

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610040

研究課題名(和文)世界最高の角度分解能を持つ光学望遠鏡の実現

研究課題名(英文)Realization of an optical telescope with the highest angular resolution in the world

研究代表者

奥村 暁 (Okumura, Akira)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号：90645011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では次世代地上ガンマ線望遠鏡 Cherenkov Telescope Array (CTA) を強度干渉計として使用して、世界最高の角度分解能を持つ光学望遠鏡の実現を目指した。研究代表者は CTA の 2 つの望遠鏡で使用予定のカメラモジュールの開発と光線追跡シミュレーションを担当した。カメラモジュールの開発は順調に進展し、実験室にて短いパルス光の撮像をするまで進んだ。またデータ取得・解析ソフトウェアの構築も進展した。しかしカメラモジュール出使用する電子回路の一部性能が目標に達しておらず、また未完成の部品も存在する。そのため今後の継続的な研究と開発が必要である。

研究成果の概要(英文)：This project aims to use the next-generation ground-based gamma-ray observatory, the Cherenkov Telescope Array (CTA), as an intensity interferometer and to realize an optical telescope with the highest angular resolution in the world. The PI has been in charge of the development of camera modules to be used in two telescope designs of the CTA and the development of ray-tracing simulations of the CTA telescopes. We have successfully developed the camera modules with which we imaged short light pulses in the lab. We also made progress in the development of data taking and analysis software. However, there were some drawbacks in the electronics of the camera modules, and one of the electronics parts has not been manufactured yet. Continuous study and development are needed.

研究分野：ガンマ線天文学

キーワード：強度干渉計 ガンマ線天文学 宇宙線物理学

### 1. 研究開始当初の背景

天文学の発展の歴史は、望遠鏡結像性能の向上とそれに伴う望遠鏡巨大化の歴史でもある。しかし数十メートルを超える巨大な主鏡の建設は技術的にも金銭的にも今後困難であり、さらなる結像性能の向上を達成するには、なんらかの新しい観測手法を採用しなくてはならない。

強度干渉計と呼ばれる 1950 年代に提唱された観測技術は、低い結像性能の安価な望遠鏡を複数台設置することによって、巨大望遠鏡の建設に伴う困難を回避することができる。しかし 1960~1970 年代に行われた観測手法の実証を除き、この強度干渉計の手法は天文観測の分野で大きな進展をすることはなかった。この理由のひとつは、多数の光学望遠鏡を特定の目的のために建設するという動機が天文学分野で大きくなかったためである。逆に言えば、そのような光学望遠鏡群が小さい初期投資で利用可能でさえあれば、この強度干渉計の観測技術を現代に復活させることができる。

チェレンコフ望遠鏡アレイ (Cherenkov Telescope Array, CTA) は、100 台近くの光学望遠鏡を並べることによって超高エネルギーガンマ線の観測をする次世代天文台である。すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などに比べて個々の望遠鏡の結像性能は数桁劣るものの、4 メートルから 23 メートルにわたる巨大な集光鏡を持つ。そのため、CTA の望遠鏡を強度干渉計として転用することができれば、ハッブル望遠鏡を超える角度分解能を地上で達成することも夢物語ではない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、CTA を用いた強度干渉計の実現に向けた開発である。CTA は通常、ガンマ線観測を主目的として運用されるため、強度干渉計として用いるためには観測装置にいくつかの改良や調査、観測シミュレーションが必要となる。

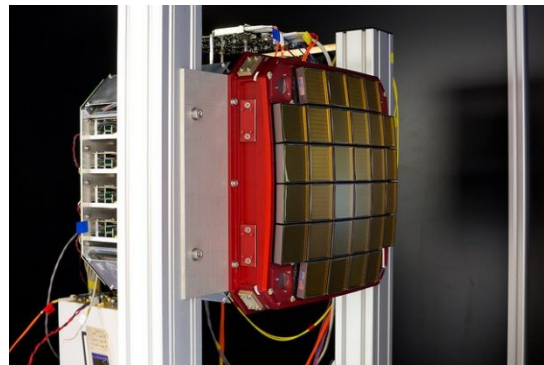
### 3. 研究の方法

本研究は CTA 計画に携わる複数の研究者と連携して進められた。強度干渉計として CTA を使用する場合の観測シミュレーション、観測信号を干渉させるための相関器の基礎開発などは海外の研究者が担当した。本研究計画で研究代表者が主に担当した部分は、(1) CTA で使用する望遠鏡の光学シミュレーション、(2) 焦点面カメラの装置開発、(3) 焦点面カメラのデータ取得ソフトウェアの開発である。(4) また CTA で強度干渉計に関わっている研究者および周辺分野の関係者で研究会を開催し、今後の研究開発方針についての活発な議論を行った。

### 4. 研究成果

(1) CTA では合計 6 種類の望遠鏡が使用され、複数の国の各研究グループによって平行して開発が進められている。そのため、開発に使用するためのソフトウェアも多岐にわたるため、複数の望遠鏡で統一的に光学系シミュレーションを行うことができていなかった。本研究では研究代表者が光線追跡シミュレーションのソフトウェア開発を担当し (〔その他〕のホームページ等を参照)、6 種類の望遠鏡のうち 3 種類で統一したソフトウェアで光線追跡シミュレーションを行えるようになった。このソフトウェアを使い、望遠鏡の結像性能の評価、望遠鏡の有効面積の算出、分割鏡の許容誤差解析などを統一的に行い、干渉計シミュレーションを行うための基本パラメータの算出や建設方針の決定を行うことができた。また焦点面カメラに使用する集光装置の光学シミュレーションもこのソフトウェアで行い、望遠鏡の集光能力を集光装置の改善によって行えることも示した。

