

宇宙磁場が 熱的 SZ 効果を通して CMB 温度の 非等方性に与える影響

名古屋大学 宇宙論研究室 箕田鉄兵

(共同研究者)

市來淨與, 田代寛之, 長谷川賢二, 杉山直

アウトライン

- 研究背景「宇宙における磁場の起源」
- 磁場によるガスの加熱
- 研究手法
 - 宇宙磁場のモデル（晴れ上がり以降）
 - ガスの密度・温度・電離度の進化
- 研究結果・考察

2/10

研究背景

「宇宙における磁場の起源」

- 天体物理起源？

→ 小スケール、種磁場の問題

研究背景

「宇宙における磁場の起源」

- 天体物理起源？

→ 小スケール、種磁場の問題

- 宇宙論起源？

多くの理論モデル

- 位相欠陥
- (電弱・QCD) 相転移
- ベクトル型摂動論
- …(etc)



わずかな観測的証拠

- ブレーザーTeVガンマ線
1Mpcで 10^{-17} G 以上？

研究背景

「宇宙における磁場の起源」

- 天体物理起源？

→ 小スケール、種磁場の問題

- 宇宙論起源？

本研究で新たな
観測的手法を
提案



わずかな観測的証拠

- ブレーザーTeVガンマ線
1Mpcで 10^{-17} G 以上？

研究手法概要

1. 宇宙論的な磁場のデータ作成



2. ガスの密度、温度、電離度を計算

3. 熱的SZ効果の角度相関

研究手法概要

1. 宇宙論的な磁場のデータ作成



2. ガスの密度、温度、電離度を計算



3. 熱的SZ効果の角度相関

研究手法概要

1. 宇宙論的な磁場のデータ作成



2. ガスの密度、温度、電離度を計算



3. 熱的SZ効果の角度相関

制限

予言



研究手法概要

1. 宇宙論的な磁場のデータ作成

ambipolar
diffusion



制限

2. ガスの密度、温度、電離度を計算



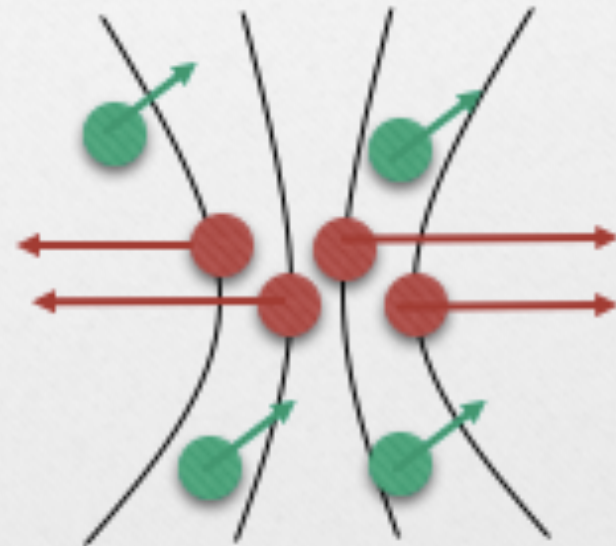
予言



3. 熱的SZ効果の角度相関

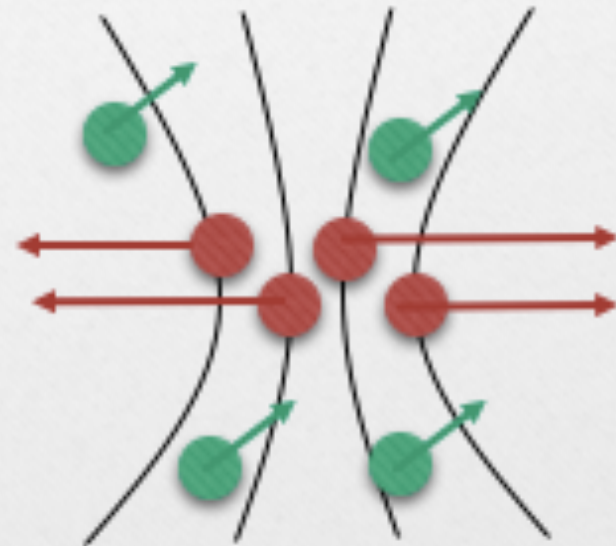
Ambipolar diffusion

- 荷電粒子
 > 磁場に凍結
- 中性粒子
 > 磁場と独立



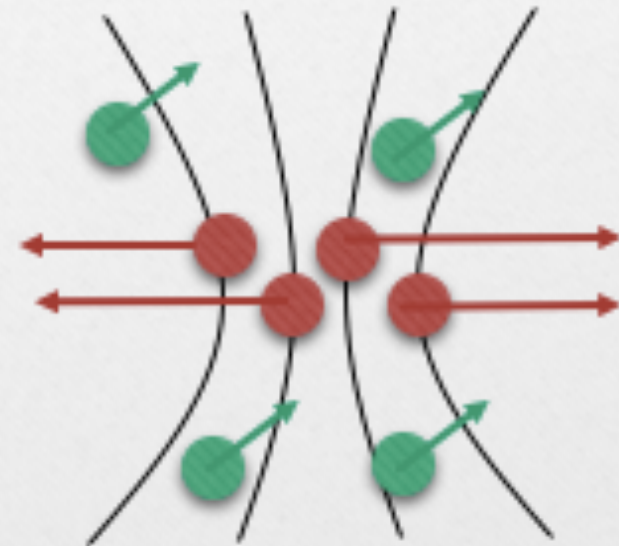
Ambipolar diffusion

- 荷電粒子 ← 衝突してエネルギーを交換
- > 磁場に凍結
- 中性粒子 ←
- > 磁場と独立



Ambipolar diffusion

- 荷電粒子 ← 衝突してエネルギーを交換
- > 磁場に凍結
- 中性粒子 ←
- > 磁場と独立



磁場のエネルギーが熱エネルギーに変化

⇒ “ambipolar diffusion”

