

すばるHSCとSDSSデータの  
銀河弱重力レンズとクラスタリングの  
小スケール信号を用いた宇宙論統合解析

宮武広直

名古屋大学素粒子宇宙起源研究所(KMI)

杉山素直、高田昌広、西道啓博、白崎正人、小林洋祐、

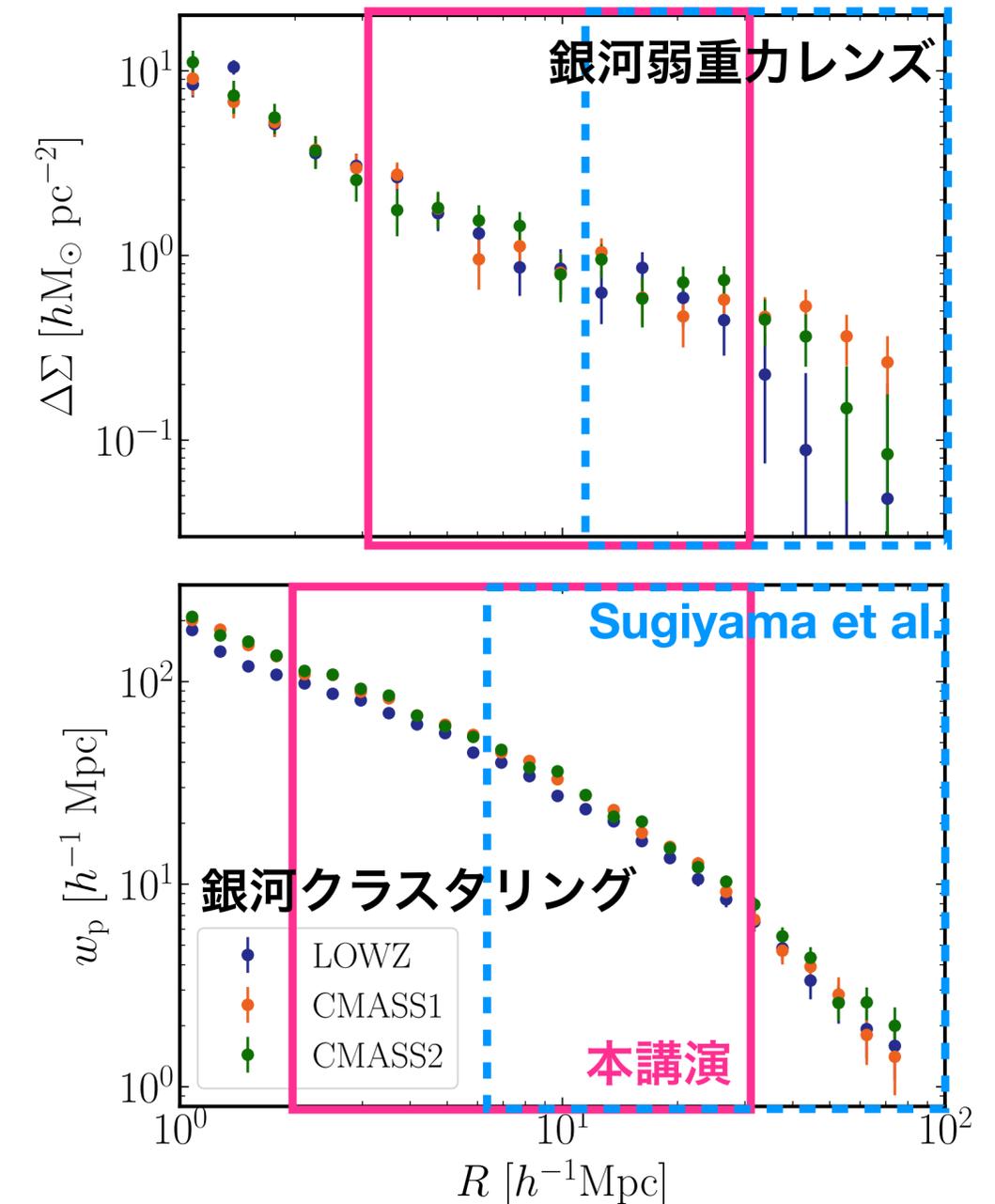
Rachel Mandelbaum、Surhud More、大栗真宗、大里健、Youngsoo Park、高橋龍一

他HSC collaboration

# 銀河弱重力レンズ効果とクラスタリングを用いた宇宙論

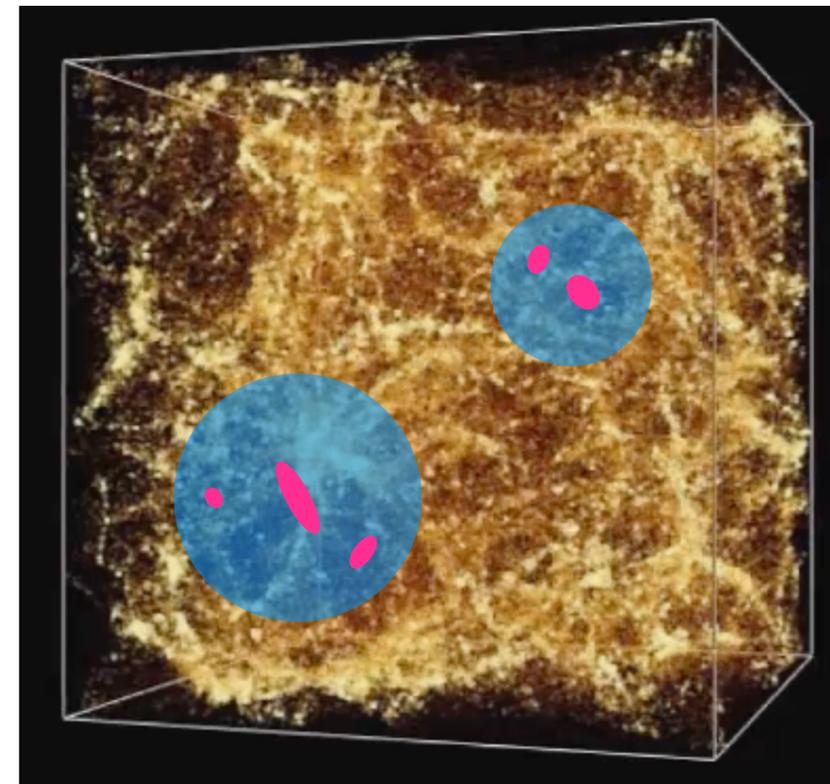
- 銀河弱重力レンズ信号と銀河クラスタリング信号を組み合わせることで銀河バイアスと宇宙論パラメータの縮退を解くことができる。
- 大スケールでは線形バイアス近似が使える (Sugiyama et al.)
- 小スケールまで使うには非線形領域のモデリング、銀河-ハロー関係の不定性を適切に取り扱う必要がある(本講演)。

HSC Y1銀河形状カタログと  
SDSS分光銀河カタログを用いた測定



# モデル構築

小スケールまで使えるモデル  
非線形領域の正確なモデリング  
銀河-ハロー関係の不定性



暗黒物質  
暗黒物質ハロー  
銀河

Cosmo. Params.  
( $\sigma_8, \Omega_m, \dots$ )



$$\xi_{hh} = \langle \delta_h \delta_h \rangle$$

$$\xi_{hm} = \langle \delta_h \delta_m \rangle$$



$$\xi_{gg} = \langle \delta_g \delta_g \rangle$$

$$\xi_{gm} = \langle \delta_g \delta_m \rangle$$



観測量

Clustering:  $w_p(R)$   
Weak Lensing:  $\Delta\Sigma(R)$

2次元空間への射影

非線形領域のモデリング

Dark Emulatorによる2点相関関数の予言  
数%の精度を達成

銀河-ハロー関係の不定性

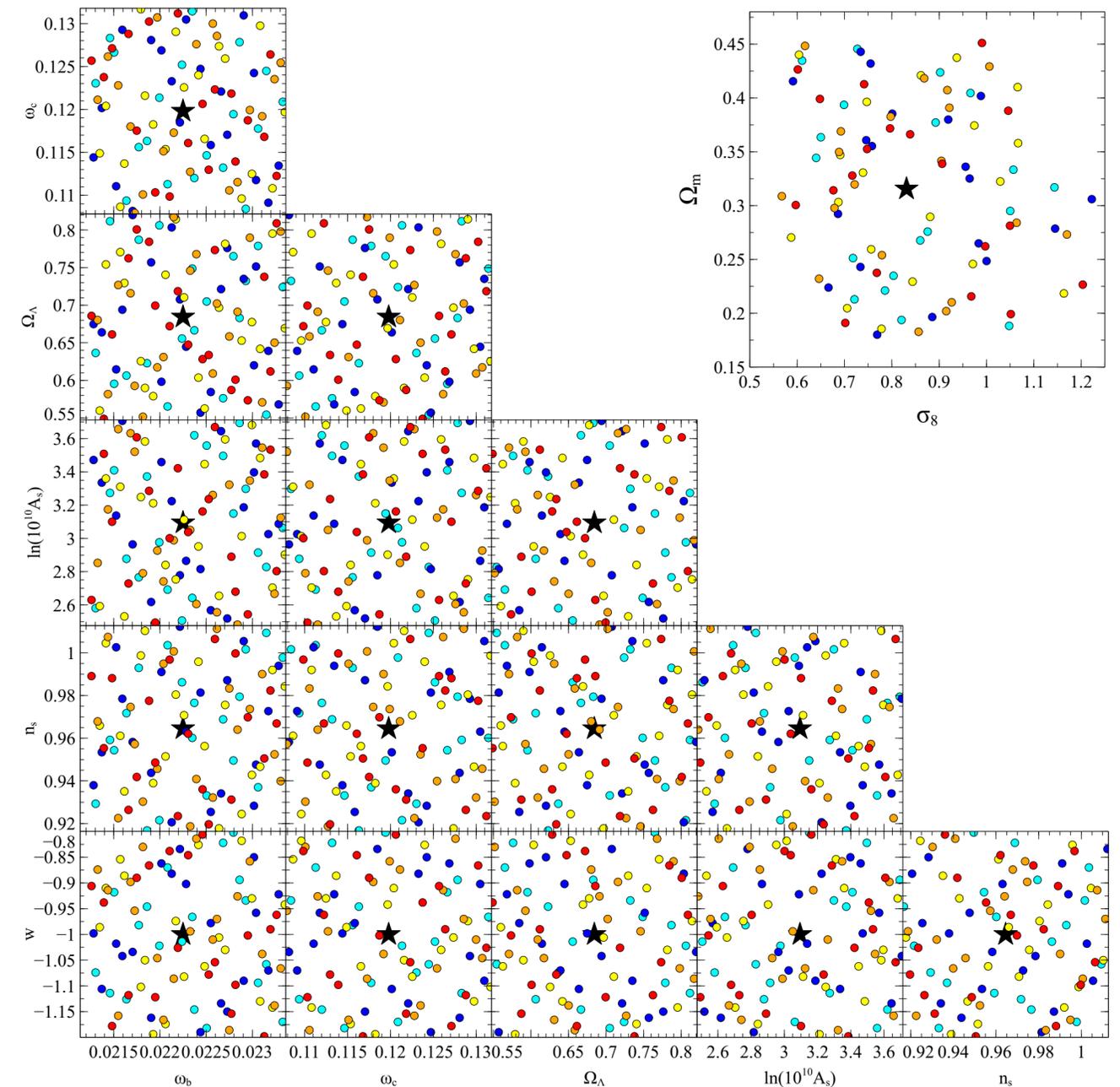
解析的に現象論的モデルをたたみ込むことで  
銀河-ハロー関係の不定性を周辺化

# (DQ Iに基づいた) Dark Emulator

- N-bodyシミュレーションを101組の宇宙論パラメータに対して走らせる。

$$\vec{C} = (\omega_b, \omega_c, \Omega_{\text{de}}, \ln 10^{10} A_s, n_s, w_{\text{de}})$$

