

POLARBEAR: 試験観測の状況

西野玄記、羽澄昌史、
清水景絵^A、都丸隆行
(KEK, 総研大^A, 他)

他、POLARBEAR Collaboration

2010年3月

日本物理学会 第65回年次大会



POLARBEAR Collaboration



Imperial College

Andrew Jaffe

Daniel O'Dea

KEK

Masashi Hazumi

Haruki Nishino

Akie Shimizu

Takayuki Tomaru

Laboratoire Astroparticule & Cosmologie

Josquin Errard

Radek Stompor

Lawrence Berkeley National Lab.

Julian Borrill

Eric Linder

Christopher Cantalupo

Helmuth Spieler

Theodore Kisner

McGill University

Peter Hyland

Matt Dobbs

University of California, Berkeley

Kam Arnold

Roger O'Brient

Daniel Flannigan

Erin Quealy

William Holzapfel

Christian Reichardt

Jacob Howard

Paul Richards

Zigmund Kermish

Chase Shimmin

Adrian Lee (P.I.)

Bryan Steinbach

Marius Lungu

Huan Tran

Mike Myers

Oliver Zahn

University of California, San Diego

David Boettger

Hans Paar

Brian Keating

Ian Schanning

George Fuller

Meir Shimon

Nathan Miller

University of Cardiff

Peter Ade

Carole Tucker

University of Colorado

Aubra Anthony

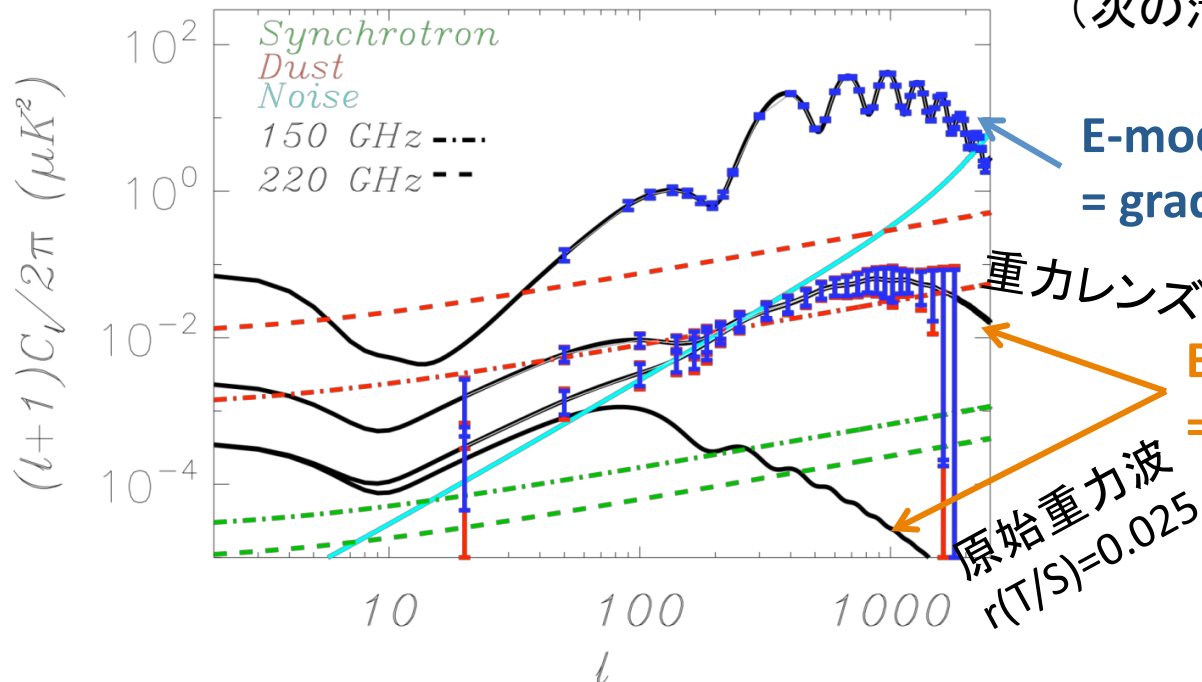
Nils Halverson

5ヶ国(米加英仏日)、9機関, 約40名による 国際共同実験

POLARBEAR実験とは？

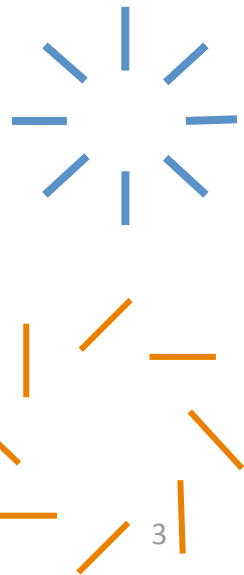
アンテナ結合型超伝導TESボロメータアレイを用いた宇宙マイクロ波偏光観測(地上)実験

