

Jh200006-NAH

渡邊 威 (名古屋工業大学)

研究課題名

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年7月9日@オンライン

研究背景

- ・自然現象や工学的な流れの多くは複雑でかつ様々な状態の物資を含有する混相流れである（沸騰する液体中の気泡，血管内の血球，河川の流れにおける流砂，雲中の氷晶，偏西風によって飛来する黄砂など）
- ・混相乱流は極めて複雑で多様な物理を内包する一方で，その詳細に関する理解はいまだ不十分。
- ・計算機の飛躍的な発展により，乱流中の微小物質の複雑な振舞を第一原理になるべく忠実に，精度よく計算することが可能。混相乱流の研究における大規模計算の役割は極めて重要（**図1**）。

研究目的

- ・第一原理になるべく忠実に混相乱流の大規模数値シミュレーションを実施するための計算基盤の構築
- ・計算コードの妥当性や計算精度の検証
- ・粒子輸送のモデリング等に役立つ基礎データの収集と分析

具体的な課題設定

1. 固体粒子群による乱流変動の素過程の解明

微小な固体粒子群による乱流変動について，有限サイズ粒子による解析を実施し，質点近似の妥当性や限界を調査する（**図2**）。また非球形の有限サイズ粒子群と流れの相互作用を適切なコストと計算精度で解析しうるバランスの良い計算コードの開発を行い，乱流変動効果や粒子群の凝集・衝突過程へのパラメータ依存性を明らかにする（**図3**）。

2. 微小液滴の衝突・併合過程の解析

雲マイクロ物理過程における微小液滴の衝突過程に関する数値解析を行う。とくに相対粒径・相対速度・重力の影響をパラメータとして，粒径分布や平均半径の成長の程度を調査する。また二相系格子ボルツマン法を用いて微小水滴同士の衝突・併合の衝突ダイアグラムを構築するために必要な計算手法の確立を目指す。

2020年度 研究計画

1. 固体粒子群による乱流変動の素過程の解明

- ✓ Volume penalization法を用いた微小固体粒子群と乱流の相互作用解析のための直接数値計算の実行
- ✓ 非球形固体微粒子の場合の計算コードの開発とその評価
- ✓ 複雑な形状の物体間に働く相互作用（潤滑力）の評価
- ✓ 乱流統計量の変化，粒子群の動径分布関数の粒子形状依存性の調査

2. 微小液滴の衝突・併合過程の解析

- ✓ 乱流による粒子群の衝突併合に関する調査
- ✓ 粒子慣性が重要になる場合，および重力の影響を加味した場合について，粒径分布や衝突成長の素過程を調査
- ✓ 二相系LBMを用いた解析により微小液滴に対する補正や拡散項の検討など過去の課題解決を進め，低ウェーバー数領域の雲粒子衝突解析への適用を目指す

