

マルチエージェントシミュレーション (MAS)を用いた平塚市における津波避難 シミュレーション

学生氏名 近藤 智也
指導教員 皆川 勝
五艘 隆志

東京都市大学 工学部都市工学科(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
E-mail:g1318071@tcu.ac.jp
東京都市大学教授 工学部都市工学科(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

今日、日本では南海トラフ地震、首都圏直下型地震などの大地震が起こることが予想されている。自分が注目した平塚市は海に隣接しているため、大地震が起こった際、津波が来ることが予想されるが高台などがなく、避難する場所が少ない。しかし、平塚市においては既存の研究もない。このことから平塚市における津波が来た際のシミュレーションを行う必要がある。

Key Words: 平塚市, 津波避難, マルチエージェントシミュレーション, *artiso*c

1. 序論

(1) 背景

2011年3月11日14時46分に東日本大震災が発生し、その結果甚大なる被害が発生した。2017年9月1日時点で人的被害としては1万9575人が亡くなり、2577人が行方不明となっている。住宅被害としては、12万1776棟が全壊し、28万326棟が半壊、74万4269が一部半壊した。1995年1月に発生した阪神・淡路大震災では、犠牲者の約8割が建物の損壊や倒壊等による圧死・窒息死が原因であった。これに対し、東日本大震災の場合は、犠牲者の9割以上が津波による浸水で命を落としている。防波堤等の津波防災対策が機能せず、大津波に巻き込まれて亡くなった方が多数であったことから東日本大震災は、地震大国である我が国であっても津波防災対策が不十分であったと言える。

そのような現状の中、近年、我が国では南海トラフ地震、首都圏直下型地震などの大地震が起こることが予想されている。図-1は、南海トラフ沖プレートにおける、過去から現在に起こったマグニチュード8クラスの大地震をまとめたものになる。このプレートでは、100~150年ごとにマグニチュード8クラスの大地震が起こってきたことが分かっています。し

かし、愛知南部~静岡南部のプレートに関しては、160年以上マグニチュード8クラスの大地震が起こっていないため、近年大地震が起こるだろうと予想されている。そのため、各地域ごとに津波被害軽減のためにシミュレーションなどを行い、対策を行う必要性が高まっている。

(2) 目的

今後、発生するであろう大地震の際の神奈川県平塚市における津波避難シミュレーションを行い、の考察を行う。その結果より、道路における改善点、標識、掲示板の設置、避難所設置場所の選定を行い、実際に大地震が起こった際の被害軽減を目的とする。また、本研究においては、シミュレーションは1から学び、自分で作り上げることを目的とした。

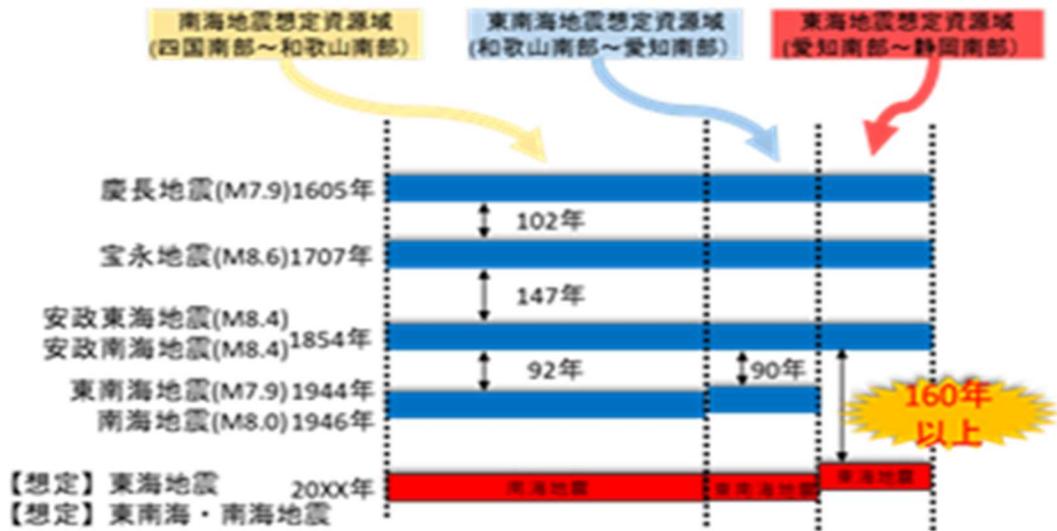


図-1 南海トラフ沖地震

2. artisoc 概要

2-1 artisoc とは

artisoc とは MAS (マルチエージェント・シミュレーション) を行う際に用いられるツールであり、アイデアをすぐにモデルへ反映できる MAS (マルチエージェント・シミュレーション) のためのプラットフォームである。

MAS (マルチエージェント・シミュレーション) とは、図-2 のように複数 (マルチ) の『エージェント』に各々のルールを与え、お互いに干渉を受けながら実行させる仮想実験 (シミュレーション) のことを意味する。ここでの『エージェント』の定義は、周囲の状況を認識し、その状況に応じて与えられたルールに基づいて自律的に繰り返し行動する主体の