- 低雑音: NET/bolometer = $360 \mu\text{K s}^{1/2}$ @150GHz
- アレイ数: 1274個のボロメータ (637対)
 - 地上実験として世界最高レベルの感度が期待 → Bモード偏光発見によるインフレーション理論の検証
- 直径3.5mの大型望遠鏡による高角度分解能測定 $4'$ @ 150GHz
 - 重力レンズ効果によるB-mode偏光の発見 → ニュートリノ質量和に対する制限 (次の清水さんの講演)



E-mode
= gradientの成分

B-mode
= curlの成分



焦点面検出器

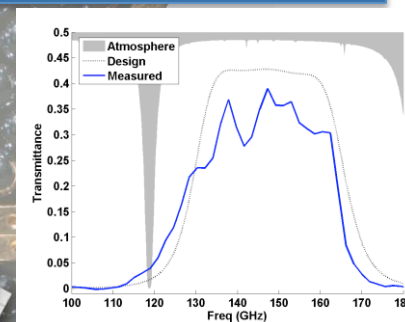
POLARBEARではアンテナ結合型TESボロメータによりCMBを観測する

2個のアンテナ・ボロメータ
の組み合わせが対になり
1個のピクセルを構成

アンテナ
(直交するアンテナが対に)

フィルター
(150GHz or 220GHz)

レンズ



1枚のウェーファーに91対

7枚のウェーファーで観測(@チリ)

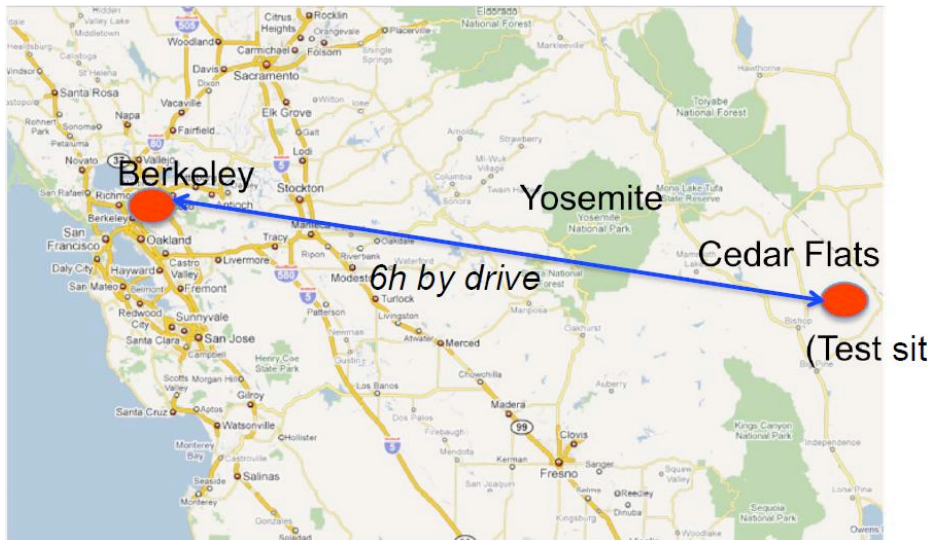
TESボロメータ

合計1274個のボロメータ
→ 1'ピクセルあたりのノイズレベル: $Wp^{-1/2} = 5\mu\text{K}$ (150GHz・2年間)

試験観測について

本観測開始前の全システムの検証のためにカリフォルニア州・Cedar Flatにおいて、望遠鏡に検出器、クライオスタットなどを組み込み、試験観測を行う

- 準備状況：
 - 望遠鏡は昨年より既にサイトに設置済み
 - これからクライオスタットをCedar Flatへ移設
- 約2ヶ月間の試験観測を予定
 - 光学系からデータ収集系、各種コントロール系などの全システムの統合と実証
 - 各種キャリブレーションの試験
- 2010年度後半には本観測の地、チリ・アタカマへと移設予定