5/10

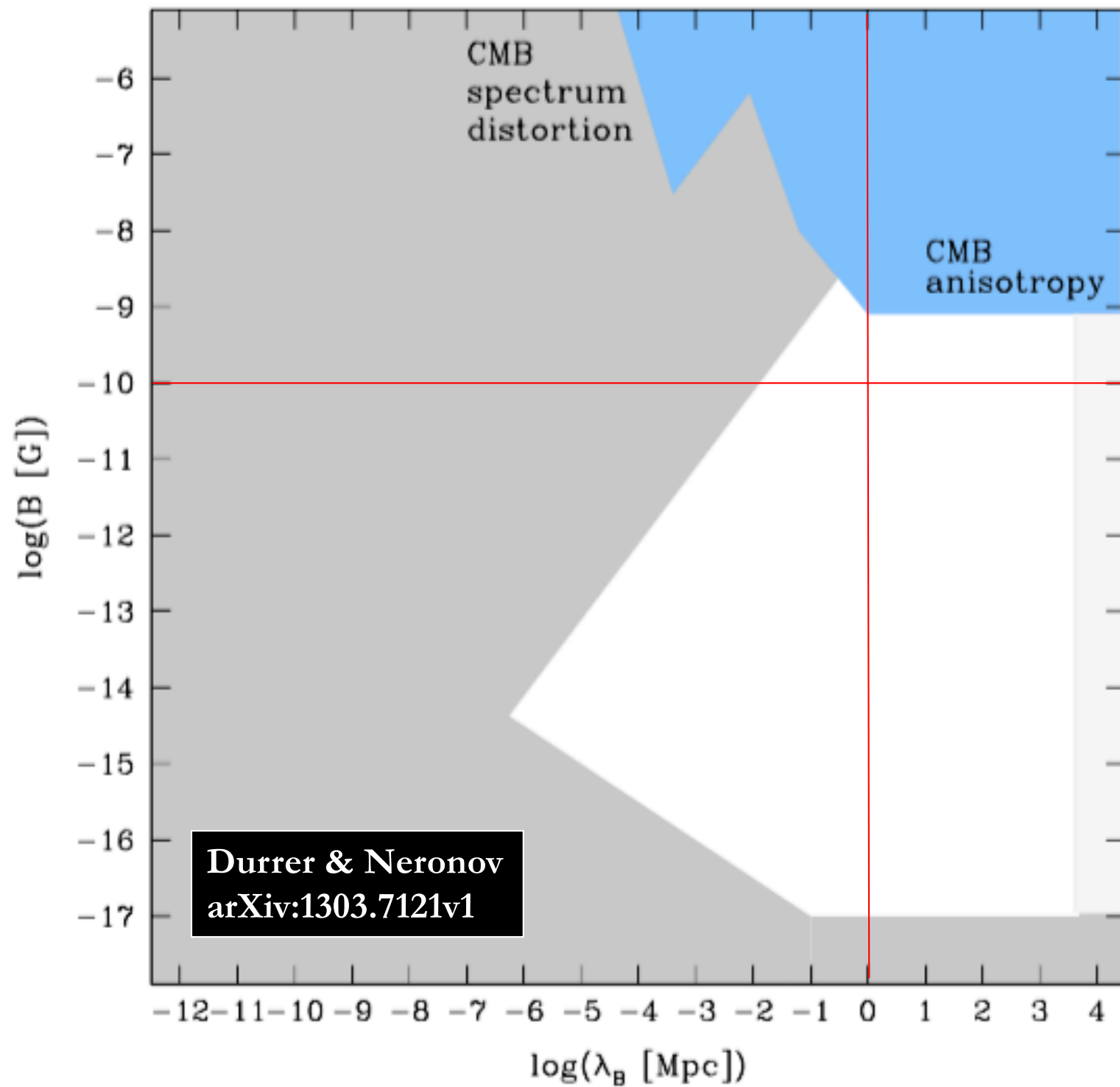
宇宙磁場のモデル (晴れ上がりから現在まで)

