



Constraining primordial non-Gaussianity with multitracer technique

山内 大介

ビッグバン宇宙国際研究センター

DY, K. Takahashi, M. Oguri, PRD90 083520 ,1407.5453

1. マルチトレーサー法とは？

2. 応用：原始非ガウス性 f_{NL}

➤ SKA+Euclid $\rightarrow \sigma(f_{\text{NL}}) \sim O(0.1)$

3. さらなる応用(?)

➤ 高次非ガウス性 $\tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$

➤ 修正重力理論探査

1. マルチトレーサー法とは？

2. 応用：原始非ガウス性 f_{NL}

➤ SKA+Euclid $\rightarrow \sigma(f_{\text{NL}}) \sim \mathcal{O}(0.1)$

3. さらなる応用(?)

➤ 高次非ガウス性 $\tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$

➤ 修正重力理論探査

全銀河

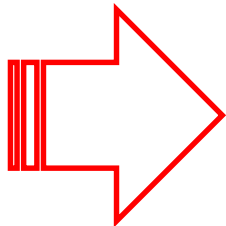
➤ 数 : N_{tot}

➤ 揺らぎ : $\delta_{\text{gal}} = b_{\text{tot}} \delta$

➤ 観測されるパワースペクトル

$$P_{\text{gal,obs}} = (b_{\text{tot}})^2 P + 1/N_{\text{tot}}$$

ショットノイズ



もし無限にたくさん銀河を観測したとしても
($N_{\text{tot}} \rightarrow \infty$) 振幅はコズミックバリエーションで制限される

軽い銀河

- 数 : N_l
- 揺らぎ : $\delta_{\text{gal},l} = b_l \delta$

重い銀河

- 数 : N_h
- 揺らぎ : $\delta_{\text{gal},h} = b_h \delta$

➤ 観測されるパワースペクトル

	軽い	重い
軽い	$(b_l)^2 P + 1/N_l$	$b_l b_h P$
重い	$b_l b_h P$	$(b_h)^2 P + 1/N_h$

何が起こる？

➤ 「振幅」の決定精度

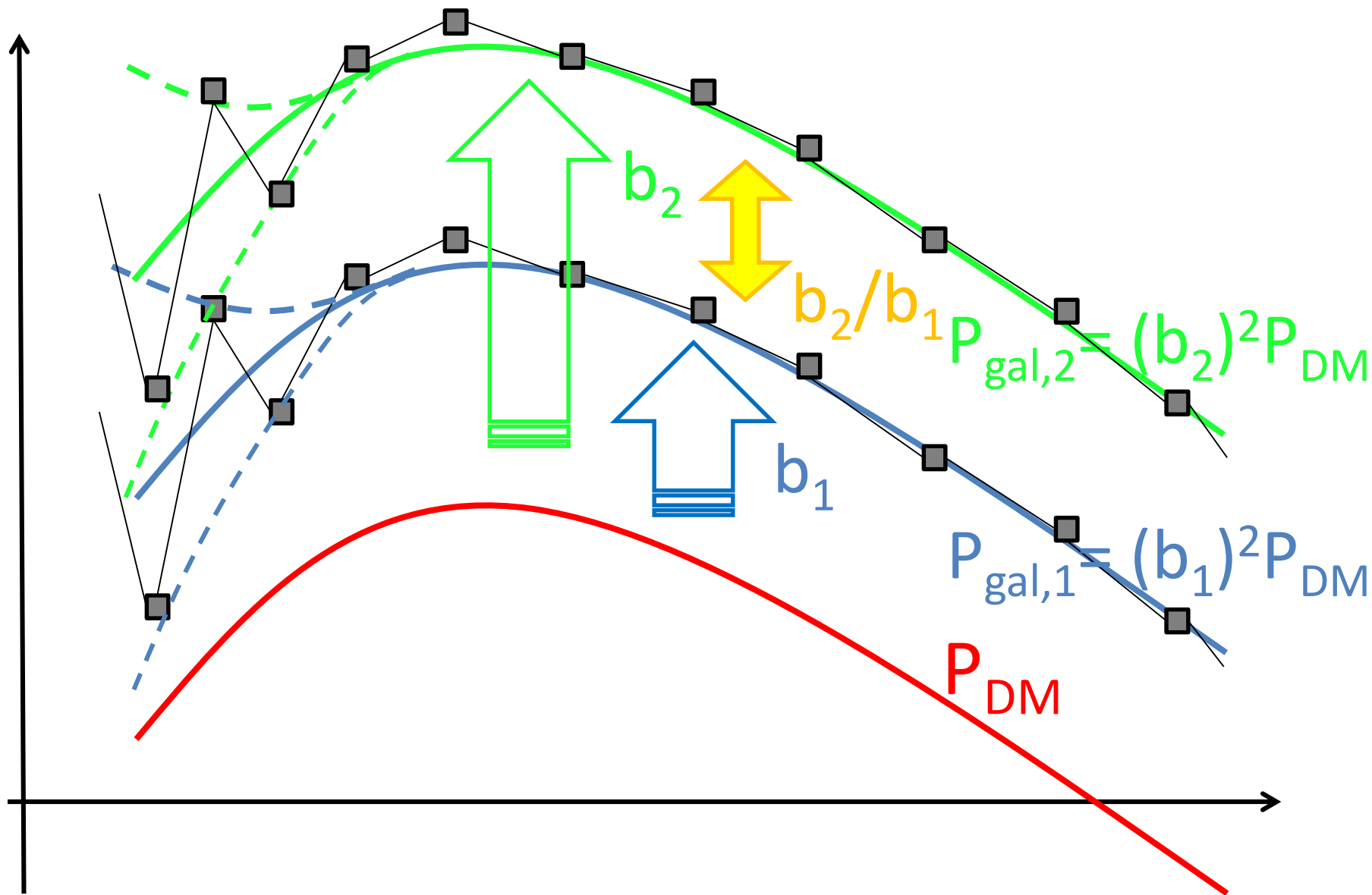
$$\sigma(\ln P_{\text{gal}}) \sim 1/2 = \text{定数} \quad (N_l, N_h \rightarrow \infty)$$

