

# マルチエージェントシステムを用いた効率的な避難方法の検討

## A Study on Efficient Evacuation Behavior Using Multi-Agent System

木下 拓也† Takuya Kinoshita  
 謝 孟春† Mengchun Xie  
 森 徹† Toru Mori  
 村田 充利† Mitsutoshi Murata

### 1. はじめに

地震発生後に想定される津波からの避難は徒歩が原則であるが、東日本大震災の被害を受け、津波の避難のあり方が議論され、避難時間を確保するための車による避難が注目されている。マルチエージェントシステム(Multi-Agent System, MAS)は、主体性のある構成要素をエージェントとし、複数のエージェントが相互作用によって、簡潔な規則で社会的現象を表現する手法である。この手法を用いた災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデルが提案されている<sup>1)</sup>。

しかし、これまでの研究では、車での避難を考慮していないのが現状である。そのため、本研究は車と徒歩の二種類のエージェントを用いたマルチエージェントシステムによる避難シミュレーションを開発し、スムーズな避難方法を検討する。

### 2. MAS を用いた避難シミュレーションの構成

マルチエージェントシステムによる避難シミュレーションでは、道路をセルの列で表現する。対象地域を  $n \times n$  のセルからなるマップで表し、1セルの長さは 5m とする。

本研究では、地震発生後の津波から避難する手段として車と徒歩を対象とする。車と徒歩での避難者をそれぞれ車エージェント、避難者エージェントと呼ぶ(図 1)。エージェントの速度は、車を 40km/h、避難者を 6km/h にする。秒速にすると車は 11m/s、避難者は 1.5m/s となり、車は 1ステップで 2セル、避難者は 3ステップで 1セルを移動する。また、1つのセルに存在するエージェントは 1体のみとする。

エージェントは、初期位置からゴールである避難所までの最短経路をダイクストラ法で計算し、求めた経路に従って行動する。また、車が進行したいセルに別の車が存在する場合は停止し、車が交差点を曲がる時は減速する、という制限も設ける。

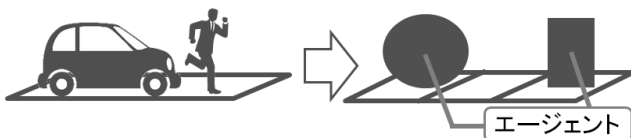


図1 車と避難者のエージェント

道路の寸断された状況などを表すために、災害セルを用意する(図 2)。このセルはスムーズに道路を通過することができるエージェントの行動を制限する。災害の発生確率  $p$  を設け、シミュレーションのステップ毎に確率  $p$  で、ランダムに一辺  $n$  個 ( $1 \leq n \leq 10$ ) の災害セルが発生する。

実際の災害を想定し、すべてのエージェントが通行不可能な災害セル(全壊セル)及び避難者エージェントのみ通行可能な災害セル(半壊セル)を設ける。

車エージェントは、全壊セル及び半壊セルに到達するとその場で停止する。避難者エージェントは、全壊セルに

到達した場合はUターンし、来た道を逆戻りする。半壊セルに到達した時は、そのまま進行する。

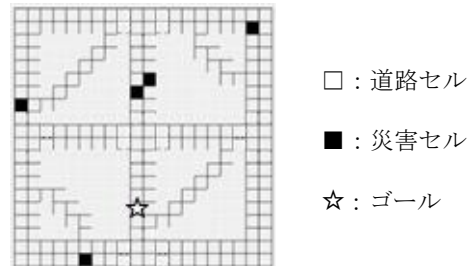


図2 シミュレーション用マップ

### 3. 実験と結果

#### 3-1. 対象地域のシミュレーションと結果

本研究で構築した災害避難マルチエージェントシステムを用いて、御坊市を対象としたシミュレーションを行った。御坊市のマップは、GoogleMap で表示される御坊市の市街地全体のマップ(図 3(a))から、車の交通量の多い道路を抽出して作成した(図 3(b))。マップの大きさは 1000×1000セルである。

シミュレートする人数は、御坊市の人口密度 589.7[人/km<sup>2</sup>] のとマップの面積 25[km<sup>2</sup>]より、14742 人とした。避難者エージェント 1 体を 1 人分、車エージェント 1 体を 3 人分として、エージェント数を設定する。

地震発生後の津波による被害が少ない高台をゴール G とし、マップ上に車と避難者のエージェントをランダムに配置する(図 3(b))。シミュレーションを開始してから一定時間ごとに、エージェントがゴールにたどり着いた数をカウントする。

車エージェントと避難者エージェントの割合を変えて、地震発生から津波が到着すると予想されている 30 分間<sup>2)</sup>で、ゴールに到達した避難完了人数を図 4 に示す。この図から、車の割合がエージェント全体の 40%以上ならば、避難完了人数はあまり変化しないことが分かった。しかし、車を使用しない場合、避難開始から 30 分後の避難完了人数は約 1000 人しかいないことも分かった。これは、シミュレートする人数分の避難者エージェントが一斉に避難したために、渋滞が発生していることが原因だと考えられる。これをふまえて、避難者エージェントのみで避難した際に、渋滞が発生することなく、スムーズに避難が完了するエージェントの最大数について調べる。

全てのエージェントの避難完了を要する時間を図 5 に示す。結果から、できるだけ車で避難した方が避難完了時間が短くなることが分かった。また、車の割合が 60%以上の場合、地震発生から 1 時間の避難完了人数は変わらない結果となった。しかし、これらは、道路が寸断されない前提としたものである。



