

複雑地形下での風力発電量予測に及ぼす 風況予測モデルの影響

Local Wind Climate Prediction on the Wind Energy Production under Complex Terrain

嶋田健司*1

Kenji SHIMADA

石原 孟*2

Takeshi ISHIHARA

千葉誠二郎*3

Seijiro CHIBA

日比一喜*4

Kazuki HIBI

1. 緒言

風力発電で効率的な発電を行うためには適切な位置に風車を配置する必要がある。またその発電量の予測にあたっては風車建設地点における正確な風況予測が必要である。このためのプログラムとして従来から WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)^[1]が多く用いられている。ただし我が国では風車建設地点が欧州に多く見られるような平坦な地形ではないことから、WAsP の適用性に関しては従来から議論の余地があるとされている。

MASCOT(Microclimate Analysis System for COmplex Terrain)^[2]は流体の基礎方程式である Navier-Stokes 方程式を乱流モデル ($k-\epsilon$ モデル) を用いて解く解析プログラムである。これまでに風洞実験による検証の他、竜飛ウィンドパークに適用したときの年平均風速の予測精度について検討し、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より正確に再現できることが報告されている [3]。本論文では複雑地形に囲まれた某ウィンドファームについて両解析法による風況解析を行ない、それら予測値と実際に得られた発電量との比較を試みた結果を報告する。

2. ウィンドファームの概要

図 1 に解析の対象としたウィンドファームと図 2 にはその近傍の地形図を示す。対象としたウィンドファームは北海道の北西に位置し、標高は約 400m である。ウィンドファームは周囲を低木によって囲まれた小高いなだらかな丘の上にある。ファーム内の 6 基の

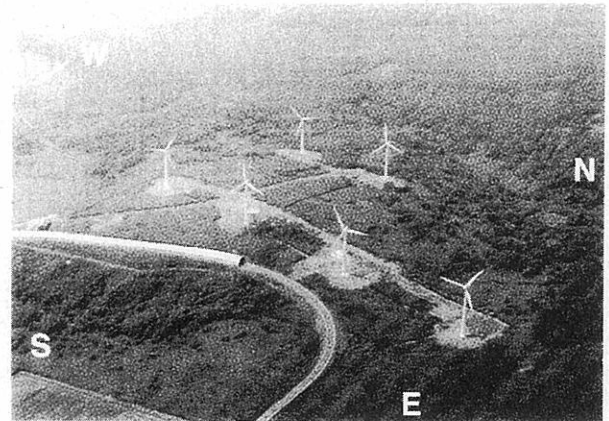


図 1 対象としたウィンドファーム

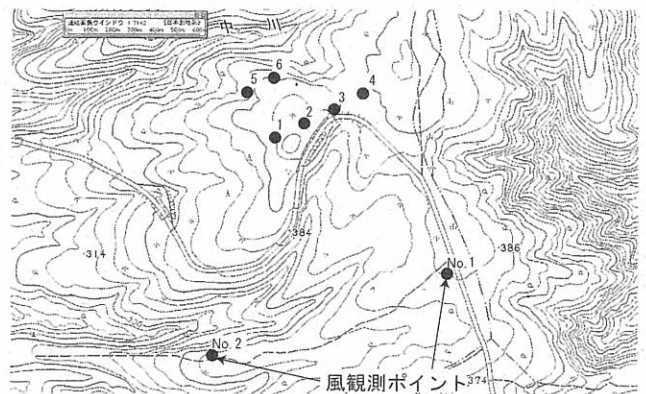


図 2 風車近傍の地形図と風観測ポイント

表 1 各風車のハブの標高

風車	ハブ高度(m)
Turbine1	454
Turbine2	459
Turbine3	448
Turbine4	444
Turbine5	436
Turbine6	444

平成 15 年 11 月 20 日 第 25 回風力エネルギーシンポジウムにて講演

*1 非会員 清水建設 (株) 技術研究所

*2 会員 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

*3 非会員 丸紅株式会社 新エネルギー電力部

*4 会員 清水建設 (株) 技術研究所

(〒135-8530 江東区越中島 3-4-17)

(〒113-8656 文京区本郷 7-3-1)

(〒100-8088 千代田区大手町 1-4-2)

(〒135-8530 江東区越中島 3-4-17)

