

台風モデルとメソスケール気象モデルによる

設計風速の割増係数の評価手法に関する研究*

A study of topographic multiplier for design wind speed using typhoon and mesoscale models

山口 敦**

Atsushi YAMAGUCHI

橋内 宏至***

Hiroshi HASHIUCHI

大森 政則****

Masanori OHMORI

石原 孟**

Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

風力発電設備の設計風速を評価するためには、年最大風速の非超過確率分布を精度良く求める必要があるが、日本のように熱帯低気圧（台風）及び温帯低気圧（季節風）の両方が強風の要因となる混合気候では、強風の成因を考慮した年最大風速の確率分布を評価する必要がある。

Kikuchi と Ishihara¹⁾は台風のモンテカルロシミュレーションにより求めた実地形上の 50 年再現期待値と平坦地形上の 50 年再現期待値の比をとることにより、風向特性を考慮した割増係数の評価手法を示したが、台風以外の強風要因の場合には、そのまま使用することはできない。また、北日本においては台風の強度が低下するため、台風の気圧分布を円形で近似する台風モデルに基づくシミュレーションでは最大風速の予測精度が低下するという問題がある。

本研究では、青森県岩屋ウィンドファームで観測された強風イベントを対象として年最大風速の評価手法を提案する。まず、北日本において台風モデルを使用した際に生じる最大風速の過小評価を、メソスケール気象モデルと併用することにより改善する。次に、温帯低気圧に起因する強風イベントを対象として、メソスケール気象モデルによる予測を行い、データ同化手法であるナッジングパラメータが年最大風速の予測精度に与える影響を明らかにする。最後に、台風と季節風の両方を考慮した、風向を考慮した地形による風速の割増係数の評価手法を提案する。

2. 風観測と予測モデルの概要

2.1 風観測の概要

本研究では、青森県下北郡東通村にある（株）ユーラスエナジーの岩屋ウィンドファームで 2002 年から 2017 年までの 16 年間に風車のナセル風速計で観測されたデータを用いた。風車のハブ高さは 68m である。図 1 にウィンドファームの位置と周辺地形を示す。



図 1 岩屋ウィンドファーム

2.2 予測モデルの概要

本研究では、メソスケール気象モデルとして WRF(Weather Research and Forecasting) version 3.4.1²⁾を、気流解析には MASCOT(Microclimate Analysis System for Complex Terrain)を、台風モデルによる強風予測には MASCOT Offshore をそれぞれ用いた。

観測データが得られている 16 年間の代表的な強風イベントを対象として WRF と MASCOT により風速の時刻歴を求めた。WRF の解析領域は図 2 に示すように、水平解像度 18km, 6km の 2 段階にネスティングとし、水平解像度 6km で得られた風速・風向の時刻歴 $u_{6km}(t)$ を、(1)式に示すように MASCOT により求めた風速比より、詳細地形の影響を考慮した風速の時刻歴 $u_{Fine}(t)$ を求めた。

$$u_{Fine}(t) = \frac{\hat{u}_{Fine}(\theta_{6km}(t))}{\hat{u}_{6km}(\theta_{6km}(t))} u_{6km}(t) \quad (1)$$

ここで、 $\hat{u}_{Fine}$ と $\hat{u}_{6km}$ はそれぞれ MASCOT により求め

*第 42 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

**会員 東京大学工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

***団体会員 (株) ユーラスエナジーホールディングス

**** 団体会員 (株) 水域ネットワーク

た実地形上の風速および WRF と同じ 6km 解像度の地形上の風速であり、風向の関数になっている。

また、16 年間に於いて、岩屋ウィンドファームを中心として半径 500km 以内を中心気圧 985hPa 以下となる台風が通過したケース³⁾について、台風モデルを用いて平坦地形上の風速の時系列を MASCOT により求めた風速により、実地形上の風速の時刻歴を求めた。

