

## ◆ 国土管理特集 ◆

## GIS を用いた洪水時の避難行動解析システムの開発

館健一郎\* 武富一秀\*\* 吉谷純一\*\*\* 金木 誠\*\*\*\*

## 1. はじめに

洪水氾濫による被害を最小化するためには、ソフト対策も含めた総合的な氾濫原管理が重要である。特に、人的被害を防ぐためには、事前の防災計画や洪水時の緊急対応を適切に実施する必要がある。防災担当者が、洪水時に必要な情報の収集及び共有を行い、他の機関や住民に的確な情報提供を行うことを支援するシステムの構築が望まれる。

一方、河川行政における地理情報システム(GIS)の有効性がいわれて久しい。GISを用いることで、データの管理が効率化され、データの加工・分析・表示を容易に行うことができる。現在、河川 GIS の整備標準が示され、それに基づいたデータ整備が推進されている。しかし、整備データを用いた具体的なアプリケーションが提示されておらず、有効な活用には至っていない。現在は、河川 GIS データ整備の段階から、具体的な活用段階へと移行する段階であるといえる。

本研究の将来的な目標は、洪水氾濫を対象とした危機管理支援システムの構築である。図-1 にシステムの全体概要(案)を示す。過去におけるそのようなシステム開発の試みとしては、旧土木研究所におけるハザード・シミュレータ<sup>1)</sup>等があるが、汎用性、拡張性の点で限界があり、将来的な改良のためには GIS の活用が不可欠であった。そこで、本研究におけるシステム構築にあたっては、GIS を用いることでデータ処理が容易で高い汎用性、拡張性を有するものとすることを目指した。作業を通じて GIS 利用の有効性を実証的に示すとともに、システム整備の手順を整理する。

今までのところ、上記システムの一部である避難解析システム及び浸水被害想定システム(GIS の重ね合わせ機能を用いて浸水による被害を推定する)の開発が行われている。本報では、構築した避難解析システムの概要と、システムを用いた解析結果を紹介する。

Development of GIS-based System for Refuge Action Analysis during Flood

## 2. 避難解析システムの構築

## 2.1 システム概要

避難解析システムは、最適な避難所や避難路の選定、避難勧告・命令の伝達方法等の判断を支援するためのシステムである。将来的には洪水時の緊急対応をリアルタイムに支援するシステムを目指すが、現段階では事前計画段階での利用に対応している。

洪水時の住民の避難行動特性については、洪水発生後のアンケート調査<sup>2)~5)</sup>が行われており、世帯内の高齢者の有無や水害経験等によって避難率や出発時間に差違があることが知られている。避難行動の解析事例には、高橋らによる氾濫解析との重ね合わせで避難の成否を評価するモデル<sup>6)</sup>や、片田らによる住民間の情報伝達過程をシミュレートするモデル<sup>7)</sup>等がある。

避難解析システムには、基礎的な住民の行動特性を反映する必要があるとともに、現場での危機管理対応での活用のためには簡略化も求められる。そこで、今回開発したシステムでは、洪水時の情報伝達過程や住民の避難行動パターン(自主避難の有無や出発時間の分布)を考慮するものの、避難情報取得率、自主避難率や世帯毎の出発時間分布等については、既往の調査事例に基づいて世帯比率を設定するようにした。

システムの解析部分のうち、GIS で解析可能な部分は GIS で行い、困難な部分は外部プログラムで行っている。GIS ソフトは Arc View (ESRI 社) を用いた。また、解析を行う際のパラメータ設



