

原始ゆらぎの非ガウス性の ハローバイアスへの影響

中村 元

With

成川 達也

(広島大学)

なぜ、非ガウス性を考えるのか

- 現在の揺らぎの成長理論では、初期ゆらぎはガウシアンであったと仮定されている。
- ただし、揺らぎの初期条件を与えるインフレーションのモデルによっては無視できない非ガウス性を持つものがあり、それが影響している可能性がある。
- CMBや大規模構造からこれらの検証が可能

初期ゆらぎの非ガウス性

- 非ガウス性を表すパラメータ f_{NL}
$$\Phi(\mathbf{x}) = \phi(\mathbf{x}) + f_{NL} (\phi(\mathbf{x})^2 - \langle \phi(\mathbf{x})^2 \rangle)$$

 $\Phi(\mathbf{x})$: ポテンシヤル
- 簡単なインフレーションモデル (single field、canonical kinetic energy、slow roll、initial vacuum) では $f_{NL} \approx O(0.01)$ \longrightarrow 観測不可！
- 観測からは f_{NL} がもっと大きい可能性が示唆されている。

非ガウス性の検出 \longrightarrow インフレーションモデルへの制限

f_{NL} 制限の現在

Table 1 Current recent $2 - \sigma$ constraints on local f_{NL}

Data/method	f_{NL}	reference
Photometric LRG - bias	$63^{+54+101}_{-85-331}$	Slosar et al. 2008
Spectroscopic LRG- bias	$70^{+74+139}_{-83-191}$	Slosar et al. 2008
QSO - bias	8^{+26+47}_{-37-77}	Slosar et al. 2008
combined	28^{+23+42}_{-24-57}	Slosar et al. 2008
NVSS-ISW	$105^{+647+755}_{-337-1157}$	Slosar et al. 2008
NVSS-ISW	$236 \pm 127(2 - \sigma)$	Afshordi&Tolley 2008
WMAP3-Bispectrum	30 ± 84	Spergel et al. (WMAP) 2007
WMAP3-Bispectrum	32 ± 68	Creminelli et al. 2007
WMAP3-Bispectrum	87 ± 60	Yadav & Wandelt 2008
WMAP-Bispectrum	38 ± 42	Smith et al. 2009
WMAP5-Bispectrum	51 ± 60	Komatsu et al. (WMAP) 2008
WMAP5-Minkowski	-57 ± 121	Komatsu et al. (WMAP) 2008
2010 WMAP 7-year Bispectrum optimal		32 ± 42 Komatsu et al. [129]

[Verde 2010 ,Yadav & Wandelt 2010]

