

地形解析をもとに台風時の地表の風向、風速を算定する実験式作成に関する研究

千葉工業大学 正会員 澤野 靖幸
 千葉工業大学 正会員 小泉 俊雄
 東京都港湾局 非会員 川崎 英明

1. 研究背景、目的及び方法

風による災害としては風倒木、林野火災の延焼の拡大等が挙げられるが、これらは単に風だけの影響ではなく、地形が大きく影響することは良く知られていることである。地形解析を基に地表の風向・風速を算定する研究として、多重相関回帰分析による方法が多く用いられている。しかしながら、この方法は風向・風速と地形因子との関係に物理的意味を考慮すること無く単に線形的に組み合わせで作成しているのが一般的である。本論文は、台風の上空風向・風速が地形によってどのような影響を受け、観測点においてどのように風向・風速が変化するかを流体力学の理論より導いた山田¹⁾の実験式の実地への適用と、更により有効な適用方法の開発を行うことを目的とした。本論文では、1974～2003年の期間内に台風の中心位置が各観測点までの距離200km以内を通過し、上空風速が10m/s以上の台風データを使用し、観測点を千葉県、東京都、神奈川県、茨城県の気象官署およびアメダスの計41箇所を対象に実験式の適用を試みた。地形解析には国土地理院発行の数値地図 50mメッシュを用いた。

2. 観測所及び使用データ

2.1 観測所データ

本論文で用いた観測所のデータは千葉県、東京都、神奈川県、茨城県内の気象官署が7箇所、アメダスが34箇所の計41箇所である。なお、アメダスは1978年から観測を開始しているためそれ以降のデータを、また、気圧については観測していないので気圧を用いる台風の解析には気象官署のデータを使用した。

2.2 台風データ

2.2.1 台風データ使用条件

本論文で対象とした台風は、1974年～2003年の間に各観測点までの距離200km以内を通過し、上空風速が10m/s以上の台風である。通常台風による災害の発生が中心付近に集中することから、強風域は台風中心の眼域を除く中心から100～200kmまでの距離とされている。本論文ではこのことから、台風の中心点と観測点からの距離が200km以内を

台風データの条件の一つとした。また、本来は上空風速17.2m/s以上の台風データを使用すべきであるが、データの確保のため本論文では10m/s以上とし、これらの条件を満たした台風データを使用することとした。なお、台風の中心と観測点との距離が200km以内、上空風速が10m/s以上という条件を満たしたデータ数は9335個あった。

2.2.2 台風データの補間

台風データは気象庁が発表し、気象業務支援センターより発行されている台風の辞典、および台風経路データを用いた。記録は基本的に6時間毎で表されているが、日本本土に上陸したときのみ3時間毎となり、特にその中で最大風速を観測した場合は1時間単位で表示される。台風の記録には台風の番号、名称、位置とその日時、その時点での台風の階級、中心気圧、最大風速、暴風域、強風域がある。以上の全ての項目において記録は離散されている。その中でも台風の軌道に関しては規則性がないため、一定の数式によって表すことは非常に困難であると考えられる。この問題に対し、山田¹⁾の研究では前後の数値より直線補間を行っていたが、本研究において新たな補間法を提示した。台風の位置データを全て通り、かつ近似曲線のようなナチュラルな軌道を描く関数を作成するために、まず本研究ではラグランジュ補間で算定を行うことにしたが、この補間はデータが多ければ多いほど描かれる曲線に振動が発生するという短所を持っていたため、値に対してデータを限定させ、それを連続させることにより全体的に滑らかな曲線を作り出し補完させるというスプライン補間を使用して台風の風向・風速の算定に臨んだ。

2.3 地形データ

本研究で取り扱う地形データは国土地理院が発表した数値地図50mメッシュである。これをプログラミングによって求めたい位置データの周辺4点を抽出し、その4点の標高データからバイリニア補間によって求めたい場所の標高を算出する事とした。

