

琉球大学学術リポジトリ

宮古島西平安名岬で観測された風況とそのエネルギー賦存量の特性

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2009-08-25 キーワード (Ja): キーワード (En): wind energy resource, wind turbine, power generation, wind turbulence, terrain 作成者: 屋我, 実, 方, 明, 永井, 實 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/12067

宮古島西平安名岬で観測された風況と
そのエネルギー賦存量の特性[†]

屋我 実* 方 明** 永井 實*

Characteristics of Wind and Wind Energy Resources
at Nishihenna Cape of Miyako Island

Minoru YAGA*, Ming FANG** AND Minoru NAGAI*

ABSTRACT

The characteristics of wind and wind energy resources at Nishihenna cape of Miyako island are studied by estimating the wind rose, wind speed distributions, wind energy density, turbulent intensity and gust factor.

The results show that total annual wind energy production for a 250 kW wind turbine is about 869 MWh per year in the period of March, 1990 ~ February, 1991 and it can provide 241 families with the electric power for one year.

The area centered on the observation site is divided into four regions, namely, the first faces to the open sea area, the second to Miyako island area, the third to Irabu island area and the last to Ikema island area respectively. According to the estimation of turbulent intensity TI and gust factor Gu for each region from the data obtained by the special measurements, it is found that the values of them in the region of Miyako island area are greatly increased up to 0.17 and 1.50 at average wind speed around 8 m/s and keep constant about 0.07 and 1.15 respectively at other average wind speeds, as same as that in the other regions.

Key words: wind energy resource, wind turbine, power generation, wind turbulence, terrain

1. まえがき

著者らは、これまで風力発電の実用化の可能性を検討するため、南西諸島各地における風力エネルギー賦存量の推定を行ない、従来より気象官署によって報告

されている観測データのみでは知ることはできない良風況地点が、沖縄県内に多数存在することを明らかにした⁽¹⁾。また、このような良風況地点において、風力発電の欠点である発電出力の不安定性を吸収できる適切な負荷を風車に接続すれば、その建設コストを考

[†] 受付：1991年11月1日

* 工学部エネルギー機械工学科 (Dept. of Energy and Mech. Eng., Fac. of Eng.)

** 工学研究科機械工学専攻 (Graduate Student, Mechanical Eng.)

感しても、離島におけるディーゼル発電に比肩し得る程の電力を風力発電によって供給することが可能であることを指摘した⁽²⁾。一方将来予想される風力発電は、いかなる負荷にも接続できることが必要であり、その出力の安定化を計る上からも、複数の風車を並列に接続したいわゆるウィンドファーム型になると考えられる。したがって、複数台ならべた風車による風力エネルギーの有効利用のためには、その地点における卓越風速の大きさに加えて、その領域や非定常的な風況まで含めた議論が必要となる。

そこで、本論文では宮古島エネトピアアイランド構想（通産省のサンシャイン計画の一環）の拠点となっている西平安名岬の風況を詳細に調べ、年間、季節別及び月別の風況、風力エネルギー賦存量、それらの風向、風の安定性の目安となる突風率や乱れの強さの特性を明らかにし、西平安名岬周辺の地勢も含めたウィンドファーム型の実用化への可能性を検討する。

2. 観測地点

風況を観測した地点を示す地図の概略と8つの方向から見た観測地点周辺の断面図をそれぞれFig.1及びFig.2に示す。ただし、Fig.2の縦軸のスケールは横軸に比べ強調して大きく示してある。本観測地点は、宮古島の北西側に細長く伸びた半島の先端近くにある海拔10mの西平安名岬（東経125.16°、北緯24.54°）

で、地上30mの高さで行われた。また、この観測地点の東北東側約1.2kmに世渡崎、北北西側約1.5kmに池間島、南西側約9kmに伊良部島があり、これらの最高標高が、それぞれ約10m、28m、89mである。さらに、西平安名岬周辺の地勢が風況に与える影響を調べるため、島の有無や大小によりRegion 1～4の4つの領域に分けた。その境界も図中に記入してある。ここで、本文中で用いられる春期、夏期、秋期、冬期はそれぞれ3月～5月、6月～8月、9月～11月、12月～2月である。

