（様式第６号）

論　文　要　旨

２０２６年　１月　７日

※報告番号	甲第　381号	氏　名	水村　拓洋

主論文題名

洪水時における浸水域での移動を最短とする経路での避難の有効性の検証
―鬼怒川，千曲川，球磨川流域を対象として―

内容の要旨

近年，地球温暖化に伴う極端な降雨の増加により，日本各地で大規模な洪水被害が頻発している．線状降水帯の発生などにより，都市部を含む流域において急激な浸水が生じる事例も増加しており，洪水時の避難行動のあり方を再検討することは喫緊の課題である．これまで水平避難に関しては，避難経路や避難手段の違いが避難成否に及ぼす影響について一定の知見が蓄積されてきたものの，浸水が進行する状況下で，個々の住宅において水平避難が物理的に成立し得るのか，またどの時点まで可能なのかを定量的に評価する枠組みは十分に確立されていない．特に，「浸水域での移動を最短とする経路」が，実際にはどの条件下で，どの程度まで有効な選択肢となり得るのかについては，定量的な裏付けがほとんど与えられていない．

本研究の目的は，洪水時において浸水が開始した後の状況を含めて，「浸水域での移動を最短とする経路」による水平避難が，個々の住宅において物理的・地理的に成立し得るのか，また成立し得るとすればどの時点まで可能なのか（避難開始の限界時刻）を定量的に明らかにすることである．特に，「浸水域での移動を最短とする経路」による避難を本研究の主対象として位置づけ，これまで十分に検証されてこなかったその有効性と限界条件を，他の避難経路との比較を通じて，避難手段（徒歩・自動車）を踏まえて体系的に評価する点に本研究の最大の独自性がある．

具体的には，過去に洪水被害を受けた鬼怒川，千曲川，球磨川流域を対象として，氾濫・避難複合シミュレーションを用い，浸水開始前後の時間帯における水平避難の実施可否を分析した．評価にあたっては，「避難経路」，「避難手段(徒歩・自動車)」，「避難開始時刻」の三つの観点から，住宅ごとに避難が成立するか否か，および避難が成立し得る最遅の避難開始時刻を明らかにし，それらと住宅周辺の地理的特徴との関係を整理した．さらに，得られた避難結果を類型化し，各類型と地理的条件との対応関係を明確にすることで，シミュレーション未実施地区に対しても適用可能な，水平避難のリスク評価手法の構築を試みた．

避難経路に関して，浸水開始前の時間帯においては，避難所への最短経路（SHORTEST）も50%程度の住民には有効であった．一方，浸水が拡大した局面においては，特に徒歩避難において浸水域での移動を最短とする経路（EIA-SPR）が多くの住宅で避難成功率・安全確保の面で優位を示した．浸水による通行困難な道路を除外した最短経路での避難（EEIR-SPR）も避難成功率の向上に寄与したものの，EIA-SPRよりも避難成功率は低かった．ただし，EIA-SPRはごく小

（次頁へ続く）

※印欄記入不要

（様式第６号）

論　文　要　旨

２０２６年　１月　７日

※報告番号	第　　号	氏　名	水村　拓洋

内容の要旨（前頁の続き）

規模の浸水も回避する経路選択となるため，経路探索時とは異なる河川氾濫に起因する新たな浸水により，結果として避難失敗に至るケースも確認された．

避難手段に関して，避難開始が十分に早ければ自動車は避難所要時間短縮に寄与するが，住宅が浸水開始した後に避難を開始する場合には，急激に避難成功率が低下した．特に自動車避難の失敗要因は，避難開始時点における経路探索で避難所へ到達可能な経路が存在しない場合に限定されており，避難開始時点で利用可能な経路が存在する場合には，自動車は有効な避難手段であった．したがって，避難開始時点において，避難経路となり得る道路の浸水状況を評価することが避難手段選択の鍵であることが示された．

避難可能性と地理的特徴との関係に関して，浸水した住宅群のうち，相対的に標高が高く，避難所に近い住宅では，いずれの経路においても避難成功率が高い傾向が確認された．一方，周辺に低地が存在し，道路も少ない住宅では，浸水した道路の代替経路が限られ，浸水後の避難が極めて困難となることが確認できた．また，EEIR-SPRやEIA-SPRといった経路選択，特にEIA-SPRによって避難成功率が顕著に改善する地点は，避難所との距離が近いこと，および住宅と住宅周辺の標高差が小さいことといった地理的特徴を有することが明らかとなった．

避難リスクの類型化とその地理的特徴との関係に関して，徒歩・自動車の両方を考慮してクラスタリングを行った結果，「自動車避難優位型」，「徒歩避難優位型」，「両手段で避難が容易な安全型」，「両手段で避難が困難な危険型」，「徒歩避難でEIA-SPR優位型」，「徒歩避難でEEIR-SPR優位型」，「SHORTEST困難型」といった7つの特徴的なクラスタが得られた．これらのクラスタは，優先すべき避難手段や経路戦略が明確に異なっており，住宅特性に応じた差異化された避難指針や支援方針を設計できる可能性を示している．なお，「自動車避難優位型」には，EIA-SPRよりもEEIR-SPRにより避難猶予が長くなる住民が多い傾向も見られた．

避難リスク予測手法の適用可能性と精度に関して，シミュレーション結果に基づいて分類されたクラスタを教師データとした地理的特徴量による機械学習（アンサンブル学習）は，検証精度0.8119を達成した．この結果は，流域全体の個々の住宅において避難リスクを一定の精度で推定できる可能性を示すものである．SHAP解析では地区レベルの標高差や避難所・河川との距離が主要因子で，ベース学習器の出力も約38%寄与して地形情報を補完していることが示された．

結果を総括すると，本研究は，(1)経時的な浸水変化を反映した動的な通行可否判定により個々の住宅において避難成立に関する「物理的限界時刻」を定量化したこと，(2)徒歩と自動車を同一条件下で比較し住宅特性に応じた優先すべき避難手段を明確化したこと，(3)個々の住宅の避難結果を類型化し地理的特徴から汎用的に推定する手法を提示したこと，において学術的・実務的な意義を有する．これらは地域防災における個々の住宅においての避難指針の策定や，高リスク住宅に対する事前支援の優先度決定に対し，定量的かつ科学的な根拠を与えるものと位置づけられ，自治体による避難情報の高度化や支援施策の検討を補助する基礎情報として活用できる．

※印欄記入不要