

## 風力発電開発のための風の乱れ特性に着目した九州 地区の風況

野方, 香里

友清, 衣利子

前田, 潤滋

<https://doi.org/10.15017/1397765>

---

出版情報：都市・建築学研究. 23, pp.15-20, 2013-01-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

バージョン：

権利関係：



# 風力発電開発のための風の乱れ特性に着目した九州地区の風況

Wind Properties Focused on Intensity of Turbulence  
for Wind Power Energy Development in Kyushu Area

野方香里\*, 友清衣利子\*\*, 前田潤滋\*\*

Kaori NOGATA, Eriko TOMOKIYO and Junji MAEDA

This paper reports the feature of wind fluctuations in Kyushu area for wind power energy development, comparing wind properties based on NeWMeK data to winds by the local wind distribution map of NEDO. Our survey based on NeWMeK data of 122 locations on 2007 indicated that annual average wind speeds are about 3 m/s at a height of 30m through a year. And annual average intensities of turbulence were about 0.3 in most areas of Kyushu. Two representative observation points were selected for minute investigation of the fluctuation property of wind speed and direction. It was found that although most observation points indicated small daily mean of turbulent intensity in a high wind speed, several observation points indicated the large intensity of turbulence even in high daily mean wind speeds.

**Keywords:** Wind power energy, Annual mean wind speed, Intensity of turbulence, NeWMeK  
風力発電, 日平均風速, 乱れの強さ, NeWMeK

## 1. 序

風力エネルギーの活用が注目されているが、日本は台風や山岳地形の影響で平地の多いヨーロッパとは異なる乱れの強い風が吹くため、現在、導入されているヨーロッパ仕様の風力発電機器では、風車の安定駆動が容易でないだけでなく、ブレード破損などの事故が誘発されることがある<sup>1)</sup>。風力発電開発の適地策定には、風況だけでなく野鳥などの環境保全、低周波騒音や日影などの住環境評価、建設工事コストの問題など検討すべき課題が多くあるが、最も重要な項目は定常的な高風速発現地域の選定である。NEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)は局所風況マップを公表<sup>2)</sup>して、全国平均風速分布や特定点での風配図等の情報を提供しているが、効率的に風力発電を行うためには、そのような平均的な風向風速情報だけでなく、風の変動情報を含めた風観測情報の整備が必要である。

著者らは既報<sup>3,4)</sup>で、NeWMeK<sup>5)</sup>(九州電力(株)広域高密度風観測システム)の10分間平均風速記録を使用して九州地区の各観測点での風速及び風向方向の変動特性情報を整理し、風向別の風力エネルギー密度分布情報を報告したが、安全かつ安定的な風力発電開発を行うためには10分平均風速よりもさらに詳細な風の変動情報を整

理する必要がある。

本論では、2006年8月から蓄積しているNeWMeKの1秒平均風向風速記録から1年分を選び、九州地区でのより詳細な風の乱れ特性を分析し、風力発電開発に有用となる風の乱れ特性を考慮した風情報を整理するとともに、NEDOの提供する局所風況マップとの比較を行う。

## 2. 利用した観測記録の概要

本論では台風などによる顕著な強風の発生が少ない2007年のNeWMeKの1秒平均風向風速記録を利用した。発電機器等の耐風設計に対しては台風などに起因する高風速記録が重要となるが、本論では風力エネルギー開発に資する情報にのみ着目するため、高風速記録の検討は行わない。NeWMeKは123観測点を持つが、そのうち九州本土に配置され、1秒記録を蓄積している119観測点での記録を用いて風況を整理した。

NEDOの風況精査マニュアル<sup>6)</sup>によれば、風力発電開発有望性の目安として、平均風速、風向出現率、乱れ強度などの値が示されている。平均風速は地上高10mで年平均風速5m/s以上、乱れ強度は地上高20mで0.3以下、風軸上の風向出現率60%以上が目安とされる。ここで、風軸とは16方位の風向を対象にして、主風向とその隣にある2風向とこれらの風向と対称となる風向の合計6方向である。平均風速が高く、風向が安定し、乱れが小さ

