

Weak Lensing Tomography

高田 昌広 (東北大)

12/25/04 東京

宇宙の加速度膨張: $\rho+3p<0$

1. 本当に加速度膨張しているのか？

CMB, SNe, galaxy survey, Clusters, WL

YES!



From WMAP website

2. $w=-1$? ($w \equiv p/\rho$)

どの赤方偏移においても $w \neq -1$ が言えれば、宇宙項は棄却される

SNe (w for $z < 0.5$), weak lensing (w for $z \approx 0.4-0.5$)

3. なぜ？ (物理的モデル・解釈)

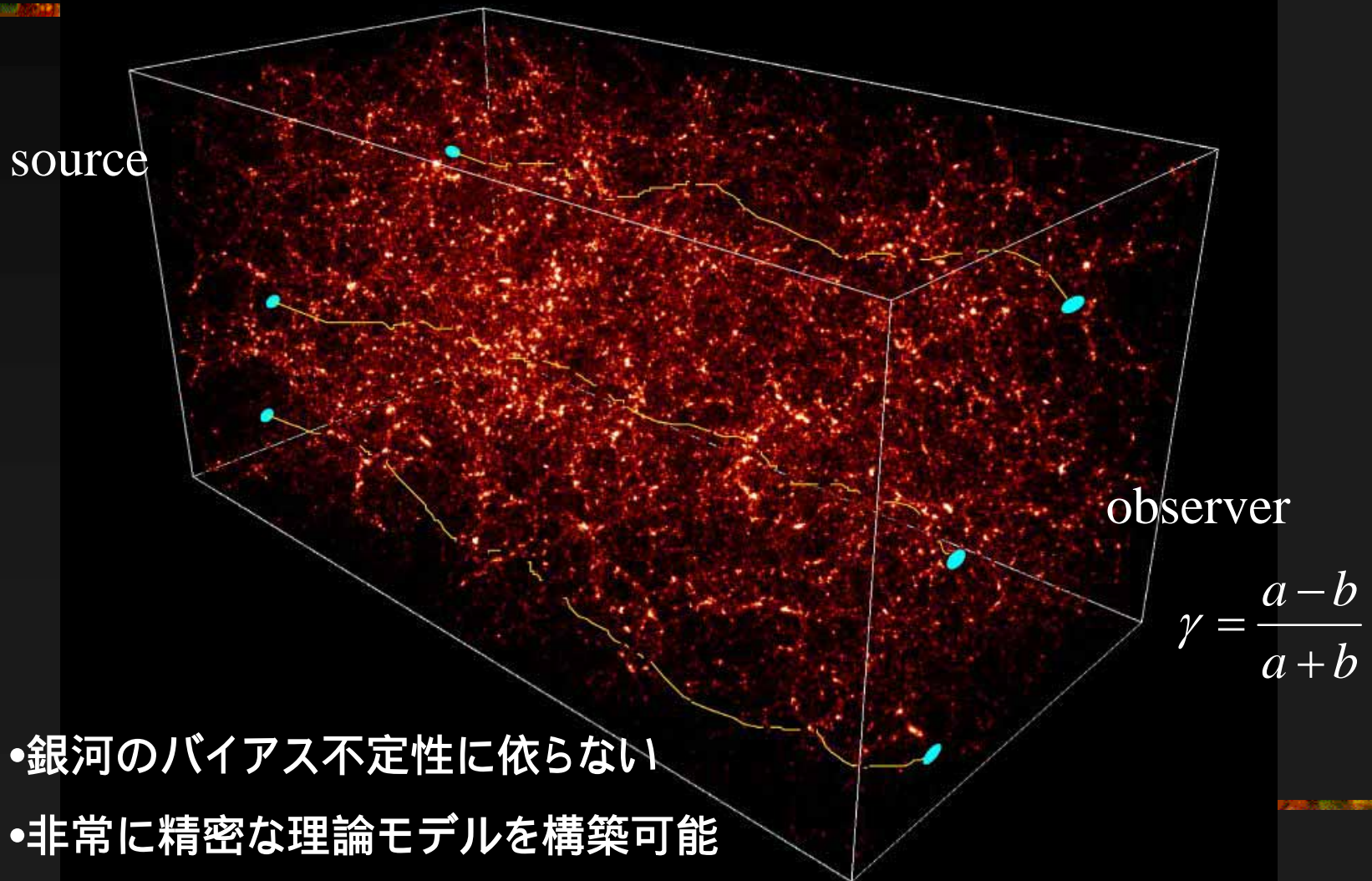
Dark energy?

Modified gravity?

$w(z)$ を観測的に制限!

