

矮小銀河中における dynamical friction 抑制の検証

～ なぜ密度一定コアは dynamical friction を抑制するのか? ～

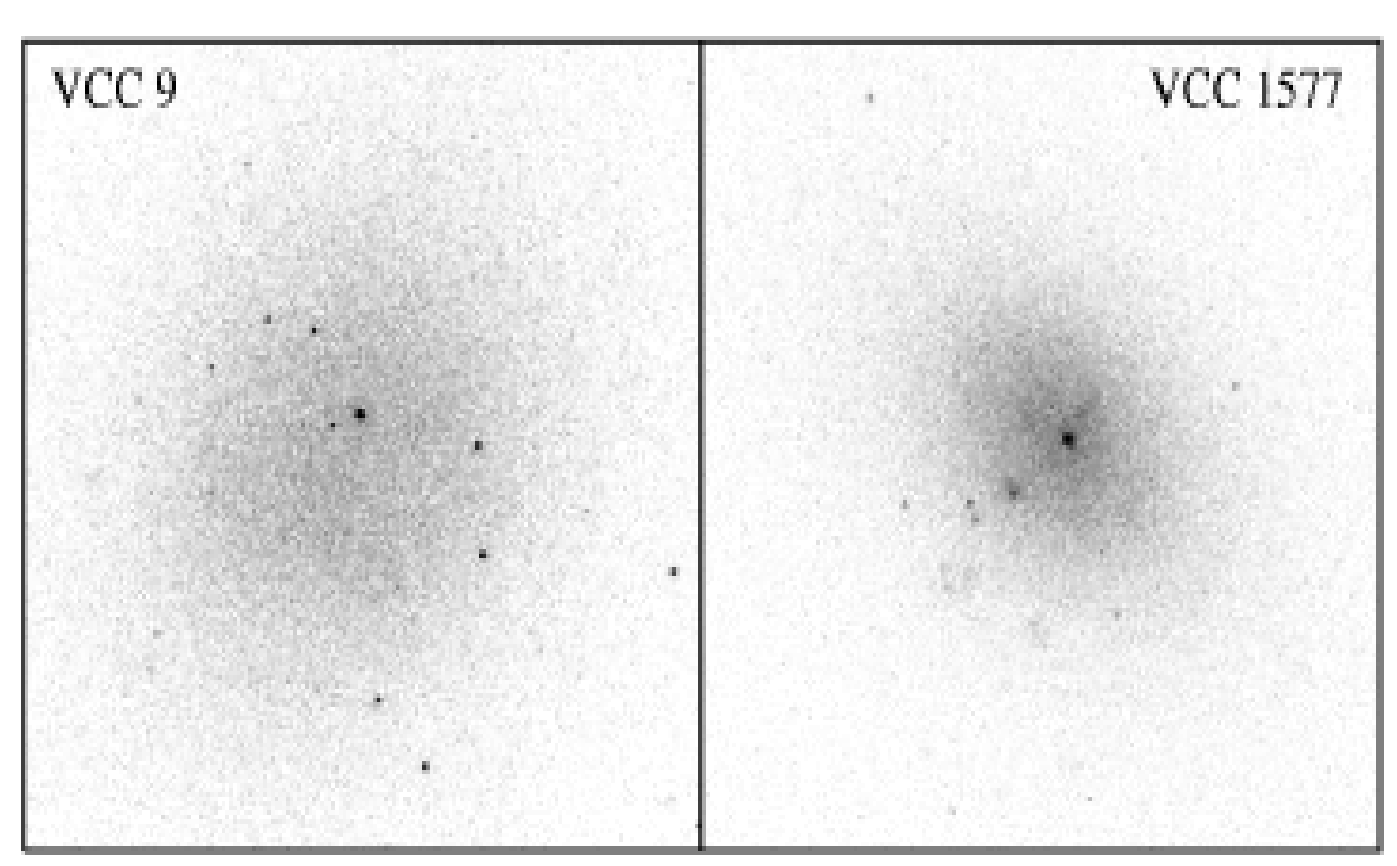
井上茂樹、野口正史 (東北大学)

