 型矮新星の増光早期における輝線の起源」, 日本天文学会 2014 年春季年会, 2014 年 3 月 19-22 日, 国際基督教大学
3. Uemura, M., “Application of Total Variation Minimization To Doppler Tomography”, The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - II, 9-14 Sep 2013, Palermo, Italy
4. Uemura, M., “Observation of Astronomical Transients with the 1.5-m Kanata Telescope”, Medium-Size Telescope Science Workshop, 21-25 June 2013, Kunming, China
5. Uemura, M., “Accretion disk tomography: New model with new data”, Transients&Timing (A multi-wavelength approach), 4-8 Mar 2013, IUCAA, Pune, India
6. 植村 誠, 「宇宙物理とベイズ統計」, 第 14 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2011), 2011 年 11 月 9-11, 奈良女子大学
7. Uemura, M., “Dwarf novae in the shortest orbital period regime”, Workshop on the golden age of cataclysmic variables and related objects, 12-17 Sep 2011, Palermo, Italy
8. 植村誠, 加藤太一, 前原裕之, 大島誠人, 「矮新星の早期スーパーハンプを用いた降着円盤の再構成」, 日本天文学会 2011 年秋季年会, 2011 年 9 月 19-22 日, 鹿児島大学
9. 植村誠, 他 12 名, 「かなた望遠鏡によるブレーザーの可視光-近赤外線フレア間のタイムラグの調査」, 日本天文学会 2011 年春季年会, 2011 年 3 月 16-19 日, 筑波大学
10. Uemura, M., “New Views of SU UMa-Type Dwarf Novae from Simultaneous Optical and Near-Infrared Observations”, Physics of Accreting Compact Binaries, 26-30 July 2010, Kyoto University
11. Uemura, M., “Bayesian approach to find a long-term trend in erratic polarization variations observed in blazars”, 38th COSPAR Scientific Assembly. 18-15 July 2010, in Bremen, Germany
12. 植村誠, 他 13 名, 「かなた望遠鏡のブレーザー観測とブレーザーシークエンス」, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010 年 9

月 22-24 日, 金沢大学

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

植村 誠 (MAKOTO UEMURA)

広島大学・宇宙科学センター・准教授

研究者番号: 50403514