

高精度・高性能な大規模流体構造連成問題に対する 数値計算基盤の構築

研究代表者: 田上大助 (九州大学 マス・フォア・インダストリ 研究所)

粒子法は、移動境界を持つ流れ問題に対する数値計算手法の一つとして近年になり注目を集めている。しかしながら差分法や有限要素法と比較すると、粒子法に対する数学的な観点からの誤差評価に関する結果は非常に少なく、災害影響評価など実用問題への拡張が可能な結果は我々の知る限り存在しない。そこで我々は津波が人工構造物に与える影響評価の高精度化・高効率化など、実用問題への将来的な拡張を念頭に、粒子法の誤差評価など数値解析学の観点から基礎的な理論整備を行っている。また一方で、数値計算を用いた災害影響評価など、既に存在する要請に応えるために、あるいは整備が必要となる基礎的な理論に関する知見を得るために、粒子法を用いた津波遡上の数値計算や、流れの数値計算に粒子法を、構造の数値計算に有限要素法を、それぞれ用いた流体構造連成問題の数値計算手法の確立も同時に進めている。本研究期間では、上記の2つの観点から以下のような成果を得ている。

- 粒子配置と用いる粒子体積と影響半径との、離散化パラメータに関して、我々が提案した“正則性”の概念を元に、熱方程式に対する粒子法の誤差評価を得た。図1は得られた誤差評価式に対応する数値実験の結果を表している。空間は我々が提案している一般化粒子法で、時間は左がCrank-Nikolson法、右が後退Euler法で、それぞれ離散化した場合のある熱方程式の数値解の相対誤差を表している。この場合、数学的に得られる影響半径に関する収束次数が、Crank-Nikoloso法の場合は2次、後退Euler法の場合は1次となるが、数値実験の結果は、これをよく再現していることが分かる。
- 粒子法を用いた津波遡上の数値計算において、離散化パラメータとして粒子数と粒子径が異なる場合に、津波の浸水域にどのような影響があるか、多段階ズーム解析を用いた流体構造連成問題の数値計算において、構造物が津波による漂流物からどのような影響を受けるか、などの災害影響評価に向けた数値計算手法の確立を、数値実験的に調査した。

今後は、Navier-Stokes方程式の数値解析へ向け、数学的な理論整備を進めていくこと、理論整備によって言えられた知見を元にした実用問題の数値計算手法の高精度化、実用問題の数値計算手法の高効率化に必要な新しい並列化手法の開発などを進めていく予定である。

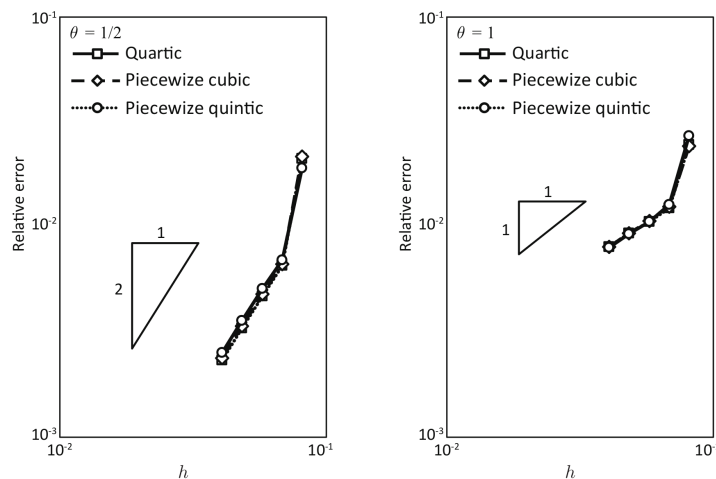


図1 熱方程式に対する一般化粒子法の数値実験で得られた誤差評価の例 (グラフ内の三角形の傾きが、対応する数学的に得られた収束次数を表している)。