

風力エネルギーの賦存量推定プログラム

WASP の誤差要因の検討

松 坂 知 行

Error Factor of Wind Energy Estimation by WASP

Tomoyuki MATSUZAKA

Abstract

The WASP developed at Riso National Laboratory in Denmark is rather simple and can be used on an ordinary PC. The author have tested the program at TAPPI wind park for several years. The result showed that when the terrain is not too steep, WASP predicts the wind field well with small deviations from the measured values. For wind directions where the terrain is complex and steep the deviations could be as large as few meter per second.

Key words: Wind Energy, Wind Resource Estimation

1. はじめに

風力エネルギーは地球環境に対して汚染を与えないため米国、EC 諸国で実用化が推進されており、すでにこれらの諸国では Wind Atlas (風況マップ) も作成されている。わが国においても NEDO が中心になり大型風力発電技術開発委員会が設置され、日本全体の風況マップが完成している。これらの風況マップはグローバルな視点から風力エネルギーの賦存量を求めたものであり、実際に風車の位置を決定するには、風車の設置予定地点の他に、3次元起伏、障害物、地表粗度、さらには風車相互の干渉を考慮した方法でなければ取得発電量を正確には予測できない。風力エネルギーの賦存量を推定する方法の一つは、設置予定地点に風速計を設置して年間の風速を実測し、取得エネルギーを推定するのが通常の手段である。この場合、多数の

風車を設置する場合には観測に要する費用と時間を無視できない。また現実には地形的な制約、地権者との交渉などがからみ常に最適地点に設置できるとは限らず、この場合新たな観測が必要になり、すでに観測したデータが無駄になりかねない。第二の方法は3次元地形模型を制作し、風洞実験を行いこのデータから設置予定地点における風速を推定する方法である。しかし、この方法では模型の製作に多大の費用と大型風洞を必要とするため、必ずしも容易な方法ではない。第三の方法は数値シミュレーションによる方法である。すぐに思いつくのは流体の運動方程式を立て、コンピュータを用いて風の流れを計算する方法である。しかしながら、風力発電に必要な対象空間を3次元に分割し、流れを計算するにはスーパーコンピュータでも困難であり、計算時間と費用の点からも実用的ではない。しかし計算時間と費用の問題が解決できれば最も魅力的な方法である。

風力エネルギーの賦存量を求める計算ソフトとしては WASP と AVENUE がある。このう

ち WAsP は風力エネルギーの賦存量, 取得エネルギーを計算するために開発された専用ソフトであり, 欧州をはじめいろいろな国で適用されている。しかし日本では実観測値と比較検証しないと有効性を判定できない。筆者は 1991 年以来竜飛ウインドパークに適用し, 実測値と計算値との比較を行ってきたが, WAsP を適用する場合, 誤差の要因がいくつか見つかったのでその結果を報告する。

2. WAsP の概要

本節では WAsP の概要を説明する。

(a) 風況解析

ウインドパーク内の一点に風速計を設置し風速, 風向の時系列データを入力する。またこの観測地点の地表粗度, 障害物, 3 次元地形起伏データを入力する。つぎに地表粗度, 障害物, 3 次元地形起伏の風況に与える影響は相互に独立ではないので, 相互作用を考慮して計算を行い, 12 方位毎の風速, 風向の分布を表すワイブルパラメータ (尺度定数, 形状定数) を求める。また測定地点の地表粗度, 障害物, 地形の起伏の影響を除いて, ある標準状態の風速, 風向を計算する。これにより観測地点の固有な条件を除いた標準風況データが得られる。

図 1 は地表粗度モデルの概念を示し, 粗度 Z_{01} の地表を通過してきた風は粗度 Z_{02} の地表を通過するとき流れが変化する。粗度の値は WAsP による経験的なデータによって与えられる。

