ゲームエンジンを用いた津波ハザードマップ

川合康央[†1]　　海津ゆりえ[†2]

現在，ハザードマップは地方自治体が主となり作成されるが，その元となるデータは大規模な計算による手法を用いており，防災計画の見直しの際に自治体レベルでシミュレーションすることは難しい．本研究では，ゲームエンジンとオープンデータを使用した低コストの津波避難シミュレーションシステムを開発したものである．避難場所の課題を明らかにするために，自律的に避難先を検索し，指定された速度で避難行動をするエージェントを用いた．エージェントは 3 つの歩行速度と災害条件，2 つの避難行動パターンのものを用意し，エージェントの数と比率を自由に変更可能なものとした．シミュレーションの結果、内陸部でも津波の被害者が集中している場所が明らかとなった．

Tsunami Hazard Map Using Game Engine

YASUO KAWAI[†1]　YURIE KAIZU[†2]

Currently, hazard maps are developed using computationally expensive techniques and must be revised after a major disaster. Therefore, we developed a low-cost tsunami evacuation simulation system using a game engine and open data. We also developed an agent that performs evacuation actions and autonomously searches for evacuation destinations and evacuation behaviors at specified speeds in order to clarify current issues with the location of evacuation sites. The agent prepared three walking speeds, three disaster conditions, and two evacuation behaviors and could freely change the number and ratio of agents. The simulation results revealed locations with high concentrations of tsunami victims, even in inland areas.

1. はじめに

海底地形の短時間での急激な変形による衝撃波によって発生する津波は，低波高であっても非常に強い水の圧力を持ったものであり，海に面した地域の広い範囲にわたって大規模な人的，社会的被害を与える[1]．これまで，主に地形データと津波波動の数値計算から，津波到達時間や地形による津波流速の増減などについて，多くの研究がなされてきた[2][3]．これらは，波長数キロレベルの津波と地形の関係について着目したものであり，国土レベルでの防災計画を検討する際に非常に重要なものである．一方で，地域住民にとって最も身近な防災情報である津波ハザードマップは，主として地方自治体によって作成が行われている．そこでは，国等から提供された津波シミュレーションのデータをもとに，実際の地域の実情に合わせて，津波予測と防災計画が行われている．しかし，提供されるデータによって防災計画を策定するため，元となるデータが大幅に変更されると，地方自治体は防災計画を大幅に見直すこととなる．また，地方自治体レベルでは，これまでの津波シミュレーションシステムそのものの構築や運用が，コスト面から不可能であるため，市単位での詳細なシミュレーションを，様々な条件で試行することは難しい．鎌倉市では，東日本大震災以前と以後の大規模なデータ更新のため，ハザードマップの再作成が行われている（図 1）．そこでは，浸水深さと浸水範囲が大きく更新されており，地域の防災計画に大きな影響を与えることとなった．

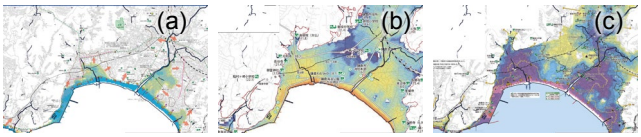

図 1　鎌倉市における津波ハザードマップの推移: a) 2009, b) 2012, c) 2013.（文献[4][5][6]をもとに著者作図）

Figure 1　Evolution of tsunami hazard maps in Kamakura City: a) 2009, b) 2012, c) 2013 (Drawn by the author using previous literature [4][5][6]).

本研究では，ゲームエンジンとオープンデータを用いることによって，低コストで地域の実情を詳細に反映したシミュレーションシステムの構築を行うこととした．本システムでは，特に避難行動に着目して，被災が予測される個所を可視化し，防災計画に資するデータを提供することを目的とする．これまで本研究では，津波避難行動の可視化に関する研究を行ってきた[7]．本報では，避難行動アルゴリズムを再検討し，被災地域に予測される人口とほぼ同規模の 1 万体のエージェントによるシミュレーションシステムの開発と，同システムによる評価について報告する．

2. システムの開発

2.1 地理情報について

本システムでは，地理情報として，国土地理院の基盤地図情報サービス[8]を用いることとした．本サービスは，地

†1 文教大学情報学部
Faculty of Information and Communications, Bunkyo University
†2 文教大学国際学部
Faculty of International Studies, Bunkyo University