3. 解析理論

本論文の実験式作成の解析理論は、山田¹⁾が示した台風時

キーワード：台風、風向、風速、地形解析

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1

千葉工業大学工学部建築都市環境学科小泉研究室 TEL047-478-0450 E-mail: koizumi.toshio@it-chiba.ac.jp

の上空風向・風速を基に、地形解析により地表の観測点での風向・風速を算定するモデル式を流体力学の理論を導入して作成した研究に従う。考慮した地形は図1に示すように、観測点の標高 H_P 、観測点から風上側 L km離れた点から主要山頂までの距離 L_S (L km以内に海が存在する場合は海岸までの距離とする)、主要山頂から観測点までの距離 L_M とし、観測点を中心に半径 L km以内の地形を8方位について考慮することとした。風力算定式の考え方は図1に示すようにまず台風時の上空風速 V_G を算出し、 V_G を観測点の標高における風速 V_H に変化させる。次に、 V_H は主要山頂までの地表面の粗度により風速 V_S に変化する。更に V_S は主要山頂の影響により観測点での風速 V になるというものである。

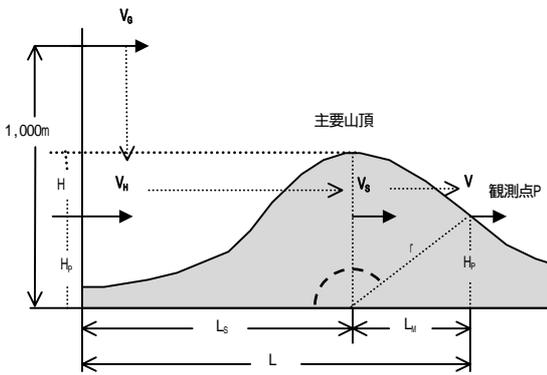


図1 地形効果による風の変化

4. 解析方法

4.1.1 風速解析方法

観測点の風速 V の算定式は、粘性流体の流線が1つの軸を含む平面上にあるという軸対称流れを仮定し、極座標系で式(1)、直交座標系で式(2)とした。ここで、本論文では8方位について考えているので $i=1\sim 8$ である。極座標系での速度成分 $V_{ri}, V_{\theta i}$ は、式(3)、式(4)、式(5)とした。極座標系から直交座標系に変換する際、定数 $A_1\sim A_8, B_1\sim B_8, K_1\sim K_8$ の組み合わせにより独立変数360、更に $B_1\sim B_8, K_1\sim K_8$ の組み合わせにより独立変数136の線形重回帰式として提示した。本論文では実地に適用するにあたり、更なる独立変数の減少を試みた。すなわち、式(3)、式(4)において $\cos \theta_i, \sin \theta_i$ は1より小さく、 r_i は一般に数100mから数kmなので、式(6)となると考えた。またこれらは X_i に比べ非常に小さいと考え式(3)、式(4)を式(7)、式(8)とした。式(7)、式(8)より極座標系から直交座標系に変換する際、 $K_1\sim K_8$ の組み合わせだけを考えればよく、独立変数は36に減少することが出来る。よって、観測点の風速 V の近似式は、 k_j を定数、 P_j を変数とする線形重回帰式である式(9)で表すことが出来る。図2に風速概念図を示す。

式1. 風速算定式

$$V^2 = \sum V_{ri}^2 + \sum V_{\theta i}^2 \quad \dots(1)$$

$$V^2 = \sum V_{xi}^2 + \sum V_{yi}^2 + \sum V_{zi}^2 \quad \dots(2)$$

$$V_{ri} = 2 \left(\frac{A_i \cos \theta_i}{r_i^3} + \frac{B_i \cos \theta_i}{r_i} - \frac{K_i X_i \cos \theta_i}{2} \right) \quad \dots(3)$$

$$V_{\theta i} = \left(\frac{A_i \sin \theta_i}{r_i^3} - \frac{B_i \sin \theta_i}{r_i} + K_i X_i \sin \theta_i \right) \quad \dots(4)$$

$$\left(X_i = V_H \cdot H_P \cdot \sqrt{\frac{V_H}{L_{Si}}} \right) \quad \dots(5)$$

A_i, B_i, K_i : 定数, X_i, r_i : 変数

$$\frac{\cos \theta_i}{r_i^3} = 0, \frac{\cos \theta_i}{r_i} = 0, \frac{\sin \theta_i}{r_i^3} = 0, \frac{\sin \theta_i}{r_i} = 0 \quad \dots(6)$$

$$V_{ri} = -K_i X_i \cos \theta_i \quad \dots(7)$$

$$V_{\theta i} = K_i X_i \sin \theta_i \quad \dots(8)$$

$$V^2 = k_1 P_1 + k_2 P_2 + \dots + k_{35} P_{35} + k_{36} P_{36} \quad \dots(9)$$

