

## 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25年 6月 7日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22244019

研究課題名（和文）大規模チェレンコフ望遠鏡アレイ計画における分割鏡などの準備研究

研究課題名（英文）R&amp;D for Large Cherenkov Telescope Array

研究代表者

榎本 良治（ENOMOTO RYOJI）

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：80183755

研究成果の概要（和文）：大規模チェレンコフ望遠鏡アレイのために、分割鏡、および光検出器、電子回路などの R&D を行い、それなりの試作品を完成することができた。本計画のための大型予算もつき、さらに大震災による放射能被害などがあり、これらの試作コンポーネントを放射能測定のために有効利用できる可能性があったために急きょ方向のわかるガンマ線カメラの R&D を始めることにした。現時点で  $^{134,137}\text{Cs}$  からのガンマ線の方向が 3 度程度でわかり、 $0.23 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域での測定が可能な世界最高性能のガンマ線カメラ（ガンマイ）を作ることになった。製作コストも他の類似製品の約 10 分の 1 である。

研究成果の概要（英文）：We carried out R&D for large Cherenkov telescope array. Here we developed such components as segmented mirrors, PMT and readout electronics which satisfied the purpose. A budget had been approved for this experiment and also the big earth quake happened and it caused a radioactive pollution in the large area. We started R&D for gamma-ray camera using those components. The detector can detect the direction of gamma rays from  $^{134,137}\text{Cs}$  with the angular resolution of approximately 3 degree. The prototype can measure gamma-ray distributions of the area greater than  $0.23 \mu\text{Sv/h}$ . The cost of the detector is as low as 1/10 of the other detectors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
年度			
年度			
2010年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2011年度	14,400,000	4,320,000	18,720,000
2012年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
総計	34,600,000	10,380,000	44,980,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線（実験）

## 1. 研究開始当初の背景

(1) CANGAROO 実験による超新星残骸からの超高エネルギーガンマ線の検出、銀河中心からのガンマ線検出などにより CANGAROO 実験のようなチェレンコフ望遠鏡を大型化してさ

らなる宇宙線起源、宇宙物理の研究の気運が高まっていた。

(2) 大型化を実現するためには望遠鏡各種コンポーネントの低価格化、量産化が必要であった。

(3) 東日本大震災が起こり福島第一原発

の事故により東日本の広域にわたる放射能汚染が起こった。

- (4) 当初の目的であるチェレンコフ望遠鏡の各種コンポーネントの試作に関してははかかなり早い時点で達成された。
- (5) 放射能の測定、除染に対してはまだ具体的、効率的、現実的な案が示されていない。

## 2. 研究の目的

- (1) 当初の目的は安い量産可能なチェレンコフ望遠鏡のコンポーネントを開発することであった。
- (2) 最終的な目的は福島第一原発により汚染された地域すべて ( $0.23 \mu\text{Sv/h}$  以上の地域) の測定を安価、迅速に行うことのできる測定器のプロトタイプを完成することである。このプロトタイプはガンマ線の方向が  $5$  度以内でわかり、 $10\text{m}$  以上離れた地点からの観測が可能であり視野も  $1\text{sr}$  以上であることが条件である。

## 3. 研究の方法

- (1) 大型チェレンコフ望遠鏡アレイの実現を可能な限り早期に達成するために、各種コンポーネントの現実的な実体化に以下の方針を立てた。ア) すでに開発されている技術を応用する。イ) 企業、研究所のすでに存在している技術を最大限利用する。
- (2) 分割鏡に関してはすでにヨーロッパで開発済みの「コールドスランプ」という技術を採用する。ガラスを溶かしてつくるのではなく平面ガラスをハニカムなどと合わせてプレスして作る。
- (3) 光電子増倍管に関してはすでに浜松ホトニクスなどで開発されている高量子効率 PMT に最小限の変更を加えて最適化する。
- (4) 電子回路に関してはヨーロッパで開発された ASIC 技術を利用し KEK における FPGA (ザイリンク社) の技術を応用する。
- (5) 以上により開発期間を最小限にとどめプロトタイプ望遠鏡システムにこれらを利用する。
- (6) この時点でこれらのコンポーネントがガンマ線カメラに応用可能なことがわかり、これらを急ぎよ転用し、ガンマ線カメラのプロトタイプを製作することにした。また短い時間ではあるが福島において度重なるテストを行い、短期間で実用化できる製作技術を構築する。

