

水害リスクコミュニケーションのための 参加者個別ハザードマップ作成システムの開発

畑山満則・多々納裕一・川島健一*・松本卓也**

*株式会社NTTデータ

** アイクラフト株式会社

要 旨

安全な自律的避難を実現するためには、多様な避難行動代替案の獲得が不可欠である。本研究では、水害時の避難行動を規定する避難メンタルモデルの中に多様な避難行動代替案の自律的形成を図る、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。愛知県清須市で行われた検証実験では、支援システムを用いたタスクによって、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、その可能性が確認された。

キーワード: リスクコミュニケーション, メンタルモデル, 時空間GIS

1. はじめに

水害統計（国土交通省河川局，2001）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」は上昇を続けてきている。このために，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，河川の氾濫原への人口・資産の集中によって，水害に対する脆弱性が軽減されてきているとは言いがた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（佐藤，2002）。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。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（例えば牛山，2004）。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ろう。

本研究では，行政等，第3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の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に関する信念を避難メンタルモデルと呼ぶ。住民は、本支援システムを利用することで、自らの避難に関する信念の妥当性を検証し、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、本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。次いで、3.では本研究において構築した水害リスクコミュニケーション支援システムについて、その概要を述べる。さらに4.では支援システムの検証実験について、その概要を示し、5.では実験結果について報告し、さらに実験で得られた知見について考察を行う。

2. 水害リスクコミュニケーションの支援

2.1 水害リスクコミュニケーション

現在リスクコミュニケーションについての最も一般的な定義は、米国National Research Council（林・関沢，1997）による「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」であると考えられる。そのやりとりには、次の2種類のメッセージが含まれる。一つは、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。もう一つは、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NRC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出すためにはリスク

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システムに格納し、必要に応じて利用しながら、リスクもコミュニケーションを進めることとした。

2.2 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異なるといえる。特に安全な自律的避難の実現を目的とした水害リスクコミュニケーションにおいては、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言える。よって、避難行動を規定する、地域住民一人ひとりの意識や信念を対象として、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（吉川，1999）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信念を、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。

本研究では人々の避難行動を自律的で安全なものにするための手段として、避難行動を規定している意識や信念の集合を「避難メンタルモデル」として定義し、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（Craik，1943）。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といった実験結果が得られている（例えばKieras and Bovaer, 1984）。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、自律的で安全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。

2.3 避難メンタルモデルの構築

すでに指摘した通り、水害においては状況依存的に適切な代替案を選択し、避難行動を行う必要がある。1つの避難行動の形のみを内包した画一的なメンタルモデルによって、避難が安全になされるとは考えにくい。自律的で安全な避難を実現しうる避難メンタルモデルは、少なくとも、水害の状況を識別するための知識と、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集合のセットを、内部に備える必要があろう。

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。Normanは、Norman and Draper（1986）において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ほど、メンタルモデルの構築は難しくなる。

同様に避難メンタルモデルも、それを用いた反復経験や相互作用によって変容していくと考えることができる。しかしながら、様々な形の水害を経験する機会が容易に得られるとは考えられない。もし水害経験が得られたとしても、それは様々なパターンを見せる水害の、ただ1つの姿を経験したに過ぎず、その経験によって構築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。

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の変容を図る手法をとる。その概念をFig.1に示す。メンタルモデルは人が持つ内的なモデルであり、外部から干渉することによってその変容を図ることは難しい。水害リスク

コミュニケーションにおいても、避難行動の規範を一方的に示すのではなく、地域住民が自分で、様々なパターンの水害における対応行動を試行し、その結果を得ることができる仕組みが必要である。

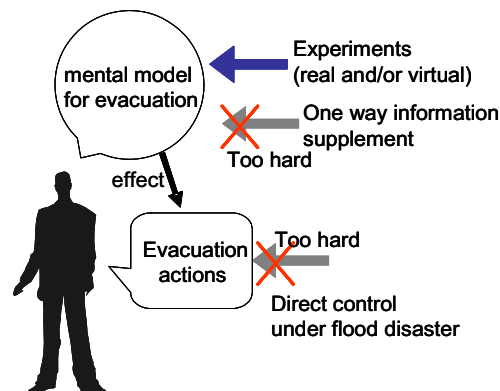


Fig. 1 Conceptual Model of Mental Model Approach

2.4 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Fig.2に示す。以下ではその実現方法について述べる。

