

長崎県南部地域における風系・温度分布の数値計算

長崎大学 工学部 学員 ○赤城 誠 学員 吉永哲典
正員 薦田広章

1. はじめに

海陸風は、海陸間の大気温度差により、昼間は海から吹く海風と、夜間は陸から吹く陸風が一日周期で交替する風系である。したがって、海岸地域の局地気象を考えるうえで、重要な風系の一つである。この小規模な対流現象は、緯度、季節、海岸線の形状や陸地の起伏などの影響を受ける。そこで、長崎県南部地域における、複雑な海岸線、急峻な山地および土地利用状況等が、夏季の風系に与える影響を調べるために、3次元数値シミュレーションを行ったので報告する。

2. 基礎方程式

大気層をエクマン層と接地境界層に分け、それぞれの層についてモデル化を行う。エクマン層における基礎方程式は、風速に関するNavier-stokesの運動方程式、熱の輸送方程式および連続式である。座標軸は、南中を考慮して、右手系が成り立つように南にx軸、東にy軸、鉛直上方にz軸をとる。さらに、地形の効果を考慮した新しい座標軸 z^* を導入する。

$$z^* = (z - z_0)/D, \quad D = (z_T - z_0)/z_T$$

ここに、 z_0 は地表面の標高、 z_T は計算領域の鉛直方向の上限、およびDは相対的な層の厚さである。さらに、Boussinesq静水圧近似を仮定すると、 z^* 軸の運動方程式はExner関数の式となり、簡略化することができる。したがって、基礎方程式は、 (x, y, z^*) で表示された5個の方程式となる(各基礎方程式は省略する)。接地境界層は、Monin-Obukhovの相似則が成り立つものとする。

3. 数値計算法および境界条件

各基礎方程式は、staggerd gridを用いて差分式に離散化する。計算対象領域は北緯32°59'30"、東経129°33'20"の点と北緯32°26'30"、東経130°12'00"の点を対角にもつ62km×62kmの正方形領域である。水平方向の各格子間隔は、一様に2kmとし、32×32の格子網を配置する。ただし、地表面の標高に関しては、1kmメッシュ間隔で入力する。鉛直方向の大気層については、接地境界層の厚さを30mとし、その上部に、28メッシュのエクマン層を配する。エクマン層は、最下層のメッシュの厚さのみ70m、それより上部のメッシュ厚さは一様に100mとする。したがって、鉛直方向の計算領域の上限 z_T は2800mとなり、計算対象の大気層の総格子数は地表面を含めて32×32×30である。一方、地中の鉛直格子は、5cm、15cm、35cmの位置に置き、75cmの深さでは、地温の変動はないものとみなす。また、海水面の温度は、昼夜を問わず一定(28℃)と仮定する。

地表面では、以下の熱収支式が成り立つものとして、地表面温度を決定する。

$$R_s + R_L \downarrow - R_L \uparrow - H - E - G = 0$$

ここに、 R_s は太陽からの短波放射フラックス、 $R_L \downarrow$ は大気からの長波放射フラックス、 $R_L \uparrow$ は地表から上向きに放射される赤外放射、Hは顕熱の輸送フラックス、Eは潜熱の輸送フラックスおよびGは地中への熱輸送フラックスである。地中への熱輸送フラックスGは、地表面温度を境界条件として、1次元熱伝導方程式を解くことにより求めることができる。また、潜熱の輸送フラックスは、比湿の輸送方程式を解くことにより求められるが、ここでは簡素化するためにBowen比($B = H/E$)を用いて、顕熱フラックスで評価する。Bowen比Bは、土地の利用状況を都市・住宅域、山林・農地、水域の3種類に分類し、Bowen比の逆数をそれぞれ0、2、5とし、各格子内で3種類の領域が占める面積を求め、この面積を重みとして決定する。ただし、前述の熱収支式では都市域でのエネルギー消費などに伴う人工排熱は考慮していない。接地境界層($z^* = 0 \sim 30m$)では、運動量や熱の鉛直方

