

河川の微気象調整効果について

信州大学大学院 神谷拓生
工学部 正員 富所五郎
工学部 新美信之

1. はじめに 大都市等における熱環境の悪化が叫ばれている現在, その対応策として河川の微気象調整効果の解析が必要となってきた. そこで本論文では準三次元モデルを用いて Galerkin 有限要素法で現象の把握を行う.

2. 方程式 本解析に用いる方程式は以下のものである.¹⁾

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L \cdot u + w \frac{\partial u}{\partial z} = -C_p \bar{\theta} \frac{\partial \pi^*}{\partial x} + D \cdot u + f v \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + L \cdot v + w \frac{\partial v}{\partial z} = -C_p \bar{\theta} \frac{\partial \pi^*}{\partial y} + D \cdot v - f u \quad (2)$$

$$C_p + \frac{\partial \pi^*}{\partial z} = -\frac{g}{\bar{\theta}^2} (\bar{\theta} - \theta') \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \theta'}{\partial t} + L \cdot \theta' + w \frac{\partial \theta'}{\partial z} = D' \cdot \theta' \quad (5)$$

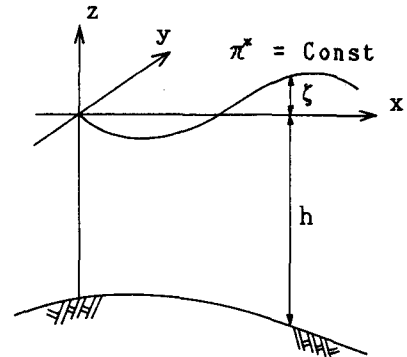


図-1 座標の定義

ただし, $\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\kappa}$, $\pi^* = \left(\frac{P}{P_0} \right) = \frac{T}{\theta}$, $P = \rho R T$, $\kappa = R/C_p$,

$$L = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}, \quad D = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

$$D' = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

ここに u, v, w は x, y, z 軸方向の風速成分, A_h, A_v は水平, 鉛直の渦動粘性係数, K_h, K_v は水平, 鉛直の熱量拡散係数である. また, 方程式中の係数については標準値を用いる. 座標軸は x 軸を東に, y 軸を北に水平方向にとり, z 軸は風が地形の影響を受けないであろう上空で, $\pi^* = \text{Const.}$ な面の平均高さを原点として, 上方向きにとる. (図-1)

3. 方程式の離散化 空間変数に対して離散化を行うために, 次のような近似関数を考える.

$$\left. \begin{aligned} u &= N_i \cos(B_p z') u_{pi}, \quad v = N_i \cos(B_p z') v_{pi} \\ \theta' &= N_i \cos(B_p z') \theta'_{pi}, \quad \zeta_i = N \zeta_i \end{aligned} \right\} \quad B_p = \frac{p-1}{d} \pi = \frac{p-1}{h+\zeta} \pi \quad (6)$$

$$(i = i, j, k) \quad (p = 1, 2, \dots, m)$$

ここで, $N_i = N_i(x, y)$ は三角形一次要素の形状関数, m は展開項数である. その他の空間変数も同様の近似を行う. 時間変数は, 陽的時間積分法の一つである two-step Lax-Wendroff法により定式化する.

4. 数値解析結果 解析結果に用いたモデルは, x 方向に 4000m (河川部は $0 \leq x \leq 225\text{m}$), y 方向に 500m, 接地層を地表面から $z_c = 50\text{m}$, Exman 層は $z_e = 450\text{m}$ のものとした. 余弦関数の展開項数 4項とし, 一般風は存在せず, 地上の気温を 26.5°C とし, 気温減率 $-0.6\text{K}/100\text{m}$ の状態を初期状態, 水平渦動粘性係数は $A_h = 20.0\text{m}^2/\text{s}$, 鉛直渦動粘性係数は Exman 層内で $A_v^{(2)} = \exp\{-3.0(z - z_c/z_e)^2\} \text{m}^2/\text{s}$ とし, 接地層内で $A_v = 1.0\text{m}^2/\text{s}$, 熱量の拡散係数 K_h, K_v については渦動粘性係数のそれぞれと同値とする. さらに, 摩擦係数は, バルク法³⁾により陸地部で 0.062, 河川部で 0.001, 上空では 0.005 とした.

