

ダークマターハロー由来の熱制動放射

阿部 克哉

共同研究者:

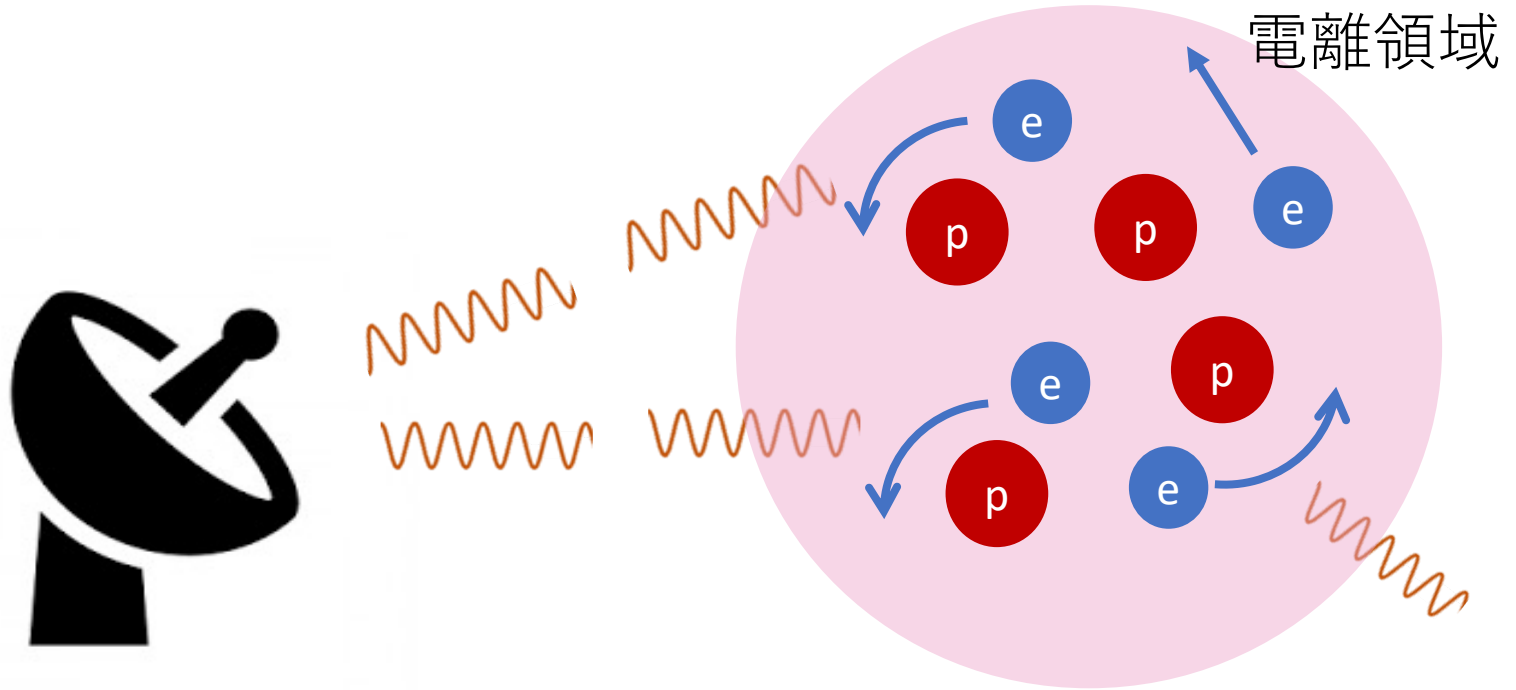
田代 寛之

目次

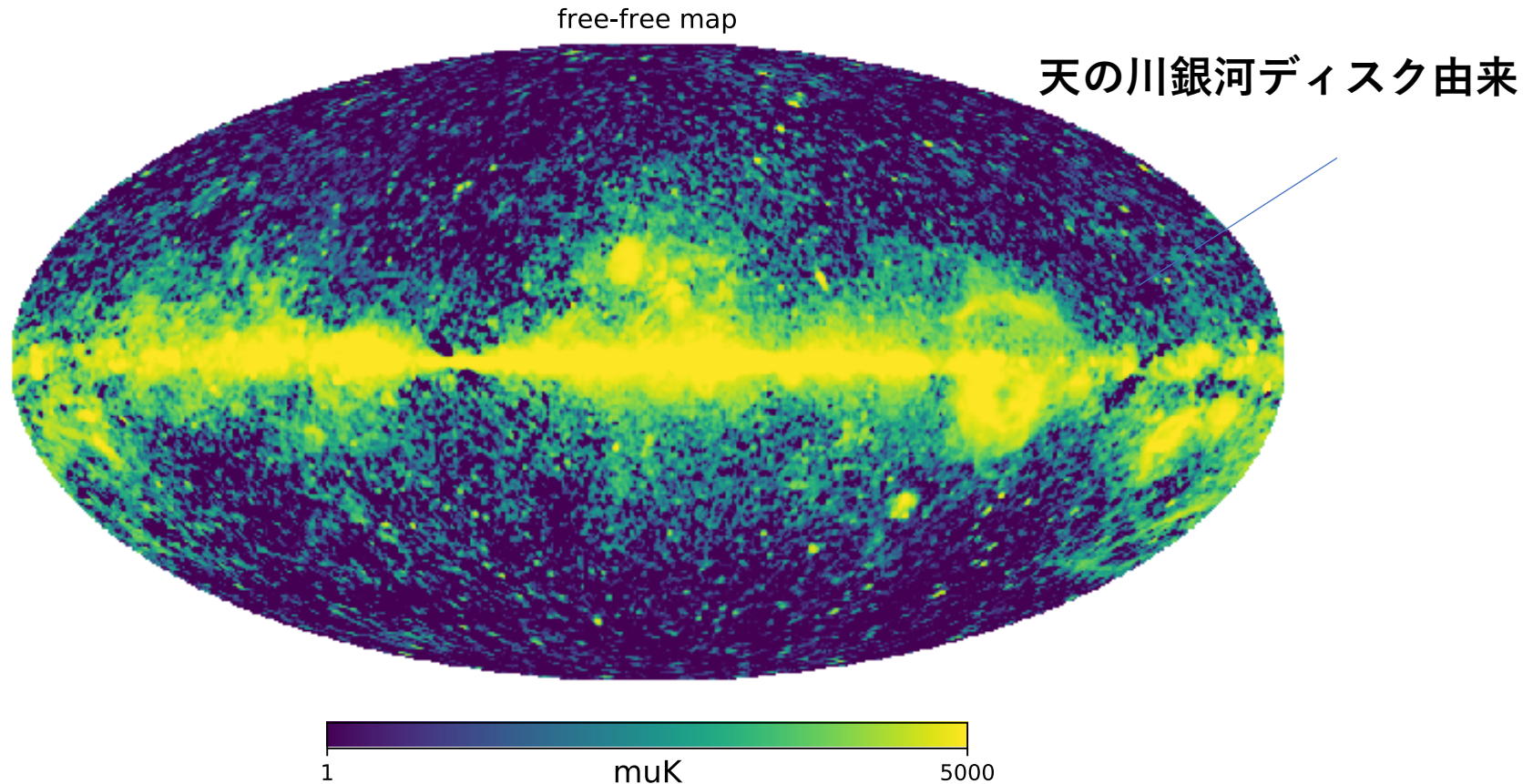
- 導入
- ダークマターハロー由来の熱制動放射強度
- 非等方性
- 宇宙論パラメータへの依存性
- まとめ、今後の展望

