

風況予測モデルWind Mapperの開発

モデルの概要と検証計算

大塚 清敏 齋藤 隆雄
片岡 浩人 川口 彰久
(本社エンジニアリング本部)

Development of a Wind Prediction Model Wind Mapper

An Outline of the Model and its Validation

Kiyotoshi Otsuka Takao Saito
Hiroto Kataoka Akihisa Kawaguchi

Abstract

A wind prediction model called "Wind Mapper" was developed for use in designing wind power plants. Wind conditions surrounding an observation site are evaluated by computational fluid dynamics technology from observed data. A multi-nested grid system is introduced in the model to adequately treat winds over surface relief with various space scales. A time-series of speed and direction of wind at arbitrary locations in the target area is the primary product of the model, which will be used to obtain statistical quantities required in individual projects. Validation of the model with observed data at Shionomisaki Peninsula shows good performance in predicting annual and monthly mean wind speeds. Some comments are also made on the application of the model.

概要

風力発電向けの風況予測モデルWind Mapperを開発した。モデルは、風の実測データを用いて周辺地域の風況を予測する。複雑地形に適用するため、気象モデルと風工学的な計算流体力学モデルとを組み合わせ、広域から風車近隣の詳細な風の間までを、ネスティング手法を用いて計算する。急峻地形周辺の風の間を適切に再現するため最新の乱流モデルを取り入れ、樹木などの障害物による抵抗も直接的に取り扱っている。和歌山県潮岬に適用し、そこで行われた風況観測と比較した。その結果、平均風速は年間で2.2%、月別でも10%程度と高い予測精度があることが確認された。また、風速出現頻度に関してもよい再現性が得られた。風力エネルギー賦存量は6%程度の誤差で再現できており、Wind Mapperの高い信頼性を検証した。

1. まえがき

地球気候の温暖化への対策として、再生可能な風力エネルギーの利用は最近特に活発であり、欧米を中心に導入実績が急増している。わが国も温暖化防止京都議定書(COP3)で示されたCO₂の排出削減目標達成のため、2010年までに設備容量で300万kWhの風力発電の導入目標を掲げ、導入の促進をはっている¹⁾。風力発電で得られる電力量は、風の強弱に大きく依存する。発電用風車の建設では、風が強くて多くの発電が可能な場所を適正に選ぶ必要がある。長期間にわたってどの程度強い風が吹くか、風向による頻度はどの程度かなどの風の状況を総称して風況とよぶが、風況の事前把握は、風力発電計画において最も重要である。本研究は、風車建設の好適地選定、発電量予測など、風力発電事業向けの風況予測を行う計算機モデル「Wind Mapper」の開発を行ったものである。

風況予測では、これまでそれぞれデンマークと米国で開発されたWAsP²⁾、AVENU³⁾というソフトが世界的に多用され

てきた。これらは、1年間にわたる風の観測値をもとに、観測地点周辺の風況を推定する。しかし、力学的に線型モデルである両ソフトは、起伏が極めて緩慢な地形のみへの適用が想定されており、日本のような急峻地形をもつ地域には十分に適用できないという問題があった。こうした問題を解決する目的で、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、「5%以上の地形勾配をもつ任意の地域に適用可能で、年平均風速の予測誤差が10%以内」を満たす局所的風況予測モデルLAWEPS(Local Area Wind Prediction System)の開発を行った⁴⁾。LAWEPSは、広域の気象現象をシミュレートする気象モデルと風工学で用いられる計算流体力学モデル(以下風工学モデルと称す)とを組み合わせたもので、気圧配置で決まる広域の風の間から、風車近隣の風の間までを、格子間隔を順次狭めながら段階的に計算する。気象モデル3段階、工学的計算流体力学モデル2段階の合計5段階の領域設定が行われる。天気予報のもとになる気象庁の数値予報モデルの計算結果(GPV: Grid Point Values, 3次元格子点値)を入力条件として用いるの

