

観測的宇宙論における 画像解析の課題

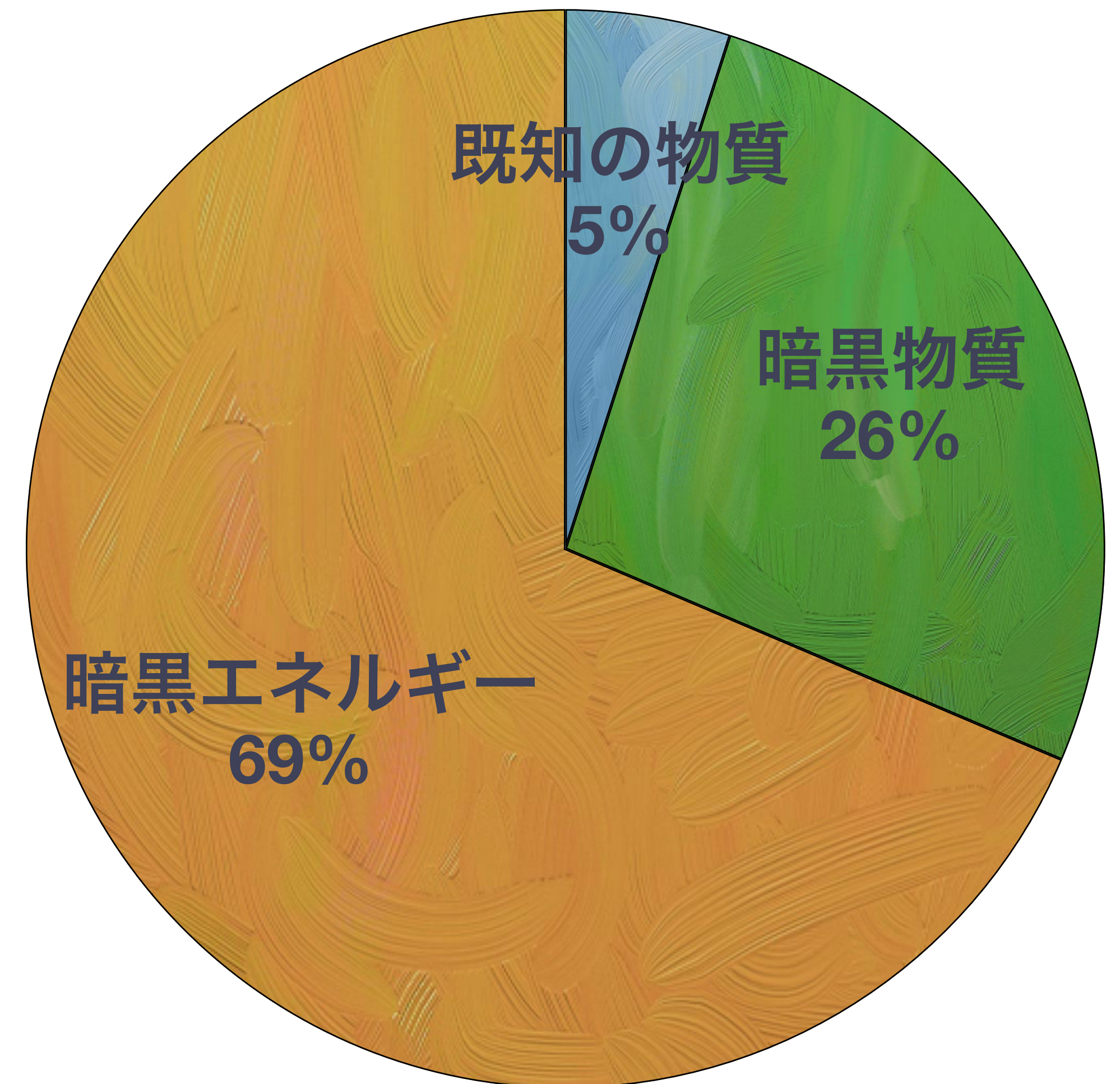
宮武広直

名古屋大学

宇宙の暗黒成分と加速膨張

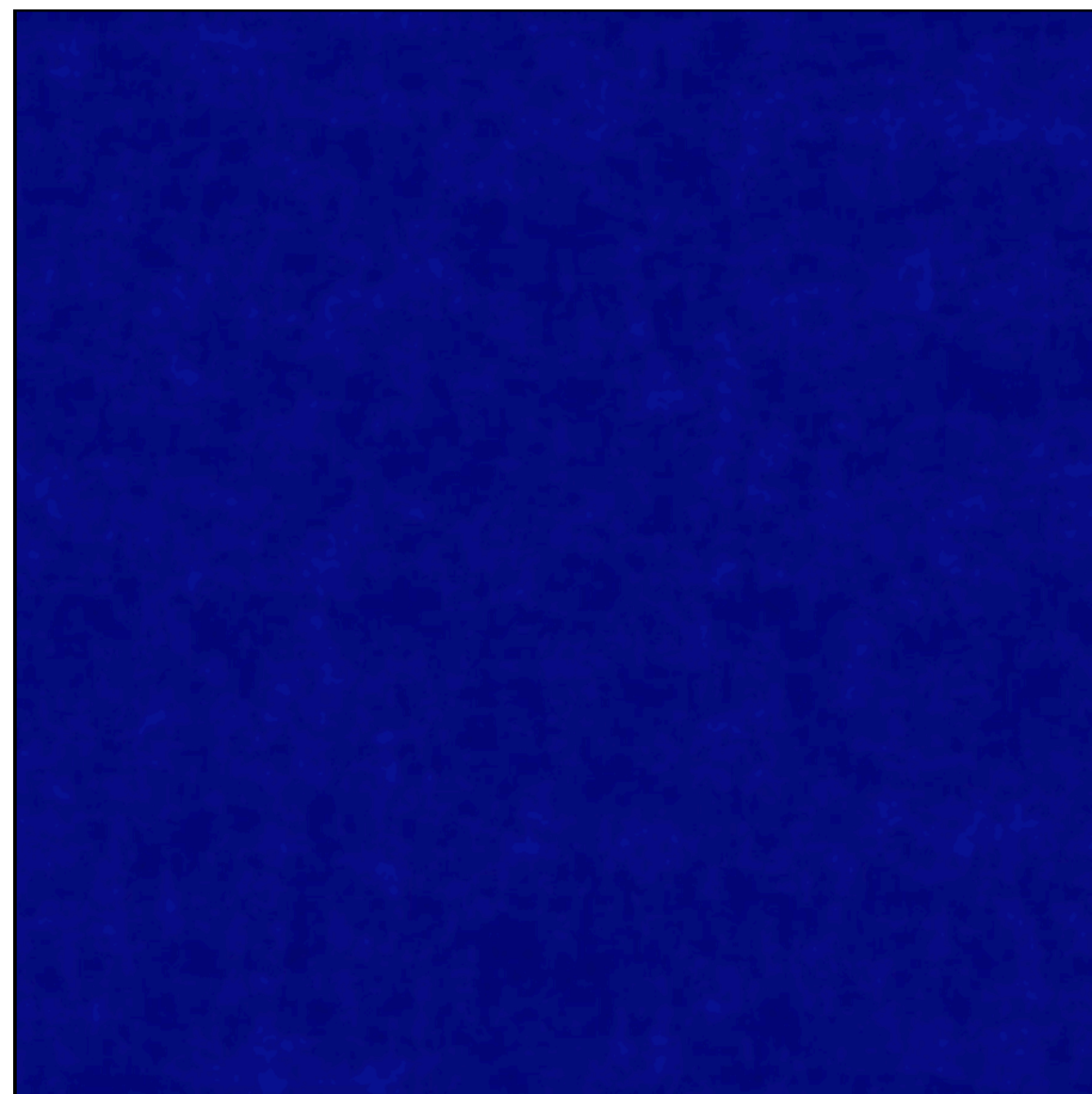
- **暗黒物質**は光を発さない未知の物質。銀河形成に必要な重力源となる。
- **暗黒エネルギー**は未知のエネルギー：宇宙の**加速膨張**の源とされている。
- 暗黒エネルギーは第5の力？一般相対性理論の破綻を示唆？

