

3次元地形因子を考慮した Wind Atlas データベース構築に関する基礎研究

松 坂 知 行*

Investigation on Wind Atlas data base considering three dimensional complex terrain

Tomoyuki MATUZAKA

Abstract

Wind energy is renewable and clean in environmental aspects, and besides one of the most promising new energy resources from economical points. For the utilization of wind energy, it is necessary to measure wind data using an anemometer on the site. However, such measurement method necessitates a number of instruments with increase of measurements. Hence, it is necessary to study estimation method of wind resources using as possible as less observation points. Numerical method is one of the useful methods. Some computational codes have been developed so far, and among these, WASP, which was developed by Riso National Laboratory in Denmark, is considered to be the most reliable and suitable code to estimate wind resources in complex terrain as in Japan.

This paper presents comparison between measurements and estimated results of Tappi and Siriya using WASP, and describes the method to constitute Wind Atlas data base.

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。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、Mwクラスの技術開発、日本全体の風況観測が続けられている。また電機工業会にも風力発電部会が組織されたり、わが国ではじめての実用規模のウインドパークが竜飛に建設されるなどようやく関心が高まってきた。し

平成3年12月15日受理

* 情報システム工学研究所教授

かしながら風力先進国ではすでに風力エネルギー賦存量算出の基礎になる Wind Atlas が完成しているのに比べて、わが国では賦存量算出の正確な基礎になる Wind Atlas はいま端緒についたばかりである。従来気象庁の 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したデータは公表されているが、実際に風車が設置される設置点は測定点から遠く離れた山岳地帯であるため地形の起伏や森林などの影響を受け、このようなデータで推定すると大きな誤差が生じる。そこで 3 次元地形データを考慮してより正確に風力エネルギーの賦存量を算出する方法の開発が望まれる。

その方法の一つは模型を製作し風洞実験から得られたデータで予測する方法⁽¹⁾である。この方法では模型を製作する費用、大規模な風洞設備などが必要で、必ずしも容易な方法ではない。またもう一つの方法は気象庁などの定点観測データや燈台など既存のデータを利用して巨視的な立場から予測をし、しかる後に選定した候補地点に風速計を設置して、ある期間継続的に風速、風向に関するデータを採取する従来の手法である。しかし候補地点に多数の風車を設置しようとするならば、データの精度を上げるため複数個の風速計が必要になるので、個々の候補地点に風速計を設置する方法ではデータの採取に費用と時間を必要とする。またこのようにして得られたデータは観測地点の表面粗度、障害物、地形の起伏の影響を受けており、云わばその地点に固有な条件を含んだデータである。そこでこのデータで他の地点の風況を直接的に予測すると誤差が生じてくる。このためできるだけ少ない観測データを用いて、精度よく未観測地点のデータを予測する手法の研究が必要になる。このような方法が開発されれば風車のサイテングに必要な Wind Atlas が作成でき、全国的な規模でデータベース化できれば風力エネルギーの利用に大きなはつみがつくものと思われる。

このような観点から考えられる有力な方法の一つは計算機による数値シミュレーションの利用であろう。実際複雑な地形条件のもとで、精度よく大気汚染物質の拡散の予測を行うプログラムも開発されている^{(2), (3)}。一般にこのようなプログラムは利用者から見ると巨大なブラックボックスであるため、利用に先立ち、組み込まれている数値計算モデルが所望の目的に合致するかどうか、また実績があるかどうかを十分吟味する必要がある。

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 WA^SP を用いた。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と尻屋崎の桑畑山に適用し実測値と計算値を比較してみた。以下その結果を報告する。

2. WA^SP の概要^{(4), (7), (8)}

本節では WA^SP の計算手順と基礎になっている数値モデルについて述べる。

2.1 WAPの計算手順

(a) 風況解析

測定点に風速計を設置し風速、風向の時系列データを採取する。また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

