

2020年代の観測的宇宙論の展望

高田昌広 (Kavli IPMU)



@ 光天連シンポジウム 国立天文台 8/2012

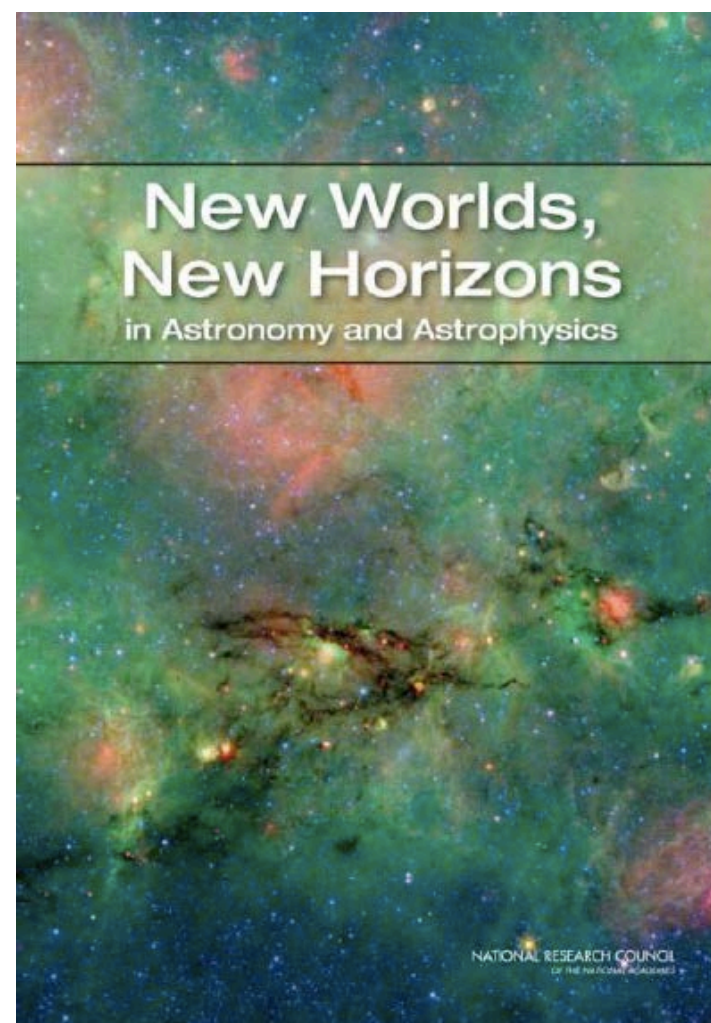
Astro2010: The Astrophysics and Astronomy Decadal Survey

全米The National Research Councilsの天文・宇宙物理分科会 (全米科学評議会: 日本の学術会議に対応) が、全波長宇宙分野の2010年代の展望、推奨する長期計画の策定

- **Science objectives**

- Cosmic Dawn (宇宙の夜明け・再電離過程)
- New Worlds (惑星探査)
- Physics of the Universe
 - Dark Matter
 - Dark Energy
 - Inflation
 - Test of Gravity

光赤外に関係する分野ばかり



Λ +CDM構造形成シナリオ

- 標準モデル：観測データとの詳細な比較が可能
- 物理分野も含めた融合領域
- 暗黒物質問題
 - 銀河の回転曲線・様々なデータが間接的証拠を与えている
 - LHCでもDM素粒子候補の発見は難しい
 - DM直接実験、DM対消滅実験ではDM分布のモデルが必要
 - ニュートリノの質量問題
- 宇宙加速膨張問題(2011年ノーベル物理学賞)
 - 宇宙論・素粒子物理学における最難解な問題
 - 宇宙観測でのみ検証可能
 - 宇宙論スケールにおける重力理論の破綻か？



The Nobel Prize in Physics 2011

Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011

Nobel Prize Award Ceremony

Saul Perlmutter

Brian P. Schmidt

Adam G. Riess



Photo: U. Montan

Saul Perlmutter

The Nobel Prize in Physics 2011 Perlmutter, the other half jointly discovery of the accelerating ex distant superi



Photo:

Brian P. Schmidt



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

4 OCTOBER 2011



[27] A.G. Riess et al., "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant", *Astron. J.*, **116**, 1009-1038, (1998),

[28] S. Perlmutter et al., "Measurement of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae", *Astrophys. J.*, **517**, 565-586, (1999),

[29] A.G. Riess et al., "Type Ia supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble Space Telescope: Evidence for past deceleration and constraints on dark energy evolution", *Astrophys. J.*, **607**, 665-687, (2004),

[30] A. Starobinsky, "A new type of isotropic cosmological models without singularity", *Phys. Lett.*, **B91**, 99-102, (1980);

K. Sato, "First order phase transition of a vacuum and expansion of the Universe", *MNRAS*, **195**, 467-479, (1981);

A.H. Guth, "The inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems", *Phys. Rev.*, **D23**, 347-356, (1980);

A.D. Linde, "A new inflationary scenario: A possible solution to the horizon, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems", *Phys. Lett.*, **B108**, 389-393, (1981);

A. Albrecht and P.J. Steinhardt, "Cosmology for Grand Unified Theories with radiatively induced symmetry breaking", *Phys. Rev. Lett.*, **48**, 1220-1223, (1982),

Co
The
Tog
pred
chal
exp
rela
cons
help

Survey & Target Obs. Strategy

宇宙論＝平均的な宇宙の物理・進化の研究

- Survey天文学
 - 宇宙の国勢調査(平均年齢、平均質量、...)
 - 大統計による宇宙の平均的描像(物理量)の制限
 - 多種多様なサイエンスが可能
- Target obs.天文学
 - 稀少天体の発見, serendipity
 - 特定の天体の詳細なフォローアップ観測
- 宇宙論→サーベイデータが最適(e.g. SDSS)



News



News

- News From the Field
- For the News Media
- Special Reports
- Research Overviews
- NSF-Wide Investments
- Speeches & Lectures
- NSF Current Newsletter
- Multimedia Gallery
- News Archive

News by Research Area

- Arctic & Antarctic
- Astronomy & Space
- Biology
- Chemistry & Materials
- Computing
- Earth & Environment
- Education
- Engineering
- Mathematics

Email Print

Press Release 12-137

National Science Foundation Will Advance the Large Synoptic Survey Telescope



An artist's rendering of the proposed Large Synoptic Survey Telescope.
[Credit and Larger Version](#)

July 18, 2012

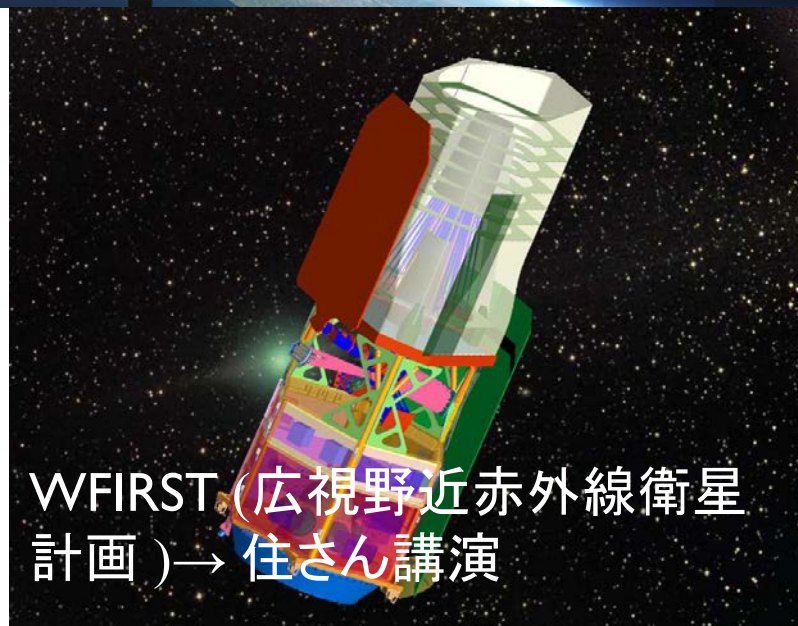
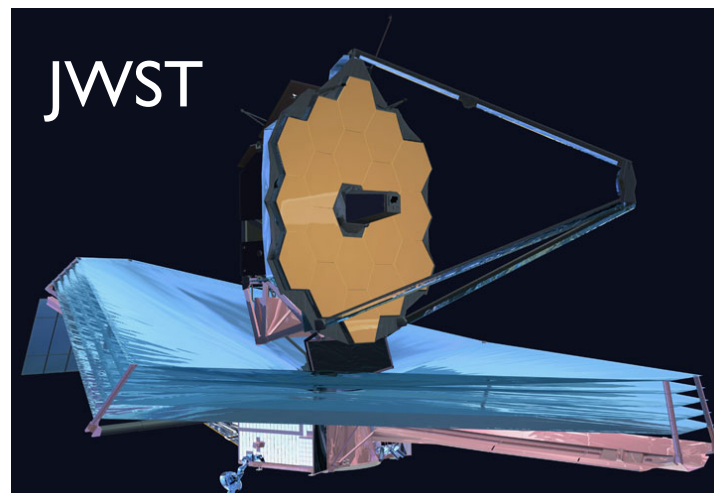
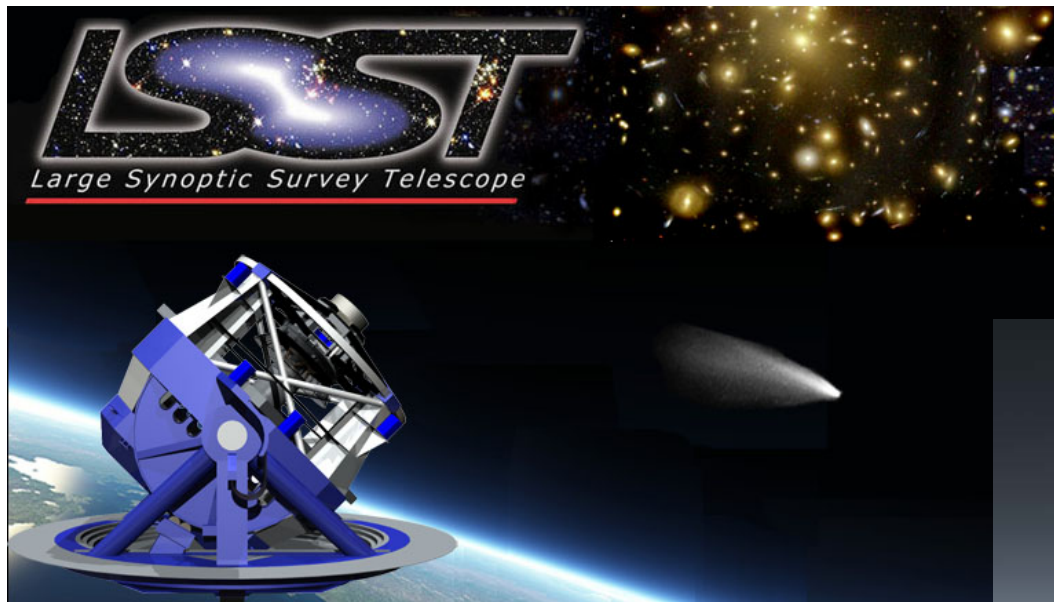
With approval from the National Science Board, the National Science Foundation (NSF) Director will advance the Large Synoptic Survey Telescope (LSST) to the final design stage. This action permits the NSF Director to include funds for LSST construction in a future budget request. To be located in Chile, the LSST is a proposed 8-meter wide-field survey telescope that will survey the entire sky approximately twice per week, delivering a large and comprehensive data set that will transform astronomical research.

