

LiteBIRD 衛星の光学系特性評価

永田 竜 (高エネルギー加速器研究機構)

利用カテゴリ XC-trial (2017年 4月から 9月迄)、XC-B (10月よりカテゴリ変更)

研究概要

インフレーション宇宙に由来する原始重力波の信号強度は、インフレーションのエネルギースケールの指標となる観測量である。LiteBIRD はマイクロ波背景輻射偏光の奇パリティパターンに刻印された原始重力波の信号検出を目指す衛星観測計画である。原始重力波に由来する信号は、既に測定されている密度揺らぎ由来の信号に比べて遥かに微弱なものであると予想されており、偏光測定に付随する系統誤差の同定と低減が精密観測の達成に本質的な役割を果たす。

望遠鏡ビームパターンのサイドローブを経由する輻射の流入は、LiteBIRD の観測によって得られる偏光地図の大角度相関において最大の汚染源の一つと懸念されている。本研究では、走査観測計算と同期したビーム畳み込みの数値積分を実行し、光学特性の詳細を反映した観測データのシミュレーションを実現、サイドローブ由来の系統誤差の定量化を行った。

数値計算

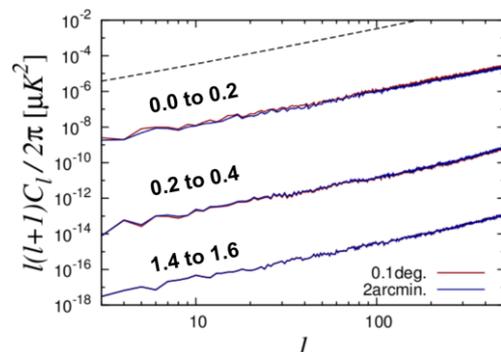
分角サイズの構造を持ったビーム関数の畳み込みを、全天を積分範囲として行った。LiteBIRD は走査観測による広域探査であるため、同様の計算を約 20Hz の頻度で（望遠鏡の指向方向や姿勢を動かしつつ）一年間分繰り返す。疑似データ列中の一標本毎に、座標変換と、数百万グリッド点での被積分関数の評価が伴うものである。

前景放射については、Planck の観測等の最新の知見を反映したモデルデータの供給を受けた。ビーム関数については望遠鏡の構造を反映した物理光学計算 (GRASP) に基づいたシミュレーションデータの供給を受けた。

研究成果 1 : 広域畳み込み計算に必要な空間分解能の検証

望遠鏡光軸から数十度角以上離れたファーサイドローブは、銀河面や月、太陽といった光源からの輻射流入の経路となりうるため、その振る舞いは衛星全体の構造設計に影響する。

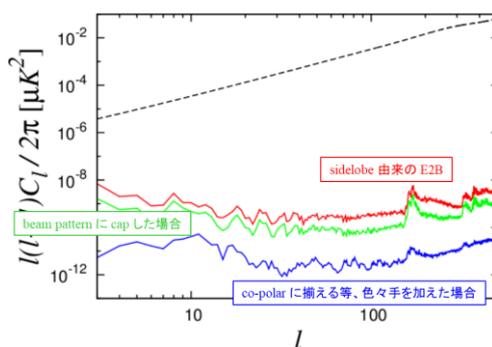
全天を範囲とする畳み込み積分は、ニアサイドローブに限定した計算と比べて（少なくとも）百倍以上の計算量を伴うため、数値積分に十分な空



間分解能の事前検証が肝要である。データのグレインサイズを動かしつつ、繰り返しシミュレーションを実行した結果、数分角の分解能において十分な収束性を示すことを確認できた。図はそれぞれ 0-0.2ラジアン、0.2-0.4ラジアン、1.4-1.6ラジアンの区間において、分解能 0.1度角と 2分角の場合の結果を比較したもの。

研究成果 2 : ビーム関数の非等方性による偏光パターン汚染の評価

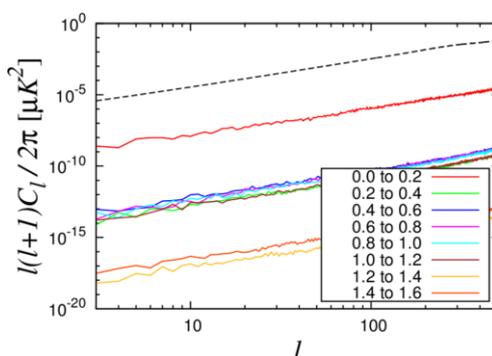
ビームサイドローブの振幅や形状は、望遠鏡の光学設計と密接に関係しており、校正観測を含めた観測スケジュール全体にも影響を及ぼす要素である。光学シミュレーションによると、焦点面検出器アレイの外縁部に位置する、数十GHz帯の素子のビームパターンには -30dB レベルの局所的な構造が生じることが指摘されており、これは偽の奇パリティパターンの起源たりうる。



畳み込みシミュレーションの結果評価された偽の奇パリティパターンのパワーは、重力レンズ効果のパワーの百分の一以下であり、(見た目のインパクトに反して) -30dB の非等方構造によって生じる偏光パターンの汚染は許容水準に十分収まるものであることを確認した。図は光学シミュレーションに基づいた 40GHz 帯ビーム関数での結果と、それを段階的に等方化したビーム関数での結果の比較。

研究成果 3 : サイドローブを経由した銀河面からの輻射流入の評価

銀河面に由来する強い前景放射は偏光地図の統計解析に先立ってマスク処理されるが、ファーサイドローブを経由した輻射流入による汚染は依然として存在する。漏れこむ輻射信号のうち偏光度に寄与しない成分による汚染は、連続回転半波長板による信号変調によって抑制することが提案されている。



信号変調を加味した走査観測およびビーム畳み込みのシミュレーションを実行した結果、ファーサイドローブ経由の汚染のパワーは重力レンズ効果のパワーを8桁程度下回るとの評価が得られ、信号変調による汚染の抑制が機能することを確認できた。図は復調後の偏光地図における残留汚染のパワーを 0.2ラジアン幅の区間毎の寄与と比較したもの。