

宇宙マイクロ波背景放射(CMB)偏光観測実験グループ活動報告

2021 年 9 月 8 日 (文責) 羽澄 昌史

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 KEK CMB 観測グループ

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、私達が住むこの大宇宙の誕生と進化を研究するためには CMB の観測は欠かせない。

KEK の 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。現在の構成は教授 1 (羽澄)、研究機関講師 1 (長谷川)、助教 1 (デ・ハーン)、研究員 2 名 (金子、長崎)、大学院生 4 名である。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。いわば「宇宙全体が加速器になっていた時代があった」と言うのである。その検証は現代宇宙論の最重要課題の一つである。インフレーションは原始重力波の存在を予言する。その観測なしにはインフレーションの検証は完成しない。CMB 偏光の「B モード偏光」と呼ばれる渦パターンは、「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)、その測定は原始重力波を発見する最も感度の高い方法である。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) 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不可欠である。グループの現在の目標は

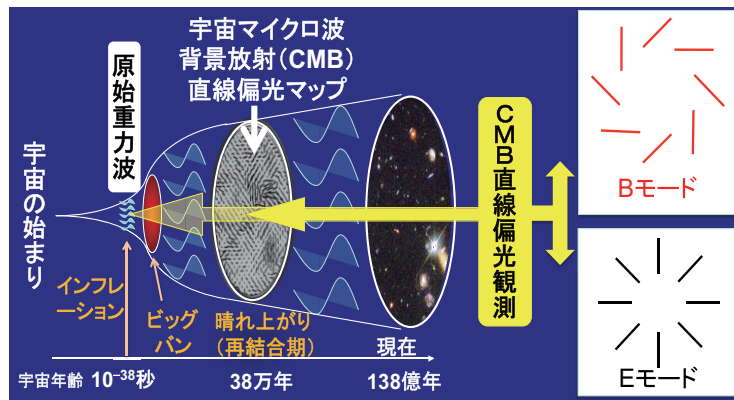


図 1: 宇宙の進化と宇宙マイクロ波背景放射 (CMB)

1) 本グループが提案し JAXA が採択したライトバード (LiteBIRD) 衛星計画を推進すること
2) ライトバードに資する地上観測を行い、宇宙論の成果を創出し、衛星の技術実証を行うこと

の二点である。以下では、主要プロジェクトのライトバード衛星計画と、地上観測実験ポーラーベア (POLARBear) を中心に、進捗を説明する。

2. ライトバード衛星計画：国際協力によるデザインの進展

ライトバード (図 2) は KEK CMB グループが提案した衛星計画で、従来の観測と比べておよそ 100 倍の感度で CMB 偏光観測を行うことを目指している。JAXA 宇宙科学研究所が戦略的中型衛星 2 号機に選定した計画で、2020 年代での打ち上げを目指している。2020 年代の世界唯一の CMB 偏光観測衛星となる可能性が高く、世界の宇宙論コミュニティから注目を集めている。JAXA 宇宙科学研による正式な選定が世界に示されたため国際協力がさらに進展し、現在 300 名を超える国内外の研究者が参加し、日米欧加が分担して協力する体制が整いつつ

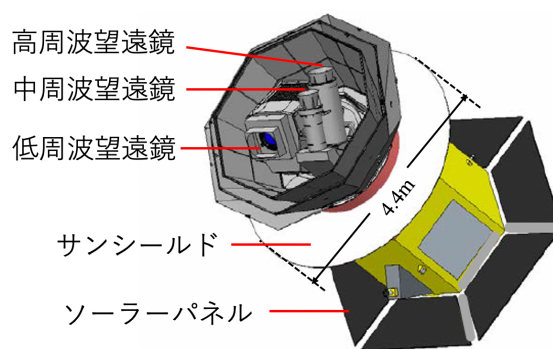


図 2: LiteBIRD 衛星概念図

ある。KEK CMB グループ代表の羽澄がライトバードの世界全体 PI を務めている。

およそ 100 倍の感度を達成するため、超伝導検出器を搭載した 3 台の望遠鏡により、CMB 偏光を全天にわたり精密観測する。大気の影響を受ける地上観測では到達できない感度を実現し、全天に渡る B モード偏光の全貌を明らかにする。15 バンドに及ぶ観測周波数を持ち、背景放射とその他の放射を地上では不可能なレベルで正確に分離できる。観測機器に関しては、日本グループは低周波観測のための望遠鏡を担当する。KEK は、これまで地上実験で培った技術と経験に基づき、米国グループと共同で望遠鏡の核心部に設置する超伝導センサーアレイシステムを開発する。さらに JAXA つくばキャンパスと KEK の所在地が近いという利点も生かしつつ、望遠鏡の組み立て、検証、較正と言う大役を担う。

