



宇宙マイクロ波背景放射偏光実験 POLARBEAR

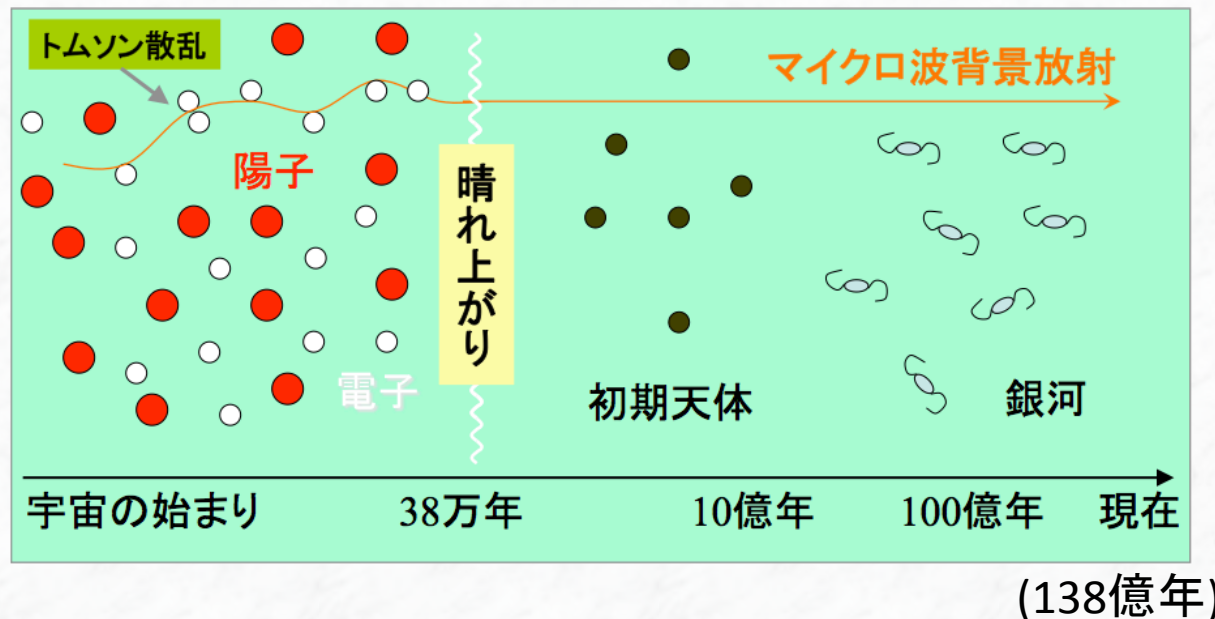
総合研究大学院大学/KEK
井上優貴



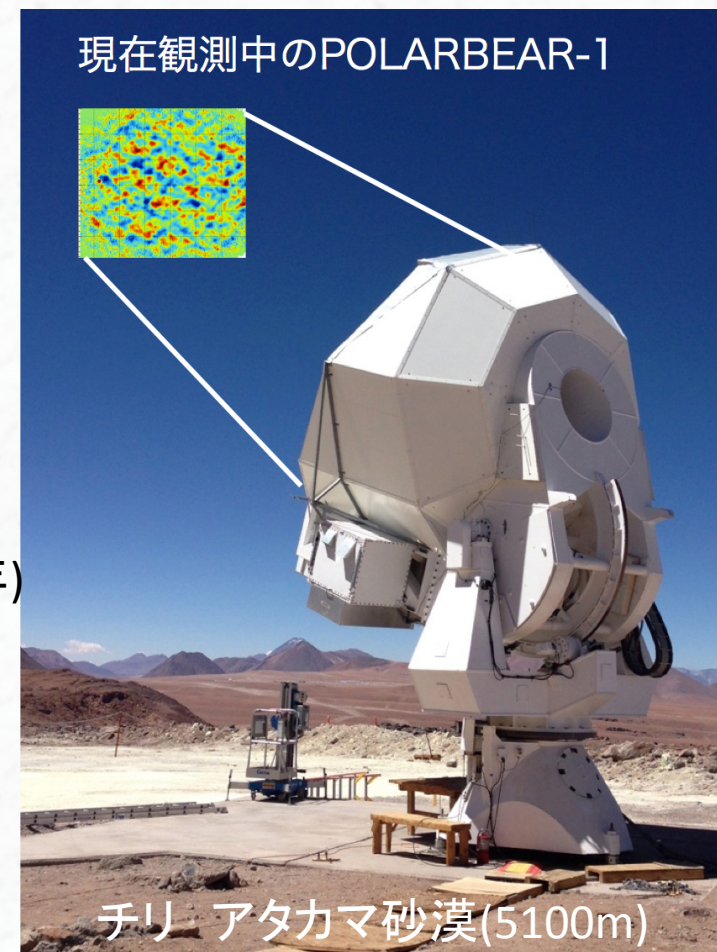
- 8 力国
- 20 研究機関
- 97 人

- Introduction
- サイエンス
- POLARBEARの観測結果
- まとめ

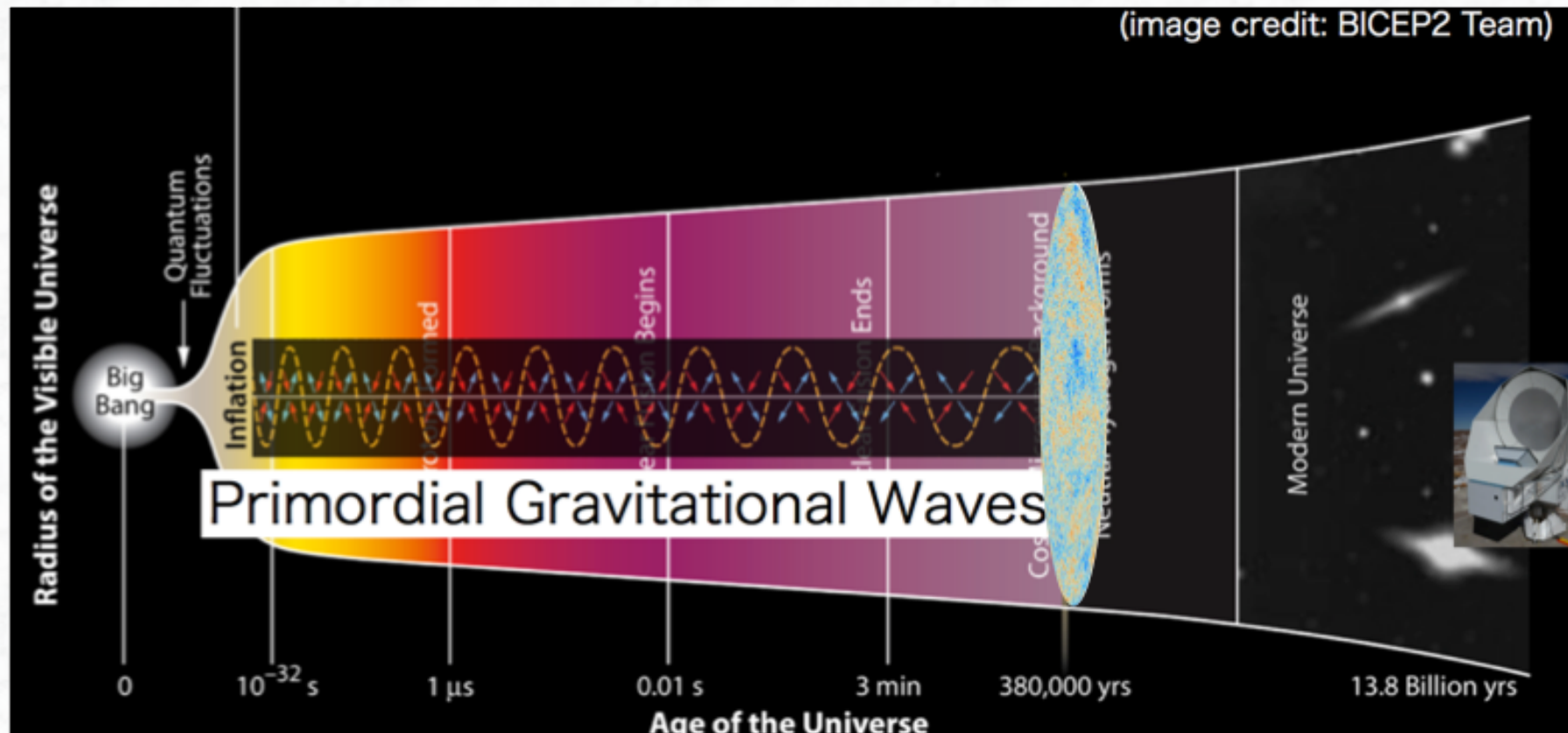
宇宙マイクロ波背景放射(CMB)偏光を観測する事で
主要なinflationモデルの検証およびニュートリノ質量和の測定



