

ビッグバン以前を探る CMB 偏光観測と KEK CMB 観測グループ

インフレーション宇宙仮説の検証は現代宇宙論の最重要課題の一つである。インフレーションに起因する原始重力波の検証なくしてこれは完成しない。CMB 偏光 (B モード偏光) は、「時空に浮かぶ天然の原始重力波記録装置」であり、原始重力波を発見する唯一の方法である。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) の検証を行う唯一の方法として、高エネルギー物理学としても極めて重要である。2012 年 2 月に公開された高エネルギー物理学将来計画検討小委員会答申においても、「高いポテンシャルを持った中小規模計画を (ILC などの) 大計画と並進して推進することにより多角的に新しい物理を探求していくことが必要であり、CMB 偏光観測によるインフレーション検証はそれに該当する研究である」、とされている。

CMB グループは 2007 年度より活動を開始し、KEK 内サポート研究者・技術者を含めた約 20 名のメンバーで機構横断的に研究を推進している。科学研究費補助金新学術領域研究 (研究領域提案型) 「加速宇宙」(H27-31、領域代表・村山斉) の計画研究「宇宙マイクロ波背景放射の広天域観測で探る加速宇宙と大規模構造」(代表・羽澄昌史)、基盤研究 (S) 「宇宙マイクロ波背景放射偏光観測装置 POLARBEAR-2 で探る宇宙創生の物理学」(H26-30、代表・羽澄昌史) などの補助を受けて活動している。

グループが推進している 2 つの主要プロジェクト (POLARBEAR、LiteBIRD) と、関連する科研費プロジェクトについて進捗を以下に述べる。

POLARBEAR 実験：偏光変調器を用いた新しい観測法を実施しその性能を論文発表

KEK CMB グループの現在の中心プロジェクトが、超伝導検出器アレイを用いた POLARBEAR 実験である。カリフォルニア大バークレー校、サンディエゴ校、カナダ・マギル大などと共同で準備をすすめ、望遠鏡をチリ・アタカマ高地 (標高 5200m) に設置し、2012 年 1 月より観測を開始した。POLARBEAR 実験は有効直径 2.5m の主鏡を持ち、原始重力波に対する高い感度に加え、重力レンズに起因する CMB 偏光 B モードを発見する上で有利なデザインとなっている。

POLARBEAR 実験の主たる科学目標は、

- 1) 原始重力波の探索によるインフレーション理論・量子重力理論 (超弦理論など) の検証
- 2) 重力レンズの精査による宇宙のエネルギー組成の謎 (ニュートリノ質量、ダークエネルギー等) 解明

の二つである。すでに初年度のデータのみを使った観測結果の論文は発表済みで、世界で初めて CMB のみを用いて重力レンズの証拠を検出した (科学目標 2 に関わる成果)。2014 年に発表した B-mode 探索論文はすでに引用度 165 となっている (2017 年 3 月 3 日現在)。

POLARBEAR 実験では 2014 年から、偏光変調器という新しい装置を導入した観測を行っている。偏光変調器の導入により、より広域の天空を観測し、より波数の小さいゆらぎ (つまり大角度相関によるゆらぎ) の観測により、科学目標 1 の達成を目指している。2014 年の観測データを用いて、確かに波数の小さい領域でも $1/f$ ノイズを小さくできることなどを示した論文を 2017 年 2 月に投稿した。図 1 (左) は POLARBEAR 望遠鏡の側面図で、Prime focus と書かれた位置に偏光変調器を導入した。複屈折するサファイアを 2Hz で連続回転させる装置であり、これにより回転の周波数の 4 倍の周波数で空からくる偏光信号が回転させることができる。図 1 (右) は観測結果の一例であり、一番下の赤い線が偏光変調器を用いた測定結果である。 $1/f$ ノイズによるノイズスペクトルの屈曲点は 32mHz であり、これは波数に換算すると 39 に相当する。原始重力波

による B モード信号のピークが波数でおよそ 80 のところにあるので、ノイズを十分に抑えることができたと言える。POLARBEAR のような大きな口径を持つ望遠鏡でこの波数に到達したのは世界初めてであり、今後の観測へ向けた大きな技術的成果と言える。

KEK ではアップグレードの検出器システムを導入し、これまでの感度を 6 倍程度改善し、95GHz、150GHz の同時観測を行う POLARBEAR-2 計画を推進しており、検出器システム製作を主導している。これが完成すれば地上における CMB 偏光観測装置として最高の性能を持つこととなる。さらに望遠鏡を 3 台導入し、より多くの周波数で観測を行い銀河ダスト等の影響をより低減するサイモンズアレイという計画 (POLARBEAR-2 を一部に含む拡張計画) も進めている。すでに 2 台目、3 台目の望遠鏡の設置がチリで進んでいる。

