

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 27 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560524

研究課題名(和文) 統計的学習法とベイズ推定に基づく電力系統台風被害予測システムの構築

研究課題名(英文) Construction of Prediction System for Electric Power Damage by Typhoons Based on Statistical Learning Method and Bayesian Estimation

研究代表者

八野 知博 (HACHINO, Tomohiro)

鹿児島大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50284906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、統計的学習法とベイズ推定に基づく電力系統台風被害予測システムを構築した。本予測システムの特徴は、被害予測値に加えてその信頼性の情報が得られる点である。予測モデルであるガウシアンプロセスモデルの学習に、粒子群最適化法やArtificial Bee Colony Algorithm等を適用することも提案した。過去の鹿児島県奄美群島に接近または上陸した台風の気象データと電力系統実被害データに基づいてシミュレーション実験を行い、精度の良い予測値とその信頼性の情報が得られることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research presents a method of predicting the amount of electric power damage based on the statistical learning method and Bayesian estimation. The proposed predictor can yield not only the predicted amounts of damage but also their confidence measures. The Gaussian process models are trained by the particle swarm optimization, artificial bee colony algorithm, and so forth. Simulation results based on actual data are shown to illustrate the effectiveness of this prediction system.

研究分野：システム制御工学

キーワード：計測工学 制御工学 システム工学

1. 研究開始当初の背景

我が国には毎年多くの台風が襲来し、台風による電力系統の被害は深刻な問題となっている。被害発生時の停電時間短縮と復旧コスト低減を図るためには、台風被害が発生する前に予め停電回線数などの電力系統被害量を正確に予測することが必要不可欠である。これまでに、電力供給側の過去の経験に基づく被害予測や、ニューラルネットワークと多項式モデルに基づく二段階予測手法などが用いられてきた。しかし、経験に基づく手法では客観性の確保が困難であり、正確な予測が期待できない。また、二段階予測手法などのパラメトリック手法では、予測モデルの記述に多数のパラメータを必要とするため、現状で入手可能な学習用入出力データ（入力：台風気象データ、出力：電力系統実被害データ）のセットが少ないことが、精度良い予測システム構築を困難にしてきた。さらに、これらパラメトリックモデルは被害予測値のみを与え、その信頼度については何ら情報を提供していなかった。よって、現状で入手可能な少数の入出力データをもとに、被害予測値のみならず、その信頼度をも与え得る高精度な予測システムの構築が求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、ガウシャンプロセスモデル等によるベイズ推定に基づいて、高精度な電力系統台風被害予測システムを構築することを目的としている。具体的には、過去の台風気象データを入力、過去の電力系統実被害データを出力として、予測モデルであるガウシャンプロセスモデル等の統計的学習を行い、予測器を構築する。この学習では、被害値の分布を規定するパラメータの決定問題が線形最適化と非線形最適化の問題に分離することに着目し、線形最小二乗法と粒子群最適化、Artificial Bee Colony アルゴリズムなどのメタヒューリスティクスとのハイブリッド化による決定手法が効果的であることを示す。また、電力系統の日々のメンテナンス等により、台風気象情報と被害量との関係が時変となることを考慮し、予測精度の改善を行う。以上により、電力系統に台風被害が発生する前に最悪ケースを想定した復旧計画策定（資材・要員の確保など）を可能とし、停電時間の短縮など台風時の安全な市民生活に資することを目的としている。

3. 研究の方法

学習用データに対する対数周辺尤度を評価とし、線形最小二乗法とメタヒューリスティクスとのハイブリッド化による、予測モデルの事前分布の決定手法を開発する。なお、予測モデルとしては、ガウシャンプロセスモデルを用いる。次に、開発した予測手法をMATLABにより計算機上で実現し、シミュレーションによりその予測精度や信頼度の妥当

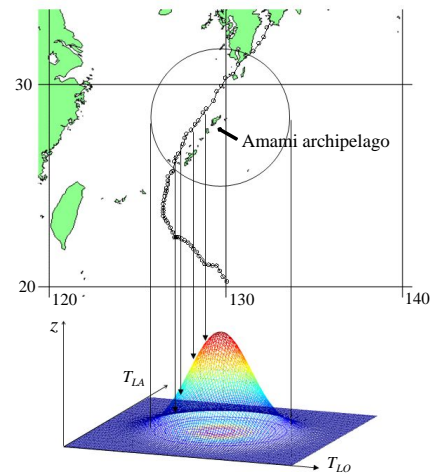


図1 台風進行経路の数値化

性を詳しく検証する。同時に、台風気象データと電力系統実被害データの収集とその処理を行う。具体的には、台風進行経路や暴風半径、最大瞬間風速、最低気圧、降雨量など種々の台風気象データを収集し、電力系統被害に影響を強く与える種別の選定を行う。また、これらの気象データや実被害データを予測に適した形に数値化するため、データの規格化や台風進行経路の数値化をメタヒューリスティクスの援用により最適に実行する手法を考案する。さらに、過去の鹿児島県奄美群島に接近または上陸した台風の気象データと電力系統実被害データに基づいて予測シミュレーションを行い、開発した予測システムにより精度の良い予測値とその信頼性の情報が得られることを確認する。また、電力系統の日々のメンテナンス等を考慮して、非定常型の共分散関数を用いたり、予測システムの入力に台風襲来年月日の情報を取り入れることで予測精度の改善を図る。