自然現象を解析・予測するとき、これまで還元主義に基づくトップダウン的な手法が多く用いられてきた。他方で、社会現象や人間の経験に基づいた意思決定を扱うとき、このような既存の手法では十分に分析できないことが知られている。これを解決する策として、複雑系のアプローチが注目されている。

マルチエージェント・シミュレーションは複雑系を分析する手法の 1 つである。

artisoc は、マルチエージェント・シミュレーションプラットフォームであり、様々な研究分野において意思決定支援・分析ツールとして有効である。

artisoc の特徴としては、以下のものが挙げられる。

- ・ GUI によるモデル定義
- ・ GUI によるマップ (2D, 3D) やグラフなどの出力設定
- ・ ルール記述を支援するデバック機能
- ・ 変数や関数名に日本語を利用可能
- ・ VisualBasic ライクな分かりやすい行動ルール記述
- ・ 便利な組み込み関数を多数用意
- ・ ネットワーク図や関係図を簡単に出力可能
- ・ 複数回実行, レポート出力などの実行制御が可能
- ・ Windows, MacOS X の両方で動作
- ・ 外部の DB, XML, テキストファイルの読み書きが可能
- ・ 作成したモデルファイルを自由に配布可能

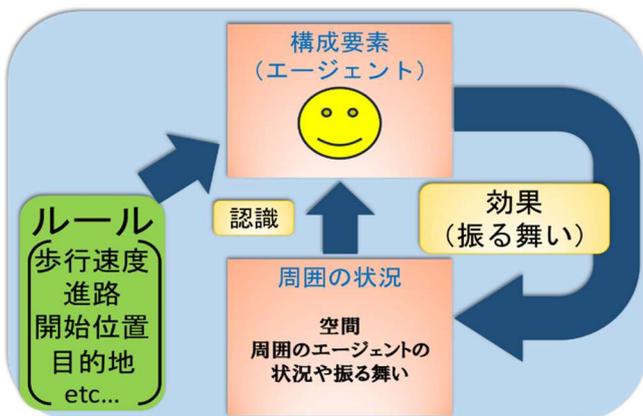


図-2 マルチエージェントシミュレーション概要

ことを言う。現実には置き換えると、『エージェント』は、人間や生物にあたる。

2-2 複雑系のアプローチ

3. シミュレーションモデル構築手順

1)空間/エージェントの種類・属性の定義

平塚市という名の空間を与え、平塚市の人口を基に避難者エージェントを作成する。また、図-3のようにエージェントに歩行速度や目的地エージェントといった様々な変数を加える。

2)道路データの取り込み

図-5のような道路ネットワークをシミュレーション上に反映させるために、OpenStreetMapより平塚市における道路ネットワークをxmlファイルとして取り込み、その後Q-GISを利用し、xmlファイルを変換、dxfファイルに変換、dxfファイルをshpファイルに

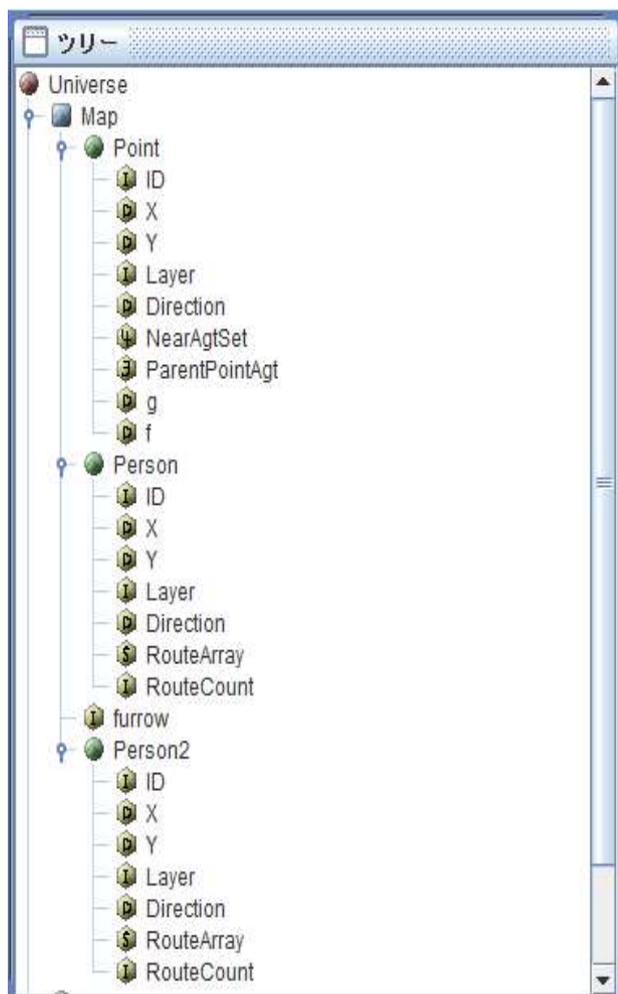


図-3 エージェントの設定

変換する。最後に GIS Road Data Converter より shp ファイルを csv ファイルに変換し,artisocに取り込める状態のファイルに変換する。

