

銀河宇宙物理学 II

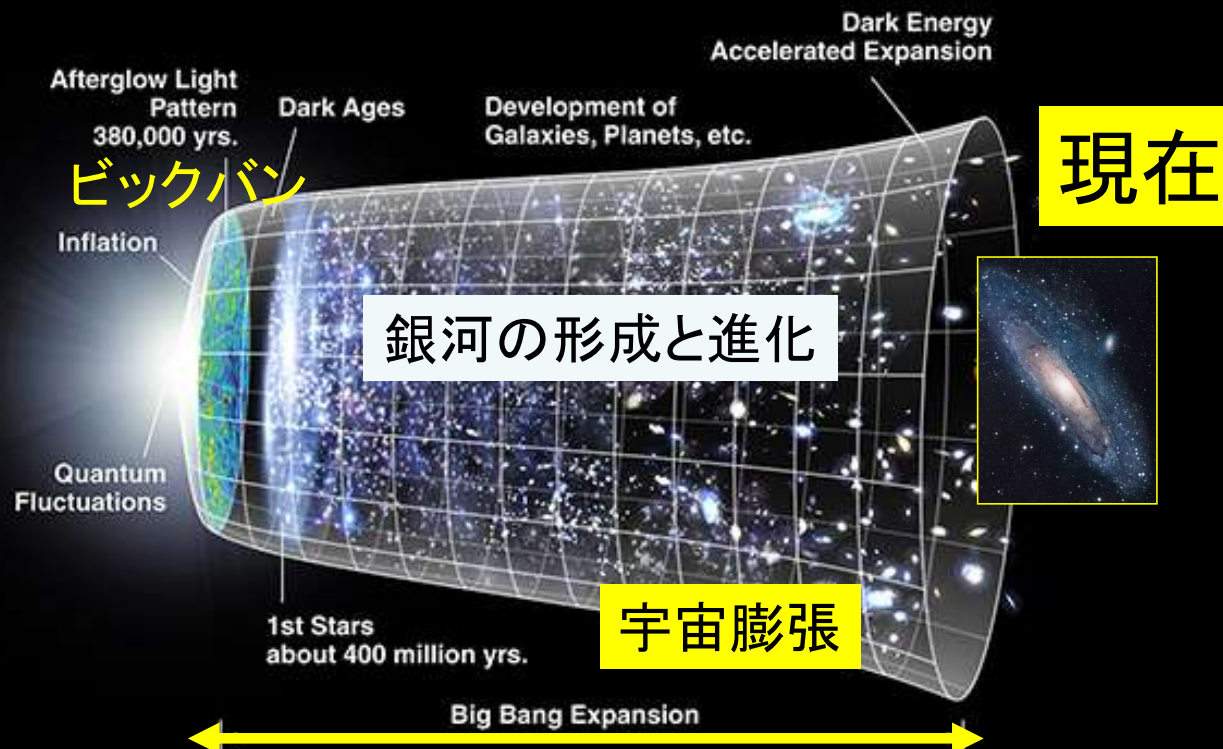
<https://www.astr.tohoku.ac.jp/~chiba/lecture/Ginga2024/index.html>

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

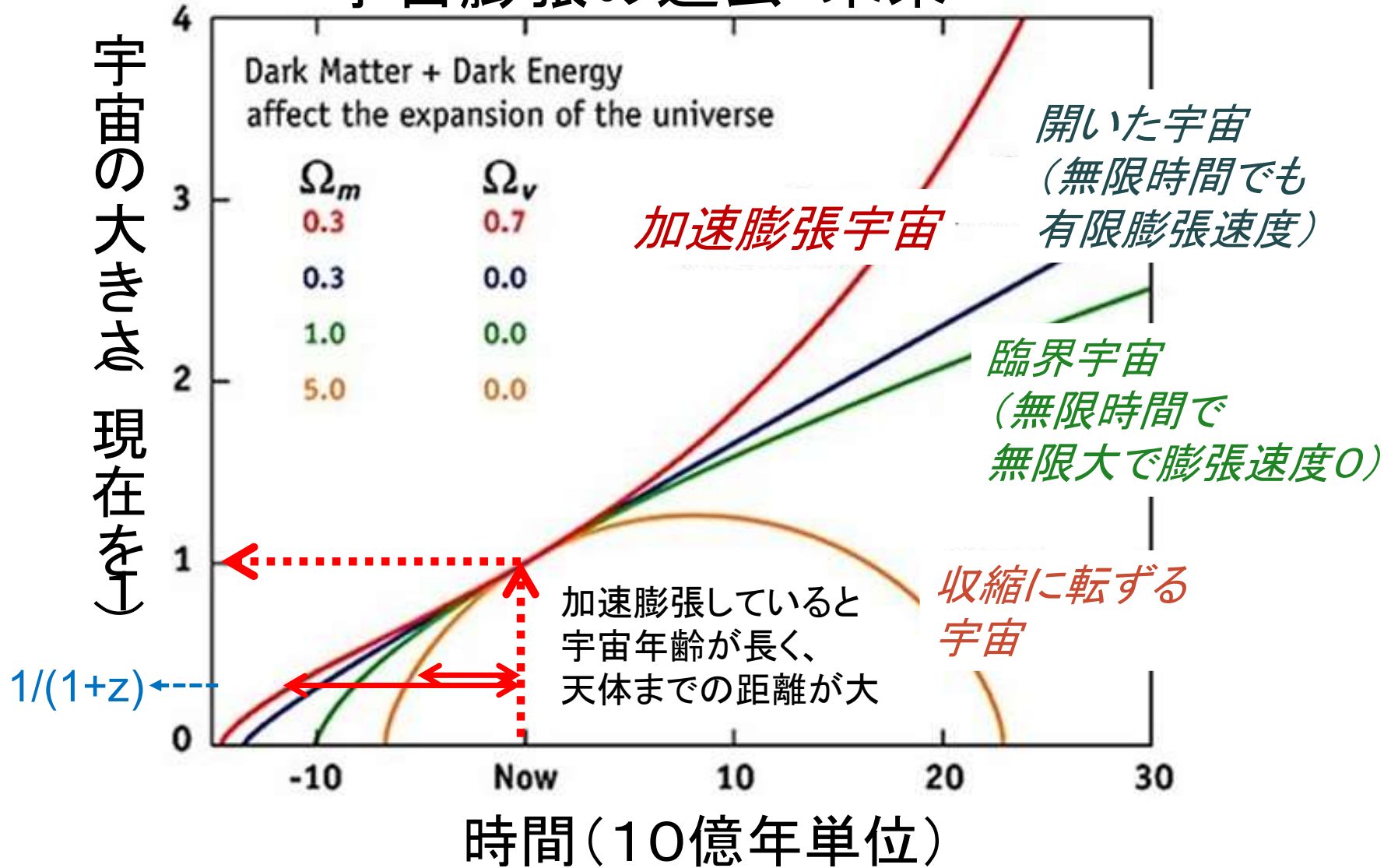
- ・Galaxy Formation and Evolution
Mo, van den Bosch, & White 2010
(Cambridge U. Press)
- ・Extragalactic Astronomy and Cosmology
Schneider 2006 (Springer)
- ・Galactic Astronomy
Binney & Merrifield 1998 (Princeton U. Press)
- ・宇宙論II - 宇宙の進化
シリーズ現代の天文学第3巻
二間瀬 他編 2007 (日本評論社)
- ・銀河I - 銀河と宇宙の階層構造
シリーズ現代の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

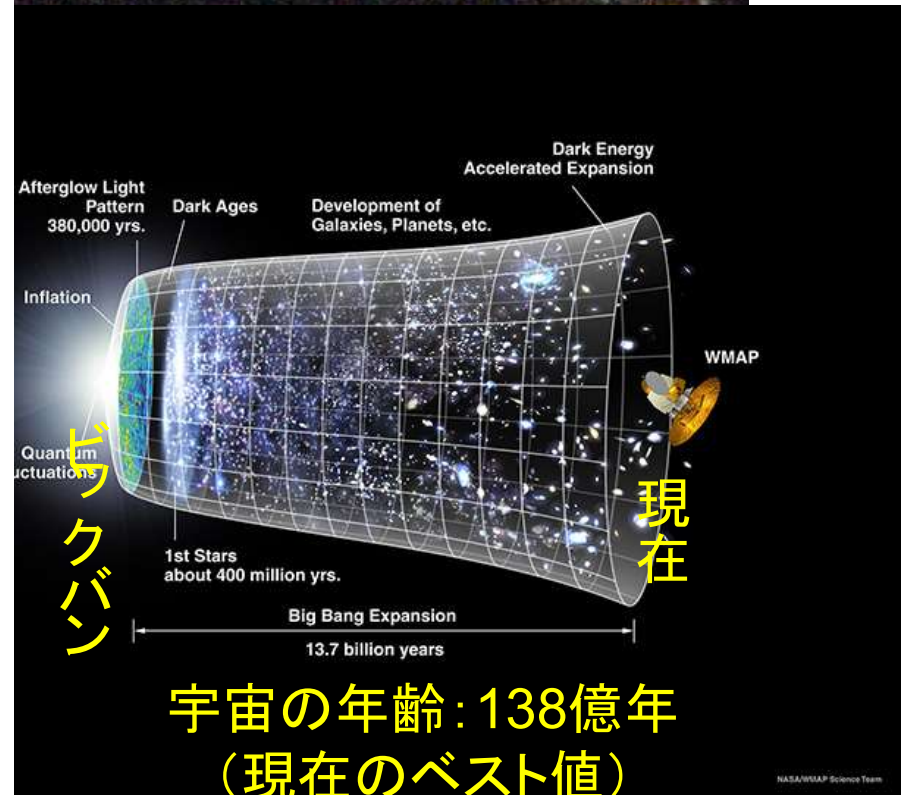
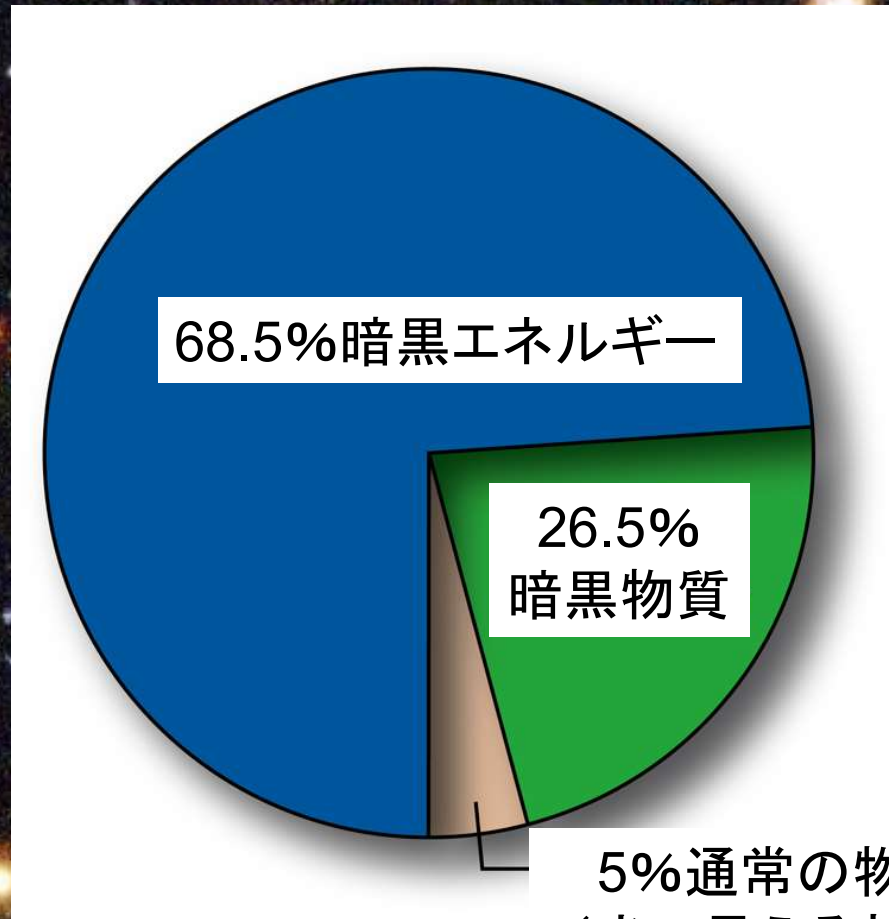


