

紹介

避難対策と防災教育のためのシナリオ・シミュレータの開発 Development of Scenario Simulator for Evacuation Measures and Disaster Education

片 田 敏 孝*

水災害による人的被害を低減するためには、適切な住民避難が行われることが不可欠である。このためには、的確な災害情報の伝達、渋滞を考慮した適切な避難誘導、避難困難者の支援、そして、地域住民の意識啓発など、さまざまな問題に対応する必要がある。本研究では、このような避難対策の検討に資するツールとして、災害情報の伝達や住民避難、そして氾濫状況に応じた人的被害の発生など、水災害時における一連の地域状況を総合的に表現するシナリオ・シミュレータを開発している。このシミュレータは、種々のシナリオ想定に基づく地域の避難状況や被害状況を具体的に表現することが可能であり、地域住民の行動意向に基づく被害推計やその発生要因分析、被害低減策の効果分析などを実施可能である。したがって、本シミュレータは、避難計画を検討する戦略策定ツールとして、また水災害時の適切な対応行動を学び考える防災教育ツールとしても活用することができる。

キーワード 水災害 住民避難 シナリオ分析 シミュレーション

1. はじめに

東日本大震災による壊滅的な被害を教訓として、南海トラフを震源域とする津波災害に対するさらなる対策の必要性が叫ばれている。また、近年の地球温暖化や異常気象は、台風の強大化や豪雨の頻発化をもたらしており¹⁾、高潮や洪水を主とした気象災害への対応策の重要性も増している。主因は異なるものの、海水や河川水が堤内地に氾濫するこれらの水災害は、多くの場合その兆候から発災までに時間的猶予が存在することが共通の特徴である。したがって、この間に適切な避難がなされるか否かが人的被害の多寡を大きく左右する重要な問題となる。しかし、住民避難に関しては、災害情報の伝達や誤ったリスクイメージ

に基づく低調な避難率、避難時における自動車の利用や避難困難者の存在など、社会的な対応に関するさまざまな課題が多数存在している。

筆者は、このような問題意識のもと、水災害による犠牲者ゼロを実現することを目的に、避難対策の検討や住民の防災教育のためのツールとして、洪水や高潮、津波といったハザード現象に加えて、各種警報や避難勧告などの災害情報の伝達や住民による避難行動、そして、人的被害の発生といった災害時の一連の地域状況を総合的に表現するシミュレーションシステムを開発している(以下、シミュレータと呼ぶ)²⁾³⁾。このシミュレータは、種々のシナリオ想定に基づき、地域の避難状況や被害の発生状況を具体的に表現することが可能であり、現状の住民意識を考慮した被害推計

* 群馬大学教授 広域首都圏防災研究センター (TEL: 0277-30-1651, FAX: 0277-30-1601, e-mail: katada@gunma-u.ac.jp)

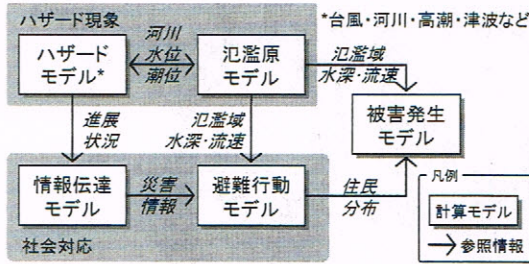


図-1 シミュレーションモデルの構成

やその発生要因分析，対応策による被害低減効果の推計などを実施することが可能である。したがって，本シミュレータは，避難計画を検討する戦略ツールとして，また個人が適切な対応行動を学び考える教育ツールとして利用することができる。本稿では，本シミュレータの基本構成に加えて，自動車による避難行動に着目した分析事例，そして，防災教育ツールとしての機能について紹介する。

2. シミュレーションモデルの概要

図-1に本シミュレータの構成を示す。本シミュレータは，シミュレータを構成する各モデルに設定されたパラメータに応じて，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，そして洪水氾濫などのハザード現象の進展状況など，水害時の各種地域状況をさまざまなシナリオ想定の下に表現する。そして，表現された避難状況や氾濫流の挙動を空間的，時間的に分析することで，人的被害の発生状況を推計する仕組みとなっている。

2.1 情報伝達モデル

本モデルは，避難勧告などの災害情報がマスメディアや防災行政無線，そして，広報車といった情報伝達メディアにより発信される様子，また住民の口頭や電話による伝達行動を通して，その情報が地域に拡まって行く様子を表現する。ここで住民間に情報が拡大する様子は，ネットワークの形成過程として捉えられる。そこで本モデルでは，住民をネットワークを構成するノードとして表現し，ノード間にリンクを張ることで伝達の有無を表現している。なお，情報伝達メディアは，ネットワーク形成のスターターの役割を果たす特別な

