

【特別推進研究】

史上最大のCMB望遠鏡群で解き明かす宇宙創成

研究代表者	京都大学・理学研究科・教授
	田島 治 (たじま おさむ) 研究者番号:80391704
研究課題 情報	課題番号: 22H04913 研究期間: 2022年度~2026年度 キーワード: 宇宙背景放射、インフレーション、原始重力波、ニュートリノ

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

「宇宙のはじまりとは？」人類が抱く究極の問いに迫る。宇宙最古の光である宇宙背景放射 (CMB) の精密観測で、宇宙創成の謎を解き明かす。CMBには、重力場の量子ゆらぎとインフレーション宇宙論の証拠である「原始重力波」、素粒子大統一理論を探るカギとなる「ニュートリノ質量和」、さらには「暗黒放射」など、宇宙創成を記述する物理学に直結する情報が豊富に含まれている。図1に示すように、史上最大のCMB望遠鏡群を用いる実験“Simons Observatory”で、これらのサイエンスを網羅する。

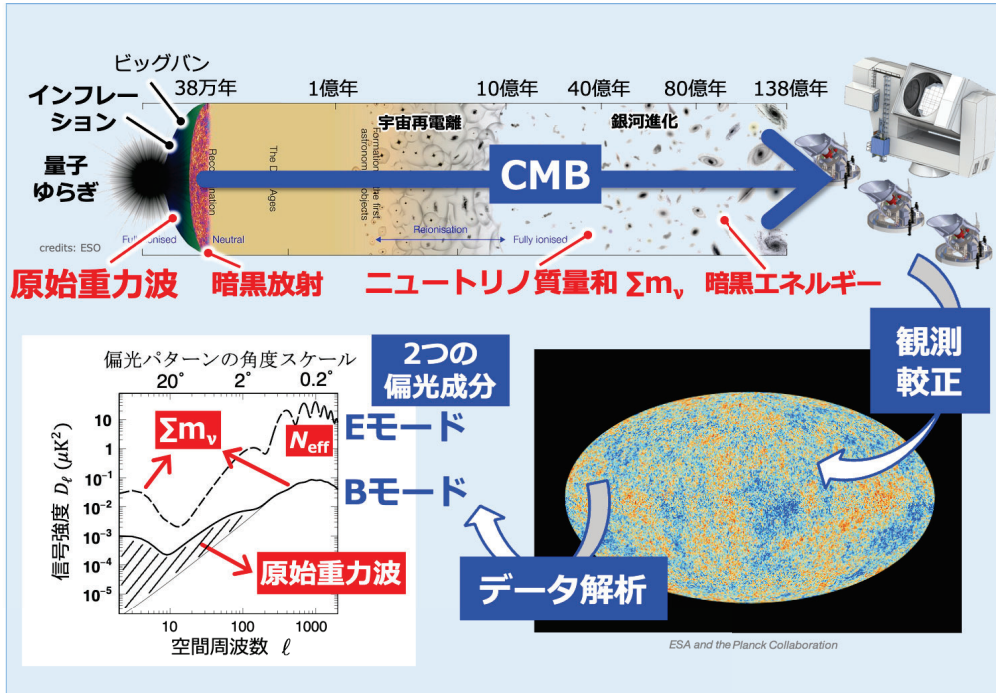


図1 研究の全体像。CMBをバックライトとする観測実験のサイエンスターゲットとその観測・分析手法のイメージ。

●研究の手法

図1に掲げたサイエンスを網羅するためには、幅広い角度スケールにわたって観測することが重要である。本研究では、二種類・複数台のCMB望遠鏡を使うことで、高い統計精度と幅広い角度スケールにわたる観測を両立する。また、CMB研究にとっての邪魔者である銀河放射の影響を、6帯域にわたる観測によって理解・除去する。我々の先行研究と本研究で開発する計5台の望遠鏡と較正装置を駆使して、従来観測の10倍感度でCMB偏光観測を行い、原始重力波の検出やニュートリノ質量和の測定等によって、宇宙創成の謎を解き明かす。