k を波数として単純な形式

$$P_B(k) = A_B k^{n_B} \text{ とする}$$

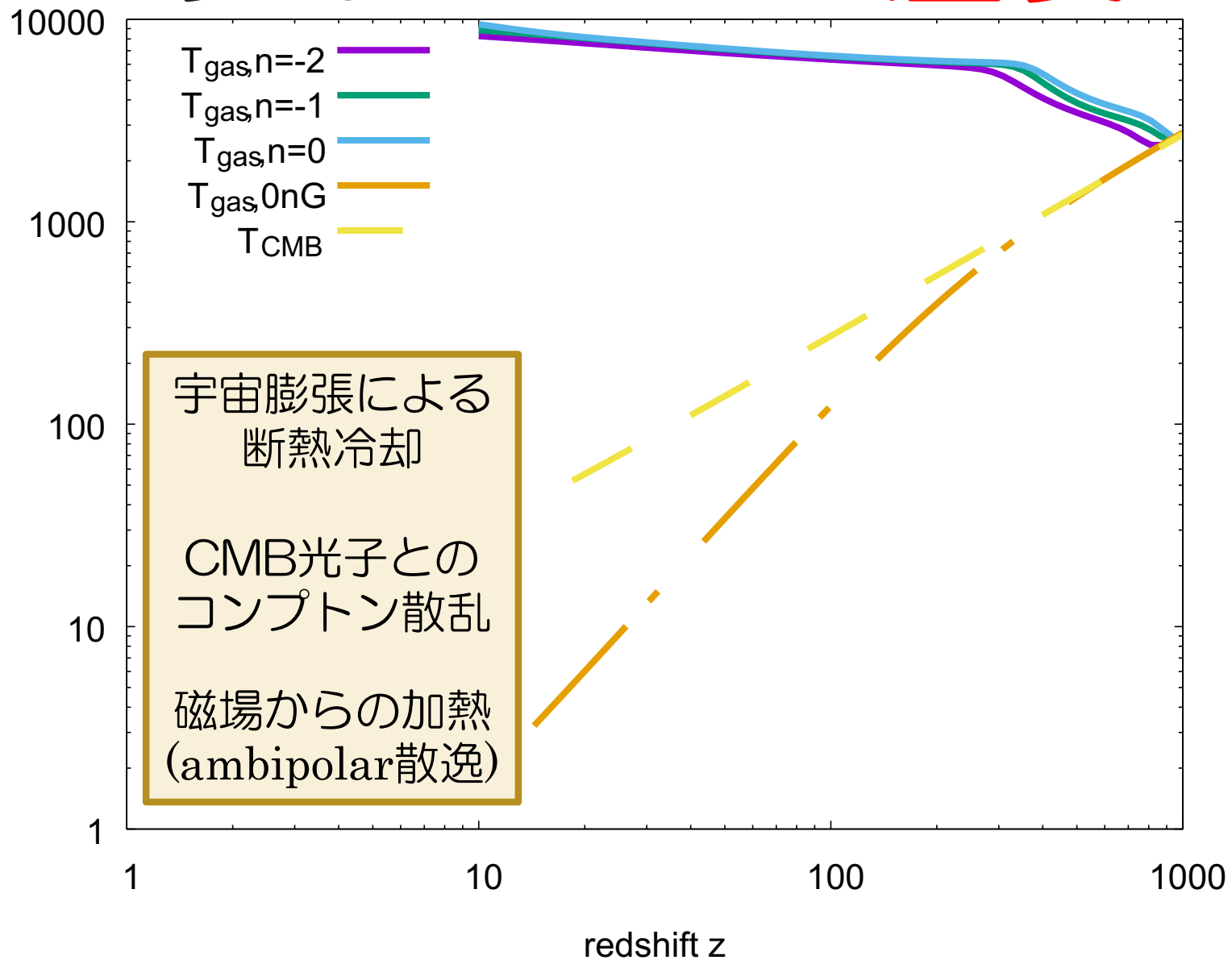
以下を仮定

- スペクトルは不変 (A, n は定数とした)
- $n_B \geq -3$ ($n = -3$ でスケール不変)
- 減衰しない (理想MHD近似)