次に解析結果であるが、以下に示す図は15, 30分経過後の温位に対する等温線図(図 2-1, 2), 風速ベクトル図(図 3-1, 2)である。まず, 風速ベクトル図において, 15分経過後には, 川の上空部分に下降気流が生じ, また $x = 0.6 \sim 0.7$ km部分には上昇気流が起き, 一つの対流を形成している。さらにこの対流は 30分後には温度変化を与えた川の部分から徐々に陸地部分へ影響到達範囲を広げている。これらはかなり不規則な形をしているものの良く見ると幾つもの層に分かれていることがわかり, また, 風速の大きさであるが河川部近くのそれは, 微少であるものの, 対流の層がみられる範囲では河川部に近いほど発達していて, 逆に外に広がるほど小さくなっている。この現象は今後さらに広がりを見せていった。

続いて温位の等温線図であるが, 初期状態では, 同一高度の基で一定となっていて, そこから時間が経過するに従って川と陸との温度差の影響がでてきているのがわかる15分経過後には $x = 0.9$ km, 30分経過後には 2.25 km付近までその影響がみられ, その範囲では等温線間隔もひろく大気もかなり混合されている。これらの影響到達範囲は風が生じた範囲とも一致していることがわかる。

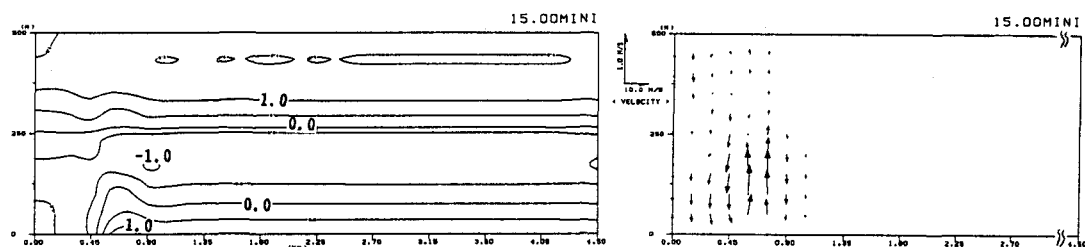


図 2-1 15分後の θ' の等温線図($\theta K=298.0K+\theta'$) 図 3-1 15分後の風速ベクトル図

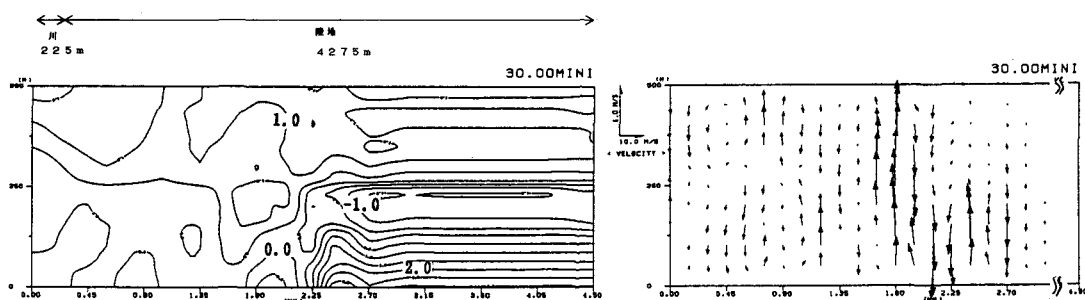


図 2-2 30分後の θ' の等温線図($\theta K=298.0K+\theta'$) 図 3-2 30分後の風速ベクトル図

5. まとめ 本研究では, 風速などの空間変数に対して鉛直方向の近似関数として, 余弦関数によるフーリエ級数展開を利用した三次元 Galerkin有限要素法により, 河川を有する単純なモデル(4.5*0.5*0.5 km)を用いて河川の微気象調整効果についての数値解析を行った。その結果, 解析を進めていくと, 徐々に河川部に近い範囲から風が発生していき, 対流が幾層にも発達していき約1時間後には解析モデル全体にそれらの存在を確認できたが, 温位, 温度の変化も風に伴って同時に現れていくが風の対流が生じることによって大気が混ざり合ってしまう最終的な形ではモデルの x 方向にはほとんど変化を見ることができず, 影響到達範囲の確認ができなかった。今後は, 一般風やコリオリ力なども考慮することによって, 実際の地形にも解析を取り入れることなどが必要になるとと思われる。

【参考文献】

- 1). 富所, 荒木, 吉田: 開水路の流れの三次元数値解析法, 第29回水理講演会論文集, pp. 729~732, 1985.
- 2). 菊池幸雄: 海陸風循環の数値シミュレーション, 気象研究ノート125, pp. 21~49, 1975.
- 3). 竹内清秀, 近藤純正: 大気科学講座1 地表に近い大気, 東京大学出版会, p. 21, pp. 93~101, 1981