- 宇宙はどのように進化(時間発展)してきたのだろうか
- 銀河はいつどのように生まれ進化して現在に至ったのだろうか

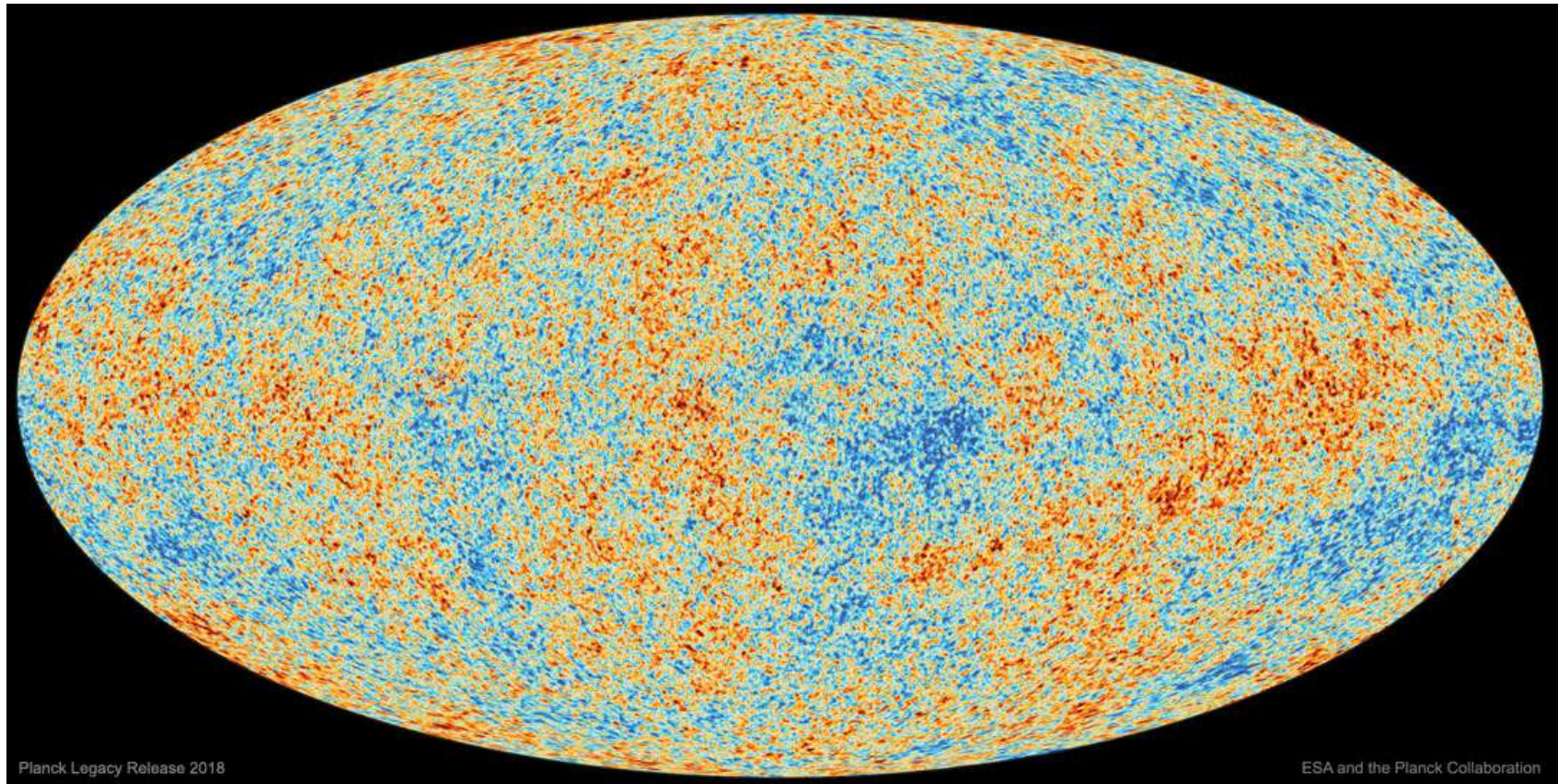
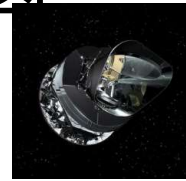
宇宙膨張の過去・未来



宇宙のエネルギーの内訳 (現在のベスト値)



Planck衛星による宇宙背景放射の温度地図 (2009~2013)

