

# 竜飛ウインドパークにおける風力 エネルギー賦存量推定

松坂知行\*・土屋敬一\*\*・山田佐佳\*\*

## Wind energy resource estimation of TAPPI wind park

Tomoyuki MATSUZAKA\*, Keiichi TUCHIYA\*\*  
and Sayoshi YAMADA\*\*

### Abstract

In order to estimate generated power by wind turbines before constructing a wind park, so far we have used numerous anemometers at the scheduled siting points of wind turbines in the wind park. Especially, a site proposed for a wind park in Japan is often in a mountainous and rough complex terrain, so we have to install numerous anemometers. However this method needs much time and cost. To cope with this difficulty, we studied a numerical simulation method which was developed by Riso National Laboratory. This paper presents the comparison between numerical simulation results and measured values.

### 1. ま え が き

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<sup>(5)</sup>。わが国においても昭和61年 NEDO に大型風力発電技術開発委員会が設置され、日本全体の風況観測が続けられている。風力エネルギーの賦存量を推定するには、気象庁の AMeDAS や海上保安庁の燈台などのデータを用いて統計的に推定する方法、模型を製作し風洞実験から得られたデータを予測する方法<sup>(1)</sup>、候補地点に風速計を設置して直接的に風速、風向に関するデータを採取する方法、数値シミュレーションによる方法などがある<sup>(2)(3)</sup>。本稿では、デンマークの Riso 国立研究所で開発され、欧州の Wind Atlas の作

成にすでに利用された実績のある WASP<sup>(6)</sup>を用いた。WASP は一つの実観測データを用いて、三次元的な地形因子を考慮しながら未観測地点の風況を推定できるという特長をもっている。しかし日本では実観測値と比較された実績がないため、今回建設された竜飛ウインドパークに適用し風速、発電量の実測値と計算値を比較したところ、実測値とシミュレーション結果はほぼ一致することが分かった。そこでこの結果を基にして、ウインドパーク全体を 200 m×200 m 単位の 61 個のメッシュに切り、各メッシュ毎に風速、風向、賦存量を計算したのでその結果を報告する。

### 2. WASP の概要<sup>(4),(7),(8)</sup>

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

平成6年12月15日受理

\* 八戸工業大学 情報システム工学研究所 教授

\*\* 東北電力技術研究所 主幹研究員

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。また観定点の地表粗度, 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。

### (b) 応用解析

つぎに(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。

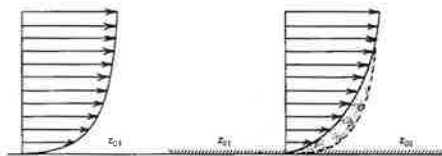


図1 地表粗度モデル

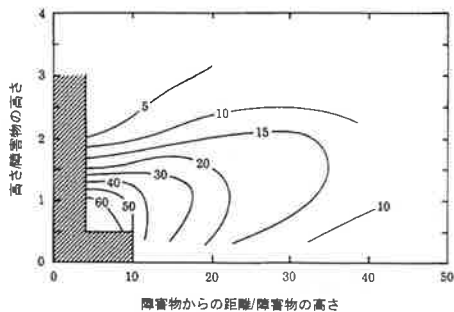


図2 障害物モデル

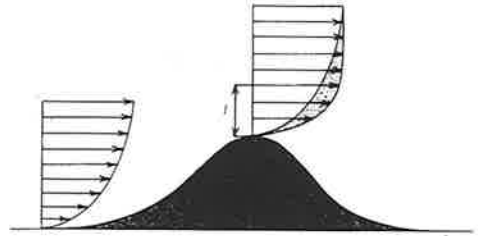


図3 地形起伏モデル

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は, 障害物の位置と風通過率を入力する。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をデジタルで入力する。

### 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, 5台の風車発電機の設置点の風速を推定し, この推定値と実際に観測された風速とを比較した。灯台の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イ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未

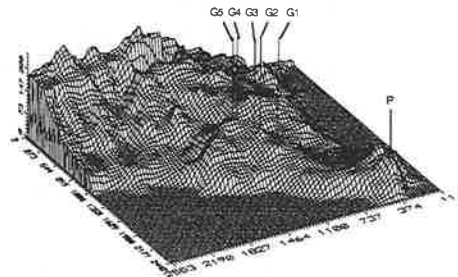


図4 竜飛岬の風速計と風車発電機の位置

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は現在設置されている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。

