

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：16101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22840030

研究課題名（和文）

高エネルギーガンマ線望遠鏡 MAGIC の高感度化及び宇宙暗黒物質の探索

研究課題名（英文）

Upgrade of cosmic gamma-ray telescope MAGIC and search for the dark matter

研究代表者

折戸 玲子 (ORITO REIKO)

徳島大学・大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部・助教

研究者番号：80579417

研究成果の概要（和文）：

本研究は、カナリー諸島ラパルマ島海拔 2200m に位置する解像型大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope) の高感度化及び、宇宙暗黒物質の探索を目的としている。高量子効率な光電面を用いた Hybrid Photon Detector (HPD) による焦点面検出器の開発研究及び、暗黒物質対消滅からの高エネルギーガンマ線放射に関する研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

This research aims the upgrade of imaging atmospheric Cherenkov telescope MAGIC and the search for the dark matter. The focal plane module using Hybrid Photon Detector (HPD) with high quantum efficiency photocathode has been developed, and the gamma-ray signal from the dark matter annihilation has been researched.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,250,000	375,000	1,625,000
2011 年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線、高エネルギーガンマ線、大気チェレンコフ望遠鏡、暗黒物質

1. 研究開始当初の背景

宇宙 TeV ガンマ線観測は 1989 年 Whipple グループによるかに星雲からの初の TeV ガンマ線発見以降、過去 20 年の間に目覚ましい進歩を遂げてきた。宇宙で生成されたガンマ線は直進し地球大気圏に突入すると電磁シャワーを形成する。地上に設置された解像型大気チェレンコフ望遠鏡では、これらのシ

ャワーからのチェレンコフ放射の像を観測し、そのイメージからガンマ線と陽子などのバックグラウンドを識別し、到来ガンマ線の方角とエネルギーを再構成することができる。現在世界では、計 4 つの解像型大気チェレンコフ望遠鏡が稼働しており、北半球に MAGIC, VERITAS, 南半球に H.E.S.S., CANGAROO が設置され、130 を超える天体からのガンマ線放射が確認されている。こ

のうち、MAGIC(Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov)望遠鏡は、北半球カナリー諸島、海拔 2200m に位置する口径 17m を持つ望遠鏡であり、世界最大口径の反射鏡による低エネルギー閾値(～25GeV)、ガンマ線バースト追尾のための高速応答(～20 秒)など、他の望遠鏡にない特徴をもつ。MAGIC 望遠鏡では、2009 年度より 2 台の望遠鏡によるステレオ観測により大きく感度を向上させており、研究代表者も過去 2 年間、海外研究機関にてステレオ観測の立ち上げに貢献してきた。本研究活動スタート支援研究では、MAGIC 望遠鏡の更なる感度向上のため、高感度光検出器モジュールの開発を行う。解像型大気チェレンコフ望遠鏡の次世代計画までにはまだ時間があるため、MAGIC 望遠鏡の更なる感度向上、高エネルギー天体発見数増加は重要な意味を持つ。また、宇宙暗黒物質対消滅からのガンマ線の検出を目指す。MAGIC 望遠鏡ではその低閾値を活かし、他の解像型大気チェレンコフ望遠鏡に比べ低質量領域までの暗黒物質探索が可能である。暗黒物質起源のガンマ線が検出されれば大きなインパクトであり、暗黒物質に関する理解が飛躍的に向上することが予想される。検出されない場合にも、対消滅断面積に上限値をつけることが可能である。

2. 研究の目的

MAGIC-II 望遠鏡の焦点面カメラは 1039 本の 1 インチスーパーバイアルカリ光電子増倍管(浜松 R10408)から構成される。本研究では、この光電子増倍管をより高感度な光検出器ものに置き換えることにより、更なる望遠鏡の高感度化、低エネルギー閾値化を目指す。光検出器の性能評価、クラスターモジュールの製作、望遠鏡長期試験を行い、量産デザインを決定する。また、MAGIC 望遠鏡を用いて集積した宇宙暗黒物質の対消滅・崩壊による高エネルギーガンマ線を観測することにより、暗黒物質探索を行う。本研究活動スタート支援研究により、海外機関からの異動後も MAGIC 望遠鏡による宇宙ガンマ線研究が継続可能な環境を整える。