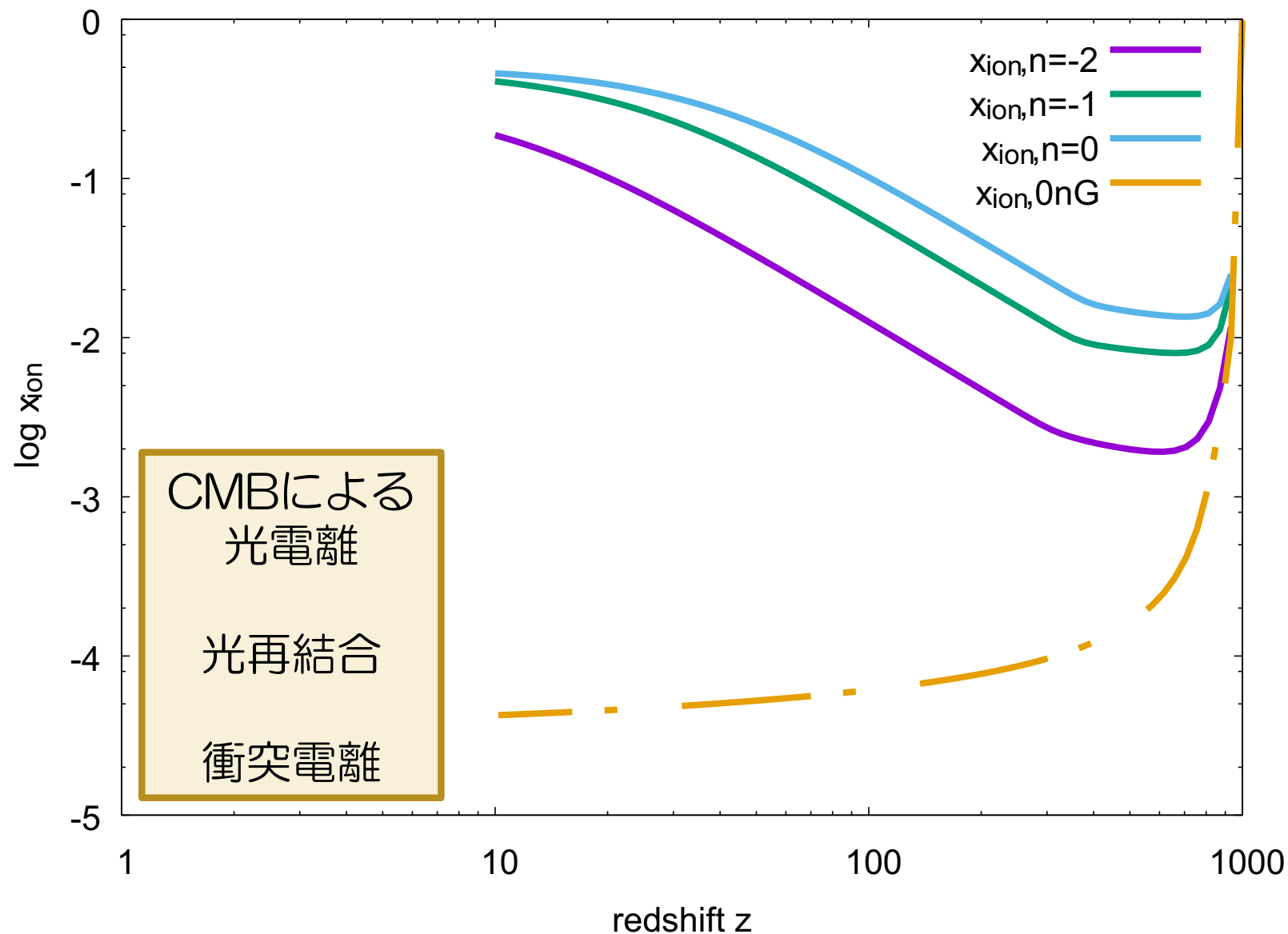
6/10

バリオンガスの温度

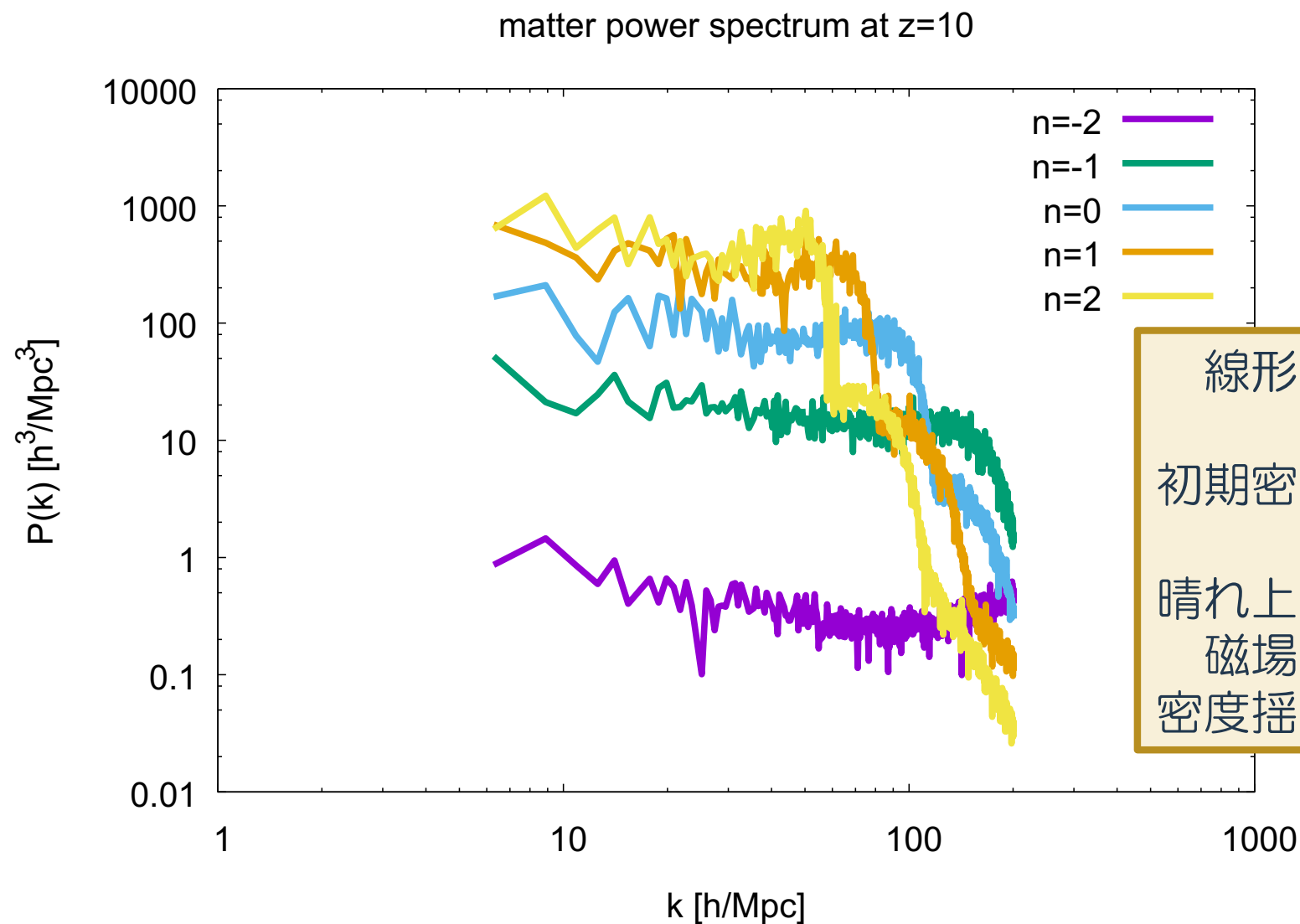


7/10

バリオンガスの電離度



^{8/10}物質のパワースペクトル



線形摂動論

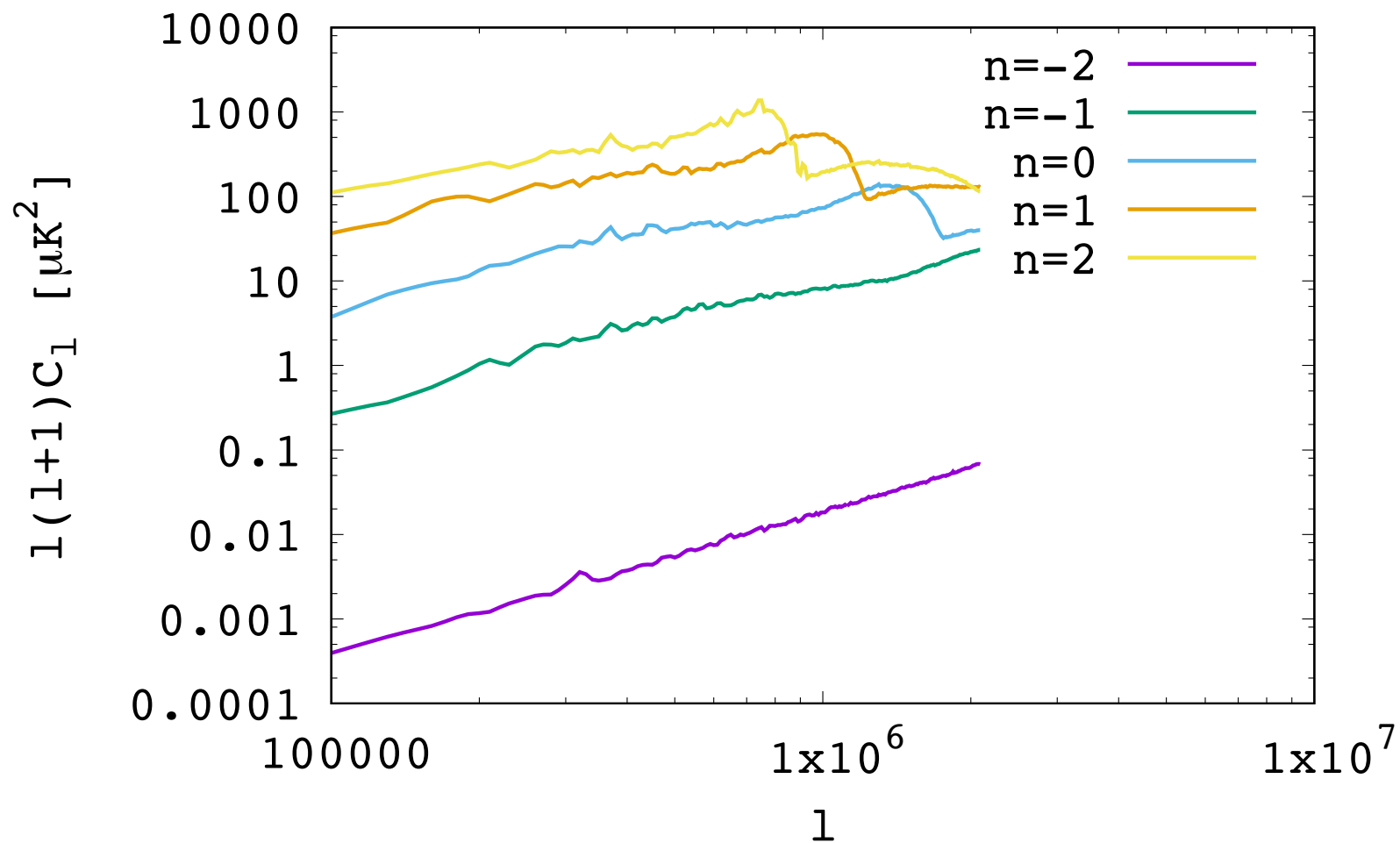
初期密度は一様

晴れ上がり以降
磁場により
密度揺らぎ生成

9/10

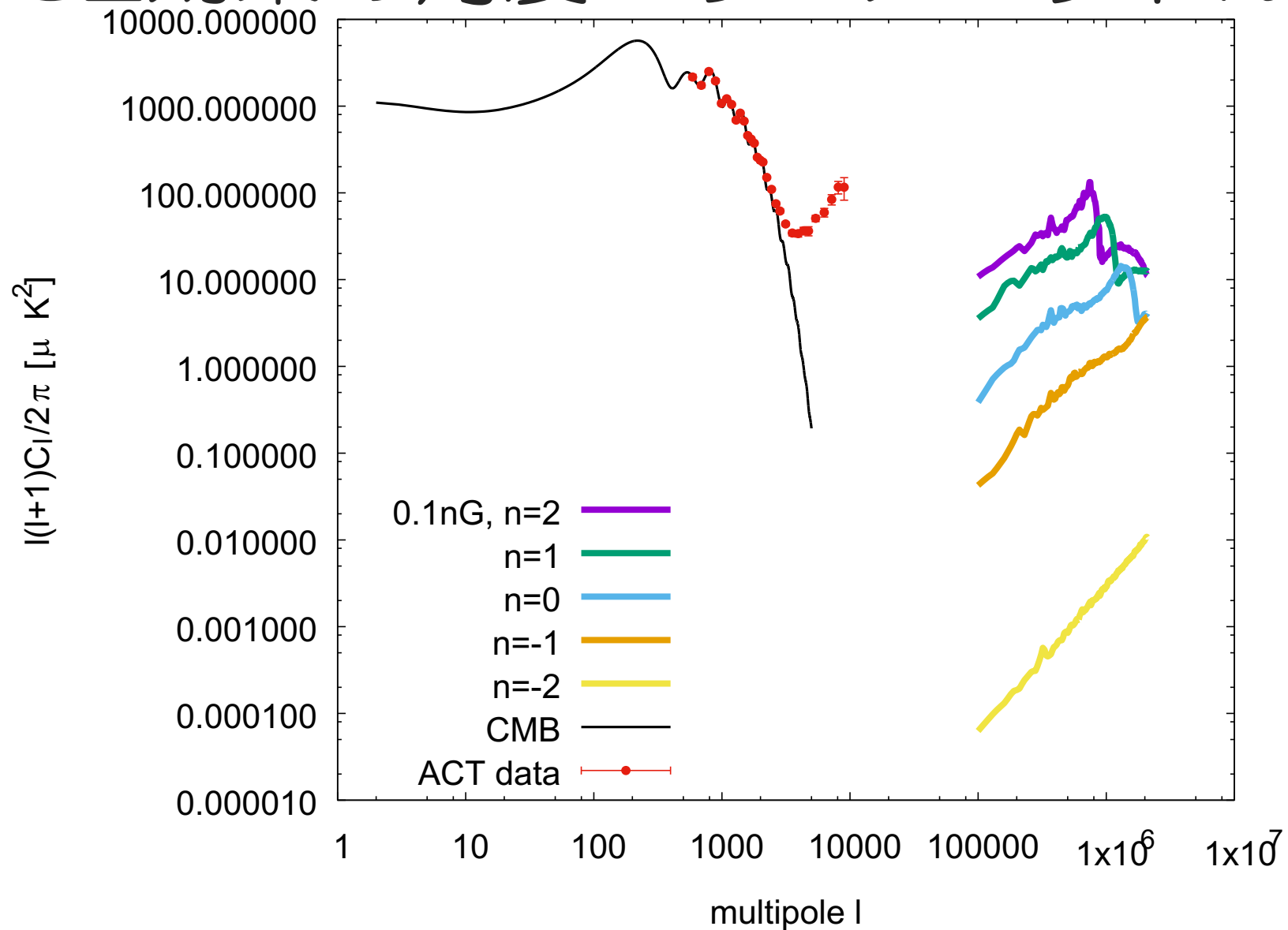
SZ効果の角度パワースペクトル

