

宇宙磁場がSZ効果に 与える影響

名古屋大学理学研究科 M1 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
SKA「銀河進化と遠方宇宙」

1/19

背景

宇宙論的スケールの磁場 → 宇宙磁場

宇宙磁場の起源、構造、強度 = ???

宇宙論的な観測量(熱的SZ効果)から
宇宙磁場のモデルを制限

概要

宇宙磁場のモデル

↓ (計算)

バリオン流体の熱史・電離史

↓ (解析)

熱的SZ効果への影響

宇宙磁場のモデル

$$P_B(k) = A_B k^{n_B}, \quad k < k_{\max}$$

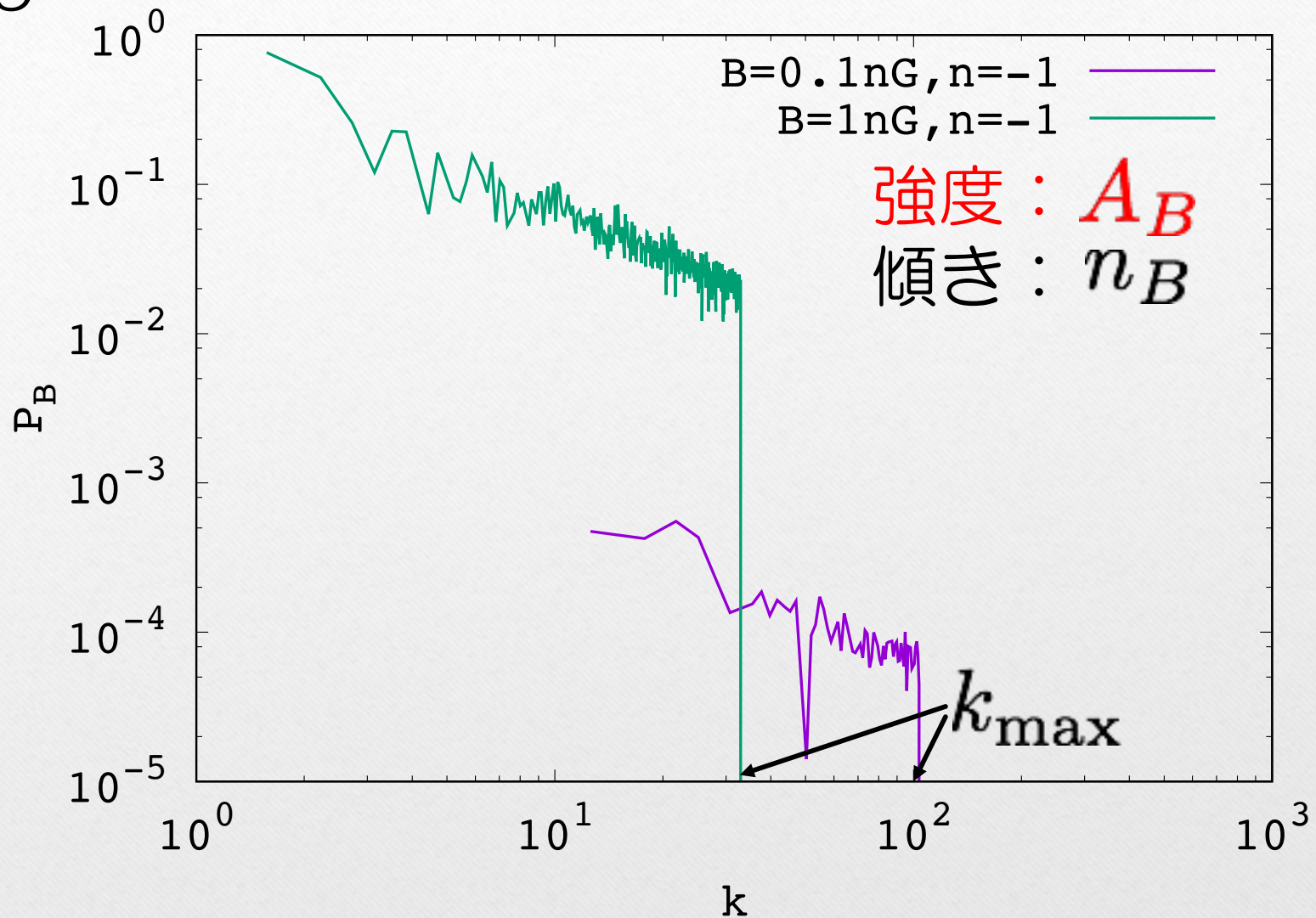
A_B と n_B によって磁場のモデルが決定

$$B^2(\lambda) = \frac{2A_B}{3 + n_B} \frac{(2\pi)^{1+n_B}}{\lambda^{3+n_B}}, \quad n_B > -3$$

