

# 風況シミュレーションについて

## 1. 500m 格子風況シミュレーション

### 1) 計算条件

風況シミュレーションには、米国大気研究センター（NCAR）を中心として開発が進められているメソスケール気象モデル Advanced Research WRF（Weather Research and Forecasting model）（<http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>）のバージョン 3.6.1 を使用した。この WRF を用いて離岸距離 30km 以内の沿岸海域を対象とした風況シミュレーションを行うために、日本全国の沿岸海域を緯度  $1^\circ \times$  経度  $1^\circ$  のタイルを基準として 160 の領域に分割した（図 1）。分割された各々の領域に対して、2.5km 格子の第 1 領域（250km  $\times$  250km）に 500m 格子（約  $1^\circ \times 1^\circ$ ）の第 2 領域をネスティングした計算領域を設定した（図 2）。

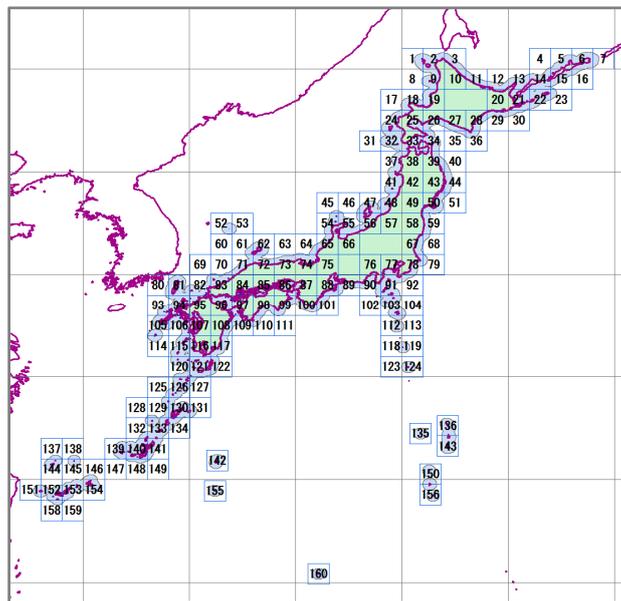


図 1 500m 格子風況シミュレーションのための 160 領域の配置

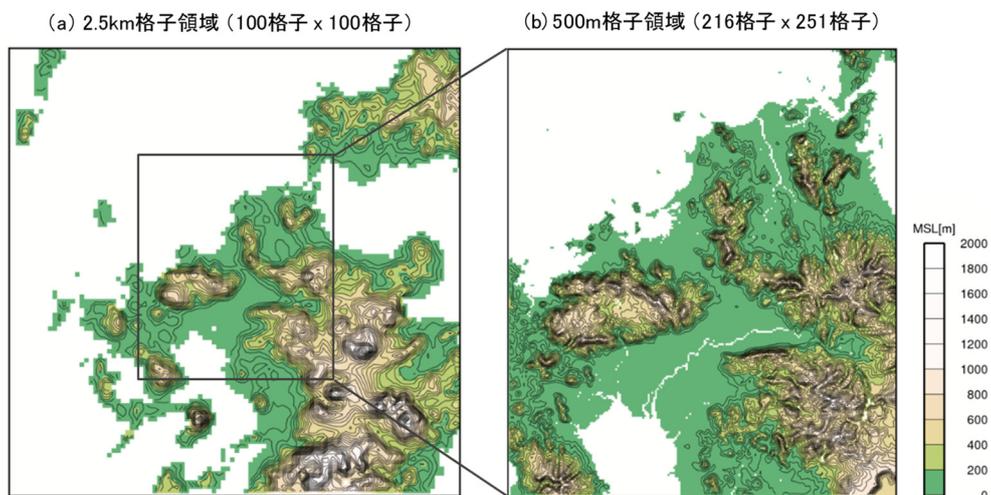


図 2 500m 格子風況シミュレーションのための計算領域の一例（第 95 領域）

表 1 に 500m 格子風況シミュレーションの計算条件を示す。モデルの鉛直層は、地表から 100hPa（高度約 16km）の間に 40 層を配置し、高度 300m 以下に 5 層を配置した。WRF への入力値として、気象場データにはメソ客観解析値（気象庁）、海面水温データには MOSST（産総研・神戸大）、標高データには ASTER-GDEM（経済産業省・NASA）、土地利用データには国土数値情報（国土交通省）を用いた。風況計算の精度に直接関係する大気境界層過程には、既往研究において洋上で実績のある Mellor-Yamada-Janjic スキームを用いた。それ以外の物理過程スキームについては表 1 に示す通りである。4 次元データ同化（解析値ナッジング）は風速、気温、混合比に対して行い、第 1 領域は全層で、第 2 領域は大気境界層上端高度以上で同化を行った。この計算条件を用いて、160 の各領域に対して 1 ヶ月を単位とした計算を順次行い、全体として 2009 年、2012 年、2014 年の 3 年間分の計算を実施した。

表 1 500m 格子風況シミュレーションの計算条件

計算期間	3 年間（2009 年、2012 年、2014 年）
