

極値風速予測のための風速の平均化時間に関する研究

東京大学 正会員 ○山口 敦

東京大学 非会員 メルヴィン ソロモン

東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

風力発電設備の設計に際し、モンテカルロシミュレーションやメソスケールモデルを用いて設計風速を推定する手法が提案されているが、これらの手法を用いて推定される風速は1時間から3時間平均の風速に相当すると言われており、設計に用いる10分平均風速を推定する際には平均化時間の違いを考慮した補正が必要である。

Larsen and Mann¹⁾はデンマークの5箇所とスエズ湾沿岸の3箇所の強風イベント時の観測データを用いて、10分平均風速の最大風速とより長い平均化時間に基づく最大風速との関係を明らかにし、補正を行うためのモデルを提案した。しかしながら、台風時は非台風時と比べて平均風速の時間変動が大きいいため、この手法に基づいて10分平均風速の最大値を推定した場合に過小評価の恐れがある。

一方、安井ら²⁾は台風のモンテカルロシミュレーションにより求めた風速が3時間平均風速に相当することを示すとともに、台風時の東京の高層ビルの屋上における観測データを解析し、3時間平均風速と10分平均風速との差が正規分布で近似できることを示し、その標準偏差をモデル化した。しかしながら、このモデルに基づく3時間平均風速の最大値と10分平均風速の最大値の性質については議論されていないのに加え、3時間以外の平均化時間に対してはモデルが提案されていない。

そこで本研究では台風時と非台風時の両方の観測データを用いて、10分平均の最大風速と、より長い平均化時間の最大風速との関係を明らかにするとともに、両者の間の変換手法を提案する。

2. 平均化時間の違いのモデル化

平均化時間の違いが最大風速の違いに与える影響を明らかにするために、平均化時間の違いによる平均風速の分布について検討する。非台風による強風の例として2004年～2005年に福島県いわき沖の天然ガス掘削プラットフォーム上に計測した風速データを、³⁾台風による強風の例として2003年の9月11日の宮古島気象台における観測データを用い10分平均風速 $u_{10,i}$ から移動平均を用いて分平均風速($M > 10$)の時系列データ $u_{M,i}$ を作成した。

次に、各時系列データに対して M 分平均風速 $u_{M,i}$ と10分平均風速 $u_{10,i}$ との差 $\Delta u_{M,i}$ を求める。

$$\Delta u_{M,i} = u_{M,i} - u_{10,i} \quad (1)$$

$\Delta u_{M,i}$ の大きさは風速に依存すると考えられるため、 $\Delta u_{M,i}$ を M 分平均風速の関数としてプロットしたのが図1である。 $\Delta u_{M,i}$ の平均値は風速に依存せずに常にほぼ0であるが、ばらつきは M 分平均風速が大きくなるに従って大きくなることからわかる。またそのばらつきは台風時の方が非台風時より大きいことがわかる。

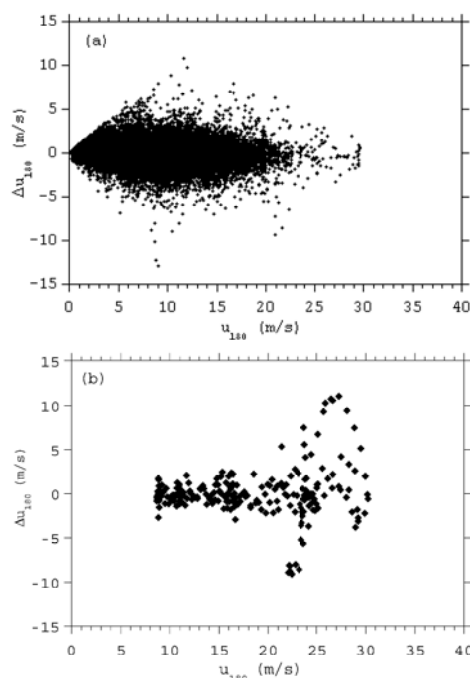


図1 3時間平均風速と10分平均風速の差 a) いわき沖における非台風時 b) 宮古島における台風時

台風時のデータと非台風時のデータそれぞれについて、 Δu_M の標準偏差 σ_M を M 分平均風速 u_M の関数としてプロットしたもののうち $M = 30$ 分の例を図2に示す。なお、台風時のデータについてはデータ数が少ないため5m/sのビン幅を用いた。風速が大きくなるにつれて標準偏差 σ_M が大きくなるが、その性質は台風時と非台風時で異なる。

