

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

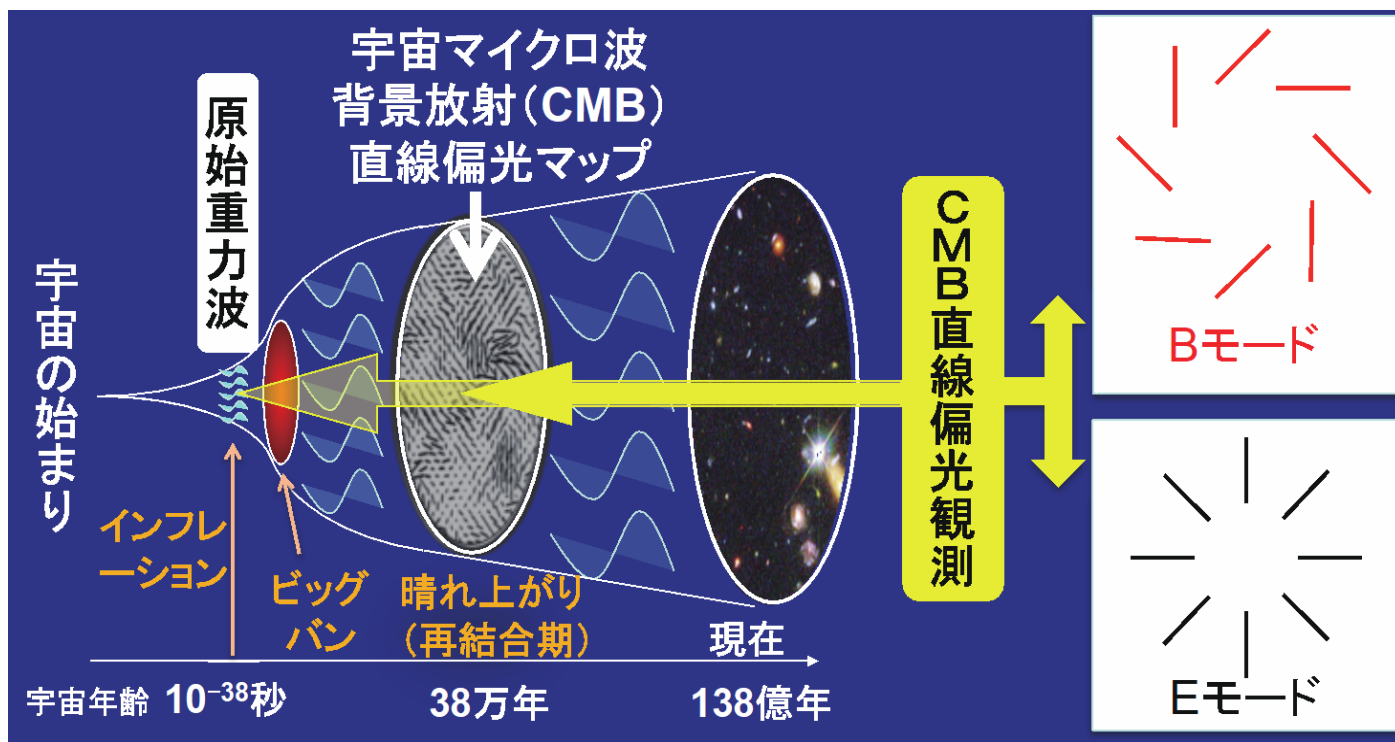


図 1：宇宙進化におけるインフレーションと CMB の関係

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・技術者を含めて機構横断的に研究を推進して来た。現在、科研費新学術領域研究（研究領域提案型）「加速宇宙」（H27-31、領域代表・村山 齊）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、2019 年 3 月に完了）などの補助を受けて活動している。

グループの正式名称は実験的宇宙物理 (Experimental Cosmophysics) 研究グループである。その目的は、「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」というものである。この目的のもとで、「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」を中心テーマに据えている。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ある。その加速機構の検証は現代宇宙論の最も重要な課題の一つである。インフレーションに起因する原始重力波の観測なしにはこの検証は完成しない。CMB 偏光 (B モード偏光) は、いわば「時空に浮かぶ天然の原始重力波記録装置」であり、その測定は原始重力波を発見するための最も感度の高い方法である (図 1 参照)。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

