

マルチエージェントシミュレータによる河川氾濫に対する避難シミュレーション

建設工学課程 澤田 命
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

人が生活するうえで欠かせない水資源のひとつとして、河川がある。河川は飲料水や生活用水といった物を提供してくれる一方、住民に対して脅威になることもある。その例として、平成23年7月新潟・福島豪雨により両県は甚大な被害を受けた。そのとき新潟県の下越地方西部や中越地方北部には1時間あたり100ミリ前後の雨が降り注ぎ、五十嵐川などの信濃川水系の6つの河川で堤防の決壊が相次いだ。また三条市など広範囲で浸水被害が発生し、新潟県では4人の死者が出た。これ以外にも平成10年8月新潟豪雨や平成16年7月新潟・福島豪雨が発生しており、豪雨による河川の氾濫で人々の生活が脅かされている。

また新潟県では地震も多い。平成16年10月23日新潟県中越地震や平成19年7月16日新潟県中越沖地震、平成23年3月12日長野県北部地震など近年になって多発している。このように、新潟県は洪水や地震といった災害に遭うことが多い。そのため新潟県民の多くは防災意識が高く、さらに平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震が発生したことによってより多くの人が防災に対して強い関心を持ち始めている。

こういった背景から、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明示しているだけで、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ためのものではない。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。

それを可能にしてくれるものが、人々によって長い年月をかけて育てられてきたIT技術である。現在ではその甲斐もあってか誰もが使えるようなシミュレータも開発されている。浸水状況をアニメーション化することによって、その一挙一動を容易に理解することができる。そうなれば避難の際にある程度の予測を立てることが可能となり、よりの確な行動をとることもできるだろう。

本研究ではマルチエージェントシステムと、航空写真によるリアリティのある地図を提供している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目的である。

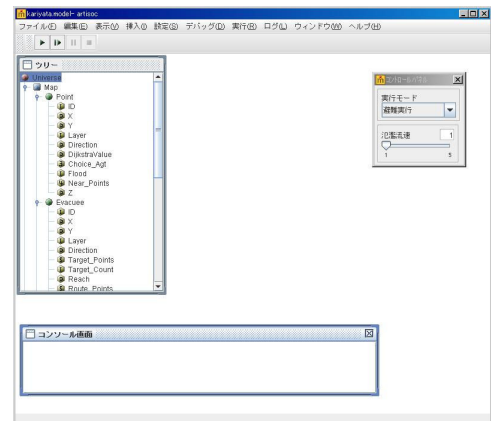


図1. マルチエージェントシミュレータ

2. マルチエージェントシステム

マルチエージェントシミュレータとは、マルチエージェントシステムを備えたシミュレータのことである。それではそのマルチエージェントシステムとはどういったものなのか。

マルチエージェントシステムとは、複数のエージェントから構成されるシステムであり、個々のエージェントやモノリシックなシステムでは困難な課題をシステム全体として達成する。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る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である。

つまり、コンピュータ上で構成された人工社会の動きをシミュレーションするシステムということである。この手のシミュレーションを行うソフトやアプリケーションは数多く存在する。しかしこのマルチエージェントシステムは、一見予測不可能な事象でもモデル化し、限りなく現実に近い状況を再現することができる。

たとえば、火災を想定した避難訓練を行うとする。実際に行う場合、人々が安全な場所へ迅速に向かう訓練はできても、実際にどのような速さで火の手が迫ってくるかということ予測することは難しい。マルチエージェントシステムは、このような現実において再現が難しい事象をコンピュータ上で処理し、

