

平成 30 年 9 月 5 日現在

機関番号：34506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13489

研究課題名(和文) 大口径チェレンコフ望遠鏡を使った電波観測の研究

研究課題名(英文) Study of radio observation using large-size Cherenkov telescope

研究代表者

山本 常夏 (Yamamoto, Tokonatsu)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：40454722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大口径高エネルギーガンマ線望遠鏡CTA-LSTを使った多波長観測について研究した。CTA-LSTは20GeV以上のガンマ線を観測する計画であるが、23m口径の大型望遠鏡を4台配置する観測システムは他の波長帯域でもユニークな観測ができるはずである。そこで本計画ではCTA-LSTのカメラの設計・開発を行いそれと並行してこのカメラを使った多波長観測を検討した。カメラ中心にCCDカメラを取り付け望遠鏡の光学テストや中性子星からのパルス成分を観測することを考えた。また高エネルギーガンマ線が生成するマイクロ波の検出実験を行った。さらに複数の大型望遠鏡を使い可視光で強度干渉による天体観測を検討した。

研究成果の概要(英文)：We have studied multi-wavelength observation using the large size Cherenkov telescopes (LSTs) which are under construction at the CTA observatory. The LSTs consist of four Cherenkov telescopes with 23 m aperture to observe gamma rays with energy above 20 GeV. This unique system can be used to observe high energy astronomical objects through various wavelength. For example, a CCD imaging camera can be placed at the center of camera. Such device will be used for the test of optical system of the telescopes as well as simultaneous observations of high energy objects through gamma rays and optical photons. Also we tried to detect microwave radio signal from the gamma rays. Intensity interferometry based on the multi-telescopes system is also studied because such observation may be suitable for the LSTs.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：高エネルギーガンマ線 マイクロ波 強度干渉

1. 研究開始当初の背景

次世代の高エネルギーガンマ線観測所 CTA 計画が国際共同により進んでいる。この計画は口径 3~23m の巨大望遠鏡を合計 100 台建設してこれまでにない高精度観測、高感度観測をする国際共同実験である。我々はこの計画の中で 23m 口径望遠鏡のカメラの開発を担当している。現在スペイン領カナリア諸島にある天文台にこの大口径望遠鏡を 4 台設置している。この望遠鏡のカメラを改良し、多波長同時観測をおこなうことを検討している。

2. 研究の目的

地球に飛来したガンマ線や宇宙線は大気中で電磁シャワーを引き起こし高エネルギー電子を生成する。これらの電子がチェレンコフ放射により発する紫外線を観測し、ガンマ線のエネルギーと到来方向を測定するのが CTA 計画である。大型で高精度な望遠鏡を複数配置したユニークな構造で、ガンマ線だけでなく、可視光や電波も集光できるはずである。そこでこの望遠鏡のカメラ開発と並行して、他の波長の電磁波も同時観測できないか検討した。

3. 研究の方法

CTA は地球大気中で発生する紫外線を測定することにより、宇宙から飛来するガンマ線を検出する。したがって天体を見るのではなく大気を見ていることになる。紫外線はガンマ線と同じ方向に放出されるので、望遠鏡は目標天体に向けられる。この望遠鏡のカメラ開発と並行して以下の研究を行った。

最も空間分解能が高い観測は干渉により行われる。特に電波の観測では複数の望遠鏡やアンテナを使って特定の天体から放出されている電波を検出し、位相を干渉させることにより高分解能な観測が行われている。可視光領域では周波数が高く位相を直接測定することができない。しかし強度の相関をとることにより同様な干渉測定ができる。そのためには 100 m 程度離れた大型の光学望遠鏡が多数必要になる。CTA の望遠鏡はこの観測に最適である。この強度干渉の実験を甲南大学の敷地内で天体望遠鏡を使って行った。焦点に光電子増倍管を取り付けた 2 台の望遠鏡を使い、特定の天体からの可視光強度の時間変動を測定した。

ガンマ線により大気中で生成された高エネルギー電子は紫外線だけでなくマイクロ波も放出する。望遠鏡の反射面はアルミできているため、紫外線と同時にマイクロ波も検出できるはずである。そこで加速器により生成した高エネルギー電子を大気中に放ち、そこから放出されるマイクロ波の検出実験を行った。実験はアメリカ・ユタ州にある Telescope Array 観測所で行った。検出されたマイクロ波をシミュレーションと比較することにより、その放射の仕組みを研究した。