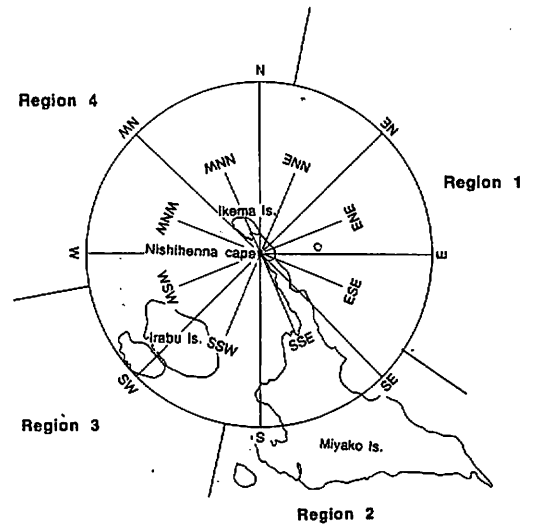


Fig.1 Location of observation site (Nishihenna cape)

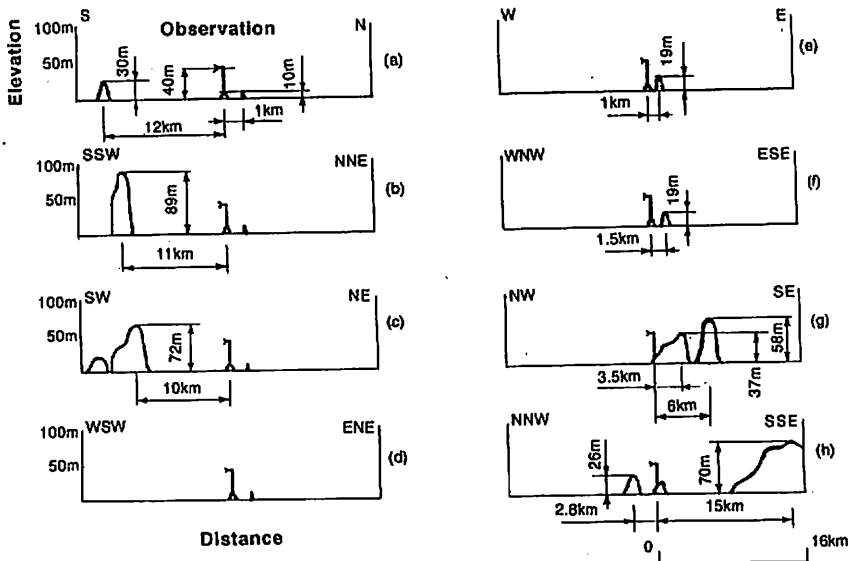


Fig.2 Terrain of observation site and its surrounding

3. 観測期間及び観測方法

本資料は沖縄電力(株)により、風力利用を目的として1990年3月より1991年2月までの1年間にわたって観測されたものである。ただし、この観測期間内において宮古島近海を通る台風は例年になく多く、6月に2個、7月に1個、8月に2個、9月に3個、10月に1個、11月に1個の計10個の台風が宮古島に接近した。特に8月30日には宮古島は南東より接近してきた台風15号の直撃を受け、同日午前3時より午前8時までの5時間台風の目に入り、その直前に瞬間最大風速53.6m/sを記録している。また、本資料データの観測は地上気象観測法(気象庁)に準じて、以下に示す仕様の超音波風向風速計を用いて行なった。

測定方式: 超音波方式

測定範囲: 0~60m/s; 0~360°

測定精度: 風速 ±4%

風向 ±5%

4. 風況の特性及び風力エネルギー賦存量の推定

Fig. 3に月別平均風速を示す。図より台風接近の影響が顕著となった8月を除けば、平均風速が高いのは秋期から冬期にかけての冬期季節風が吹く期間であることがわかる。一方、春期から夏期にかけての平均風速は他の季節に比べやや低くなっているものの、いずれの月も6.5m/s以上の風が吹いており年間の平均風速は8.5m/sである。米国California Energy Commissionの評価システム⁽³⁾では、地上10mにおける年間の平均風速が11~14mph(4.9~6.3m/s)であればGood(良)、14mph以上であればExcellent(優)としているので、西平安名岬での風速8.5m/sは、地上高の違いを考慮しても充分優の風況地帯であるといえる。

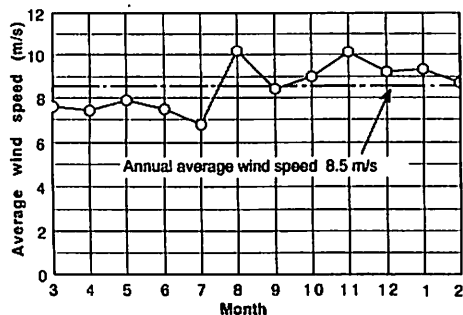


Fig. 3 Monthly change of average wind speed (1990.3~1991.2)

