

平成 28 年度名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト成果報告書

研究課題名：空間発展する乱流/非乱流共存場における複雑輸送現象の大規模シミュレーション

研究代表者：岩野 耕治（名古屋大学大学院工学研究科機械理工学専攻）

流体中に速度こう配が存在するせん断流の発達過程においては、高速側の乱流が低速側の非乱流を巻き込み・混合しながら空間発展する。この遷移過程における運動量やスカラの輸送・拡散・混合現象を明らかにするとともにそれらを制御することは、工学的に極めて重要である。本研究では (A)混合層流の遷移過程の解明と (B)噴流出口に取りつけた半デルタ翼型ボルテックスジェネレータ (VG) が円形軸対称噴流の拡散に及ぼす影響の解明、を目的として直接数値計算を実行した。なお本報告では、(A)の混合層流の研究についてのみ述べる。

直接数値計算の支配方程式は非圧縮性流体に対する連続の式、ナビエーストークス方程式およびスカラ輸送方程式である。計算領域は、鉛直方向高さ L に対して主流方向に $2.1L$ 、スパン方向に $0.8L$ (格子点数 $2300 \times 1260 \times 900$) とした。流体の流入速度は上層側を $U=2.0$ 、下層側を $U=1.0$ とした。上下層の速度差と計算領域高さを基準とするレイノルズ数を $Re=10000$ とした。流出面には対流流出条件、鉛直方向境界面にはノイマン条件、スパン方向境界面には周期境界条件を適用した。またスカラに関しては上層側に濃度 $C=1.0$ のパッシブスカラ ($Sc=1$) を流入させた。数値解法にはフラクショナルステップ法を、時間進行には 3 次精度のルンゲクッタ法および 2 次精度のクランクニコルソン法を用いた。スーパーコンピュータは FX100 を使い、MPI 化して 192 ノードを用いた計算した。

計算の結果、混合層流が上流から下流に進むにつれて混合層が発達する様子が確認された (図 1)。また初期にはペアリングしながら発達し、上下層界面もはっきりと見られるのに対して、遷移域では大スケール渦は見られるものの界面では小スケール渦ができ複雑に変形すること、発達域では大スケール渦もはっきりとは見られなくなることがわかる。また、レイノルズ応力やスカラ乱流フラックスの平均値 (\overline{uv} , \overline{uc} , \overline{vc}) の分布を調べたところ、遷移領域では場所やスケールによっては従来の速度差に基づく順勾配拡散とは逆方向に輸送される逆勾配拡散が見られた。またこれに伴い、運動量や物質の乱流拡散係数も発達した乱流場のそれらとは大きく異なった。

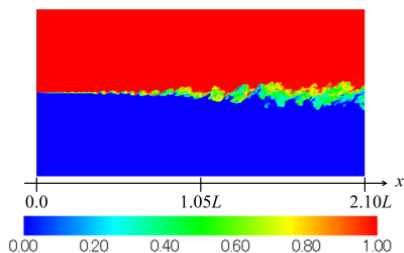


図 1：瞬間スカラの x-y 断面分布

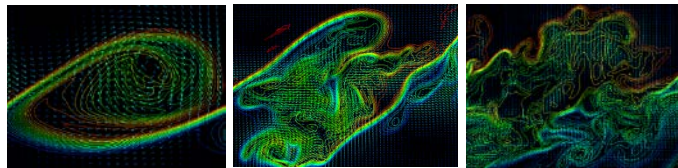


図 2：混合層中心付近の界面の様子。

(左) $x/L=0.7$ 付近, (中央) $x/L=1.2$ 付近, (右) $x/L=1.8$ 付近