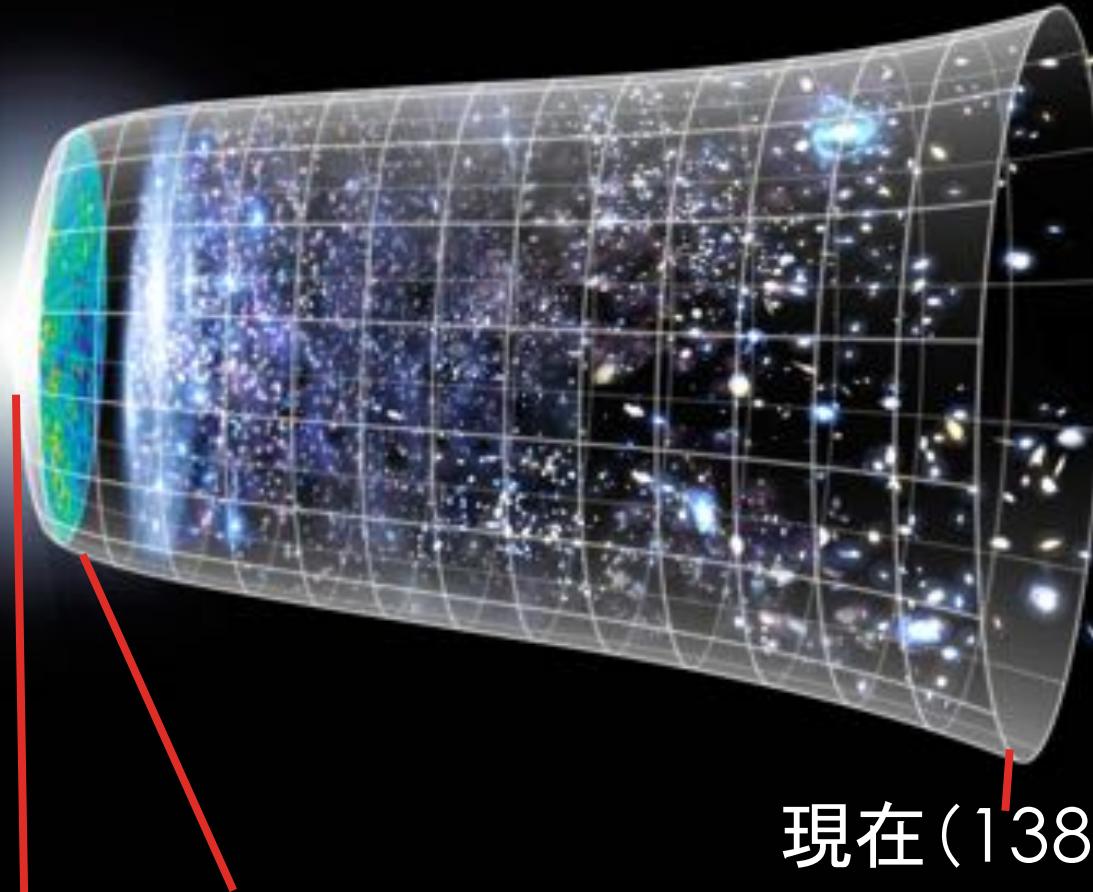


# LiteBIRD 前景放射除去シミュレーション のための擬似観測マップ作成

金井啓晃

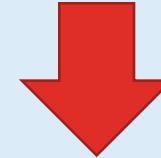
山下徹<sup>A</sup>, 片山伸彦<sup>A</sup>, 小松英一郎<sup>B</sup>, 市來淨與<sup>C</sup>, 他 LiteBIRD WG  
(横浜国大, Kavli IPMU<sup>A</sup>, MPA<sup>B</sup>, 名古屋大<sup>C</sup>)

# インフレーション仮説



インフレーション

→ 原始重力波 生成  
(未検出)



