

(続紙 1)

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	四井 早紀
論文題目	Fatality Modeling of Tsunami Disaster Taking into Account Geographical Factors and Demographic Components (地形的要因と社会的要因を取り入れた地震津波による人間被害推定モデルの構築に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、2011年東北地方太平洋沖地震の死者を対象として、「避難経路別距離・標高推移の特性分析」を行い、その特性を地形的要因として定量表現して得られた結果と社会的要因を取り入れた地震津波による人間被害推定モデルを新しく構築した結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論である。現在、日本では津波災害に関する被害予測手法は複数提案されてはいるものの、それぞれ一長一短があり、統一された予測手法が存在するとは言えない。また、被害に影響を及ぼす地形の特徴や社会的要因それぞれに着目した式は提案されているものの、双方を組み込んだ予測式の研究例は少ない。さらに、国や県単位の予測式はあっても、地域レベルでの予測式はほとんど見当たらないのが現状である。しかし、このような状況下においても、地域資料の整備が遅れているような国や社会に対して、他の地域の資料を用いることにより、その地域が有する危険度が推定できるような予測手法が必要であることは論を俟たない。ここに、被害を予測する地域の状況を表現でき、人的被害をできるだけ正確に予測できる式を構築する意義が存在する。</p> <p>第2章は、既往の文献調査、すでにある予測式の概要、過去の災害の文献調査についてまとめ、イギリスで行ったアンケート調査について整理した。</p> <p>第3章は、2011年東北地方太平洋沖地震で被害を受けた福島県と岩手県の市町村の死者を対象とし、死者発生状況を整理した。65歳以上の死亡率が高く、年齢が上昇するにつれて死亡率が上昇することが把握され、こどもの死亡率が高い地域も存在した。また、平野を有する地域の死亡率が、リアス式海岸を有する地域よりも高いことが確認された。避難距離分析では、福島県は避難距離300mを超えると累積死亡率が50%に達し、岩手県は避難距離100m~200mで累積死亡率が50%に達することが把握された。避難距離と人的被害の関係について、浸水域内の住家と死者全員に着目すると、死者の避難距離が長く、死者の年齢が上昇するにつれて避難距離が短くなる傾向があった。浸水深分析では、福島県は浸水深3m以上で累積死亡率が50%に達し、岩手県は少なくとも浸水深2m以上累積死亡率50%に達することが確認できた。すなわち、建物の2階に避難できていれば助かった地域もあるが、多くの地域で2階まで浸水すると死亡率が上昇することが把握された。</p> <p>第4章は、福島県と岩手県の市町村の死者を対象とした「避難経路別距離・標高推移の特性分析」を行い、その特性を地形的要因として自己回帰移動平均 (ARMA) 過程を用いたモデルで定量化した。この避難経路別標高推移パターンに着目することで、標高特性の違いについて定量的に分類することが可能となった。さらに、このARMA過程を用いたモデルで表現した避難経路別標高推移は、等価な線形1自由度の振動系に置換できるので、物理的な意味がわかりやすい線形1自由度系の周期 (本研究では空間を扱うので波長L) と減衰定数hで表現する。ここで、算出された波長Lと減衰定数hについては、具体的には、避難経路の起伏の激しさと地形の上り下りに対応すると考えられる。最終的に、地形的特徴の指標として取り上げた避難経路別の波長、減衰定数およびIntercept 値と避難経路の距離、浸水深、500 m メッシュ内人口、また、地域の人</p>			

口構成を示す指標として取り上げた性別の割合と65歳以上の割合の8つの変数で、500mメッシュ内の死者数を算出することができた。次に、実際の死者数と本研究で構築した人的被害予測式で算出した死者数にどれほどの差異が存在するのかを評価するために、平均予測誤差(人) E_a を求める式を定義し、今回提案する式で算出した予測死者数と実値の平均予測誤差、中央防災会議を用いた死者数と実値の平均予測誤差を示した。各地域の結果も、福島県と岩手県全域で構築した式の結果も、ともに中央防災会議の式で算出した予測誤差を大きく下回っていることがわかった。さらに、地域によって人的被害予測式に差異がみられる原因として、地形の差異が考えられる。ここでは、著者らの論文で取り上げた「地形による地域区分」を基に考察を加えた。地形による地形区分とは、GIS場で、浸水域内の標高を抽出し、横軸に浸水域内の「地形による地域区分」の標高モデル10mメッシュを低い方から昇順に並べ、縦軸は標高を示した。ここで横軸は、ある特定の断面図を示したものではないものの、浸水域内の地形を対象とした標高特性を示したものと位置づけられる。したがって、地形特性と今回の津波による人的被害予測式の関係は、結果の図より、比較的海岸線から遠くなるにつれて、徐々に標高が上昇する地域を有する地形特徴に着目する場合、リアス式海岸のような地形を有している地域、それぞれでの人的被害予測が可能である。さらに、リアス式海岸のような地域と平野を有する地域の両方を含んだ地域の式として利用できるものと考えられる。

