The dark matter content of Milky Way dwarf spheroidal galaxies: Draco, Sextans and Ursa Minor

H. Yang et al. (2025) : arXiv : https://arxiv.org/abs/2507.02284

GAゼミ 2025.07.15 鈴木善久

アブスト

銀河スケール以下において、冷たい暗黒物質モデルからの予言と観測事実にはいくつか食い違いがあることが指摘されている。その1つとしてcore-cusp 問題が知られている。これは矮小楕円体銀河 (dSph) 内の暗黒物質密度プロファイルの冪が中心で発散 (cusp) することが予言される一方で、観測では一定 (core) となっている系が発見されているという問題である。本論文では明るい dSph である Draco, Sextans, Ursa Minor について、広視野多天体分光器 DESI で得られた視線速度および金属量を用いて、暗黒物質の密度プロファイルを改めて導出した。その結果、中心での暗黒物質の密度プロファイルの冪がDracoでは$0.71^{+0.34}_{-0.35}$, Sextansでは$0.26^{+0.22}_{-0.12}$, Ursa Minorでは$0.33^{+0.20}_{-0.16}$となった。また、metal-richな成分は中心集中していて、力学的にも冷たいことが分かった。dSph を用いて暗黒物質の性質を制限する上では、まだ手法や観測データの不定性の方が大きいことが示唆された。

ゴール 小スケールで暗黒物質 (DM) の性質を制限すること　**オリジナリティ** 従来より視線速度や金属量情報を増やして化学動力学解析をしたこと

ロジック

サーベイ

- 多天体分光器: Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI; 5000 fibers)
  Mayall 4m telescope @ キットピーク国立天文台

観測データ

- 視線速度および金属量: DESI Year-3 data + カタログ (Walker+2023)
- member 星の定義 : Pace+2022でmember 確率が9割以上となった星
  ※ 天球面上の位置 + parallax + 固有運動 (Gaia) で選択

→ member 星の総数: Draco (407個), Sextans (440個), Umi (1046個)

※ ここで連星の可能性が高い天体は除去していないことに注意

化学動力学モデルを用いた解析

- 1成分 / 2成分の化学動力学モデルを構築 (正規分布型の尤度を仮定)
  1成分：軸対称多成分ガウシアンモデル (JAM) (6 free parameters)
  → ρ_s, r_s, γ (DM profile), i (inclination), β (速度非等方性), κ (回転)
  2成分：化学組成 ([Fe/H]) + JAM モデル (14 free parameters)
  → ρ_s, r_s, γ (DM profile), i (inclination), β×2 (速度非等方性), κ×2 (回転)
  Z_0×2 (金属量の平均), σ_Z×2 (金属量の分散), h×2 (数密度分布の重み)

※ここでDM profile の外側のスロープは4で固定している

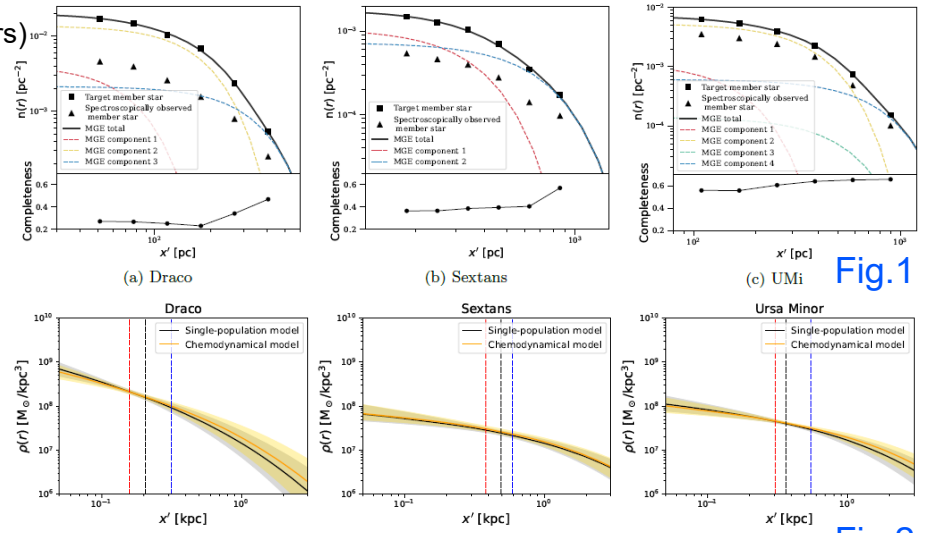


Fig.1

Fig.2

結果と考察

Fig.1 : 長軸方向の表面数密度プロファイル : 分光天体 (▲) と対象天体 (■)
各矮小銀河中心でcompletenessが低い → fiber assignment の問題

Fig.2 : best-fit model での暗黒物質密度プロファイル
1・2成分モデルで結果は不変 → [Fe/H] の半数半径 ~ 全体の半数半径

Fig.3 : metal-rich (赤) および metal-poor (青) 成分の化学動力学分布
metal-rich 成分が中心集中 → 比較的最近星形成が起きた可能性

Fig.4 (裏面) : 暗黒物質の密度 (@150 pc) と stellar-to-halo 質量比の関係
類似の質量比を持っていても暗黒物質密度には多様性が見られる