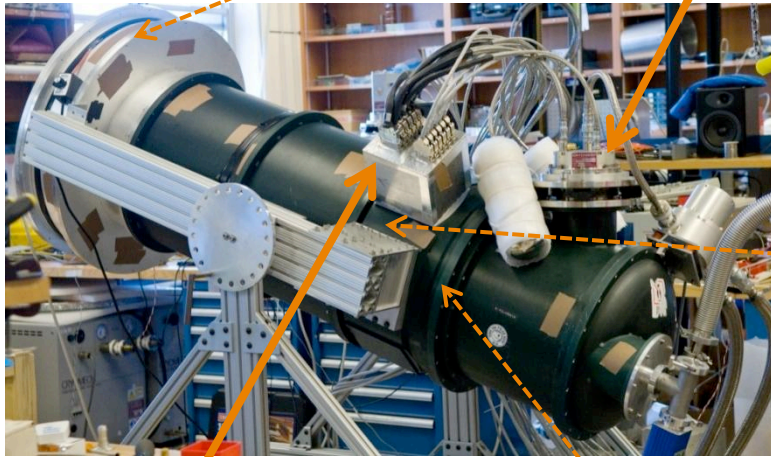
テストサイトに設置された
Huan Tran Telescope

レシーバーの近況

クライオスタットが期待通りに冷えない問題などがあり、予定よりは遅れたが、現在では問題を解決し、実験室レベルでのテストから、とうとう(試験)観測開始へ

偏光の向きを回転させるための
半波長板(HWP)

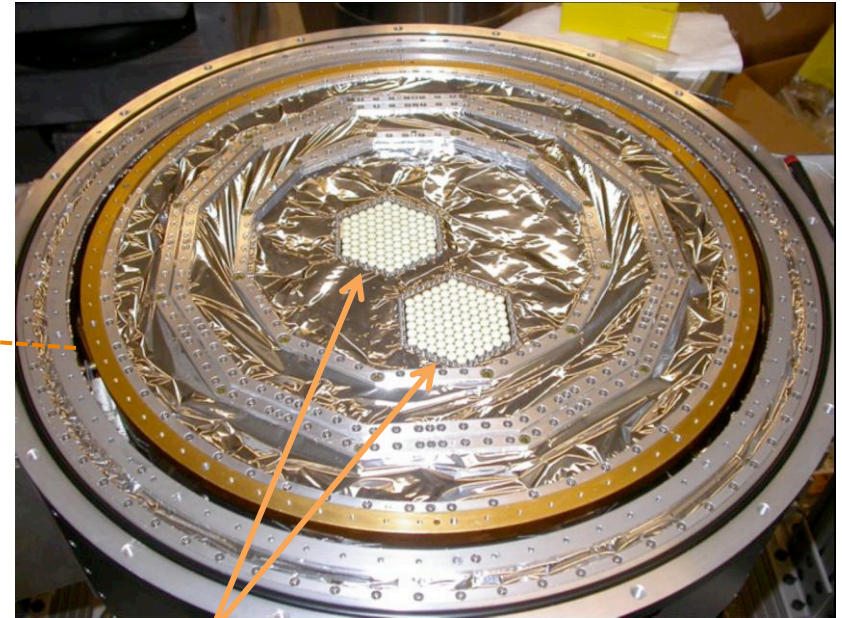
Pulse Tube Cooler
(4K)



読み出しのためのSQUID box

'He10' Sorption Cooler (0.3K)

