

# 光・赤外線大学間連携による 活動銀河核ジェットの ToO観測



田中



伊藤

## 田中 康之

〈広島大学宇宙科学センター 〒739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1〉

e-mail: ytanaka@hep01.hepl.hiroshima-u.ac.jp

## 伊藤 亮介

〈広島大学理学研究科物理科学専攻 〒739-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1〉

e-mail: itoh@hep01.hepl.hiroshima-u.ac.jp

活動銀河核の約1割は電波で明るく、相対論的ジェットをもつことが知られている。ジェットをもつ活動銀河核の広帯域スペクトルは、降着円盤やダストトラスなどの熱的放射とジェットで加速された電子による非熱的放射が混在する。ジェットの見込み角が小さくなると、相対論的ビーミング効果によって非熱的放射は見かけ上増幅され、全周波数で卓越するようになる。可視赤外線光子は、ジェット中の高エネルギー電子によるシンクロトン放射で生成されるため、可視赤外線偏光観測によって磁場構造を調べることが可能である。われわれは、フェルミガンマ線衛星によって明るいGeVフレアが検出された2天体について、光赤外線大学間連携によるTarget-of-Opportunity (ToO) 観測を行った。多バンド光度曲線と色変化、偏光観測により、放射機構や放射領域の磁場構造について得られた結果を報告する。最後に、Astro-H衛星をはじめとする今後の多波長連携観測についても述べる。

## 1. はじめに

### 1.1 活動銀河核ジェットを研究する動機

宇宙ジェットとは、ブラックホールなどのコンパクト天体から双方向に吹き出す、細くコリメートされたプラズマの噴出流である。その速度はほぼ光速に達するものも少なくない。中心のコンパクト天体では質量降着が起きており、その周囲には降着円盤が形成されていると考えられている。ジェットが初めて観測されたのは1918年にさかのぼる。おとめ座銀河団の中心に位置する楕円銀河M 87の近傍から、奇妙な直線状の構造が可視

光で観測されたのである<sup>1)</sup>。それ以来、初期には主として電波観測によって研究が進み、ジェットからの連続波がシンクロトン放射であることが提案されたが、それが広く受け入れられた要因の一つは、可視光帯域での直線偏光の検出であった。また、活動銀河核からのジェット（以下ではAGNジェットと略す）だけでなく、銀河系内のブラックホールX線連星からもジェットは観測されており<sup>2)</sup>、そのような天体はマイクロクエーサーと名づけられている。また、ガンマ線バーストも超新星爆発に付随するジェットだとする解釈が広く受け入れられているように<sup>3)</sup>、ジェットは宇宙

の至るところで見られる普遍的な現象である。

活動銀河核の約1割は、電波と可視光のフラックス比が大きく、電波銀河として知られている。電波放射はジェットで加速された電子によるシンクロトロン放射だと考えられるため、これらはジェットをもつとみなして良い。実際に、電波やX線観測によって細くコリメートされてコアから伸びるジェットが撮像されており<sup>4)</sup>、Centaurus Aをはじめとする電波銀河は、ジェットを横方向から見ている天体だと考えられている。一方、ジェットがわれわれの方向を向いている天体もあり、ブレイザー天体として知られている。ブレイザー天体では、放射源が相対論的速度でわれわれの方向に運動するため、ジェットからの非熱的放射が見かけ上大きく増幅され<sup>5)</sup>（ビーミング効果と呼ばれる）、降着円盤やトーラス、母銀河からの放射を凌駕する。その結果、ジェット放射は電波からTeVガンマ線のすべて波長で検出され、その広帯域スペクトルは2山構造を作る。これはジェット中で加速された電子によるシンクロトロン放射と逆コンプトン放射であると考えられている。一方、電波銀河ではジェットの見込み角がブレイザーほど小さくないため、ビーミング効果もそれほど大きくなく、広帯域スペクトルは降着円盤などの熱的放射とジェットからの非熱的放射が混在する<sup>6),7)</sup>。