CMBに  
微弱な **B-mode** 偏光

Tensor-scalar 比  $r$  の特定

# 主なノイズ源

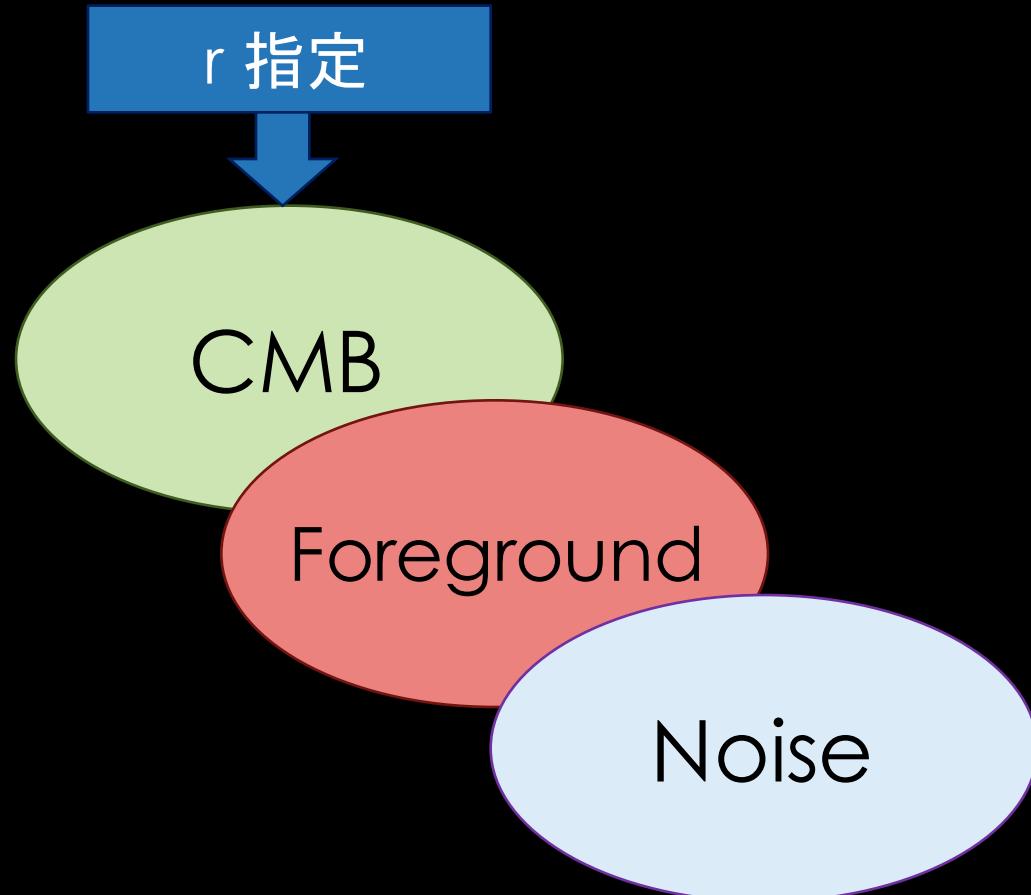


# FOREGROUND STUDY GROUP

- Foreground の除去可能性を示す
- ( LiteBIRD 機器ノイズ要求値の提示)

前景放射除去アルゴリムの構築  
シミュレーションによる評価  
( $r$  の推定精度の確認)