The LSST was the first-ranked ground-based large initiative in the 2010 National Academy of Sciences decadal survey in astronomy and astrophysics. The project is a partnership among the NSF, the Department of Energy (DOE) and a number of private contributors.

"LSST will provide an unprecedented view of the sky while leading the emerging discipline

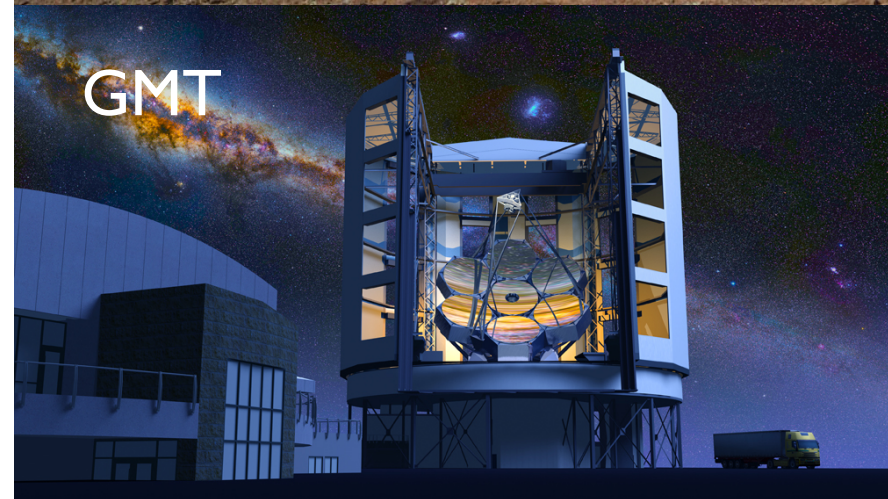
- LSST: Astro2010で地上計画の the highest priority recommendation
- 広視野撮像サーベイ(ugrizy; 23000deg²)
 - WL (DE, DM)
 - 変光天体
- 最近(7/18)にNSFがLSSTを推進すべき最重要計画として承認(次のNSF大型予算はLSSTに付く)
- 2020(?) – (10 years operation)

米国の戦略

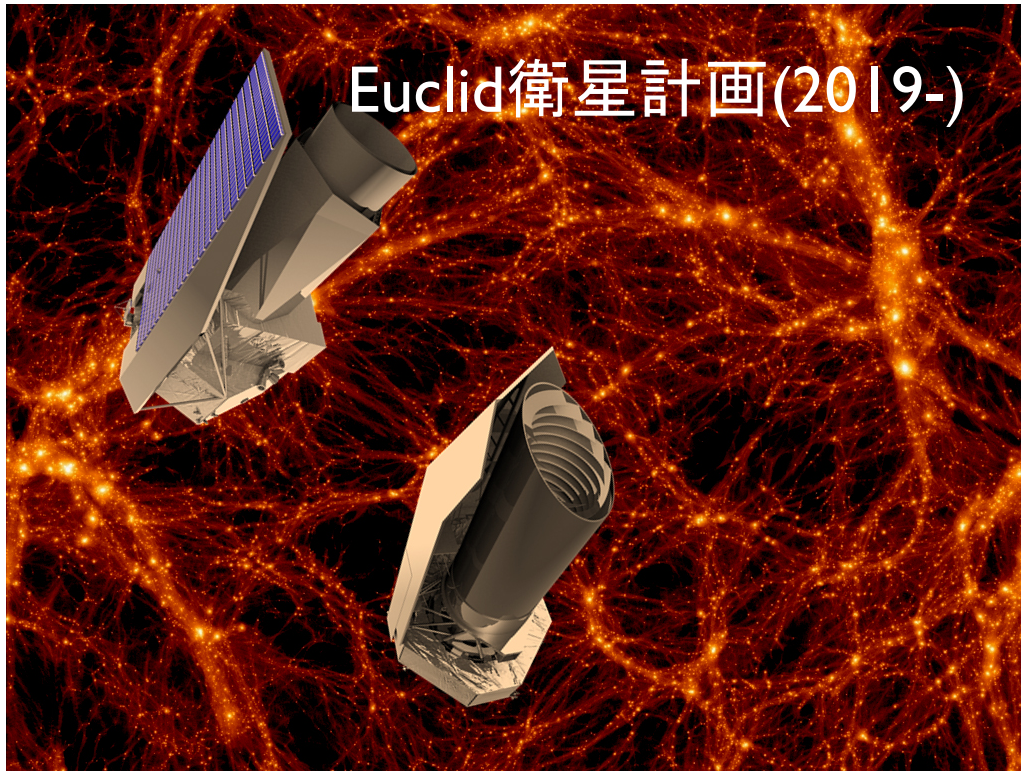


WFIRST (広視野近赤外線衛星計画) → 住さん講演

+8m 望遠鏡



ヨーロッパの戦略



Euclid衛星計画(2019-)

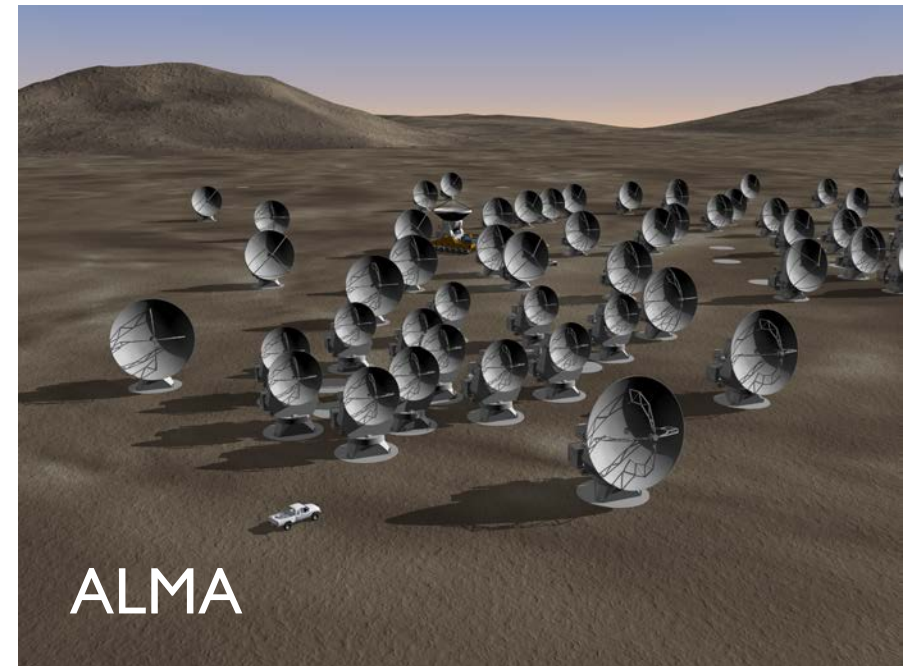
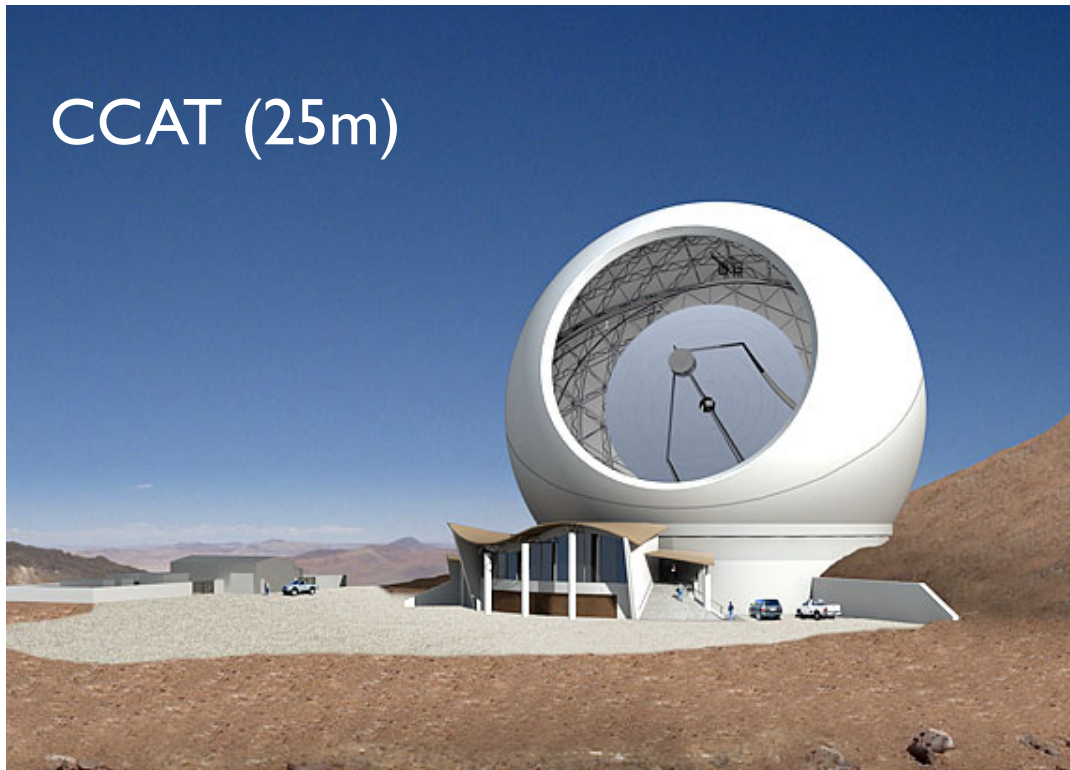
- Euclid衛星はすでにESAの将来計画として承認
- 2019年打ち上げ予定
- 約€800M計画
- 広視野撮像、分光衛星
 - 1.2m望遠鏡
 - 可視光(V+I+Z), 近赤(Y, J, H)
 - Wide Survey: 15000 sq. deg
 - Deep: 2×20 sq. degrees (H=26AB)
- サイエンスゴール
 - DM, DE (WL, BAO)
- 米国も一部参加することが決定しつつある



