

流入風向区分幅の風上地形変化と複数の大気安定度を考慮した気流シミュレーションによる風況予測精度向上検討：その1. 西海江島サイトでの精度検証

高桑, 晋
ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所

邊見, 力
ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社

長谷川, 聖矢
ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社

他

<https://hdl.handle.net/2324/7432668>

出版情報 : Proceedings of Japan Wind Energy Symposium. 44, pp.176-179, 2022. 日本風力エネルギー学会
バージョン :
権利関係 : © 2022 JWEA



流入風向区分幅の風上地形変化と複数の大気安定度を考慮した 気流シミュレーションによる風況予測精度向上検討

—その 1. 西海江島サイトでの精度検証—*

A study on improvement of wind prediction accuracy by considering change in the
upwind terrain within the inflow direction sector width and multiple atmospheric
stability conditions

- Part 1 Validation for Saikai-Enoshima site-

高桑 晋**

内田 孝紀***

邊見 力**

長谷川 聖矢**

渡邊 慶一郎**

Susumu TAKAKUWA Takanori UCHIDA Chikara HEMMI

Seiya HASEGAWA Keiichiro WATANABE

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの普及が国内外において求められており、日本においても風力発電が増加しつつあるが、適地の減少と入札への移行より風力発電事業開発の難易度はますます高まっている。事業を成功させるには、これまで以上に適切な観測と信頼できる発電量予測が必要となるが、それには日本固有の問題も解決しなければならない。陸上風力においては海外では平坦地形サイトが多い一方、国内は複雑地形サイトが多いため、地形起伏による影響を考慮しなければならないが、今後導入が促進される洋上においても欧州では海岸から 20km 程度離れた沖合に建設される一方、国内では水深がすぐに深くなるため数 km 程度で計画されることが多く、陸上地形の影響を受けることになる。それにより、サイト内で風速が非一様となり、風況観測地点と各風車位置で異なる風速を気流シミュレーション等により補正する必要がある。

本研究では、促進区域に指定されている西海江島地区を対象に、風況観測マスト間の実測風速比を用いて地形影響をシミュレーションで再現するための精度向上検討を行った。付近の陸上が比較的平坦地形で沿岸から数 km 離れている洋上サイトであれば高解像度の WRF での予測が適していると思われるが、本サイトは複雑地形の島内から非常に近い範囲での事業エリアが想定されるため、陸上の複雑地形を考慮できる手法が適していると考えられる。著者らは過去の研究^{1,2)}にて、島内に建てられた 4 本のマストを分析し、マストそれぞれの年平均風速が異なる上に、マスト間風速比や各マスト乱流強度が風向毎に異なり、島内では洋上の観測には全く適さないことを確認した。また、地形影響

を強く受けている北風に着目し、北風時のマスト間風速比を用いて気流シミュレーションの精度検証を行った。その際、16 風向区分の北風は 22.5 度の幅を有していること、複雑地形では風向が僅かでも変われば風上地形の起伏が変化するため流れ場が変わることを考慮し、(1) 0 度の解析に±11 度の解析を加える場合、(2) 現地の出現頻度に応じた複数の大気安定度の結果を加える場合、および(3)風向と大気安定度の両方を考慮する場合を比較した。その結果、(3)の風向と大気安定度の両方を考慮する方法が最も精度が良いことを確認した。今回、北風の結果をさらに詳細に分析した上で、この手法の効果を明確に把握するため検証風向を 5 風向追加した。また、これまで中心風向と±11 度の風向を単純平均していたが、22.5 度の幅の中の出現頻度分布も考慮した重み付け平均も行った。

