

Generalized local ansatz for
scale-dependent
primordial non-Gaussianities
and future galaxy surveys



山内大介

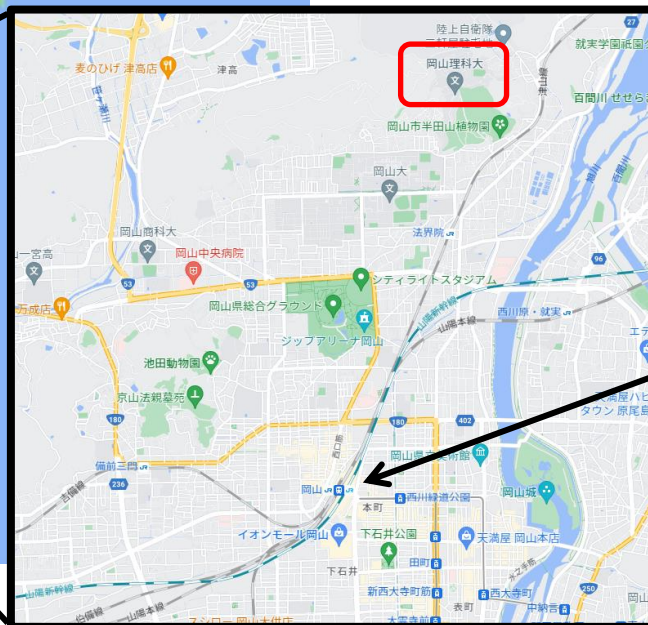
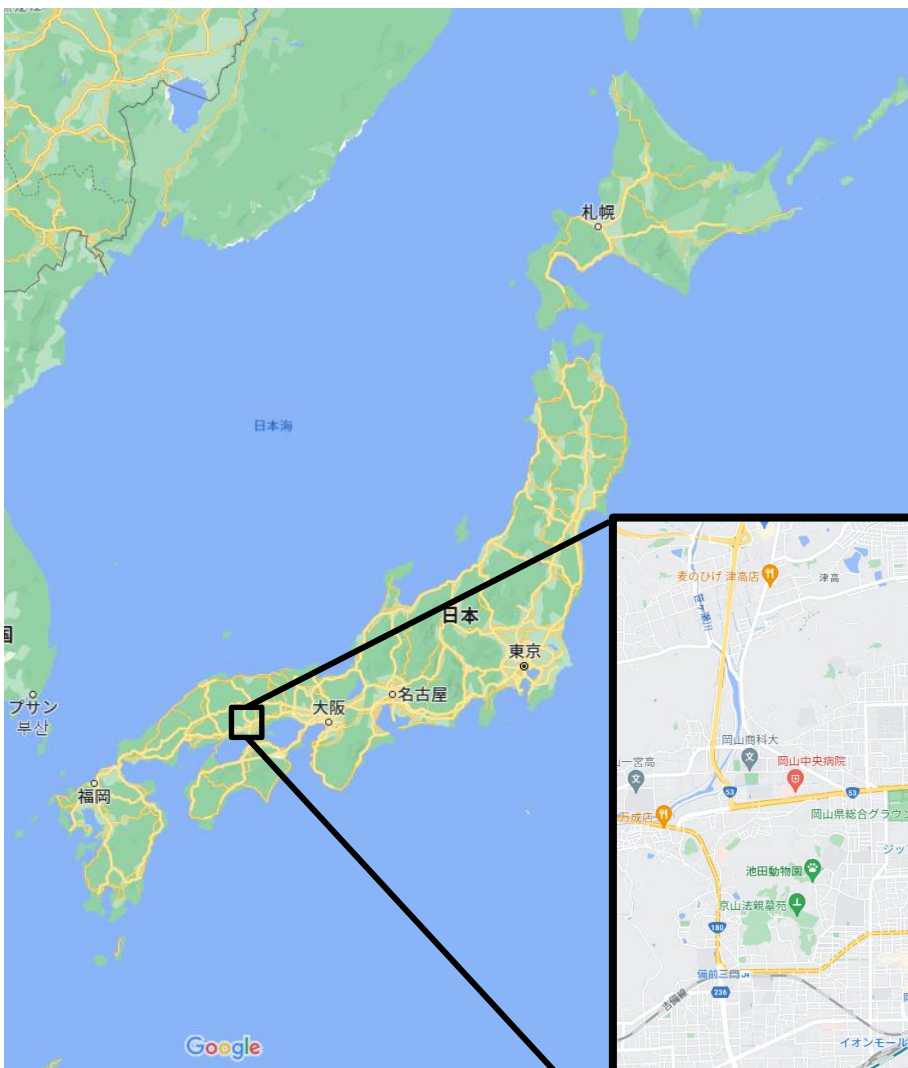
神奈川大学 → 岡山理科大学 (4/1より)

DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123

新しく研究室を立ち上げます！

□ **岡山理科大学**
理学部 物理学科
宇宙理論・重力理論
研究室

よろしくお願いします！



Take-Home Message

- 超ホライズンスケールでのスカラー場の進化による局所型原始非ガウス性(f_{NL} , τ_{NL} , g_{NL} タイプ)のスケール依存性を導出
- スケール依存性をパラメータ化した局所型非ガウス性を提案
- SKAによる銀河パワースペクトルやバイスペクトル測定への局所型原始非ガウス性のスケール依存性の影響を同定

原始非ガウス性はスケール依存性を持つか？

□ ポイント：

$$B_{\zeta}(k_1, k_2, k_3) = \frac{6}{5} f_{\text{NL}} P_{\zeta}(k_1) P_{\zeta}(k_2) + (\text{perms})$$

◆ スカラー場のslow-rollの最低次で妥当

→ $O(\varepsilon)$ のスケール依存性は存在

◆ 超ホライズンでの振る舞いで k 依存性を持つ

→ どの波数に依存するかを明白にする必要

Warm-up : 単一スカラー場

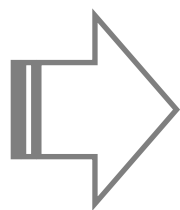
□ 超ホライズンスカラー場揺らぎ

$$\delta\phi(t, \mathbf{k}) \approx \frac{H(t)}{\sqrt{2k^3}} \left(\frac{k}{a(t)H(t)} \right)^{\eta-3\epsilon}$$

