

2015/3/19

日本天文学会 2015 年春季年会

CMB偏光観測衛星 LiteBIRD における 系統誤差の研究 V

永田 竜(KEK 素核研 CMB)

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、長谷川雅也、服部香里、森井秀樹、山口博史、吉田光宏、秋葉祥希、石塚光、井上優貴、瀬川優子、渡辺広記、高倉理、宇都宮真、河野功、坂井真一郎、佐藤洋一、篠崎慶亮、杉田寛之、竹井洋、西城邦俊、西堀俊幸、野田篤司、福家英之、松原英雄、松村知岳、満田和久、山崎典子、吉田哲也、四元和彦、和田武彦、石野宏和、樹林敦子、岐部佳朗、山田要介、William Holzapfel、Adrian Lee、Paul Richards、Aritoki Suzuki、Yasuto Hori、Matt Dobbs、Julian Borrill、永井誠、片山伸彦、西野玄記、中村正吾、夏目浩太、水上邦義、入江郁也、藤野琢郎、山下徹、井上将徳、岡田望、小川英夫、木村公洋、高津湊、高田卓、小松英一郎、石徹白晃治、服部誠、森嶋隆裕、大田泉、成瀬雅人、並河俊弥、鹿島伸悟、唐津謙一、関本裕太郎、野口卓、鶴澤佳徳、大谷知行、古賀健祐、美馬寛 他

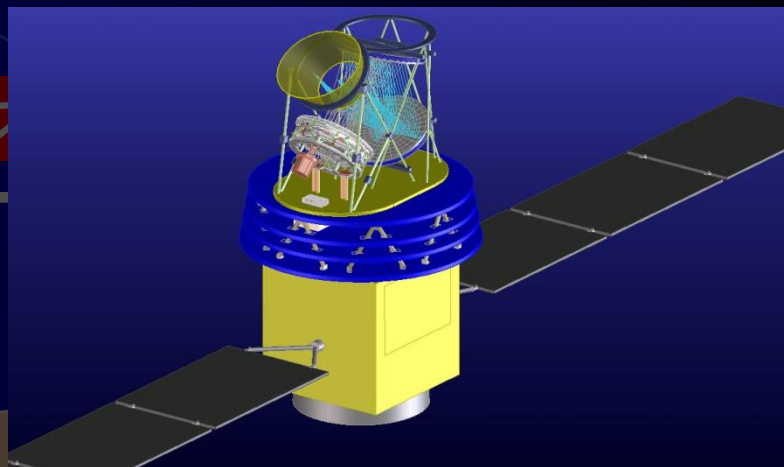
インフレーションと原始重力波

インフレーション時代 輻射とプラズマ

LiteBIRD プロジェクト概要

10^{-38} 秒

- サイエンスゴール
インフレーション理論の検証
- 観測
マイクロ波背景輻射(ミリ波)偏光の全天地図作成(30分角まで分解)
- 戦略
 - インフレーション由来の原始重力波に特化した観測
 - 大型望遠鏡による地上観測との相乗効果
- プロジェクトの現況
 - JAXA 科学衛星ワーキンググループの1つ
 - 2020年代前半の打ち上げを目指し、100名を超える実験コミュニティにより検討を推進中

