

X25b SIMD 命令を用いた SPH 法の高速化

吉川耕司 (筑波大学)

宇宙物理学の数値シミュレーションでは、星形成・銀河形成から宇宙大規模構造形成まで幅広いスケールにわたって粒子法に基づく流体力学シミュレーション手法である SPH 法やそれに類似した計算手法が使われている。これらの手法では、Lagrange 的に運動する粒子に物理量を持たせて近傍の粒子と相互作用させるため、相互作用する粒子が時々刻々変化するという特徴を持っている。そのため、メッシュ法のような計算手法と比較すると計算コストが比較的大きくならざるを得ない。

一方、近年のプロセッサの性能向上の一部は計算コアの数を増やすことによって達成されているが、もう一つの方向性として各計算コア内の SIMD 命令と呼ばれる多数のデータに対して同一の演算を同時に並列計算する命令の性能（並列性）を向上させることでプロセッサの性能向上を達成している。しかしながら、通常の C 言語などの高位言語の標準的な機能で SIMD 命令を効率的に利用することは一般には困難である。

本発表では、この SIMD 命令を活用することで SPH 法の計算コストを大幅に削減する手法を紹介する。SPH 法ではある粒子に対して数十から 100 個程度の近傍粒子群との流体相互作用を計算するが、これを単純に SIMD 命令を用いて計算する場合メモリアクセスの帯域によって性能が本来よりも大幅に劣化する。それは粒子のデータ構造を AoS (Array of Structure) から SoA (Structure of Array) に変換する必要があるためである。我々はこの性能劣化の要因を、一旦 AoS 形式で複数個の粒子をロードした後で、SIMD 命令レジスタ上で転置操作を実施することで排除し、結果的に SPH 計算の計算コストを大幅に削減することに成功した。なお、本研究で開発したコードは粒子シミュレーションフレームワーク FDPS 上で動作するものを公開してある。