\* 都市共生デザイン専攻修士課程

\*\* 都市・建築学部門

いほど風力発電に適した風況であるといえる。

本論では NeWMeK の 1 秒平均風向風速記録から観測点ごとに 10 分間の平均風速, 最大瞬間風速, 乱れの強さ, 最頻風向を求め, 基本的な風情報とした。NeWMeK では送電鉄塔頂部にプロペラ型風向風速計を設置しているため観測点の高さは 10~200m までばらつくが, 風速はベキ指数則を用いて高さ補正を行った。基準高度は風車のローター高さを考慮して 30m とし, ベキ指数は平均風速で 1/7, 最大瞬間風速で 1/11 とした<sup>3)</sup>。また, 乱れの強さは 10 分間での 1 秒平均風速の標準偏差を 10 分間平均風速で除した値であるが, 平均風速に比べ風速の標準偏差の鉛直方向分布は小さい<sup>7)</sup>ので, 1 秒平均風速の標準偏差は高度補正を行わず, 10 分間平均風速には高度補正した値を用いた。

### 3. 九州全域の風況特性

#### 3.1. NeWMeK 記録に基づく風況

NeWMeK での観測記録に基づき, 九州全域での年および月ごとの平均風速と乱れの強さの平均値を求めた。図 1 に九州全域での年平均風速を示す。図 1 より, 年平均風速は, 北西にひらけた海岸部と海風の影響を受けるやや内陸の山間部で高い傾向がある。山地部であっても九州中央の内陸部では年平均風速は約 3m/s と大きくない。周辺部の山地部の影響を受けて風が乱れるため, 安定した強風が生じにくく, 平均風速が小さくなると考えられる。図 2(a)と(b)に一例として 3 月と 10 月の月平均風速分布図を示す。図 1 で年平均風速が高い観測点は, 3 月及び 10 月の月平均風速も他の観測点より大きい。図 2(b)の 10 月は年平均値よりも月平均風速が低い観測点が多い。図 2(a)の 3 月の月平均風速分布は図 1 の年平均風速に比べて全体的に値が大きく, 月平均風速が 5.0m/s 以上

となる観測点は九州北西部と南東部を中心にした 19 地点で, 最も大きい観測点では 7.3m/s あった。一方, 10 月の月平均風速が 5.0m/s 以上となる観測点は九州北西部の 2 地点のみである。風況は局所地形や地域特有の気象条件などの影響を受けるため, 広い範囲での傾向を相対的には捉えることは難しいが, 九州北西部の山岳部では相対的に風が弱い 10 月でも平均風速 3.0m/s 以上となり, 5.0m/s を超える高い風速値を示す観測点もあるのに対し, 南東部は 3.0m/s を超える観測点はほとんどなく北西部に比べやや低い風速となった。九州は北西からの季節風の影響を受けるため, 南東部に比べて北西部の平均風速が大きくなると考えられる。図 1 より年平均風速が 5.0m/s 以上となる観測点は 5 地点あったが, 月平均風速が常に 5.0m/s を超える観測点はなく, 安定して高風速を得ることは難しいと考えられる。

図 3 には, 乱れの強さの年平均値の分布を示す。平均風速が非常に小さい場合, 乱れの強さが大きくなることがあるが, ここではすべての風速を検討対象とした。乱れの強さは丸の大きさと色の濃淡で表しており, 丸が小さく色が薄いほど乱れの強さは小さい。ほとんどの観測点で, 乱れの強さは 0.6 以下であり, 0.2~0.5 となる場合が多い。観測点周辺の地形または構造物などの影響を受け, 隣接する観測点でも風況は大きく異なる。図 1 と図 3 とを比較すると, 沿岸部からやや内陸の山地部に位置し, 平均風速値が大きい観測点ほど乱れの強さが小さく, 平均風速値の小さい観測点ほど乱れの強さが大きい傾向が見られる。つまり, 平均風速値が大きい観測点では, 乱れが小さい安定した強風が吹いており, 平均風速の小さな観測点は乱れが大きく高風速の風が継続して吹きにくいと考えられる。図 4 には風軸上の風向出現率を示す。円が大きく色の濃淡が濃いほど, 風向出現率が大きい。

