

N体シミュレーションに基づく バリオン音響振動の精密モデリング

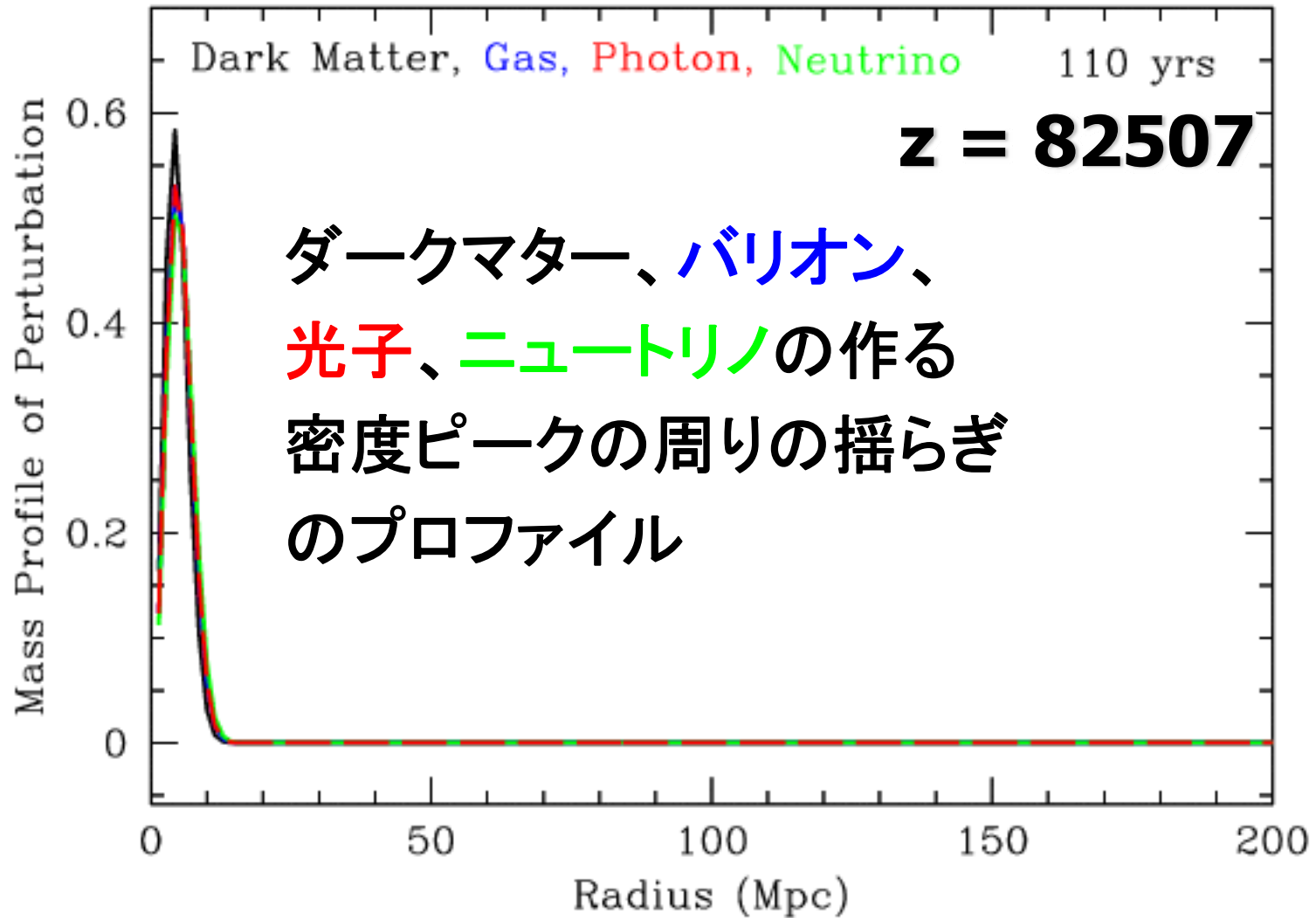
西道 啓博 (東大・理)

arXiv:0810.0813 (PASJ accepted)

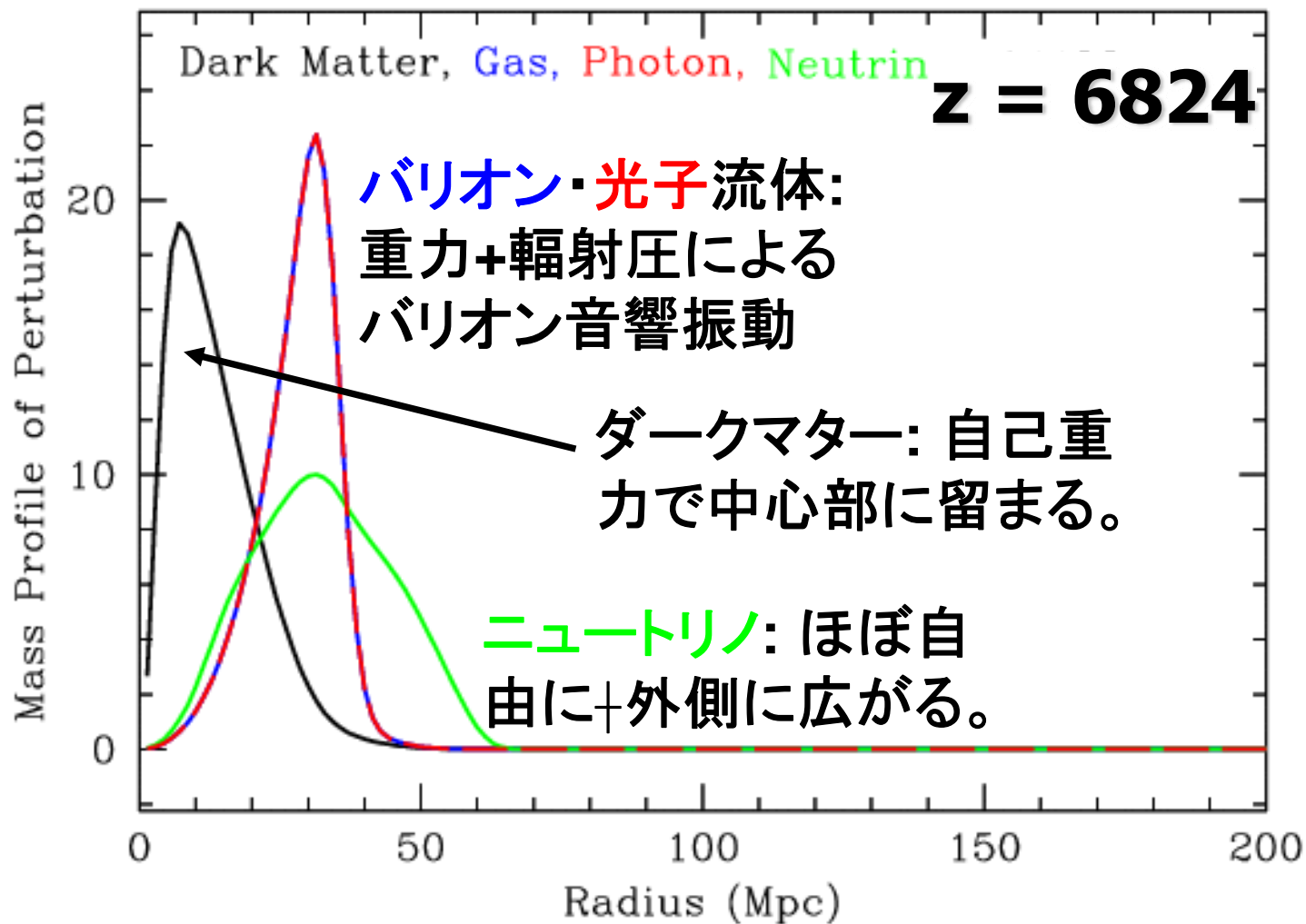
with

A.Shirata, A.Taruya, K.Yahata, S.Saito, Y.Suto, R.Takahashi, N.Yoshida,
T.Matsubara, N.Sugiyama, I.Kayo, Y.P.Jing, K.Yoshikawa

