

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17647

研究課題名(和文) 超高エネルギーガンマ線観測によるパルサーの放射機構の解明

研究課題名(英文) Study of the emission mechanism of pulsars with very high energy gamma-ray observations

研究代表者

齋藤 隆之 (Saito, Takayuki)

東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号：60713419

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)：MAGICによるGeminga およびDragonfly パルサーの観測においては、有意な信号を検出することができなかった。これらのパルサーが10 GeV以上において、Crabパルサーのような硬いスペクトルをしていないことが明らかとなった。これらのデータ解析の過程で解析手法を改善させることができたことは一つの成果である。CTAの大口径望遠鏡のCentral ピクセルの開発においては、PMTの電流を高頻度で読み出すことで可視光パルス放射の検出を目指すことにした。また、鏡の調整においては、個々の分割鏡に設置したCCDカメラを使用する予定である。

研究成果の概要(英文)：Observations of the Geminga and the Dragonfly pulsar resulted in no significant detection of signals. That indicates that these pulsars do not have a hard spectrum like the Crab pulsar above 10 GeV. During the analysis of those data, a new technique of the data analysis was developed, which can be considered as an important achievement. As for the development of the central pixel of the large-sized telescope of CTA, we decided to use the fast reading of the PMT current to detect the optical pulsation. Adjustment of the reflector will be achieved by the CCD cameras installed on the individual mirror facet.

研究分野：高エネルギー宇宙物理学

キーワード：ガンマ線パルサー 大気チェレンコフ望遠鏡 MAGIC CTA

1. 研究開始当初の背景

0.1–20 GeV 領域で 100 個以上の γ 線パルサーが検出されている一方、50 GeV 以上では Crab パルサー 1 つだけであった。パルサーからのガンマ線放射の気候を解明するには大気チェレンコフ望遠鏡によるさらなる観測が必要とされていた。稼働中の望遠鏡で最適なものが MAGIC 望遠鏡であり、将来計画として CTA 大口径望遠鏡があった。

2. 研究の目的

10 GeV において Crab と同程度の明るさをもつパルサーに、Geminga パルサーと Dragonfly パルサーがある。年齢や、磁場強度などは Crab パルサーと異なるため、それらのパルサーの観測をすることで、50 GeV 以上の放射に重要になる中性子星の性質が何であるのかを明らかにすることができ、放射機構に迫れる。MAGIC 望遠鏡でそれらのパルサーを深く観測することが目的の一つ目であった。

また、CTA 大口径望遠鏡の開発も重要であった。50 GeV において、MAGIC 望遠鏡よりも数倍感度が高くなるため、Geminga や Dragonfly パルサーだけでなく、10 個程度のパルサーが検出されることが期待できた。巨大な反射鏡面積を生かし、パルサーからの可視光放射も検出できる形にすることも、パルサーの放射機構に多角的にせまる上で必要である。

3. 研究の方法

MAGIC 望遠鏡を用いて、Geminga パルサーと Dragonfly パルサーを長時間観測する。信号が検出されれば、その 50 GeV 以上のスペクトラムを Fermi-LAT が測定した 20 GeV 以下のものとあわせて、Crab パルサーと比較し、パルサーからのガンマ線放射機構に迫る。検出できなければ、そのフラックス上限値から同様の議論を可能な限り行う。

並行して、CTA 大口径望遠鏡の開発を行う。20-200 GeV 領域で高感度を実現させるためには、高速で PMT からのナノ秒スケールのパルス信号を読み出す回路を製造することが必要になる。また、PMT からの電流をよ常時読み出せるようにし、ミリ秒スケールの変動も記録することで、可視光パルサー観測装置としても動作するようにする。

4. 研究成果

(1) MAGIC 望遠鏡による Geminga パルサーの観測

Geminga パルサーの観測を合計で百時間以上行った。標準トリガーシステムを用いた観測は 75 時間に及んだが、有意な信号は検出さ

れなかった。図からわかる通り、エネルギー閾値が高すぎるのが問題の一つであることがわかる。そのため、閾値を下げるあらたなトリガーシステムを導入して追観測を 40 時間行った。50 GeV 以下の事象を適切に解析するため、新たな解析手法 (イメージクリーニング) の開発を行った。その結果、4 シグマレベルの信号が検出された。さらなる追観測が予定されている。

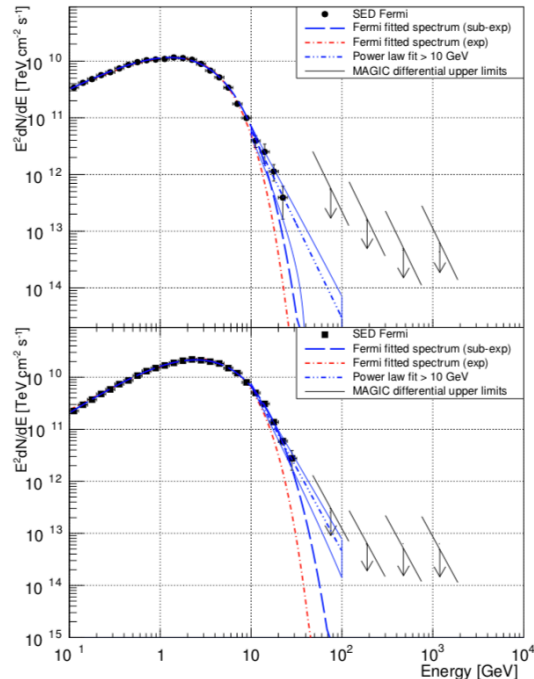


図 1: Geminga パルサーのスペクトラム (Fermi-LAT < 30 GeV) とフラックス上限値 (MAGIC, >70 GeV)