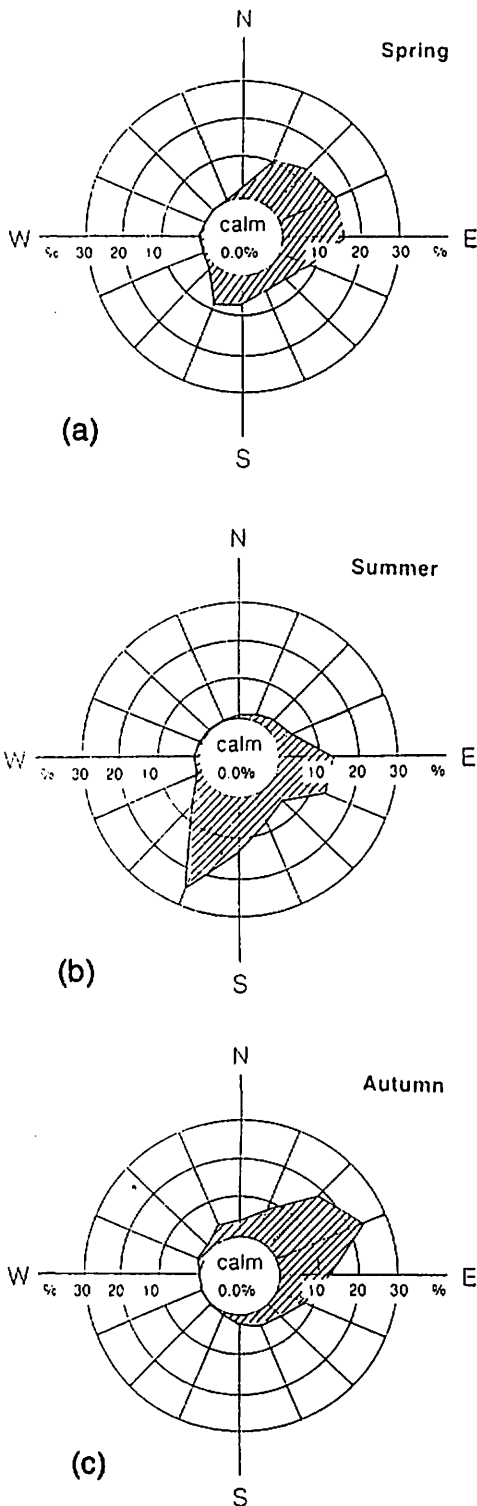


Fig. 4 Seasonal and annual wind rose

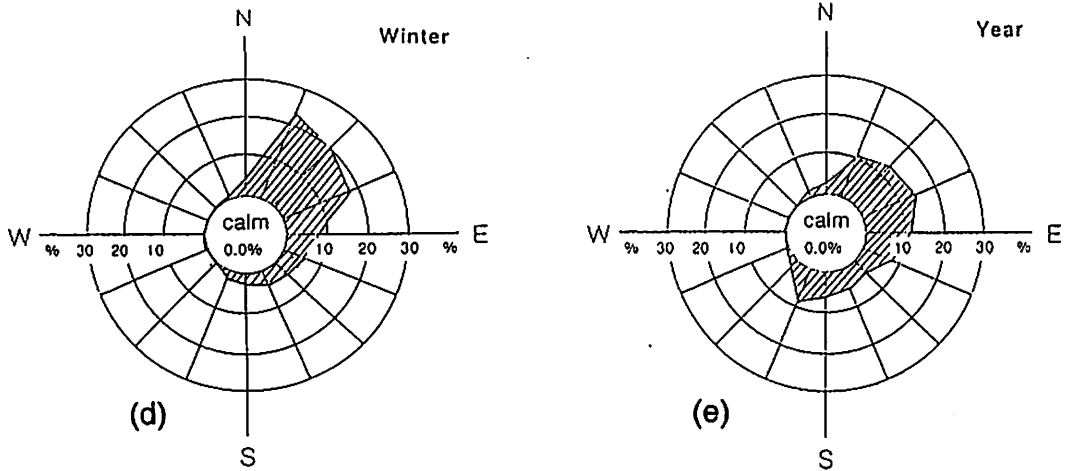


Fig. 4 Seasonal and annual wind rose

次に、季節別及び全年の風配図をFig. 4 (a) ~ (e) にそれぞれ示す。図より、夏期の南南西の風が卓越していることを例外として、いずれの季節においても北北東から東北東の風がよく吹いていることがわかる。したがって全年における卓越風速も、北北東から東北東の範囲になっており、年間を通して西平安名岬に向かって吹いてくる風は、池間大橋及び世渡崎側

