

鉛直方向の変化に対する風速推定方法の検討

小玉成人*・横浜和也**

要 約

風力発電所を建設するには、風況精査を行い事業の可能性があるか調査を行うが、近年の大規模なウィンドファームは比較的導入コストが高く、厳密な発電量を予測することは重要である。この発電量の算出には風車高さでの風速の推定が必要であるが、風速は地表との摩擦により、地上高によって変化することが経験的に知られており、観測点の地形によっては大きな誤差を生じ、風力発電事業に影響を与えてしまう可能性がある。そこで、本研究では従来の方と風向ごとの鉛直方向の変化を考慮した方法を比較し、その影響について考察する。

キーワード：風力発電、風況精査、風速推定

Examination of Presumption Method of Wind Speed to Change in Perpendicular Direction

Naruhito KODAMA* and Kazuya YOKOHAMA**

ABSTRACT

The entrepreneur investigates whether the wind field assessment is executed when the wind plant is constructed and there is a possibility of the business. In this wind field assessment, it is necessary to presume the wind speed by the height of the pinwheel for the calculation of the amount of power generation. However, the wind speed changes by the ground amount by friction with surface of the earth. A big error margin is caused according to the geographical features of the observation point, and there is a possibility of influencing the wind power generation business. Then, earlier methods are compared in this research with the method of considering the change in a perpendicular direction of each wind direction, and the influence is considered.

Keywords : *wind power generation, wind field assessment, wind speed presumption*

平成 26 年 2 月 20 日受理

* システム情報工学科・准教授

** システム情報工学科・学部生

1. 緒言

エネルギー資源量や環境破壊などの問題のため、近年自然エネルギーに対する関心が高まり、世界各国で開発や導入が進められている。特に風力エネルギーは、他の自然エネルギーと比較して発電コストが相対的に低いこと、比較的発電容量が大きいことなどのため実用化が進んでいる。風力発電所を建設するには、風況精査を行い、事業の可能性があるか調査を行うが、近年の大規模なウィンドファームは比較的導入コストが高く、詳細な事業計画を作成する上でも、厳密な発電量を予測することは重要である。この発電量の算出には風車高さでの風速の推定が必要であるが、風速は地表との摩擦により、地上高によって変化することが経験的に知られており、指数関数を用いる方法と対数関数を用いる方法がある¹⁾。一般的には地表粗度 n 値と呼ばれる値を利用した指数関数を用いる方法が使われているが、観測点の地形によっては大きな誤差を生じ、風力発電事業に影響を与えてしまう可能性がある。そこで、本研究では指数関数を用いた風速の推定方法として、従来の n 値を一定として計算する方法と、風向ごとに異なる n 値を用いる方法を比較し、その影響について検討する。

2. 風況精査の実施

2.1 風況精査とは

風況精査とは、候補地点の風力発電導入の可能性、並びに導入規模の評価を行うため、観測したデータをもとに、風況とエネルギーに関する項目について解析するものである。解析項目の中でも、風の強さを示す「平均風速」と模擬した風車でどの程度発電できるかを表す「設備利用率」は風力開発の可否を判断する最も重要な項目となっている。これらの基準は、平均風速が地上高 30m で 6.0m/s 以上、設備利用率が地上では 20% 以上²⁾、洋上では 30% 以上であることが望ましいといわれている。なお、このとき利用するデータは、40m または 50m のポールを建設し、地上高 10m 毎に風速計および風向計を設置して計測する。観測項目は、主に以下の 3 点であり、センサーのサンプリング時間は 1 ～ 3 秒以下、観測期間は最低 1 年間とすることとなっている^{3, 4)}。