3. 研究の方法

MAGIC 望遠鏡の焦点面カメラを構成する光電子増倍管を HPD(Hybrid Photon Detector)浜松 R9792U-40 に置き換えることにより、焦点面カメラの高感度化を行う。HPD R9792U-40 は、有効面積 18mm のガリウムヒ素リン光電面、光電子加速領域及び 3mm 直径の Avalanche Photodiode(APD)から構成され、電子打ち込みゲイン 1500、

APD ゲイン 50(それぞれ 8kV、400V 印加時)を持つ。HPD R9792U-40 の特徴は、ガリウムヒ素リン光電面による高量子効率(ピーク値 50%以上)、電極構造の最適化と強電場による高電子収集効率(～100%)、低アフターパルス、高速応答(半値幅～2.1ns)、高い 1 光子分解能力等が挙げられ、夜光下での微弱かつ高速な光を検出する必要性のある大気チェレンコフ望遠鏡に適している。特にその高量子効率により現状の光電子増倍管に比べ約 2 倍程度の光電子数を得ることが可能であり、望遠鏡の感度を向上させ、エネルギー閾値を引き下げる事が可能である。宇宙暗黒物質探索については、MAGIC 望遠鏡を用いて GeV ガンマ線衛星 Fermi 未同定天体や、高質量光度比の近傍矮小楕円体銀河を観測し暗黒物質起源の高エネルギーガンマ線の検出を目指す。高エネルギーガンマ線による暗黒物質間接検出では、銀河中心などの観測対象もあるが、天体が密集しているため通常为天体起源のガンマ線と暗黒物質起源との判別が難しい。これらの天体では、バックグラウンドフリーの暗黒物質起源ガンマ線探索を行うことが可能である。

4. 研究成果

浜松ホトニクス社 HPD R9792U-40 の 7 本、プリアンプ、DCDC コンバーター、光信号変換、高圧モニター・制御回路、誘電フィルムによるライトガイドからなるプロトタイプクラスターを現状の光電子増倍管モジュールと差し替え可能な形状で製作し、望遠鏡外周に搭載した。望遠鏡上にて 1 年間、観測時に高圧を印可し、実際の環境下でも光電面等に劣化がないことを実証した。他の望遠鏡アップグレードスケジュールを考慮し、マックスプランク研究所のエンジニアと協力しモジュール量産について検討している。

暗黒物質探索について、Fermi 第 1 カタログによる未同定天体のうち、MAGIC 望遠鏡にて良条件で観測可能、スペクトルがハード、変動が少なく、銀河面より離れている 3 天体についてそれぞれ 8～16 時間観測を行い、いずれもガンマ線上限値を得た。また、近傍矮小楕円体銀河については SDSS で 2007 年に発見された Segue1 について数十時間観測を行った。現在までの解析でガンマ線放射は確認されず、ガンマ線フラックスに上限値が得られている。暗黒物質対消滅断面積上限値については現在計算中である。

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)

〔雜誌論文〕(計 21 件)

- ①“PG 1553+113: Five Years of Observations with MAGIC”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 748, Issue 1, article id. 46 (2012), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/748/1/46
- ②“Detection of very-high energy γ -ray emission from NGC 1275 by the MAGIC telescopes”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *Astronomy & Astrophysics*, Volume 539, id.L2, 2012, 查読有, DOI: 10.1051/0004-6361/201118668
- ③“Discovery of VHE γ -ray emission from the BL Lacertae object B3 2247+381 with the MAGIC telescopes”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *Astronomy & Astrophysics*, Volume 539, id.A118, 2012, 查読有, DOI:10.1051/0004-6361/201117967
- ④” The 2010 Very High Energy γ -Ray Flare and 10 Years of Multi-wavelength Observations of M 87”, A.Abramowski, R.Orito et al(450 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 746, Issue 2, article id. 151 (2012), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/746/2/151
- ⑤” Detection of the γ -Ray Binary LS I +61°303 in a Low-flux State at Very High Energy γ -Rays with the MAGIC Telescopes in 2009”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 746, Issue 1, article id. 80 (2012), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/746/1/80
- ⑥” Performance of the MAGIC stereo system obtained with Crab Nebula data “, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *Astroparticle Physics*, Volume 35, Issue 7, p. 435-448, 2012, 查読有 DOI:10.1016/j.astropartphys.2011.11.007
- ⑦” Observations of the Crab Pulsar between 25 and 100 GeV with the MAGIC I Telescope”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 742, Issue 1, article id. 43 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/742/1/43
- ⑧” Fermi Large Area Telescope Observations of Markarian 421: The Missing Piece of its Spectral Energy Distribution”, A.A.Abdo, R.Orito et al(370 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 736, Issue 2, article id. 131 (2011), 查読有, DOI:10.1088/0004-637X/736/2/131
- ⑨” A Search for Very High Energy

