“Fuzzy dark matter fails to explain the dark matter cores”, Benito et al. 2025 (arXiv:2502.12030)

GAゼミ@20250520 林航平

【アブスト】

Ultra faint dwarf galaxies (UFDs)はバリオンフィードバックによるダークマター密度分布への影響が小さいため、ダークマターモデルの性質を反映した密度分布を保持していると考えられている。この研究では、FDMモデルから示唆されるFDM halo core radius - stellar mass relationと27個のUFDから示唆されるこのrelationを比較したところ、全く逆の相関を持つことが明らかになり、その相違は6.1sigmaになった。またこの解析から得られるFDM massは$m_a = 3.2^{+0.8}_{-0.6} \times 10^{-21}\,\mathrm{eV}$となり、既存のLyman-alpha forestからの制限とconflictすることがわかった。

【ゴール】

ダークマターモデルへの制限

【オリジナリティ】

$r_c - M_*$ relationという観点からFDM理論への制限を行った。

【ロジック】

- **FDM haloのコア半径 r_c と星分布のコア半径（半光度半径） r_c^* が一致すると仮定。**
- Stellar mass - DM halo mass relation ($M_* - M_v$) をsimulated dwarfsから示唆（図１）
- 更にChan et al. (2022、図３)のcore Mass - DM halo mass relation ($M_{\rm core} - M_v$)と core radius - core mass relation ($r_c - M_c$)を組み合わせることでFDM massをパラメータとして、M_*からr_cを求める。
- r_cの確率分布から各UFDsでコア半径をよく再現するFDM massを推定：

$$p_{\rm FDM}(r_c|M_*;m_a) = \int dM_v dM_c\, \delta(r_c - r_c(M_c)) p(M_c|M_v;m_a) p(M_v|M_*)$$

log-normal dist.

- “Phenomenological model”として、UFDsから得られる$r_c - M_*$ relationとも比較する。

$$p_{\rm ph}(r_c|M_*;\alpha,\beta,\sigma) \propto r_c^{-1} \exp\left[-\frac{(\log_{10}(r_c/\bar{r}_c))^2}{2\sigma^2}\right] \quad \log_{10}(\bar{r}_c) = \alpha + \beta \log_{10}(M_*/10^4\,M_\odot)$$