で、WASPやAVENUのように風観測を必要としない。国内の代表的な複雑地形に適用され、年平均風速の予測精度が確認されている。

しかし、LAWEPSは、年平均風速を求めるためのモデルであるため、月別の平均風速を十分な精度で得ることができないこと、計算の入力条件が上述のNEDOのプロジェクトで標準年として定められた2000年1年間のみであること、など風力発電事業に必要なきめ細かな風況関連の情報を必ずしも十分に提供できない点が残された。一方、事業者の多くは、依然として建設候補地における現地観測の重要性を主張しており、年平均風速を求めるのに長い計算時間を要するLAWEPSよりも、短時間で結果を得られる手法に対する要望が大きい。Wind Mapperは、こうした要望に応えるために開発された。本報では、Wind Mapperの概要および適用検証事例を紹介する。

2. Wind Mapper

2.1 基本的な考え方

2.1.1 Wind MapperとLAWEPSとの相違 Wind Mapperは、風車建設候補地点や候補地域内で行う1年間の風況観測による風向・風速の実測データにもとづいて、観測地点周辺の風況を推定する。このとき風況予測の基になる観測点を風況参照点という。風況観測データを活用する点は、LAWEPSと大きく異なっている。ここで、1で述べたことに加えて、Wind MapperとLAWEPSとの違いについてさらに述べておく。LAWEPSは、1年間の風況を計算するのに、6日毎に1日あたり4時刻を対して1月から12月までを時系列的に計算する。気象モデルの計算結果は標準年の2000年のものがデータベース化されて全国について整備されており、それを入力条件として工学的計算流体力学モデル2段階の計算を行う。このとき、計算流体力学モデルの計算ケース数は488となり、長時間の計算時間が必要となる。これに対し、2.2で詳述するように、Wind Mapperは、評価対象地域に対して原則として16風向の風の定常計算を行い、観測された10分平均風向・風速値を用いて計算結果を風向ごとに補正し、風況を求める。このため、Wind MapperはLAWEPSと比べ、計算時間が大幅に短縮される。現地観測は費用と期間を要するが、得られたデータは対象地点の風況の特性をそのまま有したのとなっており、そうしたデータに基づいて風況推定は、より現地の実状を反映したものであると考えられる。Wind MapperとLAWEPSは、風況観測データの利用可能性の有無によって使い分けられる。

2.1.2 Wind Mapperの構成 日本の国土は、大きい山稜から小高い小丘まで大小さまざまなスケールの起伏が混在し、地形条件はきわめて複雑である。風車に吹きつける風は、近隣地形・障害物だけでなく、遠方の山岳の影響も受けている。これらを適正に取り扱い、風車近隣の風場を詳しく求めるため、Wind Mapperでは原則的に3段階にネスティングされた計算領域を用いる。外側から内側に向かって、第1、第2、第3領域と称する。

最も外側の第1領域は100～200km四方程度の広さをもっており、大規模な地形上の風場を、大気温度・密度成層や地球の自転等、気象学的な機構を考慮して計算する。これに対し最も内側の第3領域は、1～2km四方程度、水平格子間隔は最小10m程度で、風車近隣の小規模地形や、樹木などの障害物の影響を受けた風を計算する。中間に位置する第2領域は、第1領域で計算された広域の風場を受けて、第3領域に流入する気流を作るための領域である。10数km四方程度の広さを持ち、水平格子間隔は100～200mである。中規模の山岳や丘陵・谷、あるいは樹木などの影響が取り扱われる。概略的な風況予測では第2領域までで十分な場合も多い。計算領域についてまとめるとTable 1のようになる。

第1領域の風の計算には局地気象モデルを用いる。第2、第3領域は、水平分解能が高いので、谷と尾根が連続する丘陵地帯のような小刻みに変化する地面起伏や、急峻な地形の背後に生じる気流の剥離現象、樹木の抵抗などの影響を受けた風場の再現を行う。特に、第3領域は、微細地形や樹木の影響を精密に取り扱い、風車位置の詳細検討に必要な情報の提供を行う。そのため、第2、第3領域は風工学で用いられる計算流体力学モデルを用いる。

2.2 風況計算のアルゴリズム

前述のようにWind Mapperは、風の実測データ（10分間平均値）を参照して、実測地点周辺の風況を推定する。実測データとしては、観測塔による風況観測データ、気象官署のデータ、高層気象データなどが利用可能である。以下の手順に従って計算を行う。