- ・ 10 分平均の平均風速・風向
- ・ 月および年間の最大瞬間風速
- ・ 10 分間風速の標準偏差

計測されたデータは、欠測や異常値の有無によって修正し、10 分間データから 1 時間データへ変換する前処理を行う。

2.2 風況観測地点および観測用ポールの概要

風況の観測地点は、図 1 に示す青森県六ヶ所村むつ小川原港の北側の尾駸地先および南側の新納屋地先の 2 点

である。両地点共に東側は海に面しているため、地上高による変化は少ないと思われるが、西側には高さ 20 ～ 30m の林があり、これによる影響が懸念される。

上述の風況精査を行うために設置する風況観測ポールの概要を図 2 に示す。図に示すように、風況観測ポールは、高さ 50m で、地上高 30、40、50m に風速計、風向計を取り付けている。風速計、風向計には、近年レーザーや超音波を用いた観測機も開発されているが、風況観測に利用されている実績が少ないため、一般的に利用されているカップ式風速計と矢羽根式風向計を用いた。

また、ポールの設置には避雷針の取り付けが義務付けられており、塩ビパイプ等の絶縁物を通して基部に接地されている。さらに、風況観測ポールおよび支線ワイヤ全体はフェンスで囲み、地域住民等へ危険が及ばないようにしている。



図 1 風況観測ポール設置場所

3. 風況の観測結果

つぎに、得られた風況データについて述べる。

3.1 平均風速

それぞれの地点での各地上高における月別の平均風速を表1に示す。表1から両地点共に6～8月の風速が低く、10～12月の風速が高くなっていることが分かる。なお、NEDOの風況マップ⁵⁾（年平均風速7.4m/s（地上高70m））および国土交通省の全国港湾風況マップ⁶⁾（年平均風速7.1m/s（地上高50m））の年間平均風速は高いため、未測定の下1～3月の風は強くなるものと思われる。

3.2 風向分布

新納屋地先、尾駸地先の期間全体における風配図を図3、図4に示す。図3の(a)期間全体の風配図より、新納屋地先の最多風向は西（出現率14.2%）であり、次いで西北西(13.5%)、東南東(8.8%)、南東(8.7%)の順である。風軸を西-東方向にとると風軸上の風の占める割合は51.9%となり、NEDOの風況精査マニュアル³⁾によると、風軸上の風向出現率は60%以上の場合安定とあるが、当該地点の場合風向は不安定であると言える。また、図4の(a)から、尾駸地先の最多風向は西北西(16.4%)であり、次いで西(14.4%)、南東(8.2%)、東南東(6.9%)の順になっている。風軸を西北西-東南東方向にとると風軸上の風の占める割合は56.2%となり、こちらも不安定であると言える。しかし、図3、4の(b)夏季(7月)と(c)冬季(12月)から、夏季は海からの東寄りの風が、冬季は陸からの西寄りの風が吹き、それぞれの季節では比較的安定した風が吹いていることが分かる。

4. ハブ高さでの風速の推定

つぎに、想定している風車のハブ高さは観測地点の高さと異なるため、ハブ高さでの風速を推定する。これは、地表付近の風速が建物や森林などの地表との摩擦に左右され、高度が高くなるほど風速が高くなるために必要となる。

4.1 模擬風車の地上高

模擬風車として、以下の二つの風車を想定した。

①発電出力：2,500kW、地上高：80m

②発電出力：5,000kW、地上高：90m

なお、実際にはそれぞれに基礎の天端高さ8mを加算し、88m、98mを地上高として計算する。

4.2 風速の鉛直分布

風速の鉛直分布については、上述したように(1)式の指数法則が成り立つことが知られている。

$$V = V_1(z/z_1)^{1/n} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 V ：地上高 z における風速

V_1 ：地上高 z_1 における風速

n ：指数法則のべき指数(n 値)

