

エージェントベース広域避難シミュレーションシステムの開発

—滋賀県姉川・高時川下流域を対象とした事例研究—*

Agent-Based Flood Evacuation Simulation across Administrative Borders - Case Study in Downstream Basin of Ane and Takatoki River-*

畑山満則**・湯川誠太郎***・枝廣篤****・多々納裕一*****

By Michinori HATAYAMA**・Seitaro YUKAWA***・Atushi EDAHIRO****・Hirokazu TATANO*****

1. はじめに

滋賀県湖北地域に位置する姉川・高時川流域は、洪水により相当な被害が生じる恐れがある河川として、滋賀県によって「洪水予報河川」に指定されている。両川とも比較的短く、またともに天井川であるため、氾濫流が大きく、洪水時の被害が甚大となる可能性が高い。

特に両川の合流点に位置する虎姫町（人口約 5800 人、面積 9.45km²）は、町の南端と西端を堤防で囲われる形となっている（2010 年 1 月に長浜市と合併）。そのため、破堤すれば町域のほとんどが浸水する可能性を持っており、避難所も水没する可能性がある。また、水が長期に亘って滞留すると考えられており、湖北地域の中でも特に水害リスクが高い地域である。近年では 1975 年の台風 6 号における高時川堤防決壊以来、大きな水害には見舞われていないが、2006 年 7 月には梅雨前線豪雨により姉川・高時川ともに越流寸前の状態となったことなどを受け、虎姫町では 2008 年に洪水ハザードマップ¹⁾を作成、防災訓練の実施など、町民の安全確保に向けて防災活動に積極的に取り組んでいる。このハザードマップでは、100 年確率の大雨によって両川が氾濫した場合には、町中心部でも深さ 1.0m 以上、町域のほとんどの領域で深さ 2.0m 以上の浸水被害を受けると想定されている。特に昭和中期以後に建設された新しい住宅地区は、低い土地に建設されたこともあり、5.0m 以上浸水すると想定されており、一般的な住宅では 2階に避難してやり過ごすことは不可能である。また避難所として、町中心部にある小中高校および体育館が指定されているが、避難所の一つである体育館は平屋建てであり、このような洪水が発生した場合には避難所として使用で

*キーワード：防災計画、エージェントシミュレーション

**正員、工博、京都大学防災研究所社会防災研究部門

〒611-0011 宇治市五ヶ庄、Tel 0774-38-4333

E-mail: hatayama@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

*** 学生員、京都大学情報学研究科

****正員、情修、西日本高速道路株式会社

*****正員、工博、京都大学防災研究所社会防災研究部門



図一 虎姫町付近の地形図（点線内が町域）

きない可能性が高い。各学校については3階に避難すれば大丈夫であると考えられるが、3階のみで全町民を収容することは不可能である。

このように、浸水区域想定のために滋賀県が行ったシミュレーション結果²⁾を勘案すると、住民の安全な避難先を確保するために、市町界を越えた避難（広域避難）をも念頭に入れた避難計画を検討する必要がある³⁾。従来、避難計画は、市町村レベルで閉じる形で計画されており、市町界を越えた避難想定は検討対象外である。平成 19 年 10 月に公開された荒川の洪水はん濫時の浸水想定図⁴⁾によると荒川下流域も同様に広域避難（区を超えた避難、場合によっては東京都外への避難）が必要な場所が存在するが、現状では対象となる区では未検討の課題であることからわかるように、広域避難計画の検討では従来の避難計画では必要のない未曾有の課題が潜んでいると考えている。

このような背景を受けて、本研究では地域間の連携を考慮した広域避難を想定し研究を行うものとする。具体的には、虎姫町における広域避難計画作成を支援する情報システムの構築を目的とする。研究の手法として、まずアンケート調査により虎姫町民の水害リスクの認知、

水害時の避難行動、広域避難に対する意識と平常時の生活行動について分析した。これらの検討結果をもとに、マルチエージェントシミュレーション手法を用いた水害避難評価ツールを構築し、広域避難を含めた様々な避難計画に関して考察を行った。

2. 広域避難の特性

市町界を越えた広域避難を実施するにあたっては、周辺町や県との連携が大きな課題である。例えば他市町の指定避難所を避難先とする場合、避難所の開設や運営は基本的に各自治体が担うため、避難先の市町で避難所が開設されていない状況も発生しうる。そのための連絡体制や費用負担の問題、また収容可能人数の問題など、調整を要する項目は多岐に亘る。そのような問題を受け、湖北地域では収容力の大きい長浜ドームを広域避難のための避難所として使うことが検討されている。