入力データ	気象要素： 気象庁 メソ客観解析値（3 時間毎，5km×5km） 土壌要素： 米国環境予測センター（NCEP）Final Analysis（6 時間毎，1°×1°格子） 海面温度： 産総研・神戸大 MOSST（1 日毎，0.02°×0.02°格子）
地形データ	標 高： 経産省・NASA ASTER-GDEM（30m×30m） 土地利用： 国交省 国土数値情報 土地利用細分メッシュ（100m×100m） ※ 第 1 領域は米国地質調査所（USGS）の GTOPO30
計算領域	第 1 領域： 2.5km 格子領域（100×100 格子） 第 2 領域： 0.5km 格子領域（1°×1°になるように格子数を調整）
鉛直層	40 層（地表から 100 hPa 面） 手動設定 ハーフレベル下層 5 層（23m, 73m, 130m, 199m, 287m）
物理過程スキーム	長波放射過程： Dudhia scheme 短波放射過程： RRTM（Rapid Radiative Transfer Model）scheme 雲微物理過程： Ferrier（new Eta）scheme 大気境界層過程： Mellor-Yamada-Janjic（Eta operational）scheme 接地層過程： Monin-Obukhov（Janjic Eta）scheme 大気陸面過程： Noah Land Surface Model scheme 積雲パラメタリゼーション： 無し
4 次元データ同化	第 1 領域： 全層同化（風速，気温，混合比） 第 2 領域： 大気境界層上端高度以上で同化（風速，気温，混合比）

## 2) 計算精度

風況マップで示される風速は、次節で述べられる長期低解像度シミュレーションの結果を用いて長期変動補正（平年値化）されたものであり、直接的にその精度を検証することはできない。そこで、以下では WRF 計算値自体の精度について述べる。精度検証は、風車ハブ高度相当の風況観測値を有する北九州沖洋上風況観測タワー、銚子沖洋上風況観測タワー、能代港風況観測タワー、及び、港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設棧橋（ライダー観測）の 4 サイトで行った。北九州沖及び銚子沖については 2013 年の 1 年間の月平均風速観測値、能代港については 2014 年 8 月から 2015 年 7 月までの 1 年間の 1 時間毎の 10 分平均風速観測値、波崎棧橋については 2015 年 10 月から 2016 年 9 月までの 1 年間の 1 時間毎の 10 分平均風速観測値をそれぞれ用いて検証を行った。

図 3 は 4 サイトの年平均風速誤差（バイアス）を示したものである。バイアスは、北九州沖で+0.3%、

銚子沖で+1.2%、能代港で-2.9%、波崎棧橋で+4.5%であった。全サイトにおいて本事業の開発目標である±5%以下の誤差となったが、全体の平均では+0.8%となり、やや過大評価の傾向が見られた。

