

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00657

研究課題名(和文) 襟裳岬の周辺海域における風力エネルギーの変動メカニズムの解明と風況情報の高度化

研究課題名(英文) Variability in offshore wind energy in the vicinity of Cape Erimo and sophistication of wind resource assessment

研究代表者

島田 照久 (Shimada, Teruhisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：30374896

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、襟裳岬の周辺海域で発生する地形性強風の発生と変動のメカニズムの解明に取り組んだ。まず、現場観測データと衛星観測による海上風データを気候学的に解析し、冬季・夏季とも襟裳岬周辺で強風が頻繁に発生することを示した。次に、気象シミュレーションを用いて代表的な事例の解析を行った。夏季は、東から北海道南部に侵入した下層の冷気が、日高山脈に沿って南下し、襟裳岬を過ぎた時に強風が発生することを明らかにした。冬季は、北西の季節風が襟裳岬の西側に向かって合流するときに強風が発生することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果の学術的意義は、日本沿岸海域で最大の風力エネルギーが、襟裳岬の周辺海域で生み出されるメカニズムを初めて明らかにしたことである。襟裳岬の周辺で強風が頻繁に発生すること自体は古くから知られていたものの、強風に関する気象学的な研究はこれまでになかった。本研究の成果の社会的意義は、洋上風力エネルギーの利用促進に貢献できることであり、洋上風況のさらなる理解や風力発電の出力変動対策につながる。

研究成果の概要(英文)：This study investigates the mechanisms of occurrence and variability of the strong winds induced by topographic effects in the vicinity of Cape Erimo. First, from the climatological analyses of in situ wind observations and satellite wind observations, the strong winds frequently occur in the vicinity of Cape Erimo throughout the year. Then, case studies of the representative events are conducted by using meteorological simulations. In summer, when the cool air in the lower atmosphere dammed on the east of Hidaka Mountains outflows toward the sea, the strong winds occurs. In winter, when the northwesterly winds blowing through the terrestrial gaps merge in the west of Cape Erimo, the winds are intensified.

研究分野：気象学

キーワード：海上風 地形性強風 気象シミュレーション 衛星観測 襟裳岬 洋上風力エネルギー

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

北日本の沿岸域は、風力資源が豊富であることが実証され、風力発電の導入拡大に向けた計画が多方面から進行中である(風力発電施設的环境アセスメントや新規建設計画、洋上風力発電施設の港湾域への導入や福島沖での実証実験、連系線の増強計画等)。日本における風力エネルギー利用の目標の一つは、風況のよい北日本に大量導入した風力発電を系統連系することである。この目標の実現のためには、大規模化に適した洋上風力発電の開発が重要になる。

襟裳岬の周辺海域は、日本沿岸で最大の洋上風力エネルギー賦存量・導入ポテンシャルを持つことが示されている(環境省平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書、NEDO洋上風況マップNeoWins等)。また、洋上風況マップNeoWinsによると、日本沿岸において、海岸線から20 km程度離れた海域で、100 m高度の年平均風速が $10 \text{ m s}^{-1}$ を超えるのは、襟裳岬と石廊崎の周辺の海域だけである。一部の過去の研究は、局地的強風が襟裳岬付近の海上で発生している実例を衛星観測によって示した(Shimada and Kawamura, 2004, 2007)。夏季については、襟裳岬の南西に扇型の強風域が形成されることが示されている(Shimada and Kawamura, 2007)。強風域とその周辺との風速差が顕著であるのが特徴である。冬季については、北西の季節風が卓越するときに襟裳岬を起点にして東方に強風域が伸びることが示されている(Shimada and Kawamura, 2004)。これらの観測事例から、襟裳岬の周辺海域で発生する強風は、日本沿岸において最大規模の局地的強風であると言える。