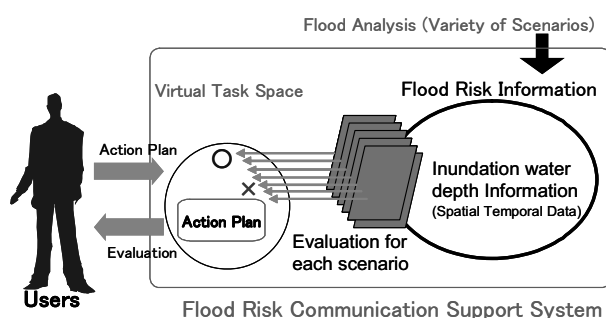


Fig. 2 Conceptual Model of Flood Risk Communication Support System

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、氾濫解析によるアウトプットを利用する。研究の蓄積によって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（館ら，2002）。氾濫解析技術を利用し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。また水害リスク情報の利用を考えると、地理的な座標に加え、生起確率等に基づく氾濫パターンを考慮しても、4次元以上の情報空間を用意する必要がある。そこで支援システムは、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、DiMSIS（畑山ら、1999）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

黒川は、黒川（1994）において、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している空間を、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述べている。

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構築する。支援システムのユーザは、自ら避難行動計画を試行し、その結果に関する情報を得ることができる。避難行動がもたらす結果は、水害リスク情報によって、様々なシナリオにおけるその安全性という形で提供される。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、行動計画の代替案集合が自律的に形成され则认为する。

2.5 既往研究のレビューと本研究の立場

メンタルモデルアプローチ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、Granger et al.（2002）が挙げられる。この論文で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は、人々のリスクに関する現状の信念を十分に踏まえる必要があるとして、リスク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（2002）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。彼らはこのツールの応用として防災訓練や防災教育を挙げている。また片田ら（2004）は、津波に対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。これらはいずれも住民に対する防災教育を想定しており、一方向的な情報提供を想定した仕組みになっていると言える。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

（2002）は、ユーザが没入的に避難の様子を体験することを目的とした、地下街における人工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（2004）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、自律的で安全な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、住民が自分で避難行動計画を試行することができるための機能を備えた、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う。支援システムはユーザが考える避難行動計画の自発的な試行と、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を可能にする。この意味で、本研究で開発するのは一方向的に情報提供を行う防災教育ツールではなく、行政と地域住民との間のリスクコミュニケーション支援ツールであると言える。

3. 水害リスクコミュニケーション

支援システムの構築

3.1 対象地域

本研究では、対象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。これらの地域は愛知県の西部に位置し、2000年東海豪雨災害においては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（激特）」が、5ヵ年かけて実施され（愛知県河川工事事務所、2005）、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理解できず、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。

3.2 氾濫解析

辻本らは、愛知県氾濫シミュレーション技術検討会（2004）において新川を対象として、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（詳細なモデルに関しては愛知県氾濫シミュレーション技術検討会（2004）を参照のこと）。

氾濫解析による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。そんな折に、当支援システムに氾濫解析データを提供して頂けることとなり、支援システムにその時系列浸水深データが統合された。

3.3 システムの構成

2章で述べたコンセプトに基づき、水害リスクコミュニケーション支援システムを構築した。支援システムは、松本ら（2004）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に、新たに避難シミュレータを追加して構築された。その概念設計のUMLによる記述を、Fig.3に示す。支援システムは2つの機能として、避難シミュレータと、個別家屋の水害リスク分析を備える。機能を実現するオブジェクトは、システムのコアを制御するDiMSISの管理下にある。統合されているデータとしては、浸水深、最大浸水深、メッシュID、建物形状ベクタデータ、背景地図のラスタデータがあり、これらもDiMSISが管理している。時系列浸水深は、複数の降雨確率と、さらに降雨確率毎の破堤の有無、あるいは破堤地点によって規定される氾濫シナリオを持ち、シナリオ毎に地理的座標と時間を属性に持つ点列によって構成されている。支援システムにはこれに加えて氾濫シナリオ別の最大浸水深点列と、位置属性を持つ基本メッシュIDの点列と、建物属性と地理データとしての形状を持つ建物形状が統合されている。

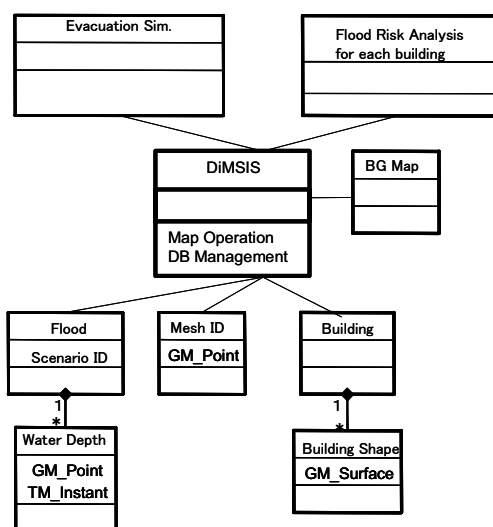


Fig. 3 UML Diagram of Developed System

3.4 避難シミュレータ

本機能は、支援システムの中核をなすべく、水害時の避難に関する仮想タスク空間を実現している。以下ではその詳細について述べる。

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（設省土木研究所河川部総合治水研究室，1990）と、吉岡（1998）の調査による通勤時の平均歩行速度1.9958km/h が提示される。

b) 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。地理情報システムを用いる以上、地理データとしての道路ネットワークを統合し、自宅の最近傍に位置する避難所とそこに至る最短経路や、水害リスク情報を用いた安全度の高い避難所と避難経路を算出し、ユーザに提案することはできる。しかしながら、支援システムが目指すのはユーザによる自発的な試行である。仮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が発生するとは考えにくい。

また、ユーザの考える避難行動計画を仮想タスク空間に反映させるためには、自由度の高い入力を可能にする必要がある。住民が避難行動を行うときに選択する避難経路は、多くの人が避難場所までの最短経路や、行政に指導された経路、または安全性が考慮された経路などではなく、主観的に選択しているのが実態である（例えば建設省土木研究所河川部都市河川研究室，1998）。よって避難シミュレータにおいては、避難経路の設定に制限があってはならない。さらに避難場所についても、行政による指定避難所だけでなく、水害時に安全であると思われる建物や、高台などが考慮されなければならない。以上より避難シミュレータは、避難場所と避難経路を、地図上において任意に設定できるインタフェースを備える。

c) 避難トリガと避難開始時間の設定

避難行動の安全性を左右する大きな要因の1つに、避難開始時間が考えられる。避難シミュレータでは、ユーザは避難のきっかけとなる避難トリガと、避難トリガを受けてから避難を開始するまでの時間の設定により、氾濫シナリオ毎に避難開始時間が規定される。

自律的で安全な避難を実現しうる避難メンタルモデルには、状況を識別するための情報を受けて、状況を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、ユーザが避難ト

リガとして取得することができる、考えられる限りの避難トリガを扱う必要がある。水害時に地域住民が取得可能な情報としては、市町村による避難情報や、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（愛知県企画振興部情報企画課，2006）の整備が、国土交通省の主導で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、流域雨量と併せて観測所における河川の水位が10分毎に更新され、その対象は直轄河川だけにとどまらず都道府県管理河川にも広がっている。こうした行政によるインターネットを介した情報提供は充実を見せ、モバイル端末専用のサイトでも同様の情報提供がなされている（例えば愛知県企画振興部情報企画課，2006）。以上より避難シミュレータでは、市町村による避難情報や洪水予報に加え、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。

d) 安全性の判定

須賀（1995）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、水深が膝を超えると、可能な歩行速度が急速に低下し、恐怖感も感じはじめる。須賀らの実験は、膝位置以上の浸水ではもはや安定して歩行することができず、到底安全な避難は望めないことを教えてくれる。以上より、辛うじて避難が可能な水深として人の膝位置とするのが妥当であろう。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。即ち、避難中浸水に遭遇しない場合は○、膝位置までの浸水がある場合は△、膝位置を越えて浸水する場合は×である。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（建設省土木研究所河川部総合治水研究室，1990）からは、膝位置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、膝位置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、避難速度の割引等を行わないこととする。

また、避難の安全性の評価を行う際に用いる人の膝位置を推定するにあたり、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（長岡ら，2002）。数値人体モデルにおける膝高は身長

の約26%の位置にあり、避難シミュレータはユーザーの身長を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。

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。Fig.4に、そのフォームを示す。フォームでは、その左側においては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画面イメージによって、フォームの右側に示される。

Fig. 4 Dialog Box for Evaluation of Evacuation Actions

e) 避難行動の時系列表示

さらにユーザーは、自身が設定した避難行動を、浸水深の振る舞いとあわせて、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、Fig.5に示す。

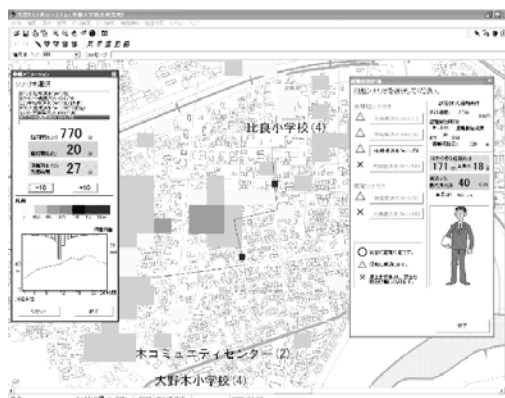


Fig. 5 Visualization both Evacuation Route and Inundation Water Depth

4. 検証実験について

4.1 検証実験の目的

本実験は、支援システムを用いたタスクによる、

自律的で安全な避難を実現しうる避難メンタルモデルの構築に関して検証を行う。そのために、タスクによって、被験者が備える避難行動の代替案集合と、水害状況の認知がどのように変化するかについて、観察を行うこととする。

4.2 実験概要及び環境

実験は2回に亘って実施された。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台のラップトップ型コンピュータに搭載され、被験者は1〜4人ずつ1台のコンピュータに向かった。被験者は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。被験者が支援システムを利用するときは、常に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回目の検証実験の被験者グループを、グループAと呼称する。

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、プロジェクトによって会場の正面に映し出された。実験はワークショップ形式で行われ、13人の被験者全員が投影された画面を共有した。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回目の検証実験の被験者グループを、グループBと呼ぶ。

なお、両グループにおける実験の様子を、Photo.1に示す。



Group A

Group B

Photo 1. Experiment

4.3 実験の手順

実験ではグループA、B共に、以下に示す手順において進行した。まず2000年東海豪雨災害における災害経験や、個人の属性に関するいくつかの質問項目からなる事前アンケートを実施する。次に被験者の、実験前における水害や水害時の避難に対する認識を聞き、さらに被験者が考える避難行動計画を地図上に記入してもらった。その際被験者は、洪水ハザードマップによって、任意に情報を取得することができる。

タスクにおいては、避難シミュレータを用いて、水害・避難意識調査で明らかになった避難行動計画の安全性を確認すると同時に、氾濫の時系列変化を確認した。避難シミュレータの利用は様々なパターンにおいて繰り返し行われた。さらにその後被験者の一部は、家屋の被害予測を利用した。グループAにおいて家屋の被害予測を利用被験者は3人、グループBにおいては4人が実際に自宅を入力し、機能を利用し、その様子は被験者全員で共有された。

支援システムによるタスクを終えた後に、事後アンケートによって再度水害や水害時の避難についての意識調査と、支援システムの機能に対する感想や要望等を自由回答によって聞いた。以上のプロセスによって実験は終了した。

4.4 被験者について

グループAの被験者の約8割は旧新川町に居住しており、またグループBの被験者は、その全員が旧西枇杷島町に居住している。また、両グループの被験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。

被験者の居住している自治体は、いずれも2000年東海豪雨災害時に甚大な被害を受けた地域である。事前アンケートでは、その被災体験について聞いた。まずグループAではその7割、グループBに至っては戸建て居住者の全員が、自宅が床上浸水したと回答している。また、グループAにおいてはその35%が避難を実施し、20%が、避難の必要性を感じたが避難できなかったと回答している。その理由としては、浸水深の上昇が急激に起こり、避難を開始する時期を逸した、というものであった。これに対してグループBにおいては、約8割が避難を行ったと回答した。

5. 検証実験の結果と考察

5.1 水害に対する主観的確率の変化

実験では戸建て住宅に居住している被験者に対して、「今後あなたが生きている限りにおいて、自宅が浸水に遭う確率はどれぐらいだと思いますか。」との設問が、床下浸水と床上浸水の両方について、タスクの前後において与えられた。設問に対してはその主観的な遭遇の確率が、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。この設問に対する、タスクの前後における回答の平均値の変化についてグループ毎に検証したものを、Table.1に示す。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。床下・床上浸水のいずれにおいても、回答の平均値はタスクの前後において

