Chemo-dynamics of the stellar component of the Sculptor dwarf galaxy I: observed properties

Polonio, Battaglia, Thomas, Pascale, Tolstoy, and Nipoti（2024）arXiv： https://arxiv.org/pdf/2411.07283

GAゼミ@2024/12/12 佐藤恭輔

【アブスト】

Sculptor dSphではmultiple stellar populationとsystematicなrotationの兆候が発見されている。本論文ではVLT/FLAMES (GIRAFEE)で観測したR=6500, 波長域(820.6~940nm)の分光データ(Tolstoy+2023)から、1339個の星について正確な金属量と視線速度を求めた。それらの情報からSculptorで見つかっていたnegativeな金属量勾配がmultiple stellar population由来なのか、真に単一種族が作る金属量勾配なのか検証を行った。その結果、金属量が異なり([Fe/H] $= -1.44; \mathrm{MR}, -2.02; \mathrm{MP}$)、速度分散が異なり($\sigma_v = 6.4, 11.1$ km/s)、空間分布が異なる($R_h = 0.129, 0.27$ deg)二つの種族で構成されていることがわかった。さらに、外側に視線速度が異なるさらに金属量が低い(([Fe/H] $= -2.9$;Third-pop)種族を発見した。Rotationに関しては統計的に優位ではなかった。

【ゴール】：Sculptor dSphのmultiple stellar populationの検証

【オリジナリティ】：Sculptorの外縁部にUFDが降着した痕跡を発見した。

【方法】

Selection function： Gaia G-bandとsemi-major axis Rの情報を使ってselection-functionを計算。Eq.2はselection functionを表していて、分光観測したデータ点とガイアでmemberとして特定されたデータ点の関係になる。Kはスムージングパラメータ。

Model：R, 金属量, 視線速度をパラメータとした。

1-popに対しては金属量の確率密度関数の代わりにM=M_0+mR (M_0がmean、mがgradientの傾き)という金属量勾配を再現するようなモデルを採用した。

$$\omega(R,G) = \frac{\sum_i^{N_{obs}} \exp - \left[\frac{\left(R_i^{obs}-R\right)^2}{k_R^2} + \frac{\left(G_i^{obs}-G\right)^2}{k_G^2} \right]}{\sum_j^{N_{mem}} \exp - \left[\frac{\left(R_j^{mem}-R\right)^2}{k_R^2} + \frac{\left(G_j^{mem}-G\right)^2}{k_G^2} \right]}, \quad (2)$$

$$\log(\mathcal{L}) = \sum_{i=1}^{N_{obs}} \log\left(\sum_{p=1}^{N_{pop}} \frac{f_p\, \omega(R_i,G_i)\, \mathcal{L}^p(\zeta_i)}{\int\int\int\int \omega(R,G)\, \mathcal{L}^p(\zeta)\, d^3\zeta dG} \right). \quad (5)$$

$$\mathcal{L}^p(\zeta_i) = P_r^p(R_i)\, P_{\mathcal{M}}^p([Fe/H]_i, R_i)\, P_{\mathcal{V}}^p(v_{los,i}), \quad (6)$$

【結果とディスカッション】

Fig.3：Model fittingの結果。3 populationがΔBIC最小。それぞれのパラメータはtable2の通り。

1-pop時に求めた金属量勾配とsystematicな速度はTolstoy+2023の結果と一致した。

2-popの時に推定したそれぞれの種族の速度分散は過去の論文値と一致し、今回求めたものが最も誤差が小さい。

Fig. 6 Voronoi図を使って描いた速度分散マップ。中心から10~20arcminの領域に速度分散が低い星が集まったリング構造が見える。

Rotationの有無を検証するため、radial velocity gradient model($v_{los} = v_{sys} + nR_i \cos(\theta_i - \theta); v_{sys}, \sigma_{los}, n, \theta$)とdispersion only model (v_{sys}, σ_{los})での比較(Taibi+2018)を行った(Table4)。検証の結果、Zhu+2016と異なりrotationを棄却することになった。

