

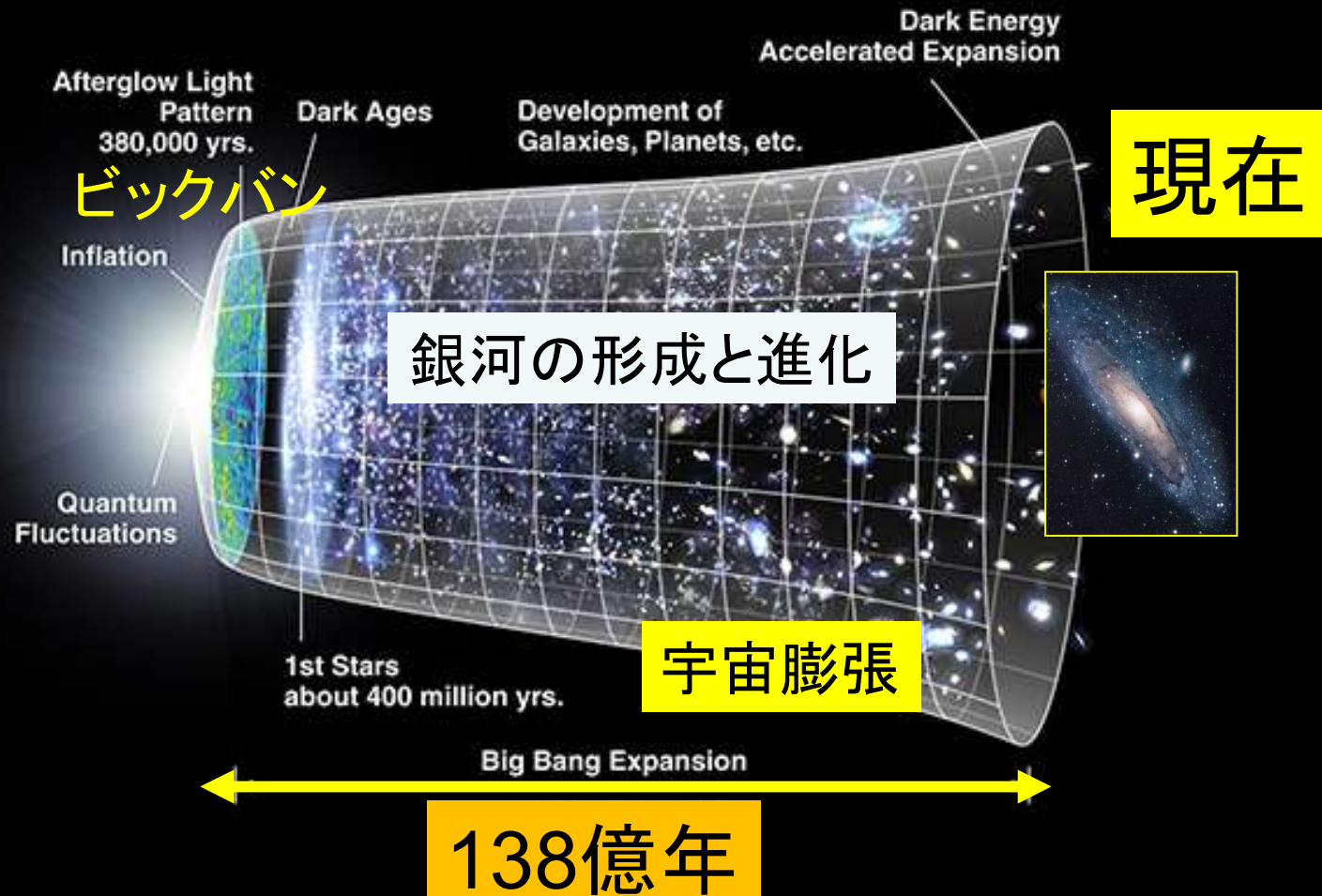
銀河宇宙物理学 II

1. 銀河宇宙物理の基礎
 - 銀河天文学の基本概念
 - 銀河・銀河系の構造
2. 銀河の年代学と観測的宇宙論
 - 球状星団・高赤方偏移銀河の年齢
 - 膨張宇宙のダイナミクスと年齢
 - 銀河の距離決定法
3. 銀河形成理論
 - 密度揺らぎの成長と構造形成
 - 散逸系の物理と銀河形成
 - 銀河の光度・色進化
4. 円盤銀河の形成とダイナミクス
 - 円盤構造の形成
 - 銀河のと化学動力学と進化
 - 銀河古成分の形成と進化
5. 宇宙の暗黒物質
 - 暗黒物質の構造
 - 暗黒物質の構成要素
 - 重力レンズで探る暗黒物質

参考書

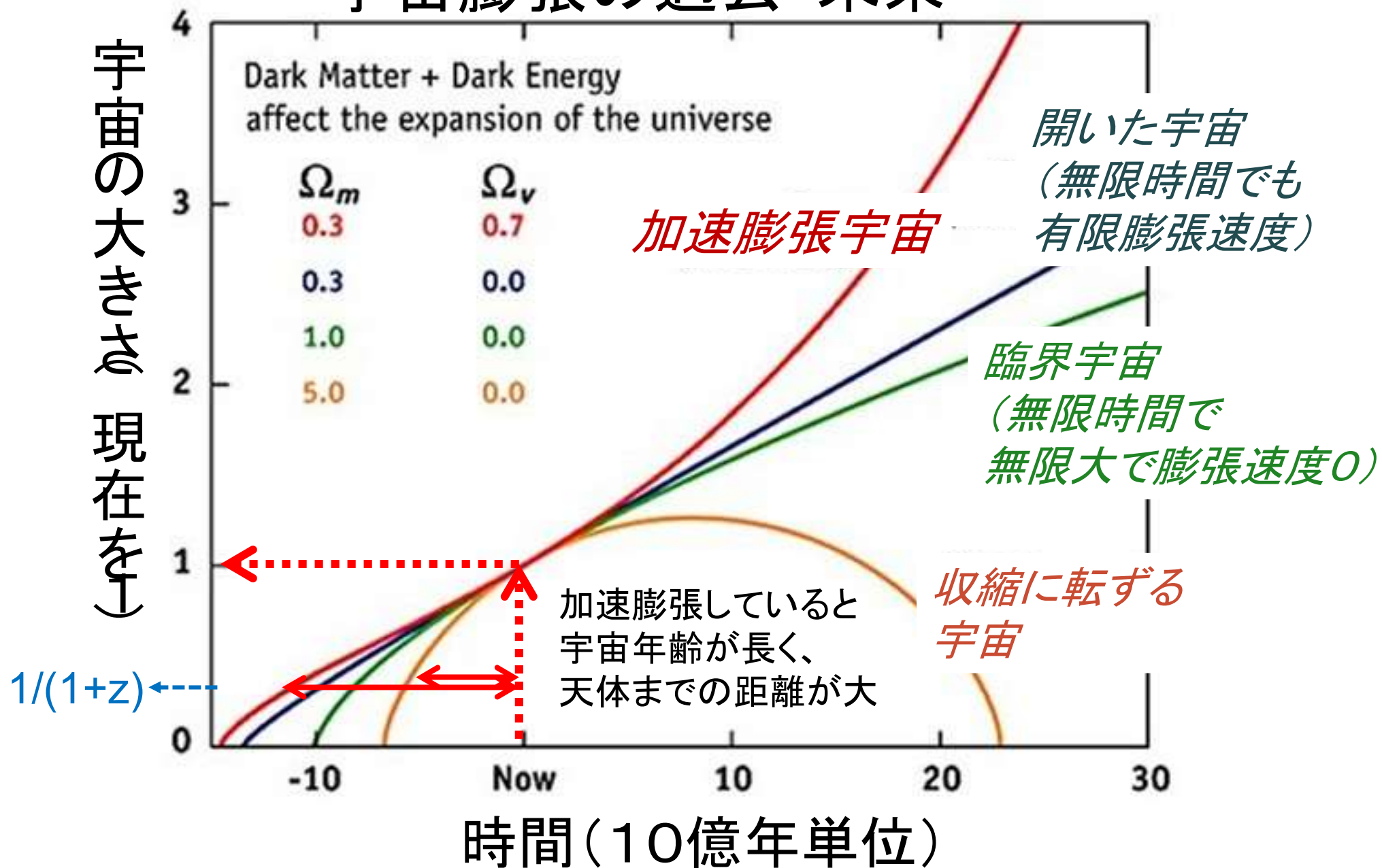
- [Galaxy Formation and Evolution](#)
Mo, van den Bosch, & White 2010
(Cambridge U. Press)
- [Extragalactic Astronomy and Cosmology](#)
Schneider 2006 (Springer)
- [Galactic Astronomy](#)
Binney & Merrifield 1998 (Princeton U. Press)
- [宇宙論II – 宇宙の進化](#)
シリーズ現代の天文学第3巻
二間瀬 他編 2007 (日本評論社)
- [銀河I – 銀河と宇宙の階層構造](#)
シリーズ現代の天文学第4巻
谷口 他編 2007 (日本評論社)
- [銀河II – 銀河系](#)
シリーズ現代の天文学第5巻
祖父江 他編 2007 (日本評論社)

宇宙の歴史

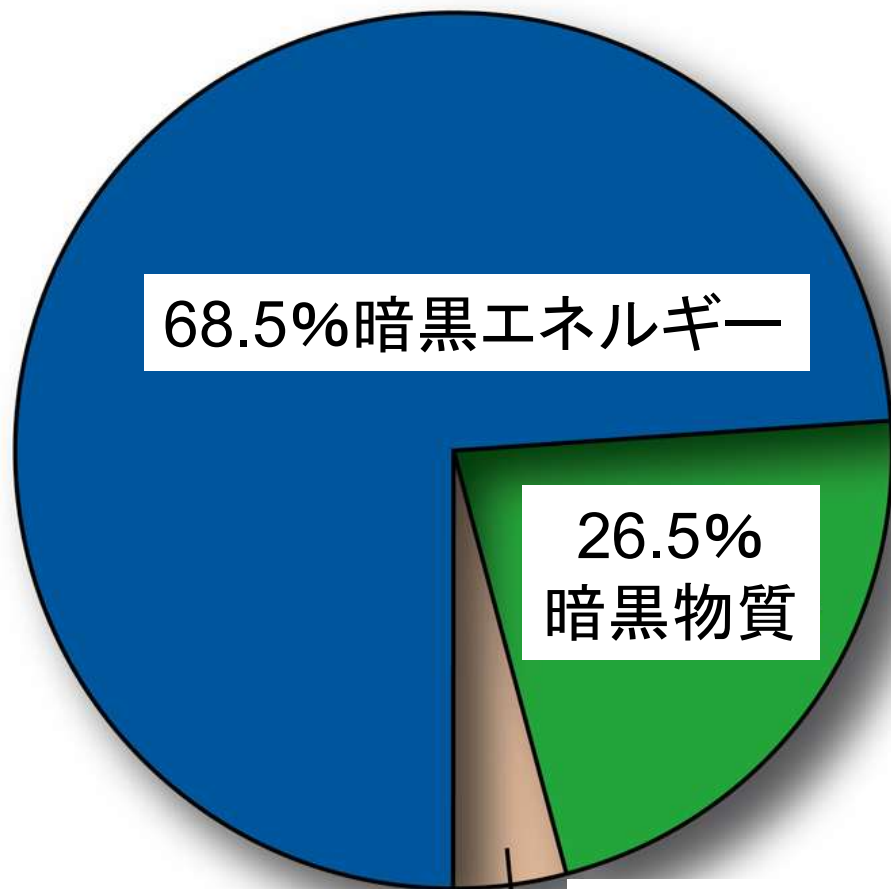


- 宇宙はどのように進化(時間発展)してきたのだろうか
- 銀河はいつどのように生まれ進化して現在に至ったのだろうか

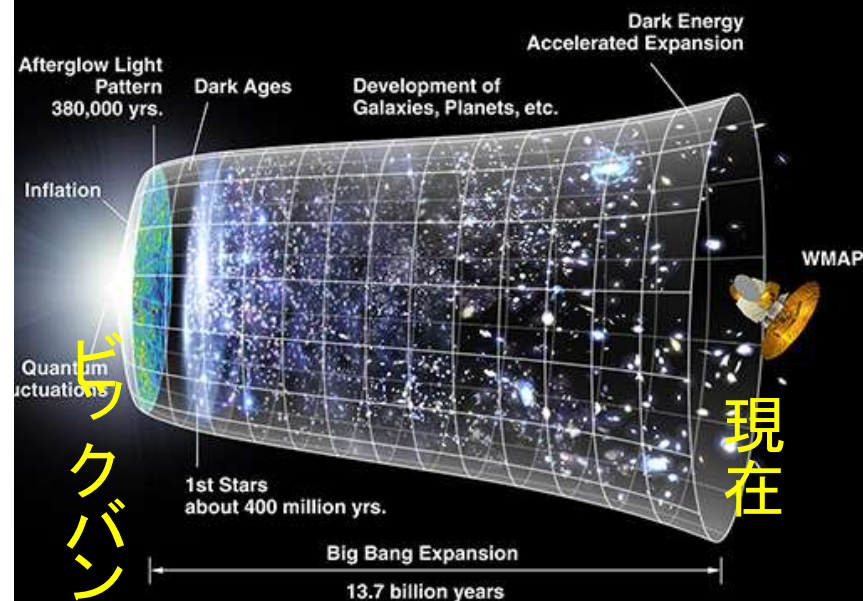
宇宙膨張の過去・未来



宇宙のエネルギーの内訳 (現在のベスト値)

