

II-473

海陸風の水槽実験と計算との比較

大阪大学工学部 正員 ○近藤 明、正員 山口克人
大阪大学工学部 正員 加賀昭和、 井上義雄

1. はじめに 海陸風は海水と陸地の温度差によって起因される気象現象であり、夏季の高気圧に覆われたときに沿岸部で顕著に観測される。沿岸の都市から排出される汚染物質は海陸風の影響を強く受けるために、大気汚染濃度の予測、制御の観点から従来より多くの観測¹⁾とモデル計算²⁾が行われている。図1の黒丸は、大阪府常時観測点における海陸風日の風速の日変化を表している³⁾。陸風から海風への転換は海風前線通過後に急激に起こるが、海風から陸風への変化はなだらかである。実線は、海陸風を静水圧モデル⁴⁾を用いて計算した結果であるが、陸風から海風への急激な変化を再現することができなかった。海風前線を伴う海風をモデルで再現するには、格子間隔を細かくした非静水圧モデル⁵⁾を用いることが必要である。しかし、海陸風の鉛直構造の観測はほとんど行われておらず、モデルとの比較が行えないのが実状である。そこで、本研究では水槽実験により海陸風の鉛直構造を明らかにし、非静水圧モデルでこの水槽実験結果を説明できることを確認し、さらに相似則を用いてこの水槽実験が実際の野外観測と整合性があるのかを検討した。

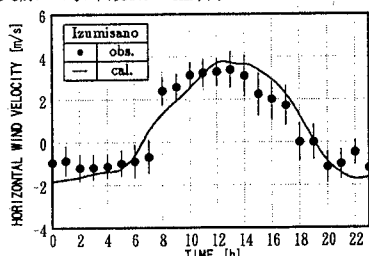


図1 海陸風の観測値と静水圧モデルの計算結果

2. 水槽実験 図2に実験装置の概要を示す。底面60cm×60cm、高さ10cmの水槽に水を満たし、まず上端を30℃、底面を20℃一定に保ち水槽内部に温度成層(温度勾配1℃/cm)を形成する。次に陸地(実験装置の右側底面)の温度を図3に示すように12分の周期変化をさせ、海面(実験装置の左側底面)の温度は20℃一定に保つ。この中に発砲スチロール粒子をトレーサとして流し高速パターン追跡アルゴリズム⁶⁾を用いて水槽実験内の流れを計測した。

3. モデル計算 水槽内の流れを2次元の層流とし、ブスネスク近似を用いると以下に示す基礎方程式が得られる。

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + \beta T' g + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

ここで、 u, w, T, p は水平方向の風速、鉛直方向の風速、温度、圧力を表し、 ν, α は水の動粘性係数、温度伝導率でそれぞれ温度の2次近似式で与えた。また、 β, g は温度膨張係数、重力加速度を表し、プライムは初期値からの偏差を表す。

計算領域は水平40cm高さ10cmとし、海岸線を20cmに位置させ、左半分を海、右半分を陸と想定した。水平方向の計算格子は海岸線から両側10cmまでは2mm、それ以降は5mmとした。鉛直方向の格子数は30で、格子間隔は底面で細かく上方にいくに従って粗く設定した。陸地の温度は、図3と同じ変化を与え、時間間隔0.2sで計算を行った。

また、数値解法はsimple法を用いた。

4. 水槽実験とモデル計算の比較 図4に水槽実験の可視化で得られた速度ベクトルと計算で得られた速度ベクトルを海岸線から陸地100mmの範囲で示す。水槽実験では、 $t=1.5\text{min}$ に海岸から20mm付近に海風前線が形成され、その前方にベナール対流型の渦が作られている。計算においても $t=2\text{min}$ に同様のベナール対流型の渦が形成されている。 $t=4\text{min}$ の計算では、80mm付近に海風前線が形成されておりそこで強い上昇流が起こっている。一方水槽実験では $t=3.5\text{min}$ で70mm付近に海風前線が形成されているが明確な上

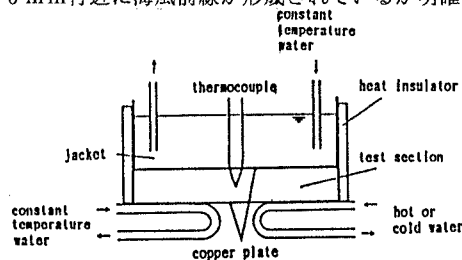


図2 水槽実験装置の概要

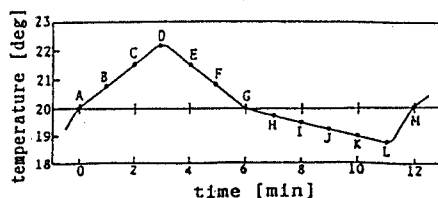


図3 陸地部分の温度変化

昇流は見られない。t=6minで海風はしだいに弱まるが、実験の補償流は計算に比べて非常に強い。実験も計算もt=8minで海風から陸風への転換が起こる。t=10, 12 minで陸風となり、実験と計算の速度の大きさは良く一致しているが、その速度は海風に比べて非常に弱い。このようにモデル計算は、実験に比べて海風の侵入が少し遅れるが概ね水槽実験の海陸風の特徴を再現することが出来た。

5. 実際の大気への適用 植田⁷⁾は、水槽実験と野外観測を比較するために海陸風の線形解析から次の3つの普遍定数を提案している。

$$U^+ = U^* G_r^{1/2} P_r^{2/3} \quad (4)$$

$$X^+ = X^* G_r^{-0.387} \quad (5) \quad Z^+ = Z^* P_r^{1/4} \quad (6)$$

ここで、 U^* は、代表速度 U で無次元化された水平方向の速度、 X^* 、 Y^* は、代表長さ L で無次元化された水平方向と鉛直方向の長さを表している。代表速度と代表長さは次のように定義される。

$$U = g \beta \Delta \theta / \omega \quad (7) \quad L = (\nu / \omega)^{1/2} \quad (8)$$