2.2.1 基本風況データの作成 まず、評価対象地域について、計算領域内部の風速・風向分布を予め3次元的に計算する。このときの流入風は、最も外側の第1領域の側面境界に最低16方向で与える。風向は地衡風の風向である。流入風の高さ方向の風速分布は、地上約1000m以上で風速10m/sの様な地衡風速になり、それ以下では水平方向の一様性を仮定した気象モデルから計算された分布をもつ。各風向について第1領域の気象モデルの計算を行った後、後述する方法で初期・境界条件を設定して第2領域、第3領域の風を順次計算する。この計算から、流入風の全ての風向に対して、第1から第3領域までの風速分布($u(i,j,k,n,l)$, $v(i,j,k,n,l)$, $w(i,j,k,n,l)$)が、3次元的に求められたことになる。ここで、 i, j, k は格子点の番号、 n は流入風の風向、 l は第1、第2などの領域の番号である。最も格子が細密な領域の風速分布(通常は第3領域、つまり、 $l=3$)を基本風況データと呼ぶことにする。

Table 1 ネスティングにおける領域設定
Description of the Individual Computational Domain

領域	領域規模	水平分解能	鉛直規模	モデル
第1	100～200km	500m～1km	15km	気象
第2	10～20km	100～200m	5km	風工学
第3	1～2km	10～40m	2km	風工学

2.2.2 実測風速の取り込み 基本風況データ風速は、与えられた流入気流に関する風速である。そのため、参照点における風況観測データを用いて実際の風速へ変換する。実測は10分間あるいは1時間の平均風速、およびその間の最多風向として与えられる。時刻tの実測風速を $V_{obs}(t)$ 、風向を θ （風向北が0,時計回りに360まで）とし、計算領域内の観測点における風向が、実測の風向に最も近いものを基本風況データから選択する。そのときの風向を $m(t)$ とする。風況観測点は、計算の格子点とは一般に一致しないので、実測との対比には観測点を囲む最近隣の8個の格子点からの線形内挿によって求められた風向・風速を用いる。風向 m の基本風況データの、参照点に対応する点における風速を $V_0(m(t))$ とすると、因数 $r(m(t))=V_{obs}(t)/V_0(m)$ を、風向 m の基本風況データに乗じることによって、風速分布 $(ru(i,j,k,m(t),l), rv(i,j,k,m(t),l), rw(i,j,k,m(t),l))$ を得る。これは、観測点において時刻tの実測と一致するような3次元風速分布になる。得られた風速場を、その時刻における（例えば）第3領域の風速場と見なす。全ての観測について同様の操作を行うことで、計算領域の任意の格子点 (i, j, k) について、実測と同じ時間間隔で風速の時系列が求まる。この時系列から、任意の格子点の年平均風速、月平均風速、風速・風向出現率などの統計量を計算することができる。また、高さ方向に適当な内挿を行うことにより、任意高度におけるこれらの量を同様に求めることができる。

2.3 モデルの基礎式

第1領域には、局地気象モデルを用いる⁵⁾。局地気象モデルは、3次元の圧縮性・非静水圧の流体力学方程式系に従うものである。大気に特有な気温・空気密度の成層や地球自転の転向力が考慮されている。乱流モデルは、乱流エネルギーのみを予測するいわゆる1方程式モデルを採用している。地面における摩擦力は、温度成層の影響を考慮したMonin-Obukovの相似則で評価している。記述座標系は水平方向にはデカルト座標、鉛直方向には地面起伏にそった曲線座標が用いられている。大規模な起伏を越える成層流に特有の内部重力波やおろし風などの再現可能な仕様となっている。

第2,第3領域の風工学モデルは、一般化曲線座標 (ξ, η, ζ) でかかれた3次元非圧縮のレイノルズ平均流モデルである。乱流モデルは改良型の $k-\varepsilon$ モデルである。地形起伏上の気流の性状を特徴づける種々の要素を考慮するため、長野等の混合時間スケールの考え方にしたがって通常の k -モデルで使用される乱れの時間スケールと平均流の速度勾配による時間スケールの調和平均を用いた時間スケールを使用している⁶⁾。同時に、地面付近の低レイノルズ数効果のモデル化、地面粗度の影響を取り扱うための新たな壁面影響関数の提案を含んだものになっている。基礎方程式は次の通り。

