

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

Investigation of Inflation Cosmology with Ground-based
Experiment of Large-angle Distribution of CMB B-mode Polarization

課題番号：15H05743

大谷 知行 (OTANI CHIKO)

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究領域・チームリーダー



研究の概要

宇宙初期のビッグバンはインフレーションと呼ばれる時空の加速膨張を源とするという説が有力だが、インフレーションの存在はまだ立証されていない。インフレーション宇宙論の最も重要な予言が原始重力波の存在である。この原始重力波を測定するために、本研究では、宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の偏光に現れる特定のパターン「原始重力波 B モード」の検出を目指している。特に、これまでにない広天域を網羅する地上実験 GroundBIRD を実施し、広い空間周波数域のスペクトル測定を行い、世界初の原始重力波 B モード信号の検出を目指す。

研究分野：数物系科学

キーワード：宇宙物理（実験）

1. 研究開始当初の背景

宇宙初期の時空の加速膨張を仮定するインフレーション宇宙論は、宇宙の平坦性問題、モノポール問題、地平線問題といった現代宇宙論の課題を一挙に解決する仮説であり、その最も重要な予言が原始重力波の存在である。原始重力波を測定する最も有力な方法は、宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の偏光に表れる特定のパターン「原始重力波 B モード」の検出である。

2. 研究の目的

本研究では、従来の 25 倍に広い天空領域を網羅する地上実験 GroundBIRD を実施し、これまでにない広い空間周波数領域での空間スペクトル測定を行って、世界初の原始重力波 B モード信号の検出を目指す（図 1）。

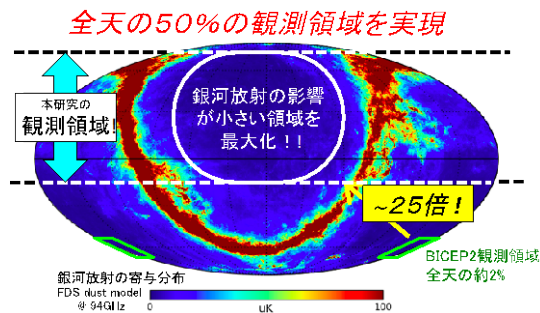


図 1. 本研究でカバーする観測領域

3. 研究の方法

現在、世界中の様々な実験が B モードの精密観測をめざして競争しているが、広い領域の観測は困難であった。その理由は、 $1/f$ ゆらぎと呼ばれる出力信号のベースラインゆらぎ対策、装置の系統誤差対策、銀河のダスト放射の影響の理解が不十分だからである。これに対し、本研究では (1) 望遠鏡の高速回転、(2) 2 周波数帯 (145, 220 GHz) の同時観測によるダスト成分の正確な除去、(3) 光学系冷却と最先端検出器 MKIDs の活用、(4) ワイヤグリッドを用いた偏光の高精度校正による系統誤差の最小化、といったアイデアによりこれらの困難を打破する。

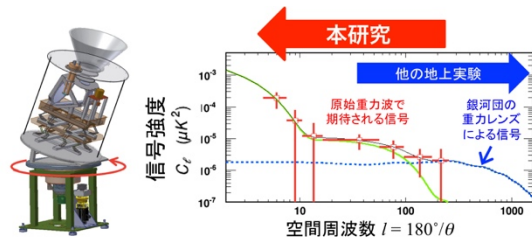


図 2. GroundBIRD 望遠鏡と 3 年間の観測で期待される空間スペクトル

4. これまでの成果

最終目標の達成に向けて、本課題では以下の 4 つの項目を軸に研究開発を推進してきた。

- ① 地上実験で広視野観測を実現する回転型望遠鏡を開発する。
- ② 冷却光学系を搭載するとともに最先端の超伝導検出器 MKID を開発し焦点面に搭載する。
- ③ 天体由来の系統誤差「前景放射」の除去を可能とする複数周波数を網羅する。
- ④ 高精度の検出器校正のために、ワイヤーグリッドによる校正を採用する。

①②では回転型望遠鏡の開発に成功した(図3左)。GroundBIRD望遠鏡に冷却光学系を搭載し、冷却温度4Kを達成するとともに、焦点面の冷却系を開発し到達温度250mK、連続冷却時間24時間以上を達成した。また、GroundBIRD望遠鏡の回転速度として20rpmでの冷却運転と低振動動作を確認した。