CTA の大口径望遠鏡のカメラには 1855 個の光電子増倍管が搭載されているが、中央の画素を CCD カメラに置き換えることを検討している。この CCD カメラは鏡の向きのテストなど光学系の較正に使える。この CCD カメラは同時に天体の観測にも使えるはずである。例えばカニ星雲など周期的な光とガンマ線を同時に放出するパルサーの観測に使える。このことを検証するために山梨県の明野観測所にある 3 m 口径の望遠鏡に CCD カメラを搭載しカニ星雲からのパルス成分の検出を試みた。

4. 研究成果

加速器から大気中に高エネルギー電子が放出されるとき、射出口から放出されたマイクロ波が検出された。これは当初検出を目指したもとは別の放射過程によるものであるが、新たな放射過程の検出である。高エネルギー電子が空気から氷など屈折率の違う媒質間を通過するとき遷移放射を起こすことが知られている。今回の検出は導体の中の空気中にあった高エネルギー電子が導体の外に出ることにより放出されており、媒質は変わっていない。甲南大学で装置を開発したため、神戸市からのノイズが少ない 12.5GHz で観測をおこなった。この放射は他の実験グループでも検出され、50MHz から 12.5GHz までの広帯域での検出になった。この放射をコンピュータシミュレーションと比べることにより放射過程を詳細に調べた。結果は Physical Review Letters に投稿予定である。

カメラに搭載する光電子増倍管の較正を行っているときに、高精度で増幅率を測定する必要がある。この光電子増倍管は浜松ホトニクスと共同で最新の技術を使い開発したが、性能向上に伴って測定精度も上げなければならない。そこで高精度の測定方法を開発し、結果は Nuclei. Instrum. Methods. Phys. A に掲載された。

光電子増倍管を使ったカニ星雲からの可視光パルス成分検出実験は 3 m 口径の望遠鏡や天体望遠鏡と高速オシロスコープを使って行った。原理的には検出できるはずだが、ノイズの除去が難しく期間内に検出できなかった。今後も開発を継続する予定である。

光電子増倍管を複数の望遠鏡に取り付けて強度干渉実験を行った。その結果、強度変動に弱い相関を検出することができた。これは天体からの可視光の中にあるコヒーレントな成分が検出されたと考えられるが、統計的に優位性が低いので、測定を継続する予定である。

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 6 件)

1. A Technique for Estimating the Absolute

Gain of a Photomultiplier Tube
M. Takahashi, Y. Inome, S. Yoshii, A. Bamba,
S. Gunji, D. Hadasch, M. Hayashida, H.
Katagiri, Y. Konno, H. Kubo, J. Kushida,
D. Nakajima, T. Nakamori, T. Nagayoshi, K.
Nishijima, S. Nozaki, D. Mazin, S. Mashuda,
R. Mirzoyan, H. Ohoka, R. Orito, T. Saito,
S. Sakurai, J. Takeda, M. Teshima, Y.
Terada, F. Tokanai, T. Yamamoto, T.
Yoshida
NIM A 894 (2018) 1-7

2. Burtovoi, A., Saito, T., Zampieri, L.
and Hassan, T.,
Prospects for the detection of high-energy
($E > 25$ GeV) Fermi pulsars
with the Cherenkov Telescope Array,
Monthly Notices of the Royal Astronomical
Society, Vol. 471 Issue 1 (2017)
p.431-446,
DOI: 10.1093/mnras/stx1582

3. Evaluation of novel PMTs of worldwide
best parameters for the CTA project
R. Mirzoyan, D. Muller, J. Hose, U. Menzel,
D. Nakajima, M. Takahashi, M. Teshima, T.
Toyama, T. Yamamoto
NIM A 845 (2017) 603-606

4. Measurement of microwave radiation from
electron beam in the atmosphere
I. S. Ohta, H. Akimune, M. Fukushima, D.
Ikeda, Y. Inome, J.N. Matthews, S. Ogio,
H. Sagawa, T. Sako, T. Shibata, T. Yamamoto
NIM A 810 (2016) 44-50

5. Evaluation of Photo Multiplier Tube
candidates for the Cherenkov Telescope
Array
R. Mirzoyan, D. Mueller, Y. Hanabata, J.
Hose, U. Menzel, D. Nakajima, M. Takahashi,
M. Teshima, T. Toyama, T. Yamamoto
NIM A 824 (2016) 640-641

6. Hayashida, M., Saito, T., Yamamoto, Y.,
et al. for the CTA
Consortium, The Optical system for the
Large Size Telescope of the
Cherenkov Telescope Array, Proceedings of
Science (the 34th
International Cosmic Ray Conference), 査
読無, 34, (2015), id.927
<https://arxiv.org/abs/1508.07626>

[学会発表](計 45 件)