□ Horizon-crossing time $t_*(k)$

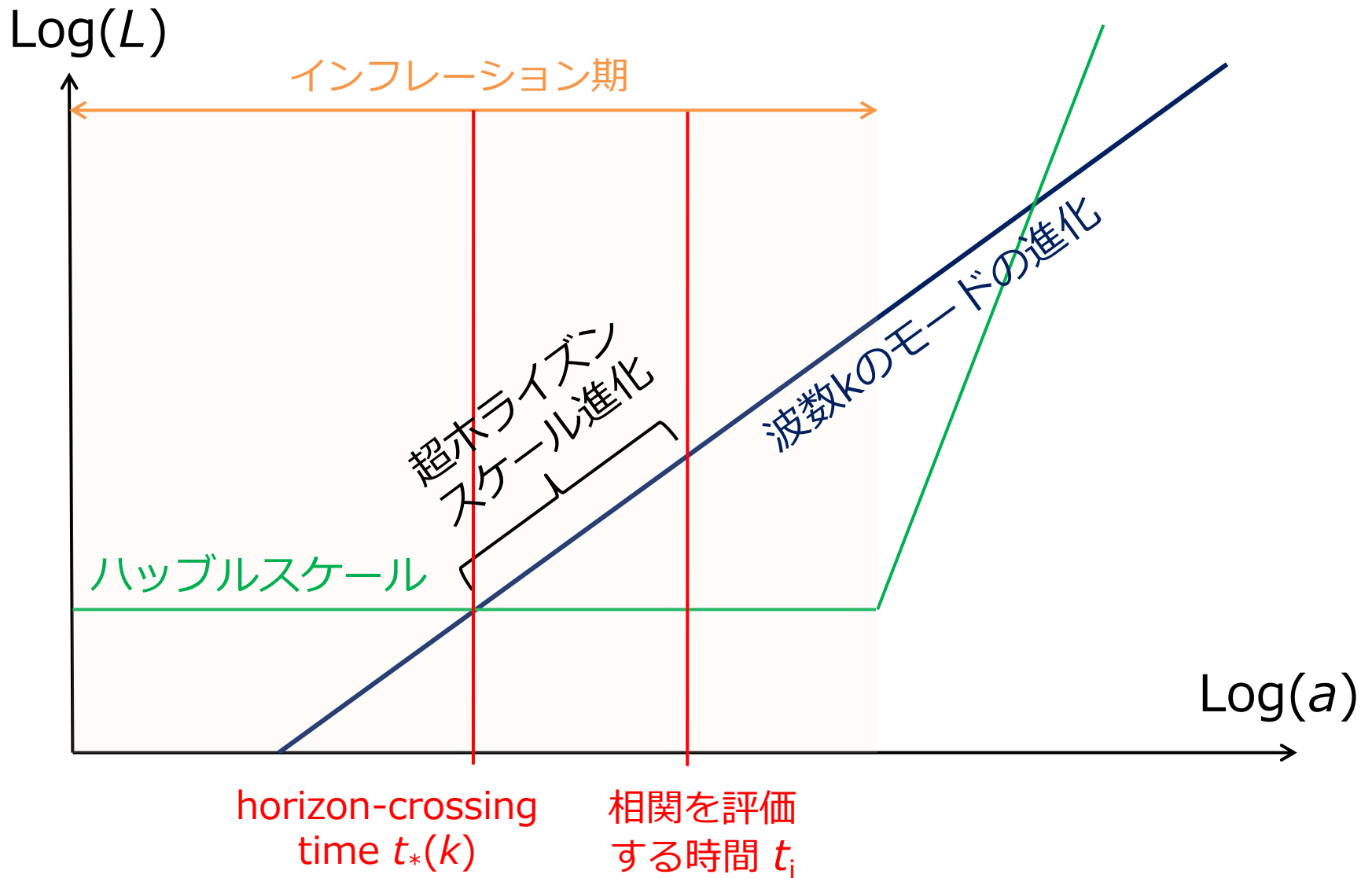
$$a(t_*(k))H(t_*(k)) = k$$

スケール依存性



$$\delta\phi(t_*(k), \mathbf{k}) \approx \frac{H(t_*(k))}{\sqrt{2k^3}}$$

超ホライズンスケールでの進化



Warm-up : 単一スカラー場

- 曲率揺らぎとの関係 : δN 公式 [N:e-fold数]

$$\zeta(t_f, \mathbf{k}) \approx N_\phi(t_f, t_i) \delta\phi(t_i, \mathbf{k}) + \dots$$

(注意) 曲率揺らぎ ζ は評価時間 t_i には依存しない


- 曲率揺らぎパワースペクトル スケール依存性

$$P_\zeta(t_f, k) \approx N_\phi^2(t_f, t_*(k)) \frac{H^2(t_*(k))}{2k^3}$$

非同時刻相関 = スケール依存性

□ バイスpekトル → 非同時刻相関 × 2

$$\begin{aligned} \langle \zeta(\mathbf{k}_1)\zeta(\mathbf{k}_2)\zeta(\mathbf{k}_3) \rangle &= \frac{1}{2} N_\phi(t_*(k_1)) N_\phi(t_*(k_2)) N_{\phi\phi}(t_*(k_3)) \\ &\times \int \frac{d^3\mathbf{q}}{(2\pi)^3} \langle \delta\phi(t_*(k_1), \mathbf{k}_1) \delta\phi(t_*(k_2), \mathbf{k}_2) \delta\phi(t_*(k_3), \mathbf{k}_3 - \mathbf{q}) \delta\phi(t_*(k_3), \mathbf{q}) \rangle + \dots \end{aligned}$$


非同時刻相関
非同時刻相関

□ 非同時刻相関 = 同時刻相関 × スケール依存性

$$\langle \delta\phi(t_*(k), \mathbf{k}) \delta\phi(t_*(q), \mathbf{k}') \rangle = \left(\frac{q}{k}\right)^{2\epsilon-\eta} \langle \delta\phi(t_*(k), \mathbf{k}) \delta\phi(t_*(k), \mathbf{k}') \rangle$$

$$\delta\phi(t, \mathbf{k}) \approx \frac{H(t)}{\sqrt{2k^3}} \left(\frac{k}{a(t)H(t)} \right)^{\eta-3\epsilon}$$

超ホライズンスケールでの進化によるスケール依存性 (単一場)

[DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123]

□ バイスpekトル (3点相関)

$$B_{\zeta}(k_1, k_2, k_3) = \frac{6}{5} f_{\text{NL}} \left(\frac{k}{k_{\text{piv}}} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{s}}} P_{\zeta}(k_1) P_{\zeta}(k_2) + (\text{cyc.})$$

