

# 津波時の避難シミュレーションシステム及びモデル地域における構築\*

## Development of the Tsunami Evacuation Simulation System and Production Trial at the Model Area\*

熊谷兼太郎\*\*・小田勝也\*\*\*・土方聡\*\*\*\*・岡秀行\*\*\*\*\*

By Kentaro KUMAGAI\*\*・Katsuya ODA\*\*\*・Satoshi HIJIKATA\*\*\*\*・Hideyuki OKA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

わが国では大規模地震に伴う津波が懸念されており、津波発生に対して、海岸構造物等により浸水を物理的に防ぐだけでなく、地震発生後の早期の避難が必要である。早期の避難を実現する施策として、地方自治体による同報無線及び避難場所の整備等が行われてきた。また、国土交通省では、内閣府及び農林水産省とともに津波・高潮ハザードマップの作成・活用に係る基本的考え方をまとめた「津波・高潮ハザードマップマニュアル」<sup>1)</sup>を平成16年4月に策定し、地方自治体等による津波・高潮ハザードマップの作成・活用を支援している。

津波・高潮ハザードマップは浸水リスクを住民に認知させる有効な手段の一つである。ただし、早期の避難促進のためには浸水の開始時間等に関する情報が不可欠であるが、紙面上のハザードマップで時間的な概念を表現するのは困難である。そこで、津波等の浸水の経過を動的に表現し、避難に係るパラメータを利用者が試行錯誤的に設定して避難経過を体感できる仕組み（動くハザードマップ）を開発する。これを平常時に活用し、住民等が浸水リスクをより正確に認知することによる早期避難意識の醸成、行政における必要な対策実施等に活用する。

ハザードマップの高度化に係る既往の検討は、片田ら<sup>2)</sup>により市町村単位程度の範囲を対象として災害時のシナリオを設定し地域の人的被害の把握が出来るようになってきた。その他、いくつか例がある<sup>3)</sup>。しかし、実際の避難の際の移動範囲であるコミュニティレベル（丁目単位）程度の範囲で、住民一人ひとりの避難経路、避難場所等について住民自らが詳細に設定し検討するためのツールはこれまでほとんど実用化されていない。

\*キーワード：津波避難シミュレーション、動くハザードマップ、リスクコミュニケーション

\*\*正員、工修、国土交通省国土技術政策総合研究所  
(神奈川県横須賀市長瀬3-1-1、  
TEL046-844-5024、FAX046-844-5068)

\*\*\*正員、工修、国土交通省国土技術政策総合研究所

\*\*\*\*正員、工修、国際航業株式会社

\*\*\*\*\*正員、国際航業株式会社

### 2. 避難シミュレーションシステムの概要

本システムは、コミュニティレベル（丁目単位）程度の範囲の対象地域について、利用者が避難経路、避難場所等をコンピュータ画面上で任意に設定し、津波等の災害発生下の避難を体感する個人のための避難シミュレーション・システム（動くハザードマップ）である。本システムの概要は、著者ら（2005）<sup>4)</sup>がすでに報告をしているが、それに詳細な記述等を加えつつまとめる。

#### (1) 基本的構成

図-1に、システムの基本的構成を示す。まず、あらかじめ準備した対象地域内の道路及び建物データ、浸水計算結果及び背景地図を読み込む。道路及び建物データは利用者対話式画面により修正・追加できる。次に、利用者が地震発生の日時、震度及び風向・風速を対話式画面により入力する。また、利用者が自宅位置、避難経路、避難場所、避難開始時間、避難速度等を画面上で入力する。なお、これらは複数設定できる。浸水による避難経路の閉塞の判定、建物倒壊及び建物火災による避難経路の閉塞確率の算定をそれぞれ行う。浸水経過と避難者の動きを画面の地図上にアニメーションで表示し、避難経路の安全性評価結果を表示する。必要に応じて避難経路等を見直し、再度検討する。

