Inferring Globular Cluster Initial Mass Function from Stellar Streams

Claire S. Ye and Raymond G. Carlberg (2026) https://arxiv.org/abs/2605.20322 GAゼミ 2026/6/16 松井

[Abstract] 天の川銀河ハロー内に存在する恒星ストリームは、天の川銀河の重力によって球状星団や矮小銀河が引き裂かれた残骸である。本研究は恒星ストリームが銀河形成初期における球状星団の「初期星団質量関数（ICMF/IMF）」の情報を保持していることを、宇宙論的シミュレーションとGaia観測データを組み合わせた解析によって明らかにした。結果、初期質量が大きな星団であるほど より大質量な恒星ストリームを形成する一方で、初期質量のうち恒星ストリームに供与される割合は小さくなることが分かった。さらにストリームの質量と角運動量の測定値を用いると、 $1000M_\odot$ 以上のストリームの母星団の質量分布は、傾き $\alpha = 1.3 \pm 0.05$ のべき乗則に従うことが明らかになった。

[Goal] 天の川銀河の球状星団がどのような質量分布で誕生したのか（初期星団質量関数（ICMF））を解明する。

[Originality] 球状星団の初期質量分布を探る新たな手段として、恒星ストリームを活用している点。

[Logic] データ： Gaia DR3に基づく天の川銀河の恒星ストリームカタログ（79個）（Bonaca & Price-Whelan, 2025）＋ Gaia EDR3に基づく球状星団データカタログ（165個）（https://people.smp.uq.edu.au/HolgerBaumgardt/globular/）

観測バイアスを抑えるための補正： 銀河中心から 30 kpc 以内の天体に限る ／ ストリームは太陽中心距離 3 kpc 超に限る ／ 角運動量 $L > 1000$ kpc km/s ／ ストリーム質量 ×2 ／ 質量は下限値として扱う。

シミュレーション：CDM宇宙論シミュレーション（Carlberg+ 2024）を用い、130億年間の星団の進化と恒星ストリームの形成を追跡。

詳細：ハローを MUSICコードで生成し、AHF でサブハローを同定。→高質量レンジ 4×10^4 - $3\times10^5 M_\odot$ と低質量レンジ $5\times10^3 - 2\times10^4 M_\odot$ の2つのレンジに分けて球状星団を挿入。→ King モデルで球状星団の標準的な密度分布を決めて、それらをサブハロー上のさまざまな軌道にランダムに配置し、それぞれを追跡。→ミュレーション内の全星粒子から、観測と同じ基準でストリームを抽出。→ストリーム質量と球状星団質量に回帰式（$\log M_{\rm initial} = \alpha \cdot \log M_{\rm stream} + {\rm const}$, $\log M_{\rm initial} = \alpha \cdot \log M_{\rm cluster} + {\rm const}$）を適用し、初期質量を計算。→ストリームになれなかった星団や星の割合の補正。→シミュレーションで再構成したICMFと入力したICMFを比較。→観測データへ適用。

結果・議論： シミュレーションの結果、ストリームから復元されたICMFの傾きは $\alpha \approx 1.3$ であった。現代の宇宙で新しく生まれる星団（若い大質量星団）の傾きは $\alpha \approx 2$であることが知られているため、今回の結果（$\alpha \approx 1.3$）は、現代よりも初期宇宙の方が、巨大な星団が生まれる効率が著しく高かったことを示唆している。物理的背景としては、初期宇宙のガス環境は高圧かつ高密度であり、それが大質量星団の形成を促進したと考えられる。さらに波及効果として、大質量星団が多いということは、そこでブラックホールが合体・成長する機会も多かったことを意味し、LIGO等で観測される重力波源（ブラックホール連星）の起源を解明する手がかりにもなりうると考えられるのではないか。

