



POLARBEAR実験 —CMB偏光観測シミュレーション—

清水景絵、都丸隆行^A、永田竜^A
西野玄記^A、羽澄昌史^A、松村知岳^A
他、POLARBEAR Collaboration
(総研大、KEK^A)

本研究の目的

- POLARBEAR-I実験と、POLARBEAR-II実験でニュートリノ質量和がどれぐらいの精度で測定できるかを知る。
 - ニュートリノ質量のCMBへの影響を用いて、ニュートリノ質量和($\Sigma m\nu = m_1 + m_2 + m_3$)測定の誤差を評価する。
 - 先行研究(M. Shimon, et. al.)とは異なり、**実験で実際に用いるアルゴリズム**を用いてニュートリノ質量和誤差の見積もりを行う。
 - また、**現実的なデータセット**(温度ゆらぎに関してはWMAPのデータを使用)

neutrino質量はどこまでわかっているか

ニュートリノ質量和 $\Sigma m_\nu = m_1 + m_2 + m_3$

上限

$\Sigma m_\nu = 0.6 \text{eV} (95\% \text{CL})$ WMAP 7year+HST+BAO

下限

NH : $\Sigma m_\nu \geq 0.05 \text{eV}$

IH : $\Sigma m_\nu \geq 0.1 \text{eV}$

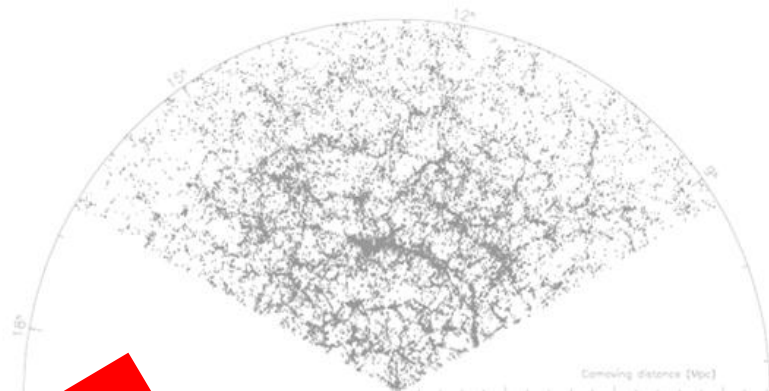
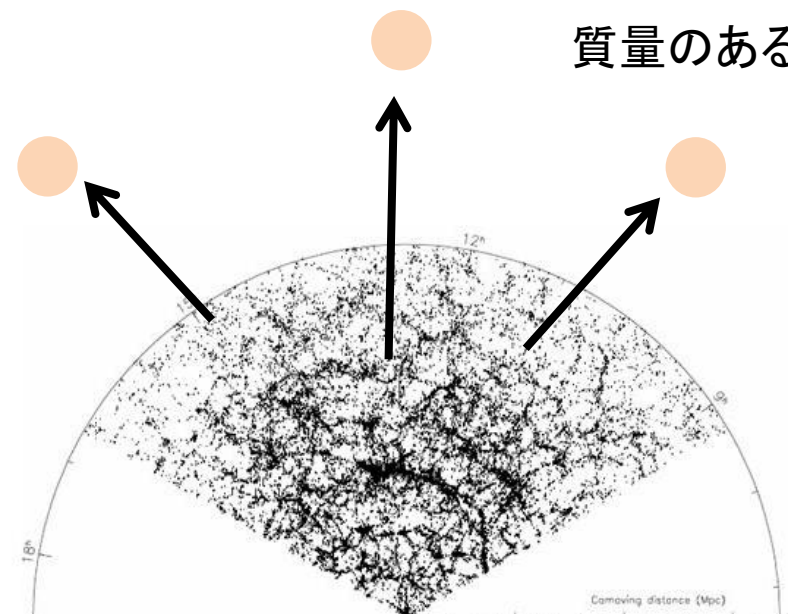
neutrino振動

スーパーカミオカンデ、
etc...