③では、検出器開発を進めるとともに、同一サイトで観測を進めるスペインQUIJOTE実験と密接な協力関係を構築し、世界最多の計8バンドの観測体制を確立した。これにより、前景放射の銀河系内ダスト成分、銀河系内シンクロトロン放射成分を精度良く決定でき、また、相関解析により高精度の前景放射除去が可能となった。このように、Bモード信号発見で最重要な前景放射除去に対して他実験にないアドバンテージを獲得した。

また④については、望遠鏡設置後にワイヤーグリッドを設置して実施する予定である。

これらの実現にあたっては、周辺技術の開発も達成してきた。まず、望遠鏡に搭載する超高感度の超伝導検出器MKIDを設計・作製し(図3右)、観測状況を模擬した環境下でノイズスペクトル測定や宇宙線イベントによる時定数測定などを行い、雑音等価感度 $NEP=2 \times 10^{-16} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{kHz}$ を実現した。

また検出器信号の読み出しに市販のFPGAボードと独自開発のアナログボード(RHEA)を組み合わせたハイブリッドシステムを採用して、機能性と信頼性の両立を図ったシステムを構築した。また、大領域観測に必須となる $1/f$ ノイズの低減にも成功した。

5. 今後の計画

平成30年度にスペイン・カナリア宇宙物理研究所(IAC)テイデ観測所での観測開始を目指し、準備を進めている。9月に全方向開放型ドームの設置工事を行ったのち、望遠鏡を設置する予定である。そして、校正実験等を行った後、本観測、データ解析を順次進めていく予定である。また、QUIJOTE望遠鏡とも密接な関係を堅持して、最善の科学的成果を挙げることを共通の目標として研究を進めていく予定である。

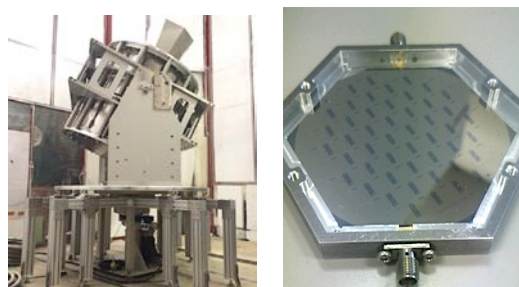


図3. GroundBIRD望遠鏡とMKID検出器

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

1. *T. Nagasaki, J. Choi, R. T. Génova-Santos, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, K. Karatsu, K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, K. Lee, S. Mima, M. Minowa, M. Nagai, M. Naruse, S. Oguri, C. Otani, R. Rebolo Lopez, J. A. Rubiño-Martín, Y. Sekimoto, M. Semoto, J. Suzuki, T. Taino, O. Tajima, N. Tomita, T. Uchida, E. Won, M. Yoshida, "GroundBIRD - observation of CMB polarization with a high-speed scanning and MKIDs", *J. Low Temperature Physics*, submitted (2017).
2. H. Kutsuma, J. Choi, R. T. Génova-Santos, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, K. Karatsu, K. Kiuchi, R. Koyano, K. Lee, S. Mima, M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, M. Naruse, S. Oguri, C. Otani, R. Rebolo Lopez, J. A. Rubiño-Martín, Y. Sekimoto, M. Semoto, J. Suzuki, T. Taino, *O. Tajima, N. Tomita, T. Uchida, E. Won, M. Yoshida, "Optimization of geomagnetic shielding for MKIDs mounted on rotating cryostat", *J. Low Temperature Physics*, submitted (2017).
3. H. Watanabe, *S. Mima, S. Oguri, M. Yoshida, M. Hazumi, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, C. Otani, N. Sato, O. Tajima, N. Tomita, "Development of an Optical Coupling with Ground-Side Absorption for Antenna-Coupled Kinetic Inductance Detectors", *IEICE Trans. Electron.* vol. E100-C, pp. 298-304 (2017).
4. *S. Oguri, J. Choi, T. Damayanthi, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, K. Karatsu, S. Mima, M. Minowa, T. Nagasaki, C. Otani, Y. Sekimoto, O. Tajima, N. Tomita, M. Yoshida, E. Won, "GroundBIRD - observing cosmic microwave polarization at large angular scale with kinetic inductance detectors and high-speed rotating telescope", *J. Low Temperature Physics*, vol. 184, pp. 786-792 (2016).

ホームページ等

<https://5413031k.wixsite.com/kyoto-cmb>