

## 論文の内容の要旨

論文題目 損害保険を対象とした高潮リスク評価手続きに関する研究

氏名 久松 力人

防災基本計画の修正により、水害保険等への水害リスクの移転が推進されている。特に強風と高潮の複合災害は保険会社にとってピークリスクとなりうるため、高潮リスクの精緻な評価は重要である。リスク移転先の保険会社では、自社のリスク管理のための低頻度の損失額、および保険料設定・審査のための年間期待損失額や再現期間別の浸水深分布の算出が求められる。これら保険に求められる要件を満たすには、膨大な高潮解析が必要となり、この解析に必要なコストが高いことが課題である。また、ハザードから損害率を推定する被害関数は、損失額の推定精度に極めて重要であるが、その蓄積は少ない。本論文が目指すところは高潮リスク評価におけるコストを下げ、評価に関わる不確実性を認識・減少させることで、より適正なリスク管理と保険料設定を実現し、人々の安心な暮らしに貢献することである。

1章では、まず保険業界における高潮リスク評価の動向や重要性を示し、既往研究のレビューにより高潮リスク評価における現状の課題を整理して、研究の目的を示した。保険目的の要件を満たす高潮リスク評価において、ハザード推定の計算コストは膨大である。1万年などの長期間で想定される台風に対し、氾濫解析を行うJoint Probability Method (JPM)は、保険業界や学術研究で一般に使われている。米国のFederal Emergency Management Agency (FEMA)では、再現期間ごとの高潮氾濫マップを作成するため、JPMの弱点である計算コストを下げるJPM-OS (Optimal Sampling)を採用している。後者は計算コストの削減には成功しているが、代表台風のみを氾濫解析を行い、その他の台風は数値計算した台風の結果から補間しているため不確実性が生じることが課題である。また、高潮損失額を求める既往研究では想定台風について天文潮位を固定しているが、実際には台風が来襲する際の天文潮位は異なる。この天文潮位設定のばらつきが損失額に与える影響についてはこれまで議論されていない。またハザードから損害率を算出する被害関数をレビューし、我が国を対象とした代表的な高潮被害関数は国交省によるものだけであり、その被害関数も構築されて

から年月が経っており、現在の資産の被害とは乖離がある可能性があることが分かった。

以上のレビューに基づく研究課題から、本論文の目的を、1) 天文潮位の不確実性を考慮可能でかつ計算負荷を低減させる高潮リスク評価手続きを提案し、2) その手順を資産が特に集積する東京湾沿岸に適用してその有用性を確かめ、3) 代表的なパラメータが予想損失額にもたらす不確実性を確認するとともに、4) データが蓄積される保険金支払情報を用いた被害関数の構築方法について考察することとした。そこで天文潮位の不確実性を考慮可能でかつ計算負荷を削減させる高潮リスク評価手続きを提案した(図)。これはJPMの課題である計算負荷削減とJPM-OSの計算誤差の低減の両立を目指した手法であり、2章から4章では資産が集積する東京湾に対し、この手続きを適用して有用性を確認した。

2章では、まず提案した手続きに従い、東京湾において確率台風モデルを援用した確率論的な高潮ハザードを評価した。提案した手順の特徴は、計算プロセスに高潮経験式と高潮数値モデルを組み合わせることより計算負荷を大幅に削減することと、天文潮位の頻度分布からランダムに天文潮位を設定することにより天文潮位の不確実性を考慮することである。結果として、数値計算対象の台風数を約9万から1,000に減らすことで、計算負荷の削減を実現し、台風ごとに浸水深分布を推定した。またそれらの計算結果を活用し、保険目的の必要要件である再現期間別の高潮浸水深分布も作成した。この再現期間別高潮浸水深分布は、米国などでは政府によって作成・公表されているものであるが、我が国の政府が公表する高潮ハザードマップは、固定された外力やインフラ条件により分析された決定論的な手法に基づくものであった。そのため、東京湾を対象として確率論的なハザードマップを作成したことにも新規性があるといえる。

3章では、まず東京湾沿岸の建物や内容物などの資産額を統計情報からモデル化し、2章による台風ごとの最大浸水深分布と高潮被害関数を利用して台風ごとの損失額を推定した。次に、計算された損失額を並び替えることで、保険目的で必要とされるEP(Exceedance Probability)カーブを構築することにも成功した。2章で計算する台風数を限定したため、年間期待損失額が収束していない課題があったが、これは統計情報を用いた資産額の精緻化が原因であることが分かり、資産額情報の精緻化が損失額推定に重要であることが分かった。本研究で明示的に考慮していない破堤の影響についても、簡易的に評価し、本論文における破堤の影響は小さいことが示された。2章および3章の研究により、提案した手続きにより保険目的とした基本的要件を満たすアウトプットが計算できることを示した。

4章では、まず本研究における不確実性の主要因を整理した。次に、それらの要因が予想損失額にもたらす影響について検討した。台風モデル・最大風速半径・標本抽出・天文潮位の不確実性について、感度分析、リサンプリング、機械学習の手法を用いて評価した。保険目的として重要な年間期待損失額および再現期間200年の損失額は、再現期間200年を超える低頻度の損失額と比較し、相対的に不確実性が小さいことが示された。また、天文潮位を一定とする推定手法と、天文潮位のばらつきを考慮した場合とで予想損失額を比較したところ、全台風について天文潮位を平均値で一定とした場合は過小評価、朔望平均満潮位で一