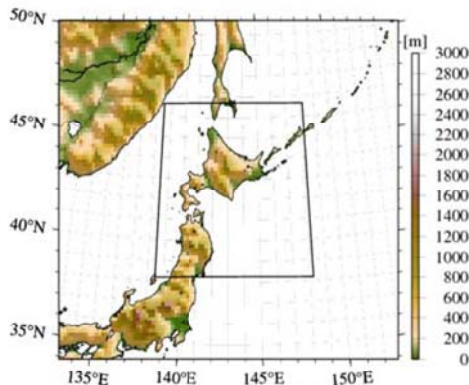


図2 WRF の解析領域

3. 台風・季節風の最大風速の評価手法の提案

3.1 台風起因する年最大風速の評価

本研究の対象地点の北日本では、台風が接近した際に形状が真円でなくなっていることがあるため、台風の気圧分布が同心円状と仮定する台風モデルでは最大風速が正しく評価できない。

本研究では、この問題を解決するために台風モデルとメソスケール気象モデルにより得られた風速を合成することにより、温帯低気圧になる前の台風に起因する最大風速の予測精度を向上させる。通常メソスケールモデルでは台風の中心気圧低下を過小評価するが、温帯低気圧になる前の台風は気圧勾配が大きいため、メソスケール気象モデルで再現可能と考えた。メソスケール気象モデルと台風モデルの合成は、式(2)に示すように、同時刻で大きい方の風速値を選定した。

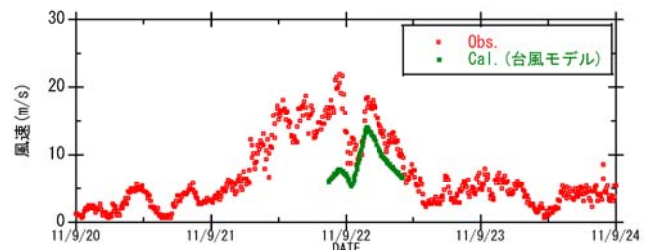
$$u_{max} = \max(u_{max}^{WRF}, u_{max}^{typhoon}) \quad (2)$$

2011 年 15 号台風を対象に台風モデルにより予測した風速を図 3(a)に、提案した合成モデルにより予測した風速を図 3(b)に示す。メソスケール気象モデルにより予測された風速と合成することにより、台風モデルによる最大風速の過小評価が改善され、予測精度が向上していることが分かる。

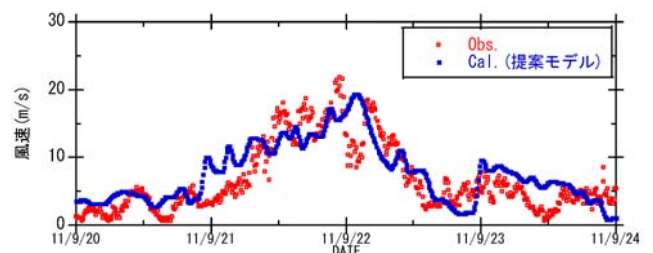
このようにして 2002 年から 2017 年までの台風に起因する年最大風速を台風モデルと合成モデルにより

予測した結果を図 4 に示す。最大風速が 0m/s の年は中心気圧 985hPa 以下の台風が岩屋ウィンドファームを中心とする半径 500km の円内を通過しなかった年である。提案した合成モデルにより、台風起因の年最大風速の予測精度が向上したことが分かる。

このように求めた台風に起因する年最大風速の非超過確率分布を風速の観測データとともに、図 5 に示す。非超過確率分布は石原・山口⁴⁾により提案された修正ガンベル分布で近似した。台風モデルに基づく年最大風速非超過確率分布は観測された年最大風速を過小評価するが、提案した手法に基づく年最大風速の非超過確率分布は観測値とよく一致していることが分かる。