ニュートリノ質量と大規模構造の関係

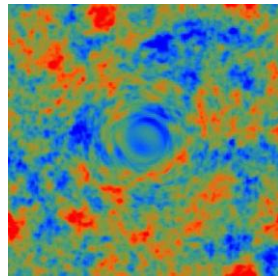
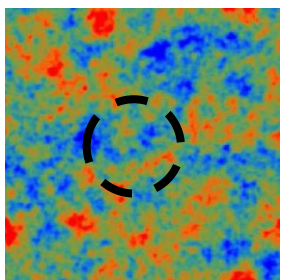
質量のあるニュートリノが質量をもちだすので

大規模構造のポテンシャルが浅くなる



重力レンズ効果

大規模構造: 宇宙の質量の分布



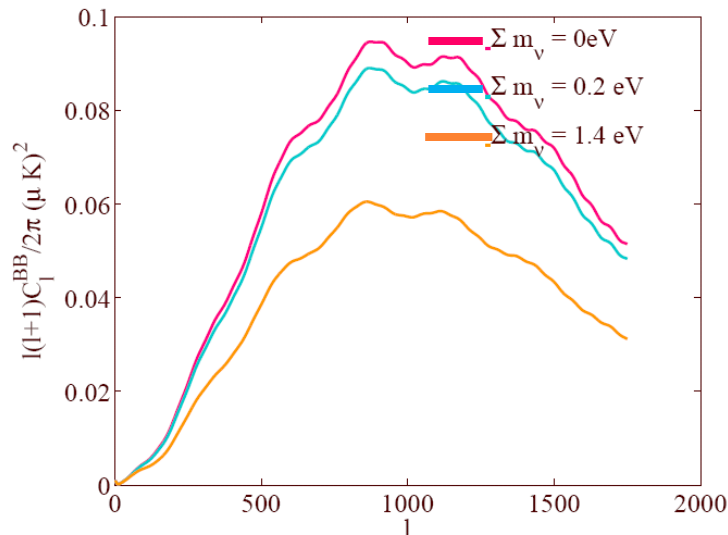
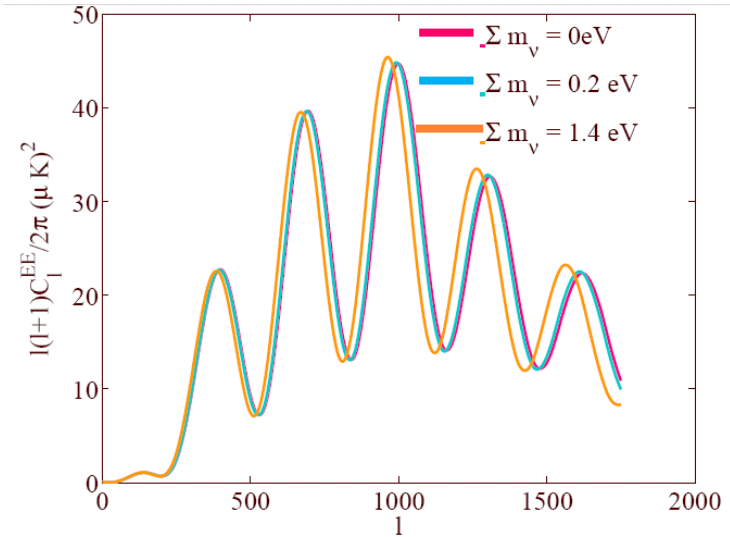
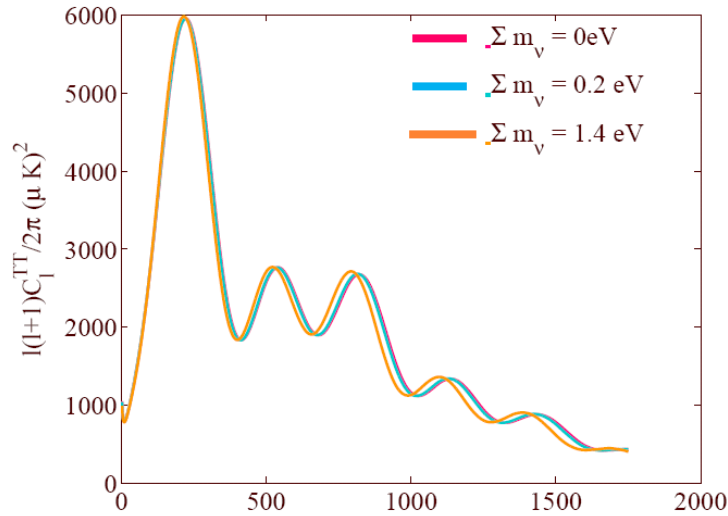
Neutrinoの質量に応じて、大規模構造の滑らかさが変わる。

