

MPS 法による流体解析における重心ボロノイ分割を用いた粒子の初期位置設定法

長谷川 颯† 荻野 正雄‡ 片桐 孝洋‡ 永井 亨‡

名古屋大学工学部電気電子・情報工学科†

名古屋大学 情報基盤センター‡

1. はじめに

MPS 法[1][2]は, Moving Particle Simulation 法の略であり, 粒子法の代表的手法 1 つである. 圧縮性流体を取り扱うために提案された SPH 法に対して, 粒子法で非圧縮性流体を取り扱えるように提案されたものである. 主に流体解析や構造解析に用いられている. ほかの手法に比べて, 計算格子を作成する必要がない, 大変形や破壊に適用しやすい, といったメリットを持つために現在までに自由表面を有する流れや剛体と流体の練成問題, 布のシミュレーションなどの, 流体や個体の複雑な動きを扱うモデルが研究されている.

MPS 法の計算精度に影響を与える要因の 1 つとして, 粒子の初期位置がある. 初期位置は格子状に配置する方法が主流であるが, 曲面や斜面の取り扱いが困難となる. 他の粒子法である SPH 法向けには, SPH 法のスキームに基づいて初期粒子位置の不均一さを評価し, それを最小化するように粒子を移動させる手法が提案されている[3]. しかし, 同手法を用いる前に, 幾何形状の情報のみから格子状よりも適切な初期粒子位置を生成できることが望まれる. また, MPS 法では計算中に流体として移動する粒子の負荷分散について論じているものはあるが, 初期位置について着目しているものは少ない.

そこで本研究では, ボロノイ分割に基づいて粒子の初期位置を設定する方法を提案する. ボロノイ分割は, 流体力学(気象分野), 水文学, 計画学, 画像処理等の分野で広く利用されてきた. 特に重心ボロノイ分割[4]に着目する. これにより, 曲面・斜面に対して, 格子状に配置したよりも滑らかになることが期待される. 今回は 2 次元問題を対象とし, 壁面が曲線である

容器での静水圧問題について, 重心ボロノイ分割で移動させた初期位置に対して MPS 法のコードで流れ解析を行い, 格子状に粒子を生成し解析した場合と比較した.

2. 重心ボロノイ分割

ボロノイ図は, ある距離空間上の任意の位置に配置された複数個の点(母点)に対して, 同一距離空間上の他の点がどの母点に近いかによって領域分けされた図のことである. ここで重心ボロノイ分割とは, 分割後の領域の重心と母点が一致するボロノイ分割のことで, 母点が最も効率的に分布したときの分割方法とみなすことができる. これは, 一般的なボロノイ分割から, 次の(1)と(2)を繰り返すことで得られる.

(1) ボロノイ分割した後の, 各領域の重心を求める.

(2) 母点を重心に移動して, もう一度ボロノイ分割する.

これを繰り返すと, 最終的に, 重心ボロノイ分割に収束する. 図 1, 2, 3, 4 は重心ボロノイ分割で粒子を移動させた図である. まず図 1, 2 では境界線にて母点が領域外に出ないように処理を行った場合の分割前後の図であり, 図 3, 4 は領域外に重心移動しない壁粒子を配置し, 処理を行った場合の分割前後の図である.

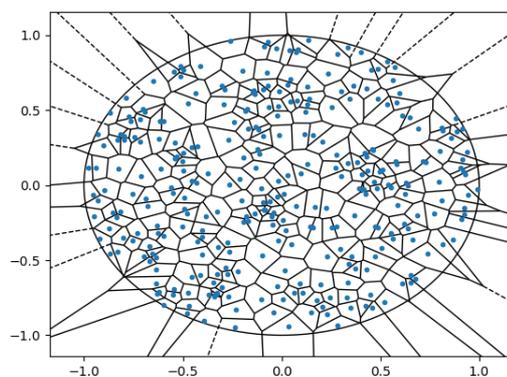


図 1 重心ボロノイ分割前

Initial position setting method for MPS method with Centroidal Voronoi Tessellation