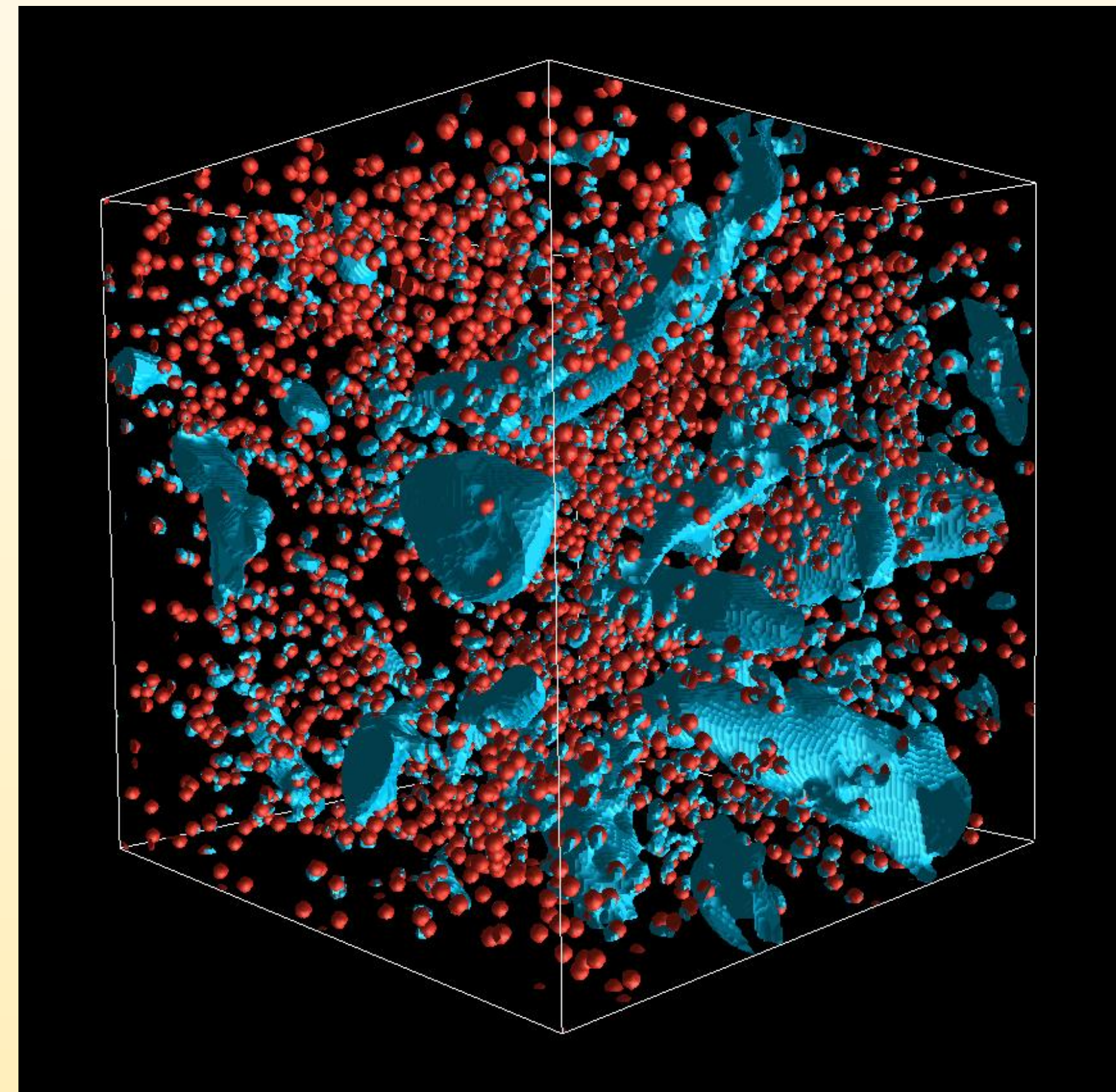


図1：乱流中に浮遊する個々の固体粒子の周りの流れを解像した，粒子群と乱流 ($R_\lambda = 20$) の相互作用の数値シミュレーションから得られた渦と粒子群の分布の可視化図を示す。比重，ストークス数は $\beta = 10, St = 0.90$ である。