焦点面検出器がクライオスタットに
インストールされた様子

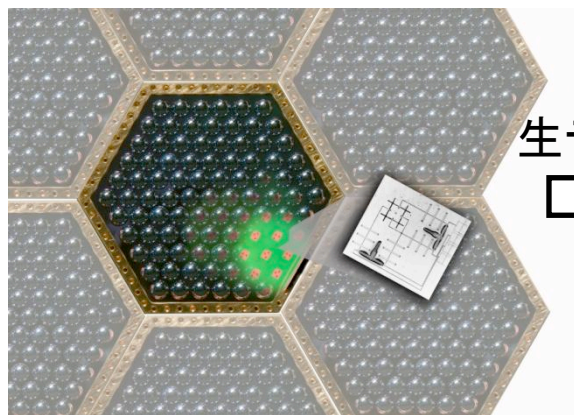


焦点面検出器

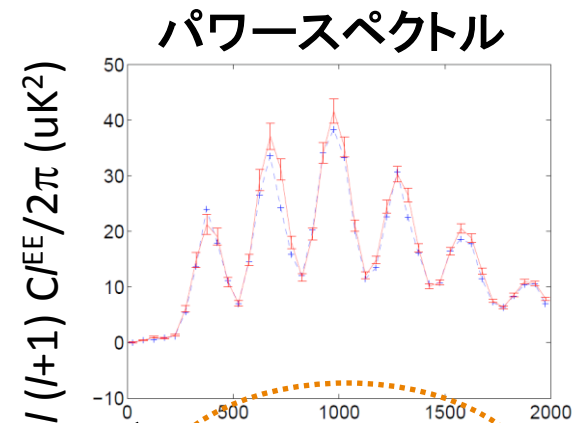
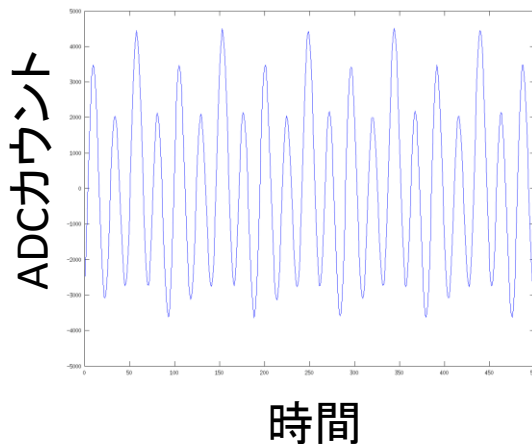
- 試験観測では、2枚のウェーハを使う (約360チャンネル) (本観測では7枚)
- 期待通りのノイズレベルを達成

(試験観測のための)解析ソフトウェア開発

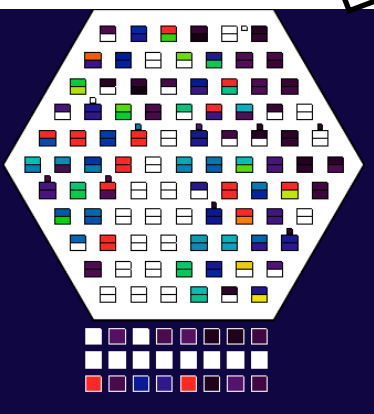
焦点面検出器



生データ
↓

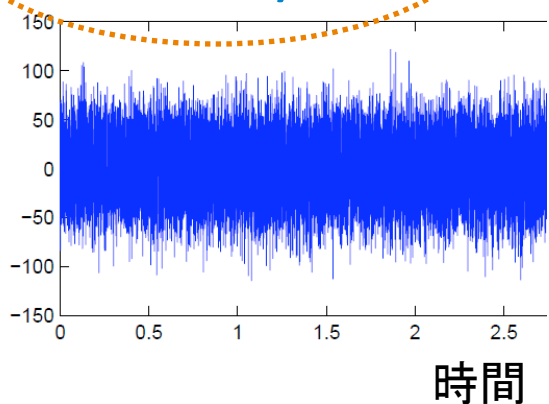


生データ
↓



リアルタイム
モニタリング
ツール

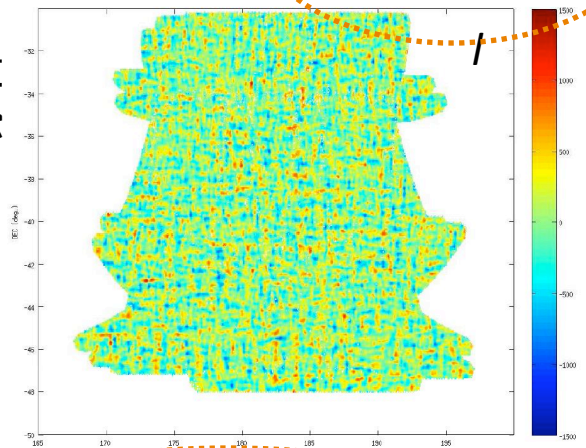
ノイズ信号
(HWPの回転に
同期した信号)の除去



時間

パワースペクトルの
計算

赤緯



初期の解析パイプラインの整備 偏光マップの作成 赤経

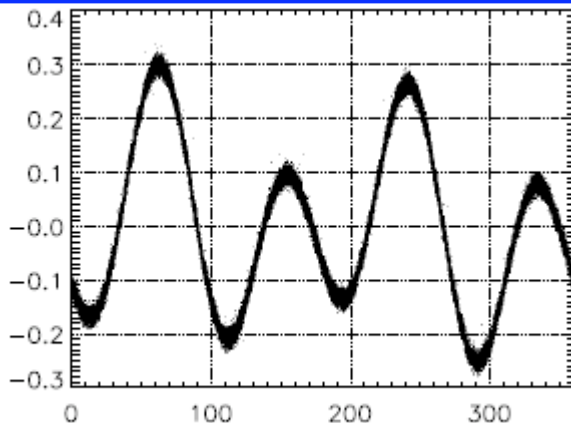
半波長板 (HWP) の回転と それに同期した信号 (HWPSS)

