

大気混合層の空間的発達に関する積分モデル解析

(株)熊谷組 正 員○松 田 貴 彦
 神戸大学工学部 正 員 道 奥 康 治
 神戸大学大学院 学生員 宮 本 仁 志

1. はじめに: 日中の地表面付近の大気は, 対流が活発で密度が高度に対してほぼ一様な層が観測され, 大気混合層(対流混合層)と呼ばれている。これは, 通常500(m)~2000(m)程度である。ヒートアイランド化した都市域に郊外から風が吹き込む時, 地表面加熱による熱的擾乱, および壁面摩擦の増大による機械的擾乱を受け, 混合層は空間的に発達する。この様な場合, 高煙突から排出された汚染物質は, 混合層にぶつかるや否や「いぶし型」の大気汚染を引き起こす(図-1)。本研究では, 運動方程式, 熱保存式を積分的手法で解き, 混合層の平均的挙動を知るために解析モデルを構築した。回転系での実験が不可能である風洞模型実験において, コリオリ力を無視した風洞実験によって再現できる大気条件について考察する。

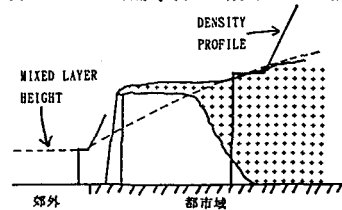


図-1 混合層と大気汚染

2. 積分混合層モデル: 図-2のように物理量が高さによらず一定な下層(混合層: CBL)と, 物理量が高さとともに線形的に変化する上層(自由大気: FA)からなる二層系によってモデル化する。混合層は, 乾燥, 均質, 非圧縮流体を仮定し, 層内の熱放射は無視する。また乱れの時間スケールは, 混合層厚さ変化の時間スケールに比べ無視できる程小さいと仮定する。基礎方程式は, 境界層近似を施した運動方程式及び熱保存式を, 地表面と混合層界面(逆転層)の範囲で高度方向に積分することによって得られる。逆転層では冷たい空気塊が上昇, 暖かい空気塊が下降し, 下向きの乱流熱フラックスが輸送される。逆転層での乱れエネルギー保存式にZeman & Tennekesのモデル¹⁾を適用して連行速度を導出し, 方程式系を完結する。

2-1. 支配パラメータ: 基礎方程式を関連物理量で無次元化し, パラメータ $\gamma_u, \gamma_v, Ri\gamma_o, F_e, R_o, \xi$, を含む規準化された方程式を得る。また, 境界条件に関するパラメータ $\Delta U_o, Ri\Delta_o$, を得る。

$\gamma_u = (\partial u / \partial z)_{FA}, \gamma_v = (\partial v / \partial z)_{FA}$: 自由大気(FA)における流速 u (x -方向成分)および v (y -方向成分)の z 方向無次元勾配。

$Ri\gamma_o$: FAの温位勾配に関するRichardson数。

$F_e = U_o / \sqrt{g z_i}$: Froude数。

$R_o = w_o / f z_o$: Rossby数。

$\xi = U_o / w_o$: 対流速度 w_o と移流速度 U_o の比。

ΔU_o : 逆転層の速度ジャンプに関するパラメータ。

$Ri\Delta_o$: 逆転層の温位ジャンプに関するRichardson数。

2-2. 計算方法: 時間, 空間ともに, 前進差分を用いる。基礎方程式は, 時間 t と空間 x に関する偏微分方程式であり, 非定常解析を行った例を図-3に示す。各地点の混合層厚さは時間と共に定常解へ収束する。

以下では最終定常解に関してのみ混合層の空間発達特性を論ずる。

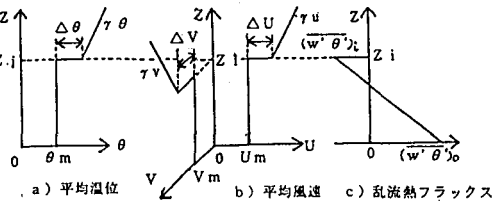


図-2 モデル化された混合層

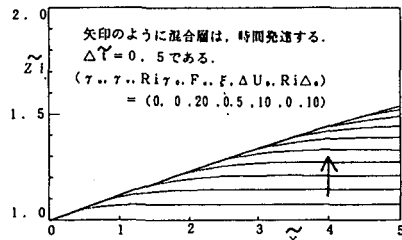


図-3 非定常解析

Takahiko MATSUDA, Kohji MICHIOKU, Hitoshi MIYAMOTO

3. 混合層発達におけるコリオリ力の貢献度： Karlsruhe大学の成層流実験風洞の諸元²⁾を元に、基本となる計算条件を次の様に設定し、a) 無次元混合層厚さ (z_i)、b) 無次元成層強度 ($\Delta\theta/\Delta\theta_0$) の発達に対するコリオリ力 (ロスビー数) の影響をパラメータ解析によって検討した。

