

# 博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Katsunori Mizuno

氏名 水野 勝教  
学位の種類 博士 (工学)  
学位記番号 博 乙 第 28 号  
学位授与 平成 28 年 1 月 21 日  
学位授与条件 学位規定第 3 条第 4 項該当  
論文題目 ニューラルネットワーク活用による水力・風力エネルギーの予測精度向上に関する研究  
論文審査委員 (主査) 教授 一柳 勝宏<sup>1</sup>  
(審査委員) 教授 村瀬 洋<sup>1</sup> 教授 雪田 和人<sup>1</sup> 教授 伊藤 雅<sup>2</sup> 教授 平野 正典<sup>3</sup>

## 論文内容の要旨

### ニューラルネットワーク活用による水力・風力エネルギーの予測精度向上に関する研究

再生可能エネルギーの普及・拡大を目的に、2012 年 7 月から「再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff)」が開始された。この制度の導入により 2014 年 3 月末までに、再生可能エネルギーの設備導入量は制度開始前と比較して 43%増加している。一方で、電力会社は高度な ITC 社会において要求される安定した高品質の電力を供給するために、景気、暦、気象条件などをもとに需給計画を立て、それを基本に日々の需給運用を行っている。今後予測される太陽光発電、風力発電という再生可能エネルギーの大量導入は、その特性として天候によって短時間で変動する電力であるため、これまでのような高品質の電力を供給するには、この出力変化をある程度の時間的余裕を持って予測することが重要となる。

そこで本論文では、電力の安定供給と水力や風力の自然エネルギーの有効活用を目的として、自然エネルギーの予測精度の向上について検討している。

本論文は、7 章からなり、第 1 章では本研究の背景について述べている。

第 2 章では、本論文で使用した各種データについて述べている。

第 3 章では、河川流量予測の入力データに用いる降雨に関して、レーダ雨量データから地上雨量分布の推定手法を提案している。ニューラルネットワークの入力データとして、レーダ雨量データを用いることにより、地上雨量計の設置されていない地点を含めて、流域全体の地上雨量分布を推定するシステムを構築した。さらに、入力に用いるレーダ雨量データ数を変えた 4 種類の推定システムを構築し比較している。その結果、1 地点のレーダ観測値を入力とする推定システムは構造が単純で、ネットワークの学習に要する計算時間も最小となり、推定精度は他の推定システムに比べ同程度であることが分かった。これらの検証結果からレーダ雨量データを入力とする推定システムにより発電用ダム上流域の総降雨量を算出できる可能性が確認できた。

第 4 章では、河川流量の総量予測に関して、流出率の推定精度向上について検討している。総降雨量のうち河川に流出する有効雨量の割合である流出率を精度良く推定することにより、流量の総量予測精度向上を図った。第 3 章で提案したニューラルネットワークを活用したレーダ雨量データによる地上雨量推定システムにより流域全体の平均累積雨量値を算出し、その値を入力とする流出率推定システムを構築した。その結果、従来の地上雨量計から算出された流域平均累積雨量値を使用した流出率推定システムと比較して、全体的に推定精度の向上が見られた。

第 5 章では、積雪や融雪期を含む 1 ヶ月程度先の水力エネルギーの計画運用を目的として、河川流量の季節別の総量予測手法を提案している。赤道付近の海面温度情報が大

1 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

2 愛知工業大学 情報科学部 情報科学科 (豊田市)

3 愛知工業大学 工学部 応用化学科 (豊田市)

気の変動と密接に関連していることに着目し、エルニーニョ監視海域 (NINO. 3)、西太平洋熱帯域 (NINO. WEST)、インド洋熱帯域 (IOBW) の各海域における海面温度偏差情報と総流量との相関性を梅雨期 (6 月～8 月)、融雪期 (4 月～6 月)、積雪期 (2 月～3 月) について調べている。さらに、発電用ダム上流域における各種気象情報と総流量との相関性についても調べている。調査した結果、季節によって相関性の高い情報が異なることから、対象とする季節によって最適な入力情報を用いる総流量予測システムをニューラルネットワークにより構築した。有効性の検証の為、海面温度情報を用いた予測システムと、用いない場合の予測システムの結果を比較したところ、本提案手法によって予測精度の向上がみられた。

第 6 章では、ニューラルネットワークによる風速変動予測システムを構築している。風力発電は水力発電と比較すると変動が大きく、持続性に欠ける。風力発電量を精度良く予測し、予測結果を運用計画に反映させることにより、風力エネルギーの高効率利用が期待できる。本提案ではニューラルネットワークの教師データの選定に関して、予測対象日に類似した天気日の抽出を行い、類似度の高い教師データで学習を行うことで予測精度の向上を図った。類似天気日を抽出するために、 $16 \times 16$  のブロックに区切り、気圧の値と前線の有無等を数値化してデータとした天気図データベースを作成した。このデータベースからパターンマッチングで抽出した類似天気日では風速値は若干異なるものの、風速の変化パターンは比較的類似していることを確認できた。10 分値風速データを用いた風速予測システムを構築して、10 分間隔で 60 分先までを予測した結果では風速の瞬時値誤差は平均 9.6%、最大 11.1% であり、風速エネルギーからみた予測結果では、瞬時値誤差は平均 21%、最大 27% であることから、提案した手法が有効であることを示している。