†Hayate Hasegawa, Electrical and Electronic Engineering and Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University

‡Masao Ogino, Takahiro Katagiri, Toru Nagai, Information Technology Center, Nagoya University

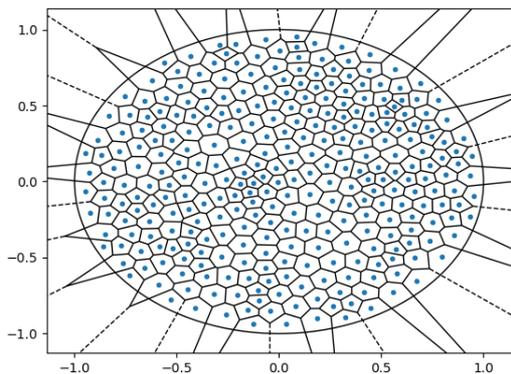


図3 重心ボロノイ分割前(壁粒子あり)

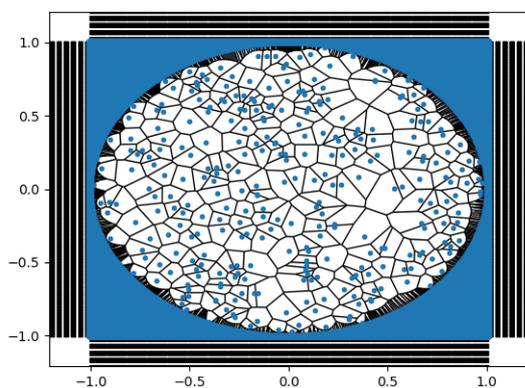


図4 重心ボロノイ分割後(壁粒子あり)

ここで、重心の移動を続けるかどうかの判定は、以下を満たす点が1つでも存在したかどうかで行った。

$$\frac{|x_0 - x_c|}{1.0e^{-4}|x_0|} > 0 \text{ or } \frac{|y_0 - y_c|}{1.0e^{-4}|y_0|} > 0$$

x_0 : 元の母点のx座標 x_c : 重心のx座標
 y_0 : 元の母点のy座標 y_c : 重心のy座標

また粒子数は305個とした。

ここで図1, 2の場合では10000回ループを行

っても収束しなかったが、図3, 4の場合はループ数280回で収束した。よって重心ボロノイ分割を行うにあたり、疑似的に壁粒子を置いた場合のほうが簡単に重心ボロノイ分割を行えることが分かる。

3. 格子状の初期位置との比較

今回実装した重心ボロノイ分割した粒子の初期位置では、格子状の初期位置よりも精度が良くなるとは言えないだろう。しかし壁面に近い粒子について着目してみると、格子状配置よりも滑らかに表現できているのが分かる。

4. まとめ

今回実装した重心ボロノイ分割では粒子法について適用しても性能の向上を確かめられなかった。その理由として重心ボロノイ分割での移動が不完全であったからである。今回の重心ボロノイ分割では、物理的重心を扱ってしまったことで重心が偏ってしまっている。この改善として重心を物理的重心ではなく幾何重心を用いて実装することが上げられる。またより滑らかに粒子を配置するために、収束判定を母点を持つ領域の面積で行うことで、全体が均一になるようにできると考えられるので今後実装していきたい。

参考文献

- [1] 越塚誠一, 粒子法, 丸善, 2005
- [2] 越塚誠一, 柴田和也, 室谷浩平, 粒子法入門, 2014
- [3] A. Colagrossi, B. Bouscasse, M. Antuono, and S. Marrone, "Particle packing algorithm for SPH schemes", *Computer Physics Communications*, 183 (2012), pp. 1641-1653.
- [4] Q. Du, V. Faber, and N. Gunzburger, "Centroidal Voronoi tessellations: Applications and algorithms", *SIAM Rev.*, 41, 4 (1999), pp. 637-676.