将来の制限

Table 2 Forecasts $1 - \sigma$ constraints on local f_{NL}

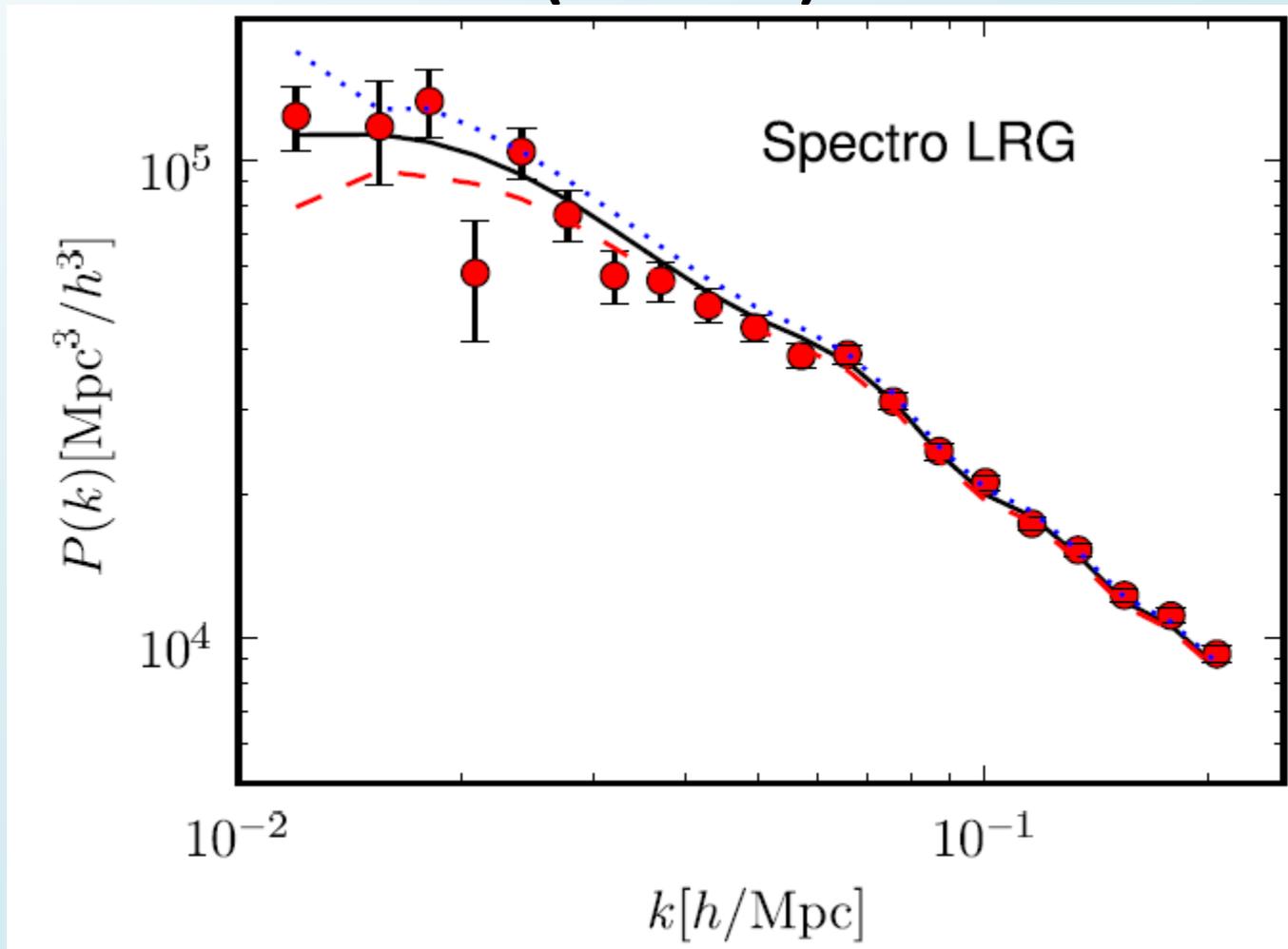
Data/method	$\Delta f_{\text{NL}} (1 - \sigma)$	reference
BOSS–bias	18	Carbone et al. 2008
ADEPT/Euclid–bias	1.5	Carbone et al. 2008
PANNStarrs –bias	3.5	Carbone et al. 2008
LSST–bias	0.7	Carbone et al. 2008
LSST-ISW	7	Afshordi & Tolley 2008
BOSS–bispectrum	35	Sefusatti & Komatsu 2008
ADEPT/Euclid –bispectrum	3.6	Sefusatti & Komatsu 2008
Planck-Bispectrum	3	Yadav et al . 2007
BPOL-Bispectrum	2	Yadav et al . 2007

[Verde 2010]

バイアスを用いた制限が可能

Slosar et al(2008)

f_{NL} の値
 青: 100
 黒: 0
 赤: -100



$$P_{\text{observed}}(k) = [b + \Delta b(k, f_{NL})]^2 P_{\text{lin}}(k) \frac{1 + Qk^2}{1 + Ak}$$

非ガウス性の影響(スケール依存バイアス)

$$f_{NL} = 70^{+74+139+202}_{-83-191-371}$$

バイアスについて

- 理論(物質密度揺らぎ δ_m)と観測量(銀河の数密度揺らぎ δ_g)の間にある不定性に起因する量
- 理論的にモデルを作るには銀河進化の理論が必要だが、非線形現象であり、取り扱いが困難。そこで理論のパラメータとして導入し、観測から求める
- ハローバイアスはある程度解析的に求めることが可能なバイアスの例

ハローバイアス

- ある質量 M のハローがあるときの物質密度ゆらぎとハローの個数密度ゆらぎとの比
(銀河数密度との比ではない)
- 一般の銀河数密度ゆらぎと物資密度ゆらぎの間のバイアスはよくわからないが、ハローバイアスは質量を与えれば計算できる
- 大スケールにおける銀河バイアスはこれで説明できると考えられている

ハローバイアスの導出法

- Peak-peak correlation

(Mo&White(1996) Dalal et al(2008))

ピーク位置(ハローの位置を反映)の相関関数
と物質ゆらぎの相関関数との比を計算

- Peak-background split

(Cole&Kaiser(1988) Slosar et al(2008))

など。最終結果は同じようになる

Peak-back ground split

Cole, & Kaiser (1988)