前回の報告 (2020 年 12 月 14 日) 以降、様々な科学的・技術的な進展があった。国際光工学会 (SPIE) の主催する国際会議において、13 件の発表を行い、プロシーディングを投稿した。また、機械工学センターと共同で、低周波望遠鏡のミラーの 1/4 スケールモデルを作成した (図 3 左)。150 GHz のミリ波に対してこれを使うと、実機のミラーで $150/4=37.5$ GHz の電波を観測する場合と光学的に相似なシステムが作れる。これによりコンパクトなクライオスタットによる試験などが可能になる。37.5 GHz は、低周波望遠鏡がカバーする周波数の下限 (34 GHz) に近い。この領域でのビームのサイドローブや望遠鏡内での多重反射を実測することは極めて重要である。今後、基礎検証試験に 1/4 スケールモデルを役立てていく予定である。また、実機試験のための「KEK スペースチェンバー」の概念設計検討を進めた (図 3 右)。

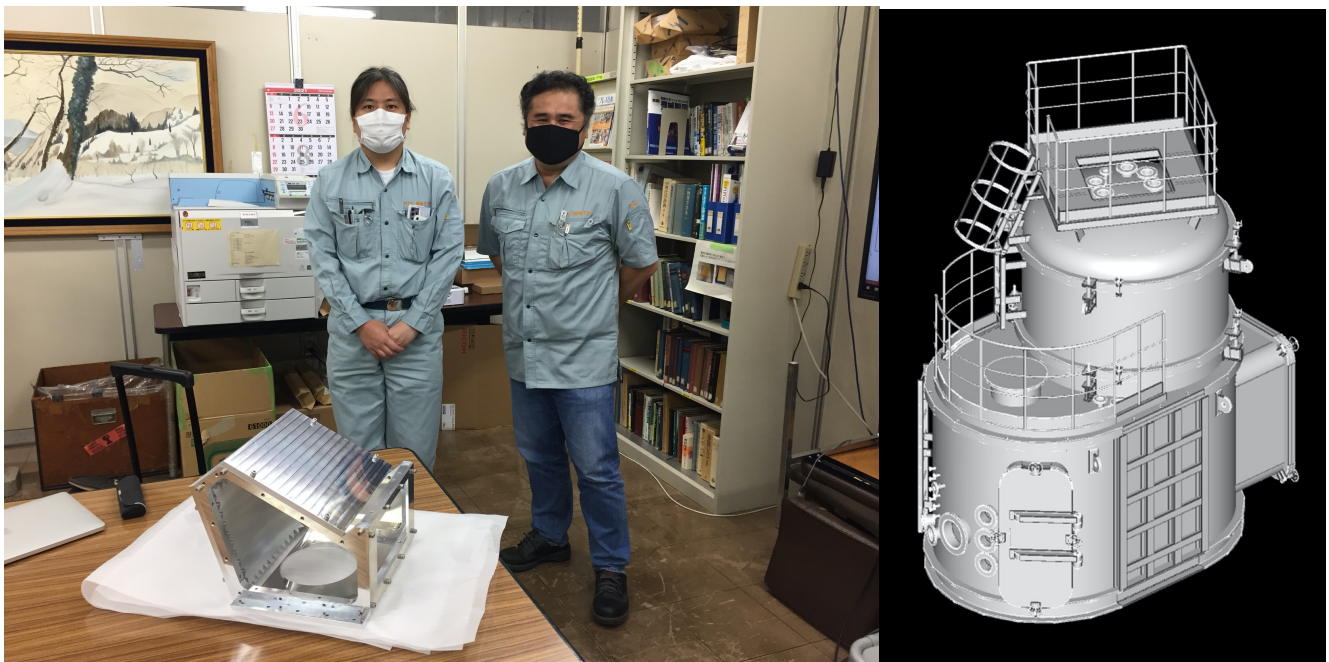


図 3：(左) 機械工学センターが作成した低周波望遠鏡の 1/4 スケールモデル。(右) KEK スペースチェンバー概念図。高さはおおよそ 6 メートル。

3. 地上観測の進展：ポーラーベア-2 の現状

KEK 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 467 となっている (2021 年 9 月 8 日現在)。KEK CMB グループはポーラーベア-1 の感度を 6 倍程度改善し、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 計画を提案し主導してきた。開発は 2009 年