また市町界を越えた避難では、必然的に移動距離が長くなるため、より早いタイミングで避難行動を開始する必要や、徒歩以外の移動手段を確保する必要が生じる。移動手段の確保についても様々な課題がある。例えば各世帯が自家用車を用いて避難する場合には、交通集中による渋滞の発生が危惧される。一方、役場がバスを手配するなどして集団で避難する場合には、更に早いタイミングで避難を開始し、一時集合場所に集まる必要がある。また全町民をバスで輸送するとなると相当の延べ台数が必要であり、バスの手配に掛かる時間と全町民をピストン輸送するために掛かる時間なども見込む必要がある。

このような点から、広域避難を行う場合には相当に早いタイミングで意思決定を行う必要があると考えられる。そのため場合によっては、雨が降り始めたらず、あるいは雨が降る前から対応を開始することが求められる。しかしながら短時間の雨量予測の困難性から、洪水となるかどうかは必ずしも高い精度では予測できない。したがって、万全を期して洪水となる可能性が少しでもあれば広域避難の意思決定を行うというようなことになれば、必要でなかった避難を行ってしまう「空振り」が続くことにもなりかねない。空振りを続ければ情報の信頼度が低下し、情報を受け取っても住民が避難しないという「オオカミ少年効果」が懸念される。

特に、災害時要援護者の広域避難には大きな困難が伴うことが予想される。例えば寝たきりの患者の場合、専用のベッドを装備した車両でなければ移動は困難であるが、そのような車両は福祉施設等にわずかに存在するのみであり、一度に多くの患者を運ぶことは難しい。また仮に避難したとしても、避難先にバリアフリートイレをはじめとした、生活に必要な諸設備が不足している可能性も高い。そもそも災害時要援護者は、自力での移動

が困難なために援護を必要としている場合が多く、移動することに対する心理的ハードルは相当に高いと考えられる。にもかかわらず上述のような事情から、健常者よりも更に早いタイミングで行動を開始する必要があり、避難行動の空振りの可能性は更に高くなる。

このような事情を受けて、より多様な避難計画が求められている。すなわち、各住民の状況に応じて避難先などを分けるなどの対応が考えられる。例えば災害時要援護者は設備が整っている福祉施設や病院を避難先としたり、一時的に最寄りの高い場所（3階以上の建物や丘陵）に避難した上で、落ち着いてから受け入れ先に移動したり、といったことが考えられる。

3. 水害時の住民の避難行動

(1) 避難行動の特徴

水害時に住民がどのように行動するか、あるいは実際の水害時にどのような行動をとったか、といったことに関しては古くから研究が行われており、避難勧告などが発令されても、避難をしない住民が多いことが知られている。例えば村上ら⁵⁾の調査によると、2005年9月の台風14号災害時に岩国市では、16,587世帯、41,779人に対して避難勧告ないし避難指示が発令されたが、ピーク時ですら避難者数は3,079人と、対象の1割にも満たない。過去の水害においては、避難行動を始めるタイミングが遅く、既に浸水によって移動中に立ち往生してしまう例や、自宅に取り残されて2階の窓や屋根から救助されるという例も見られた。

また中田ら⁶⁾の調査では、2006年7月の川内川豪雨災害において、過去の経験が避難行動にどのように影響したかが示されている。単に水害被害を受けたという経験の有無はあまり避難行動に影響しなかった一方で、過去の避難経験の有無が避難行動に関連していたことが示されている。また避難行動と事前準備との関係は、防災訓練への参加や避難所・避難経路の確認、家族との連絡方法の確認との相関が大きい。実際の避難に際しては、片田らの調査⁷⁾などによって、世帯単位で避難行動を行うことが多いことが明らかにされている。

(2) 住民の行動把握のためのアンケート調査

a) アンケートの概要

虎姫町の住民が水害発生時にどのような行動をとるのかを把握するため、アンケートを実施した。アンケートは世帯単位で回答してもらうこととし、町役場から各字経由で全戸に配布、回収は郵送によって行った。配布日は2008年12月15日であり、12月31日を期限として回収した。配布数は1837通で、回収数は237通（回収率12.9%）であった。回収率は低く、統計的手法を