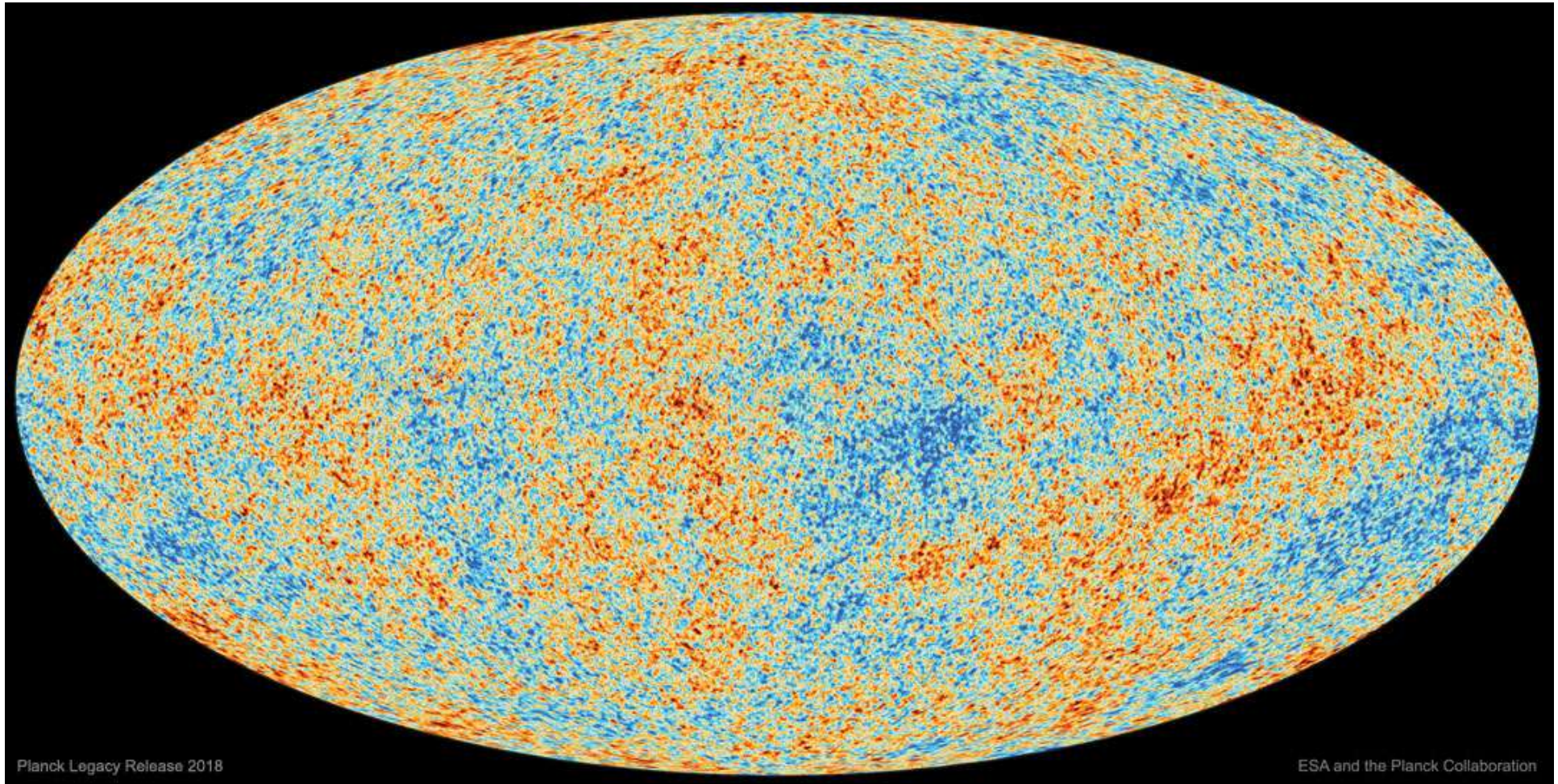
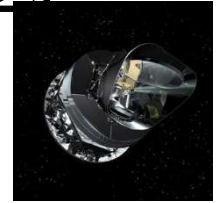


5%通常の物質
(光で見える部分)



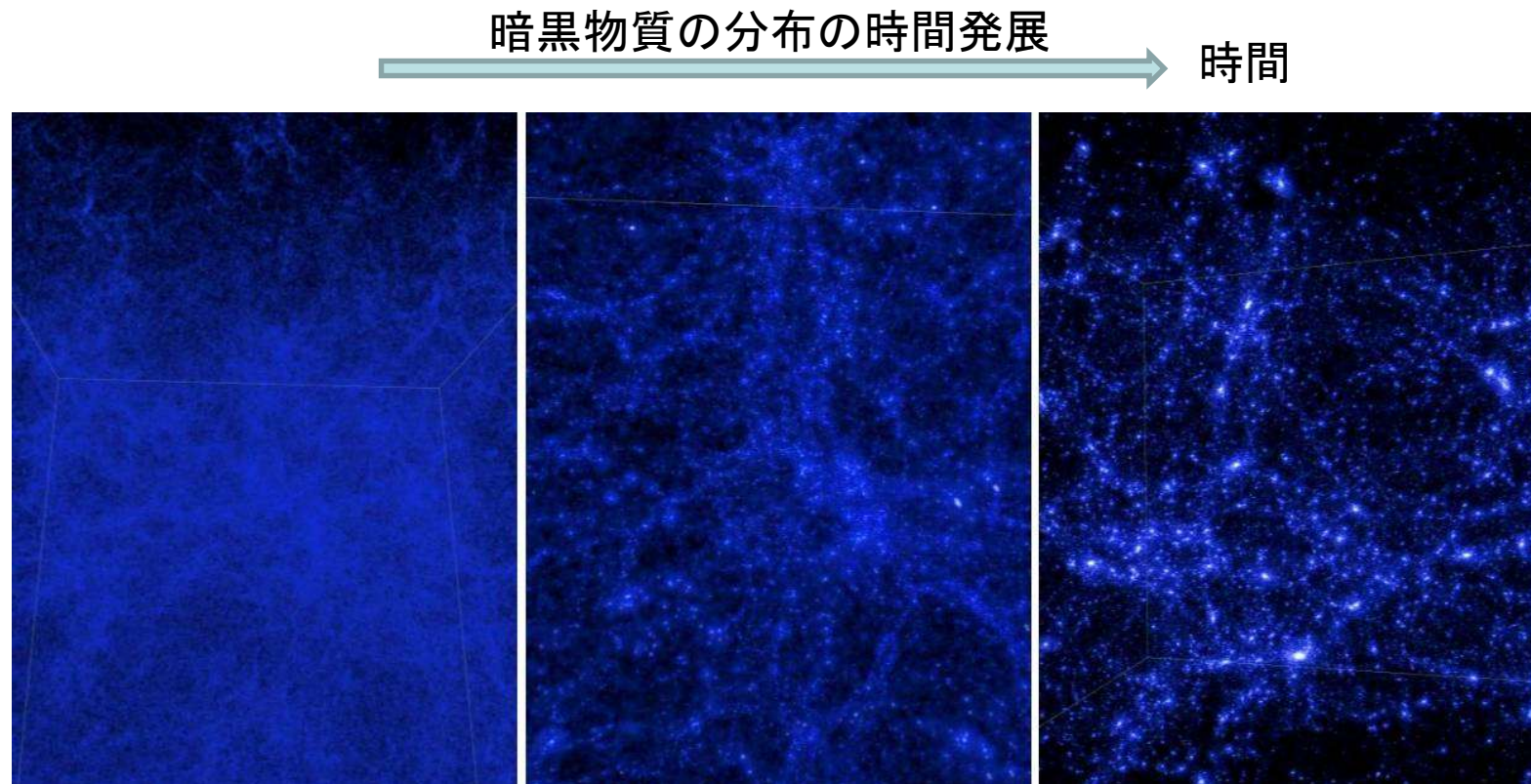
宇宙の年齢: 138億年
(現在のベスト値)

Planck衛星による宇宙背景放射の温度地図 (2009～2013)



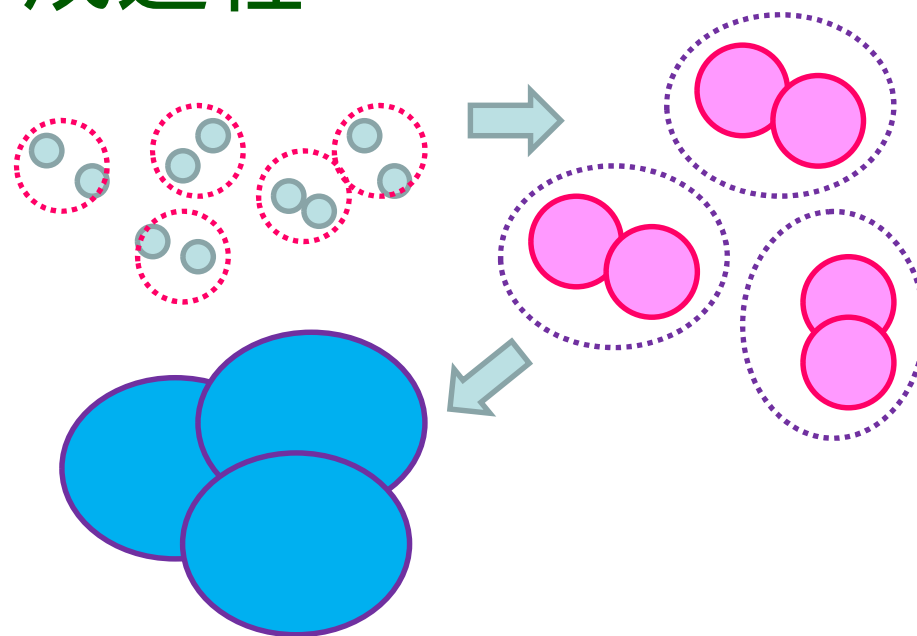
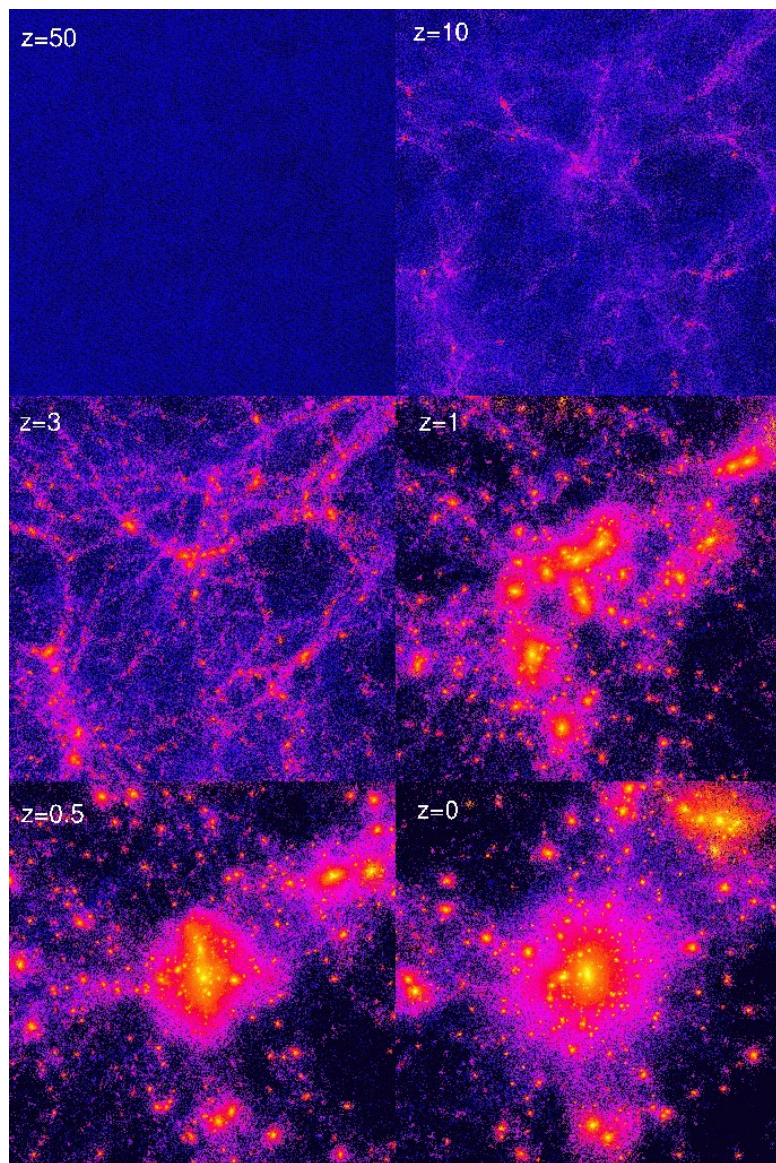
ゆらぎ $\sim 10^{-5}$

