

令和元年6月10日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01168

研究課題名(和文) 気象モデルとGISによる風力発電量予測システムの構築 - アンサンブル手法を活用して

研究課題名(英文) A wind power generation forecasting system based on meteorological model and GIS

研究代表者

泉 岳樹 (IZUMI, Takeki)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：10336513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、気象モデルとGISを活用して風況と風力発電量を予測するシステムを構築し、風力発電所の立地の違いによる発電量の予測精度について分析を行った。その結果、風況予測シミュレーションの精度向上のためには、複数のモデルを利用するマルチモデルアンサンブルより複数の初期値データを用いるアンサンブル手法の方が、効率的であることが分かった。また、風力発電量の予測精度では、平坦地形上の発電所の予測精度が高い一方で、複雑地形上の発電所の予測精度はばらつきが大きく、時間帯によって大きく変動するが、発電所周辺の風向風速を考慮した補正を行うことで予測精度を向上できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、近年注目を浴びている自然エネルギーの1つである風力発電の発電量予測が比較的容易かつ精度良く行える方法が明らかとなった。これにより既存の風力発電所の発電量予測への活用だけでなく、新たに風力発電所を開発する際の立地分析などにも応用できる可能性が示された。ただし、山岳地などの複雑地形上に発電所が立地する場合には、予測精度にばらつきが見られるため慎重な判断が必要である。

研究成果の概要(英文)：In this study, a wind power generation forecasting system based on meteorological model and GIS was developed. Influence of the wind farm location on the forecasting accuracy of wind power generation were examined. As a result, it was found that ensemble methods using multiple initial value data are more efficient than the multi-model ensemble to improve the accuracy of wind forecasting. While the wind power generation forecasting accuracy of the wind farm on flat terrain was high, the accuracy of the wind farm on complex terrain was found to be highly variable. It was found that the forecasting accuracy of the wind farm on complex terrain can be improved by making corrections taking into account the wind direction and velocity around the wind farm.

研究分野：地理学

キーワード：風力発電 領域気象モデル GIS

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

風力発電所の立地選定に当たっては、「風力発電導入ガイドブック(NEDO 発行)」において立地場所の風況について数値シミュレーションによる予測と共に実測を長期間行うことが求められており、風況を正確に把握することが非常に重要である。風力発電量は、風速の3乗に比例するため、風速の予測誤差を低減することは、風力発電量の予測精度を上げるために、非常に重要である。

風速の変動にはカオス性があるため、正確な予測をすることは容易ではなく、数値シミュレーションのための計算機負荷も大きい。近年、気候変動研究などの長期予測で用いられてきたアンサンブル手法を風況予測や風力発電量予測に応用しようとする研究が見られるようになってきた。

日本には大小様々な規模の風力発電所が存在しており、それらの立地は主に海岸、丘陵地、山岳地に分けられる。中でも山岳地に立地している発電所は地形起伏による風況の影響を受けやすく、地形起伏の影響による発電量低下を指摘する研究もある。山岳地などの地形起伏の激しい複雑地形上では、平坦地に比べて気象モデルによる風況予測も難しいため、風力発電量予測に当たっては、立地特性の違いが風況予測に与える影響と、同じ風況下での発電量に与える立地特性の影響についても分析する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、風力発電所における風況と発電量を予測するシステムを領域気象モデルとGISを用いて構築し、アンサンブル手法を活用して、風況や発電量の予測精度を向上させることを目的とする。また、風力発電所の立地が、海岸沿いの平坦地だけでなく、丘陵地や山岳地などの複雑地形上に多い日本の特徴を考慮し、発電所の立地が風況や風力発電量の予測に与える影響について検討する。

### 3. 研究の方法

研究目的の達成のため、まずは、領域気象モデルとGISを活用して風況予測シミュレーションを行うシステムを構築し、そのシステムを用いて風況予測の精度向上のためのアンサンブル手法についての検討を行った。具体的には、既存研究で実績のある(1)初期値アンサンブル、(2)モデルアンサンブルに加えて、(3)地表面境界条件についても複数のデータを用いるアンサンブルシミュレーションを行い、各アンサンブル手法が予測精度に与える影響について検討した。その際には、数値シミュレーションの回数が増えることによる計算機負荷の増大と精度向上のバランスについても考慮した。

次に、実際の風力発電所の風力発電機の機器性能データや発電量データなどを入手し、風況予測シミュレーション結果に基づく発電量の予測データと実際の発電量データの比較を行った。その際には、対象とする発電所の立地が与える影響について検討し、発電量の予測精度の向上のための方策や予測誤差が生まれる原因などについても検討を行った。