n_B 大：スケールによる磁場の変化 大

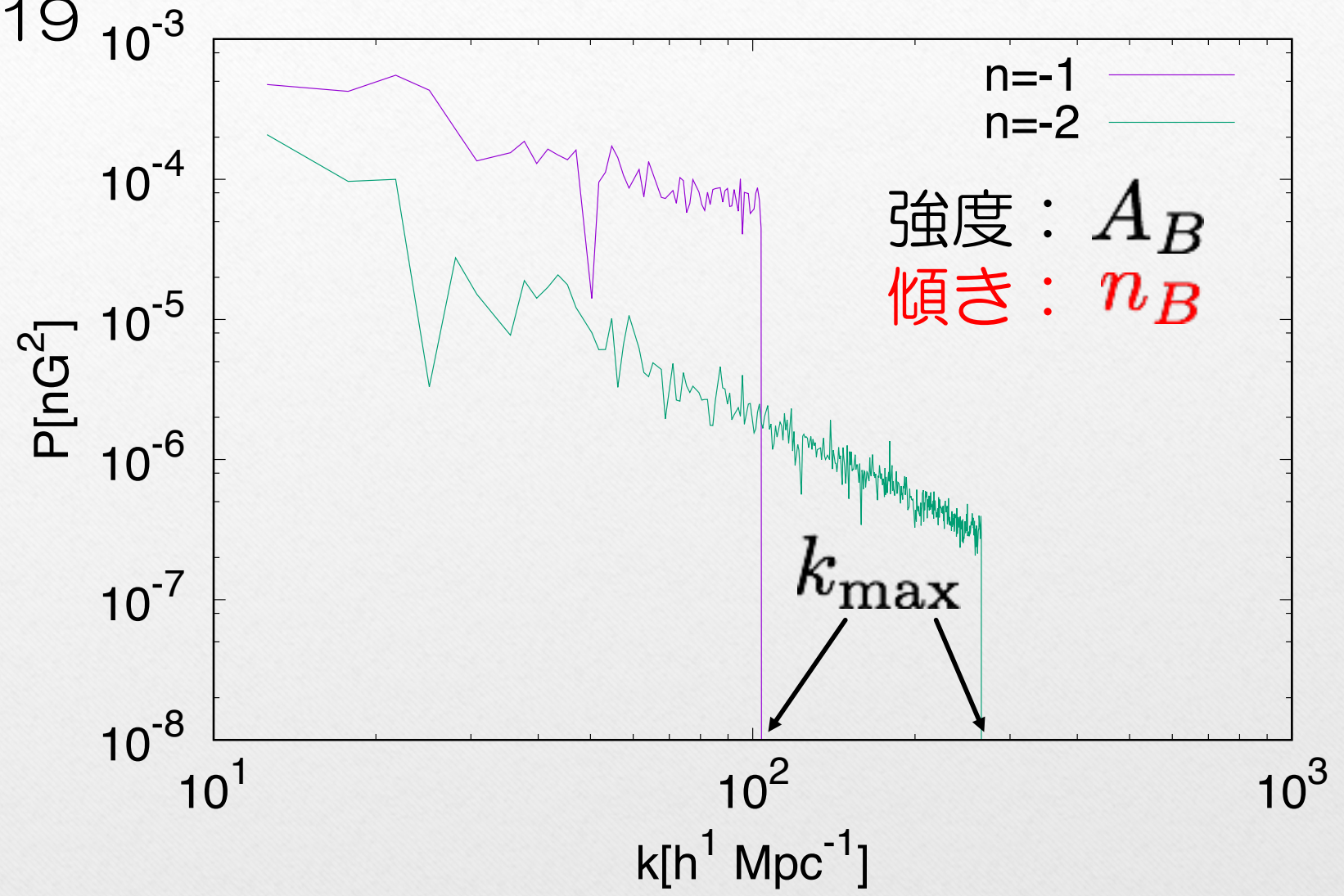
n_B 小：スケールによる磁場の変化 小

4/19



磁場のパワースペクトル

5/19



磁場のパワースペクトル

宇宙磁場の最大波数

(Fedeli & Moscardini, 2012)