One-population	m [dex / deg]	$\mathcal{M}_0$	$\sigma_{\mathcal{M}}$	$\mathcal{V}$ [km s^{-1}]	$\sigma_{\mathcal{V}}$ [km s^{-1}]	$R_h[deg]$	ΔBIC
All	$0.69^{+0.06}_{-0.06}$	$-1.64^{+0.02}_{-0.02}$	$0.400^{+0.009}_{-0.008}$	$111.2^{+0.3}_{-0.3}$	$9.7^{+0.2}_{-0.2}$	$0.207^{+0.005}_{-0.005}$	0
Two-populations	f	$\mathcal{M}$	$\sigma_{\mathcal{M}}$	$\mathcal{V}$ [km s^{-1}]	$\sigma_{\mathcal{V}}$ [km s^{-1}]	$R_h[deg]$	ΔBIC
MR	$0.34^{+0.04}_{-0.04}$	$-1.44^{+0.03}_{-0.03}$	$0.27^{+0.02}_{-0.02}$	$111.0^{+0.4}_{-0.4}$	$6.4^{+0.3}_{-0.3}$	$0.129^{+0.008}_{-0.008}$	−40
MP	$0.66^{+0.04}_{-0.04}$	$-2.02^{+0.02}_{-0.02}$	$0.34^{+0.01}_{-0.01}$	$111.3^{+0.4}_{-0.4}$	$11.1^{+0.3}_{-0.3}$	$0.27^{+0.01}_{-0.01}$	
Three-populations	f	$\mathcal{M}$	$\sigma_{\mathcal{M}}$	$\mathcal{V}$ [km s^{-1}]	$\sigma_{\mathcal{V}}$ [km s^{-1}]	$R_h[deg]$	ΔBIC
MR	$0.32^{+0.03}_{-0.03}$	$-1.41^{+0.03}_{-0.03}$	$0.25^{+0.02}_{-0.02}$	$111.1^{+0.4}_{-0.4}$	$6.5^{+0.3}_{-0.3}$	$0.126^{+0.008}_{-0.007}$	
MP	$0.66^{+0.03}_{-0.03}$	$-2.00^{+0.02}_{-0.02}$	$0.30^{+0.01}_{-0.01}$	$110.9^{+0.4}_{-0.4}$	$10.8^{+0.3}_{-0.3}$	$0.26^{+0.01}_{-0.01}$	−69
Pop 3	$0.017^{+0.007}_{-0.005}$	$-2.9^{+0.3}_{-0.2}$	$0.5^{+0.1}_{-0.1}$	$125.5^{+2.4}_{-2.6}$	$7.7^{+2.3}_{-1.7}$	$1.32^{+0.9}_{-0.5}$	

Tab.2

Discussion

Third-popのオリジンは何か。オリジンはdisk or halo星からのコンタミ、恒星ストリームからのコンタミ、潮汐力の影響、最近起こったminor mergerの４つ検討できる。Gaia astrometryから決めたlikelihood (Battaglia+2022, Jensen+2024)を考慮すると、メンバーである可能性が高い。ただし、Sculptorの側に２つストリームが見つかっている。Cetus-Palca streamは$v_{los} = 40$ km s^{-1}で、固有運動の方角は合っているがstreamの方が大きい。

Fig.7に示した通りThird-popの[Mg.Fe], [Sr/Fe], [Ba/Fe]の組成がUFDsの物と近いのでMerger説を捨て切れないのでは？と主張。4MOSTでフォローアップしたいらしい。