- ビッグバン元素合成期のなごり
- 晴れ上がり時点のスナップショット

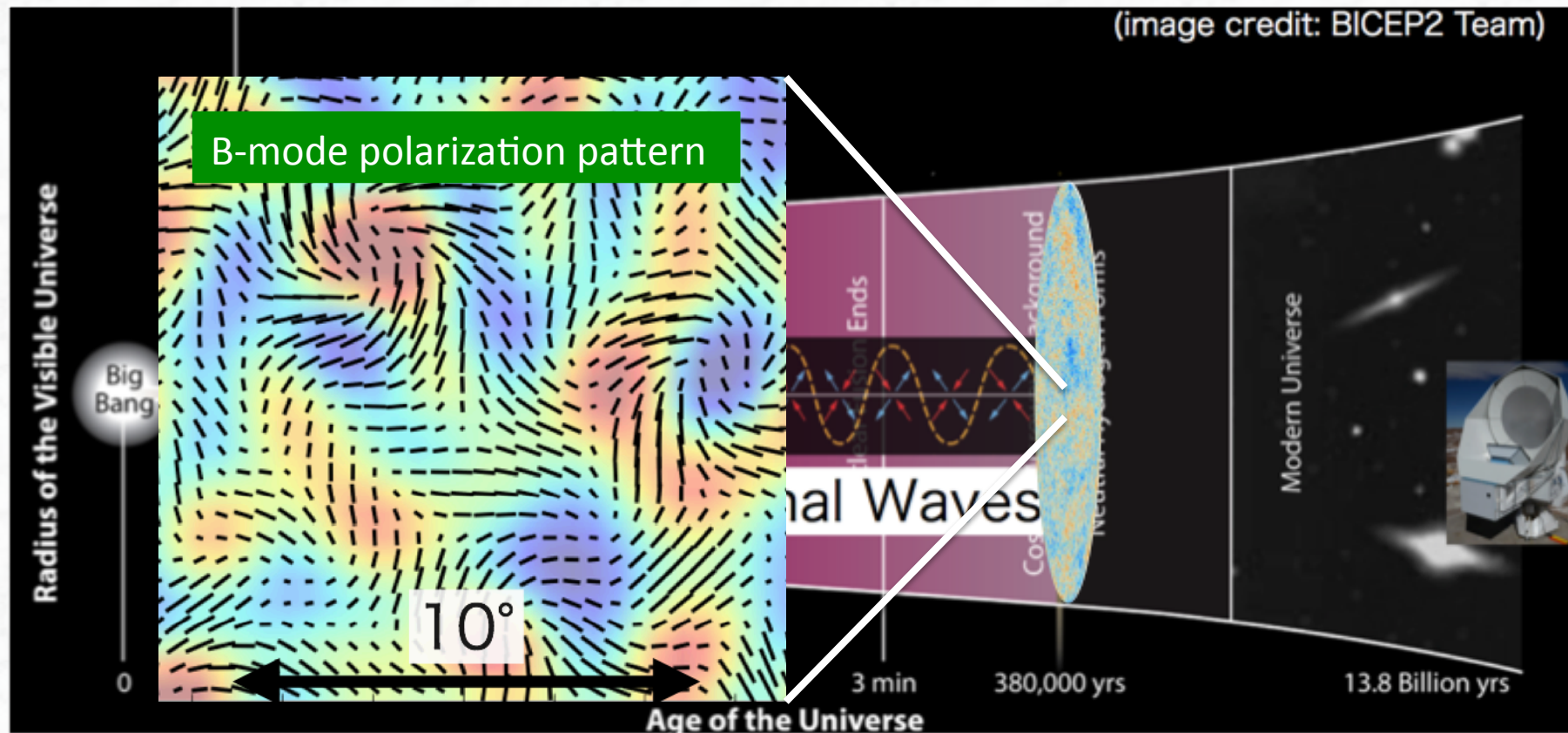


インフレーション起源 Bモード



ビッグバン理論の未解決問題 -> インフレーション理論
インフレーション期に生成した原始重力波が
CMBに特徴的なパターンを作る

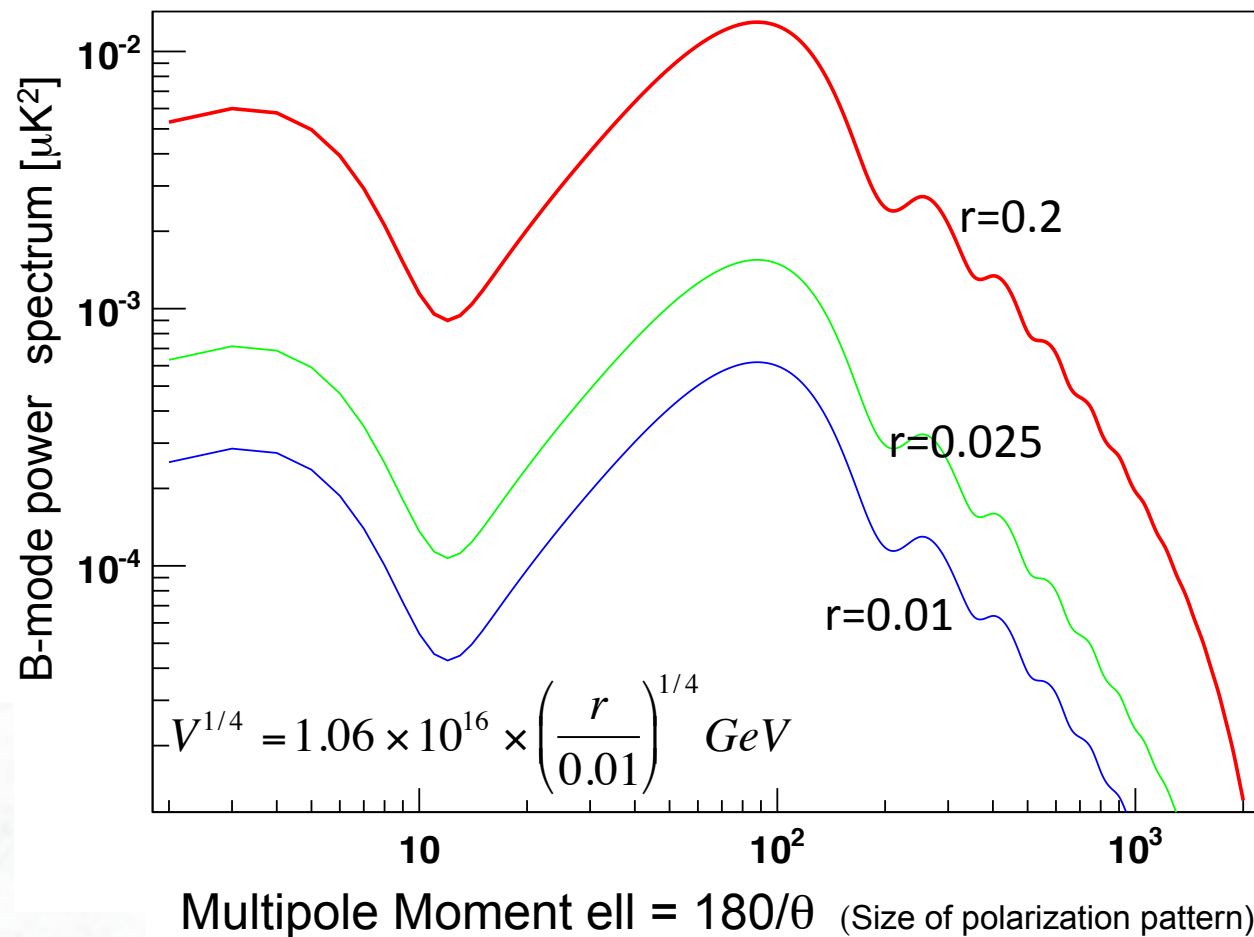
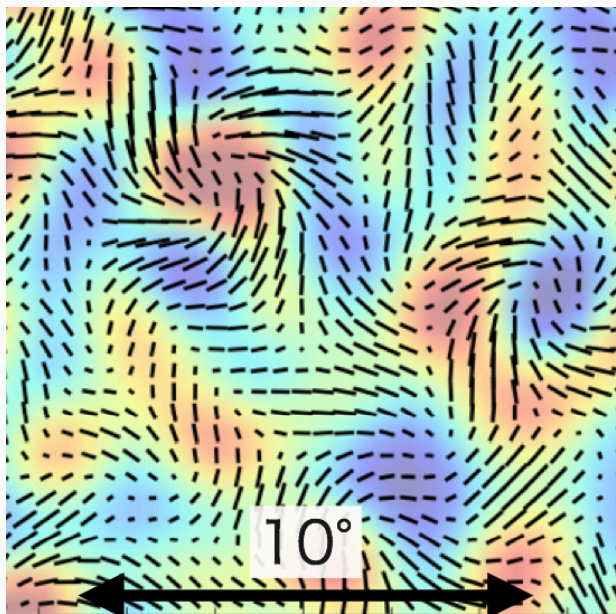
インフレーション起源 Bモード



インフレーション期に生成した原始重力波が
CMBに特徴的なパターンを作る

インフレーション起源 Bモード

r: テンソル・スカラー比
現在のrの制限 0.07



CMBのB-modeの振幅がインフレーションモデルのエネルギースケールに対応 (~GUT scale)!

重力レンズBモード

(image credit: ESA)

Last Scattering Surface

$$(Q + iU)(\hat{n}) = (\tilde{Q} + i\tilde{U})(\hat{n} + \mathbf{d}(\hat{n}))$$

~: 元々のCMB偏光

deflection angle
(重力レンズ効果)

$z \sim 1100$

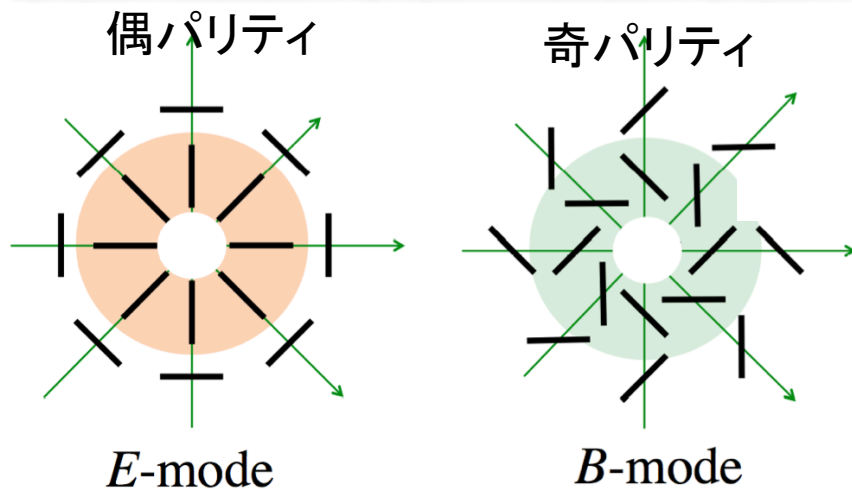
now



大規模構造の重力レンズ効果によって
重力レンズB-モードが生成 (~0.2 deg.)