Step 1

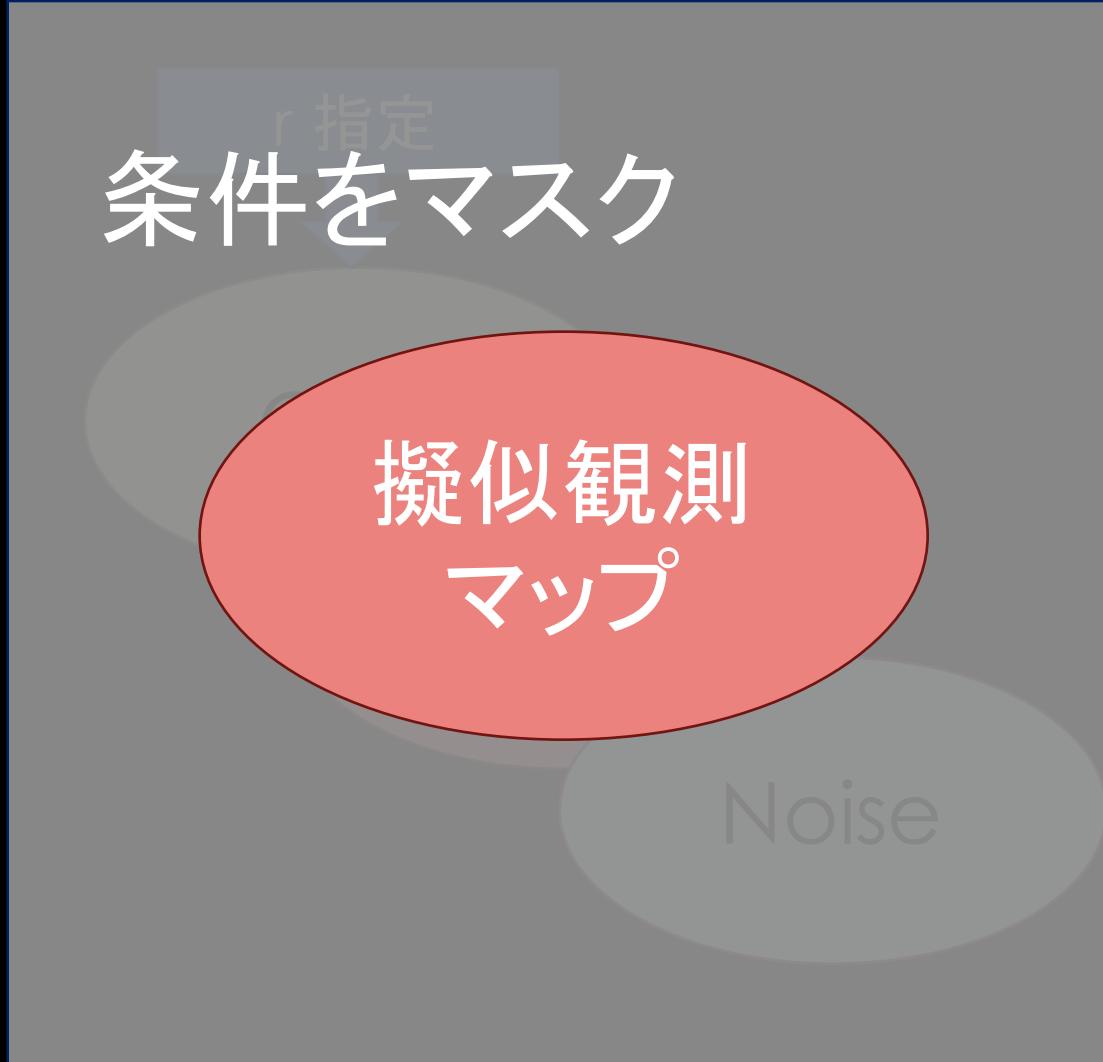


Step 2

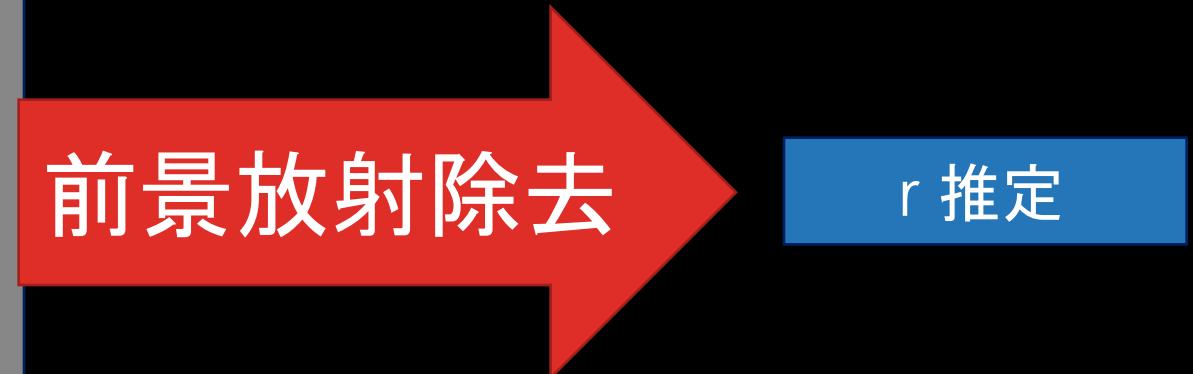
# シミュレーションフロー

4/13

Step 1



Step 2

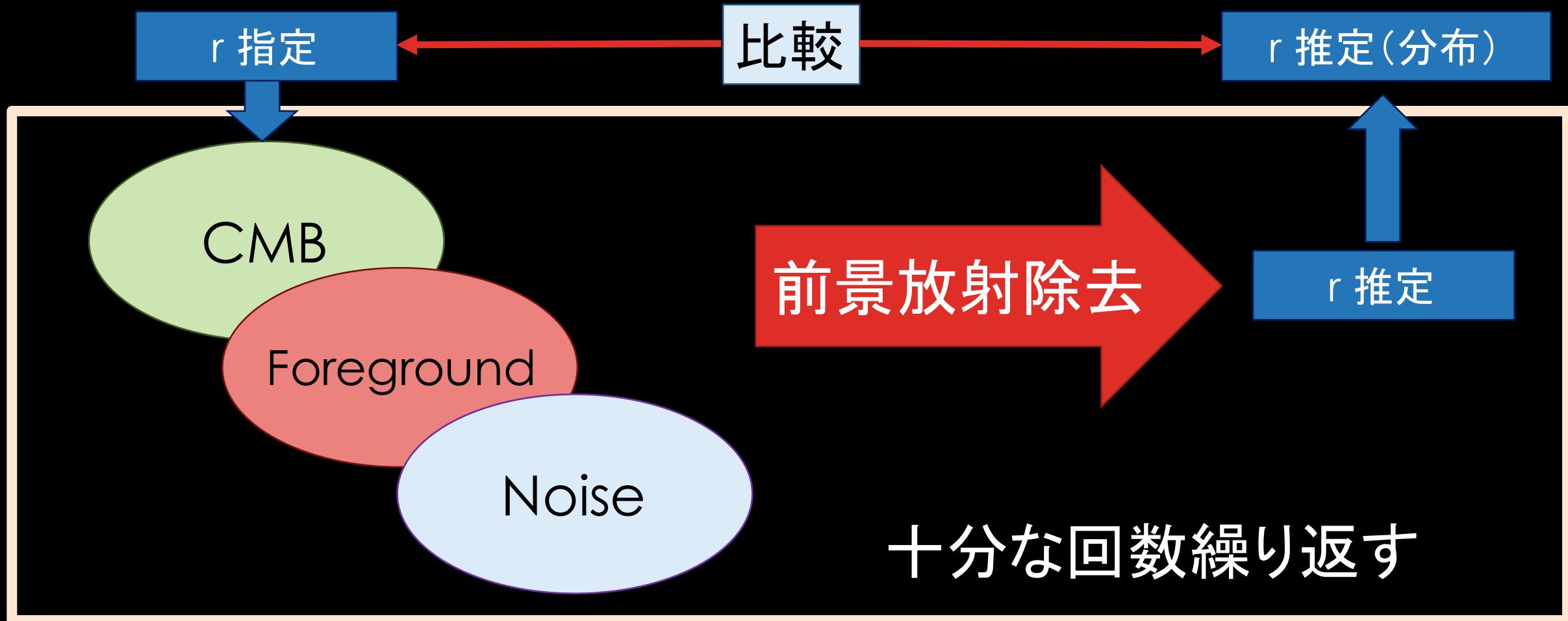


# シミュレーションフロー

4/13

Step 1

Step 2



## Step 1

本講演  
LiteBIRD 前景放射除去  
シミュレーションのための  
擬似観測マップ作成

## Step 2

20pH22-7  
前景放射除去アルゴリズム  
「デルタマップ法」  
の紹介とその性能について

## The generation of pseudo LiteBIRD maps; gm100

LiteBIRDで観測予定の40-400 GHz にわたる計15バンド

×

偏光を表すストークスパラメータ Q, U

30 map / data set

