

ハロー・密度揺らぎの相関量から探る原始非ガウス性 増光効果の影響について

並河 俊弥 （東大理）

本研究の動機

初期宇宙の情報を、大規模構造の観測から引き出したい

原始揺らぎの性質は、大規模構造の観測量に反映される

- ハローバイアスの特徴的なスケール、赤方偏移依存性 $b(k, z) \propto \frac{1}{k^2 D(z)}$
- 相関係数 $\frac{P_{hm}^2}{P_{hh}P_{mm}} \neq 1$ 統計性の異なる複数の場が揺らぎを生成する場合

* これらの影響は大スケールにおいて顕著になる

これら大規模構造の観測量から、揺らぎの生成モデルを制限、選別できる可能性がある（単一場 or 複数場 など）

- ハロー・密度揺らぎの相関を含む観測

ハロー（銀河） & 重力レンズ $\left\{ \begin{array}{l} \text{CMB レンズング} \\ \text{銀河の弱重力レンズ} \end{array} \right.$ など

本研究の目的

一方、銀河を含む観測量は、**大スケール**かつ **high-z** において弱重力レンズによる**増光効果**の影響を受ける

$$\delta_g = b\delta_m + (5s - 2)\kappa$$

* 増光効果により、本来の揺らぎとは別の成分が加わる

銀河を用いた観測量から原始非ガウス性を測定するさい、非ガウス性の影響も**大スケール**で現れるため、増光効果を考慮する必要がある

- ・ 目的

本研究では、ハローバイアスや相関係数を用いて非ガウス性を調べるさいに**増光効果が及ぼす影響を評価する**

原始非ガウス性の影響

ガウス統計からのずれを次のように表現する

$$\text{Single} \quad \Phi(x) = \phi(x) + f_{\text{NL}}[\phi^2(x) - \langle \phi^2 \rangle]$$

ϕ : ガウス場

$$\text{Multi} \quad \Phi(x) = \phi_1(x) + \phi_2(x) + f_{\text{NL}}[\phi_2^2(x) - \langle \phi_2^2 \rangle]$$

Φ : 重力ポテンシャル

[1] ハロー・密度揺らぎ相関への影響

$$\text{Single} \quad P_{hm} = [1 + b_g + f_{\text{NL}}b_g\alpha(k, z)]P_{mm} \quad \alpha(k, z) = \frac{3\Omega_m H_0^2 \delta_c}{k^2 D(z) T(k)}$$

$$\text{Multi} \quad P_{hm} = \frac{[(1 + b_g)\xi^2 + (1 + b_g + f_{\text{NL}}b_g\alpha(k, z))]P_{mm}}{1 + \xi^2}$$

ξ : 2つの場の振幅の比(A1/A2)

[2] 相関係数への影響

$$\rho = \frac{[(1 + b_g)\xi^2 + (1 + b_g + f_{\text{NL}}b_g\alpha(k, z))]^2}{(1 + \xi^2)[(1 + b_g)^2\xi^2 + (1 + b_g + f_{\text{NL}}b_g\alpha(k, z))^2]} \quad \begin{cases} = 1 & \text{Single} \\ \neq 1 & \text{Multi} \end{cases}$$

