

LiteBIRDにおけるシミュレーションを用いた系統誤差の評価

石野宏和 (岡山大)

永田竜、羽澄昌史 (KEK)

松村知岳 (JAXA/ISAS)

片山伸彦、菅井肇 (Kavli IPMU)

2016年3月19日

日本物理学会春季大会

LiteBIRD

Lite (Light) Satellite for the studies of **B**-mode polarization and **I**nflation from cosmic background **R**adiation **D**etection

<http://litebird.jp/>

LiteBIRDは、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光を究極の感度で測定することを目的とする次世代の科学衛星。

全天を3年間かけて観測することにより、大角度スケール ($2 \leq \ell \leq 200$) のBモード偏光スペクトルを測定。
原始重力波の強度を示す、テンソル・スカラー比 r を $\sigma_r = 0.001$ の精度で測定。

LiteBIRD working group

122 members, international and interdisciplinary.

JAXA

H. Fuke
I. Kawano
H. Matsuhara
T. Matsumura
K. Mitsuda
T. Nishibori
K. Nishijo
A. Noda
A. Okamoto
S. Sakai
Y. Sato
K. Shinozaki
H. Sugita
Y. Takei
M. Utsunomiya
T. Wada
N. Yamasaki
T. Yoshida
K. Yotsumoto

Osaka U.

S. Kuromiya
M. Nakajima
S. Takakura
K. Takano

Osaka Pref. U.

M. Inoue
K. Kimura
M. Kozu
H. Ogawa
N. Okada

Okayama U.

H. Ishino
A. Kibayashi
Y. Kibe
Y. Kida
A. Okamoto
Y. Yamada

NIFS

S. Takada

Kavli IPMU

K. Hattori
N. Katayama
H. Sugai

KEK

M. Hazumi (PI)
M. Hasegawa
N. Kimura
K. Kohri
H. Morii
T. Nagasaki
R. Nagata
H. Nishino
S. Oguri
T. Okamura
N. Sato
T. Suzuki
O. Tajima
T. Tomaru
M. Yoshida

SOKENDAI

Y. Akiba
Y. Inoue
H. Ishitsuka
Y. Segawa
H. Watanabe

NAOJ

A. Dominjon
J. Inatani
K. Karatsu
S. Kashima
T. Nitta
T. Noguchi
S. Sekiguchi
Y. Sekimoto
S. Shu

Saitama U.

M. Naruse

NICT

Y. Uzawa

Konan U.

I. Ohta

U. Tokyo

N. Tomita

Kansei

Gakuin U.

S. Matsuura

U. Tsukuba

M. Nagai

TIT

S. Matsuoka
R. Chendra

Tohoku U.

M. Hattori
T. Morishima

Nagoya U.

K. Ichiki

Yokohama Natl. U.

T. Fujino
F. Irie
K. Mizukami
S. Nakamura
K. Natsume
T. Yamashita

RIKEN

S. Mima
C. Otani

APC Paris

R. Stompor

CU Boulder

N. Halverson

McGill U.

M. Dobbs

MPA

E. Komatsu

NIST

G. Hilton
J. Hubmayr

Stanford U.

K. Irwin
C.-L. Kuo
T. Namikawa

U. Wales, Cardiff

G. Pisano

U. Wisconsin

K. Arnold

UC Berkeley / LBNL

J. Borrill
Y. Chinone
A. Cukierman
T. de Haan
J. Errard
N. Goeckner-wald
P. Harvey
C. Hill
Y. Hori
W. Holzapfel
O. Jeong
A. Kusaka
A. Lee(US PI)
E. Linder
P. Richards
U. Seljak
B. Sherwin
A. Suzuki
P. Turin
B. Westbrook
N. Whitehorn