(a)市街地全体 (b)道路の抽出  
図3 御坊市のマップ

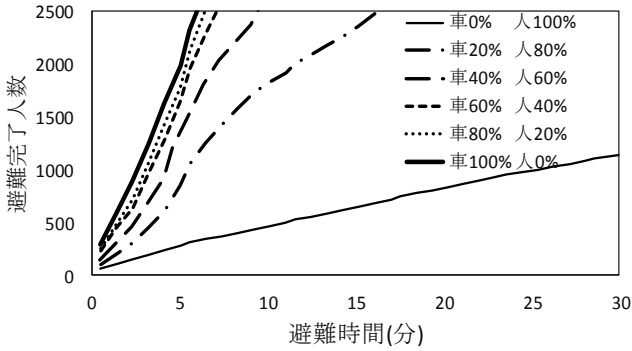


図4 避難開始から30分間での避難完了人数

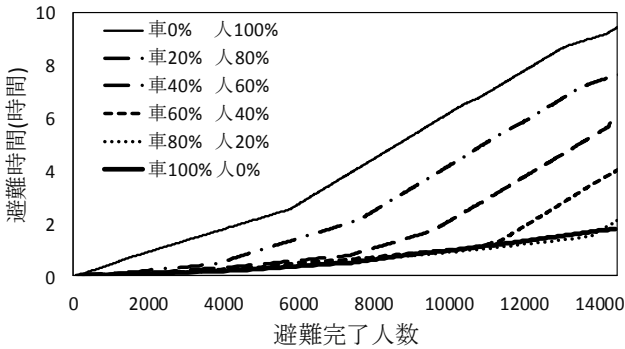


図5 避難完了を要する時間

### 3-2. エージェントの数と避難効率の関係

車と避難者の同時だけではなく、配置するエージェントを1種類に限定し、異なるエージェント数のときの避難完了時間を実験した。エージェント数を500体ずつで500から5000体まで設定し、それぞれ10回実験を行った。

避難完了時間の平均を図6に示す。車エージェントは、エージェント数の増加に従って避難完了時間も増えているので、車エージェントの数と避難完了時間は比例している。しかし、避難者エージェントの場合は、2000体まではほぼ同じ避難完了時間となり、それ以降は比例している結果となった。

避難者エージェントの区間A及び区間Bの境界をより詳細に調べるために、避難者エージェント数を50体ずつ、2000から2500体まで設定して、それぞれ10回避難完了時間を測定した(図7参照)。結果から、2300体と2350体の間に境界が存在することが分かった。よって、避難者エージェントのみに限定して避難する場合、エージェント数を2300体までに設定すると、避難完了時間が最も短くなるということが考えられる。

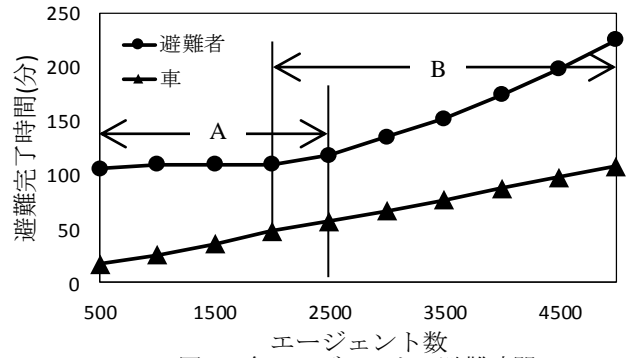


図6 各エージェントの避難時間

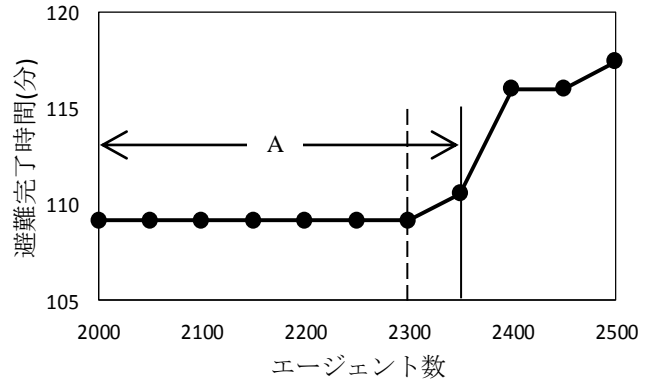


図7 避難者エージェントの避難時間

## 4. まとめと今後の課題

マルチエージェントシステムによる災害避難シミュレーションを開発し、御坊市を対象とした車及び避難者の避難状況をシミュレートした。

今後の課題として、災害セルを用いた実験を行い、より現実に近い避難環境を検討する。災害セルによってエージェントの行動が制限された後、一定時間後に災害が復旧した場合の避難方法を検討することが可能となる。これによって、災害の復旧に優先順位をつけ、よりスムーズに避難できるようなシミュレーションが可能だと考えられる。

### 参考文献

- [1] 村木雄二,狩野均:地域性を考慮した広域災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル,人工知能学会論文誌,pp.416-424(2007)
- [2] 平成25年度指標からみた和歌山県のすがた,和歌山県ホームページ,  
[http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020300/100/2013/h25\\_s\\_excel.html](http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020300/100/2013/h25_s_excel.html)
- [3] 報道発表資料一式(平成24年8月29日発表)資料1-5 都府県別市町村別津波到達時間一覧表,中央防災会議(内閣府),  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_5.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_5.pdf)