地表粗度については現地調査の上植物の植生、建物の位置、大きさ、高さを確認してデータを入力した。

表1は、灯台の風況データを基にして、WASPにより推定した風速推定値と各発電機で観測された風速実測値とを比較したものである。表から分かるように両者はほぼ合っていると言える。細かいところで差がでている原因は、地表粗度を正確に把握し、データとして入力することが難しいためである。またWASPは欧州で開発されたものであり、地形も我国とはかなり異なっている。例えば、欧州では一般に平坦で、それぞれの区画が大きい畑、牧草地、湖沼地、均一高さの植林地などが多い。一方我国ではこれらの区画が極めて狭い上に、相互に入り組んでいる場合が多く、地表面の状態が激しく変化するので、それぞれの影響の度合を判断するのは難しい。したがって複雑な自然現象に左右される風速データがこの程度の精度で得られるならば、十分実用可能であると云える。

以上の検証結果、WASPによる推定値が実測値と一致することが確認されたので、この結果をもとにして竜飛ウインドパーク全体の風速分

布と風エネルギーの賦存量の分布を推定してみた。まづウインドパーク全体を200m×200mの61個のメッシュで分けし、各メッシュの中心地点の風速と賦存量を計算した。

図5、図6はこの計算結果を示す。横軸、縦軸にそった○で囲まれた数字はメッシュの座標位置を表す。たとえば図6で観測点の灯台のある座標(0,9)のメッシュでは890(W/m<sup>2</sup>)の風エネルギーが得られることを示している。また矢印はこの方向に最も大きなエネルギーが得られる主風向成分を示している。WASPでは全方位を12方位に分割しているので、主風向は30度単位で変わるので分解能には限界があるが、この程度の主風向が分かれば十分であり、矢印の向きを見ればウインドパーク全体を流れる風の向きが分かる。風の流れは、図5でたとえばメッシュ(1,3)と(1,4)を比較すると峰の勾配にそって流れが分かれ、しかもメッシュ(0,9)に比較するとかなり減速していることが分かる。しかし山頂近くの(3,4)になると流れが加速され、賦存量が大きくなることが分かる。またメッシュ(6,3)付近では窪地になるので賦存量が少なくなることが分かる。さらにこの地図全体を見れば、今後新たに風車を設置する場合、どの地点に設置すれば効率的なエネルギーが得られるかが明白に分かる。なお風速地図、実際の風車を設置した場合のエネルギー取得量も計算したが、紙面のスペースの制限で省略する。

#### 4. ま と め

以上 Wind Atlas 解析プログラム WASP を竜飛風力発電所へ適用し風速の観測値と推定値を比較してみたところほぼ一致することが分かった。これを基にしてウインドパーク全体の風エネルギーの賦存量を求めた。この結果ウインドパーク全体の風の流れと賦存量分布が得られた。本手法は一点の既観測データでウインドパーク全体のエネルギー分布が分かるので、風車の設置点の決定やウインドパークの全賦存量

表1 WASPによる推定値と実測値の比較  
観測期間 1992年1月～12月

発電機	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
風速推定値 (m/s)	8.7	7.8	5.4	5.9	5.7
風速実測値 (m/s)	8.0	6.7	5.8	5.7	5.2