宇宙の加速膨張の精査は現代物理学・天文学における最重要課題の一つ

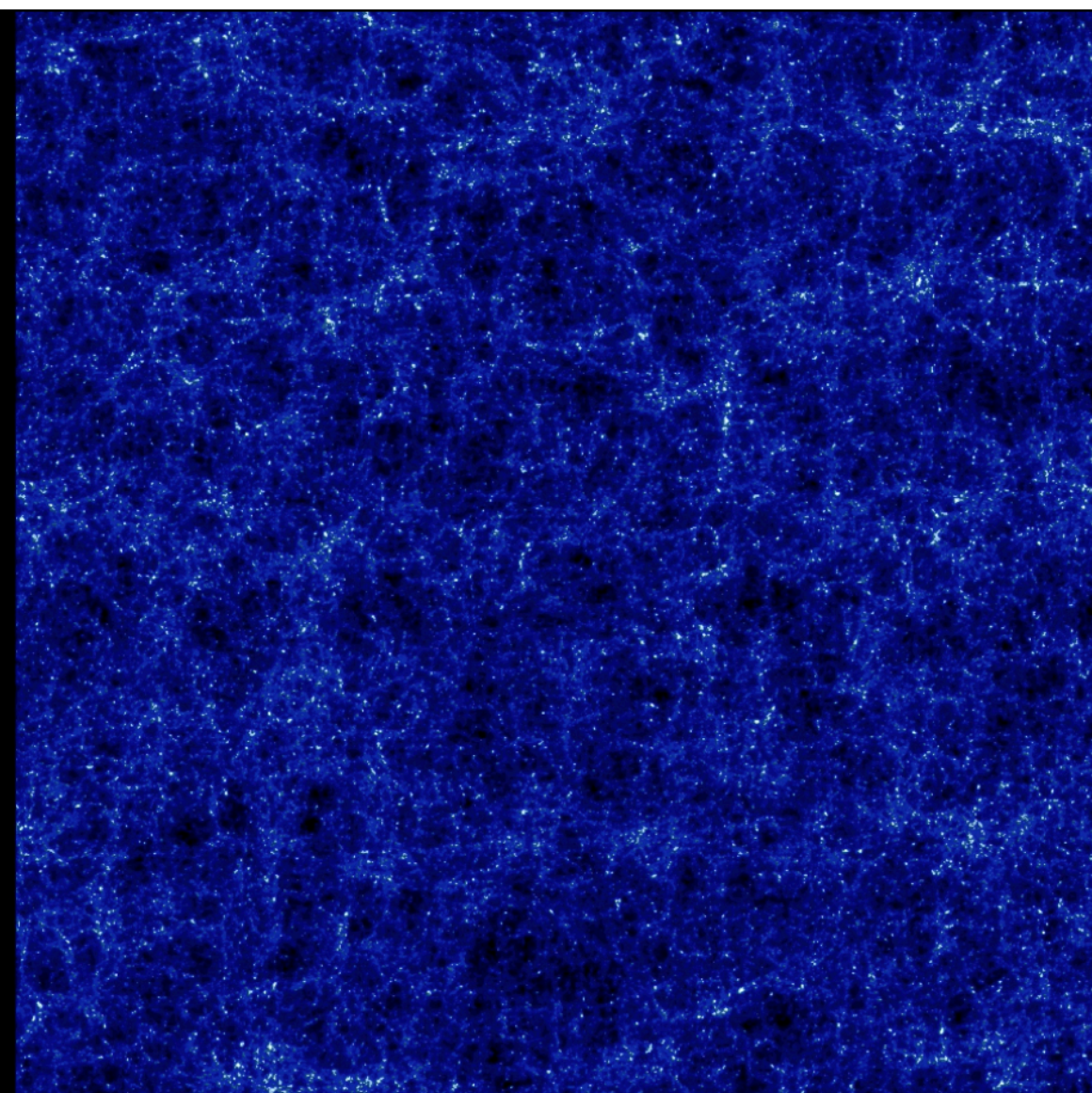


大規模構造への影響

暗黒物質なし

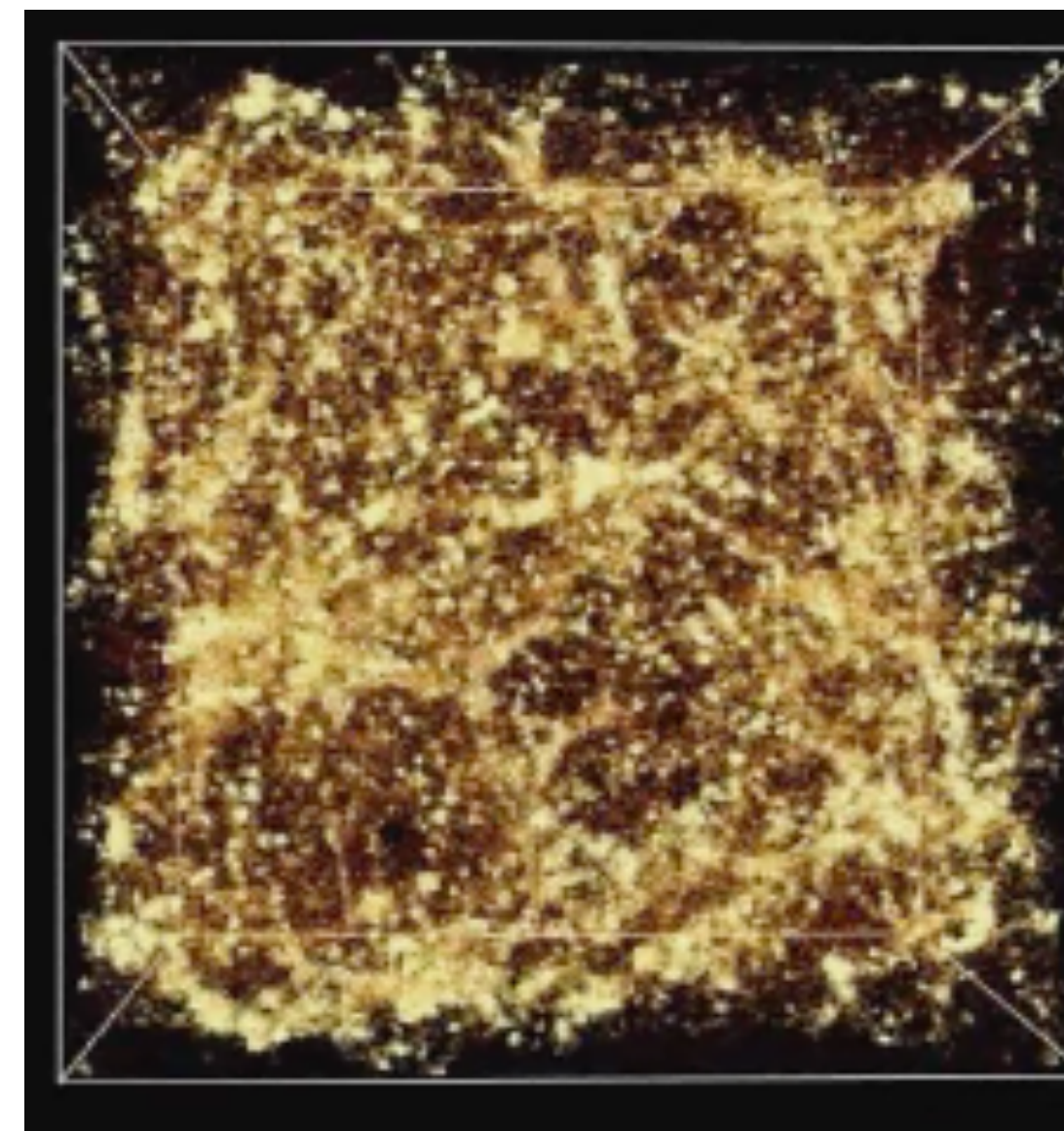


暗黒物質あり

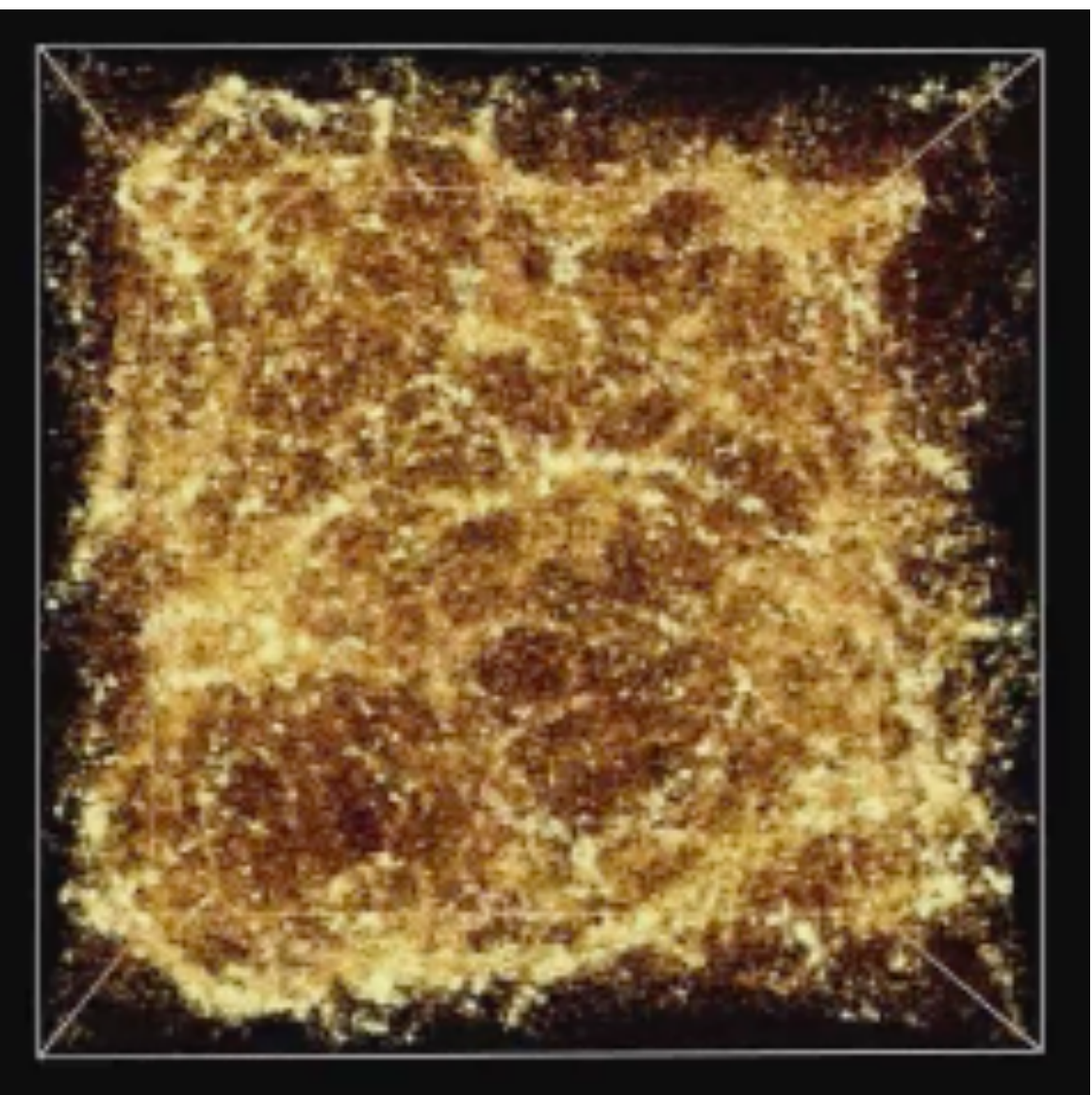


Credit: N. Yoshida

暗黒エネルギーなし



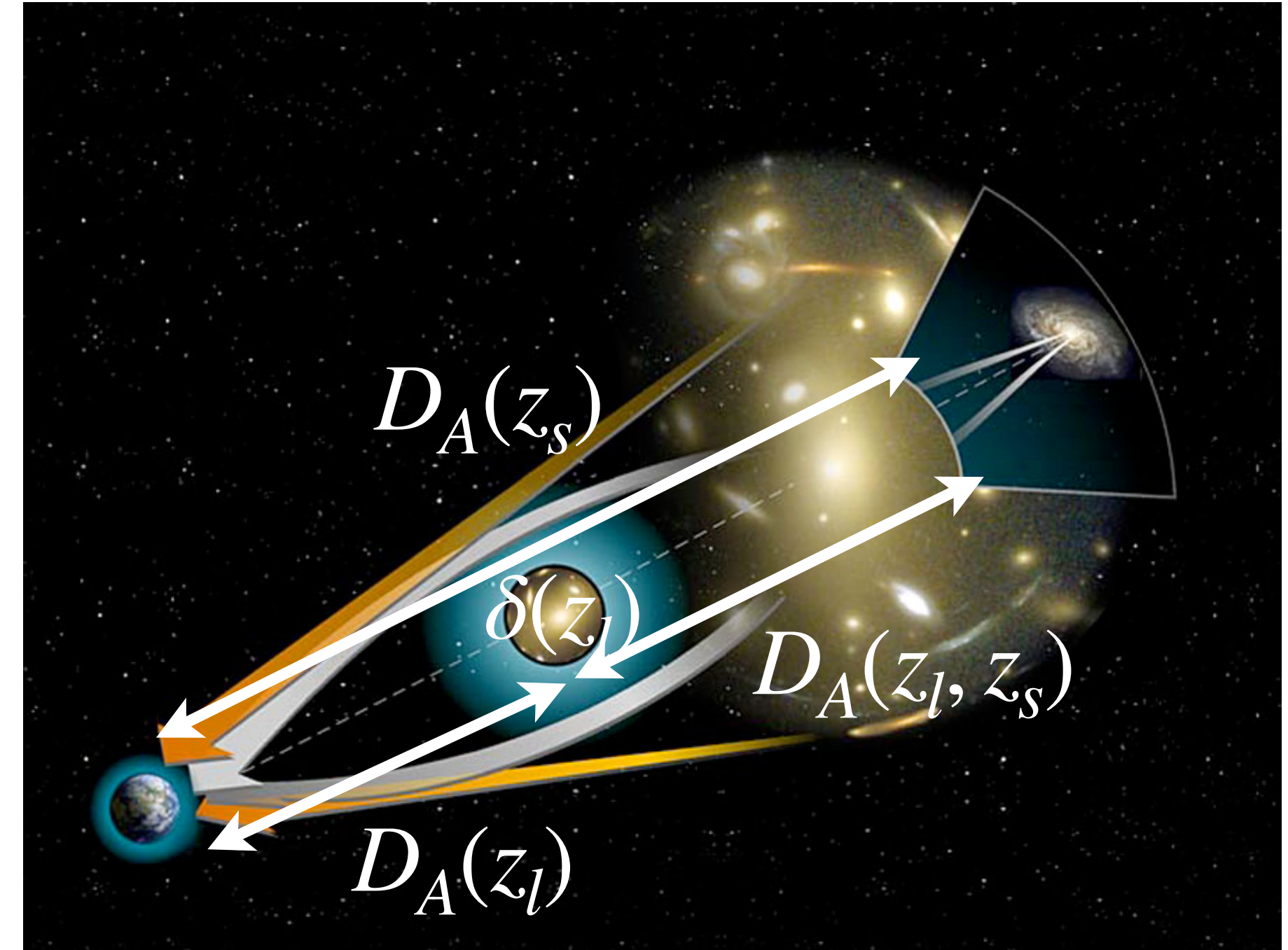
