

マルチエージェントシミュレーション(MAS) を利用した鎌倉市における避難シミュレーション

学生氏名 金子 周平
指導教員 皆川 勝
指導教員 五艘 隆志

東京都市大学 工学部都市工学科 (〒158-8577 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
E-mail:g1418029@tcu.ac.jp

東京都市大学教授 工学部都市工学科 (〒158-8577 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)

今後、日本では南海トラフ地震が高い確率で起こると予想されている。本研究では MAS (Multi Agent Simulation) を利用した津波避難シミュレーションを行う。内閣府によって南海トラフ地震防災対策推進地域に指定され観光客の多い鎌倉市をターゲットに選定し、避難者の属性や与える情報等の条件を変えた複数シミュレーションを実施する。この結果に基づき適切な避難所・一時避難場所の設置、住民に与える情報、街中の掲示等の改善策を提案する。

Key Words: 鎌倉市, マルチエージェントシミュレーション, GIS Data Converter

(1) 背景

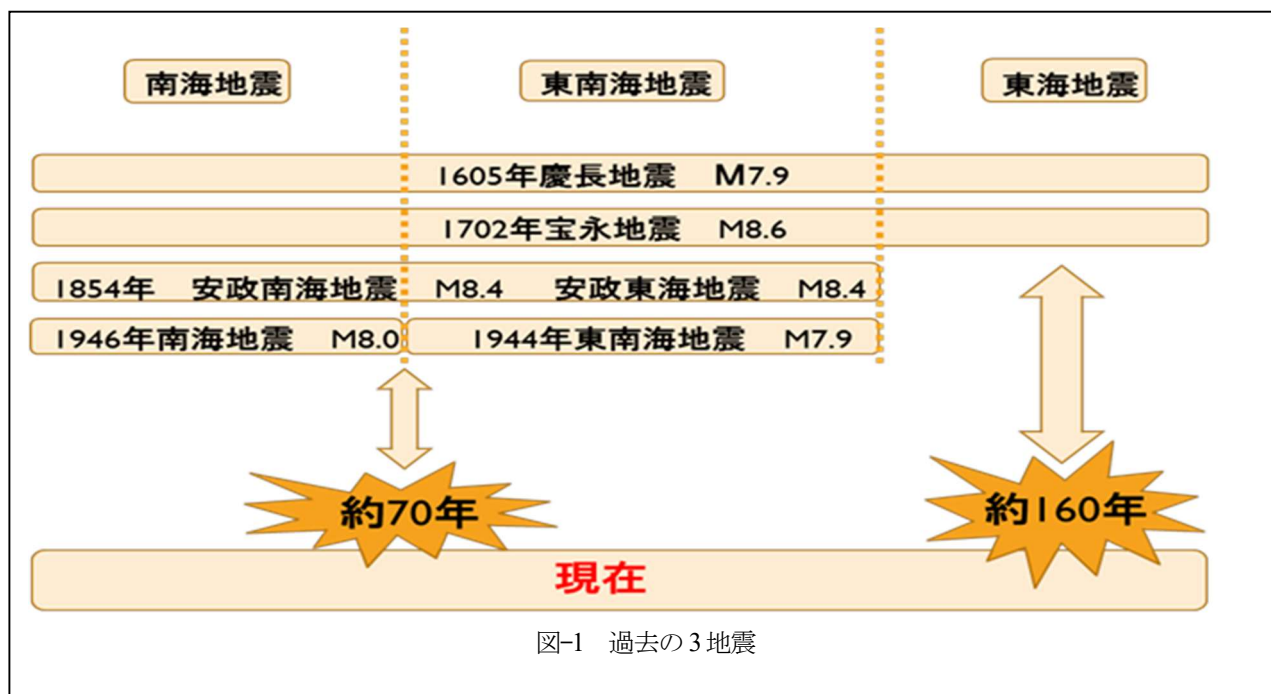


図-1 過去の3地震

2011年、東発旬地方で発生したマグニチュード9.0の東日本大震災での岩手、宮城、福島3県での死者数は11,108人であり、そのうちの92%が津波が原因となっている。その際の3県での津波高は約3m~約20mと非常に