上昇した。

しかしながら、グループBの被験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。前節で述べた通り、グループBでは全ての戸建て居住者が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の被験者は、床上浸水に対して比較的高い主観的確率を備えていたと考えることができる。以上より今回の検証実験では、すでに体験された事象に対しては、支援システムを用いたタスクによる、主観的確率の有意な変化は認められなかったといえる。

Table.1 Average of Subjective Probability

	Group A		Group B	
	Under F	Over F	Under F	Over F
Before Task	5.42	4.84	5.56	6.00
After Task	6.05	5.74	6.56	6.56
Difference	+0.62*	+0.90*	+1.00*	+0.56

Under F: Inundation UNDER Floor, Over F: Inundation OVER Floor

5.2 水害の状況に対する認知の変化

避難シミュレータを用いたタスクにおいては、はじめは全員の被験者が避難トリガとして、避難勧告を選択した。このことは、自律的で安全な避難の要件である、状況を適確に認知するための情報が、現状においては非常に乏しいものになっている可能性を示唆する。

最初のタスク後には、システムによって避難勧告発表時には既に内水氾濫が発生する実態が浮き彫りとなり、被験者は勧告発令後の避難は適切でないと判断した。このような結果を目の当たりにした後、多くの被験者が新たな行動計画に関する議論や試行を行った。避難トリガとして避難勧告を設定した行動計画が安全でないという結果を受けて、多くの被験者は避難勧告準備情報を避難トリガとして設定しようとした。しかしながらその避難は避難勧告にくらべて、数時間も早いタイミングであることが、被験者にはあまりにも早い段階における避難の開始と映ったようである。

タスク後の水害・避難意識調査では、自由解答欄において、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見られた。いずれにせよ、避難開始のタイミングを決定する為の有効なトリガ情報に関しては今後検討を進める必要があると考えられる。例えば、定点観測カメラの利用などを含めた避難トリガ情報をより豊富に提供する必要があるかもしれない。

5.3 避難行動の代替案集合の変化

a) 旧西枇杷島町における議論

旧西枇杷島町では2000年東海豪雨災害においても、付近の破堤によって氾濫が拡大した。被験者の中にはこのような実態を、2000年東海豪雨災害における被災体験より理解している者も少なくない。数人の被験者は、水害の危険性を感じたときは一律に、近くの堤防に避難を行うと回答した。被験者の多くは指定避難所の浸水、あるいは指定避難所に到達する前の、避難経路の浸水を経験している。このような背景から、自宅近くの堤防上が一番安全、という認識が獲得されたと思われる。

避難シミュレータに対しても、堤防上への避難が入力されたが、氾濫解析によれば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が顕著に見られた。またそれに伴って、破堤や溢水による堤防上の危険性について指摘がなされた。また、町内では行政による指定避難所も決して安全ではない状況も、確認された。そんな中、ある被験者によって、水害時には近所の鉄筋造マンションに一時的に避難を行う協定を、地区で結んでいる事例が報告され、それによって一時避難場所の必要性に関する議論が盛んに起こった。以上のプロセスの結果、タスク後の避難行動計画の聞き取りでは、グループBの被験者のおよそ半数が、比較的大規模な水害時の一時避難が目的と思われる、新たな避難行動計画を明記した。それらは堤防上や指定避難所への避難ではなく、ほとんどが自宅から最も近くの鉄筋コンクリート造の4階建て以上の建物であった。

b) 桃栄小学校と美濃街道

2月2日の検証実験においては、旧新川町の名鉄本線以南に居住している被験者の間で、清須市によって水害時の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。氾濫解析によると、この地域は新川と五条川の合流地点を擁し、豪雨が発生すると比較的早い段階から広い範囲で氾濫が発生する。特に桃栄小学校では、その周りを取り囲むように氾濫が発生する。桃栄小学校はこの地区の北西の端に位置しており、これに対して南東方向より避難を行うと、その途上で浸水に遭遇することとなる。その様子をFig.6に示す。

この地区に住む被験者の多くは、タスク前の避難行動計画調査において、桃栄小学校への避難を回答した。その理由を尋ねると、その多くは「清須市によって指定されているから」というものであった。支援システムを用いたタスクにおいても、桃栄小学校への避難が試行されたが、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