$B_\lambda = 0.1 \text{ nG}$, $\lambda = 1 \text{ Mpc}$



10/10

SZ効果の角度パワースペクトル



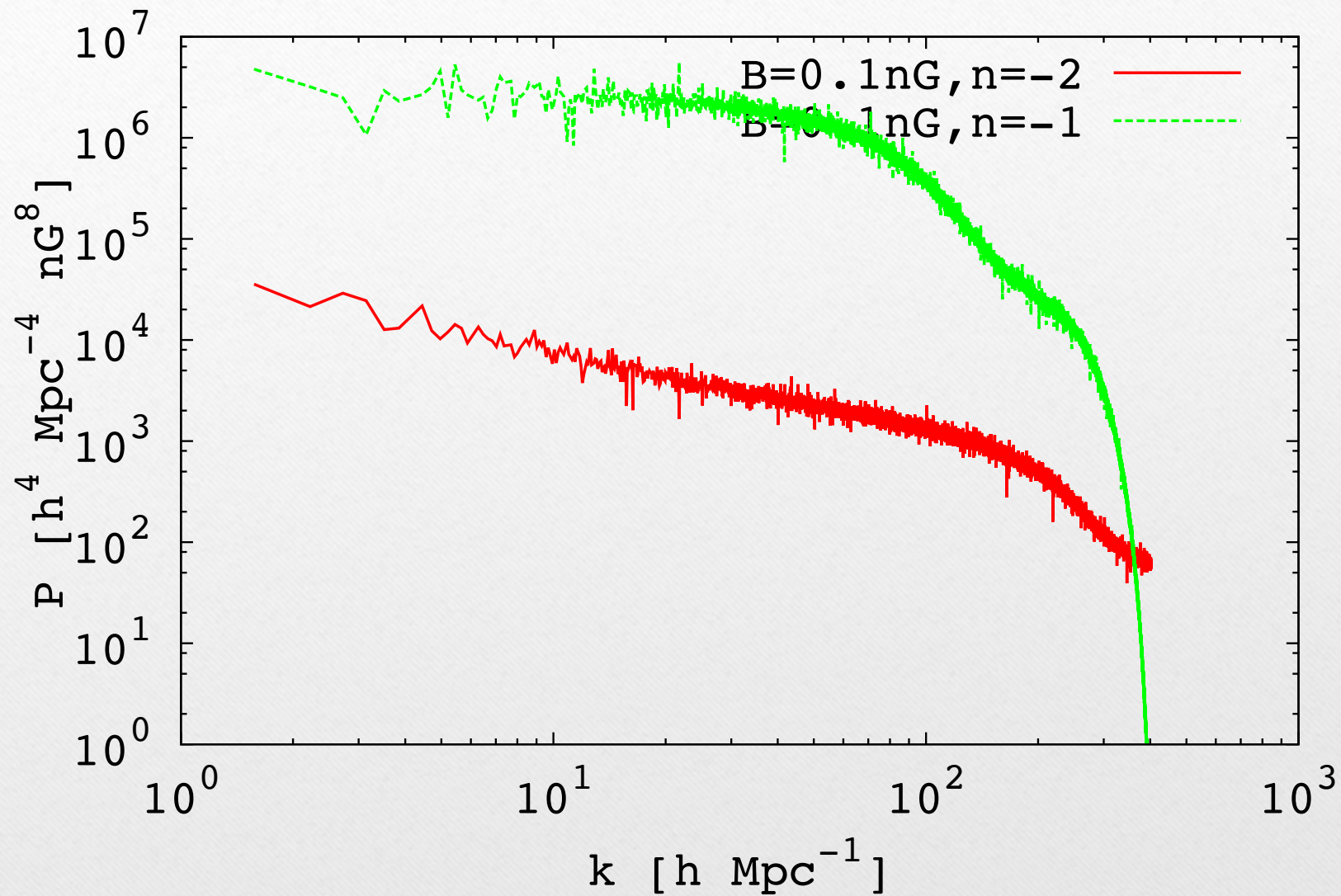
まとめ

- 宇宙磁場の間接的な観測手法の提案
- 再電離後に磁場の存在を仮定
 - 磁場によってガスが加熱
 - 小スケールの熱的 SZ 効果を生成
- $n_B \geq 0, B(1\text{Mpc}) \geq 0.1\text{nG}$
の磁場に対しては小スケールの観測で制限できる可能性あり

