

◆特集：ハザードマップの現状と今後の活用◆

避難しない住民を避難させるには －津波・高潮避難対策と動くハザードマップの開発－

小田勝也* 熊谷兼太郎**

1. はじめに

津波・高潮から住民が確実に避難できるように津波・高潮ハザードマップの整備が全国で進められている。しかしながら、現実には、津波避難勧告等が発令されても住民が避難しないという実態がある。どうすれば、住民は避難するのか？国総研が開発を進めている動くハザードマップは災害イメージの固定化や自分だけは大丈夫という正常化の偏見を突き崩し、避難する住民となって貰うことを支援するツールである。

2. 動くハザードマップ開発の背景

2.1 ハザードマップの課題

わが国では多くの地域で海溝型地震に伴う巨大津波が懸念されている。気候変動に伴う海面上昇や台風の規模、発生頻度の変化により、ハード対策の防護水準を上回る高潮災害を想定しておくことも求められている。

津波・高潮、特に想定を上回る津波・高潮に対しては、海岸構造物等により浸水を物理的に防ぐだけでなく、早期の避難対策等のソフト対策が重要である。津波・高潮による被害を軽減するためには住民一人一人が、自らがどのような災害の危険性（津波・高潮のリスク）に曝されており、災害発生時にどのように避難するか等を十分に認識していることが求められる。

現在、住民自らの避難行動を支援する施策として避難場所の確保、情報掲示板・同報無線等の避難情報提供設備の整備に加え、津波・高潮ハザードマップの作成・活用が進められている。このうち、津波・高潮ハザードマップについて、国土交通省は、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等をまとめた「津波・高潮ハザードマップマニユ

アル」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。しかし、紙面上に印刷されたハザードマップには以下のような課題がある。

(1) 時間的概念の表現が困難

早期避難を実現するためには津波の第一波の到達時間や最大浸水深の発生時刻、浸水の進行状況等に関する情報が不可欠である。しかし、現行のハザードマップでは時間的な概念を表現することが困難である。

(2) 災害イメージの固定化を招く

一定の災害シナリオに基づいて作成されることから利用者の災害イメージを固定化し、ハザードマップでは自分の家は浸水していないから自分は避難しないでも大丈夫であるといった思いこみを招き、逆に安心マップになりかねないという課題がある。しかし、現実の災害は多様でハザードマップの情報どおりであるとは限らない。

(3) 正常化の偏見への対応が困難

津波に対する意識は十分にありながらも実際の避難に結びつかない理由として「自分の身には危険が及ばない」と思いこむ正常化の偏見があり、ハザードマップの役割として正常化の偏見を打破することが求められている。

(4) 実際の避難行動に結びつけにくい

ハザードマップの作成過程や防災訓練等で避難ルートの確認等を行っているものの、実際の避難時の行動と結びつけにくい等の課題もある。また、避難行動に影響する要因は津波・高潮による浸水だけではない。津波の場合であれば、地震による火災、家屋・ブロック塀の倒壊、地滑り等により、高潮の場合であれば、降雨による土砂災害等より避難経路が閉塞される可能性もあり、こうした浸水以外の要因を考慮することが必要である。

Development of Tsunami and Storm Surge Evacuation Simulator to Enhance Residents' Awareness of Coastal Disasters

2.2 「逃げない住民」対策

平成18年11月15日及び平成19年1月13日に千島列島沖を震源とする大規模な地震が発生した。北海道のオホーツク海沿岸から釧路支庁までの太平洋沿岸に津波警報が、それ以外の北海道太平洋沿岸を含む東日本の太平洋沿岸等の広範囲に津波注意報が発表された。これらの地域における住民の避難状況は、内閣府・消防庁資料(2007)、防災白書(2007)によると、①11月15日に津波警報が発表された地域の避難率は、避難指示地区で74.2%、避難勧告地区で12.8%、②11月15日に津波注意報が発表された地域の避難率は、避難指示地区で0.4%、避難勧告地区で5.0%と低率、③1月13日に津波警報が発表された地域の避難率は8.7%、津波注意報が発表された地域の避難率は2.9%と、11月15日以上に低率、という状況であった。

避難指示が発令されても逃げない住民がこれだけ高率にのぼるという課題に対処することが津波対策に携わる行政・情報伝達にあたるマスコミ・関連する研究者に求められている。住民の津波自体に対する認識、津波避難に対する意識を理解し、「逃げない」という住民の心理的な機序に対応した避難促進方策の提案が必要である。