用いた分析は意味をなさないが、本アンケートは統計処理でなくエージェントパラメータとして利用されるため、回答者の特徴を認識しておけば利用可能であると考え。古くから水防活動が盛んな字からの回答率が高く、水害リスクは高いが近年できた字からの回収率が低い結果となっていることから、この結果は防災意識の高い人つまり、防災の重要性を理解している人の回答であると解釈し利用することとする。

b) アンケート項目の内容

アンケートは大きく4部に分かれている。

[第1部]

現時点での水害に関する認識や対策状況を知るため、特別な情報を提供せずに水害リスクやハザードマップ、自治体等から提供される情報の認知状況について聞いた。

[第2部]

自治体等から提供される情報について紹介した上で、それぞれの情報が提供されたタイミングでどのような行動をとるか聞いた。具体的な調査項目は、避難単位、水防活動や要援護者救援への参加、洪水対応、避難開始タイミング（公的機関からの情報提供だけでなく、自治会や近所などの動きがトリガーとなる可能性を考慮して、声かけや周囲の動きも選択肢に入れた）である。

[第3部]

検討中の広域避難に関しての意向を聞いた。具体的な調査項目は、長浜ドームを避難所として使う場合の移動手段（各世帯が自家用車を用いて避難する場合と、町がバスを用意して集団で避難する場合、それぞれの長短を示した上で、適切と考える方策を聞いた）、虎姫町周辺の市町を利用できるとした場合に候補となる避難先、広域避難の際に経由する橋についてである。

[第4部]

家族構成と、それぞれの1日の行動を聞いた。この設問は、避難行動に移る前に家族が集合する場合に、どの程度時間が掛かるかを推定するために設定した。

c) アンケート結果

虎姫町の持つ水害リスクについては201件(84.8%)が「知っていた」としており、かなり多くの住民が、虎姫町が水害に対して脆弱な立地にあることを知っていることが分かる。また「知っていた」と回答した世帯のうち、約3分の2は水害の危険性を知った経緯として「過去の経験」を挙げており、水害について実感を持っていると言える。一方で図-2に示すように、水害に対する備えに関する項目では、回答があった世帯のうち約半数が「特になにもしていない」と回答している。

また、同図からは事前に「非常持ち出し袋の準備をする」、「高価な家財を2階以上に置く」等の対策を行っている家庭は極めて少ないことが見て取れる。これらの作業は避難行動の直前に行うことが可能である。実際

に避難の前にする行動に関するアンケートの項目では、「何もせずすぐ避難する」世帯に比べ、「非常用品の準備」をすると回答した世帯が圧倒的に多い。しかし、避難行動直前にこれらの作業を行うことはすなわち避難行動の開始のタイミングの遅れにつながるため、避難情報の発信側の予期せぬタイミングで、住民が避難を開始する可能性を示している。

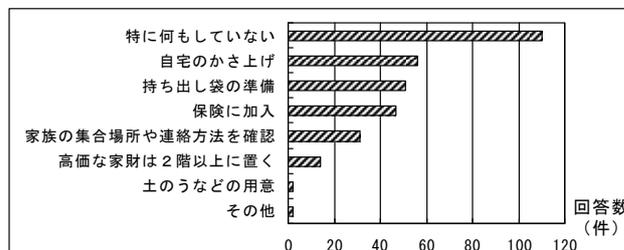


図-2 水害に対する備え（複数回答）

避難開始のタイミングに関する設問では、「避難勧告」の後に避難を開始するとして回答が半数近くおり最多であった。しかし実際には、避難勧告を受けてから前述の対策を取ったのちに避難する世帯、何も対策を取らずに避難する世帯が混在しているものと考えられる。避難先に関する項目では「字の集会所や町の指定避難所」という回答が多く、検討課題となっていた「普段利用する福祉施設等」を挙げた回答はなかった。

4. シミュレーションの概要

(1) シミュレーション手法について

本研究ではこのような広域避難について、世帯単位での避難行動を基本としてシミュレーションを行う。避難シミュレーションに関しては、すでに様々な研究がなされている。中川ら⁸⁾、明田ら⁹⁾、桑沢ら¹⁰⁾のシステムで用いられているネットワークモデルによる手法がこれまでは多く利用されてきた。しかしながらこのモデルでは、移動単位（住民など）に個別の行動特性を持たせることが難しく、あらかじめ決められたパラメータを調整することで為し得るシナリオしか扱えない。そこで、本研究では、個々の移動単位に行動特性を持たせることが可能なマルチエージェントシミュレーション手法を選択した。この手法は、移動単位をその属性と振舞いにより規定するため、あらかじめ決められていない様々なシナリオに展開することが容易であることも特徴である。

