風エネルギーの広域的推定値と一市域における実測値の比較

山根　彌生*・真鍋　惇*

Comparison between the Estimated Values of Wind Energy in the Large Region and the Measured Values in the City Region

Yayoi Yamane and Atsushi Manabe

Abstract

For the purpose of assessment of wind energy resources at Ube and Onoda city, we analyzed characteristics of wind energy from the wind speed data that were measured at Ube Thechnical College, eight places of yamaguchi airmonitor system in this city region and Mt. Ryuo by chugoku electricity company. The other side, investigations and estimations for wind energy resources all over the country were reported by four research organizations as follows.

(I) the Meteorological Agency
(II) the Science and Thechnology Agency
(III) Tokyo University
(IV) Yamaguchi Prefecture and Yamaguchi University

The wind data in these reports are those of the meteorological observatory and AMeDAS (21Km mesh). Our places in the city region are far away from AMeDAS station about 30Km.

We compared our measured values with estimated values in the four reports about mean wind speed and mean wind energy.

As a result, it was shown that the average value of our places in the city region was within the estimated values of the large region but each values of our places were not within.

1．はじめに

我々は，宇部小野田市域の風エネルギーの資源としての評価を目的として，これまでにここ宇部高専における風向風速の測定とそれによる風エネルギー特性の分析[1)2)3)]，山口県公害センターによる8地点及び中国電力データを利用した宇部小野田市域のエネルギー特性の分析[4)]について報告を行ってきた。一方全国的全県的な視野からの広域的な資源量の調査と推定についての報告が4つある。これらの報告に際し用いられているデータは，主として図1に示すように，

気象官署……山口，下関，萩
地域気象観測システム(AMeDAS)…15ヶ所　21km mesh
山口県大気汚染システム測定局…宇部小野田市域8ヶ所

である。宇部小野田のように，AMeDASの地点から離れている（最も近い所で30km）所に対する推定値と，我々の実測値にもとづく値とはどのくらい一致するか，又は異なるであろうか。このことは風エネルギーがエネルギーの流れとしての連続性保存性と，地理的条件により影響

*宇部工業高等専門学校機械工学科

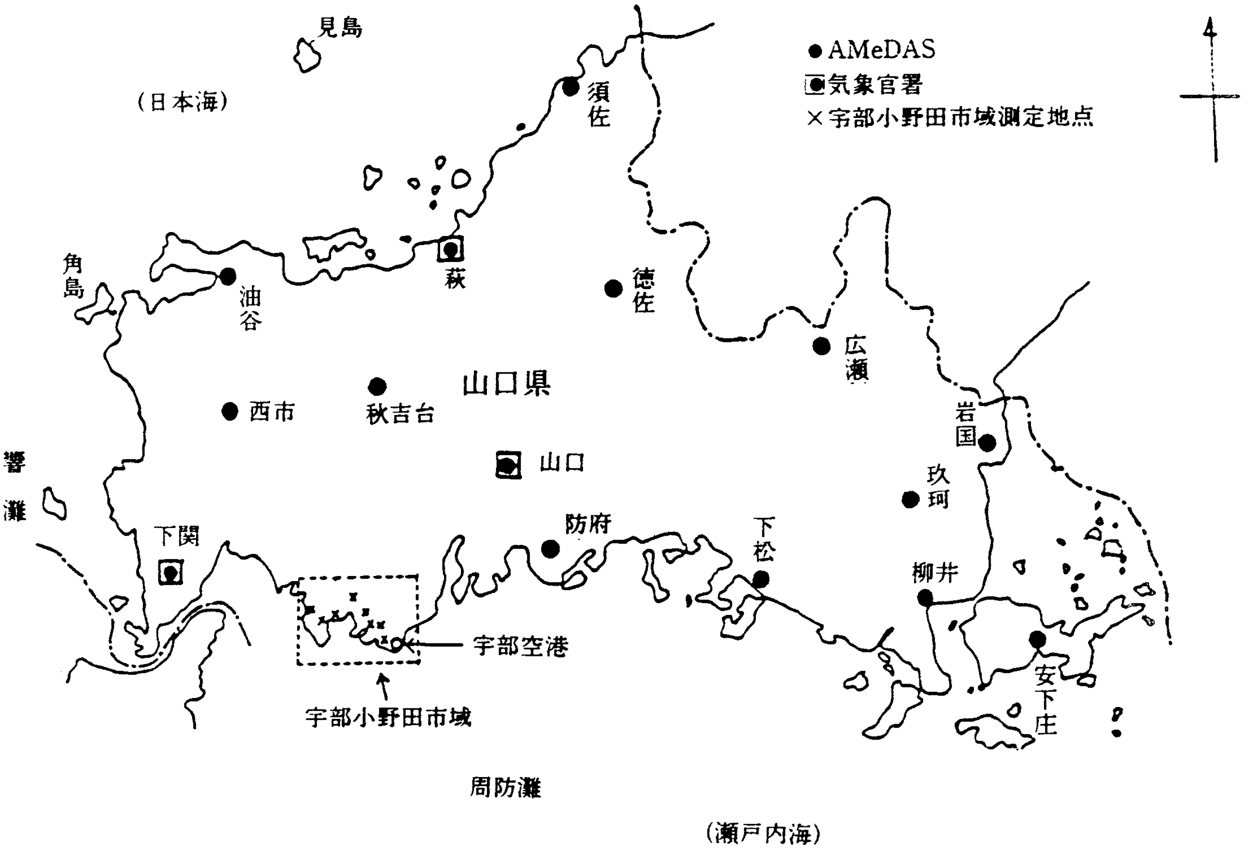

図1 山口県の気象官署、地域気象観測所(AMeDAS)及び宇部小野田市域測定地点

を受ける局所性の問題として興味がある。そして従来の推定法による全国的資源評価の有用性，その誤差の大きさに対して一定の評価を与えることになる。

本論文で比較検討する報告は

I. 気象庁…「西瀬戸地域大気環境調査報告書」[5)]

II. 資源調査所…「風エネルギー利用に関する調査」[6)]
「地域風エネルギーの有効利用」[7)]

III. 東京大学生産技術研究所…
「日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究」[8)9)10)]

IV. 山口県山口大学地域エネルギー研究会…
「山口県地域エネルギー開発利用調査」[11)]

の4つである。

各文献において用いられている観測データは主として気象官署とAMeDASのデータであるが，IVでは，両データだけでは十分に県内の分布を表現できないために，地形を因子化した重回帰式を用いた未観測地点の風速測定を行っている。宇部小野田市域では宇部空港地点(33°55.5' 131°16.6')が風速推定場所に選ばれている。

