

U06a 宇宙論的シミュレーションにおける粒子の離散的効果

須藤 靖、A.L.Melott、R.J.Splinter、S.F.Shandarin

天体物理において広く用いられている粒子法によるシミュレーションでの粒子自身の離散性による誤差について、特に宇宙論的 N 体シミュレーションを例として詳しく調べた結果について報告する。一般に粒子法における粒子一つ一つは物理的な天体に対応するものではなく、例えば流体のつくる密度場をサンプリングして表現する代表点のようなものであると考えられる。このような考え方は Smoothed Particle Hydrodynamics の場合に明白であるが、無衝突系の N 体シミュレーションの場合も同様の近似に基づいている。

この場合、粒子の離散性を特徴づける物理量としては粒子の個数密度 \bar{n} と粒子自身のサイズの 2 つがあげられる。無衝突系の粒子のサイズとは少し奇妙な言い方かも知れないが、近距離における重力のソフトニングスケール ϵ であると考えてよい。問題とするのは粒子の平均距離 $\bar{l} \equiv \bar{n}^{-1/3}$ と ϵ の大小関係である。Particle-Mesh 法では $\epsilon \approx \bar{l}$ と考えられるが、さらに近距離での分解能向上を目的とする Particle-Particle - Particle-Mesh 法では $\epsilon \approx \bar{l}/10$ を採用するのが普通である。これを言い換えると質量の分解能はそのまま、長さの分解能だけを 10 倍にした事になる。このような方法論がはたして正当化できるのかどうかは今回の研究の問題意識である。もちろんこれが厳密な意味で誤った近似法である事は自明であるが (e.g., Melott et al. ApJ 1997, 479, L79) 現実には重力の非線形モード間カップリングの結果として“実用的には”ある程度成功をおさめているのも事実である。本講演では、3つの異なるコードを用いて、長さの分解能を一定にしたままで粒子数を系統的に変化させた結果を相互比較し、粒子の離散的効果がどこまで重要であるかについて詳しく論ずる (Splinter et al. astro-ph/9706099 参照)。今回論ずる粒子の離散的効果は無衝突系の N 体シミュレーションの場合のみならず、同じ方法論で (しかも一般により少ない粒子数で) 重力を計算している Smoothed Particle Hydrodynamics の場合により重要となるものと考えられる。