

長崎県南部地域における夏季の風系の数値計算

長崎大学 工学部 学員○ 山本敏勝 学員 吉永哲典
正員 薦田広章

1. はじめに

海陸風は、熱帯地方では年中、中緯度地方では夏の晴れた日の沿岸地域によくみられる局地風である。この海陸風は、太陽の日射による内陸部分の地表面温度の日変化と海面部分の海水面温度の日変化が異なるために生じるものである。つまり、日中では 海水より内陸部が温まりやすいので内陸部が低圧部になって上昇気流を生み出す。その結果、海からの風が吹いてくる。夜間は、反対に海水の温度が内陸部より下がりにくいため内陸部が高圧部になり陸から海へ風が吹く。前者を海風、後者を陸風と呼び両方を合わせて海陸風と呼ぶ。日本の場合、島国で海岸線が長いので、沿岸地域における局地的気象環境を考えるうえで、海陸風は重要な風系であるといえる。

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

座標軸は、南中を考慮し、右手系が成り立つように x 軸を南向きに、 y 軸を東向きに、鉛直上方に z 軸をとる。基礎方程式は、風速に関する Navier-Stokes 方程式、熱の輸送方程式および連続の式である。ここで、以下に示す、地形効果を考慮した新しい鉛直座標系 z^* を導入する。

$$z^* = (z - z_0)/D \quad \dots\dots(1) \quad , \quad D = (z_T - z_0)/z_T \quad \dots\dots(2)$$

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(ここでは、2800m、後述)、および D は相対的な大気層の厚さである。さらに、Boussinesq 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)。

3. 数値計算

上記の各基礎方程式は、staggerd grid を使って差分式に変換する。計算対象領域は図-1に示す、長崎県南部地域である。水平方向の各格子間隔は、一様に2.0kmとし、32×32の格子網を配する。ただし、地表面標高に関しては、1.0kmメッシュ間隔で、10m単位で読みとる。鉛直方向に関しては、地表から $z^*=50$ mまでを接地境界層と考え、それより上層を計算対象領域とする。鉛直方向の格子は、最下層の厚さだけを150mとし、それ以上の層の厚さは一様に200mとし、合計16個の格子網を考える。したがって、計算対象領域の上限は、 $z_T=2800$ mとなる。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、一定と仮定する。

地表面での熱バランスは以下の式が成り立つものとし、この式より、地表面温度を計算する。

$$(1 - \alpha)R_s + R_L - \sigma T_s^4 - H - \epsilon E - G = 0 \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 α はアルベド、 R_s は太陽からの短波放射量の入射フラックス、 R_L 大気からの長波放射フラックス、 T_s は地表面温度、 σ は Stefan-Boltzmann 定数、 H は顕熱の輸送フラックス、 ϵE 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って、求めることができる。また、潜熱の輸送フラックスを求めるためには、比湿の輸送方程式を解かなければならないが、今回は簡略化するために、Bowen 比を用いて、顕熱フラックスで評価する。その際、接地境界層内 ($z^*=0$ ~ 50 m) では、鉛直方向のフラックスは一様とみなし、Monin-Obukhov の相似則が成り立つものと仮定する。その際、普遍関数は以下の式を用いる。

不安定な条件 ($-1 < \zeta < 0$) において

$$\phi_H = (1 - 16\zeta)^{-1/4} \quad \dots\dots(4) \quad , \quad \phi_H = (1 - 16\zeta)^{-1/2} \quad \dots\dots(5)$$

安定な条件 ($0 < \xi$) において

$$\phi_M = 1 + (7\xi + 70\xi^3) / (1 + 3\xi + 10\xi^3) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\phi_H = 1 + (7\xi + 4\xi^2) / (1 + 0.0175\xi + 0.005\xi^2) \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 ξ は無次元高度 z^*/L を意味し、 L は Monin-Obukhov の安定度のスケールである。地表面温度 T_s は、以下のように決定する。まず、摩擦速度、摩擦温度の第1次近似を求め、仮の安定度スケールを近似する。つぎに、Monin-Obukhov の相似則が成り立つものとして、熱輸送フラックスを求め、これと(3)式を連立して、Newton-Raphson 法で収束計算させることで、真の安定度スケール L 、顕熱輸送フラックス H および地表面温度 T_s を決定する。

境界条件は地表面では、 $u, v, w = 0$ とし、計算領域の上限 ($z_r = 2800\text{m}$) では、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、法線方向に変化はないものとした。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 を採用する。時間の差分間隔は、12秒とした。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、大気の成層状態の安定度を加味した。Bowen 比は、格子内の水域の面積および土地利用状況を考慮し、0.5から ∞ の値を与えた。太陽の天頂角は、8月の長崎市の視赤緯 ($\delta = 18^\circ$) および緯度 ($\phi = 33.67^\circ$) を用いて計算し、午前6時を、数値計算開始時刻とした。

4. 計算結果および考察

$z^* = 50\text{m}$ における、午後12時と午前0時の平面風速ベクトルを図-2と図-3に示す。図-2は海風の特徴が、顕著に表示されている。北東に位置する多良岳、北西に位置する檜井岳、長崎市北東の帆上岳などの急峻な山地を上昇した風は、山頂付近で収束する。

一方、図-3は、陸風が強く現れている。特に、多良岳から吹き降りる風は強く、3 m/s前後となっており、大村湾を挟んで、対岸の多良見周辺まで影響を及ぼしている。

つぎに、午後12時の地上2 mにおける気温を、図-4に示す。同図より、気温分布の最高気温は 30°C 、最低気温は 20°C で、一般に、山頂付近や山林および海岸沿岸は低温で、逆に、長崎市、諫早市、大村市などの都市域では、高温分布となっている。

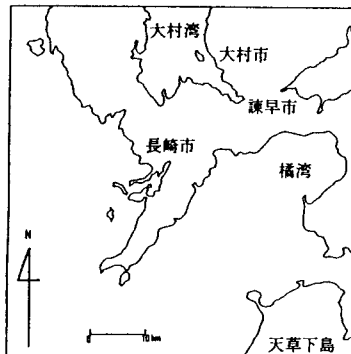


図-1 計算領域

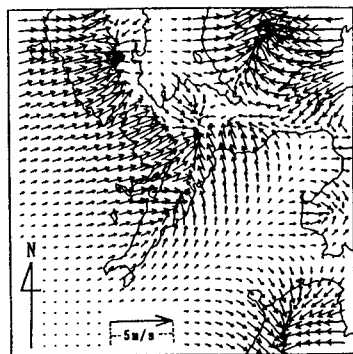


図-2 午後12時の風速分布

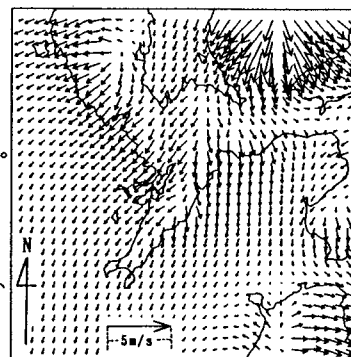


図-3 午前0時の風速分布

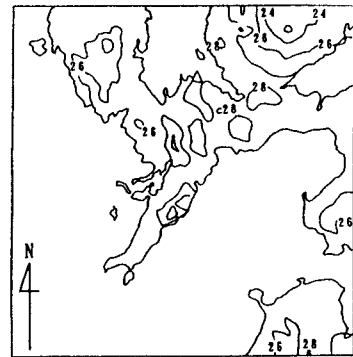


図-4 地上2 mの温度分布

5. 参考文献

近藤純正：「水環境の気象学」，朝倉書店，pp.350,1994