

温度成層風洞を用いた上空に強い逆転層を伴う対流境界層のシミュレーション

Wind tunnel study of convective boundary layer capped by a strong inversion layer

大屋 裕二[1]

Yuji Ohya[1]

[1] 九大・応力研・大気流体

[1] Wind Eng., RIAM, Kyushu Univ.

<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/>

上空に強い逆転層を伴う対流境界層を温度成層風洞を用いて再現した。得られた種々の物理量の鉛直分布は、大気観測で得られている鉛直構造をよく再現した。流れ特性に関する主な結果は次の通りである。上空を逆転層でふたされた乱流境界層は床面の加熱より対流混合され、混合層の広い範囲で時間平均の速度、温度ともにほぼ一定となるCBLの特徴的な分布を示す。上空の強い逆転層により、混合層高さ z_i 付近での温度変動の極大値の出現、および鉛直熱フラックスの負値への転向が捉えられた。上記の現象は逆転層における下方からのブルームの貫入とこれに伴う上空空気の連行現象によって引き起こされている。

1. はじめに

大気境界層はその安定度に依存して特徴的な境界層構造、乱流輸送特性を有し、その力学モデルは複雑である。我々は温度成層風洞を用いて種々の安定度を有する成層乱流境界層を測定部内に再現し、その境界層構造、乱流輸送特性を調べてきた(2-5)。対流混合層に関する室内実験は過去にいろいろな報告(6, 7)があるが、上空の逆転層を十分に再現している風洞実験例はほとんどなく、熱対流の逆転層への貫入、上空空気の連行などを捉えきれていない。本研究では上空に強い逆転層を伴う対流混合層を風洞内にシミュレートする方法を検討し、その乱流特性を観測結果(1)と比較する。

2. 風洞実験法

幅1.5m×高さ1.2m×長さ13.5mの測定部を有する九大応力研の温度成層風洞(2)を用いた。対流混合層の生成は上流の気流加熱部において床面から高さ $z=21$ cmまで室温(約12℃)、 $z=21-33$ cmまで5℃/cmの強い温度勾配(逆転層)、 $z=33-120$ cmは0.33℃/cmの勾配を設定し、床面温度 T_s は約75℃に加熱した。厚い乱流境界層の生成のために測定部入口($x=0$ の位置)に高さ3cmのブロックを置いた。速度の測定にはx型の熱線プローブと熱線流速計を使用し、温度の測定には冷線プローブと抵抗温度計を用いた。測定は $x=6$ mの下流位置で乱流特性を評価した。上空風速 U は1.0-1.8 m/sである。安定度の指標にはバルクリチャ-ドソン数 $Rib = (g/\alpha) \cdot (T_m - T_s) z_i / U_m^2$ を用いる。ただし、 T_m は混合層内で示されるほぼ一定の温度であり、 U_m はその領域の平均風速、 α は混合層全体の平均温度である。実験は成層流3ケース(S1-S3)で行い、混合層高さ z_i (=30cm程度)を代表長さにとってレイノルズ数は $Re=(1.8-2.5) \times 10000$ 、およびバルクリチャ-ドソン数は $Rib = -0.28 \sim -0.74$ の範囲である。

3. 実験結果

平均温度、温度変動分散、鉛直熱フラックス w を正規化した鉛直分布を調べる。正規化には温度差 $\theta = (T - T_m)$ 、自由対流速度スケール $w^* = (gQ_s z_i / \alpha)^{1/3}$ および温度スケール $\theta^* = Q_s / w^*$ を用いる。ただし、 Q_s は表面熱フラックス(w_s) s である。平均温度では対流混合の結果、いずれのケースも $z/z_i = 0.2 \sim 0.7$ でほぼ一定の温度分布を示す。その上空は強い温度勾配となり逆転層が良くシミュレートされた。温度変動分散では表面付近で非常に大きな変動を示し、また高さが z_i 付近で再び変動が大きくなる傾向が良く再現されている。鉛直熱フラックス w では z_i 付近で正から負の値へ変化する傾向が捉えられた。強不安定CBLに対し、上空逆転層に白煙を導入し流れ場を可視化した。下方からのブルームの貫入と上空空気の混合層内への連行が良く捉えられた。逆転層付近での乱流統計量の特徴はブルームの貫入と連行現象で説明される。以上、日中の対流混合層に関して野外観測で得られている乱流特性の鉛直分布が温度成層風洞で良く再現された。

4. 結論

上空に強い逆転層を伴うCBLを温度成層風洞を用いて再現し、その流れ特性を調べた。

1) 上空を逆転層でふたされた乱流境界層は床面の加熱より対流混合され、混合層の広い範囲で時間平均の速度、温度ともにほぼ一定となるCBLの特徴的な分布を示す。

2) 上空の強い逆転層により、 z_i 付近での温度変動の極大値の出現、および熱フラックス w の負値への転向が捉えられた。

3) 上記の現象は逆転層における下方からのブルームの貫入とこれに伴う上空空気の連行現象によって引き起こされている。

参考文献

- 1) Caughey, S. J. : 1984, Atmos. Turb. and Air Pol. Modelling, D. Reidel Pub.
- 2) Ohya, Y., et al. : 1996, Atmos. Environ. 30- 16, 2881.
- 3) Ohya, Y. , et al. : 1997, Boundary-Layer Meteorol. , 83, 139.
- 4)大屋裕二、他 : 1998, 日本風工学会誌, 第75号, 25.
- 5)大屋裕二 : 第3回環境流体シンポジウム (1998), 255.
- 6) Willis, G. E. and Deardorff, J. W. : 1974, J. Atmos. Sci. 31, 1297.
- 7) Fedorovich, E. et al.: 1996, J. Atmos. Sci., 53-9, 1273.