750kw 風車(ハブ高さ 45m, ハブの標高は表 1 のとおり)は計画当初に行われた WAsP による発電量予測に基づき最も効率的な発電がなされるように最適な配置計画がされている。図 2 は風観測ポイントの位置を示す。図 3 には観測点 No.2 (高さ 30m) での風配および風速の頻度分布の観測結果を示す。風向 SSE のおよび WNW の風の頻度が大きいことがわかる。風向 SSE の風は本観測点の南東側にある長万部から寿都までの地峡に沿って大平洋側から日本海側に抜けるいわゆる「寿都のだし風」によるものである^[4]。

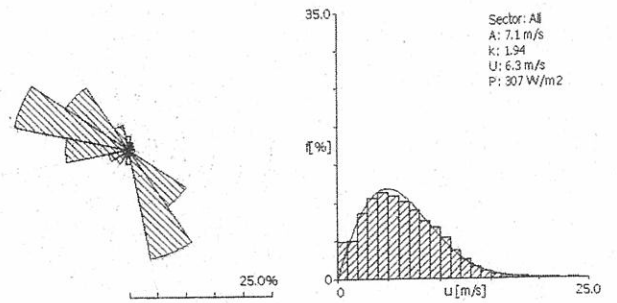


図 3 風向・風速観測ポイント位置での風配と頻度分布 (mast No.2)

3. 風況の解析

3.1 解析方法 (WAsP)

WAsP の解析領域は図 4 に示すように、ウィンドファームを中心とした一辺 10km 矩形領域である。地形データには国土地理院の数値地図 50m メッシュ (標高) を、地表面粗度情報には国土地理院の 1/10 細区分土地利用数値地図 (メッシュ間隔: 100m) を用いた。ウィンドファーム周辺は図 1 にも見られるように低木である。土地利用数値地図の「森林」の粗度長さは通常では $z_0=1m$ とする場合が多いようであるが、航空写真を参考にして $z_0=0.3m$ に設定した。

3.2 解析方法 (MASCOT)

MASCOT の解析領域の概念図を図 5 に示す。一辺の長さが 6km の正方形領域が風況予測の対象領域である。その上流側にこれに外接する円の直径を一辺とする正方形の付加領域、さらにそれらの周囲に緩衝領域を設定した^[5]。また風況予測の対象領域の中心附近の一辺 2km の矩形領域は最も細かいメッシュを設定し、その間隔は水平 25m (鉛直約 6m) とした。この部分には北海道地図の GISMAP Terrain (メッシュ間隔: 10m) を用いた。MASCOT の解析格子は不等間隔格子であり最小メッシュから 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。解析範囲は各風向毎に境界処理領域 (緩衝領域) も含めて $x \times y \times z = 22km \times 14km \times 3km$ の直方体領域である。図 4 には MASCOT による解析領域を風向 S および「だし風」(図中太矢印) が卓越する SSE について示す。解析格子点数は $182 \times 154 \times 43 = 1,205,204$ 点である。なお地表面粗度のデータは WAsP と同じものを用いた。解析法の詳細については参考文献を参照されたい。