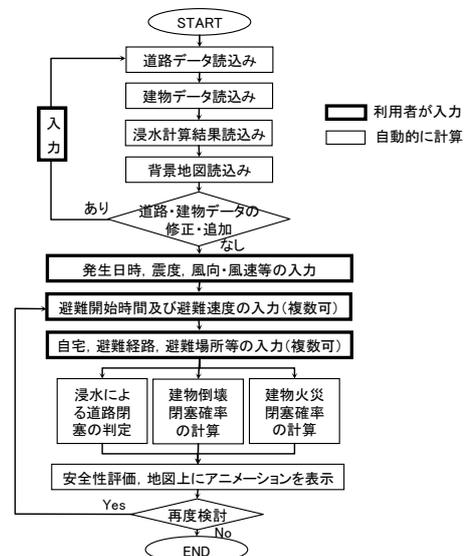
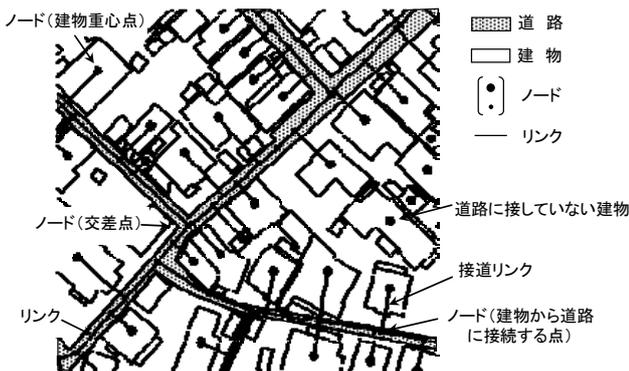


図-1 システムの基本的構成

### (2) 道路データ及び建物データの読み込み

道路データは、道路台帳付図より延長、幅員等を読みとることにより作成する。また、建物データは、都市計画図、固定資産データ等より形状、構造形式、建築年、建築面積、延床面積、敷地面積等を建物一棟ごとに作成する。ただし、無壁舎（カーポート等）及び建築面積が10m<sup>2</sup>以下の小規模建物は除外する。

これをもとに、避難経路データを生成する。図-2に避難経路データのイメージを示す。避難経路データはノード（結節点）及びリンク（線）から構成されている。ノードは、建物重心点、交差点、道路幅員が変化する点、建物から道路に接続する点等である。リンクは、ノード間をつなぐ直線の要素である。そのうち、道路に接した建物から道路へのリンク（接道リンク）は、建物重心点から道路に直交するよう最短距離で生成した。ただし、道路に接していない建物は、どの道路に接続しているか推定できない。そこで、その場合は、必要に応じ(5)で建物から道路へのリンクを利用者が入力する。避難経路は、接道リンク以外は道路中心線付近を通っている。



### (3) 浸水計算結果の読み込み

津波の浸水計算は、非線形長波方程式を用い、連続式及び運動方程式を解くことにより計算する。空間差分はスタッガード格子を用い、時間差分はリーブ・フロッグ法を用いた。沖側境界条件は自由透過とし、地震による津波を表現する初期条件は、既往の検討を参考に初期水位分布を設定する。水平方向の空間格子のスケールは、地図上にアニメーションで表示すること等を考慮し、最小メッシュを十分に小さくすることが必要である。

### (4) 背景地図の読み込み

背景地図は、道路・建物の形状輪郭線データ及び可視無歪み衛星画像を用いる。道路・建物の形状輪郭線データは、自治体が所有する都市計画図等から作成するが、デジタル化されている場合はデータ生成が比較的容易である。また、衛星画像は解像度の高いIKONOS衛星画像（水平方向解像度50cm）を利用した。

### (5) 道路・建物データの修正・追加

道路または建物は、データ構築時点から変更され実際の現地の状況と異なっている場合等に、利用者がノード及びリンクを地図画面上で修正・追加する。

### (6) 地震の発生日時、震度、風向・風速等の入力

地震の発生日時、対象地域の想定震度、風向・風速等は、利用者が対話式画面で入力する（図-3）。発生日時、震度、風向・風速等は(9)で述べる建物火災の評価に用いる。また、震度は建物倒壊の評価にも用いる。

図-3 地震の発生日時等の入力イメージ

### (7) 避難開始時間及び避難速度の入力

避難開始時間及び避難速度は、利用者が対話式画面により入力する（図-4）。なお、ここでは複数の避難者を設定できる。また、避難者名を任意に入力できる。

仮名	避難者名	歩行速度 (m/sec)	避難開始時間 (min)	経路入力
Aさん	〇〇さん	1.0	15	
Bさん	××さん	0.6	20	

図-4 避難開始時間及び避難速度の入力イメージ

### (8) 自宅、避難経路、避難場所等の入力

自宅、避難経路、避難場所等は、利用者が地図画面上で入力する（図-5）。自宅及び避難場所は、任意の建物重心点のノードをクリックして選択する。避難経路は、主要な通過点をクリックして任意に設定する。なお、選択したノード間で経路が複数ある場合は、そのうち最短距離の経路が自動で選択される。また、(7)にあわせて複数の避難者を設定できる。

また、実際の避難では、寄り道する、家族を迎えに行く、待ち合わせする等の行動が生じる。そこで、「停留場所」及び「集合場所」を必要に応じて設定できることとした。「停留場所」では、任意の設定時間だけ停留する。図-6は寄り道をして停留したケースであり、例えば、危険を冒して海岸近くに津波来襲の様子を見に行ってしまった場合が想定される。「集合場所」では、当該地点を通過する全ての避難者を待ち合わせ、全員が揃ってから避難場所へ移動する。なお、待ち合わせ後の避難速度は、避難者のうち最も遅い速度を全員の避難速度とする。図-7は、例えば、自宅から保育園へ子どもを

迎えに行くまたは介護の必要な高齢者を迎えに行く場合が想定される。図-8は、例えば、地区内で働く家族を待ち合わせ、全員揃ってから避難する場合が想定される。



図-5 自宅、避難経路、避難場所等の入力イメージ



図-6 「停留場所」を設定した例



図-7 「集合場所」を設定した例 (その1)



図-8 「集合場所」を設定した例 (その2)

### (9) 避難経路閉塞の評価

避難経路が閉塞される現象の評価を行う。その要因として、津波等による浸水、地震による建物倒壊及び地震による建物火災発生を想定し、モデル化した。

#### a) 津波等による浸水

避難者が(8)で設定した避難経路を通過する際に津波等による浸水があれば、避難困難と判定する。避難困難とする浸水深の下限値は、利用者が対話式画面により任意の値を設定する。なお、伊勢湾台風の調査結果<sup>9)</sup>では、男性は浸水深70cm以下、女性は50cm以下で避難可能、小学校5~6年生では20cm以上で避難困難になるとの事例がある。

#### b) 建物倒壊

まず、建物倒壊による幅員 $B$ のリンク $i$ の避難経路閉塞確率 $p_{bi}$ を求める。既往の研究<sup>9)</sup>を参考に、

$$F(x_0) = 1 - b \cdot \exp(-x_0/a) \quad \text{式(1)}$$

$$x = \exp(0.0061 \cdot l) \cdot x_0 \quad \text{式(2)}$$

ただし、 $F(x_0)$ は標準化ガレキ幅 $x_0$ の累積分布関数、 $a$ 、 $b$ は推定建物全壊率、平均階層及び建物密度、木造率及び建造年の古い建築物比率より求まる値、 $x$ はリンク長 $l$ で補正したガレキ幅であり、 $x >$  (幅員 $B$ から通行に必要な幅員を差し引いた値) となる確率 $p_{bi}$ は $F(x_0)$ を補正して求める。これにより、避難者が通過する $n$ 個のリンク ( $i=1,2,\dots,n$ ) の通過可能確率 $P_b$ は、

$$P_b = \prod_{i=1}^n (1 - p_{bi}) \quad \text{式(3)}$$

となる。

#### c) 建物火災

既往の研究<sup>7)</sup>を参考に、各建物の出火率は、例えば木造建物の場合、木造建物全壊率及び季節によって決まる出火率に時刻係数をかけて求まる。火災が生じている建物わきの道路は通行不能とすると、これらをもとに、建物火災によるリンク $i$ の避難経路閉塞確率 $p_{fi}$ を求めることができる。避難者が通過する $n$ 個のリンク ( $i=1,2,\dots,n$ ) の通過可能確率 $P_f$ は、

$$P_f = \prod_{i=1}^n (1 - p_{fi}) \quad \text{式(4)}$$

となる。

なお、避難経路が閉塞される要因は、上記の要因以外にも対象とする地域によっては、ブロック塀、電柱等の倒壊、放置された自動車、土砂崩れ、積雪の影響等が考えられるが、本システムではそれらは考慮していない。