熱制動放射とは

宇宙の電離領域から出てくる熱的な放射



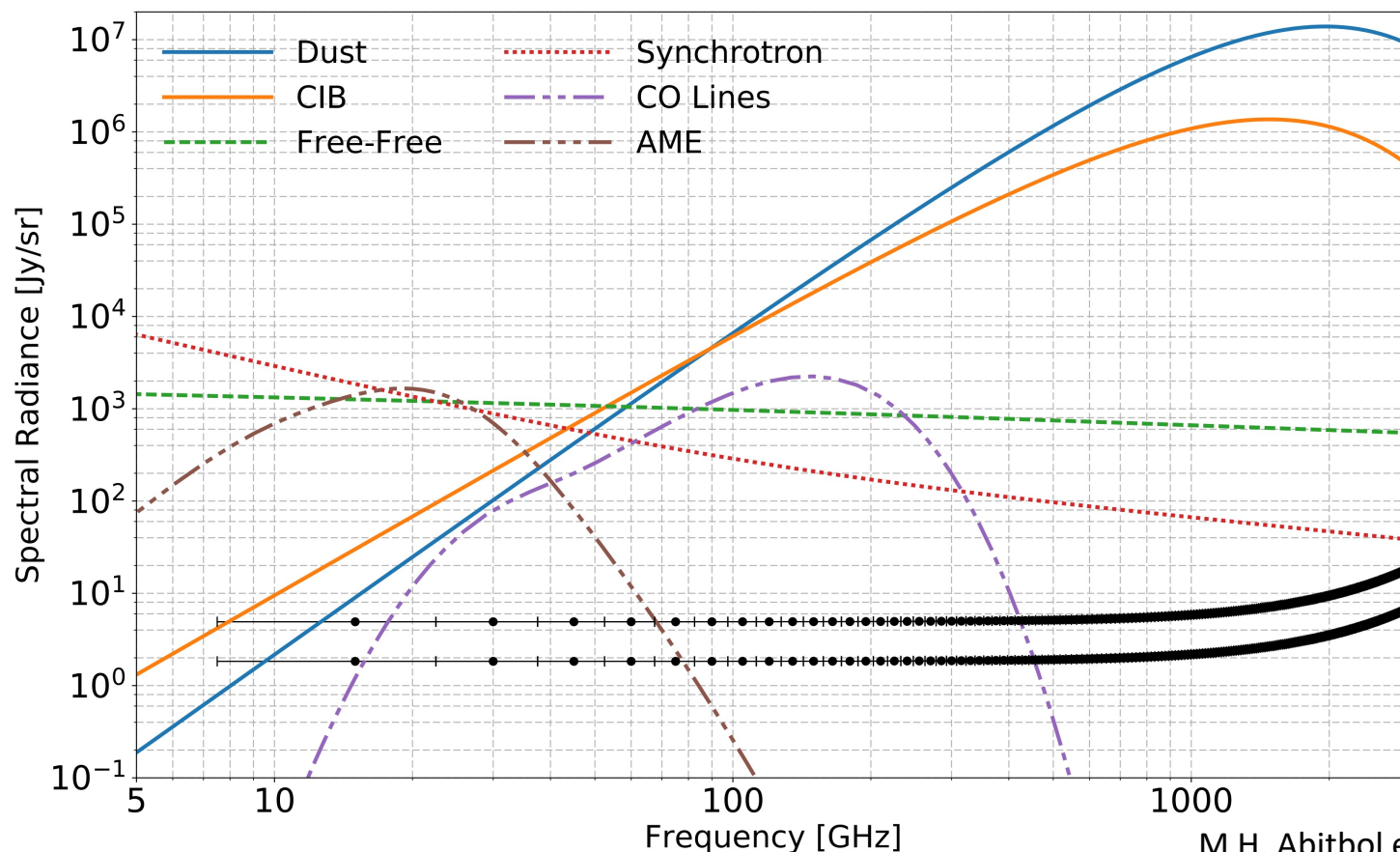
熱制動放射の観測



Planck collaboration

宇宙論における熱制動放射

e.g. CMB/21cm観測における前景放射



M H. Abitbol et al. (2017)

何に着目するのか?

ダークマターハロー in 標準宇宙論

関連研究...

- 初期宇宙形成ダークマターハローに着目
KTA, Minoda, Tashiro, Arxiv: 2108.01916 -> 11/21 箕田
- 原始ブラックホールへの降着ガスに着目
Tashiro, KTA, Minoda, Arxiv: 2108.00621
- 21cm observationに着目
Minoda, KTA, Tashiro, Arxiv: 21xx.xxxxx



何を計算するのか?

ダークマターハロー in 標準宇宙論



- ダークマターハロー由来の熱制動放射強度や非等方性
- 宇宙論的パラメータへの依存性



研究目的は何か？

ダークマターハロー in 標準宇宙論



- ダークマターハロー由来の熱制動放射強度や非等方性
- 宇宙論的パラメータへの依存性



- ✓ シグナル強度の推測
- ✓ DMハロー由来の熱制動放射強度や非等方性の観測は宇宙論の手掛かりになりうるか？



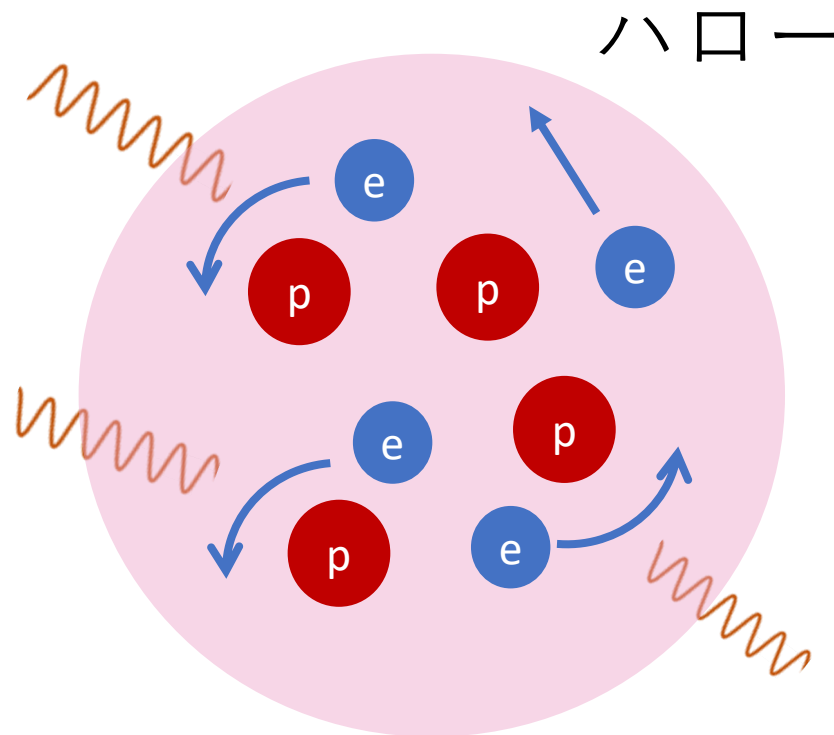
ハロー内部のガス構造

$$\epsilon_{\nu}^{\text{ff}} = 2.72 \times 10^{-33} n_b^2 x_e^2 T_{\text{halo}}^{-1/2} \exp^{-h\nu/k_B T_{\text{halo}}} \bar{g}_{\text{ff}} \quad [\text{erg s}^{-1} \text{ cm}^{-3} \text{ Hz}^{-1}]$$

- ガス密度構造
- ガス温度構造
- 電離度構造



個々の熱制動放射が計算可



採用したガス構造

Komatsu & Seljak ガスモデル(KS モデル)

- 静水圧平行
- ポリトロピック型状態方程式
- ハローの外側でガス密度構造はDMの密度構造に従う
- ガス完全電離

$$s_* \equiv \left. \frac{d \ln y_{\text{dm}}(x)}{\ln x} \right|_{x=x_*} = \left. \frac{d \ln y_{\text{gas}}(x)}{\ln x} \right|_{x=x_*}$$

Universal gas density and temperature profile

E. Komatsu^{1,2★} and U. Seljak^{3†}

¹Department of Astrophysical Sciences, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

²Astronomical Institute, Tohoku University, Aoba, Sendai 980-8578, Japan

³Department of Physics, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

22 October 2018

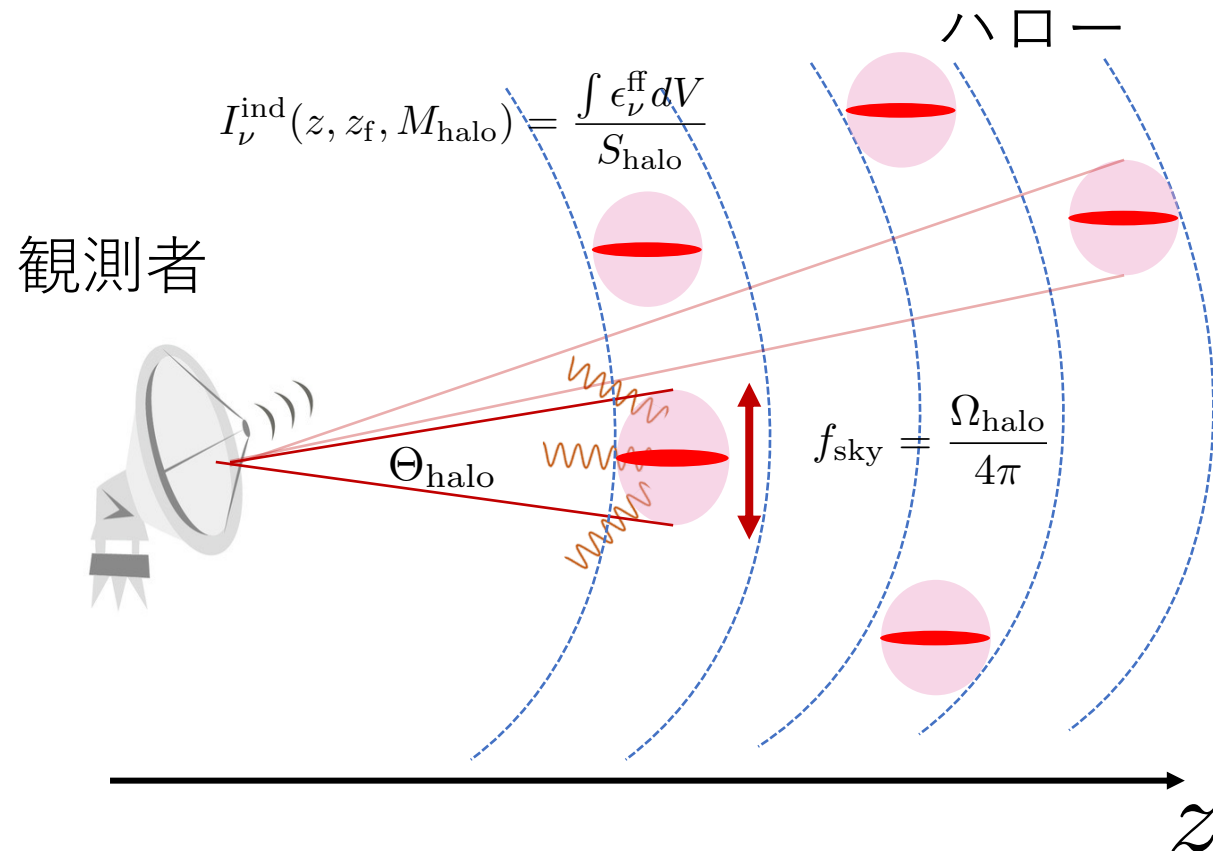
22 Jul 2001

ABSTRACT

We present an analytic approach to predict gas density and temperature profiles in dark matter haloes. We assume that the gas density profile traces the dark matter density profile in outer parts of the haloes, as suggested by many hydrodynamic simulations. Under this assumption, the hydrostatic equilibrium uniquely fixes the two free parameters in the model, the mass-temperature normalization and the polytropic index, that determine the temperature profile. This enables us to predict a universal gas profile from any universal dark matter profile. Our results show that gas tracing dark matter in the outer parts of the haloes is inconsistent with