- ハロー自己相関関数  $\xi_{\text{hh}}(x; \vec{C})$  と  
ハロー物質相互相関関数  $\xi_{\text{hm}}(x; \vec{C})$  を測定。
- 相関関数を宇宙論パラメータの関数として表現。
  - PCAを用いた次元削減。
  - ガウス過程を用いた内挿。
- 数%の精度を達成。

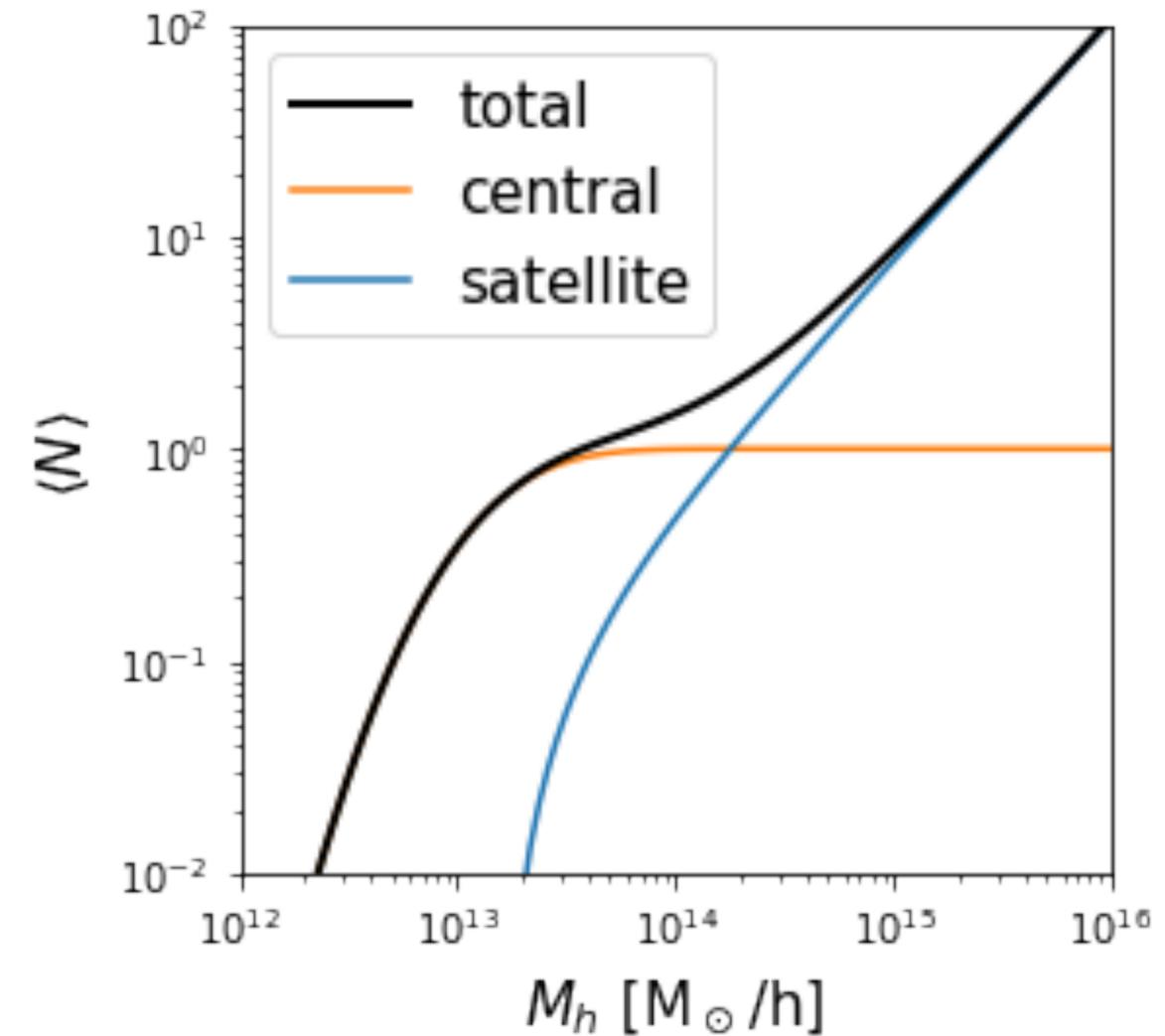
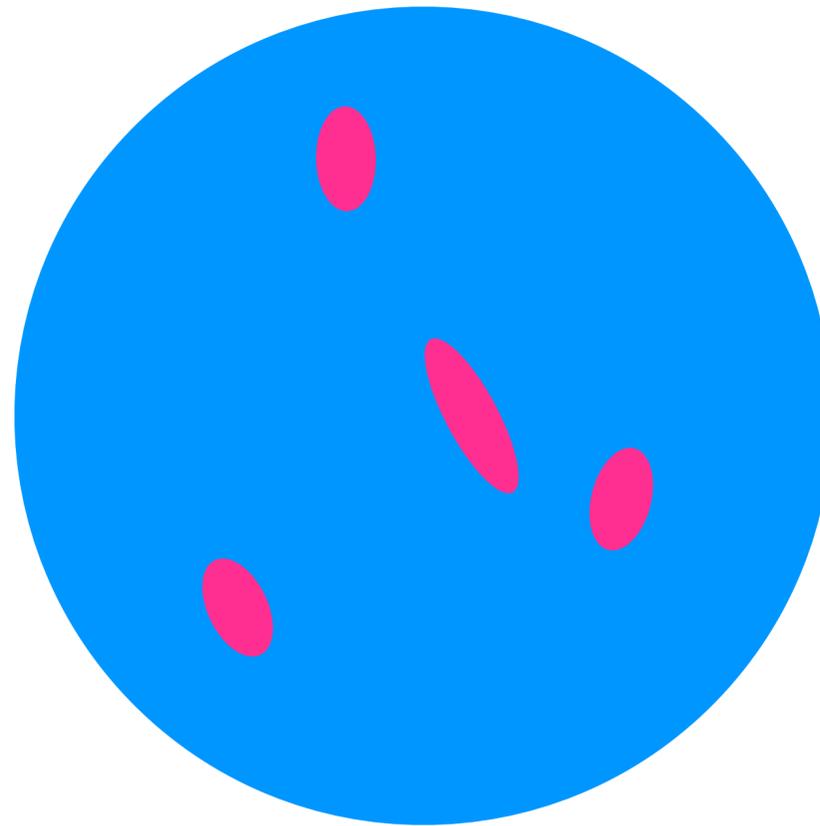


Nishimichi et al. (2019)

This work is supported by JST AIP Acceleration Research Grant Number JP20317829, Japan.

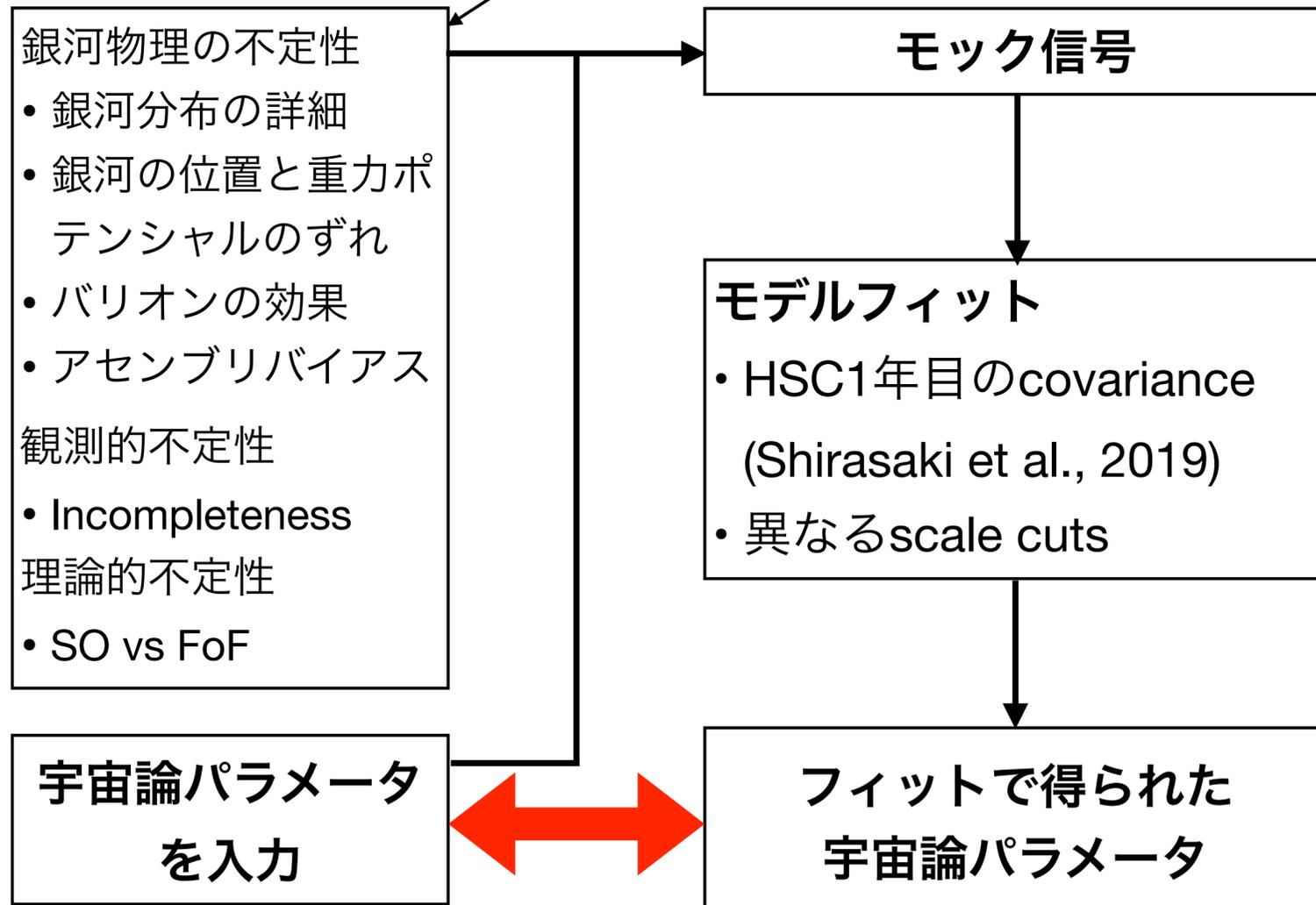
# 銀河-ハロー関係

- Halo Occupation Distribution (HOD; 5パラメータ) を用いることで現象論的に銀河を暗黒物質ハローに分布させる。
- HODパラメータを周辺化することで銀河-ハロー関係の不定性を考慮に入れる。

