

瀬戸内海西部海域における台風時の海上風推算に関する研究

愛媛大学工学部 正員 山口正隆 愛媛大学工学部 正員 畑田佳男

京都大学大学院 学生員○原田英治

1. はじめに：地形の影響を受けた内海における海上風を推算するために、MASCONEモデルの適用が近年多く試みられているが、境界条件によって、数値計算の繰り返し回数の増減や、収束の有無が現れる。本研究では、海上風推算後に波浪推算を行うことを念頭に入れて、MASCONEモデルの収束計算回数を短縮させかつ収束させる試みを行った。2. MASCONEモデル：ここで云うMASCONEモデルとは、台風モデル法により得られる2000m高度風とCARDONEモデル（順圧・中立大気を仮定）により算出される3次元風速場を初期値として、質量保存を制約条件とした変分法を利用して風速場の調整を行うことから、複雑地形における3次元風速場を求めるモデルである。3. 境界条件：汎関数、式（1）を最小化すれば、式（2）と境界条件、式（3）が得られ、式（2）を連続方程式に代入すれば、Lagrangeの未定乗数λについてのポアソン方程式、式（4）が求まる。式（4）および境界条件、式（3）を差分化すれば、式（5）、式（6）となる。SOR法を利用して繰り返し計算によりλの解を求め、さらにこれを式（2）に代入すれば、地形の影響を含む推算風が得られる。

$$E(u, v, w, \lambda) = \iiint_V \left[\alpha_1^2 (u - u_0)^2 + \alpha_1^2 (v - v_0)^2 + \alpha_1^2 (w - w_0)^2 + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dx dy dz \quad (1)$$

$$u = u_0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial x}, \quad v = v_0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial y}, \quad w = w_0 + \frac{1}{2\alpha_2^2} \frac{\partial \lambda}{\partial z}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$n_x \lambda \delta u = 0, \quad n_y \lambda \delta v = 0, \quad n_z \lambda \delta w = 0 \quad \dots \partial \lambda / \partial n = 0 \quad \text{OR} \quad \lambda = 0 \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -2\alpha_1^2 \left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{\partial w_0}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\lambda_{i,j,k}^{n+1} = \lambda_{i,j,k}^n - \frac{1+\nu}{B_{xyz}} \left\{ \frac{A_x \lambda_{i-1,j,k}^{n+1} + C_x \lambda_{i+1,j,k}^n}{(\Delta x)^2} + \frac{A_y \lambda_{i,j-1,k}^{n+1} + C_y \lambda_{i,j+1,k}^n}{(\Delta y)^2} \right. \\ \left. + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{2A_z \lambda_{i,j,k-1}^{n+1} + C_z \lambda_{i,j,k+1}^n}{(\Delta z)^2} + B_{xyz} \cdot \lambda_{i,j,k}^n + D_{i,j,k} \right\} \quad (5)$$

$$(n \text{ は繰り返し回数を示す}) \quad B_{xyz} = \frac{B_x}{(\Delta x)^2} + \frac{B_y}{(\Delta y)^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{B_z}{(\Delta z)^2} \quad (6)$$

4. モデルテスト：L型の山が横たわっているモデル地形を用いて、境界条件の特性を調べると、境界条件λ=0では、図-1に示すように、境界において風向の変化があり、質量保存式が完全には満たされない。境界条件∂λ/∂n=0では、図-2に示すように、風向の変化がなく、質量保存式が完全に満たされる。これより實際上、質量保存が完全に成立することが望ましいことが明らかになったので、すべての境界で境界条件を∂λ/∂n=0とした。5. ノイマン条件のもとでの結果：すべての境界でノイマン条件を設定した場合に収束解を得ることは、本研究で対象とした瀬戸内海西部領域では、不可能であった。6. MASCONEモデルで

収束解を得るための対策：図-3に示すように、陸上境界で $\lambda = 0$ 、それ以外の境界で $\partial \lambda / \partial n = 0$ の条件を設けたこれは収束解を得るため、陸地での地形摩擦を考慮したことに相当すると考えられる。こうした境界条件のもとでは、繰り返し回数200~300回程度で計算は収束した。7. 台風9119号時における推算結果と観測結果の比較：図-4は本研究で使用

した計算領域と等高線図である。図-5は風速・風向図である。境界条件による時系列の違いを、台風モデル風、修正台風モデル風、実測風とともに図-6~7に、図中の記号の意味を表-1に示す。右図が混合境界条件下での結果、左図が $\lambda = 0$ の境界条件のもとでの結果である。これらより、前者のモデルでは、風速のピークがおおむね増加する傾向にあり、風速の変化も滑らかになることがわかる。つまり、 $\lambda = 0$ の境界条件では、連続式を満たさないため、風は地形の影響に対して緩やかに応答するのにに対して、