本論文の2では下関地方気象台宇部空港出張所より入手したデータを用い同地点の風エネルギー特性を明らかにする。これは今までの我々の報告は公害センター8地点のデータをもとにしたものであり，空港地点のデータを含んでいなかったこと，又空港地点のデータを用いればIVとの比較が可能となるために本論文で始めて行う分析である。

3では，本論文で比較する諸報告の概要，この地域に関する主な推定結果をまとめている。

4では，我々の入手した実測値にもとづく値と3による各種推定値の比較を行った。

5では，局所性の観点から宇部小野田市域の風エネルギーの方位別分布を求め，地理的特性を明らかにした。以上より推定方法に対する検討および比較検討した結果明らかになったことを6にまとめとして記している。

2. 宇部空港における風エネルギー特性

下関地方気象台宇部空港出張所より，1978年4月から1982年3月までの5ヶ年の1日8回観測の風向風速データと1979年度1年分の風速記録ロール紙を入手した。1979

年度分についてロール紙より読み取った風速の一時間毎の値をもとに，月別平均風速，月別平均エネルギー量を算出し，１日８回観測の３時間値より算出した値と比較したところ，誤差最大値は風速については，2.43%エネルギーについては7.85%又季別平均値では，風速0.29%，エネルギー1.18%，年平均値では０%，エネルギーでは0.03%となった。したがって１日８回の３時間毎の風速の値を用い，平均風速風エネルギーの算出を行ってもさしつかえないと考えられるので，５ヶ年間の３時間毎の風速値を用い５ヶ年平均風エネルギー量を算出した。観測地点の計器設置高は17.1mであったので，地上高度補正を行い地上10mと20mで値を求めた。高度補正係数は，対数法則より[4]求めたものであり，風速については10mで0.9，20mで1.029，エネルギーについては10mで0.73，20mで1.09を用いている。

宇部小野田市域他地点のデータが年により風速１m/s毎の出現度数分布表であったので，データ処理方式統一のため各月別，各年別に出現度数表を作成し，風速(i－1)m/sからim/sの間の出現度数をD_iとするとき，エネルギー密度Eは $E=\frac{1}{2}\rho\sum_{i=1}^{n}D_i\cdot(i-0.5)^3(WH/m^2)$ として求め，３時間毎の値を用いる場合にはさらに３倍してエネルギーを求めている。ここでρは空気の密度1.2 kg/m³である。

1978年４月から1982年３月までの５ヶ年平均の月別，季節別，年間の平均風速及びその標準偏差と最大風速を図２に示す。高度補正10mで年平均風速は3.41m/sであり，風速は秋季に弱く春から夏にかけて強くなっている。月別では８月に最大の3.92m/sを示し最小は11月の2.84m/sであった。標準偏差は，それぞれの５ヶ年平均値より分散を求め実観測時間により除してその平方根より求めた。最大風速は，各年の最大値のうちで大きい方を選んでいる。

図３は，５ヶ年平均風力エネルギーを示しているが，８月に最大のパワー密度88.6W/m²を示し，最小は12月の46.9W/m²で，夏季に多く秋季に少なくなった。20m高度補正値を考えるならば，風速は高度10mの時に比べ14%増加するが，風力エネルギーは49%と大幅に増大することが分かる。したがって高度20mの風速は８月4.48m/sに対し，風力エネルギーは132.3W/m²と非常に大きい。

風速の相対度数分布と風エネルギーの風速依存率，累積度数分布と累積エネルギー密度，弱風継続時間，累積弱風継続時間，日変化特性，風配図，方位別エネルギー量等についても分析したのであるが，後の議論に際し，平均風速，平均風エネルギーのみ比較の対象としているので，これらはこの論文の最後に附録としてつけ加えた。

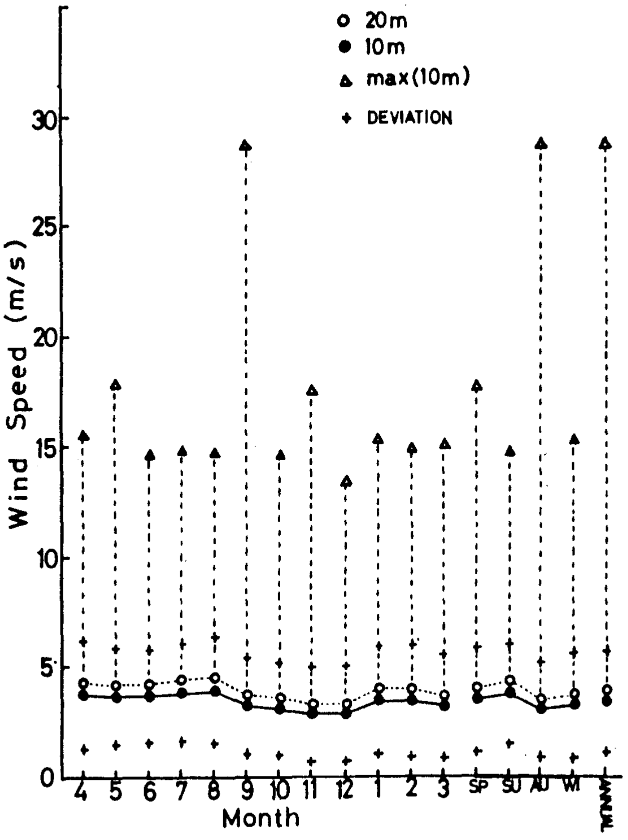

図２　月別，季節別，年間の平均風速及びその標準差と最大風速

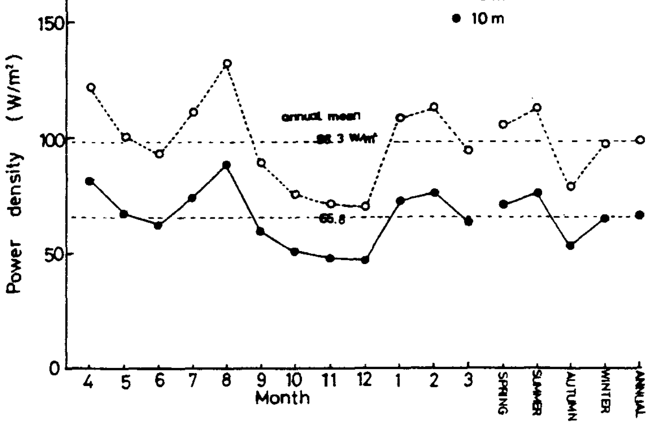

図３　月別，季節別，年間の平均パワー密度

3．比較検討の対象となる諸報告の概要

Ⅰ）気象庁の西瀬戸地域に関する報告で，年平均風速の地理的分布として宇部小野田市域付近の値が分かる分布図が示されている。図4にその分布図の一部を示す。元になるデータは，この地域内の気象官署及び地方公共団体，航空関係官署による既設観測点の資料3年分と，既設観測点のない地区の8地点に自記風向風速計を設置し，1年間連続観測した計30地点の3時間毎の値である。高度補正をしない計器設置高における風速の分布であるから（　）内に10m高度補正した値を記している。