Extremely Large Telescope (ELT)

+8m 望遠鏡

余談：米国のサブミリ波天文学の戦略

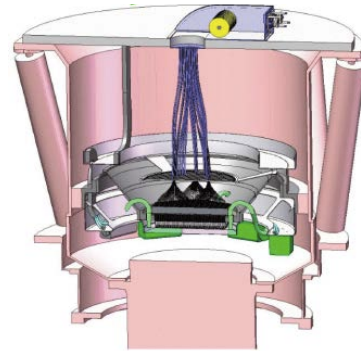


- Ranked the highest priority in mid-scale, ground-based projects
- 予算申請中
- サイエンス：星形成領域から宇宙論まで
- 戦略：サーベイで稀少天体を発見し、ALMAでのfollow-up観測

日本(すばる)の戦略



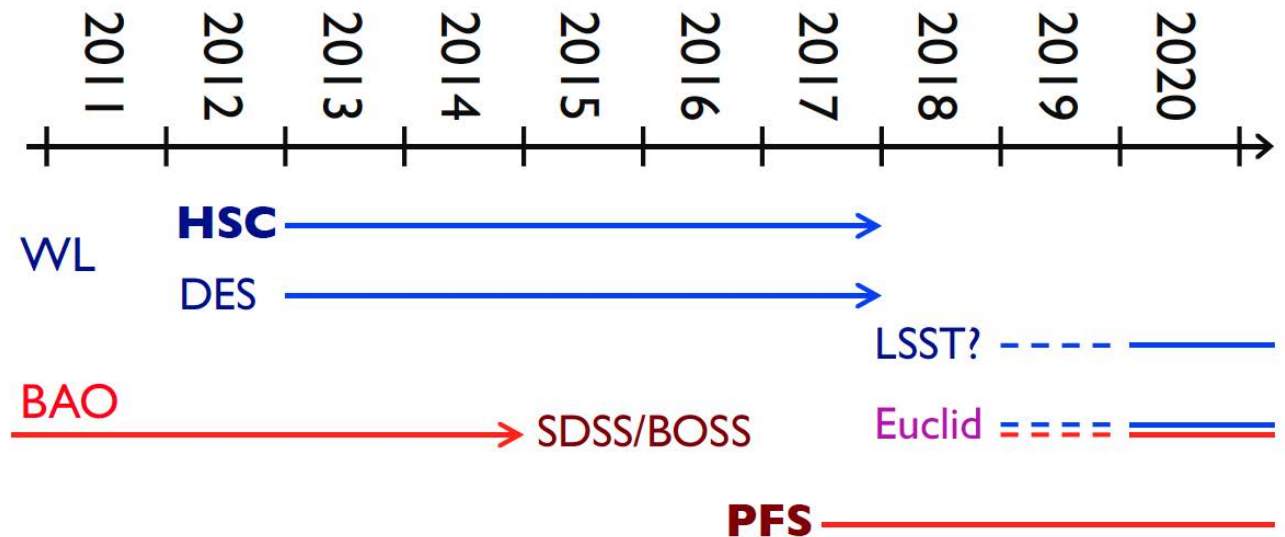
HSC
(宮崎さんの講演)



PFS
(菅井さんの講演)



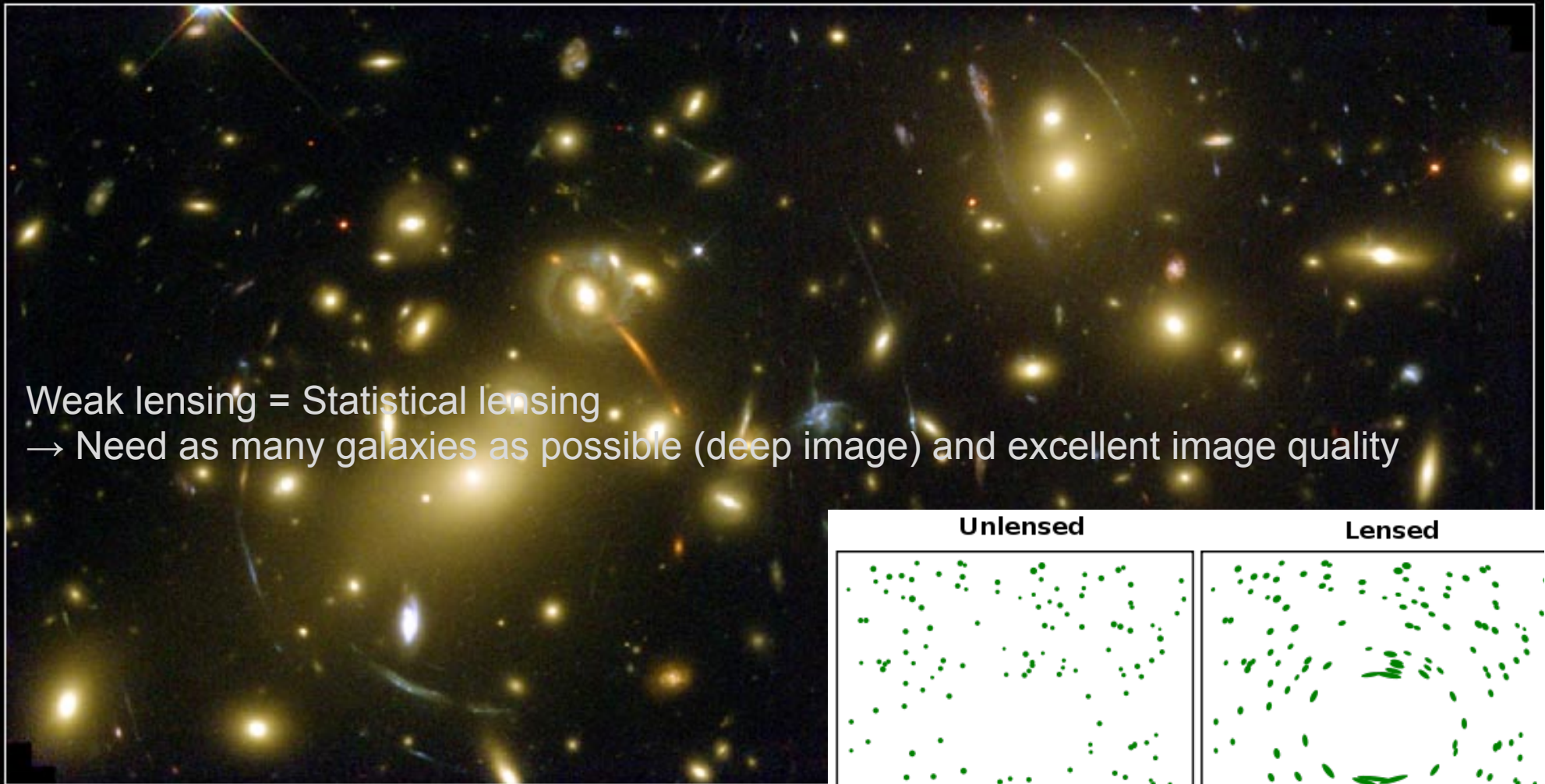
- (結果的に?)サーベイ天文学を世界に先駆けて行う
- 世界をリードする絶好のチャンス



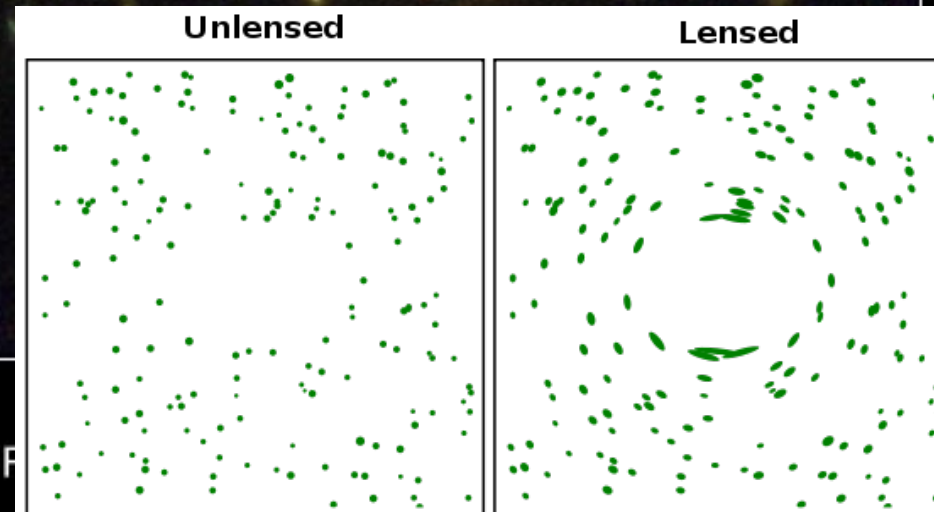
✓ HSC/PFS have an opportunity to make a DE breakthrough via a 3-5 year survey prior to Euclid/LSST/WFIRST

WFIRST? = = = =

統計の威力(1): Weak gravitational lensing = 暗黒物質の分布を調べる方法



Weak lensing = Statistical lensing
→ Need as many galaxies as possible (deep image) and excellent image quality



