

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目： 基盤研究 (C)  
 研究期間： 2007～2009  
 課題番号： 19560511  
 研究課題名 (和文) デジタル街路網モデルに基づく詳細な水害対応シミュレーション  
 研究課題名 (英文) Detailed Simulation of People's Response to Flood Disasters based on Digital Street Network Model  
 研究代表者  
 堀 智晴 (HORI TOMOHARU)  
 京都大学・防災研究所・教授  
 研究者番号： 20190225

研究成果の概要 (和文)： 研究代表者らが従来研究を進めてきた水害時の住民の避難行動を個人・世帯といったミクロな単位でシミュレーションするシステムの汎用性・応用性を高めるため、一般に入手可能な数値地図情報を用いてコンピュータ上に街路ネットワークを再現するモデルを開発するとともに、避難行動が氾濫水深だけでなく、経路上の障害物や混雑状況に影響を受ける過程をモデル化した。この結果、我が国の任意の地域で比較的簡便に水害避難シミュレーションができるようになり、地域の避難計画の立案等に利用することができるようになった。

研究成果の概要 (英文)： In order to enhance the utility and applicability of micro flood evacuation model, which simulates individual or family actions under flood emergency, a digital street network model and an interaction model among people and obstacles have been developed. The digital network model uses digital map data commercially available and expresses the field for evacuation on a computer. The interaction model simulates the process in which walking speed varies with congestion situation as well as with inundation depth. The developed models enable to perform flood evacuation simulation in any place in Japan without heavy load to handle complex data set and then will be of help to design emergency plan to flood disasters.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学・水工水理学

キーワード： 水文学、水害、洪水、避難、シミュレーション、エージェントモデル、防災、危機管理

## 1. 研究開始当初の背景

ダムや堤防の建設、河道の改修、流出抑制施設の設置などにより、わが国の治水水準は確実に上昇してきた。しかし、治水水準の向上に伴い、従来は計画対象外とされた施設安全度を超える洪水に対して、どのような対策を考えるかということが重要になってきている。さらに、気候変動に伴い、将来も現在の施設が設計当初に想定された安全度を保持し続けられるのかといった危険性も指摘されている。いずれにしても、わが国の治水は、今までに主として施設整備によって上昇させてきた水準に加えて、氾濫が起ることも想定に入れた上で、いかに壊滅的な被害に陥らないようにするかを考えることが重要な段階になりつつある。

避難を中心とする被害回避・軽減行動は、カストロフィックな外力への対応の中心となる。しかし、実験が困難なことや人間行動に含まれる不確実性要因が大きいことなどから、具体的・定量的な分析が難しいことも事実である。したがって、人間行動に内在する不確実性要因も踏まえて避難行動をコンピュータ上でシミュレーションすることができれば、仮想的に与える様々な条件の下での避難状況を定量的に分析することが可能になり、避難計画の立案等、災害対応システムの設計に資するところ大であり、社会的ニーズはきわめて高いと考えられる。避難行動に関する研究は、主として、水害時の現地調査やアンケートによる住民意識調査などの主として調査中心のアプローチと、避難行動をコンピュータ上で再現しようとするモデリングアプローチに大別できる。調査アプローチでは、災害の現地調査に加えて、ハザードマップなどの情報や水害の経験などと避難行動との関係に関する分析（片田ら(2002, 2004)）が行われる一方、モデリングアプローチでは高橋ら(1989)や高棹ら(1995)による避難行動モデルが開発されてきた。また、水害時の避難行動の分析に不可欠な洪水氾濫の挙動再現についても、氾濫原の微地形や建物構造を反映できる詳細な氾濫解析手法（福岡ら(1998)、川池ら(2002)）が提案されつつある。

