すばる望遠鏡による 10GeV 領域ガンマ線天体の観測

Observation of Gamma-ray Objects in the 10GeV Region With the SUBARU Telescope

代表研究者　東京大学宇宙線研究所　森　正樹

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo　Masaki Mori

共同研究者　東京工業大学理学部　谷森　達

Department of Physics, Tokyo Institute of Technology　Toru Tanimori

神奈川大学工学部　田村忠久

Faculty of Engineering, Kanagawa University　Tadahisa Tamura

研究目的

今世紀、電波や赤外線、X 線などの新たな波長による観測により、想像をはるかに超えた宇宙の姿が現れてきた。最後に残されたガンマ線天文学も、90 年代になって、コンプトンガンマ線天文台衛星により予想を超える数のガンマ線天体が発見され、また、米国やドイツ、フランス、日本のグループが地上からのチェレンコフ光望遠鏡により TeV (=10^{12}eV)領域の超高エネルギーガンマ線天体の観測に成功し、ようやく確立してきた。これらの最高エネルギー光子の観測によって、多くのパルサーや活動銀河核には GeV (=10^{9}eV)以上の領域でエネルギースペクトルにカットオフが存在するはずであることが示された。もし、このカットオフ領域のガンマ線が観測できれば、天体における高エネルギー現象解明の重要な鍵となるが、10GeV 領域のガンマ線は衛星・地上どちらにおいても観測が困難であった。しかし、チェレンコフ光量が平地の 4 倍多くなる 4000m の高地に、口径 10m クラスのチェレンコフ光望遠鏡を作れば観測が可能になる。そこで我々は、国立天文台がハワイ島に建設し、この 1 月にファーストライトを迎えた口径 8.3m の世界最大級望遠鏡「すばる」(図 1)を用いて 10GeV 領域のガンマ線のチェレンコフ光観測を

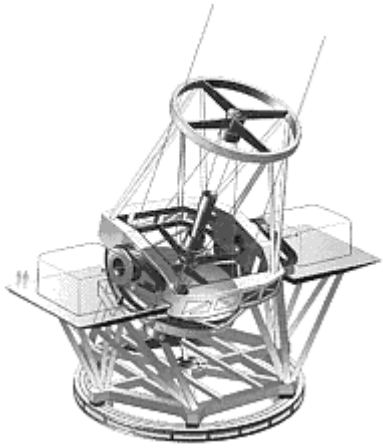

図 1.　The Subaru telescope build by the National Astronomical Observatory of Japan on Mt. Mauna Kea in Hawaii.

行い、この未知の領域を開いて天体における高エネルギー現象を解明するこの計画を進めている。

研究経過

宇宙線は大気と衝突して粒子シャワーを作り、進行方向にチェレンコフ光を放出する。特にガンマ線シャワーから放出されるチェレンコフ光の角度の広がりは小さく、他の宇宙線が作る広がったハドロンシャワーと形状が異なる。このチェレンコフ光を大型鏡で捉え、そのイメージを解析し、シャワーの到来方向を決めると共にハドロンシャワーとの識別を行ない、ガンマ線を検出する。一般に、高度が上がるとチェレンコフ光の密度も上がり、高地での観測ほど検出可能なガンマ線のエネルギー閾値を下げられる。それでも、10GeV ガンマ線を検出するには 4000m の高度で口径 10m クラスの視野 0.5~1 度の鏡が必要となる。「すばる」望遠鏡はこの条件を満たしている。

この計画では、「すばる」の主焦点に、光電子増倍管(PMT)を約 50 本使用した視野角 1 度のガンマ線カメラを取り付け、カメラからの信号を扱う電子回路・データ収集用計算機を用意してガンマ線天体を観測する。この装置は、現在、共同研究者の谷森達が代表となり推進している重点領

