

平成 21 年 5 月 22 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2003～2008

課題番号：15077201

研究課題名（和文）最高エネルギー粒子放射源の同定による粒子線天文学の確立

研究課題名（英文） A New Generation Particle Astrophysics Realized by  
Identification of the Highest Energy Cosmic Ray Emitters

研究代表者

氏名（ローマ字）：吉田 滋 (YOSHIDA SHIGERU)

所属機関・部局・職：千葉大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：00272518

研究成果の概要：507台の2層型シンチレータ検出器から較正される空気シャワーアレイを建設し、無事に稼動にこぎつけることができた。この装置は北半球において世界最大面積である。前世代実験である AGASA と異なり、太陽電池による自家発電による検出器及び電子回路の駆動システムの開発と無線 LAN 利用によるデータ伝送システムの構築が新規技術課題であったが、共に開発を期間内に完了し昨年開始された安定観測に貢献している。またシンチレータからの光信号波形を直接デジタル化して収集するフロントエンド電子回路の設計・開発・実装も3年間で完遂し、現在全ての検出器に組み込まれている。2008年から継続観測を開始し、前世代実験が7年かけて取得したデータと同等量を1年半で取得した。北半球における最大感度データである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2003年度	15,400,000	0	15,400,000
2004年度	50,000,000	0	50,000,000
2005年度	67,000,000	0	67,000,000
2006年度	8,100,000	0	8,100,000
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	2,000,000	0	2,000,000
総計	144,300,000	0	144,300,000

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 高エネルギー 宇宙

## 1. 研究開始当初の背景

AGASA実験の6倍の有効面積を持つ地上アレイを展開し、放射天体の同定を目標にする。超高エネルギー粒子を放射する天体を同定することは宇宙線起源解明にむけた最も直接的な手がかりといえる。 $10^{19}$  eV 台後半では銀河磁場による偏向が数度以内であり、荷電粒子を用いた天文学という新分野の幕開けを目指す。AGASAでは、クラスターを50

事象ほどの例数からなるデータで観測したが、事象数の限界から観測されたクラスターの約2割は背景事象の偶然の重なりによるものであり、天体同定には至っていない。本研究計画ではGZK領域の事象を300例集め、点源の存在する方向を明白に指し示すことができる。点源領域からのエネルギースペクトルを個別に測定することも可能となり、放射源に関する直接的情報を収集する

## 2. 研究の目的

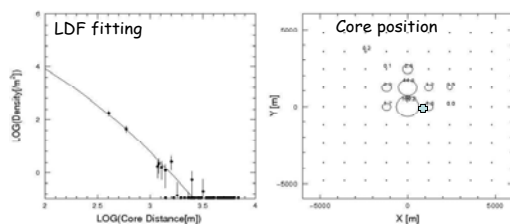
本計画研究ではAGASAの9倍の有効面積を持つ地上アレイを展開し、放射天体の同定を目指す。超高エネルギー粒子を放射する天体を同定することは起源解明にむけた最も直接的な手がかりといえる。AGASAでは、クラスターを50事象ほどの例数からなるデータで観測したが、事象数の限界から観測されたクラスターの約2割は背景事象の偶然的重なりによるものであり、天体同定には至っていない。本研究計画ではGZK領域の事象を300例集め、点源の存在する方向を明白に指し示すことができる。点源領域からのエネルギースペクトルを個別に測定することも可能となり、放射源に関する直接的情報を収集する。また全事象数に対する点源からの事象数の割合から、超高エネルギー宇宙線を放射する天体の空間密度を推定することができ、放射源天体のクラスを同定することも可能となる。こうした意味で本研究計画では荷電粒子による天文学という未踏の分野を切り開くことになる。この分野は銀河系外天体の多い北半球に位置し昼夜、天候を問わず時間的に一様かつ継続的な観測を行える本研究計画の独壇場といえる。

## 3. 研究の方法

TA計画は、507台の地表検出器アレイと、その外周3ヶ所からアレイを見込む望遠鏡群からなり、AGASA方式とHiRes方式の観測装置を一ヶ所に配置した複合観測装置である。地表アレイと望遠鏡の同時観測によって相互の較正を行い、測定信頼度は格段に高まる。



地表検出器アレイ。後方に1.2km間隔でさらに4台が見える



本計画研究では、地表検出器アレイのデータ収集システム及び検出器を駆動するための太陽電池を利用した環境負荷の少ない電源システム開発を行い、米ユタ州の砂漠地帯に検出器アレイを展開して、超高エネルギー宇宙線観測を遂行する。写真に地表検出器を示した。太陽電池パネルおよびデータ伝送用の無線アンテナが装着されている様子がわかる。実際に取得したイベントの一例をその下に示す。