シミュレータ開発にあたっては、構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータ「KK-MAS」を用いて実施した。「KK-MAS」は空間をラスタ型で扱うため、メッシュで計算されている浸水シミュレーションとの相性がよく、またセル単位で占有等のチェックが行えるため、混雑の表現が容易である。先行研究として同じ

KK-MAS を用いた竹下らのシステム¹¹⁾があるが、このシステムでは利用単位を住民一人一人としているのに対し、本研究では利用単位を世帯としている。これは、防災訓練などを通したリスクコミュニケーション支援を目的としている前者と、避難計画作成支援を目的としている後者の違いによるものと考えている。また、対象としているエージェントの数も違う。前者は、防災訓練に参加した住民をエージェントにしているため、限定的な人数が対象である、本研究では、住民参加型の避難計画策定を支援することを想定し、虎姫町内の全世帯をエージェント化している。これにより町全体の被災世帯数を用いたマクロな判断を可能にし、同時に個別の世帯の行動をエージェントの可視化により可能にしている点が、文献 11 との違いである。

(2) シミュレーション空間の設定

シミュレーションの空間の設定に関しては、町の広さを考慮して、東西方向、南北方向ともに 1 セルが 1m となる、5,000×5,000 のラスタ空間を用意した。エージェントが移動するための道路は、日本デジタル道路協会より提供いただいた全国デジタル道路地図データベース（以下「デジタル道路地図」）¹²⁾を変換した。

浸水ハザード情報は、滋賀県の実施した氾濫シミュレーション¹³⁾に基づいている。この氾濫シミュレーションでは水系全域に対して一様に 100 年確率の降水が生じたときの、内水氾濫および河川からの溢水による浸水深を算出している。計算範囲を 50m メッシュに区切り、ステップごとにそれぞれのメッシュに降った水量と流出量を計算し、その差を浸水量としている。なお、今回は 15 分ごとの時系列に応じた浸水深データを用いた。

(2) エージェントの設計

虎姫町の各世帯をエージェントとし、それぞれのエージェントが固有の出発点から目的地を目指して移動するものとする。具体的には、各世帯エージェントの初期値として、出発ノード、目的ノード、移動開始タイミング、占有セル数を与える。また変数として、ステータス、座標、当面目指すべきノード、軌跡の座標を保持する。出発ノードから目的ノードまでの経路は予め定めておく。主要なエージェントおよび変数の内容を図-3に記す。

シミュレーションの各ステップにおいて、エージェントはステータスの値に応じた行動を行う。ステータスが「未出発」のときには、ステップ数と移動開始タイミングを比較し、現在のステップが移動開始タイミングと等しくなったら、ステータスを「交差点上」に変更する。ステータスが「交差点上」のときには、次に進むべきノードを確認した上で、その方向に進む。交差点を離れたらステータスを「道路上」に変更し、引き続き移動する。

ステップごとに現在座標をチェックし、目的ノードに達したらステータスを「目的地到着」に、その他のノードに達したら「交差点上」に変更する。これを繰り返して、各エージェントは目的地まで移動を行う。なお移動の際に、移動先候補となるセルに別のエージェントが居る場合、移動先候補の両隣を新たな移動先候補とする。両隣のセルも他のエージェントが占有している場合は、1ステップ休止（移動しない）する。

出発ノードおよび目的ノードのデータは「デジタル道路地図」のデータから、交差点ノードおよびリンク端点ノードを抽出して用いる。出発ノードは各世帯の最寄りノードとする。各ノードに割り当てるエージェント数は住宅地の面積比で按分した。具体的には国土地理院1/25,000地形図のデータから住宅地に相当する画素数を求め、各画素から最近傍となるノードを決定した。このようにして各ノードに割り当てられた画素数の比によって、各ノードを出発ノードとするエージェント数を決定した。目的ノードは目的とする避難先の最寄り（町中心部の交差点や橋を渡った先の交差点など）を抽出した。