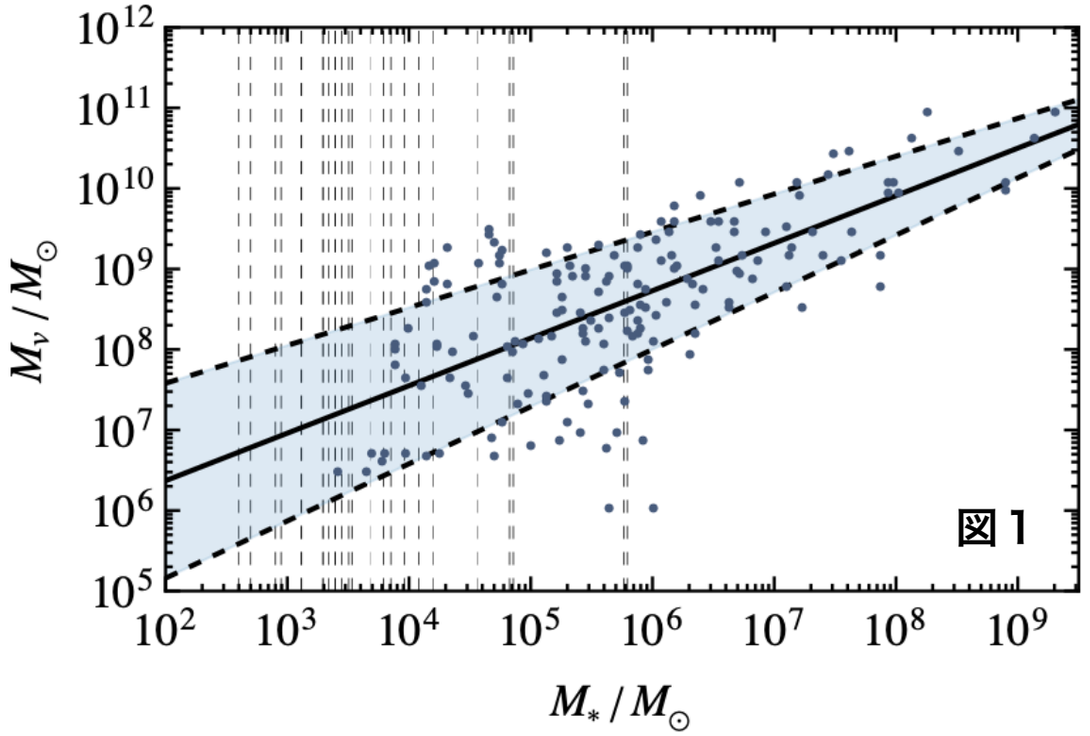


図１

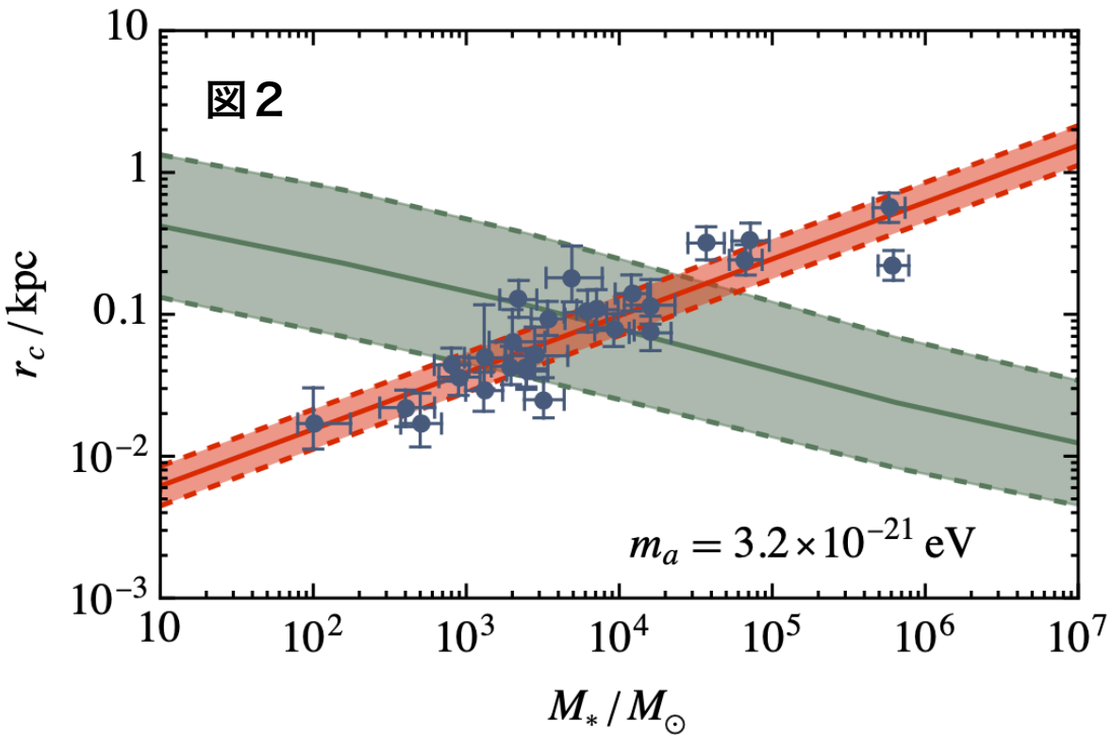


図２

○ 結果

・図４：（左）各UFDsの星質量から推定されるFDM massの推定値。実線と破線は全UFDsを用いた場合の中央値と1sigma、$m_a = 3.2^{+0.8}_{-0.6} \times 10^{-21}\,\mathrm{eV}$。（右）他の研究から得られたFDM massの制限(exclude region)。今回の結果は特にLyman-a forestとの結果と不一致。

