No globular cluster progenitors in Milky Way satellite galaxies

Pierre Boldrini & Jo Bovy　arXiv:2106.09419v1

GAゼミ@2021/07/5　佐藤 元太

【アブスト】
MW内の球状星団(GC)の軌道を積分計算し、各GCの前身である衛星銀河は何かを探索した。GC−衛星銀河間が過去に(あるいは今も)束縛関係にあったかどうかを判定する基準を、衛星銀河の潮汐半径と脱出速度を用いた2つ考案して用いた。今回は11個の古典衛星銀河の中に、151個のGCの前身があるか検証をした。しかし結果として、どのGCも衛星銀河との関係性は見出せなかった。この原因として、GCの前身である衛星銀河は既にMW内で四散しているか、GC内にDMが含まれているか、などが考えられる。

【ゴール】MW内のGCの起源を辿る。　【オリジナリティ】GC−衛星銀河間の関係性を証立てる判定基準を新たに考案した。

【ロジック】
データ: Gaia DR2より、151のMW内のGCの位相空間情報(位置+速度)
モデル: galpy内のMWPotential2014(Bovy (2015))+11の衛星銀河のHernquistモデル
(LMC SMC Sgr UMi Draco Sculptor Sextans LeoI LeoII Carina Fornax)
このうちLMCやFornaxは、そこから発生したGCが既に数個見つかっている。→他にもあるかもしれない
判定1: $r_c^{GC}(t) < r_t^{SG}(t)$を満たす時刻があるGC−衛星銀河の組が、かつて(あるいは今も)束縛関係にあったと見做す (それぞれGCの軌道半径と衛星銀河の潮汐半径)。また、これを満たす最直近の時刻は、そのGCが衛星銀河から外れてMWに降着した時刻と見做せる。
判定2: 現在のGCの速度(衛星銀河に対する相対速度)と、その衛星銀河の脱出速度の間に$v^{GC}(t) < v_{esc}^{SG}(t)$が成り立つ時刻があれば、束縛関係にあったと見做す。

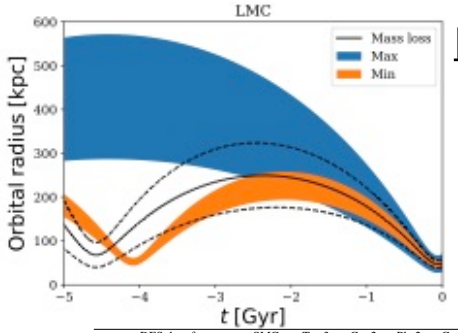


図2

図2: 今回はGCの軌道を計算する際に、衛星銀河の質量は一定と仮定した (質量欠損の効果を含めると計算コストがかかりすぎる)。
そこで、LMCの質量を、MW降着前の値(最大値)と現在の値(最小値)で固定した場合と、質量欠損の効果を含めた場合とで、LMCの軌道半径を算定し、質量欠損を考慮した場合の値が最小値〜最大値間にある時間内であれば、質量を一定とおいた見積もりは有効であると考えることにした。その結果、0.5Gyr以内の束縛関係は本手法で判定できるということになった。

表3

DES dwarf	SMC	Tuc 3	Car 2	Phe2	Car 3	Ret 2	Aqu 2	Hor 1
$p_{LMC}(2\times10^{10}\,M_\odot)$	0.0	0.0	0.0	0.007	0.0	0.0	0.0	0.0
$t_{acc}(2\times10^{10}\,M_\odot)$	-	-	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(5\times10^{10}\,M_\odot)$	0.0	0.007	0.0	0.04	0.003	0.003	0.0	0.0
$t_{acc}(5\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.22	-	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(10\times10^{10}\,M_\odot)$	0.08	0.12	0.0	0.18	0.021	0.26	0.006	0.0
$t_{acc}(10\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.1	-	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(15\times10^{10}\,M_\odot)$	0.32	0.38	0.0	0.24	0.023	0.38	0.011	0.006
$t_{acc}(15\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.08	-	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(20\times10^{10}\,M_\odot)$	**0.65**	**0.76**	0.0	0.29	0.017	0.3	0.016	0.01
$t_{acc}(20\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.06	-0.06	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(25\times10^{10}\,M_\odot)$	**0.77**	**0.88**	0.3	0.33	0.018	0.33	0.021	0.03
$t_{acc}(25\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.05	-0.054	-	-	-	-	-	-
$p_{LMC}(30\times10^{10}\,M_\odot)$	**0.79**	**0.97**	**0.99**	0.38	0.015	0.38	0.025	0.06
$t_{acc}(30\times10^{10}\,M_\odot)$	-0.012	-0.046	0.0	-	-	-	-	-
Erkal & Belokurov (2020)	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Patel et al. (2020)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
This work	**Yes**	**Yes**	**Yes**	No	No	No	No	No

表3: この手法で、LMCを前身とする矮小銀河を検出できないか試験した結果。Dark Energy Surveyで発見された26個の矮小銀河 (Erkal & Belokurov (2020))を対象にした。SMC, Tac3, Car2の3つが直近0.5Gyr以内にLMCに束縛されていたことが示された。

表4

Progenitor	Globular cluster	$p_{DG}(M_{min})$	$p_{DG}(M_{max})$
Fornax	E1	0.005	0.05
	Eridanus	0.0	0.003
	Pal 3	0.0	0.02
	Crater	0.0	0.001
	Pal 4	0.001	0.006
	Pal 14	0.0	0.001
Carina	E1	0.0	0.006
	Eridanus	0.001	0.0
	Pal 3	0.0	0.004
	Pal 4	0.0	0.006
	Pal 14	0.0	0.007
Sculptor	E1	0.0	0.003
	Pal 3	0.0	0.004
Umi	NGC 2419	0.002	0.004
	Pal 4	0.001	0.0
	Pal 14	0.002	0.0
Sextans	Pal 3	0.0	0.07
Draco	Pal 14	0.0	0.003
LMC	NGC 7006	0.011	0.076

表4: 残り(Sgrを除く)の衛星銀河を起源とするGCを探索した結果のまとめ。この表に記載されていない組み合わせは、全て確率が0になったため省略されている。記載されている組についても、束縛関係にあった確率が非常に低く、いずれのGCも、どの衛星銀河とも束縛関係には無かったことが見受けられた。
このことから2つの可能性が考えられる。
・GCの前身である衛星銀河は既にMW内で散逸し、銀河の体を成していないため見つけようがない。
・GC内にはDMが無視できない量だけ含まれている。DMからの動的摩擦によってGCがMW外縁部に止まる時間が長くなり、前身衛星銀河−GCの関係が実際はもっと強いことになり、それを考慮していない本研究は関係性を過小評価している可能性がある。

【コメント】・151のGCの起源が1つも見つからないし、問題無いと言いつつ先行研究と違う結果が出ているので、流石に判定方法が不適当なのでは？