UC San Diego

T. Elleflot
B. Keating
G. Rebeiz

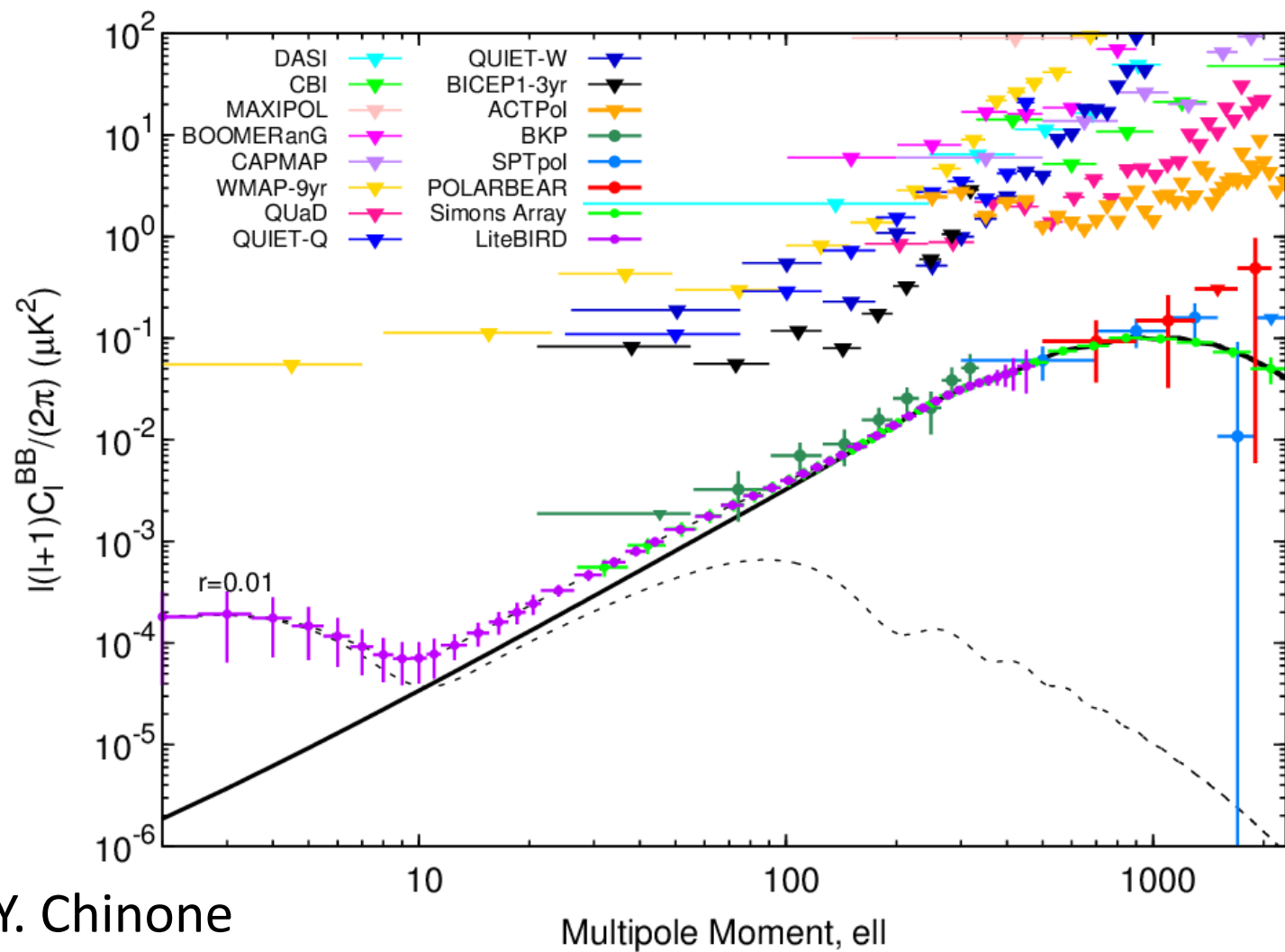
X-ray
astrophysicists

JAXA engineers

CMB exp.

Superconducting
detector

LiteBIRDの測定精度($r=0.01$ のとき)



LiteBIRDが目標を達成するのに必要な成分

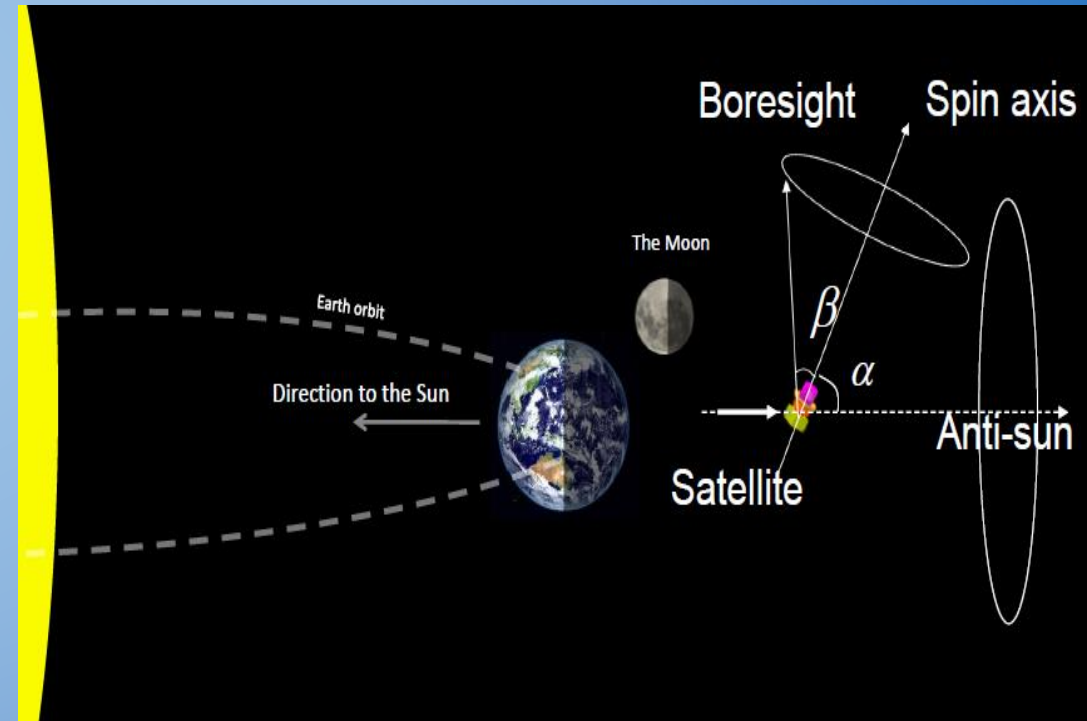
- 統計誤差：
 - 約2300個の超伝導検出器素子で、3年間の観測で $3.2\mu\text{K}\cdot\text{arcmin}$ の感度
- 前景放射除去：
 - 19pAS-12での山下さん（横国大）の講演
- 系統誤差：
 - 半波長板(HWP)を用いた偏光の変調による緩和：19pAS-14での松村さん（JAXA/ISAS）の講演
 - 光学部材の放射線耐性：19pAS-13での小松(国)さんの講演
 - K E K 永田さんによる解析的な見積もり：過去の学会で講演
 - 校正精度の見積もり→End-to-Endのシミュレーションによる評価