100 (or more) data set

×

CMB, Noise の乱数 seed を  
Data set ごとに変化

マップ構成要素 : CMB, foreground, Noise

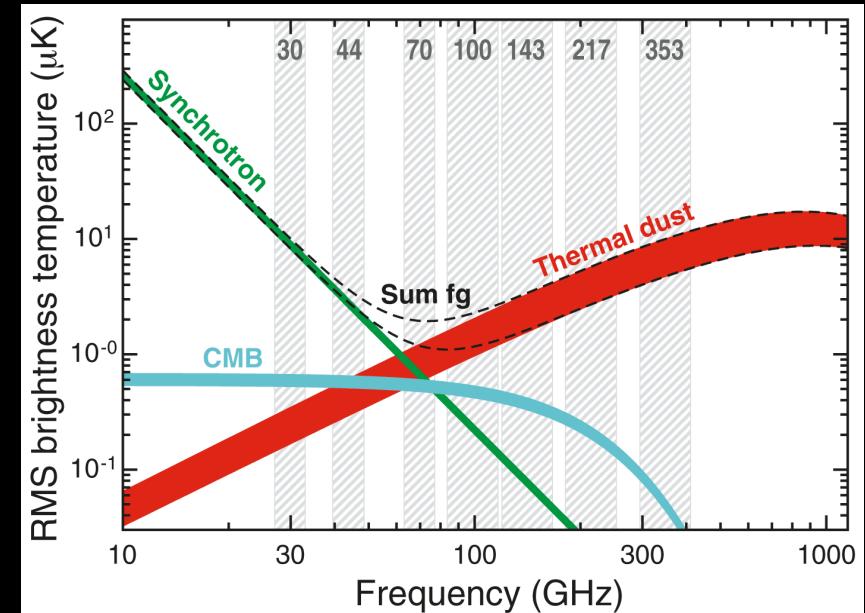
→ Synchrotron, dust, point source

- Synchrotron 放射
  - 銀河磁場中を加速度運動する荷電粒子からの放射
  - Power law model

$$I_s(\nu, \hat{n}) \propto \nu^{\beta_s(\hat{n})}$$

- Dust の熱放射
  - 宇宙塵からの熱放射
  - Modified Black Body model (MBB)をベースに三種類のモデル

$$I \propto \nu^{\beta_d} B(\nu)$$



Foreground 周波数特性 (Planck)