3)エージェントの行動ルールを設定

図-4のようにそれぞれのエージェントにどのような地点からスタートし、どこを道を通って、どのような行動をとりながら、どこを目的地にしているかなどのルールを設定する。本研究では、最短距離で目的地までたどり着くよう、ダイクストラ法と a*探索アルゴリズムがあるが、a*探索アルゴリズムを用いる。

4)シミュレーションの出力形式を定義

シミュレーション中の背景画像やエージェントをどのような形で表すのかまた、どのような色で表示するのかを設定する。

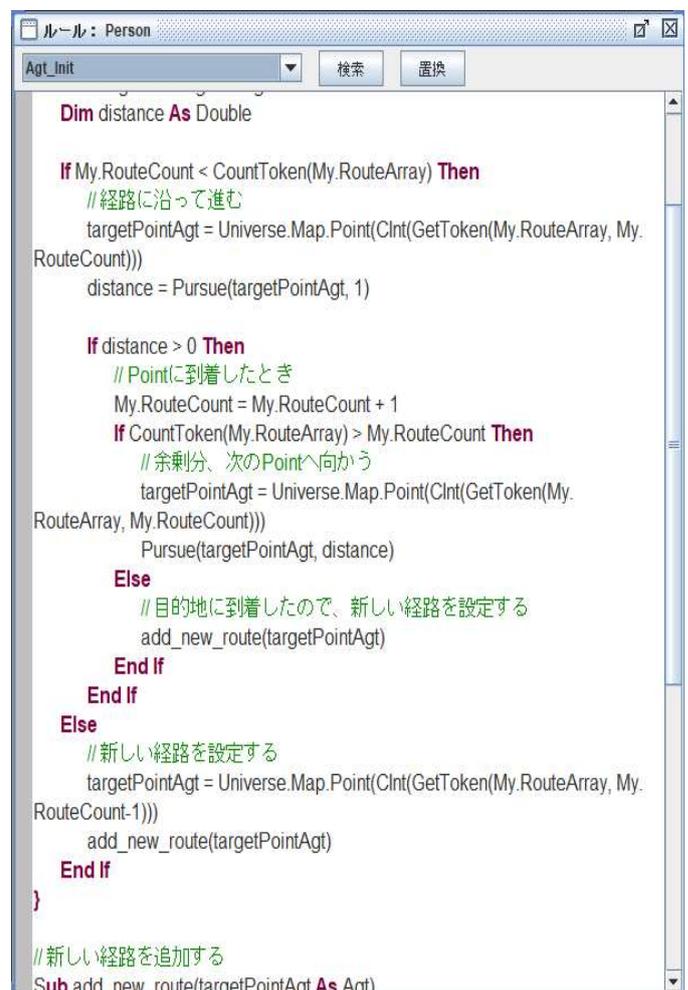


図-4 エージェントルール設定



図-5 平塚市における道路ネットワーク

4. ダイクストラ法と a_star 探索アルゴリズムの違い

4-1 ダイクストラ法とは

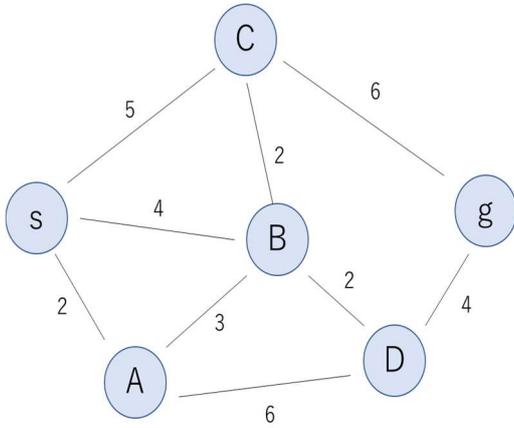


図-6 ノードとリンク

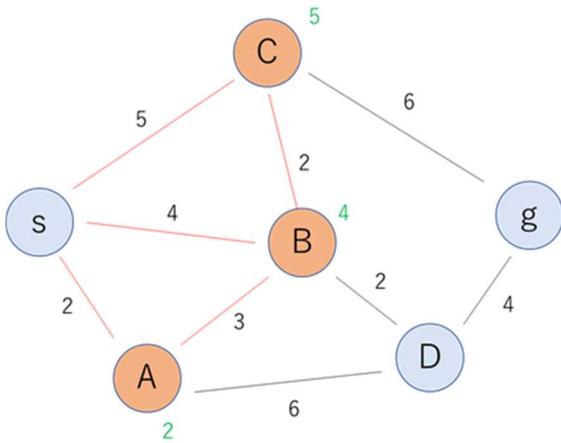


図-7 ノードとリンク

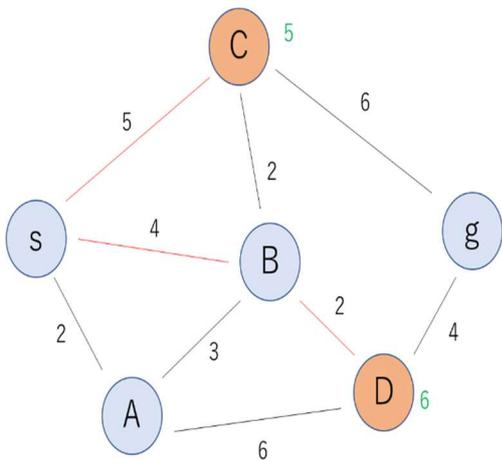


図-8 ノードとリンク

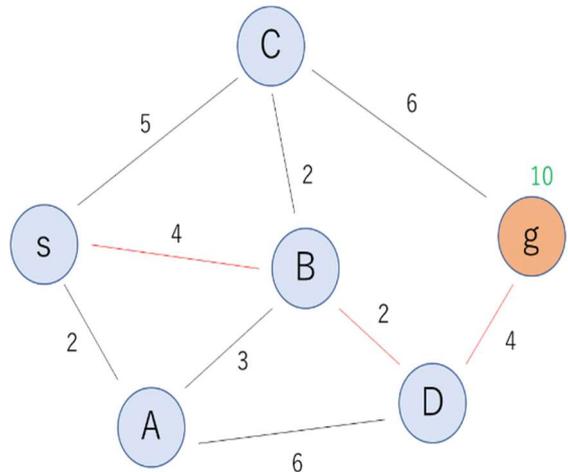


図-9 ノードとリンク

ダイクストラ法とは、スタートノードからゴールノードまでの最短距離とその経路を求めることができるアルゴリズムである。図 5 を例にすると、円でかかれたのがノードであり、線がリンクを表しており、s がスタートノード、g がゴールノードである。また、線上の数字は線上を移動する際のコスト（距離や時間）を表している。このコストが低いほどそのルートが最短距離となる。

まず、スタートノードとリンクしているノードは A, B, C であり、A ノードのみを考えると $S \rightarrow A$, $S \rightarrow B \rightarrow A$, $S \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ というルートがあるがそれぞれコストを算出するとそれぞれ、2, 7, 10 となり、 $S \rightarrow A$ がノード A までの最短ルートとわかる。