宇部小野田市域の観測地点として既設の分では，下関地方気象台宇部空港出張所，山口県大気汚染システム測定局の1つである小野田工業高等学校（のち小野田消防署に移設）の2地点がある。又二俣瀬農業協同組合には風向風速計を設置して1年分の値を求めている。これによれば，沿岸部から内陸に向かって次第に風速の弱くなることがよく分かる。又周防灘の西側山口県沿岸部は特に風が強い地域となっている。

Ⅱ）資源調査所は，AMeDAS1975年9月から，1978年8月の5～36ヶ月のデータより分析し，地上15mの高度補正により全国の風速分布図を季別に表わし，AMeDAS各地点を6つの風速階級（A，B，C，D，E，F）に分けて示している。データ期間が短いため月別は無理で，主として季節別に解析している。山口県については，山陰沿岸は冬と春に風速強く夏と秋は弱い。下関海峡周防灘周辺は通年利用可能だが，秋は比較的弱いと述べている。

周防灘周辺AMeDAS地点の風速階級は，春季D（3.0～4.2m/s，49～105W/m²）とE（2.2～2.9m/s，28～42W/m²），夏季はDとF（0.0～2.1m/s，0～21W/m²），秋季はEとF，冬季はDとEであった。（但し，数値は10m高度に補正したものである。）

Ⅲ）東大生研は，1980年4月現在風データの観測期間が1年以上ある全国838地点のデータより解析し，10m高度補正により年間平均風速，季別平均風速，年間風力エネルギー，季別平均風力エネルギーの全国分布図を作成した。図5に年平均風速の分布，図6に年平均風力エネルギーの分布を実線で示した。これらによれば，県内では響灘周防灘沿岸部，仙崎港沿岸部の平均風速，平均風力エネルギーが大きいことが分かる。

Ⅳ）山口県，山口大学地域エネルギー研究会は，AMeDASの1979年度分を収集し，1975～1979年の5ヶ年の平均値をもって平年修正係数を求め平年値に修正し，地上10mの高度補正をしている。さらにAMeDASのデータだけでは不十分だとして，県内8ヶ所について地形を因子化した重回帰式を用いて風速の推定を行い，それらをもとに山口県内の風力エネルギー分布図を作成した。

風速推定地点として，AMeDASには含まれないが気象庁所属の無線ロボット雨量計設置地点，地域雨量観測所地点，宇部空港出張所地点とその他に，日本海の角島，見島地点が選ばれている。

AMeDAS地点の年平均風速値と推定地点における年平均風速の推定値を図5に記した。又風力エネルギーの各地点における値と推定値を図6に記し，さらに分布図を破線で示している。これによれば，宇部空港地点の年平均風速，平均風力エネルギーの推定値はそれぞれ2.65m/s，41.3W/m²であった。なお分布曲線の値が整数でないのは，元の分布図の単位がkcal/m²であったので，単位をW/m²の値に統一したためである。

4．実測値と各種推定値の比較

4．1　年平均風速

表1に各種文献より得られた年平均風速の推定値と，宇部空港及び宇部小野田市域8ヶ所の生データより算出した値を示す。

図5の分布図と各地点の値を比較すると，内陸部の盆地又は山岳のためにずれが生じている他はかなりよく合っている。図4と図5を比較すると，図4は周防灘沿岸部についてのデータが図5に比し多く，より詳しい値を知ることが可能となっている。

宇部小野田市域の年平均風速は，図5の分布図により2～3m/s，空港における推定値2.65m/s，空港の値として気象庁によるもの3.2m/s，実測値による5ヶ年平均値3.41m/sとなった。さらに宇部小野田市域8ヶ所の値は2.61～3.15m/sとなっている。空港推定値は実測値によるものに比べ，かなり低めであるが，全国分布図による範囲内には入っている。又宇部小野田市域についてはその範囲からはずれる値もあるが，図4の西瀬戸地域の分