最高エネルギー宇宙線の起源天体とその加速機構の解明は、宇宙物理学にとって大きな問題となっている。特に興味深い点は、最も近傍（3.7 Mpc）で、ジェットをもつ電波銀河Centaurus A方向から、超高エネルギー宇宙線イベントのアクセスがPierre Auger観測所によって報告されていることである<sup>8)</sup>。 $E > 6 \times 10^{19}$  eVの超高エネルギー宇宙線は、宇宙マイクロ波背景放射光子との吸収反応（GZKカットオフ）を起こすため、約75 Mpc以内に起源天体があるはずであり（平均自由行程が約75 Mpcという意味）、その点からも近傍の電波銀河は有力候補である。ただ、広帯域スペクトル

のモデリングから推測される電子の最大エネルギーはせいぜい数TeVであり、最高エネルギー宇宙線と比較すると、エネルギーにして7桁以上のギャップが存在している。また電子と陽子の違いなども考慮すると、Centaurus Aをはじめとする近傍の電波銀河がソースであると考えるのは早計であるかもしれない。しかし、これらはAGNジェットにおける粒子加速を研究する強い動機を与えてくれる。

## 1.2 可視偏光観測による最近の進展

ブレイザー天体では、放射領域の磁場強度を見積もることは広帯域スペクトルのモデリングから進められており、典型的に0.1-1 Gauss程度と見積もられている。一方、ジェットの磁場構造を探るのに可視偏光観測は頻繁に用いられている。電波でも偏光観測が可能であるが、シンクロトロン自己吸収によってジェットの根元に位置する（可視光～ガンマ線を放つ）放射領域が見通せていないという事情がある。例えば、BL Lacの可視偏光モニターにより、180度以上偏光方位角が回転するイベントが検出され、らせん磁場の存在が示唆されている<sup>9)</sup>。また、3C 279でもガンマ線フレアに同期して、可視観測から偏光方位角の回転が観測されている<sup>10)</sup>。重要な点は、偏光方位角の回転がちょうど180度であること、そのスイング中、偏光度が低下していることである。偏光度の低下は、放射プラズマがちょうどわれわれの視線方向に重なるためだと考えると、放射プラズマが湾曲したジェットの中を伝播していると考えられることができるため、らせん磁場ではなくジェット自身の湾曲構造を支持する結果となっている。簡略化して言う、偏光が検出されれば、放射機構としてシンクロトロンが有力となり、また偏光度と偏光方位角の測定は放射領域の磁場構造を、さらにはジェット自身の構造を決めるのにも有効である、ということである。

## 2. 大学間連携によるブレーザー天体のToO観測

広島大学かなた望遠鏡では、2008年のフェルミ衛星の打ち上げ以来、約40天体の明るいGeVブレーザーの可視近赤外線偏光モニター観測が毎日なされており、各天体について偏光度、偏光方位角の測定を日々行っていた。一方で、フェルミ衛星や地上の大気チェレンコフ望遠鏡により数分～数十分の変動がGeV、TeVガンマ線帯域で報告され始めていたが<sup>11)~13)</sup>、可視近赤外線偏光の短時間変動というのは未開拓の領域であった。例えば、もし1晩中観測すれば、偏光方位角が時々刻々とスイングする様子が見えるかもしれない(上に述べたBL Lacの場合、1日に約50度回転していた<sup>9)</sup>)。また、1望遠鏡のみの観測では、スペクトル変動などを同時に観測することもできない。こういった問題は、光赤外線大学間連携(OISTER)の枠組みを用いて日本各地の望遠鏡を用いることで解決される。例えば、UバンドからK<sub>s</sub>バンドまでの同時撮像観測や、撮像+偏光+分光を同時に行えるといった強みがある。南アフリカとチリの望遠鏡を合わせると、24時間体制での連続した近赤外線測光も可能である。このような体制は、重要な現象にもかかわらず悪天候のため観測できない、という天候リスクの回避という面でも意義深い。世界的に見ると、ブレーザーの可視光キャンペーン観測に特化したWEBT (Whole Earth Blazar Telescopes; <http://www.to.astro.it/blazars/webt/>)などの組織が存在するが、偏光観測や赤外線観測など観測モードの豊富さで大学間連携による観測に優位性がある。

われわれは広島大学かなた望遠鏡による日常的なブレーザー長期モニター観測や、フェルミ・ガンマ線衛星、国際宇宙ステーション搭載MAXIによるガンマ線・X線全天監視、ATelなどのコミュニティ情報を元に、日々ブレーザー天体のパトロール観測、フレア監視を行っている。これらの

