

災害総合シナリオ・シミュレータを用いた洪水避難のシナリオ分析*

Development of Comprehensive Disaster Scenario Simulator for Flood Evacuation Planning*

桑沢敬行**・片田敏孝***

By Noriyuki KUWASAWA**・Toshitaka KATADA***

1. はじめに

近年、洪水ハザードマップの公表や避難情報の伝達体制の強化など、水害時における住民避難を促進することを目的とした対策が積極的に推進されている。しかし、避難勧告や避難指示が発令された近年の事例を見ても、結果として低調な避難率にとどまっているものがほとんどであり、実施されている対策の効果が明確に現れたという事例はあまり見ることができない。このような対策の効果を上げるためには、行政だけの努力では限界があり、住民自身によって自らの意識改善や知識の向上を目指した積極的な取り組みが行われることが必要不可欠であると言える。しかし、行政側においても、現状の避難計画に見られる問題を把握した上で、住民が受け入れやすい的確な避難情報の伝達や浸水状況に応じた段階的な避難誘導の実現、そして、これらの情報を正しく伝えるためのわかりやすい情報提供のあり方など、避難計画の高度化に向けた検討すべき課題が残されており、その対策が求められる。

本研究では以上の問題認識のもと、洪水を対象とした避難計画の高度化には、氾濫状況や住民の避難状況など種々の問題要素を総合的に検討することが必須であると考へ、避難計画の策定支援を目的とした洪水時の地域状況を表現するシミュレーション技術を開発している。このシミュレータは、筆者らがこれまで開発してきた災害総合シナリオ・シミュレータ¹⁾をベースに、浸水状況を考慮した住民の避難状況や自動車を利用した避難行動、そして、氾濫の進展に伴う要救助者の出現状況を表現するなど、洪水災害を対象とする上で求められる改良がなされている。また、本研究では、名古屋市の庄内川沿岸を対象にシミュレータを適用し、住民の避難行動の遅れや避難時における自動車利用が、人的被害の発生規模に与える影響を分析するなど、本シミュレータを用いた具体的な計算事例を示している。

*キーワード：洪水、避難計画，シナリオ・シミュレータ
**学生員、修(工)、群馬大学大学院工学研究科
(群馬県桐生市天神町1-5-1、kuwasawa@ce.gunma-u.ac.jp)
***正員、工博、群馬大学工学部建設工学科
(群馬県桐生市天神町1-5-1、t-katada@ce.gunma-u.ac.jp)

2. 洪水を対象とした避難計画に見られる問題と対策

(1) 住民避難の阻害要因

a) 心理的側面に見られる問題

住民が避難を行わない基本的な理由は、洪水時において自分の身の危険性を感じないことにあり、それゆえに避難の必要性を感じないことにある。この原因には、「正常化の偏見」と呼ばれる人間の心理特性によって、災害時において自分が置かれている状況を正しく認識できないことや、治水整備の進展などにより被災経験が乏しくなったことによる河川や洪水氾濫に対する知識の欠如、または、逆に過去の被災経験や伝承から誤った知識を習得してしまったことなどが挙げられる。その他、家財などの保全行動を優先するがあまりに危機的な状況を軽視しがちになるという特性もある。

以上の要因は、避難行動の実施を妨げる住民の心理的な問題として位置づけることができる。

b) 現状の避難計画に見られる問題

一方、行政から避難勧告などの情報が伝達されているにもかかわらず、住民が受け入れていないという状況が見られることから、行政と住民の意識に大きなギャップが存在していることもその要因として加えられる。この問題が発生する原因の一つには、行政からの避難情報の不明確さにあると考えられる。

洪水を想定した場合、その避難行動は、緊急避難と退避的避難という二種類に分けることができる。緊急避難とは、人命に関わるような事態を回避するために行う避難であり、例えば、洪水氾濫によって家屋倒壊の危険性がある場合や、平屋建ての住宅に対して数メートルの浸水が予想される場合などに行われる避難を指す。また、退避的避難とは、人命の危険性は無いが、災害により発生する不自由な生活を回避するために行う避難を指す。例えば、1~2mの浸水がある場合でも自宅の2階に避難することができれば、一時的に難を逃れることができる。しかし、この状況が一日以上継続するような場合は、水道や電気、ガスなどのライフラインが途絶えることによって生活することが困難となり、退避的な避難を余儀なくされるだろう。