同じようにスタートノードからノード B まではコスト 4 の $S \rightarrow B$ 、ノード C まではコスト 5 である $S \rightarrow C$ となり図-6 のようになる。

ゴールに直結しているのはノード C と D のため、スタートノードからノード D までの最短距離を求めるとコスト 6 である $S \rightarrow B \rightarrow D$ が最短ルートとなり、図-7 のようになる。

そして、ゴールまでの最短ルートは図-8 に表した通り、コスト 10 である、 $S \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow g$ のルートがスタートノードからゴールまでの最短距離と求めることができる。

この手法をダイクストラ法という。

4-2 a*探索アルゴリズムとは

ダイクストラ法と同じでコスト（距離や時間）を用いて、最短距離を求めるためのアルゴリズムである。

- ① 最短系路上である、ノード n にいるとし、このときのスタート地点からゴール地点までの最短経路は、(スタート地点からノード n までの最短経路+ノード n からゴール地点までの最短経路)となる。
- ② スタート地点からノード n までの最短経路のコストを $g(n)$ 、ノード n からゴール地点までのコストを $h(n)$ と表すと、スタート地点からゴール地点までを $f(n)$ とし、 $f(n)=g(n)+h(n)$ と表すことができる。
- ③ スタート地点からノード n まで最短距離は通ってきた経路のため、すでに求められているが、ノード n からゴール地点までの最短距離がわからないため、ランダに $h(n)$ から $f(n)$ を計算し、一番コストが低くなる最短ルートを探っていくことによって、全体の最短ルートを求めることができる。