連続の式:

$$\frac{\partial \langle \hat{U}_i \rangle}{\partial \xi_i} = 0 \quad (1)$$

運動量の輸送方程式:

$$\frac{1}{J} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle \hat{U}_j \rangle \langle u_i \rangle}{\partial \xi_j} = - \frac{\partial}{\partial \xi_j} \left\{ \xi_{jx_i} \left(\frac{1}{\rho_0} \langle p \rangle + \frac{2}{3} k \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial \xi_j} (2\nu_t \xi_{jx_i} S_{ki}) - F_i \quad (2)$$

乱流エネルギー k の輸送方程式:

$$\frac{1}{J} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \langle \hat{U}_j \rangle k}{\partial \xi_j} = - \frac{\partial}{\partial \xi_j} \left((v + \nu_t) \xi_{jx_k} \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + \frac{1}{J} (P_{kS} - \varepsilon) + F_k \quad (3)$$

乱流エネルギーの散逸率 ε の輸送方程式:

$$\frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_j \rangle \tilde{\varepsilon}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial x_j} \right\} + \tilde{\varepsilon} (C_{\varepsilon 1} P_{kS} - f_\varepsilon C_{\varepsilon 2} \tilde{\varepsilon}) + f_w \nu \nu_t \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial x_j \partial x_k} \frac{\partial^2 \langle u_i \rangle}{\partial x_j \partial x_k} + F_\varepsilon \quad (4)$$

$$\text{ここで, } \varepsilon = \tilde{\varepsilon} + 2f_D \nu \frac{\partial \sqrt{k}}{\partial x_j} \frac{\partial \sqrt{k}}{\partial x_j}$$

$$\langle \hat{U}_i \rangle = \xi_{ix_j} \langle u_j \rangle \quad (5)$$

$$\xi_{ix_j} = \frac{1}{J} \xi_{ix_j} = \frac{1}{J} \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} \quad J = \left| \frac{\partial(\xi, \eta, \zeta)}{\partial(x, y, z)} \right| \quad (6)$$

基礎方程式中の記号の意味は次の通り。

$\langle \rangle$ はレイノルズ平均(アンサンブル平均)を表している。 $x_i = x, y, z$, $\xi_i = \xi, \eta, \zeta$ は、それぞれ、3次元のデカルト座標と一般化曲線座標である。 $u_i = u, v, w$ は風速のデカルト座標成分、 $\langle \hat{U}_i \rangle$ は一般化曲線座標における平均速度の反変成分である。 $\langle p \rangle$ は圧力、 C_p は空気の定圧比熱を、 k は、それぞれ乱流エネルギー、および乱流エネルギー散逸率である。また、 ν_t は渦動粘性係数、 P_{kS} は乱流エネルギーのシアー生成率である。 $\sigma_\mu, \sigma_T, \sigma_k, \sigma_{\varepsilon 1}, \sigma_{\varepsilon 2}, \sigma_{\varepsilon 3}$ は定数、 f_D, f_w, f_ε はモデル関数である。さらに、 F_i は、運動方程式中の樹木による抗力、 F_k は乱流エネルギーの樹木による生成項、 F_ε は乱流エネルギー散逸方程式中の生成項をそれぞれ表している。樹木の効果 F_i, F_k, F_ε は、つぎのようにモデル化した。

$$F_i = C_{\beta} a u_i \sqrt{u_j^2} \quad F_k = u_i F_i \quad F_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{k} C_{pe} F_k \quad (7)$$

ここで、 $a(=1.5)$ は葉面積密度 $[m^2/m^3]$ 、 $C_{\beta}(=0.5)$ 、 $C_{pe}(=2.0)$ は、それぞれ抵抗係数、モデル係数である。

式(1)~(4)は、一般化曲線座標 (ξ, η, ζ) 上で空間的に離散化され、数値的に積分して解が求められる。空間的な離散化では、全ての変数を同一の格子点上の値として定義するコロケート格子を用いた。微分は、(2)~(4)の左辺第