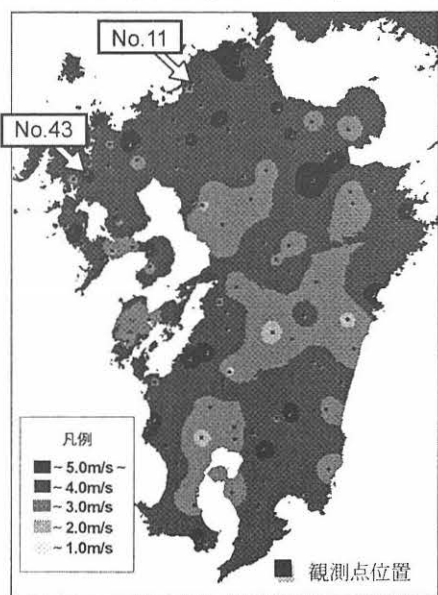
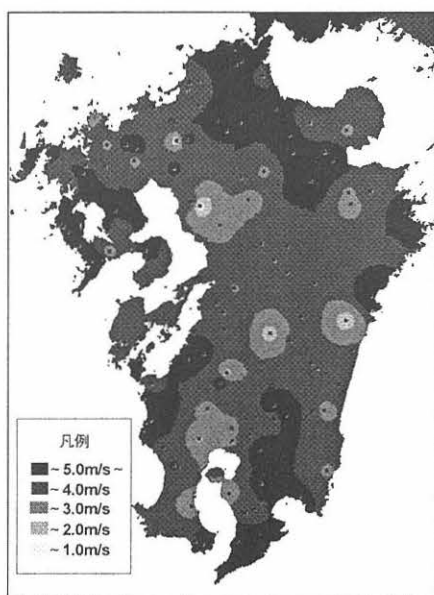
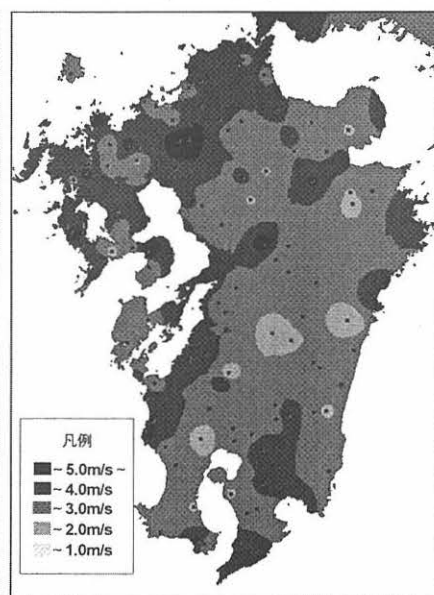


図 1 九州全域での年平均風速(2007年)



(a) 3月



(b) 10月

図 2 九州全域の月平均風速(2007年)

観測点ごとに風軸の向きは大きく異なるが、風向出現率は40~60%の観測点が多く、70%を超える観測点もいくつか見られた。図1と比較すると、平均風速値が低い観測点でも風軸上の風向出現率が高い観測点もいくつかあるが、一般的に平均風速値が高い観測点で風向出現率が高く、年平均風速が4.0m/sを超え、風軸上の風向出現率が70%を超える観測点は4地点あった。

### 3.2 NEDOの風況マップとの比較

図5にNEDOが公表している九州地区の局所風況マップを示す。これは2000年観測記録をもとにした気象モデルと地形や植生を含む工学モデルを用いて数値計算で求められたものである。図1及び図5を比較すると、どちらも九州北西沿岸部で年平均風速値が高い。しかし、NEDOの局所風況マップは九州中央の山地で風速値が高い傾向を示しているのに対し、NeWMeKによる2007年平均風速は、九州北西沿岸部に比べて中央の山地部では高風速とはならなかった。また、NEDOの風況マップでは、年平均風速が6.0m/sを超える地域が九州中央の山地部を中心に広がっているのに対し、NeWMeKの場合は年平均風速が5.0m/sを超える観測点は数か所で、沿岸部に多かった。NEDOの風況マップは周辺地形や植生等の影響を考慮した数値計算によって風況を予測しているが、入力される気象モデルの基礎資料となる気象庁の観測風速の観測点高度が低いことや、周辺の地形や建築物等の複雑な影響を数値計算でとらえきれないことなどが要因で、鉄塔頂部に実際に風速計を設置して観測されたNeWMeK記録に基づく年平均風速とは相違がみられると考えられる。