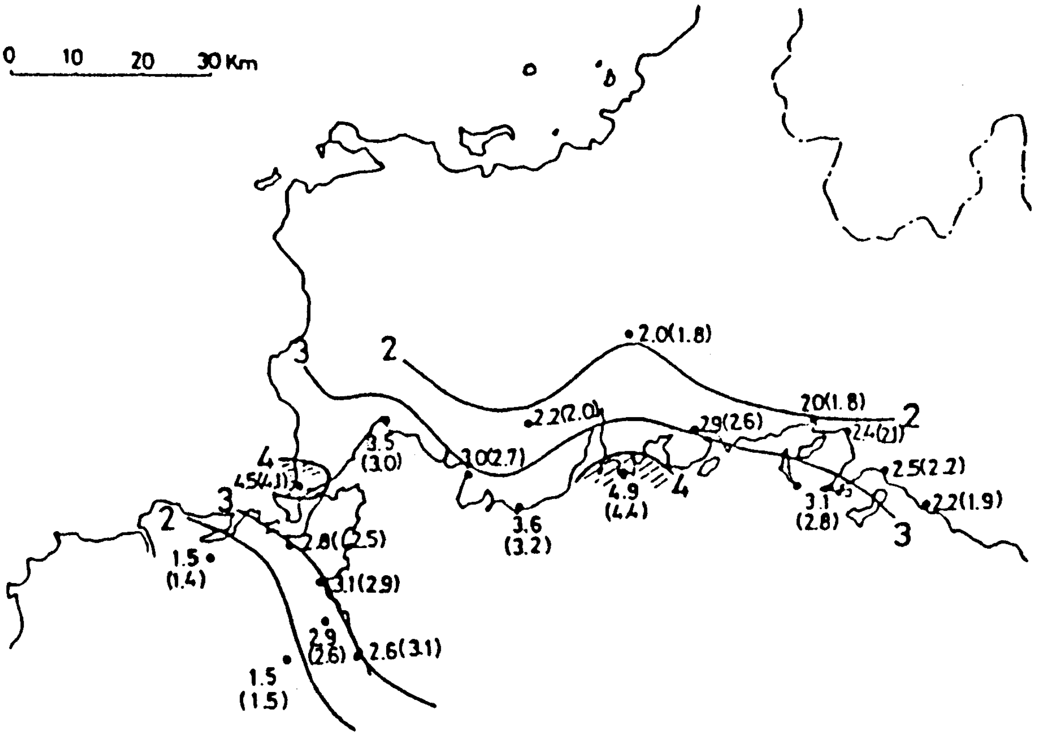

図 4　西瀬戸地域年平均風速の地理的分布

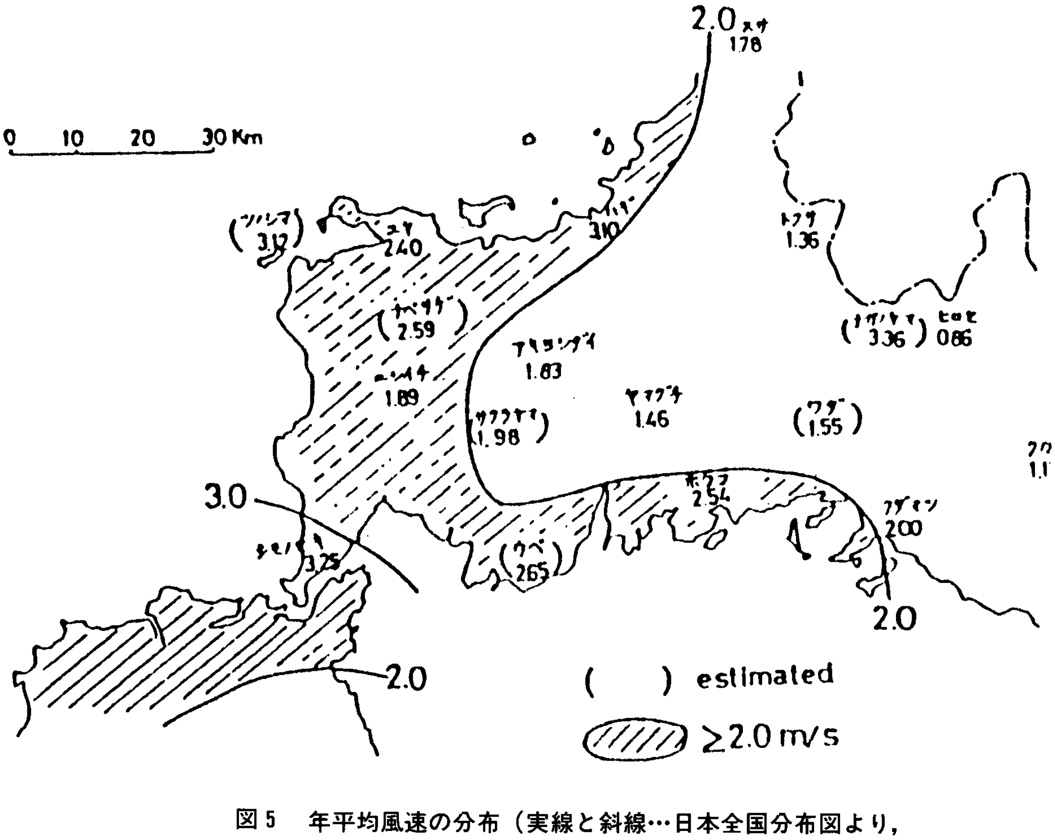

図 5　年平均風速の分布（実線と斜線…日本全国分布図より，
各地点の値…地域エネルギー研による）

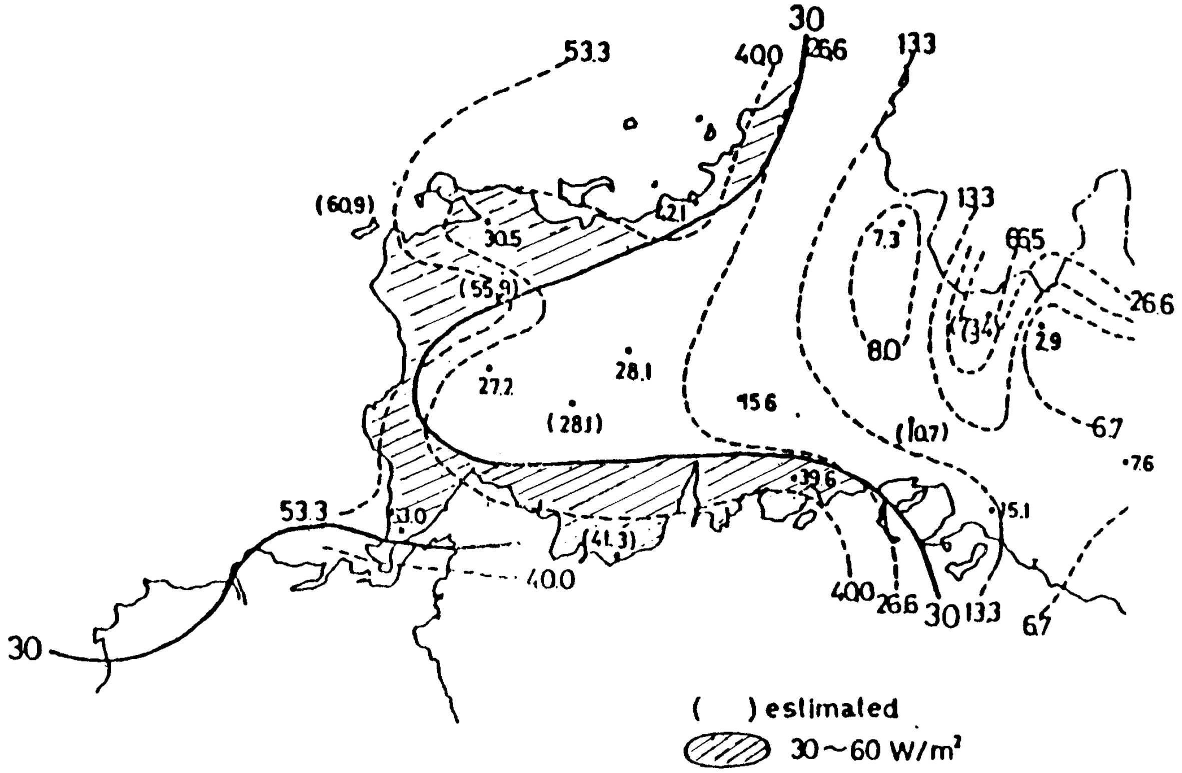

図 6 年平均風力エネルギー（実線と斜線…日本全国分布図より，その他は地域エネルギー研による）

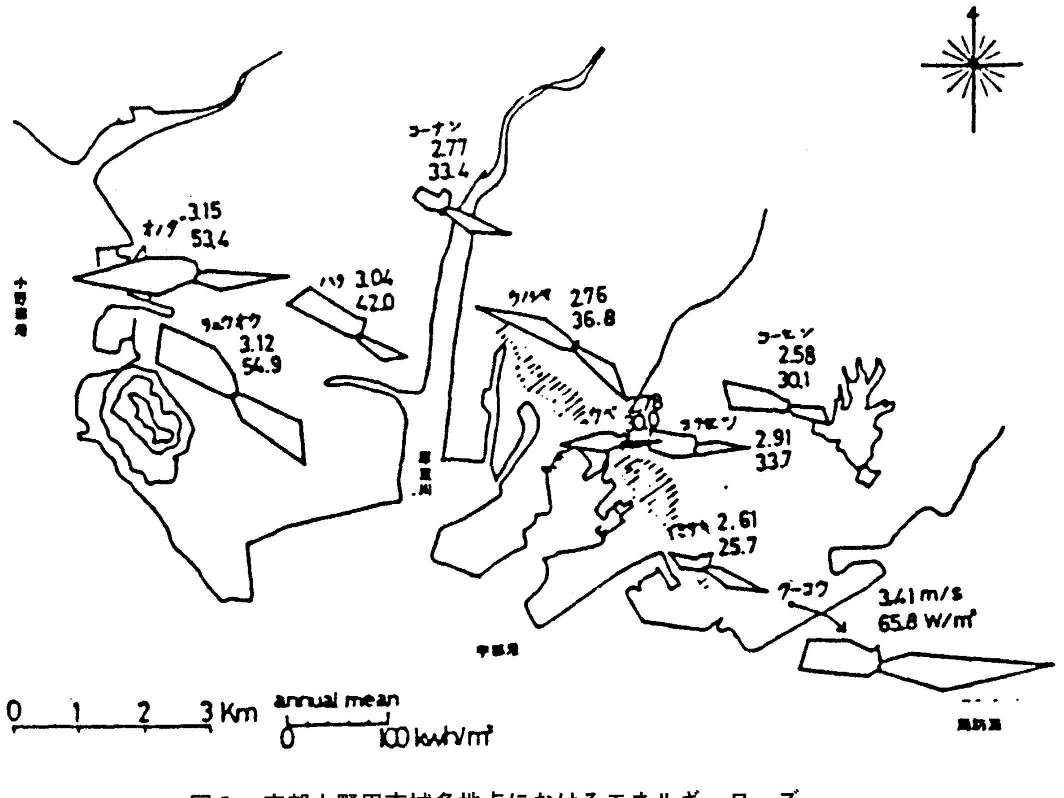

図 7 宇部小野田市域各地点におけるエネルギーローズ

布から見ればかなりいい値であると思われる。

4．2　年平均風力エネルギー

年間平均風力エネルギーの各種文献よりの推定値と宇部空港及び宇部小野田市域８ヶ所の生データより算出した値を表２に示す。

宇部小野田市域の値は，図６の実線部より30～60W/m²又破線部分からは40～53.3W/m²の範囲となり，空港推定値は41.3W/m²であった。又我々が実測値より算出した空港の値は65.8W/m²で，市域８ヶ所の値は25.7～54.9W/m²となった。市域各地点の単純平均値を算出すると41.7W/m²である。したがって広くない地域の平均的な値として，地域エネルギー分布図により風力エネルギー値を知ることはできるが，特定の場所における値は大まかな範囲内でしか分からない。日本全国分布図は全国的な地域間の風速が強いか弱いかの比較には十分といえるが，一地方の局地的な比較は難しい。その場所が山の上か海のそばか盆地など地形の影響により大きな変化をおこす。宇部空港地点についてみるならば，標高は３mで海岸線に近く，東から南にかけて開けた地点であることを考えれば，推定値よりかなり大きな値になったこともうなづける。

4．3　季別変化

表１，表２に年平均値とともに季節別の平均風速，平均風力エネルギー値を示している。