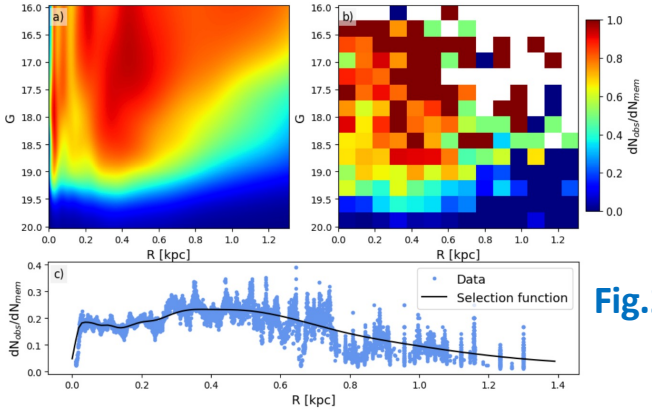


Fig.2

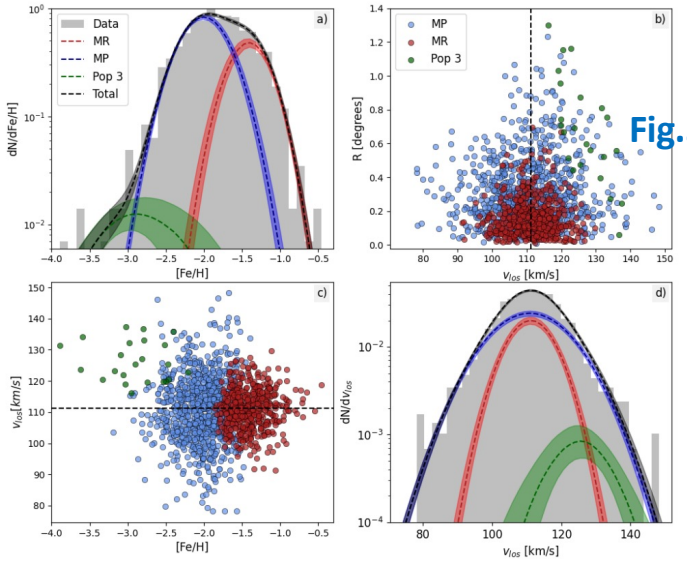


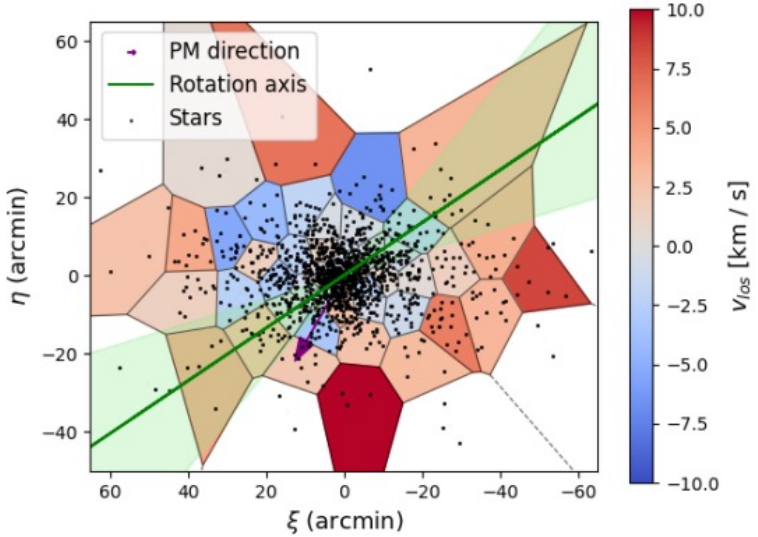
Fig.3

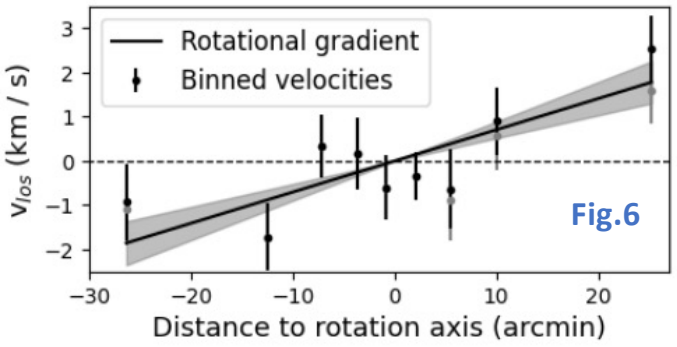
【コメント】単一UFDの降着を仮定している割に金属量の幅が広いのが違和感。低金属量側のTailを拾っているだけではないか。ただし、視線速度にオフセットがあるのは気になる。フィッティングの際にどの(金属量、視線速度)パラメータに感度が強いか気になる。

