

津波来襲時の住民避難のための シミュレーション法の開発と実海岸への適用

水工学研究室 大清水 峻介
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震大国である。それは、日本が何枚ものプレートが集中する場所に位置しており、そのプレートが活動するからである。いくつものプレートが交差している日本は地震が起こりやすく、津波も起きやすい。

2011年の東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートと北米プレートの境界域における海溝型地震であり、南海トラフが「東海地震」、「南海地震」、「南海地震」の原因となる境界線である。この南海トラフは、四国の南の海底にある水深4000m級の深い溝で、非常に活発で大規模な活断層である。

南海トラフでの地震は、今後発生する可能性が非常に高く、津波の危険性も高い。この津波の対策を考える必要がある。

2. 研究の目的

行政はいつ起こるかわからない災害に備えてハザードマップなどを作成している。しかし、ハザードマップのような被害予想図は単にその被害を受ける範囲や避難場所を図示しているだけで、すべての人が迅速かつ安全に避難できることを保障するものではない。どの範囲まで被災するかは理解できても、災害発生から事態が収束するまでの間にどのような変化が起きるか、といったことまで想像することは難しい。このことから、誰もが理解できるように視覚に直接訴えかけるようなハザードマップが必要となる。

本研究では神奈川県鎌倉市を対象領域として、マルチエージェントシステムと Google Earth を用いて、避難行動の手助けとなる浸水状況のアニメーションを作成することができるシミュレーション法を開発し、実海岸への適用することを目的とする。

3. マルチエージェントシステムとは

マルチエージェントシステム (Multi-Agent System, MAS) とは、それぞれ異なった判定アル

ゴリズムなどの特徴を持ったエージェントモデルを用い、複数かつある一定以上のエージェントを多数設定し、人工社会を構成しそれぞれ特徴の異なったエージェントの相互作用をシミュレーションするシステムのことである。

今回、このマルチエージェントシステムでシミュレーションモデルを作成するために **artisoc** (アーティソック : **artificial societies**) を用いている。この **artisoc** は、誰もが簡単に構築できることをコンセプトに設計されたシミュレーションプラットフォームであり、プログラミング初心者でも簡単に扱えるユーザフレンドリーなツールである。

4. シミュレーションモデルの構築

シミュレーションモデルを作成するにあたって、交差点座標情報、浸水開始情報、避難者情報、最短経路情報が必要となる。

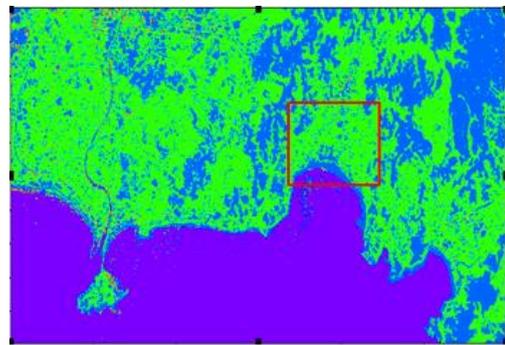


図-1 津波発生範囲

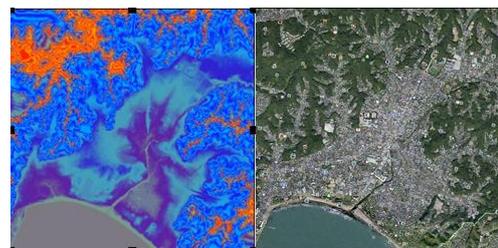


図-2 シミュレーションモデル作成領域とその航空写真

本研究では図-1の範囲で津波を発生させた。そして、赤枠をシミュレーションモデルの作成領域に決定した。

図-3にシミュレーションモデル作成の流れを記す。

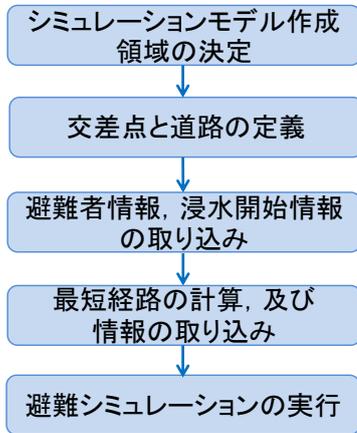


図-3 シミュレーションモデル作成の流れ

5. 津波の数値計算法

流体運動は非圧縮性流体を仮定するため、ナビエ・ストークス方程式と連続式によって支配される。数値計算の基礎方程式は、これらの式を鉛直方向に積分して水深で除することにより、平面二次元とした非線形長波方程式を用いる。以下に連続式(1)と運動方程式である非線形長波方程式(2)を示す。ただし、水塊が不連続となった場合には、後述する越流公式(3)を用いる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots(1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) \\ &= -gh \frac{\partial(z^* + h)}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \end{aligned} \quad \dots(2)$$

$$M, N = 0.35h\sqrt{2gh} \quad \dots(3)$$

x, y : 水平座標 M, N : x, y 方向の線流量
 g : 重力加速度 t : 時間 z* : 地盤高 h : 水深
 A_h : 水平粘性係数 n : マニングの粗度係数