冷たい暗黒物質による構造形成



冷たい暗黒物質 Cold Dark Matter (CDM) 例: ニュートラリーノ
小さなかたまりが最初にできて、合体・降着を経てより大きな
スケールの構造が形成。様々なスケールの宇宙構造を再現。

銀河の形成過程

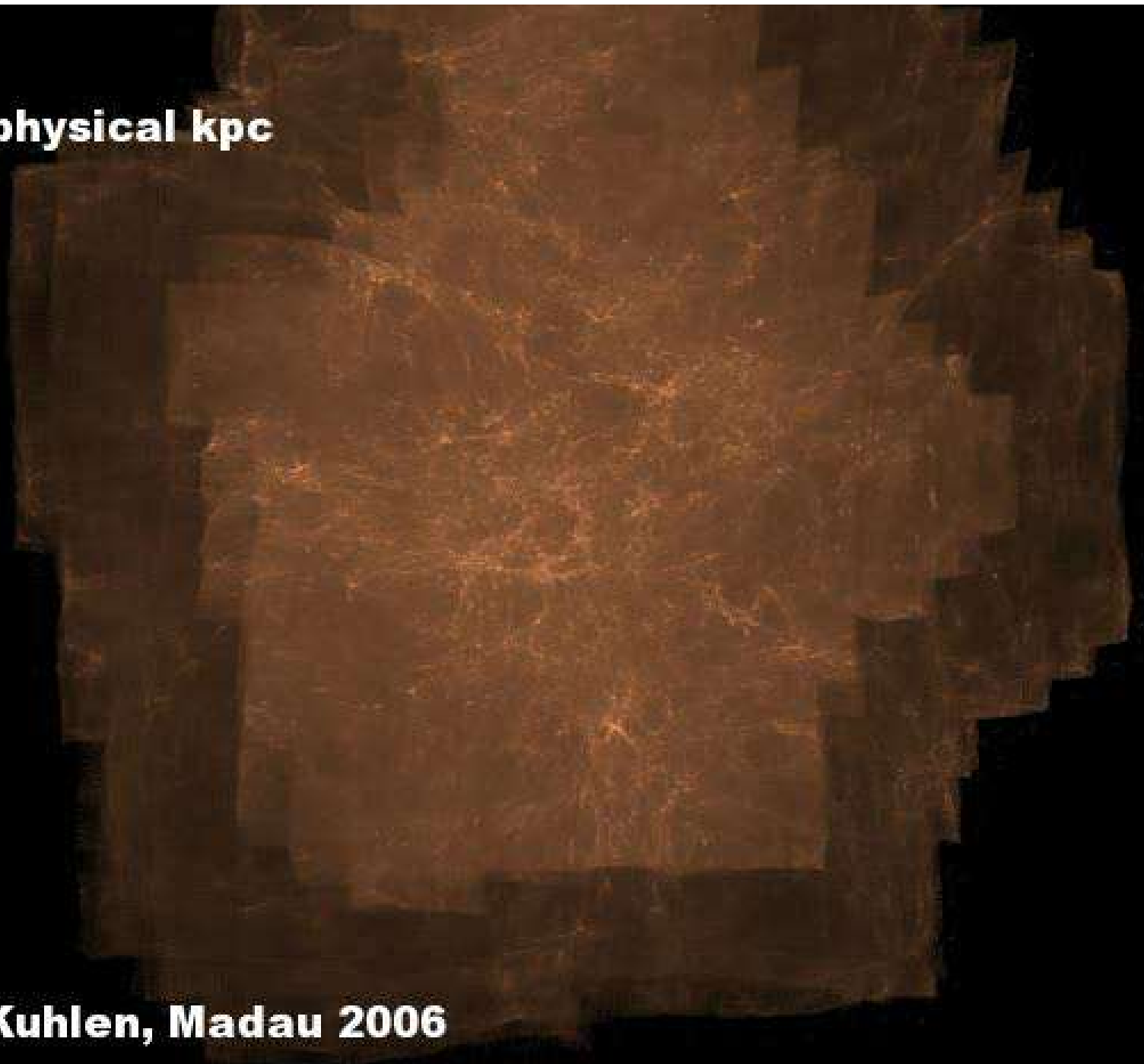


自己重力による
階層的合体過程
(ボトムアップ)