(10) 安全性評価及び地図上へのアニメーション表示  
 利用者が入力した避難経路について、それぞれ避難経路の距離、避難に要する時間、(9)で求めた浸水による避難困難の判定、建物倒壊及び建物火災による通過可能確率等を表示する。また、画面上において浸水経過と避難者の動きをアニメーションで地図上に重ね合わせて表示する。図-9に画面構成のイメージを示す。Aでは初期設定、避難の条件設定等を行う。Bではアニメーション表示の操作等を行う。Cは対象地域の全体図を表示する。Dは描画する項目の選択、凡例表示等を行う。Eは地図、アニメーション、経過時間等を表示する。

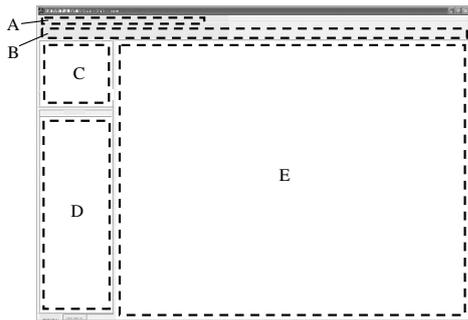


図-9 画面構成のイメージ

### 3. モデル地域を対象としたシステムの試作

高知県高知市種崎地区をモデル地域として、システムの試作を行った。対象とした地域は約1km四方の範囲で建物データ及び道路データを作成した。浸水計算は国土交通省四国地方整備局が実施した南海地震等を想定した計算結果を用いた。背景地図は高知市の協力により作成した。試作した画面の例を図-10に示す。これにより、居住している地域が津波で浸水する場合であっても、避難開始時刻、避難経路、避難場所等を適切に設定することにより、安全に避難できる可能性が高いことを確認することができた。また、避難経路に依存するものの、避難場所までの最大避難距離のおよその目安である400m程度の距離を避難した場合の一ケースを試算すると、今回の試作で設定した条件下では、建物倒壊及び建物火災による避難経路閉塞確率はそれぞれ8%程度、0.7%程度となった。このとき、避難経路の閉塞期待箇所数を求めると0.09程度となった。

### 4. おわりに

・コミュニティレベル(丁目単位)程度の範囲の対象地域について、利用者が避難経路、避難場所等をコンピュータ画面上で任意に設定し、津波等の災害発生下の避難を体感する個人のための避難シミュレーションシステム(動くハザードマップ)を開発した。



図-10 モデル地域で試作したシステムの画面  
 (画面中で点線が陸上地形、灰色が浸水部分)

- ・高知県高知市種崎地区をモデル地域とした同システムの試作を行い、浸水、建物倒壊及び建物火災による避難経路閉塞の評価に係る検討を行った。
- ・住民・行政からの意見聴取等をふまえて同システムを改善しつつ、津波発生が懸念される地域で自治体等により活用されるよう提案していく予定である。
- ・本システムは、住民が活用することで、早期避難の重要性及び高齢者等を地域全体で助けること重要性の体感、津波災害イメージの固定化への対策等となるリスクコミュニケーションツールと考えている。

### 謝 辞

本検討にあたっては、高知市、種崎地区津波防災検討会、群馬大学片田敏孝教授をはじめ各位のご協力・ご示唆を頂きました。ここに記して御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1)内閣府(防災担当)・農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局:津波・高潮ハザードマップマニュアル,平成16年4月
- 2)例えば,尾鷲市における「動く」津波ハザードマップ,片田敏孝,<http://www.ce.gunma-u.ac.jp/>
- 3)例えば,野澤征司・渡辺公次郎・近藤光男:マルチエージェントシステムを用いた歴史的市街地における津波避難シミュレーションモデルの構築,第32回土木計画学研究発表会,土木計画学研究・講演集Vol.32, No.217, 2005
- 4)熊谷兼太郎・小田勝也・土方聡・奈良正:沿岸域における津波・高潮時の避難シミュレーター(動くハザードマップ)に関する研究,第35回安全工学シンポジウム講演予稿集, pp.143-144, 2005.7
- 5)地域防災データ総覧,財団法人消防科学総合センター, 2001.3
- 6)例えば,家田仁ら:街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法,土木計画学研究委員会,阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp.433-440, 1997等
- 7)地震被害想定支援マニュアル,内閣府, 2001.10