(大規模構造のポテンシャルは Σm_ν に依存する)

この変化をCMB偏光を通して検出する。

大規模構造のポテンシャルにより、パワースペクトルがゆがむ。

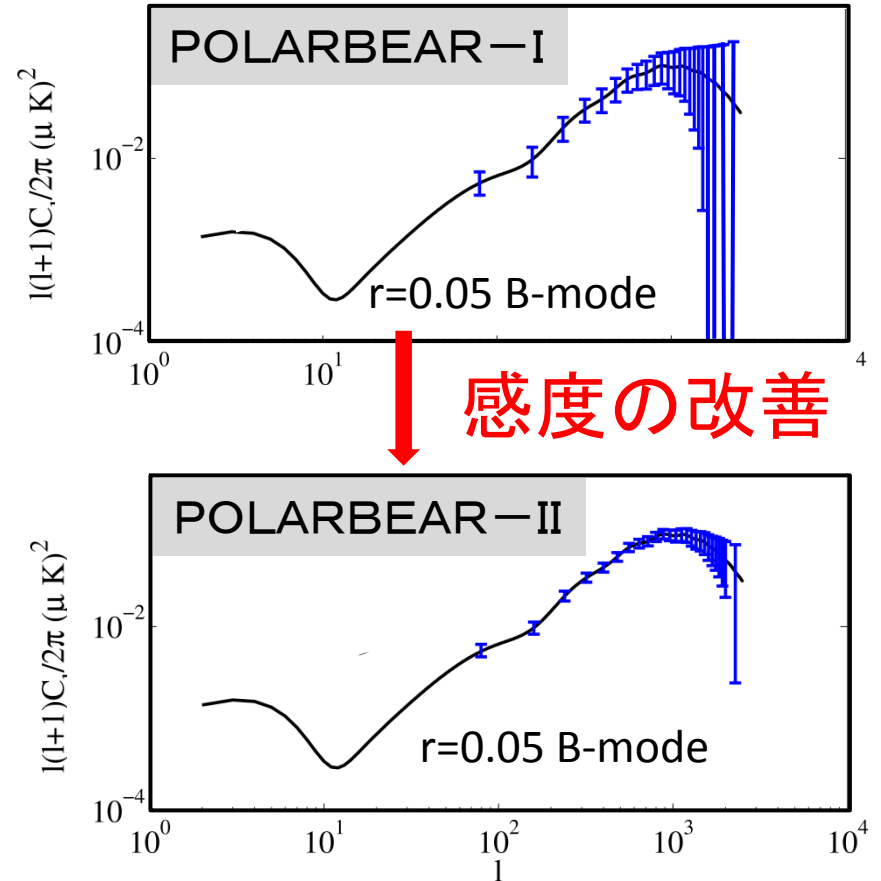
ニュートリノ質量のCMBへの効果



ニュートリノ質量に応じて、スペクトルが変化するのが見て取れる。
→B-modeは特に変化が大きい
→POLARBEARはニュートリノ質量
和検出に適する

POLARBEAR-IIについて

- 次世代の検出器を搭載
- 検出器の増設
- KEKが先導して開発を行う。
- 目標
 - rに対する制限を改善する (r~0.01)
 - **ニュートリノ質量和に対する上限が改善される。**
 - LiteBIRDへのテスト
 - POLARBEARの多望遠鏡化への基礎づくり