4. 研究成果

(1) 問題設定

予測対象地域を奄美群島とする。予測システムの入力は、電力系統台風被害に影響を及ぼすと考えられる進行経路や最大瞬間風速など台風気象情報とする。出力は停電回線数などの電力系統被害量である。過去に予測対象地域に接近または上陸した台風の気象データと対応する電力系統実被害データが学習用入力データとして入手可能であるとする。本研究では、予測対象地域に接近しつつある新たな台風の気象情報を入力すれば、電力系統の被害予測値とその信頼性に関する情報を出力する予測システムを構築する。

(2) 台風進行経路の数値化

台風進行経路は台風被害に強い相関がある要素であり、その数値化が予測精度に大きな影響を及ぼす。また、台風は停滞することもあり、台風が長時間留まることで甚大な被害が生じることもある。そこで、本研究では、

台風の停滞も考慮した進行経路の数値を行った。奄美群島を予測対象地域とした場合、まず北緯 26 度から北緯 31 度の区間内を通過する台風中心位置の 1 時間毎に観測したデータをプロットし、図 1 に示す正規分布を用いて、プロット点における正規分布の標高値の和で進行経路の数値化を行う方法を開発した。

(3) ガウシアン事前モデル

台風気象情報と電力系統被害量をガウシアンプロセスモデルで記述する。ガウシアンプロセスモデルは、関数値が多変量正規分布に従うと捉えたモデルであり、平均関数と共分散関数で完全に記述できるモデルである。本研究では平均関数を台風気象情報の線形結合で表し、共分散関数はガウシアンカーネルを使用した。

(4) ガウシアン事前モデルの学習

ガウシアン事前モデルには平均関数と共分散関数に関する未知パラメータを含んでいるため、これらを最適に決定する必要がある。本研究では、台風気象データと電力系統実被害データに対する負の対数周辺尤度最小化に基づいてこれらのパラメータを決定した。この最小化は線形最適化と非線形最適化に分離することが可能であることに着目し、線形最小二乗法とメタヒューリスティクス（粒子群最適化手法、Artificial Bee Colony アルゴリズム、Firefly アルゴリズムなど）とのハイブリッド最適化を提案した。

(5) 予測用台風気象入力データの推定

台風襲来の際、奄美群島などの離島に対しては、船舶や航空機が欠航するぎりぎりのタイミングで電力系統被害予測を行い、被害予測に応じた復旧要員の移動と復旧資材の運搬を完了しておく必要がある。本研究では、台風が奄美群島南方の北緯 23 度に到達した時点（予測実施時刻）で被害予測を行う。予測実施時刻に最も近い時刻に気象庁より発表される進路予報円の中心を通過すると仮定し、前述の進行経路数値化法により進行経路の予測値を得る。また、奄美群島最接近時の最大瞬間風速を予測実施時刻の最大風速と台風最接近距離を説明変数とする二次多項式により推定する。

(6) ガウシアン事後分布による被害予測

推定された新たな予測用台風気象データに対応する被害予測値とその信頼領域に関する情報を、ベイズ推定に基づきガウシアン事後分布から求める。

(7) 奄美群島を対象とした予測シミュレーション

1996 年から 2009 年までに奄美群島に接近または上陸した 18 個の台風に対し、1 個を予測用データとし、残りの 17 個を学習用データとする 18 通りの組合せで停電回線数の予測シミュレーションを行った。なお、本シミュレーションではガウシアン事前分布の学習に Firefly アルゴリズムを使用している。図 2 に本予測システムによる予測結果を示

