

POLARBEARの初期成果

西野玄記(Kavli IPMU)

@第27回宇宙ニュートリノ研究会

POLARBEAR実験の最初の結果(昨年末)

- "Gravitational Lensing of Cosmic Microwave Background Polarization" (POLARBEAR Collaboration) astro-ph/1312.6646
- "Evidence for Gravitational Lensing of the Cosmic Microwave Background Polarization from Cross-Correlation with the Cosmic Infrared Background" (POLARBEAR Collaboration) astro-ph/ 1312.6645

これらについて話します。 (ニュートリノ質量についての制限はまだ...)

POLARBEAR実験とは ● 宇宙マイクロ波背景輻射 (CMB) の偏光、特にB モード偏光の検出・測定を目的とした地上実験 Eモード Bモード (奇パリティ) ● チリ・アタカマ、標高5200m に望遠鏡を設置 し、2012年始めより観測開始 POLARBEAR mini TAO (5640m) ABS ACT (5190m) ALMA (5000m)



5カ国、約70名の研究者による国際共同研究 (うち約20名が日本からの参加)

POLARBEARのターゲット 二つのBモード偏光 期待されるパワースペクトル

- 原始重力波起源(大角度)
 → インフレーションの検証
- 大規模構造による弱重カレンズ効果(小角度)→
 ニュートリノ質量和の影響
- 最初のシーズンのターゲット: 小さい領域を「深く」観測!



CMBと重力レンズ



観測されるCMBは宇宙初期(z~1100)から現在に至るまでの宇宙の大規模構造による重力ポテンシャルの影響を受けている

CMB偏光と重力レンズ効果



- 重力レンズ効果によりEモードがBモードに変換
- 小角度スケールのBモードではこれが最大の信号源
 - 実験感度の向上により重力レンズ効果を探る、より良いプローブに

CMB偏光と重力レンズ効果 観測されるCMB偏光 $(Q+iU)(\hat{\mathbf{n}}) = (\tilde{Q}+i\tilde{U})(\hat{\mathbf{n}}+\mathbf{d}(\hat{\mathbf{n}}))$ ~:元々のCMB偏光 deflection angle (重力レンズ効果)

- 典型的なdeflection angle: a few arcmin
- ~2度スケールにわたってコヒーレント

~分角の分解能を持った望遠鏡による 数度スケールの観測が必要!

Huan Tran Telescope





超伝導TESボロメターアレイ



- Iつのピクセルに2つのボロメター
- I枚のwaferに9Iピクセル
- 全部で7枚のwafer
- ⇒ 総ボロメター数: 1274 (Yield : ~80%)



- ノイズレベル:
 - ボロメターあたり(NET) $550\mu K\sqrt{s}$
 - アレイ全体 $21\mu K\sqrt{s}$
- 一つのピクセルに互いに直交する直 線偏光に感度を持った検出器
 - 二つの検出器の差分が偏光信号に





- ダストの放射が小さい領域を選択
- 他観測とのオーバーラップ (CMB, CIB)
- 最初のシーズンでは 三つの 3°x3°の領域を観測

主要なキャリブレーション

- ビーム較正
 - **惑星**≒点源 (木星、土星、金星の観測)
 - 3.5分角のGaussianビームを確認
- (相対) ゲイン較正
 - 700°Cに制御された黒体放射源
 - 副鏡の裏に設置



 WMAP9 のベストフィットの温度 揺らぎスペクトルと合わせる





● 偏光特性の時間安定性をチェック

- 各検出器対毎の相対偏光角度を測定
- (ただし、絶対角度はCl_{EB}スペクトルがNullになるように合わせる)

これまでの経緯と観測の状況

- 2010年夏:カリフォルニアにおける試験観測
- 20日年秋~:チリサイト建設、望遠鏡組立、レシーバー設置
- 2012年1月:ファーストライト
- 2012年5月より本格的にCMB観測を開始。以降、順調にデータを取得





● 偏光マップノイズレベル: 5uK-arcmin

● 世界最高レベルの感度(深さ)のCMB偏光マップ

重カレンズ効果の解析

- 重力レンズ効果はEモードとBモード(or Eモード自身)の異なるモード (I x I', L=I+I')間の相関を作る。
 - それらの相関の大きさがレンズ効果の大きさ(d(L))の評価に使える



これらを用いた二種類の解析で2つの結果を発表

arXiv:1312.6646 **C^{dd} = <dxdx'*>** CMB偏光データのみを用いた 自己相関 ("4点相関")

arXiv:1312.6645

$$C_L^{dl} = \langle dx, C|B \rangle$$

CIB (Cosmic Infrared Background) との相互相関

Nullテストによるデータ検証

- ・様々なNull testによるデータ・解析の検証
 - データに有意な問題が無いことを確認
 - (これらの検証が完了するまでパワースペクトルは見ない)



Lensing powerspectra by field

d_{EE} × d_{EB} : CMB偏光のみを用いたレンジングの自己相関 d_{EB}





- 「レンズ効果なし」を4.2σで棄却
- CMB偏光だけによる初めての重力レンズ効果の検出!



- 「CIBとの相関ゼロ」を4.0σで棄却
- ACDM及びSPTpol実験の結果 (Hanson et al, 2013) とコンシステント

ニュートリノ質量に対する制限は付けていないのですが…)

- POLARBEAR-I:もう一年観測
 - 75meV at 68% C.L. (combined w/ Planck)
- 将来計画: POLARBEAR-2/Simons Array
 - POLARBEAR-2:KEK主導のレシーバーアップグ レードプロジェクト (2015~)
 - 検出器数: 7588 at 95 & 150 GHz
 - 65meV (combined w/ Planck)
 - Simons Array: 望遠鏡を3台体制に
 - PB-2x3: 検出器数 22764 at 95, I50 & 220 GHz



KEKで開発中のPB-2レシーバー



競合実験等の結果も含め、これから数年で**CMB**偏光の重力レンズ 効果を用いた宇宙論的な制限は着々と厳しくなっていく(はず)

まとめ

- CMB偏光観測・地上実験POLARBEARは2012年観測開 始からのデータを用いて昨年12月末に最初の結果を 発表
 - 世界初のCMB偏光だけによる重力レンズ効果の検出 (4.2σ rejection of null hypothesis)
 - CIBとCMB偏光の相互相関による重力レンズ効果 (4.0σ)
- 今回の結果はCMB偏光による重力レンズ効果測定、ひ いてはニュートリノ質量和測定の第一歩