の海上から吹く場合が多いといえる。

次に季節別及び全年の速度階級別出現頻度分布をFig. 5 (a) ~ (e) にそれぞれ示す。図の右下がりの曲線は、出現頻度の累積度数を示しており、横軸に平行な破線及びその上側に書かれた数値は4 m/s以上の風が吹く割合を表している。また図には参考のためその観測期間内における平均風速も記入してある。

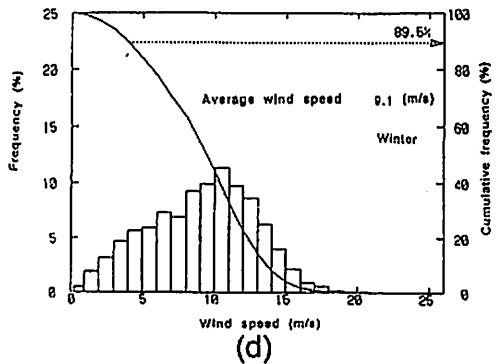
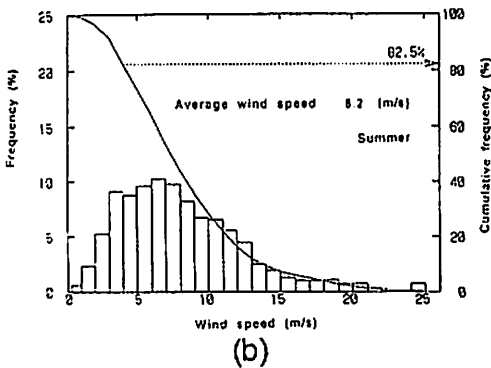
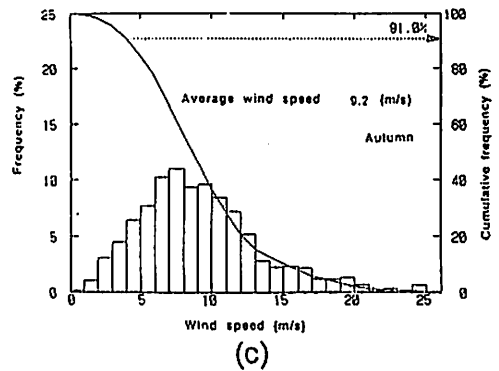
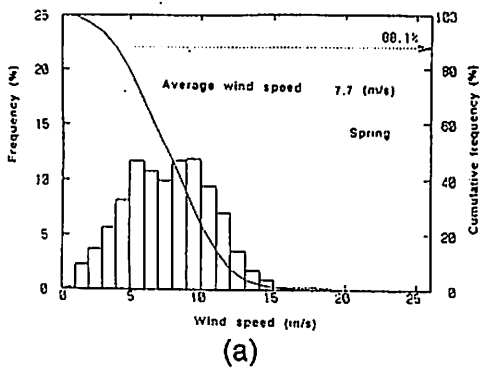