半波長板 (HWP) の回転により入射する偏光の向きを回転させながらの観測を検討中

- 偏光信号を変調させることで様々なsystematicsを抑える!
- ただし、過去の実験での経験から、HWPの回転に同期した信号 (HWPSS) が生じることが予想される

$$\sum_{n=1}^8 (C_n + C'_n t) \cos(n\beta) + (S_n + S'_n t) \sin(n\beta)$$

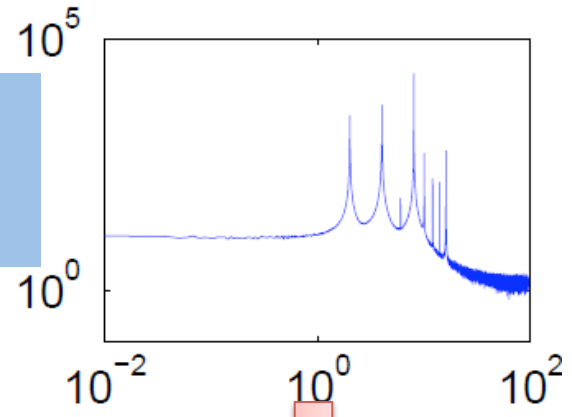
ボロメータの
信号の大きさ



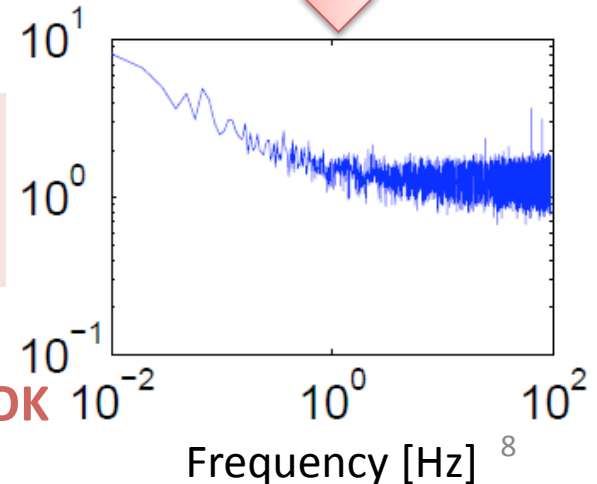
→ まず解析の初段階でHWPSSを取り除くことが必要!

シミュレーションを用いたアルゴリズムの検討

HWPSSを取り除く前の
パワースペクトル密度
count/sqrt(Hz)



取り除いた後の
パワースペクトル密度
count/sqrt(Hz)

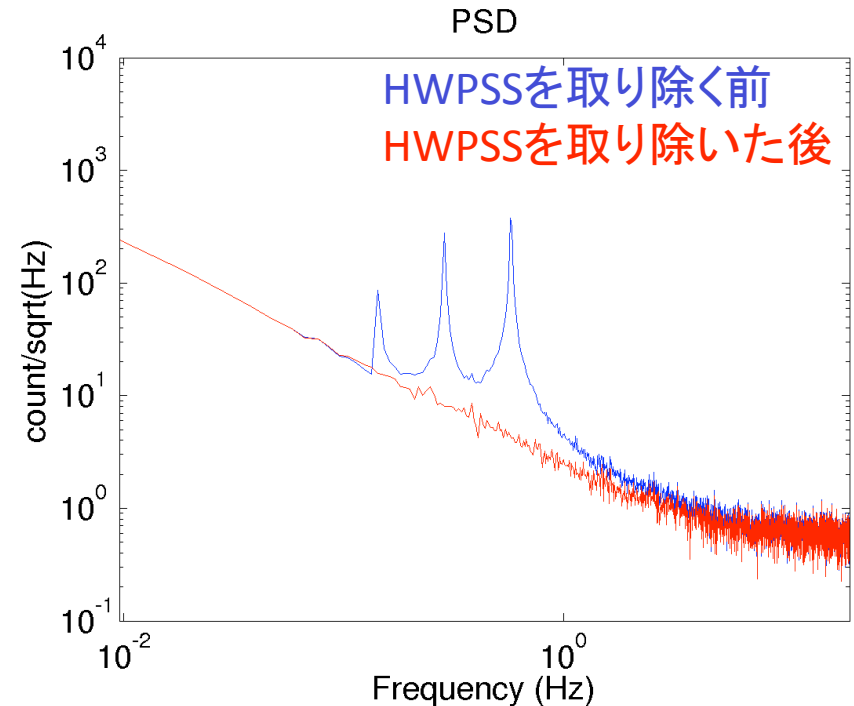
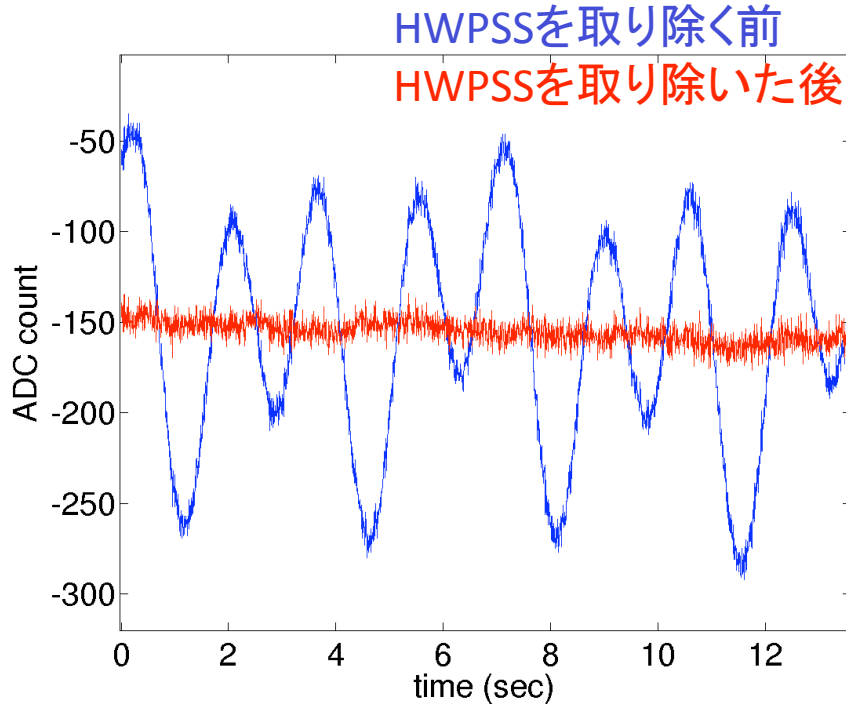


シミュレーションの段階ではOK

HWPの実データを用いた検証

- 実データ、実際の検出器、HWPを用いたデータ
- HWPは約0.14Hzで回転させている
- 右のモデルでフィットして、その成分を差し引く

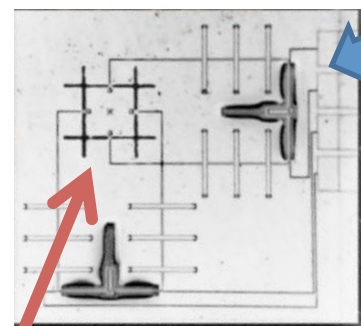
$$\sum_{n=1}^8 (C_n + C'_n t) \cos(n\beta) + (S_n + S'_n t) \sin(n\beta)$$



実データでもHWPSSを取り除くアルゴリズムが基本的にも動くことを確認

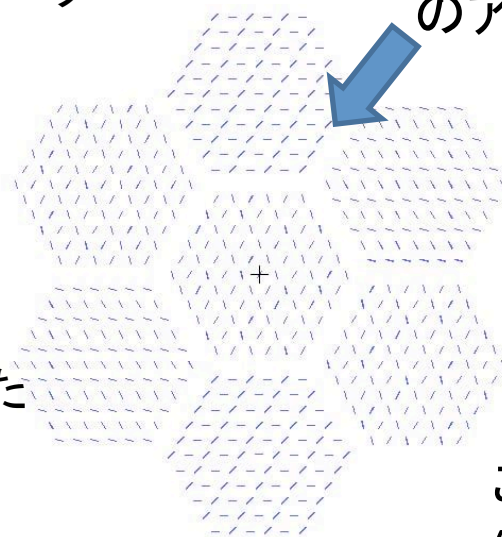
ボロメータ対によるQ-U 偏光マップ

ペアとなるアンテナのうちの片方のアンテナの偏光の感度方向



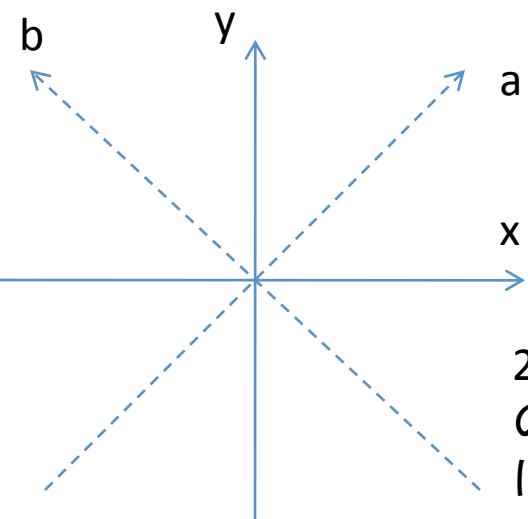
TESボロメータ

直行する偏光成分に感度を持ったアンテナのペア



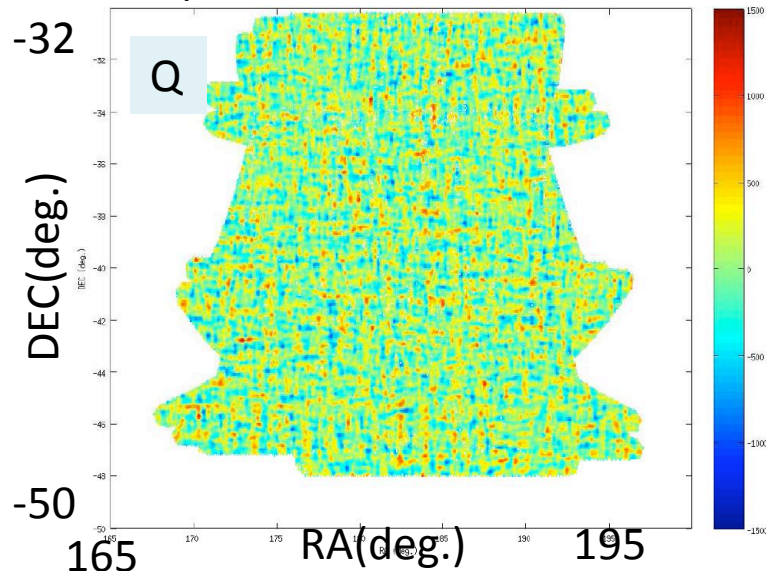