申請者は、主としてモデリングアプローチを取りながら、現地調査の成果を避難行動シミュレーションに直接取り入れることを念頭に置き、住民が避難あるいは避難しないと

いう判断を行う心理過程を含めて避難行動を再現するマイクロモデルの開発を進めてきた（高棹ら(1995)、Hori et.al.(2004)）。水害避難マイクロモデルは、住民の水害に対する意識や、危険認識を数値パラメータで表現し、意思決定の過程を人工知能技術を用いて表現するなどの特徴を持ち、水害時の住民行動を自主避難や指示避難を含めて再現できるという特徴を持っていた。しかし、現実的な水害避難行動のシミュレーションを行うには、避難行動の場となる住宅や街路の状況などをコンピュータ上に再現する必要があり、それには膨大な労力が必要となった。一方、近年、国土情報のデジタル化が進み、カーナビゲーションシステムへの利用を念頭においた空間情報基盤データが国土地理院から市販される段階になった。空間情報データ基盤は、2500分の1都市計画図を基本に、道路や行政区画、街区、建物等の地物が数値化されたものである。したがって、これらの数値データをもとに、コンピュータ内に住民の居住区や街路網、避難施設等を表現することができれば、従来膨大な労力を要していた避難行動場の再現が極めて短時間のうちに行えるようになる。市販の地理情報システムでも、空間基盤データを用いて地図を表示し、距離や面積を計算できるものが出回りつつある。しかし、避難行動場の再現という目的では、これら市販システムは十分ではない。避難行動シミュレーションを行うためには、避難主体となる個人や世帯のモデルが、避難行動場のモデルにアクセスし、街路状況を把握し、自ら経路選択を行うということが必要であり、避難主体モデル（水害避難マイクロモデル）との間で、高速・効率的に街路やその浸水状況、避難場所に関する情報をやり取りできる必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の最大の目的は、国土数値情報空間データ基盤などの地物データを有効に利用し、水害避難の行動場をコンピュータ上に再現するとともに、研究代表者らが従来開発を進めてきた水害避難マイクロモデルを街路状況やその上の浸水状況に応じて自律的に行動ができるように発展させることで、水害時の住民の心理過程と地形・地物に即した実際の行動をシミュレーションできるシステムを開発することである。具体的に解決を目指

す課題は以下の通りである。

まず、国土地理院の発行している空間データ基盤2500と50mメッシュ標高データを入力として、対象地域の街路や地物をコンピュータ内に再現するデジタル避難行動場モデルを開発する。特に、市販データの利用を前提とすることで、避難シミュレーションの対象地域表現が容易になり、様々の地域への適用性が高まる。

洪水時の避難の場合、避難を決意し自宅等を出た後、道路状況や浸水状況に応じて、避難経路を変更したり、自宅に戻ったりという行動が見られる。そこで、想定される行動パターンをルール形式で表現しておくことにより、デジタル避難行動場モデルからの情報をもとに、自律的に行動の変更を行うことのできる自律型避難行動エージェントモデルを開発する。これにより、自宅等を出た後の住民の行動をより現実的に再現できるという成果が予想され、具体的な地域を対象とした実用化を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究は、一般に入手可能な数値地図データを活用し、我が国の任意の地域で、水害避難行動シミュレーションを容易かつ詳細に行い得るシステムを構築することにあるため、以下の三つの課題に分けてモデル開発を進めることとした。

#### (1) 避難行動場表現のための空間データ・マニピュレーション・ツールの開発

道路網や街区等の地物データは、国土地理院発行の空間データ基盤2500（2500分の1都市計画図相当）に最も詳しく格納されている。しかし、道路に関しては法線計上のみで幅がとらえられていない、標高は取り扱われていないなど、避難行動場の表現としては不足するものもある。そこで、最も詳細な空間データ基盤2500を中心としつつ、他の数値データファイルから標高等避難行動に影響を与えるデータを切り出し、重ね合わせることでできるツールを開発する。特に、空間データ基盤2500は平面直角座標系で表現されているが、データの中には、緯経度座標系で整理されているものにもあることに注意し、正確な座標変換に基づきデータの重ねあわせをはかる。また、基本となる空間データ基盤2500が行政界で区切られたデータ構造となっていることから、膨大なデータファイル群からシミュレーション対象地域を簡単に切り出すことのできるツールも開発する。

#### (2) 街路ネットワークを中心とした避難行動場モデルの開発

上記(1)で切り出した地物情報を表現するデータを用いて、コンピュータ上に街路ネットワーク、避難場所、氾濫水の状況を一体的に再現するデジタル避難行動場モデルを設計する。特に、シミュレーションの効率を重視し、避難行動エージェントもモデルが、街路の接続状況や冠水状況を高速に取り出し、自らの経路選択等に反映させることができる枠組みを検討する。

