

平成 30 年 8 月 31 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21664

研究課題名(和文) 衛星データによる海上風推定の高度化と風況把握システムの構築

研究課題名(英文) Improvement of a sea surface wind retrieval and development of an offshore wind assessment system with satellite images

研究代表者

竹山 優子 (Takeyama, Yuko)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：00510025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ALOS/PALSARデータのアーカイブシステムとして、GISソフトを活用した検索システムの構築を行った。これを利用し、PALSARデータから推定される海上風速について和歌山県の白浜沖を対象として検証研究を実施した。さらに、神奈川県平塚沖においても同様の検証を行い、海上風推定精度検証を実施した。この結果、海岸近くの陸地に人工構造物が多くある大都市の近くでは、大都市の衛星進行方向にアンビギュエティと言われるノイズが多く発生し、海上風を過大評価することが分かった。さらに、欧州の合成開口レーダ SENTINEL-1を用いた精度検証も実施し、PALSARよりも高精度で海上風が推定される結果となった。

研究成果の概要(英文)：An archiving system of ALOS/PALSAR images has been developed with an image searching function. Sea surface wind speeds are validated with in situ winds measured in Shirahama and Hiratsuka observation platforms using the archiving system. It is clarified that noises called ambiguities can appear on coastal waters near artificial structures, and lead overestimated winds. Moreover, it is found that Sentinel-1/SAR can retrieve wind speeds with higher accuracies than ALOS/PALSAR.

研究分野：海洋気象学

キーワード：合成開口レーダ 海上風 Sentinel-1 PALSAR 洋上風力発電

## 1. 研究開始当初の背景

電力エネルギー供給は国民生活と経済の根幹を支える不可欠なものである。東日本大震災以降、安全、安心かつ安定的な電力供給は急務となっており、特に再生可能エネルギーには期待が高まっている。一方、天候に左右される不安定な電源を経済活動の中で効果的に利用するには正確な資源賦存量の把握とその情報に基づいた設備制御が必要となる。陸上での風力発電は1970年代頃から欧州を中心に実用化され、90年代からはより強く安定した風を求めて、デンマーク、ドイツ、イギリスを中心に洋上風力発電への取組みが進められている。多くの利点とポテンシャルを持つ洋上風力発電ではあるが、近年の研究から、欧州で先行的に研究・開発された資源量推定の手法がどの海域でも利用できるものではない事も明らかになってきた。特に、複雑な海岸地形を有し、大気状態が際立って不安定な日本沿岸域では、欧州と同じ手法で資源量を判断することは難しい。

気象観測網が発達した陸域と異なり、洋上での風況把握は容易ではない。洋上風力発電所の計画段階では高精度な風況情報が必要となるが、事業化判断の根拠になるだけの風況情報を得る手段は多くない。現在、日本沿岸域の風況を得る方法として(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の局所風況マップがある。数値シミュレーションを基本に作成されているが、洋上の風況は全体的に変化に乏しく、計算時に隣接する格子の影響を大きく受けていると推察できる。実観測以外で海上風を把握する方法は2つある。1つ目は数値気象シミュレーション、2つ目は人工衛星データである。前者は気象現象を数値的に再現する方法である。広範囲の海域を細かな分解能で計算するには膨大な計算資源が必要となり、全球規模の計算は難しい。一方、後者は地球観測を目的とした人工衛星から能動的なマイクロ波照射によって海上風を計測するものである。複数の人工衛星がそれぞれの時間および空間分解能で海面を観測

