

Title	Characterization of a continuous polarization modulator using a half-wave plate for measurements of degree-scale cosmic microwave background with the POLARBEAR experiment
Author(s)	高倉, 理
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/67054">https://doi.org/10.18910/67054</a>
DOI	10.18910/67054
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 高 倉 理 )	
論文題名	Characterization of a continuous polarization modulator using a half-wave plate for measurements of degree-scale cosmic microwave background with the POLARBEAR experiment (POLARBEAR実験による数度スケールの宇宙マイクロ波背景放射観測に向けた半波長板を用いた連続偏光変調機構の評価)
論文内容の要旨	
<p>インフレーションは、熱いビッグバン以前の宇宙最初期に加速膨張が起こったとする仮説であり、これまでの宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) などの精密観測により良く支持されている。しかし、インフレーション理論の最も重要な予言である原始重力波は未だ観測されていない。原始重力波ゆらぎと密度ゆらぎの大きさの比であるテンソル・スカラー比 <math>r</math> はインフレーションのエネルギースケールと直接結びついており、実験室では到底到達できないような超高エネルギーにおける物理法則解明の手掛かりとなる。Bモードと呼ばれるCMBの偏光非等方性は <math>r</math> の値に制限を与えることができるユニークな観測対象である。そのためには<math>2^\circ</math> 程度の角度スケールの非等方性の観測が重要である。一方、CMBのBモード偏光は宇宙の大規模構造による重力レンズ効果によっても作られ、その信号は<math>0.1^\circ</math> 程度の角度スケールに現れる。<math>r</math> が<math>0.01</math> よりも小さい場合、重力レンズ効果起源Bモードも精密観測し、その影響を取り除く必要がある。</p> <p>POLARBEARは、微弱なCMBのBモード信号観測のための超高感度超伝導検出器と、<math>0.06^\circ</math> の角度分解能を持つ口径<math>2.5\text{m}</math>の望遠鏡を用いた地上CMB観測実験である。2012年に観測を開始したのち、2年間にわたって小角度領域の観測を行い、重力レンズ効果起源Bモードの観測を達成した。これはCMBの偏光観測情報のみを用いて重力レンズ効果起源Bモードの存在を十分な有意性で検証した世界で初めての成果である。</p> <p>しかし、原始重力波起源Bモード観測にはいくつかの重要な課題が残されている。そのうちの一つは、大気ゆらぎ、装置の温度変化、検出器の特性変化によって生じる低周波数ノイズ (<math>1/f</math>ノイズ) である。その対策として、本研究では、これまでに提案されている連続回転半波長板を用いた偏光信号の変調による手法を採用した。まず、半波長板の角度に related した信号、検出器の非線形性、ビームの非理想性、そして、全てのノイズ源を考慮した、包括的な検出器の信号のモデルを構築した。また、連続回転半波長板の試作機を開発し、POLARBEARを用いたテスト観測でその性能を評価した。その結果、かなりの無偏光信号から偏光信号への漏れ込みが検出器の非線形性により生じていることがわかったが、漏れ込みの除去を行うことで球面調和関数の次数 <math>\ell \lesssim 40</math> までの観測を達成できることを示した。さらに、連続回転半波長板による装置由来の系統誤差の影響が十分小さいことも見積もった。これらの結果は大口径の地上CMB観測望遠鏡における連続回転半波長板の実証において初めての成果である。</p> <p>連続的な偏光信号の変調技術を用いることで、将来のCMB観測実験は小角度スケールから大角度スケールにわたるCMB非等方性、特にBモードの角度パワースペクトルを、かつてない統計精度で、かつ、最小限の系統誤差で測定することができる。そして、テンソル・スカラー比 <math>r</math> や、スカラーゆらぎのスペクトル指数 <math>n_s</math> の制限を、<math>\sigma(r) &lt; 0.001</math>、<math>\sigma(n_s) &lt; 0.001</math> のレベルまで改善することが期待される。その結果、主要なインフレーションのモデルを選別することが可能となり、背後にある超高エネルギーの物理に光をあてることができるだろう。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 高 倉 理 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	長峯健太郎
	副 査	教授	芝井広
	副 査	教授	大野木哲也
	副 査	教授	羽澄昌史 (高エネルギー加速器研究機構)
	副 査	准教授	藤田裕