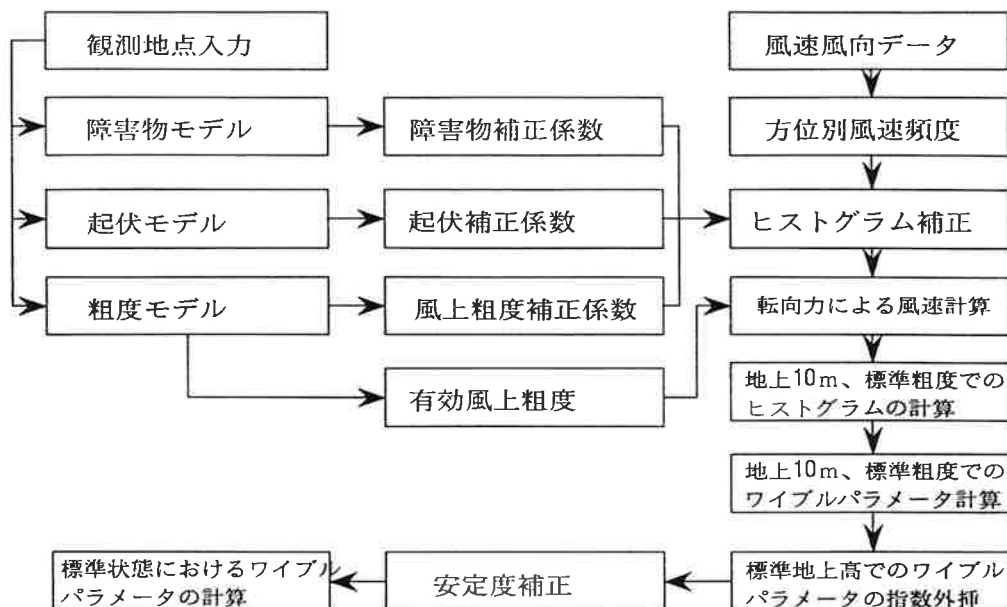


図1 風況解析計算フロー
Fig.1 Wind Atlas analysis flow

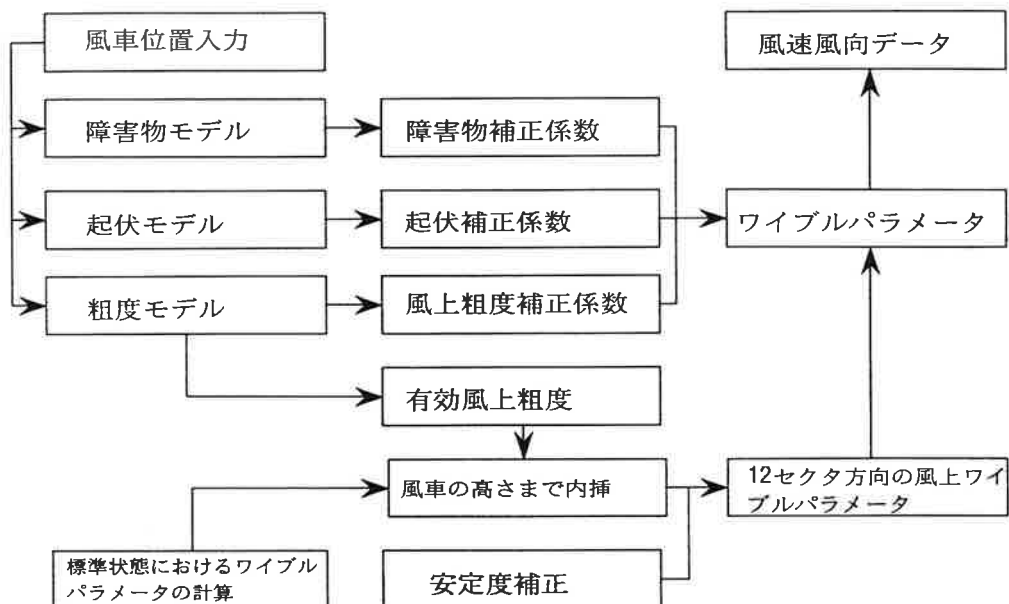


図2 応用解析計算フロー
Fig.2 Wind Atlas application flow

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、他の地点の風況、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、ハブの高さのデータが必要である。この予測は、その地域のどの地点に、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 WAS^P では逆方向計算と呼んでいる。

以上のように(a)、(b)の計算手順により測定データのない地点の風況を予測し、Wind Atlasを作成する。図1に風況解析、図2に応用解析の計算フローを示す。

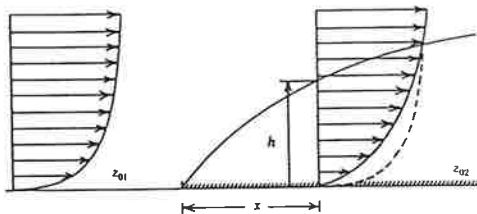


図3 地表粗度モデル
Fig.3 Roughness model

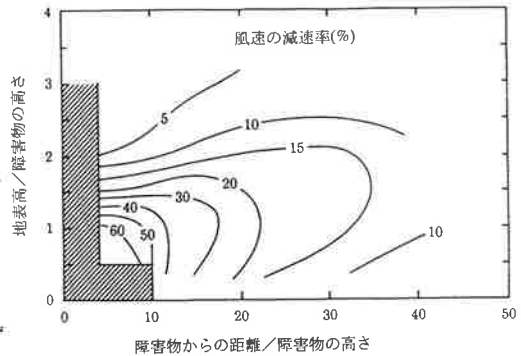


図4 障害物モデル
Fig.4 Obstacle model

2.2 WAS^P の数値モデル⁽⁵⁾

つぎに WAS^P の計算の基礎になっている数値モデルについて述べる。

(a) 地表粗度モデル

図3は地表粗度モデルの概念を示す。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。特に風上側地表の粗度の変化は、風速の鉛直方向の速度プロファイルや下流方向のずり応力に関して影響する。 WAS^P では対象地点を中心に12方位毎に粗度長と被覆距離を入力し地表粗度をモデル化する。このモデルにより風速、風向のワイブルパラメータを補正する。表1は地表面の状態による粗度を示す。

