

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21665

研究課題名(和文)メソ気象モデルによる海上風推定の高度化を目的とした 内部境界層解像スキームの開発

研究課題名(英文)Development of internal boundary layer resolving scheme for increasing offshore wind simulations with a mesoscale meteorological model

研究代表者

嶋田 進 (Shimada, Susumu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員

研究者番号：90712208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、港湾空港技術研究所・波崎海洋研究施設においてLiDAR (Light Detection and Ranging; 光波による風計測装置)を用いた陸上および海上風の野外観測を実施した。その結果、風の吹送距離(フェッチ)に応じて接地層内の風速が徐々に強くなるフェッチ効果が観測された。このフェッチ効果は、水平方向には2km以下、鉛直方向には150m高以下で顕著であることが明らかとなった。また、高解像度な気象シミュレーションとの比較により、数値計算ではこのフェッチ効果ははっきりとは再現できないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：An onshore and offshore measurement campaign was conducted with two vertical LiDARs (Light Detection and Ranging) at HORS (Hazaki Oceanographical Research Station). As a result, fetch effect which is a wind speed increasing phenomena while traveling over the sea was observed. Horizontally, the fetch effect was obvious within 2 km fetch length and vertically, the effect was also obvious up to 150 m height from the surface. In addition, a comparison of the observation with the simulation using a mesoscale meteorological model showed that the fetch effect clearly shown in the LiDAR observation became rather ambiguous in a numerical simulation.

研究分野：エネルギー気象学

キーワード：洋上風力発電 海上風 ライダー 野外実験 メソ気象モデル

### 1. 研究開始当初の背景

洋上風力発電施設の開発コストは数百億円規模に上ることから事業性の評価には事前の風況調査が不可欠である。しかし、海上風の現場観測は観測マストの建設費用に数十億円のコストを要するため、近年では、経済的且つ面的な調査が可能なメソ気象モデルや人工衛星を活用した海上風推定手法が注目されている。

メソ気象モデルによる海上風推定は、外洋では高い計算精度が期待できるものの、海岸線付近では精度が大幅に低下することがわかっている。この精度の低下は、高精度な海面水温データを下面境界条件に与えることにより部分的に改善されることがわかっているものの、風が陸から海へと吹送する場合に計算値が過大評価し易いという課題がある。一般に、洋上風力の有望海域が海岸線から数十 km の範囲であることを考えると、メソ気象モデルによる海上風推定は洋上風力開発において最も重要な海域の精度が低いという問題を含んでいる。

この問題は海岸付近の風況構造と関連している。沿岸風況は、海岸線を境に地表面の力学的粗度および大気安定度が急激に変化するため非常に複雑なことが知られている。図1は風が陸から海へと吹送する場合の地上から数百 m 高までの風の変質過程を模式的に示したものである。定性的には、乱れ及び鉛直シアの大きい陸上風は海岸線に到達し、そこから吹送距離(フェッチ)が延びるにつれて徐々に乱れ及びシアの小さい海上風へと変質する。

この海上風に完全に変質するまでの遷移領域において、陸上風の乱れたシアの大きい境界層の内側に海上風の性質を含む内部境界層と呼ばれる新たな層が形成されている。これまでのところ、数値モデルで再現できるか以前に、その検証データとなる観測データすら得られていないという現状である。そこで本研究では、リモートセンシング風計測装置を使用した内部境界層の野外観測を実施すると同時に、新たなスキーム開発に向けて、数値気象モデルの海岸線付近での精度について検討するものである。

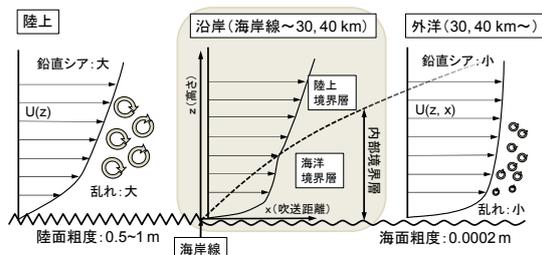


図1 海岸線付近における風の変質過程

### 2. 研究の目的

洋上風力資源量調査手法のひとつとしてメソ気象モデルが注目されている。メソ気象

モデルによる海上風推定は、外洋では高い精度が期待できるものの沿岸ではその精度が著しく低下する。これは、内部境界層を伴う海岸線付近の複雑な境界層構造をモデル内で再現できていないことが一つの要因と考えられる。

