A Third Galaxy Missing Dark Matter along a Trail of Galaxies in the NGC1052 Field
(van Dokkum et al.； arXiv:2603.15860 , June 2026)

GAゼミ 2026/07/07 法政大学大学院 M2吉成隆也

[abstract] NGC 1052領域にある低光度銀河のtrailに属するDF2とDF4は、ダークマターを欠いているように見える。この列に属する他の銀河も同様に形成されたのであれば、衝突によってダークマターから分離されたガスから形成された、「ダークマター欠乏銀河」の可能性がある。本研究では、この列の中で DF2及びDF4に最もよく似ている銀河DF9の質量を制限する。Keck/KCWIより、恒星速度分散は $6.5^{+3.9}_{-4.3}$ km s^{-1}であり、この値は、DF9の恒星質量$1.4\times10^8\ M_\odot$のみから予想される速度分散$8.3^{+0.9}_{-1.4}$ km s^{-1}と一致した。これは、DF2やDF4と同様に、DF9のkinematicsを説明するためにダークマターは必要ないと結論づける。なぜなら、DF9 がstellar mass–halo mass relationに従い、$1.4\times10^{10}\ M_\odot$のダークマターハローを持っていた場合に予想される$24\pm3$ km s^{-1}を大きく下回っている。これは、特異な銀河形成チャネルによって共に形成されたことを示す証拠であり、DF2及びDF4と同様にダークマターを欠いている「 bullet dwarf シナリオ」とも整合的である。

[originality] Keck/KCWIを用いた低光度銀河の吸収線観測

[goal] DF9がtrailの一部なのかを確定させる

[contents]

[Data] KCWI 観測で2 夜で総積分時間は 10.83 時間 。中心波長 8600 Å、2×2ビニングの RH3 グレーティングを用いた中解像度image slicerを使用。

[analysis] 図2：取得されたスペクトルをsynthetic stellar population spectra (C. Conroy et al. 2009)とMIST isochrones(Choi et al. 2016)でcalcium triplet をfit。

・MCMCを用いて、速度分散と赤方偏移を見積もったところ、z = 0.00554、$v_{DF9} = 1661\pm2$ km s^{-1} 、$\sigma_{\rm fit} = 8.7^{+3.4}_{-3.7}$ km s^{-1}であった。

→ v_{DF9} の誤差は、MCMC 事後分布、各フィット間のばらつき、sky lineの位置ずれを考慮。

→ しかし、恒星の自転やマクロ乱流、連星系における影響が考慮されていない。

・恒星の自転とマクロ乱流によって吸収線幅 $\sigma_{\rm broadening} = 5.4\pm2$ km s^{-1} (DF4の解析より(Z. Shen et al. (2023)))

・連星系の影響(time-varying confusion noise)による吸収線幅 $\sigma_{\rm binaries} \approx \alpha_{\rm UMi}\times\sigma_b = 1.75^{+0.46}_{-0.57}$ km s^{-1} ($\sigma_b = 2.87$ km s^{-1} , $\alpha_{\rm UMi} = 0.61^{+0.16}_{-0.20}$)

→この値を考慮して真の速度分散は$\sigma = \sqrt{\sigma_{\rm fit}^2 - \sigma_{\rm broadening}^2 - \sigma_{\rm binaries}^2} = 6.5^{+3.9}_{-4.3}$ km s^{-1}