(b) 障害物モデル

図4は障害物モデルである。森林、建造物などの障害物は、観測点近傍で風速の変化に大きな影響を与える。障害物と観測点との位置関係と風通過率

の間には定量的な関係が存在するので、この関係を用いてワイブルパラメータの補正を行う。表2に障害物による風通過率を示す。

(c) 地形起伏モデル

図5に地形起伏モデルを示す。図示のように観測点の周囲に存在する丘陵、山、谷などの高度変化は風の流れに大きな影響を与える。すなわち観測地点が山陰になると風速は減少し、山頂付近では風速が増加する。そこでWASPではBZモデル(Bessel expansion Zooming grid)⁽⁵⁾というモデルに基づき3次元の偏微分方程式を解いて風速の変化を計算し、ワイブルパラメータの補正を行っている。

表1 地表面の状態による粗度
Table 1 Roughness classification

粗度 (m)	地表面の状態
0.40	郊外、地方の街
0.30	森
0.20	多くの木や草
0.05	見晴らしの悪い農地、都市郊外
0.03	ごくわずかの建物、木のある農地、建物や木のある空港
0.01	飛行場の滑走路、刈られている草
5×10^{-3}	むき出しの土(なめらか)
10^{-3}	雪の表面(なめらか)
3×10^{-4}	砂の表面(なめらか)
2.1×10^{-4}	氷域
10^{-4}	水域(湖、公海)