6. シミュレーションモデルと津波解析の連動および実海岸への適用

本研究では相模湾から津波が押し寄せた場合、住民がどのようにして避難するかというシミュレーションモデルを作成する。

津波解析とシミュレーションモデルを連動させて実行すると図-4のような画像が生成される。

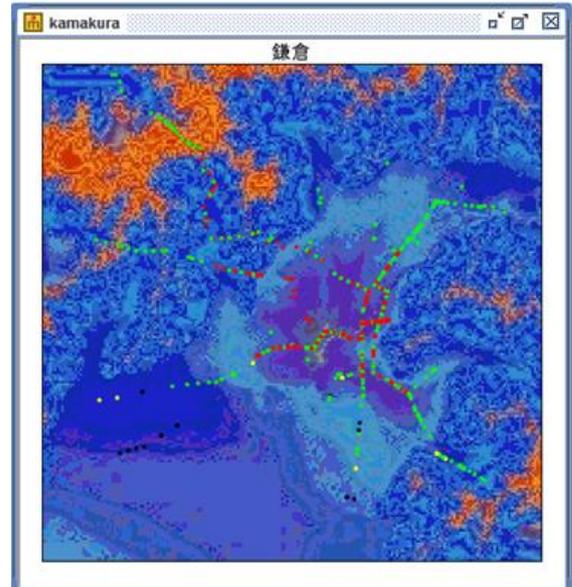


図-4 津波の過程と避難する人々

津波解析とシミュレーションモデルの連動で出力された画像ファイルを繋げると、1つのアニメーションが生成される。さらに今回は Google Earth 上に画像ファイルを落として「建物の3D表示」を用いることによって立体的に見えるようにした。



図-5 Google Earth 「建物の3D表示」

7. シミュレーションの結果

今回は3か所の避難所を設定し、それぞれのシミュレーションを行い、それぞれの死亡率を比較する。これによってどの避難所がよいか検討した。

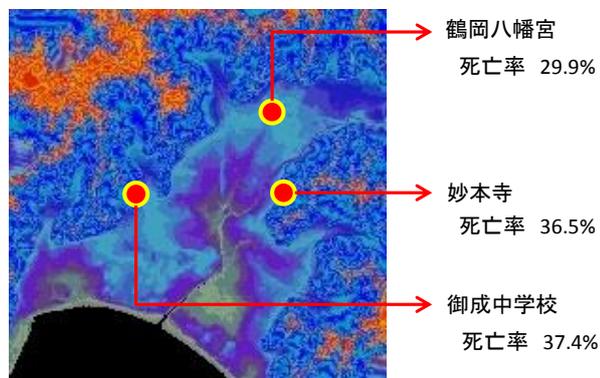


図-6 それぞれの避難所の位置と死亡率

鎌倉市に津波が来襲した場合、鶴岡八幡宮が避難所として適しているといえる結果になった。次いで妙本寺を避難所とした場合の方が御成中学校を避難所とした場合よりも僅差で死亡率が低い結果となった。しかし、この結果はあくまで今回のシミュレーションを実行して出された結果だけであって、避難所の数を増やしたり、遠い避難所ではなく近くの高台に避難すれば津波の被害に遭う人間は減少する場合もある。

8. まとめ

本研究では神奈川県鎌倉市を対象領域にして津波解析を行い、*artisoc* で避難シミュレーションモデルを作成して連動させた。避難シミュレーションモデルで生成された画像を繋げてアニメーションにしたり、画像を *Google Earth* に取り込ませ、立体表示にして視覚的にも見やすいものにした。これは本研究の目的である「避難行動の手助けとなる浸水状況のアニメーションを作成することができるシミュレーション法を開発し、実海岸への適用する」を達成している。しかし、今回の避難シミュレーションモデルには様々な制約と制限が掛けられ、エージェントは限定的な条件の中で機械的に最適な経路を導き出して指定された避難所まで移動するものである。よって、この避難シミュレーションはあくまで目安として用いることになる。

9. 今後の課題

より実用的な避難シミュレーションモデルにするためには、避難経路を主要な道路だけ選ぶのではなく、場合によって細い路地を通るようにする、避難所の選択肢を増やす、津波の浸水速度に違いを出す、避難者の逃げようとする意志の差異、避難するための手段（車、徒歩など）、誘導者の有無といったものをシミュレーションモデルのプログラムに取り込ませることによって、エージェントの避難行動パターンを多彩にする必要がある。

また、今回の避難シミュレーションは、鎌倉市を対象領域としてポイント（交差点）とリンク（道路）を定義して処理をさせたが、その処理時間が長かった。現実の街で避難シミュレーションを作成するには、さらにポイントとリンクを増やすことになる。そうすると処理時間がまだ長くなるため、処理の高速化を考えたい。

参考文献

- 1) 人口社会構築指南 書籍工房早山 山影進
- 2) *artisoc* で始める歩行者エージェントシミュレーション 構造計画研究所 兼田敏之
- 3) 片田敏考, 木村秀治, 児玉真:災害リスク・コミュニケーションのための洪水ハザードマップのあり方に関する研究 概要集
- 4) 細山田得三, 早川典生, 加納裕美, 酒井彩美 (2002):微細な地形標高を考慮した都市型中小河川の氾濫数値計算, 水工学論文集, 第46巻, pp253-258.
- 5) 『人工社会構築指南』
<http://citrus.c.u-tokyo.ac.jp/artisoc/textbook/>
- 6) Paint.NET-窓の杜ライブラリ
www.forest.impress.co.jp/library/software/paintdotnet/
paint-net.softonic.jp/
- 7) 日本の災害対策 内閣府

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教員の細山田教授から熱心なご指導と丁寧なご助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。