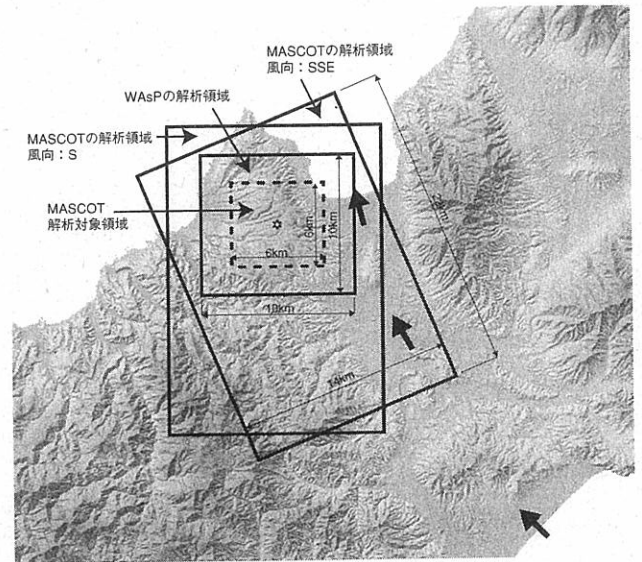


図 4 Wasp と MASCOT の解析領域

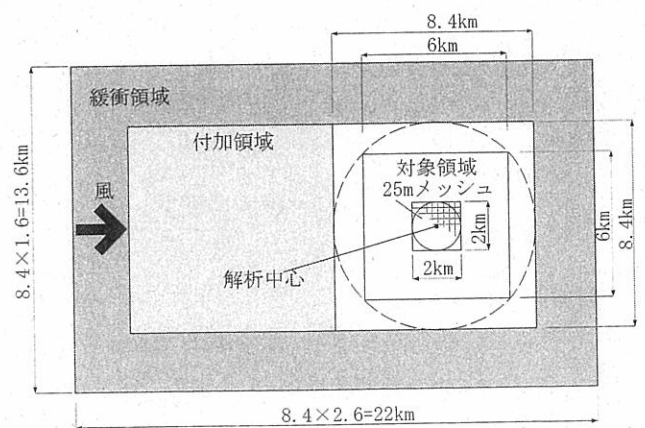


図 5 MASCOT の解析領域の概念図

3.3 MASCOT による風車周辺の流れ場

MASCOT では領域内を流体の基礎方程式を解いていることから、流れ場を詳細に観察することができる。図 6 には二つの卓越風向、すなわち SSE と WNW の場合の風車周辺の流れ場 (流線) を示す。どちらの場合でも風

車の風上直近の流れ場は特にはく離を示すような風況とはなっていない。図 7 には風速比の鉛直プロファイル (観測ポール (高さ 30m 位置) での風速の U 成分で基準化) を示す。風車 1 と風車 2 の U 成分の鉛直プロファイルは

その他の風車とは異なり増速が見られる。これは風車1と風車2は丘の頂上にあるため、頂上附近での増速効果によるものと考えられる。これは特に風向 WNW の場合に顕著である。WNW の場合、地表面附近の低い高さでやや風速の V 成分が大きい。

WAsP の適用については、以上のように地形の起伏に伴う剥離による逆流を示すような分布とはなっていないことから、妥当性を欠くものではないことが判断される。

4. 発電量の実測

ウィンドファームの建設後、図2に示す2箇所の観測点(No.1, No.2)において2高度(高さ30mおよび20m)の計4観測ポイントで、2002年の1年間にわたる風観測が行われた。発電量の試算にはこの内データの取得状況が最も良好な高さ30mの観測点No.2の観測データを用いた。なお、風観測データは1/1~1/17および6/19~7/31の60日分の欠測があるため、図3に示した統計値は305日間のデータによるものである。

また、各風車での発電量データおよびナセル位置での風速のデータは2001年および2002年の2年間分が取得されている。

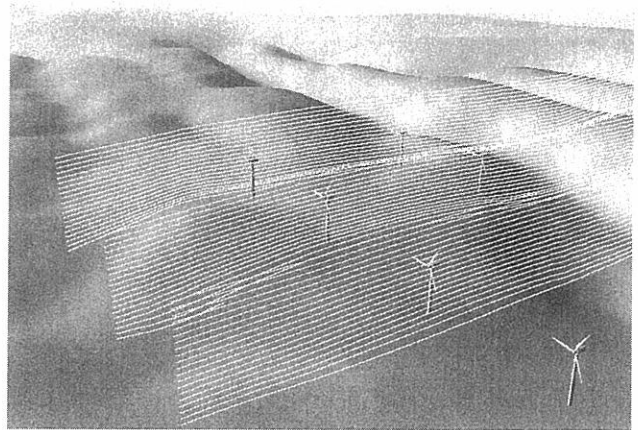
設備利用率(Unit Capacity Factor)の実測値は運転実績を反映している反面、運転実績が月ごとに異なるために、月ごとの風の状況による発電量の増減傾向を調べるには不都合である。また、後述する風況解析からの設備利用率の予測値との比較の便宜も考慮に入れて、各月毎の設備利用率を以下のように定義した。

$$UCF = \frac{\text{その月の合計発電量}}{\text{その月の有効日数} \times 24\text{h} \times \text{定格出力}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

