洋上風力発電のための沿岸域における風況予測技術

榎木康太 大塚清敏

Optimization of Weather Prediction Model for Offshore Wind Energy

Kota Enoki

Kiyotoshi Otsuka

Abstract

The optimum selection of various physical processes and functions in the weather research and forecasting model is investigated to account for the wind resource in the coastal areas of the Japan Sea. The following conclusions are obtained. 1) The PBL scheme selection or 4D-assimilation option indicates a larger impact on the prediction of wind speed compared to microphysics. 2) The YSU PBL scheme that successfully predicts strong seasonal wind during winter indicates the lowest mean error among others. 3) The impact of sea surface temperature (SST) is also investigated. The predictions using FRA-JCOPE2 that has cold bias tend to be underestimated against the observation compared with RTG-SST-HR. 4) The sensitivity analyses of the reanalyzes with the same SST indicate little impact on the predictions.

概 要

洋上風力発電に有望な日本海の沿岸域における風況予測のために、気象モデル WRF の物理過程の選択に関 する最適化を行い、実海域で観測された年平均風速を高い精度で予測可能なことを示した。特に、日本海の冬 季季節風に伴う強風の再現性がよい大気境界層過程のモデルを用いた場合に、最も高い精度となることを示し た。また、最適化された気象モデルを用い、年間の風況予測誤差に気象データが与える影響の感度評価を行っ た。その結果、日本海において系統的に低温傾向にある海面水温データでは、平均風速が僅かに過小に評価さ れることを確認した。さらに、同一の海面水温データを用い、海洋に関する条件を統一した上で、大気や地中 の初期値や境界値となる客観解析データを変更した場合の感度評価も行った。その結果、物理過程のモデルや 海面水温データを変化させた場合と比べると、平均風向の出現頻度に対する感度が極めて低いことがわかった。

1. はじめに

将来の持続可能な社会の実現に向けて,環境,安全性, 経済性の両立が可能とされる電源の一つとして風力発電 が注目を集めている。特に、洋上風力発電は、広い海域 を利用した大規模発電が可能であるため、欧州を中心に 発電事業が活発に進められている。四方を海に囲まれた 日本においても膨大な賦存量が見込まれており、国内の 様々な海域で民間の洋上風力発電事業の検討が開始され ている 1)。風力発電の事業性検討では、精度の高い風況 精査技術が求められるが、洋上の風況に絞ると、技術的 に着目すべき点として次のようなものが挙げられる。ま ず,発電用風車が設置される洋上の高度 200m 以下の大 気下層は、大気 - 海洋間の相互作用の影響を強く受ける 点である²⁾。数時間以上の時間スケールを持つ比較的規 模の大きな気象擾乱に加え,海面における大気と海洋間 の相互作用(運動量,熱等の交換過程)の影響により風速 等の各種物理量の鉛直分布が大きく変化する。そのため, 時々刻々変化する海面状態を考慮する必要がある。2 点 目は、陸域影響である。水深 30m以浅の海底が沖合数十 km まで広がる欧州と比べ、日本の沿岸では急激に水深 が深くなる。そのため、国内の着床式風力発電の事業海 域の多くは,離岸距離数 km 以内に位置しており,洋上 であっても陸の地形や地表面摩擦の影響を強く受ける傾向にある^{3),4)等}。これらの特徴を把握するために,事業海域で密度の高い観測を行うことは極めて重要である。しかしながら実務では,主にコストの問題から風況観測は限定的な期間,地点,高度でしか行われないことが多い。 補完的な手段として,気象モデルの適用が検討され^{5),6)} ^等,成果も公開されている⁷⁾。これらは我が国の風力発電 の導入促進に大きく貢献するものと期待される。一方で, 日本の沿岸全域を対象に最適化された結果は,気象・海 象条件の多様な日本周辺の地域や離岸距離によっては誤 差が大きくなる可能性があることに注意が必要である。