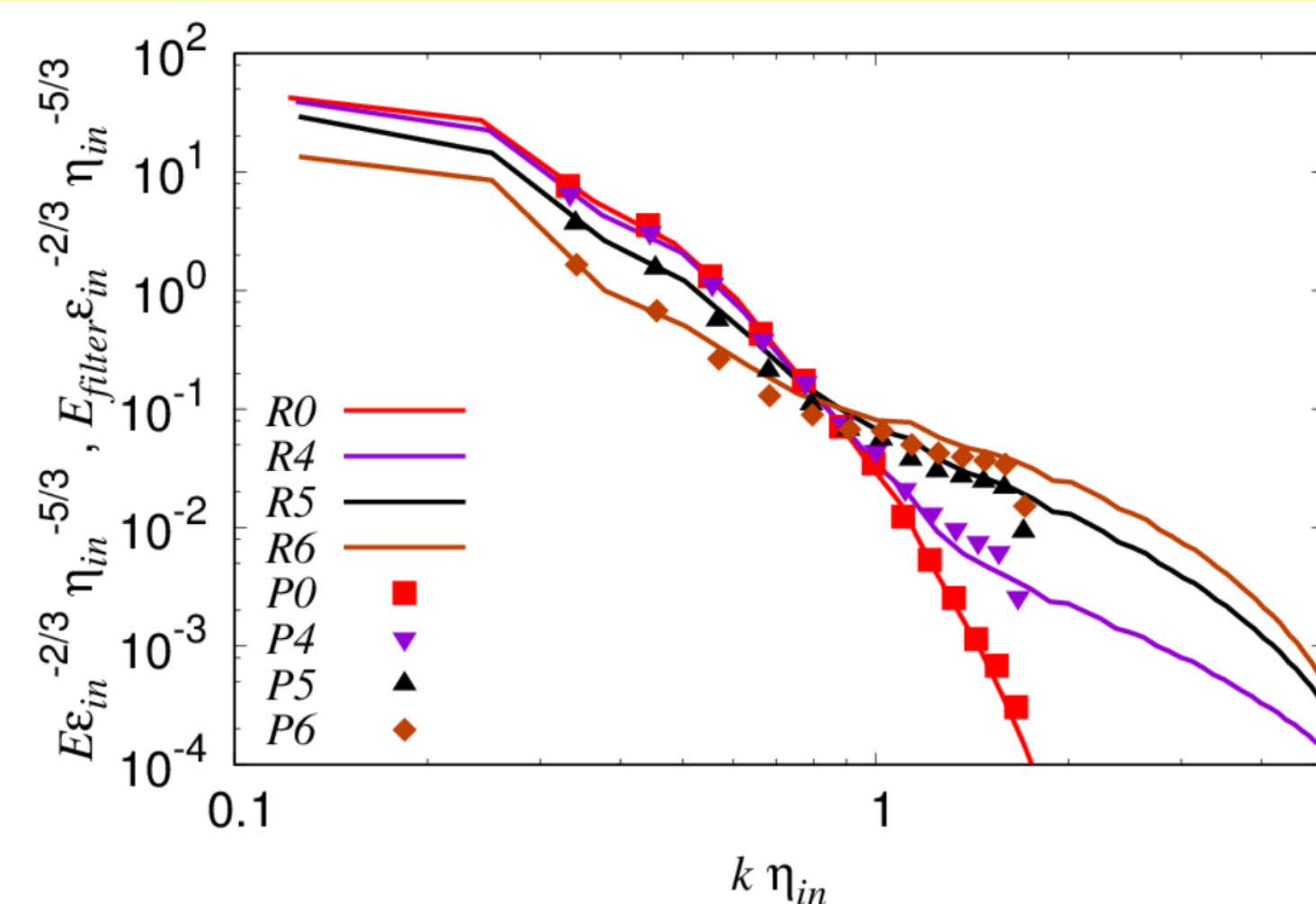


図2：固体粒子による乱流エネルギースペクトルの変形の様子について，粒子解像計算による結果 (R0-R6) と質点近似粒子による結果 (P0-P6) を比較したものを示す。比重が増加するにつれてスペクトルの高波数領域が大きく変形するが，質点近似による計算結果との一致は大変よいことがわかる。