ここで、 $\Delta \theta$ は陸地の温度変化、 ω は地球の回転角速度を表す。

グラスホフ数 G_r 、プラントル数 P_r は、それぞれ次のように定義される。

$$G_r = g \beta \Gamma L^4 / \nu^2 \quad (9) \quad P_r = \nu / \alpha \quad (10)$$

ここで、 Γ は、鉛直方向の温位勾配を表す。

このような関係式を用いると水槽実験と野外観測には

表1に示すような関係が成立する。水槽実験で得られた海風の最大速度は約1mm/s、混合高さは1cmである。野外では海風速度は4~5m/s、混合高さ約500mが観測されており、この相似則を用いると水槽実験結果は野外観測と良く一致している。しかし、実験の陸風の最大速度(0.2mm/s)は観測データ(2m/s)に比べてやや遅く、この相似則で海陸風の特徴量を全て表すことが可能なかは今後検討していかなければならない。

表1 実験と観測の条件

	β [K ⁻¹]	ν [m ² /s]	α [m ² /s]
実験	0.000207	10^{-6}	1.43×10^{-7}
観測	0.00341	10	10
	ω [rad/s]	Γ [K/m]	$\Delta \theta$ [K]
実験	0.00873	100	3.5
観測	7.27×10^{-5}	0.005	8
	水平長さ	鉛直長さ	速度
実験	1[mm]	1[mm]	1[mm/s]
観測	90[m]	56[m]	4.8[m/s]

【参考文献】

- 1) 例えば、江口恒夫、大阪市の海陸風について、天気、24、739-746、1977
- 2) 例えば、R.A.Fielke, A Three-Dimensional Numerical Model of the Sea Breezes Over South Florida, Mon. Wea. Rev., 102, 115-139, 1974
- 3) 近藤明他、大阪における海陸風の特徴、第70回機械学会講演論文集、274-276、1992
- 4) 山口克人他、大阪平野における三次元海陸風場と大気汚染濃度の数値シミュレーション、衛生工学研究論文集、28、75-83、1992
- 5) W. Sha et al., A Numerical Study on Sea/Land Breezes as a Gravity Current Kelvin-Helmholtz Billows and Inland Penetration of the Sea-Breeze Front, J. Appl. Meteor., 48, 1649-1665, 1991
- 6) A. Kaga, Pattern Tracking Algorithms Using Successive Abandonment, J. Flow Visualization and Image Processing, 1, 283-296, 1993
- 7) H. Ueda, Effects of External Parameters on the Flow Field in the Coast Region-A Linear Model, J. Climate and Appl. Meteor., 22, 312-321, 1983

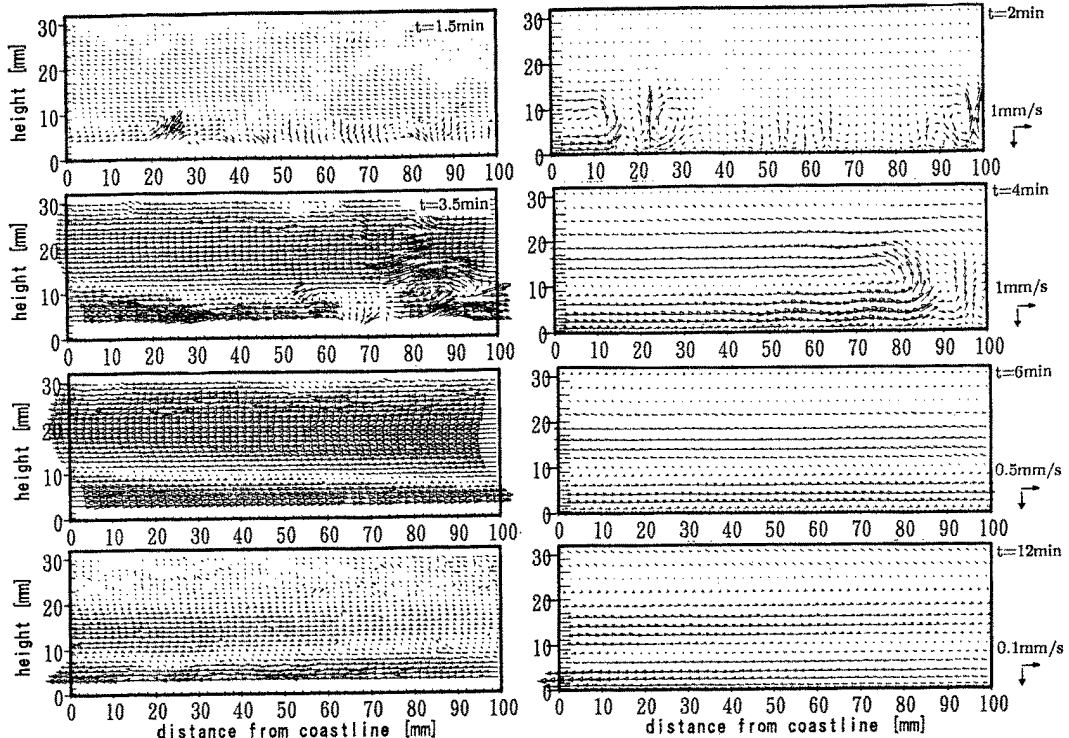


図4 水槽実験(左)とモデル計算(右)のベクトル図