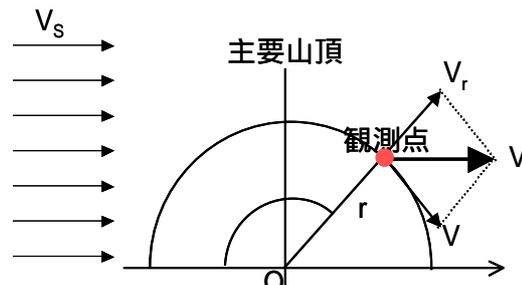


図2. 風速概念図

4.1.2 風向解析方法

上空風向は台風を中心とする円の接線方向であるが、その風向が地表に到達する場合、一般に気圧の等圧線との偏角をなして、高压部から低压部へ吹き込む事となる。本論文では、羽倉、小泉の論文²⁾に従い γ を 35° として式(10)で求めた。そして、観測点の風向 D は上空風向 D_G に γ を加えたものとなる。ここで θ は式(11)となる。よって観測点の風向 D は式(12)である。図3に上空風向概念図を示す。

式2. 風向算定式

$$D_G = B + \gamma - 90^\circ - 35^\circ \quad \dots(10)$$

D_G : 北方向と風向との間を時計まわりを正にとった角度

B : 台風を中心から進行方向と観測点の間を時計回りを正にとった角度

θ : 北方向と台風の進行方向との間を時計まわりを正にとった角度

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sum V_{xi}}{\sum V_{yi}} \quad \dots(11)$$

$$D = D_G + \theta \quad \dots(12)$$

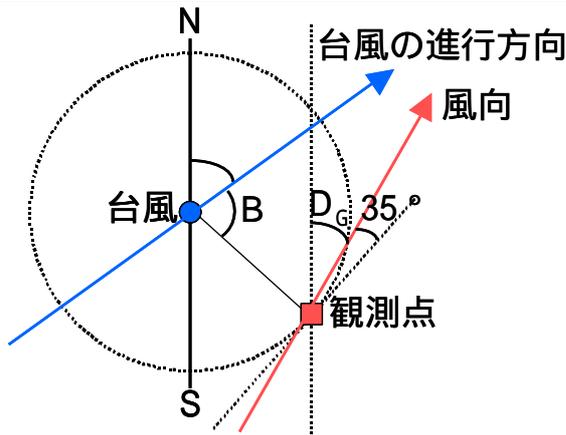


図3. 上空風向概念図

5. 実地への適用

5.1 地形因子の抽出

抽出する地形因子は図1に示す観測点の標高 H_P 、主要山頂、観測点から主要山頂までの距離 L_M 、主要山頂から上空風の風上方向に観測点から半径 L km以内の地点までの距離 L_S である。ただし、 L_S については L km以内に海が存在する場合は、海岸までの距離とした。山田¹⁾の方法は観測点が50mメッシュの交点上に無い場合、最も近い50mメッシュの交点を観測点と仮定して解析を行ったが、本論文では地形データをバイリニア補間によって補間することにより正確な地形因子の抽出が可能となった。

5.2 風向・風速の算定

5.2.1 上空風向 D_G ・風速 V_G

2.2.1 項の条件を満たした台風データを用いて上空風向(8方位・16方位)・風速の算定を行った。

5.2.2 観測点の風向 D ・風速 V

(1) 観測点の風速 V

主要山頂での風速 V_S 地形因子と台風時の気象観測所の観測風向・風速を用いて重回帰分析を行った。解析は千葉県、東京都、神奈川県、茨城県の各県のみの場合と4県を合わせた場合でそれぞれ独立変数を300個、136個、36個用いて行った。結果を図4、図5、図6に示す。

