The Dawes Review 14: A Decade of Ultra-Diffuse Galaxies
(Gannon, Jonah S. ; Ferré-Mateu, Anna ; Forbes, Duncan A, arXiv:2602.21875 )

GAゼミ 2026/03/30 法政大学大学院 M1吉成隆也

[abstract] coma clusterにおいてUDGが最初に発見されてから10年が経過し、これまで考えられていた以上に銀河の中で大きな割合を占めている可能性が明らかとなった。このことは一つの未解決の問いを残しており。UDGは特別な存在なのか、それとも従来知られている矮小銀河集団の延長に過ぎないのか、という点である。またUDGの不可解な点として、すべてのUDGが標準的な恒星質量–ハロー質量関係に従うわけではないことを示す観測的証拠や、非常に高いα元素増強を示すUDGの存在、さらに同程度の恒星質量を持つ他の矮小銀河と比較して、はるかに多くの球状星団を有するUDGが存在することなどが挙げられる。本レビューでは、UDGの発見以降の10年間にわたる研究成果を総括することを目的とする

[originality] 10年間で数百本に及ぶ論文の包括的なレビュー

[goal]10年の研究成果を振り返った上で、今後の課題の提示

[contents]

UDGの定義：Re > 1.5kpc、$\mu_{g,0} \geq 24\,\mathrm{mag}/arcsec^2$(van Dokkum et al. 2015a)
図3：UDGの数とハロー質量$M_{200}$の傾きはほぼ1で宇宙全体にUDGの存在を示唆(Carleton et al.(2023))。
また、Jones et al. 2018によると、UDGは$M^* \geq 10^7 M_\odot$において全体で約5% 、MW類似銀河の周囲の衛星銀河のうち7±2%占めている。

「形成シナリオ」：この10年間で提案された形成シナリオは以下3種類。
**Internal Formation**：高スピンハロー 、超新星フィードバック、High Gas Spin
**External Formation**：潮汐加熱／膨張 、潮汐ストリッピング 、銀河合体 、ラム圧ストリッピング
**Born as a UDG**：潮汐剥ぎ取り(恒星・ガス)、Bullet Dwarf、Failed Galaxies

「暗黒物質量」：Sifón et al.(2018)の弱重力レンズ効果によると、$log(M_{200}/M_\odot) \leq 11.8$でこれは**典型的なL*銀河~12よりも低い。**
図5：UDGの速度分散を、恒星本体あるいはGC系から測定された値として示し、恒星質量との関係を比較。
図6：UDGと非UDGにおける、stellar mass - halo massの関係図。$M_{dyn} \propto R_e\sigma^2$の式より、UDGは$M_{dyn}$を過剰評価しているが、非UDGとの差を埋めるまでの説明としては不十分→**ほとんどのUDGは暗黒物質を多く含んでいる。**
図8：UDGのMZR図。低質量および高質量銀河のMZRと、赤方偏移 $z$~2 銀河のMZRを示しており、 UDGは恒星質量の観点でdEとdSphの間を埋めるように分布している。→ この結果は矮小銀河系列 (puffed-up dwarf )であることを支持。一方で**低金属量のUDGは豊富なGCと高い[Mg/Fe]**を示す。

「シミュレーション」図10：観測結果とNIHAO及びIllustris-TNG シミュレーションの整合性。UDGは様々な形成経路を辿るが、全体としてはpuffed-up dwarf を支持。NIHAOシミュレーションでは、超新星による繰り返しのエネルギー注入が恒星分布を膨張させ、バースト的なSFH、低金属量、大きなサイズを持つUDGを形成。しかし、**観測UDGよりも遅くクエンチングした。**TNGは生まれつき拡散しているUDG(born UDG)と調整によって拡張されたUDG(tidal UDG)で検証され、低密度環境(前者)ではより長く星形成が継続し、銀河団に属するUDG(後者)は小さく、赤く、金属量が低い傾向を示した。この結果は、**環境によってSFHが変調することを示し、UDGは単一起源ではないことを示している。**

「GC数」図15：Forbes et al.(2020)のデータを用いた解析によると、**coma cluster内のUDGはGC数**が多い。一方で、フィールドやグループ環境では、**UDGは一般に少数のGCしか持たない。**環境密度が高いほどGCは豊富になる傾向がある。
図18：GC number - halo massの関係図。UDGはこの関係性に従い、GCが豊富なUDGはstellar mass - halo massの関係に系統的なズレが生じる。
Forbes & Gannon(2024)によると、GCが豊富なUDGは、 stellar mass - halo massに従う場合に予想されるよりも、より大きなハロー質量および／またはより少ない恒星を持つ。このような銀河は、ハロー質量に対して期待されるほど多くの恒星を形成できなかった銀河「**failed galaxies**」である。
図20：この時点で、UDGは2パターンに分けることができる。
Class A：低質量、低表面輝度、細長い形状、コンパクトなサイズ、非常に貧弱なGC系を持つ。これらは、より若い恒星集団、より低い質量–光度比、より長い星形成履歴を持ち、金属量は古典的矮小銀河のMZRに従う。Class Aがpuffed-up dwarfの形成経路に対応することを示唆している。
Class B：高い表面輝度、より丸い形状、大きなサイズ、豊富なGC系を持ち、高いGC–恒星質量比を示す。これらは一般により赤く、より古い恒星集団、高い質量–光度比、早期にクエンチングされたSFH、古典的矮小銀河のMZRより低い金属量を持つ。このような銀河は「failed galaxy」である。

