

2011/03/25

日本物理学会第66回年次大会

小型科学衛星LiteBIRD に期待される宇宙論的成果

KEK 素核研 CMBグループ

永田 竜

羽澄昌史、他 LiteBIRD ワーキンググループ

Inflation and primordial gravitational wave background

原始重力波の検出がもたらす
極初期宇宙の知見

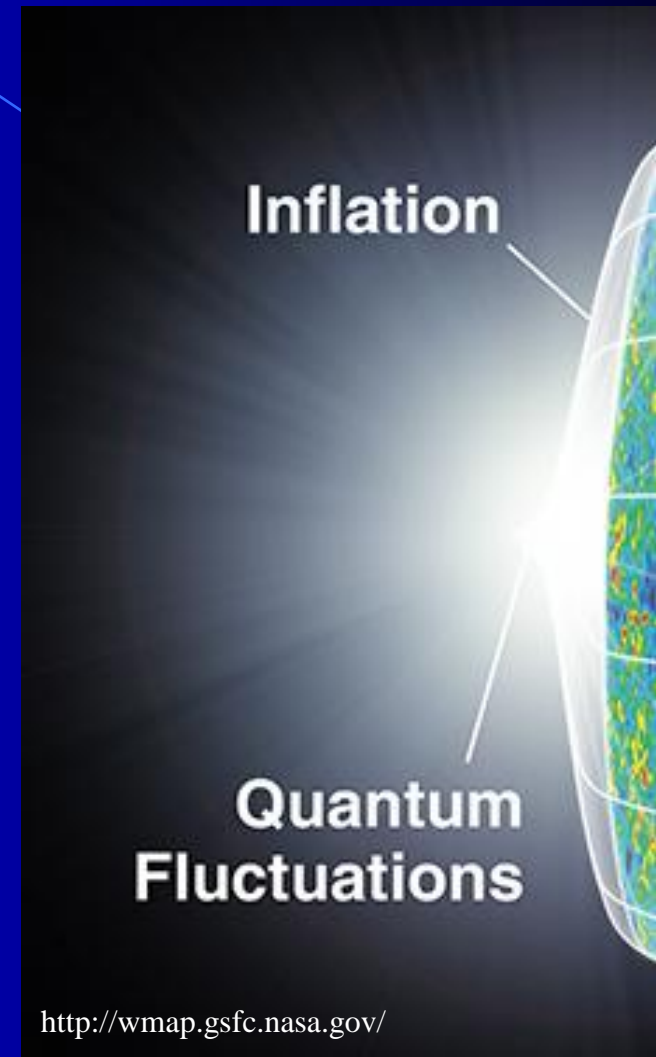
・Inflation の energy scale

$$V^{\frac{1}{4}} \cong 10^{16} \text{ GeV} \left(\frac{r}{0.01} \right)^{\frac{1}{4}}$$

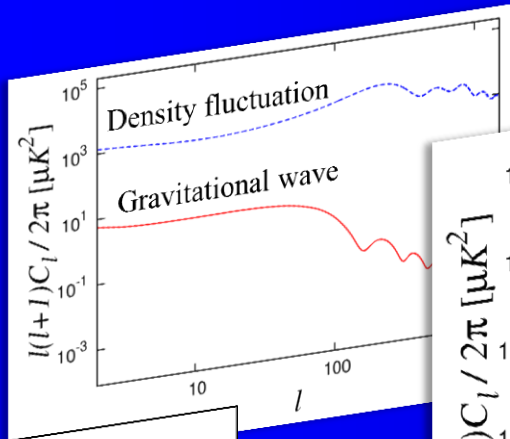
・Inflaton field の変動幅

$$\frac{\Delta\phi}{M_{pl}} \approx \left(\frac{r}{2 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N}{60} \right)$$

