

地域気象モデルと非線形風況予測モデルを用いた複雑地形下の風況予測

Wind Climate Assessment of a Windfarm on a Complex Terrain
based on Regional Atmospheric Analysis Model and Nonlinear Wind Prediction Model

嶋田 健司* 藤永 崇志** 石原 孟***
Kenji SHIMADA Takashi FUJINAGA Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

我が国におけるウィンドファームは欧米のように比較的なだらかな場所に建設されるのとは異なり、山岳地や半島のような急峻な地形であることが少なくない。このような場合、風車はその尾根に沿って線状に風車が配置されることが多いため、数十基規模の大規模なウィンドファームになると、正確な風況予測のために複数の観測ポイントで統計データ取得のための観測が行われることがある。一方、近年ではメソスケールの気象モデルが進歩し、これらを風力発電の風況解析に取り込む手法が可能になってきている。本論文では半島状の尾根上にあるウィンドファームを対象とし、複数の地上観測データから予測される風速値の整合性に関する問題点とそれを解決する方法として、石原らによって開発された力学統計的局所化手法 (DSD : Dynamical Statistical Down scaling) [1][2] を適用し、予測の改善を行った例について報告する。

いる。以下の解析ではそのうち欠測部分を除いた連続 320 日間にわたる 10 分間平均データを用いた。図 1 に風配を示す。若干の差異は認められるものの卓越風向は概ね NW~NNW と SE~SSE である。

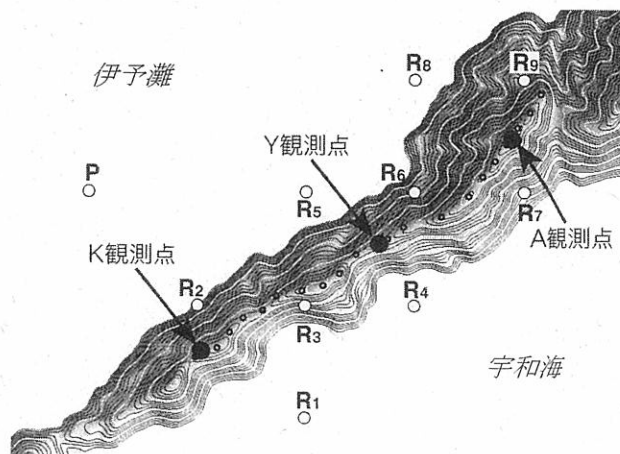
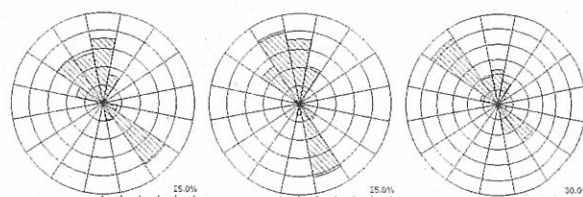


図 1 解析の対象としたウィンドファーム

2. 対象としたウィンドファームと風の特性

検討の対象としたウィンドファームは愛媛県伊方町に建設中の三崎ウィンドパークである。図 1 に同ウィンドファームの地形図と風車の配置を示す。同ウィンドファームは佐田三崎のほぼ突端に位置し周囲を海（伊予灘、宇和海、速水瀬戸）で囲まれている。同ウィンドファームには半島の尾根上に沿って 1000kw 級の風車が 20 基建設予定となっている。半島の幅は狭く、標高は 160m~300m と高く、斜面勾配が急な典型的な急峻地形となっている。地上観測点は 3 地点（以下 K, Y および A 観測点で示す）が設けられており、地上 10~30m の高さで 2001 年 4 月~2002 年 3 月の 1 年間にわたるデータが得られて



(a)K 観測点 (b)Y 観測点 (c)A 観測点

図 2 観測点の風配図 (地上 20m 高さ)

3. 解析方法

風況解析は通常の地上観測データを用いた手法 (解析法 I) および、地域気象モデル (RAMS: Regional Atmospheric Modeling System) の解析により得られた風向風速の時系列を統計処理して観測データの代わりとした手法 (解析法 II) により行った。解析法 II

平成 17 年 11 月 25 日第 27 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

* 会員 清水建設 (株) 技術研究所

〒135-8530 江東区越中島 3-4-17

** 非会員 丸紅株式会社 新エネルギー電力部

〒100-8088 千代田区大手町 1-4-2

*** 会員 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構

〒113-8656 文京区弥生 2-11-16

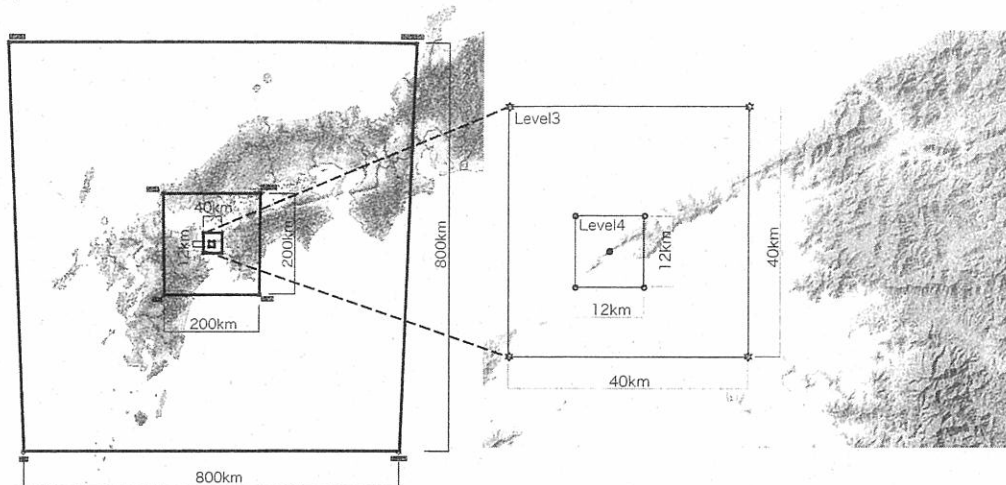


図3 地域気象モデルの解析領域

の地域気象モデルによる解析に用いる境界条件にはヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)による全球モデルの客観解析値(6時間ごと)を内挿して用いた。解析は図3に示すような4段にネスティングされた格子を用いた。このようにして得られた平均風速の時系列データには水平解像度1km以上の地形や地表面粗度変化による影響が含まれている。水平スケール1km以下の微細地形の影響はこの時系列データから得られる風速の風向別出現頻度と風速階級別出現頻度をもとに線形風況予測モデル(MASCOT)によって考慮した。

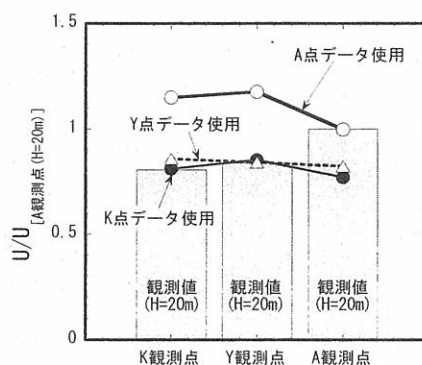


図4 解析法Iによる各観測点の平均風速予測

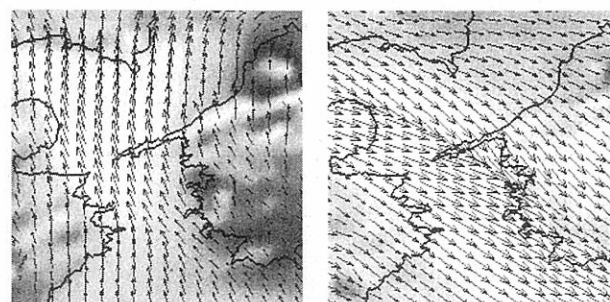
表1 風況解析手法

	解析法 I	解析法 II
使用データ	地上観測データ	地域気象モデル RAMS による解析結果
解析ツール	WAsP, MASCOT	MASCOT

4. 解析結果

図4には3ヶ所の観測点における統計データを用いて解析法I(MASCOT)により相互に風速の観測値がどの程度再現できるかを調べた結果を示す。K観測点およびY観測点の統計データを用いた場合それぞれの観測点の実測値はよく再現できるものの、A観測点の予測値は実測値を大きく下回った。一方、A観測点の統計データを用いるとK観測点、Y観測点の予測値は実測値を大きく上回る結果となった。このことから発電量の算定にあたってはどの観測点データを用いるべきか判断が難しい結果となった。地上の観測データには周囲の地物の影響が含まれている可能性があるため、地上の観測データを用いずに上空の気象予測データから地上観測データの検証

を行った(解析法II)。図5には地域気象モデルの解析によって得られた地表面(海上では海面)から133mの高さの風速場を示す。夏場は豊後水道からの南東寄りの風が半島を越えており、半島北西側の伊予灘上で風速値が大きい。一方、冬場では周防灘を抜けてくる北西寄りの風が強く、半島西側の速水瀬戸から豊後水道全域にわたって風速値が大きく、季節による特徴が再現されていることがわかる。次に、ウィンドファーム領域内には数点の地域気象モデルの解析点(図1中R₁~R₉で示す)が存在するが、どの位置のどの高さの結果を統計処理し MASCOT