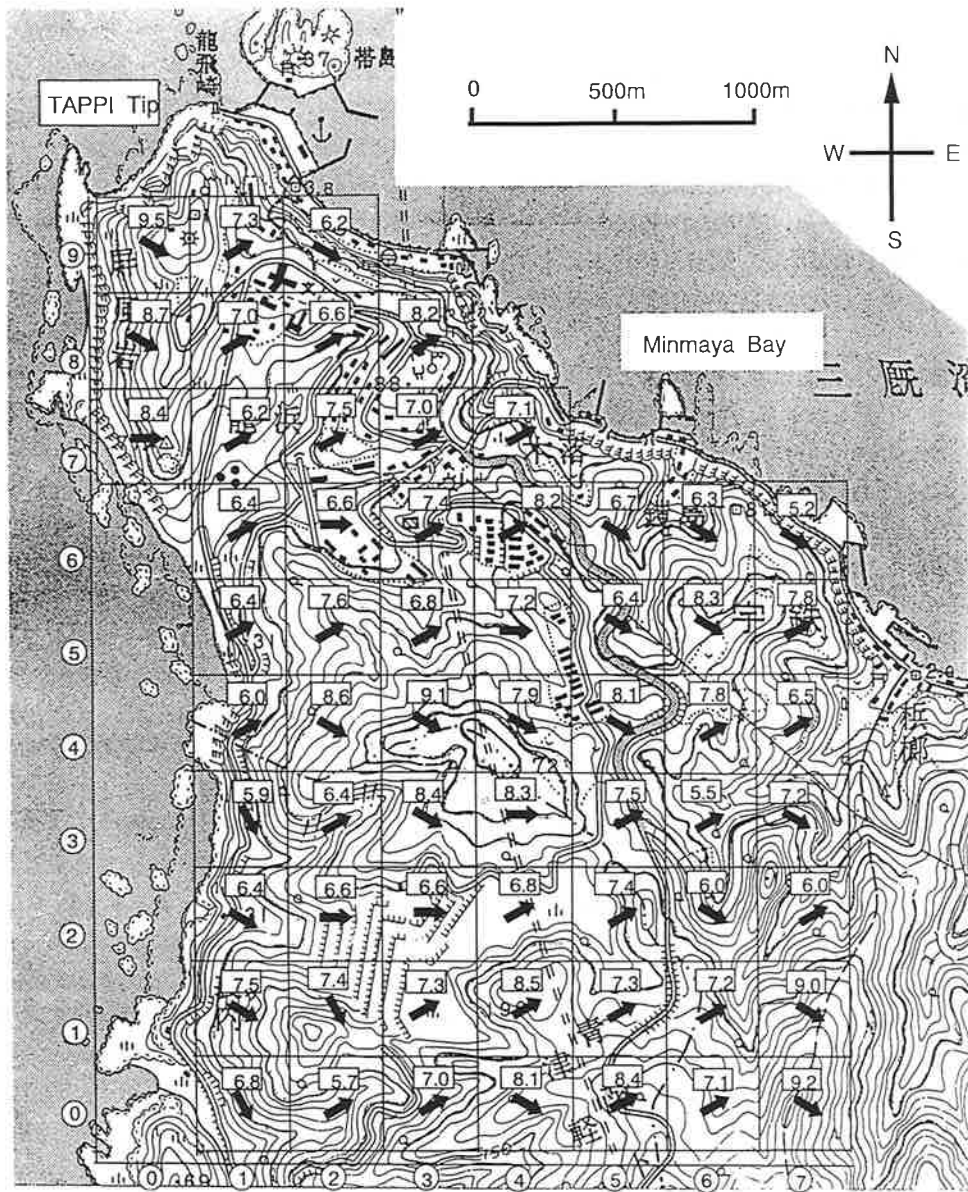


図5 竜飛ウインドパークの風向と風速分布 (m/s)

の評価に極めて有効である。またこのような複雑な地形の中を通る風の流れを計算する場合、三次元の偏微分方程式を解くのが常套手段として考えられるが、実際に適用しようとする