図-1に「逃げない住民」の行動様式を模式化して示す。これは、片田敏孝群馬大学大学院教授とのディスカッションを通じて整理したものである。津波が発生した際に、避難指示、避難勧告が防災無線等により伝達される共に津波の危険性に関する情報がテレビ等を通じて流れ、我が身に迫る危険性や避難の必要性が認識される。一方で自分だけは大丈夫、自分の身には危険は及ばない

という正常化の偏見が働く。このような相矛盾する二律背反的な心理状態(認知的不協和)に置かれた人間は不協和を解消するように行動する。その結果、「逃げる住民」と「逃げない住民」が発生する。「逃げる住民」は逃げることによって二律背反を解消している。「逃げない住民」は、逃げてない自分を正当化する理由を求める。例えば、配布された紙のハザードマップだと自分の家は浸水していない、あるいは、浸水深が低いという「災害イメージの固定化」、これまでも津波警報・注意報は発表されたけど、何も無かった、今回も大丈夫に違いないという「オオカミ少年効果」等である。

3. 動くハザードマップの概要

3.1 動くハザードマップの開発の目的

実際の災害は多様で、災害の規模や被害の様相は事前の予測シナリオどおりではない。こうした中で実際に安全な避難行動をとるためには、様々な災害の様相や実際にどのように避難するか等について住民と行政や専門家が情報をキャッチボールしながら理解を深めるリスクコミュニケーションを進めることが必要である。国総研では、ハザードマップの課題への対応やリスクコミュニケーション支援を目指して動くハザードマップの開発を進めている。

動くハザードマップは、住民と行政担当者等がワークショップ等の場で利用することを想定し、図-2のイメージに示すように時々刻々変化する津波の浸水状況、地震による家屋倒壊・火災による避難経路閉塞等を考慮できる避難シミュレーター

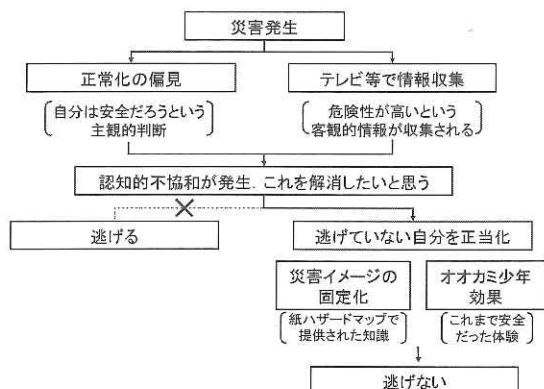


図-1 「逃げない住民」の行動様式

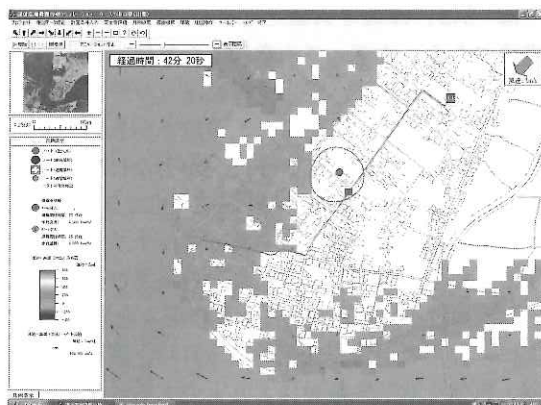


図-2 動くハザードマップの表示イメージ

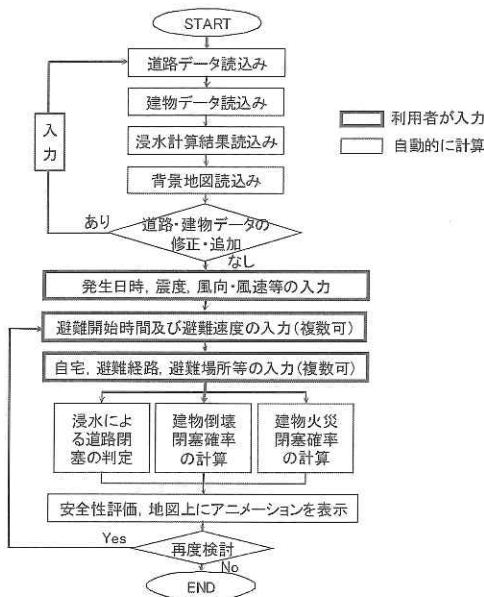


図-3 システムの基本構成

である。住民にとっては、図-3のシステム構成と操作手順に示すように住民一人一人がそれぞれの避難開始場所・時刻、徒歩・車椅子等の避難方法、避難経路等を入力し、安全な避難が可能かどうか、最適な避難方法は何か等を試行錯誤しながら体験でき、理解を深めることができる。