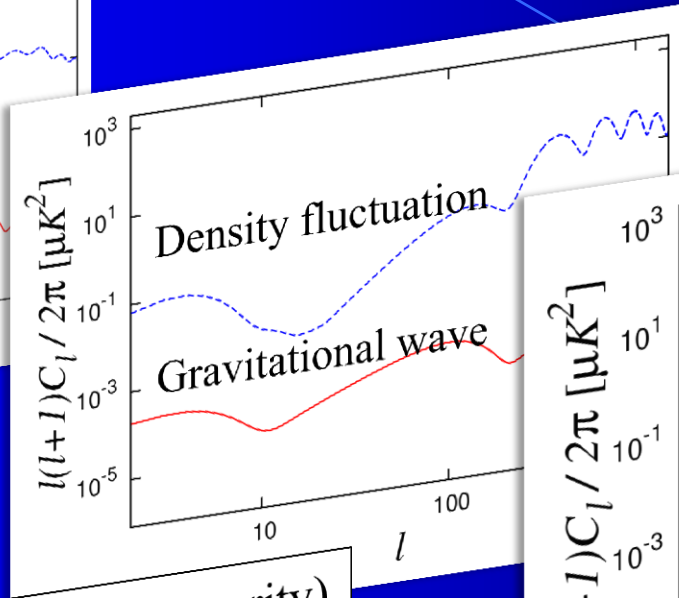
large field vs. small field model



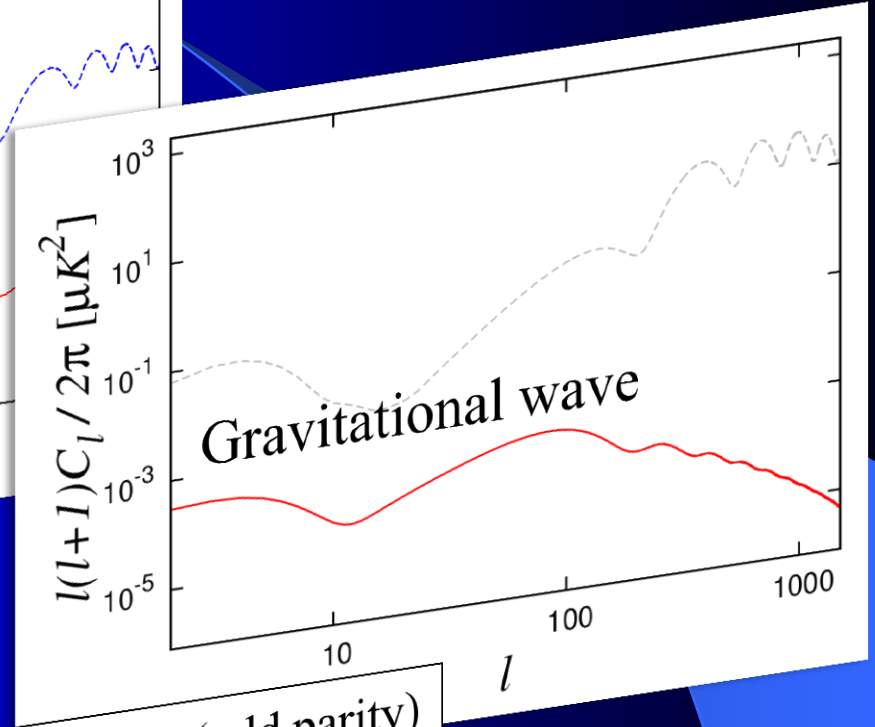
CMB fluctuations from inflationary GW background