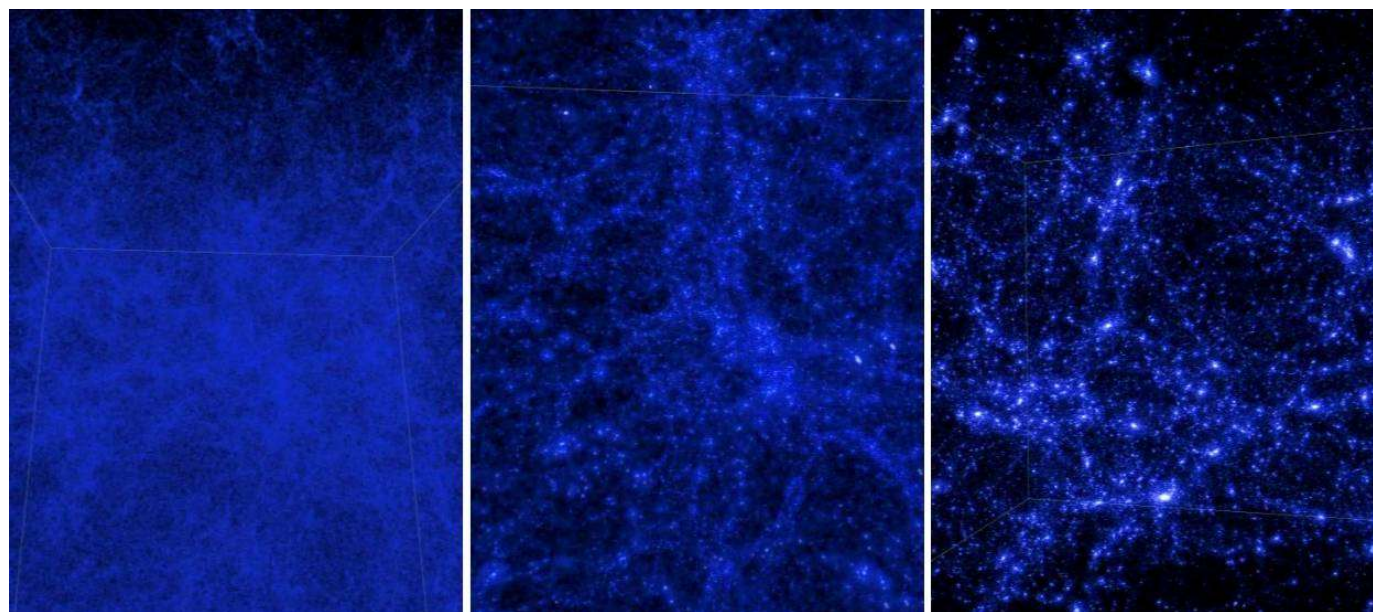


ゆらぎ $\sim 10^{-5}$

冷たい暗黒物質による構造形成

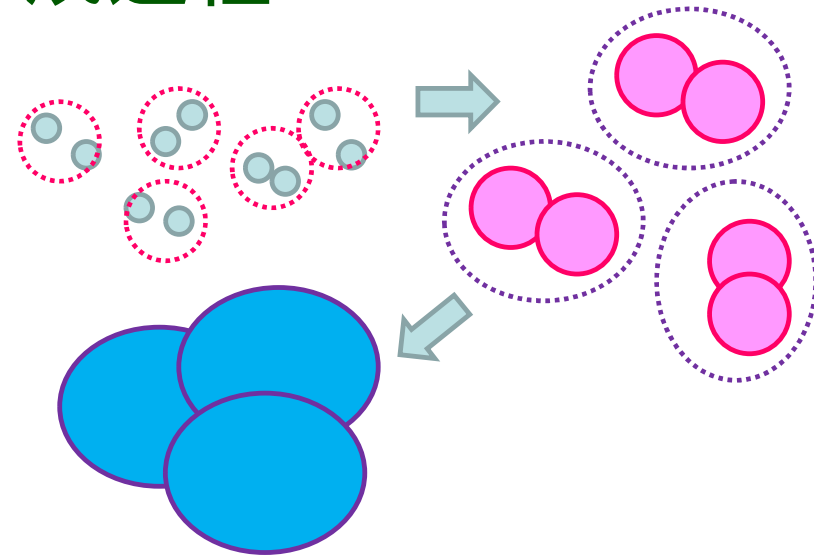
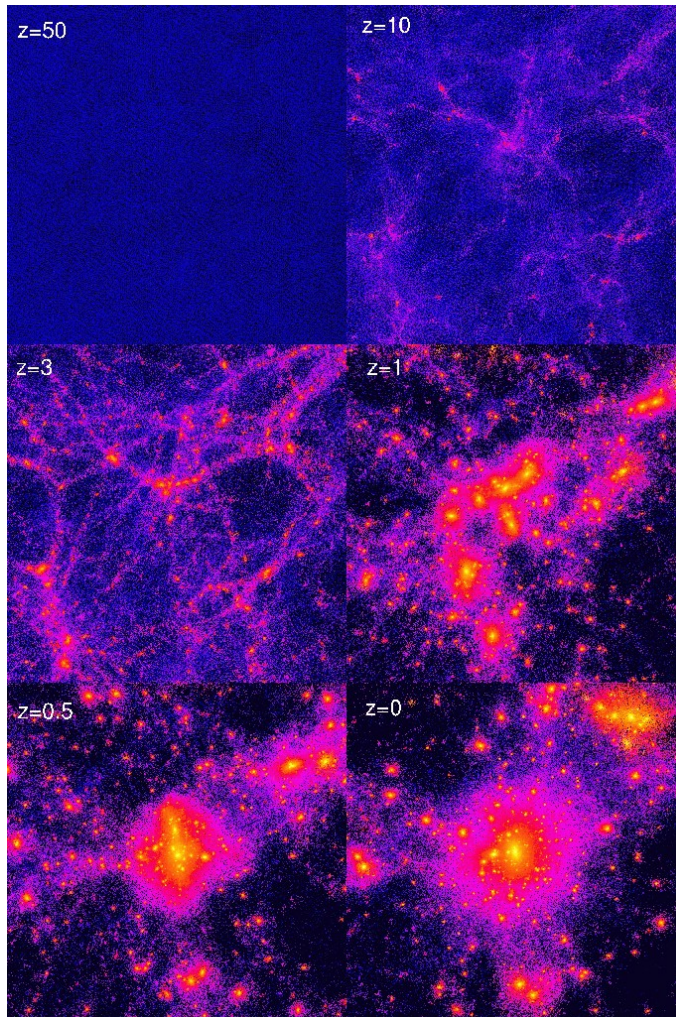
暗黒物質の分布の時間発展

時間



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

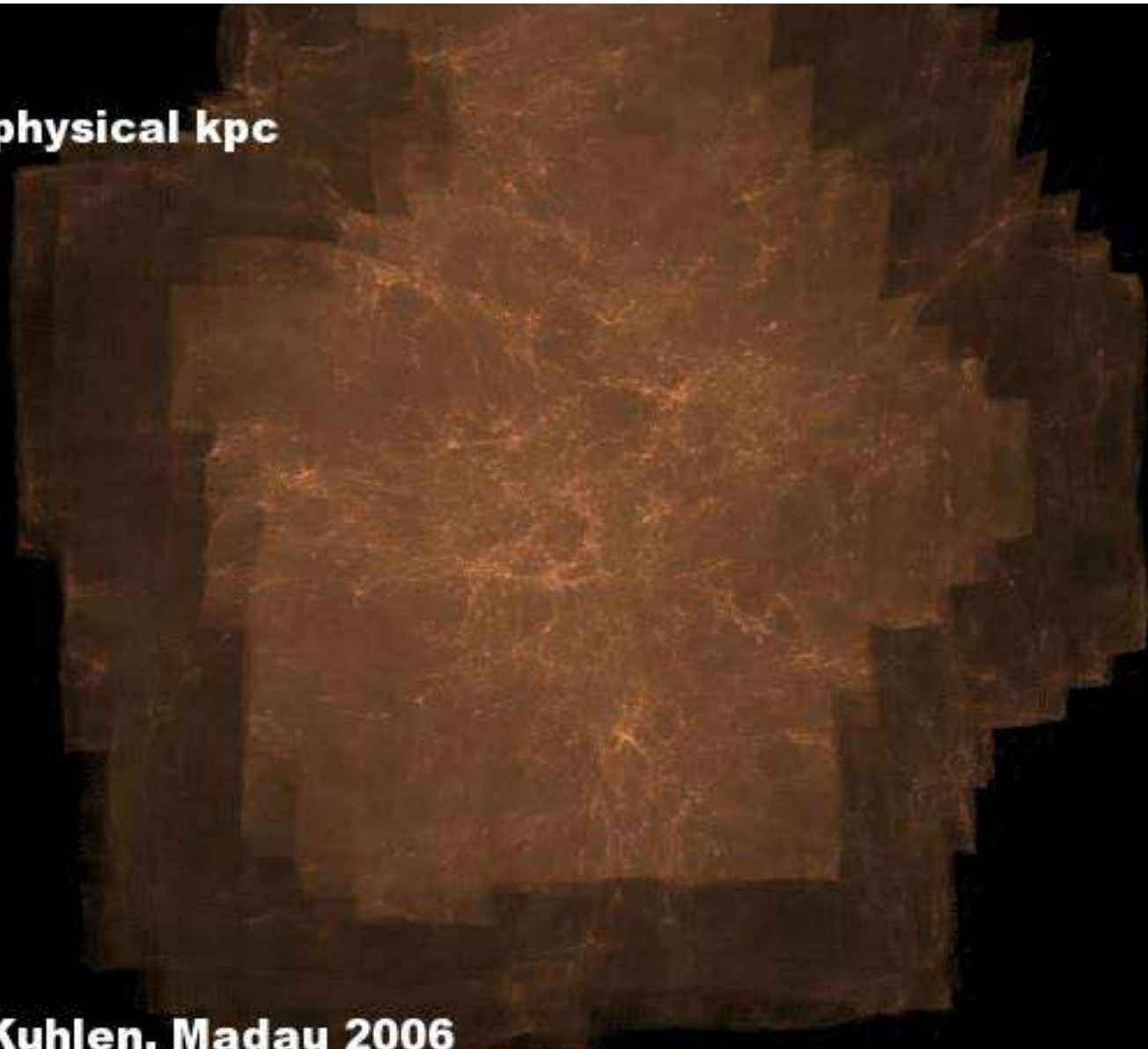


自己重力による
階層的合体過程
(ボトムアップ)

