

実験的宇宙物理研究グループ(CMBグループ)活動報告

2025年02月02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。

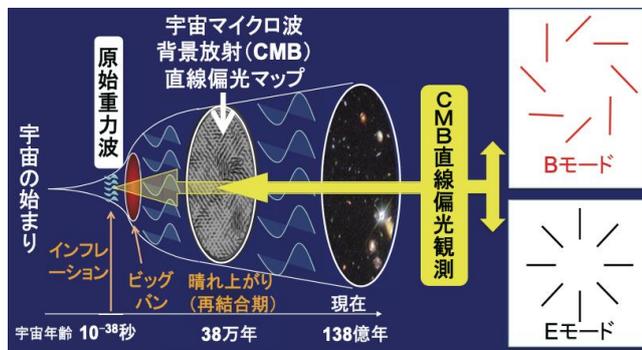


図 1:宇宙の進化と宇宙マイクロ波背景放射(CMB)

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)、大学院生 5 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

- 1) チリアタカマ高地における地上観測 : POLARBEAR, Simons Observatory
- 2) 次世代の衛星計画 : LiteBIRD

を主に行っている。以下では、地上観測実験の進展について、ポーラーベア (POLARBEAR)を中心に報告する。

2. 地上観測の進展:ポーラーベア-2 の現状

CMB グループは、国際共同実験として 2012 年にポーラーベア-1 実験の観測を開始して以来、様々な観測結果を発表してきた。特に世界で初めて CMB のみを用いて重力レンズ B モードの証拠を検出したことが大きな成果であり、2014 年に発表した二篇の論文の引

用度は、合わせて 559 となっている(2025 年 2 月 1 日現在)。また、ポーラーベア-1 の 6 倍程度の検出器数を有する(当時)世界最大の焦点面検出器アレイを開発し、二周波数(90 ギガヘルツと 150 ギガヘルツ)で同時観測するポーラーベア-2 計画を提案、開発・実装およびチリでの観測運用を責任を持って行ってきた。ポーラーベア 2 は 2019 年よりデータ取得を開始し、予定のデータを取得して昨年 9 月に科学観測を完了した。取得したデータ(0.1°を超える高角度分解能なミリ波データ)の特性を活かして、軽い暗黒物質探索や円偏光成分探索などの解析を進めると共に、12 月には現地チリでの望遠鏡の解体作業を行い、輸送のための梱包作業を行った。現在は、チリから輸出するための許可申請をチリ政府に行い、承認を待っているところである。

後継実験であるサイモンズオブザーバトリーでは、リモートによる望遠鏡の安全監視をし、安定したデータ取得に貢献しつつ、国内の他の参加機関と協力して低周波(30/40GHz)帯域の SAT 開発に向けて、反射防止膜の開発を進めている。

2014 年から 2016 年に取得したポーラーベア-1 の観測データを用いた円偏光信号探索にも進展があった。標準宇宙論では CMB の円偏光成分は生じないため、有限な値が観測されれば、アクシオン等の未知の場の存在や原始磁場等のこれまで未観測な現象を強く示唆する結果となる。宇宙起源の円偏光成分探索の前哨戦として、大気の円偏光成分の測定を行い、期待通りの信号強度を確認した。インフレーション B モード偏光を探索するために不可欠となる低周波ノイズを低減するために導入した半波長板の非完全性を利用した CMB 観測装置の新たな可能性を示す結果であり、すでにジャーナル誌(Astrophysical Journal)に掲載が決定している(<https://arxiv.org/abs/2410.18154>)

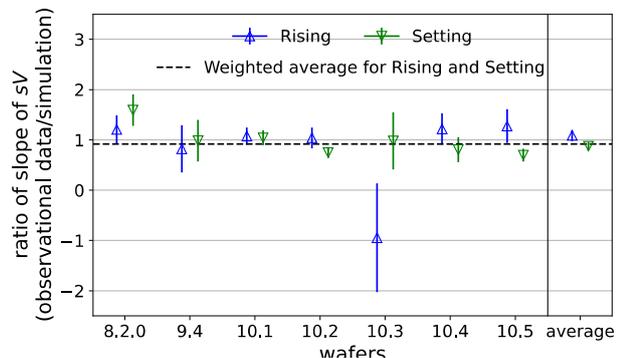


図 3. ポーラーベア-1 データを用いて測定した円偏光の強度を期待値で割った物。誤差の範囲で期待値と無矛盾である

[1] “A measurement of atmospheric circular polarization with POLARBEAR”, T. Fujino et. al, To be appeared in AstroPhysical Journal (arXiv:2410.18154)

3. 素核研ワークショップ「CMB B-Mode NEXT」開催



CMB 偏光観測の現状を俯瞰し、次世代実験に向けた課題を整理し、その実現に向けた議論を深めることを目的として、1月27日～29日に KEK つくばキャンパスで素核研ワークショップ「CMB B-Mode NEXT」を開催した。日米欧から約110名（うち現地参加90名）の参加があった。本研究会では地上からの観測と宇宙からの観測の“シナジー”をキーワードに、素粒子分野・天文学など周辺分野との連携も視野にいれた集中的な議論を行った。