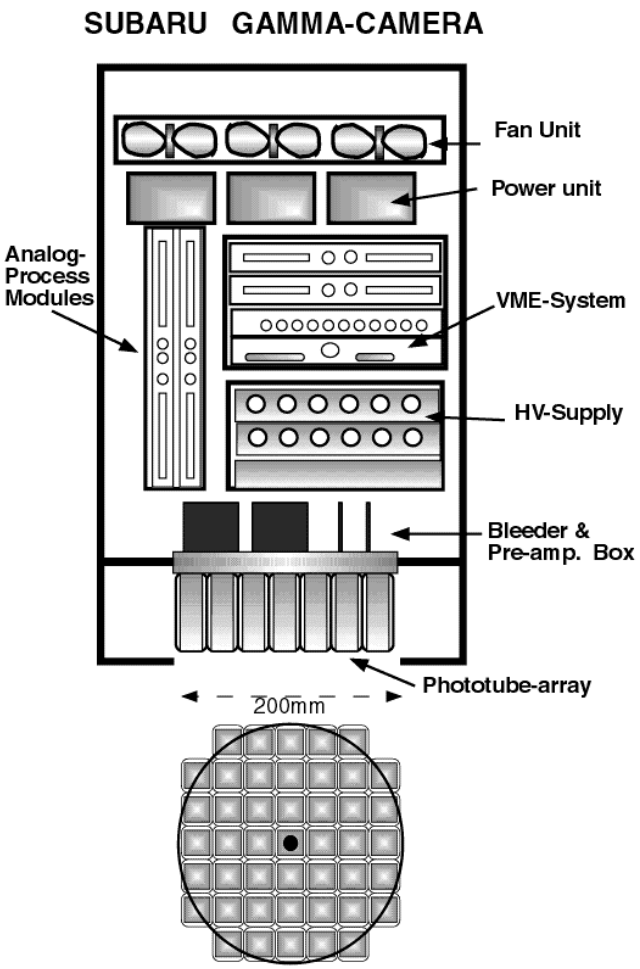

図 2. A block diagram of the Subaru Gamma Camera (upper panel) and its front view (lower panel).

域[高エネルギー天体]の計画研究 B で建設中の大口径チェレンコフ光望遠鏡で使用される PMT モジュールから構成されるガンマ線カメラ・電子回路およびデータ収集系と原理的には全く同じであり、この重点領域研究で開発を行なった経験が活かせる。しかし、「すばる」の主焦点に取り付けるため、重点領域とは一部異なる規格の装置の製作が必要となった。具体的には、カメラ容器、PMT モジュール、ブリーダ、ライトコレクター、ディスクリ・サム回路、トリガー回路、小型データ収集系、GPS 時計、ケーブル一式の製作、購入が必要となる(図 2)。本援助の資金を利用して、PMT 用高圧電源とその制御用ノート型パーソナルコンピュータ、及び時間デジタル化回路(TDC)を

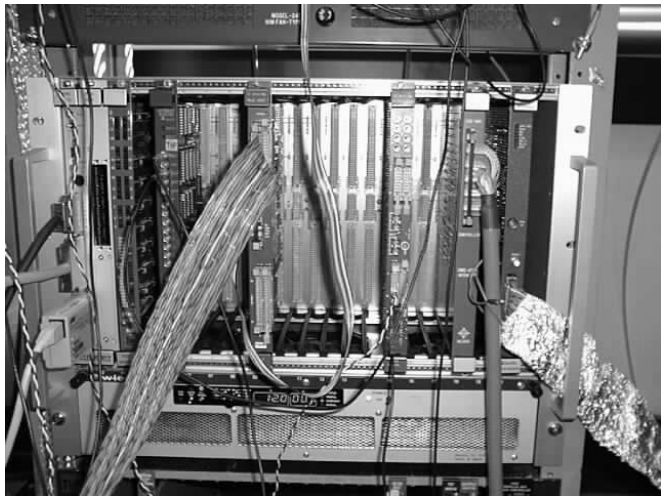

写真 1. A test system of the signal processing electronics for the Subaru Gamma camera.