- Gamma-Ray Emission from Scorpius X-1 with the Magic Telescopes”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 735, Issue 1, article id. L5 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/2041-8205/735/1/L5
- ⑩” Searches for dark matter annihilation signatures in the Segue 1 satellite galaxy with the MAGIC-I telescope”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 06, pp. 035 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/1475-7516/2011/06/035
- ⑪” MAGIC Observations and multiwavelength properties of the quasar 3C 279 in 2007 and 2009”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *Astronomy & Astrophysics*, Volume 530, id.A4, 2011, 查読有, DOI: 10.1051/0004-6361/201116497
- ⑫” MAGIC Discovery of Very High Energy Emission from the FSRQ PKS 1222+21”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 730, Issue 1, article id. L8 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/2041-8205/730/1/L8
- ⑬” Gamma-ray Excess from a Stacked Sample of High- and Intermediate-frequency Peaked Blazars Observed with the MAGIC Telescope”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 729, Issue 2, article id. 115 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/729/2/115
- ⑭” Spectral Energy Distribution of Markarian 501: Quiescent State Versus Extreme Outburst”, V.A.Acciari, R.Orito et al(230 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 729, Issue 1, article id. 2 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/729/1/2
- ⑮” Insights into the High-energy γ -ray Emission of Markarian 501 from Extensive Multifrequency Observations in the Fermi Era”, A.A.Abdo, R.Orito et al(450 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 727, Issue 2, article id. 129 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/727/2/129
- ⑯” Observations of the Blazar 3C 66A with the Magic Telescopes in Stereoscopic Mode”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), *The Astrophysical Journal*, Volume 726, Issue 2, article id. 58 (2011), 查読有, DOI: 10.1088/0004-637X/726/2/58

⑰ ” MAGIC Upper Limits for Two Milagro-detected Bright Fermi Sources in the Region of SNR G65.1+0.6” , J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), The Astrophysical Journal, Volume 725, Issue 2, pp. 1629-1632 (2010), 査読有, DOI: 10.1088/0004-637X/725/2/1629

⑱ ” Search for an extended VHE γ -ray emission from Mrk 421 and Mrk 501 with the MAGIC Telescope” , J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), Astronomy and Astrophysics, Volume 524, id.A77, 2010, 査読有, DOI: 10.1051/0004-6361/201014747

⑲ “Detection of Very High Energy γ -ray Emission from the Perseus Cluster Head-Tail Galaxy IC 310 by the MAGIC Telescopes”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), The Astrophysical Journal Letters, Volume 723, Issue 2, pp. L207-L212 (2010), 査読有, DOI: 10.1088/2041-8205/723/2/L207

⑳ ” Magic Constraints on γ -ray Emission from Cygnus X-3”, J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), The Astrophysical Journal, Volume 721, Issue 1, pp. 843-855 (2010), 査読有, DOI: 10.1088/0004-637X/721/1/843

㉑ “MAGIC TeV gamma-ray observations of Markarian 421 during multiwavelength campaigns in 2006” , J.Aleksić, R.Orito et al(150 co-authors), Astronomy and Astrophysics, Volume 519, id.A32, 2010, 査読有, DOI: 10.1051/0004-6361/200913945

[学会発表] (計 3 件)

- ① 折戸玲子、解像型大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC による宇宙暗黒物質の探索, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012. 3. 27, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス(兵庫県西宮市)
- ② 折戸玲子, CTA 報告 24 : CTA 焦点面検出器の開発, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011. 9. 19, 弘前大学文京町キャンパス(青森県弘前市)
- ③ 折戸玲子, MAGIC/CTA における焦点面カメラ光検出器の開発, 第 3 回次世代光センサーに関するワークショップ, 2010. 12. 17, 名古屋大学環境総合館(愛知県名古屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

折戸 玲子 (ORITO REIKO)

徳島大学・大学院ソシオ・アーツ・アンド・

サイエンス研究部・助教

研究者番号 : 80579417

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :