

高赤方偏移 ($z=10-100$) での 暗黒物質の対消滅の ブーストファクター

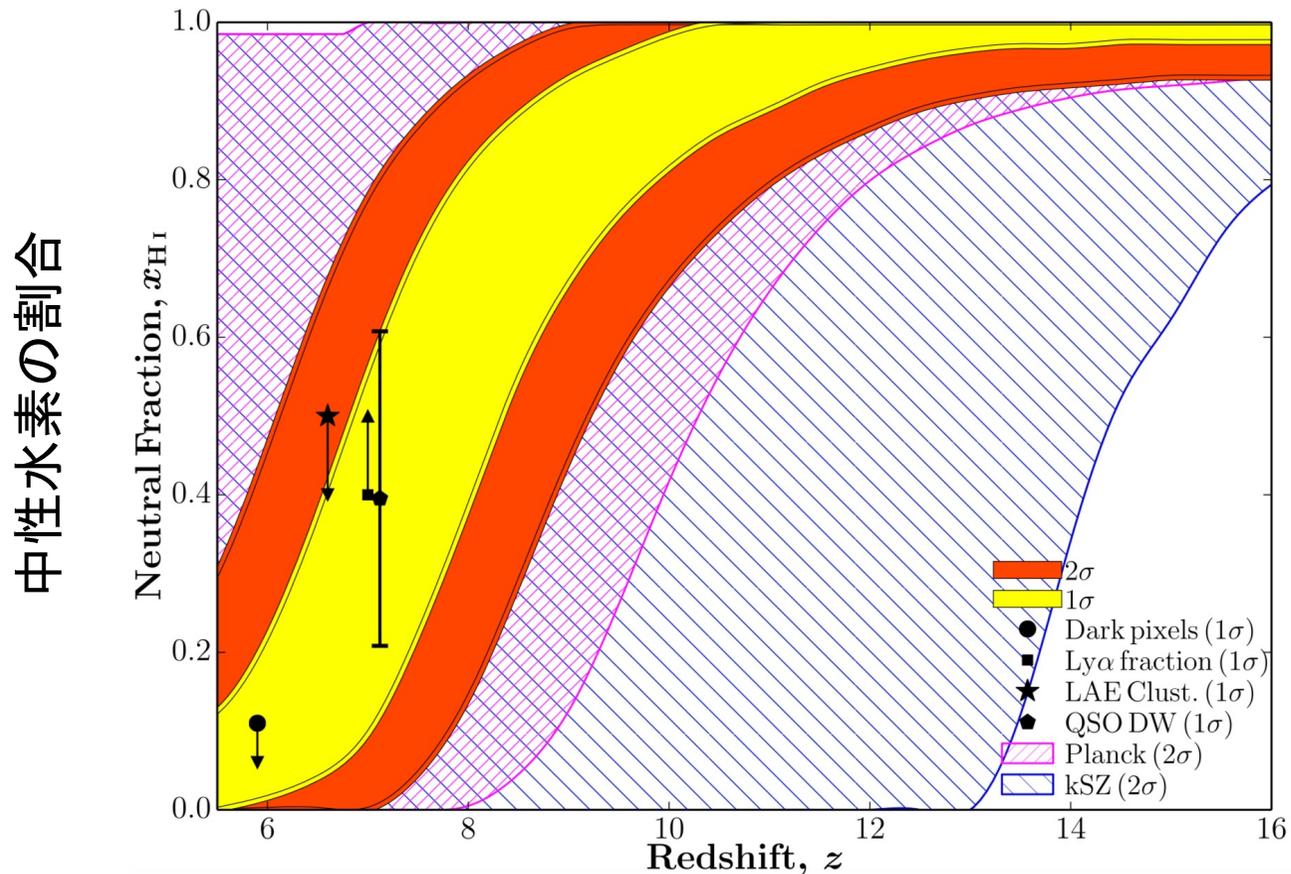
高橋龍一(弘前大) & 郡和範(KEK)

RT & Kohri 2021, arXiv:2107.00897, appear in PRD

イントロダクション: 宇宙再イオン化

- ・初代星からの紫外線による中性水素ガスのイオン化
- ・赤方偏移 $z=10-20$ 程度から始まり、 $z=6$ には終了 (e.g., 天文学辞典)

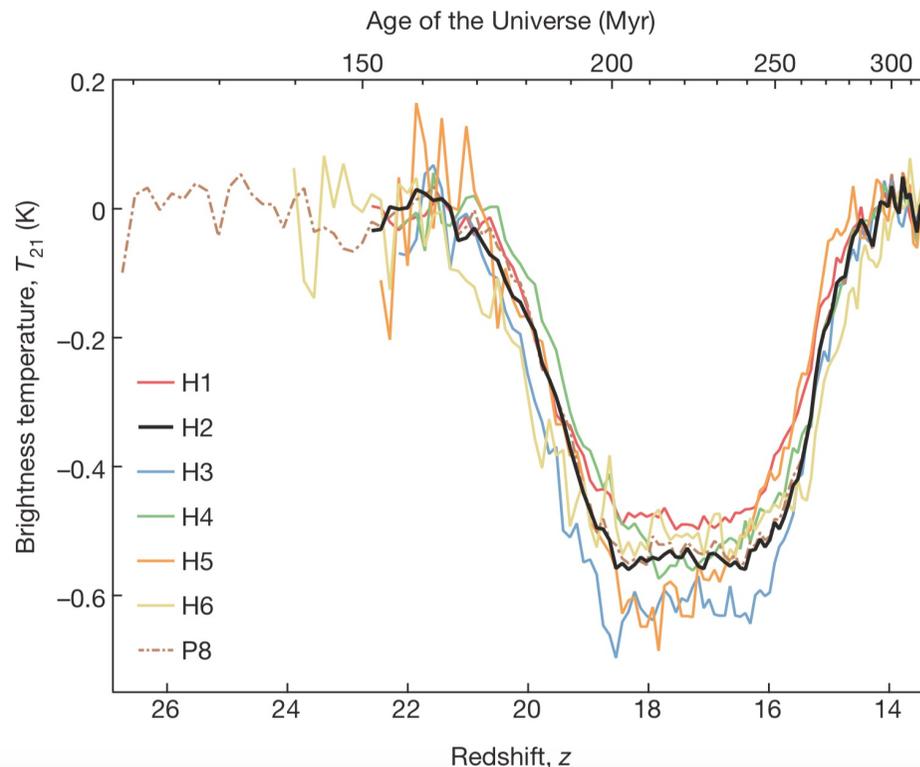
Creig & Mesinger (2017)



イントロダクション: 宇宙再イオン化

暗黒物質の対消滅により生ずる粒子(光子、電子・陽電子等)が宇宙再イオン化へ及ぼす可能性を考える (e.g., Hiroshima+ 2021)

