

2020年代の宇宙論・構造形成

高田昌広（班長）

大栗真宗（サブリーダー）

班員：浜名崇(NAOJ), 樽家篤史(京大), 齊藤俊(IPMU), 宮武広直(Princeton/IPMU), 奥村哲平(IPMU), 日影千秋(IPMU), 高橋龍一(弘前大), 西澤淳(名大), 鮫島 寛明 (京産大)

科学目標

- ・ 宇宙の始まりは？(インフレーション)
 - 原始密度ゆらぎの物理
- ・ 現在の加速度膨張の起源は？
 - ダークエネルギー or 重力の修正
- ・ 我々はどこから来たのか？
 - 構造形成・銀河形成の物理の理解
 - ダークマターの正体は？ニュートリノ

BIG
BANG

宇宙論の強み：素粒子・宇宙物理・天文の融合領域。
天文学の基本データである広天域撮像・分光データを提供

これまでの議論のポイント

- ・ サイエンスの重要性
- ・ サイエンス⇒手段・手法
- ・ 独自性：可視光・赤外の観測でしかできない計画か？
- ・ サイエンスの発展性、他の分野との相乗効果は？
- ・ 実現可能性は？
- ・ 国際情勢、国際競争力は？

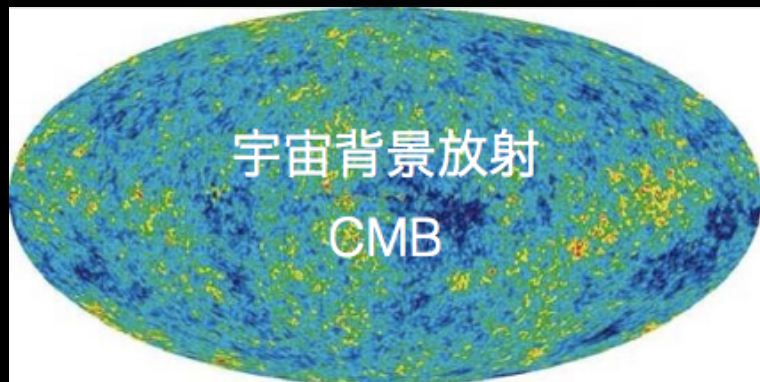
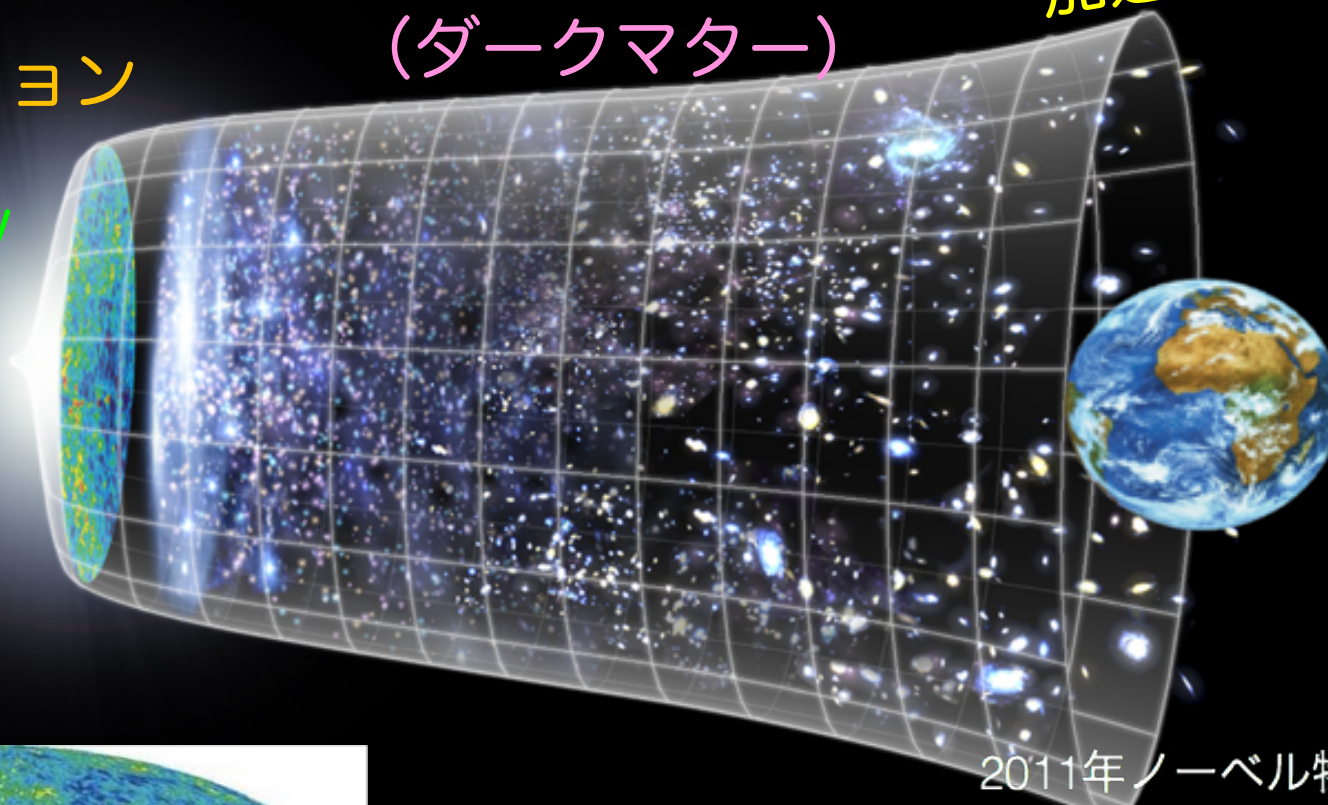
宇宙膨張の変遷

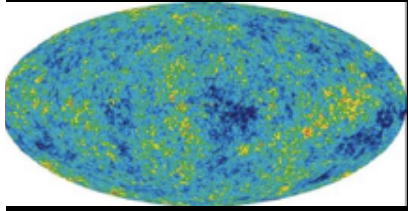
インフレーション

加速

減速膨張
(ダークマター)