定とした場合には、過大評価していることが明らかとなった。

5章では、実データを用いた高潮被害関数の構築に向けて、まず2015年に発生した関東・東北豪雨による損害保険会社の保険損失情報を用い、洪水シミュレーションの結果を結びつけることで洪水被害関数の構築手法を検討した。保険会社の実データを用いた被害関数に関する構築事例を蓄積したことに新規性があり、そのデータを活用することにより平均被害率周りの被害率のばらつきを考慮することが可能であることが示唆された。この構築方法は高潮被害関数構築の際にも適用可能である。今後、被害関数が蓄積されていけば、イベントや地域によらない、より一般化された被害関数が構築されることが期待できる。また、将来の高潮被害関数構築を目的に、近年発生した大規模な高潮災害2件に対し、浸水深分布の再現計算を実施した。

本論文では、新しい高潮リスク評価手続きを提案した。この手続きは二つの観点で有用である。一つ目の観点は、計算コストの大幅な削減である。提案した手続きは、JPMの課題である計算負荷削減とJPM-OSの計算誤差の低減の両立を目指したものである。本論文では東京湾を対象に、計算対象の台風数を約9万から1,000に削減し、かつ保険目的として許容できる計算精度を維持できることが分かった。この手続きを活用することによって、高潮リスク評価におけるコストを下げることができ、保険料率の低下が実現されることで、より多くの人々が保険加入し、リスクを移転することにより人々の安心な生活に貢献できることが期待される。また確率台風モデルのアップデートがなされた場合にも、迅速に最新の知見に基づいたリスクを評価でき、保険会社のリスク管理に反映されることで、健全な経営にもつながる。二つ目の観点は、天文潮位のばらつきを考慮することにより、損失額のより適正な評価ができることである。本論文により、既往研究のように天文潮位を固定せずばらつかせることで、保険目的としたリスク評価に関わる不確実性を認識・減少させることができることが分かった。提案手法は天文潮位のばらつきを考慮できるため、より適正なリスク管理と保険料設定が実現可能となる。

保険業界においては、本論文で提案した手法とJPM-OSとを使い分けて使用するべきであると考えられる。まず評価対象箇所の特性を考えるべきである。提案手法は、氾濫する可能性のある台風すべてを対象に高潮解析をするため、東京湾のような氾濫が起こりにくいエリアでは、計算負荷の削減効果が大きい。しかし、東南アジアのような氾濫頻度が高いエリアを対象にすると、氾濫する台風数が膨大となり、計算負荷の削減効果があまり期待できないと考えられる。そのため、そうした氾濫頻度の高いエリアは、計算精度を許容して、JPM-OSによるリスク評価を行うといった判断も必要となる。次に評価する要件を考える。膨大な台風を解析する必要があるのは、特に年間期待損失額を求める場合である。保険引き受けに用いる再現期間別の浸水深分布や、リスク管理に必要な代表再現期間の損失額は低頻度のリスクが対象となるため、氾濫するすべての台風について分析する必要はない。その場合、JPM-OSでは、低頻度の浸水深の計算誤差も大きいため、提案手法で代表再現期間のハザードや損失額が収束するまで計算すれば、計算負荷を削減しつつ高精度で評価が可能になると

考えられる。

今後の課題として、本論文で構築した水位を推定するニューラルネットワークのようなモデルを提案手続きにおける高潮経験式に置き換えれば、精度の高い台風抽出が可能になり、より少ない台風で十分な計算を行うことが可能となる。またSuWATの結果を境界条件にして、氾濫計算に動的で計算負荷が小さいシミュレーションモデルを用いれば、更なる計算負荷の削減が実現できると考えられる。

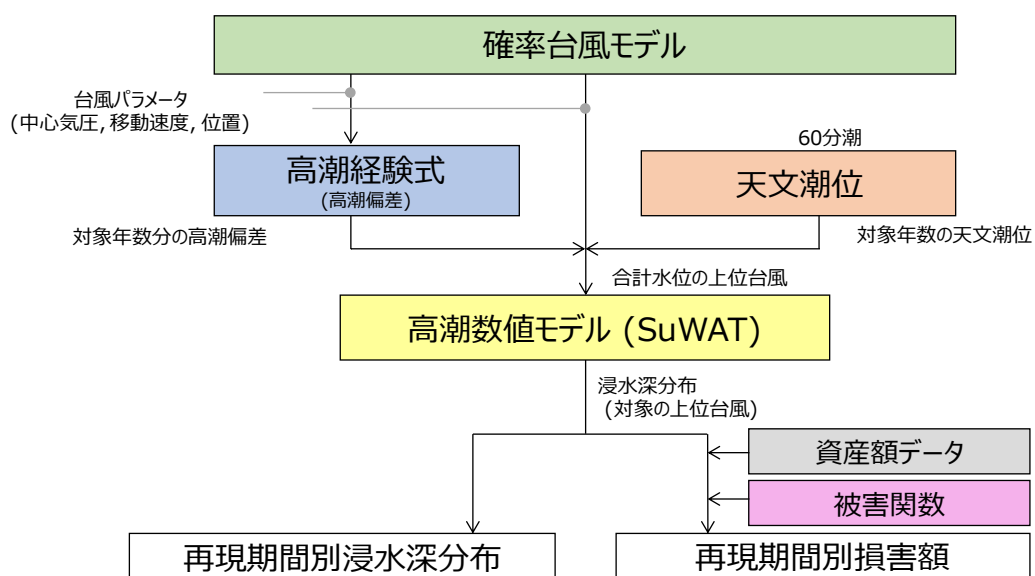


図 本論文で提案する高潮リスク評価手続き