Galaxy Cluster Abell 2218

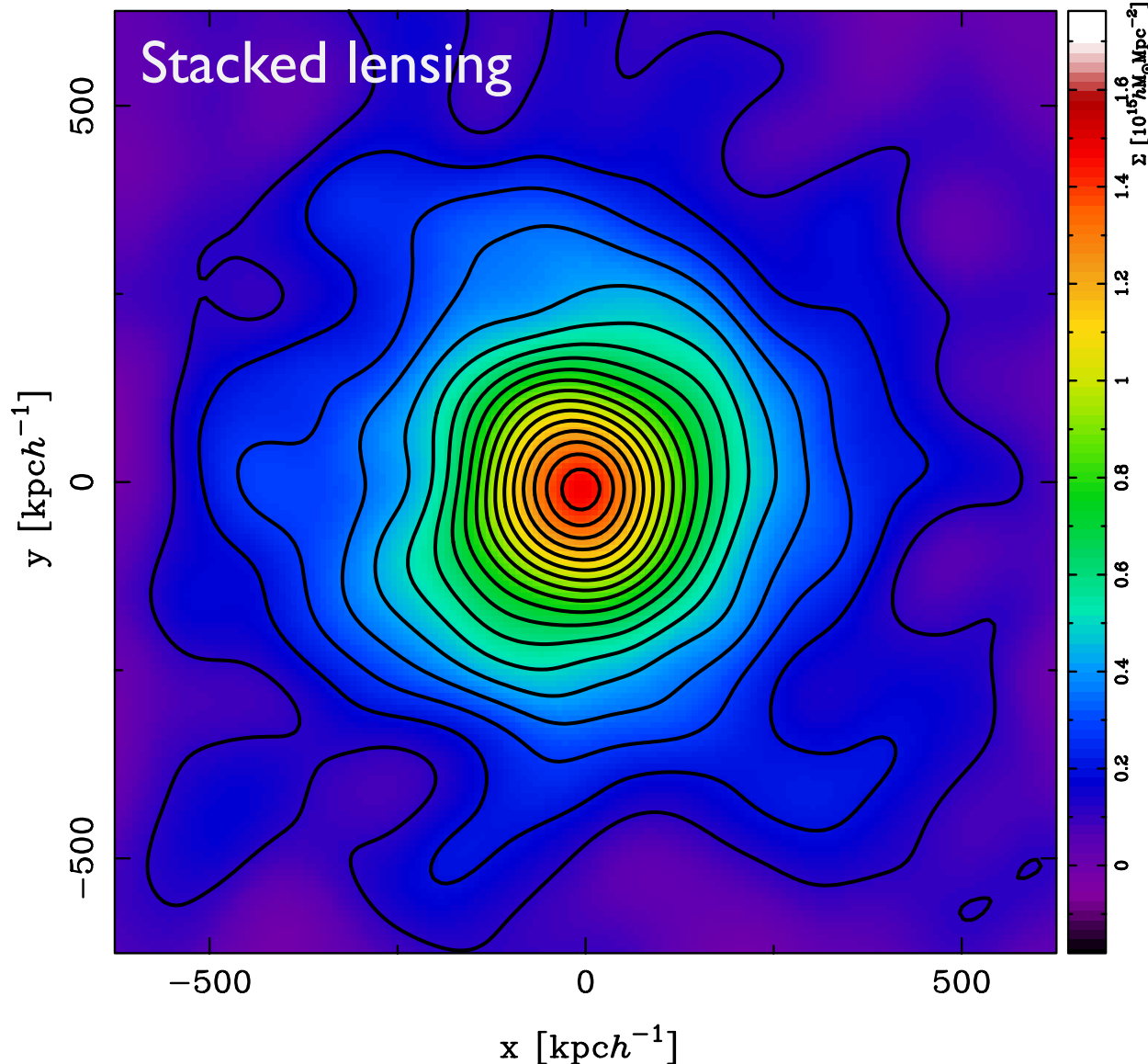
NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PR

統計の威力(1): 統計的弱重力レンズ測定

$N = 52$

Okabe, Takada et al. 2010

Okabe, Takada et al. in prep.



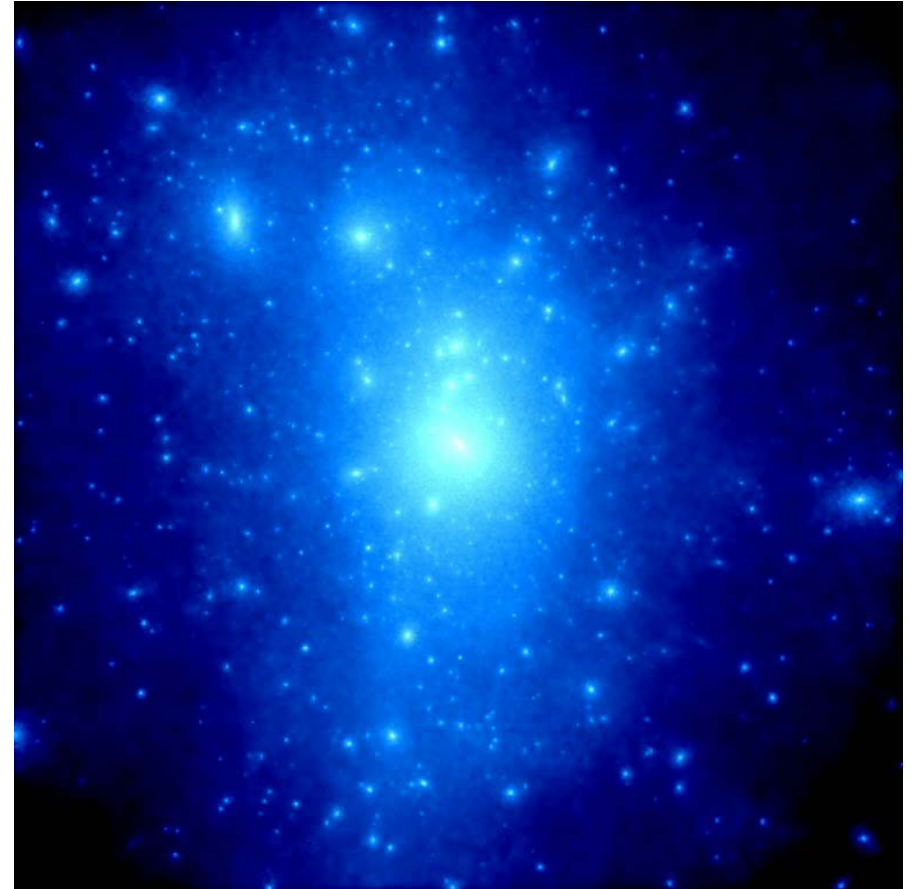
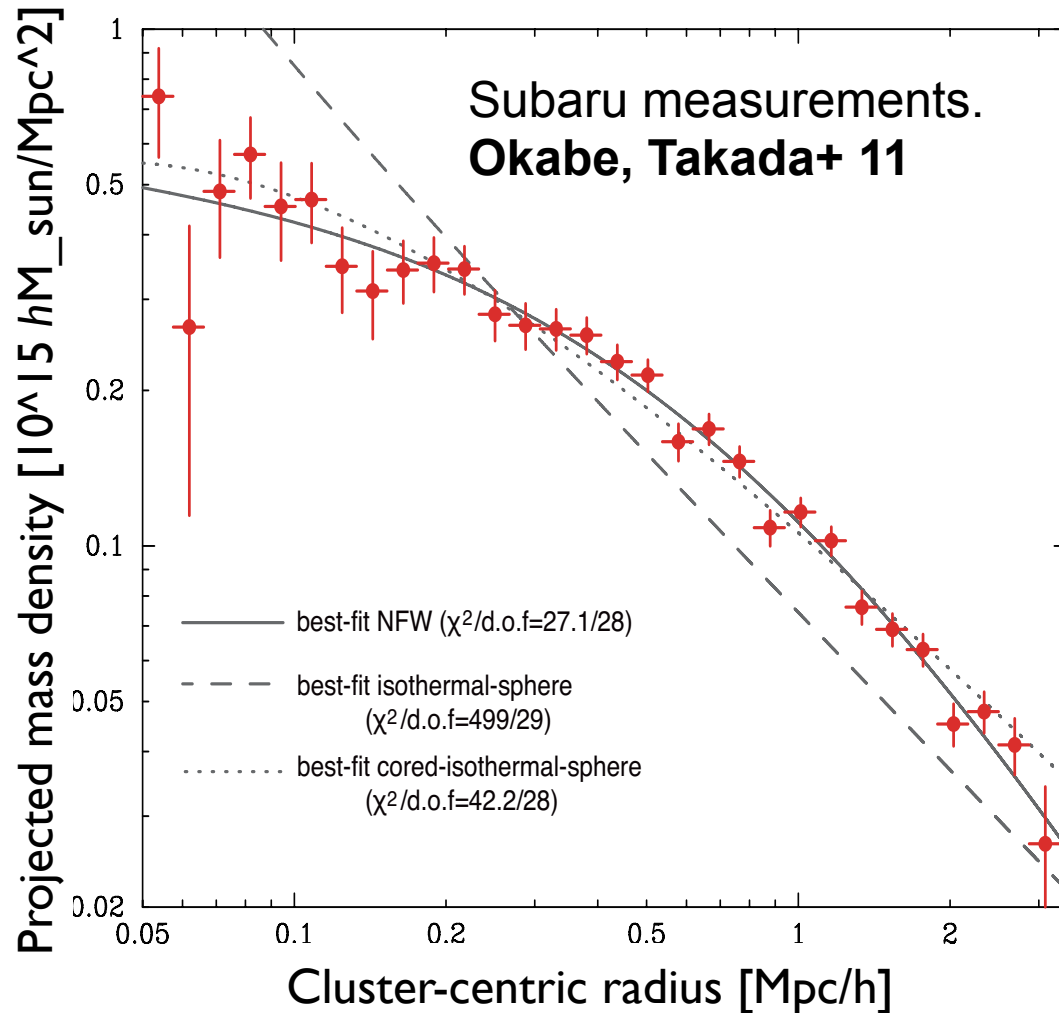
52個の近傍X線銀河団
($0.15 < z < 0.3$)の背景にあ
る銀河を全てスタックし、
重力レンズ測定から復
元した質量分布
(S/N~50)

実質的に約100万個の
背景銀河

平均的な銀河団内の質
量分布

約10晩のすばるデータ

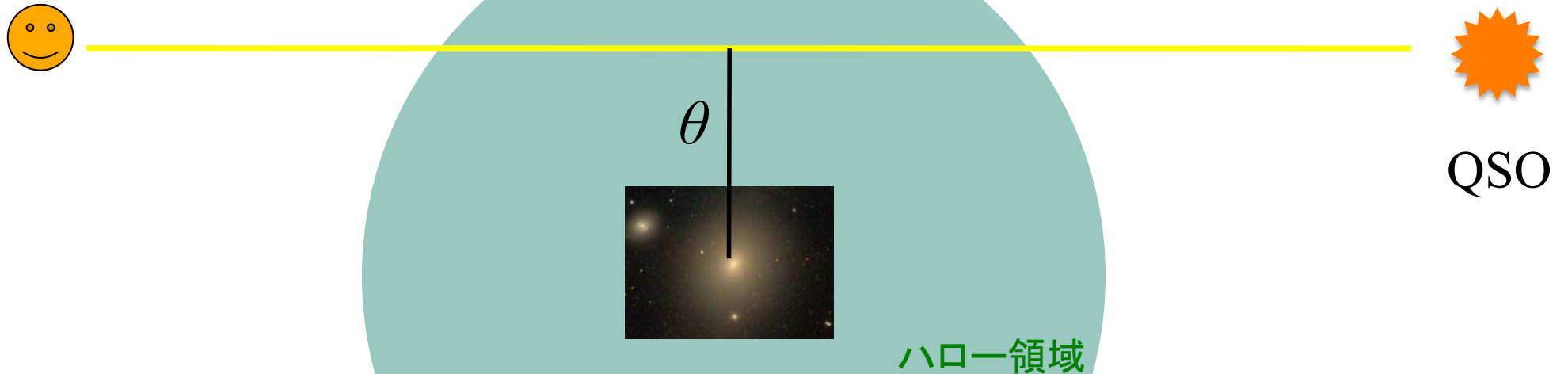
統計的重力レンズ効果: 理論との直接比較



すばる重力レンズの結果はCDM構造形成シナリオのN体計算の結果と一致

統計の威力(2): 銀河ハローダストの発見

Menard, Scranton, Fukugita, Richards (09)