向の輸送フラックスが高度によらず一定とみなし、その層内においてMonin-Obukhovの相似則を仮定する。風速および温位の鉛直プロファイルに関する普遍関数 ϕ を用い、それぞれの鉛直プロファイルより、摩擦速度 U_* 、摩擦温度 T_* の第1次近似を求め、仮の安定度スケール L を決定する。それらの値をもとに、Newton-Raphson法で収束計算を行い、地表面温度 T_s を補正する。

境界条件は地表面では、 $u, v, w = 0$ とし、計算領域の上限における水平運動はないものとして、 $u, v, \partial w / \partial z, \theta', \pi' = 0$ とする。また、側壁では、法線方向の変化はないものとする。ここに、 u, v, w はそれぞれの風速成分、 θ', π' はそれぞれ温位およびExner関数の平均値からの変動量である。時間積分に関しては、3段階のleap-frog methodを採用し、時間の差分間隔は12秒とする。渦拡散係数については、水平方向に関しては一定値で与えたが、鉛直方向は、大気の成層状態を加味した。太陽の天頂角は、8月の視赤緯($\delta = 18^\circ$)および長崎市の緯度($\phi = 33.67^\circ$)を用いて計算した。

4. 数値計算結果および考察

$z^* = 30\text{m}$ における、12:00LSTと0:00LSTの平面風速ベクトルを図-1と図-2に示す。12:00LSTでは、海から陸に向かって吹く海風の状況が顕著にシミュレートされている。山麓斜面に沿って上昇する海風は、山頂付近で収束している。山頂に近づくにつれて風速が大きくなっているが、山の傾斜地は日射により暖められて上昇気流が発生し、それと海風との相乗効果によるものと思われる。一方、0:00LSTでは、陸地から海に向かう陸風がシミュレートされている。

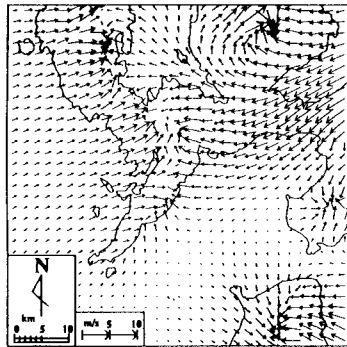


図-1 12:00LSTの風速分布

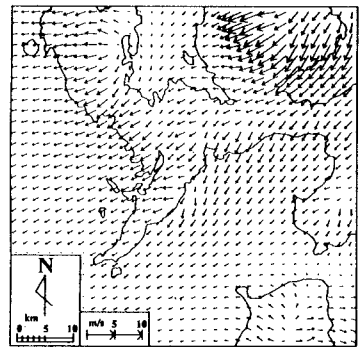


図-2 0:00LSTの風速分布

12:00LSTと0:00LSTの地上2mにおける温度分布を図-3と図-4に示す。これら二つの図を比較すると、日中は、高温部の都市域と低温部の郊外との温度差が顕著に現れているのに対し、夜間は、これらの温度差が比較的小さくなっている。今後、人工排熱などの影響を加味し、地表面における熱収支を厳密に行う必要がある。

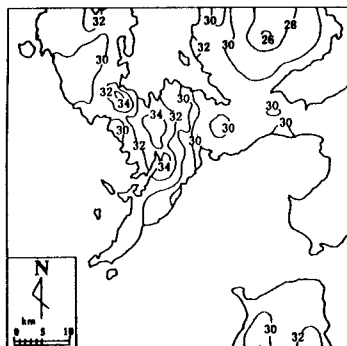


図-3 12:00LSTの温度分布

(単位は℃)

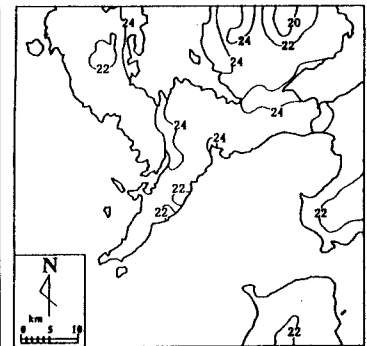


図-4 0:00LSTの温度分布

(単位は℃)

【参考文献】近藤純正：「水環境の気象学」，朝倉書店，350pp，1994。