

# 洪水時の水文・避難情報が避難行動に及ぼす影響の地域特性の分析と 適時性に優れた氾濫予測手法の提案

都市環境学専攻 諸岡良優  
Yoshimasa MOROOKA

## 研究背景と目的

近年、豪雨の激甚化により日本全国で毎年のように水害・土砂災害が発生し甚大な被害をもたらされている。突発的に発生する地震や津波と異なり、河川洪水は、降雨から河川への流出・流下、氾濫という順を追って被害が発生する進行性の災害であり、降雨量や河川水位のような事前に災害の発生をある程度予測できる情報を活かすことができれば、その被害を軽減し、最低限人命を守ることができるはずである。しかし、避難情報が発令されても住民がその意味を理解していなかったために多くの高齢者が亡くなった事例や、日没後に避難したために用水路に誤って転落し亡くなった事例など、水文情報および避難情報が適格な避難行動へ活かされていない現状がある。これまでに、洪水および土砂災害による水害時の避難行動に関する実態調査が行われ、個々の水害時における避難行動や情報提供の実態が明らかにされてきている。しかし、既往の水害時における避難行動の調査研究は、一般に①緊急調査的な性格が強く、収集データの使用目的が異なる、②時間的にも地域的にもランダムに発生する、③研究者によって、或いは研究者は同じでも調査実施時期が異なるために、違った視点からデータが集められるといった要因から、複数データ間での比較が困難であると指摘されている。

以上を背景に、本研究では、洪水時の水文情報及び避難情報が住民の避難行動に及ぼす影響について、洪水常襲地域、平地、中山間地の3つの流域において、水文・避難情報が避難行動へ及ぼす影響の地域特性を解明すること、さらに、今後の洪水時の適確な避難行動を促す適時性に優れた氾濫予測手法を提案することを目的に以下を実施した。

## 本論文の内容と成果

本論文は6章で構成される。各章の内容と成果は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景・目的と位置付けおよび本論文の構成を述べた。

第2章では、災害の種類や地域特性の異なる3つの地域において、洪水時の避難状況および浸水状況と情報の取得状況、日頃の防災意識等に関する共通の質問項目による実態調査を実施した。対象地域は、①2013、2014年と2年続けて由良川が氾濫するなど、1945年から2017年までの約70年間で13回浸水被害が生じている洪水常襲地域である京都府福知山市、②2015年9月関東・東北

豪雨において鬼怒川の溢水および堤防の決壊により市内の約 3 分の 1 の面積が浸水し、逃げ遅れた住民約 4,300 人（内ヘリコプターで約 1,300 人）が救助された茨城県常総市、③2017 年九州北部豪雨において、山腹崩壊・土石流による直接的な被害に加えて、崩壊・土石流による土砂流出や中下流域河道において激しい流路変動や水・土砂・流木の氾濫が引き起こされ 42 人が亡くなった、中山間地である福岡県朝倉市・朝倉郡東峰村である。その結果、洪水常襲地域である福知山市では周囲が浸水する以前の早いタイミングで自発的な判断で避難した住民が多いこと、平地である常総市では避難情報や家族等の勧めなどの情報がきっかけで水平避難した住民が多いこと、中山間地の東峰村・朝倉市では雨が強くなったことや近くの被害を見聞きしたからといった周辺の状態の変化が避難きっかけであることがわかった。つまり、地域特性によって避難のきっかけがことなることを明らかにした。また、避難せずに自宅に過ごした理由は、「自宅が被災する心配はないと思った」からであり、地域特性に依らず 3 つの地域で共通していることを明らかにした。

第 3 章では、平地である茨城県常総市を対象に、その時点以降に何らかの事象の発生確率が高いことを伝える情報である「確率情報」と、その時点までに発生・観測された事実を伝える情報である「事実情報」、さらには自宅が浸水したからといった「周囲の状況」に分けて避難のきっかけと避難のタイミングについて、小さいスケールでの地域特性について分析を行った。その結果、①自然堤防が掘削され鬼怒川の水位上昇時には住民が周辺地域の浸水リスクを容易に想像できる地域では、確率情報で避難した住民が多い。②堤防決壊箇所周辺の地域では、どこで決壊が生じるか予測が難しいため、堤防が決壊した直後に発令された避難指示と堤防が決壊したという事実情報で避難した住民が多い。③堤防決壊箇所から離れた市街地の住民は、情報がきっかけで避難した住民は少なく、周囲の浸水等の状況の変化で避難した住民が多いことを明らかにした。さらに、情報が避難行動に及ぼした影響について、ベイズ推定を用いて定量的に評価し、避難に効果を及ぼした情報は同じ洪水、同じ流域でも氾濫特性や地域特性によって異なることを明らかにした。また、避難行動へマイナスに作用した情報があることを明らかにした。次に、避難状況と浸水状況より、本洪水時の避難行動は以下の 4 つに分類した。①安全な行動：「水平避難した」かつ「浸水被害にあった」住民、②最も安全な行動：「水平避難した」かつ「浸水被害にあわなかった」住民、③危険な行動：「避難しなかった（垂直避難を含む）」かつ「浸水被害にあった」住民、④たまたま安全であった：「避難しなかった（垂直避難を含む）」かつ「浸水被害にあわなかった」住民である。調査結果を分析した結果、安全な行動をした住民の特徴は、「40 歳代」と「周辺地域の浸水リスクを容易に想像できる地域」の住民であることを明らかにした。また、危険な行動をした住民の特徴は、

