

長崎市街地の気象環境

(2) 数値解析モデルの一考察

長崎大学工学部

学員○ 長田貴則

正員 藤田広章

正員 武政剛弘

学員 安部通智人

1. はじめに

長崎南部地域は周辺を海や急峻な山地で囲まれ、海陸風は局地的な気象の重要な要素である。その中心に位置する長崎市は東西両側が急峻な山地で囲まれた谷間に形成されている。海洋や山地が局地的な気象に与える影響を調べるために、3次元数値モデルを導入し、数値計算を行ったので報告する。

2. 基礎方程式

基礎方程式は風速に関する Navier-Stokes 方程式および熱の輸送方程式である。山地が風に及ぼす影響を考慮するために、以下に示す鉛直座標 z^* を導入する。水平方向の運動方程式および熱輸送方程式は次式で示される。なお、 x 軸および y 軸は右手系が成り立つようにそれぞれ東方向、北方向にとる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D u^2) - \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D u v) - \frac{\partial}{\partial z^*} (u w^*) + f v - \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} \\ & + g \frac{\theta'}{\Theta} \left(1 - \frac{z^*}{z_\tau}\right) \frac{\partial z_c}{\partial x} + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D K_H \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D K_H \frac{\partial u}{\partial y}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z^*} (K_v \frac{\partial u}{\partial z^*}) \frac{1}{D^2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} = & -\frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D u v) - \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D v^2) - \frac{\partial}{\partial z^*} (v w^*) - f u - \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial y} \\ & + g \frac{\theta'}{\Theta} \left(1 - \frac{z^*}{z_\tau}\right) \frac{\partial z_c}{\partial y} + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D K_H \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D K_H \frac{\partial v}{\partial y}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z^*} (K_v \frac{\partial v}{\partial z^*}) \frac{1}{D^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta'}{\partial t} = & -\frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D u \theta') - \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D v \theta') - \frac{\partial}{\partial z^*} (w^* \theta') - D S w^* \\ & - \left(u \frac{\partial z_c}{\partial x} + v \frac{\partial z_c}{\partial y}\right) \cdot S \left(1 - \frac{z^*}{z_\tau}\right) - \Lambda \theta' + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (D K_H \frac{\partial \theta'}{\partial x}) \\ & + \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (D K_H \frac{\partial \theta'}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z^*} (K_v \frac{\partial \theta'}{\partial z^*}) \frac{1}{D^2} \end{aligned} \quad (3)$$

鉛直方向は w に関する運動方程式となるが、簡素化するために静水圧近似を仮定すると、エクスマ関数の平均値 Π からの変動量 π の式となる。

$$\frac{\partial \pi'}{\partial z^*} = g \frac{\theta'}{\Theta^2} D \quad (4)$$

ここに、 z_τ は計算領域の鉛直方向上限、 z_0 は地表面の標高、 u 、 v 、 w は風速成分、 θ は温位の平均値 Θ からの変動量、 S は鉛直安定度 ($dS/dz = \Theta$)、 K_H 、 K_v はそれぞれ水平方向、鉛直方向の渦拡散係数、 f はコリオリパラメータおよび g は重力加速度である。また、連続式を z^* 座標系に変換すると、次式となる。ここに、 w^* は風速の z^* 成分である。

$$\frac{\partial}{\partial x} (D u) + \frac{\partial}{\partial y} (D v) + \frac{\partial}{\partial z^*} (D w^*) = 0 \quad (5)$$

エクスマ関数 π 、温位 θ 、地形効果を考慮した鉛直座標 z^* および相対的な層の厚さ D はそれぞれ次式で示される。ここに、 T は絶対温度、 p は気圧、 p_0 は標準気圧、 R 、 C_p は空気の気体定数および定圧比熱である。

$$\pi = C_s \left(\frac{p}{p_0} \right)^{R/c_p} , \quad \theta = \left(\frac{p_0}{p} \right)^{R/c_p} T , \quad z^* = \frac{z - z_G}{D} , \quad D = \frac{z_T - z_G}{z_T}$$

3. 数値計算

空間格子は staggered grid を用いる。変数の配置を図-1 に示す。水平方向の各格子間隔は2.5Kmとし、鉛直方向には地表から50m、100mとし、それより上層は一様に200mとする。地表面標高は10m単位で読みとり、鉛直方向計算領域の上限を2900mとした。また、地中の鉛直方向の格子は3個とする。計算領域を図-2 に示す。

境界条件としては、風速成分は地表面では0、上層では水平運動はないものとした。また、側壁では、法線方向に変化はないものとした。また、地表面の温度は、エネルギーバランスから決定されるが、海面温度は一定とした。

時間積分に関しては3段階の leap-frog method を採用する。時間の差分間隔は、30秒もしくは15秒とした。渦拡散係数については、水平方向は一定値で与えたが、鉛直方向は大気の成層状態の安定度を加味した。

太陽の天頂角は、94年12月5日の視赤緯 ($\delta=14^\circ$) および緯度 ($\phi=32.67^\circ$) を用いて計算した。計算は朝の6時から上記の時間差分間隔で行う。

4. 計算結果・結論

午前10時における風速ベクトル図を図-3 に示す。この図は地上高度100mにおける風速・風向の平面図である。この時間帯までは、長崎南部地域では海風はあまり発達せずに陸風の影響を強く受けていることが分かる。同図の右上部の多良岳山頂では時計回りと、反時計回りの風が共存している。いずれにしても、この時刻までは山岳地帯では強い陸風が谷に沿って吹いていることが分かる。

一方、長崎市街地では1~2mの微風が海から北西の山地の方向に吹いている。

5. 謝辞

数値シミュレーションは八代高専の大河内康正先生が開発されたプログラムを用いて行った。また、貴重なご助言を頂いた。記して謝意を表します。

6. 参考文献

大河内康正：'海陸風のシミュレーション'，局地気象研究会講演論文集，第10号，日本農業気象学会局地気象研究部会，PP.21~33，1994年6月

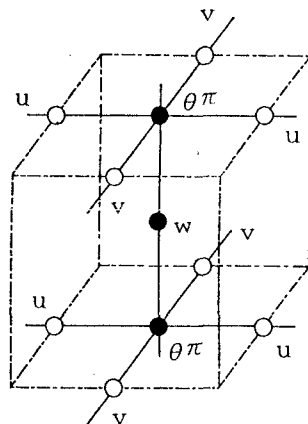


図-1 staggered grid

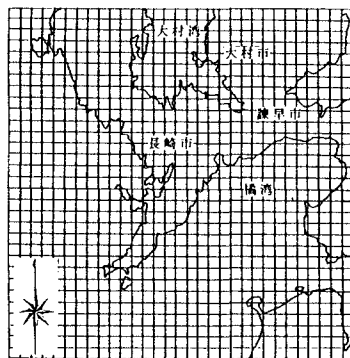


図-2 計算領域

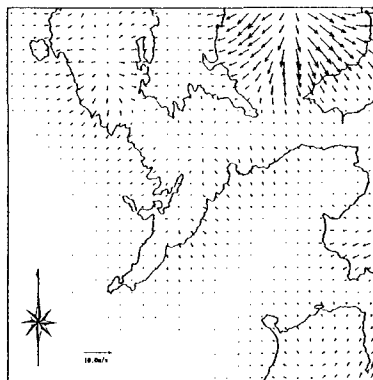


図-3 風速平面ベクトル