カットオフ波数は Alfvén 波の減衰による

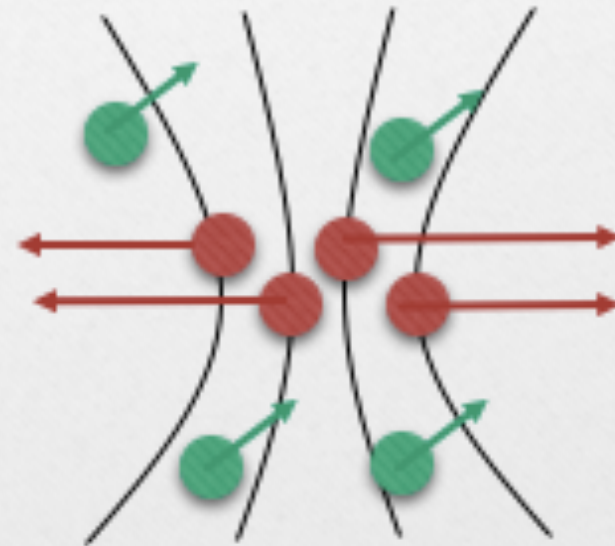
$$k_{\max}^{-2} = \left(\frac{\lambda_{\max}}{2\pi} \right)^2 = V_A^2 \int_0^{t_\tau} \frac{l_\gamma(t)}{a^2(t)} dt$$

$$\lambda_{\max}^{5+n_B} \simeq 1.319 \times 10^{-3} \left(\frac{B_{\text{com}}(1\text{Mpc})}{1\text{nG}} \right)^2$$

7/19

Ambipolar 散逸

- イオン・自由電子
 - ＞ 磁力線に沿って運動
- 中性粒子
 - ＞ 磁場の影響なし



⇒ 相対速度によって磁場が散逸 (Ambipolar 散逸)

バリオン流体の熱史

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

T_g : ガスの温度, T_γ : CMB温度, x_e : 電離度
 $\chi = 3.5 \times 10^{13} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$: drag係数

9/19

バリオン流体の電離史

$$\frac{dx_e}{dt} = [\beta_e(1 - x_e) \exp\left(-\frac{h\nu_\alpha}{k_B T_\gamma}\right) - \alpha_e n_H x_e^2] C + \gamma_e n_H x_e(1 - x_e)$$

