

平成 30 年度名古屋大学 H P C 計算科学連携研究プロジェクト 成果報告書  
有限サイズ固体粒子群の乱流輸送に関する大規模シミュレーション研究

名古屋工業大学・工学研究科・物理工学専攻 渡邊 威

粒径が乱流中の散逸渦スケール程度の固体粒子群の乱流による輸送混合過程を第一原理になるべく忠実に計算を行い、乱流中の粒子群の挙動と乱流変調への影響について明らかにすることを目的とする。個々の粒子周りの流れを精度よく解像しつつも、乱流中での多数の粒子群の凝集・拡散現象を扱う事を念頭においた大規模計算が実施可能な並列化コードの開発を行い、等方乱流と粒子群との相互作用の詳細について、粒子群を質点近似した場合の計算結果と直接比較することで、質点近似の妥当性及問題点、限界を明らかにすることを目的とする。

乱流と固体粒子群の相互作用に関する大規模計算コードの改良とテスト

これまでの研究課題において、乱流中の粒子周りの流れを解像し、粒子に働く力とトルクを精度良く解析する計算コードの開発を進めてきた。流体と固体粒子の相互作用の計算には Volume Penalization 法を用いている。今年度微小ではあるが有限の大きさを持つ固体粒子群と乱流の相互作用に関する大規模計算を実行した。乱流計算の格子解像度として  $1024^3$  を用い、一つの粒子について約  $20^3$  格子点を用いてその周りの流れを解像した。エネルギー散逸場の可視化の結果の例を図 1(a) に示す。結果より、粒子の周りの速度勾配の大きな領域が表現できていることがわかった。

質点近似粒子群の乱流変調の検証

これまでの乱流の粒子群による乱流変調に関する研究においては、粒子を質点近似して解析が行われることが多かった。質点近似することにより計算コストは大幅に削減される一方で、流れと粒子群との相互作用がどの程度正確に実現されているか不確かな部分が多い。そこで本研究では物理的条件を同等にして、有限の大きさを持つ球形粒子群による乱流変調と質点近似した場合の 2way カップリング計算の結果を比較した。図 1(b) にエネルギースペクトルの振る舞いを比較した結果を示す。両者は高波数側ではずれが生じるものの、低波数側では両者の一致は良好であることがわかった。

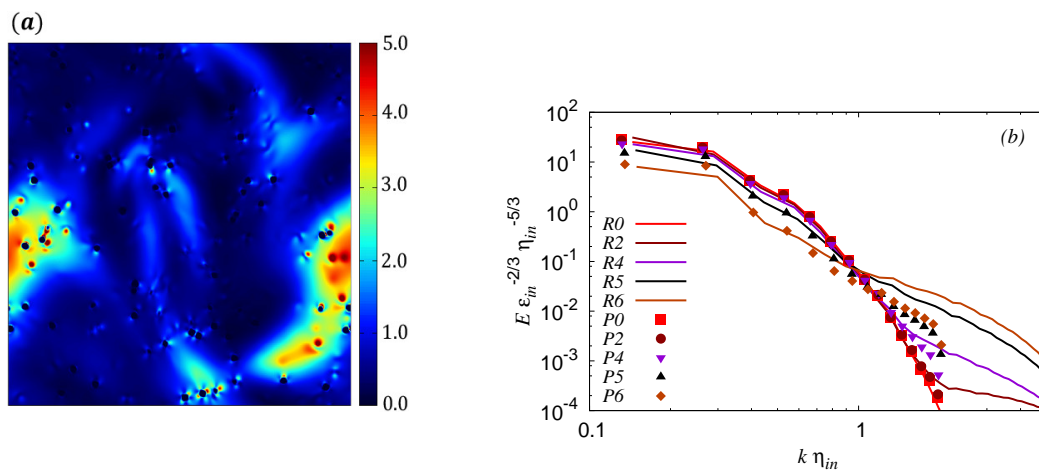


図 1: (a) 有限サイズの球形粒子を含む等方乱流場におけるエネルギー散逸場の 2 次元断面図を示す。個々の粒子の周りの流れは精度よく解像されており、粒子の周りで強いエネルギー散逸が生じている様子がわかる。計算は比重 2 の粒子を 3072 個領域全体に分布させた状態から計算を行っている。粒子群の体積分率はおよそ 2.22% である。(b) 無次元化したエネルギースペクトルの振る舞いの比較を表す。実線は粒子解像計算から得られた結果を示し、点は物理的条件を等しくした質点粒子群の 2way カップリング計算による結果である。比重の増加とともにスペクトルの振幅は低下していくが、両者の変化の仕方は低波数側ではよく一致している。