

銀河系における小スケール暗黒物質への制限： GD-1 stream と球状星団の近接遭遇確率の計算

服部 公平 (統計思考院・国立天文台 助教)

arXiv:2203.15481

人類の住む銀河系は、星団（恒星の集団）が階層的に合体・衝突を繰り返して形成されたと考えられている。この描像を裏付けるように、銀河系には、破壊された星団の残骸である「ストリーム」と呼ばれる構造が数多く発見されている（図1）。

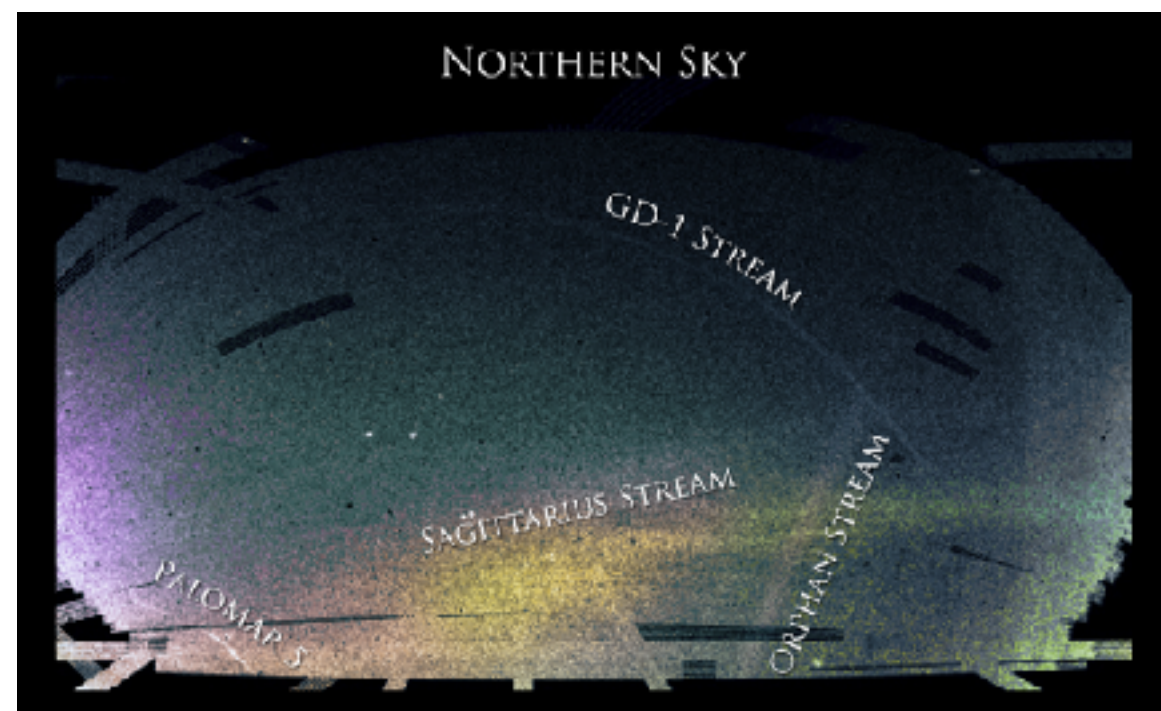


図1
銀河系におけるストリーム

ストリームは、母体となった星団の軌道に沿って筋状に星が並んだ構造であり、銀河系の重力場が滑らかであれば、ストリームに沿った星の個数密度も滑らかになることが知られている（図2）。