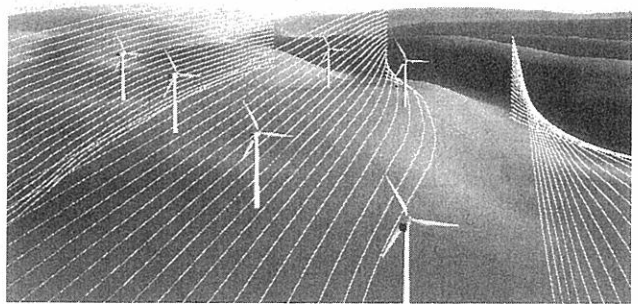
ここで、「有効日数」とは発電量およびナセル位置での風速データの両方が揃って計測されている日数とした。

5. 発電量の実測結果と予測結果の比較

図8にはナセル位置での風速計の観測値を示す。月毎に変動が見られ、12月から1月の冬場に風速が大きく、反対に6月から9月の夏場に小さいことが分かる。また2001年と2002年を比較すると2001年の方が平均的には風速が大きく、年変動があることがわかる。図9には観測によって得られた各風車の設備利用率を示す。風速と同様に季節別、年別の変動があることがわかる。図10には風車毎の設備利用率を示す。季節毎にちがいはあるものの概ね1, 2号機が高い設備利用率を示している。

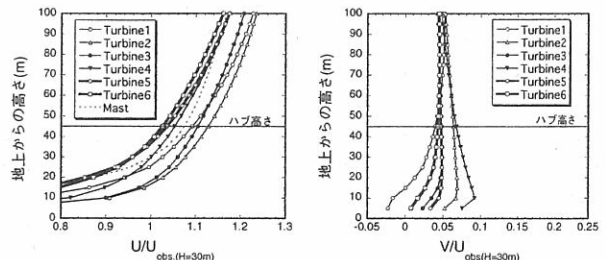


(a) 風向 : SSE

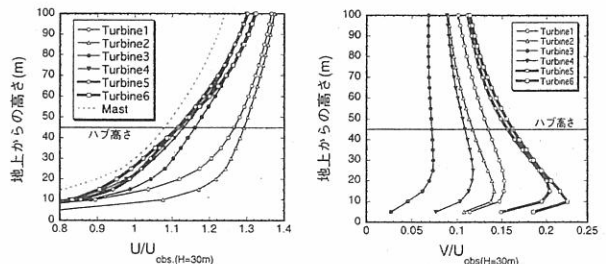


(b) 風向 : WNW

図6 風車近傍の流れ場(流線)



(a) 風向 : SSE



(b) 風向 : WNW

図7 風速のプロファイル(風向 : SSE)

図11には年間を通しての設備利用率の解析結果と実測結果の比較を示す。ここで、予測で用いた風観測の統計値は前節で述べたように2002年の305日分のデータであるので、実測値も(2)式に示すように同じ305日間に対応した値を算出して示した。