### 4. 特定の観測点での風況

前節では九州全体の風情報を整理したが、年平均風速値が高く乱れの小さい観測点 No.43 と、年平均風速が

3.5m/s以上で比較的大きいにもかかわらず、乱れの強さが大きい観測点 No.11 を選んでその風特性を整理する。観測点 No.43 と No.11 の位置は図1に示す。観測点 No.43 及びNo.11の鳥瞰図をGoogle earthをもとに図6に示す。表1は観測点別の月平均風速及び年平均風速である。図7に10分平均風速に対する10分ごとの乱れの強さ、図8に日平均風速別の10分ごとの乱れの強さの日平均値を示す。平均風速が小さいと乱れの強さが非常に大きくなる場合があるため、ここでは10分平均風速および日平均風速が3m/s以上の記録にのみ着目する。図9は乱れの強さの日平均値及び日平均風速の推移である。図10は観測点での風向別出現頻度、図11は観測点での風向別平均風速である。図6~図11の(a)は観測点 No.43、(b)は観測点 No.11 での風況である。

#### 4.1. 平均風速が大きく乱れの強さが小さい観測点

観測点 No.43 は南北に走る尾根上にある。図7(a)及び図8(a)から10分間の乱れの強さは約0.2が多く、平均風速5m/s以上ではほとんどが0.6以下となる。平均風速値が高いほど乱れの強さが低くなる。乱れの強さの日平均値は10分間での値に比べて低く、約0.2を中心に0.4以下となるが、10分間での値と同様に平均風速が大きいと乱れの強さが小さくなる。図9(a)より乱れの強さの日平均値は概ね0.1~0.4で推移している。図10(a)と図11(a)より風軸はおおよそ尾根を横切る西北西から東方向で、風軸上の平均風速値はそれ以外の風向に比べて平均値が高い。風軸上でない風向でも平均風速4.0m/s以上となるが、主風向とその隣の東風の場合には平均風速6.0m/sを超えた。表1より月平均風速はどの月も4.0m/sを超えており、この観測点では風向風速ともに安定した風が吹いている。特に冬季の季節風が卓越する12月と、冬から春にかけての「春一番」に代表される南からの強風が卓越する2月、3月は平均風速が高い。