## 4. 研究成果

装置の建設は、土地の測量から観測システムの運用に至る膨大な作業が、計画研究期間内に無事に終了し、本格観測開始にこぎつけたことは重要な達成と考える。しかしながら、装置建設に伴う技術開発に多くのリソースを費やしたため、物理結果を生み出すためのデータ解析及びシミュレーション研究が後手に回った面がある。現時点における予備的解析では、放射天体は同定されていないが、これは観測事象数の統計数の悪さが主因である。ただし、昨年開始された本格観測は平成21年以降も継続し、観測事象数は大幅な増加が見込まれる。したがって、本格的なデータ解析結果は1,2年以内に発表できる状況であり、収穫は正にこれからである。平成21年7月に開催される宇宙線国際会議が最初の成果発表の場として予定されている。

なお、検出器信号波形をデジタル化して取得する電子回路は、本計画研究で開発したものであるが、観測データを分析すると、宇宙線空気シャワーの2次粒子成分によって信号波形に明白な違いが現れていることが分かってきた。 $\mu$ 粒子は極めてシャープな波形を残すのに対し電子は幅の広いパルスを残す。この違いを積極的に利用して放射源天体探索の感度を大幅に改善する可能性が見えており、平成20年度及び平成21年度データの解析を急ピッチで進めている。

## 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)

1. S. Ogió, S. Yoshida et al., "The Telescope Array Experiment" Nuclear Physics, **B175-176**(2008) 221-226, Proc. Suppl. 査読無
2. H. Kawai S. Yoshida et al., "Measurement of Ultra-high Energy Cosmic Rays by Telescope Array (TA)", Proc. of Int. Workshop: Advances in Cosmic Ray Science, J. Phys. Jpn. **78**(2009) Suppl. A, pp. 108-113 査読

有

〔学会発表〕(計 15 件)

宇宙線国際会議及び国際学会における発表

(1) 第 29 回宇宙線国際会議 (2005, 8/3 – 8/10、Pune, India) T. Abu-Zayyad, J. W. Belz, T. Benno, D. R. Bergman, R. Cady, Z. Cao, \*M. Chikawa, F. Cohen, T. Doyle, H. Fujii, M. Fukuda, M. Fukushima, K. Hashimoto, N. Hayashida, Y. Hayashi, K. Hibino, K. Honda, P. Huentemeyer, G. Hughes, T. Iguchi, N. Inoue, T. Ishii, C. C. H. Jui, K. Kadota, F. Kakimoto, T. Kanbe, K. Kasahara, H. Kawai, S. Kawakami, K. Martens, T. Matsuda, K. Matsumoto, Y. Matsumoto, T. Matsuyama, J. A. J. Matthews, J. N. Matthews, R. Minagawa, T. Nakamura, T. Nunomura, S. Ogio, M. Ohnishi, H. Ohoka, A. Ohshima, T. Okuda, S. Ozawa, H. Sagawa, N. Sakurai, T. Shibata, H. Shimodaira, J. D. Smith, P. Sokolsky, R. W. Springer, S. Stratton, M. Takeda, A. Taketa, M. Takita, Y. Tameda, K. Tanaka, M. Tanaka, M. J. Taylor, M. Teshima, S. B. Thomas, G. B. Thomson, H. Tokuno, R. Torii, Y. Tsunesada, Y. Uchihori, S. Udo, Y. Wada, V. B. Wickwar, L. R. Wiencke, T. D. Wilkerson, H. Yamaoka, S. Yoshida, H. Yoshii, “Atmospheric Monitoring with LIDAR method for TA Experiment” Proceedings of the 29<sup>th</sup> ICRC (2005, Pune), vol.8, 137.

(2) 第 29 回宇宙線国際会議、著者同上 \*H. Kawai et al., “Telescope Array: Status and Prospects”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> ICRC (2005, Pune), vol.8, 141.

(3) 第 29 回宇宙線国際会議、著者同上 \*H. Kawai et al., “Telescope Array; Progress of Surface Array”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> ICRC (2005, Pune), vol.8, 181. 29<sup>th</sup> ICRC (2005, Pune), vol.8, 229.