## 4. 研究成果

- (1) まず分割鏡に関しては、宇宙線研近辺の企業による試作が行われ間もなく、ほぼ実機レベルのコンポーネントが、それなりの歩留まりで製作可能なことが示された。
- (2) 光電子増倍管に関しては、すでに要求の量子効率があり、雑音特性に関する研究が継続中である。コスト削減のめどはたっていない。また、同時にコンパクトな高圧電源に対する試作も行われ、仕様的にはいいもののコスト的な問題が指摘されている。
- (3) 電子回路においてははかかなり早い時点で基本的な部分はクリアした。ただし、高速であるが故の高データ量、キャリブレーション、他モジュールとの通信などの諸問題は相変わらず抱えており、このためには本当に望遠鏡を複数台建設したテストなどが今後必要であろう。この科研費の範囲ではこれはできない。
- (4) これらのコンポーネントを使いガンマ線カメラを開発した。カメラのコンポーネントは CsI(Tl) 結晶を浜松ホトニクスの高量子効率の PMT で読み出し CANGAROO で開発したアンプに浜松ホトニクスで開発した高電圧回路である。下図に示される。



図 1 : CsI カウンター

- (5) このようなカウンターを 12 個組み合わせたものが図 2 に示される。さら



図 2 : ガンマアイ検出器

にこれを FPGA を用いた FlashADC によってデジタル化し LAN を通して市販の PC で読み出す。

- (6) これを用いて水戸、福島市、柏において各種テストを行い、ガンマ線画像を撮影した。その代表的な 3 例を図 3-5 に示す。



図 3 : 茨城大水戸キャンパスにおけるホットスポット。



図 4 : 福島市宅地のガンマ線画像



図 5 : 東大柏キャンパスの画像

- (7) これらの画像は 3 種類の汚染地域にて撮影された。水戸はもっとも低く  $0.1 \mu\text{Sv/h}$  以下。もっとも強いのは福島市で  $1 \mu\text{Sv/h}$  程度。柏キャンパスは  $0.3 \mu\text{Sv/h}$  程度のギリギリの地域 ( $0.23 \mu\text{Sv/h}$  が境界線と言われている)。いずれの地域においても繊細な

ガンマ線画像を撮影することができている。既存の製品では (例: 東芝、日立、三菱のガンマ線カメラ) このようにきれいな画像をとることはできない。また測定器システムも実に単純である。以下各図の詳細説明を行う。図 3 は平均  $0.05 \mu\text{Sv/h}$  程度の環境下で  $1 \mu\text{Sv/h}$  のホットスポットを撮ったもの ( $1.5\text{m}$  ほど離れて)。図 4 は平均  $1 \mu\text{Sv/h}$  の環境下で  $2 \mu\text{Sv/h}$  の広がったホットエリアを撮ったもの ( $15\text{m}$  くらい離れた場所から)。図 5 は  $0.3 \mu\text{Sv/h}$  環境下 (ホットスポットでなく全体) を  $30\text{m}$  離れてとった画像。