本研究では、これまで風況予測を目的とした気象モデ ルの適用事例が少ない日本海沿岸の風況予測⁸⁰を対象と し、汎用気象モデルの最適化を行うことを目的とする。 汎用気象モデルは、物理過程ごとに数多くのモデルが用 意されており、最適な物理オプションを選択し、年間風 況予測に適したモデルを構築する必要がある。本研究で は、まず、解析対象となる観測の概要と解析条件につい て述べ、次に、気象モデルの多岐にわたる物理過程の選 択の最適化を行う。さらに構築した風況予測モデルによ り、年間風況解析結果に対して、各種の気象関連データ が与える影響を検討した。

2. 解析条件

対象観測データについて述べる。Table 1 に本研究で対 象とした洋上風況観測の概要を示す。観測は, Fig. 1(a) に示した秋田県能代市の沖合約 1km の防波堤上に設置 された観測用鉄塔(Fig. 1(b))で実施された。平均海面水位 を基準として 40m, 45m, 50m の観測高度において 1 年 間の風向・風速が得られている。本研究では,これらの データに対して,気象モデルの最適化を行い,各種気象 データが年間風況予測に与える影響について検討する。

Table2 に本研究で用いる気象モデル WRF Ver.3.5.1 の 概要を示す。気象モデル WRF(Weather Research and Forecast Model)⁹は、米国の国立大気研究所(NCAR: National Center for Atmospheric Research)で開発された汎 用気象モデルであり,気象業務および研究の両面で世界 的に非常に広く使われている。気象モデル WRF では, 大気の運動を記述する運動方程式、質量保存の式、熱・ 水分・大気放射等の方程式等を,計算格子で離散化し, 連立させて解くことにより,大気の状態の時間·空間的 な変化を数値的に予測することができる。解析領域はFig. 2(a)に示した 2400km 四方の領域である。入れ子状に解像 度の異なる4つの計算格子を設定し、双方向のネスティ ング計算を行った。解像度が高い領域3及び領域4にお いては WRF 標準の標高・土地利用データセットである GTOPO30・USGS は用いず,国土数値情報を用いた。Fig. 2(b)に解析領域4の地形の様子を示す。風況観測位置は, 領域4のほぼ中心の白抜きの点に対応する。能代の北部 に白神山地、南東部に出羽丘陵があり、それらの間を流 れる米代川の谷筋が、モデルで再現されている様子がわ かる。鉛直方向の計算格子について、全層数を47層、地 上付近の最小格子間隔を 20m, 地上 200m までの水平風 速の定義点がおよそ地上 10.30.50.70.90.110.130.150. 170,190m となるように設定した。

本研究では、解析対象日前日の世界標準時0時(日本標 準時9時)を初期時刻とし、15時間の助走計算の後、解 析対象日24時間(日本標準時0時~24時)の積分計算を行 い、それを1計算単位とする。よって、365日に渡る年 間風況の予測は365計算単位の結合となる。

3. 感度解析による最適化項目の抽出

気象モデル WRF では、大気境界層、雲微物理、放射 伝達などの「物理過程^{*1}」毎に、数多くのモデルが選択 可能である。また、年間風況予測モデルの構築を行うに あたっては、最適な物理オプションを選択する必要があ る。全ての組み合わせで計算負荷の大きい年間風況解析 を実施することは現実的に困難であるため、風況観測期 間内の特定期間に限定しオプションの風況予測結果に対 する感度を調査する。

Table 3 には、本研究で用いた物理過程モデルの一覧を 示す。対象地点は沿岸に位置しており日本海特有の気象

Table 1	風況観測の概要
Descriptions abo	out the On-site Measurement

項目	諸元
観測地点	秋田県能代市防波堤
観測期間	2014/08/01-2015/07/31
観測高度	40m, 45m, 50m
観測項目	水平風速(三杯式), 風向(矢羽式)
取得形式	10分間平均/最大/最小值,標準偏差