Temperature



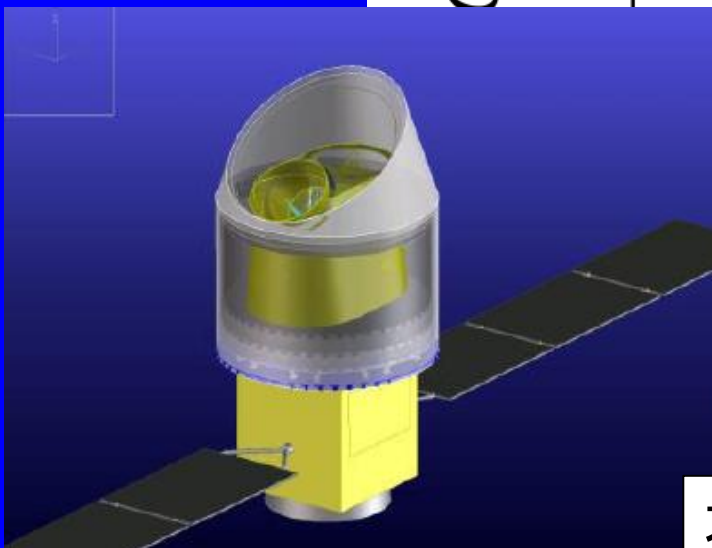
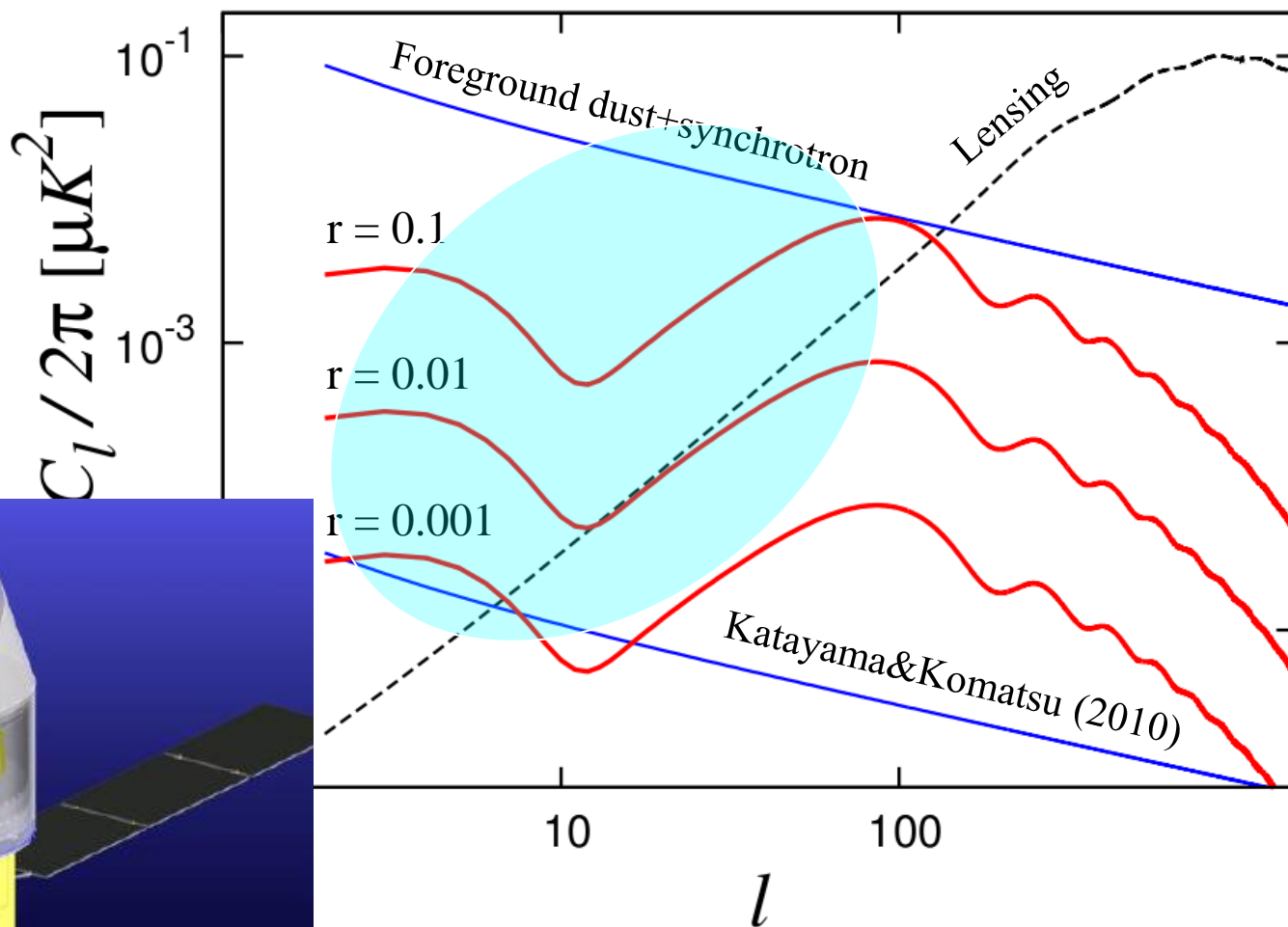
Polarization (even parity)



Polarization (odd parity)

背景重力波が作る CMB 揺らぎは、
偏光場の B-mode signal の主成分となりうる

Lite satellite for the studies of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection



大角度構造を高感度で、世界に先駆けて測定

Parameter error forecast by Fisher matrix formalism

likelihood

$$F_{\alpha\beta} = \left\langle -\frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}}{\partial \theta_\alpha \partial \theta_\beta} \right\rangle$$