表2 風通過率
Table 2 Wind porosity

障害物	風通過率
壁	0
高密	≤ 0.35
密	0.35—0.50
開放	≥ 0.50

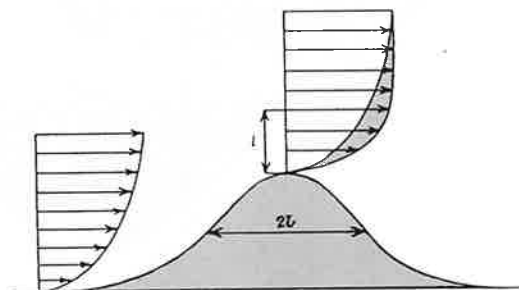


図5 地形起伏モデル
Fig.5 Terrain model

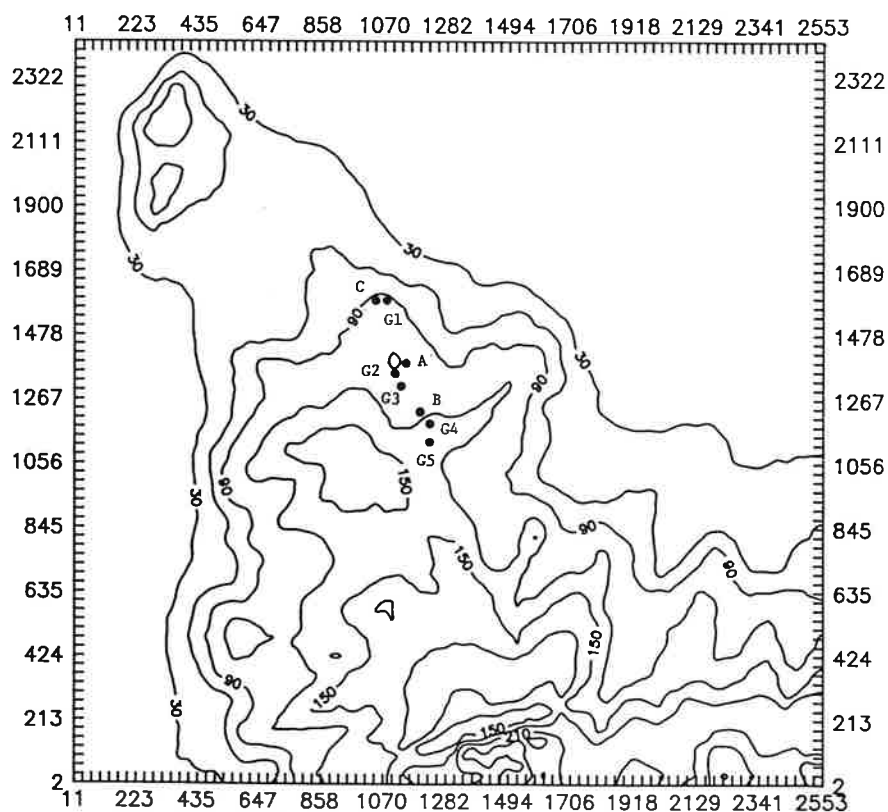


図6 竜飛岬の風速計と風車発電機の位置
Fig.6 The sites of anemometers and wind generators

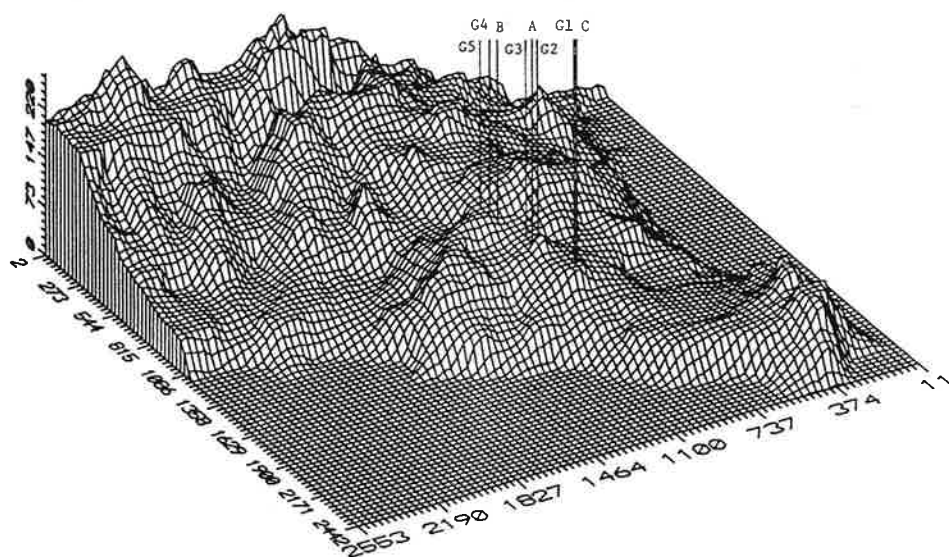


図7 3次元地形表示
Fig.7 Three dimensional terrain of Tappi

3. W^AS^Pによる風況計算

本節では竜飛岬および尻屋崎で実際に観測された風速、風向、観測点周辺の地表粗度、障害物、地形起伏データを用いてW^AS^Pによる計算を行い、実測値と計算値の比較を行ってみる。またこの風況解析をもとにして風車出力曲線、ハブの高さ、設置点の地表粗度などを入力し発電電力量を推定してみる。

3.1 水平方向のデータによる計算

本節では竜飛岬の、地上高10mに設置された、3つの風速計から得られたデータを用いて計算処理を行う。図6に観測点A、B、Cの設置位置を示す。また図7はこれを三次元で地形表示したものである。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。またG1～G5は今回の風車の設置位置である。3個の風速計の内、A、Bは同一メーカーでCは別のメーカーである。風速計の仕様は以下の通りである。

(a) 観測点 A、B

メーカ	牧野応用測器研究所
風速センサ	電接式
始動風速	0.6 (m/s)
風程	1.5 m
風向センサ	光電式
始動風速	0.6 (m/s)
方位	16方位
収録項目	10分間平均風速、風向、瞬間最大風速、風速偏差値
記録媒体	ICカード

(b) 観測点 C

メーカ	小笠原計器製作所
風速センサ	プロペラ軸直結交流発電機
始動風速	2 (m/s) 以下
風向センサ	ポテンショメータ
風速、風向出力	0～1 V (0～60m/s、0～540度)
収録項目	10分間平均風速、風向、瞬間最大風速、風速偏差値
記録媒体	ICカード

観測期間は1991年6月1日～30日、データのサンプリング時間は10分毎であるが、今回は1時間毎の平均値を用い、したがって1日24個、30日で720個のデータである。参考までにW^AS^Pでは最低200個のデータが必要になる。つぎに風向は16方位を測定する風速計を用いているため、W^AS^Pに入力するには12方位に変換しなければならない。このため16方位を一度数値(0～360度)に変換して入力した。したがって風向の誤差は若干含まれるものと思われる。つぎに地表粗

度、障害物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作成した。粗度は表1を参照して決めた。図8、9、10は各測定点の地表粗度を示す。図11は障害物データの入力方法、表3は各測定点の障害物を示す。また地形の起伏データは1/2500の地図を入手し、デジタイザを用いて作成した。また風車発電機による年間発電量を計算するため発電機の出力曲線を、図12に示す。