Fig. 5 Seasonal and annual wind speed distribution

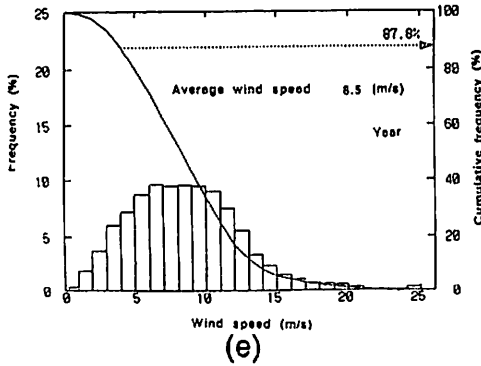


Fig. 5 Seasonal and annual wind speed distribution

Fig. 5 (a) に示した春期の出現頻度分布では、欠損率が13%と多いため2つのピークが現れており、卓越風速階級を決定できないが、Fig.5 (b), (c) に示す夏期、秋期の出現頻度分布はそれぞれ6m/s、7m/s級の速度階級をピークとして、高風速側にやや裾野を延ばした分布となっている。一方冬期の出現頻度分布を示すFig.5 (d) では、出現頻度のピークが10m/s級と他の季節に比べかなり高風速側にずれ、これより高風速域では出現頻度が急激に減少する分布となっている。さらに冬期の平均風速は、観測期間内に台風が最も多く接近した秋期の平均風速9.15m/sに次いで高く、西平安名岬における冬期の風況は1年間の中で特に良好な時期であるといえる。またFig.5 (e) より、全年の出現頻度分布は6m/sから9m/s級までの速度階級の範囲ではほぼフラットなピークを有し、高風速側にやや裾野を延ばした分布となっていることがわかる。さらに、全年の平均風速が高いことから予想されるように、4m/s以上の風が吹く割合は、87.8%とかなり高い。これは、気象台のデータより同様の計算によって得られた、宮古島、石垣島、波照間島のそれが、それぞれ66.5%、66.1%、69.6%であることを考えると、西平安名岬の風況が極めて良好であることを示している。

次に、本観測地点における風力エネルギー賦存量を推定するため、この観測地点に風車直径28m、定格出力250kW、定格風速12.5m/s及び風車効率 $C_p=0.348$ の風車を1台設置した場合に得られる年間の風速階級別風力エネルギーを、空気の密度を 1.225kg/m^3 として推定した結果をFig.6に示す。図の横軸は速度階級を示しており、縦軸は1年間に得られる風の全エネルギー、風車効率 $C_p=0.348$ とした場合及び風車の定格出力で風車出力を制限した場合のエネルギーを、風

車回転面の面積で割った値である。

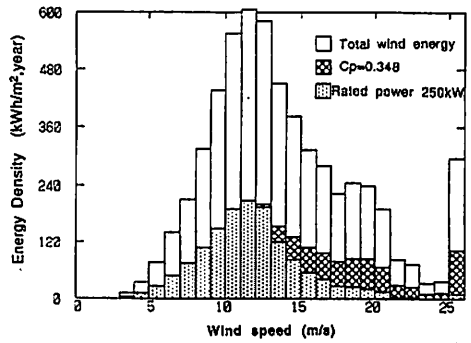


Fig. 6 Relation between wind speed and annual energy density by 250 kW wind turbine (D=28 m)

図より、風力エネルギー賦存量のピークは、全年の速度階級別出現頻度分布のピークとなる速度階級と一致せず、やや高風速側にピークを有する分布となっていることがわかる。これは、風車によって取り出されるエネルギーが風速の3乗に比例するため、風速の出現頻度にその重みが掛かったためである。また、推定に用いた風車のカットイン、カットアウト風速をそれぞれ4m/s、24m/sであるとする、それによって放棄されるエネルギーに比べ、風車の出力制限によって放棄されるエネルギーがかなり多いことがわかる。このような傾向は、通常の風車で発電する場合には一般的に言えることであるから、風車を選定する場合は作動する風速の範囲が必要以上に広い風車を選ぶのではなく、定格風速が風力エネルギー賦存量のピークとなる速度階級に近い風車を選定しなければならぬことがわかる。

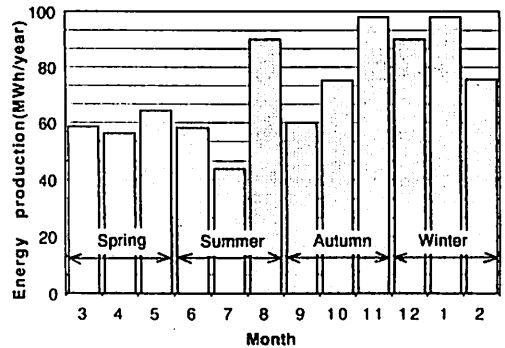


Fig. 7 Monthly change of energy production by 250 kW wind turbine (D=28 m, $U_{in}=4\text{ m/s}$, $U_{out}=24\text{ m/s}$, $C_p=0.348$)