コズミックバリエーション！

➤ バイアスの「比」の決定精度

$$\sigma(b_h/b_l) \sim (N_l^{-1} + N_h^{-1})^{1/2} \quad (N_l, N_h \rightarrow \infty)$$

原理的にどこまでも小さくなることできる！



1. マルチトレーサー法とは？

2. 応用：原始非ガウス性 f_{NL}

➤ SKA+Euclid $\rightarrow \sigma(f_{\text{NL}}) \sim \mathcal{O}(0.1)$

3. さらなる応用(?)

➤ 高次非ガウス性 $\tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$

➤ 修正重力理論探査

原始非ガウス性

- (非ガウス重力ポテンシャル) = (ガウス場) + (ガウス場)² + ...

$$\Phi = \phi_G + f_{\text{NL}} (\phi_G^2 - \langle \phi_G^2 \rangle)$$

✓ 一番簡単なインフレーション : f_{NL} of $O(0.01)$!

- CMBで調べると...

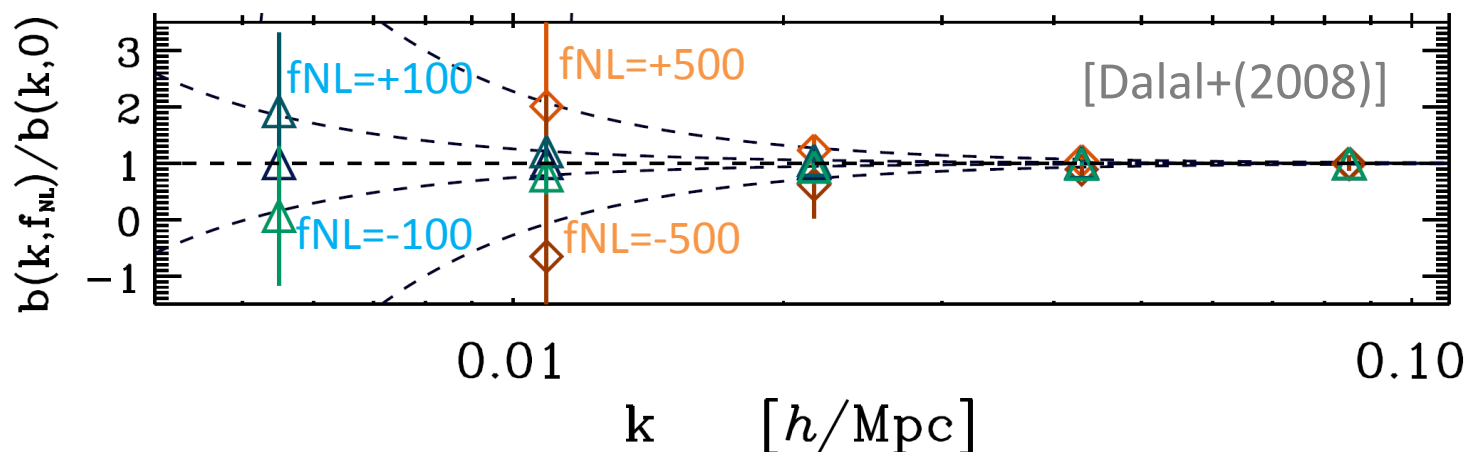
- WMAP : $\sigma(f_{\text{NL}}) < 100$ [Bennet+, 2013]
- Planck : $\sigma(f_{\text{NL}}) < 10$ [Planck collaboration, 2013]
- Ideal : $\sigma(f_{\text{NL}}) \sim 3$ [Komatsu+Spergel, 2001]

