

## 風況データ自動収集システムを用いた風速の予測

Time Series Prediction of Wind Speed using Web-Based Data Acquisition System

○小玉 成人\*, 松坂 知行\*

○Kodama Naruhito\*, Tomoyuki Matsuzaka\*

\*八戸工業大学

\*Hachinohe Institute of Technology

**キーワード:** 時系列予測(time series prediction), 風況データ収集システム(web-based data acquisition system), 風況(wind condition).

**連絡先:** 〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学 システム情報工学科

小玉成人, Tel.: (0178)25-8099, Fax.: (0178)25-1691, E-mail: naru@hi-tech.ac.jp

### 1. まえがき

エネルギーの資源量や環境破壊などの問題のため、近年自然エネルギーに対する関心が高まり、世界各国で開発や導入が進められている。特に風力エネルギーは、他の自然エネルギーと比較して発電コストが相対的に低いこと、建設期間が短期間で済むことなどのため最も実用化が進んでいる。Windpower-Monthly<sup>(10)</sup>によると世界の風力発電設備容量はドイツが最も大きく 1662 万 kW にも達し、次いでスペインの 826 万 kW、アメリカ 675 万 kW、デンマーク 312 万 kW、インド 298 万 kW と続く。日本でも現在の風力発電設備容量は 94 万 kW と世界第 8 位となり、1999 年末の 7 万 kW と比較しておよそ 13 倍と大きく成長してきている。特に、日本における風力発電所は、風況の良い津軽海峡

を中心とした北海道、北東北地方に集中しており、その風力発電設備容量は日本の設備容量の 1/2 以上になる。しかしながら、風力発電は不規則な自然風を入力としているため、その発電機出力は変動する。この出力を電力系統へ大量に接続することにより、周波数変動や電圧変動などの問題を引き起こしてしまう恐れがある。このような理由により、系統を運営する電力会社は風力発電の電力系統への接続を嫌う傾向にあり、これらの変動を抑制することが重要である。そこで、本研究では風力発電機の出力変動抑制を行うため、自動的に Web 上から風況データを収集する風況データ収集システムを用いて風速の時系列予測を行う。始めに、収集した風況データを用いて風況解析を行った。その結果、津軽海峡では夏季を除いて海峡の

西に位置する竜飛崎と東に位置する大間崎間の相関が非常に高いことに注目し、2点間の相関関係から風下に位置する大間崎の風速を予測できることが分かった。また、風向が乱れる夏季の風速は相関関係から予測することができない。そこで、この期間はニューラルネットワークを用いることにより予測し、一時間先の風速を予測することができた。このシステムを用いて風速を予測することによって、同時にそれぞれの地点での風力発電の変動を予測することが可能になり、離島などのディーゼル発電機の運転や大規模風力発電所の風力発電機の予測制御、電力システムの運営に役立つものと思われる。

## 2. 風況データ収集システム

風況データ収集システムの概要を図1に示す。このシステムは、データ伝送およびデータ処理にインターネットおよびパーソナルコンピュータを用い、各地に設置されている灯台で計測した風況データを自動的に収集する。従来、風速や風向といった風況データを測定するには、風速計を設置するなど多大な費用と時間を必要とするが、風力発電所は、前述したように津軽海峡を中心とした北海道、北東北地方の沿岸部に集中しているため、図2のように設置されている灯台の気象情報を利用する。また、灯台の風況データは津軽海峡周辺を対象としたため、函館、青森、八戸、秋田のそれぞれの海上保安部のHPから収集している。例として函館保安部の気象情報HPを図3に示す。収集された風況データには、風速(1m/s単位)、風向(16方位)、気圧などが含まれており、データのサンプリング周期はおよそ30分である。そのため、予測した風速データも30分ごとに更新される。風況データの収集および収集した風況データの表示には、JSP (Java Server Pages)とTomcatサーバを用いている。

図4は図1の風況データ自動収集システムを用いてデータを収集した結果であり、30分ごとに自動的に風況データを収集し、そのデータをデータ

ベースに追加している。図5はデータベース上の収集した風況データを示す。このように30分毎に風向と風速のデータが書きこまれる。海上保安部のHPには気圧のデータも記載されているが今回は利用しないため収集しなかった。

