

京都大学工学部

学生員 ○吉川 泰弘

京都大学大学院工学研究科

正会員 後藤 仁志

京都大学大学院工学研究科

学生員 五十里洋行

京都大学大学院工学研究科

フェロー 酒井 哲郎

1.研究目的 近年、粒子法の並列・分散処理の研究開発が精力的に行われており、大規模解析の計算時間が大幅に短縮されてきた。粒子法の代表例として SPH や MPS 法が挙げられるが、SPH は並列化によって計算の高速化が行われているのに対し、MPS 法を用いた並列計算は未だ行われていない。本研究では、現在未着手である MPS 法の並列計算において、単純な等間隔領域分割で各計算機に負荷を分散させ、数値造波水路の越波過程の結果から計算点が時々刻々と変動していく MPS 法特有の問題点を検討する。

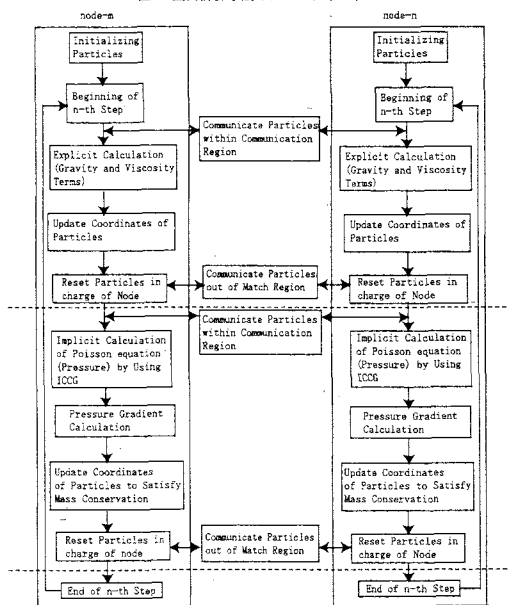
2.MPS 法の概要 Navier-Stokes 式
$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \mathbf{F} - \frac{1}{\rho} \cdot \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

を粒子間相互作用モデルを通じて離散化する。ここに、 $\mathbf{u}$: 流速ベクトル、 ρ : 水の密度、 p : 圧力、 ν : 動粘性係数、 $\mathbf{F}$: 外力(ここでは重力)である。移流項は手法が Lagrange 的であるため流体素子の移動として直接計算される。圧力項及び粘性項は物理的にはそれぞれ勾配・拡散を意味するので、MPS 法では圧力項や粘性項を直接これらの物理的な勾配及び拡散の現象を表すモデルで表現されて離散化される。

3.並列化の概要 並列計算は図-1 のような手順で行われる。本研究では領域分割法を採用しているため、通信領域の設定が必須である。陽的段階と陰的段階として粒子間相互作用を行う範囲が異なるので通信領域もそれにしたがって 2 種類設定した。陽的段階では Koshizuka らの閾値にならって通信領域を $3.1 \times$ 粒径とし、陰的段階では通信領域を $3.1 \times$ 粒径 $\times 3$ とした。

4.並列計算による越波過程のシミュレーション 全長約 6.0m の数値造波水槽で、沖側の移動壁を移動させて正弦波を発生させる。分割数を 8 とし、並列計算を行った。なお、計算に用いた粒子は、粒径 $d=0.01\text{m}$ 、総粒子数約 16000 個となっている。図-2 は計算内時間の 0.1s ごとの計算時間の内訳(待機時間、プロセッサ間通信時間、近傍検索リスト作成時間、マトリクス作成時間、コレスキー分解時間、収束計算時間、その他)を積み上げたものである。図-3 は図-2 に対応するスナップショットである。図には $t=1.0\text{s} \sim t=1.5\text{s}$ の間の

図-1 並列計算手法のフローチャート



※図の破線部で同期をとっている

連続する5ケースのみを pick-up して下から順に表示している。この図で注目すべきことは、まず、待機時間が各プロセッサで異なり、プロセッサによっては5割以上の部分が待機時間で占められている点である。待機時間が長ければ長いほど無駄が多いということを意味するわけであるから、並列化が効率的でないことを示している。なぜ、ノード7でこれだけ待機時間が長いかというと、図-2に示すとおり、経過時間の内訳では収束計算に最も時間がかかるが、その収束計算を行うべき水粒子の数がノード7では圧倒的に少ないから他のノードが計算を終えるのを待たなければならないのである。では、最初に分割線を入れるとき最も岸側の線より水粒子を含むように沖側へと設定すればいいのではないか。しかし、そう簡単にいかないのが、もう一つの注目すべき点である。図-2において、ノード1とノード2を経過時間毎に追っていくと途中で待機時間の大小が入れ替わっていることがわかる。これこそが MPS 法特有の並列計算における問題点である。MPS 法では計算点が時々刻々と動いていく。今回のケースでは波が伝わるに伴い各ノードの担当粒子が増えていき、ロードバランスに変化を及ぼす。つまり、初期段階においていくらロードバランスが均等になるように分割線を配置しても、水粒子の動きによっていくらでもロードバランスが崩れるといえる。

5. 今後の課題

本研究では、等間隔に領域分割したために、ロードバランスが悪く、かつ時間とともに推移していく結果が得られた。したがって、並列計算を進行させている最中に領域分割境界を変動させることでロードバランスの最適化を行えるようにしたい。

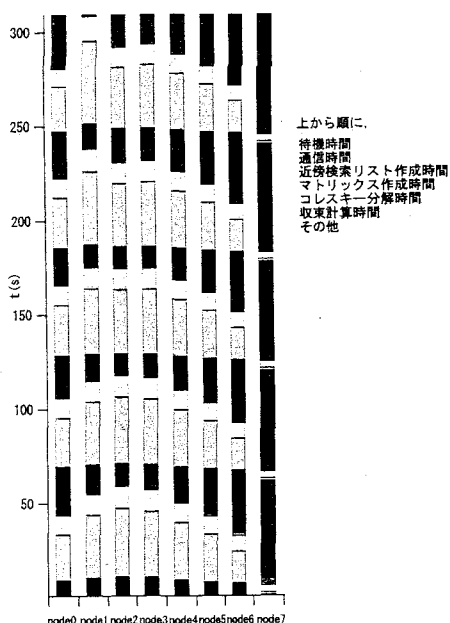


図-2 計算時間内訳

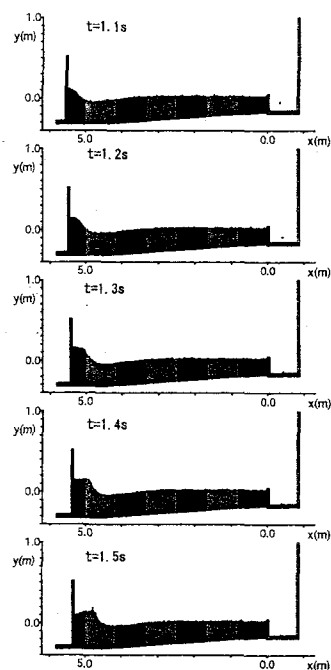


図-3 図-2に対応するスナップショット

参考文献 Koshizuka, S and Oka, Y: Moving -particle semi -implicit method for fragmentation of incompressible fude, Nuclea Science and Engineering, Vol.123, pp.421 -434, 1996