検出器のゲイン較正

- 検出器のゲインの時間的な揺らぎ
 - → 偏光マップに非一様な変動をもたらし、Eモード偏光がBモード偏光に変換される
 - → 偏光感度方向が直交する二つの検出器で偏光を測定する場合、二つの検出器にゲインの差が生じると、CMBの温度（モノポール）が偏光成分に変換される。
- ゲインの較正源
 - CMBのドップラー双極子（ダイポール）信号
 - 振幅3mK
 - 半波長板の $2f$ 信号
 - 惑星

目的

- CMBダイポール信号を用いたゲイン校正の精度をシミュレーションにより求める。
 - 検出器ノイズが校正精度を制限
 - $1/f$ ノイズの f_{knee} に依存。
 - ホワイトノイズ成分は $50\mu\text{K}\sqrt{s}$ を仮定。
 - 全天スキャン方法に依存
 - スピン角度 (β) が大きいほど振幅が大
 - 現在のベースラインでは、 $\alpha=65$ 度、 $\beta=30$ 度
 - $\alpha + \beta = 95$ 度に固定。
 - 太陽が視野に入らない
 - 全天をくまなくスキャン



方法

$$\vec{d} = gP\vec{m} + \vec{n}$$

$$\chi^2 = (\vec{d} - gP\vec{m})^t V^{-1} (\vec{d} - gP\vec{m})$$

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial g} = 0 \quad \text{より} \quad \hat{g} = \frac{\vec{m}^t P^t V^{-1} \vec{d}}{\vec{m}^t P^t V^{-1} P \vec{m}}$$

$$\hat{g} - g = \frac{\vec{m}^t P^t V^{-1} \vec{n}}{\vec{m}^t P^t V^{-1} P \vec{m}}$$

$\vec{d}$: TOD (Time Ordered Data)