各赤方偏移からの放射強度

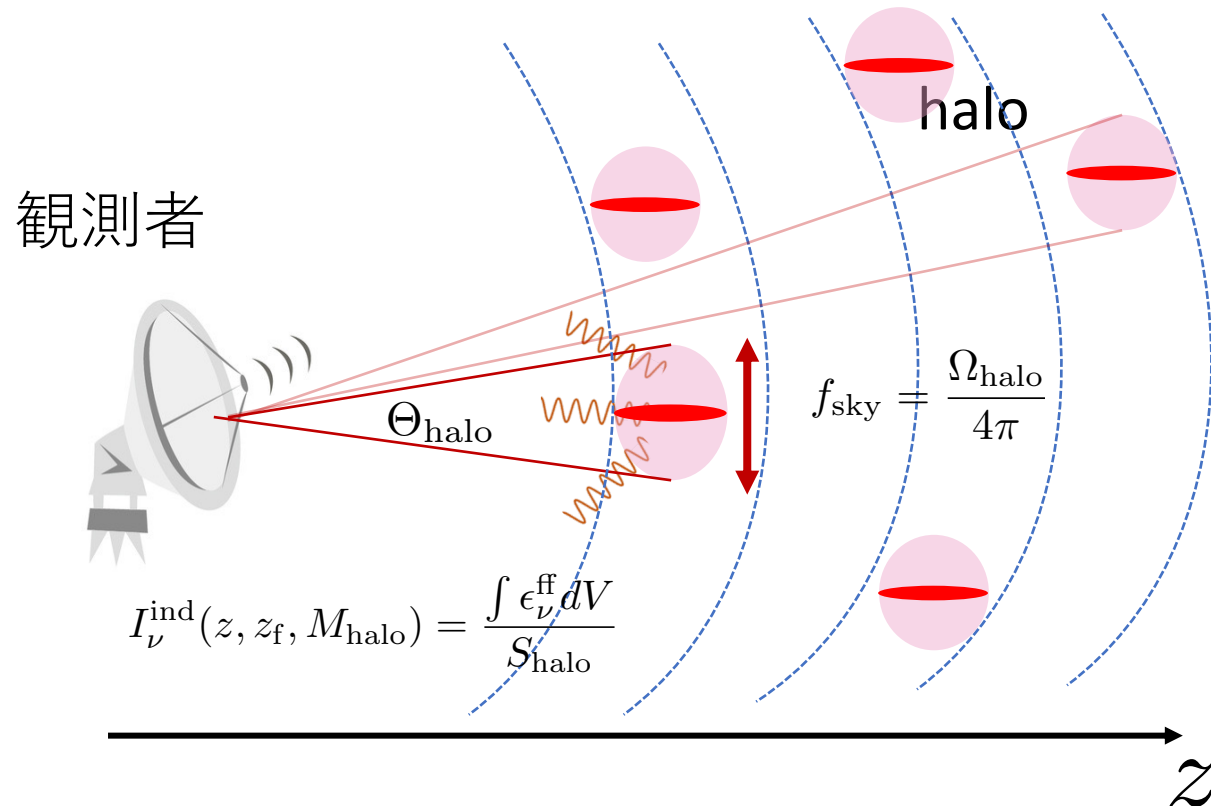
$$dI_{\nu}^{\text{ff}}(z) = \int_{M_{\text{min}}} dM_{\text{halo}} f_{\text{sky}} I_{\nu}^{\text{ind}} \frac{dn_{\text{halo}}^{\text{com}}}{dM_{\text{halo}}} \frac{dV_{\text{com}}}{dz}$$



各赤方偏移からの放射強度

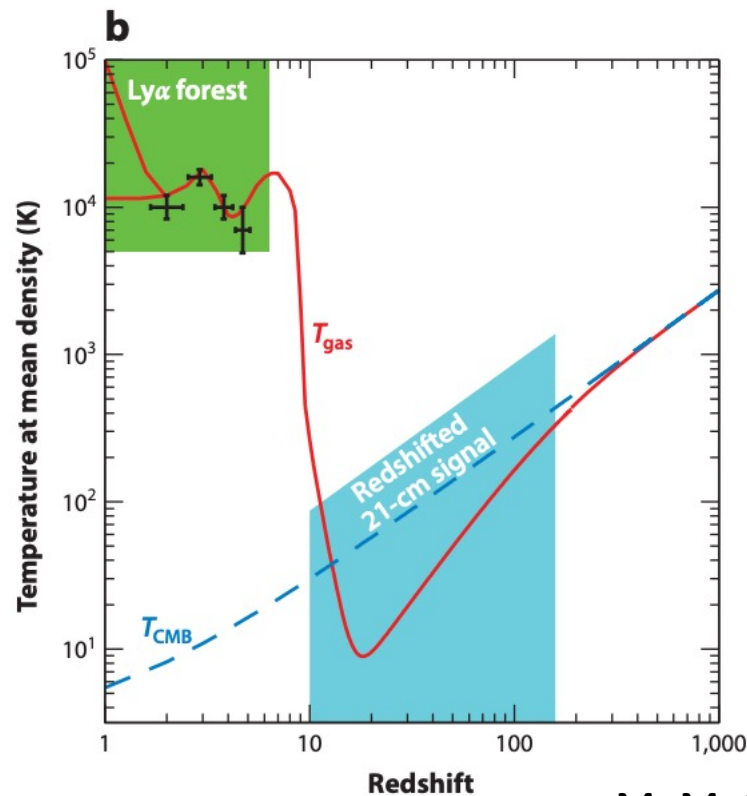
$$dI_{\nu}^{\text{ff}}(z) = \int_{M_{\text{min}}} dM_{\text{halo}} f_{\text{sky}} I_{\nu}^{\text{ind}} \frac{dn_{\text{halo}}^{\text{com}}}{dM_{\text{halo}}} \frac{dV_{\text{com}}}{dz}$$

Press Schechter ハロー質量関数



ハロー一下限質量

$$dI_{\nu}^{\text{ff}}(z) = \int_{M_{\text{min}}} dM_{\text{halo}} f_{\text{sky}} I_{\nu}^{\text{ind}} \frac{dn_{\text{halo}}^{\text{com}}}{dM_{\text{halo}}} \frac{dV_{\text{com}}}{dz}$$



M. McQuinn(2016)

関連する赤方偏移期間

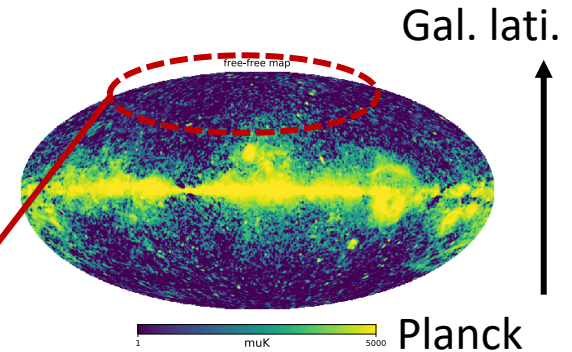
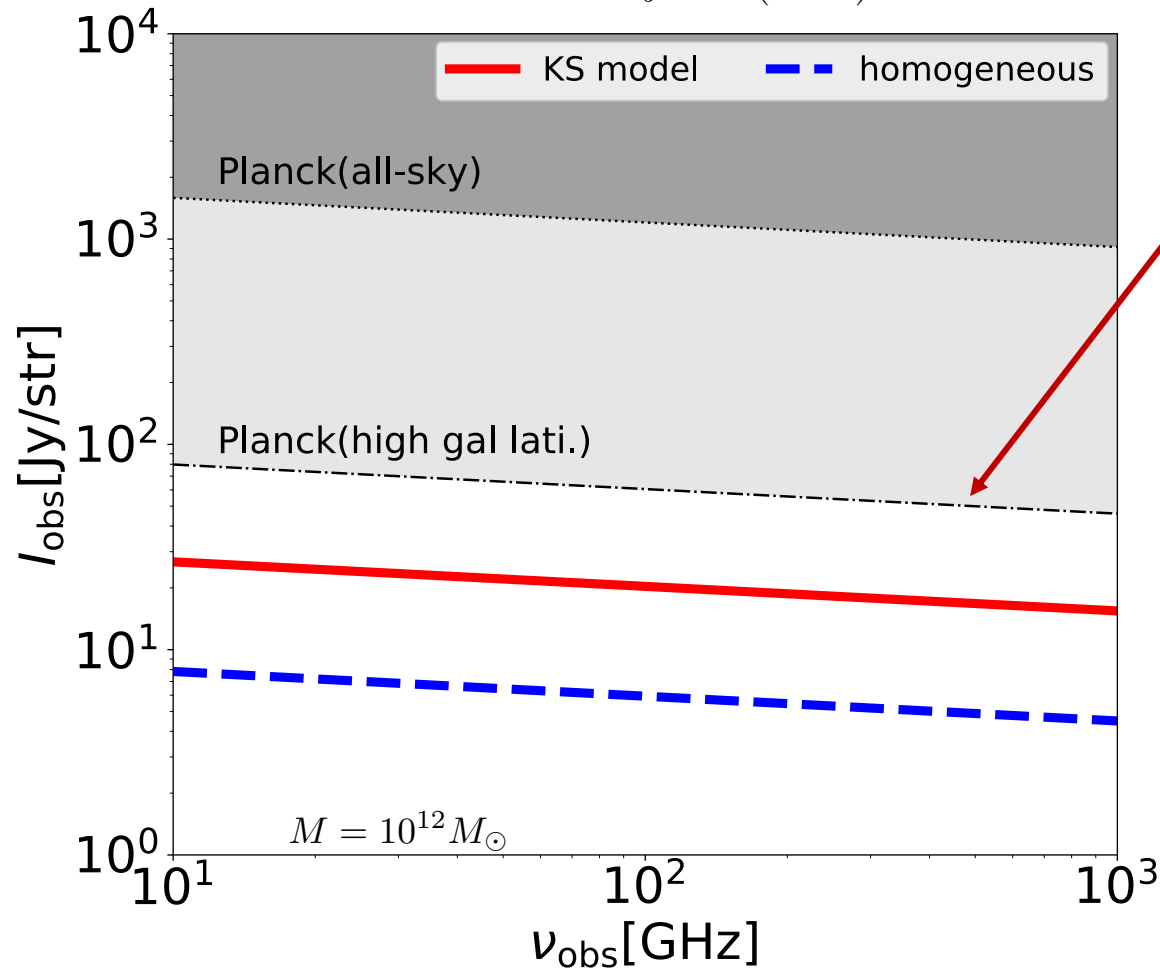
$$0 < z < 6$$