α_e : 再結合係数, β_e : 光子電離係数,

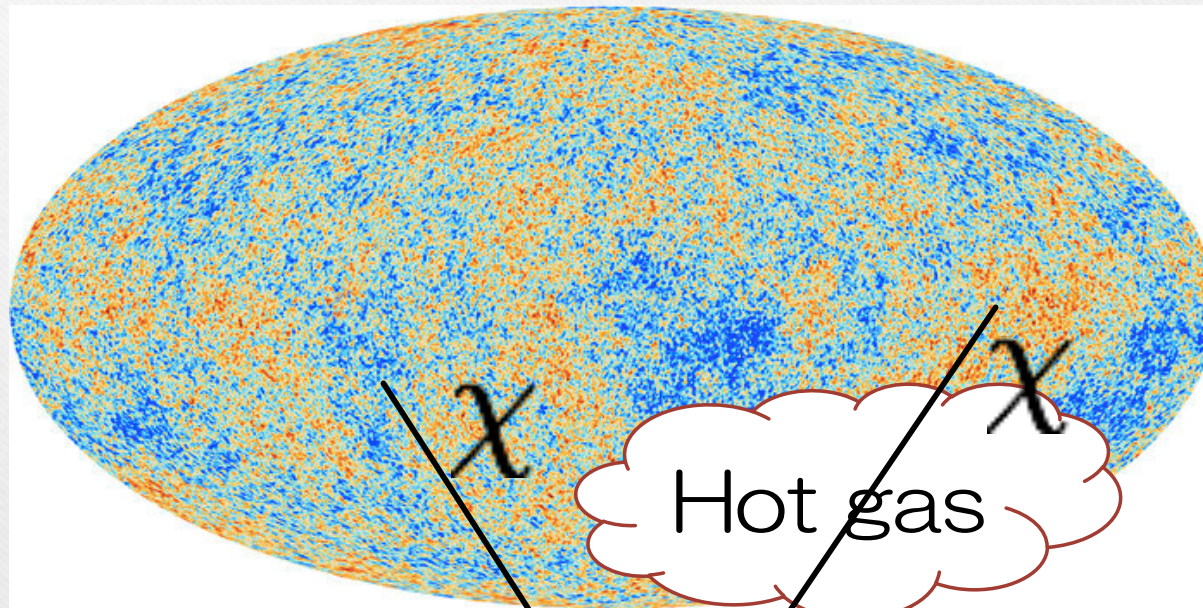
γ_e : 衝突電離係数,

$h\nu_\alpha$: 水素原子の基底状態の束縛エネルギー

10/19

CMB の y -distortion

CMB (ESA and the Planck Collaboration)