(a)能代港湾内位置 Fig. 1 解析対象の観測概要 Position and Photograph of the Met Mast

Table 2	気象モデル解析条件	

Model	odel Setup for Meteorological Simulations		
項目	諸元または設定内容		
気象モデル	WRF (Version 3.5.1)		
解析領域	2400km x 2400km 4 段ネスティング		
鉛直格子	鉛直47層(最小格子間隔約20m)		
積分時間	1計算単位2日間		
最小時間刻み	0.74 秒		
水平解像度	30.38km (領域 1), 10.13km (領域 2), 3.38km (領域 3), 1.13km (領域 4)		
標高値	USGS GTOPO30 (領域 1, 2) + 国土数値情報 ¹⁰ 1km 標高(領域 3, 4)		
土地利用情報	USGS 25 Category (領域 1, 2) + 国土数値情報 ¹⁰⁾ 100m メッシュ(領域 3, 4)		
客観解析値	NCEP FNL 再解析 ¹¹⁾ (鉛直 27 層, 解像度 1.0°)		



Overview of Nested Domains and Modeled Terrains

注)*1:主に計算格子幅より小さく直接計算できない微視的な現象が計 算上の陽な物理量に与える影響についてモデル化したもの。気象モデル では、計算負荷の都合上、粗い格子を用いるため、大気境界層(地面や 海面の摩擦や熱の影響を直接的に受ける層)過程、雲微物理(雲,雪等の 水の相変化とそれに伴う熱移動や運動量等の変化)過程等の様々な物理 過程の考慮が必要となる。

現象の影響を強く受けると予想されることや本研究で行った事前の検討から,感度解析対象を,大気境界層過程, 領域 3-4 における雲微物理過程,WRF 搭載の4次元同化 機能の3点に絞った。Table4に感度解析対象期間を示す。 Table 5 に各感度解析実施時の他オプション選択状況を 示す。なお,4 次元同化に関しては,境界層高さ以上の 自由大気で最外領域1のみに気象場の差を補正するため の外力を与える手法を採った。

Table 6 には、期間 1~3 において地上 50mの観測結果 と WRF の解析結果を比較した予測誤差を示す。平均誤 差MEは、平均風速のWRF解析値と観測値の差であり、 観測値の年平均値に対する相対誤差[%]で示している。ま た,位相誤差に関する情報を含む平均二乗誤差 RMSE も 併記している。今回,感度を調査した物理過程オプショ ンの内,平均誤差 ME に対して最も大きな感度を示した 項目は、"大気境界層過程"であった。予測誤差に関して は、MYJの精度が比較的よいが、ここで実施した限定さ れたケース数では、オプション選択を決定する根拠に欠 けると判断し,境界層過程に関しては,次章の年間風況 予測を通じて最適なオプション選択を行うこととした。 "雲微物理過程"による違いは、他の選択に比べて大き くないことが分かる。加えて、年間風況予測は、長期間 の計算になり計算負荷も大きいため、より計算負荷の低 い WSM6 を選択することとした。また、"4 次元同化" の感度解析では、同化ありのケースは、同化なしのケー スと比べて、平均誤差が悪化する一方、平均二乗誤差は 改善する傾向が見られた。本感度解析では, 平均誤差の 値よりも、4 次元同化の導入により、数日以上の時間ス ケールの現象の推移がより実現象に近づき位相誤差が改 善するという定性的な傾向¹²⁾が確認されたことを重視 し、年間風況予測に4次元同化を使用することとした。

4. 年間風況を指標とした感度解析

ここでは、前項で絞り込んだモデルを用いて年間風況 解析を実施し、まず平均誤差に対する影響が大きいと見 られる大気境界層過程について、次に、大気境界層の安 定度を左右する海面温度データについて、最後に、客観 解析データについて感度解析を実施し、これらの因子が 年間風況解析に及ぼす影響について考察する。

4.1 大気境界層過程に関する感度解析結果

これまでの,期間を限定した感度解析において,風況 予測に与える大気境界層過程選択の影響が比較的大きい ことは確認されたが,平均誤差を最小化する最適なモデ ルは特定されていない。そこで,大気境界層過程のみを 変更し,年間の風況予測を行い,モデル評価を実施する。

