

複雑地形上の風況予測に関する一考察

An Assessment of Local Wind Prediction in Complex Terrain

磯 修^{*1} , 大江 直樹^{*2} , 石原 孟^{*3} , 山口 敦^{*3} , 荒川 洋^{*4}
 Osamu ISO , Naoki OOE , Takeshi ISHIHARA , Atsushi YAMAGUCHI , Hiroshi ARAKAWA

1. はじめに

風力発電量は風速の3乗に比例することから、小さな風速の予測誤差が大きな風力発電量の予測誤差につながる。そのため風力発電機設置位置における正確な風況予測が大変重要である。

線形風況予測モデルに比べ、非線形風況予測モデルが急峻な地形まわりに形成される剥離や再付着といった複雑な流れ場を正確に再現できる反面、解析領域、格子分解能、解析条件により解析結果が変化することがある。本論文では東京大学で開発した非線形モデル MASCOT (Microclimate Analysis System for Complex Terrain)¹⁾ を用い、地表面粗度、格子解像度、地形の再現性が予測精度に与える影響を調べる。また気象モデルを用いて風観測と同時期の気象解析を行い、観測サイトの風況を評価することにより、観測地点の選定が風況予測精度に与える影響を明らかにする。

2. 観測地点周辺の地形特性と風況特性

2.1 地形特性

図-1には観測地点の周辺地形と位置関係を示す。観測ポイントは、北東～東に山頂(標高約305m)を望み、造成事業によって階段状の裸地となった西側斜面に設置されており、周辺は複雑な地形となっている。Site2地点の標高は243mと最も高く、最も精度良く解析できるものと予想される。風況予測は、各地点の観測値を用い、他の地点の風況を予測することにより、相互比較を行った。

2.2 風況特性

各観測地点別の風況特性を表-1に示す。風速はSite2での年平均風速を基準とし、風速比で表した。図-2には各観測地点における風向別の出現率・年平均風速比を示す。各観測地点の風配・平均風速比とも、SまたはSSE方向にピークを有している。Site1、Site3の最多風向とSite2の最多風向とは22.5度ずれており、地形の複雑さを表している。

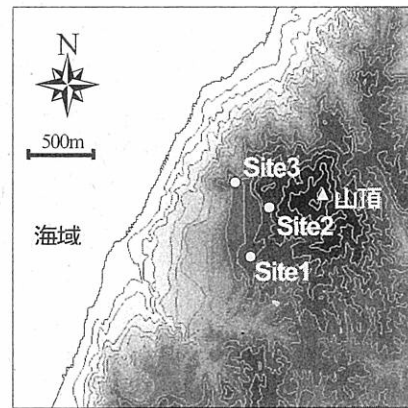


図-1 観測地点の周辺地形

表-1 各観測地点の風況特性

項目 地点	平均風速比 u/u_{Site2} (m/s)	最多風向	
		1位	2位
Site1	0.84	SSE (14.6)	W (11.6)
Site2	1.00	S (13.1)	WSW (11.7)
Site3	0.92	SSE (14.4)	N (10.6)

最多風向の数値は出現率 (%)

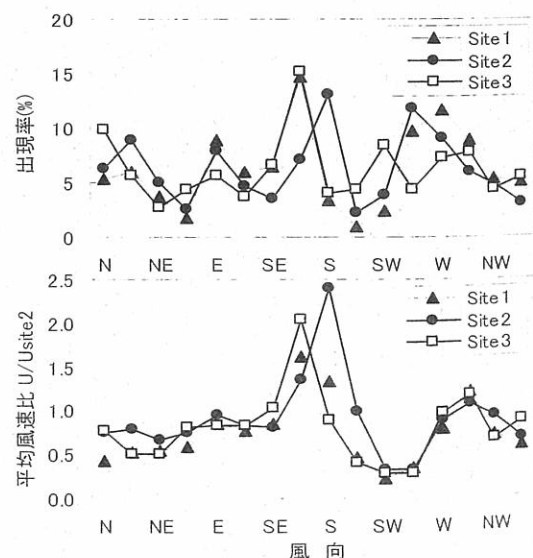


図-2 風向別の出現率と平均風速比

*1 関西電力株式会社エネルギー利用技術研究所 〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺 3-11-20
 *2 関西電力株式会社グループ経営推進本部 〒530-6591 大阪府大阪市北区中之島 3-6-32
 *3 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構 〒113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16
 *4 株式会社水城ネットワーク 〒134-0088 東京都江戸川区西葛西 6-16-7

3. 風観測データを用いた解析手法と解析条件

非線形風況予測モデル MASCOT の解析フローを図-3、解析領域の概念図を図-4 に示す。本研究では、風況観測点および周辺地形が計算領域に含まれるように一辺の長さが3kmの正方形を対象領域として設定し、それに外接する円を内接させる正方形領域を全体の解析領域とした。その上流側に解析領域と同等の付加領域、さらにそれらの周囲に緩衝領域を設定した。また、解析領域中心の矩形領域は、風況観測3地点を含む領域とし、風況を精度良く予測するために最も細かいメッシュを設定した。MASCOTの格子間隔は不等間隔格子であり、最小メッシュの1.1倍の拡大率で外側に向かって格子間隔が大きくなっている。これを各風向で設定し、解析を行った。解析手法、境界条件の設定の詳細については参考文献2)、3)を参照されたい。

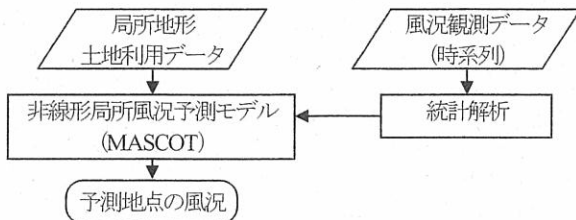


図-3 MASCOTの解析フロー

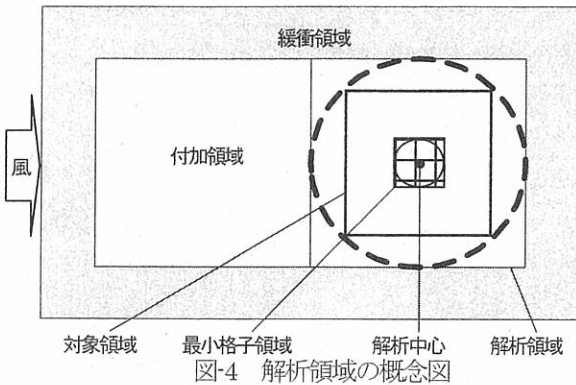


図-4 解析領域の概念図

表-2 解析条件

項目	設定値
解析風向	16方位
標高	数値地図【50m 国土地理院】 数値地図【10m 北海道地図(株)】
土地利用 (地表面粗度)	1/10 細分区画土地利用データ 【100m 国土地理院】
計算領域	X×Y×Z 11.0km×6.8km×1.5km
対象領域	X×Y×Z 3.0km×3.0km×1.5km
最小格子領域	X×Y 検討ケースにより異なる
最小格子間隔	X×Y 検討ケースにより異なる Z 6m

4. 解析結果

4.1 地表面粗度の違いによる影響

国土地理院発行の1/10細分区画土地利用データをもと、地表面粗度分布を作成したケースを case1-A、観測地点近傍の造成地の地表面粗度を再現したケースを case1-B とし、解析を行った(図-5)。

図-6には各観測地点の平均風速の相互予測結果を示す。棒グラフは風観測による年平均風速を示し、折れ線グラフは各観測地点の観測値を用い、他の観測地点を予測した結果を示す。例えば、▲は case1-A の解析で Site 1 の観測値を用い、左の点より順に Site 1 自身、Site 2、Site 3 の風況予測結果をプロットしたものである。

観測地点近傍の地表面粗度を再現すると、全てのケースにおいて予測誤差が減少した。Site 1 の観測値を用いた場合の風況予測結果は、最大誤差(Site 3)が20.2%から16.5%に減少し、改善率は3.5%であった。同様に Site 2 の観測値を用いた場合には、Site 1 の予測誤差の改善は1.5%であった。更に Site 3 の観測値を用いた場合には Site 1 の予測誤差の改善は13.1%に達した。3つの観測地点を比較すると、Site 2 の観測値を用いた場合の風況予測結果が最も精度が高く、参照地点として用いるのに適している。Site 2 地点が周辺より高い場所に位置しているのが、その理由である。Site 1 に関する予測誤差が大きかった理由は4.3節に詳しく述べる。

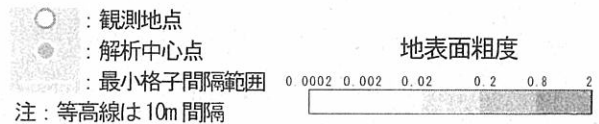


図-5 地表面粗度

表-3 Case1-A と case1-B の解析条件

項目	設定値	
検討ケース	Case1-A, case1-B	
最小格子領域	X×Y	400m
最小格子間隔	X×Y	10m
格子数 (X×Y×Z)	1,067,256 (=183×162×36)	

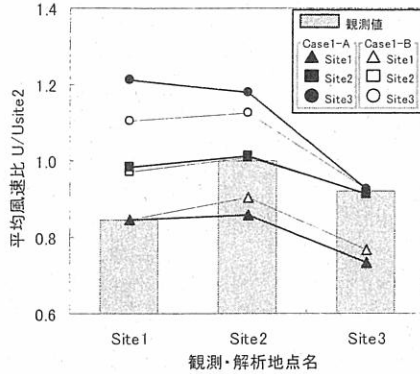


図-6 地表面粗度の違いによる解析結果の変化

4.2 格子解像度の違いによる影響

地表面粗度の違いの検討で用いた case1-B を case2-B とし、最小格子領域を 2.5 倍の 1000m、最小格子間隔を 25m に変更した case1-A を case2-A とし、解析を行った。

図-8 には各観測地点の平均風速の相互予測結果を示す。格子解像度を細かく (25m→10m) した全てのケースにおいて予測誤差が減少した。Site1 の観測値を用いた場合の風況予測結果は、最大誤差の改善率 (Site2) が 7.5 %であった。同様 Site2 の観測値を用いた場合には、Site 1 の改善率が

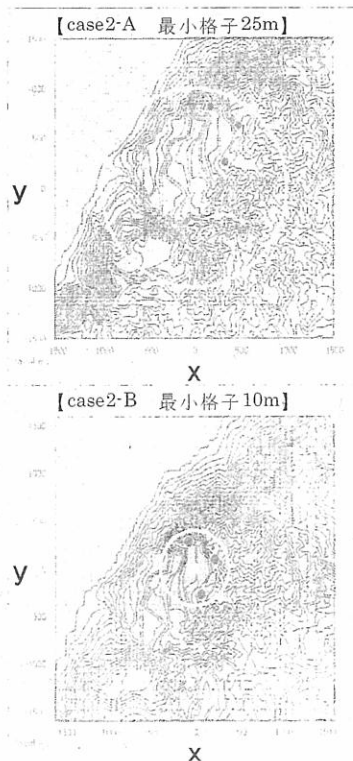


図-7 格子解像度

表-4 Case2-A と case2-B の解析条件

項目	設定値	
検討ケース	Case2-A	Case2-B
最小格子領域	X×Y	1,000m
最小格子間隔	X×Y	25m
格子数 (X×Y×Z)	789,912 (=159×138×36)	1,067,256 (=183×162×36)

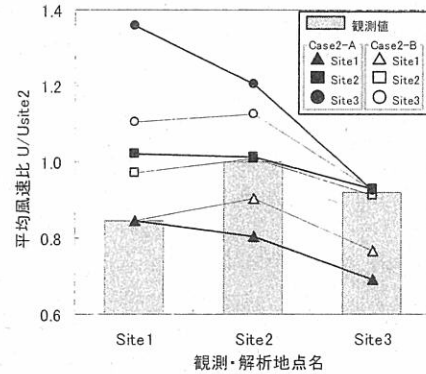


図-8 格子解像度の違いによる解析結果の変化

7.4%であった。更に Site3 の観測値を用いた場合には Site 1 の改善率が 20.7%に達した。また地表面粗度の違いによる検討でも述べたように、Site1 に関する予測誤差が他の二つの地点に比べ大きく、Site2 の観測値を用いた場合の風況予測結果は最も精度の良い結果が得られた。



写真-1 Site1 地点

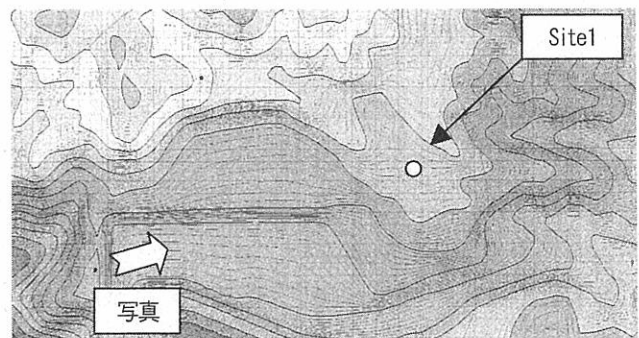


図-9 解析地形

4.3 Site 1 の予測誤差の原因調査

3 地点の風観測データを用い、地点間の相互予測を行った結果、Site 1 に関する平均風速の予測誤差が最も大きかった。その原因を調べるため、本年 6 月に現地踏査を行った。

写真-1 から、観測地点は開けた造成地内の頂部に位置しているため、風況観測地点として適地である。しかし、数値計算に用いた標高データは実地形を再現できていないことが分かった。図-9 は Site1 地点周辺の等高線をに示す。写真-1 の地形と比較すると、写真では崖の稜線付近に観測ポールが設置されていることが分かるが、標高データでは 1:10 以下の緩やかな斜面上となっている。この地形の違いにより風速の予測誤差が生じている可能性があり、今後測量などにより標高データを修正し、再度解析を行う予定である。

5. 気象モデルを用いた風況予測

観測地点の選定が風況予測精度に与える影響を調べるため、気象モデルを用いて、風観測と同時期の気象解析を行い、観測サイトの風況を評価した。気象モデルは RAMS を用いた。解析法の詳細については参考文献 1) を参照されたい。気象モデル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) による客観解析値 (6 時間ごと) を内挿して使用した。解析は 4 段にネスティングされた格子を用いた。

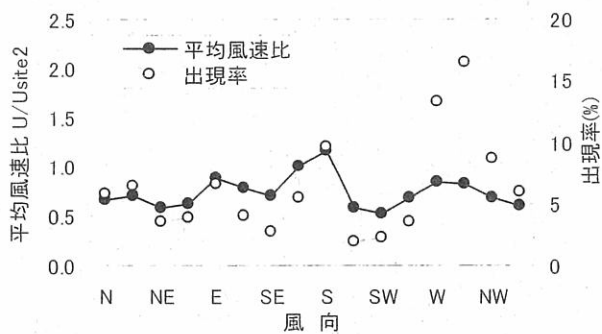


図-10 気象モデルによる風向別出現率と平均風速比分布

図-10 には、気象モデルによって計算された風向別の出現率と平均風速比分布を示す。風配は WNW 風向と S 風向にピークがあり、Site1 と Site2 での観測値と同様である。ただし、第 1 位のピークが気象モデルでは WNW 風向であるのに対し、観測値では SSE 風向および S 風向となっており、異なる傾向を示しているが、平均風速比のピークは S 風向であり、観測値と同様である。

本論文では非線形モデル MASCOT を用い、力学統計的局所化手法によって、観測地点の風況予測を行なった。解析条件は節 4.2 に記述した Case2-B と同じである。

図-11 には力学統計的局所化手法を用いた風況予測結果を示す。力学統計的局所化手法を用いた解析結果は、Site1 の予測誤差が 12.7%、Site2 の予測誤差は -4.0%、Site3 の予測誤差は -8.0%であった。Site1 を除いては誤差が 10%以内

の精度で再現された。風観測データを用いた風況予測結果 (Case2-B, Site2 の観測値を使用) を併記し、ほぼ同等の精度が得られたことが分かる。

障害物や測定誤差などの影響を含んでいない気象モデルによる予測風況結果と Site2 の観測値を用いた予測結果とほぼ同じであることから、Site2 の観測地点の風速データは周辺の風況を代表していると言える。

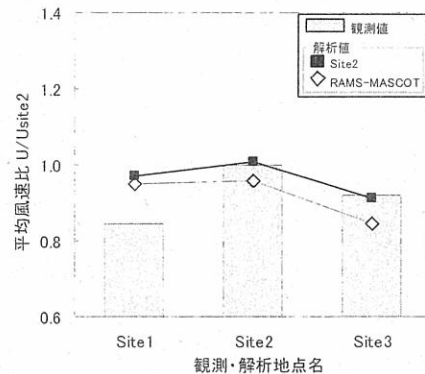


図-11 力学統計的局所化手法を用いた風況予測結果

6. まとめ

本論文では、数値解析における地表面粗度および格子解像度、地形の再現性が予測精度に与える影響を調べた。また気象モデルを用いて風観測と同時期の気象解析を行い、観測サイトの風況を評価することにより、観測地点の選定が風況予測精度に与える影響を明らかにした。その結果、以下の結論が得られた。

- ① 地表面粗度の再現性と格子分解能の向上が非線形風況予測モデルの予測精度の改善に寄与する。
- ② 地形の再現性も予測精度に大きな影響を与える可能性があり、風況予測を行う際には現地踏査を行うなど、地形の再現性の向上に務める必要がある。
- ③ 風況観測地点の選定が風況予測精度に大きな影響を与える可能性があり、風況精査を行う際には、風況予測モデルにより、観測予定地周辺の気流分布を把握しておくことが重要である。

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, 日本流体力学会誌, 第 22 巻 第 2 号, pp.387-396, 2003.
- 2) 石原孟, 日比一喜, 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学論文集, No.83, pp.175-188, 2000.
- 3) 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.195-221, 2003.