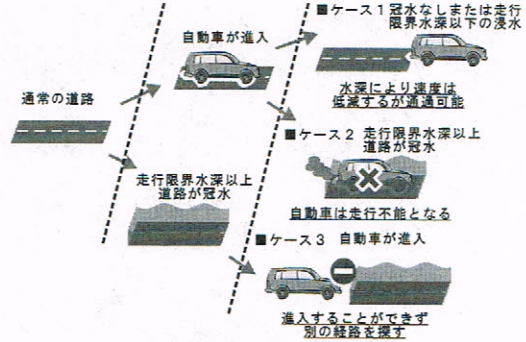


図-2 浸水状況を考慮した自動車の走行

ノードとして位置づけられる。また，住民間の情報伝達は，人間関係を反映した偏ったネットワークを形成すると考えられることから，本モデルでは，Biased Net Model⁴⁾を基本構造に採用している。

2.2 避難行動モデル

避難行動モデルは，住民が避難を決意し，自宅から道路上を通過して避難先まで移動する様子を表現する。避難を開始するタイミングは，情報伝達モデルにより表現される避難勧告などを取得したタイミングを基準として，避難の準備に費やす時間などを加算した時刻に設定する。また，避難先や経路は，基本的に自宅から最も近い避難施設とその場所までの最短経路を利用する。

避難中は，移動開始からの経過時間と移動速度に応じて道路データから避難者の位置を求める。道路データは，道路を表現するリンクと交差点を表現するノードで構成されるネットワークで表現される。各リンクは，任意のタイミングで変更可能な通行可否を表す状態を持つ。避難者は，進入しようとするリンクが通行不能であった場合，通行不能リンクを除外したネットワークを利用した経路探索を実施し，迂回路を求める。また，道路の状態は，ハザードモデルにより表現される浸水状況等を反映して逐次更新しており，浸水域の拡大に伴う通行不能箇所の出現やそれに応じた避難者の迂回行動を表現している（図-2参照）³⁾。

避難手段としては，徒歩と自動車の利用を表現する。自動車の速度は，各リンクの規模に応じた自由走行速度を基本とし，リンクへの進入時，もしくは走行中のリンクの交通量が変化した時に，

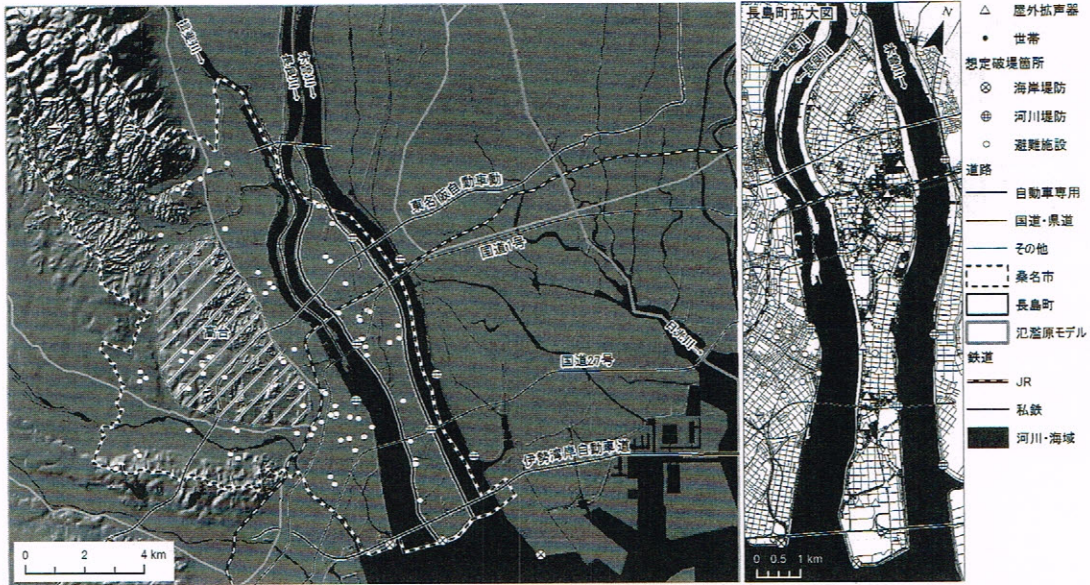


図-3 対象地域(桑名市長島町)と施設配置

Greenshields の式⁵⁾により速度を更新することで、交通量に応じた速度変化を表現する。なお、本モデルでは、簡略化のため車線や信号機の表現は省略しており、交差点においては直進車を優先している。また、徒歩による避難の場合は、性・年齢別の平均歩行速度を基本とし、混雑度・疲労・浸水状況などを考慮して速度低下を表現している。また、いずれの避難手段においても台風を想定する場合は、暴風による速度低下を考慮している。