対消滅率は暗黒物質密度の2乗に比例するため、この物理量を求める



EDGES による観測

(Bowman+ 2018, Nature)

中性水素21cmの吸収線 @z=17
を検出

暗黒物質による水素ガスの加熱
を否定

宇宙論的ブーストファクター

DM mass density

$$\rho_{\text{dm}}(\vec{r}, z) = \underbrace{\bar{\rho}_{\text{dm}}(z)}_{\text{mean}} \{1 + \underbrace{\delta_{\text{dm}}(\vec{r}, z)}_{\text{density contrast}}\}$$

collision rate of DM particles \propto (DM density)²

$$\begin{aligned} \langle \rho_{\text{dm}}^2(\vec{r}, z) \rangle &= \bar{\rho}_{\text{dm}}^2(z) \{1 + \langle \delta_{\text{dm}}^2(\vec{r}, z) \rangle\} \\ &= \bar{\rho}_{\text{dm}}^2(z) \underline{B(z)} \end{aligned}$$

ブーストファクター

ブーストファクターの計算方法

1. Halo model approach
2. Power spectrum approach

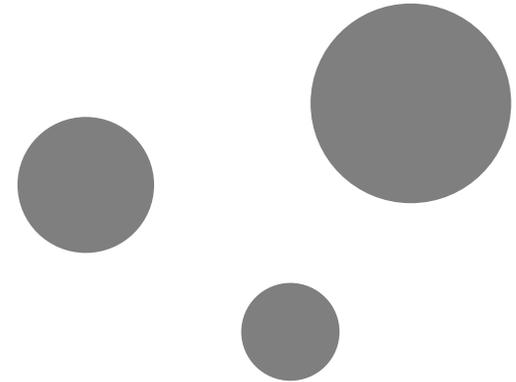
両者の理論予言は一致 at $z=0-6$

(The Fermi LAT collaboration 2015)

1. Halo model approach (e.g., Ullio+ 2002, Cirelli+ 2011; Valdes+ 2013; Evoli+ 2014)

手順1: ひとつのハローで B を計算

手順2: 宇宙全体のハローにわたり和をとる



必要な halo model の要素

- Halo density profile
- Halo mass function

より詳細なモデル化には subhalo (or sub-subhalo) mass function, ellipticity 等も加味

2. Power spectrum approach (Serpico+ 2012; Seffusatti+ 2014)

ブーストファクター

$$B(z) = 1 + \langle \delta_{\text{dm}}^2(\vec{r}; z) \rangle$$

$$= 1 + \int_0^\infty d \ln k \frac{\Delta^2(k; z)}{\text{dimensionless matter power spectrum}}$$

$$\Delta^2(k; z) = \frac{k^3}{2\pi^2} P(k; z)$$

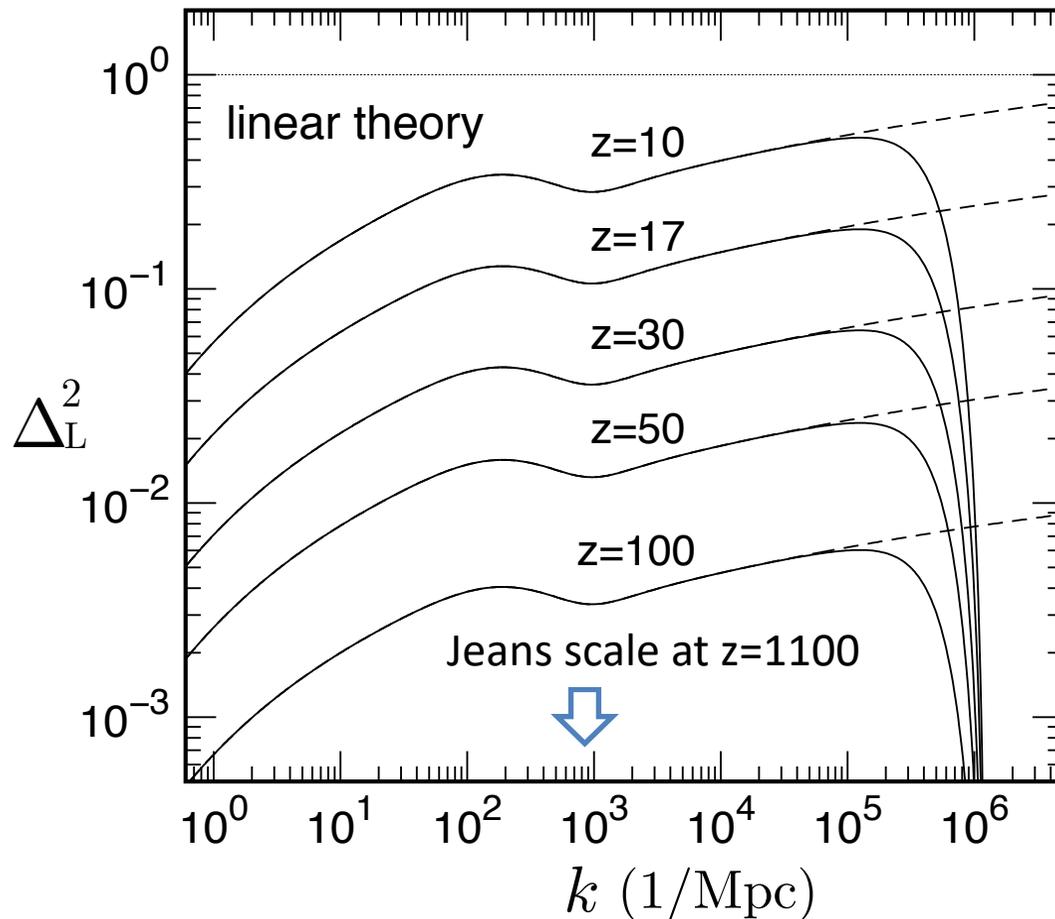
線形 Δ^2 は線形理論(摂動論)を用いて求める

非線形 Δ^2 は暗黒物質の重力N体計算を用いて求める

線形理論

- ・遷移関数のフィッティング公式 (Yamamoto, Sugiyama & Sato 1998)
- ・暗黒物質の自由流減衰 (free-streaming damping)

$$k_{\text{fs}} = 10^6 \text{ Mpc}^{-1} \quad (\text{Green, Hoffmann \& Schwarz 2004})$$



宇宙モデルは
Planck2016 Λ CDM

実線: 線形理論

破線: 線形理論
w/o 自由流減衰

非線形進化

N体計算を使用

無衝突粒子の重力進化

計算コード: GreeM (Ishiyama+ 2009)

