

避難主体の個性を考慮した河川氾濫の避難シミュレーション

長岡技術科学大学大学院工学研究科 建設工学専攻 水工学研究室 澤田 命
長岡技術科学大学 環境・建設系 細山田 得三

1. はじめに

夏季の豪雨によって中小都市の浸水被害が増加している。例として2004年や2011年に起きた新潟福島豪雨や2012年の九州北部豪雨、2013年には山口島根豪雨や台風18号によって大きな被害を受けた京都などがある。この中で新潟県を取り上げると長岡市がその中小都市に、柿川が浸水被害の原因になる。これは既に開発されている住宅街に重機を入れることが難しく、河川の整備ができないためその対策ができないことが原因である。



図-1 長岡市の狭い路地

また、2007年の新潟県中越沖地震や2008年岩手・宮城内陸地震、2011年の東北地方太平洋沖地震などの自然災害によって人々の防災意識がそれまで以上に高まり、市区町村でも防災対策に力を入れるようになった。そのひとつとしてハザードマップの整備がある。しかしこのハザードマップにはいくつか問題点があり、紙面や画像形式での配信となるため表現に限界があったり、仮定された条件の限定的な予測しかできなかつたりと重大な欠点がある。近年ではアニメーション形式の動くハザードマップが整備されているが、それでも避難者の動きが一樣であるなどまだ実際の避難に即しているとは言えない。そのため避難者にパニックや動揺といった不明瞭な値を付加した動的なモデルを作成する必要がある。本研究ではまず、マルチエージェントシステムと、氾濫解析による結果を合成することにより、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した。さらにそれを用いて対象領域内部のいくつかの避難所の安全性の評価を行うが目的である。

2. マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムとは、あるルールに従って行動する複数のエージェント（端的には人）が、相互作用しながら時間的に変化する様子を追跡するプログラムツールである。このシステムの1つの利用形態としては、コンピュータ上で構成された人工社会の動きが挙げられる。伝染病の感染、交通渋滞、噂の伝播などの人間活動や、森林火災、拡散凝集現象などが挙げられる。

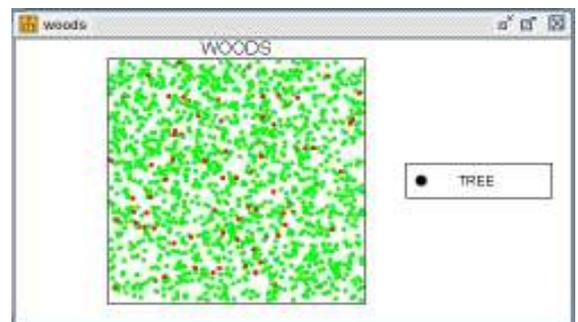


図-2 交通情報の分布の実例

3. 水害を対象としたマルチエージェントシステムの構成

本研究では河川の氾濫によって居住区が浸水した場合、住民がどうやっ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。このシミュレーションを行うために、対象地域の氾濫解析や位置情報といった座標データが必要となる。その座標データとして必要なものが、浸水開始情報、交差点標高情報、避難者情報、最短経路情報等である。これらは、すべて csv 形式のテキストファイルであり、避難者などの座標データをマルチエージェントシミュレータに読み込んで、解析を行う。その場合、解析に必要な道路や交差点といった交通情報を具体的に取得しておく必要がある。

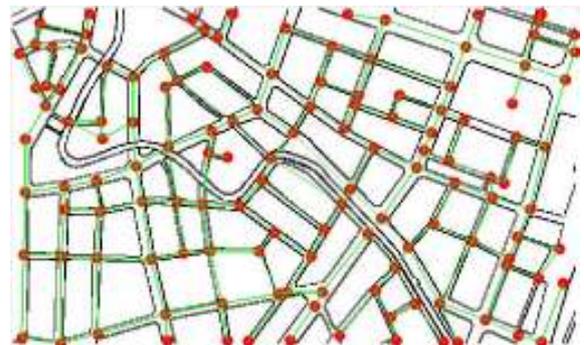


図-3 交通情報の分布の実例
(長岡市中心部付近)

今回はマルチエージェントシミュレータのひとつである「artisoc」を用いて、シミュレーション・モデルの作成やシミュレーションに必要な情報の定義を行う。その定義付けを行ったものが図2であり、丸い点が交差点を、道路を通る中心線が交差点と交差点とを結ぶ通路となっている。今回のシミュレーション・モデルでは、避難者が丸い点に配置されることになる。そして移動は中心線上のみ可能であり、その上にあるという制約の下でどのようにして避難するかを調べる。

