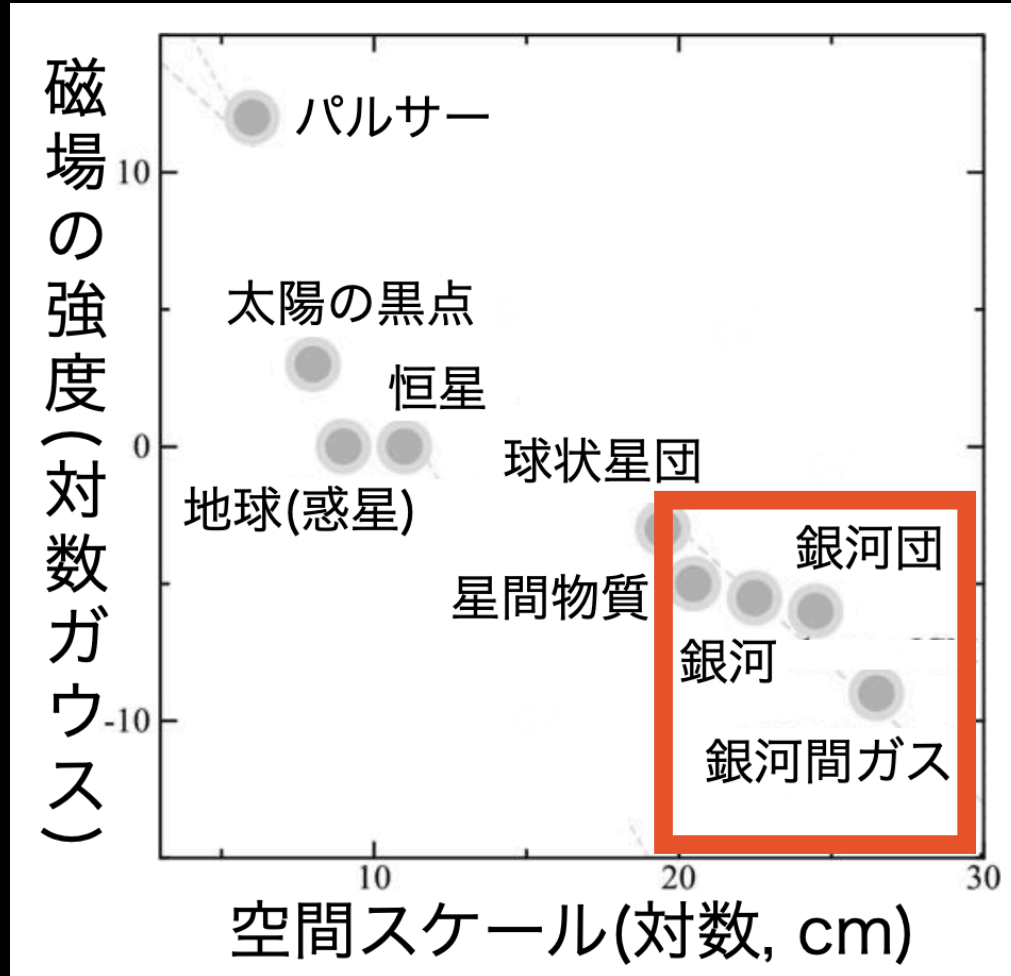


# 原始磁場によって 作られるCMBの 小スケール揺らぎ

箕田鉄兵、市來淨與、田代寛之（名大C研）

Teppey Minoda, K. Ichiki, & H. Tashiro,  
JCAP 2021, 093 (arXiv:2012.12542)

# 研究背景-多様なスケールでの磁場



宇宙に存在する磁場の空間的  
スケールとその強度

様々なスケールの  
天体に磁場が付随  
宇宙磁場の起源と進化?

大スケール( $\gtrsim$  Mpc)の磁場は  
初期宇宙に起源を持つ  
可能性がある

(Akahori et al. 2018, PASJ, 70, R2.)