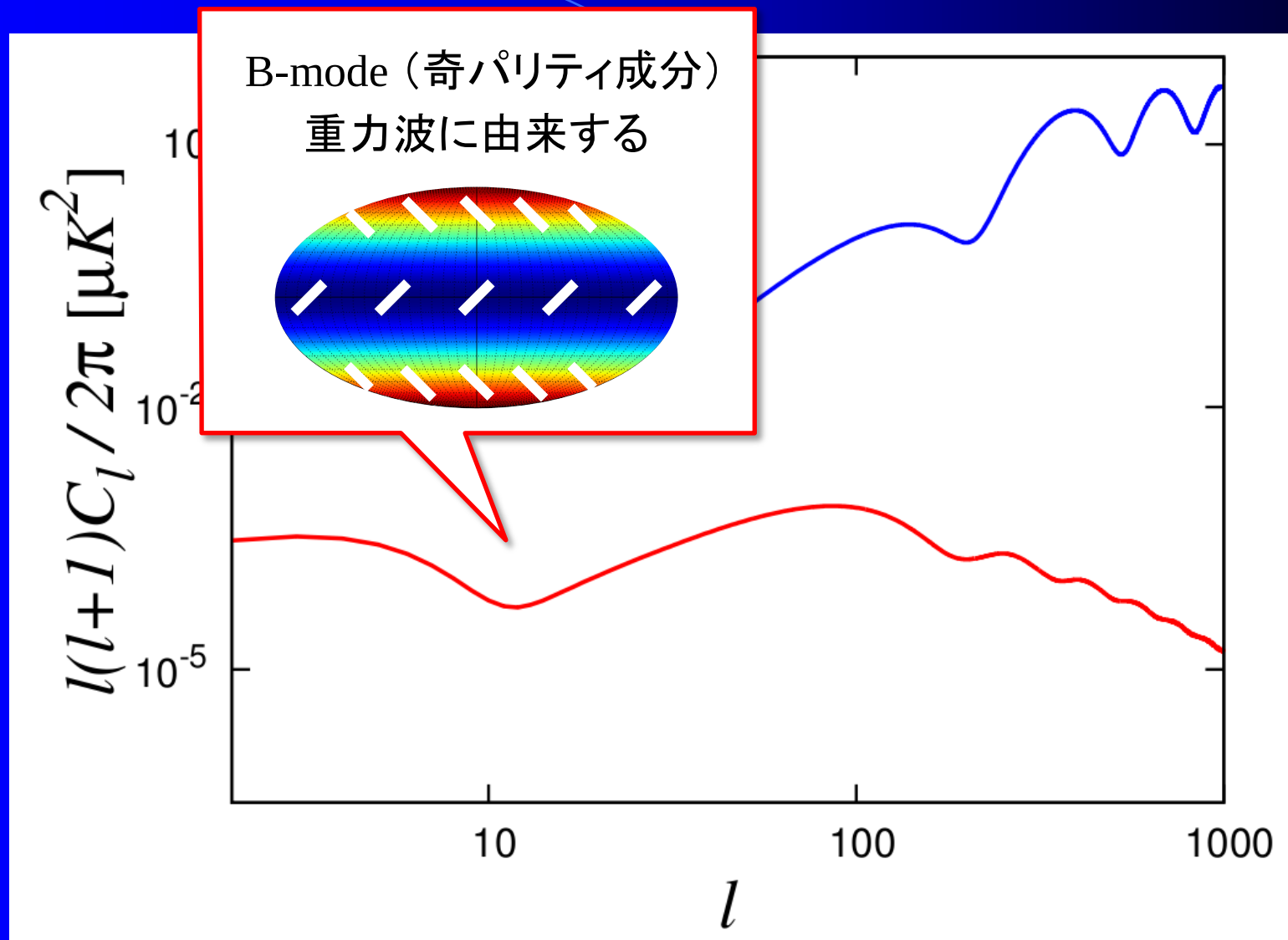


電子