□ トライspekトル (4点相関)

$$T_{\zeta}(k_1, k_2, k_3, k_4) = \tau_{\text{NL}} \left(\frac{k_3 k_4}{k_{\text{piv}}^2} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{s}}} P_{\zeta}(k_1) P_{\zeta}(k_2) P_{\zeta}(k_3) + (11 \text{ perms})$$
$$+ \frac{54}{25} g_{\text{NL}} \left(\frac{k_3}{k_{\text{piv}}} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{g}}} P_{\zeta}(k_1) P_{\zeta}(k_2) P_{\zeta}(k_3) + (3 \text{ perms})$$

slow-rollの1次の精度で**必ず**この形になる！

超ホライズンスケールでの進化によるスケール依存性 (複数場)

[DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123]

□ バイスpekトル (3点相関)

$$\frac{6}{5} \hat{f}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3) = \boxed{\Pi^I(k_1) \Pi^J(k_2)} \Theta_{IJ}(k_3)$$

□ トライspekトル (4点相関)

$$\hat{\tau}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3, k_4) = \boxed{\Pi^I(k_1) \Pi^J(k_2)} \Theta_{IK}(k_3) \Theta_{JL}(k_4) \boxed{\Gamma^{KL}(k_{13})}$$

$$\frac{54}{25} \hat{g}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3, k_4) = \boxed{\Pi^I(k_1) \Pi^J(k_2) \Pi^K(k_3)} \Theta_{IJK}(k_4)$$

複数場の影響によって他の波数の依存性が現れる

⇒ 単一場/複数場を見分けられる！

原始非ガウス性のスケール依存性の現象論的公式の提案

[DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123]

一般形のままでは見通しが悪い → **現象論公式**を提案

□ バイスpekトル (3点相関)

$$\hat{f}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3) = f_{\text{NL}} \left(\frac{k_1 k_2}{k_{\text{piv}}^2} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{m}}} \left(\frac{k_3}{k_{\text{piv}}} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{s}}}$$

□ トライspekトル (4点相関)

$$\hat{\tau}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3, k_4) = \tau_{\text{NL}} \left(\frac{k_1 k_2 k_{13}}{k_{\text{piv}}^3} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{m}}} \left(\frac{k_3 k_4}{k_{\text{piv}}^2} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{s}}}$$

$$\hat{g}_{\text{NL}}(k_1, k_2, k_3, k_4) = g_{\text{NL}} \left(\frac{k_1 k_2 k_3}{k_{\text{piv}}^3} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{m}}} \left(\frac{k_4}{k_{\text{piv}}} \right)^{n_{\text{NL}}^{\text{s}}}$$

モデル

[Byrnes+Enqvist+Takahashi(2010)
Byrnes+Enqvist+Nurmi+Takahashi(2011)
Kobayashi+Takahashi(2012),...]]

◆ インフラトン+カーバトン

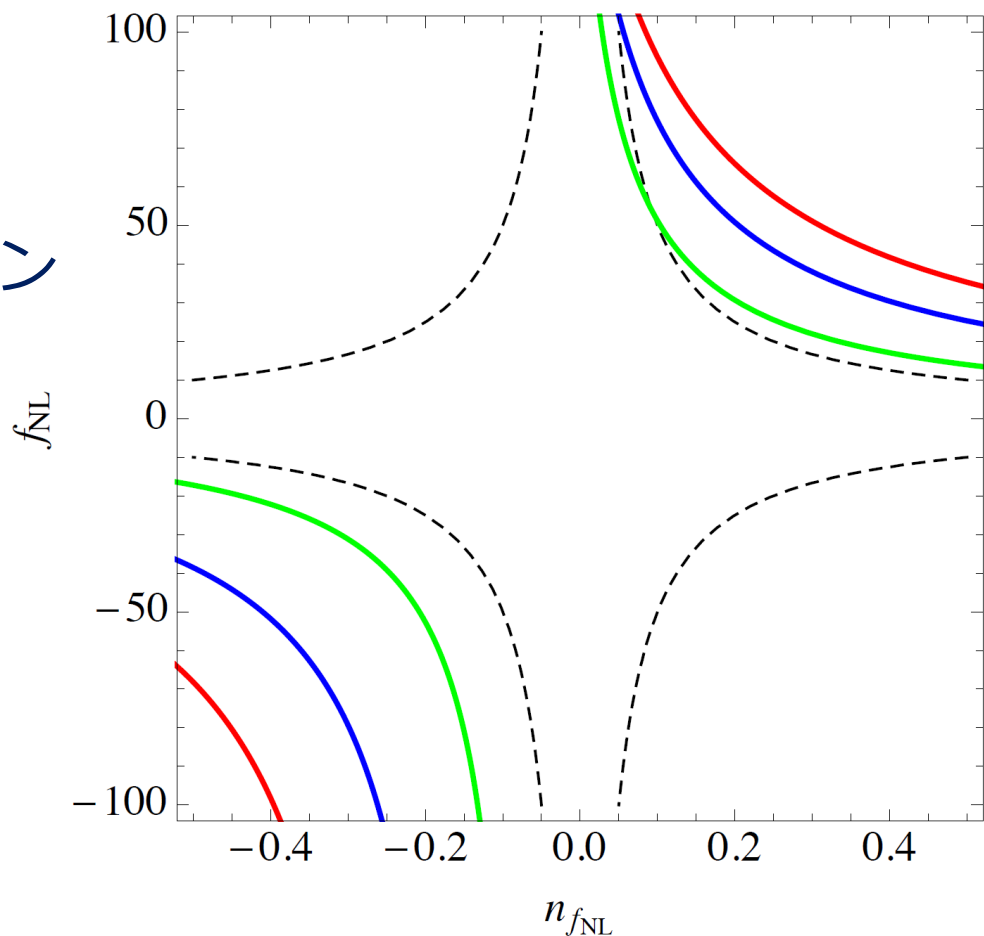
□ $(f_{\text{NL}}, n_{\text{NL}}^{\text{m}})$ で制限可