図2のような火災避難のシミュレーションをモデルとして起こすことが可能である。

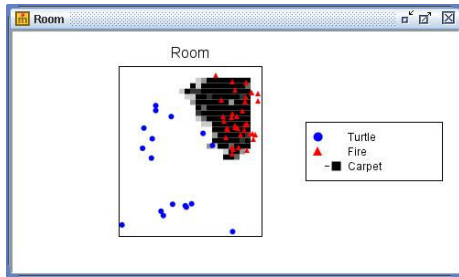


図2. 火災避難モデル

3. 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、以下の情報である。

- ・ 浸水開始情報
- ・ 交差点標高情報
- ・ 避難者情報
- ・ 最短経路情報

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	0	60.93039	33.73109	2	0	98	0	1	14	0	
2	1	58.23636	48.92727	2	1	98	0	1	9	1	
3	2	67.72727	52.36364	2	2	98	0	0.5	10	2	
4	3	28.30303	79.2	2	3	98	0	0.5	5	3	
5	4	30.58182	89.18182	2	4	98	0	1	7	4	
6	5	46.61818	43.36364	2	5	98	0	0.5	6	5	
7	6	38.10303	57.76364	2	6	98	0	0.5	5	6	
8	7	48.00091	63	2	7	98	0	0.5	6	7	
9	8	32.30162	67.41818	2	8	98	0	0.5	8	8	
10	9	41.05455	72.16364	2	9	98	0	1	7	9	
11	10	29.19909	75.27273	2	10	98	0	0.5	5	10	
12	11	33.85455	87.14545	2	11	98	0	1	5	11	
13	12	12.72727	38.76364	2	12	98	0	1	4	12	
14	13	12.74545	25.63636	2	13	98	0	1	6	13	
15	14	15.2	24.93039	2	14	98	0	1	10	14	
16	15	0.145455	19.8	2	15	98	0	1	8	15	
17	16	7.018182	40.25455	2	16	98	0	0.5	5	16	
18	17	0.145455	40.74545	2	17	98	0	0.5	6	17	
19	18	4.072727	68.07273	2	18	98	0	1	5	18	
20	19	7.836364	68.56364	2	19	98	0	1	4	19	
21	20	0.303031	83.81818	2	20	98	0	1	5	20	
22	21	4.481818	85.25455	2	21	98	0	1	5	21	
23	22	11.30455	70.27273	2	22	98	0	1	4	22	
24	23	18.30091	72.81818	2	23	98	0	0.5	3	23	

図3. 座標データ

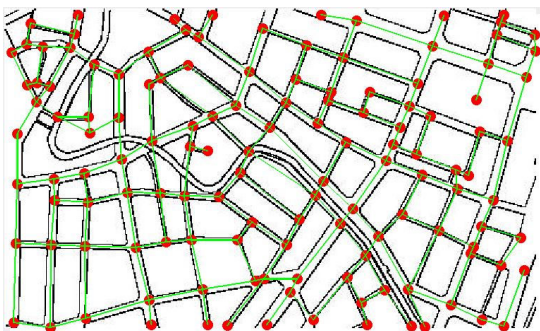


図4. 道路と交差点の定義付け

避難者やその他の座標データからマルチエージェントシミュレータによって解析を行うことになるが、

それらの情報を意味づけるために必要な道路や交差点を定義する必要がある。今回はマルチエージェントシミュレータ「artisoc」の機能のひとつである描画ツールでその定義をする。

図4がその定義付けを行ったものである。赤い点が交差点を、緑の線が交差点と交差点とを結ぶ道路となっている。今回のシミュレーション・モデルでは、避難する人は赤い点に配置されることになる。そして移動は緑の線上のみ可能であり、その中でどのようにして避難するかということをシミュレーションとしている。今回のシミュレーション・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。

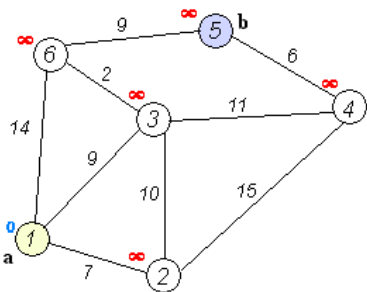


図5. ダイクストラ法の一例

このダイクストラ法をシミュレーションでエージェントひとつひとつに処理をさせて、避難所までの最短経路を導き出させるのである。なお、この時点では浸水状況について考慮はしていない。あくまで平常時にどこを行けば最短で避難所に辿り着けるかということだけである。また、今回のプログラムでは先程定義した道路の距離を代入して計算をしている。そのため道幅や傾斜といった距離以外の考慮はしていない。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。

