

気象スケール壁乱流への凍結乱流仮説の応用と展開

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

荻野正雄、高橋一郎

宇宙地球環境研究所 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。

図 1(a)に凍結乱流場から求めた主流方向変動速度 u の Pre-Multiplied Spectrum(PMS)、図 1(b)に空間データから求めた主流方向変動速度 u の PMS を示す。図 1(c)に凍結乱流場から求めた PMS と空間データから求めた PMS の差異を示す。横軸は壁からの距離、縦軸は波長を示す。両者の差異は空間データから求めた PMS の最大値により規格化してある。壁面近傍において凍結乱流仮説を用いた結果は波長を過小評価する。この原因としては壁面近傍の局所平均流速が小さいことが挙げられる。乱れのピークが発生する $y^+=15$ 付近では波長を過大評価するものの、凍結乱流場と空間データの PMS の差は最大値に対し 3% 未満である。 $y^+>100$ の位置における $10\sim 15h$ 程度に達する構造に着目すると、凍結乱流場と空間データの PMS の差は最大値に対し 10% 未満である。また、外層に見られる相違については統計平均の処理数が少ないことが原因であると考えられる。従って $y^+<10$ の壁面近傍を除いて局所平均流速を用いることにより、凍結乱流仮説は成立すると判断される。

気象スケールにおける凍結乱流仮説が成り立つかを議論するためには、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した。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。

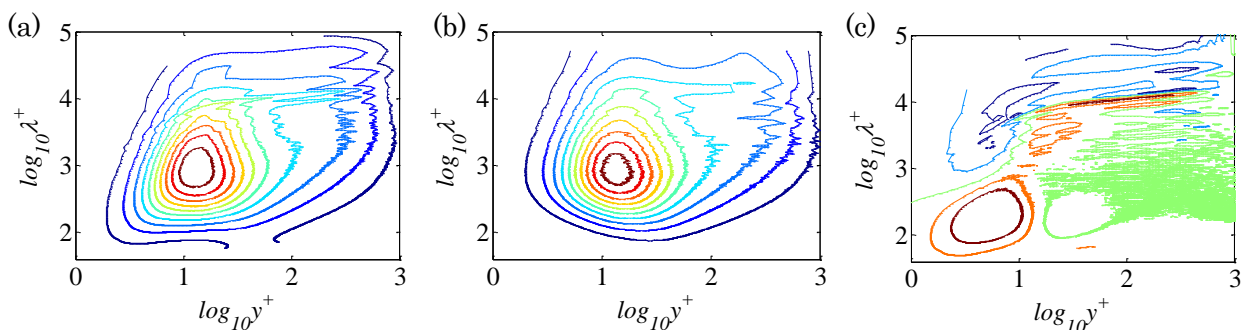


図1 (a) 凍結乱流場におけるPMS $k_x E_{uu}^F$ (b) 空間データから求めたPMS $k_x E_{uu}$ (コンターライン $k_x E_{uu}/u_\tau^2$ の刻み幅:0.2)

(c)凍結乱流場と空間データから求めたPMSの差分(コンターライン $k_x \frac{E_{uu}^F - E_{uu}}{\max[k_x E_{uu}]}$ の刻み幅:0.05)