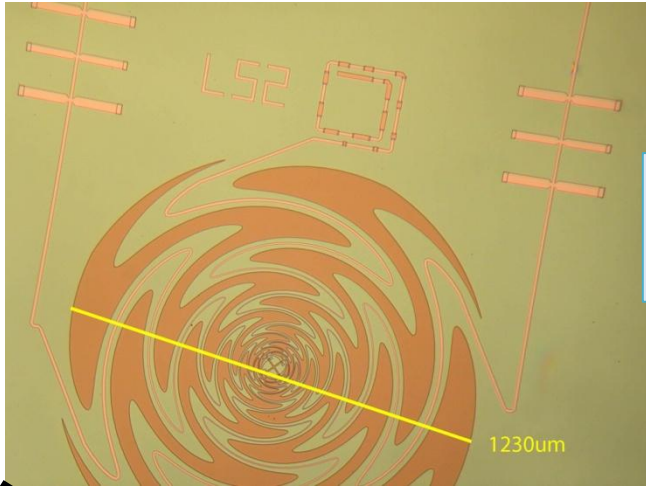


感度の改善

3倍

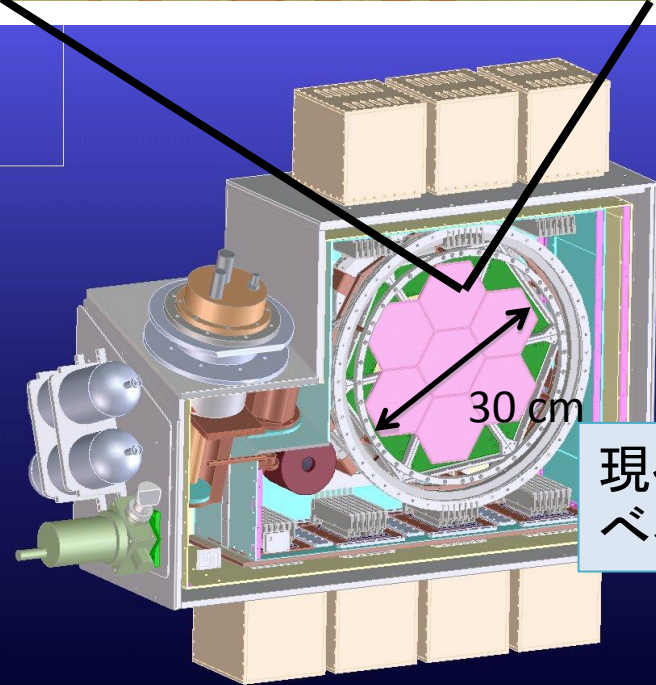
検出器ペアの数	637	→	1897
周波数	150GHz, 220GHz		90Hz, 150GHz
観測時間	1年(150GHz), 半年(220GHz)		2年