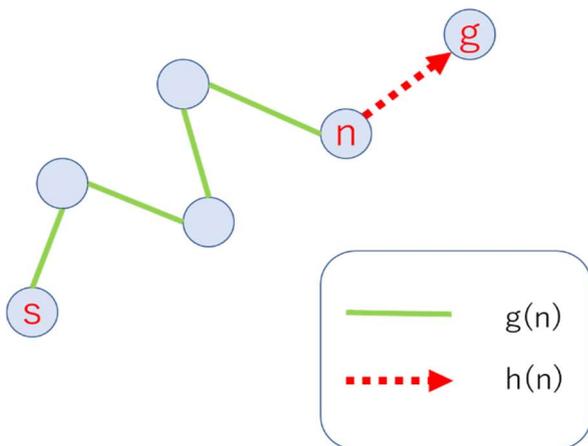


図-10 a*探索アルゴリズム

これを a*探索アルゴリズムという。

4-3 ダイクストラ法と a*探索アルゴリズムの違い

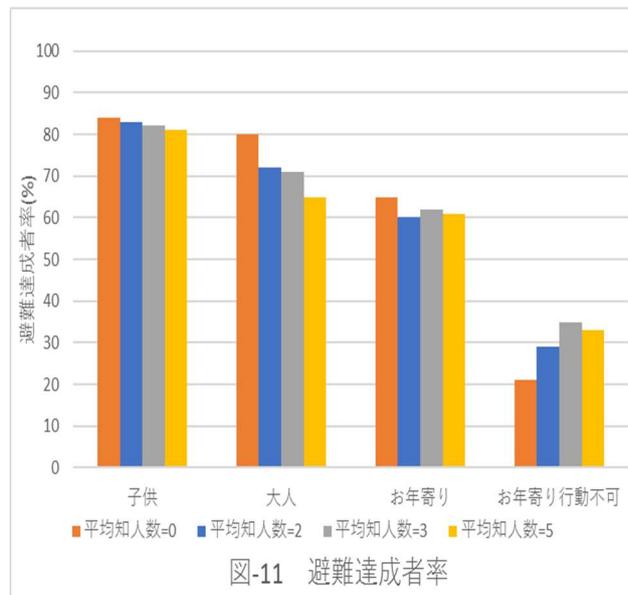
4-1 で記述したよう、ダイクストラ法スタートノードを含めた、すべてのノードからコストを算出して最短経路を求める手法のアルゴリズムであり、それに対して 4-2 で記述した a*探索アルゴリズムは、ゴールまでの最短経路の推定値(直線距離など)を元にして、スタートからゴールまでの茶園丹慶蘆田と思われる、経路を順次探索していくアルゴリズムである。本研究では、ダイクストラ法は大きな空間では使用することができないため、大きな空間でも使用することができ a*探索アルゴリズムを使用することとする。

5. マルチエージェントシミュレーションを用いた津波避難に関する既存研究

ここでは、マルチエージェントシミュレーションを用いた津波避難に関する既存研究について以下のように説明する。

5-1 コミュニケーションを考慮した津波災害避難シミュレーション

近田ら(2015)は、東日本大震災で大きな被害を受けた宮城県名取市閑上地区において家族や知人との接触行動を優先してしまい、被害が拡大してしまったため、人間関係に起因する行動を考慮した施策が必要であると考えた。安否情報の交換、住民の家族関係、知人関係を構築し、捜索行動および避難行動をモデル化し、その情報より、住民各個人が行動を選択する意思決定モデルを取り込み、シミュレーションを実行することにより、住民1人あたりの知人の数と、通信環境における通信成功率



が避難行動に与える影響を検証した。その結果、図-11 に表すように知人の数が増えることによって、自力では移動できないお年寄りの住民の避難完了率は増加することができたが、全体の避難完了率が低下した。

この研究において、今後の課題としているのは、道路閉塞や詳細な渋滞と避難路の確保の方法、避難所の状態と目指すべき避難所の決定、学校などの集団避難、消防団などの地域住民による避難活動の考慮が上げられていた。

5-2 津波警報時の大阪湾における自動車避難のシミュレーション

小野ら(2013)は、避難者自身に対して、「災害後にどうすべきか」、「どのように避難すべきか」を周知することが、避難者が安全に津波から避難するためには重要である、また、皆が自動車避難をしようとどのような状況になるかを共有することが大前提であると考えた。そのことを踏まえ、自動車による避難をシミュレーションし、大都市における自動車避難の影響を評価するとともに、本システムを個人の避難検討ツールとして、生活者に利用してもらうことで、個人の防災意識の向上も目標とする。その結果として、地震発生後すぐに津波からの避難行動を開始し、地震の影響ですべての橋が通行止めにならなかった場合、避難時間は約 95 分となり、津波到達予想時間である 2 時間以内に避難が完了する。しかし、津波からの避難、開始時間が遅れる。地震の影響で橋が利用できない状況の場合、津波が到達するまでに安全に避難が完了しないことがわかった。津波からの避難開始時間が遅れ、いくつかの橋が利用できない状況下では、大きな渋滞が 3ヶ所で見られた。

また、今後の課題として今回のシミュレーションでは、避難途中道路上には障害物がないことを大前提としていることから障害物がある状況下でのシミュレーションを行うこと。また、シミュレーションをした地区では、実際には、古い建物が多く、液状化の恐れがかなり高い。また、避難先である地区における渋滞を考慮していないため、今回のシミュレーションのように避難先への車両をスムーズに収容できるとは限らない。もし避難先の区で渋滞が発生していれば、他の地区に移動することも考えられ、その場合避難時間は 2 時間を超えると予想できる。そのため、道路上の障害物の設定や、避難車両の避難先への収容方法などを課題として挙げていた。