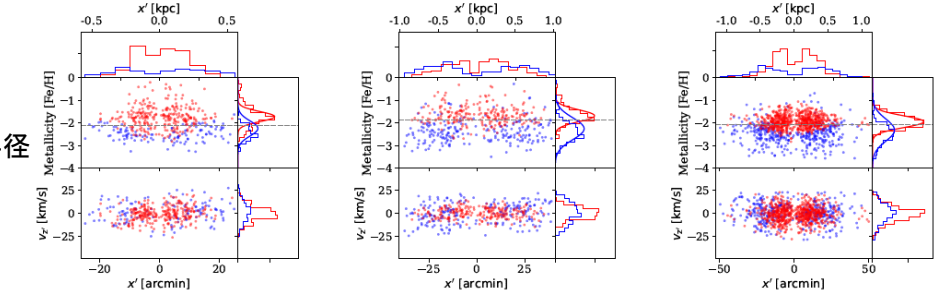


Fig.3

◎ 依然として観測・手法の不定性によりcore-cusp 問題に決着がつけられていない

コメント 連星の影響は明るい dSph では小さいとしているが本当に問題ないのか。観測の不完全性が結果に大きく影響するように思える。

(参考)

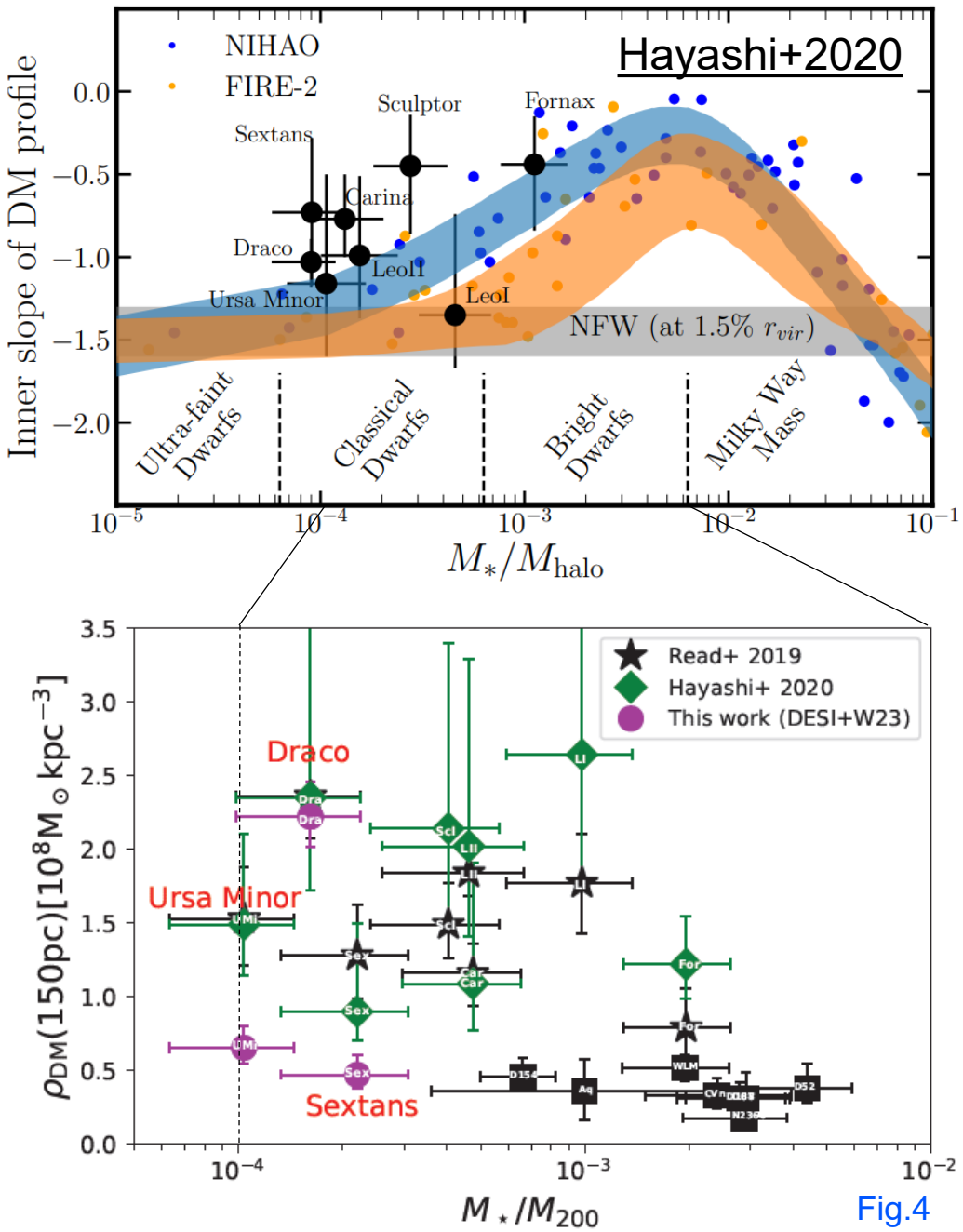

Hayashi+2020
NIHAO
FIRE-2
Sculptor
Fornax
Sextans
Carina
Draco
LeoII
Ursa Minor
LeoI
NFW (at 1.5% r_{vir})
Ultra-faint Dwarfs
Classical Dwarfs
Bright Dwarfs
Milky Way Mass
Inner slope of DM profile
$M_*/M_{\rm halo}$
Read+ 2019
Hayashi+ 2020
This work (DESI+W23)
Draco
Ursa Minor
Sextans
$\rho_{\rm DM}(150{\rm pc})[10^8 M_\odot\,{\rm kpc}^{-3}]$
$M_\star/M_{200}$

Fig.4