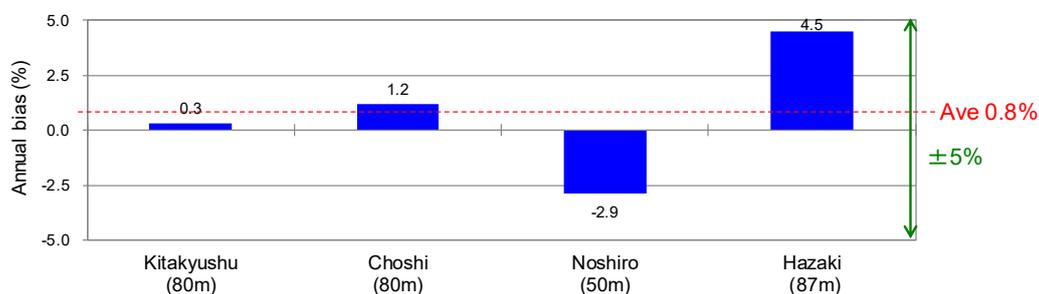


図3 ハブ高度風況観測点4サイトにおけるWRF計算値の年平均風速誤差(バイアス)(%)

図4は、能代港を除く3サイトの複数高度の観測値に基づいて年平均風速誤差(バイアス)の鉛直分布を示したものである。この図より、WRF計算値の正バイアスは、上空に向かうにつれて小さくなっていく傾向があることがわかる。例えば、北九州沖の高度40mではバイアスは+6%程度であるが、高度80mではほぼ0%まで減少している。この事実は、次に示す低高度観測値による精度検証の結果の解釈においても重要になる。

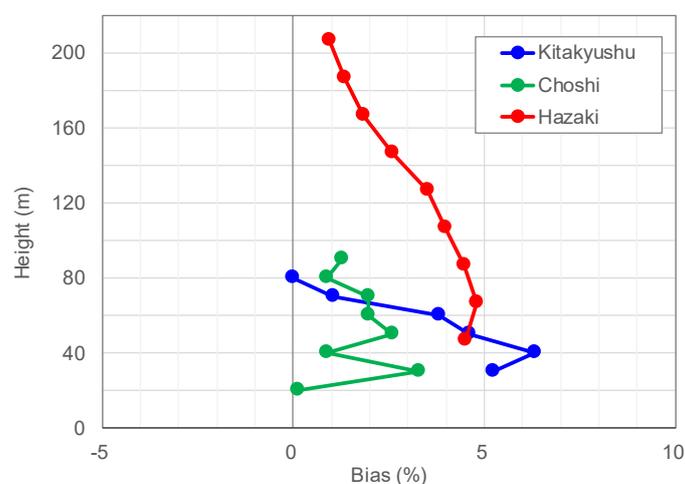


図4 北九州沖、銚子沖及び波崎棧橋における年平均風速誤差の鉛直分布

洋上においては風車ハブ高度における風況観測値は極めて少なく、本事業で入手できたのは先に示した4サイトの観測値のみであった。そこで、参考値としてではあるが、比較的入手しやすい低高度(高度30m以下)の観測値に基づく精度検証の結果についても記載しておく。検証には、国土交通省港湾局、同地方整備局、東京大学生産技術研究所、京都大学防災研究所、高知県水産振興部等から提供頂いた全国31ヶ所のブイ、鉄塔の洋上風況観測値を用いた。

全国31サイトにおけるWRF計算値の年平均風速誤差(バイアス)を図5に示す。バイアスは-4.7%から12.1%の間にあり、±5%に収まっていないサイトもいくつか見受けられる。ただし、先の図4の結果に

基づけば、ハブ高度での実際のバイアスはこれらの値よりは小さいものと考えられる。全サイトのバイアスの平均値は+2.8%となり、全31サイト中26サイトにおいて正の値を示した。このことから、ハブ高度での検証結果と同様に、WRF 計算値には全体的に過大評価の傾向があることがわかる。