各エージェントは、シミュレーションの1ステップ（1秒に相当）ごとに、他のエージェントが存在しないセルに1マスだけ進行する。また、浸水深0.5m以上の浸水に遭遇すると、避難失敗とした。

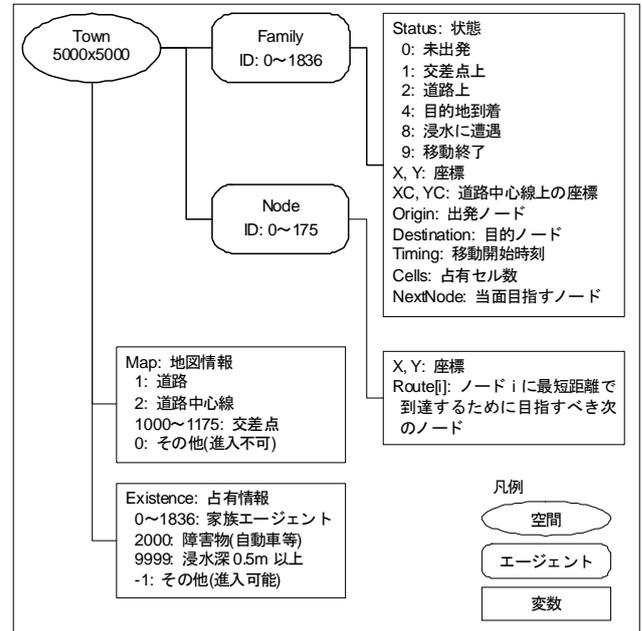


図-3 主要なエージェントおよび変数

5. 避難行動パラメータとシナリオの設定

(1) 避難行動パラメータの設定

3章のアンケート結果から、避難行動の特性に強く影響する要素として、避難開始タイミング、避難前の行

動とその所要時間を分析した。避難開始のタイミングと避難前に行う行動の関係を表-1に記す。所要時間は自由記入のものを、10分単位に切り上げて集計している。どちらも無回答は除外している。なお避難開始のタイミングは、表に示した選択肢以外にも「自治会などからの声かけに応じて」および「周囲の家庭が避難しているのを見て」という選択肢もあったが、自治会は避難勧告のタイミングで声かけを行うことから、ここでは避難開始タイミングを避難勧告とし、避難前行動として、声が掛かるのを待つ時間を「声かけ10分」として追加することで対応した。周囲の家庭をトリガーとした回答は全体で1件と少なかったため除いた。

表-1 避難開始のタイミングと避難前の行動

回答数 (件)	避難前の行動				
	すぐに避難	非常用品の準備	周囲への声掛け	非常用品の準備と周囲への声掛け	
避難開始のタイミング	大雨洪水警報	0	8	2	2
	避難準備情報	1	19	7	3
	避難勧告	10	67	17	8
	避難指示	5	52	18	5

表-2 避難前の行動と所要時間

回答数 (件)	避難前の行動				
	すぐに避難	非常用品の準備	周囲への声掛け	非常用品の準備と周囲への声掛け	
所要時間 (分)	10	4	28	19	3
	20	1	16	2	3
	30	0	18	5	1
	40	0	2	0	0
	50	0	0	0	0
	60	0	2	0	1

表-3 設定した各世帯の避難開始までの所要時間

避難開始のタイミング	避難前の行動と所要時間	世帯数
避難準備情報	非常用品準備 10分	91
	非常用品準備 20分	52
	非常用品準備 30分	59
避難勧告	非常用品準備 10分	321
	非常用品準備 20分	184
	非常用品準備 30分	207
	声かけ 10分	181
避難指示	非常用品準備 10分	249
	非常用品準備 20分	142
	非常用品準備 30分	160
	声かけ 10分	191
合計		1837

次に、避難前の行動と所要時間の関係を表-2に記す。これらの中で5%以下の少数回答を除いた組み合わせを、1837世帯の家族エージェントに割り当てた。すなわち、避難開始タイミング、避難前の行動、その所要時間の組み合わせの割合を、虎姫町の1837世帯に乗じて、それぞれの組み合わせで行動するエージェント数を決定した。これを表-3に記す。これは、アンケート回答者のみの行動から導かれたものであるため、虎姫町全世帯が防災意識の高い世帯となった仮想世界を想定していることとなる。