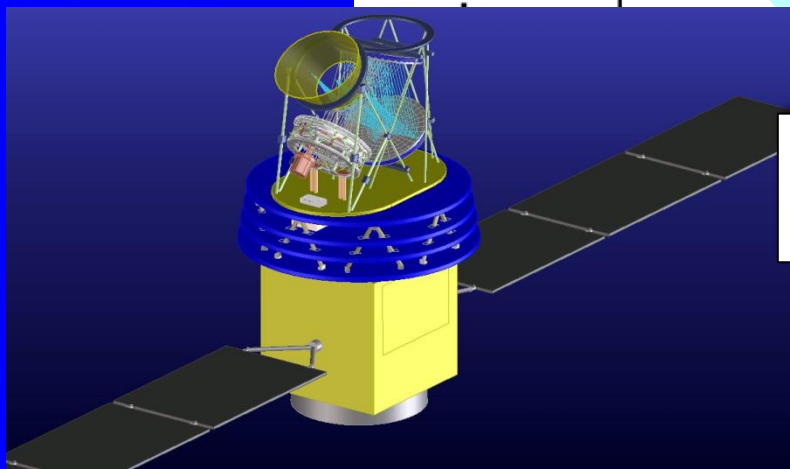
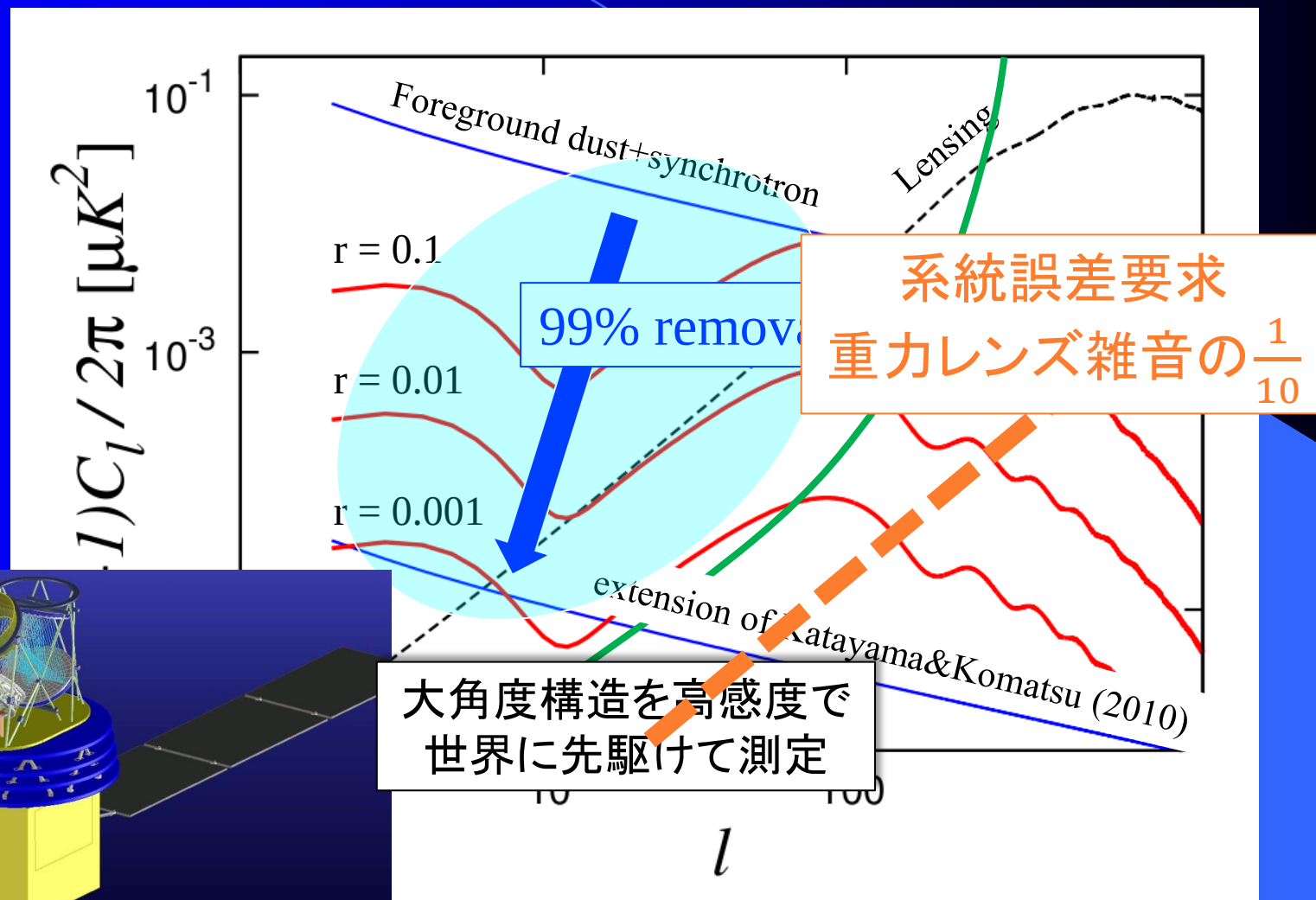
偏光

