

粒子系シミュレーション並列化フレームワークを用いた 東日本大震災を模擬した石巻の実地形津波解析

室谷浩平^{†1} 越塚誠一^{†1} 玉井佑^{†1} 山田祥徳^{†1} 柴田和也^{†1} 三目直登^{†1}
吉村忍^{†1} 田中覚^{†2} 長谷川恭子^{†2} 藤澤智光^{†3}

1. はじめに

粒子法とは、有限個の粒子(計算点)により連続体の支配方程式を離散化し、それらの粒子が保持する物理量の時間変化を Lagrange 的に追跡する数値計算手法である。粒子法は計算点としての粒子を移動させるため、格子法に比べて自由表面や大変形などの動きの激しい物理現象を解くのに優れている。

しかしながら、粒子法による流体一般の解析では有限の Compact Support Domain に含まれる計算点のデータのみ参照し、その参照関係が時間発展に伴い変化してしまう。この性質が分散メモリ計算環境での並列化を困難なものとしてきた。代表的な並列化法には、スライスグリッドと呼ばれる計算領域内に1軸をとり、この1軸に直交するように計算領域をスライスする方法がある。この方法は、計算速度やメモリ効率の向上に貢献したが、大規模並列計算には対応できなかった。そのため、粒子法計算は、共有メモリ計算機での並列化が主に行われてきた。

そこで本研究では、大規模な粒子系シミュレーションのための並列化フレームワークを開発した。尚、我々が対象とする粒子系シミュレーションは、近隣粒子間の相互作用を考える問題である。多体問題は対象外である。

2. 粒子系シミュレーション並列化フレームワーク

本研究では、図1の様に各ステップ内の物理計算をユーザーが自由に設計できるような並列化フレームワークを開発した。粒子法では、ある粒子が1タイムステップで影響を及ぼす範囲が決められている。この影響範囲とクーラン数を考慮した長さを一辺とするボクセルを作成して、粒子をボクセルに格納する。各ボクセルに含まれる粒子数が等しくなるように、ParMETISによって領域分割を行う。各領域からボクセル1つ分だけ領域を広げて、その領域に所属する粒子を各計算ノードに割り当てる。一旦、割り当てられた粒子は、各ステップ内では通信をする必要がなく正しい計算ができる。各計算ノード間の粒子数のバランスが著しく崩れた時には、再度 ParMETIS を用いて粒子数が均等になるように領域分割を行う。

本フレームワークを用いた MPS 陽解法の並列性能を東京大学 FX10 により評価した。ここでは領域分割後の物理計算を行うループの並列性能を評価する。5億粒子の水柱崩壊問題を180ノードから1440ノードのストロングスケ

ールリングを計算時間で測定したところ0.92であった。1700万粒子の水柱崩壊問題を45ノードで測定した結果と5億粒子の同問題を1440ノードで測定した結果の FLOPS によるウィークスケーリングは0.98であった。

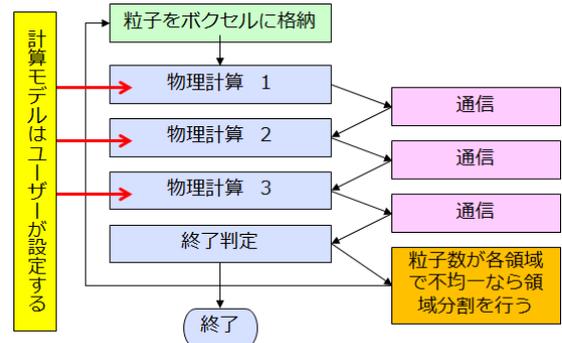


図1 並列化フレームワークのアルゴリズム

3. 東日本大震災を模擬した石巻の実地形津波解析

本解析では MPS 陽解法を用いた[1]。図2は、東京大学 FX10 で96計算ノード(各計算ノード16スレッド)を用いて、2億粒子の津波解析を行った結果である。2億粒子を可視化の際に、粒子ベースの可視化手法を用いた[2]。

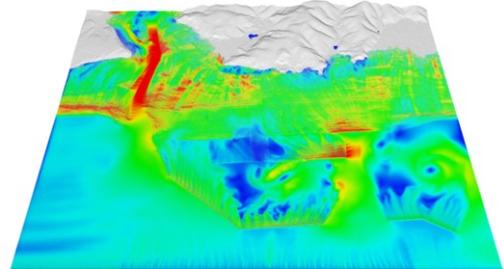


図2 石巻実地形津波解析

謝辞

本研究は、JST-CREST「ポストペタスケールシミュレーションのための階層分割型数値解法ライブラリ開発」の研究成果である。また、ADVENTURE メンバーから有意義な議論を頂けたことを、ここに感謝する。

参考文献

- [1] 室谷 浩平, 大地 雅俊, 藤澤 智光, 越塚 誠一, 吉村 忍: ParMETIS を用いた MPS 陽解法の分散メモリ型並列アルゴリズムの開発, Transactions of Japan Society for Computational Engineering and Science, Paper No.20120012 (2012).
- [2] Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Yoshiyuki Shimokubo, Tomonori Kaneko, Takuma Kawamura, Susumu Nakata, Saori Ojima, Naohisa Sakamoto, Hiromi T. Tanaka, and Koji Koyamada, "Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization.", EuroVis 2012, Vienna (Austria), June, 5-8, 2012.

^{†1} 東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻
^{†2} 立命館大学情報理工学部メディア情報学科
^{†3} プロメテック・ソフトウェア株式会社