避難情報の発令は、現状では町丁目などある程度の地

域規模を単位として行われることが多いため、対象地域の中には緊急避難が必要な住民や退避的避難で十分な住民、そして、全く避難を必要としない住民も存在していることがありえる。しかし、避難情報は地域を一括りとして伝達されるため、住民個々の視点から見ると、地形的特性や長年の居住経験から明らかに安全であるのにも関わらずに避難を指示されるなど、行政がどのような事態を想定して避難情報を出しているか住民の感覚では理解することができない状況が発生する。この様な住民の感覚から外れた避難情報の伝達は、行政からの避難情報に対する信頼性の薄れや避難に関する住民独自の誤った判断を誘発することにつながり、結果として実際に避難を要する場面においても避難情報を受け入れない住民を作り出してしまいう危険性を高める。この様な問題を解決するためには、緊急避難と退避的避難を明確に分けた避難誘導や、洪水氾濫や地形特性をわかりやすく解釈した行動指針的な避難情報の伝達など、住民にとって具体的に受け入れやすい避難情報の提供を実現するための精緻な避難計画の策定が必要である。

(2) 避難計画の精緻化におけるシミュレータの有用性

洪水時における避難計画を策定するためには、住民の分布や道路状況、そして避難場所の配置など、避難に関わる各種状況を空間的に把握する必要がある。このような静的な情報を個別に分析する場合は、GISなどの空間分析ツールを用いることによって対応することができる。しかし、緊急避難や退避的避難の対象地域の特定には、洪水ハザードマップに示されるような最大浸水深や流速にとどまらず、湛水時間や氾濫流の到達時間など、時系列的に変化する浸水状況についても把握する必要がある。さらに、人的被害の最小化という目的に関して言えば、浸水状況や避難路の選定といった個別事象を検討することも重要であるが、洪水の進展状況に対する行政や住民の対応の遅れといった、複数の事象が時系列的な推移の中で相互に関連しあうことによって発生する問題を検討することがより重要であると考えられる。

以上の考察から、本研究では避難計画の高度化を支援するツールとして、地域の地理的な特徴を考慮した上で災害現象や住民などを表現し、その中に見られる種々の問題を時間的、空間的に分析することが可能なシミュレーション技術が有用であると考えている。

3. シミュレータの洪水災害への適用

(1) 災害総合シナリオ・シミュレータの概要

災害総合シナリオ・シミュレータは、防災行政無線などの情報伝達メディアの機能や住民間の情報伝達行動を表現する情報伝達シミュレーションモデル、住民の避難

表-1 浸水深、流速を考慮した歩行困難度²⁾

浸水深(m) 流速(m/sec)	H < 0.5	0.5 ≤ H < 1.0	1.0 ≤ H
V < 0.5	可能	可能	困難
0.5 < 1.5	可能	困難	不可能
1.5 ≤ V	困難	不可能	不可能

の意思決定や避難行動を表現する避難行動シミュレーションモデル、そして、氾濫解析結果などを利用して災害の進展状況を表現する災害シミュレーションモデルの3つの要素技術により構成されている。各シミュレーションモデルを操作する種々のパラメータを設定することで、行政から住民への災害情報の伝達状況や住民の避難状況、そして災害現象の進行状況を様々なシナリオ想定のもとに表現することが可能であり、表現される各種状況を空間的、時間的に分析することによって、人的被害の発生規模などを推計することができる。

