

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887032

研究課題名(和文)パルサーの放射機構の研究およびCTA計画大口径望遠鏡のための焦点面検出器の開発

研究課題名(英文) Study of emission mechanism of pulsars and development of focal plane detectors for CTA Large Sized telescopes

研究代表者

齋藤 隆之 (Saito, Takayuki)

京都大学・白眉センター・助教

研究者番号：60713419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：パルサーとは、周期的なパルス状放射をする天体である。強磁場を持ち高速で回転する中性子星がその正体であると考えられている。電波からガンマ線まで広い波長領域に渡って放射する。ガンマ線の放射機構は、電子が磁場に沿って走ることによって生じる曲率輻射であると考えられてきたが、2010年以降の観測から少なくともCrabパルサーについてはそうでないことが分かってきた。新たな放射機構モデルがいくつか提案されたが、本研究ではそれらを検証するため、MAGIC望遠鏡を用いたCrabパルサーの追加観測を行った。その結果、二つのパルスを橋渡しするような放射が発見され、モデルの多くを棄却した。

研究成果の概要(英文)：Pulsars are astronomical objects which emit periodic pulsed radiation. Rapidly rotation neutron stars with strong magnetic fields are thought to be their nature. They radiate over a wide wavelength range from radio up to gamma-rays. It was believed that gamma-rays were generated via the so-called Curvature radiation that is caused by electrons which travel along the magnetic field lines. However, observations since 2010 revealed that it is not the case at least for the Crab pulsar. Several new emission models were recently proposed to explain the Crab pulsar. In this research, I observed the Crab pulsar deeper with the MAGIC telescopes in order to test those new models. As a result, the so-called bridge emission between two pulses was discovered, which lead to rejection of most of new models.

研究分野：宇宙物理

キーワード：超高エネルギーガンマ線 パルサー

## 1. 研究開始当初の背景

### 【科学的背景】

パルサーはガンマ線放射をするが、そのスペクトラムは数 GeV で終わると考えられていた。しかし、Crab パルサーに関しては、50 GeV を超えるような放射が 2010 年頃から見つかり、パルサーの放射機構を見直す必要が生じていた。それを受けて、理論家により Crab パルサーの放射を説明するモデルもいくつか提唱されていた。

### 【実験装置背景】

50 GeV を超えるようなガンマ線を検出するには、大気チェレンコフ望遠鏡というものをを用いる必要がある。現在稼働中のものは、スペイン、ラパルマ島にある MAGIC、アメリカの VERITAS、およびナミビアの H.E.S.S. の 3 つである。

一方で、それらの望遠鏡を開発した 3 つのグループが一つにまとまり、Cherenkov Telescope Array (CTA) と呼ばれる観測装置の開発も始まっていた。

## 2. 研究の目的

パルサーのガンマ線放射機構を解明する。Crab パルサーの 50 GeV を超える放射がいかんして生成されているかを突き止めるとともに、それは Crab パルサーに限った現象なのか、パルサー一般に言えることなのかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

現行の MAGIC 望遠鏡を用い、Crab パルサーを追加観測する。また、Crab パルサーとは性質の異なる Geminga パルサーを観測する。衛生搭載型ガンマ線検出器、Fermi-LAT の公開データも解析し、0.1-20 GeV のスペクトルも求め、50 GeV 以上の MAGIC の結果と比較する。

一方で、CTA の開発も進める。特に、望遠鏡の焦点面の光検出器の開発を担当する。量産された検出器の全数性能評価が重要である。パルサーの放射機構を解明するのに重要な手段の一つとして、ガンマ線と多波長の同時観測があげられる。大気チェレンコフ望遠鏡の焦点面の中心に小型の CCD カメラを設置することで、高エネルギーガンマ線と可視光の同時観測が可能となる。CTA 大口径望遠鏡の焦点面に設置する CCD ピクセルの開発も行う。

## 4. 研究成果

### 【Crab パルサーの追加観測】

過去の 3 年分の観測データおよび追加観測のデータをすべて解析した。波形測定精度が上がったことで、新たな事実が見つかった。

それは、二つのパルスを橋渡しするような、「ブリッジ放射」の発見である(図 1)。ブリッジ放射は、他のエネルギー帯にも見られるが、ブリッジ放射が顕著である場合には二つのパルスの幅も広い。しかしながら、50 GeV 以上ではパルスは非常に細い。この波形を説明することは、現段階の理論では不可能である。50 GeV 以上の放射をするモデルは近年になっていくつか提唱されたが、そのどれもこの bridge 放射を説明することはできず、Crab パルサーの放射機構の謎はさらに深まった。提唱された理論が間違っていたことが分かったということは、真相の解明に一步近づいたとも言える。