高い数値となっている。

また、図-1に示すように近い将来、マグニチュード7クラスの首都直下型地震や東海・東南海・南海地震が単独・連動で発生する南海トラフ地震が30年以内に70%

程度の確率で発生し、さらなる津波被害が予想されているため、全国の沿岸地域で防潮堤の建設が進んでいる。しかしながら、2段階設計が導入され、巨大地震の際には、依然として沿岸部が津波に襲われて居住地域に被害を及ぼす可能性がある。

一方、近年、マルチエージェント技術を用いたシミュレーションツールが開発され、それによる研究・分析が行われている。しかし、ツールは通常ブラックボックスであり、条件設定と分析方法を完全に把握するためには、独自ツールの開発は有効であり、また、今後この技術が発達することを想定すると、言語の段階から習得して、基本的な機能を備えたシステムを構築できるようにしておくことは有効である。そこで、本研究では、マルチエージェント言語をはじめから学び、完全自作により津波避難シミュレーションシステムを試作するとともに、具体的な対象問題として、南海トラフ地震に関わる対策特別強化地域に指定された鎌倉市における、観光客を考慮した最適な避難ルート、避難所の設定等に関する基礎的資料を得ることを目的とする。

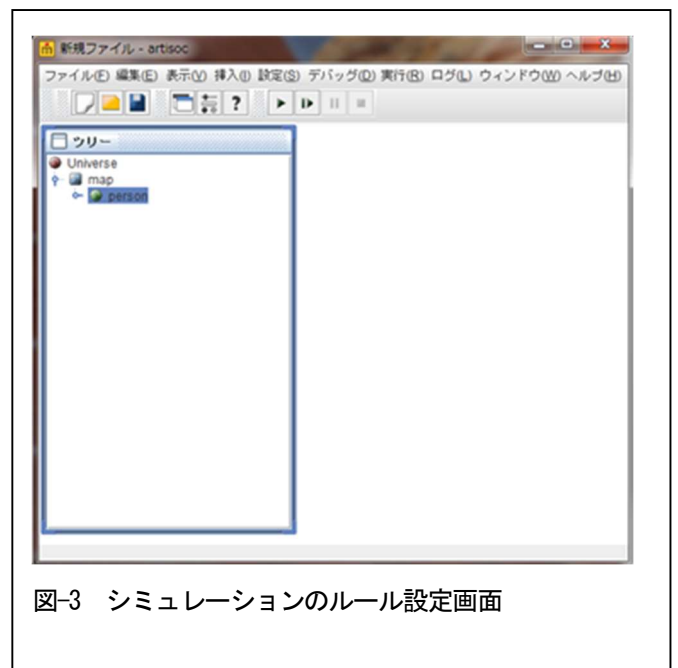
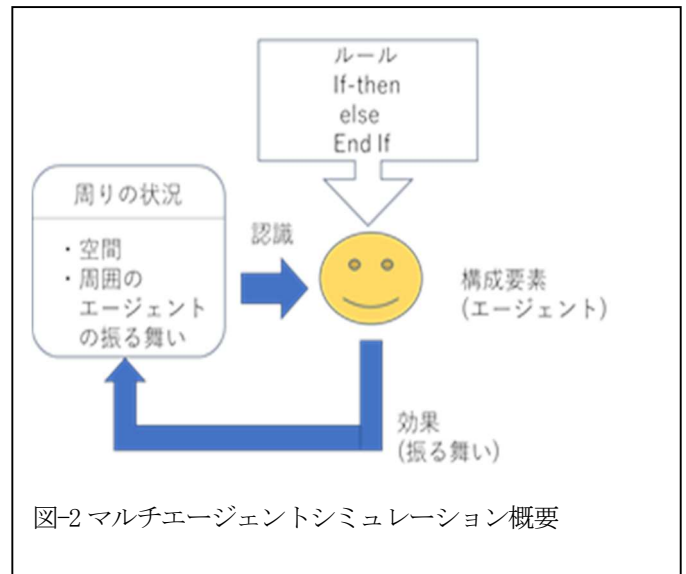
(2) マルチエージェントシミュレーションを用いた既存研究