2項の対流項は1次精度の上流差分，他は全て2次精度の中心差分で近似されている。時間積分はルンゲ-クッタ法を用いた陽解法で，(1)の連続の式から圧力を求めるのには，HSMAC法を用いた。時間積分は，与えられた初期・境界条件に対し，場がほぼ定常に達するまで行う。

2.4 各領域間のデータ接続

第2領域のモデルでは，第1領域の局地気象モデルの計算結果から初期条件と境界条件とを作成して定常計算を行う。同様に，第3領域は第2領域の計算結果から初期・境界条件を作成して定常計算を行う。異なる領域間では，基礎式の記述座標系，力学構成，モデル内部の物理過程の記述方法が異なる。そのため，モデル間の違いを吸収し得る接続手法（データ接続プログラム）が必要となる。

2.4.1 風工学モデルの初期条件設定 領域間データ接続プログラムは，第1（第2）領域の計算結果を，第2（第3）領域の入力用条件に変換する。両領域間のネスティングに際して粗格子側の計算データを細密格子側の計算格子点上に座標変換を行いながらマッピングする。このマッピングには，アイソパラメトリック変換を用いた。一例として，上述の手順により第1領域のデータから作成した第2領域の初期条件をFig. 1に示す。図には対応する地点の格子点における第1領域モデルの風速と，第2領域の格子点に内挿された風速の鉛直分布を示してある。この図より速度分布がきわめて滑らかに接続されていることが確認できる。

2.4.2 側面境界条件 第2領域の地表，上部および側面などの境界に対して，第1領域の変数をアイソパラメトリック変換によって第2領域境界に内挿して割り当てる。しかし，この内挿によって計算された境界条件は，必ずしも質量の保存を完全には満たしていない。そのため，側面境界条件のうち，速度の法線成分には質量保存を厳密に満足するよう若干の補正を施した。また，風工学の数値計算では，通常，気流の流入境界と流出境界が予め用いる1つの側面境界においても流入部分と流出部分の両方が共存する。同時に，計算流体力学モデルの粗格子，細密格子は，

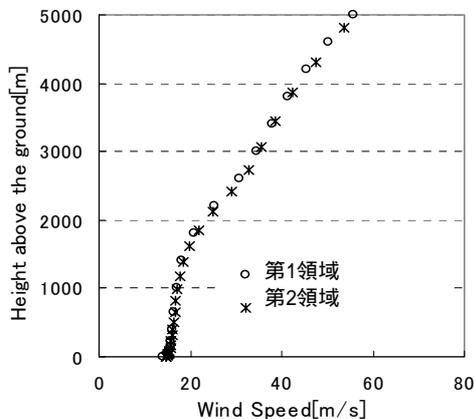


Fig. 1 第1領域と第2領域間のデータ接続例（風速）
An Example of the Inter-Domain Data Transfer

複雑地形上の一般化曲線座標系どうしのネスティングであるため，地面付近では両者の地形分解能の違いにより，座標変換の精度が若干落ちる。こうした事情を鑑み，いくつか試行した結果，最も安定な計算が遂行できる，側面境界における風速を固定する方法を採用することにした。

2.5 領域選定と格子作成

実際に風況計算を行うには，標高や土地利用などの地図データから計算に必要な部分を取り出し，曲線座標による計算用格子を作成する必要がある。しかし，これらは非常に煩雑な手続きである。そこで，Wind Mapperの開発では，その用途のためのグラフィカルユーザインターフェースの開発も合わせて行い，画面操作による処理を可能にした。

地図データは，標準的には，地面標高は国土地理院発行の50mメッシュ標高データ，100mメッシュ同じく国土地理院発行の土地利用区分データを用いるが，民間企業が作成・販売している10mメッシュ標高データや，その他航空測量などによる水平解像度が数m程度の細密な標高，地面障害物高さデータも利用可能である。第2，第3領域の風工学モデルでは，森林以外の土地利用区分では，地面の粗度要素による抵抗を樹木による等価な抵抗力に置き換えて取り扱う方法をとっている。具体的には，土地利用区分ごとにそれらの抵抗を適切に表すような樹高と葉面積密度（葉の繁り具合を表すパラメータ）を設定する仕様となっている。開発などによって土地利用条件が変化した場所については，必要に応じて国土地理院の2万5千分の1地形図の画像を重ねて表示して，画面操作によって土地利用状況を実情に合わせて変更できる機能も有している。同様に，造成などによる地形の改変による標高編集も可能である。Fig. 2，Fig. 3に，それぞれ領域選択，および土地利用編集画面の例を示す。土地利用編集では，例えばFig. 3の赤枠で示すように，適当に指定した多角形の内部を新しい土地利用区分で置き換える。