暗黒エネルギーあり



Credit: ESA

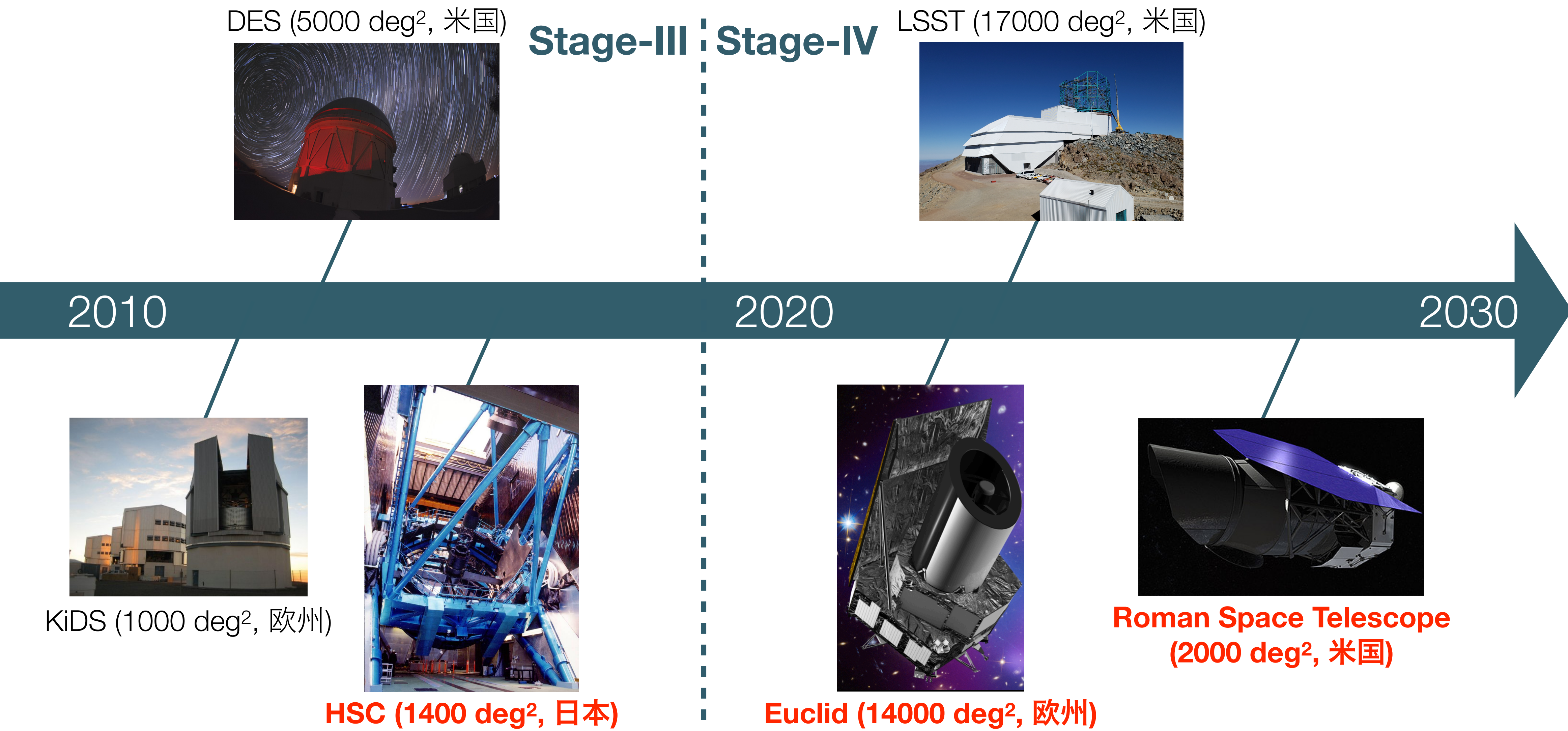
宇宙論プローブとしての弱重力レンズ効果

- 宇宙の加速膨張を調べるためには、**(暗黒物質を含む)物質分布の時間進化**を測定する必要がある。
- **弱重力レンズ効果**によって暗黒物質分布を直接的に測定することができる。
- 弱重力レンズ効果は、銀河像における**僅かな系統的歪み**（より正確には**楕円座標変換**）として観測される。**高精度な銀河形状**と**測光的赤方偏移**が必要。