Fig. 3 には,地上 50m における 2014 年 8 月 1 日~2015 年 7 月 31 日の1 年間の観測結果と各大気境界層過程によ る予測結果の 10 分間平均風速の風速階級別出現頻度を 示す。また, Fig. 4 には風向別出現頻度を, Fig. 5 には,

Table 3 本研究で考慮した物理過程の一覧 Selection of Parametrization Schemes

	(a) 感度解析 对象外				
物理過程	選択モデル名称				
放射過程	RRTM (長波), Goddard shortwave (短波)				
地表面過程	Noah MP LSM				
積雲過程	Kain-Fritsch (Grid1, 2のみ)				
接地層過程	Monin-Obukhov(大気境界層過程に準ず)				
	(b)感度解析 対象				
物理過程	選択モデル名称				
大気境界層過程	YSU•MYJ•MYNN				
雪濃物理過程	WSM 5 scheme (領域 1, 2)				
云风仍至回住	WSM6•TOM•MY2(領域 3, 4)				
その他	客観解析値*1による4次元同化*2あり・なし				
注)*1:過去の大気状態を,その時間帯に利用可能な観測結果を基に					
気候値・大気	気候値・大気運動の支配方程式等に照らし最尤推定したデータ。				
・ +込まれのためてごれの計算では十年または眼が見まれて上					

X(K)値・人気運動の支配力を式等に無らし取え推定したノータ。
 *2:本論文中の気象モデルの計算では方程式を時間発展させて大気の状態の推移を解析するが、気象モデルの計算は、様々な要因により時として、現実とは異なった状態へ遷移していくことがある。ここでの4次元同化とは、計算途中に既知である大気状態との差が大きくなった場合に、差を小さくする方向に非物理的な外力を作用させる手法を指す。

Table 4 感度解析対象の代表期間 Periods for Sensitivity Analyses

期間名	日付及び気象概況		
期間1	2014/08/26 ~ 2014/09/01 (7 日間) 主に移動性高・低気圧の通過		
期間2	2014/10/23 ~ 2014/11/05 (14 日間) 秋口の日本海低気圧通過・冬型気圧配置		
期間3	2015/03/04 ~ 2015/03/16 (13 日間) 冬季の日本海低気圧通過・冬型気圧配置		

Table 5 各感度解析実施時の他オプション選択状況

Other Parametrization Choices for Specific Analyses

咸康敏拉計角	感度対象でないオプジョンの選択			
恐受所が利家	大気境界層	雲微物理	4 次元	
~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	過程	過程	同化	
大気境界層過程	候補選択	MY2	なし	
雲微物理過程	MYNN	候補選択	なし	
4 次元同化	MYNN	MY2	候補選択	

Table 6 各感度解析結果 Wind Speed Bias and RMSE Calculated with Each Analyses

<u>i</u>				
物理過程スキーム		予測誤差		
		ME (%)	RMSE (m/s)	
十年帝国国	MYNN	-2.2	2.47	
八水現外層	MYJ	+0.1	2.34	
地北王	YSU	+2.4	2.33	
(TE) (MARKATER	WSM6	-2.6	2.46	
丟做物理 過程	TOM	-2.9	2.41	
	MY2	-2.2	2.47	
4 次元同化	なし	-2.2	2.47	
	あり	-4.6	2.31	

風向別平均風速を示す。まず, Fig. 3 の観測値の出現頻 度の分布特徴に着目すると,風速範囲Aに頻度のピーク が確認される。これは主として日変化に伴う海陸風循環 によるものと見られる。また,14m/s~20m/s に確認され る弱いピーク(図中風速範囲 C)は,主に冬季の強い季節 風に対応する。Fig. 4 より,陸風の風向 E と海からの風 である風向 W~NW に明確な風軸が確認できる。Fig. 5 を 併せてみると,海からの風は,頻度・平均風速ともに高 く,この地点における風況予測において再現性を左右す