6 平塚市概要

6-1 平塚市地形

本研究で対象とする神奈川県平塚市(図-12)は、神奈川県中央南部に位置しており、南側が相模湾に面している。本研究で対象としている龍城ヶ丘と袖ヶ浜の 2 地区は平塚市において海に接している地区のうちの 2 地区である。また、2 地区は海拔 5.5 メートルから 6.6 メートルと低い地形である上に、平塚市全体が低層の住宅が密集している場所が多く、高層ビルや高台がほとんど存在しない。

しかし、平塚市が公表しているハザードマップ(図-13)でも示されているように津波が来

ることが予想されている。



図-12 対象地域地図

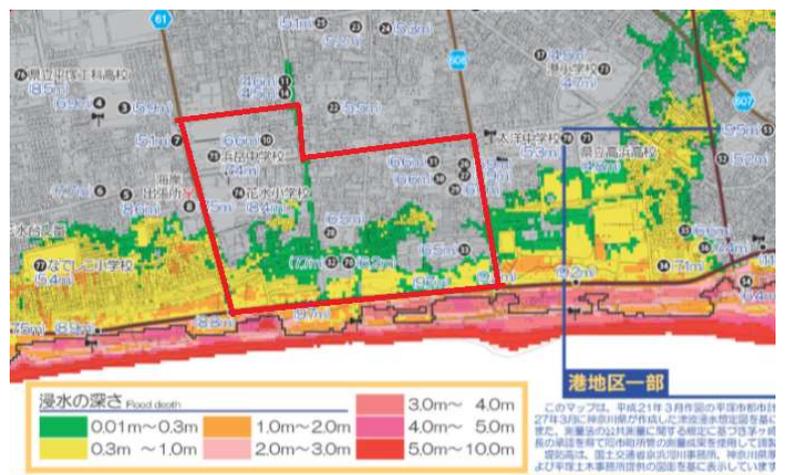


図-13 平塚市ハザードマップの一部

6-2 平塚市が行っている津波対策

神奈川県全体で、東日本大震災での東北地方甚大な被害により、津波に対する様々な対策が行われてきている。本研究で対象平塚市においては、まず1つ目として「神奈川県津波浸水予想図」であり、先ほどの図-13 に示したハザードマップもこの一部である。次に2つ目として「津波対策用海拔表示板」である。

「津波対策用海拔表示板」とは、その地点における海拔の高さを表す図-14 のような標識である。

「津波対策用海拔表示板」を設置することによって、実際に津波が発生した際にその表示板を避難者が見ることによって、より高い場所への避難ができるように設置されている。平塚市では、海岸地区、相模川流域、金目川流域を中心として他に電柱や公共施設など合計 326 箇所に設置されている。

3つ目としては「津波避難ビル」の設置である。

平塚市では、大津波警報が発表されたときに、人的被害を軽減するため、市と自治会が連携のもと、ビル所有者と協定を締結し、緊急一時退避場所となる「津波避難ビル」の指定を進めており、指定されたビルには図-15 のような津波避難ビル表示シールがガラスなどに掲示されている。「津波避難ビル」とは、避難所が避難生活をする場所として指定されているが、それに対して、「津波避難ビル」は、あくまでも緊急時に一時退避するための場所であり、警報解除などの安全を確認次第、自宅もしくは地域の避難所へ移動することになっている。

4つ目としては、「津波監視カメラ」となっていてこちらは平塚市だけでなく神奈川県全体に合計8か所設置されており、常にネットに図-16 のような映像が挙がっており、住民も見ることができる。

最後に5つ目としては、「津波防災の日」である。平成23年6月24日に「津波対策の推進に関する法律」が公布・施工され、同法第15条に「津波防災の日（11月5日）」が定められた。これによって平塚市は市民に津波被害などのことに関してもっと深く理解してもらうために「ひらつか防災まちづくりの会」と共催し被災地の写真などを展示した。図-17 は「ひらつか防災まちづくりの会」において展示されたパネルや写真の様子である。



