

ハイブリッドネットワークに基づく MAS を用いた 避難シミュレーション手法の構築

西日本高速道路（株） 正会員 ○加賀谷俊介
徳島大学大学院 正会員 佐藤 弘美

徳島大学大学院 正会員 成行 義文
徳島大学大学院 学生員 垣内 貴行

1. はじめに 南海地震や東南海地震などの巨大海洋型地震が今後高い確率で発生すると予測されている¹⁾。巨大海洋型地震では沿岸地域において津波による被害を伴うことが多い。今後3連動地震を想定した予測見直しにより被害は増大すると考えられる。徳島県においては東日本大震災の事態を踏まえて、防災拠点施設や避難場所、避難経路の整備などの対策を早急に実施するために「津波高暫定値」を算出し公表した²⁾。今後は各自治体においてハード面ならびにソフト面での防災対策の見直しが行われると考えられる。特に東日本大震災のような多大な人的被害を出さないためにも津波避難対策の見直しが重要な課題である。津波による犠牲者を出さないためには、津波ハザードの高い地域の住民全員を地震発生後速やかに安全な場所へ避難させることが最善の策である。そのためには全住民参加の避難訓練を実施することが望ましいが現実的には容易ではない。その代替手段として避難シミュレーションが用いられている。本研究では、道路ネットワークにハイブリッドネットワークを用いて MAS による避難シミュレーション手法を構築した。本手法を用いて歩行シミュレーションならびに仮想モデル地区を対象とした津波避難シミュレーションを実施し、本手法の妥当性について検証した。

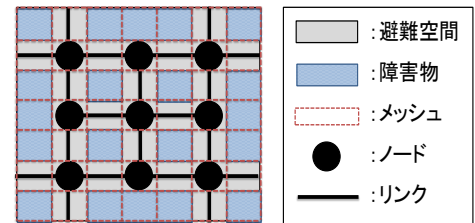


図1 ハイブリッドネットワーク

2. ハイブリッドネットワークの概要 本研究では、避難空間をノードとリンクで表現したネットワーク型、避難空間を格子状に細分化して表現したメッシュ型の2つの道路ネットワークを構築する。本研究ではネットワーク型とメッシュ型の双方の利点を利用したハイブリッドネットワークを用いて避難シミュレーションを行う。本ネットワークのモデルを図1に示す。

3. MAS を用いた避難シミュレーションモデル 本研究では、MAS（マルチエージェントシステム）を用いた避難シミュレーション手法を構築している。MAS は、エージェントと呼ばれる複数の要素で構成されており、各エージェントが単純な規則に従って行動し、個々の問題を解決しながら系全体（環境）の問題を解くシステムである³⁾。避難シミュレーションのような多数の異なる性状の避難者を取り扱う複雑系において有効なモデル化手法である。本研究では、避難空間を環境、避難者をエージェントとして MAS でモデル化した。エージェントと環境ならびにエージェント間の相互作用を反映した避難行動をシミュレートすることが可能である。本研究で構築した避難シミュレーションの流れを図2に示す。

4. 本手法を用いた歩行シミュレーションの検証 本手法を用いた人の移動モデルには、「人と障害物」および「人と人」との衝突回避行動が考慮されている。避難シミュレーションを行う前に、移動モデルの妥当性の検証を行う。本研究で局所的な歩

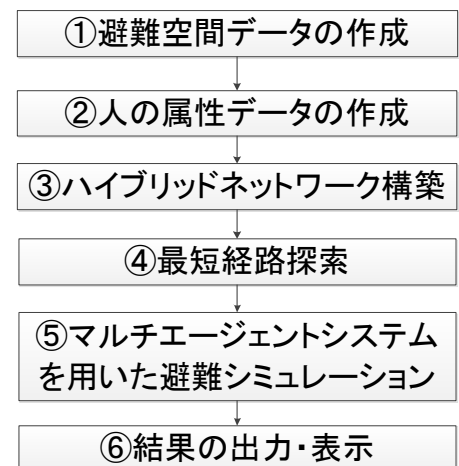


図2 シミュレーションの流れ

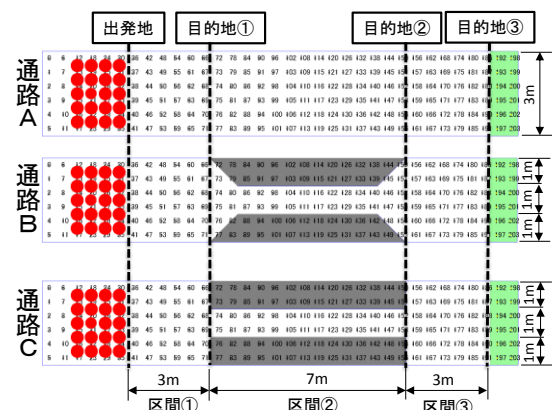


図3 対象通路および被験者の配置

歩行挙動を把握するために異なる通路形状を用いた歩行実験を実施した。この歩行実験と歩行シミュレーションで再現された歩行挙動の比較検討を行う。歩行実験の被験者は徳島大学に所属する学生および教職員の男女 20 人（18 歳～24 歳，55 歳（1 名））である。「歩行実験の前提条件」として対象通路，被験者属性，歩行条件がある。対象通路は図 3 に示す 3 種類の水平通路である。被験者属性は年齢・性別・

