

壁乱流における大規模組織構造と凍結乱流仮説の数値的研究

山梨大学工学部 山本義暢

名古屋大学工学研究科 辻 義之

名古屋大学情報基盤センター 石井克哉

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($Re_\tau=1000$)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 データに関しても、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、 $Re_\tau=1000$ 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。また、実験的手法として、圧力プローブの小型化による精度の向上、バックグラウンドノイズの除去方法を確立、壁近くでの計測分解能の補正方法を DNS データとの比較から開発した。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、統計量の算出に関して、幾つかの問題点があることが判明した。現在、それらの問題点を改善するための作業を計画、進めている。

高レイノルズ数実験と同一体系で実施した壁乱流の直接数値計算における時空間 DNS データベースを用い、周波数スペクトルならびに波数スペクトル(PMS)の比較をおこなった(図1)。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。実験データとの比較からは、大きなスケールでの変動に相違がみられ、その原因を考察している。

凍結乱流仮説の検証および検証に必要な実験データとの整合性を整えるために必要となる項目の精査をおこなってきた。しかし、計算規模・データ規模の拡大に加え、100T 超のデータベースとなったことから、時空間相関解析ならびに可視化解析において、さまざまな支障があることが判明した。そこで、空間データを簡略化して保存し、より長時間の時系列データの取得をおこなっている。また、計算科学・大規模可視化に関する研究者を含めた研究体制での研究を継続している。大規模構造の抽出、統計量を安定させるためには、当初予定していた以上の長時間の時系列データが必要となることが明らかになった。

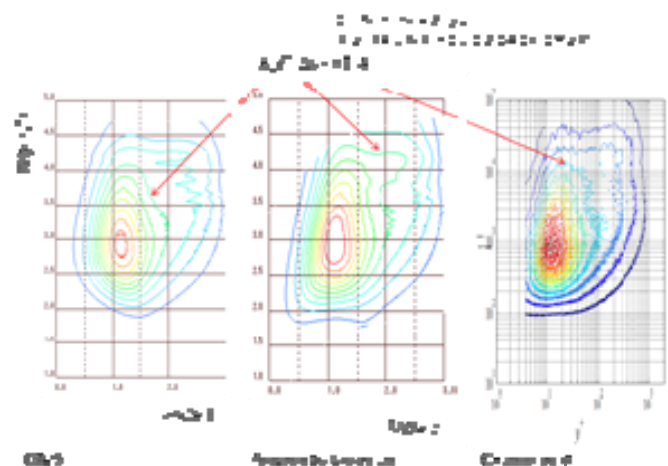


図1 流れ方向速度の PMS の等値面

左から、数値計算（波数スペクトル）、数値計算（凍結乱流仮説）、実験データ（凍結乱流仮説）。