暗黒物質粒子のクラスタリング

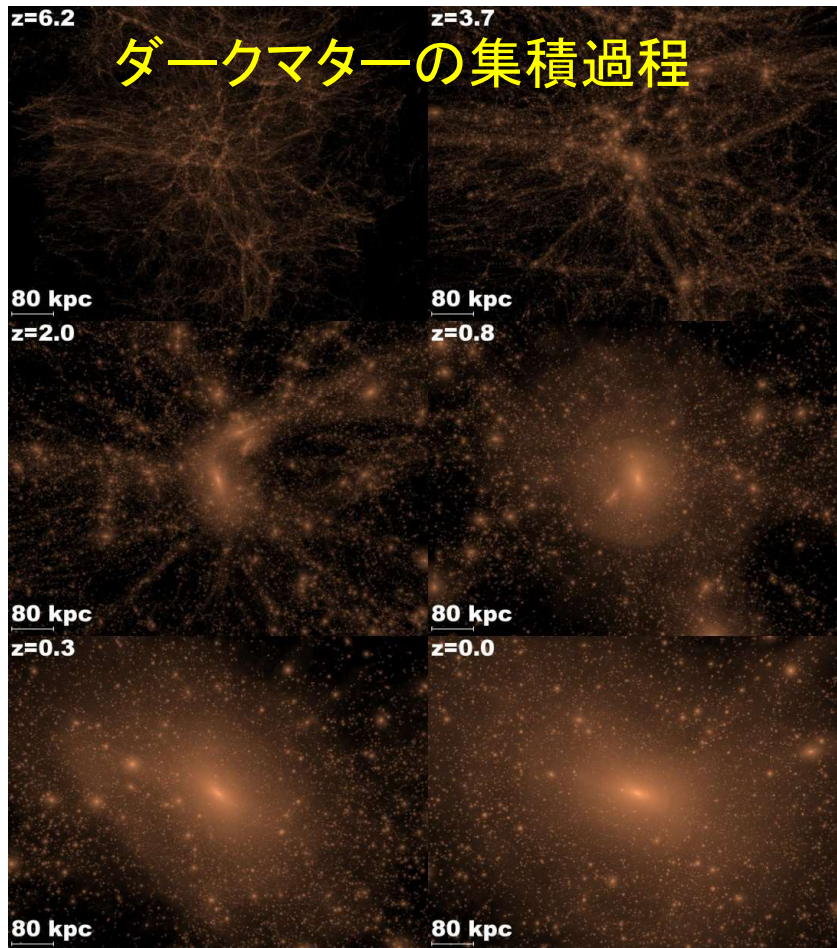
$z=11.9$

800 x 600 physical kpc

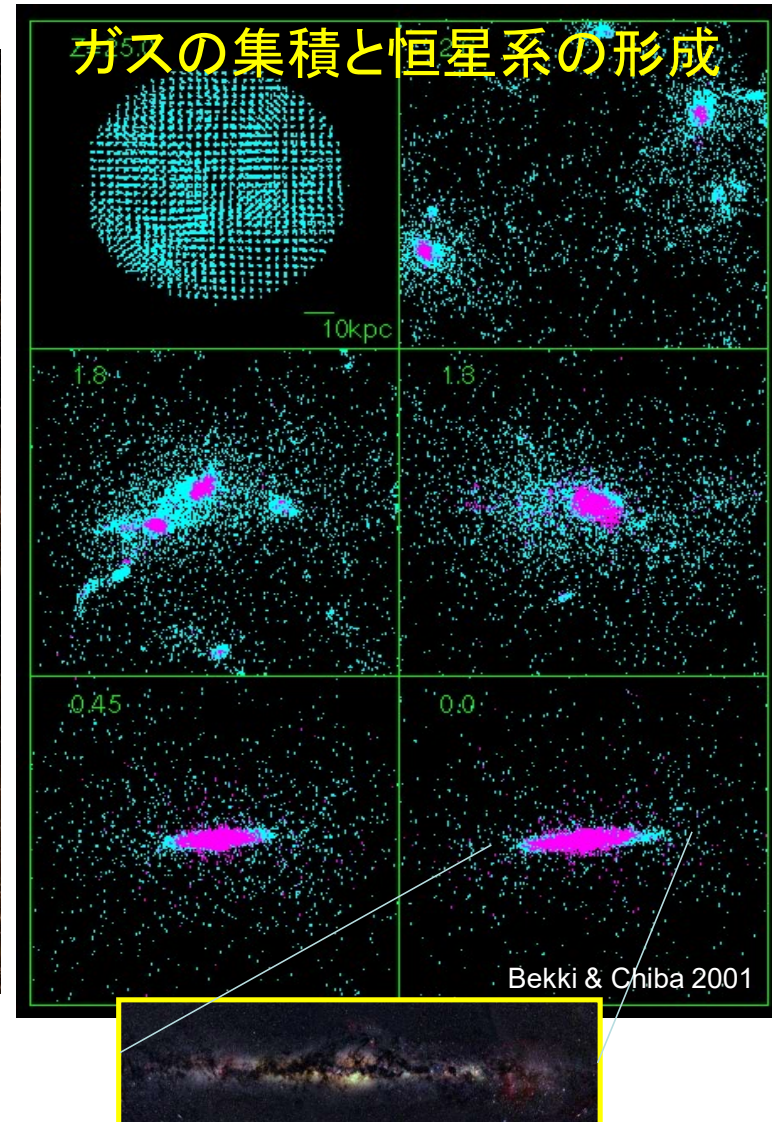


Diemand, Kuhlen, Madau 2006

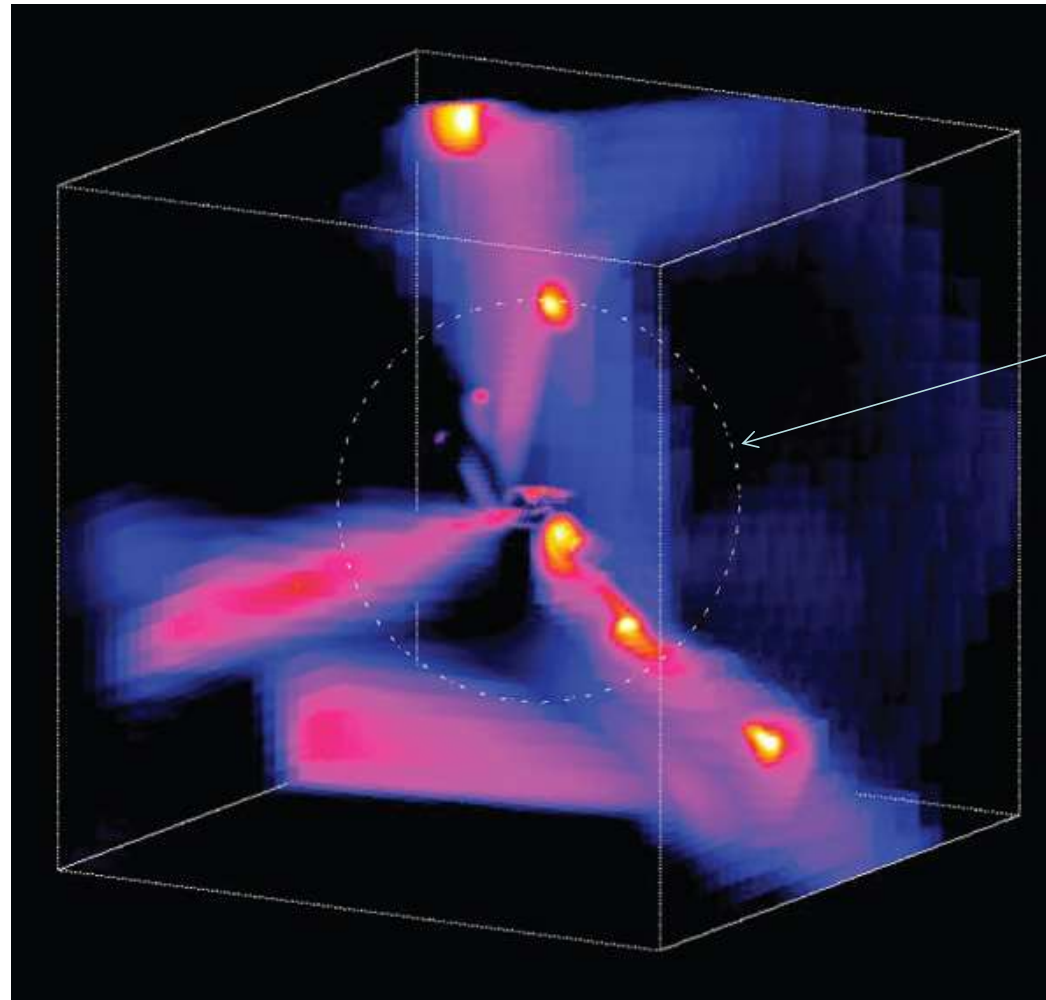
冷たい暗黒物質の階層的合体による銀河形成



Via Lactea simulation
(Diemand+07)



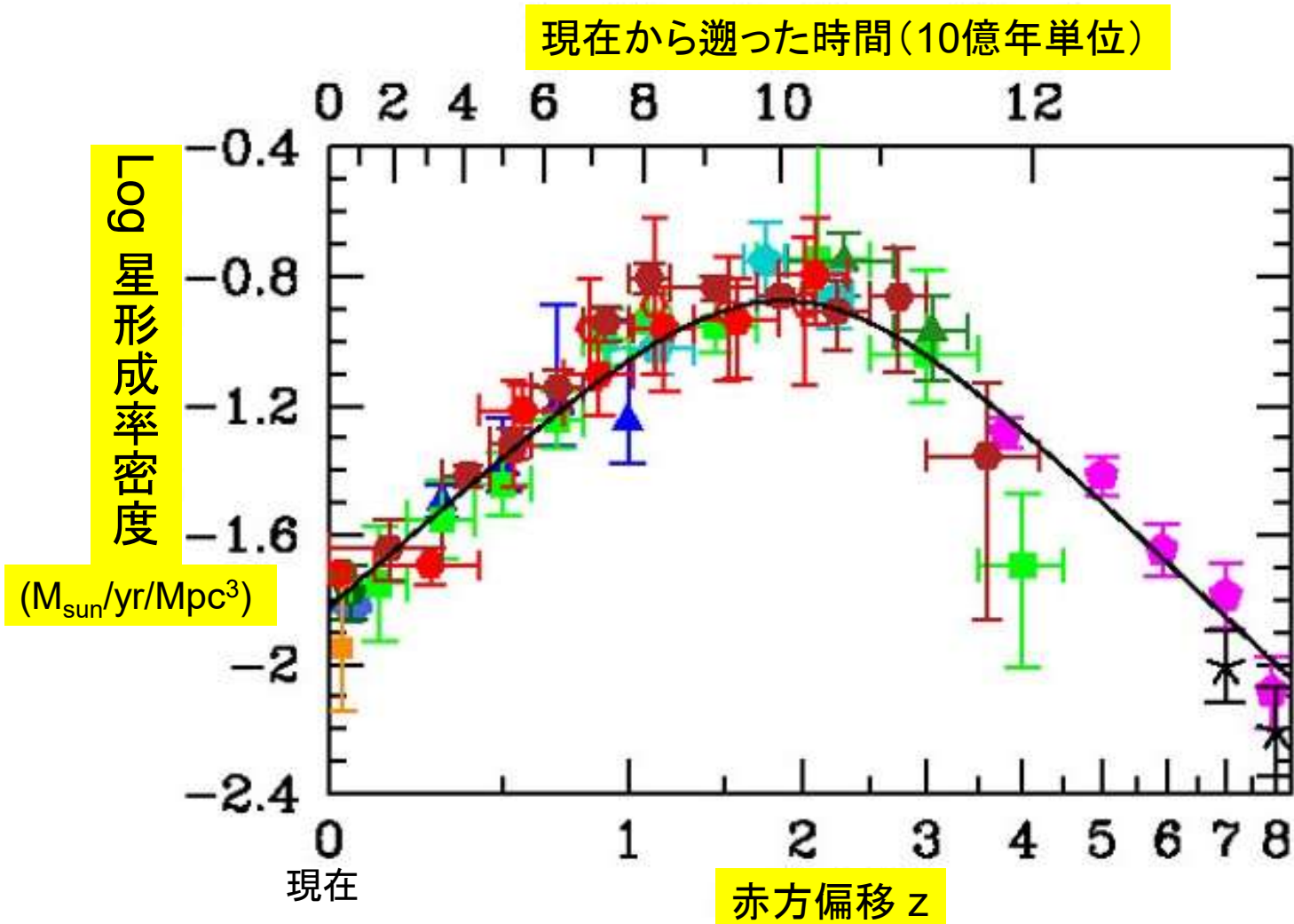
冷たいガス流(cold stream)による銀河形成
Dekel et al. (2009)