ダークエネルギー
加速



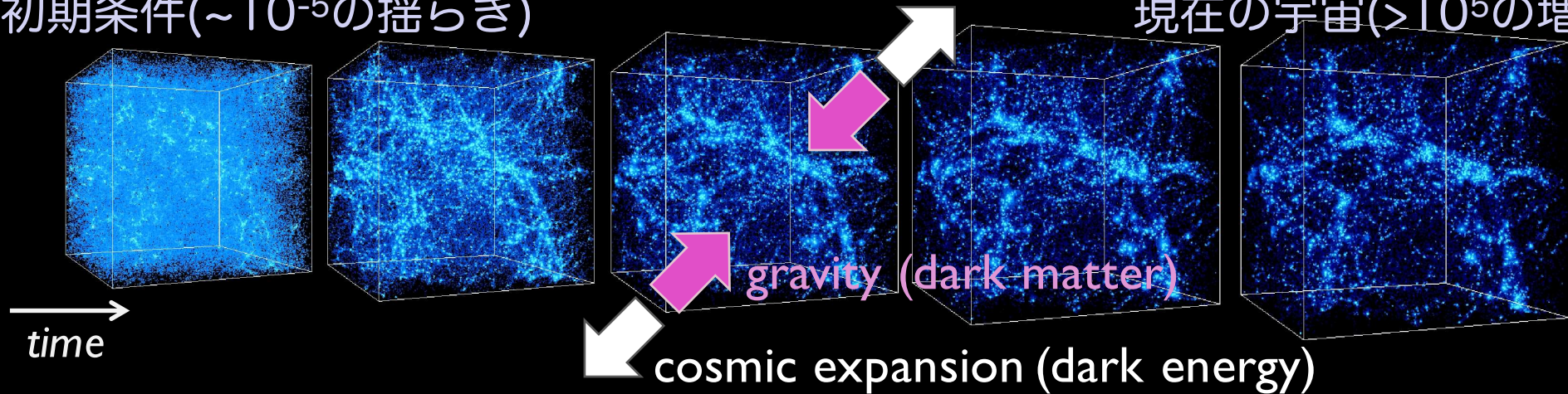


宇宙の構造形成

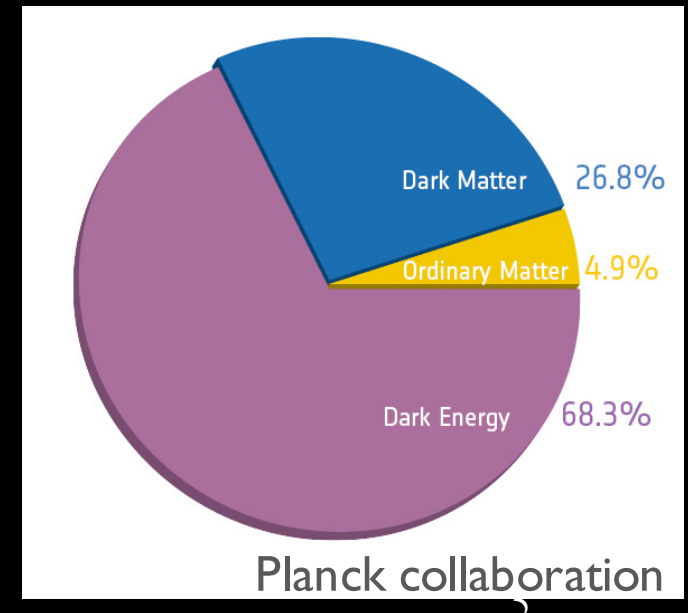


初期条件($\sim 10^{-5}$ の揺らぎ)

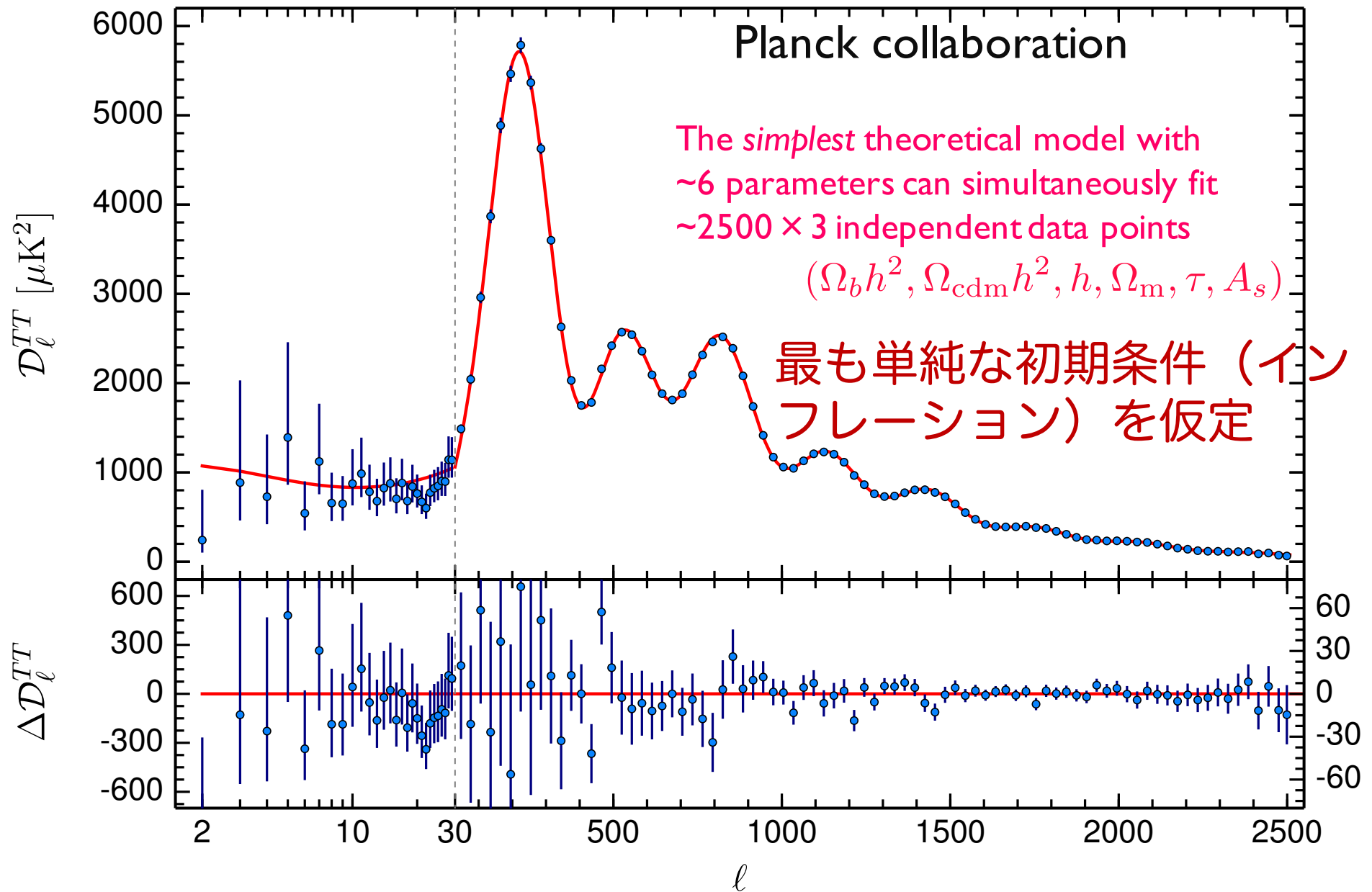
現在の宇宙($>10^5$ の増幅)