スーパーコンピュータでも実用的な時間内で解を得ることが困難である。本手法は半経験的な手法を取り入れた現実的な計算法であり、極めて実用的と云える。

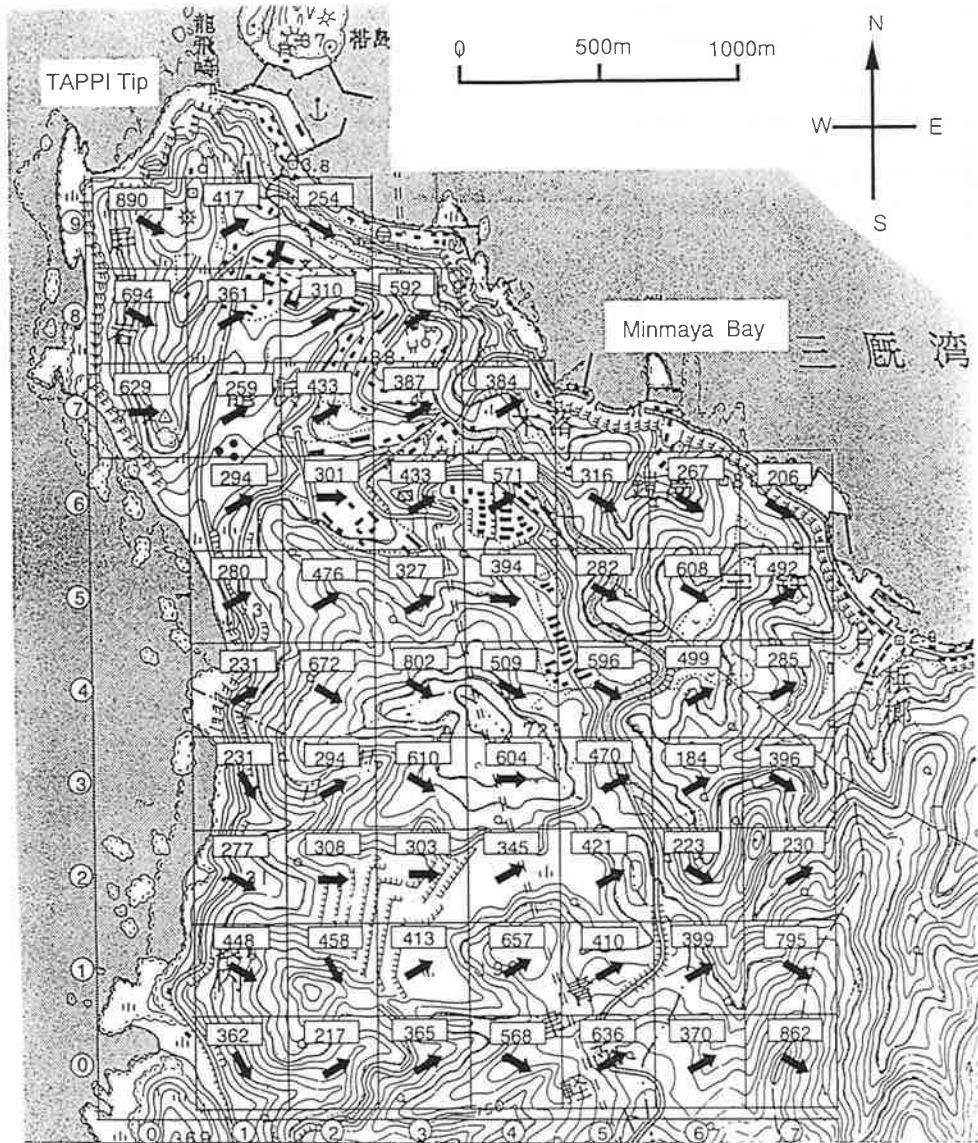


図6 竜飛ウインドパークの風力エネルギー分布 ( $W/m^2$ )

## 5. 参考文献

- (1) 土屋他：ウインドパークにおける個々の風車の取得エネルギーの予測法，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 No. 910-50, 1991年8月
- (2) Three-dimensional diagnostic wind field and transport model, Los Alamos National Laboratory
- (3) HOTMAC/RAPTAD, Yamada Science & Art Corporation
- (4) 長井：風況解析プログラム (WASP) について，第12回風力エネルギー利用シンポジウム，p 45, 1990年11月
- (5) European Wind Atlas, Riso National Laboratory, p 55-65, 1989
- (6) I. Troen, Anne De Baas: A spectral diag-

- nostic model for wind flow simulation in complex terrain, Proc. of EWEA conference, p. 243-249, 1986
- (7) 松坂：風力エネルギーの賦存量の計測，計測自動制御学会第129回東北支部研究集会資料，No. 129-9, 1991年
  - (8) 松坂：風況解析プログラムWASPによるWind Atlasについて，第13回風力エネルギー利用シンポジウム，p. 45, 1991年11月
  - (9) 松坂：風力エネルギーの賦存量推定シミュレーション，第11回シミュレーション・テクノロジーコンファレンス，p. 149
  - (10) 松坂他：三次元地形データを考慮した風力エネルギーの賦存量推定シミュレーション，平成4年度電気学会全国大会，12-162