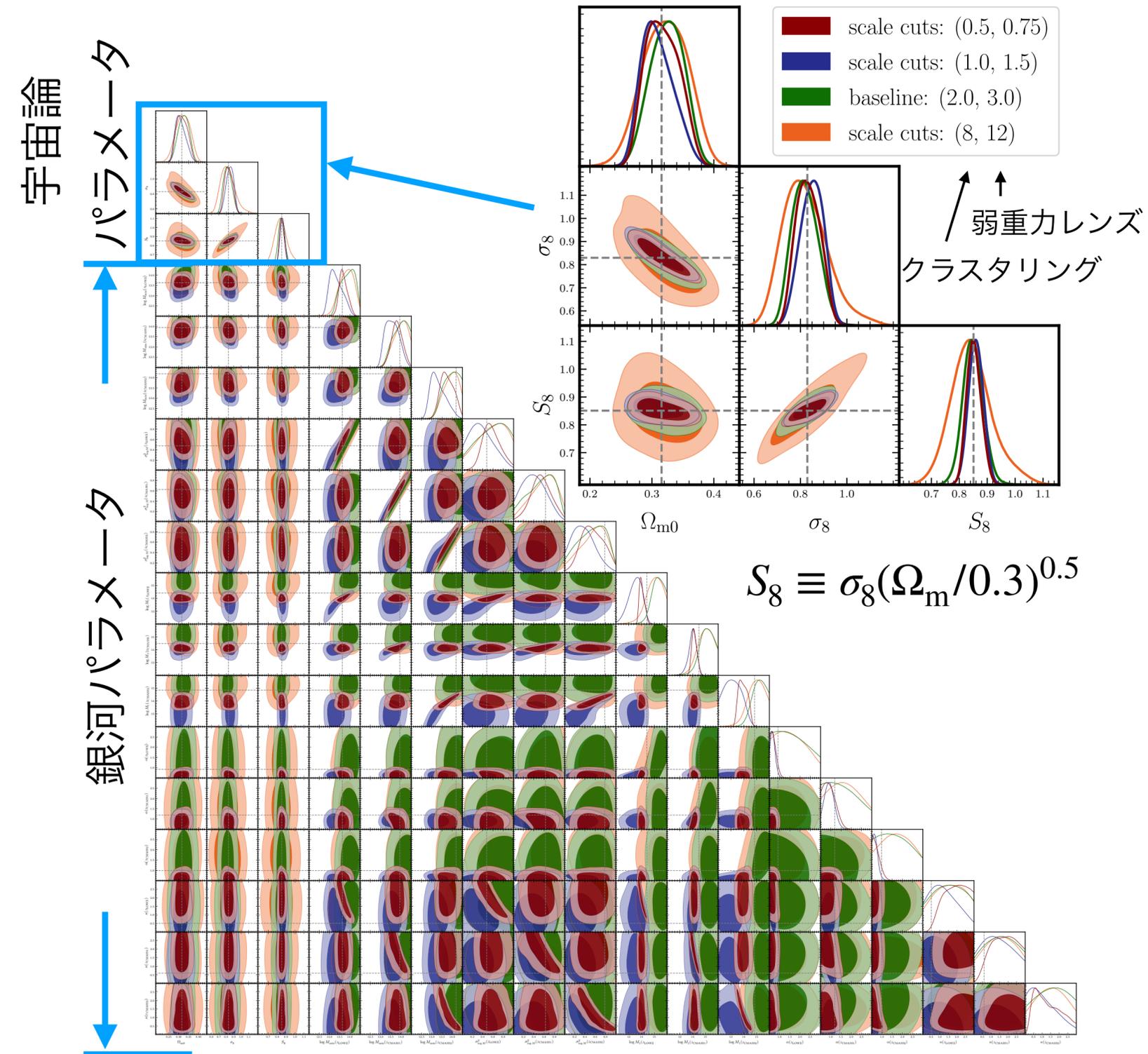


# 宇宙論チャレンジ: モック信号を用いたテスト

モック信号の作成は小林洋祐氏がリード



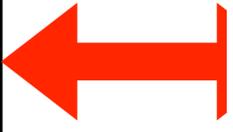
比較



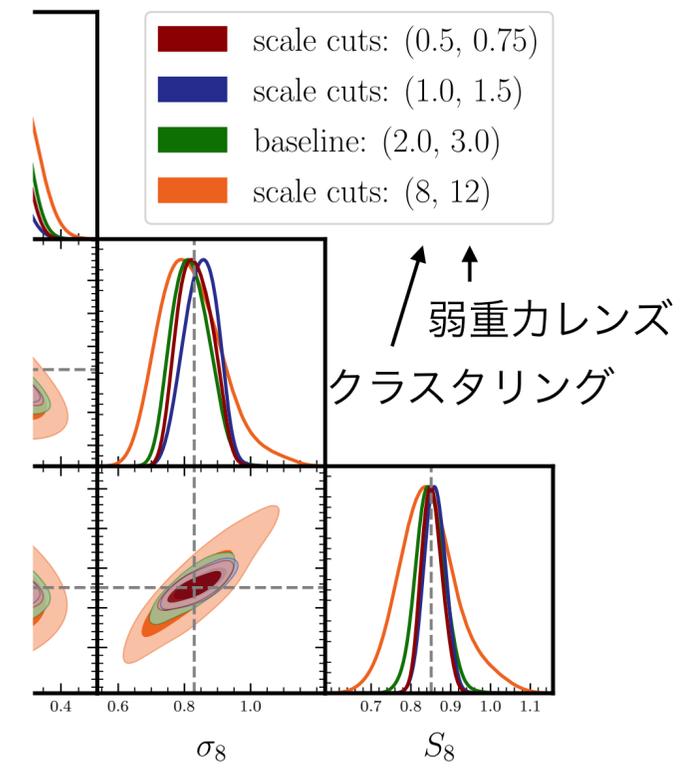
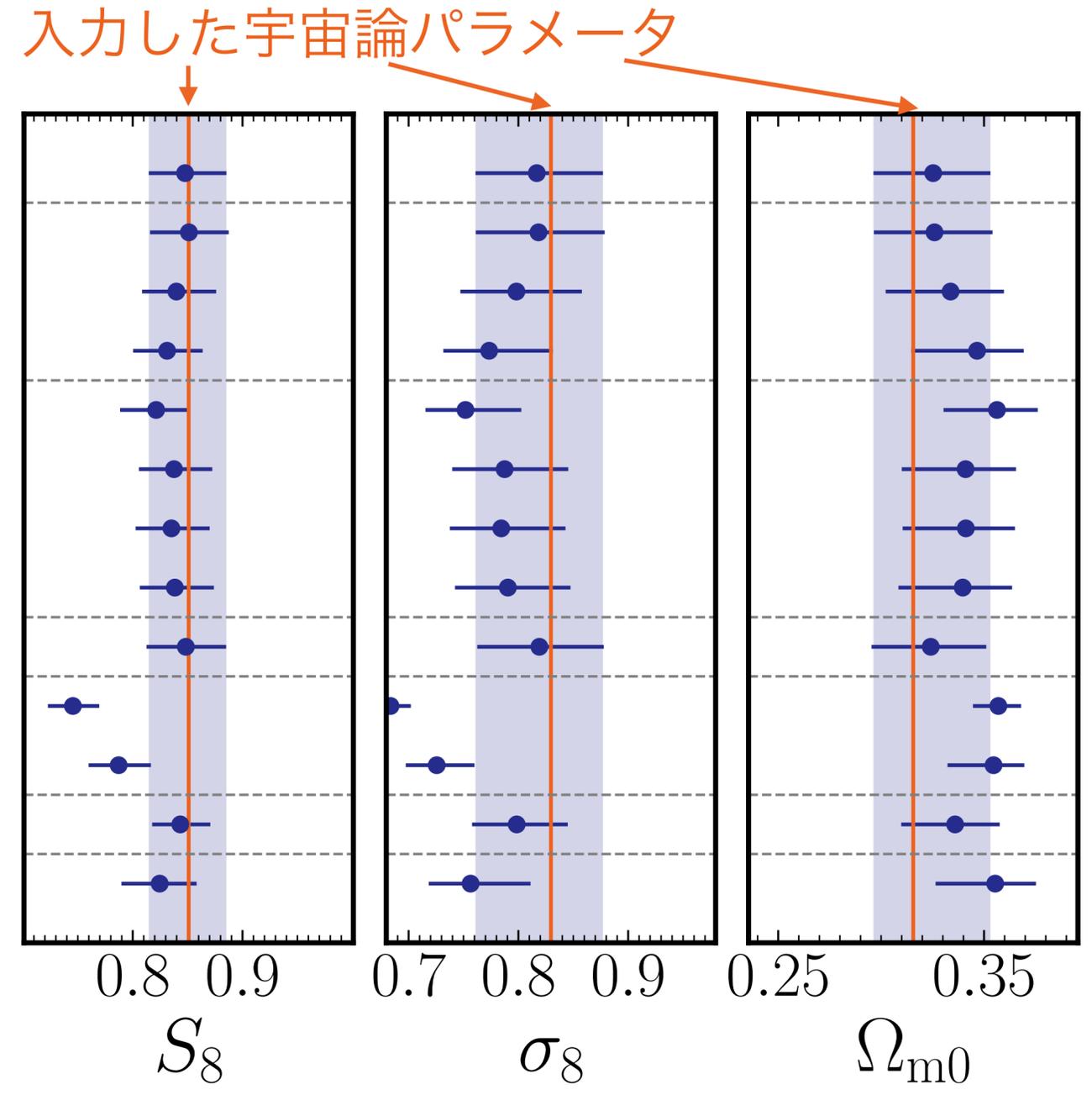
# 宇宙論チャレンジ: モック信号を用いたテスト

