

粒子法流体解析における誤差統計モデルについて

明治大学 中村 和幸

1. はじめに

粒子法流体解析[1, 2]は、津波遡上などの複雑な流体の挙動を再現するコンピュータシミュレーション技法である。複雑な流体挙動を定性的に良く再現できるという利点があり、使用が広がっているものの、定量的予測につなげるには圧力振動などの解決すべき誤差の問題が存在する。

そこで、従来の枠組である誤差解析ではなく、スキームの持つ統計的誤差に注目し、シミュレーション結果がもつ誤差の分布について検討を行う。さらに、これをデータ同化[3]の枠組みに組み込んで問題解決につなげる手法について検討する。

2. 粒子法流体解析

粒子法流体解析とは、流体を粒子の集まりとして表現し、粒子間の相互作用をモデル化することで、流体運動に関するナビエ・ストークス方程式

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{g}$$

をラグランジュ的に離散化する数値解析法である。流体を粒子で近似するため、複雑な流体挙動を表現できる一方、座標が移動することに由来する他の手法にはない誤差がある。特に、本来は存在しない圧力振動が問題である。そこで、この圧力振動についてその特性を誤差分布として評価する。

3. 粒子近似による圧力振動時系列の統計的特性の計測

粒子法流体解析のシミュレーションを2次元ダムブレイク問題に適用した。粒子法スキームはMPS法を用いた。初期水塊を15cm四方とし、45cm幅の水槽において崩壊させ、反対側の底面における水圧系列についてシミュレーションを行った。得られた時系列は、移動平均によるトレンド除去を行い、圧力振動成分を中心とした誤差系列を得た。

得られた時系列の誤差分布について、正規分布とコーシー分布によるあてはめによる検討を行った。その結果、裾の重いコーシー分布のあてはまりが良いという結果が得られる一方、局所時系列に対しては正規分布のあてはまりが良いという結果も得た。以上のことから、時変分散の正規分布によるモデリングが良いという示唆を得た。

当日は、これらの誤差に加え、流体計測によって得られる誤差についても検討するとともに、データ同化におけるモデリングについても検討する。

参考文献

- [1] 越塚誠一, 柴田和也, 室谷浩平: 粒子法入門, 丸善出版, 2014.
- [2] S. Koshizuka and Y. Oka: Moving-Particle Semi-Implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid, Nuclear Science and engineering, 123, pp. 421-434, 1996.
- [3] 中村和幸, 上野玄太, 樋口知之: データ同化: その概念と計算アルゴリズム, 統計数理, 53, pp. 211-229, 2005.