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

$y(\vec{\theta})$

y-parameterの空間異方性

χ のみに依存

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

$\chi, \vec{\theta}$ に依存

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

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

$\vec{\theta}$ から \vec{l} への
フーリエ変換

12/19

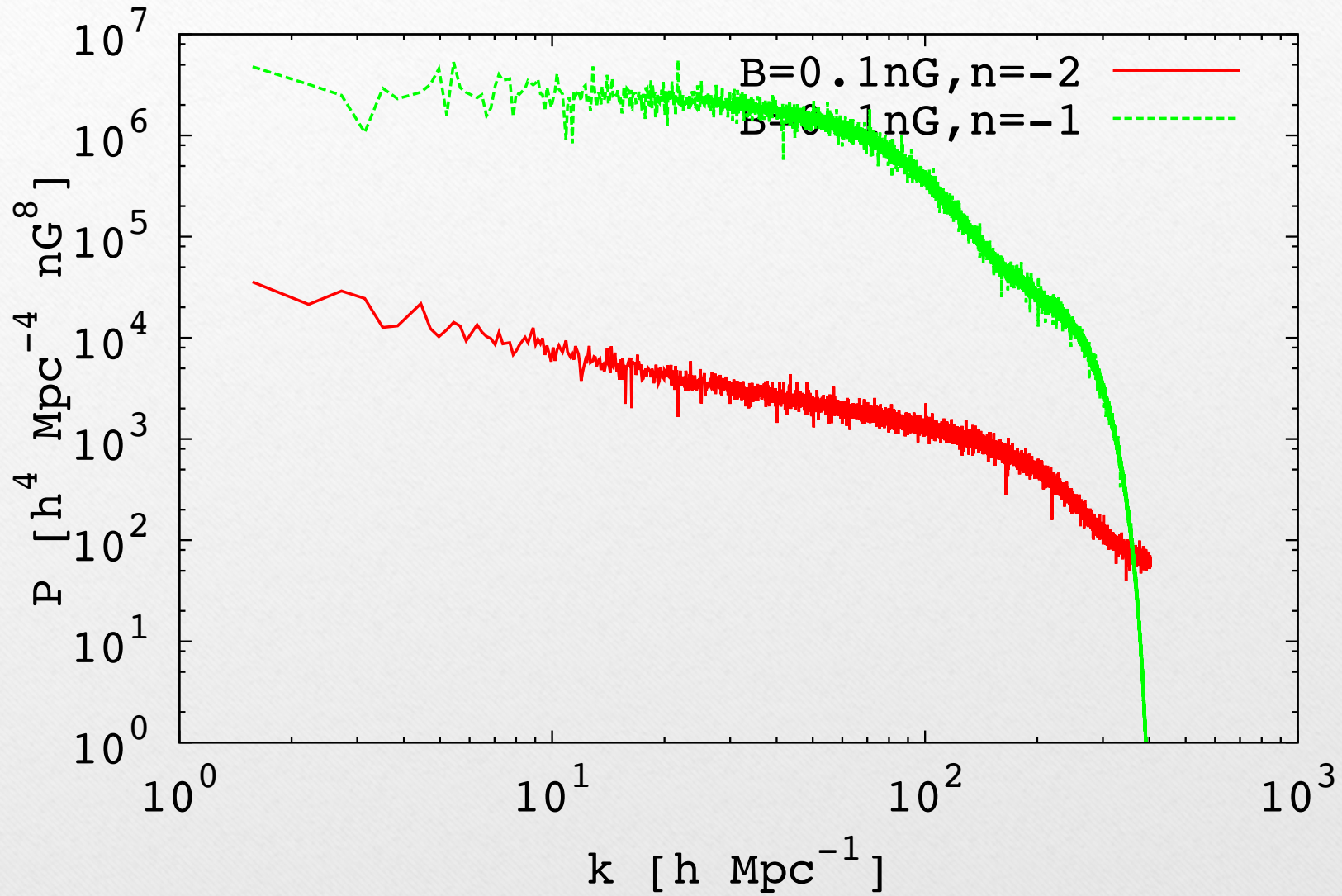
y-parameter のパワースペクトル

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

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

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

13/19



$|\text{rot}B \times B|^2$ のパワースペクトル