- 2018, 03, 物理学会
CTA 報告 133: CTA 大口径望遠鏡初
号機の焦点面カメラ統合試験

野崎誠也 猪目祐介 斎藤隆之 山本
常夏 他 CTA Japan consortium

- 2018, 03, 物理学会
CTA 報告 134: CTA 大口径望遠鏡搭
載光電子増倍管の経年変化の研究
櫻井駿介 猪目祐介 斎藤隆之 山本
常夏 他 CTA Japan consortium
- 2018, 03, 物理学会
CTA 報告 137: CTA 大口径望遠鏡分
割鏡性能評価と開発状況について
稲田知大 林田将明 山本常夏 他
CTA Japan consortium
- 2018, 03, 物理学会
CTA 報告 138: CTA 大口径望遠鏡の
分割鏡制御システム
野田浩司 深見哲志 山本常夏 他
CTA Japan consortium
- 2018, 03, 物理学会
電磁カスケードからの電波信号の加速
器を使った検証
間瀬圭一、池田大輔、石原安野、佐川宏
行、柴田達伸、福島正己、山本常夏、吉
田 滋、R. Gaio, K. Hanson, J.
Matthews, T. Meures, B. Shin, G.
Tomson, K. De Vries
- 2018, 03, 天文学会
CTA 大口径望遠鏡初号機の焦点面カメ
ラ統合試験
平子丈、斎藤隆之、山本常夏、他 CTA
Japan consortium
- 2017, 09, 物理学会
光電子増倍管の1光電子信号強度分布の
精密測定
山本常夏 猪目祐介 郡司修一 林田将
明 他 CTA-Japan Consortium
- 2017, 09, 物理学会
CTA 報告 125: CTA 大口径望遠鏡初
号機の焦点面検出器建設状況
櫻井駿介 池野正弘 猪目祐介 山本
常夏 他 CTA-Japan Consortium

9. 2017, 09, 物理学会
CTA 報告 126: CTA 大口径望遠鏡焦点面検出器の改良と較正
砂田裕志 池野正弘 猪目祐介 山本常夏 他 CTA-Japan Consortium
10. 2017, 09, 物理学会
CTA 報告 128: CTA 大口径望遠鏡用分割鏡性能評価と最適配置
稲田知大 手嶋政廣 山本常夏 他 CTA-Japan Consortium
11. 2017, 09, 物理学会
CTA 報告 129: CTA 大口径望遠鏡用分割鏡制御システムの開発状況
深見哲志 野田浩司 山本常夏 他 CTA-Japan Consortium
12. 2017, 09, 天文学会
Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(13)
山本常夏、CTA Japan consortium
13. 2017, 09, 天文学会
CTA 大口径望遠鏡初号機カメラの建設状況
平子丈、斎藤隆之、山本常夏、他 CTA Japan consortium
14. 2017, 03, 天文学会
CTA 計画: 全体報告(12)
窪秀利、猪目祐介、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium
15. 2017, 03, 天文学会
CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの試験状況と2号機以降用読み出し回路の開発
野崎誠也、猪目祐介、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium
16. 2017, 03, 物理学会
CTA 報告 117: 全体報告
手嶋政廣、猪目祐介、岸田柊、高見将太、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
17. 2017, 03, 物理学会
CTA 報告 119: CTA 大口径望遠鏡初号機の焦点面カメラのシステム統合試験
中嶋大輔、猪目祐介、岸田柊、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium,
18. 2017, 03, 物理学会
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
斎藤隆之、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
19. 2017, 03, 物理学会
CTA 報告 122: CTA 大口径望遠鏡の光学性能最適化に向けた分割鏡測定とその配置の検討
稲田友大、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium,
20. 2016, 09, 物理学会
CTA 報告 110: 焦点面光検出器の光検出効率改善に向けた焦光装置の開発
奥村暁、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
21. 2016, 09, 物理学会
CTA 報告 111: CTA 大口径望遠鏡の性能向上に向けた7段光電子増倍管の評価結果
高橋光成、猪目祐介、岸田柊、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
22. 2016, 09, 物理学会
CTA 報告 112: CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラ試験
野崎誠也、猪目祐介、岸田柊、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
23. 2016, 09, 天文学会
CTA 計画: 全体報告(11)
窪秀利、猪目祐介、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium
24. 2016, 09, 天文学会
CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの最終デザイン
猪目祐介、山本常夏、他 CTA-Japan Consortium
25. 2016, 09, 天文学会
CTA 大口径望遠鏡初号機建設に向けた光