本システムの特徴として、コミュニティレベル（丁目単位）程度の範囲を対象地域としていること、利用者が避難経路、避難場所等を任意に設定し、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ターであることがあげられる。以下、本システムの概要を著者らの既報（2005、2006）に基づいて示す。

(1) 基本的構成

図-3は、津波を対象としたシステムの基本的構成である。まず、予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。浸水計算結果は、津波を引き起こす対象地震の違いや防護施設が健全か否かに応じて複数の浸水シナリオを使い分けることもできる。さらには人為的に極端な被害を及ぼすシナリオを想定することも可能である。また、道路及び建物データは利用者が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想定日時、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、避難者の動き、火災の延焼、家屋倒壊等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。

(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^2 以下の小規模建物は除外する等の対応が必要である。

次に、避難経路データを生成する。図-4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する。ただし、道路に接していない建物の場合のように、住民が実際に避難するルートを一義的に推定できない場合は、必要に応じ、利用者が建物から道路へのリンクを入力できるようにしてある。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・高潮の浸水計算は、予め計算された時系列データを順次読み込む。通常、非線形長波方程

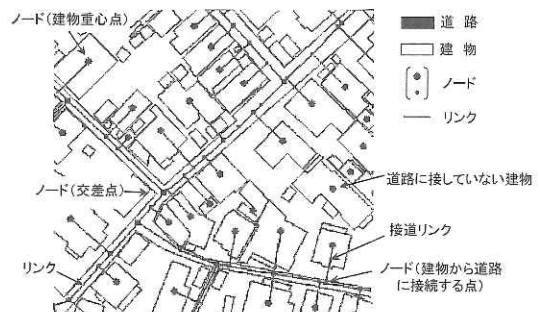


図-4 道路、建物・避難経路データの例

式を用い、連続式及び運動方程式を解くことにより計算される。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。

第4章に示す高知市で試作したモデルでは、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している。

(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理解を助けるための地図情報を用いる。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。後者の背景地図情報は、可視無歪み衛星画像、航空写真、国土地理院が発行している数値地図等を用いることができる。試作例では解像度の高い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・追加できる。

(6) 地震発生日時、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-5）。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。

(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-6）。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。

地震の情報

発生日時: 6 月 10 日 12 時

震度: 6+

風向: 南東

風速: 1 m/s

図-5 地震の発生日時等の入力イメージ

人数 2		経路入力: 入力		
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	0.8	20	

図-6 避難開始時間及び避難速度の入力

(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-7）。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-8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。例えば、自宅から保育園へ子どもを迎えに行く、または介護の必要の高齢者を迎えに行く場合や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等が想定される。



図-7 自宅、避難経路、避難場所等の入力



図-8 「停留場所」を設定した例

(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。

1) 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、消防科学総合センター(2001)の伊勢湾台風に関する調査結果では、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。

2) 建物倒壊及び火災

建物倒壊及による避難経路閉塞は、建物が倒壊して発生したガレキによって経路が閉塞される確率を推定建物全壊率、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等の関数として評価し、避難者が通過する個々のリンクの通過可能確率の積で経路全体の通過可能確率を算定する。

火災は、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める。火災が生じている建物脇の道路は通行不能とする。これらをもとに、建物火災による個々のリンクの避難経路閉塞確率を求め、経路全体の通過可能確率は建物倒壊と同様に求める。詳細は、熊谷ら(2006)を参照されたい。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。

(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。

4. 実用化に向けた取り組み

4.1 高知市における試行

これまでに、動くハザードマップのシステム開発はほぼ終了している。現在、地域の方々の参加を得て動くハザードマップを試行し、効果計測を行う等実用化を目指した検討並びに普及促進のための取り組みを進めている。

具体的には、高知県高知市種崎地区を対象として表-1に示す複数の浸水シナリオを動くハザードマップに導入した。今後、複数の浸水シナリオで動くハザードマップを試行するとともに住民を対象としたアンケート調査を行い、住民個人レベルの避難意思決定構造を分析し、システムに反映させる予定である。