マルチエージェントシミュレーションを用いた避難シミュレーションに関する論文は土木学会論文集等に記載されている。その既存研究の例を以下に示す。

小阪らによる「GIS・マルチエージェントシステムを用いた津波避難所における基礎的研究」では石川県輪島市を対象としてエージェントの避難歩行速度、避難路閉塞率、避難所位置および収容率、津波想定到達時間の設定を行った避難シミュレーションの研究がされている。この研究で収容人数が少ないかつほかの避難所から遠い場所に新しい避難所を設定した場合、すぐに収容人数が超過し、ほかの避難所に向かう道が渋滞を起し、避難時間のロスが生まれてしまった。また、既存の避難所の避難場所の収容人数を増加することができれば、避難完了率が増えることが算出できた。

(3) マルチエージェントシミュレーションとは

マルチエージェントシミュレーションとは複数(マルチ)のエージェントを用いたシミュレーションのことである。本研究では自分の周囲の状況を認識し、それに基づいて打ち込まれたルールに従い行動する者をエージェントと定義する。



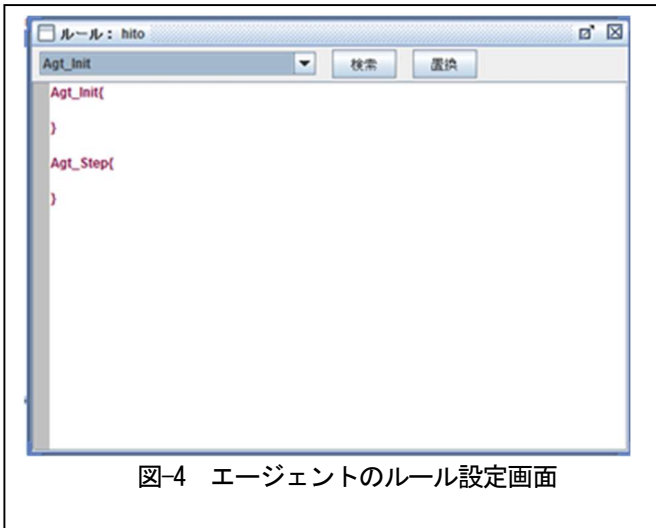


図-4 エージェントのルール設定画面

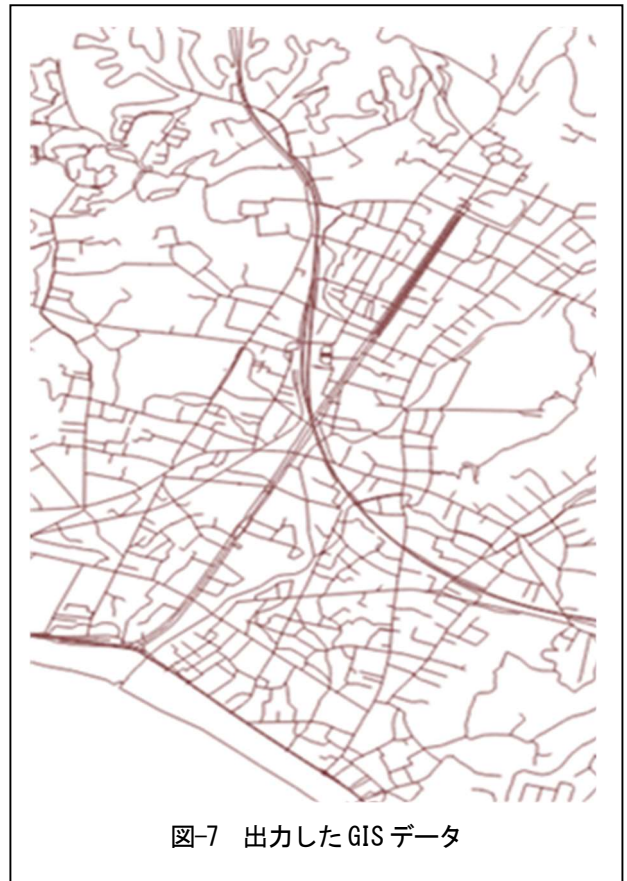


図-7 出力した GIS データ

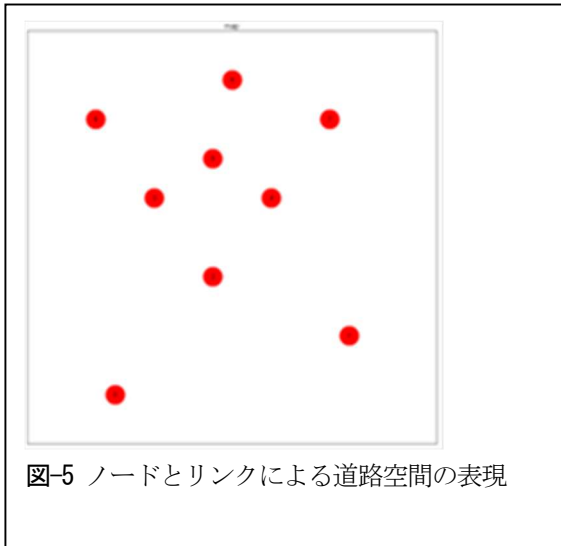


図-5 ノードとリンクによる道路空間の表現

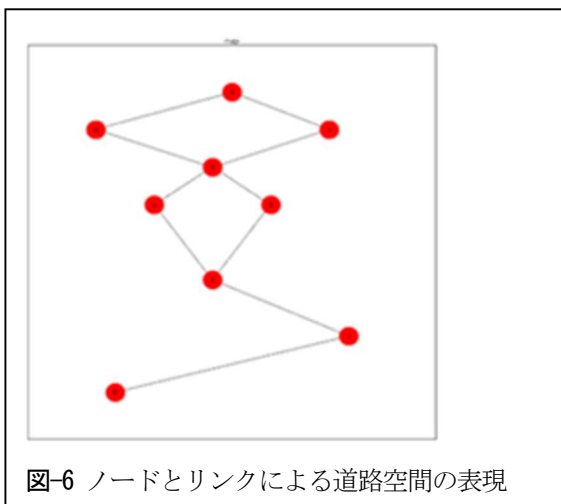


図-6 ノードとリンクによる道路空間の表現

エージェントのルール設定は図-3 内の hito を選択したのち、図-4 の Agt_Init および Agt_Step にルールを書き込むことにより完了する。エージェントが行動する空間は図-5 および図-6 に示すように、道路網を、接続部の座標を示すノードとノード間の接続関係を示すリンクで構成する。研究で利用する道路網の GIS データはノードとリンクから構成される。また、本研究では構造計画研究所のシミュレーションソフトである artiso2.5, および GIS データ変換用ソフトである GIS Data Converter を利用する。

(4)マルチエージェントシミュレーションの特徴