最後に、山岳地の複雑地形上に立地する風力発電所において複数ある風車毎に大きな発電量の差異が生まれるケースを対象として数値シミュレーションを行い、その原因についての検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1)アンサンブル手法を用いた風況シミュレーションの再現性

初期値アンサンブルに関しては、風況再現シミュレーションに用いる初期値にメソ客観解析データ、GSM客観解析データ、領域客観解析データ、JRA-25、NCEP Final Analysis、NCEP/DOE Reanalysis 2などの複数の客観解析データを用いることで、初期値の不確実性による予測誤差の低減を狙った。

モデルアンサンブルに関しては、RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)とWRF (Weather Research and Forecasting Model)という2つの領域気象モデルを使用することによるマルチモデルアンサンブルを行うことで、モデルの不完全性による予測誤差の低減を狙った。

関東地方を対象にした風況再現シミュレーションを行ったところ、初期値アンサンブルにより多くの事例で風況の再現精度が高くなることが明らかとなったが、マルチモデルアンサンブルでは、風況の再現精度は必ずしも高くはならなかった。これは、使用したモデル数が2種類と少なく、事例によってモデル毎の風況の再現精度に大きな差異があったためである。

地表面境界条件のアンサンブル手法に関しては、地表面境界条件のうち地形に関して、SRTMと数値地図50mメッシュ(標高)という複数のDEM(数値標高モデル)を用いて作成し、九州の山岳地域を対象に風況再現シミュレーションを行った。しかしながら、アンサンブルによる風況の再現精度の向上は限定的であった。

これらの結果、初期値アンサンブル手法による精度向上と比べて、マルチモデルアンサンブル手法や地表面境界条件のアンサンブル手法による風況予測精度の向上は限定的で、計算機負荷も考慮すると初期値アンサンブルのアンサンブルメンバーを増やすことが最も効率よく風況の予測精度の向上に寄与することが示された。

## (2) 風力発電所の立地が発電量の予測精度に与える影響

海岸沿いの平坦地形に立地する風力発電所と山岳地の複雑地形上に立地する風力発電所からデータ提供を受け、各風力発電所の風況再現シミュレーションを初期値アンサンブル手法を用いて行い、風力発電量を予測した。用いた領域気象モデルはWRFで、計算領域は風力発電所を中心とした4重のネストグリッドとし、水平格子間隔はグリッド1を10km、グリッド2を2km、グリッド3を500m、グリッド4を100mとした。

風力発電量の予測結果と実際の発電量を比較した結果、平坦地形上の風力発電所の予測精度が高い一方で、複雑地形上の風力発電所の発電量の予測精度はばらつきが大きく、時間帯によって大きく変動することが分かった。予測精度のばらつきについて詳しく検討したところ、風向の影響が大きいことが分かった。

そこで、予測風速から発電量を計算する際に風向別に補正を行うことにし、補正方法の検討を行った。その結果、風向に加え風速も考慮した補正を行うことで、風力発電量の予測精度が向上することが分かった。ただし、この補正方法で用いるパラメータは、風力発電所周辺の地形に強く依存しているだけでなく、使用されている風車の発電特性なども影響していると考えられるため、発電所毎に求める必要がある。

## (3) 複雑地形上の風力発電所での風車毎の発電量と卓越風向の関係

(2)で対象とした山岳地の複雑地形上に立地する風力発電所の観測データと発電量データをもとに解析を行った既存研究によると、卓越風向の違いによって風車毎の発電量に大きな違いが生じることが示されていた。特に南東風が卓越するケースでは、標高が高い風車ほど発電量が低下するという通常とは異なる傾向を示していたが、その特徴をもたらす原因については考察されていなかった。そこで、南東風が卓越するケースを対象とした数値シミュレーションを行いその原因についての考察を行った。

具体的には、山岳地に立地する10基の風車からなる風力発電所を対象に、南東風が卓越していた2007年12月20日21時から12月22日15時を計算期間とした数値シミュレーションを行い、特に南東風が強かった21日17時から22日12時を対象にして解析を行った。

まず解析対象期間における各風車の1時間あたりの平均発電量を図1に示した。なお1号機については欠測のため解析対象から除外した。図1から、計算値を実測値と比較すると、6号機以外は過大評価を示しているが、風車間の発電量の変化は概ね再現できていることがわかる。

各風車の発電量と標高の関係については、2号機(標高531m)の発電量が最も大きく、8号機(標高795m)の発電量が最も小さくなり、2号機は8号機に比べておよそ2倍の発電量となった。その他の風車についても発電量と標高には負の相関が確認された。

次に風車の分布に沿った南東-北西断面の鉛直風速を図2に示す。図2から、風車が位置する斜面の上空に2m/sを超える下降気流が発生していることが分かる。この下降気流は解析対象期間内において継続してみられた。またグリッド3の計算結果の解析から、上空約2,000mに風速が0m/sとなる鉛直シアが存在することが分かった。また風力発電所の風下において等温位線の沈み込みが確認された。

これらの大気場の特徴はおろし風の際によくみられるものであることから、この風力発電所では南東風吹走時にはおろし風が発生していることが考えられる。Smith(1985)では、上空の鉛直シアで山岳波が反射され地上風が増速されることを示しており、これにより標高の低い場所ほど風速が速くなったため発電量が増加したと考えられる。

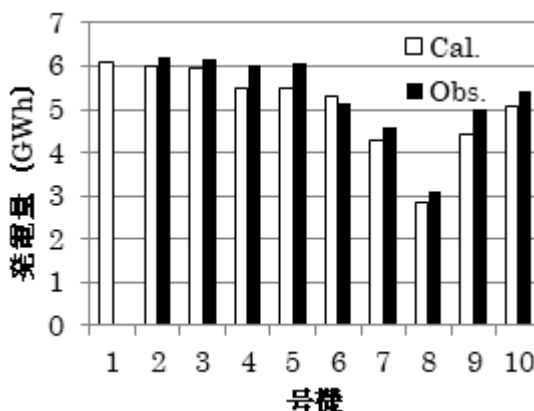


図1 2007年12月21日17時から12月22日12時の1時間あたりの平均発電量(1号機は欠測)

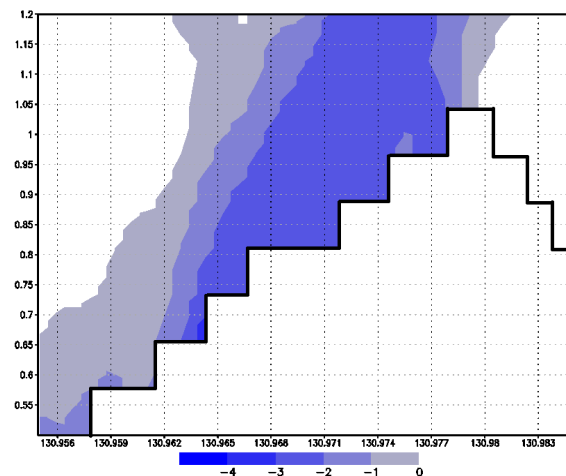


図2 2007年12月22日8時の南東-北西断面の鉛直風速(m/s)丸数字は風車の号機を示す。

## < 引用文献 >

Smith 1985 . J. Atmos. Sci. , 42:2597-2603 .

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計1件)

Watanabe, T., Izumi, T. and Matsuyama, H., Accumulated phytotoxic ozone dose estimation for deciduous forest in the Kanto, Japan in summer, Atmospheric Environment, 査読有, 129, 2016,  
DOI:10.1016/j.atmosenv.2016.01.016

### [学会発表](計8件)

渡邊貴典・泉 岳樹, 山岳地の風力発電所における発電量と卓越風向の関係, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017

渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, オゾンによる森林の育成阻害リスクと気候の年々変動の関係, 第 58 回大気環境学会年会, 2017

渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, 森林によるオゾン吸収に伴う大気中のオゾン除去量の推定, 第 58 回大気環境学会年会, 2017

渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, オゾンによる森林の育成阻害リスクと気候の年々変動の関係, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017

渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, 気象要素の年々変動が森林のオゾン吸収量に与える影響, 日本気象学会 2016 年度春季大会, 2016

泉 岳樹・都竹正志・熊倉 清, 最新レーザーキャナを用いた無人ヘリによる超高精細 3D 計測の試み, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015

井櫻涼介・渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, 都市の幾何形状が集中豪雨に及ぼす影響～東京 23 区で発生した事例を対象にして～, 日本気象学会 2015 年度春季大会, 2015

渡邊貴典・泉 岳樹・松山 洋, 光化学オキシダントによる森林の育成阻害リスクの推定, 日本気象学会 2015 年度春季大会, 2015

### [図書](計1件)

泉 岳樹・松山 洋, 古今書院, 卒論・修論のための自然地理学フィールド調査, 2017, 120

## 6. 研究組織

### (1)研究協力者

研究協力者氏名：渡邊貴典

ローマ字氏名：WATANABE Takanori

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。