

中立成層状態の大気境界層における組織的乱流構造（第2報）

堀口光章・林 泰一・植田洋匡

1. はじめに

境界層乱流中に組織的構造 (coherent structure) が存在し、乱れの生成と乱流輸送に大きな寄与をなしていることが室内実験と数値実験により調べられてきている。しかし、現実の大気境界層における乱流の構造についてはあまりよく調べられていない。そこで、比較的現象の理解が容易と思われるほぼ中立な成層状態における大気境界層を対象として観測と数値実験により、乱流の組織的構造とそれによる乱れの生成と乱流輸送への寄与について調べている。

2. 大気境界層の観測

1998年から2002年にかけて、京都大学防災研究所附属災害観測実験研究センター潮岬風力実験所と京都大学宙空電波科学研究センター信楽 MU 観測所において観測を実施した。ここでは12月8日11時10分～14時48分(天候は曇)、地上20mで平均風速5.5m/s、接地層では中立に近い安定度であった例を示す。

上空での比較的大きな強風域の構造を捉えるために、高度20mでの超音波風速計による平均流方向成分の風速値に“Mexican hat”関数による連続ウェーブレット変換(時間スケール160秒)を施す。そしてウェーブレット係数が設定したしきい値以上になる場合をイベントとして抽出しドップラーソーダによる測定風速値から平均のパターンを作成する。その結果、上空ではイベントの中心より数十秒前の時間を中心として強風域(鉛直風速は下向き)、そのさらに前方に弱風域(鉛直風速は上向き)が存在するという上空の強風域が下方へ侵入してくることに伴う構造が示される。

3. 大気境界層乱流の数値実験

観測のみでは乱流の組織的構造について、その空間的拡がり、時間発展の様子などを把握することが困難である。そこで、米国オクラホマ大学ストーム解析予報センター(CAPS)が開発した非静力学数値モデルARPS(Advanced Regional Prediction System)を用いた数値実験を行った。

格子点数は水平方向 160×160 点、鉛直方向80点とし、格子間隔は水平方向30m、鉛直方向15mとした。サブグリッドスケールの乱流パラメタリゼーションとしては、Smagorinskyスキームを使用し(渦粘性係数についてのSmagorinsky定数は、乱流混合層に対して最適値と考えられている0.15とする)、大きな乱流渦は直接計算し、それ以下のスケールの乱流はモデル化するLES(Large Eddy Simulation)としてモデルを走らせる。境界条件は、側面が周期境界条件、上面は線型静力学的放射境界条件、下面はすべり(free-slip)境界条件であるが、地表面による摩擦応力を与えている(熱フラックスなし)。初期場としては、中立に近い成層状態の温位高度分布(高度1000mより上部では温度逆転層)で、最下層の高度30mまでは対数則を満たし、それより上方ではエクマン螺旋を形成する風速高度分布(地衡風の大きさ25m/s)をした水平一様な場に、領域全体にわたりランダムな温位擾乱(最大2.5K)を与える。積分時間は35040秒である。

地表面に近い高度では平均流方向に伸びた筋状の構造が卓越しているが、地上7.5mにおけるウェーブレット解析では空間スケール720mでそのウェーブレット分散が最大となっている。その空間スケールでのウェーブレット係数が設定したしきい値を越えて、かつ極値(風速変動としては加速)を持つ場所を捜し、その位置を中心とした小領域での乱流構造を調べる。この極値を示す位置を中心とした平均パターンを作成すると、平均流方向に伸びた強風域の構造(下向きの鉛直風速)が地上150m程度まで広がっている様子が示される。これは観測により得られた構造に似ており、数値実験の過程が妥当なものであることを示している。

ウェーブレット係数が極値を示す場所を中心として平均流方向に600m、平均流直交方向に240mという小領域での運動量フラックスの大きさを見てみると、その値が残りの領域に比べて大きい値を示す高度範囲は300m程度までに達しており、その大きさは最大で1.7倍程度になっている。