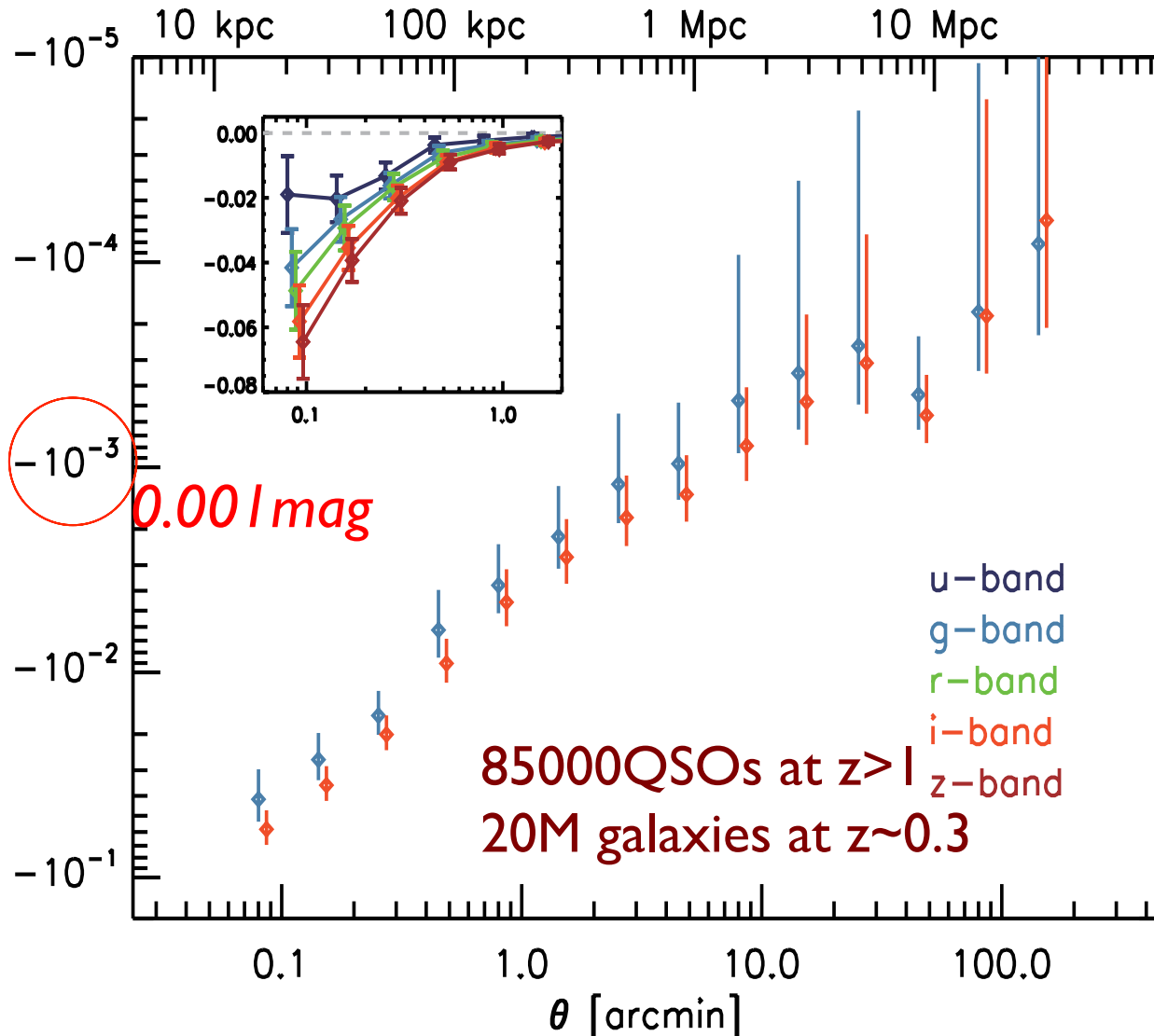
- レンズ銀河の重力レンズにより背景QSOは明るくなる
- しかし、個々のQSOの測定だけでは、固有の明るさと重力レンズ増光を区別できない
- 多数のレンズ銀河-QSO相関で統計平均をとる
- SDSS撮像データカタログ

統計の威力(2): 銀河ハローダスト

$r_p^{\text{eff}} [h^{-1}]$ (at $z=0.36$)

Menard, Scranton, Fukugita, Richards (09)