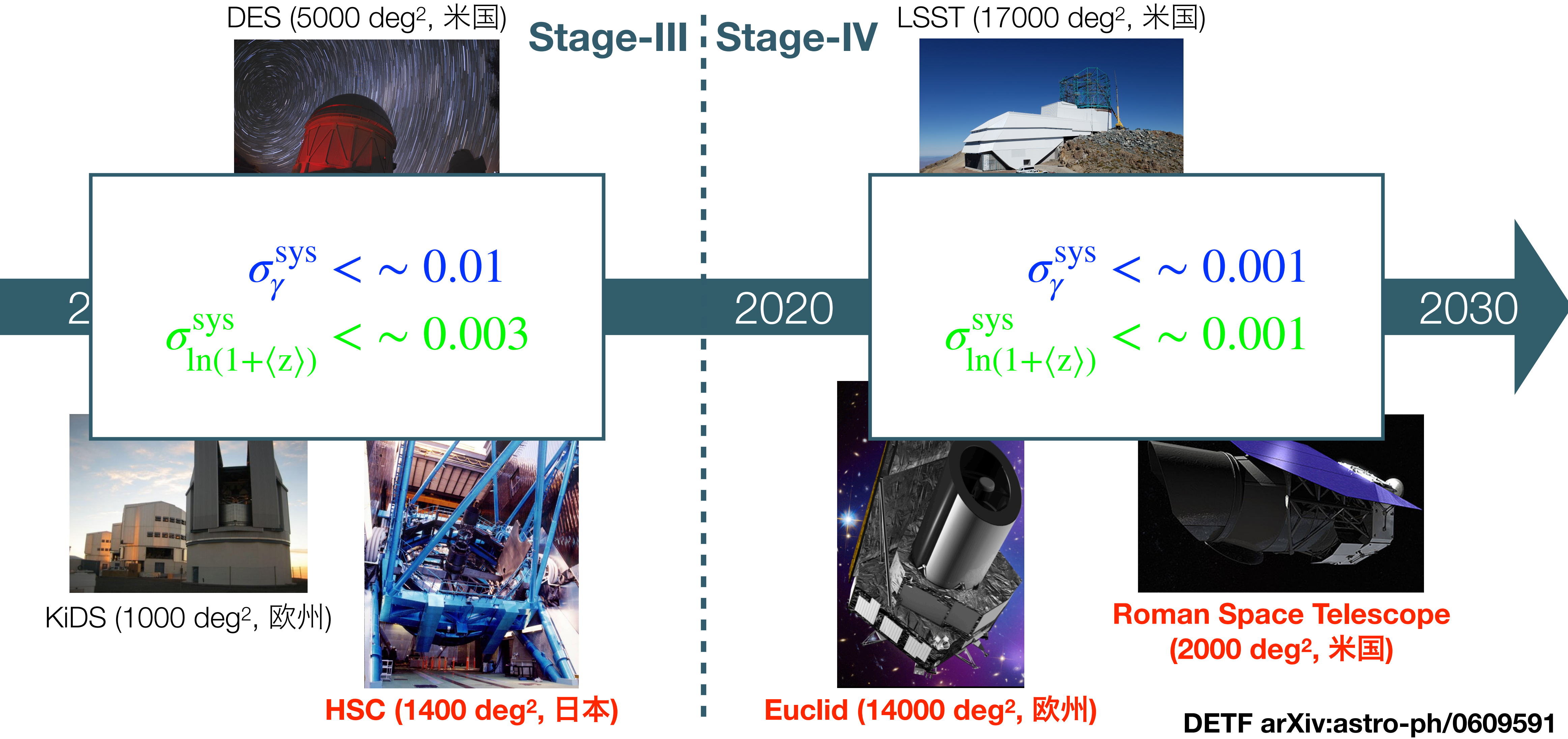


$$\gamma \propto \frac{D_A(z_l, z_s) D_A(z_l)}{D_A(z_s)} \delta(z_l)$$

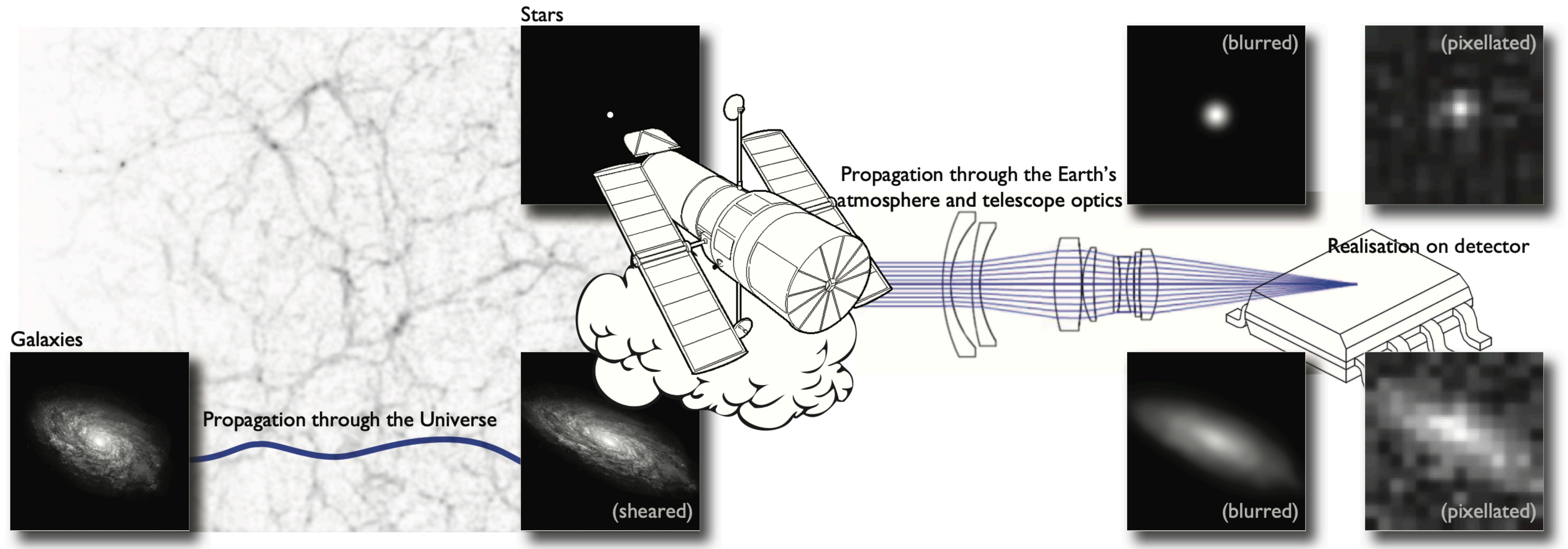
弱重力レンズ宇宙論を行う世界の大規模広視野撮像サーベイ



弱重力レンズ宇宙論を行う世界の大規模広視野撮像サーベイ



銀河の形状測定

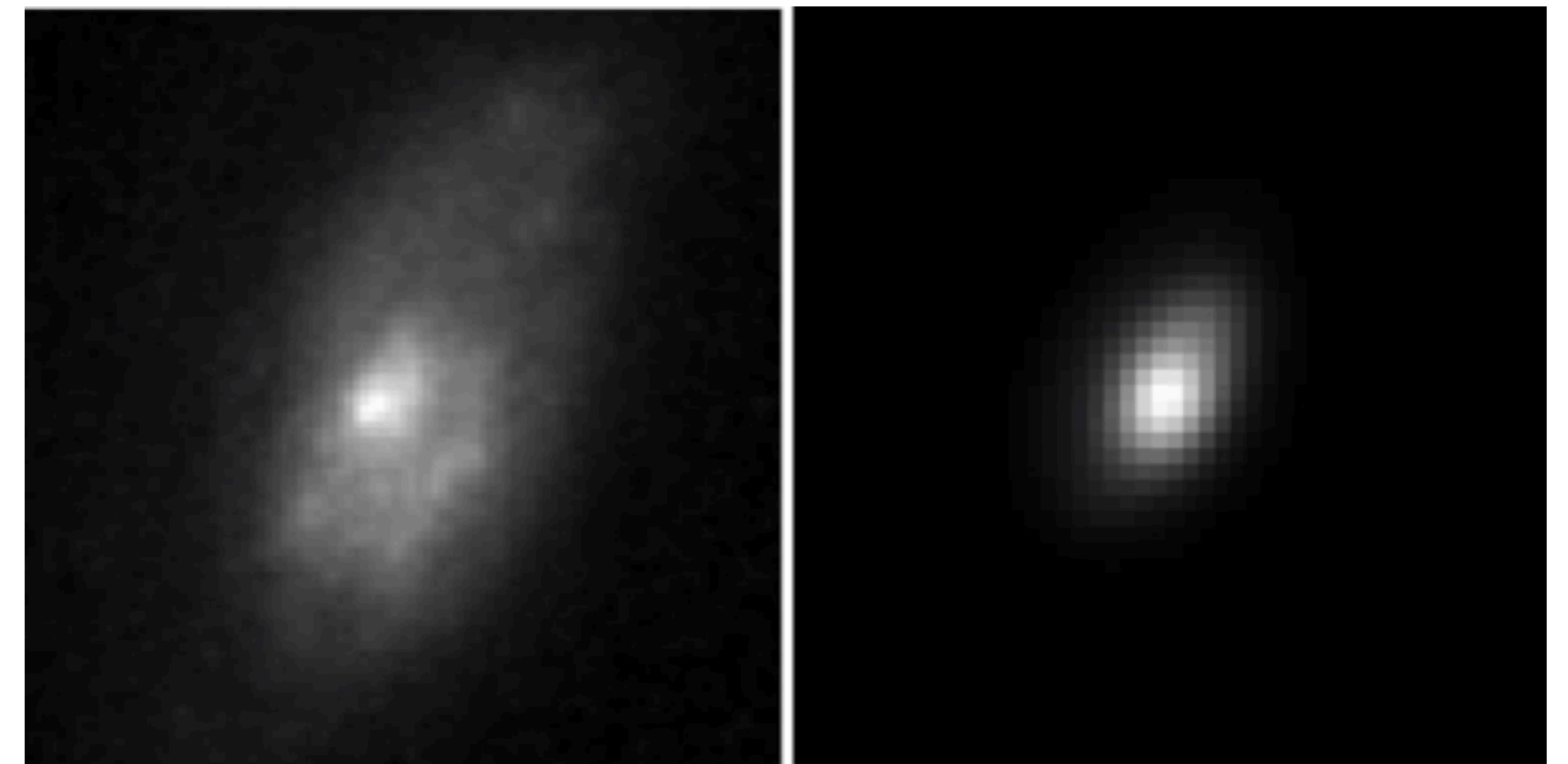


複雑な銀河の形態から弱重力レンズ信号（楕円率）を抜き出せるのか？

PSFの決定精度は銀河形状測定の要求を満たしているか？