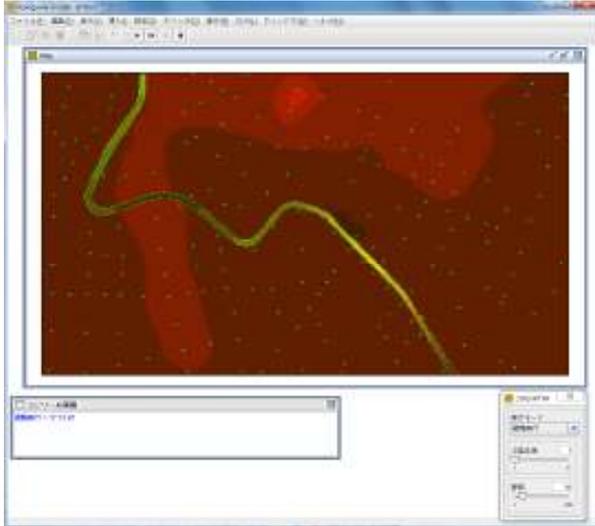


図-4 マルチエージェントシミュレータ「artisoc」

本シミュレーション・モデルでは避難者の最短経路を検索するために、ダイクストラ法を用いて避難者の経路の初期値を作成する。ダイクストラ法とは、グラフ理論における最短経路問題を解くためのアルゴリズムである。このダイクストラ法で求めた各エージェントと避難所までの最短経路の誘導に関しては、まだ浸水状況について考慮はしていない。道幅や傾斜といった距離以外の要素も考慮はしていない。これはシミュレーションの簡略化を行うとともに、それぞれのエージェントがより最適な解を出すためでもある。

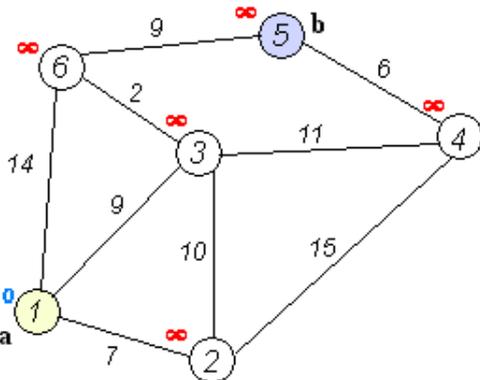


図-5 ダイクストラ法の一例

4. 氾濫解析

artisocでは、エージェントが移動する各直線の端部での節点に対して浸水状況を与えてそれに応じたエージェントの動きを予測する。そのため、先に氾濫解析を行なって浸水状況を取得しておく必要がある。

今回の研究は、新潟県長岡市に位置し、過去に水害が生じた柿川を対象としている。はじめに説明したように、柿川は長岡市にある都市河川で、過去に何度も浸水の被害を受けている。河川氾濫の数値計算は、平面二次元とした非線形長波方程式を用いており、以下に示した連続式(式(1))と運動方程式(式(2))を用いる。ただし、水塊が不連続となった場合には、越流公式(式(3))を用いる。

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

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

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

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

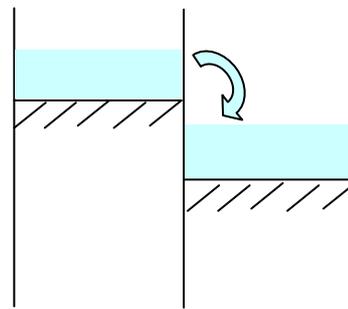


図-6 越流公式の適用

ここに、 x, y は水平座標、 M, N は x, y 方向の線流量、 g は重力加速度、 t は時間、 z^* は地盤高、 h は水深、 A_k は水平粘性係数、 n はマンニングの粗度係数である。以上の方法を時間の進行に伴って繰り返すことにより氾濫流の伝播を計算する。

5. 氾濫解析とマルチエージェントシステムとの連成の結果

作成したシミュレーション・モデルで氾濫解析の過程を取り込んで実行した結果を元に、シミュレーションによって得られるデータを分析していく。シミュレーションの開始から終了までの間に1ステップずつ画像ファイルとして出力される。この図に描かれている丸い点は、それぞれ赤、緑、水色、青の順に足の速さが遅くなっていき、黄が浸水した人、黒が浸水で停止した人を表している。この作業を氾濫解析の対象である柿川で行う。その時、河川周辺で避難場所を2つ仮定する。これによってどちらの避難所がよいかを検討することにする。



図-7 柿川周辺の地形

避難所は柳原分庁舎とアオーレ長岡で、そこへ逃げるにあたって避難に対して理想的な動きとそうでない動きをするモデルを作成した。また、それらのモデルの内浸水域が最も広い氾濫解析を採用したもので、避難開始時刻を10分ずつ遅らせた場合もそれぞれ検討した。効率的な動きをするモデルで避難所が柳原分庁舎の場合、30分後に避難した人間のうち19.22%の人間が波に捕まった。対して避難所がアオーレ長岡の場合30分後に避難した人間のうち58.03%の人間が波に捕まり、避難所へ辿り着けなかった。非効率的な動きをするモデルで避難所が柳原分庁舎の場合、30分後に避難した人間のうち21.63%の人間が波に捕まった。対して避難所がアオーレ長岡の場合30分後に避難した人間のうち63.13%の人間が波に捕まり、避難所へ辿り着けなかった。このことから、今回のシミュレーション・モデルでは柳原分庁舎が避難所として適していることになり、また避難行動に迷いが生じた人間が存在するモデルだと被害者の割合も増加することがわかった。