- (8) 世界最高性能のガンマ線検出器が完成した。図 5 の奥の林は  $70\text{m}$  以上はなれておりこの低いレベルの広がったガンマ線をこの遠さから測定できた例はない。宇宙物理実験にも応用可能かもしれない。今後の目標はいかにして普及型モデルを作って本来の除染のために役立てるかである。平成 25 年度の科研費はその目的で申請したが残念ながら不採択であった。26 年度はこれらの結果を考慮してぜひとも採択していただきたい。
- (9) 本検出器は材料費のみで考えると 200 万円以内であり、今後企業などと製品化してもおそらく 400 万円以内の価格になる。これは前述の既存ガンマ線カメラにくらべて 10 分の 1 の値段であり、角度分解能 (実測  $3.5$  度) で見ても最高によい。さらに唯一  $1 \mu\text{Sv/h}$  以下の地域で使用可能な検出器であり、これは極めて広い地域に対応している。平坦なレベルでは  $0.23 \mu\text{Sv/h}$  の地域に適応でき  $0.1 \mu\text{Sv/h}$  の地域でもホットスポットの撮像はできる。

##### 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)

1  
B.S.Acharya, R.Enomoto, K.Ioka, H.Katagiri, H.Kubo, H.Muraishi, M.Ohishi, R.Orito, T.Totani, T.Yoshikoshi,  
 et.al., Introducing CTA concept,  
 Astroparticle Phys., 43(2013)3-18  
 DOI:10.1016/j.astropartphys.2013.06.007

2  
M.Actis, R.Enomoto, K.Ioka, H.Katagiri,  
H.Kubo, H.Muraishi, M.Ohishi, R.Orito,

.,T.Totani,,T.Yoshikoshi,,  
et.al., Design concept for Cherenkov  
Telescope Array CTA: an advanced facility  
for ground-based high energy gamma-ray  
astronomy, Experimental Astronomy,  
32(2011)193-316  
DOI:10.1007/s10686-061-9247-0

ガンマアイ関連に関しては今後特許の出願  
と絡むので現在論文公表は控えている。

〔学会発表〕(計5件)

1 榎本良治他、CsI(Tl)による方向のわかるガン  
マ線検出器 ( $\gamma$ I: ガンマアイ) の概要、日  
本物理学会、京都産業大、2012、9月

2 加賀谷美佳他、CsI 結晶シンチレータを用  
いたコンプトンカメラ  $\gamma$ I (ガンマアイ) の開  
発、日本物理学会、京都産業大、2012、9月

3 村石浩他、CsI(Tl)シンチレータを用いた新  
しい  $\gamma$ 線イメージング装置 ( $\gamma$ I: ガンマ  
アイ) の検討、日本医療物理学会、つくばエポ  
カル、2012、9月

4 加賀谷美佳他、CsI(Tl)結晶シンチレータを  
用いたコンプトンカメラ  $\gamma$ I (ガンマアイ) の  
開発(2)、日本物理学会、広島大学、2013、3  
月

5 片桐秀明他、コンプトンカメラ  $\gamma$ I (ガンマ  
アイ) のプロトタイプ製作、日本物理学会、  
広島大学、2013、3月

〔その他〕

ホームページ等

CTA:

<http://www.cta-observatory.jp/>

ガンマアイ:

特許がからんでいるので現在ない。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

榎本 良治 (ENOMOTO RYOJI)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号: 80183755

### (2) 研究分担者

吉越 貴紀 (YOSHIKOSHI TAKANORI)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号: 30322366

(H21→H22)

大石 理子 (OOISHI MICHIKO)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号: 10420233

(H21) (H22: 連携研究者)

片桐 秀明 (KATAGIRI HIDEAKI)

茨城大学・理学部・准教授

研究者番号: 50402764

村石 浩 (MURAIISHI HIROSHI)

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号: 00365181

(H23)

窪秀利 (KUBO HIDETOSHI)

京都大学・理学部・助教

研究者番号: 40300868

(H21→H22)

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: 80579419

(H21→H22)

井岡 邦仁 (IOKA KUNIHIITO)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子

核研究所・准教授

研究者番号: 80402759

(H21→H22)

戸谷 友則 (TOTANI TOMONORI)

京都大学・理学部・准教授

研究者番号: 90321588

(H21→H22)

(3) 連携研究者

なし