第 7 章では、研究を統括し今後の展望について記している。

## 論文審査結果の要旨

再生可能エネルギーの普及・拡大を目的に、2012 年 7 月から「再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff)」が開始された。この制度の導入により 2014 年 3 月末までに、再生可能エネルギーの設備導入量は制度開始前と比較して 43% 増加している。一方で、電力会社は高度な ITC 社会において要求される安定した高品質の電力を供給するために、景気、暦、気象条件などをもとに需給計画を立て、それを基本に日々の需

給運用を行っている。今後予測される太陽光発電、風力発電という再生可能エネルギーの大量導入は、その特性として天候によって短時間で変動する電力であるため、これまでのような高品質の電力を供給するには、この出力変化をある程度の時間的余裕を持って予測することが重要となる。そこで本論文では、電力の安定供給と水力や風力の自然エネルギーの有効活用を目的として、自然エネルギーの予測精度の向上について検討している。

本論文は、7 章からなり、第 1 章では本研究の背景について述べている。

第 2 章では、本論文で使用した各種データについて述べている。

第 3 章では、河川流量予測の入力データに用いる降雨に関して、レーダ雨量データから地上雨量分布の推定手法を提案している。ニューラルネットワークの入力データとして、レーダ雨量データを用いることにより、地上雨量計の設置されていない地点を含めて、流域全体の地上雨量分布を推定するシステムを構築した。さらに、入力に用いるレーダ雨量データ数を変えた 4 種類の推定システムを構築し比較した結果、1 地点のレーダ観測値を入力とする推定システムは構造が単純で、ネットワークの学習に要する計算時間が最小で、推定精度も他の推定システムに比べ同程度であることから、レーダ雨量データを入力とする推定システムにより発電用ダム上流域の総降雨量算出の可能性が確認できた。

第 4 章では、河川流量の総量予測に関して、流出率の推定精度向上について検討している。総降雨量のうち河川に流出する有効雨量の割合である流出率を精度良く推定することにより、流量の総量予測精度向上を図った。第 3 章で提案したニューラルネットワークを活用したレーダ雨量データによる地上雨量推定システムにより流域全体の平均累積雨量値を算出し、その値を入力とする流出率推定システムを構築した。その結果、従来の地上雨量計から算出された流域平均累積雨量値を使用した流出率推定システムと比較して、全体的に推定精度の向上が見られた。

第 5 章では、積雪や融雪期を含む 1 ヶ月程度先の水力エネルギーの計画運用を目的として、河川流量の季節別の総量予測手法を提案している。赤道付近の海面温度情報が大気の変動と密接に関連していることに着目し、エルニーニョ監視海域 (NINO. 3)、西太平洋熱帯域 (NINO. WEST)、インド洋熱帯域 (IOBW) の各海域における海面温度偏差情報と総流量との相関性を梅雨期 (6 月～8 月)、融雪期 (4 月～6 月)、積雪期 (2 月～

3月)について調べている。さらに、発電用ダム上流域における各種気象情報と総流量との相関性についても調べている。調査した結果、季節によって相関性の高い情報が異なる事から、対象とする季節によって最適な入力情報を用いた総流量予測システムをニューラルネットワークにより構築した。有効性の検証の為、海面温度情報を用いた予測システムと、用いない場合の予測システムの結果を比較したところ、本提案手法によって予測精度の向上がみられた。

第6章では、ニューラルネットワークによる風速変動予測システムを構築している。風力発電は水力発電と比較すると変動が大きく、持続性に欠ける。風力発電量を精度良く予測し、予測結果を運用計画に反映させることにより、風力エネルギーの高効率利用が期待できる。本提案ではニューラルネットワークの教師データの選定に関して、予測対象日に類似した天気日の抽出を行い、類似度の高い教師データで学習を行うことで予測精度の向上を図った。類似天気日を抽出するために、16×16のブロックに区切り、気圧の値と前線の有無等を数値化してデータとした天気図データベースを作成した。このデータベースからパターンマッチングで抽出した類似天気日では風速値は若干異なるものの、風速の変化パターンは比較的類似していることを確認できた。10分値風速データを用いた風速予測システムを構築して、10分間隔で60分先までを予測した結果では風速の瞬時値誤差は平均9.6%、最大11.1%であり、風速エネルギーからみた予測結果では、瞬時値誤差は平均21%、最大27%であることから、提案した手法が有効であることを示している。

第7章では、研究を統括し今後の展望について記している。

以上に述べたように、今後予想される太陽光発電、風力発電という再生可能エネルギーの大量導入により、これまでのような高品質の電力を供給するには、これら出力変化をある程度の時間的余裕を持って予測することが重要となる。このような状況において、将来的にも高品質で電力の安定供給を維持するためにも本研究成果が期待される。

以上により、本研究の成果は学術上、工学に寄与するところ大である。よって、審査委員会は本論文提出者水野勝教氏を博士(工学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。