(2) CTA の望遠鏡にはそれぞれの種類の焦点面カメラが取り付けられる。このうち、研究代表者は 2 種類の焦点面カメラの開発に携わり、光検出器の性能評価、波形記録回路の性能評価、カメラの組み立てと全体試験などを行った。下図に示すように、マルチアノード型光電子増倍管を合計 32 個 (総読み出しチャンネル数 2048) 取り付けした最初のカメラ試作機を製作し、実験室での波形取得や較正を行う段階まで進展した。現在も継続してこのカメラの試験を行っており、2015 年度



中には望遠鏡試作機の焦点面に取り付け、屋外での試験を開始する予定である。

強度干渉計として使用するためには、専用の光検出器と波形取得装置を取り付ける必要があるが、カメラ設計の物理的制約によって、これを取り付ける場所はまだ検討段階である。現在使用している波形記録回路ではトリガー生成によって短時間のみ波形取得を行うため、連続的な 100 MHz の波形記録は不可能である。この波形記録をどのように行うかは今後の検討項目である。

(3) 前項のカメラを動作させるにあたり、デ

ータ取得およびカメラ制御のソフトウェア開発を行った。このソフトウェアは実験室で安定的に動作しており、屋外試験で長期試験にも使用する予定である。

(4) 2015年5月に共同研究者とともに強度干渉計に関する研究会を開催し、どのように今後の研究を国際的に進める検討を行った。またCTAの望遠鏡光学系部分の実際の開発状況、カメラ開発の状況、また強度干渉計としてCTAを使用する場合の技術的な制約についての報告を研究代表者が行った。

#### 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 1 件)

1. B. S. Acharya, A. Okumura (629th), H. Tajima (848th), and 973 coauthors, "Introducing the CTA concept", *Astroparticle Physics* **43**, 3–18 (2013) doi:10.1016/j.astropartphys.2013.01.07

[学会発表](計 12 件)

1. Akira Okumura, "Optical Systems and Focal Plane Cameras for the Cherenkov Telescope Array", Workshop on Hanbury Brown & Twiss interferometry, May 2014, Nice (France)
2. Akira Okumura, "Initial test results on TARGET 7", 2nd SiPM Advanced Workshop, Mar 2014, Geneva (Switzerland)
3. Akira Okumura, "Light guide simulations for pixelated SiPMs", 2nd SiPM Advanced Workshop, Mar 2014, Geneva (Switzerland)
4. V. Vassiliev, A. Okumura, H. Tajima, and 29 co-authors, "Schwarzschild-Couder telescope for the Cherenkov Telescope Array: 9.5m telescope prototype development", 33rd International Cosmic Ray Conference, Aug 2013, Rio de Janeiro (Brazil)
5. J. Rousselle, A. Okumura, and 6 co-authors, "Schwarzschild-Couder telescope for the Cherenkov Telescope Array: Development of the Optical System", 33rd International Cosmic Ray Conference, Aug 2013, Rio de Janeiro (Brazil)
6. J. Rousselle, A. Okumura, and 6 co-authors, "Schwarzschild-Couder telescope for the Cherenkov Telescope Array: Development of the Optical System", Optics for EUV, X-Ray, and

Gamma-Ray Astronomy VI, Aug 2013, San Diego (USA)

7. 田島 宏康、奥村 暁、他 10 名「CTA 報告 95: CTA 小口径望遠鏡用焦点面検出器の試作器開発」日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月 21 日、早稲田大学(東京都・新宿区)
8. 奥村 暁、河島 孝則、田島 宏康、他 7 名「CTA 報告 85: Schwarzschild-Couder 型望遠鏡用の焦点面カメラの開発状況」日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月 18 日、佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
9. 河島 孝則、田島 宏康、奥村 暁、他 7 名「CTA 計画 デュアルミラー望遠鏡用の波形記録集積回路の性能評価」日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月 21 日、佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
10. 河島 孝則、田島 宏康、奥村 暁、他 7 名「CTA 計画 デュアルミラー望遠鏡用波形記録集積回路のトリガー性能の評価」日本物理学会 第 69 回年次大会、2014 年 3 月 29 日、東海大学(神奈川県・平塚市)
11. 田島 宏康、奥村 暁、他 8 名「CTA 報告 66: CTA デュアルミラー光学系用焦点面検出器の試作器開発」日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 20 日、高知大学(高知県・高知市)
12. 日高 直哉、田島 宏康、奥村 暁、他 9 名「CTA 計画 半導体光検出器 MPPC を用いたチェレンコフカメラの開発」日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月 21 日、高知大学(高知県・高知市)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)  
取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

1. <https://sourceforge.net/projects/robotast/>
2. <http://www.cta-observatory.org/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥村 暁 (OKUMURA, Akira)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教  
研究者番号: 90645011

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

田島 宏康 (TAJIMA, Hiroyasu)  
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

研究者番号：80222107