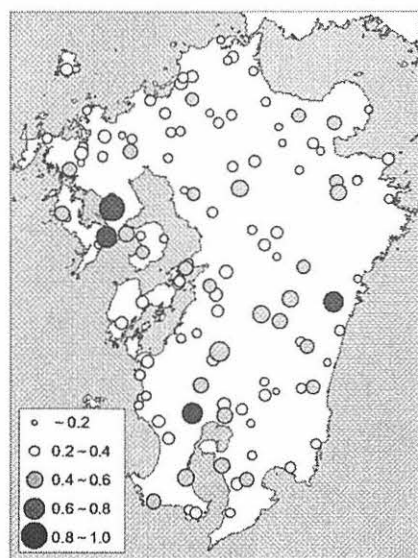


図3 乱れの強さの年平均

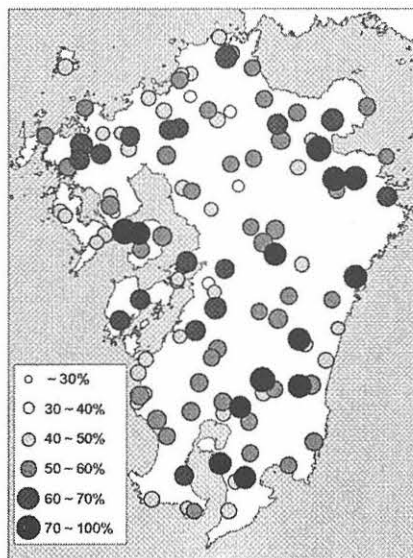


図4 風軸上の風向出現率

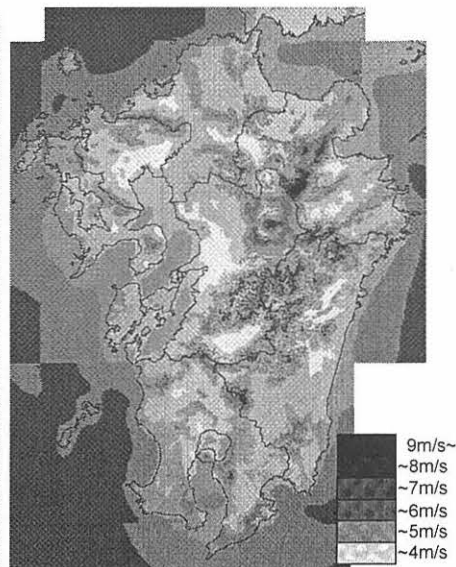
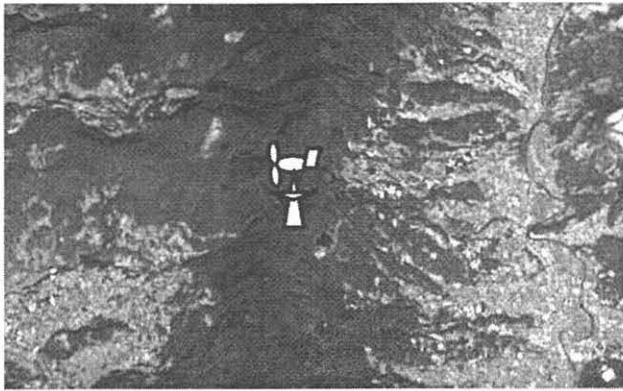


図5 NEDO局所風況マップ

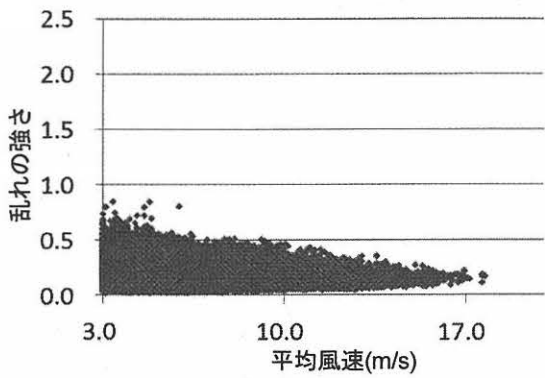


(a) No.43 (佐賀県西松浦郡)

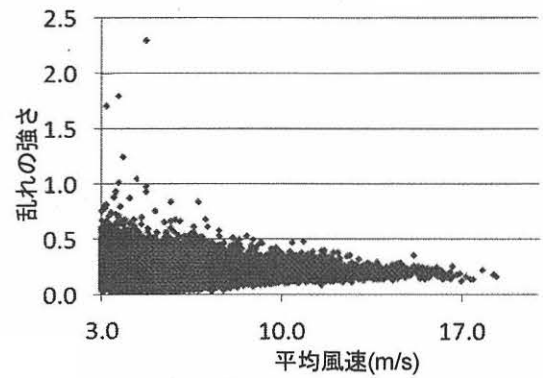


(b) No.11 (福岡県古賀市)

図6 NeWMeK 観測点付近の鳥瞰図 (出典: Google earth)