図 2 は障害物モデルで, 森林, 建造物などの障害物の種類によって風の減速率が異なる。このデータとしては, 障害物の位置と風通過率を

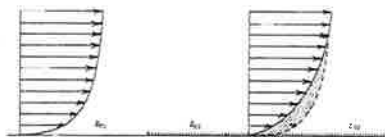


図 1 地表粗度モデル

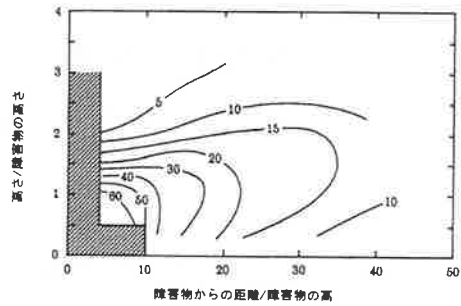


図 2 障害物モデル

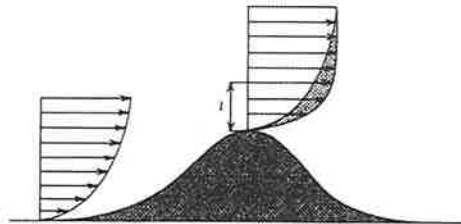


図 3 地形起伏モデル

入力する。

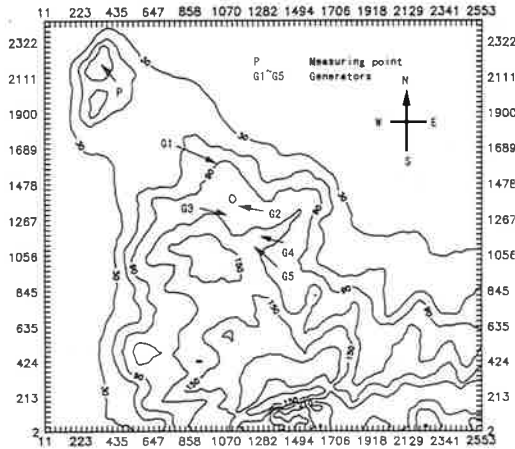
図 3 に地形起伏モデルを示す。丘陵, 山, 谷などの高度変化は風の流れに大きな影響を与える。実際のデータは地図の等高線データをデジタイズで入力する。

(b) 応用解析

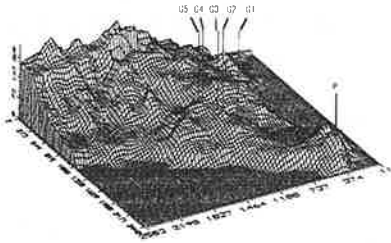
さきに (a) で得られた標準データをもとにして, 未知の地点の風況, エネルギー賦存量, 発電出力量などを予測する。このためには, その地点の位置, 地表粗度, 障害物, 風車出力曲線, ハブの高さなどのデータが必要である。この予測は, どの地点に, どれだけの賦存量が得られるか, どんな風車を設置したらどれだけの出力が得られるかをシミュレーションするもので WAsP では逆方向計算と呼んでいる。

3. WAsP による風況計算

本節では竜飛岬の灯台で実際に観測された風速, 風向のデータを用いて, 風車発電機の設置地点の風速を推定し, この推定値と実際に測定された風速とを比較した結果を述べる。灯台の



(a) 風車発電機の設置位置



(b) 3次元起伏図

図4 竜飛岬の風速計と風車発電機の位置

データを用いたのは次の理由による。すなわち灯台の風況データは、全国的に採取されており、もしこのデータからウィンドパーク内の風況データが推定可能であれば、改めて観測することなしに末観測地点の風エネルギーの賦存量を求めることが可能になるからである。またこの結果を基にして風車の設置点を決定できる。

図4のPは灯台の位置、G1～G5は今回対象とした風車発電機の位置を示す。灯台の風速計は地上高さ20m、発電機の風速計は30mの高さに設置されている。図から分かるように風車の設置地点は起伏が多い典型的な山岳地形である。

以下WA^sPによる推定誤差の要因について述べる。

表1 粗度

森林	0.8
郊外の街	0.3
見晴らしのよい農地	0.05
ごくわずかの建物	0.03
飛行場の滑走路	0.01
むき出しの土	0.005

3.1 地表粗度の影響

地表粗度の入力方法には2種類の方法がある。第1の方法は対象を中心とする同心円上に領域を区切り、被覆距離と粗度を入力方法で、第2の方法はデジタイザを用いて領域全体を同一粗度を有する小領域に分割して入力する方法である。いずれの方法でも被覆領域の区分と粗度の評価が問題になる。まず被覆領域を特定するためには、風況解析の対象となる領域全体を俯瞰することが必要であり、このためには航空写真あるいは人工衛星のデータの活用が考えられる。人工衛星のデータを用いる場合には、風況解析の対象となる領域の大きさにもよるが、1画素当たり30m×30mの解像度が欲しい。また研究者が容易に入手できることが必要である。この条件を満たすものは現在ランドサット衛星のデータであろう。

つぎにこのようにして決めた各領域の粗度を入力する必要がある。WA^sPには表1に示すようなデータが添付されている。この数値は欧州の地形に合わせて求められているので、どの数値をとれば妥当であるかを検証するには日本の地形で試行錯誤してみる以外に方法がない。

