

浸水及び水路転落リスクを考慮した避難経路の安全性評価 Safety Assessment of Evacuation Route Considering Inundation and Waterway-Fall Risks

○西本 大輔・山田 真史・堀 智晴
○Daisuke NISHIMOTO, Masafumi YAMADA, Tomoharu HORI

Flood-related fatalities can also occur during evacuation. To reduce casualties, this study focuses on two major hazards along evacuation routes: (i) inundation and (ii) falling into adjacent open waterways/channels, and proposes route guidance that avoids road segments prone to either hazard. To this end, we develop risk models for inundation and waterway falls by integrating flood simulations based on multiple rainfall scenarios with detailed road-network information. By combining inundation and fall risks, we quantify route safety and enable the design of shortest-time evacuation routes under different levels of risk tolerance. The results are visualized on an interactive web map that presents recommended routes and safety levels for residents and planners, supporting practical evacuation planning and the prioritization of safer corridors. (120 words).

1. はじめに

洪水外力の増大および洪水リスクへの暴露率の増加に伴い、洪水の対策として避難行動の重要性は高まっている。気象庁⁽¹⁾によれば、気候変動の影響により極端な大雨の発生頻度及び強度が増大していくことが予測されている。また、秦⁽²⁾によれば、日本では過去20年間で水害リスクがある場所に人々は集まってきた。加えて、松浦⁽³⁾によれば、将来的にも水害リスクへの暴露率は下降することなく上昇する予測である。こうした気候変動下での洪水対策として、国土交通省は従来の堤防等のハード整備に限らず、避難行動を含めたソフト対策を含めた「流域治水」として推進している。

では、現在の避難計画のまま、ある程度避難を前提とした防災体制に移行しても良いのだろうか。牛山⁽⁴⁾によれば、過去21年間、計88事例の風水害に伴う犠牲者は1,465人に上り、そのうち避難行動中の死者は84人存在する。現在のリスク認知、避難に対する考えでは避難行動中に犠牲者が出ており、このまま流域治水を推進するのは、人的被害低減の観点から課題が残る。そのため、安全な避難行動及び避難計画について考える必要がある。

牛山の調査では、避難中の犠牲者の原因外力として、水関係の外力に起因する犠牲者は、避難中の犠牲者の66%であり、そのほかの外力と比べ比率が高いことが明らかになっている。よって、本研究では、水関係の原因外力に着目し、避難経路の安全性について分析する。水関係の原因外力は

洪水流に流されることと、水路・河川の河道内への転落の2種に分類されている。したがって、本研究では、浸水と水路転落のリスクが高い道路を回避した経路探索により、個々の住民に安全性の高い避難経路を提案することを目的とする。

2. 安全度指標と2つのリスク指標

本研究では、数理的に避難経路を探索するためには、水路転落リスク指標 R_{fall} と浸水リスク指標 R_{flood} を定義し、それらの余事象の積として安全度指標 P_{safe} を定義した。

$$P_{safe} = (1 - R_{flood})(1 - R_{fall})$$

浸水リスク指標は経路が浸水することで発生するリスクとして定義し、氾濫シミュレーションの結果に基づき算定した。本研究で評価したいのは、外水氾濫のピークそのものではなく、外水氾濫が顕在化する前の避難局面における前駆浸水状況である。そのため、洪水シミュレーションにより河川氾濫時刻を特定し、その時刻まで内水氾濫シミュレーションを実施することで、実際の避難時の状況を再現した。得られた最大浸水深図と道路網を重ね合わせて、すべての道路に浸水リスクを付与した。

水路転落リスク指標は、以下の5つの要素にて定義される。

- (1) 水路・河川と隣接しているかどうか
- (2) 最寄りの小・中学校からの距離

- (3) 道路勾配
- (4) 道路幅員
- (5) 避難者の年齢

(1)は、水路と隣接していること自体が転落リスクの発生条件となるという潜在的リスクを表す。

(2)は水路転落の防護柵等の対策への期待度を表す。水路網データ等には転落防止対策の有無などのデータはない。しかし、文部科学省⁽⁵⁾によれば、通学路の安全対策として、河川・用水路への転落防止柵の設置等が実施されている事例が報告されている。そこで、本研究ではこの実務的背景を踏まえ、学校周辺ほど防護対策が講じられている可能性が高いという仮定を置く。学校からの距離に基づきリスクを増減させることで、転落防止対策の期待を定量化した。

