

## 論文の内容の要旨

論文題目「MAGIC望遠鏡によるブレーザーBL Lacertaeの観測と  
短時間フレアの放射モデル解釈」

学位申請者 辻本 晋平

キーワード：銀河、活動銀河核、ブレーザー、BL Lacertae、ガンマ線

宇宙に数多ある銀河の中でもその中心が特に明るく活動的な天体は活動銀河と呼ばれ、活動銀河の中心領域は活動銀河核と呼ばれる。活動銀河核は20世紀初めに観測されたが点源にしか見えない、銀河系外の天体であれば明るすぎるなどの理由で1960年代に天体までの距離が測定されるまでは銀河系内か、銀河系外か議論されていた特異な天体である。今日に至るまで活動銀河核は太陽質量の100万倍から100億倍の超大質量ブラックホールが存在し、ブラックホールの周りに膠着円盤やダストトラスなどが分布、一部の活動銀河核では相対論的なプラズマ流のジェットを生成していると考えられている。しかし、コンパクトな中心領域の構造を直接撮影するのは活動銀河核までの距離もあり難しいため、活動銀河核の真の構造は未だ謎のままである。

ブレーザーは活動銀河核の一種あり、活動銀河核の中でも特に激しい時間変動を示す天体である。また、可視光線の帯域で他の活動銀河核の数倍以上という大きな偏光(数%)を示し、観測されたスペクトルが非熱的放射によるものと推定されている。これらの特徴から、ブレーザーは活動銀河核の相対論的ジェットを正面から観測している天体だと考えられており、ブレーザーの詳細な観測からまだ相対論的ジェットの生成方法や激しい時間変動を起こすような放射のメカニズム、宇宙からやってくる高エネルギーの放射線(宇宙線)の起源の解明などが期待されている。

本研究の研究対象であるBL Lacertae(とかげ座BL星)は、その名の通り1920年代に発見された当時は銀河系内にある不規則な変光を起こす星だと考えられていた。活動銀河核の中では歴史の深い天体であり、輝線の弱いブレーザーにつけられたBL Lac型という名称はBL Lacertaeに由来する。しかし $E > 100$  GeVの超高エネルギーガンマ線は1998年の初検出報告から今までに本研究を含めて数回のみしか検出されていないため、高エネルギーの放射がどのように起きるのか理解するためにもBL Lacertaeを超高エネルギーガンマ線で観測することは重要である。また、近年本研究を含め3度BL Lacertaeからの超高エネルギーガンマ線のフレア(短時間の増光)が観測された。本研究では初めて超高エネルギーガンマ線フレアを電波からガンマ線までの多波長で観測し、スペクトルモデルを用いて超高エネルギーガンマ線の短時間光度変動を引き起こす放射過程に迫った。

論文の構成は以下の通りである。

第1章では、ガンマ線の放射に関わる代表的な物理現象について述べた。

第2章では、活動銀河核について、本研究の対象であるBL Lacertaeを含めて述べた。

第3章では、超高エネルギーガンマ線観測望遠鏡である解像型大気チェレンコフ望遠鏡 (IACT) について、超高エネルギーガンマ線や宇宙線が大気と相互作用して起きる物理現象やIACTの観測方法について述べた。

第4章では、超高エネルギーガンマ線の観測に用いたMAGIC望遠鏡について、構造や検出感度を含めて述べた。

第5章では、MAGIC望遠鏡で得られたデータの解析方法について述べた。

第6章では、BL Lacertaeに対するMAGIC望遠鏡の観測結果について述べた。MAGIC望遠鏡を用いて2015年6月15日から28日にかけて行った超高エネルギーガンマ線観測の結果、2015年6月15日に最も高いフラックスを記録し、超高エネルギーガンマ線フレアを起こしていたことがわかった。また、2015年6月15日は超高エネルギーガンマ線のフラックスの半減時間が $26 \pm 8$ 分と1時間未満の短いタイムスケールで光度変化しており、超高エネルギーガンマ線が小さな放射領域で放射されたことを示唆された。

第7章では、電波、可視光線、X線、高エネルギーガンマ線そして超高エネルギーガンマ線の多波長同時観測の結果について述べた。多波長同時観測の結果から、超高エネルギーガンマ線フレアと同期した他波長の急激な光度変動は検出できなかった。2015年6月には高エネルギーガンマ線と可視光線で同期した光度変動が見られたため、高エネルギーガンマ線と可視光線は同じ放射領域から放射されている可能性がある。また、超高エネルギーガンマ線フレアの前後に可視偏光強度の回転が観測された。これらの光度と偏光の時間変化から超高エネルギーガンマ線の短時間変動は他波長と異なり小さな放射領域で発生した可能性が示唆される。2015年の電波強度の観測から新しい電波成分は検出できなかったが、電波コアのフラックス密度と偏光度が超高エネルギーガンマ線フレアの前で増減していた。また、超高エネルギーガンマ線フレアの1ヶ月前である2015年5月に電波コアから偏光度の高いblobが出現しており、このblobが超高エネルギーガンマ線フレアを引き起こした可能性があることがわかった。

第8章では、観測された多波長スペクトルのデータに対し、放射領域を二つ仮定したモデルと星が相対論的ジェット内に入って相互作用を起こすモデルの計3つのモデルを適用した結果について述べた。すべてのスペクトルモデルでBL Lacertaeのスペクトルを説明することができたが、VLBAによる電波観測の結果をよく説明できる、BLR外のより大きな領域 (larger jet) と相互作用する放射が最も有力であると結論づけた。

第9章が本研究の総括である。超高エネルギーガンマ線フレアと完全に同期した他波長の観測を行った以上の研究成果は、ブレイザーの構造およびジェットからの放射機構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。