

# ハロー・密度揺らぎの相関量から探る 原始非ガウス性: 系統誤差の影響について

並河 俊弥 (東大理)

# 本研究の動機

そもそもの目的

初期宇宙の情報を、大規模構造の観測から引き出したい

本研究では、**揺らぎを生成する場のモデル**に着目

インフレーションにおいて揺らぎを生成する場の統計性や個数は、大規模構造の観測量に反映される

(例) ・ハローバイアス

$$b(k, z)$$

・相関係数

$$\frac{P_{hm}^2(k)}{P_{hh}(k)P_{mm}(k)}$$

\* 影響は大スケールにおいて顕著になる

バイアス・相関係数を測るには、どのような観測量を使えばいいか

➡ **銀河**  $b(k, z)$   $P_{hh}(k, z)$

➡ さらに**重力レンズ**と組み合わせれば  $P_{hm}(k, z)$   $P_{mm}(k, z)$

CMB レンズング

銀河の弱重力レンズ

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

$$\delta_h \rightarrow \delta_h + \delta_\mu$$

\*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

そこで・・・

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

# 本研究の解析内容・結果など

## [ 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

## [ 結果 ] ポスターを見てください

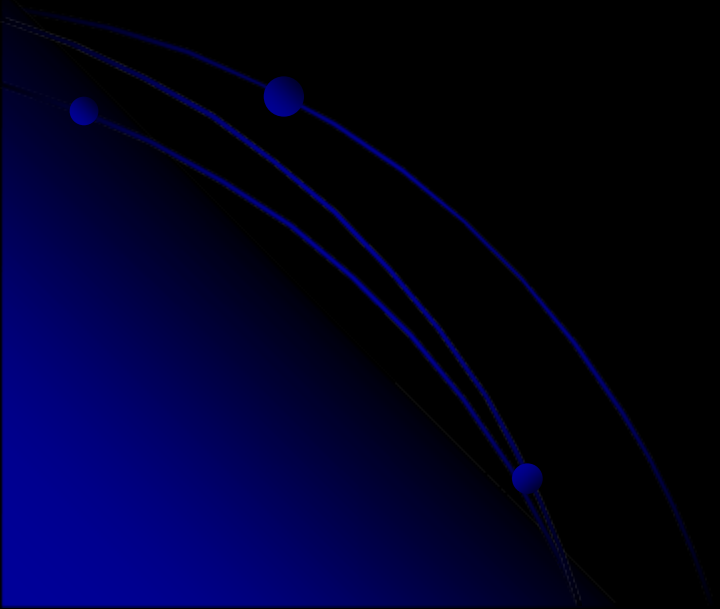
## [ その他 ]

現在、約週1でスカイプを使ったゼミ(論文紹介・研究紹介など)をやったりしているので、興味のあるかたはぜひ参加してみてください。

# ハロー・密度揺らぎの相関量から探る 原始非ガウス性：系統誤差の影響について

並河 俊弥 (東大理)

# Introduction



# 本研究の動機

揺らぎを生成する場の統計性は、  
大規模構造の観測量に反映される

・ハローバイアス

$$b_0 \rightarrow b(k, z)$$

・相関係数

$$\frac{P_{hm}^2(k)}{P_{hh}(k)P_{mm}(k)} \neq 1$$

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

CMB レンズング

銀河の弱重力レンズ 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

$$\delta_h \rightarrow \delta_h + \delta_\mu$$

\*増光効果により、本来の揺らぎとは別の成分が加わる

特に原始場の統計性などを銀河を用いた観測量から測定するさい、増光効果を考慮する必要があると考えられる

- 目的

ハローバイアスや相関係数を用いて原始場の統計性を調べるさいに増光効果が及ぼす影響の評価



# 本研究の解析内容・結果など

## [ 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の観測を想定
- ・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