POLARBEARIIデザイン

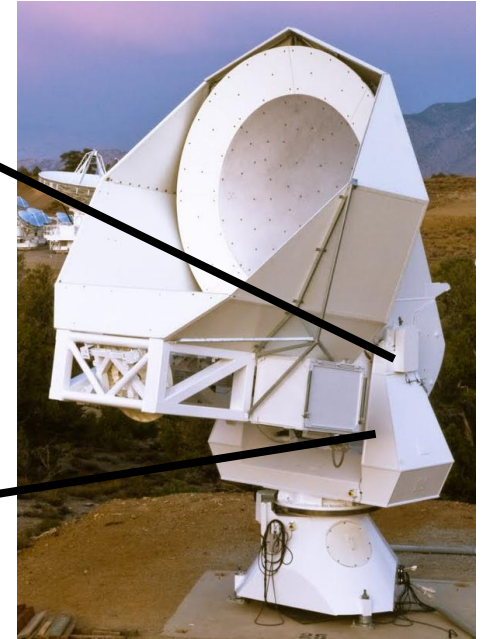


90GHz,150GHzの**2色**に対応したアンテナ

現在のPOLAREAR望遠鏡にPB-IIの検出器をインストール



現在の**3倍**の検出器を並べる、焦点面



シミュレーションの手順

Λ CDM+ M_ν モデル
パワースペクトル

I,Q,U マップ作成

検出器由来の
ノイズを乗せる

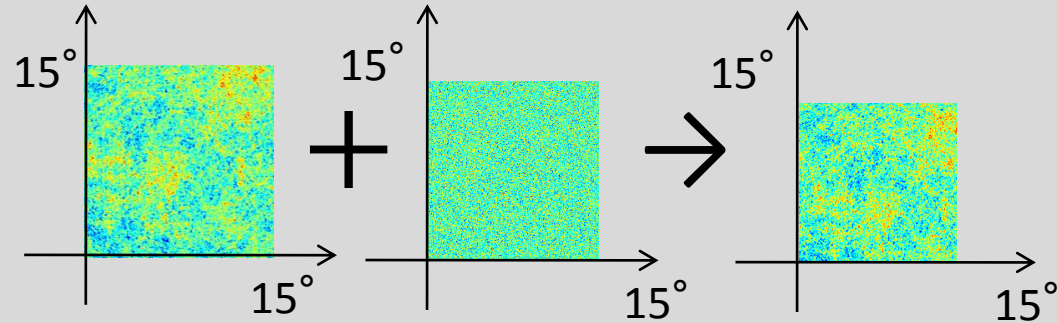
パワースペクトルの
再構築

地上実験特有の
問題を排除した
アルゴリズム

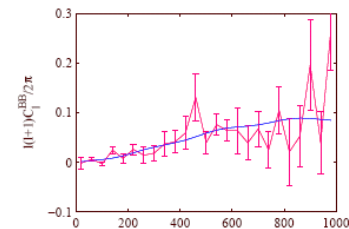
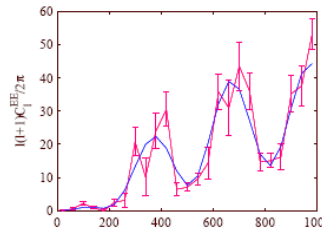
宇宙論パラメータの
見積もり

マルコフ連鎖
モンテカルロ

$\Sigma m_\nu = 0.2 \text{eV}$ 他 WMAP7year



1arcmin角ピクセルあたりのノイズ
PBI : $6.4 \mu\text{K}$ (150GHz, 220GHz total)
PBII : $1.85 \mu\text{K}$ (90GHz, 150GHz total)

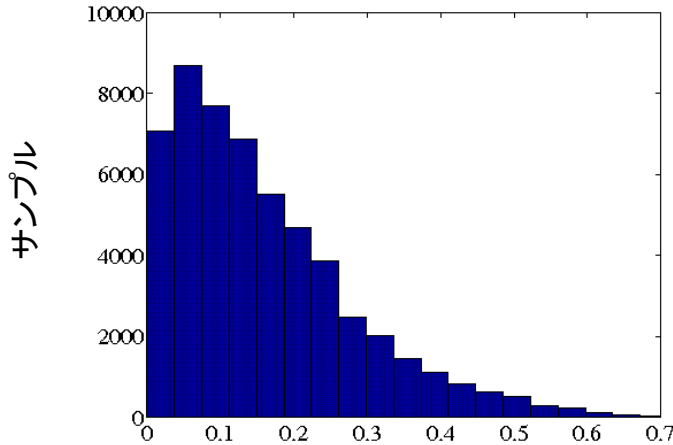


WMAP7year + PBI

WMAP 7year + PBII

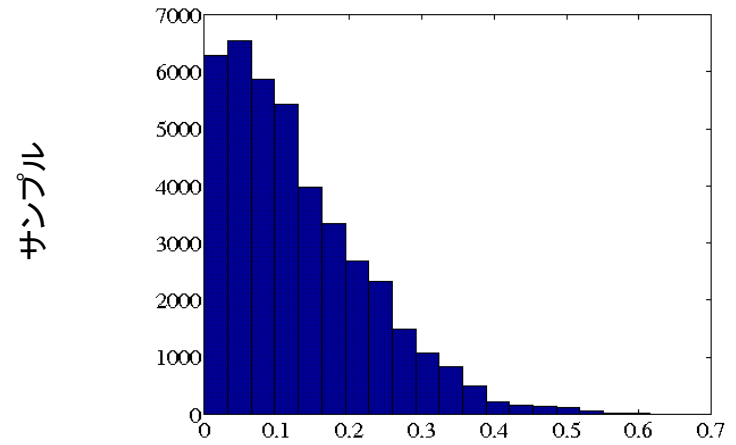
結果(PB + WMAP7year + HST)