暗黒物質粒子のクラスタリング

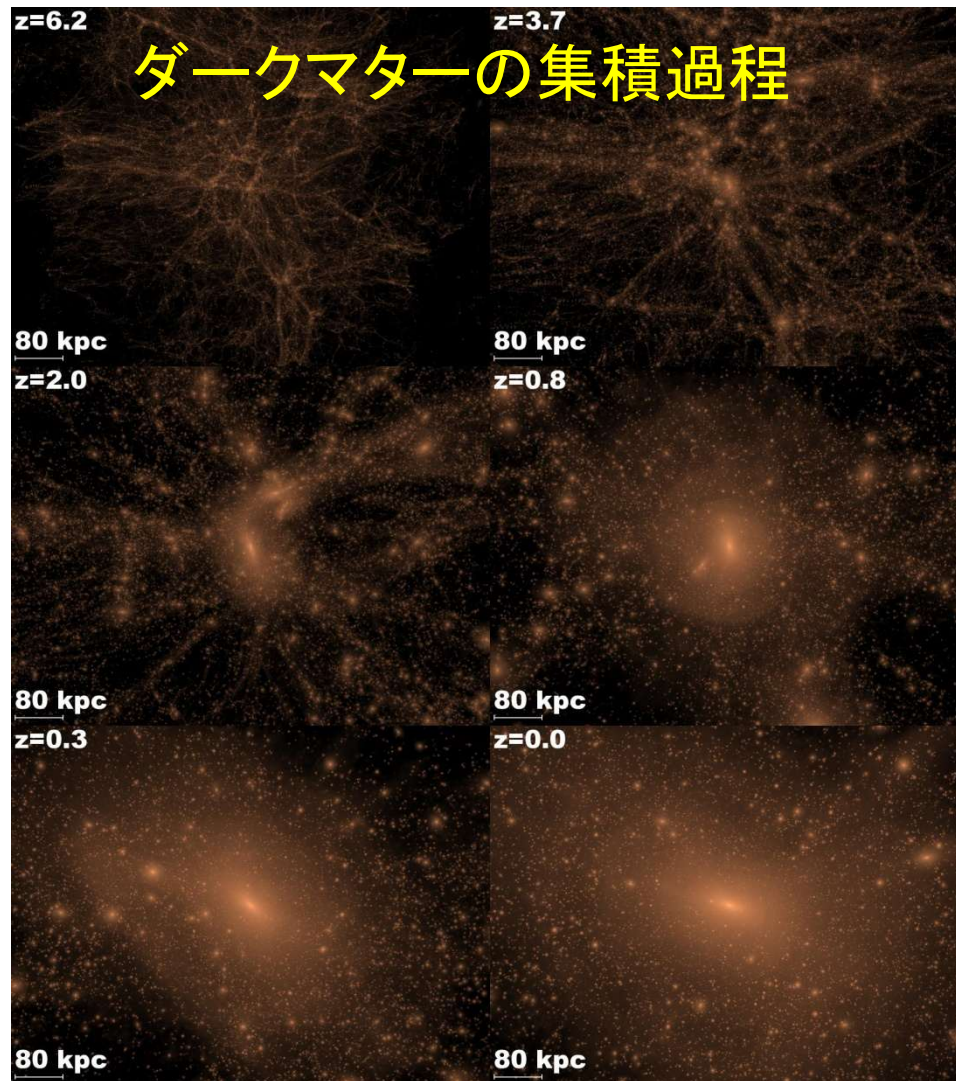
$z=11.9$

800 x 600 physical kpc

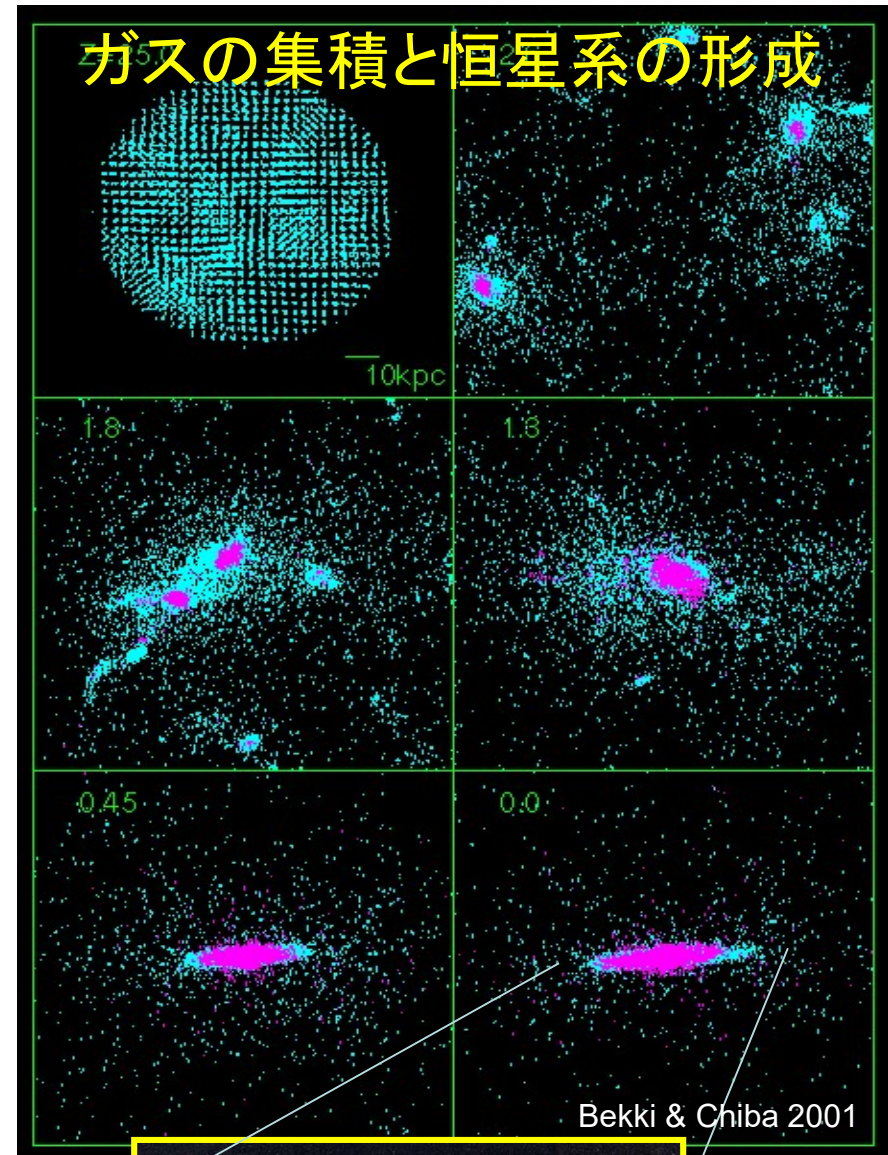


Diemand, Kuhlen, Madau 2006

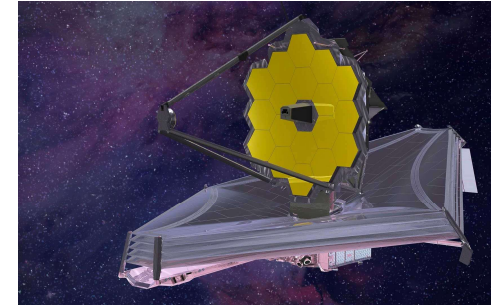
冷たい暗黒物質の階層的合体による銀河形成



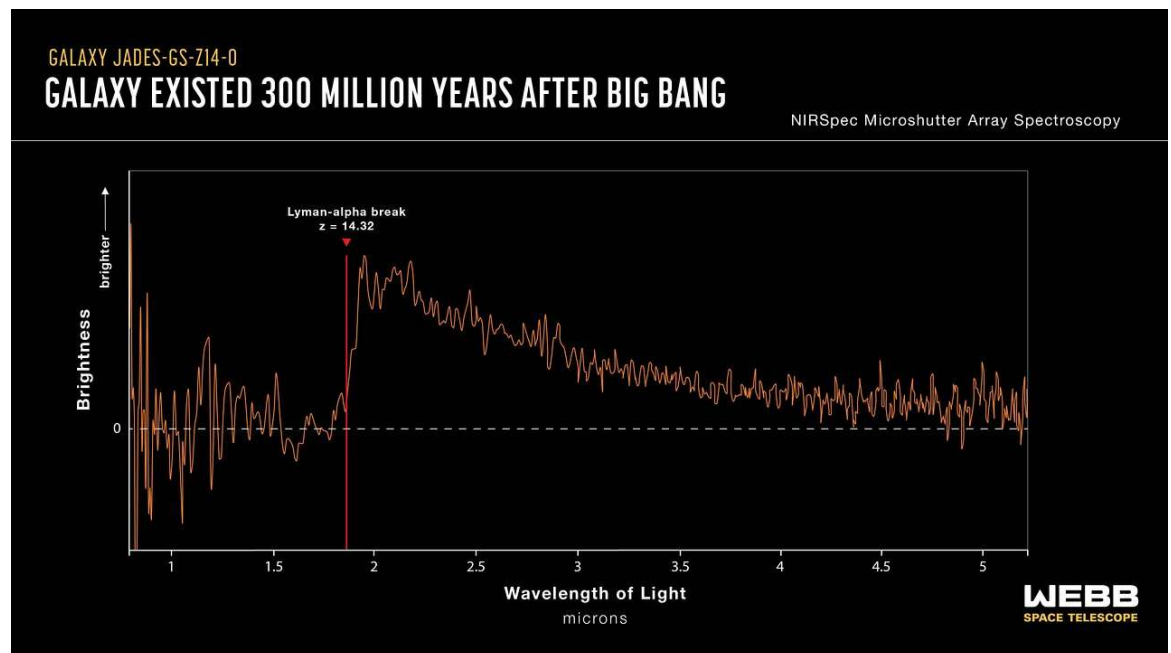
Via Lactea simulation
(Diemand+07)



JWSTによる赤方偏移 $z=14$ の銀河 (0.3Gyr after Big Bang)

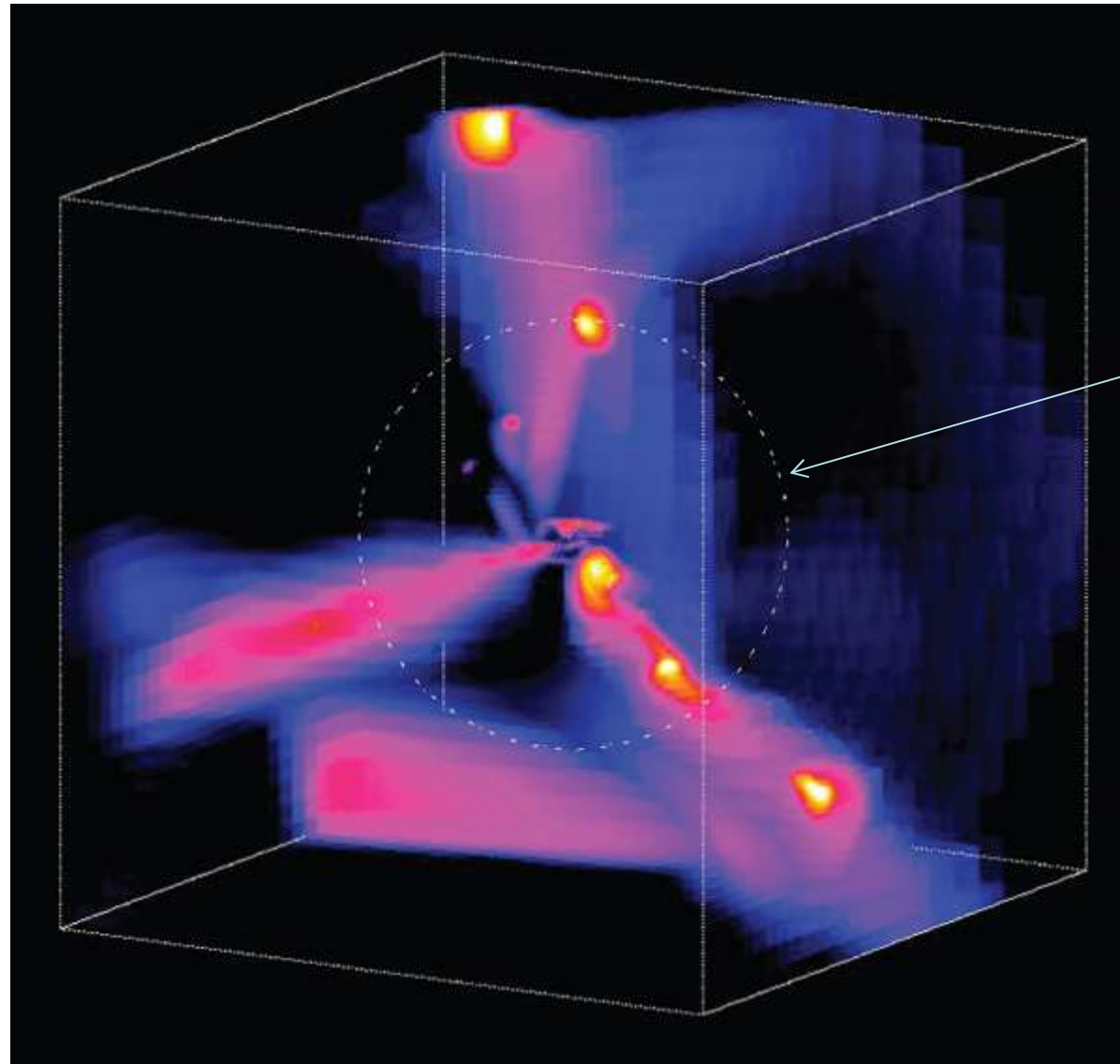


Spectrum with NIRSpec (Near-Infrared Spectrograph)



Robertson et al. 2024

冷たいガス流 (cold stream) による銀河形成 Dekel et al. (2009)