本研究では、ライダー (LiDAR: Light Detection and Ranging; 光波による風計測装置) を用いた野外観測を実施する。さらには、高解像度な気象モデルによる海上風シミュレーションを実施し、海岸線付近での風況の再現性について検討する。最終的には、気象モデルによる海上風シミュレーションの精度を改善することにより、メソ気象モデルを用いた任意海域での低コストな洋上風力資源量調査の確立を目指すものである。

### 3. 研究の方法

野外実験サイトは港湾空港技術研究所の波崎海洋研究施設である。図2は鉛直ライダーの設置状況を示している。橋長約 400 m の栈橋先端 (図2中 LiDAR#1) および根元の観測小屋の屋上 (同 LiDAR#2) に Leosphere 社製のライダー Windcube V1 をそれぞれ 1 台ずつ設置した。栈橋の高さは平均海面より約 7 m で、それぞれライダー設置面より上空 40~200 m までの風向風速を 20 m 高間隔で計測した。サンプリング周波数は約 1 秒で、本研究では 10 分平均の風向風速を用いた。栈橋の南側には海岸線に沿ってハブ高さ 60 m の大型風車が複数機稼働しており、207° および 173° の風向付近はライダー観測値は直近の風車後流の影響範囲に含まれる。観測期間は、2016年3月下旬から9月末までの約6ヶ月間である。

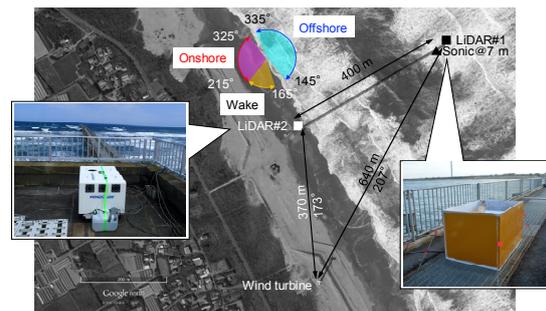


図2 波崎海洋研究施設におけるデュアル鉛直ライダー観測

### 4. 研究成果

図3は、ライダー野外実験により得られた LiDAR#1 (上) 及び LiDAR#2 (下) の 10 分平均風速の出現頻度を示している。ライダー間の距離が近いため、風速の出現頻度のような基本的な統計量を比較した場合には陸上と洋上のふたつの観測結果の間に大きな違いは確認できない。

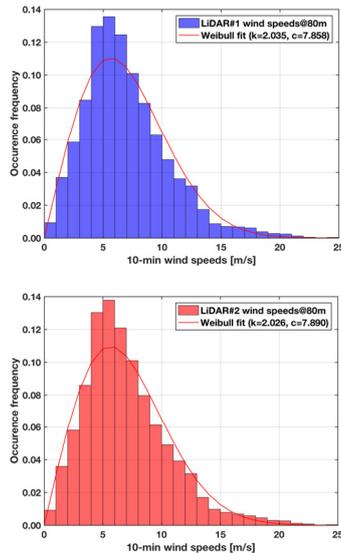


図3 LiDAR#1 (上) 及びLiDAR#2 (下) から得た10分平均風速の出現頻度

しかし、同時刻における風速比を風向毎にプロットすると、陸上と洋上に設置されたLiDAR間の特徴が少しずつ明らかになってくる。図4は、LiDAR#1とLiDAR#2の風向別風速比を示している(海面高50m)。海風(風向 $335^{\circ}\sim 145^{\circ}$ )の場合は、LiDAR間の風速値はほぼ同じであるのに対して、陸風時に風速比率は100%間から大きく外れることが確認できる。ここで、風向 $155^{\circ}$ 及び $325^{\circ}$ 付近の二つのピークは、海岸線の走行にほぼ一致する。すなわちこの凹凸は、フェッチの違いによって、陸上と海上とで風速差があることを意味している。また、 $200^{\circ}$ 付近のお椀上のプロットはLiDAR#1が近傍風車のウェイク領域に含まれていることを起因している。