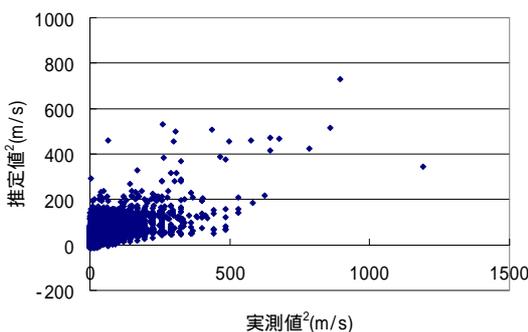


図4. 独立変数300 重相関係数0.65

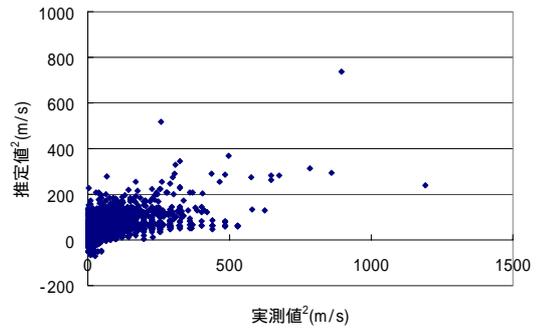


図5. 独立変数136 重相関係数0.59

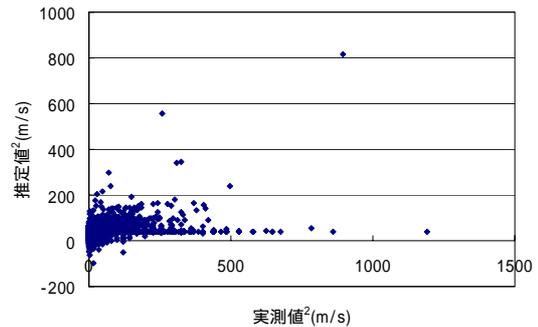


図6. 独立変数36 重相関係数0.30

(2) 観測点の風向 D

5.2.2(1)の重回帰分析により求められた回帰係数を用いて観測点の風向 D (角度・8方位・16方位)を算出した。山田¹⁾はプログラム上の問題とデータ数の不足により独立変数300での風向を算出する事ができなかったが、本論文では使用プログラムの改良と解析地域拡大によるデータ数の確保により独立変数300での風向算出に成功した。観測所で実際に測定されているデータは16方位の方位データしか無いため方位を角度の階級値で表し、実測値と推定値の角度差を求めた。結果を図7、図8、図9に示す。

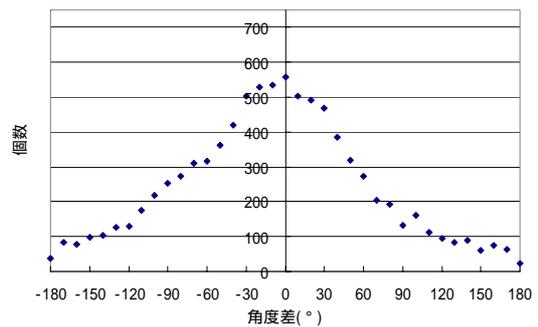


図7. 独立変数300 標準偏差72.06

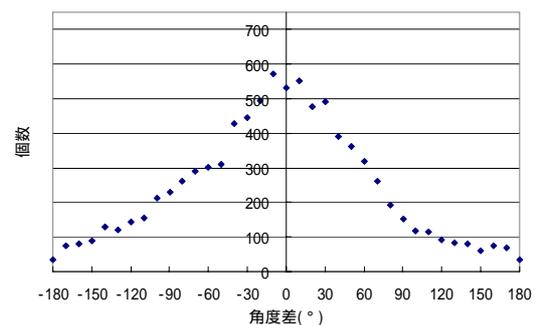


図8. 独立変数136 標準偏差72.31

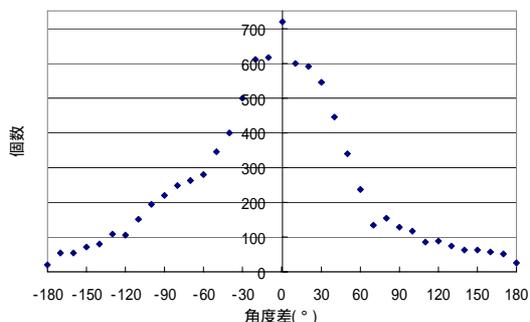


図9. 独立変数 36 標準偏差 66.03

6. 風速V・風向Dの推定に関する改良

6.1 観測点ごとの粗度を考慮した手法

本論文では、上空風速から観測点の標高に変換した風速を算定する際に、地表面の粗度を考慮しているが、地表面粗度が一様ではない地域の風力算定式を作成する場合は、その地域に合った粗度の値を採用すべきであると考えた。粗度の値の選定に関しては国土地理院発行の1/25000の地形図を参考に選定した。