- 1) 人工衛星を用いた CMB 偏光観測を実現する
- 2) 目標 1) の直接的な助けとなる地上観測を行い、観測技術を実証し、宇宙論の成果を得る

の二点である。以下では、グループが推進している主要プロジェクト LiteBIRD 衛星計画と、いよいよ始まった地上観測実験 POLARBEAR-2 を中心に、進捗を説明する。

2. LiteBIRD 衛星計画：JAXA が LiteBIRD 戦略的中型衛星 2 号機に選定！

KEK CMB グループは究極の CMB 偏光観測を行う科学衛星計画 LiteBIRD を 2008 年に発案した。宇宙物理学委員会の承認のもとワーキンググループ（主査：羽澄昌史）が結成され、検討を開始した。2015 年 2 月に JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型衛星計画公募に LiteBIRD 計画を提案し、第一段階の審査（ミッション定義審査）、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、2016 年 9 月よりフェーズ A1（概念検討）を開始した。期間中に JAXA フェーズアップ定義が改定され、フェーズ A1 はプリフェーズ A2 という名称に変更されたので、以下ではプリフェーズ A2 と記述する。国際共同チーム全体の PI は羽澄が務め、宇宙科学研究所プリフェーズ A2 チームは堂谷教授がチーム長を務めた。2018 年 8 月にプリフェーズ A2 を完了し、終了審査が開始され、2019 年 5 月 9 日に審査が完了したことが確認された。その後ダウンセクションが行われ、宇宙科学研究所は戦略的中型衛星 2 号機として LiteBIRD を選定した。この結果は、5 月 21 日の宇宙科学・探査小委員会にて報告され、新聞報道もなされた。

図 2 に、LiteBIRD の概観を示す。超伝導検出器を搭載した二台の望遠鏡により、従来の観測と比べておよそ 100 倍の感度で 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で、全天に渡る B モード偏光の全貌を明らかにすることを目指している。また、15 バンドに渡る観測周波数を持つことにより、前景放射と背景放射を地上では不可能なレベルで正確に分離することができる。ミッション機器に関しては、日本グループは二台の望遠鏡のうち、低周波観測のための Low Frequency Telescope (LFT) 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、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、LFT のアセンブリ、インテグレーション、ヴェリフィケーション、キャリブレーション (AIVC) を担当することを検討している。

