

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800105

研究課題名(和文) FSRQ天体のガンマ線放射機構の解明と銀河系外背景光の研究

研究課題名(英文) Study for the mechanism of the gamma-ray emission from FSRQ objects and the extragalactic background light

研究代表者

齋藤 浩二 (Saito, Koji)

東京大学・宇宙線研究所・研究員

研究者番号：10645237

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：赤方偏移 $z \sim 1$ に至るような宇宙論的遠方に位置する、Flat Spectrum Radio-loud Quasar (FSRQ)天体といった活動銀河核からの超高エネルギーガンマ線放射と、宇宙に充満する銀河系外背景光の研究を行った。FSRQ天体の一つPKS 1510-089($z=0.36$)の解像型大気チェレンコフ望遠鏡MAGICを中心とした多波長観測を行い、その成果がAstronomy & Astrophysics誌に発表された。他に $z=0.94$ の、これまで知られた中で最も遠方の天体S3 0218+357や、 $z>0.5$ の天体H 1722+119からの超高エネルギーガンマ線信号の検出に成功した。

研究成果の概要(英文)：The extragalactic background light and the very high energy gamma-ray emission from cosmological distant objects such as Flat Spectrum Radio-loud Quasars (FSRQ) located at the redshift of $z \sim 1$ away from the earth have been studied. Results from multiwavelength observations led by the imaging atmospheric Cherenkov telescope MAGIC on the FSRQ object PKS 1510-089 was published in the Astronomy and Astrophysics journal. Furthermore, a very high energy gamma-ray signal from two objects, a most distant object ever S3 0218+357 which have a redshift of $z = 0.94$ and H 1722+119 whose redshift is estimated to be >0.5 , was discovered.

研究分野：ガンマ線天文学

キーワード：超高エネルギーガンマ線 活動銀河核 銀河系外背景光

1. 研究開始当初の背景

活動銀河核(Active Galactic Nuclei: AGN)は我々の銀河系外に位置している天体で、その中心ブラックホールの双極方向から超相対論的速度をもつジェット流が観測されることもある。AGNからは電波からガンマ線に至る幅広い波長領域の放射が観測される。しかしそのジェット発生条件、ガンマ線放射メカニズムは未だよくわかっていない。

AGNの中でも Flat Spectrum Radio-loud Quasar (FSRQ) と呼ばれる天体は光度が高いが、100 GeV(ギガ電子ボルト)以上の超高エネルギー(Very High Energy; VHE)ガンマ線領域ではこれまで3天体のみしか発見されていない。これは FSRQ 天体は一般に遠方に位置することや、中心ブラックホールの周りの広輝線放射領域でのガンマ線吸収の影響などによるものと考えられているが、いずれにせよ希少な観測対象である。

また AGN 等からの VHE ガンマ線はその天体の振る舞いのみならず、銀河系外背景光(Extragalactic Background Light; EBL)の研究につながる。EBL はこれまでの宇宙史で積分された系外天体からの光で、星、銀河形成史を紐解く上で欠かせない情報である。

2. 研究の目的

宇宙論的遠方に位置する活動銀河核、特に FSRQ に属する天体からの VHE ガンマ線放射を観測し、天体のガンマ線放射機構の解明にせまる。またその観測から EBL の測定を目指す。

3. 研究の方法

解像型大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC を用い、天体からの VHE ガンマ線を観測する。MAGIC はスペイン、カナリア諸島ラパルマ島に設置されている、直径 17 m 大鏡面をもつ 2 台の望遠鏡である。その大きな集光面積を生かし、50 GeV という低いエネルギーしきい値を達成し、特に 200 GeV 以下のエネルギー領域で高い感度をもつことが大きな特長である。

効率よく VHE ガンマ線源を発見するために、VHE 以外の各波長領域観測と協力しながら FSRQ 天体等の観測を行う。特に全天サーベイモードで運用されている Fermi ガンマ線衛星との連携を強化する。Fermi の主検出器 LAT(Large Area Telescope)は数 100 MeV(メガ電子ボルト)から MAGIC のエネルギー下限とほぼ一致する数十 GeV のエネルギー領域に主な感度をもつ。Fermi 衛星による天体増光現象の報告を受け MAGIC で即時観測を行うことは天体光度の変動が激しい FSRQ 天体の観測に最適である。その他可視光や X 線領域観測とも綿密な協力を行う。

さらに得られた観測データから、EBL 強度の測定を試みる。EBL の直接観測は、銀河面

前景放射や太陽光の影響を受けてしまい困難が伴う。一方、遠方の銀河系外天体からの VHE ガンマ線は電子陽電子対生成により EBL 光子の強い吸収を受けてしまう。しかし逆にその吸収量を見積もることが出来れば、EBL 強度への制限を付けることが出来る。そこで MAGIC と Fermi-LAT による天体観測から EBL の研究を行う。Fermi-LAT が主に感度をもつ数十 GeV 以下の領域は EBL による吸収の影響をほとんど受けないことから、Fermi-LAT で得られたエネルギースペクトルを MAGIC のエネルギー領域まで外挿したものを、天体の EBL 吸収前のスペクトルとして、吸収量を見積もる。