- 銀河物理の不定性
- 銀河-ハロー関係
  - 銀河の位置と重力ポテンシャルのずれ
  - バリオンの効果
  - アセンブリバイアス
- 観測的不定性
- Incompleteness
- 理論的不定性
- SO vs FoF

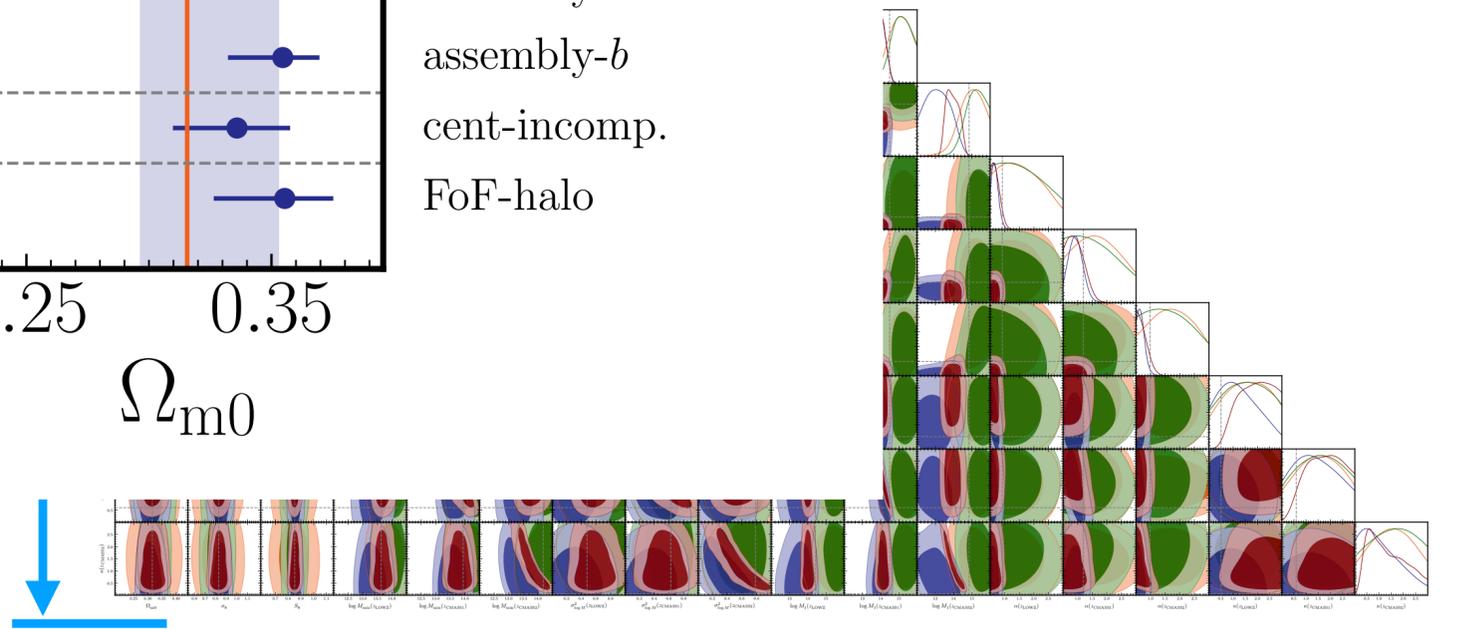
宇宙論パラメータ  
を入力



比較

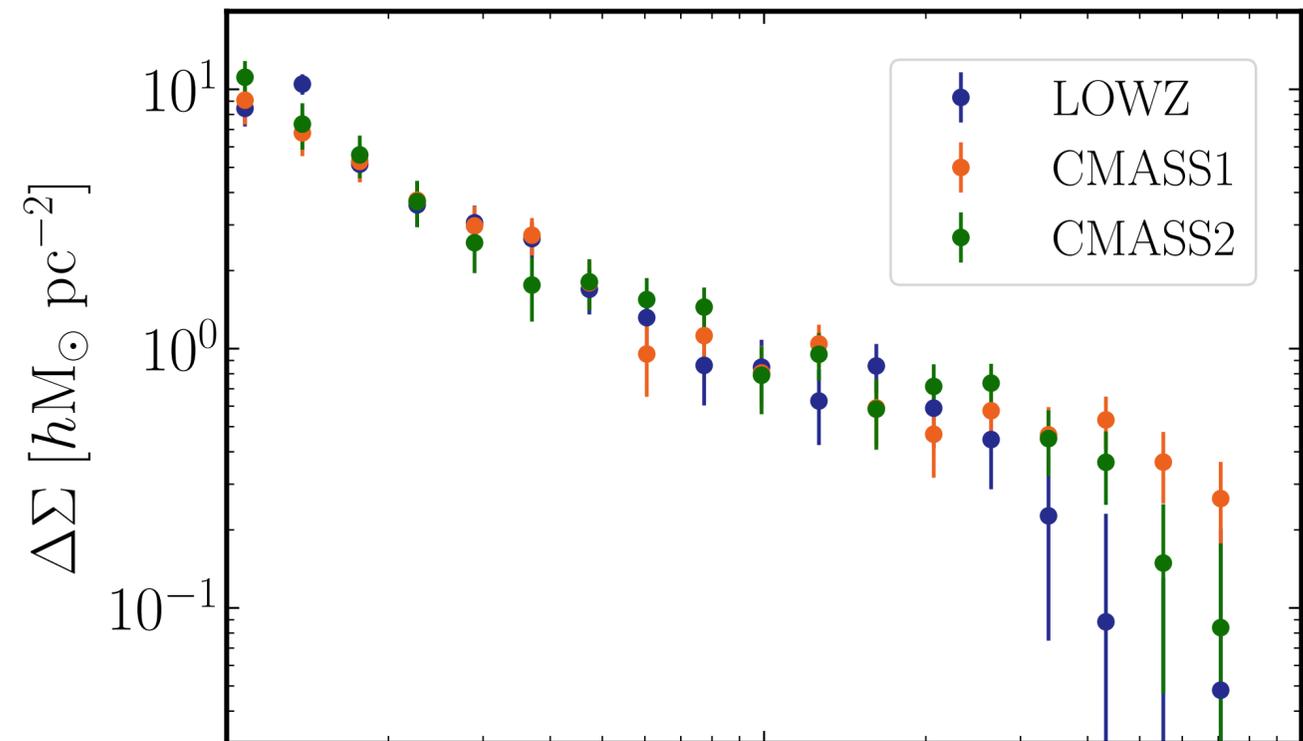


$$S_8 \equiv \sigma_8 (\Omega_m / 0.3)^{0.5}$$



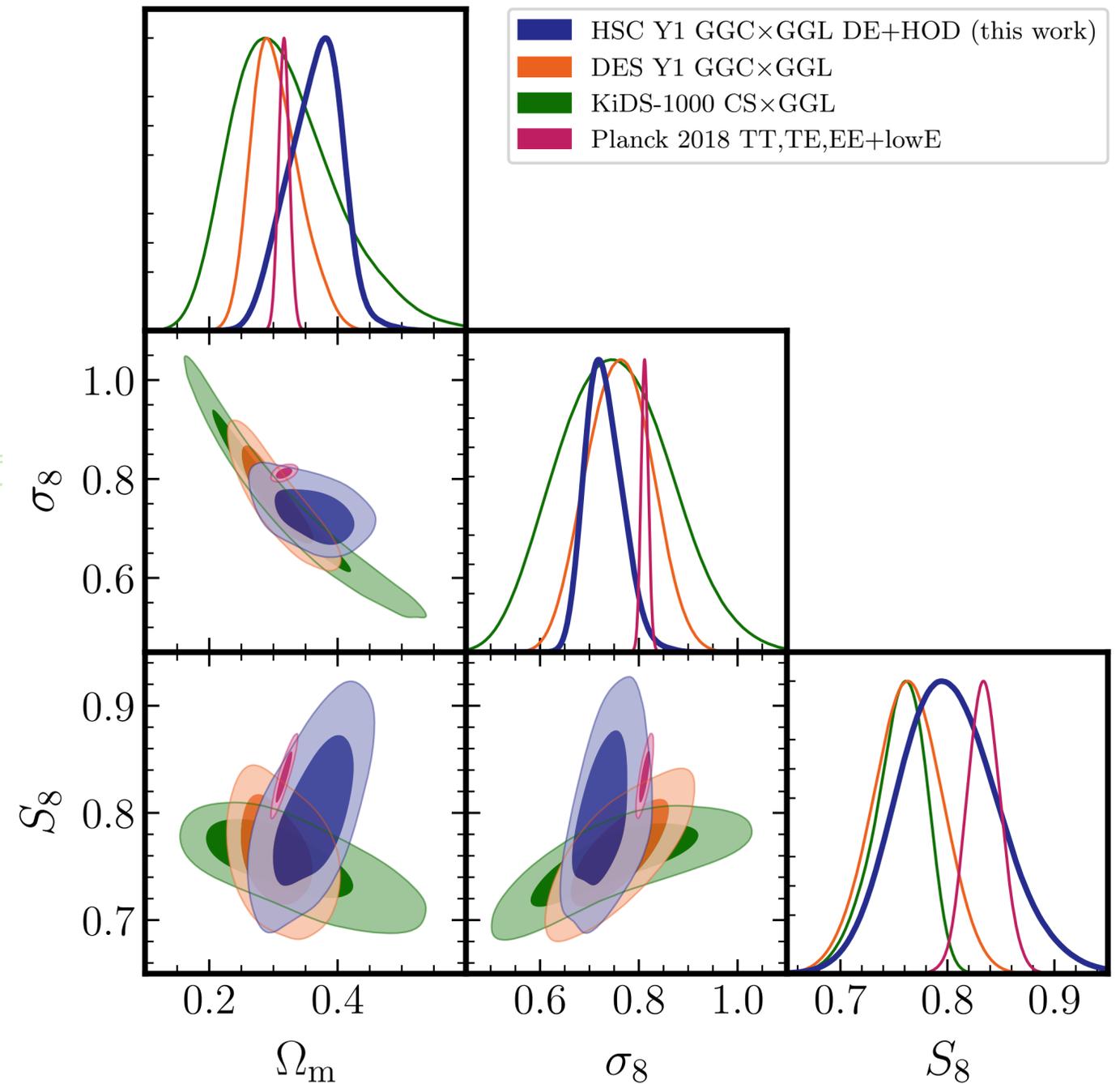
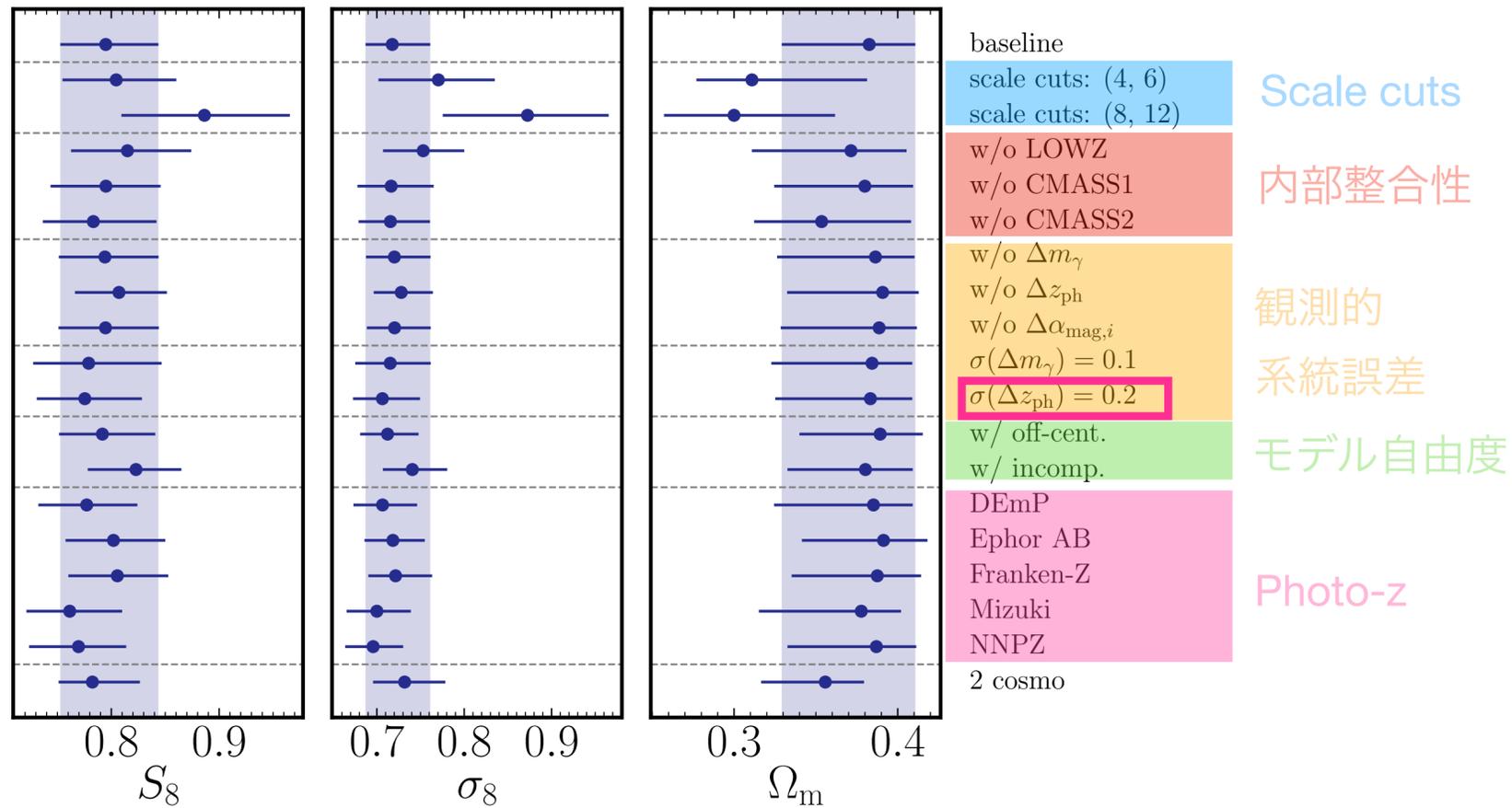
# 実データの解析