◆ 自己相互作用するカーバトン

□ $(f_{\text{NL}}, n_{\text{NL}}^{\text{s}})$ で制限可

$$f_{\text{NL}} n_{\text{NL}} \sim \frac{V''''}{3H^2}$$

$$V(\sigma) = \Lambda^4 \left[\left(\frac{\sigma}{f} \right)^2 + \left(\frac{\sigma}{f} \right)^m \right]$$



銀河サーベイへの影響

[Matsubara(2012)]

□ 銀河パワースペクトル (バイスペクトルは略)

$$\frac{P_{\text{gg}}(\mathbf{k})}{P_{\text{L}}(k)} = [b_1 + \Delta b_f(k)] [b_1 + \Delta b_f(k)] + \left[\frac{25\tau_{\text{NL}}}{36(f_{\text{NL}})^2} \left(\frac{k}{k_{\text{piv}}} \right)^{-n_{\text{NL}}^{\text{m}}} - 1 \right] (\Delta b_f(k))^2$$

◆ スケール依存するバイアスを誘起

$$\Delta b_f(k) \propto f_{\text{NL}} k^{-2+n_{\text{NL}}^{\text{m}}}$$

□ n_{NL}^{m} → スケール依存性を誘起

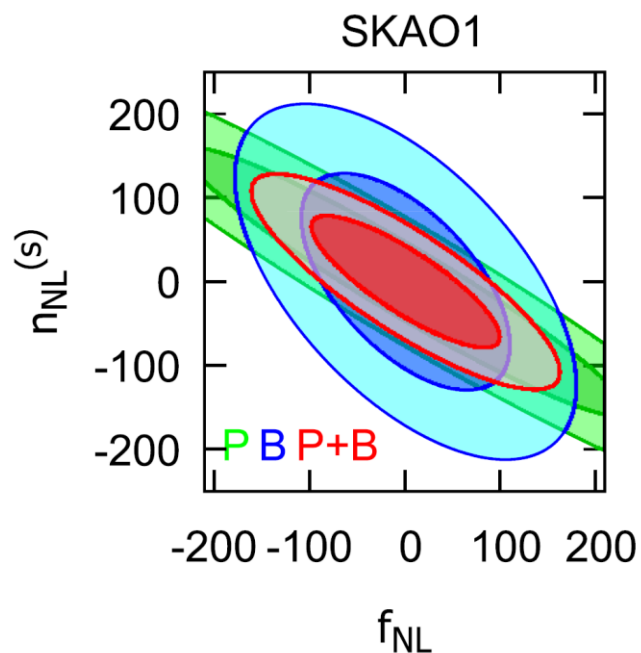
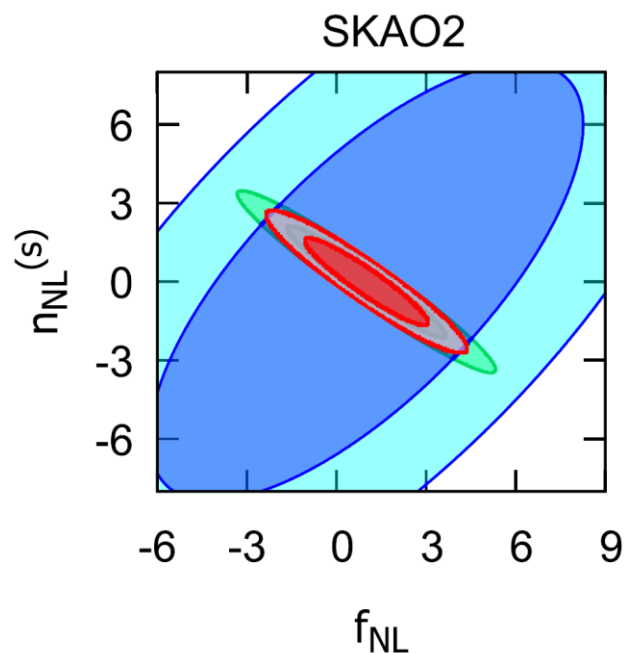
□ n_{NL}^{s} → 誘起しない (銀河質量依存性のみを生む)