された。そして被験者は、Fig.6に示すような、孤立する桃栄小学校の姿を、避難シミュレータ上で確認した。その様子は同じ地区に住む5人の被験者によって共有されており、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談や、直接桃栄小学校を目指す経路を用いずに、美濃街道を通ると浸水に遭遇しなかったとする体験談が語られた。そして同時に避難シミュレータ上では、氾濫解析における美濃街道の安全性が視覚的に確かめられた。それを以って被験者の一人が、美濃街道を用いた桃栄小学校への迂回ルートを提案した。

さらに以上の試行によって、桃栄小学校がこの地区の水害時の避難所として指定されていることについて、その問題点を指摘する声が上がった。大規模な豪雨による比較的大きな水害時には、特に桃栄小学校周辺は膝上を超える深い浸水に見舞われる可能性が高いため、美濃街道沿いに一時避難所を設置する案や、名古屋鉄道の須ヶ口駅を、地区の一時避難所として指定する案が提唱された。議論には清須市議会の議員も加わり、今後この問題に取り組んでいく旨を語った。

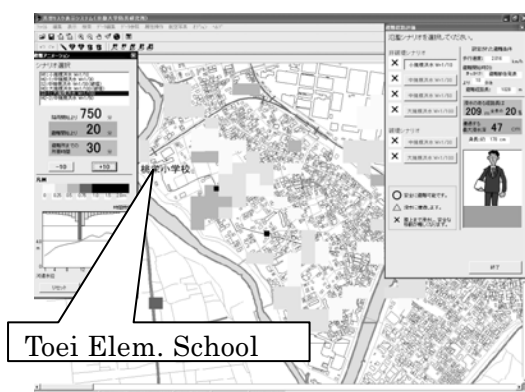


Fig.6 Isolated Shelter (Toei Elementary School)

5.3 個別家屋の水害リスク分析による議論

グループBでは、4人の被験者が、支援システムによる自宅に対する水害リスク分析を受け、その様子は被験者全員で共有された。被験者はこの機能を用いて、氾濫シナリオ別の被害額に関する情報を得た。その上で、家財配置の見直しや、水害を担保する保険への加入といった、被害軽減方策による効果を確認した。

本機能を用いたタスクでは、2000年東海豪雨災害時、1階に置いてあった多くの家財が失われた話が複数の被験者によってなされ、普段から2階に上げられるものは上げておくことの重要性が指摘された。以上のプロセスの結果、タスク後の水害・避難意識調

査における自由解答欄によれば、これまで保険の加入や家具の配置を、被害軽減のための方策として考えていなかった被験者が、それらを有効な代替案の一つとして捉え直したと考えられる結果が得られた。

5.4 考察

前節で示した事例は、地域住民が元来持っていた避難行動計画を避難シミュレータ上で試行し、その安全性の評価を受けたことによって、自らその代替案を探る試行が発生したことを示す。さらにその試行を重ねることによって、住民個人、並びに地域コミュニティとしての、新たな避難行動計画の代替案が獲得されていく様子を見て取ることができる。行動計画の試行は、行政によって提供された水害リスク情報と、地域住民が考える避難行動計画とのインタラクションであると言える。もし一方的な情報提供によって、規範的な避難行動計画を示すばかりであつたら、被験者が元々考えていた行動計画の問題点が顕になる機会や、被験者の持つ有効な知識を共有する機会、あるいは被験者同士のコミュニケーションによる、地域コミュニティとしてとりうる代替案を獲得する機会が、得られていたとは考えにくい。これらの結果は、支援システムが持つ、様々な氾濫シナリオにおける避難行動計画を、自分で試行できるという機能によって、もたらされたものであると言える。

6. おわりに

本研究では、自律的で安全な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、住民が自分で避難行動計画を試行することができるための機能を備えた、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。本論文では支援システムに備えるべき機能について考察を行うと同時に、その構成と実装について報告すると同時に、愛知県清須市にける検証実験について述べた。

検証実験では、被験者によって避難計画の試行が行われ、被験者が備える避難行動の代替案集合と、水害状況の認知がどのように変化するかについて観察が行われた。その結果、被験者の水害状況の認知が氾濫解析に合わせて変化したり、水害の発生に対する主観確率の上昇や、避難行動計画の代替案集合の多様化を観察することができた。以上より、支援システムによる避難知識の獲得に対する、一定の有効性を確認することができたといえる。また実験では、地域の指定避難所に対する問題点や一時避難所の必要性に関する議論が発生し、多くの被験者間で