$$I_d(\nu, \hat{n}) \propto \begin{cases} \nu^{\beta_d(\hat{n})} & (\text{power-law}) \\ \frac{\nu^{\beta_d(\hat{n})+1}}{\exp(h\nu/kT_d(\hat{n})) - 1} & (\text{one-comp}) \\ a_1 \frac{\nu^{\beta_{d1}+1}}{\exp(h\nu/kT_{d1}(\hat{n})) - 1} + a_2 \frac{\nu^{\beta_{d2}+1}}{\exp(h\nu/kT_{d2}(\hat{n})) - 1} & (\text{two-comp}) \end{cases}$$

# FOREGROUND

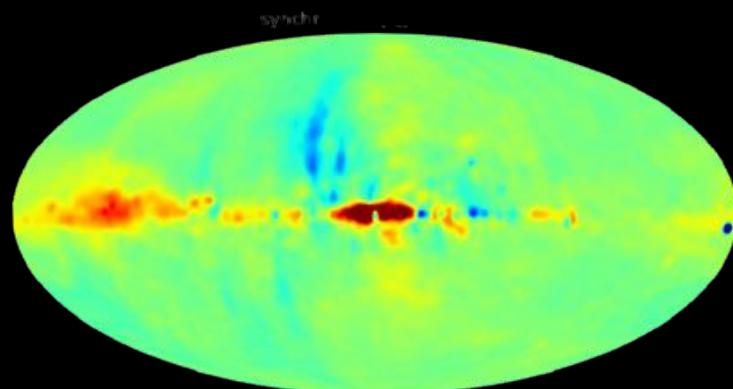
- Planck commander データから外挿

$$[Q, U](\nu, \hat{n}) = [Q, U]_{\text{ref}}(\nu_{\text{ref}}, \hat{n}) \times I(\nu, \hat{n}) / I(\nu_{\text{ref}}, \hat{n})$$