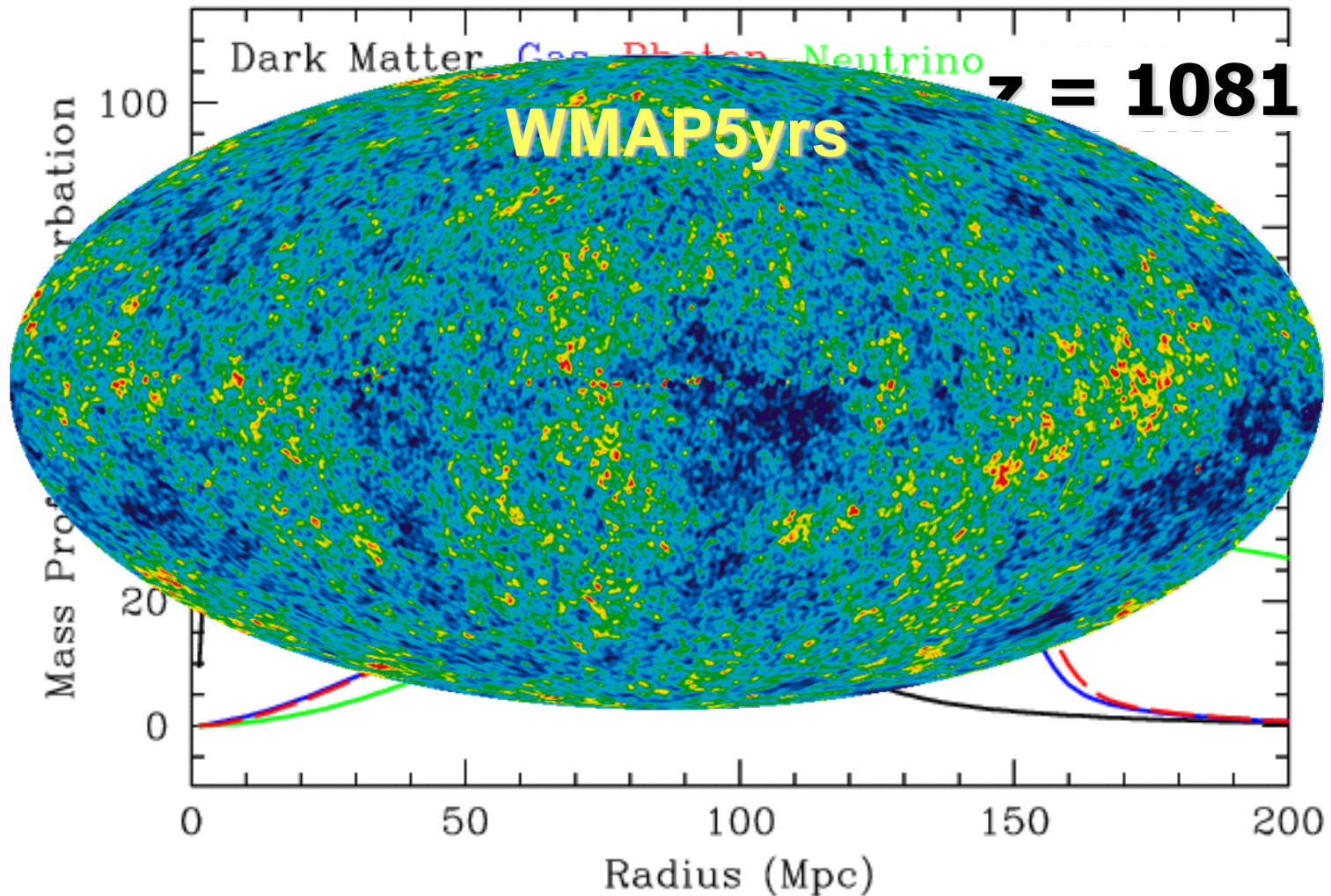
バリオン音響振動とは



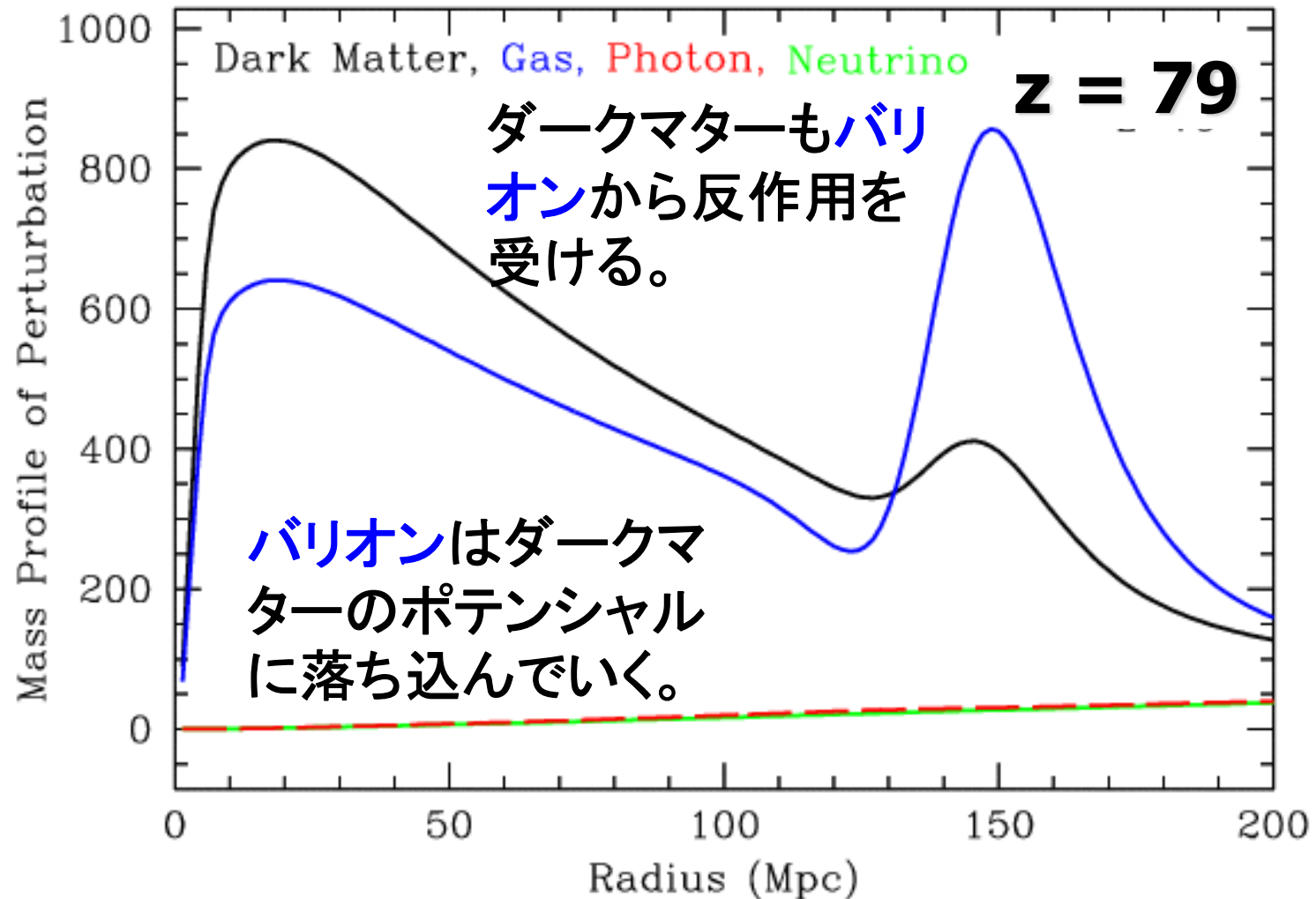
バリオン音響振動とは



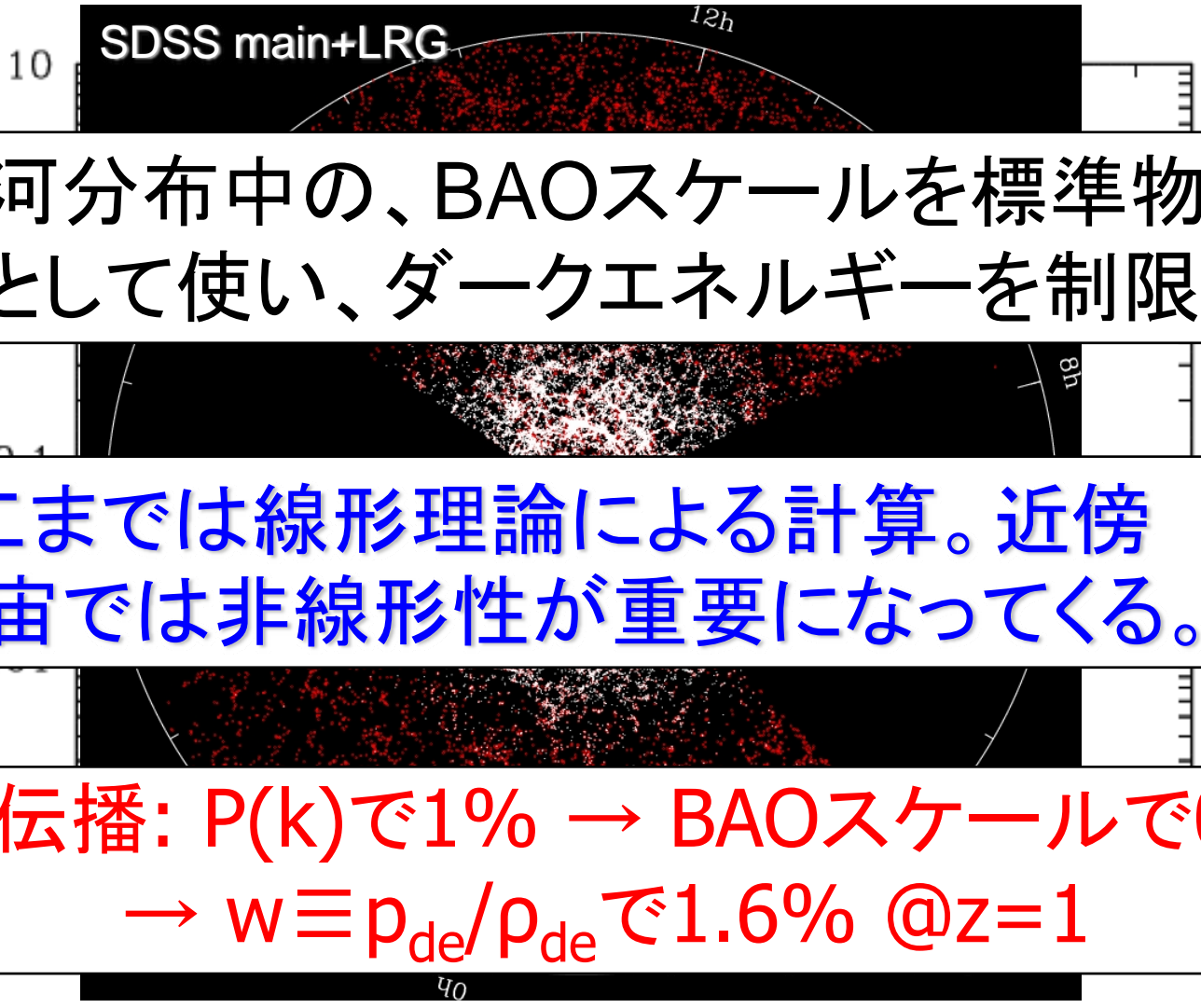
バリオン音響振動とは



バリオン音響振動とは



バリオン音響振動とは

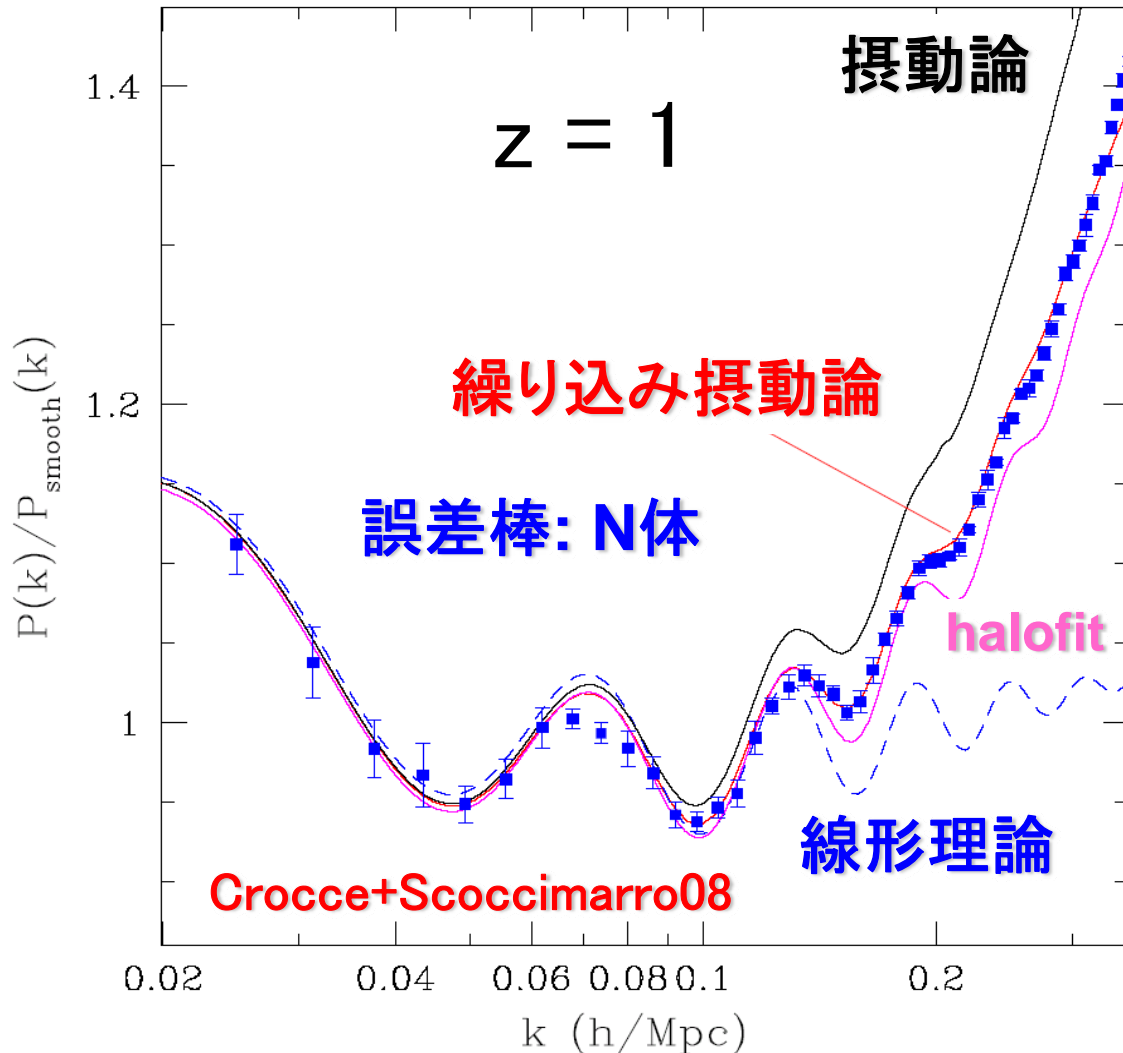
A large-scale map of galaxy distribution from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). The map shows