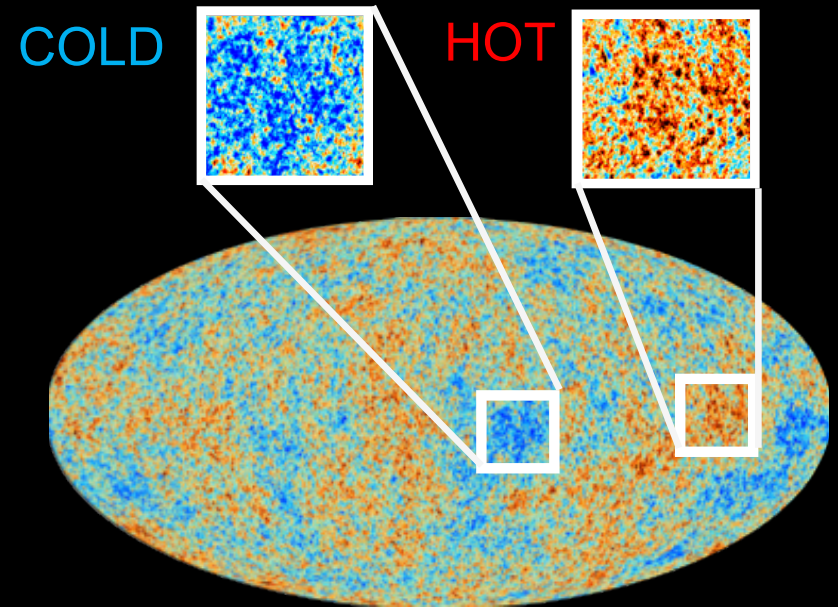
# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ

CMBとは

温度  $\sim 2.7$  K のほぼ等方なマイクロ波

実際にはわずかに温度揺らぎが存在

(インフレーション起源の曲率ゆらぎ)



# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ

CMBとは

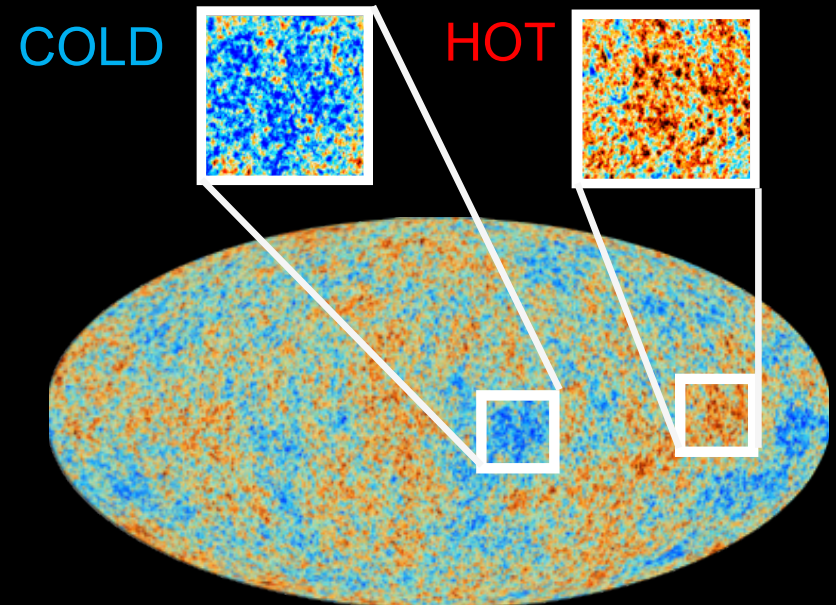
温度 ~2.7 K のほぼ等方なマイクロ波

実際にはわずかに温度揺らぎが存在

(インフレーション起源の曲率ゆらぎ)