2. 研究対象サイトの概要

研究対象として選定したサイトの周辺図を図 1 に示す。当サイトは五島列島から約 10km、西彼杵半島から約 20km 離れており、周囲に目立った陸地はない。東西 2km、南北 3km で地形起伏のある島であり、最も高い標高は島北部の 139m である。島内 4 か所 (A, B, C, D) および黒島にて 58m の風況観測マストで計測しており、分析には 1 年間の計測データを用いた。黒島マストは非常に小さな孤島に設置されているため洋上観測マストのような環境であるのに対し、江島マスト周辺地形は非常に複雑である。黒島マストと江島マストは風況特性が大きく異なっており、詳細は参考文献³⁾を参照されたい。

3. 大気安定度の分析

気流シミュレーションで設定する大気安定度を決定するために、サイトの大気安定度の出現頻度分布を確認する。大気安定度は次式で定義する。

*令和 4 年 12 月 2 日

第 44 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社

*** 会員 九州大学応用力学研究所

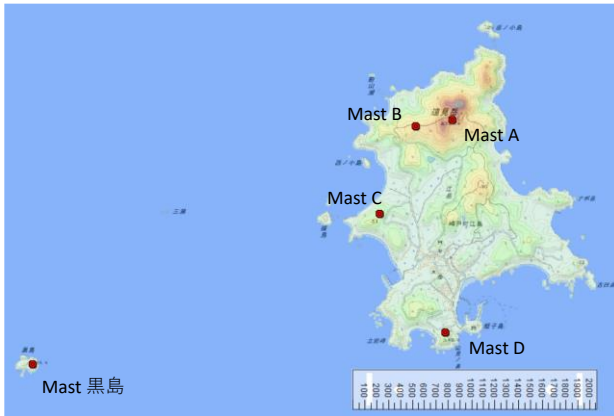


図 1. サイト拡大図

$$Ri = \frac{g(\theta_{in} - \theta_{bottom})H}{\theta_{in}U^2} \quad (1)$$

ここで、 Ri はリチャードソン数、 g は重力加速度、 H はサイト内最大標高差、 θ_{in} はマスト A で観測された気温で概ね最大標高付近に位置している。 θ_{bottom} は ERA5 による海面温度、 U はマスト A の 58m 高度風速を表す。 $Ri=0$ で中立、マイナスで不安定、プラスで安定を表す。今回検証した風向は N, NNE, S, SW, NW, NNW の 6 風向であるが、代表して風速ビンごとの大気安定度の出現割合を、風向 N は図 2, NW は図 3, S は図 4 に示す。

