

II-466 海風時にドップラーソーダーにより得られた乱れ成分の $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる解析

日本気象協会 正員 高木久之 筑紫文夫
豊橋技術科学大学 正員 北田敏廣

1. はじめに 地域規模での大気汚染物質の動態を予測するためにはメソスケールの気象場および拡散場を知ることが重要である。さらに、この目的のためには、乱流場の動的特性を再現できる簡単な乱流モデルが必要となる。最近、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルもメソスケール気象モデルの一部として使われ始めている(例えば, Kitada et al., 1991, Sha et al., 1991など)。しかしながら、 $k-\varepsilon$ モデルは、熱的成層を持つ大気境界層に対して実データと比較する形でテストされたことが少なく、この2方程式乱流モデルをメソスケール気象モデルのサブモデルとして確立するためには、乱れに関する諸量の予測値と実測値の比較が不可欠であると考えられる。一方、上層風の観測機器として、最近ドップラーソーダーが使われ始めた。この方法では、上層風の乱れ成分も測定でき、このデータが $k-\varepsilon$ モデルのモデルパラメーターの検討など、拡散場の検討にも利用できるものと期待される。

本研究では、ドップラーソーダーデータによって得られた乱れの鉛直分布を1次元 $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて再現することを試み、その過程を通じて、モデルパラメーター値に対する検討及び乱れの運動エネルギーの水平方向移流効果について考察した。用いたデータは名古屋市区において平成2年11月～平成3年10月の期間に行われたドップラーソーダーによる観測結果である。特に、各季節毎の1週間ずつについてレーウィンゾンデによる上層の風向風速及び気温観測も行われており、対象日としてはこれらのデータも利用できる日を選んだ。

2. 計算方法 観測された風向風速及び気温の鉛直分布を用いて、その状況に適合する乱流運動エネルギー(k)及び消散速度(ε)の分布を推定した。計算は、鉛直1次元とし、定常状態値を求めた。沿岸部という地表面の性質が大きく変わる地点を対象としており、もとより空間1次元が完全にふさわしいとは思わないが、第1ステップとしてこのように扱った。

3. 観測結果 計算対象日として選んだ平成3年4月22日は、夕方に高気圧の中心が東の海上へぬけるものの、日中はほぼ移動性の高気圧に覆われ気圧傾度がゆるやかな日であった(図1)。当該地点上層風の分布も総観規模の気圧配置を反映し、高気圧の中心が西寄りにあると考えられる9時以前は北系のやや強い風になっており、高気圧の中心に覆われる10時以降、風速は弱くなり風向が東よりに変化していた(図2)。伊勢湾沿岸の濃尾平野では、伊勢湾から内陸に吹く南西系の小規模海風と遠州灘から内陸に吹く南東系の大規模海風の2種類の海風が吹く特徴があり、この日の港区においても12時頃に小規模海風、15時ころに大規模海風の前線の通過がみられた。図2の風速の分布と図3の温位の分布にもその特徴が現れており、明け方頃は下層で北西系の陸風が吹くが、9時以降不安定な混合層の発達に伴い風速が弱まり、12時には混合層の高さが1200mで最大となり、風向は南西に変化する。13時以降は海風の通過に伴い300m程度の南西風の層ができる。15時は伊勢湾海風と遠州灘海風との変わり目になっており、風向が南西から南に変化する。16時以降は、この海風の通過にともない500～600mの厚みを持つ南～南東風の層ができる。