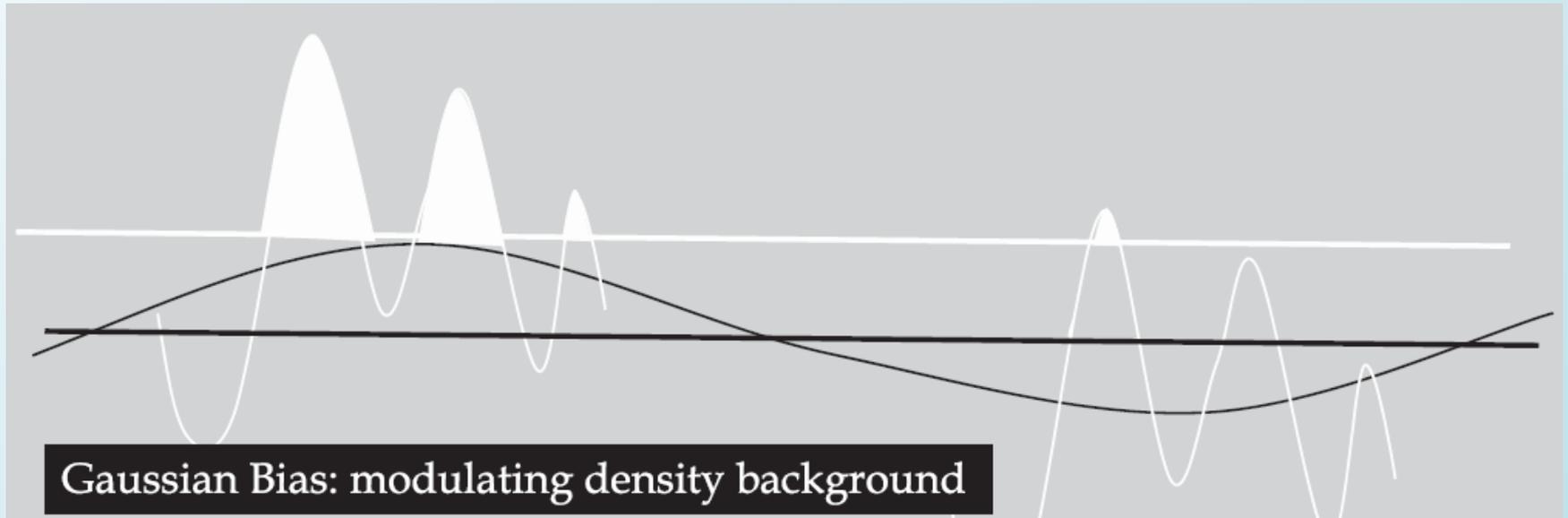
密度ゆらぎを長波長成分と短波長成分に分ける

ρ : 物質密度

$\bar{\rho}$: 平均物質密度

$$\rho = \bar{\rho}(1 + \delta_l + \delta_s)$$

(ガウシアンの時)



n : ハローの個数密度

$$n = \bar{n}(1 + b_h \delta_l)$$

Afshordi & Tollley (2008)

\bar{n} : ハローの平均個数密度

$$b_h(M) = \bar{n}^{-1} \frac{\partial n}{\partial \delta_l}$$

b_h : ハローバイアス

ガウスゆらぎでのハローバイアス

$$b_h(M) = \bar{n}^{-1} \frac{\partial n}{\partial \delta_l}$$

ガウスゆらぎの場合、ハローバイアスは
ハローの質量のみに依存する

非ガウス性のゆらぎがある場合

$$\rho = \bar{\rho}(1 + \delta_l + \delta_s)$$

という分離は各ゆらぎが独立でないため
行うことができない

ポテンシャルに立ち返る

$$\Phi(\mathbf{x}) = \phi(\mathbf{x}) + f_{NL}(\phi(\mathbf{x})^2 - \langle \phi(\mathbf{x})^2 \rangle)$$

ϕ はガウス分布に従うので

$$\phi = \phi_l + \phi_s$$

としてやればよい

δ はポアソン方程式から求める

(slosar et al 2008)

$$\Phi = \phi_l + f_{NL}\phi_l^2 + (1 + 2f_{NL}\phi_l)\phi_s + f_{NL}\phi_s^2 + \text{const.}$$