計算手法

- 磁場は時間進化せず一回の計算で一定
- y パラメータは $z=500$ から11まで積分

$$\text{boxsize} = 0.1\text{Mpc}, 0.5\text{Mpc}$$

$$\text{grid number} = 64^3$$

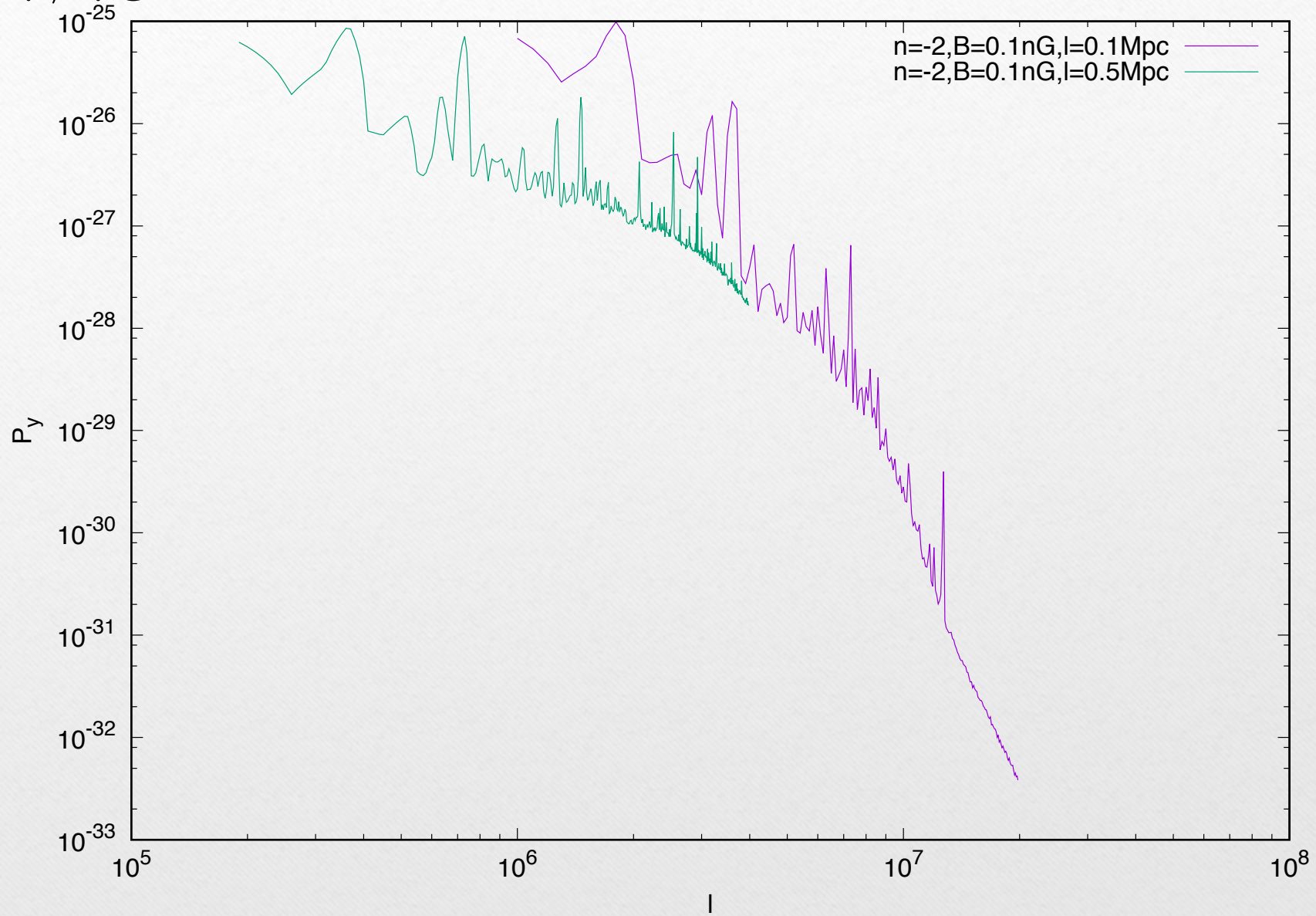
$$B(1\text{Mpc}) = 0.1\text{nG}$$

$$n_B = -2, -1$$

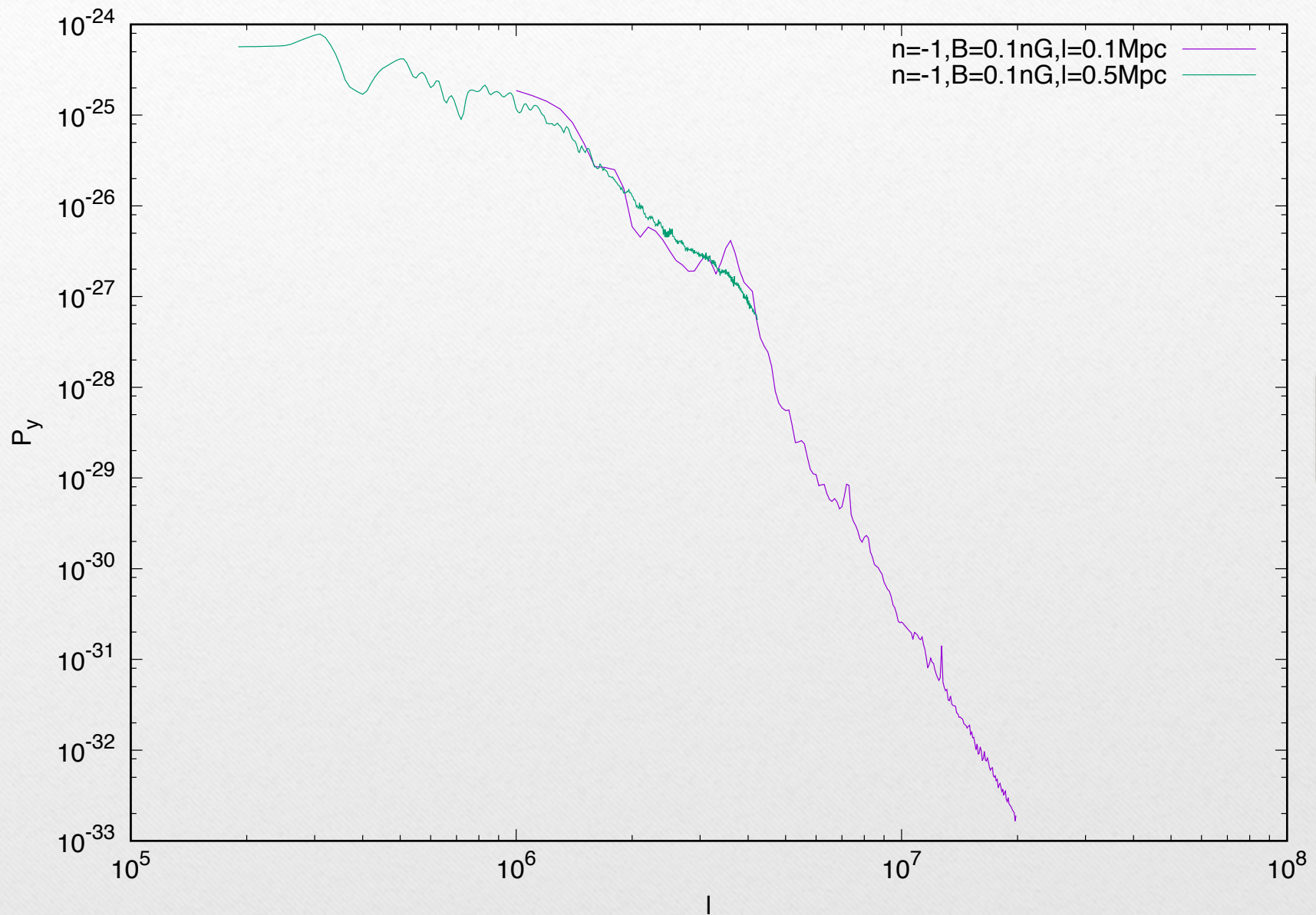
15/19

結果
preliminary