g : Detector gain

P : Pointing matrix

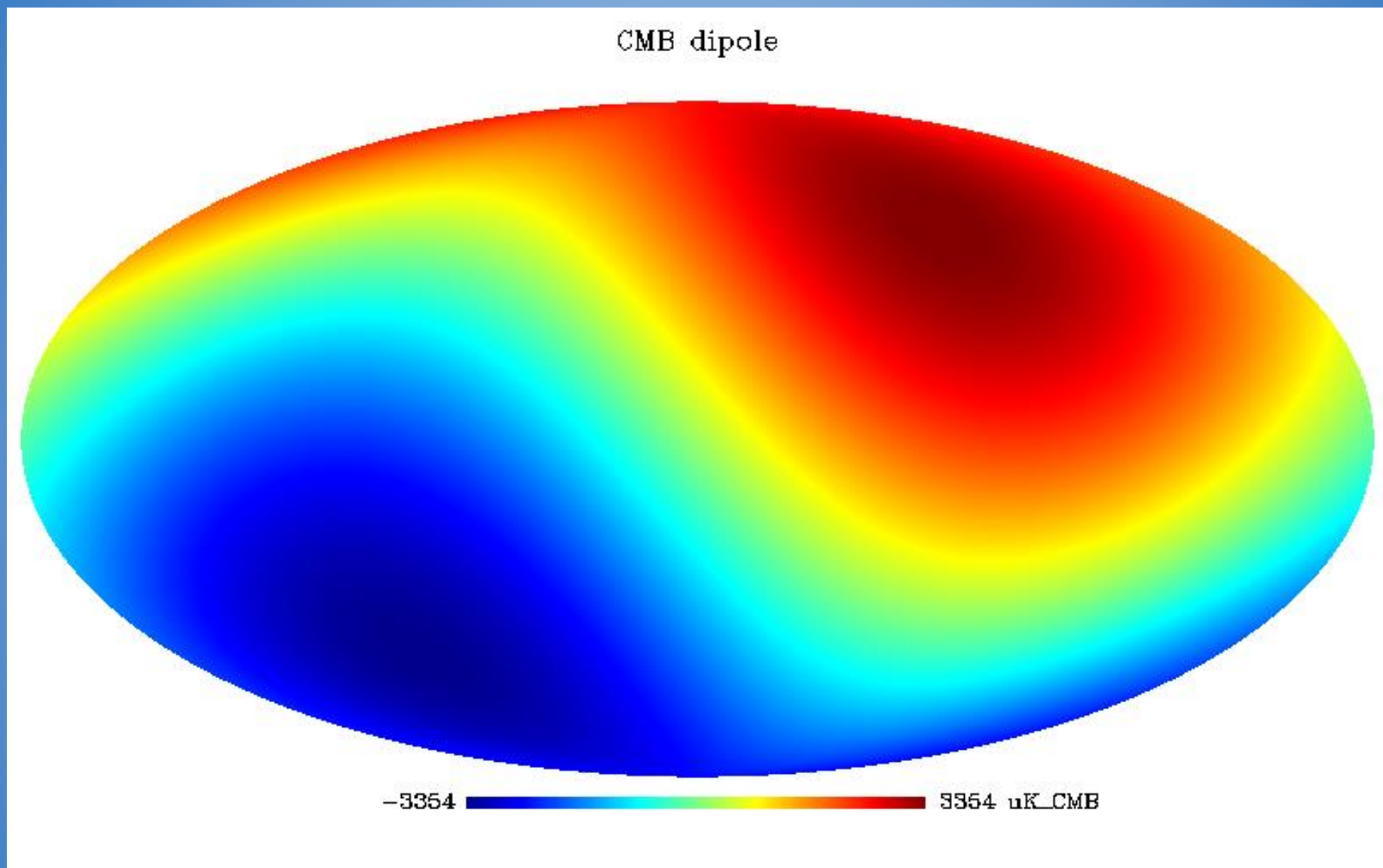
$\vec{m}$: Sky map vector

$\vec{n}$: Noise vector

V : Noise covariance matrix

LiteBIRDで全天スキャンし、
CMBダイポールの時系列データ
を生成。ノイズを上乗せする。

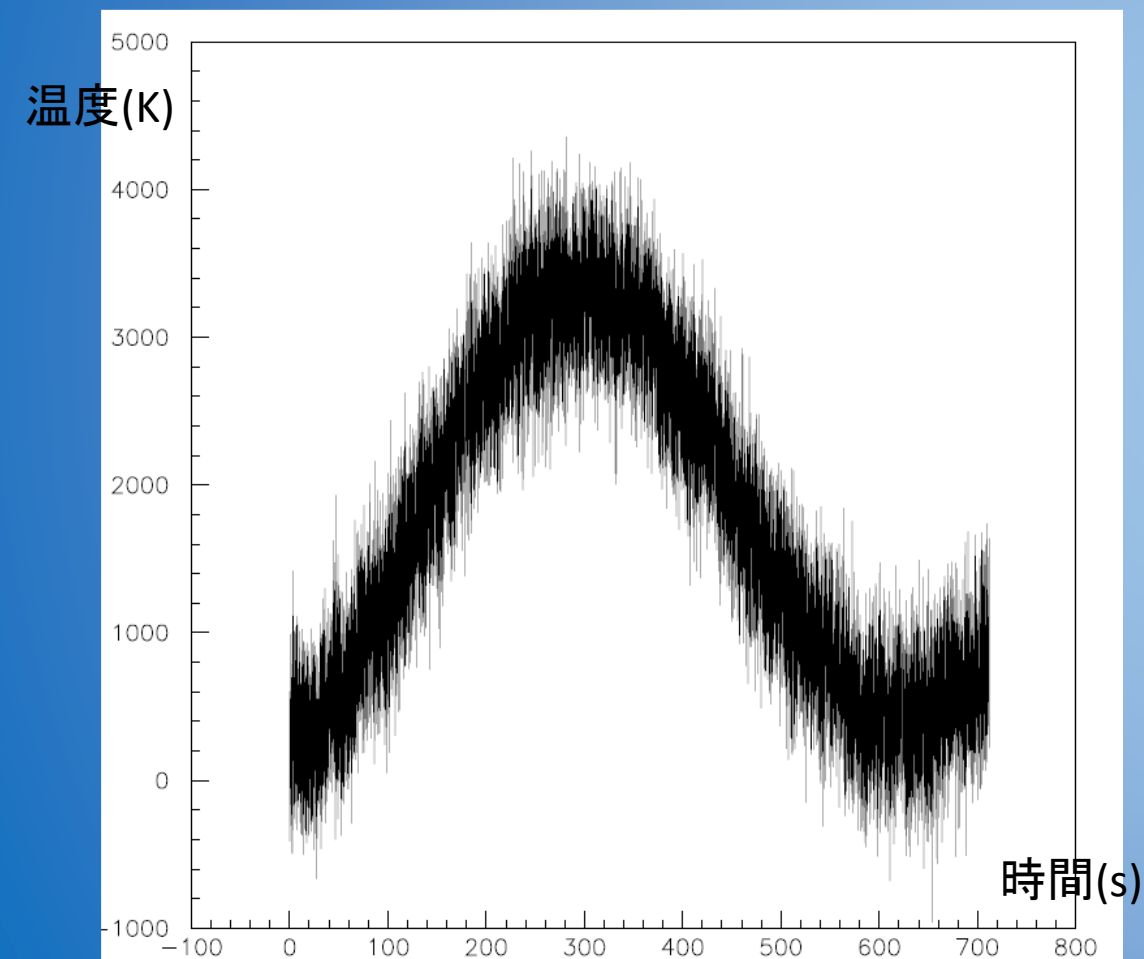
TODの長さは、スピン約1周
に相当する長さ
→0.1rpm=10分=1.7mHz