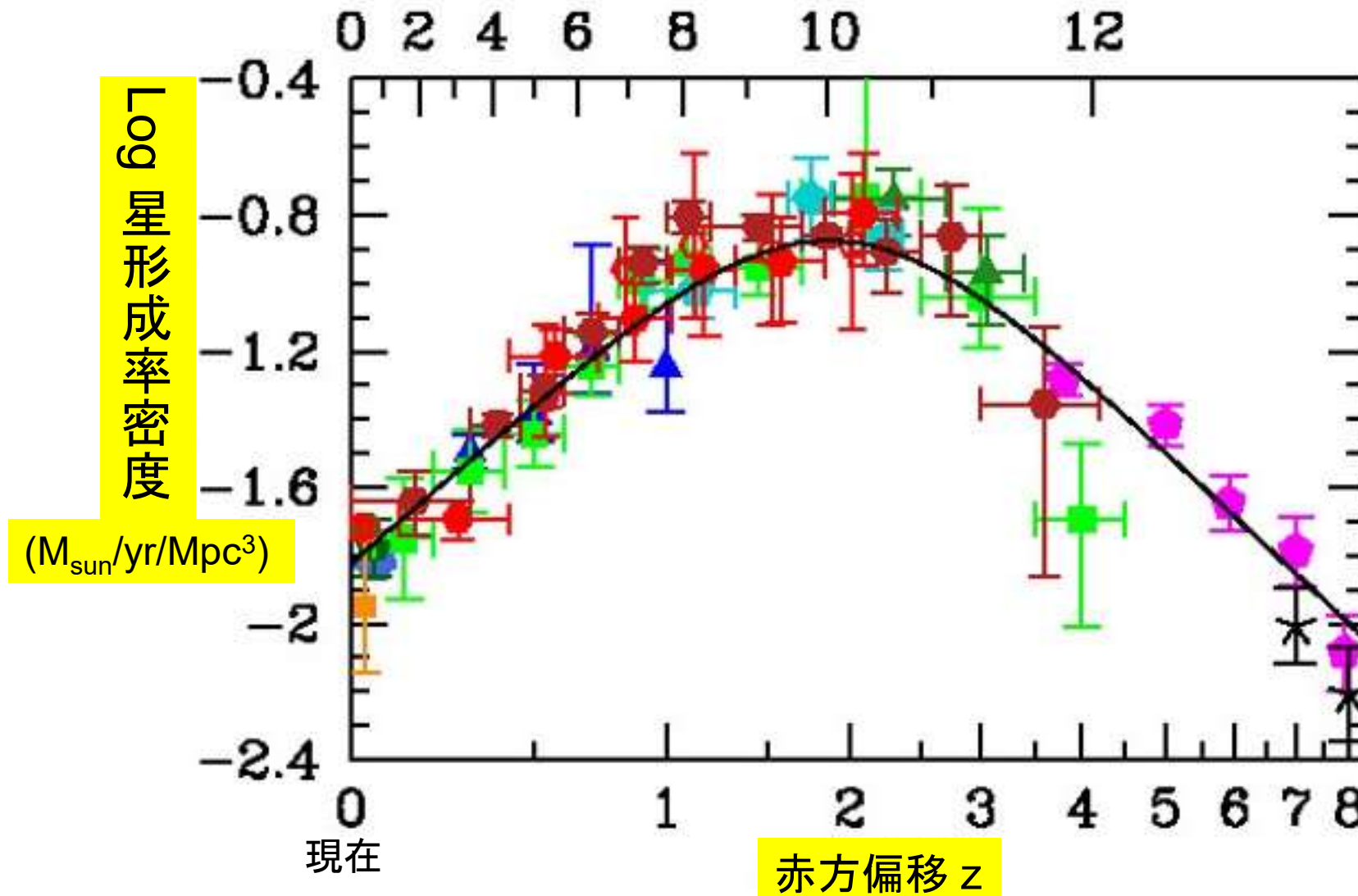


ダークハローの
ビリアル半径

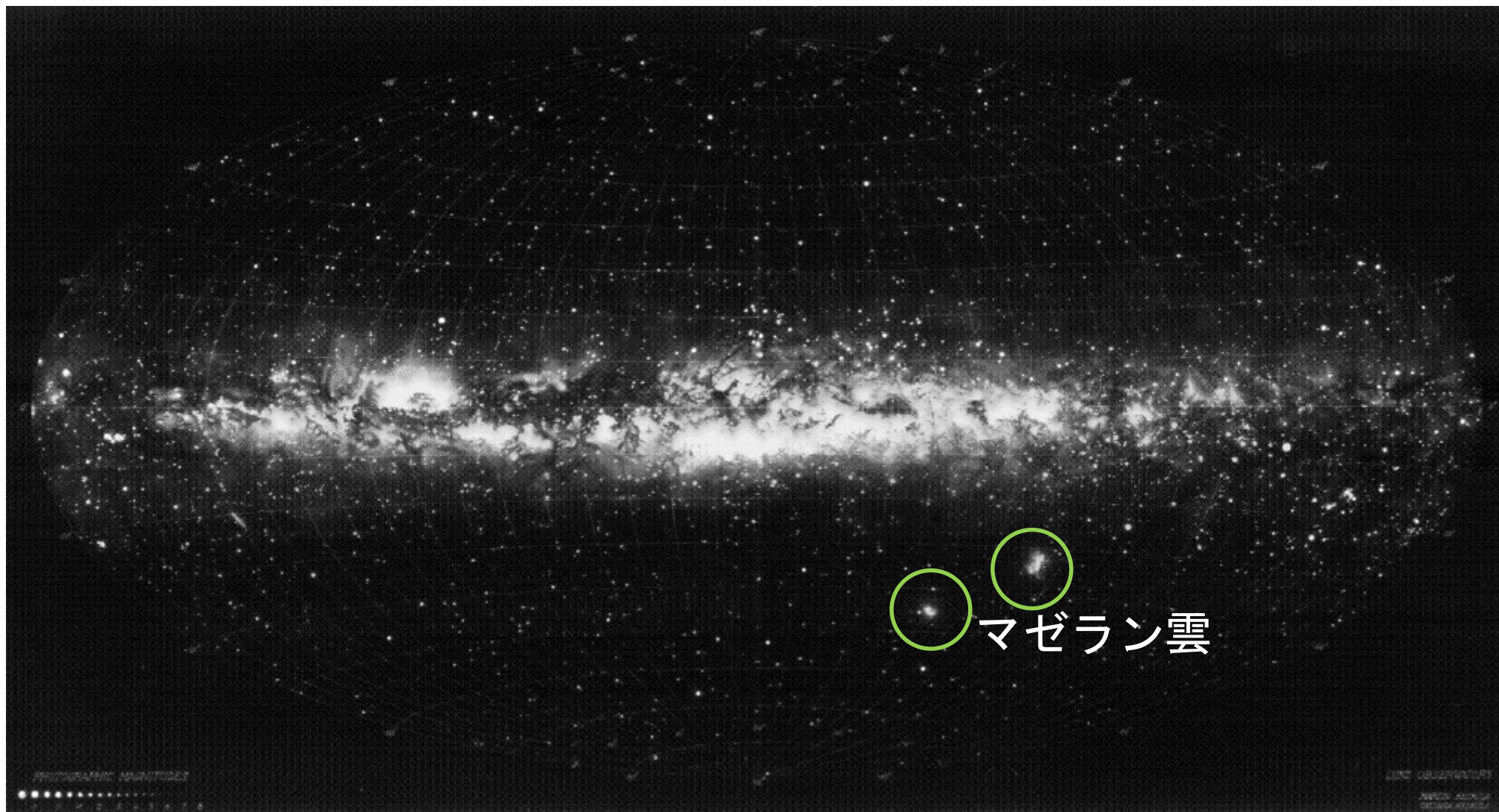
様々な観測から求められた宇宙における星形成史

Madau & Dickinson (2014)

現在から遡った時間(10億年単位)



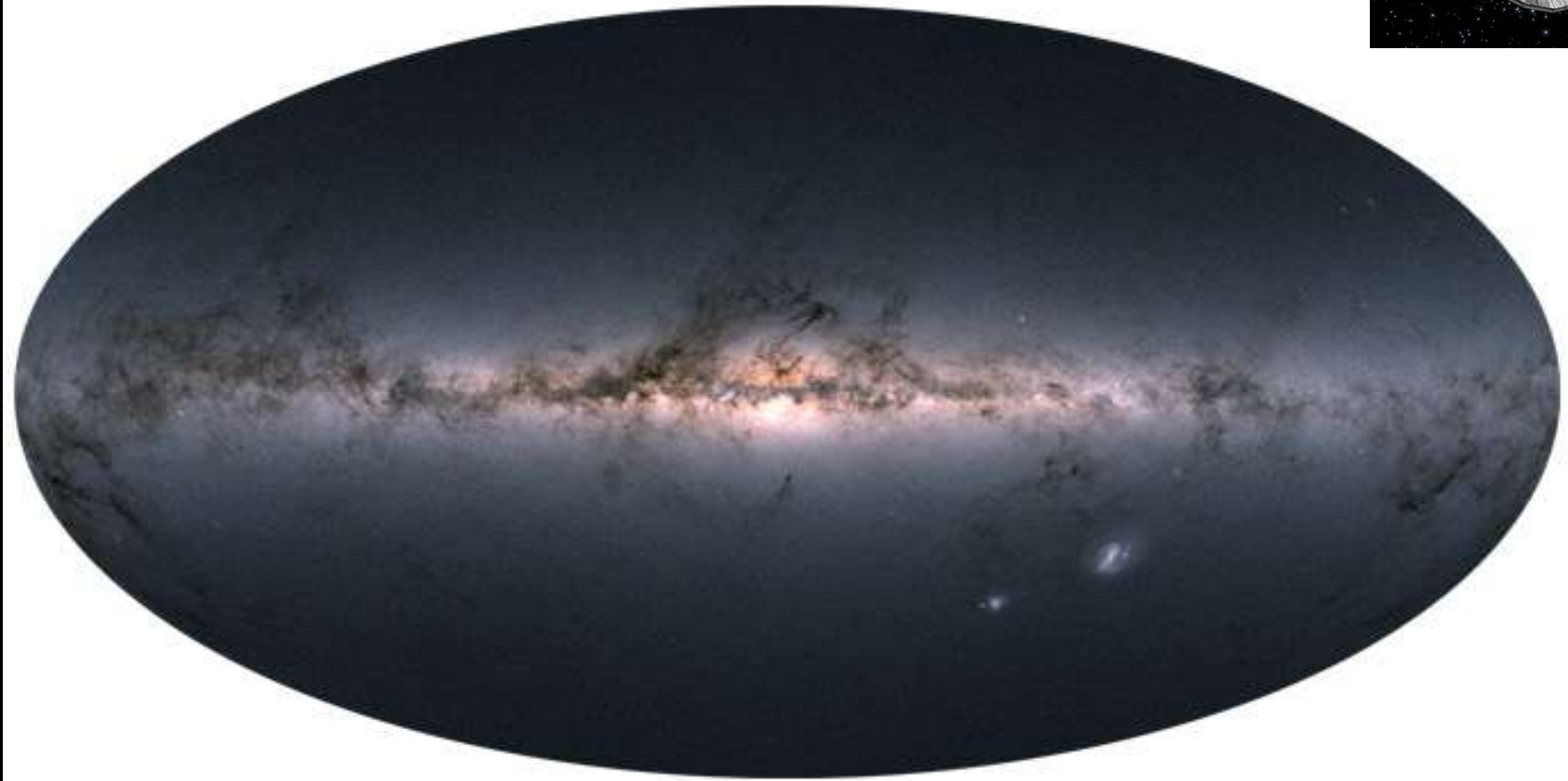
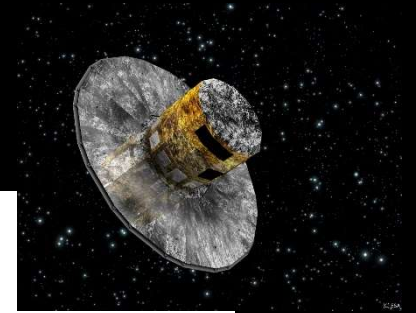
天の川 The Milky Way (Lund Observatory)