Parameter	Prior
<b>Cosmological parameters</b>	
$\Omega_{de}$	flat(0.4594, 0.9094)
$\ln(10^{10} A_s)$	flat(1, 5)
$\omega_b$	Gauss(0.02268, 0.00038)
$\omega_c$	flat(0.0998, 0.1398)
$n_s$	Gauss(0.9649, 0.0126)
<b>HOD parameters</b>	
$\log M_{\min}(z_i)$	flat(12.0, 14.5)
$\sigma_{\log M}^2(z_i)$	flat(0.01, 1.0)
$\log M_1(z_i)$	flat(12.0, 16.0)
$\kappa(z_i)$	flat(0.01, 3.0)
$\alpha(z_i)$	flat(0.5, 3.0)
<b>Magnification bias</b>	
$\alpha_{\text{mag}}(\text{LOWZ})$	Gauss: (2.26, 0.5)
$\alpha_{\text{mag}}(\text{CMASS1})$	Gauss: (3.56, 0.5)
$\alpha_{\text{mag}}(\text{CMASS2})$	Gauss: (3.73, 0.5)
<b>Photo-z/Shear errors</b>	
$\Delta z_{\text{ph}}$	Gauss: (0.0, 0.1) <b>wide prior</b>
$\Delta m_{\gamma}$	Gauss: (0.0, 0.01)
<b>Add. galaxy-halo connection paras</b>	
Off-centering parameters	
$p_{\text{off}}(z_i)$	flat(0, 1)
$R_{\text{off}}(z_i)$	flat(0.01, 1)
Incompleteness parameters	
$\alpha_{\text{incomp}}(z_i)$	flat(0, 5)
$\log M_{\text{incomp}}(z_i)$	flat(12, 15.3)