J. Delabrouille et al., arXiv:1207.3675

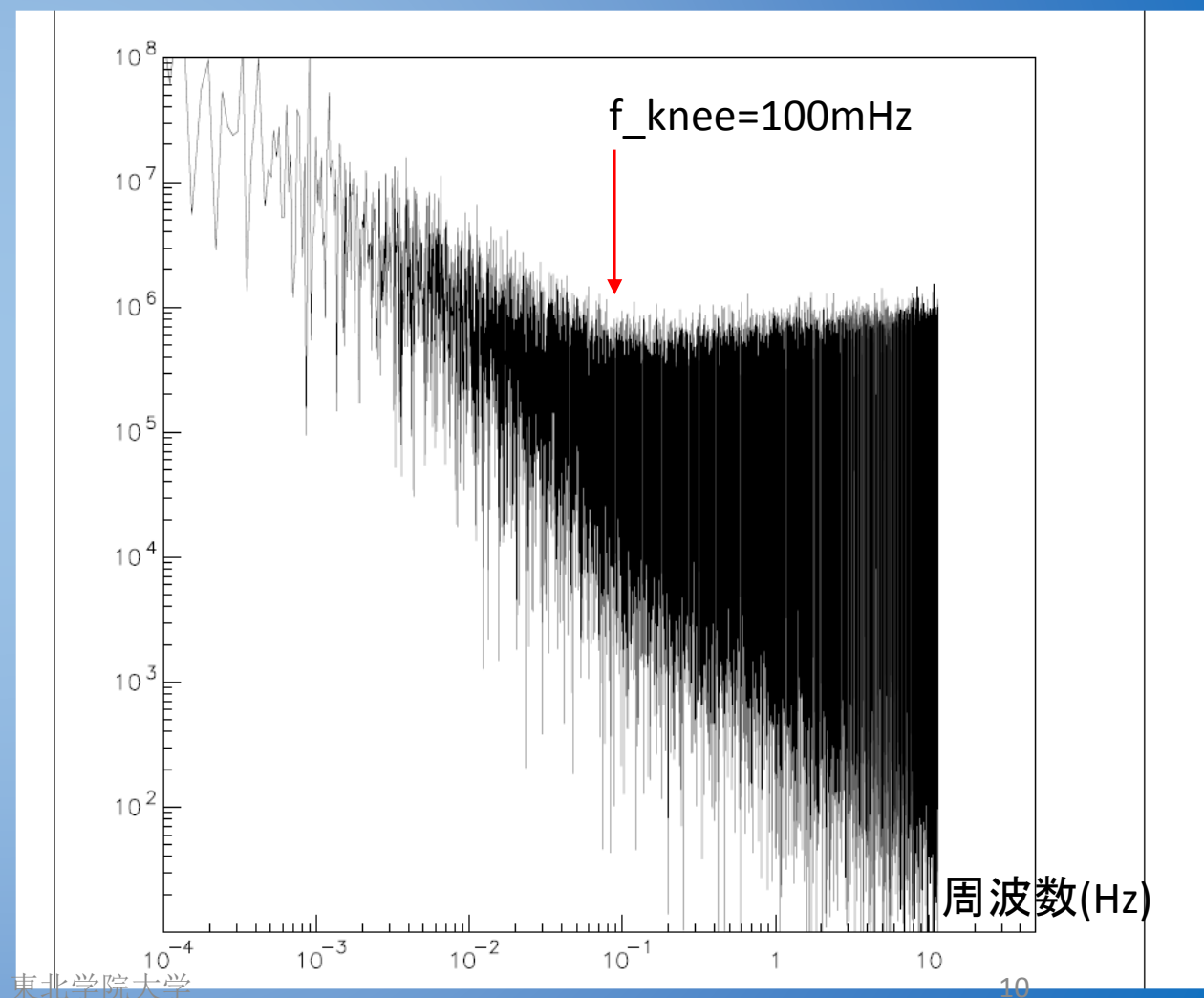
時系列データ (CMBダイポール +ノイズ、 $f_{\text{knee}}=100\text{mHz}$)