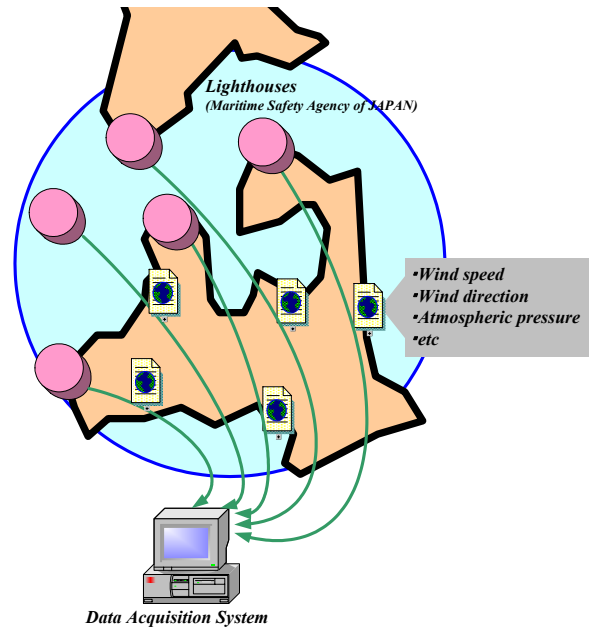


図1 風況データ収集システム

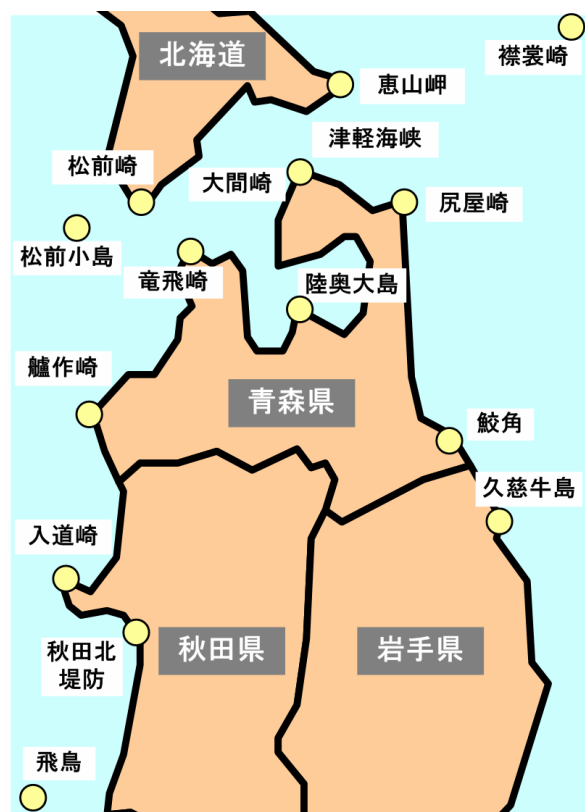


図2 津軽海峡周辺の灯台

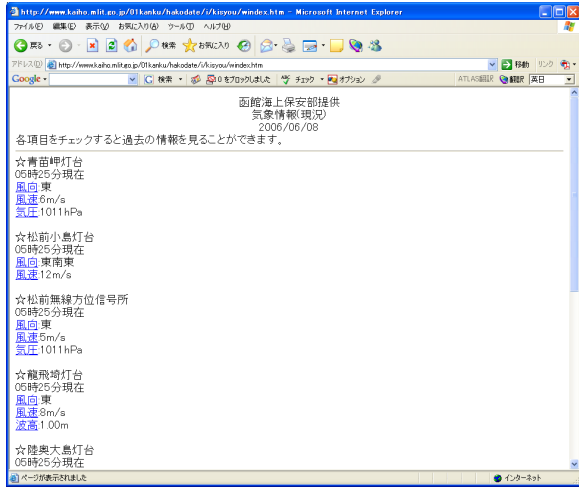


図3 函館海上保安庁HP

Wind Condition Data Acquisition System

Measured Wind Speed and Forecasted Wind Speed

	Measured Wind Speed (m/s)	Forecasted Wind Speed (m/s)	Wind Direction
Ooma	20.0	19.2	N
Teppi	18.2	19.0	NE
Matusmae	13.0	13.4	NNE
Mutsuoshima	8.9	9.0	NE
Matsumaekojima	12.8	13.4	E
Shiriyu	14.9	15.1	ENE
Henashi	11.3	11.4	E
Kujushijima	8.0	8.1	NNE
Akita Kitateibou	7.0	6.7	ENE
Nyuudou	8.0	8.4	E