(3)について、Yamin ら⁽⁶⁾によれば道路勾配は前後方向の歩行安定性を低減させる。加えて、避難時は降雨により路面が濡れており、歩行安定性の低下は水路転落につながる要素だと判断した。

(4)は隣接水路に対して十分安全な距離を保てるかを判断するために使用した。星川ら⁽⁷⁾が行った実験では、防護柵のない側溝と隣接する道路を歩く際に最小で 2m程度離れた位置を歩いていた。この 2m という数字を歩行者が安全距離として確保すると推定される距離として用いた。そのため、水路と 2m の距離が保てない道路はリスク指標が増大する設計になっている。

(5)は水路転落事故に関する調査に基づく。星川ら⁽⁸⁾、竹沢ら⁽⁹⁾の調査では、徒步移動中の水路転落は高齢者が多く、身体能力の低下や正常性バイアスが原因と考察されている。この影響を加味し、避難者が 65 歳以上の高齢者であれば転落リスク指標が増大するよう定義した。

3. 避難経路マップの開発

算定した避難経路を個々の住民に提案するために、滋賀県高島市周辺を対象に、避難経路マップを開発した。このマップにより、避難者は身体能力や避難時の同行者の有無など、自身の個人的特性を考慮し、浸水リスクと水路転落リスクを避ける安全性の高い避難経路を知ることができる。

【謝辞】

本研究は、公益財団法人大林財団 奨励研究助成 2024-奨励-9-7 の支援を受けた。

【参考文献】

- (1) 気象庁 (2025) , 日本の気候変動 2025, 気象庁 地球環境・海洋部 , https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2025/pdf/cc2025_honpen.pdf, (参照 2025-05-23) .
- (2) 秦康範, and 前田真孝. "全国ならびに都道府県別の洪水浸水想定区域の人口の推移." 災害情報 18. 1 (2020): 107-114.
- (3) 松浦智亮, et al. "日本全域における気候・人口変動を考慮した洪水氾濫・内水氾濫・斜面崩壊の曝露人口評価." 土木学会論文集 81. 16 (2025): 24-16009.
- (4) 牛山素行. "風水害時の避難に伴う犠牲者について." 自然災害科学 41. 3 (2022): 189-202.
- (5) 文部科学省,『学校安全総合支援事業（学校管理下における事故防止に関する調査研究）「地域における通学路の安全確保に関する調査研究」報告書』, 2023 年 3 月 , https://anzenkyouiku.mext.go.jp/mextshiryou/data/tsuugakuro_anzen_houkoku.pdf, (参照 2025-6-24) .
- (6) Abdul Yamin, N. A. A., Basaruddin, K. S., Abu Bakar, S., Salleh, A. F., Mat Som, M. H., Yazid, H., & Hoang, T. D. (2022). Quantification of Gait Stability During Incline and Decline Walking: The Responses of Required Coefficient of Friction and Dynamic Postural Index. Journal of healthcare engineering, 2022, 7716821. <https://doi.org/10.1155/2022/7716821>
- (7) 星川圭介, et al. "用水路転落事故防止に向けた簡易的対策手法の検討—アンケート調査と測域センサを用いた歩行動線分析から—" 農業農村工学会論文集 90. 2 (2022): I_251-I_258.
- (8) 星川圭介, et al. "富山県における用水路転落事故の実態解明." 農業農村工学会誌 89. 9 (2021): 671-674.
- (9) 竹沢良治, et al. "農業用水路のヒヤリハット調査を通じた安全啓発方針の検討." 農業農村工学会誌 89. 4 (2021): 249-252.