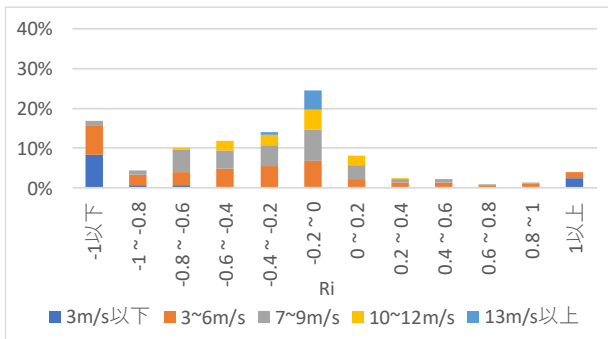


図 2. 風向 N の大気安定度の出現頻度分布

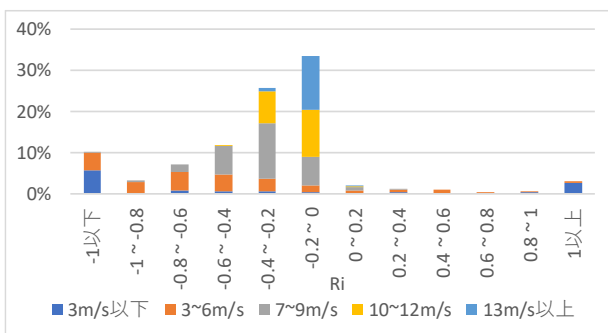


図 3. 風向 NW の大気安定度の出現頻度分布

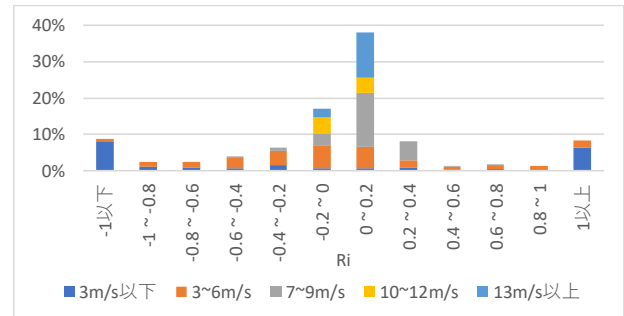


図 4. 風向 S の大気安定度の出現頻度分布

N と NW は夏以外に比較的多い風向であるが、気温が下がる季節においてこの海域では海水温が気温より高いため安定度は不安定に偏り、特に NW では安定の出現頻度が低い。一方 S は夏の風向であり、気温が海面温度より若干高くなるため弱安定状態となる。従来法では大気安定度中立を想定しているが、このサイトにおいて中立は平均的でも中間的でもない気象条件であることがわかる。この安定度出現頻度を全体的に網羅するため、その他風向においても同様に出現頻度を分析し、全体を網羅するため以下の大気安定度で気流シミュレーションを行う。

表 1. 解析風向毎の安定度の設定

	N	NNE	S	SSW	NW	NNW
$Ri = -0.5$	✓	✓			✓	✓
$Ri = -0.2$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$Ri = 0$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$Ri = +0.2$	✓	✓	✓	✓		✓

4. 気流シミュレーションの精度検証

気流シミュレーションには大気安定度を考慮した LES を用いた非定常非線形解析が可能である RIAM-COMPACT を使用した。手法の詳細や解析モデル、設定等は過去の論文²⁾と同じであるため割愛する。

図 6 に、代表して解析風向 N, NW, S での各マストの風速鉛直分布の結果を示す。マスト位置や風向によって鉛直プロファイルが異なっており、地形による低高度での剥離や増速が起きていることがわかる。シミュレーションにおいて安定度による変化は風向 N の Mast A を除いてはあまり大きくなく、シミュレーションは実測の傾向を捉えている。Mast A においても、安定度によるバラツキの間に実測の鉛直シアが入っている。実測は様々な安定度の結果が混ざっているため、複数の安定度の結果を反映することが必要であることを示唆している。また、発電量予測においてはマスト位置と各風車位置の風速比が重要であり、水平方向の

風速分布に大気安定度が影響を及ぼす可能性があるため、次にマスト間風速比の精度を確認する。

16 風向区分で同じ風向であっても、現実には様々な風が吹いているために実測風速比のばらつきが大きいことは明らかになっている²⁾。この状況を出来る限り反映させるために、従来法 (Method A) に加え、表 1 で示す複数の大気安定度の解析結果を平均する方法 (Method B)、16 風向区分の中心風向とその両端 ± 11 度の風向での解析結果を風向区分内の出現頻度に応じて重み付け平均する方法 (Method C)、風向と大気安定度の両方を考慮する方法 (Method D) で精度検証を行った。

- Method A : 安定度中立で中心風向のみ
- Method B : 安定度複数ケースで中心風向の平均
- Method C : 安定度中立の中心風向と ± 11 度の重み付け平均
- Method D : 安定度複数ケースで中心風向と ± 11 度の重み付け平均

代表して解析風向 N に関する全ての結果を図 7 に示す。風向 3 ケースに対し大気安定度 4 ケースあるため、全 12 ケースとなる。大気安定度が同じでも風向が 11 度変わればマスト間風速比に変化が生じている。また、風向が同じでも大気安定度が変わればマスト間風速比に変化が生じている。緑実線の 0deg. Ri=0 が従来法の Method A であり、Mast A から風下へ距離が遠い Mast D で誤差が大きい。全 12 ケースのばらつきは大きいですが、全ての結果を使用する赤線の Method D は実測と良く一致している。