宇宙論的な重力レンズ効果 -- Cosmic Shear

遠方銀河像に対する大規模構造による歪み効果



Cosmic Shearの測定方法

$$\gamma_i^{\text{obs}} = \gamma_i^{\text{cs}} + \varepsilon_i \quad \gamma^{\text{cs}} = O(0.01), \quad \sigma_\varepsilon \approx 0.3$$

相関関数



$$\begin{aligned} \xi_\gamma(\theta) &= \frac{1}{N_{\text{pair}}} \sum_i \gamma^{\text{obs}}(\theta_i) \gamma^{\text{obs}}(\theta_i + \theta) \\ &= \left\langle \gamma^{\text{cs}}(\theta_1) \gamma^{\text{cs}}(\theta_2) \right\rangle_\theta \pm \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sqrt{N_{\text{pair}}}} \end{aligned}$$

$$N_{\text{pair}} \propto \Omega_{\text{survey}} n_s \times n_s \theta \delta\theta$$

より多数の銀河が必要⇒測光的サーベイが最適

広視野・多色・広領域のサーベイ

進行中・計画されている多色測光サーベイ

Ongoing surveys

- Subaru intensive program (Miyazaki, Hamana et al.)
 - $\Omega_s=33 \text{ deg}^2, n_g=30 \text{ arcmin}^{-2}$, 1 filter (SWANS PI Nagao, 40 deg^2 , 4 filters)
- CFHT Legacy Survey
 - $\Omega_s=200 \text{ deg}^2, n_g=30 \text{ arcmin}^{-2}$, 5 filters
- Deep Lens Survey (Tyson @UC Davis)
 - $\Omega_s=30 \text{ deg}^2, n_g=30 \text{ arcmin}^{-2}$, 4 filters

Future surveys

- Pan-Starrs (Hawaii Univ.): 2006-
 - 4x1.8 m, FOV 3 deg^2 , $\Omega_s=1000(?) \text{ deg}^2$, $n_g=40 \text{ arcmin}^{-2}$, 5 filters
- Dark Energy Survey (Chicago): 2009-
 - 4 m, FOV 3 deg^2 , $\Omega_s=5000 \text{ deg}^2$, $n_g=10 \text{ arcmin}^{-2}$, 4 filters
- LSST(Large Synoptic Survey Telescope) (Stanford, UC Davis): 2011-
 - 8.2 m, FOV 7 deg^2 , $\Omega_s=15000 \text{ deg}^2$, $n_g=50 \text{ arcmin}^{-2}$, 5 filters
- SNAP(Supernova/Acceleration Probe) (LBL): 2014-
 - 2m, FOV 1 deg^2 , $\Omega_s=1000 \text{ deg}^2, n_g=100 \text{ arcmin}^{-2}$, 6+3NIR filters