る重要な要素であることがわかる。次に、各大気境界層 過程の再現性に着目する。YSUは、低風速側だけでなく、 高風速域においても観測結果とよく対応し、今回対象と した3モデルの中では、観測値に最も近い結果となった。 MYJ に関しては、高風速において頻度を若干過小評価し ている。MYNN では、観測値で確認される 10m/s~14m/s 付近の出現頻度を過大に評価しており、凹み部(Fig.3中 風速範囲 B)の再現性が他モデルに比べて低い。Fig. 4の 風向に関して,観測の海側風向の最頻風向はWであるが, 解析では最頻風向は、いずれも WNW と1 風向区分ずれ た結果となった。Fig. 5 に示した風向別平均風速を見る と、Fig.3の MYNN の出現頻度分布の形状再現性の低さ と対応し風向 WNW を中心とした海側風向の平均風速が 他モデルより低くなっていることがわかる。この一因と しては、接地層過程の海面摩擦の効果が YSU・MYJ と異 なることが挙げられる。Table 7 には年間平均風速の予測 結果を示す。全観測風速範囲で評価した予測誤差に加え, 観測風速 10m/s を境に分けて算出した値も示している。 表より、観測風速 10m/s 未満の範囲では、YSU の優位性 は見られないが、10m/s 以上の高風速域では YSU の予測 精度が高く、結果としてこのことが、全風速範囲の年間 予測精度に大きく影響していると言える。

4.2 海面水温に関する感度解析結果

海面水温(SST: Sea Surface Temperature)は、大気境界層 の安定度を左右し、沿岸の海上風況予測において重要な データである。様々な水温データが利用可能であるが、 データごとに利用目的、ターゲットとなる水深、空間分 解能やデータ作成手法等が異なるため、その特性を把握 し利用する必要がある。ここでは、まず、代表的な海面 水温データの日本海における水温の再現性を、自動浮上 式のアルゴフロート¹³⁾の観測値との比較で評価し、海面

		を1日1/1/11世 /	/				
	List of S	SST Datase	ets				
データ略称	FNL	FNL RTG RTGHR JCOPE					
玉	米国	米国	米国	日本			
作成機関	NCEP	NCEP	NCEP	JAMSTEC			
水平解像度(°)	1.0	0.5	0.0833	0.0833			
利用可能期間	1999/8-	2001/2-	2005/10-	1993/1-			

Table 8 海面水温データ



Fig.6 検証用ブイ観測の位置 The Positions of Argo Floats (©OpenStreetMap contributors)



Fig. 8 観測値に対する SST の誤差 SST Bias Calculated with Products



Table 7 平均風速予測結果

Error of Wind Speed Calculated with PBL Schemes						
	観測風速		観測風速		観測風速	
十与	10m/s 未満		10m/s 以上		全範囲	
一八八	標本数		標本数		標本数	
現か層	39684 (76%)		12875 (24%)		52559 (100%)	
旭任王	ME	PMSE(m/s)	ME	PMSE(m/s)	ME	RMSE
	(%)	KWSE(II/S)	(%)	KWSE(II/S)	(%)	(m/s)
MYNN	2.05	2.36	-8.48	2.59	-2.74	2.42
MYJ	4.11	2.21	-9.13	3.01	-1.91	2.43
YSU	4.70	2.34	-3.57	2.61	0.95	2.41



Fig. 7 ブイ観測値と SST データの比較 Scatter Diagram of the Observed SST vsthe SST Products



List of reanalysis data sets					
データ略称	FNL CFSR INTERI				
玉	米国	米国	欧州		
作成機関	NCEP	NCEP	ECMWF		
水平解像度(°)	1.0	0.5	0.75		
時間間隔	6 時間	6 時間	6 時間		
利用可能期間	1999/8-	1979/1-	1979/1-		