宇宙論パラメタ ($\omega_b, \omega_c, \tau, \Omega_k, h, A, n_s, \alpha, r, n_t$)

$$\sigma_\alpha \geq \sqrt{(F^{-1})_{\alpha\alpha}}$$

Wishart distribution for TT, TE & EE

$$-\ln \mathcal{L} = \sum_\ell \frac{2\ell+1}{2} f_{sky} \left[\ln \left(\frac{C_\ell^{TT} C_\ell^{EE} - (C_\ell^{TE})^2}{\hat{C}_\ell^{TT} \hat{C}_\ell^{EE} - (\hat{C}_\ell^{TE})^2} \right) + \frac{\hat{C}_\ell^{TT} C_\ell^{EE} + C_\ell^{TT} \hat{C}_\ell^{EE} - 2\hat{C}_\ell^{TE} C_\ell^{TE}}{C_\ell^{TT} C_\ell^{EE} - (C_\ell^{TE})^2} + \ln \left(\frac{C_\ell^{BB}}{\hat{C}_\ell^{BB}} \right) + \frac{\hat{C}_\ell^{BB}}{C_\ell^{BB}} - 3 \right]$$

chi-square distribution for BB

$$C_\ell = C_\ell + N_\ell + F_\ell$$

宇宙論的なCMBの揺らぎ、測定誤差、残留前景放射を
独立な Gaussian field とし、観測される揺らぎはそれらの重ね合わせとした。

Noise spectrum model

$$C_\ell = C_\ell + N_\ell + F_\ell.$$

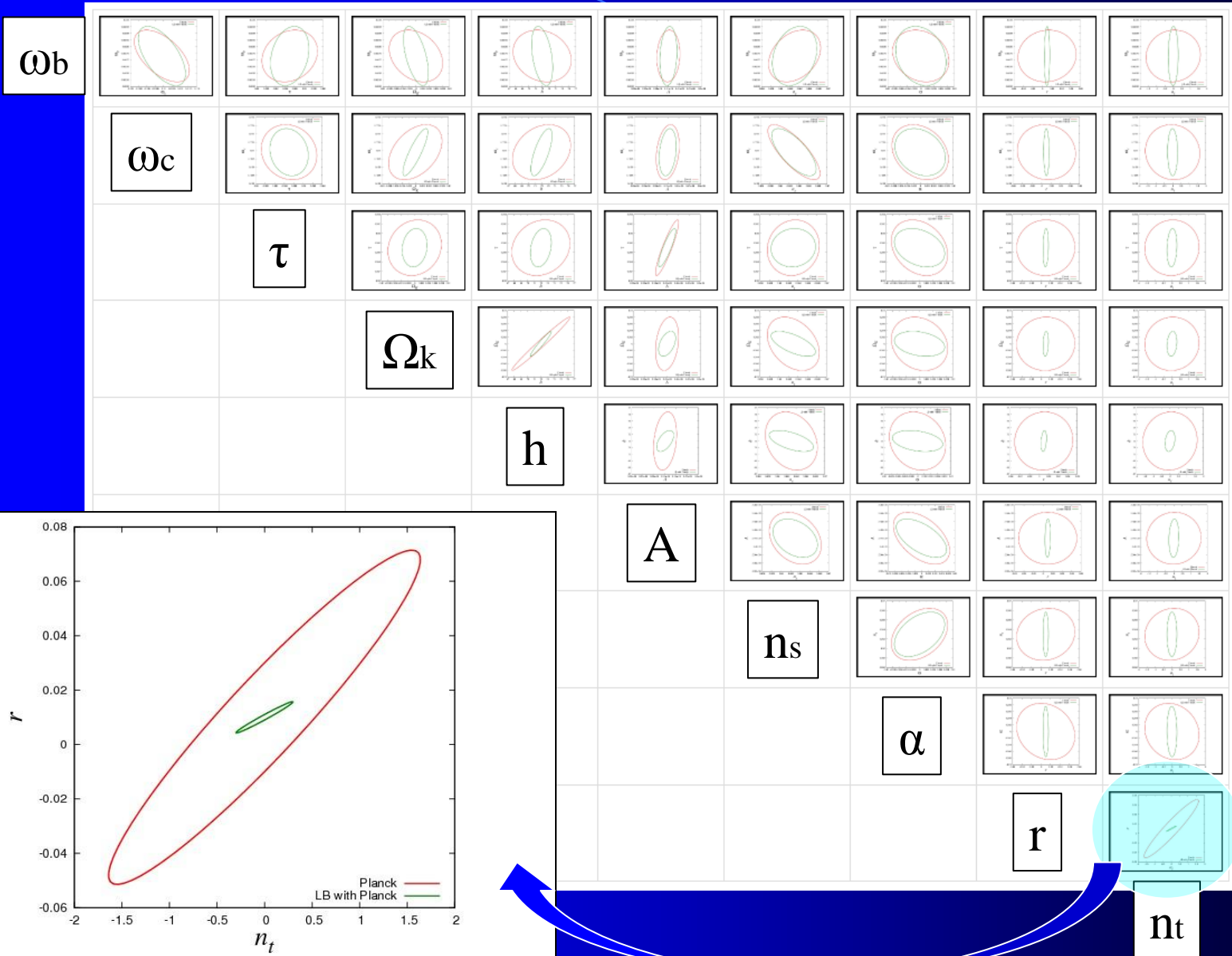
- 測定誤差は以下の表式で評価した。

$$N_\ell^{XY}(\nu_i) = \delta T_i^{XY2} \exp[\ell(\ell+1)\Theta_i^2/(8 \ln 2)]$$

Band	Beam size [degs]	Pixel size[cm]	Edge Taper [dB]	Aperture efficiency	The # of bolometers	uK arcmin for 2 K mirror/baffle
60	1.7	2.0	4.5	0.65	312	6.35
80	1.3	2.0	7.8	0.84	156	6.53
100	1	2.0	<-10	0.94	156	6.06
Sub total					624	
100	1	1.2	-4.5	0.65	434	4.16
150	0.7	1.2	-10	0.91	434	3.02