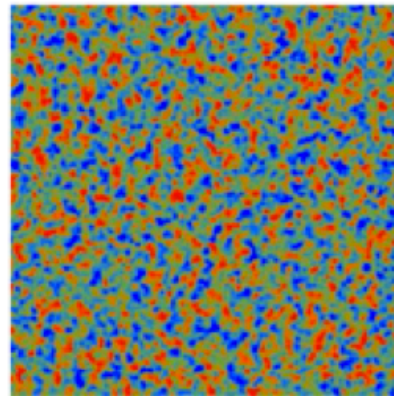
Lensing E-modeとB-mode

16.3.2



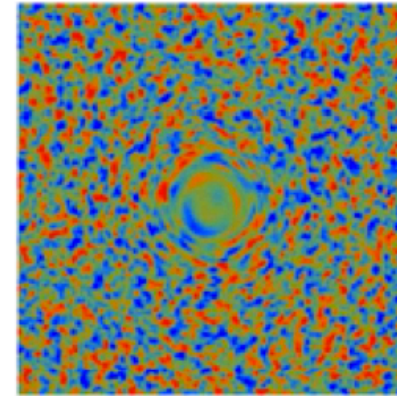
大規模構造の重力ポテンシャル
によって曲げられる

CMB
Eモード



d
→

weak
lensing

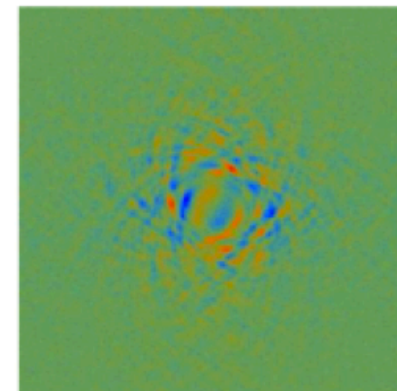


“Lensed”
CMB
Eモード

CMB
Bモード



→

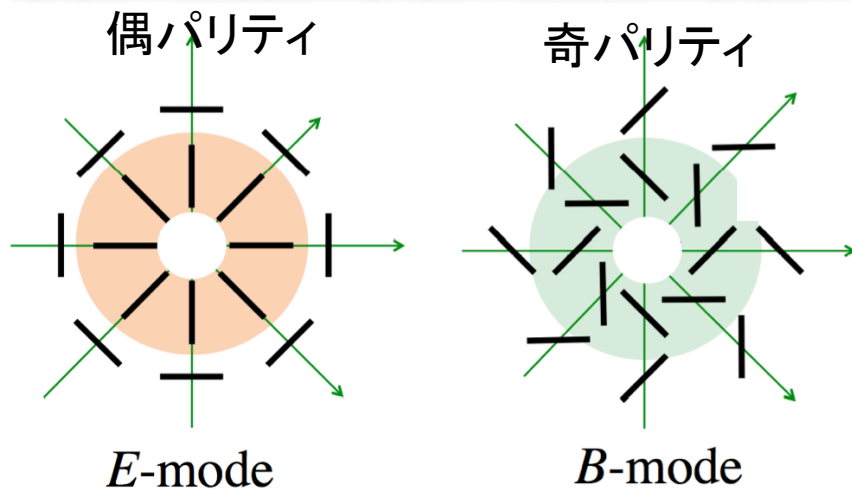


“Lensed”
CMB
Bモード

(Hu, Okamoto 2002)

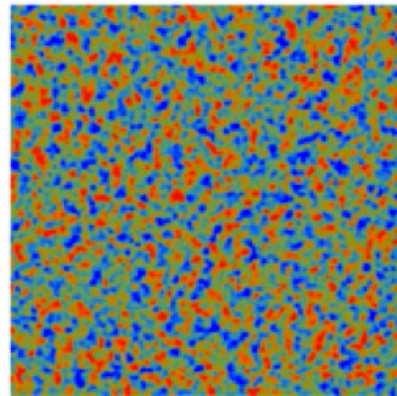
Lensing E-modeとB-mode

16.3.2

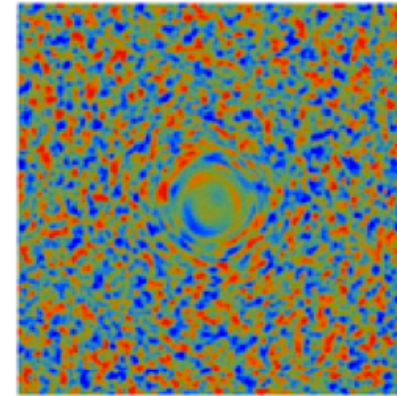


大規模構造の重力ポテンシャル
によって曲げられる

CMB
Eモード



d
→



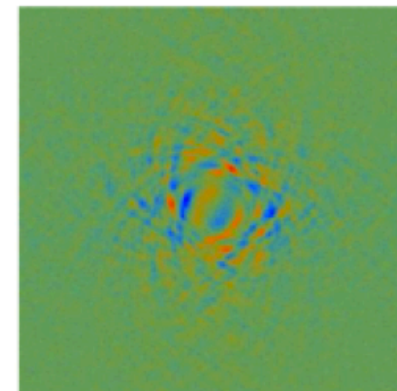
“Lensed”
CMB
Eモード

CMB
Bモード



weak
lensing
↘

→



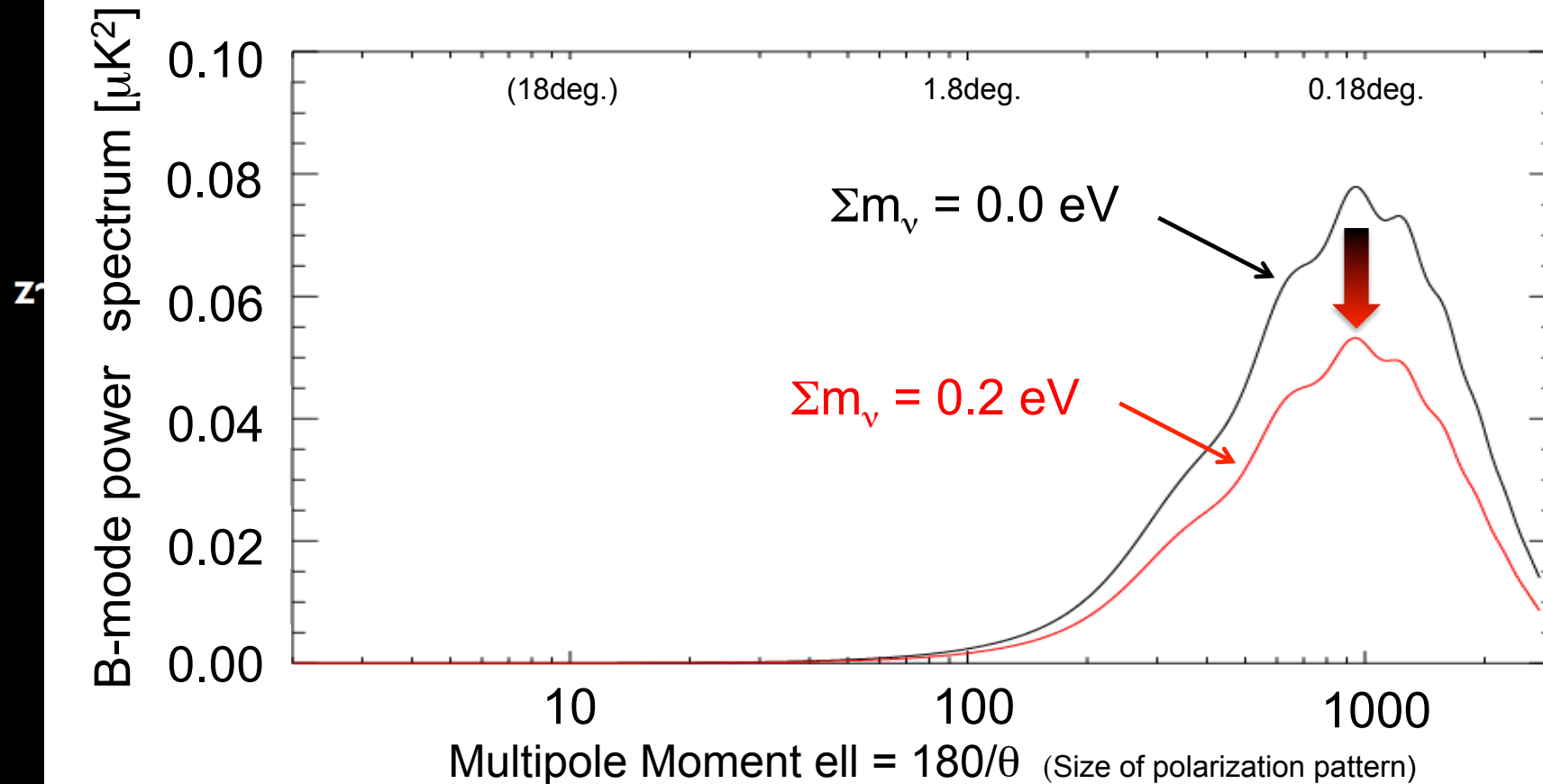
“Lensed”
CMB
Bモード

(Hu, Okamoto 2002)