バリオンが降り積もっている
必要-> ジーンズ質量

$$M_{\text{min}} = M_{\text{J}} (T_{\text{b}} \sim 10^4 \text{ K})$$

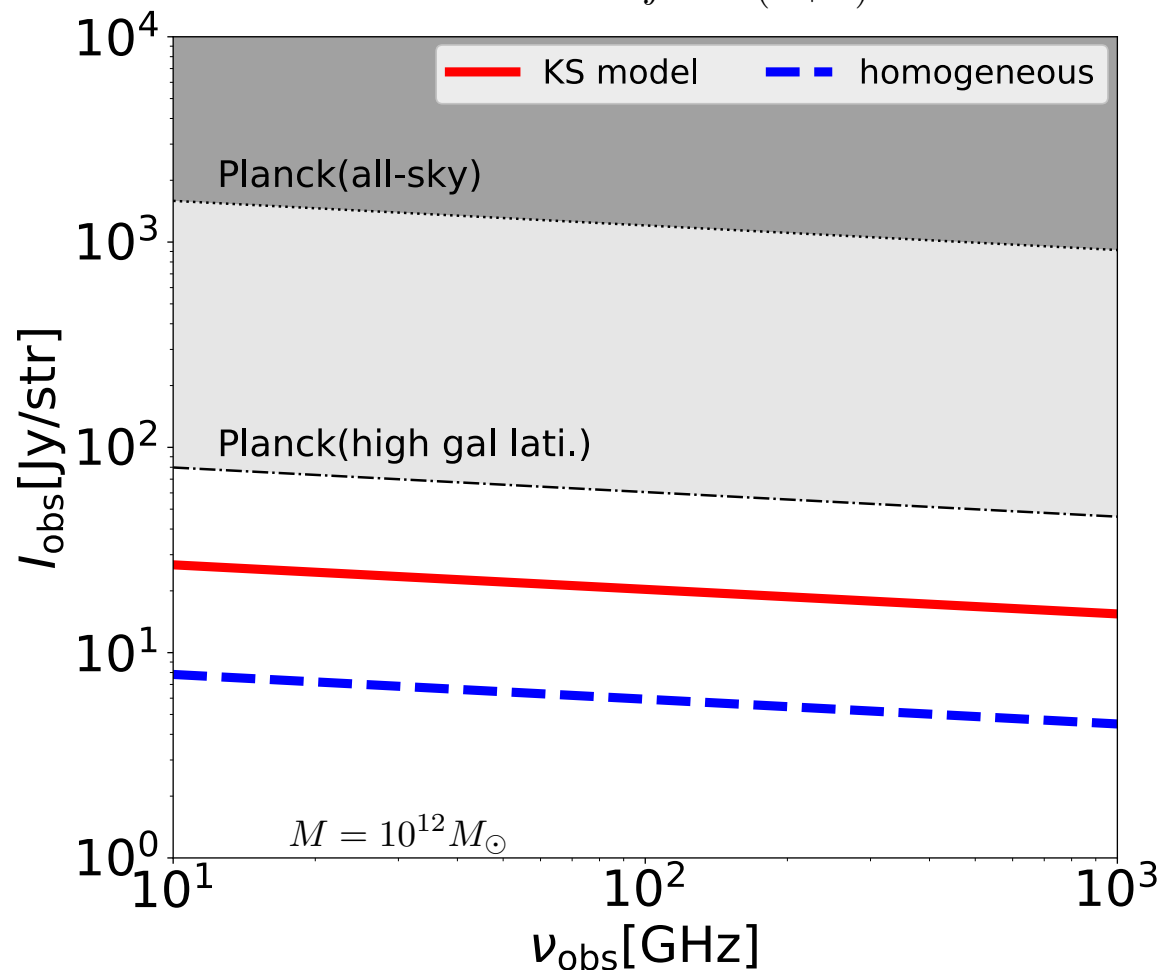
グローバルシグナル

$$I_{\nu_{\text{obs}}}^{\text{sky}} = \int dz \frac{1}{(1+z)^3} \frac{dI_{\nu_{\text{em}}}^{\text{sky}}(z, M)}{dz},$$



グローバルシグナル

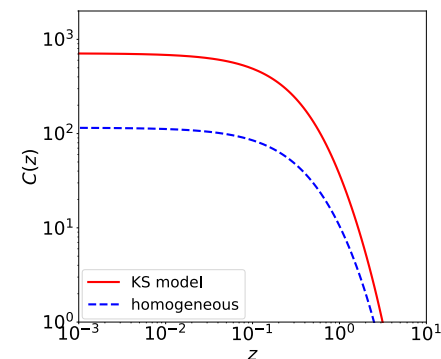
$$I_{\nu_{\text{obs}}}^{\text{sky}} = \int dz \frac{1}{(1+z)^3} \frac{dI_{\nu_{\text{em}}}^{\text{sky}}(z, M)}{dz},$$



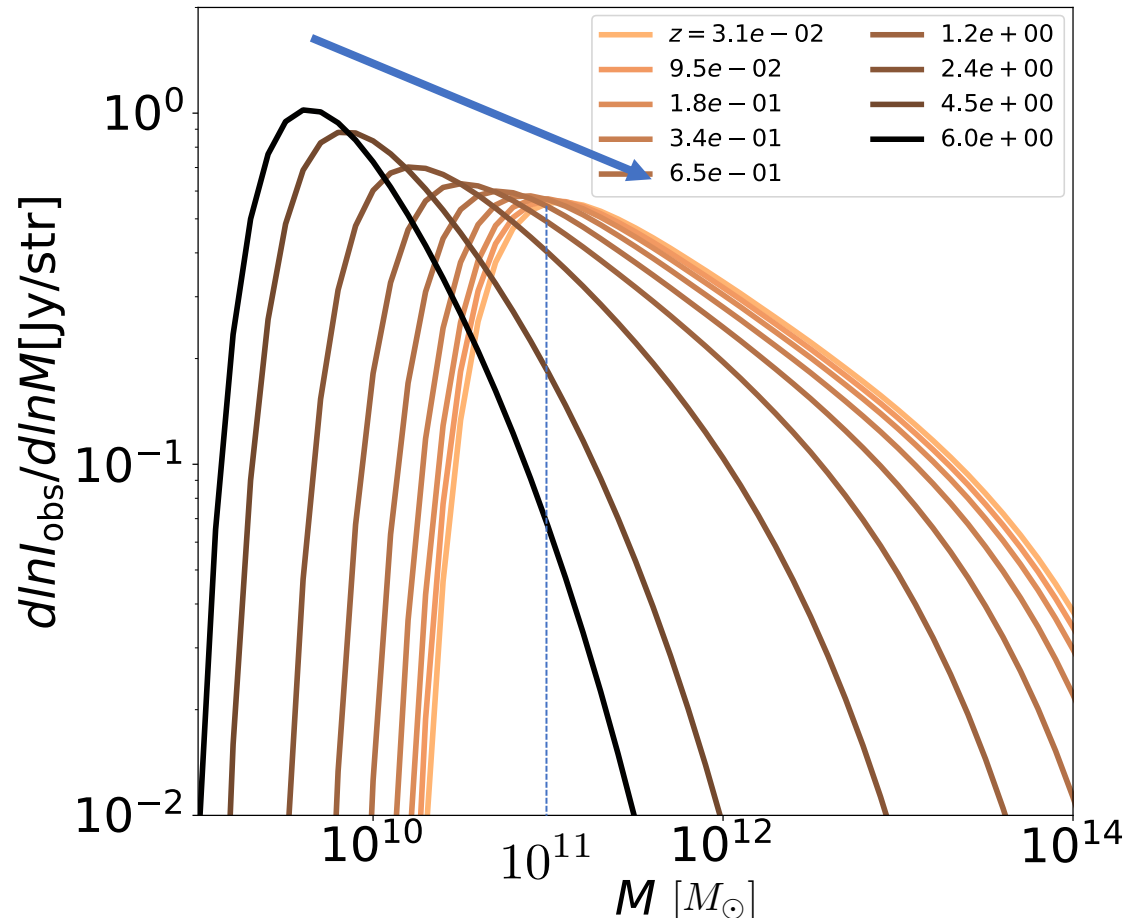
一様モデル

- 一様密度:
 $\rho(r) = 200\rho_{\text{bg}}$
- 等温:
 $T(r) = T_{\text{vir}}(M, z)$
- 完全電離

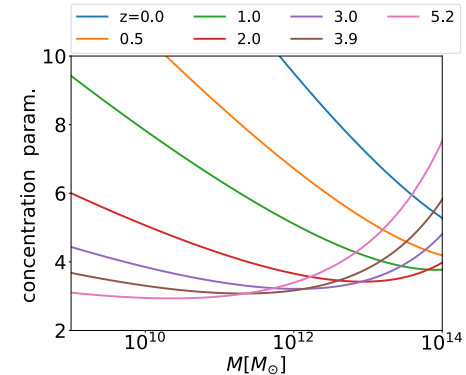
Clumping factor



グローバルシグナルの質量依存性



小さい質量のハローの方がより大きな影響
-> concentration param.