220	0.47	1.2	<-10	0.99	434	3.02
Sub total					1302	
Total					1926	1.7

- 残留前景放射の寄与は、Planck sky model に基づいた foreground spectrum に ad-hoc な residual fraction (σ_{fg}) を乗じて与えた。
- cross-channel spectrum の optimal combination を評価して effective な noise spectrum とした。

Example : $r = 0.01$ 、 1% residual foreground power



Example : $r = 0.01$ 、1% residual foreground power

	wb	wc	τ	Ω_k	h	A	ns	α	r	nt
fiducial	0.02273	0.1099	0.087	0.0	72	2.41×10^{-9}	0.963	0.0	0.01	-0.00125
pol. only										
LiteBIRD	1.6×10^{-3}	5.6×10^{-3}	5.4×10^{-3}	1.1×10^{-2}	2.9	4.9×10^{-11}	2.9×10^{-2}	1.8×10^{-2}	3.9×10^{-3}	2.0×10^{-1}
with temp.										
Planck	1.5×10^{-4}	1.2×10^{-3}	4.3×10^{-3}	6.0×10^{-3}	3.3	2.3×10^{-11}	3.9×10^{-3}	5.9×10^{-3}	6.0×10^{-2}	1.5
EPIC-LC	1.4×10^{-4}	9.9×10^{-4}	2.7×10^{-3}	2.6×10^{-3}	1.1	1.6×10^{-11}	5.5×10^{-3}	7.2×10^{-3}	4.9×10^{-3}	2.6×10^{-1}
EPIC-2m	7.2×10^{-5}	7.0×10^{-4}	2.5×10^{-3}	1.7×10^{-3}	7.1×10^{-1}	1.4×10^{-11}	2.4×10^{-3}	4.2×10^{-3}	3.8×10^{-3}	2.1×10^{-1}
EPIC-IM	7.2×10^{-5}	6.9×10^{-4}	2.5×10^{-3}	1.7×10^{-3}	7.0×10^{-1}	1.4×10^{-11}	2.4×10^{-3}	4.1×10^{-3}	3.6×10^{-3}	2.0×10^{-1}
LB with Planck	1.5×10^{-4}	9.4×10^{-4}	2.7×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.0	1.5×10^{-11}	3.1×10^{-3}	5.0×10^{-3}	3.8×10^{-3}	2.0×10^{-1}