概要: 矮小銀河の球状星団において dynamical friction problem という問題がある。これは矮小銀河中では球状星団に対する dynamical friction の影響が大きく、解析計算やN体シミュレーションの結果では球状星団はわずか数 Gyr で矮小銀河中心に落ちてしまうはずだとされているが、現在も矮小銀河中の球状星団は存在しており、さらに宇宙年齢に匹敵するほど古いという問題である。

近年、この問題に対して新たな解が提案された。それは矮小銀河の暗黒物質ハローが中心で密度一定コアを持っていれば、このコア領域の中において dynamical friction は大きく抑制され、球状星団が生き残るといえるものである。

本研究ではこの新しい説が本当に正しいのかを検証し、さらに現実的なモデルを用いて、なぜ密度一定コアが dynamical friction を抑制するのかを探った。

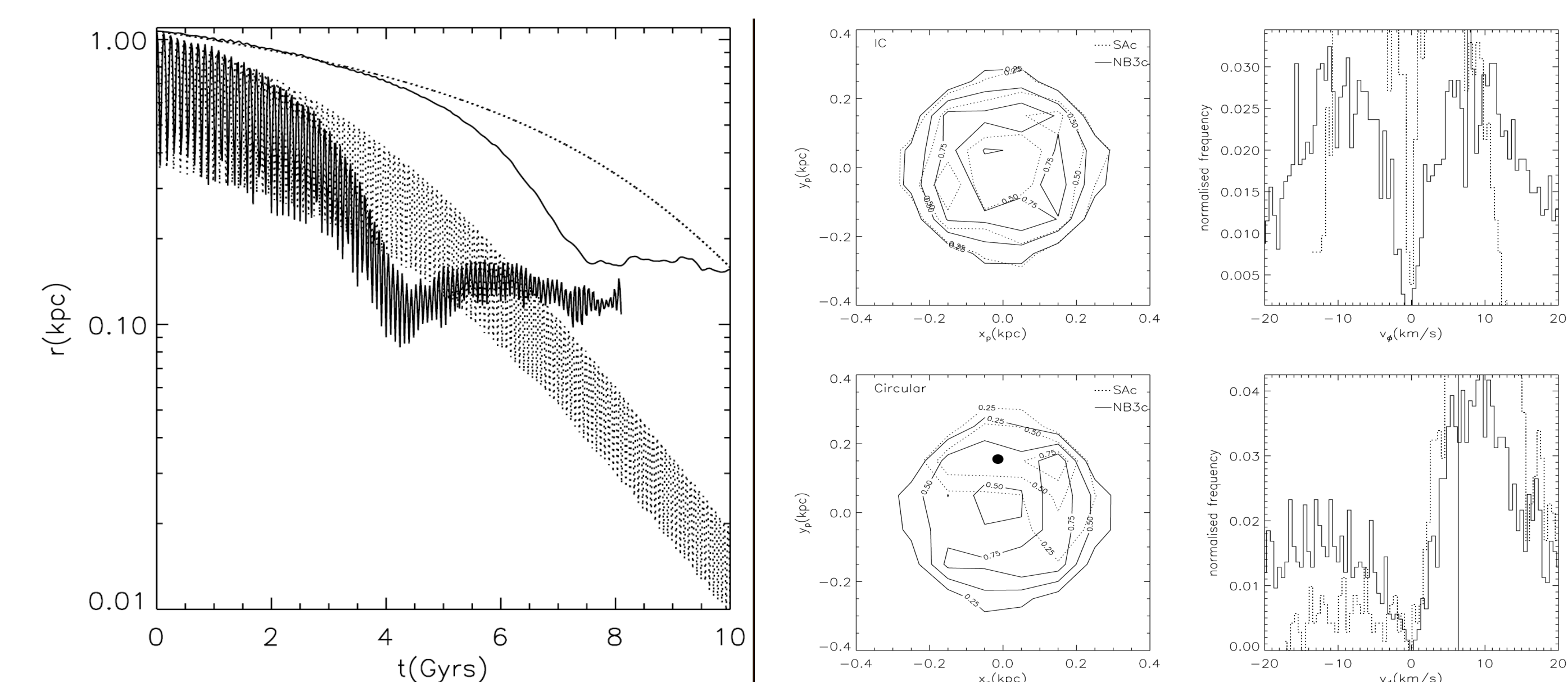
観測: 下の図に示すのは系外銀河団中に存在する矮小銀河である。このように銀河団中の矮小銀河にも複数の球状星団が付随している。しかしこれらは NFW プロファイルのようなハローを仮定した場合、dynamical friction で銀河中心に落ちてしまうはずであると計算されている。



先行研究: Read et al. (2006) (以後 R06) ではN体シミュレーションを用いて、もしもハローが銀河中心に密度一定の領域(コア領域)を持っていたならば、dynamical friction は劇的に弱められるということを見出した(左下図)。

彼らはこの理由を、ハローの暗黒物質が球状星団の重力に引かれて球状星団と同じ方向に回転し始めるからだと考えた(右下図)。ハローが球状星団と共に回転することにより球状星団から見た系では周囲の暗黒物質の運動が等方となる。それによって dynamical friction の効果が消えるのである。

しかし彼らは同時に、このような平衡状態は球状星団への摂動に弱く、非常に脆い平衡状態であると述べている。なぜなら、いくらハローが球状星団と同じ方向に回転しようとも、摂動によって球状星団の起動傾斜角が変化し両者の回転方向がズレてしまえば、こうした co-rotating な関係が崩れてしまうからである。



R06によるN体シミュレーションの結果。円軌道(滑らかな実線)と楕円軌道(激しく振動している実線)を仮定した球状星団の起動の様子を示している。それぞれを重ねられている点線は Chandrasekhar 公式を用いた場合の準解析的な計算結果。球状星団が密度一定コア ($r \sim 200\text{pc}$) に進入した時点で dynamical friction が抑制されていることが伺える。

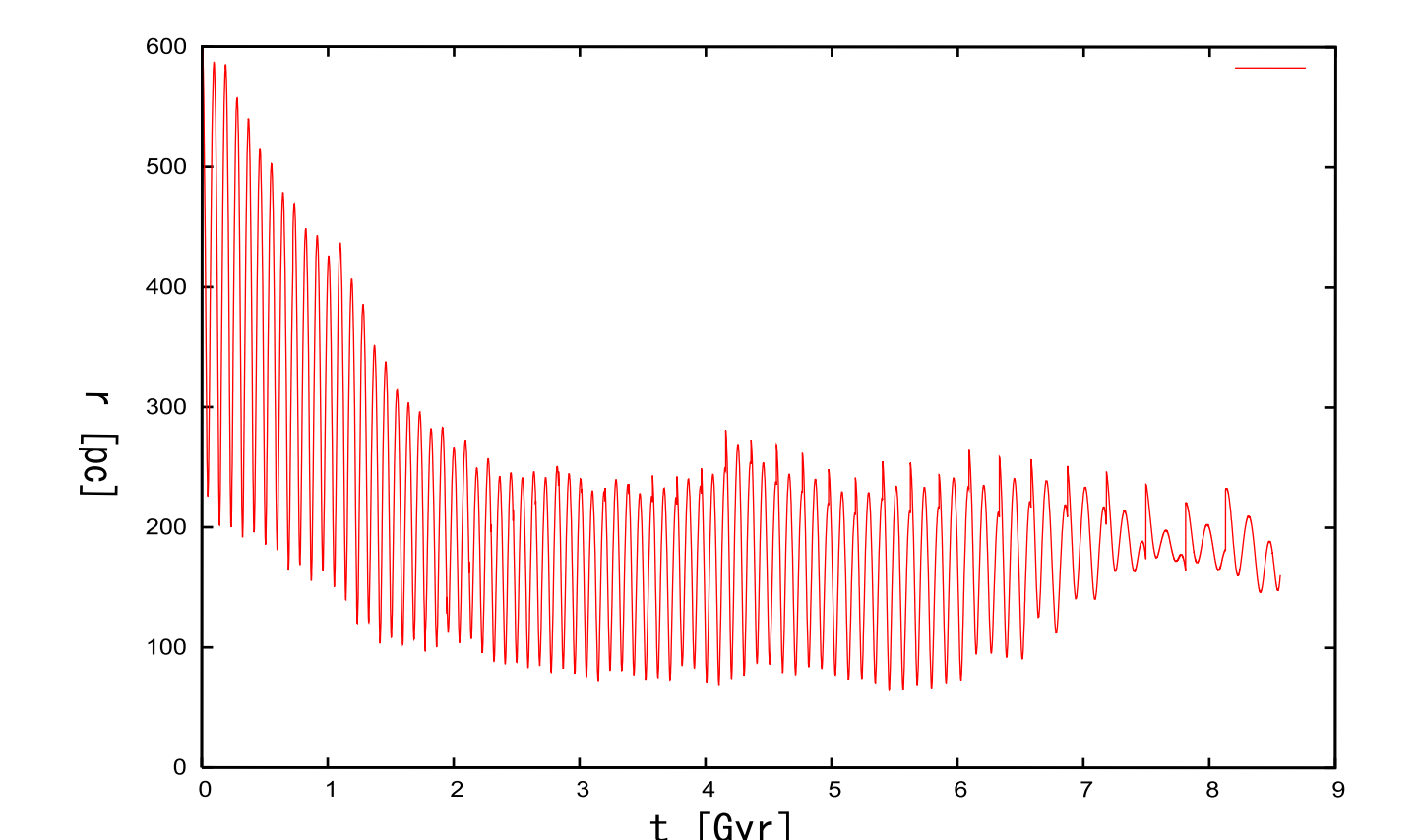
R06のシミュレーション結果。上段は球状星団がコアに侵入する前の状態、下段はコア侵入後の状態である。さらに左はコア内の等密度線図、右はコア内のハロー粒子の速度の回転方向成分のヒストグラムである。右上の図はコア侵入前のハロー粒子は等方な速度状態にあることを示しており、右下の図はコア侵入後に球状星団に順行する速度成分が増加し、非等方になっていることを示している。

本研究のアイデア: 上記のように、R06 ではこの平衡状態は非常に摂動に対して弱く、脆い平衡状態であると指摘されている。しかし、現実の宇宙には様々な摂動が起こることが期待される。例えば矮小銀河中の球状星団は一般的に1個ではなく、多いものでは20個近くにもなる。これらが重力相互作用し、摂動源になることは十分に考えられるのではないだろうか。摂動を受けていれば、球状星団は銀河中心に落ちていくはずである。

ではなぜ、矮小銀河中に球状星団はいまだに存在しているのだろうか?

結果(球状星団1個): まず、R06のシミュレーションの追試のため、同一のシミュレーションを球状星団1個の場合で行った。ハローと球状星団の質量はそれぞれ $2 \times 10^9 M_\odot$ 、 $2 \times 10^5 M_\odot$ である。

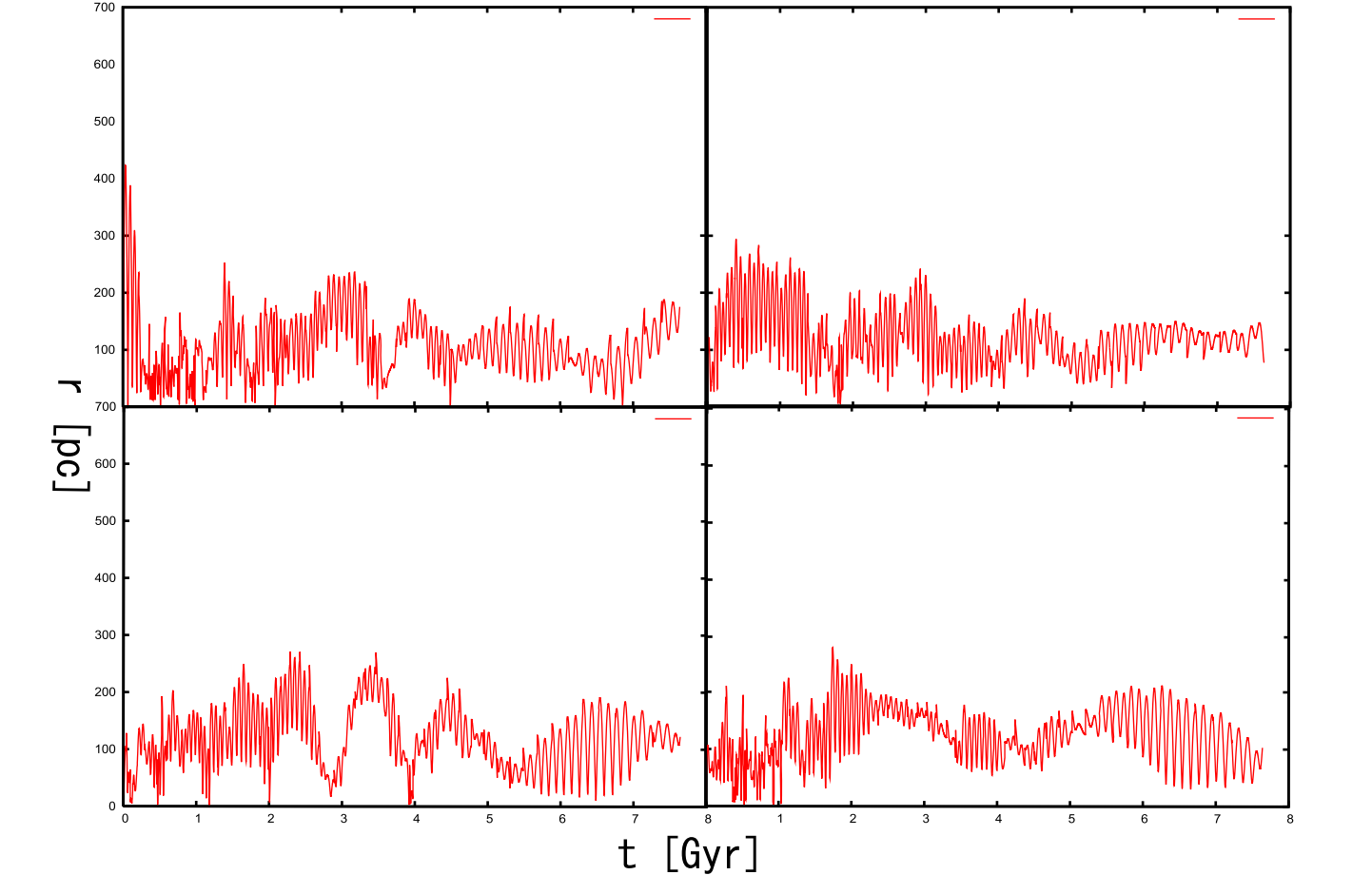
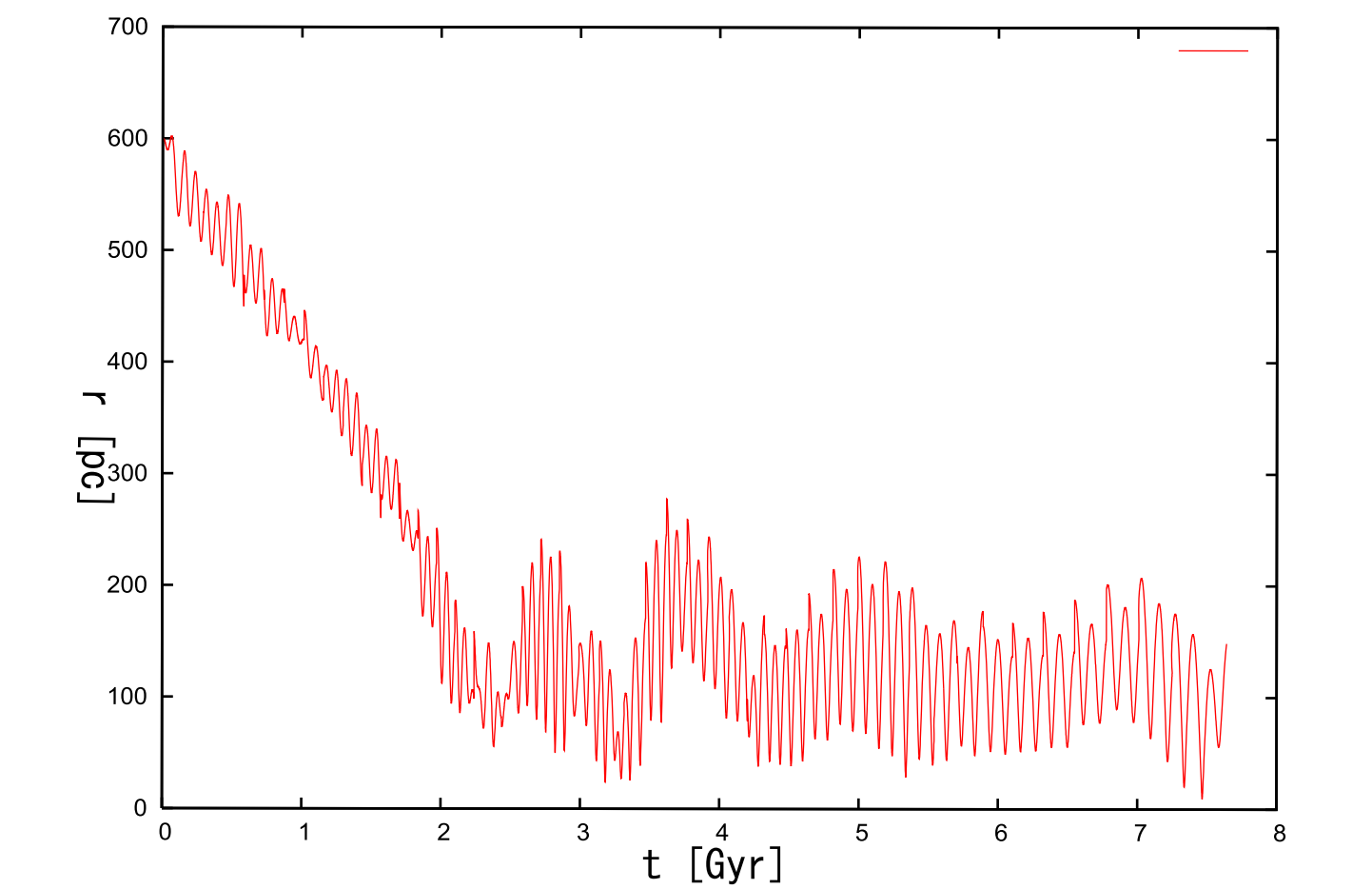
その結果、我々は R06 と同じ結果を得ることができた。球状星団が密度一定コアに侵入した時に、その軌道収縮が止まる様子が見て取れる(右上図)。



R06のシミュレーション結果の追試。およそ200~300pcあたりから密度一定コア領域になっている。R06と同様の結果を得ることが出来た。

結果(球状星団5個): 続いて、先に述べた本研究のアイデアを試すべく、球状星団数を5個に増やしてシミュレーションを行った。結果は右の図に示している。

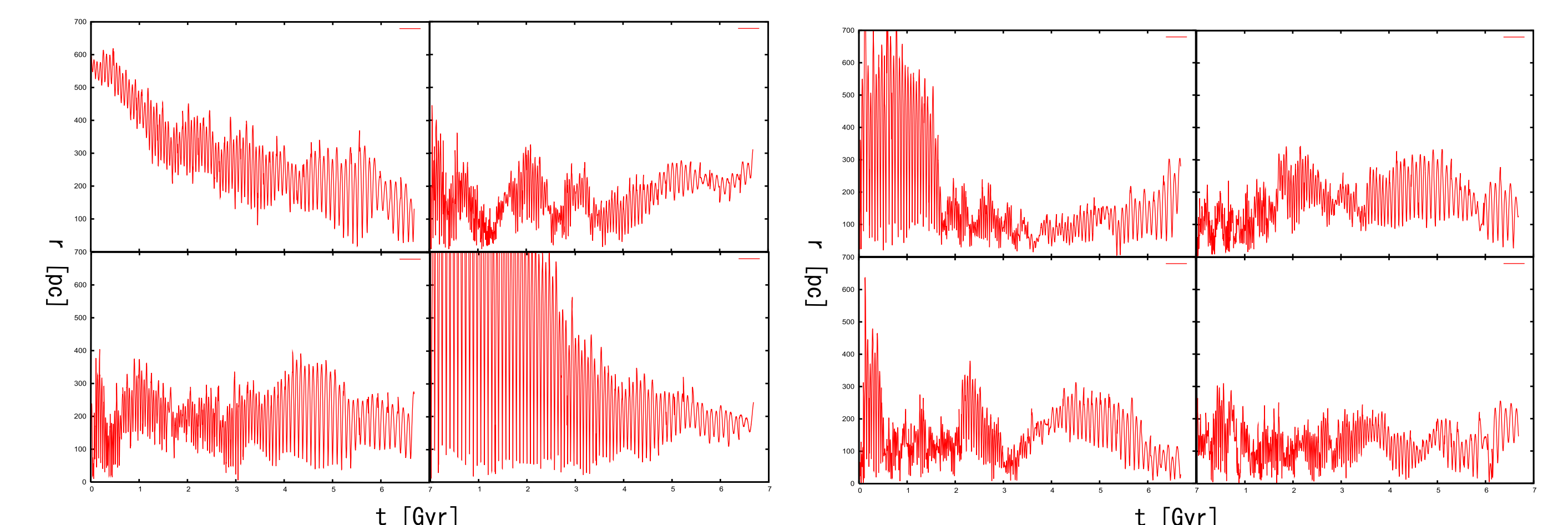
球状星団1個の場合と比べて、軌道が激しく乱されている様子が見られ、これらは球状星団同士の重力相互作用によるものであると考えられる。しかし、実際に矮小銀河の中心に落ちたものではなく、全ての球状星団が密度一定コアの中で生き残った。



球状星団5個の場合のそれぞれの軌道半径の変化。激しく波打ち、球状星団同士で相互作用している様子が見られる。

結果(球状星団30個): 最後に、球状星団30個の場合でシミュレーションを行った。この球状星団数は少々極限的に多い数である。結果は下の図に示している。

見てわかるように、それでも銀河中心に落ちた球状星団は見られなかった。我々の予想に反して摂動が加わっても dynamical friction は抑制されたままであり、R06 で述べられている事とは異なる。



30個の球状星団のうち、8個の軌道半径の変化を示している。やはり激しく相互作用している様子が見られるが、矮小銀河中心に落ちたものはひとつとしてなかった。

結論: 確かに R06 の結果のとおり、密度一定コアは dynamical friction を抑制する。しかし、十分な摂動源があっても dynamical friction は抑制されたままであり、そのことに関しては R06 で述べられている内容とは異なっている。

よって我々はこの不一致は R06 において提唱された密度一定コアが dynamical friction を抑制するメカニズムの解釈が間違っているからであると考えられる。密度一定コアが dynamical friction を抑制するという事は、別の理由によるものであると考えられる。