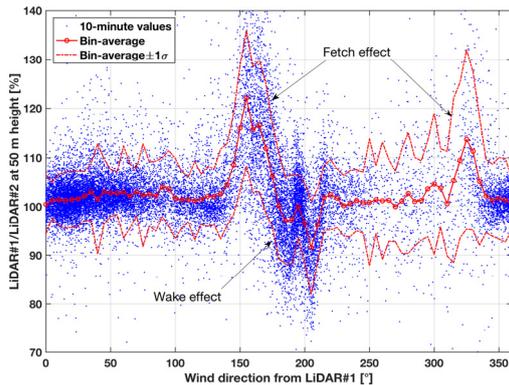


図4 ライダー間の風向別風速比 (50m高)

図5は、この棧橋が直線的な海岸線上に立地するという自然地理学的な特徴を利用して、風向と風速比の関係をフェッチと風速比の関係に描き直したものである。非常に興味深いことにフェッチが延びるにつれて、風速比が増大する様子をはっきり確認できる。フェッチ800m以下では風速比に変化は見られず、そこから徐々に海上風の方が陸上風よりも強くなっていく。しかもこれらの変化は線形

的な単調増加ではなく、フェッチ1000m以下で大きな勾配を持ち、そこを超えると勾配は緩やかになる

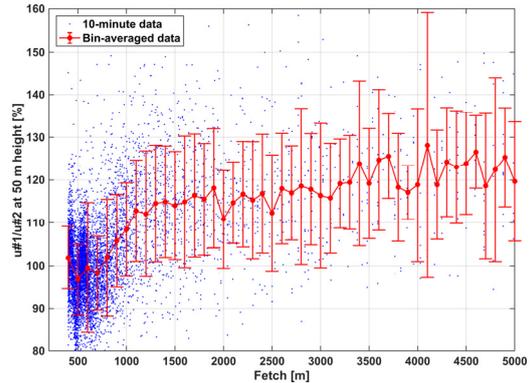


図5 フェッチと風速比の関係 (50m高)

図6は、図5と同様に高度別に風速比とフェッチの関係を示したものである。この結果より、海岸線付近における地表面の粗度および安定度によって生じる風速変化(=フェッチ効果)は、鉛直方向には地表面から高度150m以下で顕著である現象であることも明らかとなった。

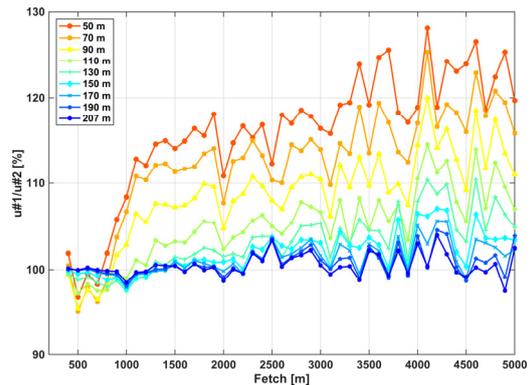


図6 フェッチと風速比の関係 (50~207m高)

研究後半には、ライダー野外実験を対象に、数値モデルによるフェッチ効果の再現計算も実施した。図7は、棧橋付近を対象に500m格子のメソ気象モデルWRFによる海上風シミュレーションを実行し、その結果に基づいて風向別風速比の関係をプロットしたものである。実際のライダー観測では、フェッチ効果によって115~120%の増速が確認できたのに対して(図5)、数値気象モデルでは海岸線付近のフェッチ効果は不鮮明になってしまいうことがわかった。