・図２： FDM core radius - stellar mass relation。緑色がFDM modelから得られる結果。オレンジ色がUFDsの”stellar” core radius - stellar mass relation (phenomenological model)。相関関係が真逆であることがわかる。２つの尤度比を計算すると$\Delta\chi^2 = 42.2$となり、これは6.1sigmaに相当する。つまり、FDMが作るコアはUFDの観測を再現できない。

【コメント＆感想】

- シンプルな解析でアイデアは面白い。
- FDM haloのコア半径と星分布のコア半径が同じと仮定して良いのか？
- Repulsive self-interactionを考慮するとどうなる？
- FDM + baryon simulation が進むと、より詳細な解析ができそう。

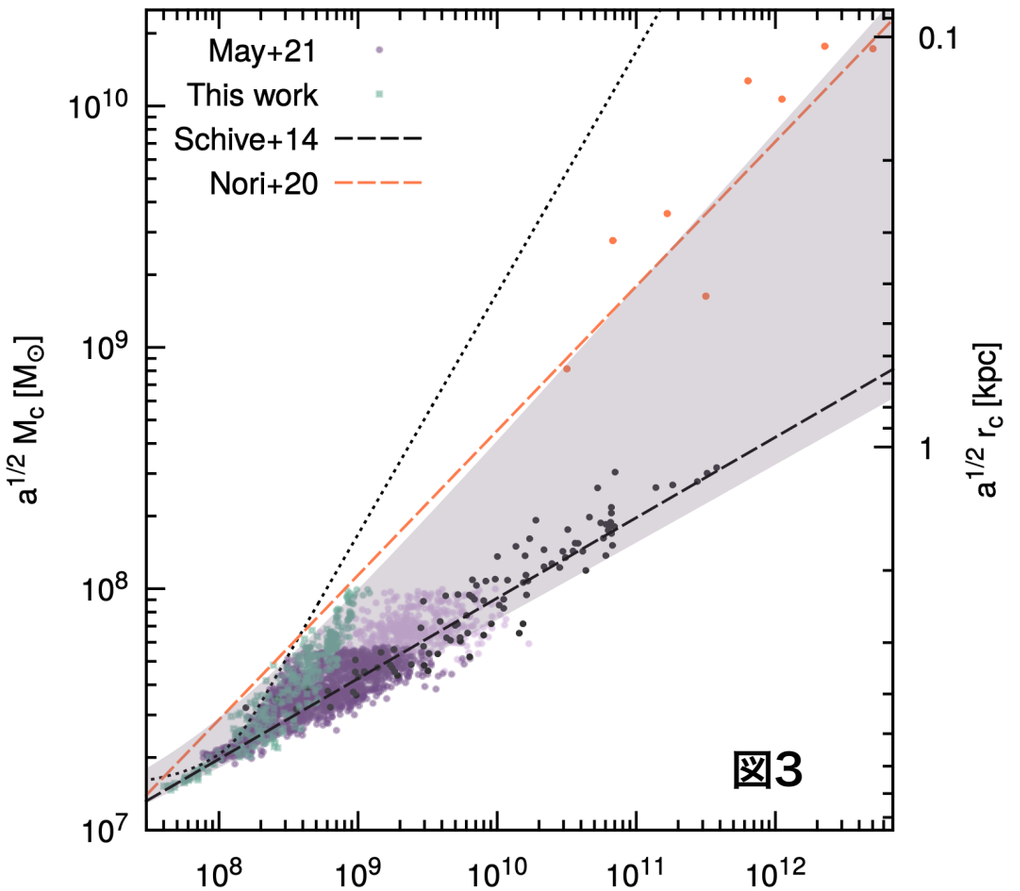


図4：

(左) エラーバー付の黒点は各UFDsの星質量から推定されるFDM massの推定値。オレンジの点はHayashi et al. (2021)の結果。黒の横実線・破線は27UFDsを組み合わせた場合のbest-fit値と1sigma uncertainty。

(右) 他の観測から得られるFDM massへの制限 (exclude region)。