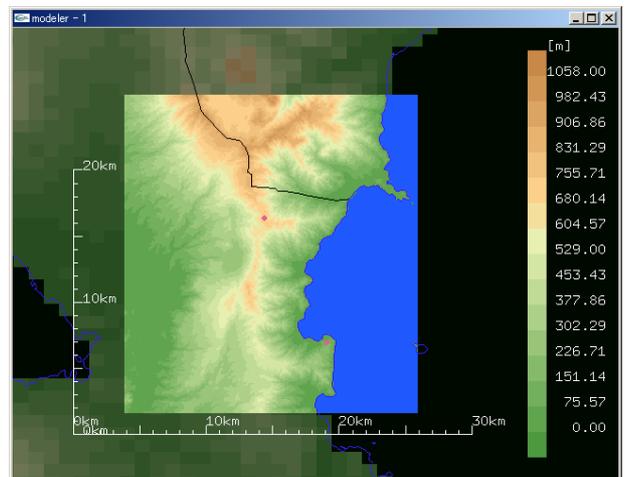


Fig. 2 画面操作による領域選択と地図データの取り出し
Extracting Digitized Elevation Data on Screen

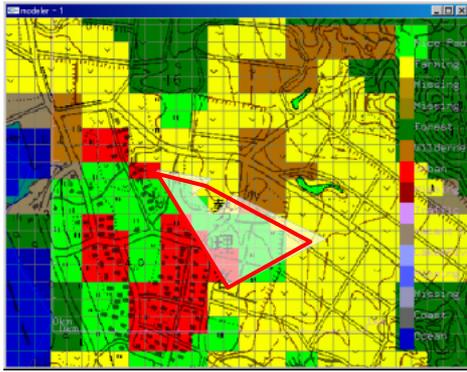


Fig. 3 土地利用区分変更のための領域選択 (赤枠内)
Editing Land Use on Screen

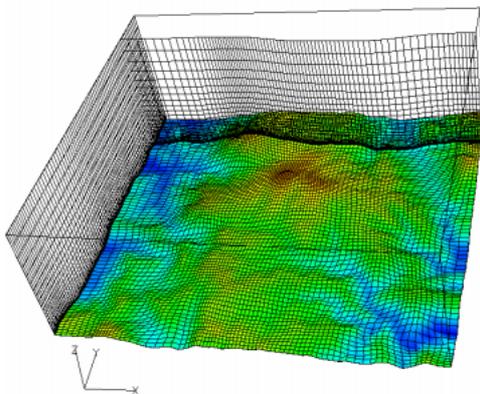


Fig. 4 計算格子 (第2領域の例)
Computational Grid

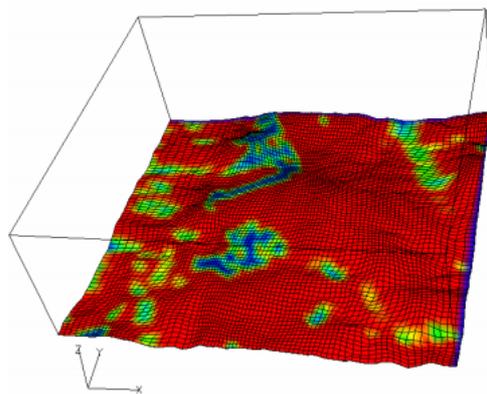


Fig. 5 樹高分布 (青～赤は0～10m)
Distribution of Tree Height

領域選択や土地利用編集が終了すると、計算に必要な格子点数を入力することで、複雑地形上の一般化曲線座標系による計算格子が自動作成される。その際、同時に土地利用データも計算格子に取り込まれる。Fig. 4, Fig. 5は、それぞれ、生成された計算格子と土地利用データから求められた樹高分布を示す。