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

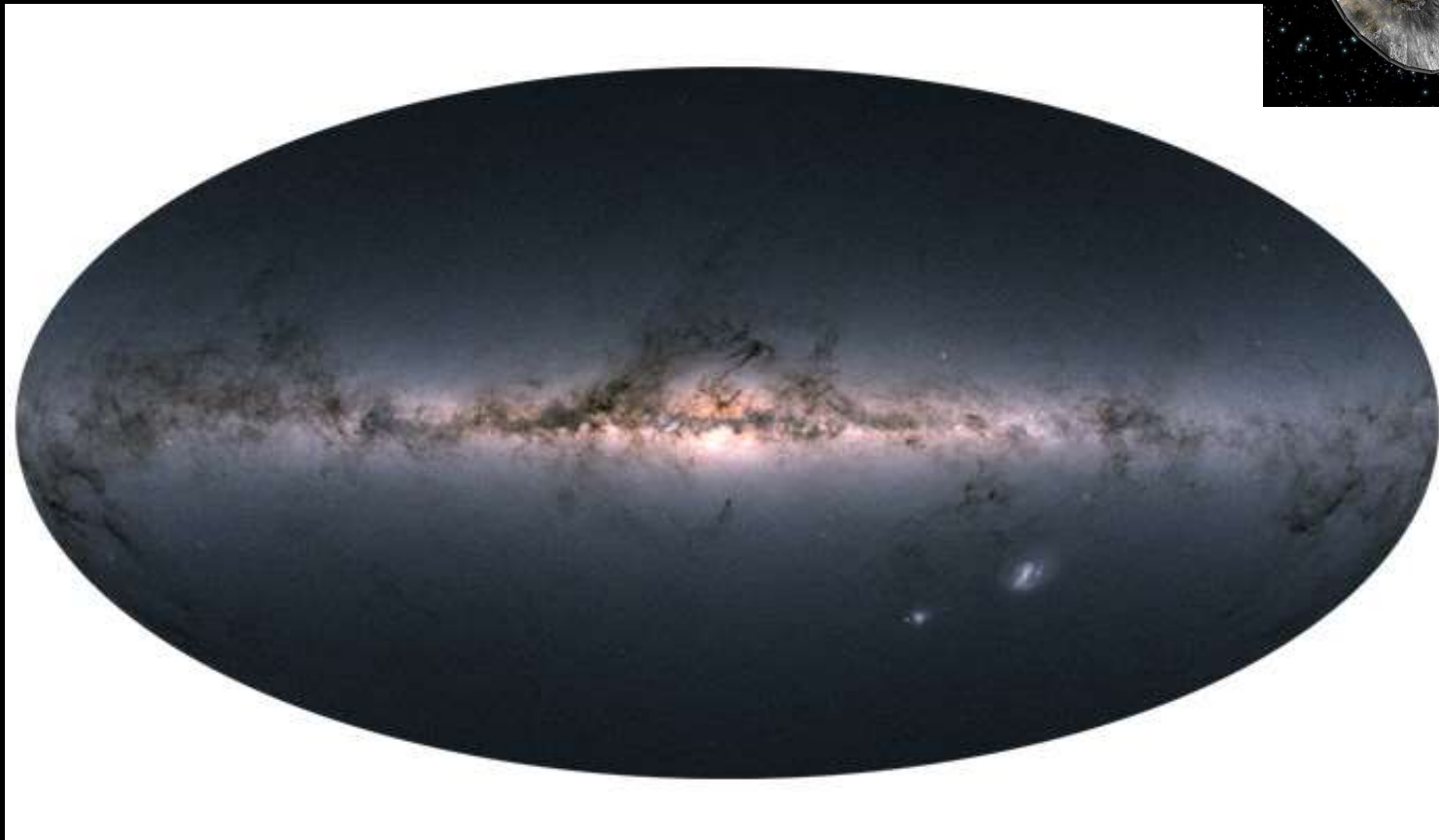
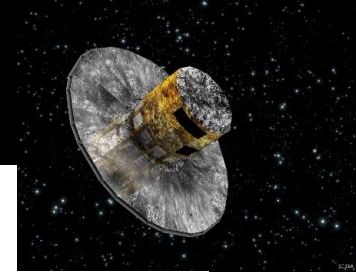
Madau & Dickinson (2014)



天の川(銀河系)