図-1 洪水氾濫を対象とした危機管理支援システム

表-1 住宅の建て方及び浸水深と要避難率

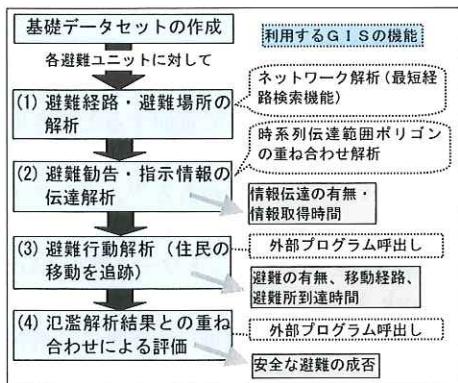


図-2 解析手順

定が容易に行えるようなシステムとし、将来的な改良を考慮して拡張性の高いモデル構造としている。システム構築の対象地域は、様々な GIS データ整備・活用が先導的に進められている岐阜県大垣市とした。大垣市は揖斐川の右岸に位置しており、揖斐川本川及び支川牧田川、杭瀬川からの氾濫によって大きな被害を被る危険性がある。システム化に必要な基礎的な情報は、大垣市役所へのヒアリング等で収集した。

## 2.2 解析手順

システムは、避難行動解析の最小単位である避難ユニット（世帯の集合）を決め、その避難ユニットに対して、(1) 避難経路・避難場所を求める。その後、(2) 様々な伝達手段による避難勧告・指示情報の伝達を解析して、避難ユニットへの情報伝達の有無、情報取得時間を求める。続いて、(3) 与えられた避難行動特性を考慮した避難行動解析を行い、避難ユニットの移動過程を追跡する。この作業により、避難ユニットの移動過程、避難所への到達人数等が時系列で求められる。さらに、その結果を用いて、(4) 泛濫解析との重ね合わせによる評価を行う。なお、解析結果は GIS 上でビジュアルに表示される。解析手順を図-2 に示す。

## 2.3 基礎的なデータ作成

解析に先立ち、基礎的な GIS データの構築を行う。国土地理院等によって GIS 形式のデータ整備は進められているものの、システムで用いるためには、データ形式の変換や、必要な情報の付加等の作業が必要となる。

### 2.3.1 避難ユニット

避難行動解析の最小単位である避難ユニット（GIS 上ではポイントデータ）を設定する。理想的には、域内の各世帯の位置、属性データを入手して避難ユニットとすることが望ましい。しかし、

住宅の建て方	一戸建	長屋建	共同住宅		
			1, 2階建	3~5階建	6階建以上
浸水深	0.01~0.50m	0%	0%	0%	0%
	0.50~2.00m	15%*1)	30%*2)	50%*3)	25% 15%
	2.00~4.00m	100%	100%	100%	50% 30%
	4.00m~	100%	100%	100%	50%

\*1) 一戸建の平屋建の割合が 15% (埼玉県 H5 年住宅統計調査の氾濫原内市町村の平均値) なので

\*2) 長屋建の平屋建の割合が 30% (埼玉県 H5 年住宅統計調査の氾濫原内市町村の平均値) なので

\*3) 共同住宅 (1, 2階建) の 100% が 2階建 (埼玉県 H5 年住宅統計調査の氾濫原内市町村の平均値) でその半分にあたる 1階部分に住む人が避難すると仮定

そのようなデータの入手は困難なこと、データ数が膨大になり解析に時間がかかるなど、などを考慮し、同一の町丁目に居住するいくつかの世帯をグループ化して避難ユニットとした。

まず、「国土地理院 1/2,500 空間データ基盤」の町丁目ポリゴンデータに基づき、町丁目毎の世帯グループを作成した。ただし、面積の大きな町丁目については分割した。世帯グループの位置は町丁目ポリゴンの中心で代表させる。さらに、町丁目毎に分けられた世帯グループを、年齢属性 (65 才以上の高齢者のいる世帯、6 才未満の子供のいる世帯、65 才以上の高齢者・6 才未満の子供のいない世帯) により区分した。それぞれの割合は、平成 7 年の国勢調査 (地域メッシュ統計) から求めた。この区分を行う理由は、世帯の年齢属性に応じて避難率及び歩行速度を変化させるためである。さらに、既往水害での調査結果をもとにした避難率及び情報取得後の避難開始時間分布 (後述) に基づき、避難行動特性毎に区分し、避難ユニットとした。以上の作業により、位置、世帯数・人口、避難行動特性 (情報取得後の出発時間)、年齢属性、町丁目等の属性をもつ世帯のグループが避難ユニットとなる。大垣市の解析エリアのユニット数は 623 となった。