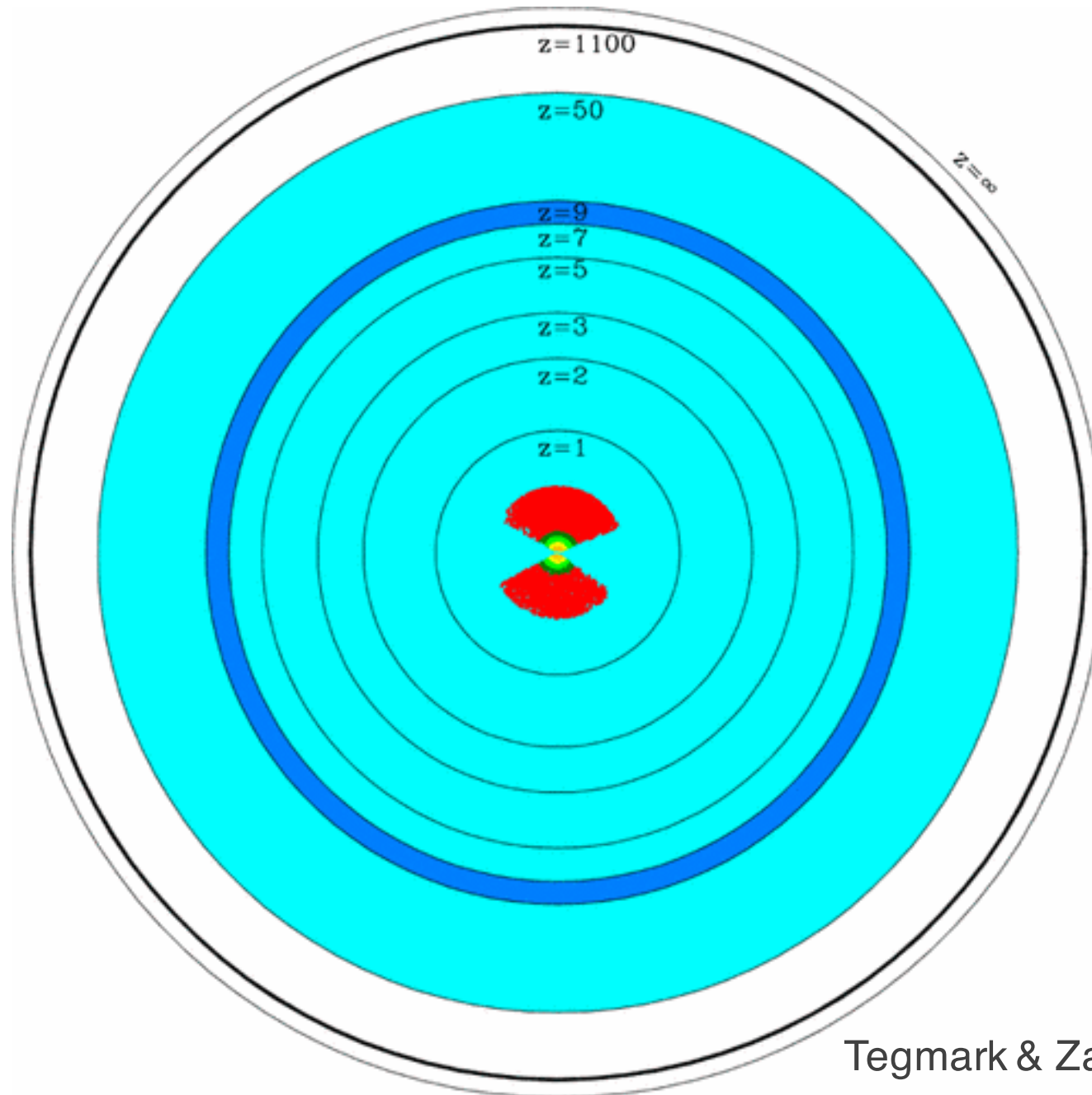
- The present-day large-scale structure arises from a gravitational amplification of the tiny perturbations in the early universe
- Assume Cold Dark Matter (CDM) for unknown source of gravity – cold, massive & collision-less
- Λ CDM = current standard model
- Gravity (DM) vs. Cosmic expansion (DE)



Λ CDMモデル



宇宙論に必要なサーベイ



- 広天域の銀河（銀河間ガス）のイメージング・分光サーベイ
- CMB = 晴れ上がりの2次元の情報
- 銀河サーベイ = 3次元の情報（圧倒的な情報量）
- 銀河 → ダークマター → 理論と比較
- 銀河バイアス、ガス物理の不定性

Cosmological Collider Physics



Nima Arkani-Hamed (IAS)

Cosmological Collider Physics

Nima Arkani-Hamed and Juan Maldacena

Institute for Advanced Study, Princeton, NJ 08540, USA

CMBの限界 (B-mode除く)
加速器実験 (LHC; ~TeV) の限界

Abstract

We study the imprint of new particles on the primordial cosmological fluctuations. New particles with masses comparable to the Hubble scale produce a distinctive signature on the non-gaussianities. This feature arises in the squeezed limit of the correlation functions of primordial fluctuations. It consists of particular power law, or oscillatory, behavior that contains information about the masses of new particles. There is an angular dependence that also contains information about the spin. We also have a relative phase that crucially depends on the masses of the particles. The fluctuations and can be viewed as

also see <http://physics.princeton.edu/cmb50>

初期宇宙、素粒子物理の研究者の参入

光赤外天文はこの潮流をうまく利用すれば良い

Super-Sample Signal

Yin Li,^{1,2} Wayne Hu,² and Masahiro Takada³

¹Department of Physics, University of Chicago, Chicago, Illinois 60637,

²Kavli Institute for Cosmological Physics, Department of Astronomy & Astrophysics, Enrico Fermi Institute, University of Chicago, Chicago, Illinois 60637, USA

³Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI), The University of Tokyo, Chiba 277-8583, Japan

When extracting cosmological information from power spectrum measurements, we must account for the impact of super-sample density fluctuations whose wavelengths are larger than the survey volume. These modes contribute to the mean density fluctuation δ_b in the survey and change the observed spectrum in the same way as a change in the cosmological background. They can be accounted for in cosmological parameter estimation and forecasts by treating δ_b as an additional parameter enabling efficient exploration of its impact. To test this approach, we perform an idealized measurement of the matter power spectrum itself in the ACD.