- ・マルチエージェントシミュレーションはツリーで構成されており、一番上に Universe が存在しその下に空間、エージェント、変数を入力することでシミュレーションを実行する。
- ・エージェントのルールは関数を与えることで構成されている。シミュレーションを実行した最初だけにエージェントにルールを与える関数である Agt_Init とシミュレーションの毎ステップごとにエージェントにルールを与える関数である Agt_Step の 2 つの関数で構成されている。
- ・GIS 道路データを GIS Data Converter より入力すること

が可能であり，**artiosc** 上の空間に道路網を再現することが容易である。

- ・最短経路の探索アルゴリズムを利用することができる。

(5)シミュレーションの構築方法

はじめに研究対象地域となる鎌倉市内の GIS データを **Open Street Map** よりダウンロードする。ダウンロードされた xml ファイルのデータを **QGIS** ソフトを利用して shp ファイルに変換を行う。次に変換した shp ファイルを **GIS Data Converter** を利用して **artiosc** で利用可能である csv ファイルに変換する。さらに，国土地理院地図から **GIS Data Converter** に背景画像をダウンロードする。そして，**GIS Data Converter** から **artiosc** に変換した GIS データと背景画像を取り込む。その後，**artiosc** 上に対象地域と同じサイズの空間，エージェントを作成し，シミュレーションを実行する。

エージェントの行動ルールとしては，以下の項目を考慮する。なお，南海トラフ地震が起こった際に発生する津波エージェントをハザードマップの浸水地域と重なるように作成する。

- ① 避難経路を認知した地元民のエージェント，避難経路を認識していない観光客のエージェントを置く
- ② 年代別の歩行エージェントの移動速度の設定を行う。道路の混雑率を考慮して，移動速度を設定する。
- ③ エージェントに目的地の位置情報を与える。
- ④ 道路が混雑していた場合，迂回するようにルールを与える。すなわち，現在地から常に最適経路を探索するものとする。
- ⑤ 津波から遠ざかるような避難経路とする。