15/18

Appendix

12/18

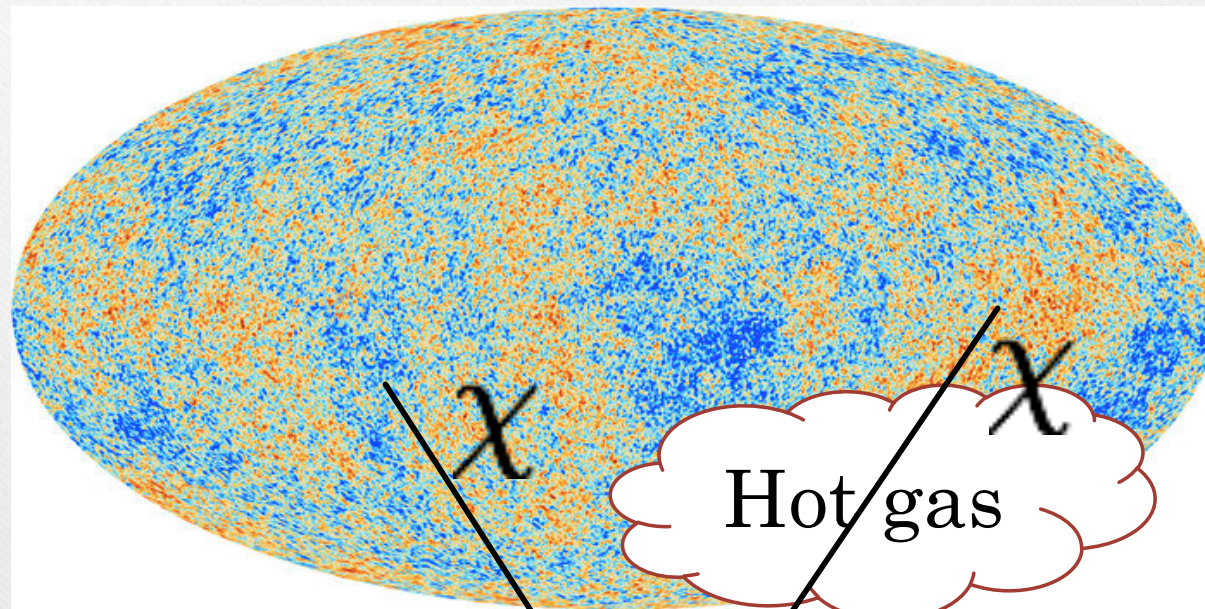


Power spectra of $|\text{rot} \mathbf{B} \times \mathbf{B}|^2$

9/18

y-distortion of CMB

CMB (ESA and the Planck Collaboration)



$y(\vec{\theta}')$

$y(\vec{\theta})$

Calculation

- To find an y-parameter :