$$UCF[305日] = UCF1月 \times 14日 + UCF2月 \times 28日 + UCF3月 \times 31日$$

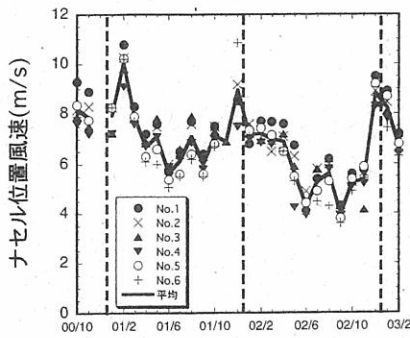


図8 ナセル位置風速計の実測値

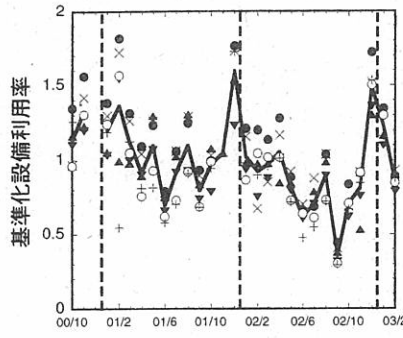


図9 設備利用率の実測値

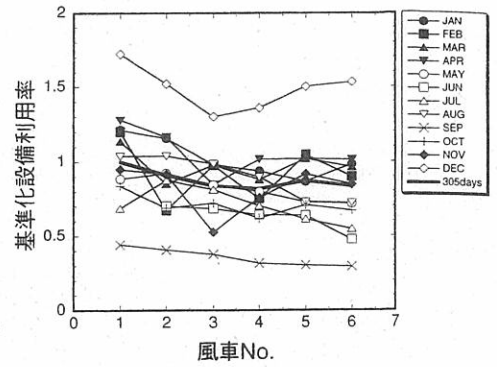


図10 設備利用率の実測値

日+UCF4 月×30 日+UCF5 月×31 日+UCF6 月×18 日+
UCF8 月×31 日+UCF9 月×30 日+UCF10 月×31 日+
UCF11 月×30 日+UCF12 月×31 日) / 305 日 (2)

なお図9~11は上記のようにして求めた風車1の設備利用率の実測値で基準化して示している. 図11からはwake loss考慮の有無によらず, MASCOTの方がWAsPに比べて実測値に近い予測であることがわかる. ここで, 本解析を行った時点ではMASCOTにはwake lossを考慮する仕様にはなっていないため, 図12に示すWAsPによるwake lossをMASCOTの解析結果にあてはめることでwake lossを考慮した. 図13には両解析法と実測値との対応を示す. WAsPは実測に比べて大きめの予測を与える傾向があるのに対して, MASCOTでは実測値とよい対応にあることがわかる.

6. まとめ

複雑地形下の某ウィンドファームの発電量予測をMASCOTおよびWAsPにより行ない実測結果との対応を検討した. WAsPによる結果は実測値よりも大きめになる傾向が見られた. 一方, MASCOTによる結果はWAsPよりも実測値に近い結果が得られた.

参考文献

- [1]N.G.Mortensen, L.Landberg, I.Troen and E.L.Petersen, Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), Riso National Laboratory, Denmark, 1993
- [2]石原 孟, 日比一喜: 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学会論文集, No.83, pp.175-188, 2000
- [3]石原孟, 山口 敦, 藤野陽三, 日比一喜: 非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその応用, 第24回風力エネルギー利用シンポジウム論文集, pp.91-94, 2002
- [4]荒川正一: 局地風のいろいろ, 成山堂書店
- [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.195-212, 2003.4
- [6]嶋田健司, 日比一喜, 石原 孟, 山口 敦: 複雑地形下での風況数値予測と風力発電量評価, 日本風工学会誌, 第95号, 57-58, 2003

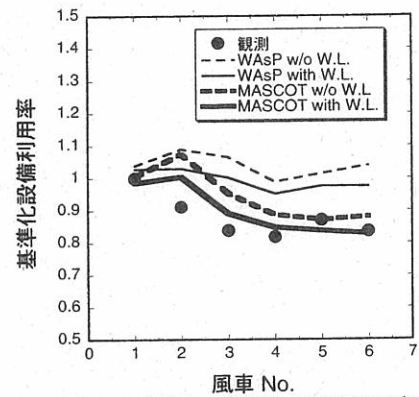


図11 通年の基準化設備利用率 (2002年・305日)

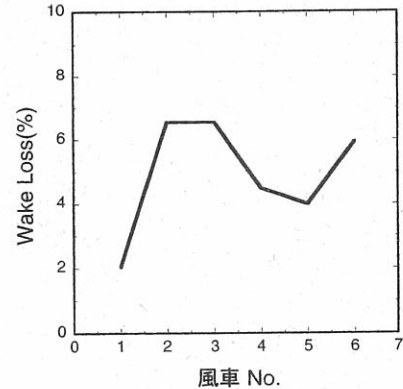


図12 WAsPによるwake loss

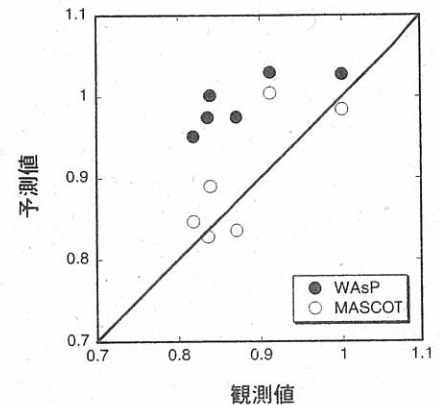


図13 発電電力量のMASCOTとWAsPの比較 (wake loss 考慮)