6.2 強風・弱風に区分した場合

実地に適用するにあたり、使用する風速データはデータ数を確保するために山田¹⁾同様、上空風速 10m/s以上のデータを採用した。しかし、本来台風とは最大風速 17.2m/s以上のものを呼ぶため、使用する風速データはより大きいデータを選定する必要があると考えた。山田は解析地域が千葉県のみだったため、データ数を確保するために上空風速 10m/s以上のデータを採用せざるをえなかったが、本論文では解析地域を拡大しデータ数を増加したため、より大きい風速データを採用する事が可能となった。2.2.1の条件を満たした台風データの中から上空風速 17.2 m/s以上のデータを強風データとして採用した。また、強風データとの比較を行うために上空風速 10m/s以上 17.2m/s未満のデータを弱風データと定めて解析を行った。強風・弱風それぞれの条件を満たしたデータは強風 8031個、弱風 1304個となった。

6.3 風向の偏角の検討

4.1.2項より上空風が地表に到達する場合、一般に気圧の等圧線と偏角をなして、高圧部から低圧部へ吹き込む事になる。本論文では、羽倉、小泉の論文²⁾に従い偏角を 35°としたが、偏角は台風の強さや、台風の中心からの距離により変動するため検討する必要があるのではないかと考えた。これまで風向の算定を行ってきたが、算定した風向の実測値と推定値の間に角度差が生じた。生じた角度差の平均値を偏角の修正角度と定めた。その結果から偏角は 40度前後が有効であると考えられる。

7. 台風の位置誤差を考慮した解析の一考察

台風は気象庁の観測データでは位置を表す緯度、経度の

情報は小数点 1 桁度までしか発表されていない。このため台風の位置は 10km ほどの誤差が生じる可能性がある。さらに、台風は台風の中心とされる台風の目がはっきりと判断しづらいため、正確な位置を特定する事は困難である。本論文においても台風の位置誤差の影響により風速の推定値と実測値に時間誤差が生じた。ここでは、実測値と上空風速の推定値に生じた時間誤差の代表的な例として、解析対象とした台風が最も多かった千葉県勝浦観測所の 9512 号を図 10 示す。点線は上空風速の推定値と実測値が最大値になる時間を示している。

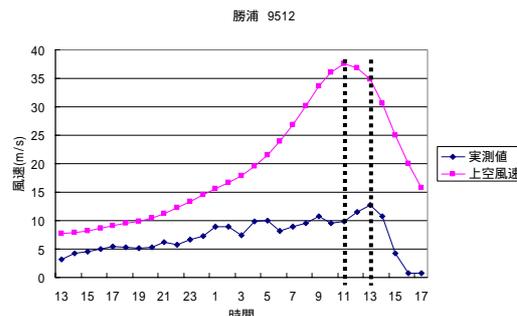


図10. 上空風速と実測値のピーク時間のずれ

8. 結論

本論文は山田¹⁾が提示した流体力学の理論を基に風向・風速と地形因子との関係を求め、台風時の地表の風力(風向・風速)を算定する実験式の充実を図るとともに実地に適用し、更により有効な適用方法の開発を行ったものである。本論文で得られた結論は下記の通りである。

(1)山田¹⁾は千葉県のみ適用だったが、千葉県、東京都、神奈川県、茨城県の気象官署およびアメダス 41 箇所を解析対象としてより広範囲に適用し、データ数も増加させ、適用性をより高めた。(2)データの取り込みにあたっては離散されている台風データ、地形データの補間を行い台風情報や地形情報の取り込みをより精度良く取り込めるように工夫した。(3)プログラムの改良を行った。(4)推定精度をさほど落とさずに解析方法の簡素化を行った。(5)実験式の高度化を図った。(6)その他の改良点としては観測点ごとの粗度を考慮した手法の試み、強風・弱風に区分した場合の検討、風向の偏角の検討、台風の位置誤差を考慮した解析を行った。研究の結果、作成した実験式の解析の有効性を証明し、地表へ吹き込む風向の偏角として 40度前後をとることが有効であることなどを提示した。

参考文献

- 1)山田弘道；地形解析に基づく台風時の地表の風向，風速を算定する実験式の作成、平成九年度千葉工業大学大学院土木工学専攻修士論文，1998
- 2)羽倉弘人，小泉俊雄；地形解析を考慮に入れた地表風の強さの算定 - 台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究() - 日本建築学会構造系論文報告書，第 363 号，pp31-41，1986.5