(2) MAGIC 望遠鏡による Dragonfly パルサーの観測

Dragonfly パルサーを 70 時間観測した。上記の新たなトリガーシステムおよびイメージクリーニングを用いたが、有意な信号は検出されなかった。しかし、Dragonfly パルサーの近傍にある 4–6 等星の 3 つの星が、ガンマ線解析に影響を与えていることが解析の最終段階で発覚した。その対処法をすでに確率し、再解析を行っている。

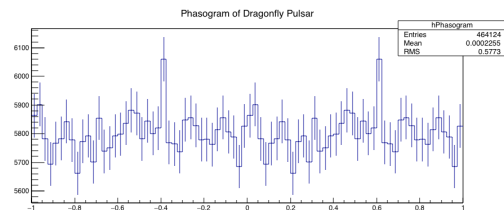


図 2: Dragonfly パルサーからのパルス波形 (MAGIC, >50 GeV)。有意な信号は見られない。

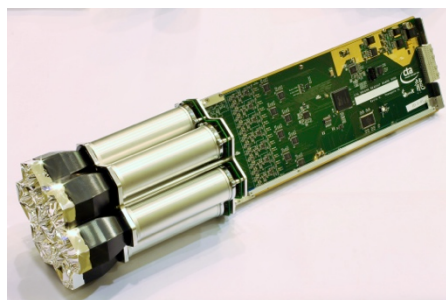
(3) CTA 大口径望遠鏡読み出し回路の開発

Analog Capacitor Array ASIC である DRS4 チップを用いた、高速読み出し回路 (Dragon ボード) を開発した。望遠鏡 1 号機のための 300 ボードを製造し、それらの全数性能評価システムの構築、運用を行った。さらには現在焦点面検出器にインストールされ、統合試験がバルセロナで行われている。

当初の予定に比べ、望遠鏡の建設に遅れが出てしまい、研究期間内に観測が開始することはできなかったのは悔やまれる。

2-4 号機用にさらに 1100 ボードを製造した。それらの全数性能評価も行ったが、750 のボードで電源チップの異常が見つかった。現在その修正を行っている。

望遠鏡の建設に遅れがでてしまったことを受けて、完成時に期待される観測結果のシミュレーションスタディを行った。7-9 のガンマ線パルサーの検出は確実と思われる。また、GeV 領域で Flare 現象が起こった場合に TeV 領域で期待されるフラックスの変動から、パルサー風について様々な知見が得られることもわかった。



Analog Capacitor Array ASIC である DRS4 チップを用いた、高速読み出し回路 (Dragon ボード) を開発した。

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 4 件)

① S. Ansoldi, T. Saito et al., “Teraelectronvolt pulsed emission from the Crab Pulsar detected by MAGIC”, *Astronomy & Astrophysics*, 585, 133A, (2016)、査読あり

② M. L. Ahnen, T. Saito et al., “Search for VHE gamma-ray emission from Geminga pulsar and nebula with the MAGIC telescopes”, *Astronomy & Astrophysics*, 591, A138, (2016), 査読あり

③ Ahnen M. , Gaug M. , Saito T. et al. , “ Constraining Lorentz Invariance Violation Using the Crab Pulsar Emission Observed up to TeV Energies by MAGIC ”, *The Astrophysical Journal Supplement*, 232, 9, (2017)、査読あり

④ Acharya, B. S. , Saito T. et al. , “Sceince with Cherenkov Telescope Array” , *ArXiv*, astro-ph , 1709.07997, (2017), 査読なし

[学会発表] (計 11 件)

① “CTA で見る Crab Flare” , 天文学会 2015 年秋季年会年秋季年会、甲南大学 2015 年 9 月

② “Pulsar Observations with the MAGIC Telescopes” , 28th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, International Conference Centre Geneva, Switzerland, 2015 年 12 月

③ “超高エネルギーガンマ線で見えるパルサー” , 中性子星の観測と理論~研究活性化ワークショップ、京都大学理学研究科セミナーハウス、2015 年 1 2 月

④ “Review of the present status on VHE gamma-ray observations”、高エネルギーガンマ線でみる極限宇宙 2015、東京大学宇宙線研究所、2016 年 1 月

⑤ “MAGIC 報告 57: Dragonfly パルサーの観測”、物理学会大 71 回年次大会、東北学院大学泉キャンパス、2016 年 3 月

⑥ “The Cherekov Telescope Array and the work currently on-going at IAC”、IAC seminar, Instituto de Astrofisica de Canarias, 2017 年 2 月

⑦ “Review of galactic objects in the TeV sky”、The extreme Universe viewed in very-high-energy gamma rays 2016、東京大学柏キャンパス 図書館メディアホール、2016 年 12 月

⑧” CTA 報告 120:CTA 大口径望遠鏡 2 号機以降の読み出し回路開発と DRS4 チップのタイミング較正”、日本物理学会 第 72 回年次大

会、大阪大学 豊中キャンパス、2017年3月

⑨” Next generation ground-based gamma-ray observatory CTA”, CosPA 2017, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, JAPAN 2017年12月

⑩” Status of CTA and Crab Flare “, Variable Galactic Gamma-Ray Sources (IV), 立教大学 2017年7月

⑪”Gamma-ray pulsars”, KEK 理論セミナー、KEK、2017年7月

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1)研究代表者
齋藤 隆之 (SAITO, Takayuki)
東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号：60713419

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：

(4)研究協力者
()