

台風ボーガスを用いた気象シミュレーションによる極値風予測*

Extreme Wind Estimation by Using Mesoscale Model with Tropical Cyclone Bogus

種本 純**

山口 敦***

石原 孟***

Jun TANEMOTO

Atsushi YAMAGUCHI

Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

風車の設計風速を評価するために 50 年再現期間の極値風速を求める必要がある。混合気候である日本においては、季節風、台風の両方について極値風を求める必要があり、混合気候における極値風速予測手法として季節風については MCP (Measure Correlate Predict) 法、台風についてはモンテカルロシミュレーション (Monte Carlo Simulation, MCS) 法が提案されている¹⁾。MCP 法は近傍気象台における 10 年以上の長期観測値と風車建設予定地における 1 年以上の観測値の相関から、建設予定地における 10 年分の年最大風速を推定し、ガンベル分布を用いて 50 年再現期間の極値風速を求める手法である。この手法は、風車建設予定地の近傍に長期観測値が存在しても建設予定地における観測風速との高い相関係数が要求されるため、風の性質が異なる場所では使用できない。したがって、風の性質が異なる場所や観測値の無い場所において極値風を求めるには、MCP 法を用いるよりもむしろ建設予定地において長期間の風速をシミュレーション等により予測することが望ましい。

一方、1 年間の建設予定地における観測に代替する手法として、メソ気象モデルによる風況予測が活用できることが示されている。Berge ら²⁾は洋上で気象シミュレーションにより、山口ら³⁾は陸上で気象シミュレーションと局所風況予測モデルを用いたダウンスケーリングにより、年平均風速を Bias 5%以下で再現可能であることを示した。これらの結果からワイブル分布を用いて季節風による極値風速を予測することができるが、1 年間のみの気象シミュレーションの結果からは風速の年々変動を十分に考慮できず、極値風速の予測精度は十分でない。

また、メソ気象モデルは台風による強風を十分に再現できないことが知られており、大澤⁴⁾は台風ボーガスによる客観解析値を用いたメソ気象シミュレーシ

ョンにより、台風時の予測精度を改善した。しかし、長期間の検証は行われておらず極値風速の予測にどこまで適応できるかは不明である。

そこで、本研究ではまず、銚子地方気象台においてメソ気象モデルによる気象シミュレーションで 10 年間の季節風による年最大風速の予測と観測値を用いた検証を行い、季節風の予測精度を評価する。次に、台風ボーガスを用いた場合と用いない場合の台風による年最大風速の予測を行い、台風時における年最大風速の予測精度を評価する。最後に、強い台風が多く襲来する宮古島においても同様な解析を行い、台風ボーガスを用いた気象シミュレーションの極値風予測への適用可能性について議論する。

2. 予測手法の概要

2.1 メソ気象モデル WRF

本研究では、2000 年から 2009 年までの 10 年間の季節風及び台風によりもたらされた年最大風速について気象シミュレーションを行う。気象シミュレーションには米国大気研究センター及び大気研究大学連合の共同研究により開発された Weather Research and Forecasting (WRF) model Ver.3.4 を用いた。WRF の計算条件を表 1 に示す。計算領域は図 1 に示す銚子地方気象台及び宮古島気象台を中心とした 2000km x 2000km の領域をとり、水平解像度は 10km x 10km に設定した。計算時間は各気象台における最大風速観測時刻から ±1.5 日とした。本研究では年最大風速を観測した時刻に台風の中心が気象台から 500km 以内にある場合を

表 1 WRF の計算条件

Simulation time	3 days (±1.5 days from closest time)
Input data	NCEP-FNL (6-hourly, 1 x 1 degrees)
Land use	USGS 30 second
Domain	10km (200 x 200)
Vertical layer	34 levels (surface to 50 hPa)
Physics options	Dudhia short wave radiation RRTM long wave radiation Eta microphysics Kain-Fritsch (new Eta)cumulus parameterization Five layer soil model MYJ (Eta) PBL parameterization
FDDE option	Grid nudging exclude PBL

*平成 24 年 11 月 28 日第 34 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

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

***会員 東京大学工学系研究科

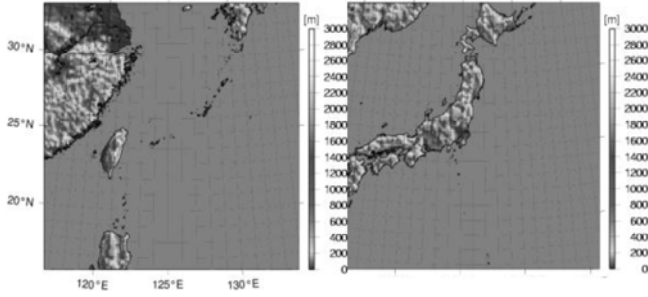


図1 WRF の計算領域

台風による風速とし、それ以外を季節風による風速と定義した。なお、台風の中心が気象台から 500km 以内を通過しなかった年は、台風による年最大風速を 0m/s とした。初期値・境界値には NCEP-FNL (National Center for Environmental Prediction final operational global analysis data) を使用し、大気境界層より上層には WRF に標準装備されている 4 次元同化手法のグリッドナッジングを適用した。

2.2 台風ボーガス

台風時の気象シミュレーションでは、初期値・境界値の解像度が粗いため台風中心付近の気圧勾配を再現できず、最大風速を過小評価することがある。本研究では、気象庁台風ボーガスを適用することにより、台風時における予測の高精度化を図った。台風ボーガスは、台風時の気象観測データを基にモデル化された台風を疑似の観測値として与える手法である。まず、気象庁ベストトラックより得られる中心気圧、中心位置、15m/s 風速半径より Fujita の式で地上気圧分布を与える。次に、台風域内の気温、高度の 3 次元軸対称構造を Frank のコンポジット解析の結果を再現するように台風半径からの偏差により与える。その後、客観解析値の台風域内における円周平均と元の客観解析値との差を台風の非対称成分としてボーガス値に加える。最後に、台風中心に近づくほどボーガス値の影響が強くなるように重み付けを行い、客観解析値に埋め込む。台風ボーガスの詳細については文献 4 を参照されたい。

本研究では 6 時間毎の NCEP-FNL に台風ボーガスを埋め込み台風時のシミュレーションを行った。

2.3 局所地形の考慮

WRF で予測された風速はモデルの解像度に対応したものである。一方、気象台で観測された風速は気象台周辺の局所地形の影響を受けたものである。本研究では両者の違いを考慮するため、局所風況予測モデル MASCOT⁵⁾ を用いて WRF の予測風速と観測風速をそれぞれ地表面粗度 0.01m の平坦地上における 10m 高度

の風速に変換した。具体的には、(1)式と(2)式により一様地表面粗度の平坦地上の風速 u_f 及び風向 θ_f に変換できる。

$$\theta_f = \theta_t - D \quad (1)$$

$$u_f = u_t / S \quad (2)$$

ここで、 u_t 及び θ_t は実地形上（または WRF 地形上の）風速及び風向、 S 及び D は MASCOT の気流解析の結果得られた実地形上（または WRF 地形上）と平坦地形形状の風速比及び風向偏角である。

2.4 平均化時間補正

メソ気象モデルによる予測結果は 10 分平均の観測風速に見られるような変動が見られず、1 時間から 3 時間平均の風速に相当するとされている。そのため、10 分平均の最大風速を議論する際に過小評価する恐れがある。本研究では、予測値と観測値の平均化時間の違いを考慮するため、山口ら⁶⁾により示された観測風速の 3 時間平均値と 10 分平均値の関係を利用することにより、予測値を 10 分平均風速に変換した。観測風速における 3 時間平均風速と 10 分平均風速の差の累積頻度は平均値を 0 とする対数正規分布に従い、台風時と非台風時で異なる標準偏差 σ_{180}^T と σ_{180}^E はそれぞれ(3)式と(4)式で与えられる。

$$\sigma_{180}^T = 0.1\bar{u} \quad (3)$$

$$\sigma_{180}^E = 0.039\bar{u} + 0.65 \quad (4)$$

ここで、 $\bar{u}$ は 3 時間平均風速である。本研究では 10 分ごとに得られた WRF の予測風速を 3 時間移動平均した風速の時系列 $\bar{u}_i$ に、(3)式または(4)式の標準偏差により与えられる対数正規分布に従う乱数 $\Delta\tilde{u}_{M,i}$ を発生させ、(5)式により得た疑似的な 10 分平均風速の時系列 $\hat{u}_i$ における最大値を 10 分平均の予測風速とした。

$$\hat{u}_i = \bar{u}_i + \Delta\tilde{u}_i \quad (5)$$

3. 季節風による年最大風速の予測

銚子地方気象台において 10 年間の季節風による年最大風速の気象シミュレーションを行った。

図 3 に 3 時間移動平均した観測値と予測値の時系列変化の一例を示す。気象シミュレーションにより観測値に見られる風速の時間変化を概ね再現できおり、最大風速を捕えられている。図 4 に、10 年分の季節風による 10 分平均年最大風速の観測値と予測値の比較を示す。予測値が観測値を若干過大評価しているが、季節風による年最大風速を概ね再現できている。

本研究では季節風による極値風速の予測精度を評

価するために、ガンベル分布を用いた。ガンベル分布では10年間の年最大風速の平均と標準偏差により50年再現期待値を求めることができる。表2に観測値及び予測値から得られた平均、標準偏差と風速の50年再現期待値を示す。気象シミュレーションにより得られた風速50年再現期待値は観測値を用いて推定した50年再現期待値と2.5%の誤差であり、気象シミュレーションを用いることで観測値による50年再現期待値を良い精度で再現できている。

4. 台風による年最大風速の予測

銚子气象台において10年間の台風による年最大風速の気象シミュレーションを行った。但し、2008年については本研究で定義する台風が存在しなかった（台風による年最大風速が0m/sであった）ため、気象シミュレーションは行わなかった。

図5に3時間移動平均した観測値と予測値の時系列変化の一例を示す。台風ボーガスを用いない予測値は、3時間平均の最大風速を過小評価しているが、台風ボーガスを用いることで予測風速が改善され、観測値に近い値を再現できていることがわかる。図6に、10年

分の台風による10分平均年最大風速の観測値と予測値の比較を示す。台風ボーガスを用いた場合、風速が小さい事例ではほとんど同じ予測結果となるが、10年間で最も大きい観測風速を示した事例について予測風速が大きく改善されている。

台風による極値風速は、石原らにより提案された修正ガンベル分布¹⁾により求めた。修正ガンベル分布は台風による最大風速が0m/sであった年を除いた年最大風速の平均と標準偏差により50年再現期待値が求まる。表3に観測値及び予測値から得られた平均、標準偏差と風速の50年再現期待値を示す。観測値及び予測値により求めた50年再現期待値の誤差は台風ボーガスを用いない場合では-18.6%となり大きく過小評価したが、台風ボーガスを用いることで-8.7%となり、過小評価が改善された。台風による極値風速の予測精度は季節風の場合より悪くなるものの、観測値による50年再現期待値との誤差は10%以下であり、気象シミュレーションにより求めた50年再現期待値は観測値による50年再現期待値を概ね再現できている。

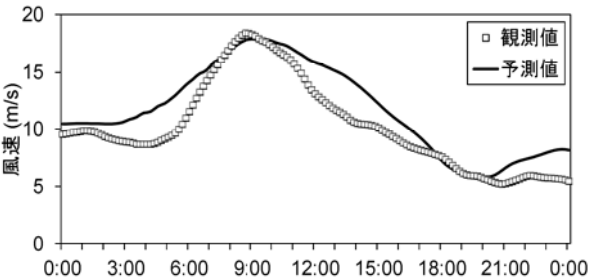


図3 観測値と予測値の時系列比較（3時間平均）

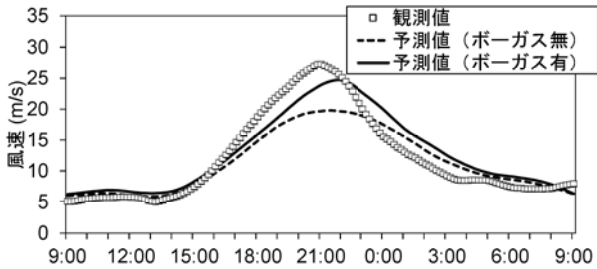


図5 観測値と予測値の時系列比較（3時間平均）

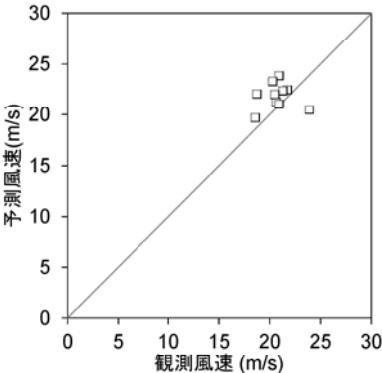


図4 季節風年最大風速の予測値と観測値の比較

表2 ガンベル分布のパラメータと50年再現期待値

	観測値	予測値(誤差)
平均 (m/s)	20.7	21.9
標準偏差 (m/s)	1.4	1.2
50年再現期待値(m/s)	24.4	25.0(+2.5%)

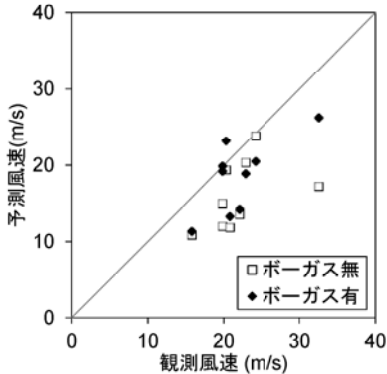


図6 台風年最大風速の予測値と観測値の比較

表3 修正ガンベル分布のパラメータと50年再現期待値

	観測値	予測値(誤差) ボーガス無	予測値(誤差) ボーガス有
平均 (m/s)	22.0	16.1	18.6
標準偏差 (m/s)	4.3	4.2	4.5
50年再現期待値(m/s)	33.2	27.0(-18.6%)	30.3(-8.7%)

5. 宮古島における年最大風速の予測

本研究で検証を行った銚子气象台では、季節風、台風ともに気象シミュレーションを用いることで観測値による50年再現期待値を10%以内の誤差で再現することができた。しかし、一般に日本では低緯度に位置する南部のほうが強い台風が襲来するため、気象モデルの台風による年最大風速の再現性を評価するには銚子における予測結果からのみでは不十分である。本研究では日本で最も強い台風が襲来する宮古島において、銚子气象台と同一期間の台風による年最大風速について気象シミュレーションを行った。

10年間の台風による年最大風速の予測値と観測値の比較を図7に示す。台風ボーガスを用いることによる予測風速の改善幅は銚子より大きい。ほぼすべての予測値が観測値を過小評価していることがわかる。表4に修正ガンベル分布のパラメータと50年再現期待値を示す。観測値及び気象シミュレーションにより求めた50年再現期待値の誤差は台風ボーガスを用いた場合においても-32.2%であり、気象シミュレーションによる50年再現期待値は大きく過小評価した。

6. まとめ

本研究では、気象シミュレーションにより季節風及び台風によりもたらされる10年分の年最大風速を予測し、極値風速を評価した。主要な結論を以下に示す。

1. 季節風による10年間の年最大風速の予測結果は観測値を再現できた。また、気象シミュレーション

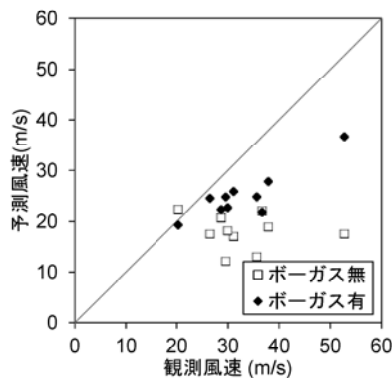


図7 年最大風速の予測値と観測値の比較（宮古島）

表4 修正ガンベル分布のパラメータと50年再現期待値

	観測値	予測値(誤差) (ボーガス無)	予測値(誤差) (ボーガス有)
平均 (m/s)	32.9	18.4	25.2
標準偏差 (m/s)	8.3	3.2	4.5
50年再現期待値(m/s)	54.3	26.4(-51.4%)	36.8(-32.2%)

ンにより予測した50年再現期待値の観測値による推定値との誤差も2.5%と小さく、観測値による50年再現期待値を良く再現できた。

2. 台風ボーガスを用いることで強い台風での予測精度が改善された。また、銚子气象台において気象シミュレーションにより予測した50年再現期待値の観測値による推定値との誤差は10%未満であり、銚子气象台においては台風ボーガスを用いた気象シミュレーションにより観測値による50年再現期待値を概ね再現できた。

本研究により、季節風について気象シミュレーション結果を観測値の代用として極値風予測が可能であることが示された。しかし、気象シミュレーションによる予測値は強い台風について過小評価する傾向にあり、日本南部に適用するのに実用的な予測精度に至っていない。今後の予測精度の改善が必要である。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務で得られた研究成果である。また、台風ボーガスを用いた気象シミュレーションに関しては、神戸大学の大澤輝夫准教授にご指導とご協力を賜った。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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, 2012. (印刷中)
- 2) Berge E., Byrkjedal O., Ydersbond Y. and Kindler D.: Modelling of offshore wind resources. Comparison of a meso-scale model and measurements from FINO 1 and North Sea oil rigs. Proceedings of EWEC 2009, 8p., 2009.
- 3) 山口敦, 石原孟: 台風シミュレーションと気象解析を利用した設計風速と階級別風速出現頻度推定手法の提案. 第21回風工学シンポジウム論文集, pp.215-220, 2010.
- 4) 大澤輝夫: 台風時における沿岸海上風の推定手法. 日本風工学会誌, Vol.32, pp.178-185, 2005.
- 5) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三: 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証. 土木学会論文集, No.731/I-63, pp.195-211, 2003.
- 6) 山口敦, メルヴィンブランコソロモン, 石原孟: 極値風速予測のための風速の平均化時間に関する研究. 第33回風力エネルギーシンポジウム, pp.175-178, 2011.