(a)7月28日19:00

(b)12月14日3:00

図5 地域気象モデルによる風速場の解析結果

で用いることがよいかについて検討を行った。図6には R₃ 点の結果を用いて3つの観測点の風速を予測したときの予測値の高さ方向変化(予測値/観測値)を示す。KおよびY観測点の予測誤差がA観測点の予測誤差に比較して大きい、この点については後述する。A観測点の予測値では、最下層格子点(高さ14m)の地域気象モデル解析結果を用いた場合が観測値に最も近い値を示している。一方、地上高さが100mより高い地域気象モデル解析結果を用いると誤差は一定になる傾向が見られる。この傾向はKおよびY観測点についても同じである。以上のことから解析法IIのMASCOT解析では高さ133mでのRAMSの解析結果を用いることとした。図7には水平面内での変化として R₁~R₉ 点の地域気象モデルの解析結果を用いたときのA観測点の予測誤差([予測値-観測値]/観測値)を示すが、概ねどのポイントでも同じ結果を与えていることがわかる。以上のことから解析法IIのMASCOTの解析ではR₃ 点の地上高さ133mでの地域気象解析値からの統計値を用いることとした。

図8にはK観測点およびA観測点の状況を示す。A観測点では樹高はK観測点よりは低く、卓越風向方向に樹木がなく開けた状態になっているのに対し、K観測点周囲は8~10mの原生林で囲まれており植生キャノピーとなっている。背丈の高い草地、森林

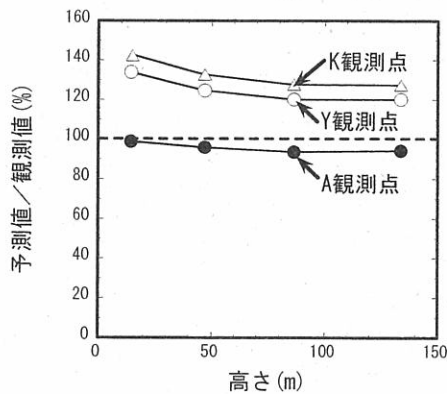


図6 解析法IIによる各観測点風速予測値の高さ方向変化

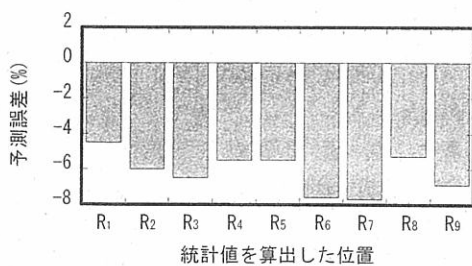


図7 解析法IIによるA観測点風速予測誤差の水平位置による違い



(a) K観測点



(b) A観測点

図8 観測点周囲の植生状況

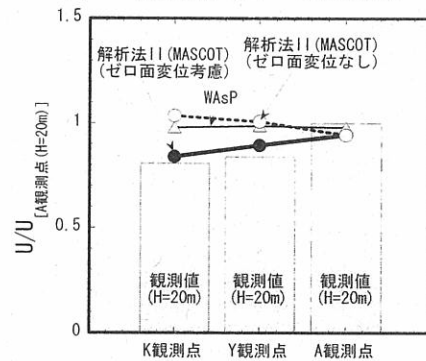


図9 解析法IIによる各観測点の平均風速予測

のように幾何学的粗度が大きい場合には風に対する地表面の基準面が不明瞭となる。ここでは、以下のようにゼロ面変位補正を解析結果に適用することによって植生キャノピーの効果を考慮した。

[補正後の予測点の高さ]=

$$[\text{補正前の予測点高さ}] - [\text{樹高}] \times [\text{ゼロ面変位補正係数}] \quad (1)$$

密集した森林の場合、ゼロ面変位補正係数としては0.6~0.7の値をとる^[3]。ここでは0.7を用いた。

図9には3つの観測地点での平均風速と解析結果の比較を示す。解析法IIはゼロ面変位を考慮しない場合、A観測点よりもK観測点、つまり半島の突端側に近い側の風速値が大きいことを示している。一方、観測値は反対の傾向になっている。これは上述したように、観測ポイントが半島の突端側に近い側で地表面上の植生の影響を大きく受けているためと

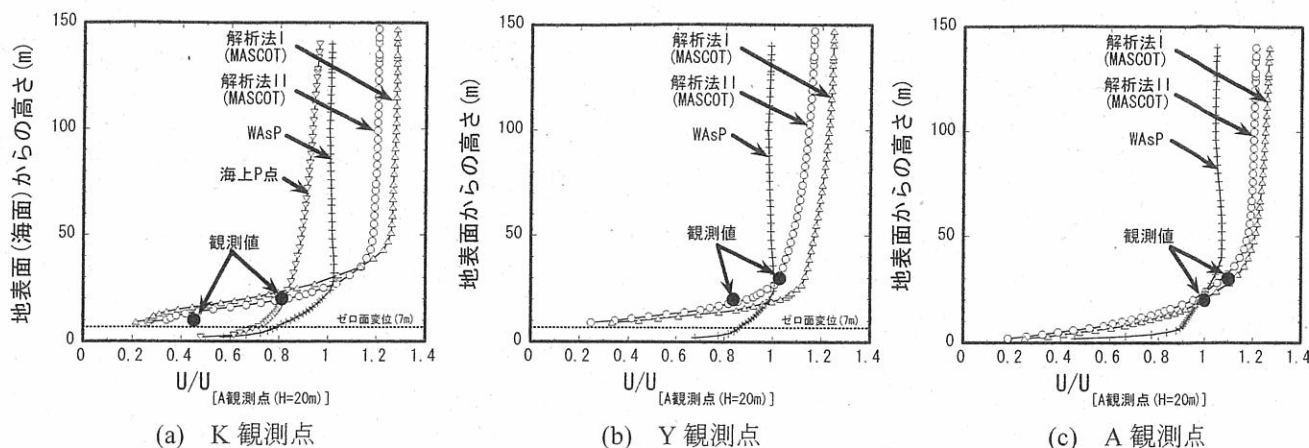


図 10 平均風速の鉛直分布の観測値と解析値の比較

考えられる。そこで K および Y 観測点に対し、7m のゼロ面補正を行うと、解析法 II の結果は観測結果を再現するようになることがわかる。図 10 には 3 つの観測点での風速の鉛直分布を示す。MASCOT の結果では地表面近くで、地形傾斜の急峻な変化に伴う圧力勾配の影響によって大きな速度勾配が現れているのに対し、WAsP の結果ではそのような大きな速度勾配は見られない。同図には実測値もプロットしたが、いずれの観測点でも MASCOT の結果とよく対応している。また実測値から求まる速度勾配についてもよく対応している。このように急峻な地形の場合、地上観測点は大きな速度勾配の領域に埋没していることになり、ハブ高さでの風速を精度よく予測するには、地形による地表面付近の速度変化を精度よくとらえられる解析モデルを用いることの重要性が解析結果から伺える。ところで、地上からの高さが 50m 以上の MASCOT の解析結果を見ると、解析法 I でも II でも速度勾配はほとんど見られない。したがってハブ高さ付近の風速値の予測にはゼロ面変位補正の影響は小さいと考えられる。一方、解析法 I と解析法 II の風速値には若干の違いが見られる。地形が複雑な場合、一般に標準実風況変換^[4]の変換過程において誤差を伴うが、流入風に対して風向変化が大きい地表面ほど誤差が大きい。標準実風況変換の精度の観点からは上空風を用いた解析法 II の方が有利なものと考えられる。

ところで、解析の対象とした地点の北西側にあるウィンドファームでの実測値からは 40% を超える高い設備利用率の実測結果が報告されている^[5]。図 10a には冬場の卓越風向にあたる NNW 側の伊予灘上 P 点の風速分布（解析法 II）を示すが、地上高さ 20m 以上では地形による増速効果により海上の風速値を上回ることが本解析結果からも予測される。

5. まとめ

地域気象モデルと非線形風況解析モデルにより、半島尾根上にあるウィンドファームの風況解析を行った。その結果は以下のようにまとめられる。

1. 風速評価点周囲の植生キャノピーの影響はゼロ面変位によって考慮する必要がある。ただし風速評価点の地表面からの高さが高くなり速度勾配が一定になる高さ領域ではその影響は小さくなる。
2. 一般に地形が複雑な場合、標準実風況変換には誤差を伴うが、変換の精度の上からは上空風を用いた解析法 II の方が有利なものと考えられる。
3. 解析の対象とした半島尾根上では地形による増速効果により海上よりも大きな風速値が得られる可能性がある。

謝辞 本論文の執筆にあたり東京大学大学院工学系研究科の山口敦助手および株式会社水域ネットワークの荒川洋氏には解析全般にわたってご指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 石原 孟: 非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその実用化, ながれ, 第 22 巻, 第 2 号, pp.387-396, 2003
- [2] 磯 修, 大江直樹, 石原 孟, 山口 敦, 荒川 洋: 複雑地形上の風況予測に関する一考察, 第 26 回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.231-234, 2004
- [3] 例えば Oke, T.R.: Boundary-Layer Climates, second edition, Routledge
- [4] 山口 敦, 石原 孟, 藤野陽三: 力学統計敵局所化による新しい風況予測手法の提案と実測による検証, 土木学会論文集, 2005 (投稿中)
- [5] 井上厚助, 向井正行, 牧野和道, 木村雅章: 瀬戸ウィンドヒルにおける MWT-1000A の運転状況, 第 26 回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.345-348, 2004