しており、全球規模の風況把握に適している。欧州ではこれら人工衛星を用いた風況マップの開発手法は確立されているが(Hasager *et al.*, 2014)、日本沿岸域のように欧州と比べて複雑な海岸地形や不安定な大気状態の海域では精度が低下することが申請者の既存研究によって確認されており、これらの誤差を補正し、風速推定を高精度化する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、SARは海上風に呼応する海面粗度をマイクロ波によって観測し、海面高度10mの風速を間接的に算出する。風速と風向に乱れの少ない外洋においては平均二乗誤差(RMSE)10%以下で海上風を推定できる。この精度はSARと同様の原理で海上風を推定するマイクロ波散乱計と同程度である。両者の違いは空間分解能と観測頻度であり、低分解能であるが高観測頻度のマイクロ波散乱計は外洋での海上風観測に、高分解能なSARは沿岸域での観測に適している。これは、低分解能なマイクロ波散乱計のピクセル内に海域と陸域が混在すると風速推定ができなくなるためである。日本沿岸域でのSAR風速の精度はRMSEで20%程度まで低下する場合もあることが分かっている。特に、陸から沖に向かう風(offshore)の時にはSAR推定風速の誤差が大きくなる。この誤差の原因として、3つの大気・海洋現象が考えられる。まずは、1) 風波から長波へのエネルギー伝搬過程である。海上風の離岸距離が短い場合、海面粗度の発達も複雑である。波形勾配は陸から沖に向かって急激に急峻になり、その後徐々に小さくなる。これは、風波から長波へのエネルギーの伝搬が平衡状態になるまで続く。風速が一定でも離岸距離によって海面粗度が変化することによりSAR推定風速に誤差が生じる。次に、2) 大気境界層の発達過程である。Offshore時には、海上には新たな大気境界層が高度に従って徐々に形成される。この大気境界層が10mに満たない場合、SAR推定風速は実際よりも過大評価され

ることになる。最後は、3) 大気安定度の影響である。従来は大気安定度が海面粗度に与える影響は小さいとされ、その影響が議論されることはなかった。しかし、それは大気が比較的中立な海域での観測結果を基にした結論であり、日本沿岸域のような大気状態が非常に不安定な海域においては成り立たない。モニン・オブコフ相似則に従えば、海面粗度は大気状態に依存する。このように、これまで明らかにされてきた大気・海洋の現象から、沿岸域における SAR 推定風速の誤差要因は複数考えられる。本研究では、この誤差要因を明らかにするとともに、この誤差を補正する手法開発を行う。また、SAR に加えて外洋の風況整備としてマイクロ波散乱計を用いた長期統計値の評価を行い、外洋風況マップとしての整備を行う。

### 3. 研究の方法

最初に、全量の ALOS PALSAR L1.0 データの観測日時や海域の情報をデータベース化し、データアーカイブシステムの整備を行った。これにより、簡易な GIS クライアントソフトからデータの観測緯度経度、観測日時、その他 Path 番号、Row 番号等の観測に必要な情報によるデータ検索が簡単に実行でき、研究に必要なデータを自動で用意できるようになった。

次に、このシステムによって選択された 2006 年から 2011 年に観測された PALSAR データから推定される海上風速の精度について、京都大学防災研究所が所有する和歌山県白浜の波浪観測鉄塔における海洋風の実測値を用いて検証を行った。さらに、高知県が所有する黒潮牧場ブイ 10 号について、2010 年から 2011 年において同期する観測値を用いて同様の検証を行った。

さらに、欧州宇宙機構 (ESA) が運用する Sentinel-1 に搭載された合成開口レーダにおいてもその精度を確認するため、白浜の波浪観測鉄塔、黒潮牧場ブイ 10 号、東京大学が所有する平塚波浪観測鉄塔の過去データを用いて同様の精度検証を実施した。

また、外洋の風況統計値の整備を目的としてマイクロ波散乱計 ASCAT を用いた長期平均風速の変動と代表性の評価を行うとともに、風況マップとしての統計値の整備を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 合成開口レーダによる海上風推定

ALOS PALSAR を用いた検証の結果、観測モードが高分解能 2 偏波モード (FBD) の時には Bias 0.5 m/s, RMSE 0.9 m/s となり既存研究よりも高精度な結果となった。一方で観測モードが高分解能モード 1 波 (FBS) の時には Bias が -4.1 m/s, RMSE が 2.2 m/s となり、精度として課題の残ることが分かった。

また、黒潮牧場ブイにおける検証では、観測モードに寄らず、Bias 0.3 m/s, RMSE 2.1 m/s となり、過去に日本周辺海域で実施された PALSAR を用いた検証と同等の結果となった。

PALSAR の検証では、平塚波浪観測鉄塔の画像データも試みた。合成開口レーダからの風速推定には Geophysical Model Function (GMF) と呼ばれる経験式を反復計算によって収束させるのが一般的であるが、平塚を対象とした検証では風速値が収束せず、発散するデータが多く認められた。これらのデータでは、PALSAR 画像自体にアンビギュイティと呼ばれるノイズが発生しており、通常は陸に比べて低い後方散乱係数を示す海域においても陸域と同等の高い値を示していることが分かった。この現象が平塚で認められた要因として、海岸近くに都市が存在し、人工構造物による影響であると考えられる。特に対象海域の北側に人工構造物が存在する場合、衛星の進行方向 (アジマス方向) に位置するため、平塚では地理的要因によってこのようなノイズが多く発生し、PALSAR の海上風推定を行うのは困難であると考えられる。