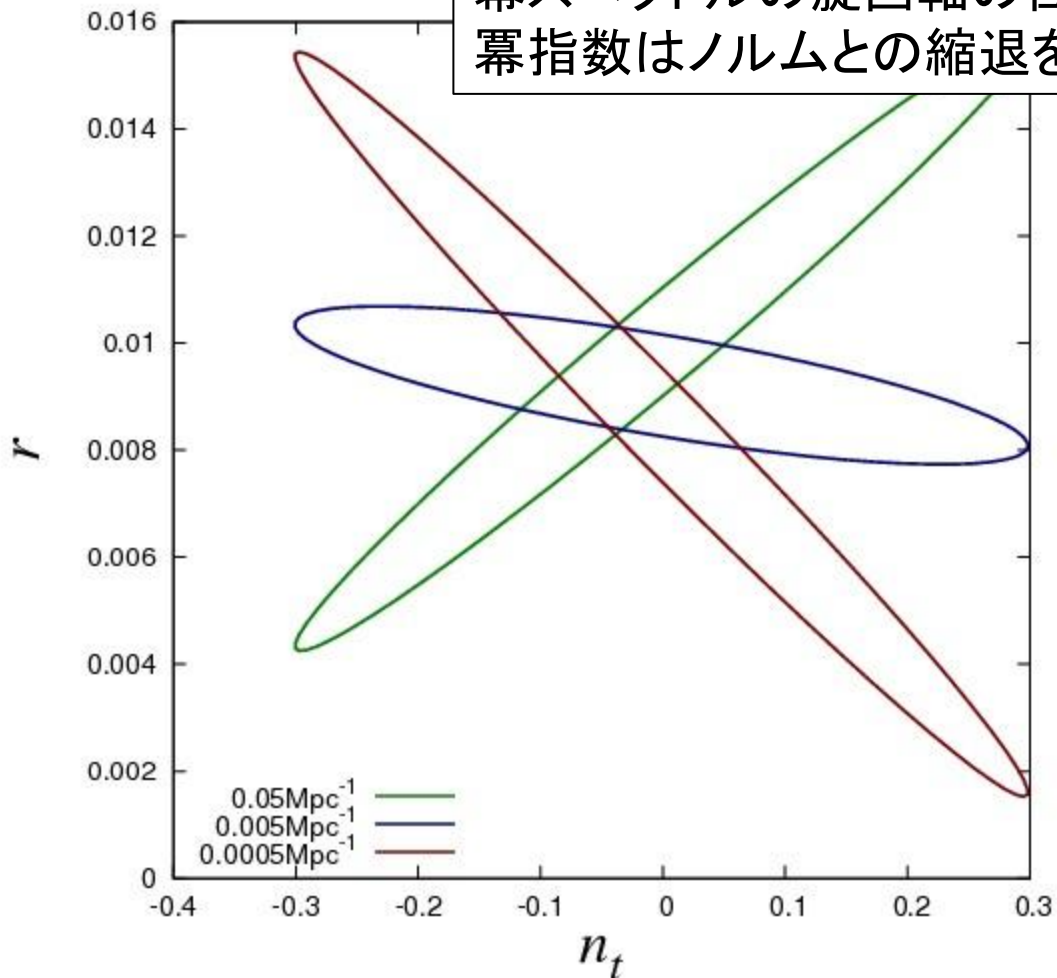
重力波のパラメタに関しては r が 2.5σ 、 nt が $1/200\sigma$ 程度