45度傾いたペア同士が隣り合って配置されている
→ このペア同士の出力から、QとUの両方を計算するというイメージ

この方法で計算したQのマップ
(ノイズ無しシミュレーション)



$$Q = |E_x|^2 - |E_y|^2$$
$$U = |E_a|^2 - |E_b|^2$$

2つのボロメータの出力の差分により、Q、もしくは、Uを計算

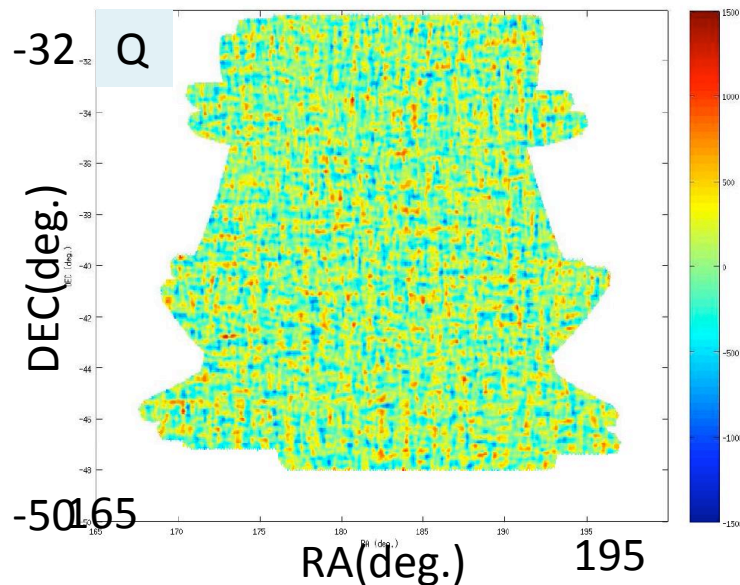


HWP回転によるQ-U 偏光マップ

偏光の向きが(ある基準の方向に対して)角度 α_i 回転しているとすると、ボロメータ i で検出される信号の大きさ d_i は、観測している空のピクセルのQ、Uに対して...

$$d_i(t) = I_p + Q_p \cos 2\alpha_i(t) + U_p \sin 2\alpha_i(t)$$

- HWPの回転で定常的に α が変化していれば、一つのボロメータの出力からQとUが計算できる
- ボロメータペアのゲインの差による偏光測定への systematicsなどをなくすことができる