4. 計算結果及び考察 図4に計算された乱流運動エネルギー(k)とドップラーソーダーによる観測結果との比較を示す。図中、実線は安定成層時に ε 方程式に浮力項を反映しないモデルパラメーター値(安定成層で $C_{3\varepsilon} = 1$)を採用した結果を、破線は浮力項を反映させた(安定成層で $C_{3\varepsilon} = 0.8$)結果を示し、同時に温位の勾配($\partial\theta/\partial z$)も示す。また、14時以降の一点鎖線は更に移流項を導入した結果を示す。安定成層時に $C_{3\varepsilon} = 1$ とする結果では、弱風で混合層高度が高い場合(11時, 12時)は、鉛直1次元モデルとドップラーソーダーの観測結果はよく一致した。しかし、その他の時刻については、計算結果が観測結果に比べ小さくなっていた。 ε 方程式中の浮力項を制御するパラメーターを変えた(安定成層で $C_{3\varepsilon} = 0.8$)場合の結果は、図4に示すように、10, 11, 13, 16, 17時について k 値は大きくなり、10, 13時については観測値とほぼ一致した。 $C_{3\varepsilon} = 1$ の代わりに0.8を用いることによって、混合層の上端に蓋をするようにできる安定成層において ε を相対的に減少させる効果があり、このことが結果として混合層内の k 値を保存するように作用したことを意味する。海風の通過により風速が強まる14時以降については、計算結果と観測結果との間には、かなりの差が残っている。この時刻での計算結果を観測値に近づけるため、適当な k の水平勾配を仮定することにより水平移流過程を導入した。図4に示すように観測結果にほぼ一致させることができ、また、この時仮定した k の水平勾配 ($4.0 \times 10^{-4} \text{m/s}^2$ で乱れの大きな地点までの水平距離を30kmと仮定すれば $1.2 \text{m}^2/\text{s}^2$ 程度の差)は現実的な値であることから、これらの時刻の1次元モデルの計算結果と観測値の違いは水平移流過程で説明できるものと考えられる。

5. まとめ 鉛直1次元の $k-\varepsilon$ 乱流モデルによる計算結果とドップラーソーダーデータの比較により、1)混合層高度が高く、風速の弱い条件では、鉛直1次元の計算結果とドップラーソーダーはよく一致する、2)モデルパラメーターを変えて計算した結果とドップラーソーダーデータの比較により、 ε 方程式中で安定成層においても浮力効果を反映させた方がより観測結果に近い値を示す、3)海風通過後の水平風速が強い場合は、水平方向移流過程が k の保存式中に必要で、その過程を含めることにより、ドップラーソーダーデータと計算結果の違いを説明することができることがわかった。今後は、多次元の計算を進め、地形の勾配や水平移流過程による乱れの生成・輸送などを含めた計算を進めることにより、実測データとのより合理的な比較を進める。

（参考文献）

- 1) Kitada, T., Takagi, H., Kunii, K., and Kato, H.: Energy and Buildings, 15-16, 979-992(1991)
- 2) Sha, W., Kawamura, T., and Ueda, H., : J. Atmos. Sci. Vol. 48, 1649-1665(1991)