大規模構造での原始非ガウス性

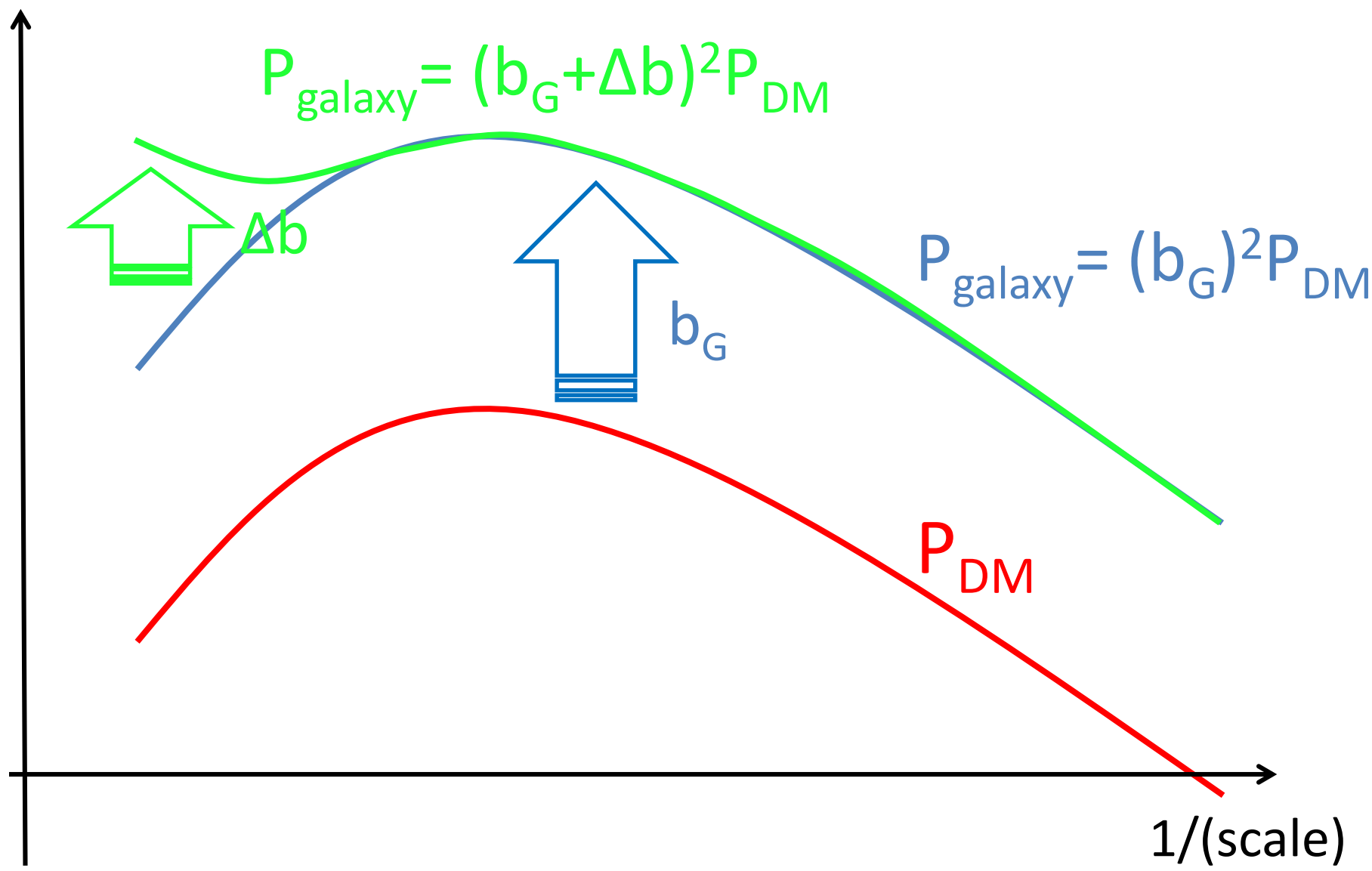
- 原始非ガウス性 → スケールに依存するバイアス

[Dalal+(2008), Desjacques+(2009)]

$$\Delta b = \frac{2f_{\text{NL}}\delta_c}{\mathcal{M}D_+} (b_L - 1) - \frac{1}{\delta_c} \frac{d}{d \ln \nu} \left(\frac{dn/dM}{dn_G/dM} \right)$$



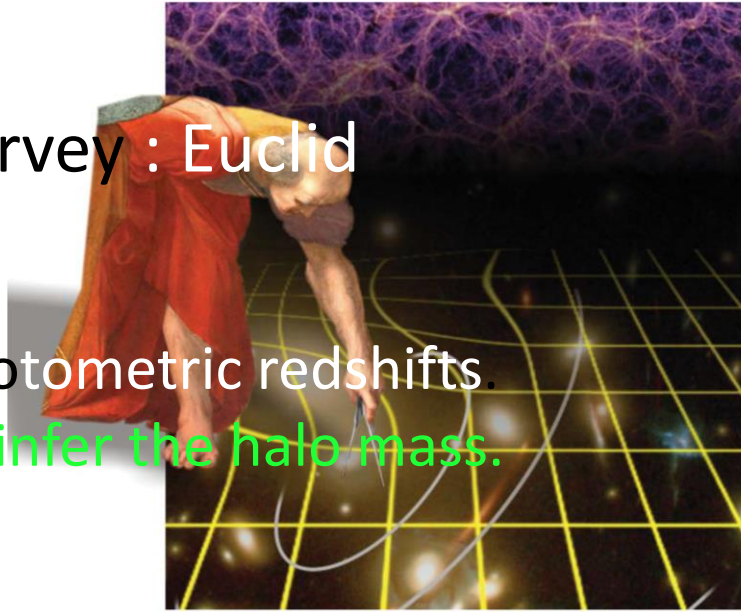
(amplitude)



Survey design

➤ Optical/infrared photometric survey : Euclid

- Covers **15,000 [deg²]** and **$z < 2.5$** .
- Provides **redshift information** via photometric redshifts.
- We use various galaxy properties **to infer the halo mass**.