クォーク

LiteBIRD による偏光地図の作成



LiteBIRD の観測戦略と系統誤差要求



潜在的な系統誤差群

- **differential gain calibration**
- **differential beam width**
- **differential beam pointing**
- **differential beam ellipticity**

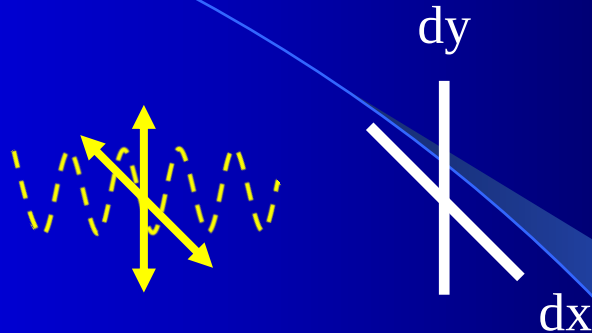
false polarization

- pointing knowledge
- absolute gain calibration
- beam size stability
- angle calibration

pattern distortion

差分偏光計と検出器特性のミスマッチ

偏光測定の実理



$$dx = (\text{無偏光成分}) + (\text{偏光成分})$$

$$dy = (\text{無偏光成分}) - (\text{偏光成分})$$

~~$$\Rightarrow (dx - dy)/2 = (\text{偏光成分})$$~~

検出器特性が等価でないとき残差が生じる

$$(\text{無偏光成分 X}) - (\text{無偏光成分 Y}) \neq 0$$

$\Rightarrow$ 偽偏光の生成

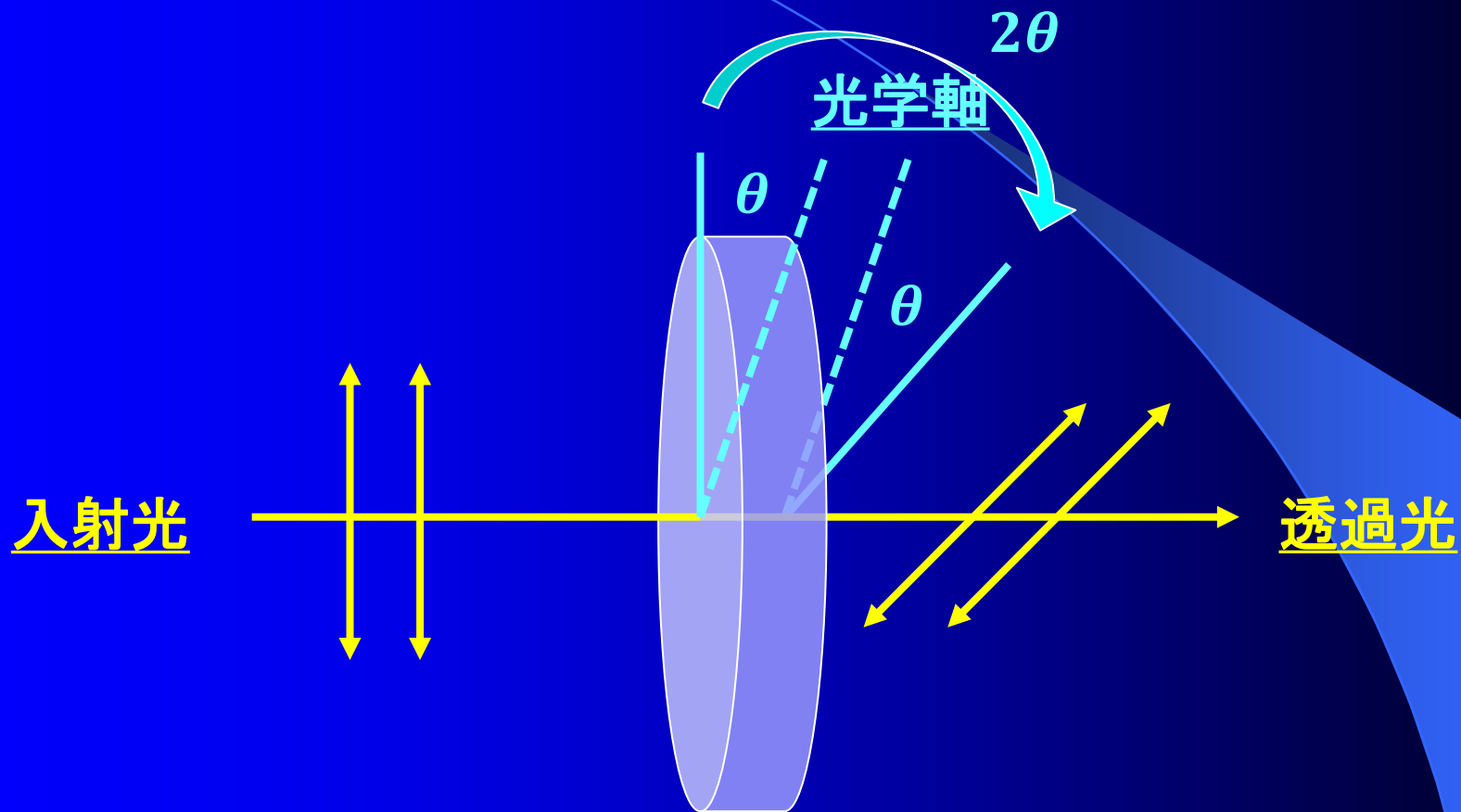
検出器特性のミスマッチによる偽偏光

検出器の較正精度に対して非常に厳しい要求を課す

Effects	Types	Requirement in bias case (L2)	Requirement in random case	Notes
Diff. beam width	False polarization	0.8 % @ ell=2 0.2 % @ ell=200	2 %	Instantaneous
Diff. beam pointing		3 arcsec.	20 arcsec.	Focal plane average eases them by (up to) one order of magnitude.
Diff. beam ellipticity		7 % @ ell=2 0.04 % @ ell=300	3 %	
Diff. gain calibration		0.002 %	0.04 %	Calibration in every 10 min.