(4) 第 29 回宇宙線国際会議、著者同上 \*S. Yoshida et al., “Characterization of the PMTs for the Telescope Array experiment”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> ICRC (2005, Pune), vol.8, 241

(5) 第 30 回宇宙線国際会議 (2007, 7/3 – 7/11、Merida, Mexico) K. Kasahara, H. Kawai, S. Yoshida, H. Yoshii, T. Chung, S. Nam, S. Oh, I. H. Park, J. H. Park, J. Yang, B. G. Cheon, Y. Unno, Y. H. Yun, K. Tanaka, F. Cohen, \*M. Fukushima, N. Hayashida, K. Hiyama, D. Ikeda, E. Kido, Y. Kondo, T. Nonaka, M. Ohnishi, H. Ohoka, S. Ozawa, H. Sagawa, N. Sakurai, T. Shibata, H. Shimodaira, M. Takeda, A. Taketa, M. Takita, H. Tokuno, R. Torii, S. Udo, Y. Yamakawa, H. Fujii,

T. Matsuda, M. Tanaka, H. Yamaoka, K. Hibino, T. Benno, M. Chikawa, K. Doura, T. Nakamura, P. Huentemeyer, G. Sennis, M. Teshima, K. Kadota, Y. Uchihori, K. Hayashi, Y. Hayashi, S. Kawakami, T. Matsuyama, M. Minamino, S. Ogio, A. Ohshima, T. Okuda, N. Shimizu, H. Tanaka, D. R. Bergman, G. A. Hughes, L. M. Scott, S. R. Stratton, G. B. Thomson, A. Endo, N. Inoue, S. Kawana, Y. Wada, R. Azuma, T. Fukuda, T. Iguchi, F. Kakimoto, S. Machida, Y. Murano, Y. Tameda, Y. Tsunesada, J. Chiba, K. Miyata, J. Ormes, J. A. J. Matthews, R. U. Abbasi, T. Abu-Zayyad, J. W. Belz, S. A. Blake, O. Brusova, R. Cady, Z. Cao, C. C. H. Jui, K. Martens, M. Mostafa, J. N. Matthews, D. Rodriguez, J. D. Smith, P. Sokolsky, R. W. Springer, J. R. Thomas, S. B. Thomas, L. R. Wiencke, T. Doyle, M. J. Taylor, V. B. Wickwar, T. D. Wilkerson, K. Honda, K. Ikuta, T. Ishii, T. Kanbe, T. Tomida, I. S. Cho, Y. J. Kwon, “Status and Prospect of Telescope Array (TA) Experiment” presented in the 30<sup>th</sup> ICRC (2007, Merida)

#### (6) CRIS 2006

S. Yoshida, “The Present Status of the Telescope Array Project”, Ultra-High Energy Cosmic Rays: Status and Perspectives (CRIS2006), May 29–June 2, 2006, Catania, Italy.

日本物理学会における講演 (本計画研究に所属した代表者、分担者、研究支援員、大学院生によるもののみ抜粋)

(1) 日本物理学会第 59 回年次大会 (九州大学 2004/3/30) 講演 30aZK-8、著者同上 \*布村崇裕、「テレスコープアレイ計画 66: 地表検出器キャリブレーション」

(2) 日本物理学会第 59 回年次大会 (九州大学 2004/3/30) 講演 30aZK-9、著者同上 \*大岡秀之、「テレスコープアレイ計画 67: 地表検出器エレクトロニクスの開発」

(3) 日本物理学会第 59 回年次大会 (九州大学 2004/3/30) 講演 30aZK-10、著者同上 \*田端誠、「テレスコープアレイ計画 68: 無線 LAN の試験結果」

(4) 日本物理学会 2004 年秋季大会 (高知大学 2004/9/27) 講演 27aSE-11、著者同上 \*布村崇裕、「テレスコープアレイ計画 79: 地表検出器の PMT の較正」

(5) 日本物理学会 2004 年秋季大会 (高知大学 2004/9/27) 講演 27pSE-3、著者同上 \*桜井信之、「テレスコープアレイ計画 83: TA シミュレーションの設計」

(6) 日本物理学会第 60 回年次大会 (東京理科大学野田キャンパス 2005/3/24) 講演 24 p XH-5、著者同上 \*櫻井信之、「テレスコープアレイ実験 88: TA シミュレーション」

(7) 日本物理学会第 61 回年次大会 (愛媛大学 2006/3/27) 講演 27pWG-15、著者同上 \*小澤俊介、「TA 実験 107: 地表粒子検出器用エレクトロニクス」

(8) 日本物理学会 2007 年春季大会 (首都大学東京南大沢キャンパス 2007/3/25) 講演 25aSF-7、\*櫻井信之ほか TA collaboration、「TA 実験 122: 地表粒子検出器シミュレーションと解析」

