

実験的宇宙物理研究グループ(CMB グループ)活動報告

2025 年 11 月 01 日

(文責) 長谷川 雅也

1. イントロダクション: ビッグバン以前を探る CMB 偏光観測と CMB グループ

宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background, CMB と略記) は宇宙最古の電磁波である。CMB の観測に対して二度のノーベル物理学賞が授与されていることから明らかなように、私達が住むこの宇宙の誕生と進化を研究するために CMB の観測は欠かせない。

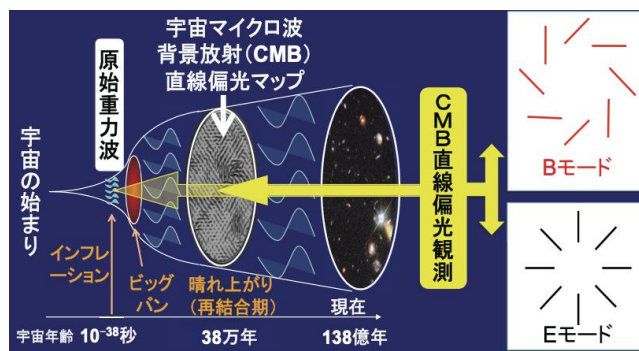


図 1: 宇宙の進化と宇宙マイクロ波背景放射(CMB)

KEK-CMB グループ（正式名称は実験的宇宙物理研究グループ）は 2007 年度に活動を開始した。現在の構成は准教授 1（長谷川）、助教 1（デ・ハーン）、客員教授 1（田島）大学院生 4 名である（特別共同利用研究員として受け入れている外部の 2 名を含む）。グループの目的は、「宇宙を実験室として、物理学の根本法則（「宇宙のルールブック」）を実験的に探求する」ことである。現在は「CMB 観測によるインフレーション宇宙と背後にある量子重力理論の検証」が中心テーマである。インフレーション宇宙仮説は、熱いビッグバン以前に宇宙が急激な加速膨張を起こしたとする仮説で、その検証は現代宇宙論の最重要課題の一つとされている。インフレーションは原始重力波の存在を予言し、原始重力波は CMB 偏光マップに「B モード」と呼ばれる特殊な偏光パターンを刻印する。したがって、B モード偏光の測定を通してインフレーションの実験的検証が可能となる。まさに「時空に浮かぶ天然の原始重力波記録装置」であり（図 1 参照）、現在、原始重力波を発見する最も感度の高い方法となっている。さらに CMB 偏光観測は、インフレーションの背後にある量子重力理論（超弦理論等）を検証できる現在唯一無二の手段であるため、高エネルギー物理学の発展にも寄与できる。以上の目的を達成するため、グループではチリアタカマ高地における地上観測：Simons Observatory および Simons Array（観測は終了）を中心に活動を行っている。並行して次世代 CMB 実験に向けた基礎開発にも寄与している。以下では、地上観測実験の今年度の進展を中心に報告する。

2. 地上観測の進展: Simons Observatory の現状

CMB グループは、今年度より Simons Observatory（以下 SO）をメインプロジェクトとして活動を行っている。SO は 2016 年より準備を開始した国際共同実験であり、本グループは当初期からの参加グループの一つとして日本国内での活動の立ち上げと、観測装置（特に光学素子）の開発で貢献をしてきた。SO は原始重力波探索に特化した小口径望

遠鏡(SAT) 3 台および宇宙の大規模構造に感度をもつ大口径望遠鏡(LAT)1 台の計 4 台からなる世界最大の望遠鏡”群”実験であり、2024 年度にファーストライトを達成した。現在初期観測(ISO)データのレビューを経て、科学データ解析フェーズへ移行している。当グループは遠隔シフトを通じた観測支援、系統誤差解析(Null Test)等で貢献している。

また、SAT を 3 台追加して 6 台体制にするアップグレード計画にも深く関わっている。特に 1 台は日本グループが中心となって低周波（前景放射）に感度をもつ SAT-LF(低周波)いわゆる J-SAT の開発を行っており、本グループは、大型サファイアを用いた変調装置(半波長板)やセンサーを低温に保つための赤外線フィルターの開発や低温で用いる素材の冷却試験やセンサーの感度を保つための磁気シールド等の調達で貢献予定である。クライオスタットの組み立て・真空試験が京都大学で進んでいるほか、チリ・アタカマの観測サイトでは望遠鏡を搭載するアダプターリングや筐体の取り付けが完了している。



研究成果として、学生主導による“電気を通さない極低温熱リンク”および“TES ビーム評価用可変光源”に関する論文をジャーナル誌に投稿したほか、前者については国際会議 LTD2025 にて発表を行った。また、AI を活用した天文データ解析支援システム「AstroSage 8B」が公開され、Scientific Reports に掲載された。加えて、CMB 観測の現状と展望に関する解説記事が物理学会誌に掲載され、国立天文台ニュースでも SO 紹介記事が公開された。人材育成の面では、総研大サマースチューデント 2 名を受け入れ、TES 基礎技術および暗黒物質関連技術を体験させた。さらに、国内 SO ミーティングを 3 月・9 月に実施し、国内連携と若手研究者の育成を推進した。

また前身の Simons Array 実験に用いたポーラーベア 2 観測装置はすでに現地チリにて望遠鏡の解体作業を行っており、現在、チリから送り返す準備を整えている。Simons Array では、超新星残骸(TauA)からの偏光信号の偏光角の時間変動（またそれを通した超軽量アクシオンの探索）に関する解析が進行しており、論文としてまとめる予定である。