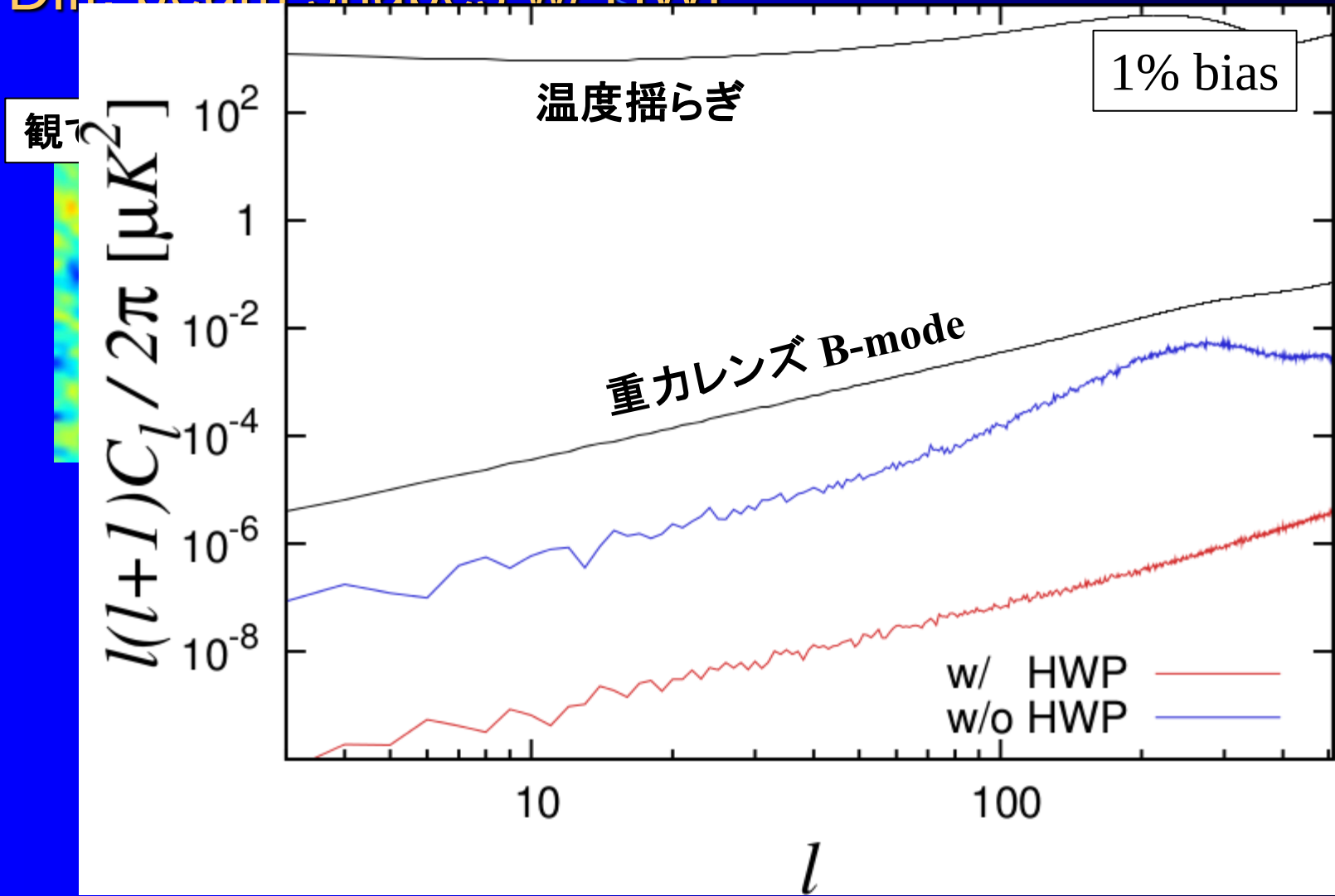
ゲインやビーム形状といったミスマッチを厳しく抑制する必要がある

偏光変調器(連続回転半波長板)