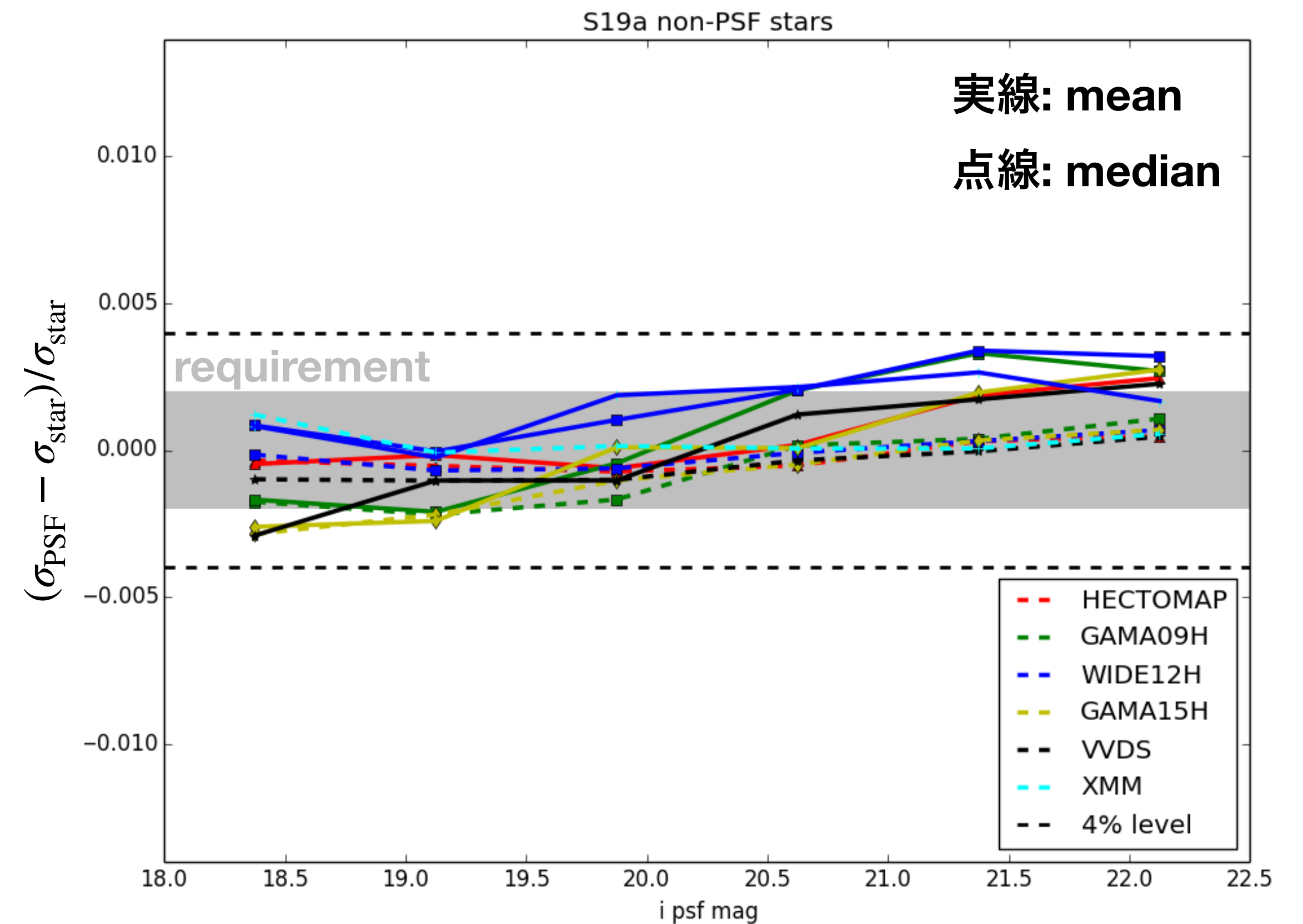
銀河の形状測定

- GREAT3 (Mandelbaum et al, 2014, 2015)
 - Data challenge: **現実的な銀河、PSF**でシミュレーション画像を作成し、入力した疑似レンズ信号を再現するか？
 - 複数の測定手法が、PSFが既知であれば、stage-IVの要求を満たす。
- Metacalibration (Huff et al., 2017)
 - **実際のデータに疑似レンズ信号**を入力し、そのレスポンスを使って銀河の形状を較正。
 - PSFが既知であれば、stage-IVの要求を満たす。
 - LSSTパイプラインに実装予定。



