

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月1日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
国立研究開発法人理化学研究所・
光量子工学研究センター
[職・氏名]
チームリーダー・大谷知行
[課題番号]
JPJSBP 120219943

1. 事業名 相手国: スペイン (振興会対応機関: OP) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 国際共同観測で実現するCMBの多帯域観測一宇宙創成とニュートリノ絶対質量の研究

(英文) International collaboration to observe Cosmic Microwave Background radiation with multi-frequency bands in large angular scale – Quest for the beginning of the universe and absolute mass of neutrinos

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日～2023年3月31日 (2年 ヶ月)【延長前】 年 月 日 ～ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Instituto de Astrofisica de Canarias・Project Scientist・Ricardo Tenaús G nova Santos

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		3,800,000 円
内訳	1年度目執行経費	1,900,000 円
	2年度目執行経費	1,900,000 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	15 名
相手国側参加者等	5 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1 年度目	0	0	0 (0)

2 年度目	3	0	0 (0)
3 年度目			()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究の最終目的は、宇宙最古の光である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の精密偏光観測により、宇宙の創成と物質の起源を探究することにある。インフレーションは、宇宙初期の超高温・超高密度状態“ビッグバン”の起源であるとともに、重力場の量子ゆらぎを原始重力波として宇宙に残す。この原始重力波を検出する手段が CMB 偏光であり、大角度スケール ($\geq 2^\circ$) の空間非対称な偏光パターン (B モード偏光) の存在がその証拠となる。加えて、近年の理論的研究から、小角度スケール ($\leq 1^\circ$) の B モード偏光と大角度スケール ($> 10^\circ$) の空間対称な偏光パターン (E モード偏光) を組み合わせると、ニュートリノの質量和 (Σm_ν) の高精度測定が可能なが明らかとなった。従って、大角度スケールの偏光観測により、重力の量子ゆらぎとインフレーション宇宙論の検証のみならず、ニュートリノ質量和の絶対値測定の実現も最終的な目標である。

本研究の活動期間の大部分において、世界的なコロナ禍の影響により、スペインにおける研究設備の整備も停止を余儀なくされてきたが、そのような環境下でも、毎週スペインや韓国の研究者とオンライン会議を継続するなど、密接な連携を保ちながら本観測に向けた準備を進めた。これには、普段からの交流の継続に加えて、スペイン・IAC との MOU や Agreement を更新・継続したことも双方にとって共同研究を継続的な推進において重要な動機づけとなったと感じる。さらに、2021 年 2 月より約 1 年間、日本側メンバーの一人であった本多氏が海外学振として IAC に滞在し、本研究における重要な交流窓口として活動したことも、コロナ禍の制約のある状況の中での研究推進に大きな役割を果たした。それにより、停止中であった望遠鏡の再立ち上げ、スペインでの運用のために必要な CE 認証を取得するための機器整備、望遠鏡のリモート制御環境の構築を完了でき、現地に人がいないとできなかった作業を進めることができた。さらに、オランダ・宇宙研究所 (SRON) との協力を新たに始め、SRON が開発した焦点面検出器の搭載もまもなく終わられる見込みである。

さらに、2022 年 12 月には、スペイン現地において、プロジェクト内外のメンバーが参加する国際共同ワークショップを主催した (<https://www.astr.tohoku.ac.jp/GSWS/index.html>)。このワークショップは、本研究グループのメンバーである Ricardo T. Génova-Santos 博士、José Alberto Rubiño-Martín 博士、Michael Peel 博士が現地運営委員として会議を主催し、また、東北大の服部誠准教授が組織委員としてプログラムのオーガナイズに参画した。参加者数は、オンサイト 73 名、オンライン 39 名の計 112 名であり、外国人 99 名、日本人 13 名で、スタッフのみならず若手研究員や学生も多数参加し、本課題の本来の目的に沿った活動となった。これに加えて、プロジェクト内の国際進捗報告会 (GroundBIRD collaboration meeting) を 2 度 (2021.11.17-18、2023.1.18-19) オンライン開催し、若手・大学院生が主体となって企画・発表を行った。また、2021-2022 年度の期間内に計 84 回の国際オンライン週報会を実施し、ほぼ毎回の会で当課題に参画する若手研究者・大学院生が研究進捗の報告を英語で行い、それぞれの課題に対して議論を行った。また、これとは別に、スタッフ間で運営について議論する国際スタッフオンライン会議も計 20 回実施した。このように、コロナ禍というハンディがありながらも、オンラインの利点をうまく活用しながら、非常に有意義に本課題を推進できたと考えている。唯一残念であったのは、スペインの研究者を日本に