本検討では用いることが出来なかったが、住民基本台帳と数値地図の建物ポリゴンデータを活用することにより、個々の世帯を避難ユニットとして設定することが可能であり、年齢属性や要援護者等の情報が詳細に考慮できる。ただし、その際にはプライバシーや防犯上の問題をクリアしなければならない。

なお、今回の解析では、住居形態から避難を要すると想定される世帯のみを対象とした。既存の揖斐川氾濫解析結果<sup>8)</sup> の最大浸水深と家屋形態別の世帯数 (平成 7 年国勢調査地域メッシュ統計)

より、1km メッシュ単位の要避難者数を求め、要避難者率を求めている。その際に用いた、住宅の建て方及び浸水深に応じた要避難率の設定を表-1に示す。

### 2.3.2 道路ネットワーク

避難ユニットの移動の解析に必要となる道路ネットワークデータには、汎用性を考慮して「国土地理院 1/2,500 空間データ基盤」を用いた。ただし、道路幅等の属性データは入っていないので、避難移動中の群衆密度による速度低下を考慮するため「ゼンリン住宅地図 2001 大垣市」より抽出した道路幅員属性を加えた。

### 2.3.3 避難場所

避難場所については、大垣市の地域防災計画及び大垣輪中水防事務組合の水防計画で示されている避難場所を GIS データ(ポイント)化した。

### 2.4 避難経路・避難場所の解析

各避難ユニットは、最も近い避難場所に最短経路を通って避難するものとする。避難場所及び経路は、GIS の経路検索機能(Arc View Network Analyst)を拡張して複数地点間の経路探索を可能としたものを用いて求め、事前にデータ化する。現在のところ、道路の浸水による通行途絶は考慮していないが、道路リンクの属性を変化させることで、そのような影響を考慮することは可能である。

### 2.5 避難勧告・指示情報の伝達解析

#### 2.5.1 伝達モデル概要

様々な伝達手段を通じて避難勧告・指示の情報が避難ユニットへと伝わる過程をモデル化し、避難ユニットへの情報伝達の有無、情報取得時間を求める。想定する伝達手段による時系列の情報伝達エリア(ポリゴン)を重ね合わせて、一番短い伝達時間を避難ユニットへの伝達時間とする。

災害時の情報伝達過程は、市役所からの情報が直接伝わるものと、その情報を入手した住民から口コミ及び電話によって他に伝わるもの(住民間情報伝達)を考えられる。そこで、市役所からの情報が直接伝わる過程(一次伝達モデル)と、その情報を入手した住民から他に伝わる過程(二次伝達モデル)を考慮したモデルとした。

#### 2.5.2 一次伝達モデル

一次伝達モデルでは、大垣市へのヒアリング結果を参考に、広報車、屋外スピーカー(防災行政無線)、CATV の伝達手段をモデル化しており、経過時間毎の情報伝達範囲(ポリゴン)と避難ユニットの重ね合わせにより、情報取得する避難ユニッ

トを求めている。

多くの市町村では、広報車を用いた避難情報の提供が行われている。広報車には、多くの人に情報伝えようと速いスピードで巡回すると聞き取りにくくなり、ゆっくり走ると少数の人しか聞き取れなくなるというジレンマがある<sup>9)</sup>。本システムでは、移動ルートの設定条件や走行速度、音声到達距離、聴取率を与え、ネットワーク解析(Arc View Network Analyst)で求めた走行経路にバッファリング作業を行い、時間毎に広報車より情報取得する避難ユニットを求める。なお、広報車の移動ルート設定について、いくつかの自治体を対象に調査したが、どの自治体においても定められていなかった。解析にあたっては、広報車移動ルート設定に何らかのルールを設定する必要がある。