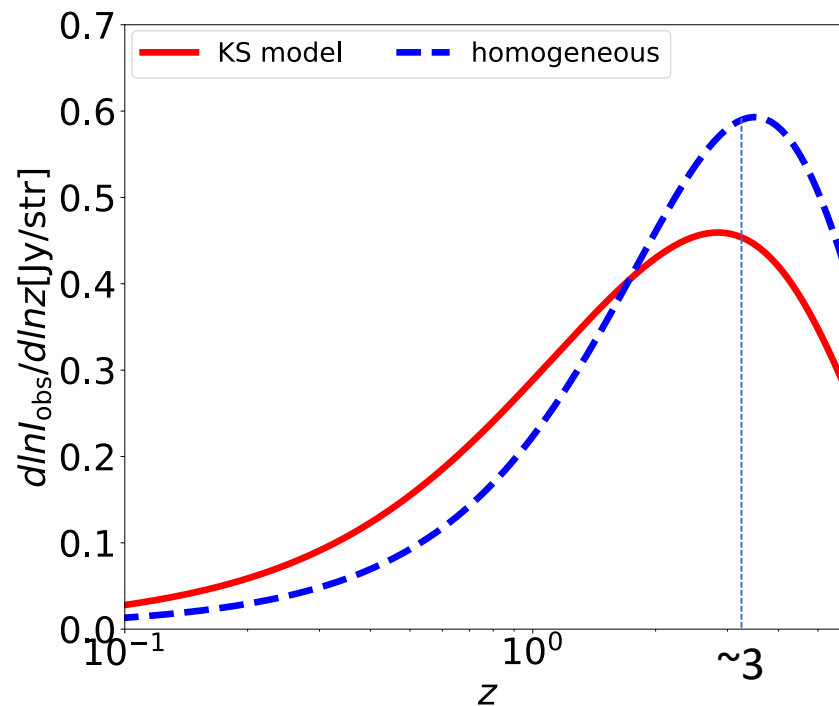


時間が進む
->ジーンズ質量増加.

Diemer & Joyce 2019
Ishiyama et al. 2020

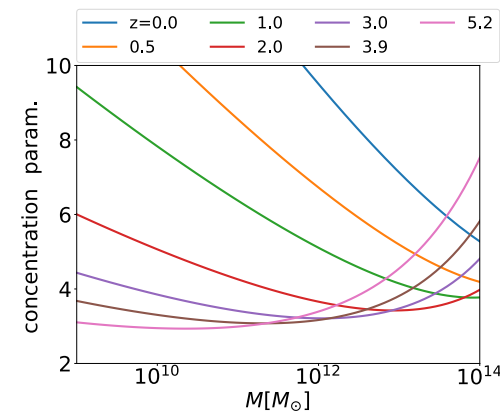
ピーク質量
 $M_{\text{peak}} = 10^{10-11} M_{\odot}$

グローバルシグナルの赤方偏移依存性

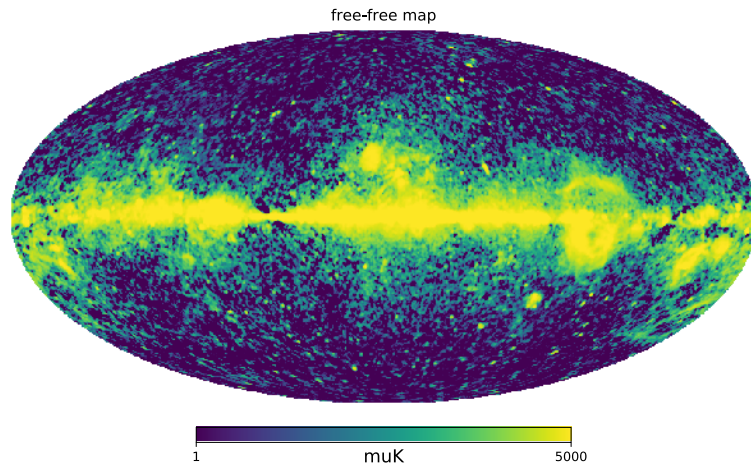


ピーク赤方偏移: $z \sim 3$
 $M \sim 10^{10-11}$ の質量分散がおおよそ1

2つのガスモデルでの違い
→ concentration parameter

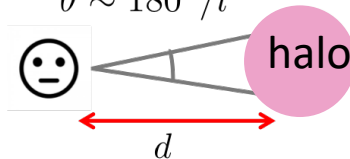


DMハロー由来の熱制動放射の非等方性

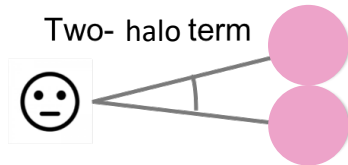


One- halo term

$$\theta \sim 180^\circ / l$$



Two- halo term



$$C_\ell^{1h} = \int_{z_f}^{z_{ini}} dz \frac{d^2 V}{dz d\Omega} \int dM \frac{dn_{\text{halo}}}{dM} \left| \tilde{I}_\ell(z) \right|^2$$

$$C_\ell^{2h} = \int_{z_f}^{z_{ini}} dz \frac{d^2 V}{dz d\Omega} P\left(\frac{\ell}{d(z)}\right) \left| \int dM \tilde{\Psi}(M, z) \right|^2$$

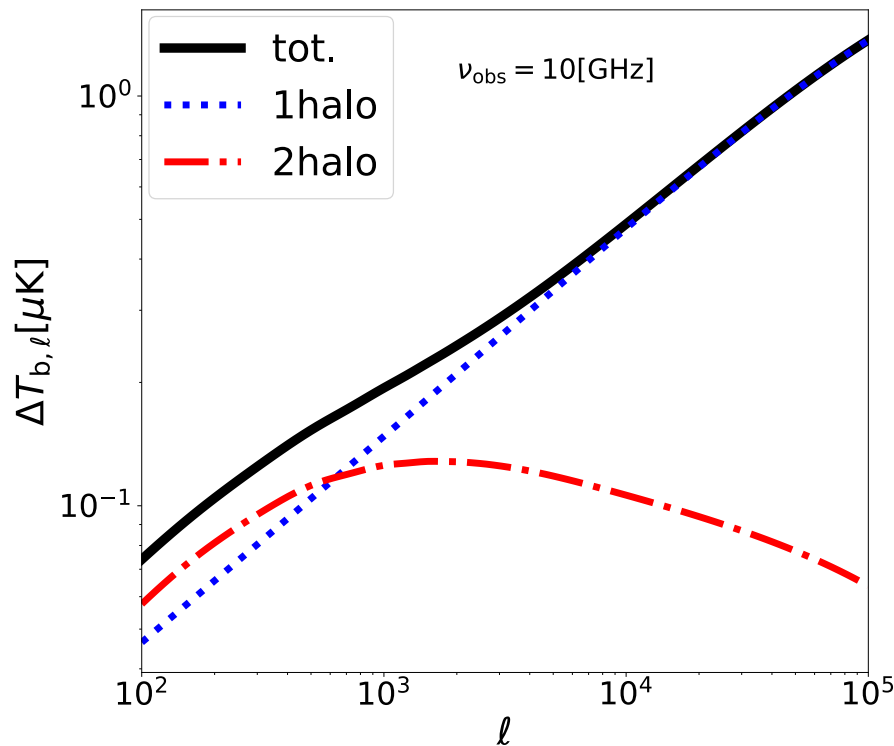
$$\tilde{\Psi} \equiv \frac{dn_{\text{halo}}}{dM} \tilde{I}_\ell(M, z) b(M, z)$$

$$\tilde{I}_\ell = \frac{1}{d_A^2} \int dR R^2 \epsilon_\nu^{\text{ff}}(R) \frac{\sin(\ell R / d_A)}{\ell R / d_A}$$