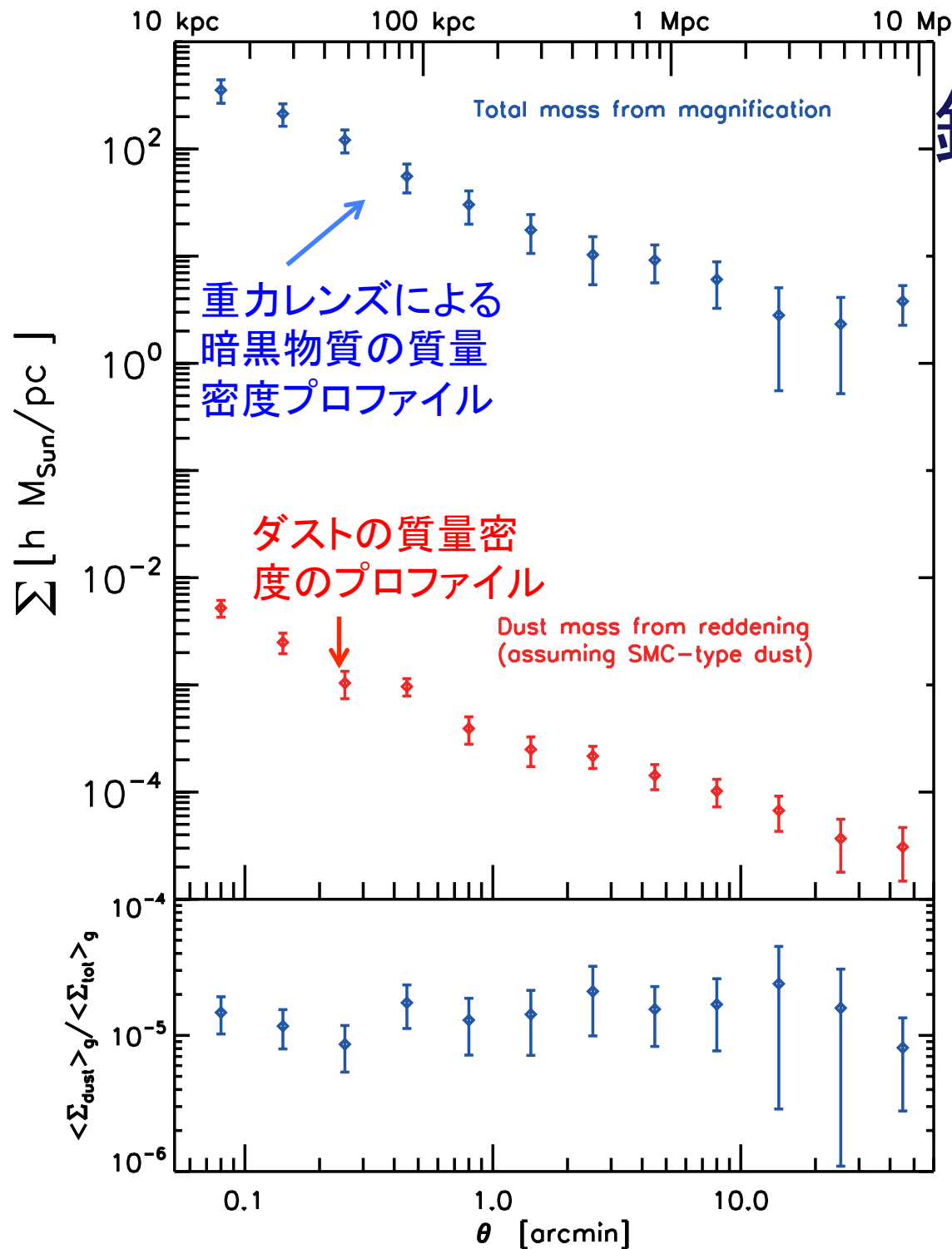
重カレンズによる背景QSOの明るさの変化



前景銀河と背景QSO間の分離角

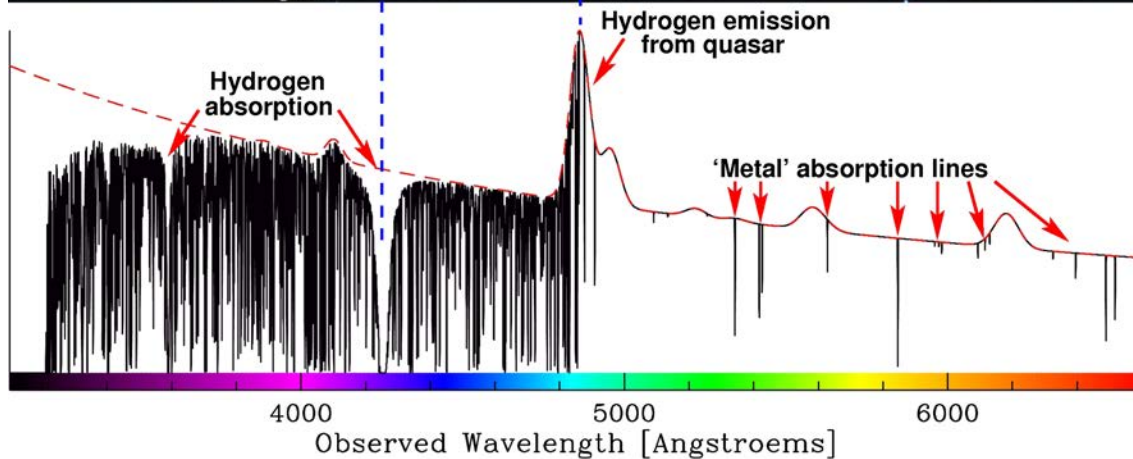
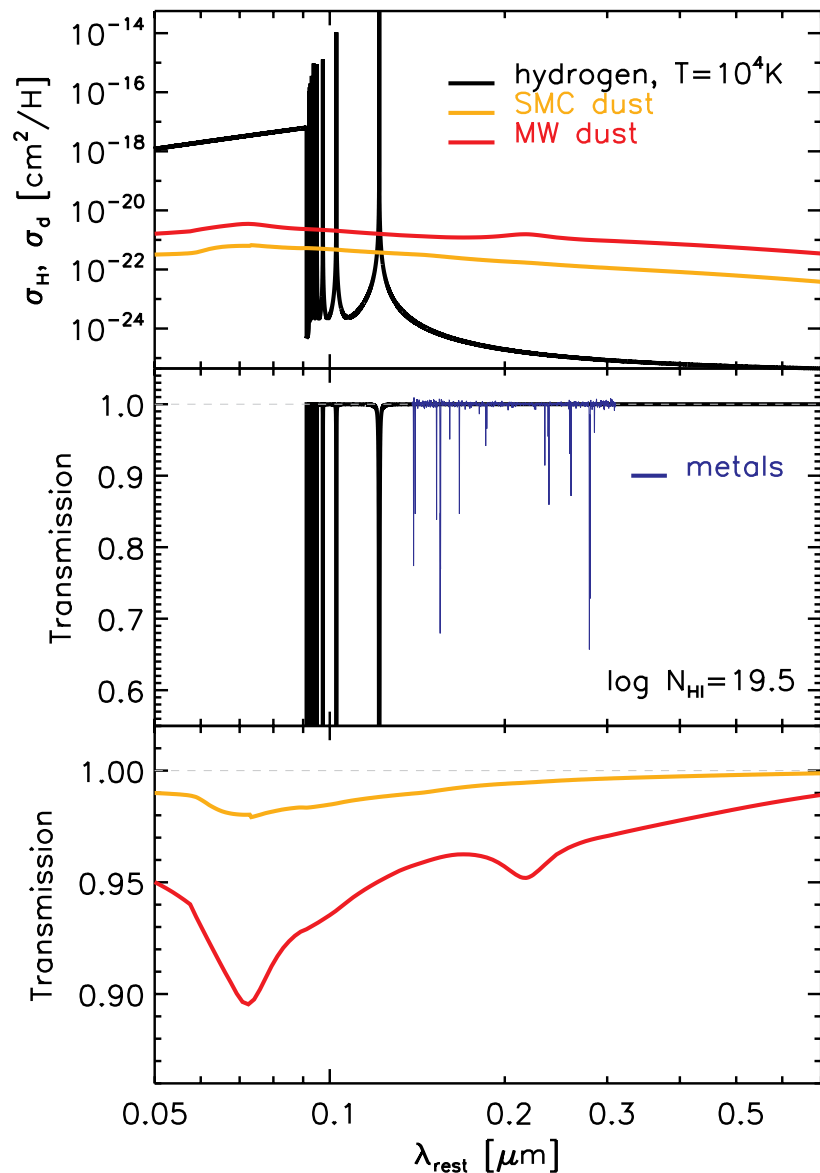
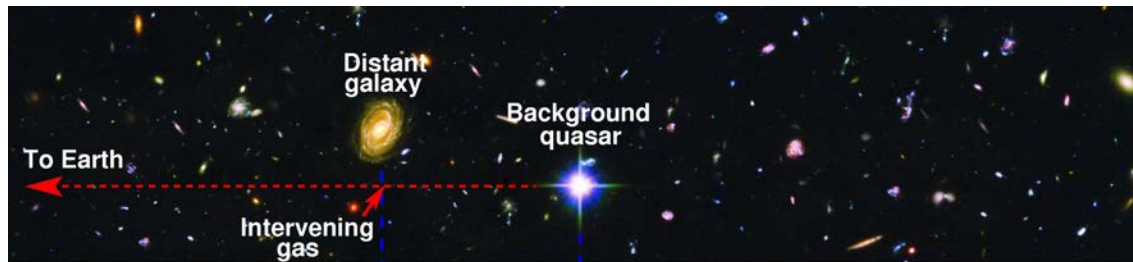
- 重カレンズ効果による0.001mag程度の増光を検出 (with high S/N's)
- BUT, 重カレンズ効果は achromatic → Color (ugriz)の依存性はレンズ銀河ハロー内のダストによる reddening
- 高精度データ解析・カタログ整備の重要性

銀河間ハローダスト (続き)

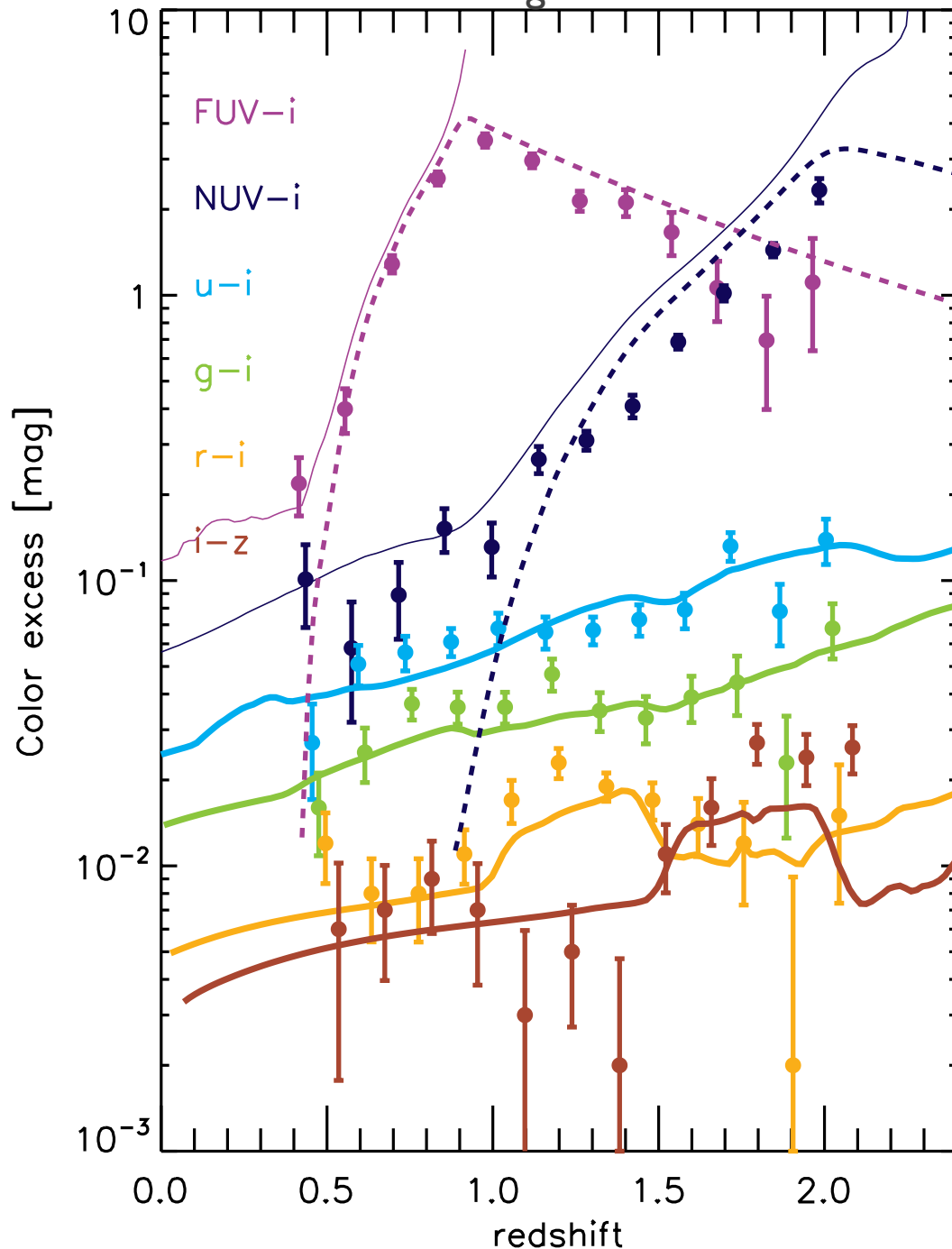


- 銀河ハロー内に漂うダスト (驚きの発見！)
- DM/ダスト/DM比は半径に依らず一定
- ハロー内ダスト総量はdisk内のダスト量と同程度

統計の威力(3): 銀河ハローダスト

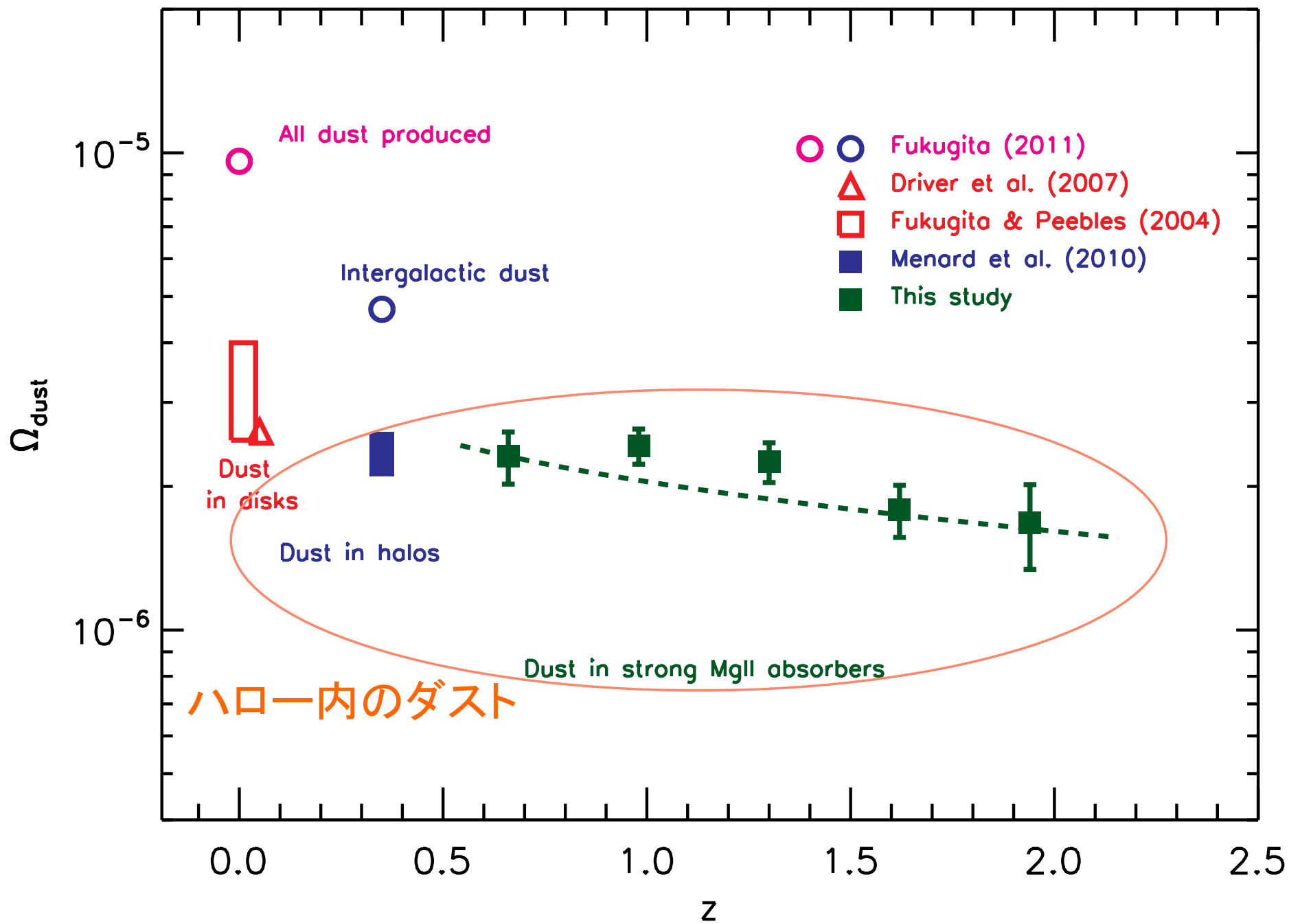


- Menard & Fukugita (2012)
- MgII absorption systemが付随するQSOのreddeningを調べた
- 11929 MgII systems (SDSS spec. QSOs + GALEX; 他波長)
- Hydrogen + metalsによるreddening
- SDSS分光・撮像データ