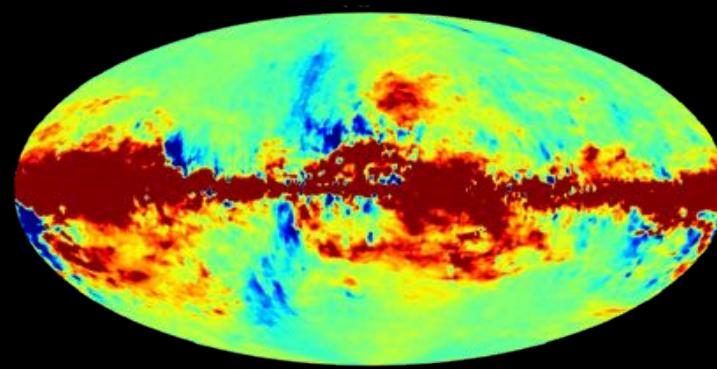
$$\begin{aligned} \nu_{\text{ref,synch}} &= 30 \text{ GHz} \\ \nu_{\text{ref,dust}} &= 353 \text{ GHz} \end{aligned}$$

- LiteBIRD 観測帯域幅を考慮 ( top hat 型 )

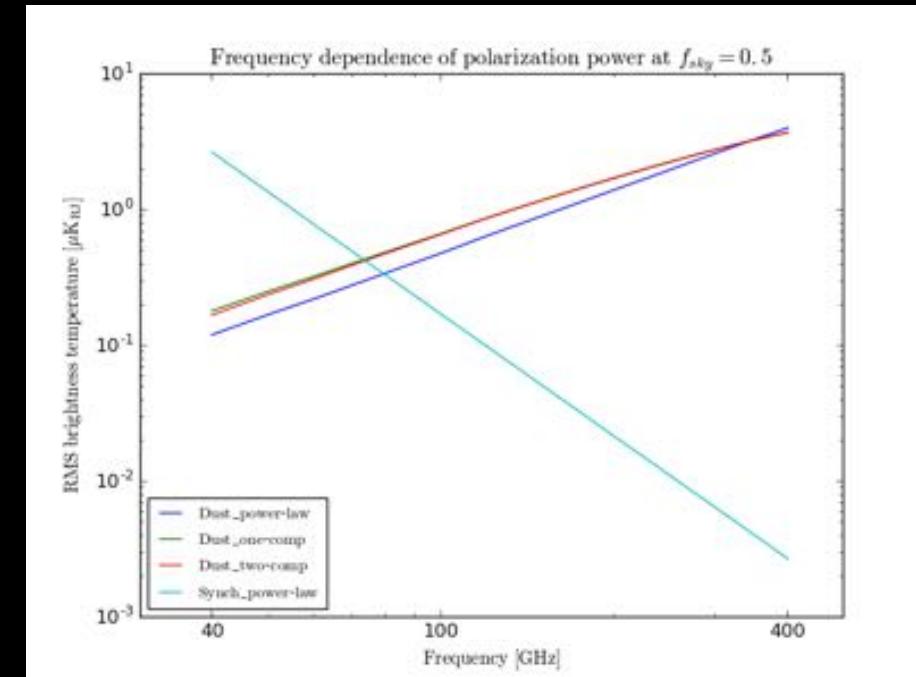
$$[Q, U]_{\text{band}}(\nu) = \frac{1}{\Delta\nu} \int_{\nu - \Delta\nu/2}^{\nu + \Delta\nu/2} [Q, U](\nu') d\nu'$$



Synch Q at 100 GHz



Dust Q at 100 GHz



各モデルの周波数特性

# 現在の DUST MODEL の問題点

- 一方向に複数のダスト雲があるとき.....