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

理空間情報活用推進基本法第 18 条第 2 項の基盤地図情報の提供を目的としたものであり，基盤地図情報を無償でダウンロード可能なものである[9]. ここから，XML 形式で対象地域である相模湾沿岸地区の GIS データをダウンロードし，基盤地図情報ビューアを用いて，Shape 形式に変換した. これをオープンソースの GIS ソフトウェアである QGIS 上に，ベクタレイヤとして取り込み，高さ情報を持った 3 次元地理モデルを作成した．QGIS 上で必要な情報を加工したモデルを，地形，道路，建築物の 3 つのレイヤとして，それぞれ STL 形式で書き出し，オープンソースの 3DCG 開発環境である Blender 上に読み込んだ．Blender 上では，道路データの点群から，道路面にポリゴンを生成するなどの処理を行い，FBX 形式のデータとして書き出した．これらの 3D データを，ゲームエンジン UNITY 上に読み込み，種々のインタラクションを施すこととする.

2.2 津波浸水について

内閣府などが作成した津波・高潮ハザードマップ[10]によれば，浸水予測手法は，作成目的・評価対象に応じた精度が求められるとされている．数値計算によるシミュレーションは，津波の時間経過や地点ごとの浸水深などを精度よく得られるが，計算コストが高いものとなる．一方で，地盤高による設定手法は，低コストで実施できるが，正確な流速や津波遡上の時系列的な影響が予測されない．そこで本システムでは，地盤高による設定手法をベースとしつつ，津波モデルを一定速度で移動させることによって，時系列を部分的に考慮したモデルを採用することとした．ここでは，津波を表すモデルとして，0.1 度回転させた傾斜平面を用意し，これを地形モデルに時速 40km/h で挿入することで，標高に応じた時系列浸水を再現した（図 2）.

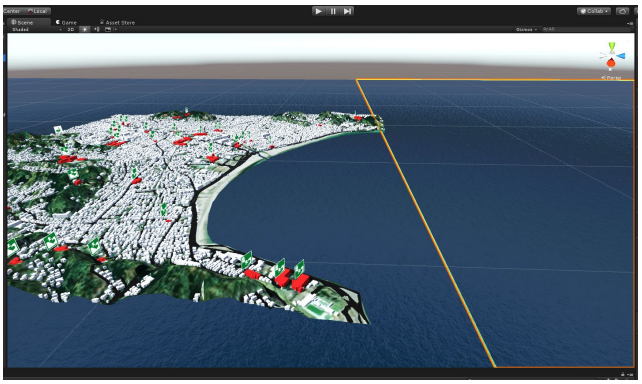

図 2　津波を表す傾斜平面

Figure 2　Inclined Plane Representing Tsunami

2.3 津波避難エージェントについて

津波から自律的に避難するエージェントを作成した．前報で開発した避難行動アルゴリズムを改良することによって，システムの動作軽量化をはかり，同時に 1 万体のエージェントが避難行動を行うものとして開発を行った．避難するエージェントは，避難行動として，在住者と来街者の 2 種類を想定している．在住者は，避難場所を予め知っているエージェントとして設定されており，津波発生後に，自らの座標から最も近い位置にある高台または津波避難ビルに向かって，定められた速度で移動する．津波避難ビルには収容定員が設定されているため，避難したエージェントが到着した際に収容定員を超えていた場合，現在の座標から最も近い他の避難先を再度検索し，避難行動を再開する．一方で来街者は，避難先を知らないエージェントとして設定されており，津波発生後，自らの座標に最も近いエージェントに従って避難行動する. また, 年齢属性として，成人，児童，高齢者の 3 種類を用意した．成人は，移動速度 1.5m/s，被災津波深さ 0.6m とし，児童は，同 1.2m/s，0.3m，高齢者は同 1.0m/s，0.6m とした[11]（図 3, 4）.