図1

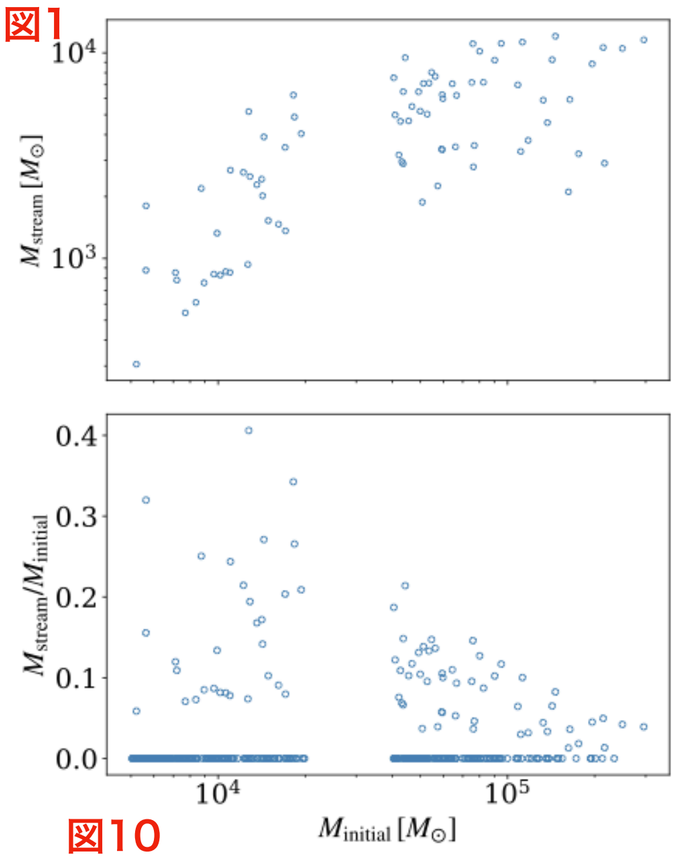


図8

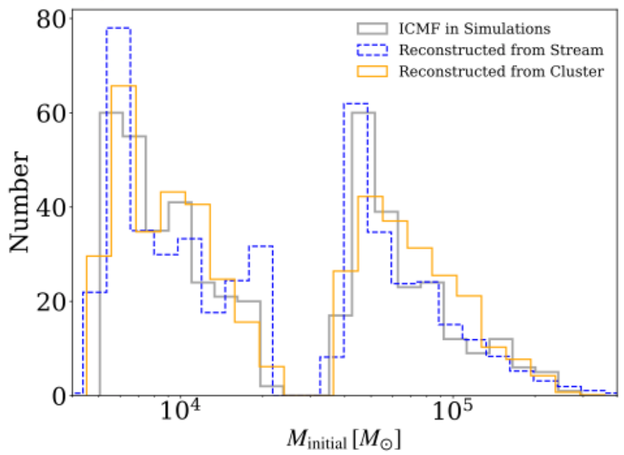
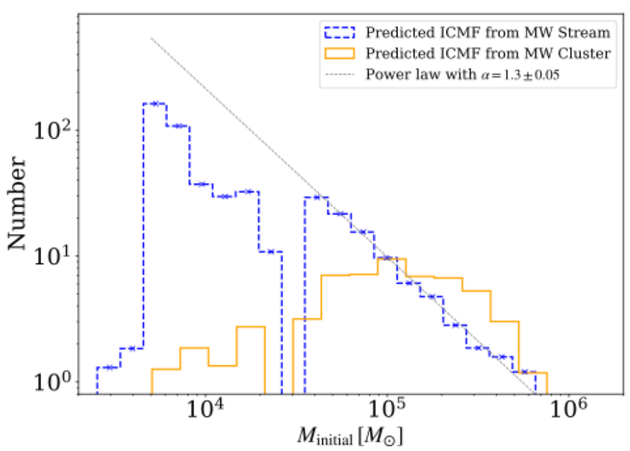


図10



[Comment] ストリームから球状星団の初期質量を考えるシミュレーション、おもしろいですね。一方で、ストリームの観測サンプルは少ないですしストリーム質量を簡単に2倍にして議論して良いものか？とも思いました。モデルへの依存性が高すぎるような気も。。。