時系列データのパワースペクトル

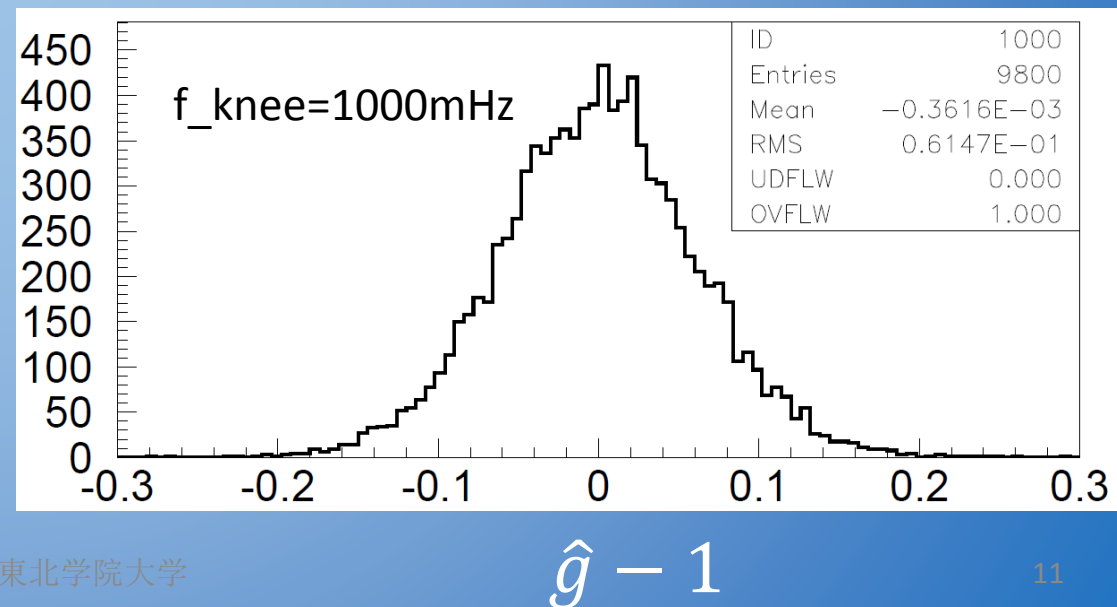
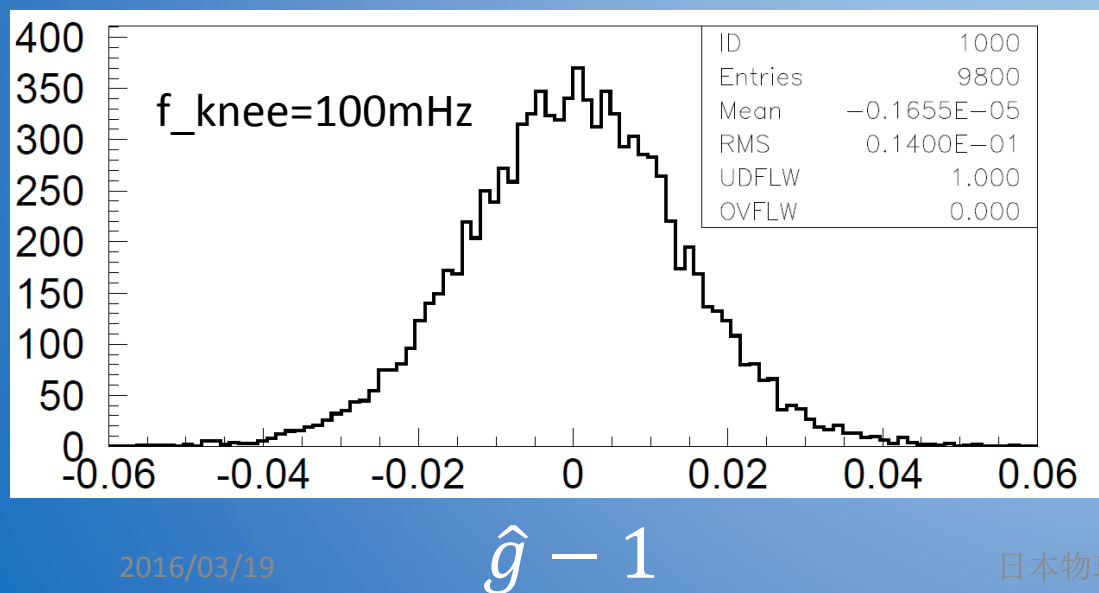
