

Evidence for the accelerated expansion of the Universe from weak lensing tomography with COSMOS

T. Schrabback et al. 2010
arXiv : 0011.0053 (submitted to A&A)

“Cosmic acceleration confirmed”
A. Lopes 2010, Nature 464, 694

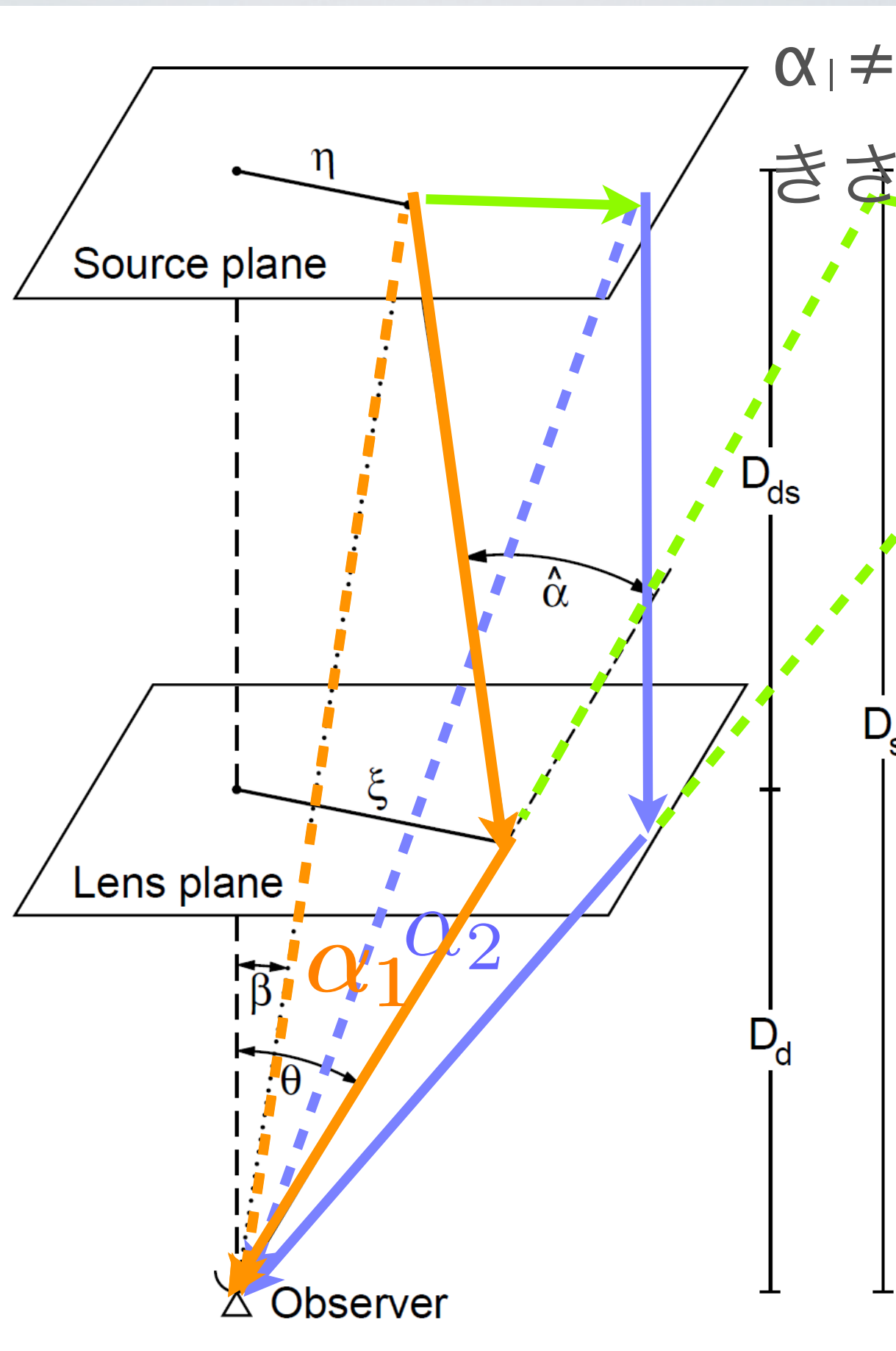
Abstract

- COSMOSのHST/ACS撮像データとphoto-zデータを用いてWeak Lensing Tomographyを行った。
- その結果、Weak Lensing Tomographyで初めて宇宙の加速度膨張を発見した。