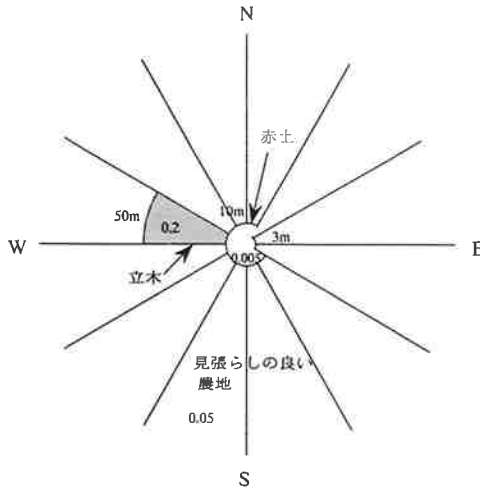


図8 A地点の地表粗度
Fig.8 Roughness at site A

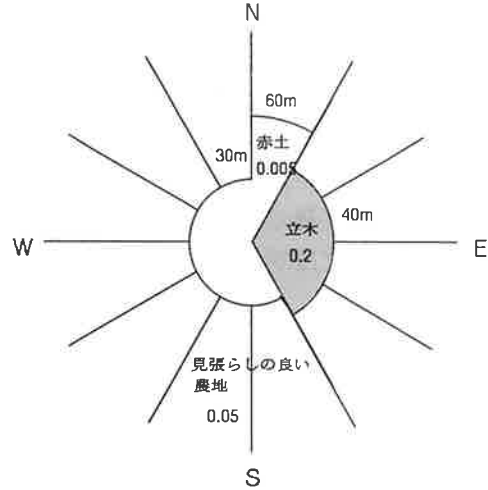


図9 B地点の地表粗度
Fig.9 Roughness at site B

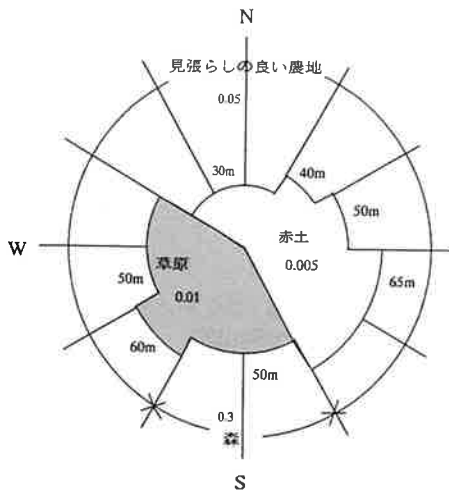


図10 C地点の地表粗度
Fig.9 Roughness at site C

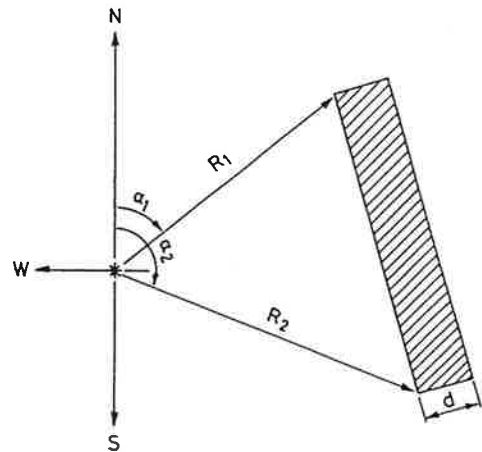


図11 障害物データ
Fig.11 Obstacle data

つぎに計算結果について述べる。表4は観測結果の集計で障害物の影響を除いた、標準粗度におけるデータである。横方向は1000個当りのデータ数に換算した値となっている。表5、6、7はこの表のデータをもとにA、B、C地点にお

ける風速、エネルギーを計算した結果である。表から分かるように地上10mではB、C点では障害物の影響を受けている。これはその方位に草木と建物が存在するため、この影響が現れているものである。しかし30 m（ハブの高さ）ではど

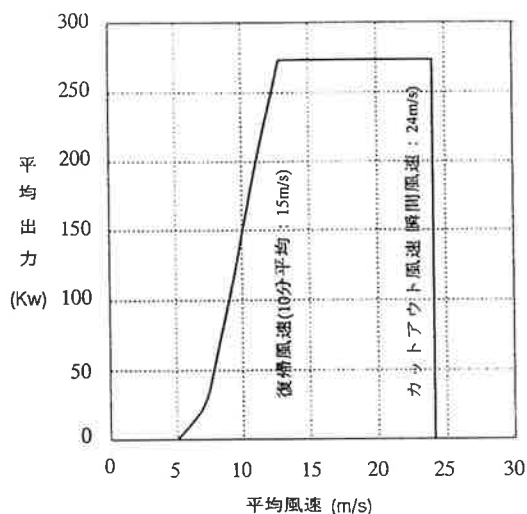


図12 発電機の出力曲線
Fig.12 Power characteristics

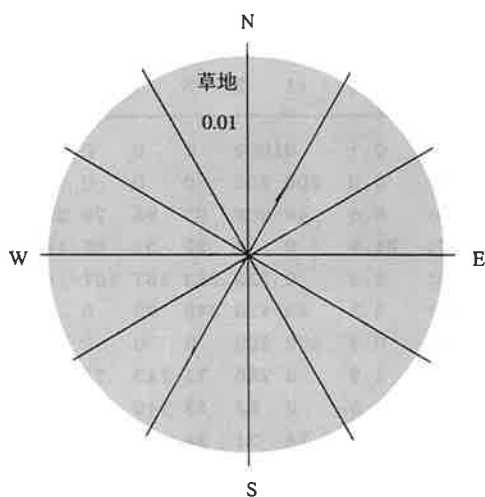


図13 尻屋崎の粗度
Fig.13 Roughness of Siriya

表3 A、B、C点の障害物データ
Table 3 Obstacle data of A, B, C

位置	α_1	R ₁	α_2	R ₂	h	d	p	備考
A	268	23	272	23	2	2	0.0	建物
B	30	5	150	5	15	10	0.10	立木
C	90	35	113	28	7	10	0.0	建物

α_1, α_2 : 角度(度) R₁, R₂, h, d: 距離, 高さ, 奥行き(m)
p: 風透過率

の地点でも障害物の影響は見られないことが確認された。つぎにこれらの計算結果から地表粗度、障害物、起伏の影響を除いた標準風況データ(Wind Atlas)を作成した。このデータをデータベースとして保存しておけば種々の条件下におけるWind Atlasを作成できるわけである。

以上で風況解析が終わったので標準風況データを用いて各測定点のデータを互いに予測してみた。この結果を表8に示す。表中網目をつけたデータは実測値であり、それ以外の点は互いに予測した値である。この表で地上10mでA点の測定データからB、C点の風速を予測してみると3.7(m/s)、5.8(m/s)であり、実測値3.5(m/s)、6.1(m/s)に近い値が得られている。同様にB点からA、

表4 観測データの集計結果
Table 4 Standardized list of observed data

Summary of data in file : B:\TAPPIA.ASC [per mille]
 Number of observations : 719 Observations skipped: 0
 Number of reading errors: 0 Wind speed bin width: 1.0 m/s