また望遠鏡性能のさらなる向上を目指し、現在使用されている光検出器である光電子増倍管(Photo Multiplier Tube; PMT)に代わるような検出器の開発を目指す。PMT の量子効率は 30%程度で、磁場の影響を受けやすいなどの弱点がある。それらを克服しうるものとしてアバランシェフォトダイオード(Avalanche Photo Diode; APD)検出器の性能評価等を行う。

4. 研究成果

(1) PKS 1510-089

PKS 1510-089 は赤方偏移 $z=0.36$ に位置する遠方 FSRQ 天体で、昔から可視光領域等でよく研究されている天体でもある。最近も Fermi 衛星等により複数のガンマ線フレアが報告されており、活発な活動がみられている。VHE 領域では H.E.S.S. 望遠鏡により天体からの信号が発見されている(Abramowski et al., 2013, A&A, 554, 107)。

MAGIC においても本天体の観測を行い、有意な VHE ガンマ線信号の検出に成功している。そのとき MAGIC 望遠鏡を中心とした、電波、可視光、X 線、ガンマ線領域をカバーする多波長観測キャンペーンが展開された。図 1 は

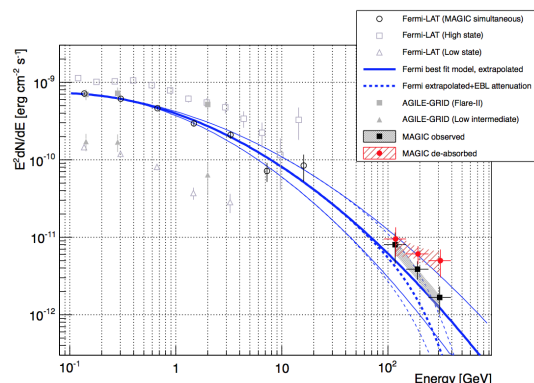


図 1 PKS 1510-089 のガンマ線領域エネルギースペクトル

ガンマ線領域のエネルギースペクトルである。MAGIC と同時期の Fermi-LAT スペクトル(白い丸点)は log-parabola 型関数で表される。それを天体の EBL 吸収前スペクトルと仮定し外挿したスペクトル(青線)は現在最新

の EBL モデルを適用し得られた MAGIC の EBL 吸収前スペクトル(赤点)と一致する結果となった。

得られた多波長ライトカーブ(天体フラックスの時間変動)を図 2 に示す。ガンマ線(上から 2 番目)と電波領域(下から 1 番目)のフラックス変動パターンが一致していることが示唆される。また電波のイメージで新しいコンポーネントが放出された時期とガンマ線フレアの時期に同期がみられることから、ガンマ線放射と電波放射領域が同一空間である可能性を示した。以前は FSRQ 天体のガンマ線は中心ブラックホールから 0.1 パーセク以内のジェット中で生成されたものであると考えられてきた。しかしこの電波コンポーネントは中心ブラックホールから約 10 パーセク離れていると見積もられており、ガンマ線放射領域もそのような遠方であることが示唆される。

これらの研究成果は Astronomy and Astrophysics 誌において発表されている (Aleksić et al., 2014, A&A, 569, A46)。

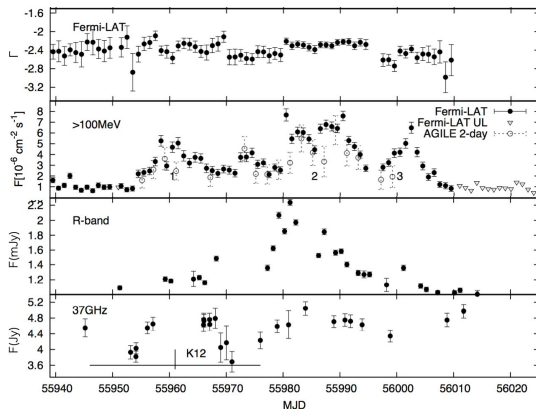


図 2 PKS 1510-089 の多波長ライトカーブ

(2) H 1722+119

H 1722+119 は FSRQ 天体とは違い広輝線放射領域等からの放射をほとんど示さない BL Lac 型の AGN である。過去 MAGIC では 2 台の望遠鏡によるステレオ観測が始まる前の時期である 2005 年から 2009 年にかけて計 32 時間、本天体の観測が行われたが有意な VHE ガンマ線信号は検出されず、140 GeV 以上でかに星雲フラックスの 4 % というフラックス上限値のみ得られている。

