

g03a03 : GRAPE による自己重力系の非平衡進化のシミュレーション

樽家篤史 (東大理), 阪上雅昭 (京大人環), 窪谷純 (京大人環), 岡村隆 (関西学院大理工)

本研究プロジェクトは、恒星系力学の古典的問題ともいえる、重力熱的不安定性によって駆動された自己重力多体系の長時間進化の問題について、特に、熱・統計力学的観点から研究を進めている。この種の問題は、球状星団の進化に深く関わるテーマとして、古くから研究が進められて来たものであり、理想的な系に限ると (単一質量成分からなる孤立系の自己重力系)、一応、最終状態へと至る系の進化過程のおおまかな描像が得られている。こうした孤立系における自己重力系の進化に対し、本研究プロジェクトでは、これまであまり顧みることなかった問題、最終状態へ至る前段階の非平衡進化に着目し、様々な初期分布から出発した時に現れる“準平衡状態”の物理的性質を明らかにするため、研究を進めてきた。

これまで、準平衡状態の物理的性質を特徴づけるため、熱・統計的なアプローチによる解析を進め、エントロピーを非加法的に拡張した熱・統計力学のフレームワークに基づき、準平衡状態の安定性について調べて来た。昨年度から GRAPE 利用申請を行い、動力学的性質を探る研究を進めている。GRAPE による恒星衝突系の N 体シミュレーションからわかってきたことは、自己相似的なコラプスが起こる前段階に、2 体緩和でじわじわ変化する準平衡状態が現われ、その状態は、恒星ポリトロープと呼ばれる、巾分布でよく記述できるという点である¹。非加法的な熱・統計によると、熱平衡から離れた非平衡準平衡状態として、恒星ポリトロープ分布が選ばれる。これまで得られたシミュレーション結果は、非平衡系の状態を記述する上で、エントロピーの非加法的拡張が何らかの意味を持つ可能性を示唆している。

こうした経緯を踏まえ、本年度は、準平衡状態が現れる条件とその物理的理由を詳しく探る目的で、初期分布をいろいろ変えて系統的なシミュレーションを行って来た。図 1 は、その結果をまとめたものである。初期分布として、Tremaine et al.(1994)²の平衡分布のモデルを採用し、モデルパラメータをいろいろ変えてシミュレーションを行った結果、自己重力がそれほど強くなく、熱平衡系 (等温分布) からそう遠くない場合、巾型の恒星ポリトロープで記述できる準平衡状態が現れることがわかった。ここで考えた初期分布の場合、いわゆる“負の比熱”によって生じる重力熱的膨張 (gravothermal expansion) に駆動されて、準平衡状態へと落ち着く。つまり、巾的な準平衡状態の存在には、自己重力という長距離相互作用が本質的に効いている。このことは、逆にいうと、巾的な準平衡状態は、他の長距離系でも見られる一般的な現象であることを示唆しており、その点で興味深い結果といえる。

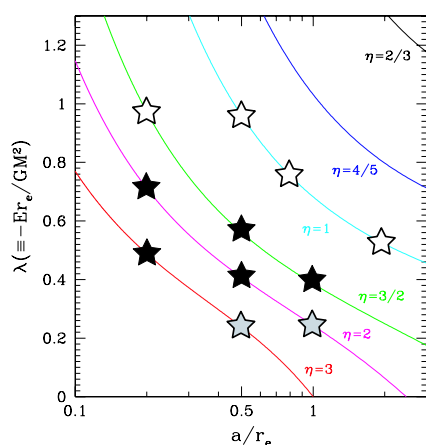


図 1: Tremaine et al.(1994) の平衡形状のモデルパラメータ (a, η) を変えて、シミュレーションを行った結果。ここで、 a とは、初期分布のスケール半径、 η は、中心部における密度プロファイルのスロープと関係する量である ($\rho \propto r^{\eta-3}$)。縦軸 λ は無次元のエネルギー $\lambda = -r_e E / GM^2$ を表す。図では、パラメータ η ごとに平衡形状の系列を異なる色の実線で表しており、時間発展した時の様子を、星印にて分類してある。filled-star: 恒星ポリトロープ分布で記述できる準平衡状態が現れた後、コラプスする；shaded-star: 準平衡状態を経て、安定な等温分布に落ち着く；open-star: 熱的に不安定で、準平衡状態を経ずにコラプスする。

¹A.Taruya & M.Sakagami, Phys.Rev.Lett.90 (2003) 181101.

²S.Tremaine et al. AJ 107 (1994) 634.