

宇和島市の合同津波避難訓練に基づく避難シミュレーション

愛媛大学大学院
四国建設コンサルタント
愛媛大学大学院

学生会員
非会員
正会員

○田中淳也
貝原愛
森脇亮

復建調査設計
愛媛大学大学院
正会員

非会員
正会員

井上咲
藤森祥文

1. はじめに

南海トラフ地震による津波の襲来に備えて、愛媛県宇和島市において 3000 人規模の大規模な避難訓練が行われた。宇和島城の南側に位置する文京地区には 5 つの小・中・高校と 1 つの幼稚園が隣接している。ところが、この地域では南海トラフ巨大地震が発生すると最大で 6～8m の津波の到来が予想されており、園児・児童・生徒等を安全に高台等に避難させることが重要になる。今回の訓練は学校群が自主的に計画し実行したもので、学校の児童生徒や園児が一斉に避難行動を始めるとどのような問題があるかを検証することが主な狙いであった。本研究では避難訓練データの分析を行い、そこから抽出された避難完了時間が遅れる要因を避難シミュレーションに取り込むことで、より実際の避難行動に近い避難シミュレーションを作成することを目的とする。

2. 避難訓練データの分析

2. 1 研究方法

本研究では、実際の避難訓練データとして平成 30 年 6 月 8 日に実施された宇和島市文京地区 5 校 1 園合同地震津波避難訓練の結果を使用する。表 1 に避難訓練の概要、図 1 に避難経路を示す。この避難訓練では、各校の先頭と最後尾で調査員が GPS ロガー (i-gotU GT-600) を用いて集団避難時の約 5 秒ごとの緯度経度の記録を行った。各校内の個々人が受ける影響は、先頭と最後尾間の長さに反映されると考え、各校の前の時刻と比べたある時刻の先頭と最後尾間の長さの変化の割合 (以下変化率) で求めた。明倫小学校、鶴島小学校、城南中学校、宇和島南中等教育学校 (1-3 年生) を分析対象校とし、他校との合流による影響と、先頭と最後尾間における信号のある交差点の有無、信号のない交差点の有無、道路勾配、歩道橋の有無などの交通要因についてそれぞれ平均変化率の差を求め、*t* 検定を用いて分析を行った。

2. 2 *t* 検定による平均変化率の分析結果

まず、他校との合流による影響を見るために、学校別に合流の有無で *t* 検定を行った結果、城南中学校と宇和島南中等教育学校 (1-3 年生) でそれぞれ $t(307)=6.13(p<0.05)$, $t(198)=5.63(p<0.05)$ となり、有意な差が見られた。次に、交通要因では *t* 検定の結果、信号のある交差点では、明倫小学校と鶴島小学校でそれぞれ $t(260)=5.93(p<0.05)$, $t(235)=3.92(p<0.05)$ となり、有意な差があった。また、信号のない交差点でも明倫小学校と城南中学校でそれぞれ $t(260)=8.02(p<0.05)$, $t(307)=42.19(p<0.05)$ と有意な差が見られたことから、信号の有無に関わらず交差点では列が伸びる傾向があることがわかる。また、歩道橋においても城南中学校と宇和島南中等教育学校 (1-3 年生) で、それぞれ $t(307)=31.01(p<0.05)$, $t(198)=8.08(p<0.05)$ となり、有意な差が見られた。よって、本研究では、避難シミュレーションにおいて避難時の集団に影響を与える要因として、他校との合流、交差点と歩道橋の有無を考慮することとする。

表 1 平成 30 年度宇和島文京地区 5 校 1 園合同地震津波避難訓練	
日時	平成 30 年 6 月 8 日 (金) 9:40 ~
参加校・園	明倫幼稚園, 明倫小学校, 鶴島小学校, 城南中学校 宇和島南中等教育学校, 宇和島東高等学校
避難開始場所	各校・園
避難場所	宇和津彦神社境内, 市立天神小学校グラウンド