HSCにおけるPSFの評価

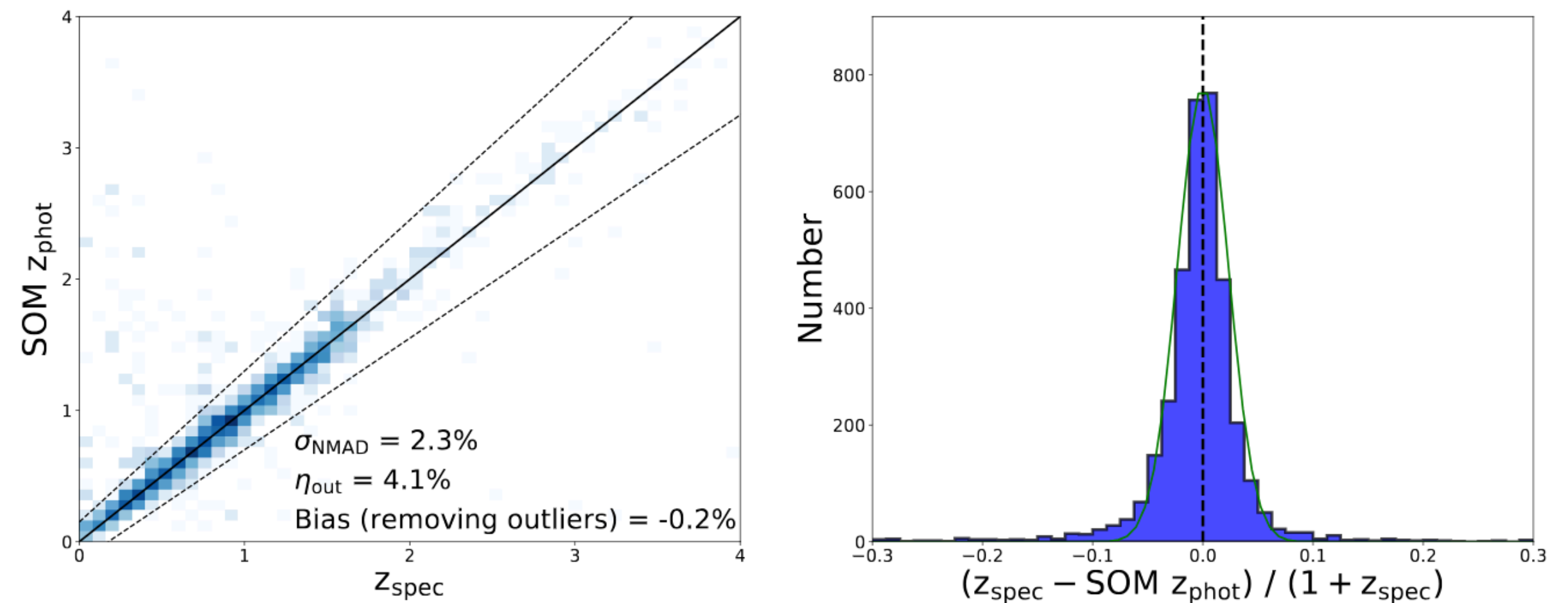
- warp時のpixel sampling rateを上げることにより、S16Aから向上。
- HSC最終データの解析に向けてさらに改善の必要あり。



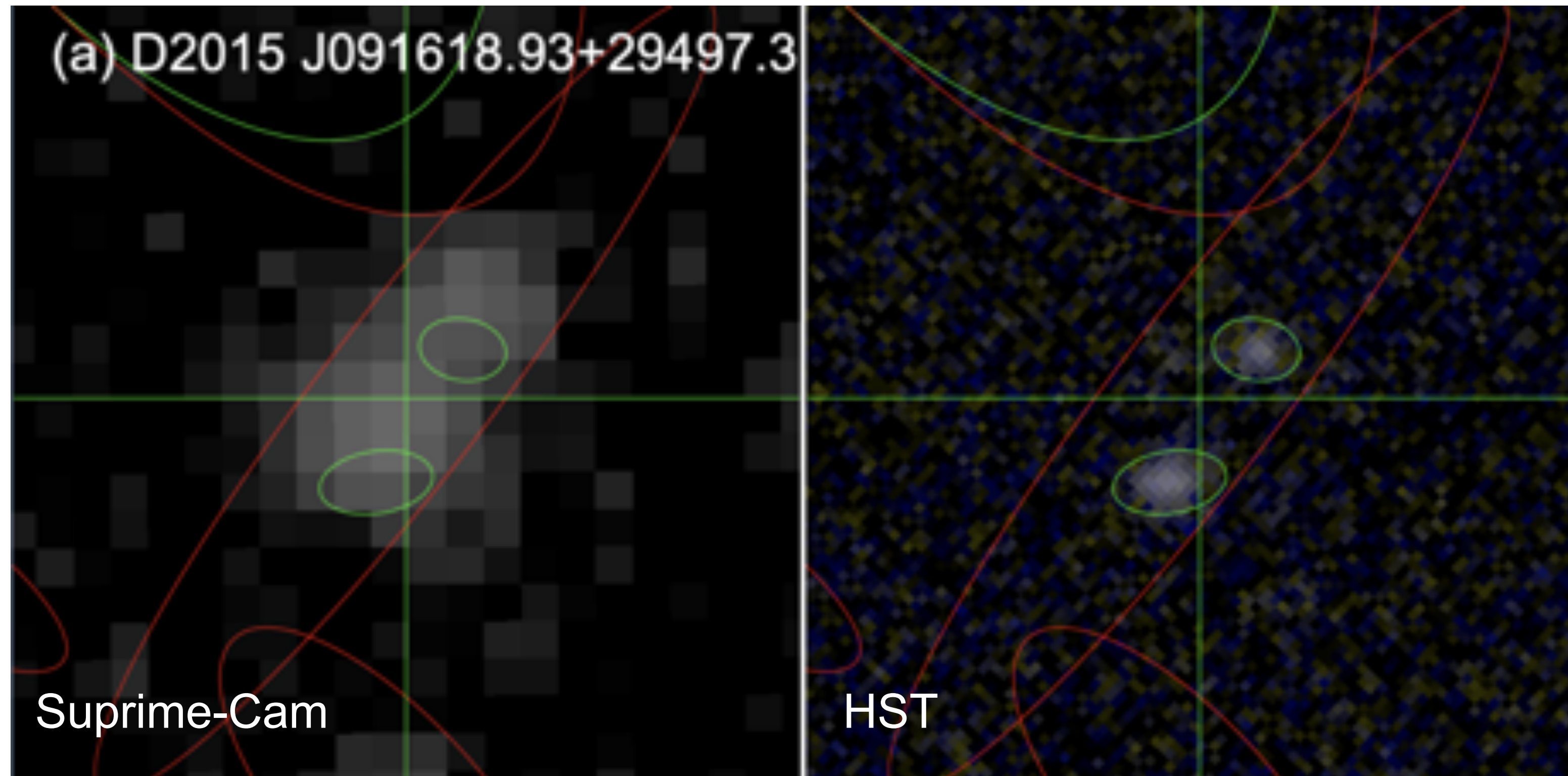
測光的赤方偏移

- HSC: 分光calibration sampleにより重力レンズサンプルは $i < 24.5$ に制限されている。
- Roman、LSSTではより暗い銀河サンプルまで使う。
- PFSによるcalibration sampleの取得が必要。
- HSC intermediate bandによる較正？

Simulation with intermediate band data (credit: P. Capak)



Blended Objects



Dawson et al. (2016)