Sect	Freq	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
0:	0.1	01000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	10.34
30:	0.6	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.44
60:	8.8	48	206	95	95	79	222	111	79	48	16	0	0	0	0	5.2	2.48
90:	24.9	0	6	22	39	95	196	235	218	95	95	0	0	0	0	7.2	4.08
120:	8.3	0	133	283	167	167	67	83	50	50	0	0	0	0	0	4.3	1.88
150:	3.2	43	478	348	87	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	2.4	1.63
180:	0.3	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.44
210:	1.9	0	286	71	143	71	286	71	71	0	0	0	0	0	0	4.6	2.44
240:	6.5	0	85	43	149	85	298	106	149	85	0	0	0	0	0	6.1	3.72
270:	39.9	14	21	59	70	77	122	157	157	129	136	49	10	0	0	7.8	3.04
300:	5.1	54	81	108	81	189	54	27	0	189	108	108	0	0	0	6.7	1.74
330:	0.3	500	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.44
Total		19	76	82	79	92	150	149	139	99	85	25	4	0	0	6.9	2.75

Number of calms (included): 0 Mean wind speed: 5.8 m/s

表5 A地点の風況
Table 5 Wind Atlas of site A

tappia		10/ 9/91 11:32									
tappi a anemometer		Height: 10.0 m a.g.l.									
Sect	Rch	Input	Obstacle	Orography	A	k	%	P%			
0:	1	0.0%	0°	0.0%	12.2%	4°	:	1.7	0.99	0.2	0.0
30:	1	0.0%	0°	0.0%	12.7%	-3°	:	4.1	1.63	1.9	0.6
60:	1	0.0%	0°	0.0%	4.7%	-7°	:	6.1	2.78	10.6	7.1
90:	1	0.0%	0°	0.0%	-4.9%	-4°	:	7.1	3.94	21.9	23.0
120:	1	0.0%	0°	0.0%	-5.7%	3°	:	4.5	1.87	8.2	2.6
150:	1	0.0%	0°	0.0%	3.5%	7°	:	3.1	1.44	3.7	0.5
180:	1	0.0%	0°	0.0%	12.2%	4°	:	2.2	1.27	0.9	0.0
210:	1	0.0%	0°	0.0%	12.7%	-3°	:	5.3	2.73	2.8	1.0
240:	1	0.0%	0°	0.0%	4.7%	-7°	:	6.8	2.95	11.5	11.6
270:	2	0.0%	0°	0.0%	-3.7%	-4°	:	7.5	2.99	32.2	45.6
300:	1	0.0%	0°	0.0%	-5.7%	3°	:	6.8	1.85	5.1	6.8
330:	1	0.0%	0°	0.0%	3.5%	7°	:	5.5	1.46	1.1	1.1
M= 5.9 m/s		E= 194. W/m ²		P= 332.5 MWh/y		6.6		2.49			

表6 B地点の風況
Table6 Wind Atlas of site B

tappib										10/ 9/91 11:50	
TAPPI B ANEMOMETER										Height: 10.0 m a.g.l.	
Sect	Rch	Input		Obstacle	Orography		A	k	%	P%	
0:	1	0.0%	0°	0.0%	10.8%	3° :	1.6	1.77	0.4	0.0	
30:	1	0.0%	0°	-38.9%	11.3%	-2° :	3.0	1.68	3.0	0.7	
60:	1	0.0%	0°	-70.1%	4.4%	-6° :	2.0	2.42	12.1	0.0	
90:	1	0.0%	0°	-70.1%	-3.6%	-4° :	2.3	3.21	7.2	0.0	
120:	1	0.0%	0°	-70.1%	-4.2%	3° :	2.7	2.85	13.7	0.0	
150:	1	0.0%	0°	-38.9%	3.4%	6° :	4.6	1.88	9.2	11.3	
180:	1	0.0%	0°	0.0%	10.8%	3° :	6.8	3.01	22.7	83.0	
210:	1	0.0%	0°	0.0%	11.2%	-2° :	4.9	2.75	4.8	4.2	
240:	1	0.0%	0°	0.0%	4.5%	-6° :	3.5	3.77	10.8	0.1	
270:	1	0.0%	0°	0.0%	-3.6%	-4° :	3.4	3.82	5.5	0.0	
300:	1	0.0%	0°	0.0%	-4.2%	2° :	3.2	2.29	9.0	0.6	
330:	1	0.0%	0°	0.0%	3.4%	6° :	3.1	2.30	1.5	0.1	
M=	3.5 m/s	E=	65. W/m ²	P=	83.3 MWh/y		4.0	1.65			