The Lagrangian-space Effective Field Theory of Large Scale Structures

Rafael A. Porto^{1,2}, Leonardo Senatore^{3,4,5} and Matias Zaldarriaga¹

¹ School of Natural Sciences, Institute for Advanced Study, Olden Lane, Princeton, NJ 08540, USA

² Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Theory Group, D-22603 Hamburg, Germany

³ Stanford Institute for Theoretical Physics, Stanford University, Stanford, CA 94306

⁴ Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University and SLAC, Menlo Park, CA 94025

⁵ CERN, Theory Division, 1211 Geneva 23, Switzerland

TESTING INFLATION WITH LARGE SCALE STRUCTURE: CONNECTING HOPES WITH REALITY

Conveners: Olivier Doré and Daniel Green

Marcelo Alvarez¹, Tobias Baldauf², J. Richard Bond^{1,3}, Neal Dalal⁴, Roland de Putter^{5,6}, Olivier Doré^{5,6}, Daniel Green^{1,3}, Chris Hirata⁷, Zhiqi Huang¹, Dragan Huterer⁸, Donghui Jeong⁹, Matthew C. Johnson^{10,11}, Elisabeth Krause¹², Marilena Loverde¹³, Joel Meyers¹, P. Daniel Meerburg¹, Leonardo Senatore¹², Sarah Shandera⁹, Eva Silverstein¹², Anže Slosar¹⁴, Kendrick Smith¹¹, Matias Zaldarriaga¹, Valentin Assassi¹⁵, Jonathan Braden¹, Amir Hajian¹, Takeshi Kobayashi^{1,11}, George Stein¹, Alexander van Engelen¹

¹Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, University of Toronto, ON

²Institute of Advanced Studies, Princeton, NJ

³Canadian Institute for Advanced Research, Toronto, ON

⁴University of Illinois, Urbana-Champaign, IL

⁵Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA

⁶California Institute of Technology, Pasadena, CA

⁷Ohio State University, Columbus, OH

⁸University of Michigan, Ann Arbor, MI

⁹Pennsylvania State, State College, PA

¹⁰York University, Toronto, ON

¹¹University of California, Berkeley, CA

The Effective Field Theory of Large Scale Structures at Two Loops

John Joseph M. Carrasco¹, Simon Foreman^{1,2},

Daniel Green^{1,2}, and Leonardo Senatore^{1,2,3}

¹ Stanford Institute for Theoretical Physics and Department of Physics, Stanford University, Stanford, CA 94306

² Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University and SLAC, Menlo Park, CA 94025

³ CERN, Theory Division, 1211 Geneva 23, Switzerland

Abstract

Large scale structure surveys promise to be the next leading probe of cosmological information. It is therefore crucial to reliably predict their observables. The Effective Field Theory of Large Scale Structures (EFTofLSS) provides a manifestly convergent perturbation theory for the weakly non-linear