(a) 台風モデル



(b) 合成モデル

図3 2011 年台風 15 号の時の台風モデルと合成モデルによる平均風速の時系列

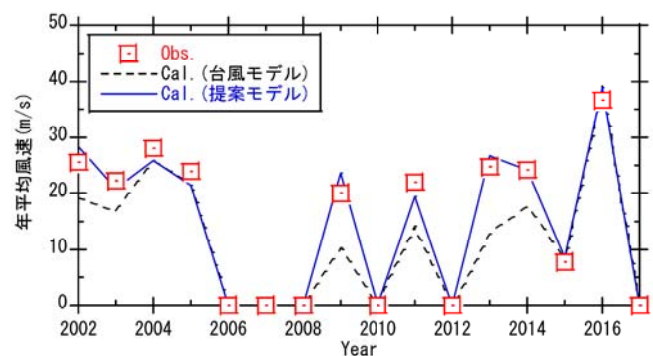


図4 台風に起因する年最大風速

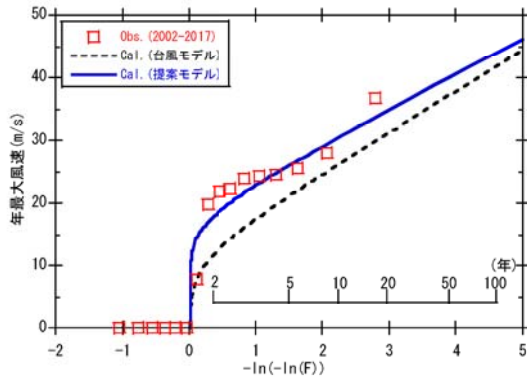


図5 台風における年最大風速の非超過確率分布

3.2 季節風に起因する年最大風速の評価

北日本では、大型温帯低気圧に起因する強風が 50 年再現期待値の最大風速をもたらすことがある。一方、メソスケール気象モデルはこのような大型温帯低気圧の発達を過大評価し、最大風速を過大に評価することがある。

本研究ではこの問題を解決するために、メソスケール気象モデル WRF におけるナッジングの重み係数に着目した。WRF におけるナッジングは、式(3)に示すように、物理量の支配方程式に対し、客観解析値に近づけるような強制外力項を加える。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F(\theta) + G_{\theta}(\widehat{\theta}_0 - \theta) \quad (3)$$

ここで、 θ は予測変数、 $\widehat{\theta}_0$ は客観解析値を示す。 $F(\theta)$ は物理過程による外力項、 G_{θ} はナッジングの重み係数であり、時間の逆数の次元を持ち、本研究では台風時の風速を予測するために使われている重み係数 $G_{\theta} = 3.0 \times 10^{-4} [1/s]$ を用いた。

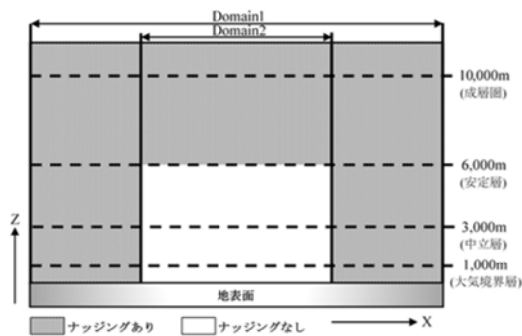
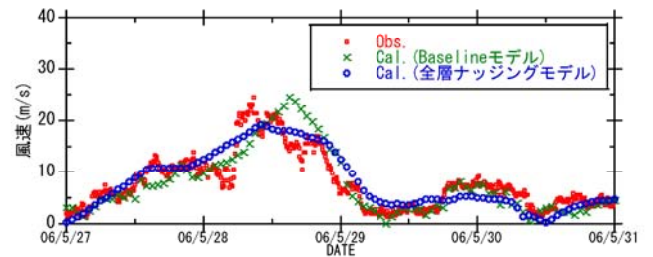