a dense field of red and white points representing galaxies. The map is labeled 'SDSS main+LRG' at the top. It includes a coordinate grid with labels '10', '12h', '8h', and '40'.

銀河分布中の、BAOスケールを標準物
差として使い、ダークエネルギーを制限

ここまでは線形理論による計算。近傍
宇宙では非線形性が重要になってくる。

誤差伝播: $P(k)$ で1% \rightarrow BAOスケールで0.4%
 $\rightarrow w \equiv p_{de}/\rho_{de}$ で1.6% @ $z=1$

非線形性のモデリング



■ N体と繰込摂動論がよく合うように見えるが、、、

■ N体の不安要素

- 初期条件

- 重力計算

- 周期境界条件

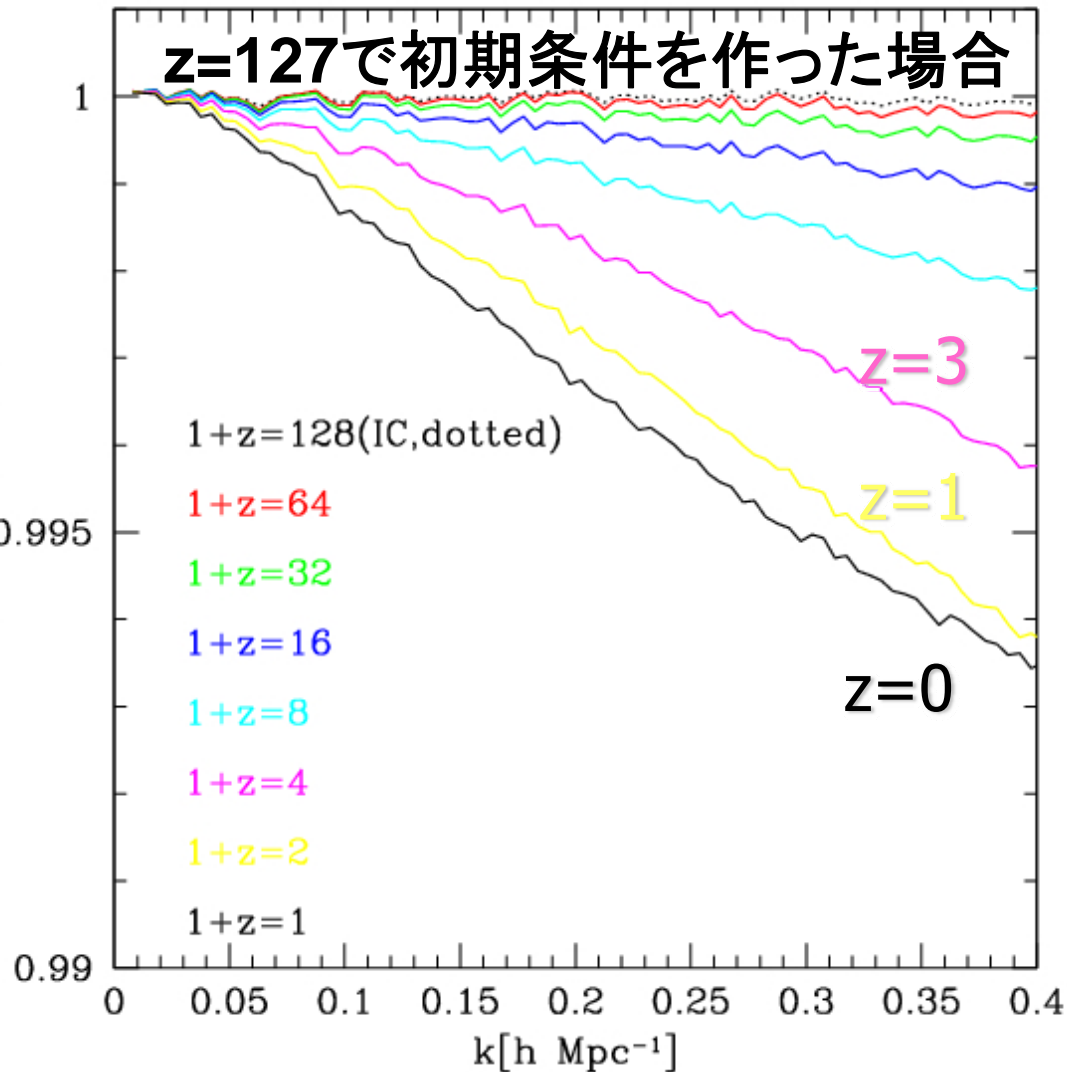
- 有限の

■ ボックスサイズ

■ 解像度

大 ← スケール → 小

N体シミュレーション: 初期条件



Lagrangian PT

$$\mathbf{x}(\mathbf{q},t) = \mathbf{q} + \Phi(\mathbf{q},t)$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{q},t) = d\Phi(\mathbf{q},t)/dt$$