2013 年 5 月に、天体の可視光フラックスが 2005 年の観測開始以来最大となっていることが Tuorla blazar monitoring program (<http://users.utu.fi/kani/1m>) より報告された。これを受けて MAGIC では計 11 時間、6 夜にわたる観測が行われ、天体からの VHE ガンマ線放射の発見に成功した。図 3 に得られた VHE ガンマ線スカイマップを示す。本天体の発見は Astronomer 's Telegram において報告されている。

本天体の赤方偏移 z はこれまで不明であったが、最近の可視光観測から z は 0.5 以上で

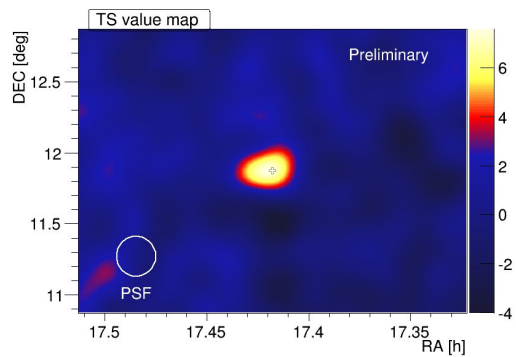


図 3 H 1722+119 の VHE ガンマ線スカイマップ

あるという見積もりが得られており、VHE ガンマ線放射源として最も遠方に位置する天体のひとつとなっている。

可視光や X 線などの多波長観測を含めた本天体の研究結果をまとめた論文は投稿準備中となっている。

(3) S3 0218+357

S3 0218+357 は赤方偏移 $z=0.94$ の距離に位置する遠方 AGN である。またこの天体は手前に位置する銀河 B 0218+357 ($z=0.68$) の重力によりその光が曲げられる、いわゆる重力レンズが起きていることが知られている。

本研究では Fermi 衛星の観測結果を最速で知るための自動モニターシステムを構築しており、2014 年にそのシステムにより世界でいち早く本天体からのガンマ線フレアを発見することが出来た。その後 MAGIC 望遠鏡による観測が行われ、3.5 時間の観測で天体からの有意な VHE ガンマ線信号の検出に成功した。この結果は Astronomer 's Telegram へ投稿されている。これまで知られている中で最も遠方に位置し、さらに重力レンズが確認されている天体から初めて VHE ガンマ線放射が発見されるという、極めてインパクトのある成果が得られている。

(4) MPPC

PMT に代わる光検出器開発のため、浜松ホトニクス製 MPPC (Multi Pixel Photon Counter) モジュールを購入した。MPPC は量子効率 80 %、磁場の影響を受けづらいなどの利点のある APD をマルチピクセル化したものである。このモジュールを用い MPPC の性能評価を行いたかったが、本研究を進める上で必要な案件について受け入れ教員からの返答が得られない状態が続いたため製品の購入が遅れ、目的は十分に果たされないまま、今後の見通しもたたない状況となった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9 件)

1. J. Aleksić, E. Lindfors, F. Tavecchio,

K. Saito, J. Sitarek, G. De Caneva et al., MAGIC gamma-ray and multifrequency observations of flat spectrum radio quasar PKS 1510-089 in 2012, Astronomy & Astrophysics, 査読あり, 2014, Vol. 569, A46

〔学会発表〕(計4件)

1. 齋藤浩二、井上進、林田将明、折戸玲子、櫛田淳子、小谷一仁、西嶋恭司、窪秀利、今野裕介、齋藤隆之、高見一、手嶋政廣、遠山健、中嶋大輔、野田浩司、他 MAGIC Collaboration、MAGIC 望遠鏡と同時多波長観測による FSRQ 天体 PKS 1510-089 の研究、天文学会、9月、2013年、仙台
2. 齋藤浩二、井上進、折戸玲子、櫛田淳子、窪秀利、小谷一仁、今野裕介、齋藤隆之、高見一、手嶋政廣、遠山健、中嶋大輔、西嶋恭司、野田浩司、林田将明、他 MAGIC Collaboration、MAGIC 報告 40 : FSRQ 天体 PKS 1510-089 の多波長観測、物理学会、9月、2013年、高知
3. 齋藤浩二、井上進、林田将明、折戸玲子、櫛田淳子、小谷一仁、西嶋恭司、窪秀利、今野裕介、齋藤隆之、高見一、手嶋政廣、遠山健、中嶋大輔、野田浩司、他 MAGIC Collaboration、MAGIC 望遠鏡による遠方ブレーザーH 1722+119 の観測、天文学会、3月、2014年、三鷹
4. 齋藤浩二、井上進、折戸玲子、櫛田淳子、窪秀利、小谷一仁、今野裕介、齋藤隆之、高見一、手嶋政廣、遠山健、中嶋大輔、西嶋恭司、野田浩司、林田将明、他 MAGIC Collaboration、MAGIC 報告 45 : 遠方ブレーザーH 1722+119 の観測、物理学会、3月、2014年、平塚

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 浩二 (SAITO, Koji)

東京大学・宇宙線研究所・研究員

研究者番号 : 10645237