図2

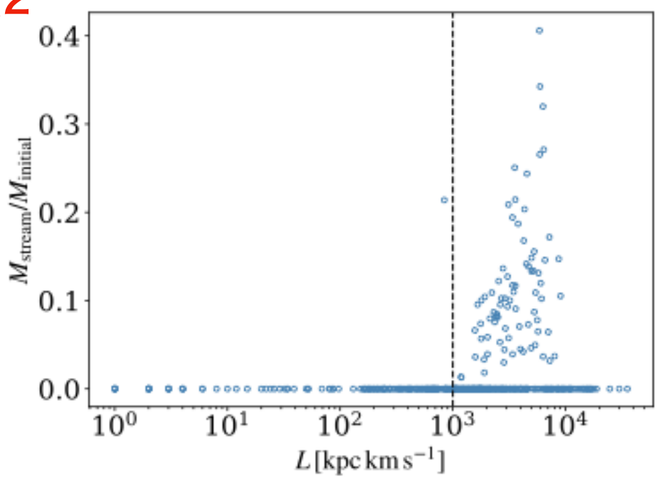


図3

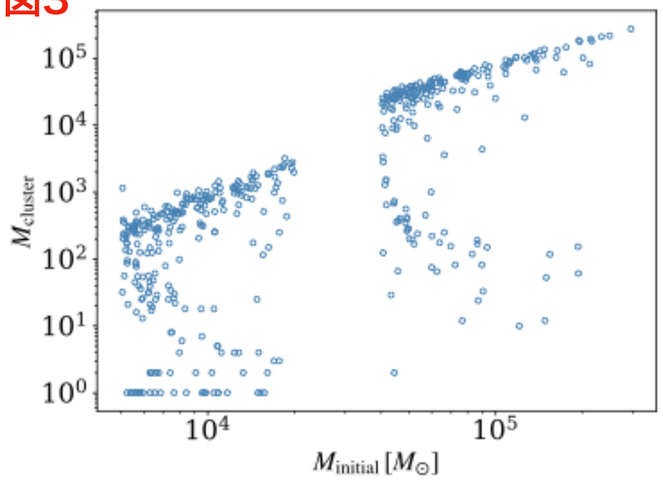


図4

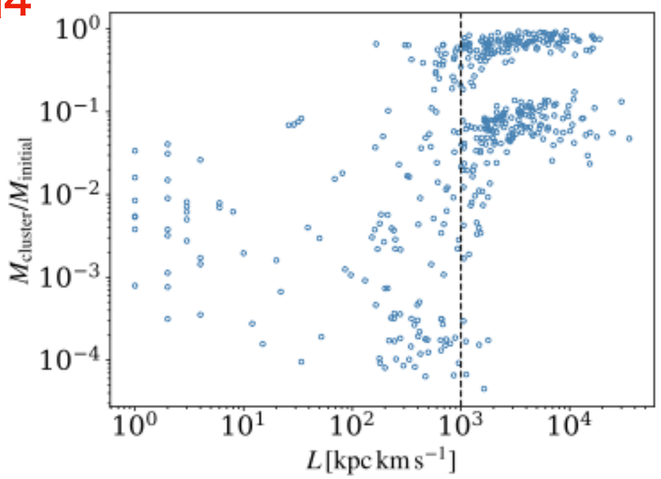


図5

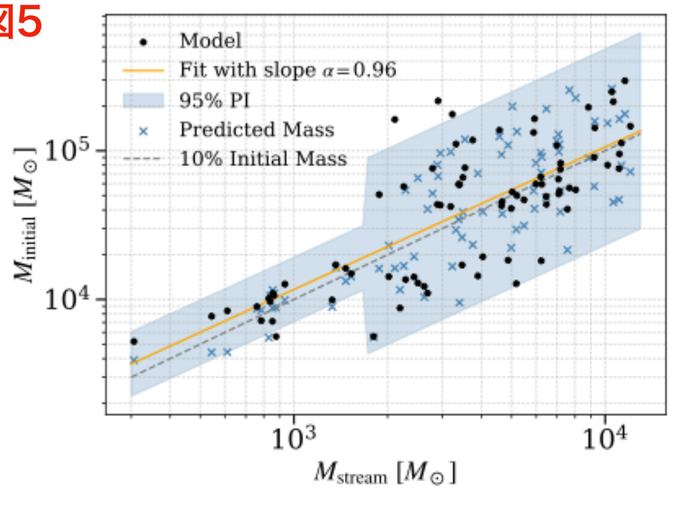


図6

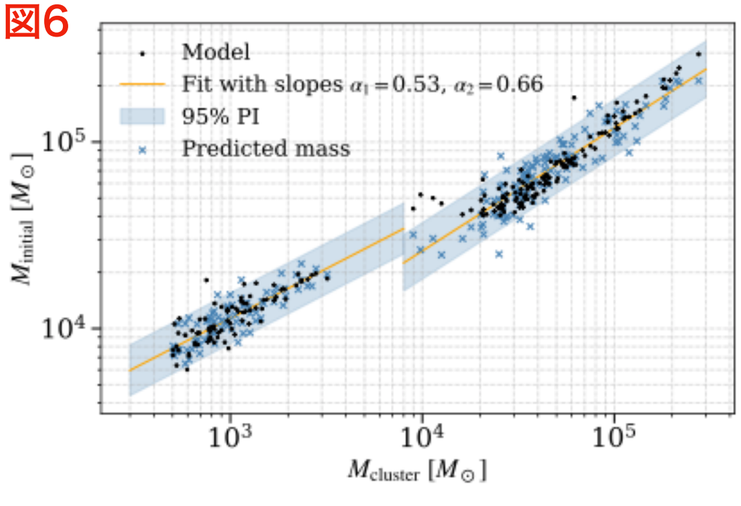


図7

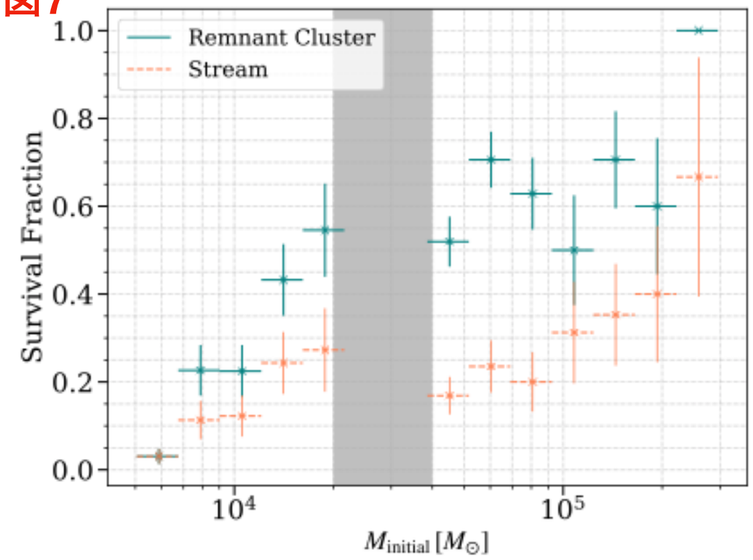


図9

