

課題：大気境界層乱流現象解明のための計算科学

課題責任者：石原 卓（名古屋大学大学院工学研究科附属計算科学連携教育研究センター）

課題目的：

大気境界層乱流に関する規範的な問題の大規模直接数値計算 (DNS) を実施し、大気境界層における高 Re 乱流現象の解明を行う。また、応用問題として、都市域大気乱流境界層の LES 解析と環境・減災問題への展開を行う。

今年度得られた成果：

■ 乱流境界層の大規模直接数値計算とその活用

乱流境界層の DNS により、乱流・非乱流界面近傍の乱流・非乱流遷移層と渦あり渦なしの境界となる表層（スーパーレイヤ）の二重構造を明らかにした。また、乱流・非乱流界面が非乱流側の速度変動をブロックする働きがあることを実証*

乱流境界層の乱流・非乱流界面がテイラー長でスケールする乱流・非乱流遷移層とコルモゴロフ長でスケールする表層（スーパーレイヤ）の二重構造であることを明らかにした。また、乱流・非乱流界面が非乱流側の速度変動をブロックする働きがあることを実証した。さらに、乱流・非乱流界面近傍の慣性粒子の追跡シミュレーションを実施し、非乱流側の慣性粒子が乱流・非乱流界面近傍でブロックされる傾向があることを示すデータを数値計算によって得た。

また、ビルを粗度効果として模擬した、最も基礎的な粗度である正弦波状壁面上の流れ場のデータ解析を行った。データは ES2 用に最適化済みの乱流境界層の DNS コードを用いて得られたものである。シュミット数が 0.71 及び 2 における汚染物質の拡散と流れによる抵抗の関係について調査し、その非相似性について相関係数による定量的な評価を行った。

■ 固気混相乱流の DNS 解析

有限サイズの固体粒子の浮遊する乱流固気混相壁乱流 DNS コードを開発

DNS により、チャンネル乱流中に有限サイズの固体粒子を固定した解析を行い、粒子後流の渦構造や圧力抵抗係数の観点から、定性的・定量的に精度の良い結果が得られたことを確認した。あわせてチャンネル乱流中に固体粒子を複数浮遊させて、固-気および固-固間の相互干渉を考慮した現象の再現を行い、先行研究結果とも妥当な一致を確認している。以上から、固気混相乱流の DNS コードは完成したと見なすことができる。

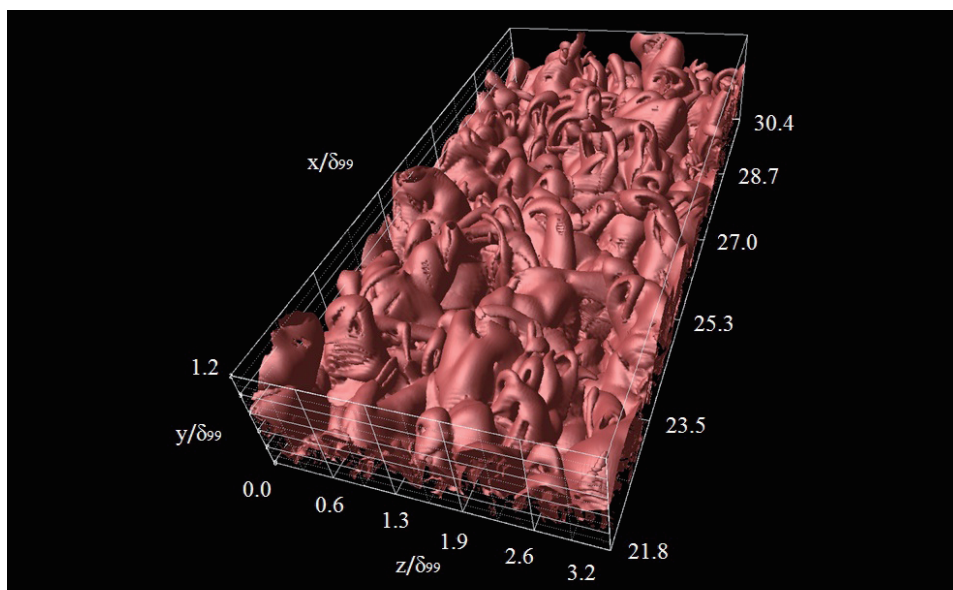
■ 都市域大気乱流境界層の LES 解析と環境・減災問題への展開

高解像度 LES 解析に基づく、円柱断面構造物の臨界状態での変動風力特性の三次元効果の検討により、臨界レイノルズ数域において、対称な円柱まわりで非対称な流れが維持される要因を解明

都市域温度成層境界層における危険物質拡散特性を明らかにするためにブロック群の上空を発達する安定境界層に関する予備的な LES を実施した。また、突風時の地表近傍変動風速を明らかにするために各種条件下での竜巻状旋回流の LES を行った。

さらに、大気境界層中の塔状構造物の安全性の確立をめざし、円柱断面構造物を対象として臨界状態での変動風力特性の三次元効果の検討を行った。高解像度 LES 解析により、臨界レイノルズ数域における対称な円柱まわりの非対称な流れの維持される要因について考察した。その結果、非対称流れの維持は、非対称流れの形成に伴う流量のアンバランスより、淀み点がシフトし、剥離点より風上領域における曲面に沿った境界層の不安定性が起因することが明らかとなった。この流れの不安定性により剥離バブルがスパン方向に大きく波打ちながら変動し、後流の三次元構造が生じる。そのため、逆サイドのせん断層の巻き込みが阻害され、層流状態が維持されることが示された。また、対象な超臨界域の流れとの比較により、剥離・再付着域の流れの不安定特性の違い、剥離バブルの形成の違いなどを明らかにした。さらに、レイノルズ数を上昇させた時の非対称流れの変化について解析を実施し、既往の実験結果と同様な偏った揚力特性を確認するとともに、その要因について検討した。

* 成果をまとめた論文「T. Ishihara, H. Ogasawara, J.C.R. Hunt: J. Fluids and Structures (2015)」が Most downloaded articles top8 にランクイン (2015 年 3 月末)



乱流境界層の乱流・非乱流界面