異なる波長のゆらぎ間の相関

この相関によって、バイアスの表式が変更される

$$b_h = b_h^G + \Delta b$$

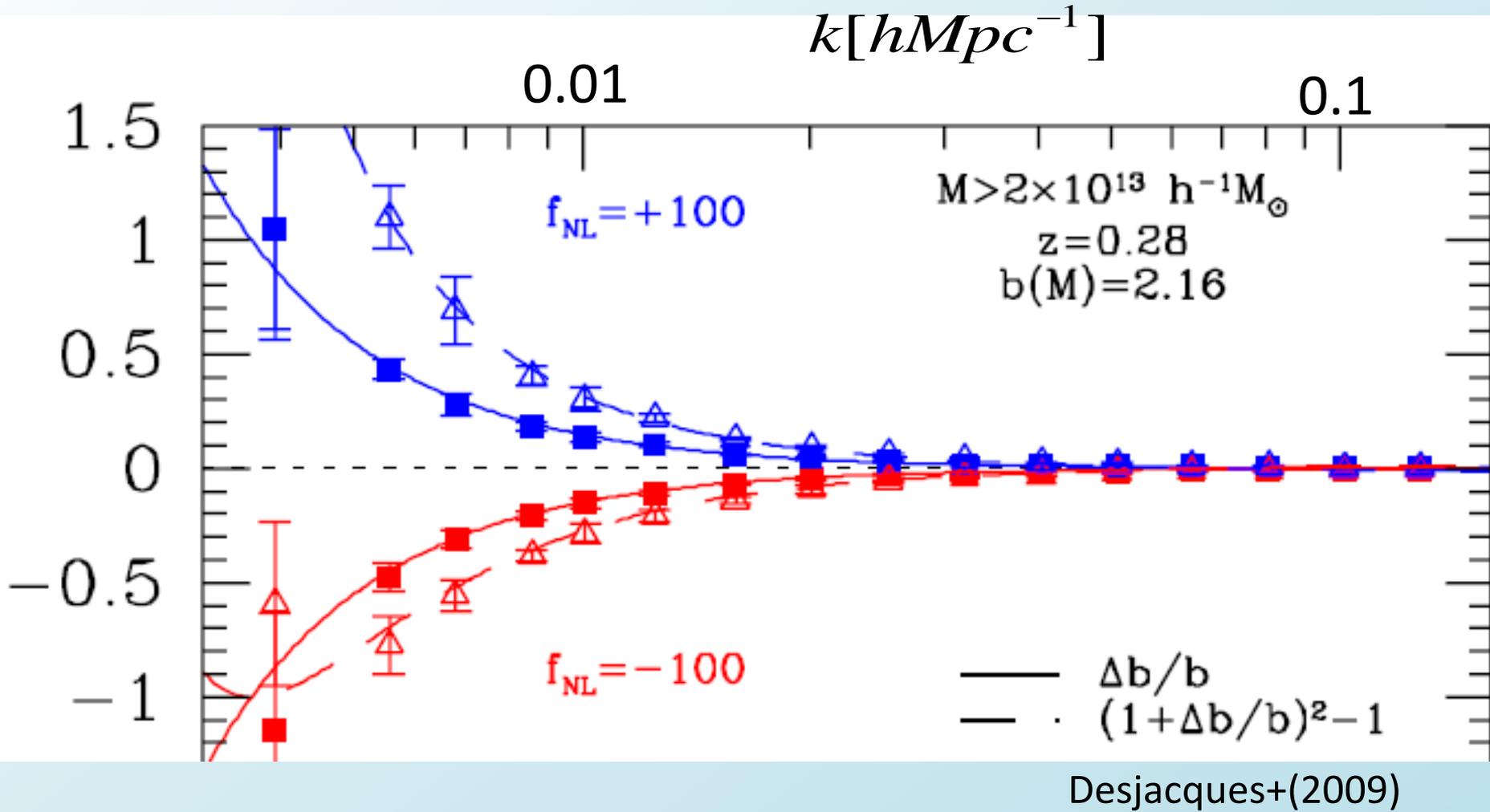
$$\Delta b(M, k) = \frac{3\Omega_m H_0^2}{c^2 k^2 T(k) D(z)} f_{\text{NL}} \frac{\partial \ln n}{\partial \ln \sigma_8}.$$

ゆらぎ間の相関による影響

これを非ガウス性を含めた質量関数で評価すれば
非ガウス性を考慮した時のハローバイアスになる

スケール依存性: $k \ll 1$ で $\Delta b \propto k^{-2}$

N体との比較



N体ハローの結果と矛盾しない

今後

Nonlinear perturbation theory with halo bias and redshift-space distortions via the Lagrangian picture

(Matsubara 2008)

ハローバイアスを含めたパワースペクトルの表式を線形摂動の次のオーダーまで評価(ガウスゆらぎ)

$$P_{\text{obj}}^{(s)}(\mathbf{k}) = \exp \left\{ - \left[1 + f(f + 2)\mu^2 \right] (k/k_{\text{NL}})^2 \right\} \\ \times \left[\left(1 + \langle F' \rangle + f\mu^2 \right)^2 P_{\text{L}}(k) + \sum_{n,m} \mu^{2n} f^m E_{nm}(k) \right]$$

ハローバイアス

これを非ガウス性の時にも使えるように拡張したい

まとめ

- 非ガウス性のゆらぎがある時のハローバイアスへの影響について調べた
- これを取り混んだパワースペクトルの(準)非線形モデルを構築することが目標
- これができれば、パワースペクトルから非ガウス性を精度よく測定できるかもしれない