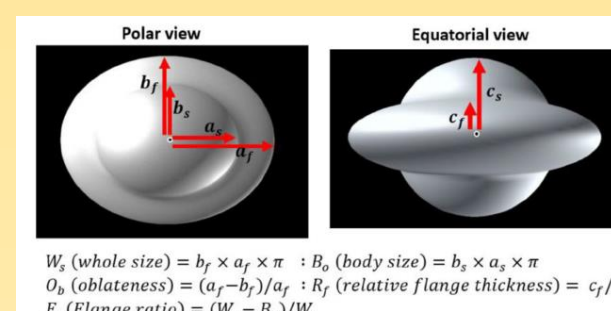
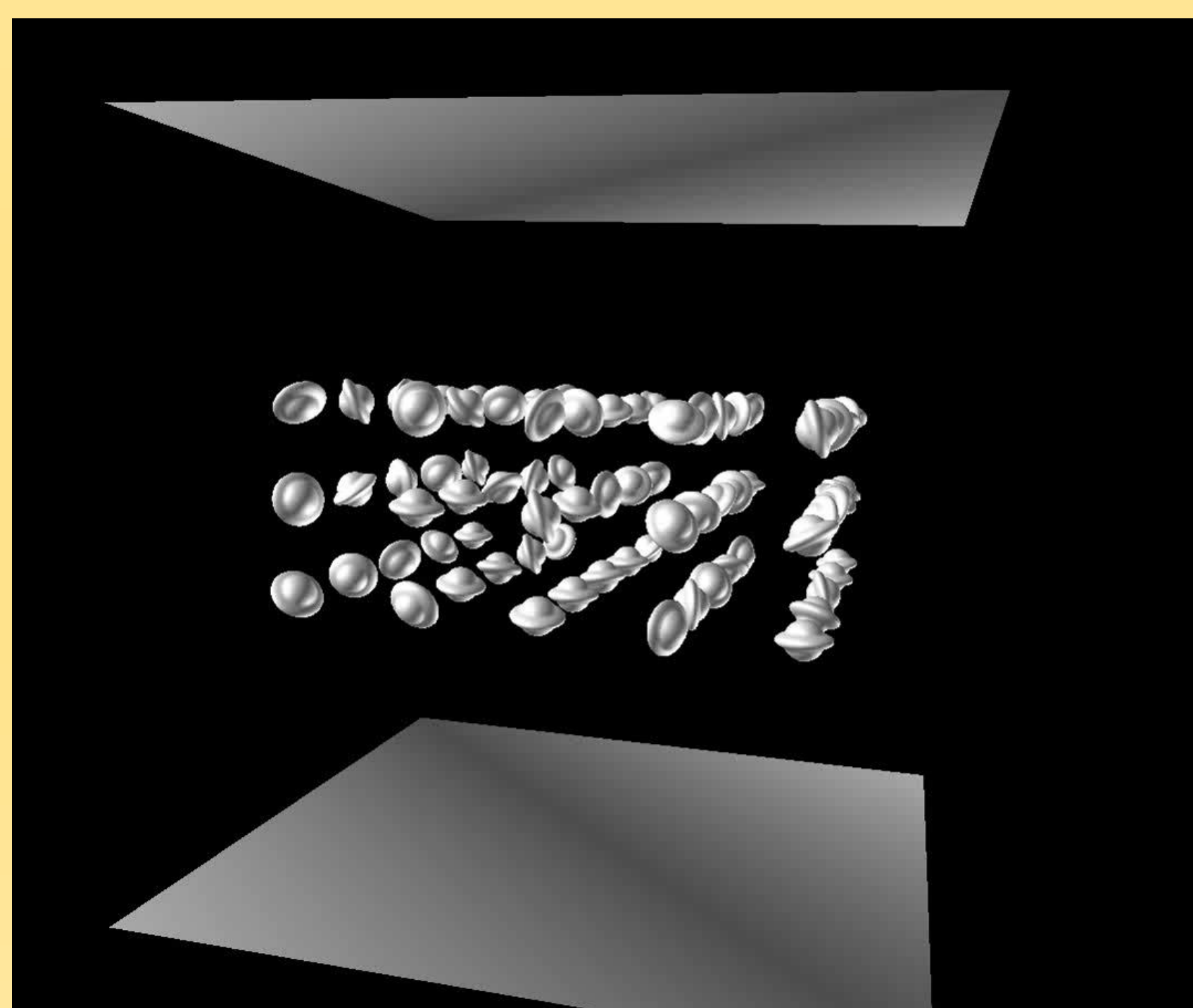


図3：太古代に生息したプランクトンを模した，非球形の粒子群の流体中での沈降の様子をシミュレーションした結果を示す。
T. Kozawa et al. *Gebiology* 17, 113 (2019)