The Escape of Globular Clusters from the Satellite Dwarf Galaxies of the Milky Way

Ali Rostami Shirazi et al. (2022) arXiv：https://arxiv.org/abs/2204.08481

GAゼミ@20221027佐藤恭輔

【アブスト】

MWのdSphからMWに降着するGCの割合(f_{ecs})と降着時間をルンゲ=クッタ法を使った数値シミュレーションで求めた。数値シミュレーションは3つの状況を仮定して行った。1つ目のモデルは、dSphの密度プロファイルをHernquistとして、質量を$10^7 M_\odot$~$7\times10^9 M_\odot$の間で仮定し、apogalactic distanceと軌道のeccentricityをパラメータとしてMWの銀河面上を運動させたもの。2つ目のモデルは、GaiaDR2からmost massiveなMW dSph13個の初期条件を計算し、realisticなdSphの軌道を仮定して数値計算したもの。この場合、f_{ecs}は12%-93%でSgrが最大だった。また、平均降着時間は13GyrでdSphの年齢と比べると降着がすでに終わっていることを示した。ここまでの結果で、f_{ecs}と質量、apogalactic distanceの間には負の相関があり、軌道のeccentricityとの間には正の相関があることが分かった。さらに3つ目のモデルはFornaxの密度プロファイルをCole et al.2012の4つのダークハローモデルで仮定し数値計算を実行したもの。結果として13%-38%のf_{ecs}が得られた。

【ゴール】

dSphの軌道パラメータや密度プロファイルがf_{ecs}にどのように影響するか突き止める

【オリジナリティ】

Fornaxの4つのDMハローモデルでの降着率のシミュレーション

【ロジック】

数値計算時の各条件

- **MWポテンシャル**：バルジと円盤とハローのポテンシャルの和。ただし時間変化を考慮しない。
- **dSph中のGC分布**：dSphの密度ポテンシャルに従う。
- **GCの初期速度**：3次元のマクスウェルボルツマン方程式で速度ベクトルは等方的であると仮定。
- **潮汐半径**：MWのポテンシャルがDMハローによって広い範囲で支配されていると仮定し、dSphの潮汐半径を、khalaj&Baumgardt(2016)の対数プロファイルから仮定した。
- **降着率**：潮汐半径の2倍を超えたものを降着したとみなし、潮汐半径以下だったものがどれだけ超えたかという割合がf_{ecs}

Fig.3-5：銀河面で4つのパラメータを変化させた場合(モデル１)

- 銀河面上でeccentricity, apogalactic distance, mass,をパラメータとして、dSphの有効半径別のf_{ecs}を求めた。
- Apogalactic distanceが小さくeccentricityが大きいほどtidal effectを受け降着率が上がる。
- 有効半径が小さく、質量が大きいコンパクトなdSphほど降着率が低い.

モデル２の場合(GDR2から各dSphのもっともらしい軌道を再現したもの)

- モデル２ではJeans analysisを用いて軌道を再現したが、軌道の傾斜はf_{ecs}にほとんど影響を与えない。
- また、各dSphの初期状態をGDR2から求め、Fig3-5で使った4つのパラメータを各dSphそれぞれで導出した。
- さらにdynamical frictionの影響も考慮した。結果、LMCとSMCのf_{ecs}に対し考慮なかった場合、考慮した場合の4倍になった。
- Fornaxでは25%のGCが降着することが分かった。Sgrでは70%の降着率に達する。**(Table2)**

モデル3の場合：Fornaxの4つのDMハロー密度プロファイル(Fig1)

- Large Core(LC),Weak Cusp(WC),intermediate Cusp(IC),Steep Cusp(SC) ４つのDMハローの密度モデルを仮定。(Cole et al. 2012)
- 軌道や初期状態はモデル２の場合と同様。
- SC DMハローの場合はf_{ecs}がモデル1の結果と近い値になった。**(Table4)**