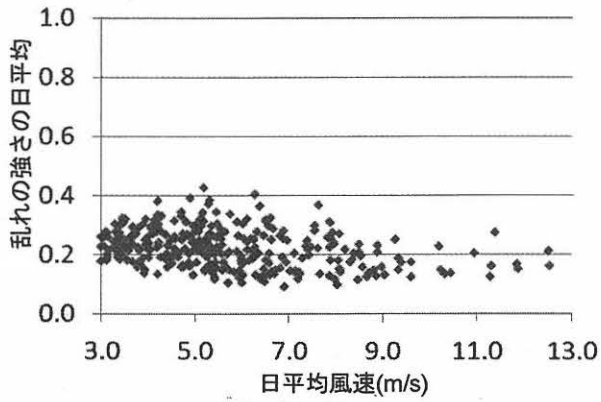


(a) No.43

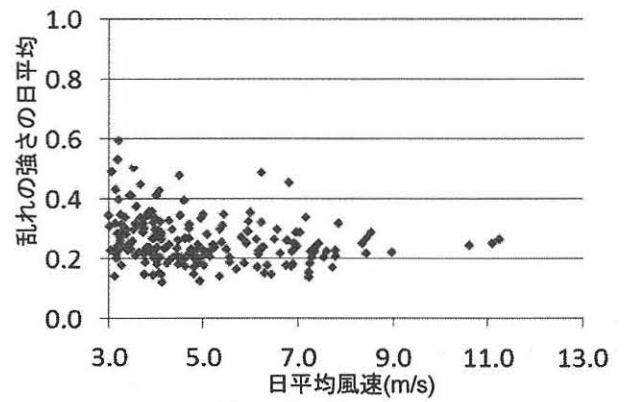


(b) No.11

図7 10分平均風速に対する10分ごとの乱れの強さ

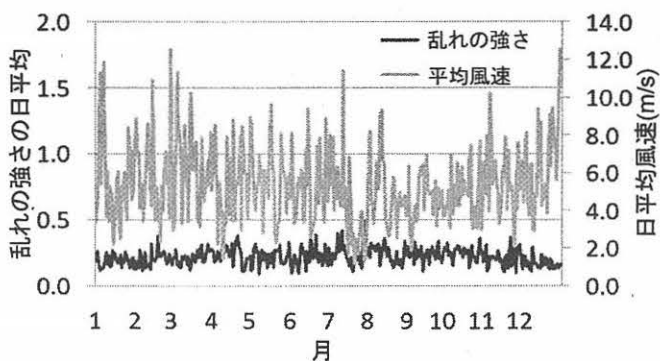


(a) No.43

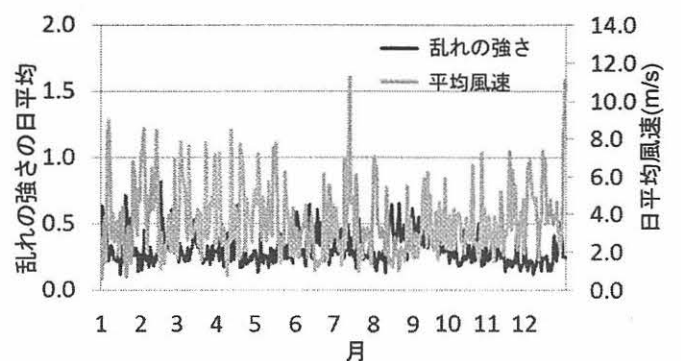


(b) No.11

図8 日平均風速別の10分ごとの乱れの強さの日平均値



(a) No.43



(b) No.11

図9 乱れの強さの日平均値及び日平均風速の推移

#### 4.2. 平均風速が大きく乱れの強さも大きい観測点

図 7(b)より、この観測点での 10 分間の乱れの強さは約 0.2 に集中するが、1.0 を超えるものがあるなど乱れの強さの値が大きくなることもある。図 7(a)の No.43 では平均風速の増大に伴って乱れの強さが小さくなるが図 7(b)の No.11 では風速が大きくなっても乱れの強さの下限値は小さくならない。図 8(b)より日平均値でも乱れの強さは大きく、日平均風速が 5.0m/s を超えても乱れの強

さの日平均値は 0.5 に近い場合がある。図 9(a)及び(b)より No.43 よりも平均風速が低いため乱れの強さはばらつき、日平均値は 0.1 から 0.6 を推移する。図 10(b)より、この観測点では南風の出現率が最も高いが、その他の風軸上の風の出現頻度は 10%に満たず、風軸上の風向出現率は 45%を下回る。図 11(b)より風向別の平均風速は風向出現率が高いほど大きく、西風や南風の風向別平均風速が高い。しかし、どの風向の平均風速も 5.0m/s を超え