また従来筆者は、竜飛ウィンドパークの航空写真から被覆領域を特定し、各領域の粗度を入力して風況を推定してきた。しかしこの方法では被覆領域の区分けを明確に行うことが困難であること、また季節により粗度が変わるので、冠雪時などは被覆領域そのものの区分けが意味をもたないこと、理由から、今回ウィンドパーク全体を同一粗度領域とみなし計算を試みた。こ

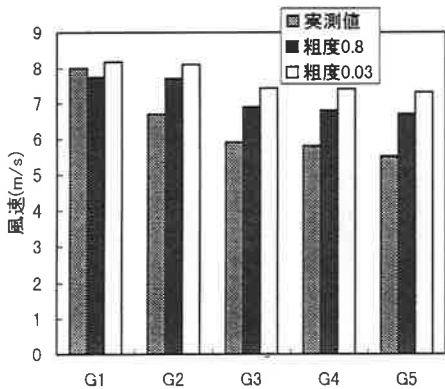


図5 粗度の相異による風速の変化

の結果を図5に示す。

この図から分かるように、G1では推定値が実測値よりも低く出ているが、他の発電機では推定値の方が実測値より高く出ている。この理由はG1周辺は森林が少なく、むき出しの土が大半であるため実際の粗度が小さく、ために粗度が過大に評価されたと考えられる。これを除けば、風速が過大評価される傾向があるものの、ある程度の誤差を許容すれば、実用的にはウィンドパーク全体を森林と見なし、同一粗度で計算しても支障ないであろう。

3.2 地形起伏の影響

つぎに地形起伏の影響について述べる。まず等高線のデータは実際の地形を反映させるように入力することが重要である。この作業はかなり面倒なため、国土地理院などから販売されているデータなどを用いる方法が簡便であると考えられる。しかし実際に1/25,000の地図データと比較してみるとかなり粗く、発電機の設置位置などを決める場合にも分かり難い。また実際に推定計算を行ってみても誤差が大きい。このため本稿では、手動でデジタイザから1/25,000の地図データを入力している。

このように入力したデータで何度か年間平均風速を推定した結果、特定の発電機G2で誤差の大きいことが確認された。そこでこの原因を

検討するため月毎の平均値との比較を行うことにした。この結果を図6に示す。図6で分かるように7月と11月で実測値との傾向が反転している。そこで誤差の大きい11月の各方位別の平均風速を求めてみた。WA²Pにおける各方位

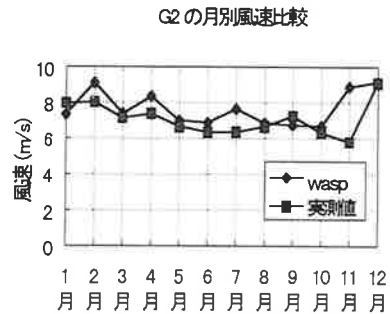


図6 G2の月別風速比較

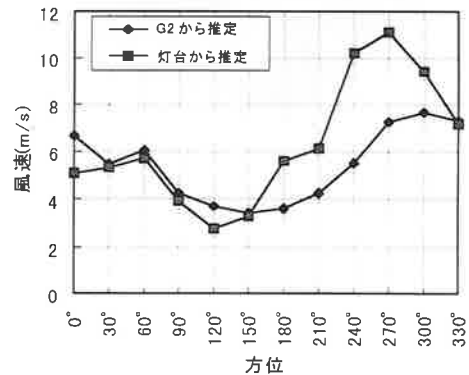


図7 方位別風速

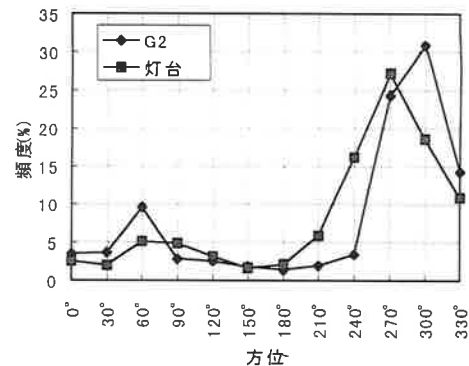


図8 方位別頻度分布

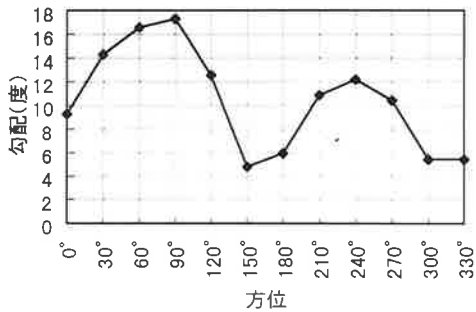


図9 方位別起伏の勾配

別平均風速は、各方位別の尺度定数、形状定数と Bessel 関数表から計算できる。この結果を図7に示す。またこのときの頻度分布を図8に示す。

つぎにこの誤差の原因を地形起伏との対照で検討する。図10はG2近辺の等高線マップである。図11は最も風速の頻度の高い240度の方向から見た地形の3次元起伏である。