また，年代別歩行速度は以下の表-1 に示す。

歩行速度	男性(m/s)	女性(m/s)	平均(m/s)
10~19	1.33	1.33	1.33
20~39	1.47	1.20	1.34
40~49	1.37	1.25	1.31
50~59	1.25	1.09	1.17
60~69	1.12	0.99	1.05
70~	0.96	0.88	0.92

(6)避難所までの最短経路の算出方法

マルチエージェントシミュレーションにおいて最短経路の算出方法にはダイクストラ法と A*探索アルゴリズムの2種類が存在する。

- ・ダイクストラ法とは

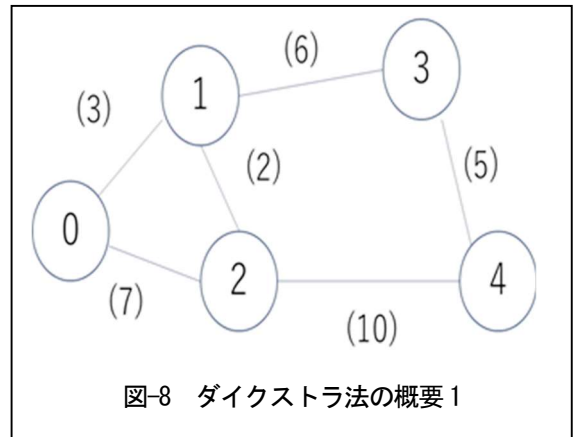


図-8 ダイクストラ法の概要 1

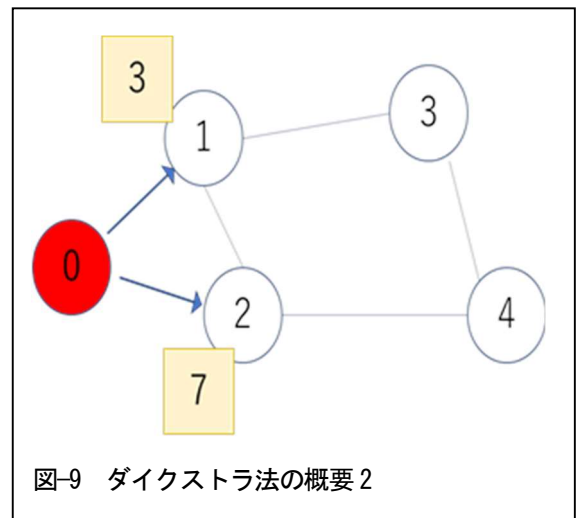


図-9 ダイクストラ法の概要 2

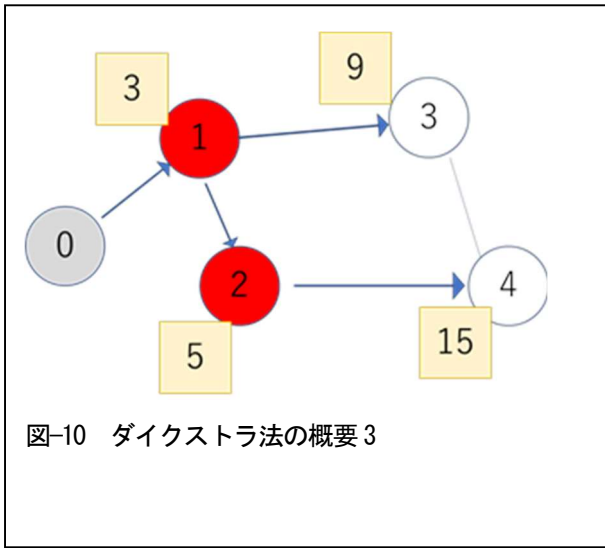


図-10 ダイクストラ法の概要 3

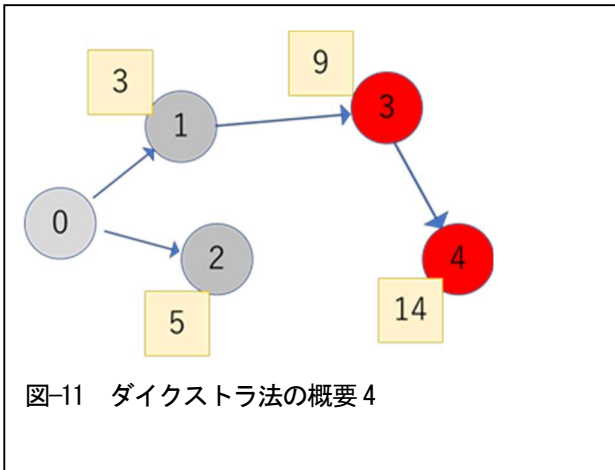


図-11 ダイクストラ法の概要 4

ダイクストラ法の実例の説明を図-8 から図-11 を用いて以下に示す。

図-8 のポイント 0 から 4 はそれぞれノードを表して、それらをつなぐ線はそれぞれリンクを表している。またカッコ内の数値は各リンクのコストを表している。本研究でのコストとは道路の距離を意味することとする。ポイント 0 の地点をスタート地点のノードとし、ポイント 4 の地点をゴール地点のノードとする。はじめにポイント 0 に接続するリンク 0→1, 0→2 を抽出し、それぞれのリンクのコストを算出する。次にポイント 1 に接続するリンク 1→2, 1→3 を抽出すると同時に 2→1, 2→4 を抽出する。ポイント 2 のコストは 0→1→2 を通った場合に最小となるため、コストは 5 に更新される。次にポイント 3 およびポイント 4 のコストを算出する。その後ポイント 3 に接続するリンク 3→4, ポイント 4 に接続する 4→3 を抽出する。ポイント 4 のコストは 0→1→3→4 を通った場合に最小となるため 14 に更新される。このよう

