

中心重力場内での緩和過程

榎森啓元 井田 茂

東京工業大学 理学部 地球・惑星科学科

1. ディスク状に分布した多粒子系

土星のリングが多数の水粒子から形成されたディスクであること、また我々の銀河がディスク形状をしていることはよく知られている。一方、惑星形成の理論的研究によれば現在の惑星を形成するもとになった多数の、微惑星と呼ばれる、小天体の集団もやはり太陽の周りに薄いディスク形状を作るように分布していた (cf. Hayashi et al. 1985)。これらの粒子集団は、惑星のリングから銀河までとスケールには大きな差があるが、中心の重力源 (土星、銀河中心または太陽) がつくる中心力場中で粒子同士の散乱が繰り返され、その積み重ねを通して系が進化するという点で共通している。中心重力場内での粒子の振る舞いを研究する目的は、これらの系に共通する物理法則を見だし、惑星リングの消長や惑星形成の時間の推定といった、未だ解決されていない問題に答を出すことにある。

多粒子系の振る舞いを解明する第一歩はそのランダム速度分布の進化を明かにすることである。現在までの研究により微惑星集団の運動状態に関して以下の性質が明らかとなった。

1) ランダム速度の分散は時間とともに増加する

2) ランダム速度分布はガウス型分布に緩和する

この2つの中でランダム速度分散の増加は中心重力場内での多粒子系に特徴的な現象である。

2. ランダム速度の緩和

球状星団に代表される3次元的に分布した多粒子系のランダム速度分散は、やがてビリアル定理により決まる値に落ちつき、時間的に増加し続けることはない。一方、ディスク形状の多粒子系では粒子同士の散乱によりランダム速度の分散が増加する (cf. Ida 1990)。この性質はエネルギー保存と角運動量保存という2つの基本的な保存則から導かれる重要な性質である。

簡単に説明するために質量 M の中心星の周囲を等質量の2つの粒子が、半径 a の円に近い軌道に沿って運動しているとしよう。このケプラー粒子のランダム速度 (軌道離心率と軌道面傾斜角) の2乗和を v^2 とし、中心星からの距離 (軌道長半径) をそれぞれ $a+b_1$ と $a+b_2$ とする。ここで実際の微惑星系や惑星リングで妥当である

$$v, |b_1|/a, |b_2|/a \ll 1 \quad (1)$$

という仮定を導入すると、上で述べた2つの基本的な保存則より、2粒子の散乱の前後で

$$J = v^2/2 - 3[(b_1/a)^2 + (b_2/a)^2]/8 \quad (2)$$

が一定であることが示される。2つの粒子が散乱によって半径方向に離れると、式 (2) の右辺第2項の値が増加し、その結果 v^2 が J を一定に保つために増加することが分かる (cf. Hill 1878, Nakazawa et al. 1989)。

ランダム速度の分散が時間とともに増加することに対して、ランダム速度の分布関数は一定の関数型、微惑星系の場合はガウス型分布、に緩和することがN体数値計算により確認されている (Ida and Makino 1992)。すなわち、中心重力場内での多粒子系のランダム速度はまず一定の分布関数にその速度分布が緩和した後、準静的に分布関数の形を変えることなく、その速度分散が増加するというかたちで進化する。

Reference

- Hill, G.W., 1878, *Am. J. Math.*, 1, 5, 129, 245.
 Hayashi, C., K. Nakazawa, and Y. Nakagawa, 1985, *Protostars and Planets II*, 1100, The Univ. of Arizona Press, Tucson.
 Ida, S., 1990, *Icarus*, 88, 129.
 Ida, S. and Makino J., 1992, *Icarus*, 96, 107.
 Nakazawa, K., S. Ida, and Y. Nakagawa, 1989, *Astron Astrophys.*, 220, 293.