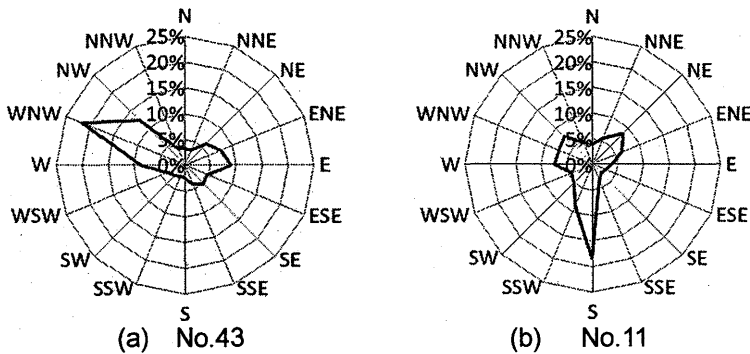


図 10 NeWMeK 観測点の風向別出現頻度

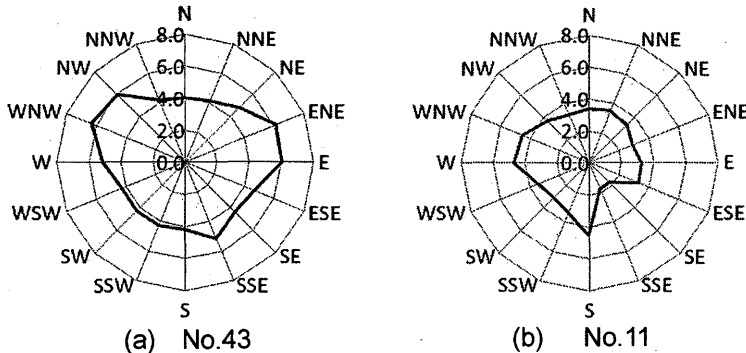


図 11 NeWMeK 観測点の風向別平均風速

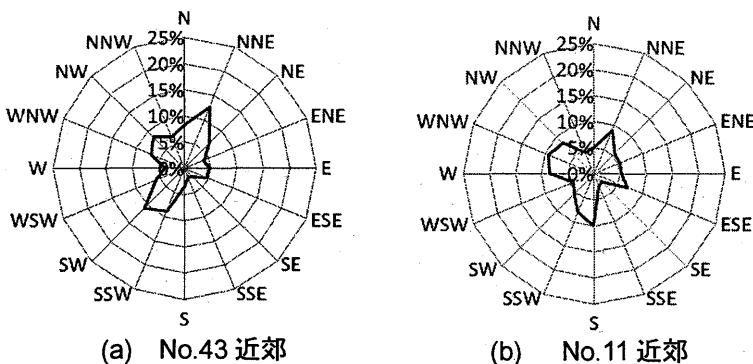


図 12 NEDO 局所風況マップに基づく観測点近傍の風向別出現頻度

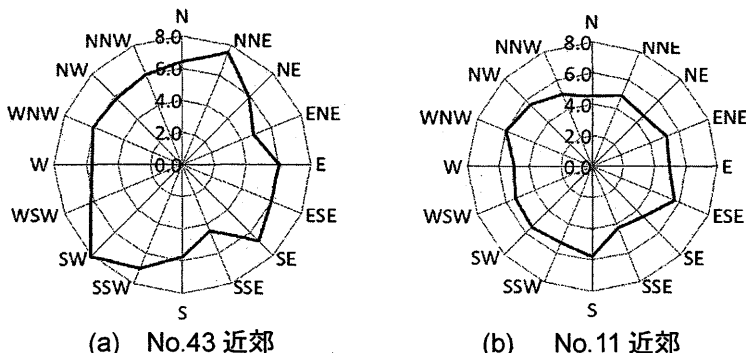


図 13 NEDO 局所風況マップに基づく観測点近傍の風向別平均風速

表 1 NeWMeK 観測点別の月平均風速及び年平均風速

	平均風速(m/s)	
	No.43	No.11
1月	5.6	3.5
2月	5.8	4.2
3月	6.2	4.2
4月	5.3	3.8
5月	5.6	4.1
6月	5.3	2.7
7月	4.3	3.5
8月	4.9	2.9
9月	4.6	3.3
10月	4.8	3.2
11月	5.6	3.5
12月	6.7	4.9
年平均	5.4	3.7

表 2 NeWMeK 観測点と NEDO 局所風況マップに基づく観測点近傍の年平均風速及び風軸上の風向出現頻度の比較

	NeWMeK		NEDO	
	No.43	No.11	No.43 近郊	No.11 近郊
年平均風速(m/s)	5.4	3.7	6.5	5.3
風軸上の風向出現頻度(%)	61.3	44.5	51.1	39.0

ることはなく、南西や南南西風の平均風速は2.0m/s未満であった。表1よりNo.43と同様に冬季や春季の季節風の影響を受ける月では年平均風速より高い月平均風速になると考えられる。