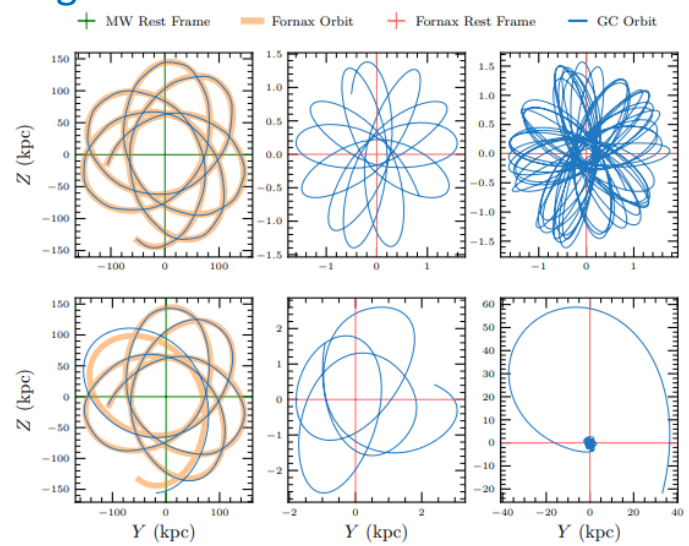
Fig.2：モデル3で仮定したFornax Steep Cusp DMハローでのGCの軌道とFornaxの軌道

- dSphにとどまり続けるGCの軌道（上行）、MWに降着するGCの軌道（下行）
- MWポテンシャルの中でのGCの軌道とFornaxの軌道（左列）
- FornaxのMW降着開始から3Gyr後の軌道（中央列）
- 13.6Gyr後のGCの軌道(右列)
- Host dSphの軌道とGCの軌道が降着後も相関がある。→GCを位相空間上で比較することでin-situ, accretedを分けられる？

Table4

Density Model	Escape Fraction (%) $R \le R(0.2M_{total})$	$R \le R(0.5M_{total})$	$R \le R(0.9M_{total})$
LC	4	6	13
IC	6	8	27
WC	4	5	13
SC	6	11	38