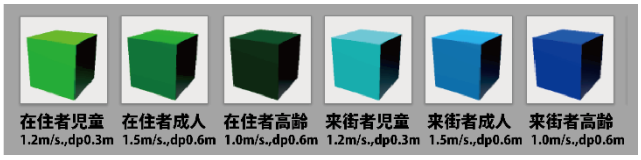

図 3　避難行動パターンと年齢属性による被災条件の異なるエージェントの種類

Figure 3　Types of Agents with Different Evacuation Behavior Patterns and Disaster Conditions Depending on Age Attributes

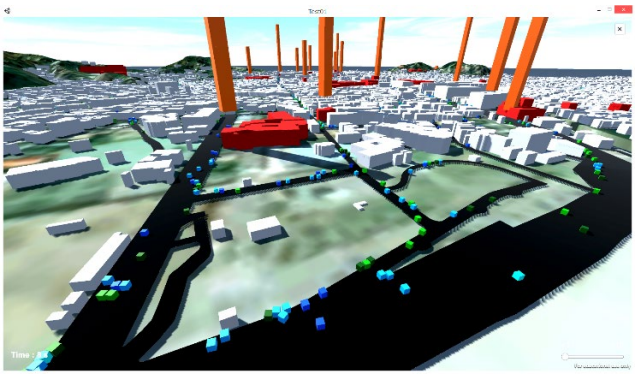

図 4　エージェントの避難行動パターン：津波避難ビルまたは高台に避難する在住者エージェント（青）と他のエージェントに追随する来街者エージェント（緑）

Figure 4　Evacuation Behavior Patterns: Resident Agents (Blue) Who Evacuate to Tsunami Evacuation Buildings or Higher Ground and Visitor Agents (Green) Who Follow the Other Agents.

本システムでは，シミュレーション開始後，設定画面で登録したエージェントが，範囲内にある道路面上にランダムに配置される．在住者エージェントは，自らの座標から最も近い位置にある高台または赤色で表された津波避難ビルを夫々検索し，見つかった避難場所を目指して設定された速度で移動する．一方，来街者エージェントは，最も自分から近いエージェントを検索し，これに追随して定められた速度で避難する．設定された津波高さ以上の高台または津波避難ビルに収容されたエージェントは，避難完了者

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

としてオレンジ色のバーで表されることとなり，どの津波避難ビルに避難者が集中しているのかを可視化する．一方で，津波を表す傾斜平面が，エージェントに設定された被災津波高さ以上の値となった時，当該エージェントは被災したとして判定され，その場でピンク色のバーとなり，被災した位置に留まる．ピンク色のバーが集中している箇所が，被災者が多く発生する地域であると考えられる（図 5）．

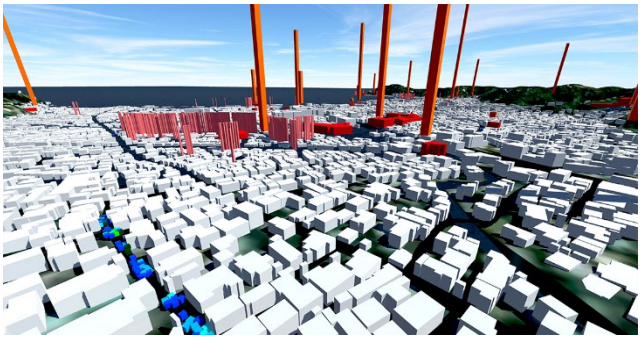

図 5　津波避難ビル（赤），収容者数（オレンジ），エージェントの被災箇所（ピンク）

Figure 5　The Tsunami Evacuation Buildings (Red), Number of Housed “Evacuation-Completed” Agents (Oranges), and “Disaster-Afflicted” Agents (Pink).

2.4　システムによるシミュレーションについて

シミュレーションの結果，津波高さに応じて等比級数的に被災率が増加することが分かった．また，成人エージェントと比較して，被災する津波高さの低い児童エージェントと，移動速度の遅い高齢者エージェントは，被災率が高いものとなった．また，低地が続く市街地では，内陸部においても被災者が集中してみられる箇所が見られた．内陸部に河川が入り込んだ低地の周辺では，津波が河川を遡上し，海岸からの津波と挟まれる個所があり，多くの被害が発生した．一方で，避難者は津波発生後に避難していたが，避難行動中に内陸部で津波被害に遭遇する事態も見られた．適切な避難場所の策定と誘導が必要であると考えられる（図 6）．