銀河ハローダスト

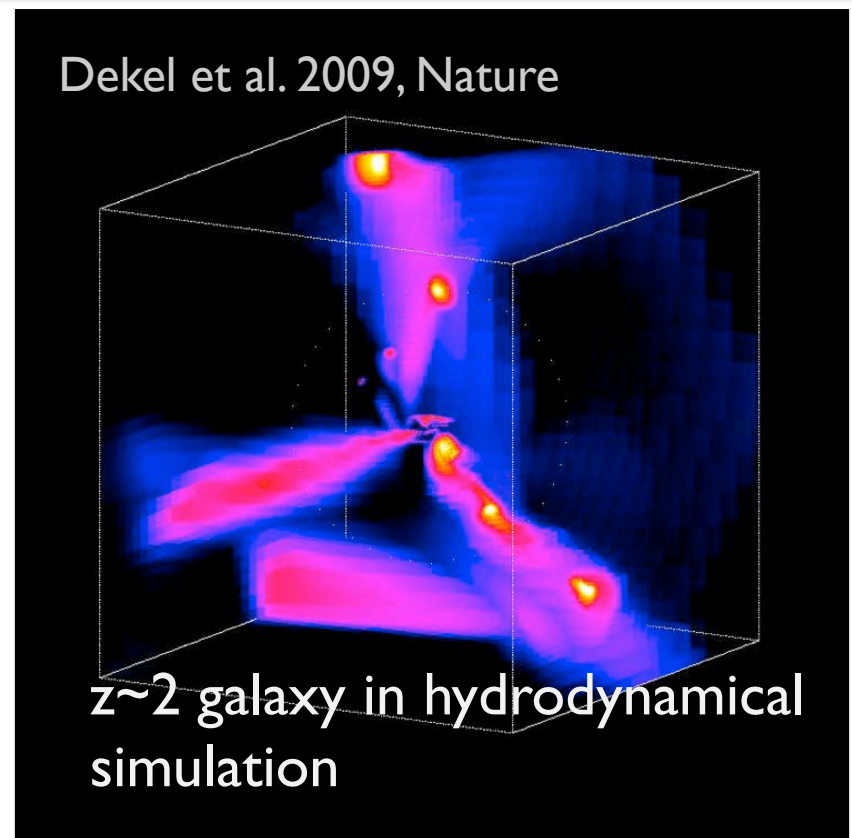
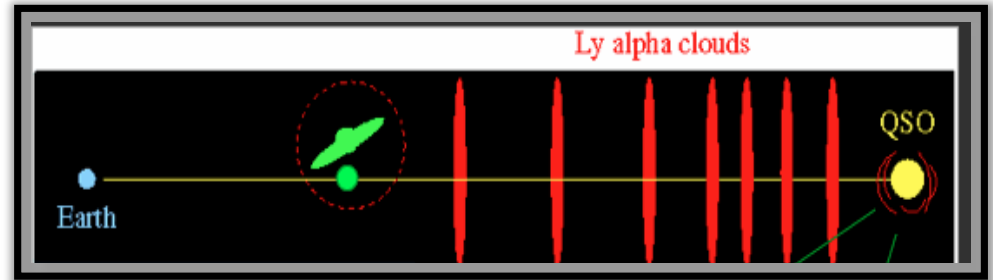
- MgII systemsを付随する QSOの reddening の理論と観測の比較
- SMC-type ダスト ($N_{\text{HI}}=10^{19.8} \text{ cm}^{-2}$, the dust-to-hydrogen ratio = about 1/100)を仮定すれば、理論と観測が一致
- ハロー内のダストの大部分はMgIIに付随か？(銀河風 or 矮小銀河？)



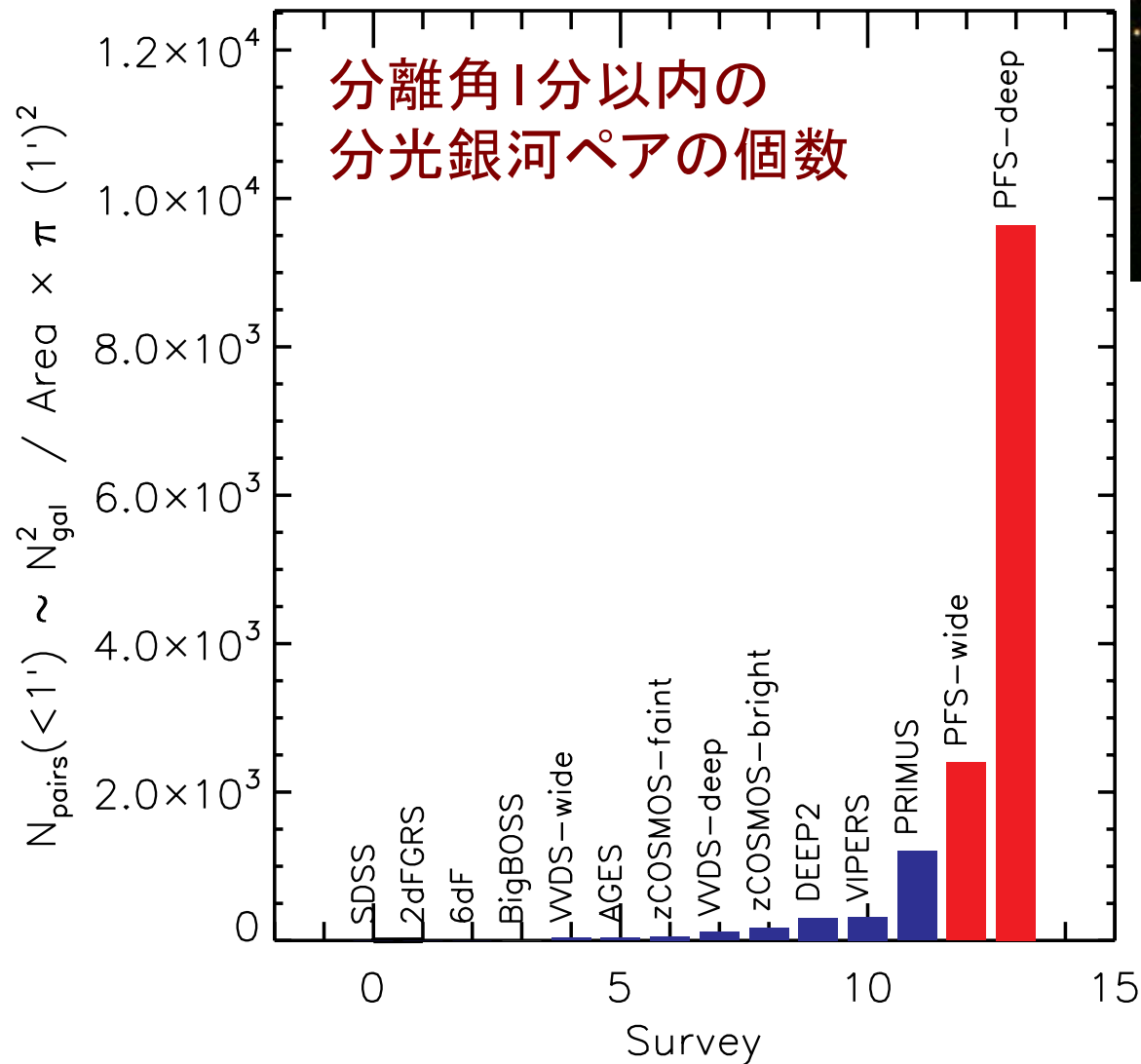
銀河形成の激動期($z \sim 2-3$): 暗黒物質、星形成、ガス

- 「統計的」重力レンズ → 銀河まわりの暗黒物質分布 ($z < 1.5$)
- 背景光源 (QSOと究極的には銀河) と前景銀河の相関 → 銀河ハロー内のダスト ($z < 3.5$)
- 背景光源スペクトルと前景銀河の相関 (例、HSC-SDSS/BOSS) → 銀河ハロー内の矮小銀河 ($z < 1$)
- 重力レンズで増光された遠方銀河の2次元面分光 (例、HSC-TMT) → 銀河の回転曲線の進化 ($z < 5$)