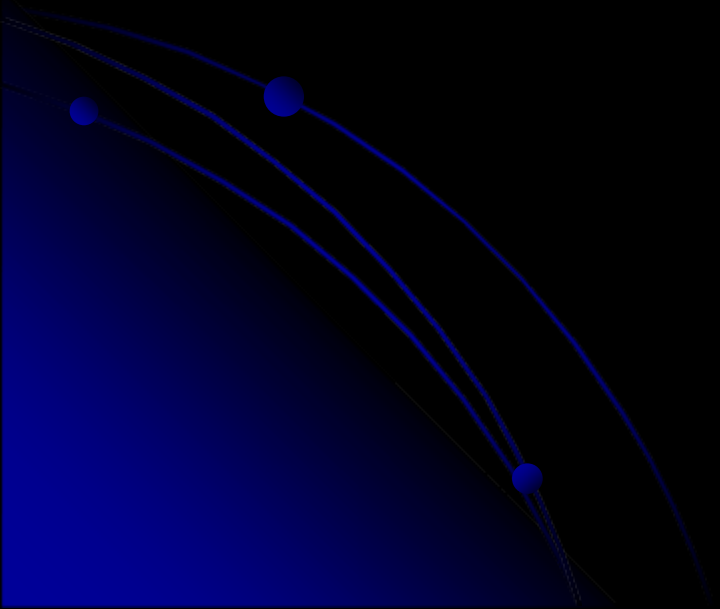
## [ 結果 ]    ポスターを見てください

### [ その他 ]

現在、3人の熱心なD1が、約週1でスカイプを使ったゼミ（論文紹介・研究紹介など）をやっています。

もし興味があれば、ぜひ参加してみてください

# Review Part



# Primordial Non-Gaussianity

☆ ガウス統計からのずれを次のように表現する

(1) Single

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

(2) Multi

$$\Phi(x) = \phi_{G,1}(x) + \phi_{G,2}(x) + f_{NL}(\phi_{G,2}^2(x) - \langle \phi_{G,2}^2 \rangle)$$

重力ポテンシャル

← ガウス統計に従う場

## [1] ハロー・密度揺らぎ相関への影響

☆ Single

$$P_{hm} = [1 + b_g + f_{NL} b_g \alpha(k, z)] P_{mm}$$

$$\alpha(k, z) = \frac{3\Omega_m H_0^2 \delta_c}{k^2 D(z) T(k)}$$

☆ Multi

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

← 2つの場の振幅の比(A1/A2)

## [2] 相関係数への影響

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

\* ハロー・密度揺らぎ相関だけでは  $f_{NL}$  と  $\xi$  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