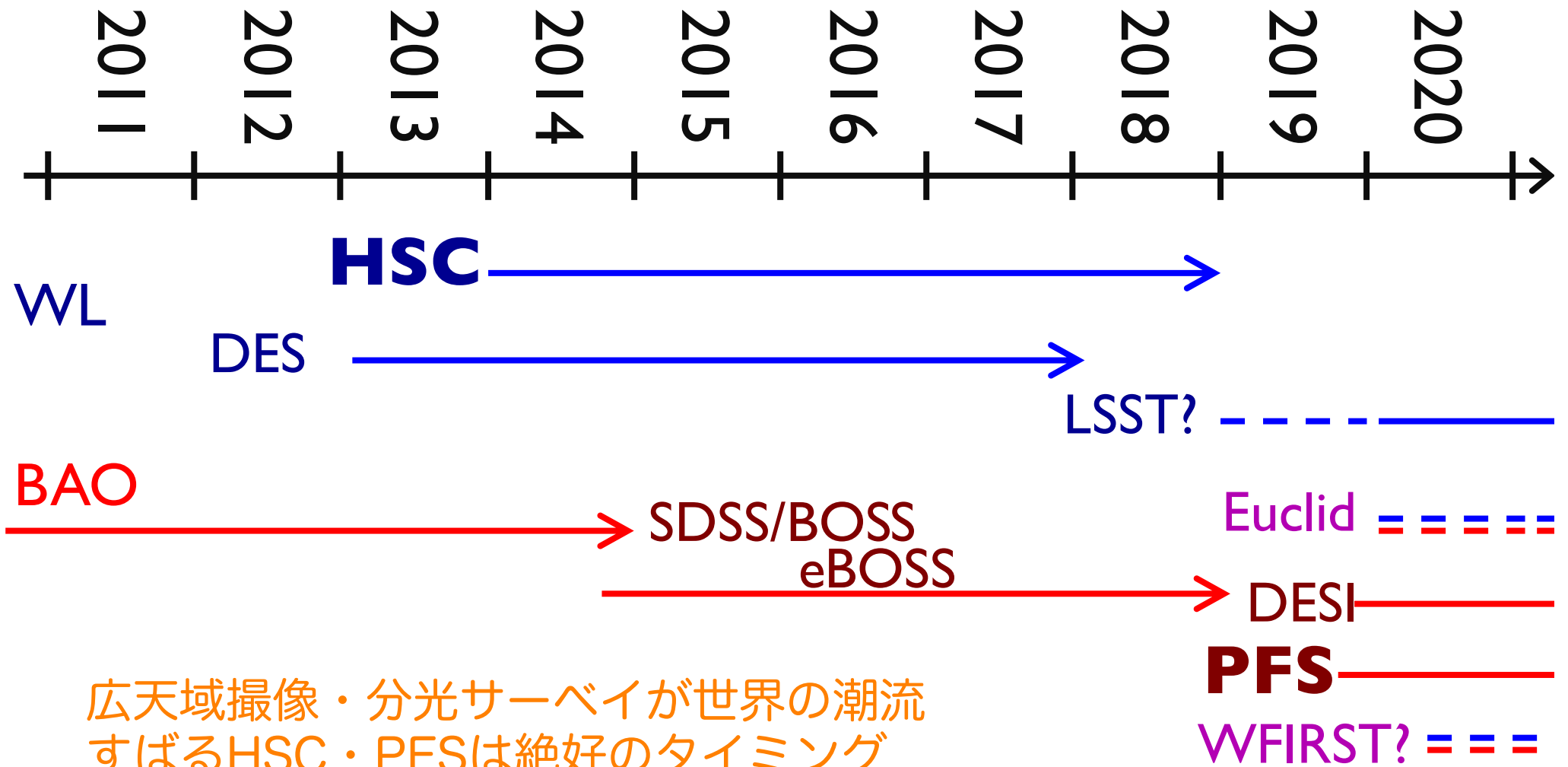
14
[astro-ph.CO] 4 May 2014

14
[astro-ph.CO] 25 Sep 2014

14

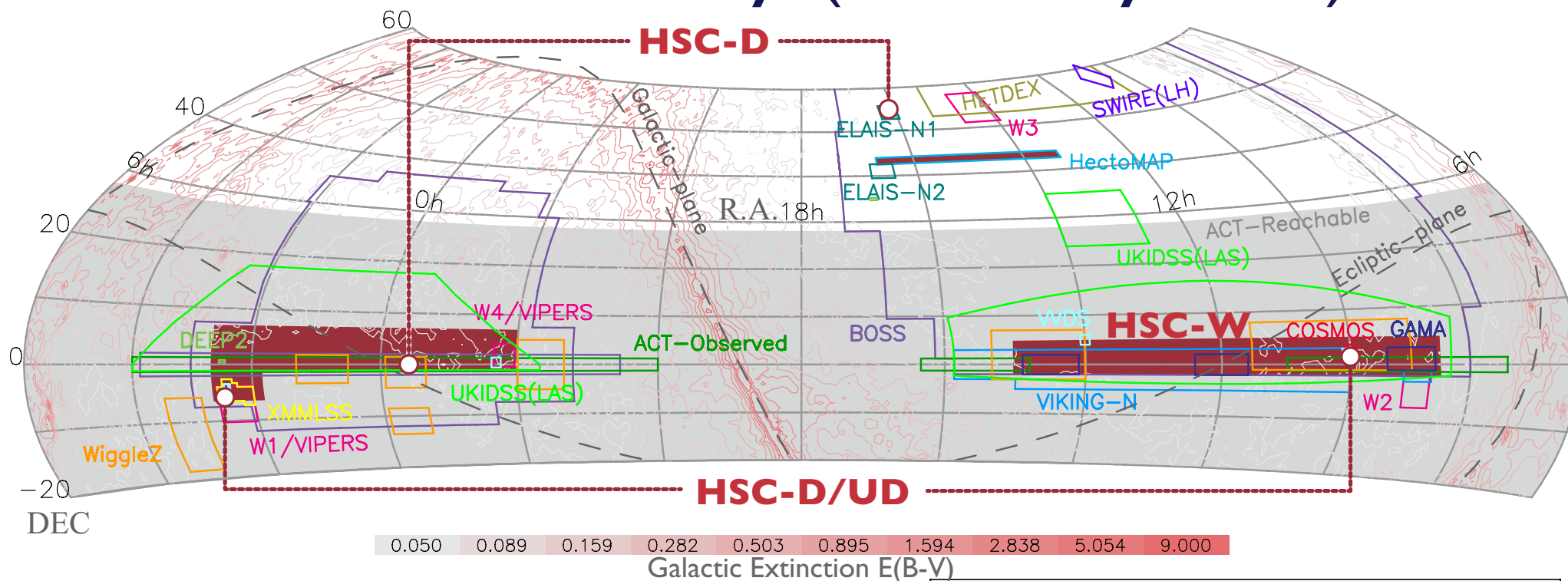
[astro-ph.CO] 15 Dec 2014

国際情勢、国際競争力

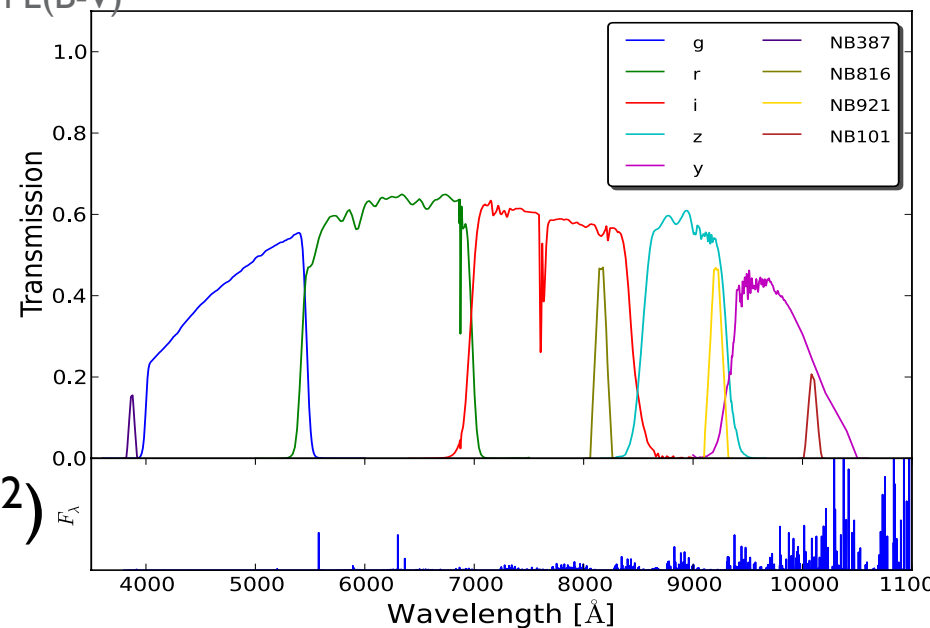


広天域撮像・分光サーベイが世界の潮流
すばるHSC・PFSは絶好のタイミング
2020年代の宇宙論をリード

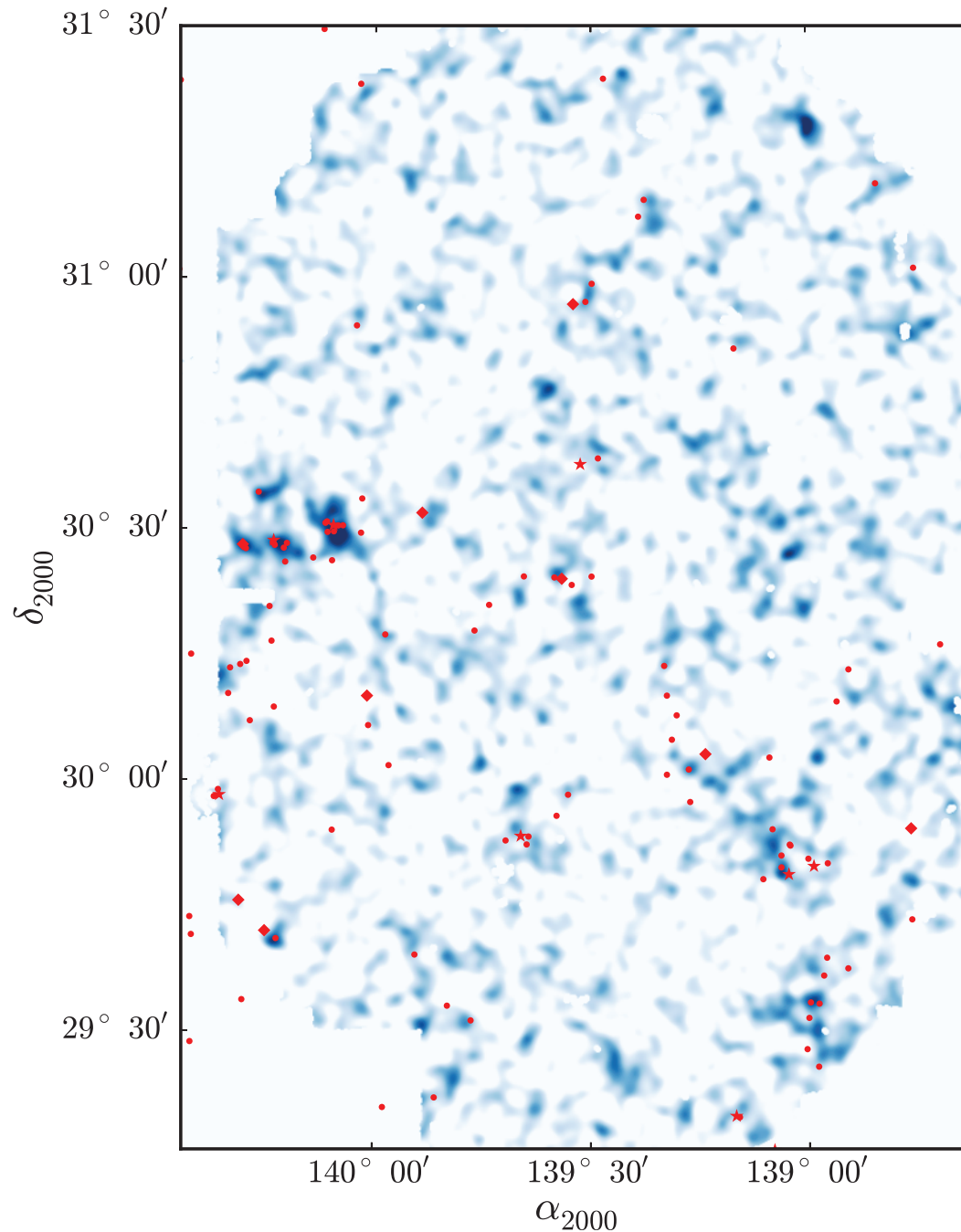
HSC SSP Survey (PI: S. Miyazaki)



