

jh230019

渡邊 威 (名古屋工業大学)

研究課題名

内部自由度を持つ粒子群と乱流の相互作用に関する大規模シミュレーション

2023年7月6日@オンライン



研究背景

・粒子懸濁液の流れやポリマー混入流，金属微粒子の精製過程，微小気泡や液滴を伴った流体機器内の流れ，河川流中の掃流砂輸送などの複雑混相流れ

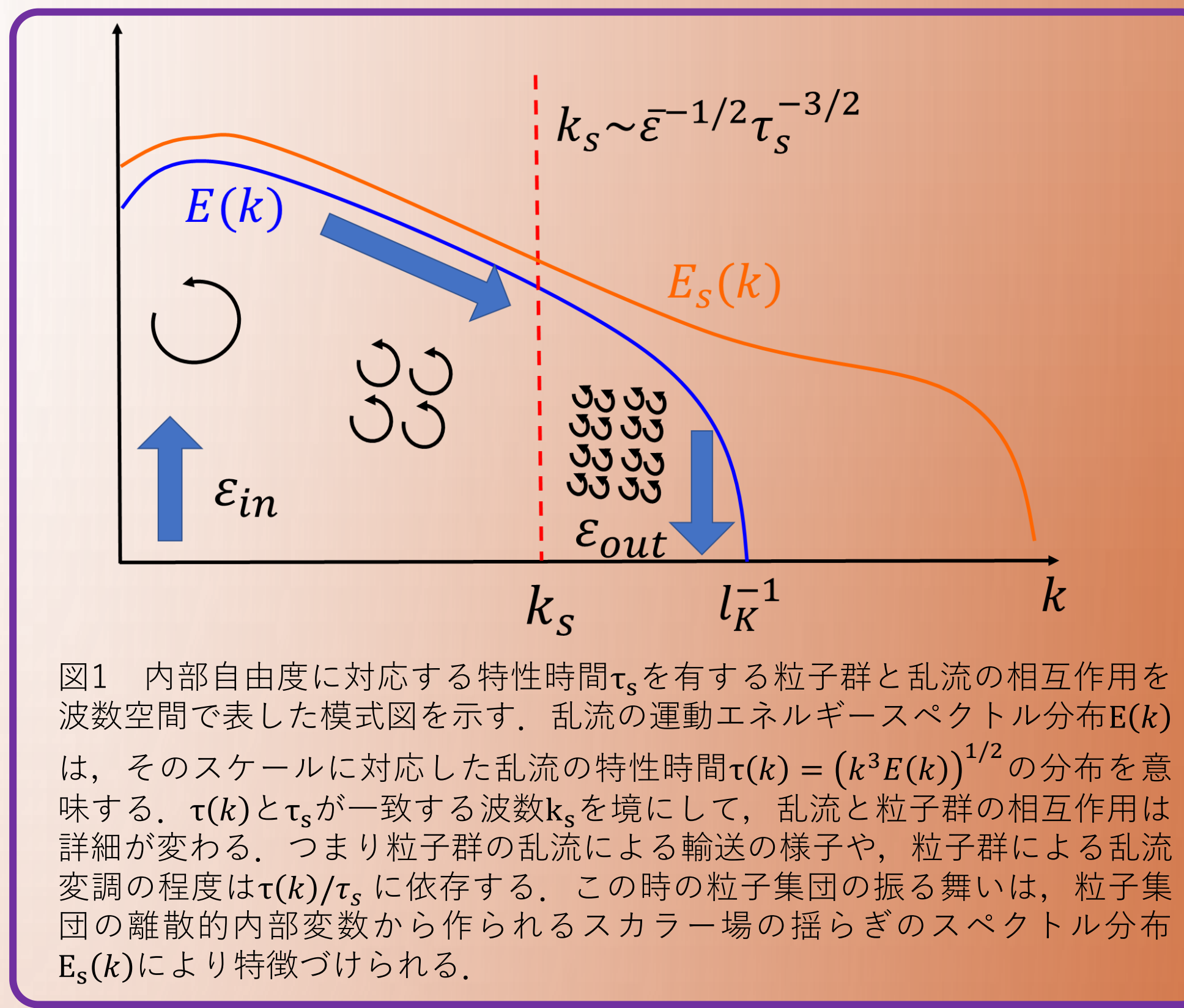
- 扱う対象や目的は互いに異なっているが，粒子に働く流体力のモデル化や計算手法，データ解析手法など共通する部分が多い。