$$Q(\nu) = \sum_i Q_i(\nu) = \sum_i I(\nu, T_i) f_i \cos(2\gamma_i)$$

$$U(\nu) = \sum_i U_i(\nu) = \sum_i I(\nu, T_i) f_i \sin(2\gamma_i)$$

この時正味の偏光方向は周波数により変化

$$\gamma(\nu) = \frac{1}{2} \arctan [U(\nu)/Q(\nu)]$$

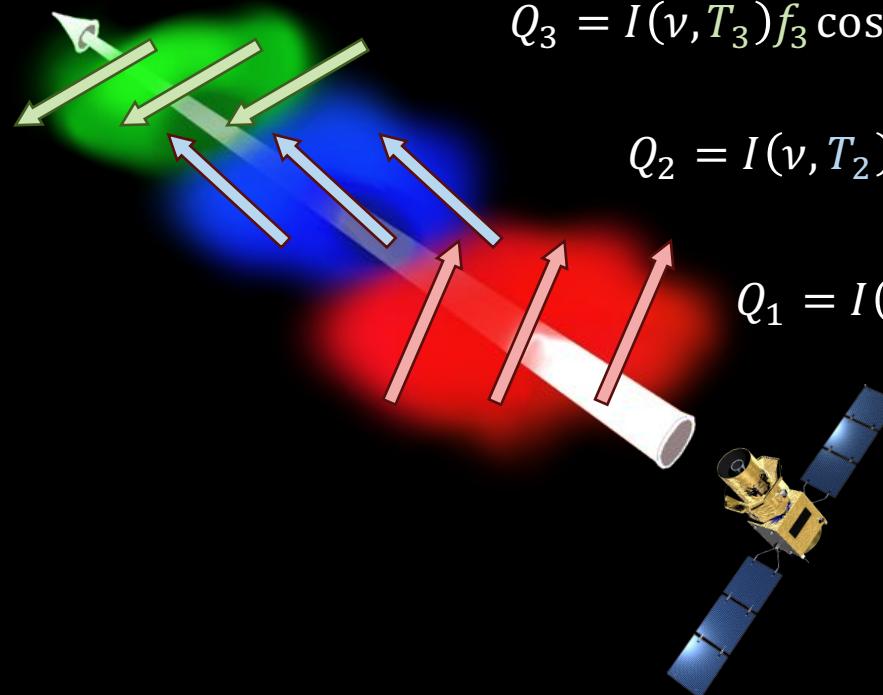
- 現在の model

$$[Q, U](\nu, \hat{n}) = [Q, U]_{\text{ref}}(\nu_{\text{ref}}, \hat{n}) \times I(\nu, \hat{n}) / I(\nu_{\text{ref}}, \hat{n})$$

$$Q_3 = I(\nu, T_3) f_3 \cos(2\gamma_3)$$

$$Q_2 = I(\nu, T_2) f_2 \cos(2\gamma_2)$$

$$Q_1 = I(\nu, T_1) f_1 \cos(2\gamma_1)$$



$Q$  と  $U$  で同じファクターがかかる

偏光方向が周波数に依存しない

# DE-CORRELATION DUST MODEL

$$Q(\nu) = \sum_i I(\nu, T_i) f_i \cos(2\gamma_i)$$

$\downarrow$   
 $T_i = \bar{T}(1 + \delta_i)$  として Taylor 展開

$$Q_\nu = I(\nu, \bar{T}) \sum_i \left[ 1 + \frac{x e^x \delta_i}{e^x - 1} + \dots \right] f_i \cos(2\gamma_i)$$

$$x = h\nu/k_B \bar{T}$$

$$f \cos(2\tilde{\gamma}) \equiv \sum_i f_i \cos(2\gamma_i)$$

を定義

$$Q(\nu) = I(\nu, \bar{T}) f \cos(2\tilde{\gamma}) \left[ 1 + \frac{x e^x}{e^x - 1} \frac{\sum_i \delta_i f_i \cos(2\gamma_i)}{\sum_i f_i \cos(2\gamma_i)} + \dots \right]$$

$$Q(\nu) = I(\nu, \tilde{T}_Q) f \cos(2\tilde{\gamma})$$

$$\tilde{T}_Q \equiv \bar{T}(1 + \tilde{\delta}_Q)$$

I は MBB を仮定

$$I(\nu, T_i) \propto \frac{\nu^{\beta_d + 1}}{e^{h\nu/k_B T_i} - 1}$$

新たな温度揺らぎ  $\tilde{\delta}_Q$

# DE-CORRELATION DUST MODEL

$U$ についても同様

$$Q(\nu) = I(\nu, \tilde{T}_Q) f \cos(2\tilde{\gamma})$$

$$U(\nu) = I(\nu, \tilde{T}_U) f \sin(2\tilde{\gamma})$$

$$\tilde{T}_Q \equiv \tilde{T}(1 + \delta_Q)$$

$$\tilde{T}_U \equiv \tilde{T}(1 + \delta_U)$$

$$2\gamma(\nu) = \tan^{-1} \left[ \frac{U(\nu)}{Q(\nu)} \right] = \tan^{-1} \left[ \frac{I(\nu, \tilde{T}_U)}{I(\nu, \tilde{T}_Q)} \tan(2\tilde{\gamma}) \right]$$