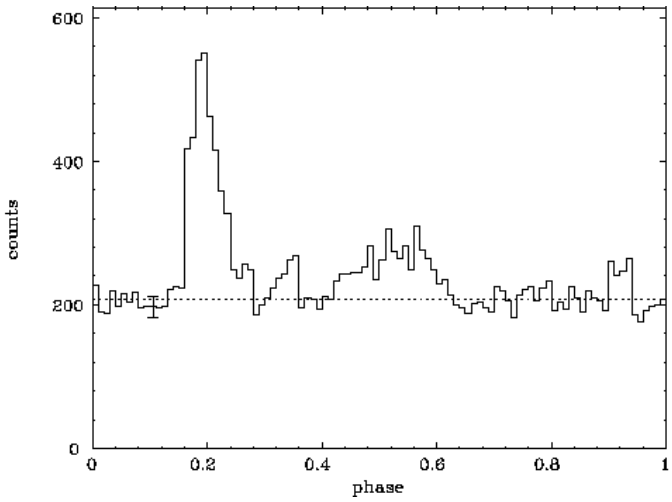

図 3 An expected light curve of the Crab pulsar in the 10GeV region with 3-hour observation by the Subaru Gamma Camera. The phase corresponds to 33ms periodicity.

購入した。また、信号処理回路、PMT、CAMAC・NIM 電源およびデータ解析用ワークステーションなどは、他の予算を通じて購入した物品を使用して、現在システムとして組上げて試験を開始している(写真 1)。

ガンマ線カメラを「すばる」の主焦点に取り付けるにあたっては、カメラ容器の形状やインターフェースについて国立天文台の担当者と数回にわたって詳細な打ち合わせを行い、スケジュールについても協議を重ねており、他の大型観測装置の本格観測と衝突しないよう、「すばる」の調整期間に観測を行えるよう準備している。

考察

詳細なシミュレーション計算によれば、30GeV 以上のガンマ線に対して感度を持ち、予測されるガンマ線強度は、かに星雲(Crab)の場合約 4Hz となり、現在最も感度が高い Whipple グループの口径 10m 望遠鏡の数十倍の感度となる。バックグランドとなる宇宙線ハドロンや電子のシャワーのトリガー頻度は約 10Hz である。さらに、最も深刻なバックグランドとなる宇宙線中のミュー粒子も、時間情報により除去できることが我々の研究でわかってきた。約 3 時間の観測で 5σ の統計精度で検出可能な強度は、パルス成分で Crab の約 100 分の 1、DC 成分で約 20 分の 1 程度と予想され、コンプトンガンマ線衛星の 100 倍以上の感度となることが期待される(図 3)。

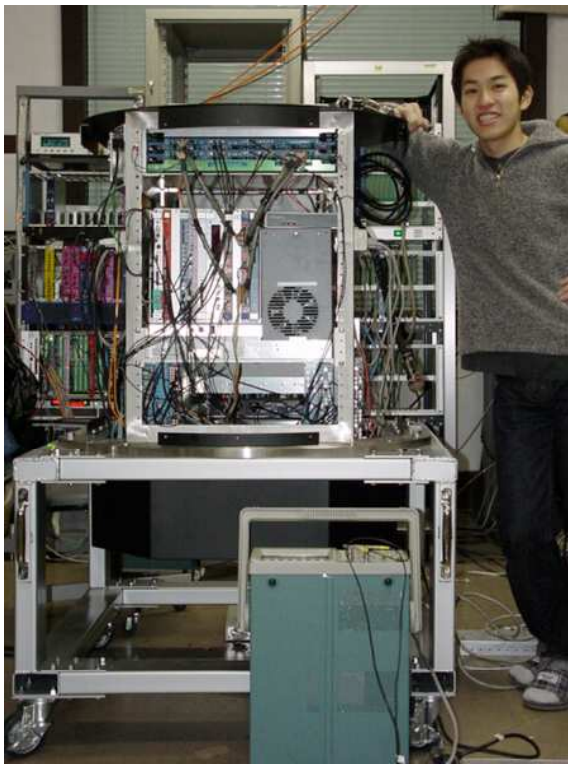

図 4　The gamma-ray camera in its final form (without a cover).