(9) 日本物理学会 2008 年春季大会 (近畿大学本部キャンパス 2008/3/23) 講演 23pZP-1、東龍二、生田健、井口貴裕、池田大輔、石井孝明、石塚秀喜、井上直也、岩本祥平、内堀幸夫、有働慈治、遠藤輝、大岡秀行、大西宗博、大嶋晃敏、荻尾彰一、奥田剛司、小澤俊介、垣本史雄、笠原克昌、門多顕司、河合秀幸、川上三郎、川名進吾、神戸貴雄、木戸英治、近藤好、佐川宏行、櫻井信之、芝田達伸、清水伸明、下平英明、鈴木聡、竹田成宏、武多昭道、瀧田正人、田中公一、田中秀樹、田中真伸、多米田裕一郎、千川道幸、千葉順成、常定芳基、手嶋政廣、得能久生、富田孝幸、鳥居禮子、堂浦晃嗣、中村亨、\*野中敏幸、林潔輝、林建太郎、林田直明、林嘉夫、日比野欣也、部山和愛、福島正己、福田崇徳、藤井啓文、本田建、町田智子、松田武、松山利夫、南野真容子、宮田孝司、村野暢子、山岡広、山川雄一、山本邦之、和田吉満、吉井尚、吉田滋、R. U. Abbasi、T. Abu-Zayyad、J. W. Belz、D. R. Bergman、S. A. Blake、O. Brusova、R. Cady、Z. Cao、B. G. Cheon、Ilsung. Cho、W. R. Cho、T. Chung、F. Chohen、T. Doyle、P. Huentemeyer、G. A. Hughes、C. C. H. Jui、H. Kang、Y. J. Kwon、K. Martens、J. A. J. Matthews、J. N. Matthews、M. Mostafa、S. Nam、J. Ormes、S. Oh、J. H. Park、D. Rodriguez、D. Ryu、L. M. Scatt、B. K. Shin、G. Sinnis、J. D. Smith、P. Sokolsky、R. W. Springer、S. R. Stratton、M. J. Taylor、J. R. Thomas、S. B. Thomas、G. B. Thomson、Y. Unno、V. B. Wickwar、L. R. Wiencke、T. D. Wilkerson、J. Yang、「TA 実験 137: 地表粒子検出器全体報告」

[図書] (計 1 件)

吉田滋 宇宙の観測 III (高エネルギー天文学) 共著 日本評論社 2008 年

[その他]

ホームページ等

- <http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/>

kakenhi/

- [http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/index\\_jp.html](http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/index_jp.html)
- <http://www.telescopearray.org/>

新聞雑誌等の記事

- Millard County Chronicle Progress, June 17, 2004. "Proposed detectors for Telescope Array being staked"
- 山梨日日新聞、2005 年 4 月 22 日、「最強宇宙線への挑戦を「投影」
- 朝日新聞記事、2006 年 2 月 15 日、「探せスーパー宇宙線」
- 日経サイエンス記事、2006 年 9 月号、「超高エネルギー宇宙線の謎を解く」
- CERN Bulletin, "A new LHC experiment is born", No. 42, October 2006
- CERN Courier, "LHCf: a tiny new experiment joins the LHC", November 2006
- ニュートン記事、2007 年 1 月号、「相対性理論をゆるがす“スーパー宇宙線”の謎」
- 日本経済新聞社「かがく Café」記事、2007 年 1 月 28 日、「スーパー宇宙線が見つかれば、物理学の定説が大きく揺らぎます」
- ニュートンムック 『未解決の天文学』 第 8 章 超高エネルギー宇宙線
- Science, "Little" Cosmic Ray Observatory Aims to Make a Big Mark", pp. 400, vol. 319, 25 Jan. 2008

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉田 滋 (YOSHIDA SHIGERU)

千葉大学大学院・理学研究科・准教授

研究者番号: 00272518

(平成 15-21)

### (2) 研究分担者

河合 秀幸 (KAWAI HIDEYUKI)

千葉大学大学院・理学研究科・准教授

研究者番号: 60214590

(平成 15-21)

草刈 英榮 (KUSAKARI HIDESHIGE)

千葉大学・教育学部・教授

研究者番号 00092049

(平成 15-18)

内堀 幸夫 (UCHIHORI YUKIO)

放射線医学総合研究所・研究員  
研究者番号：50342879  
(平成 15-20：平成 21 年 連携研究者)





(7) ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

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 10 件)
- ① 学振太郎、半蔵門一郎、学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年 (西暦)、査読の有無
  - ② 学振太郎、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年 (西暦)、査読の有無
  - ③ 学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年 (西暦)、査読の有無

- [学会発表] (計 5 件)
- ①
  - ②
  - ③

- [図書] (計 2 件)
- ①
  - ②



[産業財産権]

○出願状況 (計□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◇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

http://○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

学振 太郎 (GAKUSHIN TARO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (2) 研究分担者

学振 花子 (GAKUSHIN HANAKO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 次郎 (GAKUSHIN JIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 三郎 (GAKUSHIN SABURO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

学振 四郎 (GAKUSHIN SHIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：