大垣市では、屋外スピーカーは市内 50 カ所に設置されており、半径 300m(無風状態)に届くと想定されている。しかし、洪水時には、家屋の窓が閉じられていて、風雨の音で聞き取りにくい場合があるという難点がある。平成 12 年の 9 月の東海豪雨災害では、屋外スピーカーが整備されていた新川町における避難勧告の発令と情報取得はほぼ同一の時刻で、約 70% の住民が初着情報を屋外スピーカーから入手していたという調査<sup>5)</sup>があり、迅速な情報伝達への有効性が示されている。本システムでは、スピーカー位置と音声到達距離、聴取率を考慮しており、放送と同時に情報取得されるとしている。

災害時に大量の情報を視覚的に提供できる CATV は有効な手段である。荒川下流工事事務所では、平成 10 年 8 月 15 日の出水の際に近隣 CATV 会社に出水状況のライブ映像を提供したが、災害時視聴率 86% であり、状況を的確に知らせるのに役立った<sup>10)</sup>。大垣市では、避難に関する情報を CATV 会社に送信しており、住民への情報伝達手段として活用可能である。本システムの CATV による情報伝達過程は、サービス域と加入率、視聴率を考慮している。聴取率等のパラメータは、過去の水害時の調査事例を参考に設定することになる。

#### 2.5.3 二次伝達モデル

二次伝達モデルは住民間情報伝達を想定しており、新規に情報を入手してから近所へと直接訪問・電話連絡等で伝播する事象(口コミ伝達)と、市内全域を対象に電話連絡される事象(電話伝達)に分けてモデル化している。住民間情報伝達は、物理的

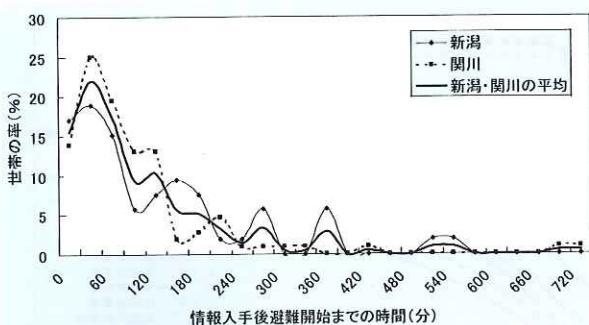


図-3 情報入手後の出発時間の調査結果

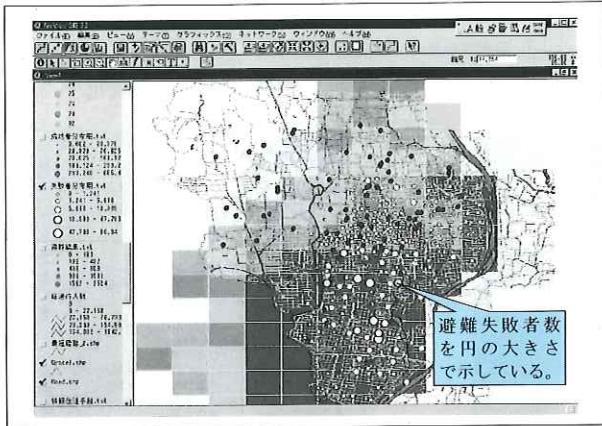


図-4 システム画面例(氾濫解析結果と避難失敗者分布)  
な施設を伴わないことにおいて被災の影響を受け難く、施設的な情報伝達システムが十分に機能しない状況のもとにあっても唯一安定的に機能するシステム<sup>7)</sup>であり、情報伝達過程としてシステムに取り込む必要性は大きい。

本システムでは、口コミ伝達は一次伝達で新規に情報入手した避難ユニット数の一定率のユニットへと二次伝達が行われるものとしており、一次伝達がなされた箇所から口コミの伝達速度(西原<sup>11)</sup>を参考に10m/min)で同心円的に広がるバッファリングで伝達範囲を設定した。一方の電話伝達は、市全域で新たに情報を入手した全ユニット数の一定率のユニット(市全域)へと伝達されるものとしている。なお、二次伝達されるユニットは伝達範囲内でランダムに選定される。

情報取得した避難ユニットと、そこから新たに情報伝達されるユニットの比率(即ち、情報を取得した世帯が情報伝達する相手の数)の妥当な値は不明である。片田らが行った災害時の住民間情報伝達に関するアンケート調査<sup>7)</sup>では、災害時に想定される情報伝達先の数の平均は1世帯あたり3.11世帯であったが、このような知見が参考となろう。