角度方向にPSFの大きさよりも近接している天体は、視線方向の距離に関わらずblendする。
銀河形状、測光的赤方偏移の測定の系統誤差となる。

HSCデータにおけるBlend天体の分類

1. Blendしていない（独立した）天体

- 独立した天体（ある領域でピークが1つ）とみなされて、HSC deblenderは走っていない。天体に属しているピクセルはfootprintと呼ばれる。

2. Recognized Blends

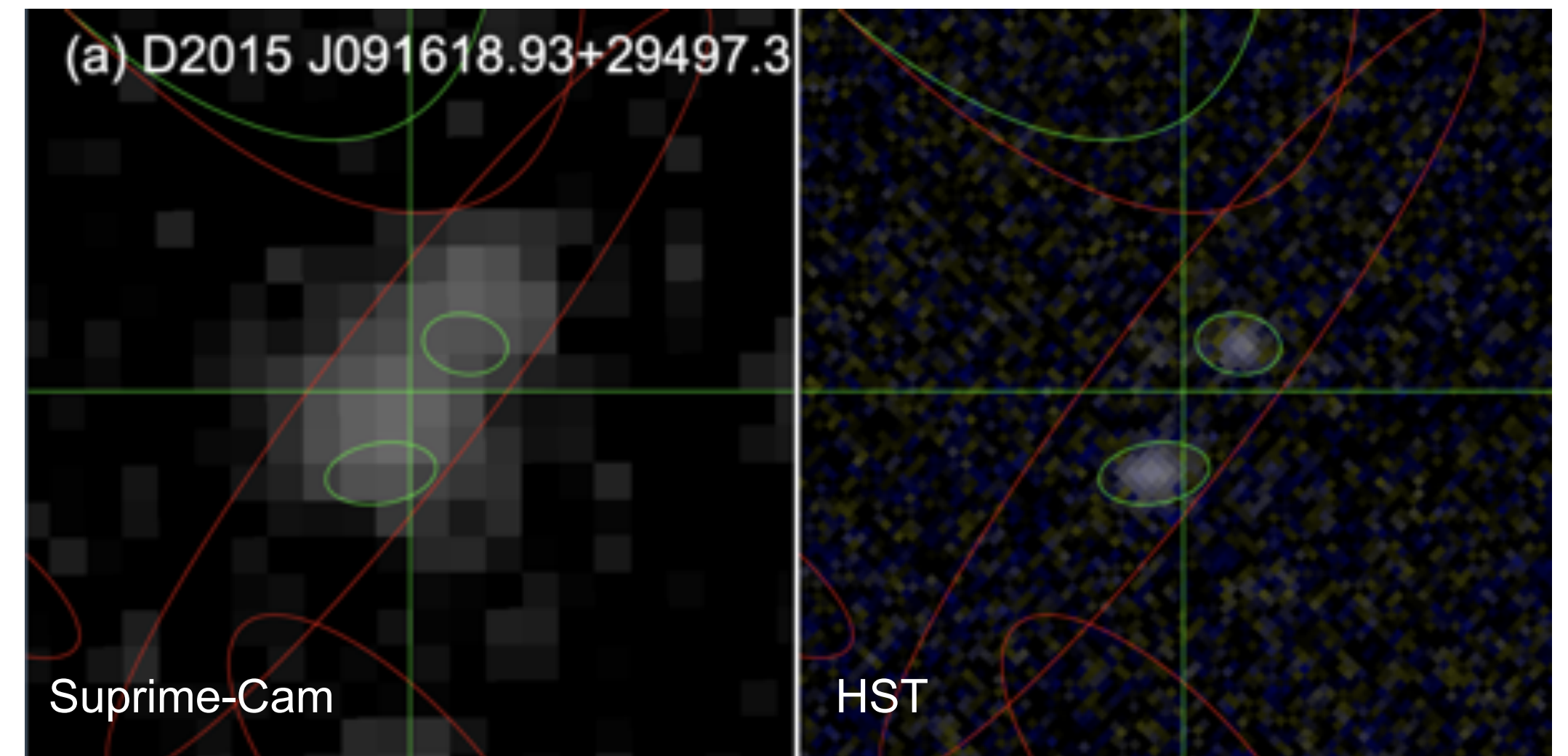
- ピークが2つ以上検出され、HSC deblenderが走っている。footprint内のピクセルはそれぞれの天体に割り当てられ、heavyfootprintと呼ばれる。
- deblendが正しくできているか、同時モデルフィットで測光や形状測定が可能かは要チェック。

3. Unrecognized Blends

- ピークが1つしか検出されず、HSC deblenderが走っていないが、複数の天体がPSFの大きさよりも近接しているため、実際はblendされている。
- 宇宙論解析では大きな系統誤差となりうる。

Unrecognized Blendの同定

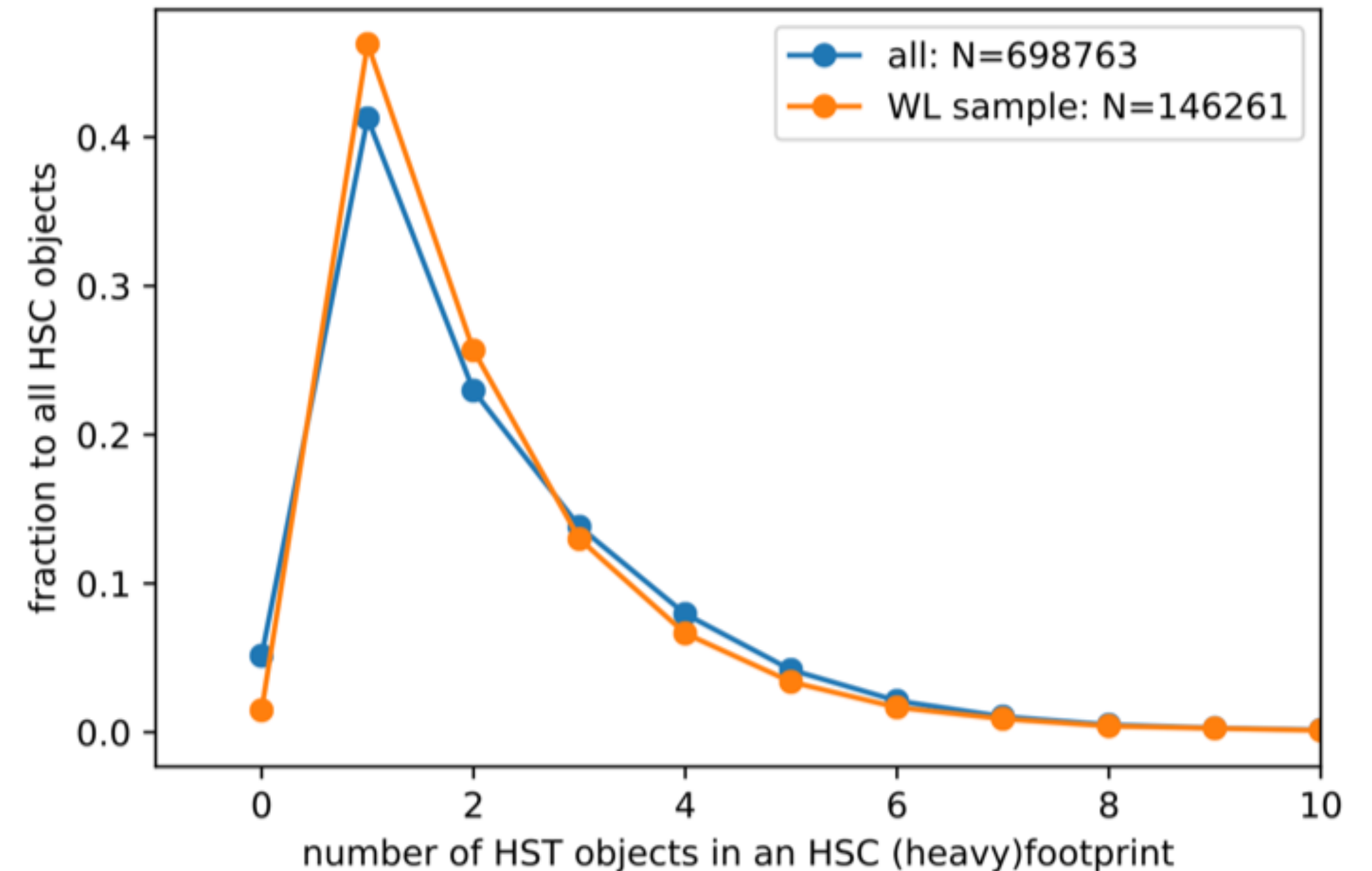
- HSTとHSCが重なる領域で機械学習を行う。
- HSCだけの領域でunrecognized blendを同定。
- 将来的にはLSST, Euclid, Romanに 응용可能。



Dawson et al. (2016)