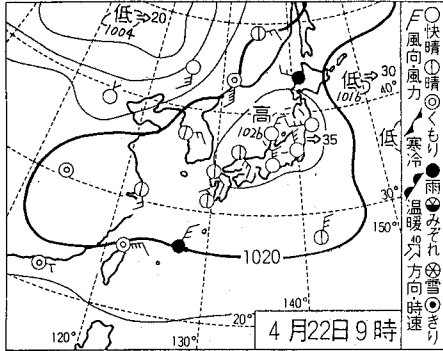


図1(a) 1991年4月22日の地上天気図（9時）

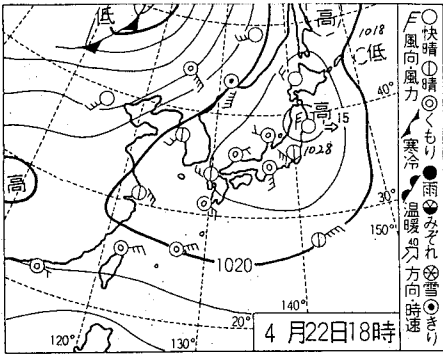


図1(b) 1991年4月22日の地上天気図（18時）

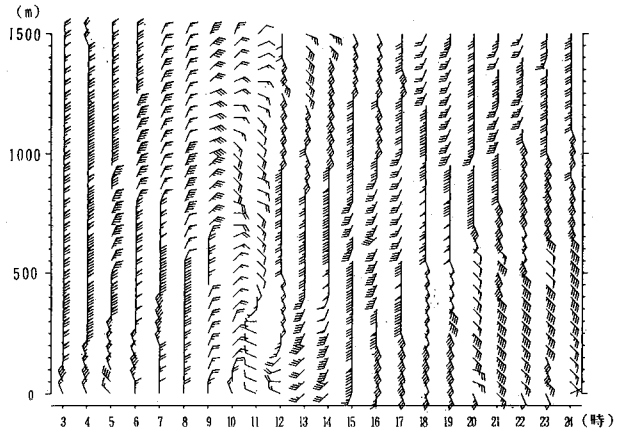


図2 風向風速の矢羽根の鉛直分布

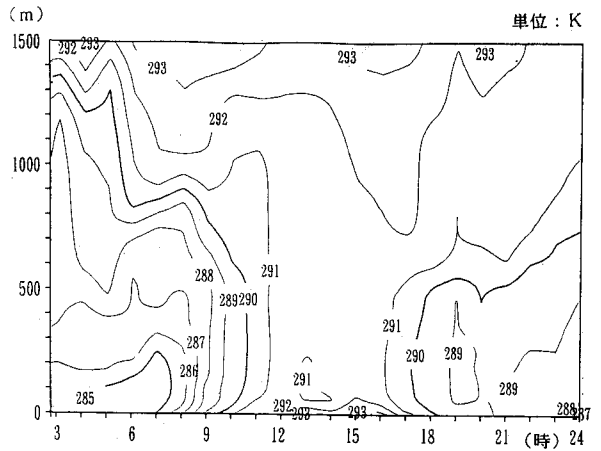


図3 温位の時空間分布の等値線

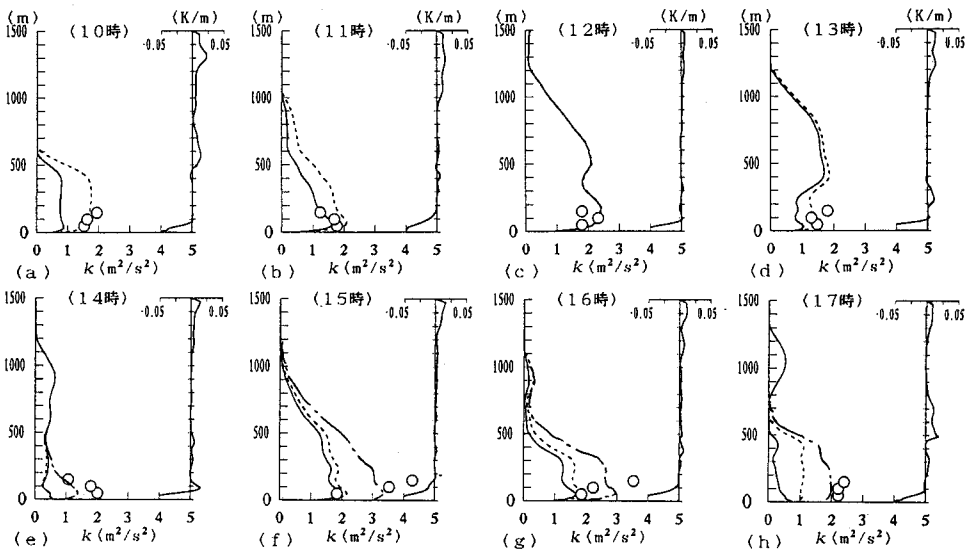


図4 計算結果と観測結果の鉛直分布の比較

— 計算結果 (C3ε = 1) --- 計算結果 (C3ε = 0.8) ○ 観測結果