CfCA XC50 使用

ボックス一辺の長さ 1kpc, 10kpc, 100kpc, 1Mpc & 10Mpc (全5種類)

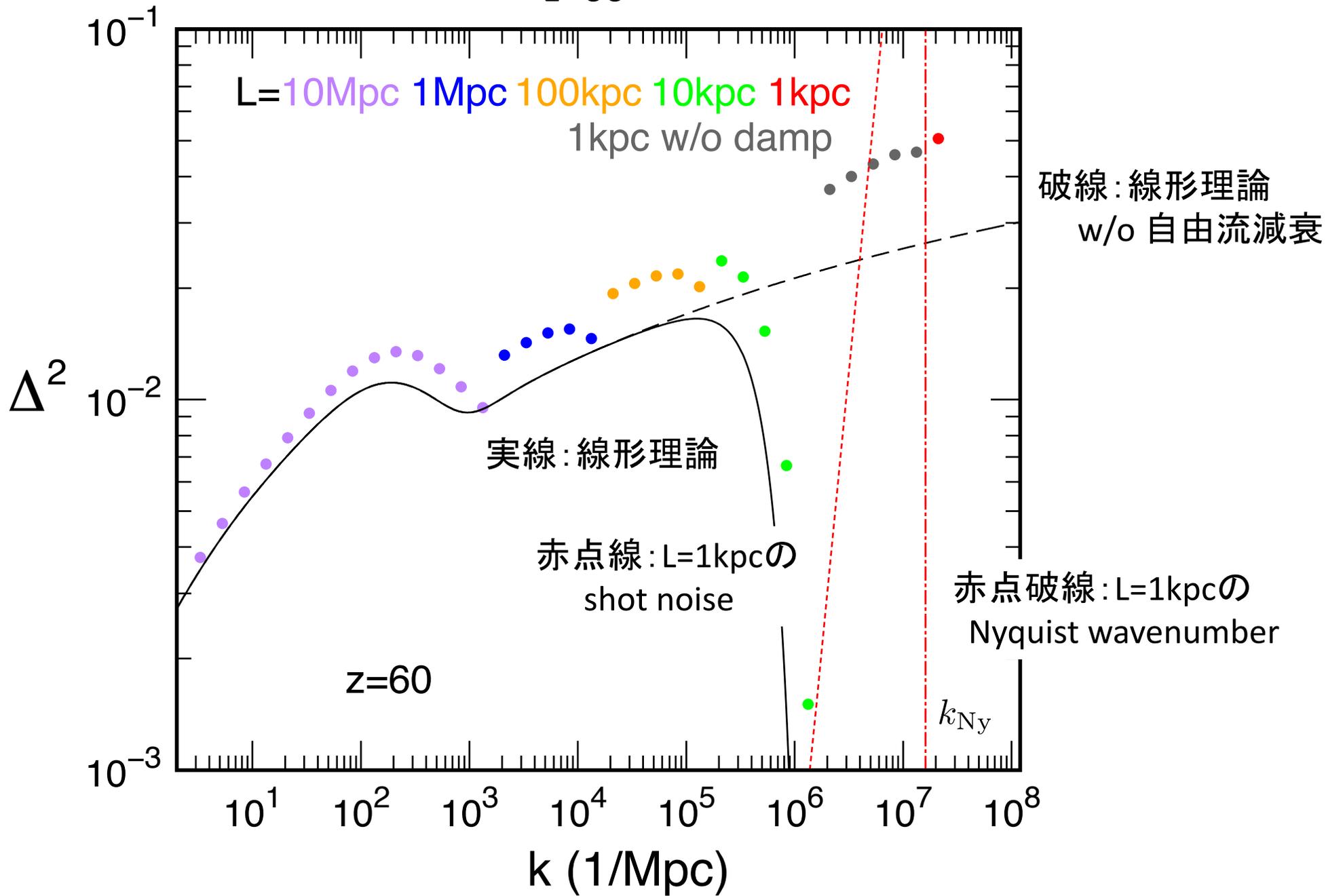
粒子数 5120^3 or 2560^3

Initial redshift $z=400$

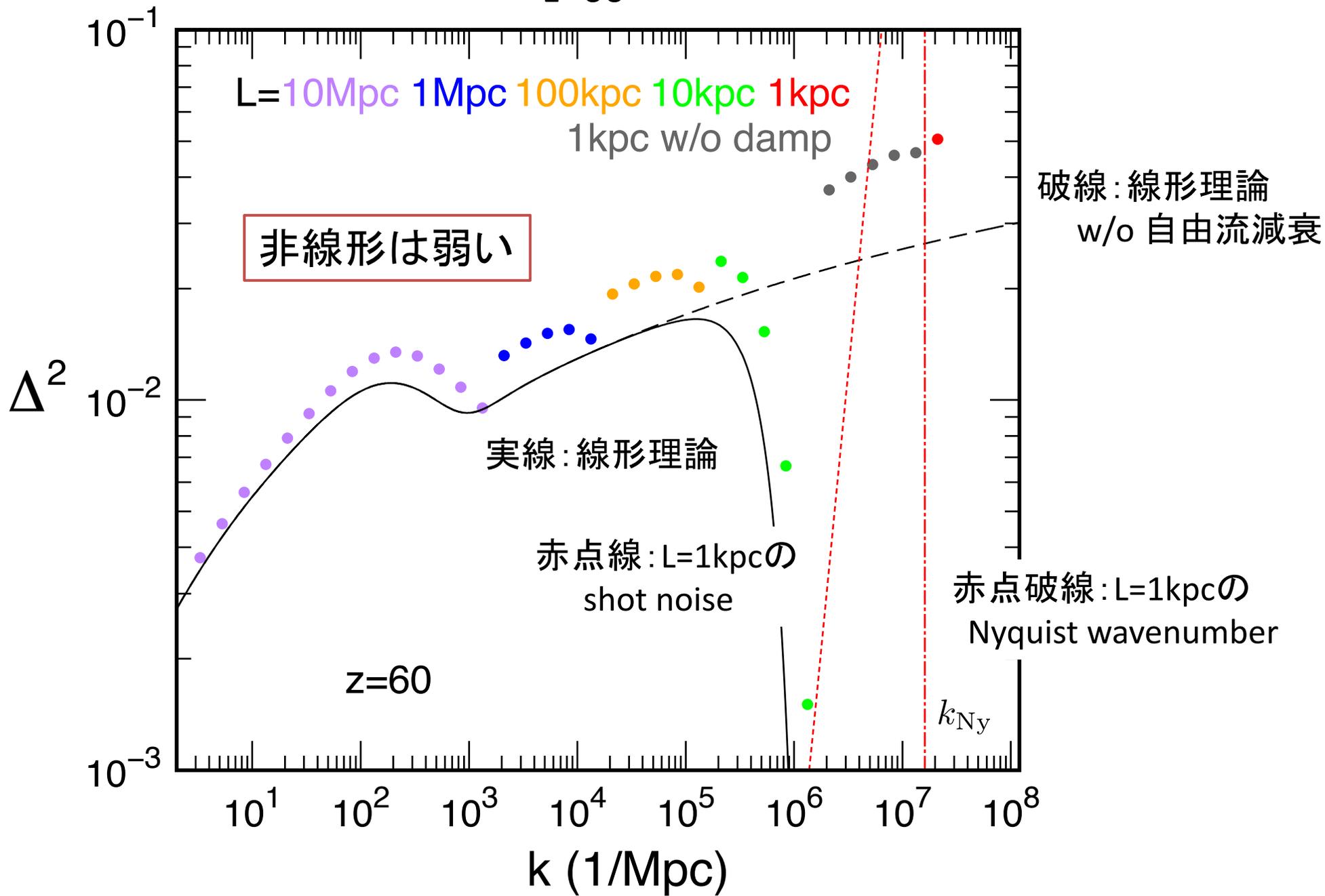
Output redshifts $z=100, 60, 50, 40, 30, 23, 17$ & 10