単一場模型の決定精度

[DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123]

$$\{ f_{\text{NL}}, n_{\text{NL}}^s, n_{\text{NL}}^m, \tau_{\text{NL}}, g_{\text{NL}}, n_{\text{NL}}^g \}$$

$$+ \{ b_1(z_1), \dots, b_1(z_{\text{zbin}}), b_2(z_1), \dots, b_2(z_{\text{zbin}}) \}$$



$n_{\text{NL}}^s \rightarrow$ バイアス
にスケール依存性
を誘起しない



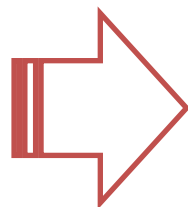
P_{gg} 解析では n_{NL}^s
は 決まりにくく、
 B_{ggg} 解析が有利

複数場モデルの決定精度

[DY, S.Yokoyama, T.Takahashi, PASJ, psab108, arXiv:2108.12123]

	<i>P</i> alone	<i>B</i> alone	<i>P</i> + <i>B</i> combined
— SKAO2 —			
$\sigma(f_{\text{NL}})$	11(0.53)	18(3.4)	3.5(0.53)
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{s}})$	7.9(0.38)	10(3.8)	1.5(0.38)
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{m}})$	1.3(0.20)	7.1(0.84)	1.1(0.19)
$\sigma(\tau_{\text{NL}})$	38(11)	$5.7 \times 10^2(2.1 \times 10^2)$	33(11)
$\sigma(g_{\text{NL}})$	$1.3 \times 10^6(5.7 \times 10^4)$	$9.5 \times 10^3(2.7 \times 10^3)$	$8.7 \times 10^3(2.7 \times 10^3)$
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{g}})$	$1.9 \times 10^5(8.0 \times 10^3)$	$6.4 \times 10^3(1.9 \times 10^3)$	$5.8 \times 10^3(1.8 \times 10^3)$
— SKAO1 —			
$\sigma(f_{\text{NL}})$	$9.5 \times 10^2(45)$	$1.9 \times 10^2(59)$	$1.2 \times 10^2(36)$
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{s}})$	$9.4 \times 10^2(31)$	$1.9 \times 10^3(69)$	$1.1 \times 10^2(28)$
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{m}})$	88(35)	$1.4 \times 10^2(35)$	71(25)
$\sigma(\tau_{\text{NL}})$	$1.5 \times 10^5(4.8 \times 10^4)$	$2.0 \times 10^5(5.7 \times 10^4)$	$1.1 \times 10^5(3.7 \times 10^4)$
$\sigma(g_{\text{NL}})$	$3.5 \times 10^7(1.2 \times 10^6)$	$9.6 \times 10^5(2.3 \times 10^5)$	$6.8 \times 10^5(2.3 \times 10^5)$
$\sigma(n_{\text{NL}}^{\text{g}})$	$7.0 \times 10^6(1.8 \times 10^5)$	$6.5 \times 10^5(1.6 \times 10^5)$	$3.9 \times 10^5(1.2 \times 10^5)$

$n_{\text{NL}}^{\text{m}} \rightarrow$ バイアス
にスケール依存性
を誘起する



P_{gg} 解析で n_{NL}^{m} は
よく決まる

まとめ

- 超ホライズンスケールでのスカラー場の進化による局所型原始非ガウス性(f_{NL} , τ_{NL} , g_{NL} タイプ)のスケール依存性を導出
- スケール依存性をパラメータ化した局所型非ガウス性を提案
- SKAによる銀河パワースペクトルやバイスペクトル測定への局所型原始非ガウス性のスケール依存性の影響を同定