

数値計算による風系・温度分布の評価

長崎大学 工学部 学員○内田 孝 学員 赤城 誠
正員 薦田 広章

1. はじめに

海岸地域では、海陸間の大気温度差に応じて気圧差が生じ、昼間は海から陸へ吹く海風と、夜間は陸から海へ吹く陸風が1日を周期として交替する。この風系を海陸風といい、起伏に富む地形が多く、周囲を複雑な海岸線に囲まれているわが国においては、局地気象を考えるうえで、非常に重要な風系である。そこで、起伏に富む地形や複雑な海岸線が風系や温度場に与える影響を評価するために、3次元モデルを導入して、夏季の風系・温度分布について数値計算を行った。対象地域は、長崎県南部地域である。

2. 基礎方程式

基礎方程式は、風速に関するNavier-Stokesの運動方程式、連続式および熱の輸送方程式である。座標軸は、右手系が成り立つように南方向にx軸、東方向にy軸、鉛直方向にz軸をとる。さらに、地形的効果を考慮した z^* なる新しい鉛直座標を導入する。

$$z^* = (z - z_0) / D \cdots \cdots (1)$$

$$D = (z_T - z_0) / z_T \cdots \cdots (2)$$

ここに、 z_0 は地表面の標高、 z_T は計算領域の上限の高さおよびDは相対的な大気層の厚さである。各基礎方程式の記述は省略する。

3. 数値計算および境界条件

計算方法は、各基礎方程式を差分方程式に変換して数値計算を行う差分法を用いる。空間格子は、各変数の差分表現が合理的に配置されるようにstaggered gridを用いる。

計算対象領域は、北緯32°26'00"、東経129°35'00"の点と北緯32°56'00"、東経130°20'00"の点を対角とする60km×60kmの正方形領域の長崎県南部地域である。水平方向の各格子間隔は一律に2kmとし31×31の格子網をとる。ただし、地表面の標高に関しては、1kmメッシュで入力する。鉛直方向については、地表から50mまでを接地境界層、それより上方をエクマン層とみなし、計算領域の鉛直方向上限を4500mとし、各層の厚さは、一律に150mとする。ただし、最下層のエクマン層に関してのみ接地境界層を考慮し、層の厚さは100mとする。したがって、鉛直方向には接地境界層を含め、31の層を配する。結局、計算対象領域の大気層の総格子数は地面を含めて、31×31×32の格子数となる。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、初期条件としては、典型的な夏季の快晴かつ無風状態の静水圧平衡にある静止成層大気を考え、海水面の温度は、昼夜を問わず一定(28℃)と仮定する。地表面の温度は、以下に示す熱収支の式によって決定する。

$$R_s + R_L \downarrow - R_L \uparrow - H - \epsilon E - G = 0 \cdots \cdots (3)$$

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、 $R_L \uparrow$ は地表面から上空への赤外放射量、 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。接地境界層では、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、その層内における風速と温度の鉛直分布に、Monin-Obukhovの相似則を適用させる。平均風速および平均温度の鉛直勾配は、普遍関数 ϕ を用い、仮の安定度スケール L を決定する。これらの値をもとに、Newton-Raphson法で収束計算を行い、地表面温度 T_s を補正する。境界条件として、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、 $u, v, \partial w^* / \partial z^*, \theta', \pi' = 0$ とする。 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。

計算対象領域は起伏に富む地域であるので、計算の精度を高めるために、水平方向に大小の差分格子を有

する、nesting座標を採用する。これを、図-1に示す。まず、北緯30° 56' 00"、東経128° 50' 00"の点と北緯33° 56' 00"、東経133° 10' 00"の点を対角とする360km×360kmの九州全域を覆う正方形領域を対象として数値計算を行う。水平方向の各格子間隔は、一様に12kmとして31×31の格子網をとる。鉛直方向は、長崎県南部地域と同様の格子間隔とし、総格子数は、31×31×32となる。境界条件は、九州全域の側壁においては、法線方向の変化はないものとする。ここで、九州全域の計算結果より長崎県南部地域の境界における u 、 v 、 θ' 、 π' の値を取り出して、これらの数値を内側の領域の境界における値とし計算を行う。