- 学系最終デザインと品質管理
林田将明、猪目祐介、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium
26. 2016, 03, 物理学会
CTA 報告 102: 全体報告
窪秀利、猪目祐介、掃部寛隆、岸田柁 高
見将太、山本常夏、他 CTA-Japan
Consortium.
27. 2016, 03, 物理学会
CTA 報告 106: CTA 大口径望遠鏡初号機用
カメラ試験
猪目祐介、掃部寛隆、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium.
28. 2016, 03, 物理学会
CTA 報告 107: CTA 大口径望遠鏡用分離鏡
の性能評価
長紀仁、岸田柁、山本常夏、他 CTA-Japan
Consortium.
29. 2016, 03, 天文学会
CTA 計画: 全体報告 (10)
手嶋政廣、猪目祐介、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium
30. 2016, 03, 天文学会
First results of the camera prototype
for the Large Size Telescopes of the
Cherenkov Telescope Array
Daniela Hadasch、猪目祐介、山本常夏、
他CTA-Japan Consortium
31. 2016. 03, 天文学会
CTA大口径望遠鏡用分離鏡制御システム
の試験構造体を用いた運用試験
深見哲志、猪目祐介、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium
32. 2015, 09, 物理学会
CTA 報告 96: 全体報告
石尾一馬、猪目祐介、掃部寛隆、岸田柁、
高見将太、林田将明、山本常夏、他
33. 2015, 09, 物理学会
CTA 報告 98: CTA 大口径望遠鏡用 PMT 性
能評価結果
- 猪目祐介、窪秀利、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium.
34. 2015, 09, 物理学会
CTA 報告 99: CTA 大口径望遠鏡初号機搭
載読み出し回路の開発
窪秀利、石尾一馬、手嶋政廣、中嶋大輔、
山本常夏、他 CTA-Japan Consortium.
35. 2015, 09, 物理学会
CTA 報告 100: CTA 大口径望遠鏡初号機用
ライトガイドの量産及び性能評価
岸田柁、手嶋政廣、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium.
36. 2015, 09, 物理学会
CTA 報告 101: 無線通信を用いた CTA 大
口径望遠鏡用 Active Mirror Control ソ
フトウェアの運用試験
岸田柁、手嶋政廣、花畑義隆、山本常夏、
他 CTA-Japan Consortium.
37. 2015, 09, 物理学会
Detection of radio emissions ranging
over broad frequencies by appearances
of electron beams
山本常夏、大田泉、池田大輔、佐川宏行、
福島正己、荻尾彰一、Romain Gaior,
間瀬圭一、吉田滋、石原安野、Matthew
Relich, 桑原孝夫、上山俊佑、Bokkyun
Shin, Gordon Thomson, Jon N. Matthews,
桑田達伸
38. 2015, 09, 天文学会
CTA計画大口径望遠鏡初号機用PMTの性能
と品質管理
永吉勤、猪目祐介、掃部寛隆、山本常夏、
他CTA-Japan Consortium
39. 2015, 09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡焦点面検出器の構造
掃部寛隆、猪目祐介、山本常夏、他
CTA-Japan Consortium
40. 2015, 09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡データ収集システムの
開発

- 増田周、窪秀利、山本常夏、他CTA-Japan Consortium
41. 2015,09, 天文学会
Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告
窪秀利、手嶋政廣、山本常夏、他CTA-Japan Consortium
42. 2015,09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡初号機の光学系開発状況と性能評価
林田将明、手嶋政廣、岸田柊、山本常夏、他CTA-Japan Consortium
43. 2015,09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡 カメラの開発状況
山本常夏、猪目祐介、掃部寛隆、他CTA-Japan Consortium
44. 2015,09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡 焦点面検出器のキャリアレーションシステム開発
猪目祐介、掃部寛隆、山本常夏、他CTA-Japan Consortium
45. 2015,09, 天文学会
CTA大口径望遠鏡初号機搭載読み出し回路の開発
武田淳希、手嶋政廣、山本常夏、他CTA-Japan Consortium

〔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
<http://aplab.konan-u.ac.jp/>
<http://aplabconfluence.konan-u.ac.jp/pages/viewpage.action?pageId=2195504>
<http://aplabconfluence.konan-u.ac.jp/pages/viewpage.action?pageId=1769544>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本常夏 (YAMAMOTO Tokonatsu)
甲南大学・理工学部・教授
研究者番号：40454722

(2)研究分担者

林田将明 (HAYASHIDA Masaaki)
千葉大・理学部・研究員
研究者番号：60705177

(3)研究分担者

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

(4)連携研究者

窪秀利 (KUBO Toshiyuki)
京都大学・理学系研究科・准教授
研究者番号：40300868