図6 Baseline モデルのナッジング領域

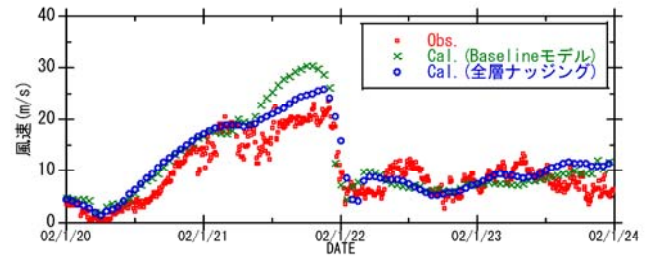
ナッジング領域の設定では図6に示すように外側の領域1(水平解像度 18km)において全層のナッジングを行い、内側の領域2(水平解像度 6km)では、高度 6,000m 以上でのみナッジングを行っていた(Baseline モデル)。

本研究ではそれに加えて領域2でも全層ナッジングを行ったケースを検討した(全層ナッジングモデル)。両者を比較した結果、夏季(高温期)には従来の Baseline モデルの方が、冬季(低温期)には全層ナッジングモデルの方が最大風速を高精度に予測できることがわかった。

図7に高温期と低温期における温帯低気圧に起因する強風イベント時の平均風速の時系列を示すが、高温期には Baseline モデルが最大風速を精度よく予測しているが、全層ナッジングモデルが最大風速を過小評価している。一方、低温期では逆に全層ナッジングモデルが最大風速を精度よく予測するが、Baseline モデルが最大風速を過大評価していることがわかる。この結果から、本研究では5月から10月を高温期、11月から4月を低温期と分類し、低温期では全層ナッジングモデルを、高温期では Baseline モデルを使用することとした。



(a) 高温期



(b) 低温期

図7 季節風成因の代表イベントにおける計算結果

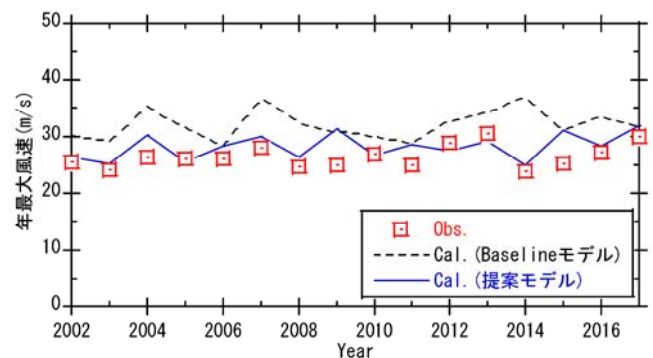


図8 季節風起因の年最大風速の比較

対象期間の 16 年間における温帯低気圧に起因する年最大風速の予測値と観測値を図 8 示す。低温期と高温期におけるナッジングの重み係数を変えることにより、季節風起因の年最大風速の予測精度が大幅に改善されたことが分かる。

これらの年最大風速から求めた年最大風速の非超過確率分布を図 9 に示す。非超過確率はガンベル分布で近似した。提案した手法により求めた非超過非超過確率は観測値とよく一致していることが分かる。

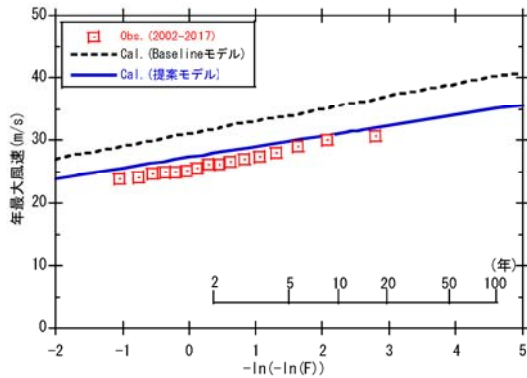


図 9 季節風における年最大風速の非超過確率分布

3.3 平均風速の割増係数の算定

3.1 節と 3.2 節から求めた極値風速に基づき、設計風速の割増係数を設定する手法について説明する。設計風速の割増係数 E_{tv} は式(4)に示すように実地形上の年最大風速の 50 年再現期待値 $u_{50,Fine}$ と、粗度区分 II の平坦地形上の年最大風速の 50 年再現期待値 $u_{50,Flat(II)}$ の比として求めることができる。