➤ Radio continuum survey : SKA phase-1/2

- Covers **30,000 [deg²]** out to high- z (**$z < 5$**).
- The redshift information is **not available**.
- Halo mass can be estimated from **the galaxy type**.

[Ferramacho+ (2014)]

➤ SKA+Euclid : 9,000 [deg²]



質量-観測量関係

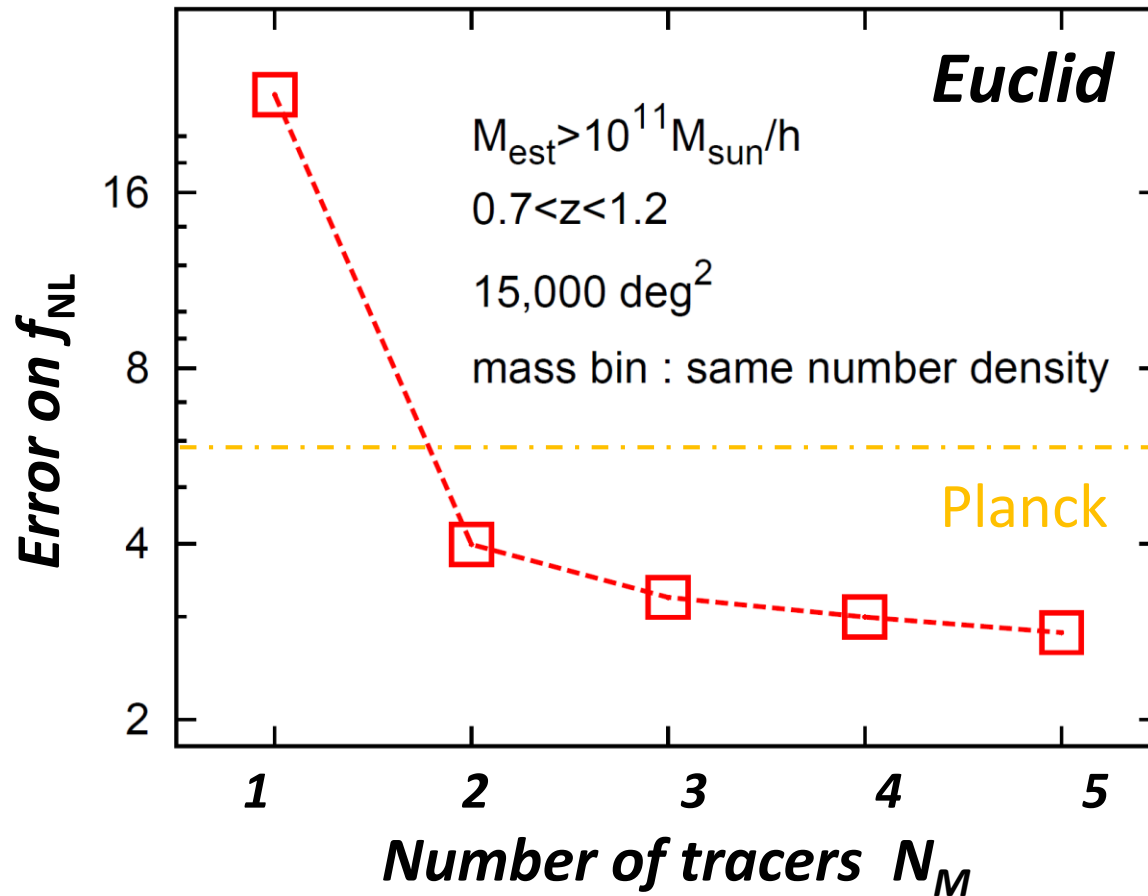
推定した質量 M_{obs} と真の質量 M は系統誤差が含まれる:

$$p(M_{\text{obs}}|M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln M}} \exp\left[-x^2(M_{\text{obs}}; M)\right]$$