「今後の課題」： **UDGを取り巻く環境との関係 、空間分解された内部特性、GCに富むUDGの形成理論 、より極端な銀河の同定**

[コメント]UDGの大半はpuffed-up dwarfであるならば、NIHAOシミュレーションに他の因子を加えればより良い結果を得られるのではないか？

Fig.3

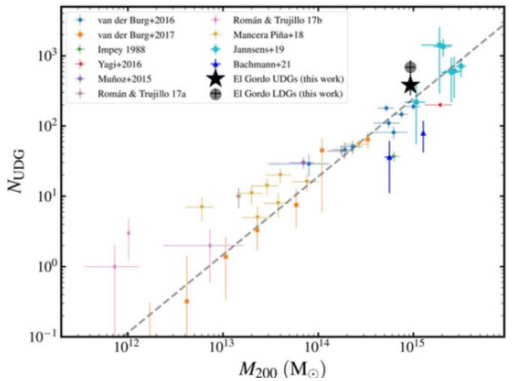



Fig.5

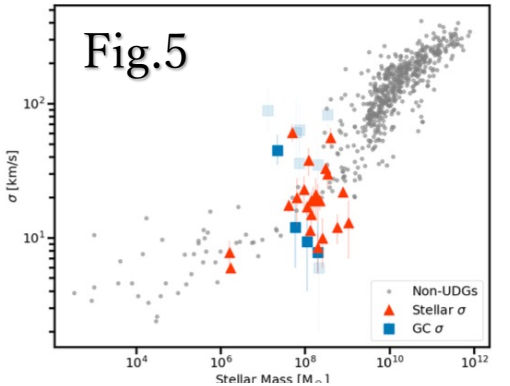



Fig.6

