A possible dwarf galaxy satellite-of-satellite problem in ΛCDM

2023/06/09 大滝恒輝

Müller et al. (2023) A&A https://arxiv.org/abs/2303.03025

【アブスト】
Extragalactic Distance Databaseから矮小銀河に付随する衛星銀河を調査。117個の矮小銀河のうち、M96 に付随するultra-diffuse galaxy M96-DF6の衛星銀河 (dw1046+1244) を新たに発見した。この衛星銀河は光度 $1.5 \times 10^5\ L_\odot$ の ultrafaint dwarf であり、M96-DF6よりも135倍小さい。ΛCDMシミュレーションでは、観測されたような恒星質量の satellite-of-satellite system は高い光度比 (≈ 10000) を持つことが予測されるため、今回の結果は理論と観測の新たな問題となる可能性を示している。

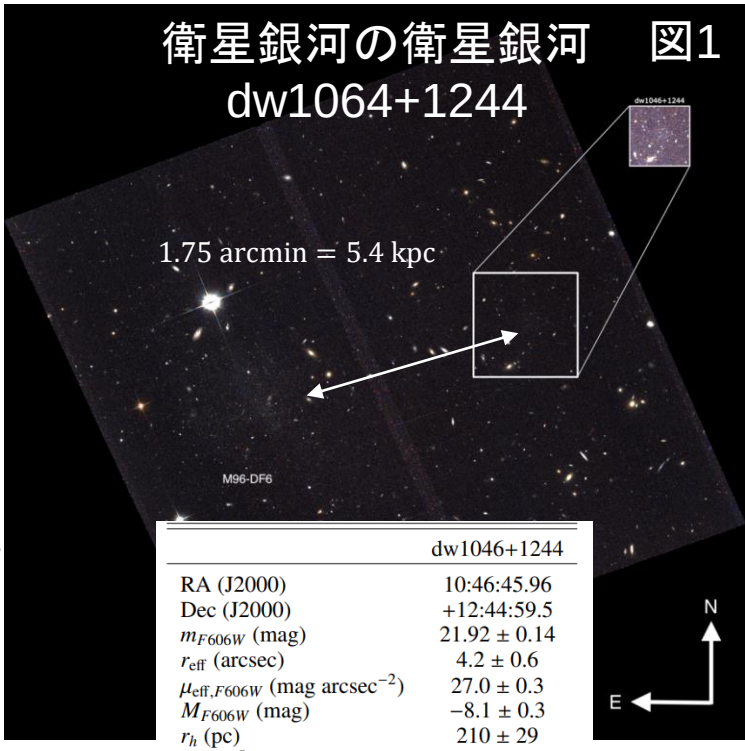
【ゴール】ΛCDMモデルの検証とsatellite-of-satellite problemの可能性の示唆。

【オリジナリティ】新たなsatellite-of-satellite systemの発見、それらの性質とシミュレーションの比較。

【ロジック】
◆**背景**：LMCにはSMCやいくつかのultrafaint dwarfが付随する。$10^4\ M_\odot$ 以上の明るい衛星銀河の数は、理論的な予測によると4〜8個となるが、観測ではSMCのみ (classical dwarf Carina も指摘）。
他のLMC-like銀河にある $10^5\ M_\odot$ 以上の衛星銀河を観測した結果、やはり理論予想される数よりも少ない。
→さらに他の銀河を調査。
◆**データと結果**：Extragalactic Distance DatabaseのCMD/TRGB catalogにある8 Mpc以上の矮小銀河を117個選出し、それらのHST画像から衛星銀河の衛星銀河を調査。 ultra-diffuse galaxy M96-DF6から stellar over-density を検出（図１と表）。累積光度曲線から全光度や半光度半径を算出。
◆**議論**：
- 図２：光度-サイズ関係は通常の銀河のスケーリングと同様。
- 図３：satellite-of-satelliteの光度比を、他の観測結果や宇宙論的zoom-inシミュレーションと比較。
- zoom-inシミュレーションの分解能は十分足りているのに、小さな比を持つ（mainと同程度の重い）衛星銀河が無い。 LMC-SMCスケールはシミュレーションと一致。
- Too-big-to-fail問題の逆バージョンがsatellite-of-satelliteで起きている可能性。今後詳細な観測とシミュレーションが必要。

【コメント】
- シミュレーションでサブハローを見つけるとき、衛星銀河として判別されていないペアがありそう。もしくは重い衛星銀河は潮汐で壊されちゃっているとか。
- 観測的に矮小銀河同士の相互作用の痕跡は見えるのかが気になる。

衛星銀河の衛星銀河　図1



	dw1046+1244
RA (J2000)	10:46:45.96
Dec (J2000)	+12:44:59.5
m_{F606W} (mag)	21.92 ± 0.14
$r_{\rm eff}$ (arcsec)	4.2 ± 0.6
$\mu_{{\rm eff},F606W}$ (mag arcsec^{-2})	27.0 ± 0.3
M_{F606W} (mag)	−8.1 ± 0.3
r_h (pc)	210 ± 29
L_* ($10^5\ L_\odot$)	1.5 ± 0.3
M_* ($10^5\ M_\odot$)	2.3 ± 0.3