次に、上述の風車によって、月別に得られ風力エネルギー賦存量をFig.7の棒グラフに示す。ただし、この場合、風の持つ全エネルギーを定格出力で制限するだけでなく、カットイン風速未満あるいはカットアウト風速以上の風が吹いた場合は、風車出力は0として計算した。図より、風力エネルギー賦存量が最も多い月は、平均風速が最も高い8月ではなく1月であることがわかる。これは、11月から2月にかけて吹く風が、比較的安定した定格風速前後の冬期季節風によるものであるのに対して、8月のそれは台風の接近あるいは直撃による極めて高風速の風が多く、そのエネルギーの大部分が風車の出力制限やカットイン、カットアウトによつて放棄されたためである。同様な傾向は、8月ほど顕著ではないが、11月においても認めることができる。したがって、例えば8月の風況のように、ある期間における平均風速が高い場合でも、必ずしもその期間内で風車によつて取り出すことのできる風力エネルギーが多いとは限らず、台風や低気圧等の突発的な気象現象による高風速の影響が顕著に現れる場合もあることがわかる。

沖縄電力(株)によれば、沖縄における1世帯当りの電力使用量は高々1ヶ月約300kWh(年間3600kWh)といわれているので、上述の風車によって1年間に得られる風力エネルギーを概ね869MWhであるとする、約241世帯分の電力を風力発電によって賄うことができるということになる。

5. 風況の非定常特性

本章では、まず西平安名岬周辺の地形が風況の非定常特性に及ぼす影響を調べるため、西平安名岬を中心とする360°の範囲を以下に示す4つの領域に分ける。

- Region 1 : 北北東から東南東の範囲で、その風上側には島はなく開けており、約1km先に高さ約10mの橋及び半島があるのみである。
- Region 2 : 宮古島を含む範囲で、南東より南までの領域
- Region 3 : 伊良部島を含む範囲で、南南西より西南西までの領域
- Region 4 : 池間島を含む範囲で、西から北までの領域

また、風の非定常測定は、毎月9回10分間に2秒間

隔で瞬時の風向及び風速をサンプリングする特別観測によって108のケースについて行われた。

風速の乱れの強さTI及びガストファクターGuの計算方法を以下に示す。

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i$$

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})^2}$$

$$TI = \frac{\sigma_u}{\bar{U}}$$

$$Gu = \frac{U_{max}}{\bar{U}}$$

ここで、Nは10分間のサンプリング数、 \bar{U} は10分間の平均風速、 U_i 、 U_{max} 、 σ_u はそれぞれ2秒毎の瞬時の風速、10分間の最大風速、標準偏差である。

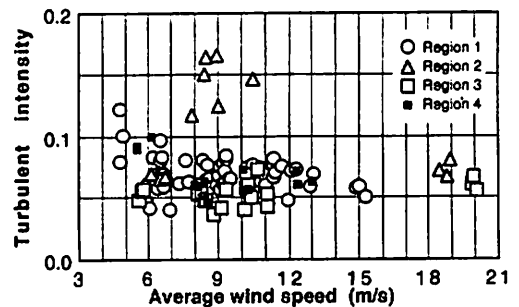


Fig. 8 Relation between average wind speed and turbulent intensity

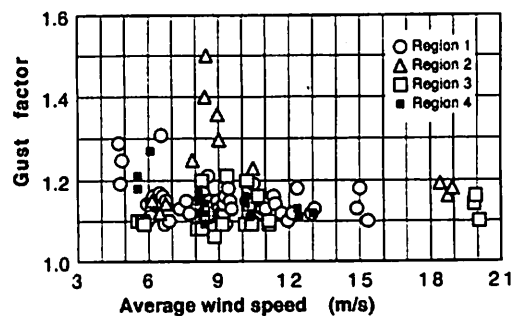


Fig. 9 Relation between average wind speed and gust factor

上述の計算により求めた乱れの強さ及びガストファクターと10分間の平均風速の関係をそれぞれFig.8及びFig.9に示す, 図中のシンボルは, 各ケースの風向の領域を示している。Fig.8より, Region 1 及び Region 4から吹く風は同様な傾向を示していることがわかる。すなわち, 平均風速が小さい場合は乱れの強さ及びそのばらつきは大きい, 平均風速が大きくなるにつれほぼ一定値 (0.060) に近づく。また Region 3の領域から吹く風の乱れの強さは平均風速に関係なくほぼ一定 (0.054) となっており, 平均風速に依存しないことがわかる。一方Region2の領域から吹く風は平均風速が8m/s付近で乱れの強さが著しく大きくなり, その平均風速以外では他の領域の場合と同様ほぼ一定値となっている。同様な傾向はFig.9に示すガストファクターにおいても見られる。