図 1 各校の避難経路

3. 避難シミュレーションの構築

3. 1 避難シミュレーションの概要

避難者一人一人の避難行動を表現するため、マルチエージェントシステム¹⁾を用いて避難シミュレーションを構築する。本研究では、避難者である住民をエージェントと定義し、道路情報は国土地理院2万5千分1地形図から与え、ノードとリンクで表現した。エージェントの数は、明倫小学校が280人、鶴島小学校が250人、城南中学校が190人、宇和島南中等教育学校(1-3年生)が400人、計1120人とした。また、初期値として避難位置、避難速度、避難開始時刻を与える。本研究は、集団による避難シミュレーションの評価のため、エージェントの初期位置を避難訓練における分析対象校と同位置とし、避難速度は各校の避難訓練の先頭の平均速度を使用した。図2にエージェントの行動ルールを示す。移動中に他のエージェントと合流する場合は、そのエージェントを追い抜く場合と追従する場合の2つを仮定し、乱数を発生させることで挙動を決定する。交差点についても同様に、交差点を通過するごとに乱数を発生させ、通過するか待機するかを決定する。今回は、10回のシミュレーションの平均値で評価を行う。また、歩道橋では通過時の避難速度を70%低減させるよう設定とした。

3. 2 避難シミュレーションの結果

集団で避難を行った際、避難シミュレーションが避難訓練をどの程度反映しているか確認を行った。表2にシミュレーションの結果と実際の避難訓練での計測値を示す。避難シミュレーションでは、避難訓練において先頭が避難完了までにかかった時間は4校の学校を平均すると、1486秒だったのに対して、避難シミュレーションの先頭は平均で1779秒かかっており約300秒長い結果となった。また、最後尾に関しても同様に約600秒長くなっていた。次に、最後尾が避難を開始した時点から先頭が避難を完了するまでの列の伸び率をみると、シミュレーション結果では、平均すると3.06倍となり、これは避難訓練の2.51倍に対して0.55とその差は小さかった。このことから、やや過大評価ではあるが避難シミュレーションは、集団による避難行動を反映できたと考えられる。また、過大評価している理由として、先頭と最後尾の間の長さが短くなる要因について考慮していなかったことが挙げられる。

避難訓練の2.51倍に対して0.55とその差は小さかった。このことから、やや過大評価ではあるが避難シミュレーションは、集団による避難行動を反映できたと考えられる。また、過大評価している理由として、先頭と最後尾の間の長さが短くなる要因について考慮していなかったことが挙げられる。

4. おわりに

本研究では、実際の避難訓練から避難時間が遅れる要因を抽出し、避難シミュレーションに取り入れ、実際の避難訓練との比較を行った。その結果、やや過大評価ではあるが集団による避難行動を反映できた。今後は、先頭最後尾の間の長さが短くなる要因の検討や、避難場所の収容人数の飽和を考慮するために、避難場所の収容人数を設定するなどモデルの拡張を行っていく必要がある。

参考文献

1) J.M. Epstein & R. Axtell (訳：服部正太・木村香代子)：人工社会－複雑系とマルチエージェントシミュレーション－，共立出版，1999

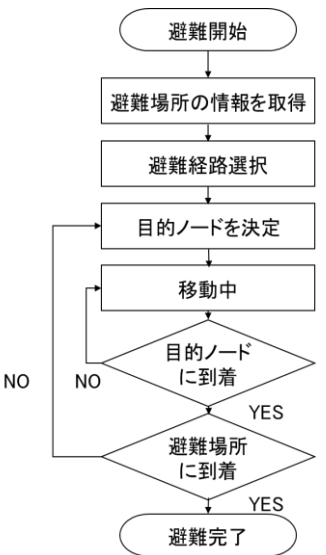


図2 エージェントの行動ルール

表2 学校別避難完了時間及び先頭最後尾間の最終伸び率

学校名	位置	実測値		計算値	
		避難時間(秒)	最終伸び率	避難時間(秒)	最終伸び率
明倫小学校	先頭	1529	1.11	1761	3.47
	最後尾	2032		3004	
鶴島小学校	先頭	1353	3.43	1660	2.51
	最後尾	2565		2293	
城南中学校	先頭	1690	4.01	2042	3.78
	最後尾	2515		3117	
宇和島南中等教育学校 (1-3年生)	先頭	1373	1.47	1652	2.48
	最後尾	2070		3047	
4校の平均値	先頭	1486	2.51	1779	3.06
	最後尾	2296		2865	