## 2.6 避難行動解析

ここでは、与えられた避難行動特性(避難意思の有無、出発準備時間等)、世帯の年齢属性に基づく初期歩行速度、疲労度や群衆密度による歩行速度変化等を考慮した避難行動解析を行い、住民の移動過程を追跡する。移動は全て徒歩によるものとし、車による移動は考慮していない。避難ユニットが情報入手し、出発準備時間が経過した後、2.4で求めた最短距離にある避難場所に移動を開始する。全避難ユニットの行動を解析後、各ユニットの時系列の位置や避難先、避難ルートの利用状況等を解析結果として記録する。

避難行動は、浸水危険度の認知、水害経験などの住民属性の影響を受ける。厳密には、与えられた状況下での個々の世帯の心理的過程及び行動をモデル化する必要がある。しかし、そのようなモデル化を行うことは、住民属性データの入手が難しいこと、解析が複雑になること等から、実用上は不可能である。よって、本システムでは世帯に高齢者や子供がいるかどうかのみを避難ユニット属性として扱い、避難率や出発時間分布等の数値を与えていた。

全世帯に対する自主的避難の割合は、平成12年9月東海豪雨災害では西枇杷島町62.4%、新川町50.7%、名古屋市西区67.9%、同北区47.9%となっており<sup>5)</sup>、平成10年8月末豪雨での郡山市では50%程度であった<sup>4)</sup>。また、高齢者のいる世帯では避難率が低下し、未就学児がいる場合は避難率が上昇するという結果がある<sup>4)</sup>。これらを参考に、本システムの初期設定では、情報取得後、情報取得世帯の62.4%が避難するとした。この避難率は、上記の西枇杷島町の避難率をもとに設定している。ただし、65歳以上の高齢者がいる世帯の避難率は1/1.2倍、6才未満の子供がいる世帯の避難率は1.2倍とすることで、世帯属性による避難行動の違いを考慮した。

避難に関する情報入手後、家財道具を移動させる等の被害軽減行動をとる世帯がある。また、世帯によって緊急性の判断が異なっており、避難場所への出発時間には分布が生じる。詳細な出発時間分布が分かる既往の調査結果は少ないが、本システムの初期設定では、平成7年の閏川水害<sup>2)</sup>、平成10年の新潟下越集中豪雨水害<sup>3)</sup>のアンケート調査結果(図-3)をもとに、情報入手後の避難開始時間をえた。

徒歩による移動の速度は、年齢属性、疲労度、避難経路の混雑に応じた移動能力の低下(群衆密度)を考慮した西原のモデル<sup>11)</sup>を用いた。

## 2.7 汚濫解析との重ね合わせによる評価

2.6で求められた避難ユニットの移動経路と汚濫解析とを重ね合わせ、避難の成否の評価を行う。本検討では、汚濫解析自体は行っていないため、中部地方整備局が過去に行なった揖斐川、牧田川、杭瀬川の汚濫解析結果<sup>8)</sup>を用いた。時系列で、避難ユニットの状態と浸水深の重ね合わせを行い、避難ユニットの状態と浸水深の関係毎に失敗率を与えて避難失敗者の算定を行う。

