

大気安定度と地形の効果を考慮した風況予測に関する研究

Wind climate assessment considering effects of atmospheric stability and terrain

○ 山口 敦¹⁾

石原 孟²⁾

Atsushi YAMAGUCHI¹⁾ Takeshi ISHIHARA²⁾

1. はじめに

風力発電所の建設に際しては風況の高精度な推定が必要である。陸上風力発電所の建設に際しては数値流体解析と現地観測を利用した風況予測手法¹⁾が提案されてきたが、洋上や沿岸部においては大気安定度が風速の鉛直分布に与える影響が大きいため数値流体解析を利用した風況予測手法をそのまま用いることはできない。一方、大澤ら²⁾は低高度での現地観測値から高高度の風速を推定する手法としてメソスケール気象モデルから得られた鉛直プロファイルを用いる手法を提案した。しかしながらこの手法は詳細な地形の効果を考慮することができないのに加え、実現象とシミュレーションした気象現象に位相誤差がある場合に大きな誤差を生じる。

これらの問題を解決するために、本研究では数値流体解析とモニン・オブコフの相似則を利用して低高度の風速観測値から高高度の風速を推定する手法を提案し、ドップラーライダーにより得られた風観測データを用いて検証する。

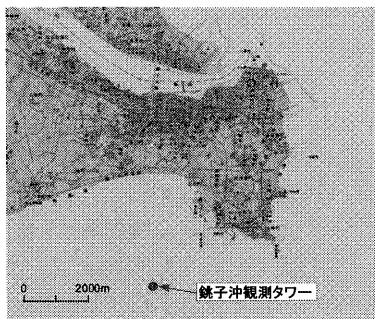


図1 銚子沖観測タワーの位置

2. 風況観測と風況予測手法

本研究では図1に示す千葉県銚子沖の洋上に設置されたドップラーライダーで計測された10分平均風速の鉛直分布データを用いた、観測データを利用した。このドップラーライダーでは海面高度200mまでの風速を計測している、

大気安定度を考慮した大気境界層内の鉛直分布を表す手法としてモニンオブコフの相似則が広く使われている。モニンオブコフの相似則では平坦かつ粗度一の地形上の風速の鉛直分布 $u(z)$ はモニンオブコフの長さスケール L を用いて(1)式のように記述することができる。

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left\{ \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \varphi_m \left(\frac{z}{L} \right) \right\}$$

ここで右辺第一項は対数則で示される中立である場合の風速、第二項は安定度を考慮した補正項である。また、安定度の補正関数 φ_m は以下の式で表されるものを用いた。

$$\psi_m(x)$$

$$\begin{cases} 2 \ln \left(\frac{1+x}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1}(x) + \frac{\pi}{2} & \frac{z}{L} < 0 \\ 0 & \frac{z}{L} = 0 \\ -5 \frac{z}{L} & \frac{z}{L} > 0 \end{cases}$$

本研究ではこの関係を利用して安定度と地形の効果を考慮した風速分布を求める手法を提案した。まず、高度 z_1 での観測風速 $u_{\text{obs}}(z_1)$ を安定度の影響を排除し中立に補正する。中立時の風速 $u_{\text{neutral}}(z_1)$ は次式で表すことができる。

$$u_{\text{neutral}}(z_1) = u_{\text{obs}}(z_1) + \frac{u_*}{\kappa} \varphi_m \left(\frac{z_1}{L} \right)$$

次に、数値流体解析により地形の効果を考慮して風速を異なる高度に変換する。

$$u_{\text{neutral}}(z) = u_{\text{neutral}}(z_1) \times \frac{u_{\text{CFD}}(z)}{u_{\text{CFD}}(z_1)}$$

最後に、再度安定度の効果を考慮して風速を実際の安定度に補正する。

$$u_{\text{pred}}(z) = u_{\text{neutral}}(z) - \frac{u_*}{\kappa} \varphi_m \left(\frac{z}{L} \right)$$

なお、この手法において、摩擦速度 u_* とモニンオブコフ長さスケール L が必要となるが、モニンオブコフ長さスケール L はメソスケール気象シミュレーションの結果より、摩擦速度は観測風速を同

1) 東京大学大学院工学系研究科 特任准教授
Associate Professor, The University of Tokyo

2) 東京大学大学院工学系研究科 教授
Professor, The University of Tokyo

じ高度で平坦地形上に変換した上でモニンオブコフの相似則を適用することにより求めた。

3. 予報結果と評価

図3に代表的なイベント時の風速の鉛直プロファイルを示す。本研究では高度60mのドップラーライダーによる観測結果から、提案した手法を用いて他の高度の風速を予測するとともに、観測値と従来の手法と比較した。図3にその結果を示す。

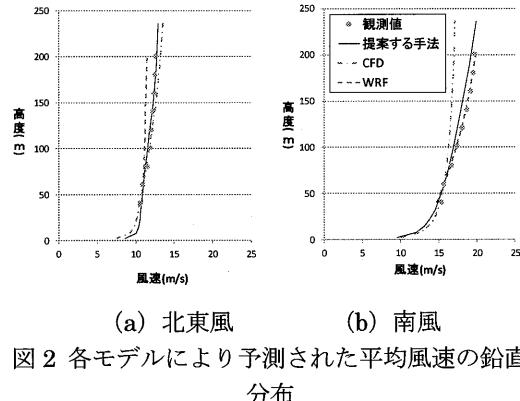


図2(a)に示す北東風時には、数値流体解析により求めた鉛直プロファイルを用いて推定した風速が観測とよく一致しているのに対し、メソスケール気象モデルより求めた鉛直プロファイルを用いて推定した風速は高度100m以上において実測を過小評価している。対象地点の北東には標高約50mの犬吠埼があり北東風は地形による影響を強く受け、高度60mの風速が欠損するため風速の鉛直分布の勾配が急になると考えられる。数値流体解析においてはこの効果を再現できるがメソスケール気象モデルでは解像度の制限からこの効果を再現できないためである。一方図2(b)に示す南風時には地形の影響がないが大気安定度の影響が大きい。ため、数値流体解析では鉛直プロファイルを再現することができないが、メソスケール気象モデルでは再現できている。提案した手法を用いると、どちらのケースでも風速の鉛直分布を再現できることがわかる。

図3に2013年2月から2014年1月までの1年間の観測データを対象に、高度60mの観測値から高度120mの観測値を推定した結果と実測との比較を示す。数値流体解析を利用した場合やメソス

ケール気象モデルを利用した場合と比較して推定精度が向上していることがわかる。

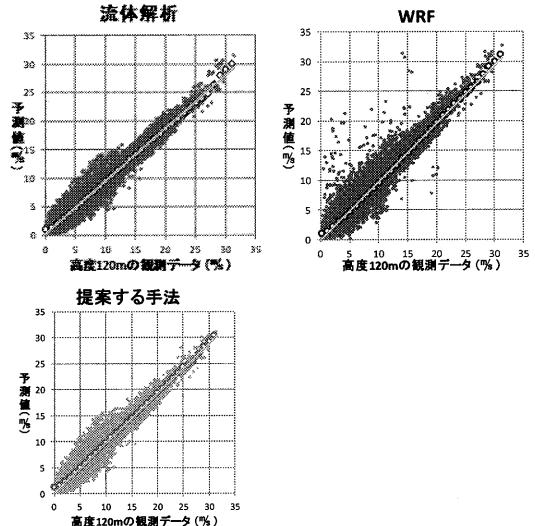


図3 1年間の予測風速と観測風速の相関

4. まとめ

本研究では、数値流体解析、モニンオブコフ相似則およびメソスケールモデルによる気象解析の結果を組みあわせることにより、低高度の風速観測値から高高度の風速を推定する手法を提案するとともに実観測データを用いて検証を行い、以下の結論を得た。

- (1) 銚子沖においては南風時には大気安定度の影響が大きく、北東風時には地形の影響が大きいため、数値流体解析やメソスケール気象モデルの鉛直分布を用いる従来の手法では正しく風速を推定できないが、提案した手法により鉛直分を高精度に再現できる。
- (2) 提案した風況予測手法は従来の手法と比べ、年平均風速の予測精度が向上すると共に、回帰曲線のSlopeが±3%以内かつ決定係数が0.97以上のクラティアを同時に満たせる。

参考文献

- 1) 三須弥生、石原孟:風観測と数値流体解析を利用した運転規制区間内の強風発生頻度の予測、日本風工学会論文集、Vol.37, No.1, pp.11-24, 2012.
- 2) 大澤ら、洋上WF開発候補域における風況精査手法の検討その2) ブイ観測-WRF計算併用手法、第40回風力エネルギー利用シンポジウム、2018.