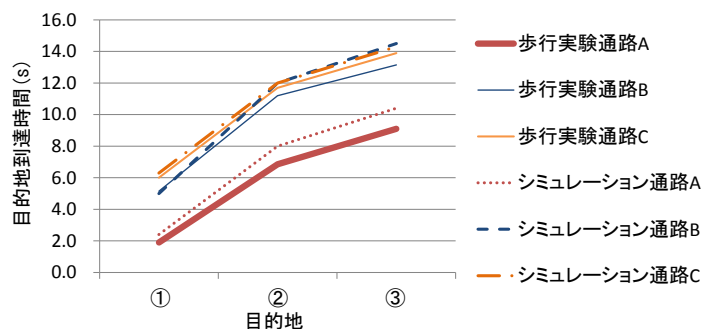


図 4 集団最後尾の人の目的地到達時間

出発地・目的地である。被験者の配置は図 3 に示すように 5 人 1 列×4 列とし，前後左右 0.5m 間隔に整列させた。また，歩行条件は「走らない」，「追い抜き可能」，「私語禁止」の 3 つを与えた。これらの前提条件のもと被験者に水平通路を自由歩行していただいた。次に「歩行シミュレーションの前提条件」は，対象通路，被験者属性である。シミュレーションにおいては，実験の状況を再現するために個々の歩行速度を算出して被験者属性として与えた。また，人の大きさは肩幅⁴⁾を基準に男性 0.466m，女性 0.411m としてシミュレーションでモデル化した。被験者の配置について

では実験と同様である。これらの歩行実験ならびにシミュレーションの出発地から目的地までの各分析区間における到達時間の結果を図 4 に示す。歩行実験とシミュレーションでは最終的な到達時間の差が最大で約 1 秒程度であり実験を比較的精度良くシミュレートできた。しかしながら，通路の縮小箇所における滞留については実験とシミュレーションにおいて歩行挙動に差異が見られた。一般に人はパーソナルスペースを伴って歩行しようとする。今回，開発したシミュレーションにおいては災害時のようなパニック時には人が隙間なく詰めかけることを想定しており，移動可能な空間へ隙間なく移動する仕様となっているためである。

5. 仮想モデル地区を想定した避難シミュレーション 本シミュレーションモデルでは，次に示すようなシナリオを想定することが可能である。「①避難場所までの最短避難経路の選定」，「②道路閉塞による避難経路の選定」，「③避難者間の道路閉塞情報の伝達」などがある。本研究では，仮想モデル地区（図 5）を対象に上記 3 つのシナリオについて仮想モデル地区の住民 50 人に対して解析を行った。本シミュレーション結果（図 6）から対象地区においては道路閉塞箇所の有無で約 1 分の避難完了時間差が生じることが分かった。また，避難者間の道路閉塞箇所の情報伝達の有無で約 50 秒の避難完了時間差が生じることが分かった。

6. おわりに 本研究では，道路ネットワークにハイブリッドネットワークを用いて MAS による避難シミュレーション手法を構築した。本手法の移動モデルを用いた歩行シミュレーションの解析では，歩行実験で得られた目的地到達時間とほぼ同じ結果となり，比較的精度良くシミュレートすることができた。津波避難シミュレーションの解析を実施した結果，対象地区においては道路閉塞箇所の避難者間の情報伝達の有無が避難完了時間を短縮するための手段として効果的であることが分かった。今後は構築した避難シミュレーション手法を実在地区へ適用し，ボトルネックとなる避難経路の抽出（ハード面）や住民の防災意識向上（ソフト面）が考慮可能な防災支援ツールとして活用する。また，避難率先者や災害時要援護者の避難支援行動等について検討してゆく予定である。

7. 参考文献 1) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧 <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm>, 2012.1.1. 2) 徳島県：津波高暫定値報告書, 2011. 3) 大内東・山本雅人・川村秀憲：マルチエージェントシステムの基礎と応用－複雑系工学の計算パラダイム－, コロナ社, 2003. 4) 経済産業省：57 項目平均値データ, 2007.

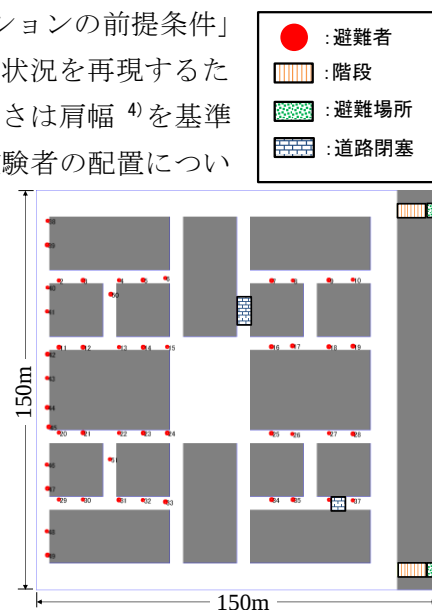


図 5 仮想モデル地区

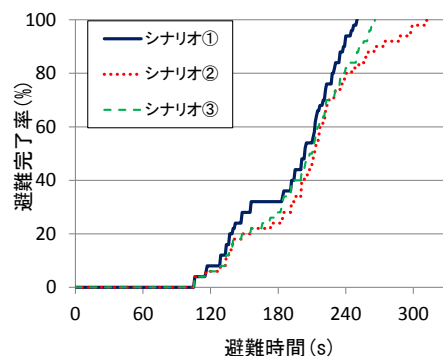


図 6 避難完了率曲線