- 流れ場とは無関係に決まる系固有の特性時間（相変化に伴う反応時間や高分子鎖の緩和時間など）を含有

- 特性時間と乱流の特性時間との大小関係によって，粒子群の振る舞いや乱流への影響は複雑な様相を示す (図1)。

・乱流が有する強い非線形性は，速度勾配場に特異構造を誘起し，それは乱流の間欠的揺らぎの起源となる。

・複雑混相乱流の問題は，**内部自由度に対応した特性時間を有する粒子系と，特異構造で特徴づけられる乱流場の相互作用の問題**に帰着することができ，問題の本質を捉えることが容易になる。

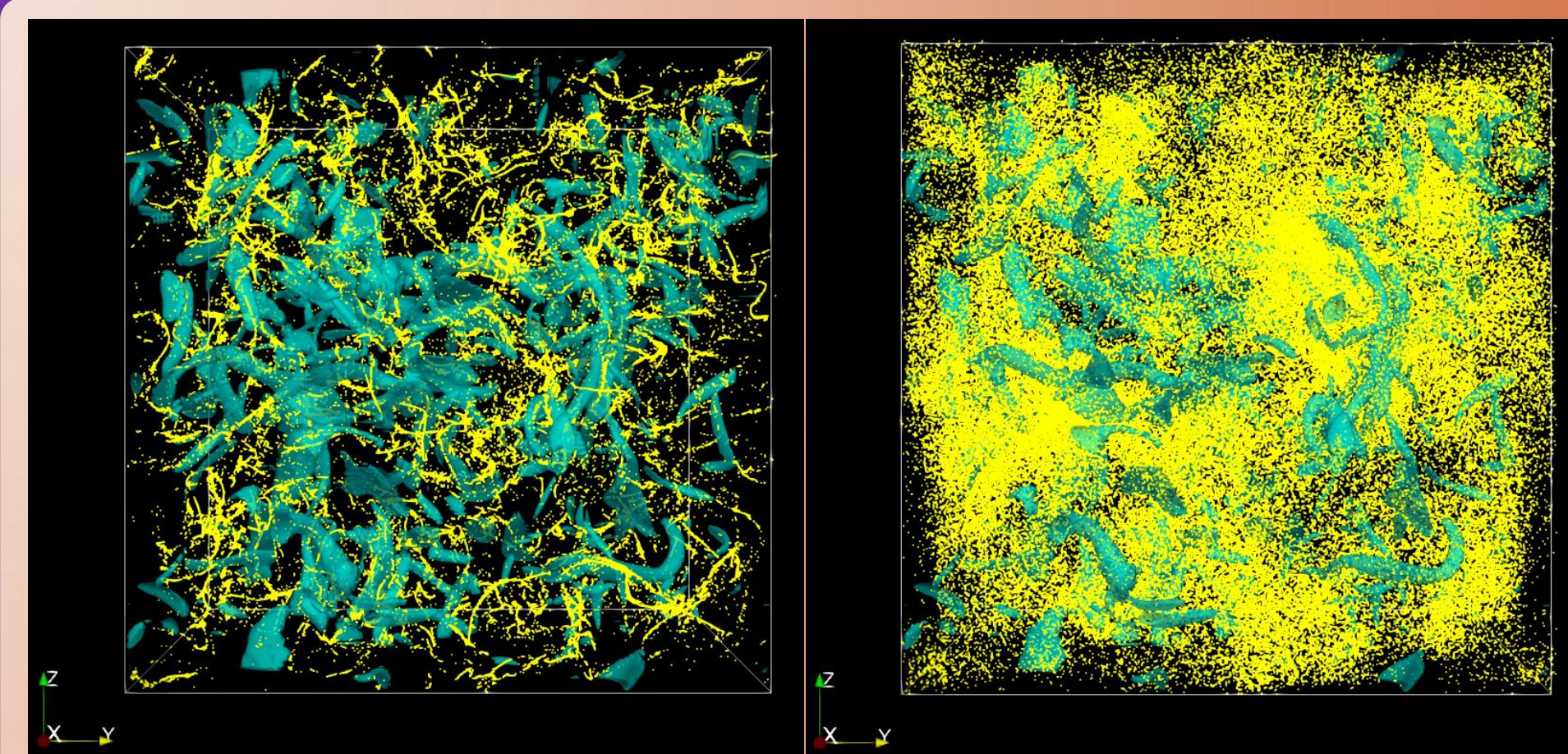


研究目的

・申請者が代表として採択された研究課題“多粒子分散系の乱流輸送に関する大規模シミュレーション”（2020-2022年度）における成果を踏まえた新規課題

・素過程を抽出し，新奇シミュレーション手法を開発して解析し，粒子内部自由度と乱流構造の基本的性質の理解，乱流場と粒子群の相互作用を解明

- 以下の三つの課題を柱として課題研究を進めていく。
 1. 粒子集団表現によるスカラー輸送問題の高効率計算手法の開発
 2. 乱流場の特異構造と粒子輸送の相関解明
 3. 粒子群と乱流の相互作用に関する高精度計算の検討



2023年度 研究計画

1. 粒子集団表現によるスカラー輸送問題の高効率計算手法の開発

- ・雲乱流中の雲粒子集団 → 相変化を伴う高シュミット数のスカラー輸送
- ・オイラー的手法による高シュミット数のスカラー輸送の直接数値計算は著しく困難
- ・統計理論が予測する三つのスケーリング領域の遷移波数の存在検証
 - ✓ 内部特性時間を有する粒子を用いたオイラー・ラグランジュ計算法の採用