Fig.2



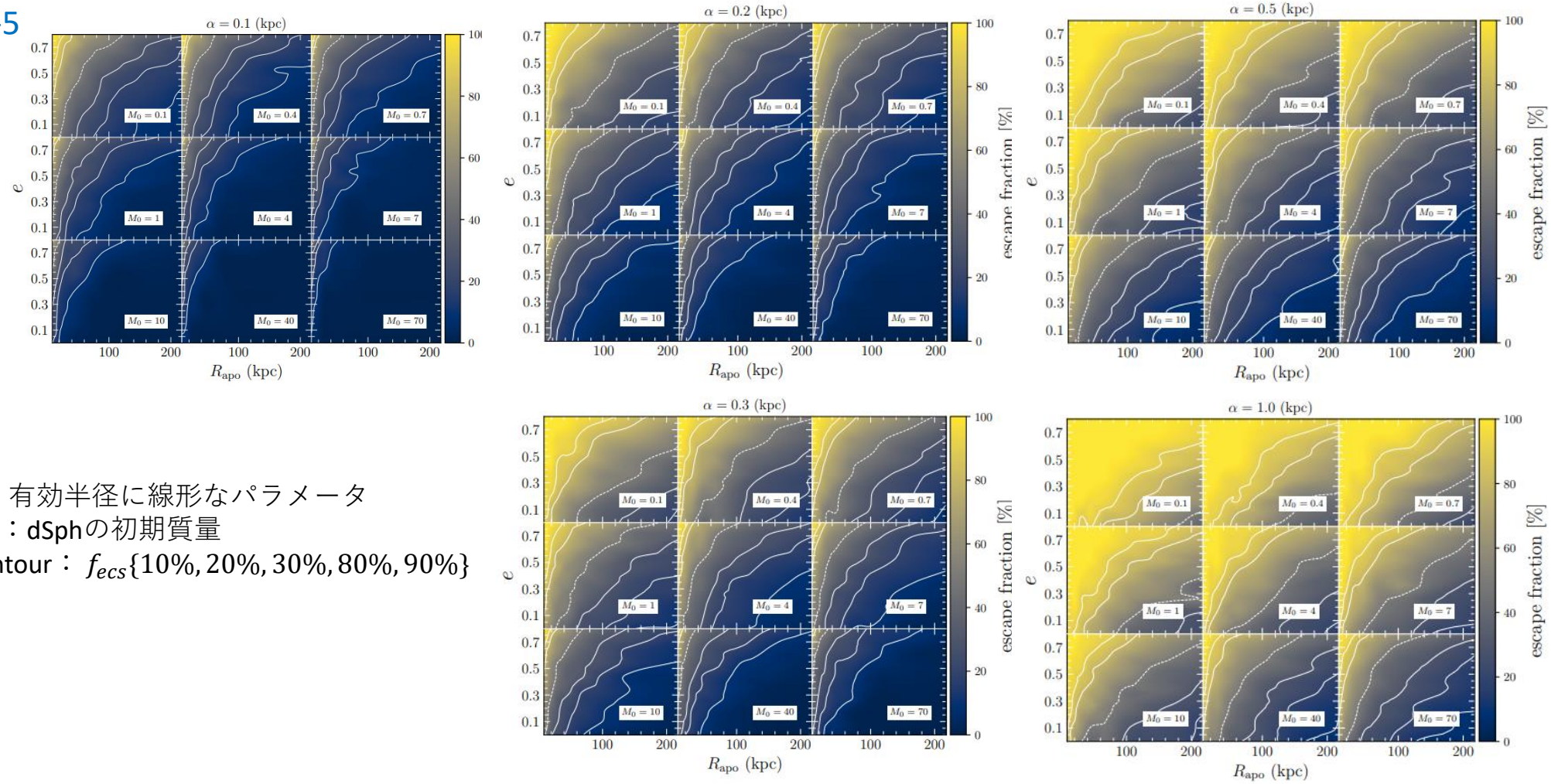
【ディスカッション】

MWポテンシャルの時間変化を考慮しなかったが時間変化を考慮した場合、今回の結果よりも降着率は下がる。

【コメント】

DMハローの形状によってかなり降着率が変わったが、これはどのdSphでもいえるのか？
逆説的に降着率からDMハローの形状に制約をかけられるのか？

Fig.3-5



α：有効半径に線形なパラメータ
M_0：dSphの初期質量
contour： $f_{ecs}\{10\%, 20\%, 30\%, 80\%, 90\%\}$

Table2

Galaxy	$M(r_h)$ (10^8 $M_\odot$)	r_h (kpc)	R_{apo} (kpc)	e	i (deg)	M_1 (10^8 $M_\odot$)	α_1 (kpc)	f_{esc} (interp) (%)	f_{esc} (comp) (%)	T_{esc} (Gyr)
Antlia II	$0.55^{[1]}$	$2.920^{[1]}$	$136.42^{+0.50}_{-0.39}$	$0.68^{+0.07}_{-0.07}$	$30.05^{+8.32}_{-9.96}$	1.320	1.608	91	93^{+3}_{-4}	$4.3^{+0.3}_{-0.1}$
CanVen I	$0.19^{[2]}$	$0.564^{[2]}$	$236.63^{+24.78}_{-4.18}$	$0.56^{+0.21}_{-0.27}$	$96.64^{+3.06}_{-9.19}$	0.456	0.310	31	28^{+18}_{-15}	$6.8^{+0.8}_{-0.3}$
Carina I	$0.061^{[2]}$	$0.241^{[2]}$	$106.84^{+0.009}_{-0.004}$	$0.32^{+0.05}_{-0.05}$	$82.58^{+3.40}_{-3.58}$	0.146	0.132	25	25^{+3}_{-2}	$5.3^{+0.2}_{-0.4}$
Draco I	$0.094^{[2]}$	$0.196^{[2]}$	$83.11^{+0.41}_{-0.36}$	$0.50^{+0.02}_{-0.02}$	$71.59^{+2.11}_{-2.19}$	0.226	0.107	30	31^{+3}_{-1}	$4.9^{+0.1}_{-0.6}$
Fornax I	$0.53^{[2]}$	$0.668^{[2]}$	$153.30^{+0.22}_{-0.20}$	$0.40^{+0.01}_{-0.01}$	$108.89^{+0.51}_{-0.53}$	1.274	0.367	30	27^{+1}_{-1}	$6.1^{+0.3}_{-0.1}$