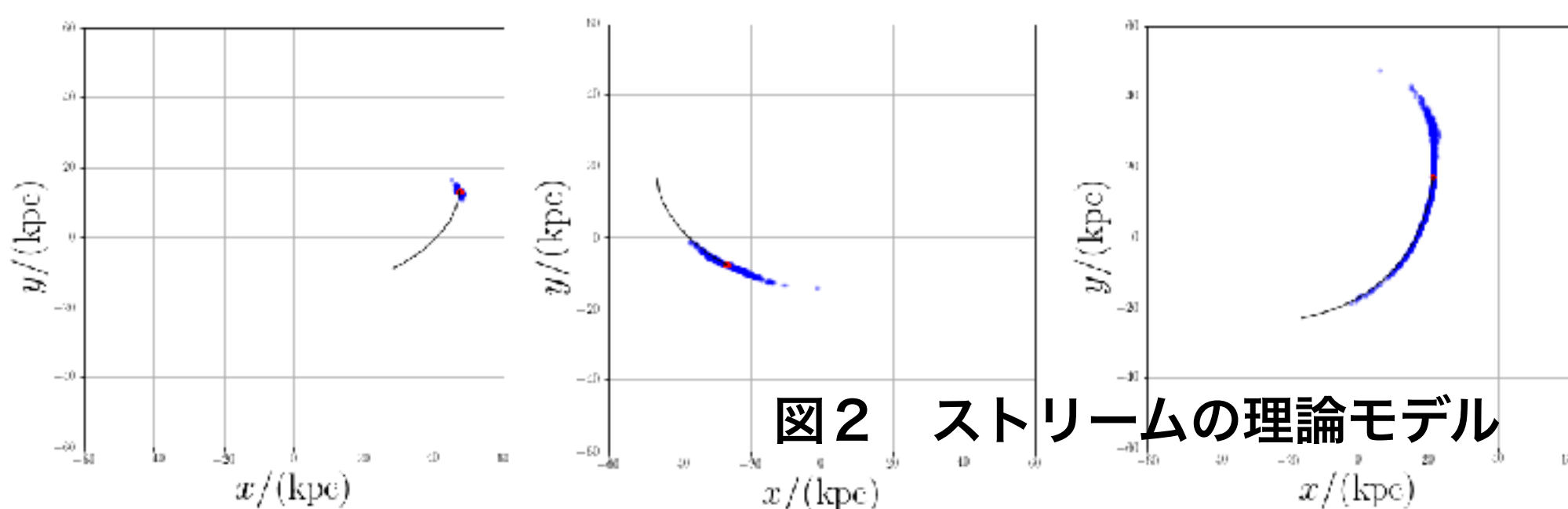


図2 ストリームの理論モデル

したがって、ストリームに沿った星の個数密度に揺らぎが存在すれば、銀河系の重力場が滑らかではなく、微細構造を持つ（でこぼこしている）ことの証拠であるとみなすことができる。

太陽から近い位置に存在するGD-1ストリームは、近年の人工衛星Gaiaの詳細な観測により、ストリームに沿った星の個数密度に揺らぎが存在することが判明し、銀河系の重力場の揺らぎを測定する研究対象として注目を集めている。特に興味深い点は、GD-1には、密度の低い場所が3箇所存在することである（図3）。