## 論文審査の結果の要旨

インフレーション理論は、宇宙最初期に指数関数的膨張が起こったとする仮説であり、これまでの宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) などの精密観測により良く支持されている。しかし、インフレーション理論の重要な予言である原始重力波は未だ観測されていない。原始重力波ゆらぎと密度ゆらぎの大きさの比であるテンソル・スカラー比  $r$  はインフレーションのエネルギースケールと直接結びついており、実験室では到底到達できないような超高エネルギーにおける物理法則解明の手掛かりとなる。B モードと呼ばれる CMB の偏光非等方性は  $r$  の値に制限を与えることができるユニークな観測対象である。そのためには  $2^\circ$  程度の角度スケールの非等方性の観測が重要である。一方、CMB の B モード偏光は宇宙の大規模構造による重力レンズ効果によっても作られ、その信号は  $0.1^\circ$  程度の角度スケールに現れる。 $r$  が 0.01 よりも小さい場合、重力レンズ効果起源 B モードも精密観測し、その影響を取り除く必要がある。

高倉氏が参加している POLARBEAR 実験は、微弱な CMB の B モード信号観測のための超高感度超伝導検出器と、 $0.06^\circ$  の角度分解能を持つ口径 2.5m の望遠鏡を用いた地上 CMB 観測実験である。2012 年に観測を開始したのち、2 年間にわたって小角度領域の観測を行い、重力レンズ効果起源 B モードの観測を達成した。これは CMB の偏光観測情報のみを用いて重力レンズ効果起源 B モードの存在を十分な有意性で検証した世界で初めての成果である。

しかし、原始重力波起源 B モード観測にはいくつかの重要な課題が残されている。そのうちの一つは、大気ゆらぎ、装置の温度変化、検出器の特性変化によって生じる低周波数ノイズ ( $1/f$  ノイズ) である。その対策として、高倉氏の博士論文研究では、連続回転半波長板を用いた偏光信号の変調による手法を採用し、半波長板の角度に相関した信号、検出器の非線形性、ビームの非理想性、そして全てのノイズ源を考慮した包括的な検出器の信号のモデルを構築した。また、連続回転半波長板の試作機を開発し、POLARBEAR を用いたテスト観測でその性能を評価した。その結果、かなりの無偏光信号から偏光信号への漏れ込みが検出器の非線形性により生じていることがわかったが、漏れ込みの除去を行うことで球面調和関数の次数  $\ell \lesssim 40$  までの観測を達成できることを示した。さらに、連続回転半波長板による装置由来の系統誤差の影響が十分小さいことも見積もった。これらの結果は大口径の地上 CMB 観測望遠鏡における連続回転半波長板の実証において初めての成果であり、すでに高倉氏を筆頭著者とする以下の論文に出版されている: "Performance of a continuously rotating half-wave plate on the POLARBEAR telescope" Takakura, S. et al. 2017, JCAP, 05, 008.

高倉氏が実証した連続的な偏光信号の変調技術を用いることで、将来の CMB 観測実験は小角度スケールから大角度スケールにわたる CMB 非等方性、特に B モードの角度パワースペクトルを、かつてない統計精度と最小限の系統誤差で測定することができる。そして、テンソル・スカラー比  $r$  やスカラーゆらぎのスペクトル指数  $n_s$  の制限を、 $\sigma(r) < 0.001$ 、 $\sigma(n_s) < 0.001$  のレベルまで改善することが期待される。その結果、主要なインフレーションのモデルを選別することが可能となり、背後にある超高エネルギーの物理を探索できるようになるであろう。このような意味で、高倉氏の博士論文研究は今後の CMB 実験にとって非常に重要な意味を持つものである。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値のあるものとして認める。