

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14734

研究課題名(和文) Simons Observatory実験のための較正光源の研究開発

研究課題名(英文) R&D of calibration source for the Simons Observatory experiment

研究代表者

金子 大輔 (Kaneko, Daisuke)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究員

研究者番号：60790342

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：2020年の観測開始を目指す宇宙マイクロ波背景放射観測実験「Simons Observatory」のうち大望遠鏡で受光センサーの較正装置の研究開発をおこなった。初年度は、センサーの仕様と実験の較正要求を考慮し、要求される性能の決定をおこなった。並行して、較正信号を発するヒーター部の基本的設計について、センサーが受信する信号を最適化するよう、いくつかのパターンから最適なものを選択した。二年度目は装置本体と制御システムの詳細な設計と製造、実験室での試験までをおこなった。最終的にハード・ソフトの両面でおおむね完成し、米国で予定される受信器の統合試験むけ調整を進める状態にある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CMB観測においては、観測で得られたマップから正しく科学的な結果を得るためにセンサーの特性を理解することは重要である。特にSimons Observatoyの大望遠鏡では、空間分解能が高いことから、センサーの時定数の較正が特に重要と考えられている。本研究では現実に製造可能な装置と運転条件で必要な制度での較正が可能であることを示し、さらに実際に使用可能な較正光源を作成した。

研究成果の概要(英文)：I performed research and development for the calibration device which will be used with the "Large Aperture Telescope" in a CMB observation project, the "Simons Observatory" which aims to start observation in 2022.

In the first year, I set the requirements for my calibration device, considering the calibration strategy in the experiment and specification of the observation sensor. In parallel, I selected the optimised design, after comparing several fundamental configurations and preparational measurements. In the second year, I moved to the detail mechanical design of the calibration device and its controlling system. Successively the manufacture and assembly was performed, and finally it was teseed in my laboratory. Currently it is under final commissioning aiming at integration testings of receiver for Large Aperture Telescope which will be conducted in the United States in 2021 summer.

研究分野：物理学

キーワード：宇宙マイクロ波背景放射 スティミュレーター Simons Observatory

1. 研究開始当初の背景

本研究の基盤となる SimonsObservatory(SO)実験は、現在非常に盛んな宇宙マイクロ波背景放射の観測を条件の適した南米のチリで観測する計画である。CMB の観測から初期宇宙のインフレーションなど宇宙論・高エネルギー物理のいくつかの未解明な現象を探索することを目標としている。SO では大望遠鏡(LAT)1台と小望遠鏡(SAT)3台の組み合わせで観測をおこなうことで、CMB の空間ゆらぎを大角度から小角度まで一つの実験で観測できる点を特徴とする。主に SAT で観測する大角度のインフレーション起源の信号を、LAT で主に観測する重力レンズ効果の結果を用いて補正することなどが可能である。

CMB 観測実験は現在約 10000 個の検出器を持ついくつかの「第三世代」地上実験がおもにチリと南極で運転中であり、SO はさらに次の世代に移り変わる段階の実験であり、2020 年代初頭の観測開始を目指し、米国・日本のいくつかの研究機関で装置の開発が準備されている状況であった。

2. 研究の目的

SO の LAT は主鏡の直径 6m、全高 10m 以上の大型の望遠鏡で、直径 2m 以上の冷凍容器の中にそれぞれ観測周波数の異なる 7 本の光学鏡筒が装着され、のべ 30000 個以上の超電導転移端センサー(TES)を有する観測装置である。LAT は周波数によるが 1 分角の角度分解能を有する。観測結果の較正において高い空間分解能では、TES の時間的な応答速度(時定数)の較正の重要性が比較的大きい。当初計画されていた電子的な測地方法に加えて、光学的な信号を利用することで較正の精度を高めることが可能と予測され、専用の較正装置の製作が計画された。

研究代表者は先行実験の POLARBEAR と SimonsArray で採用されている較正装置のスティミュレーターの設計を参考として、SO で使用可能なスティミュレーターの製作を画策し、本研究計画の目的とした。

3. 研究の方法

研究の計画は当初 2 カ年で(1)要求性能の決定と使用するヒーターの選定。(2)試作機の設計と評価(3)本番機の製作と現地での運転試験の 3 段階で設定された。

初めの段階は SO の較正計画をまとめる研究者と協力して、SO 実験と受光センサーである TES の設計諸元をもとにスティミュレーター自体に要求される性能が「1 分間の較正運転で時定数の精度 10%以下」と決定された。ヒーターの選定について、計画のはじめの段階では、(a)大面積のヒーターからの直接光、(b)ヒーターを積分球内に設置、(c)黒体炉からの放射を利用するなどのいくつかの方式が提案され、それぞれのコスト、所要電力、放射強度などが比較検討した。

(2)と(3)の段階は統合され、実際に作成されたのは最小限の機能の試作機でなく、実際の運転が可能な試作機となった。これは放射強度の測定よりも望遠鏡の構造体にどのように取り付ける方式の決定、回転するチョッパーとモーターの機械設計の重要度が高いことが判明して、可能な限り早く実機に近い装置での試験が必要と判断したためである。

機械設計と並行して重要視されたのが制御機構の開発である。当初研究代表者は経験

のある Simons Array (SA) 実験の機構を利用しようとしたが、採用されたモーターは SA で採用されたより高速の回転が可能なブラシレスモーターであり、制御機器が異なる。新規で開発するにあたり、実験協力者を得て新規開発の制御機構を開発した。

実際の研究計画の最終段階は実験室での完成した較正装置での性能の検証である。

4. 研究成果

本研究の最初の成果は、始めに設定した目標値である「1 分間の運転で 10% の精度」が現実的に可能であることを示した点である。これは 2 つの要因からなり、一つは参考とした SA での光源輝度を仮定して LAT の条件でセンサーが受信するエネルギー流束を計算し、条件を満たすのを示したこと、二つ目はヒーターを光学ホーンと組み合わせることで、ヒーターへの入力電力と輝度を保ったまま実質的に放射面の面積を拡大する機構の採用である。

第二の成果は、装置としての較正光源の完成である。要求される変調速度はブラシレスモーターにより達成し、回転円盤によるチョッパーの信号は透過型赤外線エンコーダで読み取る形式とした。高温になるヒーターは 2 重のカバーで防護し、装置全体のケーシングの設計・製造をおこなった。その後実験室にて S0 で標準となる操作システムを利用した制御が可能であることを実証し、性能も期待されるものであった。

残念ながら研究期間内には当初計画の最後の段階には到達しなかった。較正装置自体の開発に遅れがあったほか、S0 実験全体で望遠鏡の設計と受信器の製造にも遅れがあり、研究期間終了時点で、受信器試験は開始されていない。期間終了後も継続して、較正光源装置の調整と、受信器試験実施に向けた準備が行われている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鈴木 惇也 (Suzuki Junya) (90795014)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	ミシガン大学	ペンシルバニア大学	カリフォルニア大学バークレー校