にスタート地点のノードからゴール地点までのノードのコストを算出し、最少のコストのルートを求めることで最短経路を自動的に探索することができる。

・ A*探索アルゴリズムとは

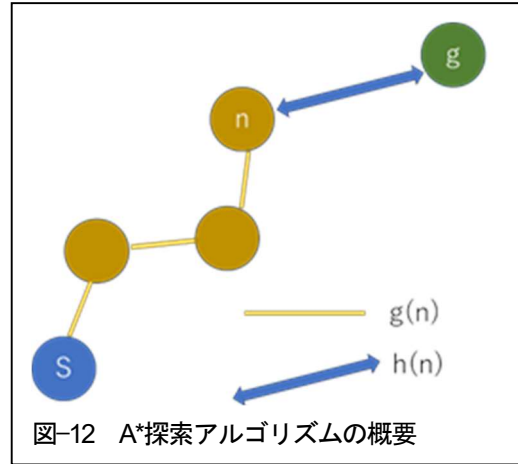


図-12 A*探索アルゴリズムの概要

A*探索アルゴリズムとはスタートノードから順次経路を探索していく際に、推定距離を用いてゴールまでの距離が短くできそうなノードから優先的に探索していくアルゴリズムのことである。以下に A*探索アルゴリズムの具体例を図-12 を用いて示す。

はじめにノード n について、スタートからノードまでの距離 $g(n)$ と、ノード n からゴールまでの推定距離 $h(n)$ を計算し、その和である $f(n)$ を随時更新していく。以下に示すものは計算式である。

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

次に $f(n)$ が近いノードから優先的にその先への探索を実行していく。

・ 2種類の算出方法の差異

ダイクストラ法と A*探索アルゴリズムの違いは大工しトラ法はスタートノードからすべてのノードへの最短経路を求めるのに対し、A*探索アルゴリズムはゴールまでの直線距離等の推定値を元にして、スタートからゴールに近いと思われる。点から順次探索するという点である。

なお、本研究にダイクストラ法を用いると最短経路探索に多くの時間がかかり効率が悪いことから A*探索アルゴリズムを用いる。

(7) 研究対象地域の選定



図-13 鎌倉市内対象地域

研究対象として、南海トラフ地震防災対策推進地域（震度 6 以上、津高 3m 以上で海岸堤防が低い地域）および南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域（津波により 30cm 以上の浸水が地震発生から 30 分以内に生じる地域、特別強化区域の候補市町村には含まれた沿岸市町村）に指定されている神奈川県鎌倉市を選定した。