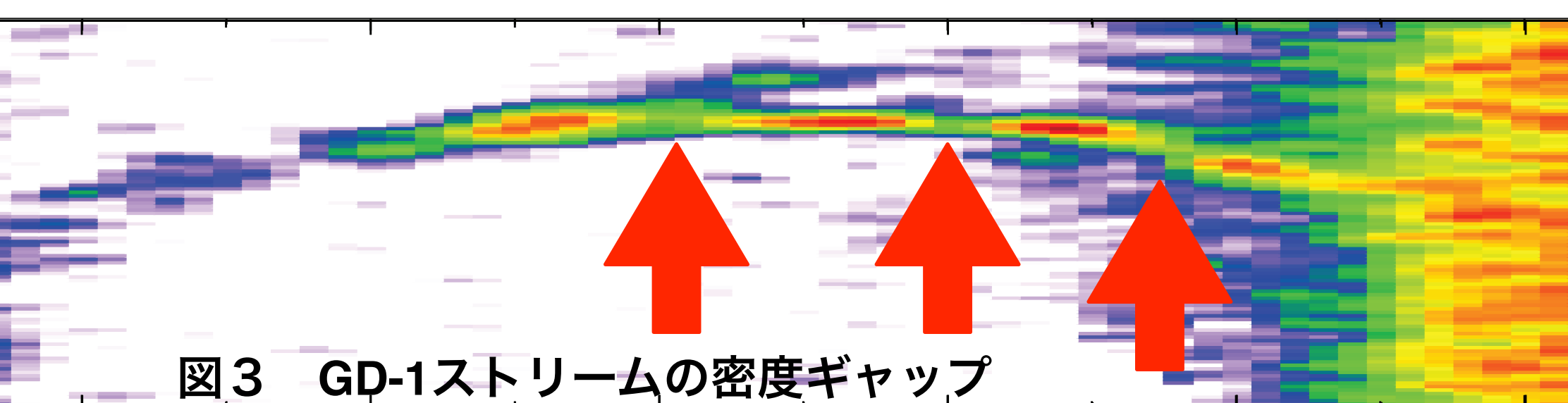


図3 GD-1ストリームの密度ギャップ

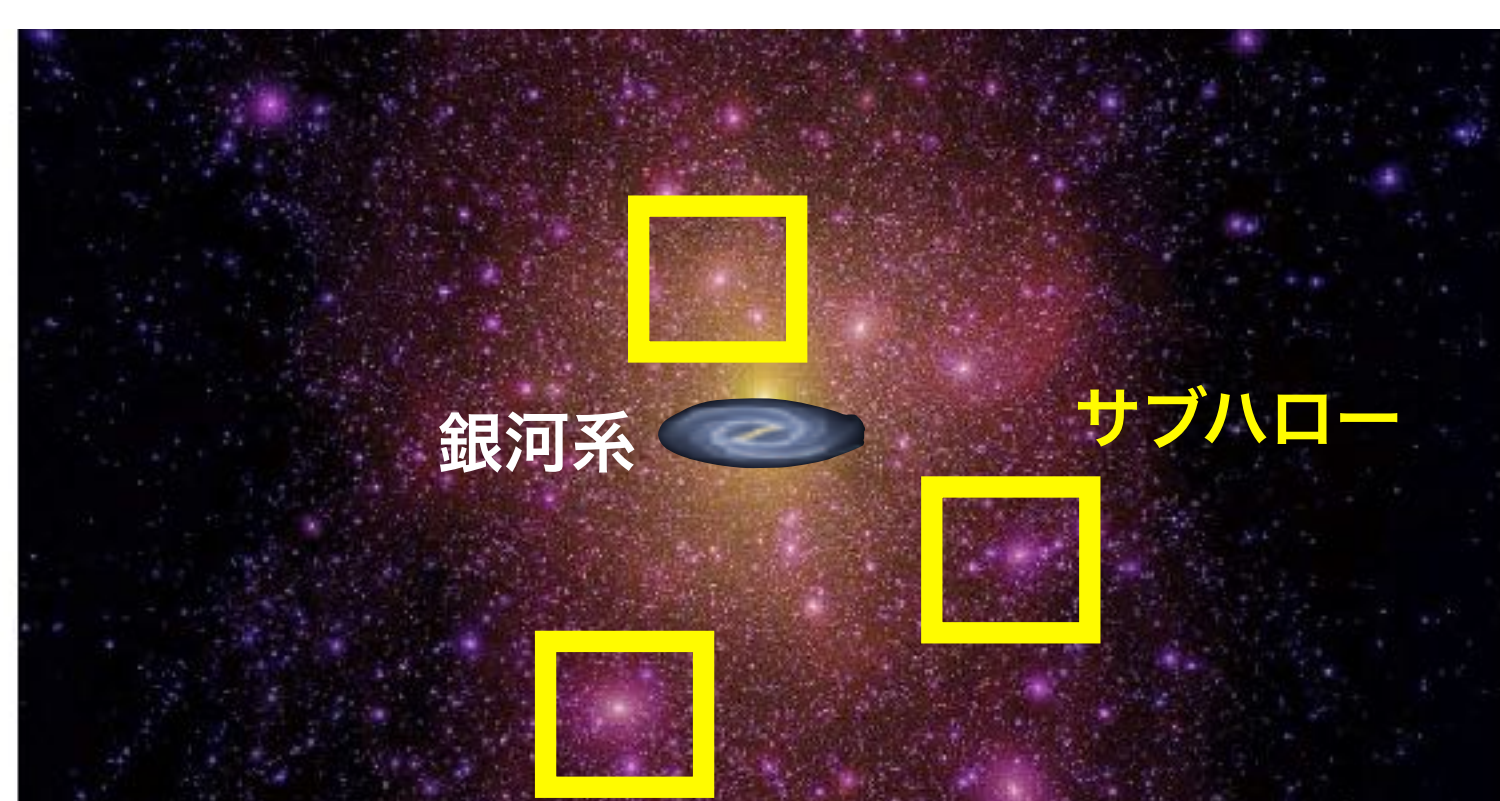


図4
サブハローの
概念図

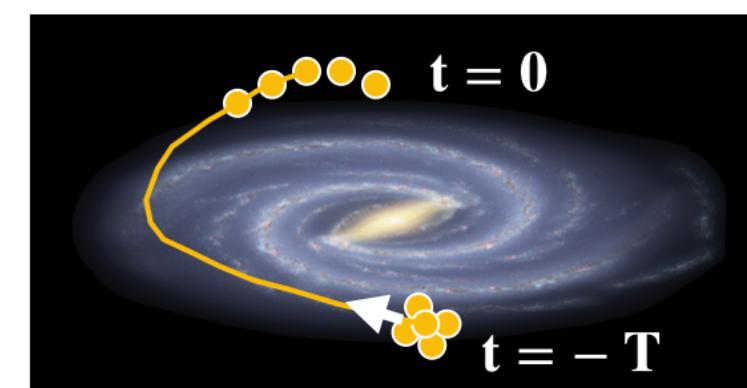
密度ギャップを説明する有力な説は、以下の説である：

（学説）銀河系には、図4のような小さな暗黒物質の塊（サブハロー）が多数存在する。このサブハローがGD-1と近接遭遇することで、GD-1が摂動をうけ、密度ギャップが形成された

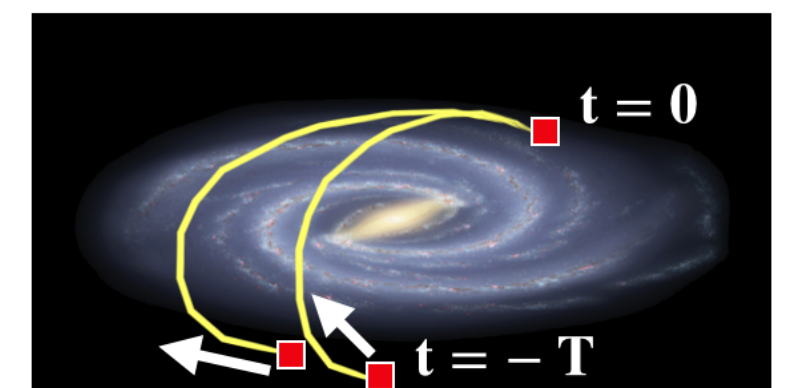
この説が正しければ、目には見えないサブハローを間接的に発見できたことになるため、この説を徹底的に検証することは、暗黒物質の性質を調べる上で非常に重要である。本研究では、あえてこの説に否定的な立場を取り、上記の説を検証した。

具体的には、GD-1が他の星団（球状星団）と近接遭遇して密度ギャップが形成される確率を数値計算によって求めた。