春季には，全国分布図によると周防灘沿岸部の平均風速は２～３m/sであり，風力エネルギーは沿岸部西側で大きな値をとり30～60W/m²の範囲になっている。これを宇部小野田市域の値2.74～3.46m/s, 30.2～67.0W/m²と比較すると，風力エネルギー値はほぼ合っているが，平均風速は市域西側ではかなり大きくなった。市域８ヶ所の平均値をとれば，3.14m/s, 47.0W/m²となり分布図の推定範囲に近いものとなる。宇部空港の推定値は実測値によるものより大幅に下まわった。市域８ヶ所の風力エネルギー値は市域西側よりだんだん減少していると考えられるが，最も東側にある空港地点の実測値にもとづくエネルギー値は逆に大きくなっている。どの季節にも，市域西側に高く，東側に低い風力エネルギーの分布が見られるが，空港の推定値は市域の中間的な値をとっていると考えられ，又空港の実測値にもとづく値は，市域西側最大値と同等あるいはそれ以上の大きな値となっている。秋季の平均風速，平均風力エネルギーはそれぞれ１～２m/s, 30W/m²より小さな値となり，分布の形は他の

表１　平均風速（単位m/s）

	資源調査所	東京大学生産技術研究所	地域エネルギー研による空港推定値	宇部空港5ヶ年平均値	宇部・小野田市域8ヶ所							
					ONODA	RYUO	HARA	KONAN	UNOSIMA	UBE	KOKUSETU	MISAKI
年間	3~4	≧2.0	2.65	3.41	3.15	3.12	3.04	2.77	2.76	2.78	2.91	2.61
春季	2.2~4.2	2.0~3.0	2.80	3.51	3.46	3.37	3.30	3.08	3.08	3.03	3.06	2.74
夏季	3.0~4.2	2.0~3.0 一部>3.0	2.76	3.79	3.31	3.06	2.77	2.77	2.91	2.78	2.89	2.66
秋季	0~2.9	1.0~2.0	2.47	3.05	2.79	2.68	2.81	2.48	2.30	2.53	2.64	2.46
冬季	2.2~4.2	2.0~3.0	2.80	3.26	3.14	3.39	3.29	2.75	2.75	2.86	3.05	2.58