$k_{\text{Ny}} = 1.6 \times 10^7 \text{Mpc}^{-1}$ まで計算で追う (最も小さいボックスの
Nyquist wavenumber)

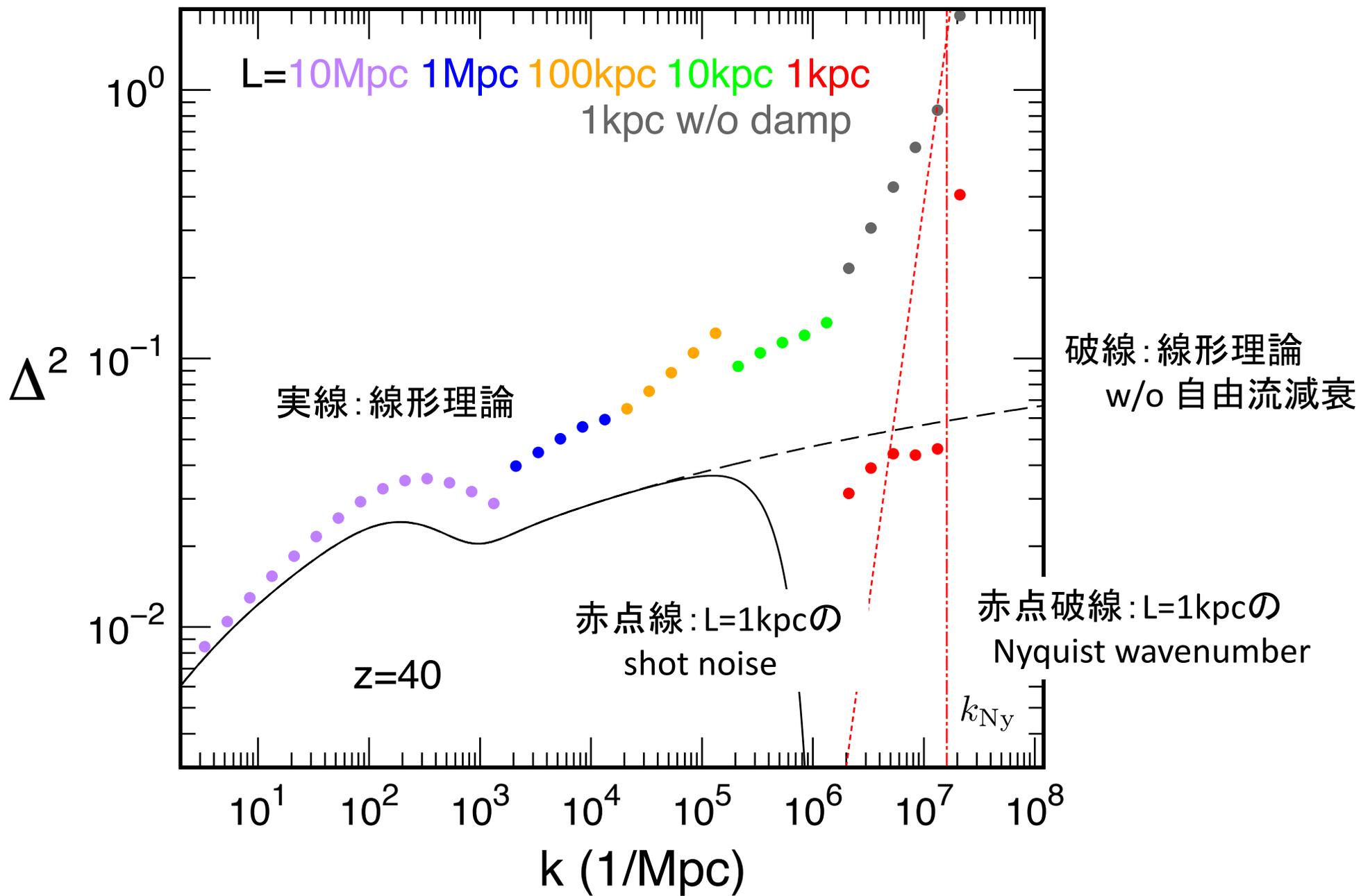
z=60



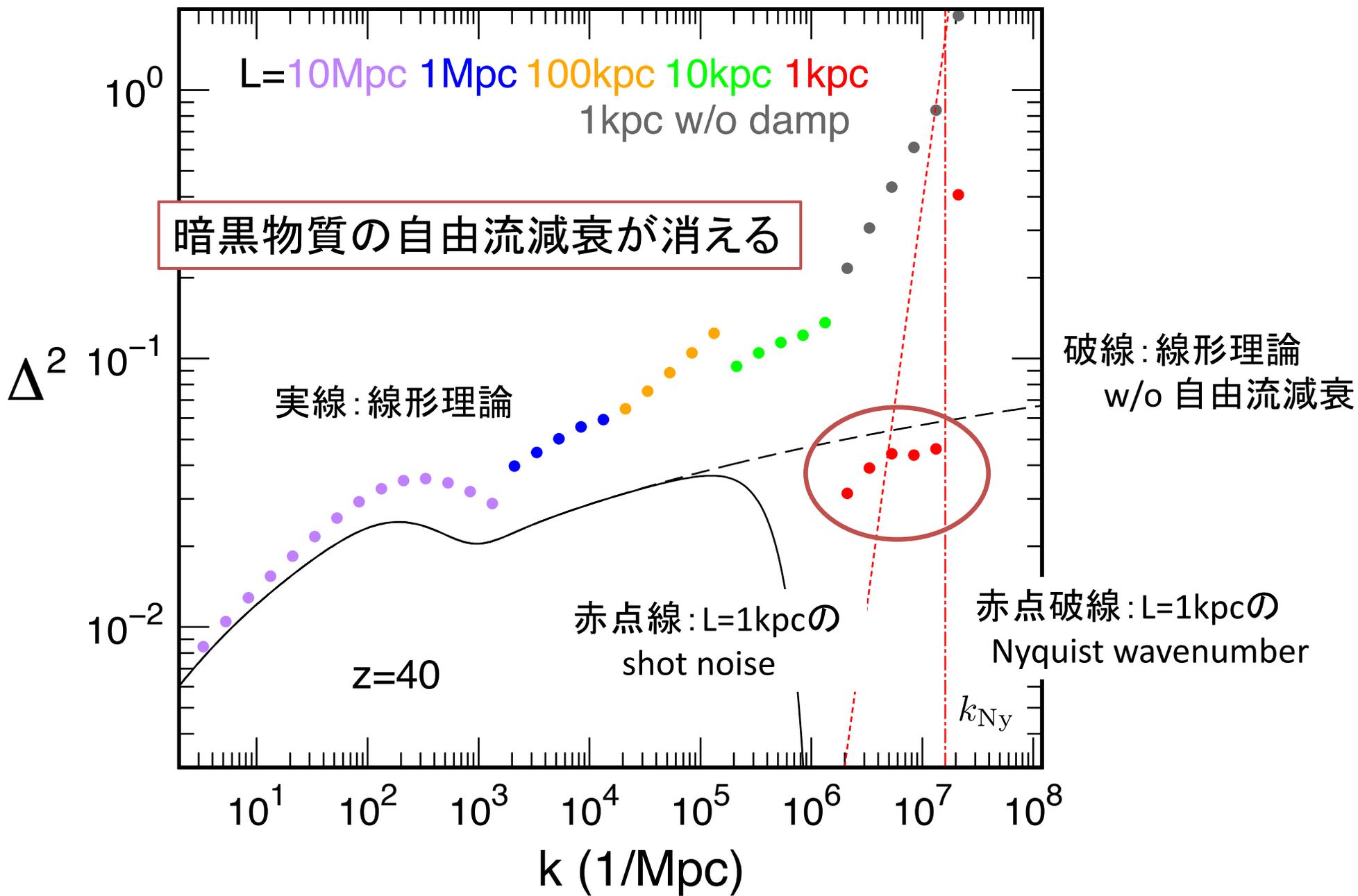
z=60



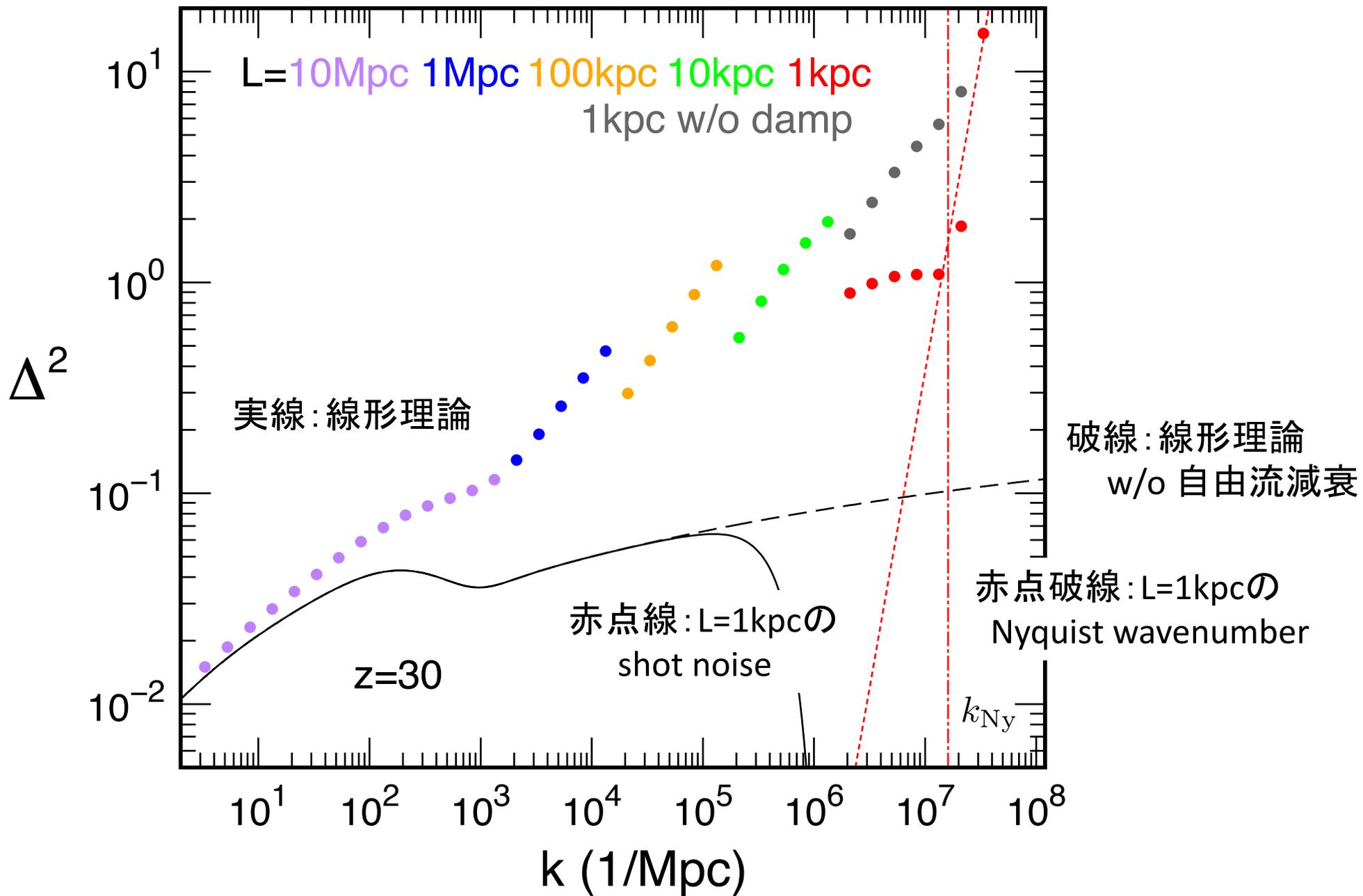