さらに、鎌倉市の津波浸水ハザードマップより津波が発生した際に浸水すると予想される鎌倉市の御成町、小町 1 丁目、材木座 1 丁目・3 丁目・5 丁目・6 丁目、由比ガ浜 2 丁目・4 丁目地域を避難シミュレーションの対象地域とした。鎌倉市は、年間の観光客数が多い海沿いの街区であるにもかかわらず、ハザードマップと津波再現動画があるのみで、津波避難に関する先行研究がされていなかったことも研究対象地域に選定した理由である。

表-2 に鎌倉市内対象地区の年代別人口を、表-3 に月別の観光客数を示す。シミュレーションの想定時期については、海水浴客等の観光客の多い 8 月の土日祝日とする

また、鎌倉市の難題別人口および月別観光客数を以下に示す。

表-2 鎌倉市の年代別人口（平成 29 年度）

	10~19(歳)	20~39(歳)	40~49(歳)	50~59(歳)	60~69(歳)	70~(歳)
鎌倉市御成町	70	197	172	112	202	314
鎌倉市小町1丁目	19	76	40	36	40	83
鎌倉市材木座1丁目	83	172	177	121	174	199
鎌倉市材木座3丁目	120	313	222	171	221	295
鎌倉市材木座5丁目	117	279	281	156	192	230
鎌倉市材木座6丁目	99	262	217	125	175	201
鎌倉市由比ガ浜2丁目	115	332	274	166	254	354
鎌倉市由比ガ浜4丁目	72	156	158	104	130	160

表-3 月別観光客数(平成 25 年度)

10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	80代
1万5千人	1万3千人	1万8千人	2万9千人	2万2千人	2万3千人	2万2千人	1万4千人

(8)研究対象地域の津波避難に関する課題

現在、研究対象地域で挙げられる課題を以下に示す。

- ・材木座 3 丁目および材木座 5 丁目は、海拔 3m 前後と低いいため津波の浸水が考えられる。また、滑川による津波の遡上が予想される。
- ・材木座 3 丁目および材木座 5 丁目における鎌倉市指定の津波避難建築物は 3ヶ所と少ないため住民に加えて、海水浴客等の観光客を考慮すると避難所の収容人数が不足している。そのため避難所だけでなく高台への避難経路も考慮する必要がある。
- ・海水浴客の多い由比ガ浜地区は海岸からの出入り口が狭いため、避難の際に避難者が集中するため混雑する可能性が高い。
- ・海水浴客の多くは土地勘がない
- ・滑川にかかる橋梁に多くの避難者が集中することが予想される。
- ・避難方向を示す看板が設置されているものの、表示が小さくわかりづらい。また表示の間隔が長く、途中で方向がわからなくなる。