図-4は、システム画面の例である。3.1で説明するCASE1の条件での避難失敗者分布が示されている。

## 3. システムを用いた検討例

大垣市を対象としたシステムを用いて、情報伝達方法等が住民の情報取得、避難行動に与える影響について検討した結果を紹介する。

### 3.1 検討条件

表-2の検討ケースを設定した。CASE1は現況

表-2 検討ケース

ケース	想定条件	設定条件の詳細(現況 CASE1 からの変更)
CASE1	現況	情報の一次伝達 • 広報車：6台が市内の避難所を最短経路で巡回、音声到達距離50m、聴取率30% • 屋外スピーカー：50カ所、音声到達距離150m、聴取率70% <sup>*1)</sup> • CATV：サービス域現況、聴取率30% 情報の二次伝達 • 口コミ伝達：新規に情報入手した避難ユニット数の300% <sup>*2)</sup> のユニットへ伝達 • 電話伝達：新規に情報入手した避難ユニット数の30%のユニットへ伝達
CASE2	CATVサービス域の拡大	CATVのサービス域を現況から市全体に
CASE3	各戸無線の100%導入	避難情報発令同時に100%の避難ユニットが情報取得
CASE4	住民の危機意識の向上	CATV聴取率を56% <sup>*3)</sup> 、避難率を初期設定から10%増やし72.4%に
CASE5	住民の危機意識の向上	CATV聴取率を56% <sup>*3)</sup> 、避難率を初期設定から10%増やし72.4%、避難開始時刻を初期設定の分布から全体的に1時間 <sup>*4)</sup> 早期化

\*1) 平成12年9月東海豪雨災害の新川町で約70%の住民が初着情報を屋外スピーカーから入手していた<sup>5)</sup>ことから

\*2) 災害時に想定される情報伝達先の数の平均は1世帯あたり3.11世帯という調査結果<sup>7)</sup>より

\*3) 大垣市におけるCATV加入率56%と平成10年8月荒川における出水の際のCATVライブ映像の視聴率86%<sup>10)</sup>の掛け合わせより

\*4) 平成10年8月末豪雨の郡山市ではハザードマップを見た人の避難開始時間は1時間早かった<sup>4)</sup>ことから

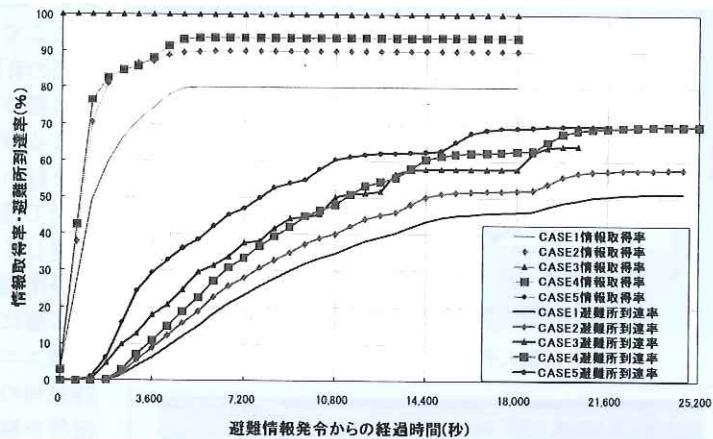


図-5 全要避難者に対する情報取得率、避難所到達率の時間変化

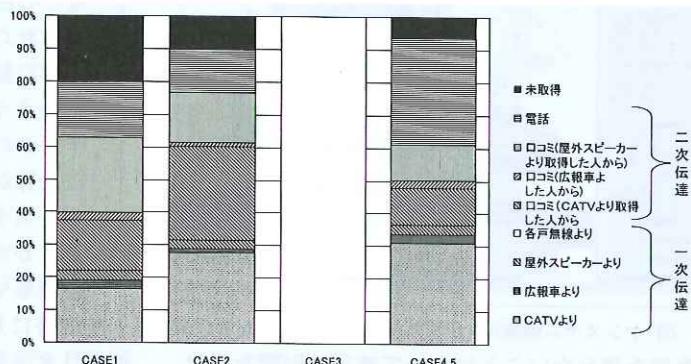


図-6 情報取得経路の内訳

の情報伝達条件を想定している。それに対して、CASE2はCATVのサービス域を市内全域とした場合、CASE3は各戸無線(防災行政無線の情報が一斉に伝達される)を全戸に導入した場合である。各戸無線の情報取得率は不明であるが、便宜的に

