

## 避難行動シミュレータに基づく内水氾濫・重畳氾濫時の避難行動に関する研究

香川大学 賛助会員 ○高松祐士, 学生会員 溝渕佳希, 正会員 石塚正秀, フェロー会員 吉田秀典

### 1. 研究背景

近年, 我が国における年間の短時間豪雨回数が増加傾向にあり, 毎年のように水災害が発生している. 水災害に対しては, 洪水浸水想定区域図作成マニュアルに基づき, ハザードマップが作成・公開されているが, これらは単一災害のみに対応し, 複合水害には対応していない. 渡辺ら<sup>1)</sup>は, 高松市提供の下水道データを氾濫モデルに組み込み, 下水道を考慮した内水氾濫・外水氾濫・重畳氾濫の浸水解析を行った. その結果, 重畳氾濫発生時は, 氾濫水の流れが速く, 内水・外水氾濫の単独発生時よりも避難行動に影響を及ぼす可能性があることを示した. 既往研究では, 氾濫水の浸水解析のほか, 住民避難に着目した避難行動シミュレーションが行われているが, 複数の氾濫モデルと様々な避難行動を組み合わせ, 氾濫解析から住民避難までを統合的に取り扱っている研究は少ない.

そこで本研究では, 氾濫モデル, 避難初動時刻, 浸水域に関する事前認知, 避難所数の組み合わせを変えて複数の避難行動シミュレーションを行う. そして, 避難完了率や可視化された被害状況図を比較することで, それぞれの氾濫モデルに対して, 有効な避難行動について論ずることを目的とする.

### 2. 避難行動シミュレータ

本研究では, 東京大学地震研究所が開発したシミュレータであるマルチエージェントシステム (Multi-Agent System, MAS) を用いている. MAS は, 「エージェント」と「環境」から構成され, エージェント自身が周辺環境を認識し, 避難という目的を達成するために自立的に行動するという特徴を持っている. エージェントが避難できない浸水域は, 渡辺ら<sup>1)</sup>が行った内水・重畳氾濫解析の結果のうち, 浸水深が 0.5m 以上の領域とした. 避難解析領域は浸水解析領域と同じとし, また, 避難所は高松市防災ハザードマップに記載されている指定緊急避難場所および指定避難所の 12 か所を選定した. 解析に使用した都市モデルを図 1 に示す. 図中, 白色が通行可能箇所, 黒色が通行不可能箇所, 緑色が避難所である. 解析時間は 6 時間で, 浸水域データの更新は 1 時間ごとに 5 回行った. 解析で用いるエージェントの歩行速度・標準偏差・人数を表 1 に示す. 内水氾濫解析では, エージェントが浸水域に関する事前情報を有していない場合と有している場合の 2 つを想定し, それぞれの避難初動時刻を浸水開始から 1 時間前, 浸水開始と同時に, 浸水開始から 1 時間後・2 時間後と変えることで, 合計  $2 \times 4 = 8$  ケースの避難行動シミュレーションを行う. 重畳氾濫解析では, エージェントが浸水域に関する事前情報を有していない場合, 12 か所の避難所のうち浸水によって避難所としての機能を失う 4 か所を事前認知している場合 (事前認知①), さらに, 周辺が浸水する 2 か所を加えた 6 か所を事前認知している場合 (事前認知②) の 3 つを想定し, 内水氾濫モデルと同様に避難初動時刻を変えて合計 12 ケースの避難行動シミュレーションを行う. さらに, この 12 ケースそれぞれについて, 安全な避難所を 3 か所追加した場合を想定した避難行動シミュレーションを行う.