もし原始磁場が存在すると

- 電磁場のエネルギーテンソルも  
時空の曲率ゆらぎをつくるはず
- バリオンの運動方程式にも影響



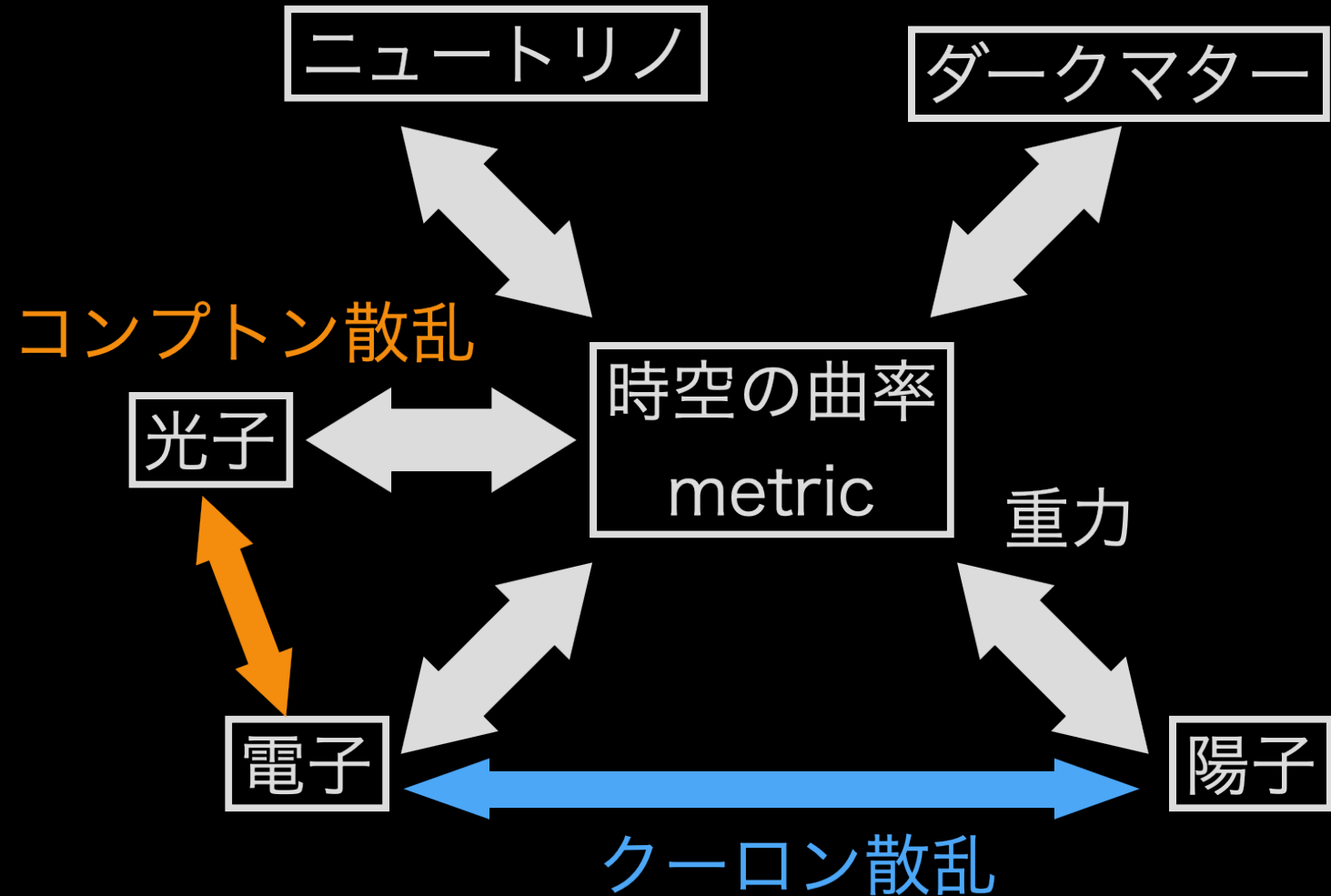
アインシュタイン方程式：

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

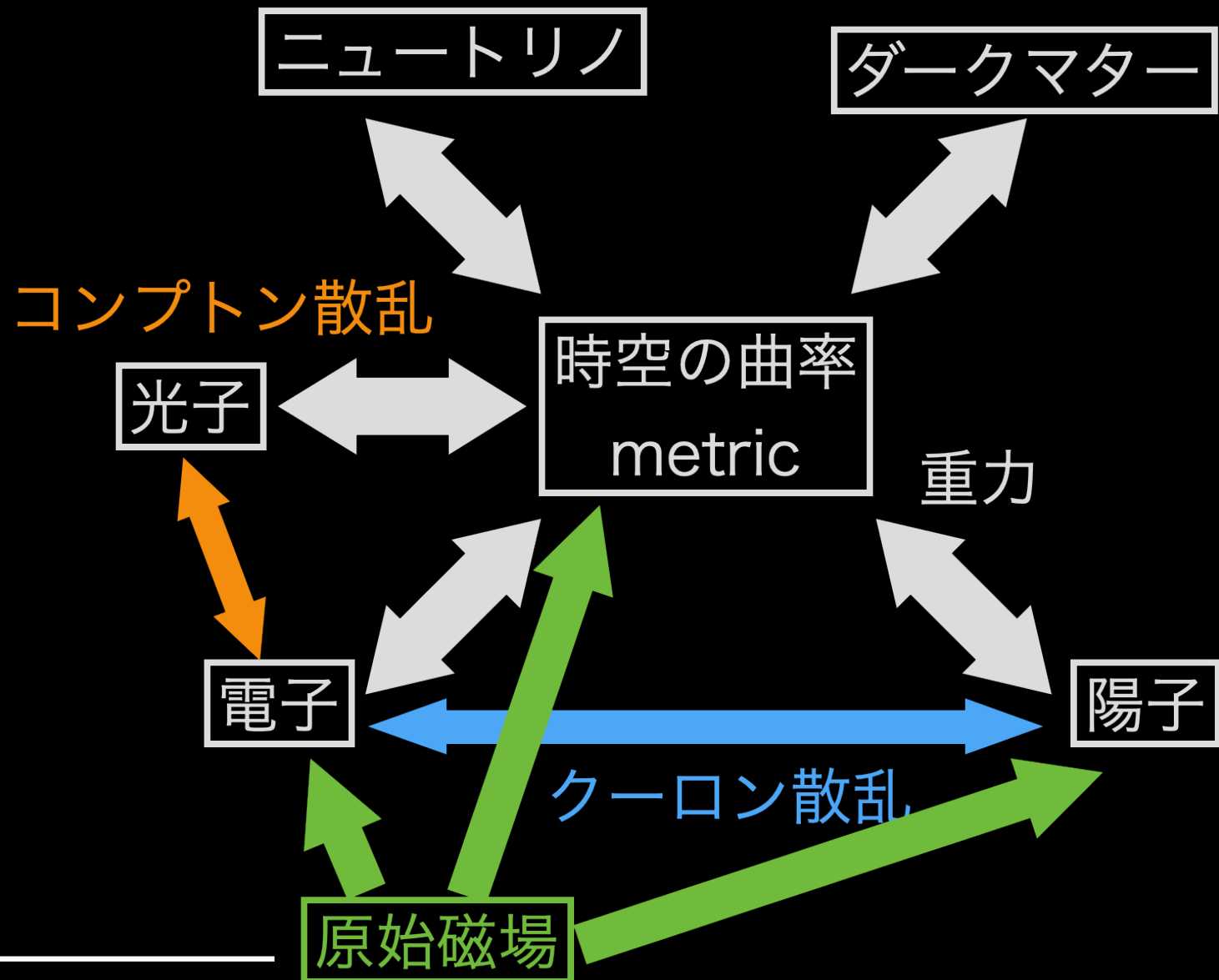
時空の曲率

物質(エネルギー)

# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ



# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ



# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ

- 曲率ゆらぎを作る効果

アインシュタイン方程式：

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} \left[ T_{\mu\nu} - \frac{1}{4\pi} \left( g^{\rho\sigma} F_{\mu\rho} F_{\nu\sigma} - \frac{1}{4} g_{\mu\nu} F^{\rho\sigma} F_{\rho\sigma} \right) \right]$$

時空の曲率

物質(エネルギー)

電磁場のエネルギー運動量テンソル

- バリオンの運動に与える影響

オイラー方程式：

$$\rho \left[ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\rho \nabla \Phi - \nabla P + \mathbf{f}_{\text{Lorentz}}$$