INTRODUCTION

宇宙の加速度膨張 $\ddot{a} > 0$

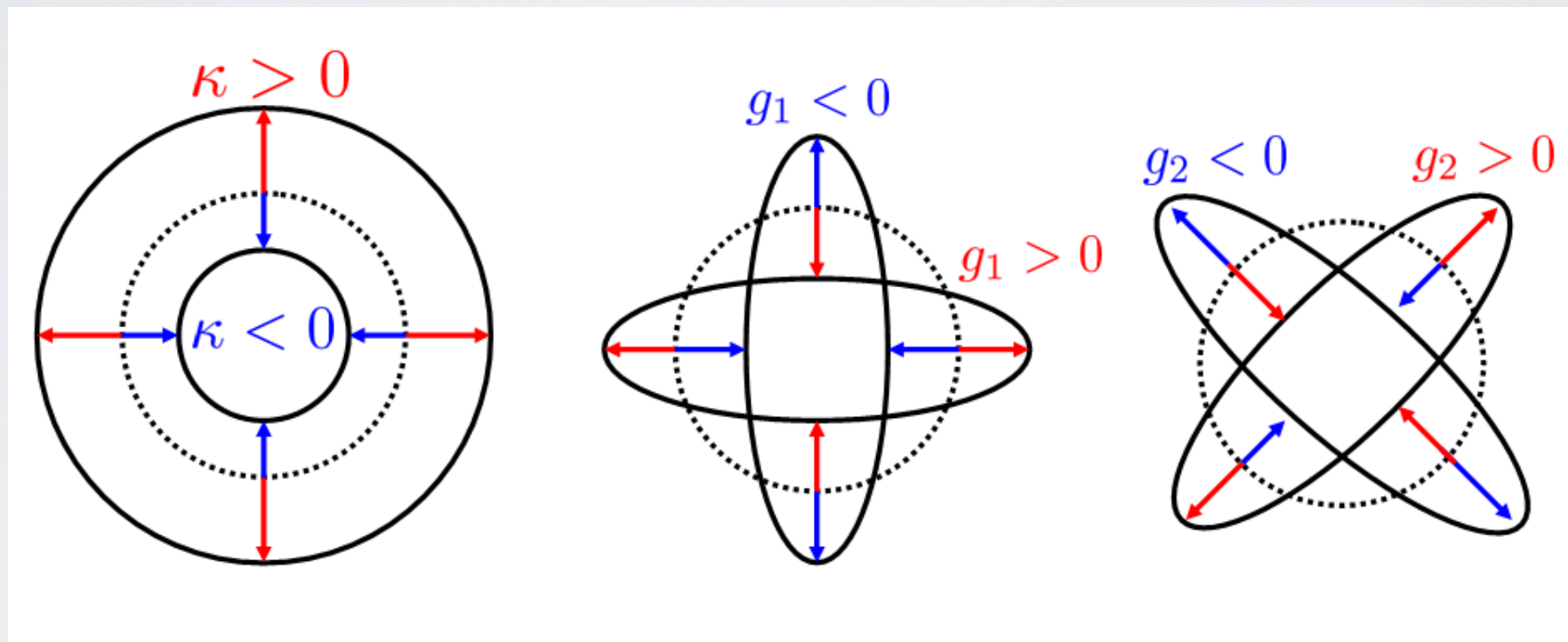
- 加速度膨張
 - 距離を遠くする、密度揺らぎの進化を弱める。
 - SNIa、BAO、CMBによって確認
- 通常物質では加速度膨張は引き起こせない
 - 宇宙定数、dark energy、修正重力 etc
- 加速度膨張の原因究明が観測的宇宙論の最大目標の一つ



