

京都大学	博士 (工 学)	氏名	張 馳
論文題目	Techniques for Facilitation of Climate Change Impact Assessment Using Machine Learning and Statistical Algorithms (機械学習と統計アルゴリズムを用いた気候変動影響評価に資する手法の開発)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>近年、地球温暖化は、地球規模の気候変動とも呼ばれ、食料生産と生活にさまざまな側面で影響を与えている。2つのタイプの代表的な極端な気象イベントとして、極端低温や極端降雨は、人々の生命と富の損失を引き起こすだけでなく、公共施設への損害も引き起こす。これらの極端な気象現象を十分に理解し、それらによって引き起こされるリスクを評価するには、これらの極端な気象現象に関連するデータを定量的に分析し、それらの影響を予測する必要があるが、十分な技術が開発されているとは言えない。</p> <p>本論文は、これら問題を解決するために、機械学習と統計アルゴリズムを用いた、極端降雨イベントの閾値の計算手法、海域の漁獲データ間の因果関係の特定手法、および送電線の着氷厚さ予測手法など、気候変動影響評価に資する手法の開発に関する研究を述べたものである。本論文は、以下の5章から構成されている。</p> <p>第1章では、研究背景について述べ、気候変動影響評価に資する手法の研究開発に関する現状とその問題点について説明している。気候変動によって引き起こされる極端な気象現象と生態環境への影響から始めて、関連データを分析および予測することにより、リスクを評価し、損失を減らす必要性を説明している。パターン認識、特徴抽出及び変数予測の目的を達成するために、自然環境と人工環境データを例にとり、従来の統計アルゴリズムや機械学習アルゴリズムを含むさまざまな分析方法を紹介している。更に、可視化技術を利用し、データの種類に応じた分析システムを開発することを述べている。最後に、本論文の構成について述べている。</p> <p>第2章では、典型的な時系列データである降雨データの分析から始めて、極端な降雨イベントを抽出する手法を開発した。提案システムでは、3つの従来のパーセンタイル法と提案された新しいパーセンタイル法の中から最適なアルゴリズムを自動的に選択し、それを極端降雨閾値の計算に適用した。実験で使用した降雨量データには、過去および将来のシミュレーションデータが含まれている。対応する地域の降雨量は季節変化の影響を大きく受けるため、異なる季節の降雨量データはシステム内で個別に分析された。さらに、各季節の総降雨量や降雨量のしきい値の移動平均などの統計を計算および可視化することにより、季節ごとの極端降雨イベントの変動傾向を解析した。極端降雨イベントの抽出を通じて、定量化を用いて極端気象イベント理解の促進に繋がったことを確認した。</p> <p>第3章では、海洋生態系の指標として、漁獲量データを研究対象として選択した。提案されたシステムは、可視化モジュールとデータ分析モジュールで構成される。可視化モジュールでは、関連海域の地図を表示し、海面温度の分布などをオーバーレイとして表示する。このモジュールを使って、対象海域を複数の海域に分割することが容易となった。分析モジュールは、収束交差写像法 (CCM) を使用することにより、隣接する海域での漁獲量データ間の因果関係を特定することができる。実験では、提案されたシステムを使用することにより、4つの海域のうち、2つの海域の漁獲データ間の可能な因果関</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	張 馳
<p>係を発見した。さらに、CCM 曲線の相互位置によって、因果変数を決定した。</p> <p>第 4 章では、主に、異常気象の状況下でのリスク予測と関連するリスク防止方法に焦点を当てた。一例として、気象データと電力塔の状態データを使用して、送電線の着氷厚の予測問題に注目した。開発した架空送電線の着氷厚予測システムは、ウェブブラウザベースの可視化モジュールとニューラルネットワークベースの予測モジュールで構成する。可視化モジュールでは、気象データの分布を、切り替え可能な背景マップレイヤーを備えた直感的な 2 次元マップとして可視化する。平行座標図では、ユーザーが多次元データを探索し、フィルタリングするためのインターフェイスを提供する。予測モジュールでは、気象データと電力塔の状態データに基づいて送電線の着氷厚を予測する。実験結果は、平均誤差が約 0.5 mm の高い予測精度を示している。予測される氷結厚が事前に定義された閾値を超える場合、事故リスクの高い場所を地図上にマークすることが可能である。対応する場所の過去の気象パラメータは、折れ線グラフとして可視化できる。したがって、提案されたシステムは、着氷の厚さを予測できるだけでなく、気象データと地理的環境に応じて適切な除氷対策を講じるのに役立つ視覚的な分析ツールをも提供する。さらに、電力システムの故障リスクを低減するために、電力送電システムの自動パトロールを改善する方法を提案した。具体的には、この手法では、サポートベクターマシン (SVM) と GrabCut アルゴリズムを使用して、無人航空機 (UAV) の写真から絶縁体を認識し、抽出することができる。抽出の手順は、2 つのステップに分けることができる。まず、おおよその絶縁体領域を SVM によって検出する。次に、GrabCut アルゴリズムによって精確な絶縁体領域を抽出する。抽出効果を改善するために、いくつかの追加アルゴリズムをシステムに統合する。視覚的分析システムでは、入力画像の表示、色ヒストグラムの表示、制約条件のカスタマイズ、出力画像のプレビューのためのインターフェイスを提供した。実証実験では、最初のステップで、ほとんどの背景が除去されることを確認した。これにより、次の抽出ステップ中の背景からの干渉が著しく減少する。提案されたシステムにおいて、画像から十分な精度で絶縁体領域を抽出できることを確認した。</p> <p>第 5 章では、結論として、各章で得られた成果を要約し、残された今後の課題について述べている。主に、提案された手法の性能改善と適用分野拡大、そして、他の関連手法との比較について注目している。例えば、極端降雨閾値を計算するための最適化システムは、河川水位の分析と予測に適用することができる。また、漁獲データ分析手法では、海洋データからより適切な変数を選択して、海域分割の精度の向上を期待できる。異なる因果性識別アルゴリズムとの比較を行い、提案手法にさらに多くの判断基準を追加して、異なる角度から因果関係を検証することができる。さらに、送電線の着氷厚予測システムでは、より多くの訓練データを使用して、氷結厚の予測精度を向上させることが期待できる。着氷厚さ予測の深層学習モデルは、着氷厚さの計算に使用された他の物理モデルと比較して、提案システムの入力変数をさらに最適化することができる。欠陥検出アルゴリズムを絶縁体抽出システムに統合すれば、抽出された絶縁体を効率よく検査することができる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、機械学習と統計アルゴリズムを用いた、極端降雨イベントの閾値の計算手法、海域の漁獲データ間の因果関係の特定手法、および送電線の着氷厚さ予測手法など、気候変動影響評価に資する手法の開発に関する研究をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. Box-Cox 変換に基づく新しいパーセンタイル方式を提案し、極端降雨イベントの閾値計算に適用した。また、従来計算法も含めて、最適な方法を自動選択する手法を開発し、気象条件が季節によって大きく変化する場合、降雨量の閾値を季節に応じて、適切に計算することが可能になった。さらに、過去および将来のシミュレーションデータの分析に、提案手法を適用し、各季節の極端降雨イベントの変動傾向を明らかにした。