#### (3) 経路上の混雑状況を考慮した避難行動エージェントの設計

従来研究代表者らが開発してきた避難行動エージェントに、経路上の混雑や障害物の状況を把握し、その影響を翹いさせることができる機能を追加する。

### 4. 研究成果

本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

#### (1) 高速参照可能な統合型デジタル避難行動場モデル

避難シミュレーションを行うには、避難主体となる住民のモデル（避難行動エージェント）が、自分の位置や周辺の街路の接続関係を容易かつ高速に参照できることが必要となる。そこで、空間データ基盤2500データファイルの段階では番号で区別されていた街路区間や交差点を、コンピュータメモリ上にオブジェクトとして表現するとともに、これらの接続状況を街路番号や交差点番号を用いることなく、コンピュータメモリ上のアドレスを用いて高速に参照できる機能を持つソフトウェアを開発した。

また、2500分の1都市計画図相当の領域は、シミュレーション対象となる地域の表現には小さすぎ、通常複数の地図領域を接続して使用しなければならないことから、地図境界部分での街路の接続関係を解析することで、複数の地図領域を統合し、シミュレーション対象地域のみを一つの数値地図に変換するツールも開発した。

図-1は開発したシステムを用いて、避難行動場をコンピュータ上に作成し、画面に表示させたものである。図中の黒線が街路を表しており、領域左下で河川が合流している様子や橋の状況が読み取れる。

避難行動時の経路選択は、目的地や地理状況に関する知識に依存するが、居住地域内での避難であれば、基本的には最短経路を移動すると考えてもよい。そこで、本システムには、すべてのノード間の最短経路を計算し、マトリクス形式で格納する機能も実装した。最短経路計算には、Warshall-Floyd法を用い

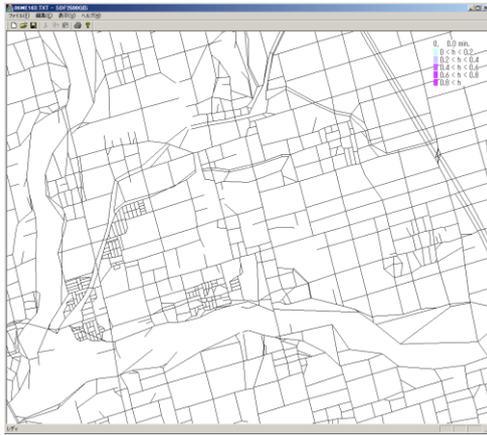


図-1 避難行動場モデルによる対象地域の表示例

ており、浸水によって通行が不可能なアークがある場合には、その部分の距離を十分大きくとることにより、氾濫状況を反映した経路設定を可能にしている。

(2) 経路上の混雑状況を考慮した避難行動モデル

避難経路上の道路幅員が狭いところでは、移動中の人と人との相互作用によって、歩行速度が低下したりして混雑が生じる可能性がある。また、道路上に車が放置されるなど障害物が問題になる場合もある。さらに、避難中に歩行者と自動車との交錯が問題となる場合も考えられる。こうした、避難者間あるいは避難者と障害物や自動車との相互作用をシミュレーションに取り込むためには、アークとノード、すなわち、点と線で表現されている街路網を、幅員を有する面として表現することが必要になる。避難行動の場を面としてとらえるには、領域全体を多数のセルの集合として表現する方法と、街路部分を連続したポリゴンと表現する二つの方法が考えられる。しかし、前者は取り扱いが容易である一方で大量のセルを扱うことによるメモリ負荷が大きく、後者はもともと点と線のデータしかないことから、接続部（交差点）等のポリゴン表現が難しく、計算負荷も大きくなるという欠点がある。

そこで、本研究では、アークを構成する線分を中心とし、道路幅員分の幅を持つ矩形を考え、この矩形が連続していると考えたことで幅を持つ道路を表現することにした。これにより、移動する住民の位置は、アークの始点からの距離と、アーク中心線（道路中央）からの距離との組み合わせで表現することができ、記憶負荷・計算負荷を軽減することができる。なお、アークが曲がっているとき