●本研究課題のきっかけとなった前身課題の成果

前身課題である科研費・基盤研究(S)で、CMB観測を開始する準備を着実に進めてきた。図2に示すように、日本チームは小型の望遠鏡3台の性能を大きく左右する要素である“極低温光学筒”の開発に成功した。さらに、望遠鏡の生データ(電圧等の単なる電気信号の集合体)を宇宙を研究するデータに変換するための“較正装置”の開発にも成功した。

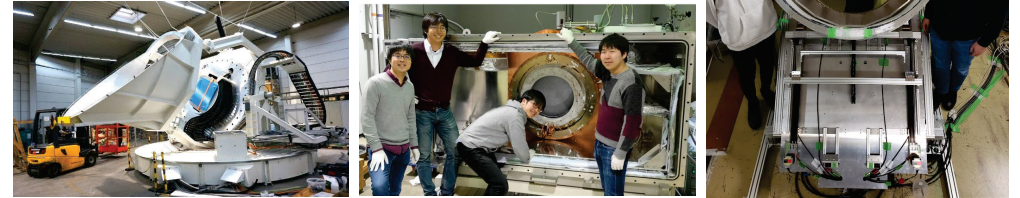


図2 前身課題等で開発した望遠鏡マウント(左)、極低温光学筒(中)、較正装置(右)

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●CMB偏光観測を世界最高感度で行う

観測を開始し、望遠鏡の較正とデータ解析手法を確立し、世界最高感度でのCMB偏光の観測を実現する。これによって、原始重力波の検出感度は従来より一桁向上する。また、ニュートリノ質量和に対しても従来の4倍精度での測定を見込んでいる。

●「原始重力波の探索を世界最高感度で達成する」ことの意義・インパクト

もし本研究で原始重力波の検出に成功すれば、インフレーション宇宙論の直接的な検証になる。これは同時に、インフレーションのエネルギーが素粒子物理学の大統一理論(GUT)スケールに相当すること、宇宙初期に重力場が量子化されていたことの証拠の発見にもなる。いわば、「究極の宇宙論」、「究極の高エネルギー物理学」、「究極の素粒子理論」という三大究極を一挙に達成する意義を有する。検出時のインパクトは、次世代のCMB実験のみならず、近隣分野の将来計画にも確固たるサイエンスターゲットを与える。たとえ原始重力波が検出されなかったとしても、学術的な意義は大きい。図3に示すように、本研究はインフレーション理論モデルの選別指標(Lyth Boundとよばれる)に匹敵する感度を目指している。理論モデルの選別・構築に大きなインパクトを与え、理論研究の進むべき方向が明瞭になる。

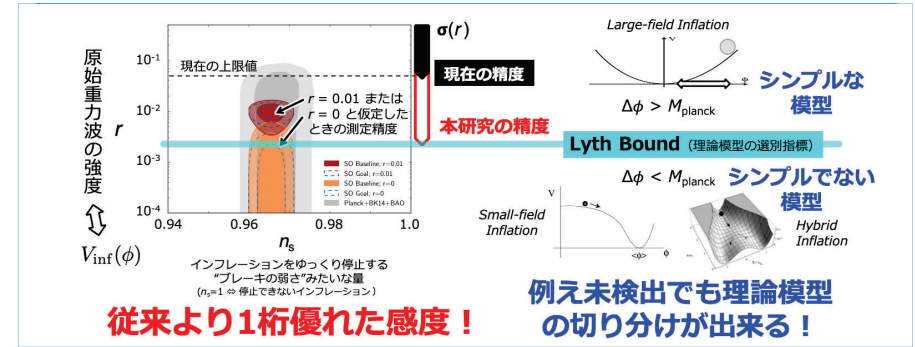


図3 原始重力波に対して、本課題で遂行する実験がもたらす研究意義

●「ニュートリノの質量和を世界最高感度で測定する」ことの意義・インパクト

ニュートリノの質量和は従来の素粒子・原子核実験では測定できない物理量である。ニュートリノの小さすぎる質量は、素粒子の標準模型を超えた新物理を探る鍵と考えられている。本研究による質量和の測定結果と従来の研究結果を多角的に分析することで、ニュートリノ質量の絶対値がもたらす、新物理を探る研究が発展する。