図-14 津波対策用海拔表示板



図-15 津波避難ビル指定シール



図-16 津波監視カメラ映像の静止画

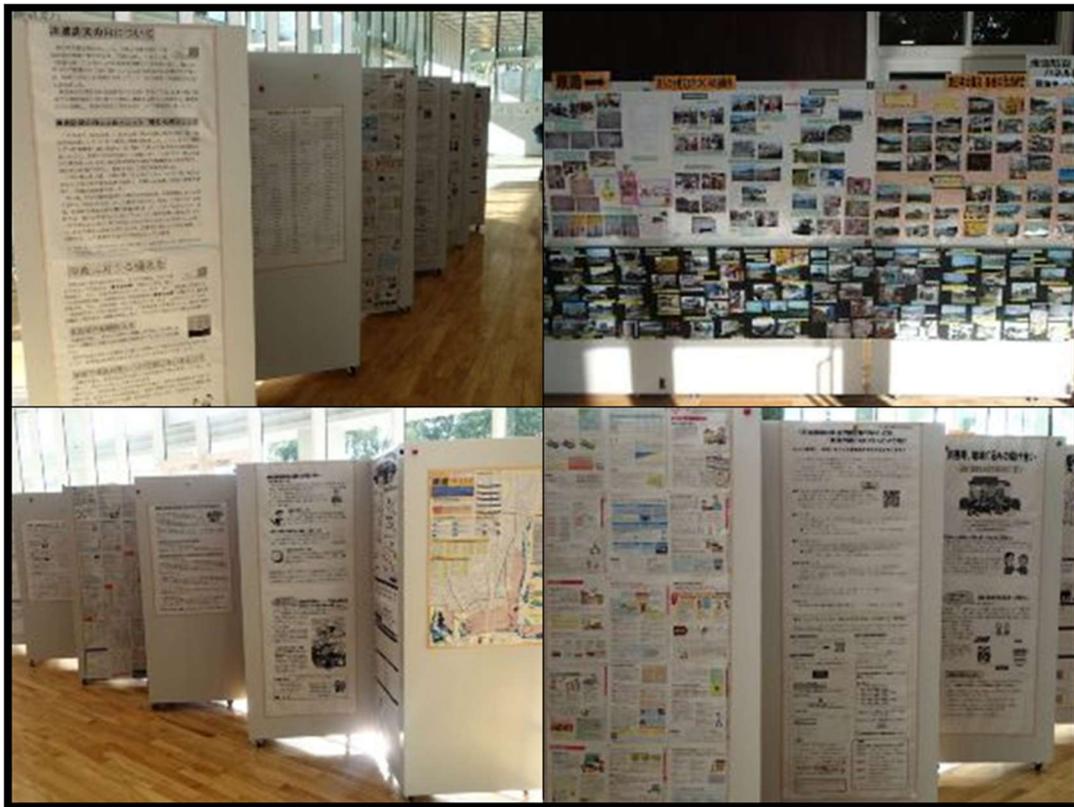


図-17 ひらつか防災まちづくりの会様子

7. シミュレーション内容

本研究の対象としている龍城ヶ丘, 袖ヶ浜の2つの地区にはいくつか避難所が存在しているが1カ所にいくつかの避難所が固まって存在していることもあり, 本研究においては地区ごとに海から1番遠い避難所を図-18のように地区ごとに1つずつ選定する. またエージェントの避難速度においては, 人間の平均歩行速度を用いて, 本研究においては避難速度は5km/時とすることとした.

エージェントの初期配置はランダムにし, 配置された位置が龍城ヶ丘であれば龍城ヶ丘住民, 袖ヶ浜であれば袖ヶ浜住民とする. エージェントの数はノードの数である171人発生させる.

またエージェントは地区ごとに住民エージェントを配置し, 龍城ヶ丘住民は龍城ヶ丘にある避難所へ, 袖ヶ浜住民は袖ヶ浜にある避難所へ最短経路を使い, 避難していくように設定した. また4章で示したように, 最短経路を算出する際には, ダイクストラ法ではなく, a*探索アルゴリズムを用いることとする.



図-18 対象地区避難所位置

8. シミュレーション実行結果シミュレーション
 実行結果を以下の図 19, 20, 21, 22, 23, 24 に示す.