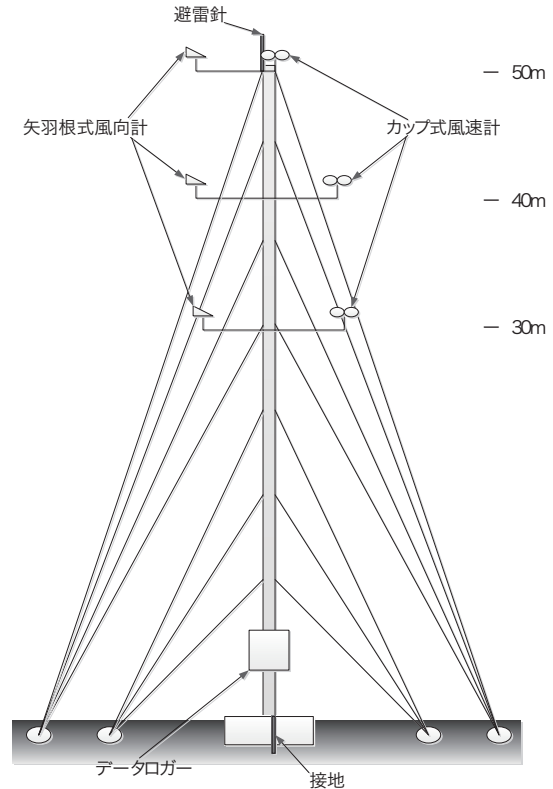


図2 風況観測ポール

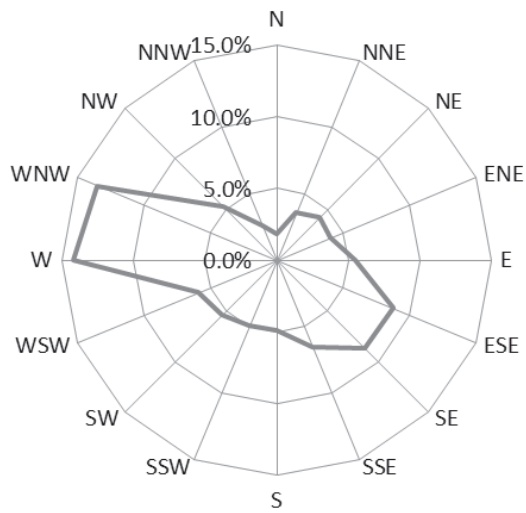
表1 各地上高における平均風速

(a) 新納屋地先

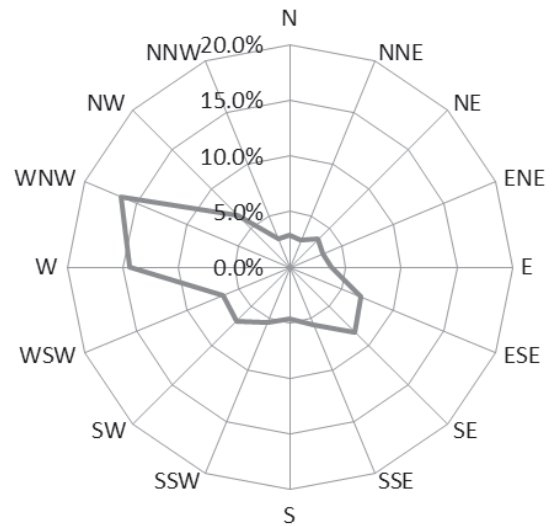
月	風速 (m/s)		
	30m	40m	50m
4月	5.7	6.2	6.6
5月	4.8	5.1	5.4
6月	3.8	3.9	4.1
7月	4.2	4.3	4.6
8月	3.7	4.0	4.3
9月	4.8	5.1	5.4
10月	6.4	6.8	7.3
11月	4.8	5.2	5.8
12月	5.8	6.3	7.0
平均	4.9	5.2	5.6