（9ヶ年平均値。但しHARAは3ヶ年平均）

表２　平均風力エネルギー（単位W/m²）

	資源調査所	東京大学生産技術研究所	地域エネルギー研による空港推定値	宇部空港5ヶ年平均値	宇部・小野田市域8ヶ所							
					ONODA	RYUO	HARA	KONAN	UNOSIMA	UBE	KOKUSETU	MISAKI
年間		30~60	41.3	65.8	53.4	54.9	42.0	33.4	36.8	30.0	33.7	25.7
春季	28~105	30~60	44.4	70.6	67.0	63.6	50.7	43.3	47.5	35.3	38.0	30.2
夏季	49~105	>30	32.4	75.2	47.2	46.4	29.4	31.0	32.8	25.7	29.9	24.6
秋季	0~42	<30	32.4	52.6	37.4	38.1	33.8	24.5	24.5	23.6	26.6	21.5
冬季	28~105	30~60	52.4	64.8	65.4	71.5	54.6	34.8	43.0	36.0	40.7	25.6

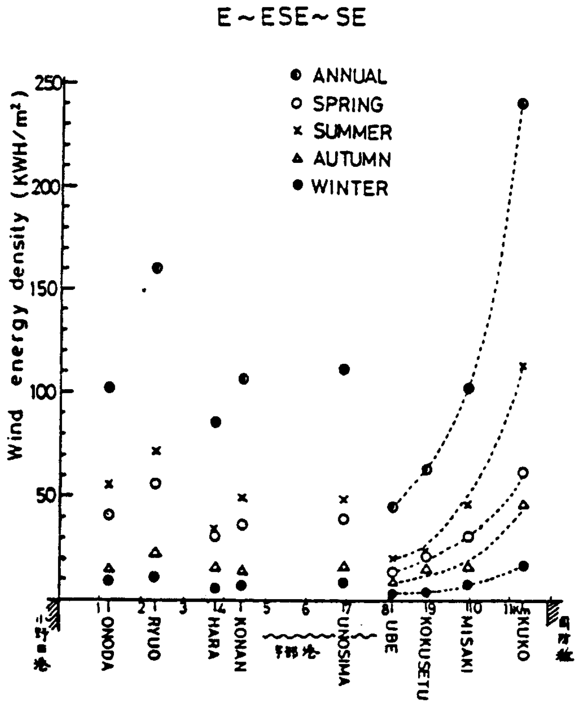

図８　宇部小野田市域各地点のE～ESE～SE方位における平均風力エネルギー量

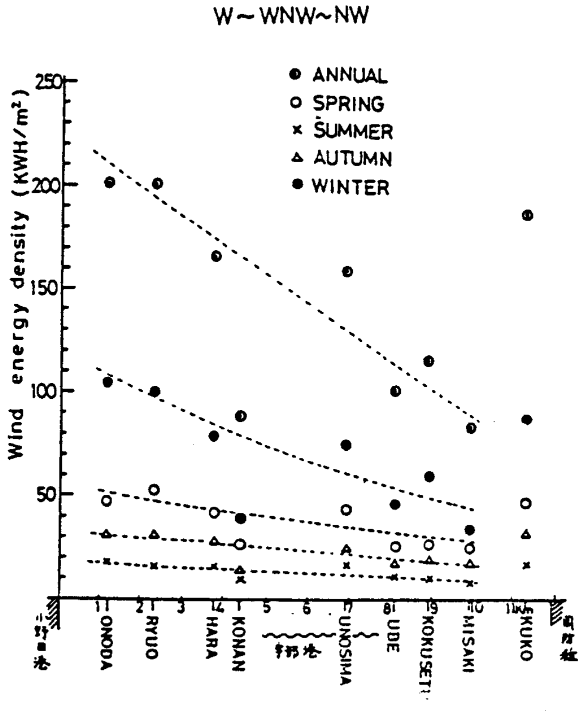

図９　宇部小野田市域各地点のW～WNW～NW方位における平均風力エネルギー量

季節とかなり異なる。

５．宇部小野田市域における風エネルギーの地理的特性

宇部小野田市域８地点の６ヶ年平均と宇部空港５ヶ年平均の方位別風力エネルギーをエネルギーローズの形で図７に示した。又方位と地理的エネルギーの流れの関係を見るために，E～ESE～SE とW～WNW～NW それぞれ３方位ずつの平均風力エネルギー量を算出し，横軸に小野田港を基準とする各地点との距離をとり，各地点における年平均風力エネルギー量の大きさを年間と季節別に図８，図９にプロットした。

図７より，どの地点でも西方向と東方向に風エネルギーのピークがあるが，いずれも地形的な特徴を反映した形となっており，又最多風力エネルギーの方位は定まらず地点によって異なった方位となっている。東大生研の報告でも，風力エネルギーの最大となる方位について地図上に示している。全国的にみると西方向が最大となることが多いが，全県的には地形の影響を受け各地点で様々な方位を示している。又沿岸部に大きな値をもつものが多い。宇部小野田市域においても同様のことが認められた。

図８の東方向の風力エネルギーの分布から，この方向においてエネルギーが最大となるのは四季のうちの夏季であることが分かる。宇部小野田市域東側の地点に着目すれば，どの季節にも東側の地点のエネルギー量が多く，東方向からのエネルギー量は，空港から宇部市域中心部に移動するとともに減少する。

図９の西方向の風力エネルギーの分布では，冬季に入力エネルギー量が最大となる。空港の値を除けば，その他の地点は西側より徐々にエネルギーが減少していると考えられるが，地形等により値の大きくはずれる地点もある。空港地点は，西側は市街地の影響を受けず東側南側ともに海岸線に接した開けた地点となっており，東と西の両方向からの風エネルギー量が多くなる結果となっている。

６．まとめ

風速を推定する一方法としての地形因子解析法は，風や他の気象要素が地形の影響を受けて複雑な地理的分布をすることを利用して，地形の特徴をいくつかの因子に表現し，気象要素との関係を数量的に明らかにすることにより，地図上で計測される地形因子を用いて気象要素

の地理的分布を推定する方法である。地形因子としては標高，起伏度，傾斜量等の地形によるものの他に，海岸距離，海岸度，陸度などの因子を用いている。国土庁により約1km×1kmのメッシュで，平均標高などのメッシュデータが整備されているので，これから地形因子を求めれば，約1kmメッシュでの推定が可能となる。母資料の気象データとして，AMeDAS地点の月平均風速，年平均風速，季別平均風速を使い，同地点における地形因子を用い回帰分析を行って風速の推定式を求めることになる。その際に，標本数が少ない場合には，推定式はその地域に適したものにはなりにくい。有意な回帰式を得るにはその地域での地形をよくとらえ欠けている地形因子を取り上げること，平均風速値の高度補正が適正であるかどうか検討する必要がある。AMeDAS観測網は21kmメッシュであるから大まかな地域の風力エネルギーを探る場合には有効であるが，局所的な地点について細かな分布を求めるには，さらに観測データを増して推定を行うか，その地点について直接計測を行って必要なデータを求めねばならない。データを得る方法として，官庁，地方公共団体によるものの他，会社（例えば中国電力）が公害対策として調査しているデータ等，又，農業関係の対策等のために設けられた農業気象観測所の観測データを収集することにより，地点数を増やすことは可能である。