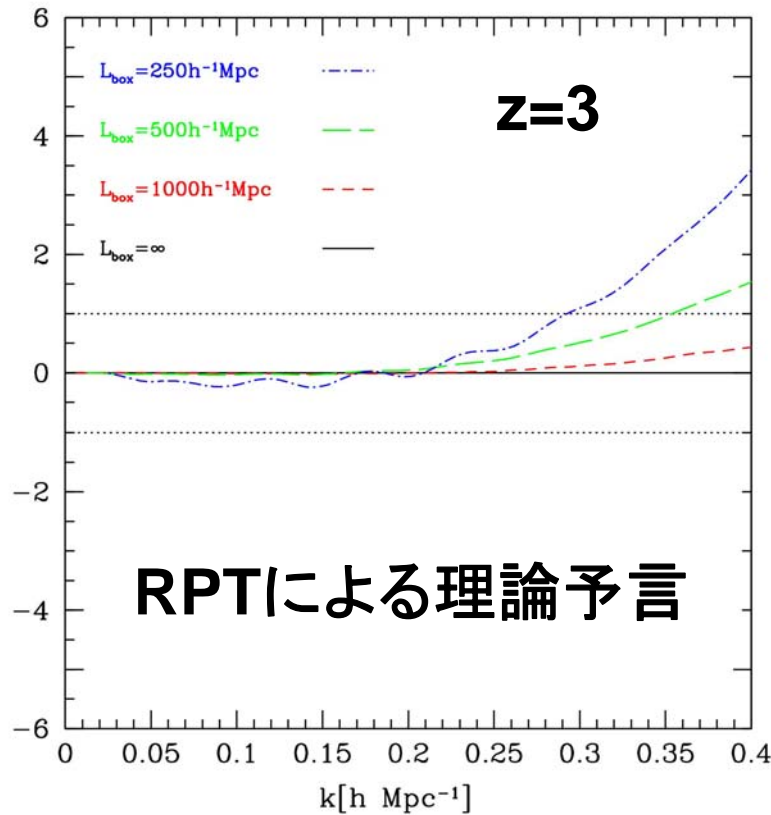
$$\Phi(\mathbf{q},t) = \Phi^{(1)}(\mathbf{q},t) + \Phi^{(2)}(\mathbf{q},t) + \dots$$

Zel'dovich \downarrow 2LPT \downarrow
Approximation Crocce+07
Zel'dovich70

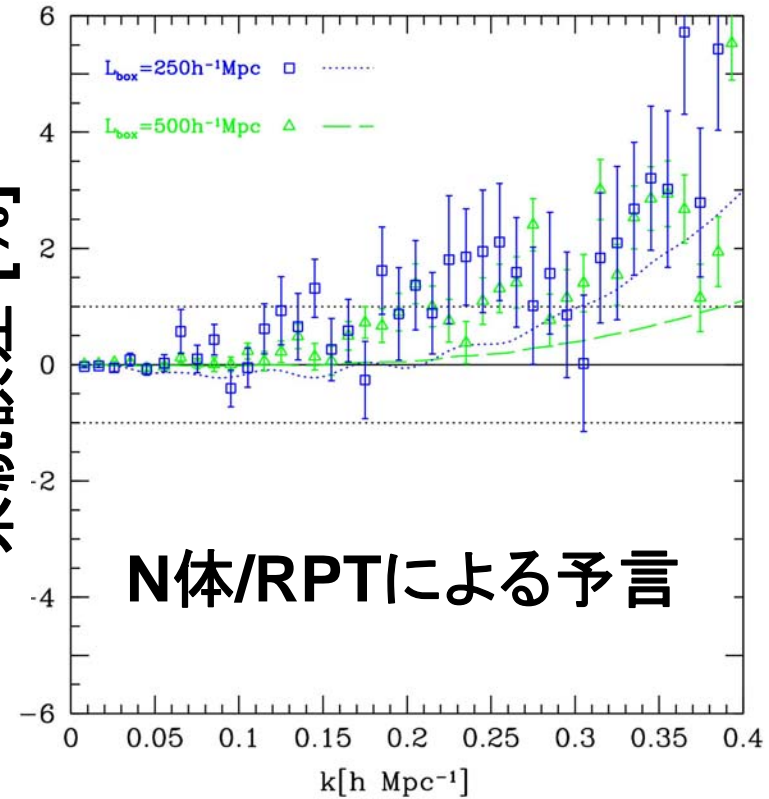
**2LPTを使いなさい。
ZAの場合はz~100
程度から始めなさい。**

N体シミュレーション: ボックスサイズ

無限のボックスサイズの時
と比べた系統誤差 [%]



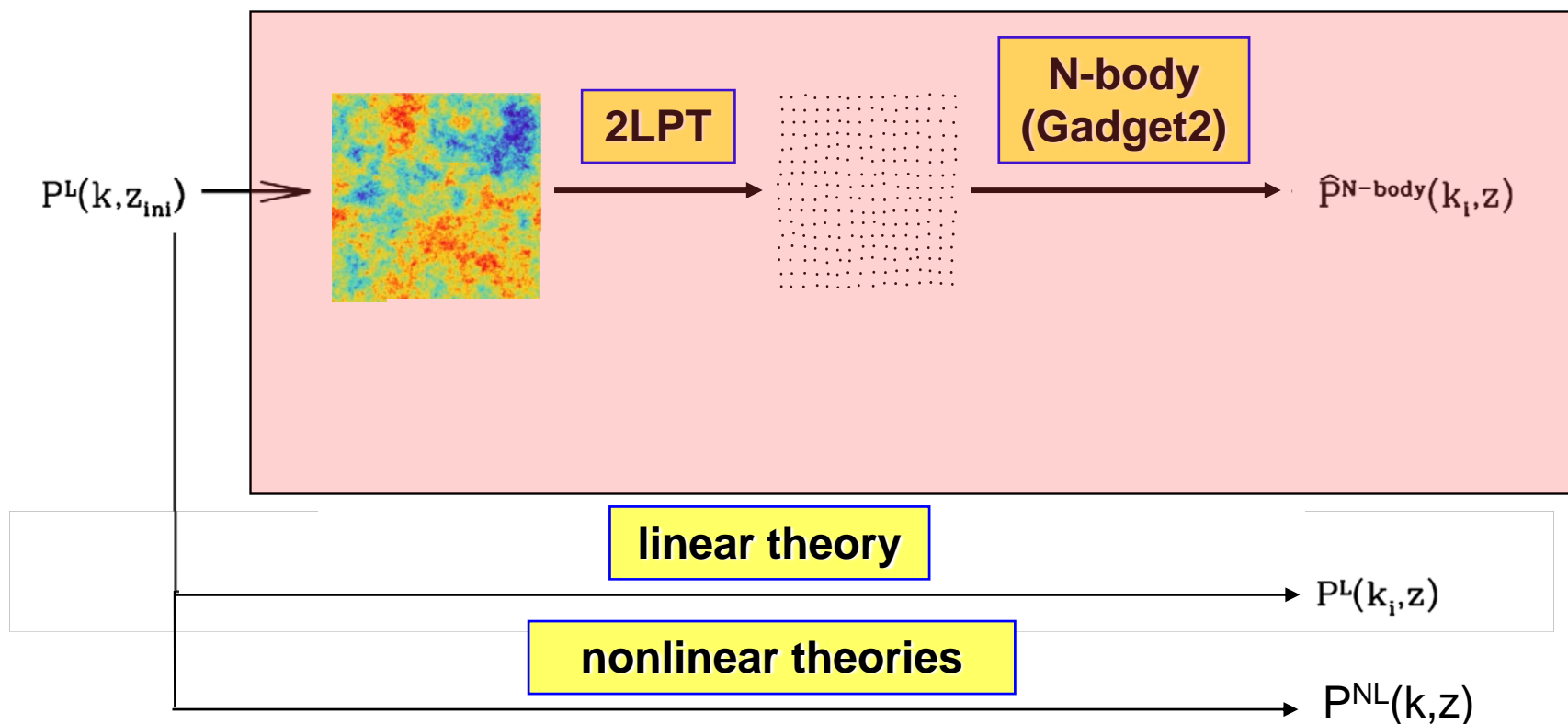
$1 h^{-1} \text{ Gpc}$ の時と比べた
系統誤差 [%]