本研究では、台風時の標準偏差 σ_M^T は、 M 分平均風速に比例する形で(2)式のようにモデル化した。

$$\sigma_M^T(u_M) = a(M) \cdot u_M \quad (2)$$

キーワード 極値風速予測, 平均化時間, モンテカルロシミュレーション

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 TEL 03-5841-6217

ただし、比例係数 $a(M)$ は平均化時間の関数である。一方、非台風時の強風については(3)式に示すように1次関数でモデル化した。

$$\sigma_M^E(u_M) = b(M)u_M + c(M) \quad (3)$$

この場合も比例係数 $b(M)$ と切片 $c(M)$ は平均化時間の関数である。本研究ではこれらのパラメータ $a(M)$, $b(M)$, $c(M)$ をデータ数の重みをつけた最小二乗法により同定した。同定したパラメータを表1に示すとともに、このパラメータを用いたモデルを図2にあわせて示す。このモデルにより、観測値がよく再現されていることがわかる。

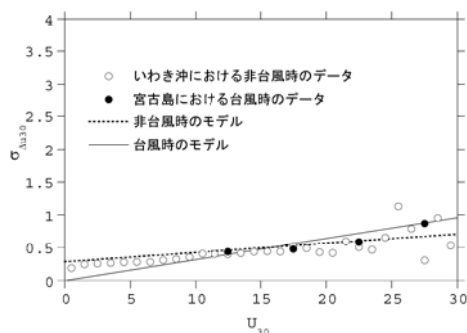


図2 30分平均風速と10分平均風速の差 Δu_{30} の標準偏差

表1 平均化時間の差のモデルパラメータ

平均化時間 M (分)	$a(M)$	$b(M)$	$c(M)$
30	0.032	0.014	0.29
60 (1 時間)	0.042	0.029	0.35
180 (3 時間)	0.10	0.039	0.65
360 (6 時間)	0.11	0.049	0.81

次に、これらのパラメータを任意の平均化時間に拡張する。本研究ではこれらのパラメータを(4)～(6)式に示す対数関数を用いて一般化した。

$$a = -0.03460 \ln\left(\frac{60}{M}\right) + 0.06120 \quad (4)$$

$$b = -0.01353 \ln\left(\frac{60}{M}\right) + 0.02424 \quad (5)$$

$$c = -0.22437 \ln\left(\frac{60}{M}\right) + 0.40201 \quad (6)$$

3. 最大風速の推定

次に、これらの関係を用いて M 分平均風速の最大値を求める。前節で見たように、 M 分平均風速と10分平均風速の差はの平均値は0であり、標準偏差は(2)式、(3)式で与えられることから、その性質を満たす乱数 $\Delta \tilde{u}_{M,i}$ を発生させ、(7)式に示すように、 M 分平均風速に加えることにより、10分平均風速の時系列データを擬似的に生成することが可能である。

$$\hat{u}_{10,i} = u_{M,i} + \Delta \tilde{u}_{M,i} \quad (7)$$

このようにして3時間平均風速から発生させた時系列データの一例を図3に示す。また、あわせて本来の10分平均風速と移動平均により求めた3時間平均風速の時系列を示す。3時間平均風速の最大値は10分平均風速の最大値より小さくなっているが、本手法により擬似的に発生させた10分平均風速の最大値は、10分平均風速の最大値に近くなっていることがわかる。

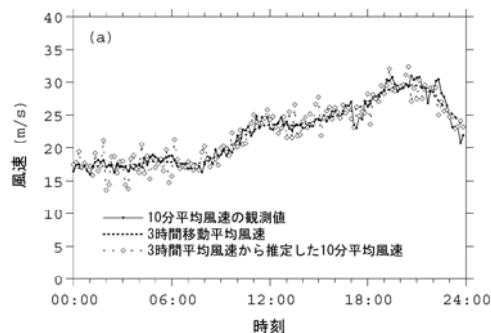


図3 強風時の10分平均風速の観測値、3時間移動平均風速値と3時間平均風速から推定した10分平均風速

4. まとめ

本研究では、台風時と非台風時の観測データを解析することにより、 M 分平均風速から10分平均風速の最大値を推定する手法を提案し、以下の結論が得られた。

- 1) 10分平均風速と M 分平均風速との差 Δu_M の標準偏差 $\sigma_{\Delta u_M}$ を台風時、非台風時それぞれの場合に対してモデル化した。提案したモデルにより、任意の平均化時間 M に対して $\sigma_{\Delta u_M}$ を推定することが可能となった。
- 2) モデル化した10分平均風速と M 分平均風速との差 Δu_M の標準偏差 $\sigma_{\Delta u_M}$ を利用して、 M 分平均風速の時系列データから10分平均風速の時系列データおよび最大風速を推定する手法を提案した。この手法により推定した10分平均風速の最大値は観測値と一致した。

参考文献

- 1) Larsen, X. G. and Mann, J.: The effect of disjunct sampling and averaging time on maximum mean wind speeds, *J. Wind Eng. Indist. Aerodyn.*, Vol.94, pp.581-602, 2006.
- 2) 安井八紀, 大熊武司, 吉江慶祐, 片桐純治, 廣川雅一: モンテカルロ法を用いた台風シミュレーションに関する研究, 第16回風工学シンポジウム, PP.65-70, 2000.
- 3) 福本幸成, 石原孟, 土谷学: 福島県沖 37km における風況観測, 第27回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.235-238, 2005.