日常的なモニターから、特に明るいフレアが出現した場合、即座にOISTERによるフォローアップToO観測を実施する体制を構築した。本稿では、これらの体制により得られた2個のジェット天体、CTA 102<sup>14)</sup>と1H 0323+342<sup>15)</sup>についての観測結果の詳細を報告する。

## 3. CTA 102観測

2012年9月ブレーザー天体CTA 102からのガンマ線フレアがフェルミ・ガンマ線衛星で検出された。この天体は1960年代から知られている有名な電波天体であり、さまざまな研究が行われている(発見当時は地球外文明からの電波ではないかと疑われていた)。過去の可視連続測光観測<sup>16)</sup>では、数時間スケールの変動が観測されており、2012年のフレアでは、そのガンマ線光度は静穏期光度の約30倍まで到達した<sup>17)</sup>。われわれはこの増光に合わせ、光赤外線大学間連携多波長ToO観測を実施した。

表1は観測が実施された装置の一覧である。実際には天候不良のなか待機していただいた観測所もあり、すべての参加機関一覧ということではない点にご留意いただきたい。茨城大学日立32 m電波望遠鏡は、光赤外線大学間連携の枠組みではないが、電波帯域でのフォローアップ観測に快くご協力いただいた。観測はガンマ線フレア直後の2012年9月24日から10月4日までの10夜にわたって実施され、数時間スケールでの多波長同時観測に成功した。

図1は、本観測によって得られた可視Bバンドから近赤外線K<sub>s</sub>バンドまでの光度曲線、可視R<sub>c</sub>バンドでの偏光度変動、偏光方位角変動、電波8.4 GHzでの変動の様子である。これまでほとんど観測例のない光度・色・偏光の数時間スケールでの明確な短期変動を捉えていることがわかる。また、二つの特徴的な偏光変動を捉えることに成功した。一つは、10月2日に見られる「光度変動とよく相関した偏光度変動」である。二つ目は、9月27日

表1 観測を行った装置一覧.

観測所／望遠鏡	口径	バンド
可視近赤外観測		
北大大学院理学研究院附属天文台／ピリカ望遠鏡 MSI	160 cm	$V, R_c$
明野観測所／ MITSuME	50 cm	$g', R_c, I_c$
京都大学屋上望遠鏡	40 cm	$R_c$
神山天文台／荒木望遠鏡 ADLER	130 cm	$B, g', V, I_c, i', z'$
西はりま天文台／なゆた望遠鏡 NIC	200 cm	$K_s$
美星スペースガードセンター／ Volante	100 cm	$r'$
岡山天体物理観測所／ 188 cm ISLE	188 cm	$J, H, K_s$
岡山天体物理観測所／ MITSuME	50 cm	$g', R_c, I_c$
東広島天文台／かなた望遠鏡 HOWPol	150 cm	$V, R_c, R_c\text{-Pol.}$
入来観測所／ 1 m 近赤外線カメラ	100 cm	$J, H, K'$
South African Astronomical Observatory/IRSF SIRIUS	140 cm	$J, H, K_s$
電波観測		
茨城大学／日立 32 m 望遠鏡	32 m	8.4 GHz