(b) 尾駸地先

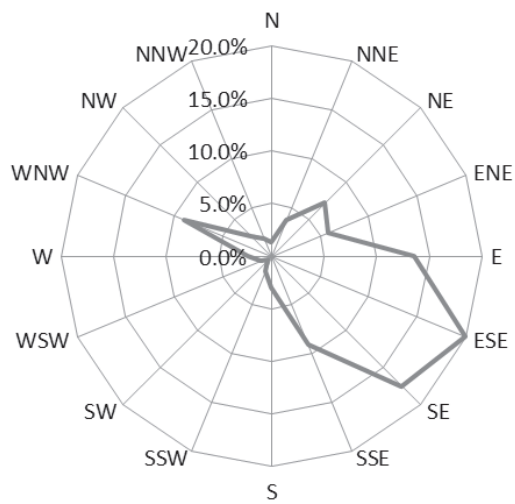
月	風速 (m/s)		
	30m	40m	50m
7月	3.9	4.1	4.4
8月	3.4	3.8	4.1
9月	4.5	4.7	5.2
10月	6.3	6.5	7.2
11月	4.6	5.0	5.6
12月	6.0	6.5	7.2
平均	4.8	5.1	5.6



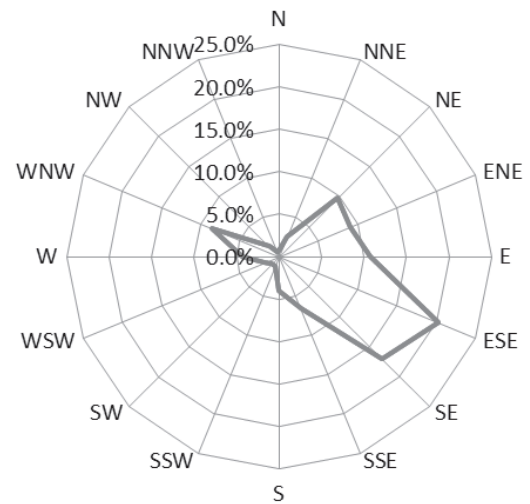
(a) 期間全体



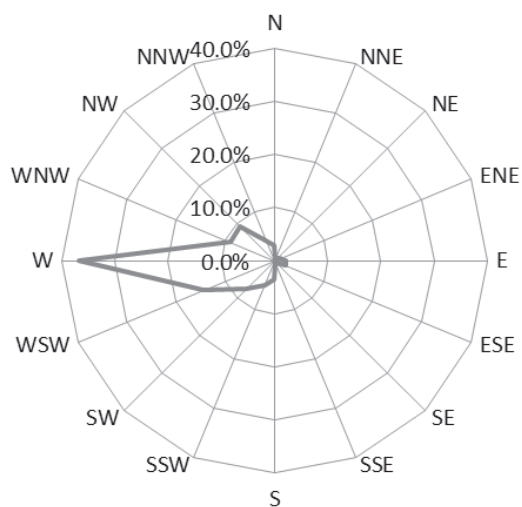
(a) 期間全体



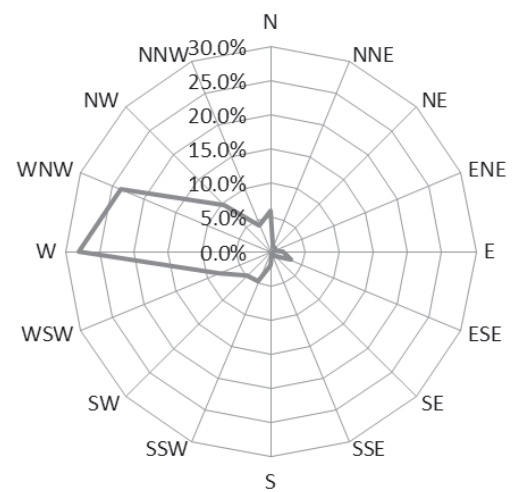
(b) 夏季 (7月)



(b) 夏季 (7月)



(c) 冬季 (12月)



(c) 冬季 (12月)

図3 風配図 (新納屋地先)

図4 風配図 (尾駁地先)