Sentinel-1 を用いた検証では、白浜では Bias 1.5 m/s, RMSE 1.9 m/s, 平塚では Bias 1.5 m/s, RMSE 2.5 m/s, 黒潮牧場ブイ 10 号では Bias 1.7 m/s, RMSE 2.6 m/s との結果となった。風向別の Bias を確認すると、白浜および平塚で

は陸から風が吹く時に風速推定精度が低くなる傾向にあったが、黒潮牧場ブイ10号についてはこの傾向は認められなかった。これは、白浜および平塚の波浪観測鉄塔が陸から1-2 km程度しか離れていないのに対し、黒潮牧場ブイは30km程度離れており、陸の影響を受けていないことが原因と考えられた。

検証結果を総括すると、一部の観測モードや風向については非常に精度の高い海上風推定が可能との結果となったが、陸の影響により精度低下が認められる結果となった。

今後、PALSAR を用いた海上風推定では利用できる海域と利用困難な海域の判別が重要となり、その手法開発が必要となる。また、Sentinel-1 については検証サイトの数が十分とは言えないので、運用中である利点を生かして検証点を増やし、精度を明らかにしていく必要がある。洋上風力発電において、最も開発が進められる沿岸域の海上風を高精度に求める事には学術的意義だけでなく産業界への貢献という意味で大きな役割を担っている。

## (2) マイクロ波散乱計による風況把握

マイクロ波散乱計 ASCAT を用いた 2010 年から 2014 年の 5 年間の 14 - 49 ° N , 120 - 165 ° E の範囲の 10m 高度平均風速の分布では、静岡沖から北東方向の太平洋上に 8m/s 高風速域が存在することが分かった。年々変動では、フィリピンのルソン島の東の海域は変動が大きく、特に 2010 年の年平均風速は 5 年平均風速からの偏差が大きく、観測頻度が 1 日 2 回程度であった 2010 年は台風のような時間スケールの小さな現象でも年平均風速へ影響を及ぼすことが分かった。しかし、この 5 年平均 風速を ASCAT の前任機である QuikSCAT のデータを合わせた過去 15 年平均風速と比較すると、その差はほとんどの対象海域において ±5%以内となり、2010 年から 2014 年の 5 年平均風速が過去 15 年平均風速に対して高い代表性を持つことが示された。また、平均風速と同様に風向の出現頻度分布においても 5 年の風向が高い代表性を持つことが

示され、この 5 年分のデータを日本周辺海域の洋上風況マップとして採用できることが分かった。

## 5. 主な発表論文等

(論文発表) (計 1 件)

竹山優子, 大澤輝夫, 香西克俊, 嶋田進, 小垣哲也, 2016: 人工衛星搭載マイクロ波散乱計を用いた風力エネルギー資源量推定における長期変動解析, 風力エネルギー, 査読有, Vol.40, No.3, pp. 43-48.

(学会発表) (計 3 件)

Yuko Takeyama, Teruo Ohsawa, Susumu Shimada, Katsutoshi Kozai, Tetsuya Kogaki, 2017: Comparison of offshore winds from ASCAT and WRF model in near coastal waters, EWEA OFFSHORE 2017, 5-7 June 2017, London, UK, Abstract 査読有.

Yuko Takeyama, Teruo Ohsawa, Susumu Shimada, Katsutoshi Kozai, Tetsuya Kogaki: Sea surface wind speed observations with SENTINEL-1 in coastal waters, European Meteorological Society 2016 annual meeting, 12-16 September 2016, Trieste, Italy, Abstract 査読有.

Yuko Takeyama, Susumu Shimada, Teruo Ohsawa, Katsutoshi Kozai, Tetsuya Kogaki, 2015: Annual variations in sea surface wind speed around Japan observed by ASCAT, AGU Fall Meeting 2015, 15-19 December 2015, San Francisco, USA, Abstract 査読有.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹山 優子 (TAKEYAMA, Yuko)  
東京海洋大学・学術研究院・助教  
研究者番号: 00510025