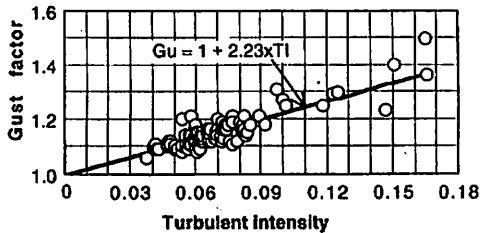


Fig.10 Relation between turbulent intensity and gust factor

ガストファクターと乱れの強さの関係をFig.10に示す。図中の直線は乱れの強さとガストファクターの間に $Gu = 1 + C * TI$ なる関係を仮定し, 最小自乗法によって係数Cを求め描いたものである。図よりガストファクターと乱れの強さには, その領域に関係なく極めて強い相関があることがわかる。なお係数Cはピークファクターと呼ばれるもので, 平均風速, 地上高度の広い範囲で約3としてよい⁽⁴⁾といわれており, これと比較すると25%程度小さくなっている。これは, 西平安名岬における風の変動が比較的少なく, いわゆる突風のような瞬間的に吹く強い風の風速があまり大きくないことを示している。

6. 結論

西平安名岬において1990年3月より1991年2月までの1年間にわたる詳細な風況調査の結果, 以下のような知見を得た。

(1) 西平安名岬の年間の平均風速が8.5m/sでその風況は極めて良好で, 卓越風向が夏期を除いていずれの季節においても北北東から東の範囲にある。したがって, 風車を複数台並べる場合, この卓越風向にはほぼ直角となる北西側に延びた岬に沿って配列すれば風車相互の干渉を最小限にすることができる。

(2) 本観測地点に直径28m, 定格風速12.5m/s, 定格出力250kWの風車1台を設置して, 風速4m/s~24m/sで運転した場合の風力エネルギー賦存量を推定した。その結果, 月別平均風速は8月が最も高く, 10.2m/sであるが1カ月間に発電する電力量は, 冬期季節風が比較的安定的に吹く1月が最も多く98.1MWhであることがわかった。これは, 8月に多く吹いた高風速の風力エネルギーの大部分が風車の出力制限, カットイン及びカットアウトによって放棄されたことによるものと考えられる。

(3) 上述の風車1台によって, 本観測地点である西平安名岬において1年間に得られる風力エネルギー賦存量は概ね869MWhであると推定できるので, 県内の一世帯当りの電力使用量を一年間で360kWhとすると, 約241世帯の電力量を風力発電によって賄うことが可能であることがわかった。

(4) 西平安名岬の周辺を, 開けた海上側, 宮古島側, 伊良部島側, 池間島側の4つの領域に分け, 特別観測によって得られた108のケースについてその領域毎に乱れの強さTI及びガストファクターGuを計算した。その結果, TI及びGuの平均値が最も大きくなる領域は宮古島側であり, その領域より吹く風の平均風速が約8m/sの時のTI (0.17) 及びGu (1.50) が特に大きく, この風速以外の時はTI及びGuのいずれも他の領域と同様にほぼ一定値 (それぞれ約0.07と1.15) に近づくことがわかった。これは, 西平安名岬に向かって吹いてくる風が, 途中にある宮古島によって複雑な影響を受けたためだと考えられる。

(5) 乱れの強さTIとガストファクターGuの間には, その領域に関係なく極めて強い相関があることが認められ, その関係を最小自乗法で求めると,

$$Gu = 1 + 2.23 \times TI$$

となった。TIの係数2.23はピークファクターと呼ばれるもので, 全国的な平均値である約3と比較すると25%程度小さく, 宮古島西平安名岬における風の変動は比較的少ないことがわかった。

謝 辞

本稿は沖縄電力株式会社より提供を受けた資料にもとづいたものである。資料提供に快く応じてくださった沖縄電力株式会社に厚く感謝申し上げます。

データの整理、解析には1991年度卒業研究に従事している4年生上地一弘、金城良の両氏にご協力頂いた。記して感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 永井, 他 2 名, 琉球大学構内及び沖縄県各地で観測された風況の特性, 琉球大学工学部紀要, 第39号, (1990-3), 15.
- (2) 永井, 南西諸島における風力利用の可能性, 第11回風力エネルギーシンポジウム論文集, (1989-11), 19.
- (3) California Energy Commission, Results from the Wind Project Performance Reporting System, (1989-2)
- (4) 岩谷・塩谷, 時間的に平均された風速変動の突風率, 日本大学工学部紀要, 11巻1号, (1978-6), 138.