複数のlens sample と1つのsource sample  
 →source redshiftのself-calibrationが可能

# 実データの解析



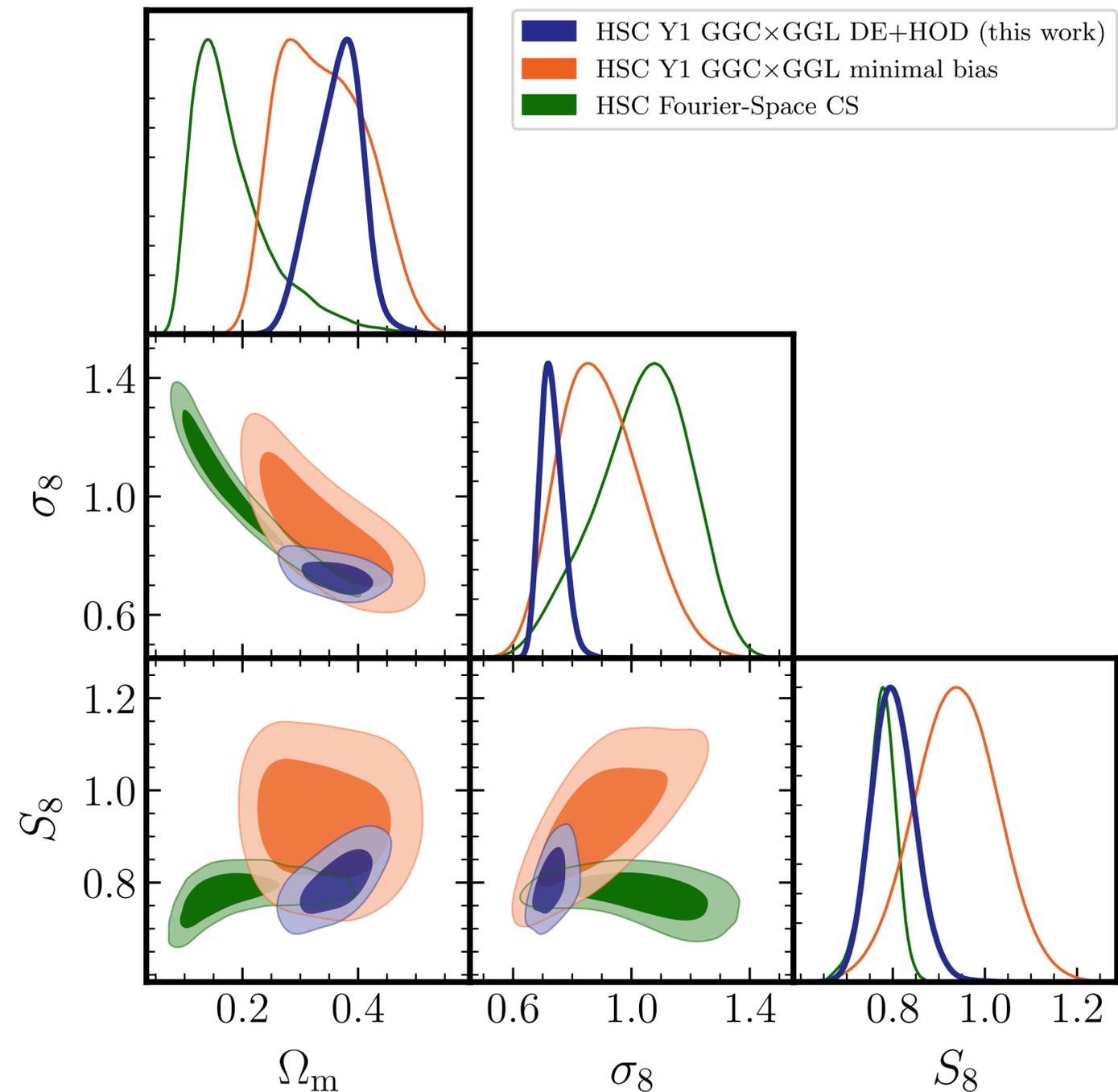
系統誤差のチェックは**アンブラインド前**に行った。

$\Omega_m \sim 0.3$ のスライス(e.g., Kobayashi et al., 2021)をとると、

Planckより小さい $S_8$ をpreferする。

# 他のHSCの宇宙論解析との比較

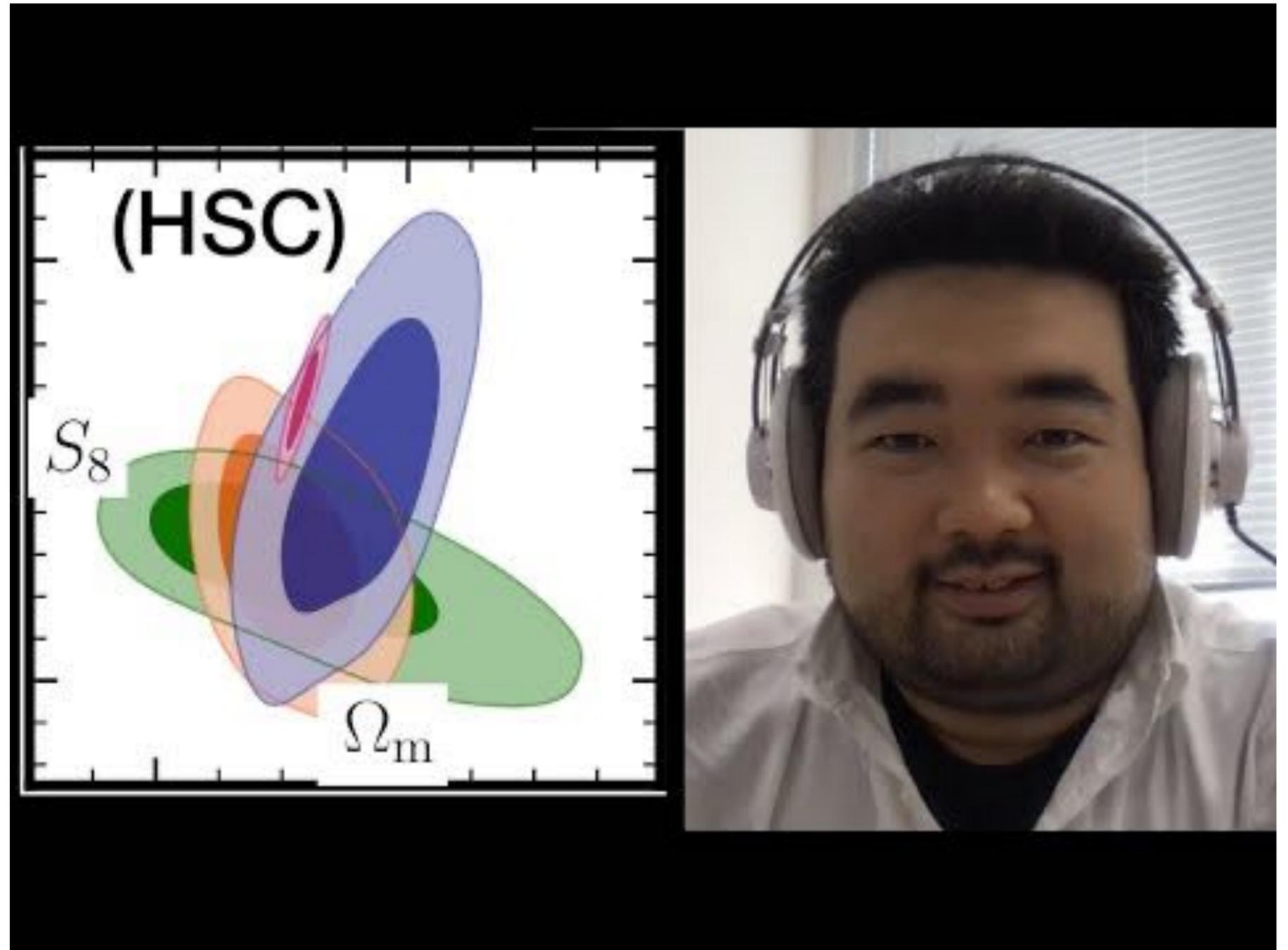
- 大スケール解析(Sugiyama et al.)  
と整合的
- Cosmic shearと組み合わせれば、さらに強い制限が得られる。



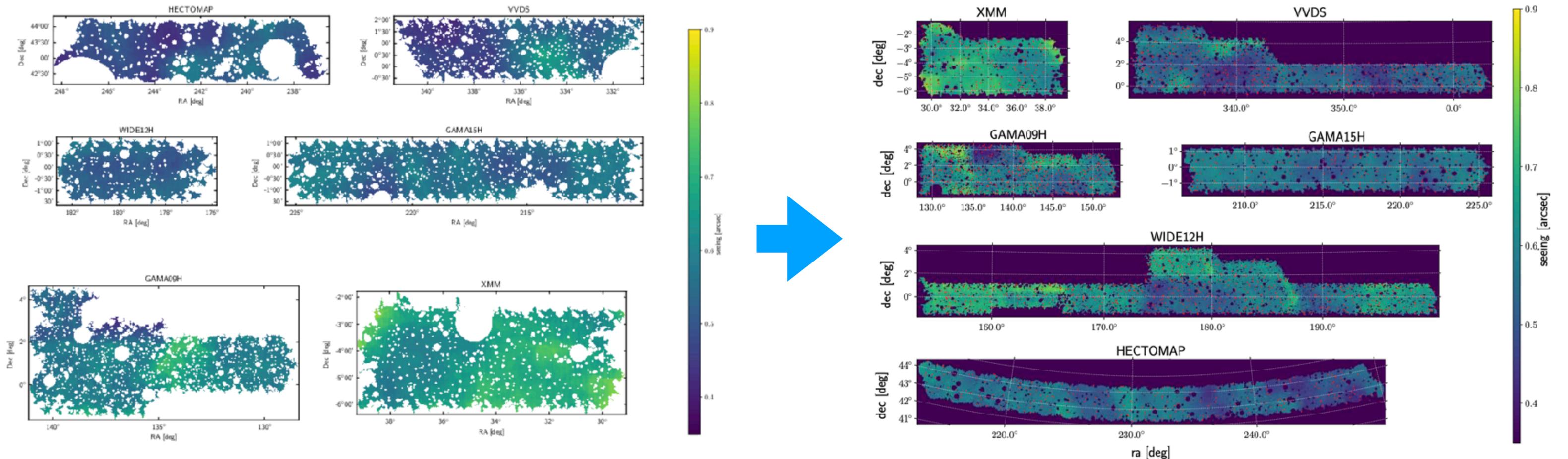
# YouTubeでの研究紹介

**Cosmology Talks Channel**

run by S. Hotchkiss (Univ. of Auckland)



# Y3解析に向けて



Mandelbaum, HM, et al. (2018)

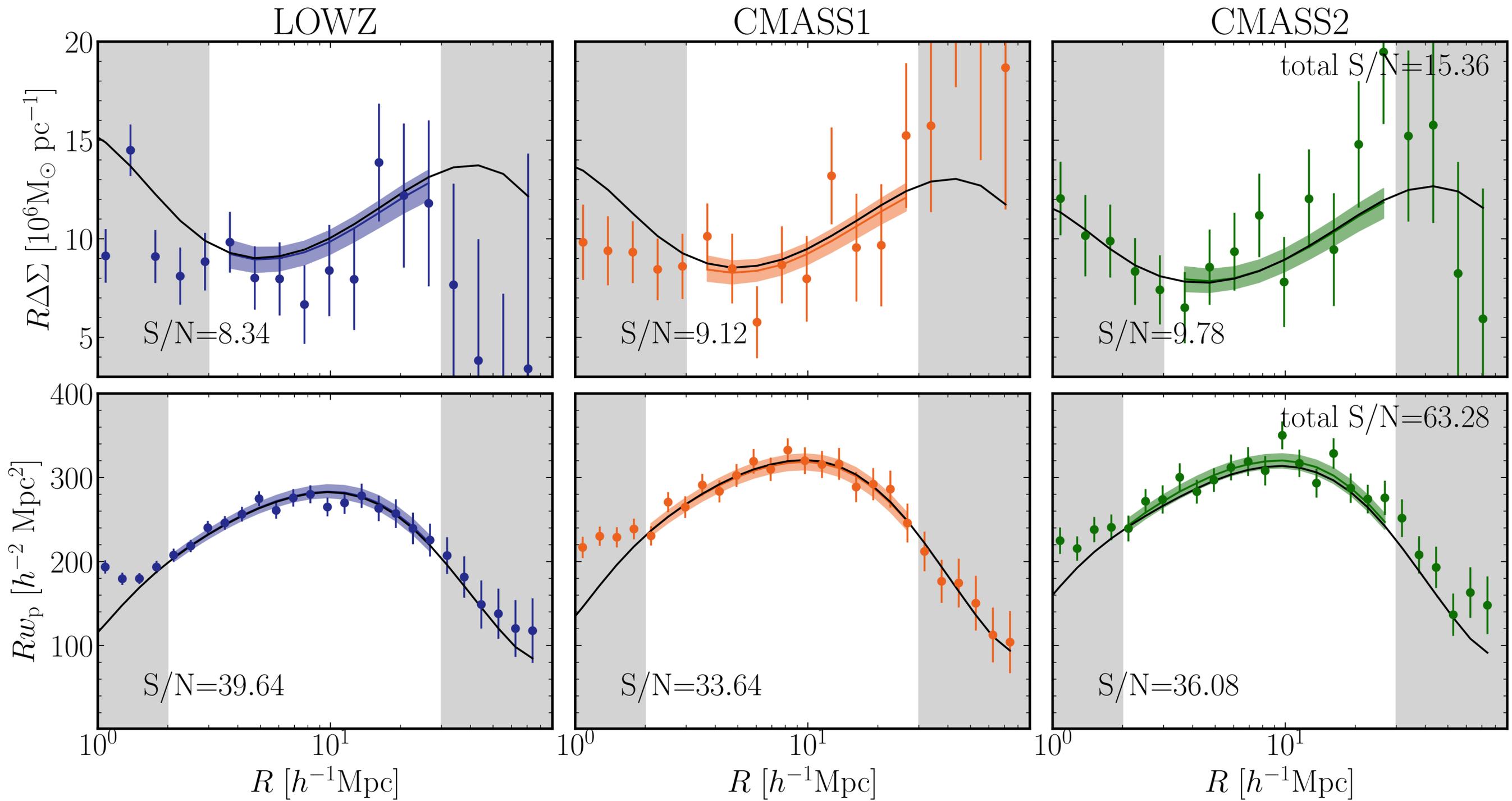
Li, HM, et al. (2021)