4.3 風速の推定

この地表粗度を表している指数法則のべき指数 (n 値) は、これまで一定 ($n = 5$) にして算出されることが多かった。しかし、本研究で観測している地点は図6、図7のように風向によって大きく地形が異なるため、風向による n 値の変化が大きく、推定する風速の誤差も大きくなると思われる。また、この地点の風向は、3.2 節で述べたように夏季は東側から、冬季は西側からと月ごとに風向が大きく変化する。そのため、(1) 式と実測データを用いて最小二乗法により n 値を算出し、月ごとの風向出現率を考慮して風速を推定した結果を表2に示す。表から、海および砂浜がある東からの風が吹く夏季には n 値が高いため高度による影響が少なく、林がある西から風が吹く冬季には n 値が低く高度に影響されやすいことが分かる。以上の結果を基に月ごとの n 値を用いて模擬風車のハブ高さ (88m、98m) での風速を推定した結果を表3に示す。基準となる地上高 50m での実測値と比較すると、夏季は 0.3 ~ 0.7m/s、冬季は 1.0 ~ 1.7m/s 程度風速が高くなっていることが分かる。



図6 陸側の地形（西側）



図7 海側の地形（東側）

表2 月ごとの n 値

月	n 値	
	新納屋地先	尾駸地先
4 月	5.245	—
5 月	5.150	—
6 月	8.799	—
7 月	4.680	3.660
8 月	4.493	4.097
9 月	4.016	4.497
10 月	4.272	5.667
11 月	2.642	3.219
12 月	3.104	3.342

表3 月ごとに異なる n 値を利用した場合の推定風速

(a) 新納屋地先

月	実測値 (m/s)	推定風速 (m/s)	
		地上高88m	地上高98m
4 月	6.6	7.4	7.5
5 月	5.4	6.1	6.2
6 月	4.1	4.4	4.4
7 月	4.6	5.2	5.3
8 月	4.3	4.9	5.0
9 月	5.4	6.2	6.4
10 月	7.3	8.3	8.5
11 月	5.8	7.2	7.5
12 月	7.0	8.5	8.7
平均	5.6	6.5	6.6

(b) 尾駸地先

月	実測値 (m/s)	推定風速 (m/s)	
		地上高88m	地上高98m
7 月	3.9	4.1	4.4
8 月	3.4	3.8	4.1
9 月	4.5	4.7	5.2
10 月	6.3	6.5	7.2
11 月	4.6	5.0	5.6
12 月	6.0	6.5	7.2
平均	4.8	5.1	5.6

つぎに、従来の n 値を一定とした方法でハブ高さでの風速を推定して、月ごとの n 値を用いた場合と比較する。一般的に用いられている $n=5$ 一定として推定した新納屋地先と尾駸地先のそれぞれの地上高における風速を表4に示す。表から、地上高 50m での実測値と比較すると、夏季は 0.5 ~ 0.6m/s、冬季は 0.7 ~ 1.1m/s 程度風速が高くなっていることが分かる。それぞれの方法における推定風速の比較を図8に示す。図から夏季は大きな変化が見られないが、冬季は平均風速が 0.2 ~ 0.8m/s 程度変わっていることが示された。このことから、このような観測地点の場合には n 値を一定とせずに風速を推定することが必要と考えられる。なお、風速の差は小さいように思われるが、風から得られるエネルギーは風速の3乗に比例するため、その影響は無視できないものとなる。