integration from $z=1000$ to 10

boxsize = 1Mpc

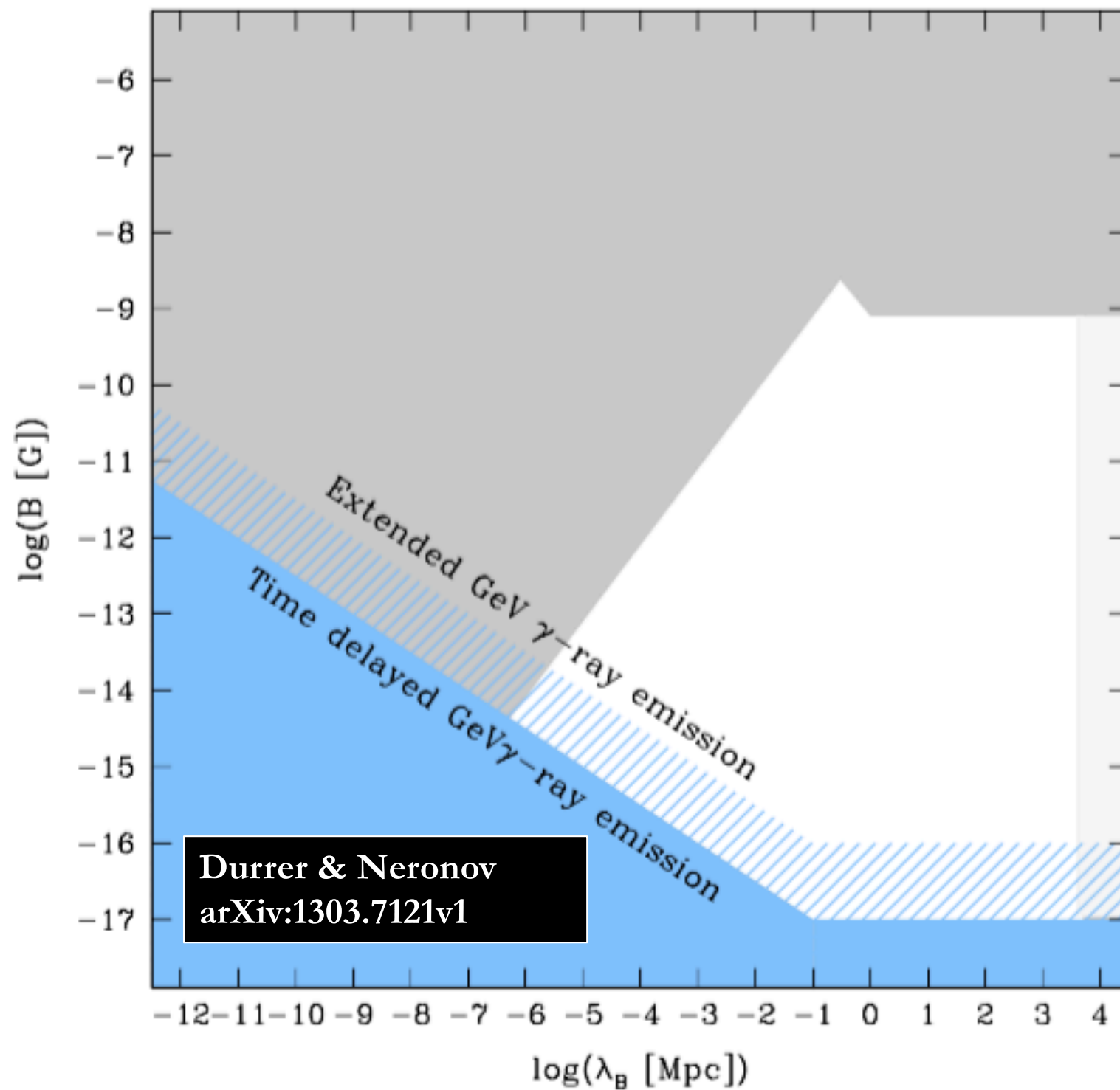
total grid number = 64^3

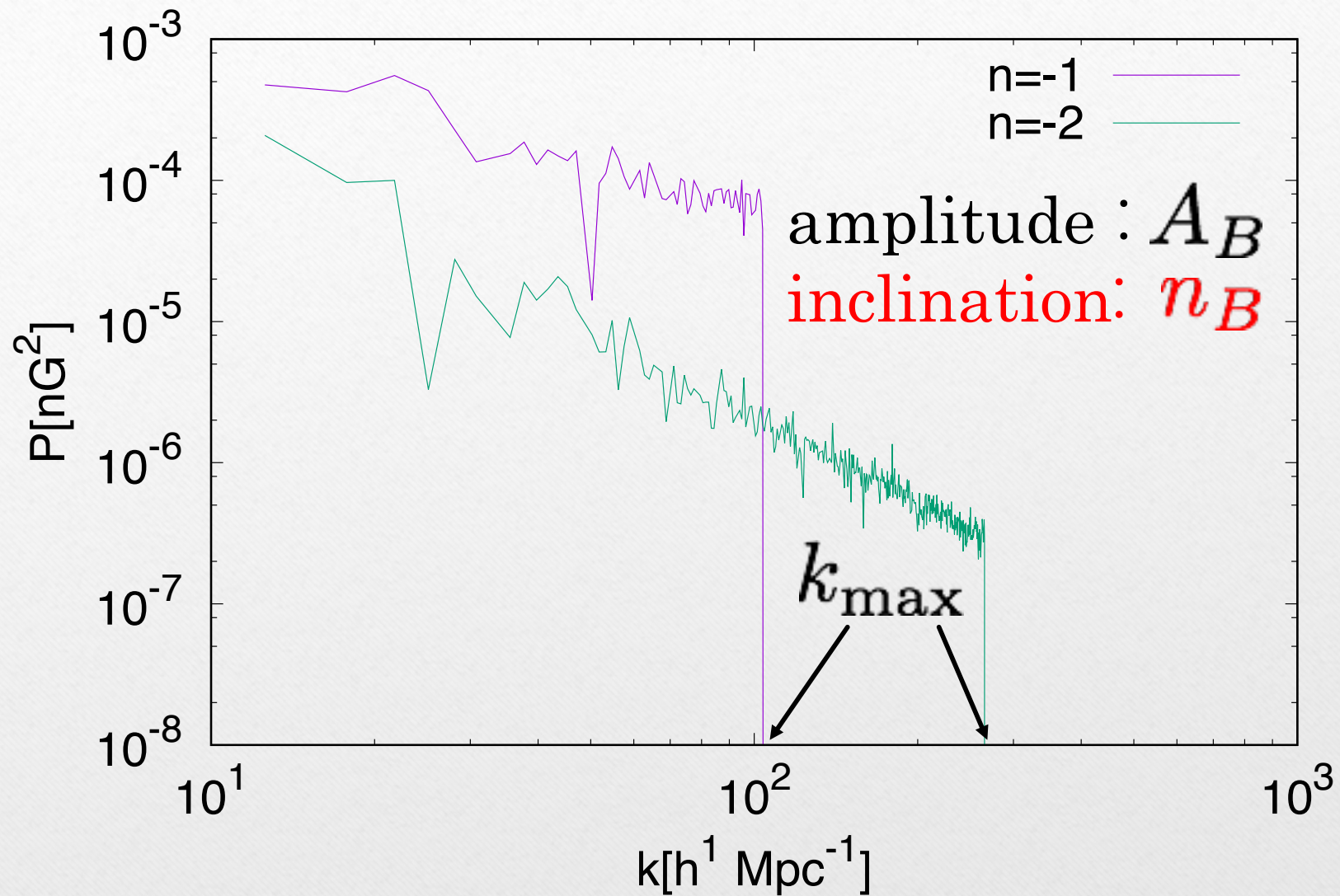
$n_B = -2, -1, 0, 1, 2$

$B(1\text{Mpc}) = 0.1\text{nG}$

Summary

- realize cosmological magnetic fields (CMFs)
- power spectra of y w/o density fluctuations
- baryon density w/o CMFs
- baryon density with CMFs (future)
- power spectra of y -parameter (future)
- observable possibility (future)