また図9は、図10を基にして求めた方位別勾配である。図10、図11から見られるように240度の方位は勾配が大きく、風が斜面を駆け上がるように流れていくものと考えられる。

以上の図から検討結果から以下のようなことが云える。

- (1) WA³Pは勾配の大きいところで誤差が

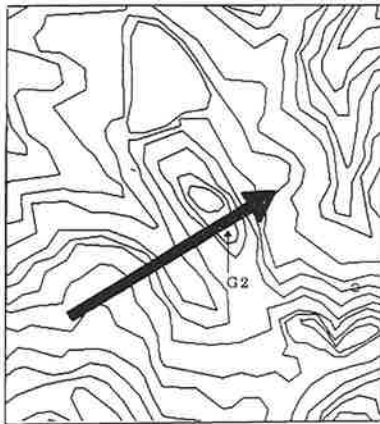


図10 G2近辺の等高線マップ

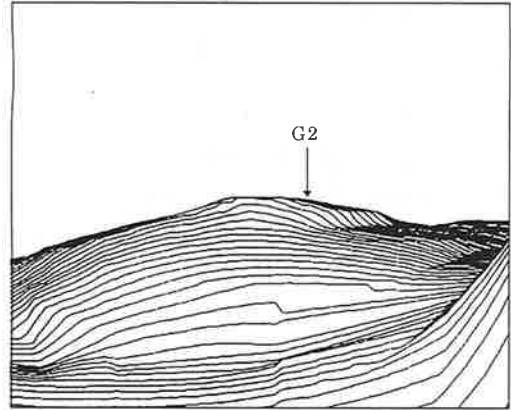


図11 240度方向から見た3次元地形起伏

大きいと云われているが、この検討結果からこの傾向が明らかになった。

(2) 斜面の勾配の大きい方位に風速と風向の頻度が集中して分布している場合、大きな誤差が生ずる。

(3) 斜面の勾配の大きくても風速と風向の頻度が分散しているときは誤差が少ない。

(4) このような偏った分布がある場合には年間平均風速の推定値にも影響を与える。

3.3 整地による地形の高さ

その他、地形起伏に起因すると思われる誤差

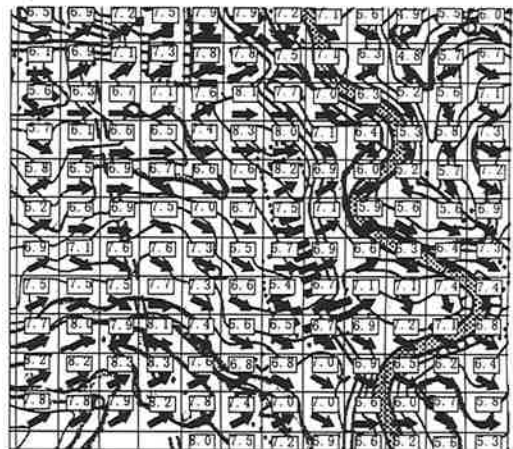


図12 ウィンダークの風の流れ (50m×50mメッシュ)

には、風車設置時に整地のために地面を削ったために高さが変化し、等高線の高さと実際の高さが異なることも考えられ、この差は推定値に大きな誤差を生じている。

以上のような誤差が見込まれるもののウインドパーク全体の風況を50 m×50 mのメッシュ単位で計算すると図12のようになり、この結果は風の流れが地形の起伏にしたがっており、WA²Pの推定値で相対的に風況のよい地点を判定できることを示している。

4. ま と め

以上竜飛ウインドパークにWA²Pを適用し、実測値と推定値の関係を研究してきた経験から、誤差の要因を掘り下げて検討してみた。こ

の結果から、斜面の勾配の大きい方位に風速と風向の頻度が集中して分布している場合、大きな誤差が生ずることが明らかになった。しかしどの程度の勾配から誤差が増えるのかはWA²Pのモデルに負うところが大きく、誤差の限界は不明確である。したがって風況推定に適用する場合、本稿の結果を考慮して限界をわきまえて利用するのが妥当であろう。

5. 参 考 文 献

- 1) 松坂：竜飛ウインドパークにおけるWind Atlas, 第17回風力エネルギー利用シンポジウム, p.88, 1995年11月
- 2) 土屋, 松坂：ウインドパークにおける風力エネルギー量予測手法の実用性評価, 日本機学会論文集, p.337, 61巻, 590号, B編