2.3 ハザードモデル・氾濫原モデル

本モデルは、検討対象に応じて高潮、洪水、津波などの災害現象を表現し、最終的には堤内地における氾濫流の挙動を二次元不定流計算によって表現する。本シミュレータにおいてハザード現象は、行政や住民による社会的な対応から影響を受けない現象として、他の計算モデルとは、独立して計算する構成を採っている。ハザードシミュレーションモデルから得べき情報は、氾濫域や域内の浸水深や流速であり、堤防の決壊などから経過時間ごとにこれらの情報を蓄積したものを一つの外力シナリオとして取り扱う。破堤箇所や破堤流量、そして、施設整備の状況により異なる氾濫解析の結果をデータベース化しておき、想定す

るシナリオに応じて選択して利用することとなる。

2.4 被害発生モデル

水災害による人的被害をみる場合、特に洪水の場合は、氾濫流そのものによる犠牲者の割合は少なく⁶⁾、浸水域と住民分布から単純に人的被害を予測することは困難である。そこで本モデルでは、自力での避難が困難となり救助が必要と考えられる住民を「要救助者」と定義し、この人数によって人的被害の規模を評価することとした。避難困難の判定については、須賀ら⁷⁾による身長と流体力を考慮した歩行困難の判定モデルを利用し、歩行が困難な浸水状態下にある住民を要救助者として判定している。

3. シナリオ分析事例

3.1 高潮災害に対する広域避難の検討事例

海拔ゼロメートル地帯である桑名市長島町(図-3参照)を対象として、既往最大級の巨大台風が、伊勢湾に深刻な高潮被害をもたらすコースで襲来することを想定したシナリオ分析を実施した。図-4は、台風上陸の11時間前という早期段階に避難勧告が発令されることを前提としたシナリオ分析による要救助者数とその構成を示した結果で

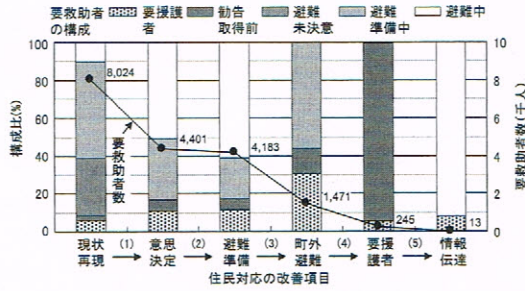


図-4 対策による要救助者の低減

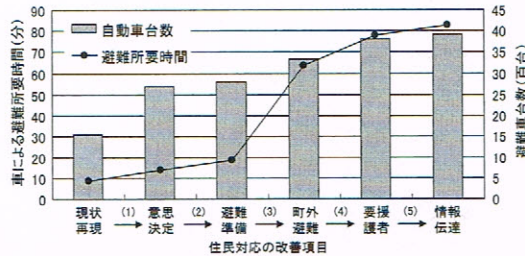


図-5 対策による避難車台数と所要時間の変化

ある。左端の現状再現とは、避難の意思決定やタイミング、避難先、避難手段などの対応について、調査から把握した地域住民の行動意向をそのまま再現した場合を示しており、全住民の約51%に相当する8,024人の要救助者が発生する深刻な結果となった。さらに、種々のシナリオ分析から、(1) 避難率やタイミングの改善、(2) 避難準備時間の短縮化、(3) 町外の高台(図-3参照)に向けた広域避難の実施、(4) 要援護者の対応、(5) 情報伝達の改善などの対策が、現状の被害の低減に向けて必要であることが把握された。しかし、対策による避難の活発化につれて避難に利用される自動車も増加しており、特に町外への広域避難を想定した(3)において渋滞の深刻化による避難の遅延が確認された(図-5参照)。本研究では、この問題に対して、早期避難の促進による避難者の時間的な分散や、避難路や避難先の指定といった避難誘導による避難者の空間的な分散、バスなどの公共交通機関の活用による自動車の低減などの対策を併せて実施することが必要であるという結論を得た。