$\partial \lambda / \partial n = 0$ の境界条件では、連続式を完全に満たしているため、地形の変化に素早く応答するといえる。8. まとめ：初期風の場合をCARDONEモデルで与えるとき、海面摩擦による影響は含まれるが、地形の影響は考慮されないことから、本研究では、地形摩擦による影響を質量保存の式を満たさないという境界条件 ($\lambda = 0$) に置き換えて計算を行った。図-6~7からもわかるように、推算風のピーク値の増加によって実測値に近い値を示す傾向がおおむね認められ、また、他の数地点でも同様な特徴が確認できた。

9. 課題：図-4の地形は不連続な変化を伴っており、これが $\partial \lambda / \partial n = 0$ の境界条件のもと収束解を得ることを妨げていると考えられるので、より滑らかな地形変化を有するように地形を修正したうえで、再度収束計算を試みる必要があろう。また、ポアソン型偏微分方程式を解く際、SOR法の代わりに、より効率的な反復計算法とされるGEI法を用いた検討も一考に値しよう。

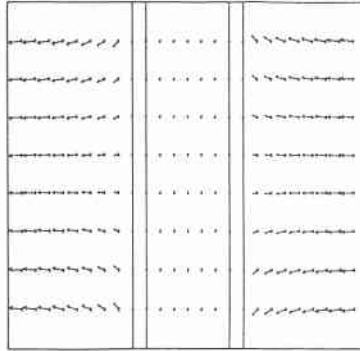


図-1

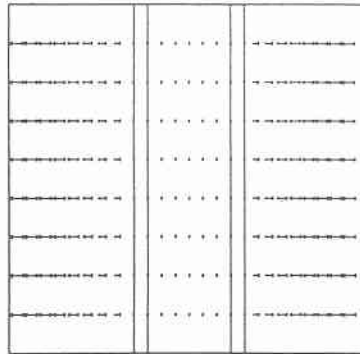


図-2

表-1

□	実測風
---	台風モデル
- - - -	修正台風モデル
— — — —	MASCONモデル
○	台風モデル
*	MASCONモデル

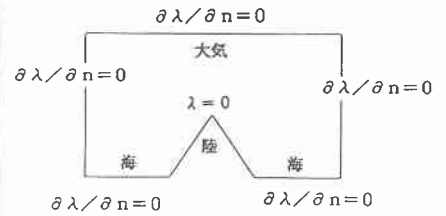


図-3

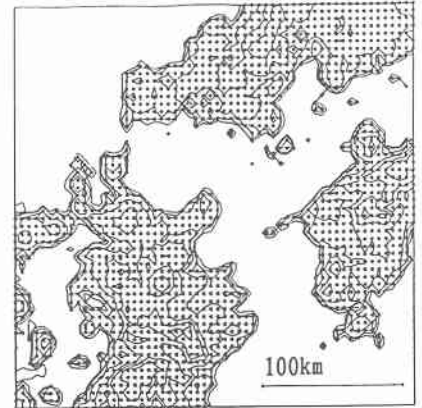


図-4

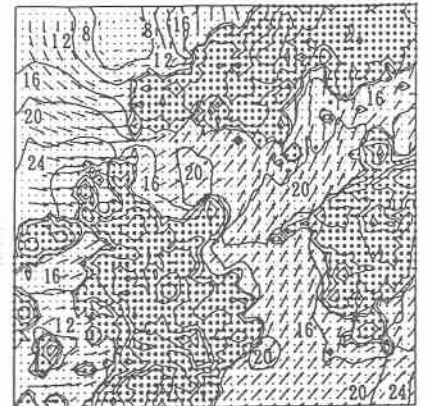


図-5 9月27日19時 風速・風向図

松山空港；観測高度10m

安居島；観測高度23m

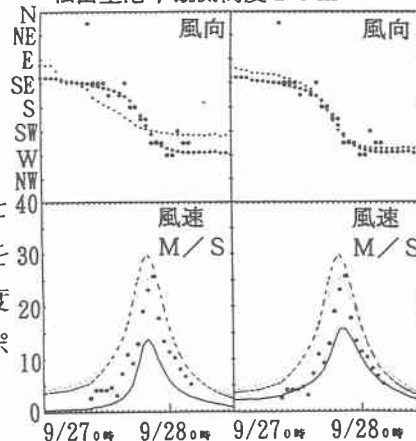


図-6

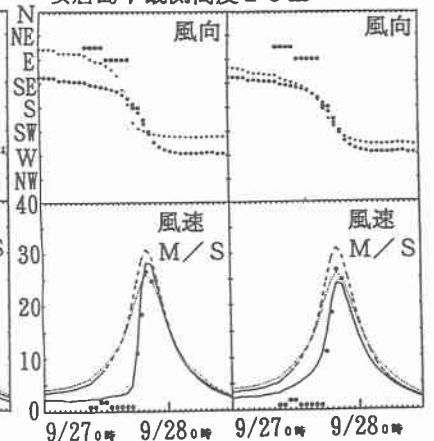


図-7