 - ✓ 計算の大規模化粒子個数・位置・速度情報のプロセス間通信の見直し
 - ✓ 配列の再allocation等にかかる計算時間などの削減に向けたコード改良

2. 乱流場の特異構造と粒子輸送の相関解明

- ・乱流中に偏在する階層的渦構造に伴う強い揺らぎと間欠性 → 粒子分布やスカラー混合特性に影響
- ・乱流中の速度勾配場の統計則と粒子分布の関係性？
 - ✓ 大振幅の渦度場やエネルギー散逸場の形状や確率密度関数に着目
 - ✓ 乱流場の特異点の生成と形状，強度とその発生頻度との関連性を解明
 - ✓ 乱流中の微粒子群（固体粒子やマイクロバブルなど）のオイラー・ラグランジュシミュレーション解析により，散逸場や渦度場の揺らぎと粒子数密度分布の関連性を解析 (図2)

3. 粒子群と乱流の相互作用に関する高精度計算の検討

- ・固体微粒子やマイクロバブル，鎖状高分子の集団が分散した乱流場の巨視的挙動変化 → 粒子群は質点粒子の集団として扱うことが現実的なシミュレーションモデル
- ・質点粒子に作用する流体力の評価 → 粒子位置における，粒子自身による速度擾乱を取り除いた非擾乱速度を求める必要がある (図3)
- ・非擾乱速度は一意に決まらないため，いくつかの近似評価手法が提案 (Horwitz & Mani, JCP 318 (2016) 85; Ireland & Desjardins, JCP 338 (2017) 405; Yoshida et al., Chem. Phys. Lett. 737 (2019) 136809)
 - ✓ 質点粒子に働く抗力評価を再考察
 - ✓ 本研究課題における計算手法に適した高精度・高効率計算法を検討