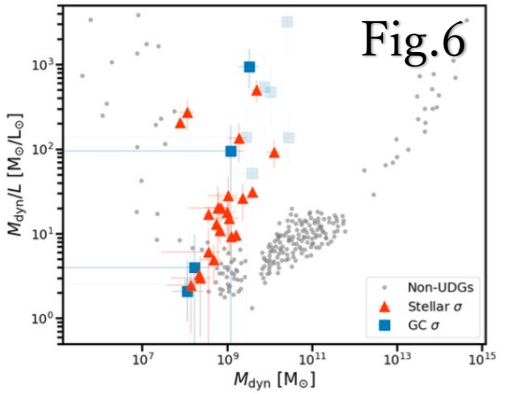


Fig.8

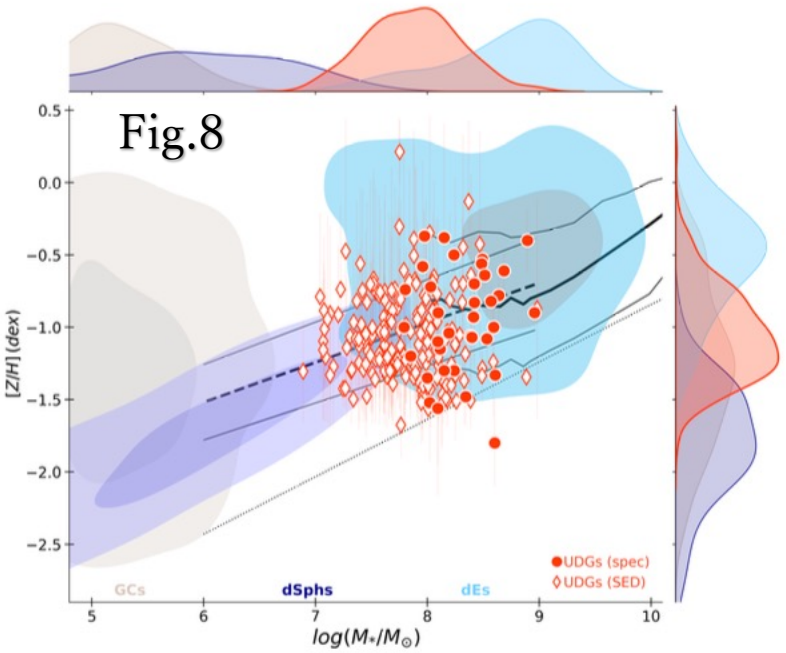



Fig.10

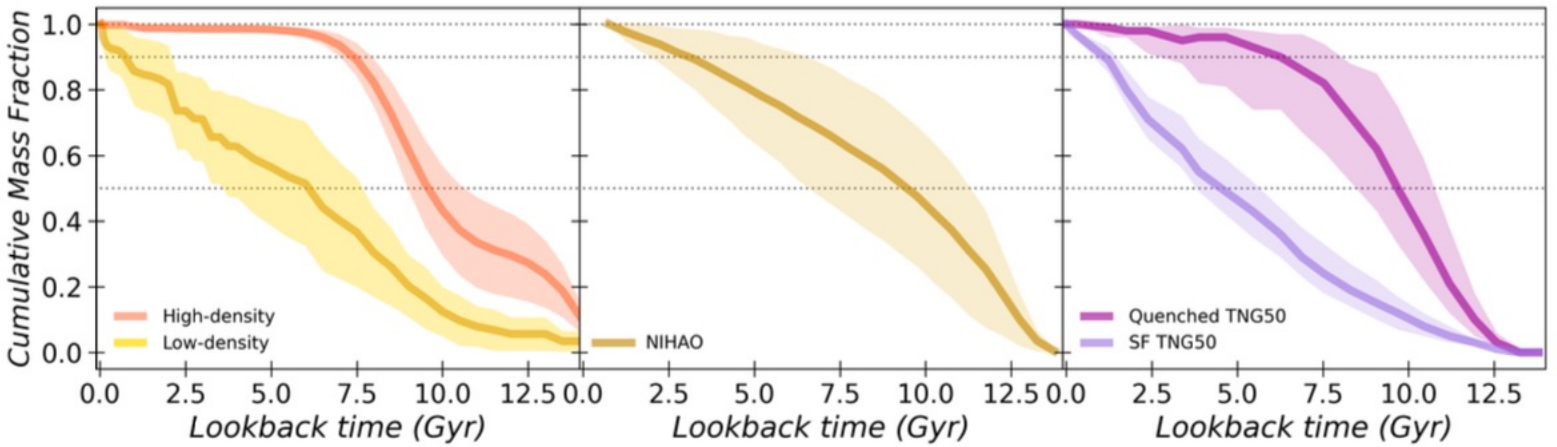



Fig.15

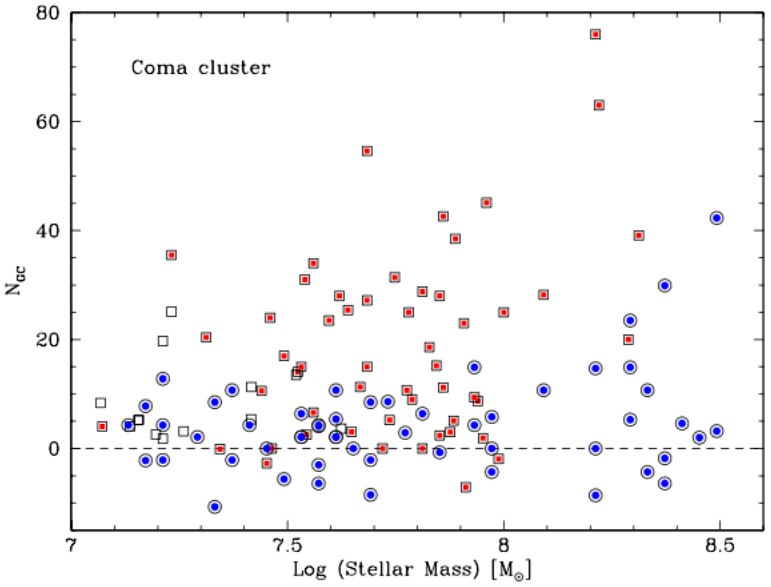



Fig.18

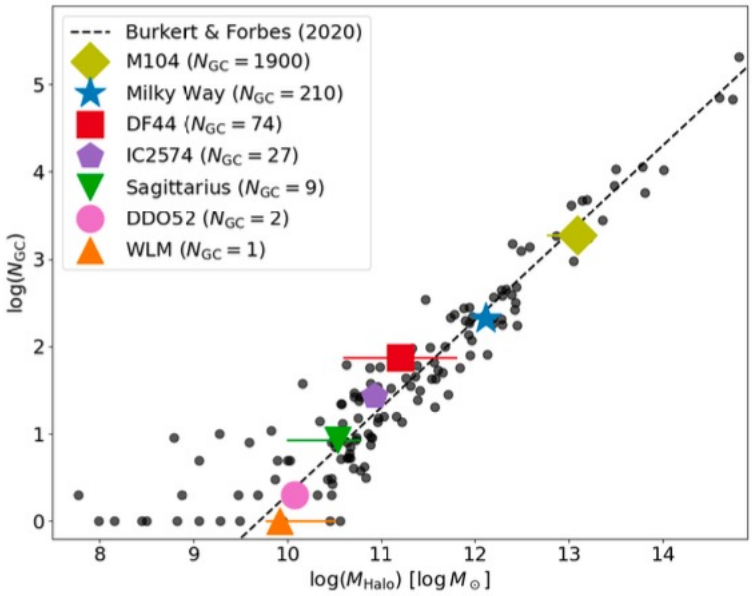



Fig.20