招くことができなかったことだが、欧米から若干遅れであるが日本国内でも規制が緩和される状況になり、2022 年度までの活動実績を踏まえて 2023 年度にはぜひそれを実現したい。すでに、2023 年 12 月に韓国・デジョンでワークショップを開催する準備を始めており、その際に韓国に来訪したスペインの研究者に日本に来訪してもらうことも可能と考えている。また、本研究課題の推進にあたり、引き続き毎週国際ネット会議を継続して情報共有や議論を進めており、本研究課題で培われた協力関係を今後も継続して維持・発展させていく予定である。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

上記の通り、本研究の最終目的は、宇宙最古の光である宇宙マイクロ背景放射（CMB）の精密偏光観測により、宇宙の創成と物質の起源を探索することにある。具体的には、大角度スケールの偏光観測により、重力の量子ゆらぎとインフレーション宇宙論の検証、及び、ニュートリノ質量和の絶対値測定を実現することが最終的な目標である。この目標に向け、停止中であった望遠鏡の再立ち上げ、スペインでの運用のために必要な CE 認証を取得するための機器整備、望遠鏡のリモート制御環境を構築し、長期観測を行うための環境整備がほぼ完了した。さらに、SRON が開発した最新型の焦点面検出器の搭載もまもなく終える予定である。このように、コロナ禍の影響による現地天文台の閉鎖の影響等もあり本観測の開始には至らなかったが、本観測に向けた重要な基盤を構築することができた。今後も、スペイン・韓国の共同研究者と密接な連携を継続して行く予定である。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

上記のように、コロナ禍の影響により現地での研究の推進に様々な制約を受けてきたが、そのような環境下でも、毎週スペインや韓国の研究者と国際オンライン週報会（計 84 回）を本課題の実施期間中に開催したほか、運営について議論する国際スタッフオンライン会議も計 20 回実施した。また、2021 年 2 月より約 1 年間、日本側の若手メンバーの一人であった本多俊介氏が海外学振として IAC に滞在し、現地の研究者と積極的に連携を図りながら本観測に向けた準備を進めた。なお、その実績が認められ、本研究期間中に本多氏が筑波大にパーマナント助教として採用されたことは本研究課題における重要な成果だと考えている。また、京都大・東北大の大学院生も現地での実験活動を経験しており、準備・物品輸送・現地スタッフとのコミュニケーション・長期滞在など様々な経験を積む場を提供した。このような活動を通じて、東北大大大学院生・田中智永氏が修士論文をまとめたほか、同・辻井未来氏が東北大学理学・生命科学 2 研究科合同オンラインシンポジウム 2023 における発表で優秀ポスター賞を受賞した。これには、普段からの研究交流に加えて、スペイン・IAC との MoU や Agreement を更新・継続したことも双方にとって共同研究を推進する体制を下支えできたことも重要な動機づけとなっているほか、Agreement に基づいて IAC で雇用された Mike Peel 博士の全面的な協力を得ることに繋がった。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本研究課題に関するテーマについては、国内で、