17/19



18/19

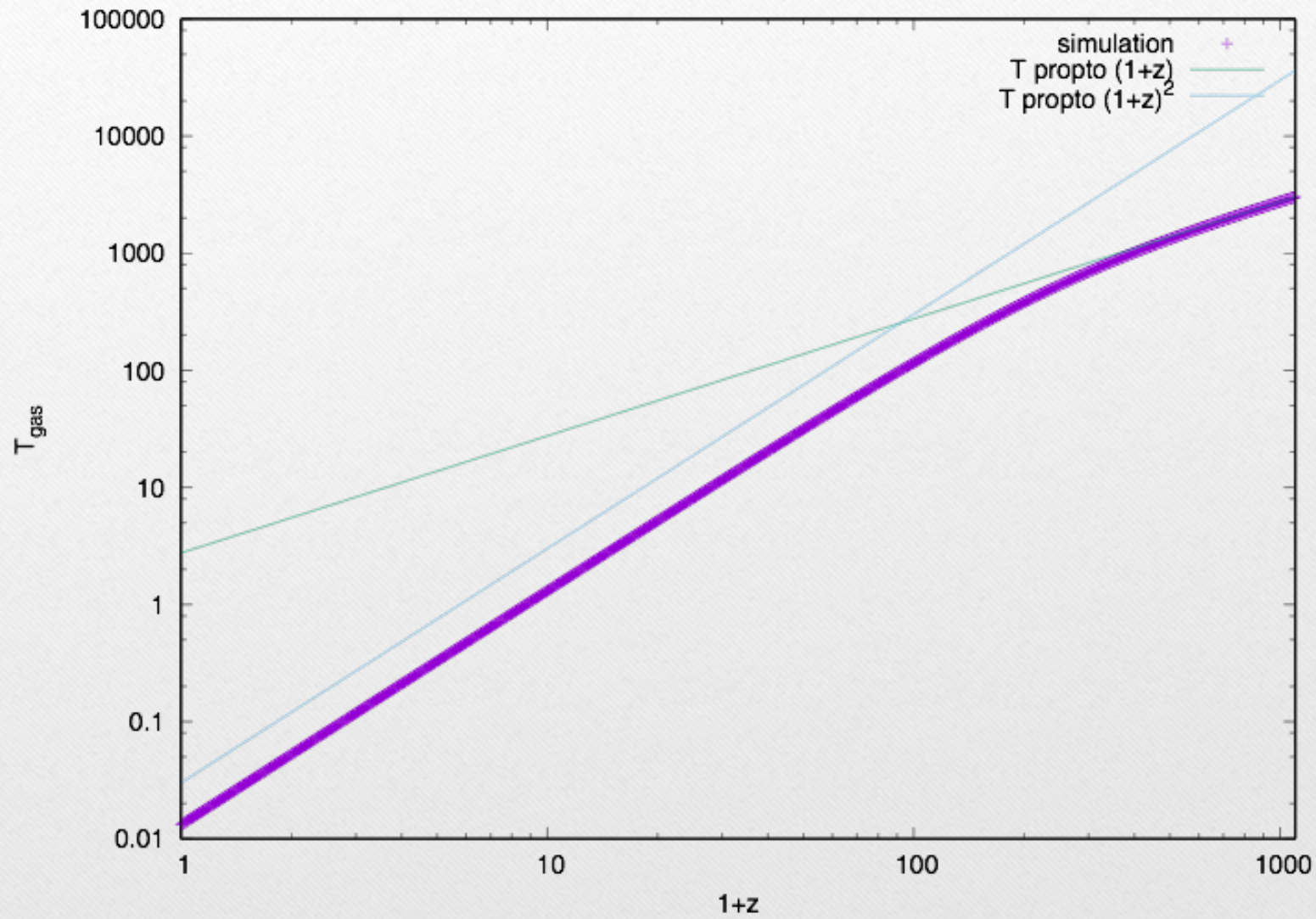


まとめ

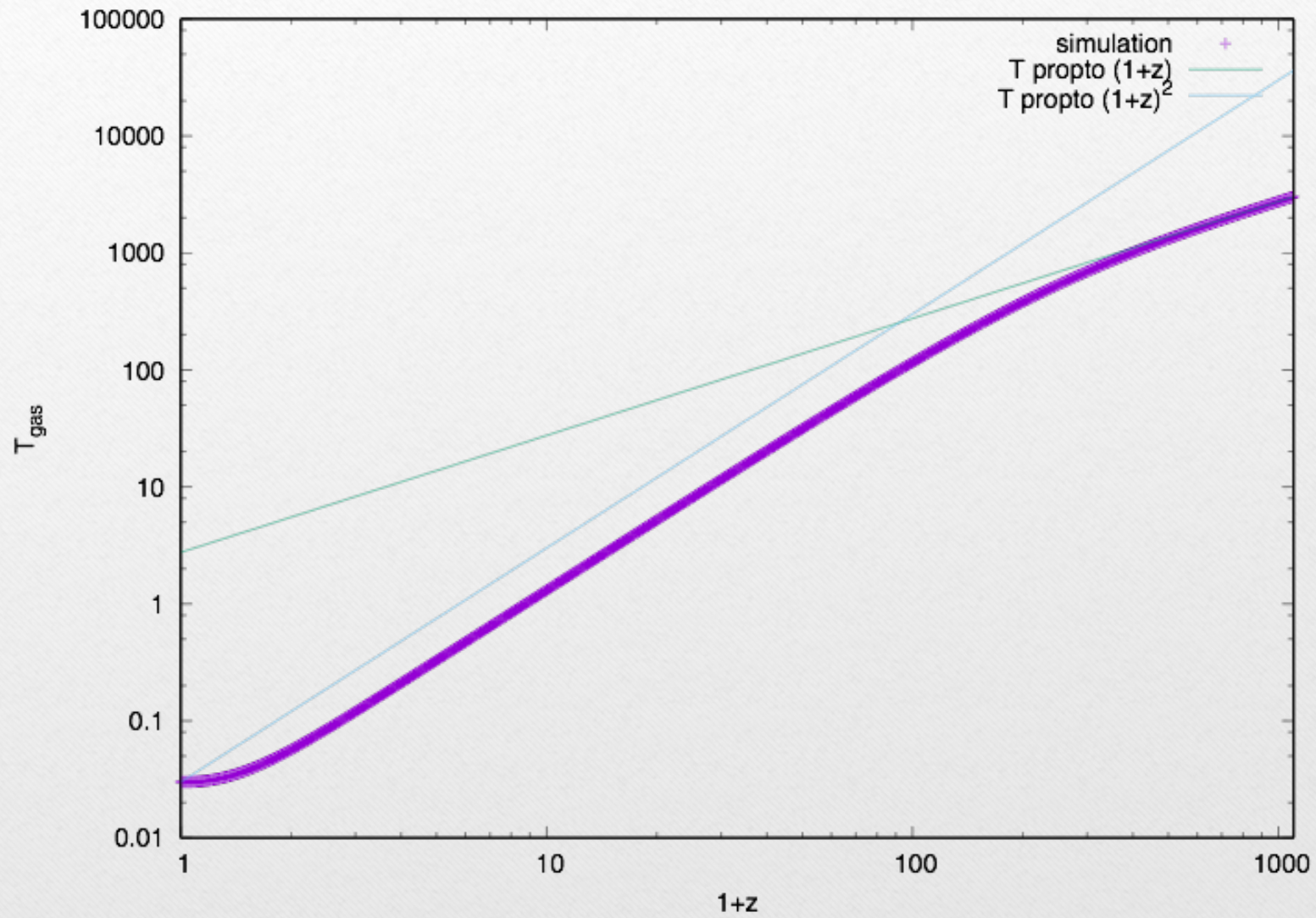
- 宇宙磁場のモデルに制限をつけたい
- 様々な磁場の強度と $P(k)$ の指数を与え、それに対応した磁場をランダムに生成
- 生成した磁場からガスの温度進化を計算した
- γ -パラメータのパワースペクトルを計算した
- カットオフ波数の位置とパワースペクトルの強度から宇宙磁場のモデルを推定できる？



磁場なしの場合



磁場0.1nGの場合



磁場 1nG の場合