- $L = 1 h^{-1} \text{ Gpc}$ 程度であればよさそう。
- $L = 500 h^{-1} \text{ Mpc}$ では $\sim 1\%$ 程度の系統誤差

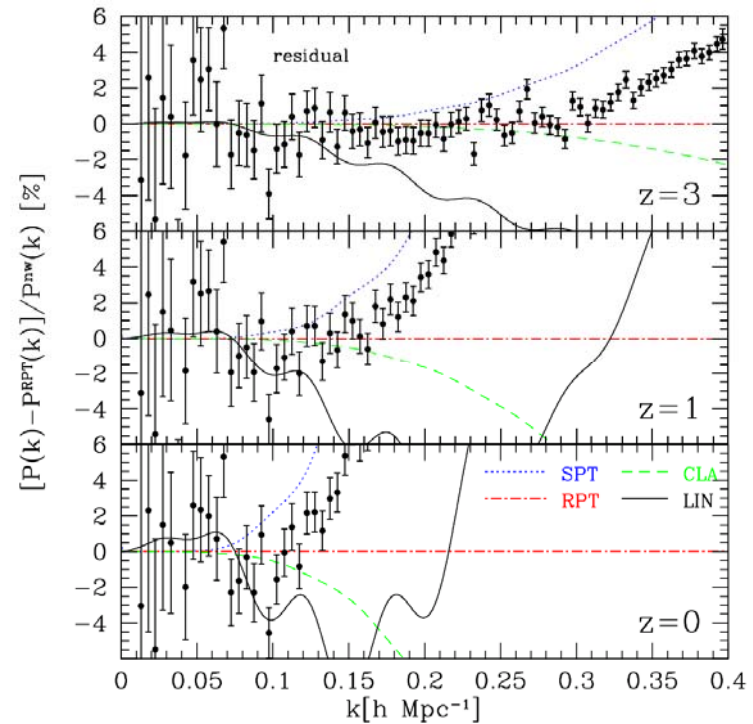
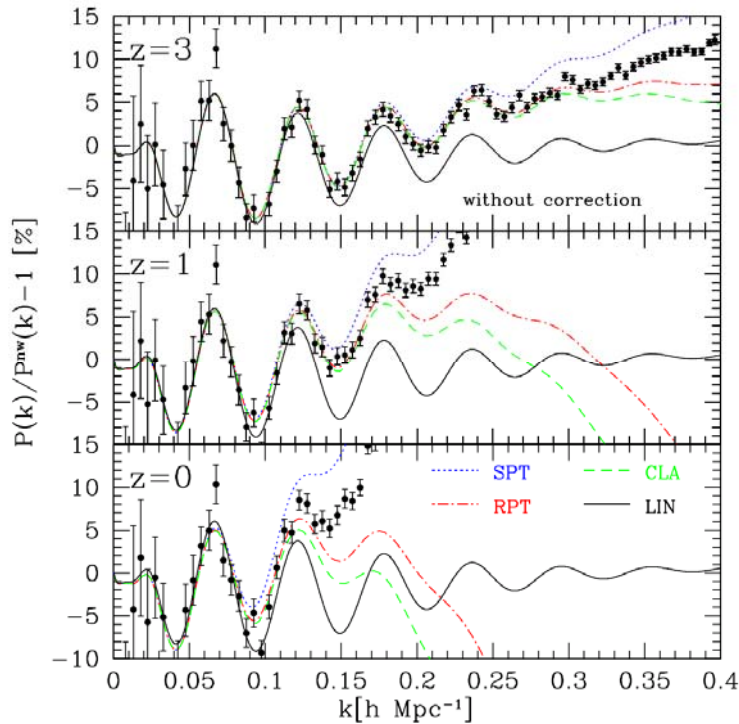
N体の設定と有限体積の補正

cosmological	Ω_m	Ω_Λ	Ω_b/Ω_m	h	σ_8	n_s
value	0.234	0.766	0.175	0.734	0.76	0.961
simulation	boxsize	# of particles	z_{ini}	# of PM grids	softening length	N^{run}
value	$1000h^{-1}\text{Mpc}$	512^3	31	1024^3	$0.1h^{-1}\text{Mpc}$	4



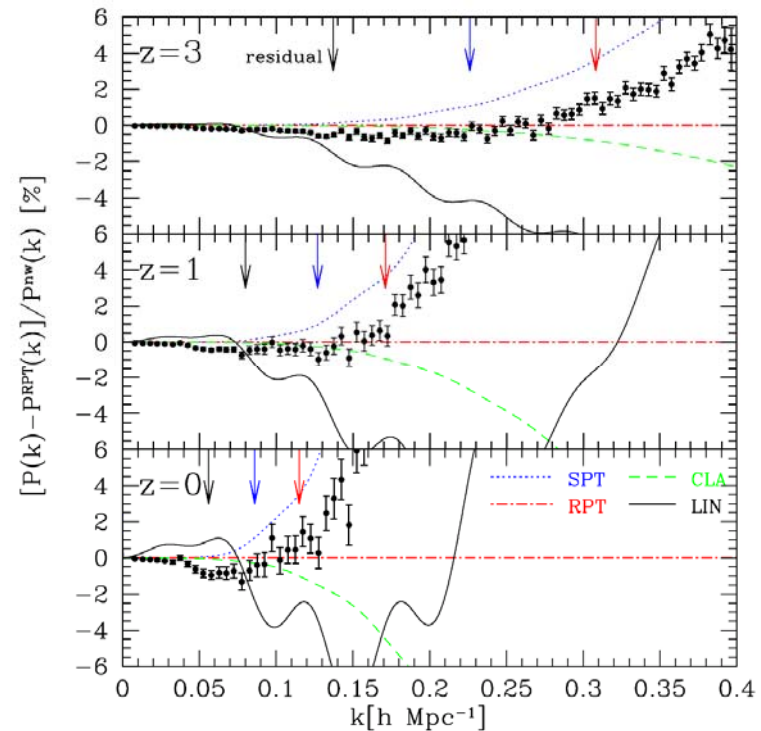
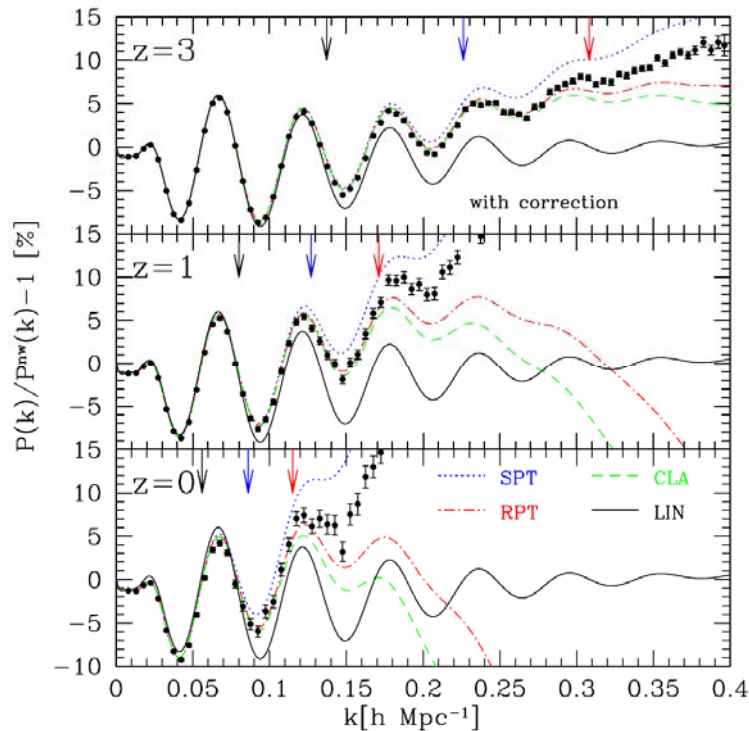
$$\hat{P}_{\text{corrected}}^{\text{N-body}}(k_i, z) \equiv \hat{P}^{\text{N-body}}(k_i, z) \times P^L(k_i, z) / \hat{P}^{\text{PT}}(k_i, z)$$

