

CMB偏光観測衛星 LiteBIRDの系統誤差研究

LiteBIRD ワーキンググループ

小栗秀悟、木村誠宏、佐藤伸明、鈴木敏一、田島治、茅根裕司、都丸隆行、**永田竜、**羽澄昌史(PI)、長谷川雅也、服部香里、松村知岳、森井秀樹、山口博史、吉田光宏(KEK) 秋葉祥希、石塚光、井上優貴、渡辺広記(総研大)高倉理(大阪大)

河野功、坂井真一郎、佐藤洋一、篠崎慶亮、杉田寛之、竹井洋、西堀俊幸、野田篤司、福家英之、満田和久、山崎典子、吉田哲也、四元和彦、和田武彦(JAXA) 永井誠(筑波大)高田卓(核融合研)石野宏和、樹林敦子、岐部佳朗(岡山大)

Adan Ghribi, William Holzapfel, Adrian Lee (US PI), Paul Richards, Aritoki Suzuki (UC Berkeley) Matt Dobbs (McGill University) Julian Borrill (LBNL) 小松英一郎(MPA)片山伸彦、西野玄記(Kavli IPMU)中村正吾、夏目浩太、水上邦義(横浜国大)鵜澤佳徳、唐津謙一、関本裕太郎、野口卓(国立天文台) 成瀬雅人(埼玉大)小川英夫、木村公洋、高津湊(大阪府大) 大谷知行、美馬覚、古賀健祐(理研) 石徹白晃治、服部誠、森嶋隆裕(東北大) 大田泉(甲南大)

研究の背景



数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起 こったか」の指標 である。 マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を 目指して現在進行中の計画である。

原始重力波に由来する偏光は、既に観測で確認されている密度揺らぎに由来する信号に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、 その検出に向けた取り組みにおいては、高感度の装置を開発するだけでなく、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。測 定装置の特性に要求される精度や、宇宙環境における放射線の影響とその手当てに関して、本ポスターで紹介する。





大角度の温度揺らぎと結合しないため、系統誤差のスペクトル形 状を議論する分には、LiteBIRD の観測戦略に影響しにくいと言え る。これは、ビーム中心のミスマッチやビーム楕円率のミスマッチに ついても同様である。

によって、典型的な偶パリティパターン

が奇パリティに変換される例。

100 1000 イマフさわた 提合の	ellipticity		0.04 % @ ell=300	/0	
系統誤差。 含しないため、系統誤差のスペクトル形 BIRD の観測戦略に影響しにくいと言え スマッチやビーム楕円率のミスマッチに	Pointing knowledge	Pattern modulation	6 arcmin.	25 arcmin.	20deg. × 30deg. FOV
	Abs. gain calibration		Parity preserved	3 %	Calibration in every 10 min.
	Beam size stability		Parity preserved	O(10%)	
	Angle calibration		1 arcmin.	24 arcmin.	
「二二」「二二」「二二」「二二」「二二」「二二」「二二」「二二」「二二」「二二	$\begin{bmatrix} 10^{2} \\ 1 \\ 10^{-2} \\ 10^{-2} \\ 10^{-2} \\ 10^{-2} \\ 10^{-2} \\ 10^{-2} \\ 10^{-10} \\ $	noise elated eneous 		伝光角の 来 TauA な となること。 すれてした。 は てれまが要 り、 は たな	較 正 は 、 従 ど 板 を 行 て 医 BIRD で 校 お て で 取 を 行 て で 取 を 行 て で 取 を 行 で で あ で が の を て 行 の を の て で あ で の を ろ で の で の を ろ で う で の で の で の で の で の で の で の で の で の
				求められてし	いる。

原始重力波由来の奇パリティパターンは偶パリティパターンと相関しな い、という性質を仮定することで要求を緩和できるが、パリティに関する サイエンスの一部を諦めることに繋がる。図は時々刻々の偏光角の測 定に1分の誤差がある場合の系統誤差を示したもの。

おいて大きな障害となる。これは形式的に光路の屈折と同等のもの であり、よく知られた重カレンズ効果と相似的な系統誤差をもたらす。





図は時々刻々の指向決定に 10 秒のバイアスが生じた場合の系統 誤差を示したもの。誤差源はいくつかの成分に分かれるが、とりわ け衛星のスピン運動に沿った指向決定バイアスによって、偽の奇パ リティ信号が数十度角スケールに構造を作ってしまうことがわかる。



変化してしまっている。

偏光角較正誤差

宇宙環境において、高エネルギー放射線が検出器系統に飛び込んで

パリティ変換に対して不変な円状のパターン(青)が、場所毎に偏光

角がバイアスされることで、渦巻き状の奇パリティパターン(赤)へと

左の陽子fluxの形を

い入力fluxとした。

内側に放射する。

GeneralParticlSourceを用

保護シールドは球形のアルミ

3g/cm² を仮定し、中心に六

角形のシリコン検出器を配

置。 陽子はアルミシールド

より大きい球形(半径R)から





 $2\pi \left[\mu K^{2}\right]$

 $l(l+1)C_l$

 N_r Geant4で見積もった数(s)を現実(r)に宇宙環境

きて起こるグリッチ現象が問題になっている。LiteBIRD焦点面検出器で のグリッチのレートを見積もった。系統誤差への影響を今後検証していく。

SPENVISによる放射線fluxの予測



ここでは特にL2軌道を仮定 している。 左はSPENVIS[1]による銀 河宇宙線のflux。 使用モ デルはCREME96。 低エ <u>ネルギーでのfluxの増加は</u> SAMPEXのデータによる。

p://www.spenvis.oma.be/; [2] G. Santin, Geant4 tutorial, Paris 2007; [3] "Geometric factor and directional response of single and multi-element particle telescopes ", J. D. Sullivan, 1971; [4] Planck 2013 results X; [5] Planck Explanatory Supplement



LiteBIRD焦点面検出器。 一つの六角形のシリコン検出器 (厚さ300µmを仮定。)に入射する 放射線の数をGeant4を使って見 積もる。



X,は宇宙環境で検出器にヒットする粒子の数、X。はシミュレーショ ンで検出器にあたった2次粒子を含む粒子の数、N_sはシミュレー ションで走らせた1次粒子の数、Φは積分宇宙線陽子fluxに値する。

結果、1秒に約3個の粒子が六角形ウェハー1個にヒットする。



また、焦点面でのflux(ϕ_{det})は検出器の表面積 (S_{def})に依存する。 ~ 4.3 hits/cm² sという結果 はPlanck[4]の ~ 5 hits/cm² · sとほぼ一致する。

<u>今後</u>

glitchのtail(形はPlanck参考)を、上記レートでtime-orderedinformationに挿入し、解析パイプラインに通し、glitchの系統誤差 を見積もる。検出可能(不可能)をnoise levelのある倍数以上(以 下)で見積もり、検出不可能なglitchの誤差を上限値とする[5]。

