

# 論文の内容の要旨

論文題目 「MAGIC望遠鏡による未知赤方偏移HBL天体MAGIC J2001+439の観測と赤方偏移推定および多波長同時SEDの放射モデル解釈」

学位申請者 小谷 一仁

キーワード: MAGIC、ガンマ線、活動銀河核、ブレイザー、ブラックホール

宇宙線の起源は未だ解決されていない宇宙物理学上の大きな謎であるが、銀河系外における生成加速源の最有力候補として活動銀河核があげられる。ブレイザーは活動銀河核（中心に巨大ブラックホール）の一種で、中心核から相対論的速度の宇宙ジェットが我々の視線方向を向いて噴出している天体である。観測的には、電波から可視光、ガンマ線に至る幅広いエネルギー領域において非熱的な放射を行い、その莫大な放射エネルギーと激しい時間変動が特徴である。シンクロトロン放射と逆コンプトン放射によるレプトン起源モデルがその放射を比較的良く説明できることが知られているが、その複雑な強度変動と多波長間の相関を統一的に説明することには成功していない。特に、TeVブレイザーと呼ばれる超高エネルギー(VHE)ガンマ線を放射するブレイザーは、その検出例数が少なく未だに謎の多い天体である。そこで本研究では、新しいTeVブレイザーの発見とその放射機構の解明を目的として、スペインのカナリア諸島ラ・パルマ島に設置された大気チェレンコフ望遠鏡MAGIC-IIを用いてブレイザーMAGIC J2001+439の観測を行った。本論文は、そこで得られたVHEガンマ線の観測結果と、Fermi/LATで得られたGeVガンマ線データ解析の結果、X線から紫外線、可視光、電波の多波長観測の結果から、1) MAGIC J2001+439の発見とその赤方偏移の決定、2) 強度の時間変動と多波長間の相関、3) 1ゾーンシンクロトロン自己コンプトン(SSC)放射モデルによる解釈、についての研究の成果をまとめたものである。

まず本研究では、Fermi/LAT天体1FGL J2001.1+4351のエネルギースペクトルがハードであることに着目し、VHEガンマ線放射の可能性を予想して、そのエラーサークル内をMAGIC望遠鏡で探索した。その結果、2010年7月に世界で初めてこの方向にVHEガンマ線放射天体を発見し、MAGIC J2001+439と命名した。有意度は70 GeV以上で $6.3\sigma$ 、エネルギースペクトルとして、78 GeVから500 GeVでべき指数 $-2.8\pm 0.4$ 、200 GeVでのフラックス $1.9\pm 0.4\times 10^{-10}$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{TeV}^{-1}$ のべき関数型微分スペクトルを得た。VHEガンマ線ブレイザーのカタログに新たな天体を加えることができたことは大きな成果である。MAGIC J2001+439は電波、X線、可視光でも観測されており、その非同時スペクトルエネルギー分布(SED)からHigh-frequency-peaked BL Lac天体(HBL)と分類されている。

MAGIC J2001+439の可視光分光測光からは、特徴的な吸収線や輝線が見つからず、その赤方偏移 $z$ が正確に求められていない。赤方偏移が大きいと、VHEガンマ

線は銀河系外背景放射光子（EBL）との相互作用で電子陽電子対生成を起こし一部が吸収されてしまう。そこで本研究ではこの性質を逆手に取って、GeVガンマ線からTeVガンマ線に至るエネルギースペクトルの形状からVHEガンマ線光子の吸収量を求め、EBLモデルを用いることにより、MAGIC J2001+439の赤方偏移を世界で初めて $z = 0.17 \pm 0.10$ と決定した。この値は、光学望遠鏡NOTによる追観測で決めた $z = 0.18 \pm 0.04$ とも一致し、ここで採用した手法の信頼度の高さが証明された。

また、MAGIC J2001+439のVHEガンマ線フレア検出に伴って多波長同時観測の国際キャンペーンを呼びかけた。その結果VHEガンマ線ではフレア時以外検出することはできなかったが、その期間のGeVガンマ線、X線、UV、可視光同時観測データを用いてその強度変動を定量的に評価することにより、すべての波長領域において有意に強度が変動していること、お互いの強度変動に有意な相関があることを見つけた。また、非同時の観測では、GeVガンマ線、可視光、電波で長期間の一致した強度変化の傾向が見られた。このように電波まで含めて長期変動の相関が捉えられたのはHBLとしては2例目である。これらの結果は、基本的にSSCモデルで説明できる可能性を強く示唆している。そこで本論文では、自ら決定した赤方偏移の値を用いて、VHEガンマ線フレア期、X線バースト期、平穏期、の3つに分けて1ゾーンSSCモデルによる解釈を試みた。その結果、MAGIC J2001+439について、放射領域のサイズ $R = 2.04 \times 10^{16}$  cm、磁場 $B = 55$  mG、ビーミング因子 $\delta = 27$ を得て、加速効率の変化に伴うと考えられる電子密度とそのスペクトルのわずかな時間変化だけで、観測されたSEDの時間変化を統一的に説明できることを突き止めた。

以上の研究成果は、TeVブレイザー、特にHBLジェットからの高エネルギー放射の研究に新しい知見をもたらし、その解明に大きく寄与するものである。