天の川（銀河系）

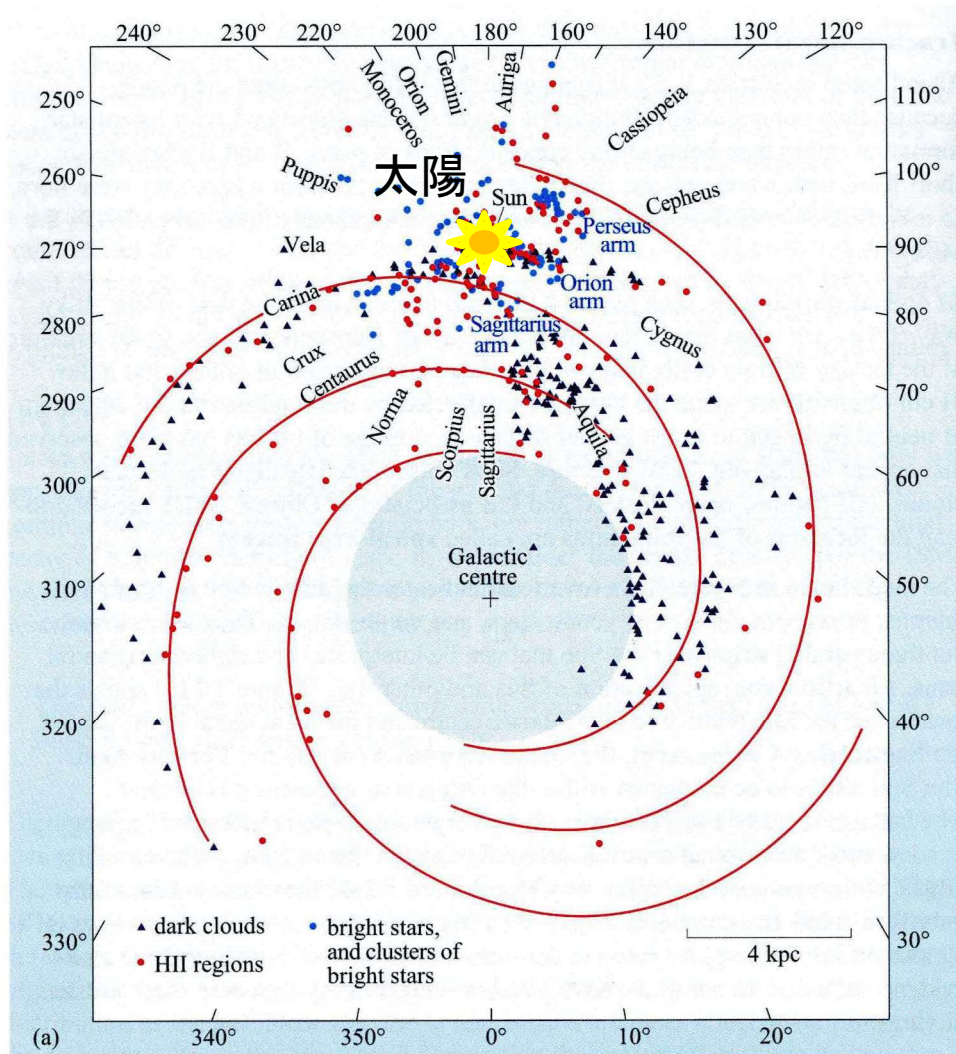
ガイア衛星による地図

ガイア衛星

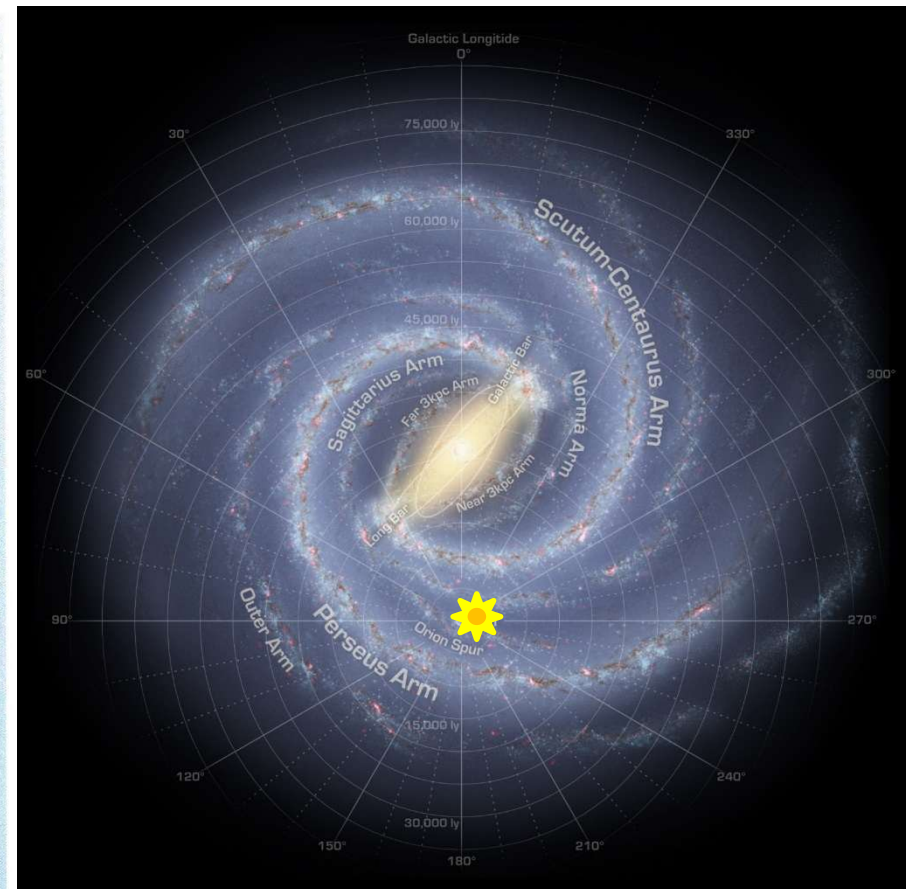


銀河系の構造

HII領域、暗黒星雲、明るい星の分布



最も確からしい銀河系の想像図



棒状銀河

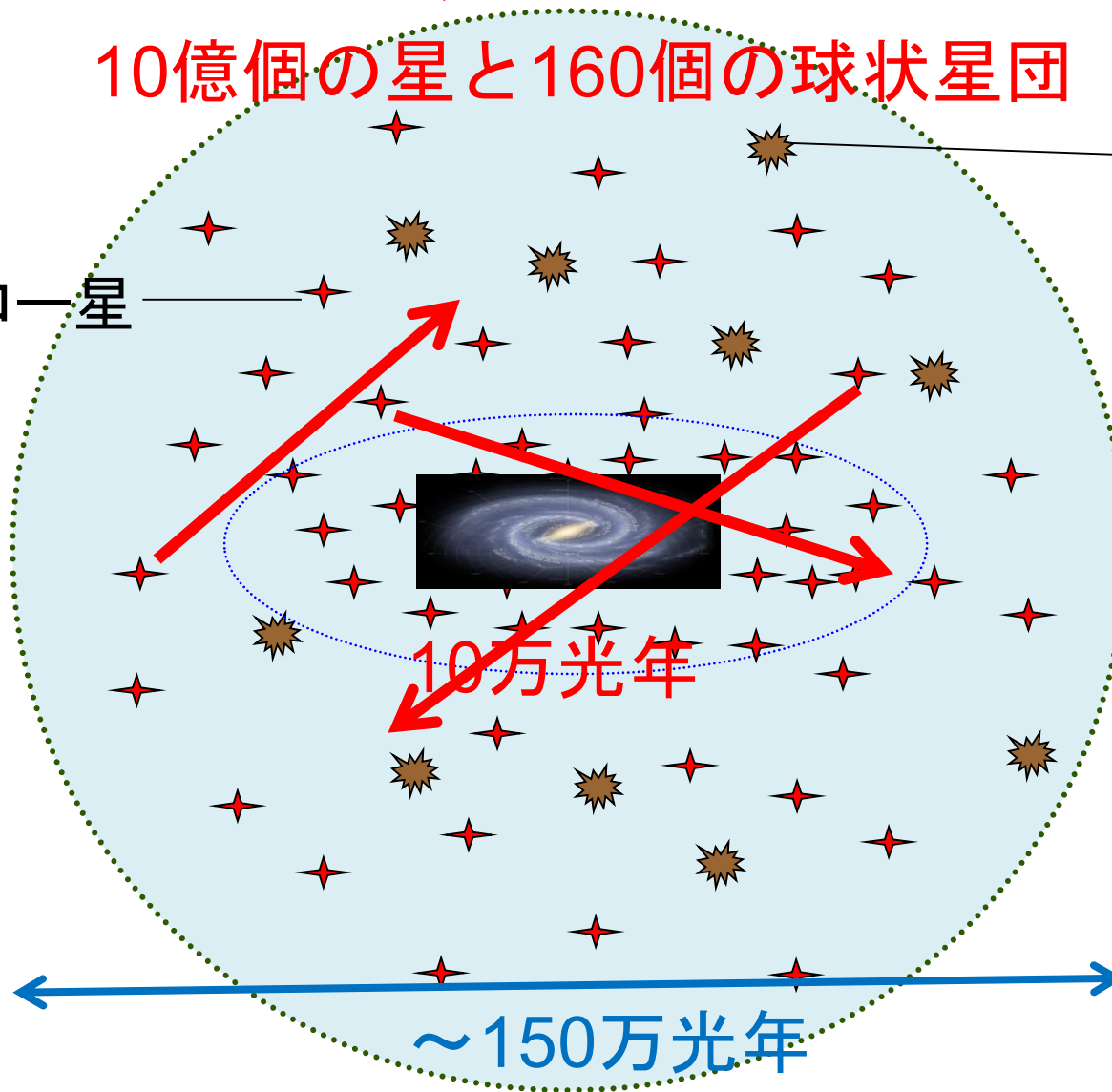
銀河系の古い恒星系の空間分布

ハロー

10億個の星と160個の球状星団

ハロー星

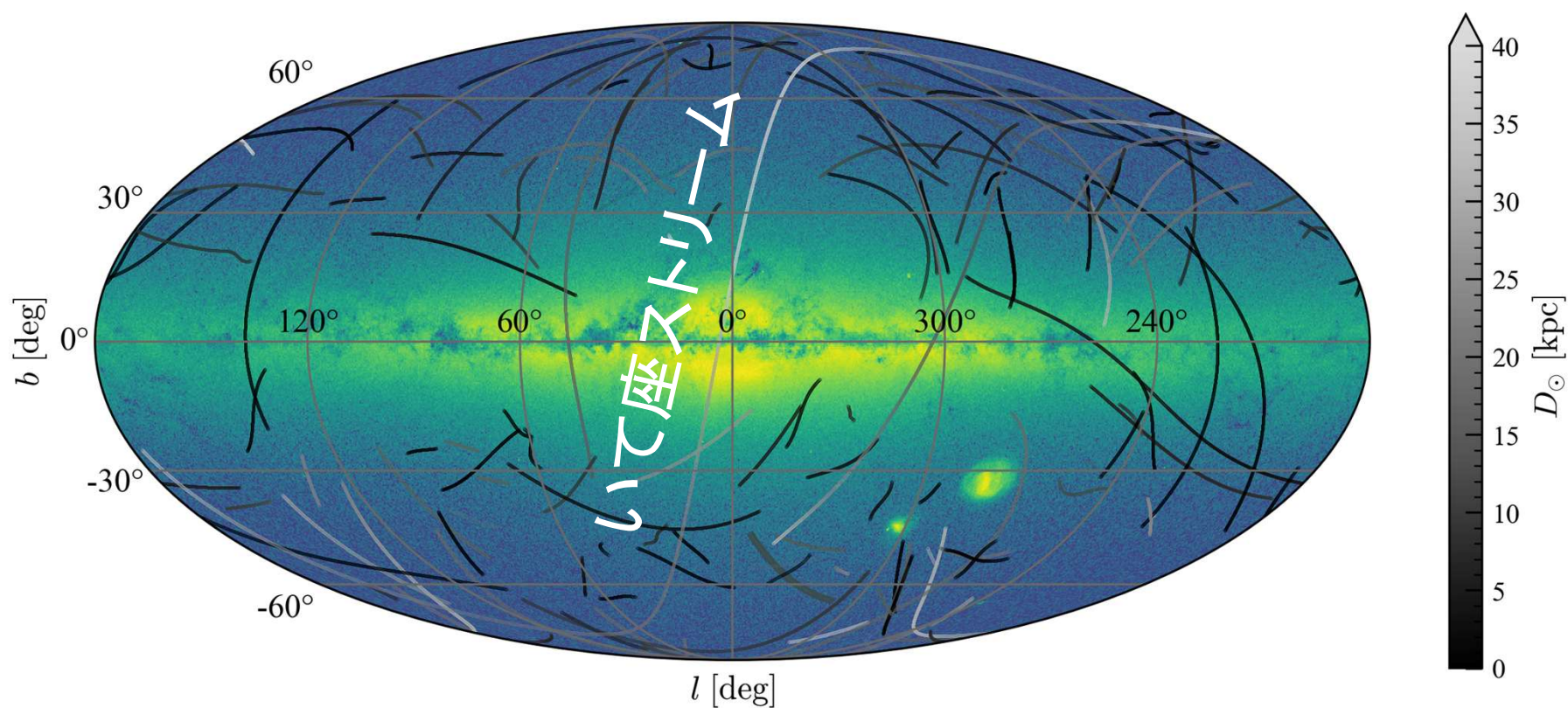
球状星団



10万光年

~150万光年

銀河系ハローにある多数の恒星ストリーム



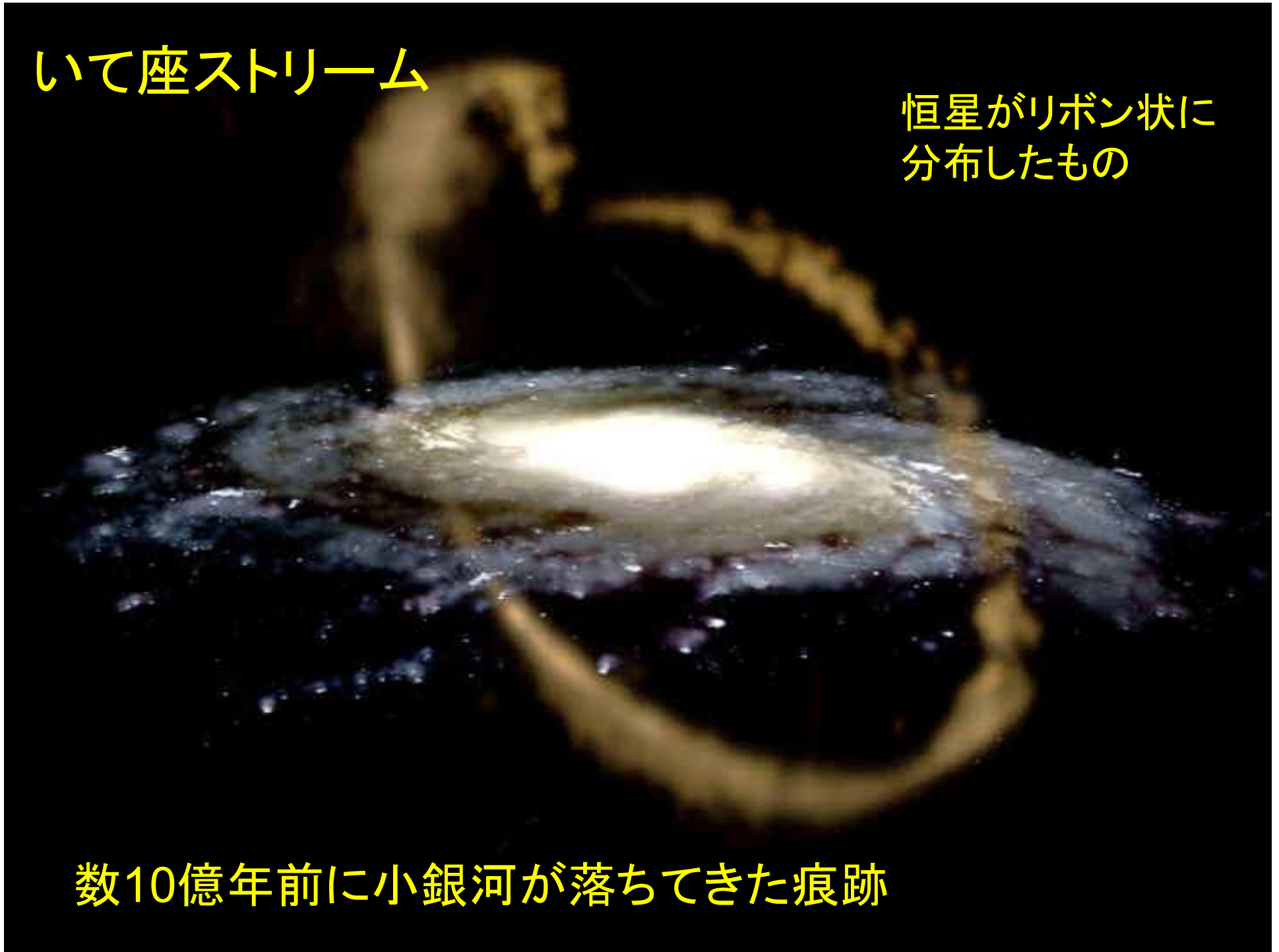
過去数10億年以内の合体イベントの証拠

Credit: Y. Suzuki

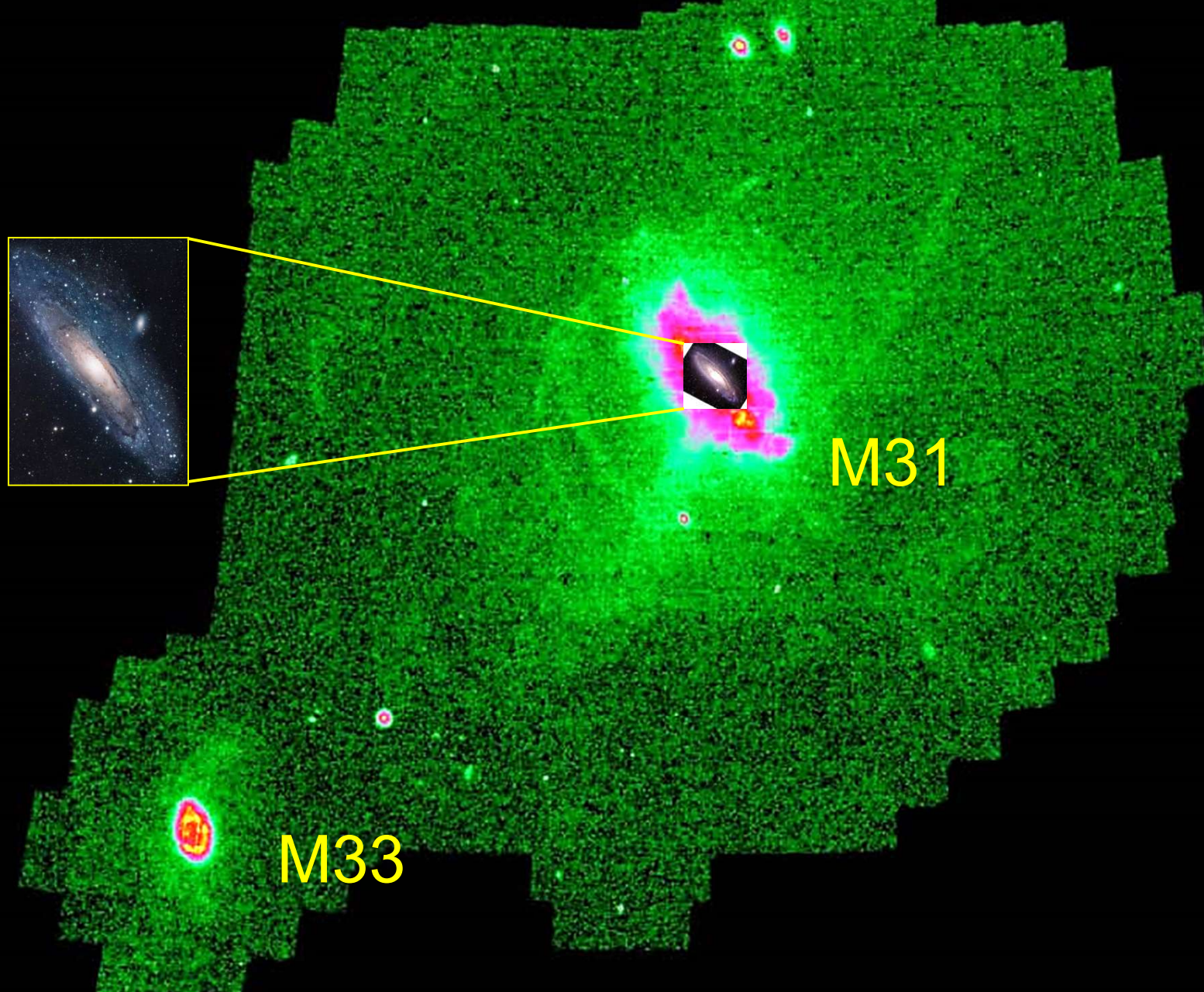
いて座ストリーム

恒星がリボン状に
分布したもの

数10億年前に小銀河が落ちてきた痕跡

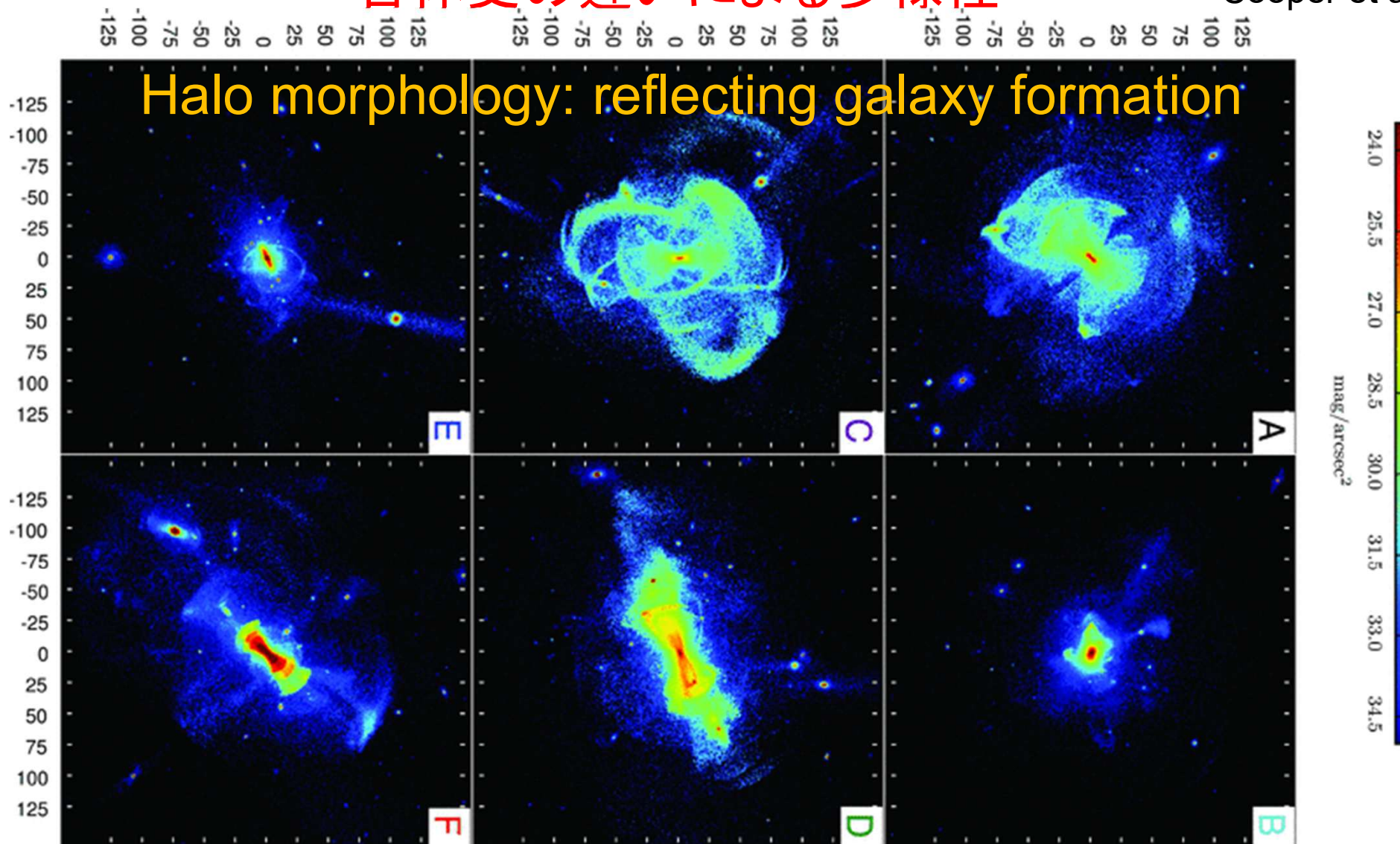


M31・M33のハロー構造

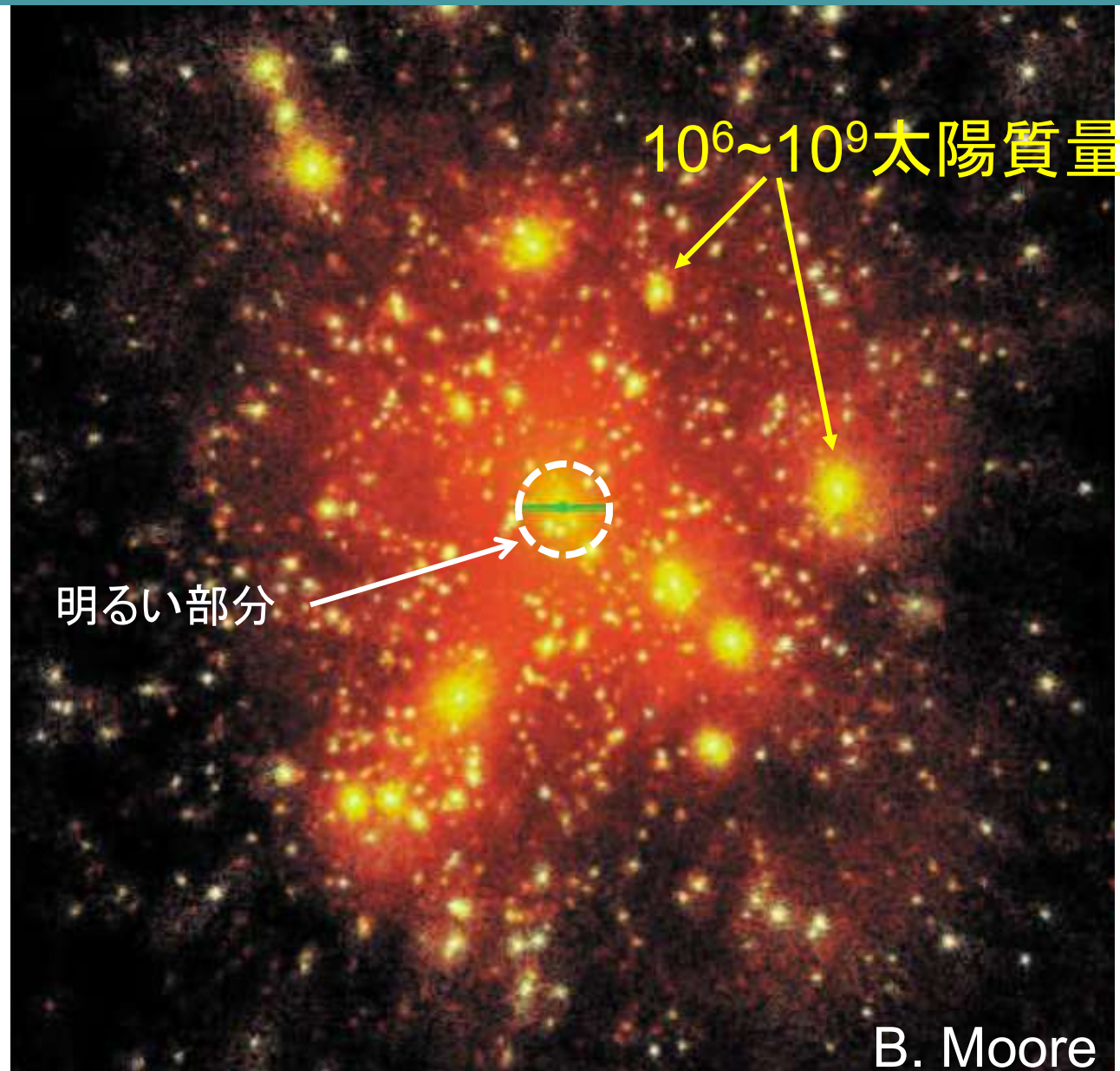