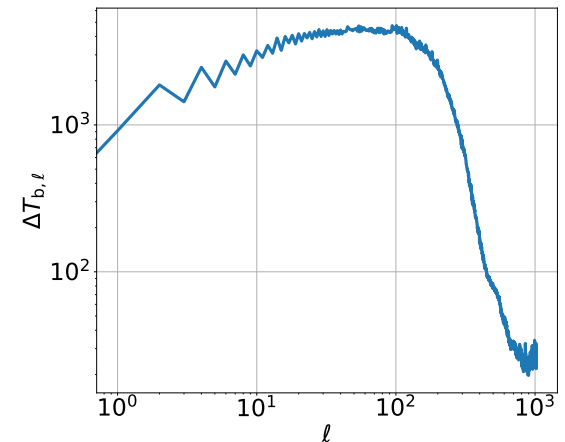
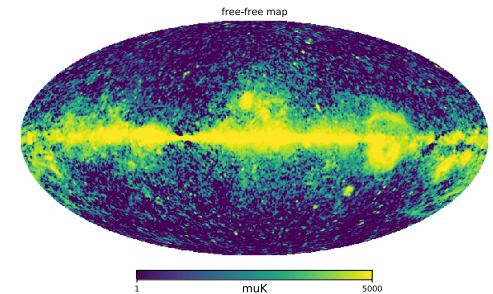
DMハロー由来の熱制動放射の非等方性

$$T_b = \frac{c^2}{2\nu_{\text{obs}}^2} I_{\text{obs}} \simeq 0.32 \left(\frac{I_{\text{obs}}}{1 \text{ Jy/str}} \right) \left(\frac{\nu_{\text{obs}}}{10 \text{ GHz}} \right)^{-2} [\mu\text{K}]$$

$$\Delta T_{b,\ell} \equiv \sqrt{\ell(\ell+1)/2\pi} C_\ell$$

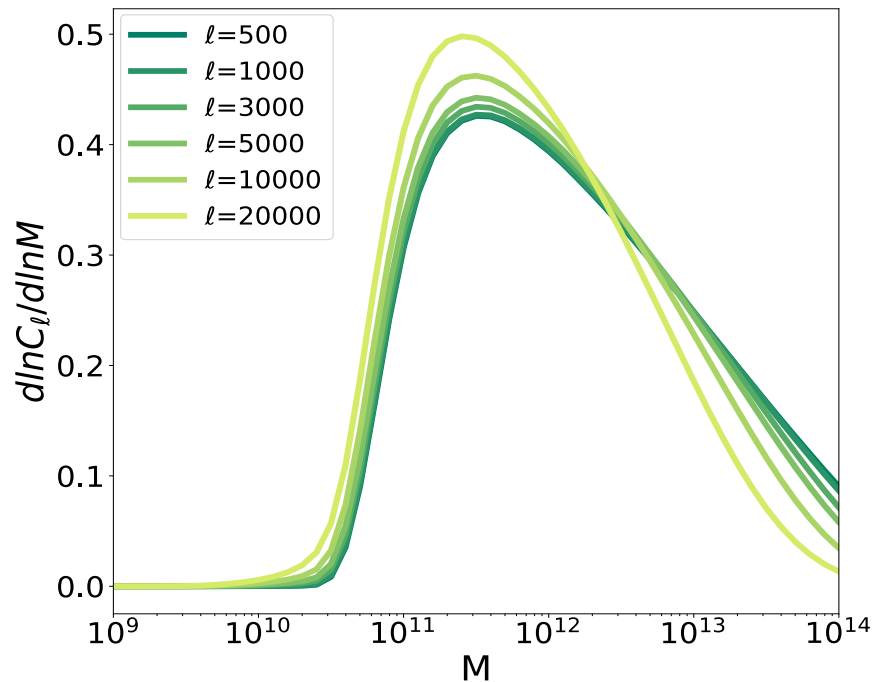


Cf.