表7 C地点の風況
Table7 Wind Atlas of site C

tapp28										10/ 9/91 13:40	
tappi 2804 anemometer										Height: 10.0 m a.g.l.	
Sect	Rch	Input		Obstacle	Orography		A	k	%	P%	
0:	1	0.0%	0°	0.0%	11.9%	5° :	4.0	1.50	0.1	0.0	
30:	1	0.0%	0°	0.0%	13.8%	-2° :	6.3	2.56	5.3	3.3	
60:	1	0.0%	0°	0.0%	5.9%	-7° :	6.6	2.69	22.5	16.4	
90:	1	0.0%	0°	-22.9%	-5.3%	-6° :	4.9	2.08	16.7	5.1	
120:	1	0.0%	0°	-17.8%	-7.8%	2° :	3.0	1.01	2.2	0.7	
150:	1	0.0%	0°	0.0%	2.4%	9° :	2.2	0.85	1.2	0.3	
180:	1	0.0%	0°	0.0%	14.5%	5° :	3.0	0.83	1.2	0.5	
210:	1	0.0%	0°	0.0%	16.0%	-3° :	9.5	2.71	13.2	27.9	
240:	1	0.0%	0°	0.0%	5.9%	-7° :	7.7	2.39	29.0	36.2	
270:	1	0.0%	0°	0.0%	-5.3%	-6° :	7.4	2.32	8.5	9.7	
300:	1	0.0%	0°	0.0%	-7.9%	2° :	6.4	1.62	0.1	0.1	
330:	1	0.0%	0°	0.0%	1.6%	8° :	6.4	1.62	0.0	0.0	
M= 6.1 m/s		E= 261. W/m ²		P= 442.1 MWh/y		6.9 2.07					

C点を予測した値をみると6.3(m/s)、5.3(m/s)でA点では実測値5.9(m/s)に近い値となっている。しかしC点に関してはかなり異っている。また同様にC点からA、B点を予測してみるとそれぞれ6.9(m/s)、4.5(m/s)となりC点からの予測は若干ずれている。しかし予測の傾向はよく出ていると思われる。誤差のこの原因として考えられる理由は、

表8 観測値と推定値の比較
Table 8 Comparison between measurements and estimated values

	観測値(m/s)(地上10m)			
	位置	A	B	C
推定値 (m/s)	A	5.9	6.3	6.9
	B	3.7	3.5	4.5
	C	5.8	5.3	6.1

(a) A、B点の風速計は同一メーカーの同じ型の風速計を用いているのに対しC点の風速計のメーカーが異なる。

(b) B点の粗度、障害物のパラメータの評価が適切でなかった。

などが考えられる

なお参考までに地上30mの推定値を求めてみたが、地上30mでは地表粗度、障害物、起伏の影響が軽減されるので相互の予測値は非常によく合うことが確かめられた。

表9 予想年間電力量と平均風速
Table 9 Estimated annual MWh and wind speed

	予想年間発電量(MWh)および平均風速(m/s)				
発電機	G1	G2	G3	G4	G5
予想発電量	984	653	664	666	666
平均風速	8.8	7.2	7.4	7.2	7.2
推定風速計	C	A	A	B	B

一般に大型風車は地表の影響の少ない、数10mの高さに設置されるのでWA^SPによる予測誤差は少なくなると考えられ実用性は十分あると評価できる。

表9は予想平均年間発電量と設置点の平均風速である。この結果は文献(1)による風洞試験の結果とよく一致していることが確かめられ、WA^SPによる計算の妥当性が示された。