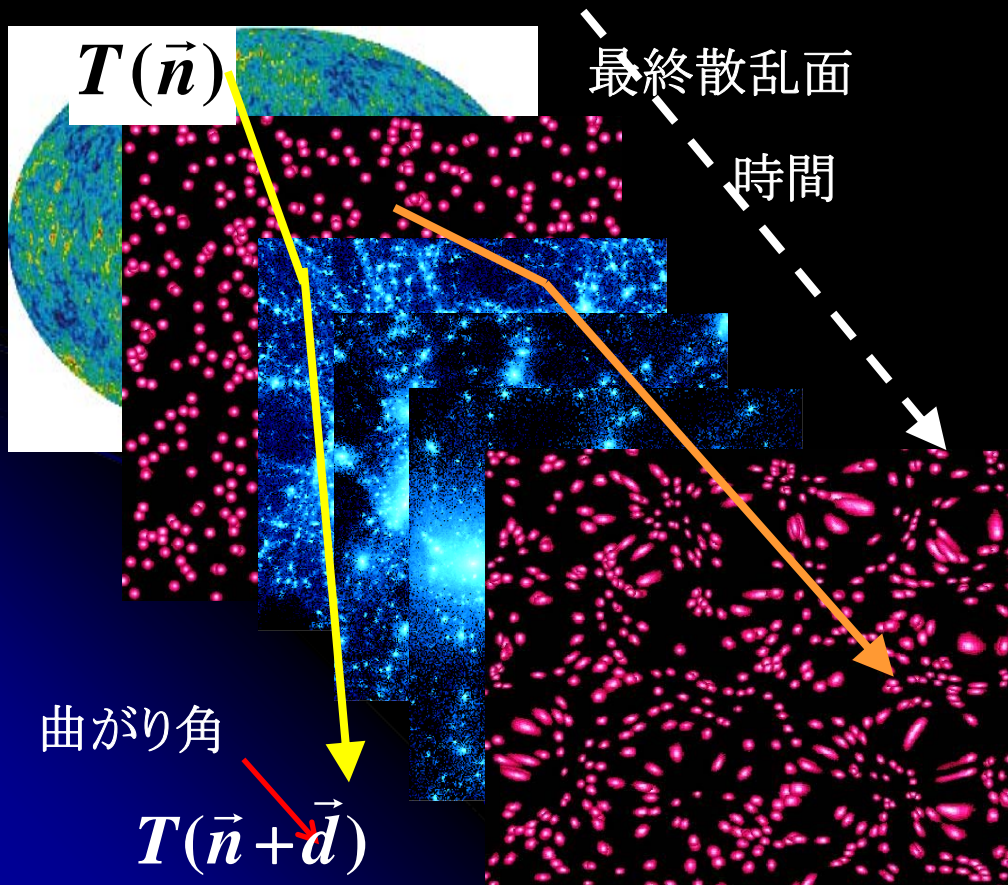
銀河の個数密度

曲がり角

$d$

Shear  $\gamma$

銀河の個数密度揺らぎ  $g$



考慮する統計量

$T(\vec{n})$   $d(\vec{n})$   $\gamma(\vec{n})$   $g(\vec{n})$

パワースペクトル

$$\begin{array}{cccccc}
 C_l^{Td} & C_l^{dd} & C_l^{T\gamma} & C_l^{d\gamma} & C_l^{\gamma\gamma} & C_l^{gg} \\
 C_l^{Tg} & C_l^{dg} & C_l^{\gamma g} & & & 
 \end{array}$$

