



研究課題名 自由界面を含む混相流の革新的数値流体シミュレーション

東京工業大学・学術国際情報センター・教授 **あおき たかゆき**
青木 尊之

研究課題番号：19H05613 研究者番号：00184036

キーワード：混相流、自由界面流れ、非ニュートン性流体、液膜、AMR

【研究の背景・目的】

流体の特徴はダイナミクスと多様性である。流体力学は成熟した学問分野であり、数値流体シミュレーションも発展しているが、混相流は数値シミュレーションが非常に難しい流れである。特に気液界面（本研究では自由界面の中にも含む）を伴う流れは、界面での大きな密度勾配と激しい界面変形を伴うために、流体力学的な難しさ、数学的な難しさ、計算技術の難しさが重なり、数値シミュレーションの発展が長く停滞している。



図1 気液二相流の弱圧縮性流体計算

自由界面を含む非圧縮性の混相流に対し、高効率な弱圧縮性流体計算手法、AMR (Adaptive Mesh Refinement) 法、動的負荷分散などの高性能計算分野の技術を導入する革新的な数値シミュレータを開発する。100nm~1km に渡る3つの実問題 ①大量の瓦礫や流木を含んだ流れの自然災害、②液膜ダイナミクスおよび泡沫の生成・崩壊、③粒子間の液架橋を直接計算する固気液分散系の低水分スラリーの挙動に適用する。詳細モデルで解きながらスパコンで大規模計算を行うことによりマクロな性質を導き出し、流体力学における混相流の新しい知見を得る。

【研究の方法】

自由界面を含む非圧縮性（低マッハ数）の混相流に対して、圧縮性流体方程式を完全陽解法で解く。Riemann ソルバーではなく、音波伝播を高精度で解くことのできる高次有限差分法と有限体積法を組み合わせた新しい流体解析手法を導入する。音波が最も速い波動伝播となるため、計算の時間刻み (Δt) が

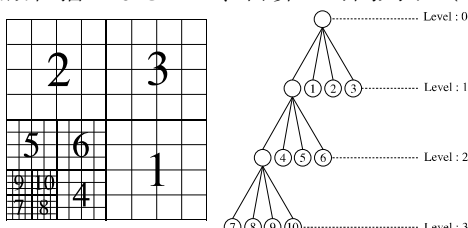


図2 木構造アルゴリズムに基づいた再帰的格子細分化

音速で制限されるが、液体や気体に対して音速を流速の10~30倍程度まで人工的に下げ（マッハ数 0.1~0.03）、 Δt を可能な限り大きくとる。

自由界面および物体近傍に細分化格子を適合させる AMR 法を導入し、計算効率を飛躍的に向上させる。さらに、AMR 法の複雑な計算格子に対し動的領域分割を導入する。

【期待される成果と意義】

①豪雨災害、斜面災害において、単なる土砂だけでなく、大量の瓦礫や流木などの浮遊物を詳細に考慮した混相流シミュレーションを行うことにより、浮遊物の捕捉、構造物への衝撃、被害の範囲、堆積物の影響を精度よく予測することができ、防災への貢献も期待できる。

②液膜の近傍に細分化格子を動的に割り当て、高解像シミュレーションを行うことにより、表面張力、粘性、非ニュートン性に応じた液膜の安定性と泡沫の生成・崩壊を含んだマクロな流動のダイナミクスを解明する。また、泡沫による熱伝達・物質輸送も解明する。

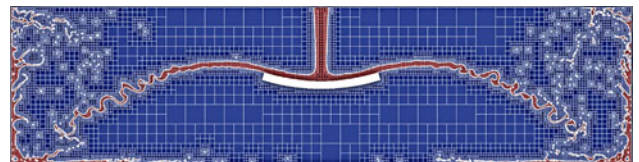


図3 スプーンで水の液膜が生成する過程の計算

③低水分スラリーに対し、粒子間の液架橋を固気液混相流として直接計算する数値シミュレーションにより、攪拌などによりどのような固気液分散系になるのか、マクロな流動特性および非ニュートン性の粘弾性モデルを構築する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ S. Matsushita, T. Aoki: A weakly compressible scheme with a diffuse-interface method for low Mach number two-phase flows, J. Comput. Phys., 376, pp.838-862, 2019
- ・ Y. Sitompul, T. Aoki: A filtered cumulant lattice Boltzmann method for violent two-phase Flows, J. Comput. Phys., 390, pp.93-120, 2019

【研究期間と研究経費】

令和元年度—令和5年度
149,700 千円

【ホームページ等】

<http://www.sim.gsic.titech.ac.jp/>