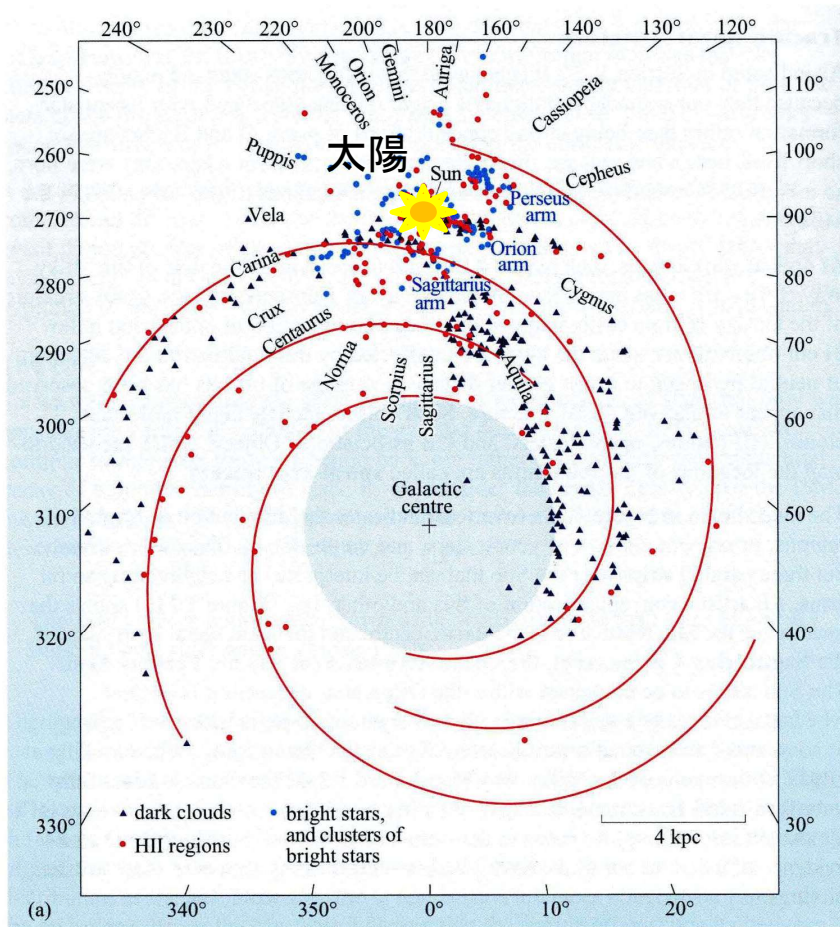
ガイア衛星による地図

ガイア衛星

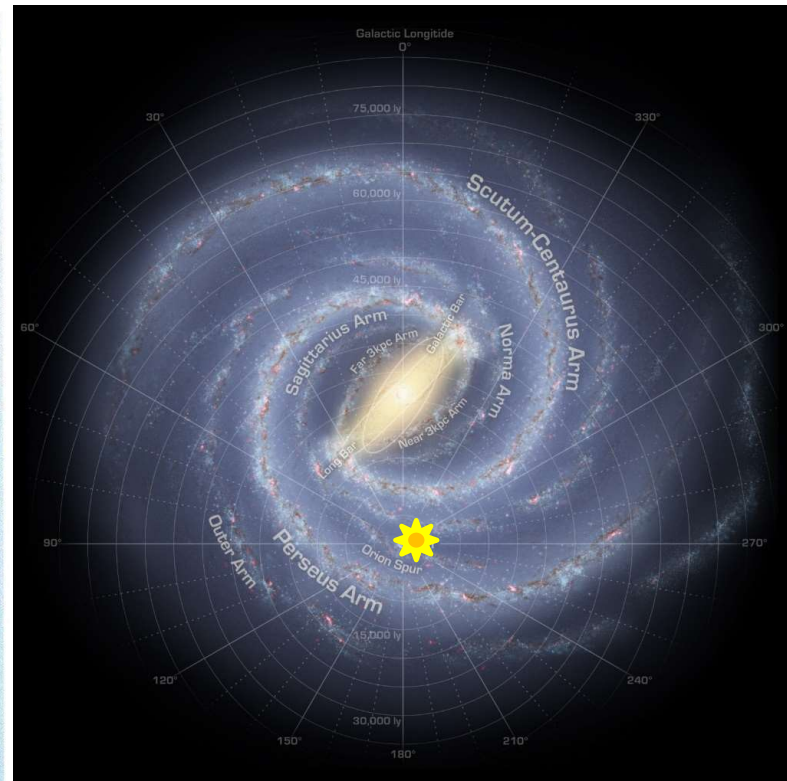


銀河系の構造

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

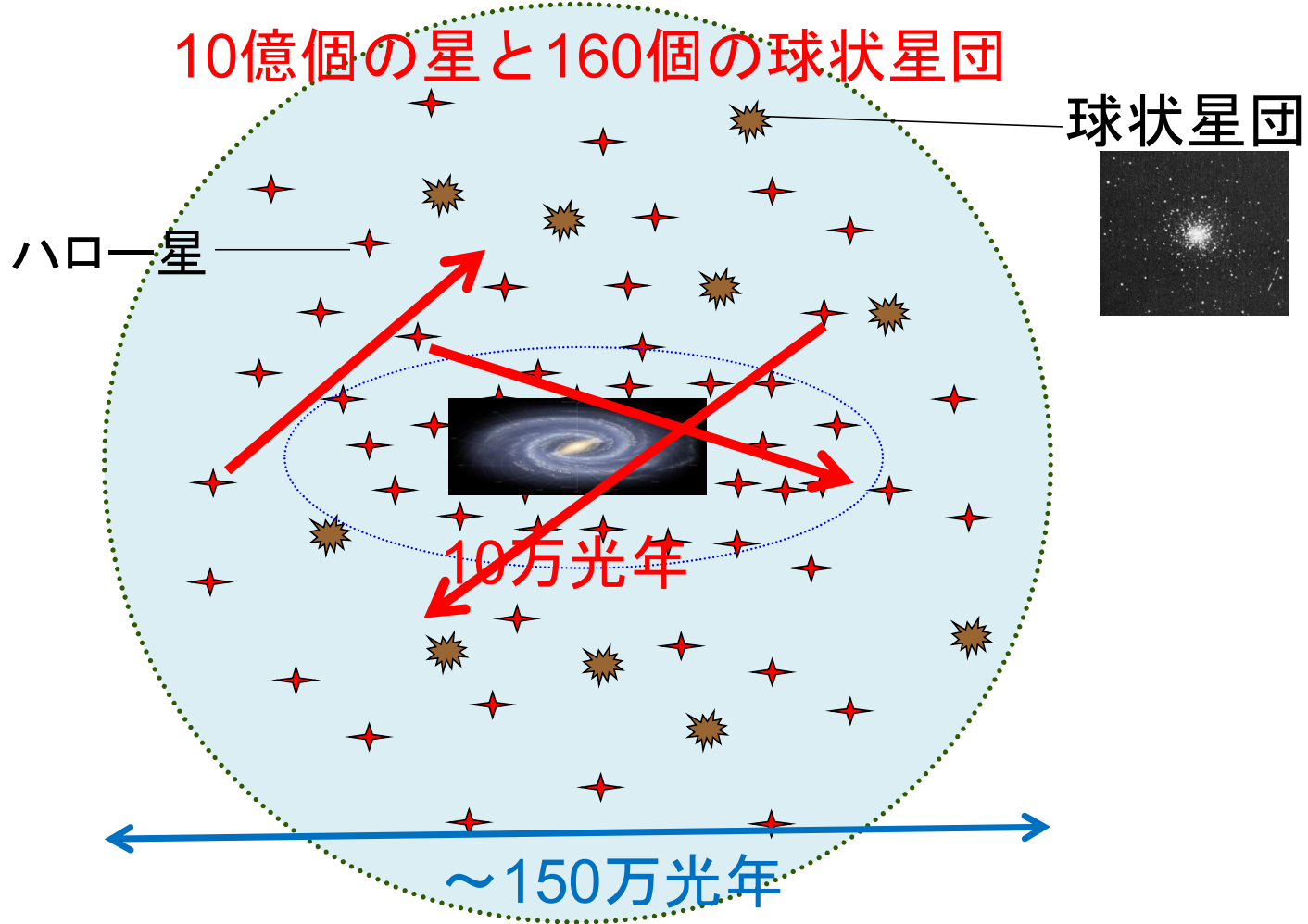


棒状銀河

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



銀河系ハローにある多数の恒星ストリーム

0: VOD/VSS	1: Monoceros	2: EBS	3: Her-Aq	4: PANDAS	5: Tri-And	6: Tri-And2	7: PiscesOv	8: EriPhe
9: Phoenix	10: WG1	11: WG2	12: WG3	13: WG4	14: Acheron	15: Cocytos	16: Lethe	17: Styx
18: ACS	19: Pal15	20: Eridanus	21: Tucana III	22: Indus	23: Jhelum	24: Ravi	25: Chenab	26: Elqui
27: Aliqa Uma	28: Turbio	29: Willka Yaku	30: Turranburra	31: Wambelong	32: Palca	33: Jet	34: Gaia-1	35: Gaia-2
36: Gaia-3	37: Gaia-4	38: Gaia-5	39: PS1-A	40: PS1-B	41: PS1-C	42: PS1-D	43: PS1-E	44: ATLAS
45: Ophiucus	46: Sangarius	47: Scamander	48: Corvus	50: Sgr-L10	51: Orphan	52: Pal5	53: GD-1	54: Tri/Pis
55: NGC5466	56: Alpheus	57: Hermus	58: Hyllus	59: Cetus	60: Kwando	61: Molonglo	62: Murrumbidgee	63: Orinoco
64: Phlegethon	65: Slidr	66: Sylgr	67: Ylgr	68: Fimbulthul	69: Svöl	70: Fjorm	71: Gjoll	72: Leiptr

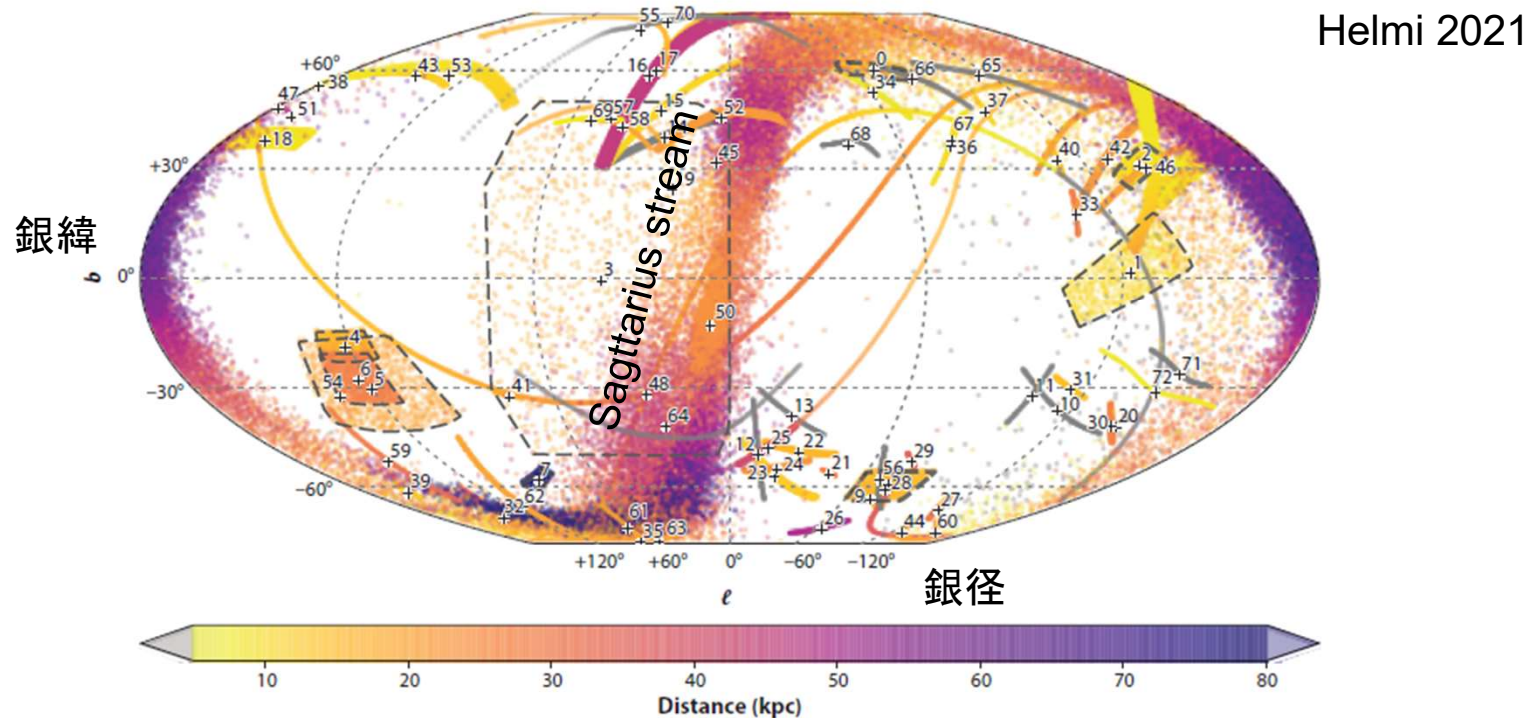


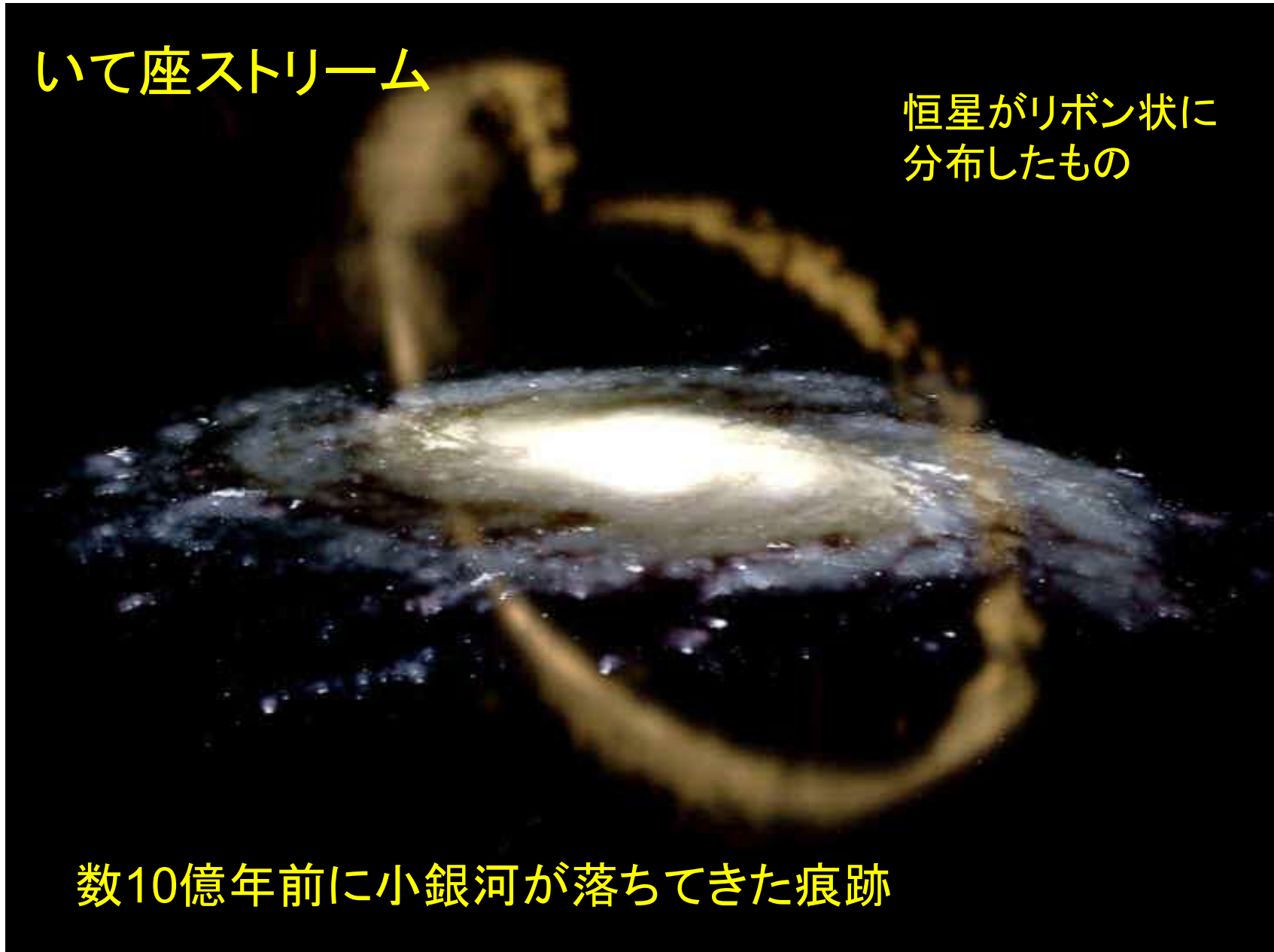
Figure 11

Sky distribution of currently known spatially coherent streams and overdensities (indicated as regions delimited by dashed lines, and in boldface in the inset) produced using the `galstreams` package by Mateu et al. (2018). Adapted with permission from C. Mateu and E. Balbinot.