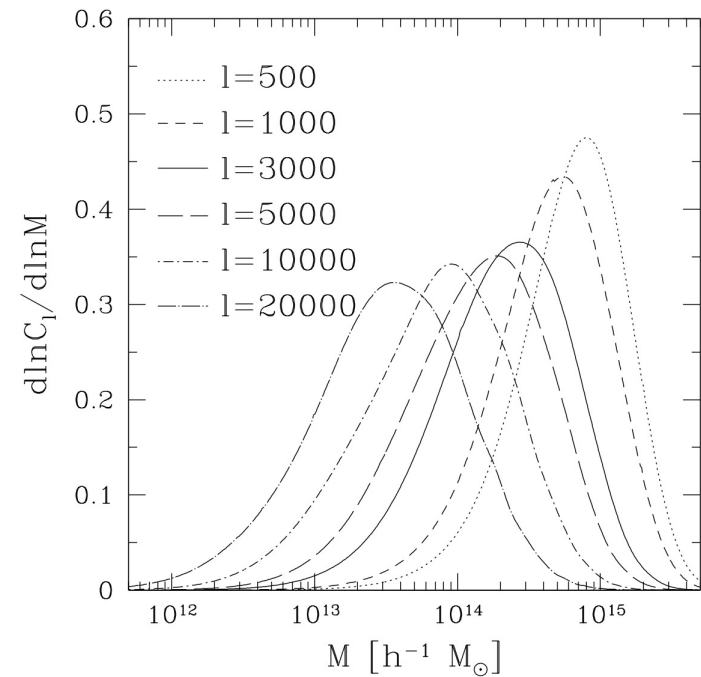
ハロー質量依存性

1halo term



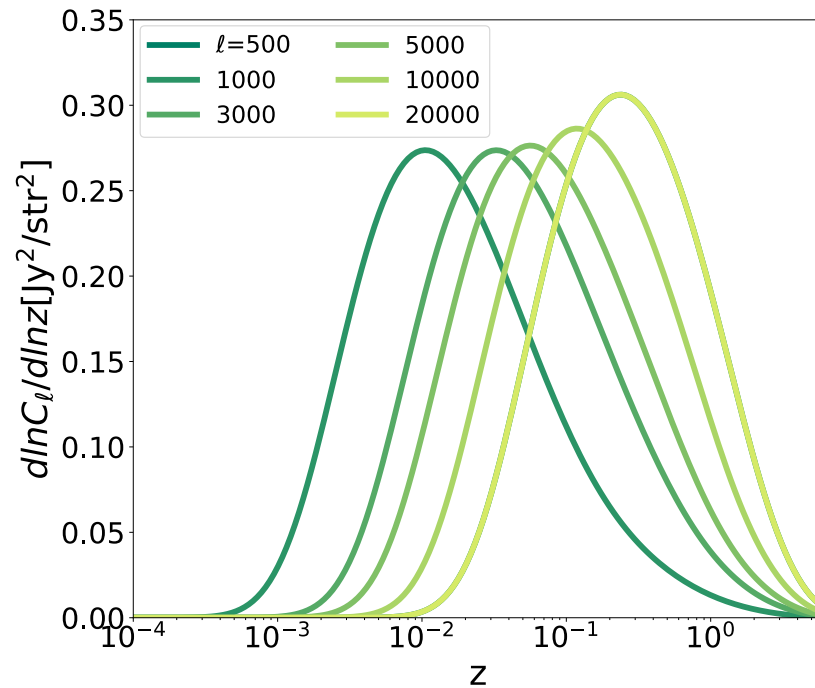
低質量ハローからの寄与が支配

c.f. SZ効果

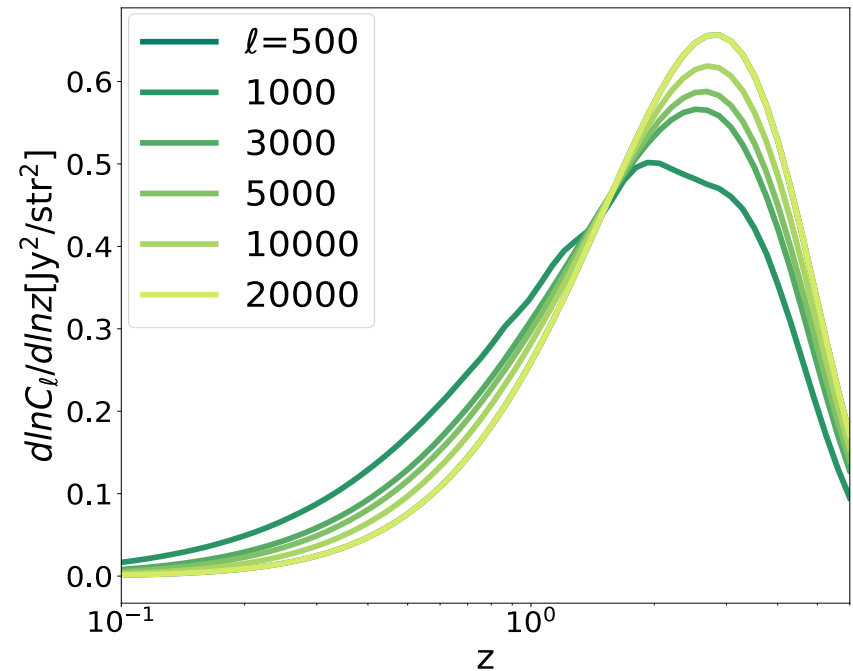


赤方偏移依存性

1halo term

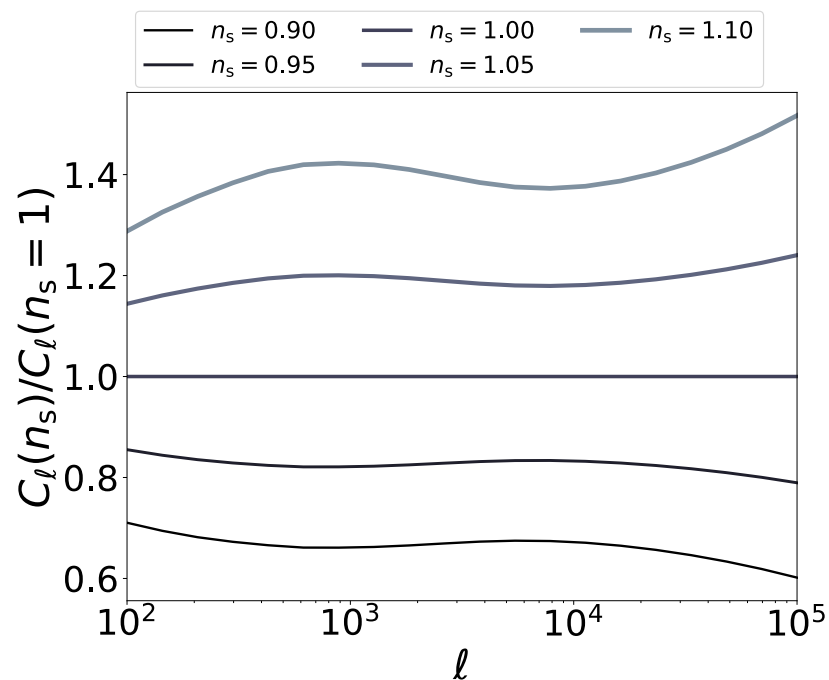
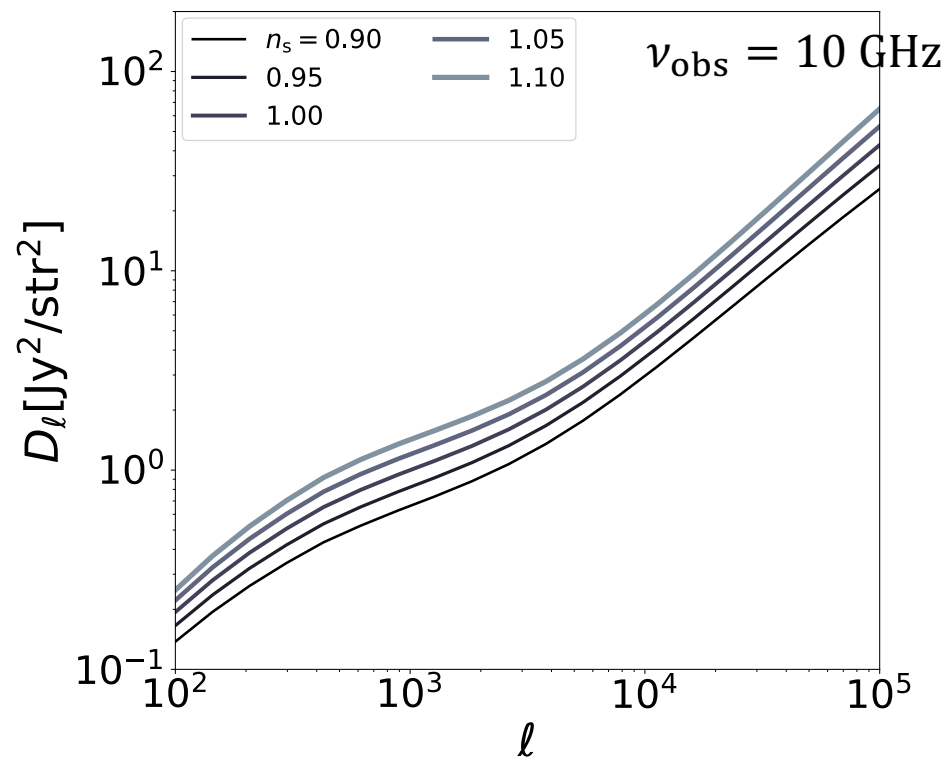


2halo term



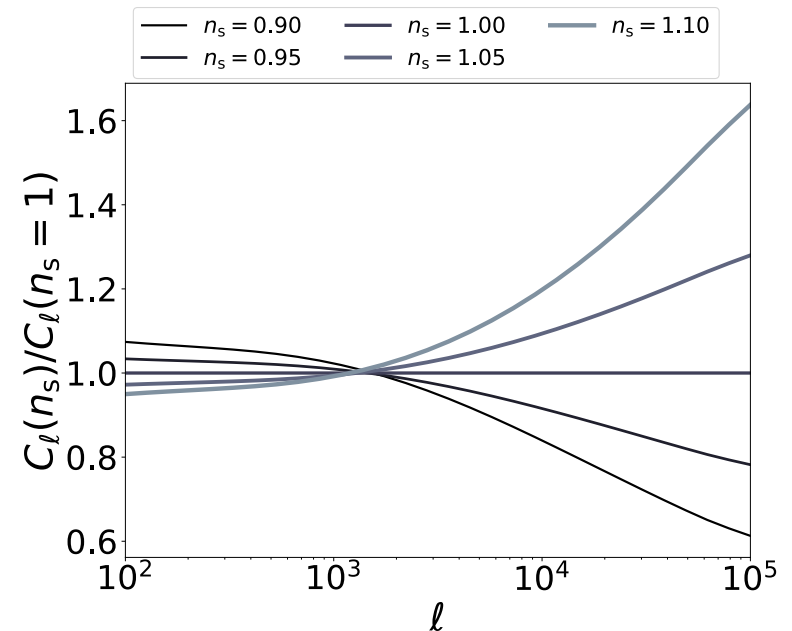
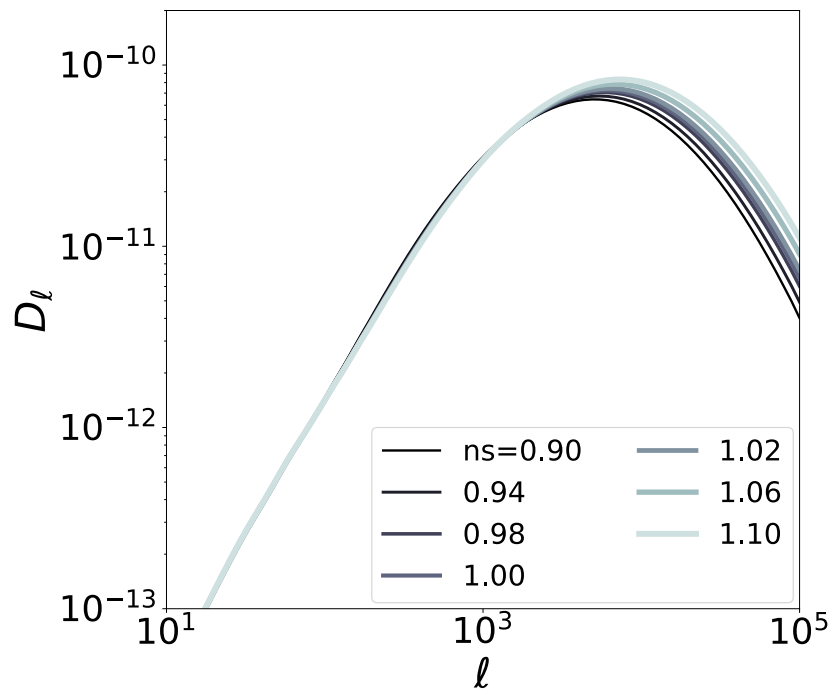
スペクトル指数依存性

放射強度、非等方性への寄与はハロー質量が小さい方が大きい
-> スペクトル指数からの影響が大きい？



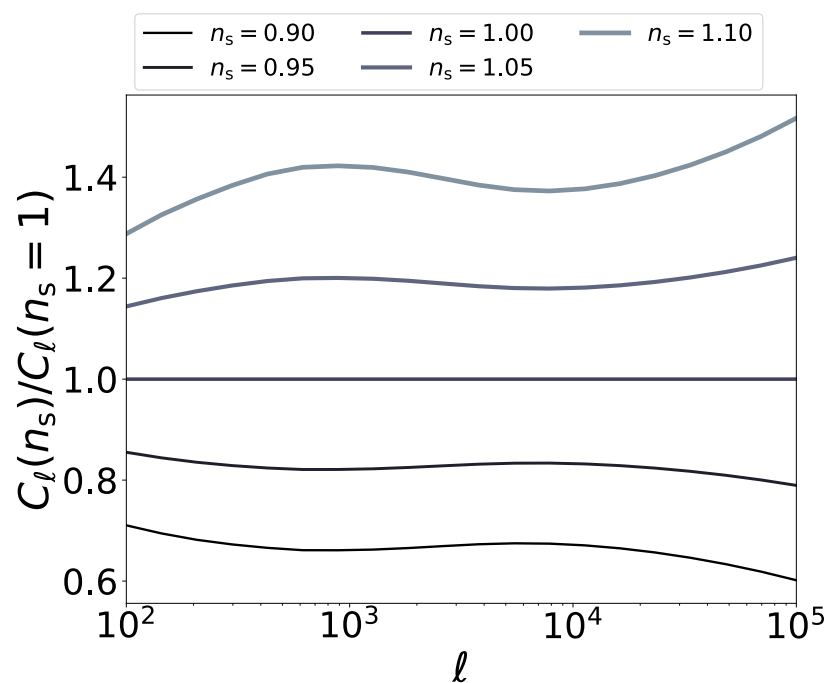
tSZ非等方性との比較

$$C_{\ell}^{\text{SZ}} = g_{\nu}^2 \int_0^{z_{\text{max}}} dz \frac{dV}{dz} \int_{M_{\text{min}}}^{M_{\text{max}}} dM \frac{dn(M, z)}{dM} |\tilde{y}_l(M, z)|^2$$