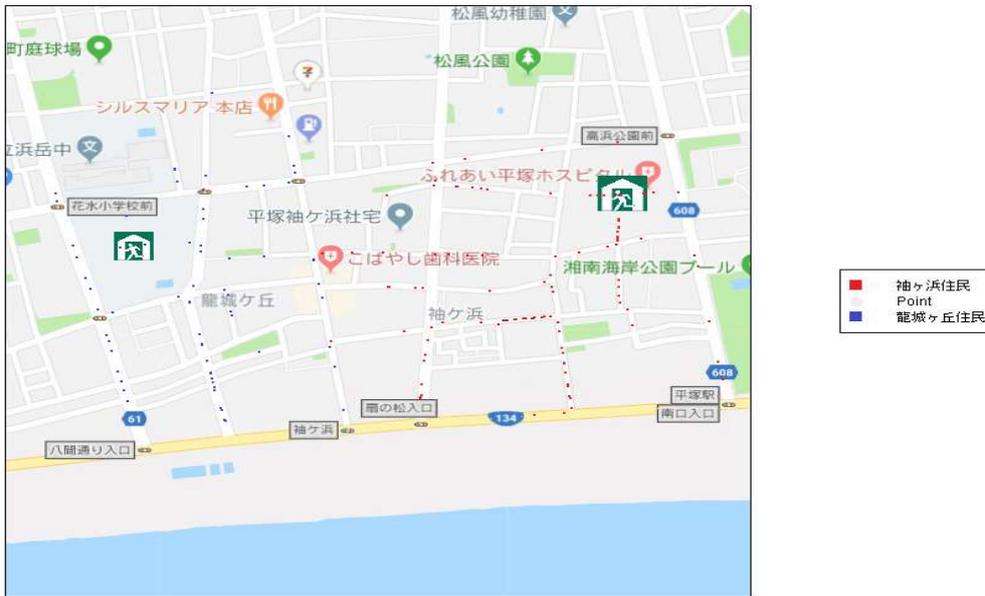


図-19 避難開始2分後

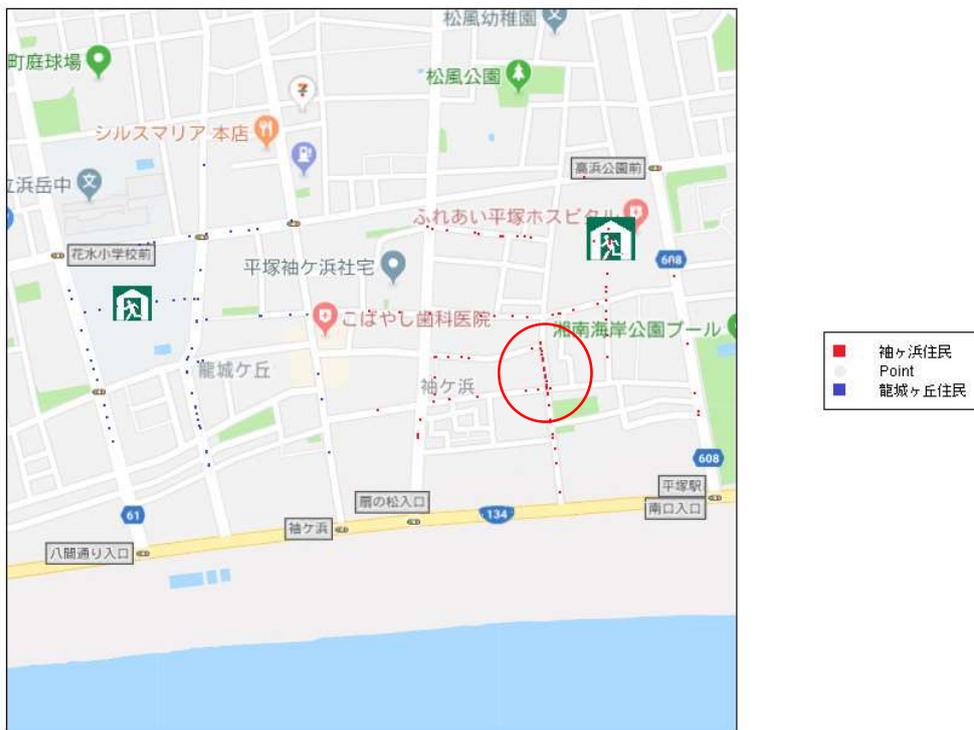


図-20 避難開始4分後



- 袖ヶ浜住民
- Point
- 龍城ヶ丘住民

図-21 避難開始6分後



- 袖ヶ浜住民
- Point
- 龍城ヶ丘住民

図-22 避難開始8分後



- 袖ヶ浜住民
- Point
- 龍城ヶ丘住民

図-23 避難開始10分後



- 袖ヶ浜住民
- Point
- 龍城ヶ丘住民

図-24 避難開始12分後

9. 結果からの考察

シミュレーション結果から避難開始, 12 分後にほとんどのエージェントが避難完了したことが分かった。また, 図 19, 20, 21, 22, 23, 24 より赤の円で囲まれているところは何度シミュレーションをしても混雑していることがかなり多かった。このことから混雑している地点などには標識などを設置し, 人が通ることが少ない道に案内できるとよいのではないかと考えた。

10. 今後の課題

シミュレーション内部から理解するところから研究を始めたためシミュレーションとしては, まだまだ不十分な点が多い。

以下に今後の課題を示す。

- ・住民の年齢層ごとの人口割合を基に年齢層ごとに歩行速度を変えていく。
- ・本研究では, 道路幅は考えず, 道路ネットワークは線として捉えているため, 道路幅を考える。
- ・避難所の収容者人数を取り込み, 避難所が入れない場合の想定を行う。
- ・道路が混雑していた際, または障害物があり道を通れない場合に迂回し, 混雑していない道を選定し, 避難所まで向かう。
- ・本研究では歩行者をシミュレーションすることしかできなかったが, 自動車もシミュレーションに取り込んでいく。

11. 参考文献

1)MAS コミュニティ:MAS に特化したシミュレーションプラットフォーム

<http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=13>
(2017.11.21 アクセス)

2)平塚市:平塚の人口と世帯

http://www.city.hiratsuka.kanagawa.jp/tokei/page-c_01770.html
(2017.11.21 アクセス)

3)国土地理院:地理院地図

<http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0>
(2017.11.23 アクセス)

4)Open Street Map Japan: 自由な地図をみんなの手に/The Free Wiki World Map

<https://www.openstreetmap.org/login?referer=%2Fwel>

come

(2017.11.22 アクセス)

5)山影進(2010):人口社会構築指南~artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門,書籍工房早山