重力レンズBモード

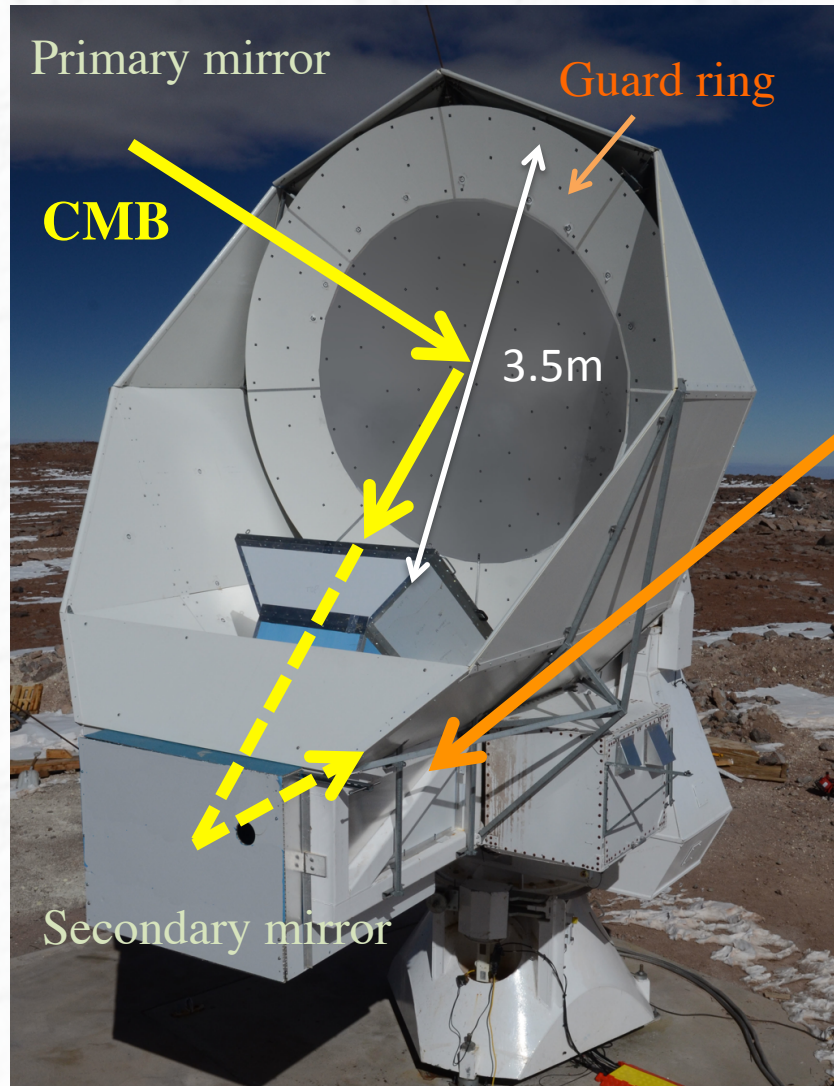
Last Scattering Surface

(image credit: ESA)

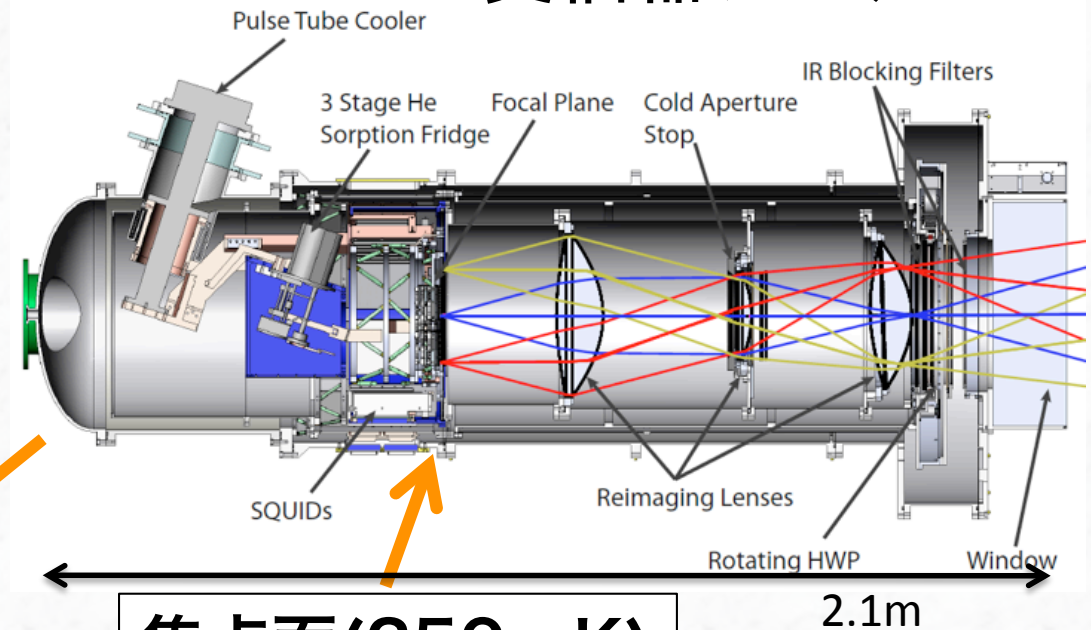


大規模構造の重力レンズ効果によって
重力レンズBモードが生成

Huan Tran Telescope

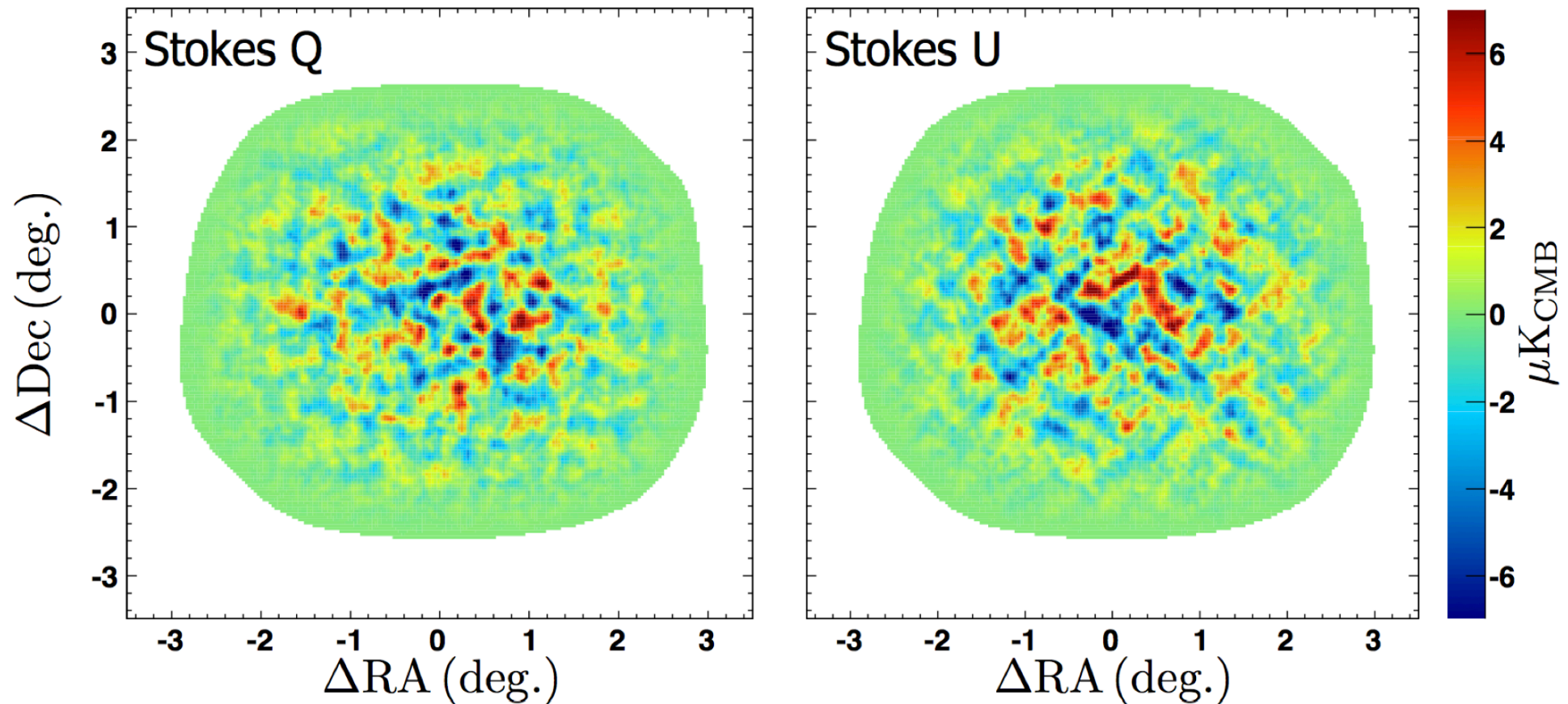


POLARBEAR-1受信器システム

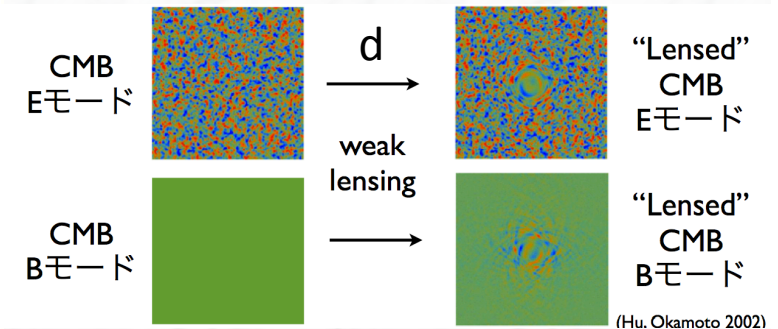
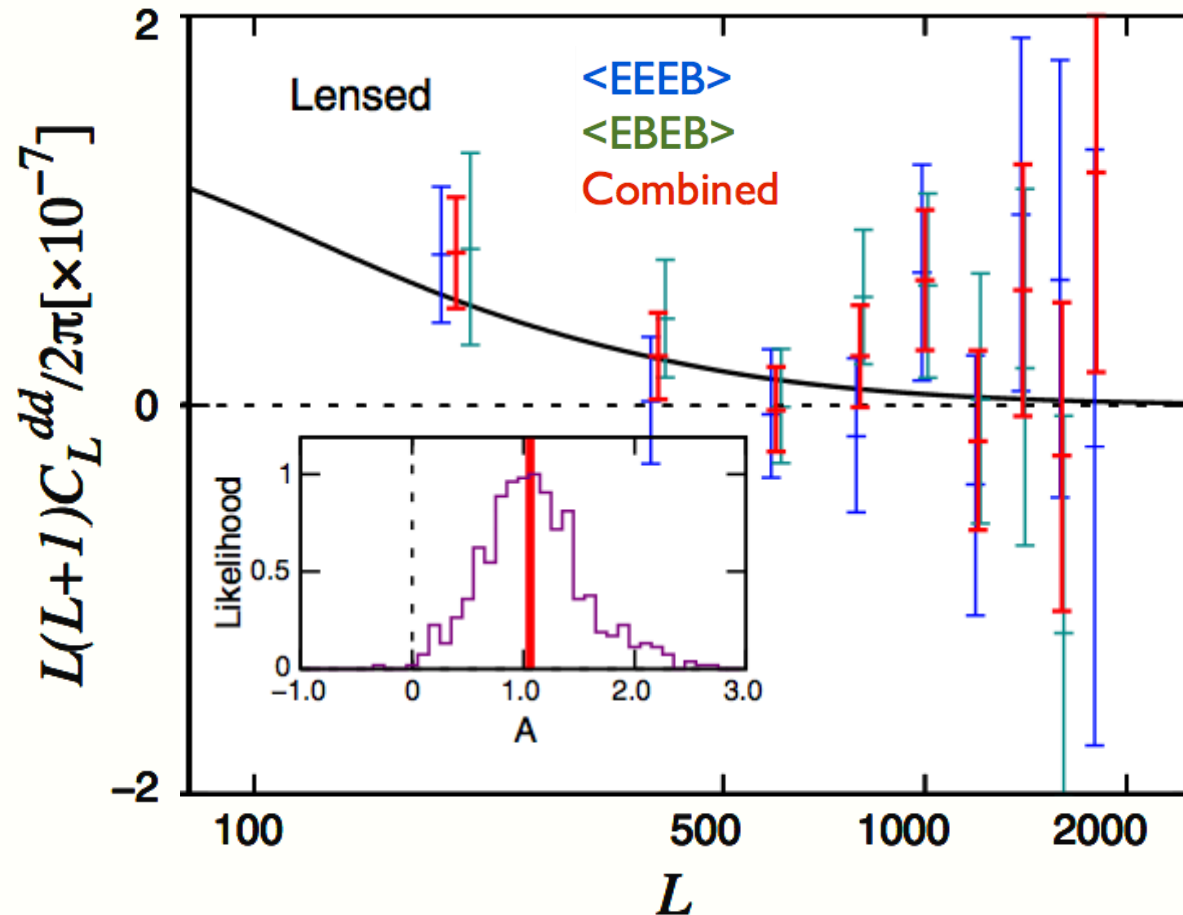


焦点面(250mK)

- 2012年から観測を開始
 - チリ アタカマ(5200m)で観測
 - 1274個の超伝導TESボロメータ
 - 観測周波数: 150GHz
 - 角度分解能: 3.5arcmin (FWHM)
- インフレーション, 重力レンズB-mode
双方に感度がある

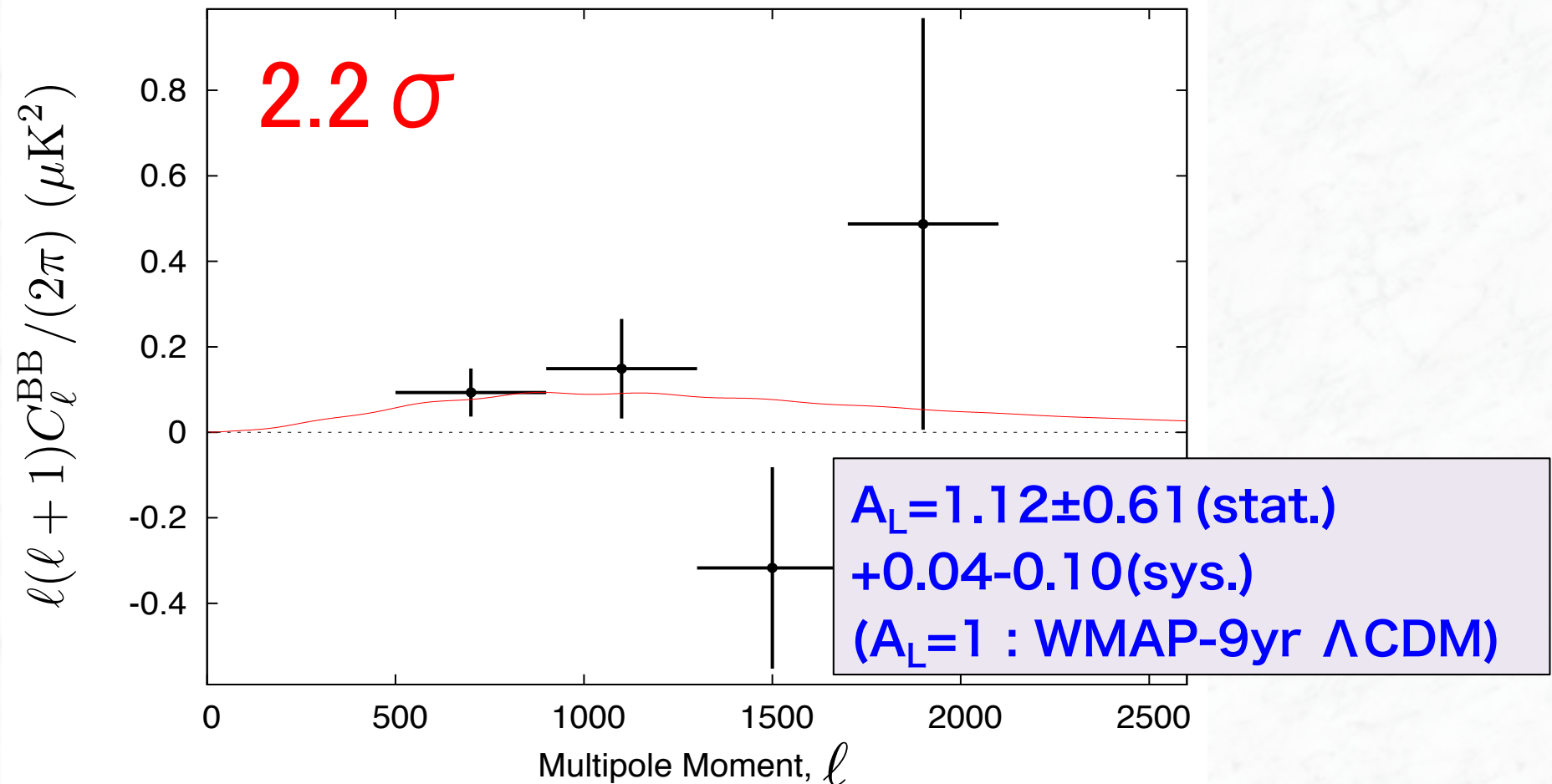


- CMBの偏光信号をクリアに検出
- ノイズレベル : 5.5uK-arcmin (Planck衛星より10倍低い)



$A=1.37 \pm 0.30$ (stat.)
 ± 0.13 (sys.)
 (A=1: Λ CDM w/ WMAP9)

- $\langle EEEB \rangle$ と $\langle EBEB \rangle$ の間でコンシステント
- レンズ効果無しを 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



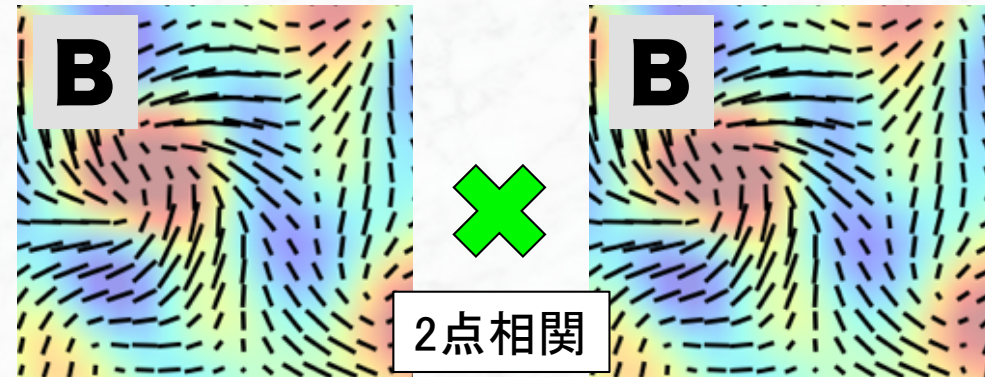
- Null hypothesisを97.5%の信頼度で棄却
- 信号強度は予想とコンシステント

(1) Bモードパワースペクトル

“First direct measurement
of B-mode power spectrum”

arXiv:1403.2369

Astrophys. J. 794, 171



(2) レンズ効果のパワースペクトル

“First evidence of polarization lensing”

arXiv:1312.6646

PRL 112, 021301

(Editor's suggestion)



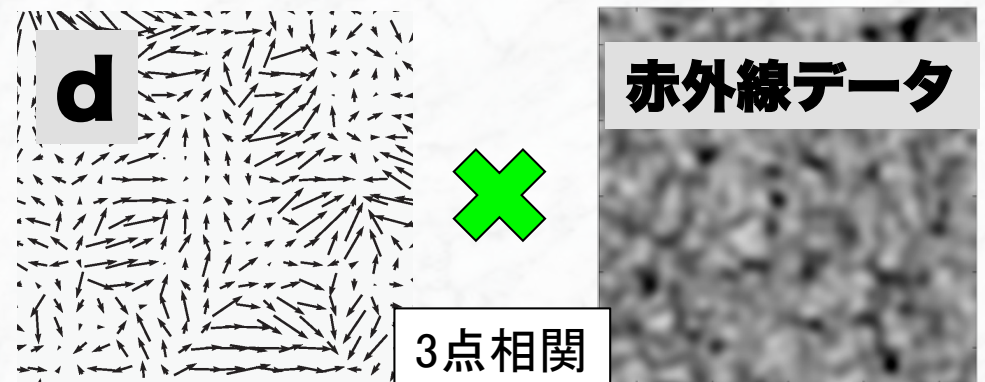
(3) レンズ効果のパワースペクトル

赤外線データとの相互相関解析

arXiv:1312.6645

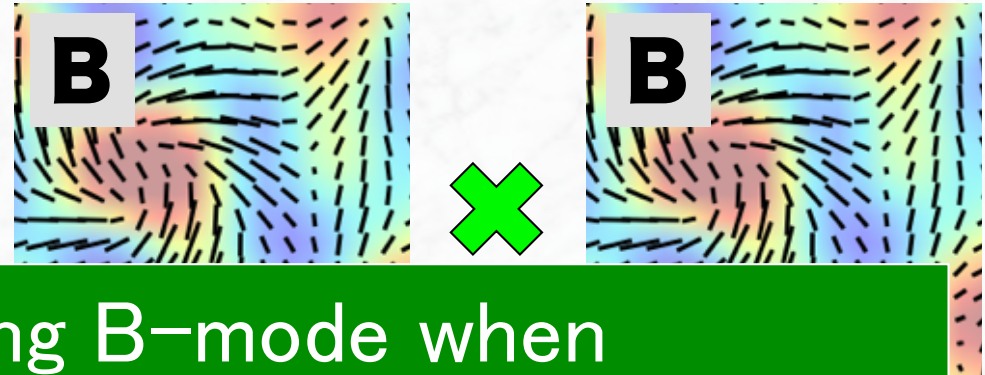
PRL 112, 131302

(Editor's suggestion)



(1) Bモードパワースペクトル

“First direct measurement
of B-mode power spectrum”



4.7σ evidence for lensing B-mode when
combined with C_l^{dd} measurement.

CMB偏光データのみを用いた初の重力レンズ偏
光Bモードの検出

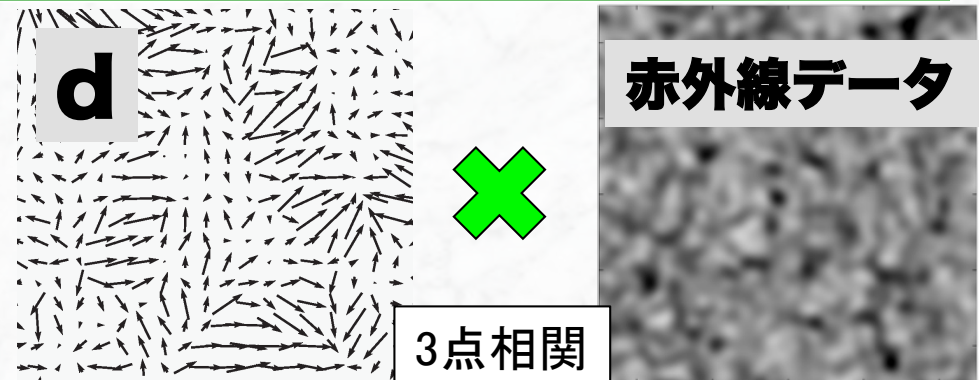
(3) 歪み場のパワースペクトル

赤外線データとの相互相関解析

arXiv:1312.6645

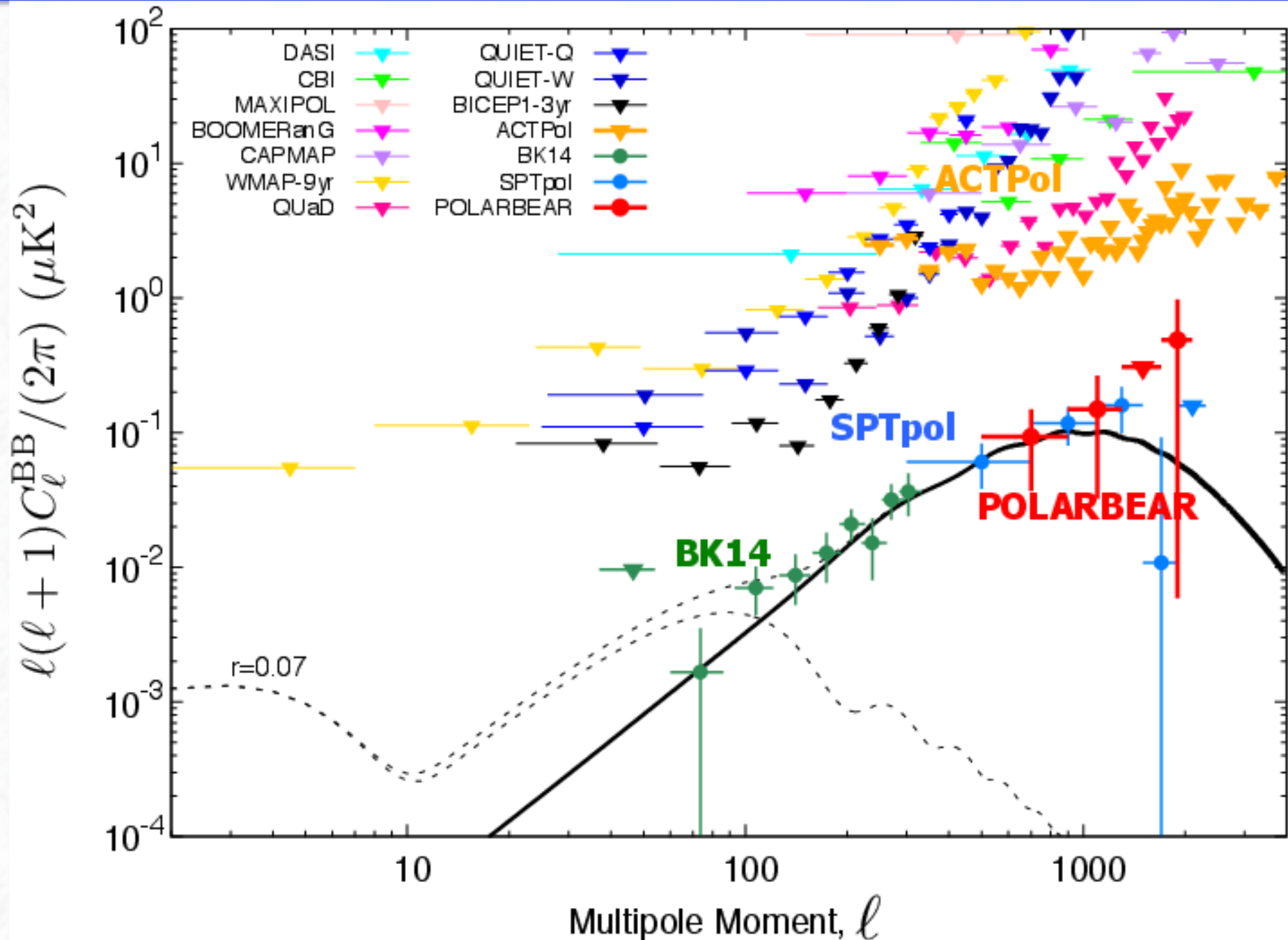
PRL 112,131302

(Editor's suggestion)



B-mode観測の現状

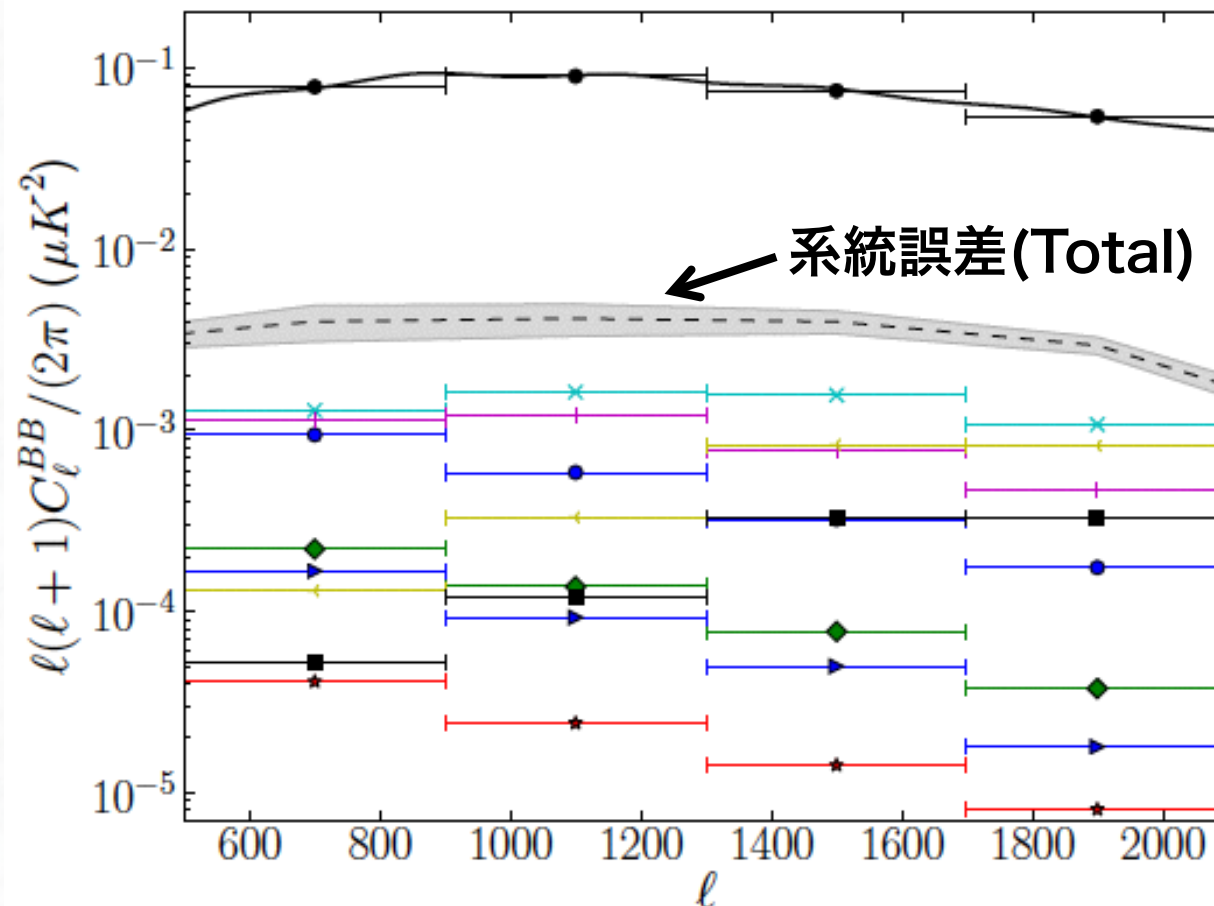
16.3.2



- 宇宙マイクロ波背景放射偏光の精密測定をPOLARBEARプロジェクトが行っている
- POLARBEAR-1実験は一連のB-mode偏光の観測結果を発表。4.7 σ でCMB偏光データを用いた初の重力レンズ偏光Bモードの検出を達成。
- 現在、アップグレード計画であるPOLARBEAR-2が開発中。実験室でのシグナル、ビームの観測に成功し、翌年の本観測（チリ）に向けてシステム全体のノイズ評価、光学系の評価を行っている。

バックアップスライド

偏光Bモードに対する系統誤差



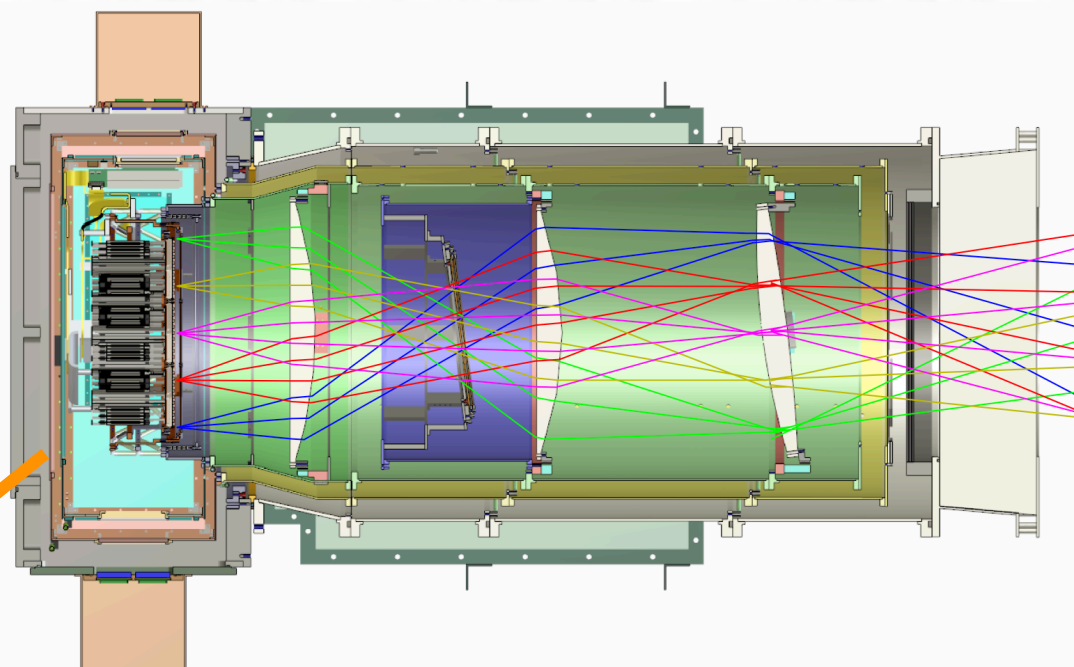
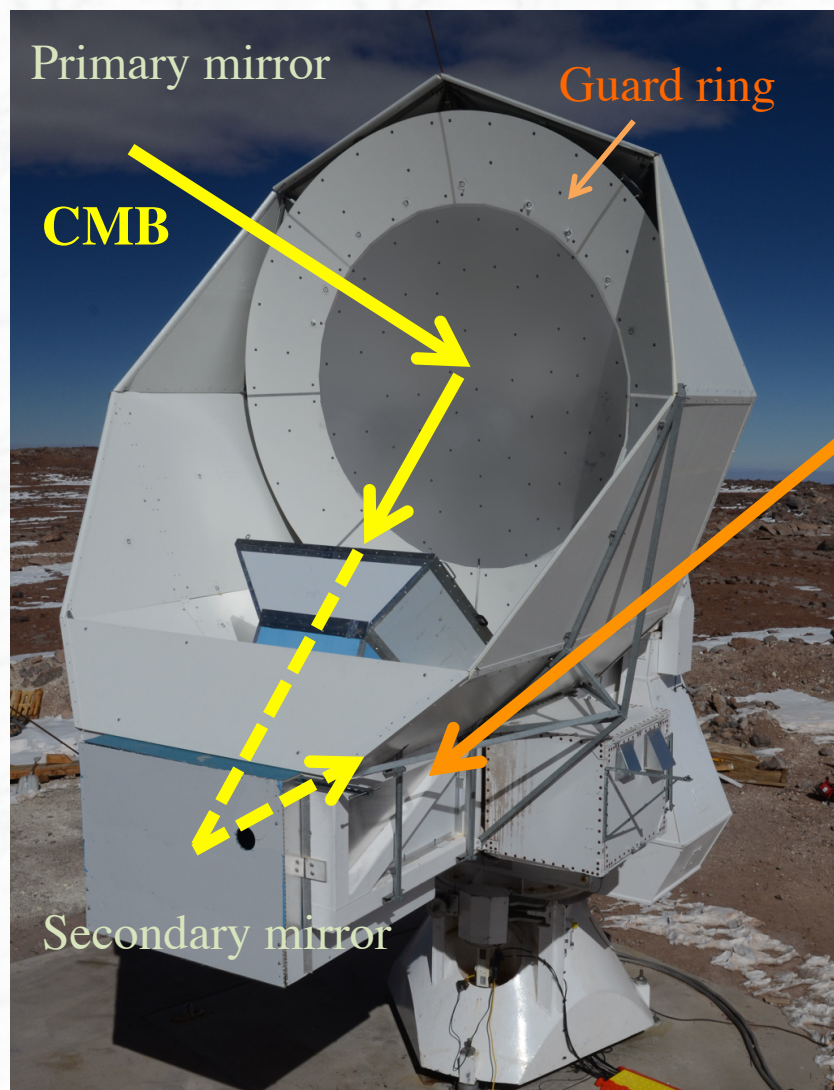
Bモード
シグナル