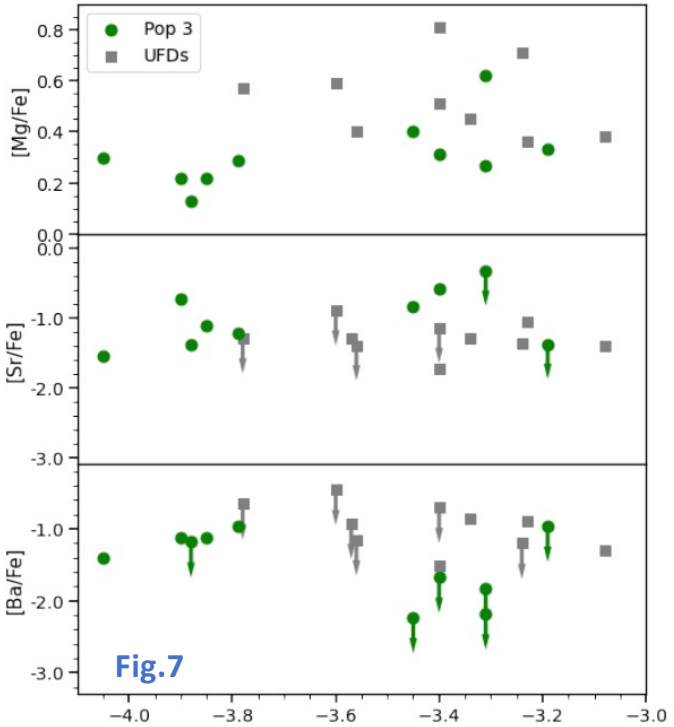
$$P_r(R_i) = \frac{2R_i/R_h^2}{\left(1+R_i^2/R_h^2\right)^2}, \tag{7}$$

$$P_{\mathcal{M}}([Fe/H]_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\left(\sigma_{\mathcal{M}}^2 + e_{i,\mathcal{M}}^2\right)}} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{([Fe/H]_i - \mathcal{M})^2}{\sigma_{\mathcal{M}}^2 + e_{i,\mathcal{M}}^2}\right), \tag{8}$$

$$P_{\mathcal{V}}(v_{los,i}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\left(\sigma_{\mathcal{V}}^2 + e_{i,\mathcal{V}}^2\right)}} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{(\mathcal{V} - v_{los,i})^2}{\sigma_{\mathcal{V}}^2 + e_{i,\mathcal{V}}^2}\right), \tag{9}$$







B12<-1 or B12>1で
モデルが確からしい

All data

Model	v_{sys} [km/s]	σ_{los} [km/s]	n [km/s/∘]	θ [∘]	B_{12}
Disp. (2)	$111.2^{+0.2}_{-0.2}$	$9.8^{+0.2}_{-0.2}$	-	-	0.6
Radial (1)	$111.2^{+0.2}_{-0.2}$	$9.8^{+0.2}_{-0.2}$	$-4.0^{+1.5}_{-1.5}$	34^{+17}_{-17}	

Exclude third-pop

Model	v_{los} [km/s]	σ_{los} [km/s]	n [km/s/∘]	θ [∘]	B_{12}
Disp. (2)	$111.0^{+0.3}_{-0.3}$	$9.6^{+0.2}_{-0.2}$	-	-	−0.9
Radial (1)	$111.0^{+0.3}_{-0.3}$	$9.6^{+0.2}_{-0.2}$	$-4.4^{+1.7}_{-1.7}$	32^{+18}_{-18}	

Tab. 4