このような大規模サーベイは、天文学のあらゆる分野の貴重な財産

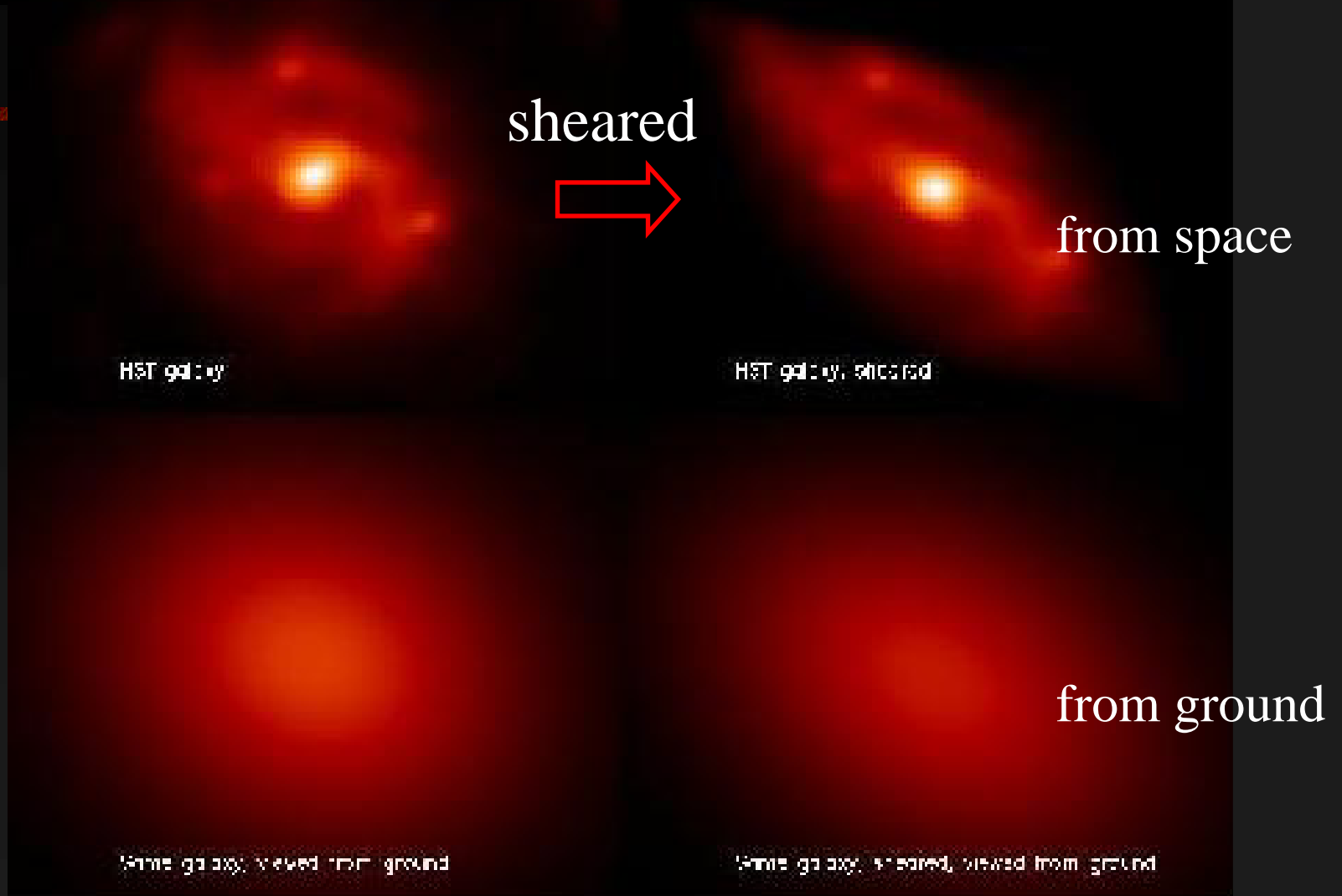
SNAP/Supernova Acceleration Probe



NASA and DOE agreed to making joint effort to launch the dark energy mission by 2014 (JDEM: Joint Dark Energy Mission).

SN program (30 months) + Weak lensing program (5-16 months)

Advantage of space-based CS survey



Space: 銀河イメージを正確に測定することが可能、より暗い、小さい銀河もCSに使える

Ground: 正確なPSF補正が最重要課題、広領域サーベイが可能

CSシグナルの宇宙論的意義

For a source galaxy at z_s

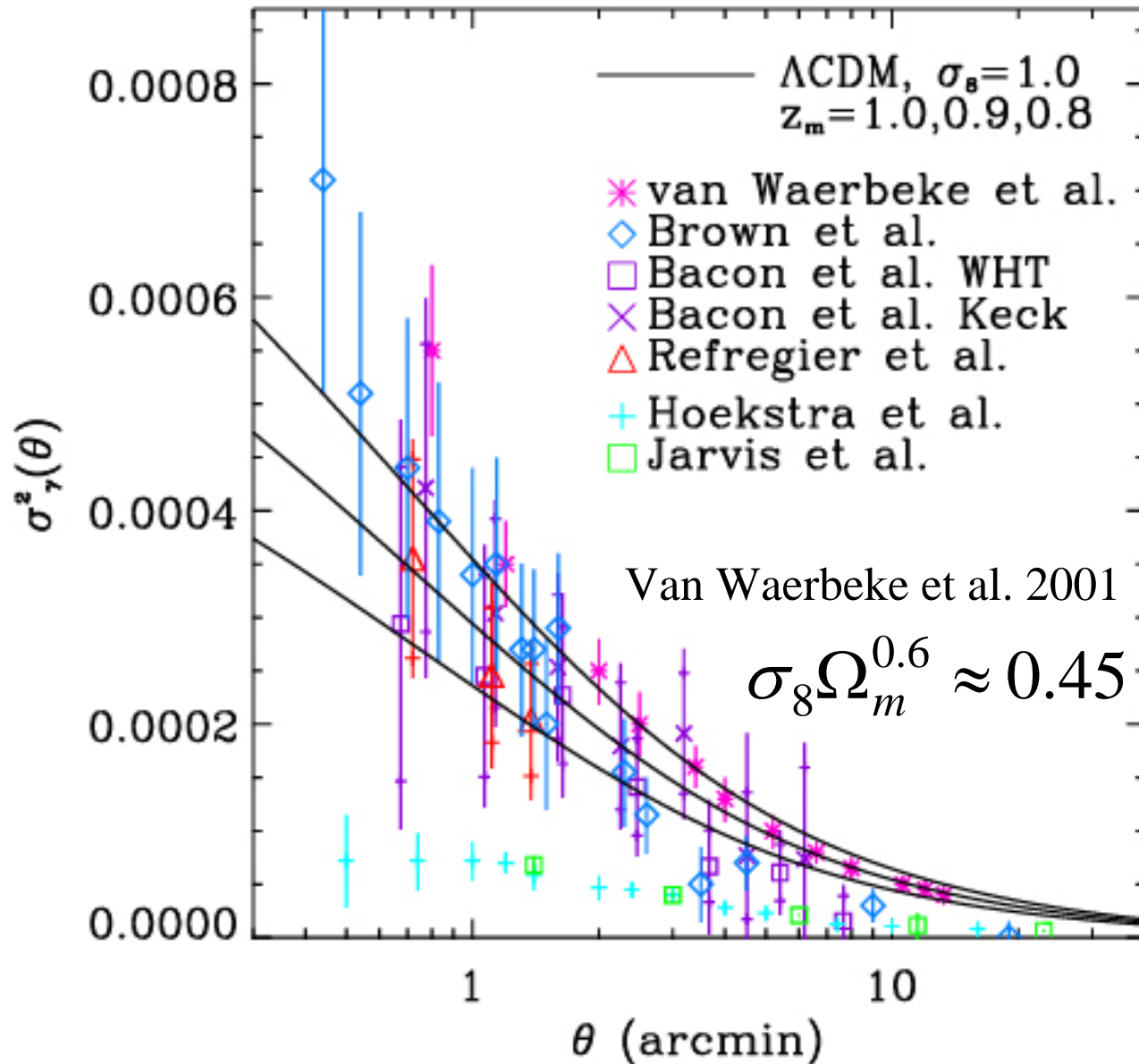
$$\gamma \propto \Omega_{m0} \int_0^{z_s} dz_L \frac{d_{LS}(z_L, z_s) d_L(z_L)}{d_S(z_s)} \delta(z_L, \theta) \quad \left(\delta \equiv \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}} \right)$$