第5章は、2011年東北地方太平洋沖地震で被害のあった宮城県の2地区と、2004年スマトラ沖地震で被害を受けたバンダ・アチュの1地区の計3つの地区に対して、同様な方法でモデルの検証を行った。提案するモデルが、宮城県にはあてはめることができたが、バンダ・アチュの3つの地区には精度よく当てはまらなかった。その要因として、浸水域内の「地形による地域区分」を対象とした標高特性に着目をして、岩手県、福島県の浸水域内標高分布と比較をすると、標高0mの地域が、全体の20%を占めるなど平地が2県よりも広がっていることが確認できた。さらに、「自然災害時に人間環境を取り巻く環境」の枠組みより、今回提案するモデルで表現できていない項目、すなわち、自然災害や津波に対する知識そのものの程度、また国や地方自治体が提供する情報の有無などに関して、日本以上により大きな影響を受けた結果、多くの犠牲者が発生したものと考えられる。すなわち、本論文で構築したモデルの地形要因や社会的要因以外の地域性の違いが、インドネシアで多くの死者が発生した要因になったものと考えられる。また、スマトラ沖地震に関して取得可能なデータに制限があることや国内に比べてかなり精度が低い点も課題のひとつである。

第6章は結論であり、既往の研究では取り上げられていなかった、各死者の住所と非浸水地点に至るまでの避難経路別距離・標高推移の特性分析を行い、時系列解析で用いられているARMA過程を採用し、地形要因を定量化するとともに、個人属性を表す年齢と性別を組み込んだ式を提案した。今回提案した式は、人口、浸水深、道路ネットワーク情報および標高データを入力することで、県レベル、または市町村レベルで各500mメッシュ内の死者数を算出することができる。これまでより、地域の状況を具体的に表現できる指標を取り入れた式で、人的被害を予測することが可能になったものと考えられる。しかし、海外で発生するであろう津波災害に今回提案するモデルを適用される際には、まだ議論の余地があるものと考えられるが、結果の表と図から、県、市町村レベルで各地域の地形特性ごとに人的被害予測式を使い分けることが可能となり、この結果を利用することで、他の地域に対しても、人的被害が推定できるような予測手法が提案できた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

国・社会・地域が自然災害の「リスク」を判断する際には、その自然災害によって生じた「死者数」が有用な指標の一つとして用いられる。この死者数を算出するためには、被害を予測する地域の状況を正確に表現できる予測式が必要となる。これまで地震や津波が起きる可能性が低いと考えられていた地域においてすら、様々な自然災害が発生している現状を考えると、人的被害予測式に関する検討は、安心安全な社会を構築する上で不可欠な課題である。

地震津波災害に関する人的被害予測手法はこれまで複数提案されてはいるものの、それぞれ一長一短があり、統一された予測手法が存在するとは言えない。また、被害に影響を及ぼす地形の特徴や社会的要因を組み込んだ予測式や、地域レベルでの予測式はほとんど見当たらないのが現状である。

そこで本論文では、2011年東北地方太平洋沖地震の死者を対象として、「避難経路別距離・標高推移の特性分析」を行い、その特性を地形的要因として定量表現してモデルに組み込むとともに、社会的要因をも取り入れた地震津波による人間被害推定モデルを新たに構築した。

本研究は、津波による死者の住所と非浸水地点に至るまでの避難経路別距離・標高推移の特性分析を行い、ARMA過程を用いて地形要因を定量化するとともに、個人属性を表す年齢と性別を組み込んだ式を提案している。これまでに着目されていなかった死者の避難経路を数値化し、被害を予測する地域の状況を表現できる変数と捉えて、人的被害をできるだけ正確かつ多角的に予測できる式を構築したことに、本研究の学術的に優れた意義がある。

本論文は自然科学的側面と社会科学側面の両面から地震津波という災害を思考することに加えて、人間行動を考慮したハイレベルの研究である。国際連合による国際防災戦略の報告では、1980年から2000年までに世界人口の約75%の人々が、地震、台風、洪水または干ばつに見舞われた地域に居住していたとされている。このように、日本だけではなく、世界においても国際的な地球環境に関するリスクアセスメントの重要性が強く認識されて始めている。本論文の中でも取り上げているように、イギリスでのアンケート調査の結果やインドネシアでも予測式を検証したことなど、国際的に運用できるようなグローバルスタンダードと成り得る予測式を構築したことは地球環境学において大きな意義を有する。

このように、地震津波における死者数を算出できる精度の高い式を構築したことは、今後の被害を予測し、災害に対してどこが弱点となるのか、それをどのように克服すれば災害に対する強靱な社会が築けるのかを明らかにすることにも繋がる研究である。さらに、この提案モデルより、地震津波による死者の発生にどの要因が大きく影響しているかの検討も可能となり、社会的な意義やインパクトも大きい。

以上より、本論文は地球環境学の発展に大きく貢献した。

よって本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月31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、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降