水温データを選択する。次に,選択されたデータにより 年間風況予測を行い,年平均風速に対する海面水温デー タの与える影響を明らかにする。

Table 8 には、本研究の年間風況解析で用いるデータセ ットの候補を挙げた。FNL¹¹⁾は気象モデル WRF の初期 値・境界条件となる標準的な客観解析であり, GFS(NCEP Global Forecast System)によるデータ同化プロダクトであ る。ここでは3次元の客観解析から海面水温を抽出した ものを FNL と称す。RTG¹⁴⁾, RTGHR¹⁴⁾は NCEP により最 適内挿法により作成された海面水温データである。 JCOPE(正式名称 FRA-JCOPE2¹⁵⁾)は国立研究開発法人海 洋開発研究機構(JAMSTEC)において海洋循環モデルの データ同化により作成されたプロダクトである。Fig. 6 には、日本海において 2014 年 8 月 1 日から 2015 年 7 月 31 日の間にアルゴフロートで観測された水温データの 観測位置の分布を示す。各点の色は、観測時期を表し、 青が冬季, 黄が夏季の観測であることを示す。Fig.7の 各図は、横軸にアルゴフロートの鉛直水温分布から線形 内挿して求めた水深10mにおける水温,縦軸に各海面水 温データセットから観測位置最近傍値をプロットした散 布図である。何れも相関係数 r が 0.9 以上で、実測との 高い相関が確認される。特に高解像度の RTGHR と



JCOPE の観測に対するばらつきが小さく,海面温度の詳細な分布が再現されている様子が伺える。Fig. 8 には観測値に対する誤差を示す。観測値に対し RTGHR は高温の傾向を,一方 JCOPE は低温の傾向を持つことがわかる。

本研究では、高水平解像度の RTGHR、JCOPE を感度 解析の対象として年間の風況解析を実施した。これまで の検討から、年間風況予測に用いた各種物理過程の選択 は、大気境界層過程として YSU、微物理過程として WSM6、4 次元同化をありとした。

Fig.9に風速階級別の出現頻度分布を示す。全体的な風 速階級別の頻度分布は,RTGHRの方が観測値によく対応 し,JCOPE では僅かながら低風速側にシフトした分布と なった。続いて,風向別の出現頻度,平均風速をそれぞれ Fig.10,Fig.11に示す。風向別出現頻度を見ると,JCOPE では,高頻度風向のWNW,NWで,RTGHRに比べ頻度 が減少し,風向Wでは頻度が増加する。結果として,よ り観測値に近い分布形状を示した。風向別平均風速に関し て,JCOPEでは海側風向を中心に減少する結果となった。 変化の要因として,RTGHRに比べJCOPEは相対的に海面 水温が低いために日本海を通過する温帯低気圧の発達過 程や冬季日本海の季節風の気団変質過程に差が生じた可 能性が考えられる。これらの因果関係についてはより詳細 な検討が必要である。いずれの高解像度データでも年平均 風速の予測精度は5%以内に収まった。 従って,高い水平解像度を持つ海面水温データを用い ることにより最内領域沿岸の海面温度分布の精度を向上 させることが沿岸の風況予測では重要であるとみられる。

4.3 客観解析データに関する感度解析結果

最後に,気象モデルに与える初期値・境界値の元とな る客観解析データに関して年間風況予測値を対象とした 感度解析を実施した。それぞれの客観解析値に含まれて いるSSTは空間解像度が低いため、高解像度のRTGHRを 用いる。Table 9に本研究で検討した感度解析対象の客観 解析一覧を示す。より空間解像度の高い第3世代全球客観 解析から, NCEPのCFSR¹⁶とECMWFのINTERIM¹⁷⁾を選 択した。Fig. 12に示した風速階級別の出現頻度分布形状 は同一機関が作成したFNLとCFSR同士の形状が比較的 近く、観測の再現性が良いことや、INTERIMでは他モデ ルと比較して風速が低く解析されていることがわかる。 Fig. 14の風向別平均風速を見てもINTERIMではFNLや CFSRに比べて全体的に低い風速になる傾向が確認され る。一方で、Fig. 13の風向別出現頻度から、風向に対す る客観解析の感度は小さいことがわかり、Fig. 10のSST に対する感度と比べても風向の予測精度に客観解析値が 与える影響は少ないと解釈できる。すなわち風向分布は, 4次元同化を行っているにも関わらず、気象モデル内で再 現された結果である可能性が示唆される。