に開始し、2018 年 8 月に KEK での総合試験が完了し、同年 10 月末にチリの観測サイトで設置作業をはじめ、2019 年初頭にファーストライトを得た後、試験観測を続けて来た。前々回報告 (2020 年 3 月 4 日) の直後から COVID-19 の影響で観測サイトでの活動の一時停止を決定した。その後、米国グループがチリ入国することが出来て、装置の再立ち上げを行い、現在は観測を再開している。なお、ポーラーベア-2 は、2009 年の発案時にはポーラーベア-1 受信機に使用したフアン・トラン望遠鏡に搭載する計画であったが、現在では、望遠鏡を 3 台用いて、90, 150, 220, 270 ギガヘルツの 4 バンドで観測を行うサイモンズアレイ計画の一部と位置付けている。サイモンズアレイでは、KEK のポーラーベア-2 受信機のデザインを土台にして改良を加えた受信機を米国側で 2 台作り、計 3 台の受信機を 3 台の望遠鏡に搭載する。米国側で作成する受信機の一がカリフォルニア大学サンディエゴ校での試験を終えてチリに送られ、現地で組み立て中である。心臓部の超伝導検出器アレイの写真を図 4 に示す。日本グループは 2020 年 3 月以降チリへの出張が出来ていないが、一刻も早く出張を再開し、観測・運用に貢献したいと考えている。

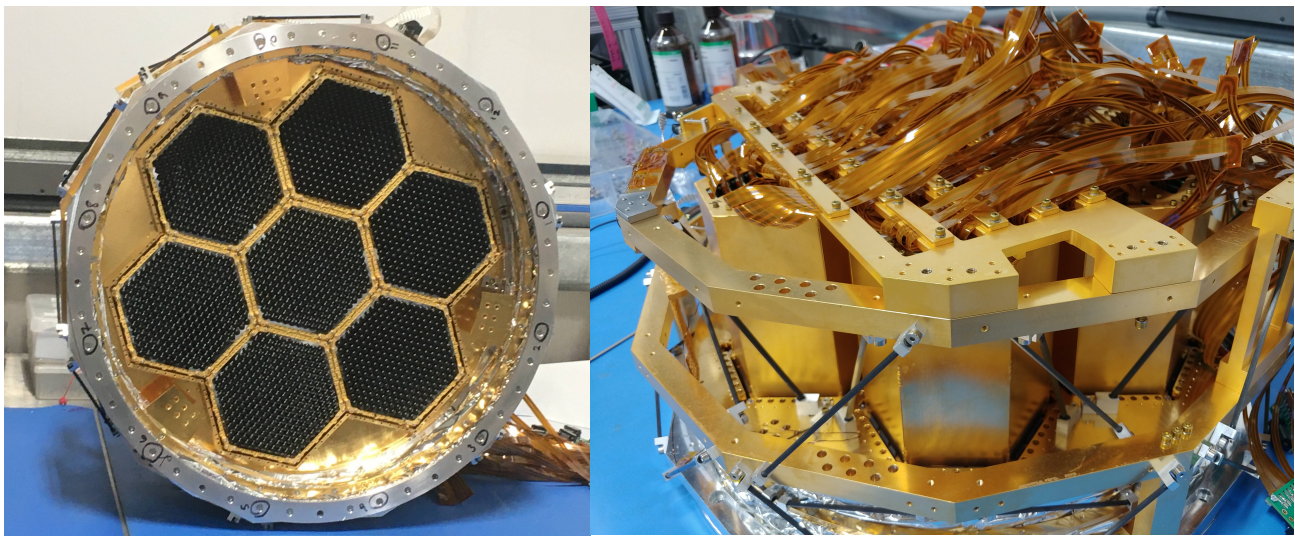


図 4 : ポーラーベア二号機の受信機の超伝導検出器アレイ。KEK が主導して開発した一号機のデザインをベースに米国グループが改良を加えて作成したもの。(左) 検出器面 (右) 裏側の冷却読み出しエレクトロニクスボックスと読み出しケーブル。