(2) 洪水による人的被害規模の評価指標の導入

洪水氾濫の場合、氾濫流そのものによって人的被害が発生する状況は稀であり、津波の様に氾濫流との関係から単純に犠牲者を予測することは困難である。そこで本研究では、人的被害規模の評価指標として、救助が必要となりうる住民である「要救助者」を定義し、用いることとした。要救助者は、表-1に示すような流体力を考慮した歩行困難度の判定モデルにおいて、歩行困難度が「可能」以外に判定された場合に発生する。なお、ここで要救助者に判定されたとしても、その住民が置かれている状況によって求められる対応のレベルが大幅に異なる場合があると考えられる。例えば、マンションの2階以上に住む住民が、1階の浸水状況により要救助者に判定されたとしても、自宅に居続けることが可能な限りにおいて救助の緊急性は低い。そこで、要救助者数は、避難前に自宅で要救助者となった者、避難途中に要救助者となった者に分類し、前者の場合は、さらに自宅が平屋建ての住民と2階建て以上の住民に分けて集計することとした。

(3) 自動車による避難状況の表現

洪水を想定した避難計画の多くは、徒歩による避難を原則としている。しかし、自動車はそれ自体が重要な家財であることや、日常的に車を利用している住民にとって豪雨時の移動に車の利用を制限されることは受け入れ難いなどの理由から、実際には車による避難が多く行われているのも事実である。また、以上のような問題意識から、早期避難に限り車による避難を認めることで、迅速な避難行動を促進しようとしている自治体もある。そこで本シミュレータでは、この様な状況を検討するため

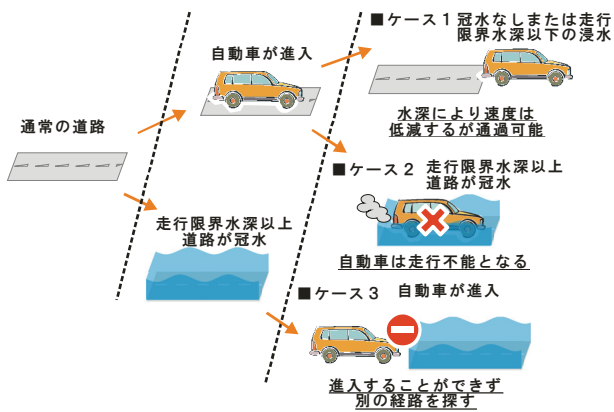


図-1 浸水深を考慮した自動車の走行

に自動車による避難行動についても考慮することとした。

a) 走行限界水深の表現

まず、浸水により自動車が走行不能となる状態を表現するため、走行限界水深を設けた。この値は、避難経路の選択時に参照される歩行者、自動車別の道路リンクごとの通行可否状態の判定にも利用され、浸水状況に応じた動的な経路選択が行われる様子を表現する。また、走行中のリンクが走行限界水深に達した場合には、その自動車は走行不能とする(図-1参照)。なお、走行限界水深は、文献3)を参考に30cmと設定している。

b) 渋滞の表現

自動車による避難を表現するためには、渋滞など交通状況の考慮が必須となる。自動車交通を精緻に表現するシミュレーションモデルは多数存在しているが、ここでは、下式によって求めた各道路リンクの走行許容台数を利用することで、簡略的に渋滞の状況を表現している。

$$C = L_l \cdot A / (L_c + D)$$

ここで、 C : 道路リンクの許容台数、 L_l : 道路リンク長、 A : リンクの車線数、 L_c : 自動車の平均車長、 D : 平均車間距離である。許容台数以上の自動車がリンクに進入しようとした場合、進入車は道路の渋滞が解消されるまで時間的な遅延が生じることとなる。

(4) 浸水状況を考慮した避難速度の設定

最後に、浸水状況による避難速度の変化を表現するために、下式を用いて避難速度の設定に浸水深を考慮することとした。この式は、避難手段が徒歩、自動車に関わらず適用される。

$$V_{pt} = V_0 \cdot (1 - d_{pt} / d_{lim})$$

ここで、 V_{pt} : 浸水を考慮した避難速度、 V_0 : 浸水がない状態における避難速度、 d_{pt} : 座標 p における時刻 t の浸水深、 d_{lim} : 避難手段別の限界浸水深(徒歩: 100cm、車: 30cm)である。