- Lensing efficiency function W_{GL} :
 - 角径距離に依存し、ダークエネルギーに敏感
 - 銀河の赤方偏移分布に依存する
- Mass clustering part: δ
 - 密度ゆらぎの振幅パラメータ(σ_8)に敏感
 - 密度ゆらぎの成長率はダークエネルギーや質量を持つニュートリノによって変更をうける
 - 密度ゆらぎの統計的性質は、初期宇宙の情報を与える(e.g., Inflation model)

$$\langle \gamma^2 \rangle \propto \Omega_{de}^{-3.5} \sigma_8^{2.9} z_m^{1.6} |w_0|^{0.31}$$

Current status

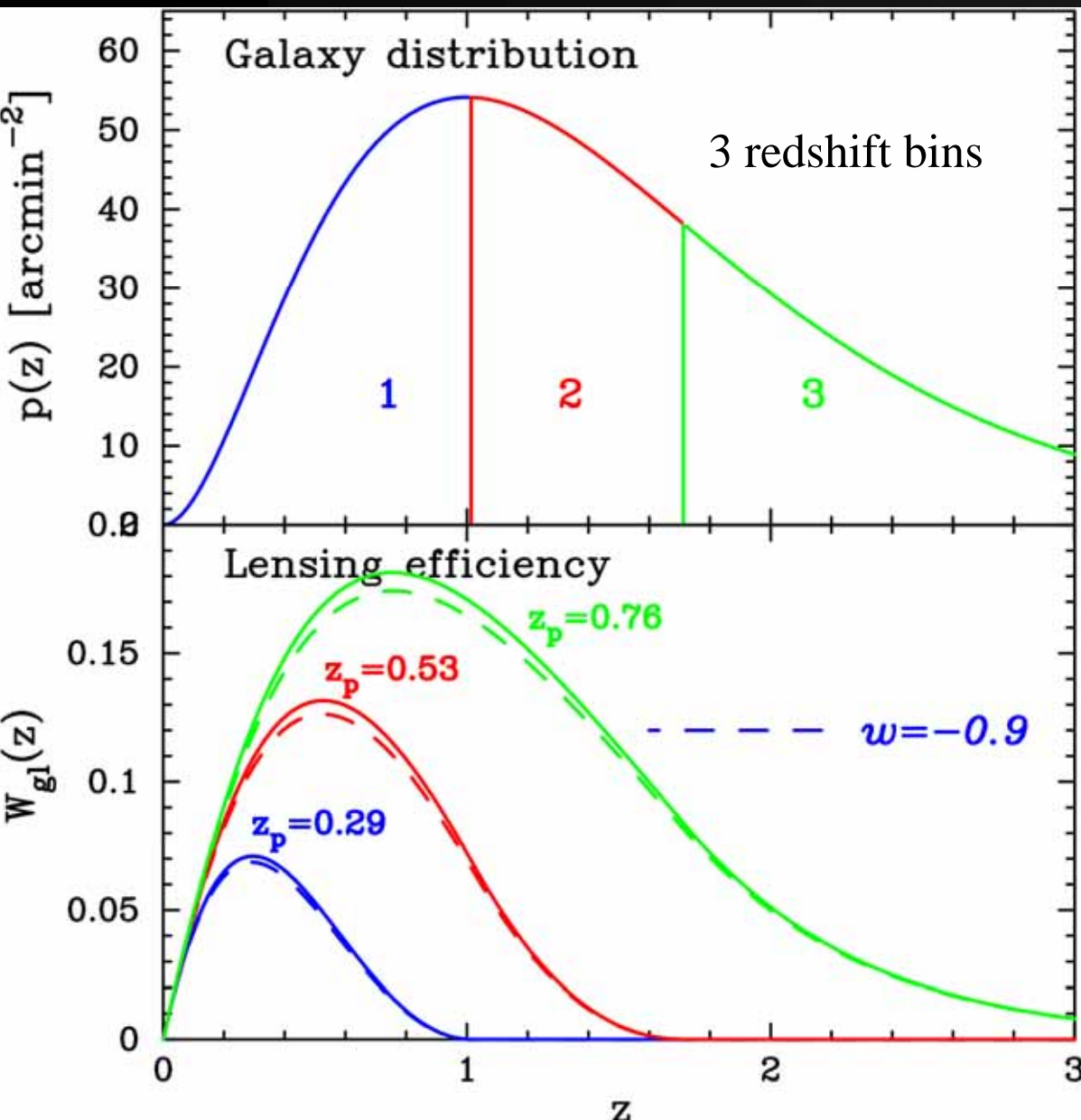
(from Refregier et al. 2003)



Weak Lensing tomography

(Hu 99,02; Huterer 02; MT and Jain 2004)

重力レンズ + 測光的赤方偏移を組み合わせ、赤方偏移情報を引き出す方法



Ground-based survey (5 colors)

$$\sigma(z_{\text{photo}}) = 0.2$$

SNAP: 6 optical + 3 NIR bands

$$\sigma(z_{\text{photo}}) = 0.03$$

(Massey et al. 03)

2-pt functions

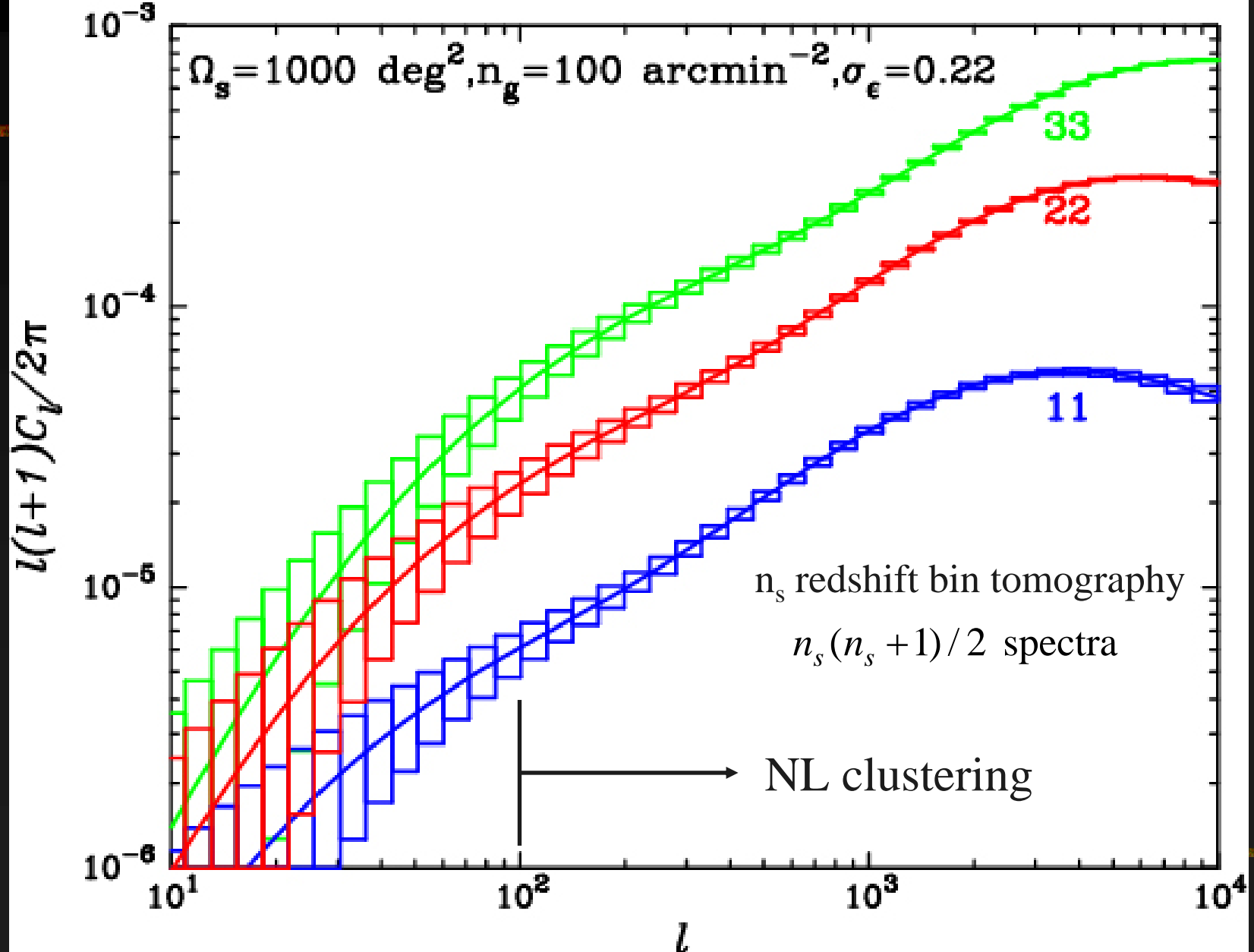
$$\langle \gamma_a(z_i) \gamma_b(z_j) \rangle$$

他の可能性:

finer redshift binning =>

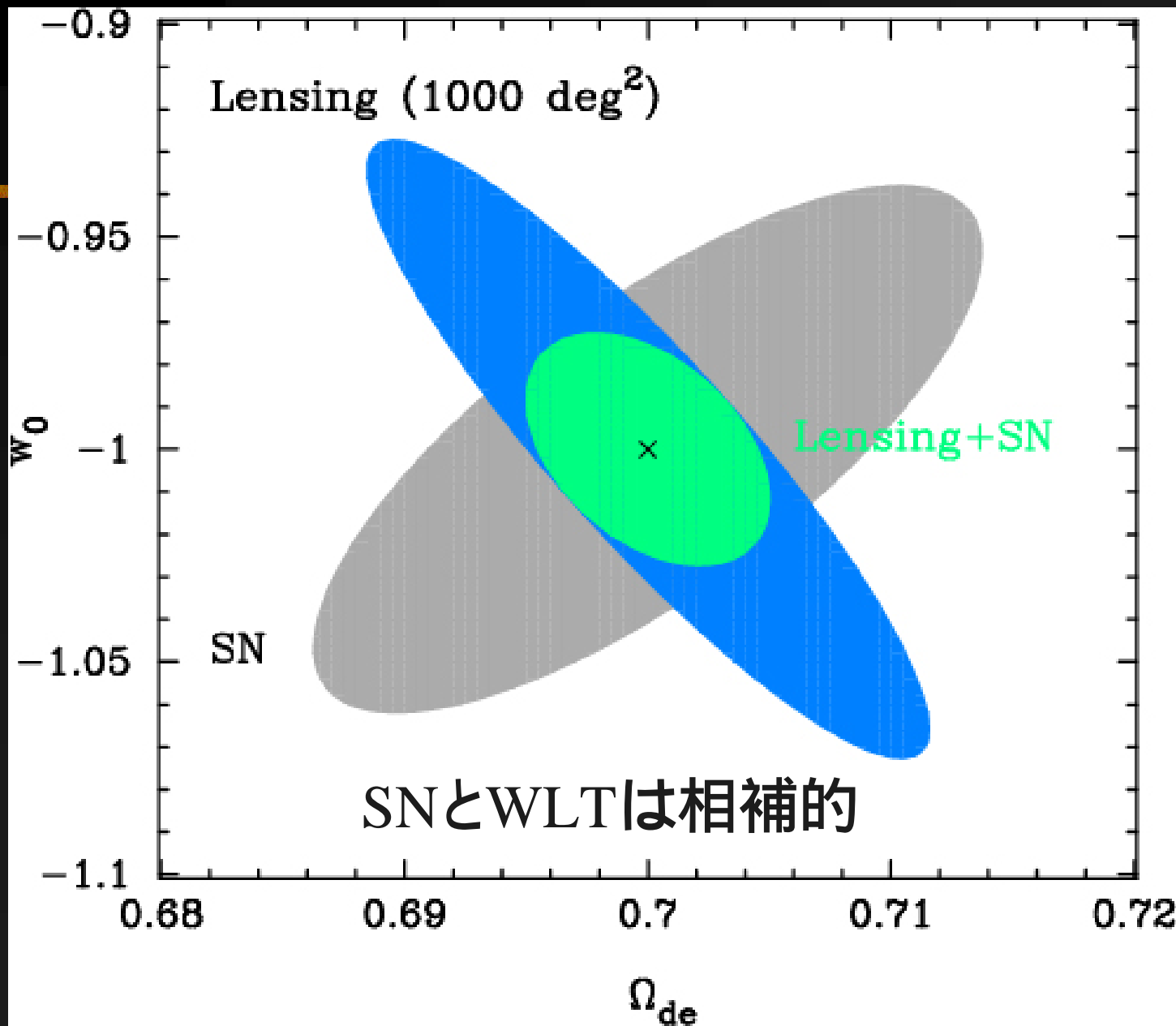
3D質量分布構築

Cosmic Shear Power Spectrum



Prospect for SNAP

$$w \equiv p_{\text{de}} / \rho_{\text{de}}, \quad \rho_{\text{de}} \propto a^{-3(1+w_0)}$$



$$\sigma(w_0) = 0.05$$

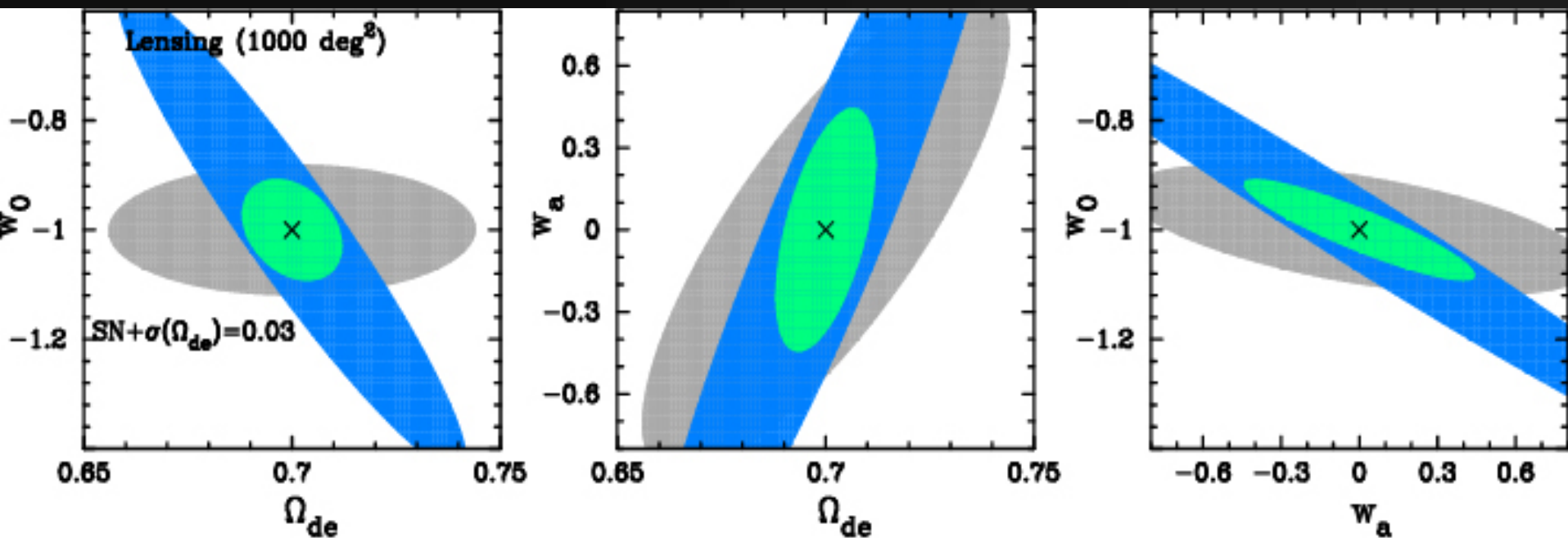


No Tomography

$$\sigma(w_0) = 0.8$$

さらに、DEの状態方程式の時間進化

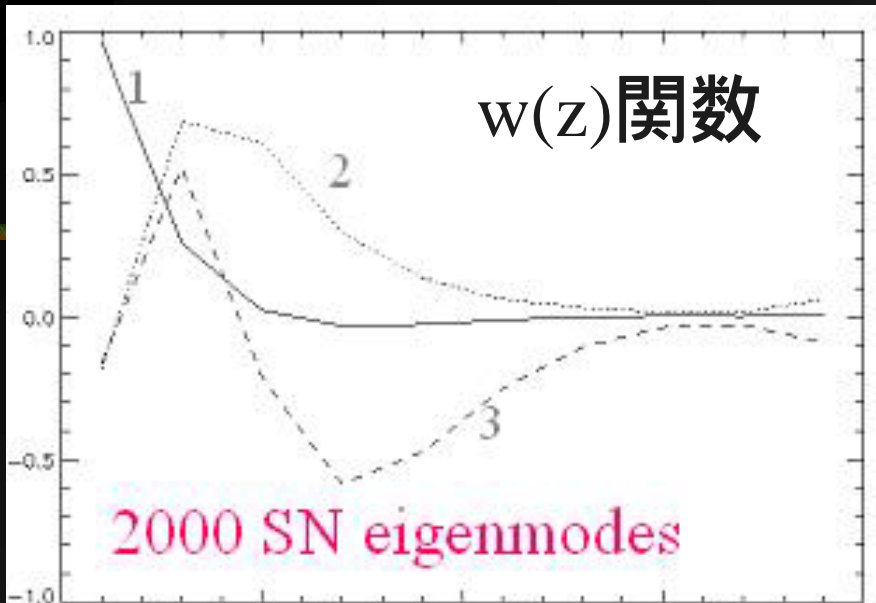
$$w(z) = w_0 + w_a(1 - a)$$



$w(z)$ の時間進化は、ダークエネルギーの性質(正体)を探る重要な手がかりになると期待されている

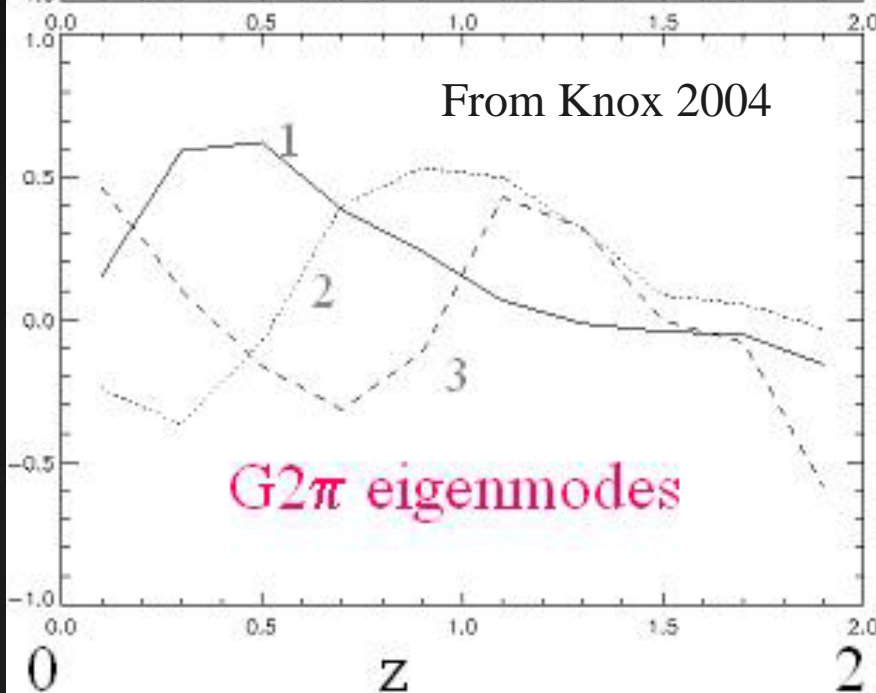
WLTとSNの相補性: $w(z)$

1.0



-1.0

1.0



-1.0

SN: 光度距離

$w(z)$ @ $z < 0.5$

WLT:

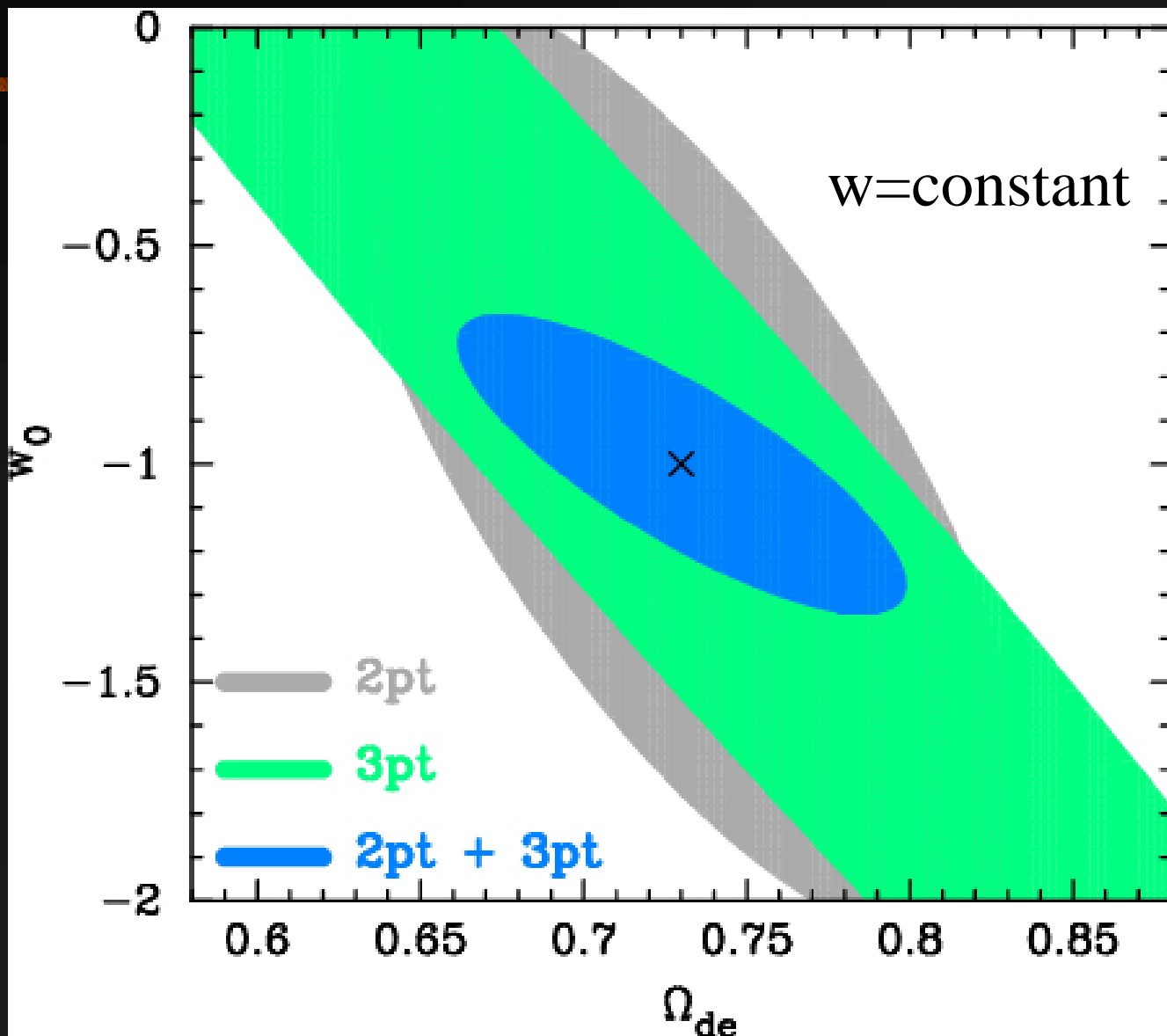
60 - 70% : 角径距離

残り: 密度揺らぎの成長率

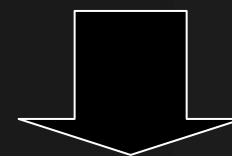
$w(z)$ @ $z = 0.4 - 0.6$

来る1-2年タイムスケールですばるで可能なWLT

e.g., SWANS: PI T. Nagao, 40 deg², $\langle z \rangle = 0.8$



より重要なのは、実際のデータでレンジングトモグラフィの可能性・限界を詳細に探求し、明らかにすること



SNAPやLSSTなどの将来計画に対して、極めて貴重かつ先駆的なロードマップを提供できる

(例: COBE \Rightarrow WMAP)

まとめ

- 大規模、多色測光サーベイは、海外で進行中あるいは計画中である。
- ダークエネルギーの制限を主目的とした計画には、(少なくとも)アメリカでは重要視され、お金がついている。
- 重力レンズの場合、理想的にはスペースが良いが、、、地上望遠鏡は半永久的に使えるのが利点
- 多色サーベイは、天文学のあらゆる分野において貴重な財産になる(銀河、銀河団、AGN、TNO...)