Fig.3

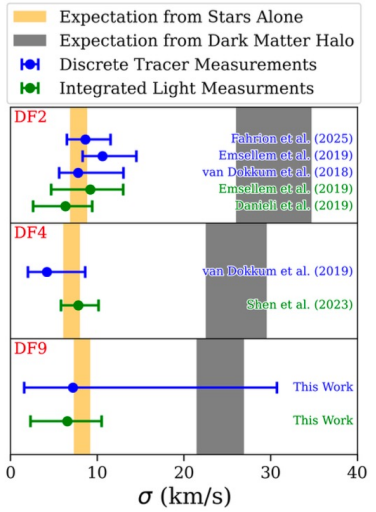


Fig.4

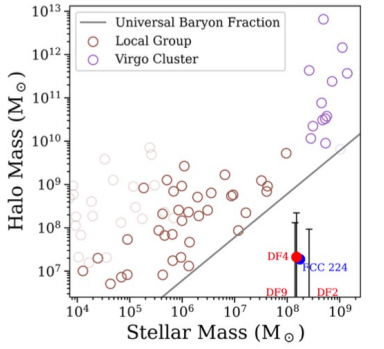


図3：今回の分光観測から測定した速度分散(緑)と、球状星団および惑星状星雲から測定した速度分散(青)、ダークマターハローから予想される速度分散(黒)及び恒星のみから予想される速度分散(オレンジ)と比較した図。

・質量推定： $M_e = 3\sigma^2 r_{e,3D}/G$ を用いると有効半径内の力学質量は$M_e = 0.42^{+0.68}_{-0.37}\times10^8 M_\odot$ 。DF9の$m_g = 17.17$と、$M_*/L_g = 2.2$での gバンドの恒星質量光度比(J. S. Gannon et al. 2023)に基づくと、$M_{e,*} = 0.71\pm0.16\times10^8 M_\odot$ 。

・ 「標準的な」ダークマターハローを持つなら？： Navarro–Frenk–White(NFW) ハロー (Navarro et al. 1997)を仮定すると、 DF9は $M_h = 1.4\pm0.7\times10^{10}\ M_\odot$ 、この場合、$\sigma_v = 24\pm3$ km s^{-1}。つまり、標準的なダークマターハローを仮定した場合の DF9 の期待速度分散は、観測された速度分散と一致しない。

・星団の速度： v_1 =1649±2 km s^{-1} , $v_2 = 1645^{+6}_{-5}$ km s^{-1} → 尤度を作成して、どれくらいの確率かを調べる。

$$L(\sigma) = \prod_i \frac{exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{v_i - \mu}{\sqrt{\sigma^2 + \delta v_i^2 + \delta\mu^2}}\right)^2\right]}{\sqrt{2\pi(\sigma^2 + \delta v_i^2 + \delta\mu^2)}}, P(\sigma|D) \propto \frac{L(\sigma)}{\sigma}, \sigma = 7^{+23}_{-6}\ \text{km s}^{-1}$$

両方の星団とほぼ同じ速度＝KCWI で測定された低い速度分散と整合的

Fig. 2

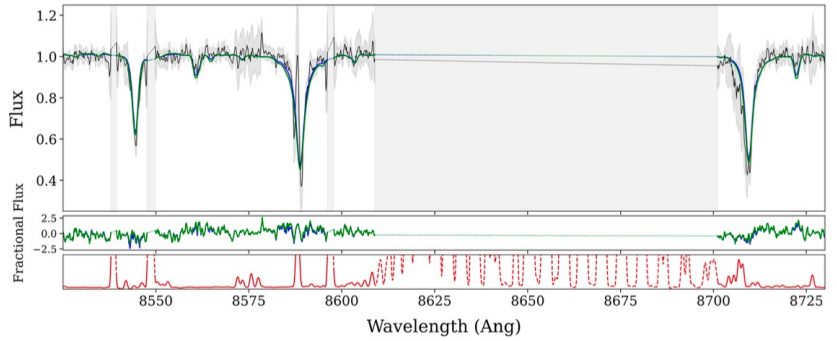


図４： r_eにおけるハロー質量 、導出にはNFW ポテンシャルを仮定。

[コメント]

・ DF2・DF4・DF9 が本当に同一の形成イベントで生まれたのであれば、3銀河の星形成史に共通の形成時期が見られる？

・そもそも、bullet dwarfで分離・加熱されたガスがJeans条件を満たして、ガスのみの自己重力で銀河を作れるのか？