研究経過付記(1999 年度)

1999 年度にはシステムを組み上げ、国内で試験を行い、「すばる」に持って行き、観測を試みた。「すばる」はまだ一般観測を始める前の調整期間であったが、鏡および追尾の精度があまり必要で

ないこの観測には十分である。図 4 に実際に組み上げたシステムの写真を、図 5 に PMT 部分の写真を示す。装置は 2000 年 1 月末に現地に届き、開梱・調整を行い、地上での最終動作チェックを入念に行った後、3 月 1 日に「すばる」の主焦点に取り付けられた。ところが、3 月 3 日晩に望遠鏡を夜空に向けて試験観測を始めようとしたところ、計算機にチェレンコフ光現象を取り込む指令(トリガー)が正常にかからず、実際の観測を行うことが不可能となってしまった。3 月 8 日に装置を主焦点からはずして原因の調査を試みたが、地上では正常に稼動した。PMT に高電圧をかける電源につながれた無停電電源装置で電圧降下が起こると似たような症状が発生したが、観測時の症状と全く同じではなかった。高地での低温、極端な乾燥など環境条件および「すばる」の電源関係と装置の相性など、いくつかの原因が考えられる。現在、原因の解明および装置の安定性の向上を進めている。天文台との協議では、これらが達成されれば、次期シーズンでの再観測が行える可能性はあるとのことである。最後に、この観測に対し多大の支援を国立天文台ハワイ観測所からいただいたことを述べ、感謝したい。

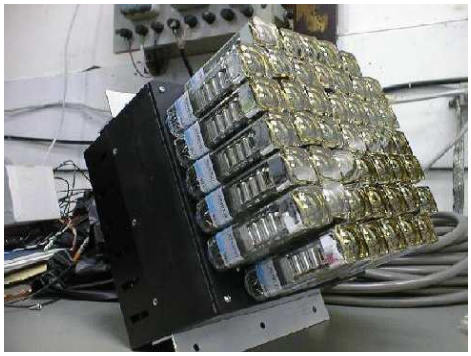

図 5 Photomultipliers of the camera system.

研究発表

口頭発表

1. 「すばる望遠鏡による GeV ガンマ線観測計画 III」原敏他、日本物理学会第 53 回年会、1998 年 3 月 31 日、東邦大学
2. 「すばる望遠鏡による GeV ガンマ線観測計画 IV」浅原明弘他、日本物理学会 1999 年秋の分科会、1999 年 9 月 24 日、島根大学

誌上発表

1. 「すばる望遠鏡による GeV 領域ガンマ線観測計画」原敏他、「原子核研究」Vol.42, No.66, pp.297-298, March 1998

英文サマリー

Observation of Gamma-ray Objects in the 10GeV Region With the SUBARU Telescope

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo — Masaki Mori

Department of Physics, Tokyo Institute of Technology — Toru Tanimori

Faculty of Engineering, Kanagawa University — Tadahisa Tamura

We are now constructing a new camera to look for gamma-rays emitted by high energy astrophysical objects, such as pulsars and active galactic nuclei, using atmospheric Cherenkov technique. It is to be mounted on the prime focus of the Subaru telescope which has just been built by National Astronomical Observatory of Japan on Mt. Mauna Kea in Hawaii. Its high altitude (4000m a.s.l.) and large-diameter light collector enable us to observe gamma-rays in the 10GeV region which has been out of reach by the ground-based observatories. The new camera will be installed sometime this year during the exploratory phase of the Subaru telescope before normal scientific observation, since Cherenkov observation does not require fine image quality.