

## 実験的宇宙物理研究グループ(CMBグループ)活動報告

2026年4月11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。

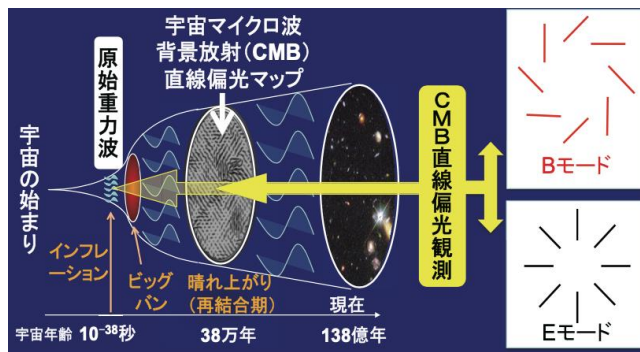


図 1:宇宙の進化と宇宙マイクロ波背景放射(CMB)

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)、特任助教 1(高倉)、客員教授 1 (田島)、客員准教授 1 (安達)、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 1 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、現在 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。コミショニング期における予期せぬ過剰な熱負荷等の問題を解決した赤外線遮断フィルター(RT-MLD)に関する研究成果が Applied Optics 誌に掲載され、Editor's Pick として選出されている [1]。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、現在科学観測が順調に進展している。初期観測データ(コミショニングデータ)を用いた解析も進み、感度評価および CMB パワースペクトルの予備的結果を Moriond(Cosmology)会議において報告している(図 2)。

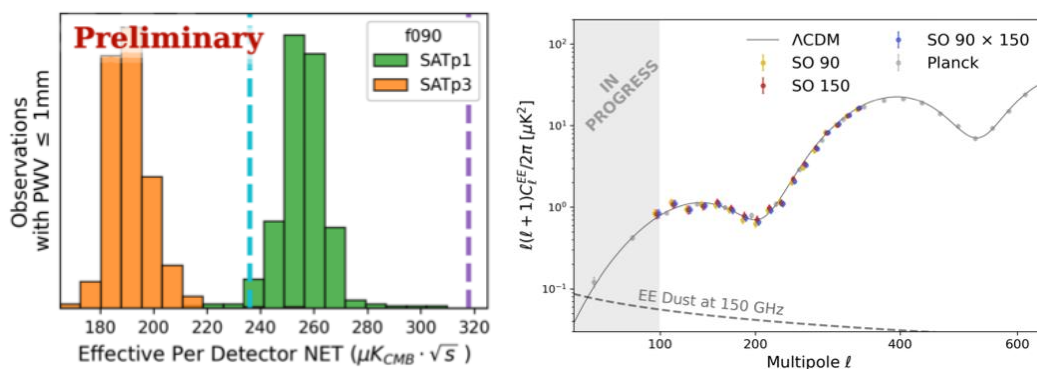


図 2. (左) SO-SAT 各検出器の(温度換算での)ノイズレベル分布. 幾つかの検出器については目標値よりも良いノイズレベルを示している。(右)コミショニングデータを用いて得られた E モードスペクトラム. 順調にデータ収集が行われている。

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。3 台の内 1 台については、日本グループが中心となって、低周波帯(前景放射)に高い感度を有する SAT-LF(いわゆる JSAT)の開発を進めており、2025 年度後半は、チリ観測サイトにおける、望遠鏡設置に向けたインフラ整備(制御機器用コンテナ整備等)や望遠鏡本体および関連機器の動作試験の実施等、着実に準備を進めてきた。本グループも、要素開発および基礎研究で特に貢献しており、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を進めている。