4. 氾濫解析

今回の研究では、新潟県長岡市にある刈谷田川と柿川を対象としている。刈谷田川は全域で複雑に蛇行しており、古くから氾濫被害を引き起こしていた。平成16年7月新潟・福島豪雨では三条市を流れる五十嵐川や見附市・中之島町を流れる刈谷田川で短時間に急激に水位が上昇し、破堤による外水氾濫が発生した。新潟県内では6つの中小河川の堤防が11箇所決壊し、刈谷田川本川では4箇所、支川の稚児清水川との合流点付近で両岸の2箇所、下流の中之島川では2箇所、五十嵐川では1箇所が破堤した。

柿川は長岡市内にある都市河川で、古くから何度も浸水の被害を受けている。過去とは違い近年では都市として整備されてきた中小河川ではあるが、多くの都市中小河川と同様にその周辺は整備されていない。平成23年7月新潟・福島豪雨によって柿川が氾濫した時も、床下まで浸水して被害を被った住人も出た。

都市の中心部付近を流れる中小河川は都市における早い降雨流出を処理する目的で自治体を主体として整備されることになっているが、そのような中小都市河川の周辺では既に土地利用や都市化が十分進んでおり、河川改修工事が困難であるため設計計画の達成率が低いものが多い。そのため夏季の集中豪雨時に河川の近隣周辺が氾濫の危険にさらされている。



図6. 刈谷田川流域：旧中之島地区



図7. 柿川付近の市街地

今回の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。以下に連続式と運動方程式である非線形長波方程式を示す。ただし、図8のように水塊が不連続となった場合には、越流公式を用いる。

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

運動方程式

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

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

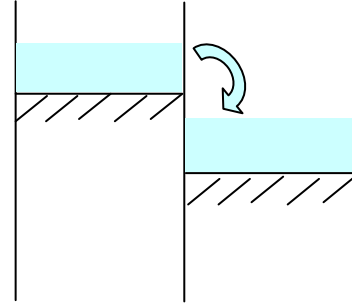


図8. 越流公式の適用

越流公式

$$M, N = 0.35h\sqrt{2gh}$$

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み実行した結果、以下のような図が生成される。

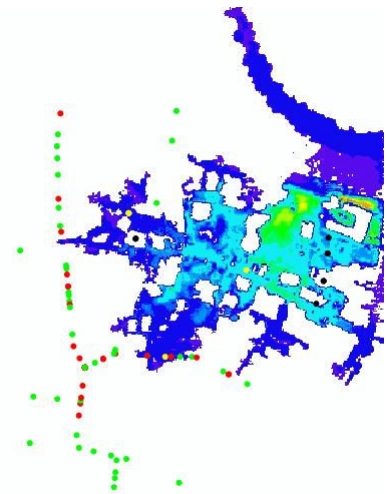


図9. 刈谷田川の避難シミュレーション

これはその内の1つを取り出したもので、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は、それぞれ緑が足の遅い人、足の赤が早い人、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、それぞれ氾濫解析を行った刈谷田川と柿川で行う。その時、それぞれの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。