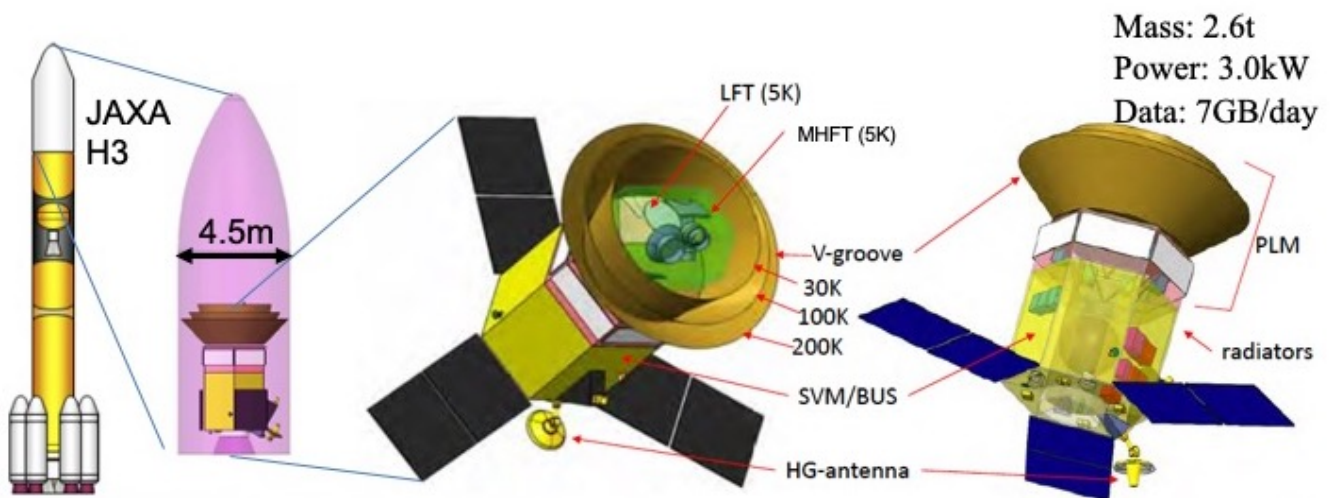


図 2：LiteBIRD 衛星の概観

プリフェーズ A2 中に国際協力の進展があり、現在約 200 名の国内外の研究者が活動している。米国 LiteBIRD グループは NASA から資金を得て超伝導検出器の技術開発を進めている。カナダグループも 2017 年 11 月にカナダ宇宙庁 (CSA) から資金を得て、2018 年 1 月から 7 ヶ月間の読み出しエレクトロニクス概念設計を行った。さらに、2018 年 8 月からは、サイエンスに関する検討のための新しい検討も CSA により承認された。ヨーロッパでは、ヨーロッパ LiteBIRD コンソーシアムが結成され、現在約 100 名のメンバーで検討を行っている。ヨーロッパは中・高周波観測用の望遠鏡 (MHFT) とサブケルビンの冷凍機を担当する予定である。ヨーロッパ宇宙庁 (ESA) もコンソーシアム及び JAXA からの要請を受けて、JAXA と共同で 2018 年 3 月～6 月の間に検討を行った。このように、日本・アメリカ・カナダ・ヨーロッパが分担して協力する体制が整いつつある。LiteBIRD は 2020 年代に打上がる世界で唯一の CMB 偏光観測衛星となる可能性が高いため、世界の CMB コミュニティおよび宇宙論コミュニティから注目を集めている。

本計画は、学術会議マスタープラン 2017 の重点大型研究計画に選ばれ、かつ文部科学省のロードマップ

2017 にも 10 計画の一つとして掲載されている。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 機構長が提案を行った。マスタープラン 2020 に対しても、2019 年 3 月にカブリ IPMU 機構長が提案を行った。

3. POLARBEAR-2 (ポーラーベア 2) 実験：チリでファーストライト！

POLARBEAR-2 は POLARBEAR-1 のアップグレード計画である。POLARBEAR-1 実験は、KEK、カブリ IPMU、米国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、フランス・パリ第 7 大学などが共同推進する地上 CMB 観測プロジェクトであり、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。有効直径 2.5m の主鏡を持ち、原始重力波に対する感度に加え、重力レンズに起因する CMB 偏光 B モードの観測に有利なデザインとなっている。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 年に発表した論文は引用度 226 となっている（2019 年 5 月 29 日現在）。

KEK CMB グループは POLARBEAR-1 の感度を 6 倍程度改善し、かつ 90、150GHz の同時観測で前景放射の影響を低減する POLARBEAR-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、9 月末にチリへの輸送を開始し、10 月末に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。現在試験観測を続行中である。POLARBEAR-2 受信機のサイモンズアレイ望遠鏡への設置作業の写真（図 3）とファーストライト（図 4）を示す。



図 3：チリ・アタカマ高地における POLARBEAR-2 検出器の設置作業

POLARBEAR-2 は、2009 年の発案時には POLARBEAR-1 受信機に使用した HTT 望遠鏡に搭載する計画であったが、現在では、望遠鏡を 3 台用いてより多くの周波数で観測を行う Simons Array（サイモンズアレイ）計画の一部と位置付けられている。サイモンズアレイでは、KEK が主導して開発した POLARBEAR-2 受信機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 台の望遠鏡に搭載し、90、150、220、270 GHz の 4 バンドで観測を行う予定である。

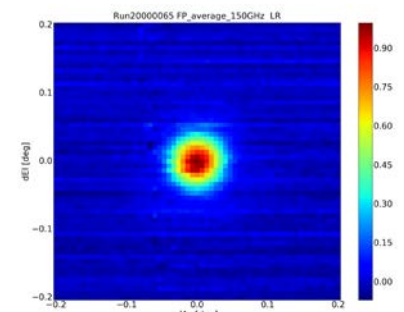


図 4：ファーストライト（金星）

4. その他の活動

さらに、客員准教授の田島治氏（京大）を中心に、大角度相関の測定を目指す GroundBIRD 装置の開発研究も進めた。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、2019 年 3 月にスペイン・カナリア諸島へ送り出し、観測の準備を進めている。