図２

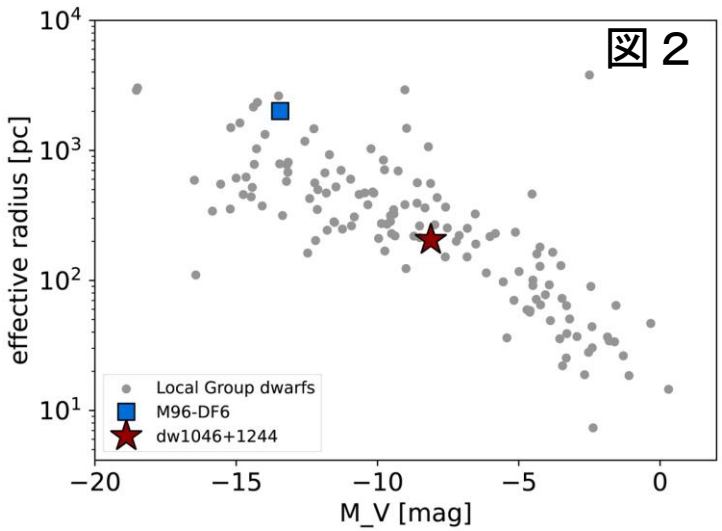
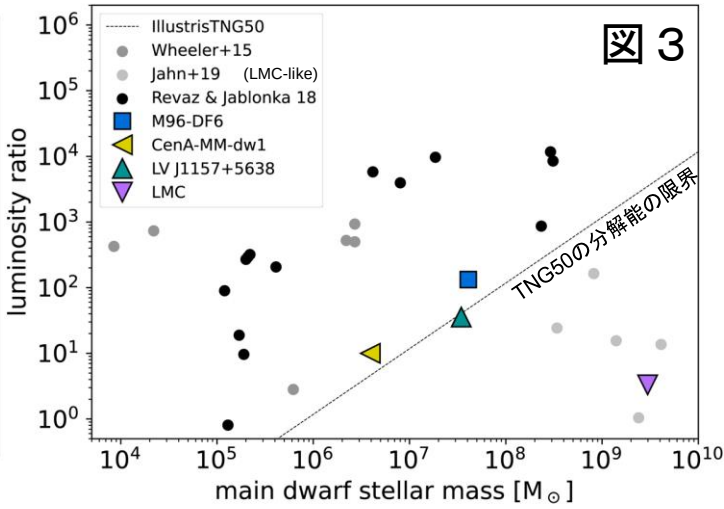
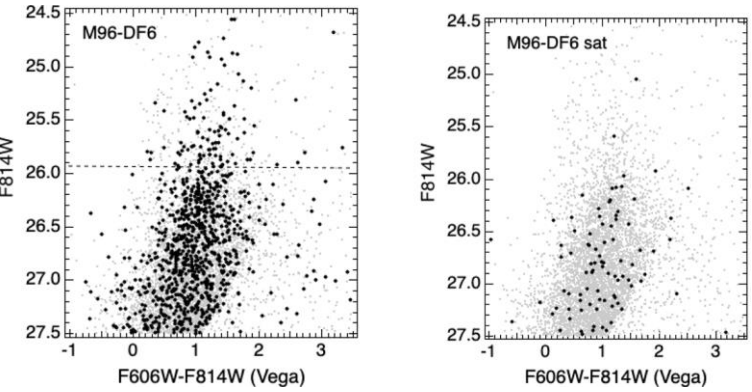


