

X03a **P²M² による高精度ツリーコードの実現**

川井敦 (東大総合文化)、牧野淳一郎 (東大理)

我々は高精度の計算を GRAPE を使って行えるツリーコードを開発した。その動作原理と実行性能を報告する。

ツリーコードは粒子間重力を計算するアルゴリズムの一つであり、遠方の粒子からの重力をまとめて扱うことで、粒子数 N の場合の計算量を $O(N^2)$ から $O(N \log N)$ に減らす。ツリーコードは GRAPE を使うと 10~50 倍程度高速化できる (Makino 1991, 99 年秋季年会 X02a 川井ら) が、その用途は主に低精度の計算に限られていた。GRAPE 上のツリーコードでは、粒子をまとめたセルからの重力を、重心においた 1 粒子からの力として扱う。つまりセルからの重力を、多重極展開の 1 次の項 (双極子モーメント) までで近似する。GRAPE が計算できるのは粒子からの力だけなので、より高次の項を GRAPE で計算することはこれまで不可能であった。そのため高精度の計算では、計算量が急激に増えてしまうという問題があった。

P²M² (Pseudo-Particle Multipole Method; Makino 1999) を用いるとこの問題を解決できる。P²M² は多重極展開を仮想的な粒子で表現する手法である。与えられた次数までの展開係数を再現するように仮想粒子を配置し、展開を表現する。高次項も粒子を使って表現されるので GRAPE で計算できる。特に 2 次の展開項 (四重極子モーメント) までの表現には、98 年に発表した手法 (秋季年会 X10a 牧野) では仮想粒子 12 個が必要だったが、その後の改良で、理論上可能な最小の粒子数 (3 個) で表現できるようになり、計算量が大幅に減少した。

我々はツリーコードに P²M² を組み込み、GRAPE-4 上に実装した。GRAPE-4 ボード 1 枚 (15 Gflops) を COMPAQ 社 XP1000 (Alpha 21264/500MHz) に接続して、1~4 次の 4 種類のコードでテスト計算を行った。粒子数が 65536、粒子分布が球内の一様分布の場合に、全粒子からの力の相対誤差 10^{-3} (1 次のコードの見込み角 θ で 0.3 に相当) と、 10^{-5} ($\theta = 0.1$) の 2 通りの精度について、1 ステップ当りの計算時間を測定した。どちらの精度でも 2 次のコードが最速で、計算時間はそれぞれ 3 秒、7 秒であった。この値は GRAPE を使わない計算に比べ、それぞれ 20 倍、100 倍高速である。この結果から、高精度の計算にも GRAPE 上のツリーコードを使えるようになったことが分かる。