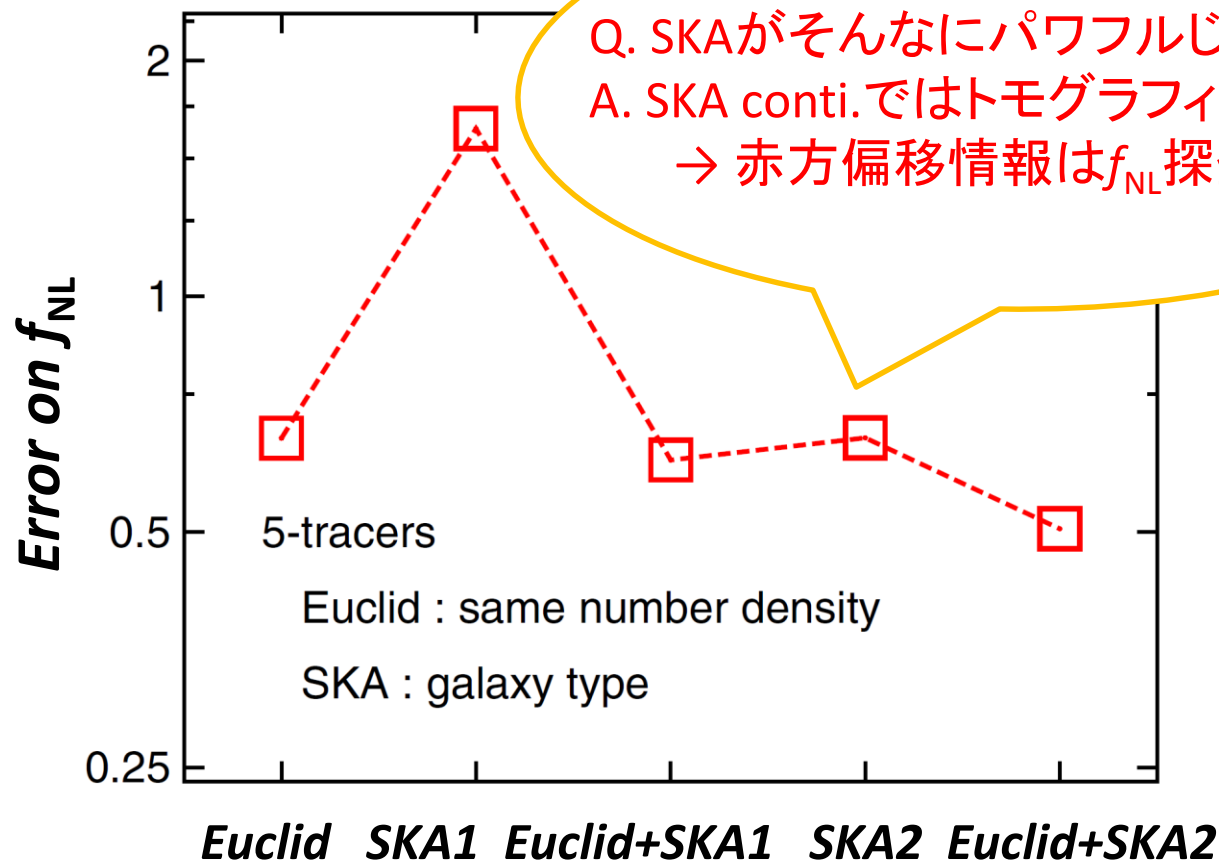
$$\text{ここで、 } x(M_{\text{obs}}; M) = \frac{\ln M_{\text{obs}} - \ln M - \ln M_{\text{bias}}}{\sqrt{2}\sigma_{\ln M}}$$

$$\text{系統誤差} \left\{ \begin{array}{l} \ln M_{\text{bias}}(M, z) = \ln M_{\text{b},0} \\ \quad + \sum_{i=1}^3 q_{\text{b},i} \left[\ln \left(\frac{M}{M_{\text{piv}}} \right) \right]^i + \sum_{i=1}^3 s_{\text{b},i} z^i, \\ \sigma_{\ln M}(M, z) = \sigma_{\ln M,0} \\ \quad + \sum_{i=1}^3 q_{\sigma_{\ln M},i} \left[\ln \left(\frac{M}{M_{\text{piv}}} \right) \right]^i + \sum_{i=1}^3 s_{\sigma_{\ln M},i} z^i. \end{array} \right.$$

マルチトレーサー法は働く



サーベイごとの f_{NL} の推定誤差



SKAの決定精度向上に向けて...

➤ 赤方偏移情報の重要性:

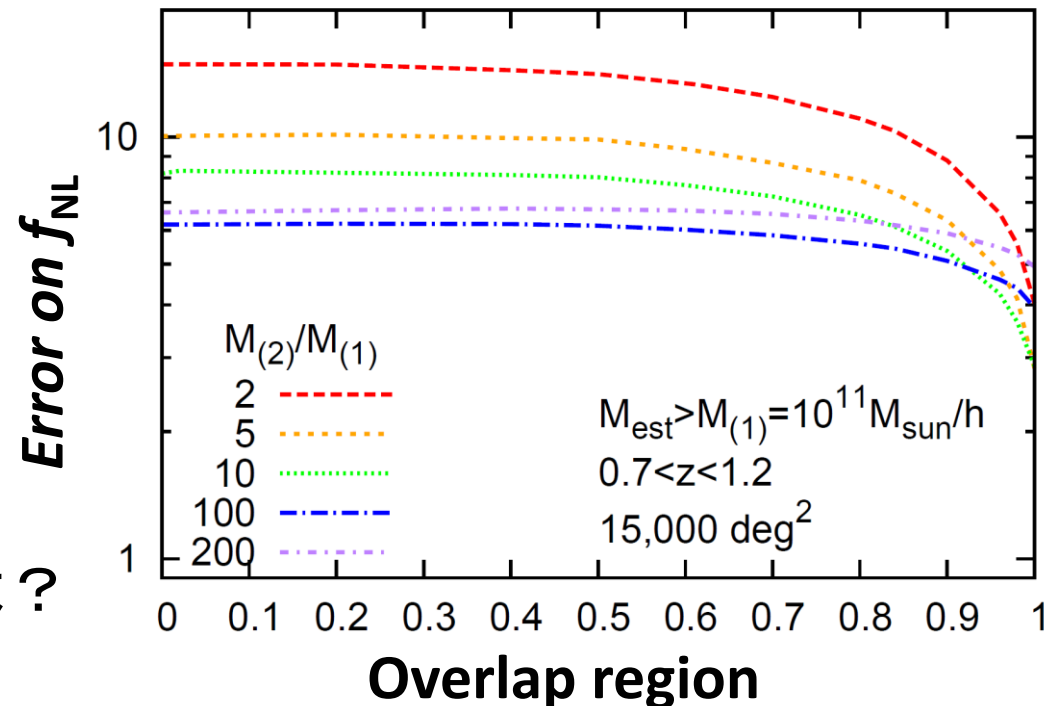
- ✓ SKA銀河赤方偏移サーベイでは？
- ✓ 光赤外観測によるcross-ID → SKA銀河の赤方偏移を同定