2. 海域の時系列漁獲データ間の因果関係の分析に資する視覚的分析手法を提案し、隣接する海域の漁獲データ間の因果関係を特定した。因果関係の特定のために、Convergent Cross Mapping (CCM) 法を利用した。また、対象海域を複数の海域に適切に分割するために、世界地図と海面水温の分布を表示する視覚化機能を開発した。

3. 時系列気象データを使って、高精度で着氷厚さを予測するための視覚的分析手法を提案した。本手法では、送電線上で、着氷厚さに強い影響を及ぼす着氷監視データの統計的特徴を探索することを容易にした。また、適切な除氷手段の決定を支援するために、送電線上の特定の場所で、氷結厚が閾値を超える場合、その場所における気象データを可視化する機能を開発した。さらに、無人航空機 (UAV) が撮影した写真から送電線の絶縁体を抽出するための手法を提案した。本手法では、サポートベクターマシン (SVM) によって、およそその絶縁体領域が検出された後、GrabCut 法によって、精確な絶縁体領域の抽出を可能にした。GrabCut 法の制約条件を直感的に決定するため、抽出された絶縁体領域を視覚化する機能を開発した。

以上の研究成果は、気候変動に対する影響評価手法策定の支援上の問題に対して、時系列環境データの利活用という観点に着目し、機械学習と統計アルゴリズムなどのアプローチを用いた問題解決についての新たな知見を与えたものであって、学術的・産業的な貢献は大きいと評価され、本論文は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 2 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。