階層的構造形成シナリオにおける銀河形成「物理」の系統的な理解

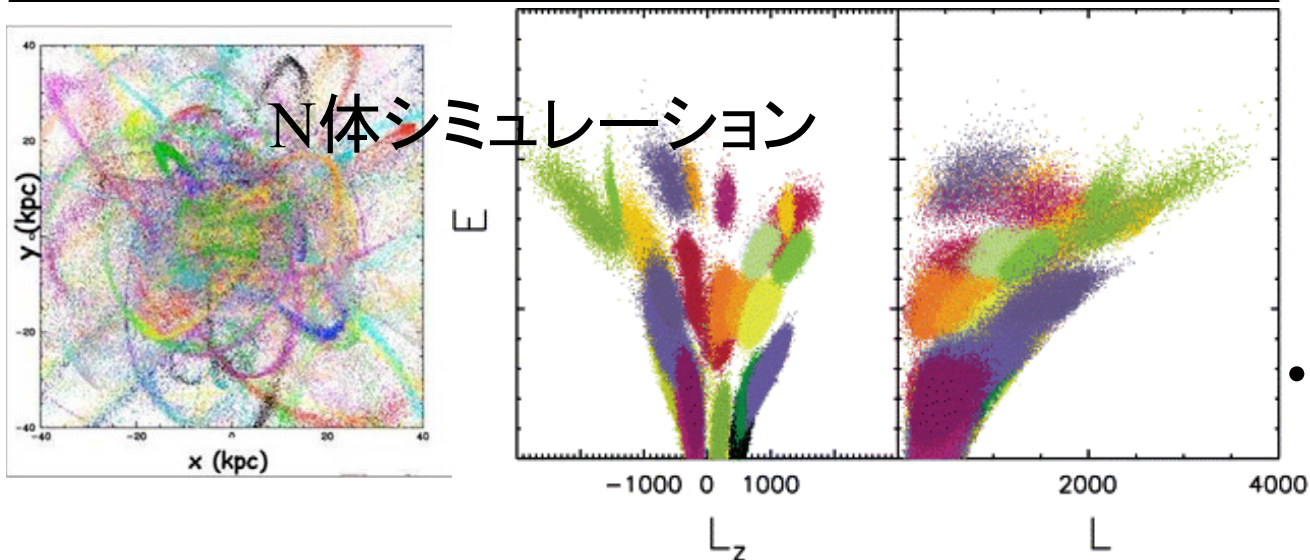
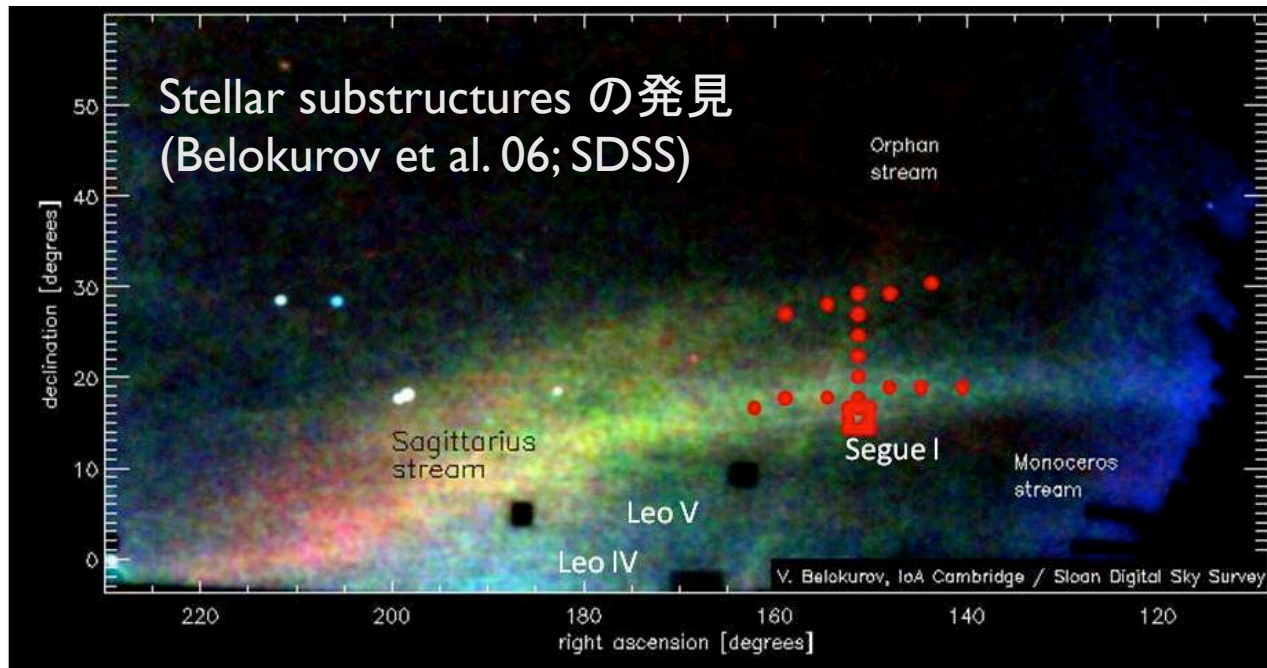


宇宙論的銀河形成研究： 多角的視点、多波長、理論+観測...



- HSC – SDSS/BOSS
QSOs/Galaxies
- HSC/SDSS – Subaru AO
- HSC – PFS
- HSC/PFS – TMT
- HSC/PFS – ALMA
- 宇宙論シミュレーション

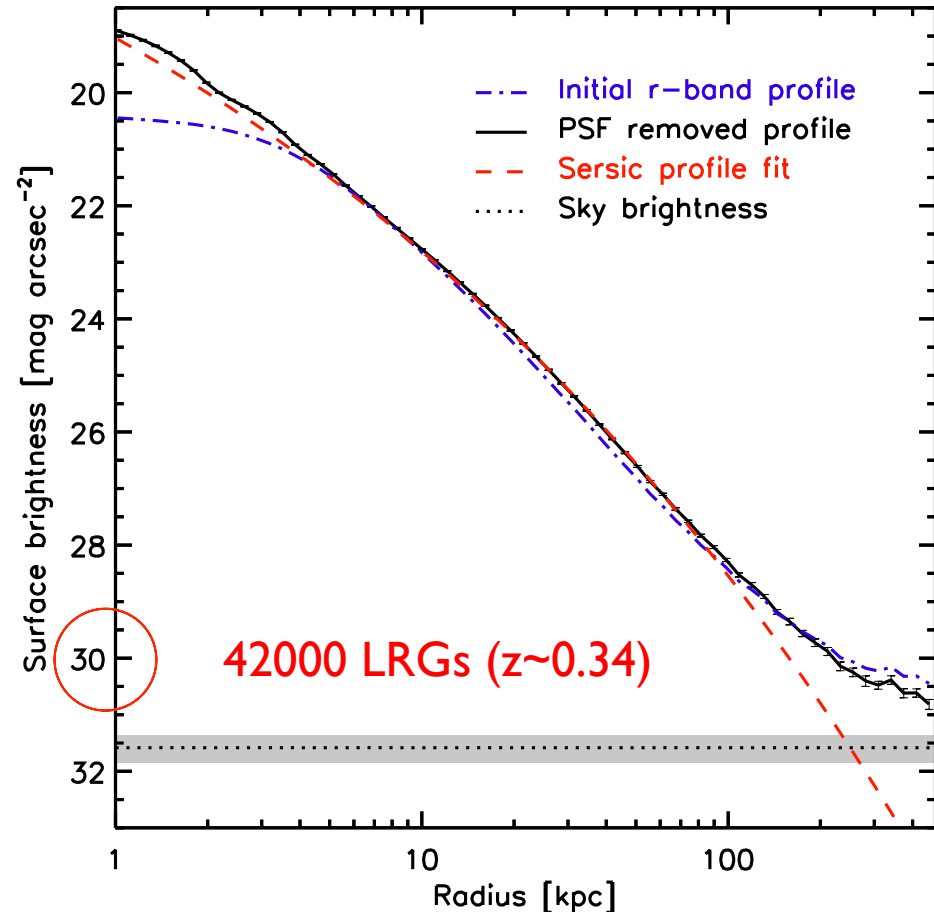
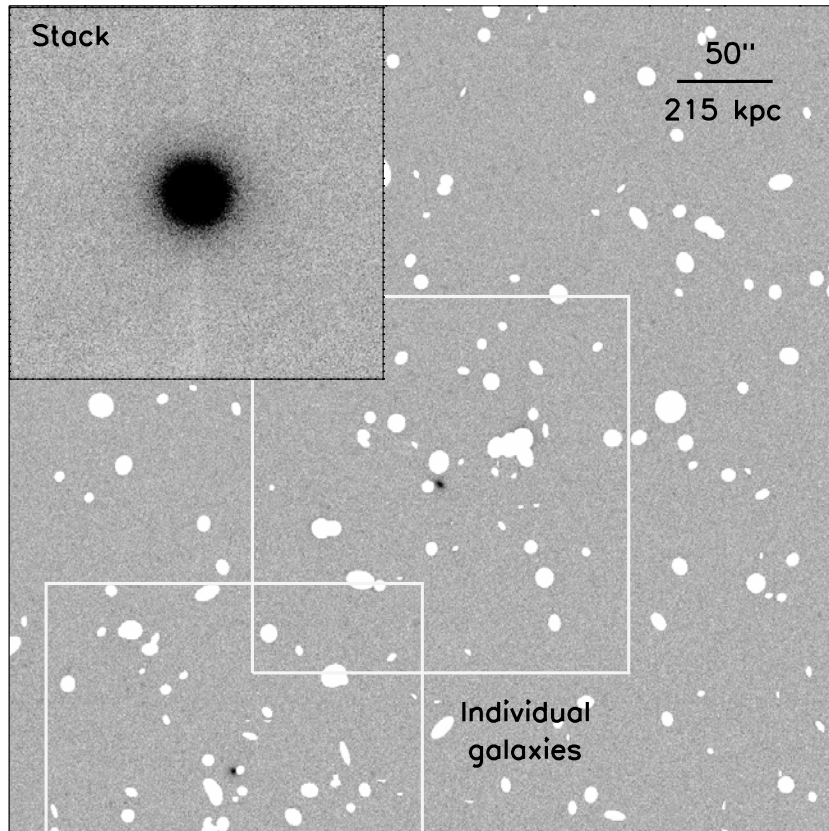
大規模サーベイの威力(4): Near-Field Cosmology



- 小スケールにおける階層構造形成シナリオの検証
- CDMモデルとの直接的比較
- GAIA衛星(2013年打ち上げ): 星の距離、動径方向速度測定
 - $\sim 0.1M$ spectra ($R \sim 20000$)
 - $\sim 0.01M$ spectra ($R \sim 50000$)
- GAIAとのシナジー

統計の威力(5): 銀河の表面輝度プロフィール

Tal et al. 11



- SDSS Luminous Red Galaxies (LRG)の画像をスタックし、表面輝度動径プロフィールを調べた
- プロファイルは100kpcまで Sersic profile と一致; deviates at >100kpc?

まとめ：2020年代の宇宙論

- 超広視野銀河サーベイデータの洪水 (HSC, DES, PFS, Euclid, LSST, ...)
 - 8m望遠鏡の広視野多天体分光装置計画は PFS と ngCFHT(?) のみ
- 「大」統計の威力を活かし、アイデアに基づく研究ができる絶好のチャンス
 - 高精度で処理されたデータ、カタログの重要性 (SDSS)
- 宇宙論：Dark Matter, Dark Energy, Early Universe, $z \sim 1-3$ 銀河形成の物理の理解
- 多角的視点、多波長のデータを用いた分野横断型研究
- 20年代を見据えた戦略を持った装置・望遠鏡計画の重要性
- 将来計画の大型化 → 国際共同研究が必然