* ハロー・密度揺らぎ相関だけでは f_{NL} と ξ が縮退するが、相関係数まで見れば、単一場と複数場が区別できるかもしれない

CMB Lensing, Cosmic Shear and Galaxy Clustering

レンズされたCMBの揺らぎ

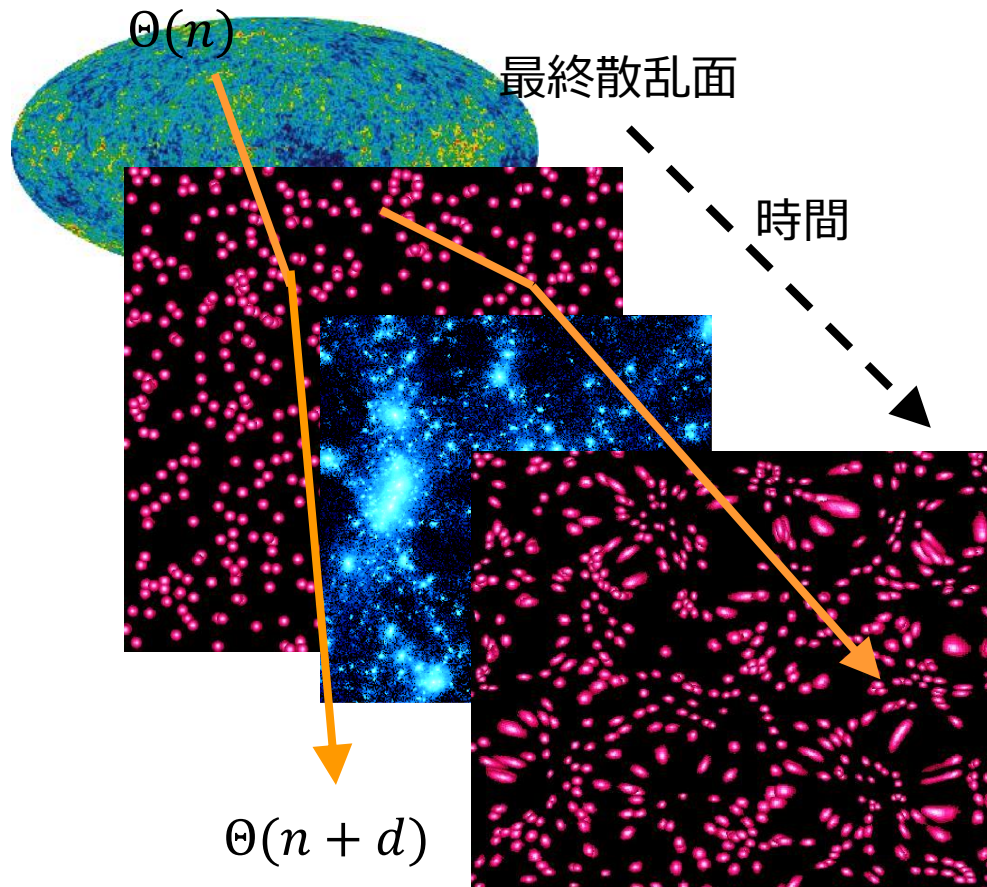
楕円率

銀河の個数密度

曲がり角 d

シア γ

銀河の個数密度揺らぎ δ_g



観測量 $\Theta, E, d, \gamma, \delta_g$

パワースペクトル

$$C_{\ell}^{XY} = \langle X_{\ell m} Y_{\ell m}^* \rangle$$

Magnification Effect

増光による銀河個数密度揺らぎへの影響

$$\delta_g = b\delta_m + (5s - 2)\kappa$$

- High- z ではレンズ効果を受けやすく、密度揺らぎはあまり成長していないので増光効果の影響が強い
- レンズ効果は、密度揺らぎに比べて大スケールでピークをもつ

* 大スケールかつ high- z において増光効果が大きい

Table 4: The redshift bins, the galaxy bias b_i and the slope s_i [11].

| Sample I | $0 < z < 0.8$ | $0.8 < z < 1.6$ | $1.6 < z < 2.4$ | $2.4 < z < 3.2$ | $3.2 < z < 4.0$ | $4.0 < z < 4.8$ |
|-----------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| b_i | 1.08 | 1.37 | 2.02 | 2.90 | 3.89 | 4.81 |
| s_i | 0.15 | 0.20 | 0.31 | 0.43 | 0.54 | 0.63 |
| Sample II | $0 < z < 0.8$ | $0.8 < z < 1.6$ | $1.6 < z < 2.4$ | $2.4 < z < 3.2$ | $3.2 < z < 4.0$ | |
| b_i | 1.13 | 1.51 | 2.73 | 4.57 | 6.63 | |
| s_i | 0.19 | 0.35 | 0.86 | 1.31 | 1.75 | |

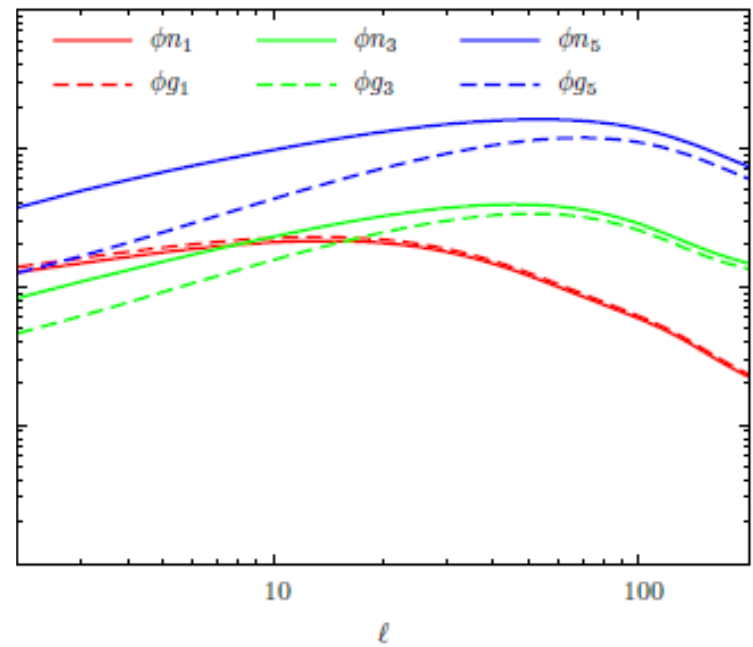
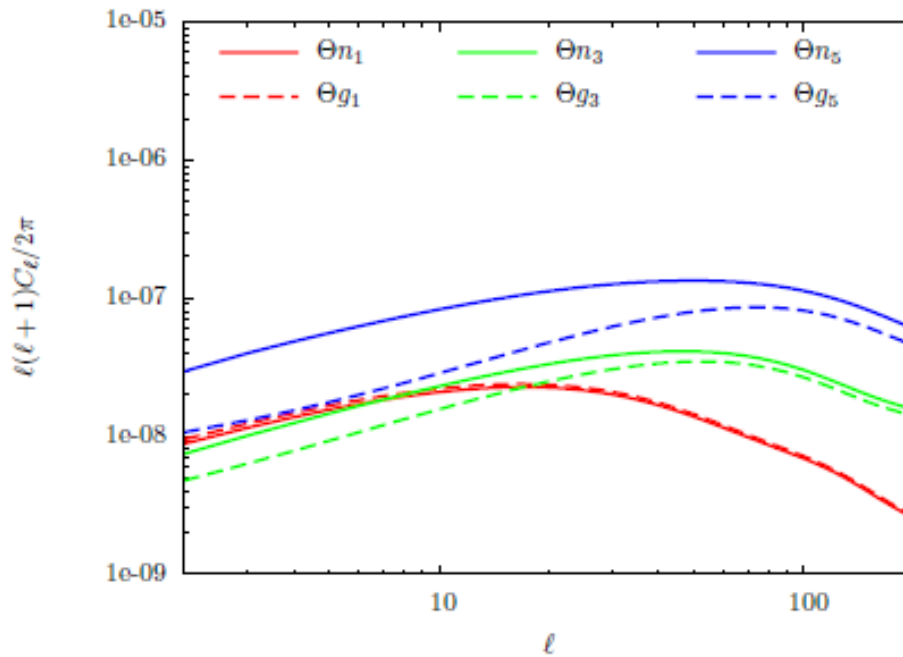
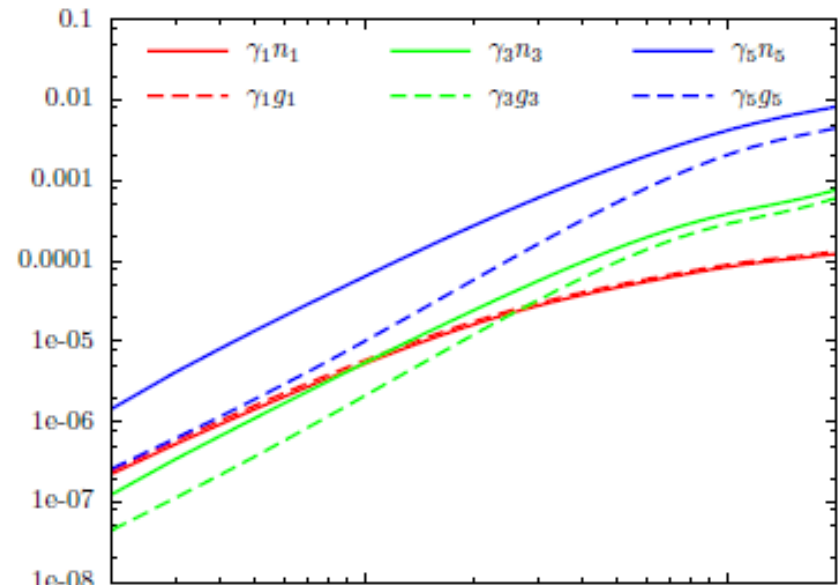
* 以降では、これらのセッティングでパワースペクトルを計算する

本研究の解析内容

- CMB レンズング、銀河の個数密度、および銀河の弱重力レンズから得られる観測量の S/N への影響
- 増光効果を無視することによる相関係数、原始非ガウス性の系統誤差の評価

Power Spectra

大スケール ($l < 10$)、high- z で増光効果の影響が効いてくることが分かる



Survey Design

- CMB ACTPol を想定

全天に対する観測領域の割合: $f_{sky} = 0.1$

角度分解能: $\theta = 1.4'$

温度・偏光に対する感度: $\Delta_T = 0.36, \Delta_P = 0.5 [\mu\text{K}/\text{pix}]$

- 銀河 LSST クラスを想定

全天に対する観測領域の割合: $f_{sky} = 0.5$

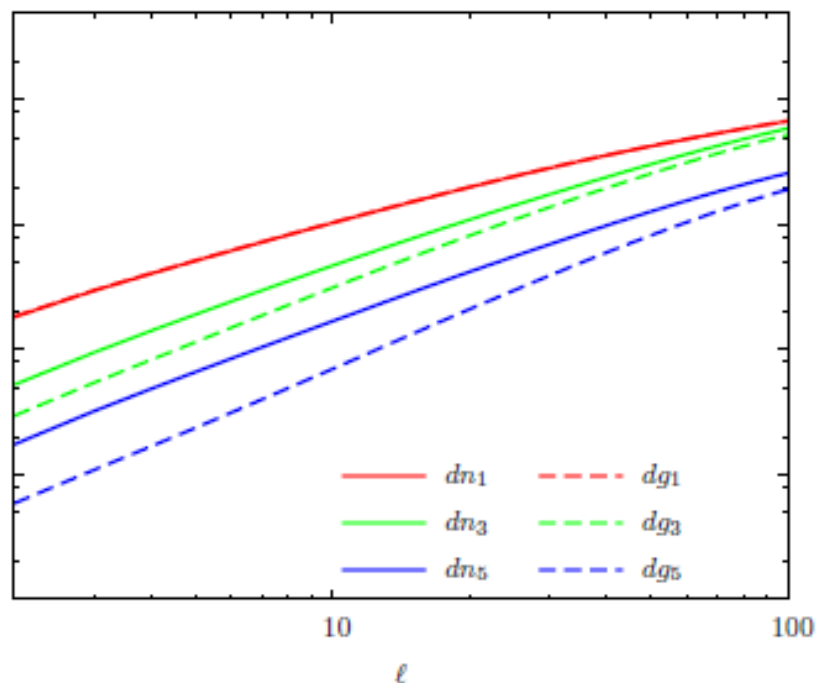
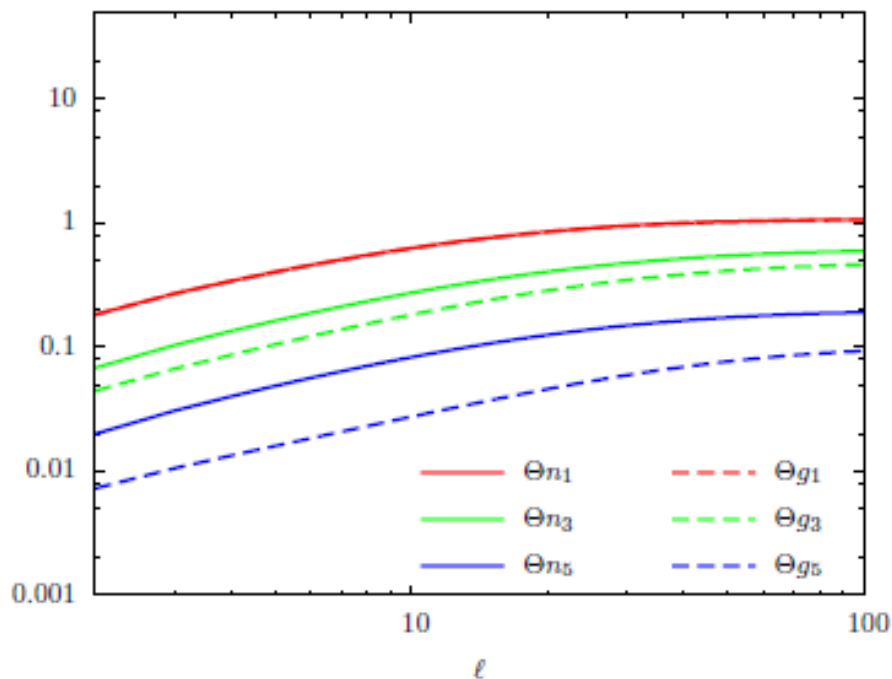
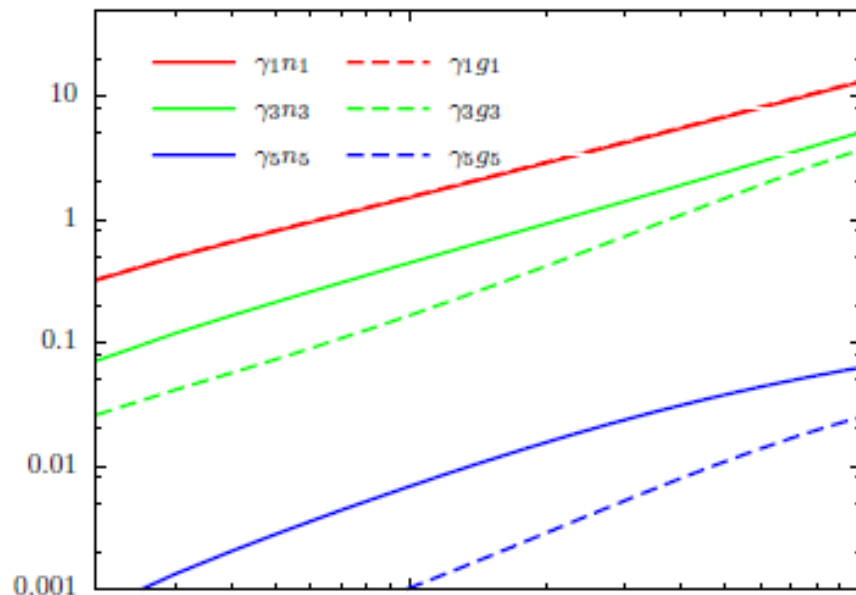
銀河の個数密度: $N = 50/\text{arcmin}^2$

これらをもとに S/N を計算する

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{<\ell}^2 = \sum_{L=2} \left(\frac{C_L}{\Delta C_L}\right)^2 \quad \Delta C_L^2 = \frac{[\hat{C}_L^{XX} \hat{C}_L^{YY} + (\hat{C}_L^{XY})^2]}{2(L+1)f_{sky}}$$

Signal-to-Noise Ratio

high- z ほど増光効果の影響が効くが、同時に S/N は小さくなる



まとめ

- パワースペクトルにおける増光効果は、大スケール・high- z において大きな影響を与える
- high- z にいくほど S/N は下がるが増光効果の影響は大きくなる

今後の計画

- 単一場と複数場のモデルを、将来的観測から区別できるかどうか
- 宇宙論パラメータ、特に原始非ガウス性に対する系統誤差を見積もる
- 増光効果の大きさはバイアスや slope に大きく依存するため、これらに対し結果がどう影響するか調べる

参考文献

原始非ガウス性

- [1] Bartolo, N., Komatsu, E., Matarrese, S., and Riotto, A. "Non-Gaussianity from Inflation : Theory and Observations" arXiv : 0406398
- [2] Tselikhovich, D., Hirata, C. and Slosar, A. "Non-Gaussianity and large-scale structure in two-field inflationary model" arXiv : 1004.3302

CMB レンズング

- [3] Lewis, A. and Challinor, A. "Weak gravitational lensing of the CMB" Phys. Rep. 429 (2006) 1-65

弱重力レンズ

- [4] Munshi, D., Valageas, P., Waerbeke, L. and Heavens, A. "Cosmology with weak lensing survey" arXiv : 0612667

増光効果

- [5] LoVerde, M., Hui, L., and Gaztanaga, E. "Magnification-temperature correlation: The dark side of integrated Sachs-Wolfe measurements" Phys. Rev. D 75, 043519 (2007)