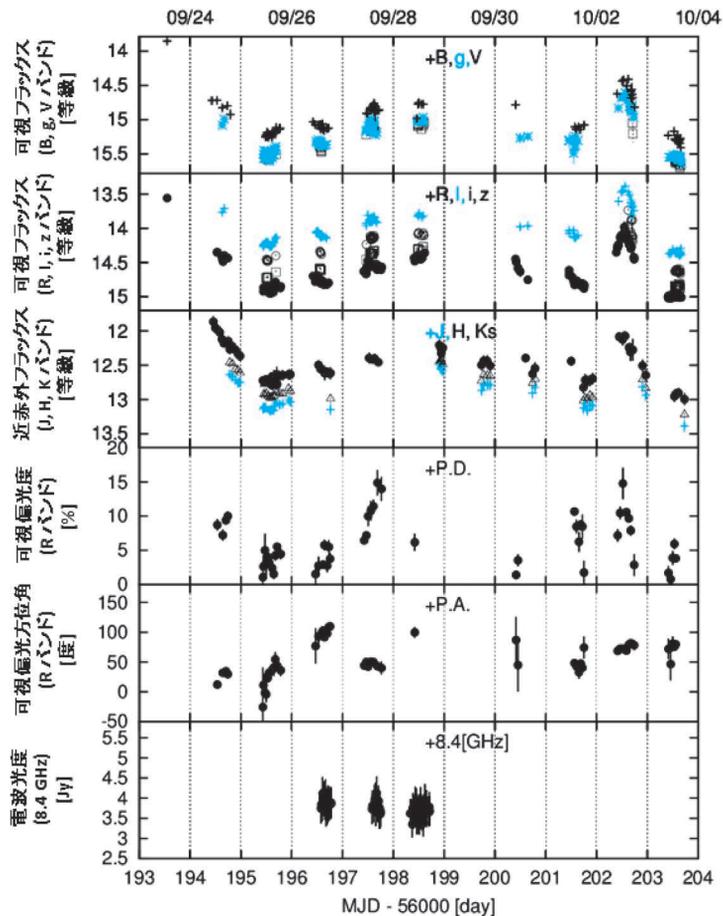


図1 CTA 102の多色光度曲線. 上から可視近赤外線光度, 可視偏光度, 偏光方位角, 電波光度を示す.

に見られる「可視増光を伴わない、偏光度のみが大きく上昇する偏光変動」である。これらの時期の変動を、色、偏光変動の観点からさらに詳細に見てみよう。図2, 3は観測日ごとの偏光パラメータ（ストークスパラメータQU）と近赤外-可視での色（ $R_c-K_s$ ）vs.可視光度図である。図2では原点から各点までの距離が偏光度に、 $x$ 軸からなす角の1/2が偏光方位角に対応する。図3では横軸が可視等級、縦軸がCTA 102の色であり、色の数値が大きいほど赤い（スペクトルがソフト）である

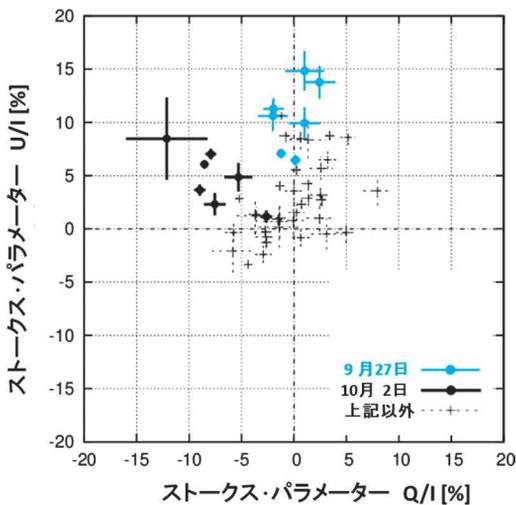


図2 CTA 102の偏光変動（ストークスパラメータQU空間）。

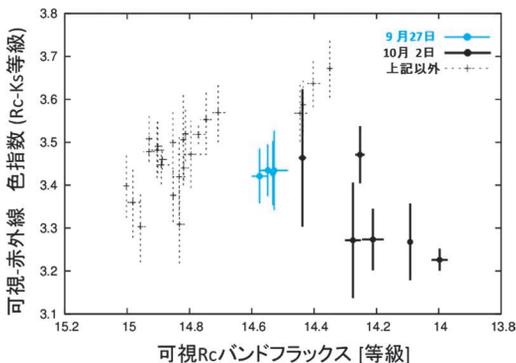


図3 CTA 102の光度vs.色（ $R_c-K_s$ ）プロット。色の値が大きいほど、赤い（スペクトルがソフト）であることを示す。

ることを示す。

10月2日のデータに着目してみると、偏光変動はそれまでのQU平面での位置から大きく異なる位置（＝偏光角がフレア前後で大きく変化）に移動している一方、10月2日のフレア中では偏光方位角の変化がほとんど起こっていないことを示している。色変動に関しても、10月2日のフレア中のみ、明るいときに青くなるという特異な挙動が見られた。このような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い。このことはフレアが固有の偏光成分をもつことを示唆し、数時間スケールの短期変動が磁場の非常にそろった狭い領域からの放射であることを示す。フレア中の可視偏光方位角は、電波干渉計で捉えられた電波ジェット構造に垂直であり、これはジェット中での衝撃波面がジェット構造を横断する形で伝播していることを示唆する。