「80 歳代以上」と「堤防決壊箇所から離れた市街地」と「避難情報や河川水位情報を聞いていなかった住民」であることを明らかにした。

次に、水平避難した住民と垂直避難した住民の特徴について分析を行った。その結果、すべての年代で水平避難した住民の割合が大きい一方で、「80 歳代以上」の住民は垂直避難した割合が大きかった。これより「80 歳代以上」の住民は水平避難が困難であった可能性を明らかにした。また、「自宅周辺の浸水を予想していた」住民は水平避難した割合が大きく、「避難情報や河川水位情報を聞いていなかった住民」は垂直避難した割合が大きいことがわかった。

さらに、避難と浸水のタイミングについて分析を行った結果、50 歳代の住民が「浸水する前に避難した」割合が最も多く、30 歳代と 40 歳代の住民は「浸水した後に避難した」割合が多いことを明らかにした。また、「自宅周辺の浸水を予想していた」住民と「避難情報や河川水位情報を聞いていた住民」ほど、浸水する前に避難した住民の割合が大きいことがわかった。

以上より、情報を適切に取得することや日頃から浸水のリスクを認識することが的確な避難につながると言える。

第 4 章では、上流に雨が降ってから約半日後に下流で氾濫が発生するという時間スケールで生じたために、避難をする時間が十分にあったにも関わらず多くの住民が逃げ遅れて救助された、鬼怒川洪水による茨城県常総市を対象に、降雨流出および氾濫現象について詳細な分析を行った。鬼怒川は上流と下流で河床高の縦断分布が 45K 付近で不連続（上流が急勾配で下流が緩勾配）となり、川幅も上流と比べて半分程度に狭くなるという特徴があり、降雨流出解析を実施した結果、下流の水位が堤防天端高を超えていても上流では水位が上がっていないことを明らかにした。その結果、常総市において、上流の河川水位が避難行動へマイナスに作用した情報（第 3 章）である要因は、上流の水位が高くなかったことがひとつであると言える。また、降雨規模が下流の水位・流量へ及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実測ハイエトグラフの波形は変えずに総降雨量のみを 1.2 倍に引き延ばして流出計算を行った。その結果、同じ雨の降り方でも、降雨量が大きくなると基準点におけるピーク水位が大きくなると同時に、ピーク水位の生起時間が早くなり避難する時間が短くなることが明らかとなった。さらに、ダムの効果を検証するため、上流のダムが無いと仮定した場合の数値シミュレーションを行った。その結果、ダムが無かった場合には基準点におけるピーク水位の生起時間は 1 時間早くなり、ピーク水位の値は約 60cm 大きくなることが明らかとなった。また、計画高水位を超える時間はダム有りの再現計算と比較して約 5 時間長くなることが明らかとなった。次に、洪水氾濫解析を実施し、第 2 章の調査で取得した洪水時の住民の避難行動の時系列を用いて、浸水状況と避難行動について分析を行った。その結果、鬼怒川から溢水した

氾濫水が、常総市内を流れる幹川排水路の八間堀川に流入・流下し早いタイミングで下流の市街地に伝播し早期の浸水を引き起こしていたことを明らかにした。これは、第 2 章で実施したヒアリング調査結果とも一致しており、氾濫計算の妥当性が確認できた。

第 5 章では、洪水時に住民が望む情報は、避難情報の他に「浸水しそうな区域」や「堤防が決壊しそうな箇所」のような予測情報であるという結果と、避難をせずに自宅で過ごした理由は地域特性によらず、「自宅が浸水する心配はないと思った」からであるという結果を受け、住民の的確な水平避難の誘導を支援するためのリアルタイム浸水域予測の検討を行った。ここでは、既往の研究で開発された高速演算が可能な氾濫解析モデルである地形適合格子モデルを用いた。地形適合格子モデルは、複雑な地形や境界を取り込むのが容易であるという長所がある一方で、格子形成に時間と労力が必要であるという短所を持つ非構造格子モデルに分類される手法である。本研究において、従来は地形図を見ながら手作業で格子を生成していたために、数週間を要するという迅速なリアルタイム浸水域予測の妨げになっていた点について、ライセンスフリーのデータベースである OpenStreetMap を用いることで、格子生成に要する時間を大幅に短縮した。本モデルを用いた氾濫計算は一般的に用いられている浅水流方程式を解く方法と比較して約 150 倍高速かつ同等の精度の計算が可能であることが明らかとなった。また、常総市を対象とした場合には 24 時間の計算が約 10 分で可能であり、例えば 6 時間先の予測が 3 分で可能であることが確認できた。以上に示した解析手法および格子生成方法を用いることで、住民が望む情報である迅速なリアルタイム浸水域予測を、あらゆる流域で実施できることを示した。

第 6 章では、結語として、本研究で得られた成果を総括した。

本研究では、洪水時の水文情報及び避難情報が住民の避難行動に及ぼす影響について、洪水常襲地域、平地、中山間地の 3 つの流域において、水文情報および避難情報が避難行動へ及ぼす影響の地域特性について分析を行った。その結果、同じ流域、同じ洪水であっても氾濫特性によって、避難のきっかけや避難に効果のあった情報が異なることを明らかにした。また、避難をせずに自宅で過ごした理由は地域特性によらず、「自宅が浸水する心配はないと思った」からであることを明らかにした。これを受けて、住民が今後の災害時に望む予測情報の提供手法として、適時性に優れた新たな洪水氾濫予測手法を提案した。今後、CommonMP に実装し、あらゆる流域で誰でも即座にリアルタイム氾濫予測を実施できるよう検討を行う予定である。