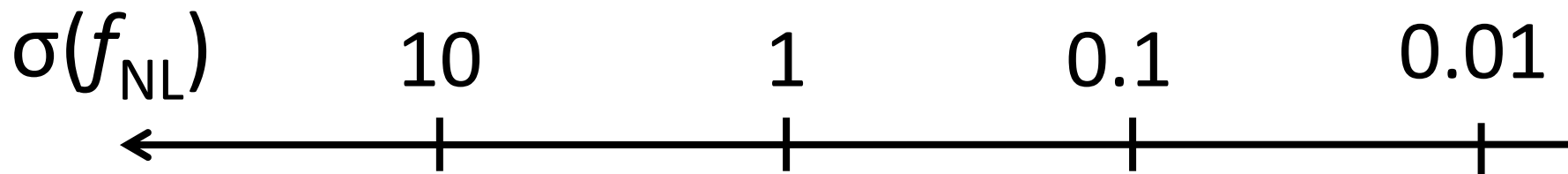
➤ 質量ビンの分け方を改善:

- ✓ 電波観測における質量推定法？

➤ 別の手法？

- ✓ 強度マッピング法では？





多様なインフレーション模型

揺らぎの
非線形性

最も単純
な模型

Planck衛星

SKA1

SKA2

SKA2
+他観測

1. マルチトレーサー法とは？

2. 応用：原始非ガウス性 f_{NL}

➤ SKA+Euclid $\rightarrow \sigma(f_{\text{NL}}) \sim \mathcal{O}(0.1)$

3. さらなる応用(?)

➤ 高次非ガウス性 $\tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}$

➤ 修正重力理論探査

(局所型)高次原始非ガウス性

g_{NL} & τ_{NL} : 4点関数を特徴付ける

(参考 f_{NL} : 3点関数)

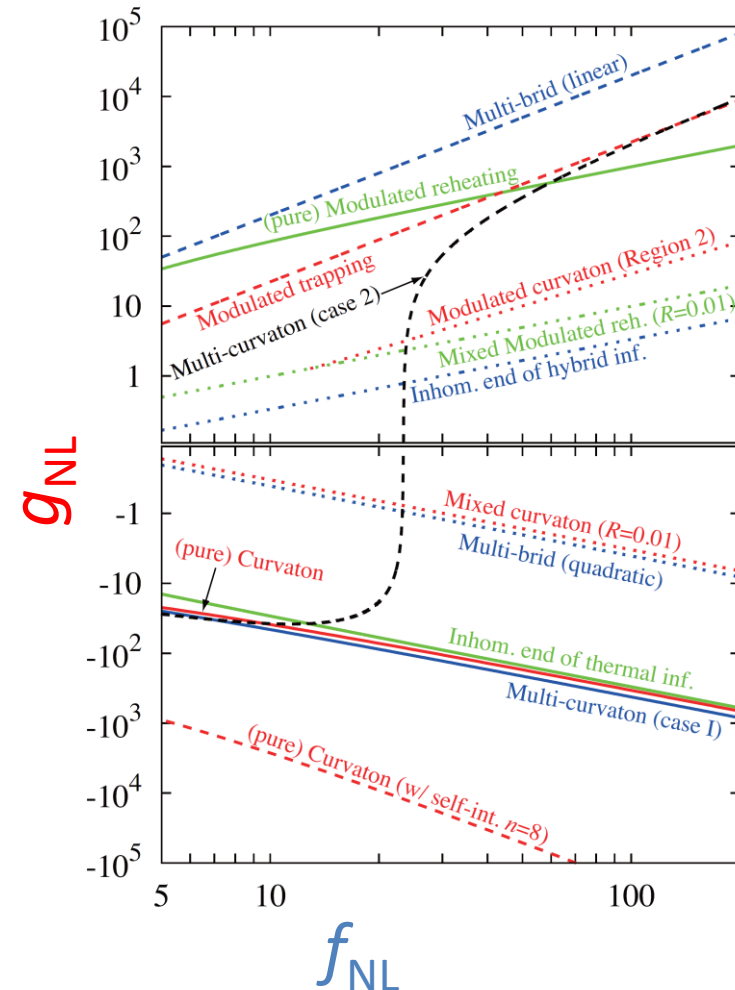
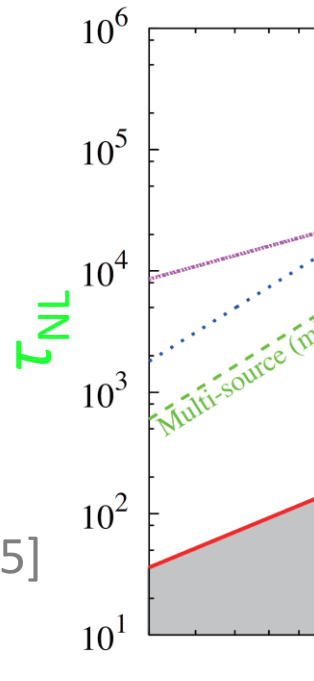