Power spectra of CMFs

Thermal history

$$\frac{dT_g}{dt} = -2HT_g + \frac{x_e}{1+x_e} \frac{8\rho_\gamma\sigma_T}{3m_e c} (T_\gamma - T_g) + \frac{1}{1.5k_B n_H} \frac{|(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}|^2}{16\pi^2 \chi \rho_b^2 x_e (1-x_e)}$$

T_g : gas temperature, T_γ : CMB temperature

x_e : ion rate

$\chi = 3.5 \times 10^{13} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$: drag coefficient

Density fluctuations by CMFs

- Baryon fluid is frozen in CMFs
 - > generation of density fluctuations by CMFs

$$\frac{\partial^2 \delta_b}{\partial t^2} = -2 \frac{\dot{a}}{a} \frac{\partial \delta_b}{\partial t} + 4\pi G (\rho_c \delta_c + \rho_b \delta_b) + \frac{\nabla \cdot ((\nabla \times \mathbf{B}(t_0)) \times \mathbf{B}(t_0))}{4\pi \rho_b(t_0) a^3}$$

Anisotropy of y-parameter

depends on χ

$$y(\vec{\theta}) = \frac{\sigma_T k_B}{m_e c^2} \int_0^{\chi_{\text{init}}} d\chi \, n_b x_e (T_{\text{gas}} - T_\gamma)$$

depends on $\chi, \vec{\theta}$

$$\delta y(\vec{\theta}) = \int_0^{\chi_{\text{init}}} d\chi \, W(\chi) \delta(\chi, \vec{\theta})$$

$$= \int \frac{d^2 \vec{l}}{(2\pi)^2} e^{i \vec{l} \cdot \vec{\theta}} \delta y(\vec{l})$$

Fourier
Transformation
from $\vec{\theta}$ to $\vec{l}$

Power spectra of y-parameter

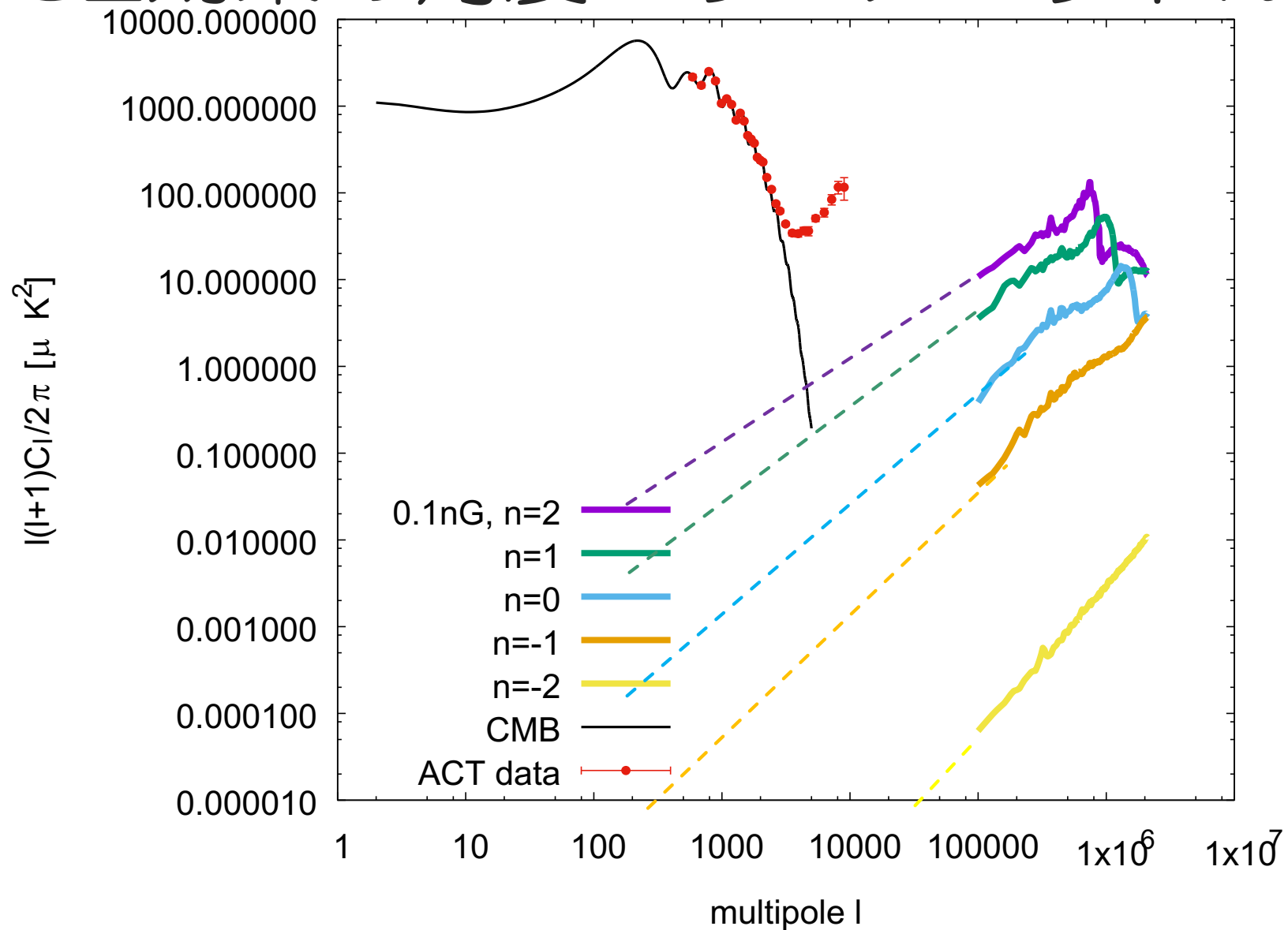
$$\vec{\theta} \rightarrow \vec{l} \quad \chi \vec{\theta} \rightarrow \frac{\vec{l}}{\chi}$$

$$\langle \delta y(\vec{l}') \delta y(\vec{l}) \rangle \equiv (2\pi)^2 P_y(l) \delta(\vec{l} - \vec{l}')$$

$$P_y(l) = \int_0^{\chi_{\text{init}}} d\chi W^2(\chi) \frac{P_\delta(\frac{l}{\chi})}{\chi^2}$$

10/10

SZ効果の角度パワースペクトル



Planck's constraints on CMF