図4 風況データ収集結果

```

MySQL Command Line Client
mysql> select * from data;
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| number | year | month | day | hour | min | direction | speed |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 2007 | 2 | 5 | 16 | 15 | NW | 10m/s |
| 2 | 2007 | 2 | 5 | 16 | 45 | NW | 12m/s |
| 3 | 2007 | 2 | 5 | 17 | 15 | N | 13m/s |
| 4 | 2007 | 2 | 5 | 17 | 45 | NW | 12m/s |
+----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
4 rows in set (0.00 sec)

mysql>

```

図5 作成されたデータベース

### 3. 津軽海峡の風況解析

J-DOSS のサイトからダウンロードした 2005 年の風況データを元に風況解析を行った。風力発電所は、風況の良好な津軽海峡を中心とした北海道、北東北地方に集中しているため解析対象として津

軽海峡を選択した。津軽海峡では最も西北西からの風が多く、夏季以外ではほとんどが西北西を中心とした風である。そのためこの期間における津軽海峡の西に位置する竜飛崎と東に位置する大間崎間の相関係数は高く、特に 11 月には 0.898 と非常に高くなっている。

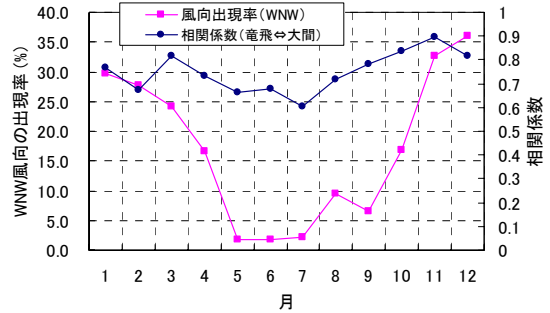


図6 風向出現率と相関係数

### 4. 相関関係による風速の予測結果

津軽海峡における風況を解析した結果、夏季以外の期間では、竜飛崎大間崎間の相関は非常に高くなるため、風上の竜飛崎から風下の大間崎を単純に予測できないかと考えた。相互相関の結果からこれらの灯台間には1時間のずれがみられた。このことから、竜飛崎の風速データを1時間ずらすことにより、大間崎の風速を予測することができると思われる。この考えに基づき、竜飛崎の風速データを1時間早めた予測風速と大間崎の測定風速を比較した結果を図7に示す。図7より、細かな部分では一致していない部分もあるが、おおまかな傾向はほぼ一致していることが確認できた。

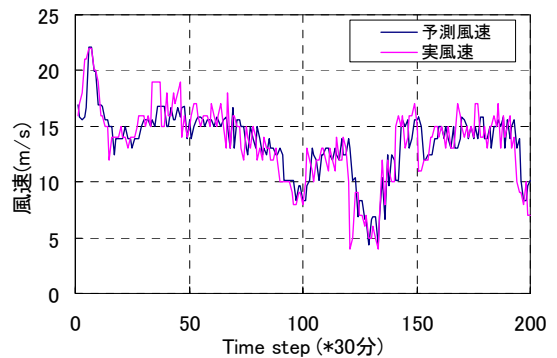


図7 相関関係による風速の予測結果

## 5. ニューラルネットワークを用いた風速の時系列予測

図8に本研究で用いたニューラルネットワークのブロック図を示す。このニューラルネットワークは、3層構造であり、入力層と中間層は3つのニューロンとタンジェントシグモイド伝達関数、出力層は1つのニューロンと線形伝達関数で構成されている。さらに、動作を安定させるため出力層の出力を入力層にフードバックさせている。

図4の $V(k)$ は時点 $k$ での風速であり、 $\Delta V(k)$ は次式で表される風速の変化である。ニューラルネットワークの入力にはこの風速と風速の変化の2つを用いている。風速と風速の変化の例を図10,11に示す。

$$\Delta V(k) = V(k) - V(k-1) \quad (1)$$

また、入力には過去の風速を記憶させニューラルネットワークに取り込むため、遅延要素を設けている。図12に示すように、遅延要素の数は正弦波を用いた実験の結果3つ以上用いても誤差の変化が少なかったため、本研究では3つの遅延要素を用いた。