図-4に、一例を示す (その他の結果は講演時に発表)。

($\gamma_u, \gamma_v, Ri\gamma_0, F_c, \xi, \Delta U_0, Ri\Delta_0$) = (0, 0, 20, 0.5, 2.0, 10)

a) 混合層厚さ：コリオリ力の増加にともない発達が抑制される。F_cが大きい時及び、 ξ が小さい時にはコリオリ力の影響が少なくなる。

b) 成層強度：コリオリ力が増すとその発達は抑制される。F_cが大きい時、 ξ が小さい時および、 $Ri\gamma_0$ が小さい場合にコリオリ力の影響が少なくなる。

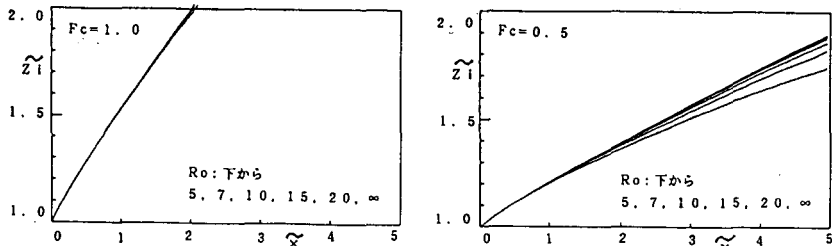


図-4 無次元混合層厚発達に対するコリオリ力の寄与 (F_cを変えた場合)

また実スケールの混合層厚さの発達について、コリオリ力が無視できる範囲を概算する。(図-5) 典型的な値として次の値を用いた。

緯度：35(°N)

地表面熱フラックス：0.2(K·m/s)

初期混合層温位：300(K)

初期混合層厚さ：1000(m)

次のパラメータは固定した。

($\gamma_u, \gamma_v, Ri\gamma_0, \Delta U_0, Ri\Delta_0$)

= (0, 0, 20, 0, 10)

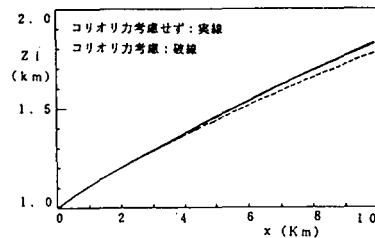


図-5 混合層厚発達に対する
コリオリ力の影響の例 (実スケール)

5. 計算値と実測値との比較

図-6に本モデルの計算値と実測値との比較を示す。用いたデータ³⁾は1978年6月、カナダのエリー湖北岸にて行われたNANTICOKE実験、及び、1978年6月米国のニューヨークにて行われた BROOKHEAVEN実験の観測値である。本モデルの計算値は実現象を良好に再現していると思われる。

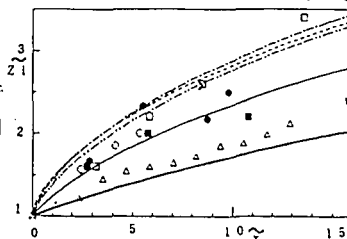


図-6 計算値と実測値の比較

NOTATION

観測名	計算値	観測値
Nanticoke-1	----	○
Nanticoke-2	----	●
Nanticoke-3	----	□
Nanticoke-4	----	■
Brookhaven	----	△

6. おわりに：本解析によって風洞実験の様にコリオリ力を考慮できないシミュレーション手法の適用限界をあらかじめ知ることができる。例えば、神戸 (35(°N)) では数 λ_m 以下の局地的大気現象に対しては風洞実験が有力であるが、より大規模の大気現象を再現するためには回転系の実験・解析を行う必要がある。

参考文献： 1) Zeman, O. & H. Tennekes : J. Atmos. Sci., Vol. 34, pp. 111-123, 1977.

2) Rau, M., W. Bachlin and E. Plate : Atmos. Environment, 25A, No. 1, pp. 1257-1262, 1991.

3) Gryning, S. & Batchvarova, E. : Q. J. R. Meteorol. Soc., Vol. 116, pp. 187-203, 1990.