$$E_{tv} = \frac{u_{50,Fine}}{u_{50,Flat(II)}} \quad (4)$$

3.1 節で示した台風に起因する年最大風速の非超過確率分布と 3.2 節で示した季節風に起因する年最大風速の非超過確率分布を組み合わせることにより、実地形上の年最大風速の非超過確率を求め、図 10 に示す。

また実地形上の風速の時刻歴 $u_{Fine}(t)$ から式(5)により粗度区分 II で平坦な地形上の風速の時刻歴 $u_{Flat(II)}(t)$ を算出し、平坦な地形上の年最大風速の非超過確率分布も図 10 に示す。

$$u_{Flat(II)}(t) = \frac{\hat{u}_{Flat(II)}}{\hat{u}_{Fine}} u_{Fine}(t) \quad (5)$$

ここで、 $\hat{u}_{Fine}$ と $\hat{u}_{Flat(II)}$ はそれぞれ MASCOT により求めた実地形上の風速および粗度区分 II 上の平坦地形上の風速である。両者の 50 年再現期待値の比を取るこ

とにより求めた地形による割増係数は 1.075 であり、風向特性を考慮しない場合の割増係数 1.343 より、20% 小さくなっていることが分かる。

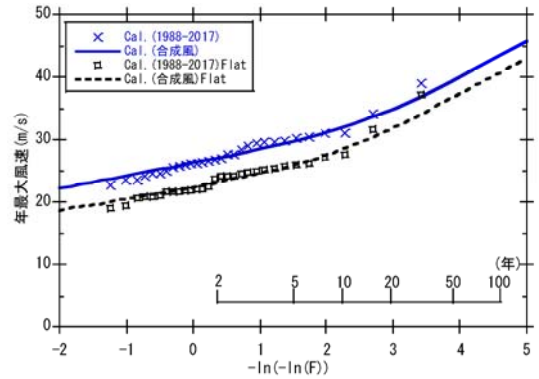


図 10 平地及び実地形上の年最大風速の非超過確率分布

4. まとめ

本研究では、台風シミュレーションとメソスケール気象モデルを用いて岩屋ウィンドファームを対象に年最大風速の 50 年再現期待値および設計風速の割増係数を求め、以下の結論を得た。

1. 台風モデルは、北日本における台風時の最大風速を過小評価するが、台風モデルとメソスケール気象モデルの結果を合成することにより、台風に起因する年最大風速の過小評価を改善した。
2. メソスケール気象モデルは、内側領域においても全層ナッジングを行うことにより、冬季の大型低気圧に起因する最大風速の過大評価を改善した。
3. 実地形上の年最大風速の 50 年再現期待値を粗度区分 II の平坦地形上の年最大風速の 50 年再現期待値で割ることにより、風向特性を考慮した設計風速の割増係数を求めることを可能とした。

参考文献

- 1) Y. Kikuchi and T. Ishihara : A Study of Topographic Multiplier Considering the Effect of Tropical Cyclones and Complex Terrains, *J. Wind Eng. Indust. Aerodyn.*, Vol.104-106, pp.558-564, 2012
- 2) W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, A description of the advanced research WRF version 3, NCAR Technical Note, 2008.
- 3) 種本純・石原孟, 熱帯低気圧に伴う風速場の予測手法に関する研究, 風力エネルギー学会論文集, No.107, pp.47-54, 2013.
- 4) 石原孟・山口敦, モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における極値風速の予測, 日本風工学会論文集, Vol.37, No.3, pp.105-116, 2012.