#### 4.3. NEDOの風況マップに基づく風配図との比較

図12(a)及び図13(a)はNeWMeK観測点No.43近辺、図12(b)及び図13(b)はNo.11近辺のNEDOの局所風況マップに基づく風向出現頻度及び風向別の平均風速である。局所風況マップは500mメッシュでの数値計算に基づいて作成されるが、特定地点での風配図は5km四方に1つの地点での値が公表されている。数値計算による風配図の出力位置と観測点位置には、観測点No.43で北北西方向に約1.3km、No.11では北東方向に約2.2kmの差がある。図10(a)及び図12(a)より、NeWMeK観測点No.43での観測値は西北西を主風向とし、風軸上の風向出現頻度が高いのに対して、NEDOの局所風況に基づくNo.43近傍の数値計算結果では、北西風の出現頻度は5%を超えてはいるが、北北東風の出現頻度が北西風の2倍以上となり、風軸は全く異なる。NEDOの風配図出力位置であるNo.43観測点の北北西方向には、東西に走る山稜があることから、局所地形の影響によって風配図に差が生じた可能性がある。図10(b)と図12(b)に示す観測点No.11では、NEDOの局所風況に基づく、北東よりの風の出現頻度がやや小さいものの、観測結果と数値計算はともに、南風の出現頻度が高い。図11及び図13より風向別平均風速を比較すると、NeWMeK観測点及びNEDOの局所風況マップともに風向出現頻度が高い風向では平均風速が高い傾向は一致するが、NEDOの局所風況マップに基づいた平均風速は、ほぼすべての風向で観測結果より大きい。風向別の平均風速と出現頻度は関連があり、両グラフは類似した形状を示す。No.43観測点での図11(a)と13(a)は、NeWMeKの観測とNEDOの風況マップの風向出現頻度分布が異なるため、異なる風向で高い風速値を示す。一方、観測点No.11での図11(b)と図13(b)は南風の平均風速が大きく、同様の傾向となる。

表2にはNeWMeK観測点とNEDOの局所風況マップに基づく観測点近傍の年平均風速及び風軸上の風向出現頻度を示すが、NeWMeK観測点に比べNEDOの風況マップによる年平均風速値は高く、風軸上の風向頻度出現頻度はやや低い。

#### 5. まとめ

本論では、NeWMeKで観測された2007年の1秒平均風速観測値を用いて九州地区の平均風速や乱れの強さなどの風況の特性情報を整理するとともに、NEDOの提供する局所風況マップとの比較を行った。得られた所見を以下に示す。

1) 2007年の観測記録に基づく、九州地区での年平均風速は約3m/sとなる地域が多い。

- 2) 年平均風速は沿岸に近い山地部で大きくなる傾向があり、標高の高い九州内陸部ではそれほど大きくない。
- 3) 10分間での乱れの強さは年平均で0.3~0.5の地域が多い。
- 4) 九州全体での風軸上の風向出現率は約55%である。
- 5) NEDOの局所風況マップに基づく年平均風速の方がNeWMeKでの観測に基づく値よりも大きい。
- 6) 年平均風速値が大きい観測点では、乱れの強さが小さい場合が多い。
- 7) 年平均風速値が大きい観測点では風軸上の風向出現率が高い傾向がある。
- 8) 風軸上の風向別平均風速値は高い。
- 9) NeWMeK観測点位置に対応するNEDOの局所風況マップの計算領域での計算結果は、NeWMeK観測値に基づく値と必ずしも対応しない。

本論では2007年の風観測記録をもとに九州地区の風況を分析したが、風況の経年変化の検討を行う必要がある。また、風力発電設備の安全で安定的な駆動のためには、風の乱れの強さの変動や支持物の耐風性にかかわる強風情報の蓄積も重要である。

#### 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金「風力発電及び送電拠点の分散マイクログリッド構築の実現（挑戦的萌芽研究24651190代表：前田潤滋）の助成を受けました。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・胴解説[2007年版]、丸善、2007。
- 2) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：局所風況マップ(18年度改訂版)、<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>、2012-11-22参照。
- 3) 前田潤滋(代表)：広域送電線網を利用した潜在的風力エネルギー開発のための風速マップ作成、平成14~15年度科学研究費補助金(萌芽研究)研究報告書、2004。
- 4) 友清衣利子、前田潤滋：九州地区での風力エネルギー開発のため風況特性について、第18回風工学シンポジウム論文集、pp.29-34、2004.12。
- 5) Eriko Tomokiyo, Junji Maeda et al.: Typhoon Damage Analysis of Transmission Towers in Mountainous Regions of Kyushu, Japan, Wind&Structures An International Journal, Vol.7, No5, pp.345-357, 2004.6。
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー導入部、風況精査マニュアル(概要版)、1997.12。
- 7) 大熊武司、神田順、田村幸雄：建築物の耐風設計、鹿島出版会、1996.3。

(受理：平成24年11月29日)