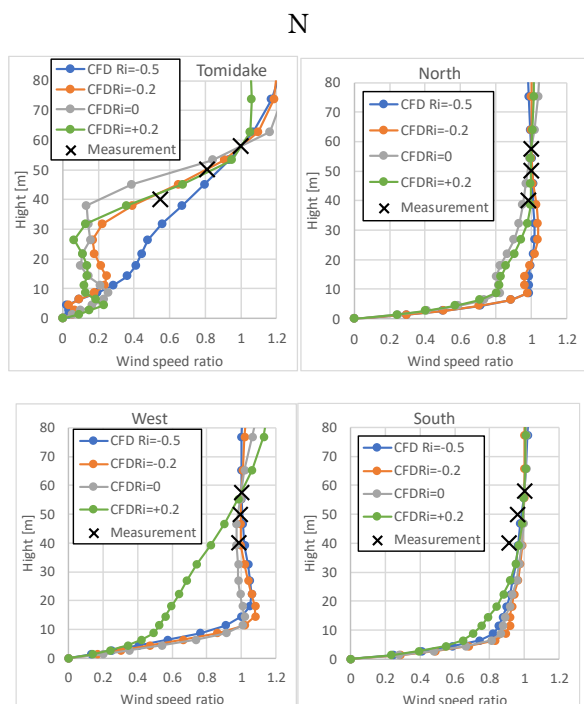


図 6. 鉛直風速分布

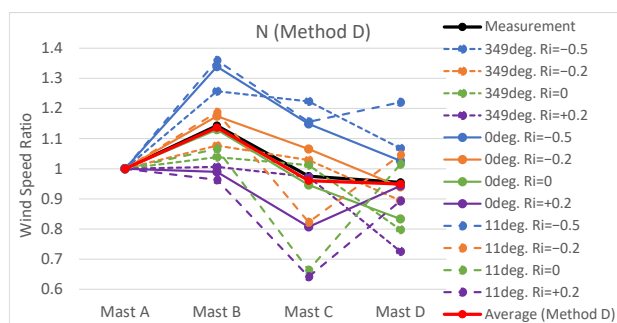


図 7. 風向 N における全解析ケースの風速比

Method 毎に、解析した全 6 風向に対して Mast B, C, D の風速比誤差の絶対値を風向毎に平均したものを図 8 上, 風向毎の最大を取ったものを図 8 下に示す。Method A は全体的に誤差が大きい。一方, Method B や C は誤差が小さい風向もあれば大きい風向もある。風向区分幅と大気安定度のどちらかの考慮, またはその両方を考慮しないと精度が上がらない風向が存在することがわかる。Method D は全体的に誤差が抑えられ, 今回検討した中でも最適な手法であることが示された。

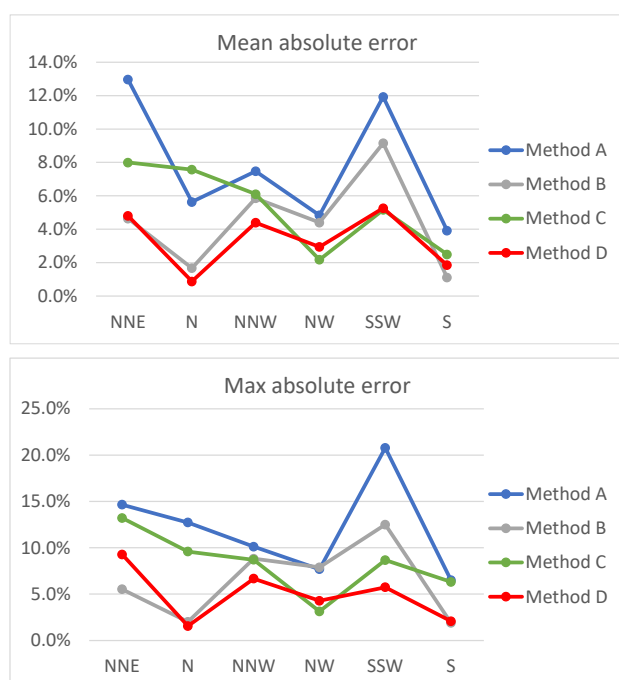


図 8. 風向毎の予測誤差 (上: 平均/下: 最大)