ローレンツ力

# 原始磁場の宇宙論的な重要性

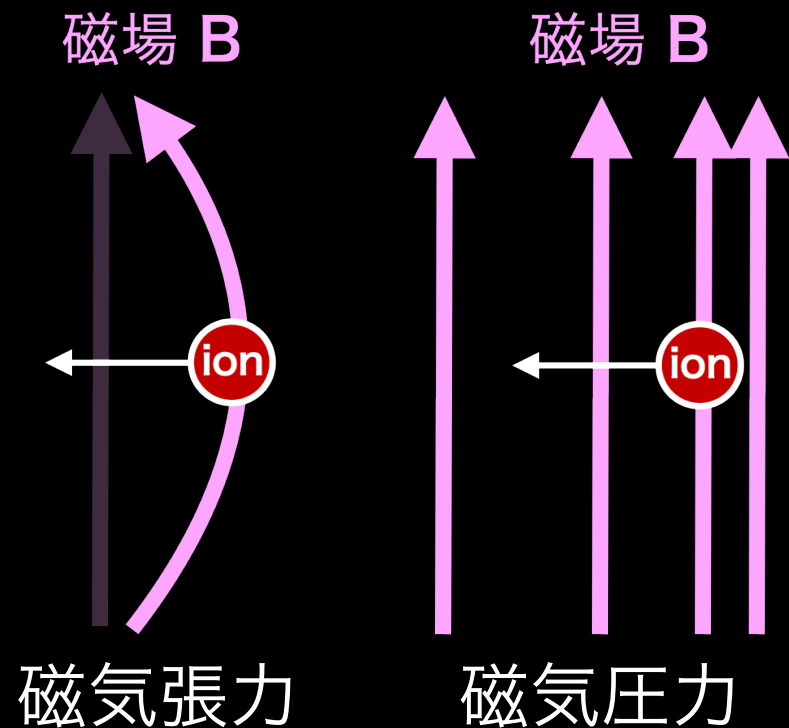
バリオンの密度揺らぎ、運動方程式に与える影響

$$f_{\text{Lorentz}} = \frac{(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}}{4\pi} = \frac{(\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B}}{4\pi} - \nabla \left( \frac{B^2}{8\pi} \right)$$

## 1. 初期宇宙のバリオン光子プラズマの運動に影響を与える

2. これらの力が作用して構造形成も促進(抑制)する?

> 大規模構造の観測 (SKA)



