

## 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。近年、直接数値計算（DNS）の結果から、スパン方向へ時空間的に揺らぎながら、流れ方向へ  $20\delta$ （ $\delta$  は境界層厚さ）程度の大きさをもつ構造が対数領域から粘性低層に存在することが、豪州の研究グループにより報告されている。このようなスパン方向への運動を含み、流れ方向へ大きなスケールを持つ構造は、従来の組織構造の概念を超えるもので **Super Structure(SS と略記する)** と名付けられた。SS は乱流境界層中の平均速度プロファイルのみならず、運動量やエネルギーの輸送にも大きな影響を与えることが予想される。

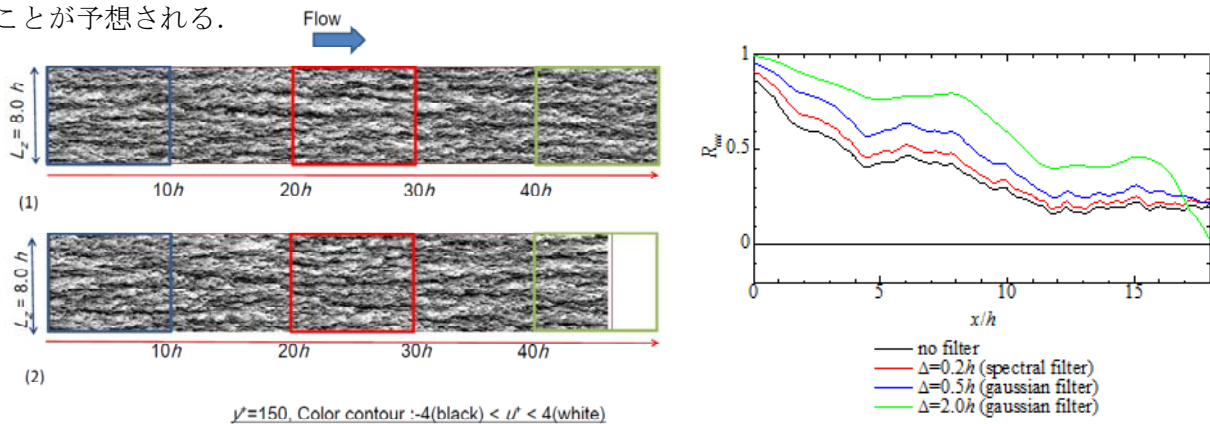


図1（左図） 壁近く（ $y^+ = 150$ ）における流れ方向速度の等値面（流れは左から右へ）。低速から高速を黒色から白色で表示してある。低速（黒色）の流れ方向に伸びた構造が SS に相当する。

図2（右図） 流れ方向速度の自己相関分布。

図1-(1)に対数層付近( $y^+=150$ )における、瞬時の主流方向変動速度のコンタを示す。これによりスパン方向に高速・低速が交互に現れる縞構造の存在が確認でき、その主流方向長さは、 $10-20h$ 程度に達していることがわかる。そして図1-(2)に図1-(1)と同時刻において、凍結乱流を仮定して再構築した主流方向の変動速度のコンタを示す。凍結乱流を仮定した瞬時場においても、主流方向に  $10-20h$ 程度に達する大規模構造の存在が確認できる。また図1-(1)と(2)を比較すると、流下距離  $10h$ 程度までは両者の差異はほとんどないといえる。しかし流下距離が  $20h$ を越えると明らかな差異が可視化によっても確認できることがわかる。つまり流下距離が長くなると、凍結乱流の近似が成立する頻度が多くなるといえる。

そこで瞬時場における凍結乱流場の近似精度を確認するために、瞬時場の本来の速度場と凍結乱流場との相関係数を図2に示す。流下距離が  $5h$ を超えると相関係数は  $0.5$ を下回り、 $12h$ を超すと相関係数は  $0.2$ 程度に落ち着くことがわかる。これは図4に示す瞬時場の比較と一致する。また空間フィルターをかけ、比較的大きな構造の空間相間を検討すると、相関係数は高くなるものの、相関係数の減少する空間位置はほぼ同様であることがわかる。

以上より、レイノルズ数4万程度を対象としたDNSを行い、凍結乱流仮説の各種統計量及び空間相間解析による瞬時場の精度検証を行った。その結果、移流速度に平均速度を仮定した凍結乱流場においては、壁近傍では有意な差が生じるものの、大規模構造が出現する壁遠方では、比較的良好な近似となっていることが確認できた。