100%とした。CASE4 及び CASE5 は、ハザードマップ配布等によって住民の危機意識が向上した場合を想定している。

### 3.2 検討結果

対象域内の要避難者を対象に、情報発令後の情報取得率及び避難所到達率について解析した結果を図-5 に示す。情報伝達手段の活用及び危機意識の向上により、情報取得率が上昇、取得時間が早期化し、それに伴って早期の避難が行われるようになる効果が表されている。適切な情報提供及び浸水危険性の啓蒙の有効性が分かる。各種パラメータ設定に検討の余地があるものの、このようなシステムを避難計画の策定に活用することができるものと考えられる。

図-6 は、各ケースでの住民の情報取得経路の内訳であるが、一次伝達に加え、二次伝達による情報の伝播が表現されていることが分かる。

### 4. おわりに

本報では、GIS を用いた避難解析システムを作成し、それを用いて情報伝達手段の違い等の影響を検討した結果を紹介した。

今後は、既往の水害時の情報伝達や住民の避難行動に関する調査結果を精査し、より実態に近いパラメータを設定して避難行動の解析が出来るようになる必要がある。

また、本報の範囲では、氾濫解析自体を独自に行っておらず、既存の計算結果を用いている。今後は、精度の高い氾濫予測(外水及び内水)を行い、その結果に基づく避難解析を行う予定である。

現時点においても、様々なデータが電子化され、GIS を用いたシステム構築に利用可能な状態となっている。しかし、これらのデータは、個々の機関で独自に整備が進められており、他機関のデータとの互換性が確保されていなかったり、データの構造

化が困難だったりする。避難解析システムの構築過程でも、元のデジタルデータを加工あるいは紙ベースのデータをデジタル化して基礎データを作成する必要が生じた。データの加工やデジタル化の手順を整理するとともに、効率的なデータ利用を可能とするよう環境整備していく必要がある。

謝辞

国土交通省中部地方整備局木曽川上流工事事務所、大垣市役所には、データ提供、ヒアリング等でお世話になった。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 栗城稔、末次忠司、小林裕明：ハザード・シミュレーションの水防・避難活動への活用、土木技術資料、37-11, 1995.11
- 2) 栗城稔、末次忠司、海野仁、小林裕明、田中義人：関川水害時の避難行動の分析、土木研究所資料、第 3536 号、1999.2
- 3) 長沼完治、末次忠司、小林裕明、館健一郎、岡部勉：平成 10 年 8 月新潟・下越水害時の避難行動に関する調査、第 54 回土木学会年次学術講演会概要集 共通セッション、pp.66-67, 1999.9
- 4) 群馬大学工学部建設工学科都市工学講座片田研究室：平成 10 年 8 月末集中豪雨灾害における郡山市民の対応行動に関する調査報告書、1999.1
- 5) 群馬大学工学部建設工学科都市工学講座片田研究室：平成 12 年 9 月東海豪雨災害に関する実態調査 調査報告書、2001.1
- 6) 高橋保、中川一、東山甚：洪水氾濫水の動態を考慮した避難システムの評価に関する研究、京都大学防災研究所年報、第 32 号 B-2, pp.757-780, 1989.4
- 7) 片田敏孝、及川康、田中隆司：災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発、土木学会論文集、No.625/VI-44, pp.1-13, 1999.7
- 8) 木曽川上流工事事務所：平成 6 年度木曽川水系想定氾濫解析業務委託報告書
- 9) 財團法人消防科学総合センター：地域防災データ総覧 地域避難編、p.177, 1987.3
- 10) 建設省荒川下流工事事務所：荒川コミュニティーネット 平成 10~11 年度 2 年間の活動成果、2000.4
- 11) 西原巧：氾濫解析に基づく避難システムの河川工学的研究、京都大学博士論文、1983.

館健一郎



国土交通省国土技術政策  
総合研究所危機管理技術  
研究センター  
水害研究室研究官  
Kenichiro TACHI

武富一秀



同 危機管理技術研究セ  
ンター水害研究室研究官  
Kazuhide TAKEDOMI

吉谷純一



独立行政法人土木研究所  
水工研究グループ(水理  
水文) 上席研究員  
Junichi YOSHITANI

金木 誠



国土交通省国土技術政策  
総合研究所危機管理技術  
研究センター  
水害研究室長  
Makoto KANEKI