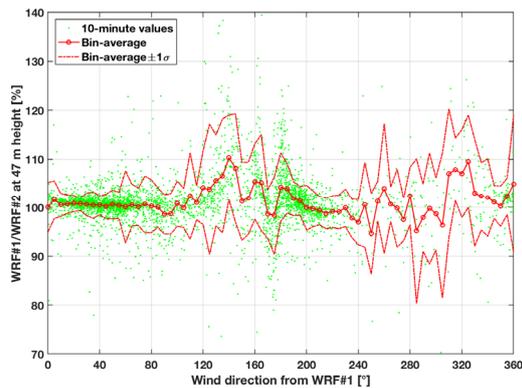


図7 WRFによる風向別風速比 (50m高)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① 嶋田進, 大澤輝夫, 小林智尚, 吉野純, 竹山優子, 小垣哲也, 複雑地形における気象モデルによる高解像度風況シミュレーション, 第37回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, 査読無し, 37巻, 2015, 241-244. DOI: [https://doi.org/10.11333/jweasympo.37.0\\_241](https://doi.org/10.11333/jweasympo.37.0_241)
- ② Susumu Shimada, Yuko Takeyama, Tetsuya Kogaki, Tomonao Kobayashi, Jun Yoshino, Regional scale wind power forecasting using a mesoscale model in a northern part of Japan, Proc. of ICEE2015, 査読無し, 2015, ICEE15A-255.
- ③ 嶋田進, 竹山優子, 小垣哲也, 大澤輝夫, 中村聡志, 川口浩二, 波崎海洋研究施設における海上風の長期ライダー観測, 第38回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, 査読無し, 38巻, 2016, 199-202.
- ④ Susumu Shimada, Yuko Takeyama, Tetsuya Kogaki, Teruo Ohsawa, Koji Kawaguchi, Satoshi Nakamura, Investigation of the fetch effect using onshore and offshore vertical LiDARs, Proc. of WindEurope2016, 査読無し, 2016, P0. 230.
- ⑤ 嶋田進, 小垣哲也, 竹山優子, 大澤輝夫, 中村聡志, 川口浩二, ライダー観測値ナッジングによるWRF海上風シミュレーションの高精度化, 第39回風力エネルギー利用シンポジウム予稿集, 査読無し, 39巻, 2017, 257-260.

〔学会発表〕(計7件)

- ① 嶋田進, 大澤輝夫, 小林智尚, 吉野純, 竹山優子, 小垣哲也, 複雑地形における気象モデルによる高解像度風況シミュレーション, 第37回風力エネルギー利用シンポジウム, 2015, 東京.
- ② Susumu Shimada, Yuko Takeyama, Tetsuya Kogaki, Tomonao Kobayashi, Jun Yoshino, Regional scale wind power forecasting using a mesoscale model in

a northern part of Japan, ICEE2015, 2015, Hong Kong.

- ③ 嶋田進, 大澤輝夫, 竹山優子, 小垣哲也, マルチ物理過程アンサンブルを用いたメソ気象モデルによる海上風推定の高精度化, 日本気象学会2015年秋季大会, 2015, 京都.
- ④ 嶋田進, 竹山優子, 小垣哲也, 大澤輝夫, 中村聡志, 川口浩二, 波崎海洋研究施設における海上風の長期ライダー観測, 第38回風力エネルギー利用シンポジウム, 2016, 東京.
- ⑤ 嶋田進, 竹山優子, 小垣哲也, 中村聡志, 川口浩二, 大澤輝夫, デュアル鉛直ライダー観測による沿岸風の増速率に関する研究, 日本気象学会2016年秋季大会, 2016, 名古屋.
- ⑥ Susumu Shimada, Yuko Takeyama, Tetsuya Kogaki, Teruo Ohsawa, Koji Kawaguchi, Satoshi Nakamura, Investigation of the fetch effect using onshore and offshore vertical LiDARs, WindEurope2016, 2016, Hamburg.
- ⑦ 嶋田進, 小垣哲也, 竹山優子, 大澤輝夫, 中村聡志, 川口浩二, ライダー観測値ナッジングによるWRF海上風シミュレーションの高精度化, 第39回風力エネルギー利用シンポジウム, 2017, 東京.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

嶋田進 (SHIMADA Susumu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・再生可能エネルギー研究センター・研究員

研究者番号: 90712208