Leo I	$0.12^{[2]}$	$0.246^{[2]}$	$337.47^{+55.15}_{-9.37}$	$0.79^{+0.13}_{-0.26}$	$49.05^{+74.09}_{-0.50}$	0.288	0.135	18	15^{+16}_{-10}	$7.0^{+1.5}_{-0.5}$
Sculptor I	$0.13^{[2]}$	$0.260^{[2]}$	$95.73^{+0.43}_{-0.40}$	$0.31^{+0.01}_{-0.01}$	$87.30^{+0.12}_{-0.12}$	0.312	0.143	25	23^{+1}_{-1}	$4.7^{+0.3}_{-0.1}$
Sextans I	$0.25^{[2]}$	$0.682^{[2]}$	$110.94^{+8.30}_{-5.84}$	$0.22^{+0.013}_{-0.002}$	$40.83^{+0.57}_{-0.29}$	0.601	0.375	39	36^{+5}_{-2}	$5.2^{+0.1}_{-0.1}$
Ursa Major I	$0.26^{[2]}$	$0.318^{[2]}$	$124.25^{+85.86}_{-21.97}$	$0.10^{+0.24}_{-0.05}$	$119.12^{+6.37}_{-7.32}$	0.625	0.175	14	12^{+4}_{-4}	$5.8^{+1}_{-0.9}$
Ursa Minor I	$0.15^{[2]}$	$0.280^{[2]}$	$82.75^{+0.45}_{-0.35}$	$0.47^{+0.05}_{-0.04}$	$85.60^{+3.71}_{-3.65}$	0.360	0.154	36	37^{+5}_{-1}	$4.7^{+0.1}_{-0.4}$
Sgr I	$1.2^{[2]}$	$1.550^{[2]}$	$35.82^{+0.55}_{-0.54}$	$0.41^{+0.006}_{-0.006}$	$79.99^{+0.24}_{-0.24}$	2.886	0.853	82	83^{+1}_{-1}	$2.5^{+0.1}_{-0.1}$
SMC*	-	-	$68.10^{+6.83}_{-5.06}$	$0.05^{+0.04}_{-0.02}$	$79.17^{+1.79}_{-1.84}$	-	-	-	17^{+1}_{-1}	$6.5^{+0.3}_{-0.4}$
LMC*	-	-	$102.52^{+6.25}_{-5.75}$	$0.36^{+0.02}_{-0.02}$	$84.44^{+1.21}_{-1.26}$	-	-	-	16^{+1}_{-1}	$7.9^{+0.1}_{-0.1}$

Fig.6

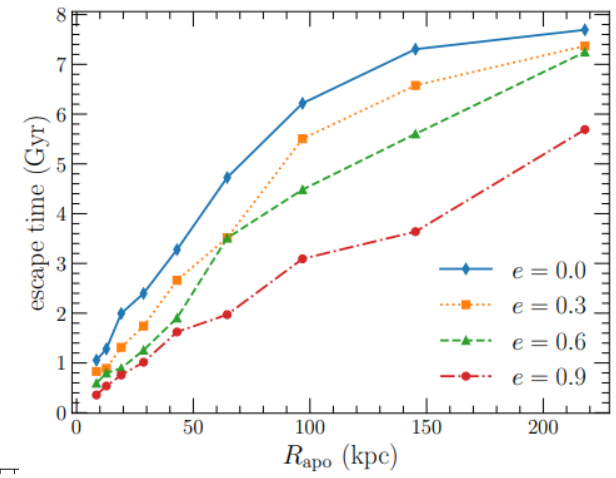


Fig.1