5. まとめ

1年間の日本海沿岸観測を対象とした気象モデルWRF の物理過程選択の最適化の検討を行い、構築した風況予 測モデルにより、年間風況予測誤差に対する各種気象デ ータの影響を評価し、以下の結論が得られた。

- 短期の感度解析から検討対象オプション選択の中では、特に、大気境界層過程及び4次元同化有無の選択が大きな影響を与えることが示された。
- 2) 大気境界層過程を変えた場合の年間風況予測を実施し日本海の冬季季節風の平均風速の再現性がよいYSUが最も高い予測精度を示した。
- 3) 海面水温データが年間平均風速に対する影響を解 析し、系統的に日本海にて低温傾向にある JCOPE で平均風速が僅かに過小評価の傾向を示した。
- 4) 同一の海面水温データを用い、大気や地中に限っ て客観解析値を変更した場合の風向の出現頻度に 対する感度は物理過程や海面水温データを変化さ せた場合と比べると低いことがわかった。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総 合開発機構(NEDO)の委託業務「洋上風況観測技術開発」 で得られた研究成果である。また、JAMSTEC宮澤氏には FRA-JCOPE2を提供していただいた。ここに記して関係 者の皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発 機構:着床式洋上風力発電導入ガイドブック,2015
- 山中,他:銚子沖における洋上風況観測 その3 ~ 風況における大気安定度の影響~,平成27年度年次 研究発表会梗概集,pp.105-106,2015
- 鷲尾,他:洋上風力発電の実用化をめざした北九州 市沖洋上風況観測塔による気象・海象観測,土木学会 論文集 B3(海洋開発),Vol. 69, No. 2, pp. 11-16, 2013
- 4) 助川,他:銚子沖 3.1km における洋上風況観測,第35 回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp. 260-263,2013
- 5) 石原,他:洋上風力発電所建設のための海象・気象条 件と施工稼働率の数値予測,風力エネルギー,35,4, pp.A7-A14,2011
- 大澤,他:NEDO洋上風況マップにおける WRF計算 精度」,第38回風力エネルギー利用シンポジウム予 稿集,pp. 17-20,2016
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発 機構:洋上風況マップ NeoWins, http://app10.infoc.nedo. go.jp/Nedo_Webgis/top.html,「2018.8.20 閲覧」
- 8) 渡辺,他:気象モデルWRFとカップ式風速計を用いた沿岸域での風況調査について,第35回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集,pp.371-374,2013
- 9) Skamarock et al. : A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, 2008
- 10) 国土交通省:国土数值情報, http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/ index.html,「2018.9.6 閲覧」
- 11) NCEP : FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999, NCAR, 2000
- 石原孟,福島雅人:メソスケールモデルを用いた洋上 風況予測と実測による検証,日本風工学会誌,Vol.40, No.2, pp. 107-108, 2015
- Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC) - Snapshot of May, 8th, 2016
- 14) Gemmill et al. : Daily Real-Time, Global Sea Surface Temperature- High-Resolution Analysis: RTG_SST_HR., NOAA/NWS/NCEP/MMAB Office Note Nr. 260, 2007
- 15) Miyazawa et al. : Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, J. Oceanogr., Vol. 65, pp. 737–756, 2009
- Saha et al. : The NCEP Climate Forecast System Version
 J. Climate, Vol. 27, pp. 2185–2208, 2014
- 17) Dee et al. : The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, Q. J. R. Meteorol. Soc., Vol. 137, No. 656, pp. 553–597, 2011