$\alpha_1 \neq \alpha_2$ では矢印の大きさ、方向が変わる

WEAK LENSING

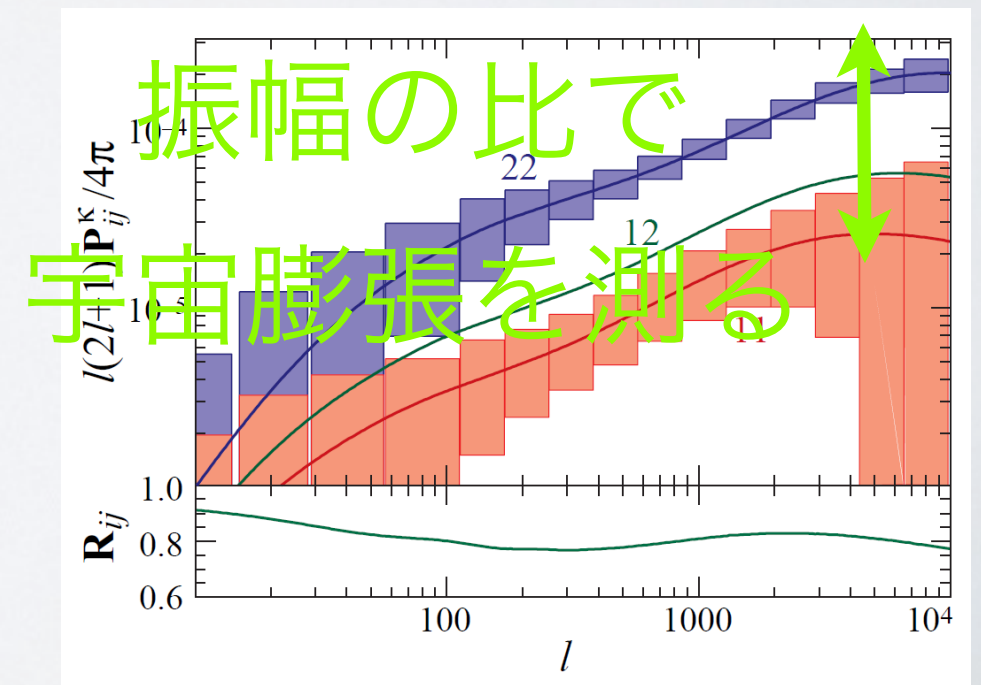
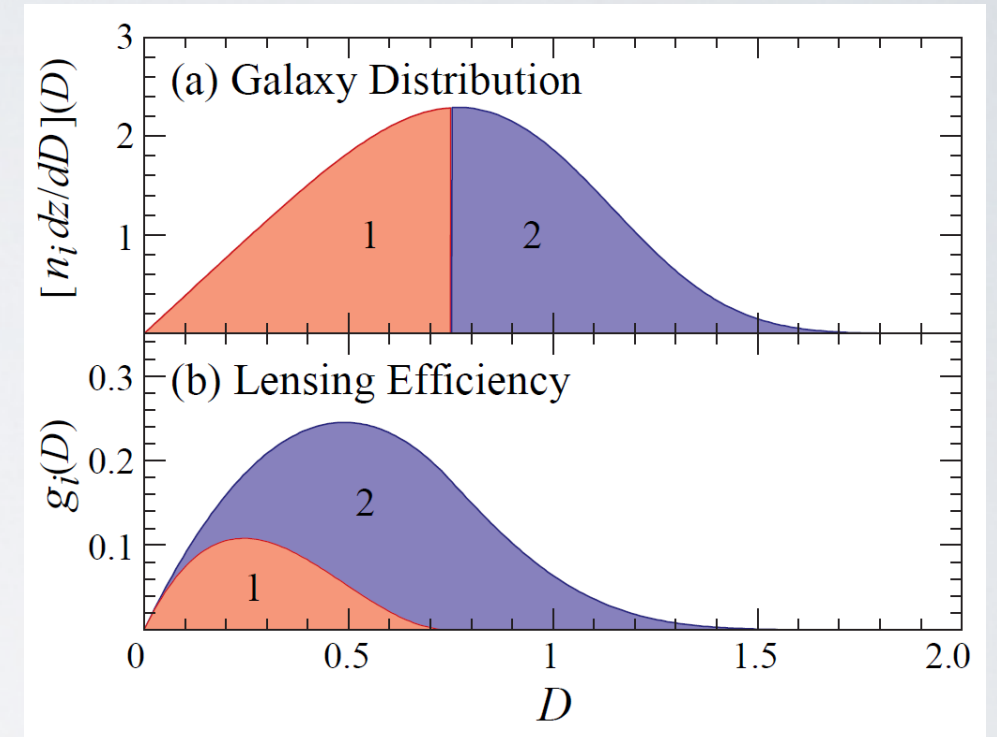
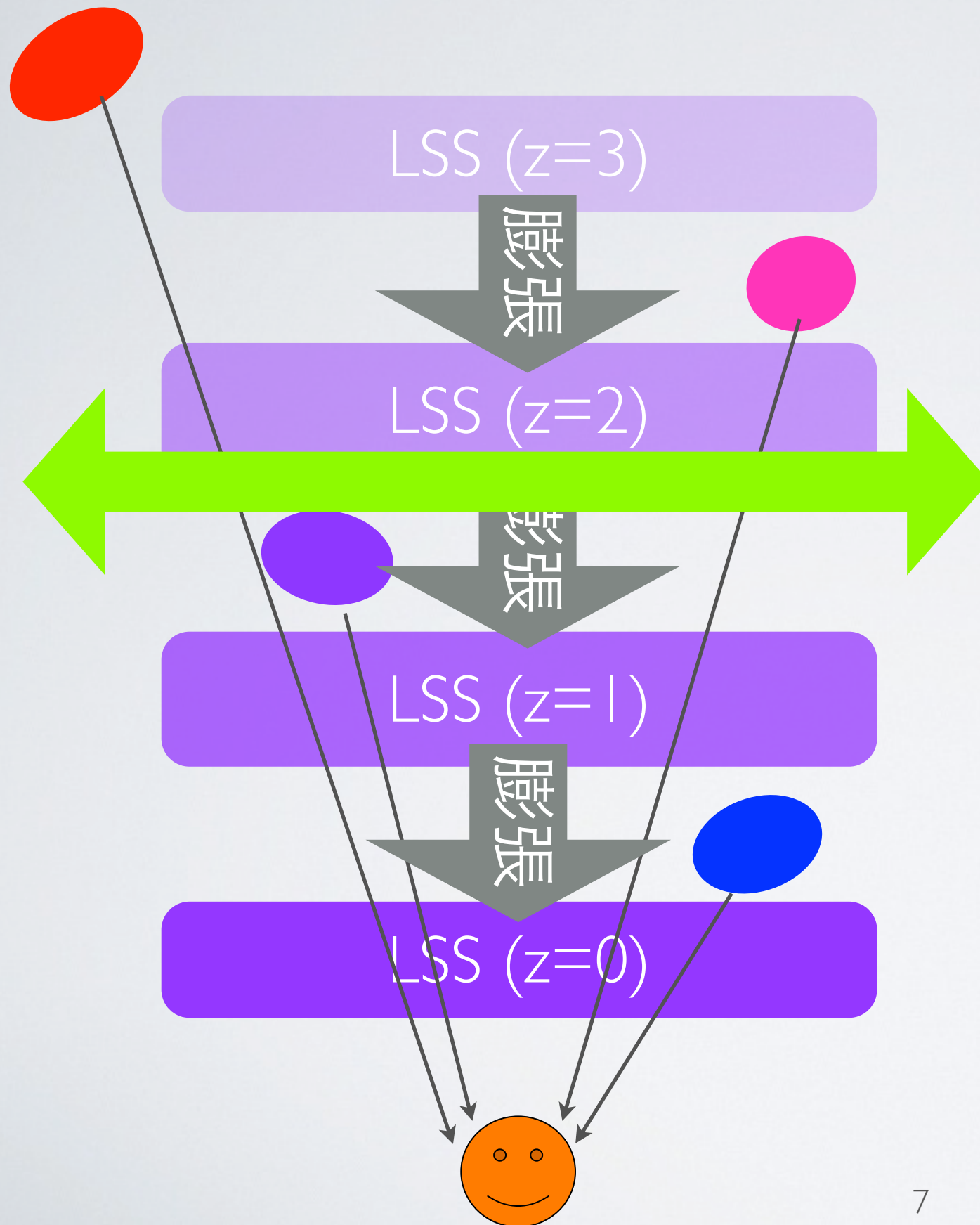
曲がり角が場所ごとに異なる事で像が僅かに歪む効果



$$\gamma \propto \frac{(\chi_s - \chi_l)\chi_l}{a(z_s)\chi_s} \delta(\chi_l) \quad \text{シグナルは密度と距離比に比例}$$