4.2 リスクコミュニケーションの試み

市の防災担当者や地域住民自らが操作し、相互のコミュニケーションを深められるよう試作した動くハザードマップを地元を提供している。住民等が操作した際の感想から問題が発生していることが明らかになった。それは、動くハザードマップ自体がイメージの固定化を招くことになるという問題である。提供したシステムには予めいくつかの想定したケースを組み込んでいた。こうしたモデルケースがイメージの固定化を招いていた。

具体的にはほぼ同じ地点から別の経路を辿って

表-1 想定した被災シナリオ

	東南海・南海地震連動型	南海地震単独型
防潮施設は健全 (陸閘は開放)	①	④
防潮施設は健全 (陸閘は閉鎖)	②	⑤
防潮施設が機能喪失	③	⑥

同一の避難場所に避難するという事例である。設定した経路は、①海側で津波が早く到達するが、比較的広い道路、②陸側で津波の到達は遅いが、場所によっては自動車の通行も困難なほど狭く、両側にブロック塀がある道路である。津波だけを考慮した場合には、海側の道路を利用すると津波のため避難が困難になる。このため、陸側の道路を使えば良いとの思い込みを醸成してしまった。そこで、地震により火災が発生した場合、陸側の通路がどうなるかを考えてもらい、火災により避難経路が閉塞されるケースを提示した。このケースでは、海側だけではなく、陸側の経路も避難困難に陥る。では、どうすればよいのか。筆者らは、一つの方法として避難開始時間を早めたケースを提示した。このケースでは、最初のケースとは逆に海側の経路が避難可能となる。このように動くハザードマップを使うことによって、様々な条件を考えながら住民と行政等がコミュニケーションを行うことができる。

4.3 普及に向けた取り組み

市町村等の自治体が動くハザードマップを作成する上での障害として以下のような指摘がある。①多額の費用を要するのではないか、②多様なデータが必要で高度なノウハウと多大な作業が必要ではないか、③紙のハザードマップ整備が先ず大事、「動くハザードマップ」は贅沢品ではないか、等である。国総研では、動くハザードマップを普及させるために動くハザードマップの作成を希望する自治体等々に無償でシステムを提供するとともに技術的な助言・指導を行うこととしている。

動くハザードマップを作成するために必要なデータは、①浸水計算データ、②道路・建物データ、③背景地図データである。このうち、浸水計算データ（地形データを含む。）は、紙のハザードマップを作成するためのデータをそのまま活用できる。道路・建物データは、市町村が保有している街路・道路、固定資産に関する台帳から収集・作成できる。先に述べたようにGIS上で電子化されている場合にはより容易にデータ作成が可能である。背景地図データは、いずれも市販されている情報で容易に入手できる。国総研では、これらのデータの取得・作成方法を取りまとめた、「データ整備ガイドライン（仮称）」を提供する予定である。

動くハザードマップは贅沢品ではないかとの意

見に対しては、動くハザードマップは、「逃げない住民」を生み出さないための住民と行政とのリスクコミュニケーションの手段で、紙のハザードマップの弊害である災害イメージ固定化の解消に寄与すること、火災、ブロック塀の倒壊等実際の避難で問題となる詳細スケールのハザードまで表現でき、ハザードマップ作成のためのワークショップや避難経路確認の補助・代替手段としても有効であることを付言したい。紙のハザードマップと動くハザードマップを同時並行で作成することも住民の意識向上を図る上で効果的な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 熊谷兼太郎、小田勝也、土方 聡、岡 秀行：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、土木計画学研究・講演集 vol. 33 (CD-ROM)、2006.6.
- 3) 内閣府：平成19年度 防災白書、内閣府ホームページ、2007.
- 4) 内閣府・消防庁：千島列島を震源とする地震による津波避難の状況と今後の対応について、内閣府ホームページ、2007.
- 5) (財)消防科学総合センター：地域防災データ総覧、2001.3.

小田勝也*



国土交通省国土技術政策
総合研究所沿岸海洋研究
部沿岸防災研究室長、工
修
Katsuya ODA

熊谷兼太郎**



国土交通省国土技術政策
総合研究所沿岸海洋研究
部沿岸防災研究室主任研
究官、工修
Kentaro KUMAGAI