

自律的避難のための水害リスクコミュニケーション支援システムの開発*

A Flood Risk Communication Support System to Promote Safe Autonomous Evacuation*

川島健一**・多々納裕一***・畑山満則***

By Kenichi KAWASHIMA**・Hirokazu TATANO***・Michinori HATAYAMA***

1. はじめに

水害統計¹⁾によれば、水害による浸水面積は年々減少してきているが、単位浸水面積当たりの被害額である「水害密度」は上昇傾向にある。このため、水害による被害額は、必ずしも減少してきているわけではない。これは、河川の氾濫原における人口・資産の、水害に対する脆弱性が軽減されてきているとは言い難いことを物語っている。

集中豪雨等によって都市部で河川の疎通能力を上回る規模の洪水が発生し、溢水・破堤に至って、人的・物的被害が発生した事例が見られる^{例2)3)}。ハード対策によって全ての洪水被害を防ぐことはできないが、ソフト対策の充実によって人的な被害をより一層低下させることは可能であろう。人的被害軽減のためには先ず持って、安全な避難を実現する体制を確立する必要がある。これに関連して昨今、行政による避難勧告や避難指示の発表のタイミングの遅さや、その伝達の不徹底への批判が寄せられている^{例4)5)}。行政が保有する情報は、住民の保有するそれに対して多くの場合優位であるから、行政が避難に関する勧告や指示を出すことには一定の合理性がある。

しかしながら、避難行動に関する決定が自らの身体の安全に関わることを考えれば、第一義的には住民が自ら意思決定を行う権利を有することには、疑問の余地はない。また、避難行動の決定に関する過度な行政への依存は、自らの身体を危険にさらす可能性すらあるからである。この意味で、行政からの勧告や指示を参考にしつつ、住民が自ら自律的に避難に関する意思決定を下す必要がある。

本研究では、行政等、第三者の指示に従ってなされる避難行動を「他律的避難」と呼び、自らの意思決定によって自発的になされる避難を「自律的避難」と呼ぶ。た

*キーワード：避難計画支援、リスクコミュニケーション、メンタルモデル、GIS

**学生員、京都大学大学院情報学研究所社会情報学専攻
(京都府宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4037 FAX 0774-38-4044)

***正員、工博、京都大学防災研究所社会防災研究部門
(京都府宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4308 FAX 0774-38-4044)

とえ行政による避難勧告や避難指示がなされても、住民が自らの意思によって避難に関する決定を行う場合も、自律的避難に含める。このように自律的避難を定義づけると、程度の差こそあれ、ほとんどの避難は自律的避難に分類されることになる。しかしながら、自らの意思に従って決定された避難行動が適切な判断であり、安全な避難に結びつく保証もまた無い。

現状では、避難勧告や避難指示が発令されても実際には避難しない住民は多い。また、避難のタイミングが遅れたり、安全でない避難場所の選択やルートを選択がなされたりする可能性もある。安全な自律的避難を実現するためには、各人が状況を適確に認知し、状況に応じて避難行動に関する適切な代替案を選択することが必要であろう。このためには、状況を適確に認知するための「情報」、状況を識別するための「知識」、さらには、識別した状況に応じて適切な避難行動を選択するための「多様な避難行動代替案」の獲得が不可欠であろう。従って、自律的で安全な避難行動を実現するためには、地域住民が自らこれらの知識を獲得することが重要である。しかしながら、災害はその生起頻度が少なく、経験からこの種の知識を獲得することは困難である。

以上の問題意識から、本研究では安全で適切な自律的避難行動のための知識獲得を目指した、水害リスクコミュニケーション支援システム(以下、支援システム)の開発を行うこととした。そして、住民が保有している避難行動計画の代替案集合に関する評価を避難メンタルモデルと呼ぶ。住民は支援システムを利用することで、自らの避難行動計画に関する評価の妥当性を検証し、必要に応じて自らの行動計画代替案を修正することができる。また、支援システムを媒介としたステークホルダ間のコミュニケーションにより、創発的に避難場所や避難経路、さらには、避難を開始するタイミング等に関する、より充実した代替案集合や、状況認識のための知識を獲得することができるものとする。

以下、2.では水害リスクコミュニケーションの支援のあり方に関して考察し、本研究の意義を明らかにする。3.では本研究で構築した支援システムについて、その概要を述べる。4.では支援システムの検証実験の概要を示し、5.ではその結果について述べ、考察を行う。

2. 水害リスクコミュニケーションの支援

(1) 水害リスクコミュニケーション

米国National Research Council⁶⁾はリスクコミュニケーションについて、「個人、機関、集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」であると定義した。そのやりとりには、次の2種類のメッセージが含まれる。1つは、リスクの性質についてメッセージ（リスクメッセージ）である。もう1つは、リスクメッセージに対する、またはリスク管理のための法律や制度の整備に対する関心、意見、および反応を表現するメッセージである。このNational Research Councilの定義では、少なくともリスクメッセージの送り手とその受け手との間のコミュニケーションが想定されている。リスクメッセージを送りだすためにはリスクアセスメントの技術を持つ専門家の存在が不可欠であるから、このコミュニケーションは専門家を含む集団内で行われるコミュニケーションとなる。その根底には、リスク事象に対応するためには、リスク分析とそれに基づく双方向の対話が必要であるという考えが存在するのである。

本研究では、水害リスクを対象として、専門家や行政、住民等のステークホルダ相互間の対話を水害リスクコミュニケーションとして捉え、これまでの知見を利用して自律的避難を実現するのに有効な対話手法の要件を探った。リスクを「結果」と「確率」の次元を持つベクトルとして解すれば、水害リスクを対象としたリスクコミュニケーションにおいては、水害の「生起確率」や、氾濫形態や避難の可能性、人的・物的被災状況等の「結果」を含むリスクメッセージの提供が不可欠である。本研究ではこれを「水害リスク情報」と呼ぶ。このように定義すると、水害リスク情報は膨大なデータ量となり、その伝達は必ずしも容易ではない。そこで、水害リスク情報を情報処理システムに格納し、必要に応じて利用しながら、リスクコミュニケーションを進めることとした。

(2) メンタルモデルアプローチ

災害の事前対応としての災害リスクコミュニケーションでは、自然災害によるリスクの軽減がなされるべきであることについて、多くの参加者が共通認識として有しているという点で、他のリスク事象に関するリスクコミュニケーションとは異なるといえる。安全な自律的避難の実現を目指した水害リスクコミュニケーションにおいても、水害リスクが軽減されるように人々の避難行動を変容させることが、重要な命題であるといえる。よって、避難行動を規定する住民一人ひとりの意識や知識を対象として、その変容を図る必要がある。しかしリスクコミュニケーション研究によって蓄積された知見⁶⁾は、一方向的な情報提供、あるいは指示や命令によって、人々の

行動を変容させることが困難であることを示す。このことは、人々の行動を規定する意識や知識を、外部からの干渉によって構築することの難しさを示している。

本研究では、避難行動を規定する意識や知識の集合を「避難メンタルモデル」として仮定し、その変容を図る。メンタルモデルは人が外界に関する状況について構築する内的なモデル、ないしはシミュレーションであり、人のあらゆる行動を規定しているといわれている⁶⁾。これまでのメンタルモデルに関する研究の多くは機器操作におけるその役割を対象としており、人間が機器を操作するときに、自分がそれまで獲得してきたメンタルモデルの枠組みで操作が行われることを示す実験結果が得られている^{例(6,7)}。水害時に対応行動を迫られたとき、人の行動が従うのはその人の持つ避難メンタルモデルであると考え、安全で自律的な避難の実現のために必要なのは、事前の避難メンタルモデルに対するアプローチである。

(3) 避難メンタルモデルの構造

図-1に、本研究で考える避難メンタルモデルの構造を示す。避難メンタルモデルは水害の状況を示す情報の入力を受けると、それに応じて実際の避難行動を規定すると考えられる。そして内部にはその構成要素として、水害の状況を識別するための知識と、避難行動計画の代替案集合が含まれる。

例えば唯一の避難行動計画を内包した画一的な避難メンタルモデルによって、状況に応じた安全な避難がなされるとは考えにくい。すでに述べた通り、安全な自律的避難を実現するためには、住民が水害の状況を的確に認知し、その状況に応じて適切な避難行動の代替案を選択することが必要である。そのためには避難メンタルモデルの内部に、より充実した避難行動計画の代替案集合が備わっていることが望ましい。本研究ではその具体的な項目として避難場所や避難経路、避難を開始するタイミングを扱う。また、外部から入力される水害の状況を示す情報を的確に解釈し、多様に備わった代替案より適切な避難行動計画を選択するためには、情報認識のため

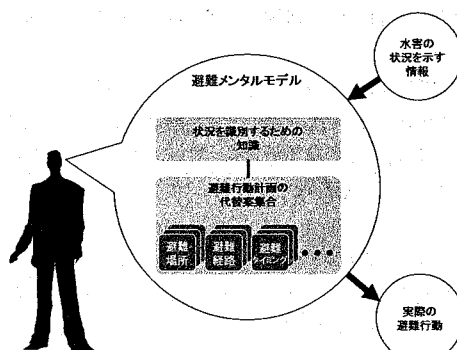


図-1 避難メンタルモデルの構造

の知識の充実も不可欠である。避難メンタルモデルは、以上の要件を満たすものと仮定し、その変化を追うことでリスクコミュニケーションの有効性を検討することができるものとする。

(4) 避難メンタルモデルの構築

それでは、避難メンタルモデルを変容させるための要件とは何であろうか。Norman⁸⁾は、機器インタフェースの設計者が留意すべきものとして、ユーザがその機器に対して構築するメンタルモデルを仮定したが、その形成要因を次の通り指摘した。即ち、1. 反復経験 (Learning by doing)、2. 観察学習、他者との相互作用、経験からの類推、3. メタファ、4. 標準化である。Normanによれば、反復的な試行や学習によって、主観世界であるメンタルモデルがより客観的な形へと変容していく。その際、機器のインタフェースとユーザのメンタルモデルとの乖離が大きいくほど、メンタルモデルの構築は難しくなる。

避難メンタルモデルは、外部からの干渉、特に一方的的な情報提供によってその変容を図ることは難しいと考えられるが、反復経験や相互作用によって形成されていくと考えることができる。しかしながら、水害に実際に経験する機会が容易に得られるとは考えられない。たとえ水害経験が得られたとしても、それは様々な姿を見せる水害のうち、ただ1つの姿を経験したに過ぎず、その経験によって形成される避難メンタルモデルは、画一的なものにならざるを得ない。また、避難行動を観察したり、避難行動計画について他人と何らかのインタラクションが発生する機会も、あまり得ることがない。そこで本研究ではシミュレーション技術を用いて、地域住民が様々なパターンの水害における対応行動を仮想的に体験したり、それについて他者とコミュニケーションしたりできる場を実現することによって、住民の避難メンタルモデルを必要な形に変容させる手法をとる。避難メンタルモデル変容のために必要なのは、水害に関する情報や避難行動の規範の一方的な提供ではなく、地域住民が自分で (あるいは自分たちで)、様々なパターンの水害における避難行動を試行することができる仕組みである。

(5) 水害リスクコミュニケーション支援システムの提案

以上の要件を満たすため、本研究では水害リスクコミュニケーション支援システムを提案する。その概念を図-2に示す。以下ではその実現方法について述べる。

a) 地理情報システムの利用

本研究では水害リスク情報として、氾濫解析の結果を利用する。解析による氾濫予測の精度は著しく向上し、水害時の避難行動の結果を推定する際に有効であると考えられる^(例えば 9)。氾濫解析の結果である時系列浸水深データは地理的な座標、時間、浸水深等を含み、これを扱うには4次元以上の情報空間を用意する必要がある。また、時系列浸水深データを氾濫シナリオごとに扱うとすると、その膨大なデータ量に留意しなければならない。そこで支援システムには、時系列地理データの扱いに長ける時空間地理情報システム、DiMSIS¹⁰⁾を利用することとした。

b) 避難行動に関する仮想タスク空間の実現

黒川¹¹⁾は、人間が情報機械とインタラクションを行う際の作業対象が存在する空間を、仮想タスク空間と名付けた。そして人間が仮想タスク空間内の仮想対象とコミュニケーションを行う際には、脳の記憶力、推論力、表現力がデータベースやシミュレーションの形で情報機械上に外化され、人は新たな思考力と想像力を獲得できるとする。