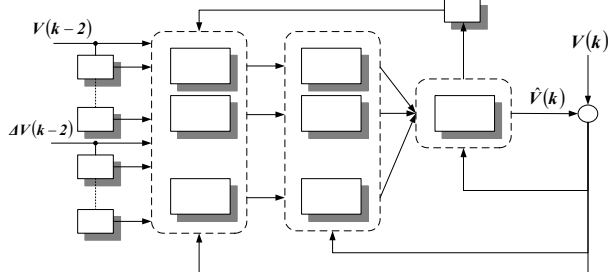


図8 ニューラルネットワークのブロック図  
(学習フェーズ)

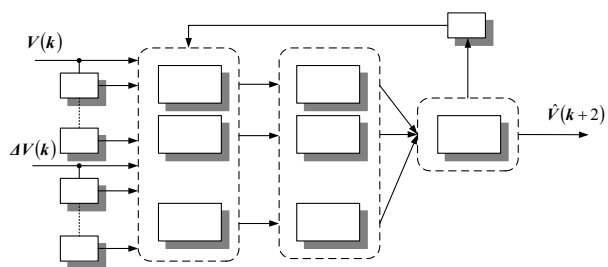


図9 ニューラルネットワークのブロック図  
(予測フェーズ)

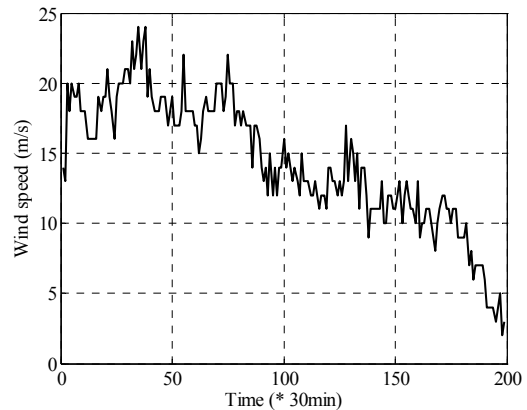


図10 風速

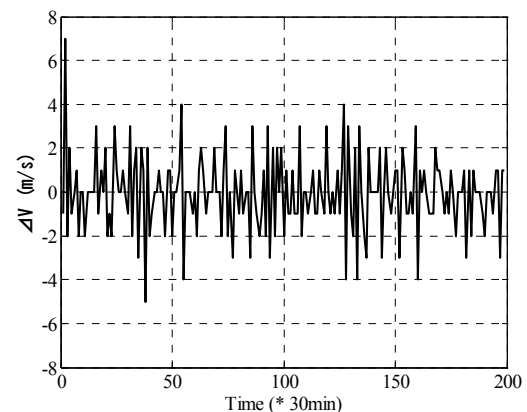


図11 風速の変化

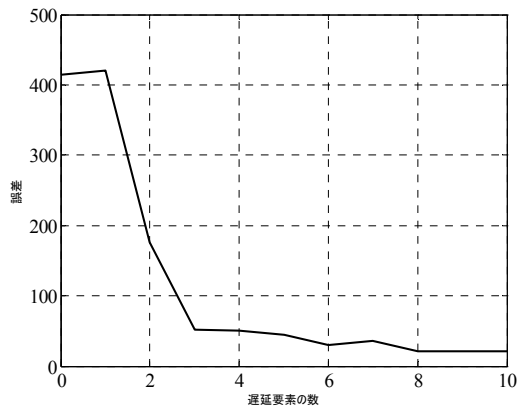


図12 遅延要素の個数による誤差の変化

学習フェーズにおいては、図8に示すように現在の時系列データ $V(k)$ と過去(1時間前)の時系列データ $V(k-2)$ を用いてトレーニングを行う。これにより、2サンプル時間つまり1時間後の予測を行うニューラルネットワークの重みが決定される。

予測フェーズにおいては、上記により決定された重みを用い、図9のように現在の風速を入力と

して用いることにより1時間先の予測を行う。また、学習アルゴリズムには逐次学習法を用いた。これは、一括学習法を用いた場合、風速は常に変動しているため、ニューラルネットワークの重みが風速の変化に対応できないためである。逐次学習法を用いることにより、現在の風速の状況に合った重みへ継続的に更新される。

## 6. 風速の時系列予測結果

図8に収集した風速と1時間先を予測した風速の比較を示す。図より収集した風速と予測した風速が一致していることが分かる。しかし、時間の早い段階で細かな振動が見られる。これは逐次学習法によって学習している段階であり、学習が完了するには、およそ20ステップ分の学習が必要であることがわかる。また、風速が大きく変化している部分では誤差が大きくなっており、急激な変化にはニューラルネットワークが対応し切れていないこともわかる。