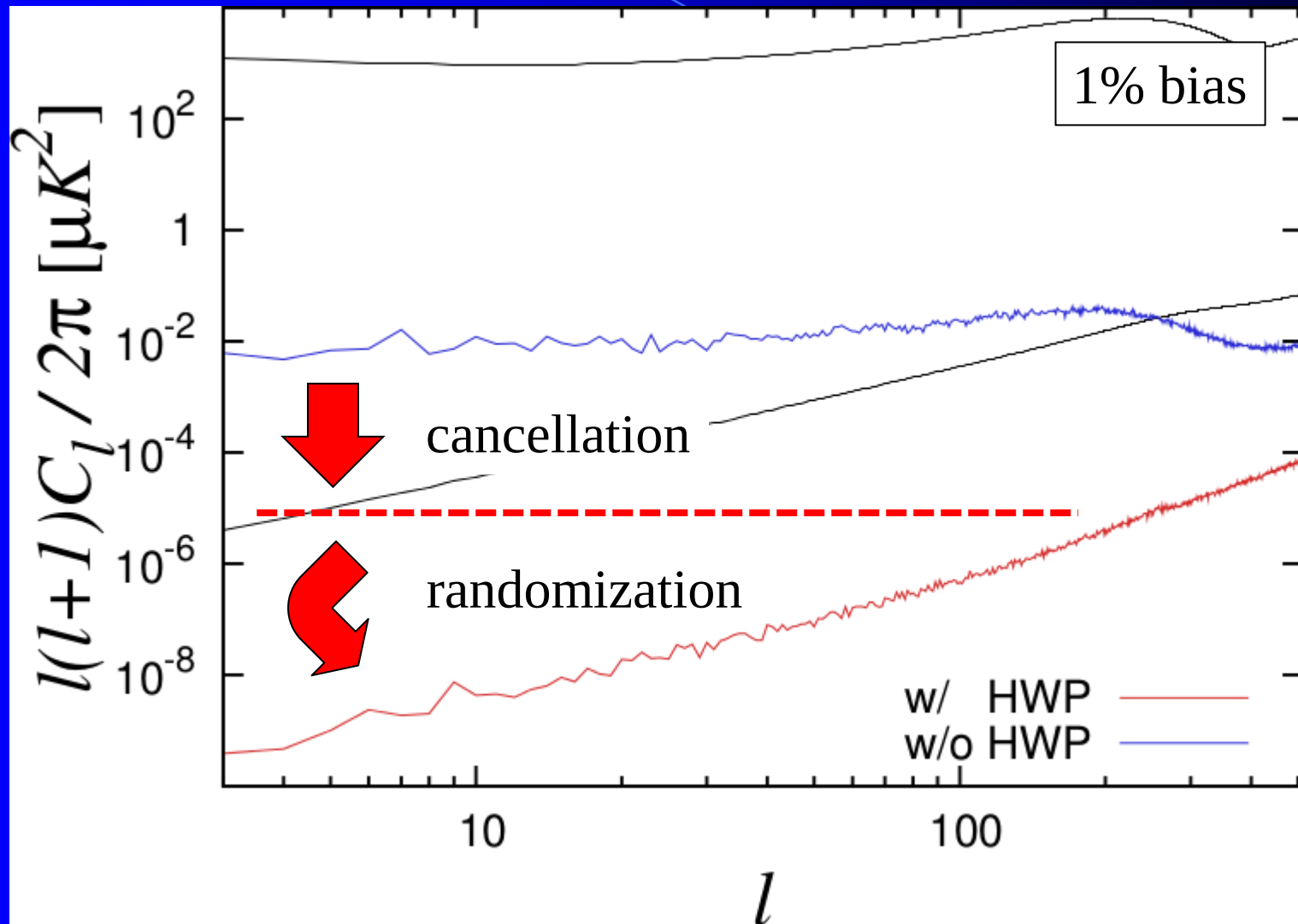


半波長板(光学軸)が回転することで偏光成分だけが変調される

Diff beam shapes w/ HWP



Diff. gain calibration w/ HWP



Temperature leakage with and without HWP

Effects	Requirement w/o HWP	Requirement w/ HWP
Diff. beam width	0.8 % @ ell=2 0.2 % @ ell=200	10 %
Diff. beam pointing	3 arcsec.	2 arcmin.
Diff. beam ellipticity	7 % @ ell=2 0.04 % @ ell=300	10 %
Diff. gain calibration	0.002 %	3 %

精度要求が二桁から三桁程度緩和される

HWP 採用にあたっての課題

- HWP 由来の系統誤差の検討
定在波の影響、透過率等の HWP の物理特性の非一様性、
回転の安定性やそのモニター精度 e.t.c. 。
- 検出器対の差分に依らない偏光測定の手組みを整備
偽偏光の相殺は一個の検出器のサンプル間で差分を取れば可能。