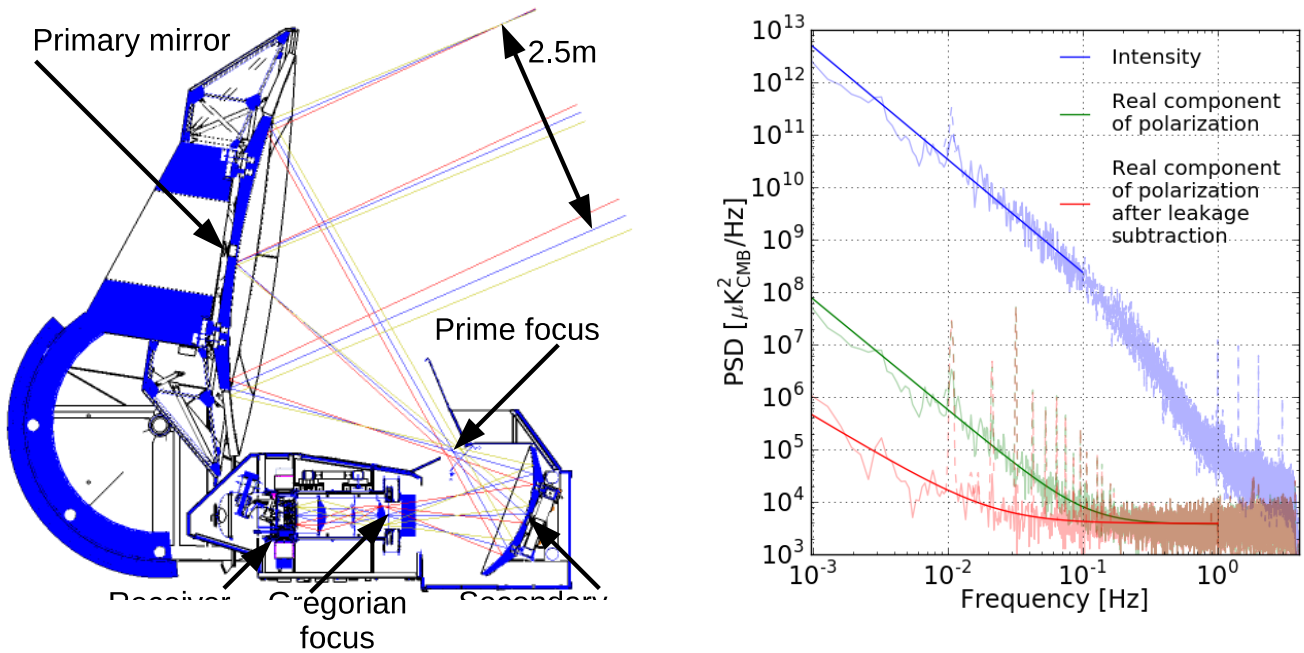


図 1: (左) POLARBEAR の望遠鏡側面図。Prime focus と書かれている場所に偏光変調器を置いて観測を行っている。(右) 広天域の観測結果の一例。一番下の赤い線が偏光変調器を用いた場合のノイズ測定結果を示す。

LiteBIRD 衛星計画 : 学術会議マスタープラン 2017 重点大型研究計画

KEK CMB グループでは究極の CMB 偏光観測を行うための科学衛星計画 LiteBIRD を 2008 年に発案した。ワーキンググループ (主査: 羽澄昌史) が結成され、R&D とデザインを進めてきた。現在国内外の約 140 名からなる研究者が活動している。本計画は、学術会議マスタープラン 2014 の重点大型研究計画であり、かつ文部科学省のロードマップ 2014 に新たな 10 大型計画として掲載された。最高評価 (ダブル a) を受けた 5 計画の一つに選ばれている。さらに学術会議マスタープラン 2017 においても、LiteBIRD は 2014 年に続いて重点大型研究計画に選ばれた。なお、学術会議へは、宇宙電波懇談会の提案により物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会の推薦を受け、カブリ IPMU 機構長から提案を行った。

LiteBIRD ワーキンググループは、2015 年 2 月に、JAXA 宇宙科学研究所の中型衛星計画公募に対して LiteBIRD 計画を提案した。この第一段階の審査 (ミッション定義審査) を通り、その後国際レビュー (2016 年 5 月)、フェーズ A1 計画審査 (2016 年 8 月) を経て、現在フェーズ A1 に入り、概念設計を進めている。これに伴い、これまでのワーキンググループは解散され、宇宙科学研究所に LiteBIRD フェーズ A1 チームが結成され、物理科学研究系主幹の堂谷教授がチームリーダーを務めている。フェーズ A1 全体の PI は羽澄が務めている。米国 LiteBIRD グループが 2014

年12月にNASAに対してLiteBIRDに正式参加する提案を行った。これも一次審査を通り、2016年7月にphase A studyを完了した。2017年2月までにその審査が完了し、現在phase Bに進めるかどうかの決定を待っている。現在の計画としては、2020年代半ばの打ち上げを目指している。LiteBIRDは世界的に注目を集めているが、最終的にこの計画が採択されるためには、ミッション機器についてのKEKの寄与を確定することが必要となる。

更に、LiteBIRDが宇宙空間で実現するサーベイを地上でいち早く試し大角度相関を測定するGroundBIRD装置の開発研究も進めている。科研費基盤研究(S)「大角度スケールCMB偏光パターンの地上観測実験によるインフレーション宇宙の解明」(H27-31、代表・大谷知光(理研))の補助を得ている。

学生の教育にも力を注いでおり、2017年3月には総研大の学生2名が修士号を取得した。また、特別共同利用研究員として参加している東大の学生1名が博士号を、東北大の学生1名が修士号を獲得した。

以上のように、着実に新しい成果論文を出版し、かつ、将来に向けた準備も順調に進めている。今後の結果に期待していただきたい。