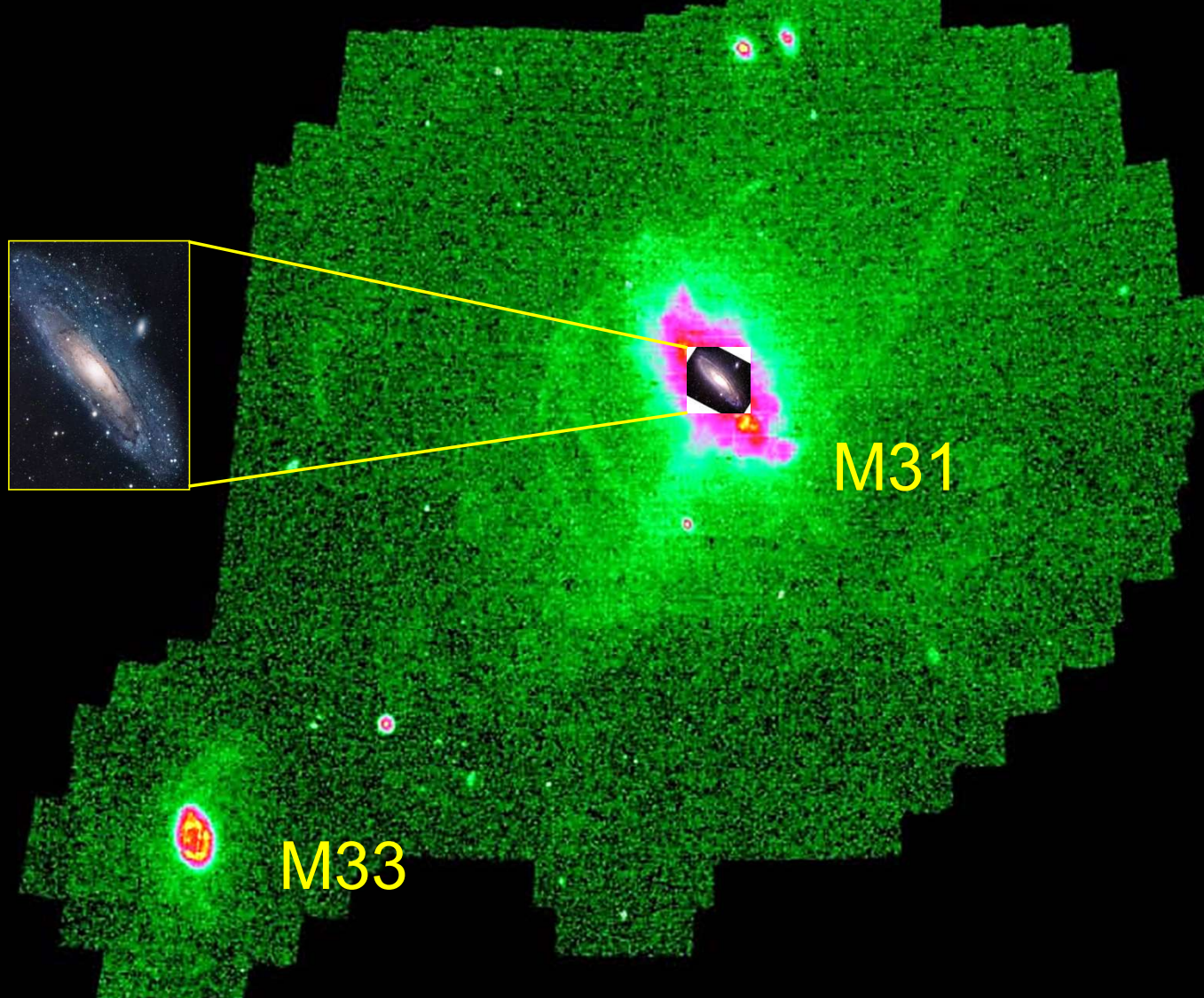
いて座ストリーム

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



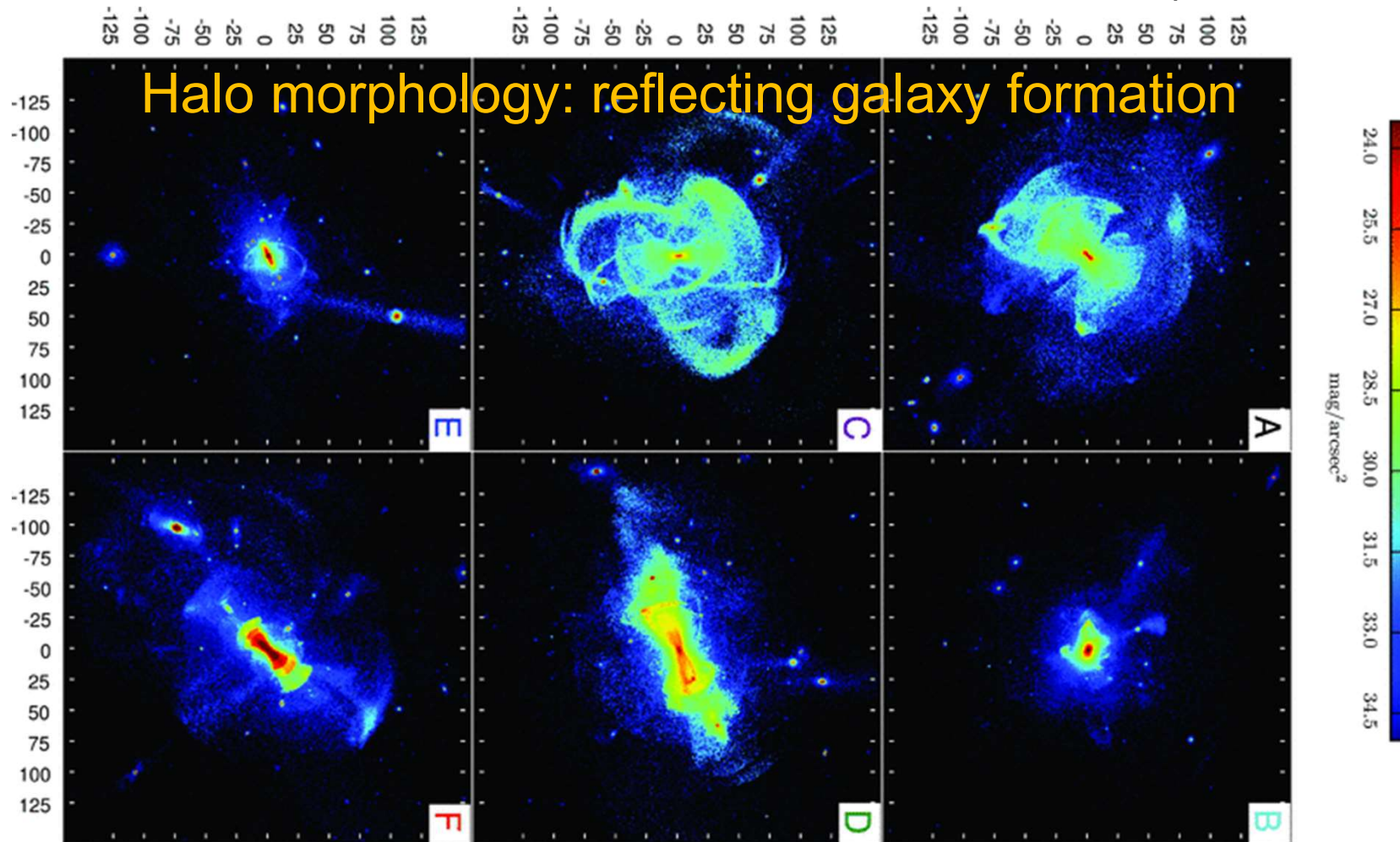
M31・M33のハロ一構造



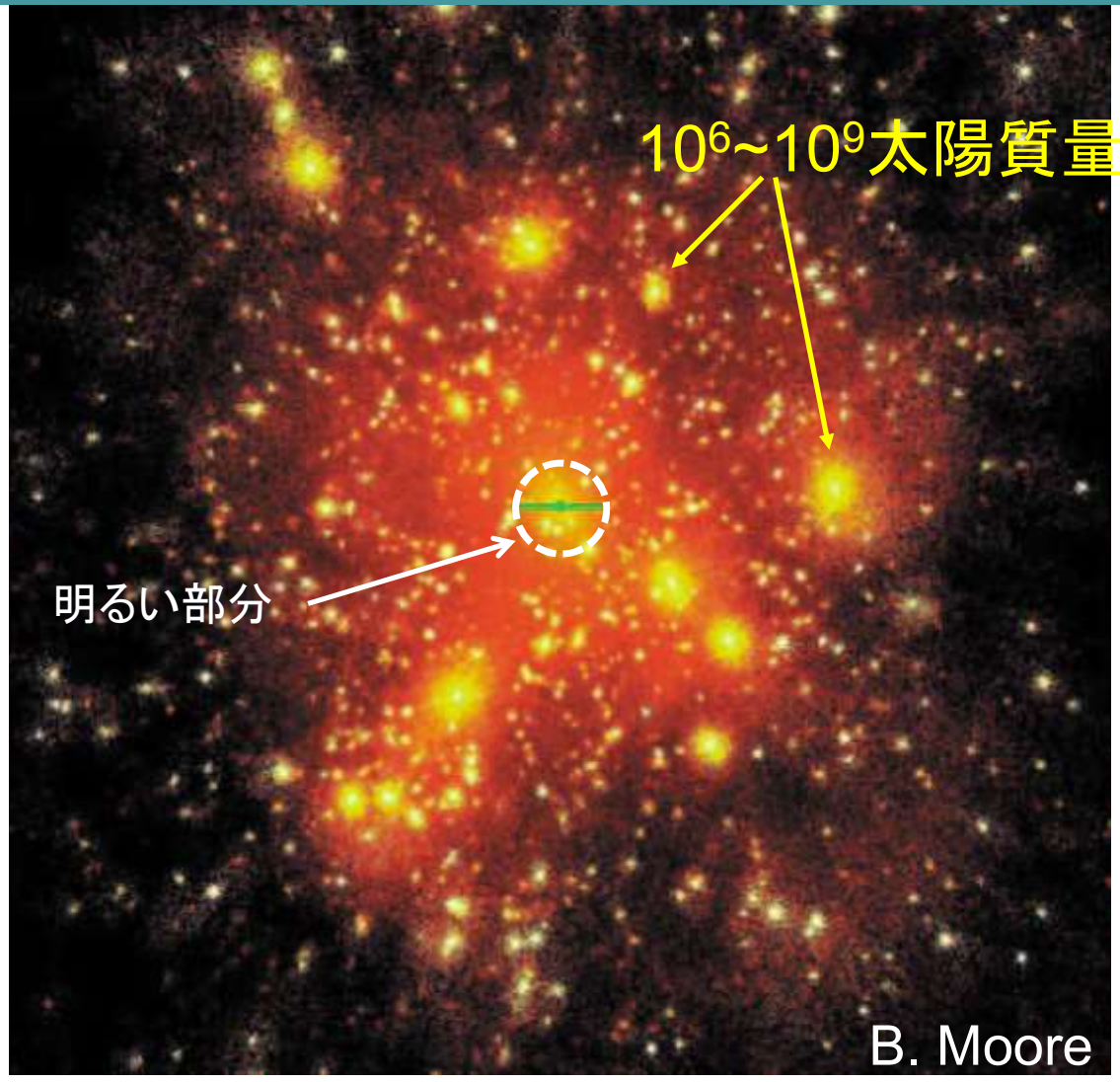
Stellar halos in various MW-sized halos

~varieties due to different merging histories~

Cooper et al. 2010



暗黒物質ハローに囲まれた円盤銀河



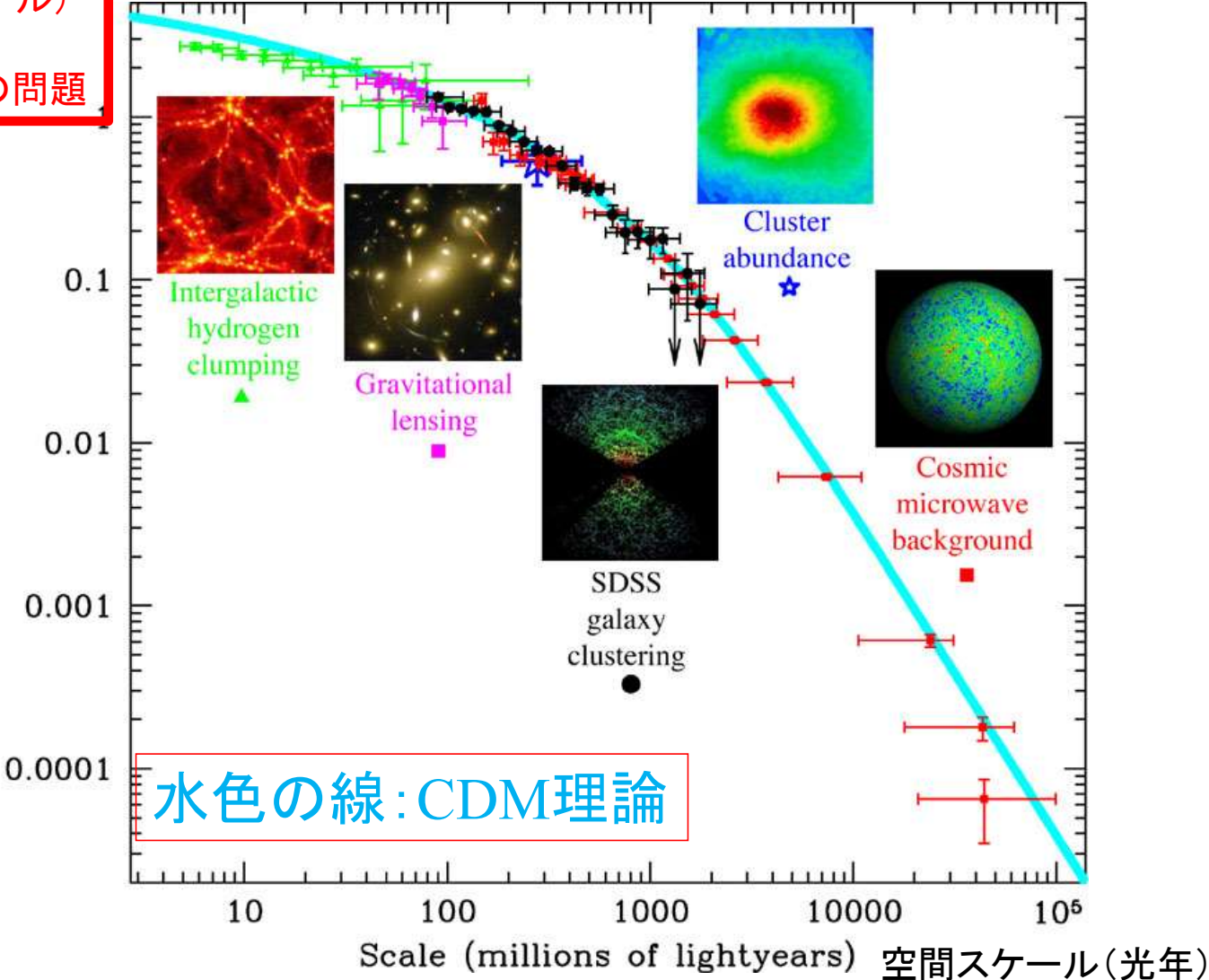
暗黒物質の候補

- 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?

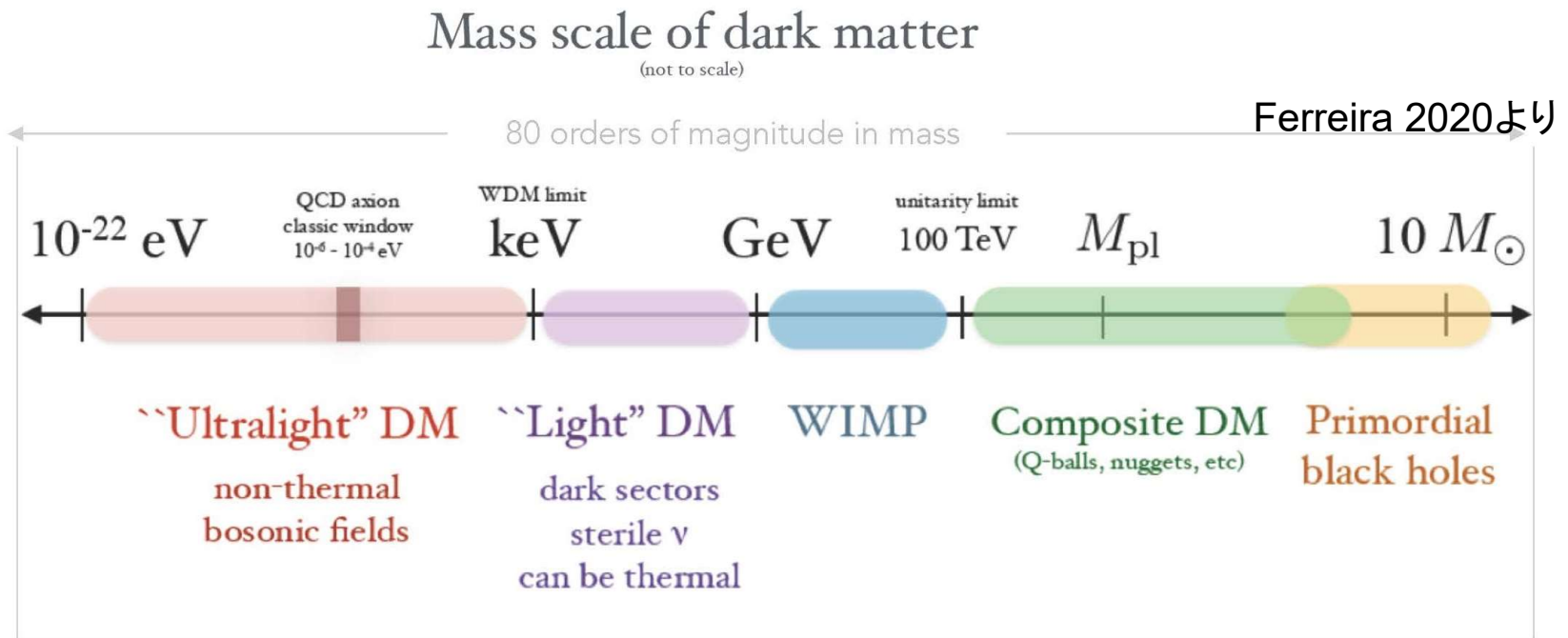
しかし、
さらに小スケール
(銀河スケール)
 $L < 1 \text{ Mpc}$
でいくつもの問題