誤差の一覧を表 2 に示す。絶対誤差平均は図 8 上のグラフの平均, 風向毎の最大絶対誤差は図 8 下のグラフの平均, 最大絶対誤差は図 8 下のグラフの最大値である。また, Method D においては流入風向-11 度, 中心, +11 度の結果を加重平均ではなく 0.25 : 0.5 : 0.25 の固定比率で平均した誤差を D_Fixed, 単純平均した誤差を D_Simple として合わせて示す。風向±11 度と大気安定度の両方を取り入れることで, 絶対平均誤差は最も小さくなり, 大外しリスクが最も小さくなる。風向の取り入れ方の違いに関しては, 絶対誤差平均と風向毎最大絶対誤差の平均には大きな差はなかったが, 最大誤差絶対誤差については加重平均, 固定比率, 単純平均の順に誤差が小さかった。加重平均することの優位性の有無を明確にするため, 今後は他サイトでも検証を進める。

安定度のケースを増やすと計算負荷が増加するため, 代表的な安定度の一つを選択する場合の効果は風向±11

度の考慮有無別に比較した結果を図 9 に示す。代表的な安定度は, 出現頻度分布より風向 NNE, N, NNW, NW は $R_i = -0.2$, S と SW は $R_i = 0$ を選択した。全検証ケースにおける絶対平均誤差で比較したところ, 解析風向の設定方法によらず中立より代表的安定度のみが精度は良いが, 複数取り入れる方がさらに精度が良くなることがわかった。また, 風向も安定度の設定方法に寄らず, ±11 度を考慮する方が精度は良いことがわかった。

表 2. 各マスト予測誤差の平均と最大

Method	A	B	C	D	D_Fixed	D_Simple
絶対誤差平均	7.8%	4.5%	5.3%	3.4%	3.3%	3.3%
風向毎の最大絶対誤差平均	12.1%	6.4%	8.3%	4.9%	4.8%	5.0%
最大絶対誤差	20.8%	12.5%	13.2%	9.3%	10.4%	12.4%

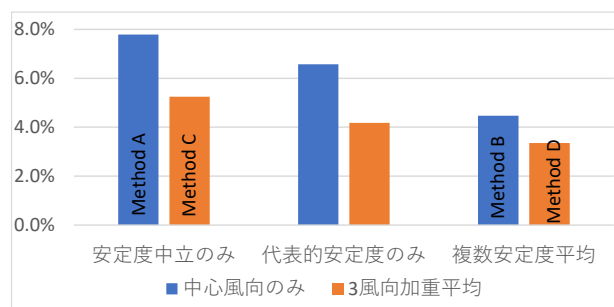


図 9. 安定度や風向±11 度の解析を取り入れる効果

5. まとめ

16 風向区分内の気流の変化やサイトの実際の安定度を反映させるために解析ケースを増やすことで, 精度向上が期待できることがわかった。今後は他サイトでの検証でも本手法の有効性を確認するとともに, 安定度の設定方法の工夫や増大する計算負荷の改善方法なども検討を進める。

参考文献

- 1) 高桑晋, 内田孝紀, 長谷川聖矢, 渡邊慶一郎, 邊見力, 西海江島サイトにおける地形と大気安定度がサイト風況に与える影響の評価と風況予測精度向上の検討, 風力エネルギー利用シンポジウム, Vol. 43, p. 152-155, (2021).
- 2) Susumu Takakuwa and Takanori Uchida, Improvement of Airflow Simulation by Refining the Inflow Wind Direction and Applying Atmospheric Stability for Onshore and Offshore Wind Farms Affected by Topography, Energies 2022, 15(14), 5050