- 2014 – 2019 (so far 21 nights)
- Three survey layers
 - Wide ($i \sim 26$, grizy, 1400 deg²)
 - Deep ($i \sim 27$, grizy+NBs, 28 deg²)
 - Ultra-D ($i \sim 28$, grizy+NBs, 3.5 deg²)

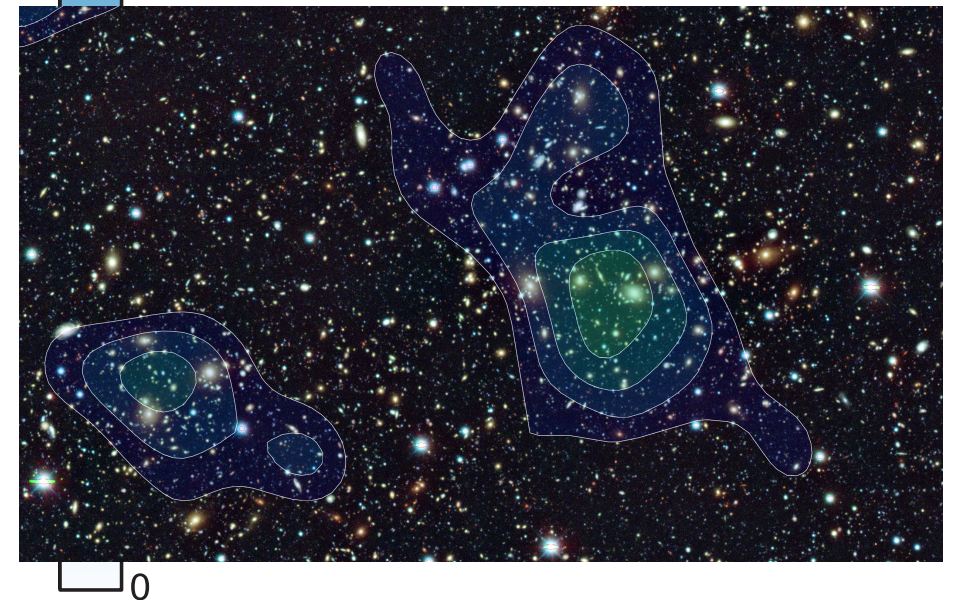


Miyazaki et al. 15; HSC is working!



遠方銀河像の重力効果測定から復元したダークマターの地図 (Miyazaki+ApJ 2015)

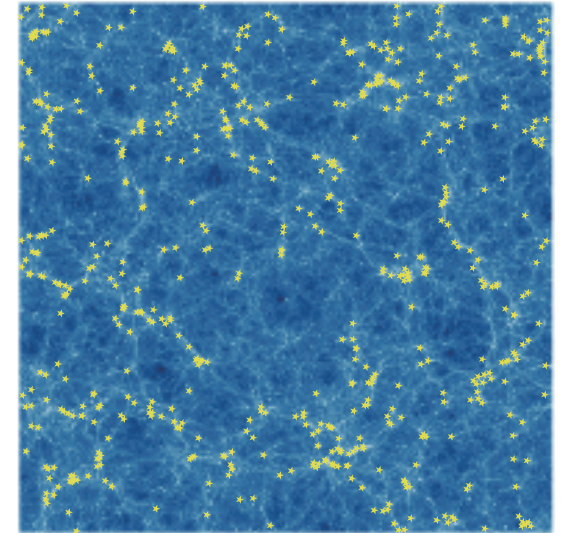
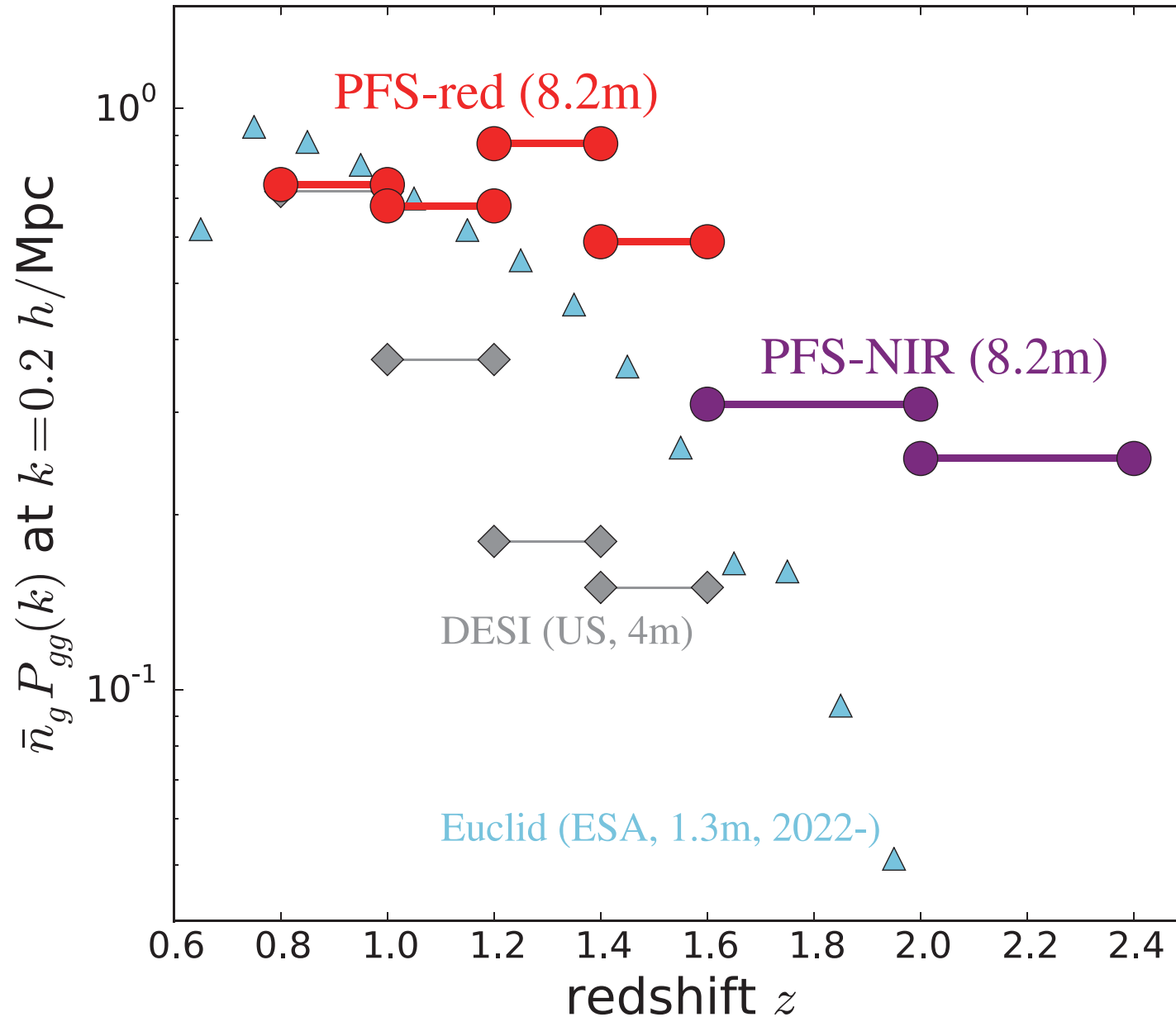
注：シャープな結像性能