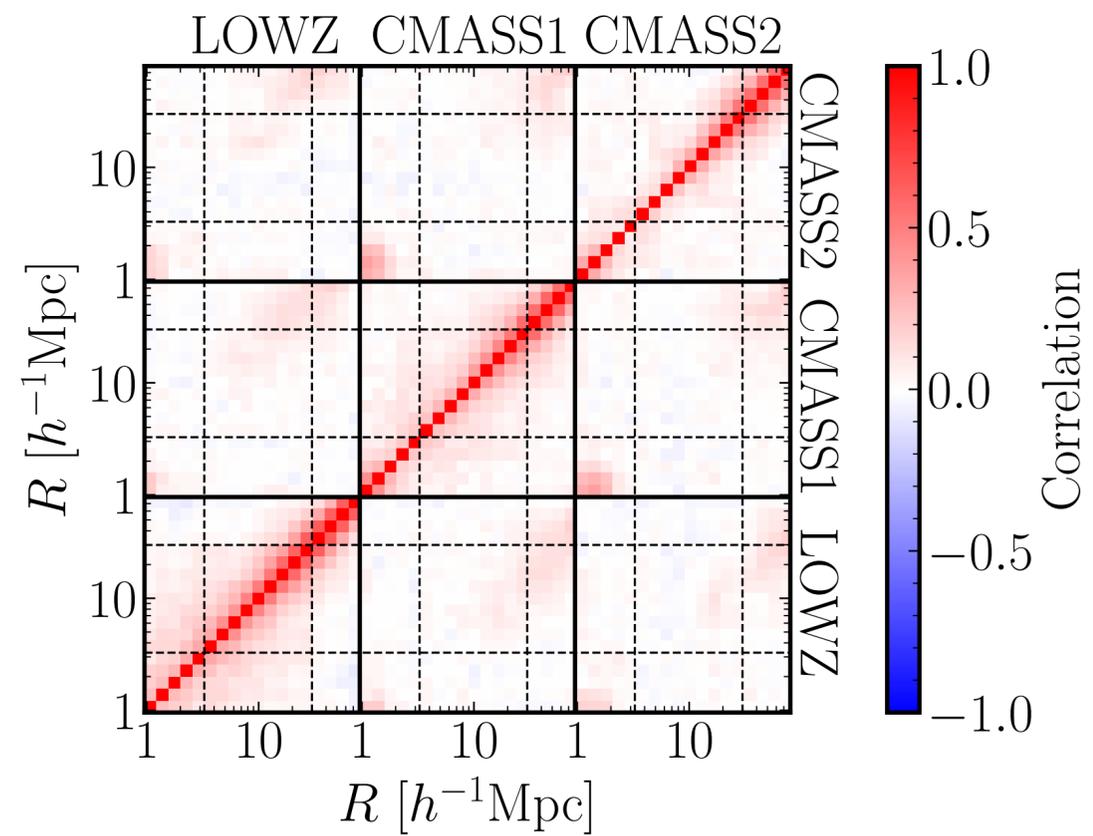
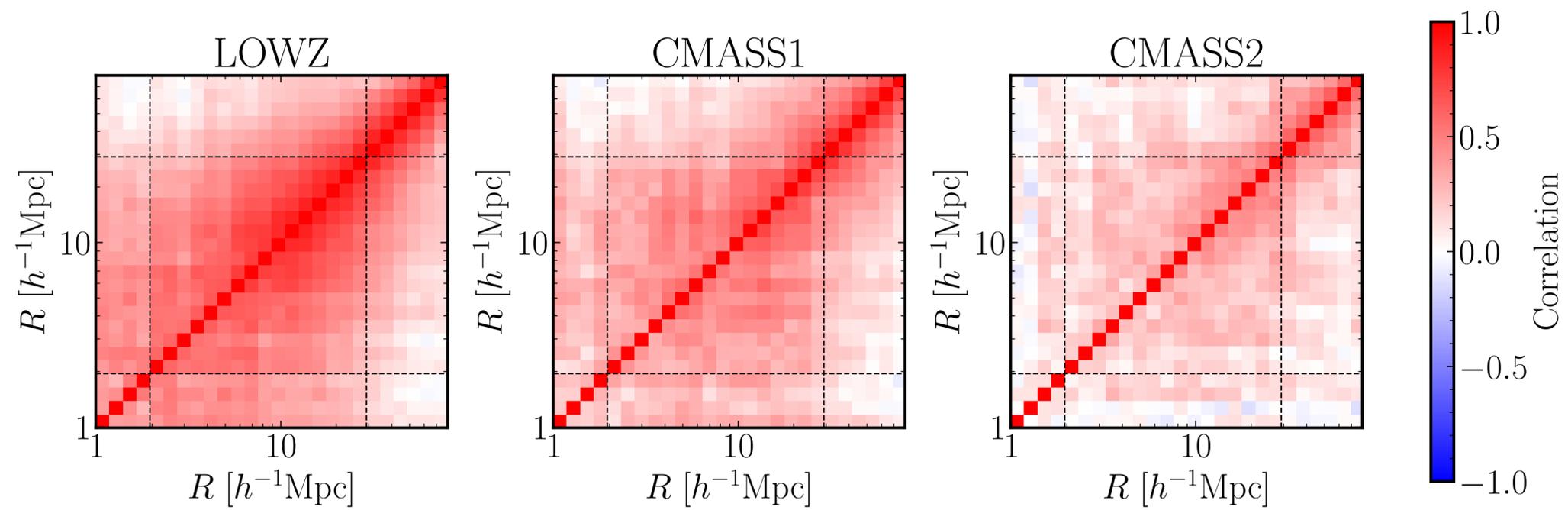
- 約3倍の観測領域の重力レンズカタログは作成済み。現在宇宙論解析を進めている。
- Cosmic shear, 銀河弱重力レンズ、銀河クラスターリングを用いた解析を行う。

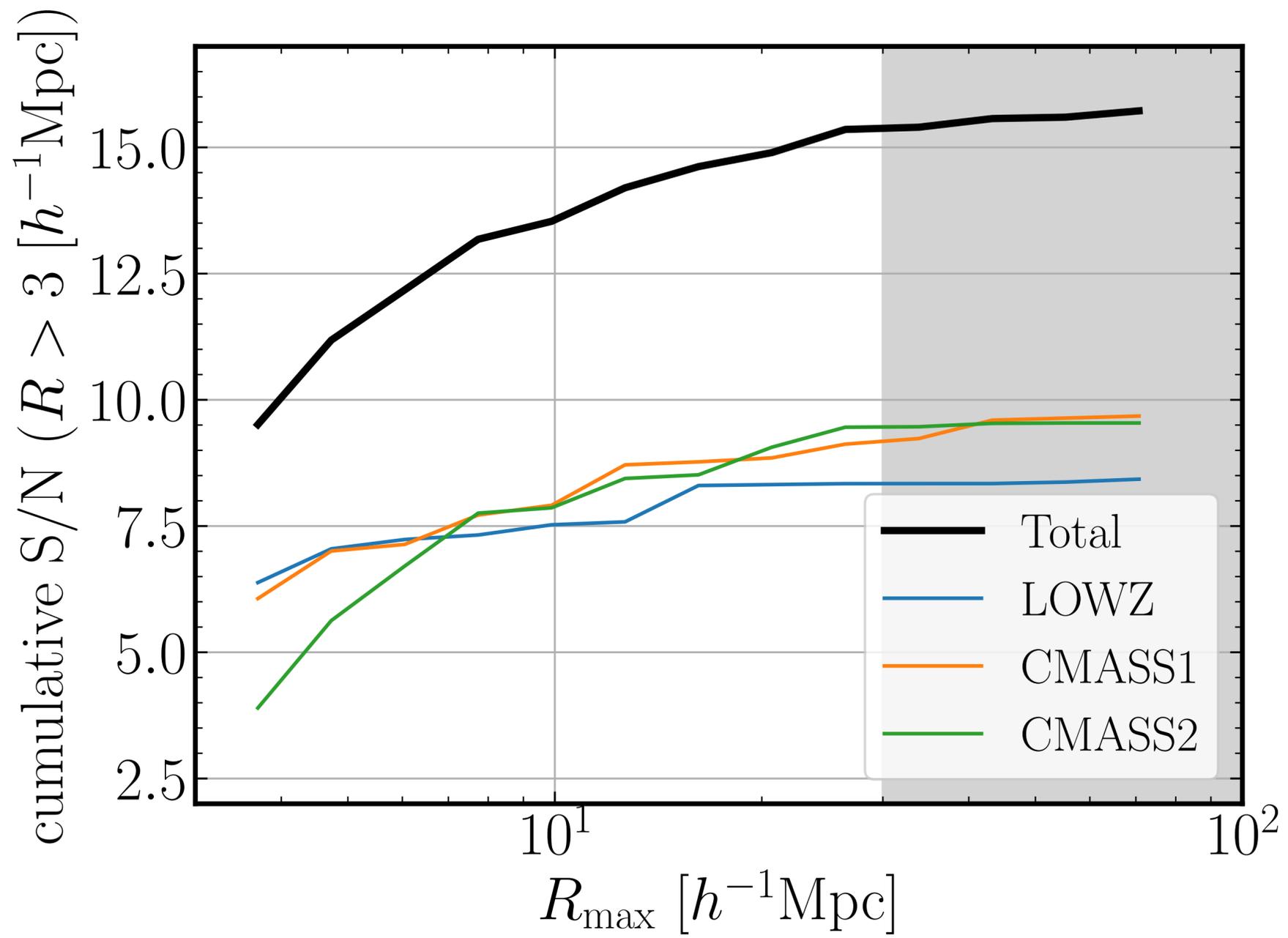
# まとめ

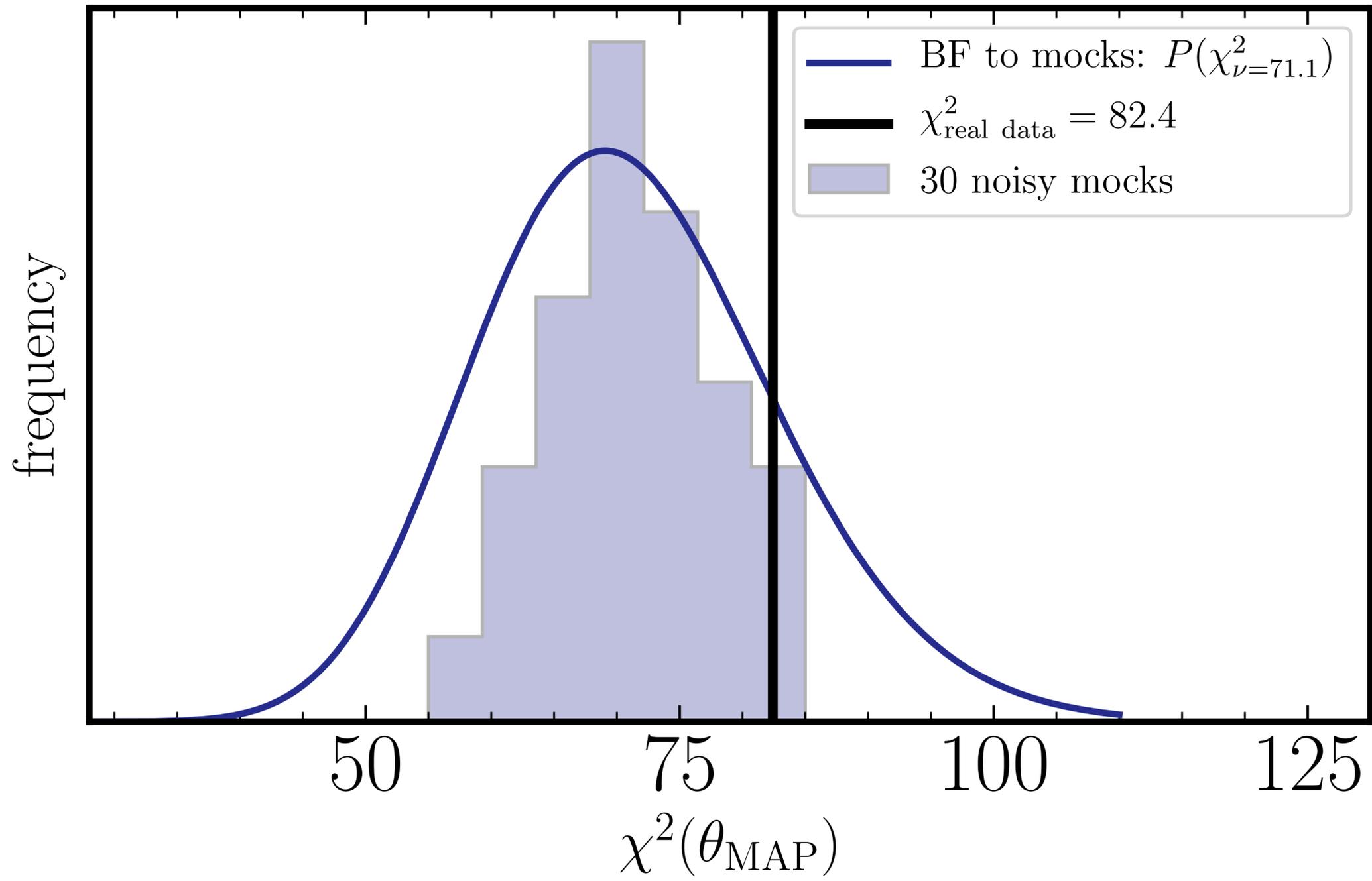
- 銀河弱重力レンズと銀河クラスターリングの組み合わせは強力な宇宙論プローブ。
- 小スケールまで使える高精度モデルを構築した。
  - Dark Emulatorを用いた暗黒物質ハロー統計量の予言
  - 解析的な銀河分布モデルを用いることによって銀河-ハロー関係を周辺化
- BOSSとHSC Y1のデータに適用し、宇宙論制限を得た。
- 次はHSC Y3データ(~450平方度)を用いた解析を行う。

