

重力多体系の準定常状態

阪上 雅昭¹, 樽家 篤史²

¹ 京都大学総合人間学部基礎科学科

² 東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター

自己重力多体系の時間進化は、典型的には、自由落下時間 $t_{\text{ff}} \approx (G\rho)^{-1/2}$ 、2体緩和時間 $t_{\text{relax}} \approx (0.1N/\log N) t_{\text{ff}}$ という、2つのタイムスケールで特徴づけられる。このうち、粒子数に比例する2体緩和のタイムスケールに着目すると、問題の本質は、力学平衡からの熱力学的進化になり、長距離相互作用系の非平衡物理としておもしろい問題設定ができる。重要な点は、最終状態であるはずの熱平衡状態は、「負の比熱」のため、必ずしも安定ではない点である。いわゆる、“重力熱的破局 (gravothermal catastrophe)” と呼ばれる熱力学的不安定性が起こり、有限時間で core-collapse を起こしてしまう。

このような熱力学的観点から見た自己重力系の研究は、Antonov(1962)、Lynden-Bell & Wood (1968) の解析を出発点に、とりわけ、系の最終状態に焦点をあてて研究が進められてきた。しかるに、様々な力学平衡を出発点に緩和がどう進むか、という根本的な問題に対しては、実は、あまり研究されていない。こうした研究は、非平衡物理、あるいは、熱・統計物理という観点から見ても、きわめて重要な基礎問題で、同時に、長距離相互作用系の緩和現象の理解に大きな手がかりを与える。

今回、我々は、GRAPE-6 を用いた N 体シミュレーションを行い、力学平衡からの緩和過程に焦点をあて、重力多体系の長時間進化の様子を調べた。図 1 に、2048 体の計算結果の一部 (run A) を載せる [1]。シミュレーションでは、Antonov、Lynden-Bell & Wood らの解析と同様に、自己重力系を半径 $r_e = 1$ の断熱壁に閉じ込め、2体緩和以上のタイムスケールで系の進化を追った ($G = M = r_e = 1$ の単位で、2体緩和時間はおおよそ $t_{\text{relax}} \approx 30$)。図 1 は、 $n = 3$ の恒星ポリトロップ分布を初期条件においた場合の、密度プロファイル $\rho(r)$ と一粒子分布関数 $f(\epsilon)$ のスナップショットを表している。興味深いことに、進化途中の系の状態は、異なる n を持つ恒星ポリトロップ分布と非常によく一致する。なお、こうした振る舞いは、初期条件が恒星ポリトロップ以外の場合にも見られ、恒星ポリトロップ分布が非平衡緩和過程における準定常状態であることを裏付ける証拠と考えられる。ちなみに、恒星ポリトロップ分布は、Tsallis エントロピーという、加法性を破るエントロピーの極値状態に対応する。系の熱的性質も非加法的熱・統計のフレームワークで無矛盾に記述できることも、最近の研究でわかってきた [2]。

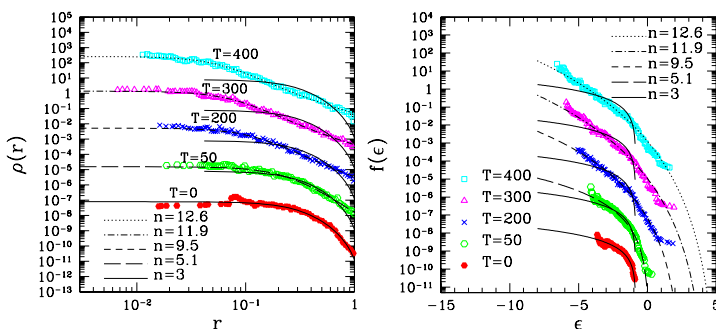


図 1: 初期条件が $n = 3$ の恒星ポリトロップから得られたスナップショット。実線、破線などは、異なる指数 “ n ” を持つ恒星ポリトロップ分布を表す。尚、見やすくするため、各時刻の結果を 2 桁ずつずらしてプロットしている。左: 密度プロファイル $\rho(r)$ 。右: 一粒子分布関数 $f(\epsilon)$ 。

Refs.

[1] A. Taruya & M. Sakagami, Phys.Rev.Lett. (2003) submitted.

[2] A. Taruya & M. Sakagami, Physica A **307**, 185 (2000); *ibid.* **318**, 387 (2003); *ibid.* (2003) in press(cond-mat/0211305).