問題意識が共有される様を観察することができた。こういった事例は、支援システムが、地域コミュニティにおける共助としての方策の獲得に対し、一定の効果を持つことを示す。

実験では、多人数による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。これに関しては、プロジェクトを用いて紙地図上に支援システムの出力を投影する方式が有効かも知れない。また、支援システムを用いたタスクが実際の避難行動に与える影響に関して検証するためには、実験で観測された水害に対する認識の変化や、避難行動代替案の多様化が今後持続性を持つかどうかについて、追加的な調査を行う必要がある。

謝 辞

本研究では、名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 水工学講座 辻本哲郎教授の構築された内外水統合型の緻密な氾濫解析による時系列浸水深データを用いている。この氾濫解析結果を始めとする様々なデータや、貴重な資料は愛知県 河川課にご提供いただいた。また、検証実験には旧西枇杷島町社会福祉協議会 災害ボランティア部会 高橋会長、旧西枇杷島町社会福祉協議会 佃前会長、愛知県清須市議会 浅井副議長に多大なご協力を頂いた。また、NPO法人レスキューストックヤードの栗田氏には、検証実験のアレンジメント頂いた。ワークショップ参加者の方々と併せて、ここに深く感謝いたします。

また、本研究は科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業（CREST）（京都大学：寶馨代表）の補助を得ました。あわせて感謝の意を示します。

参考文献

国土交通省河川局（2001）：平成14年度版水害統計。
佐藤照子（2002）：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。
牛山素行（2004）：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。
林裕造・関沢純（監訳），National Research Council（編）（1997）：リスクコミュニケーションー前進への提言ー，化学工業日報社。
吉川肇子（1999）：リスク・コミュニケーションー相互理解とよりよい意思決定を目指してー，福村出版。
K.J.W. Craik（1943）：The nature of explanation，

Cambridge : At the University Press.

Kieras, D.E. & Bovaer, S.(1984): The role of a mental model in learning to operate a device, Cognitive Science, Vol.8, pp.255-273.

D.A.Norman, S.W.Draper(Eds.) (1986): User centered system design New perspectives on human-computer interaction, Hillsdale, NJ, Erlbaum Associates.

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（2002）：内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証ー大垣市を対象としてー，河川技術論文集，Vol.8.

畑山満則，松野文俊，角本繁，亀田弘行（1999）：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.

黒川隆夫（1994）：ノンバーバルインタフェース，オーム社.

M.Granger Morgan, Bruch Fischhoff, Ann Bostrom, Cynthia J. Atman (2002): Risk Communication A Mental Models Approach, Cambridge University Press.

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（2002）：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，Vol8.

片田敏孝，桑沢敬行，金井昌信，細井教平（2004）：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，pp199-208.

目黒公郎，藤田卓（2002）：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，pp43-46.

藤井聡（2004）：モビリティ・マネジメント，新都市，Vol16，No.2，pp.17-24，都市計画協会.

愛知県河川工事事務所（2005）：平成12年9月東海豪雨災害新川河川激甚災害対策特別緊急事業の概要.

愛知県氾濫シミュレーション技術検討会（2004）：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.

松本卓也，多々納裕一，岡田憲夫，川島健一（2004）：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.

建設省土木研究所河川部総合治水研究室（1990）：水害時の避難行動に関する調査報告書ー緑川水系御船川昭和63年5月洪水における避難行動ー，土木研究所資料第2862号.

吉岡昭雄（1998）：市街地道路の計画と設計，技術書院.

建設省土木研究所河川部都市河川研究室（1998）：
関川水害時の避難行動分析，土木研究所資料第3536号。

国土交通省河川局（2006）：リアルタイム川の防災情報，<http://www.river.go.jp>。

愛知県企画振興部情報企画課（2006）：モバイルネットあいち，

<http://mobile.pref.aichi.jp/mgwnw/m/imode.html>。

須賀堯三（1995）：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

建設省土木研究所河川部総合治水研究室（1990）：
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。

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（2002）：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。

Flood Risk Communication Support Tool for Making Participant Original Hazard Map

Michinori HATAYAMA, Hirokazu TATANO, Kenichi KAWASHIMA*, Takuya MATSUMOTO**

* NTTDATA Corporation, Japan

** ICRAFT Corporation, Japan

Synopsis

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.

Keywords: Risk Communication, Mental Model, Spatial Temporal GIS