3.2 自動車を利用した津波避難の分析事例

図-6は、湾奥が狭く平野部の少ない典型的な

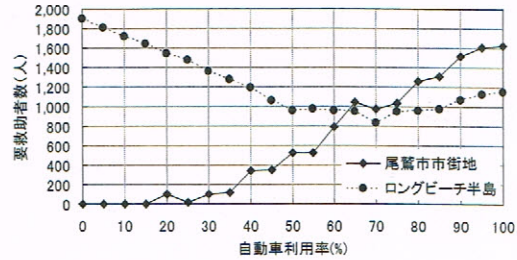


図-6 自動車利用率による被害の変化

リアス式海岸部と南北に約50kmの長さを持つ広大な平地という対照的な地形に位置する三重県尾鷲市の市街地と米国ワシントン州ロングビーチ半島を対象としたシミュレーション結果である。この分析では、それぞれの地域において想定されている規模の津波をハザードシナリオとして、地震発生から5分後に全住民が避難を開始することを基本条件として設定した。そして、避難時における自動車の利用率を0~100%まで変化させたシミュレーションを実施した。図-6より尾鷲市市街地の結果をみると、要救助者は、自動車を利用した避難者の割合が15%まではゼロに抑えられているものの、2割を超えた段階から増大している。一方、ロングビーチ半島では、自動車の利用率が50%程度までは、利用者が増加するにつれて要救助者が減少していることがわかる。ただし、80%を超えた段階からは、増加する傾向に転じている。

これらの結果に基づくと、リアス式海岸部では、自動車の利用が被害の増大に直結しやすく、徒歩による避難が強く求められる地域であると言える。ただし、犠牲者ゼロを前提とした場合においても自動車の利用には若干の余地があることから、限界量を正しく把握した上で、災害時要援護者の支援など、犠牲者の低減に不可欠となる限定的な用途に限り自動車の活用を検討すべきである。一方、付近に高台がない平野部などの長距離の避難が求められる地域においては、被害の低減に向けて自動車の積極的な活用が求められる結果となった。ただし、このような地域においても過剰な自動車の利用が被害の増大をもたらす傾向がみられたことから、渋滞対策に加えて、避難施設

整備など、その他の対応策を組み合わせた取り組みが求められると言える。

4. 防災教育におけるシミュレータの活用

4.1 動的なハザードマップとしての活用

住民が水災害時に適切に対応するためには、水災害に対する正しい知識を持つことが必要であり、氾濫時における地域や自宅の危険性を正しく認識している必要がある。ハザードマップは、このような災害リスクの普及啓発を目的の一つとしている。しかし、現状のハザードマップは、ポスターや冊子などの限られた紙面で構成されていることから、表現上の制約が多いという課題がある。例えば、洪水ハザードマップのもととなる浸水想定区域図は、破堤箇所が異なる複数の氾濫計算結果を統合して作成しており、「地域の浸水状況を想定した地図」ではなく、「各地点の最大浸深分布図」となっている。したがって、この前提を十分に理解していない住民からは、非現実的な信用性の低い情報として受け止められてしまう危険性がある。また、紙面上の静的な表現に留まるため、氾濫の時間的な進展や流速など、氾濫状況を理解するために本来伝えられるべき情報の多くが表現の過程で省略されているなど、住民避難における活用を考えた場合、改善の余地が多い⁸⁾。

このような課題に対して、本シミュレータは、時系列的に進展する災害現象に加えて、行政や住民による社会の対応行動、そして、その下での人的被害の発生という災害時の一連の状況をアニメーションの形式で表現することが可能であり、災害シナリオによる被害規模の変化や適切な避難対応による被害の低減効果を具体的にわかりやすく表現する動的なハザードマップとしても活用できる(図-7参照)。筆者は、前章の事例で取り上げた三重県尾鷲市をはじめとした多くの地域において、災害時における適切な避難対応を説明するためのリスク・コミュニケーションツールとして本シミュレータを活用している。