(9)研究対象地域における被害想定と対策

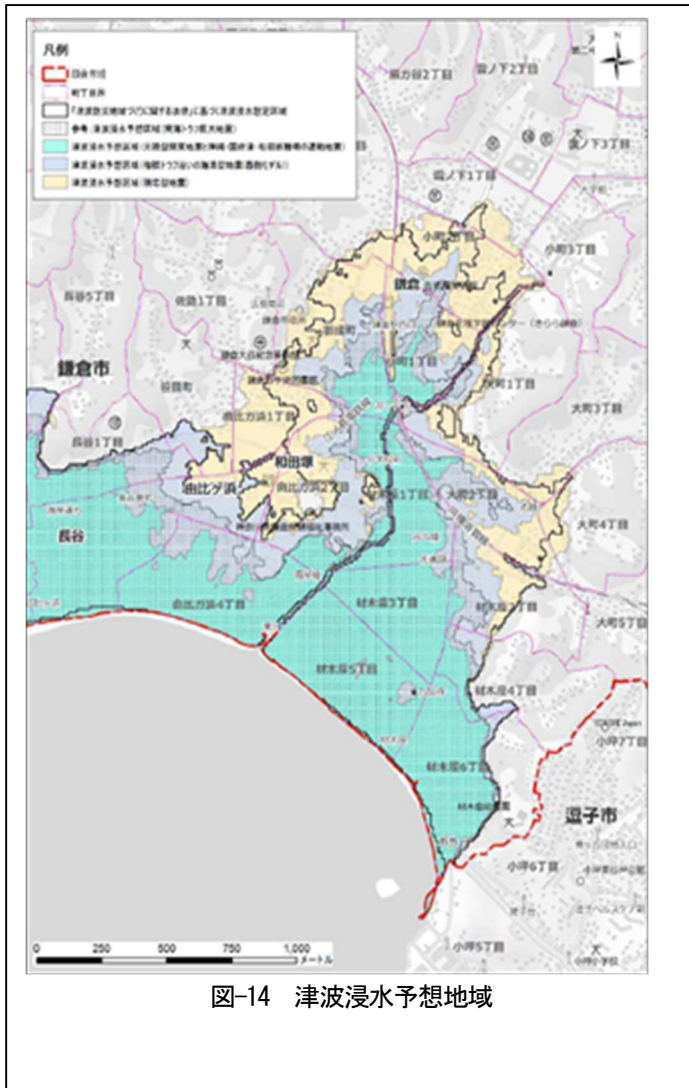


図-14 津波浸水予想地域

鎌倉市防災本部により様々な地震が原因の津波による最大浸水面積，最大津波高さ，最大津波到達時間等の災害想定がされている。最大津波高さは相模トラフ沿いのM8.7海溝型地震で14.5m(七里ガ浜地区)，最大津波到達時間はM8.7元禄型関東地震で8分(由比ガ浜地区)と大きな被害が予想されている。

鎌倉市は津波被害の想定と同時に、津波が発生した際の一次避難場所の確保のため、津波浸水区域内の公共施設や、民間ビルの協力を得て、津波避難建築物の指定を勧めている。また、津波浸水区域内での公共施設の新設や建て替えを行う際に、外部の階段や避難スペースを整備することで津波避難ビルに指定していく取り組みを行っている。

(10) シミュレーション結果および考察





図-17 開始後 30 ステップ



図-18 開始後 40 ステップ

図-18 開始後 40 ステップ



図-19 開始後 40 ステップ



図-20 開始後 40 ステップ

シミュレーションを言語から学び構築してきたシミュレーションであるため、現実とは違う箇所がいくつかあるが、図-15から図-20の結果より避難所付近の細い道路で混雑が見られた。そのため混雑を回避できるように広い道路への誘導等の標識を設置することが有効であると考えた。また、避難所が密集している地区と過疎している地域があるため過疎地域の一時避難場所の増設の促進を行うべきだと考えた。

(11) 今後の課題

今回の避難シミュレーションでは道路の幅員、混雑状況による迂回経路の探索、避難所の収容人数、年齢別歩行速度、車両の利用等の設定を行っていなかったため、今後はそれらの条件を踏まえたシミュレーションの構築を目標とする。また、今回のエージェントのゴールは避難所のみだったため高台へ避難するエージェントは存在しなかった。次回は新たな避難所および高台を設置することで、より現実に近いシミュレーション環境を構築し、震災の際の避難に役立つような資料の作成を尾 k まで行う。

参考文献

- 1) 山陰進：人工社会構築指南-artisoc によるマルチエージェントシミュレーション入門-
- 2) 国土地理院：地理院地図
<https://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j010u0t0z0r0f0>, 2017.11.23 閲覧.
- 3) 鎌倉市津波浸水予測図, <https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/documents/tsunamib3.pdf>, 2017.11.23 閲覧.
- 4) 内閣府：南海トラフ地震防災対策推進地域・南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域,
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/nankaitrough_chizu.pdf, 2017.11.23 閲覧.
- 5) 構造計画研究所：MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/>, 2017.11.23 閲覧.
- 6) Open Street Map Japan：自由な地図をみんなの手に, 2017.11.23 閲覧.
<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/soumu/toukei/nenreitiikibetu/nenreitiikibetumokuji.html>
- 7) 鎌倉市／地域別・町丁字別の年齢別人口：, 2017.12.28 閲覧.
- 8) A*探索アルゴリズム：<https://ja.wikipedia.org/wiki/A>
2018.1.30 閲覧
- 9) ダイクストラ法：<https://ja.wikipedia.org/wiki/>
2018.1.30 閲覧