図9に次式で定義される相対誤差を示す。

$$\text{相対誤差} = \frac{V_p - V_m}{V_p} \times 100(\%) \quad (2)$$

ここで、 $V_p$ :予測風速、 $V_m$ :収集風速

図より、相対誤差はおよそ $\pm 20(\%)$ 以下であり、妥当な予測ができていていると思われる。しかし、低風速域での相対誤差が大きくなっている。これは、低風速域では、風向が安定していないため不規則な変化にニューラルネットワークが対応できなかったものと思われる。

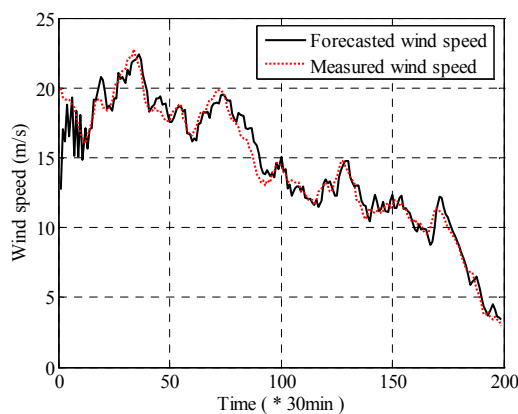


図13 風速の比較

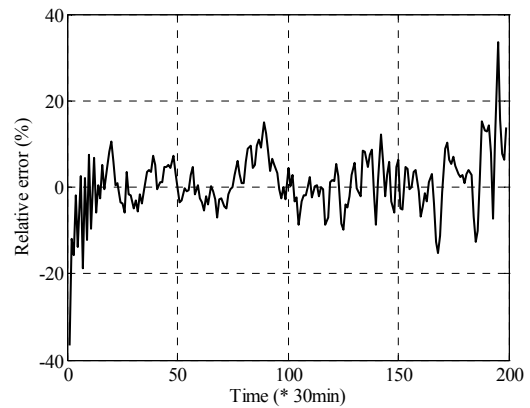


図14 相対誤差

## 5. まとめ

電力系統への風力発電機出力の増加は、系統の運用において多大な影響を与える恐れがある。そこで、本研究では、風力発電機の出力変動抑制を行うため、風況データ収集システムを用いて、相関関数による方法とニューラルネットワークによる方法の2つを用いて風速の予測を行った。この結果、相対誤差は $\pm 20(\%)$ 以下であり、今後の離島などでのディーゼル発電機の運転や大規模風力発電所の風力発電機の予測制御、電力系統の運営などに役立つものと思われる。

## 参考文献

- (1) 小玉, 松坂:「風況データ収集システムの開発と風力発電の出力変動解析への応用」, 計測自動制御学会東北支部 第229回研究集会, 資料番号 229-5, (2006-6)
- (2) 泉山:「相関関係とニューラルネットワークによる風速の予測」, 八戸工業大学システム情報工学科卒業研修論文, (2007-2)
- (3) 大久保:「風況データ自動収集システムの開発」, 八戸工業大学システム情報工学科卒業研修論文, (2007-2)
- (4) 松坂, 星:「風況の時系列予測に関する研究」, 計測自動制御学会東北支部 第222回研究集会, 資料番号 222-11, (2005-6)
- (5) Akio Kimura, Tomoyuki Matsuzaka, Yukio

- Kagawa, "FIR-type and IIR-type neural networks, and these applications to shape optimization of a magnetic pole" Inverse Problems in Science and Engineering, Vol.13, No.6, pp.617-634, (2005)
- (6) 小玉, 松坂:「系統連系時の出力変動抑制のための風況解析」, 平成 17 年度情報処理学会東北支部研究会, (2005-1)
  - (7) 星, 小玉, 松坂: 風力発電の出力変動予測のための風速の同時観測, 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, p221, 2002 年 8 月
  - (8) 谷川: LOCALSTM による風況シミュレーションモデルの開発と風況評価, ながれ 22, p405-415, 2003 年
  - (9) 松坂, 小玉, 星:「青森県・津軽海峡における風力エネルギーの賦損量推定に関する研究」, 八戸工業大学異分野融合化学研究所紀要, 第 2 巻, (2004-3)
  - (10) Windpower monthly,  
<http://windpower-monthly.com/>
  - (11) 函館海上保安部  
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/01kanku/hakodate/>