次に9月27日の偏光変動に着目してみる。この日、偏光度は半日のうちに10%程度の上昇をみせた。一方、光度の変動は10%以下であった。この光度振幅の上限値と偏光度の変動幅から推測されるフレア成分の偏光度は100%となる。シンクロトロン放射で期待される最大偏光度は、電子スペクトルの形にも左右されるが、おおよそ70%程度と理論的に予想されている。すなわち、100%近い偏光度は極めて不自然な振る舞いとなる。考えられる可能性としては、偶然に二つの領域で偏光変動が起こり、片一方は偏光度上昇を伴う光度上昇を引き起こし、もう一方は偏光度がほぼ0%のまま減光し、総光度としてはほとんど変動がなかった、とするシナリオである。このシナリオでも、増光領域の変動タイムスケール、タイミング、増減光幅がほとんど同じである、という仮定が必要となり理解が難しい。数時間という短い時間の間で、このような現象が見られたのは今回が初めてである。

この二つの短時間変動で重要となるのは、同一天体、同一増光期に全く異なる種類の短時間偏光変動が検出された点である。これらの統一的理解には、ジェットの中に磁場の向きの異なる複数の放射領域が存在し、それが数時間という短い時間で激しく変動することを示唆する。これは、ジェットが従来考えられていたようなスムーズなガスの流れではなく、多くの小さな放射領域から成り立つことを意味し、ジェットの詳細構造を明らかにした重要な結果である。

#### 4. 狭輝線セイファート1型銀河 1H 0323+342

可視スペクトルから分類される<sup>18)</sup> 狭輝線セイファート1型銀河 (Narrow Line Seyfert 1 Galaxy; 以下ではNLS1と書く) は、中心ブラックホール質量がブレイザーと比較して1-2桁軽く ( $10^6$ - $10^8$  太陽質量)、エディントン降着率を超えて物質が降着している成長途中のブラックホールだと考えられている<sup>19)</sup>。一部のNLS1は電波で明るい (すなわちradio-loud) ことから、ジェットをもつことが示唆されていた。さらに、電波干渉計の観測によって、異常に高い電波輝度などから、ブレイザーに匹敵する非常にパワフルなジェットをもつと考えられていた<sup>20), 21)</sup>。興味深い点として、ジェットをもつAGNの大部分は楕円銀河に付随しているが、NLS1の母銀河は渦巻銀河であることが知られている<sup>22)</sup>。そのため、ジェットと母銀河の関係を調べるうえでradio-loud NLS1は重要な天体である。また、ブレイザーにおける粒子加速機構として有力視されている内部衝撃波モデルに立てば、変動の時間スケールは中心ブラックホール質量に比例する<sup>23)</sup>。ブラックホール質量がブレイザーと比較して1-2桁軽いNLS1において、より短時間の変動が検出できれば、それによって、ブラックホール質量に制限を課す新たな手段となる可能性もある。

Radio-loud NLS1におけるジェットの存在を確

かなものにしたのが、フェルミガンマ線衛星による観測である。フェルミ衛星が発見した系外ガンマ線源のほとんどはブレイザーと電波銀河であったが、それに加えて、六つのradio-loud NLS1からGeVガンマ線を検出したのである<sup>24), 25)</sup>。そのうちの一つであり本章で扱う1H 0323+342の広帯域スペクトルを図4に示す。ブレイザーと同様に、シンクロトン放射と逆コンプトン散乱の2山構造が卓越していることが見て取れる。GeV