加速度膨張していると . . . 距離比↑、密度揺らぎ↓

WEAK LENSING TOMOGRAPHY





COSMOSとは

- 遠方銀河、AGNや大規模構造の形成・進化を探索するサーベイ
- HSTで観測された連続領域で最大
($77' \times 77' = 1.64 \text{deg}^2 = \text{HST/ACS 579 shot}$)
- Spitzer, GALEX, XMM(space), Subaru, VLA, VLT ...etc(ground)の多波長観測

$\gamma + z$



γ

- **data**

HST/ACS 1.64deg² ; 446,934 gals=76/arcmin² with $i_{814} < 26.7$

- **shape measurement**

KSB+ (Kaiser+95, Luppino+97, Hoekstra+98) & STEP2
empirical calibration

- **PSF modeling**

PCA(Principle Component Analysis) from star field

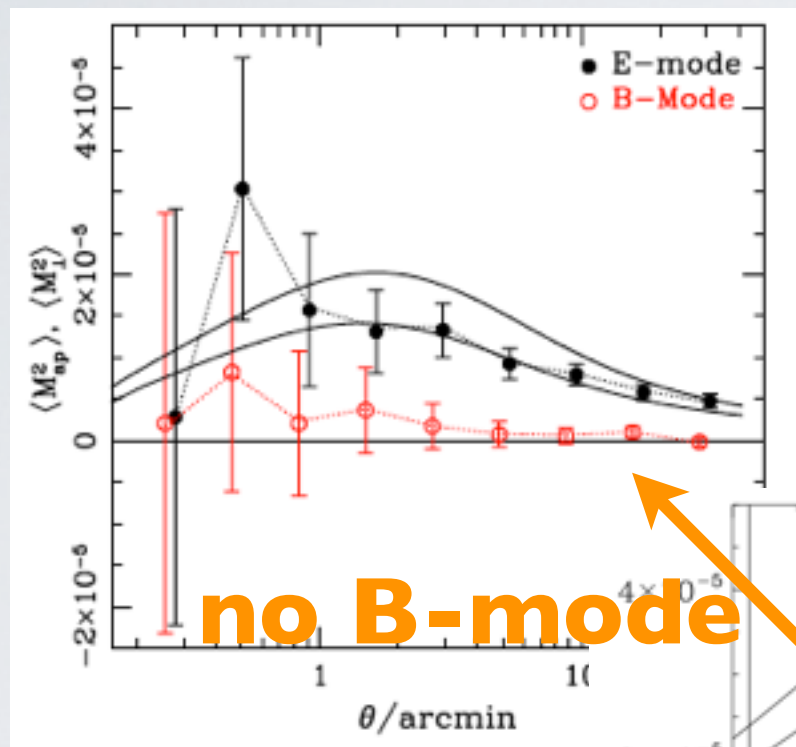
- **other correction**

CTI (Charge Transfer Inefficiency) modeling

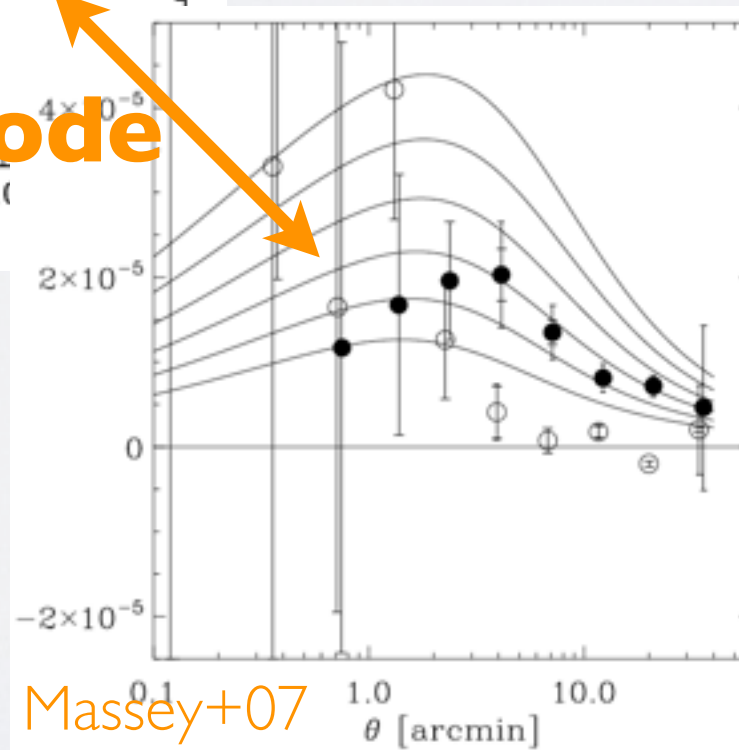
γ の精度チェック

• E/B分解

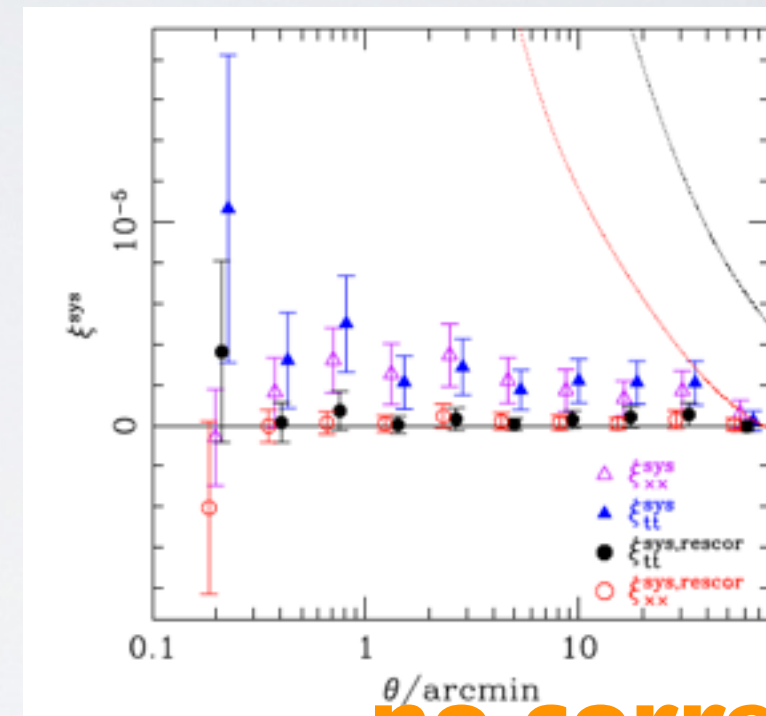
• star-gal 相関



no B-mode



Massey+07



no correlation

z

$i^+ < 25$ (43%) has individual photo-z

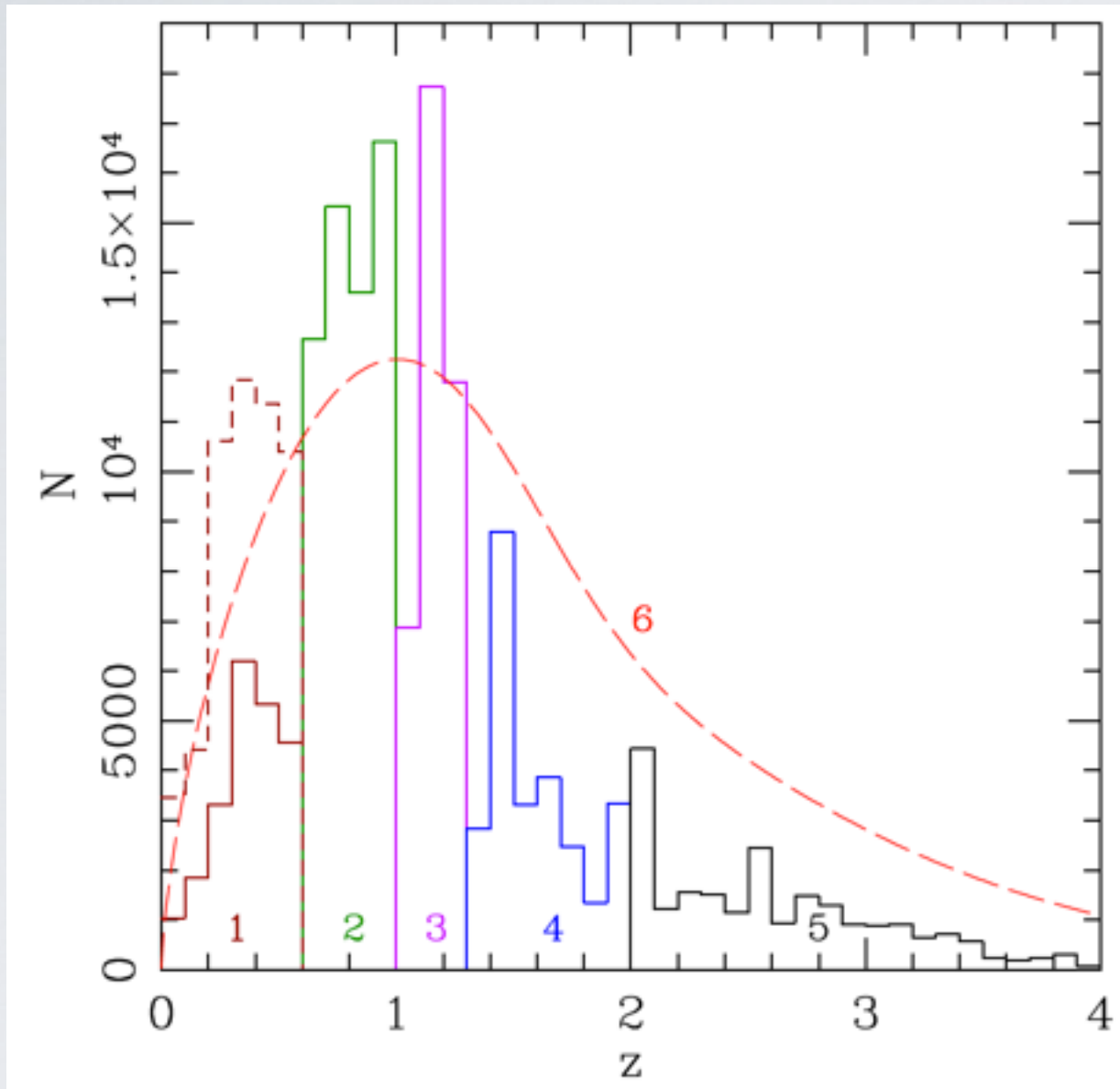
- COSMOS-30 catalogue (30band + *Le Phare* code)
- $\sigma_{\Delta z/(1+z)} = 0.012$ for $i^+ < 24$ and $z < 1.25$ thanks to IR band
- $\sigma_{\Delta z/(1+z)} = 0.06$ for $i^+ \sim 24$