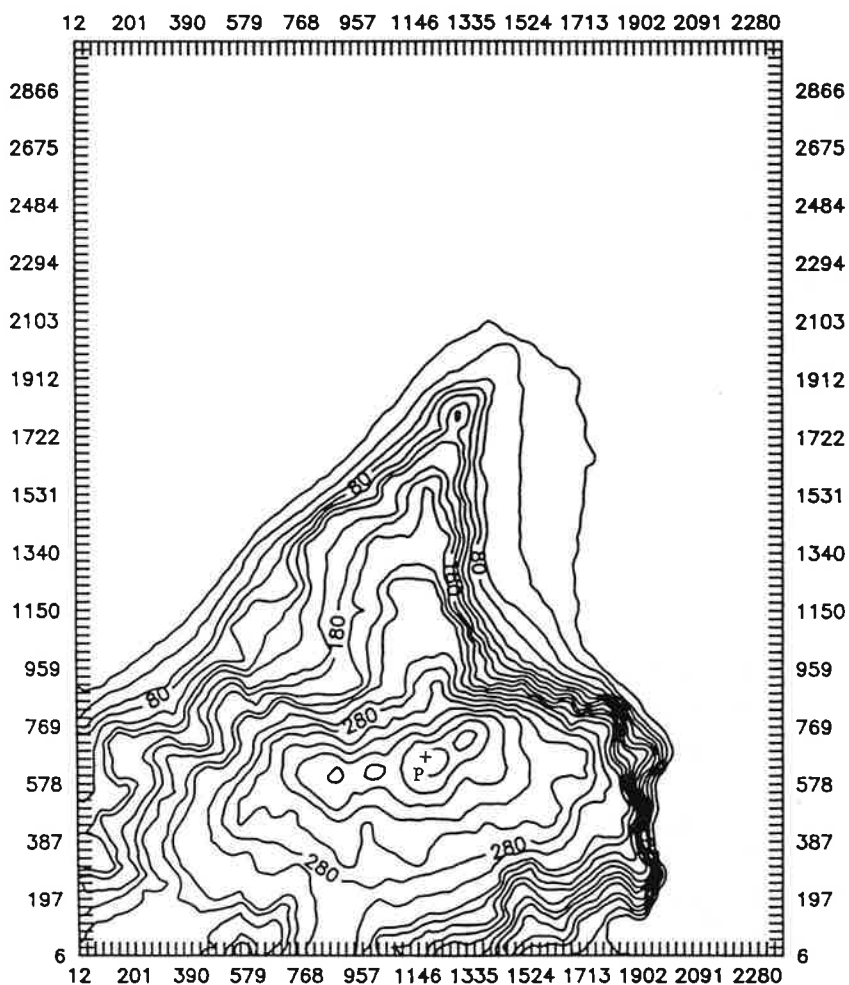


図14 尻屋崎の風速計の位置
Fig.14 The site of an anemometer of Siriya

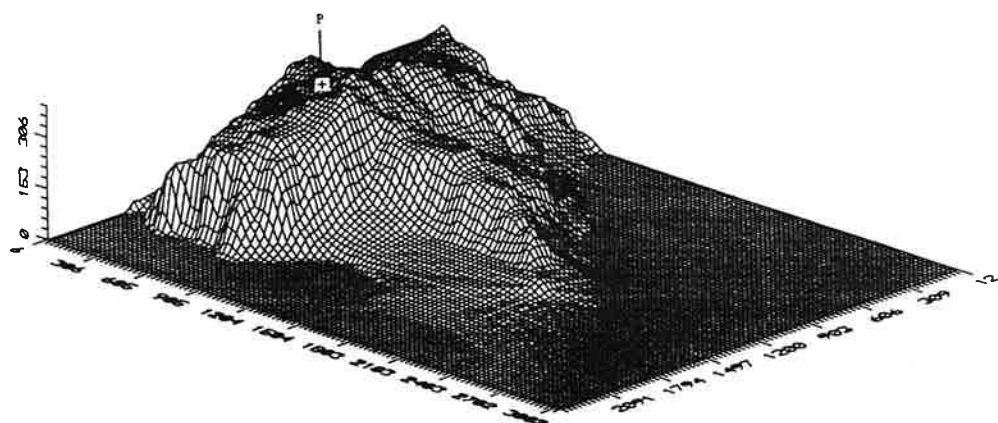


図15 3次元地形表示
Fig.15 Three dimensional terrain of Siriya

表10 尻屋崎の障害物データ
Table 10 Obstacle data of Siriya

位置	α_1	R ₁	α_2	R ₂	h	d	p	備考
頂上	205	31.5	218	27.5	3	2.5	0.0	建物

α_1, α_2 : 角度(度) R₁, R₂, h, d: 距離, 高さ, 奥行き (m)

p: 風透過率

3.2 鉛直方向のデータによる計算

本節では尻屋崎に設置された、地上高10、20、30、40mの風速計の観測データを用いて鉛直方向の観測値と推定値の比較を行った。図14に尻屋崎の地形、図15に3次元地形表示を示す。図10に障害物、図13に地表粗度を示す。表11は観測値と推定値の比較である。表の見方は表8と同じである。表から分かるように地表から離れるにつれて、観測値と推定値が近づいてくるのが分かる。これは地表から離れるにつれて粗度の影響が少なくなるためであると思われる。

4. ま と め

表11 観測値と推定値の比較

Table 11 Comparison between measurements and estimated values

	観測値 (m/s)				
	高さ(m)	10	20	30	40
推定値 (m/s)	10	8.3	7.5	7.8	7.8
	20	9.6	8.6	9.1	9.0
	30	10.3	9.3	9.8	9.7
	40	10.8	9.8	10.3	10.2

以上 Wind Atlas 解析プログラム WAsP を竜飛岬、尻屋崎へ適用し観測値と推定値を比較してみた。この結果実測値と予測値はほぼ一致することが分かった。しかし予測の精度を確認するには今後さらにデータの積み重ねが必要である。また本プログラムの適用に際しては地表からの調査だけでは、その地点の粗度、障害物の平面的広がり、パラ

メータのクラスの評価が難しかった。この広がりを見るためには人工衛星のデータの利用が考えられるが現在入手可能な衛星データの分解能は20 m x 20 m であるので解像度が不足である。入手可能ならば航空写真などを活用するのも一つの方法であろう。

また以上の研究結果から WAsP は日本のような起伏の激しい地形でも適用できることが分かり、したがって WAsP 形式で風況データを構築すれば欧州の Wind Atlas とも比較でき、日本における Wind Atlas データベースの作成上有力な方法であると考えられる。このためのデータとしては風況集計資料、地形起伏の等高線地図があればよい。この2つデータがあれば、候補地点の粗度、障害物、発電機出力曲線をその都度入力することにより年間発電量、平均風速を推定できる。今後全国規模のデータを入力し日本全体の Wind Atlas データベースを作成したいと考えている。

最後に本研究に際し種々資料、機材を提供して下さった佐野女子短期大学の長井浩講師、東北電力の土屋主幹研究員、山田研究員の両氏に感謝する。

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(WA^SP)について、第12回風力エネルギー利用シンポジウム、p45, 1990年11月
- (5) European Wind Atlas, Riso National Laboratory, p55-65, 1989
- (6) I. Troen, Anne De Baas : A spectral diagnostic model for wind flow simulation in complex terrain, Proc. of EWEA conference, p243-249, 198
- (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回研究集会資料、No. 129-9, 1991年
- (8) 松坂：風況解析プログラムWA^SP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、p45, 1991年11月