宇部空港における年平均風速推定値2.65m/s，年平均風力エネルギー推定値41.3W/m²は，広域の全国的全県的な推定範囲内には合ったが，実測値による値は3.41m/s，65.8W/m²となり広域の範囲を上まわった。宇部小野田市域の平均値をとるならば，広域の範囲とよく合うと言えるが，市域各地点の値とはかなりのずれが認められ，局所的な値は必ずしも広域的な推定値と合うとは限らないことが分かった。

このたび，農林水産省農業環境技術研究所は1kmメッシュ単位での地上10m平均風力エネルギーが分かる日本全国地図を作成した。月別に風力エネルギーが分かるほか年間を通しての総風力エネルギーも分かるものである。AMeDAS等の全国835ヶ所で観測した気象データをもとに，地形を考慮しながら観測データのない場所の風力エネルギーを計算したものであり，これを入手することができるならば，又我々の実測値と比較研究することによりさらに興味ある分析を行うことができるであろう。

謝　辞

本研究を遂行するにあたり，資料の提供をしていただいた東京大学生産技術研究所，村上周三先生，下関地方気象台宇部空港出張所，山口県公害センター及び山口県宇部保健所に深く感謝する。

参考文献

1）真鍋惇，山根彌生，金田昭久：“宇部市域における風エネルギー特性Ⅰ”，宇部工業高等専門学校研究報告，28，P57，(1982)
2）真鍋惇，山根彌生：“宇部市域における風エネルギー特性Ⅱ”，宇部工業高等専門学校研究報告，29，P15，(1983)
3）山根彌生，真鍋惇：“宇部市域における風エネルギー特性Ⅲ—方位変動特性—”，宇部工業高等専門学校研究報告，29，P25，(1983)
4）山根彌生，真鍋惇：“宇部小野田市域における風エネルギー資源の評価”，宇部工業高等専門学校研究報告，30，P53，(1984)
5）気象庁：西瀬戸地域大気環境調査報告書総括編，(1974，3)
6）科学技術庁資源調査所：風エネルギーの利用に関する調査資料第58号，(1978．3)
7）科学技術庁資源調査所：自然エネルギーの地域的利用システムに関する調査—地域風エネルギーの有効利用—，資料第74号，(1980．4)
8）東京大学生産技術研究所：日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究，(1979．3)
9）東京大学生産技術研究所：日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究（その2），(1980．3)
10）東京大学生産技術研究所：日本列島における風力エネルギーの地理的分布と季節変化に関する研究（その3）特に，風エネルギーの長期変動を中心にして，(1981．3)
11）山口県，山口大学地域エネルギー研究会：山口県地域エネルギー開発利用調査，(1982．3)

（昭和61年10月9日受理）

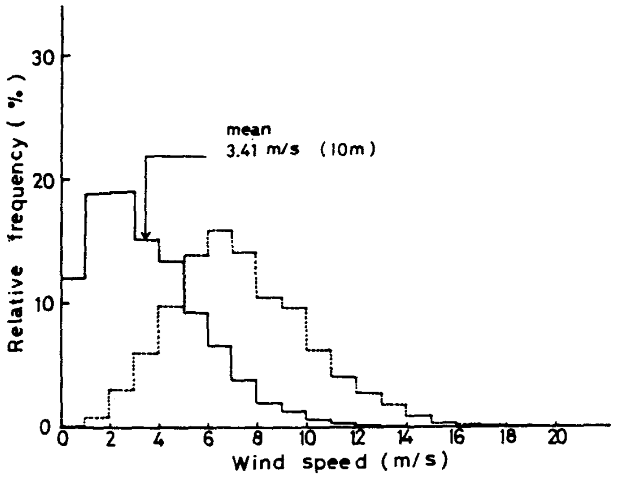

図10 風速の相対度数分布と風エネルギーの風速依存率(10m高度)

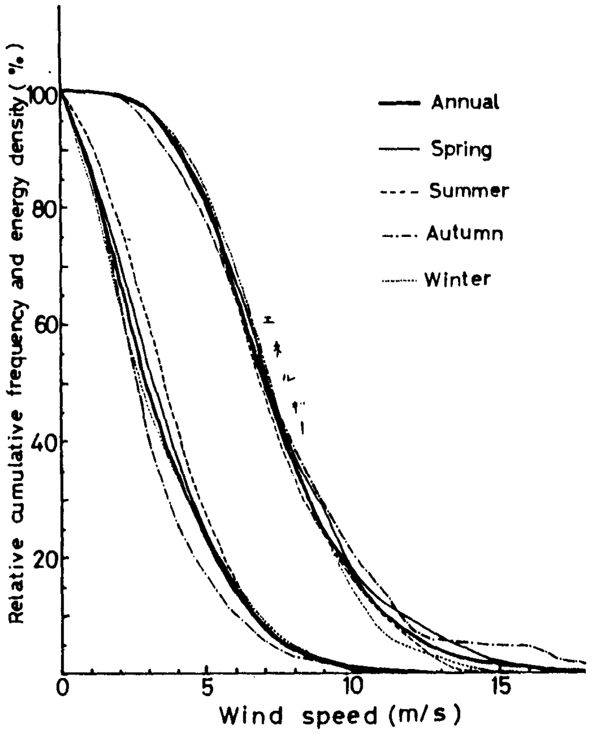

図11 累積度数分布と累積エネルギー密度(10m高度)

