

FEMによる諏訪湖周辺の局地風解析

信州大学 大学院

菊池慶太

信州大学 工学部 正会員

富所五郎

1. はじめに 局地風の数値予測モデルの確立を最終目的として、準三次元 Galerkin 有限要素法による数値解析を行う。本論文では、対象領域に長野県諏訪地方を取り上げ、無風状態における湖風や山谷風を再現し、諏訪湖が周辺の大気に及ぼす影響を推測する。

2. 方程式 本解析では以下の方程式を用いる。

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

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

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

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

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

ただし、

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^k, \quad \pi^* = \left(\frac{P}{P_0} \right) = \frac{T}{\bar{\theta}}, \quad P = \rho RT, \quad k = R / C_p$$

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

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

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、 $\pi^* = const.$ な面の平均高さを原点として、上向きにとる。(図-1)

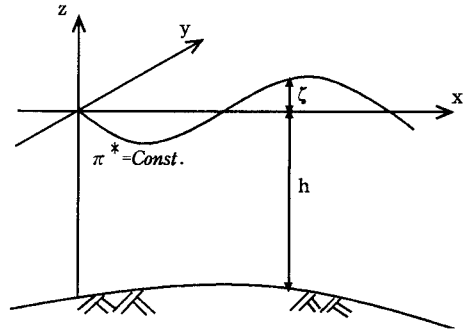


図-1 座標の定義

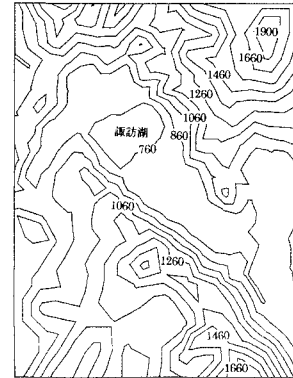


図-2 等高線図(m)

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。

$$u = N_i \cos(B_p z') u_{pi}, \quad v = N_i \cos(B_p z') v_{pi} \quad B_p = \frac{p-1}{d} \pi = \frac{p-1}{h+\zeta} \pi \quad (6)$$

$$\theta' = N_i \cos(B_p z') \theta'_{pi}, \quad \zeta_i = N_i \zeta_i \quad (i = i, j, k) \quad (p = 1, 2, \dots, m)$$

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. 解析モデルと解析条件 本論文では長野県諏訪地方を解析対象に取り上げているが、領域は図-2のようにとり、そのスケールは x 方向に 14.6km, y 方向に 18.8km, 接地層は地上から $z_e = 50\text{m}$, Exman 層は諏訪湖面から $z_e = 2500\text{m}$ とした。余弦関数の展開項数は 4 とし、諏訪湖面と同一高度の気温を 22°C とし、気温減率 $-0.6\text{K}/100\text{m}$ の状態を初期状態とし、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 $A_v = \exp\{-3.0(z - z_e / z_e)^2\} \text{m}^2/\text{s}$ とし²⁾, 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。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。解析は大気の初期状態を安定状態とし一般風を考慮せず、無風状

態から陸地部と諏訪湖部分に与える熱量の差を正弦関数で近似して与えることとする。

5. 解析結果 解析結果のうち図-3,4に3時間,7時間経過後の地表面の風速ベクトル図,図-5に7時間経過後までの地表面気温変化を示してある。まず,3時間経過後の地表面風速ベクトル図において,諏訪湖を中心に規則的な吹き出しが見られる。これは諏訪湖周辺において湖風が発生し,北東や南西の標高の高い地点では斜面をはい上がる谷風も形成されているためと思われる。湖風と谷風の境界ははっきりしないが湖風の影響到達範囲が1~2 km程度と考えるとその範囲内の風速は1km弱と小さく,斜面を上がるにつれ風速が増していく様子が読みとれる。また,ここでは掲載を省いているが,上空1000 mにおいて諏訪湖中心に流れ込む風が現れており,この範囲で対流が形成されていると考えられる。図-5のグラフを見ると諏訪湖に近い地点ほど気温変化が緩和されており諏訪湖が微気候に影響を与えうという推測ができる。7時間経過後の地表面風速ベクトル図においては諏訪湖を中心にしての対流は見られず,北西に移動しているようである。この原因としては地形の影響などが考えられるが不明な点が多く今後の課題といえる。風速が増しているせいか気温変化は4時間経過後までと比べ差がなくなってきており,特に諏訪湖から0.6 km地点での気温は諏訪湖上空面の気温とさほど変わらない結果となっている。

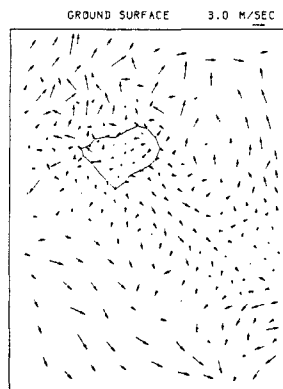


図-3 3時間経過後の風速ベクトル図

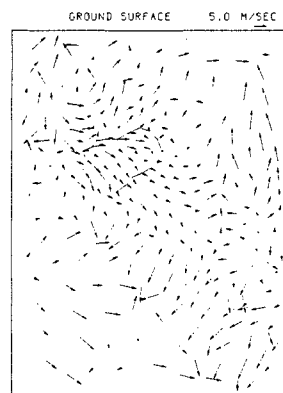


図-4 7時間経過後の風速ベクトル図

6. まとめ 本論文では,今まで単純なモデルで行ってきた余弦関数によるフーリエ級数展開を利用した準三次元 Galerkin 有限要素法を実際の地形に適用し,簡単な境界条件のもとで局地風の現象把握を試みた。今回は無風状態を仮定したことで諏訪湖から吹き出す湖風や,山の斜面をはい上がる谷風などの現象がある程度再現できたと思われる。諏訪湖が周辺の大気に及ぼす影響についてはグラフよりその範囲は1km程と考えられるが,時間経過とともに周囲の大気と混合されるため影響が把握しづらくなっている。今後は,領域を現在より大きくとり,摩擦係数の変化や一般風などを考慮し,より現実の状態に近づかせていくつもりであるが,これに先立って現地の実測データが必要であり,今後データ収集も行っていこうと考えている。

【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.

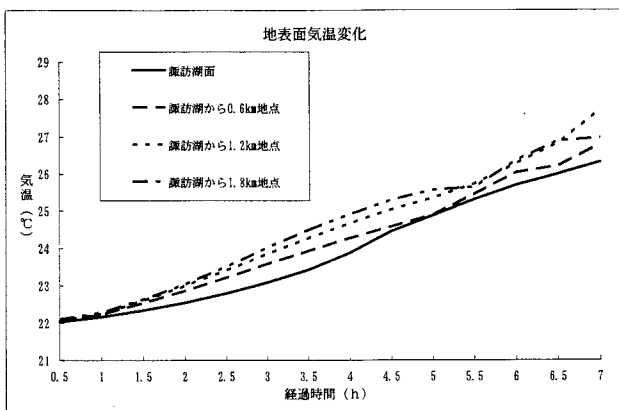


図-5 地表面気温変化