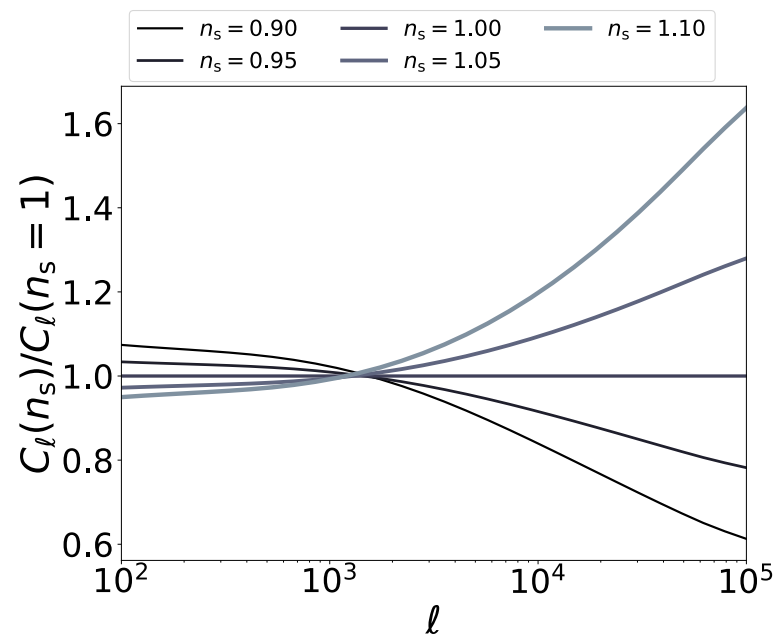


tSZ非等方性との比較

熱制動放射



tSZ



まとめ

- ダークマターハロー由来の熱制動放射強度とそのハロー質量、赤方偏移依存性を調べた
- 放射強度の非等方性とそのハロー質量、赤方偏移に関しても調べた。
- スペクトル指数への依存性がやや高いことがわかった

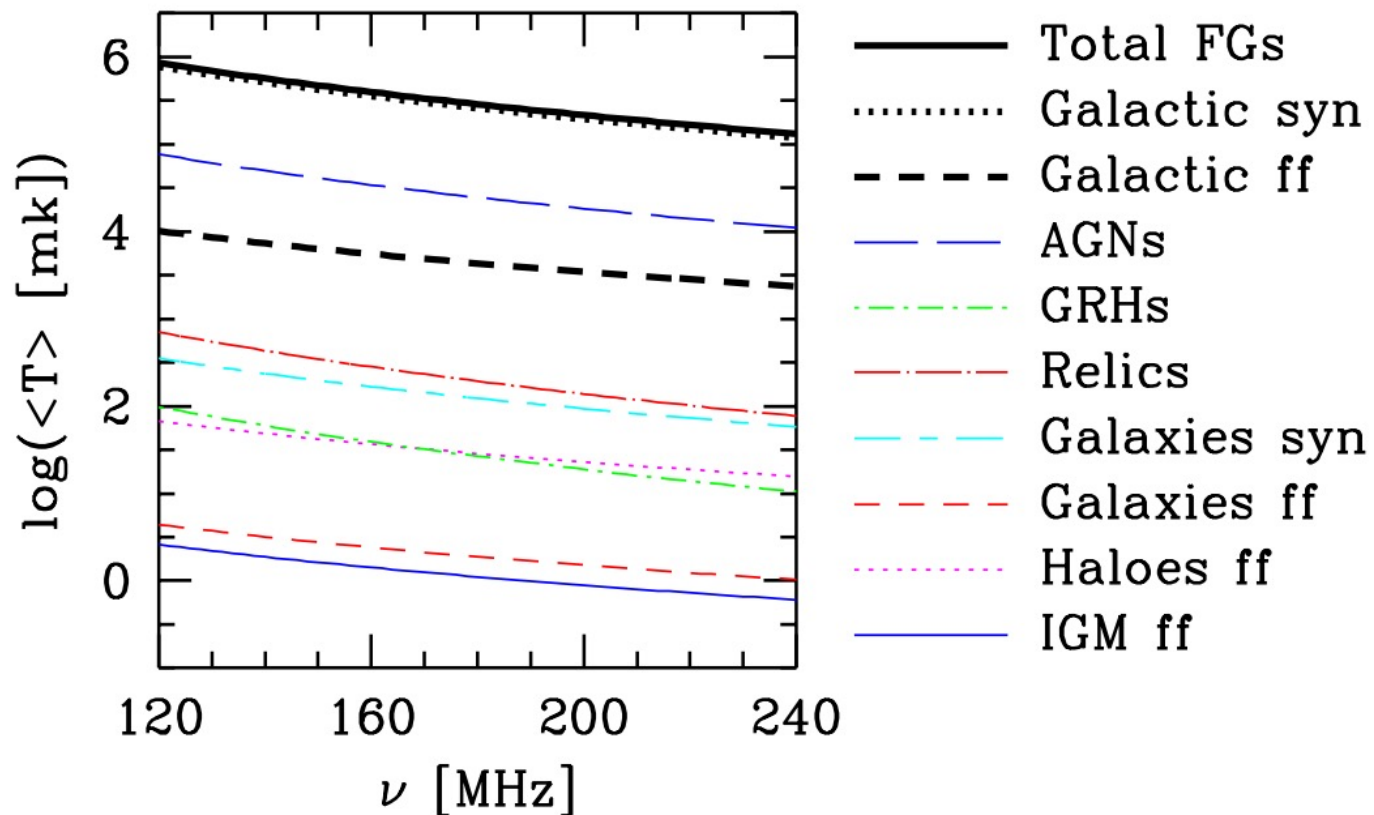
展望

- 他の宇宙論的パラメータ依存性も調べる
- 将来観測との関連性を調べる

Back up slides

De-contamination of cosmological 21-cm maps

Liron Glezer¹ et al. 2008



A. Cooray and S. R Furlanetto 2004

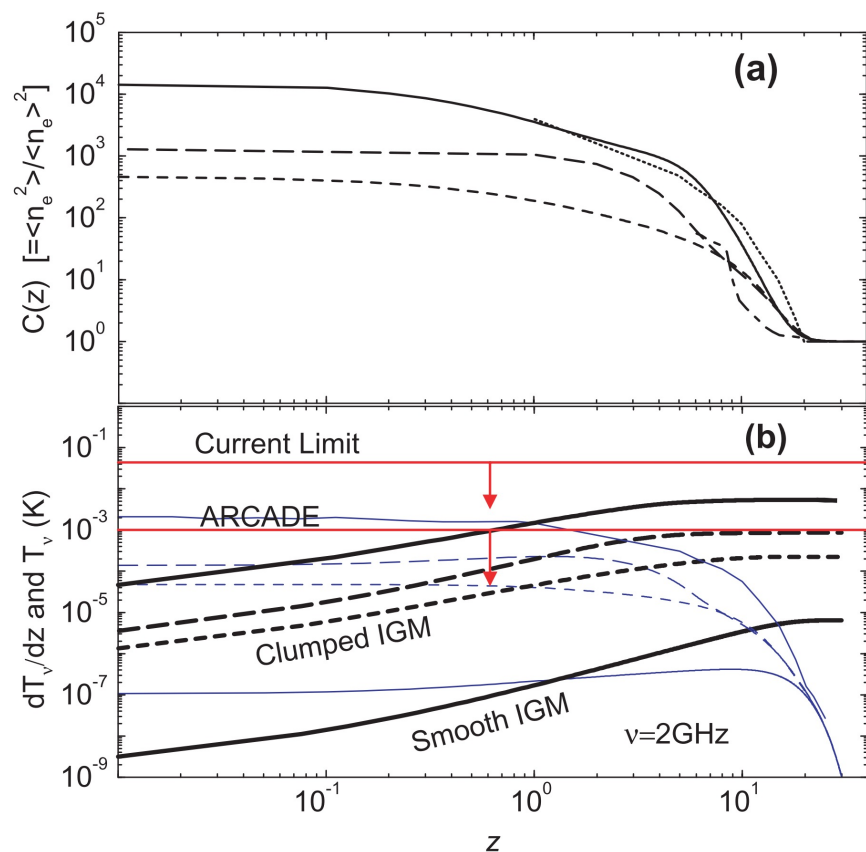


FIG. 1.— (a) The clumping factor of electrons in the IGM as a function of redshift. These clumping factors come from Haiman et al (2001) (long-dashed line: a reionization model that includes minihalos as well as star-forming halos with $T_v > 10^4$ K), Benson et al (2001) (dashed line: semi-analytic model including cool neutral gas, or galaxies, in ionized halos as well as the clumping of gas outside halos), and Gnedin & Ostriker (1997) (dot-dashed line: a direct measurement in numerical simulations). The dotted line is the clumping factor presented in Oh (1999), while the solid line is a similar calculation described in the text based on the star formation history of the universe. (b) The mean brightness temperature of free-free emission at an observed frequency of 2 GHz. Here, we show both the differential (thin lines) and cumulative brightness temperatures (thick lines) as a function of the redshift. The curves refer to the clumping models in the top panel. For reference, we show the case where $C(z) = 1$ and the ionized gas distribution is taken to be spatially smooth. We also show the current limit on the free-free distortion of the CMB (top line with $Y_{\text{ff}} \equiv T_v/T_{\text{CMB}}(h\nu/kT_{\text{CMB}})^2 < 1.9 \times 10^{-5}$ K; Bersanelli et al 1996) and the expected constraint from the ARCADE experiment (Kogut 2003).