数値シミュレーションで得られた 様々な銀河系サイズ銀河における恒星ハロー ～合体史の違いによる多様性～

Cooper et al. 2010



暗黒物質ハローに囲まれた円盤銀河



暗黒物質の候補

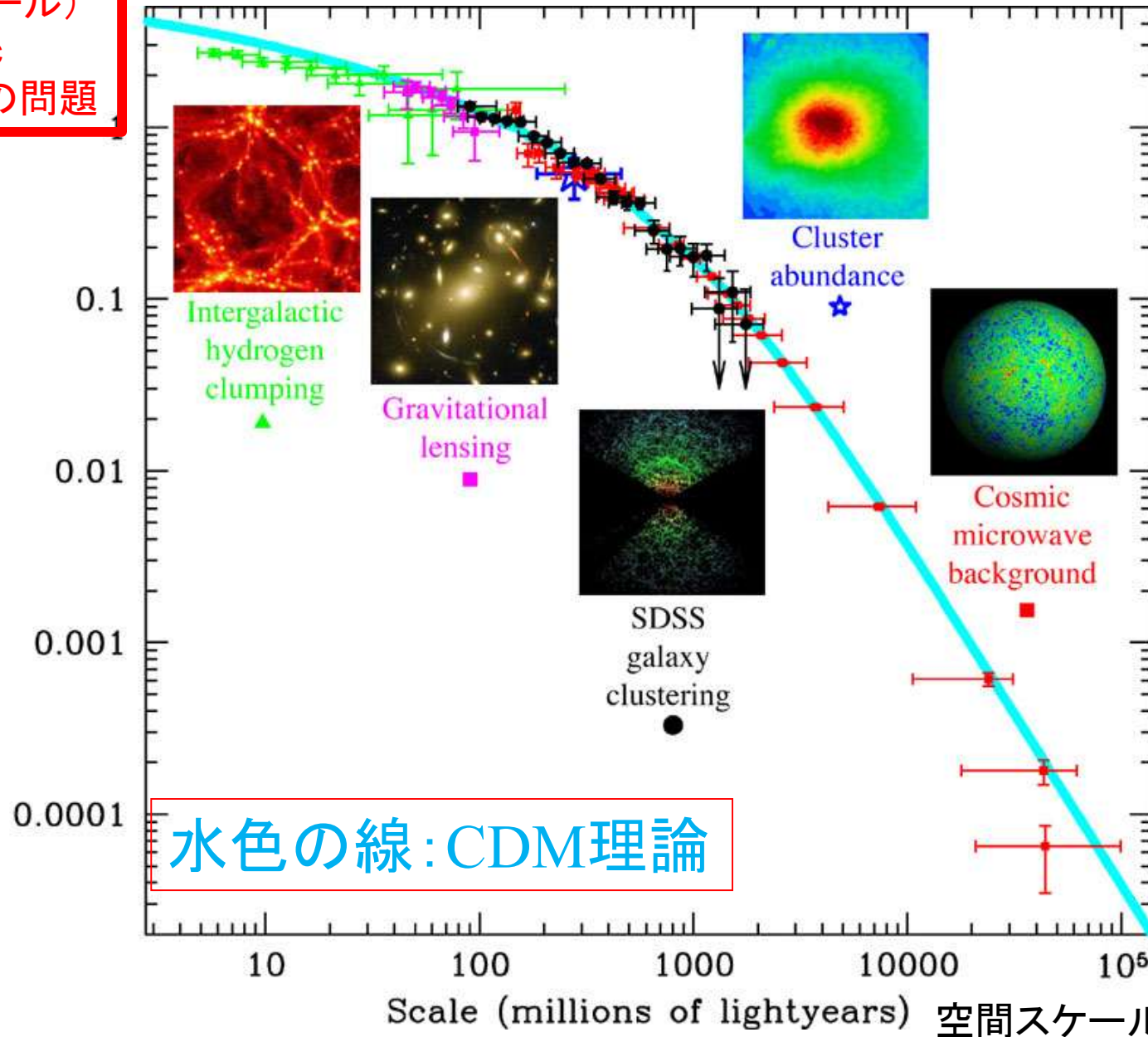
- Compact objects, 特にbaryonic matter (陽子や中性子といった通常の物質: バリオン) でできた天体
 - 白色矮星、中性子星、(原始)ブラックホール
 - ひとつひとつは重くてコンパクトな天体?
 - MACHOs (Massive Compact Halo Objects)
- Non-baryonic matter (バリオンではない物質)
 - まだ見つかっていない微小な素粒子
 - axion, neutralino, massive neutrino,
 - WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)
 - 冷たい暗黒物質 (Cold Dark Matter: CDM)
 - あるいは他の素粒子か?

しかし、
さらに小スケール
(銀河スケール)
 $L < 1 \text{ Mpc}$
でいくつもの問題