図 1 避難解析の都市モデル

表 1 各エージェントの設定

タイプ	歩行速度 (m/s)	標準偏差 (m/s)	人数 (人)
若年男性	1.351	0.133	474
若年女性	1.239	0.175	464
成人男性	1.328	0.098	1895
成人女性	1.247	0.144	1891
高齢男性	1.182	0.154	1765
高齢女性	1.113	0.125	2094

### 3. 解析結果

#### 3-1. 内水氾濫

内水氾濫モデルの最終的な避難完了率を表 2 に示す。case1・5 は浸水開始 1 時間前、case2・6 は浸水開始と同時に、case3・7 は浸水開始 1 時間後、case4・8 は浸水開始 2 時間後に避難を開始したものである。

#### 3-2. 重畳氾濫

重畳氾濫モデルの最終的な避難完了率を表 3 に示す。同様の条件で避難所を 3 か所追加した場合の最終的な避難完了率を表 4 に示す。避難初動時刻については、内水氾濫と同様である。

表 2 内水氾濫モデルの最終的な避難完了率

事前認知なし		事前認知あり	
case1	98.46%	case5	99.98%
case2	96.12%	case6	98.74%
case3	92.88%	case7	97.28%
case4	88.74%	case8	92.56%

表 3 重畳氾濫モデルの最終的な避難完了率

事前認知なし		事前認知①		事前認知②	
case9	97.99%	case13	98.97%	case17	98.52%
case10	94.59%	case14	93.32%	case18	93.31%
case11	89.03%	case15	86.74%	case19	87.84%
case12	82.65%	case16	81.33%	case20	84.50%

表 4 重畳氾濫モデルの最終的な避難完了率（避難所追加）

事前認知なし		事前認知①		事前認知②	
case21	99.89%	case25	99.92%	case29	99.91%
case22	97.02%	case26	97.22%	case30	97.44%
case23	92.89%	case27	93.87%	case31	93.61%
case24	86.19%	case28	86.73%	case32	87.16%

### 4. 考察

内水氾濫解析では比較的緩やかに浸水域が広がるため、避難行動には時間的な余裕が残されている。そのため、事前認知によって危険度の高い避難所を避け、別の安全な避難所への避難経路を選択するということが有効な避難行動であると考えられる。また、避難初動時刻が遅くなると避難完了率が低下したことから、早期避難の重要性が示された。

重畳氾濫解析では、事前認知を与えると、大半のケースにおいて避難完了率は低下した。しかし、被害状況図を比較すると、エージェントは、事前認知の対象である危険度の高い避難所を避けていることから、事前認知自体の効果は確認された。そのため、避難完了率が低下した主な原因としては、短時間で広範囲に浸水域が広がるため、避難行動に時間的な余裕がなく、避難経路を変更しても、別の避難経路を進行中に浸水に巻き込まれたことが考えられる。ここで、事前認知②では、6 時間あたりの浸水面積変化率が小さいケースにおいて事前認知①よりも効果を発揮していることから、危険度の高い避難所を“すべて”避けるという事前認知は、比較的緩やかに浸水が広がる氾濫に対しては有効であると考えられる。これは、内水氾濫解析でも同様のことがいえる。

避難所を追加した重畳氾濫解析では、すべてのケースで避難完了率が向上した。さらに、事前認知は避難所追加と組み合わせることで避難に対して高い効果を及ぼすことが示された。そのため、重畳氾濫のように、短時間で広範囲に浸水域が広がる場合は、危険度の高い避難所を避けるだけでなく、浸水状況から、新たな避難所の安全性や歩行距離を確認し、それぞれが置かれている状況に応じた避難行動を行うことが重要であると考えられる。また、重畳氾濫解析の 24 ケースの全てにおいて、避難初動時刻が遅くなると、避難完了率が低下したことから、早期避難の重要性が示された。

#### 4. まとめ

本研究では、氾濫モデルと避難行動の組み合わせを変えた、総計 32 ケースの避難行動シミュレーションを実施し、それぞれの氾濫モデルに対しての有効な避難行動について考察を深めた。今後は、浸水域データの更新頻度を上げるなど、より現実に近づけた避難行動シミュレーションを行うとともに、より様々な条件を組み合わせ比較・考察を行うことが、有効な避難行動の提案につながると考えられる。

- 1) 渡辺悠斗, 石塚正秀, 溝渕佳希, 藤澤一仁, 岡崎慎一郎, 吉田秀典, 金田義行: 内水・外水氾濫の同時発生による複合水害時の下水道を考慮した氾濫水の特徴, 土木学会論文集, B1 (水工学), 78 巻, 2 号, pp. I\_19-I\_24, 2022