ハロー・密度揺らぎ相関を含む

# Magnification Effect

☆ 増光(減光)効果・・・弱重力レンズ効果で見かけの明るさが変更される

\* 増光による銀河個数  
密度揺らぎへの影響

$$\delta_h \rightarrow \delta_h + \delta_\mu$$

$$\delta_\mu = (5s(z) - 2)\gamma \quad @ \ell \gg 1$$

← slope

[1] 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

[2] 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

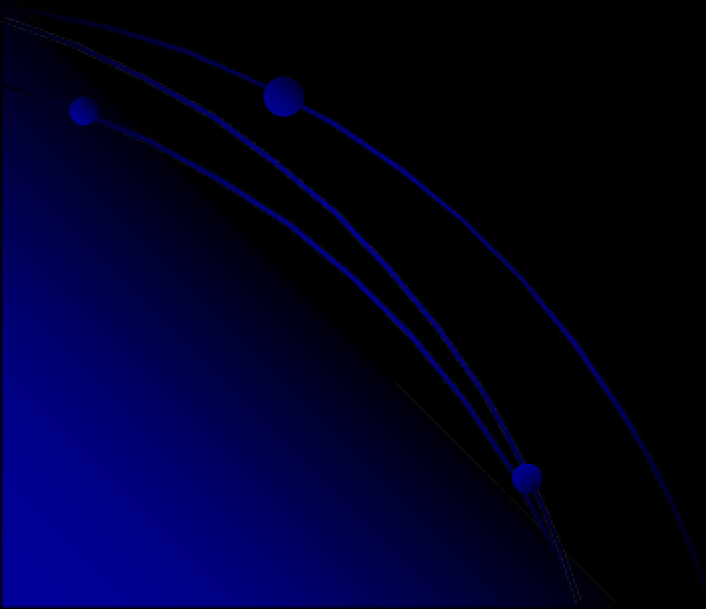
