

令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：MAGIC 望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究 英文：Study of High Energy Gamma-ray Objects with the MAGIC telescopes
研究代表者	窪秀利（東京大学宇宙線研究所）
参加研究者	稲田知大(九州大学先端素粒子物理研究センター)、郡和範(国立天文台)、井上進、野田浩司(千葉大学ハドロン宇宙国際研究センター)、阿部和希、飯沼慶介、海老優希菜、櫛田淳子、佐藤雄輝、姚屹(東海大学理学部)、阿部正太郎、糸川拓海、武石隆治、手嶋政廣、野崎誠也、森田開、Joshua Ryo Baxter、Yating Chai、Roger Grau、Daniel Mazin、Habib Ahammad Mondal、Marcel Strzys、Ievgen Vovk、Kin Hang Yeung（東京大学宇宙線研究所）、奥村暁、高橋光成、田島宏康、Zejun Li(名古屋大学宇宙地球環境研究所)、榎木大修、須田祐介、橋爪大樹、深沢泰司、Roy Abhradeep（広島大学先進理工系科学研究科）、廣島渚(横浜国立大学大学院工学研究院)、David Paneque（Max-Planck-Institute for Physics）、Dominik Elsaesser(Technische Universität Dortmund)、Adrian Biland（ETH Zürich）、他 MAGIC collaboration
研究成果概要	MAGIC Collaboration によって、2025 年度に査読付論文 7 編を発表した(次ページにリスト)。その研究成果の一部を紹介する。 TON 0599 は、フラットスペクトル電波クエーサー（FSRQ）の一つであり、2017 年に MAGIC により初めて超高エネルギー(VHE)ガンマ線が検出された。Fermi 衛星の観測と組み合わせることで、約 50 GeV 付近にスペクトルカットオフが確認され、ガンマ線放射領域が広輝線領域（BLR）の外側に存在することが示唆された。さらに、光学から X 線までの多波長観測の結果を合わせると、ジェット中の相対論的電子がダストトーラス由来の光子を逆コンプトン散乱する外部コンプトン過程が主要なガンマ線放射機構であることが示された。[1] 矮小楕円体銀河は、暗黒物質密度が高く天体起源ガンマ線バックグラウンドが少ないため、暗黒物質間接探索に最適な対象である。Fermi-LAT、H.E.S.S.、MAGIC、VERITAS、HAWC の観測データを統合解析し、5 GeV～100 TeV の暗黒物質質量に対する対消滅断面積の上限を導出した。単独観測に比べ最大 2～3 倍厳しい制限を達成した。[2] 2013 年 4 月のブレーザー Mrk 421 の大規模フレアに対し、MAGIC、VERITAS、NuSTAR による 9 日間の集中観測を解析した。X 線と VHE ガンマ線で 15 分スケールの短時間変動と同期したスペクトル・ヒステリシスを初めて確認した。時間依存モデル解析から、変動は電子注入スペクトルの強度と傾きの変化で説明され、磁気再結合よりも衝撃波加速を支持する結果が得られた。[3] NGC 4151 は、IceCube による観測で高エネルギーニュートリノ超過が報告されてい

るセイファート銀河である。MAGIC で約 29 時間の観測を実施したが、有意なガンマ線検出は得られなかった。200 GeV 以上で厳しい上限値を与え、IceCube の結果との比較から、ニュートリノはガンマ線が強く吸収される高密度領域で生成されている可能性が示され、ガンマ線の光学的厚さやニュートリノ生成領域のサイズに制限を与えた。[4]

2013～2019 年に MAGIC が観測し非検出のガンマ線バースト(GRB) 42 天体 (short GRB 4 天体を含む) を解析し、観測エネルギーフラックスおよび可視・赤外線背景放射 (EBL)吸収補正後の intrinsic フラックスの上限値を算出した。非検出の主因として、多くの GRB で強い EBL 吸収が TeV ガンマ線検出を妨げていることが示された。また、赤方偏移 $z < 2$ の 6 天体について VHE ガンマ線強度の上限値と同時観測 X 線強度を比較した結果、X 線と同程度の光度を持つ VHE 成分が存在する可能性は否定できない、という結論に至った。[5]

MAGIC Collaboration による査読付論文 (刊行年 2025 記載省略)

- [1] “First detection of VHE gamma-ray signal from the FSRQ TON 0599”, MNRAS, 546, 1 (2026).
- [2] “Combined dark matter search towards dwarf spheroidal galaxies with Fermi-LAT, HAWC, H.E.S.S., MAGIC, and VERITAS”, JCAP, 2026, id.035 (2026). Fermi-LAT, HAWC, H.E.S.S., VERITAS collaboration との共著
- [3] “Time-dependent Modeling of the Subhour Spectral Evolution during the 2013 Outburst of Mrk 421”, ApJ, 998, id.6 (2026). VERITAS collaboration との共著
- [4] “Very high energy observations of the Seyfert galaxy NGC 4151 with MAGIC: Indication of another gamma-ray obscured candidate neutrino source”, A&A, 702, id.A38.
- [5] “Testing the ubiquitous presence of very high energy emission in gamma-ray bursts with the MAGIC telescopes”, A&A, 700, id.A96.
- [6] “Multiwavelength study of OT 081: broadband modelling of a transitional blazar”, MNRAS, 540, 364.
- [7] “Very high-energy gamma-ray detection and long-term multiwavelength view of the flaring blazar B2 1811+31”, A&A, 697, id.A172.

本研究参加者(MAGIC 日本グループ)が 2025 年度に登壇した学会発表

- [8] 9 月 日本天文学会: Mondal 他 “Constraints on VHE gamma-ray emission of Flat Spectrum Radio Quasars with the MAGIC telescopes”
- [9] 9 月 日本物理学会: Mondal 他 “MAGIC report 87: Constraints on VHE gamma-ray emission of Flat Spectrum Radio Quasars with the MAGIC telescopes”