(2) 避難シナリオの設定

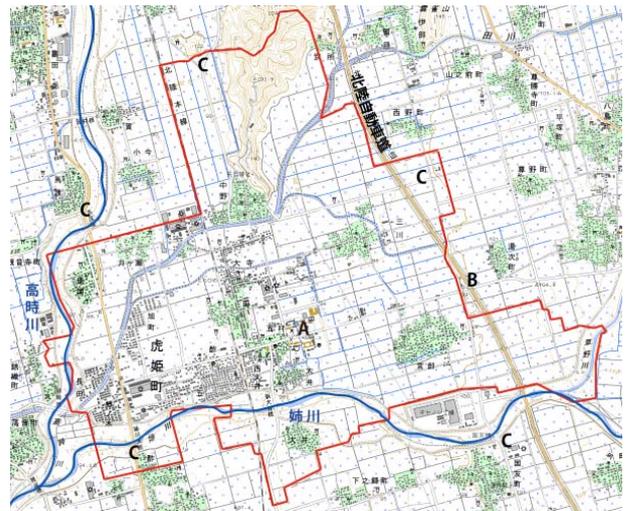


図-4 避難シナリオにおける避難目標位置

- 避難行動シナリオは以下のA-Eの5種類を設定した。
- [A] 町中心部の指定避難所(図-4のA点:一か所のみ)に全世帯が避難する。これは従来の避難計画に相当する。また、虎姫町が配布したハザードマップには指定避難所に避難した人を対象に長浜ドームに輸送することが想定されていることから、長浜ドームへの避難については、このシナリオに続くシナリオと位置付けられる。
 - [B] 協議会等で検討されてきた北陸自動車道を活用した広域避難計画を想定し、町東端にある接続ポイント(図-4中B点)に全世帯が避難する。
 - [C] 各世帯が最寄りの橋などを通して、最も近い町外の非浸水区域(図-4中C点)へ避難する。
 - [D] 字ごとに町外・町内の避難先を指定し、それに従い避難する。今回は、字単位で一番近い避難所および非浸水区域を避難先として採用した。図-5に字分布図、表-4に字別世帯数を示す。
 - [E] Dで避難の遅れにより特に被害の出た字に対し、避難情報の発令を1時間早めた場合である。
- 虎姫町に置いて、勧告等の情報発令のタイミングは、町域周辺の水位観測地点(4地点)の水位によって設定

される。観測地点の水位が規定された高さに達すると避難勧告が発令されることになっているため、今回の利用したハザード情報を基にすると降雨開始後 10.7 時間で発令されるものとなる。避難準備情報および避難指示は、避難勧告のタイミングからそれぞれ 20 分前、40 分後に発令されるものとした。これは 2008 年度に虎姫町で行われた図上訓練時に採用された値である。



図-5 虎姫町の字分布

表-4 虎姫町の字別世帯数 (2009 年 1 月時点)

唐国	83	宮部	183	五	302
月ヶ瀬	73	大井(北)	58	西大井	52
本町	45	大井(南)	66	長田	119
大寺	77	酢	56	旭	241
中野	110	五村	72	柿ノ木	101
三川	131	田	63	その他	5

※この世帯数は虎姫町が各字経由で住民に文書等を配布する際の区分であり、事情により町が直接対応する世帯について「その他」として扱っている。

6. シミュレーションの実施と結果

各シナリオにおいて、避難勧告の発令の時刻を降雨開始 8.7 時間から 14.7 時間まで 1 時間ごとに設定し、シミュレーションを行った。虎姫町では防災無線が全戸に配布されており、地域全体に情報を発信することが可能であるため、情報伝達の時間は無視してある。シミュレーションの結果から、浸水に遭遇した世帯の数と避難勧告発令時刻の関係を図-6 に示す。図中の縦線は図上訓練時に避難勧告を発令していた時刻である 10.7 時間である。もっとも早い避難開始時間を 8.7 時間に置いているのは、県基準よりもさらに 2 時間以上早く発令することは現場では不可能との虎姫役場職員の意見を参考としている。ちなみに 8.7 時間時点で避難を開始できれば、すべてのシナリオで浸水に遭遇する人はほぼ 0 となる（避難所容量の問題は考慮しない）。

町内の避難所のみを利用する A では、被災世帯が増え始める時間帯が、降雨開始後から 10 時間前後、避難勧告が遅れた（降雨開始から 14.7 時間後）場合の最終被害者数は 1400 世帯弱である。それに対し、町外の避難所を利用した C では、最終被害者数は 500 世帯前後となり、広域避難の採用による一定の改善が見られた。

