

高レイノルズ数壁乱流における凍結乱流仮説の検証

名古屋大学工学研究科 辻 義之, Ali MEHRZ, 恒吉達矢

山梨大学工学部 山本義暢

名古屋大学情報基盤センター 高橋一郎

地球水循環研究センター 坪木和久

壁面に沿って発達する流れ（乱流境界層）には、様々な長さスケールを有する渦構造（組織的構造）が存在することが古くから知られ、境界層中の乱れエネルギーの生成や散逸に重要な役割をはたしている。

高レイノルズ数乱流実験と数値計算を同一体系で比較検討するための手法開発として、チャンネル乱流場($Re_\tau=2000$)を対象とした高精度乱流計測法、オイルフィルム法による底面せん断応力測定法、ならびに MPI 及び OpenMP によるハイブリッド並列化した直接数値計算手法の開発を実施し、その精度に関する比較検討を行った。その結果、平均速度、変動 rms 値の空間分布は実験と DNS の結果がよく一致することを確認した。Pre-multiplied spectrum 形状を比較したが、両者の一致は芳しくなかった。その原因は凍結乱流仮説の妥当性、大規模組織構造の影響、プローブ分解能の影響が考えられるが、個々の要因の定量的評価はできていない。DNS データに関して、時間統計量を計算するには十分とは言えなかった。従って、より計算領域を大きくし、かつ長時間のデータの取得が必要であることがわかった。室内実験等で指摘されている外層の高レイノルズ数効果を検討するには、 $Re_\tau=2000$ のレイノルズ数は、まだ小さい値であり、より高いレイノルズ数の計算に取り組む必要性を確認した。実験データの信頼性を確認するため、数値計算との比較が必須であった。これらのデータ解析を進める過程で、大規模構造の抽出、可視化、統計量の算出をおこない、仮説の妥当性検証を継続しておこなっている。

数値計算データを用いた凍結乱流仮説の検証では、小スケールの速度変動に関してはおおむね成り立っていること、大きなスケールでは統計量が安定せず、正確な議論ができないことがわかった。凍結乱流仮説の検証には、より高いレイノルズ数の数値計算データと観測データが必要とされる。Townsend の attached eddy 仮説によれば、壁乱流中における大規模構造はエネルギースペクトルに -1 乗領域を形成する。観測データにもそのスペクトル型を確認した例が報告されている。本研究でもより高いレイノルズ数($Re_\tau=4000$)の計算を実行し、 -1 乗スペクトル形成の有無と PMS の第二ピークの形成について議論する。また、観測データとの比較から、大規模組織構造の凍結乱流仮説への寄与について報告する。

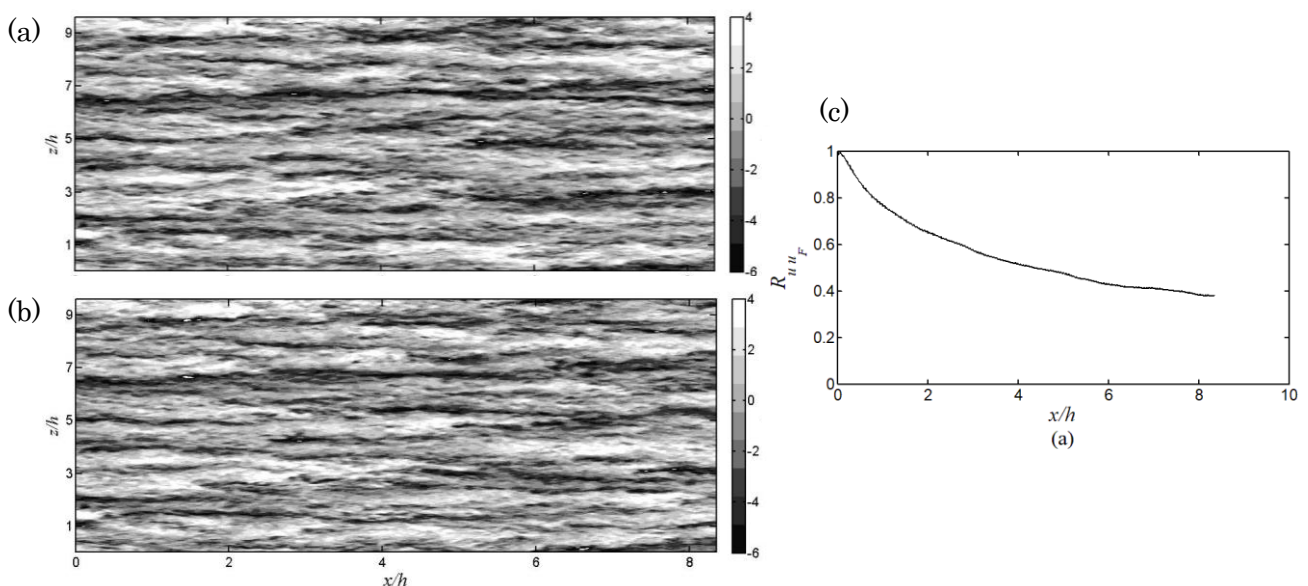


図1 流れ方向速度の等値面($y/h=0.1$), (a)真の速度場, (b)凍結乱流場, (c)両者の相関係数