それ以外のパラメタは温度揺らぎの情報の寄与が大きい

Planck との joint analysis では、
総合的に見ても EPIC-LC と同程度の成果は期待できる

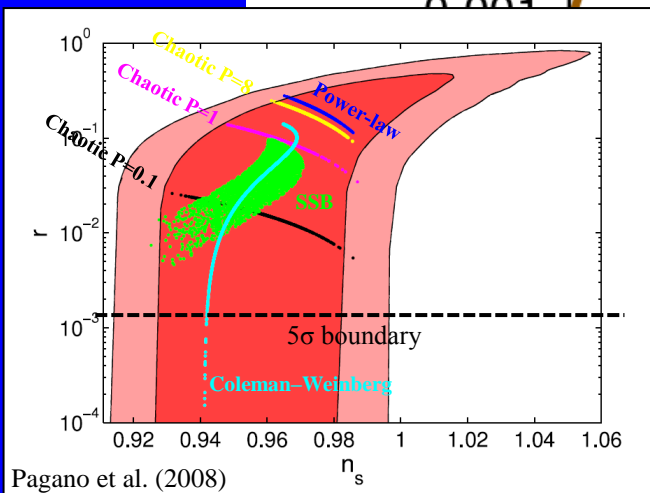
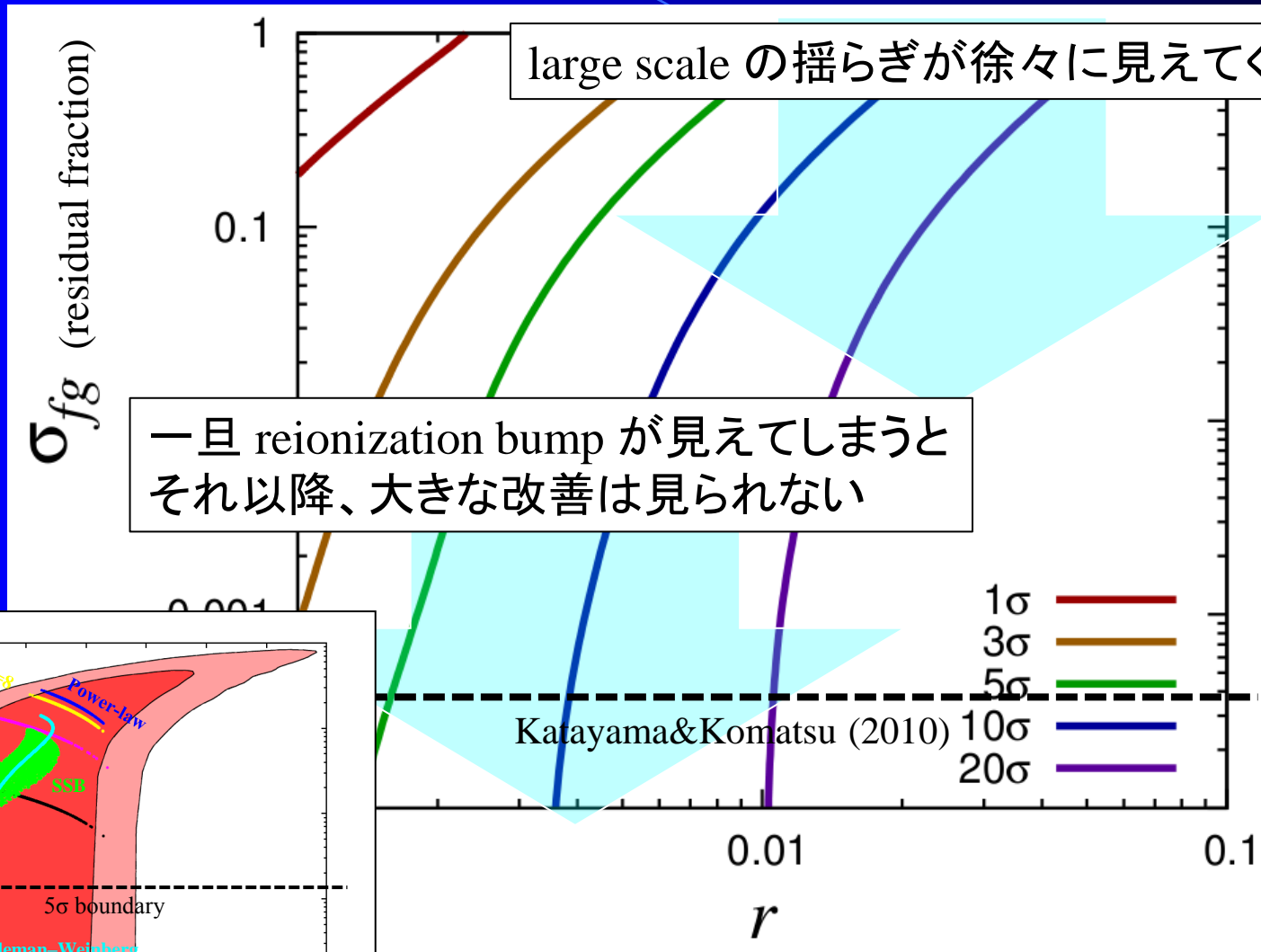
Dependence on pivot scale