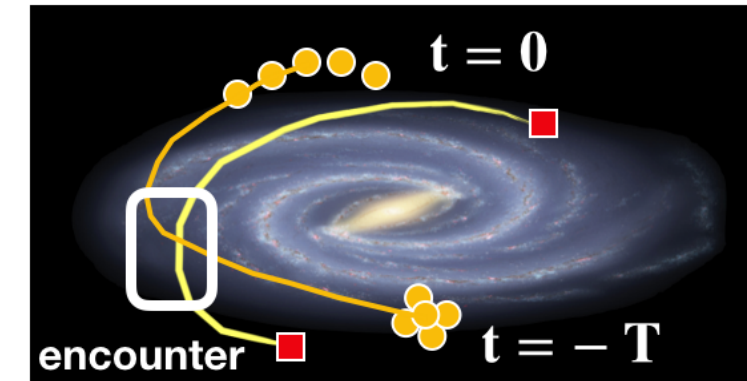
Step 1(i)
Run unperturbed GD-1 model
(1 realization; 10^5 test particles).



Step 1(ii)
Draw unperturbed GC orbits
(1000 Monte Carlo realization).

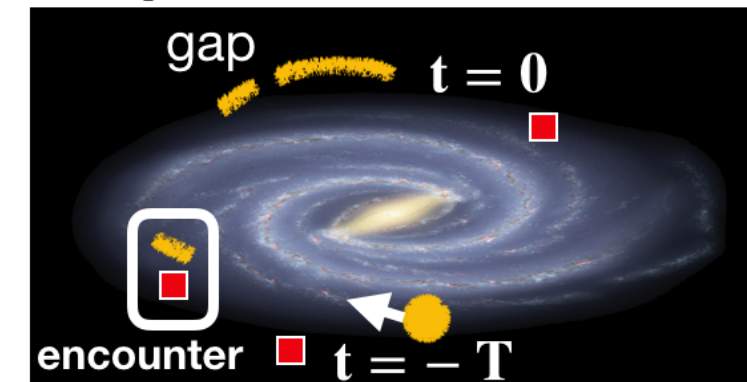


Step 2



Using results of Step 1,
find GC orbits that pass
close to GD-1 in the past.

Step 3



Run perturbed GD-1 simulations
in the MW+GC potential
(10^5 test particles).

Here, we run one simulation
for each orbit selected in Step 2.