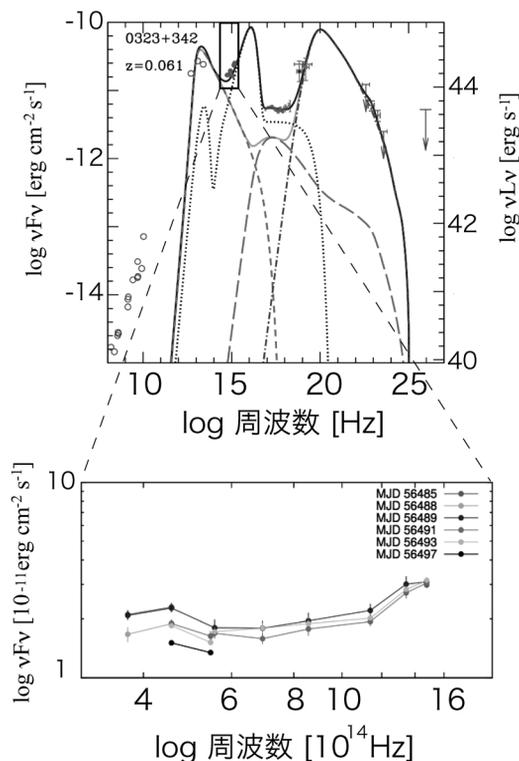


図4 上: フェルミ衛星でGeVガンマ線が検出されたNLS1の一つである、1H 0323+342の広帯域スペクトル<sup>24)</sup>。短波線がシンクロトン放射、長波線がシンクロトン自己コンプトン成分、一点鎖線が広輝線領域光子の逆コンプトン成分を示す。点線のピークは、低周波側からトラス、降着円盤、X線コロナからの放射を表している。下: 大学間連携ToO観測とSwift衛星UVOT望遠鏡で得られた可視紫外線帯域のスペクトル。左からL, R, V, B, UVW1, UVM2, UVW2フィルターでの測光点を示している。

ガンマ線は、ブレーザーと同様に、ジェット中の相対論的電子が放つシンクロトン光子もしくは広輝線領域からの紫外線光子を逆コンプトン散乱して放射されていると考えられている（どちらが効いているかはまだわかっていない）。フェルミ衛星が検出したNLS1の6天体の中で、1H 0323+342は最も近傍（ $z=0.063$ ）に位置しているため可視光でも最も明るい。そのため、かなた望遠鏡でも2008年のフェルミ衛星の打ち上げ当初からモニターしていた天体の一つであった。Vバンドで13.3等級と明るい<sup>26)</sup>が、偏光度は1%以下<sup>26)</sup>であるため、可視光は降着円盤起源であると考えられていた。図4のモデリングでも、可視光のデータ点は降着円盤放射としてモデル化されている<sup>24)</sup>。

2013年6月にフェルミ衛星によって、1H 0323+342からの非常に明るいガンマ線フレアが検出されたため、われわれは光赤外大学間連携によるToO観測を行った。その前後の $R_c$ バンドの光度曲線を図5に示す。静穏時と比較して、0.7等級程度明るくなっており、可視光でも増光を確認した。注目すべきは図5中段に示した偏光度で、可視増光に同期して偏光度が高くなっていった。これはシンクロトン成分が卓越していることを示し、少なくともフレア期については可視光がシンクロトン放射であることを示すものである。図5下段に示したのが偏光方位角で、これまでは偏光度が小さいため、偏光方位角の測定は大きな誤差を伴っていたが、今回のフレア期については、105–145度程度であることを見いだした。これは電波干渉計によって得られているジェットが噴出している方向（ジェット軸）にほぼ並行方向である。われわれが可視偏光観測から得られる偏光方位角は電場方向の偏光方位角を示しており、放射領域における磁場はそれと垂直方向である。そのため、この結果は、放射領域の磁場方向がジェット軸とほぼ垂直であることを示唆しており、内部

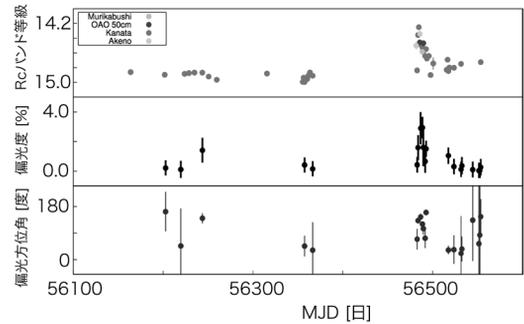


図5 1H 0323+342の $R_c$ バンドのライトカーブ（上段）、偏光度（中段）、偏光方位角（下段）。ガンマ線フレアが検出されたのはMJD 56482で、可視光でも同期したフレアが見える。

衝撃波で圧縮され、ジェット軸の垂直方向に整列した磁場構造を反映していると考えられる。しかし、それ以外にも、例えばヘリカルな磁場形状でもこの結果は説明可能であり、両者の識別は今後の課題である。

われわれのToO観測は、梅雨のさなかであったため観測データの取得に苦労したものの、石垣島むりかぶし1.05メートル望遠鏡に搭載されているMITSuME検出器によって、約3時間、 $g$ ,  $R_c$ ,  $I_c$ バンドでの3色同時測光データを取得することができた<sup>\*1</sup>。この3バンドの光度曲線の変動幅を定量的に評価した結果、波長が短い光度曲線ほど、変動幅が小さいことを見いだした。また、図4下段に示したのが、ToO観測期間に地上望遠鏡とSwift衛星搭載UVOT望遠鏡で得られた可視紫外線帯域のスペクトルである。紫外線バンドで緩やかに上昇するスペクトル形状が得られ、これは降着円盤成分が支配的になっていることを示す。ジェットからのシンクロトン放射は、降着円盤からの放射と比較すると、ビーミング効果によって激しい時間変動を示すことが知られている。今回われわれが得た、(1) 高周波数の光度曲線ほど時間変動が小さい、(2) 紫外線領域のスペクトル

\*1 ここでは紙面の都合上、その光度曲線をお見せできないが、Itoh, et al.<sup>14)</sup>のFig. 3を参照ください。

は上昇形状を示すことは、可視帯域はシンクロトロン放射が、紫外帯域では降着円盤からの放射が支配的であることを示唆するものである。少なくともNLS1 1H 0323+342のフレア期においては、可視～紫外線の放射機構が明らかになったと言って良いと考えている。この結果は、広帯域スペクトルにおけるジェット成分のモデリングによって、電子分布や放射領域の磁場強度、ジェットのエネルギー収支を見積もるうえで貴重な情報となっている。

## 5. 最後 に

本稿では、光赤外大学間連携によるブレーザー天体のToO観測で得られた結果を概観した。ブレーザーでは、可視～近赤外線領域においてジェットからのシンクロトロン放射が卓越するため、偏光度や偏光方位角の観測が重要な情報を与えてくれる。一方で、大学間連携の枠組みを用いれば、可視～近赤外線での分光観測も可能であるので、例えば、明るい天体であれば、輝線放射の日変動や1日以内の変動をトレースするといった観測も可能であろう。筆者らは、そういったデータからどのようなサイエンスが明らかになるのか詳しくないが、もし本稿をきっかけにして大学間連携での観測に興味をもたれた方がおられれば、ぜひ声をかけていただきたいと思う。

最後に、2015年10月現在、北海道大学ピリカ望遠鏡MSI<sup>27)</sup>によって、可視バンドでの偏光観測が新たに可能になっており、西はりま天文台NICでも近赤外線偏光の試験観測が始まっている。また広島大学でも、2014年度からHONIR<sup>28)</sup>がカセグレン焦点に取り付けられ、近赤外線1バンドと可視1バンドの2バンド同時偏光観測が開始されている。特に、近赤外線での偏光観測により、これまでは星間減光によって困難であった銀河面内の天体の偏光測定が可能になるため、マイクロクエーサーと呼ばれる系内ジェット天体は格好のターゲットとなるだろう。われわれはすでに、か

なた望遠鏡HONIRとピリカ望遠鏡MSIを用いて、2015年6月に電波からX線で大フレアを起こしたブラックホール連星V404 Cyg<sup>29)</sup>の可視近赤外線偏光観測を行った<sup>30)</sup>。これまでは、電波でしかジェット放射の確かな情報が得られていなかったが、近赤外線偏光観測が新たな情報を与えてくれるだろう。電波の大学間連携チームとも協力すれば、電波と近赤外線の同時観測からジェット成分のスペクトルを決定できる可能性がある。今年度(2015年度)にははずぐの後継機となる日本のX線天文衛星Astro-H<sup>31)</sup>が打ち上げられる。ジェットからの非熱放射を捉えるという観点では、50 keV以上で最高感度を有するSoft Gamma-ray Detector (SGD)<sup>32)</sup>によって、降着円盤由来の放射に加えて、ジェット成分の検出が大いに期待される。ほかにも、SGDによるブレーザーの軟ガンマ線偏光観測やマイクロカロリーメーターによる青方偏移した重元素の輝線の探査などにより、ジェットのエネルギー収支、磁場構造、組成についての大きな進展がもたらされるだろう<sup>33), 34)</sup>。

## 謝 辞

本研究は光赤外大学間連携に参加している大学、研究機関とそれらに所属する大学院生とスタッフによって観測が行われました。ここに深く感謝いたします。最後に、いつも議論に付き合っていたいただいているJAXA宇宙科学研究所の井上芳幸氏、土居明広氏、小高裕和氏、立教大学の斉藤新也氏をはじめとして、一緒に研究を進めているすべての方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Curtis H. D., 1918, *Pub. Lick Obs.* 13, 9
- 2) Fender R. P., 2001, *MNRAS* 322, 31
- 3) Piran T., 1999, *Physics Reports* 314, 575
- 4) e.g., <https://hea-www.harvard.edu/XJET/>
- 5) 例えば, 天体高エネルギー現象, 高原文郎, 岩波書店
- 6) Kataoka J., et al., 2011, *ApJ* 740, 29
- 7) Tanaka Y. T., et al., 2015, *ApJL* 799, L18
- 8) Aab A., Abreu P., Aglietta M., et al., 2015, *ApJ* 804, 15
- 9) Marscher A. P., et al., 2008, *Nature* 452, 966
- 10) Abdo A. A., et al., 2010, *Nature* 463, 919
- 11) Aharonian F., Akhperjanian A. G., Bazer-Bachi A. R., et al., 2007, *ApJL* 664, L71
- 12) Aleksić J., Antonelli L. A., Antoranz P., et al., 2011, *ApJL* 730, L8
- 13) Saito S., et al., 2013, *ApJL* 766, L11
- 14) Itoh R., et al., 2013, *ApJL* 768, 24
- 15) Itoh R., et al., 2014, *PASJ* 66, 108
- 16) Osterman M. A., 2009, *AJ* 138, 1902
- 17) Larionov V., et al., *ATel* 4397, 1
- 18) Goodrich R. W., 1989, *ApJ* 342, 224
- 19) Komossa S., et al., 2006, *AJ* 132, 531
- 20) Marscher A. P., 2009, arXiv: 0909.2576
- 21) Doi A., et al., 2006, *PASJ* 58, 829
- 22) Doi A., et al., 2007, *PASJ* 59, 703
- 23) Kataoka J., et al., 2001, *ApJ* 560, 659
- 24) Abdo A. A., et al., 2009, *ApJL* 707, L142
- 25) D'Ammando F., et al., 2012, *MNRAS* 426, 317
- 26) Ikejiri Y., et al., 2011, *PASJ* 63, 639
- 27) Watanabe M., et al., 2012, *Proc. SPIE* 8446, 84462O
- 28) Akitaya H., et al., 2014, *Proc. SPIE* 9147, 91474O
- 29) e.g., Negoro H., et al., 2015, *The Astronomer's Telegram* 7646, 1
- 30) Y. T. Tanaka et al., arXiv: 1601.01312
- 31) Takahashi T., et al., 2014, *Proc. SPIE* 9144, 914425
- 32) Watanabe S., et al., 2012, *Proc. SPIE* 8443, 844326
- 33) Miller J. M., et al., 2014, arXiv: 1412.1173
- 34) Coppi P., et al., 2014, arXiv: 1412.1190

**OISTER Target-of-Opportunity observation for flaring blazars****Yasuyuki T. TANAKA and Ryosuke ITOH***Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan*

Abstract: We report on the recent target-of-opportunity observation results of two GeV-flaring blazars, CTA 102 and 1H 0323+342, obtained with the Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research (OISTER) collaboration. Through the optical polarimetric observations, we found that the observed polarization angle is roughly aligned to the jet direction. This suggests that the magnetic field direction at the emission region is perpendicular to the jet, possibly indicating that the magnetic field is aligned by shocks propagating down the jet. Multi-band light curves, colors, and spectra were also utilized to constrain the optical, near-infrared, and ultraviolet emission mechanisms.