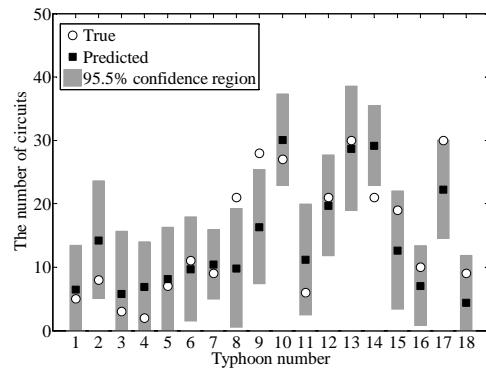


図 2 停電回線数予測結果（提案法）

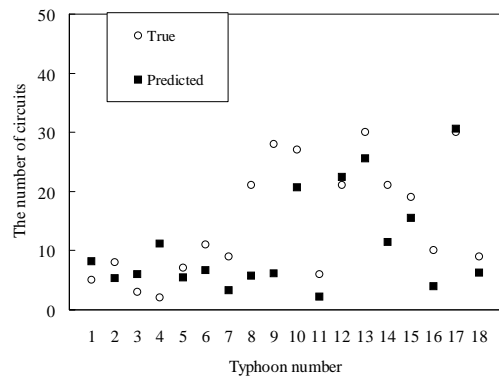


図 3 停電回線数予測結果（従来法）

す。また、図 3 に従来のニューラルネットワークと二次多項式による二段階予測法による予測結果を示す。図中で は台風被害実績値を、 は台風被害予測値を、灰色部は 2（95.5%）信頼領域を表す。予測値と実績値間の平均誤差率は、本予測システムによる結果 0.483、従来法による結果 0.665 であり、従来法と比べて予測精度が改善された。また、従来法では得られなかった予測値の信頼領域に関する情報も本予測システムで得られることが明らかとなった。この予測値の信頼領域の情報を活用すれば、事実上最悪被害量まで予測することができ、この値に基づいた復旧計画策定が可能になる。さらに、ガウシアンプロセスモデルに非定常型の共分散関数を導入したり、台風襲来年月日の情報を予測システムの入力とすることで、台風気象データと電力系統被害量との時変特性を表現し、予測精度が改善することもシミュレーション実験で確認している。

(8) 今後の展望

システム予測論的立場から構築した予測システムで被害予測をすべて自動化し、この予測結果に基づいて復旧計画策定が行えるようにすることが本研究の最終目的である。台風気象データと実被害データの統一的な蓄積、予測用台風気象データの推定法の改善、台風気象情報の不確かさを考慮した予測システムの構築などが今後の課題である。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

Tomohiro Hachino, Shin Okubo, Hitoshi Takata, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Improvement of Gaussian Process Predictor of Electric Power Damage Caused by Typhoons Considering Time-varying Characteristics, International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol.3, No.4, pp.263-268, 2015, 掲載決定, 査読有
DOI: 10.12720/ijeee.3.4.263-268

Tomohiro Hachino, Hitoshi Takata, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Gaussian Process-based Predictor of Electric Power Damage Caused by Typhoons in Japan Using Artificial Bee Colony Algorithm, International Journal of Energy and Environment, Vol.7, No.5, pp.189-196, 2013, 査読有
<http://naun.org/cms.action?id=6454>

Tomohiro Hachino, Hitoshi Takata, Shigeru Nakayama, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Application of Firefly Algorithm to Gaussian Process-based Prediction of Electric Power Damage Caused by Typhoons, International Journal of Computer Science and Electronics Engineering, Vol.1, No.3, pp.445-449, 2013, 査読有
<http://www.isaet.org/proceeding.php?catid=66&type=2&mode=detail>

Tomohiro Hachino, Tatsuya Ueda, Hitoshi Takata: Gaussian Process Regression for Prediction of Electric Power Damage Caused by Typhoons Considering Nonstationarity of Damage, Journal of Signal Processing, Vol.17, No.3, pp.61-68, 2013, 査読有
DOI: 10.2299/jsp.17.61

八野 知博, 浅井 宏貴, 高田 等: ガウシアンプロセスモデルによる奄美群島の電力系統台風被害予測、電気学会論文誌C, Vol.132, pp.1966-1972, 2012, 査読有
DOI: 10.1541/ieejieiss.132.1966

[学会発表](計7件)

大窪 新, 八野 知博, 高田 等, 福島 誠治, 五十嵐 保隆: 時変特性を考慮したGPモデルによる電力系統台風被害予測、第33回計測自動制御学会九州支部学術

講演会、2014年12月6日、九州工業大学(福岡県・北九州市)

大窪 新, 八野 知博, 高田 等, 福島 誠治, 五十嵐 保隆: 非定常型ガウシアンプロセスモデルによる電力系統台風被害予測、平成26年度電気・情報関係学会九州支部連合大会、2014年9月18日、鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)

Tomohiro Hachino, Shin Okubo, Hitoshi Takata, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Improvement of Gaussian Process Predictor of Electric Power Damage Caused by Typhoons Considering Time-varying Characteristics, The 2nd International Conference on Control, Robotics and Cybernetics, 2014年8月9日、シンガポール市(シンガポール)

Tomohiro Hachino, Hitoshi Takata, Shigeru Nakayama, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Application of Firefly Algorithm to Gaussian Process-based Prediction of Electric Power Damage Caused by Typhoons, International Journal Conference on Electric and Micro-Electronics Systems, 2013年6月26日、バンコク市(タイ)

Tomohiro Hachino, Hitoshi Takata, Seiji Fukushima, Yasutaka Igarashi: Prediction of Electric Power Damage by Typhoons in Japan Using Gaussian Process Model Trained by Artificial Bee Colony Algorithm, The 12th International Conference on System Science and Simulation in Engineering, 2013年4月23日、アイーナいわて県民情報交流センター(岩手県・盛岡市)

植田 達也, 八野 知博, 高田 等: ガウシアンプロセス回帰による奄美群島の電力系統台風被害予測、第31回計測自動制御学会九州支部学術講演会、2012年12月8日、熊本大学(熊本県・熊本市)

八野 知博, 浅井 宏貴, 高田 等: ガウシアンプロセスモデルを用いた鹿児島県奄美群島の電力系統台風被害予測、第56回システム制御情報学会研究発表講演会、2012年5月22日、京都テルサ(京都府・京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八野 知博 (HACHINO Tomohiro)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：50284906