偏光方向が周波数により変化する

- New Dust Mode

$$I_{d,Q}(\nu, \hat{n}) = I_d(\nu, T(\hat{n}) + \delta T_Q(\hat{n}))$$

$$I_{d,U}(\nu, \hat{n}) = I_d(\nu, T(\hat{n}) + \delta T_U(\hat{n}))$$

$Q$ と $U$ で異なる温度揺らぎ( $\sigma = 1$  Kのガウシアンに従う乱数)を温度マップの各ピクセルに与える

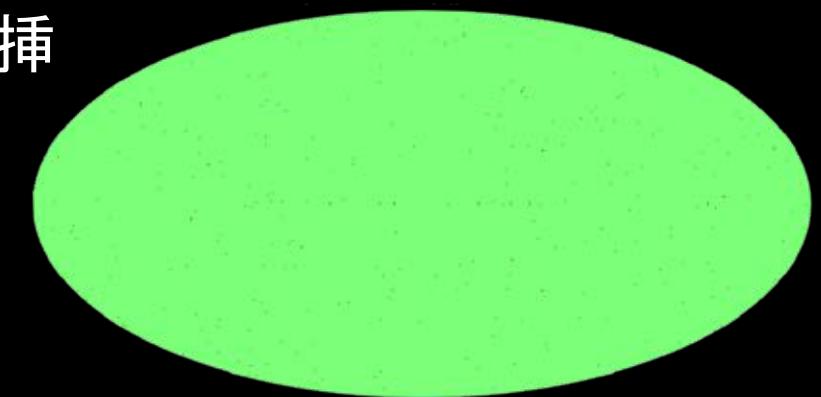
# POLARIZED POINT SOURCE

- 特定の方向に存在する強い点光源

1. PCCS2 から point source の強度とポジションを取得しマッピング  
[at 30, 44, 70, 100, 143, 217, 353, 545 GHz]
2. 適当な偏光度と偏光方向を与え Planck 周波数における擬似偏光マップ作成  
(  $f = 0.05$ ,  $\gamma$ :random, 同じポジションのソースは同じ $\gamma$ )
3. LiteBIRDの観測周波数帯に power law で内挿

$$[Q, U]_{\text{PS}}(\nu) = [Q, U]_{\text{PS}}(\nu_0) \times \left( \frac{\nu}{\nu_0} \right)^{\beta}$$

$$\beta = \frac{\log ([Q, U]_{\text{PS}}(\nu_1)/[Q, U]_{\text{PS}}(\nu_0))}{\log (\nu_1/\nu_0)}$$



Point Source Q at 100 GHz

# モデル比較

	synch			dust			
	template	model	beta	template	model	T/beta	decorr
PSM v1.6.2	WMAP 30 GHz	powerlaw	MAMD2008	WMAP 94 GHz	power-law		
PSM_MR	WMAP 23 GHz	powerlaw	MAMD2008	Planck GNILC 353 GHz (Intensity/5% fraction on average)	one-comp	GNILC	
PySM	WMAP 23 GHz	powerlaw	MAMD2008	Planck commander 353 GHz	one-comp	commander	
Flavian	WMAP 23 GHz より	powerlaw	const.	Planck 353 GHzより	one-comp	beta const.	
gm100	Planck commander 30 GHz	powerlaw	MAMD2008	Planck commander 353 GHz	two-comp	Finkbeiner (beta const.)	あり

- ・テンプレートの違い
- ・周波数特性モデルの違い
- ・beta の 異方性の違い
- ・de-correlation の有無

## まとめ

- LiteBIRD の擬似観測マップを生成するソフトウェアを作成した
  - 最新のPlanck衛星のデータを使用
  - Polarized point source の導入
  - Decorrelation model の考案・実装
- ▶ [https://h\\_kan@bitbucket.org/h\\_kan/gm100ex.git](https://h_kan@bitbucket.org/h_kan/gm100ex.git)
- Foreground 除去シミュレーションを進める