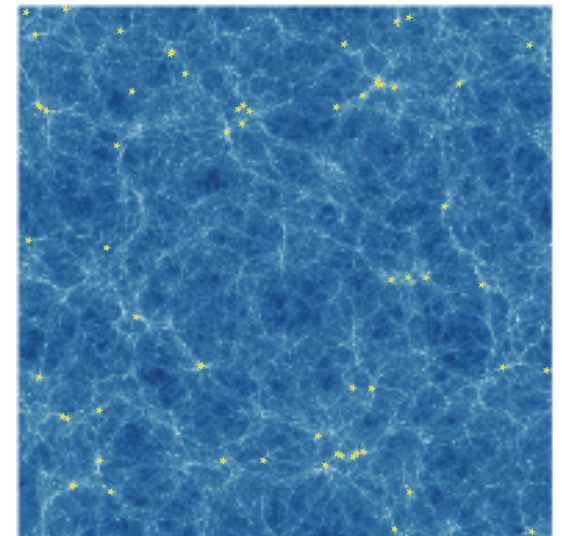
Power of PFS

Best datasets at $z > 1$... before WFIRST (NASA:2025-)

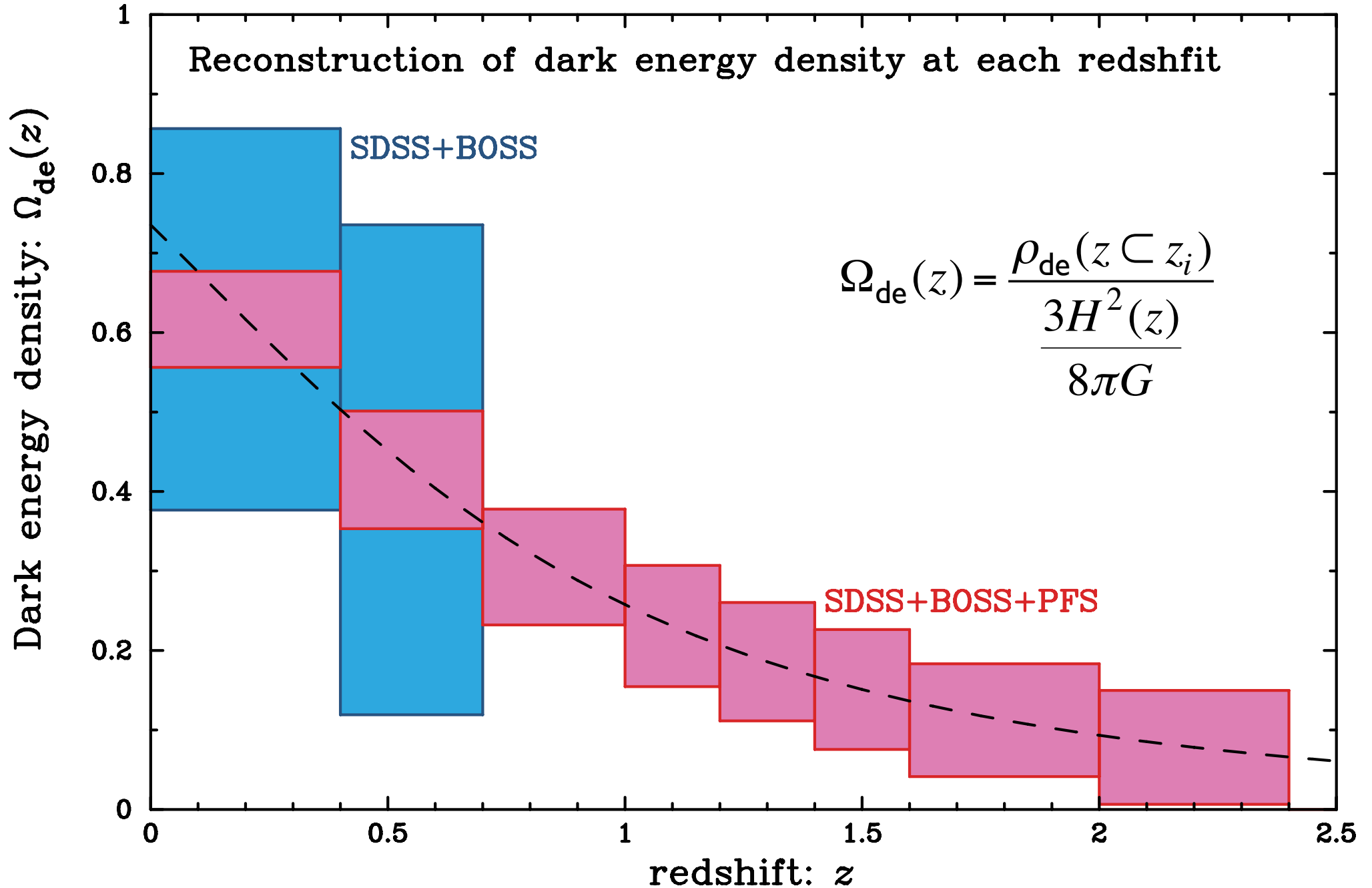
PFS (8.2m) for $z \sim 1.5$ slice



4m-class tel.