無矛盾条件
(須山-山口不等式)

$$\tau_{\text{NL}} \geq (36/25)(f_{\text{NL}})^2$$

[Suyama+Yamaguchi, PRD77, 023505]

[cf. Sugiyama+(2011)]



スケールに依存するバイアス

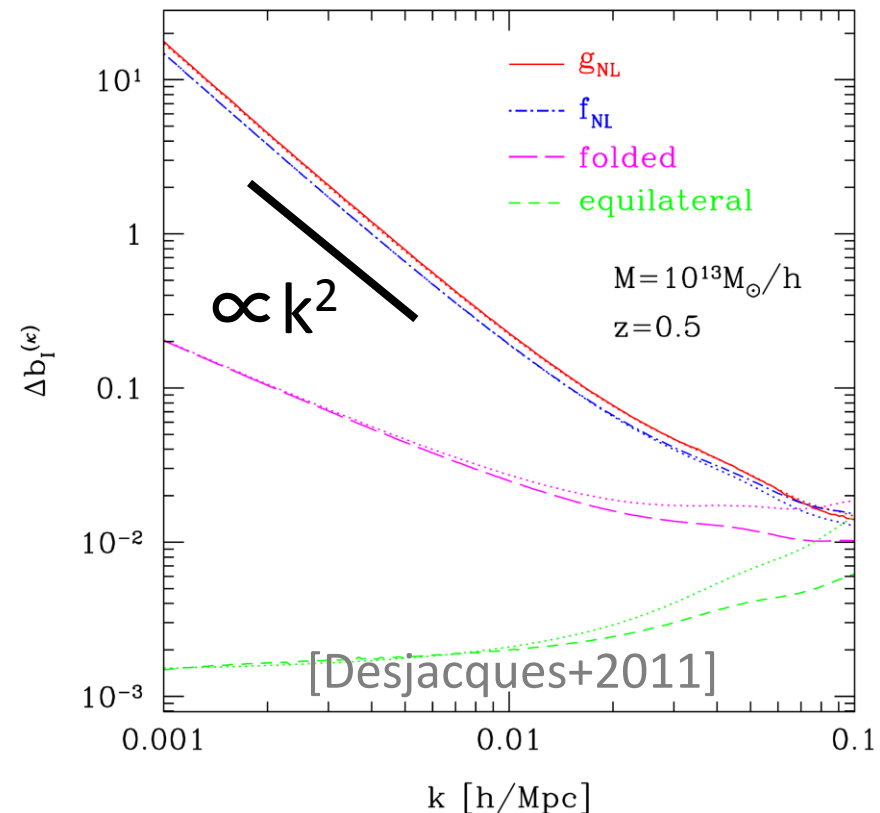
✓ $f_{\text{NL}} \rightarrow \Delta b[f_{\text{NL}}] \propto 1/k^2$