\* 大スケールかつ high- $z$  において増光効果が大きい

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

# Results

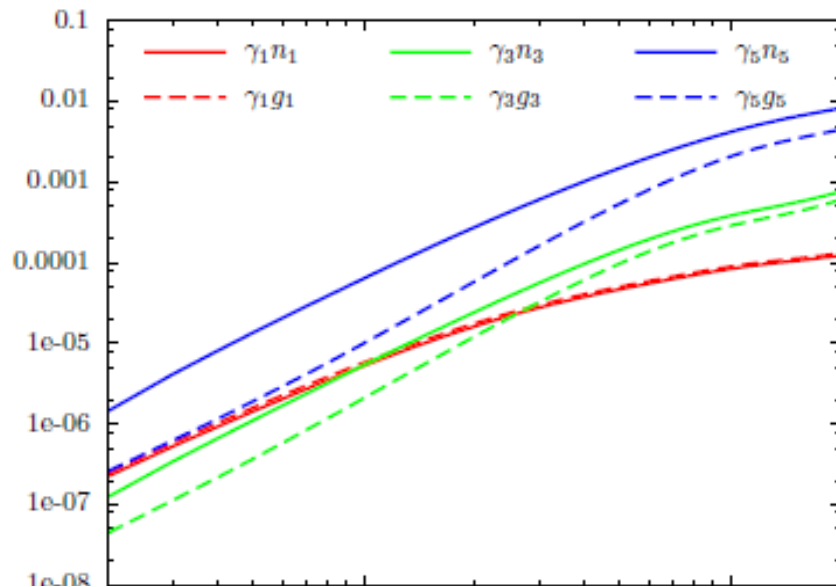


# Power Spectra

•各相関量のパワースペクトル

•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

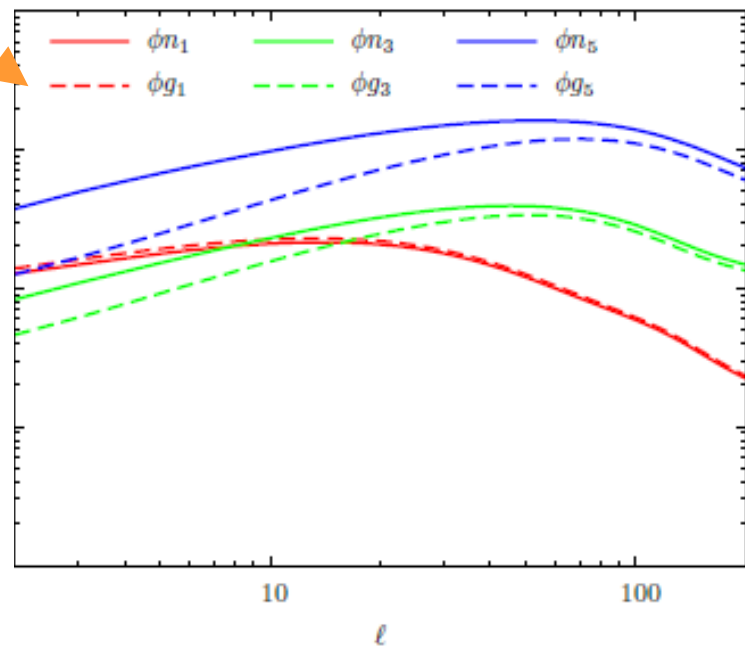
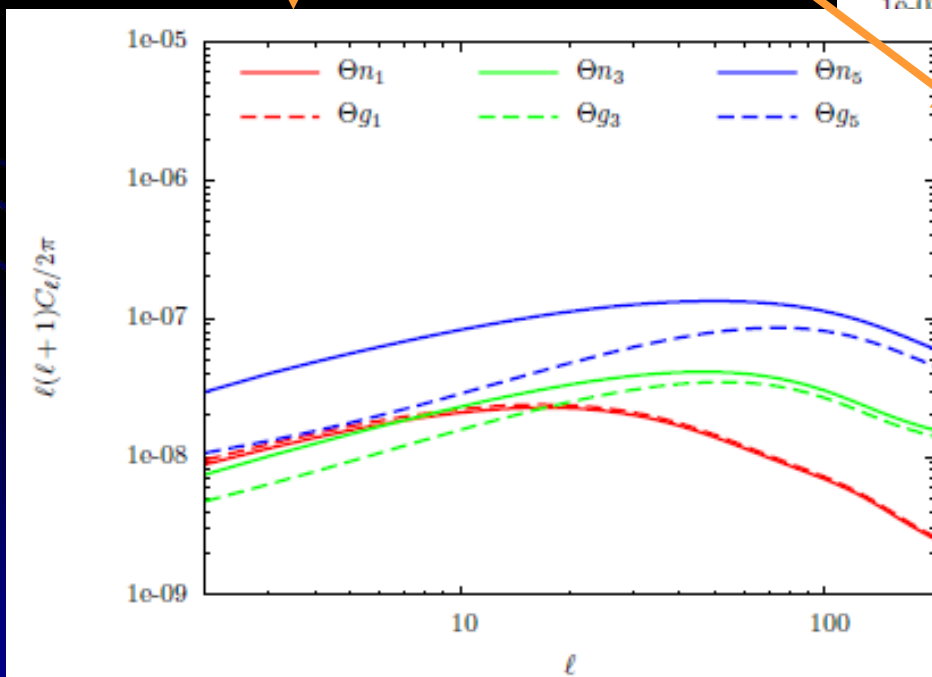
$$C_l^{\gamma g}$$