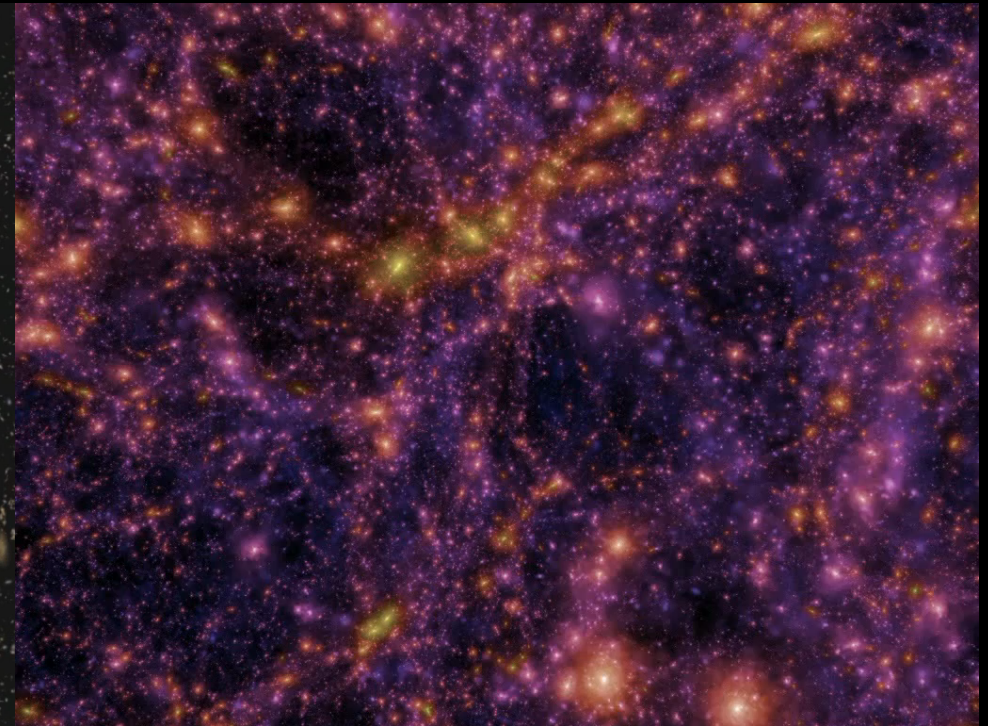
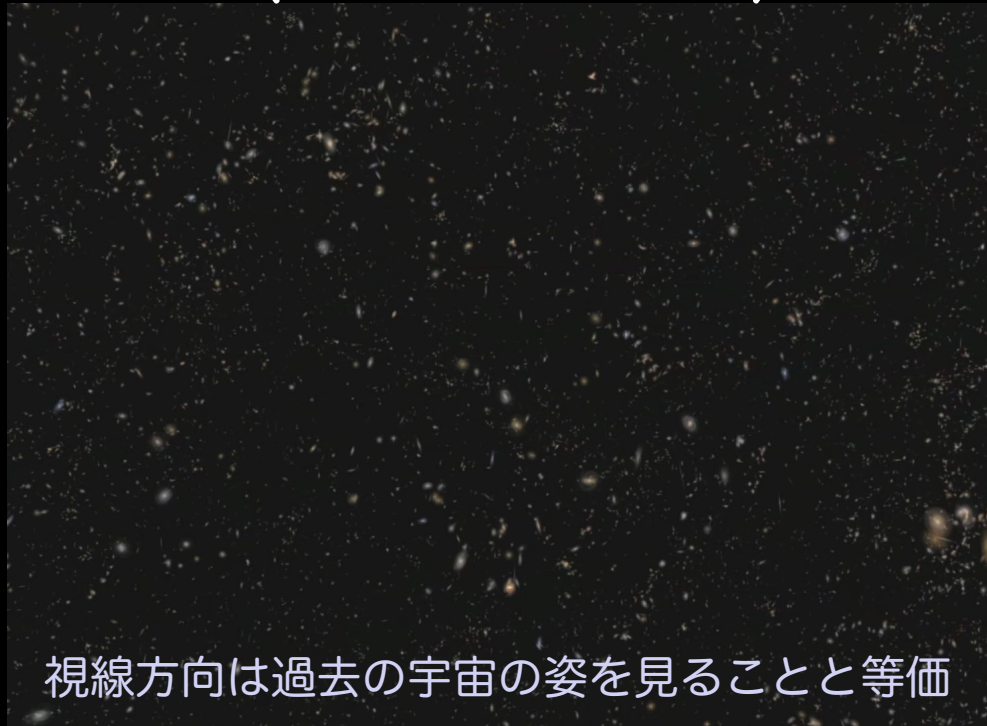
Model-independent DE reconstruction



銀河の3次元地図による宇宙論

広天域銀河イメージング＋分光
(現時点のデータ)

シミュレーション
(ダークマターの分布)



視線方向は過去の宇宙の姿を見ることと等価

すばる観測と理論モデルを直接的に比較し、宇宙
の加速膨張、重力理論を検証 (銀河の分布とダーク
マターの分布の関係を観測的に解決)

2020年代に必要なサーベイ

- ・ 宇宙の初期条件の物理

- (信号は?) 原始非ガウス性、原始パワースペクトル、宇宙の曲率
- (データは?) 広天域銀河分光サーベイ (+イメージング)
- (計画?) PFS, HSC, DESI, Euclid, WFIRST

- ・ 現宇宙の加速膨張の物理

- ダークエネルギーの状態方程式、重力レンズ、BAO、ダークマターの分布、宇宙膨張の直接測定、AGN反響マッピング
- 広天域銀河イメージング(高結像性能)+分光サーベイ、TMTによる高分解能分光
- HSC, PFS, DESI, LSST, Euclid, WFIRST, TMT

- ・ 構造形成・銀河形成の物理の理解、ダークマターの正体

- 銀河・DM分布の関係 (クラスタリング、Abundance Matching)、ニュートリノ質量、銀河間ガスマッピング
- 広天域銀河イメージング(高結像性能)+分光、TMT分光、多波長データ
- HSC, PFS, DESI, LSST, Euclid, WFIRST, TMT

新学術領域「なぜ宇宙は加速するのか？- 徹底的 究明と将来への挑戦」(加速宇宙：代表 村山斉)

- ・ A01 インフレーション理論 (京大 佐々木節)
- ・ A02 ダークマター・構造形成理論 (東北大 高橋史宜)
- ・ A03 ダークエネルギー (名大 杉山直)
- ・ B01 CMB実験 (Simons Array, LiteBIRD) (KEK 羽澄昌史)
- ・ B02 HSC (NAOJ 宮崎聡)
- ・ B03 銀河分光サーベイ・PFS (IPMU 高田)
- ・ B04 TMTによる宇宙膨張の直接測定 of R&D (NAOJ 臼田知史)
- ・ C01 究極理論 (Caltech/IPMU 大栗博司)
- ・ D01 究極物理解析 (MPA/IPMU 小松英一郎)
- ・ 公募研究
 - E01 宇宙の進化と構造に関する理論・数値的な研究
 - E02 宇宙の進化と構造に関する理論・観測的な研究
 - E03 宇宙の進化と構造に関する理論・実験・観測をまたぐ研究

積極的な応募をよろしくお願いいたします！