しかしながら、襟裳岬の周辺海域で大規模な強風が生み出されるメカニズムは十分に理解されていない。襟裳岬の周辺は、日本有数の強風域であることは以前からわかっていた(例えば、和田1930)。しかし、その原因についての研究例はこれまでにほとんどない。つまり、日本沿岸で最大の風力エネルギーが、襟裳岬の周辺海域で生み出される気象学的メカニズムが理解できていないのが現状である。衛星観測を用いた上述の研究によると、夏季と冬季いずれも、襟裳岬周辺で発生する強風は、周辺域の地峡・海峡(津軽海峡など)で発生する強風と同期して発生することが多いことが示されている。地峡・海峡で発生する強風は、大気下層の寒気に対する地形の影響によって発生することが多い。襟裳岬周辺の地形は、海峡構造をなさないが、岬周辺の強風はどのようなメカニズムで発生するのか。この問題は、解決されていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、衛星観測等の観測データと気象モデルを用いて、襟裳岬の周辺海域で発生する地形性強風について、(1)気候学的な特徴、(2)夏季の東風時の強風発生メカニズム、(3)冬季の西風時の強風発生メカニズムを解明することである。

### 3. 研究の方法

研究の方法の一つは、長期間の衛星観測データ、現場観測データ、大気再解析データを用いて、強風の気候学的特徴と強風発生時の大気状態を明らかにすることである。二つ目は、夏季の東風時と冬季の西風時に、襟裳岬の風下側で発生する地形性強風の事例解析である。気象モデルWRFを用い、水平解像度1 kmで大気場をシミュレーションする。シミュレーションの設計上、特に重要なのは、大気下層の鉛直解像度を十分に高くすることである。夏季については、日高山脈の東側に押し寄せる下層冷気を再現することが重要であり、冬季については、津軽海峡や内浦湾を通り過ぎた寒気の構造を再現することが重要である。

### 4. 研究成果

#### (1) 襟裳岬周辺海域の風の気候学的特徴

人工衛星搭載マイクロ波散乱計(QuikSCAT/SeaWinds)による観測データを用いて、襟裳岬周辺海域の海上風の気候学的特徴を明らかにした。データの期間は、1999年10月から、2009年11月までの10年間である。まず、月別の気候値解析から襟裳岬周辺の海上風の季節変化を調べた。10-3月は、津軽海峡付近からの強風が南東向きに伸び、襟裳岬はその北側の境界に位置する。4-5月には、襟裳岬周辺海域では平均風速が $3 \text{ m/s}$ 以下となり、明瞭な強風域が見られなくなる。6-8月は、東風が卓越し、風速極大が襟裳岬の南西の海域に出現する。9月は、襟裳岬周辺は弱風域となる。10-3月と6-8月に現れる強風域は、スカラー風速の標準偏差が大きい領域に対応し、間欠的に強風が発生していることを示す。また、このような強風の季節変化は、襟裳岬のアメダスデータから作成した風配図からも確認できる。襟裳岬では、夏季の北東風と冬季の西風が卓越し、風配図に現れるピークはこの2つだけである。

次に、襟裳岬における風ベクトルの東西成分と東西気圧差の関係性を調べた。東西気圧差は、広尾と浦河の気象官署における海面気圧の差とした。その結果、襟裳岬の東西風速成分は、襟裳岬付近の東西気圧傾度によってほぼ決まっていることがわかった。

最後に、襟裳岬の東西気圧差を指標に用いて、東西気圧差が $\pm 1$ 標準偏差を超えたときの海上風ベクトルと海面気圧のコンポジット解析を月別に行った。襟裳岬付近で西向きの気圧傾度が生じる時は、襟裳岬の南西海域に風速極大が現れる。この状況は、冬季は南岸低気圧が日本を通過する時、夏季はオホーツク海高気圧が発達し梅雨前線が日本上空に位置する時に対応する。一方、東向きの気圧傾度が生じる時は、津軽海峡付近から続く強風が襟裳岬に接して南東に伸びる。この状況は、冬季は日本を通過した低気圧がオホーツク海付近で発達し北西の強風が北日本に吹いている時、夏季は太平洋高気圧の縁をまわって南西風が襟裳岬付近を通過する時に対応す