$i^+ > 25$ galaxies use estimated distribution

- redshift distributionをパラメータ化し $i^+ < 25$ から外挿

$$p(z|i_{814}) \propto \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha \left(\exp\left[-\left(\frac{z}{z_0}\right)^\beta\right] + cu^d \exp\left[-\left(\frac{z}{z_0}\right)^\gamma\right] \right)$$

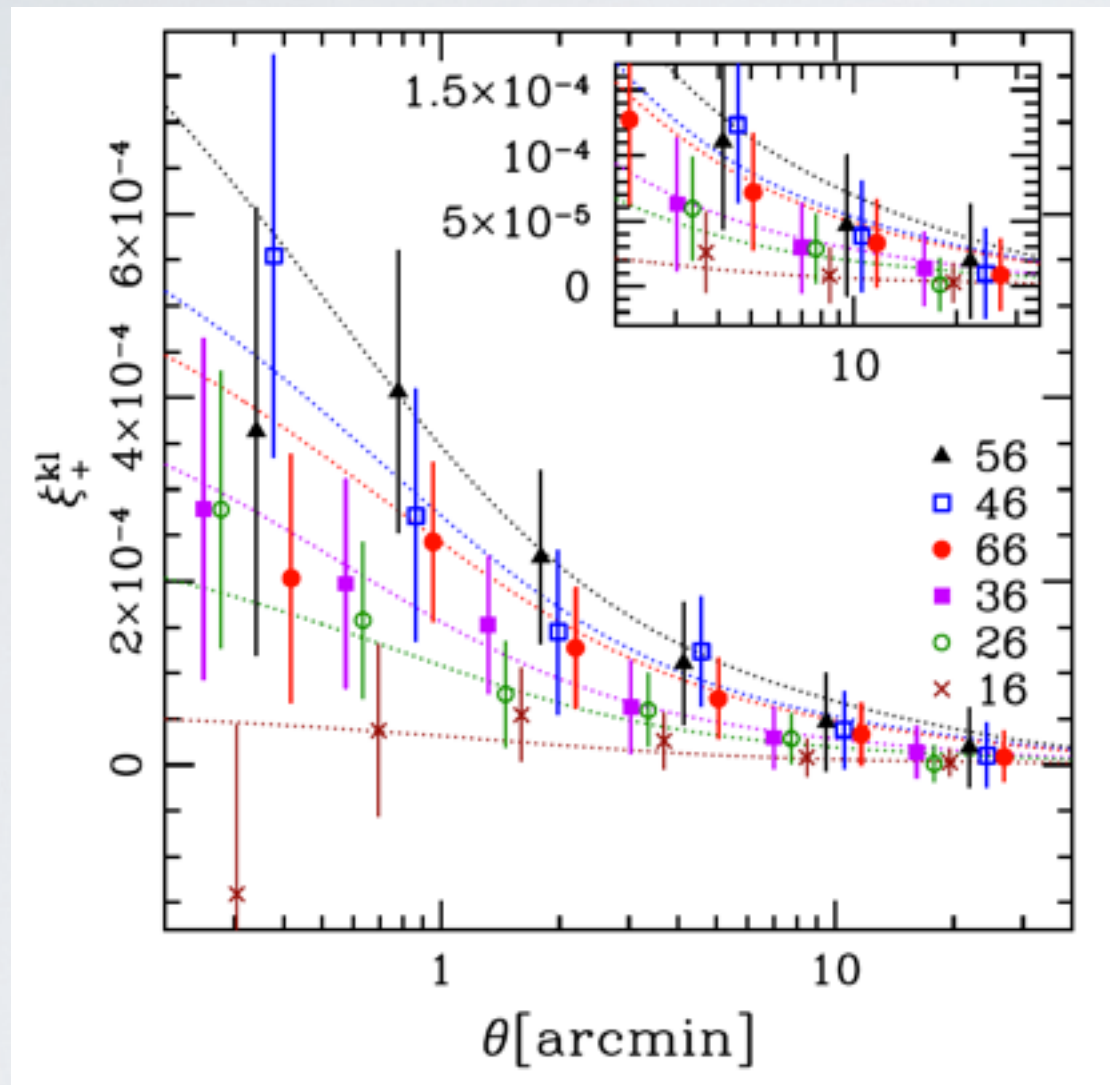
Weak lensing tomography (I)



Bin	$z_{\min}$	$z_{\max}$	N	$\langle z \rangle$
1	0.0	0.6	$i^+ < 24 : 22\,294^*$ $i^+ > 24 : 29\,817$	0.37
2	0.6	1.0	58\,194	0.80
3	1.0	1.3	36\,382	1.16
4	1.3	2.0	25\,928	1.60
5	2.0	4.0	21\,718	2.61
6	0.0	5.0	251\,958	1.54 ± 0.15

- photo- z がある銀河を5つのビンに分ける(1~5)
- photo- z が無い銀河も含めて一つのビン(6)