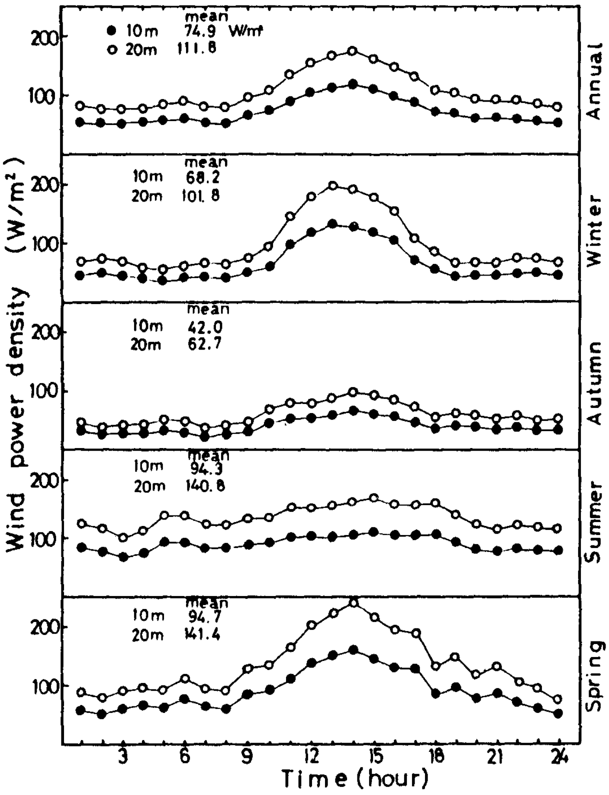

図12 風力エネルギー密度日変化特性

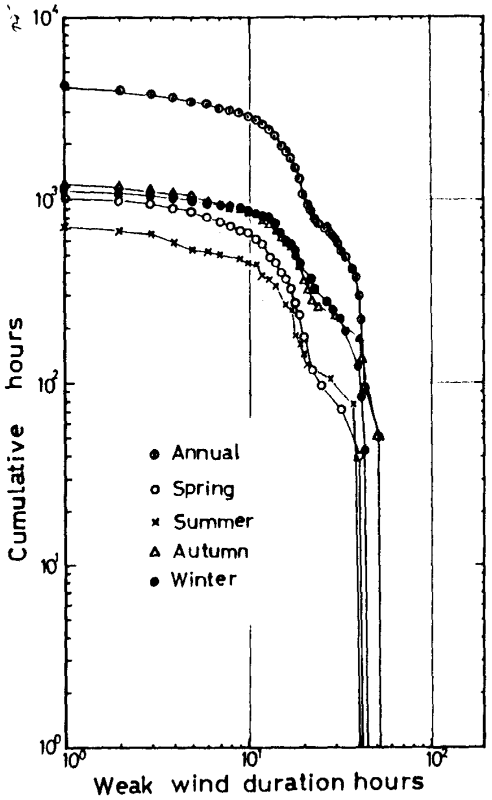

図13 弱風継続の累積時間と継続時間の関係(10m高度)(V< 3 m/s)

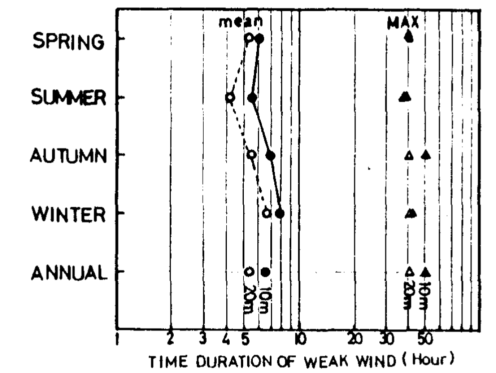

図14　弱風の平均継続時間と最大継続時間(V< 3 m/s)

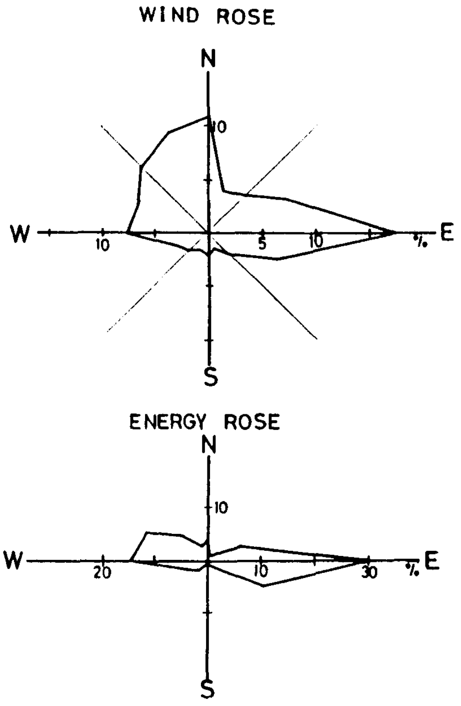

図15　宇部空港における風配図とエネルギーローズ

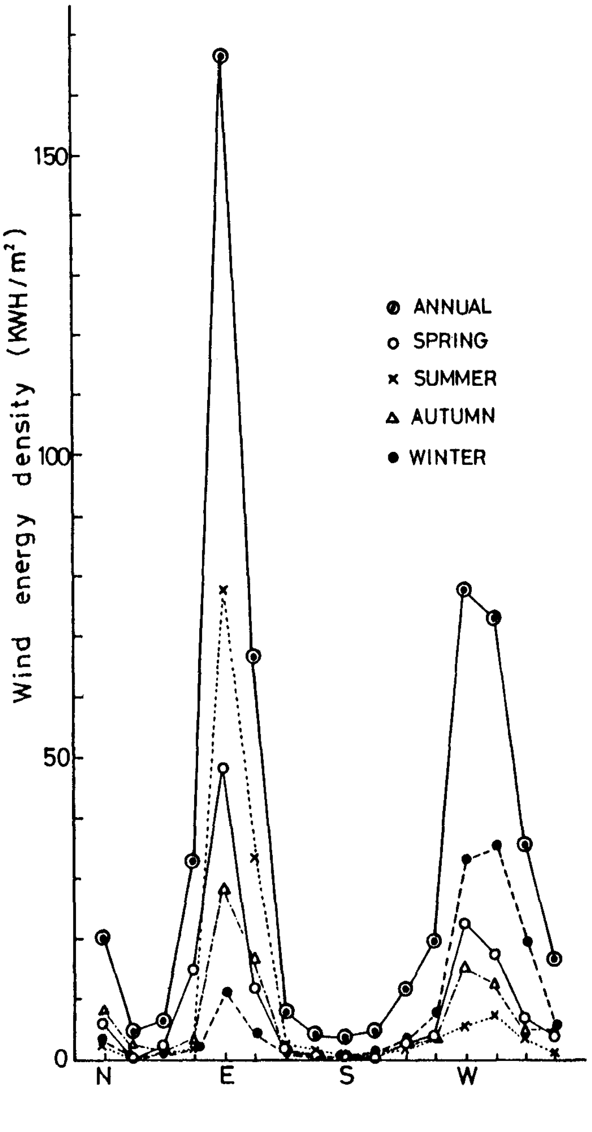

図16　風向別 5 ケ年平均風エネルギー量(10m高度)