この傾向は、観測サイトの離岸距離と関係していることも明らかになってきた。図6は、横軸に各サイトの離岸距離、縦軸にバイアスを示したものである。この図より、正バイアスは海岸線付近で顕著であるが、沖合に向かうにつれて小さくなり、30km 以遠ではほとんど見られなくなることがわかる。この結果は、WRF 計算値は陸上で過大評価傾向になりやすく、海上でやや過小評価になりやすい（加藤他、2017）という事実と関係している。陸側からの風が主風向となる海域では WRF 計算値が正バイアスを持つ可能性が高まるため、本風況マップを利用する際にはその点にご留意頂きたい。

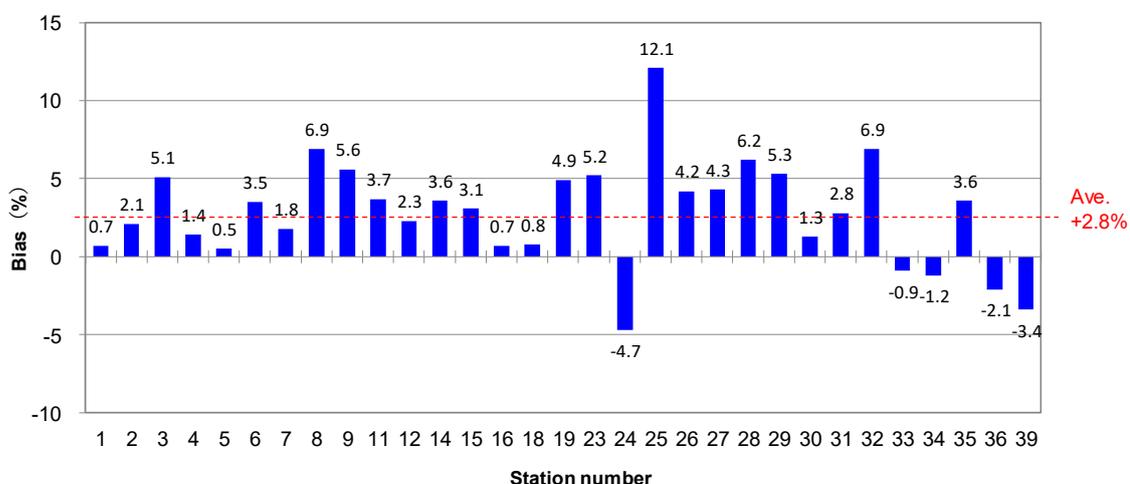


図5 低高度風況観測点31サイトにおけるWRF計算値の年平均風速誤差（バイアス）（%）

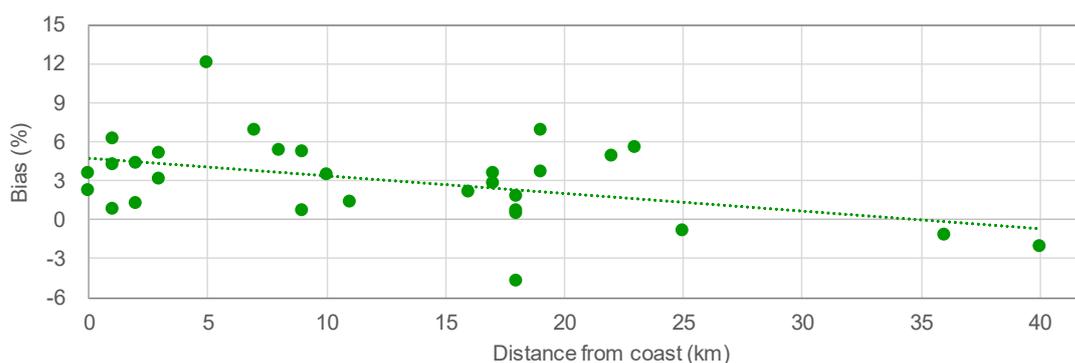


図6 観測サイトの離岸距離とWRF計算値の年平均風速誤差（バイアス）の関係

## 2. 長期低解像度シミュレーション

### 1) 計算条件

風況の長期変動補正及び衛星データ（10m 高度観測値）の高度補正を目的として、500m 格子シミュレーションとは別に、より広範囲な海域を対象とした長期間のシミュレーションを行った。図7にこの長期

低解像度シミュレーションの計算領域を、表 2 に計算条件を示す。計算領域は 10km 格子の単一領域で、計算期間は 1995 年から 2014 年の 20 年間である。WRF への入力値として、気象場データには欧州中期予報センター (ECMWF) の再解析値 ERA-Interim、海面水温データには英国気象局の OSTIA、標高及び土地利用には米国地質調査所のデータを用いた。それ以外の計算条件は、表 1 に示す 500m 格子風況シミュレーションの計算条件とほぼ同様である。

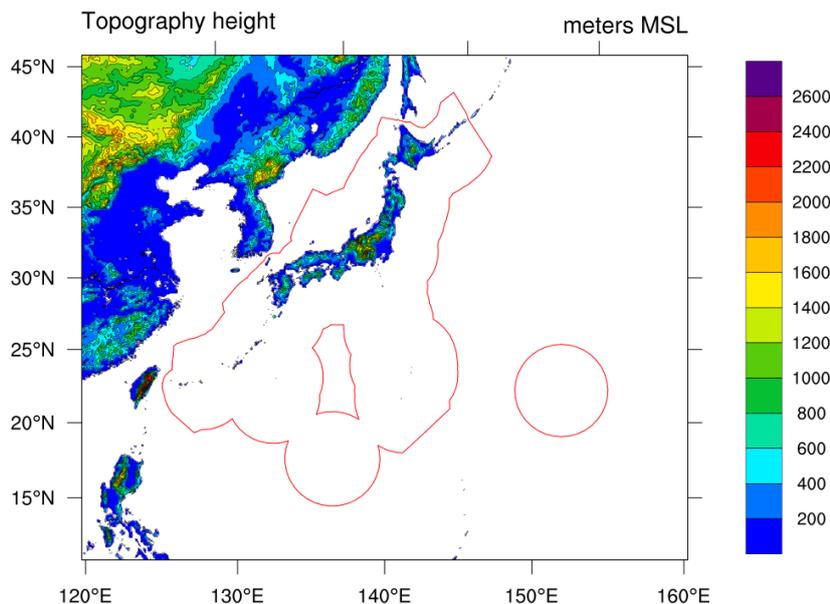


図 7 長期低解像度シミュレーションの計算領域

表 2 長期低解像度シミュレーションの計算条件

計算期間	20 年間 (1995 年 1 月 1 日～2014 年 12 月 31 日)
入力データ	気象要素： 欧州中期予報センター (ECMWF) ERA-Interim (6 時間毎, 0.75°×0.75°) 土壌要素： 欧州中期予報センター (ECMWF) ERA-Interim (6 時間毎, 0.75°×0.75°) 海面温度： 英国気象局 (Met Office) OSTIA (1 日毎, 0.054°×0.054°)
地形データ	標 高： 米国地質調査所 (USGS) GTOPO30 (30"×30") 土地利用： 米国地質調査所 (USGS) 24 種別土地利用 (30"×30")
計算領域	10km 格子領域 (500×420 格子)
鉛直層	40 層 (地表から 100 hPa 面) 自動設定
物理過程スキーム	長波放射過程： Dudhia scheme 短波放射過程： RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) scheme 雲微物理過程： Ferrier (new Eta) scheme 大気境界層過程： Mellor-Yamada-Janjic (Eta operational) scheme 接地層過程： Monin-Obukhov (Janjic Eta) scheme 大気陸面過程： Noah Land Surface Model scheme 積雲パラメタリゼーション： Betts-Miller-Janjic scheme
4 次元データ同化	大気境界層上端高度以上で同化 (風速, 気温, 混合比)

## 2) 計算精度

日本沿岸で風況の長期変動を議論できるほど長期間にわたって良質な観測値が得られる洋上サイトは非常に限られている。ここでは、前出の波崎栈橋と京都大学白浜海象観測所鉄塔の2サイトにおける精度検証結果について記載する。長期にわたってデータ品質が保証でき、且つ欠測が少ない期間を検討した結果、両サイト共に2004年から2012年までの9年間で選定された。しかし9年間では1サイトにつき9つのサンプルしか得られないため、ここでは解析の信頼性を向上させるために月平均風速値(12ヶ月×9年=108サンプル)を対象として長期変動の再現性を検証した。

再現性の評価指標として、図8に示すような月平均風速偏差(各年各月の月平均風速の9年平均からの偏差)を定義した。これは、平均的な1年の季節サイクルを取り除くことにより、月毎に年周期以上の長期変動を抽出した指標である。この月平均風速偏差の再現性が良い、即ち、観測値に対する相関係数が高いほど、年平均風速の長期変動についても再現性が良いものと解釈できる。

図9は、WRF計算値に基づく波崎での月平均風速偏差を観測値と比較したものである。図中には、日本周辺において長期変動の解析に利用可能な6つのデータセット(ERA-Interim, MERRA, MERRA-2, JRA-55, DSJRA-55, NCEP-FNL)に基づく結果も同時に示している。各データセットの詳細については和田他(2017)を参照頂きたい。この図より、WRFの相関係数が最も高く(0.64)、2番目はECMWFの全球再解析値ERA-Interim(0.51)であることがわかる。つまり、全球再解析値の中で最も相関係数の高いERA-Interimを入力値としてダウンスケーリングした結果、WRFでは更に相関係数が上がったものと解釈できる。波崎と同様な解析を白浜においても行い、その結果得られたWRF計算値及び6つのデータセットに基づく月平均風速偏差の相関係数を図10に示す。波崎同様、白浜においても全データセットの中でWRFの相関係数(0.86)が最も高いことが明らかになった。

以上、洋上において高品質且つ長期間のデータが得られた波崎と白浜での精度検証により、本事業で実施したWRF長期低解像度計算による風況の長期変動の再現性は、現時点において、既存のいずれのデータセットよりも良いと結論付けられた。

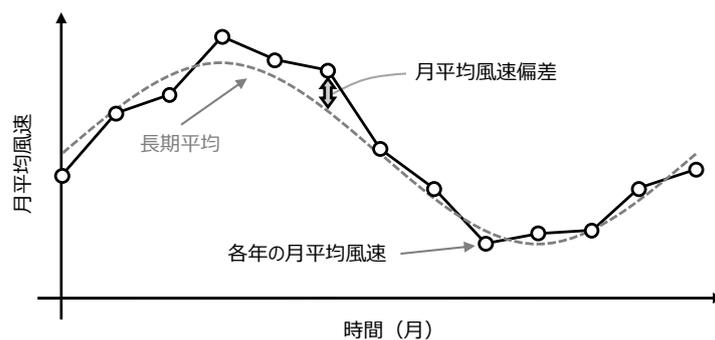


図8 月平均風速偏差(月平均風速の長期平均値からの偏差)の定義

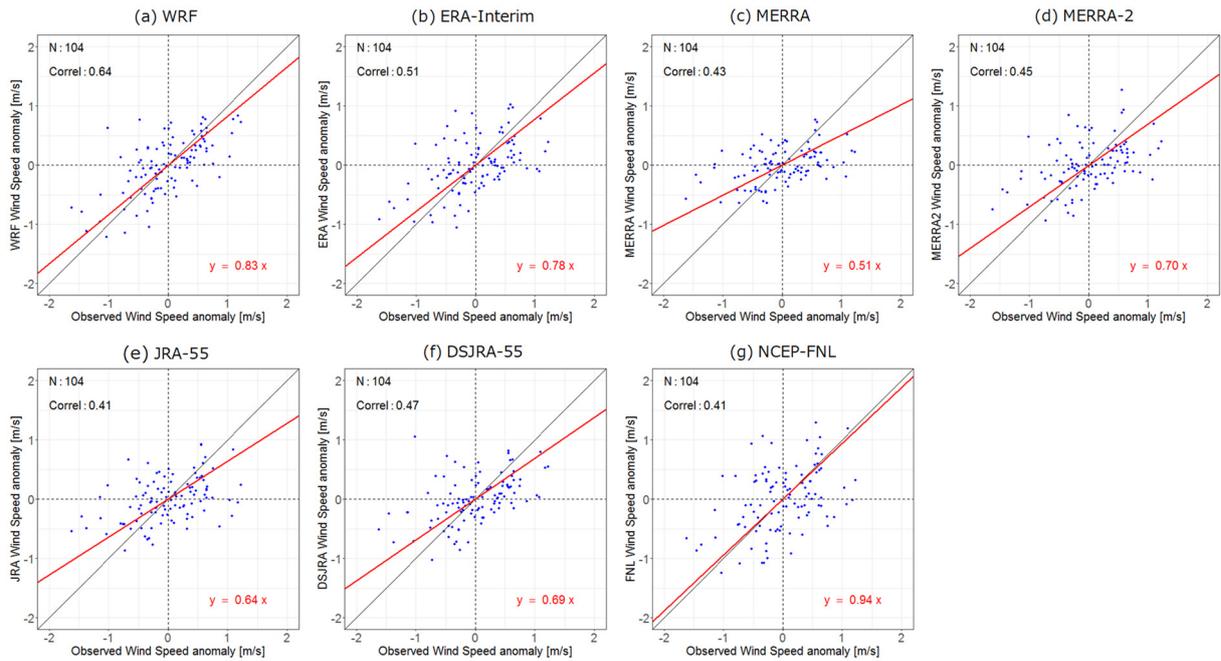


図9 様々なデータセットに基づく波崎における月平均風速偏差の再現性 (2004-2012年)

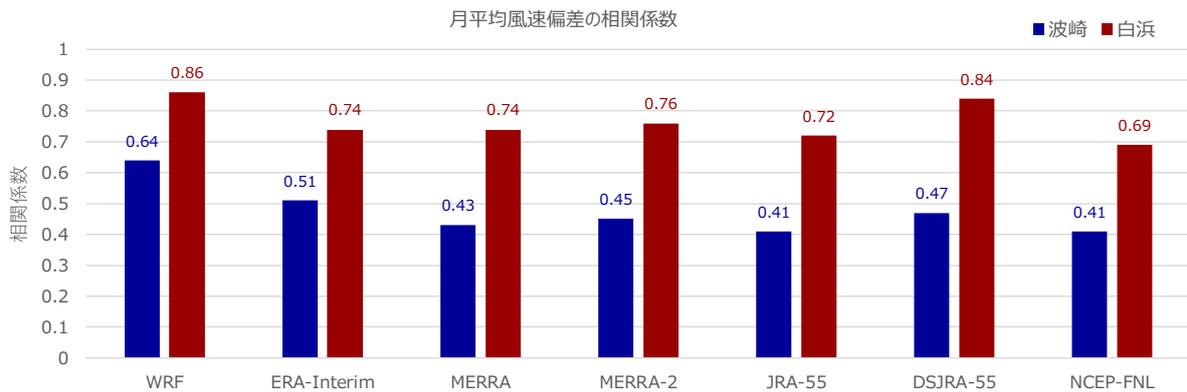


図10 様々なデータセットに基づく波崎と白浜における月平均風速偏差の相関係数 (2004-2012年)

参考文献：

- 加藤茉里, 大澤輝夫, 上出広和, 嶋田進, 2017: 日本沿岸における WRF 計算風速の空間的なバイアス特性についての検証, 第39回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp. 253-256.
- 和田光樹, 大澤輝夫, 嶋田進, 竹山優子, 2017: 日本周辺における長期風況変動解析用データセットの比較, 第39回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, pp. 531-534.