- 2021.7.5, “マユコの星ナビ ch 突撃！ラボ訪問 #12 「宇宙の始まりを望遠鏡で観る？ 『観測的宇宙論』の世界」,” 月刊星ナビ, 2021 年 8 月号, pp. 60-61. https://youtu.be/MJEOT_Mykj4

- 同、関連 YouTube チャンネル「アスナロサイエンス」https://youtu.be/MJEOT_Mykj4
- 2022.6.30, “NHK サラメシ「(11) 旅行気分を満喫！サラメシ海外特派員 SP」”に本多俊介氏（当時、スペイン・カナリア諸島・テネリフェ島に在住、IAC にて勤務）が出演。
<https://www.nhk.jp/p/salameshi/ts/PVPP6PZNLG/episode/te/XZ6GYW7WVV/>
- 2021 年度、2022 年度理化学研究所仙台支所一般公開（オンライン開催）によるビデオ紹介、2021.4.17, 2022.8.6.

といった形で活動紹介を実施したほか、**raspberrypi** のオフィシャル雑誌である **The MagPi** 誌（vol. 119, pp. 10-13, 2022）において、**raspberrypi** を活用した **GroundBIRD** 望遠鏡の自動運転システムの構築の様子を紹介した。これらの活動を通じて、国民に身近な形で活動紹介を行ったほか、現代的なツールを活用した安価な自動運転管理システムの構築についても世界に発信できたと考えている。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

2021 年度はコロナ禍による移動の制限により、本課題で若手研究者をスペインに派遣できなかったが、京都大・東北大の学生を理研和光に派遣して検出器のセットアップを行ったほか、2022 年度に製作を予定していたアップデート版の焦点面検出器で用いるシリコン超半球レンズを購入した。このレンズを搭載した検出器の試験は、2022 年度後半から準備を進め、本研究課題の終了直後に博士課程大学院生がオランダ **SRON** で試験を行った後、それをスペインに持ち込んで望遠鏡に搭載しようとしているところである。

また、すでに記したように、計 84 回の毎週の国際オンライン週報会、2 回の国際進捗報告会（**GroundBIRD collaboration meeting**）、1 回の現地でのハイブリッド国際会議主催を行い、様々な形で若手研究者や大学院生に英語での発表を行う機会を提供した。また、それらを進めるために、20 回に及ぶ国際運営オンライン会議を実施し、円滑なプロジェクト運営に努めた。また、これまでのプロジェクト運営を受けて、2023 年 12 月に韓国・デジョンで国際ワークショップを開催する計画を立てており、学生も含めた多くの若手研究者に参加してもらう予定である。さらに、その際に韓国に来訪したスペインの研究者に日本に来訪してもらうことを検討中である。

また、上記の通り、本多俊介氏が筑波大にパーマネント助教として採用されたほか、東北大大学院生の田中智永氏が修士論文をまとめて博士課程に進学したほか、学部 4 年生から参加している辻井未来氏が上記シンポジウムで優秀ポスター賞を受賞した。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

コロナ禍の影響による遅れは生じたものの、**GroundBIRD** 望遠鏡の観測体制は概ね整ってきている。本事業の最初の 2 年間で重複する形で、2021 年度より科研費・基盤 A の研究課題を推進しており、本課題を実施した成果は同課題に引き継いでいる。そして、2 年間の事業実施期間に実現できなかった観測実施とデータ解析を進め、当初の科学的目的としていた宇宙創成とニュートリノ絶対質量に関する研究成果に結び付けられると考えている。

(7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例: 大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

- **GroundBIRD** プロジェクトに関する IAC との MoU を更新(2022.2).

- 本事業に先立ち、GroundBIRD プロジェクトに関する IAC との Agreement を更新 (2021.3).
- 辻井 未来, “GroundBIRD Experiment: exploring early universe by the cosmic microwave background polarization observation,” 東北大学理学・生命科学 2 研究科合同オンラインシンポジウム 2023 優秀ポスター賞, 2023.2.17.