パワースペクトル(補正前)



- **SPT**: (標準)摂動論
- **RPT**: 繰り込み摂動論 (Crocco+Scoccimarro06a,b,08)
- **CLA**: 完結近似 (Taruya+Hiramatsu08)
- **LIN**: 線形理論
- シミュレーションの全体積が $4h^3\text{Gpc}^3$ と比較的小さいので、誤差が大きい。1%レベルでの収束性のテストは困難。

パワースペクトル(補正後)

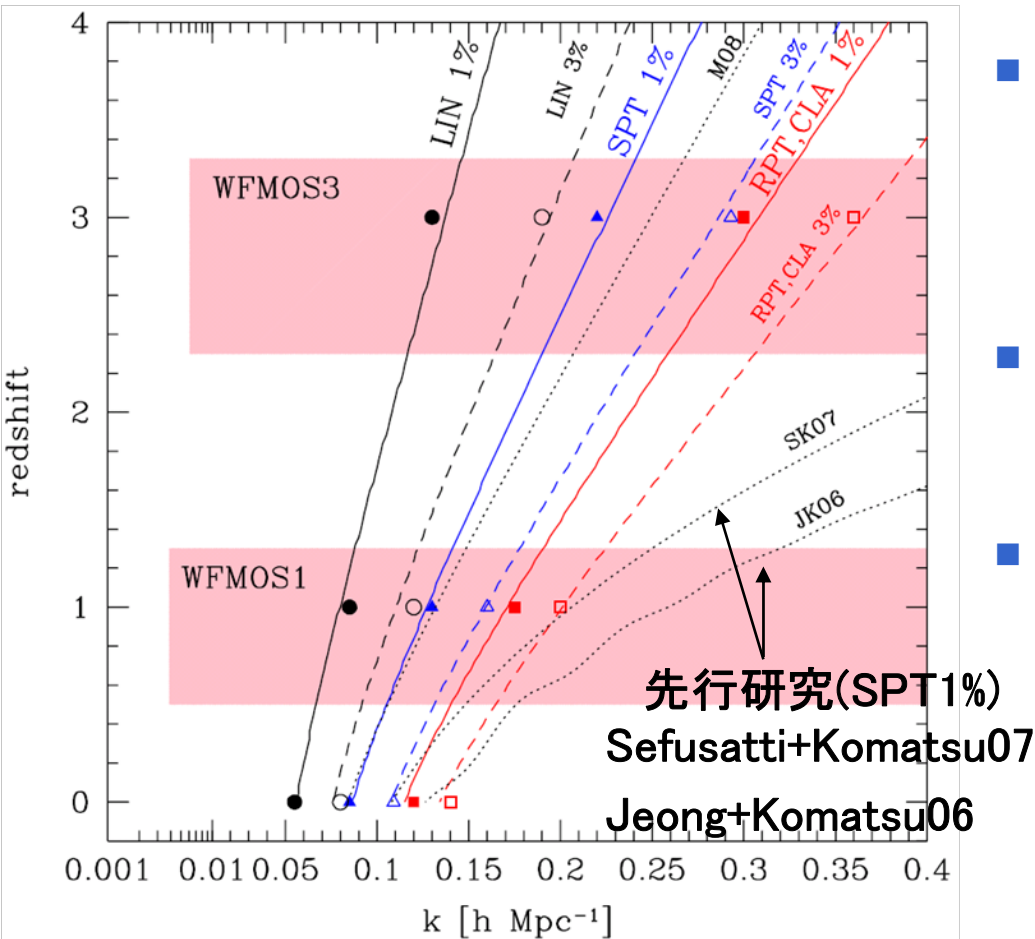


- N体の誤差が非常に小さくなった。サブパーセントレベル。
- N体と3つの非線形モデルは大スケールで非常によく一致 ($k < 0.05 h \text{Mpc}^{-1}$)。
- プロットした領域では、RPTとCLAはSPTよりも収束性がよい。
- 各理論の破綻するスケールを精密に決定することができる。

理論の信用区域

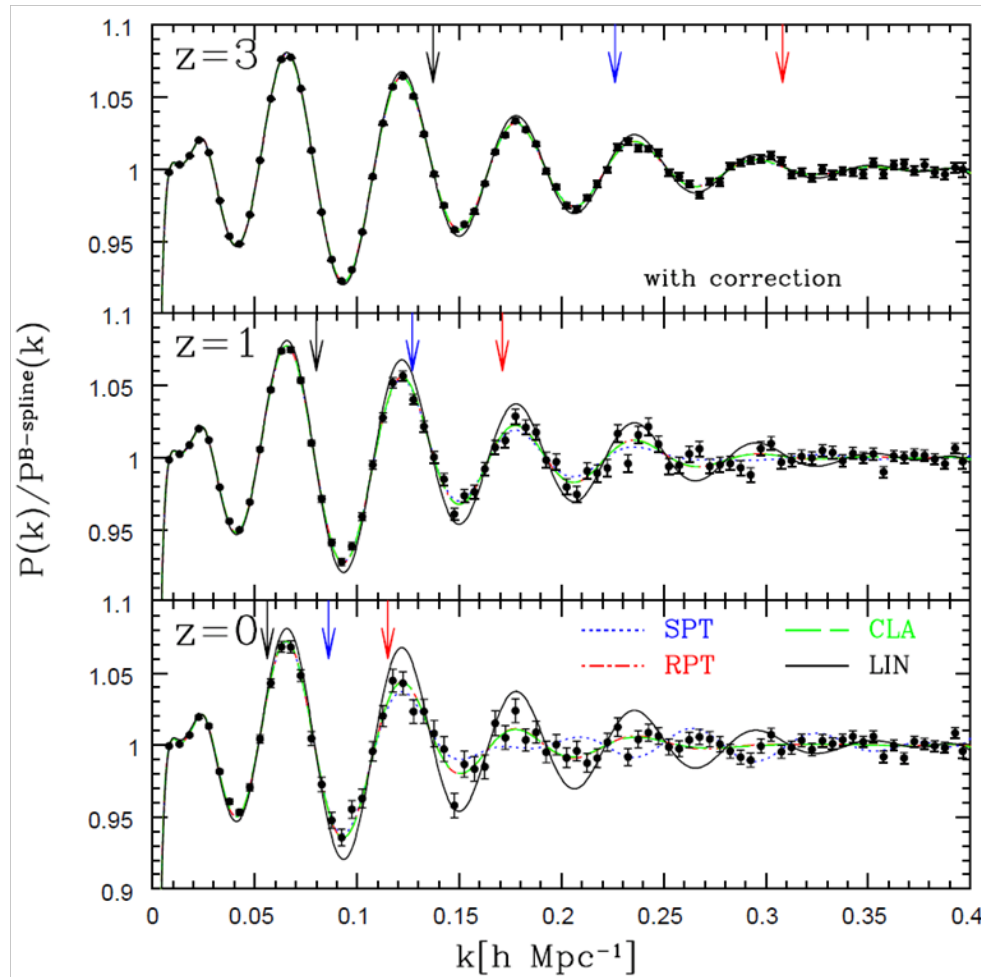
$$\frac{k^2}{6\pi^2} \int_0^k P^L(q, z) dq < C$$

	$k_{1\%}^{\text{lim}} [h\text{Mpc}^{-1}]$			$C_{1\%}$	$k_{3\%}^{\text{lim}} [h\text{Mpc}^{-1}]$			$C_{3\%}$
	$z = 3$	$z = 1$	$z = 0$		$z = 3$	$z = 1$	$z = 0$	
RPT/CLA	0.3	0.18	0.12	0.35	0.36	0.20	0.14	0.5
SPT	0.22	0.13	0.08	0.18	0.29	0.16	0.11	0.3
LIN	0.13	0.09	0.06	0.06	0.19	0.12	0.08	0.13



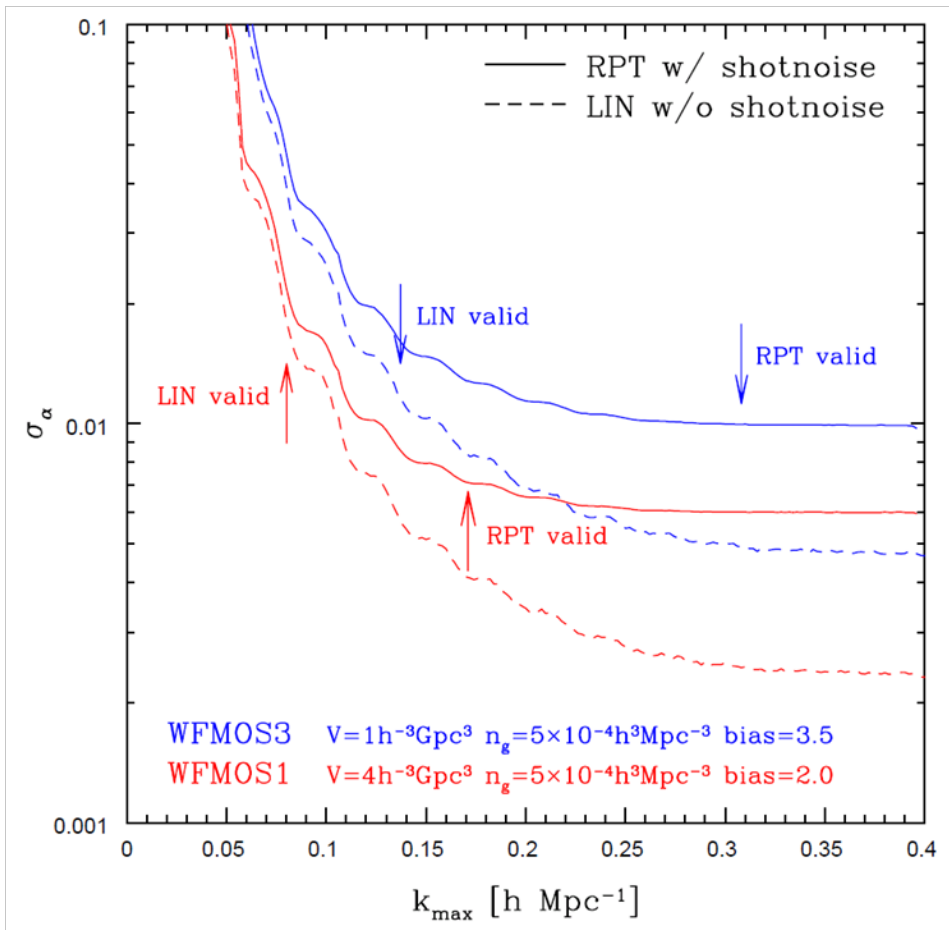
- N体との一致が1%及び3%以内であるような波数領域を精密に決定。
- これは、簡単な表式でよく再現できる。
- 以前の研究よりも狭い理論の信用区域
 - 小さいエラーバー
 - 十分大きいボックスサイズ

BAOの位相情報: よりロバストな解析?



- スプラインフィットを使って振動のみを取り出す。
Percival+07, Nishimichi+07
- BAOの位相は、 $P(k)$ そのものよりも広い範囲で理論とN体がよく一致している。

WF MOSで到達可能な精度



■ スケールシフトパラメタ α

$$P_{\text{obs}}(k, z) = \alpha^{-3} P_{\text{true}}(\alpha k, z); \quad \alpha \equiv \frac{D_{V, \text{true}}}{D_{V, \text{fid}}}$$

- $\alpha=1$ だと、正しくBAOスケールを測ったことに対応。

■ 我々の決めた信用区域のみを使ったとしても、WF MOSサーベイでは

- $\alpha: 0.7\% \rightarrow w: 2.8\% @z=1$
- $\alpha: 1\% \rightarrow w: 6\% @z=3$

程度の制限が見込まれる。

まとめ

- N体シミュレーションでBAOを正確に記述する
 - 初期条件
 - 2nd-order LPTを使いましょう。
 - ZAならば、 $z \geq 100$ 程度が目安。
 - ボックスサイズ
 - $1000h^{-1}\text{Mpc}$ より大きくしましょう。
- シミュレーションと理論の一致
 - 大スケール: 有限ボックス効果を補正することで、サブパーセントレベルを達成。
 - 理論/シミュレーションの適用限界を精密に決定。
- WFMOSサーベイでの制限
 - BAOスケール: $\sim 1\%$
 - ダークエネルギーの w パラメタ: $\sim 5\%$