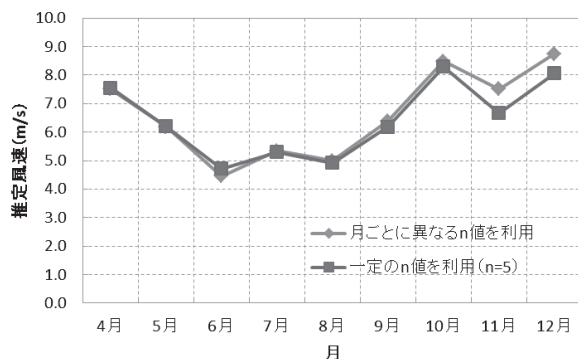
表4 一定のn値を利用した場合の推定風速

(a) 新納屋地先

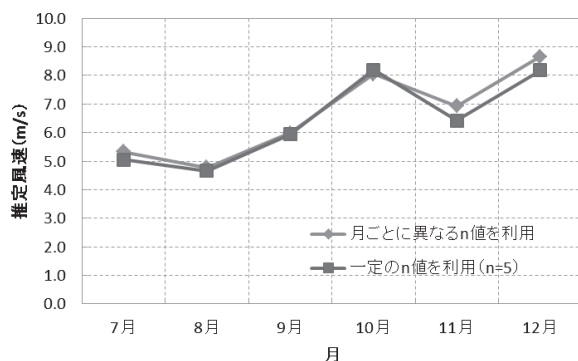
月	実測値 (m/s)	推定風速 (m/s)	
		地上高88m	地上高98m
4月	6.6	7.4	7.6
5月	5.4	6.1	6.2
6月	4.1	4.6	4.7
7月	4.6	5.2	5.3
8月	4.3	4.8	4.9
9月	5.4	6.1	6.2
10月	7.3	8.1	8.3
11月	5.8	6.5	6.7
12月	7.0	7.9	8.1
平均	5.6	6.3	6.4

(b) 尾駸地先

月	実測値 (m/s)	推定風速 (m/s)	
		地上高88m	地上高98m
7月	4.4	4.9	5.1
8月	4.1	4.6	4.7
9月	5.2	5.8	5.9
10月	7.2	8.0	8.2
11月	5.6	6.3	6.4
12月	7.2	8.0	8.2
平均	5.6	6.3	6.4



(a) 新納屋地先



(b) 尾駸地先

図8 推定された風速の比較

5. 結言

風況精査におけるハブ高さでの風速の推定において、従来のn値を一定(n=5)として計算する方法と、月ごとに異なるn値を用いる方法を比較し、その影響について検討した。その結果、今回のように風向によってn値が大きく変わる地形では、推定される風速に0.2~0.8m/s程度の差が生じてしまうことが示された。今後は、設備利用率などの他の項目での比較や風向ごとのn値を利用した推定などを行う予定である。

最後に、風況データを提供して下さったむつ小川原港洋上風力開発株式会社のご支援に深く感謝の意を表します。特に、むつ小川原港洋上風力開発株式会社 附田匡善氏には本稿を纏めるにあたり、様々な情報を提供して頂きました。ここに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 竹中翔, 葛西真寿, 南條宏肇, 「風況精査における「べき法則」型風速予測式の有効性」, 風力エネルギー, Vol.30, No.1, pp.86-91, 2006
- 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「風力発電導入ガイドブック (2008年2月改訂第9版)」, 2008
- 3) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「風況精査マニュアル (概要版)」, 1997
- 4) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 「風力発電フィールドテスト事業 (高所風況精査)」, 2008
- 5) 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
<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>
- 6) 国土交通省 全国港湾風況マップ
http://www.mlit.go.jp/kowan/kaihatuka/wind_hp/huukyo-map/wmap_top.html
- 7) 環境省 風況マップ (東北地方)
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/windmap/index.html>
- 8) 小玉成人, 横浜和也, 附田匡善, 「むつ小川原港における洋上風力発電の可能性調査」, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.499-502, 2013
- 9) 青木功, 吉村豊, 「北九州市沖洋上風況観測システム実証研究による洋上風況特性解析」, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.482-485, 2013
- 10) 丸山勇祐, 三輪俊彦, 三輪享, 岡田直仁, 和田麻美, 「洋上風力発電のための実測データに基づく風況に関する検討」, 第35回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.486-489, 2013