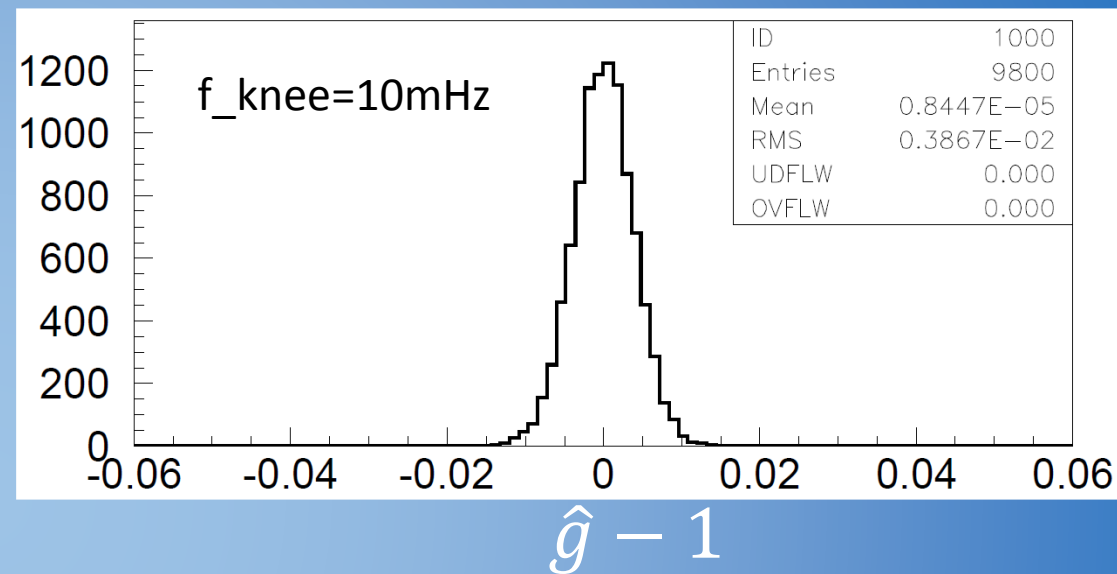
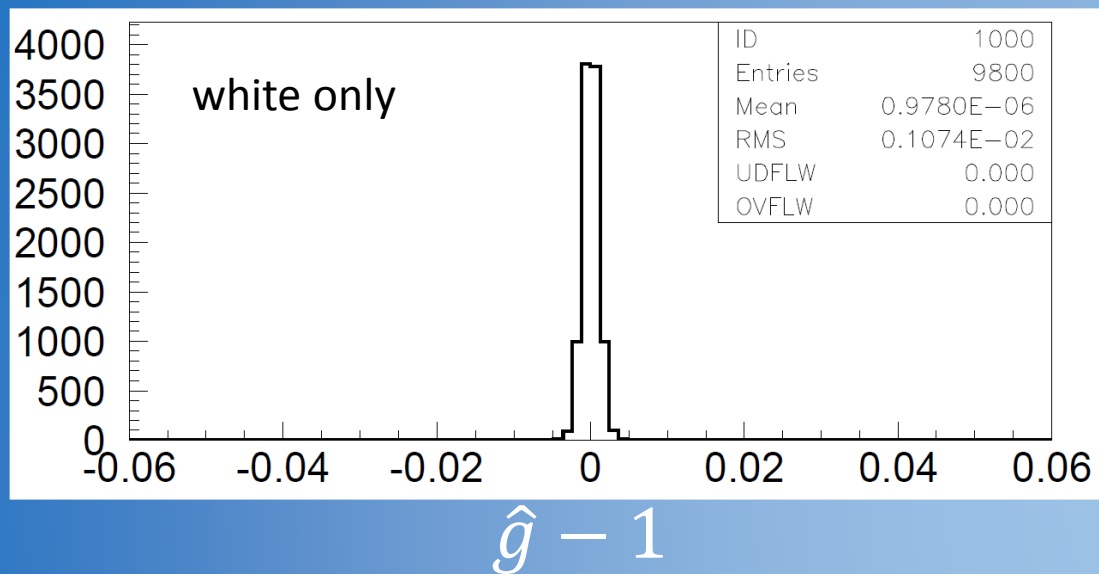