一方で B では、A、C に比べ被害者数が多い。これは避難先である北陸自動車道が多く世帯から遠く、長距離・長時間の避難を必要としたためである。

D では、A-C に比べ最終被災者数が減少した。これは A-C では町全域で避難先が 1ヶ所だけ事前に指定され避難を行うのに対し、D では浸水の状況に応じた避難先の指定が字単位で可能であるためである。また D では、被災世帯が増え始める時間帯が降雨開始より 11 時間前後と、A-C と比較して遅くなっており、より余裕のある避難が可能になると考えられる。さらに E の様に、被災の大きな字に関し避難情報発令を早めることで、D よりも被災世帯が増え始める時間帯を遅らせることができ、最終被害者数を少なくすることが出来る。また、町内の避難所のキャパシティは A 地区にある学校の校舎、体育館などを合わせても 1000 世帯程度であり、避難所自体が床上浸水した場合はより少なくなる。A の様に全世帯が町内の避難所に避難した場合、収容しきれない。この場合は、バスなどを用いて長浜ドームへのピストン輸送を実現する必要があるが、そのためにはバスの確保に要する時間が必要であり、より早い避難が求められる（長浜ドームまでは国道 8 号線を利用して約 10Km）。一方で D、E の様に避難先・避難開始時間を字ごとに変更することが出来れば、避難所の状況に応じた避難指示を出すことが可能である。

この様に詳細な避難先の指定や、字ごとの避難開始のタイミングの指定など、避難情報を現行より細やかに変更することは被災者の減少に有用であると言える。

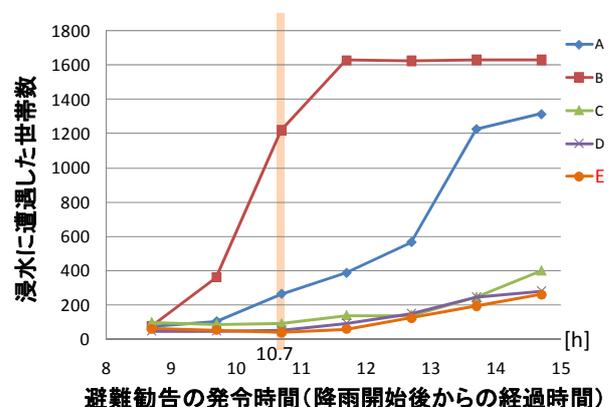


図-6 シミュレーション結果

7. おわりに

マルチエージェントシミュレータに空間Townを配置し、その上で移動開始タイミングと目的地が互いに異なるエージェントFamilyを動かした。それと浸水深データを重ねて評価することで、避難完了するエージェントと途中で避難失敗となるエージェントに分類した。設定した目的地の違いによって、無事に避難完了するエージェントの割合は大きく異なることが分かった。特に長浜ドームへの広域避難を想定したシナリオでは、既定の避難勧告より相当早いタイミングで避難の意思決定を行わなければ全住民を安全に避難完了させられないことが分かった。

今回は町外に到達した時点で避難完了としたが、例えば具体的な施設を目的地としたり、町外に出て一定距離以上離れることを避難完了としたりすることもエージェントFamilyの持つ変数Destinationを変えることで自由に変更することが可能である。またハザードのシナリオや、避難勧告のタイミング、住民の避難行動を様々に変更することで、「無事に避難が完了する世帯の数」によって様々な避難計画を評価することが可能となる。

なお、本システムを活用してより効率の良い避難計画を検討しても、実際に住民が避難を行わなければ意味がない。そのためには検討した避難計画の意味や、避難しなかった場合の危険性などについて周知することが重要である。本研究の主旨からは逸れるが、同様のシミュレーションを避難計画の検討だけでなく、リスクコミュニケーションのツールとして活用することで、住民に対する周知にも役立つことができるのではないかと考えている。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。今回のシミュレーションでは、避難行動の途中で浸水に遭遇した場合、そこで避難失敗とする設定になっているが、実際には回り道をして目的地をめざすなり、別の避難先を新たな目的地に設定するなりして、移動を続けられると思われる。また広域避難のために自動車を用いた場合の渋滞や歩行者との相互作用、災害時要援護者への対応などを盛り込み、より現実に即した避難計画の検討を行うことが必要である。