系統誤差

*ちなみに前景放射の寄与は信号に対して~5%程度

系統誤差は信号強度と比べて十分小さい

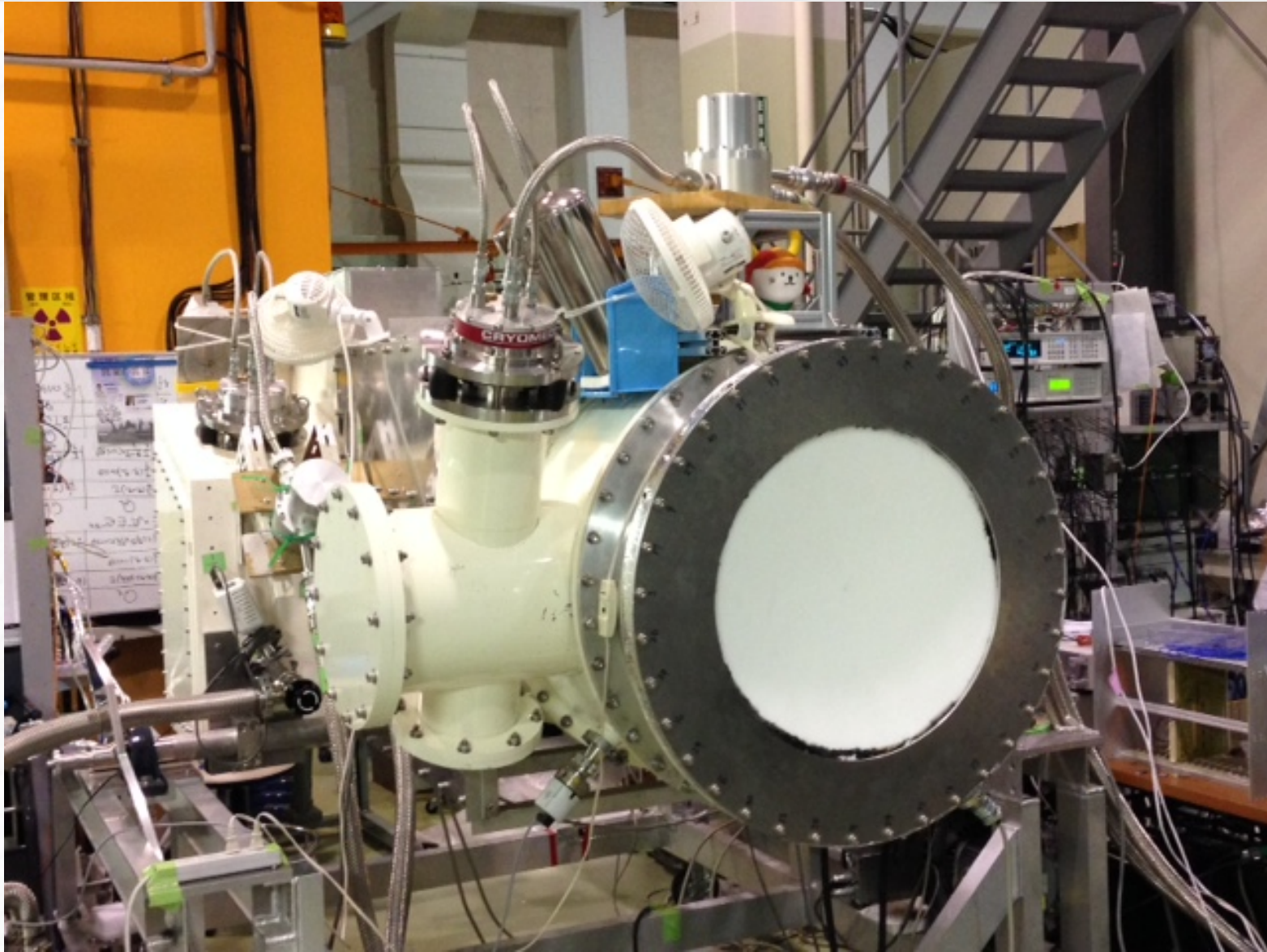
Huan Tran Telescope



POLARBEAR-2の特徴

- 検出器数: 1274個 → 7588個
- 周波数: 150GHz → 95/150GHz
- 光学系の冷却によるノイズ低減

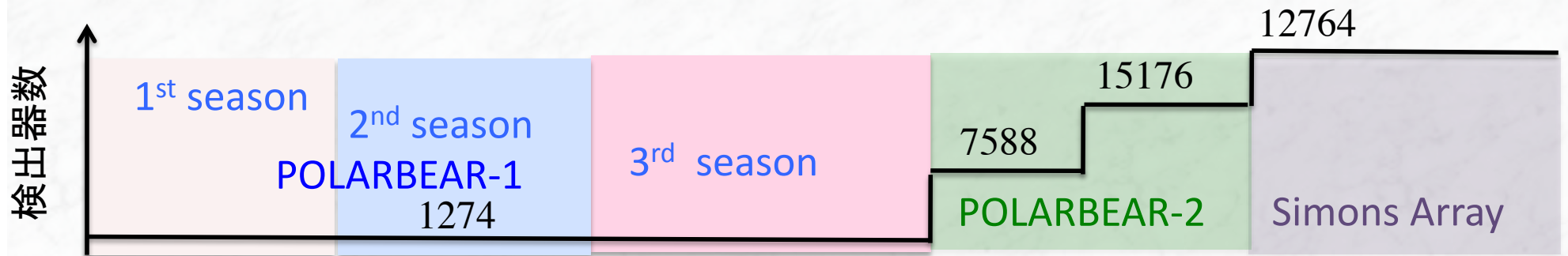
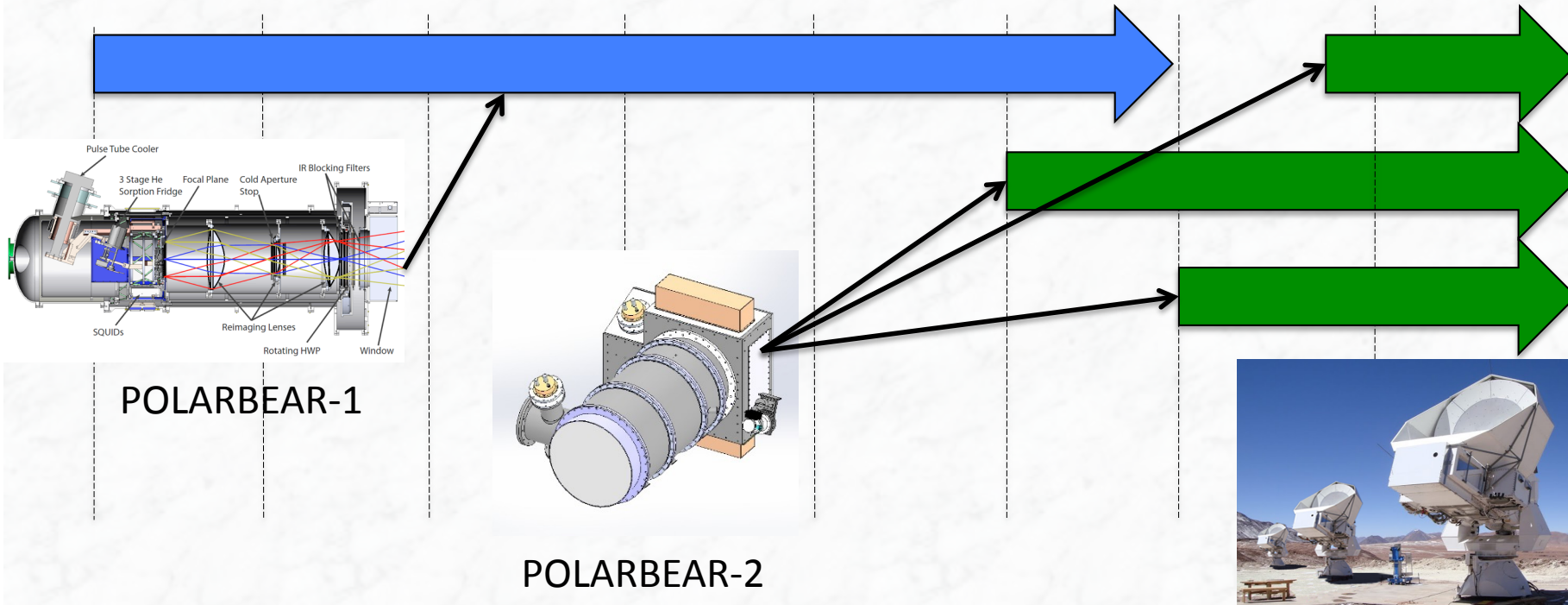
KEKを中心に開発した世界最大級(500mm)の低温光学系によって実現

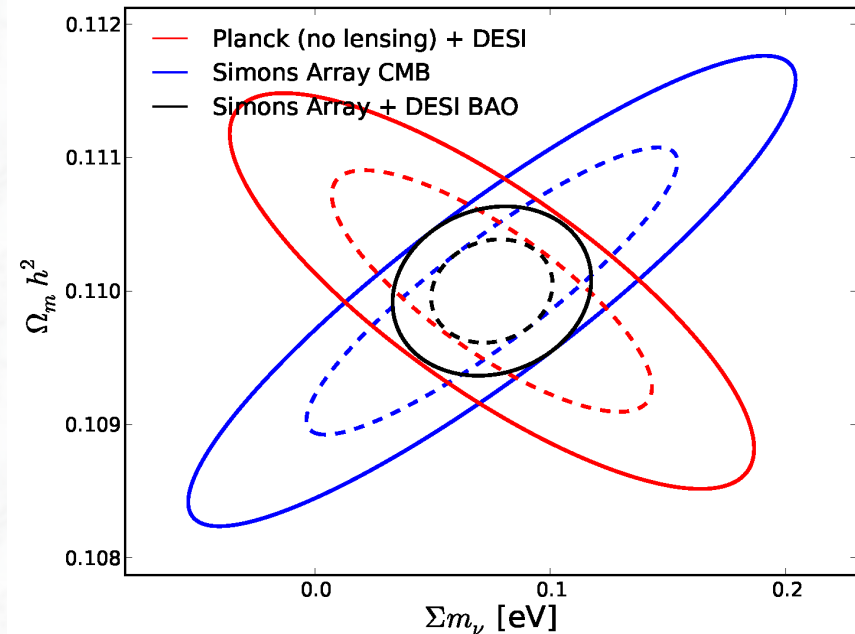
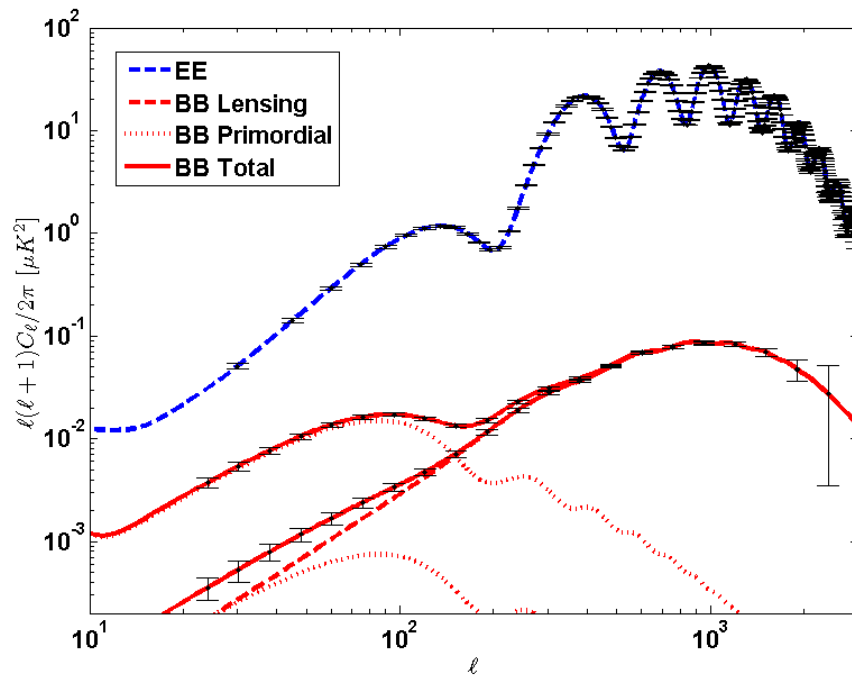


Timeline of POLARBEAR project

16.3.2

2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020





- Eモード/Bモードスペクトルの精密測定
 - $r=0.01$ を 5σ で検出可能。→ モデルの選別が可能になる
 - ニュートリノ質量和: 19meV @ 1σ w/ Planck, DESI

注) 前景放射と系統誤差は考慮されていないので、あくまで最終ゴール

2つの検出器の出力の差を見る。

$$\begin{aligned}\text{偏光} : P_A - P_B \\ = g_A E_x^2 - g_B E_y^2\end{aligned}$$

3大系統誤差

(1) ゲインの不一致

g_A, g_B を1%間違えると強度の1%が偏光に漏れ込む

(2) 視野(Beam)に関する不一致

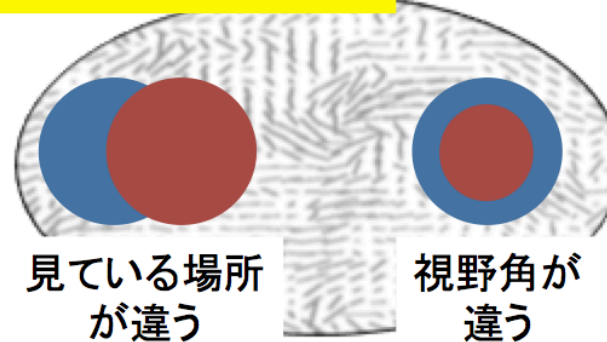
A,Bの見ている所が違うと(CMBには温度ムラがあるので)偽偏光を生む

(3) アンテナの方向の較正ミス

EモードがBモードになれ込む

無偏光 $\rightarrow$ B-mode

縦と横の引き算で失敗



E-mode $\rightarrow$ B-mode