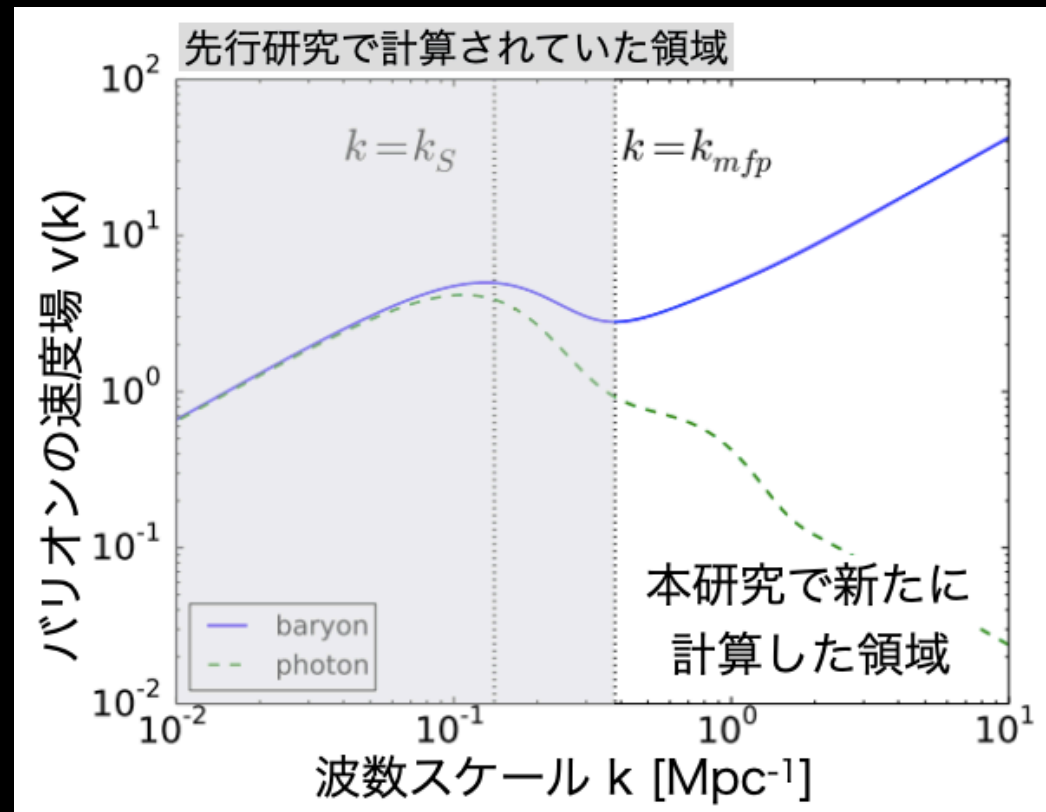


# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ

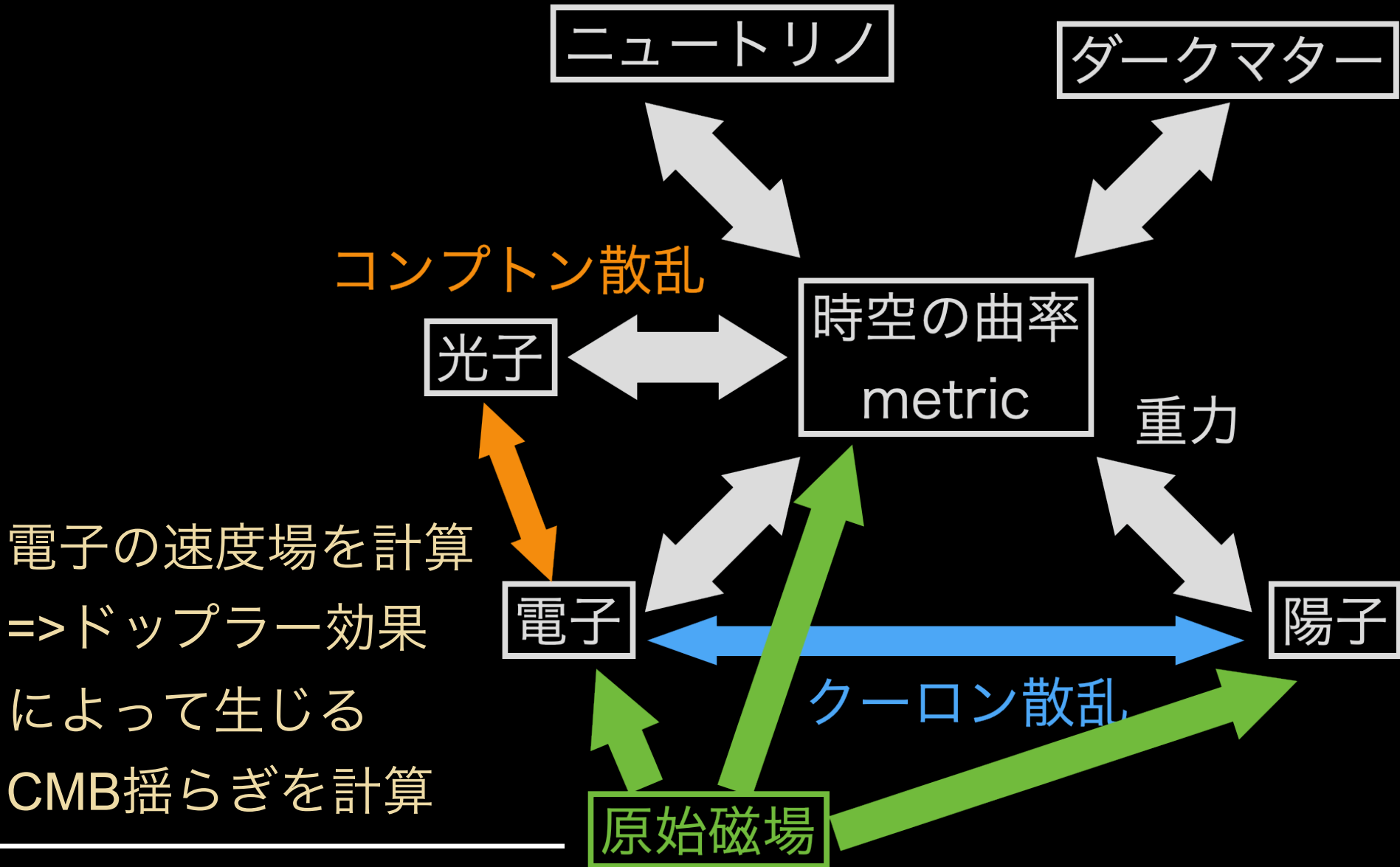
- 小スケールでのバリオンの運動方程式

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + H + \frac{\tau'}{R} \right) v_b = - \frac{f_{\text{Lorentz}}}{2a\rho_b}$$