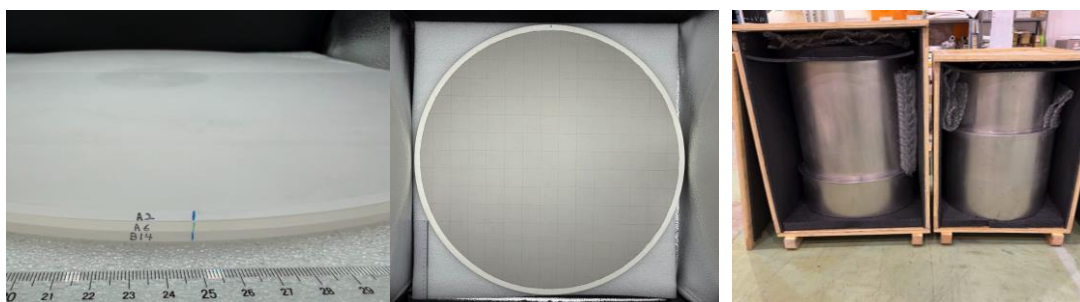


図 3: (左) 半波長板に用いるサファイア板。(中央) アップグレード機に用いる赤外線フィルター (右) 超伝導センサーアレイ用磁気シールド. 材質は A4K である。

また前身の Simons Array 実験のデータを用いた宇宙論的複屈折の解析結果が Physical Review D に掲載 (Editor's suggestion) された [2]。さらにセンサーアレイ感度に関する総括論文を投稿中である [3]。

### 3. 要素技術開発および基礎開発

観測装置の高度化に向けた要素技術開発も継続的に進展した。

- 偏光変調装置 (半波長板) に用いるサファイア基板の形状測定および光学軸評価を国際共同で実施
- 電波吸収体の低温物性 (誘電率・屈折率) 評価について、共振空洞および導波管を用いた測定系を構築し、学生を中心に測定を推進
- TES ビーム精密測定用可変光源に関する論文が PTEP に掲載 [4]

さらに、新たな展開として、CMB 観測技術を応用した暗黒光子探索 (100 GHz 帯) のための受信機システム設計および関連機器の調達を開始した。これは CMB 技術の他分野展開として重要な取り組みである。

### 4. コミュニティ連携・アウトリーチ・教育活動

国内外、および宇宙理論グループとの連携・学術活動も活発に行った。

- 理論グループと共同で DESI 関連ワークショップを開催 (約 40 名参加) (2/26)
- ミリ波・サブミリ波受信機ワークショップ (名古屋大学) にて学生が発表(11/12)
- 広島大学にて Simons Observatory に関するセミナーを実施 (11/21)
- ニュートリノ国際先導研究関連研究会にてメンバーが SO の現状と展望を講演

また、アウトリーチ活動として、複数のグループメンバーがサイエンスカフェに登壇し、一般向け講演を行った。

- サイエンスカフェ in サザコーヒー「ねこの日に語る、量子と宇宙の秘密」(2/22)
- おとなのサイエンスカフェ「宇宙の始まり～インフレーションの証拠を掴みたい」(3/13)

#### 主要な論文リスト

[1] “Simons Observatory: on-sky performance of radio-transparent multi-layer insulation using Styroace-II styrofoam”, S. Day-Weiss, M. Hasegawa, O. Tajima et. al, Applied Optics, 65, 1614 (2026) (<https://doi.org/10.1364/AO.585070>) Editor's pick

[2] “Constraints on the polarization angle oscillations of the Crab Nebula with the Simons Array and its applications to the search for axionlike particles”, T. Adkins, M. Hasegawa, O. Tajima et.al, Phys. Rev D113. 043044, (2026) (<https://doi.org/10.1103/9wqc-tgzq>) Editor's suggestion

[3] "Performance characterization of the transition-edge sensor array, readout system, and optical coupling of the Simons Array cosmic microwave background experiment", N. Farias, M. Hasegawa et. al, submitted to RSI

[4] “Feedback-Controlled Beam Pattern Measurement Method Using a Power-Variable Calibration Source for Cosmic Microwave Background Telescopes”, H. Hirose, M. Hasegawa et. al, PTEP 2026, ptag013 (2026) (<https://doi.org/10.1093/ptep/ptag013>)