宇宙の大規模構造のスケール依存性

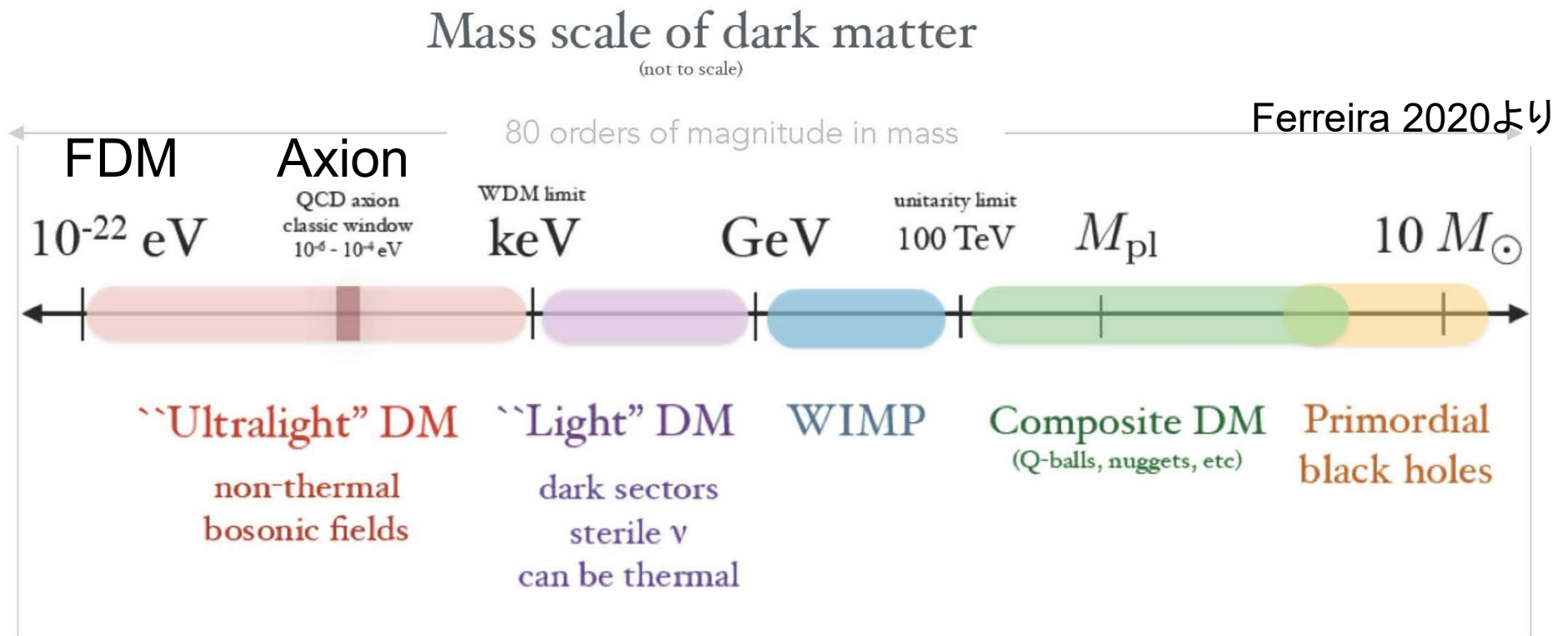
密度揺らぎの強さ 一様密度からのずれ

Density fluctuations



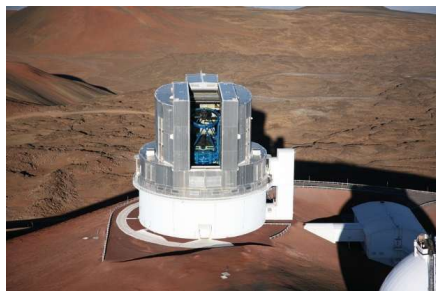
水色の線: CDM理論

暗黒物質候補は実は乱立状態



WIMPが最有力候補だが、、、未検出

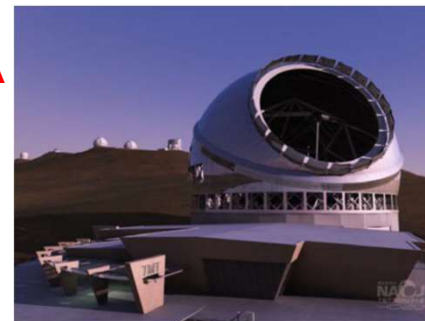
銀河宇宙物理学の展開



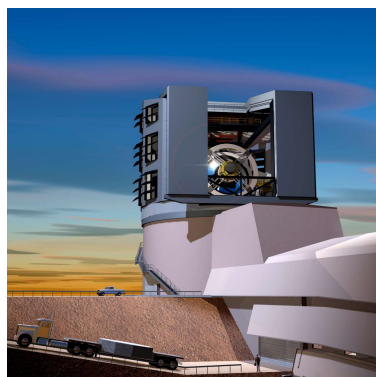
Subaru
HSC
PFS:2025-
Ultimate:2030?



ALMA



TMT
WFOS
HROS
NIREs
2030s



Vera C.
Rubin
(LSST)
2025-



Gaia



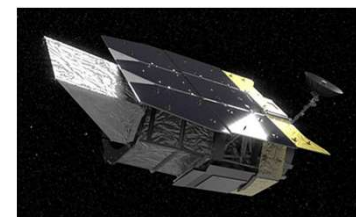
JWST
NIRCam
NIRSpec
MIRI
2022-



Euclid
YJH
2023-



JASMINE
NIR astrometry
2032?



Nancy Grace
Roman Space
Telescope
(WFIRST)
2026-

銀河形成と暗黒物質の正確・精密な理解