図３

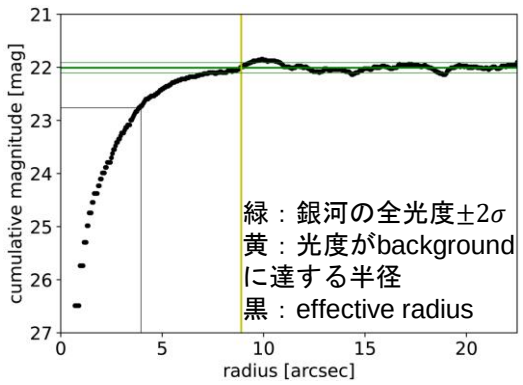


補足

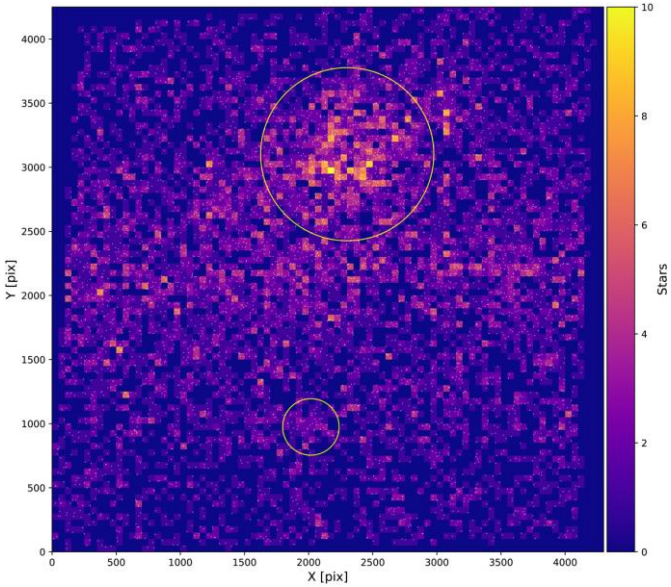
色-等級図



magnitude growth curve

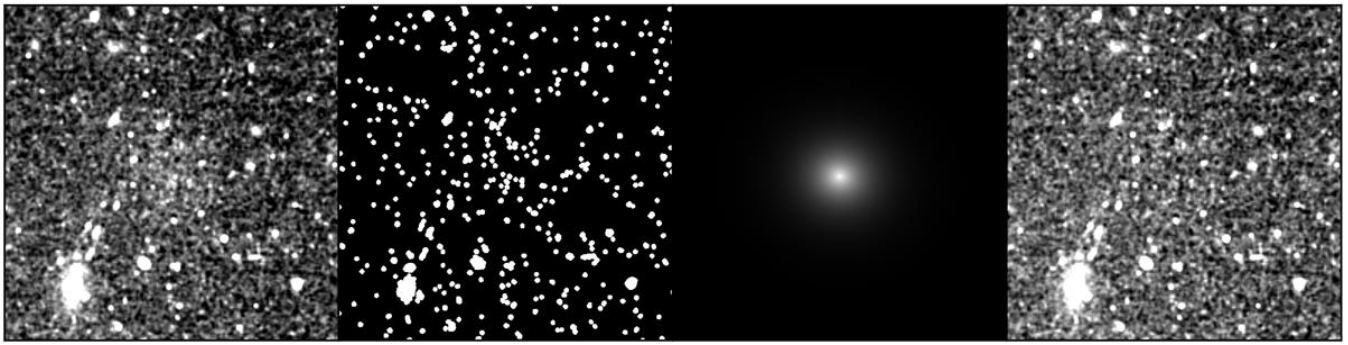


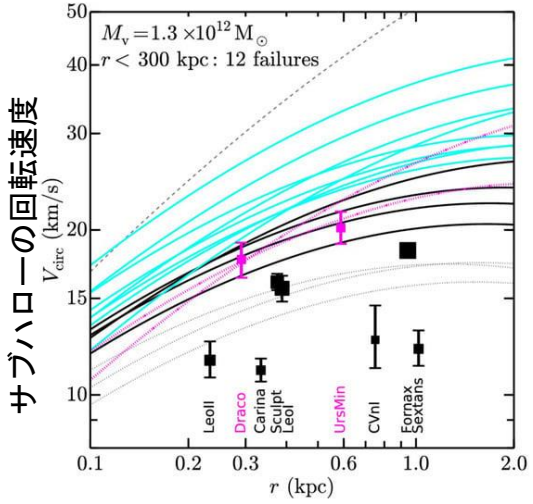
RGB星の密度マップ



黄丸：恒星密度がbackgroundと同程度になる領域
（220pix=10.8 arcsec)

全体　マスクした領域　GALFITモデル　残差



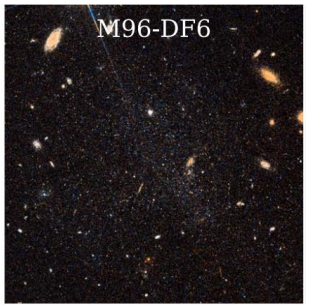


←too-big-to-fail (Garrison-Kimmel et al. 2014)
MW内の各衛星銀河の回転速度$V_{\rm circ} = GM_{\rm dwarf}(< r_{\rm eff})/r_{\rm eff}$ がシミュレーション結果に比べて小さい。
⇔回転速度が大きい（中心密度が高い）サブハローは星形成せずに、矮小銀河として観測されない？

今回の論文は、逆に、重いsatellite-of-satelliteの方が多く観測されている。

M96 DF6→

(Cohen et al. 2018)
https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/aae7c8



近傍宇宙のsatellite-of-satellite

Dwarf & 1. satellite	L_* $10^6\ L_\odot$	$L_{*,1.satellite}$ $10^5\ L_\odot$	sep. kpc	ratio
LMC & SMC	1486	449	20	3
M96-DF6 & dw1046+1244	20.4	1.5	5	135
LV J1157+5638 LV J1157+5638 sat	17.2	0.5	4	35
Cen A-MM-dw1 Cen A-MM-dw2	2.0	0.2	3	10
dw1252-40 & dw1251-40	7.3	4.5	3	16
dw1243-42b & dw1243-42	2.7	16.6	2	2