POLARBEAR I



ニュートリノ質量和 Σm_ν (eV)

POLARBEAR II



ニュートリノ質量和 Σm_ν (eV)

ニュートリノ質量和 Σm_ν

ベストフィット	0.05 (eV)
上限値 (95% CL)	0.45 (eV)

ニュートリノ質量和 Σm_ν

ベストフィット	0.05 (eV)
上限値 (95% CL)	0.33 (eV)

WMAP 7year $\Sigma m_\nu = 0.58 \text{ eV}$
に対し43%の改善

まとめ

- 実際の実験に用いるアルゴリズムを用いて、POLARBEAR実験でニュートリノ質量和の制限がどこまでつけられるかのシミュレーションを行った。
- POLARBEAR-Iでは上限値 0.45eV (95%CL)、POLARBEAR-IIでは 0.33eV (95%CL)が得られることが分かった。
- 現在CMB実験から得られている上限は 0.58eV (95%CL, WMAP+BAO+HST)であり、POLARBEARではこれを更新する可能性がある。

今後の課題

- POLARBEARの系統誤差を考慮に入れたシミュレーション
- フォアグラウンドを考慮したシミュレーション
- Planckとのcombine analysis

Backup

PBI, PBIIのspec

PBI*1

frequency (GHz)	Beam FWHM (arcmin)	NET ($\mu\text{K s}^{1/2}$)	tobs*2 (sec)	Ω (deg ²)	N _{pair}	f _{sky}
150	4	360	7776000	1000	637	0.024
220	2.7	640	7776000/4	1000	637	0.024

PBII

frequency (GHz)	Beam FWHM (arcmin)	NET ($\mu\text{K s}^{1/2}$)	tobs*3 (sec)	Ω (deg ²)	N _{pair}	f _{sky}
90	6.7	314	15552000	1000	1897	0.024
150	4	360	15552000	1000	1897	0.024

6.37 $\mu\text{K arcmin}$ (PBI) \rightarrow 1.85 $\mu\text{K arcmin}$ (PBII)へと改善

*1 PB AIU08 proceedings revised by Huan 2009/11

*2 PBI tobs(at 150) = 1_{year} \times 9_{month} \times 8_{hour} \times 3600_{sec}

*3 PBII tobs (at220)= 2_{year} \times 9_{month} \times 8_{hour} \times 3600_{sec}

fskyの最適化

- 最適化されたfskyは1を超える。
- 現在のfsky = 0.025と、それを倍にしたfsky=0.05についてパラメータサーチを行う。

エラーの計算方法

単一周波数の場合

$$\Delta C_l = \sqrt{\frac{2}{(2l+1)f_{\text{sky}}}} \left(C_l + \frac{2 \cdot 4\pi f_{\text{sky}} \text{NET}^2}{t_{\text{obs}} N_{\text{pair}}} e^{l^2 \sigma^2} \right)$$

複数周波数の場合

$$\Delta C_l = \sqrt{\frac{2}{(2l+1)f_{\text{sky}}}} \left(C_l + \left(\sum_{\nu} N_{\nu}^{-1} \right)^{-1} \right)$$

1ピクセル当たりのノイズ

1 × 1 [arcmin²]あたりのノイズ

$$\Delta_P = \sqrt{\frac{\Omega_{\text{NET}}^2}{(N_{\text{bolo}} / 2)t_{\text{obs}}}}$$

$$\Delta_T = \frac{\Delta_P}{\sqrt{2}}$$

1ピクセルあたりのノイズ

$$\frac{\Delta_P}{\sqrt{S_P}}$$

$$\frac{\Delta_T}{\sqrt{S_P}}$$

Sp:ピクセルの面積。ここでは、1.72' × 1.72'