✓ $g_{\text{NL}} \rightarrow \Delta b[g_{\text{NL}}] \propto 1/k^2$

✓ $\tau_{\text{NL}} \rightarrow \Delta b[\tau_{\text{NL}}] \propto 1/k^4$

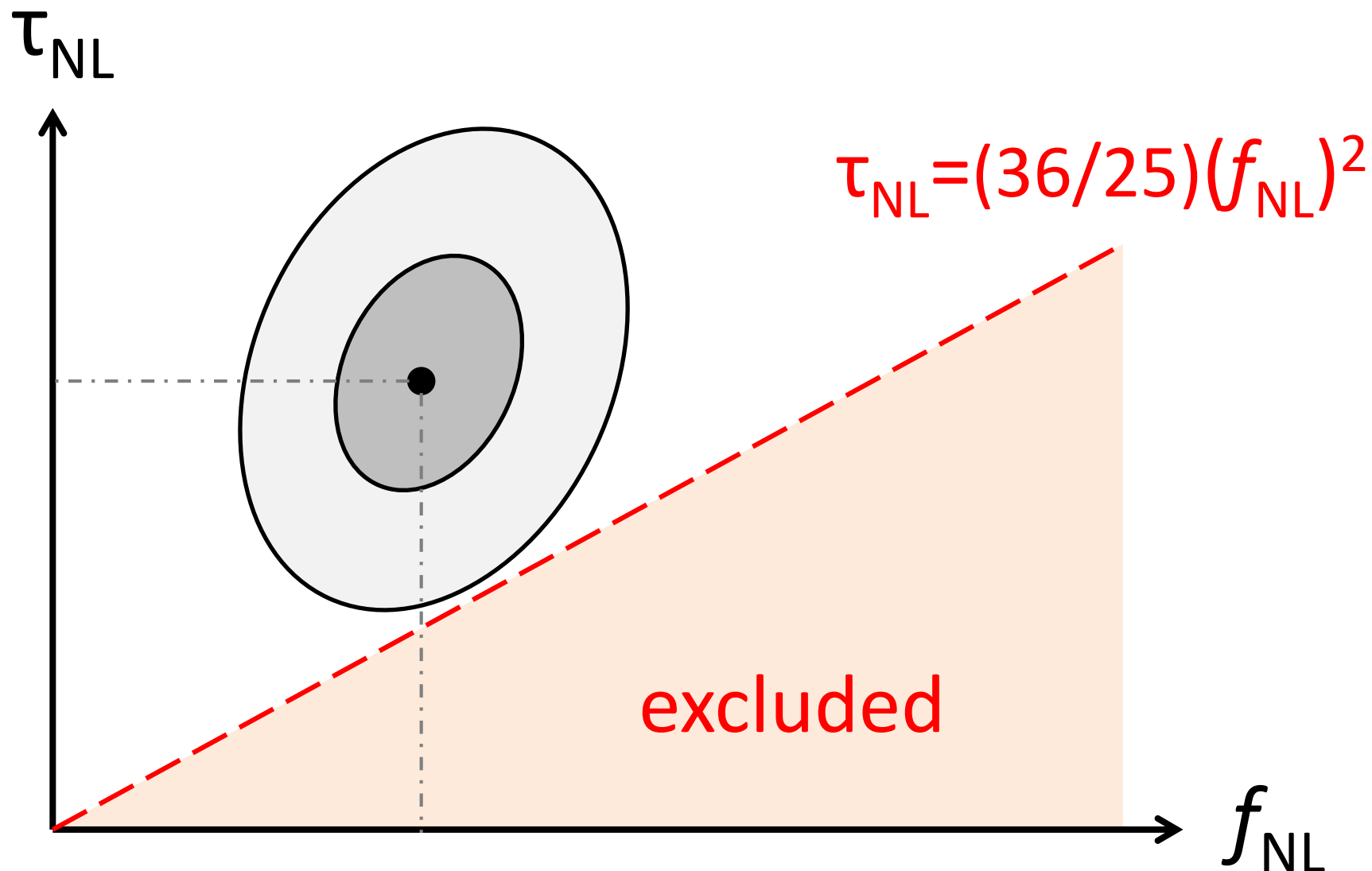
✓ 非局所型 $\rightarrow$ 弱い依存性

バイアスを通じて探査可能！



f_{NL} と g_{NL} はスケール依存性で縮退するが、
マルチトレーサー法を用いることで縮退を解くことができる

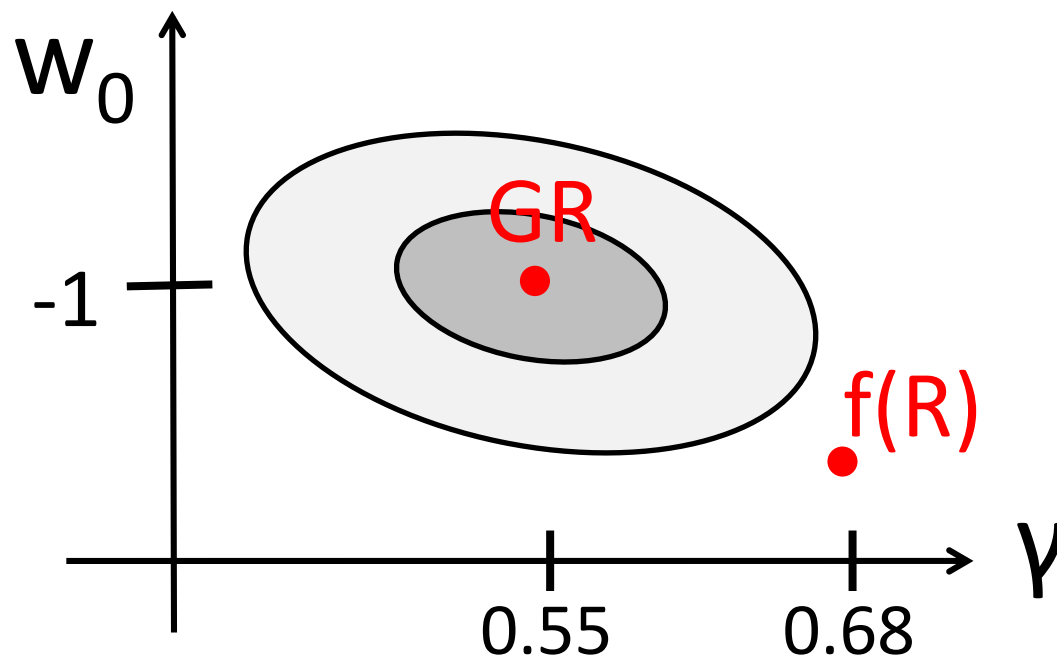
こんな図が書きたい



RSD → 一般相対論テスト

$$\delta_g^{(s)}(\mathbf{k}, \mu) = \underbrace{(b_g + f\mu^2)}_{\text{Effective bias } b} \delta(\mathbf{k}) + \underbrace{\epsilon}_{\text{Shot noise}}$$

- $\beta = f/b_g$ の決定精度はパワースペクトル付随のサンプルバリエーションに依存 → マルチトレーサー法



まとめ

➤マルチトレーサー法: コズミックバリエーションによらない!

- SKA+Euclid $\rightarrow \sigma(f_{\text{NL}}) \sim 0.5$

➤SKA高精度化?

- 赤方偏移
 $\rightarrow$ SKA赤方偏移サーベイ/強度マッピング法では?
- 質量推定法?

➤将来?

- 高次原始非ガウス性: $g_{\text{NL}}, \tau_{\text{NL}}, n_{\text{fNL}}, \dots \rightarrow$ バイアス?
- 成長率 $f \rightarrow$ GRのテスト