

京都大学	博士（工学）	氏名	Xiaolong Luo
論文題目	Natechs and Climate Change: Wide-scale Spatial Modeling of the Occurrence Probability and Variability of Tropical Storm-Related Natech Events in the United States Under Various Climate Scenarios (Natech 災害と気候変動:多様な気候シナリオの下での米国における熱帯低気圧を引き金とした Natech 事象の発生率と変動性に関する広範囲の空間モデリング)		
(論文内容の要旨) <p>The overall aim of this dissertation is to determine the connection between climate change and the incidence and variability of tropical storm-related (TS) natural hazard triggered technological accident (Natech) events, by analyzing the case of the United States (U.S.), and to provide an outlook on how climate change may affect tropical storm related Natech (TSNatech) incidence in the future based on various climate scenarios. In order to achieve that aim, the thesis first developed a deep learning-based framework to retrieve Natech reports during the period of 1990 to 2017 from the National Response Center (NRC) database of the U.S. Based on the retrieved Natech events data from the NRC database, multiple statistical and spatial analysis methods were employed to analyze the temporal-spatial variation of TSNatech. Afterwards, a methodology was proposed to generate a fragility curve to estimate the probability and conditional probability of TSNatech by using wind energy. Based on the proposed estimation method and the climate data provided by the World Climate Research Programme (WCRP), the probability of TSNatech events were estimated for the periods of 1990-2017 and 2021-2100, respectively. Through the above progress, the link between climate change and the incidence of TSNatech events was determined. Climate change may be affecting the incidence of TSNatech events by affecting the activity of tropical storms. The results of this study show that the probability of TSNatech events in the U.S. may increase in the future compared to the period of 1990-2017.</p> <p>The thesis contains 7 chapters described in detail below.</p> <p>Chapter 1 gives a brief introduction about Natech risk and climate change. After proposing research questions, the main aim and objectives of this study are presented, including a brief summary of the methodology and dissertation structure.</p> <p>Chapter 2 presents a discussion regarding previous studies related to TSNatech, climate change, and their relationships. It identifies the gaps in TSNatech research and its relationship with climate change, and proposes a pathway to fill the research gaps including the need to understand the connection between climate change and TSNatech events, and to develop a new method to analyze how TSNatech occurrence will change under future climate change.</p> <p>Chapter 3 develops of a deep learning based Natech extraction framework, called the Semi-Intelligent Natech Identification Framework, and explains the procedure on how to use the developed framework to retrieve Natech events. At last, 32,841</p>			

京都大学	博士 ( 工学 )	氏名	Xiaolong Luo
<p>Natech event reports were extracted from the NRC database between 1990 and 2017. Furthermore, the majority of those Natech reports (97.85%) were related to meteorological phenomena, with hurricanes (24.41%), heavy rains (19.27%), and storms (18.29%) identified as the main causes of these reported Natechs.</p> <p>Chapter 4 analyzes the temporal-spatial variation of TSNatechs, spatially extracted from the identified Natech events in Chapter 3, based on analyzing the historical tropical storm data. A series of statistical analysis methods, spatial analysis methods, and spatial statistical analysis methods are employed to finish analyzing the temporal-spatial variation of TSNatech incidence. In order to explore the cause of such changes, this study investigates the relationships between the temporal-spatial variation of the incidence of tropical storms-related Natechs, and the accumulated cyclone energy, the North Atlantic Oscillation (NAO) index and the Oceanic Niño Index (ONI), and other variables. The results suggest there is a link between climate change and the temporal-spatial variation of the incidence of related Natechs due to its effect on tropical storm activity.</p> <p>Chapter 5 proposes a spatial analysis methodology to analyze the trends of the probability/conditional probability of TSNatech on a regional basis. Based on the proposed methodology, fragility curves to describe the conditional probability of TSNatech due to the wind energy of tropical storms are estimated. The results suggest that both the probability and the conditional probability of tropical storm-related Natechs are on the rise. Wind energy of tropical storms is found to be a good estimator of the conditional probability of tropical storm-related Natechs from a regional view.</p> <p>Chapter 6 proposes a methodology to estimate TSNatech probability for 1990–2017 and 2021 to 2100, respectively, based on the estimation method which is presented in Chapter 5. Through estimating TSNatech probability based on the climate Scenario MIP data which are simulated in the scenarios of shared socioeconomic pathways, this study found that TSNatech has a much higher probability of occurrence in the future. Global warming may increase the number of extreme TSNatech probability values in the future.</p> <p>Chapter 7 summarizes the main findings and limitations of this study. Moreover, the recommendations of this study and future work are also discussed in this chapter.</p>			

氏名	Xiaolong Luo
----	--------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、米国の事例の分析を通じて、気候変動と、TSNatech (Tropical Storm-related Natech、熱帯低気圧に関連する化学事故)の発生率と変動性との間の関係について調べることを目的としている。また、2100年までに予測される社会経済的地球変動のさまざまな SSP (Shared Socioeconomic Pathways) 気候シナリオに基づいて、気候変動が将来の TSNatech イベントの発生率にどのように影響するかについて分析している。近年、気候変動が Natech イベントの発生率に何かしらの影響を与えるだろうという認識が共有されつつあるにも関わらず、これまで学術分野における努力や成果は限られたものだった。本論文はそのギャップを埋めることを意図している。具体的には以下の結果を得ている。

- (1) 1990年から2017年までの Natech レポートを特定し、米国国立対応センター(NRC)の化学事故データベースから取得するためのディープラーニングベースのフレームワークの開発している。そして、それを用いて合計 32,800 件の Natech イベントのデータを収集している。
- (2) 取得した Natech イベントデータを用いて、熱帯低気圧に関連する Natech (TSNatech) の発生率の時空間変動と、蓄積されたハリケーンのエネルギー、北大西洋振動 (NAO) 指標および海洋エルニーニョ指標 (ONI) との関係や、その他の変数を分析している。その結果、気候変動と TSNatechs の発生率との間に相関がある可能性を指摘している。
- (3) 上記の結果を用いて脆弱性曲線を作成し、風力エネルギーに基づいて TSNatech の確率と条件付き確率を推定している。
- (4) 気候シナリオデータを使用して、1990年～2017年と2021年～2100年の期間の TSNatech イベントの確率を推定する方法論を提案している。結果は、米国で TSNatech 確率が将来高くなる可能性があることを示している。また社会経済開発に関する SSP4 シナリオを採用すると、放射強制力のレベルの増加 ( $3.4\text{W/m}^2$  から  $6.0\text{W/m}^2$ ) によって極端 TSNatech の確率が増加する可能性があることを示している。

本論文の成果は、地球温暖化シナリオの下での熱帯低気圧の風力エネルギーの変化と米国での TSNatech イベントの発生率の関係を定量的に明らかにしている点、また今後の社会経済開発経路によってはそれらのインパクトを減少させることができることを示している点で重要である。また本研究は TSNatech の確率を把握する初めての試みであり、新しい方法の開発も行っている。その方法は、毎年台風の影響を受ける日本を含めた、他の国や地域でも応用可能である。本研究は、災害リスク管理、特に都市部の化学や石油、ガスインフラストラクチャの配置、設計、建設、および保守に密接に関連している。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3年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、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。