



Title	気候変動を踏まえた統合的水害リスク評価手法とその活用に関する研究
Author(s)	植村, 郁彦
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16619号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16619
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98229
Type	doctoral thesis
File Information	Uemura_Fumihiko_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 植村 郁彦

学 位 論 文 題 名

気候変動を踏まえた統合的水害リスク評価手法とその活用に関する研究
(A Study on Integrated Flood Risk Assessment Methods and Their Application Considering Climate Change)

リスクとは、将来における損失や被害の可能性を意味する概念であり、自然災害や経済活動など、さまざまな分野で広く用いられている。経済学者フランク・ナイトは、リスクを「確率として測定可能な不確実性」と定義し、これとは異なる「測定不可能な不確実性（いわゆるナイト流の不確実性）」を区別して提唱した。前者は統計的手法によって扱うことが可能である一方、後者は予測や制御が困難であり、自然災害リスクの評価においても両者が混在している。自然災害リスクは一般に、(1) ハザード、(2) 暴露、(3) 脆弱性の3要素から構成される。水害分野におけるハザードには、洪水氾濫、土石流、高潮、風害など多様な現象が含まれるが、本研究では、広域的かつ甚大な被害をもたらす「堤防決壊による外水氾濫」による浸水を対象とする。このような水害リスクのハザード評価では、降雨を外力として設定し、流出モデルにより河川流量・水位を算出し、さらに堤防決壊後の氾濫原における洪水流の解析を通じて浸水深を推定する手法が一般的である。しかし、この過程には複数の計算モデルや条件設定、仮定が不可避であり、現実的な観測データの制約や空間解像度（河川縦断方向の評価地点数、氾濫原のメッシュサイズなど）に応じて、確率的に分布するはずの降雨や堤防の耐力といった不確実性が、単一の条件に押し込められて扱われているのが現状である。本来、水害リスクはその活用場面（平常時・緊急時）、活用主体（自治体、企業、住民など）、活用方法（危機喚起、対策検討など）によって、求められる情報の精度や性質が異なる。活用の目的によっては、確定的に扱われた条件が、その後のリスク評価や意思決定に大きな影響を及ぼす可能性もある。したがって、評価過程において確定論的に取り扱われている条件であっても、ナイトの定義に従えば「確率として測定可能な不確実性」としてリスクに含めて考慮すべきである。以上を踏まえ、本研究では、水害リスクの評価過程に内在する不確実性に着目し、活用主体や目的の異なる水害リスク評価に対して、適切に不確実性を取り入れた評価手法を提案することを目的とする。

第二章では、活用主体に応じた水害リスク評価手法の確立を目的とし、まず我が国において河川整備の計画論の中で確立されてきた水害リスク評価手法を概説した。加えて、個人による被害軽減対策の検討に資する新たなリスク評価手法を提案し、その有効性を十勝川帯広市街地において検証した。個人単位でのリスク情報提供を目的とするため、暴露要素としての資産情報は、従来の計画論におけるメッシュ単位の集計ではなく、家屋一戸単位で設定した。また、具体的な被害軽減策の検討を促すため、ハザード評価における降雨外力にはアンサンブル気候予測データ（d4PDF）を用い、3,000 ケースの降雨イベントを解析。これにより得られた浸水深と家屋被害額の関係性をリスクカーブとして可視化した。その結果、住民は自宅や転居候補地の水害リスクを把握し、自身に適した対策を検討するための情報を得ることが可能となった。一方で、個人による対策費用が過大となる地域も存在し、こうしたリスク情報がかえってリスクの拒絶や無関心を招き、対策の促進に逆効果を及ぼす可能性があることも示唆された。

第三章では、我が国の河川計画立案における不確実性に着目し、従来、限られた観測実績に基づき確定論的に設定されてきた「確率雨量」に対して、物理的な気象モデルに基づく大規模アンサンブルデータを用いて、気象現象としての不確実性を評価する手法を提案した。具体的には、大規模アンサンブル気候予測データ（d4PDF）を、水平解像度 20km から 5km にダウンスケーリングしたデー

タを用いて、年最大の流域平均雨量を算出し、確率雨量の評価を行った。評価手法としては、d4PDF が提供する過去気候実験 (3,000 年分) および将来気候実験 (5,400 年分) の年最大降雨イベント群から、既往の観測期間に相当する 60 年間を 1 標本としてサンプリングする方法を提案した。この手法により、現在観測されている降雨イベント群は、気象現象として発生し得る多数のシナリオのうちの一例に過ぎないことが明らかとなり、リサンプリングによって得られる確率雨量は、気象現象としての不確実性を反映したものと解釈できる。本研究では、提案手法を北海道・十勝川流域に適用し、現在気候における帯広地点の 1/150 確率雨量が、GEV 分布を用いた場合で約 150mm の不確実性を有することを示した。本手法は、将来起こり得る気象現象が本質的に不確実であるという視点に立ち、気候変動を踏まえた治水計画の立案に資するものである。実際に本研究の成果は、気候変動を考慮した河川計画における不確実性の概念導入の契機となっており、今後の治水政策の高度化に寄与するものである。

第四章では、個人を対象としたリスク評価において、堤防の決壊条件が与える影響に着目し、従来の計画高水位を前提とした決壊条件に代わり、実際の破堤プロセスを踏まえた「破堤確率」の導入を提案した。本研究では、我が国における主要な破堤要因である「越水」と「侵食」に着目し、それぞれに対応する破堤判定モデルを構築した上で、プロセスに含まれる不確実性を考慮した破堤確率の算定手法を開発した。越水による破堤については、河川水位、堤防高、法面の耐侵食性といった不確実性をモンテカルロ法により確率的に取り扱った。一方、侵食による破堤については、堤防法面に作用するせん断応力とその限界値の不確実性を同様にモンテカルロ法により評価した。提案手法を十勝川帯広市街地に隣接する十勝川および札内川に適用した結果、侵食に比べて越水による破堤確率が相対的に高く、またその確率は地点ごとにばらつきがあり、 $10E-6 \sim 10E-2$ の範囲で分布することが明らかとなった。本研究により、堤防破堤の確率的評価手法が確立され、将来の洪水リスク評価や治水対策の優先順位付けに資する基礎的知見が得られた。また、堤防決壊条件を実現象に即した確率としてリスク評価に導入することで、個人を対象としたリスク情報がより現実的かつ具体的な数値となり、個人による被害軽減対策の検討に有効な情報を提供できることが示された。

第五章では、水害リスク評価における破堤確率の導入を目的として、各破堤点で算出された破堤確率を統合する手法を提案した。従来の評価では破堤地点を独立事象として扱うことが一般的であったが、本研究では、破堤の発生が上下流間で相互に影響し合う「従属事象」としての関係性に着目した。堤防を 200m ごとの「セグメント」に分割し、氾濫特性が類似する複数のセグメントを「セクション」として統合。セクション内では最大破堤確率を代表値とし、セクション間では上流の破堤が下流の破堤確率に影響を与える構造とした。その結果、重要監視箇所の特定や、従属性を考慮した現実的かつバランスの取れた破堤確率評価が可能となり、今後の高度なリスク評価への展開が期待されることが示された。

最後に、本研究で取り扱った不確実性の水害リスク評価過程における位置づけを示した。また、水害リスクの特性を「純粹リスク」から「投機的リスク」へと拡張し、被害の最小化にとどまらず、適切な投資判断や地域戦略の策定といったベネフィットの最大化をも視野に入れたリスクマネジメントの展望を提示した。