表-2 整備データ

項目	数量等	参照情報
住民	63,583世帯 (131,964人)	名古屋市 町・丁目別、 年齢別公簿人口
建物	43,756棟	名古屋市DMデータ
避難場所	48箇所	名古屋市地域防災計画書
屋外拡声器	7基	中村区提供資料
広報車	7台	中村区提供資料
※巡回経路は独自に設定		

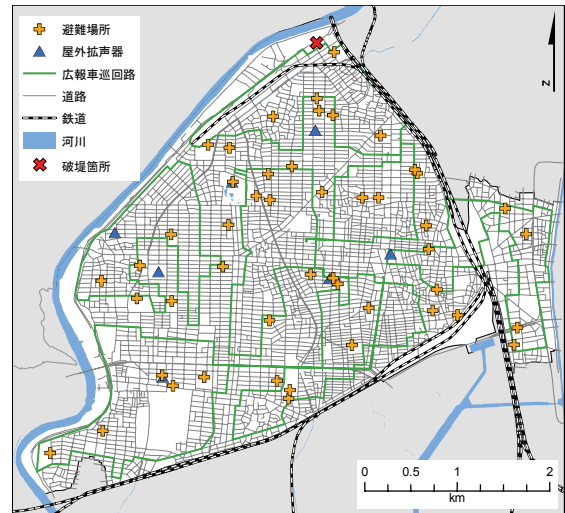


図-2 対象地域と施設配置

表-3 シミュレーション基本条件

設定項目		設定値またはパターン	
情報伝達	屋外 拡声器	基本	音声範囲: 250m、聴取率: 30%
		タイミング	発令直後から20分間隔で5回
	広報車	基本	音声範囲: 100m、聴取率: 40%
		タイミング	発令直後に出勤
	マス メディア	基本	視聴率: 60%
		タイミング	発令1時間後から30分間隔で3回
住民間	電話の利用	利用不可	
避難行動	避難率	100%	
	避難先	居住地から最も近い避難場所	
	避難手段	徒歩(分速80m)または、 自動車による避難(時速40km)	
洪水氾濫	破堤地点	庄内川左岸14k地点	
	内水の考慮	あり(破堤6時間前から開始)	

4. 洪水時の避難シナリオ分析

(1) 対象地域と基本条件

分析の対象地域としたのは、名古屋市中村区の全域である。当地域は、面積約16.2km²で西側は庄内川に接し、東側にはJR東海道線と名古屋駅が位置している。シミュレーションの実施に当たり整備した基本データの概要を表-2に、また、各施設の配置を図-2に示す。

表-3は、設定した基本条件を示している。なお、今回利用した洪水氾濫は、対象地域の北端に位置する庄内川左岸14k地点が破堤することを想定しており、平成12年の東海豪雨と現状の治水整備を参考に解析した内水氾濫と外水氾濫の状況が考慮されている。

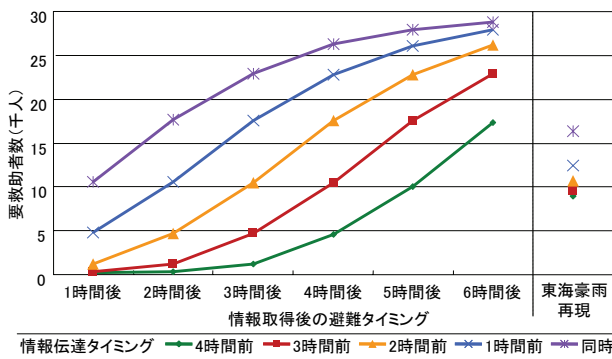


図-3 要救助者数(平屋建て居住者)