3. 検証

実測データによるWind Mapperの検証では、評価対象は和歌山県潮岬を選定した。理由は、1で述べたNEDOの風況予測モデル開発プロジェクト⁷⁾において、潮岬の複数箇所で高さ30mの風況観測塔による風の連続観測(地上20mと30mの2高度)が行われているからである。ここでは2箇所の観測データ(10分間平均の風速、風向)を用い、1方の観測点を参照点として他方の観測点の風況を予測し、そこにおける予測値と観測値とを比較した。対象地域の地形および2つの観測点の位置A,BをFig. 6に示す。潮岬は、最高地点が海拔74mと決して高くはないが、西部は台地状で西端や北端の海岸は切り立った崖状地形となっており、東部は大小の谷が入り組んだ複雑な地形をしている。2つの観測地点AとBとの間は水平距離で約3km離れている。

観測地点Aを参照地点として、地点Bの風況を予測した結果を示す。まず、Fig. 7に、地点Aの地上30mにおける月平均風速の実測値と予測値とを示す。地点Aは、風況の参照地点なので、実測値と予測値とは厳密に一致する。評価対象である地点Bの地上30mにおける月別平均風速の実測値と予測値をFig.7に示す。予測値は、実測に見られる月平均風速の季節的な変動をかなりよく再現している。地点Bにおける予測誤差(予測値 - 実測値) / 実測値 × 100(%)は、年平均風速で2.20%であり、予測精度は極めて高くNE DOの風況予測モデルLAWEPSと同等以上である。月別についても誤差はおおむね10%程度あるいはそれ以下に抑えられている。

風力発電量予測においては、風速別の出現率の再現が重要である。それは、風車の発電性能が風速の関数として与えられるからである。Fig. 8に、風速の累積出現率(風況曲線という)を示す。図からWind Mapperから得られた風速の出現率は、実測結果をかなりよく再現している。風力エネルギーの賦存量に直して、実測に対する誤差は6%程度である。

この風況曲線を用いて、モデル風車を想定し、観測およびWind Mapperから得られる年間発電量を比較した。今回は観測データが地上30mのものなので、モデル風車はハブ高さ30m、定格出力300 kWとした。モデル風車の風速別

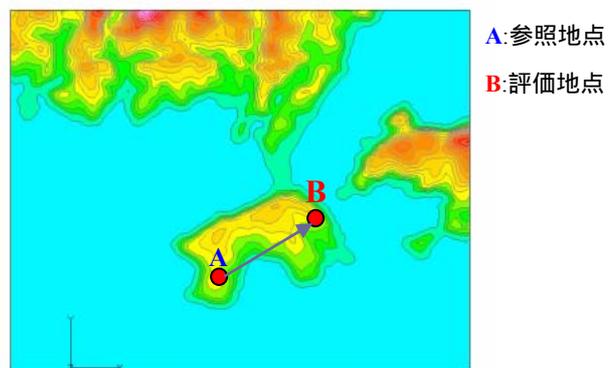


Fig. 6 検証計算領域の地形と参照地点A, 評価地点B
Topography of Test Area and Observation Sites

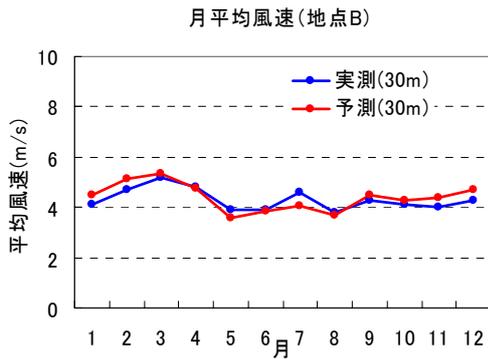


Fig. 7 月別平均風速(地上30m,地点B)
Monthly Mean Wind Speed (30m agl, Site B)