Weak Lensing Tomography (2)



$$\hat{\xi}_{\pm}^{kl}(\theta) = \frac{\sum_{i,j} (\gamma_{t,i}^k \gamma_{t,j}^l \pm \gamma_{x,i}^k \gamma_{x,j}^l) \Delta_{ij}}{\sum_{i,j} \Delta_{ij}}$$

k,l = bin index

i,j = galaxy index

- signalの赤方偏移依存性、角度依存性ともに理論予言と無矛盾

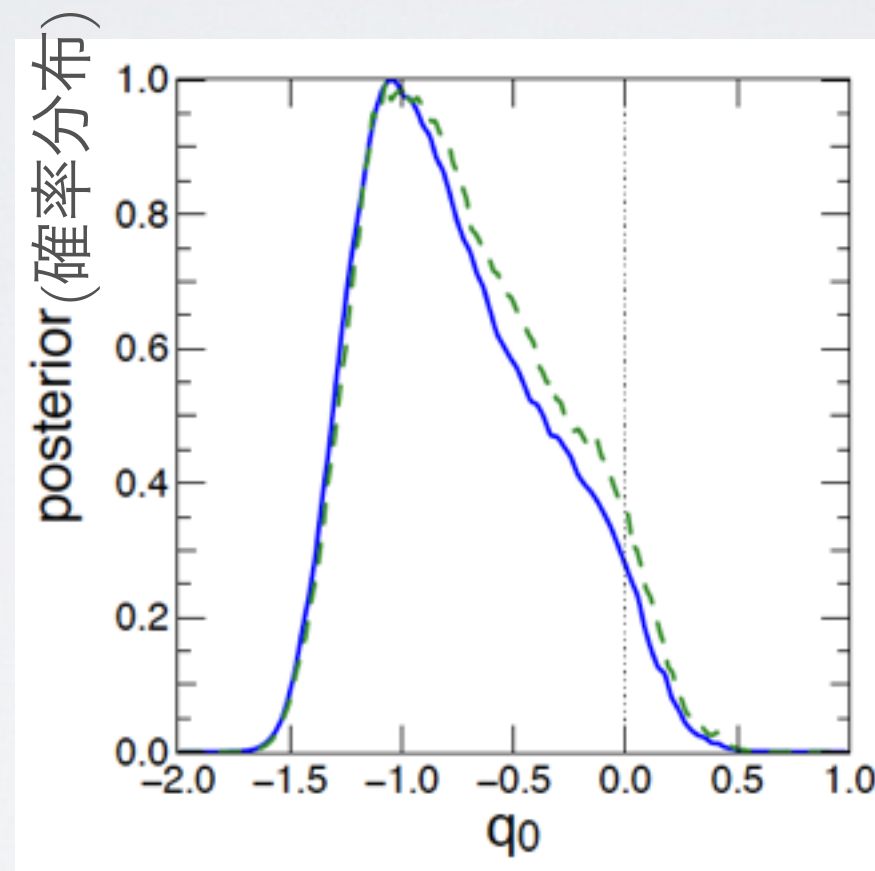
パラメータ評価

$$\ln P(\boldsymbol{d}|\boldsymbol{p}) = -\frac{1}{2} [\boldsymbol{d} - \boldsymbol{m}(\boldsymbol{p})]^t \boldsymbol{C}^{-1} [\boldsymbol{d} - \boldsymbol{m}(\boldsymbol{p})]$$

- P : likelihood function
- $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{C}_{\text{int}} + \boldsymbol{C}_{\text{cv}}$: covariance matrix ; CV from ray-tracing
- $\boldsymbol{d} = \hat{\xi}_{\pm}^{kl}(\theta)$: data vector
- $\boldsymbol{m} = \xi_{+/-}^{kl}(\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} d\ell \ell J_{0/4}(\ell\theta) P_{\kappa}^{kl}(\ell)$: parameter-dependent model
- $\boldsymbol{p} = (\Omega_{\text{DE}}, \Omega_{\text{m}}, \sigma_8, h, w, f_z)$: parameter