教師データの作成

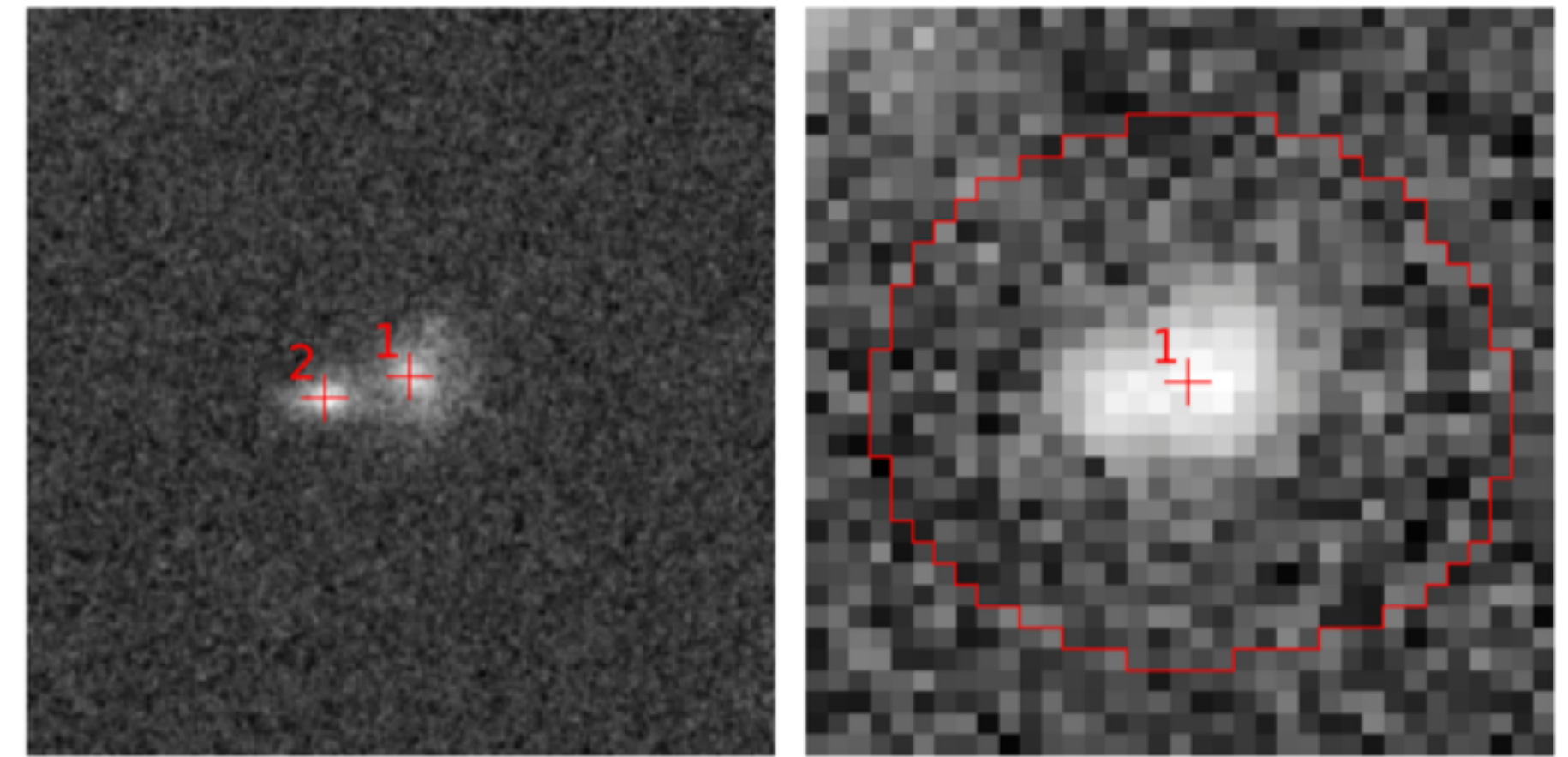
- HSCの(heavy)footprint内に入っているHSTの天体数を数える。
- **約50%がunrecognized blends**。この内どれくらいのblendが宇宙論解析に影響を与えるか定量化し、影響が大きいものを教師データに入れる。
- LSST Dark Energy Science Collaboration (DESC)と協力して調査を進めている。



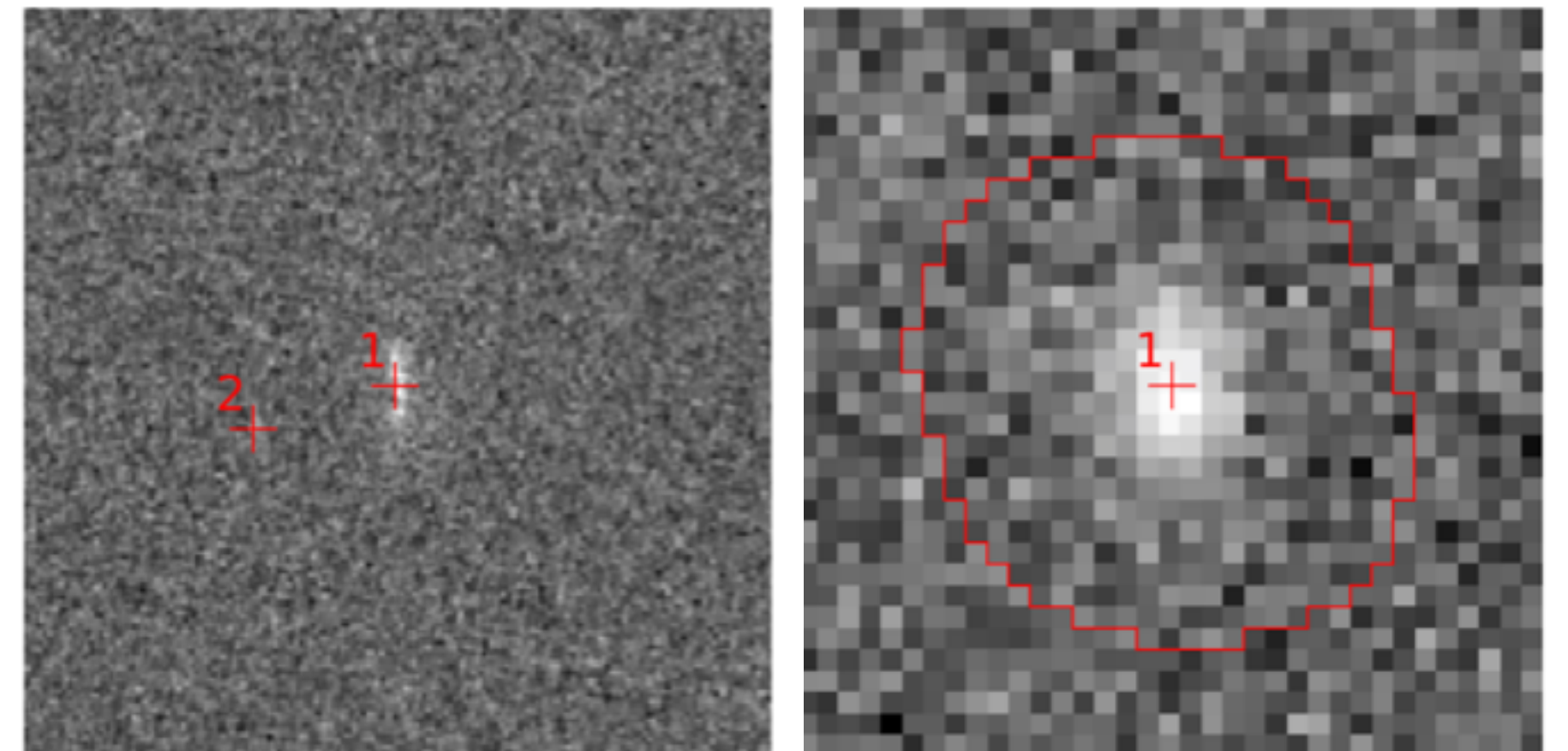
教師データの作成

- HSCの(heavy)footprint内に入っているHSTの天体数を数える。
- **約50%がunrecognized blends**。この内どれくらいのblendが宇宙論解析に影響を与えるか定量化し、影響が大きいものを教師データに入れる。
- LSST Dark Energy Science Collaboration (DESC)と協力して調査を進めている。

距離・SNが近い



距離が近い、SNが違う



まとめ

- 弱重力レンズ効果は暗黒物質分布を直接的に測定するユニークな観測量であり、重力レンズ宇宙論はHSCだけでなく、Euclid, Roman, LSSTにおける主要サイエンスの一つである。
- 銀河形状測定においては、PSF決定精度の向上が必要。
- 測光的赤方偏移においては、暗い銀河の較正用分光サンプルが必要。
- Blendingは大きな課題が山積み。
 - 宇宙論制限に与える影響は？
 - Unrecognized blendは同定できるか？
 - Blend天体における測定は同時フィットなどによって改善できるか？