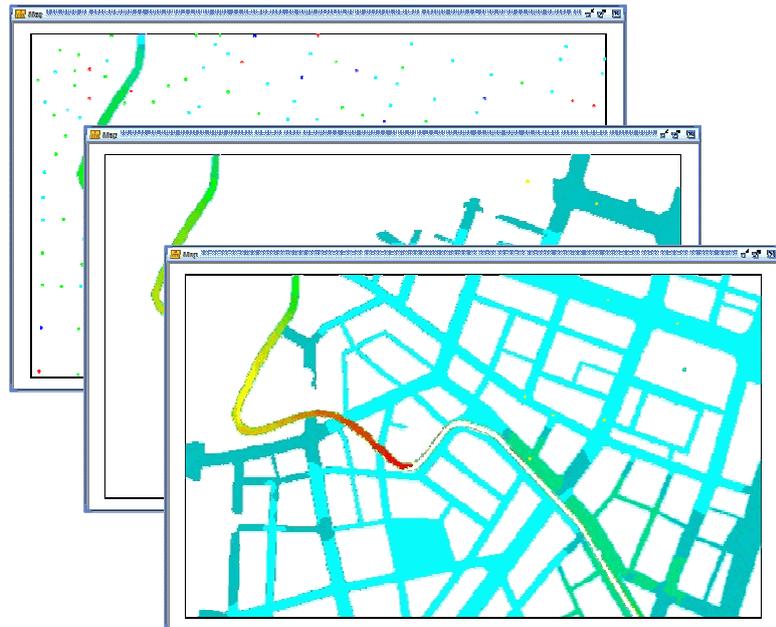


図-8 効率的な避難（避難所：アオーレ長岡）

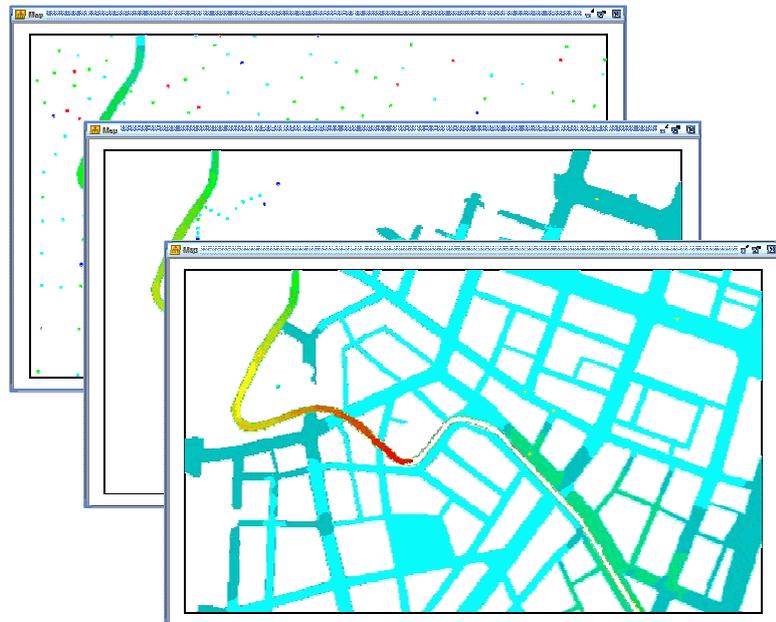


図-9 効率的な避難（避難所：柳原分庁舎）

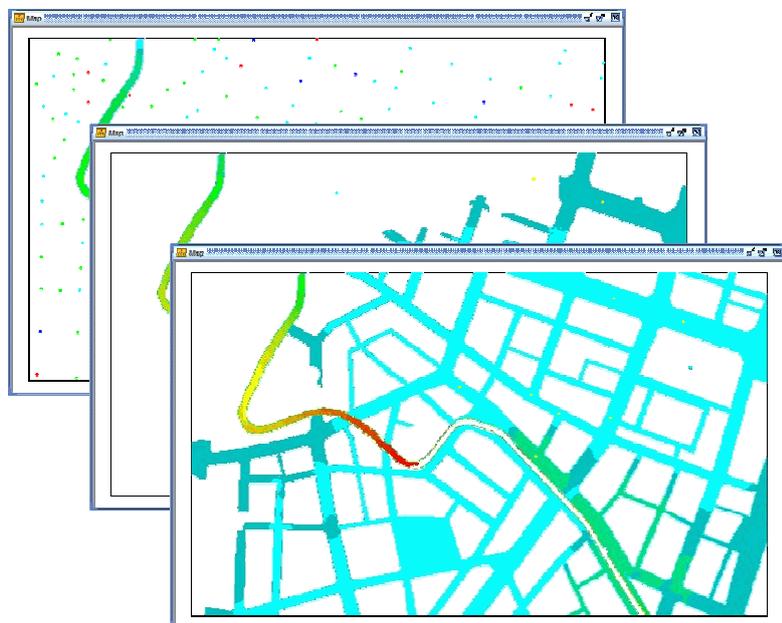


図-10 非効率的な避難（避難所：アオーレ長岡）

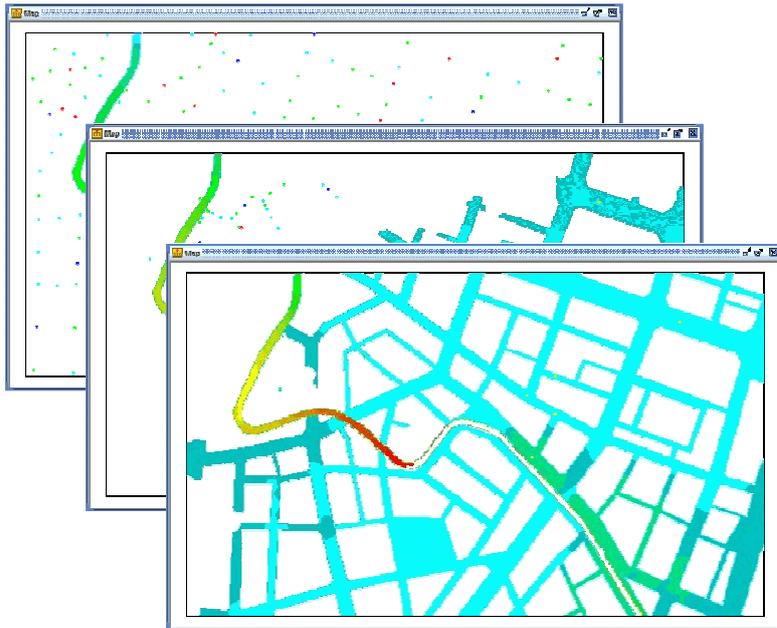


図-11 非効率的な避難（避難所：柳原分庁舎）

表-1 効率的なモデルでの被害者の割合

避難開始時刻 (m)	柳原分庁舎 (%)	アオーレ長岡 (%)
1	0	0
10	0	0.42
20	0.42	13.37
30	19.22	58.03

表-2 非効率的なモデルでの被害者の割合

避難開始時刻 (m)	柳原分庁舎 (%)	アオーレ長岡 (%)
1	0	0.42
10	0	6.25
20	1.25	24.68
30	21.63	63.13

今回の氾濫解析の場合、北東への浸水速度が速かったためアオーレ長岡を避難所としたときの被害者の割合が増加したと考えられる。しかし、これはあくまで今回用いた氾濫解析に則ってシミュレーションを動かした結果こうなったというだけで、仮定する避難所の数を増やせばより被害に遭う人間が減少する避難所が存在する可能性があることを忘れてはならない。そして破堤点が変わった場合に関しても、仮定した避難所が最適であるということにはならない。

6. まとめ

本研究はエージェントのポイントやリンク数が膨大なものとはならなかったため処理が早かったが、定義するポイントやリンクが増加すると処理の時間もまた長くなるため、どうすれば処理の高速化ができるかということを考えたい。

また、今回の研究は人のみの動きをシミュレーションしたが、車や誘導者の存在、地域のコミュニケーション度合いといったものを取り込み、避難行動をより詳細に記述したい。

参考文献

- 1) 山影進:人工社会指南 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, 2007
- 2) 山本一浩:マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータに関する研究, 国土交通省, 2006
- 3) 野崎万利子:洪水流による土砂輸送と地盤標高変化の解析, 長岡技術科学大学工学研究科修士論文, 2009
- 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) 上野ふき, 鈴木泰博(2011):“環境感情”は可能か? —マルチエージェントシステムを用いた感情システム—, 情報処理学会シンポジウム論文集, 3号, pp621-624.
- 6) 宮崎勝(2008):マルチエージェントシステムを利用した情報提示手法に関する検討, 情報科学技術フォーラム, 一般講演論文集 第2分冊, pp317-318.
- 7) 宇津木到, 三上達也(2007):局所的人間関係におけるマルチエージェントシミュレーションの研究, 政策科学 / 立命館大学政策学会編, 14(2), pp171-184.
- 8) 『人工社会構築指南』, <http://citrus.c.utokyo.ac.jp/artisoc/textbook/>