$$C_l^{\Theta g}$$



$$C_l^{d g}$$



# 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

$$\theta = 0.14 \text{ [arc min/ pixel]}$$

温度・偏光に対する感度

$$\Delta_T = 0.36, \Delta_P = 0.5 \text{ [}\mu\text{K / pixel]}$$

## ☆ 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

$$N_g = 50 \text{ [arc min}^{-2}\text{]}$$

これらをもとに、S/N を計算する

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{< \ell}^2 = \sum_{\ell=2}^{\ell} \left(\frac{C_{\ell}}{\Delta C_{\ell}}\right)^2$$

$$\Delta C_{\ell} = \frac{C_{\ell}^{XY} C_{\ell}^{XY} + (C_{\ell}^{XX} + N_{\ell}^{XX})(C_{\ell}^{YY} + N_{\ell}^{YY})}{(2\ell + 1) f_{sky}}$$



# Signal-to-Noise Ratio

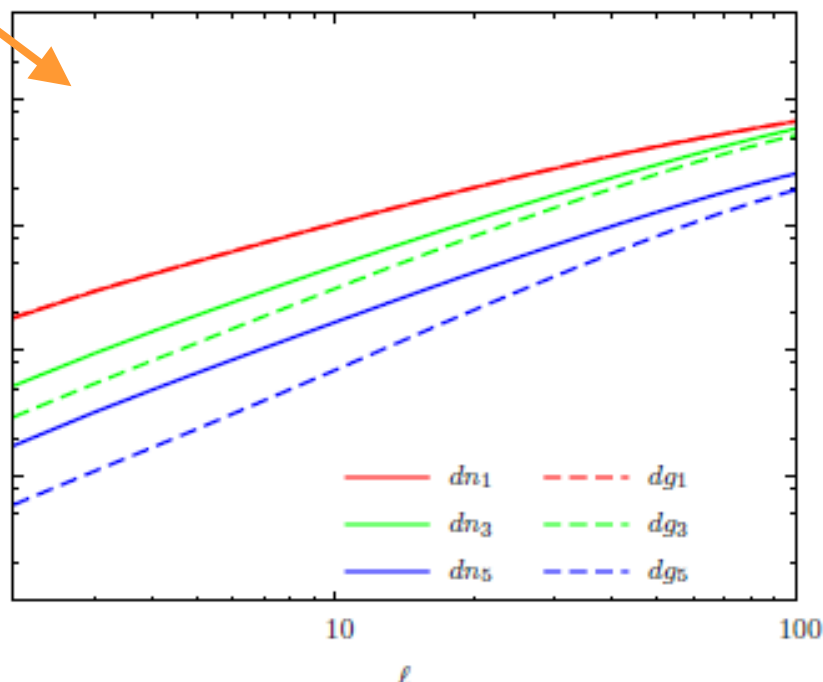
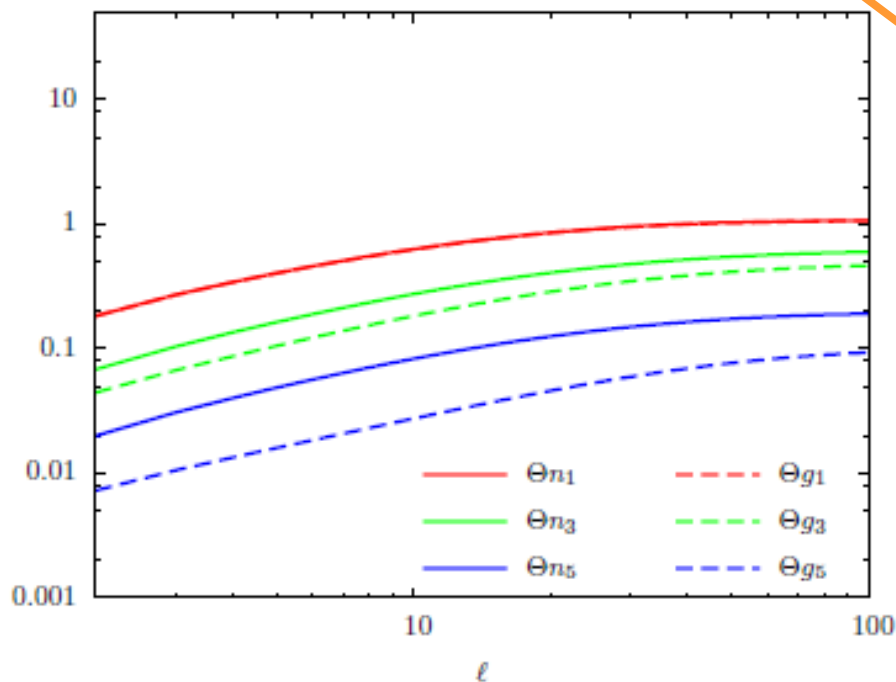
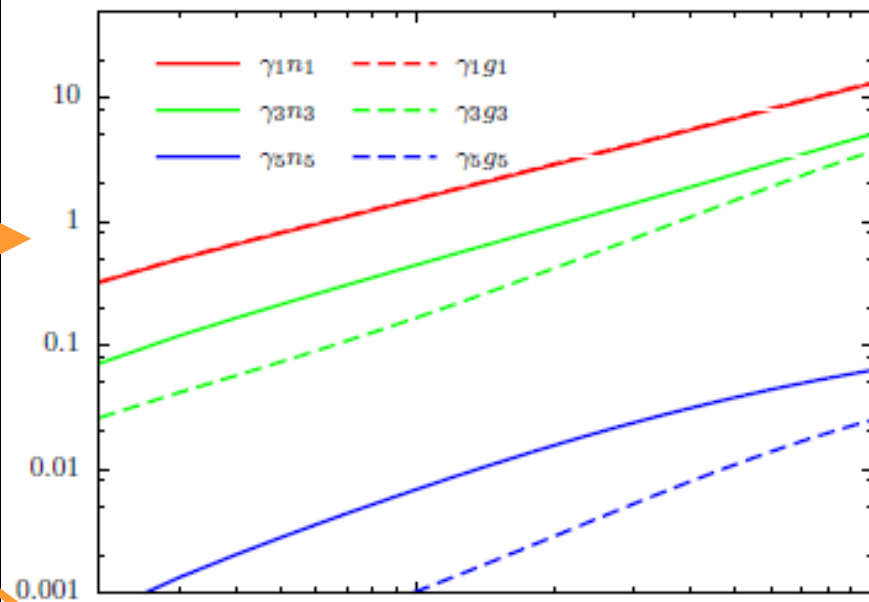
・各相関量のS/N

・**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

$$C_l^{\gamma g}$$

$$C_l^{\Theta g}$$

$$C_l^{dg}$$



# Summary of Results

## ☆ パワースペクトルにおける増光効果の影響

大スケール・high-z において大きな影響を与える

## ☆ S/N の見積もり

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

# Future Work

☆ 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  
モデルの区別可能性について調べる

## ☆ 系統誤差の評価

これらの結果をもとに、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

## ☆ バイアスやslope に対する結果の依存性

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

# References

## ☆ 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] Tseliakhovich, 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)