謝 辞

本稿において重要な部分を占めるアンケート調査に協力いただいた虎姫町総務課、滋賀県における治水政策の考え方や浸水区域想定などの情報を提供いただいた滋賀県土木交通部河港課の方々に感謝する。また、本研究

は、京都大学防災研究所 平成20年度防災研究推進特別事業経費、京都大学生存基盤科学研究ユニット サイト型機動研究による研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 虎姫町：虎姫町洪水ハザードマップ，2008
- 2) 滋賀県：浸水想定区域図とは？，<http://www.pref.shiga.jp/h/kako/bousai/shinsuisou/tei/setumeishinsui.pdf>
- 3) 湖北圏域水害・土砂災害に強い地域づくり協議会：広域避難の連携に関する基本協定書，2008
- 4) 内閣府：荒川氾濫想定区域図，荒川流域のポータルサイト ARA，<http://www3.ktr.mlit.go.jp/arage/itgis/arahzd/index.html>，2007.
- 5) 村上ひとみ ほか：台風 0514 号による錦川の洪水時の住民避難行動に関するアンケート調査，2008
- 6) 中田昇吾 ほか：平成 18 年 7 月川内川豪雨災害における住民の避難行動と災害外力の相関分析，第 27 回日本自然災害学会学術講演会概要集，2008
- 7) 片田敏孝 ほか：平成 10 年 8 月末集中豪雨災害における郡山市内の対応行動に関する調査報告書，<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/modules/newdb/1/detail.php?id=1>，1999.
- 8) 中川一 ほか：GIS を用いた避難行動の解析、京都大学防災研究所年報，第 40 号，B-2，pp.397-407，1997.
- 9) 明田修 ほか：GIS を用いた洪水氾濫時避難行動解析システムの開発，GIS ー理論と応用，Vol. 15，No.1，pp.23-28，2007.
- 10) 桑沢敬行 ほか：洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用，土木学会論文集D，Vol. 64，No.3，pp.354-366，2008
- 11) 竹下史朗 ほか：マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータの開発，土木情報利用技術論文集，Vol.16，pp.203-212，2007.
- 12) 畑山満則 ほか：地図データの更新とその効率化ー日本デジタル道路地図協会のデータベースを例としてー，オペレーションズ・リサーチ，Vol.46，No.1，pp.32-37，2001.
- 13) 瀧健太郎 ほか：中小河川群の氾濫域における超過洪水を考慮した減災対策の評価方法に関する研究，河川技術論文集，第 15 巻，2009.

エージェントベース広域避難シミュレーションシステムの開発

ー滋賀県姉川・高時川下流域を対象とした事例研究ー*

畑山満則**・湯川誠太郎***・枝廣篤****・多々納裕一*****

滋賀県湖北地区に位置する姉川・高時川流域は、地形の影響で豪雨時の氾濫流が大きく河川改修のみでは水害を避けることができないと想定される場所があり、市町界を越えた避難を念頭に入れた避難計画を検討する必要がある。本研究では、両川の合流地点に位置する虎姫町での避難計画検討の過程から、広域避難計画作成を支援する情報システムの構築を目的とする。まず、虎姫町民の水害リスクの認知、水害時の避難行動、広域避難に対する意識と平常時の生活行動についてアンケート調査を行う。この分析結果をもとに、マルチエージェントシミュレーション手法を用いた水害避難評価ツールを構築し、広域避難を含めた様々な避難計画に関して考察を行う。

Agent-Based Flood Evacuation Simulation across Administrative Borders

- Case Study in Downstream Basin of Ane and Takatoki River- *

By Michinori HATAYAMA**・Seitaro YUKAWA***・Atushi EDAHIRO****・Hirokazu TATANO*****

Ane and Takatoki River basin which is located in Kohoku area of Shiga prefecture is designated as “flood forecast rivers” by the prefecture’s government, which is considered a river that can cause serious floods and damage to the area. In this research, we aim at structuring an information system which supports to create not only the small scale evacuation plan within Torahime town but also the large scale one across the administrative boundaries. First, we investigate the flood risk in the area and compare the two evacuation plan: the small scale and the large scale. Next, we investigate the flood risk cognition of Torahime citizens and what kind of evacuating action they take when a flood happens. Then we can structure an evaluation tool for the flood evacuation which applies multi-agent simulation method, and examine various kinds of evacuation plans including the large scale evacuation.