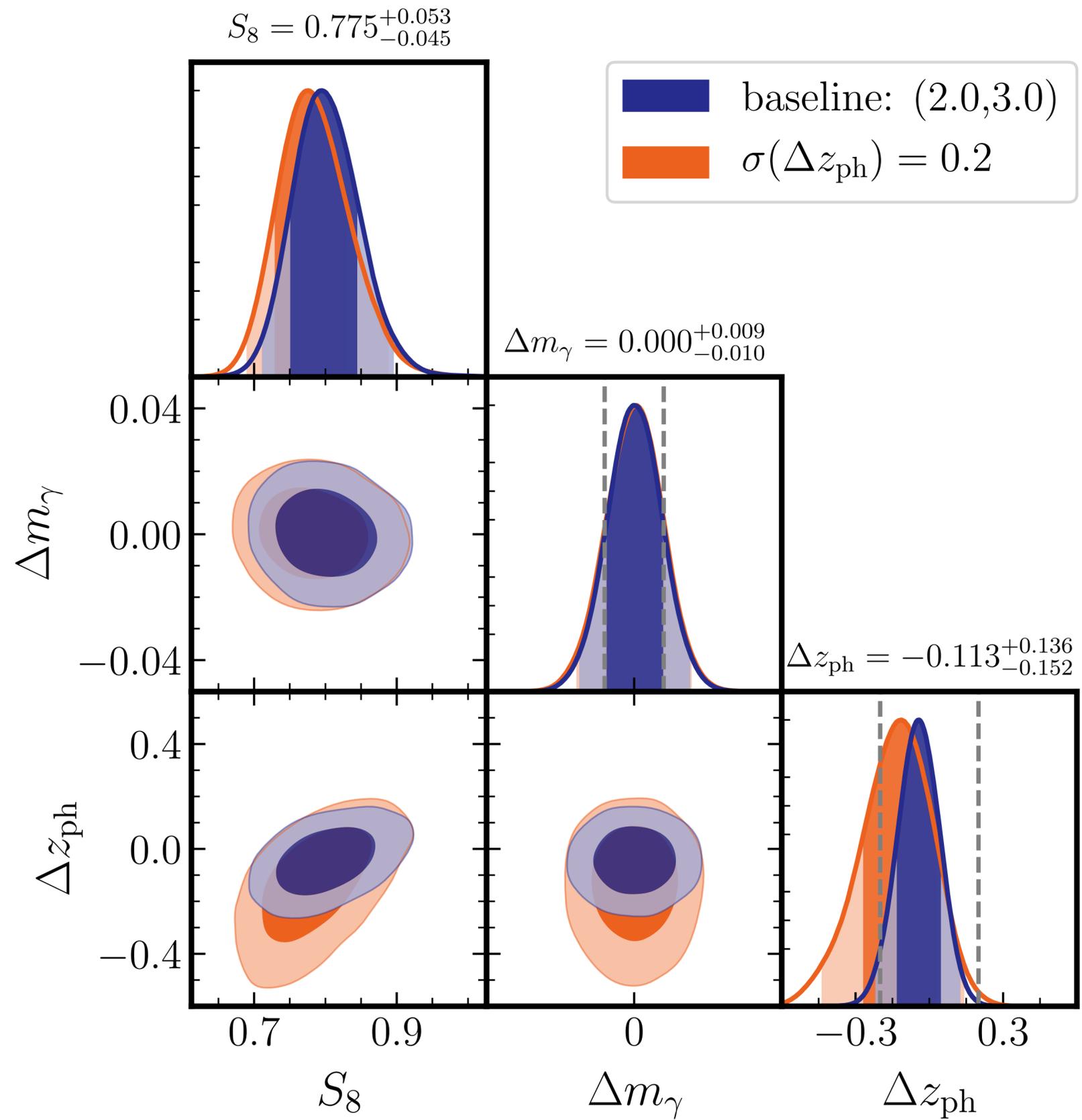
# Backup Slides

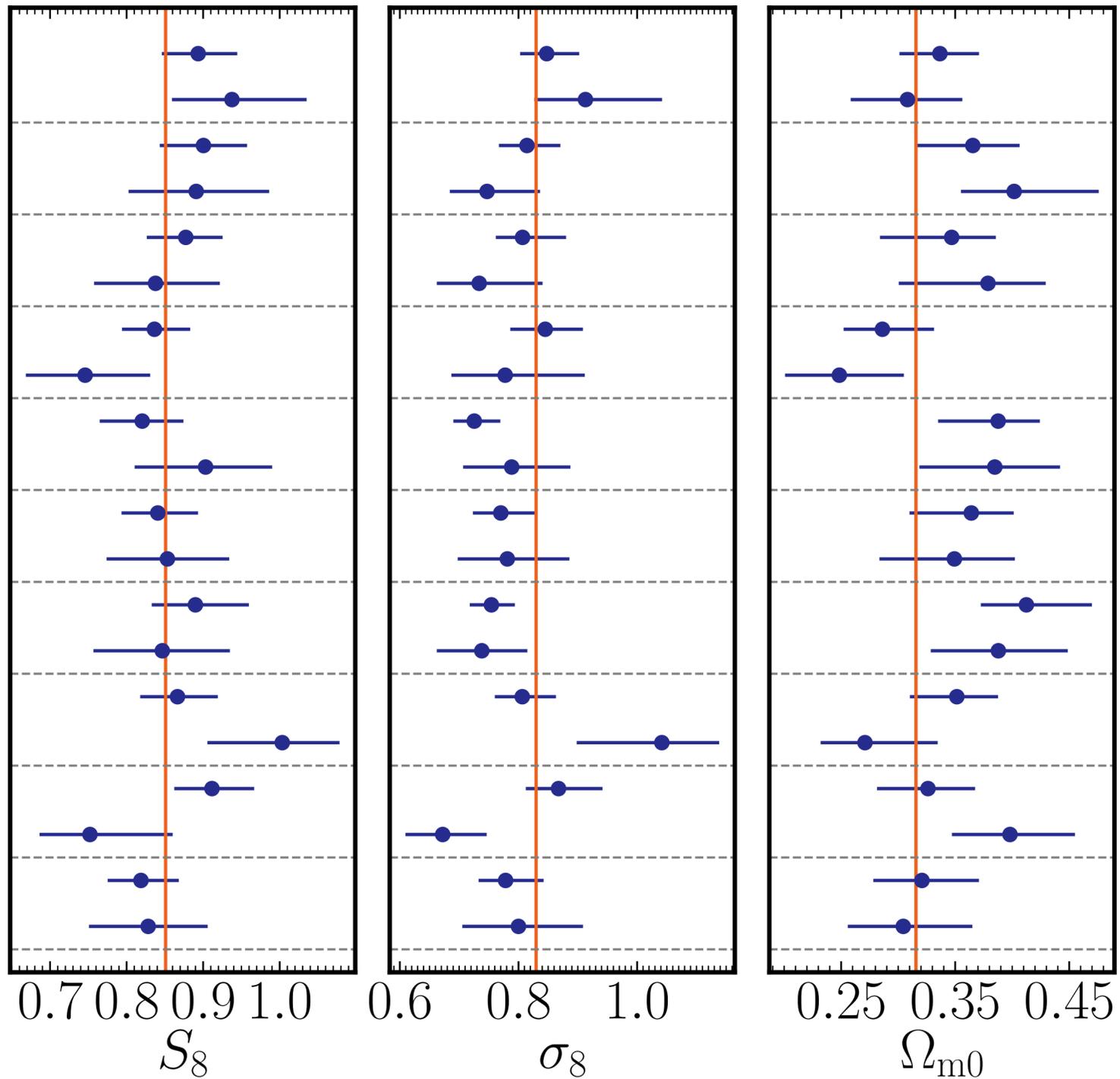












realization 0, scale cuts: (2, 3)  
 realization 0, scale cuts: (8, 12)  
 realization 1, scale cuts: (2, 3)  
 realization 1, scale cuts: (8, 12)  
 realization 2, scale cuts: (2, 3)  
 realization 2, scale cuts: (8, 12)  
 realization 3, scale cuts: (2, 3)  
 realization 3, scale cuts: (8, 12)  
 realization 4, scale cuts: (2, 3)  
 realization 4, scale cuts: (8, 12)  
 realization 5, scale cuts: (2, 3)  
 realization 5, scale cuts: (8, 12)  
 realization 6, scale cuts: (2, 3)  
 realization 6, scale cuts: (8, 12)  
 realization 7, scale cuts: (2, 3)  
 realization 7, scale cuts: (8, 12)  
 realization 8, scale cuts: (2, 3)  
 realization 8, scale cuts: (8, 12)  
 realization 9, scale cuts: (2, 3)  
 realization 9, scale cuts: (8, 12)