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

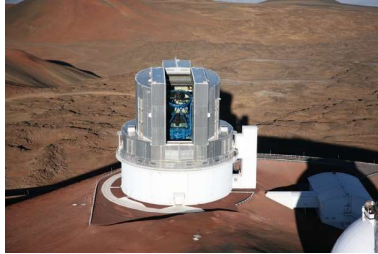


暗黒物質候補は実は乱立状態



WIMPが最有力候補だが、、、未検出

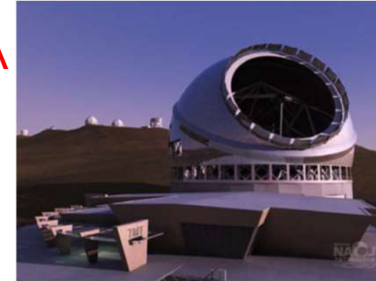
銀河宇宙物理学の展開



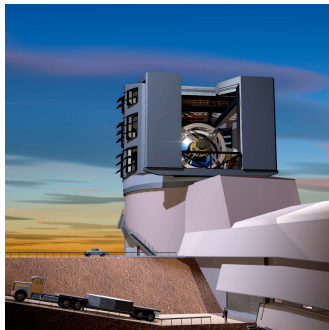
Subaru
HSC
PFS:2025-
Ultimate:



ALMA



TMT
WFOS
HROS
NIRES
2032~



Vera C.
Rubin
(LSST)
2025-



Gaia



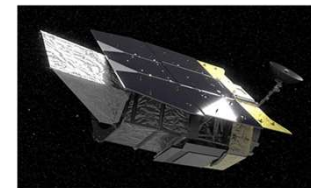
JWST
NIRCam
NIRSpec
MIRI
2022-



Euclid
YJH
2023-



JASMINE
NIR astrometry
2030~



Nancy Grace
Roman Space
Telescope
(WFIRST)
2027-

銀河形成と暗黒物質の正確・精密な理解