光子が拡散する  
小スケールでも  
磁場によって  
バリオン(電子と陽子)の  
速度ゆらぎが発生

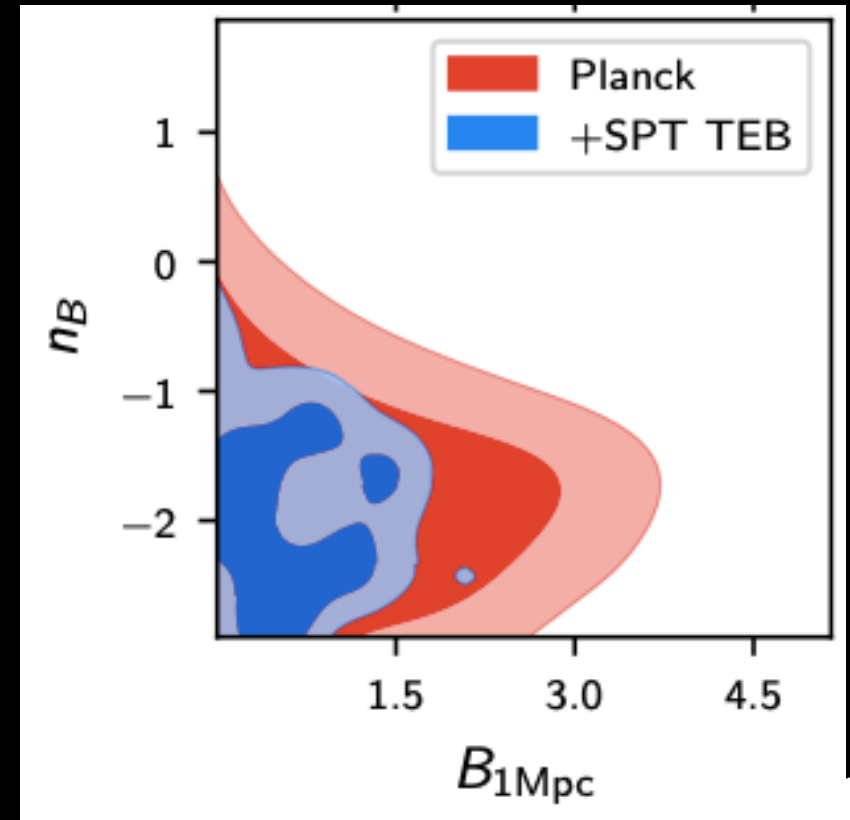
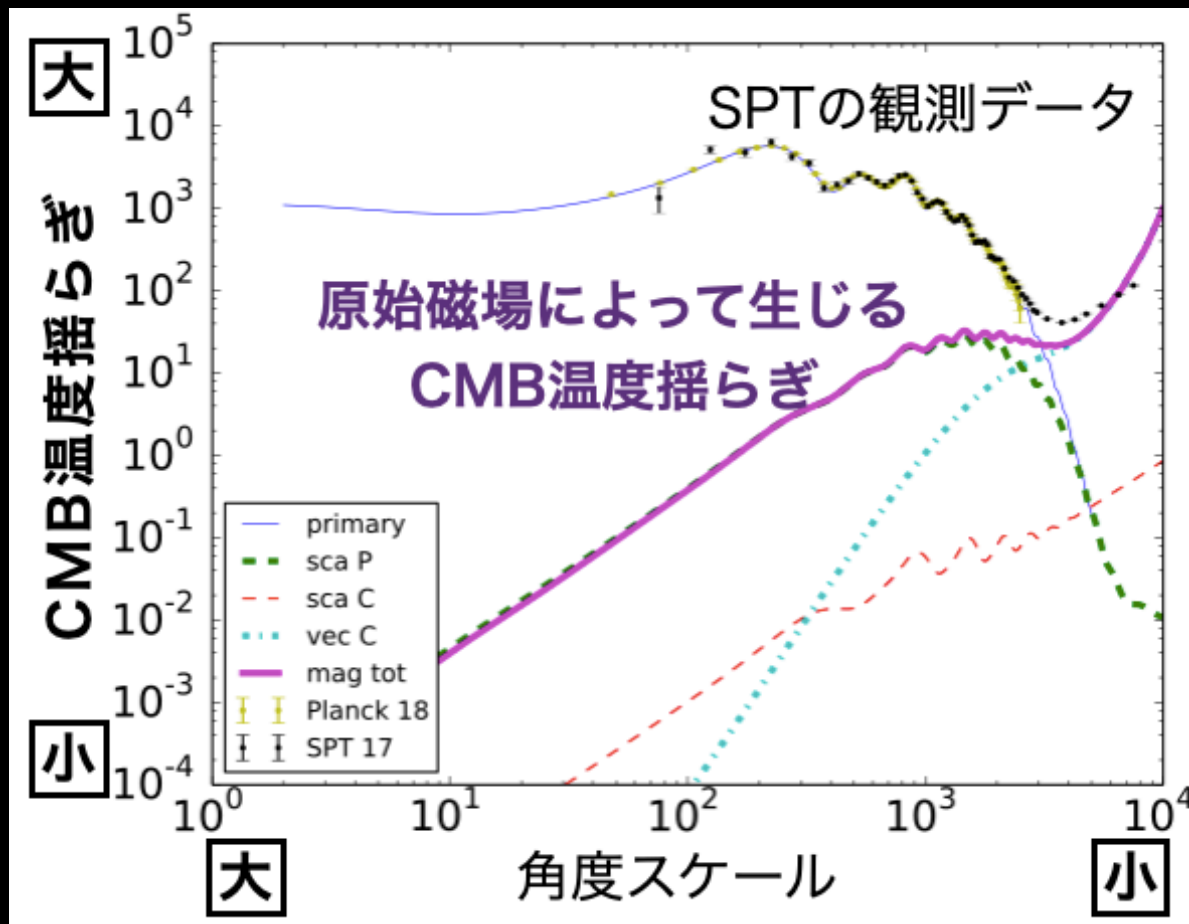


# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ



# 原始磁場がつくる**CMB**温度揺らぎ

- MCMCを用いて原始磁場に対する制限を行った



$$P_B(k) \propto B_{1\text{Mpc}}^2 k^{n_B}$$

# まとめ

- ✓ 原始磁場がローレンツ力によってバリオンの速度場のゆらぎに与える影響を見積もった
- ✓ 光子と電子の散乱(ドップラー効果)によって生じるCMBの温度揺らぎを計算した
- ✓ 南極点望遠鏡の小スケール温度揺らぎの観測データを用いて、 $B_{1 \text{ Mpc}} \leq 1.5 \text{ nG}$  という制限を得た  
(Planckのみの制限：  $B_{1 \text{ Mpc}} \leq 3.2 \text{ nG}$ )