冪スペクトルの巡回軸の位置次第で
冪指数はノルムとの縮退を示す



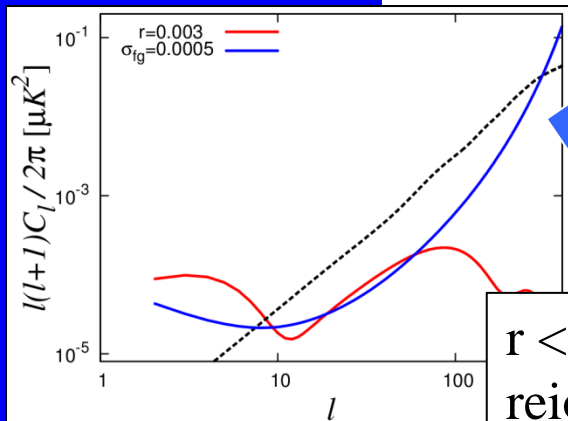
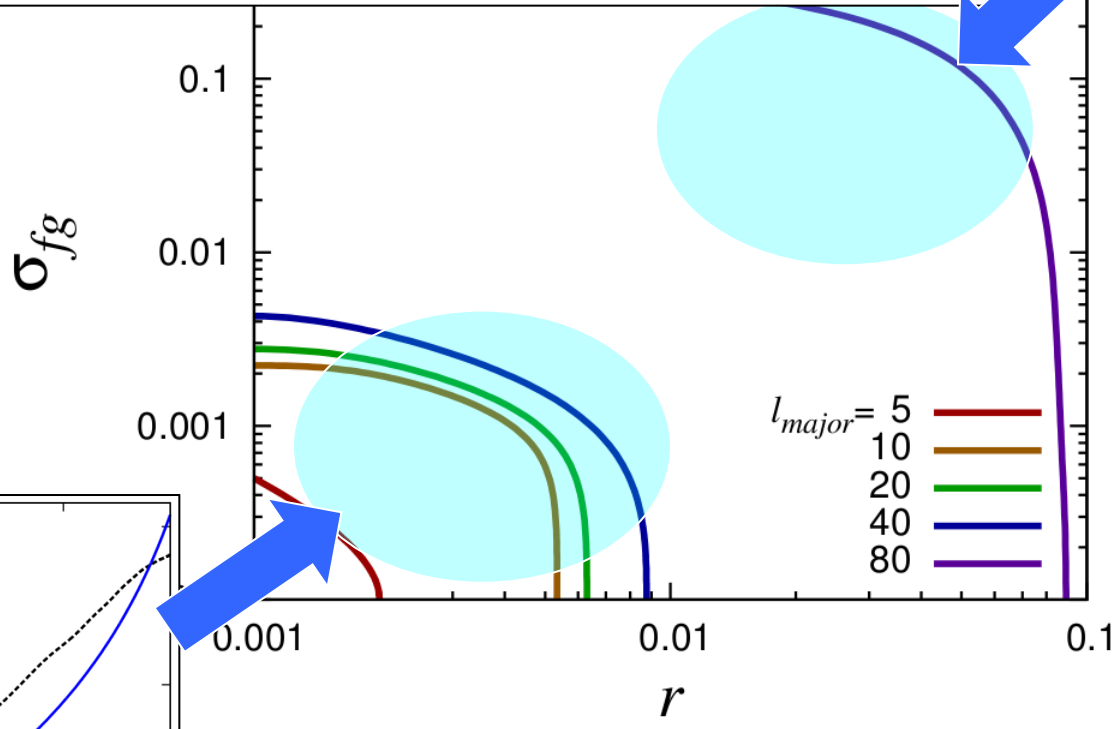
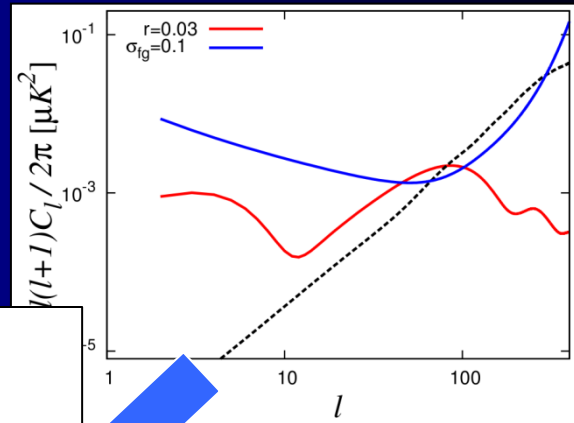
optimal for \mathbf{r} @ $k = 0.008 \text{Mpc}^{-1}$ 、 $A = 2.6 \times 10^{-9}$ 、 $r = 9.4 \times 10^{-3}$ 、 $\sigma_r = 6.4 \times 10^{-4}$
 $\Rightarrow 15\sigma$

Significance level of r detection (consistency relation assumed)



Major contribution to S/N ratio

$r > 0.01$ の場合、1st peak scale の構造が強い signal として寄与する



$r < 0.01$ の場合、foreground cleaning の効率次第で reionization bump を signal として検出が期待できる

Summary

- ・標準的な 10 パラメタの宇宙論モデルに関して Fisher matrix を使った推定誤差の評価を行った。
- ・LiteBIRD の偏光データと Planck の温度データを組み合わせることで総合的に見て EPIC-LC 相当の成果が期待できる。
 $r \sim 0.0015/0.004$ まで $5\sigma/10\sigma$ 以上で検出。

- ・ r と foreground cleaning の効率次第で、注目すべき scale が異なる。

foreground cleaning がとても効率的で 尚且つ r が小さい (< 0.01) 場合
⇒ recombination bump が主役

それ以外の場合
⇒ 1st peak が主役