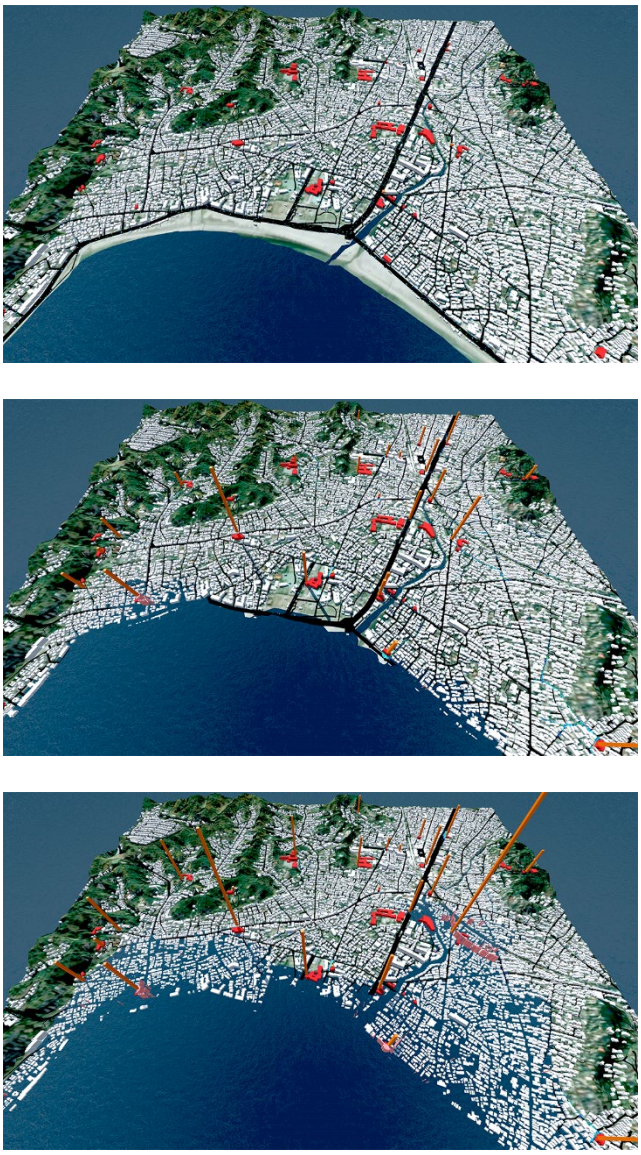

図 6　システムによる津波シミュレーションとエージェントの避難行動（上段：津波到達直後，中段：津波到達後 5 分後，下段：津波到達後 10 分後）

Figure 6　Tsunami Simulation and Evacuation Behavior by the System (Upper: 0 minute after tsunami arrival, Middle: 5 minutes after tsunami arrival, Lower: 10 minutes after tsunami arrival.)

3.　まとめ

本研究では，ゲームエンジンを用いた津波避難行動シミュレーションシステムを開発し，シミュレーションによる評価を行った．結果，沿岸部だけでなく内陸部でも大きな被害が発生する箇所が明らかとなった．今後，多くの被災が予測される箇所においては，地方自治体と地域住民の協働によって，適切な津波避難ビルの配置計画と指定が必要であると考えられる．

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K02080, 19K12665 の助成を受けたものです.

参考文献

1) 松冨英夫, 首藤伸夫：津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, Vol.41, pp.246-250 (1994).
2) 相田勇：陸上に溢れる津波の数値実験-高知県須崎および宇佐の場合,地震研究所彙報,Vol.52,pp.441-460 (1977).
3) 首藤伸夫, 永井孝志：津波の数値シミュレーションと可視化, 可視化情報学会誌, Vol.14, No.52, pp.2-6 (1994).
4) (参考)鎌倉市津波ハザードマップ(平成 21 年 7 月作成) https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/tsunamihm.html
5) 鎌倉市津波浸水予測図（暫定版）を公開します https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/tsunamihm_zantei.html
6) 鎌倉市津波ハザードマップ https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/2503tshunamihazardmap.html
8) 基盤地図情報ダウンロードサービス https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php
9) 地理空間情報活用推進基本法・基本計画の概要 https://www.gsi.go.jp/chirikukan/about_kihonhou.html
10) 内閣府, 農林水産省, 国土交通省：津波・高潮ハザードマップマニュアル, 沿岸開発技術研究センター, 2004.
11) 岡本睦, 目黒公郎：避難行動シミュレーションに基づく津波避難困難度マッピングシステムの開発, 生産研究, Vol.59, No.3, pp.295-298 (2007).

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan