

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: / /

専攻名 (専門分野) Department	物理学及応用物理学専攻	氏名 Name	棚田 和玖	指導員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学研究	学籍番号 Student ID number	CD 5317A047-5		
研究題目 Title	電波銀河 Cen A の TeV ガンマ線放射起源の解明				

## 1. 研究背景

Centaurus A (Cen A) は、太陽系から最も近い場所に位置する活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nuclei) である。電波、X 線観測によって kilo-parsec (kpc) スケールに及ぶ大規模なジェットが確認されており、電波銀河の中では比較的ジェットパワーの小さい Fanaroff-Riley Type I (FRI 型) に分類される。Cen A は多くの FRI 型電波銀河と同様、高エネルギーガンマ線 (GeV, TeV) で検出されているが、Cen A の特徴として数 GeV 以上の帯域にハードな超過ガンマ線成分が存在することが確認されている。また近年の HESS 望遠鏡の解析によると、Cen A の TeV 放射の位置はコアから有意にずれており、kpc スケールジェット由来である可能性が高い。この超過ガンマ線成分の起源に関しては、様々な説が唱えられているが、多くはコア起源であり未だ明確な結論は出していない。

本研究では、kpc スケールジェットにおける EC (External Compton) モデルを新たに構築することで、Cen A の電波から TeV ガンマ線に及ぶ放射起源の解明を試みる。

## 2. 解析方法

本研究では、EC 放射領域の候補であるノット (ジェット内の点源) の X 線解析に、2007 年と 2009 年に観測された Chandra 衛星のデータを用いた。また、ガンマ線の解析に 2008 年から 2018 年までに観測された Fermi 衛星のデータを用いた。

## 3. 結果と議論

まず、Chandra 衛星を用いて、EC モデルを構築する上で十分に明るく、かつスペクトルが超過ガンマ線成分に適切に接続する条件 ( $\Gamma_X < 2$ ) を満たすノットを探した。その結果、コアから 0.4 kpc, 1.1 kpc の距離に位置する AX2, BX2 というノットを見出した。

続いて、我々は kpc スケールジェットにおいて最も支配的となる逆コンプトン散乱の種光子を調べるために、様々な光子のエネルギー密度をコアからの距離の関数で算出した (図 1)。

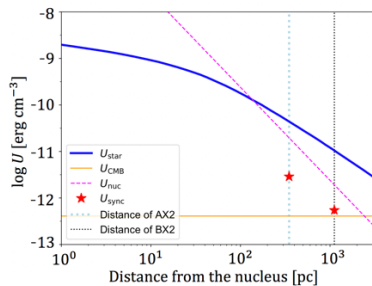


図 1 光子エネルギー密度分布の比較

その結果、コアから約 0.2 kpc 以上の距離では、母銀河光子 (図 1 の青線) が卓越することが分かった。これは、Cen A の母銀河が他の電波銀河よりも平均 50 倍程明るいことに起因すると考えられる。

次に我々は、母銀河光子を種光子とした EC モデルの妥当性を検証した。この際、数 GeV 以下のコアからの放射は Synchrotron Self-Compton (SSC) モデルでフィットし、各ノット (AX2, BX2) の電波・X 線スペクトル、及び GeV-TeV ガンマ線スペクトルを EC (母銀河光子) モデルでフィットした。その結果、両方のノットで矛盾なく Cen A の多波長スペクトルを説明することができた (図 2 は AX2)。また、コア放射の SSC モデルフィットで、典型的な FRI 型電波銀河の値に比べて強い磁場  $B = 3.8$  G と、非常に小さい電子の最大ローレンツ因子  $\gamma_{\max} = 2.8 \times 10^3$  を得た。これにより、Cen A のコア

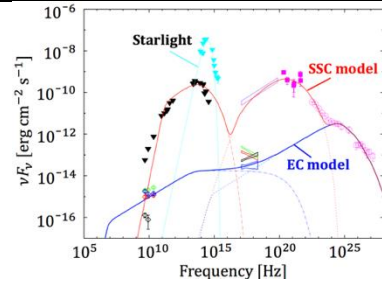


図 2 SSC+EC (母銀河光子) モデルフィッティング (AX2)

ガンマ線スペクトルは数 MeV 以上で急激にカットオフがかり、EC 放射が隠されずに顕在化したと考えられる。また、強い磁場が得られた理由としては、コアからの距離に従って磁場が減衰するという電磁流体力学 (MHD) シミュレーションの結果を踏まえると、放射領域がコアに極めて近いことが考えられる。実際得られた放射領域サイズは  $R = 4.8 \times 10^{15}$  cm と小さく、ジェット幅が距離にほぼ比例して狭くなることを考慮すれば矛盾はない。

さらに我々は、コア近傍ほど磁場が強くなるという仮説を検証するため、Cen A の解析結果に加えて、様々な FRI 型電波銀河のコア領域の磁場を、コアからの距離に対してプロットした (図 3)。ここで距離  $d$  は、近年の観測によって得られているジェット幅とコアからの距離の関係を用いて、放射領域サイズから算出した。その結果、 $B(d) \propto d^{-0.88 \pm 0.14}$  という磁場が距離に対してべき乗で減衰していく関係性を見出した。これは、MHD モデルとも一致する。

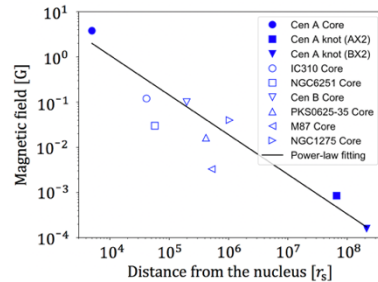


図 3 磁場とコアからの距離の関係

## 4. 結論

本研究では、kpc スケールジェットに位置する 2 つのノット (AX2 と BX2) を用いて、Cen A の GeV-TeV ガンマ線放射を説明する SSC+EC (母銀河光子) モデルを新たに構築することに成功した。モデルフィットの結果から、典型的な AGN とは異なり Cen A でのみ超過ガンマ線成分が顕在化した理由として (1) 母銀河が一般的な電波銀河に比べて明るい、(2) コアにおける電子の最大ローレンツ因子が低いいためガンマ線スペクトルがソフトである、という大きく 2 つが推測できる。さらに様々な FRI 型天体の解析と合わせることで得た、ジェットの磁場が距離に反比例して減衰するという示唆は、MHD 理論の予想とも一致し、ジェットの駆動機構を解明する上で重要であると考えられる。

将来的には、TeV ガンマ線帯域において高い感度を有する Cherenkov Telescope Array の観測によって、本研究のシナリオを検証していく必要がある。

### 【研究業績リスト】

- (1)【国内学会 (Oral)】棚田和玖 他, 日本天文学会 2017 年秋半年会
- (2)【国際学会 (Oral)】Tanada et al., Fermi Symposium 2017
- (3)【論文】Tanada, K., et al. 2018, ApJ, 364 860, 74.
- (4)【論文】Tanada, K., et al. 2018 submitted, Scientific Reports.