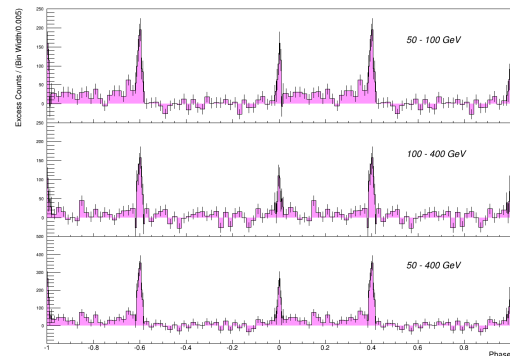


図 1: ブリッジ放射の発見

### 【Geminga パルサーの観測】

MAGIC 望遠鏡を用いて、Geminga パルサーを観測したが、検出には至らなかった。衛生搭載型ガンマ線検出器 Fermi-LAT の観測スペクトラム(図 2、赤点)を外挿すると、MAGIC のデータから得られるフラックス上限値(図 2、矢印)をわずかに下回る。このことから、50 GeV 以上の放射の有無をはっきりさせるには、さらに感度の高い望遠鏡が必要となることが分かった。

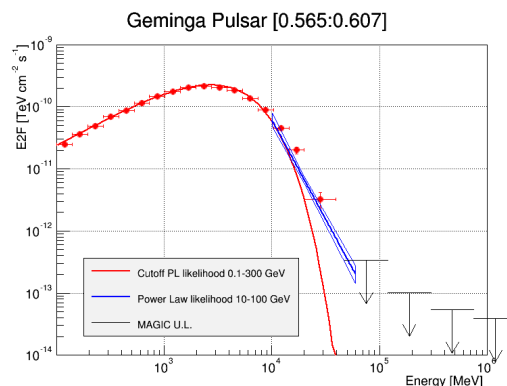


図 2: Geminga パルサーのスペクトラム

### 【CTA 大口径望遠鏡焦点面検出器の開発】

次世代望遠鏡 CTA の焦点面検出器の開発を行った。おもに、読み出しボードの全数評価システムを構築した。7チャンネルに同時に電気信号を入力するシステムや、データ取得システム、解析ツールの作成を行った。システムは無事に動き、不良箇所の発見に役立っている。このシステムは今後数年にわたって使われていくこととなる。

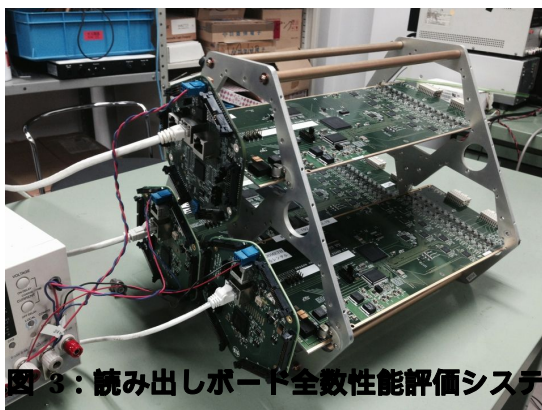


図 3: 読み出しボード全数性能評価システム

【CTA 大口径望遠鏡 Central CCD pixel の開発】

Imaging Source 社製の CCD DMK 23G274 に、RICOH 社製の広角レンズ FL-CC0418DX-VG を取り付けた物が、目的に適したものであることが分かった。光線追跡シミュレーションから、ガンマ線と同時に観測する場合、反射鏡全体からの光を集めることは原理的に不可能であることが分かり、集光率は 7 割程度に限られることも判明した。それでも研究の目的は達成できると考えている。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

J. Aleksic, T. Saito et al., “observations of the magnetars 4U 0142+61 and 1E 2259+586 with the MAGIC telescopes”, *Astronomy and Astrophysics*, 549, A23, (2013), 査読有り

J. Aleksic, T. Saito et al., “Detection of bridge emission above 50 GeV from the Crab pulsar with the MAGIC telescopes”, *Astronomy and Astrophysics*, 565, A12, (2014), 査読有り

〔学会発表〕(計 8 件)

齋藤隆之、「MAGIC 報告 41: Crab および Geminga パルサーの長時間観測で探るパ

ルサーの高エネルギーガンマ線放射機構」日本物理学会秋季大会、2013 年 9 月、高知大学

齋藤隆之、「MAGIC による最近のパルサー観測」高エネルギーガンマ線で見る極限宇宙 2013、2013 年 9 月、東京大学宇宙線研究所

齋藤隆之、「MAGIC 望遠鏡による 50-400GeV における Crab パルサーの波形の精密測定」日本天文学会 2013 年年会、2014 年 3 月、国際キリスト教大学

齋藤隆之、「MAGIC 報告 48: 50 GeV 以下ガンマ線解析のためのイメージクリーニング法の開発」日本物理学会大 69 回年次大会、2014 年 3 月、東海大学

T. Saito、「Pulsars in high energy gamma-rays」ISAS Colloquium、2014 年 5 月、宇宙科学研究所

齋藤隆之、「CTA 報告 77: CTA で見るガンマ線パルサーと Crab フレア」日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月、佐賀大学

T. Saito et al., “Detection of VHE bridge emission from the Crab pulsar with the MAGIC telescopes”, 5<sup>th</sup> Fermi Symposium, 2014 年 10 月、名古屋大学

齋藤隆之、「CTA 報告 94: CTA 大口径望遠鏡 Central CCD ピクセルの開発」日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月、早稲田大学

〔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:

出願年月日:

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 )

京都大学白眉センター特定助教

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：