る。以上より、襟裳岬付近における強風の気候学的特徴と強風発生時の概況を明らかにすることができた。

#### (2) 夏季に襟裳岬の南西で発生する強風

2018年8月上旬に襟裳岬の南西で発生した局地的強風について、気象モデルWRFによるシミュレーションを用いた事例解析を実施した。この事例の期間、襟裳岬から南西向きに局地的強風が吹き出しており、その強風は扇形に広がっていた。襟裳岬から吹き出した直後の強風は、ピーク時は風速 $18\text{ m s}^{-1}$ に達していた。強風域内の最大風速は $12\text{ m s}^{-1}$ 以上で持続し、風下の函館市や青森県の下北半島に $10 - 11\text{ m s}^{-1}$ の強風が到達していた。このシミュレーション結果は、衛星観測とよく一致している。風速の高度別水平分布を調べると、高度200-350m付近で最も風速が大きいことがわかった。強風の形成には襟裳岬周辺の地形が影響していると考えられるので、日高山脈をなめらかに除去した仮想地形のシミュレーションを行うことにより、強風形成に対する日高山脈の影響を調べた。日高山脈が存在しない場合は、襟裳岬付近で局地的な風の加速が見られなくなり、扇型の強風域が形成されないことがわかった。これにより、強風形成には日高山脈の影響が重要であることがわかった。

強風域周辺の大気温度構造を調べると、襟裳岬周辺には東から大気下層の冷気が継続的に流入していた。そして、下層冷気が日高山脈によってせき止められ、襟裳岬から吹き出すことで強風が発生することがわかった。このとき、下層冷気が日高山脈によってせき止められるので、日高山脈の東側の気圧が上昇し、西側との気圧差が2 hPa程度生じていた。この気圧差と襟裳岬における風の東風成分の時系列を比較したところ、襟裳岬における東風成分は気圧差に比例することがわかった。また、日高山脈の東側では、下層冷気の流入に伴って気温が減少していた。最後に、強風発生時の力のバランスを調べた。下層冷気が日高山脈にせき止められた時に風速が減少し、コリオリ力も小さくなっていた。一方、このとき風に作用する気圧傾度力が大きくなり、気圧傾度力に沿って風が南下し、襟裳岬から吹き出していることがわかった。風が吹き出した後は、コリオリ力が作用し始め、強風は北に向かって曲がることがわかった。

#### (3) 冬季に襟裳岬の南東で発生する強風

冬季に襟裳岬の南東で発生する強風について、2018年1月下旬の事例解析を、気象モデルWRFによるシミュレーションデータを用いて行った。強風が発生するのは、北西の季節風が卓越する状況である。このとき、津軽海峡や内浦湾を寒気が流出するが、寒気が流出する際に強風が発生している。隣接する山岳の風下に形成される弱風域とは対照的である。このように、上流の地形に対応して流入する寒気が、襟裳岬の西側に向かって合流することが示された。その後、襟裳岬を起点とした強風域が東に伸びて発達することがわかった。

以上の成果より、襟裳岬周辺で発生する地形性強風の気象学的な理解を得ることができた。この成果は、襟裳岬周辺域の気象・気候のさらなる理解につながる。また、風力エネルギー利用を促進するために必要な洋上風況情報を高度化することも貢献する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Teruhisa Shimada, Yuki Kanno, and Toshiki Iwasaki	4. 巻 31
2. 論文標題 Low-Level cool air over the midlatitude oceans in summer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 2075-2090
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0188.1">https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0188.1</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 宇野史睦、大竹秀明、吉田健二、宇田川佑介、島田照久	4. 巻 2
2. 論文標題 2017年度秋季大会専門分科会「再生可能エネルギーなどの気象観測・予測情報の気象ビジネスへの利活用」報告	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 133-137
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島田照久
2. 発表標題 陸奥湾の風況
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田照久
2. 発表標題 北日本周辺の洋上風況に対する地形性強風の影響
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 島田照久
2. 発表標題 陸奥湾の風況と地形性強風
3. 学会等名 日本気象学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 島田照久
2. 発表標題 襟裳岬周辺の洋上風況
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	岩崎 俊樹  (Iwasaki Toshiki)  (80302074)	東北大学・理学研究科・特任教授    (11301)	