$$dx1 = (\text{無偏光成分Hot}) + (\text{偏光成分})$$

$$dx2 = (\text{無偏光成分Hot}) - (\text{偏光成分})$$

$$(dx1 - dx2) / 2 = (\text{偏光成分})$$

短時間ではそこそこ安定だと思えるもの(ビーム径、ゲイン)に由来する系統誤差には強いと期待される。

一方、時々刻々スキャンと共に動いていくもの(ビーム指向、楕円軸)では慎重な検討を要する。

Summary

LiteBIRD の系統誤差研究の一つとして、検出器特性のミスマッチに由来する偽偏光を検討し、連続回転半波長板によるその抑制度を評価した。

- ビーム形状のミスマッチに由来する偽偏光の生成では
ビーム径のミスマッチの場合で 10%、
ビーム指向のミスマッチの場合で 2arcmin、
ビーム楕円率のミスマッチの場合で 10% まで許容されるようになる。
- ゲインのミスマッチに由来する偽偏光の生成では
3% のミスマッチまで許容されるようになる。

(検出器ペア 1000個で統計が稼げるとすれば、さらに一桁程度緩和される)

今後は半波長板自体に由来する系統誤差の洗い出しを行うと共に、
検出器対の差分に依らない偏光測定の枠組みの検討を進めていく。