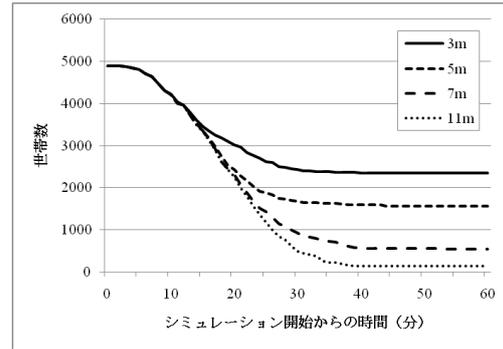


図-2 道路幅別の移動中世帯数の時間変化

(折れ線で表現されているとき)には、各折れ線に付随する矩形の一部が重なったり、不連続になったりするが、アークを構成する線分が十分に短ければその影響は無視できると考えられる。

混雑や相互作用が歩行行動に及ぼす影響の表現方法として、経路上の群衆密度を用いる方法と、前方に人や障害物がある場合には回避行動をとるタイプの二種類を考えることにした。群衆密度を用いるタイプでは、既存の実験研究を参考に、アーク上の群衆密度によって、そのアーク上の避難者の歩行速度が変化するというモデリングを行った。回避行動を行う方法では、前方の障害物の横を一定の距離だけ離れて追い越すというルールを設定した。これにより、速度の違いによる交錯や、一定の回避距離が取れない場合には追従するという様子を再現することができる。

(3) シミュレーション結果の一例

本研究で開発したシステムを用いて、図-1に示す地域で、避難行動シミュレーションを行った結果の一例を図-2に示す。図-2は、混雑状況の影響を把握するために、道路幅員を変化させた場合について時間の経過とともに避難所に向かって移動中の世帯数がどのように変化するかを示したものである。幅員が小さい場合に、避難所近傍の街路区間において混雑が発生して歩行速度が低下した結果、避難所に到達できない世帯が相当数発生することが分かる。

なお、本ケースでは避難指示発令と同時に全住民が一斉に移動を開始するとして、行動を追跡しているが、実際には情報の入手状況や危険に対する意識の程度によって、移動開始時刻が異なると考えられる。こうした点については、本研究で開発したシステムを活用して、より多様な条件についてシミュレーシ

ョンを行い、避難の成功率にクリティカルな影響を与える因子を、地域特性や出水特性に応じて分析する必要があると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Hori, T.: Flood Evacuation Simulation System Based on Digital Modeling of Street Network Considering Distributing Process of Information, Proc. of Water Down Under 2008, pp2232-2240, 査読有, 2008.
- ② Hori, T. and M. Shiiba: Optimal Design of Evacuation Route Augmentation against Flood Disasters - An Optimization Algorithm for a Design Problem with high-load 2D simulation -, Proc. of 32nd Congress of IAHR, CD-ROM Publication, 査読有, 2007.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 堀智晴: 住民避難行動を考慮した災害情報伝達のあり方、第 1 回日本気象協会メセナ講演会－激化する気象現象と災害－、2010 年 3 月 19 日、東京都。
- ② 堀智晴: 水害時の避難シミュレーション、土木学会地下空間研究委員会、2010 年 2 月 22 日、東京都。
- ③ Hori, T.: Design of in-floodplain counter-measures to maximize success ratio of evacuation, The 9th IIASA-DPRI Conf. on IDRIM: Scientific Challenges in Implementing Integrated Disaster Risk Management in a Changing World, 2009 年 10 月 14 日、京都市。
- ④ 堀智晴: 水害時の避難行動と情報伝達シミュレーション、情報処理学会 第 109 回情報システムと社会環境研究発表会、2009 年 9 月 19 日、宇治市。
- ⑤ Hori, T.: Evacuation System for Flood Disaster Risk Management, Kyoto University GCOE Program Human Security Engineering for Asian Megacities – HSE, "Disaster Management for Human Security in Asian Megacities", 2009 年 8 月 25 日、宇治市。
- ⑥ Hori, T.: A Flood Evacuation Simulation Model Considering Inhabitants' Attitude to Flood Disasters and Distributing Process of Information, Kick off Symposium of Ku-HSE, GCOE, Mumbai Base on Integrated Disaster Risk Management: Hot Spot Mega City, 2009 年 3 月 16 日, Mumbai, India.

- ⑦ 堀智晴: ソフトとハードの連携で洪水に備える－水害時の情報伝達・避難シミュレーション－、猪名川水害に関する防災ワークショップ、2009 年 1 月 31 日、尼崎市..

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

堀 智晴 (HORI TOMOHARU)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：20190225