また、ここでは、土地利用状況による影響は考慮しない。

4. 数値計算結果および考察

06:00LSTを計算開始時刻として、2昼夜(48時間)数値計算を行う。24時間経過後の計算結果を用いて、風系および温度場の評価を行う。一例として、12:00LSTと00:00LSTの $z^*=50\text{m}$ における平面風速ベクトル図を、それぞれ図-2、図-3に示す。12:00LSTの時刻においては、海から陸に向かって吹く海風が顕著に現れている。その海風の収束点は、同図北東に位置する多良岳や北西に位置する飯盛山山頂付近と重なっている。山頂付近の風速が海岸部や平野部に比べて相対的に大きくなっているが、その原因として考えられるのは山の斜面の空気塊が日射によって暖められ生じた上昇気流と海風が重なったためと考えられる。その後、風速はピークとなり、徐々に海風は弱まる。日没をすぎると、大気の状態が不安定から安定へ移行し、陸から海へ向かって陸風が吹き始め、夜間を通してその状態は持続する。図-2と図-3を比較してもわかるように、12:00LSTにおいて海風が収束している点が、00:00LSTでは陸風の発散点となっている。図-4と図-5はそれぞれ12:00LSTと00:00LSTの地上2mの温度分布を表している。数値計算では、海水温度を一定と与えているために、日中の沿岸部においては日射による温度上昇が緩和され、結果的に沿岸部よりも内陸部の方が温度が高くなっている。一方、夜間は、逆に内陸部の方が低くなっている。ただし、山岳部においては、標高が高いために昼夜を通して周囲よりも温度は低い。

今後、土地利用状況の影響や人工排熱などを考慮したうえで、熱収支を行う必要がある。

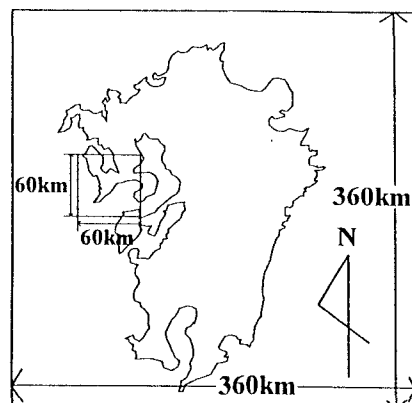


図-1 nesting座標

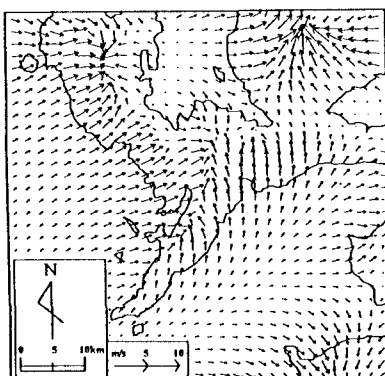


図-2 12:00LSTの風速分布

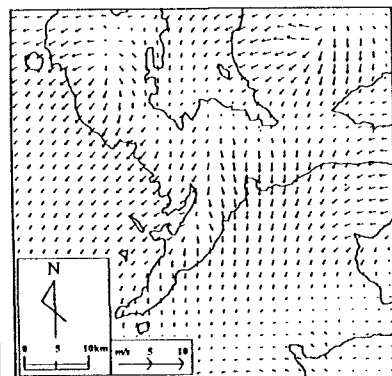


図-3 00:00LSTの風速分布

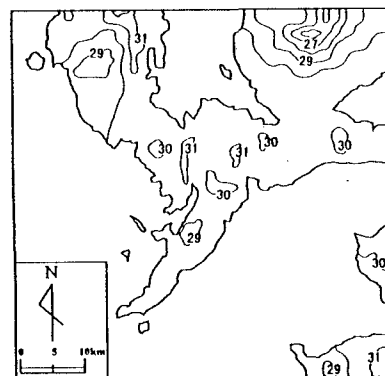


図-4 12:00LSTの温度分布

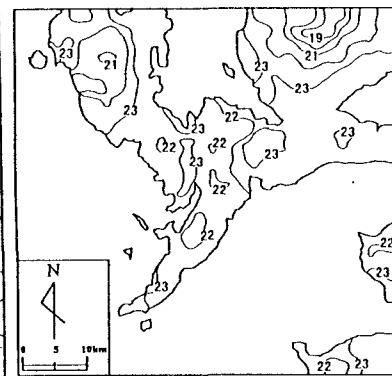


図-5 00:00LSTの温度分布

と海風が重なったためと考えられる。その後、風速はピークとなり、徐々に海風は弱まる。日没をすぎると、大気の状態が不安定から安定へ移行し、陸から海へ向かって陸風が吹き始め、夜間を通してその状態は持続する。図-2と図-3を比較してもわかるように、12:00LSTにおいて海風が収束している点が、00:00LSTでは陸風の発散点となっている。図-4と図-5はそれぞれ12:00LSTと00:00LSTの地上2mの温度分布を表している。数値計算では、海水温度を一定と与えているために、日中の沿岸部においては日射による温度上昇が緩和され、結果的に沿岸部よりも内陸部の方が温度が高くなっている。一方、夜間は、逆に内陸部の方が低くなっている。ただし、山岳部においては、標高が高いために昼夜を通して周囲よりも温度は低い。