4.2 個人の避難行動検出ツールとしての活用

図-7に示すようなアニメーションは、予め計算された地域全体のシミュレーション結果であ

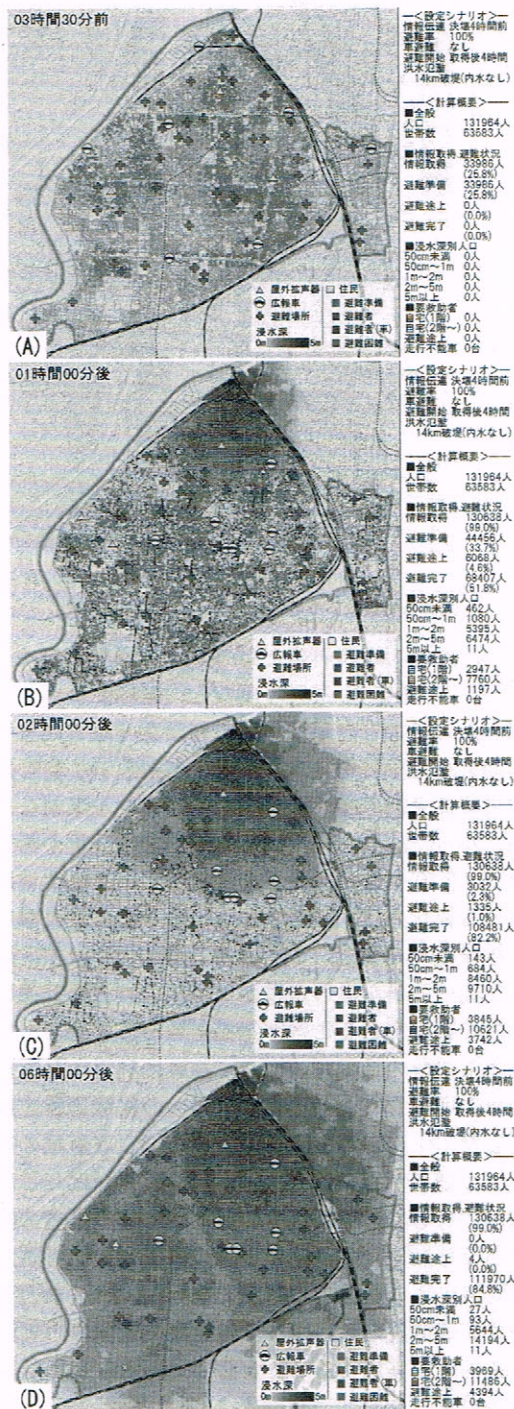


図-7 アニメーション例(名古屋市中村区)



図-8 個人の避難行動を対象とした簡易シミュレーションツール

り、シナリオが固定されているため、「自宅の立地により適切な対応が異なるのでは?」、「指定避難場所とは異なる場所に避難した場合は?」、「避難の途中で知合いの家に寄った場合は?」などの閲覧者が持つ個別の疑問に対応することができない。そこで、自宅の位置や避難先、避難経路などを選択することで、簡易的な避難シミュレーションを実施するツールを提供している(図-8参照)。このツールによって、利用者が考える避難対応(タイミング、手段、避難先、経路など)の帰結や改善策を簡便に把握することができ、適切な対応行動を自ら学ぶことができる。なお、本システムはWebブラウザ上で動作させることが可能であり、インターネットを通じて広く一般に公開することができる⁹⁾。

謝辞

本稿で紹介した研究の遂行にあたっては、国土交通省中部地方整備局木曾川下流河川事務所、庄内川河川事務所、尾鷲市からの協力を得た。ここ

に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 内閣府編；平成 19 年版防災白書, 2007
- 2) 片田敏孝, 桑沢敏行；「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 D, Vol. 62, No. 23, pp. 250~261, 2006
- 3) 桑沢敏行, 片田敏孝, 及川康, 児玉真；「洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用」, 土木学会論文集 D, Vol. 64, No. 3, pp. 354~366, 2008
- 4) Rapoport, A.; "A Probabilistic Approach to Networks", Social Networks, No. 2, pp. 1~18, 1979
- 5) Greenshields, B. D.; "A Study of Traffic Capacity", Proceedings of Highway Research Board, Vol. 14, pp. 448~477, 1935
- 6) 牛山素行, 國分和香那；「平成 18 年 7 月豪雨による人的被害の分類」, 水工学論文集, Vol. 51, pp. 565~570, 2007
- 7) 須賀堯三, 上阪恒雄, 吉田高樹, 浜口憲一郎, 陳志軒；「水害時の安全避難行動(水中歩行)に関する研究」, 水工学論文集, Vol. 39, pp. 879~882, 1995
- 8) 片田敏孝；「洪水ハザードマップの効果と今後の課題」, 消防科学と情報, 財団法人消防科学総合センター, pp. 9~14, 2002
- 9) 群馬大学災害社会工学研究室；「木曾三川下流域動く高潮ハザードマップ」, 2012
<http://dsel.ce.gunma-u.ac.jp/simulator/kisokaryu3/>