①刈谷田川

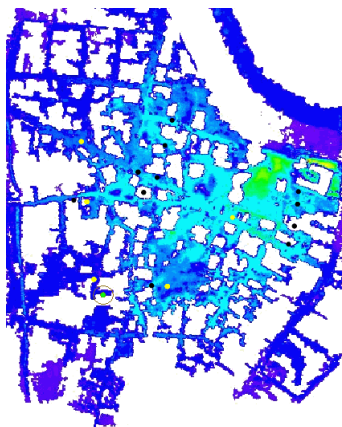


図 10. 避難所が保育園の場合

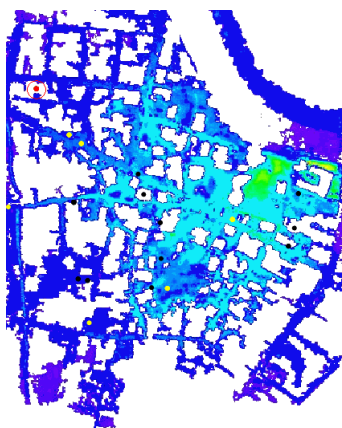


図 11. 避難所が庁舎の場合

②柿川

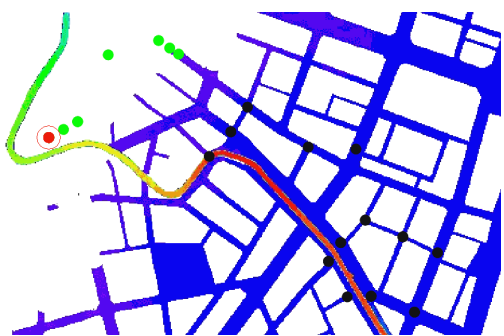


図 12. 避難所が博物館の場合

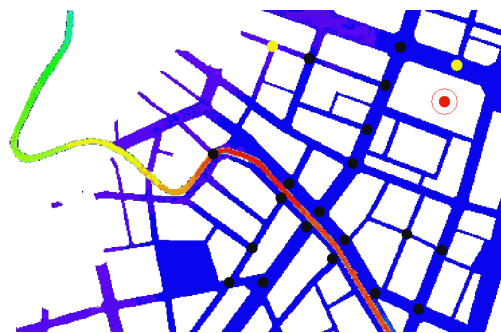


図 13. 避難所がシティーホールの場合

刈谷田川での避難所について比較を行う。もし避難所が保育園の場合、避難した人間のうち 37.4%が波に捕まった。また避難所が庁舎の場合だと 45.8%の人間が波に捕まり、今回の場合は避難所を保育園にした方が妥当であるといえる。これは今回解析した氾濫が破堤点から西に浸水する速度が速かったためであると考えられる。

柿川での避難所について比較する。もし避難所が博物館の場合、避難した人間のうち 16.3%の人間が波に捕まった。対して避難所がシティーホールの場合は 44.2%も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、柿川の場合は博物館を避難所にした方がよいということになる。柿川での氾濫解析の場合、北東への浸水速度が速かったためであると考えられる。結果から刈谷田川の場合は保育園、柿川の場合は博物館が避難所として適しているという結果になった。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あって、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。

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で出力された画像ファイルをまとめれば、1つのアニメーションファイルとなる。それだけでも浸水経過やエージェントたちの避難行動を理解することはできるが、今回は Google Earth を用いて航空写真上にその画像を落とすことにする。Google Earth は世界中の地図を航空写真として閲覧するだけではなく、その地域に存在する建造物を立体表示することが可能であることが特徴のひとつである。今回は柿川の氾濫解析を Google Earth 上に関連付けて位置を調整した。それが図 14 である。

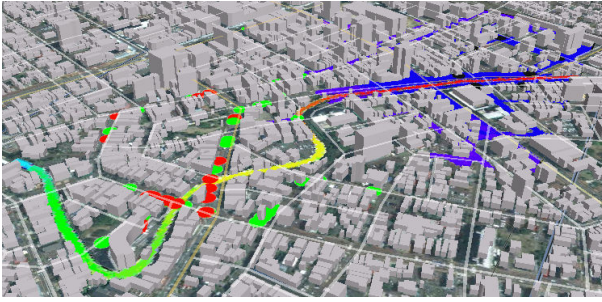


図 14. 立体図と連成した避難シミュレーション

- 8) 『人工社会構築指南』, <http://citrus.c.u-tokyo.ac.jp/artisoc/textbook/>

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。

そして、避難の面では基本的に主要道路を通り、場合によっては細い路地も通るようしたいと考えている。

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 / 立命館大学政策科学会 編, 14(2), pp171-184.