z=40



z=40

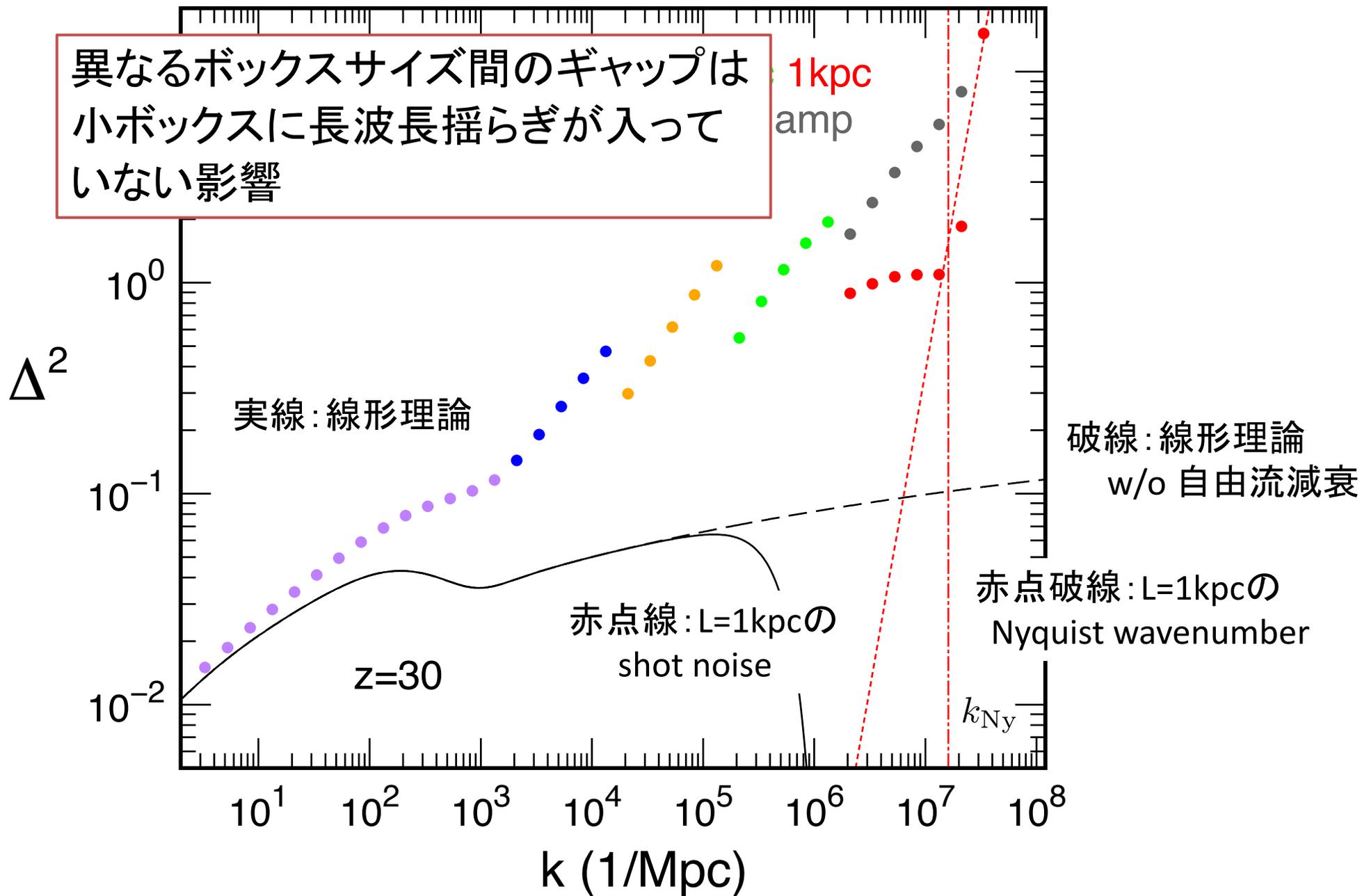


z=30

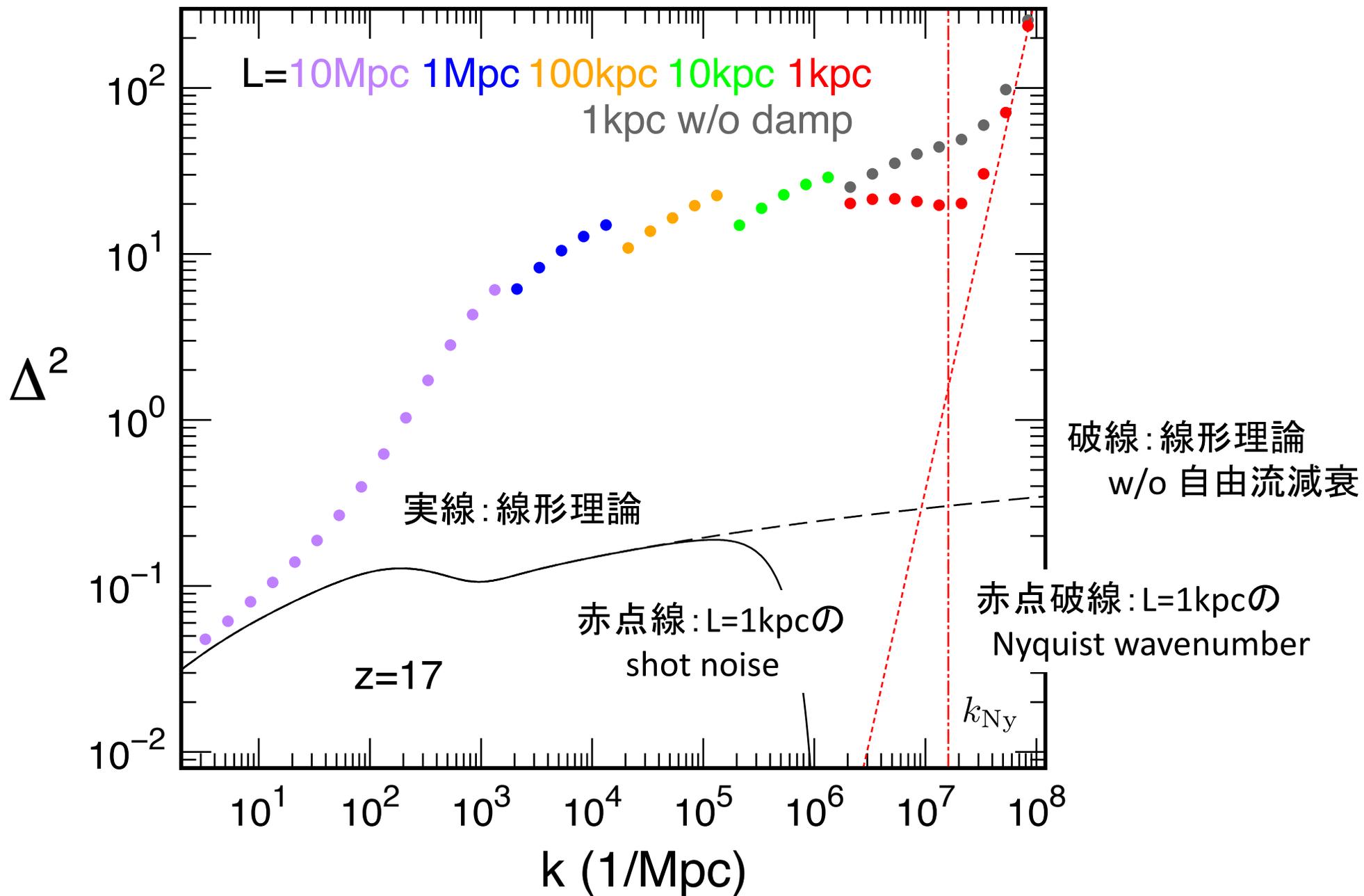


z=30

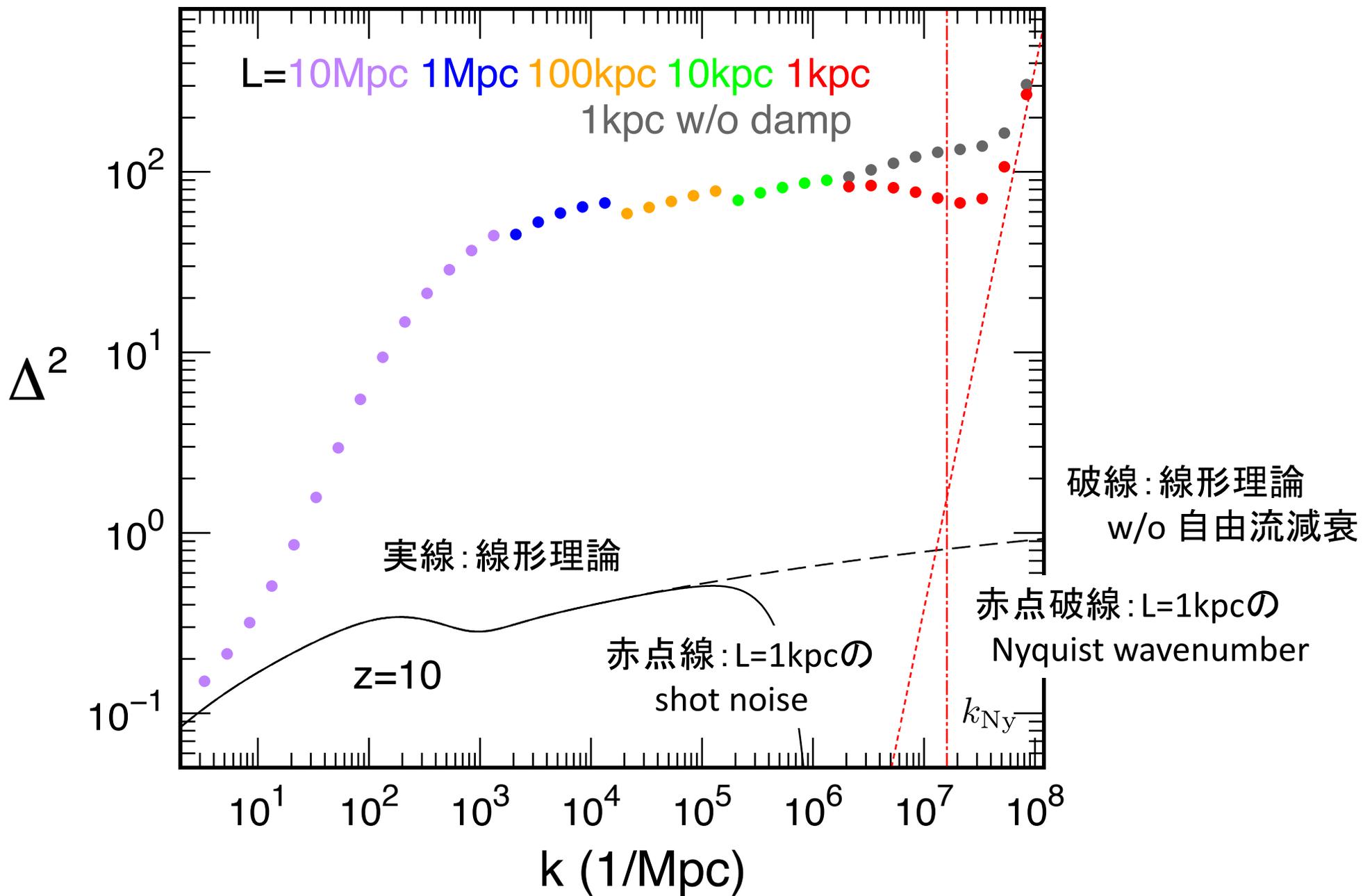
異なるボックスサイズ間のギャップは
小ボックスに長波長揺らぎが入って
いない影響



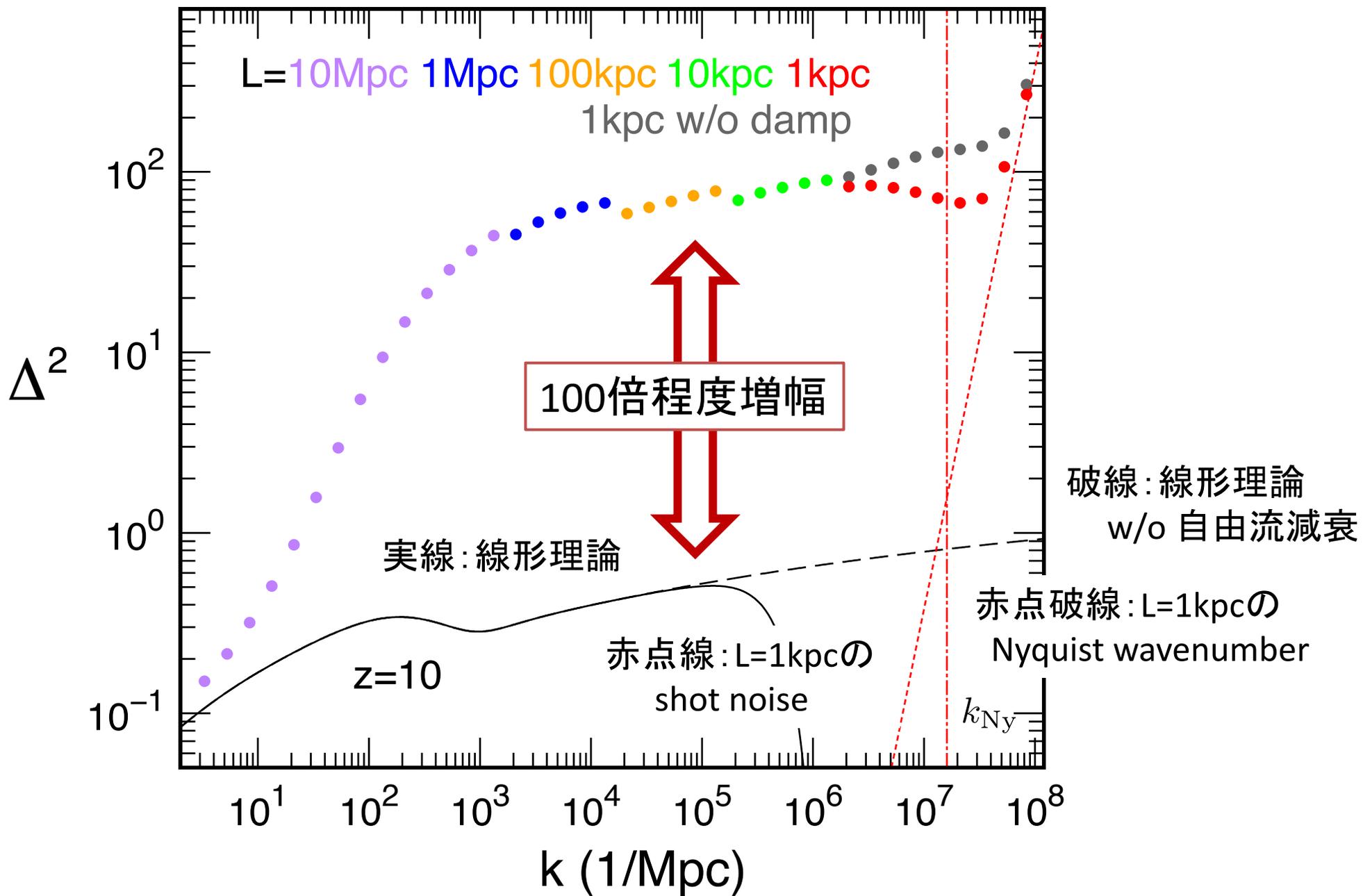
z=17



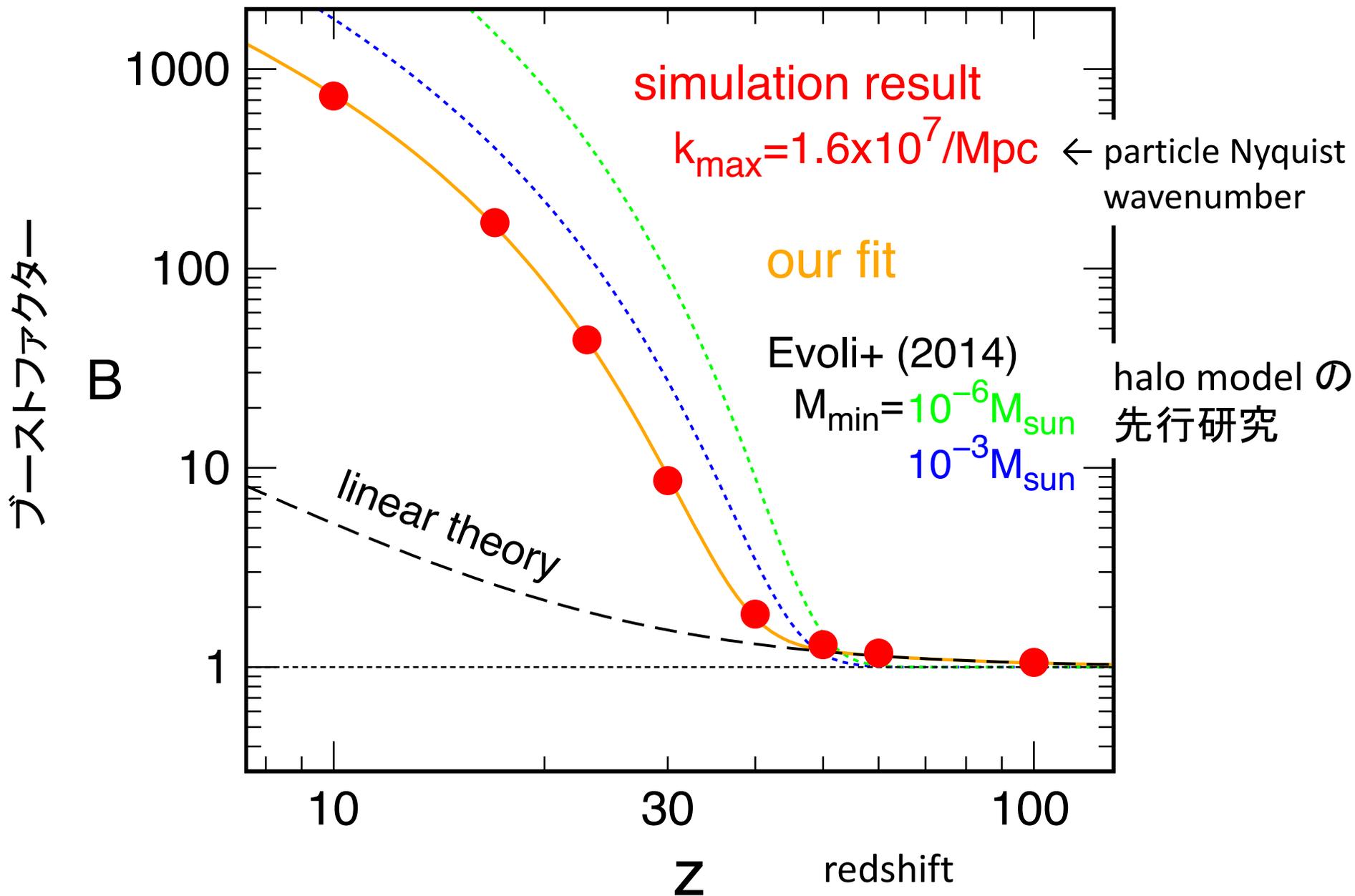
z=10



z=10



ブーストファクターの計算結果



まとめ

- 暗黒物質の密度揺らぎの非線形成長をN体計算を用いて追い、 $z=10-100$ の範囲でブーストファクターを求めた
- 高赤方偏移 ($z > 50$) では線形理論の結果と一致したが、低赤方偏移 ($z < 40$) では非線形成長のため、最大100倍程度大きな値になった
- 暗黒物質の自由流減衰 (free-streaming damping) は線形理論では見られるが、非線形成長による異なる波長間の揺らぎの結合により、低赤方偏移 ($z < 40$) では見えなくなった
- 今回の計算では $k_{\max} = 1.6 \times 10^7 \text{ Mpc}^{-1}$ までのゆらぎしか追えていないため、得られたブーストファクターは下限値