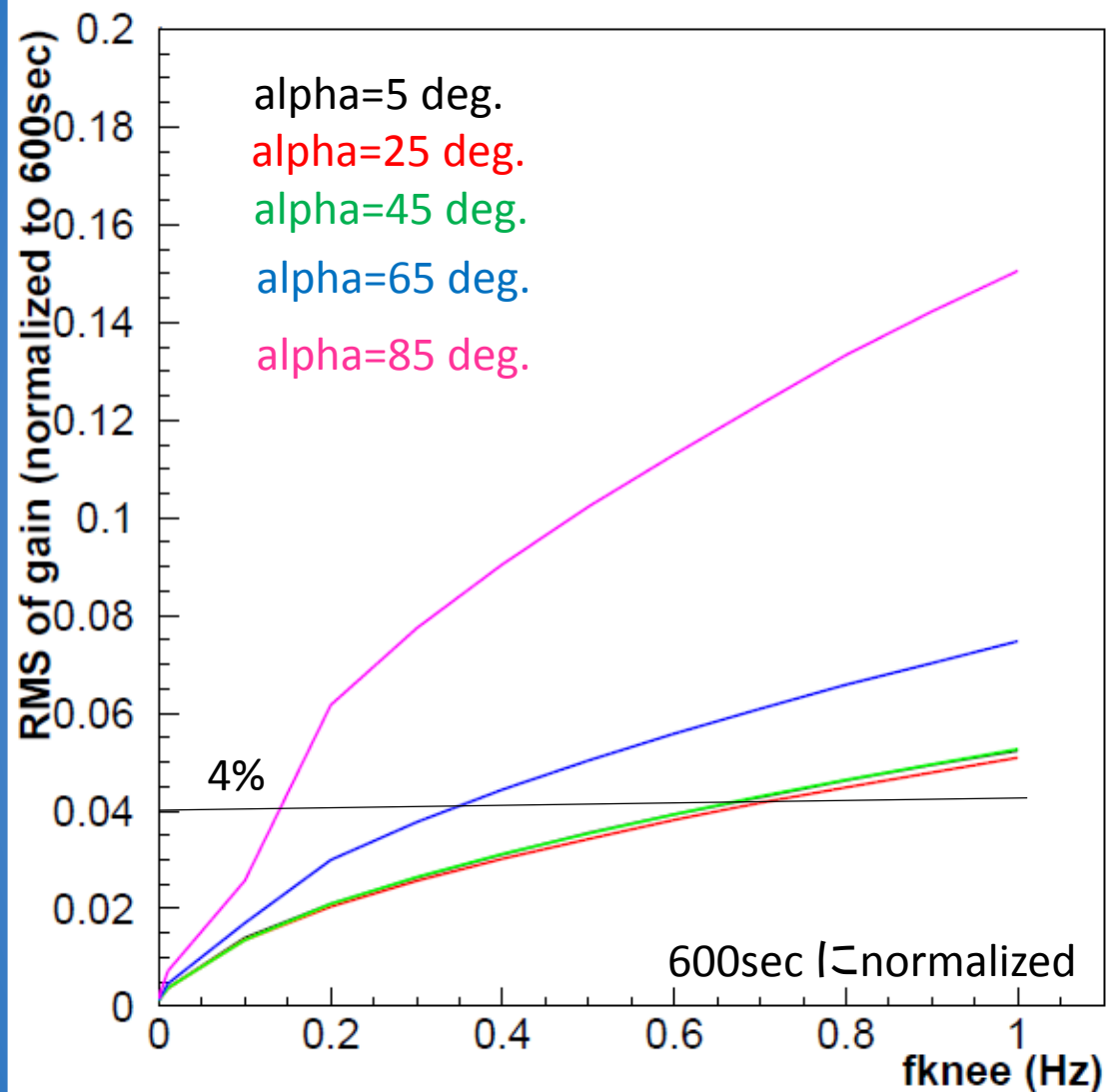
2016/03/19

日本物理学会 東北学院大学



例: $\alpha = 65$ 度





- ゲイン較正精度に対する要求 (永田さん、KEK)
 - ゲインの不定性で生じる Bモードスペクトルが、重力レンズ効果のそのの 1/100になることを要求
 - E → B の漏れ：10%以内
 - T → Bの漏れ：
 - 0.06% (w/o HWP)
 - 4% (w/ HWP)
- $f_{\text{knee}} < 150 \text{ mHz}$ で、HWP を用いれば、いずれのスキャン (0.1 rpm) でも上記の要求を満たす。

まとめ

- LiteBIRDの検出器のゲイン較正の精度をシミュレーションにより求めた。
- CMBのダイポール信号について、LiteBIRDの全天スキャン方法により時系列データを生成し、ノイズを重ね、最小二乗法により、ゲインを測定。
 - ホワイトノイズレベルは $50\mu\text{K}\sqrt{s}$ を仮定。
 - $1/f$ ノイズを上乗せし、 f_{knee} を変化。
 - スピンレートを0.1rpmに固定し、角度を変化。
- 測定精度は、 $f_{\text{knee}}=150\text{mHz}$ で、1～3%。
 - スピン角度 β が大きいほど、精度は増す。
 - HWPを用いれば、 $f_{\text{knee}} < 150\text{mHz}$ で、 $T \rightarrow B$ の漏れに起因する要求を満たす。