支援システムはその要件により、地域住民が考える水害時の避難行動を、自ら試行することができる場を提供する必要がある。本研究ではそのための場として、水害時の避難行動に関する仮想タスク空間を実現する。ユーザは支援システム上に、自らの考える避難行動計画を投影し、さらにその結果に関する情報を得ることができる。支援システムは、水害リスク情報を用いて入力された避難行動を評価し、様々なシナリオにおける安全性という形でその結果を示す。このように、経験することの難しい様々な形の水害におけるその対応行動を、繰り返し仮想的に体験することによって、人の避難メンタルモデルの内部に、避難行動計画の代替案集合や水害の状況を識別するための知識が、自立的に形成されると考える。

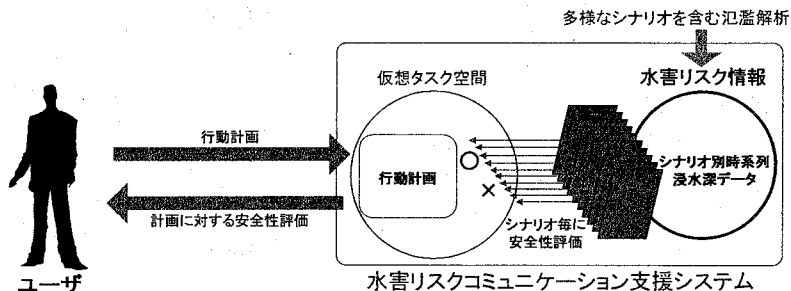


図-2 水害リスクコミュニケーション支援システム概念図

(6) 既往研究のレビューと本研究の立場

メンタルモデルの概念を用いたリスクコミュニケーションに関する研究としては、Granger¹²⁾らによるものが挙げられる。彼らはリスクコミュニケーションにおいて効果的に情報提供を行うために、人々のリスク事象に関するメンタルモデルをインタビューによって図式化し、提供すべき情報を探る手法を提案している。

災害に対する事前の被害軽減策として、住民の防災意識の向上を図る情報処理システムは、いくつか挙げることができる。飯田ら¹³⁾は、岐阜県大垣市を対象とした内外水を含む氾濫解析を用いて、防災計画を検討するためのツールを開発した。飯田らはこのツールを、防災訓練や防災教育に応用できると述べる。また片田ら¹⁴⁾は、津波災害に関する防災教育を目的として、津波災害時における行政の対応行動や住民の避難行動を総合的に表現した、津波災害シナリオ・シミュレータを開発した。これらの住民に対する防災教育を想定したツールは、いずれも一方向的に情報提供を行う仕組みになっている。よって住民が自らの考える避難行動計画を投影し、その結果に関する情報提供を受けるための十分な機能を備えているとは言えない。また目黒ら¹⁵⁾は、ユーザが没入的に地下街における避難の様子を体験することを目的として、仮想現実感技術を用いた避難シミュレーションを開発した。しかし、ユーザ自身による操作の可能性や、適用事例については示していない。

藤井¹⁶⁾は、公共交通による移動の保証や道路混雑の緩和を目的として、コミュニケーションによって人々の移動を過度な自動車利用から適切な公共交通の利用へと誘導する「モビリティマネジメント」を提案し、成果を挙げている。コミュニケーションによって人の内部モデルに対してアプローチし、行動の自発的な変化を誘発するという手法は、本研究と共通する。

本研究では、水害時の人の避難行動を規定する避難メンタルモデルを仮定し、その内部に避難行動計画の代替案集合や水害状況を識別するための知識を充実させることを目指す。このように避難メンタルモデルを変容させるためには、一方向的な情報提供によらず、住民自らが様々な避難行動を仮想的に体験できる場を提供する必要がある。水害リスクコミュニケーション支援システムは、地域住民が考える避難行動計画の自発的な試行を可能にし、行政が持つ水害リスク情報との双方向的なインタラクションや、避難行動に関する他者とのコミュニケーションを実現する。この意味で、支援システムは防災教育ツールではなく、行政と地域住民をステークホルダとするリスクコミュニケーション支援ツールであるといえる。

3. 水害リスクコミュニケーション支援システムの構築

(1) 支援システムの適用地域

本研究では支援システムの適用地域を、愛知県の新川流域と定めた。具体的には、旧西枇杷島町、旧新川町、名古屋市西区・北区の庄内川以北の、4つの地域である。これらの地域は2000年東海豪雨災害において、甚大な被害が発生した。これを受けて平成12年度より総額719億円に上る緊急的な治水事業、「河川激甚災害対策特別緊急事業」が5ヵ年かけて実施され¹⁷⁾、2000年当時と比べて氾濫の可能性は低くなったといえる。しかしながらその地形的な特徴より、この地域における水害の危険性が本質的に去ったとは考えられず、再び大きな洪水に見舞われれば、人的被害の発生が懸念される。

(2) 氾濫解析について

辻本ら¹⁸⁾は新川を対象として、複数のシナリオを含み、内水・外水を連動して取り扱える氾濫解析を構築した。本氾濫解析は、内水氾濫から破堤を伴う大規模な複合氾濫まで、合計68種の水災シナリオを備える。

氾濫解析の結果を擁する愛知県河川課は、地域住民に対する水害危険度情報の周知への利用可能性を検討していた。そこで、支援システムに対して氾濫解析の結果を提供していただけることとなった。

(3) 支援システムの構成

支援システムの構成を、図-3に示す。支援システムは、松本ら¹⁹⁾によって参加型洪水リスクマネジメントを目的として開発された情報処理システム(以下、既存システム)を利用して構築された。今回新たに追加したモジュールやデータは、図-3において新規部分として示されている。

DiMSISは、時空間情報を扱うことができる時空間地理情報システムである¹⁰⁾。氾濫解析の結果であるシナリオ別時系列浸水深や各種の地理データは、DiMSISの地理データ領域に格納される。特に時系列浸水深は、位置情報に時間情報が統合された時空間情報として構成されることになる。

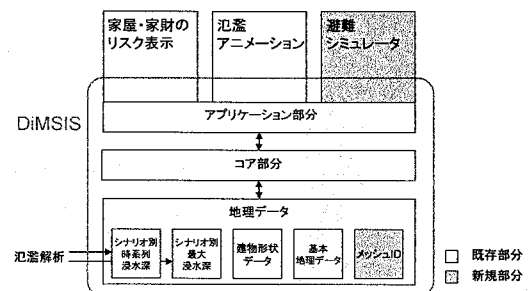


図-3 支援システムの構成

これら地理データは DiMSIS のコア部分が制御し、コア部分はアプリケーションにおいて呼び出される。DiMSIS には元来、地理情報を扱うための基本的なアプリケーションが備わっており、既存システムではこの上に、家屋・家財のリスク表示機能や氾濫アニメーション機能を実現する業務アプリケーションが構築されていた。

本研究では、地域住民の考える避難行動計画を投影できる仮想タスク空間を提供するために、既存システムに避難シミュレータ機能を実現する業務アプリケーションと、そこで必要となるメッシュ ID データが追加された。このように、避難シミュレータは既存システムのリソースを利用しながら、水害リスクコミュニケーション支援システムの要件を満たすべく、その中核となる機能を提供するものである。

(4) 避難シミュレータ

図-4 に避難シミュレータの操作フローを示す。基本的には、ユーザは個人属性、避難のタイミング、避難場所、避難経路の順で入力を行う。避難シミュレータは入力された避難に対して、全てのシナリオにおける安全性評価と、シナリオ別避難アニメーションの2種類の出力を提供する。以下では各操作・出力の概要と、それぞれの要件定義について述べる。

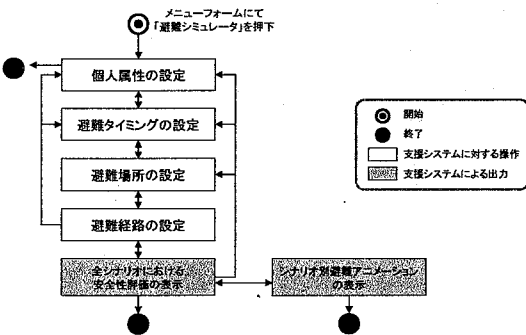


図-4 避難シミュレータの操作フロー

a) 個人属性の設定

ユーザはまず、自分の身長と避難時の歩行速度を設定する。歩行速度は任意に設定することができるが、設定フォームではその参考値として、地震防災計画で想定されている避難速度である 2.016km/h と²⁰⁾、吉岡²¹⁾の調査による通勤時の平均歩行速度、1.9958km/h が提案される。

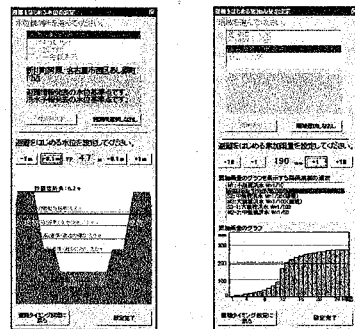
b) 避難タイミングの設定

避難行動計画の結果を左右する大きな要因の 1 つに、避難のタイミングが挙げられる。避難シミュレータでは、避難のきっかけとなる情報と、情報の取得から避難行動を開始するまでの時間の入力によって、避難タイミングを決定している。なお、本研究では避難のきっかけとな

る情報を、「避難トリガ」と呼ぶ。

安全な自発的避難を実現しうる避難メンタルモデルには、水害の状況を示す情報を的確に識別するための知識が備えられなければならない。このため避難シミュレータは、水害時に住民が取得できる避難トリガを、入力として多様に取り扱う必要がある。現状の避難トリガとしては、市町村が発表する避難情報や、都道府県と気象庁が合同で行う洪水予報が考えられる。さらに近年、リアルタイム河川情報²²⁾の整備が全国に広まっており、インターネットを介した情報取得も、その選択肢として考えることができる。リアルタイム河川情報では、流域雨量と河川の水位が 10 分毎に更新される。このようなシステムの整備は直轄河川だけにとどまらず、近年では都道府県管理河川にも広がりを見せている。そして一部では、携帯電話端末向けの web サイトでも、同様の情報提供が始まっている^{例えば 23)}。

以上より避難シミュレータでは、避難情報や洪水予報に加え、地域住民がインターネットを介して河川の水位や流域雨量に関する情報も取得できることを想定し、それらの値を避難トリガとして設定することができる。その設定フォームの一例を、図-5 に示す。避難シミュレータには氾濫解析における河川の水位と流域雨量情報が、シナリオ別に時系列情報として格納されている。ユーザが避難トリガとして水位や雨量を設定すると、これらの時系列情報を利用して、シナリオ別に避難タイミングが決定される仕組みとなっている。



A 水位の設定 B 雨量の設定

図-5 避難トリガ設定フォーム

c) 避難場所・避難経路の設定

次に、ユーザは避難場所と避難経路を設定する。その設定画面の一例を、図-6 に示す。避難場所は地図画面上で任意に設定することができるが、指定避難所や公的施設、あるいは鉄筋造のマンションなどが、その階数と共に提案される。また、避難経路についても地図画面上で任意に点を設定し、経路を構成することができる。

地理情報システムを用いる以上、地理データとして道路ネットワークを統合し、空間解析によって自宅の

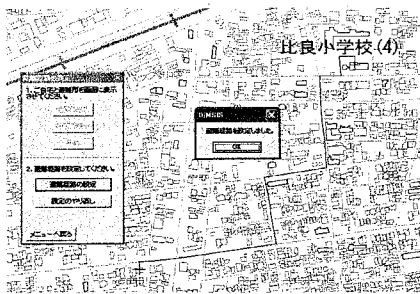


図-6 避難場所と避難経路の設定画面

最近傍に位置する指定避難所とそこに至る最短経路を算出したり、水害リスク情報に照らして安全度が高いと思われる避難場所と避難経路を算出して、ユーザに提案することはできる。しかしながらこのように一方的に答えを与えてしまえば、双方向的なインタラクションや、さらにはコミュニケーションが発生するとは考えにくい。また、特に避難経路の選択は、行政による指導や客観的な安全性を反映せずに、主観的になされているのが実態である(例えば 24)。以上より避難シミュレータは、避難場所と避難経路を、建物データや道路ネットワークなどの地理データに制限されずに、地図上において任意に入力できるインタフェースを備える。

d) 安全性の評価

須賀ら²⁵⁾は、浸水が水中歩行に与える影響について実験を行った。その結果、その水深が膝高までの場合には、流速と関係が少なくほぼ一定の速度で歩行することができた。また、水深が膝高を超えると歩行速度が急速に低下し、恐怖感も感じはじめる、と述べる。須賀らの実験は、膝高以上の浸水ではもはや安定して歩行することができず、安全な避難は望めないことを教えてくれる。よって本研究では、避難において辛うじて歩行が可能な水深を、人の膝高と定める。

避難シミュレータでは、安全性の評価を次の3段階で表記する。避難途上で浸水に遭遇しない場合は○、膝高までの浸水がある場合は△、膝高を越えて浸水する場合は×と定めた。人の膝高を推定するにあたっては、独立行政法人情報通信研究機構による数値人体モデルの無償利用サービスを利用した。数値人体モデルは日本人の平均体型を表しており、その再現性は非常に高いといえる²⁶⁾。数値人体モデルにおける膝高は身長約26%の位置にあり、避難シミュレータはユーザの身長の入力によりその膝高を推定し、安全度の評価を下すこととする。なお、須賀らの実験結果や、緑川水系御舟川昭和63年5月洪水における避難行動に関する調査結果²⁷⁾からは、膝高までの浸水深においては避難速度と浸水との間に因果関係が薄いことを示している。よって避難シミュレータでは、膝高以下の浸水においては一定の避難速度を保てると仮定し、避難速度の割引等は行わな

いこととする。

以上の方法により、避難シミュレータは入力された避難行動の安全性の評価を行う。図-7に、そのフォームを示す。フォームでは、左側において氾濫シナリオ毎の安全性の判定が示される。そして氾濫シナリオの選択によって、そのシナリオにおいて遭遇する最大浸水深が、数値と人体図を用いたイメージによって、フォームの右下部分に示される。

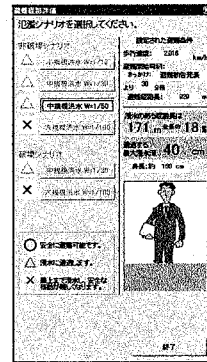


図-7 避難行動の安全性評価フォーム

e) 避難アニメーション

さらにユーザは、入力した避難行動の様子を、氾濫の様子とあわせて時系列に沿って確認することができる。その表示画面の一例を、図-8に示す。

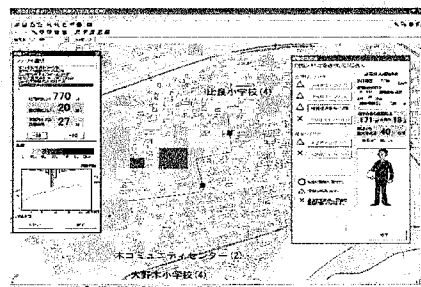


図-8 避難アニメーション表示画面

4. 検証実験について

(1) 検証実験の目的

本実験は、地域住民の避難メンタルモデルの変容に対する、支援システムの有効性を検証するものである。実験では避難メンタルモデル形成の要件を踏まえ、検証項目を以下の通り3つ設定する。すなわち、1. 地域住民が自らの考える避難行動計画を、支援システムの避難シミュレータにおいて正確に投影することができるか、2. 避難シミュレータにおける試行の結果、地域住民が備える避難行動計画の代替案の充実が見られるか、3. 支援システム利用の結果、水害の状況を識別するための知識や、地域における水害に対する認識が変化するか、

の3つである。これらの項目を検証するため、本研究では支援システムが対象とする地域において検証実験を行うこととした。実験は水害に関するワークショップとして実施され、地域住民の方々に参加していただいた。そして参加者の方に支援システムを利用してもらい、その前後における意識の変化や、利用の実態について調査を行った。

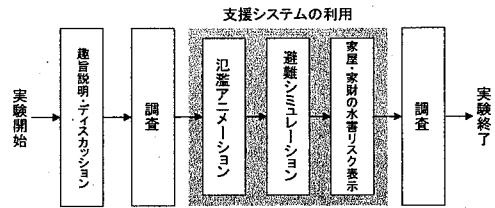


図-9 実験の流れ

(2) 検証実験の概要

検証実験は2回にわたって実施された。その様子を写真-1に示す。

1回目は2006年2月2日、愛知県清須市須ヶ口の豊和工業株式会社の厚生会館にて行われた。支援システムは2台のコンピュータに実装され、参加者は1~4人ずつ1台のコンピュータに向かい、タスクを行った。参加者は3~5人ずつを1グループとして、計5グループ、総勢21名が参加した。参加者が支援システムを利用するときは、ワークショップのファシリテータが補助を行い、多くの場合その入力作業を代替した。なお以下では、1回目の検証実験の参加者のグループを、グループAと呼ぶことにする。

2回目は2006年2月3日、愛知県清須市西枇杷島町の旧西枇杷島町社会福祉協議会の施設、「憩いの家」において実施された。支援システムの出力はプロジェクタによって会場の正面に映し出され、13人の参加者全員が投影された画面を共有しながらタスクを行った。支援システムへの入力操作と、ワークショップの司会進行はファシリテータが行った。以下では2回目の検証実験の参加者グループを、グループBと呼ぶ。



グループA

グループB

写真-1 検証実験の様子

(3) 参加者の属性

グループAの参加者の約80%は旧新川町に居住しており、またグループBの参加者は、その全員が旧西枇杷島町に居住している。両グループの参加者は同様の年齢構成を見せ、その約4割が60歳代、約3割が70歳代であった。なお参加者の居住地域はいずれも、2000年東海豪雨災害時に甚大な被害が発生した地域であり、ほとんどの参加者がなんらかの形で被災を経験していた。

(4) 検証実験の流れ

実験ではグループA、B共に、図-9に示す流れをたどった。参加者にはまず実験の趣旨説明を行い、それに続いて地域の水害の危険性について、参加者と共にディスカッションを行った。その際には参考資料として、洪水ハザードマップを利用した。次に調査を行い、支援システムの利用に入った。そして最後に再度調査を行い、実験を終了した。調査の詳細については後述する。

支援システムの利用では、基本的には図-9に示すとおり、氾濫アニメーション、避難シミュレーション、家屋・家財の水害リスク表示の順で機能を移動させた。氾濫アニメーションの稼働では、小規模洪水から大規模まで、様々な洪水シナリオにおける氾濫の様子を地域の地図上において表示させ、参加者はシナリオごとに氾濫の変化を確認した。次に避難シミュレータを用いて、参加者ごとに1回目の調査で明らかになった避難行動計画の安全性を確認していき、あわせて入力された避難と氾濫の時系列変化を避難アニメーションにて確認した。これを受けて参加者は避難行動計画を変化させていった。参加者の意向によって避難シミュレータに入力するパラメータが繰り返し変更され、様々な試行が行われた。

最後に一部の参加者は、家屋・家財の水害リスク表示機能を利用した。グループAで本機能を利用した参加者は3人、グループBにおいては4人であった。本機能の利用者は実際に地図上で自宅を選択し、家屋と家財に対する水害リスクを確認した。その様子は参加者グループ全員で共有された。

(5) 調査方法

実験では支援システムを利用する前後において、参加者に対して計2回調査を行った。調査では質問用紙と回答用紙が配布され、参加者はその場で回答した。

調査における質問項目を、表-1に示す。2回の調査

表-1 質問項目

調査	質問項目
支援システム 利用前	個人属性 2000年東海豪雨災害における被災体験 洪水ハザードマップの所持実態 水害に対する認識 避難行動計画(避難のきっかけ、場所、経路)
支援システム 利用後	避難行動計画(避難のきっかけ、場所、経路) 支援システムに対する意見・感想 自由回答欄

において、「水害に対する認識」の項目と「避難行動計画」の項目は共通しており、支援システムの利用による参加者の避難メンタルモデルの変化を類推できるように設定した。なお「水害に対する認識」を問う項目では、今後自宅が浸水する可能性に関する意識を、床上浸水・床下浸水それぞれについて聞いた。また「避難行動計画」については、水害時の避難先として考えている全ての場所と、そこに至るまでの経路を、参加者の自宅周辺の道路地図上に描いてもらった。それとあわせて避難を考え始めるきっかけと、そのきっかけから実際に避難を始めるまでのおおよその時間について調査した。

5. 検証実験の結果と考察

(1) 避難シミュレータにおける避難行動計画の投影状況

まず4.で示した検証項目のうち、1つ目について述べる。検証実験では、地域住民が考える避難行動計画を、避難シミュレータが備える機能の制限によって投影できなかった事例は存在しなかった。行動計画には避難場所として堤防の上やスーパー、変電所、街道などを含むものがあつたが、すべて地図上で任意に選択することができた。また避難経路に関して見ると、多くは自宅から避難場所までの最短経路などではなく、自身が考える水害時の安全度を考慮した経路や、普段通りなれた経路、あるいは空き地や耕作地などを通る「道なき道」が選択されている。このような避難経路についても、すべて避難シミュレータに入力することができた。

以上より、検証実験では地域住民の考える避難行動計画を避難シミュレータ上に投影するのに、大きな支障がないことが示されたと考えられる。この点は、住民が考える避難行動計画に対して支援システムがその結果を返し、両者間で双方向のインタラクションを行っていく上で、また、複数の住民が自分たちの考える避難行動計画に関してコミュニケーションを行うために、避難シミュレータが備えるべき条件として重要な意味を持つ。

(2) 避難行動計画の代替案の充実

ここでは検証項目2について述べる。実験では、代替案の多様化を示す事例をいくつか見ることができた。以下では2つの事例を示し、それぞれについて考察を行う。

a) 試行による新たな避難行動計画の獲得事例

グループBでは支援システム利用前後の調査によって、13人の参加者（調査の有効回答数：12）のうち5人が、新たな避難行動計画を示した。この5人が支援システム利用前に示していたのは指定避難所や堤防上への避難行動計画であったが、新たな行動計画の多くは、比較的大規模な水害における一時避難を目的とした、鉄筋コンク

リート造で4階建以上の建物であった。

避難シミュレータに対して堤防上への避難行動計画が入力されると、堤防上は内水氾濫によって早い段階で孤立し、逃げ場がなくなる様子や、大規模な水害時には溢水による堤防上の危険性が顕著に示された。また指定避難所への避難行動計画に対しても、ある規模以上の水害においては指定避難所自体が決して安全ではない状況が、避難シミュレータによって示された。このような試行の末に、比較的大規模な水害を想定した一時避難場所の必要性に関する議論が発生し、地域においてある程度の高さと強度を持つ建物への避難が検討され始めた。

この事例では参加者の約4割において、新たな避難行動計画の獲得を見ることができた。参加者は様々な計画を試していく過程を経て、自分たちで安全だと思われる行動計画を見つけ出し、獲得したといえる。この結果に対しては、自身が考える避難を投影し、それについて評価を受けることができるという避難シミュレータの持つ機能が、大きな役割を果たしたと考えることができる。

b) 支援システムを媒介としたコミュニケーション事例

グループAでは、旧新川町の名鉄線以南に居住している被験者の間で、清須市によって避難所に指定されている桃栄小学校に関する議論が活発に行われた。支援システムに統合された氾濫解析結果によると、桃栄小学校では早い段階で、その周りを取り囲むように氾濫が発生する。しかし支援システム利用前の調査においては、この地区に住むほとんどの参加者が桃栄小学校への避難行動計画を回答した。

桃栄小学校への避難がシミュレータに入力されると、その多くは膝高以上の氾濫に遭遇し、安全に避難できないという評価が下され、あわせて避難勧告が出された時点において、すでに孤立する桃栄小学校の姿が示された。その表示画面を図-10に示す。結果は同じ地区に住む5人の参加者によって共有されており、参加者からは2000年東海豪雨災害時において桃栄小学校に避難を行い、その途上で腰まで水に浸かった体験や、周囲より高くなっている美濃街道を通るべきだという意見がだされた。これを受けて避難シミュレータ上では美濃街道を通る新たな避難行動計画が試行され、氾濫解析における

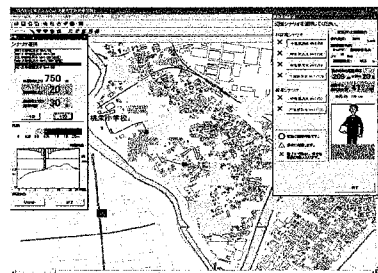


図-10 桃栄小学校への避難に対する評価画面

美濃街道の安全性が確かめられた。以上の試行を踏まえて、桃栄小学校が避難所として指定されていることについての問題や、美濃街道沿いに一時避難所を設置する案さらには、須ヶ口駅を地区の一時避難所として指定する案が提唱された。

このように、実験では同じ地区に住む参加者の間で避難に関する活発な議論が発生し、新たな避難行動計画が提唱され、共有されていく様を見ることができた。注目すべきは、洪水ハザードマップによってこれらの議論を引き出すことができなかつた点である。主体的に活発な議論が醸成された要因を考えると、避難シミュレータによる動的に変化する避難行動と浸水の表示や、様々な氾濫シナリオを含む情報、そしてなによりも自分たちの考える避難行動を投影し、その結果を知るという行為そのものが、大きく影響していたと考えられる。これらの要因については、さらなる実験によって検証していくことが必要である。

(3) 状況識別のための知識

ここでは避難行動計画において設定された、避難トリガに対する認識の変化を見ることにする。支援システム利用前の調査では、両グループにおいて参加者のほぼ全員が避難勧告を避難トリガとして設定した。しかし避難シミュレータによって、避難勧告発表時には既に各地で内水氾濫が発生する様子が伝えられ、多くの参加者は避難準備情報を避難トリガとして設定した。また支援システム利用後の調査における自由解答欄には、早い段階で浸水する可能性や、避難を早める必要性を感じたという回答がいくつか見られた。これらの事例から、参加者の多くは避難シミュレータを用いた試行により、避難勧告をトリガとした避難が必ずしも安全でないという認識を獲得したものと思われる。

避難シミュレータによれば、避難準備情報の発表は避難勧告の発表よりも2~5時間早まる。多くの参加者にとって、これほど早い段階の避難は現実的でなかったようである。このことは状況を適確に認知するための情報が、現状では非常に乏しいものになっている可能性を示唆する。もしそうだとすれば、水害時に地域住民が避難行動を選択するきっかけとなる情報について、さらなる充実を検討する必要がある。

(4) 浸水可能性に関する意識の変化

支援システム利用の前後における調査では、水害に対する認識として今後の自宅浸水の可能性が、床下浸水と床上浸水のそれぞれについて参加者に問われた。この設問に対しては、「1:絶対遭わない」から「7:絶対遭う」までの7段階で回答がなされた。有効回答数はグループAが19人、グループBが9人であった。本設問に

対する回答の平均値の、支援システム利用の前後における変化についてグループ毎に検証した。表-2に示すとおり、床下・床上浸水のいずれにおいても回答の平均値は上昇した。

この結果は、支援システムの利用によって水害に対する意識が向上したことを示すと考えられる。例外的にグループBの参加者における床上浸水に対する回答では、有意な差が見られなかった。グループBでは全ての戸建て居住者が、2000年東海豪雨災害において床上浸水に見舞われている。この被災体験によってグループBの参加者は、比較的高い意識を備えていたと考えられる。

表-2 浸水可能性の設問に対する回答の平均値

	グループA		グループB	
	床下浸水	床上浸水	床下浸水	床上浸水
システム利用前	5.42	4.84	5.56	6.00
システム利用後	6.05	5.74	6.56	6.56
利用前後の差	+0.62*	+0.90*	+1.00*	+0.56

*5%水準で有意

6. おわりに

安全な自立的避難の実現を目指し、地域住民の避難メンタルモデルの変容を図るため、水害リスクコミュニケーション支援システムを開発した。支援システムには、住民が自分で避難行動計画を試行するための機能を備えた、避難シミュレータが実装された。本論文ではさらに、支援システムの有効性を検証するための実験について報告を行った。実験では地域住民が自らの考える避難行動計画を、避難シミュレータ上に正確に投影できることが確認された。また、地域住民が備える避難行動計画の代替案の充実や、水害の状況を識別するための知識の獲得、水害に対する認識の獲得に対して、避難シミュレータの有効性が確認された。

しかしながら検証実験は、被験者のサンプル数の不足やグループによる実験環境の違いなどの問題を含んでいる。また、観測された効果の持続性についても不明である。今後さらなる調査・実験を行い、支援システムによる効果を定量的に検証していく必要があると考える。

実験では、多人数による操作や情報共有を円滑に行うための、新たな入出力装置の必要性が浮き彫りとなった。これについては、紙地図上にプロジェクタを用いて支援システムの出力を投影する手法が有効であると考えられる。また支援システムに、ユーザによる避難行動計画の試行や、それによって発生した議論をその場で印刷物として出力する機能を、新たに追加することも考えられる。印刷物をその住民固有の「マイ・ハザードマップ」として家に持ち帰ってもらえば、獲得された避難行動計画の定着を図ることができると思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：平成14年度版水害統計，2001
- 2) 佐藤照子：2000年東海豪雨災害における都市型水害被害の特徴について，防災科学技術研究所主要災害調査，Vol. 38, pp. 391-409, 2002
- 3) 牛山素行：2004年7月12～13日の新潟県における豪雨災害の特徴，自然災害科学，Vol. 23, No. 2, pp. 293-302, 2004
- 4) 林裕造・関沢純（監訳），National Research Council（編）：リスクコミュニケーション—前進への提言—，化学工業日報社，1997
- 5) 吉川肇子：リスク・コミュニケーション—相互理解とよりよい意思決定を目指して—，福村出版，1999
- 6) K. J. W. Craik：The nature of explanation, Cambridge：At the University Press, 1943
- 7) Kieras, D. E. & Bovaer, S.：The role of a mental model in learning to operate a device, Cognitive Science, Vol. 8, pp. 255-273, 1984
- 8) D. A. Norman, S. W. Draper (Eds.)：User centered system design New perspectives on human-computer interaction, Hillsdale, NJ, Erlbaum Associates, 1986
- 9) 館健一郎，武富一秀，川本一喜，金木誠，飯田進史，平川了治，谷岡康：内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証—大垣市を対象として—，河川技術論文集，Vol. 8, 2002
- 10) 畑山満則，松野文俊，角本繁，亀田弘行：時空間地理情報システムDiMSISの開発，GIS—理論と応用—，Vol. 7, No. 2, 1999
- 11) 黒川隆夫：ノンバーバルインタフェース，オーム社，1994
- 12) M. Granger Morgan, Bruch Fischhoff, Ann Bostrom, Cynthia J. Atman：Risk Communication A Mental Models Approach, Cambridge University Press, 2002
- 13) 飯田進史，館健一郎，武富一秀，川本一喜，金木誠，平川了治，谷岡康：水害時の避難解析システムの構築と危機管理対応支援への適用性検討，河川技術論文集，Vol. 18, 2002
- 14) 片田敏孝，桑沢敬行，金井昌信，細井教平：津波災害シナリオ・シミュレータを用いた尾鷲市民への防災教育の実施とその評価，社会技術論文集，Vol. 2, pp. 199-208, 2004
- 15) 目黒公郎，藤田卓：ポテンシャルモデルとVRを組み合わせた新しい避難シミュレーションツールの開発，東京大学生産技術研究所生産研究，Vol. 54, No. 6, pp. 43-46, 2002
- 16) 藤井聡：モビリティ・マネジメント，新都市，Vol. 16, No. 2, pp. 17-24, 都市計画協会，2004
- 17) 愛知県河川工事事務所：平成12年9月東海豪雨災害新河川激甚災害対策特別緊急事業の概要，2005
- 18) 愛知県氾濫シミュレーション技術検討会：水災シナリオに即した浸水情報の在り方，愛知県氾濫シミュレーション技術検討会総合報告書，2004
- 19) 松本卓也，多々納裕一，岡田憲夫，川島健一：時空間GISを利用した参加型洪水リスクマネジメントのためのシステム設計及び実装，第23回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，2004
- 20) 建設省土木研究所河川部総合治水研究室：水害時の避難行動に関する調査報告書—緑川水系御船川昭和63年5月洪水における避難行動—，土木研究所資料第2862号，1990
- 21) 吉岡昭雄：市街地道路の計画と設計，技術書院，1998
- 22) 国土交通省河川局：リアルタイム川の防災情報，<http://www.river.go.jp/>，2006
- 23) 愛知県企画振興部情報企画課：モバイルネットあいち，<http://mobile.pref.aichi.jp/mgw/m/imode.html>，2006
- 24) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室：関川水害時の避難行動分析，土木研究所資料第3536号，1998
- 25) 須賀堯三：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集，Vol. 39, pp. 879-832, 1995
- 26) 長岡智明，櫻井清子，国枝悦夫，渡邊聡一，本間寛之，鈴木保，河合光正，酒本勝之，小川孝次：日本人成人男女の平均体型を有する全身数値モデルの開発，生体医工学，Vol. 40, No. 4, pp. 45-52, 2002
- 27) 建設省土木研究所河川部総合治水研究室：水害時の避難行動に関する調査報告書—緑川水系御船川昭和63年5月洪水における避難行動—，土木研究所資料第2862号，1990

自律的避難のための水害リスクコミュニケーション支援システムの開発*

川島健一**・多々納裕一***・畑山満則***

安全な自律的避難を実現するためには，状況を適確に認知するための「情報」，状況を識別するための「知識」，さらには，識別した状況に応じて適切な避難行動を選択するための「多様な避難行動代替案」の獲得が不可欠であろう。本研究では人々の水害時の避難行動を規定する避難メンタルモデルを仮定し，その中に多様な避難行動代替案の形成を図るため，水害リスクコミュニケーション支援システムの開発を行った。愛知県清須市で行われた支援システムの検証実験では，地域住民の持つ水害状況に対する認知や避難行動の代替案集合の多様化が見られ，その効果が確認された。

A Flood Risk Communication Support System to Promote Safe Autonomous Evacuation*

By Kenichi KAWASHIMA**・Hirokazu TATANO***・Michinori HATAYAMA***

To realize safe autonomous evacuation, citizens should obtain well developed "mental model" for evacuation which includes appropriate perception mechanism to preserve flood risk and flexible "alternative set" for evacuation actions. Aiming at constructing well developed mental models which citizens' evacuation actions are determined based on, the paper develops a flood risk communication support system. Through communication among stakeholders assisted by the system, changes in flood risk perception and increase in the flexibility of the alternative plans of evacuation actions are observed in the experimental workshops in Kiyosu City, Aichi prefecture.