

相互作用する粒子系の乱流輸送に関する大規模シミュレーション

名古屋工業大学・工学研究科・物理工学専攻 渡邊 威

本研究課題の目的は、乱流と相互作用しながら複雑に輸送される粒子集団の振る舞いを第1原理的に計算することで、粒子群の協同現象における乱流の役割や、粒子による乱流場の変調特性を明らかにする事にある。具体的には、i) 鎖状高分子による乱流場の変形の解明、ii) 乱流の間欠性揺らぎが雲粒子の成長過程に及ぼす影響、の二つのテーマに関する研究をこれまで進めてきた。平成27年度の主な研究成果についてはそれぞれ以下の通りである。

2次元格子乱流の発達過程における高分子の影響

2次元系の乱流現象は3次元系のそれとは異なる独特の乱流特性を有することが知られている。近年石鹸膜を用いた実験による2次元乱流の研究が注目されており、エネルギースペクトルの流れ方向への依存性や高分子添加による渦構造形成への影響とスペクトルの変形が議論されている。しかし実験から得られる限られた解析では、それに関する理解は十分深まらない。そこで高分子鎖をダンベルモデルとして扱った2次元格子乱流のオイラー・ラグランジュ計算を実行し、高分子が格子乱流に及ぼす影響を調べた。結果の一例を図1に示す。高分子の影響により、1) 格子後流での渦の形成が下流側シフトしていること、2) 下流域における渦の合併が抑制されていることが確認できる。これらの結果は実験結果と概ね一致することがわかった。

質点粒子系の衝突頻度計算コードの改良と評価

乱流中の雲粒子の衝突頻度の正確な評価と理解は、良質な雲マイクロ物理モデルの構築を目指す上で極めて重要である。我々は衝突頻度解析のためのコード改良にこれまで取り組んできたが、本課題では異なるプロセス間にまたがる粒子ペアの衝突判定を完全に取り込む様にコードを改良した。すべての粒子衝突ペアの検索に漏れがないか確認し、実際に等方乱流中の慣性粒子群の衝突カーネルの計算を行った。図2に衝突カーネルのストークス数依存性を示す。結果は先行研究のものと概ね一致することが確認できたが、凍結場によるものは大きな St 依存性が生じることがわかった。

乱流中の有限サイズ粒子群の挙動解析のためのコード作成

雲粒子は衝突合併を繰り返すことで、粒径が散逸長オーダーの大きな粒子へと成長する。この大きな粒子はもはや質点として取り扱うことはできず、大きさを考慮した計算を実施する必要がある。本課題では有限の大きさを持つ粒子系と乱流場との相互作用を扱うために必要となる計算法の技術習得と基盤コード開発、並びに基礎データ収集を目指した研究を行った。粒子系はVolume Penalization法を用いて流れ場とのカップリングを実現し、単一粒子系のコード開発から開始して流れ場との相互作用の妥当性の確認や多粒子系への発展(図3)を試み、予備的なコード開発が概ね完成した。

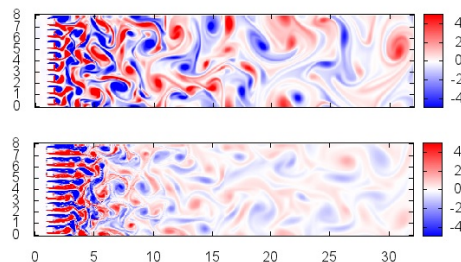


図1: 2次元格子乱流における渦度分布を示す。図の左端(右端)が流入(流出)となっている。上図: 高分子の影響がない1way計算の場合、下図: 高分子の影響を考慮した2way計算の結果である。

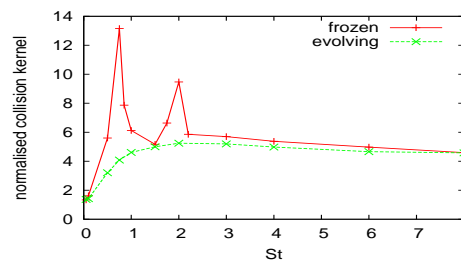


図2: 等方乱流中の固体粒子における規格化した衝突カーネルのストークス数 St 依存性を示している。frozenは凍結乱流場の場合、evolvingは時間発展する乱流場の場合をそれぞれ示している。

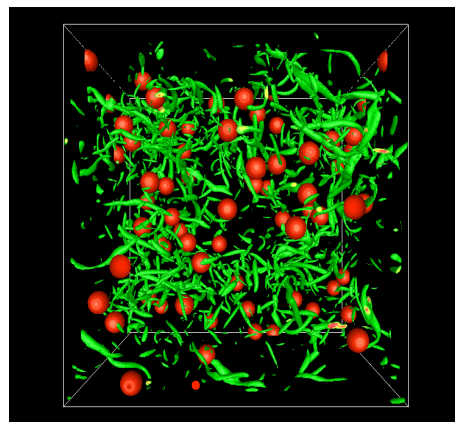


図3: 定常乱流中の有限サイズ粒子群の空間分布(赤)と、対応する流れ場における渦構造(緑)の可視化結果を示している。