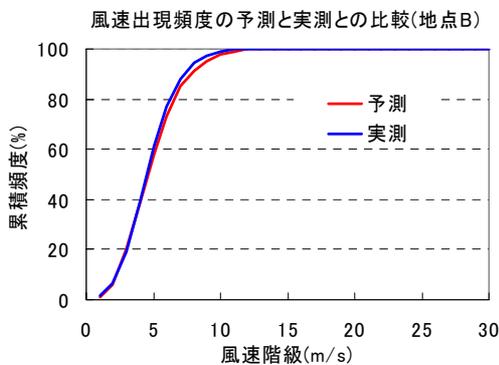


Fig. 8 風速の階級別累積出現率
Cumulative Frequency of Wind Speed Class

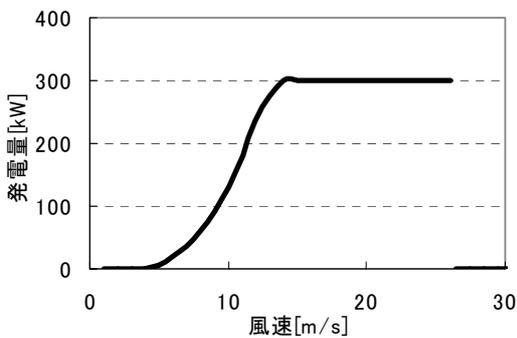


Fig. 9 モデル風車の性能曲線
Power Curve of the Assumed Wind Turbine

発電量(性能曲線)をFig.9に示す。得られた年間発電量は、実測データ、予測それぞれによるものについて168MWh、および205MWhとなり、予測誤差は約18%程度であった。風力エネルギーは風速の3乗に比例するので、ここで得られた精度は、Wind Mapperによる発電量の実用的な予測が可能であることを示している。

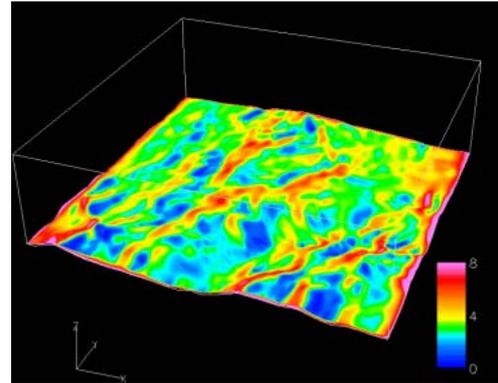


Fig. 10 地上高30mの年平均風速分布(風速範囲:0~8m/s)
Annual Mean Wind Speed at 30m above the Ground

Fig.10には、Wind Mapperで得られた、山岳地域の地上高度30mにおける年平均風速分布の例を示す。こうした図を利用することにより、風車の最適な建設位置の選定を効率的に行うことが可能となる。

4. あとがき

本研究では、計算流体力学的手法により、風力発電事業のための風況予測を行うプログラム「Wind Mapper」を開発した。ここでは、Wind Mapperの構成や基礎式を示すとともに、検証計算として、和歌山県潮岬に適用し実測データと比較した。その結果、平均風速は年間2.2%、月別でも10%程度と高い予測精度があることを確認した。また、発電量予測において重要な、風速出現頻度(風況曲線)についてもよい再現性が得られた。さらに、予測風況曲線から計算された風力エネルギー賦存量では、実測から得られたものを6%程度の誤差で再現できており、Wind Mapperの高い信頼性を検証した。

参考文献

- 1) 牛山泉：風力エネルギー利用の課題、シンポジウム「風力発電タービン最適立地探査法」論文集、pp.1~8、(2002)。
- 2) Sandström, S. *Wind Energy Report* WE 94:2, Dept. of Meteorology, Uppsala University (1994).
- 3) P.B.S. Lissaman, D.R. Foster, J.H. Rumbaugh, C. Boulder, Technical description of AVENU, *Proc. Annual Meeting of ASES*, Denver, Colorado, June 19-22, (1989).
- 4) 村上周三, 持田灯, 加藤信介: 風力発電サイト立地選定のための局所風況予測モデルの開発, 日本風工学会論文集, 第91号, pp.9-16 (2002)
- 5) 大塚清敏: 地域気象モデルによる複雑地形上の風の場のシミュレーション, 第13回風工学シンポジウム論文集, pp.585-592, 1994.
- 6) Abe, K., T. Kondoh, Y. Nagano (1994). *Flow field calculations*, *Int. J. Heat Mass Tra.*, 37, No.1, pp.139-151, (1994).
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 離島用風力発電等技術開発「局所的風況予測モデルの開発」, 平成13年度報告書, 2002