図5 モデル計算の詳細

その結果、球状星団でもGD-1に密度ギャップは形成できることが判明した。

ただし、3つの密度ギャップを球状星団だけで作るためには、GD-1が3つの球状星団と過去に近接遭遇しなければならないため、その確率は10万分の1程度の確率であることが判明した。この結果は、球状星団だけで密度ギャップを説明することは困難であることを意味し、サブハローによる密度ギャップ形成シナリオに傍証を与える結果であると言える。

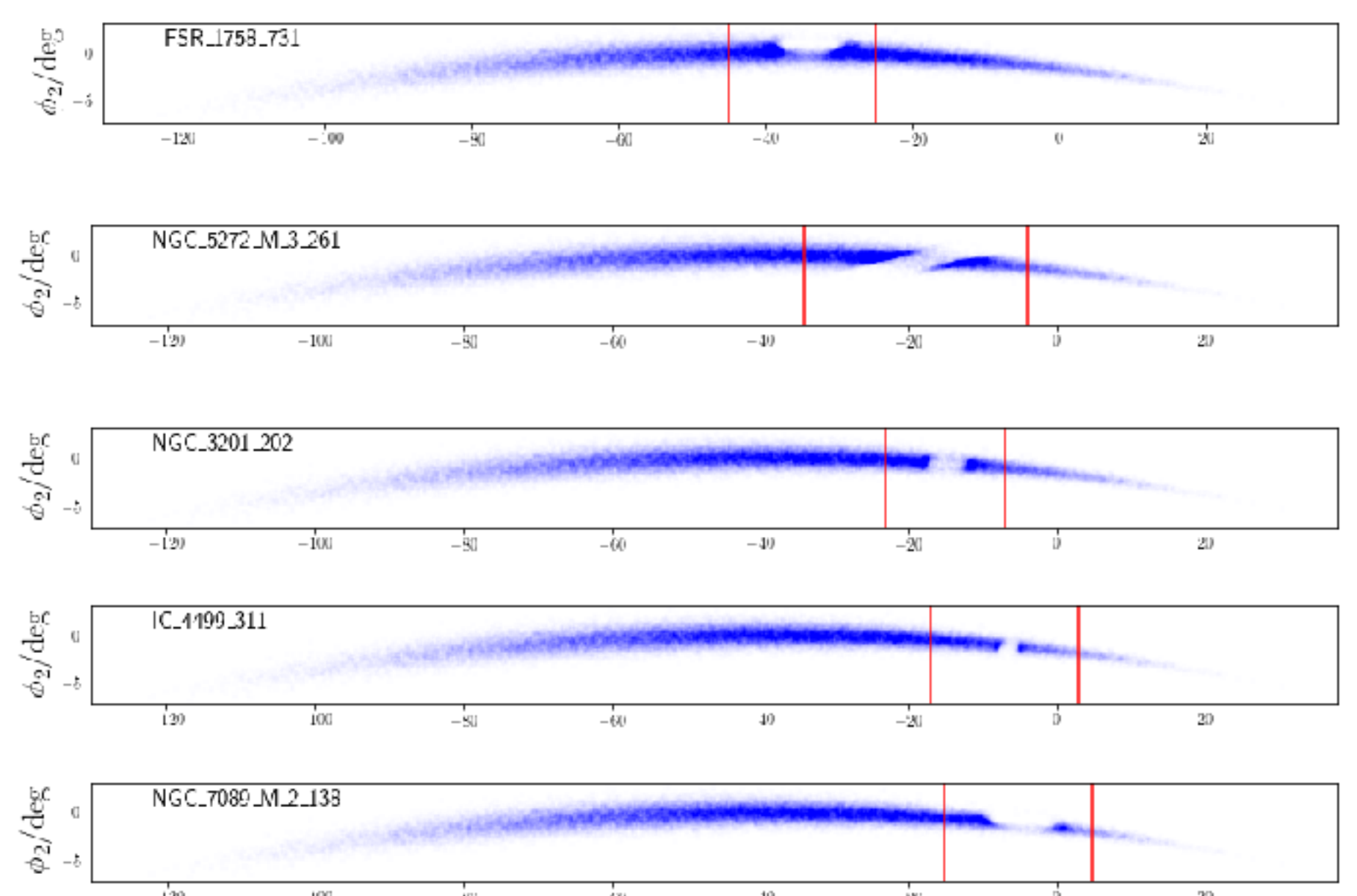


図6 球状星団との近接遭遇による、GD-1 密度ギャップのモデル