(2) 避難タイミングの変化による被害への影響

a) シナリオ設定

まず、避難行動が遅れることによって被害規模にどのような変化が生じるのかを把握するため、住民が避難情報を取得してから避難を開始するまでのタイミングを情報取得の1時間後から6時間まで1時間ずつ遅らせた場合と東海豪雨時の避難実態調査から得られたタイミングを再現する場合の7パターンに設定した。次に、避難情報の伝達が遅れた場合を想定し、そのタイミングを堤防決壊の4時間前から決壊と同時まで1時間ずつ変化させた5パターンの情報伝達タイミングを設定し、シミュレーションを実施した。

b) シミュレーション結果

平屋建て居住者に限定した避難前の要救助者数を図-3に示す。この結果によると、要救助者は情報伝達タイミングが遅れるほど、また情報取得後の避難タイミングが遅れるほど多くなっており、4時間前に情報伝達が行われ取得後1時間で避難を開始した場合では200人程度、情報伝達が決壊と同時に行われ、取得後6時間で避難を開始した場合では、2万8千人程度となった。後者の値は、別途計算した最終的な浸水域全体の平屋建て居住人口とほぼ一致しており、このシナリオでは全く避難しない場合と同規模の被害が発生すると言える。次に、情報伝達と避難のタイミングが相殺し、結果として決壊と同時に避難を開始する場合では、5千人弱の要救助者が発生することがわかる。また、最も現況再現に近いと考えられる東海豪雨時の避難タイミングを再現したシナリオでは、情報伝達のタイミングによって、約8千人から約1万2千人の要救助者が発生するという結果となった。

(3) 車による避難によって発生する問題

a) シナリオ設定

自動車を利用した避難行動による被害状況の変化について把握するため、避難情報の伝達タイミングを決壊の4時間前に、また避難タイミングを前節と同様な7パターンに設定し、自動車による避難が行われた場合のシミュレーションを実施した。なお、ここでは全世界帯が自動車

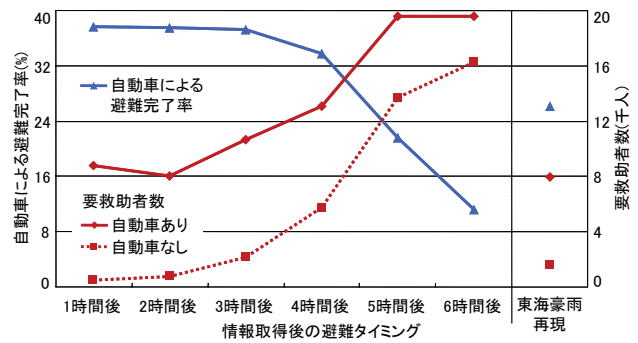


図-4 自動車の利用による被害の変化

による避難を行う状況を想定している。ただし、内水などにより避難開始時点で既に走行限界水深以上の浸水があった場合は、徒歩による避難を実施する。また、避難途中で浸水し走行不能となった場合は、その場所に停止したままの状態とした。

b) シミュレーション結果

全世界帯のうち自動車によって避難場所までたどり着くことができた世帯の割合と避難途中で要救助者となった住民の数を図-4にまとめる。またこの図には、比較のために自動車を利用しない場合の結果を併記している。この結果から、まず自動車による避難完了率の変化について見ると、避難タイミングが遅れるにつれてその割合は下がっており、情報取得後1時間の避難タイミングでも40%弱、情報取得後6時間では10%程度の世帯しか自動車による避難を完了することができない結果となった。次に、避難途上の要救助者の変化について見ると、情報取得から1時間後の避難で、自動車を利用しない場合の要救助者が500人程度なのに対して、自動車を利用した場合は約9千人と17倍以上多い結果となった。この要救助者数の差は、避難タイミングが遅くなるにつれ減少する傾向が見られるが、これは避難タイミングが遅れるにつれて内水や外水が進行し、避難開始当初から自動車による避難を実施できない世帯が増加することに起因する。

5. おわりに

本研究では、洪水を対象とした避難計画の高度化に向け、災害総合シナリオ・シミュレータの洪水災害への適用とシミュレータを利用したシナリオ分析を実施した。今後は、要素技術の改良や結果の避難計画への反映方法を検討するなど、実用化に向けた研究を行う予定である。

謝辞：本研究の実施に当たっては、国土交通省 庄内川河川事務所、名古屋市からの協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集, 印刷中.
- 2) 末次忠司: 氾濫原管理のための氾濫解析手法の精度向上と応用に関する研究, 九州大学学位論文, 1998.
- 3) 高橋和雄, 高橋裕: クルマ社会と水害, 九州大学出版会, 1987.