加速度膨張の再発見

減速パラメータ $q_0 = -\ddot{a}a/\dot{a}^2$

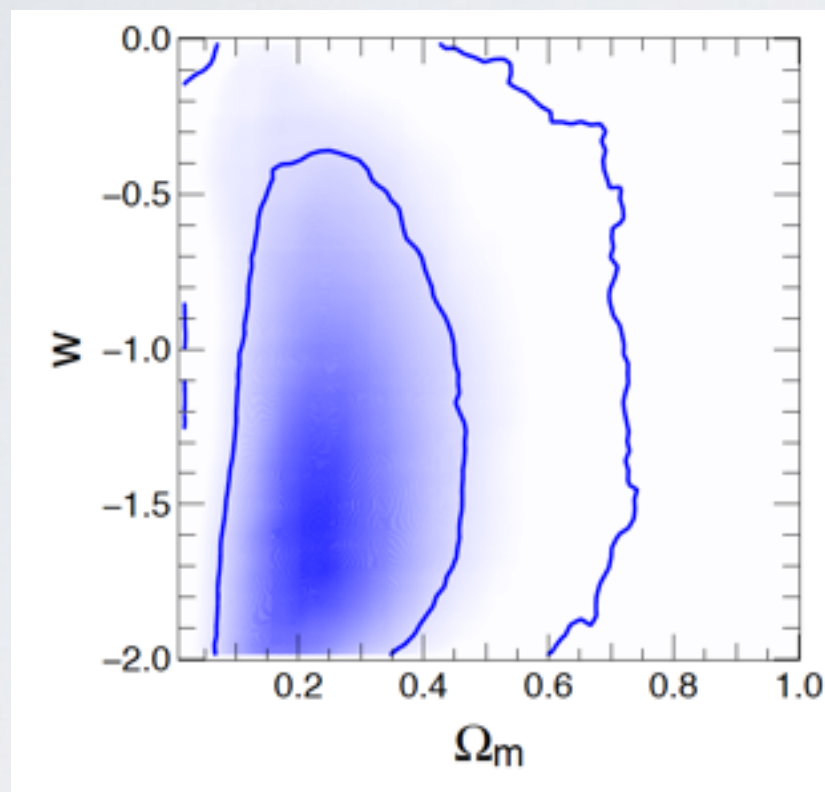


※flatを仮定せず

SNIaに遅れる事12年、初めてWeak Lensing
Tomographyで宇宙の加速度膨張を独立に発見

他の宇宙論パラメータ

$$w = p/\rho$$

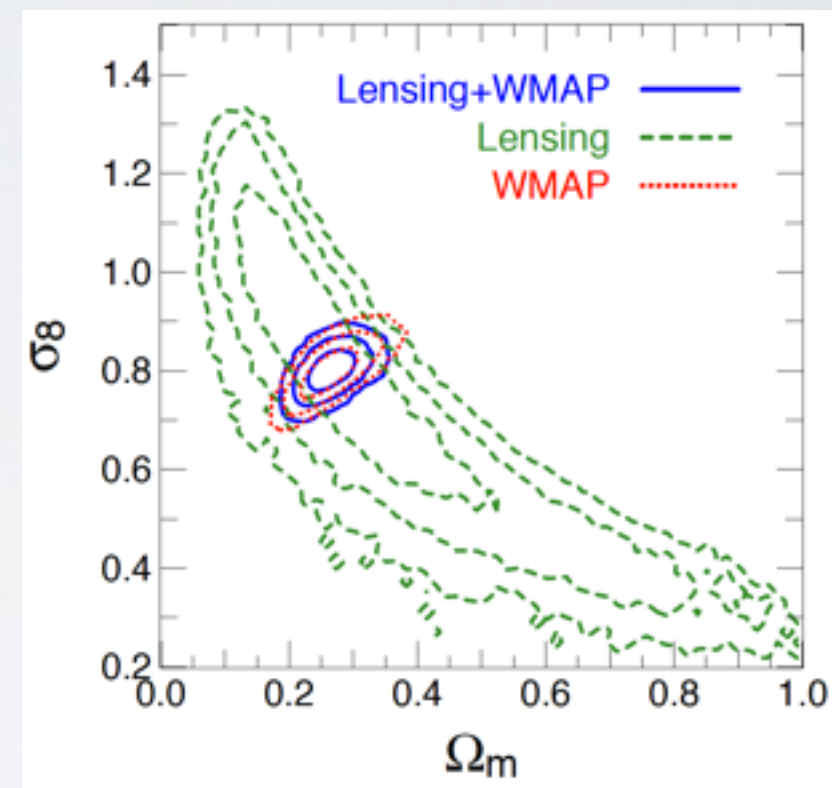


$w < -0.41$ for $w \in [-2:0]$

$w < -0.78$ for $w \in [-3.5:0.5]$

prior依存が大きく、全く制限はついていない

$$\Omega_m - \sigma_8$$



$$\Omega_m = 0.266^{+0.025+0.057}_{-0.023-0.042}$$

$$\sigma_8 = 0.802^{+0.028+0.055}_{-0.029-0.060}$$

CFHTLS(Fu+08), cluster counts (Mantz+09)
と1 σ で一致

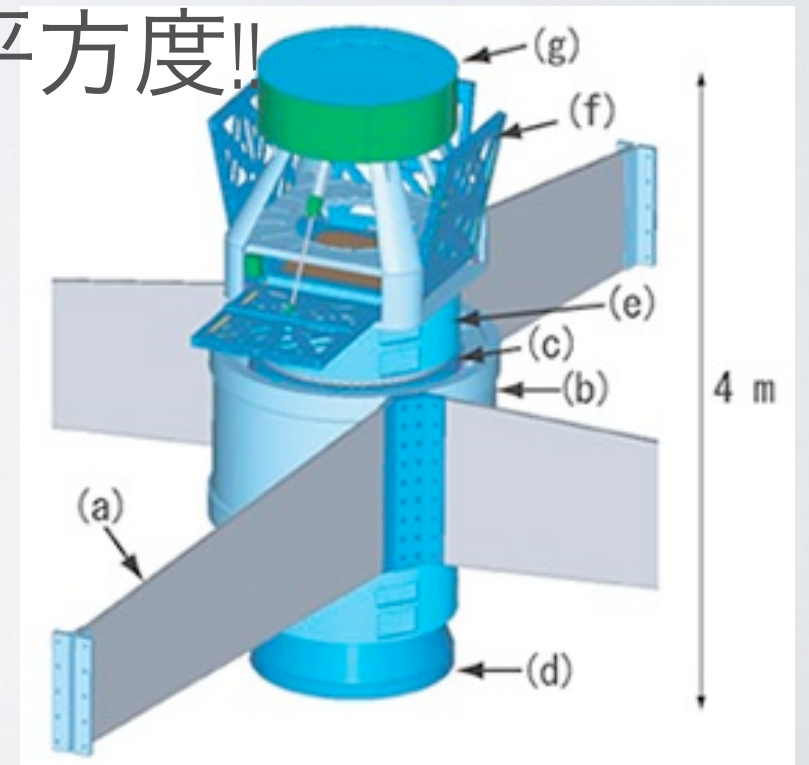
まとめ

- COSMOSのHST/ACS撮像データとphoto-zデータを用いてWeak Lensing Tomographyを行った。
- その結果、Weak Lensing Tomographyで初めて宇宙の加速度膨張を発見した。
- Weak Lensing Tomographyが暗黒エネルギー探査に有効である事を示した。

FUTURE SURVEY

- 前から知られていたものを確認しただけではないか？
- 今回はWeak Lensing Tomographyのデモ（たった2平方度）
- HSCなどの将来サーベイではa few $\times$ 1000平方度!

→ 暗黒エネルギーの正体解明へ



<http://hep.phys.s.u-tokyo.ac.jp/TokuteiDE/purpose/>