

地域主体の対策推進を目指した住民主導型津波避難シミュレーションを提案
 A Resident-Led Tsunami Evacuation Simulation for Promoting Community-Based Countermeasures

○中原 邦博・畠山 満則
 ○Kunihiro NAKAHARA, Michinori HATAYAMA

Large-scale tsunamis pose significant risks, making improvement of evacuation feasibility critical. While agent-based modeling & simulation has been widely used to examine tsunami evacuation, most approaches rely on external experts, limiting continuous reflection of local conditions and residents' concerns. This study proposes a resident-led tsunami evacuation simulation approach in which local residents themselves model disaster situations and evacuation behaviors. Upper elementary and junior high school students are positioned as potential modelers, and Scratch, a visual programming environment widely used in schools, is adopted for practical implementation. The study identifies three essential modeling skills—customizing evacuation space, designing basic evacuation behavior, and designing situation-aware behavior—and examines their attainability through evaluation experiments. Results indicate that many students can successfully construct evacuation models and conditional behaviors. These findings suggest that resident-led simulation is a feasible approach for reflecting local heterogeneity and supporting bottom-up discussion of evacuation strategies in tsunami-prone communities.

1. はじめに

近年、南海トラフ地震に伴う大規模津波の発生が強く懸念されており、最大クラスの津波が発生した場合、その被害は広範囲に及び、津波による死者数は約 21 万 5 千人に達すると想定されている。このような低頻度ではあるが甚大な被害をもたらす可能性がある災害に対しては、防潮堤整備等のハード対策のみでは、費用対効果の観点から限界があることが指摘されている。こうした限界のもと、津波発生時における住民一人ひとりの避難を中心とした対策を推進していくことが、被害軽減に向けた重要な課題となっている。避難対策を推進していくためには、地域において想定される多様な状況や、住民の個別具体的な事情を考慮する必要がある。このような状況の多様性や個々の異質性を扱う手法として、エージェントベース・モデリング&シミュレーション (ABMS) は有効なアプローチとされ、津波避難を対象とした研究が数多く蓄積してきた。既存の津波避難を対象としたモデリングアプローチは、大きく統計データに基づくモデル化と個別調査データに基づくモデル化の 2 つに大別される。統計データに基づくモデル化は、国勢調査等のデータを基に、避難者エージェントにパラメータを割り当て、モンテカルロ法によりシミュレーションを実施する。当該アプローチは、避難施設配置等のハード的な対策効

果の評価に優れる一方、各住民の避難のようなミクロ的な対策の検討には、不向きである。個別調査データに基づくモデル化は、住民一人ひとりの災害時の懸念事項や避難の意向を詳細に調査し、避難者エージェントに反映するため、実行性及び受容性のある対策案が見出される可能性が高い。しかしながら、個別調査を実施するには、地域と信頼関係を構築し、継続的な関わりが不可欠であるため、数の限られた専門家が各地域で継続的に展開していくことは困難であり、その克服に向けた新たなアプローチが求められている。

2. 住民主導型津波避難シミュレーションの提案

上記の課題を踏まえ、本研究では、災害時に住民が懸念する状況や、それに基づく判断・行動を、津波リスク地域に居住する住民自身がモデル化する「住民主導型津波避難シミュレーション」を提案する。本アプローチでは、地域内の住民がモデルを構築し、シミュレーションし、その結果を多様な主体で共有・議論することにより、実行性のある避難対策案をボトムアップ的に導出することを目指す。

このようなアプローチを地域で展開していくためには、モデリングを担う主体の設定が重要となる。一般に既に IT スキルを有する専門人材が想定されるが、慢性的な IT 人材不足の中でボランティ

ア性の高い地域防災活動へ継続的に関与してもらうことは現実的に困難である。そこで本研究では、地域の学校に通う小学校高学年から中学生をモデル候補として位置づけた。児童・生徒は、地域内での滞在時間が長いため多世代と比較すると防災活動に関与できる可能性が高い。また、2020、2021年の学習指導要領の改訂により、デジタル技術を活用した課題解決能力の育成が重視されていることからも児童・生徒はモデルとして適していると考えられる。

モデル候補として児童・生徒を選定したが、次に重要な論点が如何に彼らにモデリング&シミュレーションを実施してもらうかである。本研究では児童・生徒向けビジュアルプログラミング環境であるScratchを実行環境として採用し、津波避難シミュレーションモデルを構築する方法を提案してきた。具体的には、基盤となる地図画像を背景として配置し、その上に津波浸水過程を示す時系列画像を重ねることで、浸水域の時間的変化を表現する。避難者エージェントの動きは、Scratchに元々存在する座標を指定してオブジェクトを発生・移動させるコーディングブロックを活用し表現する。津波との相互作用は、時系列の津波画像の各ピクセルが持つ色値情報に基づいて津波遭遇の有無が判定される。これにより、Scratchの計算性能や空間表現に関する制約の下でも、避難行動と津波浸水過程の関係を直観的に検討可能なモデル構成を実現している。また、構築したモデルについては、日本地震工学会が示す検証基準に基づき、基本的な避難行動が意図どおり再現されることを確認した。

3. 住民主導型津波避難シミュレーションの実現可能性に関する初期的検討

既存研究では、専門家によるモデリングを前提としており、住民主導でモデリングを行う際に必要なスキルは明確に整理されてこなかった。そこで本研究では、住民主導型シミュレーションを成立させるために必要なモデリングスキルを整理し、①避難空間をカスタマイズするスキル、②基本避難行動を設計するスキル、③状況認識に基づく行動を設計するスキルの三つを定義した。①のスキルは、道路構造や交差点、通行可否といった空間条件を編集し、地域特有の環境をモデルに反映す

る能力を指す。②のスキルは、避難者エージェントを任意の出発点・時刻に生成し、設定した経路および速度に従って避難させる能力であり、津波避難の成否を左右する基本要素に対応する。③のスキルは、通行困難箇所や混雑などの環境情報を認識し、それに応じて行動を変化させる能力であり、現実の避難行動に見られる動的な判断をモデルに組み込むために不可欠な要素である。これらのスキルの習得可能性を検証するため、本研究では小学校6年生から中学生を対象とした3回の評価実験を実施した。評価実験では、対象地域の地図を提示した上で、避難者エージェントの生成・移動、さらに周囲の状況認識に基づく行動設計といった段階的な課題を設定し、各課題を独力で実装可能かを評価した。その結果、小学6年生および中学生の多くが、避難環境のカスタマイズおよび基本的な避難行動モデルの構築を実装可能であることが確認された。特に、中学生においては、通行不可情報といった環境情報の入力、入力情報に基づき行動を変更するエージェントの設計といったABMSの本質的な部分である周囲の状況認識に基づく行動の実装が可能であることが示唆された。

これらの結果は、住民主導型津波避難シミュレーションの実現に向けて、モデル候補となる児童・生徒が単なるシミュレーションの利用者にとどまらず、災害時、地域で懸念される状況の反映及びその時の個々人の対応を反映したモデルを構築可能なモデルとなり得る可能性を示唆している。

4. 住民主導型津波避難シミュレーションの地域適用に向けて

本研究は、住民主導型津波避難シミュレーションの概念提案および中学生をモデル候補とした実現可能性の検証を行った点に意義を有する。一方で、本アプローチが地域防災において実際に実践的価値を持ち得るかについては、今後さらなる検証が必要である。今後は、津波リスクを有する実際の地域を対象とし、生徒らがモデルとして、地域住民が災害時に懸念する状況や対応モデリングそしてシミュレーションするプロセスを通じて、地域の合意形成や避難対策検討にどのように寄与するかを検証する。