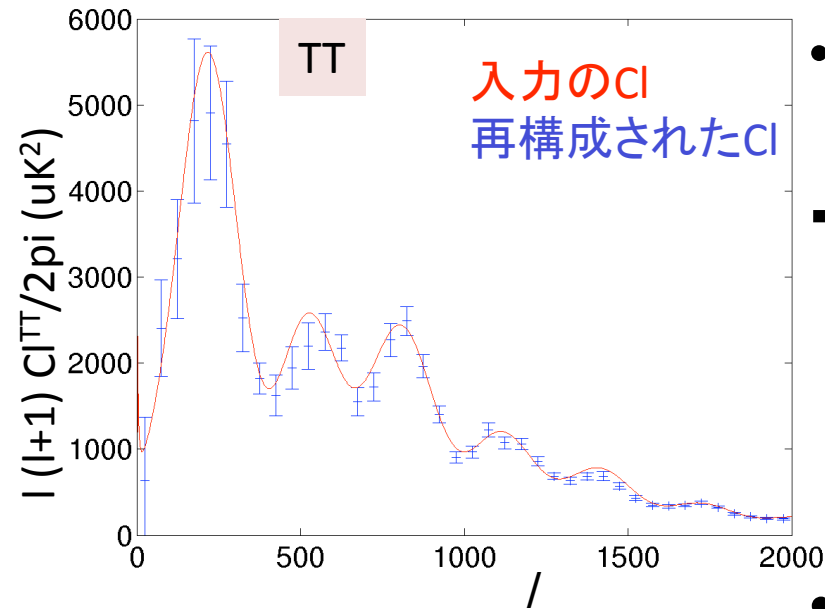


HWPを回転して観測するときのためにこの方法でもQとUのマップが作れるようなプログラムを準備

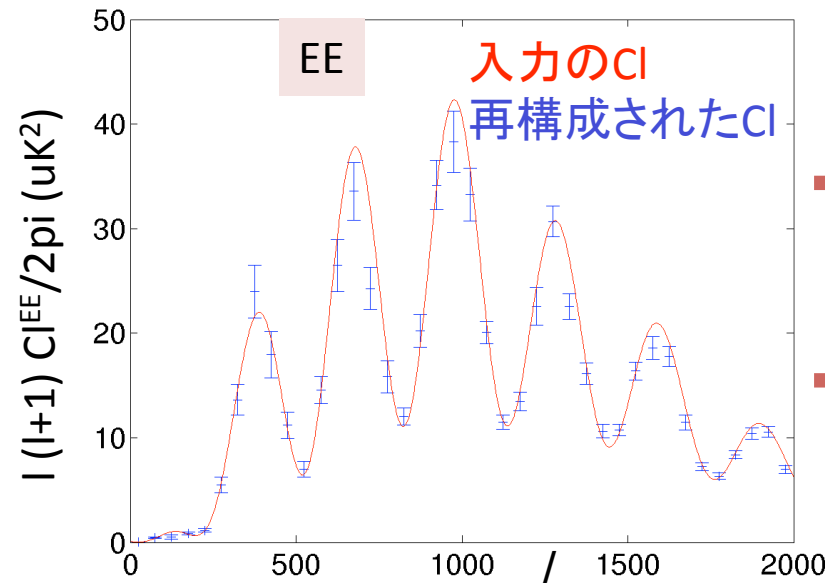
前頁のボロメータペアの差分を使った方法と同等なマップが得られた

いずれの方法においてもマップを作ることができるようにプログラムを整備した

パワースペクトルの比較によるパイプラインの動作確認



- 前ページなどから作ったマップから、パワースペクトル (C_l) を見積もる
- ➔ シミュレーションの入力の C_l と比較
 - アルゴリズムのテストを目的としているのでノイズ無しシミュレーションを用いる
 - したがって、エラーバーはサンプルバリエーションに相当



- 一つのサンプルを見た限りでは再構成した C_l は入力を再現
- ➔ 最も初歩的なレベルのパイプラインはつながった
- ➔ より実際に近いケースのスタディへと進めて行く

(これらはペアの差分をとった場合の結果)

まとめ

- 宇宙背景輻射偏光観測プロジェクトPOLARBEARでは全システムの検証を目指した試験観測を行うべく準備を進めている
 - 3月末より移設が始まり、約2ヶ月の観測を予定している
- 初期の観測におけるデータの品質チェックなどを目的としたソフトウェアの開発を進めてきた
 - 最も初歩的なレベルのパイプラインを作成し、シミュレーションデータを用いたアルゴリズムのテストを行った
 - 実際のTESボロメータにより実データを取得し、HWPの回転に同期したノイズ信号の取り除きアルゴリズムが実際のデータにも適用できることを示した
- また、次期計画としてKEKグループがクライオスタットの製作などを中心に進めるPOLARBEAR-IIも計画中
 - 焦点面検出器の多色化・チャンネル数の増大
 - 22日のCMBのシンポジウムの講演にて紹介(by 羽澄さん)